

형상기억합금(SMA) 스프링 작동기의 반복 구동이 성능 감소에 미치는 영향 연구

A study of degradation of SMA spring actuator in multiple repetitive cycles

*안성민¹, #조규진¹

*S. M. An¹, #K. J. Cho(kjcho@snu.ac.kr)¹

¹ 서울대학교 기계항공공학부

Key words : SMA spring actuator, degradation

1. 서론

최근 초소형 마이크로 로봇에 관한 관심이 증대됨에 따라, 작동기(actuator)의 소형화, 경량화에 대한 연구 또한 활발히 진행 중이다. 단위 부피 비당 큰 에너지를 낼 수 있는 형상기억합금(SMA: shape memory alloy)은 로봇의 소형화에 따른 모터-기어 트레인을 대신할 수 있는 초소형 작동기로 각광 받고 있다. 실제로 SMA 작동기를 의료기용 내시경, 마이크로 로봇 등에 응용하려는 연구가 활발히 진행 중이다[1-4].

형상기억합금은 저온의 마르텐사이트와 고온의 오스테나이트의 상변태를 거치며 형상기억효과를 나타내는 금속이다. 일반적으로 마이크로 로봇의 작동기로 사용되는 SMA의 형태는 코일 형태의 SMA 스프링 작동기이다. 스프링 형태의 SMA 작동기는 와이어 타입에서 얻을 수 없었던 큰 행정거리를 얻을 수 있다는 장점이 있기 때문이다[5].

SMA 스프링 작동기의 설계 시에는 고려해야 할 여러 가지 설계 변수들이 존재한다. 그 여러 가지 설계변수 중 중요한 변수 하나는 스프링을 마이크로 로봇에 장착함으로써 얻을 수 있는 작동힘(actuation force)이다. 이 힘은 SMA 스프링 작동기가 저온에서 변형되고 고온에서 기억된 형상을 찾을 때 발생 되는 수축력을 뜻한다(Fig.1 참고). 그러나 적절한 하중 조건에서 작동기가 사용되지 않을 경우 응력 유기 변태(SIM: Stress Induced Martensitic transformation)가 발생하게 되고 SMA 스프링 작동기는 원래 기억된 형상을 회복할 수 없게 된다[6]. 이러한 현상이 발생할 경우 설계된 행정거리를 얻을 수 없기 때문에, 각각의 SMA 스프링 작동기에 대한 최대 출력 가능한 힘을 계산하는 것은 작동기 설계시의 중요 요소 중 하나이다[7].

이번 연구에서는 현재 개발 중인 마이크로 로봇에 사용되는 것과 동일한 설계변수를 갖는 스프링을 제작 하여, 응력 유기 변태를 발생시키는 임계 스트레스 값을 찾아본 후, SMA 스프링 작동기가 마이크로 로봇 내에서 반복적으로 구동 되었을 때, 그 임계값이 어떻게 변화하는지에 대한 연구를 수행하였다.

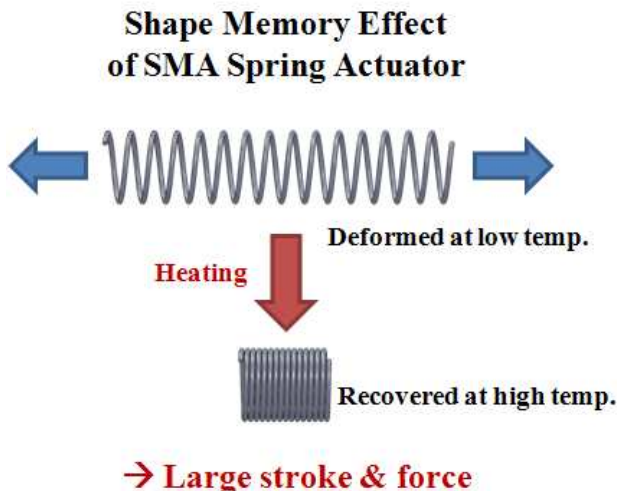


Fig. 1 Schematic diagram of shape memory effect of SMA spring actuator

Table 1 Properties of the SMA wire used in this study

구분	내용
Density	6.45 g/cm ³
Melting Point	1250 °C
As Temp.	90 °C
Young's Modulus (GPa)	28(Martensite), 75(Austenite)
Resistivity (μΩcm)	76(Martensite), 82(Austenite)
Poisson's Ratio	0.33

2. 실험

이번 실험을 위하여 현재 제작 중인 마이크로 로봇에서 사용되는 것과 동일한 조건의 SMA 스프링 작동기가 제작 되었고 작동기가 실제 구동되는 것과 유사한 환경 조건에서 실험을 실시하였다.

상용 판매하는 0.23 mm 크기 형상 기억합금 와이어(Ti-50 at% Ni)를 0.508 mm 봉에 감아 스프링 피치 0인 코일 12개의 스프링을 제작한 후, 형상 기억 효과를 위하여 500 °C, 1시간 열처리 가공을 실시하였다. 실험에 사용된 SMA 와이어의 기계, 전기적 특성이 Table 1에 제시되어 있다.

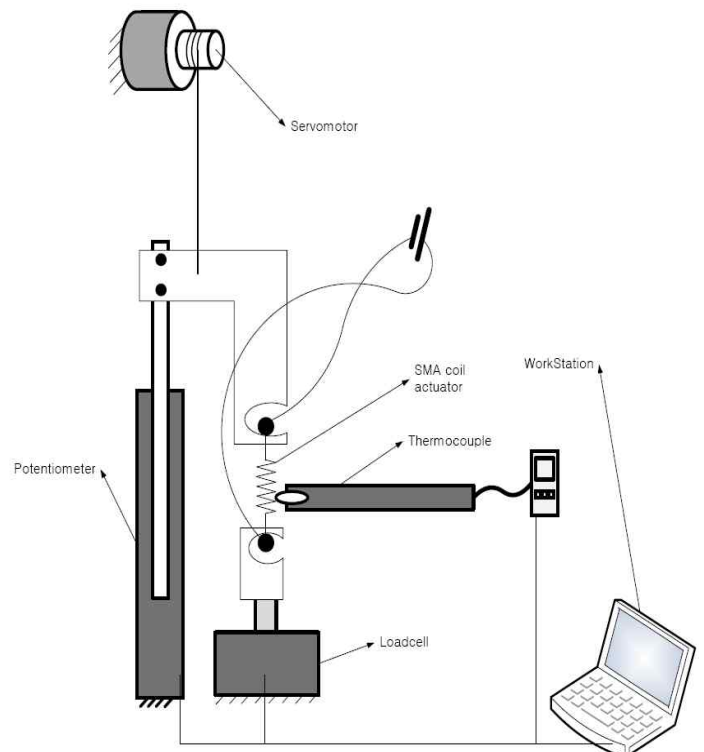


Fig. 2 Tensile test device for SMA spring actuator

실험은 크게 두 가지 단계로 진행 되었다. 우선 적정하중 조건을 찾기 위한 스프링 인장 실험을 실시하였다. 그 결과를 바탕으로 적정하중 조건에서의 반복적인 구동 실험이 약 45회 가량 진행 되었다. 이 두 가지 단계의 실험을 통하여 반복적인 구동이 SMA의 성능 변화에 미치는 영향이 비교 분석 되었다. 모든 실험은 충분한 전류를 시편에 가함으로써, 고온의 오스테나이트(T>Af : 오스테나이트 완료 온도) 조건에서 시행되었다. Fig. 2는 실험이 실시되었던 인장 실험 장비의 설비도이다.

3. 결과 및 분석

Fig. 3는 응력 유기 변화가 발생하는 힘의 임계점을 찾기 위하여 실시된 인장 실험 결과이다. 실험 데이터를 통하여 약 500mN까지는 SMA 스프링 작동기가 큰 강성을 가지며 기억된 형상의 완벽한 회복이 가능함을 확인할 수 있다. 힘이 500mN을 넘어서기 시작하면서 SMA 스프링 작동기에서는 응력 유기 변화가 발생한다[5]. 이 구간은 스프링의 강성이 낮아지고 변형 또한 쉽게 발생하는 구간이다. 따라서 500mN 보다 큰 하중 조건에서는 SMA 스프링 작동기는 기억된 형상을 완전히 회복할 수 없게 되는 불완전 회복 현상이 발생하게 된다. 이러한 임계값을 넘어서는 하중 조건에서는 설계 시 계산된 행정거리를 만족할 수 없게 된다. 따라서 출력 가능한 힘의 임계값을 고려한 SMA 스프링 작동기의 설계는 마이크로 로봇의 구동에 있어서 중요한 요소라 할 수 있다. 마지막 가파른 기울기 구간은 스프링에 영구 변형이 발생하는 구간으로써, 스프링에 심한 변형이 가해져 스프링 형상에서 와이어 형상으로 그 모양이 변하는 구간이다.

Fig. 4는 제작된 시편에 최대 힘을 넘지 않는 500mN이하의 힘을 가하여 약 45회 가량 구동한 데이터이다. 실험 데이터로부터 SMA 스프링 작동기가 반복 구동 될수록, 응력 유기 변화가 발생하는 힘의 임계값이 낮아지는 현상을 발견할 수 있다. 그러나 약 30회 이후부터 임계값이 수렴하는 현상이 나타난다.

이것은 SMA 스프링 작동기의 구동 시 초기에 완전한 회복을 하며 원하는 행정거리를 만족 할지라도, 마이크로 로봇의 반복적인 구동 중 그 임계값이 낮아지며 성능감소가 발생할 수 있다는 사실을 의미한다. 따라서 SMA 스프링 작동기 설계 시 작동힘의 초기 값만을 고려할 것이 아니라, 반복적인 구동 후 발생할 성능감소 현상까지 고려한 작동기 설계가 필요하다.

실험 결과 데이터로부터, SMA 스프링 작동기를 안정적인 성능 조건에서 사용하기 위해서는, 마이크로 로봇에 작동기를 장착 전 충분한 트레이닝을 실시하여 작동힘을 일정 범위로 수렴시키는 작업이 필요함을 알 수 있다.

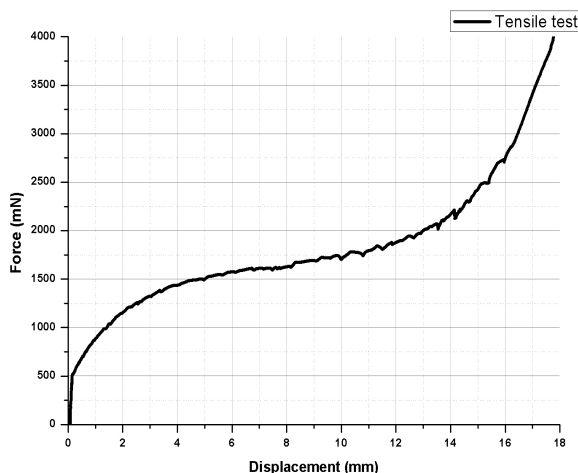


Fig. 3 The result of tensile test of SMA spring actuator

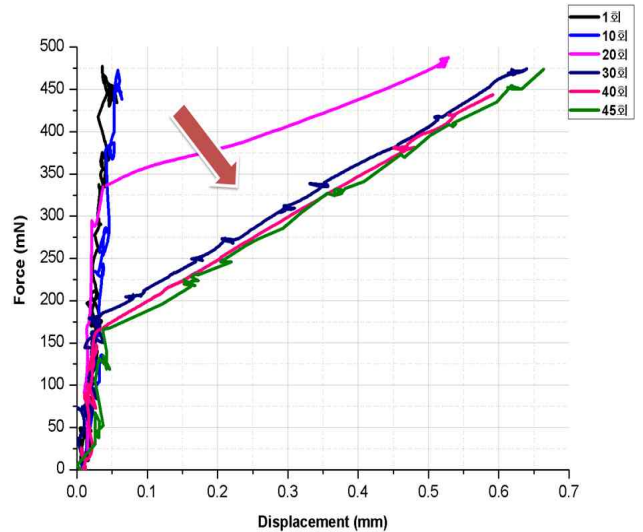


Fig. 4 The degradation of SMA spring actuator in multiple repetitive cycles

4. 결론

본 연구는 마이크로 로봇의 구동기로 사용되는 SMA 스프링의 반복적인 구동 조건에 따른 성능 감소 현상을 연구하였다.

이번 연구를 통하여 SMA 스프링 작동기는 실제 구동 중 성능 감소 현상이 발생 할 수 있다는 것을 확인 하였다. 그러므로 안정적인 성능 조건에서 작동기를 사용하기 위해서는 적절한 하중 조건과 SMA 스프링 작동기의 성능감소에 대한 특성을 고려한 구동기의 설계가 필요할 것이다.

참고문헌

1. Kim, B., Lee, S., Park, J. H., "Design and Fabrication of a Locomotive Mechanism for Capsule-Type Endoscopes Using Shape Memory Alloys (SMAs)," IEEE/ASME TRANSACTIONS ON MECHATRONICS, 10, 77-86, 2005.
2. Cho, K. J., Hawkes E., Quinn C., Wood, R. J., "Design, fabrication and analysis of a body-caudal fin propulsion system for a micro-robotic fish," IEEE. Robotics and Automation, 706 - 711, 2008.
3. Menciassi, A., Gorini, S., Pernorio, G., Liu Weiting, Valvo, F., Dario, P., Design, "Fabrication and Performances of a Biomimetic Robotic Earthworm," IEEE Robotics and Biomimetics, 274 - 278, 2004.
4. Zhong, Z.W., Yeong, C.K., "Development of a gripper using SMA wire," Sensors and Actuators, A: Physical, 126, 375-381, 2006.
5. Otsuka K. and Wayman, C. M., "Shape memory materials," Cambridge University Press, 1998.
6. Liu, Y., Xie, Z., Van Humbeeck, J., Delaey, L., "Some results on the detwinning process in NiTi shape memory alloys," Scripta Materialia, 41, 1273-1281, 1999
7. Aguiar, R. A. A., Savi, M. A., Pachec, P. M. C. L., "Experimental and numerical investigations of shape memory alloy helical springs," Smart Mater. Struct, 19, 2010.