

실험인자에 따른 중형 감손 우라늄 베드의 흡장온도 특성

구대서 · 박종철 · 정홍석*

한국원자력연구원

*hschung1@kaeri.kr

초록

감손 우라늄 191.1g 사용하여 수소 동위원소 저장할 수 있는 중형 우라늄 베드를 설계·제작하였다. 실험인자에 따른 수소 동위원소 흡·탈장(UH₃) 실험을 수행하였다. 베드 초기온도에 따른 수소흡장 발열 온도를 분석하였다. 초기 탱크 온도 및 헬륨 량에 따른 수소 흡장 발열 온도를 분석하였다. 베드 초기온도는 실온에서 수소흡장 발열 온도구배가 가장 컸다. 초기 탱크압력의 경우 큰 압력(660.0 torr)에서 수소흡장 발열 온도구배가 가장 컸으나, 헬륨 량의 경우 헬륨 0 %에서 수소흡장 발열 온도구배가 가장 컸다. 이는 실험인자가 수소 동위원소 흡장온도 특성에 지대한 영향을 제공함을 알 수 있다.

중요어: 수소 동위원소, 우라늄베드, 흡장, 탈장, 초기온도, 탱크압력

1. 서론

핵융합 반응을 일으켜 핵융합 에너지를 생산하기 위하여, 핵융합로에 수소동위원소를 공급하여야 한다[1-6]. 수소동위원소를 금속 감손 우라늄에 수소 동위원소를 안전하게 저장하고 공급 할 수 있는 수소 동위원소 흡·탈장 연구가 진행되어 왔다[7-9]. 수소동위원소가 금속 감손우라늄에 흡장하는 과정은 발열반응이다. 그 발열반응에 따른 수소 동위원소 흡장 온도변화를 조사하고자 한다.

본 연구에서는 중형 금속 감손 우라늄 베드를 설계·제작하여 실험인자에 따른 수소 동위원소 흡탈장(UH₃) 실험을 수행하였다. 베드 초기온도에 따른 수소 동위원소 흡·탈장(UH₃) 실험을 수행하고 그 흡장온도 변화를 분석하였다. 초기 탱크 압력에 따라 수소 동위원소 흡·탈장(UH₃) 실험을 수행하고 그 흡장온도 변화를 분석하였다. 또한 수소에 헬륨 량을 혼합하여 헬륨 블랑켓에 의한 수소 동위원소 흡장 온도특성을 분석하였다.

2. 실험장치 및 실험방법

2.1. 실험장치

그림 1은 중형 금속 감손 우라늄 베드 수소동위원소 흡·탈장시스템을 나타낸 것이다. 그 실험 시스템은 금속 감손 우라늄 베드, 수소 동위원소 압력측정 탱크, 매니폴드, 로터리 펌프, TMP(Turbo Molecular Pump), dry scroll pump, 온도 및 압력 모니터링 패널, 온도 콘트롤 패널 및 data acquisition 시스템으로 구성되었다. Data acquisition 시스템은 Lapview 8.6 프로그램을 사용하여 수소흡장, 탈장, 진공 아닐링(vacuum annealing) 데이터를 수집 및 저장하였다.

2.2. 실험방법

실험 전에 금속 손상 우라늄 베드 대하여 450℃ 진공 아닐링을 5시간 수행하여 금속 손상 우라늄 베드 내 수분 및 불순물을 충분히 제거하였다. 그 다음 베드 초기온도(실온, 100, 200 및 300℃)에 대하여 수소 흡·탈장(UH₃) 실험을 수행하였다. 그 다음 초기 탱크 압력(164.4, 329.6,

496.6 및 660.0 torr)대하여 수소 흡·탈장(UH₃) 실험을 수행하였다. 또한 수소에 헬륨을 혼합하여 (수소 760 torr 의 헬륨 0, 3, 6, 9 및 12%) 수소 흡·탈장(UH₃) 실험을 수행하였다. 수소흡장 실험 종료 후 수소탈장(UH₃) 은 표 1의 조건으로 수행하였다. 실온에서 300℃ 까지 10분 베드 예열 수행하고, 300℃에서 400℃ 15분 가열하면서 수소 유출 배관 열어 수소 탈장을 수행하였다. 400℃에서 1시간 탈장 수행하고 탈장 후 450℃에서 진공 아닐링(vacuum annealing)을 수행하고 실험을 종료하였다. 수집한 흡장자료에 대하여 각 실험인자에 대하여 수소 흡장 발열반응 온도를 분석하였다.

표 1. 실험조건

온도 (°C)	승온시간 (분)
RT → 300	10
300 → 400	15
400	60
400 → 450	10
450	60



그림 1. 중형 금속감손우라늄 베드 흡·탈장 시스템.

3. 결과분석 및 논의

3.1. 베드 초기온도에 따른 수소흡장 발열반응 온도

표 2는 베드 초기온도에 대한 수소흡장 발열반응 온도를 나타낸 것이다. 베드 초기온도가 실온에서 흡장 발열 온도구배 51.1 °C/min 로 가장 컸으며 베드 초기온도가 증가함에 따라 흡장 발열온도구배는 감소하는 경향을 보였다. 그림 2에서 그 현상을 확인 할 수 있었다. 흡장 발열온도구배가 큰 것은 수소 흡장 성능이 양호함을 의미하며 베드 초기온도가 높을수록 수소 흡장속도가 느려짐을 알 수 있다.

3.2. 초기 탱크 압력에 따른 수소흡장 발열반응 온도

표 3은 초기 탱크 압력에 대한 수소흡장 발열반응 온도를 나타낸 것이다. 초기 탱크압력이 증가할수록 흡장발열 온도구배가 증가하였다. 초기 압력 164.4 torr에서 흡장발열 온도구배 1.5°C/min 이고 초기 압력 660.0 torr에서 흡장발열 온도구배 41.5°C/min 로 증가하였다. 초기 탱크압력이 증가함에 따라 수소 흡장 속도가 빠르게 진행됨을 알 수 있다. 그림 3에서 그 현상을 잘 확인할 수 있었다.

3.3. 헬륨 량에 따른 수소흡장 발열반응 온도

표 4는 헬륨 량에 대한 수소흡장 발열반응 온도를 나타낸 것이다. 수소에 헬륨 혼합 량이 증가할수록 흡장발열 온도구배가 감소하였다. 수소에 헬륨을 혼합 하지 않는 경우 흡장발열 온도구배 71.5°C/min 이고 수소에 헬륨을 12% 혼합 경우 흡장발열 온도구배 41.9°C/min 로 감소하였다. 그림 4에서 그 현상을 확인 할 수 있었다. 이는 수소에 헬륨 혼합 량이 증가할수록 헬륨 블

랑켓 효과로 인하여 수소 흡장 속도가 느려짐을 알 수 있었다.

따라서 베드 초기온도, 초기 탱크 압력 및 수소에 헬륨 혼합 량에 따라 수소 흡장 발열온도가 변화함을 알 수 있다. 베드 초기온도는 낮을수록, 초기 탱크 압력은 높을수록, 수소에 헬륨 혼합 량은 적을수록 수소 흡장온도가 빠르게 증가함을 알 수 있다.

표 2. 베드 초기온도에 따른 흡장 온도

Bed Temp.(°C)	Initial Temp.(°C)	Peak Temp.(°C)
RT	21.4	123.6
100	78.3	173.8
200	165.6	242.8
300	268.9	311.7

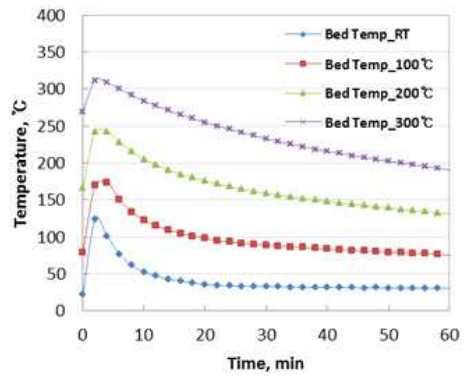


그림 2. 베드 초기온도에 따른 발열온도.

표 3. 탱크 압력에 따른 흡장 온도

Tank Pressure (torr)	Initial Temp.	Peak Temp.
164.4	19.8	41.0
329.6	26.1	66.5
496.6	20.7	86.2
660.0	21.3	104.2

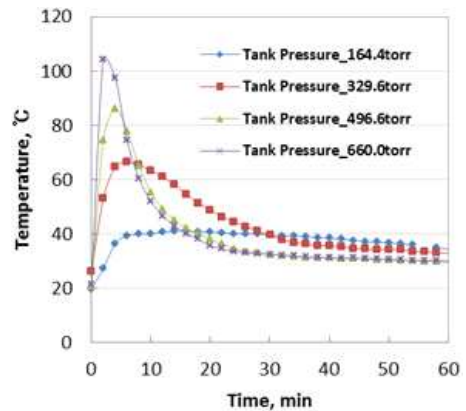


그림 3. 탱크압력에 따른 발열온도.

표 4. 헬륨 량에 따른 흡장 온도

He(%)	Initial Temp.	Peak Temp.
0	18.0	160.9
3	21.2	120.6
6	21.4	123.6
9	21.7	109.1
12	21.8	105.5

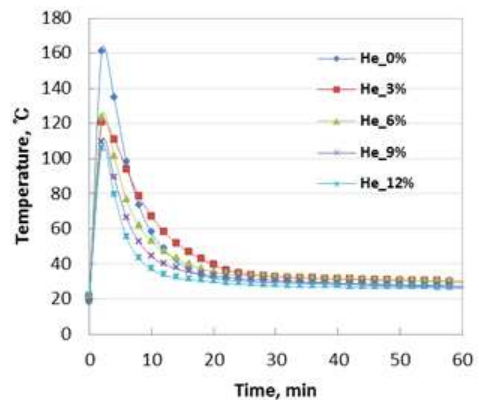


그림 4. 헬륨량에 따른 발열온도.

4. 결 론

중형 금속 감손 우라늄 베드에 대하여 수소 흡장 발열반응의 온도특성에 대하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 베드 초기온도가 높을수록 수소 흡장온도는 느리게 증가하는 경향을 나타내었다.
2. 초기 탱크압력이 증가함에 따라 수소 흡장 온도는 빠르게 증가하는 경향을 나타내었다.
3. 수소에 헬륨 혼합량이 증가할수록 흡장 온도는 느리게 증가하였다. 이는 헬륨 블랑켓 효과로 인하여 수소 흡장속도가 느려지기 때문임을 알 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 교육과학기술부의 국제핵융합실험로 공동개발사업(NRF 2009-0070685) 및 국가핵융합연구소의 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. Hongsuk Chung et al., "Korea's Activities for the Development of ITER Tritium Storage and Delivery Systems", Fusion Science and Technology Vol. 54, July(2008).
2. Seungyon Cho et al., "ITER Storage and Delivery System R&D in Korea", IEEE Transactions on Plasma Science, Vol. 38, No. 3, pp. 425-433(2010).
3. M. Shim et al., "Disproportionation Characteristics of a Zirconium-Cobalt Hydride Bed under ITER Operating Conditions", Fusion Science and Technology Vol. 53, April(2008).
4. Myunghwa Shim et al., "Hydriding/Dehydriding Characteristics on fast Heat Transfer Response ZrCo Bed for ITER", Fusion Engineering and Design Vol. 84, pp. 1763-1766(2009).
5. Myunghwa Shim et al., "Initial Test Results of a fast Heat Transfer Response ZrCo Hydride Bed", Fusion Science and Technology, Vol. 56, pp. 856860(2009).
6. T. Hayashi et al., "Development of ZrCo Beds for ITER Tritium Storage and Delivery", Fusion Science and Technology Vol. 41, pp. 801-804(2002).
7. S. Park, D. Ahn, K. Kim, and H. Chung, "Characteristics of Reaction between Hydrogen Isotopes and Depleted Uranium", J. Ind. Eng. Chem., Vol.8, pp.12-16(2002).
8. G. L. Powell and W. L. Harper, "The Kinetics of the Hydriding of Uranium Metal", J. of the Less-Common Metals, pp.116-123(1991).
9. H.Yoo, etc, "A Numerical Comparison of Hydrogen Absorption Behaviors of Uranium and Zirconium Cobalt-based Metal Hydride Beds," Solid State Ionics, dx.doi.org//10.1016/j.ssi.2013.10.019.