

형상기억합금과 적층공정을 이용한 유연 폴리머 기반 지능형 구동기의 제작

Fabrication of Flexible Polymer-based Smart Actuator Using Shape Memory Alloy Wire and Layered Manufacturing

*김형중¹, 김지수¹, 안성훈²

*H. J. Kim¹, J. S. Kim¹, S. H. Ahn(ahnsh@snu.ac.kr)²

¹ 서울대학교 기계항공공학부 대학원, ² 서울대학교 기계항공공학부, 정밀기계설계공동연구소

Key words : Layered manufacturing, Air-gap, Shape Memory Alloy, Flexible polymer, Smart actuator

1. 서론

형상기억합금(SMA: Shape Memory Alloy)은 변형이 발생한 후 열을 가할 경우 원래의 형상으로 돌아가는 열탄성 마르텐사이트 변태에 의한 형상기억효과를 갖는 재료이다. 이러한 형상기억합금의 형상기억효과를 이용할 경우, 전통적인 구동기에 비해 무게나 부피를 줄인 간단한 형태의 구동기를 제작하는 것이 가능하다. 게다가 진동억제나 정밀 제어가 가능하기 때문에, 이에 대해서 다양한 연구들이 진행되고 있다. 그 중에서 많은 관심을 받는 분야는 형상기억합금을 내장한 복합재를 이용한 지능형 구조체나 지능형 구동기를 제작하는 것이다.

형상기억합금이 내장된 복합재는 Roger 진동을 억제하기 위해 최초로 제작하였다¹. 형상기억합금이 내장된 복합재는 응력을 한점이 아닌, 일정 영역 혹은 구조체 전체에 가해줄 수 있다는 점과 기존에는 볼 수 없었던 큰 완충용량과 큰 회복 변형, 회복 응력 같은 장점이 있어, 이에 많은 연구들이 이루어졌다.²

하지만 빔 형태의 구조체 안에 형상기억합금을 내장시킬 경우 각 부분의 길이 방향 탄성계수가 균일하기 때문에, 빔의 휨과 같은 단순한 구동 이외에는 다른 구동이 불가능하다. 이런 문제점을 해결하기 위해서 구조체의 형상을 다양하게 만들려는 연구가 실행되었다³.

한편 공극(air-gap)을 갖는 구조의 경우 공극의 크기를 조절함으로써 기존의 빔과 같은 단순한 형상을 가지면서도 각 부분의 길이방향의 강성을 의도대로 조절한 부품을 만드는 것이 가능하다. 이렇게 만들어진 부품에 형상기억합금을 내장시킬 경우, 단순한 형상을 가짐과 동시에 일반적인 빔 형태의 구동기와 다른 모양의 구동을 갖는 구동기를 만들 수 있다.

공극이 있는 구조를 가진 부품을 만들기 적층공정을 사용하는 장비를 사용하는 것이 절삭공정이나 주조공정 등 기존의 공정을 사용하는 장비에 비해서 형상의 제약이 적기 때문에 적합하다. 특히 노즐기반의 3 차원 프린터는 다양한 크기의 공극을 갖는 구조를 쉽게 만들 수 있고, 또한 유연한 폴리머를 재료로 사용하여 더 큰 변위를 유도하는 것도 가능하다.

본 연구에서는 적층공정을 사용하는 3 차원 프린터를 이용하여 유연한 폴리머인 Pebax 를 기반으로 한 서로 다른 크기의 공극을 갖는 빔 형태의 구조를 만들어 서로 다른 강성을 부여하고, 형상기억합금인 니티놀 와이어를 내장시켜 유연한 폴리머 기반 구동기를 제작하고자 한다.

2. 구동기의 설계 및 제작

구동기는 Pebax 안에 변위를 만들어 내는 니티놀와이어가 내장되어있는 구조로 이뤄져 있다. Pebax 층 한 층의 두께는 200 μm 이고, 니티놀 와이어의 직경은 350 μm 이다. 니티놀 와이어는 2 개의 Pebax 층과 결합되어 있다. 여기서, Fig. 1 와 같은 변위를 만들어 내기 위해 니티놀 와이어의 위부분과 아랫부분의 강도를 다르게 하여 편심을 주었다.

이 상황에서 변위를 크게 만들기 위해 두께를 최대한 작게 만들었다. 그 결과, 가운데에는 니티놀과 결합된 2 개의 Pebax 층, 그 위부분에는 2 개, 아랫부분에는 1 개의 Pebax 층이 배치되도록 구동기를 설계하였다.

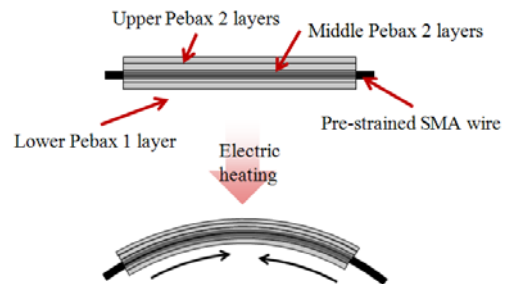


Fig. 1 Curvature generation of specimen by heat

시작품의 크기는 30 × 5 × 1mm 이며, 필라멘트의 직경은 250 μm 이다.

공극의 크기가 필라멘트의 너비 대비 100%가 넘어갈 경우, 제작이 어려울 뿐만 아니라 구동기의 강도가 너무 약해 형태를 유지하는 데 어려움이 있다. 이에 100%보다 작은 범위 내에서, 경향성을 판단할 수 있도록 필라멘트의 너비 대비 100%인 250 μm 와 50%인 125 μm , 그리고 공극이 없는 구동기를 제작하였다.

본 연구에서 사용한 형상기억합금은 지름 350 μm 을 갖는 와이어 형태의 니티놀(Ni: 50.4 wt%, Ti: 49.6 wt%, Johnson Matthey Co. Ltd., USA)이다. 사용한 니티놀 와이어의 상변이 온도는 $A_s = 70.5^\circ\text{C}$, $A_f = 96.9^\circ\text{C}$, $M_s = 62.7^\circ\text{C}$, $M_f = 17.4^\circ\text{C}$ 이다.

한편, Pebax(Polyether block amide)는 미국 Arkema 사에서 생산하고 있는 폴리아미드계 열가소성 폴리머로써, 폴리아미드계의 기능성과 고무영역에 달하는 유연성 (Pebax 의 인장탄성계수: 104Mpa, 천연고무의 탄성계수: 150Mpa)을 모두 가지고 있는 재료이다.

시작품은 폴리머 적층 시스템인 나노복합제적층시스템(Nano Composite Deposition System, NCDS)과 별도로 제작한 와이어 변위장치로 제작되었다.

NCDS 는 정밀 노즐을 이용한 3 차원 프린터와 엔드밀을 이용한 절삭장치가 결합된 복합공정장비이다. 각각의 장치는 3 축 스테이지(404XR150, Packer Automation)와 디지털 신호 처리 보드(PMAC)에 의해 제어된다⁴. 와이어 변위장치는 니티놀 와이어를 변위장치에 고정시키고 이를 일정한 길이만큼 늘임으로써, 니티놀 와이어에 기변형을 가할 수 있는 장치이다. 와이어 변위장치는 폴리머가 적층될 판과 결합되어 있다.

시작품을 제작하는 과정은 다음과 같다. 우선 적층공정을 이용하여 3 개 층의 Pebax 를 적층한 후, 니티놀 와이어를 와이어 변위장치에 고정하고 길이방향으로 4%만큼 기변형을 가하였다. 그리고 전류를 가하여 니티놀선의 온도가 Pebax 를 녹일 정도로 가열한 후 니티놀 선을 Pebax 부분에 넣어주었다. 마지막으로 그 위에 2 개의 Pebax 층을 적층한 후, 와이어 변위장치에서 구동기를 분리하였다.

3. 실험 및 평가

3.1 제작된 시작품

위 과정을 통해 다음과 같이 다른 크기의 공극을 갖는 3 종류의 시작품을 제작하였다. Fig.2 는 완성된 시작품을 촬영한 사진과 각각의 완성된 시작품의 공극을 광학현미경으로 촬영한 사진이다.

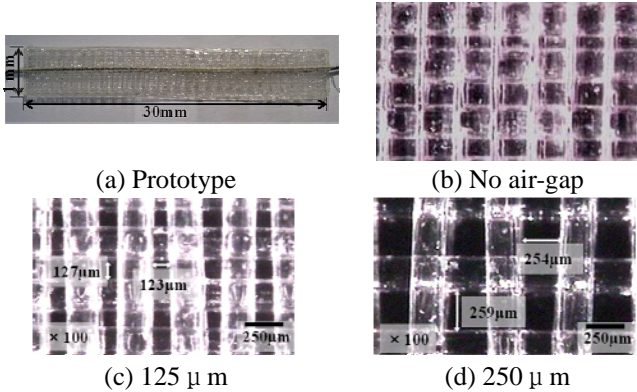


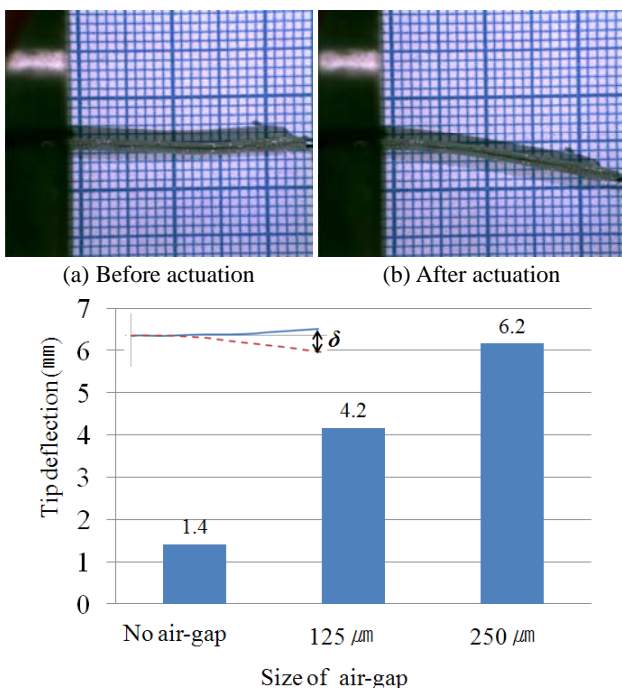
Fig. 2 Fabricated prototype and air-gaps

제작된 구동기는 컴퓨터를 통해 가해주는 전류량과 시간을 조절할 수 있는 전원공급장치(췌) 디지털전자 EP-3010)를 이용하여 구동하였고, 구동과정은 CCD 카메라를 통해 촬영하였다.

3.2 공극 크기에 따른 시작품구동

제작된 구동기는 컴퓨터를 통해 가해주는 전류량과 시간을 조절할 수 있는 전원공급장치(췌) 디지털전자 EP-3010)를 이용하여 구동하였고, 구동과정은 CCD 카메라를 통해 촬영하였다.

Fig.3 은 전원공급장치를 통해 공극이 없는 시작품에 30 초 동안 1A 의 전류를 일정하게 가하여 시작품을 구동시킨 동작을 촬영한 사진과, 각각의 구동기 끝부분의 Y 축 변위를 나타낸 그래프이다.



(c) Deflection of actuators at the tip
Fig. 3 Performance of actuator

실험결과 형상기억합금이 내장된 Pebax 기반 구동기의 구동을 확인하였고, 공극의 유무와 크기에 따른 구동의 변화를 관찰 할 수 있었다. 공극이 없는 시작품에 비해 공극이 있는 시작품이 3 배 이상의 변위를 보였으며, 250 μm 의 공극을 갖는 시작품이 125 μm 의 공극을 갖는 시작품에 비해 1.5 배 이상의 큰 변위를 보였다.

앞 절에서 이미 공극크기가 의도대로 형성되었음을 확인한 바 있다. 이 절의 실험결과에는 공극이 생겼을 때, 그리고 그 공극 크기가 클수록 강성이 줄어들었음을 보여준다. 형상기억합금 와이어가 내장된 구동기의 경우 형상기억합금의 복원력과 구조의 강성에 의한 탄성력이 같아질 때까지 구동이 일어나게 된다. 니티놀와이어에 동일한 전류를 동일한 시간 가해주었으므로 동일한 열이 발생했고 SMA 와이어는 동일한 형상 복원력을 만들었다. 이런 조건하에서 같은 크기, 같은 형상을 갖는 구동기가 서로 다른 변위를 보이는 것은 구동기가 서로 다른 강성을 가진다는 것을 의미한다. 이를 활용한다면, 구동기의 공극 크기분포에 변화를 줌으로써 특정한 형상으로 구동하는 구동기의 제작이 가능하다.

4. 결론

본 연구에서는 3 차원 프린터인 나노복합재적층시스템을 통해 특정한 크기의 공극을 갖는 시작품을 제작하였으며, 의도대로 제작되었음을 광학현미경을 통해 확인할 수 있었다. 여기에 형상기억합금을 내장시켜 구동기를 제작, 제어모듈을 이용하여 구동하는 데에 성공하였다. CCD 카메라로 구동기의 구동을 측정한 결과, 공극의 유무와 크기에 따라서 서로 다른 구동을 보이고 있음을 확인할 수 있었다. SMA 와이어에 동일한 전류를 동일한 시간 동안 가했을 때 전체 구조의 변위가 다르다는 것은 공극크기에 변화를 줌으로써 구동기의 강성을 조절할 수 있음을 보여주는 결과이다. 도출된 결과는 다양한 크기의 공극을 가짐으로써 특정한 구동을 할 수 있는 구동기의 설계 및 제작에 활용될 수 있다.

후기

본 연구는 서울대학교 2 단계 BK 21 사업과 2010 년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원(No. 2009-0087640)으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Craig A. Rogers, "Active vibration and structural acoustic control of shape memory alloy hybrid composites: Experimental results," The Journal of the Acoustical Society of America, Vol.88, No. 6, pp. 2803-2811, 1990.
2. A. Baz, T. Chen, and J. Ro, "Shape control of NITINOL-reinforced composite beams," Composites:Part B, Vol. 31, pp. 631-642, 2000.
3. A. A. Villanueva, K. B. Joshi, J. B. Blottmanm, and S. Priya, "A bio-inspired shape memory alloy composite (BISMAL) actuator," Smart Materials and Structure, Vol.19, pp. 1-17, 2010.
4. W. S. Chu, S. Y. Jeong, J. K. Pandey, S. H. Ahn, J. H Lee, and S.C. Chi, "Fabrication of Composite Drug Delivery System Using Nano Composite Deposition System and in vivo Characterization," International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, Vol. 9, No. 2, pp. 81-83, 2008.