

대한기계학회 주최

제12회 전국학생설계경진대회(2022년)

설계 최종 보고서

참가부	대학부 (✓)				
참가분야	공모주제 () / 자유주제 (✓)				
참가팀명	KIT_IRL				
설계제목	단절 지형 극복을 위한 와이어 메커니즘 기반의 그래플링 로봇				
지도교수/교사	(소속) 금오공과대학교 (성명) 주백석				
대표자 (신청인)	성명	소속	연락처 (휴대폰)	E-mail	주소
	장승련	금오공과대학교 기계시스템공학과			

참가팀원 인적사항

NO	성명	소속 / 학년	E-MAIL
1	장승련	금오공과대학교 기계시스템공학과 3학년	
2	김범석	금오공과대학교 기계시스템공학과 3학년	
3	이호창	금오공과대학교 기계시스템공학과 3학년	
4			
5			
6			

설계 요약문

참가분야	공모주제 () / 자유주제 (✓)
참가팀명	KIT_IRL
설계제목	단절 지형 극복을 위한 와이어 메커니즘 기반의 그래플링 로봇
대표자명	장승련
요약문	<p>재난에 의한 붕괴 등의 이유로 단절된 지형이 생성되었을 때 로봇의 이동에 어려움이 존재한다. 기존에 상용화되어있는 로봇들은 바퀴로만 구동하기 때문에 로봇의 몸체보다 큰 단절 지형을 극복하지 못한다. 따라서 평소 평지에서 바퀴 주행을 하다가 단절 지형을 만나면 후크가 달린 플렉시블 와이어를 제어하여 반대편 지물을 잡고 와이어를 당겨 단절 지형을 극복하는 로봇을 개발하고자 한다.</p> <p>본 연구의 로봇은 평지에서 바퀴 구동을 하다가 단절 지형을 만났을 때, 바퀴 구동을 멈추고 후크가 달린 플렉시블 와이어를 반대쪽 지형에 존재한 지물까지 전개한다. 다음으로 플렉시블 와이어를 제어함으로써 후크를 지물에 고정하고, 플렉시블 와이어를 당겨 그 힘으로 로봇이 단절 지형을 극복하도록 설계하였다. 후크는 4절 링크가 2단으로 쌓여져 있어서 두 개의 링크를 움직이는 것만으로 구동이 가능하도록 설계하였다. 후크를 제어하기 위해서는 컨벡스 단면을 가지는 금속성 플렉시블 와이어를 사용하였다. 이 플렉시블 와이어는 길이 방향의 강성이 높아 플렉시블 와이어를 전개할 때 직선의 형태를 유지하며 길게 전진할 수 있다. 또한 평소에 말아서 보관할 수 있어 많은 양의 플렉시블 와이어를 보관하여도 본체에 작은 공간을 사용하기 때문에 본체의 이동성을 높일 수 있다는 장점이 있다. 앞서 설명한 플렉시블 와이어의 특징을 이용한다면 후크에 플렉시블 와이어를 연결하여 플렉시블 와이어가 길이 방향으로 2자유도 운동을 행하는 것만으로도 후크를 제어할 수 있다는 장점을 가진다. 그리고 이러한 메커니즘을 이용한다면 플렉시블 와이어가 전진하는데 있어 길이의 제약을 크게 받지 않기 때문에 먼 거리까지 후크를 전진하고 제어할 수 있다. 작업자가 로봇을 제어하기 위해서 블루투스 모듈을 통한 모바일 기기를 사용하고, 카메라 센서를 이용해 상황을 실시간으로 확인하며 수동 제어가 가능한 환경을 구축하였다. 하지만 수동으로 조작할 경우 험지를 육안으로 판단하여 정확하게 극복하기 쉽지 않다. 이를 해결하기 위해 전면부의 레이저 센서를 이용하여 지면의 연속성을 판단할 수 있는 알고리즘을 추가하였다. 또한 각 와이어 케이스에 부착된 2개의 레이저 센서를 통해 건너편 지물과 로봇 사이의 거리를 측정하여 필요한 거리만큼 후크를 전개하는 알고리즘을 추가하였다.</p> <p>본 연구에서 개발된 이동로봇은 로봇의 몸체보다 큰 단절 지형을 극복할 수 있기 때문에 지형에 구애받지 않고 이동할 수 있다. 이러한 점을 이용한다면 로봇이 재난 현장, 군사 현장 등 여러 상황에서 활용될 수 있다. 또한, 하나의 로봇으로 다양한 현장에 대응할 수 있기 때문에 여러 로봇을 구비하지 않아도 되므로 경제성과 효율성에 큰 도움이 될 것으로 예상된다.</p>
설계프로젝트의 입상 이력	

단절 지형 극복을 위한 와이어 메커니즘 기반의 그레플링 로봇

장승련* · 김범석* · 이호창* · 주백석*†

*금오공과대학교 기계시스템공학과

Grappling robot based on wire mechanism to overcome disconnected terrain

Seoungryeon Jang*, Beomseok Kim*, Hochang Lee* and Baeksuk Chu**†

* Department of Mechanical System Engineering, Kumoh National Institute of Technology

(Received January 1, 2013 ; Revised January 2, 2013 ; Accepted January 3, 2013)

Key Words: Grappling(그레플링), Wire mechanism(와이어 메커니즘), Environmental recognition(환경 인식), Impact relief(충격완화), Mode conversion(모드변환)

초록: 본 연구에서 제안한 로봇은 평상시 바퀴로 주행하다 단절된 지형을 만났을 때 후크가 달린 와이어를 제어하여 반대 지형의 지물을 잡고 와이어를 당겨 단절 지형을 극복하는 로봇이다. 로봇이 건너편의 지물을 정확히 잡기 위해서 링크 구조로 된 후크를 설계하였고 후크와 컨벡스 단면을 가지는 금속성 플렉시블 와이어를 연결하여 제어하였다. 또한 후크 무게로 인한 와이어의 처짐을 보완하고, 로봇이 단절 지형 극복 시 모서리 부분을 타개하기 위해 다목적 지지대를 설계하였다. 레이저 센서를 이용하여 험지와 건너편 지물을 인식하였고, 액추에이터들을 조화롭게 동작시켜 단절 지형을 극복하는 알고리즘과 운영 프로세스를 개발하였다.

Abstract: The robot proposed in this study overcomes disconnected terrain by controlling a wire with a hook when it meets a disconnected terrain. A hook made of a link structure was designed to catch a structure, and a metallic flexible wire with a convex cross section was connected and controlled. In addition, a multi-purpose support was designed to supplement for the drooping of the wire and to overcome the edges. It recognized the disconnected terrain and the other features using a laser sensor, and developed an operation process to overcome the disconnected terrain by operating actuators in harmony.

1. 서론

자연 재난이나 사회 재난에 의하여 붕괴가 발생하거나 지반이 갈라진 경우 등의 상황이 발생하면 로봇의 이동에 어려움이 존재한다. 기존에 상용화되어있는 대부분의 로봇은 바퀴로만 구동하기 때문에 단절된 지형과 같은 험지를 마주했을 때 극복하지 못한다. 드론의 경우 재해 현장에 접근할 수는 있지만 협소한 공간에서의 이동이 어렵고, 주파수의 혼선이 있거나 강한 바람이 부는 등의 외부 환경에 의해 추락이 발생할 위험성이 있다. 또한, 특정 상황에 맞는 각기 다른 로봇을 사용하는 것은 시간과 경제적인 측면에서 효율적이지 못하다. 이러한 제약을 극복하기 위해 로봇이 평탄한 지역에서는 바퀴로 구동하고, 단절된 지형과 같이 바퀴로 구동이 어려운 지형은 후크를 사용하여 험지를 극복할 수 있도록 각 상황에 맞게 변형이 가능한 지능형 로봇의 도입이 필요하다.

본 연구에서는 주위 환경을 인식하고 이에 맞게 바퀴 주행모드와 후크모드로 전환이 가능한 가변형 로봇을 제안하였다. 이 시스템을 구현하기 위해 평탄한 지형에서는 바퀴 주행모드로 주행하고, 단절된 지형의 험지를 만났을 때는 후크모드로 험지를 극복할 수 있게 설계하였다. 또한 로봇의 전면부에 위치한 레이저 센서를 통해 주변 환경을 인식하고, 각 와이어 케이스에 부착된 레이저 센서를 통해 건너편 지물과 로봇 사이의 거리를 측정하여 그 값만큼 후크가 전개하도록 설계하였다. 그리고 카메라 및 통신 모듈을 이용하여 상황에 맞게 모터를 제어할 수 있는 제어 알고리즘 및 운영 프로세스를 개발하였다.

2. 와이어 메커니즘

‘단절 지형 극복을 위한 와이어 메커니즘 기반의 그래플링 로봇’은 건너편에 있는 서로 다른 지물을 양쪽 후크로 잡고 와이어를 당겨 험지를 극복하는 로봇이다. 로봇은 평지에서 바퀴 구동을 하다가 단절된 지형을 만났을 때 바퀴 구동을 멈추고 후크가 달린 플렉시블 와이어를 반대쪽 지형에 존재한 지물까지 전개한다. 다음으로 플렉시블 와이어를 제어함으로써 후크를 지물에 고정하고 플렉시블 와이어를 당겨 로봇이 단절 지형을 극복하도록 설계하였다. 이러한 로봇의 메커니즘을 고려하여 제작한 로봇을 Fig. 1에 나타내었다.

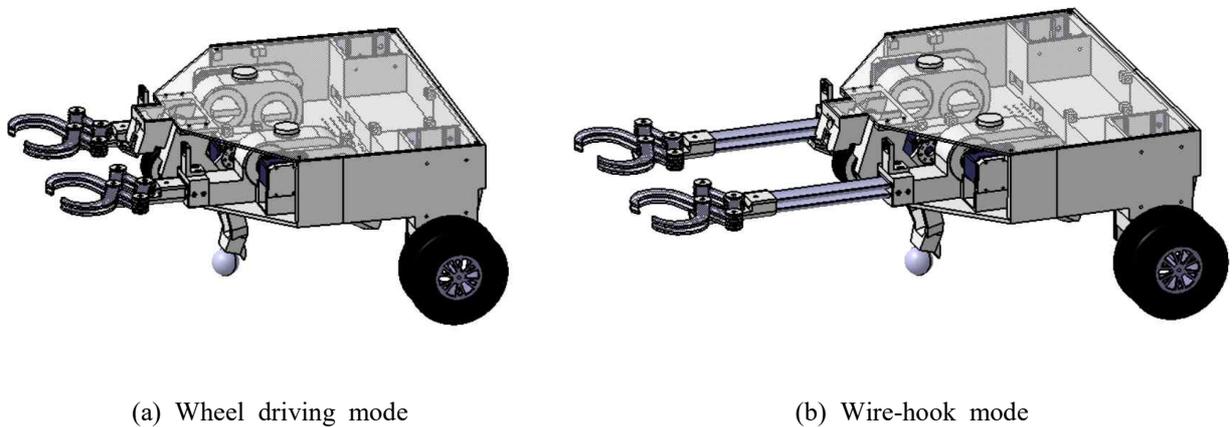


Fig. 1 A prototype proposed in the research

2.1 후크 설계 및 작동 원리

Fig. 1에서 나타낸 것과 같이 로봇의 전면부에 두 개의 후크가 장착되어 있다. 각각의 후크는 Fig. 2(a)와 같이 4절 링크를 2단으로 쌓아 총 8개의 링크 부품들로 이루어진다. 후크가 이러한 구조를 가진다면, 후크를 제어할 때 별도의 액추에이션 없이 위아래에 있는 두 개의 링크를 움직이는 것만으로 후크를 열고 닫는 동작이 가능하다는 특징을 가진다. 또한 이러한 링크 구조의 후크는 Fig. 2(b)와 같이 후크가 아래로 당겨질 때 당겨지는 힘이 강해질수록 후크가 닫히는 힘도 증가한다는 특징이 있다. 이를 통해 로봇이 절벽 건너편의 지물을 잡은 후 절벽을 건널 때 로봇의 무게가 후크를 지지하는 있는 힘으로 변환되어 안정적으로 지지대를 잡을 수 있다.

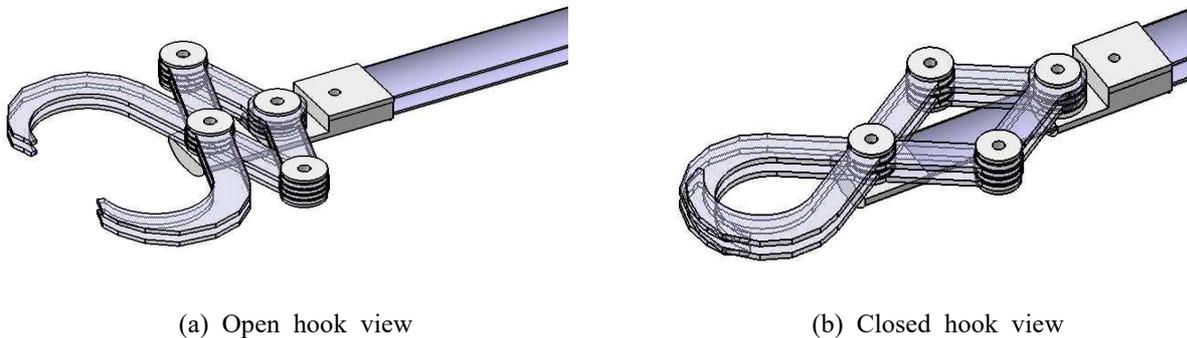


Fig. 2 Hook design

2.2 플렉시블 와이어

로봇이 험지를 극복하기 위해서는 후크를 길게 전개하여 건너편에 있는 지물을 정확히 잡을 수 있어야 한다. 이를 컨벡스 단면을 가지는 금속성 플렉시블 와이어를 이용하여 구현하고자 한다. 이 플렉시블 와이어는 Fig. 3(a)과 같은 단면을 가지고 있어 길이 방향의 강성이 높다는 특징을 가진다. 이러한 점을 이용하면 플렉시블 와이어를 전개할 때 직선의 형태를 유지하며 길게 전진할 수 있다. 또한, 플렉시블 와이어는 Fig. 3(b)과 같이 평소에 말아서 보관할 수 있어 공간의 효율성이 뛰어나다. 일반적인 와이어를 건너편의 지물까지 길게 전진하기 위해서는 본체 안에 많은 양의 와이어가 있어야 하므로 큰 부피의 메커니즘이 필요하다. 하지만 말아서 보관할 수 있는 플렉시블 와이어의 특징을 이용하면 본체에 작은 공간을 사용하는 것만으로도 많은 양의 플렉시블 와이어를 보관하여 본체의 이동성을 높일 수 있다는 장점이 있다. 앞서 설명한 플렉시블 와이어의 특징을 이용한다면 Fig. 2의 링크에 서로 다른 플렉시블 와이어를 연결하여 플렉시블 와이어가 길이 방향으로 2 자유도 운동을 행하는 것만으로도 후크를 제어할 수 있다. 이러한 메커니즘을 이용한다면 플렉시블 와이어가 전진하는 데 있어 길이의 제약을 크게 받지 않기 때문에 먼 거리까지 후크를 전진하고 제어할 수 있다.

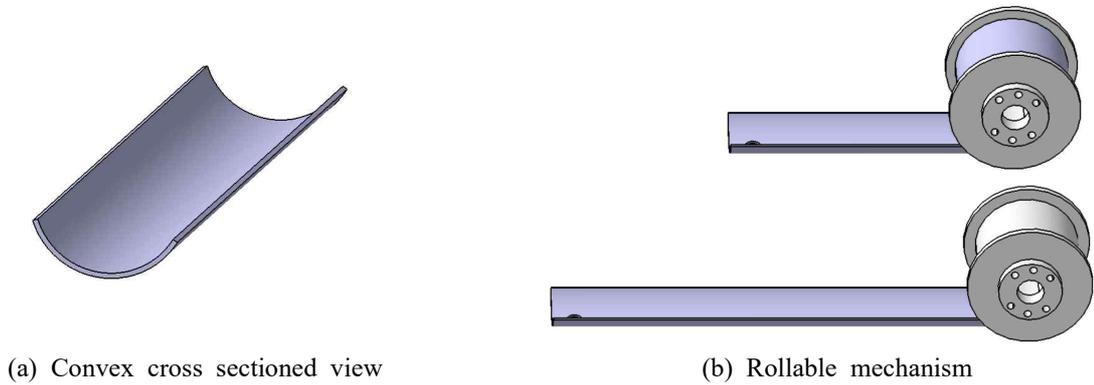


Fig. 3 Design of flexible wire

후크를 제어하기 위해서는 2개의 플렉시블 와이어를 각각의 모터에 연결해 제어하기 때문에 와이어 케이스 하나당 와이어를 감는 보빈 2개와 각 보빈을 제어하기 위한 모터 2개를 포함하고 있다. 따라서 Fig. 4와 같이 플렉시블 와이어 하나와 모터 하나가 고정되어 일련의 동작을 수행할 수 있게 와이어 케이스를 설계하였고, 이를 통해 모터로 플렉시블 와이어 제어가 가능하게 하였다. 또한 플렉시블 와이어가 전개되는 부분을 플렉시블 와이어의 U자 형상에 맞게 설계하여 플렉시블 와이어를 전개할 때 불필요한 마찰을 최소화하고, 플렉시블 와이어가 일직선으로 나아갈 수 있도록 설계하였다.

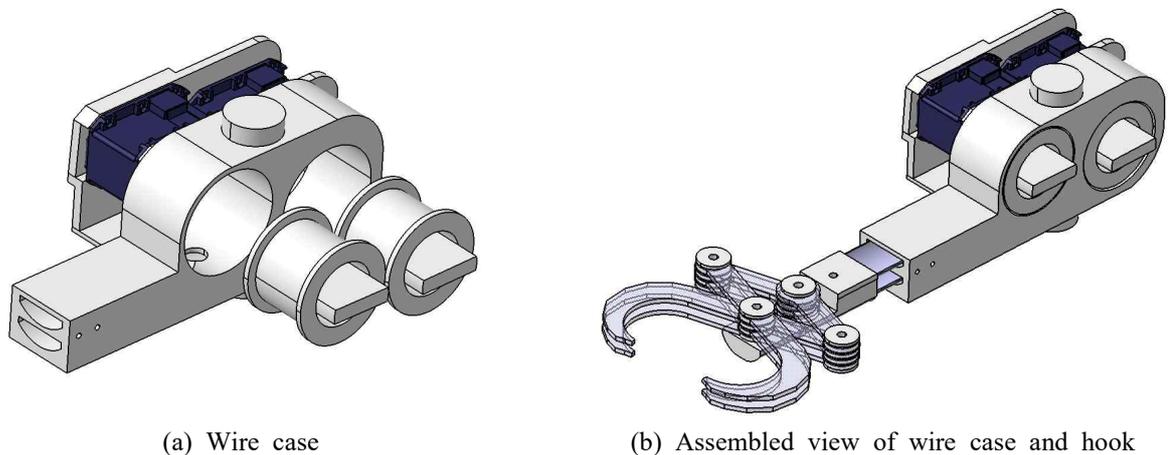


Fig. 4 Wire case

3. 로봇의 본체 구조 설계

3.1 로봇 본체 설계

‘단절 지형 극복을 위한 와이어 메커니즘 기반의 그래플링 로봇’은 두 개의 후크를 이용하여 건너편에 있는 서로 다른 지물을 잡아서 험지를 극복한다. 따라서 각 와이어 케이스가 자유롭게 회전할 수 있도록 와이어 케이스의 회전 공간을 추가하여 육각형의 형태로 설계하였다. 또한, 로봇이 험지와 건너편의 지물을 인식하기 위해 레이저 센서가 부착되고, 실시간으로 로봇 상황을 스트리밍하기 위해 카메라 센서가 부착된다. 본체를 설계할 때 이러한 하드웨어들이 부착될 위치와 앞서 말한 특징을 고려하여 Fig. 5와 같이 제작하였다.

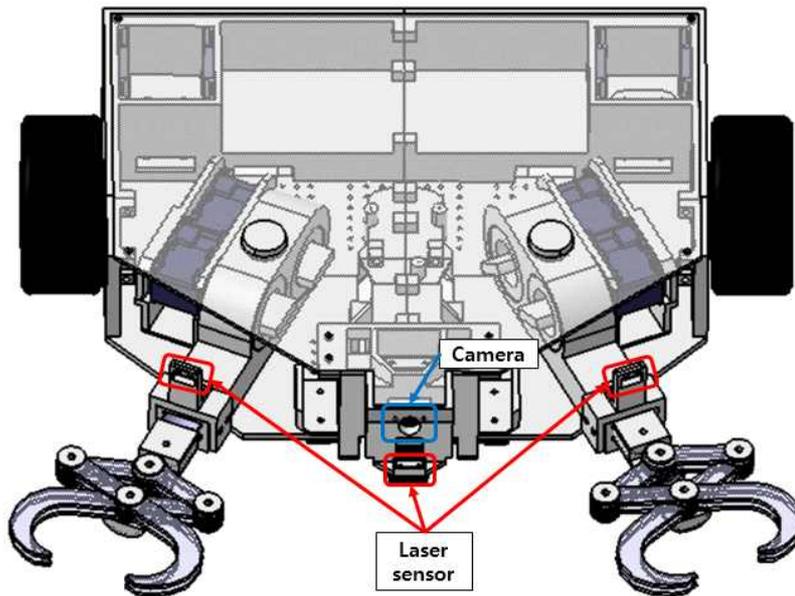


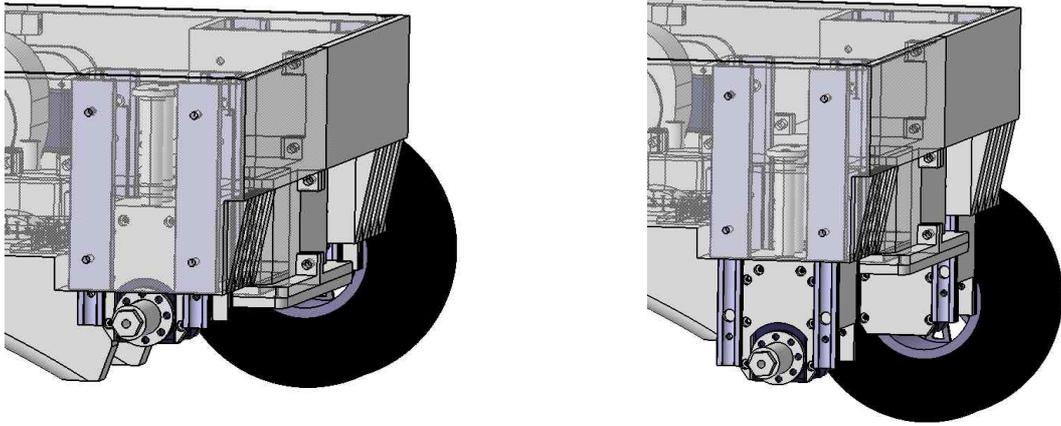
Fig. 5 Body design with sensors

3.2 충격완화 장치 설계

로봇은 후크를 반대 지형의 지물에 고정하고 단절 지형을 건너는데, 이때 로봇이 반대편 지형의 수직 지면에 충돌하여 로봇이 파손된다. Fig. 6은 이러한 파손을 최소화하기 위하여 로봇이 충돌할 때 먼저 닿는 부분인 앞바퀴와 뒷바퀴에 충격완화 장치를 설계한 모습이다. 뒷바퀴에 존재하는 충격완화 장치는 Fig. 6(b)과 같이 리니얼 가이드를 충격완화 장치에 덧대어 작동방향을 상하로 제한하였고, 충격완화에 용이한 에어 바퀴를 사용하여 앞서 말한 충격 상황에서 로봇의 파손이 최소화되도록 설계하였다.



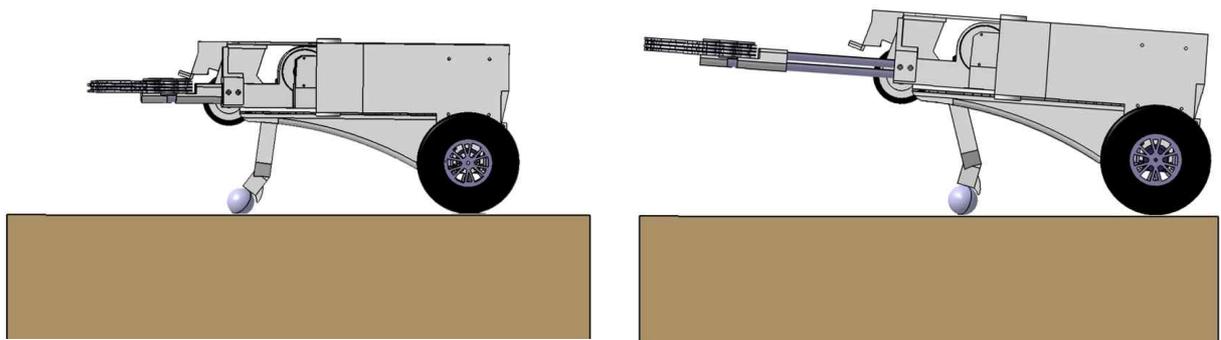
(a) Front shockabsorber



(b) Rear shockabsorber
Fig. 6 Shockabsorber

3.3 다목적 지지대

로봇이 지면과 평형을 유지한 상태로 후크를 뺀 과정에서 플렉시블 와이어가 후크의 무게에 의해 처지는 현상이 발생하였다. 이러한 부분을 보완하기 위하여 Fig. 7과 같이 로봇 본체 하단에 회전이 가능한 다목적 지지대를 설계하였다. 다목적 지지대의 각도를 조절함에 따라 로봇 본체의 상하 각도 조절이 가능하기 때문에 이를 통해 와이어의 처짐을 보완하였다.



(a) Wheel driving

(b) Body lifting

Fig. 7 Multipurpose support design

또한 로봇이 와이어를 감으며 단절 지형을 극복할 때 건너편 수직 지형의 모서리 부분을 극복하지 못하는 상황이 발생하였다. 이때 Fig. 8과 같이 다목적 지지대를 앞으로 위치시켜 로봇이 모서리를 극복하도록 설계하였다. 이에 대한 자세한 설명은 4장에서 진행한다.

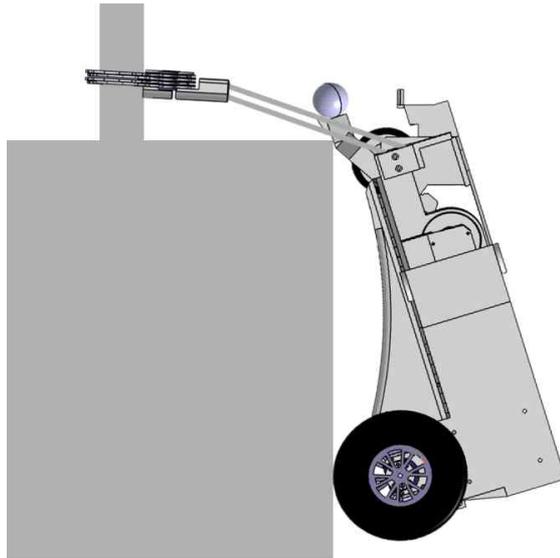


Fig. 8 Application of multipurpose support

4. 다목적 지지대를 이용한 모서리 극복 메커니즘

4.1 모서리 극복 현상의 분석

단절된 지형을 극복하기 위해서 반대편 지물에 후크를 걸고 로봇이 반대 지면의 수직인 면을 타고 올라가 최종적으로 반대 지형의 수평적인 지면에 올라야 한다. 하지만 건너편 지형의 수직 지면을 극복하는 과정에서 Fig. 9와 같이 모서리 부분을 극복하지 못하고 로봇이 들리는 상황이 발생하였다. 따라서 이를 해결하기 위해 모서리 걸림 부분을 분석하였다.



Fig. 9 Edge overcoming problem

우선 로봇이 정면을 바라보는 방향을 x 축으로, 로봇의 상단부가 바라보는 방향을 z 축으로 선정하여 Fig. 10(a)처럼 로봇을 평면에서 바라보았을 때 로봇은 x, y 축을 포함하는 면에 있음을 알 수 있다. Fig. 10(a)에서 볼 수 있듯이 로봇의 R 부분과 L 부분이 중심선 S를 기준으로 대칭이므로 모서리 극복 상황에서 로봇에 작용하는 힘을 y 축은 제외한 xz 평면상의 역학 해석으로 단순화할 수 있다. 또한 Fig. 10(b)와 같이 로봇의 앞부분을 A로, 뒤쪽의 상단부를 B로, 뒤쪽의 하단부를 C로, 로봇 전면부의 가장 하단에 있는 바퀴의 지점을 D로 지정하였다.

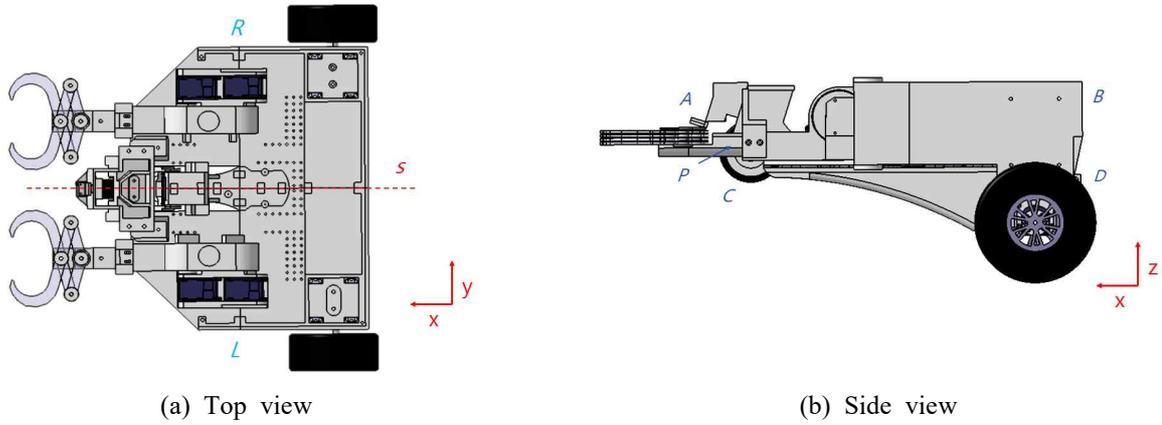


Fig. 10 Coordinate systems

무게중심을 구하기 위해 Fig. 11과 같이 로봇 본체를 형태 및 용도에 따라 크게 나누어 보면 와이어 케이스 및 센서로 이루어진 a 파트, 전자부품 및 배터리가 포함되는 b 파트, 쇼크업소버 및 액추에이터로 구성된 c 파트로 구분이 가능하다. 각 파트의 무게중심을 실험적으로 구하여 해당 좌푯값을 알아보았다. 구해진 각 파트의 무게와 무게중심, m_a, m_b, m_c 를 통해 로봇 전체의 무게중심을 구하고자 한다.

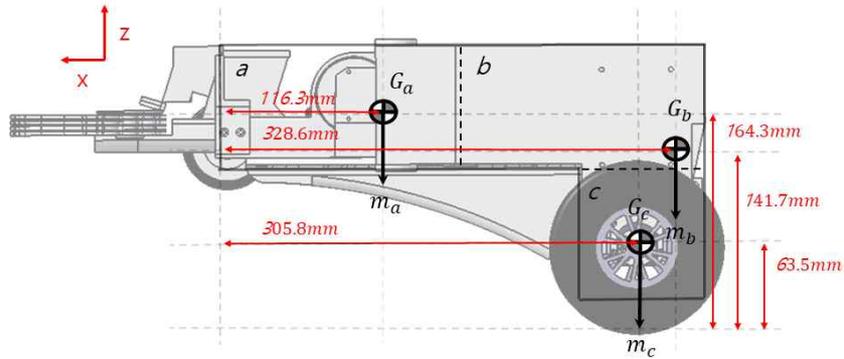


Fig. 11 Center of mass of parts

- m_a, m_b, m_c = Weight of part a, part b, part c
- m_E = Weight of body
- G_a, G_b, G_c = Center of mass of part a, part b, part c
- G_e = Center of mass of body

$$\bar{Z} = \frac{\sum m_k z_k}{\sum m_k}, \quad \bar{X} = \frac{\sum m_k x_k}{\sum m_k} \quad (\bar{Z}, \bar{X} = \text{Coordinate value of center of gravity of entire robot}) \quad (1)$$

$$\bar{Z} = \frac{(2.55kgf)(164.3mm) + (1.65kgf)(141.7mm) + (0.94kgf)(63.5mm)}{5.14kgf} = 138.61mm \quad (2)$$

$$\bar{X} = \frac{(2.55kgf)(116.3mm) + (1.65kgf)(328.6mm) + (0.94kgf)(305.8mm)}{5.14kgf} = 219.11mm \quad (3)$$

이로써 로봇 본체의 무게중심은 Fig. 12과 같이 x축 방향 219.11mm, z축 방향 138.61mm 지점에 있음을 알 수 있다.

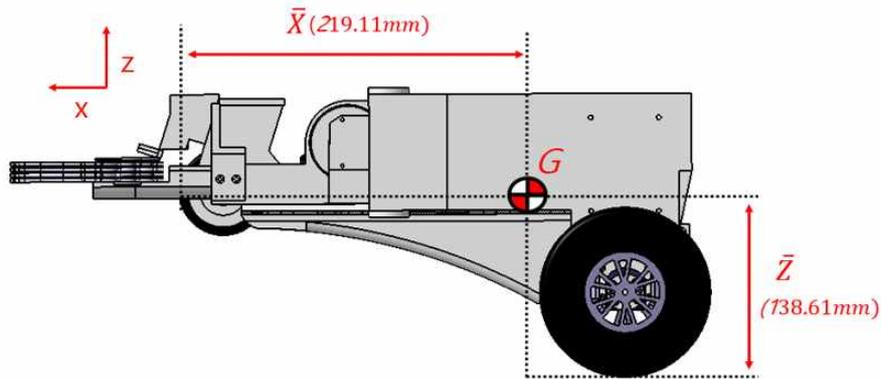


Fig. 12 Center of mass of entire body

다음으로 Fig. 9의 상황을 분석해보고자 한다. 로봇과 수직 지면이 접하는 점을 C라고 한다면 C 지점을 기준으로 와이어의 인장력 F_p 와 로봇 본체의 무게 m_g 에 의해 모멘트가 작용하게 되는데 F_p 가 충분히 커서 로봇 본체가 C 지점을 기준으로 M_{pt} 의 방향으로 회전한다면 로봇의 상황은 Fig. 13과 같아진다.

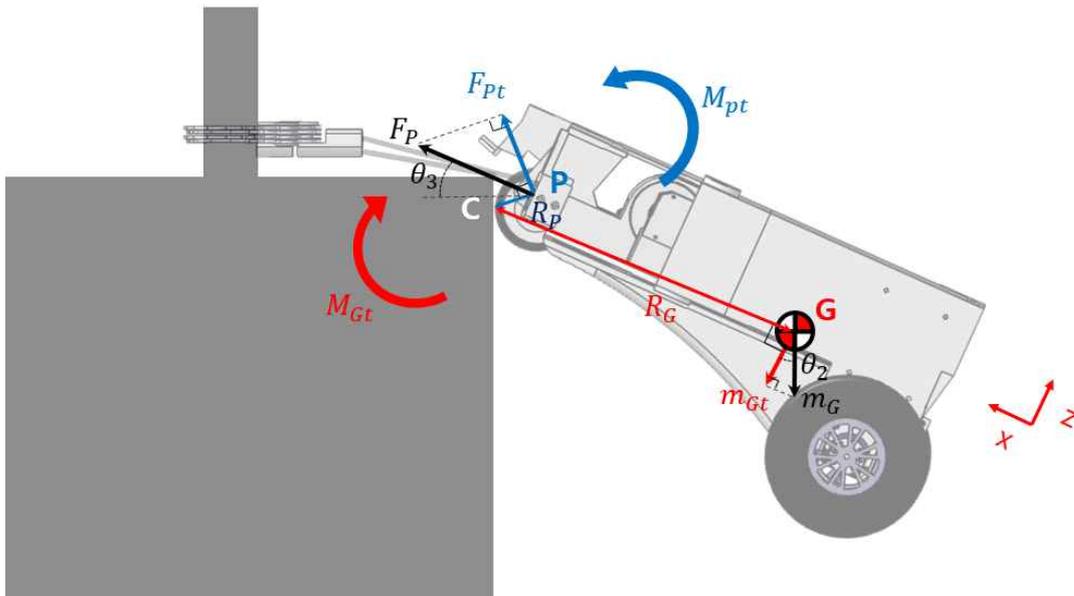
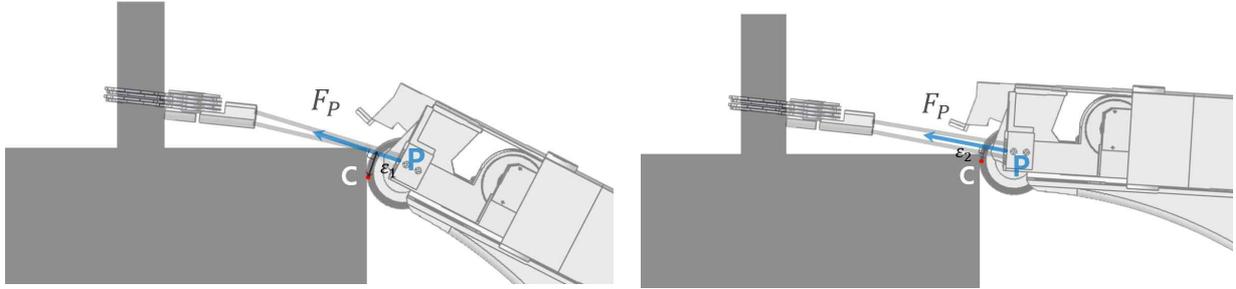


Fig. 13 Schematic drawing of a robot

이때 로봇을 기준으로 본다면 로봇이 수평적인 지면과 점차 평행해지는 과정에서 로봇과 지면이 맞는 지점인 C 지점의 위치는 조금씩 로봇 앞바퀴의 윗부분으로 이동하게 된다. 모멘트 M_{pt} 를 발생시키는 C와 P 사이의 수직 거리를 ϵ 이라고 한다면 Fig. 14(a)의 ϵ_1 이 Fig. 14(b)의 ϵ_2 보다 크다는 사실을 알 수 있다. 이러한 이유로 로봇이 점차 회전하여 지면과 평행해지는 순간에 로봇을 회전시키는 모멘트 M_{pt} 가 최소가 됨을 알 수 있다.



(a) Before the wire is pulled

(b) After the wire is pulled

Fig. 14 Process of overcoming

$$\begin{aligned}
 \sum M &= R_p(F_{pt}) - R_G(M_{Gt}) \\
 &= R_p(F_{pt}) - R_G(m_G \cdot \cos(\theta_2)) \\
 &= \varepsilon(F_p) - R_G(m_G \cdot \cos(\theta_2))
 \end{aligned} \tag{4}$$

if $\sum M \geq 0$ (when $\theta_2 \approx 0^\circ$)

$$\begin{aligned}
 F_p &\geq \frac{R_G(m_G \cdot \cos(\theta_2))}{\varepsilon} \approx \frac{R_G(m_G)}{\varepsilon} \quad (\varepsilon = \overline{CP} \cdot \sin(\theta_3)) \\
 &= \frac{268.79mm(5.14kgf)}{21.66mm \cdot \sin(\theta_3)}
 \end{aligned} \tag{5}$$

모서리 부근을 지나가는 로봇이 수평 지면과 평행해지기까지의 와이어 인장력을 후크의 고정 지점에 따라 계산해 보았다. 실험을 통해 일반적으로 후크 지지점과 지면의 각도 θ_3 는 4° 정도의 값을 가진다는 것을 도출하였다. 따라서 Fig. 15를 통해 로봇이 위와 같은 상황에서 모서리를 극복하기 위해선 약 9,000N의 힘으로 와이어를 감아야 한다는 결론을 얻었다. 이때 후크 하나당 2개의 와이어를 사용하므로 2세트의 후크를 사용하면 하나의 모터에 필요한 최저 토크는 51.75Nm이다. 하지만 로봇에 사용된 모터의 최대토크는 6Nm이기 때문에 모서리 극복이 불가능하다고 결론 낼 수 있다.

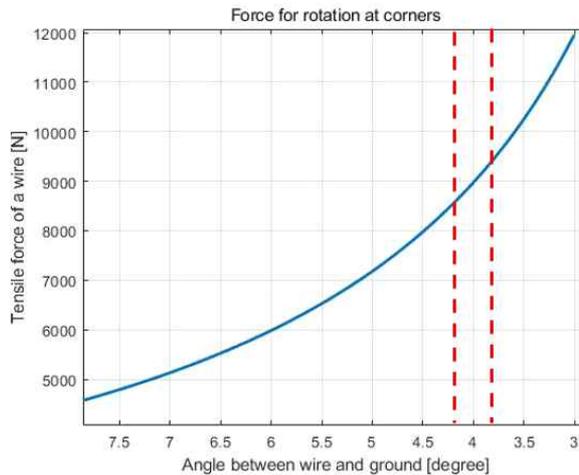


Fig. 15 Force for rotation corners

4.2 다목적 지지대를 활용한 모서리 극복 메커니즘

이러한 문제점을 3장에서 말한 다목적 지지대를 활용함으로써 극복하고자한다. 다목적 지지대를 Fig. 16과 같이 위치하여 와이어를 당기게 되면 지지대의 끝부분이 미끄러지면서 먼저 지면의 모서리 부분을 극복하게 되고 C 지점은 로봇의 앞바퀴 부분으로 이동하게 된다. 따라서 앞바퀴 부분을 회전중심 C로 놓고 본체와 수직지면 사이의 각도 θ_2 가 와이어와 수평지면 사이의 각도 θ_3 와 평행한 정도로 로봇 본체를 들어 올릴 수 있는지 파악한다. 만약 로봇이 C 점을 기준으로 θ_3 와 평행한 수준까지 회전할 수 있다면 로봇 하단의 굴곡 형상을 따라 모서리를 미끄러지며 극복함에 무리가 없을 것이다. 따라서 앞바퀴의 C 지점을 중심으로 회전하여 $\theta_2 = \theta_3$ 이 되는 와이어의 최소 인장력 F_p 를 구하여 본다.

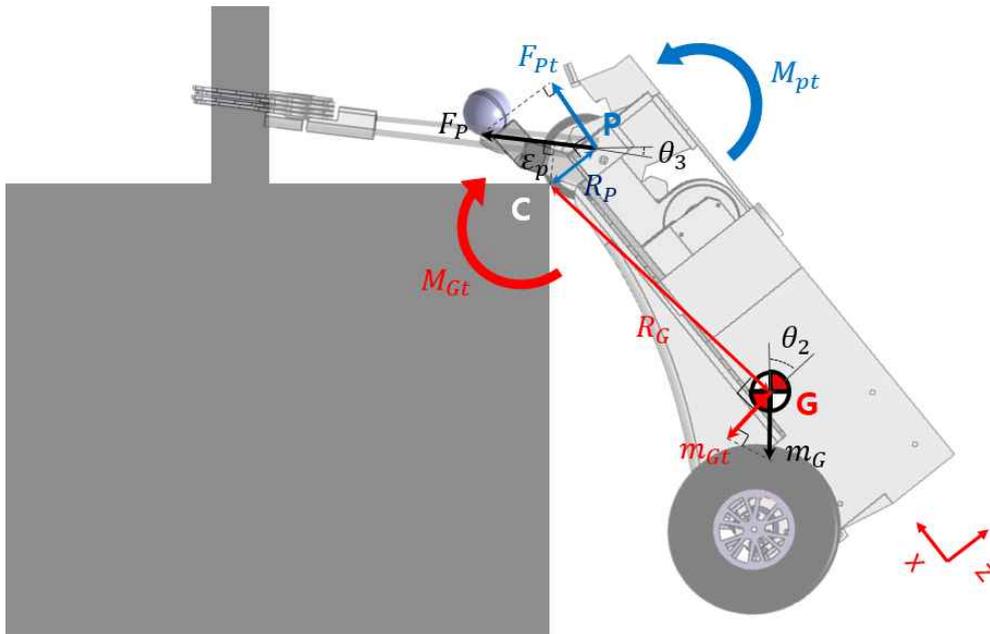


Fig. 16 Schematic drawing of a robot using multipurpose support

$$\begin{aligned} \sum M &= R_p(F_{pt}) - R_G(M_{Gt}) \\ &= \varepsilon_p(F_p) - R_G(m_G \cdot \cos(\theta_2)) \end{aligned} \quad (6)$$

if $\sum M \geq 0$ (when $\theta_2 = \theta_3 = \theta$)

$$F_p \geq \frac{R_G(m_G \cdot \cos(\theta))}{\varepsilon_p} \quad (\varepsilon_p = R_p) \quad (7)$$

후크로부터 연결되는 와이어와 수평지면 사이의 각도가 약 4° 내외임을 4.1장에서 언급하였다. 따라서 로봇이 모서리 극복을 위해 회전하기 위한 최소 와이어 인장력은 Fig. 17을 통해 약 288N이 된다는 결론을 얻었다. 이를 모터 하나당 토크로 환산한다면 약 1.65Nm로, 사용하고자 하는 모터로 충분히 구동할 수 있는 범위에 포함된다. 따라서 다목적 지지대를 활용하면 로봇이 모서리를 극복할 수 있다.

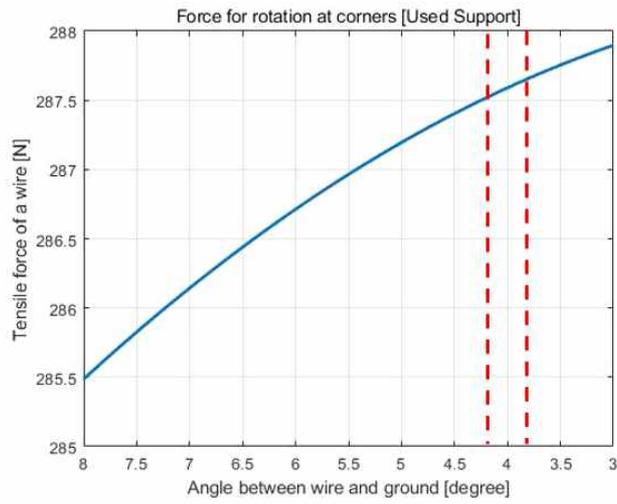


Fig. 17 Force for rotation corners with multipurpose support

다목적 지지대를 이용하여 모서리를 극복하는 것을 나타낸 그림은 Fig. 18과 같다.



Fig. 18 Overcoming edges

5. 환경 인식 및 제어

5.1 운영 프로세스

‘단절된 지형 극복을 위한 와이어 메커니즘 기반의 그래플링 로봇’은 사용자가 원격으로 로봇을 조작할 수 있도록 블루투스 모듈을 이용하여 모바일 기기와 연결한다. Fig. 19는 블루투스 모듈과 카메라 센서 기능을 활용할 수 있도록 스마트폰 애플리케이션을 개발한 모습이다. 이를 통해 모바일 기기로 로봇의 전방 상황을 스트리밍하며 수동 조작을 할 수 있다.

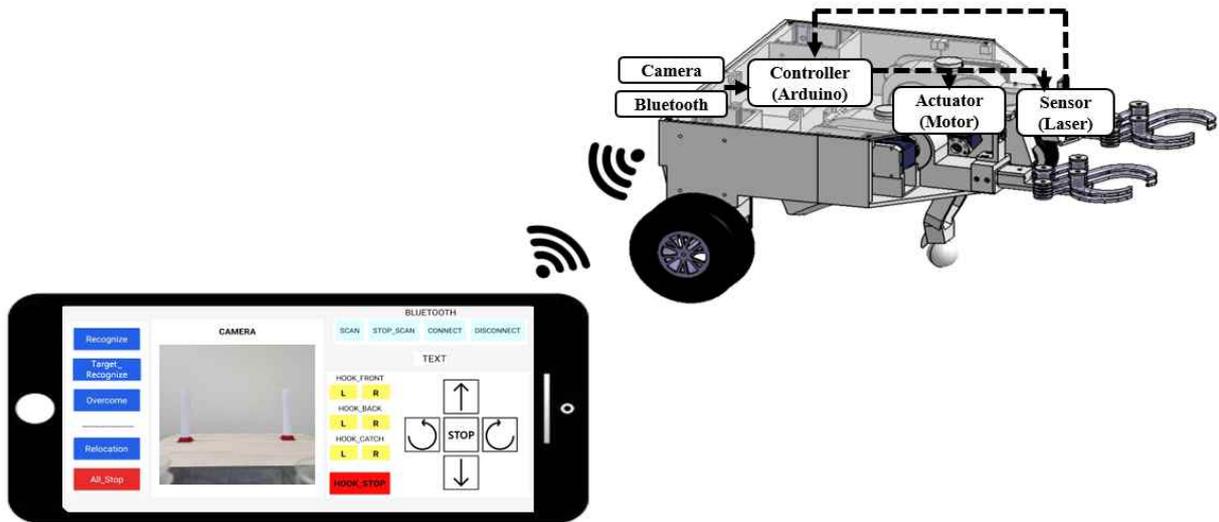


Fig. 19 Operational process

모바일 기기로 송출된 화면을 보며 수동조작을 할 경우 실제 환경을 화면상으로 판단하기에 한계가 있다. 이러한 문제를 보완하기 위해 거리 측정 센서로 지형과 지물을 인식하고 그 거리값을 받아들일 수 있는 환경 인식 시스템을 구축하였다. 로봇은 이 시스템을 이용하여 단절 지형 만났을 때 바퀴 구동을 멈추고 건너편에 존재하는 지물을 정확히 인식한 후 측정된 센서 값으로 후크를 제어하여 절단 지형을 극복하는 알고리즘 전략을 선택하였다. Fig. 20은 알고리즘 전략을 시각적으로 보여주는 운영 프로세스이다.

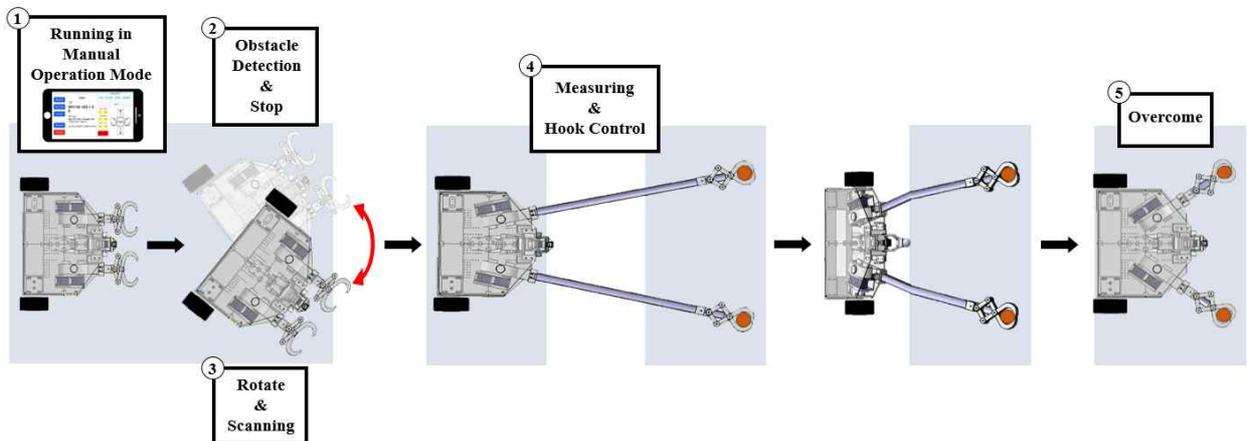


Fig. 20 Obstacle overcoming process

5.2 레이저 센서를 이용한 환경 인식 시스템

로봇이 단절 지형을 인식할 때 로봇과 타깃 사이의 거리를 측정할 때 센서가 사용된다. 로봇과 타깃 사이의 거리를 측정할 때 받아오는 센서 값이 후크 제어에 적용되므로 장거리 측정에서 정확성이 높은 센서가 필요하다. 따라서 여러 종류의 센서 중 정확도가 높은 레이저 센서와 초음파 센서 측정 실험을 해보았다. 레이저 센서와 초음파 센서를 1,000mm 측정하면 Fig. 21과 같은 그래프를 볼 수 있으며 그래프에서 레이저 센서는 빨간색, 초음파 센서는 파란색으로 나타내었다. 각 센서의 오차율을 계산해보면 초음파 센서는 2.7%, 레이저 센서는 0.08%의 오차율을 보이는 것을 알 수 있다. 따라서 정확도가 높은 레이저 센서를 채택하였다.

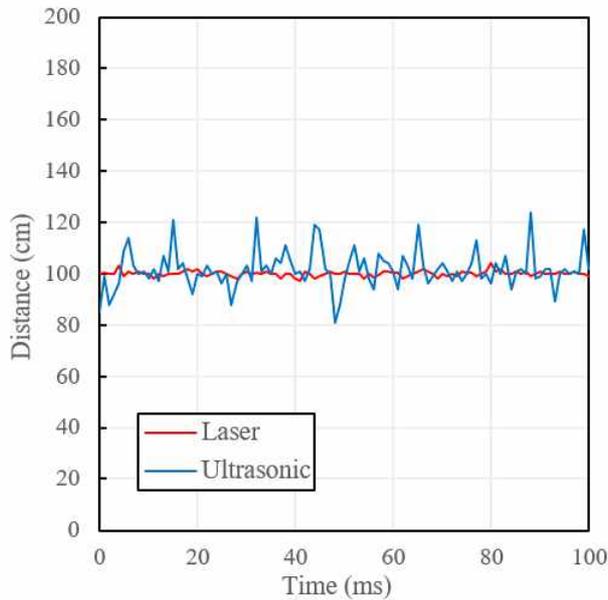


Fig. 21 Comparison of laser and ultrasonic sensor performance

로봇은 레이저 센서를 이용하여 험지를 인식하고, 타깃의 유무와 극복 가능성을 판단한다. 험지 인식 시스템은 Fig. 22와 같이 로봇이 주행 중 앞면에 부착된 레이저 센서를 통해 로봇과 지형 사이의 높이 변화를 감지한다. 이때 로봇이 평소 주행할 때의 센서 값과 비교하여 센서값이 대폭 상승하였을 때 단절 지형으로 판단하고, 즉시 바퀴 주행을 정지한다.

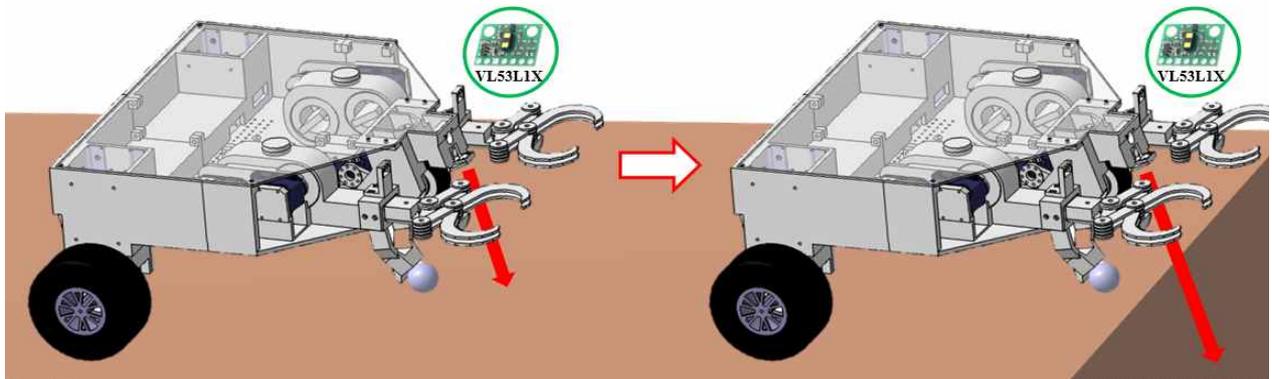
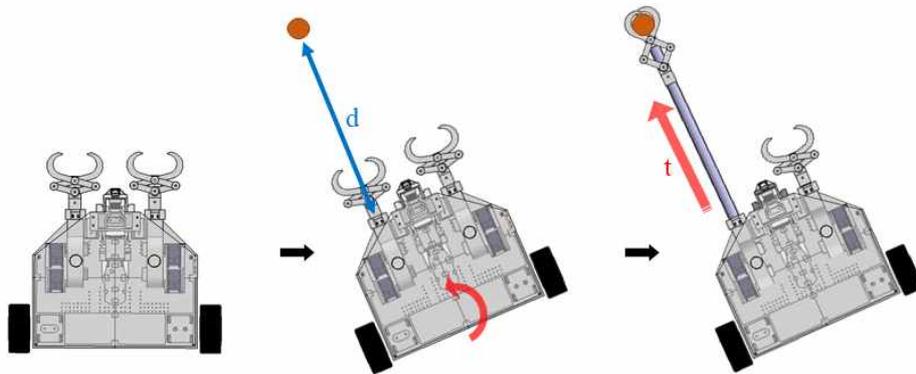
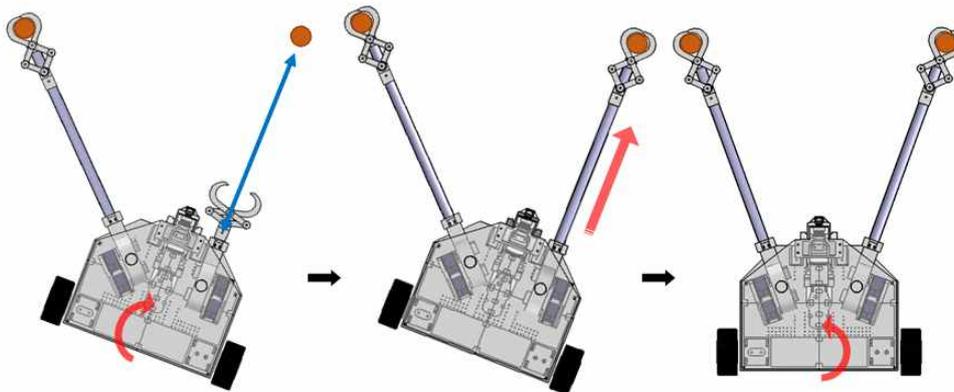


Fig. 22 Disconnected terrain recognition system

단절 지형을 만나 주행이 정지된 이후 사용자가 화면을 통한 제어가 어렵다고 판단될 때 양쪽 와이어 케이스에 부착된 거리 측정 센서를 활용하여 타깃 인식 시스템을 사용한다. 이 시스템은 Fig. 23과 같이 먼저 로봇이 반시계 방향으로 제자리 회전을 하며 왼쪽 레이저 센서로 건너편 타깃을 스캔한다. 타깃을 인식할 시 회전이 정지되며, 로봇과 인식한 타깃 사이의 거리 d 를 측정한다. 이후 와이어가 직진하는 속도와 거리 d 를 계산하여 구한 시간 t 를 모터에 입력하여 후크를 타깃까지 이동시킨다. 왼쪽 후크로 타깃을 잡은 후 동일한 방법으로 로봇이 시계방향으로 회전하며 오른쪽 타깃을 인식하고 양쪽 후크를 모두 고정하면 로봇이 정면을 보도록 한다.



(a) Left target recognition followed by grab



(b) Right target recognition followed by grab

Fig. 23 Target recognition algorithm through laser sensor

앞서 설명한 환경 인식 시스템의 진행 과정에서 레이저 센서 성능의 한계로 인해 타깃 인식 시스템에서 오차가 발생할 수밖에 없다. 따라서 로봇이 정확히 타깃을 인식하고 센서값을 후크에 전달할 수 있도록 실험을 통해 프로그래밍으로 센서의 한계를 최대한 보완하였다. 로봇에 사용되는 레이저 센서의 최대 측정 범위인 1.3m에 타깃을 두고 로봇의 회전 속도를 0.1cm/s부터 0.1cm/s씩 증가시키며 실험을 진행하였다. 속도마다 5회씩 실험을 진행하였으며 타깃에 센서가 인식되었을 때 1.3m의 값이 정확히 출력되는 최대 회전 속도를 찾는 것을 목표로 실험을 진행하였다. 결과적으로 Fig. 24와 같이 0.1cm/s부터 0.5cm/s까지는 1.3m로 정확히 타깃의 거리를 측정하였지만 이보다 더 높은 회전 속도부터는 측정값에 오차가 발생하기 시작함을 알 수 있었고 5cm/s 속도 이후로는 센서가 타깃 인식을 못 하는 상황도 발생하였다. 따라서 로봇이 최대한 빨리 회전하며 안정적으로 타깃을 인식하는 속도인 0.5cm/s를 로봇의 회전 속도로 선정하였다.

Distance(m) \ Velocity(cm/s)	First	Second	Third	Fourth	Fifth
0.1	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
0.25	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
0.5	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
0.75	1.35	1.3	1.44	1.41	1.26
1	0.97	1.59	0.97	1.45	1.1
5	0.72	out	1.57	0.72	out
10	out	out	out	out	out

Fig. 24 Target recognition test result

5.3 소프트웨어(S/W) 설계

로봇의 전면부에 카메라를 설치하여 전방 상황을 모바일 컨트롤러로 수동 조작한다. 수동 조작 중 로봇이 단절 지형을 마주하면 구동이 정지되며 사용자가 수동조작으로 후크 제어를 통해 건너편의 고정된 물체 또는 지형을 잡고 단절 지형을 극복한다. 사용자가 화면상으로 타깃 위치를 판단하기 어려울 때 “Target_Recognize” 버튼을 눌러 실행한다. 자동 타깃 인식 기능은 총 3단계 걸쳐 있으며 제자리 회전, 타깃 스캔, 타깃 거리 측정 순으로 진행된다. 자세한 내용 설명은 Fig. 25와 같다.

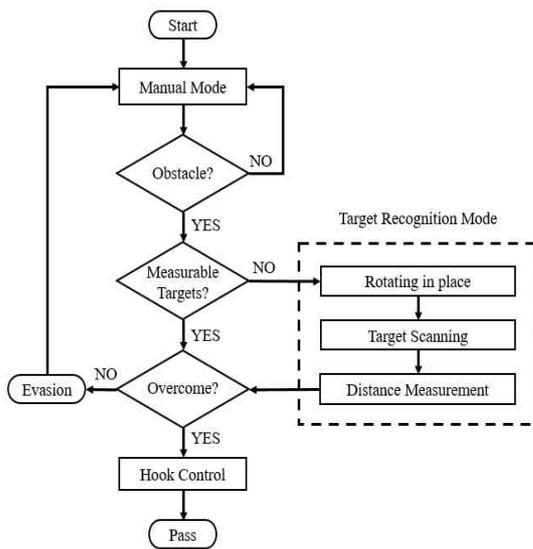


Fig. 25 S/W design

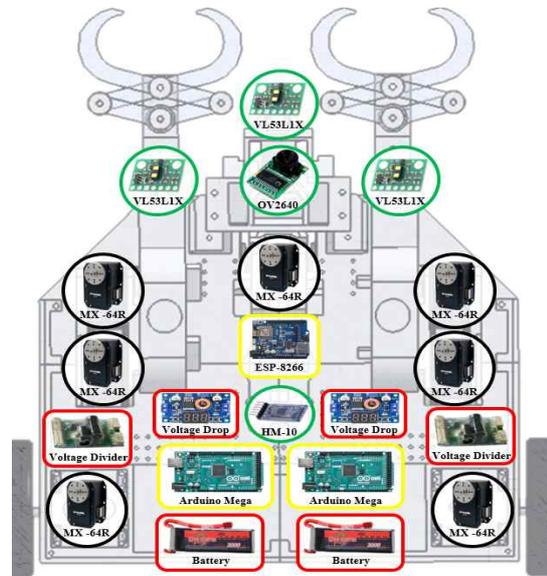


Fig. 26 H/W design

5.3 하드웨어(H/W) 설계

로봇의 구체적인 구성부품은 Fig. 26과 같이 구성하였다. 그래플링 메커니즘에서 후크가 소모하는 전력을 고려하여 두 개의 배터리를 사용하였으며, 각 부품의 동작 전압을 고려하여 두 개의 전압 강하기를 설치하였다. 단절 지형 인식, 두 개의 타깃 인식 등을 수행하기 위해 정밀한 3개의 레이저 센서를 사용하여 센서값을 받는다. 레이저 센서를 통해 얻은 센서 값들은 마이크로컨트롤러인 아두이노 메가 보드로 전달되고, 각 센서의 신호에 따른 동작 명령을 액추에이터들에 보낸다.

5. 결 론

본 연구에서는 로봇이 자신보다 크게 떨어진 단절 지형을 극복할 수 있는 로봇을 제안하였다. 사용자가 로봇을 쉽게 제어하기 위해 카메라 센서, 블루투스 모듈을 이용하여 로봇의 전방을 실시간으로 보면서 모바일 기기로 수동 조작할 수 있게 하였다. 로봇이 바퀴 주행 중 전면부에 부착된 센서로 험지를 인식하게 되면, 바퀴 구동을 멈추고 각 와이어 케이스에 부착된 레이저 센서를 통하여 건너편에 존재하는 지물을 인식한다. 레이저 센서로 와이어 케이스부터 지물까지의 거리를 받아와 그 거리만큼 후크를 전진하고, 지물을 잡도록 한다. 양쪽의 지물을 다 잡으면 플렉시블 와이어를 감아 로봇이 건너편 험지에 부딪히도록 하며 동시에 지지대를 앞바퀴 쪽으로 가져와 험지의 모서리 부분을 극복할 수 있는 슬라이드 형태로 만들어 험지를 극복한다. ‘단절 지형 극복을 위해 와이어 메커니즘을 이용한 그래플링 로봇’은 바퀴와 후크의 결합으로 주변 지형의 변화 및 장애물 유무와 관계없이 구동할 수 있다. 이러한 기능을 이용한다면, 재난 현장이나 군사 현장 등 여러 상황에서 활용할 수 있다. 4차 산업 혁명과 함께 각종 현장에서 사람의 역할뿐만 아니라 지능형 로봇의 역할 역시 증가하고 있기에 이 로봇도 여러 환경을 스스로 판단해 적절한 모드로 전환하여 여러 방면에서 활용될 수 있을 것으로 기대된다. 또한, 하나의 로봇으로 여러 가지 기능을 제약 없이 할 수 있으므로 경제적인 효율성이 높아 다방면으로 상용화가 될 것으로 기대된다.

후 기

지난 6개월은 팀원들과 함께 프로젝트를 진행하며 팀의 일원으로서 발전을 많이 이룬 시간인 거 같습니다. 아이디어 회의부터 로봇의 완성까지 단 하나도 쉬운 게 없는 시간이었습니다. 그 과정에서 여러 문제가 생겼을 때 이를 분석하고 해결해나가며 쉽게 풀리는 문제점도 있었지만, 며칠 밤낮을 새며 고민해야 하는 문제점도 많았습니다. 하지만 그러한 문제점을 한 개씩 해결할 때마다 느끼는 성취감은 말로 표현할 수 없었습니다. 그리고 로봇을 완성하더라도 이를 글이나 말로서 표현하는 것도 쉽지 않은 일이었습니다. 이러한 과정에서 무언가를 하나 구현하고 표현하는 게 정말 어려운 일이란 걸 깨달으며, 여러 엔지니어분들에 대한 존경심을 가지게 되었습니다. 저도 이러한 프로젝트를 겪으며 엔지니어로서 한 단계 성장하고, 앞으로 이러한 경험을 기반 삼아 더욱 다양한 로봇들을 만들고 싶다고 생각하게 되었습니다.