

삼중수소 370 TBq 운반용기 안전성 시험평가

방경식 · 최우석 · 전재언 · 김기영 · 서기석
한국원자력연구원
E-mail: nksbang@kaeri.re.kr

중심어 (keyword) : 삼중수소, B형 운반용기, 낙하시험, 파열시험, 열 시험, 침수시험, 누설시험

서 론

삼중수소 370 TBq(10,000 Ci)을 안전하게 운반하기 위해서는 운반용기를 필요로 하게 되며, 운반용기는 교육과학기술부 고시 제2009-37호, IAEA Safety Standard Series No. TS-R-1 및 US 10 CFR Part 71 등에서 규정하고 있는 조건들에 만족하여야 한다.

따라서, 삼중수소 370 TBq을 안전하게 운반하기 위한 운반용기를 제작하여 국내·외 운반용기 관련 법규에서 명시하고 있는 9m 낙하·1m 파열·800℃에서 30분간 화재·15 m 수중 8시간 침수시험을 일련으로 수행한 후 ANSI N14.5에서 명시한 누설시험을 수행하여 안전성을 평가하였다[1-2].

안전성 시험

(1) 시험모델

안전성시험에 사용된 시험모델은 그림 1과 같은 원형모델이다. 이 시험모델은 실제 운반용기의 치수 그대로 제작된 1:1 스케일을 갖는 모델로써, 삼중수소를 저장하는 저장용기와 저장용기를 포함하는 격납용기, 그리고 외부에서 오는 충격을 흡수하는 충격완충재 및 이를 둘러싸는 over-pack으로 구성된다. 그림 1에서와 같이 격납용기는 격납경계를 형성하며 16개의 볼트로 체결된다. 일련의 낙하, 파열, 화재 및 침수 시험 이후 누설성능을 평가하기 위하여, 낙하시험을 수행하기 전에 저장용기에 헬륨을 충전하였다.



저장용기 격납용기 충격완충재 Over-pack

그림 1. 삼중수소 10,000 Ci 운반용기 시험모델

(2) 낙하시험 및 파열시험(Free Drop & Puncture test)

낙하시험은 구조해석을 통해 가장 큰 응력이 발생한 바닥수직낙하조건을 적용하였으며, 항복이 없는 강체 바닥(unyielding surface)에 시험모델을 9 m에서 자유 낙하하는 방법으로 수행하였으며, 파열시험은 구조해석 시 가장 손상을 크게 받는 수평 파열조건을 적용하였으며, 단단하고 평평한 바닥면에 연강재질의 파열 봉을 수직으로 고정된 후 시험모델을 1 m 높이에서 수평으로 낙하하는 파열시험을 수행하였다.

낙하시험 및 파열시험 이후 측정된 변형량은 크지 않았다. 격납용기의 체결을 위한 볼트의 초기 토크치는 50 N·m이다. 낙하, 파열, 화재 및 침수 시험 이후 측정된 볼트의 토크치는 34.7~35.9 N·m 으로, 약 28.2%~30.6% 정도의 볼트 토크치의 감소를 가져왔다. 이는 볼트가 초기 상태와 비교하여 풀렸음을 의미한다.



그림 2. 낙하시험 후

그림 3. 파열시험 후

(3) 열 시험(Thermal test)

삼중수소 운반용기의 열 시험은 법규에서 규정하고 있는 시험방법 중 furnace fire 방법으로 3.0 m × 4.0 m × 2.0 m 크기를 가진 furnace에 시험모델을 설치한 후 평균 800 °C 이상의 화염 속에서 시험모델을 30분 이상 방치한 후 자연 냉각시켰다. 열 시험 동안 측정된 상부에서의 평균 화염온도는 803 °C로 측정되었다. 그림 4는 열 시험에서 과도시간에 따라 측정된 시험모델 표면에서의 온도 추이를 보여주고 있다. 열 시험에서 삼중수소 운반용기의 격납용기 표면에서의 최고온도는 화염이 발생한 시점에서 35분 경과한 후 110.5 °C로 측정되었다. 삼중수소 운반용기의 운반 내용물인 저장용기 표면에 부착된 thermo-label은 100 °C에서 250 °C 까지의 온도변화를 관찰할 수 있도록 부착되었으며, 시험결과 thermo-label의 색은 변색되지 않았다. 따라서, 저장용기 표면의 최고온도는 100 °C 이하임을 예측할 수 있다. 그러므로, 삼중수소 운반용기의 열 적 건전성은 유지될 것으로 판단된다.

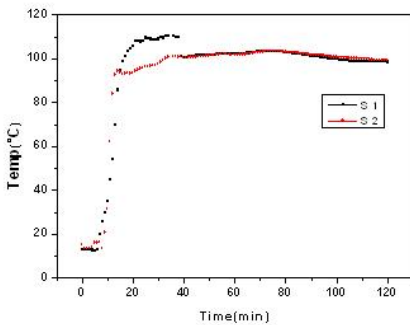


그림 4. 시험모델 표면온도

(4) 침수 시험 및 누설시험 (Immersion & Leak test)

삼중수소 운반용기의 침수시험은 over-pack을 제거한 후 격납용기를 빼내어 침수시험장치인 압력용기 내부에 안착시킨 후 법규에서 요구하는 압력보다 높은 1.6 kg/cm²의 압력으로 가압한 후 그 상태를 8시간 이상 유지하였다. 삼중수소 운반용기 침수시험을 시작한 후 오후가 되면서 압력이 상승하기 시작하여 8시간이 경과한 후 침수시험 종료 시 침수시험장비 내의 압력은 2.1 kg/cm²으로 상승하였다. 침수시험 시작 시 침수시험장비에 채운 물의 온도는 10 °C였으나, 종료 후 물의 온도를 측정된 결과 15 °C로 상승하였다.

표 1. 침수시험에서의 압력변화

시 간	09:46	15:30	16:00	17:46
압력(kg/cm ²)	1.6	1.7	2.0	2.1

Gay-Lussac's Law에 따라 계산한 시험 후의 압력은 2.4 kg/m² 이었다. 시험과 계산에서의 압력 차는 측정된 온도의 소수점 이하까지 정확히 산정한다면 줄어들 것이다.

삼중수소 운반용기 누설시험은 누설시험방법들 가운데 정량적인 방법으로 비교적 예민한 민감도(10⁻⁹ cm/s)를 요구하는 용기들에 대해 적용할 수 있는 시험방법인 Evacuated envelope gas test 방법을 적용하여 침수시험 후 Alcatel사 모델 ASM-142인 Helium Mass Spectrometer를 사용하여 수행하였으며, 시험결과 누설량은 허용누설률보다 낮은 8 × 10⁻⁷ atm · cm³/sec로 측정되어 격납 건전성은 유지되는 것으로 평가되었다.

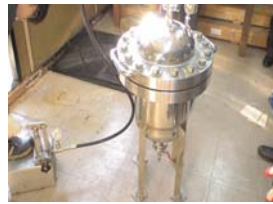


그림 5. 침수시험



그림 6. 누설시험

결론

삼중수소 370 TBq을 운반하기 위한 B형 운반용기에 대한 안전성시험을 9m 낙하 · 1m 파열 · 800 °C에서 30분간 화재 · 15 m 수중 8시간 침수시험을 일련으로 수행한 후 누설시험을 수행한 결과 누설량은 허용누설률 이하로 측정되어 삼중수소 370 TBq용 운반용기의 건전성은 유지되는 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 교육과학기술부고시 제 2009-37호, 방사성물질 등의 포장 및 운반에 관한 규정.
2. ANSI N14.5, Leakage Tests on Packages for Shipment for Radioactive Materials, 1997.