



자전거 균형 제어

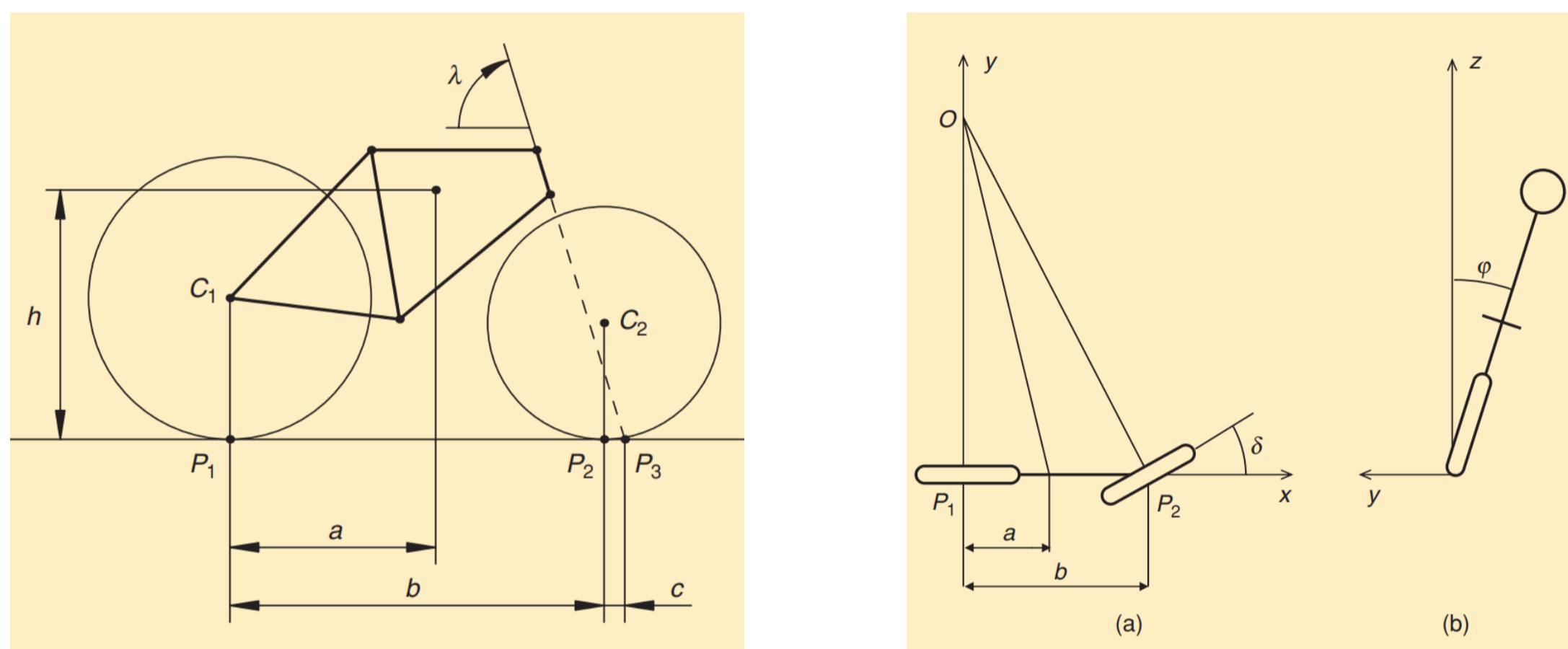
21 강응조 (기계), 21김기현(기계), 21 명경민 (기계), 22이서희(새내기), 22임준범(새내기), 22최재윤(새내기)

초록

본 연구에선 PID 제어를 통해 자전거의 균형을 유지하고자 한다. 자전거의 운동방정식을 통해 움직임에 대한 이해를 기반으로 제어 모델을 설계했다. MPU6050센서를 통해 얻은 roll, yaw 방향의 각도와 각속도 값과 포토 인터럽터 센서를 통해 얻은 자전거 속도 값을 이용하여 균형을 유지하기 위한 자전거 핸들 각도를 도출한다. 소형 자전거를 제작하여 제어 모델을 시험해보았다.

이론적 배경

- 자전거의 운동 방정식



- Angular momentum

$$L_x = J \frac{d\phi}{dt} - Dw = J \frac{d\phi}{dt} - \frac{vD}{b} \delta$$
$$D = -I_{xy}$$

- Torques acting

$$I \frac{d^2\phi}{dt^2} - mgh\sin\phi = \frac{Dv}{b} \frac{d\delta}{dt} + \frac{mv_0 h \delta}{b}$$

- Use Laplace transform

Let ϕ is constant

$$\frac{Dv}{b} \frac{d\delta}{dt} + \frac{mv_0 h \delta}{b} = -mgh\sin\phi$$

$$\frac{Dv}{b} (s\Delta(s) - \delta(0)) + \frac{mv_0^2 h}{b} \Delta(s) = -\frac{mgh\sin\phi}{s}$$

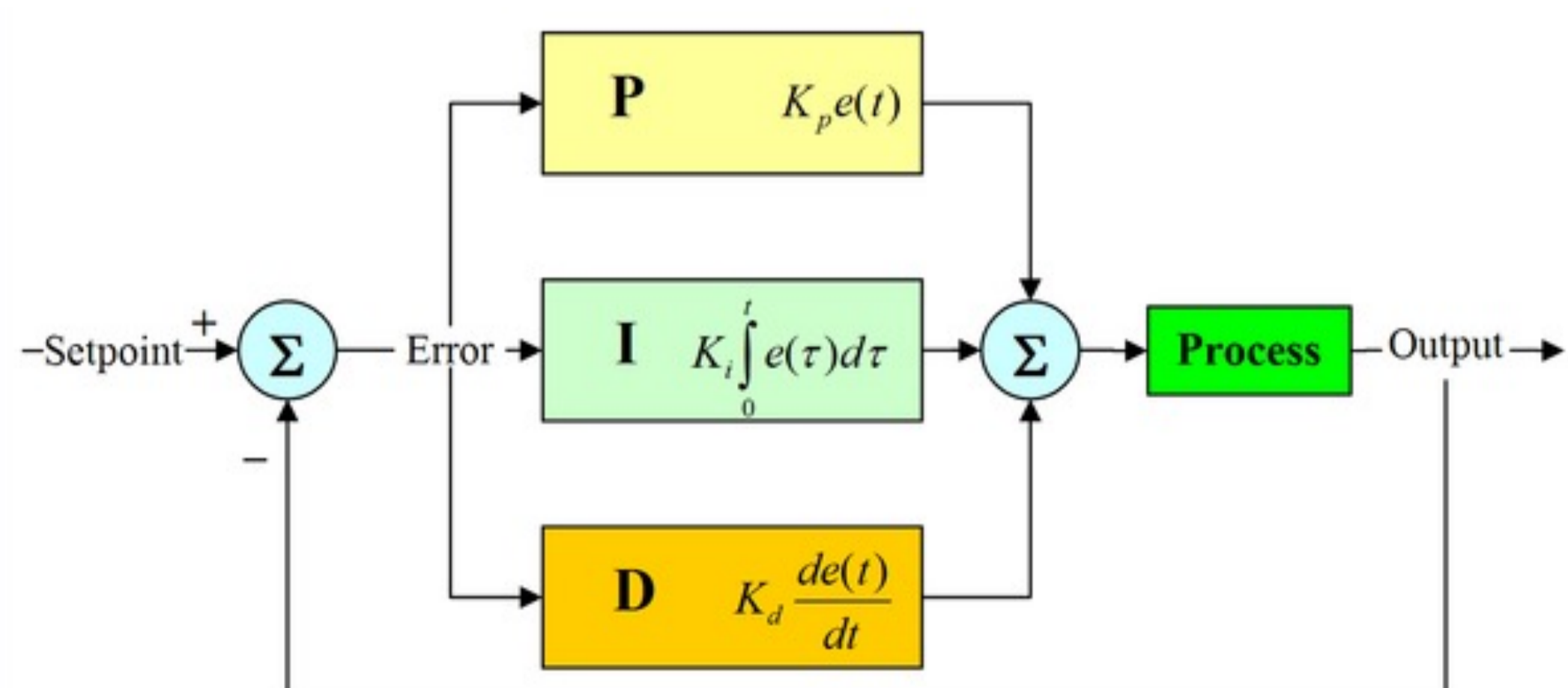
$$\delta(0) = 0$$

$$\Delta(s) = -\frac{mghb\sin\phi}{s(Dv_0s + mv_0^2h)} = \frac{mghb\sin\theta}{s(Dv_0s + mv_0^2h)}$$

$$\theta = -\phi$$

$$\delta(t) = mghb\sin\theta \left(\frac{1}{hmv^2} - \frac{e^{-\frac{hmv_0^2}{Dv}t}}{hmv^2} \right)$$

- PID 제어



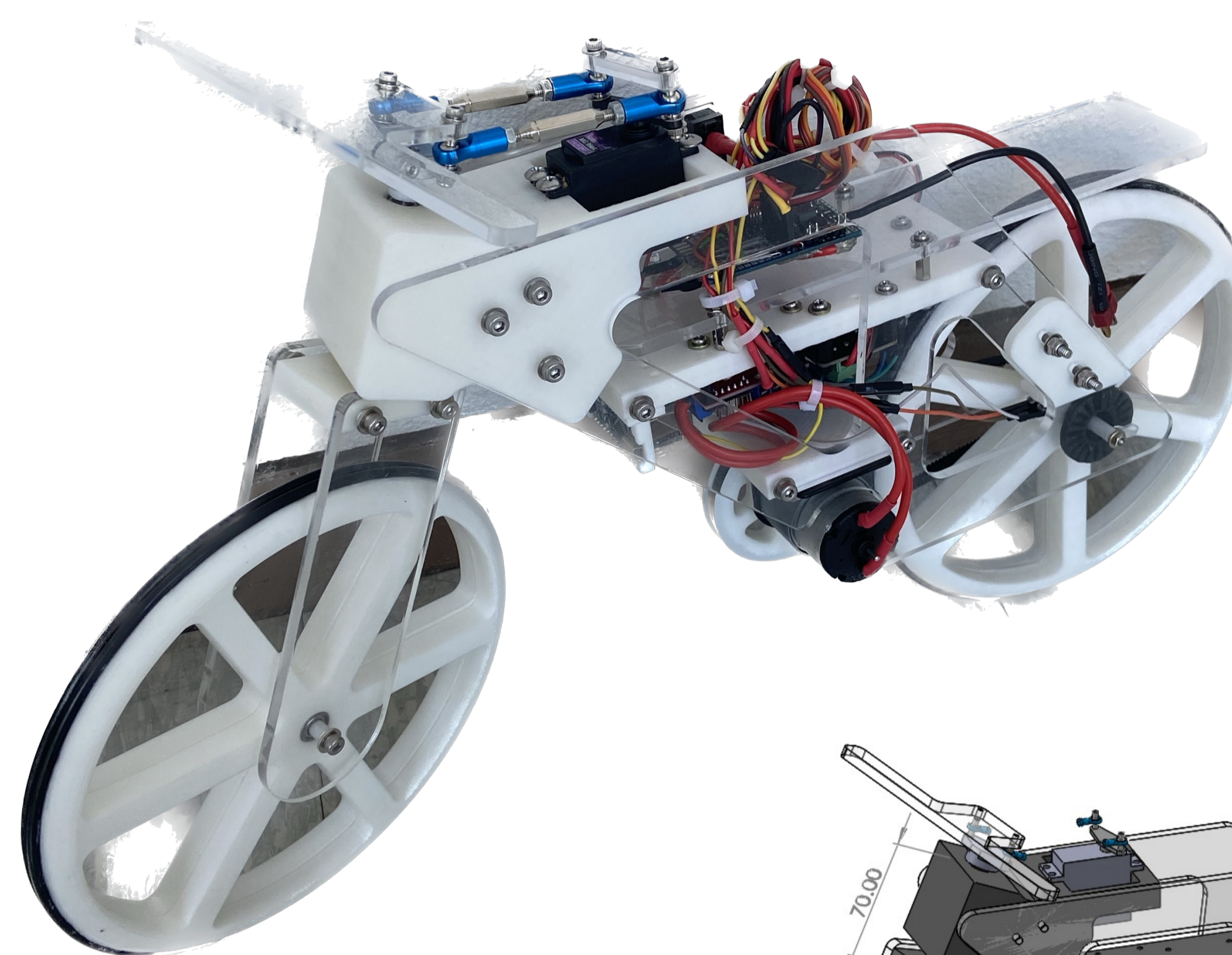
PID 제어기는 대표적인 피드백 제어기이다. 제어 대상의 출력값을 측정하여 이를 설정값과 비교하여 오차를 계산하고, 이 오차값을 이용하여 제어값을 계산하는 구조이다.

오차값, 오차값의 적분, 오차값의 미분에 비례하는 3개의 항으로 구성되어 있다.

- 비례항 : 현재 상태에서의 오차값의 크기에 비례한 제어작용을 한다.
- 적분항 : 정상상태(steady-state) 오차를 없애는 작용을 한다.
- 미분항 : 출력값의 급격한 변화에 제동을 걸어 오버슈트(overshoot)을 줄이고 안정성(stability)을 향상시킨다.

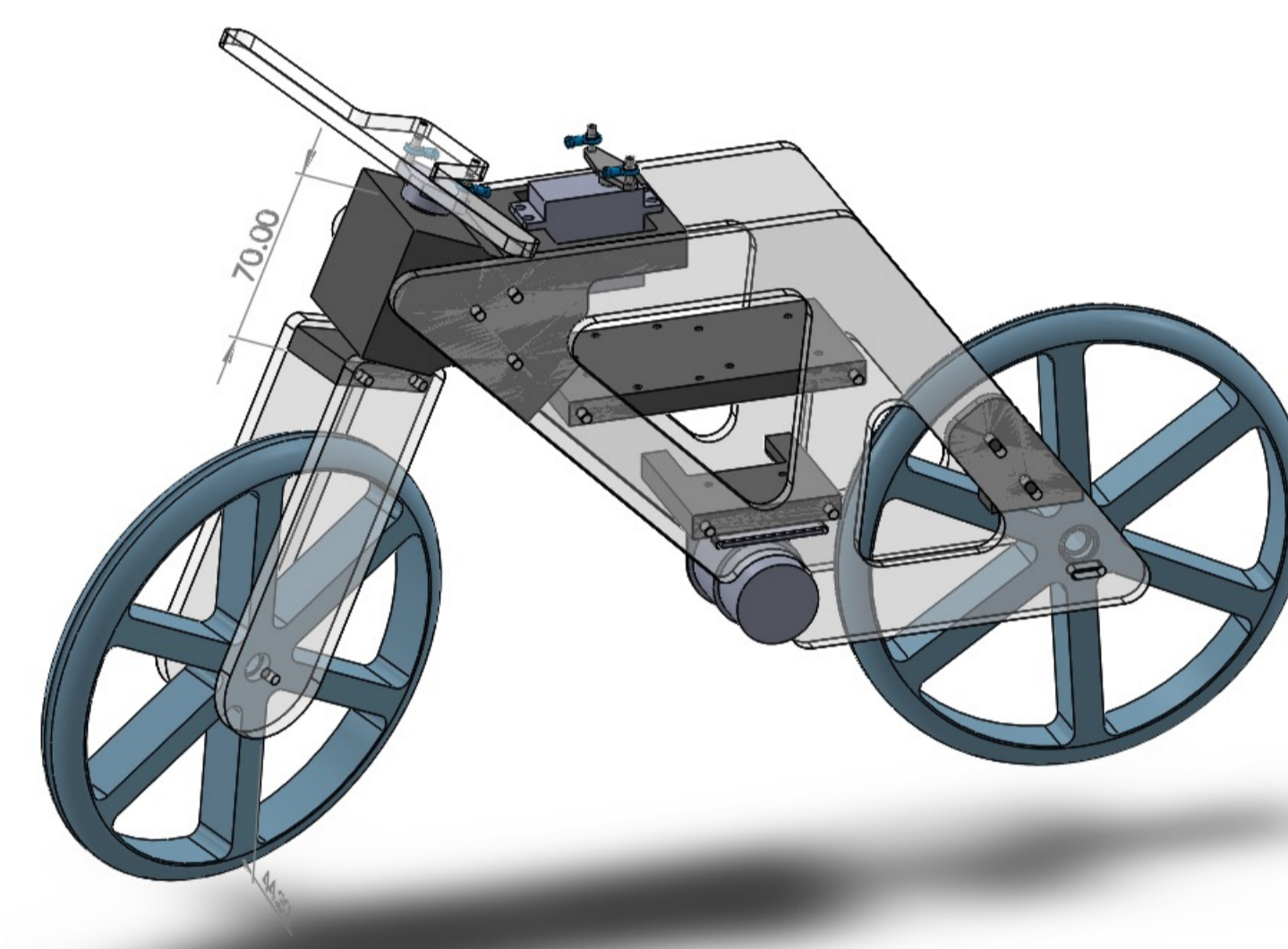
로봇 구조

- 로봇 사진



• 실제 모형

- 설계 모델



결과

실제 자전거 도안을 참고하여 소형화한 자전거 모델을 제작하였다. 자전거 모형은 시험 주행을 통해 PID 상수 값을 튜닝했다.

직진을 목표로 하여 roll을 0으로 유지하도록 각 상수들을 튜닝하였다. 비례항은 roll 각도, 미분항은 roll 각속도 값을 사용했다. 서보모터 각도가 0으로 설정되어 있어도, 정확하게 직진하지 않는다. 자전거 앞바퀴 방향이 정방향과 약간의 오차로 기울어져 있기 때문이다. 이를 보정해주기 위해 적분항에 yaw 각도 값을 사용했다.

자전거 속도가 느릴수록 정밀한 제어가 필요하다. 이에 PID 상수 값과 자전거의 속도가 반비례하다고 가정했다. 임의의 두 속도에 대해 PID튜닝을 한 뒤, 두 값을 비교하여 관계식을 구했다.

블루투스 모듈을 이용하여 무선 조종으로 방향 조절이 가능하도록 했다. PID 제어를 통해 roll 값이 0이 아닌 특정 범위에 속하는 임의의 상수 값을 유지할 수 있도록 했다.

최종 목표

실제 자전거에 모델을 적용시키는 것이 최종 목표이다. 자전거에 부착하여 핸들을 조종할 수 있는 장치를 개발한다. 자전거의 속도와 roll, yaw 각도와 각속도에 대한 정보를 통해 핸들을 조종하여 균형을 유지한다. 자전거를 타는 사람은 페달만 밟으면 되며, 핸들을 손으로 잡을 필요 없다.