

# 형상기억합금을 이용한 bending 액츄에이터의 제작 및 컨트롤을 위한 기초실험

김명순, 최낙빈, 김대웅, 이상훈, 이승기\*  
단국대학교 의과대학 의공학교실, \*단국대학교 전기공학과

## Fabrication for Bending Actuator Using Shape Memory Alloy and Basic Experiment for Control

M. S. Kim, N. B. Choi, D. W. Kim, S. H. Lee, S. K. Lee\*  
Biomedical Engineering, College of Medicine, Dankook University  
\*Department of Electrical Engineering, Dankook University

### ABSTRACT

In this paper, we propose a bending actuator using shape memory alloy coil-type springs. By the heating of two shape memory alloy coil-type springs sequentially, the bending and stretching motion of the actuator is possible. We measure the bending angle and repeated bending motion with the various currents. Furthermore, we control the bending angle of the 1 directional bending actuator with sensors. The performance of the actuator has been characterized for the possible application for catheter.

### 1. 서 론

최근 들어, 의료 분야 및 MEMS(Micro Electro Mechanical Systems)분야에서 형상기억합금을 초소형 액츄에이터로 응용하고자 하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 이러한 이유중 하나는 형상기억합금이 다른 구동방식에 비해 높은 에너지 대 부피 비율을 가지며 전기적 구동이 가능하기 때문이다 [1-3].

본 논문에서는 2개의 형상기억합금 코일형 스프링, 3개의 링크와 1개의 guide wire를 이용하여 1방향성 bending 액츄에이터를 제작하였다. 또한, 제작된 1방향성 bending 액츄에이터의 기본적인 동작 특성을 고찰하고, bending 각도 제어를 위한 기초 실험을 수행하여 내시경용 액츄에이터로서의 응용 가능성을 제시하였다.

### 2. 액츄에이터의 구조 및 동작원리

310  $\mu\text{m}$ 의 Ni-Ti 형상기억합금 선을 이용하여 스프링경 4.0 mm, 턴수 4회인 스프링을 제작하고 550°C, 10분간 열처리하였다. 테프론을 이용하여 외경 6.0 mm, 내경 3.0 mm, 두께 1.0 mm가 되는 2개의 링크(link A, link C)와, 외경 6.0 mm, 내경

3.6 mm, 두께 1.0 mm가 되는 1개의 링크(link B)를 제작하였다. 외경 3.0 mm, 내경 2.0 mm인 실리콘 튜브는 1방향성 bending 액츄에이터의 내부 채널로 사용하였으며, 직경 200  $\mu\text{m}$ 인 실을 중앙의 링크와 하부의 링크에 고정하여 1 방향 guide wire로 사용하였다. 2개의 형상기억합금 코일형 스프링은 각각 link A와 link B, link B와 link C에 고정되어 있으며, link A와 link C는 실리콘 튜브에 고정되어 있다. 그림 1에 제작된 1방향성 bending 액츄에이터의 구조가 나타나 있다.

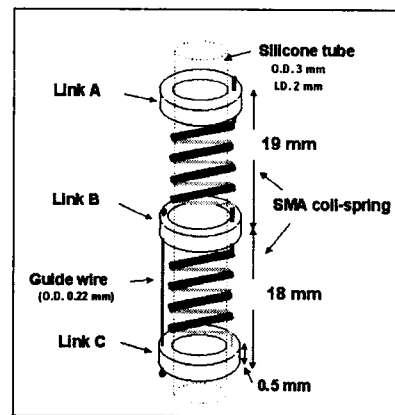
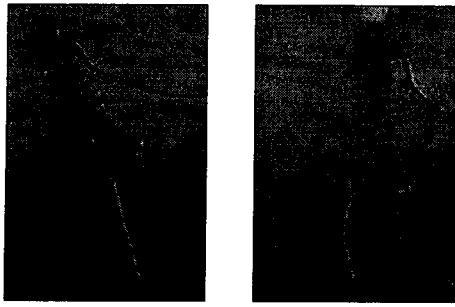


그림 1. bending 액츄에이터의 구조

Bending 액츄에이터 상부의 스프링에 전류를 인가하면, 스프링이 수축하는 힘은 link A와 link B를 수직방향으로 잡아당기게 된다. 그런데 link A는 실리콘 튜브에 고정되어 있고, link B는 guide wire에 고정되어 있으므로, 스프링이 수축하는 힘은 guide wire를 잡아당기는 것과 같은 결과가 되어 guide wire의 방향으로 실리콘 튜브의 bending이 발생하게 된다. 이후 bending 액츄에이터 하부의 스프링에 전류를 인가하면, 하부 스프링이 수축하는 힘이 guide wire가 당겨지고 있는 힘을 제거하므로 stretching 동작을 하게 된다. 동작 사진이 그림 2에 나타나 있다.



(a) 상부 스프링 수축 (b) 하부 스프링 수축  
(bending) (stretching)

그림 2. Bending 액츄에이터의 동작 사진

### 3. Bending 액츄에이터의 특성평가

#### 3.1 실험장치 및 측정방법

제작된 1방향성 bending 액츄에이터는 전류로 구동하게 된다. 전류변화에 따른 bending 액츄에이터의 동작특성을 고찰하기 위하여 그림 3과 같은 실험장치를 구성하고, 상부 및 하부의 형상기억합금 스프링에 정전류를 인가하여 발생하는 변위를 레이저 변위계로 검출하였다. 측정된 변위는 bending 각도로 환산하여 나타내었다.

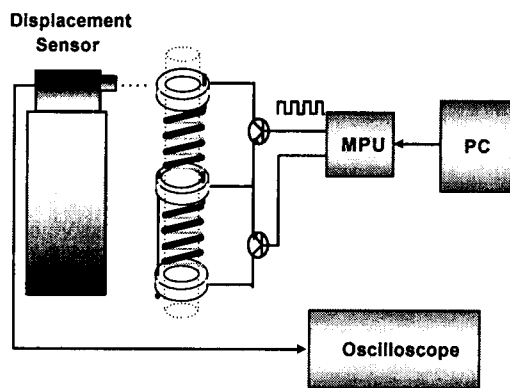


그림 3. Bending 액츄에이터의 동작특성 측정을 위한 실험장치

또한, 내시경용 액츄에이터로서의 성능평가를 위해 인가 전류에 따른 stretching 특성을 측정하였다.

#### 3.2 측정 결과

그림 4는 1 방향 bending 액츄에이터의 인가 전류에 따른 bending 각도 변화를 나타내고 있다. 액츄에이터 상부의 스프링에 0.4 A ~ 0.8 A의 정전류를 10초간 인가했을 때 나타나는 bending 각도의 변화를 나타내고 있다. 전류가 0.6 A 이상이 되면

bending 각도가 급격히 증가하는 것을 볼 수 있다. 이는 형상기억합금 스프링에 10초 동안 전류를 인가할 때 0.6 A 정도의 전류에서 스프링의 온도가 상 변태 온도 이상이 되는 것을 의미하며 따라서 10초 이내의 bending 동작을 얻기 위해서는 0.6 A 이상의 전류가 필요함을 알 수 있다.

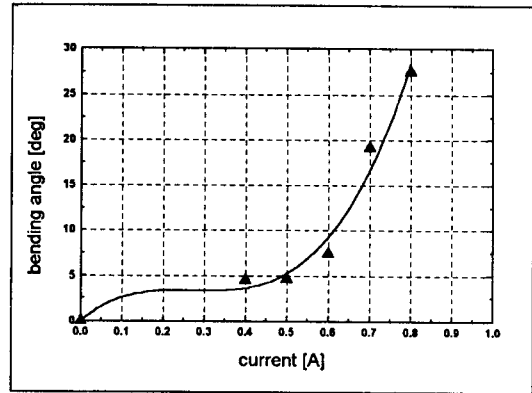


그림 4. 인가전류에 따른 bending 각도의 변화

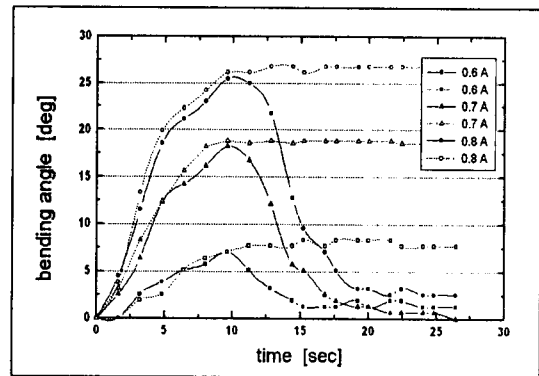


그림 5. 액츄에이터의 stretching 특성

그림 5는 1 방향 bending 액츄에이터의 자연 냉각 특성을 보여주고 있다. 액츄에이터의 상부 스프링에 10초간 정전류를 인가한 다음 곧바로 하부 스프링에 동일 정전류를 인가하였을 때와, 상부 스프링에 10초간 정전류를 인가한 다음 상온 상태에서 자연 냉각시킨 경우의 시간에 따른 bending 각도 변화를 나타내고 있다. 하부 스프링에도 전류를 인가한 경우에는 10초 이내에 5° 미만의 각도까지 되 돌아오는 것을 볼 수 있으나, 하부 스프링에 전류를 인가하지 않고 상온에서 상부 스프링을 자연 냉각시킨 경우는 수십 초간 bending 각도의 변화가 2~3° 정도밖에 나타나지 않는 것을 알 수 있다. 이것은 가열된 스프링의 방열이 매우 느려 자연 냉각에 의한 stretching 효과가 거의 나타나지 않는 것으로 판단된다.

### 4. Bending 각도 제어

액추에이터의 bending 각도를 제어하기 위해 80C196KC(intel 社) 마이크로 콘트롤러를 사용하였으며, 펄스 폭을 조절하여 전달하는 평균에너지의 양을 변화시킬 수 있는 PWM(Pulse Width Modulation) 기능을 이용하였다. 설정한 각도와 측정된 각도사이의 오차는 비례·적분 피드백 제어를 하여 보상할 수 있도록 프로그램을 개발하였으며 액정(LCD)에 이 값을 출력하도록 하였다. 액추에이터의 각도 제어를 위한 제어 흐름도는 그림 6에 나타나 있다.

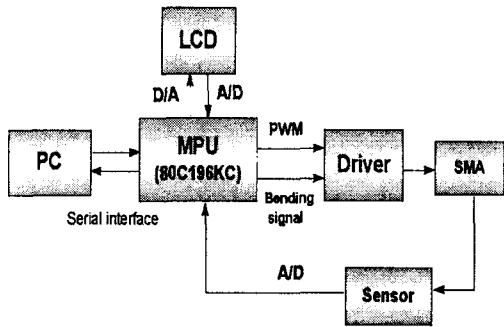


그림 6. 액추에이터의 각도 제어를 위한 제어 흐름도

#### 4.1 온도 센서를 이용한 bending 각도 제어

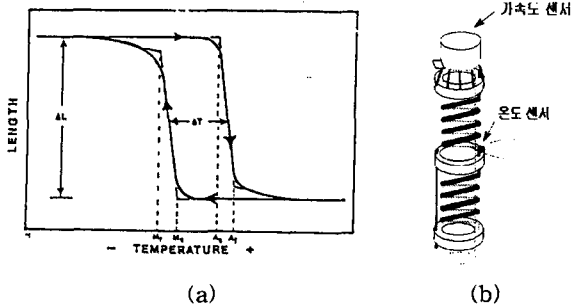


그림 7. (a) 형상기억합금의 특성곡선  
(b) 센서를 장착한 Bending 액추에이터

형상기억합금은 그림 7.(a)에 나타난 것과 같이 온도에 따라 변위가 달라지게 된다. 따라서, 형상기억합금의 온도를 일정하게 유지시키면 일정한 변위가 발생한다[4]. 그림 7.(b)와 같이 형상기억합금 스프링의 온도를 측정하기 위하여 형상기억합금 스프링에 온도센서를 부착하였다. 또한, 온도 변화에 따른 bending 액추에이터의 변위를 측정하여 bending 각도로 환산하였다.

각각의 설정 온도에 대해 시간에 따른 bending 각도의 변화가 그림 8에 나타나 있다.

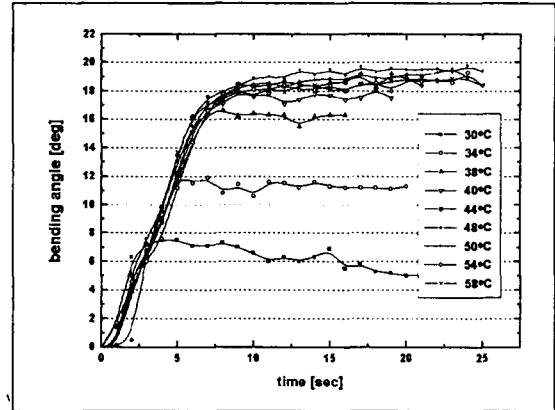


그림 8. 설정 온도에 따른 bending 각도 변화

그림 8에서 볼 수 있듯이, 설정 온도가 30 ~ 40°C에서의 온도 변화에 따라 비교적 선형적으로 bending 각도가 증가하나 40°C 이후에서는 bending 각도가 포화되는 경향을 보이고 있다. 다시 말해, 형상기억합금의 온도 증가에 따라 액추에이터의 bending 각도는 비선형적으로 증가한다. 이것은 형상기억합금이 그림 7(a)에서처럼 특정 온도 범위(상변태 온도)에서만 선형적인 특성을 보이기 때문으로 생각된다.

#### 4.2 가속도 센서를 이용한 bending 각도 제어

가속도 센서(ADX105, Analog Device 社.)는 그림 9와 같이 기울기 각도에 따라 출력값에 오차가 발생한다. 또한, 그림 10에서처럼 기울기 각도가 0~30° 범위에서는 거의 완벽한 선형적으로 출력값이 0.08V/1° 씩 변화한다. 이러한 특성을 역으로 이용하여, 오차 값을 측정하면 가속도 센서의 기울기를 알 수 있게 된다.

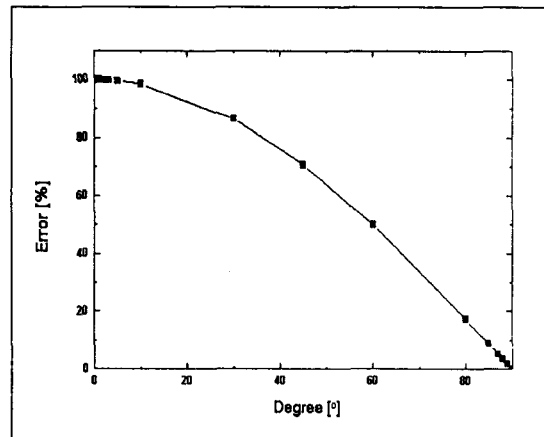


그림 9. 가속도 센서의 기울기 각도에 따른 출력값 오차

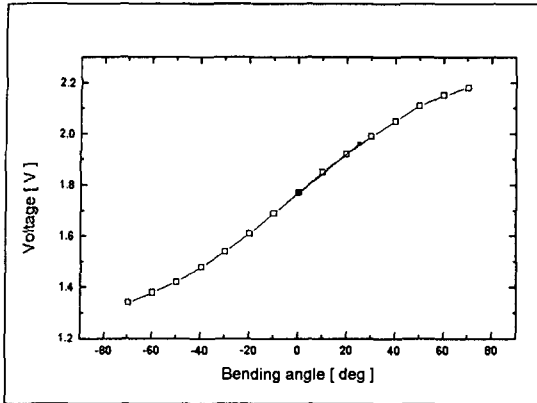


그림 10. 기울기 각도에 따른 가속도 센서의 출력값

그러므로, 가속도 센서를 그림 7.(b)와 같이 bending 액츄에이터의 위 부분에 장착하여 bending 각도, 즉 가속도 센서의 기울기에 따른 출력값을 측정하였다. 측정된 가속도 센서의 출력값을 bending 각도로 환산하여 bending 각도를 제어하였다.

그림 11에 각각의 설정 각도에 따른 bending 각도변화가 나타나 있다.

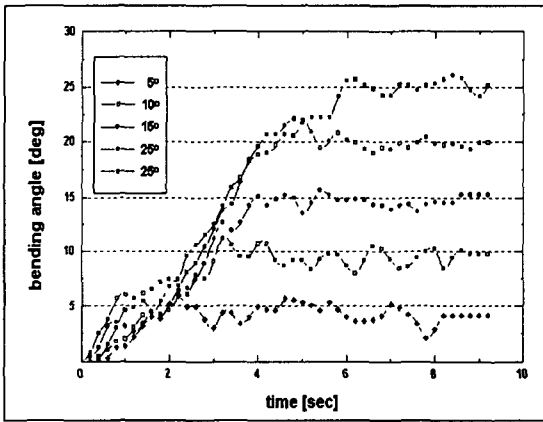


그림 11. 설정 각도에 따른 bending 각도변화

그림 11에서 설정 각도가  $\pm 1^\circ$  이내의 오차로 유지되는 것을 볼 수 있으며 설정 온도에 도달하는 시간도 3~5 초 미만으로 비교적 빠르게 나타난다.

## 5. 결 론

본 논문에서는 3개의 링크, 2개의 형상기억합금 코일형 스프링과 1개의 guide wire를 이용하여, 1방향 bending 액츄에이터를 제작하였다. 제작된 bending 액츄에이터의 기본적인 동작특성을 분석하고, 이를 토대로 bending 각도 제어를 위한 기초 실험을 수행하였다. Bending 각도 제어를 위하여

온도 센서 및 가속도 센서를 사용하였다.

온도 센서의 경우 등간격 온도로는 bending 각도를 제어하기 어려웠으나, 가속도 센서의 경우 센서 출력값이 bending 각도와 거의 선형적이므로 작은 각도 변화도 제어가 가능하였다.

이상으로서, 제작된 bending 액츄에이터는 센서를 이용한 bending 각도의 제어가 가능하며 내시경에 응용 가능할 것으로 기대된다.

## 참 고 문 헌

- [1] D. E. Hodgson, "Using Shape Memory Alloys", Shape Memory Applications Inc., 1988.
- [2] G. Lim K. Minami, M. Sugihara, M. Uchiyama and M. Esashi, "Active Catheter with Multi-link Structure Based on Silicon Micromachining", *Proc. IEEE MEMS Workshop*, pp. 116-121, 1995.
- [3] 舟久保 熙康 (編), 形状記憶合金, 産業圖書, pp. 150-157, 1984.
- [4] J. Hesselbach, H. Stork, "Electrically Controlled Shape Memory Actuators for Use in Handling Systems", *Proceedings of SMST-94*, pp. 277-281, 1994