

SMH 액추에이터 시스템 설계 및 개발

권대규*(전북대 생체정보공학부), 최광훈(전북대 대학원), 방두열,
이성철*,(전북대 기계공학과), 김남균(전북대 생체정보공학부)

Design and Development of SMH Actuator System

T. K. Kwon(Bionics and Bioinformatics Eng. CBNU), K. H. Choi.(CBNU), D. Y. Pang.(CBNU),
S. C. Lee.(Mech. Eng. Dept.,CBNU), and N. G. Kim(CBNU)

ABSTRACT

This paper presents the temperature-pressure characteristics of SMH actuator using a peltier module. The simple SMH actuator, consisting of the plated hydrogen-absorbing alloy as a power source, Peltier elements as a heat source and a cylinder with metal bellows a functioning part has been developed. The SMH actuator is characterized by its small size, low weight, noiseless operation and a compliance similar to that of the human body. A new special metal hydride(SMH) actuator that uses the reversible reaction between the heat energy and mechanical energy of a hydrogen absorbing ally. It is well known that hydrogen-absorbing alloys can reversibly absorb and desorb a large amount of hydrogen, more than about 1000 times as their own volume. To improve the thermal conductivity of the hydrogen-absorbing alloy, an electro-less copper plating has been carried out. The effects of the electro-less copper plating and the dynamic characteristics of the SMH actuator have been studied. The hydrogen equilibrium pressure increases and hydrogen is desorbed by heating the hydrogen-absorbing alloys, whereas by cooling the alloys, the hydrogen equilibrium pressure decreases and hydrogen is absorbed. Therefore, the SMH actuator has the characteristic of being light and easy to use and so is suitable for use in medical and rehabilitation applications.

Key Words : Special metal hydride actuator(SMH 액추에이터), Hydrogen-absorbing alloys(수소흡장합금), Rehabilitation equipment(재활기기), Peltier element(펠티어 소자)

1. 서론

수소저장(MH: metal hydride)합금은 1970년경에 폴란드 Philips사와 미국 Bloorhaven 국립연구소에 의하여 그 특성이 발견되었다. 현재는 다양한 종류의 수소저장합금이 연구되고 있으며, 점차 새롭게 개발 및 개선되고 있는 실정이다. 수소저장합금(MH 합금 : Metal Hydride Alloy)의 이용 분야로는 수소저장, 운반 뿐만 아니라 수소 동소체 분리, 열펌프, 압축기 및 Ni-MH 2차전지 등에 사용되고 있다. MH 합금을 이용한 수소저장법은 수소의 정제효과가 있으므로 고순도의 수소를 이용하는 전자, 반도체 산업 분야에 응용 가능성이 높아 널리 연구가 진행되고 있다. 최근에는 MH 합금을 이용한 응용분야로 액추에이터를 제작하고 이를 기계적 에너지로 변환하는 구동원으로 사용하는 것에 대한 기초연구가 진행되고 있다¹⁻³⁾.

현재 국내에서는 MH 합금에 관련한 연구는 주로 Ni-MH 전지 개발과 수소저장 용기 개발이 주된 연구로 진행되고 있으며, 이들의 상용화 단계까지 연구되고 있으나, MH 합금을 이용한 액추에이터 개발 및 응용에 관한 연구는 전무한 실정이다.

본 연구는 수소저장합금을 이용한 새로운 개념의 액추에이터 시스템을 개발하여 그 특성을 고찰하였다. 개발한 SMH(Special Metal Hydride) 액추에이터는 분말 자체를 구리 동관에 삽입하여 구성한 새로운 타입의 액추에이터로 온도변화에 따른 수소와 압력 특성을 분석하였다.

2. 수소저장합금의 제작

2.1 수소저장합금의 제조

금속간 화합물계 수소는 수소저장 용량 및 수소의

흡수/방출속도가 매우 크고 분해반응 평탄압력이 적합할 뿐 아니라 화학적인 안정성이 좋아 이에 대한 연구가 활발하게 진행되었으며, 그 결과 유망한 MH 합금 가운데 대표적으로 LaNi₅와 Mg₂Ni 합금들이 제시되었다⁽⁴⁻⁶⁾.

MH 합금은 진공아크로(VAF: Vacuum Arc Furnace)를 이용하여 아크 용해하였다. 사용한 MH 합금 순도는 각각 Zr 99.7%, Ti 99.99%, Cr 99.7%, Fe 99.7%의 고순도이며, MH 합금은 Zr_{0.95}, Ti_{0.05}, Fe_{1.4}, Cr_{0.6}의 구성비를 보여주고 있다. MH 합금을 용해시키기 위해 각 원소의 양을 정확하게 측정하여 총 질량이 14.85g인 MH 합금을 진공아크로의 몰드(Mold)에 시편을 넣은 후 30분 동안 진공상태로 유지시키고 아크 용해하여 시편을 제조하였다. 본 연구에서는 1800℃에서 합금을 아크 용해하였고, 시편의 균질화를 증가시키기 위하여 5번 시편을 뒤집으면서 재 용해를 하였다.

Fig. 1는 SMH 액추에이터의 제조 과정을 도시한 것으로 그 과정은 아래와 같다. a) Zr 6.49g, Ti 0.17g, Fe 2.33g, Cr 5.86g로 구성되도록 합금을 전자저울로 무게를 계측한다. b) 진공 아크로에서 합금을 용해하여 제조한다. c) 용해된 합금은 분쇄기를 통하여 잘게 부수고 500μm의 메쉬를 통해 합금을 걸러낸다. d) 걸러낸 합금들은 동판 타입의 SMH 액추에이터에 주입시킨 후 동판 끝부분에 유리솜을 넣어 SMH 액추에이터 작동 시에 분말로 이루어진 합금들이 튜브 내로 이동하는 것을 방지시켰다

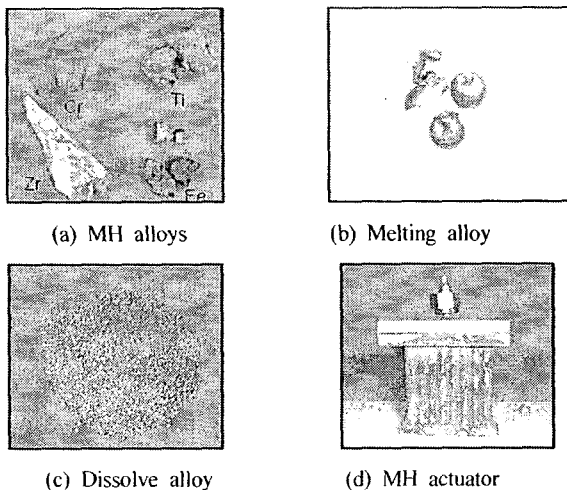


Fig. 1 Processing of SMH actuator product

2.2 활성화(Activation) 과정

Fig. 2는 SMH 액추에이터의 활성화 작업을 위한 시스템을 보여주고 있다. MH합금의 활성화 처리 과

정은 다음과 같다. 활성화처리를 하기 위한 방법은 첫째, 실험에 필요한 시스템을 구성한 후에, 수소 탱크에서 30기압의 수소압을 튜브를 통해 SMH 액추에이터에 주입시키고, 수소가 새지 않도록 각별히 유의하고 장시간 테스트를 통해 시스템에 누설(leak) 여부를 확인한다. 둘째, 시스템 내부를 진공펌프를 통하여 40분 동안 진공상태로 만들어 주고, 진공펌프에 연결되어 있는 밸브를 잠근다. 셋째, 수소 탱크를 통해 시스템에 수소압력을 가해주면서 수소가 합금에 흡착할 수 있도록 일정한 수소 압(40기압)으로 가압시킨다. 넷째, 수소를 가압 시켜주면 SMH 액추에이터는 수소를 흡착하고 방출하는 과정을 진행하게 된다. 흡착과 방출 작용을 4회 반복하고 흡수/방출 속도와 흡수량이 변하지 않을 때까지 계속 수행하였다.

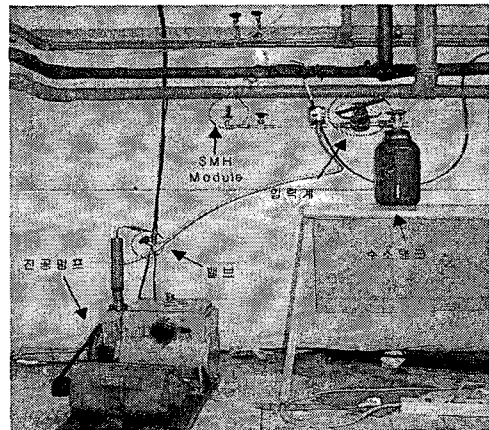


Fig. 2 Photo of the activation system apparatus of SMH actuator

3. SMH 액추에이터의 구동원리

SMH 액추에이터의 일반적인 특성으로는 하중에 대해서 응답이 부드럽고(쿠션성), 구동원을 포함하는 장치를 소형 경량화 할 수 있고(고출력 대 중량비) 소음이 적고 인간과 접촉해서 작업을 수행하는 재활 기기에 적용할 수 있는 특징을 가지고 있다.

Fig. 3은 SMH 액추에이터의 기본적인 원리를 나타내는 그림으로 크게 나누면 작동 부분과 기능적인 부분으로 나누어진다. 작동부분을 구성하고 있는 장치들은 펠티어소자에 전원을 공급하고, 펠티어소자를 구동시키며, 냉각 팬을 구동시키기 위한 전원 공급장치가 필요하며, 펠티어소자와 SMH 모듈에서 나오는 압력-온도 센서 및 펠티어소자를 제어할 수 있는 제어 박스로 구성되어 있다. 기능 부분을 구성하는 장치들은 SMH 액추에이터를 통하여 나오는 수소압력을 실린더로 전달한다.

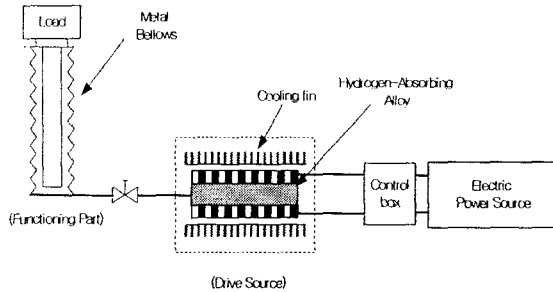


Fig. 3 Activate principle of the SMH actuator

SMH 액추에이터의 작동 원리를 살펴보면, 전원 공급 장치에서 전류를 인가하면 제어 박스를 통하여 펠티어 소자로 전류가 흘러가게 된다. 이때 펠티어 소자에 인가되는 전류는 실험에서 얻어진 데이터를 토대로 하한온도 35°C에서 상한온도 75°C까지로 온도 제한을 두고, 펠티어 전류를 인가하였다. 펠티어 소자에 전류가 가해지면 펠티어 소자의 온도가 상승하게 되고, SMH 액추에이터는 수소 가스를 합금으로부터 탈착한다. 또한, 수소 압력에 의해서 피스톤이 상승하게 되며, 반대로 합금이 냉각되어질 경우에는 합금이 수소가스를 흡착하기 때문에 수소가스는 합금 안으로 다시 들어가게 되며 내부 압력은 감소가 되면서 피스톤은 하강하게 되는 원리이다.

4. 실험장치 및 방법

본 연구는 상온에서 반응속도가 비교적 빠르고 높은 압력을 방출하는 MH 합금으로 질량비 $Zr_{0.95}$, $Ti_{0.05}$, $Fe_{1.4}$, $Cr_{0.6}$ 의 구성 비율을 선정하였다. 이 합금을 이용하여 MH 모듈과 액추에이터를 제작하고 온도와 압력과의 특성을 연구하였다. SMH 액추에이터는 수소저장 합금의 외관을 열전도율이 좋은 동으로 둘러싸여 있는 파이프 8개를 용접하여 부착하였다. 동관 부분의 엠보싱 부분은 열처리하고, 열전도성을 좋게 하기 위하여 은으로 용접하였다. 기존의 액추에이터와 다르게 열전도율이 좋은 구리동관을 MH 합금의 열전도 매체로 사용하였고, 액추에이터의 열 근원으로 펠티어소자를 사용하고 전류를 제어함으로 온도를 변화시키도록 하였다.

Fig. 4는 본 연구에서 개발한 SMH 액추에이터로 $\phi 4.75$ mm인 동관이 총 8개로 이루어 졌으며, 가로 42 mm, 세로 73 mm 이다. 동관과 벨브로 연결되는 부분은 M3, $\phi 3.8$ 볼트 12개를 사용하여 완전히 체결하여 수소 압이 새어나오는 것을 방지하였다.

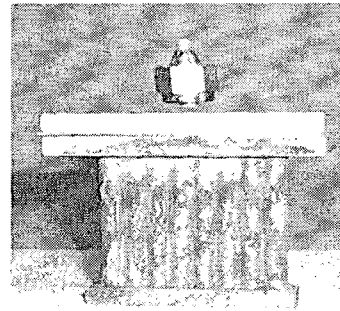


Fig. 4 Appearance of SMH Cu tube

Table 1 Element of SMH actuator composition

Type	Size (mm)	Metal hydride		
		Amount (g)	Mesh (μm)	Component
Cu pipe	64? 1? 1	14.85	500	$Zr_{0.95}$, $Ti_{0.05}$, $Fe_{1.4}$, $Cr_{0.6}$

Table 1은 SMH 액추에이터의 크기 및 합금의 종류를 나타내고 있다. SMH 액추에이터의 MH합금 총량은 14.85g이며 500 μm 메쉬의 합금을 분류하여 사용하였다.

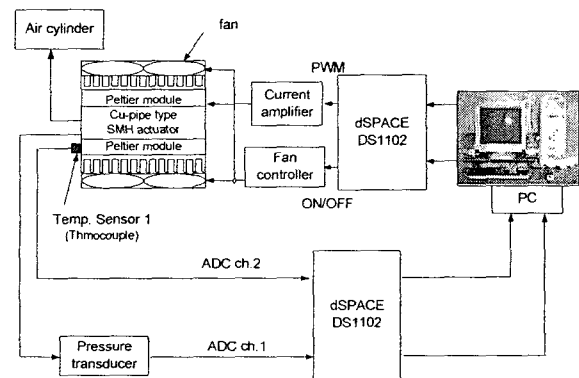


Fig. 5 Block diagram of experiment apparatus

Fig. 5는 SMH 액추에이터 성능평가를 위한 실험장치의 블록선도이다. 액추에이터의 성능평가를 위해서 40? 0? .12 mm 크기의 펠티어 소자를 동관의 앞뒤면에 각각 부착하고, 다른 쪽 면에 히트 싱크 (40? 0? 1)를 부착하고, 그 위에 냉각 팬을 부착하여 실험하였으며, 냉각 팬은 ON/OFF 제어를 할 수 있게 하였다.

5. 결과 및 고찰

Fig. 6은 SMH 액추에이터의 입력전류와 온도에 대한 상관관계를 표시하고 있다. 펠티어소자에 계단입력으로 전류를 0.2A에서 2A까지 0.2A씩 전류를 증가시키면서 입력 전류에 대한 SMH 액추에이터의 온도 변화 선도이며, 그래프에서 x축은 액추에이터의 구동 시간(sec)을 표시하고, y축은 액추에이터의 온도(°C)를 나타내고 있다. 입력 전류 0.2A에서 0.6A 사이에서는 온도가 30°C에서 수렴함을 보였는데, 이유로는 펠티어 소자의 양단간(가열면 과 냉각면)의 온도차로 인하여 냉각되는 펠티어 소자 면이 가열되고 다른 한쪽 면의 펠티어 소자의 열을 흡수하는 현상으로 인하여 그 온도가 30°C에서 수렴함을 실험으로 알 수 있었다. 0.8A에서 2A까지의 입력전류를 인가했을 때는 일정한 온도범위에서 그 온도 값을 수렴하지 않고 꾸준히 상승함을 알 수 있었다. 그 원인으로는 일정한 전류를 펠티어 소자에 인가하면, 어느 온도 값에서 수렴치 않고 계속적으로 상승함을 알 수 있었다.

Fig. 7는 실린더의 30 kg의 무게를 가중시키고, 펠티어 소자의 상한 온도를 70°C에서 35°C로 설정하고, 냉각 시 펠티어 소자에 인가되는 펄스 입력전류의 진폭을 2A로 구동했을 시의 SMH 액추에이터의 압력-온도의 변분을 나타내고 있다. 그래프의 x축은 구동된 시간이며, y축의 각각의 온도 - 압력의 변화량을 표시하고 있다. 펠티어 소자는 ? 전류를 인가하면 가열이 되고, ? 전류를 인가하면 냉각이 되는 특성을 가지고 있어 동관 타입의 액추에이터를 가열 - 냉각시킴으로 액추에이터에서 수소 압력이 발생함을 알 수 있었다. 냉각 팬은 SMH 액추에이터의 펠티어 온도를 낮출 경우 냉각 효율을 향상시키기 위해서 ON/OFF 제어를 하였다. 본 연구에서 개발한 SMH 액추에이터 실제적으로 작동하고 있음을 알 수 있었으며 온도-압력의 히스테리시스가 약간 발생되고 있음을 알 수 있었다.

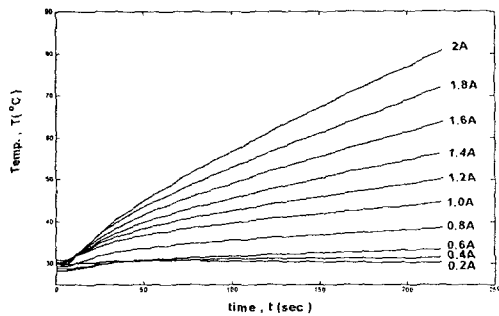


Fig. 6 Relationship between current input and temperature transformation

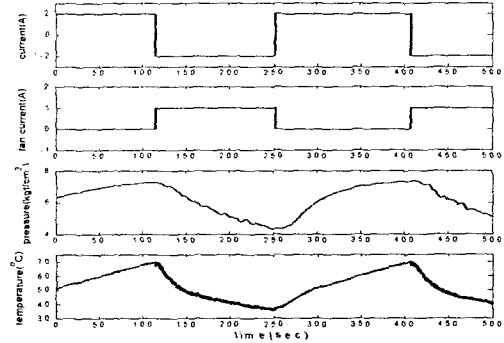


Fig. 7 Temperature-pressure variation of SMH module between 70°C and 35°C

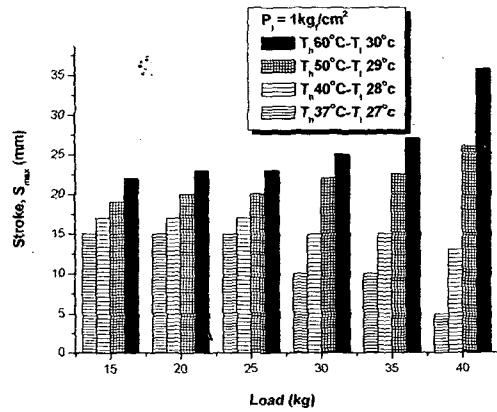


Fig. 8 Relationship between maximum cylinder stroke and load ; initial pressure of air cylinder is 1kgf/cm²

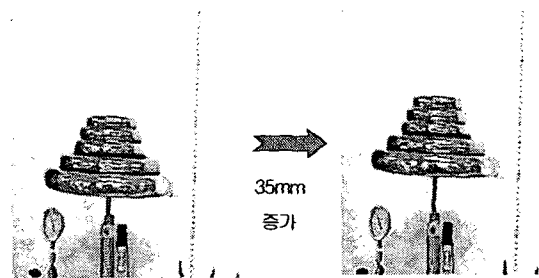


Fig. 9 Driving behavior of the SMH actuator; weight load is 40kg

Fig. 8은 각각의 실린더에 가해진 초기하중을 따른 실린더 행정길이의 변화를 나타내는 그래프로써, 상한온도가 60°C와 50°C에서 실린더 행정길이의 변화는 온도가 상승하고 실린더 하중이 무거운 경우에 더 큰

변위가 발생하는 것을 알 수 있었다. 그러나 상한온도가 40℃와 37℃에서 실린더의 하중은 작을수록 그 변위가 상승함을 알 수 있었다. 그 원인으로서는 초기 압력이 1kgf/cm²에서 실린더 하중이 큰 경우(30 kg, 40 kg)에 MH 합금이 수소압력을 흡착 할 때 부가된 하중으로 인하여 실린더의 변위가 커짐을 알 수 있었고, 반면 20 kg과 15 kg일 때 MH합금은 수소압력을 흡착할 때 실린더의 부가된 하중의 영향을 받지 않음을 알 수 있었다. 따라서 초기압력 1kgf/cm² 일 때 SMH 액추에이터를 사용할 수 있는 하중은 30 kg이상 일 때 상한온도를 50℃이상으로 가열며 물체의 하중이 30 kg이하 일 때는 상한온도를 40℃이하로 액추에이터를 가열시켜 사용하는 것이 적합함을 알 수 있었다. Fig. 9은 SMH 액추에이터 실린더 하중이 40 kg일 때 실제 움직인 행정길이 변화를 나타내고 있다.

6. 결론

본 연구에서는 새로운 SMH 액추에이터 시스템을 제작하고 액추에이터의 압력-온도의 특성을 고찰하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 입력전류를 펄터어 소자에 인가하였을 경우 신개념 SMH 액추에이터에서 수소가스가 발생하였고, SMH 액추에이터의 온도에 따른 수소 압력이 유효하게 변화하는 것을 알 수 있었다.
2. 펄터어 소자를 이용하여 SMH 액추에이터 모듈의 상, 하한의 온도범위를 유지하도록 제어가 가능함을 확인할 수 있었고, 반복되는 주기는 입력전류에 의존하고 있음을 알 수 있었다.
3. SMH 액추에이터의 입력전류 값에 따라 온도의 변화를 알게 되었고, 설정 온도에 따라 입력 전류 값과 액추에이터의 주기를 고찰하였다. 이에 SMH 액추에이터는 소형인데 반해 고효율을 발생하는 액추에이터이며, 소음이 거의 없으며, 휴대가 가능하다는 이점을 알 수 있었다.

후기

이 논문은 2005년도 산업자원부 실버의료기기 특정기초연구사업에 의하여 연구되었음.

참고문헌

1. S. Shimizu, et al, "Evaluation of a New Force Display using Metal Hydride Alloys," J. of Robotics and Mechatronics Vol. 9, No. 1, Oct., 28, 1997.
2. Y. Wakisaka, et al, "Application of Hydrogen Absorbing Alloys to Medical and Rehabilitation

Equipment," IEEE Trans. on Rehabilitation Engineering, Vol. 5, No. 2, June 1997.

3. K. Kurosaki, et al, "Design and Development of MH actuator system," Elsevier Science, Sensors and Actuator, A 113, pp. 118-123, 2004.
4. H. Fujii, and S. Orimo, "Hydrogen storage properties in nano-structured magnesium and carbon-related materials," Elsevier Physica, B 328, pp. 77-80, 2003.
5. P. Termsuksawad, et al, "Measurement of hydrogen in alloys by magnetic and electronic techniques." J. of Alloys and Compounds. 373, pp. 86 -95, 2004.
6. Hironobu Fujii and Shinichi Orimo, "Hydrogen storage properties in nano-structured magnesium and carbon-related materials," Elsevier Physica B, Vol 328, pp. 77-80, 2003.