

# 수소동위원소 재활용을 위한 운반용기 개발

## Development of Shipping Package for Recycling of Hydrogen Isotope

임성팔, 이민수, 방경식, 김광락, 서기석, 정홍석

한국원자력연구소

### 1. 연구배경

가압 중수로형 원자력발전소에서는 중수 중의 중수소와 중성자의 반응에 의하여 수소동위원소인 삼중수소(트리튬)가 불가피하게 생성되는데 발전소의 가동 년수가 증가함에 따라 계통내 중수 중의 삼중수소 농도도 증가하게 된다. 따라서 계통내 삼중수소화 중수로부터 삼중수소를 분리하여, 중수는 원자로로 순환하고 분리된 삼중수소는 별도로 저장할 필요가 있다. 이 과정에서 분리·농축된 삼중수소는 방사성 물질일 뿐만 아니라 앞으로 핵융합 연구에 매우 중요하게 이용되어야 할 자원이기 때문에 이를 안전하게 저장하기 위한 기술(저장기술)과 경우에 따라 지정된 장소로 운반하기 위한 기술(운반기술)이 필요하다.

한국원자력연구소에서 삼중수소 저장을 위하여 개발한 수소동위원소 저장용기는 수소동위원소를  $TiH_{1.0}$  형태의 고체 상태로 저장하며, 완전 충전시의 방사선량은 500 kCi에 달한다. 이와 같이 높은 방사능을 띠는 수소동위원소 저장용기를 운반하기 위하여는 우선 관련 법 및 규정을 검토하여 적합한 형태의 용기를 선정하여야 하며, 상용화된 운반용기가 없을 경우에는 적합한 운반용기를 설계/제작하여 사용하여야 한다. 이때 운반용기는 설계 과정에서 고려된 안전성이 제작 후에 동일하거나 강화되어야 하며, 엄격한 시험평가를 거쳐 최종적으로 건전성이 입증되어야만 사용이 가능하다.[1,2]

본 연구에서는 수소동위원소 재활용을 위하여 삼중수소가 저장된 용기(저장용기)를 원하는 목적지까지 안전하게 운반할 수 있는 운반용기를 설계/제작 하였으며, 그 안전성과 건전성을 입증하기 위한 각종 시험을 수행하였다.

### 2. 수소동위원소 운반용기

삼중수소 500 kCi를 운반할 수 있는 수소동위원소 운반용기는 B형 운반용기로 분류되며, 크게 2차 저장용기와 3차 드럼용기로 구성된다. 2차 저장용기는 500kCi급 수소동위원소 저장용기에서 방사성 물질이 누설될 경우에 대비한 밀봉용 용기이다. 3차 드럼용기는 외부의 물리적 충격이나 화재로 인한 열이 내부의 용기로 전달되는 것을 최소화하는 구실을 한다. 또한 3차 드럼용기는 운반에 적합한 외관을 지니고 있다. 전체적인 운반용기의 구조는 Fig. 1과 같다. 1차 저장용기를 포함한 운반용기의 전체 무게는 약 130 kg이며, 외형은 원통형 드럼 형태로서 높이 840 mm, 직경 420 mm, 전체 밀도는 약  $1.056 \text{ g/cm}^3$  이다.

### 3. 운반용기의 안전성 평가

방사성 물질의 운반용기 종류 중 B형 운반용기의 설계/제작/시험에 적용되는 요구 사항,

시험 조건, 기준 등은 다음 Table 1과 같다. B형 운반용기는 운반 도중의 사고 시에도 내용물을 안전하게 보호하여야 하므로 사고시를 가정한 9m 자유낙하 시험, 열시험(800℃, 30분, 화재조건) 등의 엄격한 시험 방법과 기준이 적용된다.

본 연구에서는 실제 크기로 제작된 수소동위원소 저장용기와 운반용기에 대하여 사고조건에서의 시험항목인 9 m 자유 낙하시험, 1 m 봉 위 낙하시험, 열시험을 과학기술부 고시 제 2001-23호(2001)[3]에 따라 실시한 후 외관검사 및 헬륨 누설시험을 통하여 그 건전성을 입증하였다.

#### - 시험전 누설평가

시험용 수소동위원소 운반용기 KT500B에서 저장용기 내부에 2기압의 헬륨 기체를 충전하고, 성능시험 평가전 사전 누설평가를 실시하였다. 시험 방법은 ANSI N14.5-1997 A.5.4[4]와 ISO 12807-1996 A.3.4[5]에 따라 수행하였다. 사전 누설시험 결과, KT500B의 누설 검출량은  $1.9 \times 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{s}$ 로서, 허용 누설율  $9.2 \times 10^4 \text{ cm}^2/\text{s}$ 을 충분히 만족하였다.

#### - 9 m 자유 낙하시험

시험용 수소동위원소 운반용기 KT500B에 대하여 9m 수직 낙하시험과 수평 낙하시험을 실시하였다. 낙하시험 결과, 운반용기 상단부 덮개가 약간 이탈되었으나 전반적으로 큰 손상은 없었다. Fig. 2는 9 m 수직 및 수평 자유 낙하 후의 용기 사진이다.

#### - 1 m 봉 위 낙하시험

9 m 자유 낙하시험 후 연속하여 1m 봉 위 낙하시험을 실시하였다. 낙하시험 결과, 충격을 받은 운반용기 몸체 부분이 약간 찌그러들었음이 관찰되었다.

#### - 낙하시험 후 누설평가

시험용 수소동위원소 운반용기 KT500B를 9m 수직 자유 낙하, 9m 수평 자유 낙하 그리고 1m 봉 위 낙하시험을 거친 후, 누설평가를 실시하였다. 누설평가 결과, 낙하시험 후 KT500B의 누설 검출량은  $2.4 \times 10^{-7} \text{ cm}^2/\text{s}$ 로서, 허용 누설율  $9.2 \times 10^4 \text{ cm}^2/\text{s}$ 을 충분히 만족하였다.

#### - 열시험

시험용 수소동위원소 운반용기 KT500B와 동일하게 제작된 운반용기 KT500A에 대하여 9m 경사(10도) 자유 낙하시험과 1 m 봉 위 낙하시험을 연속으로 실시한 후 이어 온도 800℃ 조건에서 30분간 열시험을 실시하였다. 열시험 결과, 완충재인 폴리우레탄은 거의 대부분 연소되었으며, 사용 단열재의 바깥층도 열에 의해 손상되었다. 저장용기의 온도는 최고 83℃로 나타났으며, 화재시험 중 저장용기는 상온을 유지하였다. 또한 열시험 후 누설평가 결과, KT500A의 누설 검출량은  $2.1 \times 10^{-7} \text{ cm}^2/\text{s}$ 로서, 허용 누설율  $9.2 \times 10^4 \text{ cm}^2/\text{s}$ 을 충분히 만족하였다.

### 4. 결과정리

동일하게 설계/제작된 시험용 수소동위원소 운반용기 KT500A 와 KT500B에 대하여 운반 사고조건인 9m 자유 낙하시험, 1m 봉 위 낙하시험을 실시한 결과, 운반용기의 격납경계인 2차 저장용기 및 저장용기가 외관상 크게 손상되지 않았음이 관찰되었다. 열시험으로부터 800℃, 30분의 화재조건에서 저장용기는 허용 누설을 계산조건인 200℃보다도 훨씬 낮은 83℃를 유지하고 있음을 확인하였으며, 각종 운반 사고조건 시험 후 누설량은 허용누설율의 약  $10^{-11}$  수준으로 운반 사고 하에서도 건전성을 유지할 수 있다고 평가할 수 있었다.

## REFERENCE

- [1] DOE, "DOE Handbook- Tritium Handling and Safe Storage," DOE-HDBK-1129-99 (1999)
- [2] IAEA, "Regulation for the Safe Transport of Radioactive Material," IAEA Safty Standards Series No. ST-1 (1996)
- [3] 과학기술부, "방사성물질 등의 포장 및 운반에 관한 규정" 과학기술부 고시 제2001-23호
- [4] ANSI N14.5-1987 "American National Standard for Radioactive Materials- Leakage Tests on Packages for Shipment," American National Standards Institute (1987)
- [5] ISO 12807 International Standard "Safe Transport of Radioactive Materials-Leakage Testing on Packages," International Organization for Standardization (1996)

Table 1 Design and Test Requirements for the Transport of Tritium Storage Vessel

Requirements		Test Condition	Criteria
Normal Conditions	Water Spray	50 mm/hr	· Leakage of Radioactive Materials per an Hour : $< 10^{-6} \times A2$ (A2 value of Tritium : $10^{-3}$ Ci/hr)
	Free Drop	1.2 m	
	Stacking	5 times of its weight	
	Penetration	1 m	
Accident Conditions	Free Drop I	9m	· Surface Dose Rate (1m) : $< 10$ mrem/hr · Leakage of Radioactive Materials per a Week : $< A2$ (A2 value of Tritium : 1,000 Ci)
	Free Drop II	1 m Puncture	
	Thermal	800°C, 30 min.	
	Immersion	15 m, 8 hr	

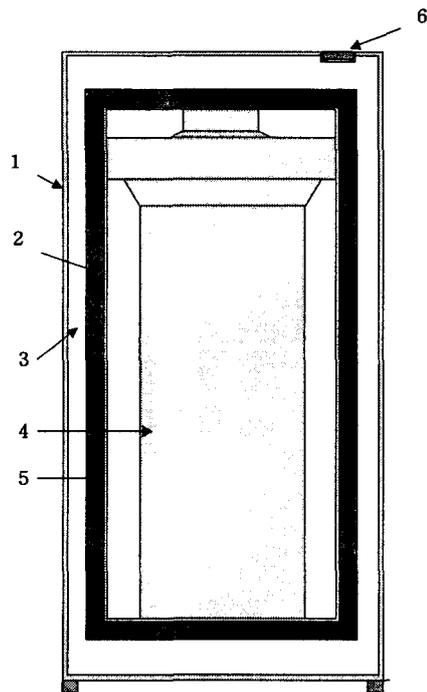


Fig. 1 Shipping Package of Hydrogen Isotope  
 1:Drum Vessel 2:Insulator 3:Impac Absorber  
 4:Secondary Vessel 5:Insulator Support 6:Vent

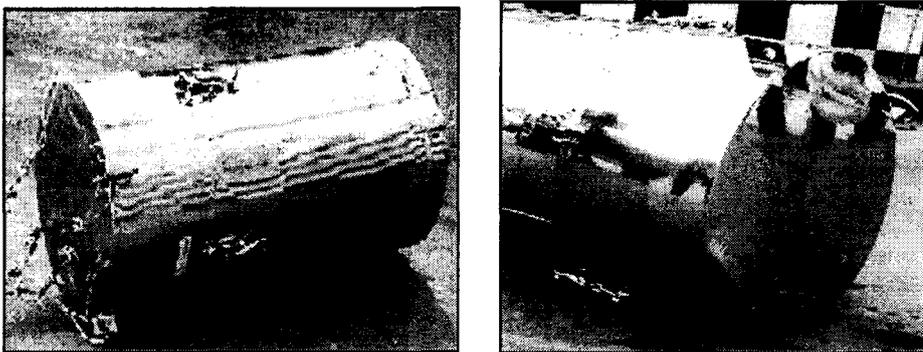


Fig. 2 Shipping Package KT500B after 9 m Free Drop Test  
 Left : Drop at Vertical Position Right: Drop at Horizontal Position