

대한기계학회 주선

제13회 전국학생설계경진대회(2023년)

설계 최종 보고서

참가부	대학부 (O)				
참가분야	공모주제 () / 자유주제 (O)				
참가팀명	Loaker-Bogie 초콜릿 발렌타인 에디션				
설계제목	개선된 로커보기(Rocker-Bogie) 구조를 채택한 로봇 구동부 설계				
지도교수/교사	(소속) 아주대학교 (성명) 강대식 (연락처) (이메일)				
대표자 (신청인)	성명	소속	연락처 (휴대폰)	E-mail	주소
	최준혁	아주대학교 기계공학과			

참가팀원 인적사항

NO	성명	소속 / 학년	E-MAIL
1	최준혁	아주대학교 기계공학과 / 4학년	
2	허웅	아주대학교 기계공학과 / 4학년	
3	백지수	아주대학교 기계공학과 / 4학년	
4	장채원	아주대학교 기계공학과 / 4학년	
5	전수빈	아주대학교 기계공학과 / 4학년	
6			

설계 요약문

참가분야	공모주제 () / 자유주제 (O)
참가팀명	Loaker-Bogie 초콜릿 발렌타인 에디션
설계제목	개선된 로커보기(Rocker-Bogie) 구조를 채택한 로봇 구동부 설계
대표자명	최준혁
요약문	본 설계는 험지에서도 안정적인 주행 능력을 갖는 구동 메커니즘 제작을 목표로 한다. AI의 발달에 따라 자율 주행 로봇 상용화를 준비하면서 로봇의 구동부의 중요도가 올라가고 있다. 배달 로봇 서비스가 실질적으로 사용되기 위해서는 로봇이 계단을 오르거나 연석과 같은 장애물을 넘어 평지와 같은 지정 도로만 다니지 않고 배달 시간을 단축할 수 있어야 한다. 그러나 험지에서 안정적인 주행 능력을 갖는 로커보기 구조는 낮은 무게 중심을 가져야 하기 때문에 물건을 적재해야 하는 배달 로봇에 바로 적용하기에 적합하지 않다. 따라서 로커보기 구조의 링크 길이를 최적화하여 물건 적재로 인해 무게 중심이 높아져도 안정적인 구동을 할 수 있게 설계를 진행하였다. 설계 수행은 먼저 ANSYS 구조 해석을 통해 로커와 보기의 안정적인 형상을 구한 뒤, 유전 알고리즘을 이용해 링크 길이를 최적화하였다. 적절한 제한 조건과 설계 변수를 설정한 뒤 적합도 함수와 유전 알고리즘을 이용해 세대를 거쳐 목적함수에 맞는 링크 길이를 도출한다. 도출된 링크 길이를 가지고 S/N비를 계산하여 무게 중심의 위치 또한 최적화를 진행한다. 로봇이 계단을 등판할 때 계단의 기울기와 무게중심의 궤적 사이 면적이 최소화될수록 구동 안정성이 증가하기 때문에 S/N비 넓이가 최소화가 될 수 있게 설계를 진행하였다. 추가로 상부의 물건 적재함의 수평유지 최적화도 진행하였다. 물건을 상부에 적재할 경우 계단을 등반하거나 경사를 지나가면서 물건이 한쪽으로 쏠려 주행 안정성이 떨어질 위험이 있다. 따라서 자이로센서와 아두이노를 이용해 서보 모터를 제어하여 상부의 수평을 유지하였다.
설계프로젝트의 입상 이력	

개선된 로커보기(Rocker-Bogie) 구조를 채택한 로봇 구동부 설계

최준혁* · 허웅** · 백지수** · 장채원** · 전수빈** · 강대식**
*아주대학교 기계공학부 · **아주대학교 기계공학부

Design of Robot drive adopting improved Rocker-bogie Structure

Jun-hyeok Choi^{*}, Woong Heo^{**}, Jisu Baek^{**}, Chae-won Jang^{**}, Subin Jeon^{**}, and Daesik Kang^{**}

^{*} School of Mechanical Engineering, Ajou University

^{**} School of Mechanical Engineering, Ajou University

Key Words: Rocker-Bogie Mechanism(로커보기 메커니즘), Design Optimization(설계 최적화), Genetic Algorithm(유전 알고리즘), Stair(계단)

초록: 본 연구는 로커보기(Rocker-Bogie) 구조를 활용하여 높은 무게 중심에도 안정한 주행을 보장하는 구동부를 개발하는 것을 목표로 한다. 설계 변수를 설정하고 적절한 계수와 가중치를 할당하여 최적화 함수를 적용하며, 유전 알고리즘(Genetic Algorithms)을 활용해 링크 길이를 최적화한다. S/N비를 활용하여 무게중심도 최적화하고 상부 수평 유지 장치와 쇼바를 도입하여 충격을 완화 시켜 주행 안정성을 향상시킨다. 무게 중심이 20% 높아졌음에도 계단 및 연석을 등반할 수 있고, 주행안정성을 가지는 구동부이기 때문에 이를 통해 자율 주행 배달 로봇 시장에 혁신적인 기여를 기대할 수 있다.

Abstract: This study uses the rocker bogie structure to develop a driving unit that ensures stable driving even with a high center of gravity. An optimization function is applied by assigning design variables, coefficients, and weights, and the link length is optimized through a genetic algorithm. The S/N ratio is used to optimize the center of gravity, and the upper horizontal maintainer and shock absorber are used to alleviate shock to improve driving stability. Even though the center of gravity has been raised by 20%, it has high driving stability when climbing stairs, which can contribute to the delivery robot market.

1. 서 론

인공지능의 발달과 알고리즘의 발전에 따라 자율 주행 로봇에 대한 관심이 증가하고 있다. 국내 일부 업체는 배송 물품을 고객에게 전달하는 마지막 과정 ‘ラスト 마일’에 자율 주행 배달 로봇을 도입하기 위해 준비하고 있다. 또한 최근 자율 주행 로봇이 합법적으로 보도를 통행하게 하는 법안이 최근 국회 소위를 통과하고, 산업이 확대될 수 있는 규제 개선이 2023년 내 본격화되기 때문에 이에 따라 자율 주행 배달 로봇 산업 발전은 더욱 박차를 가할 것으로 예상된다. 구체적인 세부 내용이 정해지면 로봇을 이용한 단거리 배달 서비스 상용화도 가능해질 전망이다.

세계시장조사업체 마켓앤마켓이 2021년 4월 발표한 자료에 따르면 세계 배달로봇 시장 규모는 연평균 35%씩 성장해 2026년에는 9억 5700만 달러(약 1조 2800억원)에 이를 것으로 전망된다.

기술동향조사기관 렉스리서치 또한 ‘라스트 마일’ 관련 로봇 시장 규모가 2030년까지 480억 달러(약 60조 원) 규모로 성장할 수 있다고 분석했다. 이러한 전망으로 뉴빌리티, 우아한형제들 등 자율 주행 로봇 관련 기업은 아파트, 빌딩 밀집 지역을 중심으로 배달 서비스를 시작해, 최종적으로 주택단지까지 사업 영역을 확대할 방침이라고 밝힌 바 있다.

그러나 현재 시행되고 있는 배달 로봇 서비스는 소비자와 업주들한테 외면 받고 있다. 광고호수공원 인근에서 배달 로봇 서비스 ‘딜리’에 대해 광고 엘리웨이 2층에서 식당을 운영하는 업주는 “로봇이 계단을 올라올 수 없어 1층까지 내려가 음식을 전달해야 해서 손님이 물리는 시간에는 불편함이 있다”, “로봇 배송 시간이 도보로 200m 가량 떨어진 카페에서 커피 2잔이 배달되기까지 25분이 걸린다.”고 말했다. 즉, 단지 내 가게를 직접 방문해 음식을 찾기까지 최대 10분이 걸리는 반면, 평지 같은 지정된 도로로만 이동하는 로봇의 특성상 시간이 두 배 이상 소요되어 편의성이 떨어진다는 것이다.

이런 사례를 토대로 실생활에 서비스 로봇이 활성화되려면, 실외 이동을 위해 로봇의 구동부에 대한 연구는 매우 필수적인 분야라고 말할 수 있다. 빠른 속도와 다양한 도로 환경에서 주행할 수 있는 험지 적응력, 경제성까지 갖춘 로봇의 구동부를 하루빨리 개발하여 실생활에 로봇을 도입할 수 있는 준비를 해야 한다.

Rocker-Bogie 구조란 화성 탐사 로봇의 구동부 구조로, 험지에서도 안정적인 주행 능력을 갖는다. 전복되지 않고 장애물을 넘을 수 있고 계단 등반도 가능하다. 하지만 주행 안정성을 확보하기 위해 낮은 무게 중심을 가지며, 센서를 이용한 데이터 취득이 목적이기 때문에 물건을 적재하는 배달 로봇에 적용하기에는 적합하지 않다. 즉, 높은 무게중심을 갖고 험지를 주행하는 경우엔 뛰어난 성능을 보장할 수 없는 상황이다. 따라서 본 보고서에서는 로커보기 구조를 배달 로봇 구동부에 채택할 수 있도록 최적화 작업을 진행하여, 높은 무게중심을 갖는 배달로봇의 안정적인 주행성능을 보장하고자 한다. 이러한 아이디어는 물건 적재 가능과 안정적인 험지 주행이라는 장점을 통해 자율 배달 로봇 산업뿐만 아니라 재난과 응급 등 다양한 분야에서 Rocker Bogie 구조가 사용될 수 있도록 할 것이다.

2. 설계핵심내용

2.1 설계 문제의 정의

선행 기술 조사 결과, 빠른 속도와 간단한 구조로 험지 주행 가능한 배달로봇의 구동부는 ‘로커보기 구조’가 적합하다는 것을 알 수 있다. 그러나 로커보기 구조는 메커니즘 특성상 낮은 무게중심을 가지기 때문에 물건 적재로 인해 비교적 높은 무게중심을 갖는 배달로봇에 채택하기에는 보완이 필요하다. 대부분의 로커보기 구조는 무게중심이 로봇 높이의 1/3 지점보다 아래 위치하기 때문에 본 설계에서는 무게 중심의 높이를 기존보다 20% 이상으로 높였을 때의 로봇의 주행안정성 확보를 목표로 한다. 이 과정을 링크 길이 최적화로 구현하여 물건 적재가 가능하며 험지 주행 안정성이 확보된 로봇 구동부를 제작할 것이다.

추가로 배달로봇은 배달물을 손상없이 배달하는 것도 중요하므로 물건 적재부에 수평 유지 기능을 넣을 예정이다. 물건을 적재하고 험지를 주행할 경우 물건이 한쪽으로 쏠려 로봇에 무게 분포가 고르지 않게 되는 문제점이 발생한다. 이는 주행 안정성을 떨어뜨리고 특정 부품에 부하를 주어 문제가 생길 수 있으므로, 수평 유지 기능은 필수 기능이라 판단하였다.

2.2 설계 방법 및 제약조건

2.2.1 설계 문제 1

Table 1 Design Problem 1

설계 문제 1	기존 무게중심보다 20% 높은 무게중심을 갖도록 로커보기(Rocker-bogie) 구조의 링크길이를 최적화 한다.
방법	유전 알고리즘을 통해 링크 길이를 최적화하고, S/N비를 활용해 주행안정성과 무게중심 위치를 확인한다.

유전 알고리즘이란, 찰스 다윈이 제안한 생물의 자연선택에 따른 적자생존 법칙을 컴퓨터 알고리즘에 적용한 것이다. 자연선택이란 특수한 환경에서 생존에 적합한 형질을 지닌 개체군이, 그 환경에서 생존에 부적합한 형질을 지닌 개체군에 비해 ‘생존’과 ‘번식’에 이익을 본다는 이론이다. 이런 진화이론을 알고리즘에 적용하여 계산이 지나치게 복잡한 문제를 풀거나 최적의 해에 가까운 답을 얻을 수 있다. 따라서 Matlab 내 유전알고리즘 Tool에 적절한 제한 조건을 주어 링크 길이를 최적화하고 값을 도출한다.

S/N비란 계단 기울기(Signal)와 실제 계단 등반 시 로봇의 무게중심 position tracking line(Noise)의 넓이 차이로, 값이 작을수록 험지 주행 성능이 우수하다는 것을 의미한다. 유전 알고리즘을 통해 도출한 링크길이를 이용해 S/N비를 해석하여 가장 최적의 링크 길이를 선정한다.

2.2.2 설계 문제 2

Table 2 Design Problem 2

설계 문제 2	상부 수평 유지 기능을 통해 물건 적재 시 주행 안정성을 확보하고 경제성을 높인다.
방법	아두이노와 자이로센서로 로봇의 기울기값을 측정하고 서보 모터로 각도를 보상하여 상부의 수평을 유지한다.

자이로센서란 회전 속도나 방향을 감지하는 센서로 가속도계와 함께 작은 칩 안에 구현된다. 회전 운동에 따라 발생하는 진동이나 전기 신호 변화를 감지하여 회전속도와 방향을 계산하고, 이렇게 계산된 데이터는 자동차, 핸드폰, 게임 콘솔 등 다양한 기기에 활용된다. 본 프로젝트에서는 MPU6050 자이로센서를 사용할 예정이다. MPU6050은 3축의 가속도와 방향, 온도 정보를 제공하며 저렴하고 다양한 플랫폼에서 지원되기 때문에 설계에 사용하기 적합하다고 판단하였다.

서보모터란 특정 각도나 위치로 회전하는 전동모터로 전류 및 전압 공급을 받아 작동한다. 자이로센서에서 측정한 기울기만큼 서보모터를 반대 방향으로 회전시켜 상부가 항상 지면과 수평 상태를 유지할 수 있게 아두이노 코드를 작성한다. x축과 y축에 서보모터를 설치해 총 2축을 제어할 수 있게 제작할 예정이다.

위에서 작성한 내용은 본 프로젝트에서 해결해야 할 주된 목표이다. 작성한 것 외에도 프로젝트 의도에 맞게 목표를 정하고 설계와 제작을 진행한다.

2.2.3 제약 조건

프로젝트는 배달을 목표로 하는 주행 로봇이지만, 본 설계는 실제로 시제품으로 내는 것이 아닌 솔루션을 제시하는 프로토타입 제작이기 때문에 제한 조건을 다음과 같이 정한다. 제작 시간과 예산을 고려하여 모델의 스케일을 줄이고 수정에 용이한 소재를 선정하였다.

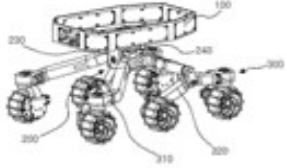
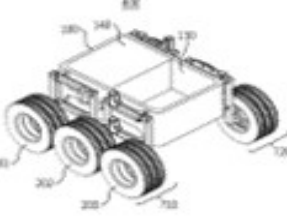
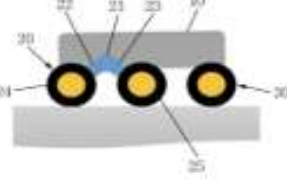
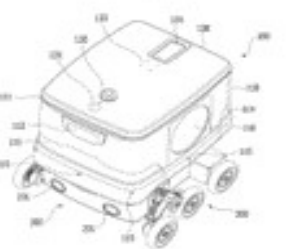
Table 3 Design Restriction Conditions

항목	제한 조건	제한 이유
최대 적재 하중	2kg	일반적으로 2인분 기준 배달 음식의 무게가 2kg인 것을 감안하여 선정하였다.
평균 주행 속도	4.2km/h	로봇의 보도주행을 목표로 하므로 보행자 안전을 위해 성인 평균 보행 속도 4.5km/h보다 느린 속도를 채택하였다.
제작 소재	PLA	프로토타입 제작 시 접근성과 활용도가 높아 선정하였다.
	CFRP	CFRP(carbon fiber reinforced plastics)는 높은 강성과 강도, 우수한 내식성, 가벼운 무게로 링크 소재에 적합하다.
주행 가능 연석 높이	15cm	건축 설계법 상 도로 연석의 높이는 일반적으로 15cm이므로 최대 등반 높이도 동일하게 선정하였다.
바퀴 지름	13.4cm	연석 높이와 시중에 판매하는 바퀴를 고려하였다.

2.3 선행기술 조사 및 회피 방법

본 아이디어에 관한 특허기술을 조사한 결과, 로커보기 구조처럼 6륜구동을 사용하여 주행 안정성을 확보한 구조는 존재하지만 대부분 구동방식이 복잡해 많은 제어가 필요하고, 무게중심이 낮은 형상을 보이고 있다. 또한 물건 적재가 어렵고, 물건 적재 공간이 따로 있다고 하더라도 험지 주행 시 물건이 한 쪽으로 쏠려 주행이 안정성이 떨어지는 것을 알 수 있었다.

Table 4 Previous research

선행 기술	설계도 또는 그림	특징
질량중심 가변 메커니즘을 갖는 로버 플랫폼 (공개번호 1020190101012)		로버 바디를 뒀과 뒀힐 기어를 이용해 롤링과 피칭을 통해 질량중심 가변시켜 주행 능력 향상
가변링크를 포함하는 주행체 및 이를 포함하는 이동로봇 (등록 번호 101423224)		지형에 따라 주행체의 주행부 구조와 형태를 가변 링크를 이용해 실시간으로 변화시켜 주행 안정성 향상
장애물 극복을 위한 바퀴 구조체 및 이를 이용한 이동체 (공개번호 1020210077042)		실내외 이동 시 일정 범위내의 장애물을 극복, 방향 전환과 같은 민첩한 수평 이동이 용이한 이동체
자율주행로봇 (등록 번호 102341218)		내부에 화물 운송 공간과 커버를 구비한 상부 모듈과 단턱 또는 계단을 극복할 수 있도록 노면 또는 지면에 비동시적으로 접촉할 수 있는 다수의 바퀴를 가진 자율 주행 로봇

2.4 설계 내용

2.4.1 ANSYS 해석을 통한 Rocker-bogie 형상 설계

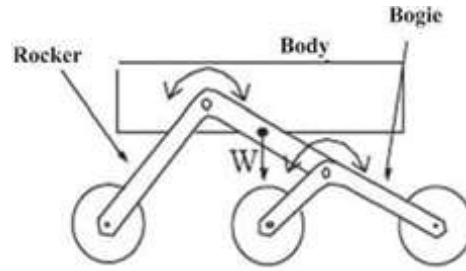
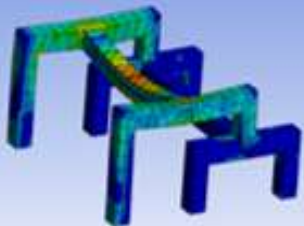
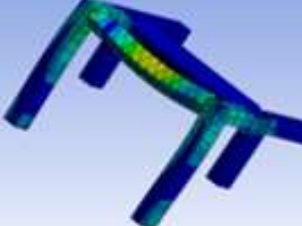
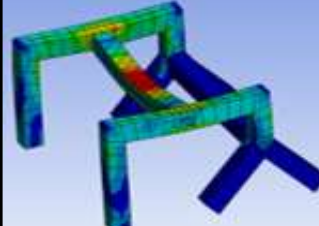


Figure 1 Rocker-Bogie

로커보기(Rocker Bogie) 구조에서 로커(Rocker)은 주행 중에 로봇의 전체 모체를 좌우로 기울여 지형의 불규칙한 표면을 따라 이동하면서 안정성을 유지할 수 있게 한다. 보기(Bogie)는 로봇의 각 주행 유닛을 지지하고 연결하고 독립적인 상하 움직임을 허용해 지형의 불규칙한 표면에 대한 타격을 완화한다. 링크 길이의 구조를 채택하기 위해 먼저 로커 보기에 대한 자료 조사를 진행하였다. 로커와 보기의 디자인이 삼각형, 사각형 등 다양하게 구성할 수 있기 때문에 물건이 적재되는 배달로봇의 특성을 고려하기 위해 하중을 잘 버티는 형상 선정을 진행하였다.

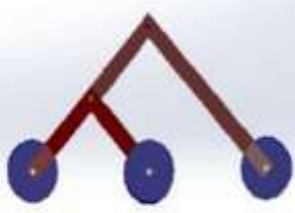
Table 5 Rocker-Bogie shape

Rocker/Bogie	사각형/사각형	삼각형/삼각형	사각형/삼각형
해석 결과			
최대 응력[kPa]	147.1	143.2	133.9
최대 변형률[μ]	0.766	0.746	0.696

삼각형, 사각형으로 구성된 로커보기 형상 3개를 ANSYS 해석한 결과, 최대응력은 133.9kPa, 최대 변형률은 0.696μ로 가장 하중을 잘 버티는 rocker-사각형, bogie-삼각형 링크 구조를 채택했다. 로커가 사각형 형상이기 때문에 적재능력 향상과 움직임의 유연성을 기대할 수 있고, 보기가 삼각형 형상이기 때문에 이동 시 지형에 따른 바퀴의 안정성을 확보할 수 있다. 즉, 우리의 아이디어 목표에 유리한 형상임을 알 수 있다.

본 프로젝트에서 위 목표를 달성한 정도를 판단하기 위해 비교군을 선정했다. 선정한 비교군은 다음과 같으며 논문 Design of Rocker-Bogie Mechanism(Abhisek Verma 외 5명)을 참고했다.

Table 6 Selection of comparative object

	Bogie	각도	45°
		길이	115mm
	Rocker	각도	45°
		길이	2*bogie_link

그러나 위의 비교군의 형상(로커가 人형상)은 본 프로젝트에서 선정한 형상과 다르기 때문에 비교의 정확도를 높이기 위해, 선정한 비교군을 다음과 같은 기준으로 수정하고자 한다.

1. 비교군과 우리의 모델의 길이는 동일하다고 가정한다.
2. 비교군의 무게중심 x축 좌표 위치는 동일하다고 가정한다.
3. 비교군의 바퀴간 간격은 동일하다고 가정한다.

비교군(기존형상)을 수정한 결과(솔웍 비교군)이다. 본 보고서에서는 이 이후로는 솔웍 비교군 형상을 비교군이라고 표현하겠다. 이 비교군을 이용해 뒷단에서 S/N비를 통한 구동안정성 평가를 하여 무게중심 증가에 대한 목표 달성도(설계 목표 : 무게중심 20%이상 증가)를 판단하고자 한다.

Table 7 Solidworks Comparison Object



2.4.2 유전 알고리즘을 이용한 링크 길이 최적화

바퀴의 크기, 제품 크기 등을 제한 조건으로 선정하고 링크 길이 l_1, l_3, l_4 를 설계 변수로 두어 Matlab을 이용해 유전 알고리즘 최적화를 진행하고 최종적으로 링크의 길이(l_1, l_2, l_3, l_4), 링크의 각도(θ_1, θ_2)를 구한다. Matlab 내 “Optimization Toolbox-genetic algorithm”에 적합도 함수를 대입하고 선택과 교차, 돌연변이, 대치 등의 방법으로 세대를 거쳐 목적함수에 맞는 링크 길이를 도출한다.

링크 길이와 링크 각도의 구조는 다음과 같다.

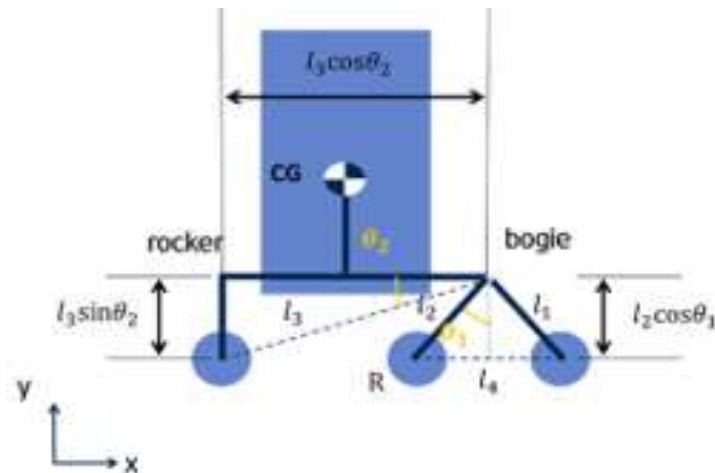


Figure 2 Set link length and link angle

링크 길이와 링크 길이 구조식을 토대로 휠과 링크, 휠과 휠 사이의 간섭과 로봇의 전체 크기를 고려하여 제한 조건을 정한다. 적합도 함수는 본 설계 목적에 맞게 재구성하고 가중치와 변수를 변경하여, 최종적으로 링크의 길이(l_1, l_2, l_3, l_4), 링크의 각도(θ_1, θ_2)를 도출한다.

Table 8 Define variables and apply fitness functions

변수	링크 길이	l_1, l_2, l_3, l_4		변수 정의	링크 길이	$l_2 = l_1$
	링크 각도	θ_1, θ_2			링크 각도	$\theta_1 = \sin^{-1}(\frac{l_4}{2 \times l_1})$
						$\theta_2 = \sin^{-1}(\frac{l_2 \times \cos\theta_1}{l_3})$
제한 조건	$67mm = R_i < l_i \leq 550mm$ (67mm=바퀴의 반지름) $l_1 + l_2 \geq l_4, \ l_3 - l_2 > 2R \ , \ \theta_1 + \theta_2 < 90^\circ$					
적합도 함수	기존 함수	$fitness = -w_1 s \mu^* + w_2 \epsilon_\mu^* - w_3 (s-1)P + w_4 c_{lat} + w_5 c_{long} + w_6 (\epsilon_1) + w_7 c_{traff} + w_8 z_{rw} + w_9 \theta_{rover}$				
	적용 함수	$fitness = -\omega_1 s \mu^* - \omega_3 (s-1)P + \omega_4 c_{lat} + \omega_5 c_{long} + \omega_7 c_{traff} + \omega_9 \theta_{rover}$				
		항 삭제 근거	$w_2 \epsilon_\mu^*$	마찰계수 오차와 관련된 항으로 영향이 미미하다.		
			$w_6 (\epsilon_1)$	바퀴에 걸리는 부하 차이에 관한 항으로 상부 수평 유지를 통해 바퀴에 동일한 부하가 가해진다고 가정한다.		
			$w_8 z_{rw}$	해변처럼 모래로 인해 바퀴가 들어가는 지면에 대한 항으로 본 설계는 아스팔트 도로를 주행하므로 삭제한다.		

Table 9 Selection of fitness function coefficients and weights

적합도 함수 계수 결정			
마찰계수 μ^*	$\mu^* = \frac{T}{N} = \frac{2500gf \cdot cm}{22rpm} = 0.1065$		
힘 P	$P = \frac{R_M g_M^2}{K_t^2} \sum_{i=1}^n \tau_i^2 = \frac{(12V/125mA)(1/316)^2}{(2500gf \cdot cm/12V)^2} (2500gf \cdot cm)^2 = 0.1384$		
안정성 $c_{lat}, c_{long}, c_{traffic}$	안정성이 있는 경우 1000 그렇지 않으면 0이다. c_{lat} (횡방향 안정성)과 c_{long} (종방향 안정성)은 200, $c_{traffic}$ (주행 안정성) 500이다. 연석, 계단 등 험지를 주행하기 때문에 위와 같은 값으로 결정한다.		
설계 각도 θ_{rover}	$\theta_{rover} = \frac{\gamma_1 + \gamma_2}{2} = \frac{(\pi/2 - \theta_1) + (\pi/2 - \theta_2)}{2}$		
가중치 결정			
$w_1 = 0.3$	마찰과 관련된 항으로 주행에 영향을 주므로 가중치를 크게 준다.	$w_3 = 0.97$	모터의 힘과 관련된 항으로 주행에 영향을 주기 때문에 가중치를 크게 준다.
$w_4 = 0.03$	계수의 값이 다른 항보다 크기 때문에 작은 가중치를 준다.	$w_5 = 0.01$	계수의 값이 다른 항보다 크고, 기존 논문에 비해 지형은 단조롭기 때문에 작은 가중치를 부여했다.
$w_7 = 0.05$	계수의 값이 다른 항보다 크기 때문에 작은 가중치를 준다.	$w_9 = 0.94$	변수를 대입한 항이기 때문에 적합도 함수에서 영향을 많이 주기 때문에 가중치를 크게 준다.

위와 같이 Matlab 내의 Optimization Toolbox - GA algorithm을 이용해 링크 길이 최적화를 진행하였다. 다음은 최적화를 진행해 구한 l_1, l_3, l_4 를 이용해 링크 길이와 링크 각도를 계산해 set로 정리한 표이다.

	L1	L2	L3	L4	theta1	theta2
try1	0.2226	0.2226	0.5833	0.1867	24.7824	20.2747
try2	0.1807	0.1807	0.4967	0.1582	25.9661	19.0911
try3	0.204	0.204	0.5709	0.1813	26.3935	18.6638
try4	0.3067	0.3067	0.5162	0.3005	29.3327	31.1984
try5	0.204	0.204	0.5709	0.1813	26.3935	18.6638
try6	0.1472	0.1472	0.5737	0.1585	32.5654	12.4919
try7	0.2642	0.2642	0.5423	0.1575	17.3391	27.7181
try8	0.183	0.183	0.5186	0.1643	26.6778	18.3795
try9	0.2109	0.2109	0.5122	0.1475	20.4792	22.6843
try10	0.1909	0.1909	0.55	0.14	21.5134	18.8382

Figure 3 Derivation results of link length and link angle

2.4.3 S/N비를 이용한 무게중심 위치 최적화

S/N비란 “signal / noise”를 의미하며 signal은 계단의 기울기, noise는 무게중심의 궤적으로 선정했다. 로봇이 계단을 등판할 때 계단의 slope와 무게중심의 궤적 사이 면적이 최소화될수록 구동 안정성이 증가한다는 것을 자료 조사 과정에서 알 수 있었다. 무게중심의 궤적을 추적한 뒤, S/N비를 계산해 넓이가 최소가 되도록 최적화를 진행한다.

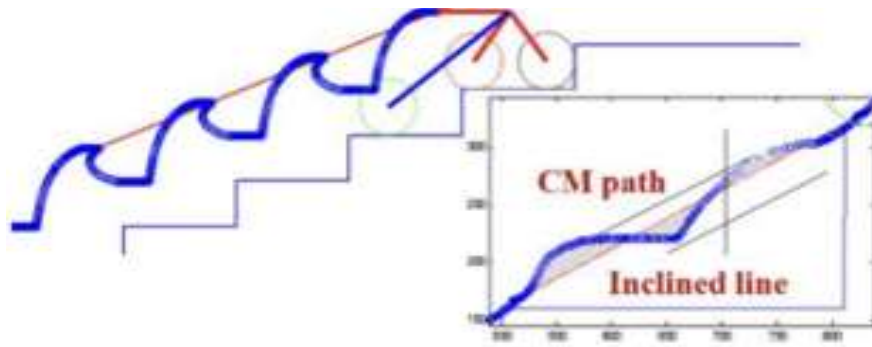


Figure 4 S/N ratio

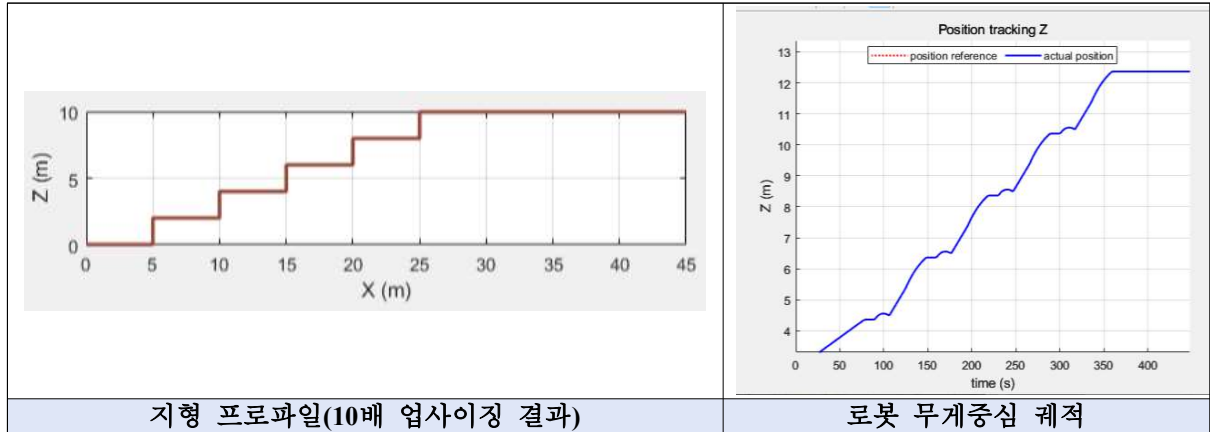
위와 같이 로봇의 구동에 대한 안정성을 $S(\text{계단의 기울기})/N(\text{무게중심의 궤적})$ 비를 이용하여 평가를 진행했다. 로봇이 계단을 오를 때 그려지는 무게중심의 궤적이 직선의 계단 기울기 형상에 떨어질수록 계단을 등반하는 동안 로봇의 움직임이 일정하지 못한다는 것을 의미한다. 그래서 계단의 기울기를 가진 직선과 로봇의 무게중심 궤적 사이의 면적을 의미하는 S/N 비의 값을 최소화하는 것을 최적화 목표로 선정했다.

S/N 비를 구하기 위해서는 Matlab을 이용하여 계단을 등반하는 시뮬레이션이 구성하고 시뮬레이션을 통해 로봇의 무게중심이 그리는 궤적을 확인해야한다. 이를 위해 아래와 같이 simulink를 활용하여 로봇의 운동을 구현하였고 이를 분석하였다.

먼저 로봇이 올라갈 지면의 형상을 설정해 주었다. 더욱 정확한 시뮬레이션을 위해 각 링크 길이 및 지면의 길이를 10배 업사이징을 진행했다.

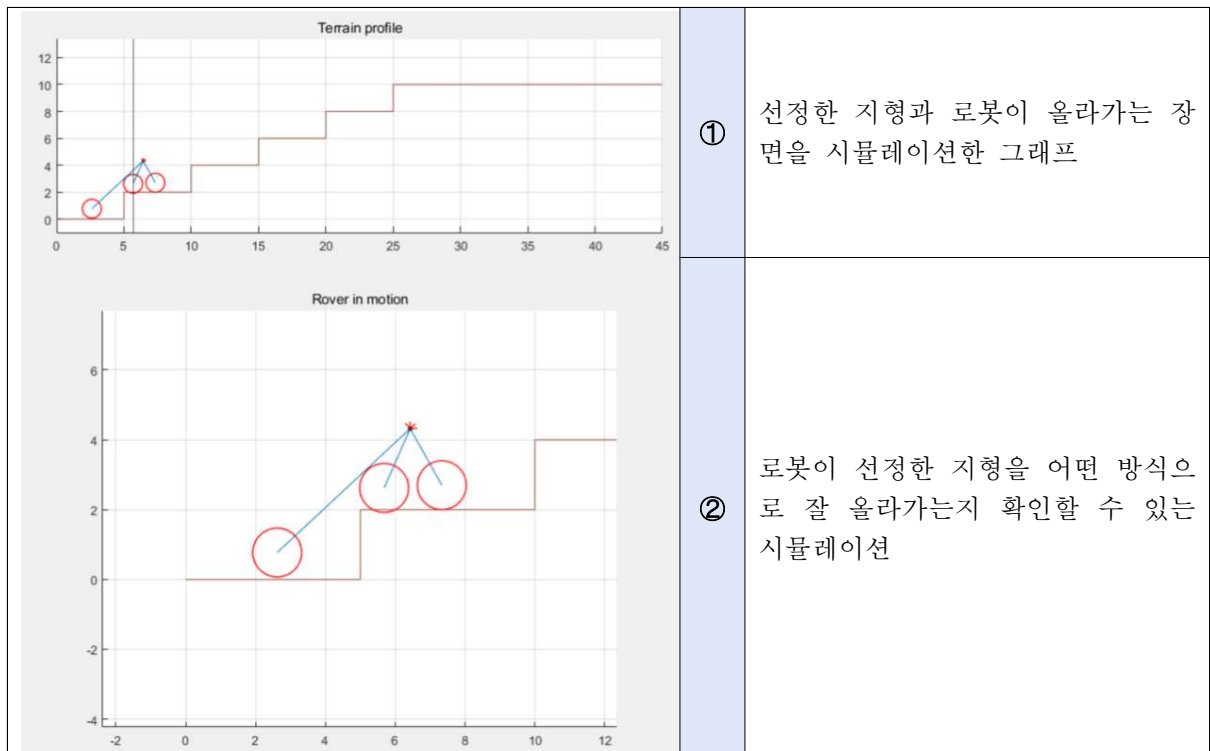
시뮬레이션 결과, 우측의 그래프와 같이 시간(x축)에 따른 무게중심이 그리는 궤적(y축)의 변화를 확인할 수 있었다. 이 데이터 값을 이용하여 계단의 기울기로 인해 만들어지는 직선과 비교해 만들어지는 면적의 합을 계산하였다.

Table 10 Stair topography and center of gravity trajectory



본 프로젝트에서는 속도보다는 로봇의 무게중심이 이동하는 궤적에 집중했다. 그래서 속도 추적 오차의 값과 속도 값이 정확하지 않은 상황은 배제하였고 위치 추적 오차의 값은 0에 수렴하기 때문에 신뢰성 있는 위치 추적 궤적이라는 것을 알 수 있었다. 이처럼 로봇의 속도, 위치 값을 plot한 이후 링크 길이에 따른 각각의 시뮬레이션을 진행했다. 다음은 업사이징한 지형을 각 try set의 model이 등반하는 과정을 시뮬레이션한 결과이다.

Table 11 Simulation result



이처럼 유전 알고리즘을 통해 선정된 링크 set을 각각 S/N비를 통해 안정성이 제일 높은 개체를 선정한 후, 최종적인 링크의 길이로 선정하였다. 다음은 각 set에 대해 S/N비 최적화를 진행한 결과이다. 아래의 자료에서 확인할 수 있듯이 try 4의 링크 set이 45.038로 가장 작은 것을 알 수 있다. 따라서 본 프로젝트에서는 구동 안정성이 가장 뛰어난 try 4의 링크 set을 이용해 모델을 제작하고자 한다.

서보모터는 90가 기준값이기 때문에 입력값을 90으로 주었을 때는 회전하지 않는다. $0 \leq \text{입력값} < 90$ 이면 시계방향으로 회전하고 $90 < \text{입력값} \leq 180$ 이면 반시계방향으로 회전한다. 90을 기준으로 서보 모터에 입력된 숫자의 차가 클수록 빠른 속도로 회전한다. 따라서 'servoMidpoint'을 90으로 정의하고 시계방향으로 회전하면 회전각만큼을 더해주어 반시계방향으로 회전하고, 반시계방향으로 회전하면 회전각만큼을 빼주어 시계방향으로 회전하여 상부 수평 유지가 가능하도록 코드를 작성한다. 원하는 축의 회전각은 atan2 (다른 회전축의 가속도, 또 다른 회전축의 가속도)로 계산하고 Radian 값을 Degree로 변환한다.

회전각은 가속도를 이용해 계산하기 때문에 급발진과 급정거를 하거나 충격을 받으면 상부 구조가 수평을 유지하고 있어도 자이로센서에서는 회전이 발생한 것으로 판단한다. 따라서 회전각의 기준을 정해 그 수치를 넘기면 노이즈라 판단하여 서보 모터의 회전을 제한하였다. 기준 anglepoint를 20°로 정해 회전각에 따라 servoSensitivity를 조절하였다.

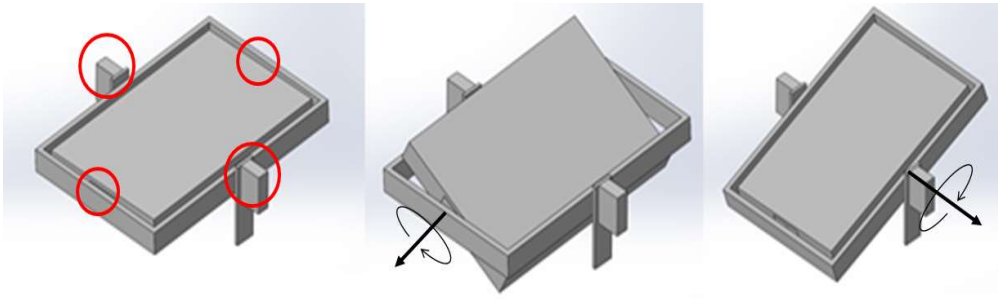


Figure 6 Horizontal Maintance Struture

상부 수평유지를 실행한 결과 및 전체 회로도에는 다음과 같다.

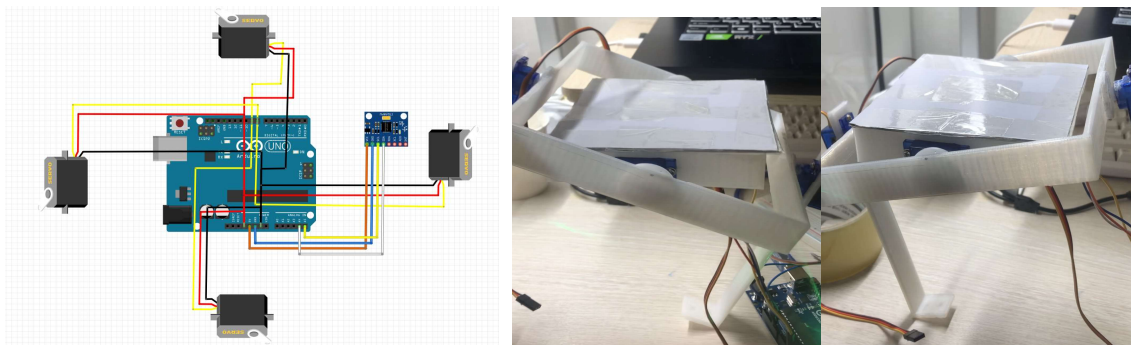


Figure 7 Circuit diagram and fabrication

상부 수평 유지의 경우, 초기에는 두 개의 서보모터로 하나의 축을 제어하는 설계를 하였으나, 서보모터끼리 출력 속도가 다른 점을 고려해 하나의 서보모터로 하나의 축을 제어하는 방식으로 변경하였다.

2.4.5 블루투스 모듈을 통한 모터 구동

로봇 구동 중 직진, 좌회전, 우회전, 후진 등을 조종하기 위해 HC-06 블루투스 모듈과 모터 6개를 아두이노 회로에 연결했다. [Bluetooth RC Controller] 앱을 설치하고, 이 앱의 작동 화면은 다음과 같다.

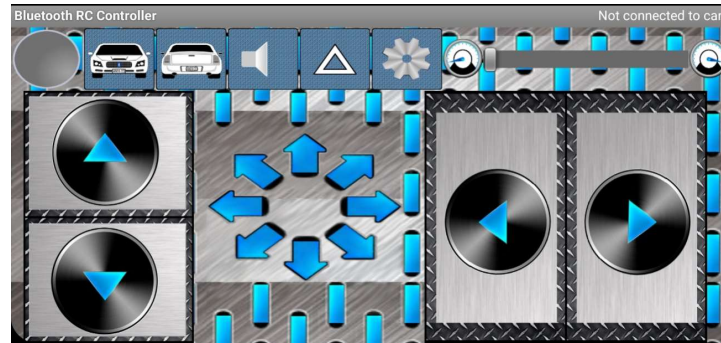


Figure 8 Arduino Bluetooth RC controller application screen

작동 버튼을 누른 후 5초 정도 뒤늦게 모터가 구동하는 현상이 발생하여 앱 자체의 설정에서 data stream frequency를 ‘continuous stream (every 50ms)’에서 ‘On change/touch’로 변경한 결과, 버튼을 누르는 즉시 모터가 구동하는 것을 확인할 수 있었다. 앱 내부 설정에 따라 직진, 후진 및 좌우회전이 가능하도록 Arduino code를 작성하였다.

Table 14 Setting of application and Arduino code

F	Forward	B	Back
L	Left	R	Right
S	Stop		

2.4.6 Solidworks를 이용한 등판 해석 및 링크의 자유도로 인한 상부 움직임 제어

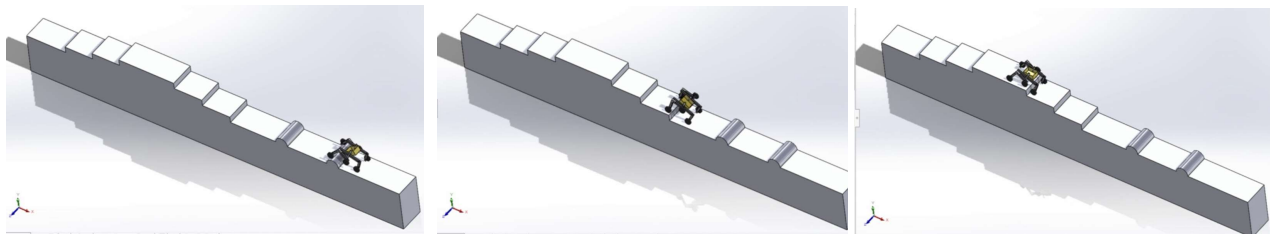


Figure 9 Solidworks 3D simulation (1)

최적화 결과로 나온 링크 길이와 형상을 기반으로 앞서 선정된 15cm 높이의 계단, 울퉁불퉁한 도로를 잘 구동할 수 있는가에 대해 Solidworks로 3D simulation을 진행하였다. 지형과 로봇의 형상을 실제와 동일하게 구현하였으며, 각 모터에 출력을 주어 평지와 계단 등반, 울퉁불퉁한 지형에서 로봇의 거동 모습을 확인하였다.

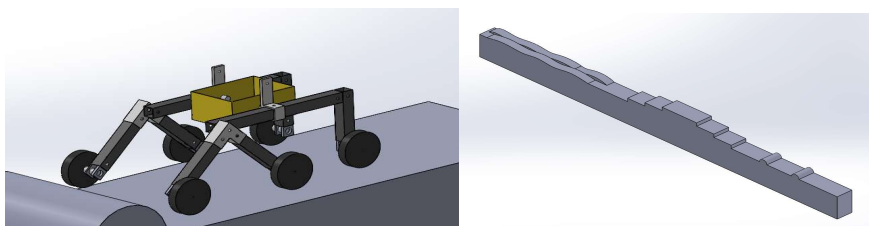


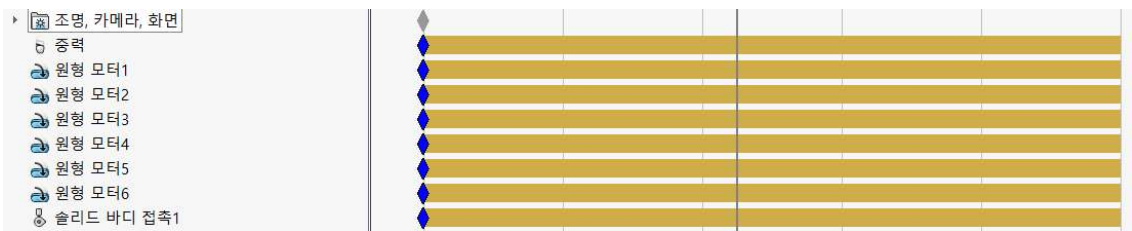
Figure 10 Solidworks 3D Simulation (2)

구현한 로봇과 지형의 모습은 다음과 같다. 3D simulation은 로봇의 주행 능력을 보는 것이 목적이었으므로 로봇 상부의 수평 유지 장치는 생략하여 구현하였다. 지형은 연석, 계단, 울퉁불퉁

한 지형 순으로 구현하여 각 상황에서 로봇의 험지 주행 모습을 확인하고자 하였다.

모션 해석을 위해 준 경계조건과 Setting은 다음과 같다. 지형 외의 경로로 로봇이 미끄러지지 않도록 링크와 지형의 측면에 수평 조건을 주었고, 로봇이 정면으로만 주행하는 모습을 관찰하기 위해 왼쪽 로커 링크와 오른쪽 로커 링크에 평행 조건을 설정하였다. 이후 실제 지형 조건과 동일하게 조건을 부여하기 위해 Y축 방향으로 중력을 설정한 후, 솔리드 바디 접촉 기능을 사용해 여섯 개의 로봇 바퀴와 지형 사이에 Contact 조건을 주어 로봇이 바닥에 붙어있다고 가정하였다. 각 바퀴에 연결된 감속 기어 모터에 rpm 값을 설정한 후 모션 해석을 진행하였다. 선정한 모터의 실제 정격 rpm값인 22rpm을 부여하였다.

Figure 11 Soliworks Motion



해석 결과 로봇이 세 개의 다른 지형에 대해 원활히 주행하는 것을 확인할 수 있었으며, 이를 통해 로봇의 구동 안정성과 Rocker-Bogie 구조와 선정한 링크의 설계 타당성을 확인할 수 있었다.

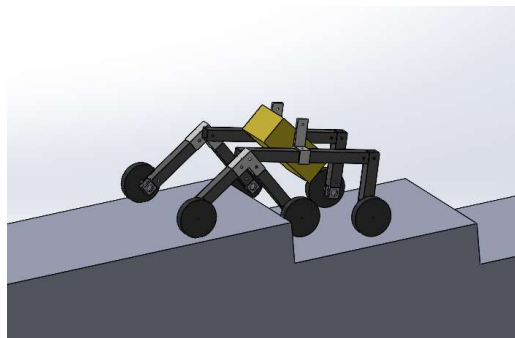


Figure 12 Solidworks 3D Simulation (3)

solidworks로 해석을 진행한 결과, 로봇의 좌우 링크가 따로 고정되어있지 않아 계단 등판 과정에서 상부 자체가 회전하는 문제가 예상되었다. 다음은 Solidworks으로 우리가 예상한 문제를 시뮬레이션으로 구현한 사진이다. 우측의 사진은 선정한 볼조인트와 무두렌치, 상부 통 체원을 기준으로 초기에 디자인한 그림이다.

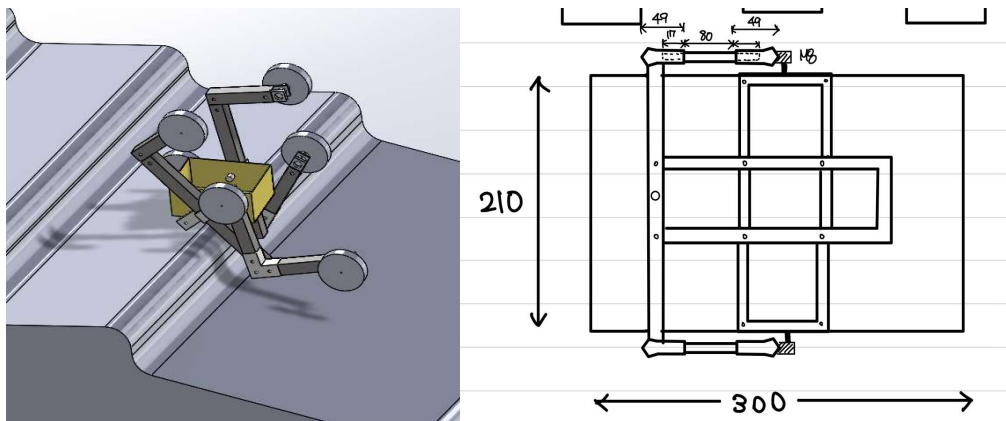


Figure 13 Solidworks 3D Simulation (4) and design modification

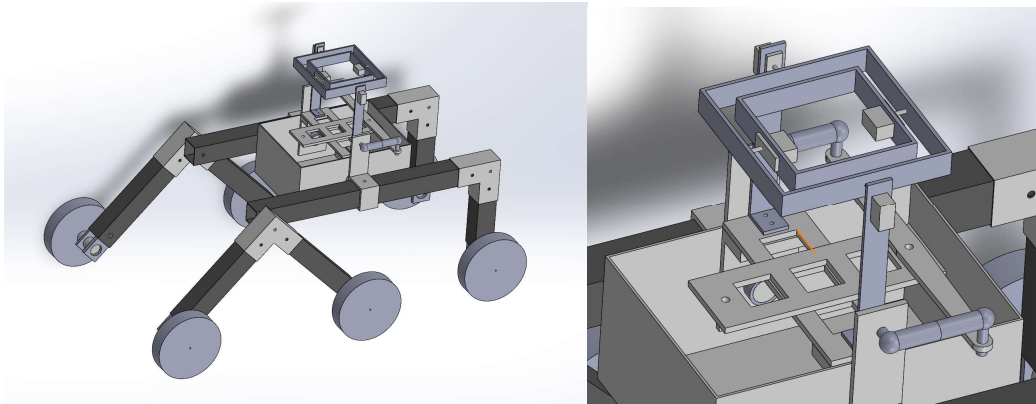


Figure 14 Solidworks - Design Modification

Solidworks를 이용한 최종 모델 구성은 위와 같고, 우측은 상부 수평 유지 장치 확대 사진이다. 링크의 자유도로 인한 상부 움직임을 제어하기 위해 초기에는 무두렌치, 볼조인트를 이용해 상부가 완전히 돌아가는 문제를 해결하고자 하였다. [볼조인트-무두렌치-볼조인트] 연결로 처음에는 무두렌치로 길이를 조절하고자 했으나, 주문한 볼조인트의 불량(총 4개 중 2개의 볼조인트 내부 직경이 8mm가 아니었다.)으로 인해 길이 조절이 아닌 볼조인트를 접합하였다. 8mm 무두렌치가 들어가지 않는 볼조인트의 경우 6mm 볼트의 머리를 자른 후 볼 조인트 내부에 글루건으로 채워 넣어 연결했다. 용접의 경우 높은 열로 인해 볼조인트가 파손될 수 있다는 점, 스테인리스가 표면 산화층이 두꺼워 납땜이 어려운 재질인 점을 고려해 글루건을 이용해 접합하였다.

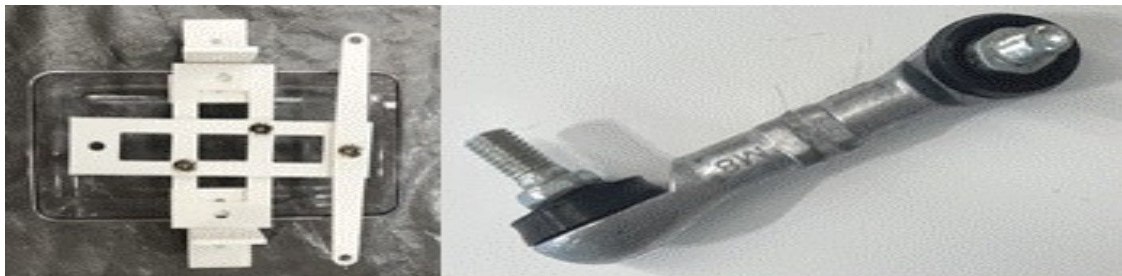


Figure 15 Production and socket set screw

2.4.7 중간 점검

다음은 위에서 선정한 부품을 모두 조립한 모델이다.

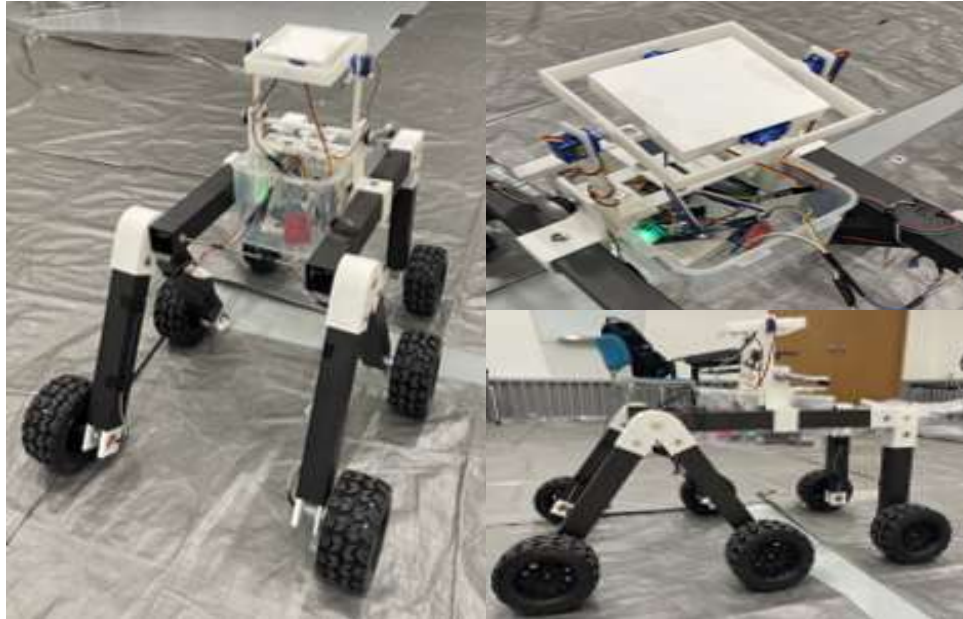
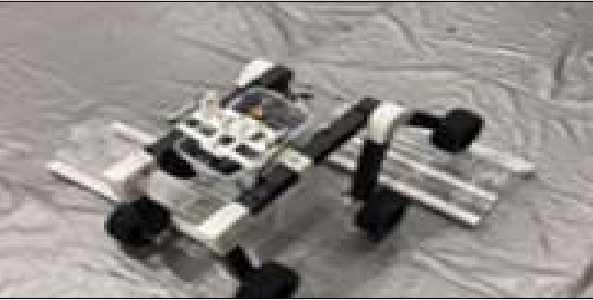


Figure 16 The Mid-term production model

초반에 선정한 등반 가능 높이 제한 조건은 건축 설계법에 따라 15cm의 연석이였다. 따라서 평지, 높이 15cm의 턱 및 연석, 높이 20cm의 계단의 네 가지 지형에 대해 주행 테스트를 진행하였다.

Table 15 Robot climbing in cases

가. 평지	나. 높이 15cm의 턱
	
다. 높이 15cm의 연석	라. 높이 20cm의 계단
	

가. 평지

평지에서의 주행을 관찰했을 때, 모든 바퀴의 면이 헛돌지 않으면서 지면과 동시에 접하였으며, slip 없이 원활히 구동되는 것을 확인할 수 있었다.

나. 높이 15cm의 턱

높이 15cm의 턱을 넘는 경우에는 장애물과 지면에 여섯 바퀴가 모두 접하는 것을 확인할 수 있었고, 모든 바퀴가 헛돌지 않고 구동하였다. 앞부분의 로커가 먼저 턱을 넘으며 로봇을 좌우로 기울였고, 이를 통해 지형의 불규칙한 표면을 따라 이동하면서 안정성을 유지할 수 있도록 하였다. 로커가 이동함에 따라 보기는 지면에서 로봇을 안정적으로 지지하였다. 이후 로커가 턱의 최고점을 지났을 때, 보기가 턱을 넘으며 구동하는 것을 확인하였다.

다. 높이 15cm의 연석

처음 설정한 도로 위의 연석 상황에서 로봇이 잘 주행하는지 판단했다. 충분한 마찰력이 주어졌기 때문에 동일한 높이의 턱을 넘을 때와 마찬가지로 바퀴가 지면을 따라 알맞게 구동하는 것을 확인했다. 로커 부분이 연석을 따라 구동하고, 보기 부분의 두 바퀴가 뒤쪽에서 지탱함으로써 안정적인 구동을 보였다. 이와 같이 초기에 설정한 제한조건(15cm의 연석)을 충족함으로써 우리가 선정한 목표는 달성한 것을 확인했다.

라. 높이 20cm의 계단

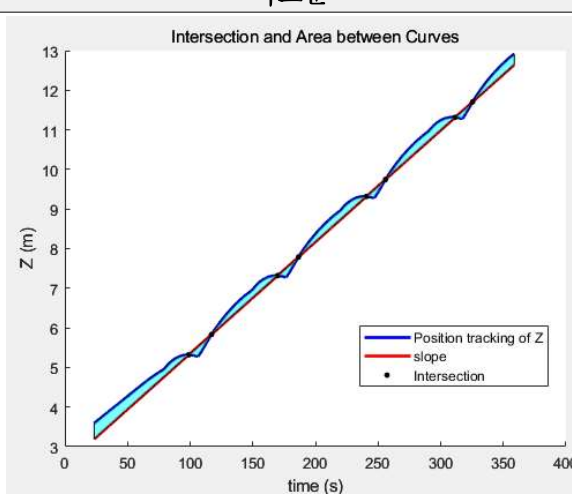
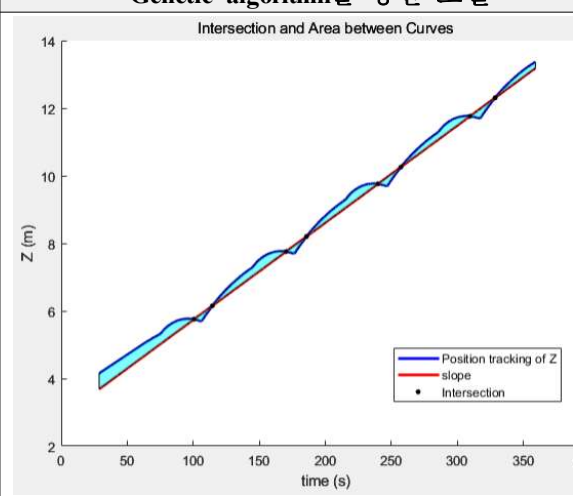
15cm가 넘는 계단에서도 로봇이 안정적으로 주행하는지 판단하기 위해 20cm 정도의 계단(동관에서 팔달관 올라가는 구역)에서 로봇의 주행 테스트를 실행했다. 약 4m의 계단을 연속적으로 등판하는 것을 확인했으며, 처음 설계한 15cm의 연석보다 더 의미있는 결과라고 할 수 있다. 그러나 폭이 좁은 연속적인 계단의 경우, 전복되는 현상도 간혹 발생했기에 이는 추후 링크 길이 최적화에서 추가할 새로운 조건이라 판단했다.

2.4.8 중간결과 및 문제점 해결방안

- 무게중심 증가

선정한 비교군과 비교해 본 프로젝트에서 선정한 ‘무게중심 20% 증가’라는 설계 목표를 도달하였는지 확인하였다. 먼저, 설계 목표 과정에서 서술한 조건에 맞추어 비교군을 수정하고, ‘비교군’과 ‘Genetic algorithm을 통해 도출한 모델’의 S/N비를 구하였다. 그 결과 1.66%의 오차를 가짐으로써 무게중심이 낮은 형상을 가진 비교군과 비슷한 구동안정성을 가짐을 확인했다.

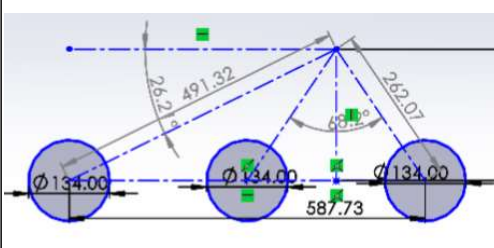
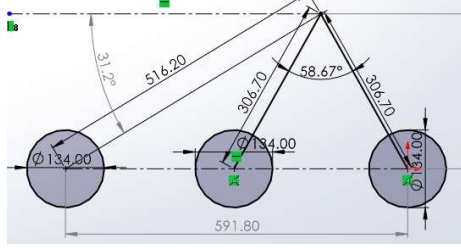
Table 16 Comparison of S/N ratio between comparison group and experimental group

비교군	Genetic algorithm을 통한 모델
	
S/N비 = 44.3032	S/N비 = 45.0380
$\frac{45.0380 - 44.3032}{44.3032} \times 100 = 1.66\% \text{ 차이}$	

비교군과 도출한 모델의 무게중심을 비교한 결과, 동일 길이 대비 비교군의 높이가 217mm인

반면, 유전자 알고리즘을 통해 도출해낸 링크 길이의 높이는 267.38mm로 약 23% 증가한다는 것을 확인할 수 있었다.

Table 17 Design of comparison group and experimental group

비교군	→	Genetic algorithm을 통해 도출한 모델
	$\frac{267.38 - 217}{217} \times 100 = 23.22\%$ ∴ 무게중심 20% 이상 증가 (설계 목표 도달)	
217mm		267.38mm

즉, 유전 알고리즘을 이용해 도출한 링크모델과 비교군의 S/N비는 1.66% 차이로 근소함에도 무게중심은 20% 이상 증가함을 충족함으로써 초기에 설정한 설계 목표가 충족하였다는 것을 확인하였다.

- 상부 수평유지

연석 등반 능력에 관한 주행테스트를 한 후, 제작한 수평유지 장치의 타당성을 입증하기 위해 장치를 로봇에 장착한 후 기울어짐에 대한 반응성을 확인하였다. 각 축에 대해 하나의 서보모터로 제어하였으나, 반응에 즉각적으로 센서가 구동하는 것을 확인할 수 있었다. 수평 유지 장치와 적재함이 바로 이어진 부재가 아니어서 장치와 적재함을 글루건으로 부착하여 사용하였고, 그 결과, 상부 적재함의 수평을 유지할 수 있다. 지갑 등의 소지품을 올려 실험해본 결과, 울퉁불퉁한 지형의 경우 수평이 잘 유지되는 것을 확인했으나, 계단을 내려올 때 로봇 자체에 큰 충격이 가해지면 수평 유지 기능이 약간 불안해지는 것을 확인했다. 예산이나 시간 측면에서 여유가 있었다면 상부의 크기를 더 크게 하고 서스펜션을 달아 진동 및 충격을 완화해 더 정밀한 제어를 할 수 있었을 것 같다.

- 적재 가능 하중 충족 및 제품 무게 절감

초기 적재 가능 하중에 관한 설계 목표는 2kg라고 선정하였다. 서보 모터가 각 1.2kgf·cm의 토크를 낼 수 있고, 각 축을 하나의 서보모터로 제어한다고 설계를 변경한 만큼 설계 목표를 충족할 수 있는 크기의 상부를 출력해야했다. 설계한 상부의 크기는 97*97mm로 다음의 식을 충족하는 것으로 보아 설계 목표를 충분히 충족한다고 판단했다.

$$1.2kgf \cdot cm \times \frac{9.7cm}{2} = 5.82kgf$$

또한 부품을 조립한 구동체의 무게를 직접 측정한 결과 4.5kg(상부 수평유지 장치 제외)로, 배달로봇 ‘딜리 드라이브’가 60kg인 것을 감안하면 매우 적은 하중을 갖는 것으로 확인했다.

- 연석 등반 가능성

최종 구동체를 평지, 15cm의 턱 및 연석, 20cm의 계단 총 4가지의 경우에서 주행 테스트를 진행한 결과, 설계한 구동체가 올바르게 주행하는 것을 알 수 있었다. 더불어 턱이나 연석에 약간의 필렛만 주어진다면 쉽게 등판하는 것으로 보아 본 구동체는 시중의 배달로봇 구동부에 비해 향상된 성능을 가진 것으로 확인했다.

- 결론

주행테스트 결과, 설계조건으로 선정한 15cm의 연석을 충분히 등반할 수 있는 것으로 나타났다. 넓은 폭을 가진 20cm의 계단의 경우에도 연속적으로 4m 정도를 등판 가능한 만큼, 배달로봇 구동부로서의 개선점이 명확한 것으로 드러났다. 추가적으로 계단 하강, 제자리 회전 등의 주행테스트를 진행해본 결과, 계단을 내려가는 과정에서 로봇에 충격이 많이 가해지는 것을 확인하였다. 따라서 추후 개선점으로 모터부분에 서스펜션을 추가하거나, 모터 구동 아두이노 코드를 수정할 필요성을 느꼈다.

최종적으로 전체 5kg 정도의 무게로 시중의 배달로봇(ex. 딜리 드라이브 : 60kg)과 비교해 압도적으로 가벼운 무게를 지닌 것을 드러냈다. 그러나 최종 구동체에서 상부의 크기가 비교적 작았고, 계단에서의 충격으로 인해 수평 유지에 대해 명확히 보여주기에 아쉬움이 있었다. 물론 상부의 재질에 따라 상부 수평 유지 기능 및 적재 용량 등이 변경될 것으로 보이나, 프로토타입 제작인 만큼 실제 제작에서는 상부 수평 유지나 적재 가능용량에 대해 개선점이 필요할 것으로 판단했다.

Table 18 Feedback after mid-term experiment

개선 필요사항		
문제사항		개선 방법
1	연속적인 계단 등판의 경우 전복 가능성 有	Genetic algorithm에 제한 조건을 추가하거나 S/N비의 수치를 더 감소시킨 링크 길이 도출
2	계단을 내려갈 때, 로봇 자체에 가해지는 충격	구동부에 서스펜션 추가
3	상부 수평유지 및 적재 하중	먼저 구동부에 서스펜션을 추가해 구동체에 가해지는 충격을 최소화한 후, 배달로봇 적재용량에 맞추어 상부 디자인의 크기를 증가시킨 후 다시 수평유지를 진행해보아야 할 것

2.4.9 최종 설계

- Genetic algorithm 최적화 및 S/N 수치 개선을 통한 연속적 계단의 구동안정성 증가

중간 점검 이후, 연속적인 계단에서의 불안정성을 개선하기 위해 Genetic algorithm 최적화를 다시 진행하고, S/N 수치를 더 줄여 더 큰 구동 안정성을 확보하고자 했다.

이 과정에서 S/N 수치와 등반 시 구동안정성에 대한 유의미한 관계를 실험적으로 증명하고자 S/N비를 임의로 증가시킨 모델을 제작 후 비교해보았다.

Table 19 Previous and mid-term models

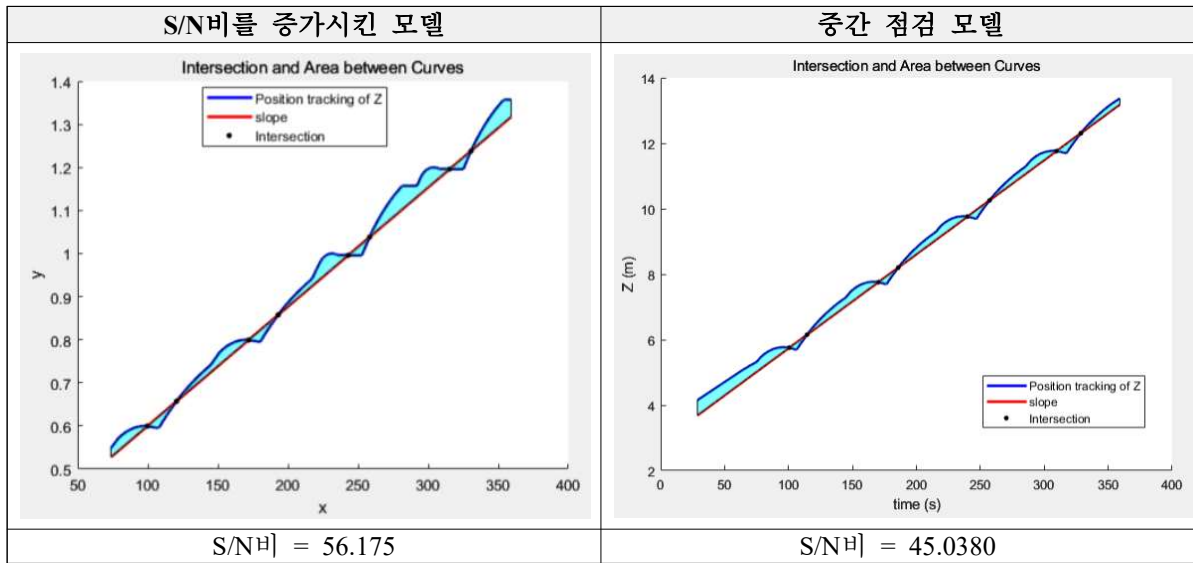
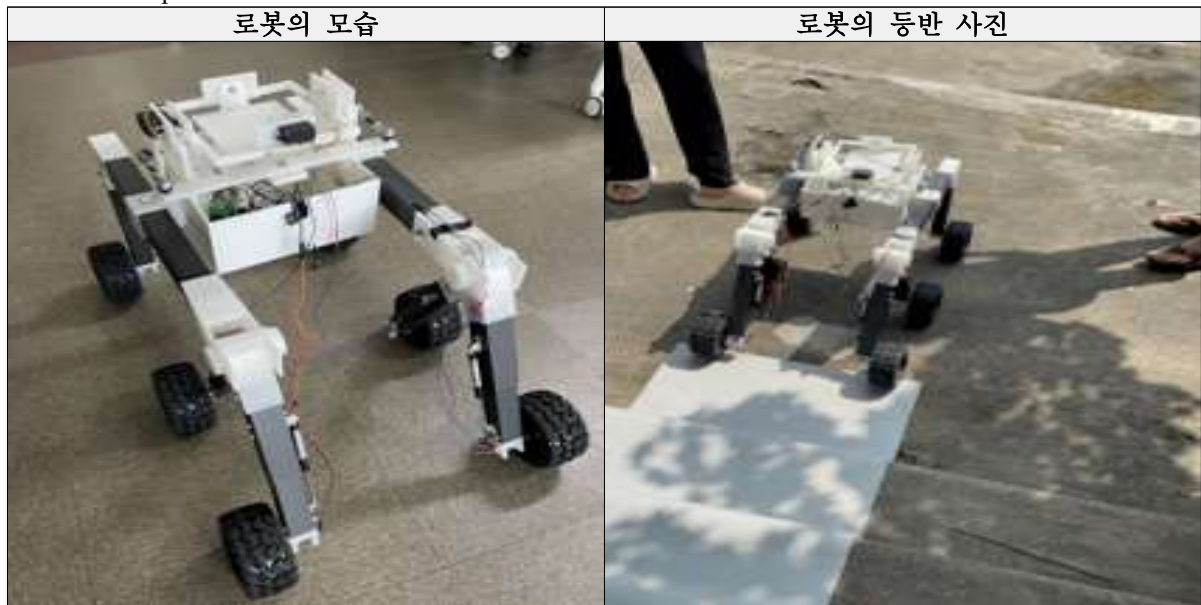
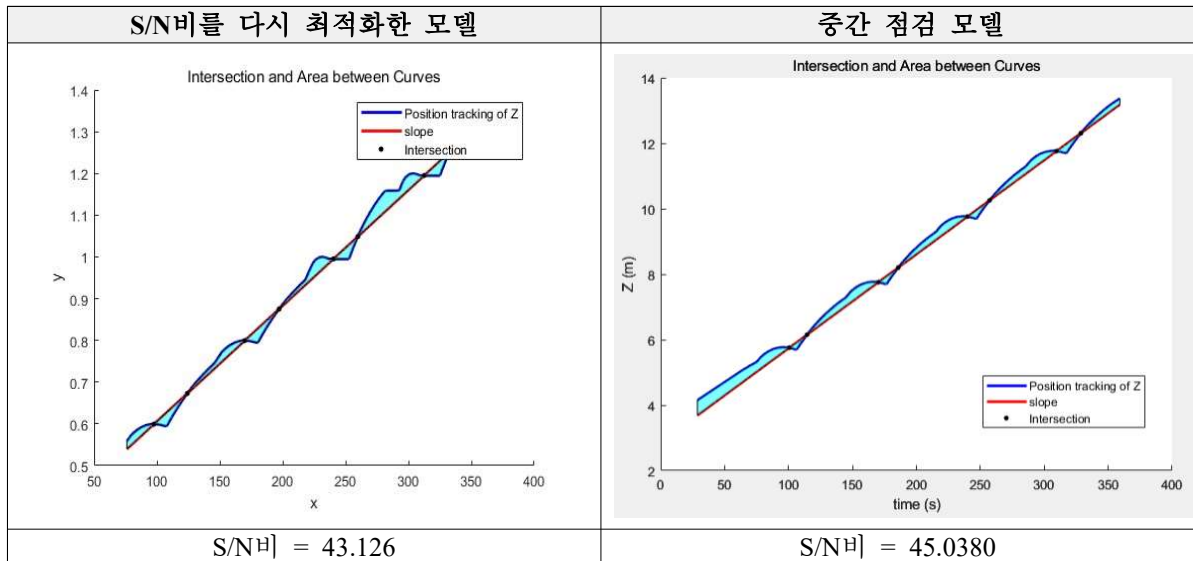


Table 20 Various aspects of robots



실험 결과 S/N비가 45일 때는 등반할 수 있었던 계단을 56일 때는 등반하지 못한 것을 알 수 있었다. 따라서 S/N비를 통한 구동 안정성 최적화는 타당한 접근이라고 생각하고, 위에서 언급했던 연속적인 계단의 등반 불안정성을 S/N비의 값을 더 줄이는 것을 통해 해결하고자 하였다.

Table 21 Comparison of S/N ratio between the re-optimized model and mid-term model



최종적으로 S/N비 최적화를 진행한 결과 43.126 값을 도출하였고, 링크길이도 이에 맞게 수정된 set으로 수정하였다.

Table 22 Final link length set result

최종 링크 길이 set			
L1 [m]	0.320	L4 [m]	0.280
L2(=L1) [m]	0.02	theta1 [°]	32.26
L3 [m]	0.443	theta2 [°]	29.335

- 서스펜션 부착

문제 사항 2, 3에 해당하는 내용이었던 계단에서 내려올 때 로봇 구동부에 가해지는 충격으로 인한 문제점을 서스펜션을 이용하여 해결하고자 하였다. 문제점을 계단에서 내려올 때 Bogie의 첫 앞바퀴가 로봇의 하중을 모두 견뎌야하기 때문이라고 판단했기에 가스 쇼바를 부착하였다. 첫 앞 바퀴에 쇼바를 다는 것을 필수적으로 보았고, 나머지 다리에도 충격이 적지 않게 가해져 로봇이 흔들리므로 배달물을 적재하는 배달로봇 특성 상 모든 링크부에 설치하였다.

Table 23 Shown with shock absorber installed

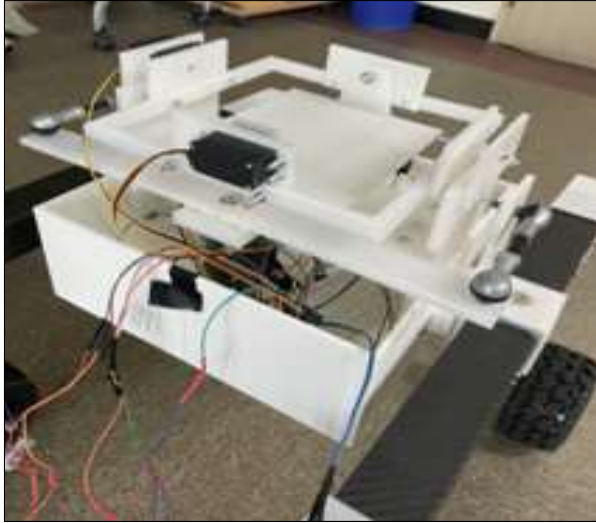


- 상부 수평유지

2인분 배달음식 기준 이상으로 적재용량을 늘려 상부 디자인의 크기를 증가시켰고, 수평유지에 사용되는 서보모터 역시 더 높은 사양을 가지는 것으로 바꾸어 적재물이 더 무거워졌을 때도 온전히 수평유지성능을 갖도록 개선하였다.

이를 위해 서보모터의 사양을 다시 바꾸어 모델을 선정하였고, 상부의 적재부 역시 재설계를 진행하였다.

Table 24 Appearance of the robot's leveling device

수평유지 장치 설계 부분	위에서 본 수평유지 장치
	

3. 결과 및 토의

설계내용을 기반으로 제작한 최종 모델은 카본 파이프, PLA 3D 구조물, 감속 기어 모터, 배터리 등의 모든 부품을 포함해 약 7kg의 무게를 갖는 것을 확인하였다.

전체 회로의 경우 두 개의 아두이노(모터 구동 및 블루투스 모듈, 상부 수평 유지), 각종 센서 및 모터, 배터리를 이용해 다음과 같이 구성하였다. 회로 결선을 비롯한 전기적 연결부는 절연테이프와 수축 튜브를 통해 고정 및 마감처리를 하였으며, 기계적인 고정이 추가로 필요한 부분은 글루건을 이용해 마무리하였다.

이후 중간 점검과 동일하게 실험을 진행하였고, 등반성능을 평가했을 때 수평유지와 충격완화, 계단 등반의 면에서 구동성능이 개선되었음을 확인할 수 있었다.

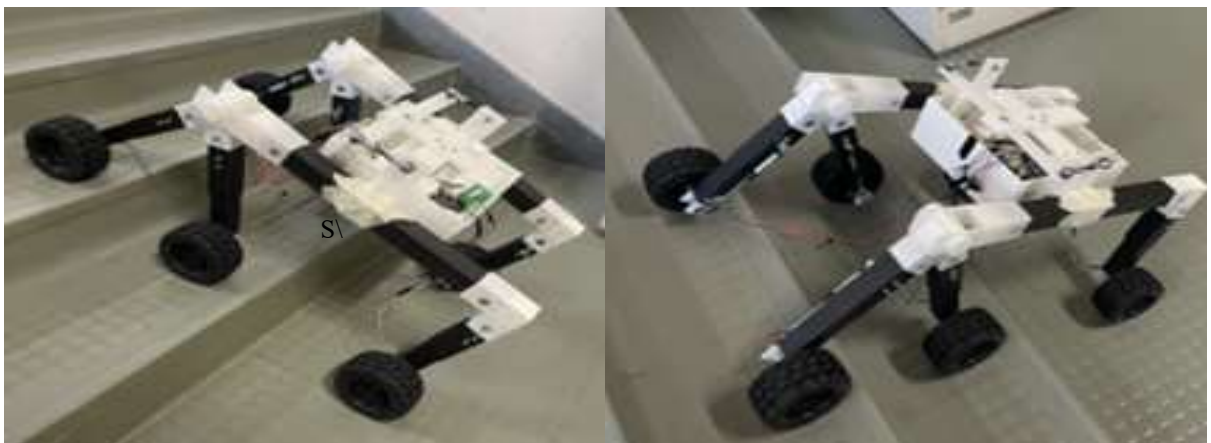


Figure 17 The Final production model

자율주행 배달 로봇 시장은 아직 초기단계지만 앞으로 크게 성장할 것으로 예상된다. 현재 자율주행 배달 로봇 시장은 라스트 마일 배송을 위해 설계된 소형 자율주행로봇이 대부분이다. 이와 같은 로봇은 약 50파운드의 적재 용량을 가지고 있으며 시간당 최대 10마일까지 이동이 가능하다.

본 아이디어를 통해 험지 주행이 탁월하고 물건 운송에서의 안정성이 높은 구동부를 갖추게 된다면 적재 용량을 늘릴 수 있을 뿐만 아니라 다양한 환경에서의 구동이 가능할 것이다. 다양한 산업 현장과 더불어, 오프로드에서의 주행 및 재난 현장 같은 구동면이 평탄하지 않은 환경에서 주행이 가능하여 위와 같은 넓은 범위의 산업에 적용할 수 있을 것이다. 위 기술을 바탕으로 로봇의 구동부를 개선하게 된다면 다음과 같은 효과를 얻을 수 있다.

· 안정성 및 내구성 향상

로커 보기(rocker-bogie) 구조를 통해 평지 구동뿐만 아니라 계단, 연석이 포함된 일반도로 환경에서도 로봇 관절이 지면에 따라 유연하게 작용하기 때문에 바퀴와 지면의 접촉률이 높아지게 된다. 이로 인해 바퀴 크기보다 상대적으로 큰 장애물을 극복할 수 있다. 로커 보기 구조의 회전 조인트에 의해 로봇의 몸체가 지면의 형상을 따라갈 수 있어 안정적으로 구동이 가능하다. 더불어 충격과 진동 흡수에 용이해 로봇의 구성 요소의 마모를 줄이고 최종적으로 각 부품의 수명이 증가한다. 이로 인해 다양한 분야에서의 채택이 증가할 것이고 시장성 증가로 이어질 수 있다.

· 적재 용량 증가

로커 보기 구조와 수평 유지장치의 조합을 통해 로봇이 다른 유형의 배달 로봇보다 적재 용량이 증가하게 된다. 적재량의 증가는 다양한 제품의 이송에 보다 유연하게 적용할 수 있다. 이로 인해 배달 효율성이 향상되어 배달 시간과 비용이 절감되고 고객 만족도 또한 증가한다.

본 아이디어는 수평유지, 로커 보기 구조를 통한 몸체 구동 안정성 측면에서 장점을 가지는 만큼 향후 자율주행 배달 로봇 시장과 기술에 영향을 미치며 보급화에 도움을 줄 것으로 예상된다.

4. 결 론

본 프로젝트에서는 연석 및 계단을 안정적으로 등반할 수 있는 Rocker-Bogie 메커니즘 기반의 로봇 구동부를 설계하였다. 유전 알고리즘을 이용해 기존 메커니즘에서 배달 로봇에 구동부를 최적화하여 설계하였으며, 등반 안정성 또한 확보하기 위해 S/N비 해석을 통해 최적의 무게중심 궤적을 확인하고 로봇 구동부의 설계변수 값을 도출하였다. 배달로봇의 경우 안정적인 배달 또한 중요하므로 수평유지 장치와 충격완화를 위한 쇼바를 추가하여 사용자의 배달 만족도를 올리고자 하였다.

후 기

본 프로젝트를 진행하는 데 많은 도움을 주신 아주대학교 강대식 지도교수님께 감사의 말씀 드립니다. 또한 제작 환경과 비용을 지원해주신 아주대학교 LINC 3.0 사업단에도 진심으로 감사합니다.

참고문헌

- (1) Goldenberg, A. A. and Bezerghi, A., 1985, "A Preview Approach to Force Control of Robot Manipulators," *Mechanism and Machine Theory*, Vol. 20, No. 5, pp. 449~464.
- (2) White, F. M., 1974, *Viscous Fluid Flow*, McGraw-Hill, NewYork, pp. 163~189.
- (3) Suh, S. H., Choi, Y., Roh, H. W. and Doh, H., 1999, "Flow Analysis in the Bifurcated Duct with PIV System and Computer Simulation," *Trans. Korean Soc. Mech. Eng.(B)*, Vol. 23, No. 1, pp. 123~180.