

# 변형 가능한 무한궤도 휠 메커니즘을 이용한 등반 로봇 플랫폼의 설계와 시뮬레이션

## Design and Simulation of Climbing Robot Platform Using Flexible Tracked Wheel Mechanism

\*이규희<sup>1</sup>, 김황<sup>1</sup>, 남우철<sup>1</sup>, 서근찬<sup>1</sup>, 장도영<sup>1</sup>, 이경훈<sup>1</sup>, #김종원<sup>1</sup>

\*Kyou Hee Lee<sup>1</sup>, Hwang Kim<sup>1</sup>, Woochul. Nam<sup>1</sup>, Kunchan. Seo<sup>1</sup>, Doyoung. Chang<sup>1</sup>, Kyoung Hoon Lee<sup>1</sup>, #Jongwon Kim(jongkim@snu.ac.kr)<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 서울대학교 기계항공공학부

Key words : Climbing robot, Multi-body, Obstacle Overcoming, Flexible Tracked Wheel

### 1. 서론

전세계적으로 고층 건물의 외벽 청소, 대형 선박의 도장 및 블라스팅, 댐 및 원자력 용기의 검사, 파이프 및 덕트 청소, 험지 탐사 등의 목적으로 등반로봇의 연구 및 개발이 활발히 이루어지고 있다. 지금까지 이러한 고소 및 극한 환경에서의 작업은 대부분 인력에 의해 진행되어 왔다. 이는 작업자의 안전을 위협할 뿐만 아니라 작업의 어려움 및 시간문제도 많은 비용을 치르게 한다.

그러나 현재까지 다양한 형상과 재질로 이루어진 외벽을 등반 할 수 있는 로봇은 아직 개발되지 않은 실정이다. 특히 고층 건물의 외벽 형상은 매우 불규칙하고 다양한 크기의 요철 등을 포함하고 있다. 기존에 개발된 대부분의 고층건물 외벽 등반로봇들은 유리창이나 철판과 같은 매끈하거나 수 mm 이내의 요철로 이루어진 수직 벽면만을 등반하며 이동 가능 영역은 하나의 벽면으로 국한된다. 콘크리트 벽면과 같은 불규칙한 형태의 재질 및 장애물을 포함하는 벽면을 이동 가능하며 담을 넘는 등의 실제 주위에서 접할 수 있는 다양한 환경에서 주행 가능한 로봇은 아직 그 개발 사례가 없다. 따라서 이러한 요구조건을 만족할 수 있는 등반로봇 플랫폼이 개발된다면 고층건물에서의 작업, 특히 고층건물 외벽 청소의 등반로봇 활용이 활발히 이루어질 것이다.

한편 기존 등반 로봇의 이동 메커니즘 중 보행이나 슬라이딩 방식을 이용한 등반 로봇은 비교적 다양한 형태의 벽면을 이동할 수 있고 장애물 극복 시에도 유리하지만 복잡한 메커니즘 또는 불연속적인 이동 알고리즘으로 인해 주행 속도가 현저히 느려지는 단점을 갖는다.<sup>1,2</sup> 바퀴나 무한궤도 휠 메커니즘을 이용한 등반 로봇의 경우 연속적인 이동 방식으로 인해 빠른 주행 속도를 갖는 장점이 있으나 다양한 형상의 벽면을 이동하거나 Wall to Wall, Wall to Ceiling, Over the Wall 등의 벽면간의 이동을 하기에는 어려움이 있다.<sup>3</sup>

본 논문에서는 이러한 기존 등반로봇의 한계를 극복하기 위하여 휠 메커니즘의 연속적인 주행과 보행 메커니즘의 장애물 극복 능력을 동시에 만족하는 변형 가능한 무한궤도 휠 메커니즘을 이용한 등반로봇 플랫폼의 설계 방안을 제안하였으며 구동원리를 설명하였다. 또한 시뮬레이션을 통하여 무한 궤도 트랙의 장력을 유지하기 위한 텐서너스프링 상수 등의 적절한 설계 변수를 찾으며 다양한 주행환경에서의 모의 주행을 통해 로봇 플랫폼의 구현 가능성을 검증 하였다.

### 2. 로봇 플랫폼의 구조

공학적 설계 방법론에 의하여 제안된 등반로봇 플랫폼은 전체적으로 컨트롤러, 주행모터와 페이로드 등을 실을 수 있는 메인 바디와 타이밍 벨트, 풀리, 텐서너, 가이드 등을 포함하는 무한궤도 휠 시스템으로 구성된다.<sup>4</sup> 전체 로봇의 형상은 Fig. 1 과 같으며 전체 크기는 1100 x 600 x 250

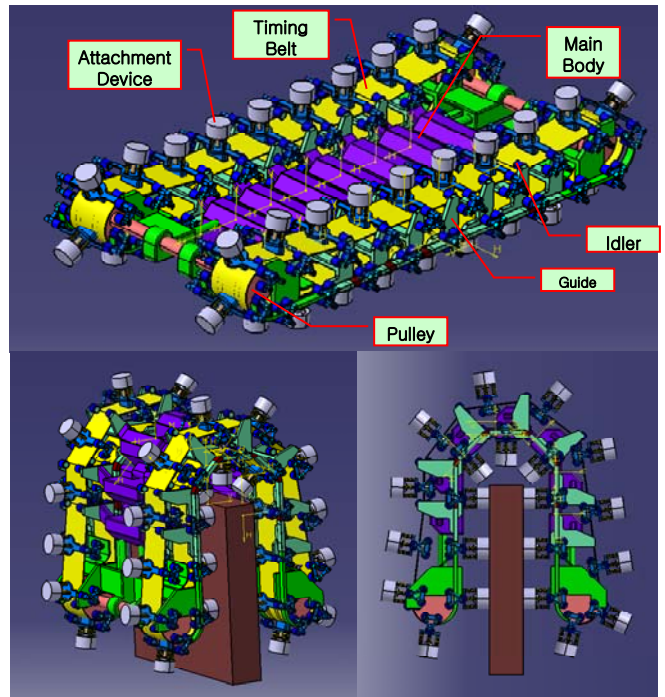


Fig. 1 Overall feature of the robot platform

mm 이다. 메인 바디와 무한궤도 휠 시스템은 7 개의 바디가 6 개의 회전 관절로 결합되어 있어서 벽면의 굴곡이나 형상에 적응, 벽면간의 이동 등의 상황에 맞게 전체 모양을 변형시킬 수 있다.

무한궤도 휠 시스템은 타이밍 벨트, 모터에서 타이밍 벨트로 구동 전달을 위한 풀리, 타이밍 벨트 장력 유지를 위한 텐서너, 타이밍 벨트의 이탈을 방지하는 아이들러, 흡착 유닛의 바퀴 부분과 접촉되는 가이드 등으로 구성되어 있다. 타이밍 벨트에는 일정 간격으로 흡착 유닛이 결합되어 있으며 흡착 유닛의 바퀴 부분이 타이밍 벨트 안쪽에 있는 가이드에 안내되어 이동하게 된다.

### 3. 변형 무한궤도 메커니즘의 구동원리

흡착 유닛은 타이밍 벨트의 회전에 따라 움직이면서 순차적으로 벽면에 부착되게 된다. 흡착 유닛의 벽면과 최초로 접촉되는 부분에서는 흡착 유닛이 비스듬하게 접근하면 흡착 유닛이 벽면에 의해 말리는 등의 간섭이 발생하게 된다.. 이를 위해 Fig. 2 처럼 내부 가이드를 만들어서 흡착 유닛이 최대한 지면과 수직인 방향을 유지하면서 접근하게 하였다. 또한 흡착 유닛의 접촉 시에 충분한 흡착력을 얻기 위해 벽면을 향해 Preload 가 가해져야 하는데 이 역시 내부 가이드의 형상을 통해 가능케 하였다.

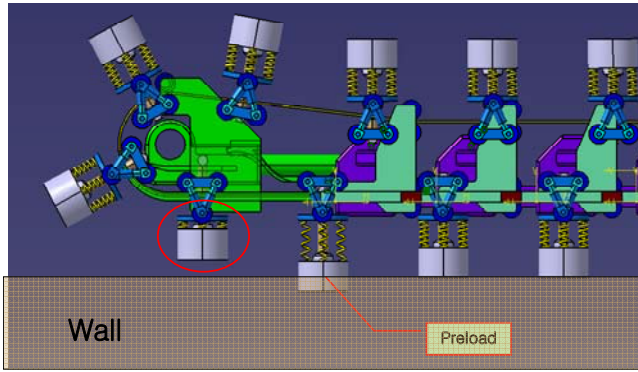


Fig. 2 Working principle of the robot platform

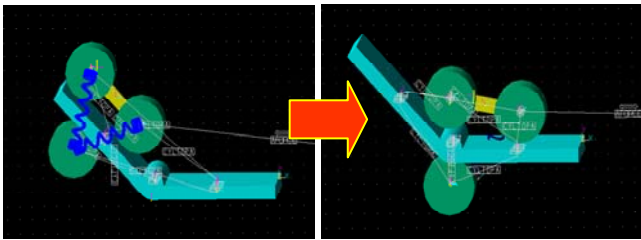


Fig. 3 Working principle of wheels of attachment device

흡착 유닛은 Fig. 3 에서 보듯이 3 개의 실린더 형 바퀴 가삼각형의 모양을 이루는 구조로 가이드와 연결되어 있다. 실린더 간의 링크는 스프링을 두어 일정한 각을 이루는 두 가이드 사이의 이동 간에도 삼각형 모양이 변형되어 큰 저항 없이 부드럽게 이동하도록 하였다.

6 개의 회전 관절로 구성된 변형 무한궤도 휠 시스템의 모양 변경 시 회전 관절이 움직임에 따라 기구적으로 타이밍 벨트가 헐거워지기도 하며 팽 죄이기도 한다. 이와 같은 문제점을 극복하고 일정 장력을 유지할 위해 Fig. 4 에서 보듯이 가이드의 양 끝 단에 스프링을 이용하여 텐서너 역할을 하게 하였다.

#### 4. 시뮬레이션을 통한 검증

동역학 해석 프로그램을 이용하여 제안된 등반로봇 플랫폼의 타당성을 검증하였다. 타이밍 벨트의 장력을 적절히 유지하기 위한 텐서너의 스프링 상수와 이때 필요한 구동 모터의 토크나 바디간 회전 관절에 걸리는 반력 등을 분석하여 변형 가능한 무한 궤도 휠 메커니즘의 구현 가능성을 검토하였다. 또한 Fig. 5 에서 보듯이 다양한 벽면 환경에서의 모의 주행을 통하여 주행 시 부하가 걸리는 관절이 없는지 등반로봇 플랫폼의 자세에 따른 특이점은 발생하지 않는지 확인하였다.

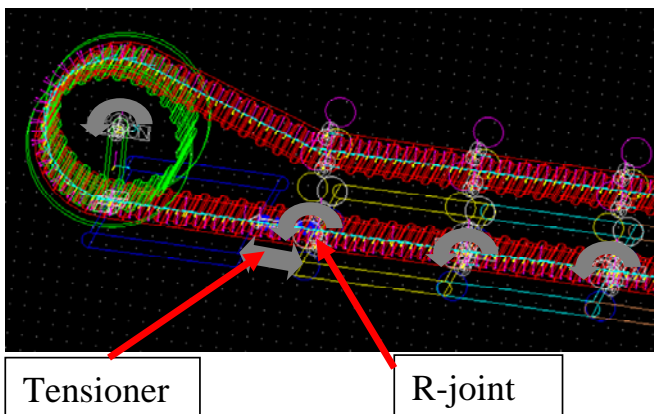


Fig. 4 Working principle of the tensioner

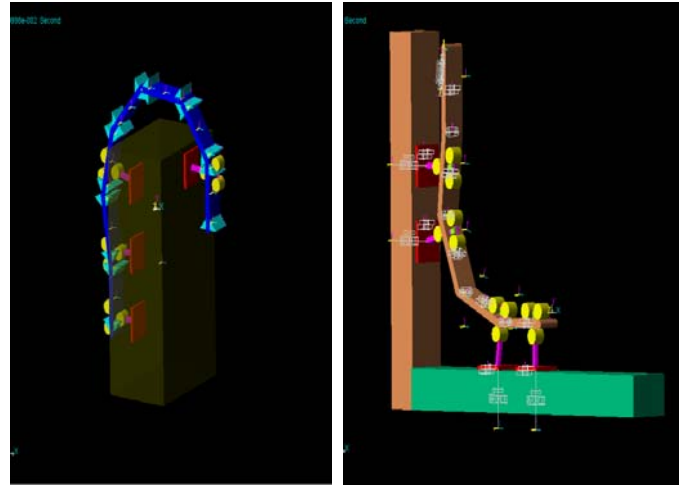


Fig. 5 Simulation model of the robot platform

#### . 결론

본 논문에서는 요철이나 장애물로 이루어진 다양한 형상의 벽면에 적응하여 주행 가능한 새로운 개념의 등반로봇 플랫폼의 구조를 제안하고 구동원리를 설명하였다. 제안된 등반 로봇 플랫폼을 가지고 수직 벽면간의 이동, over the wall 등의 모션 등 다양한 환경에서의 모의 주행을 통하여 구현 가능성을 검증하였다.

#### 후기

이 연구는 서울시 산학연 협력사업 및 2007년도 2 단계 두뇌한국 21 사업의 지원에 의해 수행된 것입니다.

#### 참고문헌

1. Shigeo Hirose, Akihiko Nagakubo, "Walking and Running of the Quadruped Wall-Climbing Robot", Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, pp.1005-1012, 1994
2. Sack Mario, Elkmann Norbert, Felsch Torsten, Bohme Torsten, "Intelligent control of modular kinematics : The robot platform SIRIUS", Proceedings of the 2002 IEEE International Symposium on intelligent Control, pp. 27-30, 2002
3. 김황, 김동목, 양호준, 이규희, 서근찬, 장도영, 김종원 "흡착 캐터필러 시스템을 이용한 수직평면 등반로봇 기구부의 개발" 한국정밀공학회 2006년도 추계학술대회 논문집, 55-56, 2006.
4. G. Pahl, W. Beitz, "Engineering Design". SpringerVerlag, 1997