

# A Study on the Design of Embedded System-Based Wheel Drive Robots for Overcoming the Terrain

Kim Min Gyu<sup>†</sup> · Seon Ji Ho<sup>†</sup> · Jeong Se Jin<sup>†</sup> · Kim Sang Hoon<sup>††</sup>

## ABSTRACT

The purpose of this paper is to design and implement a wheel-driven small intelligent robot with intelligent sensor signal processing and various driving methods to overcome non-flat terrain such as slopes and steps and avoid obstacles. An eccentric gear structure was proposed to overcome non-flat terrain, optimal sensor signal processing was applied to maintain real-time balance, and an omnidirectional driving method that enables obstacle recognition and escape from a narrow space using a LiDAR sensor was proposed and designed to overcome obstacles. An optimal embedded system was designed and constructed to implement and control the intelligent elements of the robot.

Keywords : Overcoming Terrain, Wheel-Driven Robot, Embedded System

## 지형 극복을 위한 임베디드 시스템 기반 바퀴 구동형 로봇의 설계에 관한 연구

김민규<sup>†</sup> · 선지호<sup>†</sup> · 정세진<sup>†</sup> · 김상훈<sup>††</sup>

## 요약

본 논문은 경사면과 단차 등의 비평탄 지형 극복과 장애물 회피가 가능하도록 지능적인 센서 신호처리와 다양한 구동방식을 보유한 바퀴 구동형 소형 지능 로봇의 설계와 구현을 목적으로 한다. 비평탄 지형 극복을 위해 편심 기어 구조를 제안하였으며, 실시간 균형 유지를 위해 최적의 센서 신호처리를 적용하였고, 장애물 극복을 위해 LiDAR 센서를 활용한 장애물 인식 및 좁은 공간에서의 탈출이 가능한 전방위 구동 방식을 제안하고 설계하였다. 로봇의 지능적 요소를 구현하고 제어하기 위해 최적의 임베디드 시스템을 설계하고 구축하였다.

키워드 : 지형극복, 바퀴로봇, 임베디드 시스템

## 1. 서론

서비스 로봇이나 안내 로봇 분야에서 바퀴 형태로 구동되는 로봇(이하 바퀴로봇)은 다리 관절을 가진 로봇에 비해 여러 가지 장점을 가지고 널리 활용되는 추세이다. 바퀴형 로봇은 높은 이동 속도와 에너지 효율성을 제공하는 것이 가장 큰 장점이다[1,2]. 또한, 바퀴 구조는 일반적으로 간단하고 견고하여, 안정적인 이동과 적재 능력을 갖추고 있다. 이러한 특성은 서비스 로봇이나 안내 로봇과 같이 상대적으로 평탄한 환경에서 지속적이고 신뢰할 수 있는 서비스를 제공하는 분야에 매

우 적합하다[2,3]. 바퀴형 로봇은 또한 높은 에너지 요구량이 필요하지 않기 때문에, 유지보수와 운영 비용도 상대적으로 낮다[1,4,5]. 이러한 이유로, 다양한 상업 및 서비스 환경에서 바퀴형 로봇을 이용한 이동 서비스 로봇의 활용이 증가하고 시장이 확대되고 있다. 하지만 다리형 로봇에 비해 비평탄 지형이나 장애물을 넘는 능력은 제한적일 수 있으며, 일부 경우에는 경사면이나 불규칙한 지형에서 문제가 발생할 수도 있다 [6,7]. 현재 서비스 로봇(Fig. 1)은 구조적으로 보면 하단이 낮고 바퀴를 사용하고 있어 실내에서 마주할 수 있는 작은 턱이나 전선, 경사로 같은 평탄하지 않은 지형에서 이동에 제약을 받는다[3,8,9]. 그러므로 로봇은 작은 장애물에도 경로를 크게 바꾸기도 하며, 동적인 장애물이나 인식하지 못한 장애물에 충돌 또는 중심을 잃고 문제를 발생할 수도 있다. 이러한 문제는 향후에도 중장기적으로 해결해야 할 매우 도전적인 과제이다. 본 연구는 로봇 바퀴에 크랭크 원리를 이용한 편심 메커니

※ 본 연구는 한경국립대학교 2023년도 학술연구조성비의 지원에 의한 것임.

† 비회원 : 한경국립대학교 전기전자제어공학과 학사과정

†† 종신회원 : 한경국립대학교 ICT로봇기계공학과 정교수

Manuscript Received : August 23, 2024

Accepted : September 24, 2024

\* Corresponding Author : Kim Sang Hoon(kimsh@hknu.ac.kr)



Fig. 1. Service Robots Currently Launched[13]

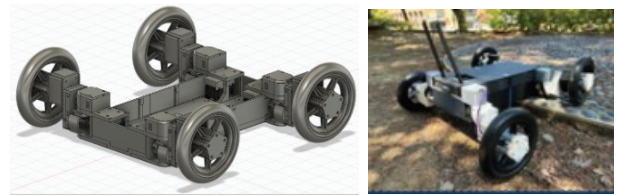
즘을 적용하여 로봇이나 바퀴의 높낮이를 주행 중에 제어 가능하게 함으로써 턱이나 경사로, 울퉁불퉁한 노면과 같은 주행 방해물을 극복하는 방법을 제시하며, 운반 중인 물건을 보호하기 위해 평형을 유지하는 균형제어 방식도 실험에 적용한다. 또한, 자율주행을 위한 센서들을 이용해 고정되어 있거나 동적인 물체를 회피하는 알고리즘을 개발하며 좁은 길이나 막힌 공간에서 탈출이 가능한 방법을 제안한다. 본 논문에서는 바퀴 로봇의 다양한 장점을 활용하면서 동시에, 비평탄 지형을 극복하여 평형을 유지하고 장애물 극복 능력을 향상시킬 수 있는 새로운 소형 로봇 플랫폼 설계 방법을 제시하고, 문제 극복을 위한 로봇 구동 관련 물리량 등을 시뮬레이션하고 실험 분석하여, 성능 향상에 기여하였으며 그 결과를 제시한다.

2. 로봇의 구조 설계

2.1 설계 개요 및 구성

본 연구에서 제작한 바퀴 구동형 로봇의 3D 모델(Fig. 2a)과 실제 모형(Fig. 2b)은 Fig. 2에서 확인할 수 있다. 지능적인 알고리즘과 고용량의 데이터 처리 프로그램을 로봇에 탑재하고 실시간 제어가 가능하게 하려고 NVIDIA의 Jetson Orin NX를 기반으로 한 임베디드 시스템을 설계하였다. Jetson Orin NX는 고성능 GPU를 갖춘 단일 보드 컴퓨터로, 저전력 소비와 뛰어난 연산 능력이 특징이다. 따라서 본 연구에서는 서비스 로봇에 필수적으로 요구되는 다음의 핵심 기능들을 제공하도록 Jetson Orin NX 보드를 채택하고 주요 기능을 설계하였다.

- (1) 센싱 데이터 처리: 다양한 센서로부터 얻은 데이터를 처리하여 평형 유지 및 주변 환경 정보 파악
- (2) 주행 경로 계획 및 제어 신호 생성: 센싱 데이터와 목적지 정보를 바탕으로 최적의 주행 경로를 계획하고, 각 바퀴나 조향 장치에 제어 신호를 생성
- (3) 영상처리 및 AI 연산: 카메라로부터 입력받은 영상 데이터를 처리하여 객체 인식, 장애물 회피, 단차극복 등의 지능적 작업을 수행
- (4) 원격 통신 관리: 무선 네트워크 통신을 관리하여 원격 제어 명령 수신 및 로봇 상태정보 전송 수행



(a) 3D model of wheel drive robot (b) Real Robot

Fig. 2. Robot Design

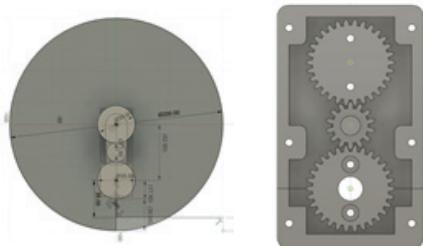
Table 1. Proposed Robot Configuration

Size[mm](L x W x H) excluding wheels.	590 x 601.7 x 302
Weight [kg]	7.8 kg
Main controller	Jetson Orin NX 16GB (SBC)
	Cortex-M4 (MCU)
Battery	14.8V Lithium
Sensors	YDLIDAR G2(LiDAR)
	Logitech C270 (Webcam)
	HC-SR04 (Ultrasonic)

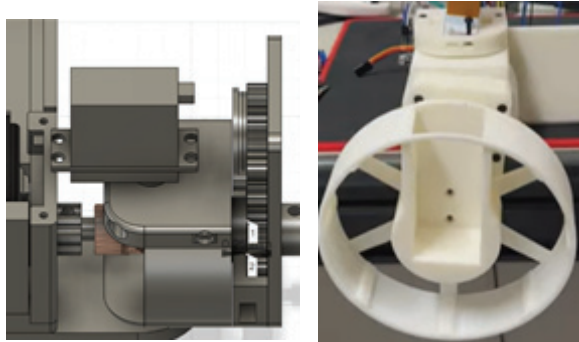
이처럼, Jetson Orin NX의 저전력 소비와 고성능 연산 능력은 배터리를 이용하는 로봇에게 큰 이점을 제공하며, 회로의 작은 크기는 로봇의 기구설계에 유연성을 더한다. 본 연구에서 설계 및 제작된 이동형 로봇의 전체 구성을 Table 1에 표시하였다.

2.2 편심 메커니즘 기반의 기어 설계

지형 극복능력을 갖춘 로봇 설계를 위해, 본 연구에서는 현대자동차 그룹의 소형 모빌리티 'MobED'를 참조하였다[9]. MobED는 편심 메커니즘에 기반한 편심 바퀴(eccentric wheel)를 활용하므로, 각각의 네 바퀴를 독립적으로 제어할 수 있어 다양한 자세와 상하 높낮이 조절이 가능하다. 본 연구에서 제작된 로봇은 크랭크 원리를 적용한 기어 구조(Fig. 3)를 도입하였다. 크랭크는 회전 운동을 직선 운동으로, 또는 그 반대로 변환하는 장치로, 이를 통해 기어의 회전을 조절함으로써 각 바퀴의 위치를 정밀하게 제어할 수 있다. 본 연구에서 제안한 편심 기어의 구조는 Fig. 3c와 같이, 오른쪽부터 DC 모터, 편심 기어, 그리고 로봇의 몸통이 순서대로 결합되어 있는 것을 확인할 수 있다. Fig. 3a와 같이 중앙에 위치한 기어는 모터와 직접 연결되어있고, 중앙으로부터 가장 멀리 떨어진 35φ 크기의 기어는 로봇 몸체의 DC 모터와 결합되어 있다. 이 기어가 회전할 때, 로봇의 높이를 조절할 수 있도록 설계하였다.



(a) 3D Model of eccentric wheel (b) gear structure



(c) Robot body combination (d) Real model

Fig. 3. Eccentric Gear Structure

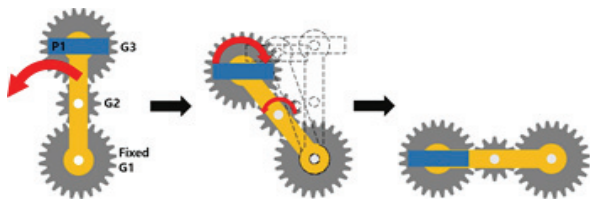
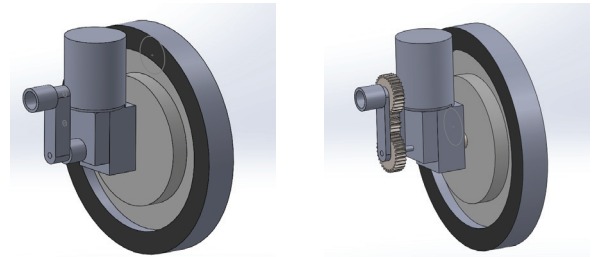


Fig. 4. Principle of Eccentric Motion

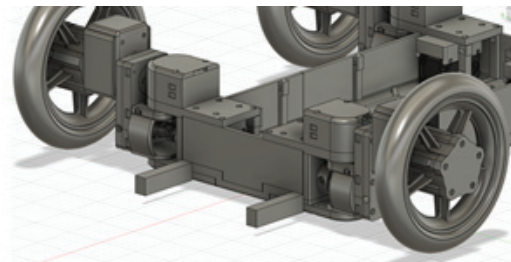
편심 기어는 편심 축(eccentric shaft)과 유성 기어의 구조를 참조하여 설계되었으며, 주로 장애물을 극복하는 데 활용된다. Fig. 4는 편심 동작의 원리를 보여주고 있다. 로봇과 연결된 부분과 주행 구동 모터와 연결된 부분들을 확인할 수 있으며 고정된 기어와 크랭크 막대에 연결된 기어가 존재하는 것을 확인할 수 있다. G1과 크랭크 막대에 연결된 기어 G2가 있을 때, 모터를 통해 크랭크 막대를 회전시키고 기어 G2가 G1에, G1이 G3에 맞물리며 G3의 회전에 맞춰 플랫폼 P1이 G1 축을 중심으로 공전하게 된다. 이때, P1에 결합한 모터를 통해 360° 회전 운동하면서도 주행 바퀴를 움직일 수 있게 하였다. 모터를 통해 크랭크 막대를 회전시키면 고정된 기어와 맞물려 플랫폼이 고정된 기어를 중심으로 공전하게 되며 이때, 크랭크 막대에 연결된 모터를 통해 막대를 회전시키면 바퀴가 동작하는 원리이다.

Fig. 5는 다리-바퀴 로봇에 일반적으로 사용되는 막대 다리 구조와 편심 기어 구조를 서로 비교한 결과이다. 각각의 무게는 736g, 761g이며, 막대 길이는 8.75cm, 바퀴 지름은 200mm이다. 편심 기어 구조를 활용하면, 기어를 통한 동작으로 인해 진동과 소음이 최소화되어, 로봇 몸체의 안정적인 동작



(a) Leg-wheel structure (b) Eccentric gear structure

Fig. 5. Comparison Between Eccentric Gear Structure and Leg-Wheel Structure



(a) Body support structure for overcoming obstacles



(b) How to use an ultrasonic sensor

Fig. 6. Body Support Structure for Overcoming Obstacles and Role of Ultrasonic Sensor in Its Structure

이 가능하다. 이 구조는 2:1:2의 비율로 세 개의 평 기어로 구성되어 있으며, 막대 다리 구조에 비해 동작 속도는 느리지만 필요한 토크는 줄어든다. 설계 시에는 기어의 톱니 수를 조절함으로써 세밀한 동작 조정이 가능하다. 최외곽 기어가 모터를 고정해야 하므로, 물림율이 우수한 헬리컬 기어를 통한 설계도 고려하였다.

### 2.3 장애물 극복을 위한 로봇의 지지대 설계

로봇이 장애물을 넘는 과정에서 로봇의 몸체를 지지해 줄 지지대 구조 Fig. 6a가 필요하다. 로봇 전면 하단에 지지대 구조를 배치하여 앞바퀴가 지면에 떨어져 있어도 로봇은 쓰러지지 않도록 설계하였다. 지지대 구조를 설계할 때 Fig. 6a, 초음파센서를 바닥을 향해 설치하여 바닥과의 상대 거리를 측정하도록 한다. 이로써 측정된 거리값에 따라 현재의 지형 유형(평지, 턱 또는 절벽 등)중 한 가지를 감지할 수 있게 한다.

## 3. 다양한 지형조건을 고려한 평형 주행 방법

### 3.1 평형 상태 주행이 가능한 기준 설정

본 연구에서 개발된 로봇의 활용 목표는 로봇의 몸체를 활용한 다양한 배달 및 이동 서비스를 가능하게 하는 것이므로

로봇의 몸체가 실시간으로 평형을 유지하며 안정적으로 주행하는 성능을 구현해야 한다. Fig. 3(a)와 Fig. 4를 참조하면, 로봇의 최하단은 중심 위치보다 35mm 아래에 위치한다. 따라서, 로봇이 최대높이로 올라갔을 때 계산식의  $r_{wheel}$ 은 바퀴의 반지름이고  $r_{G_3}$ 는 G3 기어의 반지름  $r_{G_1}$ 는 G1 기어의 반지름이다. 지면과의 간격은 이론적으로 117.5mm가 된다. 이는 지속적인 평형을 유지하며 편심 기어의 원리를 이용한 장애물 극복 주행을 가능하게 하기 위해서는 바닥과 로봇의 몸체 간의 거리가 최소 117.5mm 이상은 확보되어야 한다는 의미이다.

$$r_{wheel} + 2r_{G_3} + r_{G_1} - 35 = 100 + 35 + 17.5 - 35 = 117.5$$

### 3.2 단차가 있는 장애물 극복 방법

장애물을 극복하는 과정은 Fig. 7과 같다. 먼저, 카메라를 이용하여 전방의 장애물의 경계선을 검출한다. 검출된 경계선의 높이 값을 측정하여 장애물을 넘을 수 있는 목표값(파란선)에 도달하도록 모터를 제어한다. 전진 중 로봇의 몸체 지지대에 부착된 초음파센서가 바닥 간의 거리를 실시간으로 측정하여, 거리가 급격히 줄어든 시점인 턱을 감지할 시, 로봇은 장애물 극복 프로세스를 진행한다. 앞 두 바퀴를 동시에 들어 장애물에 몸체 지지대를 걸쳐 몸체를 지지하고 앞바퀴를 돌려 장애물 위에 앞바퀴가 오도록 한다. 마지막으로 양 뒷바퀴를 같은 순서로 돌려서 장애물을 등반할 수 있게 한다. 이러한 순차적인 동작을 통해 로봇은 단차가 있는 지형을 극복할 수 있다.

### 3.3 경사로 주행 방법

경사로 주행 시 기울기를 감지하기 위해 IMU 센서를 사용하고, MCU 보드와 IMU 센서를 연결하여 기울기가 발생했을 때 균형을 유지하기 위해 PID 제어를 적용한다. 이는 편심 기어를 실시간으로 조정하여 외부 환경 변화에 효과적으로 대응하고, 균형을 유지하게 하는 방법이다. 비례 제어는 로봇의 현재 위치와 목표 위치 사이의 오차에 비례하는 제어 신호를 생성한다. 이를 통해 로봇이 목표 위치로 빠르게 이동할 수 있게 된다. 적분 제어는 시간에 따라 누적되는 오차를 해결한다. 이로써 장기적인 안정성이 확보된다. 미분 제어는 로봇의 위치 변화율을 고려한다. 이를 통해 과도한 진동이나 불안정성을 방지하여 안정적인 구동이 가능하다.

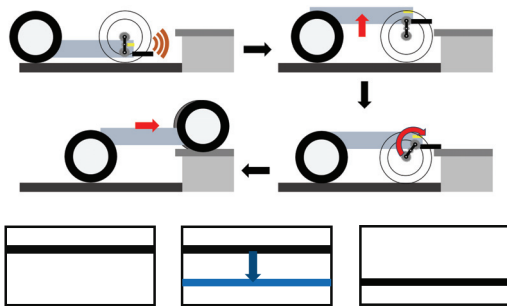


Fig. 7. How to Overcome the Step Difference

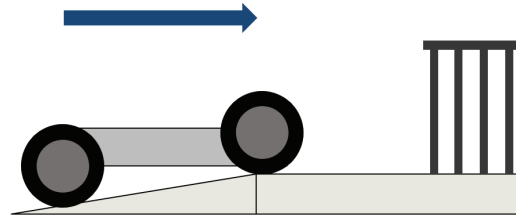
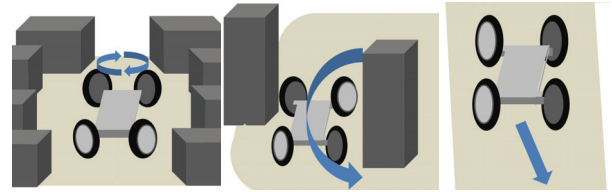


Fig. 8. How to Drive on a Ramp



(a) Zero turn (b) rear wheel steering (c) crab walk

Fig. 9. Posture Control

## 4. 독립적인 조향제어를 통한 자세제어

로봇은 4개의 조향을 담당하는 서보 모터를 독립적으로 제어할 수 있으므로, Fig. 9와 같이 다양한 자세를 구현할 수 있다. 이를 통해 로봇은 복잡한 환경에서도 유연하게 움직일 수 있으며, 다양한 장애물을 효과적으로 극복할 수 있다. 독립 조향 시스템은 로봇이 좌우 회전 이상의 복잡한 움직임도 가능하게 한다. 예를 들어, 크랩 워크는 모든 바퀴를 동시에 같은 방향으로 회전시켜 대각선으로 이동하는 방식이며 제로턴은 바퀴를 원형으로 회전시켜 제자리에서 360도 회전하는 방식이다. 이러한 기법들은 협소한 공간에서의 주행이나 방향 전환에 유리하다. 특히 후방 바퀴의 조향 각도를 조절할 수 있다면, 회전 반경을 줄여 더욱 효과적인 조작이 가능하다. 이렇게 독립 조향 시스템은 차량의 기동성을 크게 향상시키며, 다양한 주행 환경에 유연하게 대응할 수 있게 한다.

## 5. 라이다 센서를 이용한 장애물 회피 방법

ROS2(Robot Operating System2) 및 LiDAR 센서를 활용한 바퀴 구동형 로봇의 장애물 회피 시스템을 구현했다. 이 시스템은 로봇 주변의 환경을 실시간으로 스캔하여 장애물을 탐지하고, 이에 기반하여 로봇의 경로를 조정한다. 본 연구에서 ROS는 로봇의 하드웨어와 소프트웨어 컴포넌트 간의 통합 플랫폼으로 활용된다. ROS는 센서 데이터의 효율적인 처리, 메시지 전달, 그리고 로봇 제어 명령의 실행 등을 가능하게 한다. LiDAR 센서는 주변 환경의 레이저 스캐닝을 통해 거리 데이터를 제공한다. 이 센서는 로봇 주변 360도의 환경을 매핑하여 장애물의 위치와 거리 정보를 수집한다.

장애물 회피 알고리즘의 동작 방식은 다음과 같은 과정으로 이루어진다:

1단계(데이터 수집): LiDAR 센서로부터의 데이터는 ROS 노드에 의해 수집된다. 이 데이터는 로봇 주변의 물체들에 대한 거리 및 각도 정보를 포함한다.

2단계(데이터 처리): 수집된 데이터는 Callback 함수에서 처리된다. 이 함수는 LiDAR 데이터를 분석하여 장애물의 위치를 파악하고, 각도 및 거리 정보를 계산한다.

3단계(경로 결정): 장애물과의 거리를 기반으로 로봇의 경로를 동적으로 조정한다. 예를 들어, 장애물이 너무 가까이 있으면 로봇은 속도를 줄이거나 방향을 변경하여 충돌을 방지한다.

4단계(명령 실행): 최종적으로, 계산된 경로와 속도 정보는 로봇의 구동 시스템에 전달되어 실행된다. 이는 메시지에 의해 이루어진다.

이 과정에서 사용된 주요 변수들의 분석 과정은 다음과 같다. (각도 계산)

$$\theta_i = (\theta_{\min} + \Delta\theta \times i) \times \frac{180}{\pi}$$

여기서  $\theta_{\min}$ 은 LiDAR 센서의 최소 각도,  $\Delta\theta$ 는 센서가 측정하는 각도의 증가량이다.

(최소 거리 찾기)

$$D_{\min,L} = \min(d \mid d \in D_L, d \geq D_{\min, \text{dist}} \text{ and } d < D_{\text{distance}})$$

$$D_{\min,R} = \min(d \mid d \in D_L, d \geq D_{\min, \text{dist}} \text{ and } d < D_{\text{distance}})$$

여기서  $D_{\min,L}$ 과  $D_{\min,R}$ 은 각각 왼쪽 및 오른쪽에서 감지된 거리의 집합이다.

(오차 계산)

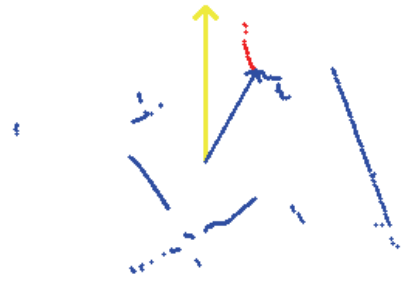
$$E = \begin{cases} \frac{1}{2} [(W/2 + D_{\text{distance}} \times 100) - x_{\min,R}] - [(W/2 + D_{\text{distance}} \times 100) - x_{\min,L}] \\ (W/2 + D_{\text{distance}} \times 100) - x_{\min,R} \\ (W/2 + D_{\text{distance}} \times 100) - x_{\min,L} \\ 0 \end{cases}$$

여기서 각 수식은 로봇기준으로 전방에 있는 장애물의 위치가 양쪽, 오른쪽, 왼쪽 또는 없을 때의 산출 수식을 각각 묘사한 것이며, 여기서 W는 LiDAR 스캔 영역의 너비이다. 이러한 수학적 접근은 로봇의 센서 데이터 처리 및 장애물 회피 알고리즘의 이해를 높이는 데 중요한 역할을 하였다.

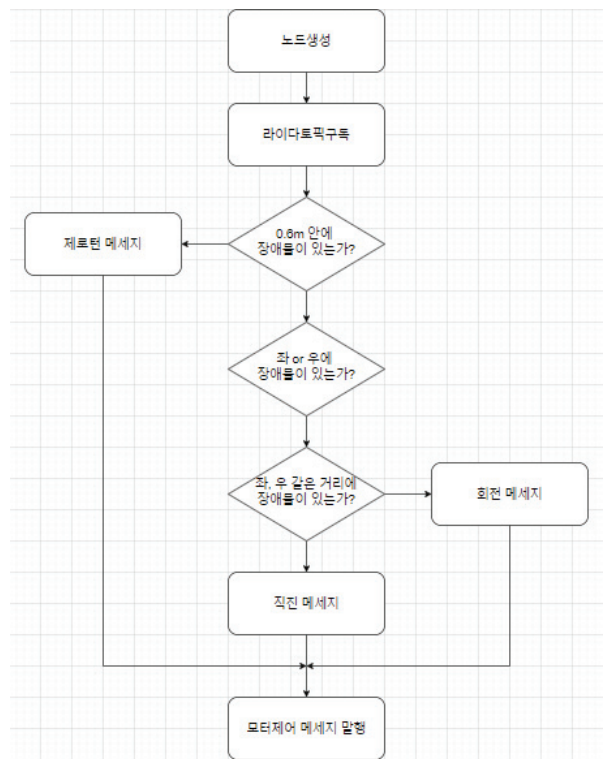
## 6. 실험 및 분석

### 6.1 구동 모터의 최적 토크 산출

로봇에 이용되는 모터는 총 3종류로 방향 조향에 필요한 조향용 서보 모터와 상하 높낮이 조절에 필요한 편심 기어용 서보 모터 전진 후진에 필요한 주행용 DC 모터로 구성되어 있다. 다리-바퀴 구조의 로봇과 편심 기어 구조의 로봇을 모델링



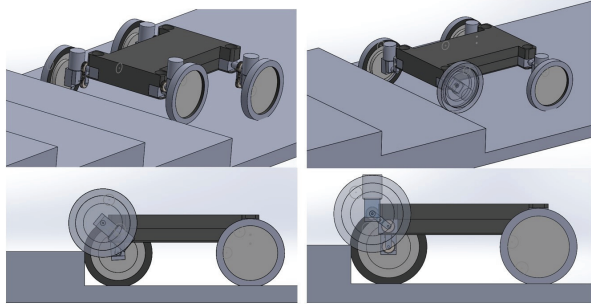
(a) LiDAR visualization image



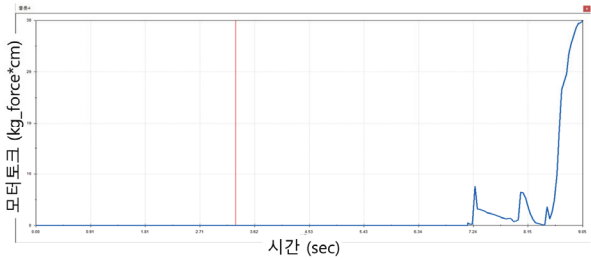
(b) Obstacle avoidance flowchart

Fig. 10. Obstacle Avoidance Method Using LiDAR

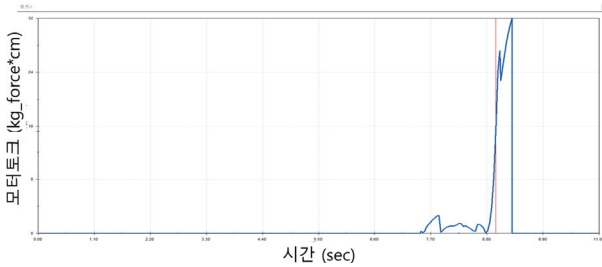
한 후 SolidWorks(2017)에서 제공하는 motion simulation을 통해 모터의 움직임을 설정하고 토크 값을 구했다. 각 로봇은 25RPM의 속도로 주행 후 10cm 높이의 계단을 만나 590 x 601.7 x 302 [mm], 7.8kg 물체를 계단에 올리는 상황을 가정하여, Fig. 11의 시뮬레이션과 같이 계단을 오르는 동작을 실험하고 분석하였다. 다리-바퀴 구조상 모터가 크랭크 막대의 회전축을 중심으로 공전하는 것이 불가능하므로 크랭크 옆면에 모터를 부착한 형태로 모의실험을 진행했고, 중력 9.8, 마찰계수 0.1 등을 동일하게 설정한 후 결과를 Fig. 12에 나타냈다. 0초부터 7초까지 주행하여 계단에 접촉한 후, 모터를 시계 반대 방향으로 회전해 계단 면에 접촉 후 물체를 드는 동작까지의 필요 토크를 그래프로 나타냈다. 물체를 들어 올리는데 토크가 Fig.12(a)에서 최대 38 [kgf.cm], Fig. 12(b)에서 최대 32 [kgf.cm] 측정된 것을 확인 가능하다. Fig. 12(a)와



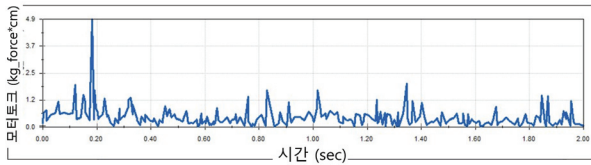
Leg-wheel robot (left), Eccentric gear robot (right)  
Fig. 11. Simulation of Step Climbing



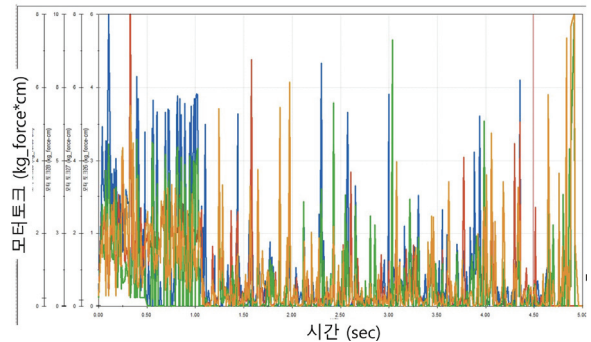
(a) Leg-wheel robot



(b) Eccentric gear robot



(c) Steering torque



(d) Running part torque

Fig. 12. Simulated Torque Value

Fig. 12(b)의 그래프를 통해 각 최대토크는 38[kgf·cm]와 32 [kgf·cm]로 6[kgf·cm]로 차이가 난다. 이러한 실험과 분석을 통해 편심 기어를 이용한 방법을 적용하면 모터의 선택에서

낮은 가격, 낮은 전력의 모터를 적용할 수 있어 가격과 전력 면에서 효율적인 설계를 할 수 있었다. 다음은 motion simulation을 통해 주행용 DC 모터와 조향용 서보 모터의 토크 값을 실험해 보았다. 주행용 모터 토크 값 실험 조건은 590 x 601.7 x 302 [mm], 7.8kg 물체를 0s부터 0.5s까지 100RPM이 되도록 가속하였고 100RPM이 된 이후 등속 운동을 하도록 조건을 맞추었다. Fig. 12(d)는 주행을 담당하는 모터의 시뮬레이션 결과이다. 결과를 보면 최대 토크는 10[kgf·cm]가 나온 것을 확인할 수 있다. 이러한 토크값의 범위는 실험용 주행 로봇이 보유해야 할 적절한 토크값이며, 10kgf·cm의 토크를 발생하는 최적의 모터를 설계 사양으로 결정할 수 있었다. Fig. 12(c) 시뮬레이션 결과를 보면 조향용 모터의 최대 토크가 4.9[kgf·cm]이 나온 것을 확인할 수 있다. 590 x 601.7 x 302 [mm], 7.8kg의 로봇이 제자리에서 0s ~ 1s 동안 시계방향으로 45도 1s ~ 2s 동안 반시계 방향으로 45도 이동하여 한 쪽 바퀴만 시뮬레이션을 진행하였으며, 이를 통해 조향용 모터의 정상 동작 결과를 확인하였다.

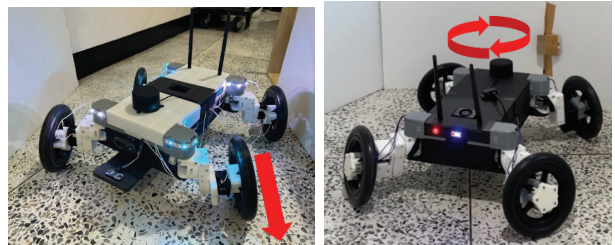
## 6.2 구동의 다양성 실험

### 1) 다양한 구동 방향

SBC(Single Board Computer)에서 MCU로 자세제어 신호를 보내면 MCU는 전달받은 자세로 모터를 제어하게 된다. Fig. 13(a)는 제로턴 (b)크랩 워크로 제어 신호에 따라 제어된 자세이다. 제로턴은 주행부 모터제어를 통해 시계방향과 반시계 방향으로 제어할 수 있고 크랩 워크는 좌우 대각선 방향으로 전후진 가능하다.

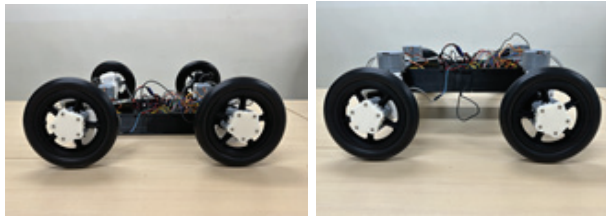
### 2) 편심 메커니즘 설계

Fig. 14는 편심 메커니즘이 적용된 로봇의 모습이다. 3.1에서 편심 기어를 통해 로봇이 이론적으로 가능한 최대높이가 117.5mm로 나온 것을 확인할 수 있다. 하지만 실제 측정 도구를 이용해 최대높이를 측정해보니 약 105mm의 높이가 측정되었다. Fig. 3.1(c)를 확인해보면 조향부와 편심 기어, 편심 기어와 주행 모터 간의 연결부가 증력에 의해 조금씩 휘어져 12.5mm의 오차가 생겼다. 실제로 측정된 최대높이인 105 mm의 값에 의해 로봇은 100mm 이하 범위의 장애물에 대해 평형을 유지하며 장애물을 극복할 수 있음을 확인하였다.

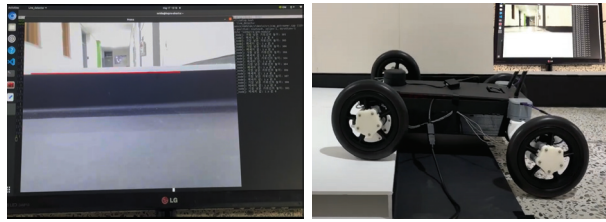


(a) Zero turn (b) Crab walk

Fig. 13. Posture Control Application Image



(a) minimum height (b) maximum height  
Fig. 14. Eccentric Mechanism of Robot



(a) Step height detection (b) Overcoming step



(c) Height less than 117.5mm (d) Height over 117.5mm  
Fig. 15. Experiment to Overcome Steps

### 3) 단차 극복 실험

Fig. 15(a)를 보면 이미지에 검출된 단차의 경계선 높이를 출력한다. 경계선을 검출하는 방법은 영상을 흑백으로 변환한 후 노이즈를 제거한다. 그 후 Canny 함수를 통해 엣지를 검출한 후 HoughLinesP 함수를 통해 경계선을 검출한다. 검출되는 선들을 비교하여 비슷한 높이의 선들을 하나의 선으로 그룹화하여 하나의 선으로 통합하고 그 선의 높이를 출력한다. 이 과정을 통해 로봇은 단차의 높이를 지능적으로 파악하고 높이를 극복하기 위한 제어 변수를 로봇에 전송하여 단차를 극복할 수 있다. Fig. 15(b)의 이미지는 Fig. 7의 단차 극복 프로세스에 의해 로봇이 단차를 넘는 순간의 모습이다. 사진에서 단차의 높이는 약 100mm이고 3.1절의 분석과정을 이용해 산출한 Fig. 15(c)의 동작 모습은 로봇의 높이가 117.5mm 이하이므로 평형 상태로 극복하는 과정을 보여준다. 만약 117.5mm 이상의 단차 높이라면 Fig. 15(d)의 사진처럼 단차를 극복할 수 있지만 평형을 유지할 수 없게 된다.

### 4) 경사면 평형 유지 실험

기울기를 감지하기 위해 IMU 센서를 사용하고, MCU 보드와 IMU 센서를 연결하여 기울기가 발생했을 때, 균형을 유지하기 위해 IMU 센서의 pitch 값을 MCU에서 수신받아 PID 제어를 적용한다. 이는 편심 기어를 실시간으로 조정하여 외부 환경 변화에 효과적으로 대응하고, 균형을 유지하게 하는 방

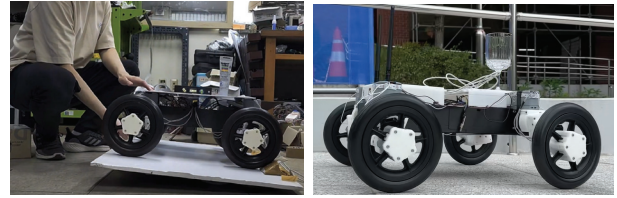


Fig. 16. Balance Experiment

법이다. PID 알고리즘에 따른 연산 값은 모터의 각도 제어 값으로 정규화하여 모터를 제어, 몸체 평형을 유지하게 한다. 로봇이 평형을 유지할 수 있는 최대 경사도를 구해보면 다음과 같다, 최대 경사도 약 33.49%를 평형을 유지하며 주행할 수 있으며, 일반도로 최대 경사도 12%, 산길 도로 13 ~ 17%으로 대부분의 도로를 평형 상태로 주파할 수 있다는 분석이 가능하다.

$$\text{경사도} = \frac{\tan^{-1}\left(\frac{117.5 - 12.5}{390}\right)}{45} \times 100 = 33.49\%$$

### 5) 라이다 센서를 이용한 장애물 회피 실험

본 실험은 ROS2 Foxy 환경에서 진행되었으며, 라이다 센서로부터 발행되는 /scan 토픽을 구독하여 로봇 주변의 지형 정보를 얻고, /cmd\_vel 토픽을 통해 장애물과의 충돌을 피하도록 모터 제어 메시지를 발행하는 방식으로 이루어졌다. 장애물 회피를 위한 관심 영역은 로봇 전방 1.2m 이내로 센서의 탐지 범위는 0도를 기준으로 좌측 -30도, 우측 +30도로 구성되었다. 이때, 음수 각도는 좌측, 양수 각도는 우측으로 설정하여 장애물의 위치를 탐지하였다. 좁은 길을 통과할 때는 라이다 센서로부터 얻은 객체 중 가장 가까운 거리의 X 좌표를 이용하여 회피 방향을 결정하였다. 이때, '5. 라이다 센서를 이용한 장애물 회피 방법'에서 설명한 오차 계산을 적용하여 필요한 회전 각도를 도출한 후, 해당 각도에 맞춰 모터제어 메시지를 발행하였다. 막힌 길을 탈출하는 경우에는 로봇이 장애물 회피 동작 중 가장 가까운 객체가 0.5m 이내에 있을 때 제로턴 동작을 수행하였다. 제로턴은 제자리에서 회전하는 방식으로, 가까운 객체와의 거리를 비교하며 열린 길을 탐색하는 역할을 한다. 열린 길이 탐지되면, 로봇은 그 방향으로 이동하여 막힌 길을 벗어날 수 있었다.



(a) narrow road (b) blocked road

Fig. 17. Passing Through Narrow Roads and Escaping from Blocked Roads using LIDAR

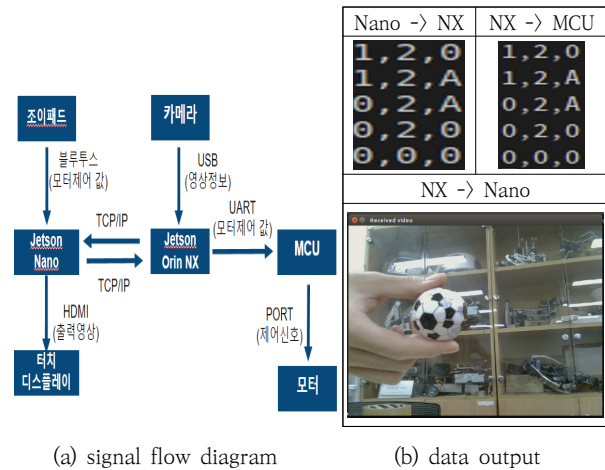


Fig. 18. TCP/IP Communication Experiment

Table 2. Performance Specifications of Robot

performance	value
Maximum speed	1.5 [m/s]
Variable height from ground	12.5~117.5 [mm]
Steering angle	0 ~ 60 [°]
Runtime	100 [min]
Equilibrium maximum slope	33.49 [%]
Maximum torque required for driving	10 [kgf.cm]
Maximum torque required for steering	4.9 [kgf.cm]
Eccentric maximum required torque	32 [kgf.cm]

6.3 TCP/IP으로 제어신호 전달

Jetson Nano와 XBOX 무선 패드, 터치 디스플레이로 컨트롤러를 제작했다. 컨트롤러와 로봇은 WIFI를 이용한 TCP/IP 무선 통신 방식으로 원격 조종이 가능하다. 컨트롤러에 사용되는 Jetson Nano는 클라이언트, 로봇에 사용되는 Jetson Orin NX는 서버로 이용하고 있다. 원격 조종 중 데이터 전달 성능에 대한 실험을 진행했다. 컨트롤러의 Jetson Nano는 XBOX 패드와 블루투스로 연결되어 패드의 값 변화가 있을 때만 데이터를 전송하는 방법으로 네트워크 트래픽을 최소화하는 방법을 채택하였다. Jetson Orin NX는 MCU와 UART로 연결되어있기에 시리얼 통신을 수행하였으며, 로봇이 촬영한 영상은 OpenCV를 이용해 처리 및 전송하였다. 실험 결과, 패드로 조작한 값이 MCU까지 올바르게 전달되었다는 것을 확인할 수 있으며 Fig. 13과 같이 자세제어가 가능하다.

7. 결 론

본 연구에서는 편심 메커니즘을 이용하여 바퀴 구동 로봇의 이동성과 효율성을 개선하는 새로운 설계 방법을 제안하고, 실험을 통해 그 효과를 검증하였다. 실험 결과, 로봇은 비

평탄 지형에서도 안정적으로 장애물을 넘고 균형을 유지할 수 있는 조건을 갖추었으며, 이는 서비스 로봇의 활용 범위를 넓힐 수 있는 중요한 성능개선으로 생각된다. 또한, Jetson Orin NX를 사용한 센싱과 제어 시스템을 적절히 설계하여 소형 지능 로봇 플랫폼의 모델을 제시하였으며 향후 로봇이 다양한 환경을 인식하고 실시간으로 감지하여 필요한 제어를 출력할 수 있는 다양한 방법들을 보여주었다. 본 연구에서는 편심 기어 구조의 개선과 함께 지능적인 단차 극복 영상처리 방법, PID를 이용한 평형 유지 방법 등을 결합함으로써, 로봇이 다양한 크기의 장애물을 효과적으로 극복하고 다양한 주행을 가능하도록 하였으며, 그 결과로 향후 소형 서비스 로봇의 사용 환경을 실질적으로 확장시킬 수 있는 가능성을 보여주었다. 앞으로의 연구에서는 로봇의 장애물 극복능력을 강화하고, 다양한 환경에서 효과적으로 작동할 수 있도록 센서와 알고리즘을 더욱 정교하게 통합하는 작업이 요구된다. 또한, 개발된 편심 메커니즘의 내구성과 실용성을 평가하기 위한 장기 테스트가 필요하다. 본 연구는 서비스 로봇뿐 아니라 자동화된 물류 처리, 첨단 제조, 재난 구조 작업 등 다양한 분야에 응용할 수 있는 유익한 기술을 제공하며, 이 분야의 발전에 기여할 것으로 기대된다.

References

- [1] L. Tagliavini et al., "Wheeled Mobile Robots: State of the Art Overview and Kinematic Comparison Among Three Omnidirectional Locomotion Strategies," *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, Vol.106, No.3, 2022.
- [2] DevicePlus - "Legs or Wheels: Which Is the Robotic Future?"
- [3] Science Online - "Wheeled Robots: Types, Uses, Advantages, and Disadvantages."
- [4] J. S. Ling Leong, K. T. Kin Teo, and H. P. Yoong, "Four-Wheeled Mobile Robots: A Review," *2022 IEEE International Conference on Artificial Intelligence in Engineering and Technology (IICAET)*, Kota Kinabalu, Malaysia, pp.1-6, 2022.
- [5] J. Zhao, T. Han, S. Wang, C. Liu, J. Fang, and S. Liu, "Design and Research of All-Terrain Wheel-Legged Robot," *Sensors*, Vol.21, No.16, 2021.
- [6] S. J. Yoo et al., "Structural Design Method of Quadruped Walking Robot for Overcoming Uneven Terrain," *Proceedings of Annual Conference of KIPS2022*, 2022.
- [7] H. W. Jung et al., "A Study on Autonomous Mobile Robots for Overcoming Uneven Terrain," *Proceedings of the Korea Information Processing Society Conference*, Vol.26, No.2, pp.802-805, 2019.



[8] S. G. Jung and M. C. Won, "Motion Planning and Control Method for Wheel-Legged Robots Overcoming Obstacles," *Journal of the Robotics Society*, Vol.17, No.4, pp.500-507, 2022.

[9] Hyundai Motor Group - MobED (Mobile Eccentric Droid), "Opening New Possibilities for Service and Mobility with a New Concept Mobile Platform."

[10] Korea Institute of Science and Technology Information, "ASTI Market Insight 032," p.3, Jul. 12, 2022.

[11] C. I. Park and D. H. Cho, "Comparison of Dynamic Characteristics Between Spur Gears and Helical Gears," *Journal of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering*, Vol.22, No.4, pp.358-364, 2012.

[12] J. S. Cho, J. H. Seo, S. C. Han, and S. H. Lee, "Research and Analysis on Leg-Wheel Robot Technology: From the Perspective of Defense Robots," *Journal of Defense Robot Studies*, Vol.2, No.3, pp.18-23, 2023.

[13] myrobotsolution - "Types of Serving Robots (Figure 1)"

[14] Sunwoo Kim, "TCP/IP Socket Programming," Hanbit Academy.

[15] downy25, "Avoiding-Obstacles-Using-LiDAR."



### 김민규

<https://orcid.org/0009-0007-6183-8586>  
 e-mail : ljj8471@naver.com  
 2019년 ~ 현재 한경국립대학교  
 전기전자제어공학과 학사과정  
 관심분야 : Robot Software, Embedded System, Sensor Processing



### 선지호

<https://orcid.org/0009-0000-6243-5788>  
 e-mail : hoyaseon@gmail.com  
 2019년 ~ 현재 한경국립대학교  
 전기전자제어공학과 학사과정  
 관심분야 : Robot Software, Embedded System, Microcontroller



### 정세진

<https://orcid.org/0009-0005-6519-8112>  
 e-mail : asksejin@gmail.com  
 2019년 ~ 현재 한경국립대학교  
 전기전자제어공학과 학사과정  
 관심분야 : Robot, Electric Vehicle Powertrain, Mechanical Design



### 김상훈

<https://orcid.org/0000-0001-5351-8215>  
 e-mail : kimsh@hknu.ac.kr  
 1987년 고려대학교 전자공학과(학사)  
 1989년 고려대학교 전자공학과(석사)  
 1999년 고려대학교 전자공학과(박사)  
 1989년 ~ 1994년 LG반도체 연구원  
 2004년 ~ 2005년 University of Maryland College Park, Visiting Professor  
 1999년 ~ 현재 한경국립대학교 ICT로봇기계공학과 정교수  
 관심분야 : Image Processing, Robot Vision, Embedded System