

## He가스를 이용한 ITER용 삼중수소 저장용기 열량계 실험용기 제작

이종국\*, 심명화, 정홍석, 조승연<sup>1</sup>

한국원자력연구원

<sup>1</sup>국가핵융합연구소

(dmalek99@snu.ac.kr\*)

### In-bed Calorimetry Experimental Apparatus Using Helium Gas for an ITER Application

Jong-kuk Lee\*, Myung-Hwa Shim, Hongsuk Chung, Seungyon Cho<sup>1</sup>

Korea Atomic Energy Research Institute

<sup>1</sup>National Fusion Research Institute

(dmalek99@snu.ac.kr\*)

#### 서론

ITER SDS(Storage and Delivery System) 용기는 삼중수소를 저장하고 있다가 핵융합로에서 핵융합 반응이 일어날 때 반응이 일어나게 하기 위해 삼중수소를 공급해주는 역할을 하고 있다. 핵융합로에서는 많은 양의 삼중수소가 금속 수소화 베드에 저장되는데 각 베드 내 삼중수소 충전량은 핵융합로의 운전 시나리오에 의해 수시로 변경되기 때문에 주기적으로 삼중수소의 충전량의 정확한 측정이 요구되어진다. ITER용 삼중수소 저장용기로는 공기와 반응 시 발화 안전성 및 화학적으로 반응성이 작기 때문에 ZrCo bed가 일반적으로 많이 사용되어 진다.

ZrCo bed는 삼중수소를 직접 저장하는 1차 용기와 삼중수소의 누설 가수포집 및 1차 용기의 단열을 위한 2차 용기로 구성된다. 1차 용기에는 삼중수소 저장을 위해 약 3.5kg의 ZrCo 및 1mm 이하의 구리 분말이 포함되고 삼중수소의 충전량을 측정하는 헬륨 가스가 순환하는 loop이 구성되어 있다. 1차 용기는 최대 100g의 삼중수소를 저장할 수 있도록 설계되며 재질은 SS316, 설계온도는 최대 600℃, 최대 내/외압은 0.5MPa이다.

ITER용 ZrCo bed내 헬륨 열량계는 100g의 삼중수소 충전 시 허용 오차 ± 1%, 즉 ± 1% 내의 정확도를 가지도록 ITER 설계요건이 충족되도록 제작하여야 한다.

#### 이론

ZrCo bed 내 삼중수소의 충전량을 측정하기 위해서는 1g당 0.32Watt의 붕괴열 발생하는 삼중수소의 발열특성을 이용하여 일정한 온도로 주입되는 헬륨 가스의 출구 온도를 측정함으로써 열량을 계산하는 방법을 사용하고 있으며 다음의 식으로 표현될 수 있다.

$$\dot{Q} = M \cdot C_p \cdot T(\text{outlet} - \text{inlet})$$

( $Q[W = \text{Joule/sec}]$ ,  $M[g/sec]$ ,  $C_p[\text{Joule/g} \cdot K]$ ,  $T[K]$ )

또한 순환하는 헬륨의 유량을 결정하여 위의 수식에 물성치를 적용하면 내부 열량을 계산할 수 있다. 내부에 존재하는 삼중수소의 양을 여러 가지의 경우(0.1g, 1g, 10g, 25g, 50g, 75g, 100g)에 대하여 가정하고 He gas의 입·출구 온도차이(20℃, 25℃, 50℃, 75℃, 100℃, 125℃, 150℃) 또한 여러 가지 경우에 대하여 가정하여야 한다. 입구와 출구의 온도 차이는 관대를 흐르는 He gas의 유량을 조절하여 결정시킬 수 있다. 입구와 출구의 온도차이가 너무 작으면 He gas의 유속이 너무 커지게 되며 입구와 출구의 온도차이가 너무 크면 저장용기 내부 온도가 너무 높아 열손실이 커지게 된다. 입·출구 온도차에 따른 유량을 계산한 값을 정리하여 표1과 그림 1에 나타내었다. 그리고 내부의 냉각을 위한 헬륨가스 유로의 압력강하를 계산하기 위해 전산유체프로그램을 이용하여 동일 조건에 대한 조건을 적용하여 압력강하를 모사하였다(그림 2).

### 실험장치 설계

표2는 삼중수소 저장용기의 제작을 위한 설계 값을 정리한 표이며 그림 3은 실험 용기를 3차원 설계 프로그램을 이용하여 실제 크기로 제작한 도면이다. 저장용기는 1차용기와 1차 용기 내·외부에 설치되는 헬륨가스의 flow path, 1차 용기 내부에 ZrCo층과 삼중수소를 모사하는 가열기 및 ZrCo를 지지해주는 필터, 1차 용기외부에 6겹의 열차폐체 그리고 2차 용기 등으로 구성되어 있다. 헬륨가스의 flow path 입구와 출구와 필터 안쪽에 각각 열전대가 부착되어 있어 온도를 측정할 수 있도록 하였으며 헬륨가스 순환펌프의 전·후단에는 압력계를 설치하여 헬륨가스의 누수를 감지하도록 하였다.

전체 실험계통은 그림 4과 같다. 먼저 삼중수소 저장용기와 저장용기에 연결되어 있는 진공 배관계통과 진공펌프, 그리고 헬륨가스가 출입하는 배관계통과 헬륨가스 냉각 및 가열 장치, 헬륨가스 순환펌프 및 헬륨가스 유량조절기가 설치되어 있다. 그리고 위의 각 장치들을 전기적으로 제어할 수 있도록 프로그램을 구성하였다.

### 결론 및 향후 과제

ITER용 삼중수소 저장용기 및 내부 열량계실험을 위한 계통을 구축하였다. 삼중수소의 최대 충전시를 가정하였을 때 100g의 삼중수소 발열량인 32Watt에 대해 약 ± 1%의 오차 범위 이내로 열량을 측정해야 하므로 매우 정밀한 실험 및 측정이 요구된다. 이를 위해 완전 단열에 가깝도록 1차 용기 이후, 2차 용기 안쪽에 대해 고진공이 요구되며 각종 계측기 역시 신속한 응답기능 및 정밀한 계측 능력이 필요하다. 앞으로 제작된 용기의 진공실험 및 헬륨가스 누수실험이 선행된 후 본 실험이 진행될 예정이다.

**\*감사의 말:** 본 연구는 교육과학기술부 국제핵융합실험로 공동개발사업의 일환으로 수행되었습니다.

### 참고문헌

1. T. Hayasi et al., "Tritium accounting characteristics of in-bed gas flowing calorimetry", Fusion Technology, Vol. 28, pp. 1015-1019, Oct. 1995.
2. 정홍석 등, "ITER용 삼중수소 저장 용기 설계 및 재료분석 기초기술 검토", 한국원자력연구원 KAERI/CR-239/2005
3. 정홍석 등, "트리튬 취급기술 개발(II)", 한국원자력연구원 KAERI/PR-2421/2003.
4. T. Hayashi, T. Suzuki, S. Konishi, T. Yamanish, "Development of ZrCo Beds for ITER Storage and Delivery", Fusion Sci. & Tech., Vol. 41, 801-804 (2002).

5. ITER EDA DOCUMENTATION SERIES No.24, ITER TECHNICAL BASIS International Atomic Energy Agency , Vienna, 2002.

표1. 입·출구 온도에 따른 He gas 유량[Liter/min] 계산

$\Delta T [^{\circ}C]$	Mass of Tritium [g]						
	0.1	1	10	25	50	75	100
20	0.13	1.32	13.20	33.0	66.02	99.03	132.04
25	0.10	1.05	10.56	26.41	52.82	79.22	105.63
50	0.05	0.52	5.28	13.20	26.40	39.61	52.81
75	0.03	0.35	3.52	8.80	17.60	26.41	35.21
100	0.02	0.26	2.64	6.60	13.20	19.80	26.40
125	0.02	0.21	2.11	5.28	10.56	15.84	21.12
150	0.017	0.17	1.76	4.40	8.80	13.20	17.60

표2. SDS bed Design Parameter

Component	Design Parameter	Component	Design Parameter
ZrCo inner-diameter[m]	0.176	Outer vessel inner-diameter[m]	0.220
ZrCo outer-diameter[m]	0.190	Outer vessel outer-diameter[m]	0.230
ZrCo length[m]	0.310	Outer vessel inner-length[m]	0.370
ZrCo volume[m <sup>3</sup> ]	0.001248	He-Loop inner-diameter[m]	0.003
Vessel inner-diameter[m]	0.190	He-Loop outer-diameter[m]	0.006
Vessel outer-diameter[m]	0.196	He-Loop length[m]	0.720
Vessel inner-length[m]	0.370	He-Loop wetted surface[m <sup>2</sup> ]	0.01357

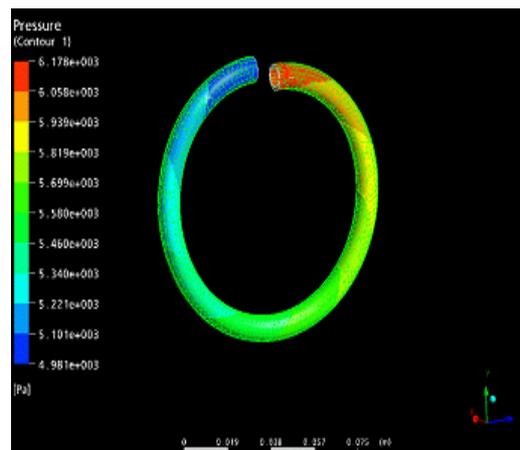
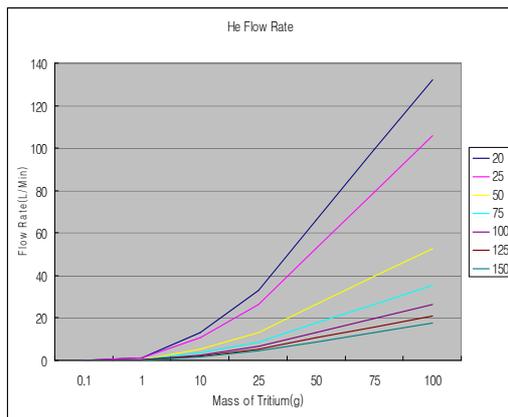


그림1. 입·출구 온도에 따른 헬륨가스유량 계산

그림2. 전산프로그램을 이용한 강력강하 해석

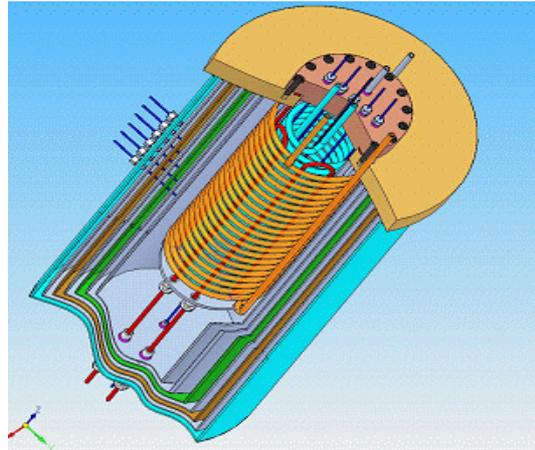


그림3. 실험장치 3차원 설계도면

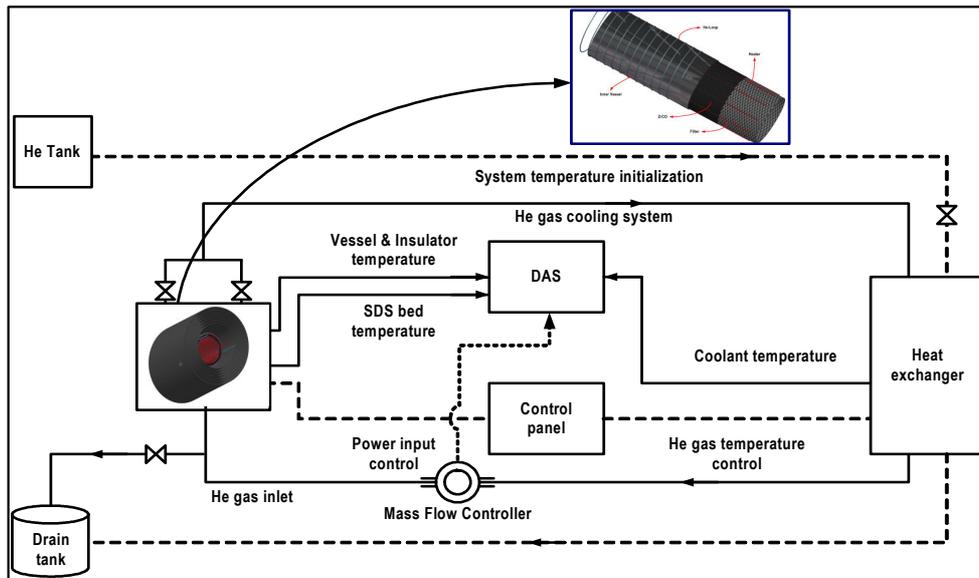


그림4. 실험장치 개략도