

열처리 조건에 따른 형상기억합금 스프링의 특성변화

*김명순, **나승우, *이상훈, **이승기

*단국대학교 의과대학 의공학교실, **단국대학교 전기공학과

Characterization of Shape Memory Alloy Springs by Heat Treatment Condition

*Myung-Soon Kim, **Seung-Woo Na, *Sang-Hoon Lee, **Seung-Ki Lee

*Biomedical Laboratory, College of Medicine, Dankook University

**Dept. of Electrical Engineering, Dankook University

ABSTRACT

Shape memory alloy springs have been fabricated and annealed at 400°C, 450°C and 500°C in atmosphere and in nitrogen gas. The optimal heat treatment condition in view of maximum generated force has been decided by the iso-thermal test with variation of annealing condition.

Experimental results show that the heat treatment with high temperature in nitrogen gas is desirable for high generated force and can be used for the design of shape memory alloy springs.

1. 서 론

우리 주변에는 형상기억합금을 이용한 제품들이 많이 개발되고 실생활에도 유용하게 사용되고 있으며, 최근 이와 관련된 기술을 의료 및 생명공학 등에 응용하려는 연구가 여러 곳에서 행해지고 있다. 외과수술 분야에서 MIS (Minimal Invasive Surgery)의 대표적인 기기로 평가되고 있는 내시경에 형상기억합금으로 만든 액츄에이터를 사용하여 환자의 불편도를 최소화하려는 연구가 대표적인 예가 될 것이다 [1].

본 논문에서는 내시경용 액츄에이터에 사용될 수 있는 형상기억합금 스프링의 열처리 조건에 따른 특성변화를 고찰하였다. 이를 위하여, Ti-Ni 합금 선을 이용하여 스프링을 제작하고 각각 다른 열처리 조건에서 열처리함으로써 형상기억합금 스프링을 제작하였다. 제작한 형상기억합금 스프링을 이용하여 일정 온도에서 용력-변위 간의 관계를 측정하는 iso-thermal test를 하였으며, 열처리온도에 따른 용력-변위의 특성변화 곡선을 얻었다. 열처리한 온도는 400°C, 450°C, 500°C였으며, 열처리 분위기의 효과를 분석하기 위하여 공기중과 질소 분위기에서 각각 열처리 하였다. 측정된 용력-변위의 특성변화 결과로부터 히스테리시스, 발생력 및 변형

력 등을 계산하여 액츄에이터로 이용하기에 가장 적합한 열처리 조건을 발생력 측면에서 분석하였다. 또한 각각의 경우에 대한 스프링의 횡탄성계수를 계산함으로써 본 논문에서의 실험결과가 형상기억합금 스프링의 설계에 필요한 기초자료를 제시해 줄수 있음을 보였다.

2. 실험

2.1 스프링의 제작 및 열처리

스프링 제작에 사용된 선은 직경이 305 μ m인 Ti-Ni 합금으로, 스프링경은 4.5 mm, 턴수는 35회가 되도록 하는 알루미늄 봉에 선을 촘촘히 감고 선의 양 끝을 고정 시키는 방법으로 총 6개의 스프링을 만들었다. 이렇게 제작된 스프링을 공기중과 질소 분위기로 각각 400°C, 450°C, 500°C ($\pm 10^\circ$ C)로 10분간 열처리를 하였다.

2.2 Iso-thermal test

SMA 스프링의 온도를 일정하게 유지하고 인가하는 용력을 변화시켜 줌으로써 SMA 스프링의 용력과 변형 간의 관계를 측정하였다.

저온은 25°C, 고온은 55°C로 일정하게 유지하고 하중을 30~40g 까지 2g 씩 증가시키며 그에 따른 변위를 측정하였다. 측정을 위한 실험장치의 개략도는 그림 1에 나타나 있다 [2].

3. 결 과

3.1 히스테리시스의 변화

Iso-thermal test에 대한 측정결과는 그림 2와 그림 3에 나타나 있다.

그림 2에는 공기중에서 400°C, 450°C 및 500°C의 온도로 열처리한 스프링을 55°C로 유지하며 하중을 증가시킨 후 다시 감소시킬때 측정된 변위의 변화가 나타나

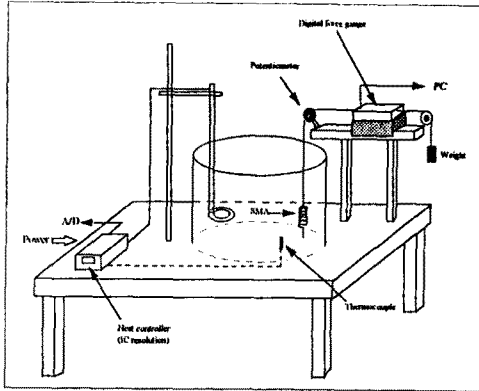


그림 1. 형상기억합금 스프링의 특성변화를 측정하기 위한 실험장치

있다. 모든 경우에서 하중의 증가에 따른 히스테리시스 발생하고 있음을 알 수 있다. 히스테리시스는 400°C 및 450°C로 열처리한 스프링보다 500°C의 고온으로 열처리한 스프링의 경우에서 증가함을 알 수 있다.

그림 3은 질소 분위기에서 각 온도로 열처리한 스프링의 하중-변위 특성을 나타낸다. 질소 분위기에서 열처리한 경우와 비교해 볼 때 하중에 따른 변위의 히스테리시스가 30% 정도 감소하는 것으로 나타났다. 500°C의 고온에서 열처리한 경우는 50% 이상의 히스테리시스 감소가 나타나는 것으로 측정되어졌다.

3.2. 발생력 및 변형력의 측정

형상기억합금에서의 변형력은 저온시 일정변위를 얻기 위해 필요로 하는 힘을 의미한다. 또한 발생력은 액츄에이터로 사용할 때 실제로 외부에서 이용할 수 있는 힘으로, 고온시의 힘과 저온시의 변형력의 차를 뜻한다. 이와 같은 발생력과 변형력을 각 열처리 조건에 대하여 얻기 위해서, 형상기억합금을 저온과 고온으로 유지하며 측정된 하중-변위 특성을 비교하였다.

그림 4는 공기중과 질소분위기에서 400°C로 열처리

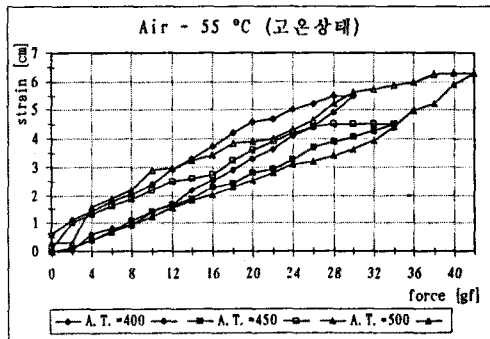


그림 2. 공기중에서 열처리한 스프링 - 55°C의 일정 온도에서 하중의 증가에 따른 변위를 측정된 그림

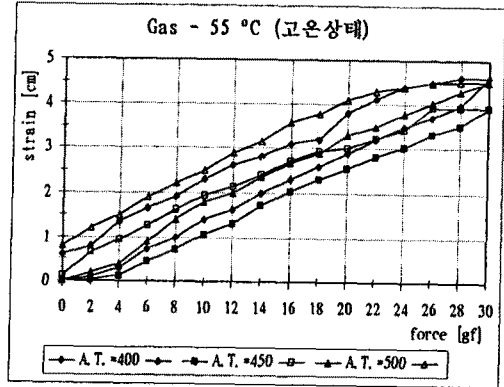


그림 3. 질소분위기에서 열처리한 스프링 - 55°C의 일정 온도에서 하중의 증가에 따른 변위를 측정된 그림

한 형상기억합금을 25°C와 55°C로 유지하며 하중 증가에 따른 변위의 변화를 측정된 결과이다. 그림 5와 그림 6에는 각각 450°C와 500°C로 열처리한 형상기억합금 스프링에 대한 결과가 나타나 있다. 전체적으로 보면 열처리 온도가 높아짐에 따라 발생력은 증가하는 경향을 보이며 열처리 온도가 고온으로 갈수록 증가추세는 둔화되는 것으로 나타난다. 이러한 경향은 공기 중에서 열처리한 경우와 질소분위기에서 열처리한 경우 모두 동일한 것으로 보인다. 400°C 정도의 저온에서 열처리한 경우에는 질소분위기에서 열처리한 스프링의 경우가 공기 중에서 열처리한 경우에 비해 2배 이상의 발생력을 갖는 것으로 나타났다. 500°C 정도의 고온에서 열처리한 경우에는 공기중의 경우와 질소분위기의 경우 모두 비슷한 크기인 것으로 보이며 오히려 질소분위기에서 열처리한 스프링의 발생력이 공기 중에서 열처리한 경우에 비해 약간 작은 것으로 나타났다.

저온에서의 변형력은 열처리 분위기에 관계없이 열처리 온도 증가에 따라 감소하는 경향을 보이고 있다. 변형력의 감소는 일정변위를 만들어내기 위한 힘의 감소를 의미하므로, 이러한 실험결과는 높은 온도에서 열처리할수록 저온에서의 형상기억합금 스프링이 좀더 부드러운 상태로 되어가고 있음을 뜻한다. 열처리 분위기

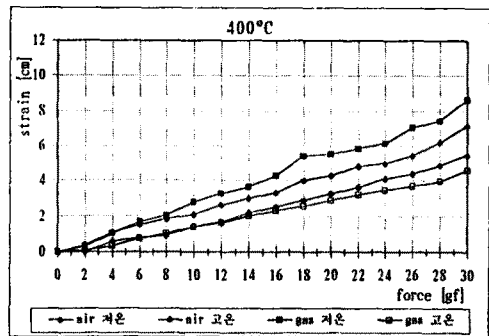


그림 4. 400°C에서 열처리한 스프링 - 저온(25°C)과 고온(55°C)상태에서 하중 증가에 따른 변위 측정

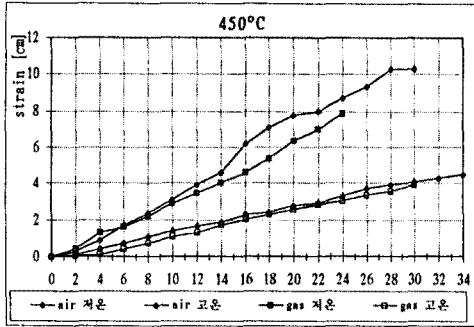


그림 5. 450°C에서 열처리한 스프링 - 저온(25°C)과 고온(55°C)상태에서 하중 증가에 따른 변위 측정

에 따른 변형력의 차이는, 저온 질소분위기에서 열처리한 경우가 저온 공기 중에서 열처리한 경우에 비해 약 25% 정도의 변형력 감소를 보이고 있으나 고온에서 열처리한 경우는 열처리 분위기에 따라 크게 달라지지 않는 것으로 보인다.

3.3. 횡탄성계수의 계산

횡탄성계수는 스프링에 인가되는 축하중과 스프링의 변위 간의 관계를 나타내는 고유값으로,

$$\delta = \frac{8PD^3n}{Gd^4} \quad (1)$$

와 같이 표현된다 [3]. 여기서 δ 는 축하중에 따른 스프링의 변위, P는 축하중, D는 스프링경, d는 선경을 각각 나타낸다. 따라서 그림 4와 그림 5에 나타난 하중-변위 특성곡선의 기울기로부터 계산할 수 있으며 저온시의 각 열처리 조건에 대한 횡탄성계수의 계산 결과를 표 1에 나타내었다.

열처리 분위기에 상관없이, 횡탄성계수는 열처리 온도가 높아질수록 감소하고 있음을 알 수 있다. 횡탄성계수는 축하중과 변위 간의 비례상수이므로 이 값의 감소는 동일변위를 얻는데 필요한 힘, 즉 변형력의 감소를 의미한다. 이러한 결과는 3.2절에서 변형력의 직접 측정 결과와 부합되는 결과라고 할 수 있다.

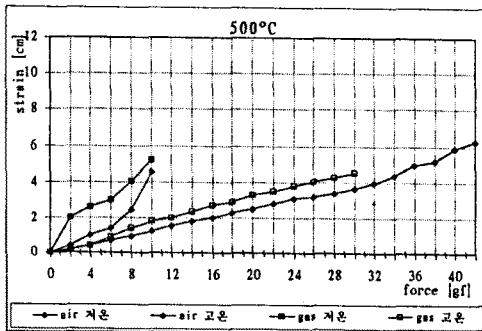


그림 6. 500°C에서 열처리한 스프링 - 저온(25°C)과 고온(55°C)상태에서 하중 증가에 따른 변위 측정

표 1. 열처리 조건에 따른 저온시의 횡탄성계수

	공기중			질소분위기		
	400°C	450°C	500°C	400°C	450°C	500°C
G _L	14.45	8.668	4.816	11.56	8.891	6.935

이와 같은 횡탄성계수의 계산은 식 (1)에 나타난 바와 같이 축하중 및 변위가 결정되어지면 형상기억합금 스프링의 구조를 결정지을 수 있는 것을 뜻하므로, 본 논문에서의 실험을 통해 적용하고자 하는 경우에 적합한 형상기억합금 스프링의 설계가 가능할 수 있음을 의미한다.

4. 결 론

본 논문에서는 선경 305 μ m의 형상기억합금을 직경 4.5mm의 스프링으로 제작하고, 공기중 및 400°C, 450°C 및 500°C의 온도로 열처리하여 각 경우의 하중-변위 특성을 측정하여 액츄에이터로서의 특성을 분석하였다. 하중의 증가에 따른 히스테리시스는 공기 중에서 열처리한 경우보다는 질소분위기에서 열처리한 경우가, 저온보다는 고온에서 열처리한 경우가 더 크게 나타남을 알 수 있었다.

발생력은 고온에서 열처리한 경우일수록 높은 것으로 나타났으며 열처리 분위기에 따른 차이는 저온 열처리의 경우에는 큰 것으로 나타났으나 고온 열처리의 경우는 큰 차이가 보이지 않았다. 저온에서의 변형력은 열처리 분위기에 관계없이 고온 열처리일수록 감소하는 것으로 나타났으며, 이는 하중-변위 특성곡선으로부터 구한 횡탄성계수의 계산 결과와 일치하는 것으로 나타났다.

액츄에이터로 형상기억합금 스프링을 이용할 경우, 질소분위기에서 고온으로 열처리를 하는 것이 가장 적합하다고 할 수 있으며, 본 논문에서의 결과는 형상기억합금 스프링의 설계에 직접 이용할 수 있을 것으로 보인다.

※ 본 논문은 기초전력공학 공동연구소의 연구비 지원 (과제번호 : 95-지-06) 및 선도기술개발사업 (초소형 작동형 내시경 개발) 연구비 지원에 의해 수행되었음.

참고문헌

- [1] G. Lim et. al., "Active Catheter with Multi-link Structure Based on Silicon Micromachining", Proc. IEEE MEMS Workshop, pp.116-121, 1995.
- [2] 김명순 외, "내시경용 형상기억합금 스프링의 성능 평가 시스템", 의용생체공학회 춘계학술대회 논문집, pp.215-220, 1996
- [3] 舟久保 照康 編, 形状記憶合金, 産業圖書, 1984