

# 높은 페이로드 성능을 가지는 유연한 등반로봇의 개발 Compliant Climbing Robot Design for High-Payload Capacity

\*이기욱<sup>1</sup>, 우지윤<sup>1</sup>, 김종원<sup>1</sup>, 서태원<sup>2</sup>

\*G. U. Lee<sup>1</sup>, J. Y. Wu<sup>1</sup>, J. Kim<sup>1</sup>, T. Seo<sup>2</sup>(taewon\_seo@yu.ac.kr)

<sup>1</sup>서울대학교 기계항공공학부, <sup>2</sup>영남대학교 기계공학과

Key words : Wall climbing robot, Compliant mechanism, Payload capacity, Tread-wheel

## 1. 서론

최근 오일 탱크, 핵발전소의 검사나 고층 외벽 청소와 같이 위험한 작업장에서의 작업자의 안전과 작업의 효율의 증가를 위해 등반로봇에 대한 연구가 활발하게 이루어지고 있다 [1-3]. 등반 로봇의 실질적인 적용을 위해서는 높은 벽면전환 능력 (장애물 극복 능력)과 높은 페이로드를 탑재할 수 있는 능력이 필수적이다.

등반 로봇의 벽면전환 능력과 높은 페이로드 능력에 관련하여 다양한 로봇들이 제시되어 왔지만, 실질적인 적용을 위해서는 더 많은 연구가 필요하다. 벽면전환 능력을 연구할 목적으로 한 Fisher *et al.* [4]의 이륜 자석바퀴 로봇은 거의 모든 종류의 벽면전환이 가능하였으나 페이로드 능력이 낮기 때문에 로봇의 실질적인 활용에 어려움이 있다. 반면에 Grieco *et al.* [5]의 등반로봇의 경우 높은 페이로드 능력을 가지고 있었으나 어떠한 벽면전환도 수행하지 못하기 때문에 이 또한 적용 가능범위가 낮다.

본 논문에서는 높은 페이로드 능력과 다양한 내각, 외각 벽면전환 능력을 동시에 충족시키는 새로운 메커니즘의 로봇 플랫폼을 제안한다. 로봇은 3 개의 자석 벨트 모듈로 이루어진다. 각 모듈은 링크를 통해 회전 가능한 조인트로 연결되며, 각 조인트는 적절한 회전력의 인가를 위해 수동적으로 구동되는 토션 스프링과 토크를 제어하는 모터로 구동된다. 또한 로봇 뒤쪽에는 벽면전환 시 pitch-back 모멘트를 줄이기 위한 꼬리부가 부착되어있다.

## 2. 로봇 기구구조

로봇의 기구구조는 Fig. 1 과 같이 크게 3 개의 자석 벨트 모듈과 능동, 수동적으로 구동되는 회전 조인트, 그리고 능동적으로 구동하는 꼬리로 이루어져있다. 각 자석 벨트 모듈은 자석 벨트를 회전함으로써 구동력을 만들어 낸다. 다음으로 능동 회전 조인트에서는 모터를 통해 로봇의 수행하는 벽면전환의 종류에 따라 일정한 회전력을 만들어 내며, 수동 회전 조인트에서는 토션 스프링으로 회전력을 만들어낸다. 마지막으로 로봇 뒤쪽에 있는 꼬리의 구동을 통해 로봇의 벽면전환 시의 pitch-back 모멘트를 줄여주는 역할을 한다.

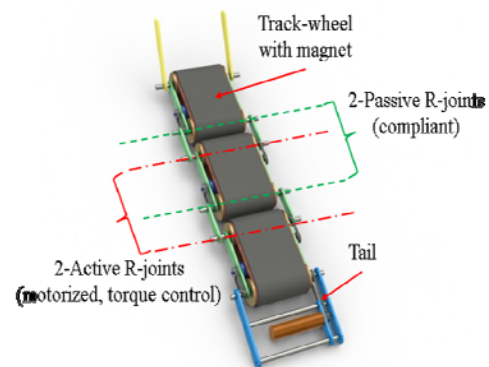


Fig. 1 Robot configuration.

## 3. 로봇의 설계변수

로봇의 설계변수는 로봇이 벽면 전환 시에서의 critical 조건을 고려한 역학 해석을 통해 안정화 여부를 통해 결정하였다. 로봇은 페이로드를 탑재한 상태로 다양한 자세의

벽면전환을 수행하기 때문에 critical 조건을 고려하여 설계 변수를 결정하면 다른 자세의 안정성도 만족하게 된다.

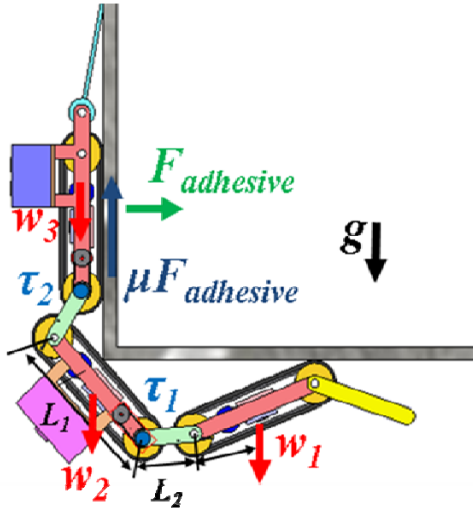


Fig 2. Critical case of robot transitioning.

로봇의 벽면 전환 시에 가장 critical 한 경우의 자세가 Fig. 2 에 도시되어 있다. 이 자세에서 로봇이 안정화되려면 하나의 자석 벨트 모듈에서의 자석의 흡착력  $F_{adhesive}$ , 수동 회전 조인트용 토션 스프링의 토크  $\tau_{t1}$ ,  $\tau_{t2}$ , 능동 회전 조인트용 모터의 토크  $\tau_{m1}$ ,  $\tau_{m2}$  에 대해 다음과 같은 식을 만족시켜야 한다.

$$\begin{aligned}
 \mu F_{adhesive} &\geq w_1 + w_2 + w_3 \\
 \tau_{t1} &\geq w_1 \times 0.5L_1 \\
 \tau_{t2} &\geq w_1 \times (1.5L_1 + L_2) + w_2 \times 0.5L_1 \\
 \tau_{m1} &\geq w_1 \times (0.5L_1 + L_2) \\
 \tau_{m2} &\geq w_1 \times (1.5L_1 + 2L_2) + w_2 \times (0.5L_1 + L_2)
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

위의 식을 만족하는 설계 변수는 다양한 조건에서의 벽면전환 가능성을 확보하게 된다.

높은 페이로드에 대한 해석도 수행하였다. 페이로드는 자석의 접착력과 접착면적에 관계되어 있는 변수로 설계된 로봇은 이론적으로 6 kg 의 페이로드 성능을 가진다. 이 페이로드는 로봇의 무게인 3.5 kg 의 1.7 배로 크기에 관계하여 페이로드가 비례해 상승하게 된다.

현재, 로봇의 상세설계를 마치고 제작 과정에 있는 상태로 로봇이 제작되는 대로 페이로드 성능과 벽면전환 성능을 테스트 할 예정이다.

#### 4. 결론

이번 논문에서는 높은 페이로드 능력을 가지며, 다양한 벽면을 전환을 할 수 있는 로봇 메커니즘을 제안하였다. 이번 논문에서 제안된 로봇 메커니즘의 개발을 통해 선박에서의 무거운 짐을 나를 수 있는 운반 로봇이나, 다양한 벽면 형상을 가진 핵발전소의 검사와 같은 검사로봇과 같은 다양한 모바일 로봇 플랫폼으로 쓰일 수 있기를 기대한다.

#### 후기

이 논문은 2010 년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2010-0027809).

#### 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.