

## 수소저장합금을 이용한 150ℓ 급 수소저장용기의 제작과 특성에 관한 연구

강길구\*, 강세선\*\*, 권호영\*\*\*, 이임철\*\*\*\*

\*동명산업(주), \*\*한밭대학교 공동재료실험실, \*\*\*대덕대학 컴퓨터응용계열 시스템안전설계과,  
\*\*\*\*단국대학교 신소재공학과

## Fabrication and Characteristics of 150 ℓ Class Hydrogen Tank Using Hydrogen Storage Alloy

Kil-Ku Kang\*, Sei-Sun Kang\*\*, Ho-Young Kwon\*\*\*, Rhim-Youl Lee\*\*\*\*

\*Dong Myung Ltd. Co, \*\*Materials Testing Center, Hanbat National University,  
\*\*\*System Safety Design Engineering Daeduk College,  
\*\*\*\*Dept. of Materials Science & Engineering Dankook University

### ABSTRACT

The hydrogen storage vessel having a good heat conductivity along with a simple structure and a low cost for these alloys was designed and manufactured, and then its characteristic properties were studied in this study. The various parts in hydrogen storage vessel consisted of copper pipes and stainless steel of 250 mesh reached the setting temperature after 4~5 minutes, which indicated that storage vessel had a good heat conductivity that was required in application. And also the storage vessel had a good property of hydrogen transport considering that the reaction time between hydrogen and rare-earth metal alloys in storage vessel was found to be within 10 min at 18℃ under 10 atmospheric pressure. It showed that the average capacity of discharged hydrogen volume was found to be 120 ℓ for  $MmNi_{4.5}Mn_{0.5}$  under discharging conditions of 40℃~80℃ at a constant flow rate of 5 ℓ/min. It was found that the optimum discharging temperature for obtaining an appropriate pressure of 3atm was determined to be 60℃ for  $MmNi_{4.5}Mn_{0.5}$  hydrogen storage alloy.

**주요기술용어** : Hydrogen storage alloy(수소저장합금), Hydrogen storage vessel(수소저장 용기), Misch metal,  $MmNi_{4.5}Mn_{0.5}$

### 1. 서 론

현재의 주 에너지원인 화석연료가 점차 고갈되

어 가고, 환경오염에 대한 문제가 큰 관심사로 대두됨에 따라 1970년 이후로 새로운 대체에너지에

대한 연구가 전 세계적으로 활발히 진행되어 왔다<sup>1~4)</sup>. 고도화된 산업사회에서 장기적인 에너지 공급문제와 에너지의 과소비에 따라 사회에 심각하게 대두되고 있는 환경문제의 해결은 무공해, 재생 가능한 새로운 에너지의 필요성을 크게 부각시켰고, 이러한 문제에 대처할 수 있는 수소에너지에 대한 관심이 점차 증가하고 있다. 이미 선진국에서는 대체에너지 및 청정에너지에 대한 장기적이고 종합적인 기술개발계획을 수립, 진행하고 있다.

결국, 유망한 대체에너지원인 수소에너지의 경우 수소의 저장 및 응용기술 그 자체가 국가자원이므로 활용될 수 있다. 현재 수소를 저장 방법으로는 고압기체저장, 저온액체저장, 금속수소화물을 이용한 고체저장방법 등이 있다<sup>5)</sup>. 수소저장합금을 이용한 저장방법은 발견된 이래로 액체저장 및 고압기체 저장법에 비하여 안전하고 단위 부피 당 저장용량이 더 큰 효율적인 저장방법으로 알려지고 있어 많은 연구가 진행되고 있다<sup>6,7)</sup>.

이와 같이 많은 장점과 가능성을 가지고 있는 수소를 실용에너지로 활용하기 위해서는 저장기술이 중요한데 기체상태로 수소를 저장하는 경우에는 제한된 체적의 용기에 많은 양의 수소를 저장하기 위해 150~200atm의 고압으로 수소를 저장한다. 이 방법은 고압용 두꺼운 철강의 무게 때문에 단위 부피 당 무게가 크다. 150atm의 고압용 50ℓ 용기의 수소저장량은 상압으로 환산하여 약 7m<sup>3</sup>이며, 용기 총 중량은 55kg에 달하므로 다른 연료에 비해 단위 체적 및 단위 무게 당 저장된 에너지량이 상대적으로 적다<sup>8)</sup>.

수소의 극저온 저장은 수소를 1atm하에서 -253℃까지 냉각시켜 액화수소상태로 저장하는 것을 말한다. 액체 수소의 체적은 상압에서 수소가스 체적의 약 1/800이고, 액체수소의 중량 밀도는 고압수소가스(150~200기압)의 4~5배이다. 그러나 액체 수소의 극저온 저장방법도 몇 가지 단점이 있다. 즉, 액체수소를 만들려면 먼저 수소를 고순도로 정제해야 하고, 수소를 액화하는데 수소 1kg당 10~14kWh의 전력이 필요하다. 또한 액체

수소의 증발을 막기 위해 단열이 뛰어난 특수 용기를 필요로 하는 등 취급이 복잡하고 비용이 높으므로 우주 로켓 연료 등의 특수한 용도로만 제한적으로 이용되고 있다<sup>8)</sup>.

수소저장합금을 이용한 방법은 이 합금에 수소 흡수 평형압력보다 높은 수소압력을 합금에 가해주어 수소를 저장시킨다. 저장된 수소를 이용하기 위해서는 수소저장용기 내 압력을 합금의 수소방출 평형압력보다 낮추어 수소를 방출시키거나(압력유기 수소이용법), 합금의 온도를 높여 합금의 수소방출 평형압력을 용기 내 압력보다 높게 하여 수소를 방출시키는 방법(온도유기 수소이용법)이 있다.

이러한 수소저장합금의 이용분야로는 수소저장, 운반뿐만 아니라 수소동소체 분리, 히트펌프, 정제, 압축기 및 Ni-MH 2차전지 등에 사용될 수 있다<sup>9~12)</sup>. 그리고 수소저장합금을 이용한 수소저장법은 수소의 정제효과가 있으므로 고순도의 수소를 이용하는 전자, 반도체 산업분야에 응용가능성이 높아 널리 연구 진행되고 있다<sup>13)</sup>. 수소저장합금을 이용한 수소저장용기의 개발은 1980년대 초반부터 미국, 독일, 일본 등 산업선진국에서 이루어져 왔으며, 시제품까지 제작하여 실용화단계에 접어든 실정이다. 그러나 국내의 경우 이에 대한 연구는 지금까지 거의 수소저장합금의 특성에 관한 학술적인 연구에 치중되어 있으며, 최근에 들어서 실용화를 위한 연구가 초보적인 단계에 있다<sup>13)</sup>.

수소저장합금을 이용한 수소저장 시스템을 실용화하기 위해서는 기본적으로 수소저장합금과 수소저장용기에 적합한 특성을 갖추어야 하며, 이런 조건을 만족하는 수소저장합금과 수소저장용기의 개발에 관한 연구가 선행되어야 한다<sup>13)</sup>.

따라서 본 연구는 수소저장용기에서 가장 중요한 수소의 이동과 열 전달이 효율적이고, 구조가 간단하며, 제작비용이 저렴한 수소저장용기를 설계 및 제작하고자 한다. 또한 이 용기에 제조한 희토류계 수소저장합금을 적용시켜 수소저장용기의 특성평가 및 각 희토류계 수소저장합금의 수

소저장과 방출에 따른 제반특성을 평가하고자 하였다.

## 2. 수소저장용기의 개발

### 2.1 수소저장용기의 설계 및 제작

희토류계 수소저장합금을 이용한 수소저장용기를 실험실 규모로 설계하여 제작하였다. 희토류계 수소저장합금을 이용한 수소저장용기 재질로서는 수소화 반응시 발생하는 반응열을 효과적으로 내·외부와 교환시키기 위해 열 전달이 가장 좋고, 약 20~30기압으로 수소저장 및 방출에 따른 기계적 강도를 고려하여 구리관을 사용하였다. 반응관 내부의 압력분포가 균일하게 가해지고, 수소 압력에 지탱할 수 있도록 cylinder형태로 설계하

였다. 또한 반응관 내부에서 수소의 이동을 용이하게 하기 위해서 250mesh의 opening size(0.026 mm)를 갖는 stainless망을 등글게 감은 형태로 반응관 길이의 네 방향에 각각 삽입하였다.

Fig. 1은 본 연구에서 희토류계 수소저장합금에 적용하기 위해 수소저장용기로 설계 및 제작한 단면도이다. 저장용기의 반응관은 각각 다른 직경을 갖는 3개의 동파이프를 사용했으며, 이때 사용한 동파이프 규격은 Table 1과 같다.

수소저장용기 길이는 약 1kg의 희토류계 수소저장합금을 충전하기 위해 외부의 동파이프 길이는 380mm, 내부 2개의 동파이프 길이를 각 350mm로 하였다. 수소저장용기의 상단에는 직경 150mm, 두께 12.5mm 황동 2개를 가공하여 하부 황동은 동 파이프와 용접하여 기밀성을 유지하였다.

또한 저장용기가 냉·온수에 의해 수소를 저장과 방출을 하므로 중앙에 내경 16.3mm의 냉·온수파이프를 삽입하여 용접하였다. 상부 황동은 내부온도를 측정하기 위한 열전대와 수소의 저장과 방출을 위한 파이프 라인으로 구성되었다. 그리고 상·하부 황동의 수소와 냉·온수 기밀성을 유지하기 위해 3개의 O-ring을 사용하고, 상·하부 황동을 네 방향에서 직경 6.5mm 구멍을 가공하여 볼트로 조여 완전한 기밀성을 갖도록 하였다. 이와 같이 제작한 수소저장용기의 무게는 약 7kg 정도가 되었다.

Table 1. Specification of copper-pipe

| Type | 호칭경 |       | 실외경<br>(mm) | 두께<br>(mm) | 중량<br>(kg/m) | 상용<br>압력<br>(kgf/cm <sup>2</sup> )<br>경질 |
|------|-----|-------|-------------|------------|--------------|--|
|      | (A) | (B)   |             |            |              |  |
| K    | 32  | 1 1/4 | 34.92       | 1.65       | 1.54         | 56.6                                     |
|      | 50  | 2     | 53.98       | 2.11       | 3.07         | 46.1                                     |
|      | 80  | 3     | 79.38       | 2.77       | 5.96         | 42.4                                     |

Fig. 1. The cross section of vessel for hydrogen storage.

## 2.2 수소저장용기 평가 시스템 제작

수소 전달과 열 전달을 최적화시킨 회토류계 수소저장합금 용기를 제작하고, 수소저장용기의 특성을 평가하고자 수소저장용기 성능평가 시스템을 제작하였다. 성능평가 시스템을 Fig. 2에 나타내었다.

Fig. 2에서 보는 바와 같이 시스템은 수소보배, mass flow meter(MFM), 수소저장용기, gas flow controller, 항온조, 냉·온수순환펌프, 열전대, 압력게이지, flow meter, 진공펌프, 밸브 및 1/4" stainless파이프 등으로 구성되어 있다. Mass flow meter(Brooks Instrument 5860E)는 수소를 방출할 때 방출량을 정확히 측정하기 위해 5ℓ/min으로 고정시켜 사용했으며, gas flow controller (LOKAS, GMATE 2000)에 의해 적산되도록 하였다.

수소저장합금을 수소저장용기에 충전하고 일정

시간 진공후 냉수를 4ℓ/min로 흘려 저장용기 온도를 18℃로 한 다음 수소를 저장하였다. 그리고 수소를 방출할 때에는 항온조의 온수를 4ℓ/min 흘려 보내 저장용기의 온도를 상승시켜 방출시켰다. 수소저장용기의 온도 측정은 냉·온수의 입구 및 출구, 저장용기의 내부 및 외부에 각 네 위치에 열전대를 부착하여 온도를 측정하였다.

또한, 저장과 방출을 완료한 후에 수소저장용기 내부를 진공으로 하기 위해 진공펌프(300ℓ/min)를 사용하였다.

수소를 저장시킬 때는 수소보배의 압력을 regulator로 조절하여 10atm으로 하고, V1, V4, V8을 열어 수소를 저장용기에 저장시켰다. 저장용기의 압력은 V3를 열어 압력 게이지를 통해 확인하였다.

수소 방출시에는 모든 밸브를 닫고, V5, V8을 열어 파이프내의 수소압력을 제거한 후 V5, V8을 닫고, V3, V2, V5를 열은 다음 V8을 조금씩 열어 수소의 방출량이 5ℓ/min이 되도록 조절하여 방출시켰다. 이때 수소의 적정한 방출량 및 적산량은 mass flow meter 및 gas flow controller 그리고 flow meter를 통해 확인하였다. 수소방출이 모두 완료되면 V1, V2, V3, V5, V8을 닫고 V4와 V6를 열어 진공펌프를 작동시켜 파이프 내와 수소저장용기를 진공으로 하였다.

## 3. 실험결과

### 3.1 수소저장용기의 저장량

자체 설계하여 제작한 빈 수소저장용기의 내부 저장용량을 측정하기 위해서 각 압력에 따른 수소저장용량을 측정하였다. 먼저 수소저장용기 내부를 진공펌프를 작동시켜 진공상태로 유지하였다. 이어서 수소를 저장할 때와 같은 온도 18℃에서 수소를 5, 10, 15 및 20atm의 압력으로 가한 다음 방출하여 수소저장용기의 내부저장용량을 구하였다. 그 결과를 Fig. 3에 나타내었다.

Fig. 3에서 보는 바와 같이 5atm의 경우 1.47ℓ, 10atm의 경우 2.84ℓ, 15atm의 경우 4.05ℓ,

- |                                 |                     |
|---------------------------------|---------------------|
| ① hydrogen cylinder             | ② MFM               |
| ③ Hydrogen storage vessel       |                     |
| ④ Gas flow controller           | ⑤ Water bath        |
| ⑥ Circulate pump                | ⑦ Input temperature |
| ⑧ Out temperature               | ⑨ Inner temperature |
| ⑩ Wall temperature              |                     |
| ⑪ Pressure gauge and regulator  |                     |
| ⑫ Vacuum pump                   | ⑬ Flow meter,       |
| V1 ~ V6 Ball valve,             |                     |
| V7 Check valve, V8 Needle valve |                     |

Fig. 2. The performance test system of vessel for hydrogen storage.

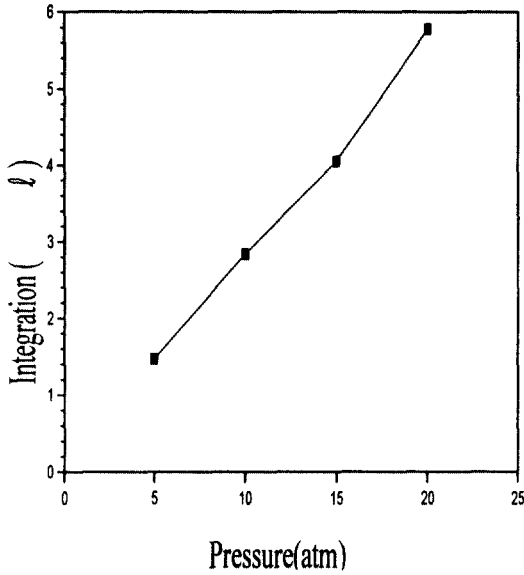


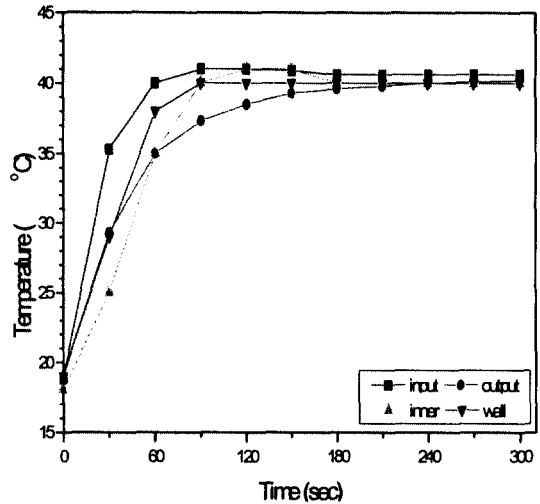
Fig. 3. The integrated amount of stored hydrogen with pressure at 18°C.

20atm의 경우 5.78ℓ를 저장 할 수 있으며, 압력이 증가할수록 저장량도 증가함을 확인 할 수 있었다. 본 실험의 수소저장용기는 수돗물을 이용하여 온도를 낮추어 수소를 저장시키고, 방출할 때에는 온수를 이용하여 온도를 높여 수소를 방출을 한다. 따라서 수소를 저장할 때 저장압력이 15atm 이상인 경우에는 수소방출 시 온도가 상승함에 따라 수소의 탈착 및 팽창으로 압력계이지의 최대 사용압력 25atm을 상회하게 되어 측정하기가 매우 곤란하여 본 실험에서는 저장용기의 저장압력을 10atm으로 설정하였다. 그러므로 본 회토티계 수소저장합금을 이용한 수소저장용기는 저장용기의 내부용적은 2.84ℓ이며, 저장압력은 10atm으로 설정하여 실험하였다.

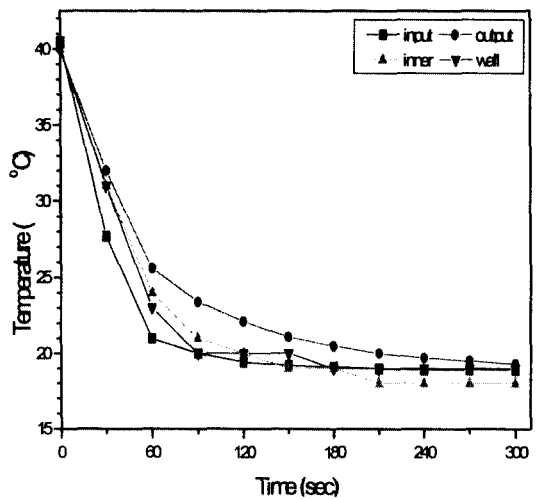
### 3.2 수소저장용기의 열전달 특성

수소를 수소저장합금에 의해 수소저장용기에 급속수소화물로 저장할 때 중요한 것은 수소의 이동과 열 전달이다. 본 실험에 사용한 수소저장용기는 수소의 이동 효율을 증가시키기 위해서 내부에 250mesh의 스테인레스망을 말아 수소저

장용기 길이의 네 방향에 각각 삽입하였다. 또한 열 전달 효율을 증가시키기 위해 열전도도가 우수한 동 파이프로 수소저장용기를 제작하였다. 이 열 전달 효율을 평가하기 위해서 수소저장합금을 수소저장용기에 충전한 후 저장용기의 냉·온수 입구 및 출구, 내부 및 외부에 열전대를 각각 설



(a) during heating to 40°C



(b) during cooling to 18°C

Fig. 4. The distribution of temperatures in various parts of vessel illed with hydrogen storage alloy.

치한 다음 냉·온수를 4ℓ/min로 순환시켜 저장용기의 온도를 40℃, 50℃, 60℃ 및 70℃로 각각 상승시켰을 때, 그리고 각각 상승된 온도에서 18℃로 낮출 때 수소저장용기 네 위치의 시간에 따른 온도변화를 측정하여 각각 Fig. 4~5에 나타내었다.

Fig. 4 (a)는 수소저장용기에 수소저장합금을 충전한 상태에서 냉각수의 온도인 18℃에서 40℃로 상승시킬 때 각 네 위치의 시간에 따른 온도변화를 나타낸 것으로 약 300초 정도에서 네 위치 온도가 40℃에 모두 일치하는 것을 알 수 있었다.

Fig. 4 (b)는 수소저장용기에 수소저장합금을 충전하고 40℃로 온도가 상승된 상태에서 냉각수를 순환시켜 저장용기의 온도를 18℃로 낮출 때 시간에 따른 온도변화를 나타낸 것으로 역시 네 위치의 온도가 모두 18℃로 일치하는 시간은 약 300초 정도가 소요되었다.

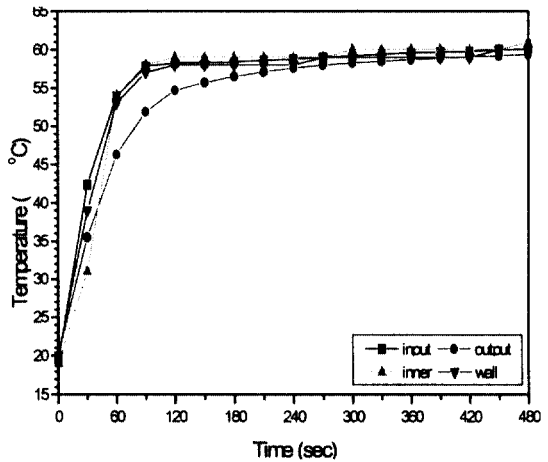
Fig. 5 (a)와 (b)는 수소저장합금을 수소저장용기에 충전한 상태에서 온도를 18℃에서 60℃로 상승 및 60℃에서 18℃로 낮출 때 시간에 따른 온도변화를 나타낸 것으로 상승은 270초, 낮출 때는 약 300초 정도에서 네 위치의 온도가 설정한 온도에 모두 일치되었다.

이와 같은 결과에서 알 수 있듯이 열 전달효율을 증가시키기 위해 동 파이프를 제작한 수소저장용기의 열 전달은 수소저장합금을 수소저장용기에 충전한 다음 40, 50, 60, 70℃로 각각 상승시킬 때는 약 240~300초가 소요되고, 18℃로 낮출 때는 약 270~300초가 소요되었다. 따라서 네 위치 온도가 설정한 온도에 일치하는 시간은 4~5분 이내이므로 열 전달 효율은 우수한 것으로 생각된다.

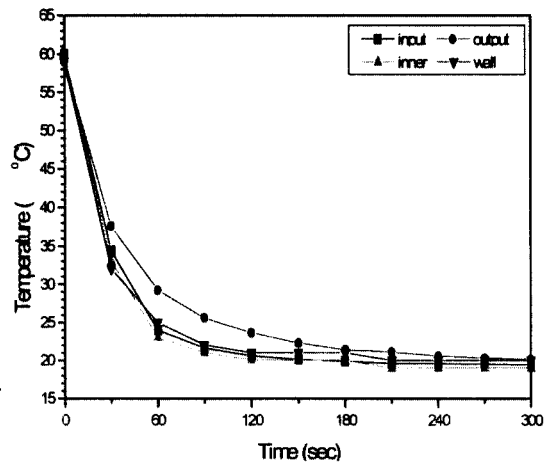
### 3.3 MmNi<sub>4.5</sub>Mn<sub>0.5</sub>합금의 수소저장 특성

MmNi<sub>5</sub>의 수소저장특성을 개선할 목적으로 합금중 Ni의 일부를 다른 원소로 치환한다. MmNi<sub>4.5</sub>Mn<sub>0.5</sub>합금은 Ni대신에 원자반경이 큰 Mn으로 치환하면 합금수소화물의 해리압을 낮추는

효과를 갖는 것으로 알려져있다. 이는 MmNi<sub>5</sub>에 대해 강한 안정효과를 갖는 Mn을 첨가함에 따라 합금의 격자정수가 증대하여 합금의 격자간에 위치하는 수소원자의 열역학적 안정성이 증가하여 MmNi<sub>5</sub>보다 낮은 압력상태까지 수소가 결정 내에 잔류하기 때문에 해리압을 낮추는 효과로 알려져 있다<sup>14)</sup>. MmNi<sub>4.5</sub>Mn<sub>0.5</sub>합금은 LaNi<sub>5</sub> 및 MmNi<sub>5</sub>와 동일하게 육방정구조를 갖고 있으며, MmNi<sub>5</sub>에



(a) during heating to 60℃



(b) during cooling to 18℃

Fig. 5. The distribution of temperatures in various parts of vessel filled with hydrogen storage alloy.

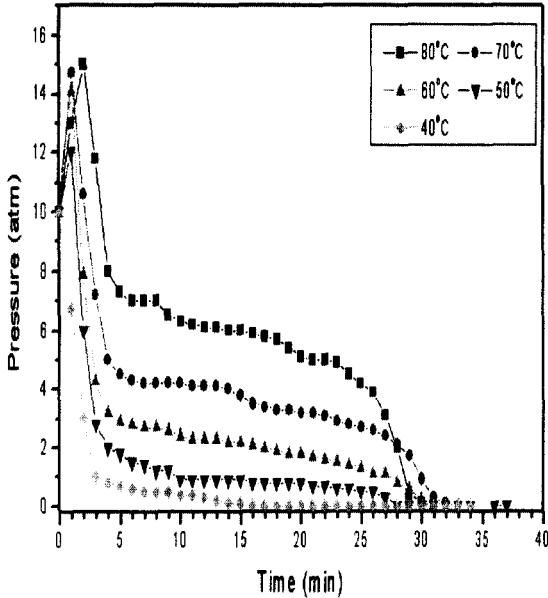


Fig. 6. The change of desorption hydrogen pressure with time at various temperatures for  $MmNi_{4.5}Mn_{0.5}$  under 5 l/min.

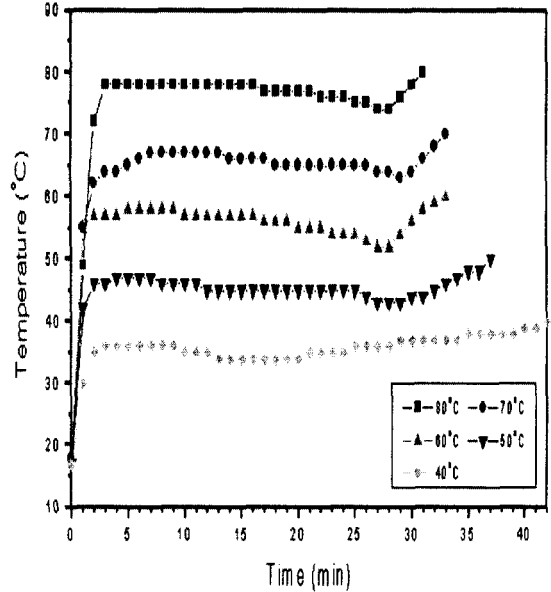


Fig. 7. The change of temperature with time during desorption process at different temperatures under constant flow of 5 l/min for  $MmNi_{4.5}Mn_{0.5}$ .

비해서 활성화가 용이하다.

본 실험에서는  $MmNi_{4.5}Mn_{0.5}$ 를 활성화처리하기 위해  $MmNi_{4.5}Mn_{0.5}$ 합금 1000g을 수소저장용기에 충전하고, 3차례에 걸쳐 약 24hr동안 활성화처리를 실시하였다. 즉, 1차 활성화처리는 70°C에서 1hr동안 진공을 한 후 수소를 20atm, 온도는 70°C로 2hr동안 활성화한 다음, 다시 70°C에서 1hr동안 진공을 하고, 동일한 압력과 온도에서 12hr 동안 활성화처리를 하였다. 그 후 수소 방출량을 측정한 결과 이론적인 저장량보다 적은 65ℓ에 불과하여, 다시 70°C에서 1시간 진공을 한 후 동일한 압력과 온도에서 약 10hr 동안 활성화처리를 한 결과 완료되었다. 활성화처리가 완료된 다음 70°C에서 1hr동안 진공을 한 후 수소저장용기에 냉각수를 순환시켜  $18 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 로 한 상태에서 수소를 10atm으로 10분간 저장시켰다. 그 후 수소저장용기에 각각 설정된 방출온도로 온수를 순환시켜 탈착반응에 의해 수소를 5ℓ/min으로 방출시켰다.

Fig. 6는  $MmNi_{4.5}Mn_{0.5}$ 합금이 충전된 수소저장

용기에 냉각수를 순환시켜  $18 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 로 유지하며 수소를 10atm으로 10분간 저장시켰다. 방출 시에는 40°C, 50°C, 60°C, 70°C 및 80°C에서 수소를 5ℓ/min 유속으로 방출시켰을 때 시간에 따른 방출압력변화를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 방출 온도가 높을수록 방출압력은 높게 나타났다.

Fig. 6를 보면 수소방출시 모든 반응온도는 각각 설정된 방출온도보다 약 5°C정도씩 낮은 경향을 보이고 있다. 방출온도 40°C를 제외한 50°C, 60°C, 70°C 및 80°C는 약 28분 정도에서 각각 최저 반응온도를 나타내고, 그 이후에 반응온도는 설정된 방출온도로 모두 상승하였다. 이는 방출반응이 흡열반응을 수반하므로 반응온도가 설정된 방출온도에 도달하지 못하고 반응이 완료되기 직전에 최저온도에 도달 한 후 방출반응이 완료되면 반응온도는 상승하는 것으로 볼 수 있다. 또한 방출반응이 완료되는 시점에 흡열이 없기 때문에 설정된 방출온도에 도달하는 것으로 사료된다.

또한, 40°C를 제외한 50°C, 60°C, 70°C 및 80°C

를 보면 각각 설정된 방출온도로 상승함에 따라 반응초기에는 방출압력이 급속하게 상승하나, 시간이 경과할수록 감소하면서 각각의 평형압력을 갖게 되는 것을 볼 수 있다. 모든 방출반응은 약 28분 정도에서 반응이 완료되는 것을 볼 수 있었다. 각 방출온도에 따른 평형압력은 80℃에서 7atm, 70℃에서 5atm, 60℃에서 3atm, 50℃에서 1atm, 40℃에서 0.5atm을 각각 나타내고 있다. 수소저장용기에서 급속수소화물이 수소탈착 반응에 따른 방출압력은 2~3atm이 적합하므로 본 실험의 조건에서는 만족하는 방출압력을 나타내는 온도는 60℃이었다.

Fig. 7는  $MmNi_{4.5}Mn_{0.5}$  합금을 충전한 수소저장용기에 냉수를 순환시켜  $18 \pm 0.5^\circ C$ 로 유지하며 수소를 10atm으로 10분간 저장시키고, 40℃, 50℃, 60℃, 70℃ 및 80℃에서 수소를 5ℓ/min 유속으로 방출시켰을 때 시간에 따른 반응온도 변화를 나타낸 것이다. 반응시간은 방출온도 40℃에서 가장 긴 약 43분 정도를 나타냈다. 방출이 완료되기 직전 최저 반응온도는 80℃인 경우에 74℃, 70℃는 63℃, 60℃의 경우는 52℃, 50℃의 경우는 43℃, 40℃는 34℃로 방출온도에 약 7~8℃ 정도 씩 낮은 것을 알 수 있었다.

Fig. 8은  $MmNi_{4.5}Mn_{0.5}$  합금을 충전한 수소저장

Table 2. Amount of hydrogen discharge volume of samples

| 수소 저장합금              | 방출 온도 (°C) | 이론 방출량 (ℓ/kg) | 측정 방출량 (ℓ) | 효율 (%) | 평균 방출량 (ℓ) | 평균 효율 (%) |
|----------------------|------------|---------------|------------|--------|------------|-----------|
| $MmNi_{4.5}Mn_{0.5}$ | 80         | 148           | 145.6      | 98.38  | 140.74     | 95.09     |
|                      | 70         |               | 145.3      | 98.18  |            |           |
|                      | 60         |               | 143.0      | 96.62  |            |           |
|                      | 50         |               | 139.8      | 94.46  |            |           |
|                      | 40         |               | 130.0      | 87.84  |            |           |

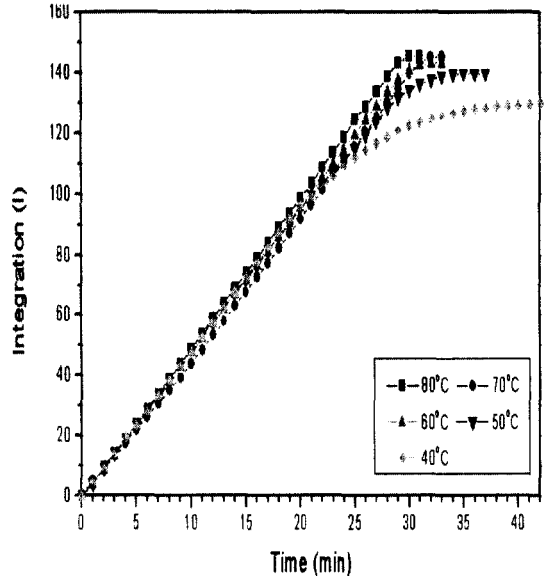


Fig. 8. The change of hydrogen discharge volume with time at various temperatures for  $MmNi_{4.5}Mn_{0.5}$ .

용기에 냉각수를 순환시켜  $18 \pm 0.5^\circ C$ 로 유지하며 수소를 10atm으로 10분간 저장시키고, 방출 시에는 40℃, 50℃, 60℃, 70℃ 및 80℃에서 수소를 5ℓ/min 유속으로 방출시켰을 때 시간에 따른 적산량 변화를 나타낸 것이다

$MmNi_{4.5}Mn_{0.5}$  합금의 이론 수소저장량은 1.3wt.%로 148ℓ/kg에 해당하며,  $MmNi_{4.5}Mn_{0.5}$  합금의 시료 양은 1kg 충전시켜 실험하였다.

Fig. 3~6에서 보는바와 같이 방출온도가 높을수록 방출하는 수소의 적산량은 증가하게 되는 것을 알 수 있고, 또한 방출온도가 높을수록 반응시간은 점차 짧았다. 80℃에서 수소의 방출량이 가장 많은 145.6ℓ로 이론적인 저장량의 97.97%를 나타내었으며, 40℃에서 130ℓ로 87.84%로 가장 낮은 값을 나타내었다. 평균적인 방출 적산량은 140.7ℓ로 이론적인 저장량의 95.09%에 해당하는 것을 나타내고 있다.

Table. 2에 본 실험에 사용한 수소저장합금의



각 방출온도에 따른 수소 방출량을 나타냈다.

MmNi<sub>4.5</sub>Mn<sub>0.5</sub> 합금인 경우 각각의 방출온도에 따른 평균 방출량은 140.7 l 로 이론적인 저장량의 95.09%에 해당하였으며, 최대 방출량은 방출온도가 80℃에서 98.78%, 최소 방출량은 40℃에서 87.84%의 효율을 보였다. 수소저장용기에 적용할 때 수소 저장온도 18±0.5℃로 하고 방출온도 80℃로 하는 경우가 최대 효율을 얻을 수 있는 것으로 나타났다.

#### 4. 결 론

본 실험은 수소를 수소저장합금에 저장하기 위해 가장 중요한, 수소 이동과 열전달이 우수하고, 구조가 간단하며, 제작비용이 저렴한 저장용기를 설계하고, 제작하여 회토류계 수소저장합금 MmNi<sub>4.5</sub>Mn<sub>0.5</sub>에 적용시켜 그 수소저장 특성을 평가하였다.

- 1) 시료를 충전하지 않은 빈 수소저장용기에 수소를 5, 10, 15, 20 atm의 압력으로 저장할 때 저장량은 각각 1.47, 2.84, 4.05, 5.78 l 이었으며, 실험에 사용한 수소저장용기에 수소를 수소화물로 저장할 때와 동일한 압력 10atm에 해당되는 수소저장량은 2.84 l 이었다.
- 2) 수소가 저장용기에서 제조한 회토류계 수소저장합금과 반응시간은 저장온도 18±0.5℃, 저장압력 10atm에서 10분 이내로 수소의 이동 효율은 매우 우수한 것으로 평가된다.
- 3) 동 파이프로 설계 제작한 수소저장용기에 시료를 충전한 다음 열 전달 특성을 평가하기 위해 온도를 18℃에서 40, 50, 60 및 70℃로 상승시켰을 때 수소저장용기의 냉·온수 입구 및 출구, 수소저장용기의 내부 및 외부에 열전달을 각각 설치하여 온도변화를 살펴본 결과 설정한 온도에 네 개 위치 온도가 일치하는데 약 4~5분 정도가 소요되어 열 전달은 매우 우수한 것으로 평가된다.
- 4) MmNi<sub>4.5</sub>Mn<sub>0.5</sub> 합금에서는 60℃일 때 방출 평형

압력이 3atm이었다.

- 5) 시료를 수소저장용기에서 수소화 반응 후 방출온도를 40, 50, 60, 70 및 80℃에서 수소를 방출시켰을 때 평균 방출량은 MmNi<sub>4.5</sub>Mn<sub>0.5</sub> 합금이 140.7 l /kg이었다.

#### 참 고 문 헌

- 1) T.N.Veziroglu : Int.J.Hydrogen Energy, Vol. 12, 1987, p. 99.
- 2) T.Ohta and I.Abe : Int.J.Hydrogen Energy, Vol. 10, 1985, p. 275.
- 3) T.N.Veziroglu and J.Taylor : Proc. 5th World Hydrogen Energy Conf., Toronto, Canada, 1984, 3.
- 4) C.H.Winter : Int.J.Hydrogen Energy, Vol. 12, 1987, p. 521.
- 5) J.J.Reilly and R.H.Wiswall : Jr., Inorg. Chem., Vol. 13, 1974, p. 218.
- 6) S.Suda : Int.J.Hydrogen Energy, Vol. 12, 1987, p. 323.
- 7) O.Bernauer : Int.J.Hydrogen Energy, Vol. 13, 1989, p. 181.
- 8) 권호영, 이갑호, 강길구 : 수소저장합금의 응용기술, 원창출판사, 1998.
- 9) Frank E. Lynh : J.Less-Common Met., Vol. 174, 1991, p. 943.
- 10) K. Nomura, E.Akiba and S.Ono : J.Less-Common Met., Vol. 89, 1983, p. 551.
- 11) J.F.Lynch, A.J.Maeland and G.G.Libowitz : Proc. 5th World Hydrogen Energy, Toronto, Canada, 1984, 1327.
- 12) J.J.G.Willenms : Philips Tech. Rev., 1986, 42.
- 13) K.S.Dhathathreyan et al, Int.J. Hydrogen Energy, Vol. 18, 1993, p. 391.
- 14) 권호영, 이갑호, 강길구 : 수소저장합금의 물성개론, 원창출판사, 1998.