

## 형상기억합금을 이용한 차동식 액츄에이터의 동특성연구

정상화\*(조선대 기계공학부), 김현욱\*\*(조선대 대학원 기계공학과),  
장우양\*\*\* (조선대 금속·재료공학부), 김경석\*, 차경래\*\*, 나윤철\*\*

A study on the Dynamic Characteristics of Bidirectional Acuator  
using Shape Memory Alloy

S. H. Jeong\*(Mech. Eng. Dept., CSU), H. U. Kim\*\*(Mech. Eng. Dept., CSU),  
W. Y. Jang\*\*\* (Matal. & Mater. Dib., CSU), K. S. Kim\*, K. R. Cha\*\*, Y. C. Na\*\*

### 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 of dynamic characteristics is very deficient. In this paper, the helical spring is 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 actuator is analyzed.

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

### 1. 서론

최근 전 세계적으로 초소형 정밀 기계 기술에 관한 연구 및 개발이 활발하게 이루어지면서 형상기억합금(Shape Memory Alloy : SMA)을 이용한 초소형 액츄에이터(Micro Actuator)에 관한 관심이 증대되고 있다. 그 이유 중의 하나는 형상기억합금을 이용한 구동 방식은 다른 구동 방식보다 높은 에너지 대 부피 비율을 가지고 있기 때문이다. 형상기억합금은 온도의 변화에 따라 그 형상이 변하고 힘을 발생하며, 이 원리를 소형 로봇의 액츄에이터, 초소형 유체 밸브 및 내시경(Endoscope)의 액츄에이터 등에 응용하는 연구가 선진 외국에서 활발히 진행 중이다.

특히 최근에는 형상기억합금으로 얇은 박막(Thin film)을 만들어 이를 액츄에이터에 적용하거나 MEMS(Micro Electro Mechanical Systems)에 응용하기

위한 연구가 많이 이루어지고 있다. 우리나라에서도 최근 내시경에 형상기억합금 액츄에이터를 이용하는 기술에 관심을 보이고 있다.

형상기억합금을 액츄에이터에 응용하기 위해서는 동적특성의 분석이 필수적이지만 지금까지의 연구에서는 형상기억합금의 물질 및 재료적 특성은 많이 보고되고 있으나 동적 특성에 대한 연구는 매우 부족한 실정이다. 따라서 본 논문에서는 비저항(Resistivity)이 큰 NiTi합금 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 NiTi 스프링의 힘의 크기와 반응속도, 온도와 변위를 측정하여 형상기억합금의 동적 특성을 분석하였다. 또한 차동식 액츄에이터를 제작하여 그 성능을 실험하였다.

## 2. 형상기억합금 스프링의 동특성 측정

형상기억합금의 동특성 실험을 위하여 지름 1mm의 원형 단면을 갖는 NiTi 스프링을 사용하였다. NiTi 형상기억합금의 경우, 8% 이내로 원상태로 회복 가능한 변형길이가 제한되어 있으며, 형상회복과정에서 큰 외력이 가해지면 허용 변형 범위는 더욱 줄어들게 된다. 따라서 주어진 와이어를 그대로 사용할 경우 2%의 최대 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.

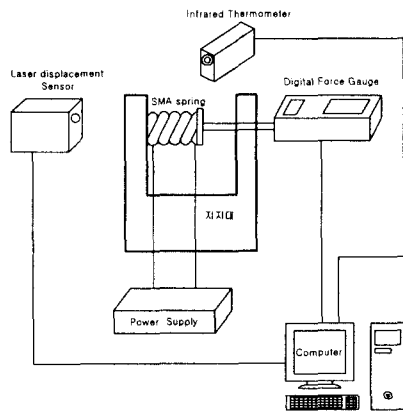


Fig. 1 Experimental device of force and temperature

형상기억합금 스프링의 구동력의 크기와 온도의 변화, 그리고 형상기억스프링의 변형량을 측정하기 위하여 디지털 힘 센서와 적외선 온도 센서 그리고 레이저 변위 센서를 사용하였다. 디지털 힘 측정기는 RS232 시리얼 포트를 이용하여 아날로그 출력 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.

형상기억합금의 접합은 저항용접과 크림핑방법, 그리고 접착제를 이용하는 방법 등이 있다. 실제로

저항용접을 시행하고 외력을 가했더니 작은 힘에도 쉽게 접착부분이 파손되는 것을 알 수 있었다. 크림핑 방법의 이용은 발생하는 힘이 어느 한부분에 집중하중을 일으킬 수 있다는 점과 고정시키기 위한 별도의 기계적 접착 부분이 외란으로 작용하는 문제가 있었다. 따라서 본 연구는 접착제를 이용하여 접착하여 실험함으로써 기계적 접착이 없이 액츄에이터를 작동시켰다.

Fig. 1에서는 힘과 온도 그리고 변위의 동특성 측정 실험장치의 개략도이다. 스프링과 접착된 작은 물체를 디지털 힘 센서에 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.

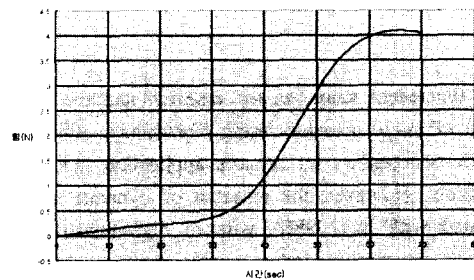


Fig. 2 Reaction force of SMA actuator

Fig. 2에서는 10턴의 형상기억합금 스프링을 40mm로 늘어놓고 0초에서 80초까지 3A의 전류와 30V의 전압을 형상기억합금 스프링에 적용시킬 때 시간에 따른 힘의 변화를 나타낸 것이다. 약 35초 부분에서부터 55초 부분까지 우수한 선형성을 보임을 알 수 있다. 또한 사용된 형상기억합금의 최대 발생력이 4.1N임을 알 수 있다.

Fig. 3에서는 Fig. 2와 같은 조건으로 디지털 힘 센서를 제거하고 레이저 변위센서로 시간에 따른 형상기억합금 스프링의 변위의 변화를 나타낸다. 결과로부터 형상기억합금 스프링이 액츄에이터로써 사용될 수 있음을 알 수 있다.

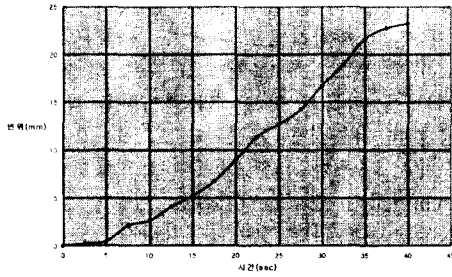


Fig. 3 Displacement of SMA.

Fig. 4와 Fig. 5 그리고 Fig 6는 10턴의 형상기억 합금 스프링을 40mm로 늘여놓고 30V 3A의 전류를 120초간 인가한 후 자연공냉을 하면서 온도상승 및 하강에 따른 변화를 나타내는 그래프이다.

Fig. 4는 시간에 따른 힘의 변화를 나타낸다. 이 그림에서 보여지는 것과 같이 120초가 지난 후에도 일정한 힘을 유지한 후 150초가 지난 이후에 힘이 줄어드는 것을 알 수가 있다. 이는 형상기억합금의 냉각속도가 자연공냉이기 때문에 마르텐사이트 변태 시작점까지 냉각되는데 약 30초의 시간이 필요하기 때문에 나타나는 현상이다.

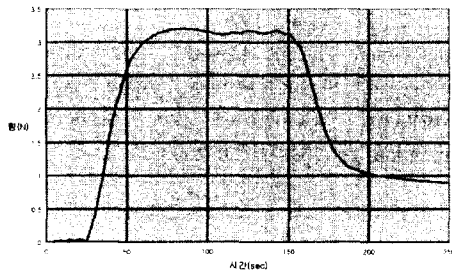


Fig. 4 Reaction force of SMA

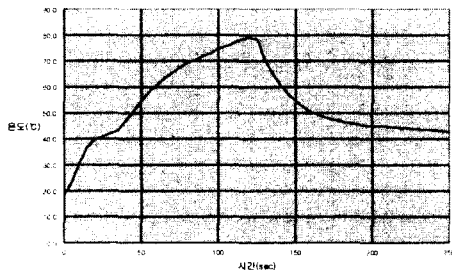


Fig. 5 Temperature variation of SMA

Fig. 5는 시간에 따른 온도의 변화를 나타낸다. 150초일 때의 온도가 약 55°C이므로 제작된 형상기억합금의 마르텐사이트 시작온도는 약 55°C임을 알 수 있다.

형상기억합금과 실험장치의 접합에 에폭시 접착제를 이용하였는데 온도의 상승에도 충분한 반복이 가능함을 알 수 있다.

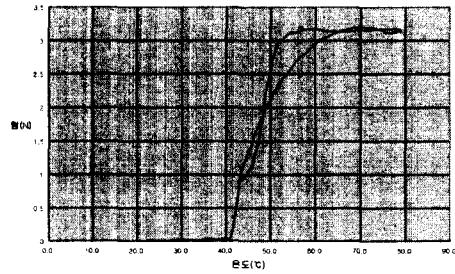


Fig. 6 Reaction force change according to temperature of SMA actuator

Fig. 6은 온도에 따른 힘의 변화를 나타낸다. 여기서 나타난 온도와 힘의 히스테리시스 곡선은 형상기억합금의 고유한 특징이고 냉각속도를 조절하므로써 히스테리시스를 줄일 수 있다.

### 3. 차동식 액츄에이터의 동특성실험

형상기억합금을 이용하여 차동식 액츄에이터를 제작하고 구속한 상태에서 발생력을 측정하였다.

앞의 2장의 실험결과에서 전류가 인가될 때는 가파른 경사도로 힘의 크기가 증가되고 형상기억합금이 냉각하는데 걸리는 시간 때문에 처음의 형상으로 돌아오는데 많은 시간이 걸렸지만 차동식 액츄에이터를 제작하므로써 문제점이 해결되었음을 실험을 통해 알 수 있었다.

Fig. 7은 양쪽의 스프링에 3A와 30V의 전류를 60초의 주기로 번갈아 가며 반복적으로 흘려준 경우의 시간에 따른 발생력을 나타낸 것이다.

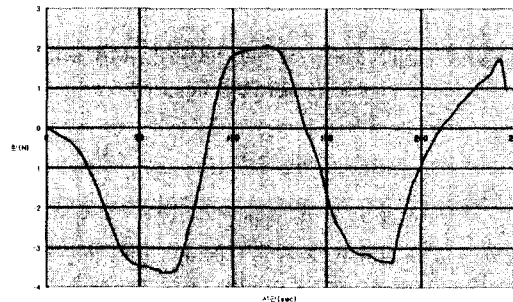


Fig. 7 Reaction force of bidirectional SMA actuator applying periodic input

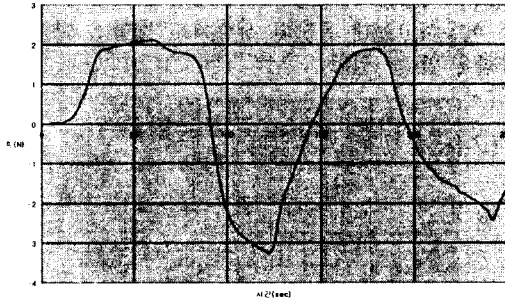


Fig. 8 Reaction force of bidirectional SMA actuator applying periodic input reversely

Fig. 8은 형상기억합금의 전류인가 방향을 바꾸었을 때의 실험결과이다.

Fig. 9는 차동식 형상기억합금 액추에이터의 시간에 따른 변위의 변화를 나타내었다. 차동식 액추에이터의 동작이 전류의 인가에 따라 선형적으로 변화하며 반복동작이 가능함을 실험을 통해서 알 수 있었다. 이 실험으로써 선형적인 거동이나 반복 동작을 필요로 하는 마이크로 로봇이나 밸브 등의 여러분야에 이용할 수 있을 것으로 사료된다.

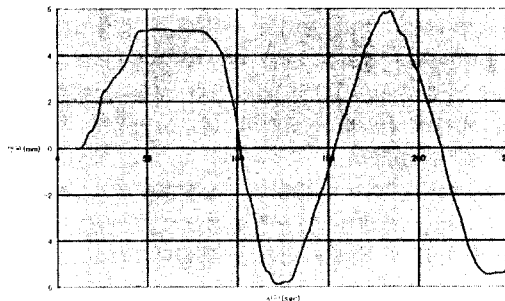


Fig. 9 Displacement of bidirectional SMA actuator applying periodic input

#### 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 크림핑방법이 아닌 접착제를 이용함으로써 실험장치의 부피와 질량을 감소시켰다.

동특성의 측정결과 기존의 일반 액추에이터는 부드러운 동작을 할 수 없다는 단점이 있었으나 앞

에서 보여지는 바와 같이 형상기억합금 스프링은 부드럽게 힘이 증가하므로 기존의 기계적인 액추에이터에 비해 부드러운 동작을 필요로 하는 부분에 솔레노이드를 비롯한 다른 액추에이터를 대체할 수 있는 충분한 가능성을 가진다고 할 수 있다. 또한 본 연구에서 사용한 선경 1mm의 스프링이 아닌 선경 0.1mm이하의 형상기억합금을 이용한다면 더욱 빠른 응답속도를 가질 것이다. 따라서, 형상기억합금을 이용하여 액추에이터를 제작하면 부드러운 움직임이 필요한 내시경이나 모종이식 로봇으로의 응용이 가능할 것이다. 또한 차동법을 이용한 액추에이터를 제작하여 선형적으로 동작을 제어할 수 있는 장점을 확인함으로써 마이크로 로봇이나 밸브 등 여러방면으로의 응용이 가능함을 보였다.

#### 참고문헌

1. T. C. Waram, "Actuator design using Shape Memory Alloys", Canada, 1992
2. 실용형상기억합금, 기전연구사, 1989
3. 형상기억합금과 그 사용방법, 기전연구사, 1991
4. 김병욱, 김광수, 조동일, "형상기억합금을 이용한 초소형 액추에이터", 한국정밀공학회지, 제 13권 9호, PP. 54-61, 1996.
5. Danny Grant, Vincent Hayward, "Constrained Force Control of Shape Memory Alloy Actuators", International Conference on Robotics & Automation, pp 1314-1320, 2000