

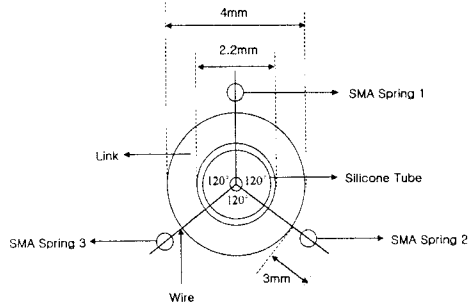
지능형 내시경용 초소형 형상기억합금 액츄에이터의 제작에 관한 연구

김민성*, 박두환*, 박현철*, 이오걸**, 이준탁*
 * 동아대학교 전기공학과, ** 동의공업대 전기과

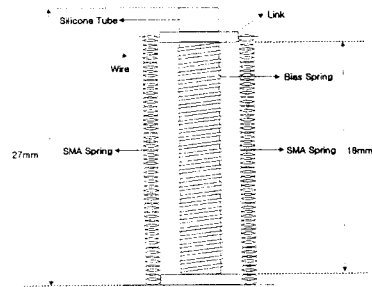
A Study on the Fabrication of Micro Shape Memory Alloy Actuator for Smart Catheter

Min-Sung Kim*, Doo-Hwan Park*, Hyun-Choi Park*, Oh-Keol Lee**, Joon-Tark Lee*
 * Dept.of Electrical Engineering, Dong-A University, **Dong-Eui Tech. College.

Abstract - A SMA actuator fabricated in this paper generates the large force and its structure is very simple. The SMA actuator was fabricated by small size with diameter of 9mm and length of 27mm and also its actuations toward all the directions can be acquired because of three springs which was fabricated with diameter of 2.4mm and 28 turns. We showed into applicability to smart catheter by analysing accurately the dynamic characteristics such as heading angle, force, displacement.



(a) 위에서 본 구조



(b) 정면에서 본 구조

그림 1. SMA 액츄에이터의 구조

1. 서 론

최근 전 세계적으로 초소형 정밀 기계 기술에 관한 연구 및 개발이 활발하게 이루어지면서 형상기억합금 (Shape Memory Alloy: SMA)을 이용한 소형 액츄에이터에 관한 관심이 증대되고 있다. 국내에서도 형상기억합금 액츄에이터를 이용한 내시경 개발에 관심을 보이고 있다. 그 이유는 형상기억합금을 이용한 구동방식이 다른 구동 방식보다 높은 에너지(파워) 대 체적 비율을 가지고, 전기 저항에 의한 가열 방식으로 동작하므로 간단한 구조 및 소형의 액츄에이터에 적합한 재료이기 때문이다. 그리고, 형상기억합금의 온도의 변화에 따라 그 형상이 변하고 힘이 발생하는 원리를 이용해서 소형 로봇의 액츄에이터, 내시경의 액츄에이터 등 여러 분야에 응용될 수 있다. 그러므로, 본 논문에서는 SMA 스프링을 이용한 지능형 내시경용 SMA 액츄에이터를 최적의 구조 및 동작 조건으로 설계·제작하였다.

지금까지 제작된 내시경용 SMA 액츄에이터는 구조 및 제작방법이 간단하지만 발생력 및 동작 범위가 작다는 점과[2] 큰 발생력을 가지나 구조 및 제작방법이 상당히 복잡하다.[3]. 따라서 본 논문에서는 발생력이 크고 구조 및 제작이 간단한 SMA 액츄에이터를 제작하였으며, 진행방향에 대해 모든 방향으로 동작이 가능한 구조 특성을 가지고 있다.

제작된 SMA 액츄에이터의 힘의 크기와 변위를 측정하였고, 원하는 각도에 대한 전류의 크기를 측정하여 인체의 혈관내에 투입되는 지능형 내시경용 초소형 액츄에이터로서의 응용가능성이 기대된다.

2. 구조 및 동작원리

본 논문에서 제작된 액츄에이터는 그림 1에서 보는 바와 같이 두 개의 링크와 내부에는 실리콘 튜브가 들어 있고, 그 위에 bias 스프링이 감겨 있다. 그리고, 링크의 말단에 3개의 SMA 스프링이 늘어진 형태로 연결되어 있다.

3개의 SMA 스프링에 전류가 인가되면, SMA 스프링은 고온의 기억된 모양으로 수축된다. SMA 스프링에 각각 다른 전류를 인가함으로써 각기 다른 수축이 발생한다. 그러므로, 원하는 각도로 SMA 액츄에이터를 동작시킬 수 있게 된다. 그리고, 전류를 끊으면, Bias 스프링에 의해 저온의 길이로 복원된다.

3. SMA 액츄에이터의 제작 및 특성실험

3.1 SMA 스프링의 성능 평가

본 논문에서 사용된 SMA 스프링은 소선경 0.3mm, Ni-Ti alloy 50.22%, A_f 69 °C인 wire형태의 합금을 550 °C에서 스프링 형태로 10분간 열처리하였다.

제작된 SMA 스프링은 내경 1.8mm, 외경 2.4mm, 턴수 28회로 제작되었고, 이 SMA 스프링에 대한 성능 평가는 그림 2에서와 같이 변위 및 발생력을 측정하여 알아 보았다.

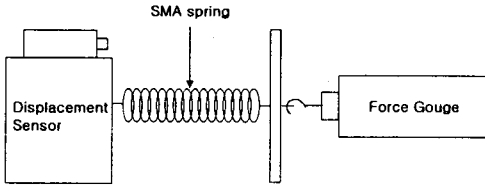


그림 2. 발생력 및 변위 측정 장치

그림 3은 단일 SMA 스프링에 대하여 입력전압 DC 10V, 입력전류 DC 20mA, 40mA, 60mA, 80mA, 100mA, 200mA, 300mA, 400mA를 각각 10초간 인가하였다가 20초간 냉각시킨 후 측정된 발생력의 파형이다.

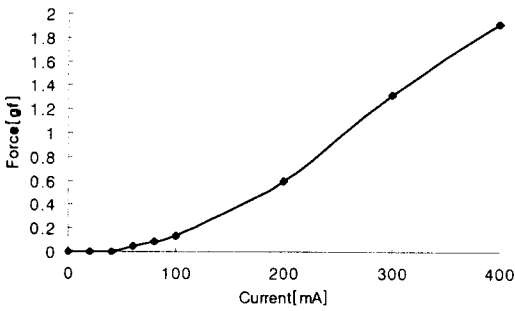


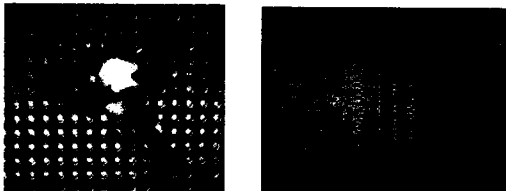
그림 3. SMA 스프링의 발생력 측정 결과

전류가 60mA일 때 힘이 발생하기 시작하고, 100mA 부터 선형에 가깝게 증가하여 400mA이상의 전류에서는 스프링이 과열되기 시작하여 열화되기 시작했다. 그러므로, 400mA이하 부근이 최적의 구동전류 영역임을 알 수 있다.

3.2 SMA 액츄에이터의 제작

본 논문에서 실험용으로 제작한 SMA 액츄에이터는 두께 1mm, 지름 2.2mm의 2개의 링크와 외경 2.4mm, 28turn의 SMA 스프링 3개, 외경 2.1mm의 실리콘 튜브 1개, 외경 2.8mm의 bias 스프링으로 구성되어 있다. 전체 외경 9mm, 길이 27mm의 소형으로 제작되었다.

실제 제작된 SMA 액츄에이터는 그림4와 같다.



(a) 상부구조 (b) 정면 구조

그림 4. 제작된 SMA 액츄에이터

3.3 특성 실험

본 논문에서 제작된 SMA 액츄에이터를 구동하기 위해서 드라이브 회로에서 3개의 SMA 스프링의 각각에 전류를 주어 SMA 액츄에이터를 동작시키고, 변위센서를 통해서 변위를 측정하여 동작 후의 각도를 측정할 수 있다. 그림5에서와 같이 SMA 액츄에이터의 중심이 진

행방향에 대해 a점으로 이동하였다면, 변위센서에 의해 x,y의 값을 각각 측정할 수 있다. 그러므로, θ_1 는 식(1)로부터 구해진다.

$$\theta_1 = \tan^{-1} \frac{x}{\sqrt{y^2 - x^2}} \quad (1)$$

여기서 θ_1 은 heading angle이다. 그리고, bending angle θ_2 는 식(2)로부터 구할 수 있다.

$$\theta_2 = \tan^{-1} \frac{y}{z} \quad (2)$$

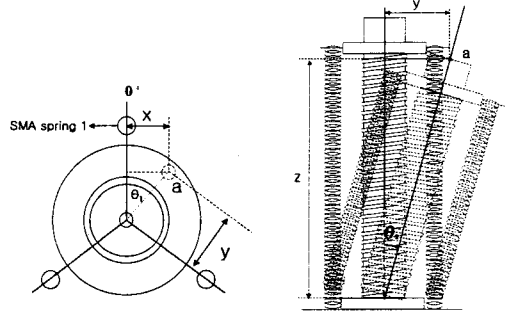
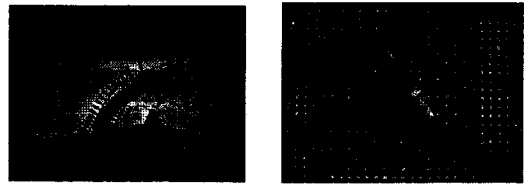


그림 5. a점으로의 이동후의 모습

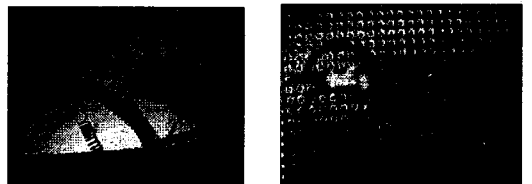
여기서, SMA 스프링 1의 위치를 기준위치 0° 로 가정한다. 그림 6은 SMA 액츄에이터의 $0^\circ, 120^\circ, 240^\circ$ 로 실제 동작된 모습을 보여 주고 있다.



(a) $\theta_1 = 0^\circ$



(b) $\theta_1 = 120^\circ$



(c) $\theta_1 = 240^\circ$

그림 6 SMA 액츄에이터의 동작 모습

(a)는 SMA 스프링 1에 300mA의 전류를 10초간 흘렸을 때의 동작이고, (b)는 SMA 스프링 2에 300mA, (c)는 SMA 스프링 3에 300mA의 전류를 각각 10초간 흘렸을 때의 동작모습이다.

0°에서 120°사이에서 동작할 경우 SMA 스프링 3의 전류를 조정할 경우 θ_2 를 조정할 수 있다. 120°에서 240°사이와 240°에서 0°사이에서 동작경우도 각각 SMA 스프링 1과 SMA 스프링 2의 전류를 조정함으로써 θ_2 를 조정할 수 있다.

제작된 SMA 액츄에이터의 동작특성을 측정하기 위하여 전류, 변위, bending각을 측정하였다. 다음의 그림 7, 8은 θ_2 를 무시하고 측정하였다.

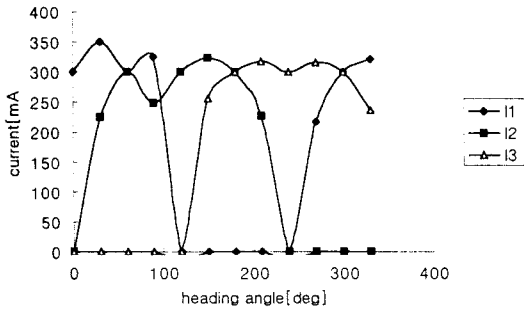


그림 7 heading 각에 따른 전류곡선

그림 7은 원하는 각도 θ_1 에 도달하기 위한 I_1, I_2, I_3 의 전류의 변화를 보인 그림이다. DC 10V의 전압에 각각의 입력전류를 10초간 주고 20초간 냉각시켰다. 전류를 인가한 후 약 5초후에 변위가 발생했다. 200mA 이상에서야 heading각의 변화가 확연하게 드러남을 알 수 있다. 원하는 각도에 동작한 후의 그에 대한 변위는 다음의 그림 8과 같다.

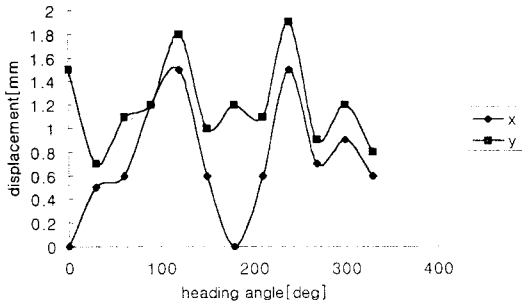


그림 8 heading 각에 따른 변위곡선

x는 최대 1.5mm, y는 최대 1.9mm까지 변위함을 볼 수 있고, y의 변화된 최대, 최소 변위의 차는 1.4mm임을 알 수 있다.

다음의 그림 9는 0°위치에서의 I_1 의 변화에 따른 θ_2 의 변화에 대한 그림이다. I_2, I_3 에는 전류를 인가하지 않고, I_1 에 100mA, 200mA, 300mA, 350mA를 각각 10초간 인가하고, 20초간 냉각한 후 bending각을 측정하였다. 본 논문에서 제작한 SMA 액츄에이터의 heading각의 제어를 위한 전류는 100mA에서 350mA까지 인가하였다.

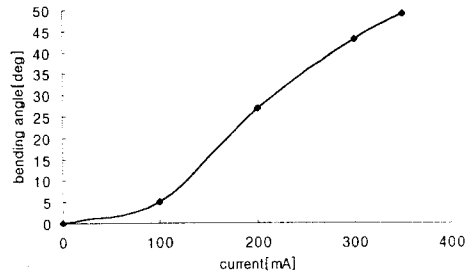


그림 9. I_1 의 변화에 따른 θ_2 의 변화곡선

단일 SMA 스프링에서의 최적 구동전류인 400mA까지 인가하지 않은 이유는 제작된 액츄에이터의 동작 특성상 350mA이후에서는 거의 변형이 완료되었기 때문이다. 실험 결과에서 본 액츄에이터의 동작은 100mA에서 300mA까지 거의 선형적으로 변위가 변함을 알 수 있다. 그러므로, 100mA에서 300mA까지를 2개 구간으로 선형화 가능하므로 이 구간에서 제어 전류로 사용 가능하다.

4. 결 론

본 논문에서는 제작당 큰 발생력을 가지고, 구조가 간단하며, 모든 방향으로 동작이 가능한 지능형 내시경용 액츄에이터를 제안하였고, 실제 제작하였다. 그리고, 제작된 SMA 액츄에이터의 동작특성을 실험하여 실제 지능형 내시경용 초소형 액츄에이터로서의 가능성을 보였다. 그러나 실제 내시경용 액츄에이터로서의 사용을 위해서는 구동시간 및 냉각시에 저온의 형상으로 완전히 복귀하는 시간을 더 단축시킬 필요가 있으므로 이에 대한 연구가 요청된다.

본 논문에서 제안한 액츄에이터는 실제 내시경용 액츄에이터보다 크게 제작되었다. 이는 제안하는 구조 및 동작 특성의 타당성을 검증하기 위한 것으로서, 실제 내시경용으로 제작할 경우 2mm이하의 외경으로 제작되어야 하므로, 이에 대한 연구가 진행중이다. 제작된 액츄에이터는 진행방향에 대한 모든 방향으로 동작이 가능하고, 구조가 간단하므로 지능 알고리즘등을 도입하여 초소형화시킨다면 원하는 혈관 위치 속으로 자유로이 이동하여 검진 및 치료가 가능한 지능형 내시경으로서 응용이 가능할 것으로 예상된다.

(참 고 문 헌)

- [1] Honma, D., Yoshiyuki, M., and Igushi, N., 1989. "Micro Robots and Micro Mechanisms Using Shape Memory Alloy," Integrated Micro Motion Systems, Micro-machining, Control and Application, Nissin, Aichi, Japan, The 3rd Toyota Conference.
- [2] S. Aramaki, S. Kaneko, K. Arai, Y. Takahashi, H. Adachi and K. Yanagisawa, "Tube Type Micro Manipulator Using Shape Memory Alloy(SMA)" Proc. of 6th International Symposium on Micro Machine and Human Science, pp.115-120, 1995.
- [3] G. Lim, K. Minami, M. Sugihara, M. Uchiyama and M. Esashi, "Active Catheter with Multi-Link Structure Based on Silicon Micromachining" Proc. of IEEE MEMS Workshop, pp. 116-121, 1995.
- [4] M.Troisfontaine Ph. Bidaud and P.Dario "Control Experiments on two SMA based micro-actuators", Fifth International Symposium on Experimental Robotics (ISER 97), pp. 15-18, 1997.
- [5] Grant, D., Hayward, V. 'Variable structure control of shape memory alloy actuators', IEEE Systems and Control Magazine, Vol. 17, No. 3, pp. 80-88.