

재활시스템 구동용 수소저장합금 모듈의 열전달 특성 비교 분석

Analysis of Heat Transfer Characteristics of Metal-Hydride Module for the Actuation of a Rehabilitative System

김 경*, 김성현
K. Kim, S. H. Kim

요 약

고령자 및 장애인의 삶의 질을 높이기 위하여 일상생활 동작을 보조하는 경량의 재활보조 시스템이 필요하다. 본 논문에서는 수소저장합금 모듈 3가지를 설계하였고, 열전달 해석을 통하여 수소저장합금 액츄에이터의 성능을 높일 수 있는 수소저장합금 모듈을 선정하였다. 수소저장합금 액츄에이터는 열전소자의 열전달을 통하여 수소저장합금 모듈 안에 담겨 있는 수소의 흡수/방출을 통하여 공압 액츄에이터의 기계적인 동작을 구동시킨다. 수소저장합금 모듈의 열전달의 효과를 검증하기 위하여, 열전소자와 수소저장합금 모듈의 접촉 방식을 선접촉과 면접촉 방식의 3가지 타입으로 3D 모델을 설계하였고, 열전달 해석을 통하여 열전달에 대한 특성을 비교하였다. 그 결과, 열전소자와의 열전달 방식이 선접촉 방식과 비교하여 면접촉 방식의 수소저장합금 모듈이 열전달 특성이 4.4배 좋아지는 것을 확인하였다. 면접촉 방식의 수소저장합금 모듈은 재활보조 시스템의 적용성을 높일 수 있는 수소저장합금 액츄에이터 개발에 적용될 수 있을 거라 판단된다.

ABSTRACT

We suggested the novel actuator mechanism to apply to wearable assistive system for the improvement of quality of life of the elderly or the people with disability using it. Characteristics of metal-hydride (MH) actuator is investigated in the novel actuating concept. The hydrogen equilibrium pressure increases when hydrogen is desorbed by heating a SMH alloys, whereas by cooling that alloys, the hydrogen equilibrium pressure decreases and hydrogen is absorbed. However, there are too long times in heat transfer mechanism to apply the assistive and rehabilitative device. In this study, 3 different SMH module were designed and characteristics of heat transfer in each SMH module were investigated based on the heat simulation.

Keyword : Metal-hydride actuator, MH module, heat transfer simulation, assistive rehabilitation system, actuation system

1. 서론

접 수 일 : 2017.04.30

심사완료일 : 2017.05.25

게재확정일 : 2017.05.27

* 김 경 : 충북도립대학 의료전자기기과 연구교수
kkim@cpu.ac.kr (주저자, 교신저자)

김성현 : 충북도립대학 의료전자기기과 조교수
kimsh@cpu.ac.kr (공동교신저자)

※ 이 성과는 2014년도 정부(미래창조과학부) 및 한국연구재단에서 지원한 연구비(No.2014R1A1A1006266)와 2016년도 산업통상자원부 및 한국산업기술평가관리원(KEIT) 연구비(의료기기 핵심기술개발사업/10068076) 지원에 의한 연구임.

고령자와 장애인의 인구가 증가함에 따라, 이들을 위한 다양한 형태의 재활 시스템에 개발되고 있다. 이러한 재활 시스템은 치료의 목적을 갖는 재활훈련 시스템과 일상생활 동작을 보조하는 보조 시스템으로 구분된다. 재활훈련 시스템은 대학병원, 재활전문 병원 등의 실내에서 주로 사용되고, 환자의 능력을 향상시키기 위한 목적이 가장 크다. 환자의 치료의 목적이 가장 크기 때문에 대부분의 재활시스템은 크기가 크고 설치 공간을 많이 차지하고 있다. 일상생활 보조시스템은 가정 또는 야외에서 고령자 및 만성 장애인의 보행 동작 등의 일상생활 동작(Activities of daily life, ADL)을 보조하는 역할

을 하며, 사용자의 상하지의 골격 옆에 부착되는 외골격부(Exoskeleton part), 외골격부를 사용자의 몸에 고정시키는 고정부(Curf part), 및 동작 구동을 위한 구동부(Actuation part)로 구성된다.

일상생활 보조시스템의 착용감을 높이기 위하여, 시스템의 크기가 작고 가벼워야 하는 휴대성이 강조되고 있다. 특히, 일상생활 보조시스템의 구동부 설계는 시스템의 휴대성을 위하여 중요한 역할을 한다. 기존 일상생활 보조시스템은 공압 및 유압 장치를 이용하여 각 관절의 움직임 구동시키는 구동원으로 사용되었다. 하지만, 공압 및 유압 장치는 별도의 공압 발생 장치가 있거나 무게가 무겁게 때문에 시스템에 사용되기 어려운 단점을 가지고 있다. 최근에는 소형의 고효율을 발생하는 모터 기술의 발전으로 인하여, 모터를 이용한 재활 시스템이 가장 활발하게 개발되고 있다. 하지만, 상하지의 일상생활동작에 필요한 충분한 관절 토크를 발생시키기 위한 전기모터는 아직까지도 사용자에게 부담스러운 무게로 개발되고 있다. 고령자의 팔꿈관절의 굽힘-펼 동작을 도와주는 myPro의 경우, 구동부인 전기 모터의 무게 비율이 전체 시스템 무게의 40%를 차지하고 있다. 또한, 형상기억합금(Shape memory alloy) 액츄에이터 또는 직렬 탄성 액츄에이터 (Series elastic actuator, SEAs) 등의 새로운 타입의 구동부는 상하지 동작을 보조할 수 있는 충분한 토크 발생이 어려운 실정이다.

이런 수소저장합금을 이용한 의료 및 재활기구에 많은 연구가 진행되었다. Shimizu는 팔꿈관절의 동작에 대한 힘을 표시하기 위하여 수소저장합금 액츄에이터를 이용하였다[1-2]. Wakisaka는 수소저장합금 액츄에이터의 구동원리를 이용하여 다양한 의료 및 재활장비 분야에 적용하였다[3-4]. Ino는 뇌졸중 및 고령자 등의 운동 장애를 가진 사용자의 재활 기구 및 보조 기술을 위하여 벨로우 타입의 소프트 수소저장합금 액츄에이터에 관하여 연구하였다[5-7]. Kurosaki는 구리관을 이용한 수소저장합금 모듈로 구성된 간단한 수소저장합금 액츄에이터를 개발하였다[8]. Sato는 수소저장합금 액츄에이터의 원리를 이용하여 휠체어에서 일어서기 동작을 보조할 수 있는 이동 보조 시스템을 개발하였다[9]. Ino는 욕창방지를 위하여 휘어지는 수소저장합금 액츄에이터를 이용하여 발끝 수동 운동 기구를 제작하였다[10-11]. Lloyd는 수소저장합금 기술과 공압 액츄에이터를 이용하여 새로운 수소저장합금 액츄에이터를 실험하였다[12]. Kwon은 8개의 동관을 용접하여 연결한 수소저장합금 모듈을 이용하여 새로운 수소저장합금 액츄에이터에 대하여 연구하였다

[13-14]. Kim은 열전달 효율을 높이기 위하여 구리를 이용한 새로운 수소저장합금 모듈을 설계하였다 [15-16].

일상생활 보조 시스템의 구동부 경량화를 위하여 수소저장합금(Metal-hydride, MH)을 이용한 액츄에이터에 관한 연구가 개발되고 있다. 수소저장합금에 저장된 수소 가스는 수소저장합금에 가한 열의 변화(가열-냉각)에 따라 ‘수소 방출-흡수’의 기계적인 이동 특성을 보인다. 열에너지와 기계적 에너지의 가역적인 변화를 이용한 MH 액츄에이터는 합금 부피의 1,000배를 저장할 수 있기 때문에 소형이면서 고효율을 낼 수 있는 장점을 가지고 있다. 하지만, 기존 MH 액츄에이터는 일상생활동작의 상하지 관절 움직임을 보조에 적용하기엔 수소 방출-흡수 1주기 시간이 긴 단점이 있었다. MH 액츄에이터의 성능은 열원과 MH 모듈의 열전달 효율이 수소의 흡수-방출 움직임 속도를 증가시키는 주요한 원인이 된다. 이에 MH 액츄에이터의 성능을 높이기 위한 열원과 MH 모듈의 열전달 설계에 관한 기초 연구가 필요하다.

본 논문은 재활시스템 구동용 MH 모듈 설계에 관한 기초 연구로써, 열원과 MH 모듈의 접촉 방식이 다른 3가지의 MH 모듈을 설계하였고, 열전달 시뮬레이션을 통하여 3가지 MH 모듈의 열전달 특성을 비교분석하였다.

2. 수소저장합금 모듈 설계

2.1 수소저장합금 모듈 개념

MH 모듈 안에 담겨있는 수소저장합금은 모듈 양쪽에 접촉된 2개의 열전소자(Peltier element)로부터 열을 제공받는다. 열전소자로부터 받은 열(Heat)에 의하여 ‘가열-냉각’되어 수소저장합금 모듈 안에 저장된 수소가스는 ‘방출-흡수’ 메커니즘을 발생하여 재활시스템을 구동시킨다.

기존의 MH 액츄에이터는 열전달 효율을 높이기 위하여, 동관을 이용한 8개의 원기둥을 용접하여 MH 모듈을 제작하였고, 열전소자와 MH 모듈은 그림 1. (a)와 같이 선접촉 방식으로 이루어졌다[14]. 재활시스템을 보조하기 위한 충분한 성능을 발휘하기 위하여 기존 MH 액츄에이터의 MH 모듈과 비교하여 열전달 효율이 좋은 MH 모듈 설계가 필요하다. 이를 해결하기 위하여, 그림 1의 (b)와 같이, 열전소자와 수소저장합금을 담은 MH 모듈의 접촉 면적이 넓은 면접촉 방식의 새로운 MH 모듈을 설

계하고 기존의 선접촉 방식과 어떠한 열전달 효율 차이가 있는지 분석이 필요하다.

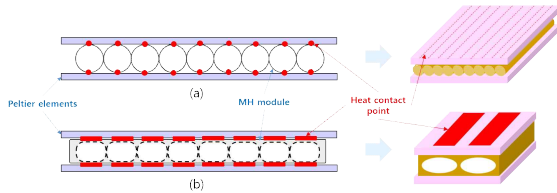


그림 1. MH 모듈의 설계 안; (a) 선접촉 방식, (b) 면접촉 방식
 Fig. 1. Concept of MH module. (a) line contact, (b) face contact

2.1 선접촉 방식의 MH 모듈 설계

기존에 개발된 MH 액추에이터의 MH 모듈은 구리로 만든 8개의 원기둥을 용접하여 붙인 형태이기 때문에, 열전소자와의 접촉이 선접촉으로 이뤄졌다. MH 모듈 각각의 원기둥 안에 담긴 수소저장합금(MH alloy)은 열전소자와의 선접촉에 의한 열전달에 의하여 수소가 방출 또는 흡수되어 MH 액추에이터를 구동시킨다. 열전소자의 ‘가열-냉각’에 의한 선접촉 방식 MH 모듈의 열전달의 효율을 분석하기 위하여 그림 2 (b)와 같이, 선접촉 방식 MH 모듈의 3D 모델링을 설계하였다. MH 모듈의 크기는 가로*세로가 각각 40mm이고, 재질은 구리로 설정하였다.

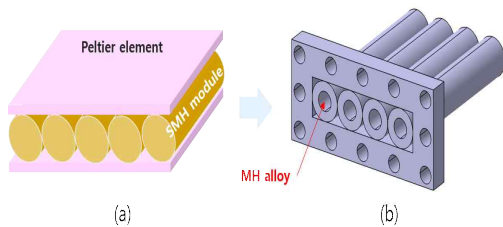


그림 2. 선접촉 방식의 MH 모듈(Type 1), (a) 컨셉 이미지, (b) 3D 모델
 Fig. 2. MH module of line contact (Type 1), (a) concept, (b) 3D model

2.2 면접촉 방식의 MH 모듈 설계

MH 액추에이터의 구동 성능을 높이기 위하여, 열전소자와의 접촉 면적이 넓은 면접촉 방식으로 설계하였다. 그림 3은 기존 선접촉 방식 MH 모듈과 동일한 크기로 설계되었고, 수소저장합금을 담을 수 있는 구멍이 2개인 MH 모듈이다. 그림 4는 동일한 면접촉 방식의 MH 모듈로써, 직육면체의 MH

모듈 안에 수소저장합금을 담은 구멍 개수에 따른 열전달 효율을 비교하기 위하여 1개의 구멍으로 구성하였다. 면접촉 방식 MH 모듈은 가로와 세로의 크기가 각각 40mm인 직육면체 안에 구멍 개수를 다르게 관 형태로 설계하였다. MH 모듈의 재질은 구리로 동일하게 설정하였다.

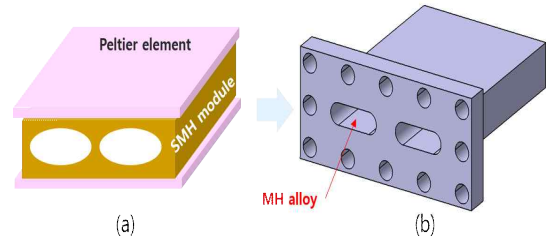


그림 3. 면접촉 방식의 2-holes MH 모듈(Type 2), (a) 컨셉 이미지, (b) 3D 모델
 Fig. 3. 2-Holes MH module of line contact (Type 2), (a) concept, (b) 3D model

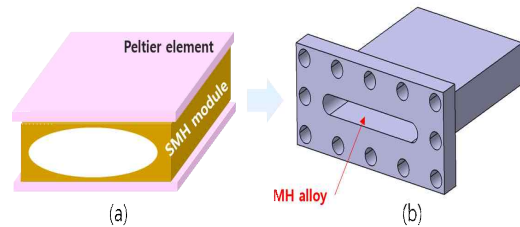


그림 4. 면접촉 방식의 1-hole MH 모듈(Type 3), (a) 컨셉 이미지, (b) 3D 모델
 Fig. 4. 1-Hole MH module of line contact (Type 3), (a) concept, (b) 3D model

3. 실험 방법

3가지 타입의 MH 모듈의 열전달 능력을 분석하기 위하여 열전소자의 ‘가열-냉각’ 조건에 따른 열전달 효율을 비교하였다. 수소저장합금은 재료의 종류 및 혼합 비율에 따라 압력(Pressure), 농도(Concentration), 온도(Temperature)의 특성이 달라진다. 상하지 관절 동작을 보조하기 위한 재활 및 보조 기구에 적용될 공기압의 범위는 3-5기압(atm)의 기준을 가지고 있다. 이에 맞는 수소저장합금 재료의 종류 및 혼합 비율은 ‘Zr_{0.9}Ti_{0.1}Cr_{0.6}Fe_{1.6}’ and Zr_{0.9}Ti_{0.1}Cr_{0.9}Fe_{1.1}’과 같다. 이에 대한 P-C-T 곡선은 그림 5에 나타나고 있다. 이에 따라 열전달 해석을 수행하기 위한 온도 범위 조건은 30°C-60°C에 해당된다. 본 실험에서는 표 1과 같이, 3가지의 ‘가열-냉각’ 온도 조건을 달리 하여 3가지 타입의 MH 모듈

의 열전달 능력을 시뮬레이션 테스트를 진행하였다. 열전달 시뮬레이션은 Abaqus software를 이용하여 분석하였다.

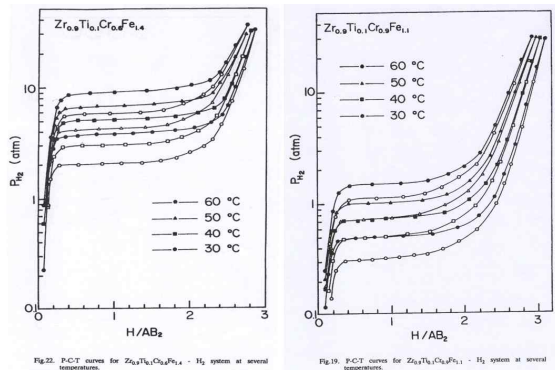


그림 5. 수소저장합금 재료의 PCT 선도
Fig. 5. P-C-T Curves for Zr0.9Ti0.1Cr0.6Fe1.6 and Zr0.9Ti0.1Cr0.9Fe1.1

표 1. 열전달 해석을 위한 온도 조건
Table 1. Condition of temperature for heat transfer simulation

	Condition1	Condition2	Condition3
Heating temperature(°C)	35 → 50	35 → 60	35 → 70
Cooling temperature(°C)	50 → 35	60 → 35	70 → 35

4. 실험 결과

수소저장합금 모듈은 선접촉 방식(Type 1)과 면접촉 방식(Type 2, 3)의 2가지 타입으로 설계되었다. 또한 면접촉 방식은 수소저장합금을 담을 수 있는 구멍의 개수에 따라 Type 2와 3로 나누어 설계되었다. 접촉 방식과 구멍 개수에 따른 열전달 해석 결과를 분석하였다.

4.1 선접촉 방식 MH 모듈의 열전달 해석 결과

선접촉 방식의 Type 1 MH 모듈은 Kwon이 제안한 수소저장합금 액츄에이터에 사용된 MH 모듈이다[13-14]. 기존의 수소저장합금 액츄에이터는 열전소자의 온도 ‘가열-냉각’의 1주기에 따른 액츄에이터 구동 1주기의 시간이 100~150초가 걸렸다. 이는 고평자 및 장애인의 상하지 동작 구현을 위한 액츄에이터 성능의 응답 속도가 늦은 단점이 있다. 이는

수소저장합금에 보관된 수소의 원활한 이동을 보장하지 못하는 MH 모듈 설계에 문제점이 있다고 판단된다. 본 논문에서 제안한 MH 모듈과의 비교를 위하여 열전소자와 MH 모듈의 선접촉 방식 Type 1의 열전달 해석 시뮬레이션을 수행하였다. 그림 6은 Type 1 MH 모듈의 양쪽에 부착된 열전소자로부터 ‘가열-냉각’ 과정에 따른 열전달 시뮬레이션 패턴을 보여주는 그림이다. (a)에서 (d)로 변하는 과정은 가열이고, 그 반대는 냉각을 의미한다. Type 1의 MH 모듈은 복수의 원기둥을 용접으로 접촉하였기 때문에 그림 6과 같이, 원기둥의 양쪽 선 접촉된 곳에서부터 온도 변화가 발생한다. 35°C에서 50°C, 60°C, 70°C의 각각의 온도 조건까지 ‘가열’ 온도 도달 시간은 수소저장합금이 담겨 있는 MH 모듈의 심부의 온도가 도달 온도에 각각 도달했을 때의 시간을 측정하였다. 그 결과, 50°C, 60°C, 70°C까지 가열하는 시간은 각각 18.3초, 18.8초, 19.1초로 측정되었다. 반대로 50°C, 60°C, 70°C에서 35°C까지 ‘냉각’ 온도 도달 시간은 양쪽 열전소자와 접촉하는 부위가 35°C가 될 때까지의 시간을 측정하였다. 그 결과, 각각의 온도 조건에서 35°C까지 걸리는 시간은 18.6초, 19.6초, 20초가 측정되었다.

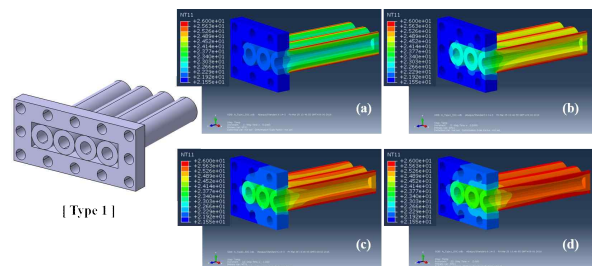


그림 6. MH 모듈 타입 1의 열전달 해석 시뮬레이션 결과
Fig. 6. Result of heat transfer simulation of MH module type 1

4.2 면접촉 방식 MH 모듈의 열전달 해석 결과

본 논문에서 제안된 면접촉 방식의 MH 모듈은 수소저장합금을 담는 구멍 개수에 따라 Type 2와 Type 3로 나뉜다. 열전소자와 면으로 접촉되는 MH 모듈은 Type 1보다 접촉 면적이 넓기 때문에 열전달 방식에서 효율적이라고 가정하였다. 면접촉 방식의 MH 모듈은 직육면체의 전체를 구리로 제작하였고, 안쪽의 구멍을 파는 방식으로 제작되었다.

그림 7과 8은 수소저장합금을 담는 구멍을 2개와

1개로 제작한 Type 2 및 Type 3의 열전달 시뮬레이션 결과를 나타낸 그림이다. 각각의 그림에서 (a)에서 (d)로 변하는 과정은 가열이고, 그 반대는 냉각을 의미한다. Type 2와 Type 3의 가열 및 냉각 온도 도달 조건은 Type 1과 같이, 수소저장합금을 담은 MH 모듈 심부의 온도가 목표 도달 온도에 이르렀을 때의 가열 온도 시간을 측정하였고, 양쪽의 열전소자와 접촉하는 면 전체가 35℃에 도달했을 때의 냉각 온도 시간을 측정하였다. 열전달 해석 결과, Type 2와 Type 3의 35℃에서 50℃, 60℃, 70℃ 까지 가열하는 시간은 각각 4.1초, 4.3초, 4.4초로 동일하였고, 50℃, 60℃, 70℃에서 35℃까지 냉각하는 시간은 각각 4.2초, 4.5초, 4.7초로 측정되었다.

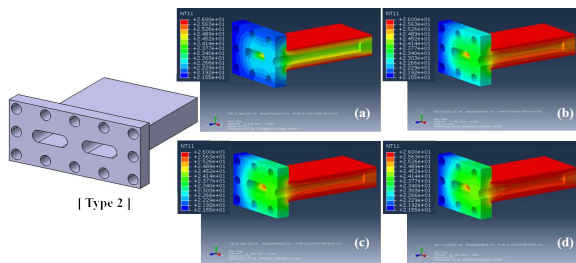


그림 7. MH 모듈 타입 2의 열전달 해석 시뮬레이션 결과
 Fig. 7. Result of heat transfer simulation of MH module type 2

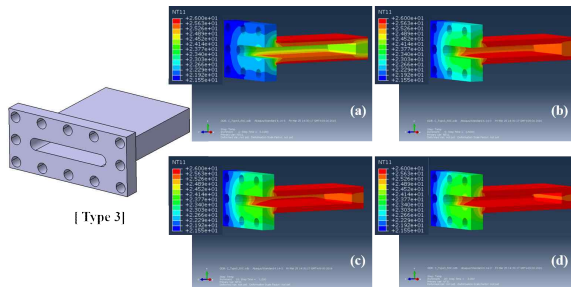


그림 8. MH 모듈 타입 3의 열전달 해석 시뮬레이션 결과
 Fig. 8. Result of heat transfer simulation of MH module type 3

4.3 접촉 방식과 구멍 개수에 따른 열전달 시간 비교

위의 실험 결과에서, Type 1, 2, 3의 가열과 냉각에 따른 온도 변화 과정을 분석하였다. 이에 대하여, 3가지 온도 변화 조건에 따라 가열시간과 냉각 시간을 표2에 정리하였다. 표 2를 분석한 결과, 접

촉 방식의 차이에 따라 열전소자와 선접촉을 하는 Type 1은 가열과 냉각할 때 약 18~20초가 걸리는 것으로 분석되었고, 열전소자와 면접촉을 하는 Type 2와 Type 3는 가열과 냉각할 때 약 4.1~4.7초가 걸리는 것으로 분석되었다. 이 결과에 따라, 선접촉보다 면접촉 방식의 MH 모듈이 상대적으로 열전달 능력이 가열과 냉각 모두 약 4.4배 정도 높은 효율을 보이는 것으로 판단된다. 하지만, Type 2와 Type 3의 구멍 개수에 따른 차이는 표2의 결과에서와 같이, 큰 차이는 보이지 않았다.

표 2. 접촉 방식 및 구멍 개수에 따른 열전달 해석 결과
 Table 2. Result of heat transfer capability according to the contact and hole condition

		Heating time (sec.)	Cooling time (sec.)
30℃~50℃	Type1	18.3	18.6
	Type2	4.1	4.2
	Type3	4.1	4.2
30℃~60℃	Type1	18.8	19.6
	Type2	4.3	4.5
	Type3	4.3	4.5
30℃~70℃	Type1	19.1	20.0
	Type2	4.4	4.7
	Type3	4.4	4.7

5. 결론

본 연구는 수소의 흡수-방출 메커니즘을 이용한 새로운 방식의 수소저장합금 액추에이터 개발에 있어서, 수소저장합금을 담은 MH 모듈의 열전달 성능을 높이기 위하여 기초 설계에 관한 것으로써, 기존에 사용되던 선접촉 방식의 MH 모듈과 새로 제안한 면접촉 방식의 MH 모듈의 열전달 해석 시뮬레이션을 수행하였다. 그 결과, 열전소자와의 접촉 방식이 면접촉의 MH 모듈이 열전달 성능이 우수한 것으로 분석되었다. 향후 연구에서는 면접촉 방식의 MH 모듈을 이용한 수소저장합금 액추에이터의 성능 테스트를 진행하고자 한다. 이러한 열전달 효율이 좋은 면접촉의 MH모듈은 고령자 및 장애인의 상하지 관절 운동을 도와줄 재활 기구에 적용될 수 있을 거라 기대된다.

REFERENCES

[1] S. Shimizu, S. Ino, M. Sato, T. Odagawa, T.

- Izumi, M. Takahashi, and T. Ifukube, "A Basic Study of a Force Display using a Metal Hydride Actuator," Proceedings of 2nd IEEE International Workshop on Robot and Human Communication, 1993.
- [2] S. Shimizu, S. Ino, M. Sato, T. Izumi, T. Ifukube, M. Muro, H. Takeda, and Y. Wakisaka, "A New Method of Variable Compliance for a Force Display System Using a Metal Hydride Actuator," Proceedings of 3rd IEEE International Workshop on Robot and Human Communication, 1994.
- [3] Y. Wakisaka, M. Muro, T. Kabutomori, H. Takeda, S. Shimizu, S. Ino, and T. Ifukube, "Application of Hydrogen Absorbing Alloys to Medical and Rehabilitation Equipment," IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering, vol. 5, no. 2, pp. 148-157, 1997.
- [4] T. Tsuruga, S. Ino, T. Ifukube, M. Sato, T. Tanaka, T. Izumi, and M. Muro, "A Basic Study for a Robotic Transfer Aid System Based on Human Motion Analysis," Advanced Robotics, vol. 14, no. 7, pp. 579-595, 2000.
- [5] S. Ino, M. Hosono, M. Sato, S. Nakajima, K. Yamashita, and T. Izumi, "A Soft Metal Hydride Actuator Using LaNi5 Alloy and a Laminate Film Bellows," IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT), 2009.
- [6] S. Ino, M. Sato, M. Hosono, S. Nakajima, K. Yamashita, T. Tanaka and T. Izumi, "Prototype Design of a Wearable Metal Hydride Actuator Using a Soft Bellows for Motor Rehabilitation," 30th Annual International IEEE EMBS Conference, 2008.
- [7] S. Ino, M. Sato, M. Hosono, and T. Izumi, "Development of a Soft Metal Hydride Actuator Using a Laminate Bellows for Rehabilitation Systems," Sensors and Actuators B: Chemical, vol. 136, pp. 86-91, 2009.
- [8] K. Kurosaki, T. Maruyama, K. Takahashi, H. Muta, M. Uno, S. Yamanaka, "Design and Development of MH Actuator System," Sensors and Actuators A vol. 113, pp. 118-123, 2004.
- [9] M. Sato, S. Ino, N. Yoshida, T. Izumi, and T. Ifukube, "Portable Compressor System Using MH Alloys, Employed as Assistive Devices," IEEE Resion 10 Conference (TENCON 2006), 2006.
- [10] S. Ino, M. Sato, M. Hosono, S. Nakajima, K. Yamashita, and T. Izumi, "Preliminary Design of a Simple Passive Toe Exercise Apparatus with a Flexible Metal Hydride Actuator for Pressure Ulcer Prevention," 32nd Annual International Conference of the IEEE EMBS, 2010.
- [11] M. Hosono, S. Ino, M. Sato, K. Yamashita, and T. Izumi, "A System Utilizing Metal Hydride Actuators to Achieve Passive Motion of Toe Joints for Prevention of Pressure Ulcers: A Pilot Study," Rehabilitation Research and Practice, vol 2012, 2012.
- [12] G. M. Lloyd, K. J. Kim, "Smart Hydrogen/Metal Hydride Actuator," International Journal of Hydrogen Energy, vol. 32, pp. 247-255, 2007.
- [13] T. K. Kwon, D. Y. Pang, K. H. Choi, Y. Y. Kim, S. C. Lee, and N. G. Kim, "Development of a SMH Actuator System using Hydrogen-absorbing Alloys," Smart Mater. Struct. vol. 15, pp. 1-7, 2006.
- [14] T. K. Kwon, K. J. Hong, K. Kim, W. S. Jeon, D. Y. Pang, S. C. Lee, and N. G. Kim, "Development of SMH Actuator System Using Hydrogen-Absorbing Alloy," Journal of Control, Automation and Systems Engineering, vol. 13, no. 11, pp. 1067-1073, 2007.
- [15] K. Kim, J. N. Kim, J. J. Kim, W. S. Chong, and T. K. Kwon, "The Study of Novel Actuator Using Special Metal-Hydride for Bio-Inspired Rehabilitation System," 014 Rehabilitation Engineering & Assistive Technology Society of Korea (RESKO) Academic Symposium, 2014.
- [16] K. Kim, J. J. Kim, J. N. Kim, W. S. Chong, C. H. Yu, and T. K. Kwon, "Suggestion of Novel Actuator for Assitive & Rehabilitative Device of the Elderly and People with Disability," 37th Annual International Conference of the IEEE EMBS, 2015.
- [17] J. M. Park, "A Study on the Hydrogenation Characteristics of Zr-based Laves Phase Intermetallic Compounds," These for Ph.D., Dept. of Materials Science and Engineering, KAIST, Korea, 1990.

김 경 (Kyong Kim)



2005년 2월 전북대학교 의용생체공학과 졸업(석사)
2010년 8월 전북대학교 의용생체공학과 졸업(박사)
2010년 11월~2012년 12월 국립 재활원 재활연구소 박사 연구원
2012년 12월~2016년 10월 사단법인 캠티종합기술원 R&D사업단 선임연구원
2016년 10월~현재 충북도립대학교 의료전자기기과 연구교수

Interest: Biomechanics, Rehabilitation Engineering, Healthcare Technology

김성현 (Seong-Hyun Kim)



2005년 2월 전북대학교 의용생체공학과 졸업(석사)
2009년 8월 전북대학교 의용생체공학과 졸업(박사)
2015년 3월 - 현재 충북도립대학교 의료전자기기과 교수

Interest: Rehabilitation engineering, biomedical engineering, diagnosis and healthcare system