

주행하는 도마뱀의 몸체 움직임 원리를 적용한 소형 로봇의 설계

김홍민¹, 김정률¹, 김지훈¹, 김종원^{1,*}
¹서울대학교 기계항공공학부

Design of a robotic system inspired from a body movement of a trotting lizard

Hongmin Kim¹, Jeongryul Kim¹, Jihoon Kim¹, Jongwon Kim¹

¹Department of Mechanical and Aerospace Engineering, Seoul National University
e-mail: hmkim@rodel.snu.ac.kr, jrkim@rodel.snu.ac.kr, hoonkim@rodel.snu.ac.kr, jongkim@rodel.snu.ac.kr

요 약

도마뱀의 허리와 꼬리의 움직임이 주행에 미치는 영향을 분석한 사전 연구를 토대로, 그 원리를 적용한 로봇을 구현하기 위하여 추력 발생 장치와 허리와 꼬리의 주기적인 움직임을 모사하는 메커니즘을 설계하였다. 도마뱀 몸체 움직임의 원리를 검증하기 위해 로봇 각 부분의 무게 비, 길이 비는 실제 도마뱀 *Callisaurus draconoides*의 몸체 구분과 그 비율이 같도록 설계하였다. 추후에 설계된 로봇을 기반으로, 제작 및 실험을 하여 도마뱀 몸체의 움직임이 yaw motion에 미치는 영향을 밝히고자 한다.

2. 본론

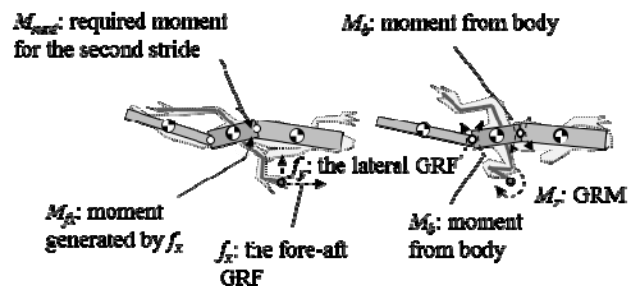
2.1 도마뱀 몸체의 움직임 원리와 적용

이전에 진행된 연구를 통해, 도마뱀이 번갈아 가면서 대각의 발로 지면을 차는 trot 걸음걸이로 주행을 할 때, 허리 및 꼬리의 움직임이 지면에서의 반력 모멘트를 최소화 하도록 움직인다는 것을 밝힌바 있다[3]. 도마뱀이 주행하기 위해서는 반대 발을 내딛기 위한 모멘트가 필연적으로 필요한데, 지면에서의 모멘트가 최소화 가 되어 하므로 결국 허리와 꼬리에서 발생하는 모멘트로 도마뱀이 yaw각도를 제어하며 직진 주행을 하는 것을 알 수 있다[그림 1].

1. 서론

최근 생물체의 움직임 원리에서 영감을 얻어 새로운 로봇 시스템을 구현하는 연구가 국내외에서 활발하게 이루어지고 있다. 도마뱀이 공중에 떠 있을 때 꼬리를 이용하여 몸체의 pitch를 조절하는 점에 착안하여 개발한 로봇[1]. 바퀴벌레의 움직임에서 영감을 얻어 제작한 소형 로봇 VelociRoACH[2] 등은 이러한 사례라고 할 수 있다. 본 연구에서는 모사하려는 대상을 도마뱀으로 하고, 도마뱀이 주행할 때 몸체 움직임의 원리를 로봇에 적용하고자 한다.

도마뱀들은 종별로 다양한 주행 방식을 보인다. 본 연구에서는 이 중에서 고속으로 주행하며, 특히 급격하게 가속을 하거나 고속주행상태를 유지할 때 4족 보행에서 2족 보행으로 주행방법을 전환하는 도마뱀인 *Callisaurus Draconoides*를 모사 대상으로 한다. *Callisaurus Draconoides*는 주행 시 매우 특이한 몸체 움직임, 즉 도마뱀의 허리와 꼬리가 S-자로 휘어지는 형태를 가지는데 이는 도마뱀이 주행을 하는데 있어서 직진성을 유지하기 위해서 필수적이다. 도마뱀의 허리와 꼬리의 움직임을 로봇에 적용시키는 것은 이전에 시도된 바가 없으며, 이에 본 논문에서는 Open-loop 추력 메커니즘을 이용한 소형 고속 주행 로봇을 설계하는데 있어 이 원리를 적용한 로봇의 설계내용을 담고 있다



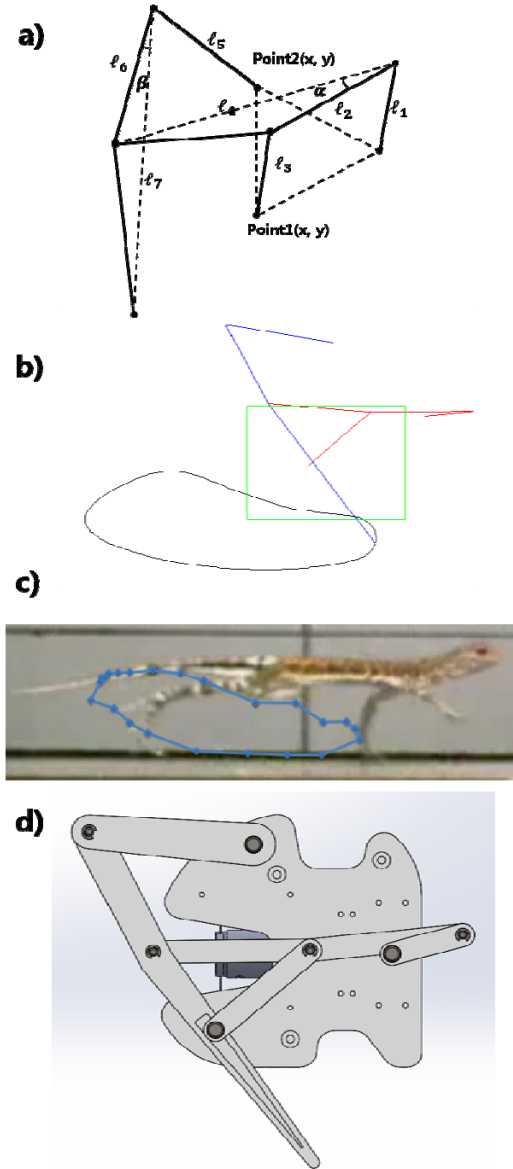
[그림 1] Force components of a running lizard

모사 대상으로 삼은 *Callisaurus Draconoides*의 경우, 같은 크기의 다른 생물들에 비하여 주행 속도를 비교해보면 10bodylength/s 매우 빠른 것을 알 수 있다[4]. 이러한 고속 주행을 로봇으로 구현하기 위해서는 Closed-loop system을 통하여 다리의 정

확한 위치, 속도 등을 제어하는 것이 아닌, Open-loop으로 피드백이 없지만 빠르고 정확하게 추력을 발생시키는 메커니즘이 필요하다. 이러한 Open-loop 추력 발생 메커니즘을 가진 로봇에 대해 *Callisaurus Draconoides* 도마뱀의 몸체 움직임의 원리를 적용하여 로봇을 설계하였다.

2.2 로봇 설계

2.2.1 다리 메커니즘 설계



[그림 2] Optimization of design variables for Klann linkage which mimics the lizard, *Callisaurus Draconoides* legs' actual path.

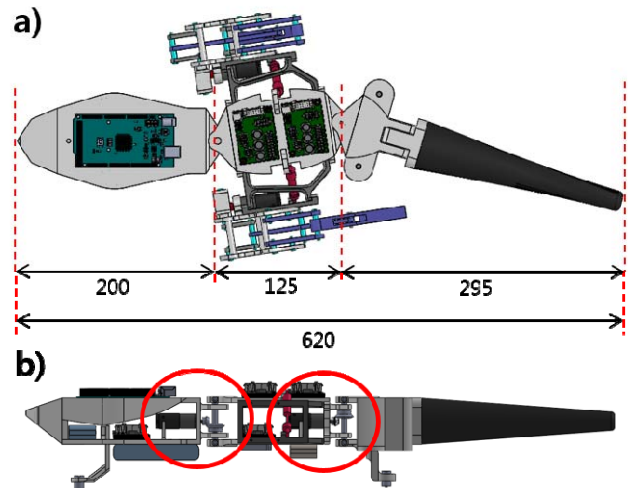
도마뱀은 지면에서부터 추력을 생성할 때, 주행의 전진 방향으로 큰 힘을 발생시키고, 높이 방향으로 상대적으로 작은 힘을 발생함으로써 Roll방향과 Pitch방향에서 안정된 상태에서 빠른 주행 속도를 가

진다[5]. 이러한 추력의 특징은 실제 도마뱀이 주행 시 그리게 되는 발끝 궤적과 관계가 있으며, 본 연구에서는 도마뱀의 발끝 궤적을 모사하는 다리 메커니즘을 Klann linkage의 최적화를 통해 구현하였다. [그림 2]의 a)와 같이 Klann linkage는 7개의 링크 길이와 2개 pivot의 x,y 좌표, 링크 모양을 결정하는 2개의 각도를 포함하여 총 13개의 설계 변수가 있다.

다양한 설계변수에 대하여 변화하는 발끝 궤적을 도출하기 위하여 정기구학 식을 Matlab으로 구현하였다. 이러한 정기구학 식을 토대로 로봇의 공간적 제한조건을 고려하여 Genetic algorithm을 통해 최적화함으로써 [그림 2]의 c)에서 볼 수 있는 도마뱀 궤적과 유사한 b)와 같은 궤적을 구현할 수 있었다. [그림 2]의 d)는 최적화 결과를 토대로 설계한 다리 메커니즘의 3D CAD 모델링이다.

2.2.2 허리, 꼬리 메커니즘 설계

도마뱀은 크게 상반신, 하반신, 꼬리로 3개의 body로 구분할 수 있다. 이때 도마뱀 몸체 부위의 각 길이 비는 *Callisaurus Draconoides*의 몸체 움직임을 transverse plane에서 관찰 하였을 때, 가장 많이 꺾이는 지점을 기준으로 결정하였다. 도마뱀 몸체 부위의 각 무게 비 또한 *Callisaurus Draconoides*를 참고하여 결정하였다. 허리와 꼬리의 구동 방식은 [그림 3]의 b)와 같이 모터와 베벨기어를 사용하여 양방향으로 회전 운동을 구현할 수 있도록 설계하였다.



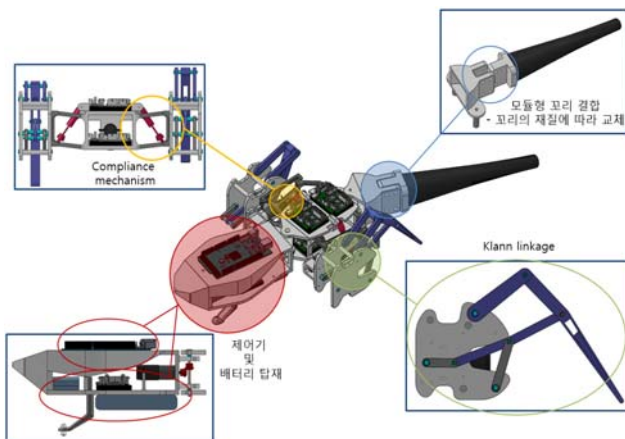
[그림 3] Link lengths a), waist and tail mechanism b) of a lizard robot

2.2.3 전체 로봇 설계

도마뱀 로봇은 [그림 4]와 같이 설계하였다. 다리에서 발생하는 높이 방향의 충격을 흡수하기 위하여

다리와 몸체 사이는 Spring-Damper 구조로 이루어져 있다. 꼬리의 경우에는 다양한 재료에 따른 운동학적 특성을 실험으로 측정하고자 쉽게 탈/부착이 가능하도록 모듈형 구조로 설계하였다. 제어기와 배터리는 모두 로봇에 탑재되어 무선으로 조종하는 것이 가능하도록 하였다.

로봇의 하단부에는 지면과 항상 접촉하고 있는 볼플랜저가 설치되어 roll과 pitch를 기구적으로 구속하였다. 이를 통해 도마뱀 로봇의 허리 및 꼬리 움직임이 전체 로봇의 yaw motion에 미치는 영향만을 관찰하고자 한다.



[그림 4] Mechanical components of a lizard robot

3. 결론

본 논문에서는 도마뱀이 주행할 때 몸체 움직임의 원리를 적용한 로봇의 설계에 대해서 다루었다. 로봇의 추력 발생 메커니즘은 Klann linkage를 최적화하여 적용하였고, 몸체 움직임의 원리를 구현하는 허리 및 꼬리 메커니즘을 이용하였다. 로봇은 이후 제작 및 조립을 하여, 실험을 통해 도마뱀의 몸체 움직임과 로봇의 yaw motion의 제어와의 관계를 검증하고자 한다.

후기

이 논문은 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원(2012-041247)에 의해 연구되었음

참고문헌

- [1] T. Libby, T.Y. Moore, E. Chanf-Siu, D. Li, D.J. Cohen, A. Jusufi, R. J. Full, "Tail-assisted pitch control in lizards, robots and dinosaurs," Nature, 481, pp.181-184, 2012
- [2] D. W. Haldane, K. C. Peterson, F. L. Bermudez, R. S. Fearing, "Animal-inspired Design and Aerodynamic Stabilization of a Hexapedal

Millirobot," IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, Karlsruhe, Germany, May 6-10, 2013

- [3] J. R. Kim, J. W. Kim, J. H. Park, J. W. Kim, "Movement Analysis of Waist and Tail of Lizard for controlling Yawing for motion on Slow Trotting," Journal of Institute of Control, robotics and Systems, vol. 19, pp. 620-625, 2013
- [4] C. Li, S.T. Hsieh, D. I. Goldman, "Multifunctional foot use during running in the zebra-tailed lizard (*Callisaurus draconoides*), Journal of Experimental Biology, vol. 215. pp. 3293-3308, 2012
- [5] C. T. Farley, T. C. Ko, "Mechanics of Locomotion in Lizards," Journal of Experimental Biology, vol. 200. pp. 2177-2188, 1997