

**1. 제어기에 대하여 다음을 설명하시오 (20)**

- 1) 비례-적분-미분 제어기 (PID-controller) 의 전달함수를 유도하시오. 단, 입력함수는  $E(t)$ , 출력함수는  $M(t)$  라고 한다.
- 2) PID 제어기의 특징, 장단점 등을 설명하시오.
- 3) PID 제어기에 있어서 3 개의 tuning parameter 가 무엇인지 적고, 각각을 설명하시오.
- 4) 오차의 누적에 대한 영향을 감소시키고, 오차에 대한 미래예측기능을 보강하고자 하는 제어 시나리오에 대하여 PID 제어기의 tuning parameter 를 어떻게 해야 하는지 기술하시오.

**2. 다음 그림은 연속교반 가열공정을 보인것이다 (80).**

탱크내의 액체는 수증기에 의해 가열되며, PI 제어기

( $G_c = K_c(1 + \frac{1}{\tau_I s})$ ) 가 이용되고 있다. 정상상태

유입액의 온도는  $T_{is}=100^\circ F$  이다. 제어기를 이용하여

유출액의 온도  $T$  를  $150^\circ F$  로 유지하고자 한다.

유입액의 유량과 유출액의 유량 ( $q=20ft^3/min$ ) 은 같고, 공정의 부피  $V=100ft^3$  이다. 유입액의 밀도는  $\rho=50lb/ft^3$  이고,

비열은  $C_p=1.0BTU/lb/^\circ F$  로서 일정하다. 센서 (전환기 포함) 의 전달함수는 0 차공정으로 표현되며, 이득상수  $K_m=1$  이다.

수증기 제어밸브의 전달함수 또한 0 차공정으로 표현되며, 밸브이득상수  $K_v=1000$  이다.

포화 수증기로부터 탱크로 공급되는 열은  $Q=\lambda \cdot w$  이고, 여기에서 수증기 잠열  $\lambda=500 \frac{Btu}{lb}$  이고,  $w$  (lb/min) 는 수증기의

질량유속이다. 제어밸브로부터  $w$  는 조절된다.

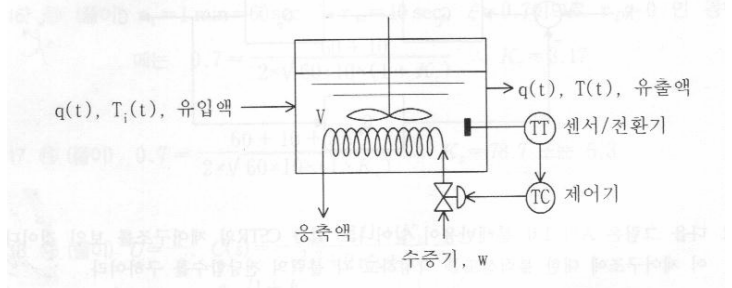
**Part A: 온도제어부분을 제외한 부분의 공정모델링 (35)**

- A-1) 비정상상태 에너지수지식만 고려할 때, 이 공정에 대하여 에너지수지식을 쓰시오. 단, 공급되는 열량은  $Q$  라고 한다.
- A-2) 에너지수지식에서 출력변수와 입력변수는 무엇인가?
- A-3) 유입되는 원료의 유입온도 ( $T_i$ ) 를 교란변수라고 하면, 제어변수와 조절변수는 무엇인가?
- A-4) 에너지수지식을 편차함수를 이용하여 표준화하시오 (문자로만 표현).
- A-5) 편차함수화된 에너지수지식을 라플라스 변환하여 이 공정의 전달함수 ( $G_{p1}$  and  $G_{p2}$ ) 를 구하시오 (문자로만 표현). 단,  $\tau_p=V/q$  이고,  $K_p=1/(\rho q C_p)$  이다.
- A-6) 이 전달함수에서 시상수( $\tau_p$ ) 와 이득상수( $K_p$ )는 얼마인가 (값을 쓰고, 단위도 명시할 것)?
- A-7) 위에서 구한 전달함수로부터 이 공정에 대한 블록선도를 그리시오.

**Part B: PID 온도제어기를 포함하는 전체 공정모델링 (45)**

- B-1) feedback 제어시스템을 포함하는 전체 블록선도를 그리고, 모든 주요 흐름선과 블록내에 정보를 표시하시오.
- B-2) 이 feedback 제어시스템의 총괄전달함수를 구하시오 (문자로만 표현).
- B-3) 위에서 구한 총괄전달함수에서 유입액의 온도가 일정하게 유지되고, 설정치만 변화한다고 한다. 이러한 제어시스템을 무엇이라고 불리는가?
- B-4) 설정치만 변화할 때, 총괄전달함수를 주어진 전달함수 정보를 이용하여 구하시오 (단, 주어진 상수값은 대입).
- B-5) 위에서 구한 총괄전달함수는 몇차공정으로 표현되는가?
- B-6) 만일 PI 제어기가 아닌 P 제어기만 사용한다면, 잔류편차 (offset) 은 얼마인가? 그래프도 그리면서 설명하시오. 단, 설정값이 어느 순간에 단위계단변화한다고 가정하시오 (단, 주어진 상수값은 대입).
- B-7) 비례제어기를 사용할 때, offset 을 최소화시키기 위해서 비례상수 ( $K_c$ ) 를 어떻게 해야 하는가?
- B-8) 만일 PI 제어기로부터 제어밸브쪽으로 크기 10 의 계단변화가 출력되었다면, 필요한 수증기의 질량유속은 얼마인가 (단, 제어밸브에서 출력되는 열량의 단위는  $Btu/min$  이다)?
- B-9) 이 PI 제어시스템에 관하여 논하시오.

**3. 본 과목에 있어서 수업내용, 수업방법, 수업태도 등에 보완할 점이 있다면 무엇입니까 (5) ?**



**1. 제어기에 대하여 다음을 설명하시오 (20)**

- 1) 비례-적분-미분 제어기 (PID-controller) 의 전달함수를 유도하시오. 단, 입력함수는  $E(t)$ , 출력함수는  $M(t)$  라고 한다.
- 2) PID 제어기의 특징, 장단점 등을 설명하시오.
- 3) PID 제어기에 있어서 3 개의 tuning parameter 가 무엇인지 적고, 각각을 설명하시오.
- 4) 오차의 누적에 대한 영향을 감소시키고, 오차에 대한 미래예측기능을 보강하고자 하는 제어 시나리오에 대하여 PID 제어기의 tuning parameter 를 어떻게 해야 하는지 기술하시오.

**2. 다음 그림은 연속교반 가열공정을 보인것이다 (80).**

탱크내의 액체는 수증기에 의해 가열되며, PI 제어기

( $G_c = K_c(1 + \frac{1}{\tau_I s})$ ) 가 이용되고 있다. 정상상태

유입액의 온도는  $T_{is}=100^\circ F$  이다. 제어기를 이용하여

유출액의 온도  $T$  를  $150^\circ F$  로 유지하고자 한다.

유입액의 유량과 유출액의 유량 ( $q=20ft^3/min$ ) 은 같고, 공정의 부피  $V=100ft^3$  이다. 유입액의 밀도는  $\rho=50lb/ft^3$  이고,

비열은  $C_p=1.0BTU/lb/^\circ F$  로서 일정하다. 센서 (전환기 포함) 의 전달함수는 0 차공정으로 표현되며, 이득상수  $K_m=1$  이다.

수증기 제어밸브의 전달함수 또한 0 차공정으로 표현되며, 밸브이득상수  $K_v=1000$  이다.

포화 수증기로부터 탱크로 공급되는 열은  $Q=\lambda \cdot w$  이고, 여기에서 수증기 잠열  $\lambda=1000 \frac{Btu}{lb}$  이고,  $w$  (lb/min) 는 수증기의

질량유속이다. 제어밸브로부터  $w$  는 조절된다.

**Part A: 온도제어부분을 제외한 부분의 공정모델링 (35)**

A-1) 비정상상태 에너지수지식만 고려할 때, 이 공정에 대하여 에너지수지식을 쓰시오. 단, 공급되는 열량은  $Q$  라고 한다.

$$\rho V C_p \frac{dT}{dt} = \rho q C_p (T_i - T) + Q$$

A-2) 에너지수지식에서 출력변수와 입력변수는 무엇인가?

출력변수:  $T$ , 입력변수:  $T_i, Q$

A-3) 유입되는 원료의 유입온도 ( $T_i$ ) 를 교란변수라고 하면, 제어변수와 조절변수는 무엇인가?

제어변수:  $T$ , 조절변수:  $Q$

A-4) 에너지수지식을 편차함수를 이용하여 표준화하시오 (문자로만 표현).

$$\rho V C_p \frac{d\bar{T}}{dt} = \rho q C_p (\bar{T}_i - \bar{T}) + \bar{Q}$$

where,  $\bar{T} = T - T_s, \bar{T}_i = T_i - T_{is},$  and  $\bar{Q} = Q - Q_s$

A-5) 편차함수화된 에너지수지식을 라플라스 변환하여 이 공정의 전달함수 ( $G_{p1}$  and  $G_{p2}$ ) 를 구하시오 (문자로만 표현).

$$\rho V C_p \frac{d\bar{T}}{dt} = \rho q C_p (\bar{T}_i - \bar{T}) + \bar{Q}$$

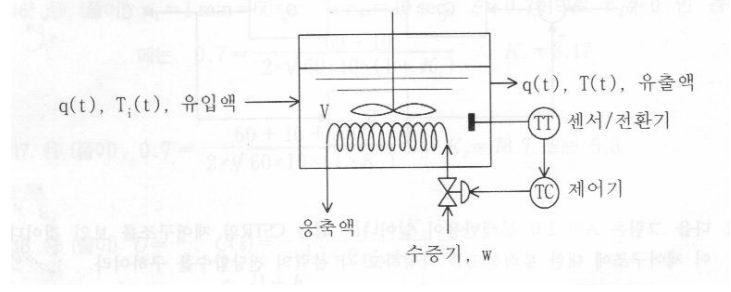
양변을  $\rho q C_p$  으로 나누고,  $\tau_p = \frac{V}{q}, K_p = \frac{1}{\rho q C_p}$  라고 하면,

$$\tau_p \frac{d\bar{T}}{dt} = (\bar{T}_i - \bar{T}) + K_p \bar{Q}$$

윗식의 양변에 라플라스변환을 취하면,

$$\tau_p s T(s) + T(s) = T_i(s) + K_p Q(s)$$

$$T(s) = \frac{1}{\tau_p s + 1} T_i(s) + \frac{K_p}{\tau_p s + 1} Q(s)$$

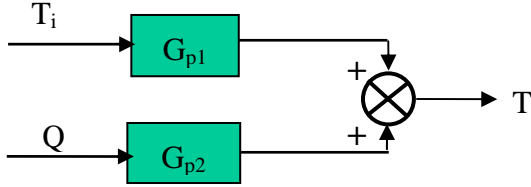


A-6) 이 전달함수에서 시상수( $\tau_p$ ) 와 이득상수( $K_p$ )는 얼마인가 (값을 쓰고, 단위도 명시할 것)?

$$\tau_p = V / q = 100 / 20 = 5 \text{ min}$$

$$K_p = \frac{1}{\rho q C_p} = \frac{1 \text{ ft}^3}{50 \text{ lb}} \cdot \frac{1 \text{ min}}{20 \text{ ft}^3} \cdot \frac{\text{lb} \cdot F}{1 \text{ Btu}} = 0.001 \frac{\text{min} F}{\text{Btu}}$$

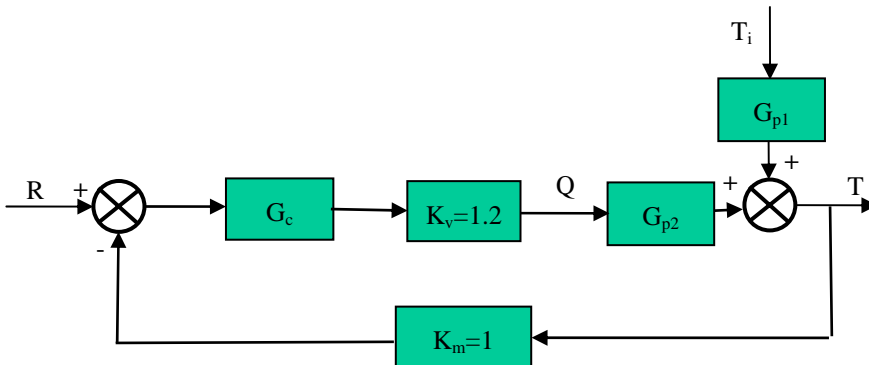
A-7) 위에서 구한 전달함수로부터 이 공정에 대한 블록선도를 그리시오.



$$G_{p1} = \frac{1}{\tau_p s + 1}, \quad G_{p2} = \frac{K_p}{\tau_p s + 1}$$

**Part B: PID 온도제어기를 포함하는 전체 공정모델링 (45)**

B-1) feedback 제어시스템을 포함하는 전체 블록선도를 그리고, 모든 주요 흐름선과 블록내에 정보를 표시하시오.



B-2) 이 feedback 제어시스템의 총괄전달함수를 구하시오 (문자로만 표현).

$$T(s) = \frac{G_c K_v G_{p2}}{1 + G_c K_v G_{p2} K_m} R(s) + \frac{G_{p1}}{1 + G_c K_v G_{p2} K_m} T_1(s)$$

B-3) 위에서 구한 총괄전달함수에서 유입액의 온도가 일정하게 유지되고, 설정치만 변화한다고 한다. 이러한 제어시스템을 무엇이라고 불리는가?

Servo control (설정치 제어)

B-4) 설정치만 변화할 때, 총괄전달함수를 주어진 전달함수 정보를 이용하여 구하시오 (단, 주어진 상수값은 대입).

$$\begin{aligned} T(s) &= \frac{G_c K_v G_{p2}}{1 + G_c K_v G_{p2} K_m} R(s) \\ &= \frac{1000 K_c \left(1 + \frac{1}{\tau_I s}\right) \frac{K_p}{\tau_p s + 1}}{1 + 1000 K_c \left(1 + \frac{1}{\tau_I s}\right) \frac{K_p}{\tau_p s + 1}} R(s) = \frac{1000 K_c (\tau_I s + 1) K_p}{\tau_I s (\tau_p s + 1) + 1000 K_c (\tau_I s + 1) K_p} R(s) = \frac{1000 K_c (\tau_I s + 1) K_p}{\tau_I s (\tau_p s + 1) + 1000 K_c (\tau_I s + 1) K_p} R(s) \\ &= \frac{1000 K_c K_p \tau_I s + 1000 K_c K_p}{\tau_I \tau_p s^2 + \tau_I (1000 K_c K_p + 1) s + 1000 K_c K_p} R(s) \\ &= \frac{K_c \tau_I s + K_c}{5 \tau_I s^2 + \tau_I (K_c + 1) s + K_c} R(s) \end{aligned}$$

B-5) 위에서 구한 총괄전달함수는 몇차공정으로 표현되는가?

2 차공정

B-6) 만일 적분제어기가 아닌 비례제어기만 사용한다면, 잔류편차 (offset) 은 얼마인가? 단, 설정값이 어느 순간에 단위계단변화한다고 가정하시오 (단, 주어진 상수값은 대입).

$$\begin{aligned}
 T(s) &= \frac{G_c K_v G_{p2}}{1 + G_c K_v G_{p2} K_m} R(s) \\
 &= \frac{1000 K_c \frac{K_p}{\tau_p s + 1}}{1 + 1000 K_c \frac{K_p}{\tau_p s + 1}} R(s) = \frac{\frac{1000 K_c K_p}{\tau_p s + 1}}{\frac{\tau_p s + 1 + 1000 K_c K_p}{(\tau_p s + 1)}} R(s) = \frac{1000 K_c K_p}{\tau_p s + 1 + 1000 K_c K_p} R(s) \\
 &= \frac{K_c}{\tau_p s + 1 + K_c} \cdot \frac{1}{s}
 \end{aligned}$$

Offset 은 다음과 같이 표현된다.

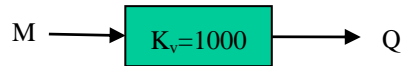
$$\begin{aligned}
 \text{offset} &= R(t \rightarrow \infty) - T(t \rightarrow \infty) \\
 &= 1 - \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot \frac{K_c}{\tau_p s + 1 + K_c} \cdot \frac{1}{s} = 1 - \lim_{s \rightarrow 0} \frac{K_c}{\tau_p s + 1 + K_c} = 1 - \frac{K_c}{1 + K_c} = \frac{1}{1 + K_c}
 \end{aligned}$$

B-7) 비례제어기를 사용할 때, offset 을 최소화시키기 위해서 비례상수 ( $K_c$ ) 를 어떻게 해야 하는가?

비례상수 ( $K_c$ ) 값을 매우 크게 하면 offset 의 크기를 줄일 수 있다.

B-8) 만일 PI 제어기로부터 제어밸브쪽으로 크기 10 의 계단변화가 도입되었다면, 필요한 수증기의 질량유속은 얼마인가 (단, 제어밸브에서 출력되는 열량의 단위는 Btu/min 이다)?

제어밸브를 중심으로 하는 입력함수를 M(s) 라고 하고, 출력함수 Q(s) 라고 하면,



$$Q(s) = K_v M(s)$$

$$Q(s) = 1000 \frac{10}{s}$$

위식을 역라플라스변환하면,

$$L^{-1}[Q(s)] = L^{-1}\left[1000 \frac{10}{s}\right], \quad Q(t) = 10000$$

$$Q = 10000 = \lambda w$$

$$w = 10000 / 500 = 20 \text{ lb} / \text{min}$$

B-9) 이 PI 제어시스템에 관하여 논하시오.

3. 본 과목에 있어서 수업내용, 수업방법, 수업태도 등에 보완할 점이 있다면 무엇입니까 (5) ?