2018년도 창의적 종합설계대회

계단을 직선으로 오를 수 있는 바퀴 및 리프트



Feynman team



신창민

고려대학교 기계공학부

Wheel design

설계 및 제작



김민성

고려대학교 기계공학부

아이디어

캐드 모델링



박준성

고려대학교 기계공학부

디자인

캐드 모델링

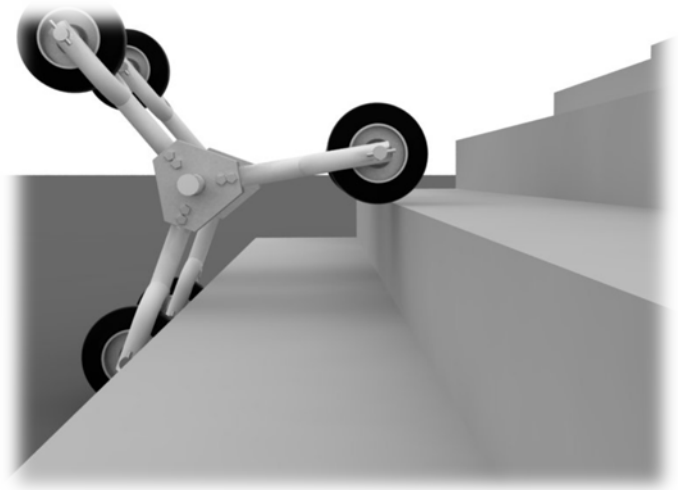


제품 아이디어 소개

계단을 빗면처럼 오르내리는 바퀴를 만들 수 없을까?

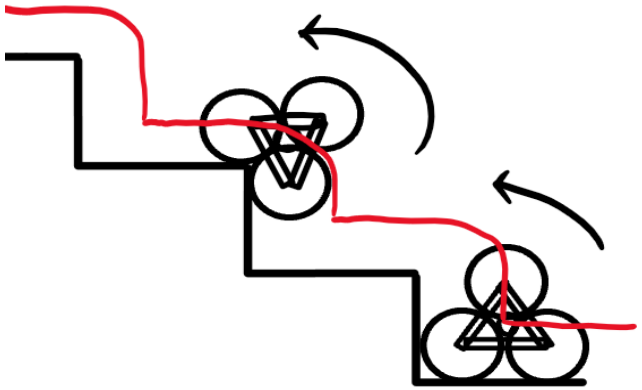
➤ 기존의 계단용 바퀴

-계단을 오르내리는 것만을 목적으로 설계함



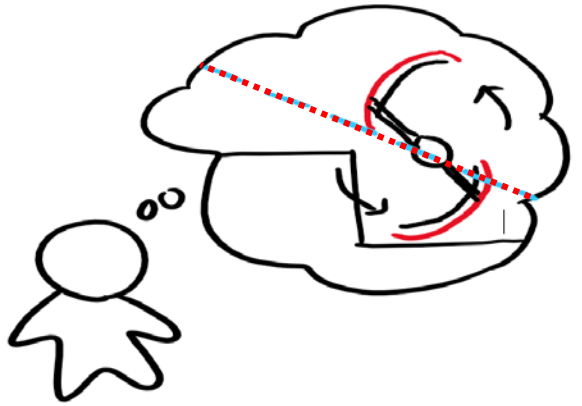
➤ 문제 제시

-기존 바퀴들은 모두 바퀴 중심 이동이 구불구불함



➤ 연구 목적

-계단을 오르내리되 바퀴 중심이동이 직선이 되도록 바퀴를 설계 및 제작



계단 오르는 바퀴의 문제점 : 이동경로가 직선이 아님



원형 바퀴로는 직선적인 이동경로를 만들 수 없음

➤ 비원형 바퀴를 이용해 직선적 이동경로 구성



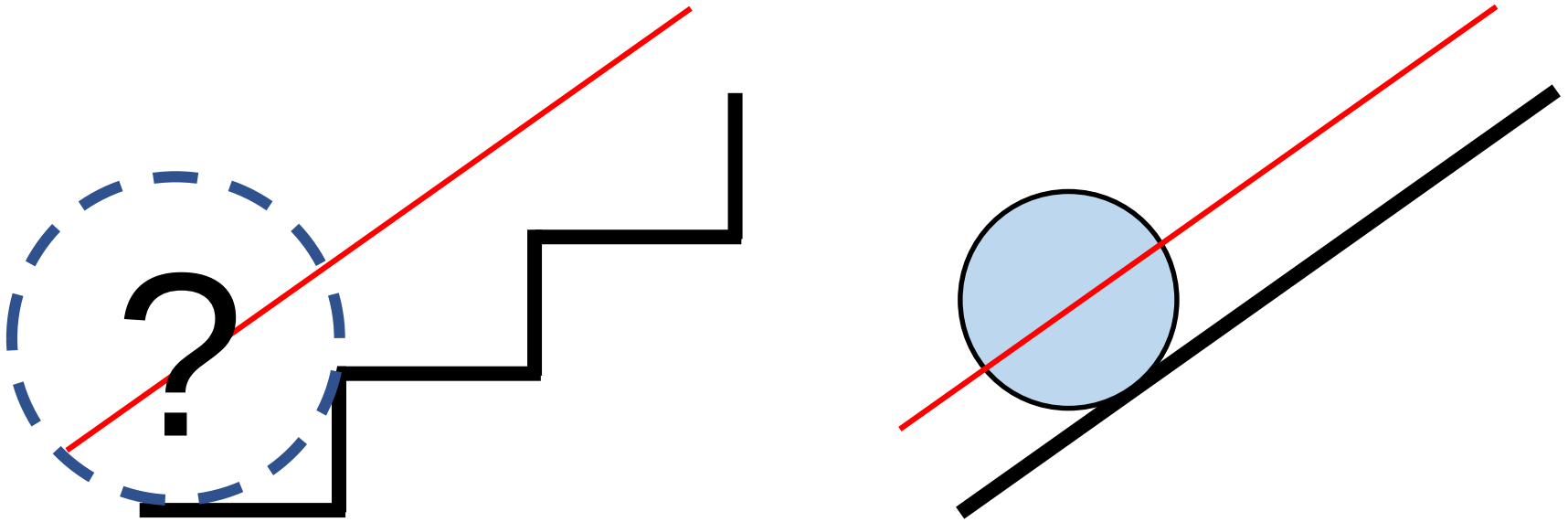
문제 해결 과정

주요 목적

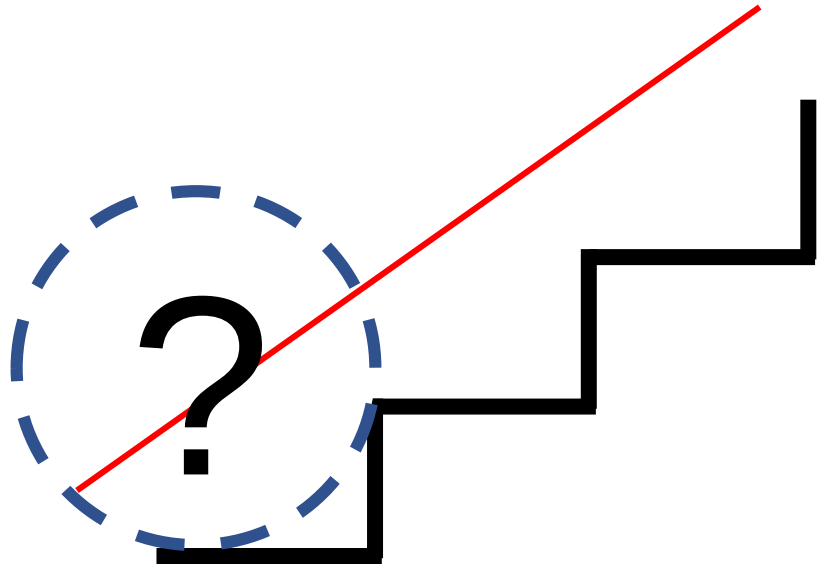
"바퀴의 모양을 변형시켜

바퀴의 중심이 직선으로 계단을 오르내리게 한다."

(마치 원모양 바퀴가 빗면을 오르내리듯)



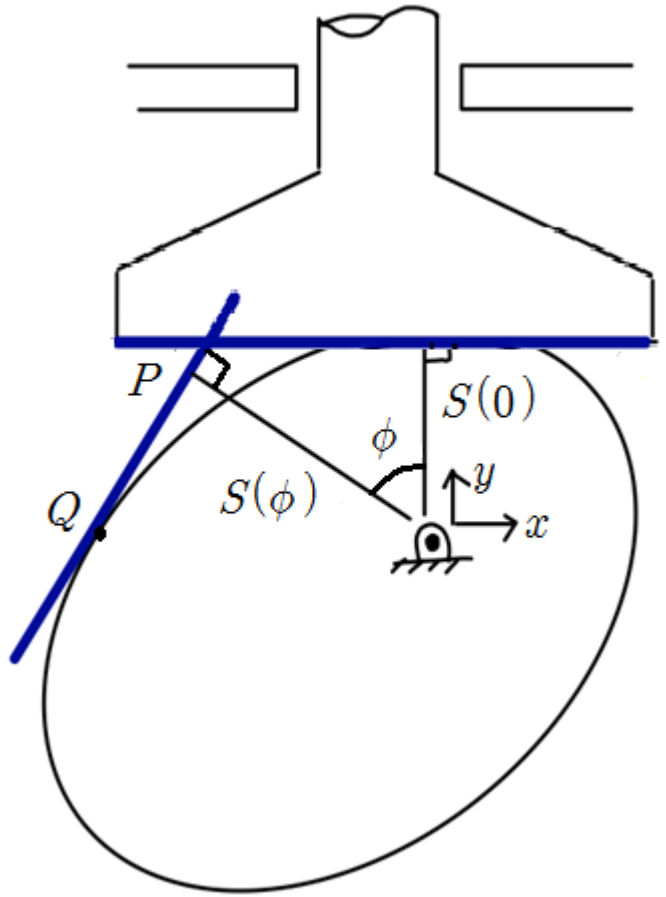
문제 해결 과정 - 바퀴 곡선 설계



바퀴를 원형이 아닌, Cam 과 같이 설계

- 바퀴를 Cam Design을 응용하여
- 중심이 일정 기울기로 올라가기 위한 곡선 계산

Wheel design-kinematics



Cam Design

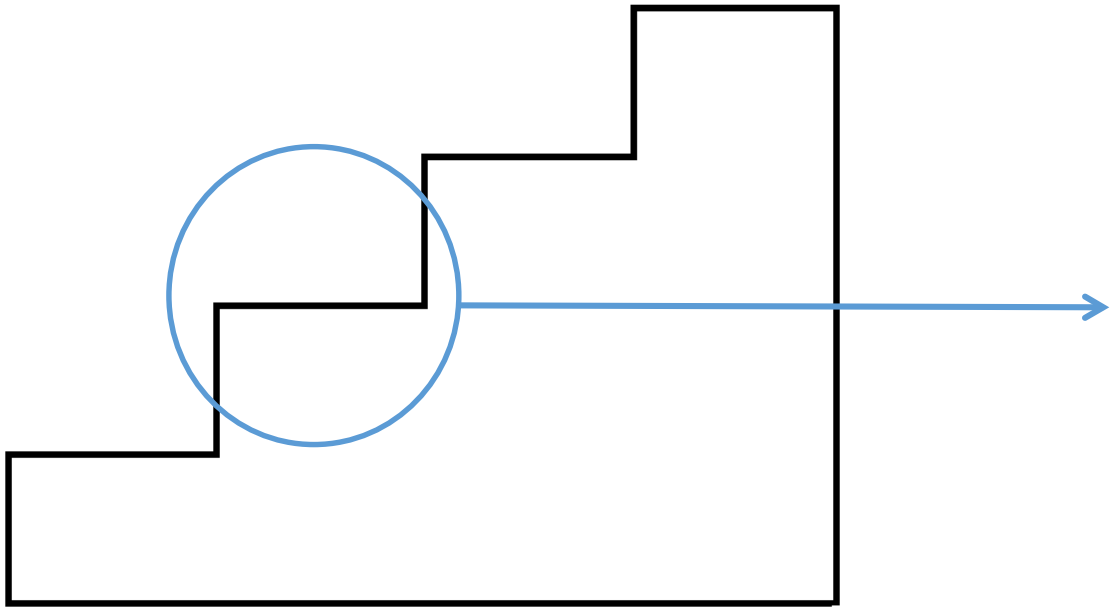
➤ Disk Cam-flat follower

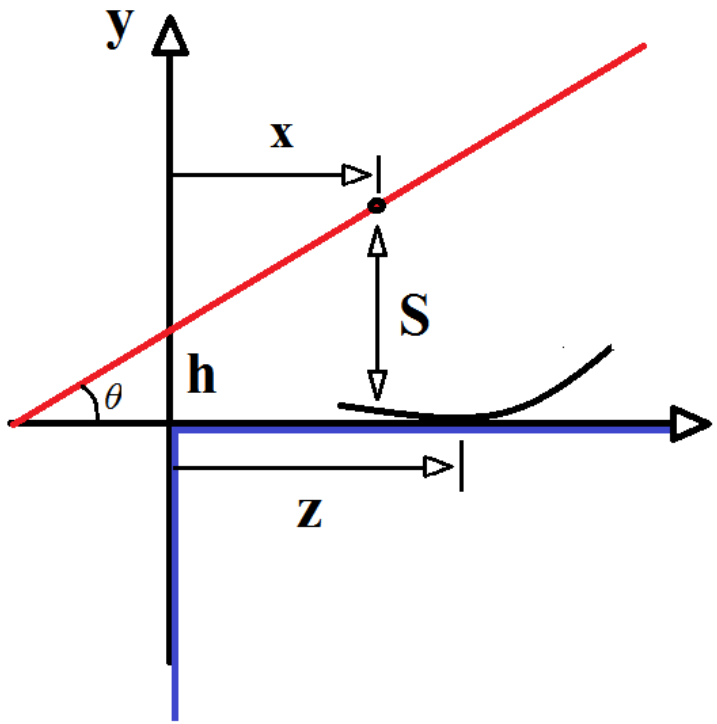
$$F(x, y, \phi) = x\cos(\frac{\pi}{2}+\phi) + y\sin(\frac{\pi}{2}+\phi) - S(\phi) = 0$$

$$\frac{\partial F}{\partial \phi} = -y\sin\phi - x\cos\phi - S'(\phi)$$

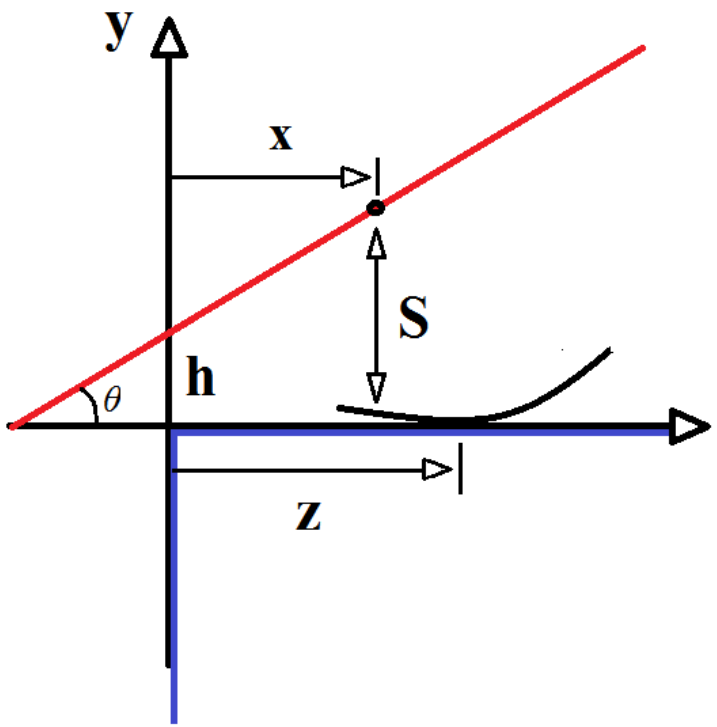
$$\begin{bmatrix} -\sin\phi & \cos\phi \\ -\cos\phi & -\sin\phi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S(\phi) \\ S'(\phi) \end{bmatrix}$$

Wheel design: 계단에서의 변수, 좌표설정





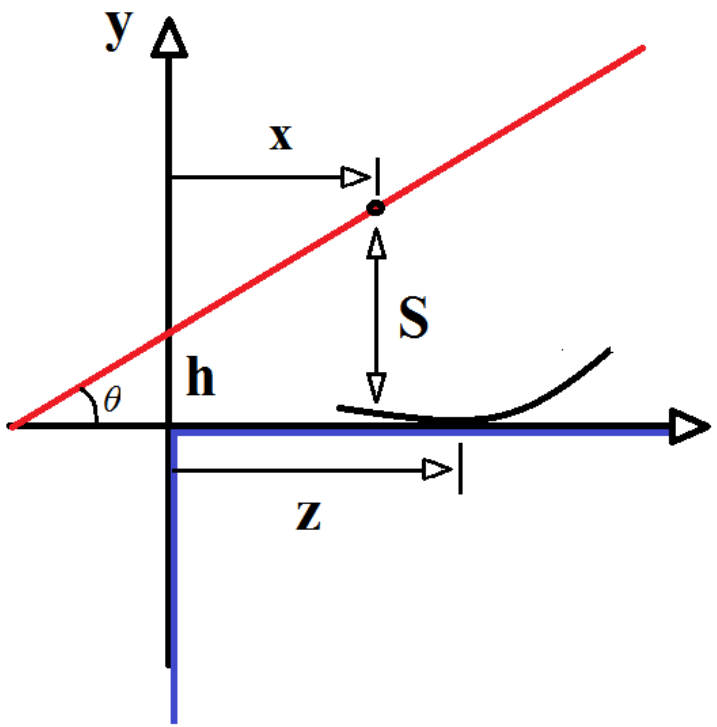
Wheel design: 계단에서의 변수, 좌표설정



계단에서의 변수, 좌표 설정

- **파란 실선**: 계단 형태
- **빨간 실선**: 바퀴 중심이 지나는 선

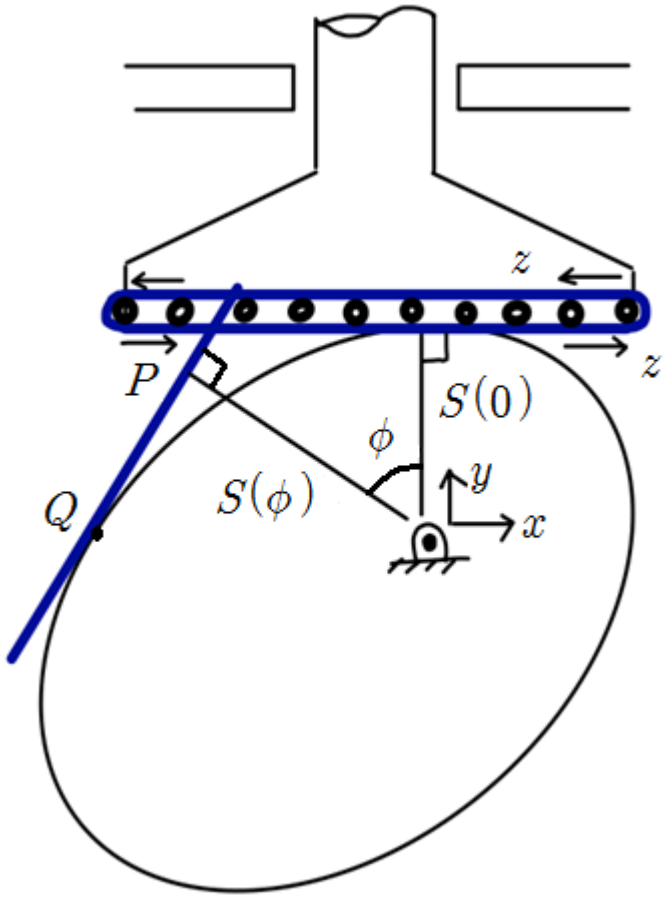
Wheel design: 계단에서의 변수, 좌표설정



계단에서의 변수, 좌표 설정

- x: 바퀴의 회전중심
- S: 계단으로부터 바퀴의 회전중심의 거리
- z: 바퀴가 계단과 닿는 점의 거리
- O: 바퀴의 회전중심
- θ : 계단의 각도
- h : 회전중심이 계단으로부터 떨어진 높이

Wheel design-kinematics

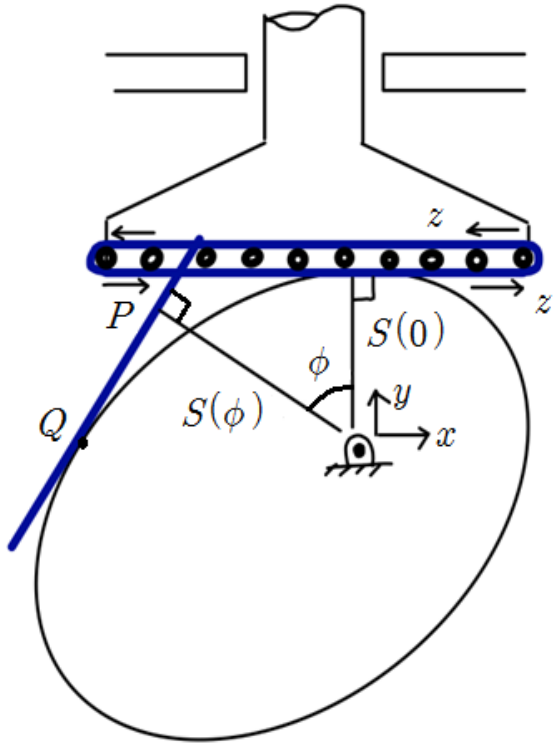


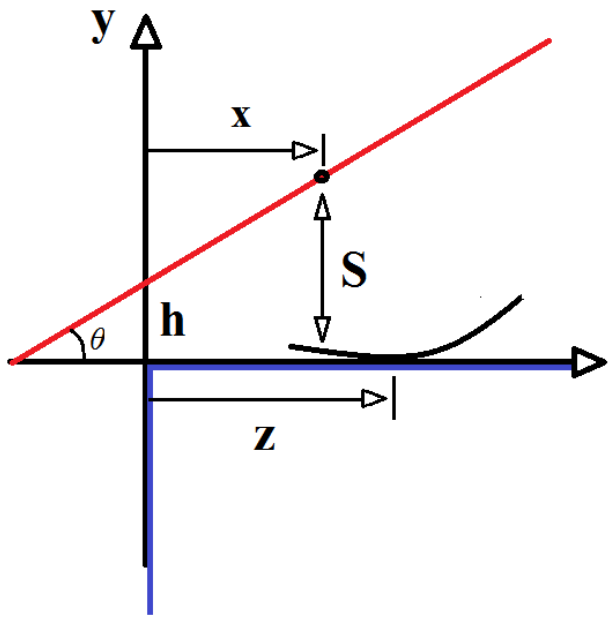
Cam Design의 바퀴로의 응용

flat follower에 컨베이어 벨트를 달아놓고 미끄러지지 않는 운 동을 한다고 가정.

- x: 바퀴의 회전중심
- S: flat follower Cam의 Stroke
- z: 컨베이어 벨트의 이동 변위
- P: 중심에 수직으로 만나는 점
- Q: Cam과 Follower가 접촉하는 점

Wheel design-kinematics



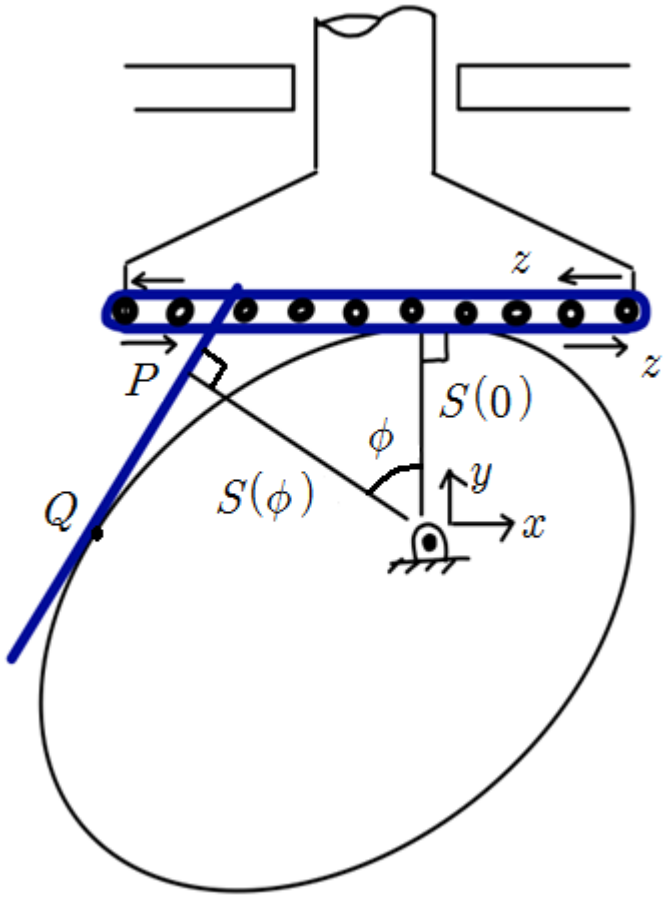


계단좌표와 캠의 관계

- z: 컨베이어 벨트가 움직인 거리
  : 바퀴가 계단과 닿는 점의 거리
- x: 바퀴의 회전중심의 거리
- S: Cam의 stroke
  S: 바퀴의 회전중심과 계단 수직거리

$$S = x\tan\theta + h$$

Wheel design-kinematics



Cam Design의 바퀴로의 응용

➤ 컨베이어벨트 변위(z)와 중심이동변위 (x)의 관계

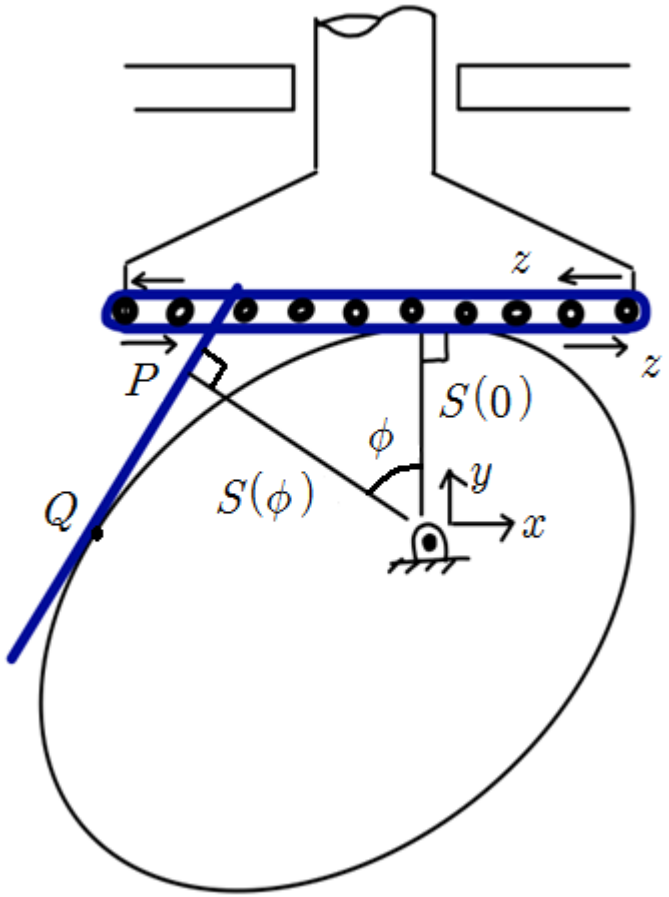
$$z = x + \overline{\mathrm{AB}}$$

➤ PQ와 S사이의 관계

$$\begin{cases} x_Q = -S\sin\phi - S'\cos\phi \\ y_Q = -S'\sin\phi + S\cos\phi \end{cases} \rightarrow \overline{QR} = \sqrt{(x_Q - x_R)^2 + (y_Q - y_R)^2} = S'$$

$$\begin{cases} x_R = -S\sin\left(\frac{\pi}{2} + \phi\right) = -S\sin\phi \\ y_R = S\sin\left(\frac{\pi}{2} + \phi\right) = S\cos\phi \end{cases}$$

Wheel design-kinematics



Cam Design의 바퀴로의 응용

➤ z와 중심이동변위 x, ϕ 의 관계

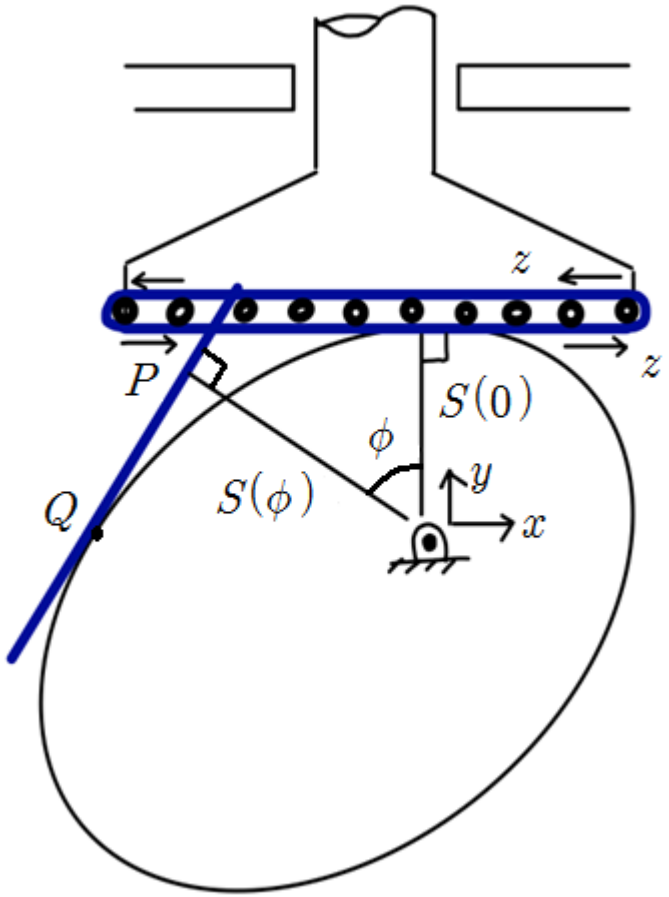
$$z = x + \frac{dS}{d\phi}$$

➤ S(x)와 ϕ 관계를 이용해 x(ϕ), S(ϕ)를 계산하면

$$x = \frac{h}{\tan\theta}\left[\exp(\phi\tan\theta) - 1\right]$$

$$\Rightarrow \quad S(\phi) = h\exp(\phi\tan\theta)$$

Wheel design-kinematics



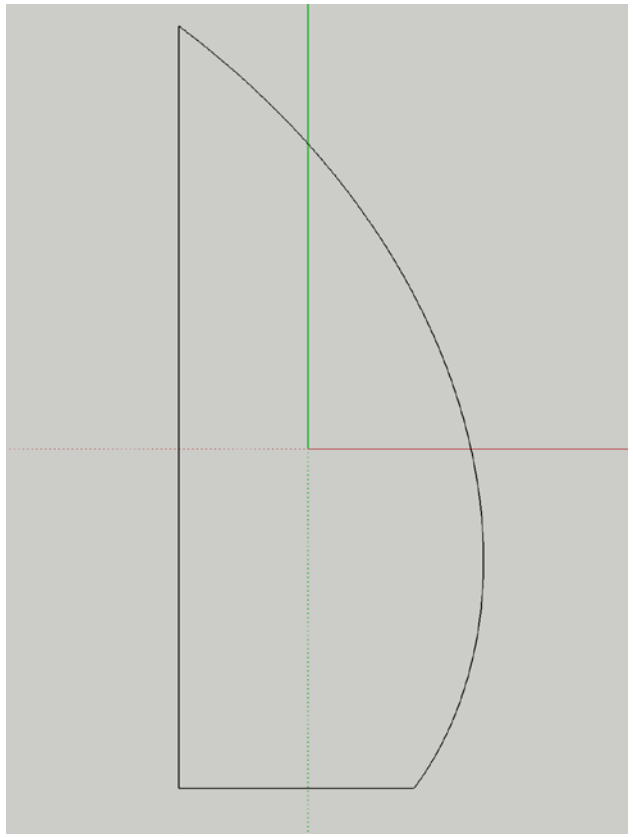
바퀴 형태 설정

➤ 극좌표 형식으로 계산

$$S(\phi) = h\exp(\phi\tan\theta)$$

$$\vec{r} = \frac{h}{\cos\theta}\exp(\phi\tan\theta)$$

Wheel design-kinematics



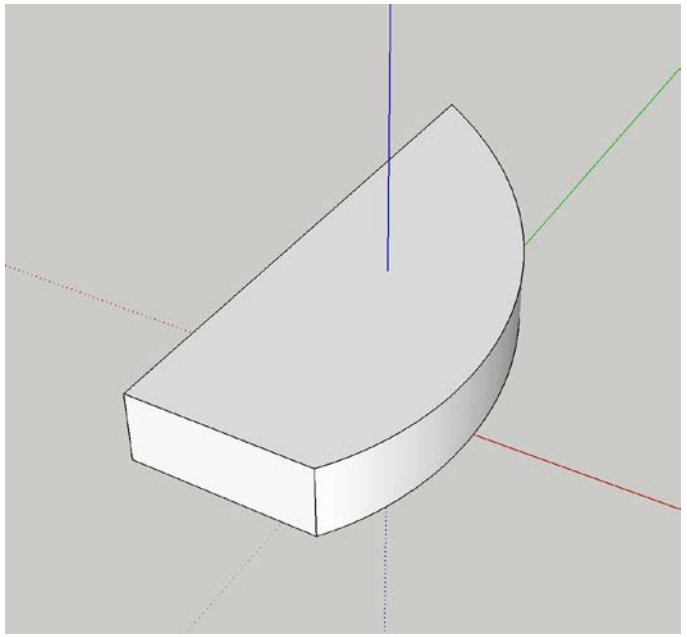
바퀴 형태 설정: 경계조건 설정

➤ 90도 회전시 계단 1개 올라감

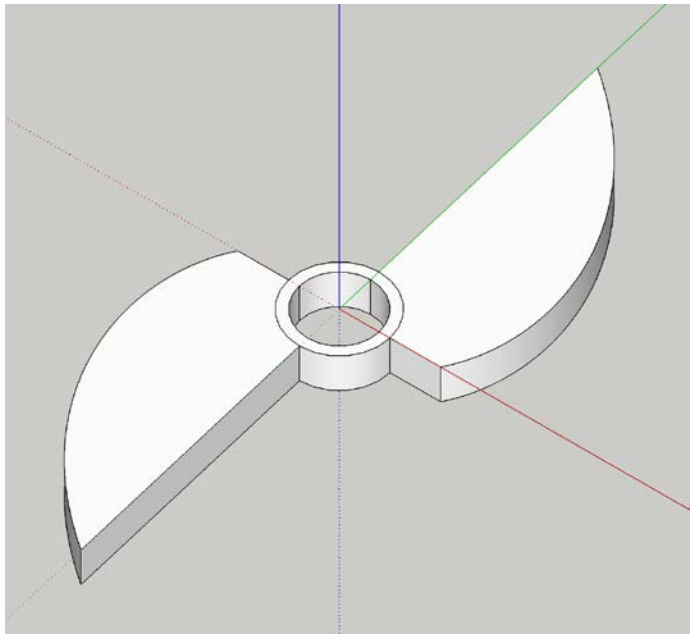
➤ h 결정, 극좌표식 결정

$$\vec{r} = \frac{h}{\cos\theta}\exp(\phi\tan\theta)$$

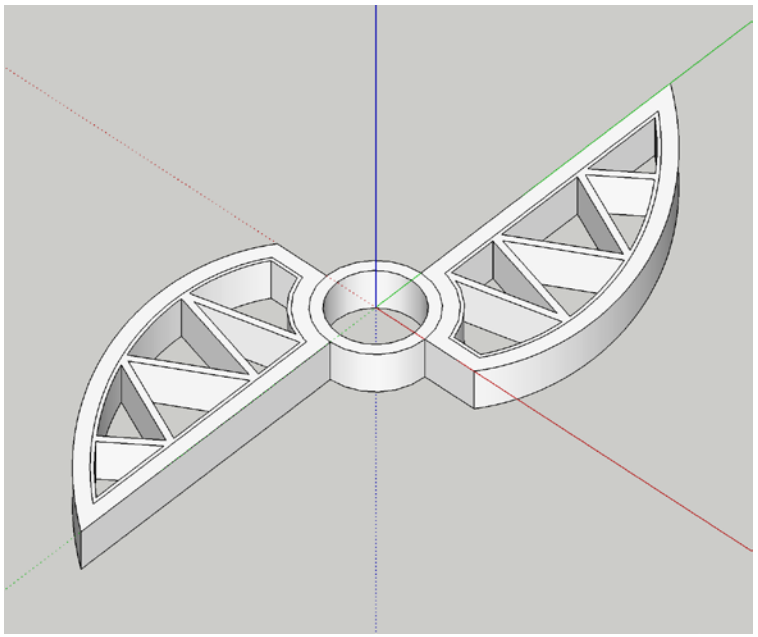
Wheel design-kinematics



Wheel design CAD



Wheel concept1 CAD



Wheel concept2 CAD

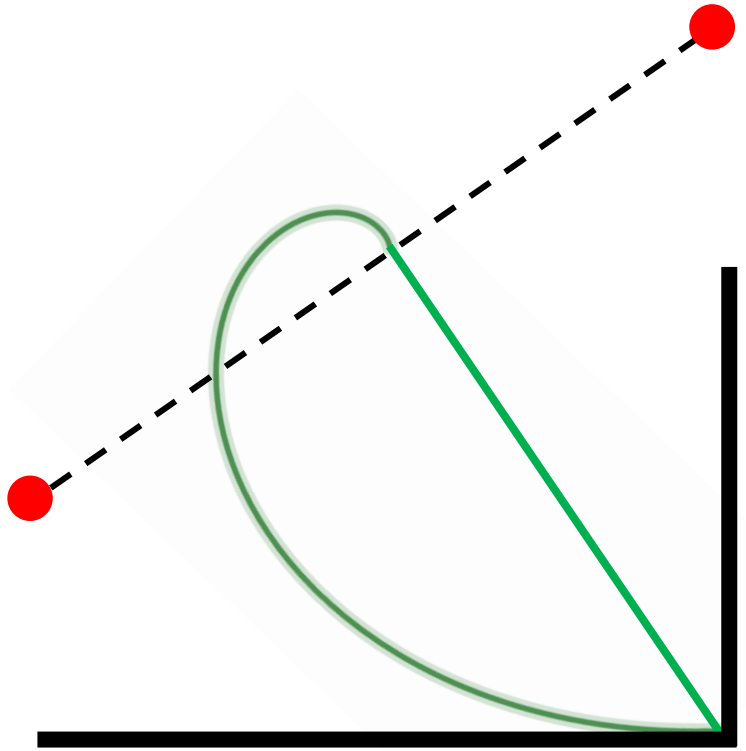
문제 해결 과정 - 문제 발견

x와 z의 관계

$$z = x + \frac{ds}{d\phi} = x\sec^2\theta - h\tan\theta \quad \boxed{\Delta z = \Delta x \sec^2\theta}$$

$$z_f = z_0 + \Delta x sec^2\theta$$

- 계단 한 칸을 오르기 위해 필요한 접촉면의 길이가 계단 밑면 보다 김
- 바퀴 한 개로 계단 한 칸을 오르는 것은 불가능



문제 해결 과정 - 특허 조사

- 바퀴 한 개로 계단 한 칸을 오르는 것은 불가능
- 특허 조사 결과 실제로 같은 문제점에 부딪힌 작품을 찾아 볼 수 있었음
- 바퀴 표면에 캐터필러를 달거나 나선 바퀴로 오를 수 있는 만큼 오른 후 바퀴 끝은 원모양 바퀴로 만들어 기존의 계단용 바퀴처럼 오르는 등의 시도가 있었음

결국 기존 계단용 바퀴처럼 바퀴 중심이 직선으로 움직일 수 없게 되므로

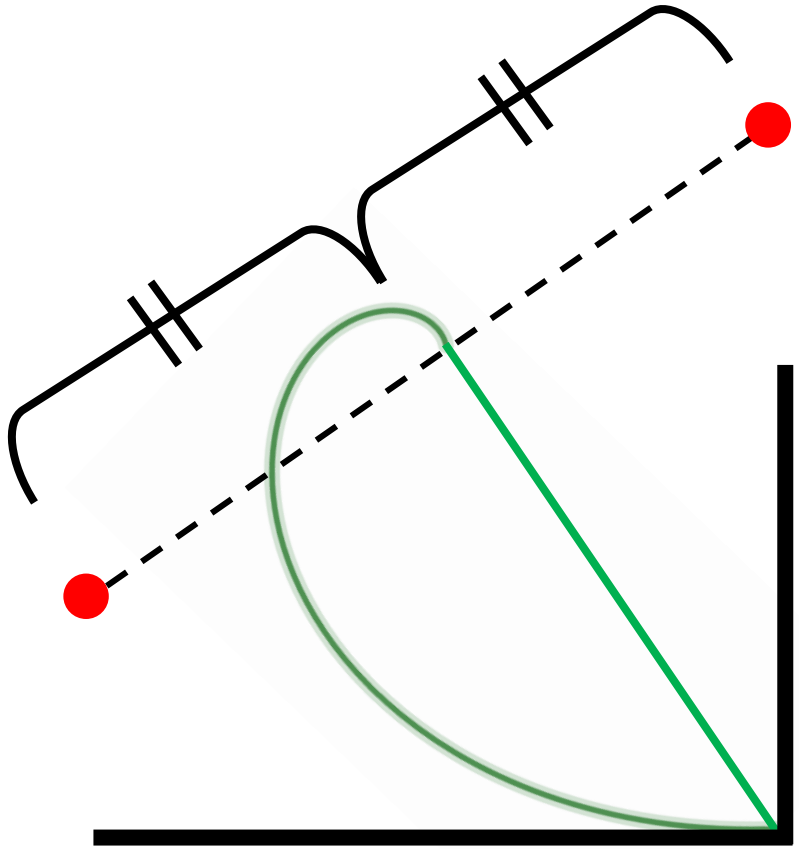
본 연구 목적에 부합하지 않음

문제 해결 과정 - 문제 해결 제안

- 바퀴 한 개로 계단 한 칸을 오르는 것은 불가능
- 바퀴 두 개로 계단 한 칸을 오르는 것은 가능

(대부분의 계단이 30°미만이므로)

-> 두 개의 바퀴가 쌍을 이루어
번갈아 가면서 절반씩 계단을 올라감

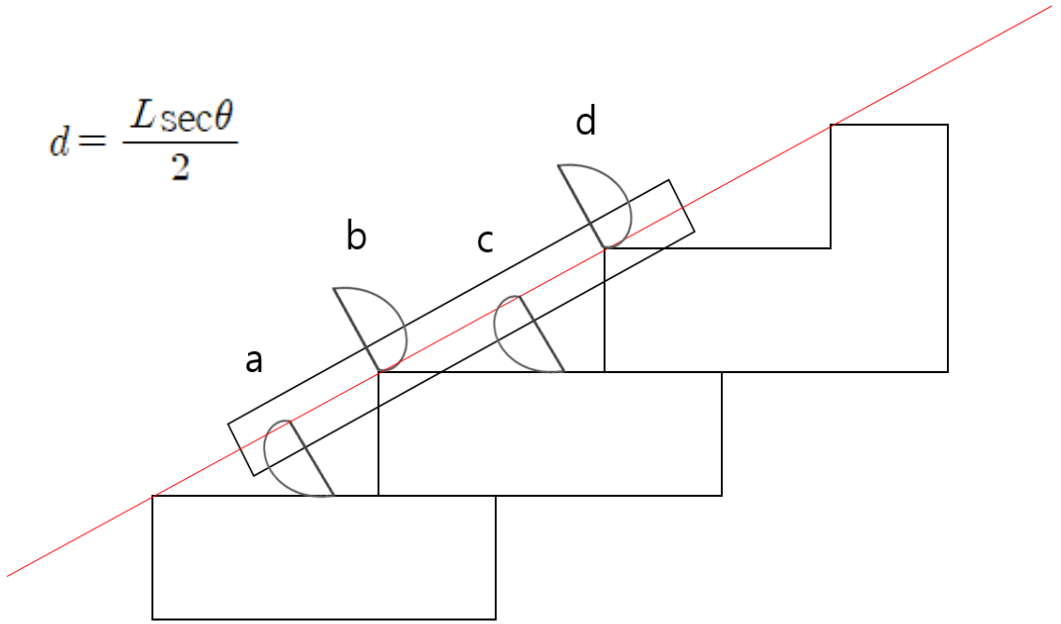


바퀴 a, c와 바퀴 b, d가 교차 회전하면서 계단을 오름

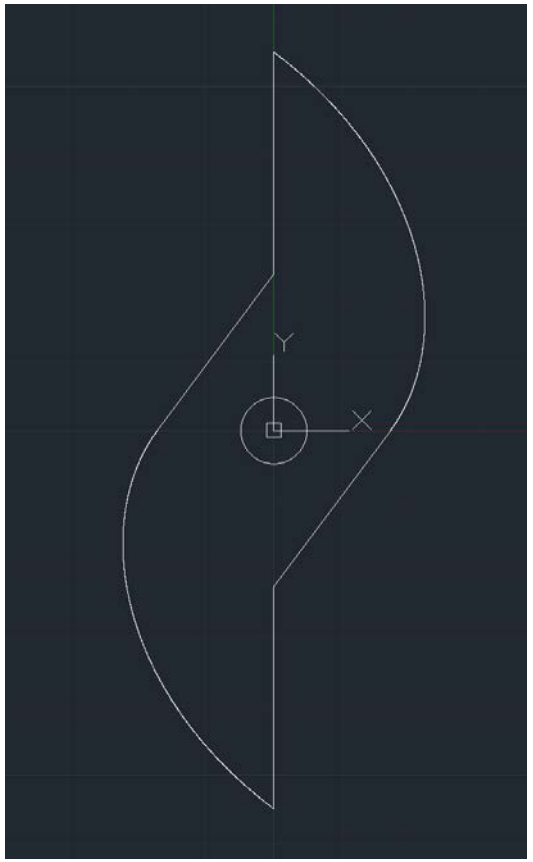
a와 c가 다 굴렀을 때 b와 d의 계단에 대한 상대적 위치

= b와 d가 다 굴렀을 대 a와 c의 계단에 대한 상대적 위치

$$d = \frac{L\sec\theta}{2}$$

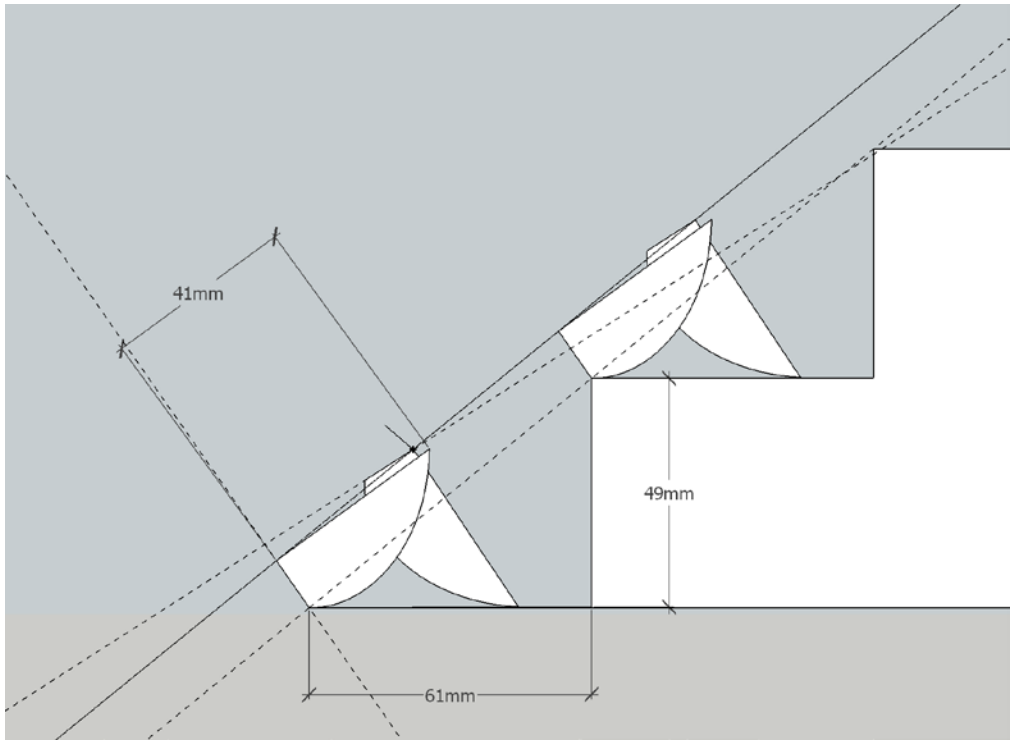


문제 해결 과정 - 교차 회전 바퀴 계산

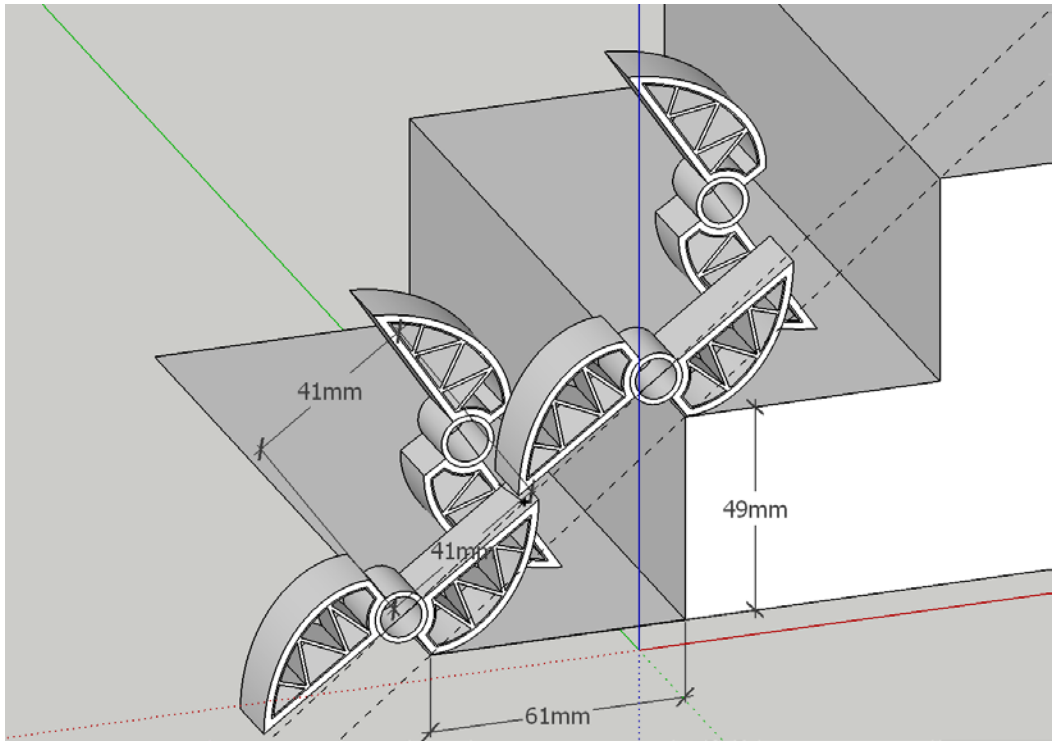


R=16.234exp(3pi/4) pi: 0~1.57

문제 해결 과정 - Modeling test

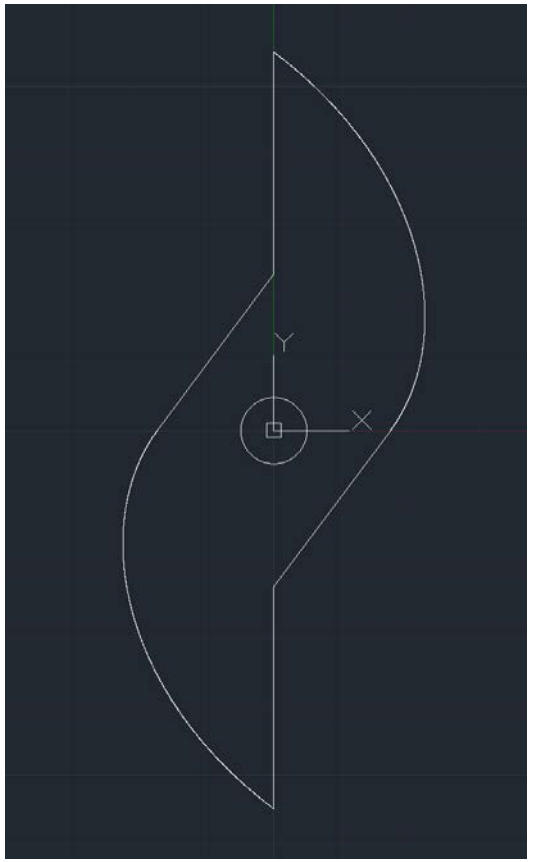


Modeling test 1

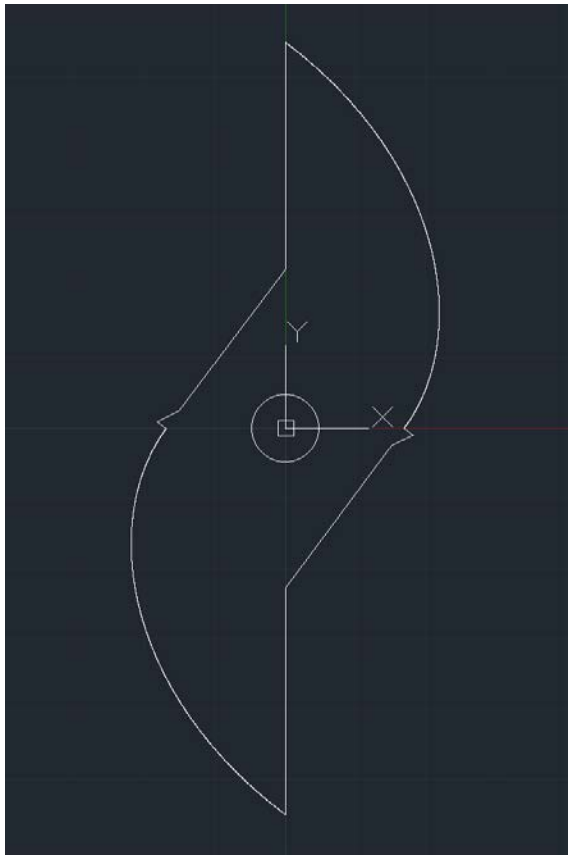


Modeling test 2

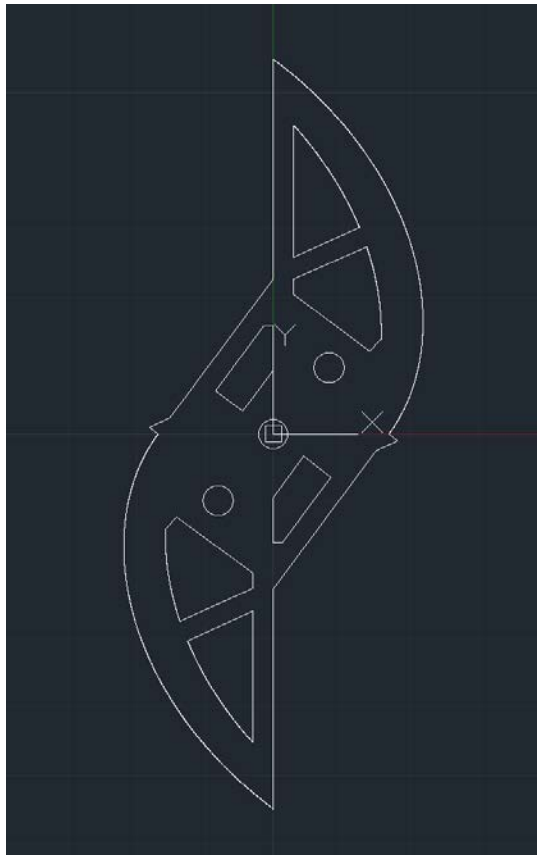
문제 해결 과정 - 바퀴 CAD 설계



Wheel basic design CAD

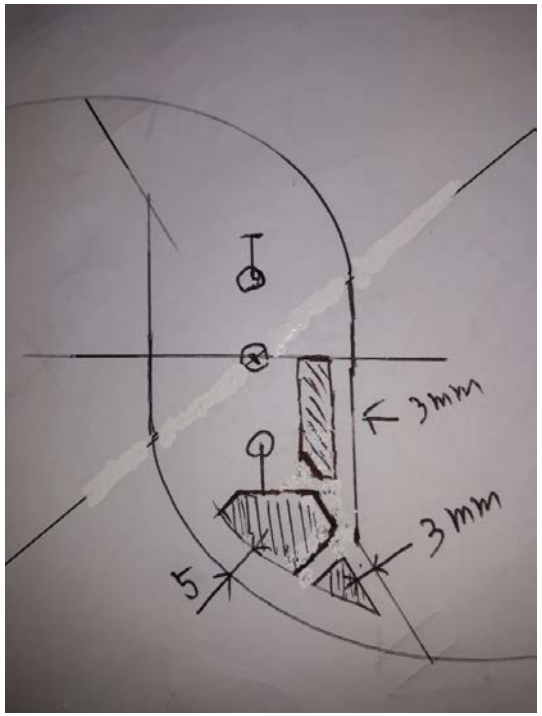


Wheel ver2 CAD



Wheel ver2 truss CAD

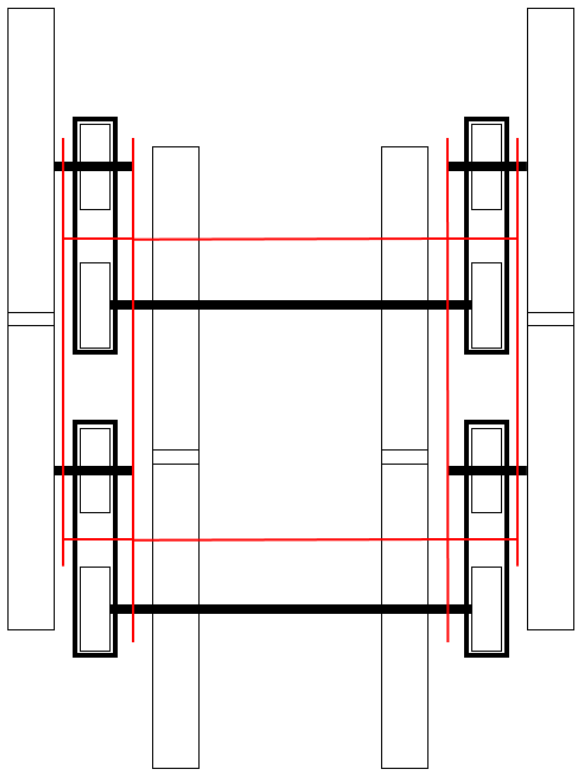
Wheel design



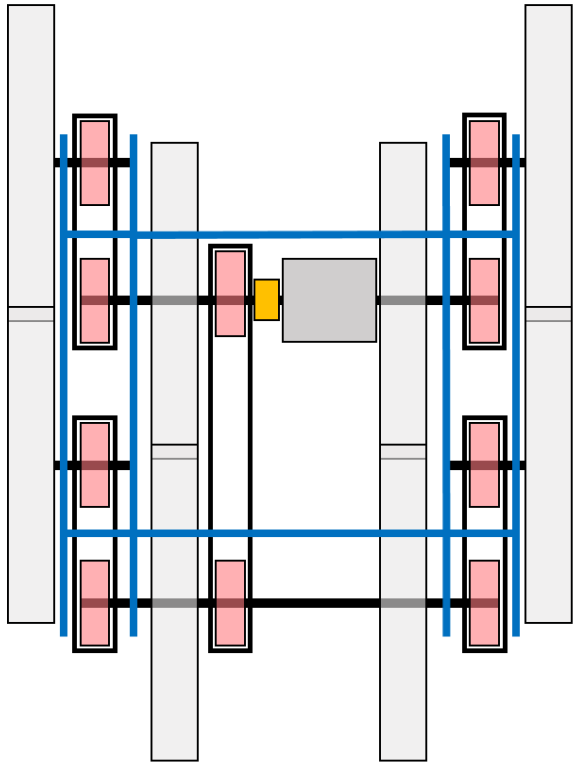
문제 해결 과정 - 문제 발견, 해결

- 바퀴 각각의 사이 간격보다 바퀴의 최대 길이가 더 길어 서로 간섭이 일어남

바퀴를 교차시키고 축을 분리해 간섭되지 않도록 설계



Frame design 1



Frame design 2

문제 해결 과정 - 문제 발견

- 바퀴가 굴러 올라갈 때 바퀴 중심과 접촉점과의 길이가 길어지므로 선속도는 줄어듬
- 앞바퀴가 최대 선속도일때 뒷바퀴는 최소 선속도를 가짐
- 같은 각속도로 두 바퀴가 회전할 경우 긴 반지름을 중심으로 바퀴 중심이 원운동을 하게 되어 바퀴 중심이 직선 경로에서 벗어남



문제 해결 과정 - 문제 해결

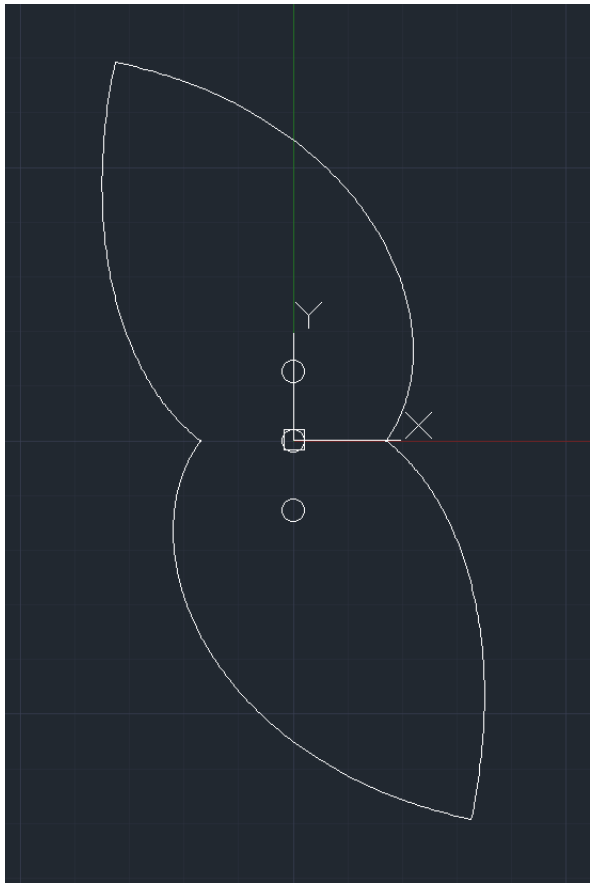
➤ 해결 방안 1

바퀴의 각속도를 각각 개별로 조절

➤ 해결 방안 2

바퀴가 계단 밑면과 접촉할 때만 동력을 가하고 이후 자유운동을 하게함
-〉 바퀴 재설계 필요

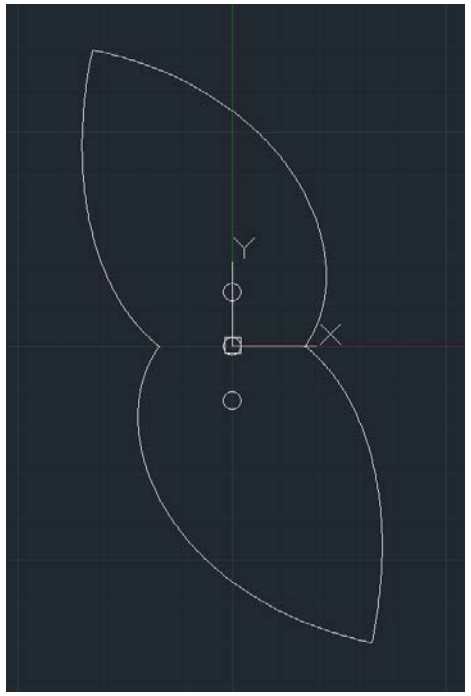
문제 해결 과정 - 해결 방안 2 바퀴 재설계 계산



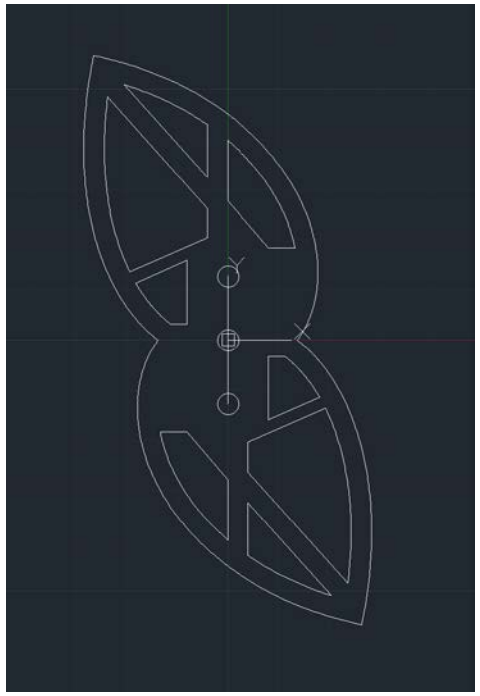
R=13.864exp(3pi/4) pi: 0~2.01

R=914.25exp(4pi/3) pi: 2.01~3.14

문제 해결 과정 - 해결 방안 2 바퀴 재설계



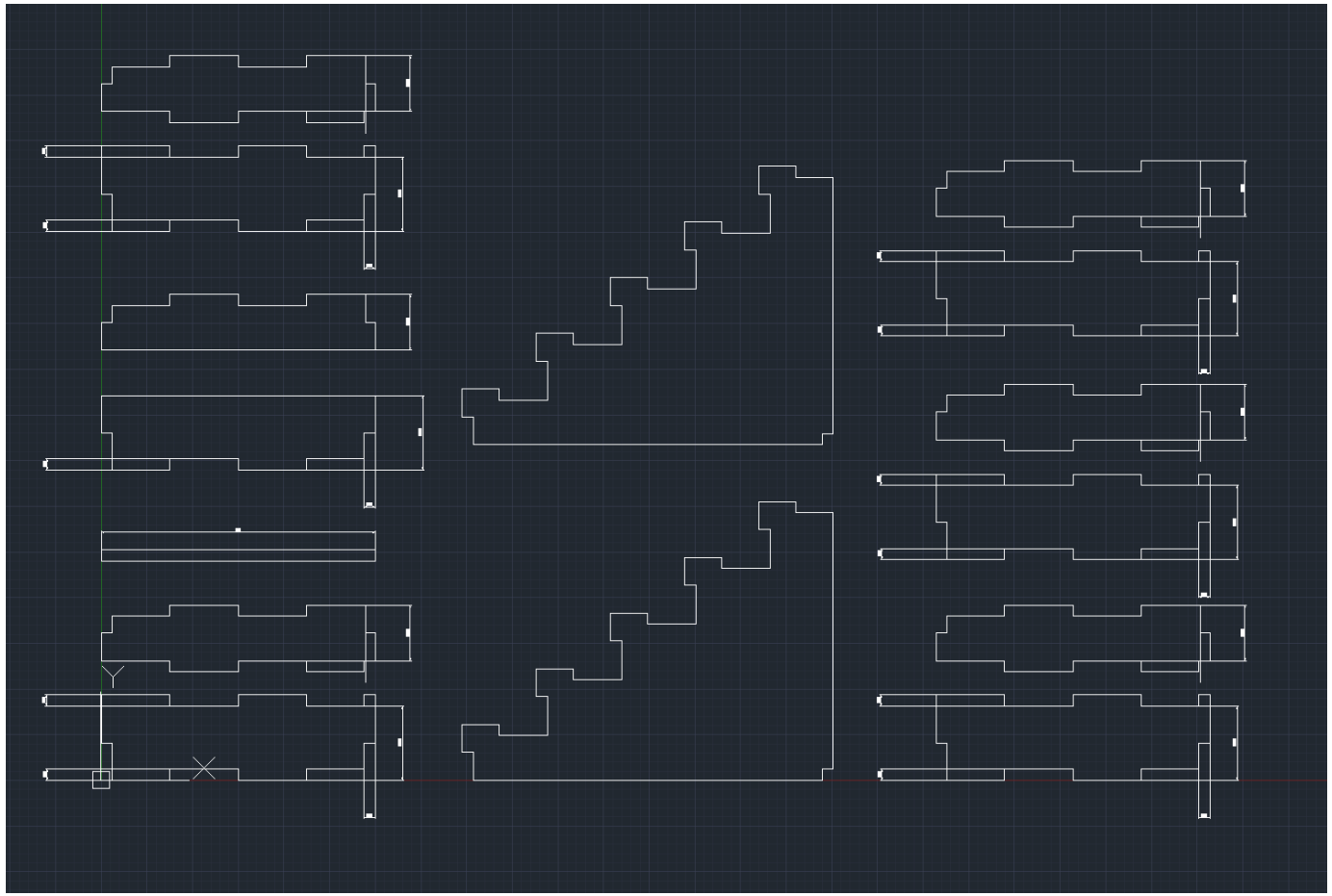
Wheel 10.1 CAD



Wheel 10.1 truss CAD

Wheel 10.1 Modeling Animation

문제 해결 과정 - 계단 설계



Stairs 12T Wood CAD



용도 및 효과

계단용 리프트의 문제점





높은 설치비용
긴 소요시간

낮은 안정성

기대 효과

1. 낮은 마모성 : 반영구적인 사용 가능

2.휠체어 리프트 대체를 통한 비용 절감
➤휠체어 리프트 설치비용 약 2000만원

3. 계단 지형에서의 물품 이송 편의성 증가

4. 기존 계단 통행 장치에 비교해 안정성 확보
➤미끄러짐을 방지하는 것이 아니라 위로 지지하는 힘이 기본





Q&A