


2023 – 1 Capstone Design (1)

1차 발표

서울과학기술대학교 기계시스템디자인공학과

지도 교수 : 김종형 교수님



Rocker-bogie mechanism
기반 야외 배달로봇 개발

Index

- I. 개발개요
- II. 공학적 문제 A
- III. 공학적 문제 B
- IV. 개념설계
- V. 역할 분담 & 일정
- VI. Q&A
- VII. 출처

Team

팀장 / 20100055 김강현

팀원 / 16100142 송종헌

팀원 / 18100051 김민재

팀원 / 20110008 석영선

개발 개요

개발개요

[1]

HOME > Issue/Focus > 집중분석

성큼 다가 온 '로봇 배달' 시대...넘어야 할 과제는

박대웅 기자 | 승인 2023.02.22 16:59 | 댓글 0

첫 발 댄 자율주행 로봇 보도 통행

이미 기술적으로 고도화를 이뤘지만 그 동안 자율주행 배달 로봇의 발목을 잡은 건 규제였다. 하지만 높았던 규제의 문턱이 점점 낮아지고 있다. 자율주행 로봇의 보도 통행을 가능하게 하는 내용의 법안이 국회 소위를 넘었다. 추가 입법과 하위법령이 마련되면 자율주행 로봇이 실제로 배달하는 일도 가능해진다. 지난 21일 국회 행정안전위원회 법안심사2소위는 이런 내용의 도로교통법 개정안을 통과시켰다. 애초 도로도 검토됐으나 자율주행 로봇의 속도와 안전을 감안해 보도가 더 적합하다 판단한 것으로 알려졌다.

- [1] 성큼 다가 온 '로봇 배달' 시대...넘어야 할 과제는 - 오피니언뉴스
(<http://www.opinionnews.co.kr/news/articleView.html?idxno=80956>)
- [2] 로봇배달 172조 시장 선점 경쟁력 '충분'...정부 육성안 내달 발표 : 네이트 뉴스 (nate.com)
(<https://news.nate.com/view/20230222n09662?mid=n0301>)
- [3] 배달 못하는 '배달로봇'...인도도, 차도도 다닐 수가 없다
(<https://www.hankookilbo.com/News/Read/A2021112915470003518>)

[2]

로봇배달 172조 시장 선점 경쟁력 '충분'...정부 육성안 내달 발표

아시아경제 원문 | 기사전송 2023-02-22 10:14

댓글 0 | 0 | 공유

로보티즈, 배달로봇 개발 초기부터 미국 시장 진출 계획
유진로봇, 유럽 수출 인증 획득

[아시아경제 박형수 기자] 윤석열 정부가 추진하는 '첨단로봇 산업 전략 1.0'의 일환으로 자율주행 로봇의 인도 통행을 허용하는 법안이 국회 소위 문턱을 넘었다. 자율주행로봇이 배달하는 시대가 열릴 날도 머지않았다. 연평균 13.2%씩 성장하며 2030년 시장규모가 1322억달러에 달할 것으로 예상하는 '라스트마일' 시장을 국내 로봇 업체가 선점할 기회를 맞이했다.

배달로봇 관련 정부의 규제 혁신 로드맵



배달로봇 관련 정부의 규제 혁신 로드맵. 그래픽=김문중 기자

개발개요

[4]

[이코노미스트] 입력 2022-12-03 14:00

+ A

- A



사람 대신 로봇이 배달, 실외 상용화 시대 열리나?

[5]

산업

[2023 경제 대예측] YES 50%

[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

[6]

SBS
NEWS

비디오매그

△브스뉴스

연예뉴스

스브스프리미엄



SBS

로그인

분야별

다시보기

취재파일

팟캐스트

이슈

끝까지판다

SBS 8 뉴스

라이브



제보



검색어를 입력하세요

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

- [4] 사람 대신 로봇이 배달, 실외 상용화 시대 열리나?

(<https://economist.co.kr/article/view/ecn202212030017>)

- [5] 빅체인지 생활로봇시대 시작되었다

(<https://news.mtn.co.kr/news-detail/2022120915065365886>)

- [6] 주문따라 조리, 완성되면 서빙...배달도 하는 요즘 로봇

(https://news.sbs.co.kr/news/endPage.do?news_id=N1006549254&plink=ORI&cooper=NAVER)

개발개요

[7]

국내 유통업계 최초 실외 주행 로봇 시범 운영

세븐일레븐, 야외형 자율주행 배달 로봇 '뉴비' 도입

윤희훈 조선비즈 기자

424호 2021.12.11 01:36



모빌리티 스타트업 뉴빌리티가 개발한 자율주행 배달 로봇 '뉴비'. 사진 뉴빌리티

- [7] 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)
- [8] '코로나19 시대, 비대면을 위한 배달 로봇'

[8]

news1 구독

'코로나19 시대, 비대면을 위한 배달 로봇'

입력 2020.08.20. 오후 2:48 · 수정 2020.08.20. 오후 4:43 기사원문

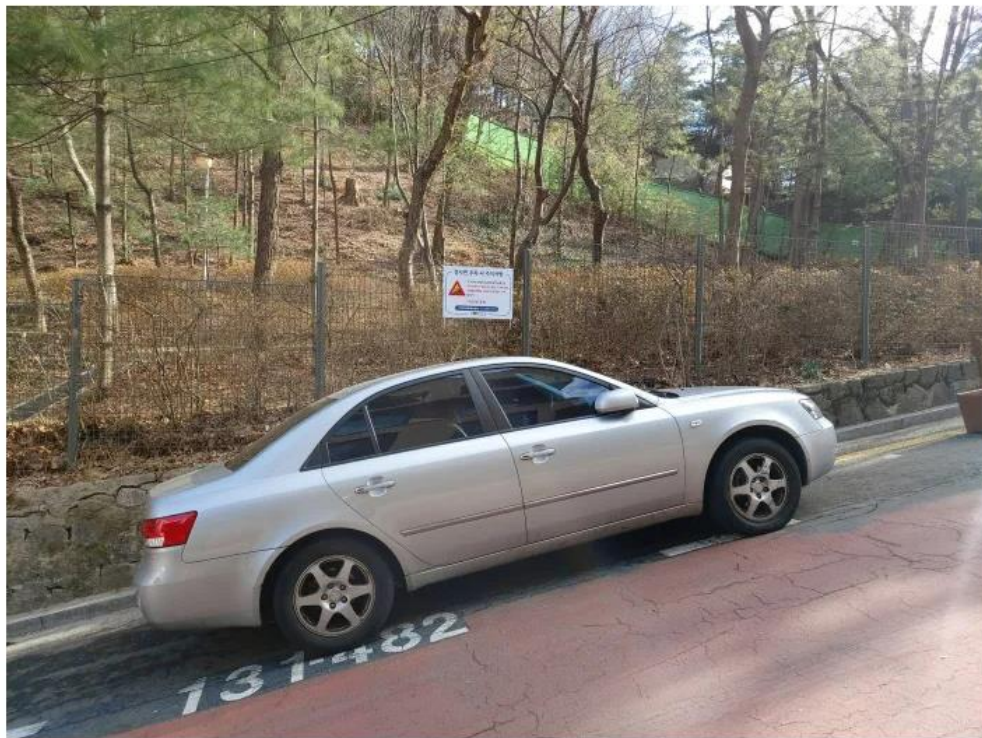
조태형 기자

공감 댓글



개발개요

[9]



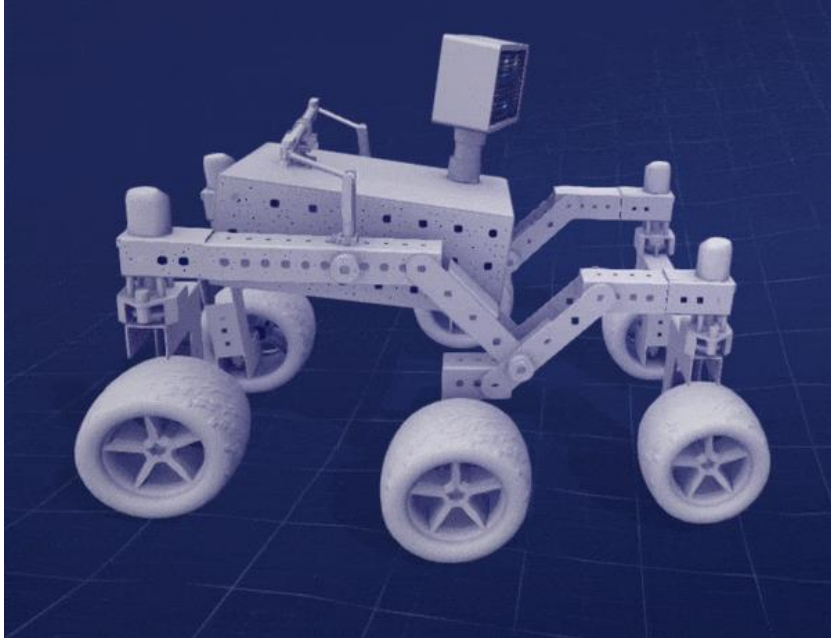
[10]



- [9] 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>)
- [10] 횡단보도가 설치됐으나 차도와 인도를 구분하는 경계석은 여전히 높다.
(<http://www.gjtimes.co.kr/news/photoView.html?idxno=17841>)

개발개요

[11]



[12]



- [11] Deploying on Mars: NASA-JPL Open Source Rover
(<https://www.freedomrobotics.com/blog/building-the-nasa-jpl-open-source-rover>)
- [12] Sevenoak Carbon Gimbal Swing Panorama Head SK-GH10, 178,33 €
(<https://www.mediaresort.de/Sevenoak-Carbon-Gimbal-Swing-Panorama-Head-SK-GH10>)

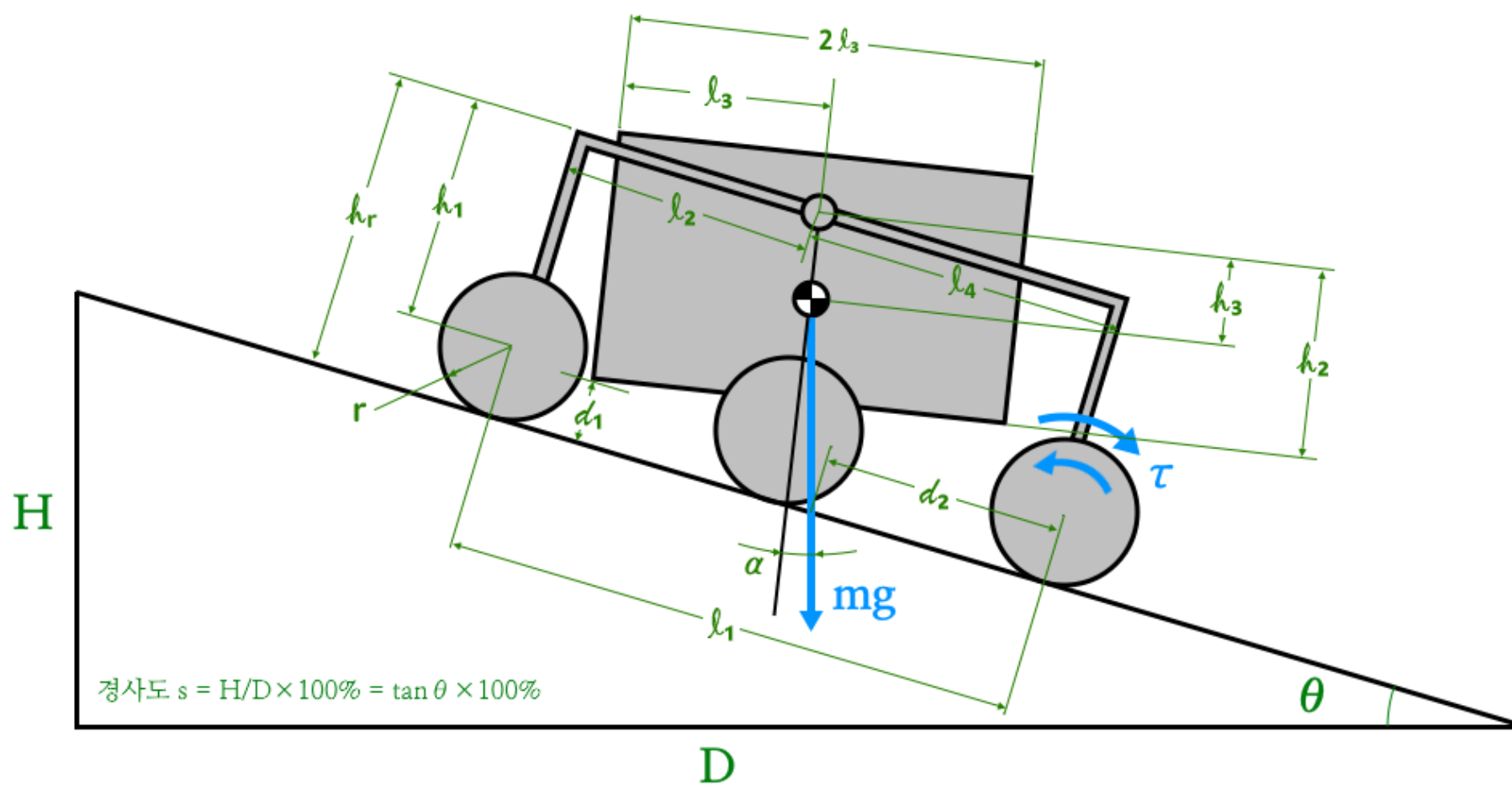
| 시나리오 및 제한조건

- 실내 테스트
- A-경사로 극복 → B-턱 극복 → C-장애물 회피
- 전체 과정에서 경로 탐색, 음료의 안정성 유지를 지속 수행
- 이동경로상에서 SLAM에 필요한 라이다 데이터와 CCTV 이미지 획득에는 문제가 없다고 가정
- 횡단경사는 무시할 수 있는 수준이라고 가정

공학적 문제 A

최대 등판각 대응 링크 최적화

공학적 문제 A : 등판 중인 로봇의 자유물체도



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

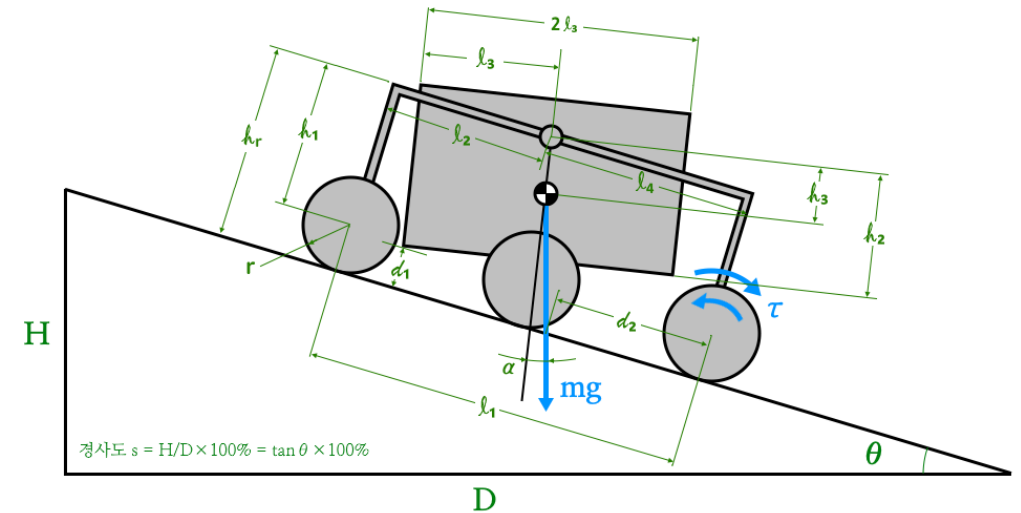
d_2 = Cargo 무게 벡터 - 경사면 교점에서부터 후방륜 접지점까지의 거리

r = 차륜 반경

α = Cargo 최대 틸트 각도

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 :

$\alpha \rightarrow d_1$ 확보를 위해 Cargo 추가로 기울이는 각도

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

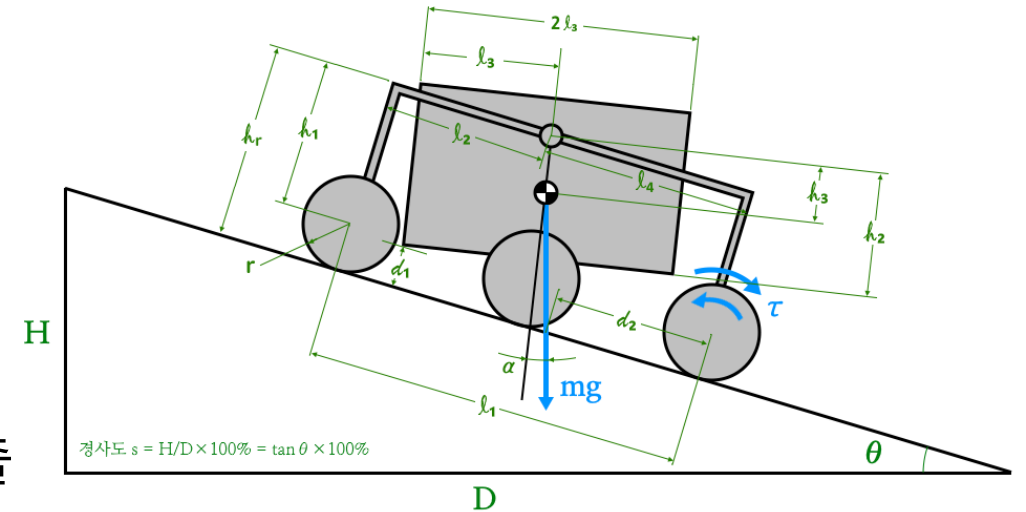
$$(h_r = h_1 + r, l_4 = l_1 - l_2)$$

종속변수:

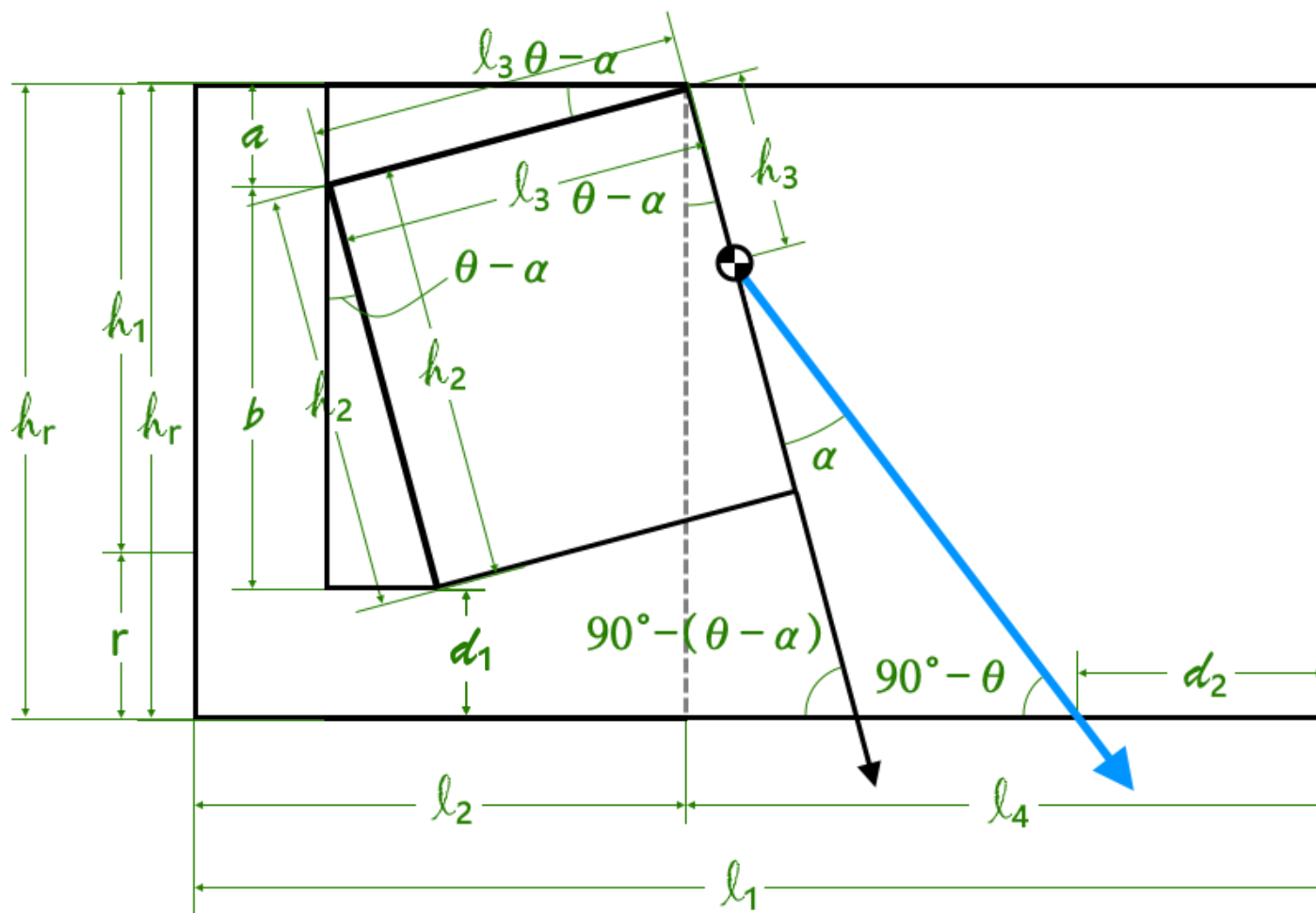
$d_1 =$ 경사면부터 Cargo 바닥면까지 최소간격

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

$\tau =$ 차륵 모터 토크 (후방륵 1개분)



공학적 문제 A : 자유물체도 해석 (d_1 도출)



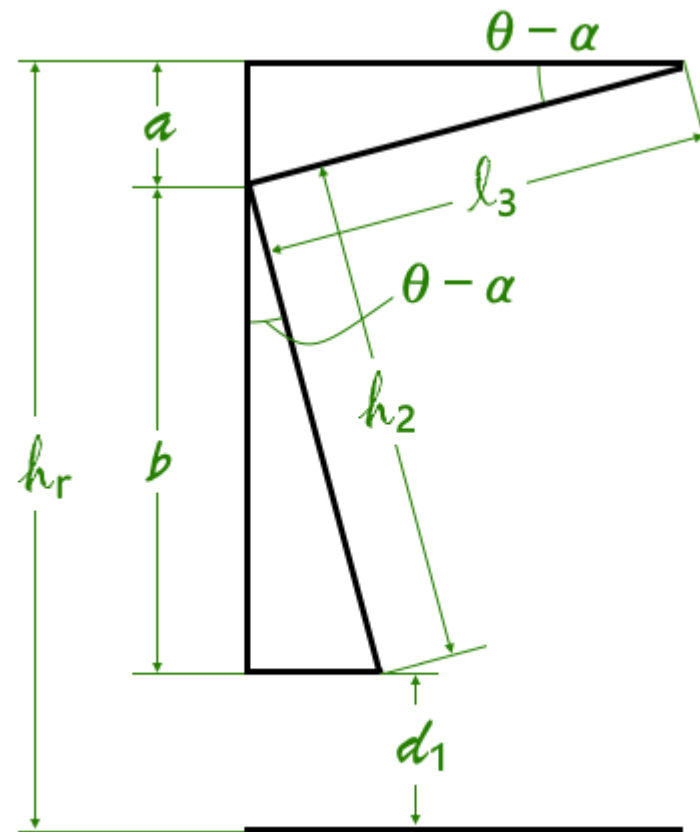
공학적 문제 A : 자유물체도 해석 (d_1 도출)

$$a = l_3 \sin(\theta - \alpha)$$

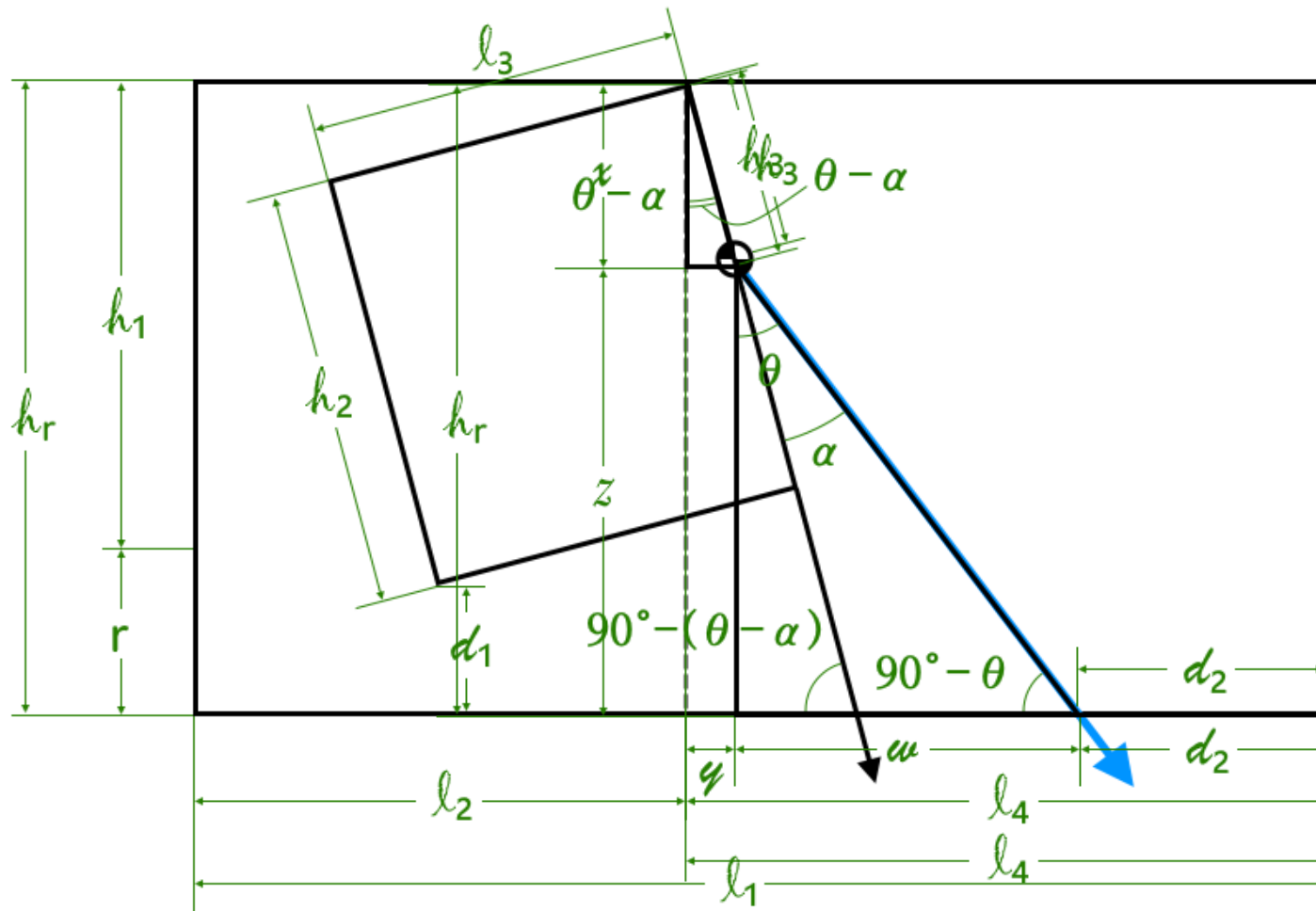
$$b = h_2 \cos(\theta - \alpha)$$

$$a + b + d_1 = h_r$$

$$\begin{aligned} d_1 &= h_r - b - a \\ &= h_r - h_2 \cos(\theta - \alpha) - l_3 \sin(\theta - \alpha) \end{aligned}$$



공학적 문제 A : 자유물체도 해석 (d_2 도출)



공학적 문제 A : 자유물체도 해석 (d_2 도출)

$$x = h_3 \cos(\theta - \alpha)$$

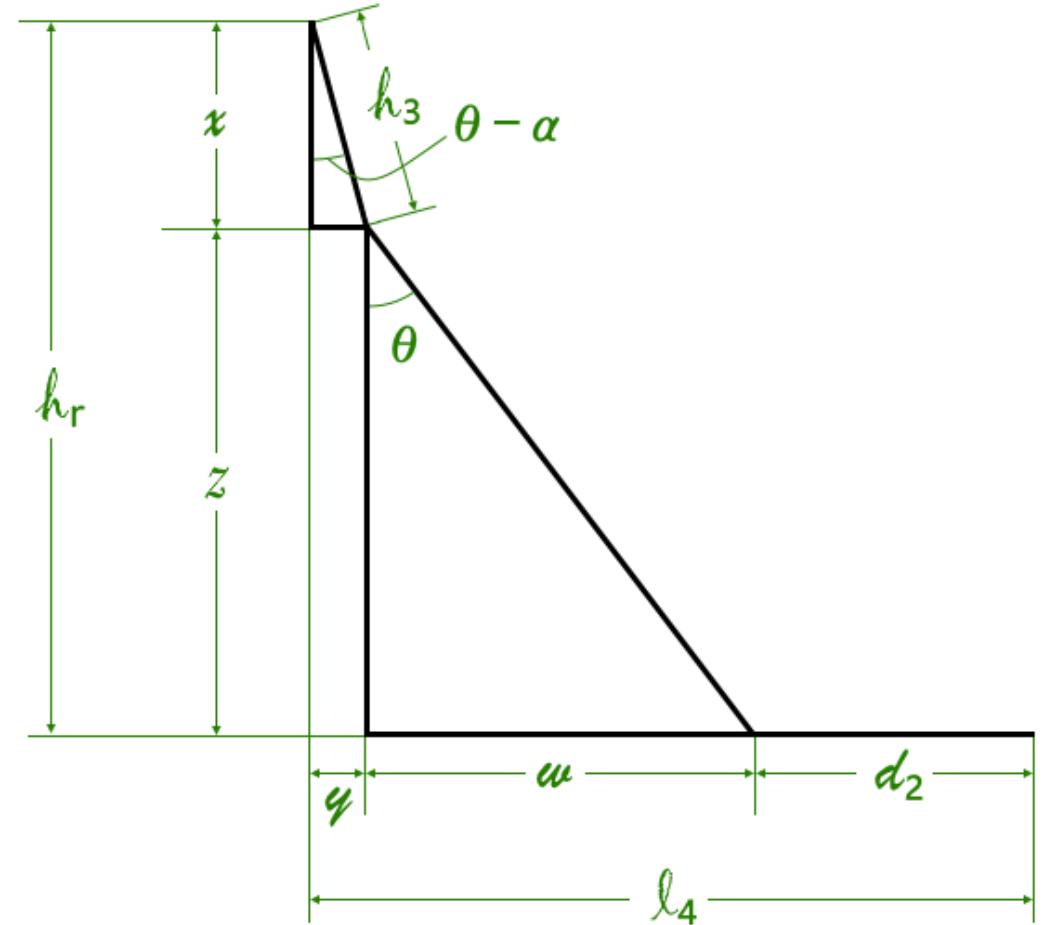
$$y = h_3 \sin(\theta - \alpha)$$

$$\begin{aligned} z &= h_r - x \\ &= h_r - h_3 \cos(\theta - \alpha) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} w &= z \tan \theta \\ &= h_r \tan \theta - h_3 \tan \theta \cos(\theta - \alpha) \end{aligned}$$

$$y + w + d_2 = l_4$$

$$\begin{aligned} d_2 &= -w - y + l_4 \\ &= -h_r \tan \theta + h_3 \tan \theta \cos(\theta - \alpha) - h_3 \sin(\theta - \alpha) + l_4 \\ &= -h_r \tan \theta + h_3 (\tan \theta \cos(\theta - \alpha) - \sin(\theta - \alpha)) + l_4 \end{aligned}$$



공학적 문제 A : d_1, d_2 계산식의 행렬 표현

$$d_1 = h_r - h_2 \cos(\theta - \alpha) - l_3 \sin(\theta - \alpha)$$

$$d_2 = -h_r \tan \theta + h_3 (\tan \theta \cos(\theta - \alpha) - \sin(\theta - \alpha)) + l_4$$

$$\begin{pmatrix} 1 & -\cos(\theta - \alpha) & 0 & -\sin(\theta - \alpha) & 0 \\ -\tan \theta & 0 & \tan \theta \cos(\theta - \alpha) & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} h_r \\ h_2 \\ h_3 \\ l_3 \\ l_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} d_1 \\ d_2 \end{pmatrix}$$

공학적 문제 A : k계수를 이용한 표현

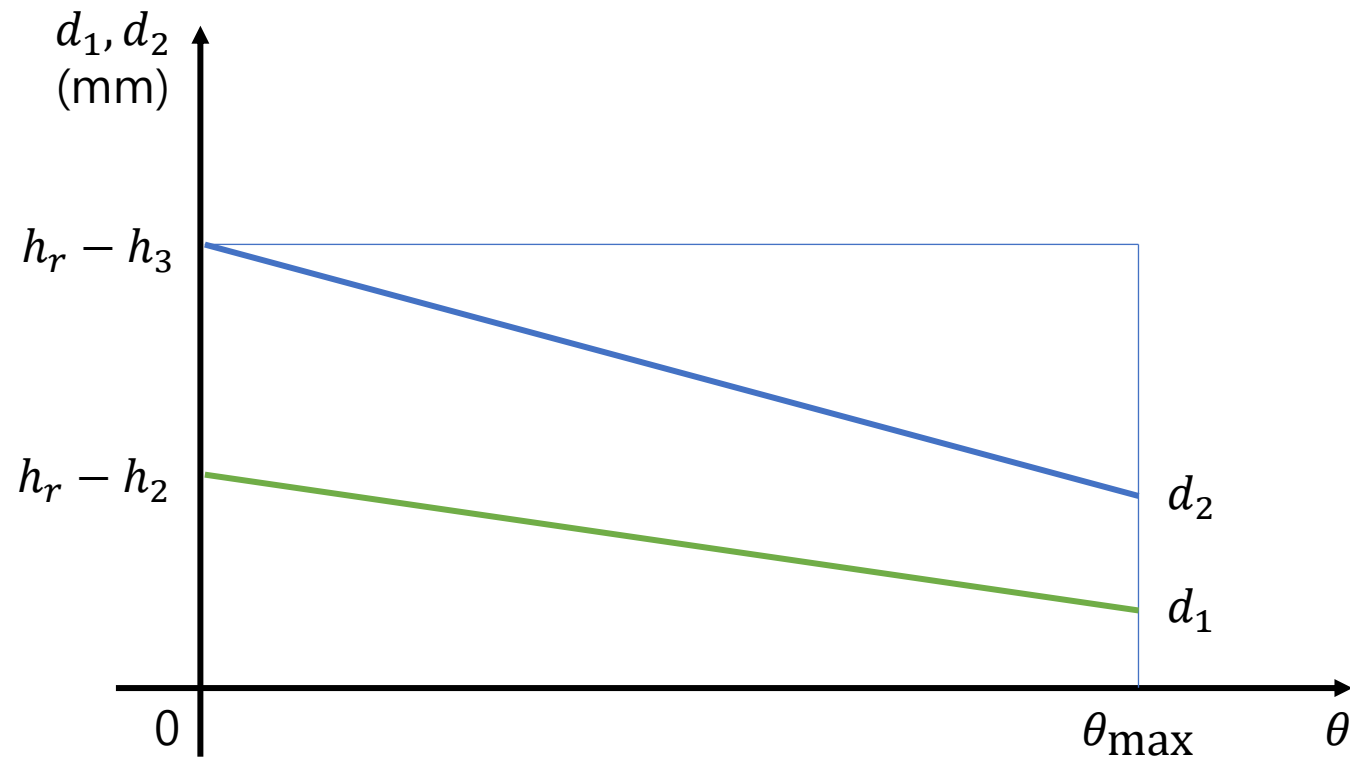
$\alpha = 0$ ($k = 1$)일 때

$$\begin{pmatrix} 1 & -\cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ -\tan \theta & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} h_r \\ h_2 \\ l_3 \\ l_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} d_1 \\ d_2 \end{pmatrix}$$

$\alpha = \theta$ ($k = 0$)일 때

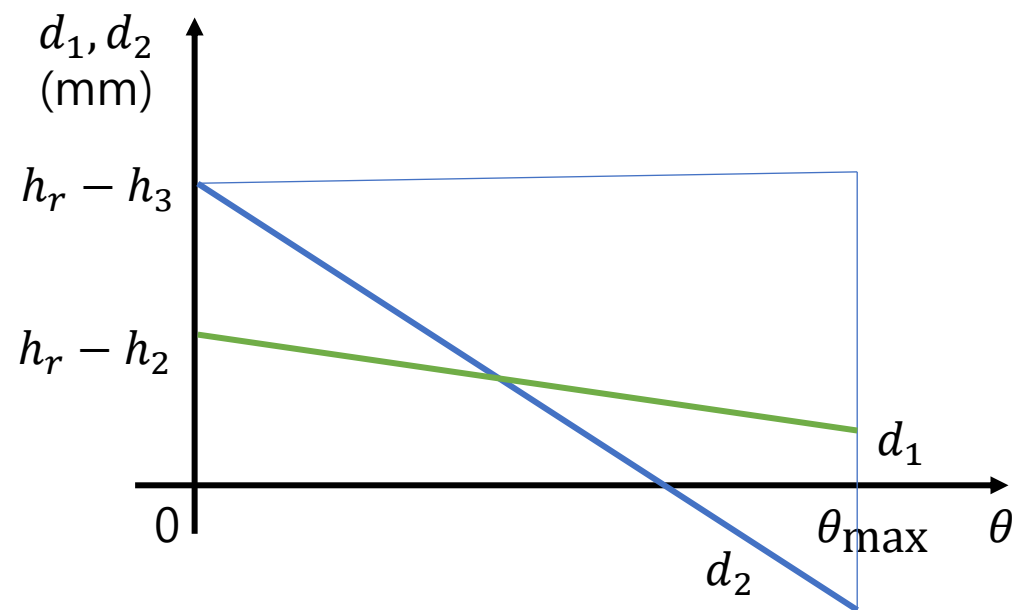
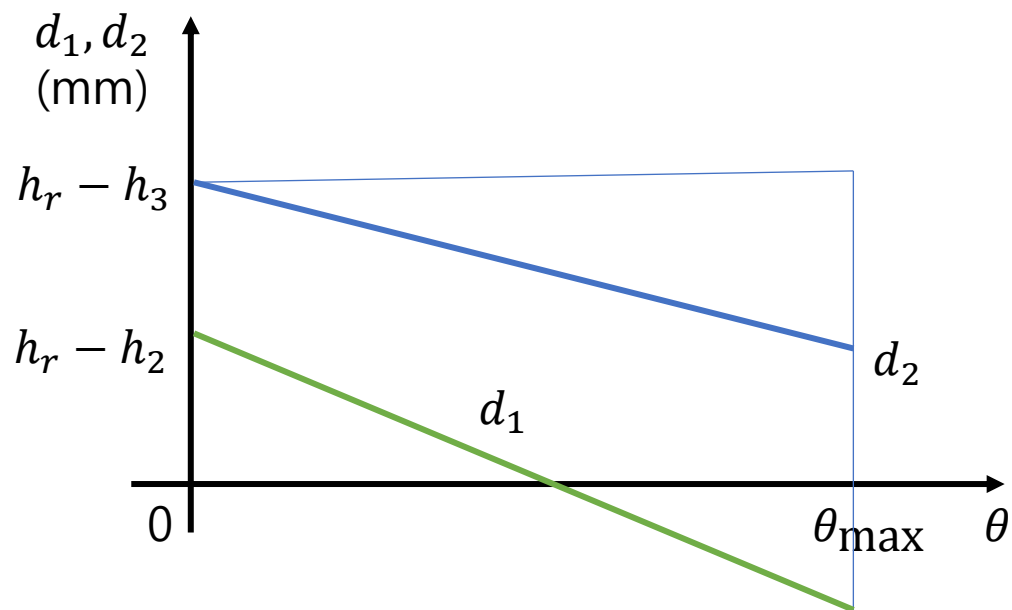
$$\begin{pmatrix} 1 & -1 & 0 & 0 \\ -\tan \theta & 0 & \tan \theta & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} h_r \\ h_2 \\ h_3 \\ l_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} d_1 \\ d_2 \end{pmatrix}$$

공학적 문제 A : θ 변화에 따른 d_1, d_2 값의 그래프화



k 값을 정해줬을 때 d_1, d_2 행렬은 θ 에 대한 삼각방정식
연속적인 θ 변화에 대한 그래프로 표현 가능

공학적 문제 A : θ 변화에 따른 d_1, d_2 값의 그래프화

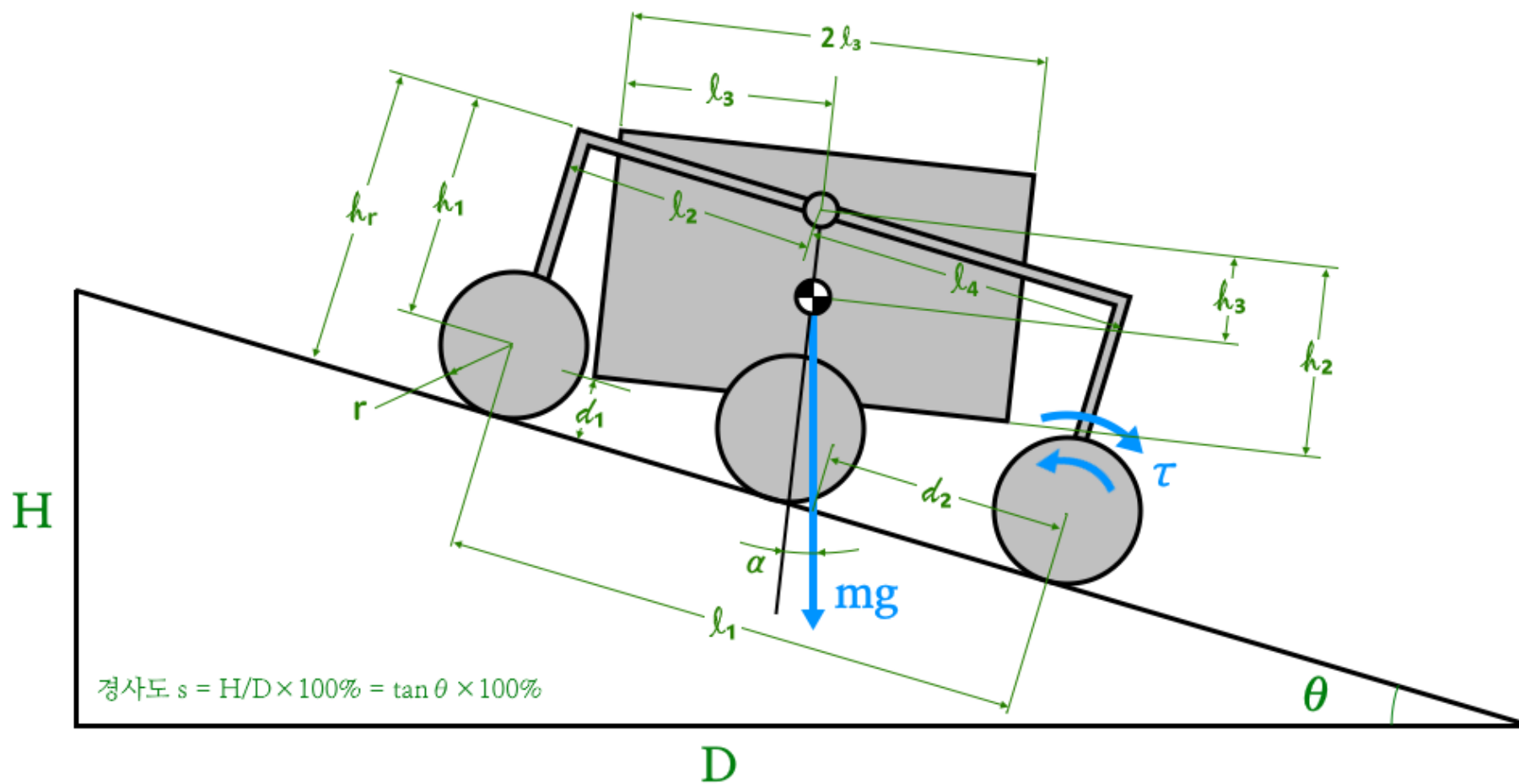


최대등판각 도달 이전에 d_1, d_2 가 음의 값으로 가면 부적합

$d_1 < 0$: Cargo가 지면에 충돌함

$d_2 < 0$: 무게중심이 축 뒤로 넘어감

공학적 문제 A : 후방륵 축을 중심으로 한 모멘트 평형



공학적 문제 A : 후방륜 축을 중심으로 한 모멘트 평형

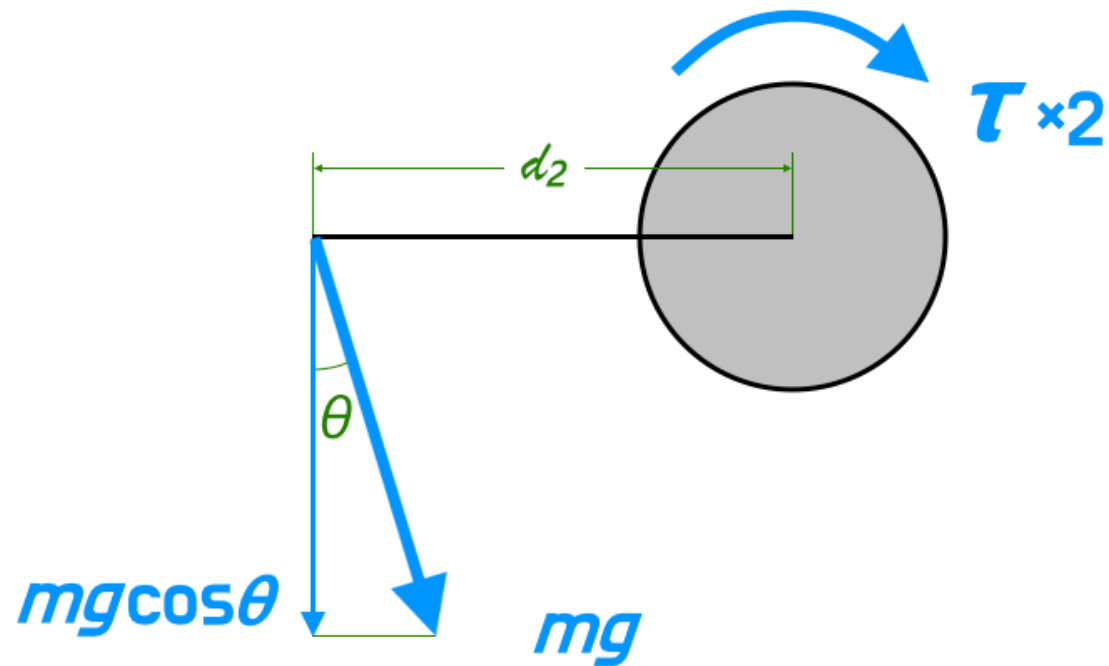
$$T_1 = d_2 \times mg \cos \theta$$

$$T_2 = 2\tau$$

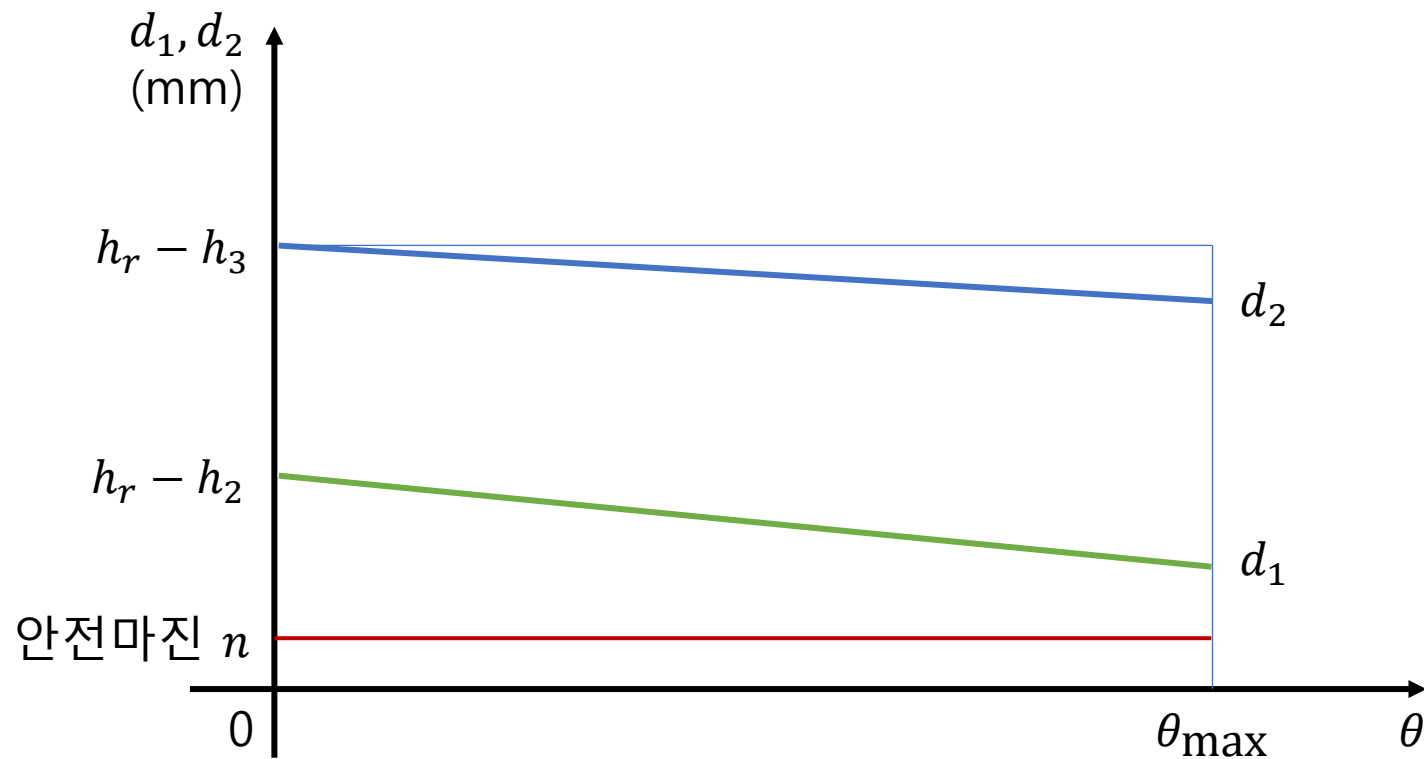
로봇이 전도하지 않으려면 $T_1 \geq T_2$

최대등판각에서 $T_1 = T_2$

$$\tau = \frac{d_2 mg \cos \theta_{max}}{2} \quad \rightarrow \quad d_2 \text{가 클수록 허용최대출력 증가}$$

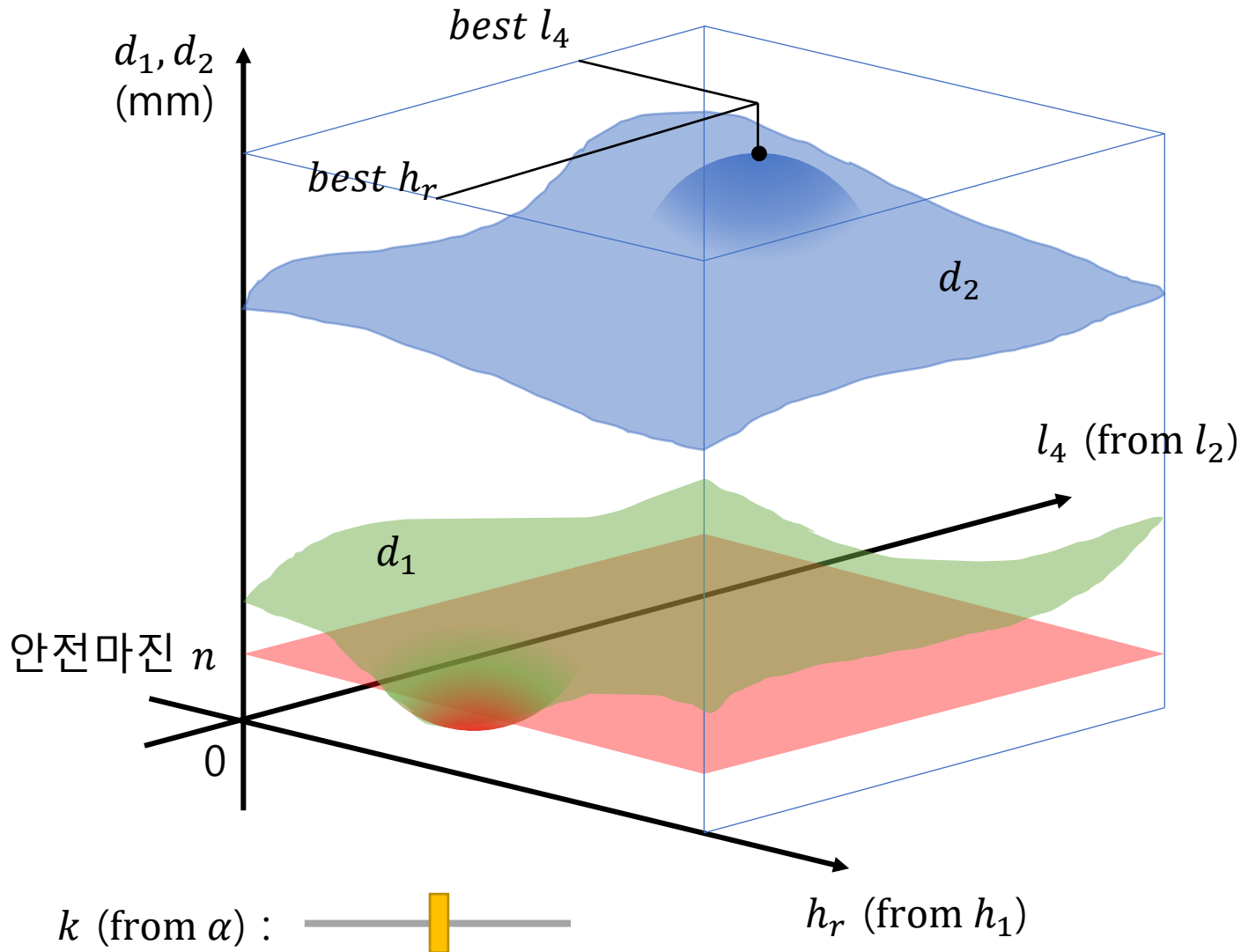


공학적 문제 A : d_1, d_2 최적값의 조건과 도출을 위한 접근법



d_1 이 안전마진 이상을 유지하면서, d_2 가 최대값을 갖는 조건 탐색

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

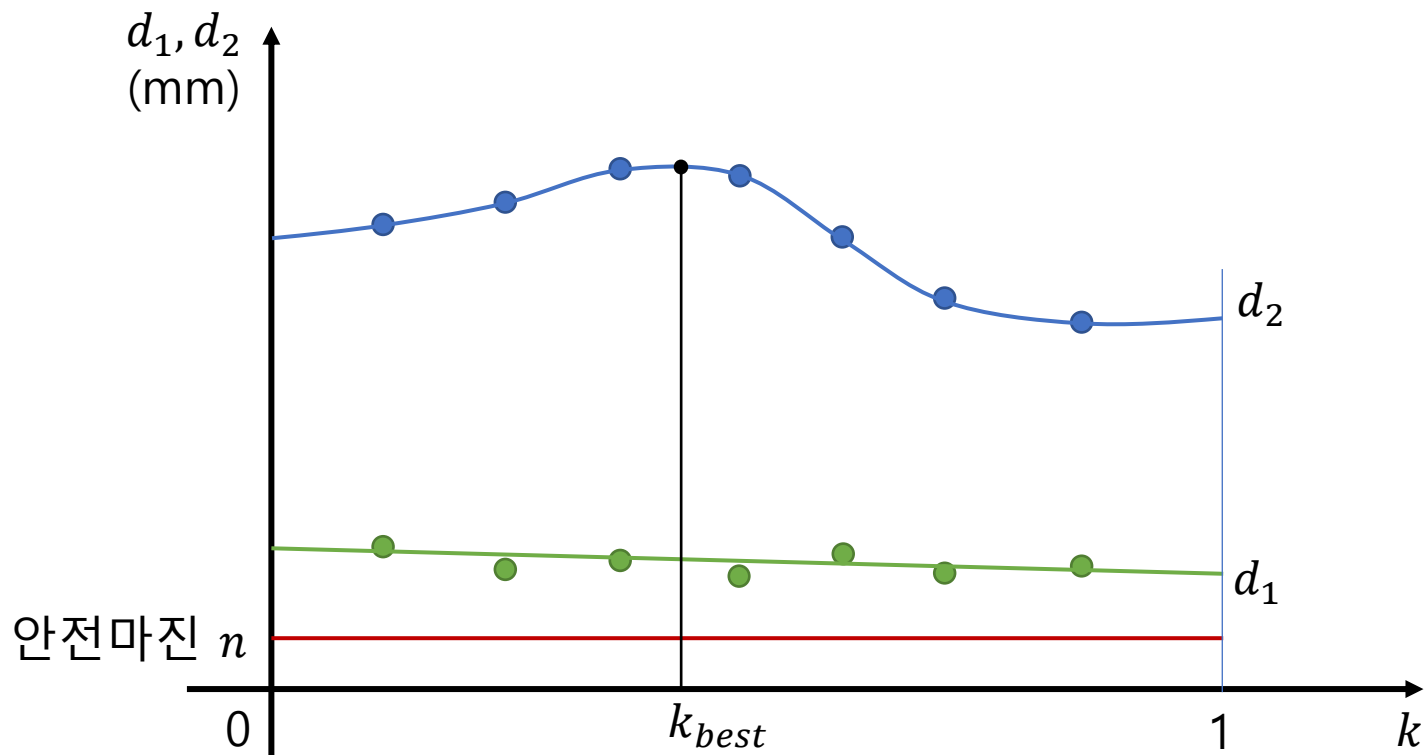


$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & -h_2 \cos(k\theta) \\ & -l_3 \sin(k\theta) & \\ -\tan \theta & 1 & h_3 \begin{pmatrix} \tan \theta \cos(k\theta) \\ -\sin(k\theta) \end{pmatrix} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} h_r \\ l_4 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} d_1 \\ d_2 \end{pmatrix}$$

↓

MatLab 이용하여
행렬 계산, 결과 도식화

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

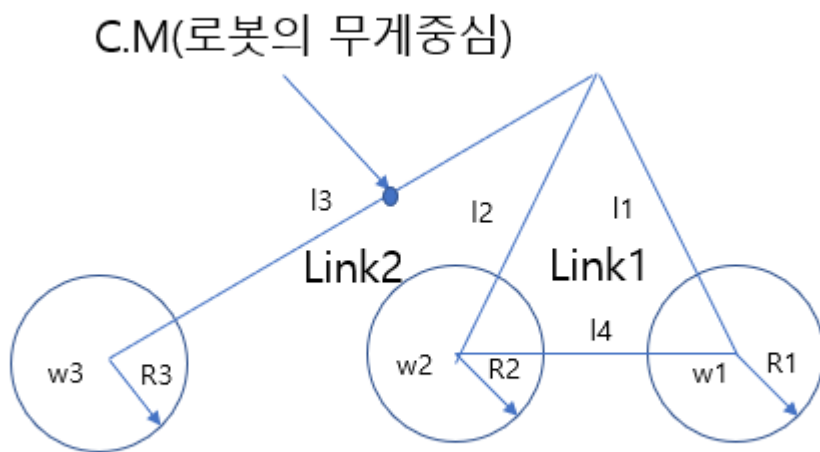


선택한 임의의 k 값들에서 d_1, d_2 를 선형보간하여 최적값 획득
→ 해당 k 값에서 해당 d_1, d_2 를 도출하는 h_1, l_2 를 획득하여 문제 해결

공학적 문제 B

터 극복 대응 링크 및 바퀴 크기 최적화

공학적 문제 B : 라커보기 링크의 길이와 바퀴의 크기 최적화



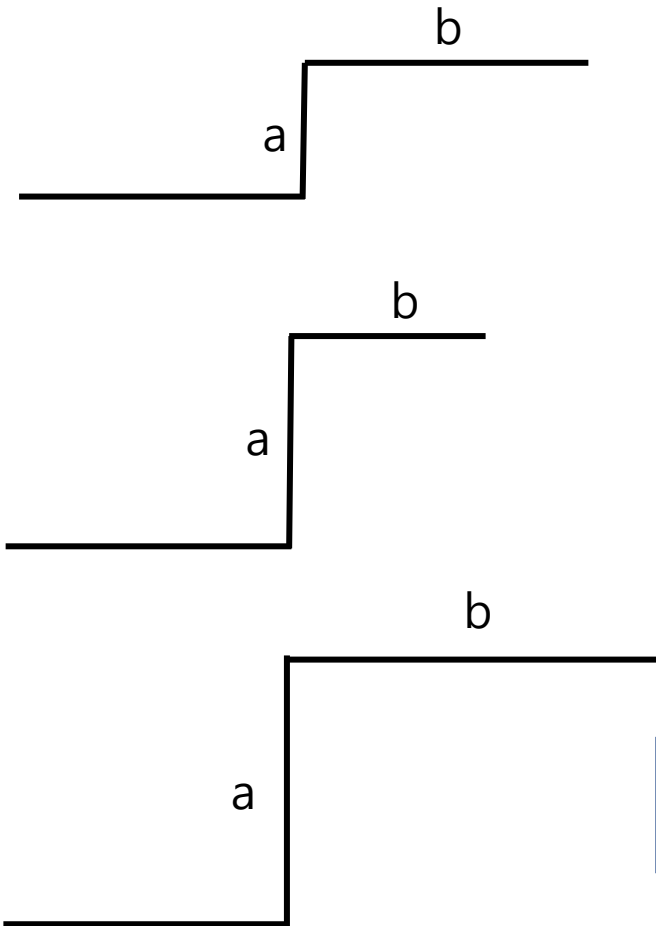
제어인자

- 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

잡음인자(Noise factor)

- 계단의 높이 및 너비

공학적 문제 B : 라커보기 링크의 길이와 바퀴의 크기 최적화



- 장애물로 선정할 물체의 기울기를 선정, 로봇의 무게중심 궤적이 직선의 형상에서 멀어질수록 계단등반 동안 로봇의 움직임이 일정하지 못함을 의미
- 로봇의 무게중심 궤적과 장애물의 기울기를 가진 직선과의 면적 이 최소화시키는 것이 최적화의 목적으로 함
- 즉 정의된 목적 함수는

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

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

- 다구찌법 사용

야외환경 같이 다양한 요인들에도 가장 둔감한 조건(강건 설계방법)을 찾음으로써 더 안정적인 로봇을 만들 수 있음.

무게중심 궤적의 진직 오차를 최소화하는 것이 목적이므로 smaller-the-better 문제로 풀이
계단의 형상을 noise factor 로 적용하여 S/N 비를 구하고 그 S/N 비를 최대화 함

[13]

$$SN = -10 \cdot \log \left| \frac{y_1^2 + y_2^2 + y_3^2}{3} \right| \quad [dB]$$

y_i : Tracking Error with i -th noise factor

- [13] 라커-보기 구조를 갖는 카트의 계단 등반 성능 최적화

(CFKO201028451829635.pdf (koreascience.kr))

개념설계

개념설계 : 목적

- 시나리오 환경에서 험지 주파에 장애가 없는 동시에 흔들림을 최소화할 수 있는 음료 배달로봇
- 음식이 아닌 음료배달을 목적으로 선택한 이유 : 눈으로 확인하기 쉽고 스테빌라이저 효과를 가장 잘 이용할수 있을것이라고 예상 됨

| 개념설계 : 기능

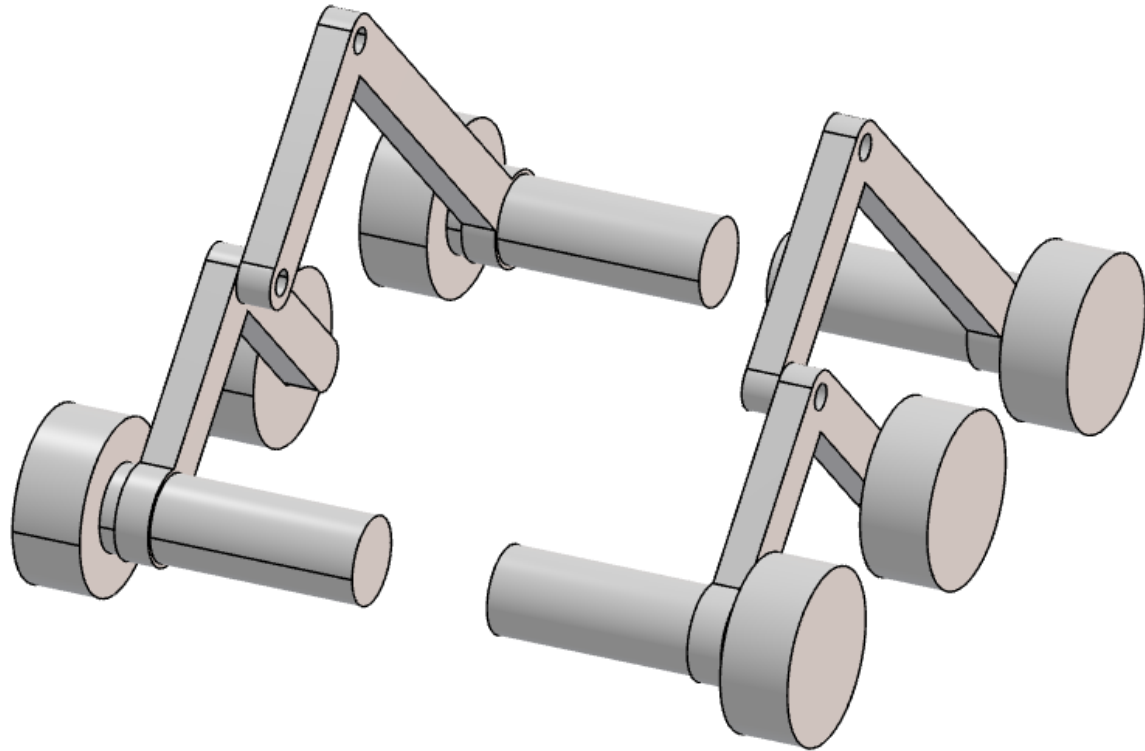
- 험지에 기계적으로 적응할 수 있는 구동계
- 흔들림에 제어적으로 적응할 수 있는 스테빌라이저
- 두 시스템을 연결하면서 상호 기능을 방해하지 않는 결합
- 시속 7km의 속력을 낼 수 있으며 15cm의 장애물 극복가능
- 극복이 불가능한 장애물에 대해 새 경로 설정가능

개념설계 : 요구 사양 선정 이유

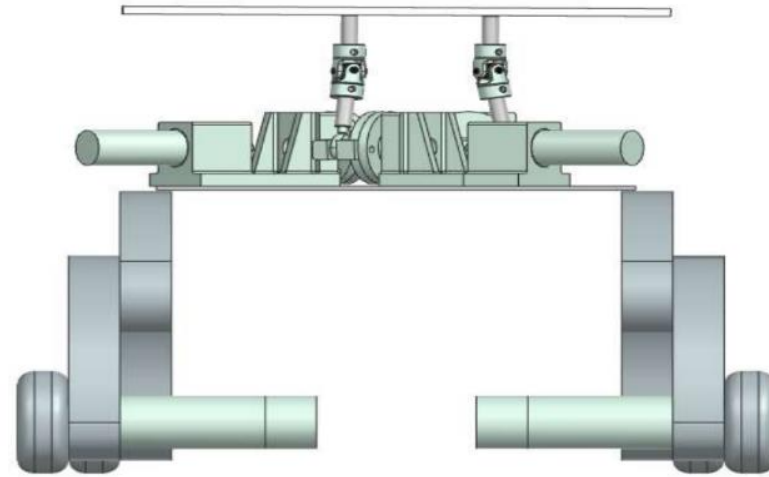
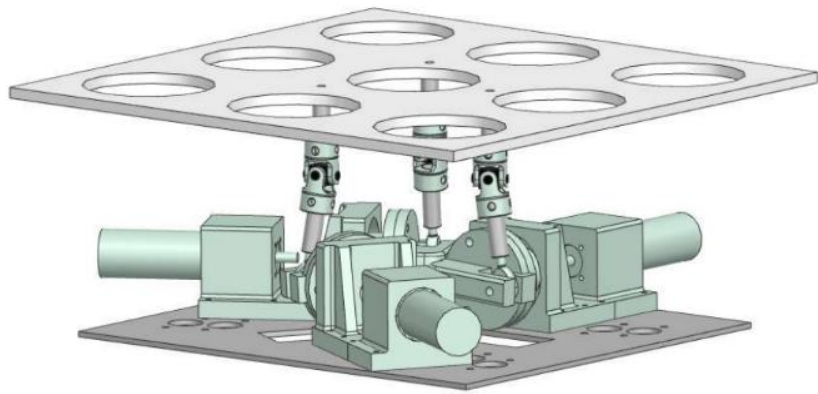
- 장애물의 크기: 인도와 차도 사이의 턱 높이가 15cm 이므로 극복 가능한 장애물의 최대 높이를 15cm로 선정 -> 15cm 이상의 장애물의 경우 극복 불가능한 장애물로 인식하여 새 경로 탐색
- 로봇의 속도: 사고발생시 보행자의 안전을 위해 보행자와 비슷한 속력인 7km/h로 선정 -> 장애물 극복시 너무 큰 충격이 발생하면 속력을 줄이는 방향으로 조정
- 제한조건: 로커-보기 구조가 계단과 같이 연속으로 이루어진 장애물, 15cm 이상의 장애물에 취약하므로 극복 불가능한 장애물로 인식
- 극복 여부 판단 방법: 레이더 맵핑 센서의 높이 조절을 통해 15cm 미만의 장애물은 극복 가능 장애물로 판단 -> 로봇의 이동에 따라 레이더 맵핑 센서의 측정 각도가 변할 경우 swing 부분에 센서를 결합시켜 일정한 각도를 유지

개념설계 : 구조

- 링크와 다중 구동륜을 이용한 Rocker-Bogie 메커니즘을 사용

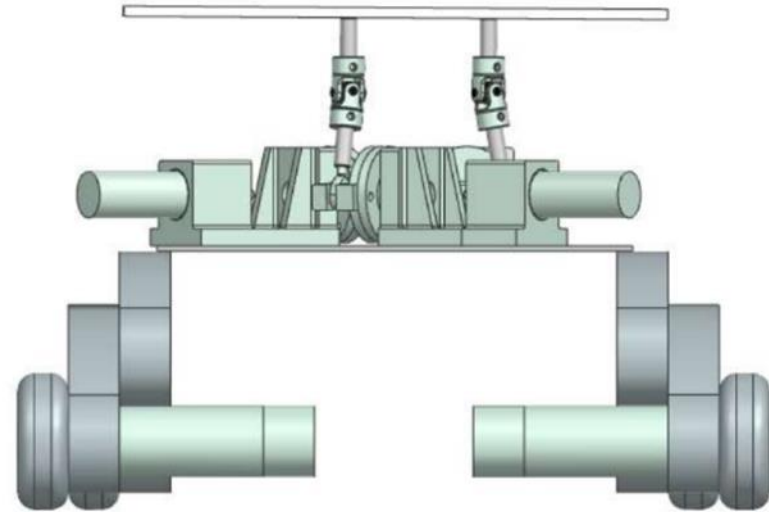
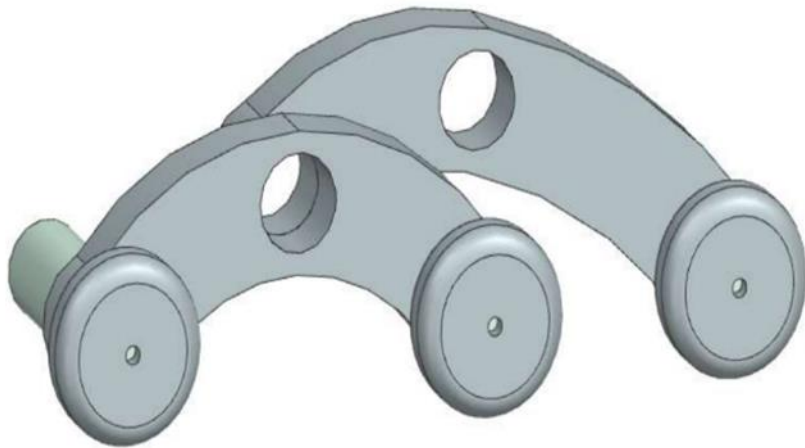


개념설계 : Rocker-bogie 와 stabilizer 결합 (초기 연구)



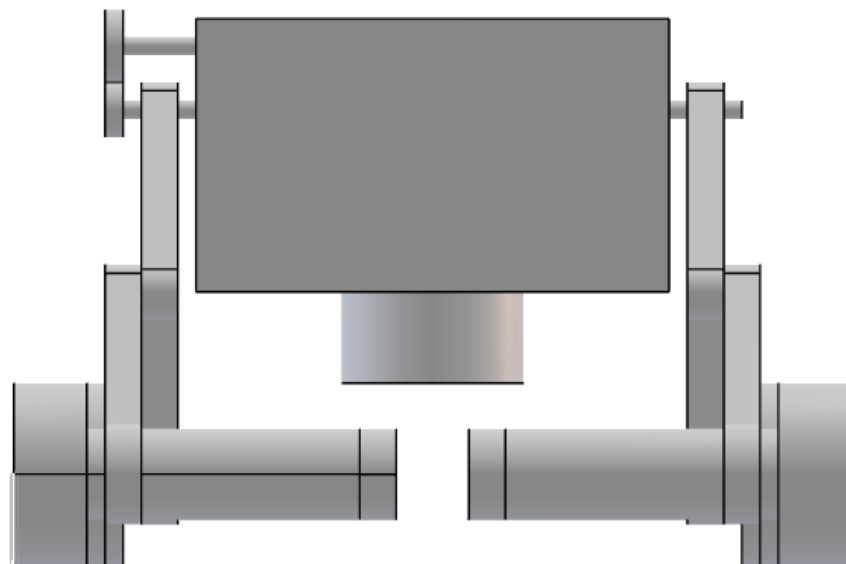
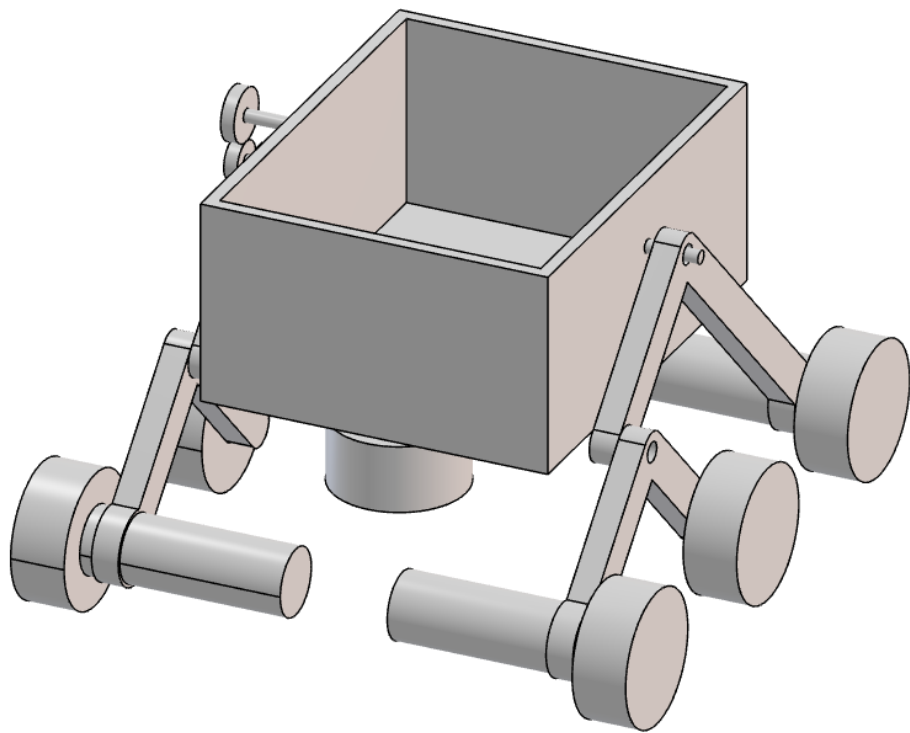
라커보기 구조 위에 그대로 올릴 시
-무게중심이 너무 높아지는 단점

개념설계 : Rocker-bogie 와 stabilizer 결합 (초기 연구)



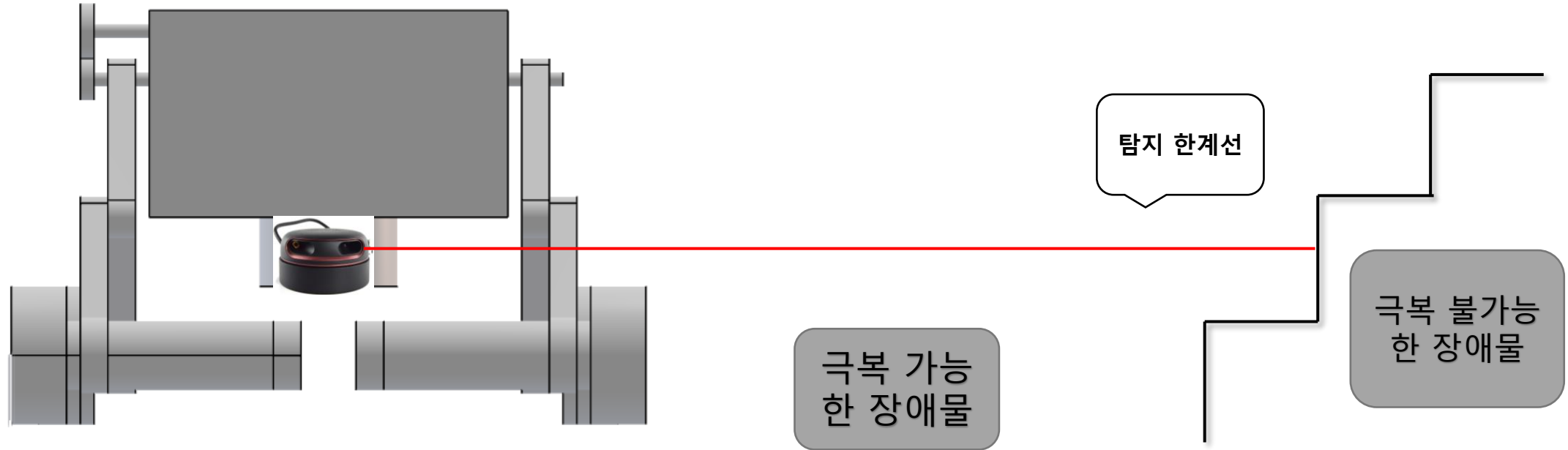
→ 단순 야외 노면 주행은 가능할 것으로 보이지만, 보기 링크의 가동범위가 크게 제한되며 턱이나 계단 등 극단적인 장애물은 돌파가 불가능할 것으로 보임

개념설계 : Swing식 구조물을 추가하는 경우



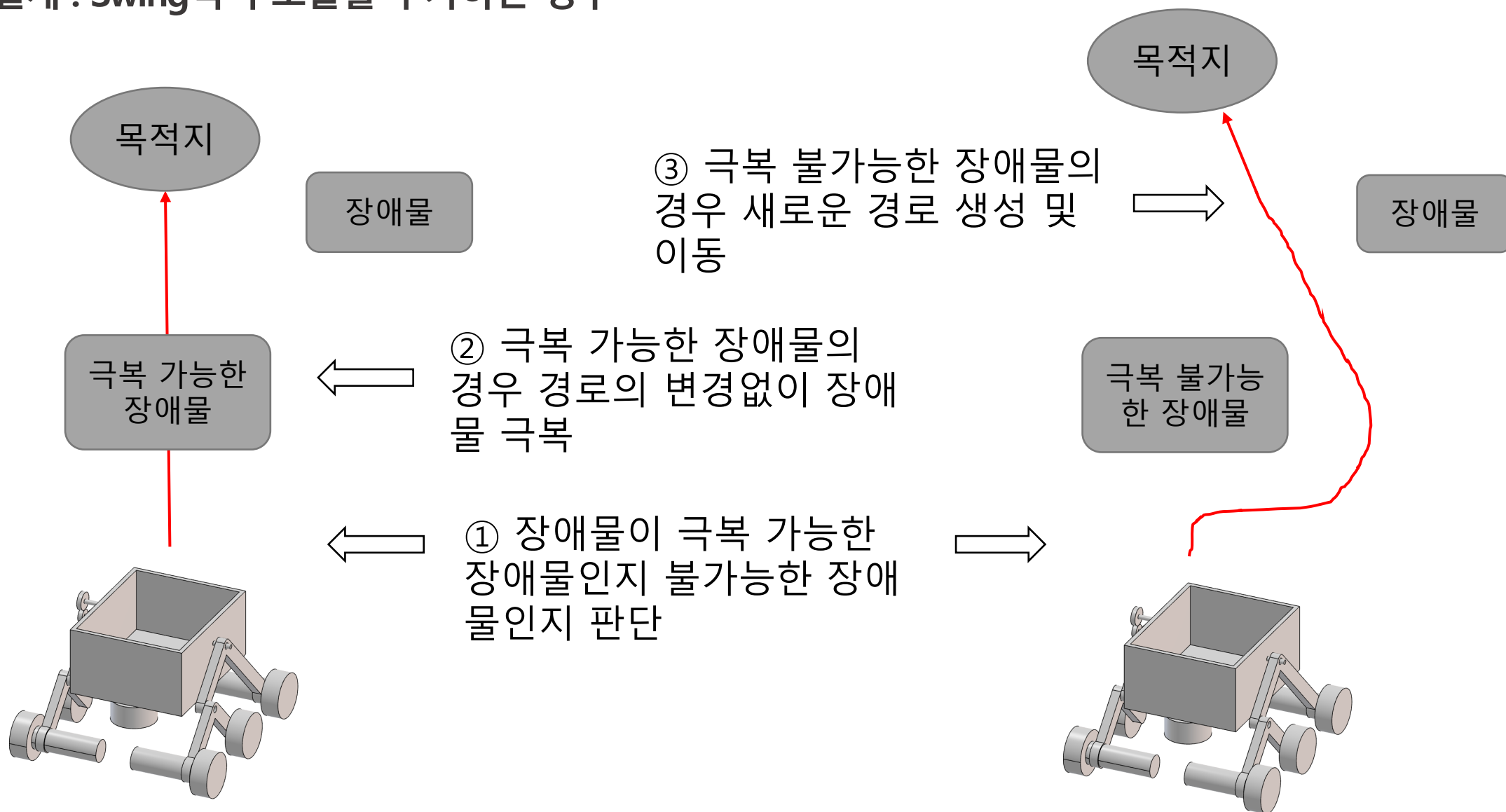
- 한쪽은 자유회전축, 한쪽은 동력전달요소 활용한 기울기 제어 도입
- 중앙구조물 상단에 Swing 축을 두어 Cargo와 로봇의 무게중심을 낮추는 방안

개념설계 : Swing식 구조물을 추가하는 경우



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

개념설계 : Swing식 구조물을 추가하는 경우



로 드 맵 및
참 고 문 헌

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
		2축 Swing 설계	김강현
		무게중심해석	송종현
	- 회로	모터, 배터리, 문워커 배치	김강현
		NUC-모터	김민재
		IMU	김강현

참고 문헌 및 사이트

- [1] 성큼 다가 온 '로봇 배달' 시대...넘어야 할 과제는 - 오피니언뉴스
(<http://www.opinionnews.co.kr/news/articleView.html?idxno=80956>)
- [2] 로봇배달 172조 시장 선점 경쟁력 '충분'...정부 육성안 내달 발표 : 네이트 뉴스 (nate.com)
(<https://news.nate.com/view/20230222n09662?mid=n0301>)
- [3] 배달 못하는 '배달로봇'...인도도, 차도도 다닐 수가 없다
(<https://www.hankookilbo.com/News/Read/A2021112915470003518>)
- [4] 사람 대신 로봇이 배달, 실외 상용화 시대 열리나?
(<https://economist.co.kr/article/view/ecn202212030017>)
- [5] 빅체인지 생활로봇시대 시작되었다
(<https://news.mtn.co.kr/news-detail/2022120915065365886>)
- [6] 주문따라 조리, 완성되면 서빙...배달도 하는 요즘 로봇
(https://news.sbs.co.kr/news/endPage.do?news_id=N1006549254&plink=ORI&cooper=NAVER)
- [7] 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)
- [8] '코로나19 시대, 비대면을 위한 배달 로봇'
(<https://n.news.naver.com/mnews/article/421/0004824718>)

참고 문헌 및 사이트

- [9] 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>)
- [10] 횡단보도가 설치됐으나 차도와 인도를 구분하는 경계석은 여전히 높다.
(<http://www.gjtimes.co.kr/news/photoView.html?idxno=17841>)
- [11] Deploying on Mars: NASA-JPL Open Source Rover
(<https://www.freedomrobotics.com/blog/building-the-nasa-jpl-open-source-rover>)
- [12] Sevenoak Carbon Gimbal Swing Panorama Head SK-GH10, 178,33
(<https://www.mediaresort.de/Sevenoak-Carbon-Gimbal-Swing-Panorama-Head-SK-GH10>)
- [13] 라커-보기 구조를 갖는 카트의 계단 등반 성능 최적화
([CFKO201028451829635.pdf \(koreascience.kr\)](#))
- McGraw Hill – Shigly's Mechanical Engineering Design