

초소형 작동형 내시경용 Bending 액츄에이터의 제작

이 경 호*, 이 승 기*
*단국대학교 전기공학과

Fabrication of Bending Actuator for Micro Active Catheter

Kwang-Ho Lee* and Seung-Ki Lee
Dept. of Electrical Engineering, Dankook University

Abstract - This paper reports experimental results on the fabrication and analysis of millimeter-sized bending actuators for active catheter by use of the shape memory alloy spring and the flexible beam. The major components of micro actuator are shape memory alloy spring, stainless steel strip and two acryl links. The micro actuator with the diameter of 2.0 mm and the length of 25 mm has been fabricated and characterized for the possible application to the micro active catheters. The measured maximum angle is 60 ° and the response time is 5 sec.

본 연구에서의 bending 액츄에이터의 기본적인 구조는 그림 1에서와 같이 상·하 2개의 아크릴 링크와 스테인레스 스틸 스트립, 형상기억합금 스프링 등으로 구성되어 있다. 형상기억합금 스프링은 밀착 coil 스프링으로 기억되어 있으며 저온에서 그림 1 (a)와 같이 스프링의 길이를 늘여서 링크에 연결하였다. 고온시에는 가열되어진 형상기억합금 스프링이 원래의 형상으로 돌아가기 위해 수축하게 되고 그에 따라 스트립은 그림 1 (b)와 같이 bending된다. Bending 되어진 액츄에이터가 냉각되면 스트립의 복원력이 스프링의 발생력에 비해 커지게 되므로 형상기억합금 스프링은 다시 늘어나게 되고 bending이 제거되어 액츄에이터의 반복동작이 가능하게 된다.

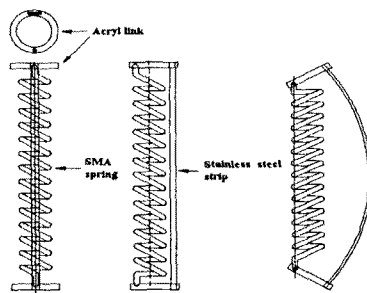
1. 서론

본 논문은 형상기억합금 스프링과 스테인레스 스틸 스트립을 이용한 초소형 작동형 내시경용 bending 액츄에이터의 제작에 관한 연구이다. 액츄에이터의 동작 방법은 기본적으로 형상기억합금의 상변태와 보의 굽힘에 관한 성질을 이용하였으며, 외경 2.0 mm, 중공 0.8 mm를 갖고 한방향으로 동작이 가능하다.

지금까지 형상기억합금을 이용하여 제작한 내시경용 bending 액츄에이터 중에서 Olympus에서 제작한 액츄에이터는 형상기억합금 스트립만으로 bending 동작을 구현하여, 구조 및 제작방법이 간단하지만 발생력 및 동작범위가 작은 문제를 가지고 있다 [1]. 이에 비해 Tohoku 대학에서 제작한 bending 액츄에이터는 다수의 형상기억합금 스프링을 이용하여 큰 발생력을 내지만 구조 및 제작방법이 상당히 복잡하다 [2]. 본 논문에서는 형상기억합금 스프링과 스테인레스 스틸 스트립을 이용하여 동작범위가 크고 간단한 구조를 갖는 bending 액츄에이터를 제안하였다.

제안된 구조에 대한 bending 동작은 기둥의 좌굴에 관한 식과 형상기억합금 스프링의 발생력에 관한 식으로부터 계산할 수 있다. 그리고 형상기억합금 스프링에 인가되는 전류 변화에 따른 bending 각도와 발생력의 변화를 측정하여 초소형 작동형 내시경에 적용하기 위한 타당성을 확인하였다.

2. Bending 액츄에이터의 구조 및 원리



(a) 저온시 상태 (b) 고온시 상태
그림 1. 형상기억합금 스프링과 스트립을 이용한 내시경용 bending 액츄에이터의 구조

3. 제작 및 측정

본 연구에서는 실제적인 응용을 위해 전체길이 25.5 mm, 외경 2.0 mm, 그리고 중공 0.8 mm를 갖는 마이크로 모델을 제작하여 bending 각도와 발생력을 측정하였다. 마이크로 모델에 대한 각 구조물의 치수는 표 1과 같다.

Bending 각의 측정은 그림 2와 같이 laser 변위계를 이용하여 액츄에이터의 변위 y를 측정하고 측정된 변위 y를 다음 식(1)을 이용하여 bending 각 θ 를 구한다.

$$y = \frac{L}{\theta} (1 - \cos \theta) \quad (1)$$

발생력 측정을 위한 실험장치의 개략도는 그림 3과 같다. 저울에 올려진 추와 액츄에이터가 가는 실로 연결되어 있고 액츄에이터가 bending 되면 저울 위의 추를 당기게 된다. 이때 달라진 추의 무게가 액츄에이터의 발생력이 된다.

표 1. 마이크로 모델의 각 구조물 치수

구분	스프링	스트립	내부링크	외부링크	외부튜브
치수	스프링경	0.95 폭	0.65	외경 1.5	외경 2.0
	소선경	0.15	두께 0.15	내경 0.7	내경 1.5
	탄수	20	길이 25.5	두께 상부 0.5 하부 1.1	두께 1.6

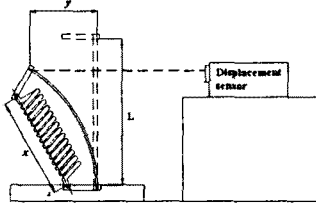


그림 2. 변위 측정장치 개략도

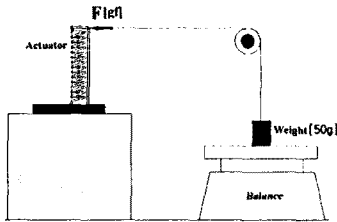


그림 3. 발생력 측정장치 개략도

4. 실험결과

마이크로 액츄에이터는 전체길이 25.5 mm, 외경 2.0 mm, 중공 0.8 mm로 제작되었다. Bending 형상을 보완하기 위해 그림 4에서 보이는 것과 같이 액츄에이터의 상·중·하 세 부분을 고정하였다. 그림 4는 마이크로 액츄에이터의 동작 사진이다. 마이크로 액츄에이터의 동작특성은 입력전류 및 시간의 변화에 따른 bending 각의 변화와 발생력 변화를 측정하여 알아 보았다.



(a) 저온시 상태 (b) 고온시 상태
그림 4. 마이크로 액츄에이터의 동작사진

그림 5는 입력전류 별로 5초간 가열하였을 경우 bending 각의 변화를 나타낸 것이다. DC 0.3 A, 0.4 A, 0.5 A의 전류를 각각 5초간 인가하였다. 그림 5에서 2 sec 전까지 급격히 bending 각이 변화하다가 그 이후부터 변화량이 감소하는 것을 볼 수 있다.

그림 6은 3 sec 동안 가열하고 10 sec 동안 냉각하였을 경우 bending 각의 변화를 비교한 것이다. 입력전류가 커질수록 냉각속도가 느려지고 잔류 bending이 큰 것을 알 수 있다. 그리고 각 경우에서 냉각후 5 sec 이후 부터는 bending 각의 변화가 적어지기 시작한다. 따라서 가열시간을 줄일 경우 냉각시간 또한 줄일 수 있을 것으로 생각된다.

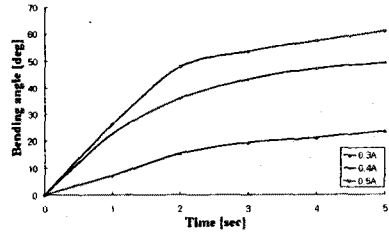


그림 5. 입력전류에 대한 bending 각의 변화

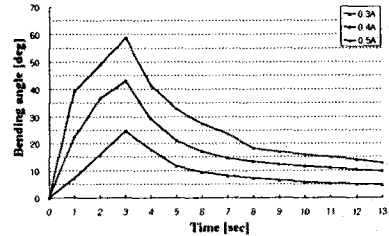


그림 6. 가열과 냉각시의 bending 각 비교

액츄에이터의 반복동작 특성은 실제 작동형 내시경에 적용하기 위한 중요한 요소이다. 이러한 마이크로 액츄에이터의 반복동작 특성을 측정하기 위해 DC 4 V, 0.4 A의 입력전류를 일정하게 유지하여 실험하였다. 0.5 A로 인가할 경우 bending 각이 커지고 동작속도 또한 빨라지지만 냉각속도가 느려지고 과열될 우려가 있어 0.4 A를 구동전류로 인가하였다.

그림 7은 3 sec 동안 가열하고 10 sec 동안 냉각하여 측정된 결과이다. 그림 7에서 저온시 약 10° 정도의 잔류 bending과 고온시 약 50° 정도의 bending 각을 가지는 것을 볼 수 있다. 또한 반복동작 횟수가 증가하여도 bending 각의 변화 없이 일정하게 유지되는 것을 볼 수 있다. 그림 8은 2 sec 동안 가열하고 5 sec 동안 냉각한 것이다. 반복 동작 초기에는 bending 각이 증가하나 횟수가 증가할수록 안정되어지는 것을 볼 수 있다. 저온시 잔류 bending 각은 약 17° 정도이고 고온시의 bending 각은 약 47° 정도이다.

그림 9는 각각의 입력전류에 대하여 시간변화에 따른 발생력의 변화를 측정된 것이다. 입력전류가 커질수록 액츄에이터의 발생력은 커지며 1~3 sec 사이에서 급격히 증가하는 것을 볼 수 있다. 0.5 A에서 1.7 gf의 상당히 큰 발생력을 얻을 수 있음을 알 수 있다. 그림 10은 각 입력전

류에 대하여 일정 시간 동안 가열하였을 경우 발생력의 변화를 나타낸 것이다. 액츄에이터에 0.2 A~0.4 A의 전류를 각각 20 sec 동안 인가한 후의 발생력을 측정하였다. 0.2~0.3 A 사이에서 발생력이 급격히 증가하며 0.4 A 이후부터 포화되어지는 경향이 있다.

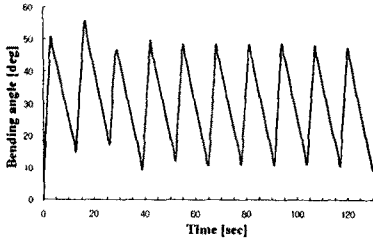


그림 7. 3 sec 가열, 10 sec 냉각시의 반복동작 특성

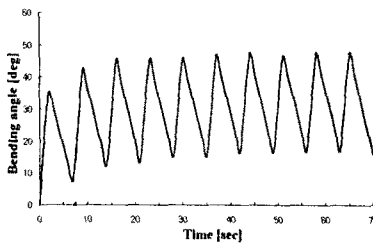


그림 8. 2 sec 가열, 5 sec 냉각시의 반복동작 특성

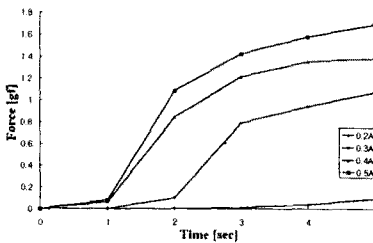


그림 9. 시간에 따른 발생력의 변화

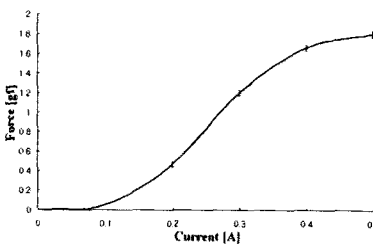


그림 10. 입력전류에 따른 발생력의 변화



(a) 저온시 상태 (b) 고온시 상태

그림 11. Packaging된 bending 액츄에이터의 동작사진

그림 11은 실리콘 튜브로 외부 packaging을 한 상태에서의 동작사진이다. 이때의 bending 각은 저온시 $\theta_L = 23.6^\circ$, 고온시 $\theta_H = 49.8^\circ$ 이다. 동작시간은 가열시 4 sec, 냉각시 14 sec으로 외부 packaging 튜브에 의해 동작속도가 느려진 것을 알 수 있다. 튜브 자체의 복원력 뿐만 아니라 튜브 내벽과 형상기억합금 스프링과의 마찰력도 액츄에이터의 동작에 영향을 주어 bending 양을 줄어뜨리게 한 것으로 생각된다. 그림 11에서 보이는 튜브는 내경 2.0 mm, 외경 3.0 mm, 두께 0.5 mm이다. 사용 튜브의 두께가 이보다 얇은 튜브를 사용할 경우 보다 큰 bending 각을 얻을 수 있으며, 형상기억합금 스프링의 냉각속도가 빨라져 액츄에이터의 동작속도 또한 향상될 것이다.

5. 결론

본 논문에서는 큰 bending양을 구현하면서도 간단한 동작원리 및 구조로 제작이 가능한 내시경용 bending 액츄에이터를 제안하였고 직접 제작하였다. 또한 제작된 액츄에이터로 동작특성을 실험하여 실제 초소형 작동형 내시경에 적용하기 위한 타당성을 확인하였다.

각각의 동작특성 실험을 통해 제작된 액츄에이터의 최적 구동전류는 0.4 A임을 알 수 있다. 이보다 큰 전류로 장시간 가열할 경우 과열되어 액츄에이터의 동작특성이 나빠지거나 파손될 우려가 있다. 0.4 A의 전류를 인가할 경우 짧은 가열시간에도 큰 bending 각을 얻을 수 있었으며 (2 sec 가열시 35° 이상), 비교적 빠른 냉각속도를 얻을 수 있었다. 연속 반복동작의 경우 반복동작 횟수가 증가하여도 저온시와 고온시의 bending각이 크게 변화하지 않고 비교적 빠른 동작주기를 얻을 수 있으며, 구동조건에 따라 1.4 gf 이상의 비교적 큰 발생력을 얻을 수 있었다. 또한 액츄에이터를 튜브로 완전히 packaging 했을 때도 49.8° 의 큰 bending 각을 얻을 수 있었다. 앞으로 보다 얇은 튜브를 사용할 경우 보다 큰 bending 각을 얻을 수 있으며, 형상기억합금 스프링의 냉각속도가 빨라져 액츄에이터의 동작속도 또한 향상될 것이다. 따라서 본 연구에서 제작된 bending 액츄에이터는 초소형 내시경용 bending 액츄에이터로서 적합한 형태와 특성을 갖는다고 볼 수 있다.

참고문헌

- [1] D. E. Hodgson, Using Shape Memory Alloys, Shape Memory Applications Inc., 1988.
- [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] R. C. Hibbeler, Mechanics of Materials, Maxwell Macmillan Int., pp. 677-680, 1994.
- [5] 舟久保 熙康 (編), 形状記憶合金, 産業圖書, pp. 150-157, 1984.