

# 수소동위원소 저장 공급 시험을 위한 소형 베드 시스템의 표준운전절차

정동유, 이정민, 구대서, 정홍석

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111

[cdy@kaeri.re.kr](mailto:cdy@kaeri.re.kr)

## 1. 서론

삼중수소는 수소의 동위원소로 중수소형 원전에서 발생하는 베타 붕괴 방사성폐기물이지만 미래의 핵융합 에너지의 연료이다. 핵융합로에서는 많은 양의 삼중수소가 운전시나리오에 따라 저장·공급 되어야 한다. 현재, 수소를 안정하게 저장·수송하는데 필요한 수소저장 방법들 중에서 금속수소화물(metal hydride)을 이용한 방법이 가장 주목 받고 있다 [1, 2]. 현재 핵융합로에서 삼중수소 저장·공급을 위한 재료로 제안되는 금속수소화물은 감손우라늄(Depleted Uranium)과 지르코늄코발트(Zirconium Cobalt)이다. 이 두 금속수소화물의 특성을 비교 평가하기 위해서 수소동위원소 저장재료 비교 실험장치를 제작하였다. 수소저장금속재료 실험용 소형 베드의 안전한 흡/탈장 실험을 위해서는 실험시스템의 표준운전절차 수립이 반드시 필요하다. 따라서 본 논문에서는 수소동위원소 저장 시험을 위한 소형 베드 시스템의 표준운전절차 수립에 대해 기술하였다.

## 2. 본론

### 2.1 실험장치

Fig 1은 수소동위원소 저장재료 비교 실험용 소형 베드 시스템이다. 이 시스템은 크게 진공시스템, 베드 시스템, 제어 및 DAQ 시스템으로 구성된다. 먼저 진공시스템은 베드와 연결되는 매니폴드와 고 진공 분위기를 만들기 위한 TMP 및 로터리 펌프로 구성되어 있다. 다음으로 베드 시스템에서는 두 개의 베드가 존재하는데 두 베드는 일차용기, 열차폐판 및 이차용기로 동일하게 구성되어 있고, 내부 수소저장재료는 한 베드에는 ZrCo가 다른 베드에는 DU가 저장되어 있다. 마지막으로 제어 및 DAQ 시스템은 베드의 히터 원격 제어와 온도 및 압력 데이터를 수집·저장하기 위한 프로그램 및 하드웨어, 그리고 시스템의 수동 제어를 위한 패널로 구성되어 있다.

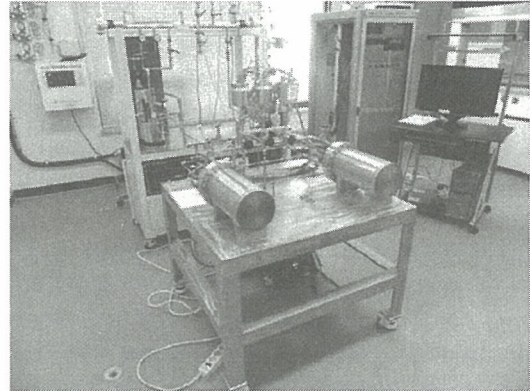


Fig. 1. small bed experimental system for comparison of hydrogen isotope storage materials.

### 2.2 표준운전절차

#### 2.2.1 수소저장재 베드 투입 절차

먼저 글로브 박스의 배기 라인의 로타리펌프 및 후드의 정상작동 여부를 확인한다. 다음으로 글로브박스에 연결된 Ar 가스의 양이 충분한지 확인한다. 글로브 박스 내 H<sub>2</sub>O, O<sub>2</sub> 농도 및 blower 운전(속도:3) 확인한다. 1차 용기의 수소저장재 투입구 캡을 분리하여 글로브박스 안티챔버에 넣고 진공분위기 조성 후 Ar 가스 퍼지를 2~3 회 반복한다. 1차 용기를 글로브박스 내부로 이동시킨다. 수소저장재의 무게를 계량하여 1차 용기에 투입하고 투입구 밀봉 및 육안 검사를 실시한다. 다시 1차 용기를 안티챔버로 이동시켜 글로브박스 연결부 및 배관 차단 확인 후 외부로 이동시킨다. 마지막으로 1차 용기 수소저장재 투입구를 용접하고 2차 용기를 결합하여 가스 누출 검사를 실시한다.

#### 2.2.2 진공아닐링 절차

진공아닐링은 수소동위원소 저장/공급 시험을 수행하기 전에 베드 내부 및 수소저장재 표면의 불순물을 제거하는 절차이다. 먼저 소형 베드 시스템의 배기라인에 연결되어 있는 후드를 작동시킨다. 실험 데이터 저장을 위해 DAQ(Data

Acquisition) 프로그램을 실행시킨다. 시스템 구성 용기 (1차/2차 용기, Tank) 및 라인 압력 및 온도 확인 후 로터리 펌프와 ISP 펌프를 순차적으로 작동시킨다. 진공 어닐링을 수행하고자 하는 해당 베드의 1차/2차 용기와 Measuring Tank(이하 MT) 진공라인 밸브 열어준다. MT의 압력 50 mtorr 미만으로 감소한 것을 확인 후 TMP(Turbo Molecular Pump)를 작동시켜 1차/2차 용기 내부를 고진공으로 유지시킨다. 베드의 1차 용기 Heater를 작동시켜 진공어닐링을 시작한다. Heater가 정지된 후 1차 용기는 진공상태로 유지하고 2차 용기에 He 가스를 약 800torr까지 채워 상온까지 자연 냉각시킨다.

### 2.2.3 수소흡장 절차

먼저 소형 베드 시스템의 배기라인에 연결되어 있는 후드를 작동시킨다. 실험 베드(ZrCo 베드/DU 베드)를 선택하여 실험을 수행하지 않는 베드의 밸브를 차단한다. 시스템 구성 용기(1차/2차 용기, MT) 및 라인 압력 및 온도 확인 후 로터리 펌프와 ISP 펌프를 순차적으로 작동시킨다. 베드의 1차/2차 용기와 MT 진공라인 밸브 열어준다. MT의 압력 50 mtorr 미만으로 감소한 것을 확인 후 TMP를 작동시켜 1차/2차 용기 내부를 고진공으로 유지시킨다. 목표 진공도 도달 후 ISP 펌프 OFF 및 1차 용기 수소 아웃렛, MT 진공 라인 밸브 순서로 차단시키고 TMP와 로터리 펌프를 순차적으로 정지시킨다. 베드의 2차 용기에 헬륨을 약 760torr로 채워준다. 수소 가스를 MT에 목표량(목표 압력) 만큼 정확히 채운다. DAQ 프로그램을 먼저 실행시키고 1차 용기 수소 인렛 밸브를 열어 수소 저장 실험을 시작한다. 수소 저장 완료(MT 압력을 기준으로 판단) 후 1차 용기 수소 인렛 밸브 차단한다. 잔류수소 배출을 위해 로터리 펌프를 다시 작동시키고 MT 진공라인 밸브를 열어 압력이 50 mtorr 미만이면 TMP를 작동시킨다. 잔류 수소 배출 완료 후 MT 진공라인 밸브 차단하고, TMP와 로터리 펌프를 순차적으로 정지시킨다.

### 2.2.4 수소탈장 절차

먼저 소형 베드 시스템의 배기라인에 연결되어 있는 후드를 작동시킨다. 실험 베드(ZrCo 베드/DU 베드)를 선택하여 실험을 수행하지 않는 베드의 밸브를 차단한다. 시스템 구성 용기 (1차/2차 용기, MT) 및 라인 압력 및 온도 확인 후 로터리 펌프와 ISP 펌프를 순차적으로 작동시킨다. 베드의 1차 용기와 MT 진공라인 밸브 열어준다.

MT의 압력 50 mtorr 미만으로 감소한 것을 확인 후 TMP를 작동시킨다. DAQ 프로그램을 먼저 실행시키고, MT의 진공 라인 밸브를 차단하고 2차 용기는 열린 상태로 유지하여 MT에서 압력증가를 10분 동안 측정한다. 1차 용기 Heater를 작동시킨다. 가열 조건은 각 실험조건에 따른다. 실험조건에 따른 예열 완료 후 1차 용기 수소 아웃렛 밸브를 열어 수소 공급을 시작한다. 수소 공급이 완료되면 MT에 공급된 수소를 안전하게 배출하기 위해 로터리 펌프와 ISP 펌프를 작동 시키고 1차 용기와 MT 진공라인 밸브를 열어준다. MT 압력이 50 mtorr 미만으로 감소하면 TMP를 작동시킨다. 수소 배출 시 주의 사항은 배출구 밸브를 조절하여 MT 압력이 1초에 0.3torr 정도로 떨어지도록 해야 한다. 수소 배출 완료되면 MT 진공라인 밸브를 차단하고 TMP와 로터리 펌프를 순차적으로 정지시킨다. 마지막으로 2차 용기에 He 가스를 약 800 torr까지 채워 상온까지 자연 냉각시킨다.

## 3. 결론

수소동위원소 등의 위험 물질을 취급하는 실험을 안전하게 수행하기 위하여 사고를 사전에 방지하기 위해서는 관련된 안전규정을 충족하는 표준운전절차를 반드시 수립하여야 한다. 따라서 이번에 수소동위원소 저장 공급 시험을 위한 소형 베드 시스템의 표준운전절차를 수립하였다. 향후 취급 물질, 실험조건, 장치의 구조, 안전규정 등이 변경될 경우 반드시 변경된 사항에 부합하게 표준운전절차를 개정한 후 실험을 진행하여야 한다.

## 4. 감사의 글

본 연구는 교육과학기술부와 지식경제부의 국제핵융합실험로 공동개발사업으로 수행되었습니다. (NRF 2012-0000276)

## 5. 참고문헌

- [1] Fusion Engineering and Design, 84, pp. 599-603, 2010.
- [2] Fusion Technology, Vol. 28, pp. 1732, 1995.