

Ti_{0.3}Zr_{0.2}V_{0.5} 합금의 수소흡수 특성에 미치는 수소화물의 영향

이동진* · 박제신 · 서창열 · 이재천 · 김원백†
한국지질자원연구원 자원활용소재연구부
*연세대학교 철강연구소

The Effect of Hydride Phase on the Hydrogen Sorption Properties of the Non-Evaporable Ti_{0.3}Zr_{0.2}V_{0.5} Getter Alloy

Dongjin Lee*, Jeshin Park, Changyul Suh, Jaechun Lee and Wonbaek Kim†

Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, Daejeon 305-310
*Yonsei University, Seoul 120-749

(2005년 4월 6일 받음, 2005년 5월 10일 최종수정본 받음)

Abstract The hydrogen sorption properties of Ti_{0.3}Zr_{0.2}V_{0.5} NEG(non-evaporable getter) alloy and its hydrides were evaluated at room temperature. The alloy and hydride powders were prepared by the Hydride-DeHydride(HDH) method. The hydrogen sorption speed of Ti_{0.3}Zr_{0.2}V_{0.5} alloy was measured to increase with the amounts of hydride phase in the getter. The hydrogen sorption speeds of Ti_{0.3}Zr_{0.2}V_{0.5}, (Ti_{0.3}Zr_{0.2}V_{0.5})H_{1.52}, and (Ti_{0.3}Zr_{0.2}V_{0.5})H_{1.94} were 2.22, 3.14 and 5.08 liter/sec, respectively. The unexpected enhancement of hydrogen sorption speed with the presence of the hydride phase is considered to be due to the pre-saturation of hydrogen trap sites which can retard the diffusion of hydrogen in the alloy.

Keywords Ti_{0.3}Zr_{0.2}V_{0.5}, getter, sorption, hydrogen, trap, hydride.

1. 서 론

진공게터는 불순기체를 흡착제거함으로써 진공제품 내에서 진공배기를 하는 물질을 통칭한다. 진공게터는 작동방법에 따라 증발형게터(Evaporable Getter)와 비증발형게터(Non-Evaporable Getter)로 나누어진다. 비증발형 게터는 증발형 게터와는 달리 게터물질 자체가 증발되지 않으며 디바이스의 오염가능성이 작기 때문에 평판디스플레이 등 용도가 확장되고 있다.

비증발형 게터에 사용되는 물질은 금속 또는 합금이 대부분이며 지르코늄계 합금이 주를 이루고 있다. 지르코늄은 다양한 기체에 대한 흡수특성이 우수하며 특고진공 이상의 영역에서의 주불순물기체인 수소에 대한 흡수 특성이 뛰어나다. 진공게터용 합금에 대한 연구는 지르코늄을 기본으로 하여 다른 합금원소를 첨가함으로써 활성화등 주요 특성을 개선하는 방향으로 진행되어 왔다. 진공게터를 규정하는 대표적인 특성으로는 활성화온도와 특정가스에 대한 흡수속도를 들 수 있다.

금속내의 수소저동에 미치는 합금의 조성 및 미세구조의 영향에 대해서 많은 연구가 이루어져 왔으며 주로 이

차전지용 수소흡장 합금을 대상으로 수행되었다.¹⁻⁹⁾ 이에 반해 진공게터용 합금에 대한 연구는 거의 이루어지지 않았으며 이유 중의 하나는 현재 진공게터 산업이 세계적인 독과점체제하에 있기 때문이다.

진공게터의 표준적인 특성평가는 진공분야의 전문지식이 필요하며 실험적으로도 측정에 많은 비용과 시간이 소요되는 어려움이 있다. 진공게터의 흡수특성 측정에 대해서는 증발형 진공게터와 비증발형 진공게터의 ASTM 규격이 제정되어 있다.^{10,11)} 그러나 진공게터의 활성화특성에 대해서는 아직 표준적인 측정방법이 제시되어 있지 못한 실정이며 XPS(X-Ray Photoelectron Spectroscopy) 등 표면분석기법을 사용하여 게터를 진공중에서 일정한 간격으로 가열하면서 산화물 피크가 소멸되는 온도를 관찰하는 방법을 사용하고 있다.^{12,13)} 이러한 방법은 고가의 장비와 숙련된 표면분석 기술이 필요하며 장비에 부착된 시편가열장치가 필요하다. 또 일반적인 게터의 형태인 분말소결체의 경우 표면의 평활도문제 때문에 이 방법의 적용이 불가능하다. 이러한 측정상의 문제점들을 극복하기 위해 최근 저자들¹⁴⁾은 분말소결체 게터를 사용한 평형압력측정에 의한 비증발형 진공게터의 활성화온도측정법을 제시한 바 있다.

진공게터용 합금분말은 구형분말보다는 비표면적이 큰

†E-Mail : wbkim@kigam.re.kr

각형분말이 선호되며 이러한 관점에서 수소화-탈수소화 (Hydride-DeHydride: HDH)법은 가장 이상적인 게터용 분말의 제조법이다. HDH 공정에서는 금속을 수소중에서 열처리하여 수소화물 분말을 먼저 만들고 이것을 다시 진공 중에서 가열하여 제조한다. 따라서 수소화물은 HDH 법에 의한 금속 분말제조공정의 중간산물이라고 할 수 있다. 현재까지 금속수소화물의 게터특성에 대한 연구는 수행된 바 없다.

본 연구에서는 게터용 분말의 제조공정의 중간산물인 수소화물을 진공게터로 사용하여 이들의 수소의 흡수속도/배기속도를 측정하고 합금분말의 경우와 비교하여 수소흡수에 미치는 수소화물의 영향을 분석하고자 하였다.

2. 실험 방법

2.1 시료제조

Ti_{0.3}Zr_{0.2}V_{0.5} 합금을 제조하기 위해 Ti, Zr, V을 각각 30, 20, 50 at%의 조성이 되도록 칭량하고 아크 용해하였다. 아크용해 시 휘발에 의한 각 원소의 증발을 최소화하기 위해 진공 배기 후 고순도 아르곤을 상압부근까지 장입하였다. 용해시 합금량은 통상 40 g이었으며 균질용해를 위해 버튼을 뒤집으면서 5차 용해하였다. 수소는 많은 금속과 반응하여 각종 금속수소화물을 형성하며 대부분의 수소화물은 취약하여 용이하게 분말화가 가능하다. Fig. 1은 본 실험에서 적용한 Ti_{0.3}Zr_{0.2}V_{0.5} 합금분말의 제조공정 개략도이다.

흡수속도 측정에 사용한 시편은 합금, 수소화물 및 부분수소화물의 3종류이었다. 이들 분말은 실험조건을 조절하여 가능한 한 균일한 입도를 갖도록 제조하였다. 수소화-탈수소화(HDH) 공정의 초기산물인 수소화물 분말은 Fig.1에 보인 공정에 따라 500°C, 3~4 atm H₂에서 처리한 후 agate로 분쇄하여 제조하였다. Ti_{0.3}Zr_{0.2}V_{0.5} 합금

분말은 수소화물분말을 750°C에서 진공 배기하여 만들었다. 부분수소화물분말은 Fig. 1의 공정에 따라 우선 수소화물을 만든 후 이를 450°C에서 2시간 진공 배기하여 제조하였다.

시료의 외관은 JEOL사의 JSM-2500을 사용하여 관찰하였으며 상분석에는 Rigaku사의 분말회절분석기를 사용하였다. 합금의 주성분분석에는 SEM에 부착된 EDS (Energy Dispersive Spectroscopy)를 사용하였으며 ICP(Inductively Coupled Plasma)를 사용하여 미량 불순물을 분석하였다. 분말중의 산소 및 질소분석에는 LECO TC-436를 그리고 수소분석에는 LECO TC-404를 사용하였다. 분말의 입도분석은 SEISHIN사의 LMS-30 입도분석기를 사용하였으며 비표면적은 BET 분석기를 사용하였다. 측정을 위한 게터성형체의 밀도는 외관 치수 및 무게를 측정하여 계산하였다.

게터시편은 합금분말, 부분수소화물 분말, 수소화물 분말을 2500 kgf/cm²의 압력을 가하여 직경 25 mm의 펠릿 형태로 제조하였다. 흡수속도 측정시 표면적을 일정하게 하기 위하여 상부면만 노출될 수 있도록 별도의 홀더를 제작하였다. 시편 홀더는 스테인레스로 만들었으며 측정시 시편의 정확한 온도측정을 위해 시편에 열전대가 들어 갈 수 있는 구멍을 만들고 열전대를 삽입하였다.

2.2 활성화온도 결정

불순물가스는 게터표면에서 흡착된 후 내부로 확산되어 제거된다. 게터의 표면은 예외없이 얇은 산화막으로 덮여 있으며 게터가 흡착특성을 나타내기 위해서는 이들을 제거하는 공정이 필수적이다. 비증발형 게터를 진공 중에서 수백도°C까지 가열하면 표면의 보호막은 내부로 확산하고 깨끗한 게터면이 형성되며 이 공정이 활성화공정이다. 게터를 활성화시키는데 필요한 열처리 온도와 시간은 게터적용 제품의 종류 및 성능을 좌우하는 매우 중요한 인자가 된다. 활성화 조건은 게터의 재질이나 그 조성에 따라 결정된다. 본 연구에서는 시료의 흡수속도 측정 전에 활성화온도를 결정하였다. 활성화온도 측정은 표준연의 장비를 사용하였으며 Fig. 2는 실험에 사용한 진공장치의 외관이다.

게터를 장착하는 시료실은 glass bulb를 장착하였다. 그 이외의 부분은 대기개방 후에 장치 전체를 가열해야 하므로 스테인레스를 이용하여 제작하였고 연결부분은 CF형으로 연결하여 가열이 용이하도록 제작하였다. 배기라인은 TMP(Turbo Molecular Pump)와 scroll pump를 이용하여 10⁻⁸mbar까지 배기가 가능하도록 하였다. 진공계이지는 LEYBOLD사의 ITR 90을 사용하여 5×10⁻¹⁰mbar부터 1000 mbar까지의 압력을 측정하였으며 PC에 연결하여 시간에 따른 압력의 변화를 측정하였다. 시료실의 불순가스 측정을 위해 RGA(Residual Gas Analyzer)

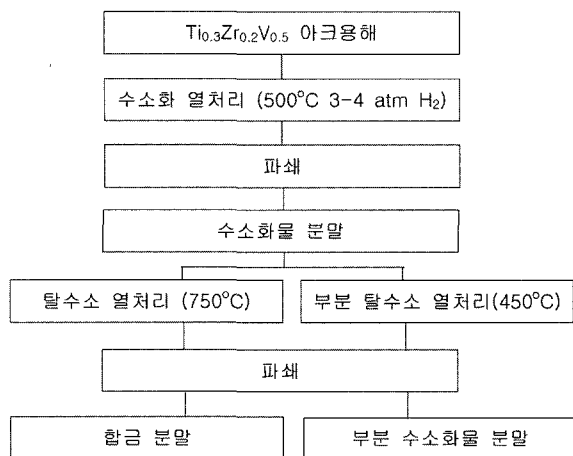


Fig. 1. Flow diagram of sample preparation.

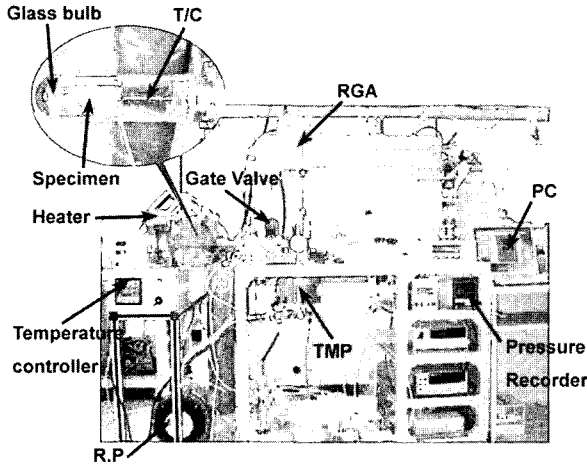


Fig. 2. Photograph of pressure measurement set up.

가 장착되었으며 K-type 열전대를 사용하여 시편의 온도를 측정하였다. 활성화온도를 결정하기 위해 시료실 외부에 부착된 저항가열로를 사용하여 시편을 50°C 간격으로 향한 가열한 후 상온까지 냉각시키고 도달압력을 기록하였다. 가열시 승온속도는 5°C/min 이었으며 유지시간은 30분으로 고정하였다.

2.3 흡수속도 측정

1998년에 수정된 ASTM-F798은 일반적인 비증발형 진공계터의 흡수특성 평가방법을 규정하고 있다. 본 연구실에서는 상기규격에 의거하여 진공계터의 특성평가 장치를 제조하였다. Fig. 3은 장치의 개요도이다. 장치는 세 부분으로 되어 있으며 중앙에 있는 공동실을 통해 양쪽 시료실을 동시 또는 별도로 배기할 수 있도록 게이트밸브로 연결하였다. 각 시료실에는 중앙부를 거치지 않고 TMP(Turbo Molecular Pump)로 배기가 가능하도록 우회 배기통로를 설치하였다. 시료실은 오리피스를 통해 기체

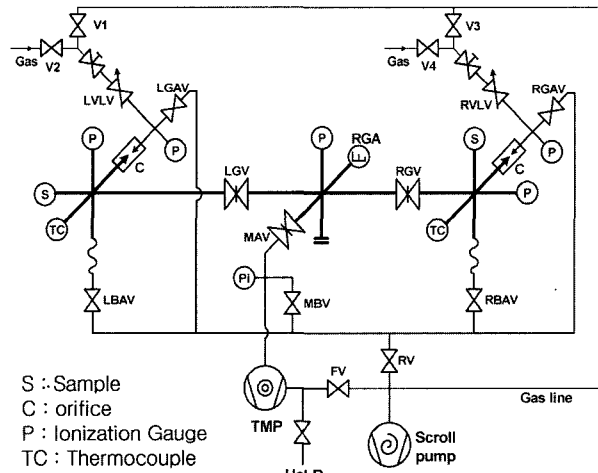


Fig. 3. Configurations for hydrogen sorption test

도입실과 연결되며 기체도입실은 역시 별도로 배기가 가능하도록 제작하였다. 각 부분은 배기와 대기개방이 자유롭게 이루어지며 대기개방 후에도 TMP를 가동하는 상태에서 초벌배기가 가능하다.

계터의 흡수측정은 오리피스법을 이용하였으며 알고 있는 컨덕턴스값과 시료실과 기체도입부의 압력차를 이용하여 수소에 대한 배기속도와 흡수량을 계산하였다.¹⁵⁾ 진공계터의 배기속도는 오리피스 양단의 압력차를 측정하여 계산되므로 진공압력계를 시료실과 기체도입실에 각각 장착하였다. 실험에 사용한 오리피스는 직경이 2 mm로 오리피스 컨덕턴스는 20°C에서 수소에 대해서 1.4 L/s이다. 장치의 주배기 펌프는 60 L/s TMP(Pfeiffer사 TMU071)이었으며 기체도입부 및 시료실의 압력계는 같은 종류의 진공계(Pfeiffer사 MaxiGauge+PBR260)를 사용하였다.

흡수량은 통상 초기 배기속도의 1/10이 될 때까지 측정하였으며 식 (1) 및 (2)에 의해 흡수량 Q와 배기속도 S를 계산하였다.

$$Q = C_0[(P_1 - P_{10}) - (P_2 - P_{20})] \tag{1}$$

여기서 Co는 오리피스의 컨덕턴스, P₁은 기체도입부의 압력, P₂는 시료실의 압력, P₁₀는 기체도입 직전의 기체도입부의 압력 그리고 P₂₀는 기체도입 직전의 시료실의 압력을 나타낸다. 배기속도 S는 식 (2)로부터 계산하였다. 측정방법에 대한 자세한 사항은 논문¹⁵⁾에 상술되어 있다.

$$S = \frac{Q}{P_2 - P_{20}} \tag{2}$$

3. 결과 및 고찰

3.1 시료분석

Fig. 1의 공정에 따라 합금분말, 수소화물 분말 및 부분수소화물 분말을 제조하였다. 이들을 동등한 비교를 위해 가능한 한 분말입도가 균일하게 되도록 분쇄 및 열처리조건 등을 결정하였다. 수소화물을 진공 열처리하는 경우 900°C에서도 일부 소결이 일어나 입도가 증가하였다. 이러한 문제를 방지하기 탈수소열처리는 750°C에서 수행하였다. 한편 부분수소화물의 경우는 탈수소열처리를 450°C에서 2시간동안 하였으며 이때 입도 변화는 일어나지 않았다. Table 1은 용해한 Ti_{0.3}Zr_{0.2}V_{0.5} 잉코트의 EDS 분석 결과이다.

수소화처리한 합금 버튼을 agate로 분쇄하여 수소화물 분말을 제조하였다. Fig. 4(A)는 제조한 수소화물 분말의 SEM 사진이다. 사진에서 볼 수 있는 것처럼 수소화물 분말은 불규칙한 다각형의 모양을 하고 있으며 평균입도는

Table 1. EDS analysis of arc melted Ti_{0.3}Zr_{0.2}V_{0.5} button

Element	Target	Measured
Ti	20	18.6
Zr	30	31.0
V	50	50.4

Table 2. Weight loss of hydride during heating at 450°C and 750°C in vacuum

Temperature	Weight (g)		
	Original	After drying at 80°C	After vacuum heating
450°C	2.000	1.992	1.940
750°C	4.980	4.980	4.816

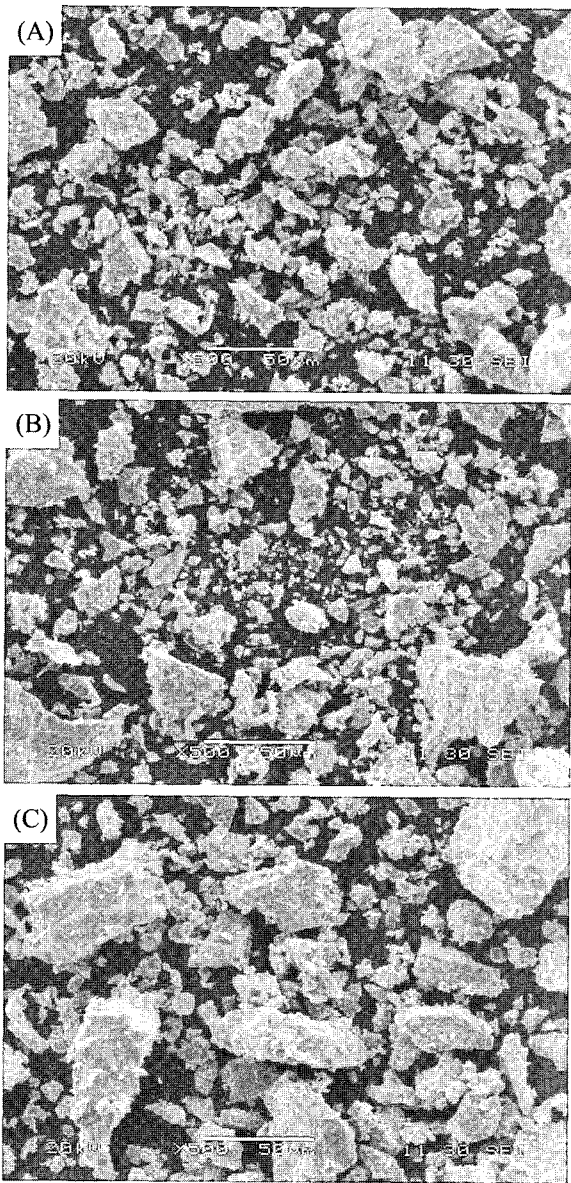


Fig. 4. SEM micrographs of alloy, partial hydride, and hydride (A) Hydride (B) Partial hydride (C) Alloy

39.4 μm이었다. Table 2는 합금과 부분수소화물을 제조하는 열처리 과정에서의 무게 감소를 측정한 결과이다. 이 결과로부터 계산한 수소화물의 조성은 (Ti_{0.3}Zr_{0.2}V_{0.5})H_{1.94}이었으며 450°C에서 제조한 부분수소화물은 (Ti_{0.3}Zr_{0.2}V_{0.5})H_{1.52}이었다. Fig. 5(A)는 (Ti_{0.3}Zr_{0.2}V_{0.5})H_{1.94} 분말의 X-선 회절 곡선이다.

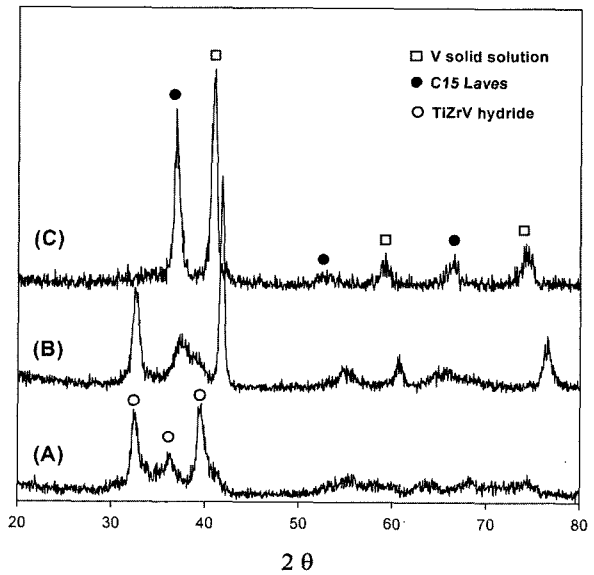


Fig. 5. X-ray diffraction patterns of hydride, partial hydride and alloy

앞서와 같이 제조된 수소화물 분말은 진공 중에서 열처리하여 수소를 제거하고 Ti_{0.3}Zr_{0.2}V_{0.5} 합금 분말을 만들었다. Fig. 4(C)는 합금분말의 SEM 사진으로 합금분말은 수소화물 분말과 외관상 큰 차이는 없었다. 전술한 바와 같이 이 온도에서는 열처리에 분말들간의 소결이 일어나지 않았으며 입도분석결과 평균입도는 38.1 μm 이었다. Fig. 5(C)는 Ti_{0.3}Zr_{0.2}V_{0.5} 합금분말의 X-선 회절곡선이다. 이들 합금은 회절곡선 상에 표시된 바와 같이 바나듐 고용상(bcc)과 C15 결정구조를 가졌다.

한편 부분수소화물 분말은 수소화물 분말을 450°C에서 2시간동안 열처리하여 제조하였다. Fig. 4(B)와 Fig. 5(B)는 각각 이들의 외관을 보여주는 SEM 사진과 X-선 회절곡선이다. 부분수소화물은 450°C의 저온에서 열처리하여 예상대로 외관상의 변화는 없었다. 이 부분수소화물은 Table 2에 정리된 바와 같이 (Ti_{0.3}Zr_{0.2}V_{0.5})H_{1.52}의 조성을 가졌다. 이 조성의 부분수소화물은 Ti_{0.3}Zr_{0.2}V_{0.5} 합금에 수소를 주입하는 방법으로도 만들 수 있다. 그러나 이 경우 합금중의 포함되는 수소량이 작아서 완전한 수소화물에 비해 분쇄가 어렵고 입도를 맞추기 위한 분쇄공정중에 오염문제가 따르게 된다. 이러한 문제점들 때문에 부분수소화물은 우선 수소화물을 만든 후 이것을 통

상의 탈수소화 온도 이하(450°C)에서 진공 열처리하는 방법으로 제조하였다.

Table 3은 시료 분말들의 분석결과를 요약한 것이다. 수소화물중의 산소량은 측정할 때 다량의 수소가 발생하게 되므로 일반적인 방법으로 측정이 불가능하였다. 이를 해결하기 위해 탄탈륨수소화물에 대해 기술한 LECO사의 Bulletin (Nitrogen and Oxygen in Hydrided Powdered Tantalum)을 따라서 실험하였다. 측정에 사용한 수소화물 표준시편의 경우 질소치는 주어지지 않았기 때문에 산소량만을 측정하였다. 측정결과, 수소화물 또는 부분수소화물중의 산소량은 약 1,000 ppm으로 나타났으며 합금의 경우 약 2000 ppm으로 높았다. 이것은 수소화물의 탈수소화과정중에 산화가 일어난다는 것을 의미하며 HDH법에 의해서 금속분말을 제조하는 경우 진공탈가스 공정이 산소량을 결정하는 중요 변수가 될 수 있음을 보여주고 있다.

3.2 활성화실험

진공게터의 수소흡수 속도를 측정하기 위해서는 우선 활성화온도를 알아야 한다. Fig. 6은 시편의 활성화온도를 결정하기 위한 일련의 실험결과를 요약한 것이다. 기본적으로 이 방법은 게터를 가열한 후 상온까지 냉각시키고 밸브를 잠근후 시료실내의 압력변화를 측정하는 것

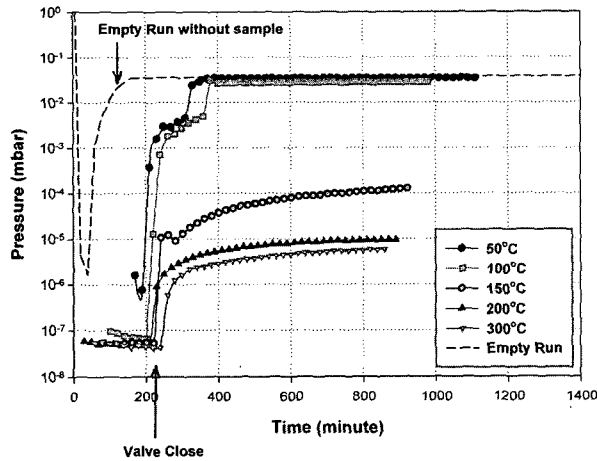


Fig. 6. Pressure variation in sample chamber after closing the valve. The samples were heated at various temperatures under evacuation.

이다. 비교를 위해 우선 게터장착 실험 전에 진공챔버의 기본특성을 파악할 필요가 있어 시료를 장착하지 않고 시료실내의 시간에 따른 압력변화를 기록하였다. 이때 시료실의 압력은 밀폐 (valve close)와 함께 10^{-6} mbar에서부터 약 100분동안 급격히 증가하여 평형압력에 도달하였으며 이때 압력은 3.6×10^{-2} mbar 이었다 (---선, Empty run). 한편 시료를 장착하고 한 실험에서도 곡선은 같은 경향을 나타내었다. 그림에서 볼 수 있는 것처럼 50°C와 100°C에서 가열한 경우 200분 이내에서 평형압력에 도달하였으며 이때 압력은 3.0×10^{-2} mbar로 시료를 장착하지 않은 경우와 동일하였다. 따라서 50°C와 100°C에서는 게터의 활성화가 전혀 이루어지지 않았다는 것을 알 수 있다.

게터의 활성화는 150°C에서 열처리 한 결과 뚜렷하게 나타났다. 시료실을 차단후 600분 경과 후 압력은 1.1×10^{-4} mbar로 2 order 이상의 진공도 저하가 있었으며 이는 게터의 활성화가 시작되었다는 것을 의미한다. 한편 200°C와 300°C에서 활성화처리한 경우 600분 경과 후 압력은 각각 9.2×10^{-6} mbar와 5.5×10^{-6} mbar로 1 order 이상 진공도가 저하하였으며 두 온도간의 차이는 미미하였다. 따라서 활성화는 100-150°C 구간에서 시작되어 200°C에서 완료하는 것으로 판단할 수 있다. 이에 따라 흡수속도를 측정하기 전에 모든 시편은 충분한 활성화를 위해 300°C에서 30분간 열처리하였다.

3.3 흡수속도

Ti_{0.3}Zr_{0.2}V_{0.5} 합금의 활성화온도는 Fig. 6에 보인 결과로부터 결정하였다. Fig. 7은 3종류의 게터를 활성화온도 이상인 300°C에서 충분히 활성화 시킨 후 수소흡수 특성을 측정한 결과이다. 그림에서 볼 수 있는 것처럼 합금, 부분수소화물 및 수소화물의 초기배기속도 (흡수량 0.002 mbar L/sec)는 2.22, 3.05 및 5.05 liter/sec이었다. 이는 Ti_{0.3}Zr_{0.2}V_{0.5} 합금의 배기속도는 시료내의 수소화물의 양이 증가함에 따라 2배 이상으로 증가하였다는 것을 의미한다.

일반적으로 수소의 배기속도는 ① 표면에서의 흡착과 ② 내부확산에 따라 좌우된다. 이중 표면에서의 흡착속도 측정결과에 영향을 미칠 수 있는 인자로는 입도, 비표면적 등을 생각할 수 있다. Table 3에 표시된 바와 같이 합금, 부분수소화물, 수소화물의 입도는 각각 38.1, 39.9 및

Table 3. Physical properties of samples used for sorption tests

	시 편	O (ppm)	N (ppm)	H (ppm)	BET (m ² /g)	Average Particle Size (μm)
Alloy	Ti _{0.3} Zr _{0.2} V _{0.5}	2,175	141	< 10	0.4373	38.1
Partial Hydride	(Ti _{0.3} Zr _{0.2} V _{0.5})H _{1.52}	1,048	-	2.4%	0.4456	39.9
Hydride	(Ti _{0.3} Zr _{0.2} V _{0.5})H _{1.94}	1,117	-	3.3%	0.5463	39.4

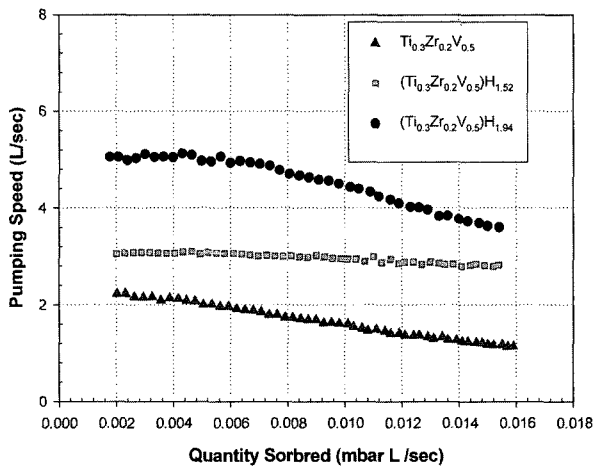


Fig. 7. Hydrogen sorption speeds of alloy, partial hydride and hydride.

39.4 μm 으로 동일하였다. 한편 BET로 측정된 이들의 비표면적도 값을 보면 합금과 부분수소화물의 경우는 0.4373 및 0.4456 m^2/g 로 동일한 값을 나타냈다. 흡수속도가 가장 큰 수소화물의 경우 비표면적은 0.5463 m^2/g 로 합금이나 부분수소화물에 비해 다소 크다. 그러나 비표면적 증가는 약 20%에 불과하며 2배 이상으로 측정된 배기 속도를 설명하기는 어렵다. 더욱이 합금과 입도와 비표면적은 동일하지만 흡수속도는 거의 40% 이상 증가한 부분수소화물의 경우를 고려하면 흡수속도의 향상이 단순히 비표면적의 증가에 기인한다고는 생각되지 않는다. 현재 비표면적이 흡수속도에 미치는 영향을 분석하기 위해 동일 batch의 합금분말을 분급하여 입도 및 비표면적을 조절된 실험을 진행 중이다.

따라서 수소화물에 의한 흡수속도 증가현상을 이해하기 위해서는 수소의 내부확산 문제를 살펴봐야 할 것이다. 수소의 확산속도에 미치는 미세구조의 영향에 대해서는 수소흡장합금의 경우에 대해 비교적 많은 연구가 되어 왔으며 수소의 trap site의 영향이 논의되어 왔다. 수소의 trap site는 dislocation,^{16,17} vacancy^{18,19} 또는 microcrack이나 void^{20,21} 등이 거론되고 있으며 이들은 수소의 내부확산을 방해하여 수소의 확산속도를 저하시키는 것으로 생각되고 있다. 수소의 확산속도는 trap site 수에 반비례하며 식 (3)과 같이 표시된다.²²

$$N_{\text{Trap}} = \frac{C_0}{3} \left(\frac{D_1}{D_{\text{eff}}} - 1 \right) \quad (3)$$

여기서 N_T 는 단위체적당 수소 trap site의 수이며 C_0 는 표면에서의 수소농도이다.

수소화물 또는 부분수소화물의 경우 다량의 수소를 함유하고 있어 수소의 trap site (N_{Trap})가 일정부분 점유되어 있는 것으로 가정할 수 있다. 이에 반해 합금의 경

우 대부분의 trap site가 유효하며 이들이 수소의 확산속도와 흡수속도를 저하시키는 것으로 생각된다. 따라서 수소화물의 양이 증가함에 따라 수소의 흡수속도가 증가하는 것은 입도나 비표면적등 표면반응에 영향을 미칠 수 있는 인자의 영향이라기 보다는 유효 trap site의 감소에 기인한 것이라고 판단된다.

4. 결 론

Ti_{0.3}Zr_{0.2}V_{0.5}, (Ti_{0.3}Zr_{0.2}V_{0.5})H_{1.52} 및 (Ti_{0.3}Zr_{0.2}V_{0.5})H_{1.94} 분말성형체의 상온흡수 속도를 측정하였다. 이들의 흡수속도는 수소(수소화물)의 양이 증가함에 따라 증가하였다. 수소의 흡수속도가 수소량이 증가함에 따라 증가하는 것은 수소의 확산을 방해하는 유효 trap site가 감소하기 때문으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. B. K. Singh, A. K. Singh, M. A. Imam and O. N. Srivastava, *Journal of Alloys and Compounds*, **354**, 315 (2003).
2. R. Guo, L.-X. Chen, Y.-Q. Lei, S.-Q. Li, Y.-W. Zeng and Q.-D. Wang, *Journal of Alloys and Compounds*, **358**, 223 (2003).
3. X. B. Yu, Z. Wu, B. J. Xia and N. X. Xu, *Journal of Alloys and Compounds*, **372**, 272 (2004).
4. H. Yuan, Y. An, G. Xu and C. Chen, *Materials Chemistry and Physics*, **83**, 340 (2004).
5. X. B. Yu, Z. Wu and N. X. Xu, *Physica B*, **344**, 456 (2004).
6. J.-K. Chang, D.-N. S. Shong and W.-T. Tsai, *Materials Chemistry and Physics*, **83**, 361 (2004).
7. H. Pan, Y. Zhu, M. Gao, Y. Liu, R. Li, Y. Lei and Q. Wang, *Journal of Alloys and Compounds*, **364**, 271 (2004).
8. X. B. Yu, Z. Wu, B. J. Xia and N. X. Xu, *Journal of Alloys and Compounds*, **375**, 221 (2004).
9. R. Li, J. Wu, S. Zhou and X. Wang, *Journal of Alloys and Compounds*, **363**, 292 (2004).
10. ASTM F111-96, American Society for Testing and Materials, Annual Book of ASTM Standards (1996).
11. ASTM F798-97, American Society for Testing and Materials, Annual Book of ASTM Standards (1997).
12. W. V. Lampert, K. D. Rachocki, B. C. Lamartine and T. W. Hass, *Journal of Vacuum Science and Technology*, **18**(3), 1121 (1981).
13. V. Matolin, J. Drbohlav and K. Masek, *Vacuum*, **71**, 317 (2003).
14. D. J. Lee, K. B. Kim, S. R. In, J. Y. Lim and W. B. Kim, *J. of the Kor. Vacuum Soc.*, **14**(1), 1 (2005).
15. D. J. Lee, Masters Thesis, Yonsei Univ. (2004).
16. A. Juan, G. Brizuela, B. Irigoyen and S. Gesari, *Surface Science*, **466**, 97 (2000).
17. M. Nagumo, K. Takai and N. Okuda, *Journal of Alloys*

- and Compounds, **293**, 310 (1999).
18. A. Juan and R. Hoffmann, *Surface Science*, **421**, 1 (1999).
 19. T. Mori, K. Otsuka, N. Umehara, K. Ishioka, M. Kitajima, S. Hishita and K. Murakami, *Physica B*, **308-310**, 171 (2001).
 20. A. H. M. Krom, R. W. J. Koers and A. Bakker, *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, **47**, 971 (1999).
 21. A. Rivera, A. van Veen, H. Schut, J. M. M. de Nijs and P. Balk, *Solid-State Electronics*, **46**, 1775 (2002).
 22. S. K. Yen and I. B. Huang, *Materials Chemistry and Physics* **80**, 662 (2003).