

二重効用 蒸發器의 動特性에 關한 研究

朴 源 燾^{*1} · 崔 仁 壽^{*} · 李 路 甲^{*}

Dynamic Response of a Double Effect Evaporator

*Won Hee Park *In Soo Choi *Nau Gab Lee

^{*}Dept. of Chem. Eng., Seoul National Univ.

^{*1}The Korean Institute of Science and Technology

Abstract

The open loop responses of a pilot plant scale long-tube double effect evaporator were studied theoretically and experimentally.

Good agreement has been achieved between the experimentally determined response of the evaporator to the step changes in the final product rate and steam rate and the theoretically predicted response.

The overall response of the system can be approximately described by the simple overdamped second order transfer function without transportation Lag.

1. 緒 論

어떤 化學工程의 制禦系를 設計하기 위해서는 그 系의 動特性을 알아야 한다. 單位操作중에서 蒸溜塔과 抽出塔과 같은 工程의 動特性은 研究가 많이 되어있으나 蒸發器에 關해서는 거의 研究가 되어있지 않았다. 그 理由로서는 工場規模의 여러가지 外亂에 對해서 應答이 늦어서 手動이나 간단한 自動制禦系로서 充分히 操作할수 있기 때문이라고 생각된다.

이러한 系에 對해서 Andersen 및 Glassen¹⁾은 蒸發器의 操作에 있어서 發生하는 現象을 그 系의 動特性으로 설명하였고 H. Andre와 R. A. Ritter^{2),3)}은 짧은 垂直管과 다른 긴 管으로 구성되어 있는 二重効用 蒸發器에 關하여 그 動特性과 制禦系의 設計에 關하여 研究한바 있다.

本 研究에서는 pilot-plant 規模의 強制循環式 垂直

長管型 二重効用 蒸發器에서 加熱用 水蒸氣壓력과 最終製品 生産率의 階段狀 變化에 따른 溶液 濃度の 應答을 實驗으로 究明하였으며 이를 computer simulation에 의해 얻어진 理論的 model과 比較 檢討하였고 또한 實驗으로 얻은 應答曲線에서 부터 系의 動特性을 나타내는 近似的인 傳達函數를 하였다.

2. 實驗裝置 및 方法

2-1. 實驗裝置

本 實驗에서 使用한 二重効用 蒸發器의 大略的인 flow diagram은 Fig. 1에 表示되어 있으며 蒸發器의 詳細한 構造는 Fig. 2에 表示된 바와 같다.

給送 pump(P-1)에 依해서 供給된 溶液은 첫째 蒸發器(E-1)에서 加熱되고 이때 發生한 蒸氣는 分離管(S-1)에서 溶液과 分離되어 둘째 蒸發器(E-2)로 보내지며 溶液은 循環 pump(P-2)에 依해 強制循環되고 一部(B₁)는 둘째 蒸發器로 給送된다. 둘째 蒸發器와 分離管에서도 첫째 効用에서와 同一한 作用이 반복되

*서울工大 化學工學科

¹韓國科學技術研究所 化學工程研究室(現在)

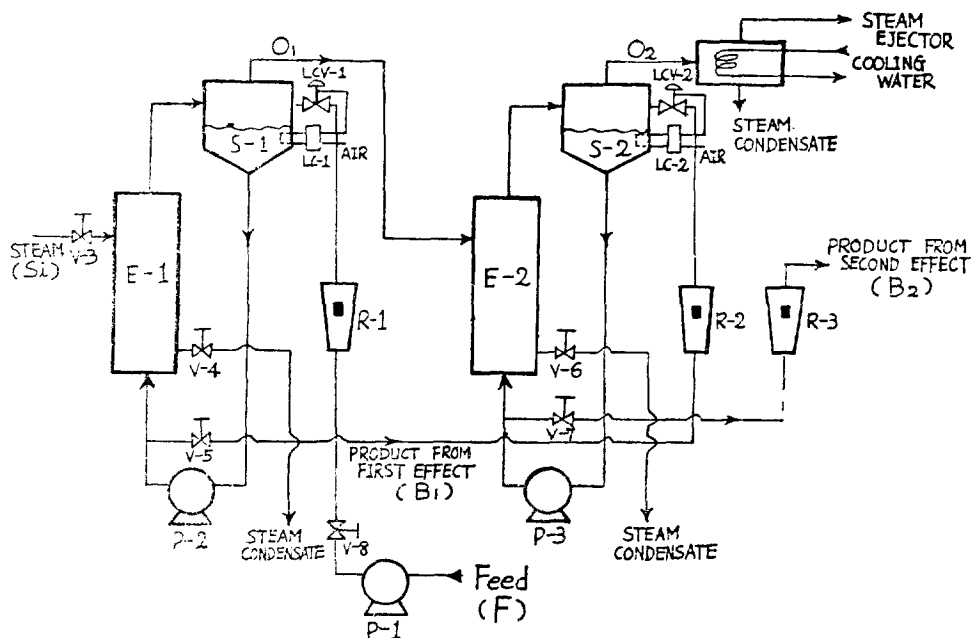


Fig. 1. Schematic Diagram of the Double effect Evaporator

며 여기서 蒸發된 水蒸氣는 凝縮器에서 凝縮되고 循環되는 溶液의 一部는 最終製品(B₂)으로 얻어진다.

첫째 및 둘째 蒸發器의 各 分離管에는 液位 調節計가 있어서 各 分離管內의 液位는 溶液 給送率(F)과 둘째 蒸發器로 들어오는 溶液의 流量(B_1)을 各 各 調節하여 一定히 維持되도록 되어있다.

2-2. 實驗方法

加熱用 水蒸氣壓力 및 最終製品 生産率의 變化에 따른 各 蒸發器에서 나오는 溶液의 濃度(C_1 , C_2)의 變化를 測定하기 위하여 給送液으로 NaCl 溶液(1.125 wt%)을 使用하였다.

全 蒸發器 系가 주어진 條件에서 定常狀態에 到達한 後 加熱用 水蒸氣壓力 或은 最終製品 生産率을 갑자기 變化시키는 階段狀 變化를 주고 이에 따른 溶液의 濃度를 測定하는데 있어서 처음 10分間은 2分間 間隔으로 그 後는 10分間 間隔으로 溶液을 sampling하였다. Sampling 한 溶液의 電導度를 Barnstead conductivity

bridge(Model PM-70C13)를 사용하여測定하였으며 이를濃度로換算하였다.

加熱用 水蒸氣量(Si) 및 蒸氣蒸發量(O₁, O₂)은 凝縮液의 量을 測定하여 얻었고 給送液量(F) 및 各 製品生産量(B₁, B₂)은 rotameter로 부터 測定하였으며 其他 測定量인 溫度 및 壓力은 系에 있는 溫度計 및 壓力計로 부터 얻었다.

階段狀 人力을 加한 後 새로운 定常狀態에 到達하는 데는 約 1時間 걸렸다.

實際로 最終製品 生産率은 12.03(ebs/min)에서 3.53 (lbs/min)로 變化시켰으며 加熱用 水蒸氣壓力은 20 (psig)에서 40(psig)로 變化시켰고 이 경우에 있어서의 水蒸氣 所要量은 3.28(lbs/min)에서 4.88(lbs/min)로 卽 1.6(lbs/min) 變化하였고 水蒸氣 飽和溫度의 變化는 28(°F)에 해당한다.

各 경우에 있어서의 系의 定常狀態 및 物理的 特性의 값들을 要約하면 Table.1과 같다.

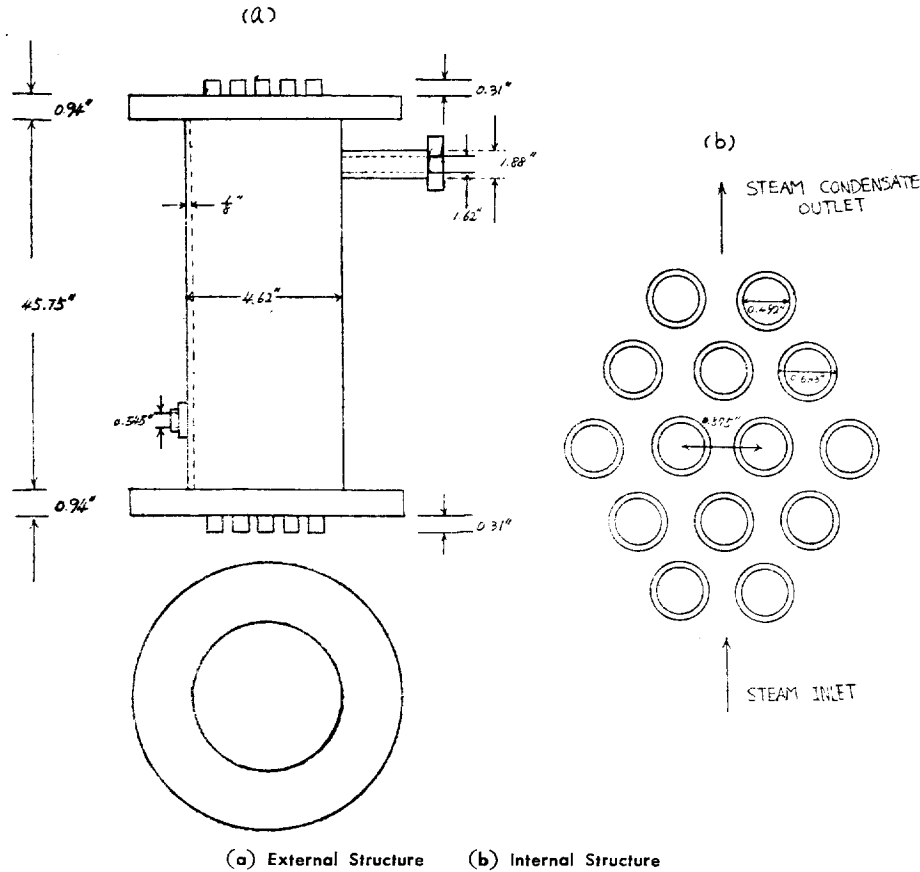


Fig. 2. Vertical Long Tube Evaporator

Table. 1 Steady State Data and Physical Properties

	first effect	second effect
$F=13.35 \text{ LbS/min}$	$W_1=39.4 \text{ LbS}$	$W_2=97.5 \text{ LbS}$
$C_f=0.0113 \text{ wt fraction}$	$B_1=12.58 \text{ LbS/min}$	$B_2=1.203 \text{ LbS/min}$
$S_i=3.28 \text{ LbS/min}$	$O_1=0.77 \text{ LbS/min}$	$O_2=0.55 \text{ LbS/min}$
$T_{s1}=258.7^\circ\text{F}$	$C_1=0.0119 \text{ wt. frac}$	$C_2=0.0125 \text{ wt. frac}$
$T_f=53.6^\circ\text{F}$	$T_1=227^\circ\text{F}$	$T_2=218^\circ\text{F}$
$a=1066 \quad b=0.4$	$U_1=12.29 \frac{\text{Btu}}{(\text{ft}^2)(\text{min})}$	$U_2=9.68 \frac{\text{Btu}}{(\text{ft}^2)(\text{min})}$
$a'=-32 \quad b'=1.0$	$L_1=18 \text{ Btu/min}$	$L_2=56 \text{ Btu/min}$
$\alpha=-35.385 \quad \beta=0.9943$	$A_1=7.86 \text{ ft}^2$	$A_2=7.86 \text{ ft}^2$
$\gamma=0.01215 \quad X=0.01215$		

3. 理論的 Model 및 解

이러한 二重効用 蒸發器의 動特性을 分析하기 위하여 各部分에 있어서의 質量 및 enthalpy 收支를 取하여 理論的 model을 세웠다.

Model을 세우는데 앞서 여러가지 假定을 하였는데 主된 假定을 要約하면 다음과 같다. 卽

1. 各 蒸發器는 加熱部分과 氣液을 分離하는 分離管으로 되어있으나 이를 합쳐 하나의 subsystem으로 본

다.

2. 加熱用 水蒸氣는 飽和 水蒸氣이며 그密度(ρ_{s1})는 주어진 實驗條件下에서 一定하다.

3. 各部分에 있어서의 熱損失은 溫度的 變化에 關係없이 一定하고 定常狀態의 값과 같다.

4. 各 蒸發器에서의 溶液의 沸點上昇⁴⁾은 無視한다.

5. 全 系는 Lumped parameter系로 본다.

이와같은 假定下에서 첫째 蒸發器에 對한 水蒸氣의 熱收支方程式 및 溶液의 總括物質收支, 成分物質收支, enthalpy 收支式을 取하면 (1), (2), (3), (4)式으로 나타난다.

$$S_i(H_s - h_{c1}) - L_1 = U_1 A_1 (T_{s1} - T_1) \quad (1)$$

$$\frac{dW_1}{dt} = F - B_1 - O_1 \quad (2)$$

$$\frac{d(W_1 C_1)}{dt} = F C_f - B_1 C_1 \quad (3)$$

$$\frac{d(W_1 h_1)}{dt} = F h_f - B_1 h_1 - O_1 H_1 + U_1 A_1 (T_{s1} - T_1) \quad (4)$$

둘째 증발기에 대한加熱蒸氣의熱收支方程式 및 溶液의總括物質收支, 成分物質收支式도 첫째 증발기와 같은 방법으로 (5), (6), (7), (8)式으로表示된다.

$$O_1(H_1 - h_{c2}) - L_2 = U_2 A_2 (T_1 - T_2) \quad (5)$$

$$\frac{dW_2}{dt} = B_1 - B_2 - O_2 \quad (6)$$

$$\frac{d(W_2 C_2)}{dt} = B_1 C_1 - B_2 C_2 \quad (7)$$

$$\frac{d(W_2 h_2)}{dt} = B_1 h_1 - B_2 h_2 - O_2 H_2 + U_2 A_2 (T_1 - T_2) \quad (8)$$

한편 둘째 증발기의 蒸氣는飽和되어 있다고假定했고 溶液의沸點上昇도無視할 수 있다고假定했으므로 蒸氣의溫度와 溶液의溫度는 같아질것이다. 또한 둘째 증발氣의 溶液의 enthalpy는壓力과溫度의函數이므로 다음과 같은關係式이成立한다.

$$\frac{dh_2}{dt} = \frac{\partial h_2}{\partial c_2} \cdot \frac{dc_2}{dt} + \frac{\partial h_2}{\partial p_2} \cdot \frac{dp_2}{dt}$$

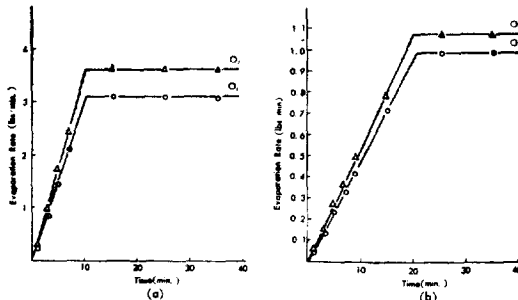
여기서凝縮器內의壓力은 둘째 증발器內의壓力과同一하고 이는實驗時一定하게維持되므로 $\frac{dp_2}{dt}$ 는 0이 된다. 따라서

$$\frac{dh_2}{dt} = \frac{\partial h_2}{\partial c_2} \cdot \frac{dc_2}{dt}$$

가成立되며 $\frac{\partial h_2}{\partial c_2} = X$ 라 놓고一定하다고假定하면 (9)式이成立된다.

$$\frac{dh_2}{dt} = X \frac{dc_2}{dt} \quad (9)$$

以上 9個의式에서未知數는 $W_1, W_2, h_1, h_2, C_1, C_2, F, B_1, T_{s1}, O_1, O_2$ 의 11個이므로 이 系의解를 얻기 위해서는 적어도 2個 以上의 서로獨立된關係



(a) Step Change in the Steam Rate

(b) Step Change in the Final Product Rate

Fig. 3. Evaporation Rate of the First and Second Effect

式이 더 必要하다. 이것으로는 첫째 및 둘째 증발器의 氣液分離管에서의 液位調節計의 特性을 나타내는關係式을使用할 수 있고 이는 아래와 같이表示할 수 있다.

$$W_1 = W_1(F, B_1, O_1, t) \quad (10)$$

$$W_2 = W_2(B_1, B_2, O_2, t) \quad (11)$$

만일 函數 W_1 및 W_2 를 알수있다면 以上의 11個의式을 同時에 풀므로써 여러가지 變數들의 時間에 따른變化即 주어진 人力變化에 따른 系의 應答을 얻을수 있다.

그러나 (10), (11)式에서의調節計에 關한式을調節計의 特性이不確實하고 이를實驗의으로 얻기가 곤란하였기 때문에 實제의計算에는 첫째 및 둘째 증발器에서의 蒸發量 O_1, O_2 를實驗의으로求해서 (10), (11)式의關係式 대신으로使用했다. O_1, O_2 의實驗値는 Fig. 3에表示된 바와 같다.

한편 水蒸器 및 凝縮液의 enthalpy는溫度만의函數이고 NaCl 溶液의 enthalpy⁵⁾는溫度와濃度の函數이므로 다음과 같은關係式을假定하여 enthalpy를溫度或은濃度の函數로表示하였다. 卽

$$H = a + bT \quad (12)$$

$$h_c = a' + b'T \quad (13)$$

$$h = \alpha + \beta T + \gamma C \quad (14)$$

(12), (13), (14)式을 (1)~(9)式에代入하고非線型項을線型化하고 모든變數를 deviation variable로 바꾸면 (1)~(9)式은 다음과 같이 된다.

$$\begin{aligned} & [(a-a') + (b-b')\bar{T}_{s1}]S_i' + U_1 A_1 T_1' \\ & = [U_1 A_1 - (b-b')\bar{S}_i]T_{s1}' \end{aligned} \quad (1')$$

$$\frac{dW_1'}{dt} = F' - B_1' - O_1' \quad (2')$$

$$\bar{W}_1 \frac{dc_1'}{dt} = (\bar{C}_f - \bar{C}_1)F' + \bar{F}C_f' + (\bar{O}_1 \bar{F})C_1' + \bar{C}_1 O_1' \quad (3')$$

$$\begin{aligned} & \bar{W}_1 \beta \frac{dT_1'}{dt} + \bar{W}_1 \gamma \frac{dc_1'}{dt} = [(\beta - b)\bar{O}_1 - \beta \bar{F}]T_1' \\ & + \gamma(\bar{O}_1 - \bar{F})C_1' + [\beta(\bar{T}_f - \bar{T}_1) + \gamma(\bar{C}_f - \bar{C}_1)]F' \\ & + \gamma \bar{F}C_f' + [\gamma \bar{C}_1 + (\beta - b)\bar{T}_1 + \alpha - a]\bar{O}_1' + [(a-a') \\ & + (b-b')\bar{T}_{s1}]S_i' + (b-b')\bar{S}_i \bar{T}_{s1}' \end{aligned} \quad (4')$$

$$[(a-a') + (b-b')\bar{T}_1]O_1' + U_2 A_2 T_2' =$$

$$[U_2 A_2 - (b-b')\bar{O}_1] T_1' \quad (5)'$$

$$\frac{dW_2'}{dt} = B_1' - B_2' - O_2' \quad (6)'$$

$$\begin{aligned} W_2 \frac{d'c_2}{dt} &= (\bar{O}_2 - \bar{B}_1) C_2' + \bar{B}_2 C_1' + (\bar{C}_1 - \bar{C}_2) B_1' \\ &+ \bar{C}_2 O_2' \end{aligned} \quad (7)'$$

$$\begin{aligned} W_2 \beta \frac{dT_2'}{dt} + \bar{W}_2 r \frac{dc_2'}{dt} &= [(\beta - b)\bar{O}_2 - \beta \bar{B}_1] T_2' \\ &+ \gamma(\bar{O}_2 - \bar{B}_1) C_2' + [\beta \bar{B}_1 + (b-b')\bar{O}_1] T_1' \\ &+ \beta[(\bar{T}_1 - \bar{T}_2) + \gamma(\bar{C}_1 - \bar{C}_2)] B_1' + [\alpha - a + (\beta - b) \\ &\bar{T}_2 + \gamma \bar{C}_2] O_2' + [(a-a') + (b-b')\bar{T}_1] \bar{O}_1' + \gamma \bar{B}_1 \bar{C}_1' \end{aligned} \quad (8)'$$

$$\beta \frac{dT_2'}{dt} = (X - \gamma) \frac{dc_2'}{dt} \quad (9)'$$

위의 式中에서 變數에 (—)를 부친것은 定常狀態의 값을 나타내며 (')를 부친것은 deviation variable 을 나타낸다.

이들 (1)~(9)의 9個의 式을 Laplace 變換 시킨후 整理하면 (15)~(23)式을 얻고 이들 關係를 block diagram으로 나타내면 Fig. 4 와 같다.

$$[(a-a') + (b-b')\bar{T}_1] S_i'(s) + U_1 A_1 T_1'(s)$$

$$= [U_1 A_1 - (b-b')\bar{S}_i] T_{11}'(s) \quad (15)$$

$$A W_1'(s) = \bar{F}'(s) - O_1'(s) \quad (16)$$

$$\begin{aligned} C_1'(s) + \frac{\bar{C}_1 - \bar{C}_f}{\bar{W}_1 A + \bar{F} - \bar{O}_1} F'(s) &= \frac{F}{\bar{W}_1 A + \bar{F} - \bar{O}_1} C_f'(s) \\ &+ \frac{\bar{C}}{\bar{W}_1 A + \bar{F} - \bar{O}_1} O_1'(s) \end{aligned} \quad (17)$$

$$\begin{aligned} T_1'(s) + \frac{\bar{W}_1 \gamma A + \gamma \bar{F} - \gamma \bar{O}_1}{\bar{W}_1 \beta A + \bar{O}_1(b-\beta) + \beta \bar{F}} C_1'(s) \\ + \frac{\beta(\bar{T}_1 - \bar{T}_f) + \gamma(\bar{C}_1 - \bar{C}_f)}{\bar{W}_1 \beta A + \bar{O}_1(b-\beta) + \beta \bar{F}} F'(s) \\ + \frac{a + \bar{T}_1(b-\beta) - \gamma \bar{C}_1 - \alpha}{\bar{W}_1 \beta A + \bar{O}_1(b-\beta) + \beta \bar{F}} O_1'(s) \\ + \frac{b' - b}{\bar{W}_1 \beta A + \bar{O}_1(b-\beta) + \beta \bar{F}} T_{21}'(s) \\ = \frac{\gamma \bar{F}}{\bar{W}_1 \beta A + \bar{O}_1(b-\beta) + \beta \bar{F}} C_f'(s) \\ + \frac{(a-a') + (b-b')\bar{T}_1}{\bar{W}_1 \beta A + \bar{O}_1(b-\beta) + \beta \bar{F}} S_i'(s) \end{aligned} \quad (18)$$

$$[(a-a') + (b-b')\bar{T}_1] O_1'(s) + U_2 A_2 T_2'(s)$$

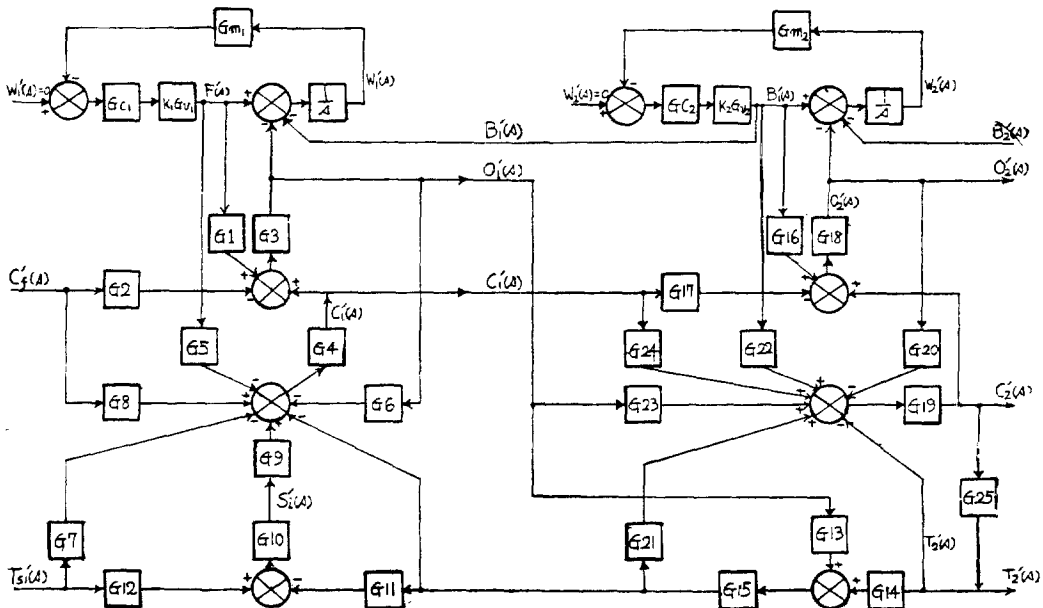
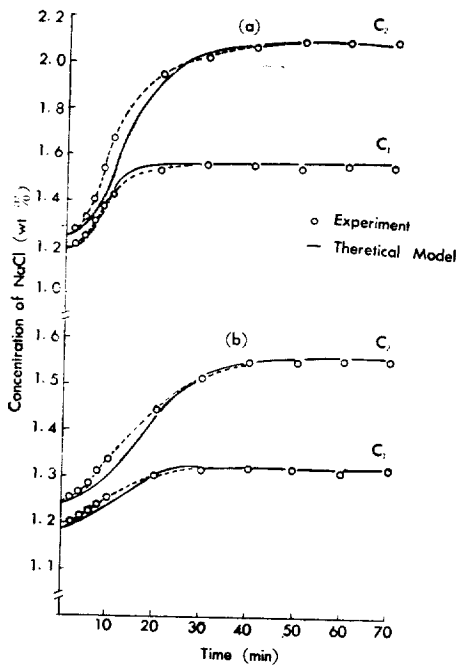


Fig. 4. Evaporator Block Diagram

Table 2 Transfer Functions in the Block Diagram

Transfer Function	Values Calculated from Steady State Data	Transfer Function	Values Calculated from Steady State Data
G 1	$\frac{0.00069}{39.4s+12.58}$	G 14	76.1
E 2	$\frac{13.35}{39.4s+12.58}$	G 15	76.56
G 3	$\frac{0.0119}{39.4s+12.58}$	G 16	$\frac{0.00055}{97.5s+12.027}$
G 4	$\frac{0.479s+0.153}{39.18s+12.822}$	G 17	$\frac{12.578}{97.5s+12.027}$
G 5	$\frac{172.1}{39.18s+12.822}$	G 18	$\frac{0.0125}{97.5s+12.027}$
G 6	$\frac{966.59}{39.18s+12.822}$	G 19	$\frac{1.185s+0.1461}{96.97s+12.163}$
G 7	$\frac{0.6}{39.18s+12.822}$	G 20	$\frac{972.185}{96.97s+12.163}$
G 8	$\frac{0.162}{39.18s+12.822}$	G 21	$\frac{12.023}{96.97s+12.163}$
G 9	$\frac{943}{39.18s+12.822}$	G 22	$\frac{8.94}{96.97s+12.163}$
G 10	943	G 23	$\frac{961.8}{96.97s+12.163}$
G 11	113	G 24	$\frac{0.1529}{96.97s+12.163}$
G 12	132.68	G 25	0
G 13	961.8		



(a) Step Change in the Steam Rate

(b) Step Change in the Final Product Rate

Fig. 5. Response of the Evaporator

$$= [U_2 A_2 - (b-b') \bar{O}_1] T_1'(s) \quad (19)$$

$$A W_2'(s) + B_2'(s) + O_2'(s) = B_1'(s) \quad (20)$$

$$\begin{aligned} C_2'(s) + \frac{\bar{C}_2 - \bar{C}_1}{W_2 A + \bar{B}_1 - \bar{O}_2} B_1'(s) \\ = \frac{\bar{B}_1}{W_2 A + \bar{B}_1 - \bar{O}_2} C_1'(s) \\ + \frac{\bar{C}_2}{W_2 A + \bar{B}_1 - \bar{O}_2} O_2'(s) \end{aligned} \quad (21)$$

$$\begin{aligned} T_2'(s) + \frac{W_2 \gamma A + \gamma \bar{B}_1 - \gamma \bar{O}_2}{W_2 \beta A + \bar{O}_2 (b - \beta) + \beta \bar{B}_1} C_2'(s) \\ + \frac{a + (b - \beta) \bar{T}_2 - \alpha - \gamma \bar{C}_2}{W_2 \beta A + \bar{O}_2 (b - \beta) + \beta \bar{B}_1} O_2'(s) \\ = \frac{\beta \bar{B}_1 + (b - b') \bar{O}_1}{W_2 \beta A + \bar{O}_2 (b - \beta) + \beta \bar{B}_1} T_1'(s) \\ + \frac{\beta (\bar{T}_1 - \bar{T}_2) + \gamma (\bar{C}_1 - \bar{C}_2)}{W_2 \beta A + \bar{O}_2 (b - \beta) + \beta \bar{B}_1} B_1'(s) \\ + \frac{(a - a') + (b - b') \bar{T}_1}{W_2 \beta A + \bar{O}_2 (b - \beta) + \beta \bar{B}_1} O_1'(s) \\ + \frac{\gamma \bar{B}_1}{W_2 \beta A + \bar{O}_2 (b - \beta) + \beta \bar{B}_1} C_1'(s) \end{aligned} \quad (22)$$

$$T_2'(s) = \frac{X-r}{\beta} C_2'(s) \quad (23)$$

Block diagram에 나타난 傳達函數의 값을 Table. 1의 값들을 사용하여 計算하면 Table. 2와 같다.

Table. 2에 나타난 바와 같이 이들 傳達函數에서 s 의 係數나 其他 定數를 서로 比較하여보면 그 order가 서로 비슷하여 어느 하나의 傳達函數를 無視할 수 없었으며 따라서 全 系의 動特性을 나타내는 간단한 傳達函數를 여기서 부터 얻기는 곤란하였다.

實驗值 O_1' 및 O_2' 와 더불어 (1)~(9)'의 理論式을 4th order Runge-Kutta-Gill 方法을 使用하여 電子計算機 IBM-1130으로 풀었다. 그 結果를 實驗値와 比較하기 위해서 plot한 것이 Fig. 5 이다.

4. 結果의 檢討

4-1. 理論 model과 實驗値와의 比較

Fig. 5에서 보는 바와 같이 理論 model에서 얻어진 結果와 實驗値가 다 같이 overshoot가 없는 非振動性 應答를 보여 주었으며 그 모양은 非振動性 二次系 (over-damped second order system)의 反應曲線과 비슷하였다.

理論 model의 結果와 實驗値가 가장 큰 差異를 보여주는 時間은 約 10~15分경이며 이는 定常狀態의 값의 約 60~70%에 到達하는 時間에 該當한다.

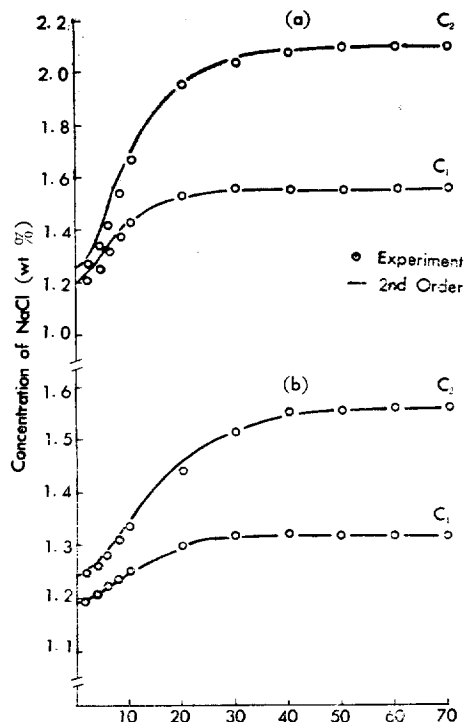
이러한 差異는 理論 model의 計算에 있어서 O_1 및 O_2 의 實驗値를 Fig. 3에 나타난 바와 같이 直線으로 假定하고 實驗裝置內의 熱損失을 溫度에 關係없이 一定하게 보았다는 것과 全 系를 lumped parameter 系로 假定했다는 點에서 생긴것으로 간주된다. 물론 理論의 model을 세울때의 여러가지 다른 假定과 定常狀態値의 不正確等이 理論 model과 實驗値가 다르게 된 또 다른 理由가 되겠으나 그 影響의 程度를 推定하기에는 系의 特性이 너무 복잡한것 같았다.

4-2. 系의 近似傳達函數

前述한 바와 같이 加熱用 水蒸氣壓力이나 最終製品 生産率의 階段狀 變化에 對하여 첫째 및 둘째 蒸發器를 나오는 溶液의 濃度曲線의 모양이 다 같이 非振動 二次系의 應答曲線과 비슷하였으므로 이러한 系의 傳達函數를 다음과 같은 非振動 二次系의 典型的인 函數로 假定했다.

$$G(s) = \frac{Ke^{-Ls}}{(T_a s + 1)(T_b s + 1)} \quad (24)$$

여기서 L 은 全 系의 dead time이며 K 는 process



(a) Step Change in the Steam Rate

(b) Step Change in the Final Product Rate

Fig. 6. Response of the Approximate Transfer Function

gain이다. 그러나 二重効用 蒸發器에서의 dead time은 實驗結果나 다른 著者²⁾가 말했듯이 全 系의 transfer lag에 比하여 無視할 수 있을 程度로 대단히 적었다. 따라서 이 系의 傳達函數는

$$G(s) = \frac{K}{(T_a s + 1)(T_b s + 1)}$$

로 나타낼수 있으며 두개의 parameter T_a , T_b 는 實驗的인 應答曲線으로 부터 그 曲線에 가장 잘 맞는 값을 求할수 있다. 실제로 T_a , T_b 를 實驗應答曲線에서 부터 求하는 方法³⁾에 의하여 求하면 Table. 3와 같다.

Table. 3 Parameter for the Approximate Transfer Function for the System

Disturbances	Variables	T_a (min)	T_b (min)
Step Change in Bottom Product Rate	C_1	9.36	5.04
	C_2	9.48	7.75
Step Change in Steam Pressure	C_1	5.86	3.44
	C_2	7.02	4.68

Fig. 6은 이렇게 求한 T_a , T_b 의 값을 다시 傳達函數에 代入하고 이를 實驗曲線과 比較하기 위해서 plot한

것이다.

여기에서 보는 바와 같이 加熱用 水蒸氣壓力이나 最終製品 生産率에 階段狀 入力を 주었을 경우 첫째 및 둘째 蒸發器를 나오는 溶液 濃度の 實驗의 應答曲線은 近似的인 傳達函數로부터 plot 한 曲線과 아주 잘 一致하며 따라서 이 系의 動特性을 非振動 二次系로 假定 하더라도 無關한 것으로 생각된다.

이러한 結果로 보아 복잡한 理論 model에서 부터 應答曲線을 推定하기 보다는 實驗的으로 過渡應答曲線을 얻고 여기서 부터 近似的인 傳達函數를 얻는것이 더 便利하고 實質的인 方法이라 할 수 있으며 制禦系의 設計가 必要한 경우에는 이렇게 求한 近似的인 傳達函數를 利用함으로써 充分히 그 目的을 達成할 수 있을 것이라 생각된다.

5. 結 論

垂值長管型 二重効用 蒸發器에서 加蒸用 水蒸氣壓力이나 最終製品 生産率에 階段狀 變化를 주었을 경우 이에 對한 첫째 및 둘째 蒸發器를 나오는 溶液濃度の 應答를 理論 및 實驗으로 分析하여 다음과 같은 結論을 얻었다.

- (1) 系의 動特性은 實驗한 範圍內에서는 非振動的이다.
- (2) 系의 動特性은 近似的으로 非振動 二次系로 假定할 수 있으며

$$\frac{K}{(T_{es}+1)(T_{bs}+1)} \text{를}$$

이 系의 近似的인 傳達函數로 볼 수 있다.

- (3) 全 系에서 transportation lag는 transfer lag에 비해 적어 無視할 수 있다.

- (4) 全體 工程을 理論的으로 分析하여 얻어진 系의 應答曲線은 實驗的으로 얻은 應答曲線과 거의 一致하였다.

- (5) 實驗結果에서 부터 求한 近似的인 傳達函數는 系의 工程制禦 設計에 必要한 基本資料로서 充分하다고 생각된다.

後 記

本 研究는 蓮庵文化財團에서 支給한 研究費로 이루어진 것이며 同 財團에 甚甚한 謝意를 表한다.

記 號 說 明

A : Heat transfer area, ft²
 a : Coefficient defined by equation(12)
 a' : Coefficient defined by equation(13)
 B : Liquid bottoms flow rate, Lbs/min

b : Coefficient defined by equation(12)
 b' : Coefficient defined by equation(13)
 C : Concentration of the solution, wt fract
 F : Feed rate, Lbs/min
 G : Transfer function
 G_c : Transfer function of controller
 G_m : Transfer function of measuring element
 G_v : Transfer function of valve
 H : Vapor enthalpy, Btu/Lb
 h : Liquid enthalpy, Btu/Lb
 K : Process gain for the transfer function defined by equation(24)
 L : Heat loss, Btu/min
 O : Evaporation rate, Lbs/min
 S_i : Steam rate, Lbs/min
 T : Temperature, °F
 t : Time, min
 U : Overall heat transfer coefficient, Btu/(ft²)(°F)(min)
 W : Weight of liquid holdup, Lbs
 X : Coefficient defined by equation(9)
 α : Coefficient defined by equation(14)
 β : Coefficient defined by equation(14)
 γ : Coefficient defined by equation(14)

Subscripts and Superscripts

1 : Refers to first effect
 2 : Refers to second effect
 C₁ : Refers to first effect steam condensed
 C₂ : Refers to second effect steam condensed
 f : Refers to feed
 S₁ : Refers to first effect steam side
 ' : Deviation variable
 — : Steady state value

參 考 文 獻

- 1) Andersen, J. E., Glassen, L. W. and Lees, F. P., : Transactions S. I. T., March, 1961.
- 2) Andre, H. and Ritter, R. A., : Canad. J. of Chem. Eng., 46, 259(1958).
- 3) Andre, H. and Ritter, R. A., : Canad. J. of Chem. Eng., 18, 696 (1970).
- 4) Perry, J. H., : Chemical Engineer's Handbook, 4th edition, McGraw-Hill Book Co, New York (1963).
- 5) Edward, W. Washburn: International Critical Table, McGraw-Hill Book Co, New York, Vol 2, 328 (1927).
- 6) Harriot, P., : Process Control, McGraw-Hill Book Co, New York (1964).