

복합재와 형상기억합금 스프링 구동기를 이용한 벼룩 도약원리 적용 소형 로봇

The Flea Inspired Small-scale Jumping Robot with Composite and Shape Memory Alloy(SMA) Spring Actuator

*김승원¹, 노민균¹, #조규진¹

*S. W. Kim¹, M. K. Noh¹, #K. J. Cho(kjcho@snu.ac.kr)¹

¹서울대학교 기계항공공학부

Key words : Jumping robot, Smart Composite Microstructures(SCM), Shape Memory Alloy(SMA) actuator

1. 서론

생체모방 소형 로봇 분야에서는 로봇의 소형화에 따른 이동성의 저하를 극복하기 위해 다양한 도약 로봇을 개발하고 있다 [1-2]. 한편, 생물 중에서 가장 우수한 도약능력을 갖춘 벼룩은 초소형이면서 매우 간단한 생체 구조로 도약운동을 구현한다 [3]. 벼룩의 도약 원리는 도약 로봇의 소형화에 새로운 방향을 제시할 수 있으며, 이 원리를 반영한 도약 장치의 연구 결과에서 도약 성능의 가능성을 확인하였다 [4].

본 연구에서는 복합재를 이용하여 Smart Composite Microstructures (SCM) 공정으로 벼룩의 외골격을 구현하고, 형상기억합금 스프링 구동기를 이용하여 벼룩의 근육을 구현하여 벼룩 도약원리 적용 로봇을 Fig. 1 과 같이 만들었다. 이 로봇은 기존의 도약 로봇과는 차별화된 도약 원리와 구조를 가지고 소형화, 경량화에 성공하였다.

2. 설계 및 동작 원리

로봇은 본체, 4-bar 링크 다리, 그리고 세 개의 형상기억합금 스프링으로 구성된다. 본체에는 구리 회로가 내장되어 있고, 상단의 전원 단자를 통해 스프링에 전류를 공급하면 스프링이 수축한다. 스프링들은 Fig. 2 의 좌측 사진과 같이 붉은색 선을 따라 배치하였다. 다리의 (a) 지점은 본체의 (b) 지점과 상반(antagonistic) 스프링으로 연결되어 있어 스프링이 수축하면 다리를 접는 동작을 한다.

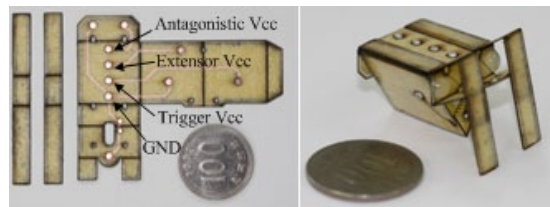


Fig. 1 The flea inspired jumping robot

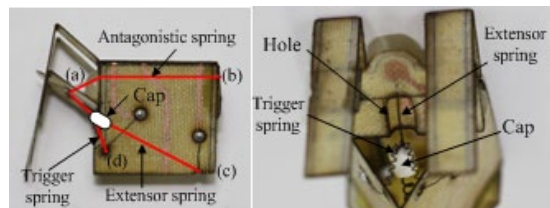


Fig. 2 Side view (left) and Close-up view (right)

Fig. 2 우측 사진과 같이 4-bar 다리의 회전 관절 중앙에 구멍이 있어서, 다리의 (a) 지점과 본체의 (c) 지점이 연결된 당김(extensor) 스프링은 회전 중심을 넘나들 수 있다. 로봇이 다리를 접은 상태로 당김 스프링이 수축하여 도약에 필요한 에너지를 저장한다.

본체의 (d) 지점과 당김 스프링 사이에는 방아쇠(trigger) 스프링이 연결되어 있다. 상반 스프링이 수축될 때, 방아쇠 스프링은 당김 스프링의 스프링 캡(cap)에 의하여 함께 끌어 올려지게 된다. 그리고 당김 스프링이 수축된 상태에서 방아쇠 스프링이 수축되면, 당김 스프링의 수축력 작용 선이 회전중심을 지나게 된다. 따라서 회전 모멘트의 방향이 바뀌어 다리가 회전하고, 로봇이 도약하게 된다.

3. 제작

본체와 다리는 SCM 공정으로 Copper-kapton laminate(copper 18 μm /kapton 25 μm)에 Kapton tape mask 를 붙인 뒤 에칭하여 도선을 만들고, Glass fiber 를 앞뒤로 4 겹씩 적층하여 경화(80 $^{\circ}\text{C}$ -0.5hr, 140 $^{\circ}\text{C}$ -1hr)시켜 Fig. 1 의 좌측과 같은 전개도 구조를 만든 뒤 접어서 제작하였다 [5]. 형상기억합금 스프링은 전동 드릴을 이용하여, 형상기억합금 와이어를 Steel-core 에 감은 뒤 열처리(300 $^{\circ}\text{C}$ -1hr)하여 제작하였다. 스프링 인덱스 (코어 지름 / 와이어 지름)는 제조의 편리성과 강성을 고려하여 상반 스프링 3.33(0.5mm/0.15mm), 당김 스프링 4(1mm/0.25mm), 방아쇠 스프링 3.33(0.5mm/0.15mm)이다. 본체와 다리는 접착제를 이용하여 조립하였고, 형상기억합금 스프링은 플럭스 (Flux)를 이용한 납땜질로 접합하였다.

4. 결과

완성된 로봇의 전체 무게는 1.07g 이다. 상반, 당김, 방아쇠 스프링 순서로 전원단자에 전류를 공급하면, 각 구동기가 순차적으로 동작하여 도약운동을 하게 된다. 도약 높이는 15cm 이며, 도약 초기 속도는 지면에서 73.6 $^{\circ}$ 방향으로 1.75m/s 이다. 도약 시 로봇의 운동량은 1.87g·m/s 이고 도약 소요 시간은 11 μs 이며, 도약 시 평균 충격력은 0.17N 이다.

4. 결론

본 연구에서 벼룩의 도약원리를 적용하면 모터와 기어가 없어도 도약이 가능한 도약 로봇의 제작이 가능함을 확인할 수 있다. 또한, 복합재와 형상기억합금 스프링 구동기의

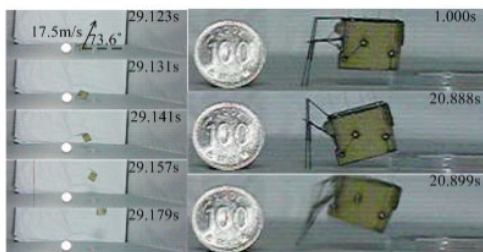


Fig. 3 High speed camera pictures (1000fps)

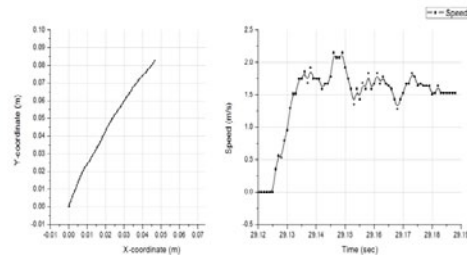


Fig. 4 X-Y Position and Time-Speed graph

사용으로 도약 로봇의 소형화와 경량화를 이룰 수 있음을 확인할 수 있다.

후기

이 논문은 2010년도 정부 (교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (No. 2010-0001201, 2010-0015500).

참고문헌

1. Kovač, M., Fuchs, M., Guignard, A., Zufferey, J. C., and Floreano, D., "A Miniature 7g Jumping Robot," IEEE International Conference on Robotics and Automation, 373-378, 2008.
2. Scarfoglio, U., Stefanini, C., and Dario, P., "The Use of Compliant Joints and Elastic Energy Storage in Bio-inspired Legged Robots," Mechanism and Machine Theory, **44**, 580-590, 2009.
3. Rothschild, M., Schlein, J., Parker, K., Neville, C., and Sternberg, S., "The Jumping Mechanism of *Xenopsylla Cheopis*: III. Execution of the Jump and Activity," Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological, **271**, 499-515, 1975.
4. 김승원, 박영선, 조규진, "형상기억합금 액추에이터와 상반 운동 개념을 적용한 도약 장치," 한국정밀공학회 춘계학술대회, 317-318, 2010.
5. Koh, J., and Cho, K., "Omeganot: Biomimetic Inchworm Robot using SMA Coil Actuator and Smart Composite Microstructures (SCM)," IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, 1154-1159, 2009.