

## 높은 유효하중 능력과 다양한 벽면전환 능력을 가지는 다관절 등반로봇 개발

### Development of a multi-link climbing robot with high-payload and various transitioning ability

○이 기 욱\*, 오 종 균\*, 김 종 원\*, 서 태 원\*\*

\* 서울대학교 기계항공공학부 (TEL : 02-880-7144; E-mail: gulee@rodel.snu.ac.kr)

\*\* 영남대학교 기계공학부 (TEL : 053-810-2442; E-mail: taewon\_seo@yu.ac.kr)

**Abstract** This paper presents a new climbing robotic mechanism for high-payload climbing and wall-to-wall transitioning. The proposed robotic platform consists of three magnetic tread-wheel modules that are connected by links with passive and active compliant joints. The front compliant joints are passive type with a torsion spring, and the rear compliant joints are active type with torque-controlled motors. A torque-controlled tail is attached at the end of the third module. The robot can perform two internal and two external transitions against gravity and every possible transition in the side surface driving direction. The robot can carry 10 kg payloads on vertical surfaces and on a ceiling.

**Keywords** Compliant mechanism, Climbing robot, High payload, Transition

#### 1. 서론

최근 국내외적으로 고층 외벽 청소, 선박 내부 검사 및 외부 도장과 같이 위험한 작업환경에서의 작업의 안전과 효율의 향상을 위해 등반로봇에 대한 연구가 활발하게 이루어지고 있다[1-3]. 등반로봇이 실제 이러한 작업환경에서의 작업을 하기 위해서는 벽면전환 능력이 필요하다. 또한 작업 도구를 탑재할 수 있는 유효하중 능력이 필수이다.

이러한 벽면전환 능력과 유효하중 능력과 관련하여 다양한 등반로봇들이 개발되었다. 개발된 로봇의 대표적인 예로 Fishcher et al. [4]와 Grieco et al. [5]이 있으나, 실제로 작업현장에 사용하기에는 한계가 있다.

본 논문에서는 다양한 벽면 전환 능력과 높은 유효하중 능력을 동시에 만족시키는 로봇 플랫폼을 개발하였다 [6]. 로봇의 이름은 “Combot” 이며 영구자석을 통해 벽면과 흡착을 한다. 또한 다관절 구조로 구성되어 있으며, 이를 통한 유연한 움직임을 통하여 다양한 벽면 전환 능력 및 높은 유효하중 능력이 가능하다.

본 논문의 구성은 다음과 같이 이루어진다. 2장에서는 로봇의 기구구조에 대한 설명이 이루어진다. 또한 3장에서는 실험 결과에 대한 그림 및 설명이 이루어지며, 마지막으로 4장에서는 결론에 대한 내용을 다룬다.

#### 2. 로봇 기구구조

로봇의 기구구조는 그림 1 과 같이 크게 3개의 자석 벨트 모듈과 이를 연결하는 능동, 수동 회전 관절 및 능동적으로 구동하는 1 개의 꼬리로 이루어져있다. 로봇은 자석벨트의 회전을 통하여 이동을 하며, 능동 및 수동 회전관절을 이용하여 다양한 벽면에 따라 유연한 벽면전환이 가능하다. 또한 능동 회전관절의 토크 값의 조절을 통해 로봇의 안정적인 벽면전환이 가능하다.

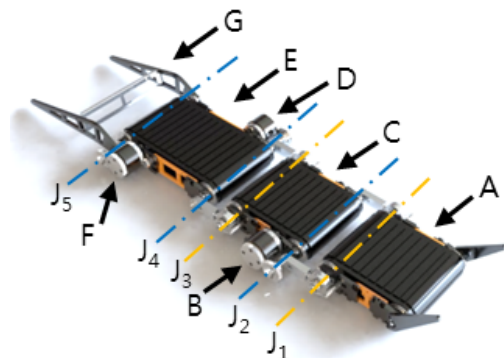


그림 1. 로봇 기구구조: 자석벨트를 구비한 메인모듈 (A, C, E), 토크센서 (B, D, F), 능동구동 꼬리 (G) 및 비틀림 스프링으로 구동되는 수동관절 (J1, J3) 과 토크-컨트롤 모터로 구동되는 능동관절 (J2, J4, J5)

### 3. 실험

로봇의 시제품은 그림 1 과 같다. 로봇의 꼬리를 제외한 전체 크기는 폭 216mm, 길이 522mm, 높이 38mm 이며, 무게는 6.4 kg 이다. 로봇은 외부의 PC 와 전원 공급장치에서 유선으로 제어신호와 에너지를 공급받는다.

로봇의 벽면전환 능력에 대한 실험은 2 가지의 내각 ( $0^\circ$  에서  $90^\circ$ ,  $270^\circ$  에서  $0^\circ$ ) 및 2 가지의 외각 ( $0^\circ$  에서  $270^\circ$ ,  $90^\circ$  에서  $0^\circ$ ) 및 내각 및 외각 측면주행에 대한 벽면전환 능력에 대해 진행되었다. 실험결과는 그림 2 와 그림 3 과 같으며, 6 가지의 벽면전환 능력을 검증하였다.

또한 로봇의 유효하중 능력에 대한 실험은 수직 벽 상승 시, 하강 시 및 천장 부착 시에 대하여 진행되었다. 실험결과는 그림 4와 같으며, 10kg 이상의 유효하중 능력을 검증하였다.

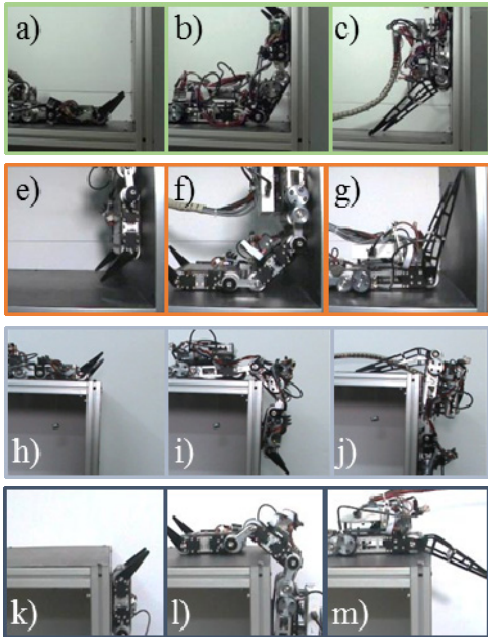


그림 2. 내각 벽면전환 그림:  $0^\circ$  에서  $90^\circ$  (a-c),  $270^\circ$  에서  $0^\circ$  (d-f), 외각 벽면전환 그림:  $0^\circ$  에서  $270^\circ$  (h-j),  $90^\circ$  에서  $0^\circ$  (k-m)

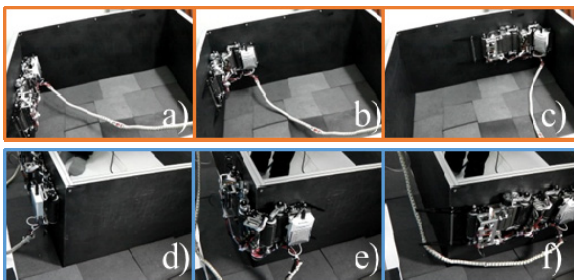


그림 3. 내각 측면주행 시 벽면전환 그림: (a-c), 외각 측면주행 시 벽면전환 그림: (d-f)



그림 4. 로봇의 유효하중 능력: (a) 수직 벽 상승 시 10kg, (b) 수직 벽 하강 시 15kg 유효하중 능력 및 (c) 천장 부착 시 10kg 유효하중 능력

### 4. 결론

본 연구에서는 다양한 장애물 극복 및 벽면전환 능력과 높은 유효하중 능력을 가지는 등반로봇을 개발하였으며, 실험을 통하여 그 능력을 검증하였다. 개발된 로봇의 구조가 위험한 고층 작업환경에서 작업이 가능한 로봇 플랫폼으로 쓰일 수 있기를 기대한다.

### 후기

이 논문은 2012 년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(2012-0003247).

### 참고문헌

- [1] W. Shen et al. "Proposed wall climbing robot with permanent magnetic tracks for inspecting oil tanks," IEEE Int'l Conf. on Mechatronics and Automation, pp. 2072-2077, 2005.
- [2] L. Briones et al., "Robicen: A wall-climbing pneumatic robot for inspection in nuclear power plants," Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, vol. 11, no. 4, pp. 287-292, 1994.
- [3] H. Zhang et al., "Sky cleaner 3: A real pneumatic climbing robot for glass-wall cleaning," IEEE Robotics & Automation Magazine, vol. 13, no. 1, pp. 32-41, 2006.
- [4] W. Fischer et al. "Compact Magnetic Wheeled Robot for Inspecting Complex Shaped Structures in Generator Housings and Similar Environments," IEEE/RSJ Int' Conf. on Intelligent Robots and Systems, pp. 4116-4121, 2009.
- [5] J. C. Grieco et al., "A Six-Legged Climbing Robot for High Payloads," IEEE Int'l Conf. on Control Applications, 1998, Trieste, Italy, pp. 446-450.
- [6] LEE, Giuk, et al. High-payload climbing and transitioning by compliant locomotion with magnetic adhesion. Robotics and Autonomous Systems, 2012.