

삼중수소 운반 및 저장용기의 낙하해석을 통한 구조건전성 평가

최우석, 김기영, 서기석, 이민수, 백승우, 손순환*, 송규민*

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 1045

* 한국전력공사 전력연구원, 대전광역시 유성구 문지동 103-16

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 연구용도를 활용되고 있다. 향후 핵융합로에서 사용될 삼중수소의 수요를 고려할 때, 삼중수소 운반 및 저장용기의 필요성이 매우 증대된다고 할 수 있다. 이에 따라 3.7 PBq, 370 TBq, 37 TBq, 3.7 TBq 용량의 다양한 삼중수소 운반 및 저장용기가 개발중이다. 방사성 물질의 운반용기는 과학기술부 고시 제 2001-23호, IAEA Safety Standard Series No. TS-R-1 및 US 10 CFR Part 71 등에서 규정하고 있는 조건들에 만족하여야 한다. 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 3.7 PBq 용기에 대한 낙하해석을 수행하여 구조건전성을 평가하였다.

2. 낙하해석을 통한 구조건전성 평가

신규로 개발된 3.7 PBq 용량의 삼중수소 운반용기는 Fig. 1과 같다. 운반 사고조건에 대한 구조 건전성 평가는 9 m 바닥수직낙하, 수평낙하, 뚜껑무게중심, 수평파열에 대한 해석을 수행하여 평가하였다. 표 1은 삼중수소 운반용기 2차용기의 재료물성과 응력제한값(stress limit)을 보여주고 있다. 삼중수소 운반용기 2차용기의 재질로 사용하는 STS304의 일차막응력 P_m 은 $2.4S_m$ 과 $0.7S_u$ 중에서 작은 값인 331.2 MPa을 초과하지 말아야 하며, 일차굽힘응력 P_m+P_b 는 $3.6S_m$ 과 $1.0S_u$ 중에서 작은 값인 496.8 MPa을 초과해서는 안 된다. 운반 사고조건에서의 해석결과를 분석하여 삼중수소 운반용기 2차용기의 최대 응력 발생이 예상되는 5개의 SCL(Stress Classification Line)을 적용하여 응력분석을 수행하였다. 이 응력분석에서 도출된 응력성분을 응력한계와 비교하여 구조적 안전성을 평가하였다. 운반사고조건에 대하여 수행한 4가지 낙하해석 가운데 바닥수직낙하해석의 경우를 그림 2에서 그림 6에 나타내었다.

표 2는 운반 사고조건에서 낙하 및 파열해석결과와 응력한계와 해석결과를 정리한 것이다. 모든 방향의 낙하 및 판통해석결과는 응력한계값을 초과하지 않았다. 결과적으로 운반 사고조건에서 구조적 안전성이 유지됨을 확인하였다.

표 1 운반 사고조건에서의 설계응력강도와 응력한계

Material		Mechanical properties and Stress Limit(MPa)				
		Design Stress Intensity (S_m)	Yield Strength (S_y)	Ultimate Strength (S_u)	작은 값 적용	
일차막응력 (P_m)	STS304	*138	*207	*517	$2.4S_m$	$0.7S_u$
					331.2	361.9
일차굽힘응력 ($P_m + P_b$)	STS304	*138	*207	*517	$3.6S_m$	$1.0S_u$
					496.8	517

표 2 운반 사고조건에서의 응력한계와 해석결과

운반 사고조건		응력한계와 해석결과		
		응력한계[MPa]	해석결과[MPa]	구조건전성 평가
바닥 수직낙하	P_m	*331.2	65.72	건전
	$P_m + P_b$	*496.8	157.98	건전
수평낙하	P_m	*331.2	63.77	건전
	$P_m + P_b$	*496.8	70.83	건전
뚜껑	P_m	*331.2	65.3	건전
무게중심낙하	$P_m + P_b$	*496.8	79.86	건전
	P_m	*331.2	53.3	건전
수평파열	$P_m + P_b$	*496.8	109.85	건전

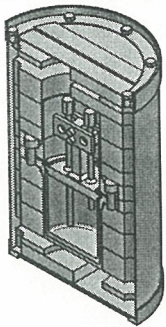


그림 1 삼중수소 운반용기 개략도

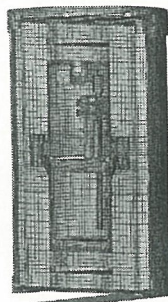


그림 2 바닥수직낙하 유한요소 모델

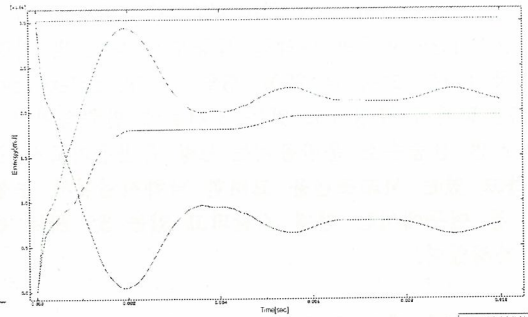


그림 3 바닥 수직낙하모델 에너지 선도



그림 4 바닥 수직낙하 전체 모델



그림 5 바닥 수직낙하 2차용기 모델



그림 6 바닥 수직낙하 1차용기 모델

3. 결 론

개발된 신규 삼중수소 운반용기의 운반사고조건에 대한 낙하해석을 수행한 결과 운반사고조건 하에서 구조건전성을 유지하는 것으로 평가되었다. 추후 삼중수소 운반용기에 대한 시험모델이 제작되면 안전성 입증 시험을 실시하고 낙하해석결과와 안전성 시험 결과를 비교 검토할 예정이다. 정상운반조건에 대한 해석은 본 논문에는 포함하지 않았다.

참고문헌

1. 과기부고시 제2001-23호, "Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material", 2001.
2. IAEA Safety standard Series No. TS-R-1, "Regulations for Packaging and Transportation of Radioactive Material", 2000 Ed.
3. U.S. Code of Federal Regulations, Title 10, Part 71, "Packaging and Transportation of Radioactive Material", 2004 Ed.