

변형 캐터필러 메커니즘을 이용한 등반로봇 설계 Design of a transformable track mechanism for wall climbing robots

*이기욱¹, 서근찬¹, 박준환¹, 김항¹, 이봉주¹, 김재호¹, #김종원¹

*Giuk Lee¹, Kunchan Seo¹, Junhwan Park¹, Hwang Kim¹, Bongjoo Lee¹, Jaeho Kim¹, #Jongwon Kim(jongkim@snu.ac.kr)¹
¹ 서울대학교 기계항공공학부

Key words : climbing robot, transformable track, polymer magnet

1. 서론

국내외적으로 고층빌딩 외벽 청소 및 도장, 대형 선박의 블라스팅 및 도장, 대형 탱크의 검사 등의 극한환경에서 작업자의 안전을 보호 하고 작업 효율을 높이기 위하여 등반로봇의 연구가 활발히 이루어 지고 있다.

등반로봇 기구부의 기능 가운데 가장 중요한 것은 다양한 재질을 가진 수직 벽면에 로봇을 흡착 시키는 기능과 로봇이 수직 벽면 상에 존재하는 다양한 형상의 장애물을 넘어 주행이 가능하도록 하는 장애물 승월 기능 이라고 할 수 있다. 흡착 메커니즘과 관련하여 기존의 진공[1], 자석[2]을 이용한 방법뿐만 아니라, 계코도마뱀의 발바닥을 모사한 구조를 이용하여 Van der Waals 힘으로 흡착하는 방법[3], 정전기를 이용하여 하는 방법[4], 미세 발톱을 이용하여 기계적으로 거친 벽면에 부착하는 방법[5] 등이 활발히 연구되고 있다. 반면 벽면상에 존재하는 장애물 승월 메커니즘에 관한 연구는 매우 제한된 실정이다. 하지만 빌딩의 외벽 등 실제로 로봇이 주행해야 하는 환경은 요철, 곡면, 면과 면의 조합 등 다양한 형상의 장애물을 포함하고 있기 때문에, 이를 효과적으로 극복하기 위한 장애물 승월 메커니즘의 개발 또한 매우 중요하다고 할 수 있다.

본 연구에서는 변형이 가능한 캐터필러 트랙 메커니즘을 이용하여 단순하고 가벼운 기구구조로 벽면간의 전환주행이 가능한 기구 메커니즘의 개발을 다루었다. 공학설계 방법론에 따라 설계대안을 도출 하였고, 메커니즘의 타당성을 검증하기 위해 고안된 캐터필러 트랙에 폴리머 자석을 이용한 흡착 메커니즘을 적용하여 등반로봇의 프로토타입을 제작하였다.

2. 로봇의 기구구조 및 동작원리

로봇의 구조는 Fig. 1 에서 보는 바와 같다. 1 개의 타이밍 벨트 내부에 6 개의 링크가 5 개의 R 조인트를 통해 직렬로 연결된 구조를 가지고 있으며, 이로 인해 전체 트랙의 형상이 벽면 형상에 대응하여 변형이 가능하도록 되어 있다. 또한, R 조인트의 회전에 의해 트랙의 형상이 변형되더라도 동력 전달을 위한 벨트의 장력을 유지하기 위해 로봇의 앞 부분에 1 개의 P 조인트가 있다. 상기 5 개의 R 조인트와 1 개의 P 조인트는 모두 토션 스프링과 압축 스프링에 의해 구동되는 수동 관절이며 로봇에는 주행을 위한 한 개의 모터만이 로봇의 뒷부분에 설치되어 있다. 타이밍 벨트의 바깥 면에는 로봇의 벽면 흡착을 위해 폴리머 자석이 부착되어 필요한 흡착력을 발휘한다.

로봇이 벽면에서 떨어지지 않고 이동하기 위해서는 두 가지 조건을 만족해야 하는데(Fig. 2 참조), 첫째는 벽면에서 미끌어져 떨어지지 말아야 하고(slip down). 둘째는 중력에 의한 모멘트가 로봇을 벽면에서 떼어내려 할 때 흡착력이 이를 충분히 지지할 수 있어야 한다(fall down by pitch back moment). 첫 번째의 경우 j 번째 링크의 무게를 w_j , 벽면과 폴리머 자석간의 마찰계수가 μ , 자석의 단위면적당 부착력이 G, 흡착된 링크의 개수가 n, 그리고 흡착된 i 번째 링크의 흡착 면적이 A_i 일 때,

$$\sum_{j=1}^6 w_j < \sum_{i=1}^n \mu G A_i$$

를 만족시켜야 하며, 두 번째의 경우 장애물 승월을 위해 일부의 링크가 벽면에서 떨어져 있는 경우에도 임의의 회전관절을 중심으로 계산한 모멘트의 합이 0 보다 같거나 커야 한다(반시계 방향이 +).

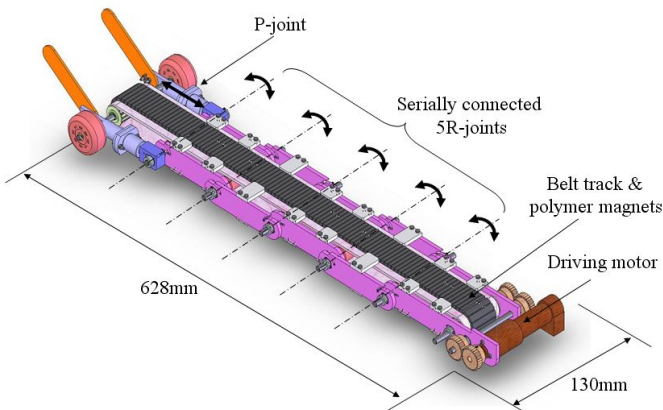


Fig. 1 Structure of the climbing robot

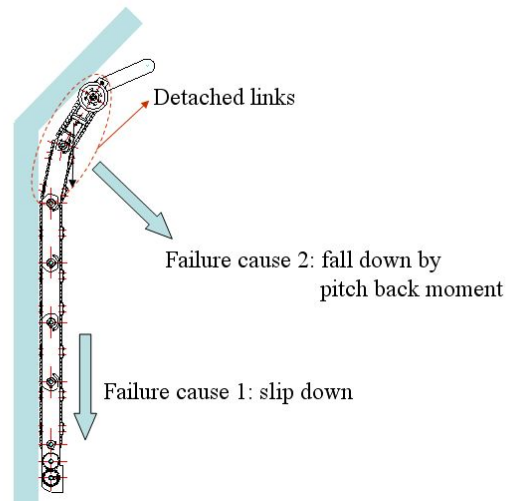


Fig. 2 Failure causes of the climbing robot

본 로봇의 경우 로봇이 장애물을 넘어 주행할 때는 자연히 일부 링크가 벽면에서 떨어지는데, R 조인트의 토션 스프링이 벽면에 흡착되지 않은 링크를 항상 벽면방향으로 밀어주는 역할을 한다. 따라서 벽면 형상에 따라 트랙 형상이 자연스럽게 변형되도록 되어 있으며, 이로 인해 흡착 면적과 흡착력이 극대화된다. 또한, 일부 링크가 벽면에서 떨어지더라도 항상 토션 스프링이 벽면에서 탈착된 링크를 벽면방향으로 밀착시켜주기 때문에 중력이 로봇을 벽면에서 떼어내려는 모멘트 역시 자연스럽게 감소하게 되며 링크가 벽면과 평행이 되면 다시 벽면에 흡착이 된다. 이러한 동작 원리를 이용하여 벽면간 전환 주행 중에도 로봇이 미끌어져서 떨어지거나, 모멘트로 인해 벽면 반대쪽으로 로봇이 넘어가 떨어지는 것을 방지하게 된다.

3. 프로토타입 제작 및 실험

제작된 로봇의 프로토타입은 Fig. 3 과 같다. 크기는 길이 628mm, 폭 130mm, 높이 38mm 이며 (앞부분 돌출부 제외), 무게는 모터를 포함하여 4kgf 이다. 로봇은 외부의 PC와 전원 공급장치에서 유선으로 제어신호와 에너지를 공급받는다.

면과 면 사이의 각도 조절이 가능한 철판으로 된 테스트 벤치에서 주행 실험을 하였으며 실험 결과 80° 에서 240° 의 각도를 갖는 벽면간 전환 주행이 가능하였다. Fig. 4 와 Fig. 5 는 벽면간 전환 주행중인 로봇의 모습이다.

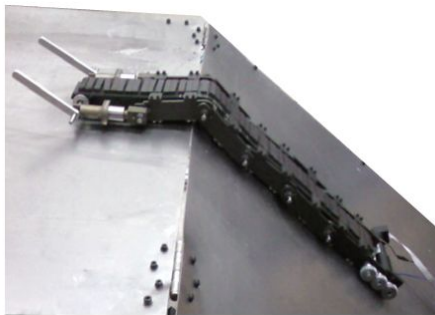


Fig. 3 Prototype of the climbing robot



Fig. 4 Wall-to-wall transition driving (angle between wall surfaces: 80°)

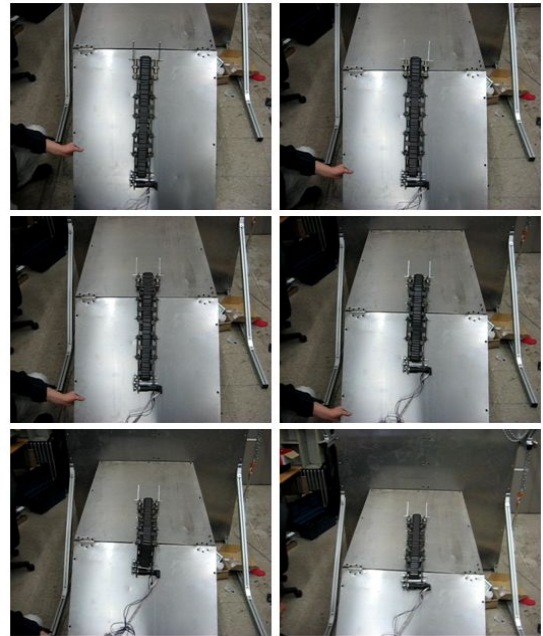


Fig. 5 Wall-to-wall transition driving (angle between wall surfaces: 240°)

4. 결론

본 연구에서는 등반로봇에 적용이 가능한 변형 캐터필러 트랙 메커니즘을 도출하였으며, 프로토타입을 제작하여 80 도에서 240 도의 각도를 갖는 벽면간 전환 주행이 가능함을 실험적으로 확인 하였다. 제안된 메커니즘은 장애물 극복을 위해 수동관절만을 사용함으로써 액추에이터의 무게를 최소화할 수 있다는 점과 로봇과 벽면간의 접촉면적을 극대화 하고, 중력이 로봇을 벽면에서 떼어내려는 모멘트를 감소시켜줄 수 있다는 점이 등반로봇에 매우 유리한 점이였다.

후기

이 논문은 서울시 산학연 협력사업(11045)과 2009 년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2009-0086350).

참고문헌

1. Hirose S., Nagakubo A., Toyama R., "Machine that can walk and climb on floors, walls and ceilings", International Conference on Advanced Robotics, vol.1, pp.753-758, 1991.
2. Zeliang Xu and Peisun Ma, "A wall climbing robot for labeling scale of oil tank's volume", Robotica, vol. 20, pp. 209-212, 2002.
3. Sangbae Kim, Spenko M, Trujillo S., Heyneman B., Mattoli V., Cutkosky M.R., "Whole body adhesion : hierarchical, directional and distributed control of adhesive force for a climbing robot", IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp.1268-1273, 2007.
4. Harsha Prahlaad, Ron Pelrine, Scott Stanford, John Marlow, and Roy Kornbluh "Electroadhesive Robots-Wall Climbing Robots Enabled by a Novel, Robust, and Electrically Controllable Adhesion Technology" IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp.3028-3033. 2008.
5. Alan T. et al, "Scaling hard vertical surfaces with compliant microspine arrays", The International Journal of Robotic Research, vol.25, pp.1165-1179, 2006.