

# 대한기계학회 주최

## 제71회 전국학생설계경진대회(2021년)

# 설계 최종 보고서

참가부	대학부 ( 0 )				
참가분야	공모주제 ( ) / 자유주제 ( 0 )				
참가팀명	KIT_IRL				
설계제목	비평탄 환경 극복을 위한 다리-바퀴 가변형 로봇				
지도교수/교사	(소속) 금오공과대학교 (성명) 주백석				
대표자 (신청인)	성명	소속	연락처 (휴대폰)	E-mail	주소
	이재백	금오공과대학교 기계시스템공학과			

## 참가팀원 인적사항

NO	성명	소속 / 학년	E-MAIL
1	이재백	금오공과대학교 기계시스템공학과 / 3학년	
2	김현우	금오공과대학교 기계시스템공학과 / 3학년	
3	문선우	금오공과대학교 기계시스템공학과 / 3학년	
4	최현지	금오공과대학교 기계시스템공학과 / 3학년	
5			
6			

# 설계 요약문

<b>참가분야</b>	공모주제 ( ) / 자유주제 ( 0 )
<b>참가팀명</b>	KIT_IRL
<b>설계제목</b>	비평탄 환경 극복을 위한 다리-바퀴 가변형 로봇
<b>대표자명</b>	이재백
<b>요약문</b>	<p>재난 및 붕괴 현장, 탐사 현장과 같은 극한상황에서 인간의 능력으로 수행하기 어려운 상황이 존재한다. 이러한 상황에서 사용되는 기존의 로봇들은 바퀴로만 움직이거나 다리를 이용하여 구동하는 경우가 대부분이다. 하지만 다리만으로 구동하는 로봇은 평탄지형에서의 고속주행이 제한되고, 바퀴만 있는 로봇은 장애물을 마주했을 때 구동이 제한된다. 따라서 비평탄 환경 극복을 위한 다리-바퀴 가변형 로봇을 개발하고자 한다.</p> <p>본 연구에서 개발한 로봇은 상황에 맞게 다리보행모드와 바퀴주행모드의 변화와 바퀴주행모드에서의 안정적인 낮은 무게중심을 위해 다리부 링크 2개를 겹치도록 설계하였다. 작업자가 로봇을 제어하기 위해 블루투스 모듈을 통한 모바일 기기를 사용하고, 카메라 센서를 이용해 상황을 실시간으로 확인하며 수동 제어가 가능한 환경을 구축하였다. 하지만 수동으로 조작할 경우 장애물을 육안으로 판단하여 정확하게 극복하기 쉽지 않다. 이를 해결하기 위해 레이저 센서를 이용하여 장애물과의 거리와 장애물의 높이를 측정하고 이를 바탕으로 극복하는 알고리즘을 추가하였다. 또한, 비평탄 지형을 지날 때 IMU 센서를 이용하여 로봇의 기울기를 파악해 다리의 높이를 조절함으로써 평형을 유지하는 알고리즘을 추가하였다.</p> <p>‘비평탄 환경 극복을 위한 다리-바퀴 가변형 로봇’은 자신의 크기보다 큰 물체를 비평탄 지형에서 수평을 유지하기에 안정된 수송이 가능하다. 또한, 하나의 로봇으로 다양한 현장에 대응할 수 있기 때문에 여러 로봇을 구비하지 않아도 되므로 경제성과 효율성에 큰 도움이 될 것으로 예상된다.</p>
<b>설계프로젝트의 입상 이력</b>	<p>※ 교외 출품실적이 있는 경우 작성</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 출품작명 : 지능형 다리-바퀴 변형 로봇</li> <li>- 출품대회명 : 제20회 전국 지능형 창작 로봇 경연대회</li> <li>- 수상 내역 : 발표부문 우수상</li> </ul> <p>※ 기 입상 프로젝트의 설계내용 및 차별설에 관한 세부사항은 별지(자유양식)를 사용하여 기술할 것</p>

- 본 설계보고서가 최종 입상할 경우 대한기계학회 논문집C권에 투고됨을 동의함
- ※ 투고된 논문의 심사 및 출판은 본 경진대회 심사와는 별개로 진행됨.
- ※ 설계 요약문은 공개될 예정이며, 제출 시 이에 동의하는 것으로 간주함.
- ※ 제공된 개인정보는 심사과정에만 사용되며, 제출 시 이에 동의하는 것으로 간주함.

# 비평탄 환경 극복을 위한 다리-바퀴 가변형 로봇

이재백\* · 김현우\* · 문선우\* · 최현지\* · 주백석\*\*  
\*금오공과대학교 기계시스템공학과

## Leg-Wheel Transformable Robot to Overcome Non-Planar Environments

Jaebaek Lee\*, Hyeonwoo Kim\*, Seounwoo Moon\*, Hyunji Choi\* 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 : Leg-wheel transformation(다리-바퀴 변형), Robot kinematics(로봇 기구학), Support polygon(지지다각형), Environment recognition(환경인식), Leveling(수평유지)

초록: 본 연구에서 제안하는 로봇은 평상시에는 바퀴주행모드로 고속주행을 하지만 비평탄 환경이나 장애물을 만나면 다리보행모드로 변형해서 이 상황을 극복할 수 있다. 다리보행모드에서 로봇의 안정적인 보행제어를 위해 무게중심의 변화에 따른 지지다각형을 고려하였고, 역기구학 해석을 통해 수직, 수평 방향의 궤적계획을 하여 안정적인 움직임을 가능하게 하였다. 또한, 레이저 센서를 이용하여 장애물과의 거리와 장애물의 높이를 측정하고, IMU 센서로 본체의 기울기를 측정하였으며 액추에이터들을 조화롭게 동작시켜 비평탄환경을 극복하는 알고리즘과 운영 프로세스를 개발하였다.

Abstract: While the robot proposed in this study can drive fast on flat terrain with wheel driving mode, it overcomes non-planar environments by transforming into leg walking mode. Support polygon is considered according to the change in center of mass to guarantee the stable walking of the robot and a trajectory generation in vertical and horizontal directions is performed. In addition, laser sensors are used to measure the distance and height from obstacles. IMU sensor is used to measure the tilt of the body. Based on the measured observations, the dexterous operating processes are executed.

---

## 1. 서 론

재난 및 재해 현장, 군사적 목적 등 험지 상황에서 인간의 힘으로만 작업을 수행하기에는 여러 가지 한계가 존재한다. 특히, 험지 상황에 접근성 관점에서 바퀴로만 구동하는 로봇이라면 장애물을 마주쳤을 때 움직임을 제한된다. 다리구동만 하는 로봇이라면 장애물을 극복할 수 있지만, 평탄한 지형에서 바퀴구동만큼 빠른 이동이 불가능하다. 또한, 특정 상황에 맞는 각기 다른 로봇을 사용하는 것은 시간과 비용적인 측면에서 효율적이지 못하다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 로봇이 평탄한 지형에서는 바퀴로 구동할 수 있고, 험지나 장애물을 마주쳤을 때 자체적으로 다리를 사용할 수 있도록 변형이 가능한 지능형 로봇의 도입이 필요하다.

본 연구에서는 자체적으로 환경을 인식하고 이에 맞게 다리보행모드와 바퀴주행모드로 전환이 가능한

가변형 로봇을 제안하였다. 장애물을 만났을 때 다리보행모드로 장애물을 극복하고, 평탄한 지형에서는 바퀴주행모드로 고속주행을 할 수 있게 설계하였다. 또한, 주변 환경을 인식하기 위해 레이저 센서를 부착하고, 비평탄 지형에서는 IMU 센서를 통해 본체의 기울기를 실시간으로 측정하여 로봇에 부착된 4개의 다리를 측정값에 따라서 펴고 접음으로써 항상 수평을 유지할 수 있게 설계하였다. 그리고 카메라 및 통신 모듈을 이용하여 상황에 맞게 모터를 제어할 수 있는 제어 알고리즘 및 운영 프로세스를 개발하였다.

## 2. 다리-바퀴 가변형 로봇의 기구부 설계 분석

일반적인 필드 로봇은 바퀴로만 구동하거나 다리로만 구동한다. 로봇이 평평한 지형을 지날 때는 바퀴로 빠르게 구동할 수 있어야 하고, 장애물을 만나서 바퀴구동에 제약이 있을 때 다리보행모드로 전환 가능한 구조로 설계되어야 한다. 이를 고려하여 제작한 로봇을 Fig. 1에 나타내었다. 이 장에서는 로봇이 환경에 맞게 다리-바퀴 변형이 가능하도록 다리부 및 본체를 설계하고, 제약조건을 고려하여 해결한 내용을 각 절에서 기술하였다.



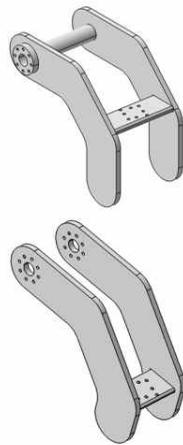
(a) Wheel driving mode

(b) Leg walking mode

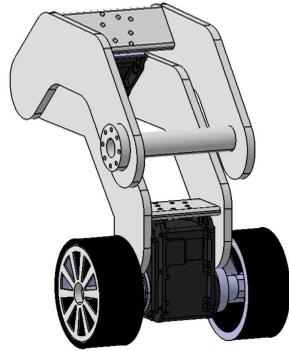
Fig. 1 A prototype proposed in the research

### 2.1 다리부 설계 분석

‘비평탄 환경 극복을 위한 다리-바퀴 가변형 로봇’은 2개의 링크로 이루어진 다리를 활용하여 바퀴주행모드와 다리보행모드 전환이 원활해야 한다. 따라서 각 바퀴구동모드에서 최적의 로봇형상을 위해 다리부 링크 2개의 모습을 Fig. 2(a)처럼 설계하였다. 이러한 형상으로 설계하게 되면 Fig. 2(b)처럼 바퀴주행모드일 때 링크들이 겹쳐지게 하여 로봇의 무게중심 높이를 낮춰서 안정적인 주행이 가능하도록 한다. 또한, 다리보행모드에 필요한 액추에이터를 다리 내부의 빈 공간으로 넣을 수 있게 된다.



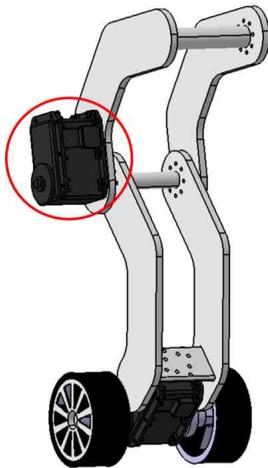
(a) Leg link



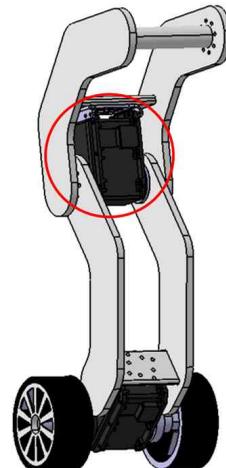
(b) Assembled linkage

Fig. 2 Leg design

처음에는 Fig. 3(a)처럼 모터를 다리 밖에 위치시켜서 다리링크의 한쪽으로만 모터를 지지하게 했다. 이렇게 설계하게 된다면 링크를 지지하고 있는 모터 회전축에만 하중이 집중된다. 또한, 모터의 부피만큼 불필요하게 로봇의 부피가 커지게 된다. 그래서 Fig. 3(b)처럼 링크 사이 빈 공간에 모터를 위치시켜서 모터 회전축 반대에 베어링으로 링크 양측을 지지할 수 있도록 해서 모터 회전축에 집중된 하중이 분산되게 하였다. 이때 링크 사이에 자체적인 브라켓을 설계하여 링크와 모터를 연결할 수 있게 하였다. 또한, 링크 사이 공간을 효율적으로 사용해서 부피도 줄일 수 있게 하였다.



(a) Before revision



(b) After revision

Fig. 3 Change of motor installation

## 2.2 본체 설계

구동 오류나 오작동으로 인해 다리의 불필요한 움직임이 발생하여 안전사고가 발생할 우려가 있다. Fig. 4처럼 본체 양쪽 스타퍼(Stopper)를 설계하여 다리를 움직일 때 과도한 움직임을 막아 안정적인 움직임을 형성하였다.

로봇의 본체에는 환경인식을 위한 하드웨어들이 부착된다. 로봇의 전면부에는 장애물과 로봇 사이의 거리를 측정하는 레이저 센서와 실시간으로 로봇 상황을 스트리밍할 수 있는 카메라 센서가 부착되고 하단부에는 높이를 측정하는 레이저 센서와 로봇의 기울어진 각도를 측정하는 IMU 센서가 부착된다. 본체를 제작할 때 앞에서 말한 하드웨어들이 부착될 위치를 고려하여 제작하였다.

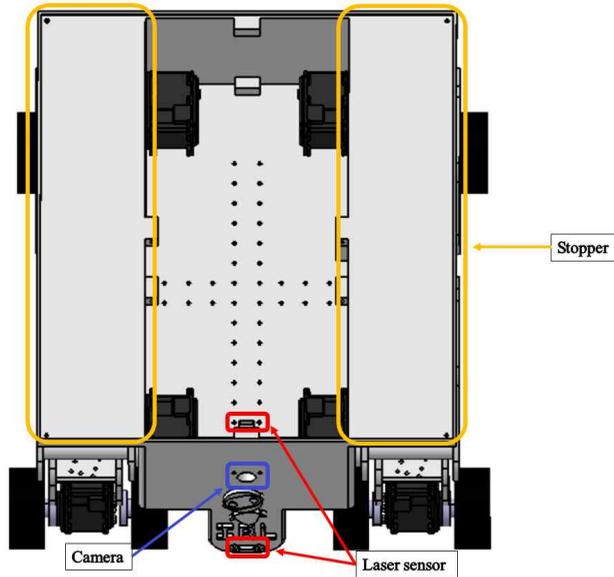
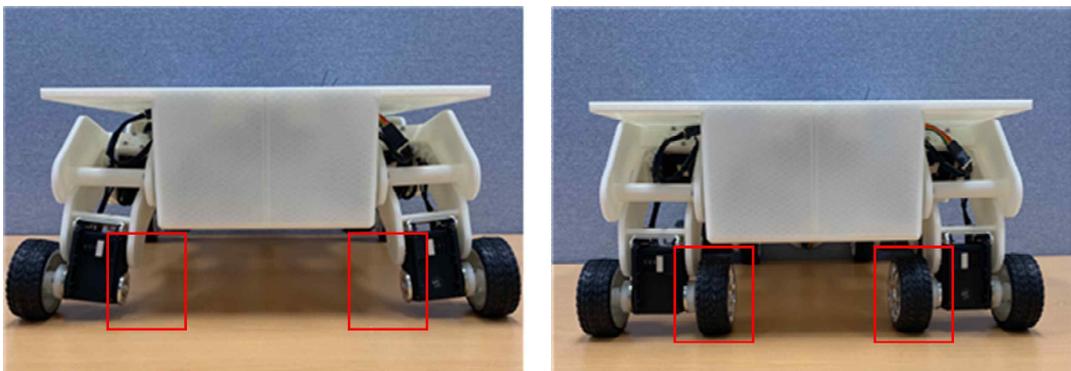


Fig. 4 Body design with sensors and stopper

### 2.3 로봇의 처짐 현상 분석 및 해결방안

한 다리당 두 개의 관절이 존재하는데 각 관절에 모터와 링크 사이의 결합은 나사를 사용하였기 때문에 연결부에는 공차가 발생한다. 이러한 결합에서 발생하는 공차들과 하드웨어의 무게, 그리고 다리 링크 바깥쪽에 위치한 하나의 바퀴 때문에 4개의 다리가 로봇의 중심 방향으로 기울어져서 Fig. 5(a)와 같은 처짐이 발생한다. 이를 계산하기 위하여 Fig. 5(b)에 나타난 것처럼 베이킹 부분에 보조 바퀴를 사용하였다. 또한, 각 모터의 혼과 링크를 연결할 때 유격이 줄어들 수 있도록 볼트의 개수를 늘려 더 견고하게 조립하였다.



(a) Before revision

(b) After revision

Fig. 5 Design revision for avoiding the robot deflection

### 3. 보행을 위한 균형유지 메커니즘 및 역기구학 해석

#### 3.1 균형유지 메커니즘

바퀴주행모드와 달리 다리보행모드에서는 무게중심을 항상 고려하여 균형이 무너지지 않게 해야 한다. 따라서 모든 움직임마다 균형이 유지되도록 다리보행모드의 모든 모션에서 지지다각형(Support polygon)을 고려한다. 지지다각형은 균형을 유지하기 위한 필수조건으로서 로봇과 지면이 접촉한 점을 연결하여 생기는 다각형이다. 로봇의 무게중심이 지지다각형 내부에 위치할 때 균형유지를 위한 필수조건이 만족된다. 로봇의 링크 길이와 무게에 대한 명칭은 Fig. 6과 같다. A, B, C, D는 로봇 각각의 다리부를 뜻하고 a,b는 로봇 본체의 가로 및 세로 길이에 해당한다. A와 B가 위치한 부분이 로봇의 정면부, C와 D가 위치한 부분이 로봇의 후면부에 해당한다.

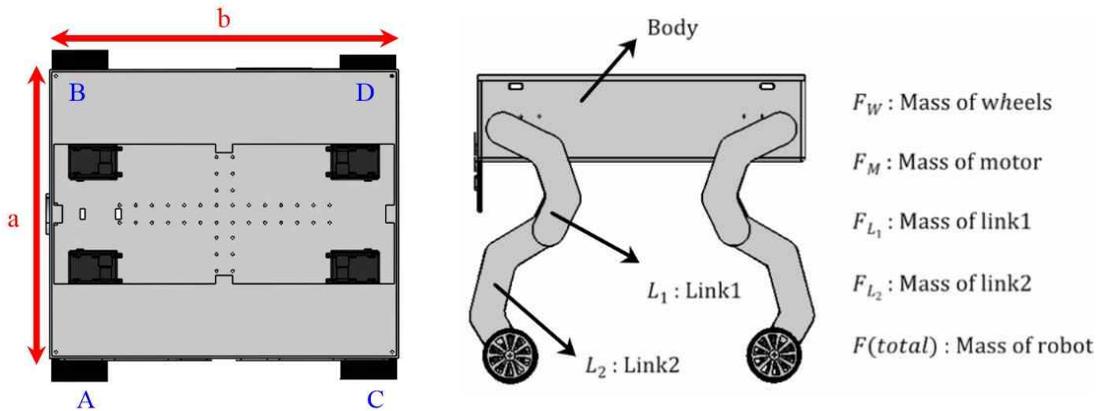


Fig. 6 Link length and weight of the developed robot

다리부 링크의 무게중심 변화를 구하기 위하여 다리를 최대한 뻗는 극한상황으로 가정한다. 로봇의 각 다리의 무게가 서로 같으므로, 모든 다리의 위치이동량에 따른 무게중심의 변화량은 같다. 다리부 링크의 이동한 거리에 따른 다리부 무게중심의 변화는 Fig. 7(a)와 같이 접근한다. 이때 로봇의 전체적인 모습은 Fig. 7(b)와 같다. 다음 상황을 아래의 수식으로 구할 수 있다.

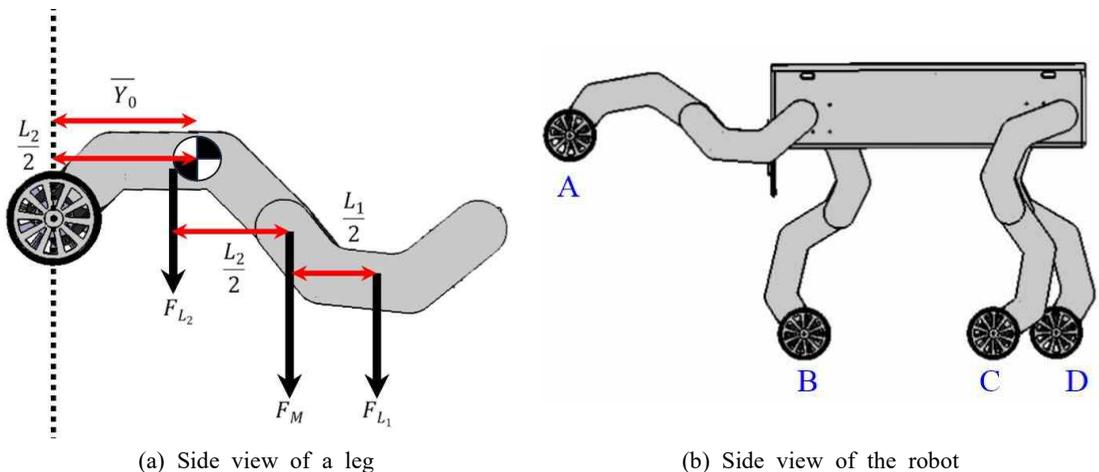


Fig. 7 Change in center of mass of the leg's link

$m_A, m_B, m_C, m_D$  = Mass of legs A,B,C,D  
 $m_E$  = Mass of body  
 $G_A, G_B, G_C, G_D$  = Center of mass of legs A,B,C,D  
 $G_E$  = Center of mass of body  
 $G_1, G_2$  = Center of mass of robot

$$\bar{Y} = \frac{\sum m_k y_k}{\sum m_k} \quad (1)$$

$$\bar{Y}_o = \frac{F_{L_1}(L_2 + \frac{L_1}{2}) + F_M(L_2) + F_{L_2}(\frac{L_2}{2})}{F_{leg}} \quad (F_{leg} = \text{Mass of one leg}) \quad (2)$$

$$\therefore \bar{Y}_o = \frac{(0.212kgf)(\frac{3}{2}L_2) + (0.200kgf)(L_2) + (0.212kgf)(\frac{1}{2}L_2)}{0.943kgf} \quad (\text{Where, } L_1 = L_2) \quad (3)$$

$$= \frac{L_2(0.624)}{0.943}$$

$$= 0.662L_2$$

$$\therefore \frac{\text{distance to center of mass}}{\text{length of a leg}} \quad (4)$$

$$= \frac{\bar{Y}_o}{2L_2} = \frac{0.662L_2}{2L_2} = 0.331$$

따라서 다리부의 무게중심은 다리 전체 길이의 33.1%에 위치함을 파악할 수 있다.

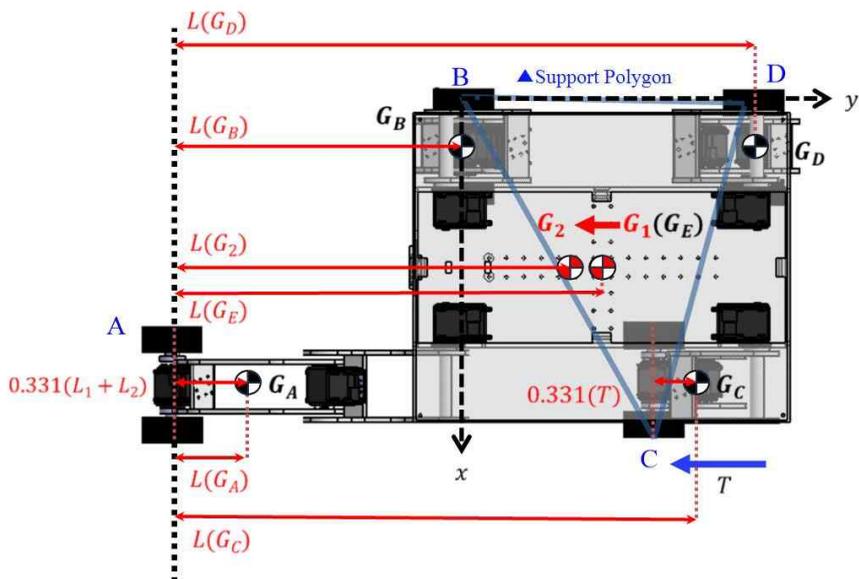


Fig. 8 Change in center of mass of the robot and formation of the support polygon

위의 수식내용과 같은 원리로 로봇의 총 무게중심 변화를 구할 수 있다. 힘지 극복을 위해 A를 최대한으로 뺀 극한상황으로 가정할 때, 지지다각형이 로봇의 변화한 총 무게중심  $G_2$ 를 내포하기 위해 C를 이동하며 생기는 무게중심의 변화는 Fig. 8과 같다. 이때  $T$ 는  $G_2$ 를 지지다각형에 포함하기 위한 C의 바퀴 이동량이고, Fig. 7의 내용과 같이 계산할 경우 C다리의 무게중심은 C의 바퀴에서 후방으로 약  $0.331T$  떨어져 위치하게 된다. 또한, 같은 원리로 A의 무게중심도 다리 길이의 33.1%의 위치에 있게 된다. 또한, 다리부 A와 C를 이동함으로써 변하는 로봇의 무게중심  $G_2$ 를 지지다각형에 내포하기 위한 다리부 C의 수평 이동량  $T$ 의 값을 구한다. 우선  $T$ 의 값을 구하기 위해서는 로봇의 총 무게중심 이동량을 구해야 한다. 따라서  $G_1$ 에서  $G_2$ 로 변화하는 로봇의 무게중심 이동량을 구하는 과정은 다음과 같다.

$$(F(total))(\overline{Y}) \quad (5)$$

$$= \frac{(m_A)(L(G_A)) + (m_B)(L(G_B)) + (m_C)(L(G_C)) + (m_D)(L(G_D)) + (m_E)(L(G_E))}{Y} \quad (6)$$

$$= L(G_2)$$

$$= \frac{(m_A)(0.331(L)) + (m_B)(L) + (m_C)(L+b - T + 0.331T) + (m_D)(L+b) + (m_E)(L + \frac{b}{2})}{F(total)} \quad (\text{Where, } L_1 + L_2 = L)$$

$\therefore$  Movement value of center of mass

$$= L(G_E) - L(G_2)$$

$$= (L_1 + L_2 + \frac{b}{2}) - L(G_2)$$

(7)

로봇 총 무게중심의 변화를 통해서 미지수로 지정한  $T$ 의 값은 Fig. 7과 같이 다리부 B의 바퀴를 중심으로 하는 직교좌표를 통해 구할 수 있다. 점  $G_2$ 의  $y$ 좌표에서 다리부 B, C의 바퀴를 이은  $\overrightarrow{BC}$ 의  $x$ 값이  $G_2$ 의  $x$ 값보다 클 조건을 만족하기 위한  $T$ 값을 구한다. 이때 구한  $T$ 값이 변화된 무게중심  $G_2$ 를 내포하기 위한 지지다각형 형성의 최소값이 된다. 계산과정은 다음과 같다.

$$\overrightarrow{BC} \quad (8)$$

$$\Rightarrow y = \frac{b-T}{a} \times x$$

$$x = \frac{a(y_{G_2})}{b-T} = \frac{a(L(G_2) - (L_1 + L_2))}{b-T} > \frac{a}{2} \quad (\text{Where, } y_{G_2} = L(G_2) - (L_1 + L_2))$$

$$L(G_2) - (L_1 + L_2) > \frac{b-T}{2}$$

$$T > 2(L_1 + L_2 + \frac{b}{2}) - 2L(G_2)$$

$T > 2 \times$  Movement value of center of mass

$$\therefore T > 66.4mm$$

(9)

실제 로봇의 길이와 무게를 대입하면 최종값과 같은 C의 최소이동량을 알 수 있다. 따라서 험지 극복을 위하여 A를 해당 험지 높이만큼 상승시키기 전에 C를 66.4mm 이상 전진하여 지지다각형의 내부에 위치시킨다. 이때  $G_1$ 에서  $G_2$ 로 이동한 무게중심이 지지다각형 내부에 위치하게 되며 균형이 유지될 수 있다. 로봇의 모든 모션을 위와 같은 방식으로 계산한 이동량만큼 동작하도록 제어한다.

균형유지 메커니즘을 고려하지 않을 경우, 로봇이 세 발로 바닥면을 지지하는 순간 무게중심이 무너지게 된다. Fig. 9는 로봇이 지지다각형을 고려하여 움직였을 때, 기울기가  $-1^\circ \sim 1^\circ$  사이에서 유지되는 것을 시간에 따라 나타낸 그래프이다. 이를 통해 로봇의 균형을 유지하는 메커니즘이 이뤄짐을 실험적으로 검증하였다.

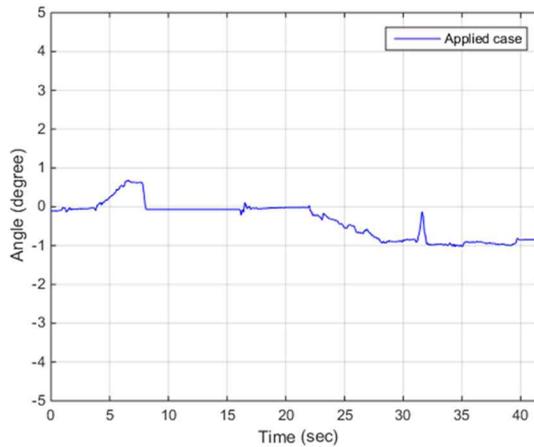


Fig. 9 Tilting angle of the body using the balancing mechanism based on the support polygon

이러한 점을 통해 로봇의 다리보행모드에서 균형유지 메커니즘을 구축하기 위해서는 지면과 바퀴가 떨어지는 모든 상황에서 지지다각형을 고려하여 이동량을 계산하고, 이에 맞게 모션을 제어해야 함을 알 수 있다. 하지만 무게중심을 지지다각형에 포함해도 완전한 수평이 이뤄지지 않는 경우가 있다. 이 경우, 지지다각형의 면적을 최대한 넓혀 로봇의 무게중심이 지지다각형 중심에 위치하도록 하여 수평을 이루게 한다.

### 3.2 역기구학 해석

지지다각형을 고려한 모션을 수행하기 위해서는 각 다리는 지면에서 수평으로 움직여야 한다. 수평으로 움직이지 않을 경우 다리의 높이가 낮아지거나 높아지기 때문에 차체는 수평을 이루지 못하고 기울게 된다. 또한, 주행 중 험지를 마주하여 극복하는 상황의 경우 수직으로 다리를 올리는 동작이 필요하다. 로봇의 다리와 같이 2개의 모터로 이루어진 Two-link-manipulator의 경우, 수직과 수평운동을 위해서 역기구학적 제어가 필요하다. Fig. 10과 같이 수직으로 드는 과정이 필요하므로 다음처럼 일정 구간 경로의 경유점과 그때 필요한 각도를 구하여 모터를 구동하는 방식으로 한다. 이 과정을 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$L_1 = \text{length of link1}, L_2 = \text{length of link2}, \cos\theta_2 = \frac{p_x^2 + p_y^2 - L_1^2 - L_2^2}{2L_1L_2}, \sin\theta_2 = \pm \sqrt{1 - \cos^2\theta_2} \quad (10)$$

$$\therefore \theta_2 = \text{atan2}(\sin\theta_2, \cos\theta_2)$$

$$\cos\theta_1 = \frac{(L_1 + L_2\cos\theta_2)p_x + L_2\sin\theta_2p_y}{(L_1 + L_2\cos\theta_2)^2 + (L_2\sin\theta_2)^2}, \quad \sin\theta_1 = \frac{(L_1 + L_2\cos\theta_2)p_y - L_2\sin\theta_2p_x}{(L_1 + L_2\cos\theta_2)^2 + (L_2\sin\theta_2)^2} \quad (11)$$

$$\therefore \theta_1 = \text{atan2}(\sin\theta_1, \cos\theta_1)$$

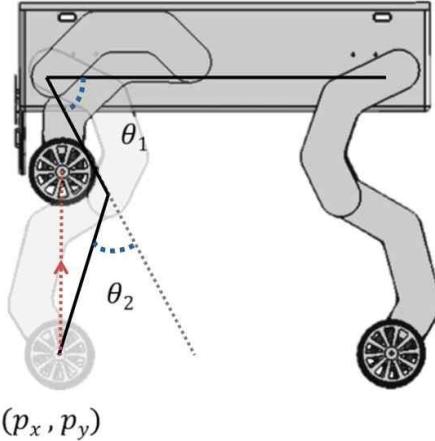


Fig. 10 Vertical movement using inverse kinematics

시작점과 도착점 사이를 여러 구간의 경유점으로 나눠  $\theta_1, \theta_2$  만큼 각 관절이 회전하게 될 경우, 절제된 다리부 모션 제어가 가능하며 직선으로 수직, 수평운동을 할 수 있게 된다. 하지만 각도값으로만 위치제어할 경우 모터의 최대속도로 구동하게 되어 기구부에 무리가 가게 된다. 따라서 속도제어를 하기 위해 로봇의 모션마다 걸리는 총 시간과 이에 적합한 각속도와 각가속도 계산으로 제어를 하게 된다면 원하는 궤적계획이 가능하다. 이러한 점들을 염두하여 프로그래밍한다.

#### 4. 환경 인식 기반의 제어 알고리즘 및 실험

‘비평탄 환경 극복을 위한 다리-바퀴 가변형 로봇’은 실시간으로 상황을 전송받아 모바일 기기로 제어가 가능하게 한다. 수동으로 제어가 불가능할 경우 센서로 환경을 인식하고 이에 맞춰 다리보행모드나 바퀴주행모드로 변화한다. 이에 대한 자세한 설명은 다음 절에서 설명한다.

##### 4.1 애플인벤터를 활용한 운영 프로세스 및 하드웨어 구성 요소

‘비평탄 환경 극복을 위한 다리-바퀴 가변형 로봇’은 Fig. 11과 같은 모바일 기기와 로봇 사이의 상호작용이 있다. 한다. 사용자가 원격으로 로봇을 조작할 수 있도록 블루투스 모듈을 이용하여 모바일 기기와 연결되고 카메라 센서를 활용하여 로봇의 상황을 전송받아 로봇의 움직임을 사용자가 수동으로 제어할 수 있다. 본 로봇에서 사용된 부품들의 상세 정보들은 Table 1에 정리되어 있다

Table 1 Specification of control system

Component	Model	Manufacturer	Specification
Controller	Arduino Mega2560	Arduino.cc	Serial port : 3
			Input voltage : 5V
Actuator	Dynamixel MX-64R	ROBOTIS	Resolution : 0.088 °

			Stall torque : 6.0N·m
Sensor	Lasor (VL53L0X V2)	OEM(EDUINO)	Measuring distance : 2~200cm
Bluetooth	HM-10	Keystudio	Bluetooth 4.0
Camera	OV2640	ArduCAM	Pixel : 2MP

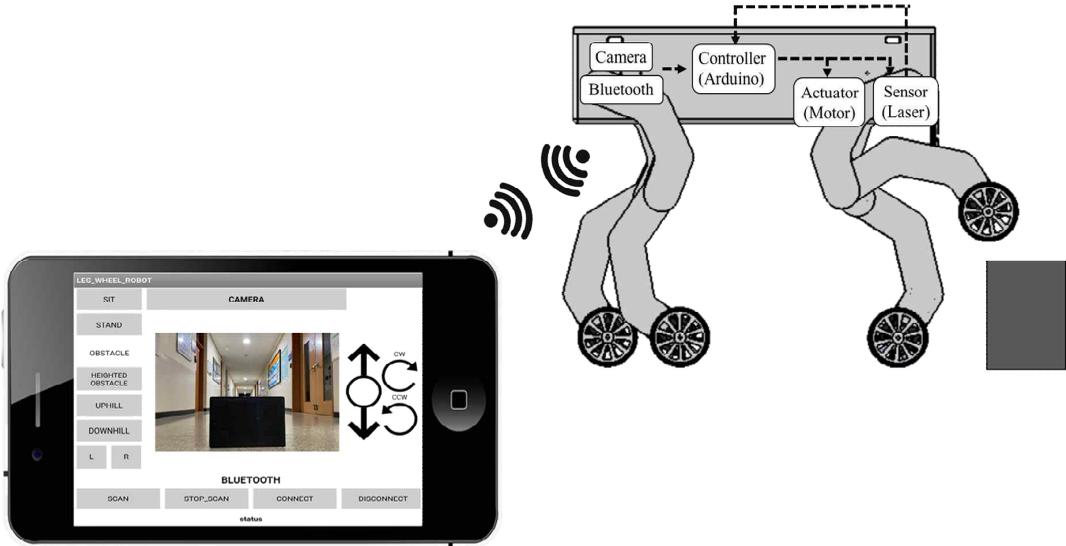


Fig. 11 Operational process

#### 4.2 레이저 센서를 이용한 장애물 인식과 측정

로봇이 장애물의 높이와 장애물과의 거리를 측정할 때 센서가 필요하다. 많은 센서 중에 정확성이 높은 것이 필요하다고 판단되어 레이저 센서와 초음파센서로 측정 실험을 해보았다. 초음파센서와 레이저 센서를 100mm 즉, 10cm를 측정하면 다음과 같은 그래프를 볼 수 있다. Fig. 12와 같이 그래프에서 레이저 센서는 빨간색, 초음파센서는 파란색으로 나타난다. 오차율을 계산해보면 초음파센서는 27.9%, 레이저 센서는 1.74%의 오차율을 보이는 것을 알 수 있다. 따라서 정확도가 높은 레이저 센서를 채택하였다.

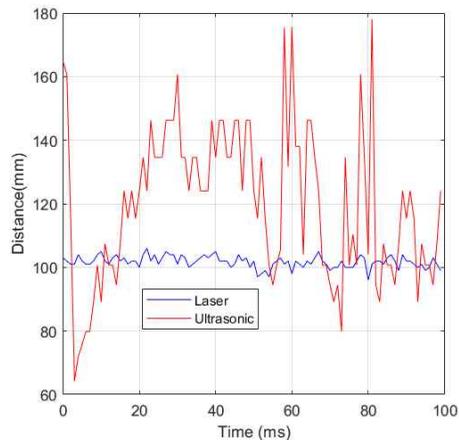


Fig. 12 Comparison of laser and ultrasonic sensor performance

로봇은 레이저 센서를 이용하여 장애물의 유무와 극복 가능성을 파악한다. 로봇이 주행 중 전방에 장애물을 감지하고 Fig. 13(a)와 같이 바퀴주행모드에서 다리보행모드로 전환할 때 전방에 부착된 레이저 센서가 거리 변화를 감지한다. 로봇이 높이측정을 위해 일어서는 동안 전방에 부착된 레이저 센서가 측정하는 값이 장애물을 벗어나 더 먼 거리를 측정하는 순간 본체 바닥에 부착된 다른 레이저 센서가 높이를 측정한다. 이때, 레이저 센서에서 측정된 높이가 바퀴주행모드로 장애물을 통과할 수 없다고 인식하면 Fig. 13(b)와 같이 극복을 위한 다리보행모드가 실행된다.

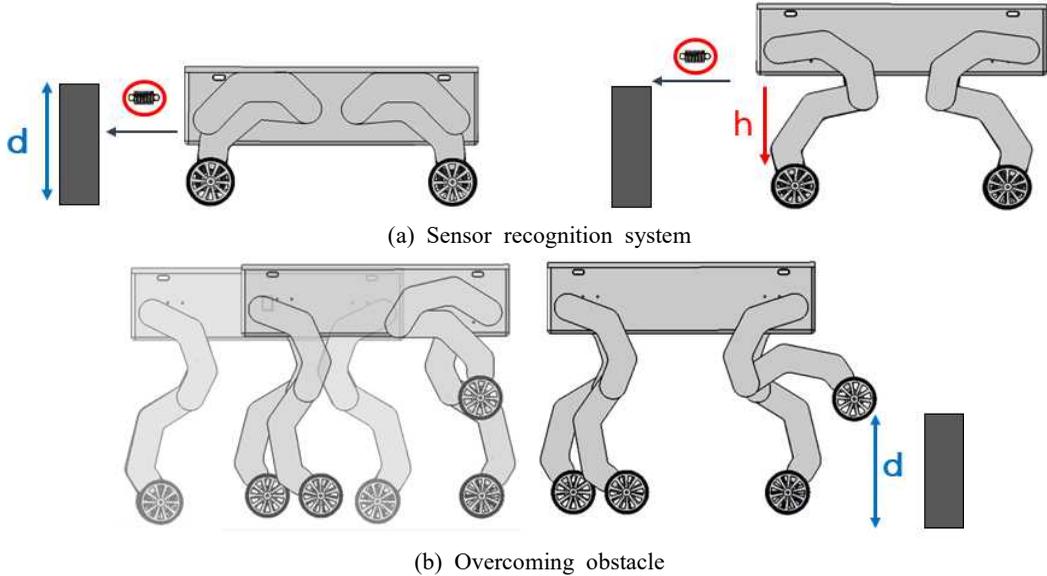


Fig. 13 Recognition algorithm through laser sensor

사용자가 원격으로 블루투스 모듈 및 카메라 센서를 이용하여 실시간으로 로봇의 상황을 전송받아 수동으로 제어한다. 수동으로 제어가 어렵다고 판단되면 장애물 판단 기능을 사용하여 전방에 부착된 레이저센서가 장애물과의 거리 및 장애물의 높이를 판단하게 된다. 충분히 극복이 가능한 장애물이라고 판단될 때에는 다리보행모드를 활용하여 장애물을 극복하게 된다. 장애물을 극복하고 나면 바퀴주행모드로 바뀌어서 주행한다. 자세한 내용은 Fig. 14와 같다.

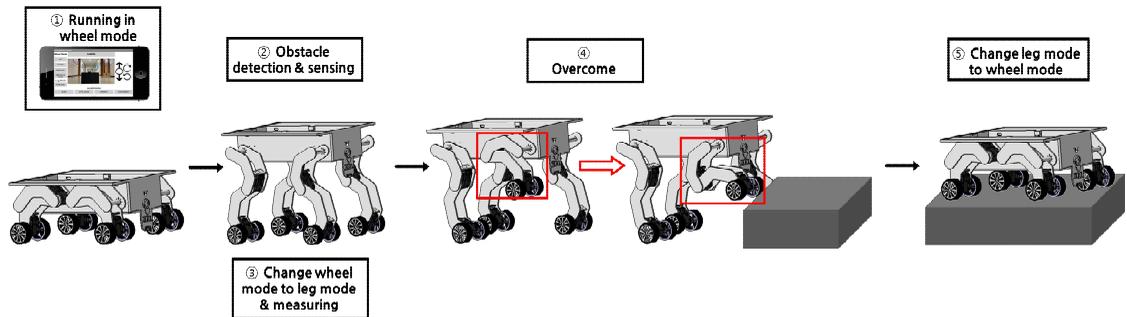


Fig. 14 Obstacle overcoming process

#### 4.3 IMU 센서를 이용한 비평탄면에서의 수평유지

로봇이 바퀴주행모드로 경사가 있는 비평탄면에서 주행해야 할 때가 있다. 이때 수평 유지시스템이 없다면, Fig. 15(a)처럼 로봇이 경사면의 기울기만큼 기울어져서 재해 및 재난현장에서의 수송 및 구조목

적 등 활용에 부적절하다. 이를 해결하기 위해 로봇의 다리를 이용한 자체적인 수평 유지기능을 도입하였다. 로봇이 비평탄면에 진입했을 때 로봇의 중심부에 부착된 IMU 센서가 로봇의 기울기를 실시간으로 측정한다. 이 값을 바탕으로 중앙처리장치에서 다리에 있는 모터를 동작시켜 펴고 굽힘으로써 Fig. 15(b)처럼 로봇의 본체가 항상 지면과 수평을 유지할 수 있게 하였다.



(a) Robot without leveling

(b) Robot applied leveling

Fig. 15 Leveling system using IMU sensor

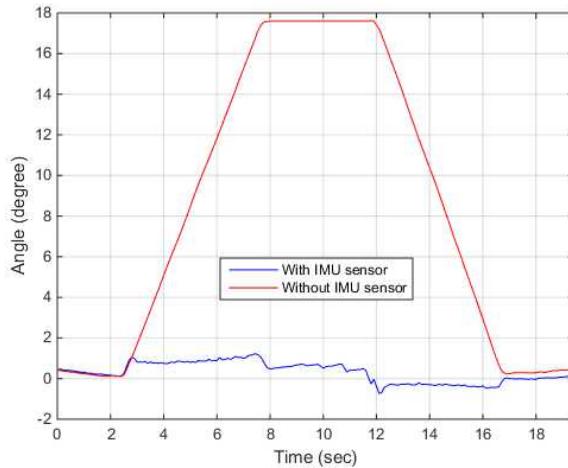


Fig. 16 Balancing experiment using IMU sensor

Fig. 16은 수평유지기능이 적용된 로봇의 기울기 값을 측정된 데이터값을 나타냈다. 수평 유지시스템을 적용하였을 때에는 오차가  $-1^{\circ} \sim 1^{\circ}$  사이에서 기울기를 유지하는 것을 확인할 수 있고, 그렇지 않았을 때는 로봇이 경사면의 기울기만큼 기울어지는 것을 확인할 수 있다. 이는 IMU 센서를 통하여 비평탄면에서 로봇의 자체적인 수평유지가 가능함을 실험적으로 검증하였다.

#### 4.4 소프트웨어(S/W) 설계

로봇의 정면부에 카메라를 설치하여 전방 상황을 모바일 컨트롤러로 수동조작한다. 수동조작 중 바퀴 구동으로만 넘어갈 수 있는 장애물이라고 판단되면 바퀴 구동만으로 장애물을 넘어간다. 하지만 바퀴보다 큰 장애물일 경우 바퀴 구동만으로 장애물을 넘어갈 수 없다. 그래서 높이를 측정할 수 있는 레이저

센서로 측정하고, 극복 여부를 판단한다. 극복 가능한 장애물이면 다리보행모드로 전환하여 장애물을 극복한다. 비평탄 지형일 경우 항상 본체가 수평을 유지할 수 있도록 IMU 센서로부터 기울기 값을 받아 다리-바퀴 혼합모드로 전환할 수 있게 알고리즘을 설계하였다. 자세한 내용 설명은 Fig. 17과 같다.

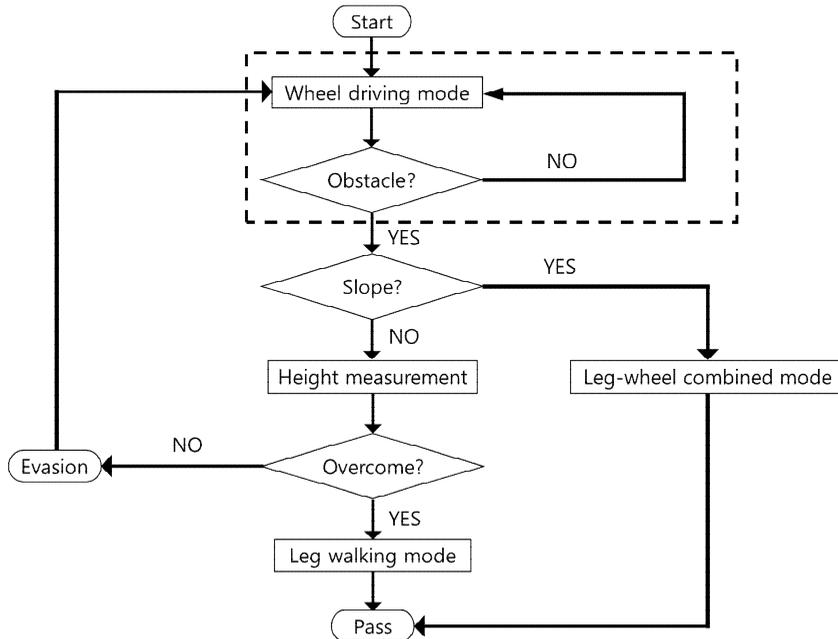


Fig. 17 Control algorithm to overcome the non-planer environment

## 5. 결론

본 연구에서는 바퀴구동과 다리구동을 동시에 가능한 로봇을 제안하였다. 사용자가 로봇을 쉽게 제어하기 위해 와이파이로 통신이 가능한 카메라 센서, 블루투스 모듈을 이용하여 로봇의 전방을 보면서 스마트폰으로 수동조작할 수 있게 하였다. 수동조작 중 카메라에 장애물이 나타나게 되면, 레이저 센서로 장애물의 높이를 측정한다. 장애물의 높이에 따라 로봇의 다리 모션이 달라지는데, 레이저 센서로 측정했을 때 극복 가능하다고 판단되는 장애물이면 역기구학 계산을 통해 넘을 수 있도록 제어하였다. 비평탄 지형에서는 IMU 센서를 통해 기울기를 측정하여 본체의 기울기가 항상 수평이 되도록 높이를 조절하였다. ‘비평탄 환경 극복을 위한 다리-바퀴 가변형 로봇’은 다리와 바퀴의 결합으로 주변 환경의 변화 및 장애물 유무에 관계없이 구동할 수 있다. 이러한 기능을 이용한다면, 사람이 가지 못하는 곳에 대한 조사가 필요하거나 사람의 힘으로 가기 힘든 험지에서 구조목적 등으로 사용할 수 있다. 4차 산업혁명과 함께 각종 현장에서 사람의 역할뿐만 아니라 지능형 로봇의 역할 역시 증가하고 있기에 환경을 스스로 판단해 적절한 모드로 전환하여 물체를 수송하거나 실시간으로 현장을 영상으로 전송하는 작업에 활용될 수 있을 것으로 기대된다. 하나의 로봇으로 여러 가지 기능을 제약 없이 할 수 있으므로 경제적인 효율성이 높아 다방면으로 상용화가 기대된다.

## 후 기

지난 6개월은 팀원들과 함께 프로젝트를 진행하면서 엔지니어로서 한 단계 성장할 수 있었던 시간이었습니다. 본체와 다리를 만들고 이들을 잇는 부품들을 만들었고 이를 작동시킬 수 있게 하는 프로그래밍과 메커니즘을 짜는 것까지 무엇 하나 쉽게 해결한 것이 없습니다. 하지만 팀원들과 밤낮 가리지 않고 연구하여 완성된 결과물을 얻을 수 있어서 성취감을 느낄 수 있었습니다. 부품선정부터 시뮬레이션, 프로그래밍까지 로봇 제작의 전반적인 과정을 겪으며, 제작 후 저희가 한 일을 글로 적는 것 역시 쉽지 않은 일이었습니다. 기성품들을 사용하고자 하는 용도에 맞게 바뀌가는 것이 정말 어려웠습니다. 이를 통해 무슨 일이든 쉽게 생각하는 자신을 돌아보며 반성하고 겸손함을 갖출 수 있었고 설계자와 프로그래머분들에게 존경심을 갖게 되었습니다. 이번 대회를 준비하면서 성장함을 많이 느꼈고 이를 기반 삼아 다른 로봇을 만들어 보고자 합니다.

## 참고문헌

- (1) K. Bae, D. Hong, B. Chu, K. Jung, Y. Chu, 2009, "Pre-acting using Time-Optimal Trajectory for Manipulator", Korean Society for Precision Engineering, pp. 375~376.
- (2) S. Kim, D. Choi, S. Lee, B. Chu, 2017, "Development of a Leveling Mobile Robot for Overcoming Atypical Obstacles", The Korean Society of Manufacturing Process Engineers, pp. 233~233
- (3) S. Lee, H. Kang, J. Kwak, B. Chu, 2019, "2-Dimensional Self-Stabilization Leveling Mechanism", The Korean Society of Manufacturing Process Engineers, pp. 175~175

## 별지

### 1. 장애물 인식과 극복과정의 자동화

‘제20회 전국 지능형 창작 로봇 경연 대회’에서는 사용자가 육안으로 판단하고 컨트롤러를 이용하여 사용자가 카메라를 통해 장애물을 인지하여 로봇이 장애물을 극복하도록 했다. 하지만 ‘제11회 전국학생 설계경진대회’에서는 로봇이 스스로 장애물 인식 후 극복할 수 있게 알고리즘을 추가했다. 이를 통해 사용자가 수동으로 제어하여 장애물을 극복하는 것보다 훨씬 정확하고 편리하게 로봇을 제어할 수 있다.

### 2. 레이저 센서의 위치 변경

기존 대회에서는 본체에 레이저 센서가 달려있기 때문에 바퀴주행모드 상태에서 본체와 바퀴 사이 장애물의 높이는 측정이 불가능하여 극복이 불가능하였다. 그러나 본 대회에서는 본체의 디자인과 레이저 센서의 위치를 낮춰 앉고 일어서는 모션변화를 통해 바퀴 반지름 이상의 높이를 가진 장애물을 모두 측정하도록 수정하였다. 이를 통해 기존 대회에서 측정하지 못했던 장애물의 높이를 측정할 수 있어 극복할 수 있는 장애물의 범위를 훨씬 높였다는 차별성이 있다.

### 3. 수평유지를 위한 개별적 다리 제어

참가하였던 이전 대회에서는 IMU 센서를 이용한 수평유지가 2개의 앞다리 혹은 2개의 뒷다리가 로봇의 기울기 변화에 따라 동시에 제어되도록 하였다. 그러나 이번 대한기계학회에서 주최하는 대회에서는 변화하는 기울기에 맞춰 좌, 우 각각의 다리를 독립적으로 제어하였다. 따라서 로봇의 좌우 길이보다 폭이 넓은 경사길만 이동할 수 있었던 한계가 해결되어 왼쪽이나 오른쪽에 독립적인 장애물이 있어도 개별적으로 다리부를 제어할 수 있게 하여 극복할 수 있는 상황의 영역이 훨씬 넓어졌다.