

**모든 문제의 계산과정을 답안지에 자세히 명시할 것!!!**

**1. 다음 문장을 해석하시오. 해석이 곤란한 영어 단어는 해석문에 직접 영어를 사용해도 됩니다 (5).**

The process dynamics determine how a process responds during transient conditions, such as plant startups and shutdowns, grade changes, and unusual disturbances. Process control enables the process to be maintained at the desired operating conditions, safely and efficiently, while satisfying environmental and product quality requirements. Without effective process control, it would be impossible to operate large-scale industrial plants.

Controlled variables are maintained near their set points by the application of normal control techniques and advanced control techniques. The different levels of process control activity are related and should be carefully coordinated.

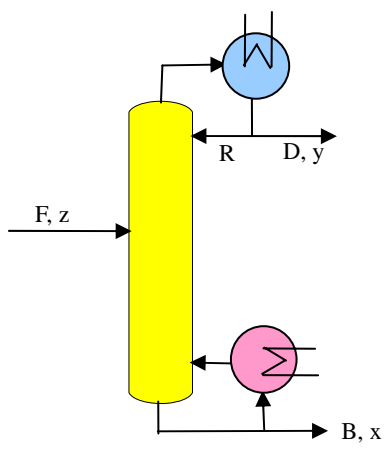
→ 공정의 동적 특성은 공장의 초기운전, 운전중지, 운전 조건의 변화, 그리고 비정상적인 교란과 같은 과도기 조건에서 공정이 어떻게 응답하는지를 결정한다. 공정제어는 환경규제치 및 제품의 품질 기준을 만족하면서 안전하고 효과적으로 원하는 조업조건에서 공정이 유지되도록 하는 것이다. 효과적인 공정제어없다면, 대형 상업화 공장을 운전하는 것은 불가능할 것이다.

제어변수들은 일반적인 제어기술과 고급 제어기술의 적용을 통하여 그들의 설정치 근처에서 유지되어진다. 공정제어 활동의 여러 다른 수준들은 서로 연관되어 있고, 조심스럽게 조직되어야 한다.

**2. 다음에 대하여 설명하시오(15)**

- 1) 공정제어는 process systems engineering (PSE) 의 한 학문분야로 볼 수 있다. PSE 학문을 qualitative/quantitative 그리고 descriptive/predictive 의 측면에서 비교하시오. 이러한 PSE 학문을 추구하게 되는 원동력 혹은 원인에 대하여 설명하시오 (5).
- 2) 라플라스변환의 목적, 물리적 의미, 수학적 정의, 특성 그리고 단점 등에 관하여 설명하시오 (10).

**3. The distillation column shown in the following drawing is used to distill a binary mixture. Symbols x, y, and z denote mole fraction of the more volatile component, while B, D, R, and F represent molar flowrates of bottom, distillate, reflux, and feed, respectively. It**



**is desired to control distillate composition y despite disturbances in feed flowrate F and z. The flowrates of D and R can be measured and manipulated. A composition analyzer provides measurements of y (20).**

1) 이 증류탑내 반응은 없으며, 질량 (혹은 몰수) 에 대하여 정상상태라고 가정하면, 시간에 따른 공정내 질량변화는 없다. 즉,  $\frac{dw}{dt} = 0$ . 총괄물질 수지식을 구하시오.

→  $F=D+B$

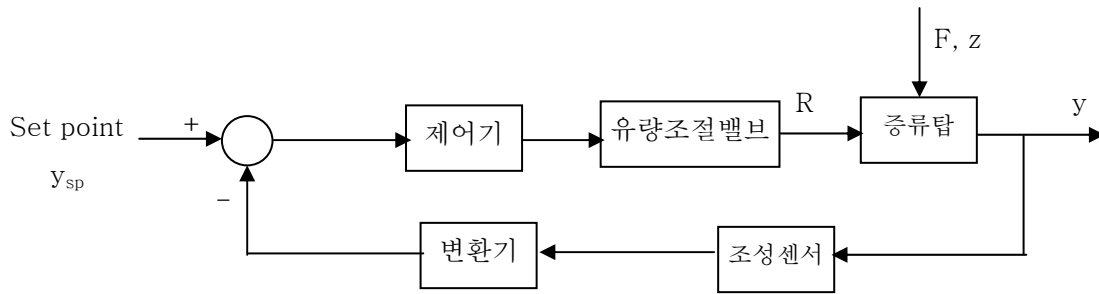
2) 그림에서 제어변수, 조절변수, 그리고 외부교란변수가 무엇인지 찾으시오.

- 제어변수: y
- 조절변수: R, D
- 교란변수: F, z

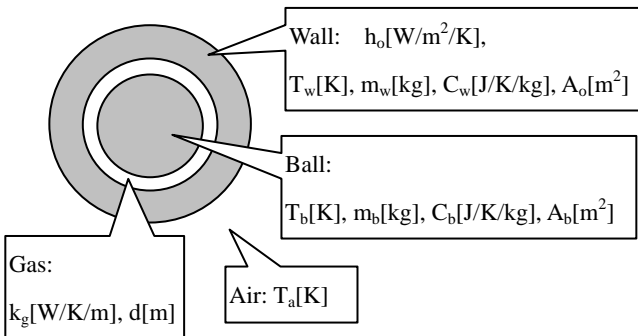
3) 출력변수와 입력변수를 구분하여 명시하시오.

- 출력변수: y
- 입력변수: R, D, F, z

4) 증류물 (D) 의 조성 (y) 를 유량 R 을 조절하여 feedback control system 으로 제어한다면, 이 제어구조를 블록선도로 그리시오. 단, 원하는 조성 (설정치) 은  $y_{sp}$  라고 한다.



4. 질량  $m_b$  인 쇠공이 원형 벽으로 싸여 있으며, 쇠공과 원형 벽 사이에는 기체가 채워져 있다.



그림에서,  $T$  는 온도,  $m$  은 질량,  $C_w$  (or  $C_b$ ) 는 비열,  $A$  는 단면적,  $k_g$  는 기체 열전도도,  $d$  는 가스층의 두께를 의미한다.  $h_o$  는 공기와 원형벽사이의 총괄열전달 계수이다. 외부 공기의 온도는  $T_a$  이다. 단, 공의 표면적 ( $A_i$ ) 은 원형 벽의 내부면적과 같다고 가정하고, 원형 벽의 외부면적은  $A_o$  이며, 내부에 있는 공의 온도가 주변 온도 보다 높다. 또한 공의 온도, 원형벽의 온도, 그리고 공기의 온도만 시간에 따른 변수라고 가정한다. 다음 질문에 답하시오 (30).

1) 공의 온도 ( $T_b$ ) 와 원형벽의 온도 ( $T_w$ )에 대하여 시간에 따른 에너지 수지식을 세우시오. 세운 모델식의 각 항마다의 모든 문자간 단위를 사용하여 최종 단위를 명시하시오 (10).

$$\rightarrow m_b C_b \frac{dT_b}{dt} = -k_g \frac{A_i}{d} (T_b - T_w) ; J/s$$

$$m_w C_w \frac{dT_w}{dt} = +k_g \frac{A_i}{d} (T_b - T_w) - h_o A_o (T_w - T_a) ; J/s$$

2) 편차변수  $\bar{T}_b(t) = T_b(t) - T_{bs}(0)$ ,  $\bar{T}_w(t) = T_w(t) - T_{ws}(0)$ ,  $\bar{T}_a(t) = T_a(t) - T_{as}(0)$  를 이용하여 위에서 구한 두 식에 대하여 표준화 하시오.

$$\rightarrow m_b C_b \frac{d\bar{T}_b}{dt} = -k_g \frac{A_i}{d} (\bar{T}_b - \bar{T}_w)$$

$$m_w C_w \frac{d\bar{T}_w}{dt} = +k_g \frac{A_i}{d} (\bar{T}_b - \bar{T}_w) - h_o A_o (\bar{T}_w - \bar{T}_a)$$

3) 표준화된 두 식에 대하여 라플라스 변환을 하시오. 단,  $\frac{m_b \cdot C_b \cdot d}{k_g \cdot A_i} = \tau_1$ ,  $\frac{m_w \cdot C_w \cdot d}{k_g \cdot A_i} = \tau_2$ ,  $\frac{h_o \cdot A_o \cdot d}{k_g \cdot A_i} = k$  라고 치환하여 식을 간략화 하시오.

→ 주어진 상수들을 이용하여 치환하면 위식들은 다음과 같이 간략히 표현된다.

$$\tau_1 \frac{d\bar{T}_b}{dt} = -(\bar{T}_b - \bar{T}_w)$$

$$\tau_2 \frac{d\bar{T}_w}{dt} = +(\bar{T}_b - \bar{T}_w) - k(\bar{T}_w - \bar{T}_a)$$

라플라스 변환을 취하면,

$$\tau_1 s \bar{T}_b(s) = -\bar{T}_b(s) + \bar{T}_w(s) \quad (\text{식1})$$

$$\tau_2 s \bar{T}_w(s) = +\bar{T}_b(s) - \bar{T}_w(s) - k\bar{T}_w(s) + k\bar{T}_a(s) \quad (\text{식2})$$

4) 위에서 구한 두 라플라스 변환식을 정리하여 공 온도,  $\bar{T}_b(s)$ , 에 대한 한 개의 식으로 표현하시오.

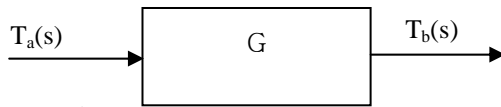
→ (식2) 를  $\bar{T}_w(s)$  에 대하여 정리하면,

$$\begin{aligned} \bar{T}_w(s)[\tau_2 s + 1 + k] &= +\bar{T}_b(s) + k\bar{T}_a(s) \\ \bar{T}_w(s) &= \frac{+\bar{T}_b(s) + k\bar{T}_a(s)}{[\tau_2 s + 1 + k]} \end{aligned} \quad (\text{식3})$$

(식3) 을 (식1) 에 대입하여 정리하면,

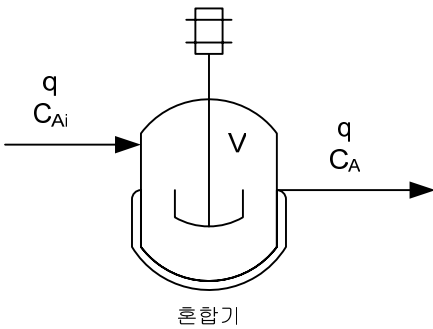
$$\begin{aligned} \bar{T}_b(s) &= \frac{\bar{T}_w(s)}{[\tau_1 s + 1]} \\ \bar{T}_b(s) &= \frac{\bar{T}_b(s) + k\bar{T}_a(s)}{[\tau_2 s + 1 + k][\tau_1 s + 1]} \\ \bar{T}_b(s) \left[ 1 - \frac{1}{(\tau_2 s + 1 + k)(\tau_1 s + 1)} \right] &= \frac{k\bar{T}_a(s)}{[\tau_2 s + 1 + k][\tau_1 s + 1]} \\ \bar{T}_b(s) &= \frac{k\bar{T}_a(s)}{(\tau_2 s + 1 + k)(\tau_1 s + 1) - 1} \end{aligned}$$

5) 위에서 구한 식을 이용하여 블록선도를 그리고, 출력변수와 입력변수를 명시하시오.



여기에서  $G = \frac{k}{(\tau_2 s + 1 + k)(\tau_1 s + 1) - 1}$  이고, 출력변수는  $\bar{T}_b(s)$  이고, 입력변수는  $\bar{T}_a(s)$  이다.

5. 다음 그림과 같은 연속교반 반응기가 있다 (30). 성분 A 가 농도  $C_{Ai}$  [g/l] 로 유입되고, 연속반응기에서 반응 후 농도  $C_A$  [g/l] 로 유출된다. 유입과 유출 유량은 모두  $q=20$  [l/s] 이다. 반응기의 부피  $V=40$  [l] 이다. 반응속도식은 2차 기초반응으로서  $\frac{dC_A}{dt} = -kC_A^2$  이며, 이때, k 는 반응상수로서 시간에 따라 일정하다고 한다.



1) 위 공정에 대하여, 질량보존에 의한 성분 A 에 대한 비정상상태 물질수지식을 유도하시오. 또한 유도한 식의 각 항에 대한 단위를 명시하시오.

$$\rightarrow V \frac{dC_A}{dt} = qC_{Ai} - qC_A - kVC_A^2; \text{g/s}$$

2) 위에서 모델링한 식에서 반응속도식 부분을 선형화하시오. 단, 초기 정상상태 유입농도는  $C_{Ais}$  이고, 유출농도는  $C_{As}$  라고 한다.

$$\rightarrow \text{비선형성을 갖는 부분만을 선형화하면, } C_A^2 \cong 2C_{As}(C_A - C_{As}) + C_{As}^2 \text{ 이므로,}$$

전체식은 다음과 같이 선형식으로 바뀐다.

$$V \frac{dC_A}{dt} = qC_{Ai} - qC_A - kV[2C_{As}(C_A - C_{As}) + C_{As}^2]$$

3) 선형화된 모델링 식으로부터 표준화하시오. 단, 편차변수  $\bar{C}_{Ai}(t) = C_{Ai}(t) - C_{Ais}(0)$ ,  $\bar{C}_A(t) = C_A(t) - C_{As}(0)$  를 이용하시오.

$$\rightarrow V \frac{d\bar{C}_A}{dt} = q\bar{C}_{Ai} - q\bar{C}_A - 2k \cdot V \cdot C_{As} \cdot \bar{C}_A \quad (\text{식1})$$

4) 위에서 표준화된 식을 라플라스변환하시오. 단,  $\tau = \frac{V}{q}$ ,  $K = \frac{2k \cdot V \cdot C_{As}}{q}$  라고 치환하여 전개하시오.

→ (식1) 을 주어진 상수로 치환하면 다음과 같다.

$$\tau \frac{d\bar{C}_A}{dt} = \bar{C}_{Ai} - \bar{C}_A - K\bar{C}_A$$

윗식을 라플라스 변환하면,

$$\tau \cdot s \cdot \bar{C}_A(s) = \bar{C}_{Ai}(s) - \bar{C}_A(s) - K\bar{C}_A(s)$$

$\bar{C}_A(s)$  에 대하여 정리하면,

$$\bar{C}_A(s)[\tau s + 1 + K] = \bar{C}_{Ai}(s)$$

$$\bar{C}_A(s) = \frac{\bar{C}_{Ai}(s)}{[\tau s + 1 + K]} \tag{식2}$$

5) 유입되는 농도가 갑자기 크기 6의 변화가 생겼을 때,  $\bar{C}_{Ai}(t)$  를 라플라스 변환하면  $\bar{C}_{Ai}(s) = \frac{6}{s}$  이다. 이 때 이식을 부

분분수화하여 역라플라스 변환하시오. 단,  $k = \frac{5}{4} \frac{l}{s \cdot g}$ ,  $C_{As} = 1g/l$  이다.

→ 주어진 조건을 (식2) 에 대입하면,

$$\bar{C}_A(s) = \frac{1}{(\tau s + 1 + K)} \cdot \frac{6}{s} = \frac{6}{s \cdot (2s + 6)} = \frac{3}{s \cdot (s + 3)} \tag{식3}$$

(식3) 을 부분분수화하면 다음과 같다.

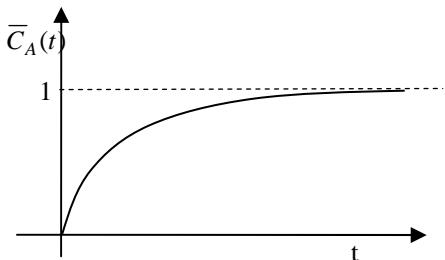
$$\bar{C}_A(s) = \frac{3}{s \cdot (s + 3)} \equiv \frac{1}{s} + \frac{-1}{s + 3} \tag{식4}$$

(식4) 를 역라플라스변환하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \bar{C}_A(t) &= L^{-1}[\bar{C}_A(s)] = L^{-1}\left[\frac{1}{s}\right] - L^{-1}\left[\frac{1}{s + 3}\right] \\ &= 1 - e^{-3t} \end{aligned}$$

6) 초기값과 최종값 등을 이용하여 위에서 구한  $\bar{C}_A(t)$  의 그래프를 대략적으로 그리고, 이 그래프를 물리적 현상과 함께 설명하시오.

→ 초기값은  $\lim_{t \rightarrow 0} \bar{C}_A(t) = 1 - e^0 = 0$  이고, 최종값은  $\lim_{t \rightarrow \infty} \bar{C}_A(t) = 1 - e^{-\infty} = 1$  이다. 대략적인 그래프는 다음과 같다.



유입되는 성분 A 의 농도 ( $C_{Ai}$ ) 가 초기에 ( $t=0$ ) 갑자기 6 만큼 증가하게 되자, 이에 따라 반응기내 반응물의 농도 ( $C_A$ ) 가 증가하게 된다. 하지만, 반응에 의하여 성분 A 가 소멸되며, 시간이 증가하면서 일정한 농도 ( $C_A=1$  at  $t=\infty$ ) 를 유지한다.

위에서 구한 미분방정식의 해는 혼합과 반응이 동시에 일어나는 CSTR (continuously-stirred tank reactor) 공정에서 2차 기초반응을 선형화하여 얻은

해석해이다.

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