

강제공냉 차동식 형상기억합금 액츄에이터의 동작특성에 관한 연구

정상화⁺, 김현욱⁺⁺, 차경래⁺⁺

A study on dynamic behavior of bidirectional SMA
Actuator with forced-cooling

Sanghwa Jeong^{*}, Hyonuk Kim^{**}, Kyoungrae Cha^{**}

Abstract

In the recent years, as the research and the development of micro and precision machinery become active, the interest of micro actuators using SMA(Shape Memory Alloy) has been increased. The dynamic characteristic analysis of SMA is necessary for actuator application and many common researches report the material characteristics of SMA sufficiently. However, the research on dynamic characteristics is very deficient. In this paper, the helical spring are fabricated with NiTi SMA wire of high resistivity. The force, response speed, temperature, and displacement are measured by digital force gauge, infrared thermometer, and laser displacement sensor so that the dynamic characteristics of this SMA is analyzed. Also, bidirectional actuator was fabricated and experimented for its performance.

Key Words : Shape Memory Alloy(SMA, 형상기억합금), Shape Memory Effect(SME, 형상기억효과), SMA Dynamical Characteristics (형상기억합금의 동특성)

1. 서론

최근 전 세계적으로 사람의 직접 작업할 수 없는 환경이나 작은 공간에서의 용이한 작업수행을 위해서 초소형 정밀 기계 기술에 관한 연구 및 개발이 활발하게 이루어지면서 형상기억합금(Shape Memory Alloy : SMA)을 이용한 초소형 액추에이터(Micro Actuator)에 관한 관심이 증대되고 있다. 그 이유 중의 하나는 형상기억합금을 이용한 구동 방식은 다른 구동 방식보다 높은 에너지 대 부피비율을 가지고 있기 때문에 기존의 모터에 의한 구동보다 소형화가 간단하기 때문이다.

형상기억합금은 온도의 변화에 따라 그 형상이 변하고 힘을 발생하며 이 원리를 소형 로봇의 액추에이터, 초소형 유체 밸브(Flu-dic valve) 및 내시경(Endoscope)의 액추에이터 등에 응용하는 연구가 선진 외국에서 활발히 진행 중이다.⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾

특히 최근에는 형상기억합금을 얇은 박막(Thin film)과 와이어 형태로 제작하여 이를 액추에이터에 적용하거나 MEMS(Micro Electro Mechanical Systems)에 응용하기 위한 연구가 많이 이루어지고 있다.

형상기억합금을 액추에이터에 응용하기 위해서는 동적 특성의 분석이 필수적이지만 지금까지의 연구에서는 형상기억합금의 물질 및 재료적 특성은 많이 보고되고 있으나 동적특성에 대한 연구는 매우 부족한 실정이다.

따라서 본 논문에서는 비저항(Resistivity)이 큰 NITINOL 와이어를 이용하여 나선형 스프링(Helical spring)을 제작하고 디지털 힘 측정기(Digital force gauge)와 적외선 온도센서(Infrared thermometer) 그리고 레이저 변위 센서(Laser displacement sensor)를 이용하여 이 NITINOL 스프링의 힘의 크기와 반응속도, 온도와 변위를 측정하여 형상기억합금의 동적 특성을 분석하였다. 또한 형상기억합금을 이용하여 차동식 액추에이터를 제작하여 그 동적 성능을 실험하였고 형상기억합금의 단점인 히스테리시스의 특성과 온도변화에 대한 반응속도가 느리다는 문제점을 해결하기 위하여 강제공냉식으로 형상기억합금의 동작성능 개선하고 액추에이터로서의 가능성을 확인하였다⁽⁴⁾⁽⁵⁾.

2. 형상기억합금의 동특성실험

형상기억합금의 동특성 실험을 위하여 지름 1mm의 원형 단면을 갖는 NITINOL 스프링을 사용하였다. NITINOL의 경우, 8% 이내로 원상태로 회복 가능한 변형 길이가 제한되어 있으며, 형상회복과정에서 큰 외력이 가해지면 허용 변형 범위는 더욱 줄어들게 된다. 따라서 주어진 와이어를 그대로 사용할 경우 2%의 허용 변형을 가정할 때, 매우 작은 크기의 동작밖에 얻을 수 없다.

본 연구에서는 선경 1mm의 형상기억합금 와이어를 지름 10mm, 피치 1mm를 가지는 나선형 스프링의 형태로 제작하여 작은 변형에도 큰 동작을 얻을 수 있도록 하였다. 열처리 조건은 양방향 효과를 최대한 억제시키는 조건을 구하여 850℃에서 20분간 열처리하여 상온에서 냉각하여 형상기억합금에 스프링의 형상을 기억시키는 방법을 사용하였다.

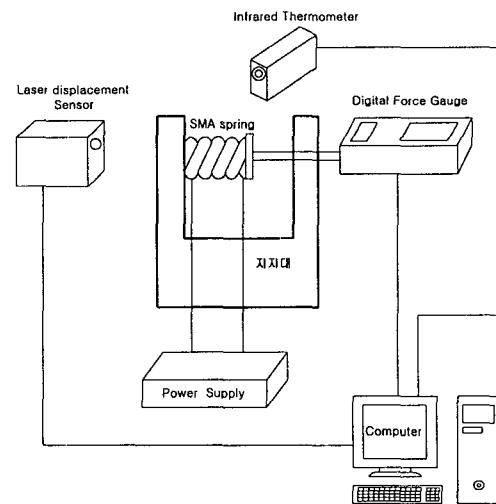


Fig. 1 Measurement of Force and Temperature

* 정상화, 조선대학교 기계공학과 (shjeoung@chosun.ac.kr)
주소: 501-759 광주시 동구 서석동 375
+* 조선대 일반대학원 기계공학과

형상기억합금 스프링의 구동력의 크기와 온도의 변화, 그리고 형상기억스프링의 변형량을 측정하기 위하여 디지털 힘 센서와 적외선 온도 센서, 그리고 레이저 변위 센서를 사용하였다. 디지털 힘 센서는 RS232 시리얼 포트를 이용하여 아날로그출력 데이터를 직접 PC에 연결하여 디지털 신호로 변환하였다. 적외선 온도 센서는 아날로그 출력단으로부터 나오는 전압을 받아서 증폭시키고 노이즈를 줄이기 위하여 저주파 통과 필터(Low pass filter)를 통과시킨 다음 LabView를 이용하여 PC에서 데이터를 처리하였다. 그리고 레이저 변위센서는 아날로그 출력단으로부터 나오는 전압을 LabView를 이용하여 PC에서 데이터를 처리하였다.

힘과 온도 그리고 변위의 동특성 측정실험장치의 개요도를 Fig. 1에 나타내었다. 스프링과 접착된 작은 물체를 디지털 힘 측정기에 고정시키고 형상기억합금 스프링을 적당한 길이로 늘어놓은 뒤 전류를 인가하여 그 때 나오는 힘의 크기와 온도의 변화를 측정하고 힘 측정기를 제거한 후 형상기억합금 스프링의 변위를 측정하였다.

형상기억합금의 접합은 저항용접과 크림핑방법, 그리고 접착제를 이용하는방법이 있다. 실제로 저항용접을 시행하고 외력을 가했더니 작은 힘에도 쉽게 접착부분이 파손되는 것을 알 수 있었다. 크림핑 방법의 이용은 발생되는 힘이 어느 한부분에 집중하중을 일으킬 수 있다는 점과 고정시키기위한 별도의 기계적 접착 부분이 외란으로 작용하는 문제가 있었다. 따라서 본 연구는 접착제를 이용하여 접착하여 실험하므로써 기계적 접착이 없이 액추에이터를 작동시켰다.

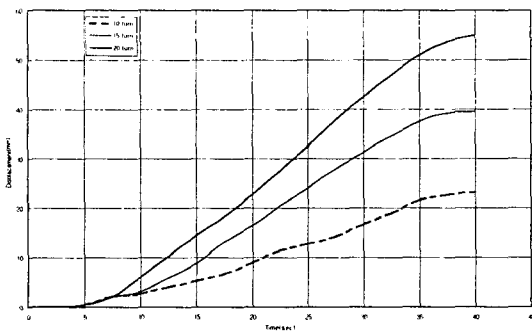


Fig. 2 The displacement of SMA.

Fig. 2에서는 10턴의 형상기억합금 스프링을 40mm, 55mm, 75mm로 늘어놓고 0초에서 80초까지 3A의 전류와

30V의 전압을 형상기억합금 스프링에 적용시킬 때 시간에 따른 형상기억합금 스프링의 변위의 변화를 나타낸 것이다.

결과로부터 형상기억합금 스프링이 액추에이터로서 사용될 수 있음을 알 수 있다.

3. 차동식 액추에이터의 동특성실험

3.1 차동식 액추에이터의 동특성

형상기억합금을 이용하여 차동식 액추에이터를 제작하고 구속한 상태에서 발생력을 측정하였다. 앞의 실험 결과에서 전류가 인가될 때는 가파른 경사도로 힘의 크기가 증가되고 형상기억합금이 냉각하는데 걸리는 시간 때문에 처음의 형상으로 돌아오는데 많은 시간이 걸렸지만 차동식 액추에이터를 제작하므로써 문제점이 해결되었음을 실험을 통해 알 수 있었다⁽⁵⁾.

Fig. 3는 15턴의 차동식 형상기억합금 액추에이터에 3A와 30V의 전류를 60초의 주기로 번갈아 가며 반복적으로 흘려준 경우의 시간에 따른 발생력을 나타낸 것이다.

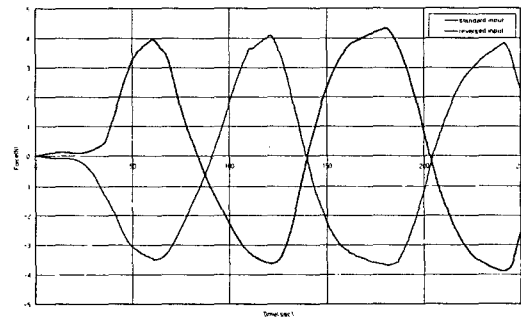


Fig. 3 Reaction force of 15-turn bidirectional SMA actuator

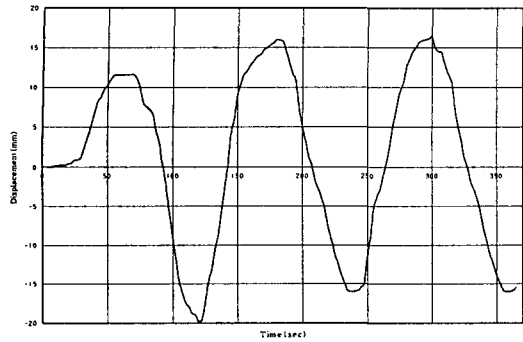


Fig. 4 Displacement of 15-turn bidirectional SMA actuator applying periodic input

Fig. 4는 15턴의 차동식 형상기억합금 액츄에이터의 시간에 따른 변위의 변화를 나타내었다.

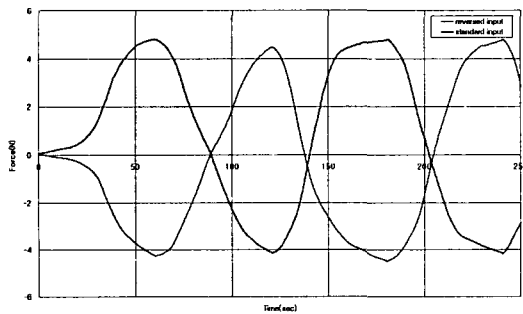


Fig. 5 Reaction force of 20-turn bidirectional SMA actuator

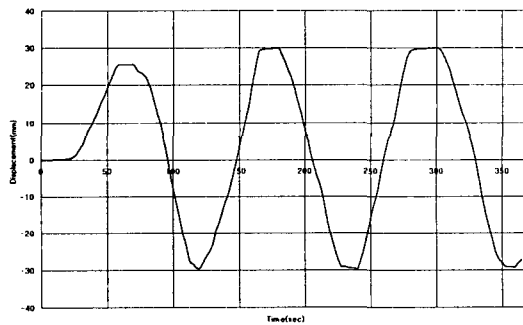


Fig. 6 Displacement of 20-turn bidirectional SMA actuator applying periodic input

Fig. 5와 Fig. 6은 20턴의 차동식 액츄에이터의 힘과 변위를 나타내었다.

차동식 액츄에이터의 동작이 전류의 인가에 따라 선형적으로 변화하며 반복동작이 가능함을 실험을 통해서 확인하였다.

Table. 1에서는 15권과 20권의 형상기억합금으로 만든 차동식 액츄에이터의 동특성실험의 결과를 나타내었다.

Table 1 Dynamic characteristics of bidirectional actuators

		15-turn bidirectional actuator	20-turn bidirectional actuator
Linear region of reaction force	standed input	28~55	20~50
		65~110	65~110
	reversed input	125~170	125~170
		180~230	180~230
Linear region of displacement	standed input	25~50	25~55
		65~110	65~110
	reversed input	125~165	125~170
		180~230	180~230
		25~55	80~115
standed input	75~115	125~170	
	125~170	180~235	
	180~235	240~275	
reversed input	240~280	300~355	
	300~355	300~355	
Bandwith		37mm	60mm

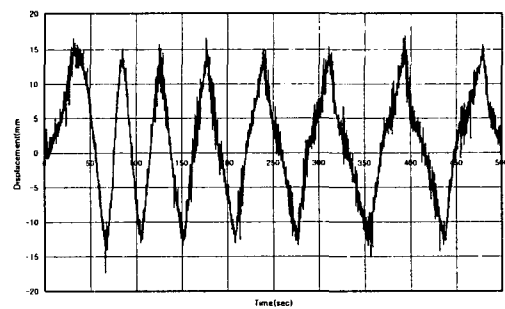


Fig. 7 Displacement of the conventional bidirectional SMA actuator(25mm)

Fig 7은 차동식 액츄에이터가 25mm의 변위를 얻기위해 양쪽의 형상기억합금에 3A의 전류와 30V의 전압을 번갈아 인가했을 때 액츄에이터의 변위발생을 나타내었다.

자연공냉으로 실험한 결과 처음에는 형상기억합금의 반응속도가 비교적 빠르다가 일정온도 이상으로 형상기억합금의 온도가 상승한 이후에는 액츄에이터로서의 반응속도가 느려짐을 알 수 있었다. 이는 형상기억합금의 온도가 오스테나이트 변태온도 이상으로 올라가면서 두 개의 형상기억합금이 초탄성효과를 일으키면서 나타나는 현상이다. 실험시의 외부온도는 24℃였다.

3.2 차동식 액츄에이터의 동작성능 개선

앞의 실험을 통해서 자연공냉을 했을 때 형상기억합금 액츄에이터의 가장 큰 단점이 히스테리시스와 반응속도임을 알 수 있었다. 이를 최소화 감소시키기 위해서 양쪽의 형상기억합금 스프링을 강제공냉 시켰고 일정한 변위를 얻기 위한 각각 20권의 형상기억합금 차동식 액츄에이터의 반응속도를 실험하였다..

Fig. 8은 15mm의 변위를 얻기위해 양쪽의 형상기억합금에 3A의 전류와 30V의 전류를 인가하였다. 실험시의 온도는 23.8℃였다.

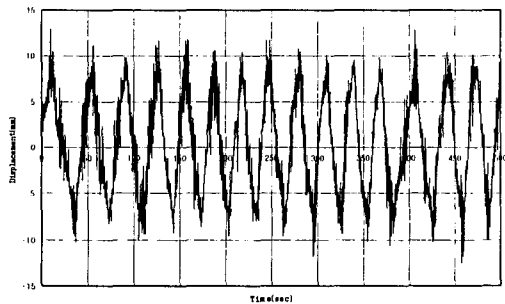


Fig. 8 Displacement of the proposed actuator system with a cooling device(15mm)

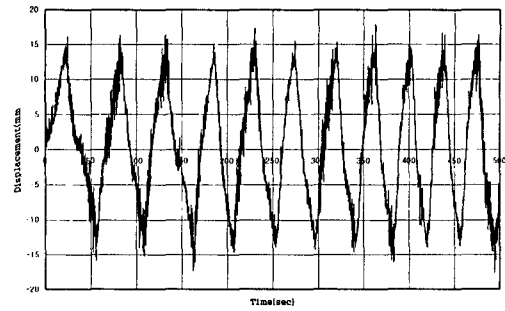


Fig. 9 Displacement of the proposed actuator system with a cooling device(25mm)

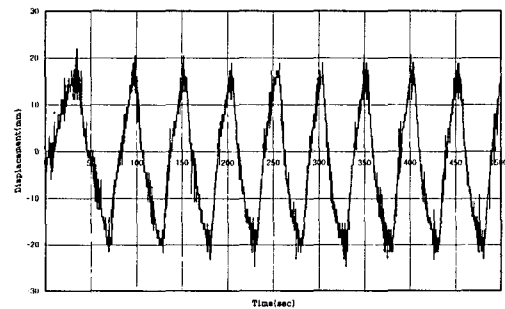


Fig. 10 Displacement of the proposed actuator system with a cooling device(35mm)

Fig. 9와 Fig. 10은 25mm와 35mm의 동작범위를 얻기 위해 같은 조건의 전류와 전압을 번갈아 인가하여 얻은 결과이다.

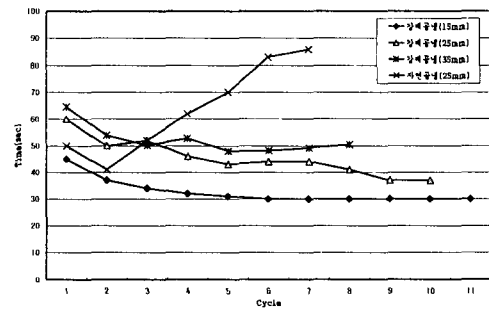


Fig. 11 Response time of SMA actuator Displacement

Fig. 11은 차동식 액츄에이터의 강제공냉 동작성능과 자연공냉 동작성능의 결과를 비교하였다.

강제공냉한 차동식 액츄에이터가 사이클이 지남에따라 점차 안정적인 동작성능이 나타남을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 선경 1mm를 가지는 형상기억합금 와이어를 이용하여 지름 10mm, 10턴의 형상기억합금 스프링을 제작하여 30V 전압과 3A의 전류를 적용시켰을 때 발생하는 힘과 온도, 변위를 측정하였다. 또한 형상기억합금의 연결에 기존의 연구에서 사용한 크립핑방법이 아닌 접착제를 이용함으로써 형상기억합금을 이용한 차동식 액츄에이터의 부피와 질량을 감소시켰다.

동특성의 측정결과 기존의 일반 액츄에이터는 부드러운 동작을 할 수 없다는 단점이 있었으나 앞에서 보여지는 바와 같이 형상기억합금 스프링은 부드럽게 힘이 증가하므로 기존의 기계적인 액츄에이터에 비해 부드러운 동작을 필요로 하는 부분에 솔레노이드를 비롯한 다른 액츄에이터를 대체할 수 있는 충분한 가능성을 가짐을 할 수 있고 강제공냉 방식에 의한 실험을 통하여 반응속도와 히스테리시스가 개선됨을 알 수 있었다. 또한 본 연구에서 사용한 선경 1mm의 스프링이 아닌 선경 0.1mm이하의 형상기억합금을 이용한다면 더욱 빠른 응답속도를 가질 것이다. 따라서, 형상기억합금을 이용하여 액츄에이터를 제작하면 부드러운 움직임이 필요한 내시경이나 모종이식 로봇으로의 응용이 가능할 것이다. 또한 선형적으로 동작을 제어할 수 있는 장점을 확인함으로써 액츄에이터를 자동으로 동작시키기 위한 제어프로그래밍을 개발하여 로봇의 그리퍼와 부드러운 동작을 요하는 로봇의 손과 팔등을 제작하는등 많은 부분에서 도움이 될 것으로 사료된다.

참고 문헌

- (1) Robert E. Watson, "Comparison of the response of Shape Memory Alloy Actuators using Air-Cooling and Water-Cooling", 1984
- (2) T. C. Waram, "Actuator design using Shape Memory Alloys", Canada, 1992
- (3) T. Waram, "Design Principle For Ni-Ti Actuators", Shape Memory and Superelastic Technologies, pp 234-244, 1997.
- (4) S. H. Jeong, H. U. Kim, K. R. Cha, 2002, "A study on the Development of Bidirectional Actuator using NiTi Shape Memory Alloy", KACC, pp723~726
- (5) S. S. Kim, S. H. Lee, Y. J. Lee, 1999, "Improvement of Response Speed of Shape-Memory Alloy Actuator and Its Experimental Measurement", KACC, pp397~400