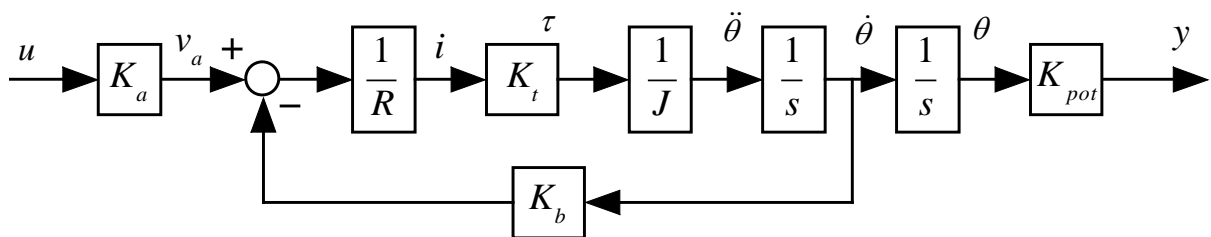
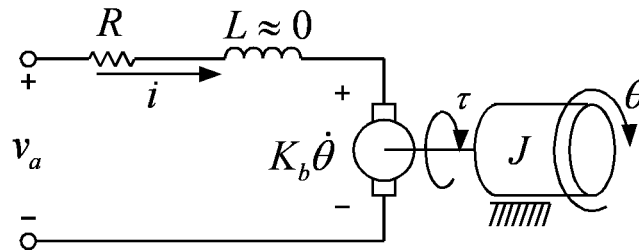


## LAB :DC servo motor – parameter 측정 및 PD 제어기

본 실험에서는 DC servo motor의 modeling을 위한 parameter의 측정과 PD 제어 시스템에 대한 실험 및 시뮬레이션을 수행한다.

DC servo motor의 modeling 식과 블록 다이어그램은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \tau &= J\ddot{\theta} \\ \tau &= K_t i \\ v_a &= Ri + K_b \dot{\theta} \\ v_a &= K_a u \\ y &= K_{pot} \theta \end{aligned}$$



위의 식과 그림에서 각 변수 및 상수들은 다음과 같다.

변수:

- $\tau$  : torque
- $y$  : output voltage
- $\theta$  : angle
- $v_a$  : armature voltage
- $i$  : armature current
- $u$  : input voltage

상수:

- $K_t$  : torque constant
- $K_b$  : back emf constant
- $R$  : resistance

$K_a$  : power amplifier gain (= [pre-amp gain] \* [power amp gain])

$K_{pot}$  : potentiometer constant (gear ratio 포함)

$J$  : inertia

위의 모터 상수들 중 멀티미터 혹은 오실로스코프를 사용하여 간단히 측정 가능한 상수들은 resistance, power amplifier gain, potentiometer constant 등이다. 일반적으로 모터 상수 측정 시 torque constant는 측정하기가 어려우나, 근사적으로는 torque constant와 back emf constant는 같은 값으로 간주될 수 있다. 그 이유는 모터에서 발생하는 손실이 적어서 무시한다고 가정할 때, 에너지 보존법칙에 의해서 입력되는 전기 power와 출력되는 기계 power는 거의 같다고 볼 수 있으므로, 다음의 관계식이 성립한다.

$$p = v_a i = K_b \dot{\theta} \frac{\tau}{K_t} = \dot{\theta} \tau$$

따라서,

$$K_b = K_t$$

의 관계가 성립한다고 볼 수 있으므로, back emf constant를 알면 torque constant의 근사 값도 알 수 있게 된다.

모터 축의 각속도를  $\omega$  라고 했을 때, 모터의 입력 전압과 각속도 간의 전달 함수는 다음과 같다.

$$\frac{\Omega(s)}{V_a(s)} = \frac{K_t}{RJs + K_t K_b} = \frac{1/K_b}{RJs / (K_t K_b) + 1} = \frac{1/K_b}{T_m s + 1}$$

위의 식에서  $T_m$  은 다음과 같은 상수로서 모터의 시정수(time constant)이다.

$$T_m = \frac{RJ}{K_t K_b}$$

위의 전달 함수를 이용하면, 전체 모터 시스템의 전달 함수는 다음과 같다.

$$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{K_{pot} K_a / K_b}{s(T_m s + 1)}$$

Potentiometer 는 한 바퀴 회전에 -15 Volt에서 +15 Volt까지 변화하고, 30:1 감속 gear를

통하여 모터의 축에 연결이 되어 있으므로 potentiometer gain 은  $K_{pot} = \frac{30}{30 \cdot 2\pi} = \frac{1}{2\pi}$  와

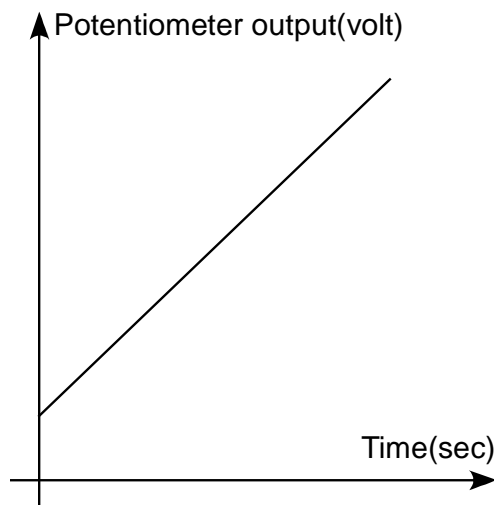
같이 구할 수 있다. 그러나, 실제 potentiometer의 유효 측정 각도는  $2\pi$  에 못 미칠 수 있

으므로, 실제 측정 값은 이와 차이가 있을 수 있음에 유의 한다.(실제로는 -90도에서 90도 변화할 때 15.5 volt 정도 변화함)

위의 전달 함수에서 모터 시정수(time constant)  $\tau$  를 제외한 다른 상수들은 다음의 테이블을 이용하여 구할 수 있다.

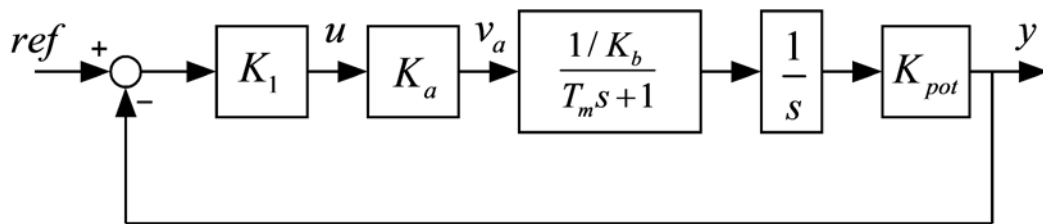
DA 출력 전압 (Pre-amp 입력)	모터 전압 (Power amp 출력)	모터 속도 (rad/sec)

DA converter를 pre-amp 입력에 연결하고, DA converter 출력 값을 0.01~0.1 Volt 사이의 값 중 4~5개 정도를 선택하여, 그때의 모터 축의 속도를 측정하여 위의 테이블을 채운다. 모터의 속도를 측정하는 방법은 두 가지 이다. 첫째 방법으로 모터에 연결된 tachometer의 출력을 측정하여 구할 수 있다. 모터에 연결된 tachometer는 360 RPM(revolution per minute)에 대해서 1 volt의 전압을 발생 시키므로, 이 전압을 측정하면 모터의 속도를 측정할 수 있다. 그러나 tachometer의 출력 값을 오실로스코프로 측정해 보면 출력 신호에 노이즈가 많이 포함되어 있음을 볼 수 있다. 따라서 tachometer의 정확한 전압 값을 읽는 것이 쉽지 않다. 모터 속도측정의 또 다른 방법으로는 다음과 같이 potentiometer 출력 값을 이용하는 방법이 있다. 모터에 일정한 전압이 가해지면 모터는 일정한 속도로 회전을 하게 되고, potentiometer의 출력을 AD converter에 연결하여 일정 시간동안 저장한 데이터를 plotting하여 다음과 같은 그래프를 그린 후, 그래프의 기울기에서 속도를 계산할 수 있다.



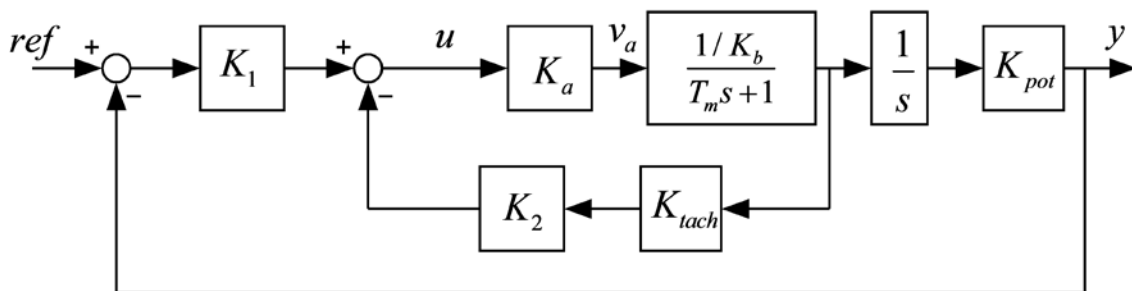
이때, 위의 그래프에서 출력축은 모터의 축이 아닌 potentiometer의 출력임을 고려하여, 모터의 속도로 환산하기 위해서는 출력 값을  $K_{pot}$  으로 나누어야 함에 유의 한다.

이상에서, 모터의 시정수 를 제외하고, 모든 parameter의 측정이 가능함을 알 수 있다. 모터의 시정수를 추정하기 위하여 다음과 같은 실험을 수행한다. 다음과 같은 위치 제어 시스템을 구현하고, step response를 기록하여 plotting을 한다.



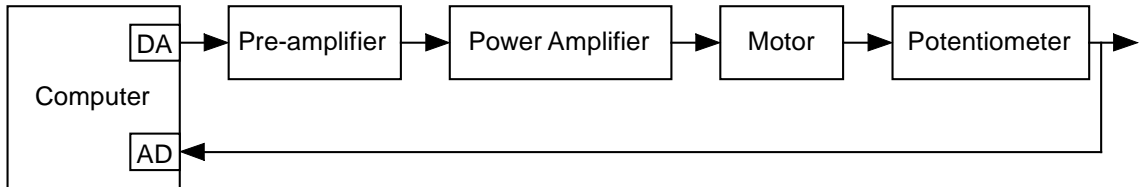
그리고, 모터 시정수 값을 변화 시키며 실제 실험과 동일한 조건으로 MATLAB simulation을 반복하여, 실제 실험과 유사한 응답이 나오는 시정수 값이 얼마인지 추정을 해 본다. 이때, proportional controller의 gain은 대략 1 을 넘지 않는 범위에서 실험을 수행한다. (pre-amp 와 power amp의 gain 값이 비교적 크므로, 제어기의 gain이 1 을 넘을 경우 oscillation을 하게 됨.)

모든 파라미터의 측정이 끝나고 시스템의 전달 함수가 확정이 되면 state feedback controller를 구현하여 시뮬레이션과 실제 응답을 비교하여 측정한 전달 함수가 얼마나 정확한지 확인해 본다. 이를 위하여 AD converter의 입력 채널을 하나 추가하고(state feedback controller 실험에서 사용한 프로그램을 수정하여 사용) tachometer 의 출력을 연결한 후, 다음 그림과 같은 state feedback controller를 구성하여 gain 값의 변화에 따라 step-response의 과도 응답이 어떻게 변화하는지 관찰한다. 그리고 위에서 측정한 parameter 값을 이용하여 각 gain 값에 대한 simulation을 수행하고 실험 결과와 비교해 본다.

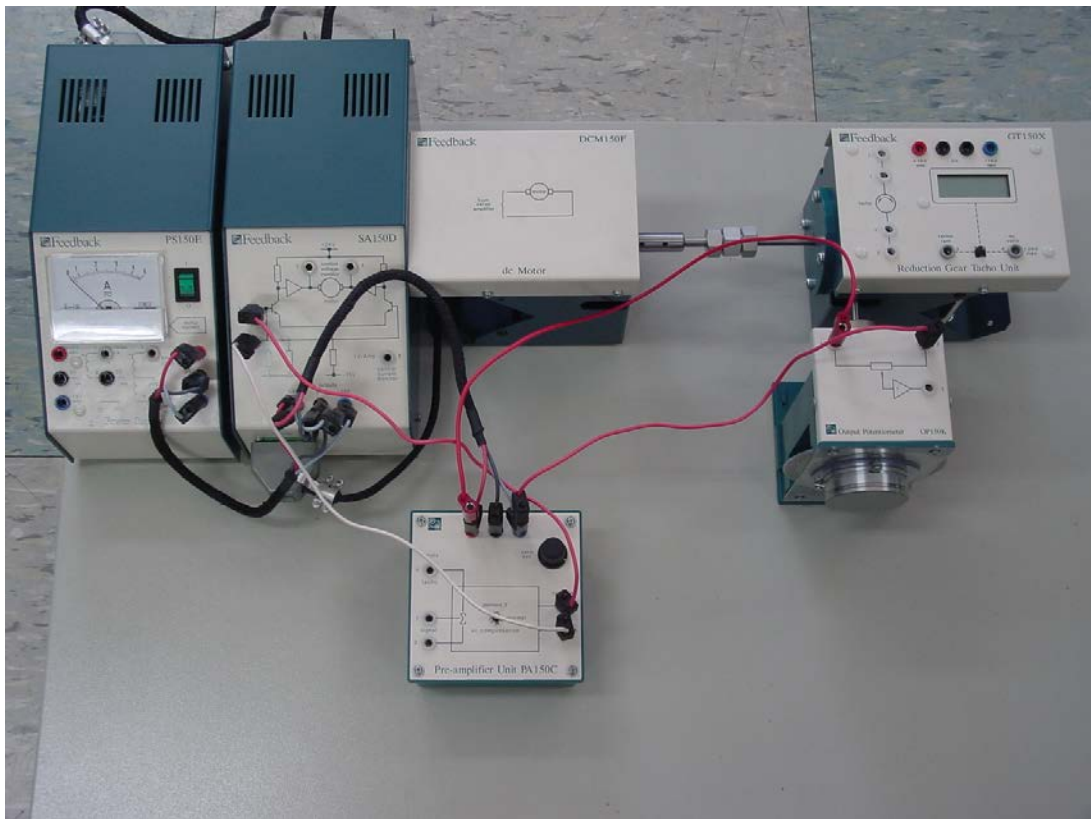


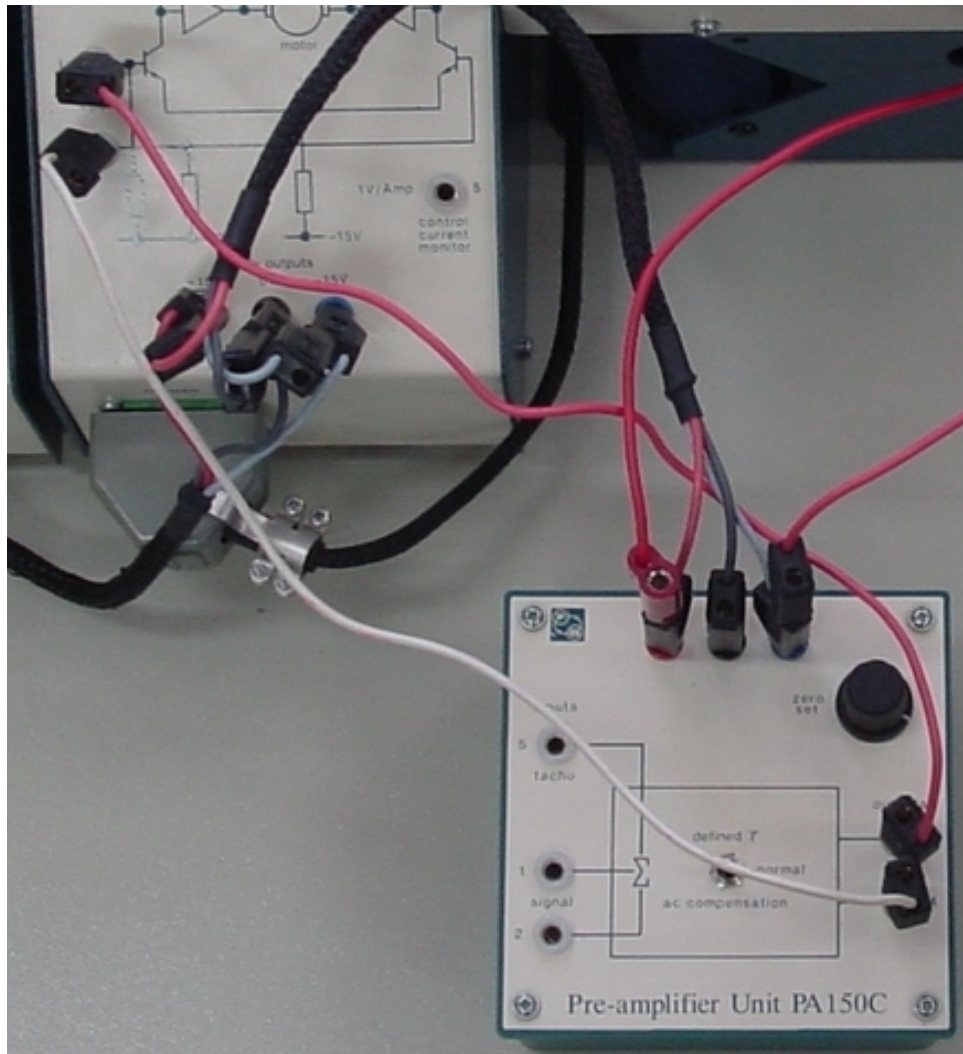
실험에 사용될 실험 장치의 사용 방법은 다음과 같다.

모터 실험 시스템의 기본적인 구성은 다음 그림과 같다.



다음의 그림은 각 장치들의 연결 상태를 보여준다.

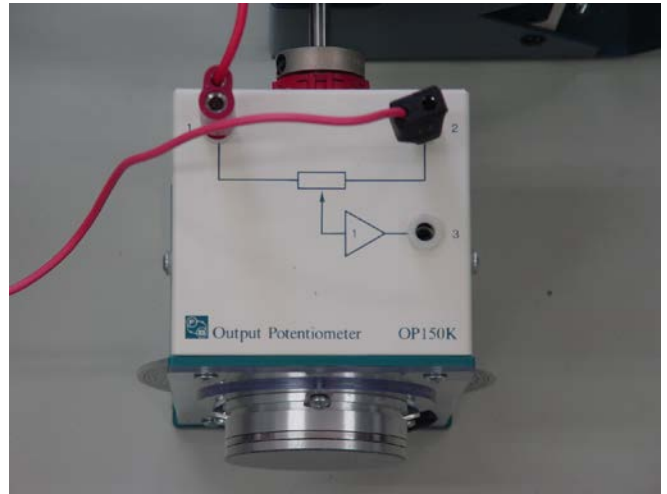




먼저 모터 시스템의 실험을 위한 준비 단계로 다음의 사항들을 수행한다.

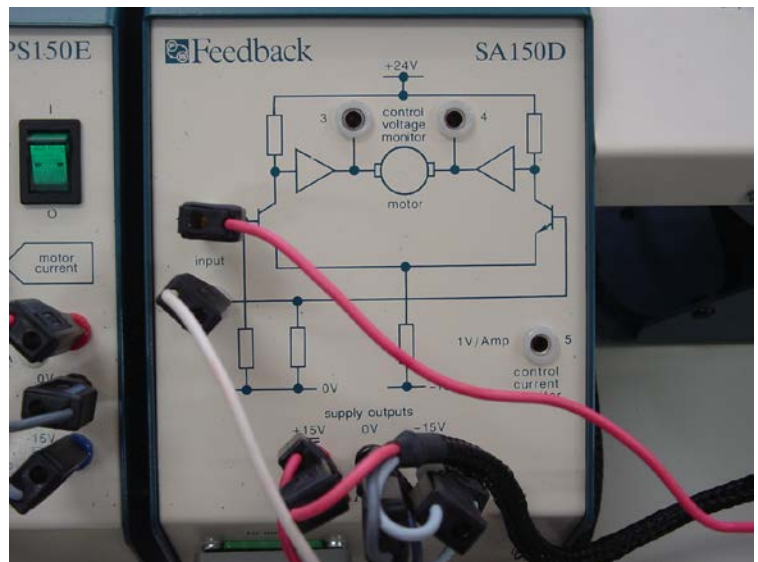
- Pre-amplifier의 signal 단자에 아무것도 연결하지 않은 상태에서, 모터 전원을 켜고, pre-amplifier의 zero set을 조절하여, zero set값에 따라서 모터가 정방향 혹은 역방향으로 움직임을 관측한다. 그리고, zero set값을 조절하여 모터의 움직임이 없게 되는 값으로 설정한다.
- DA converter 로 0 Volt 의 전압을 출력 시킨 상태에서, DA converter의 출력을 pre-amplifier의 signal 단자에 연결한후, pre-amplifier의 zero set을 조절하여 모터의 움직임이 없도록 한다. 이때 DA converter의 ground는 pre-amplifier 의 전원 입력 ground에 연결한다.
- Potentiometer의 출력(3번 단자)에 오실로스코프나 디지털 멀티 미터를 연결하여

출력 전압값을 측정하는 상태에서, DA converter로 plus 전압을 출력시킨후, potentiometer의 출력 전압값이 증가하는 것을 확인한다. 만약, DA converter에서 plus 전압이 나올 때 potentiometer의 출력 전압이 감소 한다면, potentiometer에 연결된 +15 Volt 와 -15 Volt 전압(1,2번 단자)을 서로 바꿔서 연결하도록 한다.



- Potentiometer의 출력(3번 단자)을 AD converter의 입력 단자에 연결한다. 이때, AD converter의 입력 범위는  $\pm 10$  Volt 이나, potentiometer의 출력값의 범위는  $\pm 15$  Volt 임을 유의하여, potentiometer의 출력값이 AD converter의 입력 범위를 초과하지 않는 범위에서 모터를 동작 시키도록 한다.

- 모터의 amplifier gain  $K_a$  값의 측정시, 이 값은 pre-amplifier의 signal 단자에 인가 되는 전압과 모터에 인가되는 전압의 비 값을 유의 하여 측정한다. 모터에 인가되는 전압은 모터 power amplifier의 “모터 그림”에 있는 단자로(3,4번 단자)부터 측정 가능하며, 모터 양단의 전압의 차이가 모터에 인가되는 전압이다. 이때, 모터 양단의 전압은 어느 쪽도 ground 가 아님을 유의하여, 모터 전압 측정 시, ground 단자를 모터의 단자에 연결하는 실수를 하지 않도록 유의 한다.



- 모터에 전압이 인가되어 있는 동안 모터에 흐르는 전류는 5번 단자의 전압(전류를 측정하는 것이 아니라 전압 값을 측정하여 전류를 알게 되는 것임)을 측정하여 측정할 수 있다. 이때 측정된 전압이 1 Volt라면 전류는 1 Ampere 가 흐르는 것이다.

- Tachometer의 출력을 AD converter에 연결 할 때, tachometer의 한쪽 단자는 그라운드에 다른 쪽 단자는 AD converter signal 단자에 연결한다. 이때, tachometer의 단자는 극성이 있으므로, 어느 단자를 그라운드로 연결하느냐에 따라서 입력되는 신호의 극성이 바뀌므로 주의를 요한다.



**제출 내용 :**

1. 모터의 측정 parameter값(power amp gain, potentiometer gain, back emf constant, torque constant, inertia, Coulomb friction) 및 전달함수- 각 parameter의 결정 과정을 보여주고, 중간 과정에 사용된 데이터들을 함께 제출할 것
2. State feedback 제어기에 대한 실험 결과 및 시뮬레이션 결과 graph (본인이 선택한 3가지 gain 값에 대한 응답).
3. Discussion