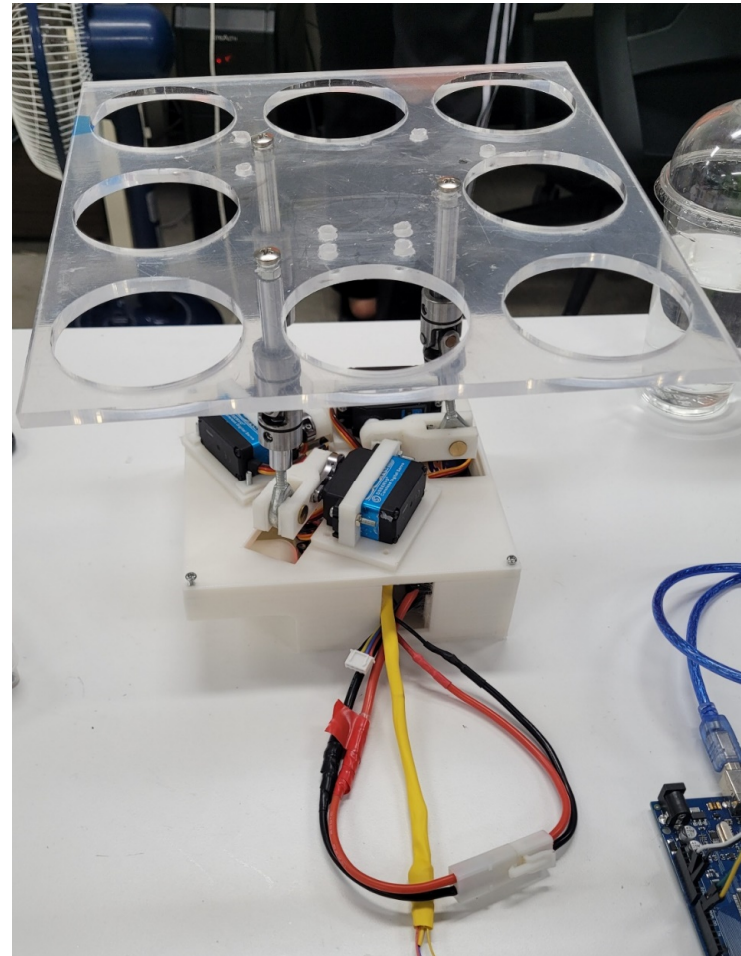


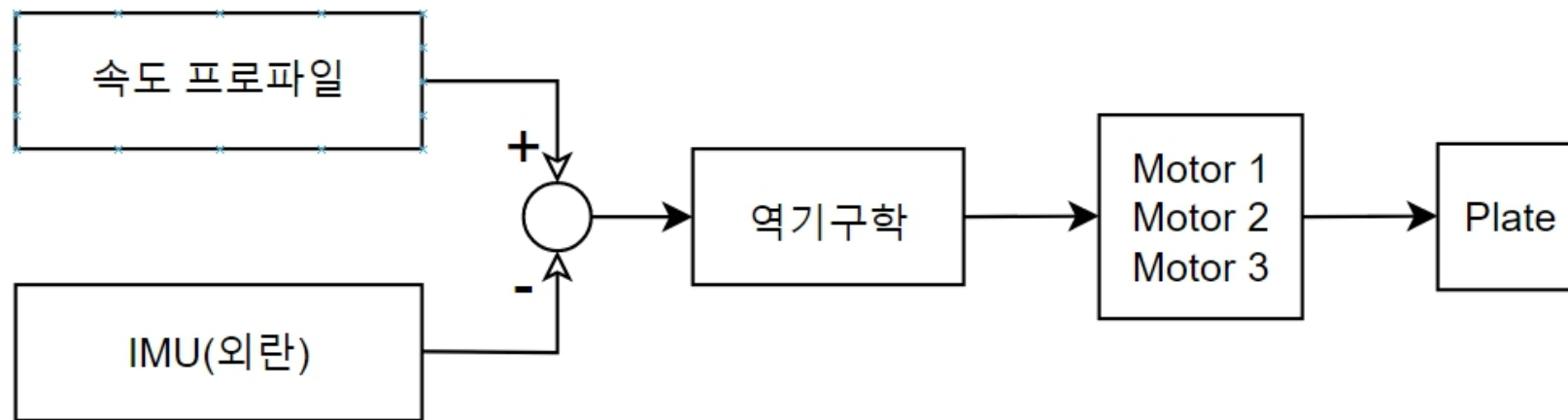
Stabilizer Test Module

- 배터리, 레귤레이터, 회로 등 내장하여
테스트 베드 실험을 위한 모듈화
- 다양한 환경에서 실험 가능
(factor : 음료 개수, 무게, 가속도)



짐벌 기능을 통한 Stabilizer 안정화

- IMU 센서(MPU-6050)를 사용하여 외란에 대한 흔들림 최소화(Roll, Pitch)
- 프로파일과 짐벌 기능을 동시에 구동하여 식음료 배달 안정화



IMU(MPU-6050)

- 6축 센서 (3축 자이로, 3축 가속도)
- 6개의 Raw data를 통해 자세 추정

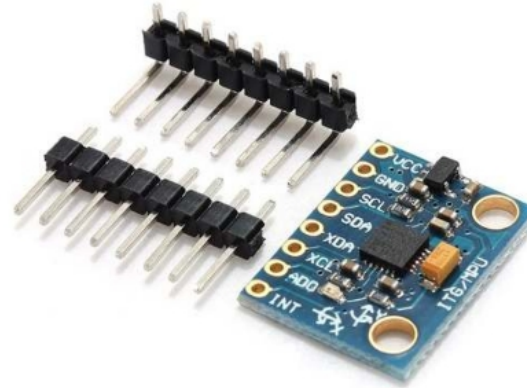
$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{A_x}{\sqrt{A_y^2 + A_z^2}} \right)$$

$$\phi = \tan^{-1} \left(\frac{A_y}{\sqrt{A_x^2 + A_z^2}} \right)$$

- 가속도를 통한 롤 피치 추정

$$\begin{bmatrix} \phi \\ \theta \\ \psi \end{bmatrix}_k = \begin{bmatrix} \phi \\ \theta \\ \psi \end{bmatrix}_{k-1} + \Delta t \begin{bmatrix} \dot{\phi} \\ \dot{\theta} \\ \dot{\psi} \end{bmatrix}_k$$

- 자이로를 통한 롤 피치 추정(수치 적분)

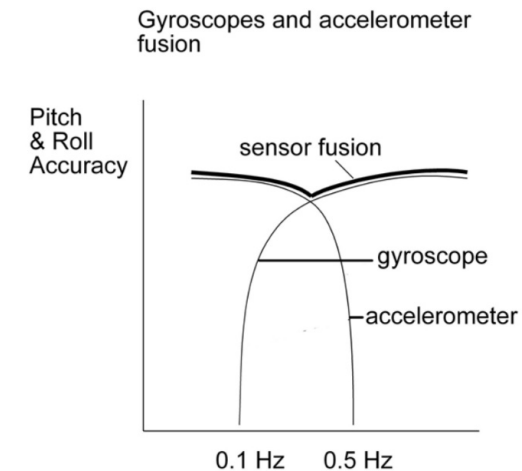
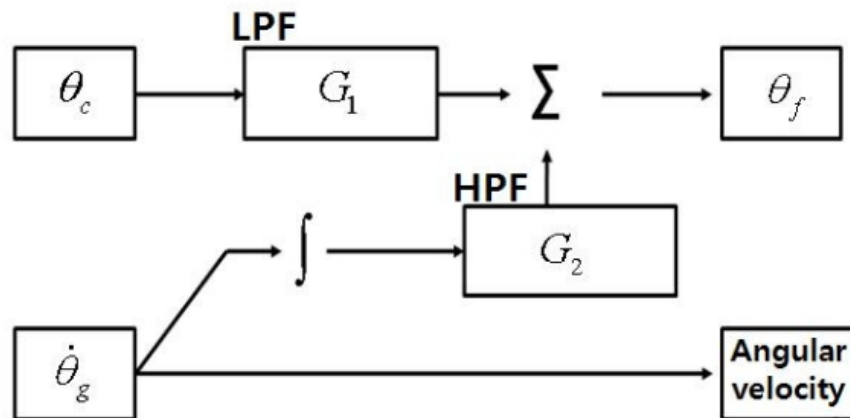


```
float accel_angle_y = atan(-1*accel_x/sqrt(pow(accel_y,2) + pow(accel_z,2)))*RADIANS_TO_DEGREES;  
float accel_angle_x = atan(accel_y/sqrt(pow(accel_x,2) + pow(accel_z,2)))*RADIANS_TO_DEGREES;
```

```
float dt =(t_now - get_last_time())/1000.0;  
float gyro_angle_x = gyro_x*dt + get_last_x_angle();  
float gyro_angle_y = gyro_y*dt + get_last_y_angle();  
float gyro_angle_z = gyro_z*dt + get_last_z_angle();
```

상보 필터(Complementary filter)

- 자이로 센서는 각도 측정을 위해 수행하는 적분으로 오차가 누적되는 현상 발생(Drift)
- 가속도 센서는 저주파에서 응답특성이 좋으나 고주파에 매우 취약함(심한 노이즈)
- 두 센서의 단점을 보완하고 적절히 이용하여 안정된 값을 취함



$\phi_{Total} = [1 - G(s)] \left(\frac{1}{s} \dot{\phi}_{gyro} \right) + G(s) \phi_{accel}$ 가속도에는 LPF, 자이로에는 HPF를 통과한 합이 최종 자세각

$Y_k = \alpha Y_{k-1} + (1 - \alpha) X_k$ - 보상 알고리즘

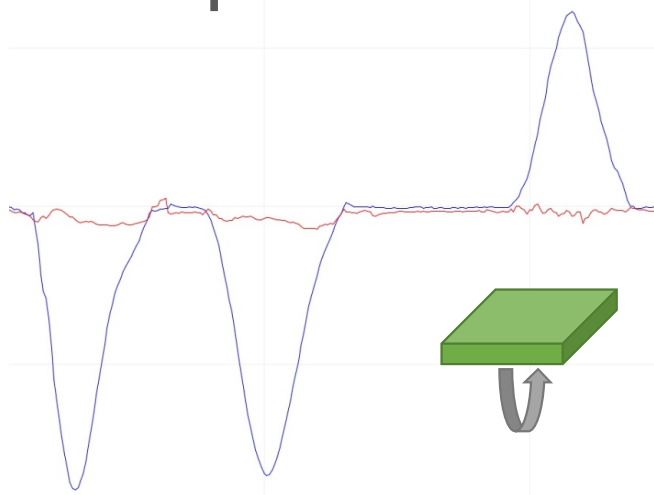
```
float alpha = 0.996;  
angle_x = alpha*gyro_angle_x + (1.0 - alpha)*accel_angle_x;  
angle_y = alpha*gyro_angle_y + (1.0 - alpha)*accel_angle_y;
```

$$\tau = \frac{1}{2\pi f_{cut}} = \frac{1}{a}$$

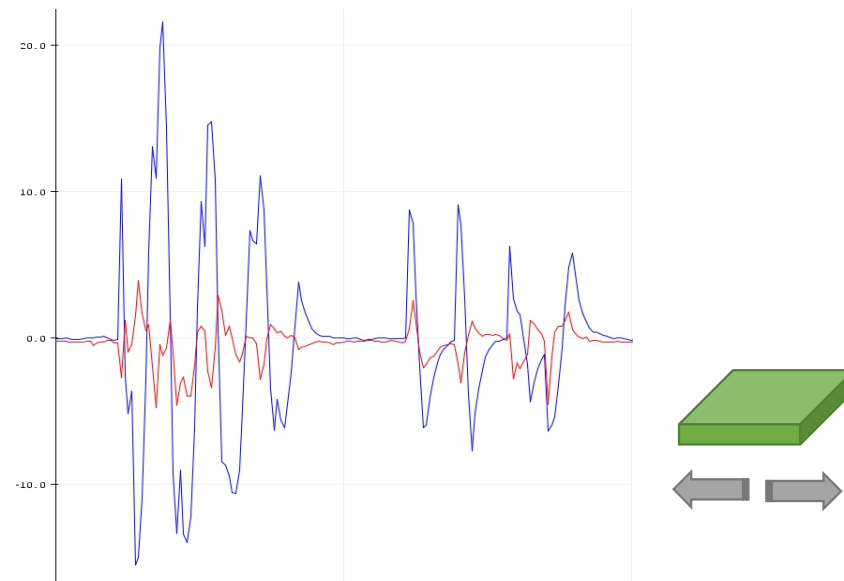
Alpha : 차단 주파수

차단 주파수에 따라서 짐벌 응답특성이 결정

Alpha : 0.95



IMU Roll 조정 그래프

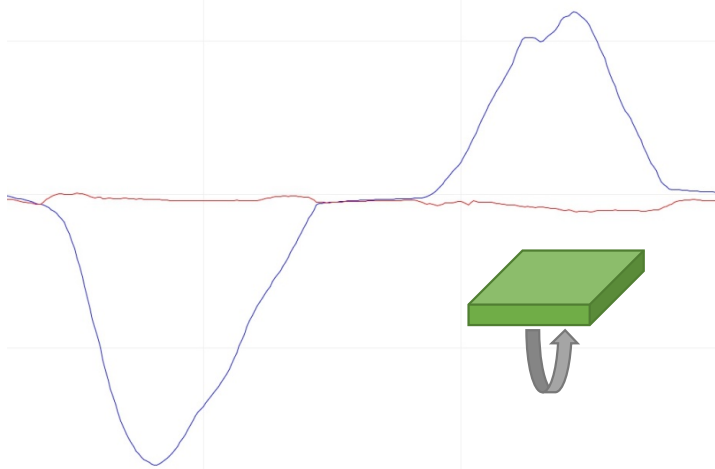


IMU X축 조정 그래프 (앞뒤로 흔들기)

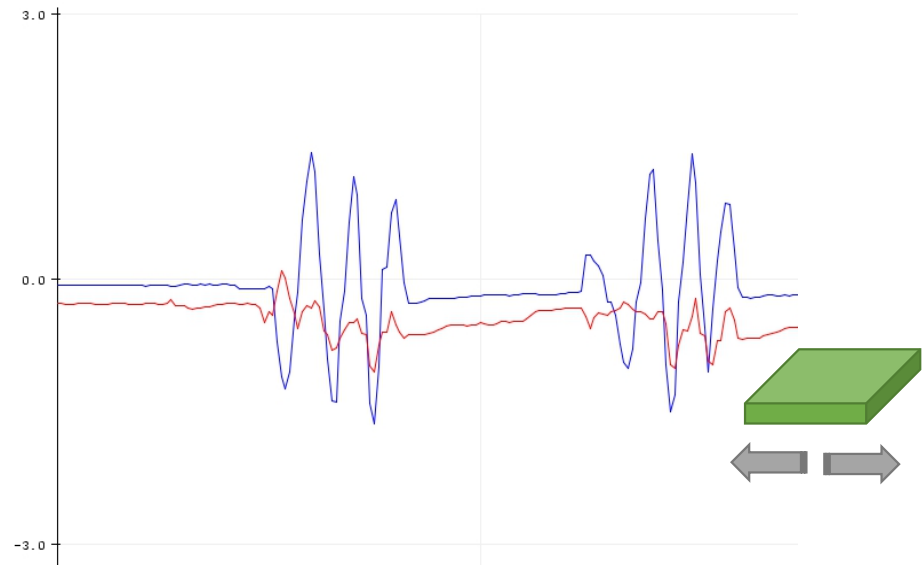
가속도 성분이 많이 들어갈 경우 선형 가속도에도 크게 반응함(20도)

-> 짐벌 기능 시 불안정

Alpha : 0.996



IMU Roll 조정 그래프

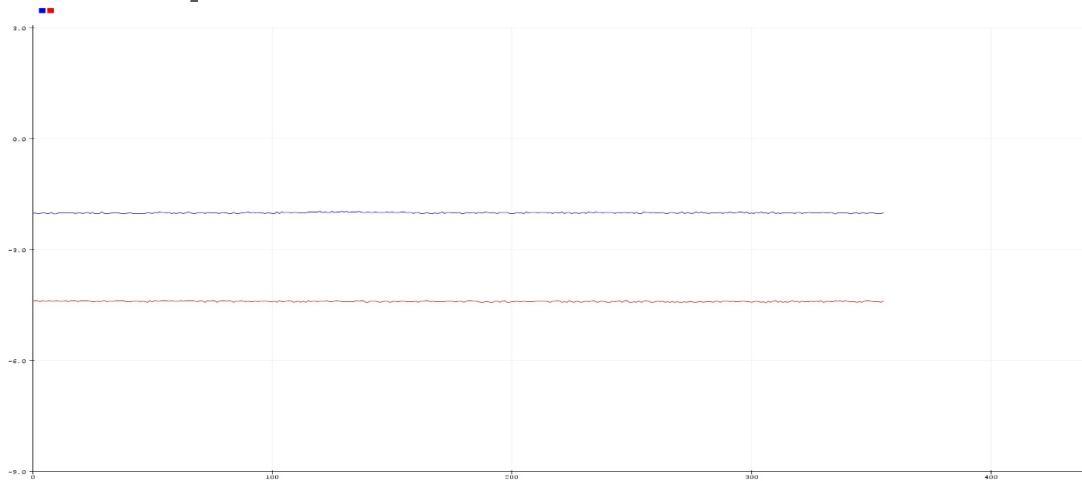


IMU X축 조정 그래프 (앞뒤로 흔들기)

가속도 성분이 적게 들어갈 경우 선형 가속도에 적게 반응함(1도 내외)

-> 짐벌 기능 시 안정

Alpha : 0.996

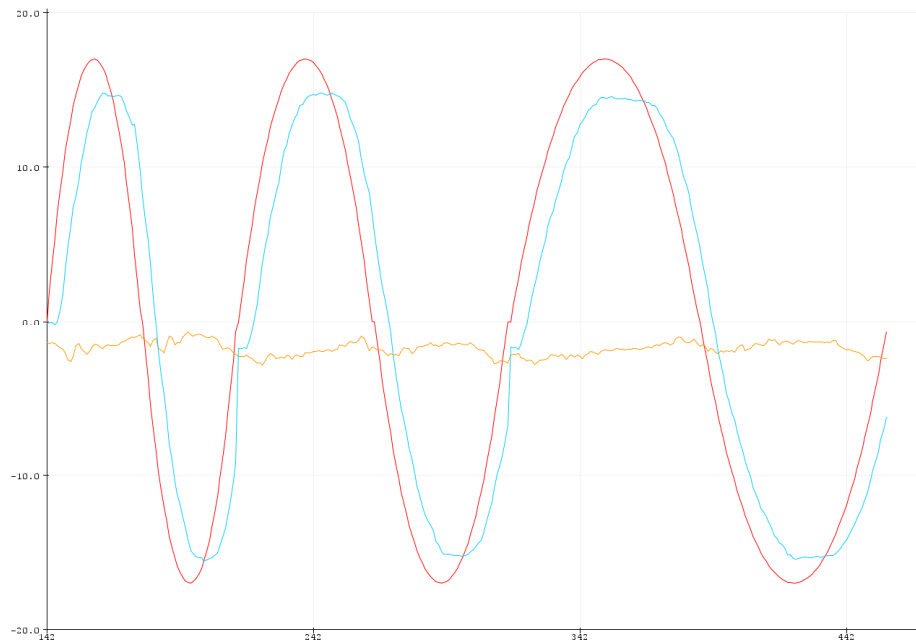


차단 주파수에 따른 드리프트 특성을 실험하기 위해 2시간 센싱 결과
차단 주파수 0.996에 따른 드리프트는 없음

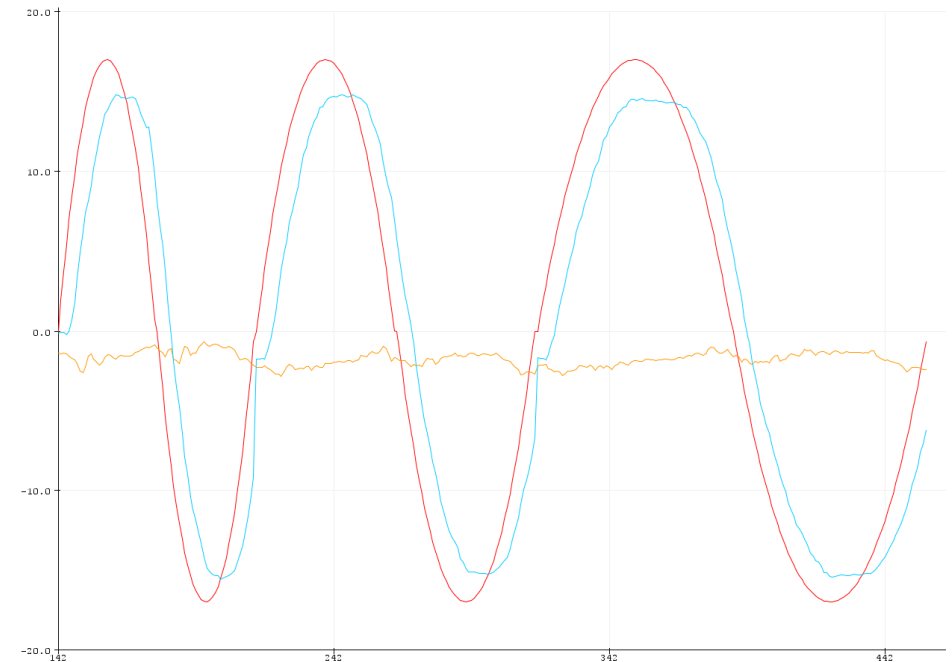
1. Stabilizer 모듈화
2. 짐벌 기능 구현
3. 상보 필터를 통해 선형 가속도 외란 발생 시 짐벌 기능 안정화

Stabilizer 성능 평가

명령 각도와 실제 각도 그래프(플레이트)



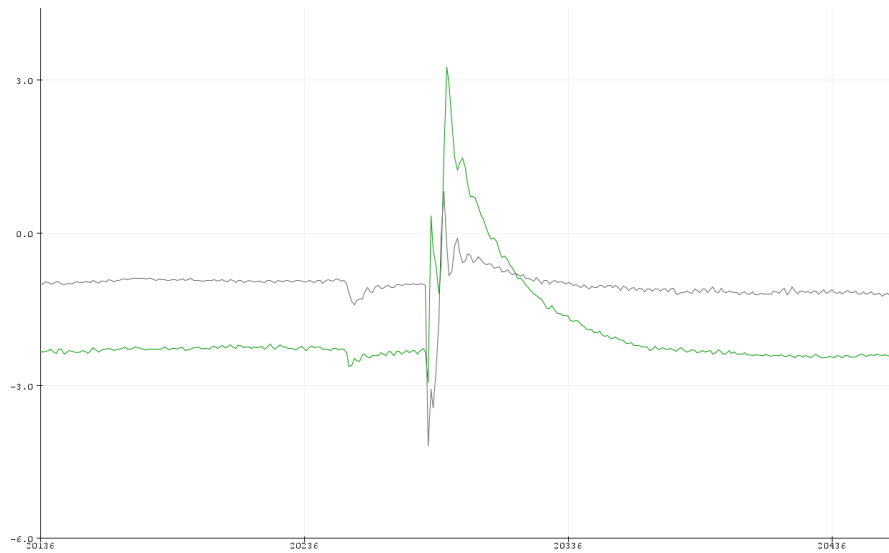
무부하 상태



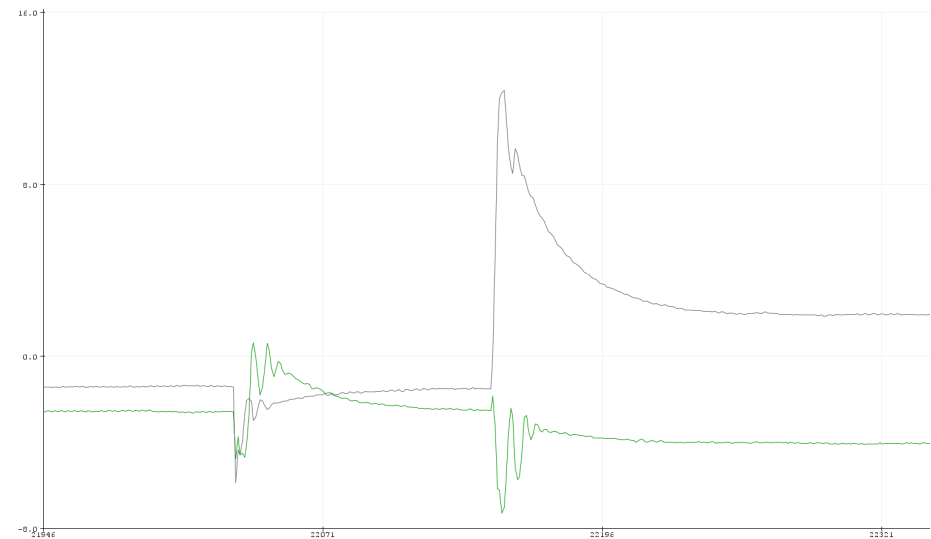
부하 상태(4kg)

Stabilizer 성능 평가

다양한 충격 시 플레이트의 각도 그래프



작은 충격 시 짐벌 각도 5도 내의 회복 필요



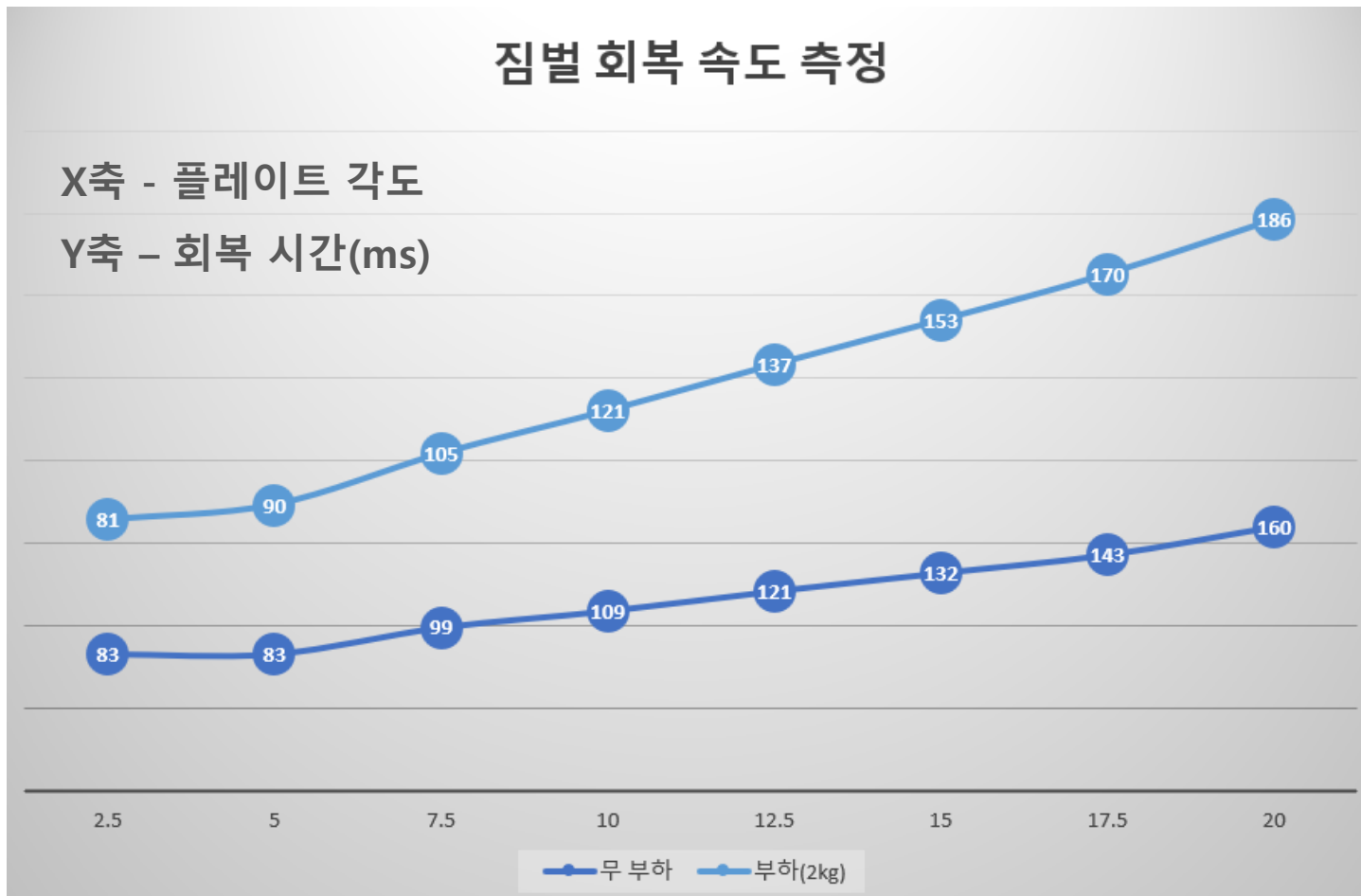
큰 충격(장애물 등) 짐벌 12도 내의 회복 필요

Stabilizer 성능 평가

짐별 회복 속도 측정

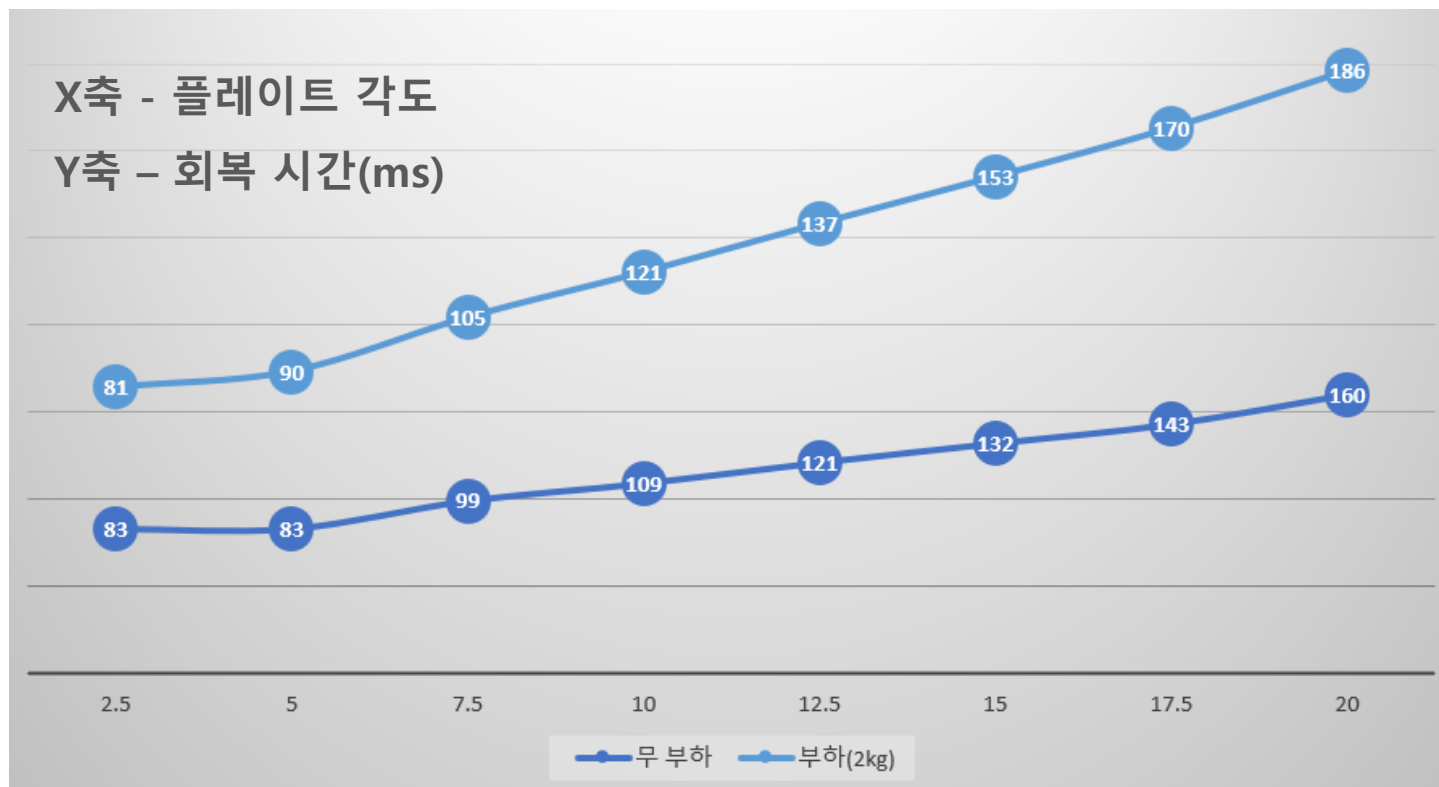
X축 - 플레이트 각도

Y축 - 회복 시간(ms)



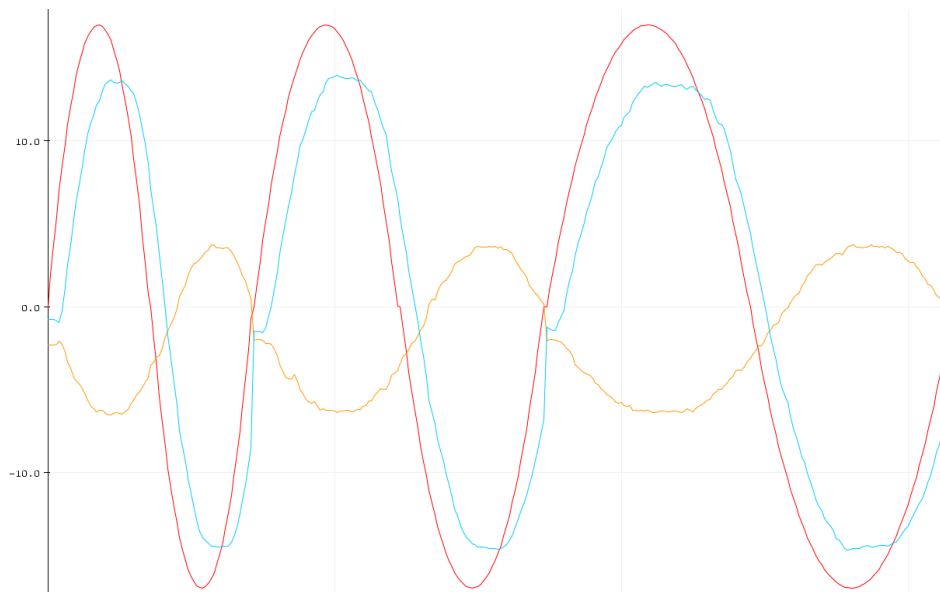
(여러 번 실험 후 평균값 사용)

Stabilizer 성능 평가

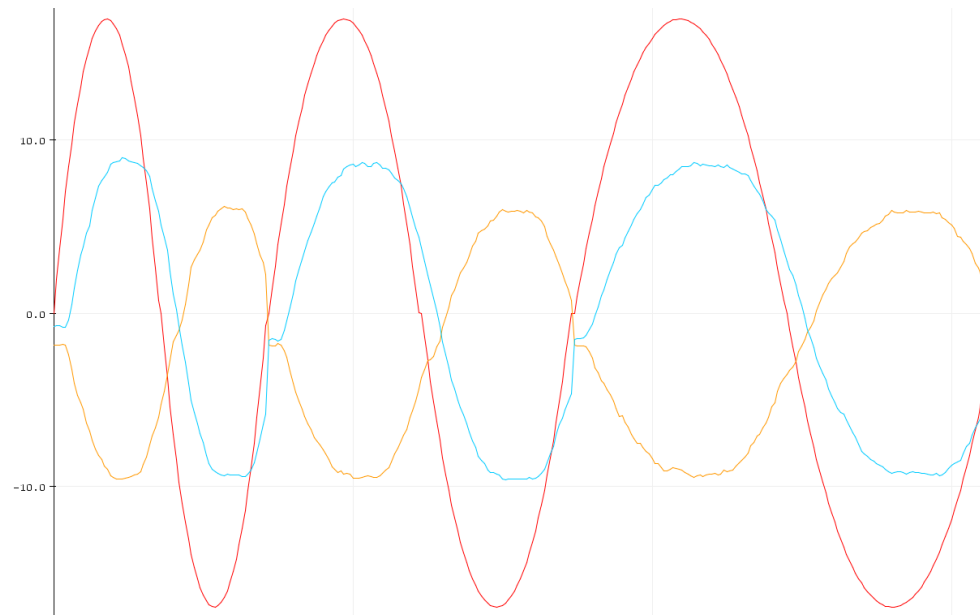


부하 시 20도 회복에 0.18초 소요
12.5 도 회복에 0.12~0.14초 소요
5도 내의 회복에 0.09초 이하 소요

Stabilizer 성능 평가



Yaw = 20°



Yaw = 50°

AGV가 방향을 바꾸어 주행하는 경우
Stabilizer 정상적으로 동작함을 확인