

ZrCo 용기 내 삼중수소 모사히터의 정상상태 운전

정도연, 정동유, 구대서, 정홍석
 한국원자력연구원, 대전시 유성구 대덕대로 1045
hschung1@kaeri.kr

1. 서론

중수로용 원전폐기물인 삼중수소는 핵융합반응 원료이기도 하다. ITER (International thermonuclear experimental reactor) SDS(Storage and delivery system)에서 삼중수소를 50Pam³/s 90T-10D나 200Pam³/s 50T-50D를 450초나 3000초 동안 톨카막 반응로로 공급하기 위해 빠른 공급속도로 SDS 용기에서 연료를 공급해 주어야 한다[1-4]. ITER용 핵융합로(Fusion reactor)에서는 많은 양의 중수소와 삼중수소를 연료로 사용하며 삼중수소는 금속 수소화 베드에 저장하였다가 핵융합로로 공급된다.

베드 내에 삼중수소의 충전량은 핵융합로의 운전 사항에 의해 변경되기 때문에 주기적 삼중수소 충전량(inventory)의 측정이 요구된다. ITER용 삼중수소 저장·공급 용기 내 잔존하는 삼중수소 충전량을 측정하기 위해 삼중수소 Bed 내부에 He(Helium) Loop를 설치하여 용기를 냉각하고 He에 흡수된 삼중수소 붕괴열을 측정하는 방법을 사용하고 있다. 이번 실험에서는 기존의 관형형태의 베드가 아닌 판형 형태의 베드로 접근을 하였으며 25g 삼중수소의 붕괴열을 모사하여 ZrCo 베드의 1차용기 안의 설치된 He Loop의 성능을 평가하고자 한다.

2. 본론

2.1 Tray-type metal hydride bed의 구성

그림 1은 이번실험에 적용된 tray-type metal hydride bed의 구조이며 3단 형태로 구성되어 있다. 이는 트리튬 70g을 저장할 수 있는 1: 1 크기이다. SDS bed는 1차 용기 내부에 3개의 트레이가 존재하고 각 트레이에는 ZrCo 분말과 삼중수소 발열을 모사하기 위한 모사히터 그리고 bed 내 잔존하는 삼중수소의 양을 측정할 수 있는 He loop, 트레이 가열을 위한 cable 히터, 1차 용기를 감싸고 있는 열차폐판과 2차 용기 등으로 구성되어 있다. ZrCo powder가 1차 용기의 각 트레이에 충전되어있고 1

차 용기로부터의 누출되는 삼중수소를 차단하고 용기의 단열을 위해 1차용기를 둘러싸고 있는 2차 용기로 구성되어 있으며 2차 용기는 헬륨으로 채워져 있으며 열량 측정 시에는 진공을 유지하게 된다.

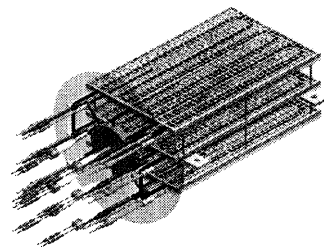


Fig. 1. Tray-type metal hydride bed

2.2 실험 방법 및 조건

Table 1은 이번 실험에 적용된 조건으로 본 실험에서는 삼중수소 25g 충전량에 대한 He Loop 열량계를 측정하였다. 삼중수소는 0.32 W/g의 붕괴열이 발생하므로 모사히터의 input power를 삼중수소 25g에 대응하는 8.0 W/g로 하였고 He 유속은 13 SLPM으로 제어하였다. 실험은 용기에 삼중수소를 흡장하지 않은 상태에서 발열량에 대한 He Loop 유입구와 He Loop 유출구의 온도 차이를 측정하였다. 2차 용기에 He gas (760 torr)를 채우고 모사히터를 가동시킨 후 온도가 안정화 되었을 때 2차 용기의 He gas를 배출시키고 진공을 유지시킨다. 그 후 He Loop에서 He gas를 순환시켜 $\Delta T(He_{OUT} - He_{IN})$ 의 온도가 안정화 상태에 도달할 때까지 실험을 진행시킨다.

He gas circulation	Flow rate Pressure Inlet temp. He purity	13 SLPM 40 kPa 298 K 99.9999%
Vacuum jackets	Pressure	< 0.1 Pa, continuous evacuation
Decay heater simulation	Input power	8.0 W

Table 1. Accountancy condition.

2.3 실험 방법 및 조건

Fig. 2 는 삼중수소 25g 저장 상태의 경우를 모사하여 실험한 결과를 그래프로 나타낸 것이다. 2차 용기에 He gas가 채워진 상태에서 He circulation loop를 작동시키지 않은 상태에서 모사하더라도 8.0 W(삼중수소 25 g의 붕괴열)로 가열하였을 때 온도가 안정화 되는데 110시간이 소요되었다. 2차 용기에 He gas를 제거하고 진공을 유지시킨 상태에서 삼중수소 충전량을 측정하기 위해 He circulation loop 작동시켜 온도(ΔT)가 안정화 상태에 도달하는데 소요되는 시간은 최초 실험 시작 시간으로부터 110시간, He circulation loop 작동 시작 시간으로부터 50시간 이었다. 이후에서는 ΔT 의 fluctuation이 $\pm 1^\circ\text{C}$ 이내로 유지되었다. 따라서 실제 측정 ΔT 의 값은 $18^\circ\text{C} (\pm 1^\circ\text{C})$ 로 판단된다. 내부 열량을 측정은 다음 수식으로 가능하다[3].

$$Q = m^* \times C_p \times \Delta T (= T_{outlet} - T_{inlet})$$

$$m^* = \text{mass flowrate (kg/ sec)}$$

$$C_p = \text{specific heat (J/kgK)}$$

$$\Delta T = \text{temperature gap}$$

3. 결론

본 실험에서는 삼중수소 25g 저장량에 대해 He-loop을 이용한 측정을 수행하였다. 위 결과에서 실제 측정된 ΔT 의 값은 $18^\circ\text{C} (\pm 1^\circ\text{C})$ 이었다. 이 값은 위 공식에 의해 계산된 이론적인 ΔT 값 73°C 과 약 55°C 차이가 난다. 이는 열손실에 기인한다. 2차 용기는 진공에 의해 단열이 된다고 보았을 때 1차 용기에서 외부로 연결된 관으로의 열전도에 의한 열손실로 판단된다. 향후에 보다 더 정확한 원인을 밝히기 위해서 다양한 삼중수소 저장량에 대해서 실험을 실시하여 He-loop의 성능 및 특성을 파악하여 보다 더 빠르고 정밀한 측정이 가능한 장치를 설계하는데 적용할 예정이다.

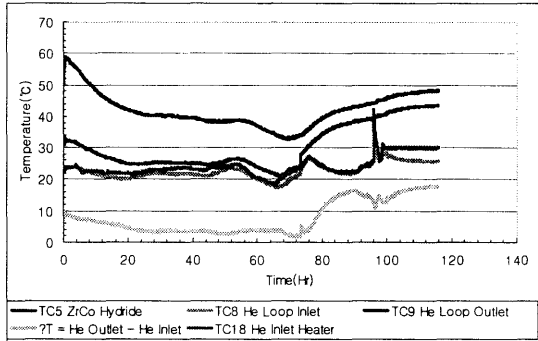


Fig. 2. Temperature variation

4. 감사의 글

본 연구는 교육과학기술부 국제핵융합실험로 (ITER) 공동개발사업의 일환으로 수행되었음.

5. 참고문헌

- [1] T. Hayashi, T. Suzuki, S. Konishi, T. Yamanishi, "Development of ZrCo beds for ITER tritium storage and delivery", FusionSci. & Tech., Vol. 41, 801-804, 2002
- [2] R. Lasser, L. Dorr, M. Glugla, T. Hayashi, D.K. Murdoch, "Storage and Delivery System of the ITER Fuel Processing Plant", Fusion Sci & Tech., Vol. 41, 854-858, 2002
- [3] 정홍석 외, ITER 삼중수소 저장·공급용기 개발 및 시험, KAERI/CR-324/ 2008
- [4] Hongsuk Chung et al., Korea's progress on the ITER tritium systems, Fusion Engineering and Design, Vol.84, p. 599, 2009.