

삼중수소 운반용기 구조건전성 평가를 위한 낙하해석

최우석, 김기영, 이주찬, 서기석, 김호동, 이민수, 백승우

한국원자력연구원, 대전시 유성구 대덕대로 1045

wschoi@kaeri.re.kr

1. 서론

삼중수소 운반 및 저장용기는 월성원전 삼중수소 제거시설(TRF)에서 생산되는 삼중수소를 다른 곳에서 활용할 수 있도록 운반하고 저장하는데 필요한 용기이다. 삼중수소는 radio-luminous colors, airport approach light, instrument display illumination 등의 산업용도와 핵융합로와 관련한 연구용도로 활용되고 있다. 향후 핵융합로에서 사용될 삼중수소의 수요를 고려할 때, 삼중수소 운반 및 저장용기의 필요성이 매우 증대된다고 할 수 있다. 이에 따라 다양한 용량의 다양한 삼중수소 운반 및 저장용기가 개발중이다. 방사성 물질의 운반용기는 과학기술부 고시, IAEA Safety Standard Series 및 US 10 CFR 등에서 규정하고 있는 조건들에 만족하여야 한다.[1-3] 국내·외 방사성물질 운반용기 관련법규에 따르면 삼중수소 운반용기는 B형 운반용기로서 분류되며, B형 운반용기는 이들 관련법규에서 규정하고 있는 사고조건을 고려한 낙하시험에서 누설이 발생하지 않는 구조건전성을 유지하여야 한다. 본 연구에서는 현재 개발되고 있는 0.37 PBq 용기에 대한 낙하해석을 수행하여 구조건전성을 평가하였다.

2. 구조건전성 평가

신규로 개발된 0.37 PBq 용량의 삼중수소 운반용기는 그림 1과 같다. 정상운반조건 및 운반사고조건에 대한 구조 건전성 평가를 수행하였다. 정상조건으로 측면판통, 바닥수직낙하, 수평낙하, 뚜껑무게중심낙하, 바닥무게중심낙하에 대한 해석을 수행하였다. 운반사고조건으로 낙하높이 9 m에 대한 바닥수직낙하, 수평낙하, 뚜껑무게중심낙하, 바닥무게중심낙하에 대한 해석 및 1m 파열해석을 수행하였다.

격납경계를 이루는 삼중수소 운반용기의 격납용기는 SA240 Type 304L의 재질을 사용하며 해당재질의 설계응력강도는 115 MPa이다.[4] 운반

사고조건에 대하여 해당재질의 일차막응력 P_m 은 $2.4 S_m$ 과 $0.7 S_u$ 중에서 작은 값인 276 MPa을 초과하지 말아야 하며, 일차굽힘응력 P_m+P_b 는 $3.6 S_m$ 과 $1.0 S_u$ 중에서 작은 값인 414 MPa을 초과해서는 안 된다. 운반 사고조건에서의 해석결과를 분석하여 삼중수소 운반용기 격납용기의 최대 응력 발생하는 지점에 SCL(Stress Classification Line)을 적용하여 응력선형화를 수행하였다. 이 응력분석에서 도출된 응력성분을 응력한계와 비교하여 구조적 안전성을 평가하였다.

표 1과 표 2는 각각 정상운반조건 및 운반사고조건하에서의 응력해석 결과와 응력한계 및 건전성 평가 결과를 나타낸다. 정상운반조건과 운반사고조건에 대한 모든 경우에 대한 해석에서 발생하는 최대응력은 응력한계값을 초과하지 않았다. 결과적으로 구조적 안전성이 유지됨을 확인하였다. 운반사고조건에 대하여 수행한 4가지 낙하해석 및 파열해석 가운데 가장 큰 응력이 발생하는 수평낙하해석의 경우에 대한 주요 기기의 응력분포 및 에너지 시간이력을 그림 2에서 그림 5에 나타내었다.

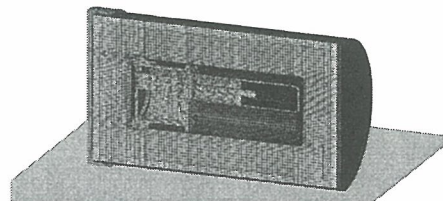


Fig. 1. 삼중수소 운반용기 유한요소 모델

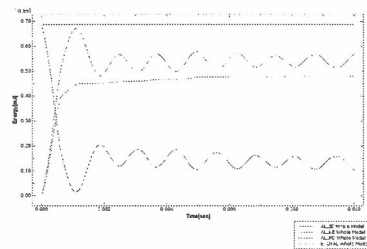


Fig. 2. 수평낙하시 에너지 시간이력

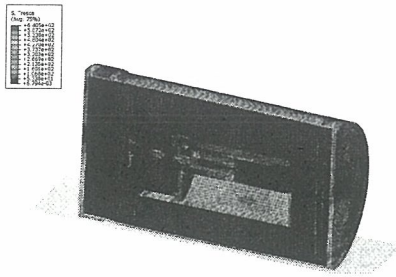


Fig. 3. 수평낙하시 해석모델 전체의 응력분포

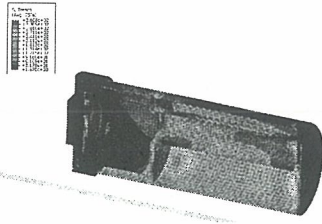


Fig. 4. 수평낙하시 격납용기의 응력분포

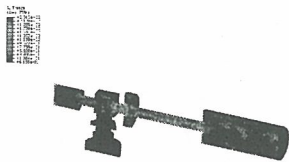


Fig. 5. 수평낙하시 저장용기의 응력분포

Table 1. 정상운반조건하의 응력한계와 해석결과

정상 운반조건(낙하)	응력한계와 해석결과			
	응력한계 [MPa]	해석결과 [MPa]	평가	
측면 관통	P_m	115	75.71	건전
	$P_m + P_b$	172.5	122.81	건전
	P_e	345	0.089	건전
	$P_m + P_b + P_e$	345	122.9	건전
바닥 수직 낙하	P_m	115	21.77	건전
	$P_m + P_b$	172.5	34.50	건전
	P_e	345	0.017	건전
	$P_m + P_b + P_e$	345	34.51	건전
수평 낙하	P_m	115	46.26	건전
	$P_m + P_b$	172.5	91.42	건전
	P_e	345	0.062	건전
	$P_m + P_b + P_e$	345	91.48	건전
뚜껑 무게중심 낙하	P_m	115	71.35	건전
	$P_m + P_b$	172.5	127.93	건전
	P_e	345	0.075	건전
	$P_m + P_b + P_e$	345	128.01	건전
바닥 무게중심 낙하	P_m	115	48.06	건전
	$P_m + P_b$	172.5	97.98	건전
	P_e	345	0.062	건전
	$P_m + P_b + P_e$	345	98.04	건전

Table 2. 운반사고조건하의 응력한계와 해석결과

운반 사고조건		응력한계와 해석결과		
		응력한계 [MPa]	해석결과 [MPa]	평가
바닥 수직낙하	P_m	276	66.91	건전
	$P_m + P_b$	414	103.52	건전
수평 낙하	P_m	276	139.05	건전
	$P_m + P_b$	414	275.87	건전
뚜껑 무게중심 낙하	P_m	276	179.03	건전
	$P_m + P_b$	414	258.1	건전
바닥 무게중심 낙하	P_m	276	107.81	건전
	$P_m + P_b$	414	206.57	건전
수평 파열	P_m	276	109.67	건전
	$P_m + P_b$	414	220.09	건전

3. 결론

개발된 신규 삼중수소 운반용기의 정상운반조건 및 운반사고조건에 대한 낙하해석 및 파열해석을 수행하였다. 해석결과 개발된 삼중수소 운반용기는 정상운반조건 및 운반사고조건 하에서 구조건전성을 유지하는 것으로 평가되었다. 추후 삼중수소 운반용기에 대한 시험모델이 제작되면 안전성 입증 시험을 실시하고 낙하해석결과와 안전성 시험 결과를 비교 검토할 예정이다.

4. 참고문헌

- [1] 과기부고시 제2009-37호, "방사성물질 등의 포장 및 운반에 관한 규정", 2009.
- [2] IAEA Safety standards Series No. TS-R-1, "Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material", 2009 Ed.
- [3] U.S. Code of Federal Regulations, Title 10, Part 71, "Packaging of Radioactive Material for Transport and Transportation of Radioactive Material under Certain Conditions", 2005 Ed.
- [4] ASME Boiler & Pressure Vessel Code Sec. II Part D, "Properties", 2007.