

지그재그 형태의 형상기억합금 스프링을 이용한 굽힘 액추에이터의 제작

임 안 수 · 이 승 기
 단국대학교 전기공학과

Fabrication of Bending Actuator Using Zigzag-type Shape Memory Alloy Springs

An-Su Lim · Seung-Ki Lee.

Department of Electrical Engineering, Dankook University

Abstract

The bending actuator using zigzag type shape memory alloy springs has been fabricated and characterized. The small sized actuator with outer diameter of 3.0mm and inner diameter of 2.0mm could be implemented because zigzag type spring has advantages for thin wall type actuator over the coil type spring. The measured characteristics of the fabricated bending actuator show the possibility of practical application to micro active bending catheter.

1. 서 론

형상기억합금은 큰 변형률과 복원력을 갖고 전기 저항에 의한 가열 방식으로 동작하므로 간단한 구조 및 소형의 액추에이터에 적합한 기능성 재료이다 [1]. 따라서 형상기억합금을 소형 액추에이터에 이용하는 연구가 1980년대 이후 꾸준히 계속되어 왔으며 최근에는 이를 의료용으로 응용하려는 연구가 진행되어 오고 있다 [2]. 특히 형상기억합금을 내시경용 굽힘 액추에이터에 이용하는 연구는 초소형의 작동형 내시경을 가능하게 하므로 집중적인 연구가 진행되고 있다.

초소형 내시경용 굽힘 액추에이터를 제작할 때 가장 중요한 것은 내시경의 내부 채널을 가능한 한 크게 확보하여 실제 응용 가능성을 증가시킬 수 있어야 하는 것이며 이는 전체 내시경의 소형화와 함께 이루어져야 한다. 지금까지 초소형 내시경용 굽힘 액추에이터에 이용된 형상기억합금은 대부분 코일 형태의 스프링으로서 이는 코일 형태의 스프링이 갖는 성형의 용이성, 매우 큰 변형률 때문이다. 그러나 내부 채널의 충분한 확보 및 전체 크기의 소형화를 위해서는 코일 형태의 스프링이 매우 작은 스프링을 갖는 형태이어야 하는데 이는 제작이 많은 어려움이 따른다.

본 논문에서는 간단한 방법으로 제작이 가능하고 공간 활용의 측면에서 코일 형태의 스프링보다 유리한 지그재그(zigzag) 형태의 형상기억합금 스프링을 제작하고 이를 초소형 굽힘 액추에이터에 이용하고자 한다. 지그재그 형태의 스프링은 발생력이나 변형률 등이 코일 형태의 스프링에 비해 거의 같은 수준이며 따라서 내부 채널을 크게 하고 전체 크기를 소형화하는 데에 매우 유리한 장점을 지닌다. 따라서 지그재그 형태의 형상기억합금 스프링을 이용하여 굽힘 액추에이터를 제작하고 제작된 액추에이터의 내시경으로서의 응용 가능성을 알아보기 위하여 굽힘 액추에이터의 굽힘 각도, 발생력 그리고 반복 동작에 따른 특성의 변화 등을 측정한다.

2. 본 론

2.1 액추에이터의 구조 및 원리

전체 액추에이터의 구조가 그림 1에 나타나 있다. 전체 구조는 3개의 지그재그 형태의 형상기억합금 스프링, 접지용 에나멜 선, 내부 튜브와 외부 튜브, 양 끝단에 1

개씩의 링크, 접속용 연결 핀, 그리고 내부 고정용 링크 2개로 구성된다. 내부 튜브와 외부 튜브 사이의 공간에, 잡아 늘려 있는 상태인 지그재그 형태의 형상기억합금 스프링이 120도 간격으로 배치되고 양 끝단에 링크가 연결된다. 앞부분의 링크는 황동으로서 3개의 형상기억합금 스프링을 접지시키기 위한 것이고 뒷부분의 링크는 PBT로서 전체 내시경에 연결하기 위한 것으로서 접지선을 포함해 4개의 연결용 핀이 접속된다. 사용된 튜브는 액추에이터의 지지대 역할을 함과 동시에 패키징용 재료로 사용되며 내경 2.0mm, 외경 2.5mm, 길이 40mm인 실리콘(silicone) 재질의 내부 튜브와 내경 2.8mm, 외경 3.0mm, 길이 40mm인 폴리우레탄 (polyurethane) 재질의 외부 튜브로 구성되어 있다.

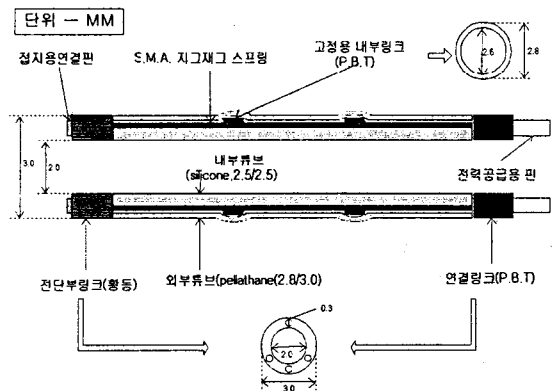


그림 1. 액추에이터의 구조도

3개의 형상기억합금 스프링 중에서 어느 한쪽에 전류를 인가하면 전류에 의해 발생하는 저항 열로 인하여 형상기억합금 스프링이 수축하게 되고 전체 액추에이터는 수축한 스프링 쪽으로 굽어지게 된다. 3개의 스프링에 독립적으로 전류를 인가하며 각각의 전류의 크기를 조절하면 임의의 방향으로의 굽힘 동작도 가능해진다.

2.2 액추에이터의 제작 및 측정

2.2.1 지그재그 스프링의 제작

스프링 제작에 사용된 형상기억합금은 소선경 0.1mm, 변태온도 80℃인 소선이며, 그림 2에 제작방법을 도시하였다. 그림에서 알 수 있듯이 양끝으로 팽팽하게 잡아당겨진 두 개의 기둥을 따라서 가이드 선이 회전하고 동시에 기둥 사이로 형상기억합금 소선을 왕복시키면 지그재그 형태의 스프링 모양이 형성된다. 이렇게 하여 제작된 스프링을 550℃에서 10분간 열처리한 후 기둥으로 사용된 소선과 가이드 선을 제거하게 되면 비교적 간단한 방법으로 지그재그 형태의 스프링을 얻게 된다.

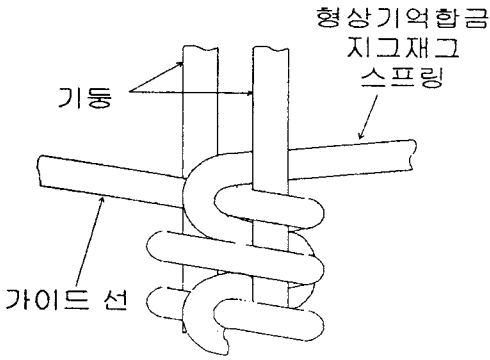


그림 2. 지그재그 스프링의 제작 방법

그림 3은 지그재그 형태의 스프링의 구조를 나타낸다. 지그재그 스프링의 곡률 반경은 사용된 가이드 선의 굵기에 의해 결정되고 스프링 전체의 폭은 기동과 가이드 선, 그리고 스프링으로 이용되는 형상기억합금 소선의 굵기에 의해 결정된다. 따라서 각 선들의 적절한 선정에 의해 다양한 형상을 갖는 지그재그 스프링의 제작이 가능하다. 그림4는 이렇게 제작된 지그재그 형태의 형상기억합금 스프링의 사진이다. 사용된 기동과 가이드 선의 직경은 모두 0.1mm이며 전체 폭은 0.5mm이다.

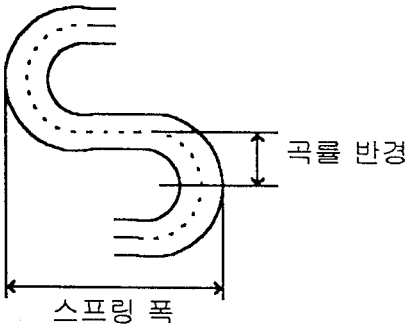


그림 3. 지그재그 스프링의 구조

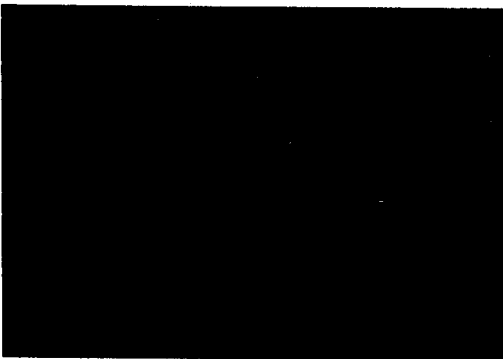


그림 4. 스프링의 현미경 사진 (50배)

2.2.2 액추에이터의 조립

액추에이터의 성능은 동작시간 및 굽힘 각도에 의해서 결정된다. 따라서 스프링 제작시 형상기억합금의 굵기와 초기 인장길이 등의 설정에 의해 액추에이터의 성능 및

특성이 변화하게 된다. 튜브가 두꺼운 경우는 굽힘 각도가 줄어들고 방열이 어려워지며 반대로 얇은 경우에는 좌굴이 발생하는 등의 문제점이 생긴다. 제작된 액추에이터는 내부 튜브를 두껍게 하여 좌굴을 방지하는 지지대로 사용하였으며 그 외벽에 지그재그 스프링을 120도 간격으로 올려놓은 후 스프링의 치우침을 방지하기 위하여 내경 2.7mm, 외경 2.9mm의 고정용 링크를 중간에 2개 삽입하였다. 그리고 그 위에 벽 두께가 0.1mm인 얇은 폴리아테탄 튜브를 씌워서 열의 방출을 쉽게 하였다. 마지막으로 그림 1에 나타난 형상의 링크 두 개를 각각 양 끝단에 부착하여 스프링의 고정 및 전기적인 결선, 전체 내시경과의 연결이 가능하도록 하였다.

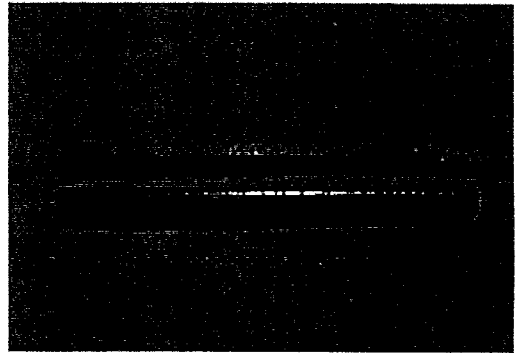


그림 5. 제작된 액추에이터의 외형 사진

그림 5는 제작된 액추에이터의 외형사진이다. 그림의 좌측 부분에 있는 링크는 PBT 재질로서 링크벽의 구멍에 꽂혀있는 핀을 이용해서 전력 공급 및 내시경과의 접속이 가능하다. 이렇게 제작한 액추에이터에 240mA의 전류를 인가했을 때의 동작을 그림 6에 나타내었다.

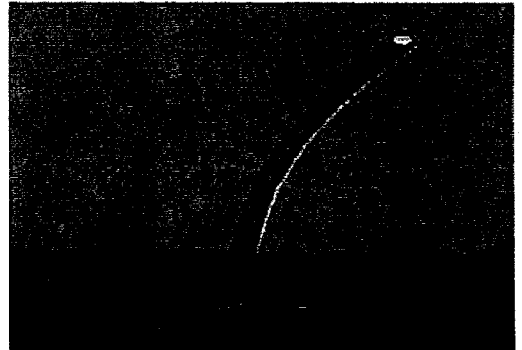


그림 6. 액추에이터의 동작 사진

2.2.3 액추에이터의 성능평가

제작된 액추에이터의 내시경으로서의 성능을 평가하기 위해 그림 7과 같이 최대 굽힘이 일어날 때까지 전류를 인가한 후 자연 냉각에 의해 되돌아 오는 모습을 디지털 변위계로 측정하여 각도로 환산하였다. 그림에서 굽힘 각도는 200mA 이상 인가시 35도 정도이며 이 때 소요되는 시간은 3~4초이다. 그러나 튜브의 복원력에 의한 자연귀환에 소요되는 시간은 약 20초 정도의 느린 반응을 보임을 알 수 있다.

그림 8은 액추에이터의 발생력을 고정단으로부터 떨어진 거리에 따라 전류를 변화시켜 가면서 측정된 결과이다. 소선경 0.1mm인 형상기억합금은 100mA 이상의 전류 인가시 변태온도에 도달하게 되는데 이 실험 결과에서도

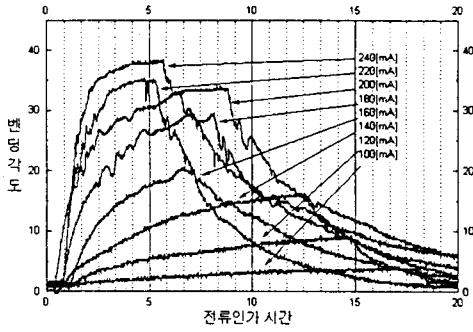


그림 7. 인가전류 변화에 따른 굽힘 각도

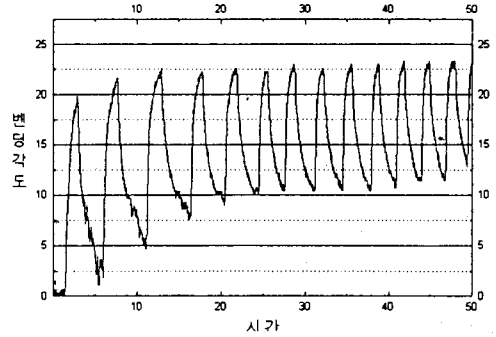


그림 9. 자연귀환 방식에 따른 반복특성

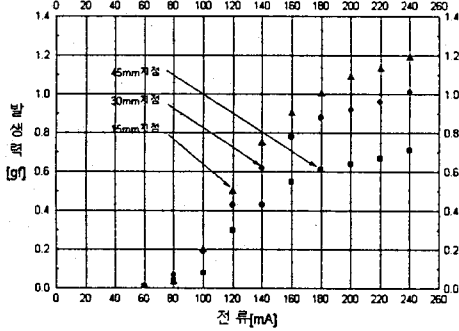


그림 8. 액추에이터의 발생력 측정

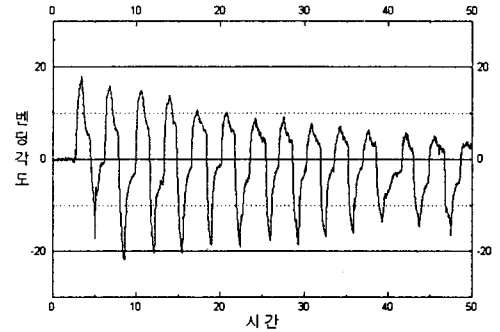


그림 10. 강제귀환 방식에 따른 반복특성

100mA 이상 되는 지점에서 발생력이 증가하기 시작하고 있음을 알 수 있다.

그림 9와 그림 10은 약 0.2Hz의 전류 주파수에서 각각 자연귀환시와 강제귀환시의 반복 특성을 나타내고 있다.

그림 9에 나타난 자연귀환의 경우는 한 개의 스프링에 전류를 흘려주어 굽힘 동작을 발생시킨 후 전류를 끊고 튜브의 복원력에 의해 원래의 위치로 되돌아 가도록 한 것이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 동작이 반복되어도 굽힘 각도는 약 23도 정도로 일정하게 유지되고 있으나 원래의 위치로 완전히 돌아가지 못하고 약 10도 정도의 굽힘 각도가 남아있게 됨을 알 수 있다. 이는 스프링에서 발생한 열이 충분히 외부로 빠져나가고 있지 못하기 때문이다.

그림 10은 한 개의 스프링에 전류를 흘려주어 굽힘 동작을 발생시킨 후 전류를 끊고, 다른 두 개의 스프링에 동시에 전류를 흘려줌으로써 원래의 위치로 돌아오는 동작을 강제로 시켜준 경우이다. 다른 두 개의 스프링에 전류를 흘려주면 원래의 위치를 지나쳐서 반대 방향으로의 굽힘 동작이 발생하게 되며 그림에서 음의 각도는 이러한 반대 방향을 의미한다. 음의 각도 방향으로 굽힘 동작이 발생하고 난 후 다시 다른 한쪽의 스프링에 전류를 흘려주면 반대쪽 두 개의 스프링이 충분히 냉각되지 않아 양의 방향으로의 굽힘 각도는 동작이 반복됨에 따라 점차 감소하게 된다.

이상의 반복 특성으로부터 굽힘 액추에이터가 원활하게 동작하기 위해서는 형상기억합금 스프링의 방열이 매우 중요하고 특정 주파수 이상의 반복 동작에는 한계가 있음을 알 수 있다 따라서 전체 액추에이터의 성능 향상을 위해 적절한 재질 및 두께의 외부 튜브 선정이 반드시 필요하며 외부 튜브의 영향을 정량적으로 분석해야

할 것이다. 현재 사용하고 있는 형상기억합금은 변태 온도가 약 80°C인 것으로서 변태 온도가 좀 더 낮은 형상기억합금을 이용한다면 입력 전력의 감소가 가능하므로 반복 동작이 가능한 주파수도 증가할 수 있을 것으로 보인다.

3. 결 론

지그재그 형태의 형상기억합금 스프링을 제작하고 이를 이용하여 초소형 내시경용 굽힘 액추에이터를 제작하였다. 지그재그 형태의 스프링은 코일 형태의 스프링에 비해 공간의 활용에 장점을 지니고 있으며 이를 이용하여 내경 2.0mm, 외경 3.0mm의 초소형 작동형 내시경의 제작이 가능하였다. 제작된 굽힘 액추에이터의 내시경으로서의 응용 가능성을 알아보기 위하여 전류에 따른 굽힘 각도의 변화, 발생력의 변화 및 반복 동작 특성 등을 측정하고 분석하였다. 제작된 굽힘 액추에이터는 3초 이내의 응답 속도 및 30도 이상의 굽힘 각도를 갖는 특성을 보이며 특히 2.0mm의 중공 확보에 의해 인체 투입용의 초소형 작동형 내시경으로 실제로 응용될 수 있을 것으로 판단된다.

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 Multilink Structure Based on Silicon Micromachining", Proc. IEEE MEMS Workshop, pp. 116-121, 1995.