

형상기억합금의 2차원 운동 분석 장치 설계 및 제작

Development of measuring instrument for 2-D motion shape memory alloy

*김한¹, #정도관¹, 이세원¹, 송기영¹, 주광남¹

*H. Kim¹, #D. K. Chung(dogani04@snu.ac.kr)¹, S. W. Lee¹, K. Y. Song¹, C. N. Chu¹
¹ 서울대학교 기계항공공학부

Key words : Shape memory alloy, SMA, measuring instrument, 2-D Motion

1. 서론

형상기억합금(Shape Memory Alloy, SMA)은 오스테나이트와 마르텐사이트의 상변이에 의한 독특한 열-기계적 거동인 형상기억효과(Shape memory effect), 초탄성 효과(Superelasticity effect)로 인해 각광 받고 있는 소재로, 최근 들어 이러한 형상기억합금의 특성을 이용한 액추에이터와 센서의 개발에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.¹ 형상기억합금을 이용한 액추에이터는 전류에 의해 열을 가하기 쉽고 합금 성분비에 의해서 상변이 온도를 조절할 수 있어 쉽게 동작 시스템을 구성할 수 있으며, 높은 부피 대비 동작력을 갖는다. 그러나 형상기억합금의 형상기억효과, 초탄성 효과, 양방향 효과(Two-way effect)는 온도, 잔류응력, 하중 또는 온도 트레이닝, 열처리 조건 등에 따라 특성과 물성치가 매우 다르게 나타난다. 또한 히스테리시스와 포화요소와 같은 비선형적 동특성을 지니고 있으며 반응속도가 느리다는 단점을 안고 있다. 따라서 형상기억합금의 복잡한 비선형적인 거동을 이용하여 공학적인 응용을 하기 위해서는 형상기억합금의 특성을 분석하여야 한다.^{2,3} 많은 연구자들에 의해 형상기억합금의 특성을 분석하려는 여러 시도가 이루어지고 있으나 주로 유한요소해석과 같은 수치해석을 통한 모델링 방향으로 이루어지고 있고, 실제 실험을 통한 분석은 와이어 형태의 선형적인 1차원 분석에만 머무르고 있다.^{1,2,5}

본 연구에서는 와이어, 판, 박막 등 다양한 형태로 가공된 형상기억합금의 2차원 운동을 분석하기 위한 장치를 설계 및 제작하여 향후 다양한 형태의 형상기억합금의 응용을 위한 기초적인 데이터를 산출해 내고자 한다.

2. 2차원 형상기억합금 운동 분석의 필요성

와이어 형상기억합금은 가공이 쉽고 동작 시스템 구성이 용이하여 액추에이터에 많이 사용되고 있다. 그러나 와이어 형상기억합금 액추에이터는 동력이 부족하여 이를 극복하기 위한 연구가 다양하게 진행되고 있는데 그 중 하나가 판형 형상기억합금을 이용하는 것이다.⁴ 형상기억합금은 단면적에 비례하여 회복응력이 증가하는 특성을 가지고 있어 와이어 보다 단면적이 큰 판형 형상기억합금을 이용하여 더 큰 동력을 생성할 수 있다.⁵ 또한 형상기억합금의 가공에 대한 여러 연구의 진행으로 인하여 다양한 형태의 형상기억합금의 제작이 가능해지면서 판형의 형상기억합금을 이용한 액추에이터의 제작을 통해 다양한 움직임을 구현하려는 연구가 수행되고 있다.^{4,6} 이러한 판형의 형상기억합금을 액추에이터 등에 공학적으로 응용하기 위해서는 2차원 형상의 형상기억합금에 대한 분석이 필요하다.

이러한 2차원 형상기억합금의 거동 특성을 분석하기 위해서는 기존의 선형적인 1차원 운동 분석보다 더 나아가 2차원 평면에서의 운동 분석이 필요하다. 또한 판형 형상기억합금의 크기가 커질수록 표면적이 넓어져 표면으로 발산되는 열이 많아지기 때문에 상변이 온도에 다다르기 위해 필요한 전류가 수십 A로 커진다. 따라서 안전하고 정밀한 분석을 위한 장치를 제작하였다.

Table 1 Sensor Properties

Device	Range	Linearity
Loadcell	0 - 1 kgf	1%
LVDT	0 - 50 mm	0.05%
RVDT	-30 - 30 °	0.25%

3. 분석 장치 설계 및 제작

Fig. 1은 본 연구에서 제안하는 형상기억합금의 2차원 운동 분석 장치의 전체 개념도이다. 형상기억합금을 액추에이터로 사용시 가장 중요한 거동은 양 끝 단의 최대 상대 변위와 응답속도, 구동력이기 때문에 한 끝 단은 고정된 체 임의의 측정 점의 구동을 분석할 수 있도록 설계하였다. 분석 장치의 주요 구성으로는 LM 가이드, 로드셀(Loadcell), LVDT(Linear Variable Differential Transformer), RVDT(Rotary Variable Differential Transformer)가 있다. 분석 장치에 사용되는 각 센서들의 사양은 Table 1과 같다.

형상기억합금 시편의 구동력을 측정할 수 있는 로드셀을 LM 가이드와 회전 축 위에 설치함으로써 구동력 측정시 시편과 로드셀이 수직인 상태로 고정할 수 있도록 설계되었다. 시편을 고정 시키는 클램프 또한 LM 가이드 위에 설치하여 시편의 크기에 따라 고정 위치를 조절할 수 있어 최대 30 x 80 x 50 mm의 다양한 크기와 형상의 형상기억합금의 운동을 분석할 수 있다.

4. 분석 장치 구성

제작된 장치에서 시편의 2차원 운동을 분석하는 원리는 다음과 같다. Fig. 3(a)와 같이 시편의 끝 단과 수직으로 닿도록 한 로드셀을 통하여 측정 점의 법선방향 힘을 측정한다. 여기서 측정된 힘이 초기변형률에 대해 시편이 낼 수 있는 구동력이 된다. LVDT를 이용하여 원점에서 측정점까지의 직선변위인 $r(t)$ 의 값을 얻을 수 있고, RVDT를 이용하여 원점에서 클램프와 측정점 사이의 각도변위인 $\theta(t)$ 를 얻을 수 있다. 이를 통해 측정점의 최대 변위, 응답속도와 시간에 따른 측정점의 속도 벡터를 구할 수 있다.

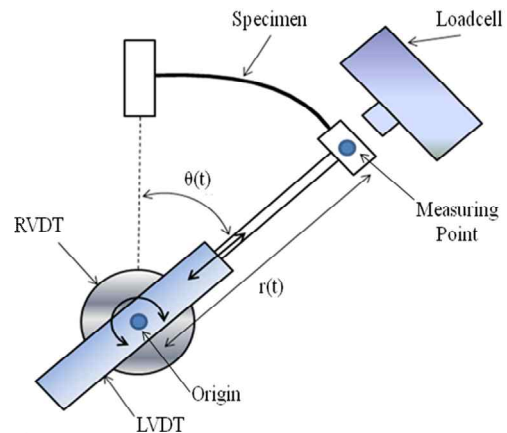


Fig. 1 Schematic diagram of the measuring mechanism

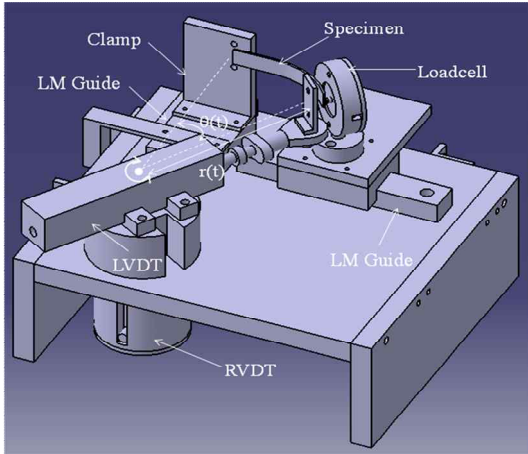


Fig. 2 CATIA model of the developed measuring instrument for 2-D motion SMA

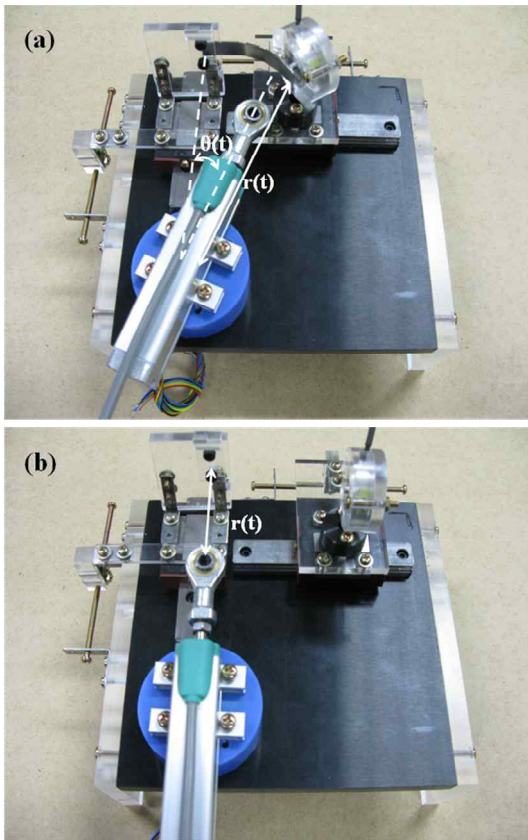


Fig. 3 Picture of the measuring instrument; (a) 2-D motion, (b) 1-D motion

5. 결론

형상기억합금의 비선형적인 거동을 이용하여 액추에이터에 응용하기 위해서는 형상기억합금의 운동에 대한 분석이 필수적이다. 특히, 와이어 형상기억합금 액추에이터의 부족한 동력을 극복하기 위하여 판형의 형상기억합금 액추에이터에 대한 연구가 활발히 진행되고, 형상기억합금의 가공에 대한 연구 또한 다양하게 진행되고 있는 현 시점에서 형상기억합금의 선형적인 1 차원 운동 분석 뿐만 아니라 2 차원 평면에서의 운동에 대한 분석이 필요하다.

본 연구를 통하여 로드셀, LVDT, RVDT 를 이용하여 제작된 2 차원 운동 분석 장치를 통해 와이어, 판 등 형상에 상관없이 최대 30 x 80 x 50 mm 크기를 가진 형상기억합금의 운동을 분석할 수 있다. 분석을 통하여 형상기억합금의 초기변형률에 대한 구동력, 시간에 따른 변위, 응답속도를 측정할 수 있다.

후기

이 논문은 2010 년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2009-0087640).

참고문헌

1. J. Raghavan, Trevor Bartkiewicz, Shawna Boyko, Mike Kupriyanov, N. Rajapakse and Ben Yu, "Damping, tensile, and impact properties of superelastic shape memory alloy (SMA) fiber-reinforced polymer composites," *Composites Part B-Engineering*, **41**, 214-222, 2010.
2. 김상헌, 조맹효, "반복적인 작동을 위한 형상기억합금의 특성 실험과 거동 전산 모사," 한국기계학회논문집, 2007.
3. 이효직, 윤지섭, "형상기억합금 작동기의 모델링." 한국정밀공학회 춘계학술대회논문요약집, 2005.
4. 김승원, 조규진, 주중남, "레이저 가공을 이용한 형상기억합금 박막 마이크로 액추에이터 제조," 한국정밀공학회 춘계학술대회논문요약집, 2009.
5. 황재석, 이효재, "실험법에 의한 지능형 복합체의 회복응력 측정에 관한 연구," 대학기계학회논문집, 2003.
6. Simka. W, Kaczmarek. M, Baron-Wiechec. A, Nawrat. G, Marciniak. J, Zak. J, "Electropolishing and passivation of NiTi Shape memory alloy," *Electrochimica ACTA*, **55**, 2437-2441, 2010.

1 차원 운동 측정을 위해서는 Fig. 3(b)와 같이 클램프, 로드셀, LVDT 를 수직으로 고정시킨 후 측정하면 된다. 즉, $\theta(t)$ 를 고정된 후 $r(t)$ 만 측정하는 것이다. 또한 시편의 끝단 뿐만 아니라 다양한 지점에서 측정함으로써 시편 전체의 거동 프로파일을 구할 수 있다.

동작력과 변위를 따로 나누어서 측정하게 되어 동작력과 변위 측정시 초기변형률에 있어서 변화가 생겨 측정 시 오차가 생길 수 있다. 이러한 문제의 해결을 위해 측정 순서를 로드셀을 이용하여 동작력을 먼저 측정하고 LVDT 와 RVDT 를 통해 변위를 측정하도록 함으로써 시편의 초기변형률의 변화없이 같은 조건에서 동작력과 변위를 측정할 수 있다.