


2023 – 1 Capstone Design (1)

1차 발표

서울과학기술대학교 기계시스템디자인공학과

지도 교수 : 김종형 교수님

지도 교수 : 박희재 교수님



Rocker-bogie mechanism
기반 야외 배달로봇 개발
(실내외 식음료 배송용 AMR 개발)

Index

- I. 개발개요 및 개념설계
- II. 공학적 문제 A
- III. 공학적 문제 B
- IV. 공학적 문제 C
- V. 로드맵 및 참고 문헌
- VI. 부록

Team

팀장 / 20100055 김강현
팀원 / 16100142 송종헌
팀원 / 18100051 김민재
팀원 / 20110008 석영선

개발 개요 및
개념 설계

개발 개요

[1]

[이코노미스트] 입력 2022-12-03 14:00

+A -A



사람 대신 로봇이 배달, 실외 상용화 시대 열리나?

[2023 경제 대예측] YES 50%

[2] 산업

[MTN특별기획]빅체인지 생활로봇시대 시작되었다.

미래 시대에 발맞춘 새로운 노동력 '로봇'

로봇의 일상화 '막을 수 없는 물결'

신성장동력 로봇산업 육성 위해 선제적인 규제혁신 필요

머니투데이방송 이지안 기자

[3]



8뉴스 경제

주문따라 조리, 완성되면 서빙...배달도 하는 요즘 로봇

전연남 기자 ✉ 작성 2021.11.27 20:42 수정 2021.11.27 21:47 조회 17,496

프린트 글자 크기

국내 유통업계 최초 실외 주행 로봇 시범 운영

[4] 세븐일레븐, 야외형 자율주행 배달 로봇 '뉴비' 도입

윤희훈 조선비즈 기자

424호 2021.12.11 01:36



모빌리티 스타트업 뉴빌리티가 개발한 자율주행 배달 로봇 '

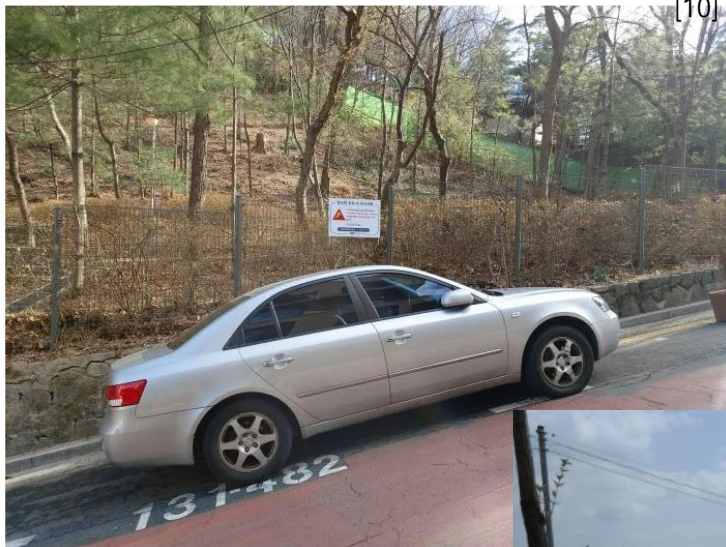


[5]



개발 개요

[6]

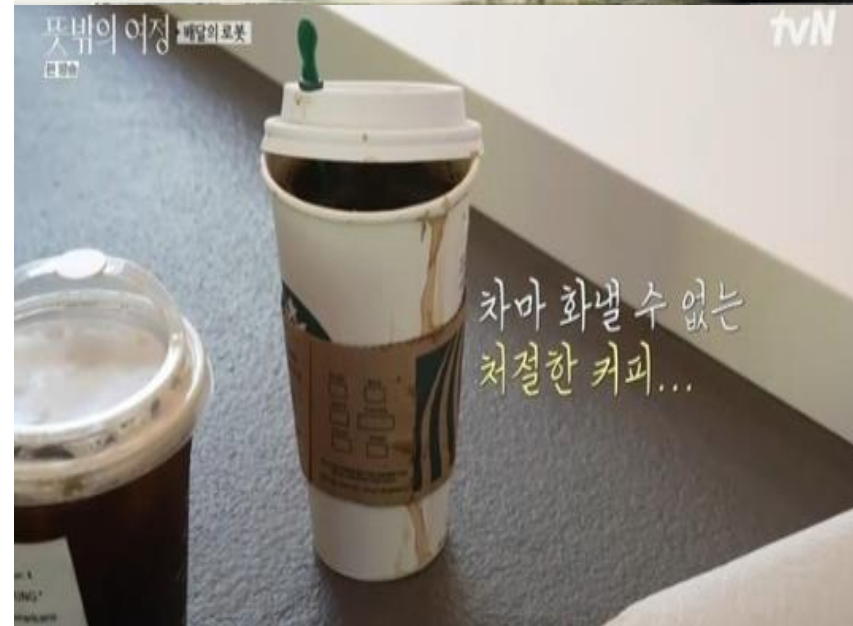


[10]



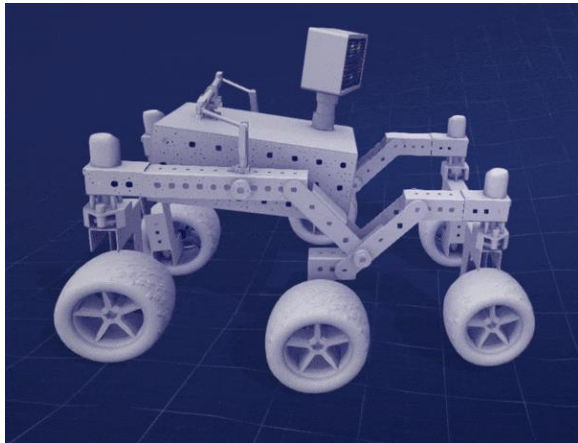
[7]

[8]



개발 개요: 접근

[9]



+

[10]



- 평탄하지 않은 지면에서 접지력과 안정성, 돌파 능력을 제공하는 Rocker-Bogie
- 외부에서 들어오는 기울어짐을 반대로 상쇄하는 Swing식 짐벌 메커니즘
- 이를 종합하면 더 다양한 환경에서 안정적인 배송이 가능할 것

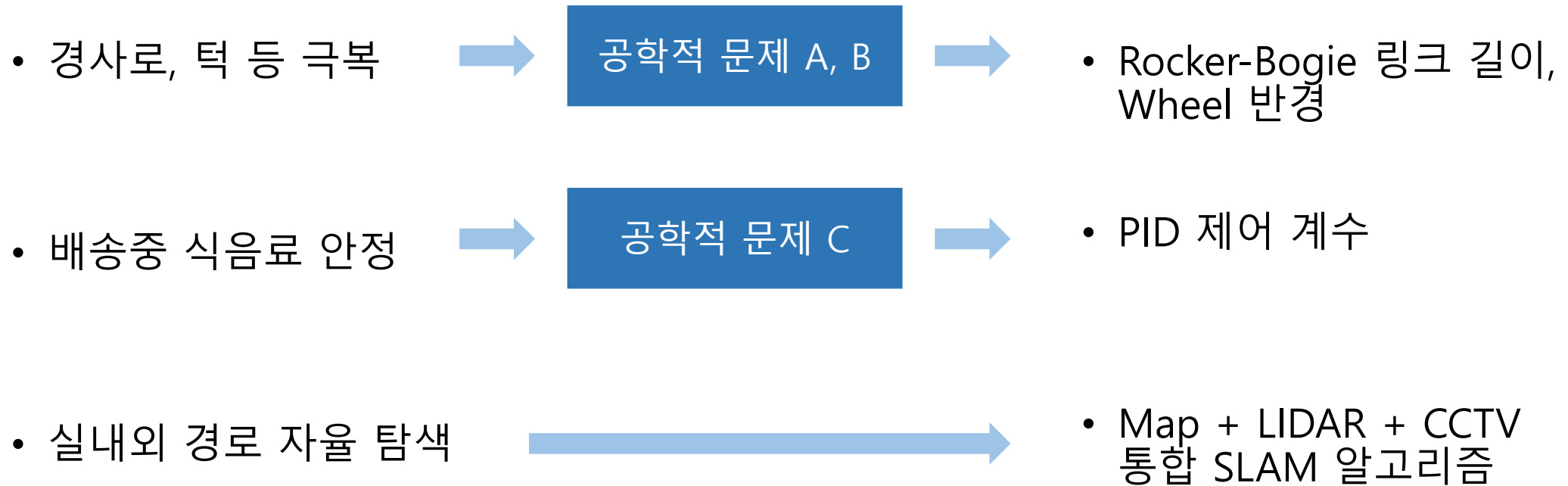
| 개발 개요: 목적

- 시나리오 환경에서 험지 주파에 장애가 없는 동시에 흔들림을 최소화할 수 있는 음료배달로봇
- 음식이 아닌 음료배달을 목적으로 선택한 이유 : 눈으로 확인하기 쉽고 스테빌라이저 효과를 가장 잘 이용할 수 있을 것이라고 예상 됨

개발 개요: 로봇에 필요한 성능 요구조건

- 배송 환경을 실내 평탄면 뿐만 아니라 실외까지 확장할 것
- 경사로, 턱 등을 극복하면서 전도하지 않고 주행할 것
- 배송 도중 식음료가 쏟아지거나 섞이지 않도록 할 것
- 실내외에 걸쳐 외부 조작 없이 스스로 경로를 탐색할 것
- 실외 환경에 적합한 내구성과 주행능력을 갖출 것

개발 개요: 요구사항과 설계특성, 공학적 문제

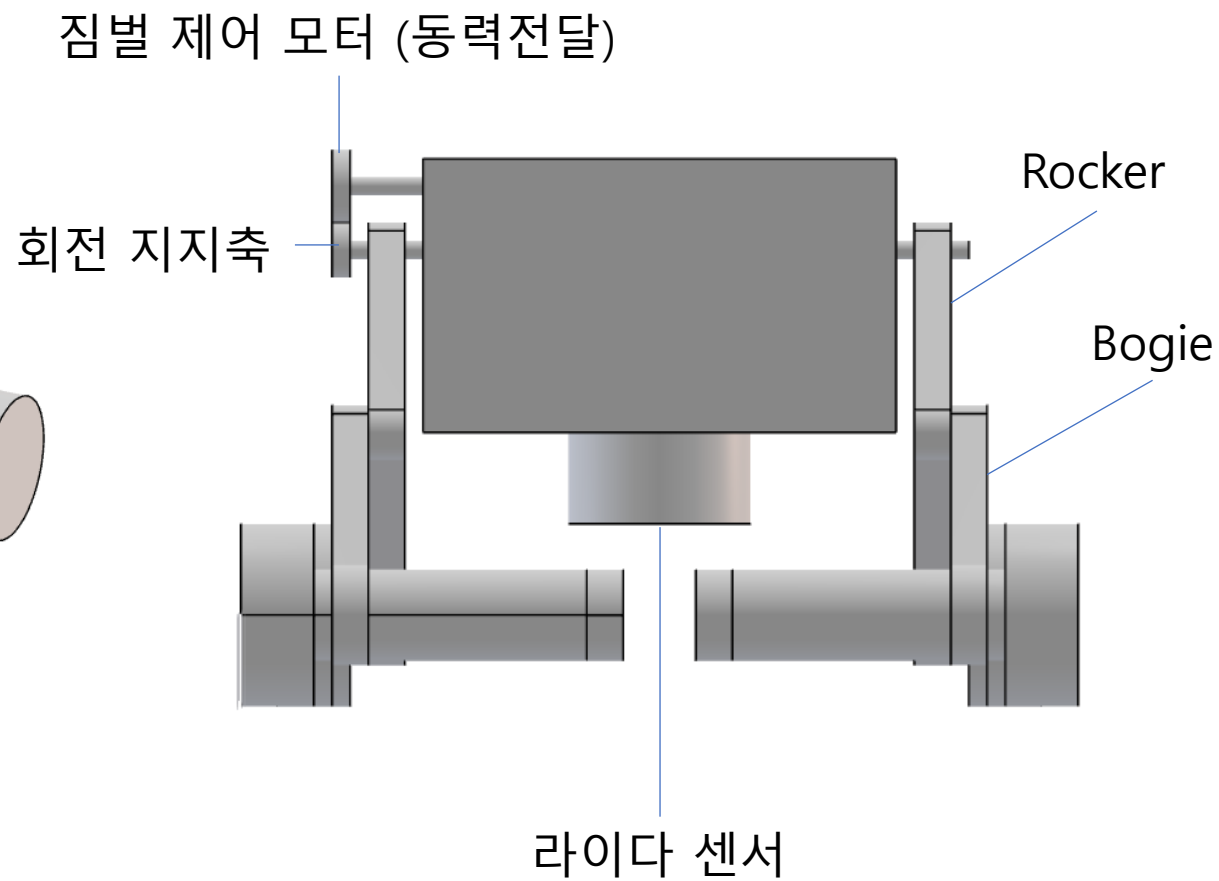
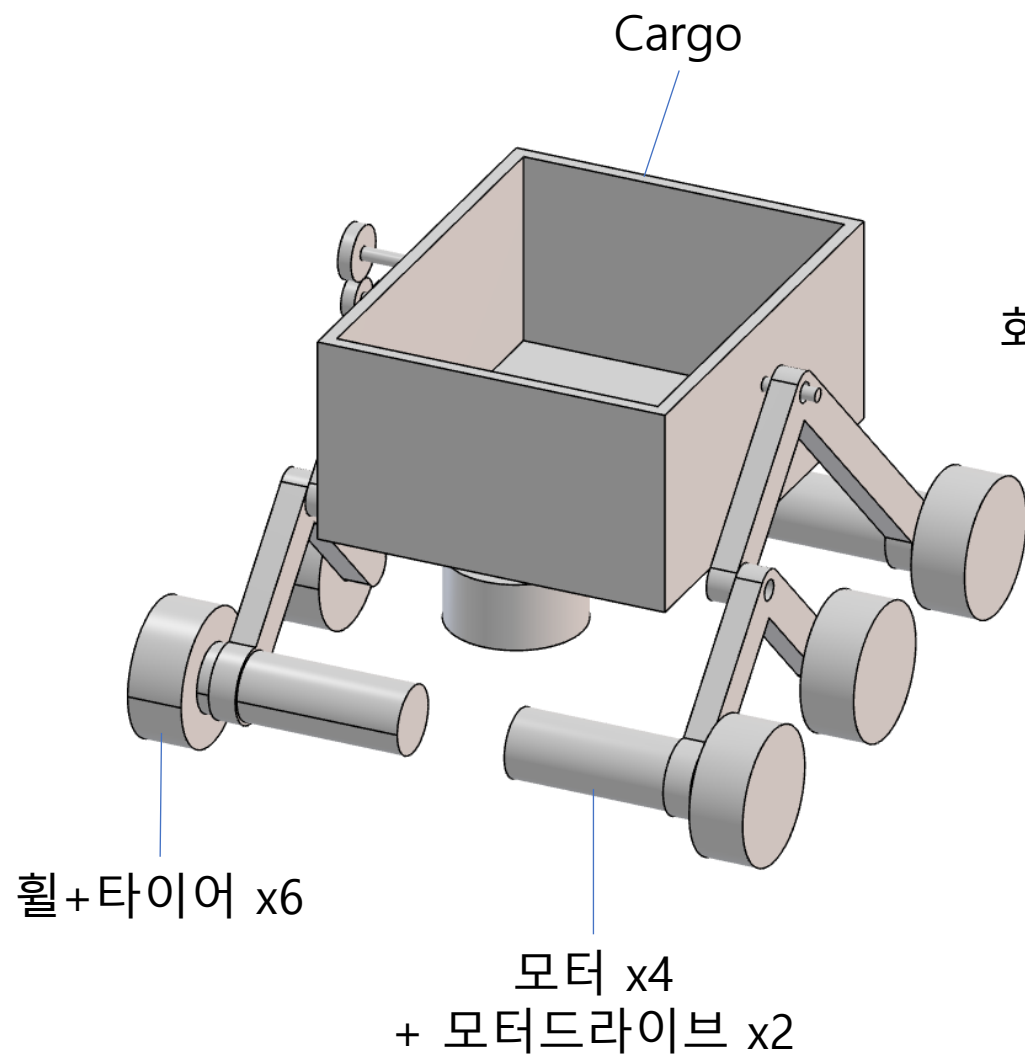


※ 설계적으로 새로 도입하는 Rocker-Bogie 쪽에 공학적 문제를 주로 설정

개발 개요: 제한 조건

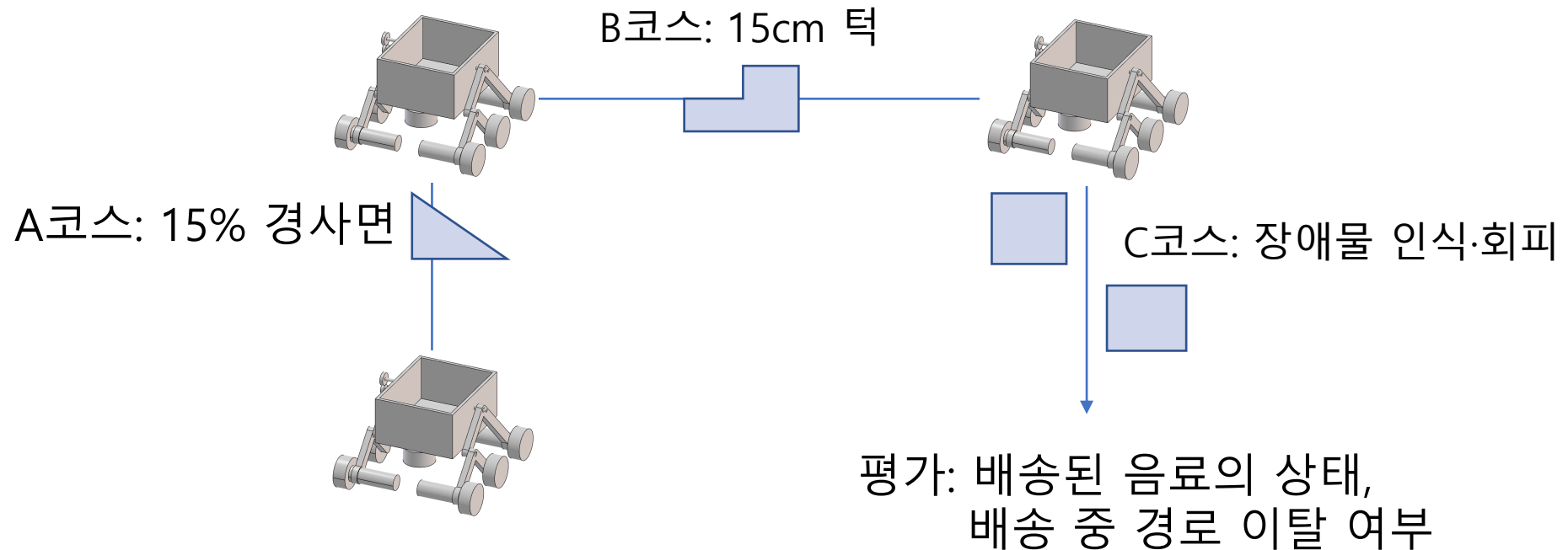
- 경로상에서 SLAM에 필요한 라이다 데이터와 CCTV 이미지 획득에는 문제가 없다고 가정
- 횡단경사는 무시할 수 있는 수준이라고 가정
 - Roll, 좌우방향 자유도는 무시하고 평면으로 해석
- 주행속도는 배송 안정성을 고려해 최대 7km/h로 결정
- 등판 경사도, 턱 최대 높이는 도로시설 관련규정을 참고하여 최대 15%, 15cm로 결정

개념 설계: 시스템 개요도



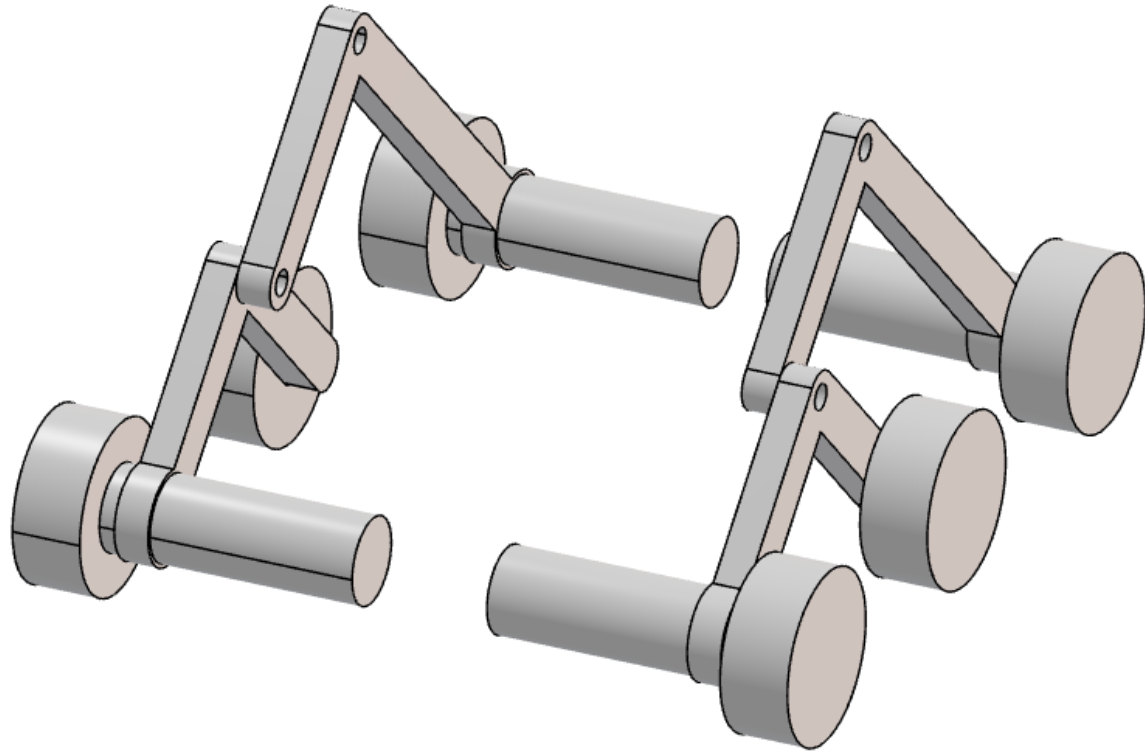
개념설계: 시나리오

- CCTV가 갖춰진 실내에서 모의 주행 환경으로 테스트
- A - 경사로 극복 → B - 턱 극복 → C - 장애물 회피
- 전체 과정에서 경로 탐색, 음료의 안정성 유지를 지속 수행

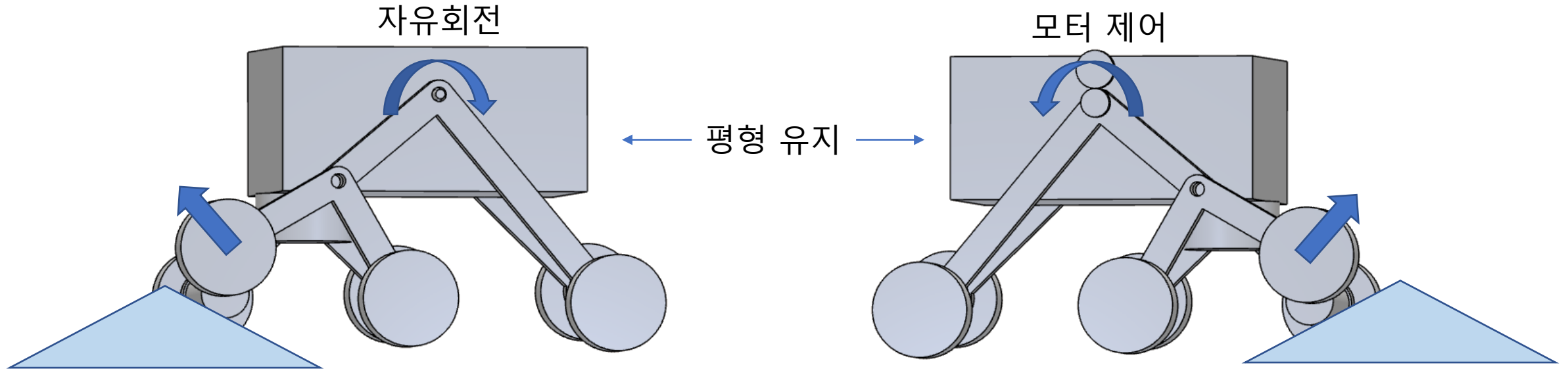


개념 설계 : 구조

- 링크와 다중 구동륜을 이용한 Rocker-Bogie 메커니즘을 사용

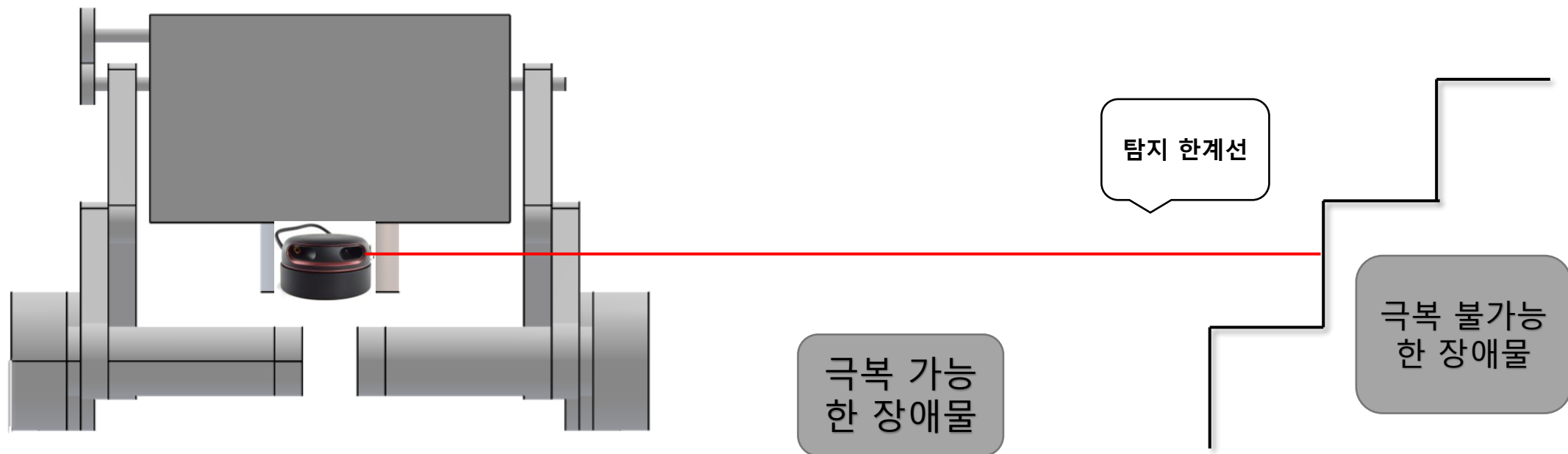


개념 설계 : 1축 Swing의 제어



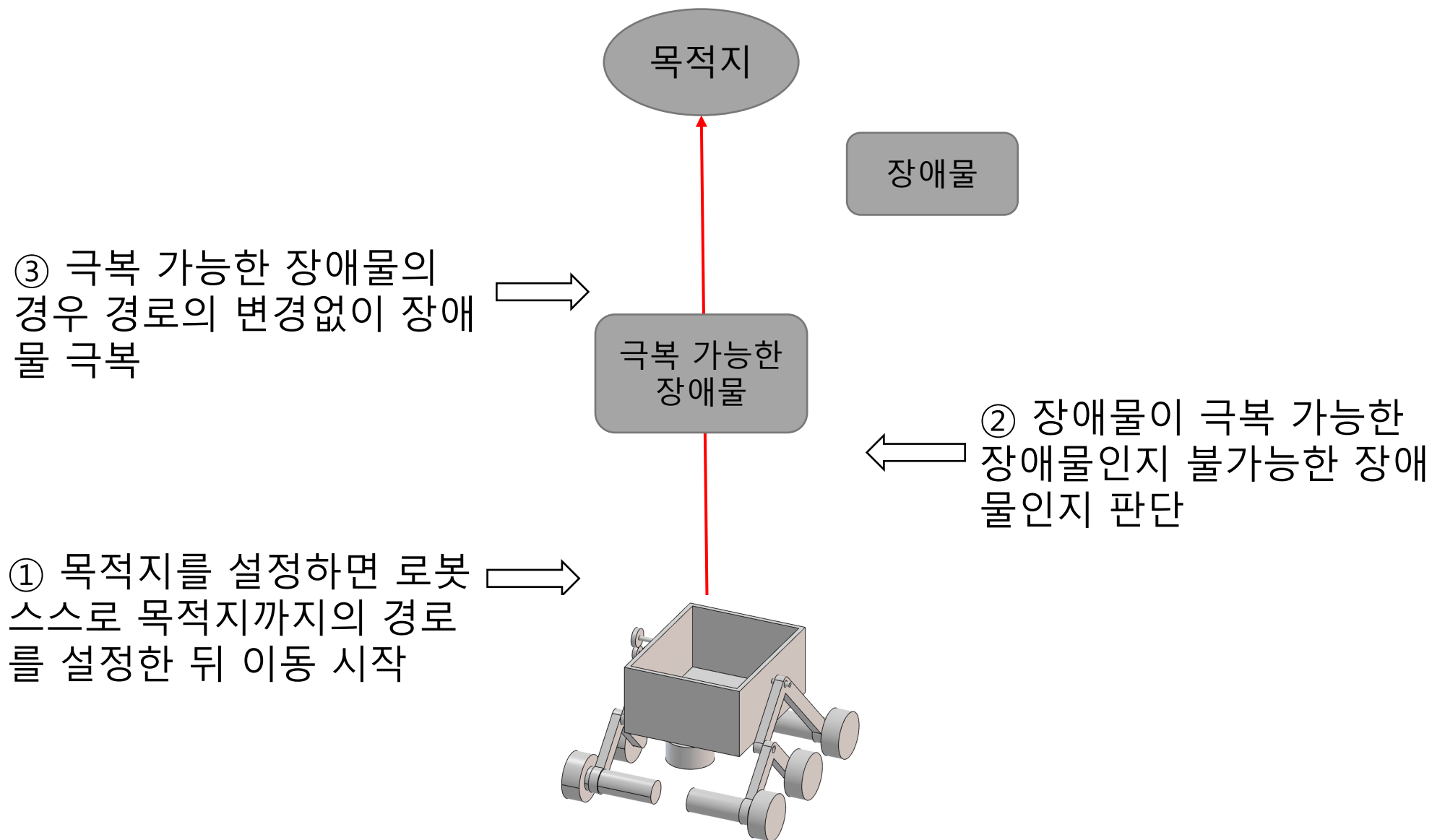
- 한쪽은 자유회전축, 한쪽은 동력전달요소 활용한 기울기 제어 도입
- 중앙구조물 상단에 Swing 축을 두어 Cargo와 로봇의 무게중심을 낮추는 방안

개념 설계 : 장애물 판단

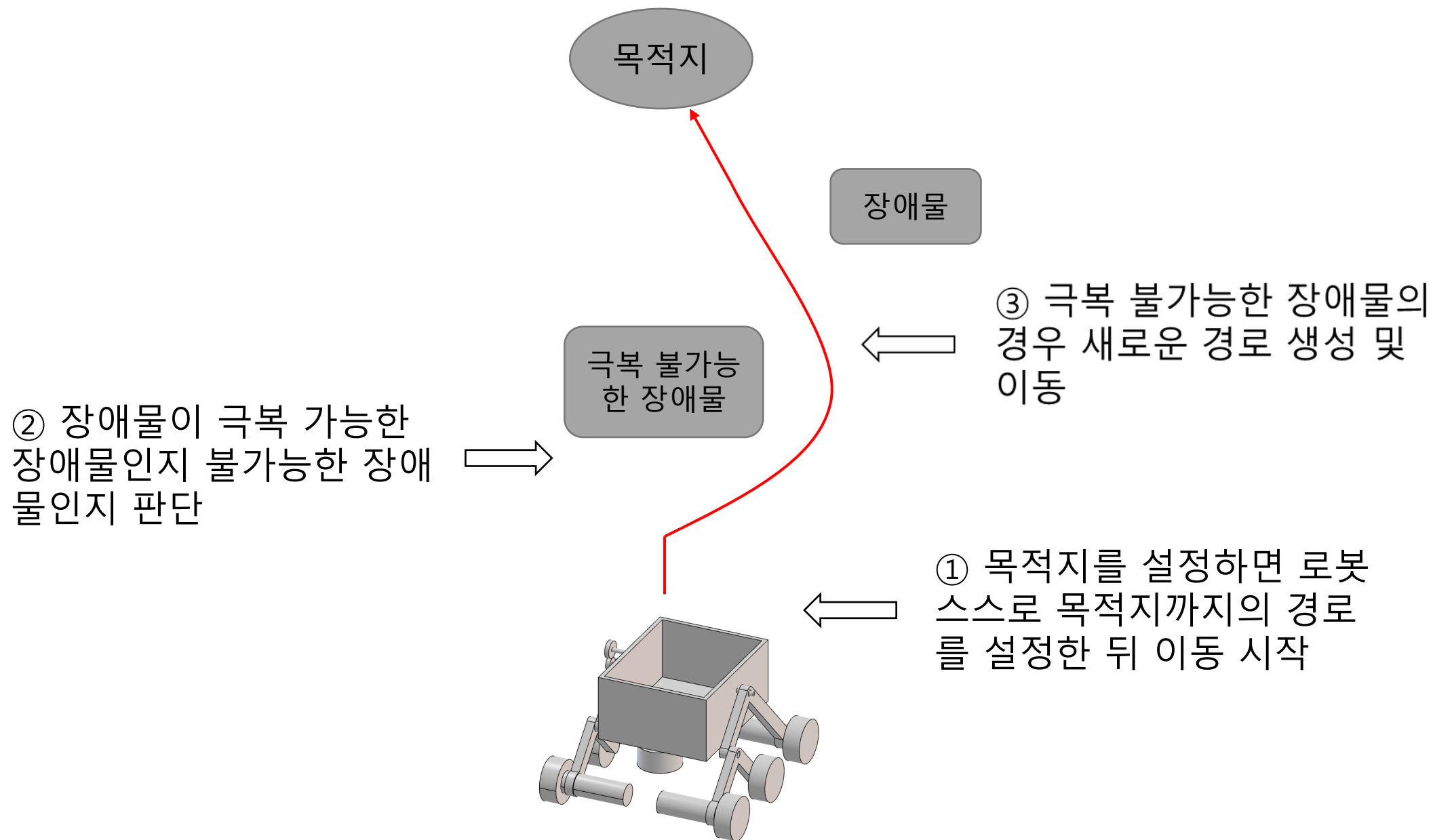


라이다 매핑 센서의 높이를 조정하여 극복 가능한 장애물과 불가능한 장애물을 판단.

개념설계 : Swing식 구조물을 추가하는 경우



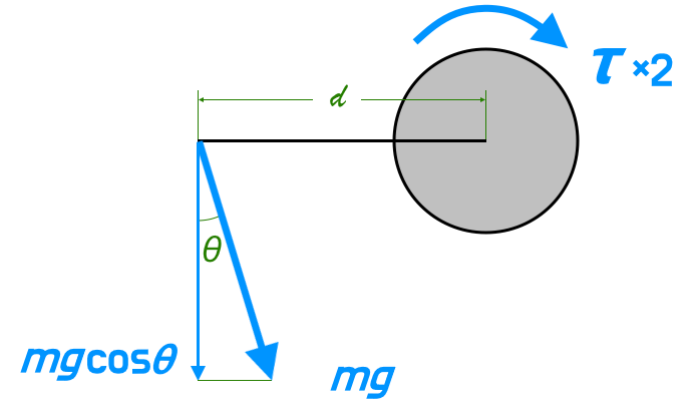
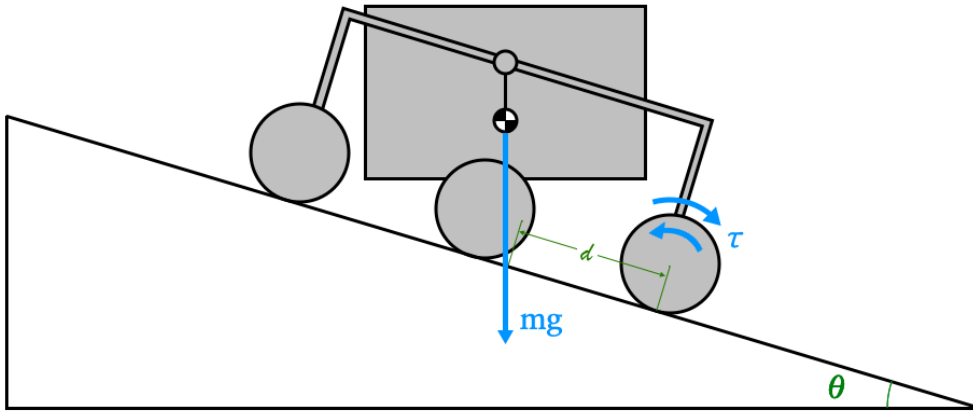
개념설계 : Swing식 구조물을 추가하는 경우



공학적 문제 A

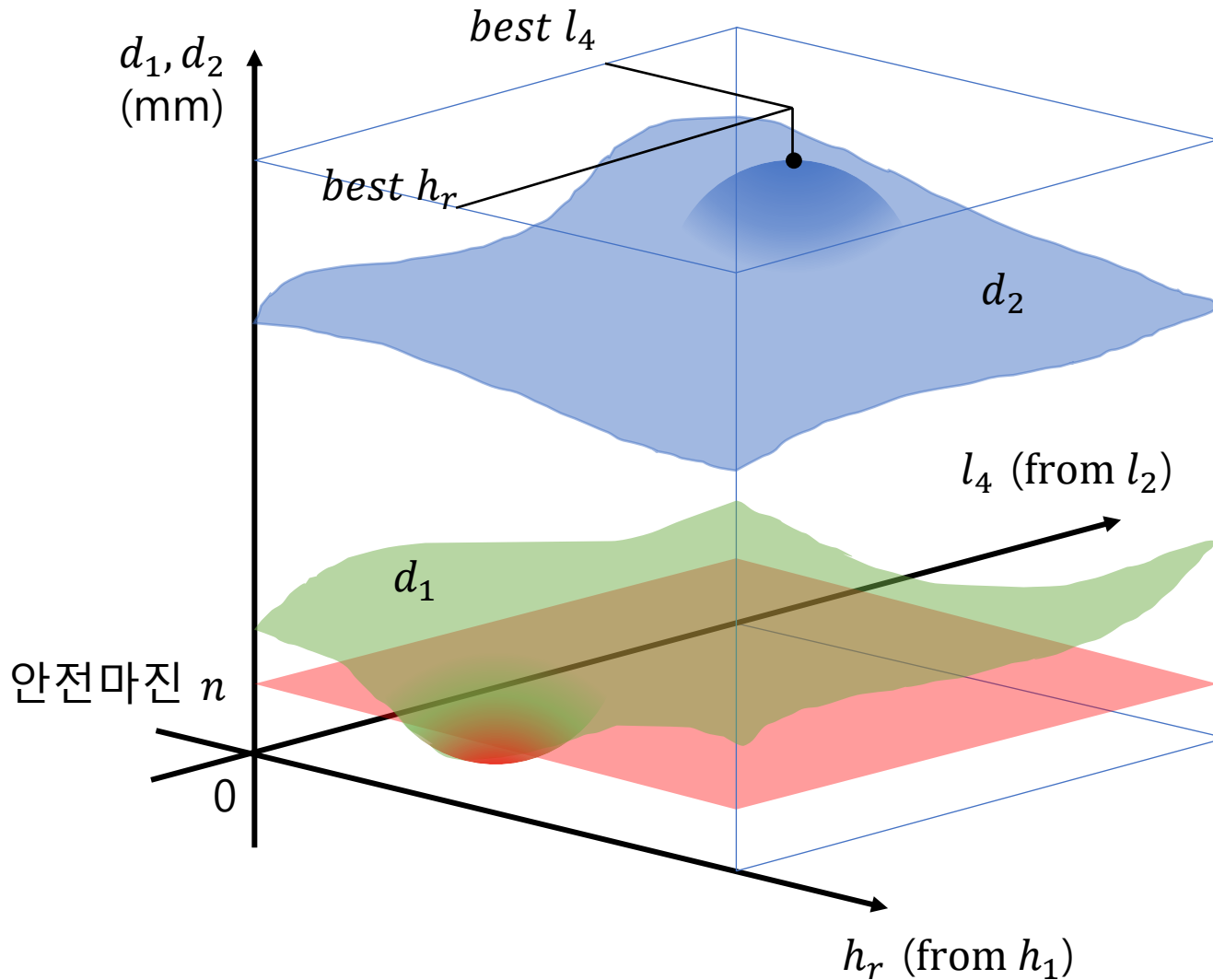
최대 등판각 대응 링크 최적화

공학적 문제 A : 등판 과정에서 로봇이 전도하는 경우



- 경사각 θ 의 빗면을 등판할 때, 후방륜 축을 중심으로 로봇이 받는 모멘트는 크게 두가지
- $dmg \cos \theta < 2\tau$ 일 때 로봇이 후방으로 전도할 것임을 유추할 수 있음
- 경사각 θ 에 대하여 사용 가능한 최대 토크는 $\tau = \frac{dmg \cos \theta}{2}$
- 전도하지 않으면서 사용 가능한 토크를 최대화하기 위해선 d 를 최대화해야 함

공학적 문제 A : d_1, d_2 최적값의 조건과 도출을 위한 접근법



$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & -h_2 \cos \theta \\ -\tan \theta & 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} h_r \\ l_4 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} d_1 \\ d_2 \end{pmatrix}$$

↓

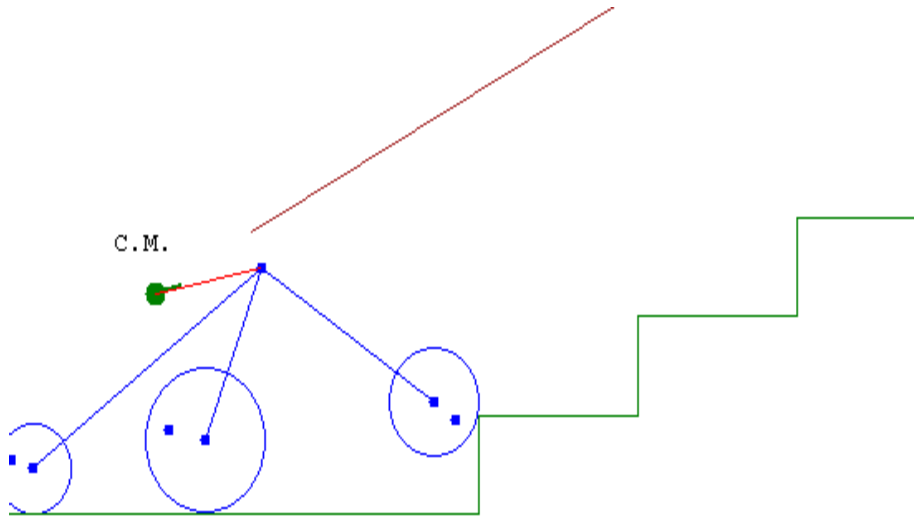
MatLab 이용하여
행렬 계산, 결과 도식화

공학적 문제 B

터 극복 대응 링크 및 바퀴 크기 최적화

공학적 문제 B: 라커보기 링크의 길이와 바퀴의 크기 최적화

[11]



공학적문제

- 장애물을 극복하기 위한 라커보기 링크의 길이와 바퀴 크기의 최적값 구하기

방문

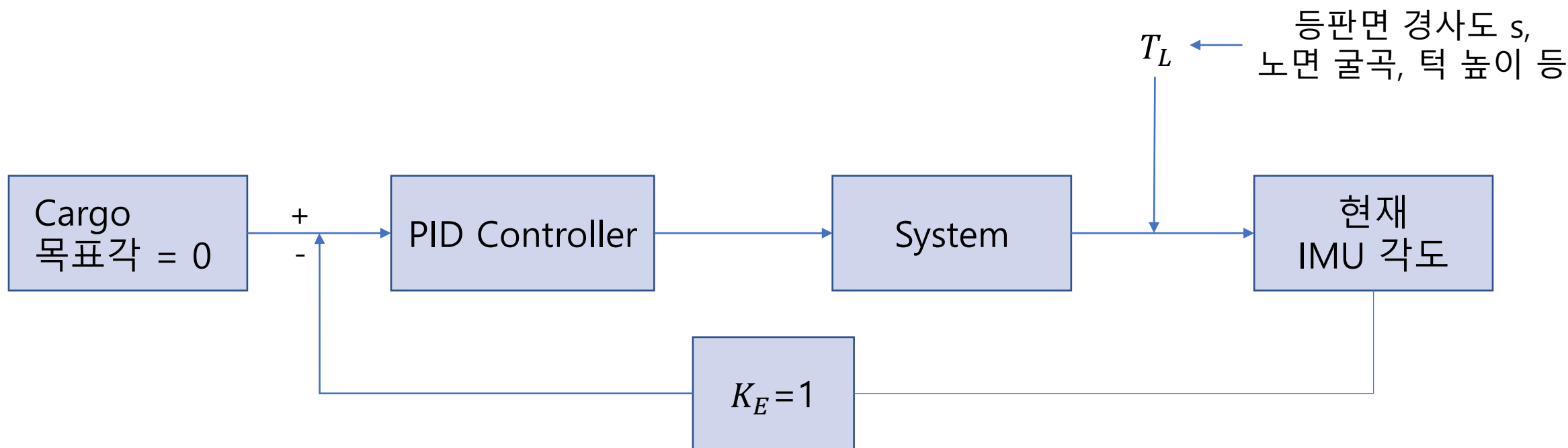
- 로봇의 무게중심 궤적과 장애물의 기울기를 가진 직선과의 면적을 최소화 시키는 구동륜 바퀴의 크기와 라커보기 링크의 길이를 구함
- 다구찌법을 이용하여 최적화 진행예정

공학적 문제 C

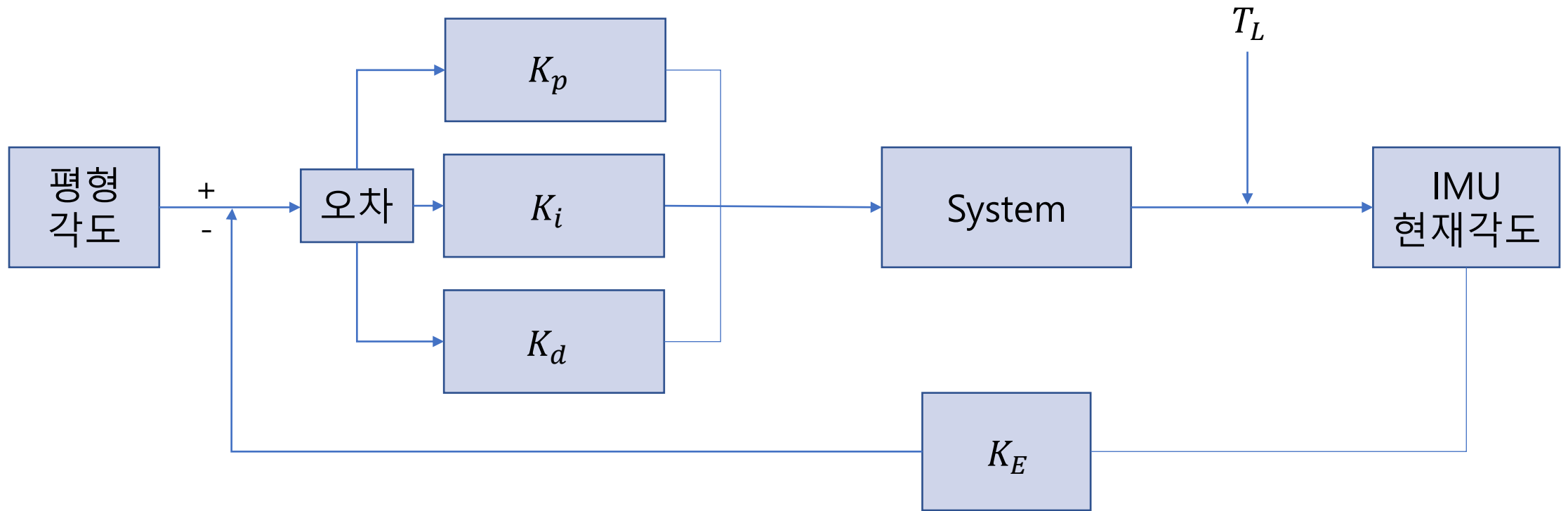
IMU를 이용한 Cargo 평형 제어

공학적 문제 C : Cargo 제어에 필요한 고려사항

- Cargo가 Rocker-Bogie에 연결되는 회전축 중 하나는 자유회전축, 하나는 모터로 제어
→ IMU를 Cargo에 탑재하여 Pitch 방향 IMU 각도가 0을 유지하도록 피드백 제어
- 제어측 모터의 현재 각도와 IMU의 각도값으로부터 다음 순간의 모터 제어각을 결정,
Cargo의 수평 평형을 유지

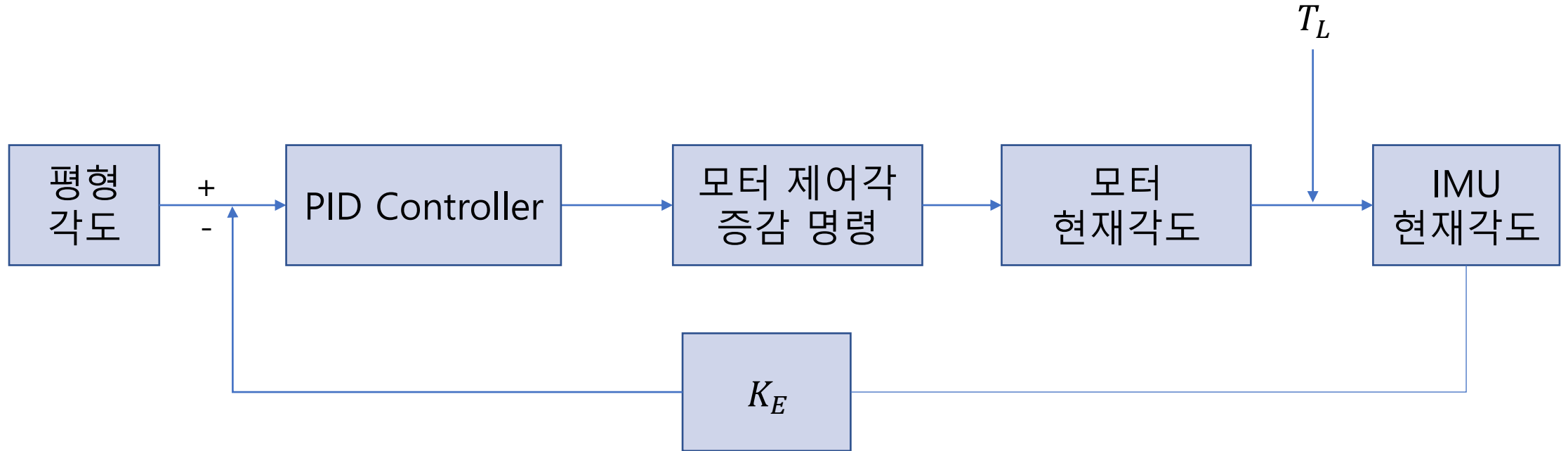


공학적 문제 C : PID 제어계수 결정



$$e(t) = -\theta_{IMU, Pitch}, \quad \theta_{control} = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau - K_d \frac{de(t)}{dt}$$

공학적 문제 C : 모터 제어



$$\theta_{moter, new} = \theta_{moter, frev} + \theta_{control}$$

$$\theta_{IMU, Pitch} = \alpha \theta_{Gyro, Pitch} + (1 - \alpha) \theta_{Acc, Pitch}$$

로드맵 및
참고 문헌

진행 일정

[illegible]

역할 분담

구분	대분류	소분류	역할분담
제어부	-로봇 시스템	IMU Swing PID	송종현, 석영선
		CCTV+SLAM	석영선
		ROS 통합	송종현, 석영선
		라이다	석영선
		모터제어	송종현
설계부	- Rocker-bogie	턱 대응 최적화	김민재
		등판각 대응 최적화	송종현
		Bogie 형상	김민재
		Wheel 선정, 모터 장착	김강현
	- Cargo	Body 설계	김민재
		1축 Swing 설계	김강현
		무게중심해석	송종현
	- 회로	모터, 배터리, 문워커 배치	김강현
		NUC-모터	김민재
		IMU	김강현

참고 문헌 및 사이트

- [1] 사람 대신 로봇이 배달, 실외 상용화 시대 열리나?
(<https://economist.co.kr/article/view/ecn202212030017>)
- [2] 빅체인지 생활로봇시대 시작되었다
(<https://news.mtn.co.kr/news-detail/2022120915065365886>)
- [3] 주문따라 조리, 완성되면 서빙...배달도 하는 요즘 로봇
(https://news.sbs.co.kr/news/endPage.do?news_id=N1006549254&plink=ORI&cooper=NAVER)
- [4] 국내 유통업계 최초 실외 주행 로봇 시범 운영 세븐일레븐, 야외형 자율주행 배달 로봇 '뉴비' 도입
(https://economychosun.com/site/data/html_dir/2021/12/11/2021121100017.html)
- [5] '코로나19 시대, 비대면을 위한 배달 로봇'
(<https://n.news.naver.com/mnews/article/421/0004824718>)
- [6] 길가의 돌·나무조각 안 써도 된다...강남구, 경사주차장 '고임목' 지급 - 경향신문 (khan.co.kr)
(<https://m.khan.co.kr/national/national-general/article/202103251853001#c2b>)
- [7] 횡단보도가 설치됐으나 차도와 인도를 구분하는 경계석은 여전히 높다.
(<http://www.gjtimes.co.kr/news/photoView.html?idxno=17841>)
- [8] tvN '뜻밖의 여정' 캡처 (22.05.22 방영분)
- [9] Deploying on Mars: NASA-JPL Open Source Rover
(<https://www.freedomrobotics.com/blog/building-the-nasa-jpl-open-source-rover>)

참고 문헌 및 사이트

- [10] Sevenoak Carbon Gimbal Swing Panorama Head SK-GH10, 178,33
(<https://www.mediaresort.de/Sevenoak-Carbon-Gimbal-Swing-Panorama-Head-SK-GH10>)
- [11] 라커보기 구조의 로봇 무게중심이 이동하는 모습
(qcnqs.gif (573×266) (imgur.com))
- McGraw Hill – Shigly's Mechanical Engineering Design
- "배달로봇 인도주행 가능 법적 근거 마련" - 정보통신신문
(<http://www.koit.co.kr/news/articleView.html?idxno=101849>)
- [https://www.law.go.kr/법령/도로의구조·시설기준에관한규칙/\(20211213,00922,20211213\)/제25조](https://www.law.go.kr/법령/도로의구조·시설기준에관한규칙/(20211213,00922,20211213)/제25조)
- [https://www.law.go.kr/법령/도로의구조·시설기준에관한규칙/\(20211213,00922,20211213\)/제16조](https://www.law.go.kr/법령/도로의구조·시설기준에관한규칙/(20211213,00922,20211213)/제16조)
- 2022-2 자동화시스템 강의 자료

부록

공학적 문제 A : 등판 중인 로봇의 자유물체도

s = 경사도 (도로시설규칙상 10%, 실제 20% 육박)

h_1 = Rocker 전고

h_2 = 회전축부터 Cargo 바닥면까지의 높이

h_3 = 회전축부터 Cargo 무게중심까지의 높이

l_1 = 차륜 구동축간 거리 (Wheelbase)

l_2 = Rocker-Cargo 회전축 위치

l_3 = Cargo 전장의 1/2

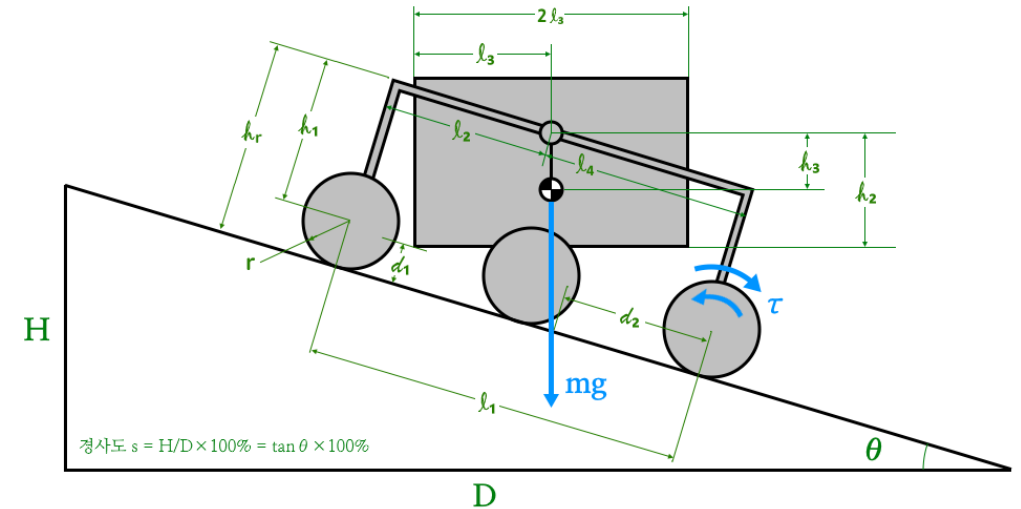
d_1 = 경사면부터 Cargo 바닥면까지 최소간격

d_2 = Cargo 무게 벡터 - 경사면 교점에서부터 후방륜 접지점까지의 거리

r = 차륜 반경

τ = 차륜 모터 토크 (후방륜 1개분)

mg = Cargo 무게 벡터 크기 \rightarrow 로봇 무게중심으로 가정, 로봇 무게 벡터 크기



$$h_r = h_1 + r$$

$$l_4 = l_1 - l_2$$

공학적 문제 A : 상수 및 변수 판단

상수 :

$$s \rightarrow \theta_{max}$$

$mg, h_2, h_3, l_1, l_3, r \rightarrow$ 장애물 극복 설계, 한계크기,
Cargo 형상설계에서 미리 도출

독립변수 :

$h_1, l_2 \rightarrow$ 무게중심 위치 결정하는 핵심 인자

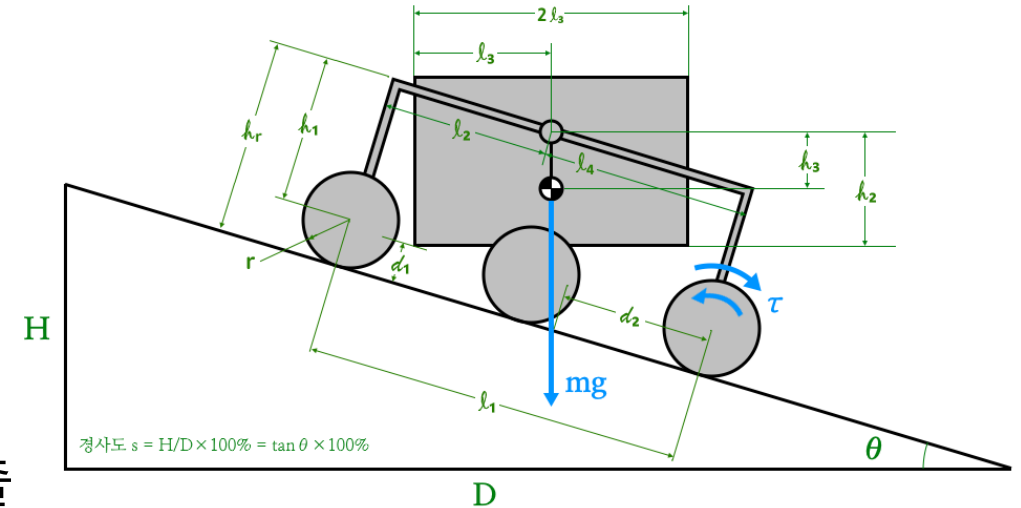
$$(h_r = h_1 + r, l_4 = l_1 - l_2)$$

종속변수:

$d_1 =$ 경사면부터 Cargo 바닥면까지 최소간격

$d_2 =$ Cargo 무게 벡터 - 경사면 교점에서부터 후방륜 접지점까지의 거리

$\tau =$ 차륜 모터 토크 (후방륜 1개분)



공학적 문제 B : 라커보기 링크의 길이와 바퀴의 크기 최적화

- 최적화 문제의 제한조건 정의

1. 바퀴의 크기는 일반적인 바퀴 크기들을 고려해서 최저값을 가지고, 가장 가파른 계단에 대해서 안정 적으로 바퀴가 머무를 수 있도록 최대값을 가지도록 함
2. 하나의 링크로 연결된 W1 과 W2 는 서로 겹치지 않으며, 동시에 계단의 디딤면(계단의 수평면)에 함께 떨어지지 않도록 함
3. W3 가 W2 보다 항상 뒤에 위치
4. 각 링크의 길이도 최소 값과 최대값을 가짐

- 시중에서 판매되는 최소 바퀴크기 $\leq R1, R2, R3 \leq$ 가장 가파른 계단에 대해서 안정적으로 바퀴가 머무를 수 있는 최대값

$$- l4 > R1 + R2$$

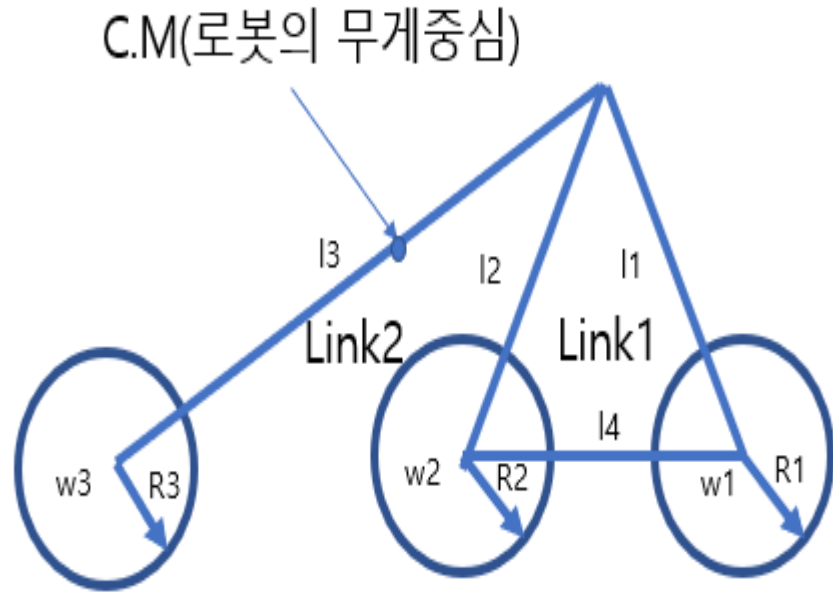
$$- (R2^2 + (b + R1 - R2)^2)^{0.5} \leq l4$$

-

- $R1, R2, R3 \leq l1, l2, l3, l4 \leq l3$ or $l1$ 의 최대 길이값 설정

$$- l3 - R3 > l2 + R2$$

공학적 문제 B : 라커보기 링크의 길이와 바퀴의 크기 최적화



제어인자

- l_1 =Link1의 앞 링크 길이
- l_2 =Link1의 뒤 링크 길이
- l_3 =Link2의 길이
- l_4 = w_1 과 w_2 의 거리
- R_1 =첫번째 바퀴 크기
- R_2 =두번째 바퀴 크기
- R_3 =세번째 바퀴 크기

정의된 목적 함수는

Minimize $f(l_1, l_2, l_3, l_4, R_1, R_2, R_3)$ = C.M의 이동 궤적과 직선사이의 면적