

# ITER 폐기물 내 삼중수소 제거 시스템 조건 확립을 위한 CuCrZr 합금의 중수소 장입 온도별 열탈착 특성 분석

박명철<sup>1\*</sup>, 김희문<sup>1</sup>, 안상복<sup>1</sup>, 김재용<sup>2</sup>, 이상화<sup>2</sup>, 니구안 티란안<sup>2</sup>

<sup>1</sup>한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111

<sup>2</sup>한양대학교, 서울특별시 성동구 왕십리로 222

\*mcpark@kaeri.re.kr

## 1. 서론

ITER 운영 중 토카막에서 발생하는 type B 폐기물은 삼중수소를 함유한다. 규제에 따라 폐기물 내 삼중수소 제거가 요구되므로, ITER에서는 가열을 통해 삼중수소를 제거하는 시스템 구축을 계획하고 있다 [1]. 이러한 삼중수소의 제거는 확산과 관계되므로 처리 속도 향상을 위해 가열 온도를 증가시킬 수 있으나, 설비의 성능과 경제적 효율을 감안할 때 최적화된 온도 도출이 필요하다. 본 연구에서는 ITER PFM과 구조재를 접합하기 위한 CuCrZr 합금에 대한 중수소 열탈착 연구를 수행하였다[1]. 연구 용이성을 감안하여 삼중수소를 대체한 동위원소 중수소를 이용하였으며, CuCrZr 합금에 중수소를 장입한 후, TDS를 이용하여 연속적인 가열에 따른 중수소 탈착을 측정하였다.

## 2. 본론

### 2.1 실험방법

시험을 위해 직경 4 mm, 높이 5 mm의 원기둥 형태 시편을 이용하였으며, 25 bar의 중수소 분위기에서 24 시간 동안 가열하여 시편에 중수소를 장입하였다. 이 때, 가열 온도는 ITER 환경인 240°C를 기준으로 120, 350°C를 추가하여 장입 온도에 따른 경향성을 보고자 하였으며 한양대로부터 중수소 장입 시편을 제공받아 연구를 수행하였다.

중수소 장입된 CuCrZr 합금에 대하여, TDS (Thermal desorption spectroscopy)를 이용한 열탈착 시험을 수행하였다. 상온에서부터 최대 900°C까지 0.5°C/sec의 일정한 속도로 가열되는 동안  $10^{-8}$  torr 진공 챔버 하에서 방출되는 중수소를 QMS를 이용하여 측정하였으며,  $D_2$  calibration leak를 이용하여 방출된 양을 정량적으로 계산하였다. 또한, 동일한 장입 시편에 대해 한양대에서 수행한 800°C Baking 시험의 중수소 방출량과 비교를 통해 ITER 삼중수소 제거 공정의 가열 온도로 예상되는 800°C에서의 중수소 제거율을 평가하였다.

### 2.2 TDS 시험 결과

Fig. 1은 온도에 따른 중수소의 탈착 거동을 장입 온도별로 나타낸 결과이다. 120°C에서 장입한 시편의 경우 거의 중수소가 방출되지 않았으며, 따라서 해당 온도에서 중수소 장입은 거의 이뤄지지 않은 것으로 보인다. 장입 온도가 증가함에 따라 peak 온도가 높아졌으며, 그 높이가 또한 증가하여 장입된 중수소의 양이 증가함을 확인할 수 있었다. 중수소 탈착이 완료되는 온도는 120, 240, 350°C 장입한 시편에서 각각 690, 760, 800°C으로 장입 온도 증가에 따라 증가한 것을 알 수 있었다.

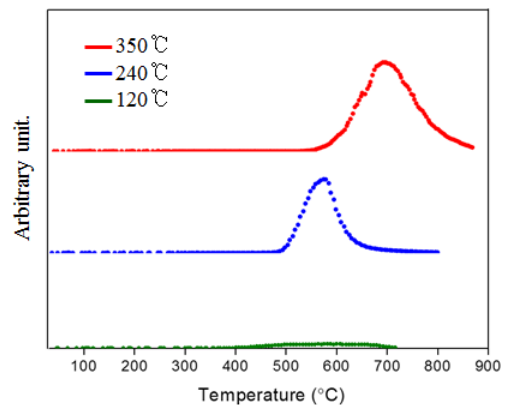


Fig. 1. Comparison of  $D_2$  thermal desorption curves in CuCrZr loaded at 120, 240, and 350°C.

가열 동안 방출된 중수소의 정량적 계산을 위해 leak test 후 환산한 TDS 데이터를 Fig. 2-4에 나타내었다. Fig. 2에서 120°C에서 장입한 시편의 경우 중수소 열탈착은 780 초에 시작되었으며, 1,260 초에 종료되었고 이 때 총 중수소 농도는 0.03 wppm으로 계산되었다. Fig. 3에서 240°C에서 장입한 시편의 경우 중수소 열탈착은 790 초에 시작되어 1,440 초에 종료되었으며 이 때 중수소 농도는 0.7 wppm으로 120°C에서 장입했을 때에 비하여 20배 이상 증가하였다. Fig. 4에서 350°C 중수소 장입한 시편의 경우 1,090초에 탈착이 시작되어 1,860 초에 종료되었으며 이 때 중수소 총량은 4.2 wppm으로

가장 많이 측정되었다.

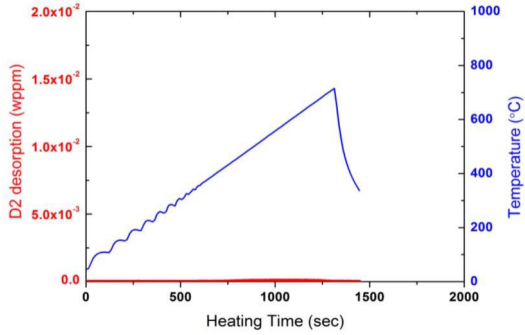


Fig. 2. Desorbed D<sub>2</sub> concentration as a function of heating time (120°C loaded CuCrZr).

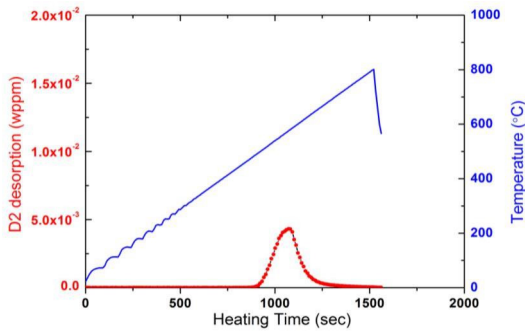


Fig. 3. Desorbed D<sub>2</sub> concentration as a function of heating time (240°C loaded CuCrZr).

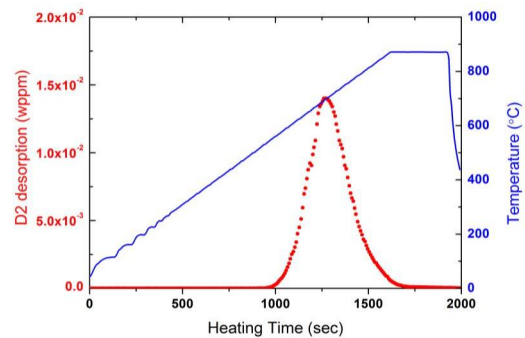


Fig. 4. Desorbed D<sub>2</sub> concentration as a function of heating time (350°C loaded CuCrZr).

ITER 삼중수소 제거 공정의 가열 온도로 예상되는 800°C에서의 중수소 제거율을 평가하기 위해 한양대 800°C Baking 시험동안 중수소 방출량 결과와 비교한 것을 Table 1에 나타내었다. 120, 240°C에서 중수소 장입한 시편의 경우 일치하는 중수소 방출량을 보였다. 350°C 장입한 시편 결과에서 값에 일부 차이를 보였으나, KAERI TDS 결과에서 중수소 탈착이 800°C에서 완료되었고, 한양대 800°C baking 시편에 대한 900°C TDS 시험에서 추가적인 중수소 탈착이 관찰되지 않았음을 감안할 때, ITER 삼중수소 제거

온도 조건인 800°C는 대부분의 중수소가 제거되기에 충분한 것으로 예상된다.

Table 1. D<sub>2</sub> concentration of CuCrZr measured by KAERI (Up to 900°C) and HYU (800°C)

Loading Temp. (°C)	D <sub>2</sub> (wppm) KAERI	D <sub>2</sub> (wppm) HYU
120	0.03	0.03
240	0.7	0.7
350	4.2	3.39

### 3. 결론

ITER 후보재인 CuCrZr에 대하여 중수소 장입한 후 TDS 시험을 통해 탈착 거동을 측정한 결과 탈착 curve의 peak는 장입 온도 증가에 따라 증가하였고, 탈착 완료 온도 역시 장입 온도 증가에 따라 증가하였다. 그러나 본 연구에서 설정한 장입 조건 모두 ITER 삼중수소 제거 조건으로 예상되는 800°C에서 가열 시 대부분의 중수소를 제거할 수 있을 것으로 생각되었다.

### 4. 참고문헌

- [1] R.P. Doerner, M.J. Baldwin, G.De Temmerman, J. Hanna, D. Nishijima, J.Roth, K. Schmid, G.R. Tynan and K. Umstadter, Codeposition of deuterium with ITER materials, Nuclear Fusion 49, 2009.
- [2] D.H. Liu, P.H. Wang, Y. Song, L. Qian, and J.M. Chen, "Effect of the ITER FW Manufacturing Process on the Microstructure and Properties of a CuCrZr Alloy", Plasma Science and Technology, Vol.17, No.10, Oct. 2015.