

# 티타늄 저장재 용기에서 삼중수소 인출을 위한 흡탈장 시험장치 개발

정은경\*, 송규민, 고병욱, 정가희, 박승철

한국수력원자력(주) 중앙연구원, 대전광역시 유성구 유성대로 1312번길 70

\*jungek15541@khnp.co.kr

## 1. 서론

2007년 월성원전 TRF(Tritium Removal Facility)가 준공되면서, 우리나라도 캐나다에 이어 삼중수소를 생산할 수 있는 능력을 보유하게 되었다. 삼중수소는 산업용, 의료용 및 연구용으로 활용이 가능한 고가의 원소로, 대부분의 국가가 전량 수입에 의존하고 있다. 특히 국제핵융합실험로(ITER, International Thermonuclear Experimental Reactor) 건설이 진행되면서 삼중수소에 대한 수요가 기대되고 있다[1]. 하지만 월성원전 TRF는 방사성폐기물로서 삼중수소를 영구보관하는 관점으로 티타늄 저장재에 보관하는 방식으로 설계되었다. 따라서 삼중수소 생산판매를 위해서는 기존 설비만으로는 한계가 있어 삼중수소 자원화시스템을 개발한 바 있다[2]. 본 연구에서는 티타늄 저장재에서 삼중수소를 효율적으로 인출하기 위한 실험장치를 설계하고 아울러 열전달해석을 통해 가열로 설계를 수행하고자 한다.

## 2. 본론

### 2.1 티타늄 저장재 특성

월성원전 TRF의 삼중수소 저장방식은 밀폐된 저장용기 내에 티타늄과 결합하는 것이다. 티타늄은 삼중수소와 결합하여  $TiTx(x=0\sim 2)$ 의 화합물을 형성하며, 원자수 1:1 결합 시 활성화 온도에서 증기압이 30 mmHg 정도로 상당히 낮다. 따라서 삼중수소를 티타늄에서 다시 탈장하는 데에 열역학적 한계가 존재할 수 있다. 즉, 삼중수소 저장용기의 설계온도 범위 내에서 삼중수소를 안전하고 효율적으로 인출하기 위해서는 특별한 설계가 필요하다.

### 2.2 삼중수소 흡탈장 시험장치

삼중수소 인출조건을 최적화를 위한 흡탈장 시험장치를 설계하였다. Fig. 1은 흡탈장 시험장치의 개략도이다. 본 설비는 수소로 실험을 하며, 삼중수소 인출용 가열로 모듈, 수소공급 및 회수계통, 고진공 배기계통, 시스템 제어 및 데이터 취득계통으로 구성

되어 있다. 수소 누설율이  $2.0 \times 10^{-9}$  mbar·liter/sec 이하로 설계되며, 안전을 위해 누설감지 및 안전정지 기능을 갖추고 있다. 삼중수소인출용 가열로 모듈은 2.3항에서 자세히 설명하였다. 수소 공급 및 회수계통은 삼중수소 저장용기에 흡장된 수소의 탈장된 양과 속도를 알아내기 위한 계통으로 일정온도에서 탱크의 압력변화를 측정하여 알아낸다. 진공 배기 계통은 실험 전후 전체 계통의 진공 배기를 위한 것이다. 데이터 취득 계통을 통해 구성기기 제어와 측정이 가능하며 실시간으로 데이터가 기록되고 수집할 수 있다.

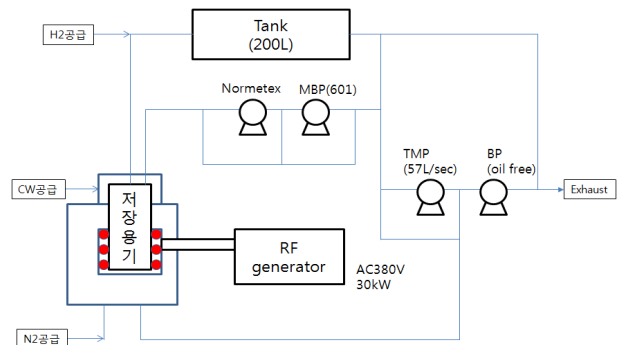


Fig. 1. Schematic diagram of tritium absorption and desorption experimental apparatus.

### 2.3 삼중수소 인출용 가열로 모듈

삼중수소 인출용 가열로 모듈은 삼중수소 흡탈장 시험장치의 핵심구성품으로 저장용기 내부의 티타늄과 결합하고 있는 수소를 인출하기 위해 직접적으로 가열하는 장치이다. 가열로 모듈의 구성품은 RF 유도가열장치, 외부진공용기, 열교환기로 구성되어 있다. 주어진 온도조건에서 운전 시간에 따라 삼중수소가 인출되는 양을 측정하여 가열로 모듈의 성능을 확인할 예정이다. 가능하면 티타늄 저장재의 온도만 올리고 삼중수소 저장용기의 다른 부분, 특히 밸브가 장착된 상부의 취약한 부분을 보호하기 위한 설계가 중요하다. 또한 글로브박스의 제한된 운전압력 범위 이내로 유지하기 위한 설계가 필요하다. 고온가열에 의해 글로브박스 내부로 열이 전달되는 경로는 두 가지이다. 첫 번째는 대류를

통한 열전달이며, 두 번째는 글로브박스 벽을 통한 열전도이다. 이를 최대한 줄이기 위해 삼중수소 저장용기와 글로브박스 사이에 대류를 차단하는 장치를 설치하고 저장용기 상부 벽에 냉각기를 설치하였다.

#### 2.4 삼중수소 인출용 가열로 모듈의 열전달 해석

삼중수소 인출시 고온으로부터 삼중수소 저장용기를 보호하고 글로브박스의 안전한 운전을 위해 삼중수소 인출용 가열로 모듈의 열전달 해석을 수행하였다. 열전달해석의 시뮬레이션 조건은 Table 1과 같다. Fig. 2는 삼중수소 저장용기의 내부 티타늄을 650°C가 되도록 가열할 경우 저장용기 전체의 온도분포를 열해석한 결과이다. Fig에서 보듯이 저장용기 상부는 22-24°C로 가열부의 열이 완벽히 차단되어 글로브박스 내부로의 열전달은 무시할 수 있을 것으로 판단된다.

Table 1. Simulation condition of heat transfer analysis

난류 모델	SST 모델(냉각수 유동시)
구조물 재질	Copper, SUS304, SUS316, Ti Sponge
작동유체	Water, Air
열전달 해석	복사모델 : Discrete Transfer Model
격자	sweep mesh(tetra+hexa) 31,892,997nodes
용기 상부 냉각 유량, 온도	10 L/min, 15°C
용기 챔버 냉각 유량, 온도	10 L/min, 25°C
RF Coil 냉각 유량, 온도	20 L/min, 24°C
Cooling Fan(100) 공기유량, 온도	12.8 m <sup>3</sup> /min, 25°C
Cooling Fan(80) 공기유량, 온도	4 m <sup>3</sup> /min, 25°C
실내 노출면 열전달 조건	열전달 계수 : 10W/m <sup>2</sup> ·K @T <sub>∞</sub> :25°C
가열 온도, 시간	650°C, 24 hr

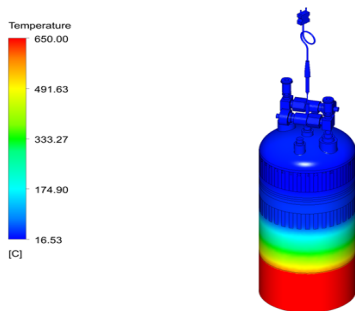


Fig. 2. Temperature profile of Ti-Bed.

### 3. 결론 및 향후계획

본 논문에서는 열전달해석을 통해 티타늄 저장용기에서 삼중수소를 인출하기 위한 가열로 모듈을 개발하고 삼중수소 인출 가열로 및 흡탈장 시험 장치를 설계하였다. 향후 본 설비의 운전을 통해 삼중수소 저장용기로부터 삼중수소를 효율적으로 인출하기 최적운전조건과 소요시간을 확인하고 삼중수소 자원화 설비 적용여부를 검토할 예정이다.

### 4. 참고문헌

- [1] 정기정, “국제핵융합실험로 공동개발사업”, 한국화학공학회 춘계학술대회, 부산 (2016).
- [2] K. Song, “Introduction to tritium application program in KHNP”, KO-JA Tritium Workshop, July 5-6, 2016.