

판형 용기의 삼중수소 열량계 성능

정동유, 정도연, 구대서, 정홍석
 한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 1045
 cdy@kaeri.re.kr

1. 서론

삼중수소는 반감기 12.3 년의 방사성폐기물이지만, 동시에 핵융합연료인 소중한 자원이다. 한국은 미국, EU, 일본, 중국, 인도 및 러시아와 더불어 국제열핵융합실험로 (ITER) 프로젝트에 주도국으로 참여하여 핵융합 핵심 기술을 개발 중이다. 또한 우리나라의 경우 ITER 참여국 중 최대의 산업용 삼중수소 생산국이다[1-3]. ITER용 핵융합로에서는 많은 양의 중수소와 삼중수소를 연료로 사용하며 삼중수소는 금속 수소화 베드에 저장하였다가 핵융합로로 공급된다. 각 베드 내에 삼중수소의 충전량은 핵융합로의 운전 시나리오에 의해 수시로 변경되기 때문에 주기적으로 삼중수소 충전량의 측정이 요구된다. 삼중수소는 약 0.32W/g의 붕괴열을 발생하는데, ITER용 삼중수소 저장·공급 용기 내 잔존하는 삼중수소 충전량을 측정하기 위해 삼중수소 저장·공급 용기 내부에 He-loop을 설치하여 용기를 냉각하고 He에 흡수된 삼중수소 붕괴열을 측정하는 방법을 사용하고 있다. 이와 같은 측정방법은 삼중수소 저장용기의 해체 등의 작업이 필요 없이 삼중수소의 충전량을 측정할 수 있다[3]. 본 실험에서는 $ZrCoH_{1.0}$ (삼중수소 25 g)과 $ZrCoH_{1.2}$ (삼중수소 30 g)의 붕괴열을 모사하여 판형 $ZrCoH_x$ bed의 in-bed 열량계 성능을 평가하였다.

2. 본론

2.1 실험장치

Fig. 1은 삼중수소 저장·공급 실험장치이다. 삼중수소 저장·공급 실험 장치는 수소저장 탱크, 매니폴드 및 펌프, 수소 흡탈장 모니터링 장치, 수소 흡탈장 저장용기 제어장치, 데이터 수집 장치, ZrCo bed, He-loop 순환 장치 등으로 구성되어 있다. Bed는 최대 삼중수소 70g 저장이 가능한 1:1 ZrCo SDS bed로 제작되었다. SDS bed는 1차 용기 내부에 3개의 트레이가 존재하고 각 트

레이에는 ZrCo 분말이 충전되어 있고 삼중수소 발열을 모사하기 위한 모사히터와 bed 내 잔존하는 삼중수소의 양을 측정할 수 있는 He-loop, 트레이 가열을 위한 cable형 히터, 1차 용기를 감싸고 있는 열차폐체와 2차 용기 등으로 구성되어 있다. 2차 용기는 진공 또는 He으로 채워져 있다. 열량 측정 시에는 열손실을 최소화하기 위해 진공을 유지하게 된다.

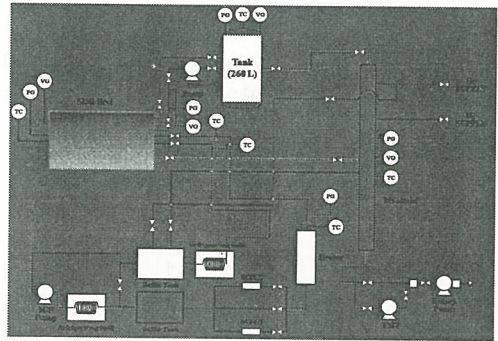


Fig. 1. Experimental apparatus for the evaluation of the SDS bed

2.2 실험방법

이번 실험에 적용된 조건에 대해 간략하게 Table 1에 나타내었다. 본 실험에서는 삼중수소 25 g, 30 g 충전량에 대한 in-bed 열량계 측정을 수행하였다. 모사히터의 input power를 각각 삼중수소 25 g에 해당하는 8 W와 삼중수소 30 g에 해당하는 9.6 W로 설정하였고 He 기체의 유속은 13 SLPM으로 제어하였다. 실험절차는 먼저 2차 용기에 He 기체를 760 torr까지 채우고 삼중수소의 동위원소인 수소를 정해진 양으로 1차 용기 내의 저장재 (ZrCo powder)에 흡장시킨 상태에서 모사히터를 흡장된 수소의 붕괴열에 해당하는 열량으로 가동하여 온도가 안정화 되었을 때 2차 용기의 He gas를 배출시키고 진공을 유지시킨다. 그 다음 He-loop에서 He 기체를 순환시켜 ΔT ($T_{inlet} - T_{outlet}$)를 측정한다.

Table 1. Accountancy condition

He gas circulation	Flow rate	13 SLPM
	Pressure	40 kPa
	Inlet temp.	303 K
Vacuum jackets (2nd Vessel)	He purity	99.9999 %
	Pressure	< 0.1 Pa, continuous evacuation
Decay heat simulation	Input power	8 W (Tritium 25 g)
		9.6 W (Tritium 30 g)

2.3 실험결과

Fig. 2, 3은 각각 삼중수소 25 g과 30 g 저장 상태의 경우를 모사하여 실험한 결과를 그래프로 나타낸 것이다. 열량계 가동 준비 단계와 열량계 가동 시간을 합쳐 총 140시간 동안 각각의 조건에 대해 실험을 실시하였다. ΔT 값은 삼중수소 25 g의 경우 17 ~ 18 °C, 삼중수소 30 g의 경우 19 ~ 25 °C로 측정되었다. 일정한 ΔT 값을 얻지 못한 이유는 He 기체의 불안정한 유입 온도 때문인 것으로 판단된다.

3. 결론

본 연구에서는 삼중수소 25 g과 30 g 저장량에 대해 in-bed 열량계 실험을 수행하였다. 위 결과에서 볼 수 있듯이 삼중수소 25 g과 30 g에 대해 실제 측정된 ΔT 의 값이 각각의 이론적인 ΔT 인 39.65 °C (삼중수소 25 g), 47.58 °C (삼중수소 30 g)와 차이가 나는 것을 알 수 있다. 본 실험에서 사용된 판형 bed의 경우 1차 용기와 2차 용기 사이는 진공에 의해 단열이 되고 1차 용기 외부에 열차폐체가 설치되어 있어 복사열을 대부분 차단하기 때문에 열손실이 거의 발생하지 않지만 1차 용기에서 외부로 연결된 관으로 열전도에 의한 열손실이 발생한다. 이것이 실제 측정값과 이론값의 차이를 일으키는 원인으로 판단된다. 따라서 이 부분에 대한 열손실을 최소화하고 He 유입 온도를 일정하게 제어할 수 있도록 설계한다면 보다 정밀하게 삼중수소 충전량을 측정할 수 있을 것이다.

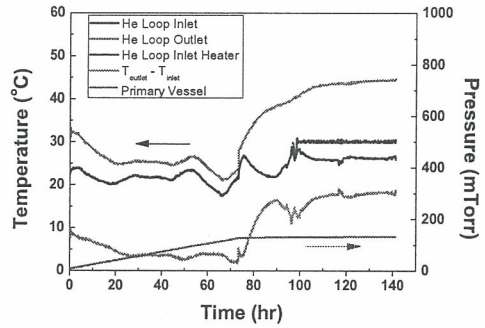


Fig. 2. Temperature variation during inventory (tritium 25 g) measurement

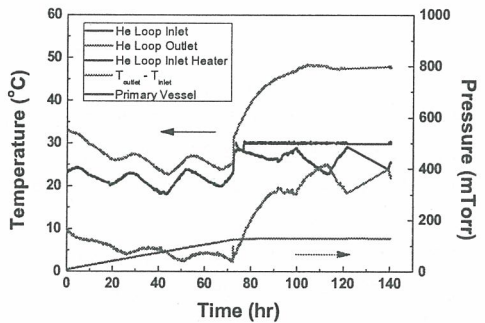


Fig. 3. Temperature variation during inventory (tritium 30 g) measurement

4. 감사의 글

본 연구는 교육과학기술부 국제핵융합실험로 (ITER) 공동개발사업의 일환으로 수행되었음.

5. 참고문헌

[1] Fusion Engineering and Design, Vol. 84, pp. 599 - 603, 2009
 [2] Fusion Technology, Vol. 28, pp. 1732, 1995
 [3] Fusion Technology, Vol. 28, pp. 1015, 1995