

# 공압식 제어

## TASK 2 : PID 정리하기

양준석, 이우일

PID (Proportional - Integral - Derivative).

PID 제어는 제어 시스템에 원하는 목표값대로 위치하도록 시스템의 출력을 조절하여 사용.

비례항 : 현재의 오차에 비례하여 제어 출력 조절.

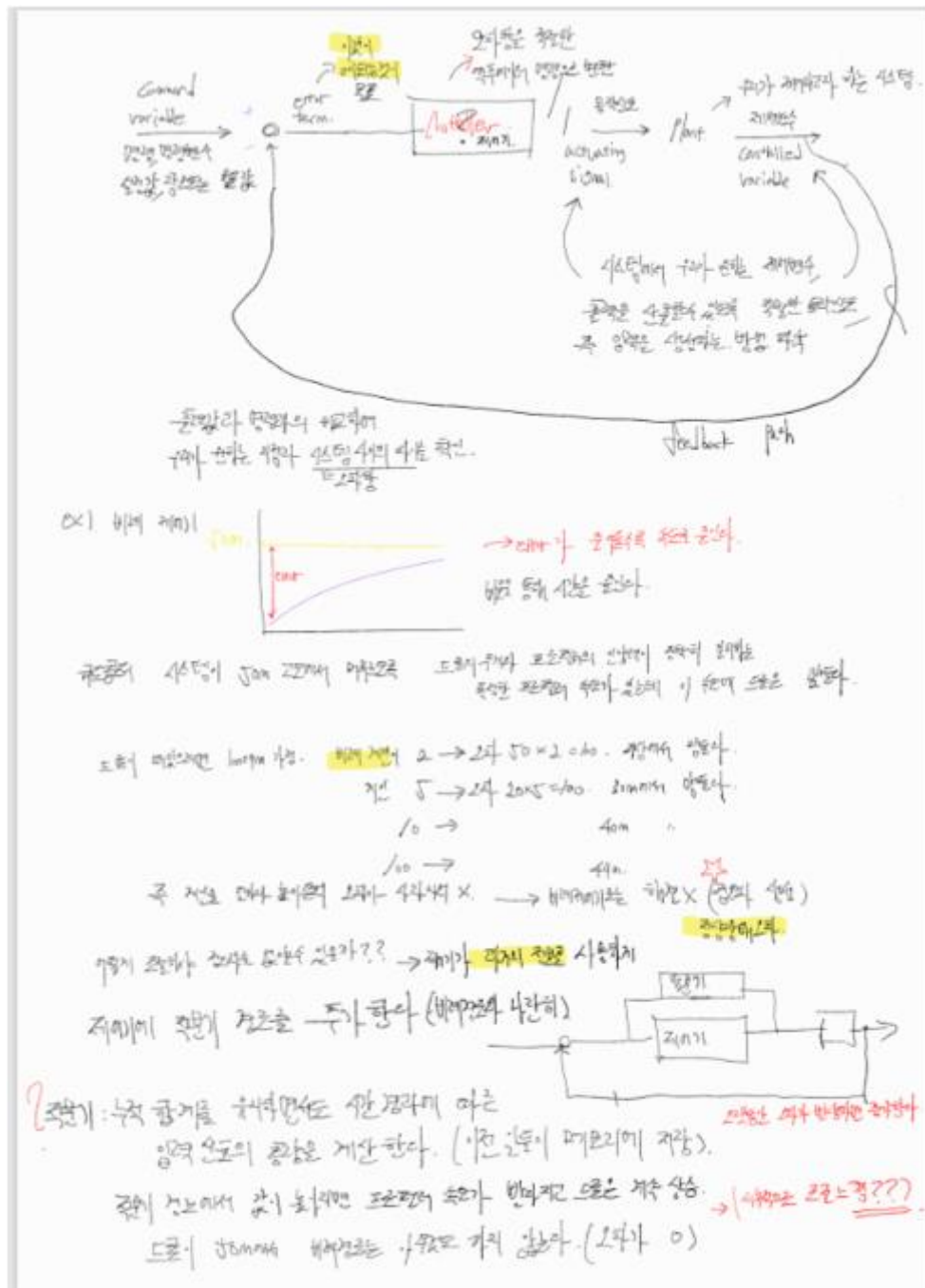
적분항 : 과거의 오차의 총합에 비례하여 제어 출력 조절, 오랫동안 오차로 유지되는 경우에 발생하는 정적 오차.

미분항 : 오차의 변화율에 비례하여 제어 출력 조절, 오차가 급격하게 변할 때 시스템의 출력을 완화.

적분항은 오차의 누적값에 비례하므로, 오차가 오랫동안 존재할 때 시스템의 반응을 조절하는 데에 중요한 역할을 합니다. 오차가 존재하는 동안 적분항은 계속해서 제어 출력을 증가시키며, 이를 통해 오차를 최소화하는 데 도움을 줍니다.

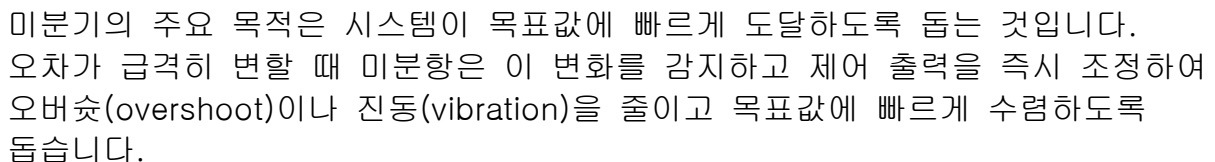
적분항은 주로 정적 오차를 보정하는 데 사용됩니다. 정적 오차는 시스템이 목표값에 도달하지 못한 상태로 오랫동안 유지되는 오차를 의미합니다. 적분항은 이러한 정적 오차를 보정하여 시스템의 정확도를 향상시킵니다.

요약하자면, 적분항은 시간에 따른 오차의 누적을 보상하는 역할을 하며, 정적 오차를 보정하여 시스템의 정확도를 향상시킵니다. 미분항은 오차의 변화율에 비례하여 제어 출력을 조절합니다. 이는 오차의 변화율을 미리 예측하여 오버슈트(overshoot)이나 진동(vibration)을 줄여주는 역할을 합니다. 미분항은 오차의 변화율이 클수록 제어 출력을 크게 조절하는 특성을 가지고 있습니다.



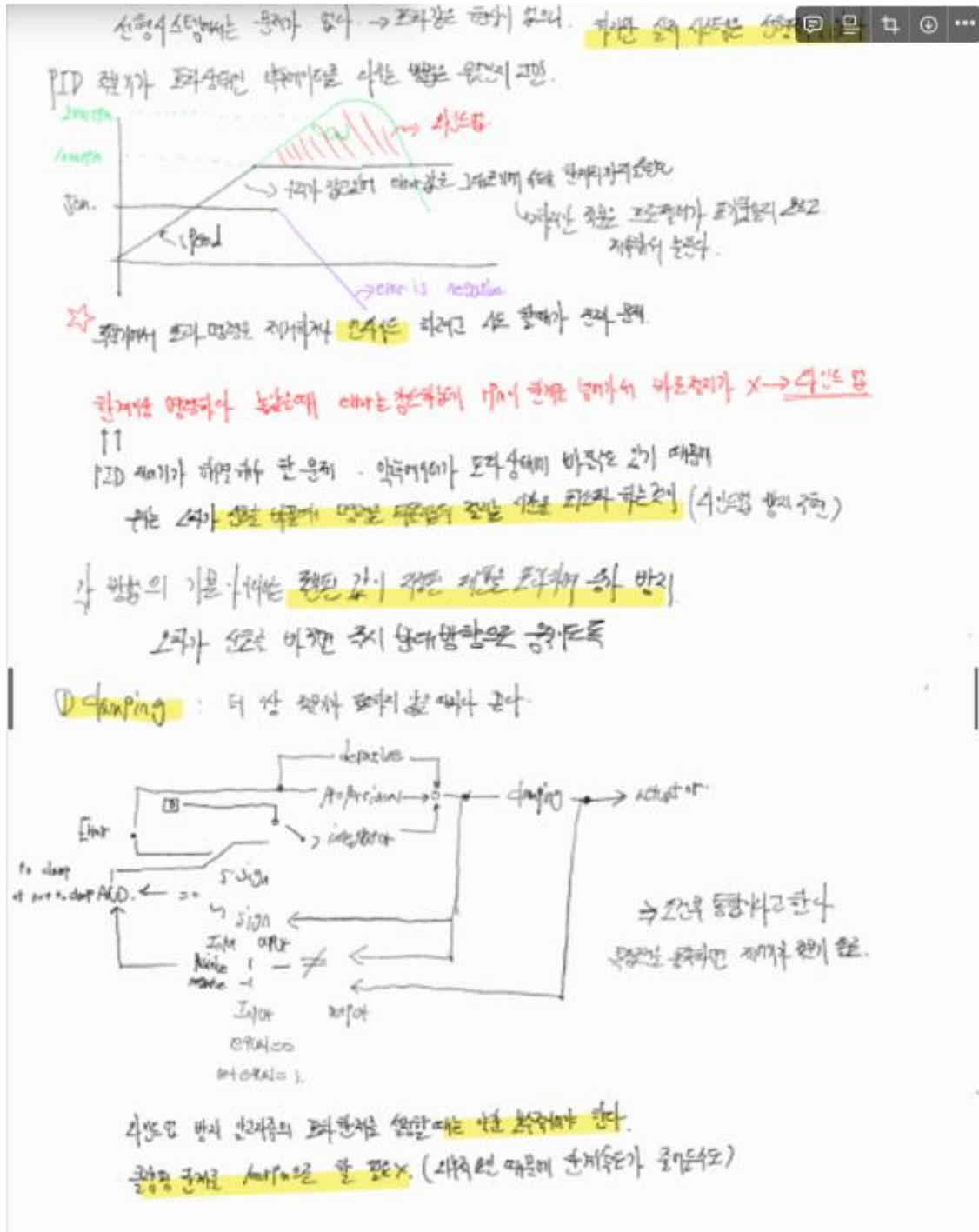
정상상태오차가 발생하기 때문이다.(시스템이 안정 상태로 도달했을 때 남아 있는 오차를 말합니다).

100RPM에서는 적분기에 대한 입력이 0 이므로 출력이 변하지 않는다.



미분기는 오차의 변화율에 따라 제어 출력을 조절하기 때문에 노이즈에 민감할 수 있습니다. 이는 미분항이 적용되는 시스템에서 불안정성을 초래할 수 있습니다. 미분항이 노이즈에 과도하게 반응하면 제어 시스템이 불안정해질 수 있으므로, 이를 방지하기 위해 미분항에는 필터링 기법이 종종 적용됩니다.

미분기는 주로 시스템의 동적 특성에 빠르게 반응하는 데 사용됩니다. 미분항은 오차의 변화율이 큰 경우에 높은 제어 출력을 생성하여 시스템이 빠르게 조정될 수 있도록 돕습니다.



선형시스템에는 문제가 없다 → 포화같은 현상이 없기에. 하지만 실제 시스템은 선형적이지 않다.

포화 현상(saturation)은 시스템이 특정 값을 넘어서면 더 이상 응답이 증가하지 않고 일정 수준으로 고정되는 현상을 의미합니다. 이는 주로 시스템의 입출력이 특정 범위 내에서 제한되는 경우에 발생합니다.

와인드업 : 제어 시스템이 목표값에 도달하지 못하면 적분항이 계속해서 오차를 누적시키는데, 이 과정에서 제어 입력이 제한되는 상황이 발생할 수 있습니다. 그런데 목표값에 도달하지 못한 상태에서 적분항이 계속 누적되면, 제어 입력이 제한된 범위 내에서 계속해서 증가하여, 제어 시스템이 오버슛이나 진동과 같은 불안정한 현상을 보일 수 있게 됩니다. (한계이상 명령하다 놓았을 때 ERROR는 감소하는데 RPM이 한계를 넘어가서 바로 정지가 되지 않는)

→ 해결 방법: 오차가 신호를 바꾸면 즉시 반대 방향으로 움직이도록

1. CLAMPING: 제어 입력이나 출력을 특정 범위 내에 유지하기 위해 사용되는 방법으로, 주로 제어 시스템에서 오버플로우나 와인드업 등의 문제를 방지하기 위해 적용됩니다.( 와인드업 방지 알고리즘의 포화 한계를 설정할 때는 약간 보수적이어야 한다. EX) 클램핑의 한계를 100RPM으로 할 필요 X(외부적 요인 때문에 한계속도가 줄어들수 있기에))

3 퍼드백 루프에 노이즈를 추가하는 실험이다.  
노이즈: 신호의 임의적인 교란.

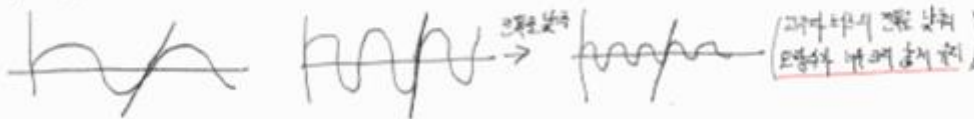
$$Noise = \begin{matrix} \text{환경} \\ + \\ \text{실행} \\ + \\ \text{결함} \end{matrix}$$

White noise: 서로 다른 주파수에서 동일한 강도를 갖는 경우. → 모든 주파수 대역에서 동일한 세기를 갖는다.



노이즈의 전파는 낮은 시스템에 큰 영향을 미치지 않는다.

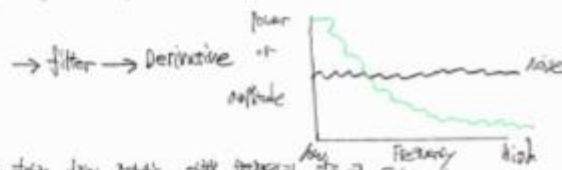
왜냐하면, 고주파 신호는 필터에 의해 잘라내어 낮은 주파수 신호에 비해 상대적으로 큰 영향을 받지 않는다.



$$Noise = y(t) = A \sin(\omega t + \phi) \quad \frac{dy}{dt} = A\omega \cos(\omega t + \phi + 90^\circ) \quad \omega = 2\pi f \text{ (rad/sec)}$$

amplitude      frequency      phase.

증폭로 확대하는 방법: Cut-off (저주파 통과)



회로 설계: 주파수 필터를 사용하여 원하는 신호를 추출하고 노이즈를 제거한다.  
주파수 필터를 사용하여 신호를 추출하고 노이즈를 제거한다.

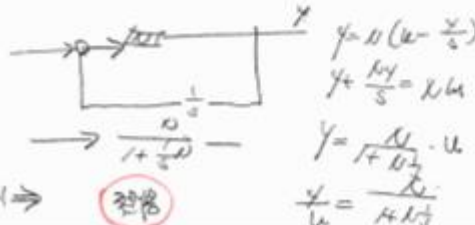
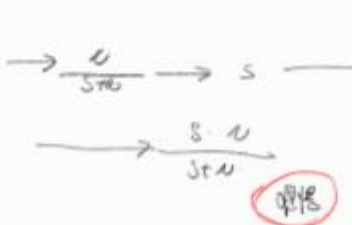
Low pass filter

S derivative

1/s integral

$\frac{1}{s} \rightarrow \frac{1}{s} \cdot \frac{1}{s} = \frac{1}{s^2}$  low pass filter with cut-off at 1 rad/s

or  $\frac{1}{s} \rightarrow \frac{1}{s} \cdot \frac{1}{s} = \frac{1}{s^2}$  low pass filter with cut-off at 1 rad/s



노이즈: 신호의 임의적인 교란

noise=환경+실행+결함

상황에 따라 정리 할 수 있다.

well-behaved system

have a model

manual tuning

### 1. Pole Placement (극의 배치):

- Pole placement 은 제어 시스템의 극을 원하는 위치에 배치하여 시스템의 응답을 조절하는 방법입니다.
- 극의 위치를 조절함으로써 시스템의 응답 특성을 변경할 수 있으며, 이를 통해 원하는 성능을 달성할 수 있습니다.
- 주로 특정 요구 사항을 충족시키기 위해 극의 위치를 조정하는데 사용됩니다. 예를 들어, 초저조여유를 갖는 안정한 시스템을 설계하기 위해 사용될 수 있습니다.

### 2. Loop Shaping (루프 성형):

- Loop shaping 은 제어 시스템의 주 루프의 전달 함수를 조정하여 원하는 성능을 달성하는 방법입니다.
- 주로 루프 전달 함수의 형태를 변경하여 원하는 반응 특성을 얻는데 사용됩니다.
- 주로 루프 성형은 주파수 응답 방법을 기반으로 하며, Bode Plot 이나 Nyquist Plot 등의 도구를 사용하여 루프 전달 함수를 분석합니다.

### 3. Heuristics (휴리스틱):

- 휴리스틱은 경험적인 규칙이나 직관을 기반으로 하는 방법을 의미합니다.
- 이 방법은 주로 PID 파라미터를 튜닝하는 데 사용되며, 예를 들어 일반적인 휴리스틱은 P 파라미터를 먼저 증가시키고, 그 후 I 및 D 파라미터를 조정하는 것입니다.
- 휴리스틱은 경험적으로 얻은 지식을 바탕으로 하기 때문에 종종 특정 시스템에는 잘 맞지 않을 수 있습니다.

have a physical hardware

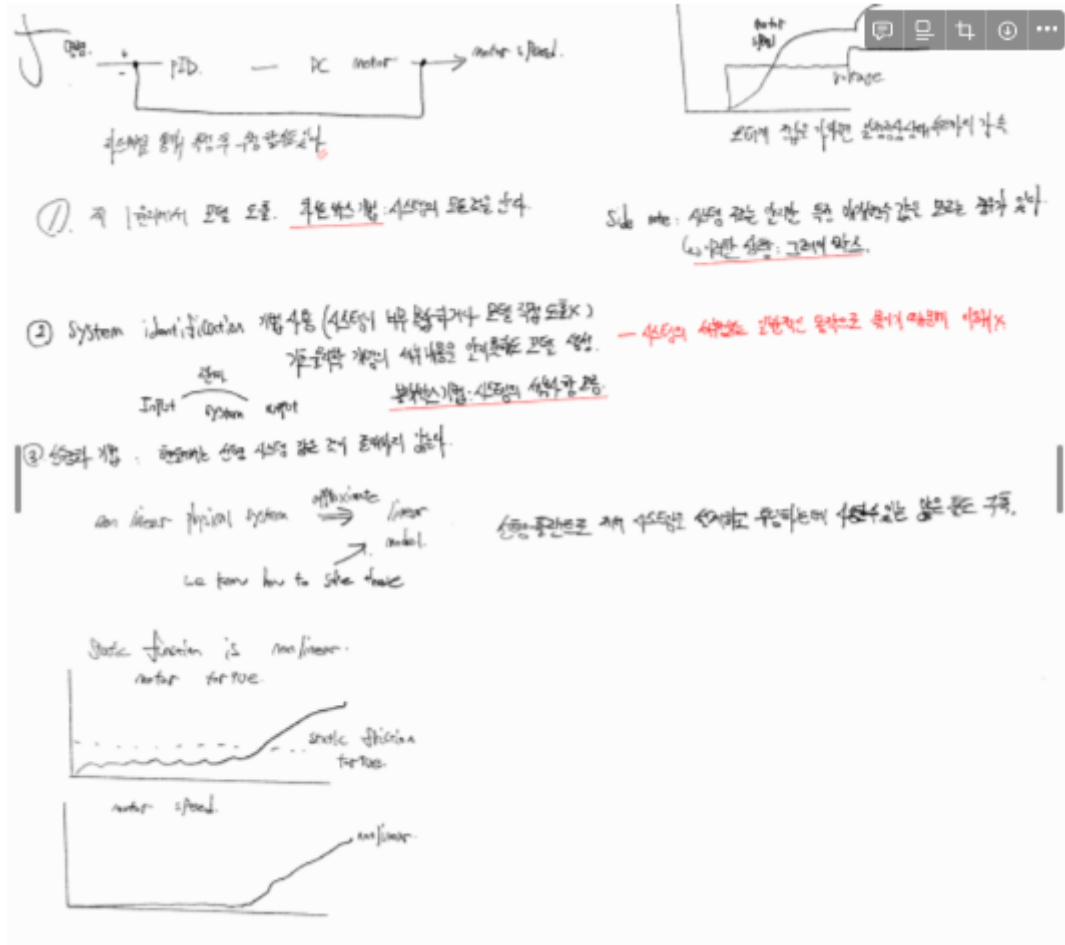
1. design with a physical system
2. run into sequence

automatic tuning

사용자 요구사항에 따라 최적의 PID 게인을 자동으로 생성

gain 을 수정할수 있다는 점은 다른 형태의 제어기 대신 PID 를 사용해야 하는 이유!!



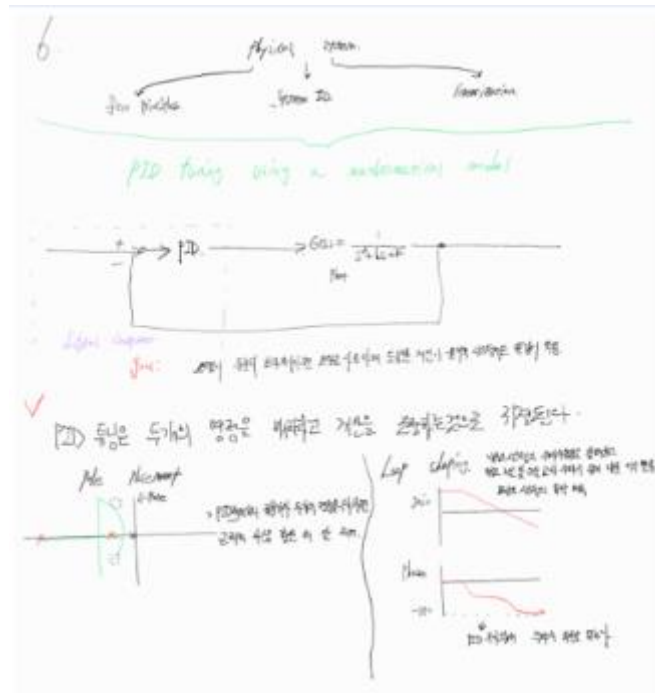


하드웨어를 통해 측정 후 수정 할 수도 있다.

## MODEL 을 도출 방법

- 제 1 원리 : 시스템의 동작을 물리학적 원리나 기본적인 물리적 관계를 기반으로하여 설명하는 방법입니다. 이 방법은 시스템의 구성 요소 및 동작 방식을 이해하고 모델링하는 데 사용됩니다.화이트 박스기법이용 된다.(시스템의 모든것을 안다.), ((그레이 박스기법 이용된다(시스템의 구조는 알지만 특정 매개변수 값을 모르는 경우도 있다.))
- SYSTEM IDENTIFICATION : 시스템의 동적 동작을 이해하고 모델링하는 프로세스를 의미합니다. 시스템 식별은 실제 시스템의 입력과 출력 데이터를 분석하여 시스템의 수학적 모델을 도출하는 방법입니다. 이러한 모델은 시스템의 동작을 잘 설명하고 예측할 수 있도록 해줍니다.(시스템이 너무 복잡하거나 모델 직접 도출할수 없다.) 시스템의 세부정보는 일반적인 동작으로 묶이기 때문에 이해하지 않아도 된다.(블랙박스 기법( 시스템의 세부사항을 모르고 식만 도출을 한다.))
- 선형화 기법 : 선형 시스템은 입력과 출력 간의 관계가 선형적이며, 시스템의 출력이 입력의 선형 조합으로 표현될 수 있는 시스템을 말합니다. 단 현실에서는 선형 시스템 같은 것이 존재하지 않는다.

(사용이유: 선형 플랜트로 제어 시스템을 설계하고 튜닝하는데 사용할 수 있는 많은 툴이 구축되어있다)



## PHYSICAL SYSTEM

## FIRST PRINCIPLE, SYSYEM ID, LINEARIZATION

## PID TUNING USING A MATHEMATICAL MODEL

목적: 모델이 충분히 효과적이면 모델을 사용하여 도출한 게인이 물리적 시스템에도 똑같이 적용한다.

먼저, "두 개의 영점을 배치하고 게인을 조정한다"는 말은 Ziegler-Nichols 휴리스틱에서 나오는 개념입니다. 이 방법은 시스템의 주파수 응답을 분석하여 적절한 PID 게인 값을 결정하는 방법으로, 주로 제어 시스템에서 PID 컨트롤러의 초기 설정에 사용됩니다.

### 1. POLE PLACEMENT(근의 배치):

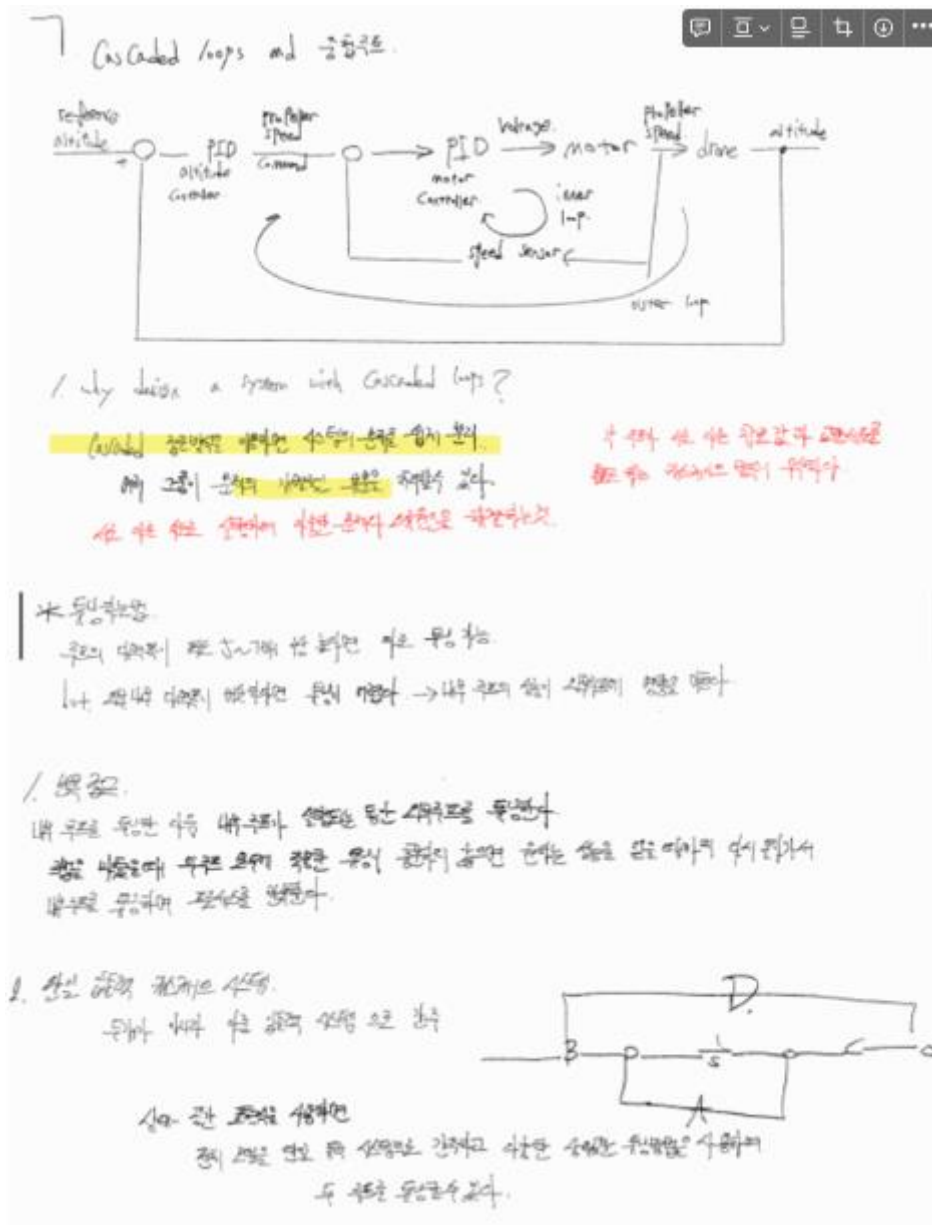
- Pole Placement 은 제어 시스템에서 사용되는 한 가지 디자인 기법입니다. 이 방법은 시스템의 근을 원하는 위치에 배치하여 원하는 성능을 얻기 위해 사용됩니다.
- 제어 시스템의 근은 시스템의 안정성과 응답 속도에 영향을 미치는 중요한 요소입니다. Pole Placement 은 이러한 근을 원하는 위치에 배치하여 시스템의 안정성과 응답 특성을 조절합니다.

- 일반적으로 Pole Placement 은 시스템의 전달 함수나 상태 공간 모델을 사용하여 시스템의 근을 조정합니다. 이를 통해 원하는 성능을 얻을 수 있도록 제어 시스템을 설계합니다.

## 2. LOOP SHAPING(루프 성형):

- Loop Shaping 은 제어 시스템에서 사용되는 또 다른 디자인 기법입니다. 이 방법은 제어 시스템의 루프 전달 함수를 조정하여 원하는 성능을 얻기 위해 사용됩니다.
- 루프 전달 함수는 제어 시스템의 입력과 출력 간의 전달 함수를 나타냅니다. Loop Shaping 은 이 루프 전달 함수를 조절하여 원하는 반응 특성을 얻을 수 있도록 합니다.
- 주로 주파수 응답 분석을 사용하여 루프 전달 함수를 분석하고 조정합니다. Bode Plot 이나 Nyquist Plot 등의 도구를 사용하여 루프 전달 함수의 주파수 응답을 분석하고 조절합니다.

POLE PLACEMENT 과 LOOP SHAPING 은 각각 제어 시스템에서 사용되는 디자인 기법으로, 시스템의 성능을 조절하기 위해 사용됩니다. POLE PLACEMENT 은 시스템의 근을 조정하여 원하는 성능을 얻는 데 사용되고, LOOP SHAPING 은 루프 전달 함수를 조정하여 원하는 반응 특성을 얻는 데 사용됩니다.



CASCADED 접근 방식을 이용하면 시스템의 문제를 쉽게 분리, 여러 그룹이 문제의 개별적인 부분을 처리할 수 있다.

각 루프가 서로 다른 참조 값과 교란 세트를 목표로하는 CASCADED 방식이 우수하다.

- 튜닝 하는법

루프의 대역폭이 최소 5~7 배 높다면 따로 튜닝이 가능

BUT 외부 내부 대역폭이 비슷하다면 튜닝이 어렵다(내부 루프의 성능이 외부루프에 영향을 미치기 때문)

## 1. 반복 접근

반복적 접근을 사용하는 일반적인 절차는 다음과 같습니다:

1. **초기 설정:** 먼저 PID 컨트롤러의 초기 설정 값을 선택합니다. 이 초기 설정은 Ziegler-Nichols 휴리스틱 또는 다른 방법을 통해 결정될 수 있습니다.
2. **실제 시스템에 적용:** 선택한 초기 설정으로 PID 컨트롤러를 실제 시스템에 적용하고 제어 시스템을 작동시킵니다.
3. **응답 분석:** 시스템의 응답을 관찰하고 분석합니다. 이 단계에서는 시스템의 안정성, 반응 시간, 오버슈트, 오차 등을 평가합니다.
4. **파라미터 조정:** 분석된 응답에 기초하여 PID 컨트롤러의 파라미터를 조정합니다. 주로 P(비례), I(적분), D(미분) 파라미터를 조정하여 원하는 제어 성능을 얻도록 합니다.
5. **반복:** 2 단계에서부터 다시 시작하여 조정된 파라미터로 시스템을 작동시키고 응답을 분석합니다. 이후 계속해서 파라미터를 조정하고 응답을 분석하여 원하는 제어 성능을 얻을 때까지 이 과정을 반복합니다.

## 2. 단일 입출력 캐스케이드 시스템

1. **단일 입력과 출력:** 시스템에는 하나의 입력 신호만 제공되고, 그에 대응하는 하나의 출력이 생성됩니다. 이는 시스템의 제어 목적에 따라 입력과 출력 사이의 관계를 모델링하고 제어하는 데 사용됩니다.
2. **단순한 구조:** 단일 입출력 캐스케이드 시스템은 단순한 구조를 가지고 있으며, 입력과 출력 사이의 관계를 명확하게 이해하고 제어하기 쉽습니다.
3. **효율적인 제어:** 입력과 출력 간의 단일 캐스케이드 구조는 효율적인 제어를 가능하게 합니다. 하나의 입력으로 하나의 출력을 제어할 수 있으므로 제어 시스템의 설계 및 구현이 단순해집니다.
4. **응용 분야:** 단일 입출력 캐스케이드 시스템은 다양한 응용 분야에서 사용됩니다. 예를 들어, 온도 제어, 압력 제어, 위치 제어, 속도 제어 등 다양한 프로세스 제어 응용에 적용될 수 있습니다.

## 3. 소프트웨어

MATLAB 및 SIMULINK의 자동 튜닝 기능을 사용하여 두개의 루프 튜닝이 가능하다.



이산 PID 는 일반적으로 디지털 시간 스텝의 길이와 PID 파라미터(비례 게인, 적분 시간, 미분 시간 등)에 따라 계산됩니다. 또한, 이산 PID 는 적절한 샘플링 주파수와 제어 시스템의 응답 특성에 맞게 설계되어야 합니다.