บทที่ 4

แบบจำลองคณิตศาสตร์ของกระบวนการที่ใช้ในการทดลอง และขั้นตอนการประยุกต์ใช้ตัวควบคุมแบบป้อนกลับสเตต

กระบวนการที่ใช้ในการทดลอง สำหรับงานวิจัยนี้เป็นกระบวนการควบคุมค่าพีเอชในถังสะเทิน (neutralized tank) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งในกระบวนการบำบัดน้ำเสีย ของโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปเหล็ก บทนี้ จึงกล่าวถึงการสร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์และขั้นตอนการประยุกต์ใช้ตัวควบคุมแบบป้อนกลับสเตต รวมทั้งการประยุกต์ใช้คาลมานฟิลเตอร์ในการประมาณค่าสเตต สำหรับควบคุมค่าพีเอชในถัง

4.1 แบบจำลองคณิตศาสตร์ของกระบวนการควบคุมค่าพีเอช

กระบวนการควบคุมค่าพีเอชในถังสะเทิน จะมีสายขาเข้า สามสายคือ สายน้ำเสีย, กรดเสีย (น้ำกรดที่ใช้แล้ว จากกระบวนการขจัดสนิมเหล็ก เป็นสารละลายกรดไฮโดรคลอริก) และสายของด่างโซดาไฟ ไหลเข้าสู่ถัง ส่วนสายขาออกจะมีสายเดียวคือ น้ำทิ้งที่ผ่านการปรับค่าพีเอชให้ได้ตามมาตรฐาน ในที่นี้ถังจะมีปริมาตรไม่คงที่ ซึ่งสามารถปรับอัตราการไหลขาออกของน้ำทิ้ง เพื่อควบคุมให้ระดับน้ำในถังคงที่ และปรับอัตราการไหลของด่างโซดาไฟ เพื่อควบคุมค่าพีเอชของน้ำเสียให้มีค่าเป็นกลาง ก่อนปล่อยทิ้งไป

กำหนดให้ :

V = ปริมาตรของถัง

h = ความสูงของระดับน้ำในถัง

ρ = ความหนาแน่นของสารละลาย

A = พื้นที่หน้าตัดของถัง

q_a = อัตราไหลเชิงปริมาตรของน้ำเสียเข้าถัง

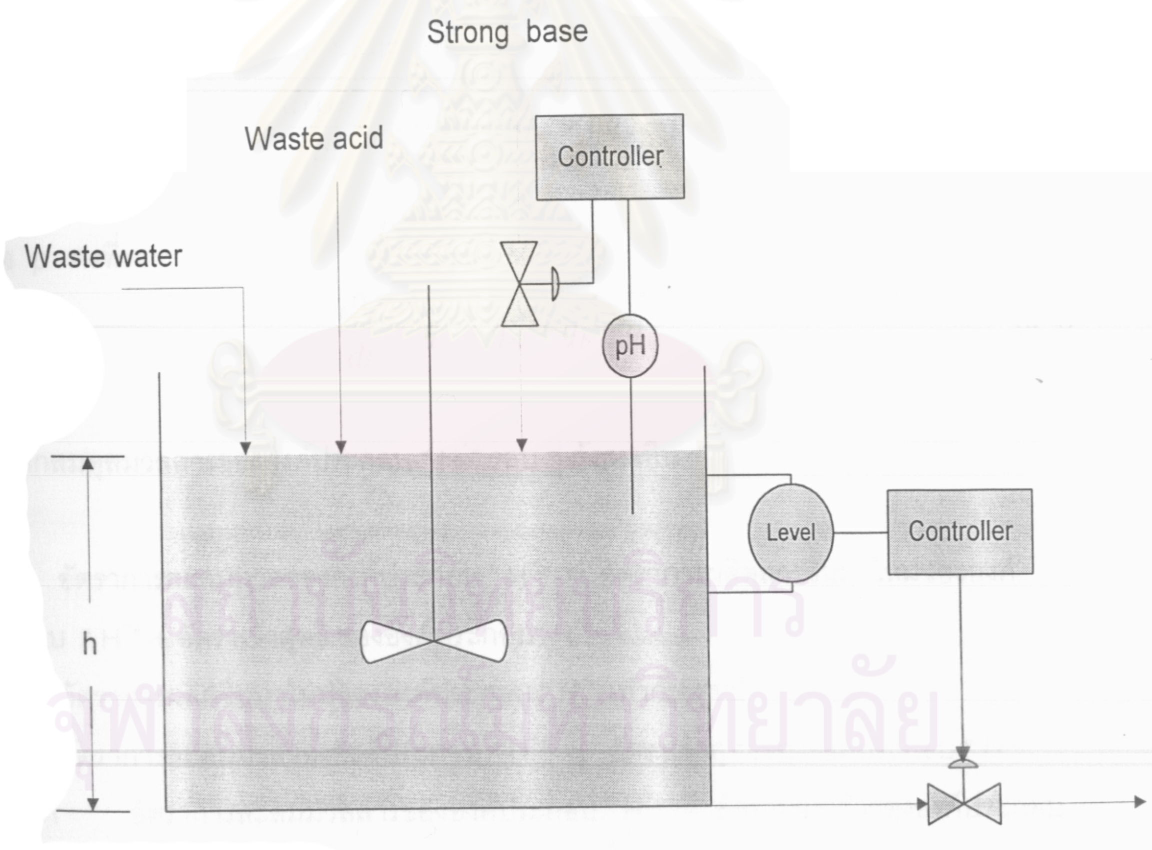
q_w = อัตราไหลเชิงปริมาตรของกรดเสียเข้าถัง

q_b = อัตราไหลเชิงปริมาตรของด่างโซดาไฟเข้าถัง

q = อัตราไหลเชิงปริมาตรออกของน้ำทิ้ง

สมมติฐานที่ใช้ :

- ปฏิกิริยาระหว่างกรดและด่าง เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว
- อุณหภูมิของระบบคงที่
- ถังสะเทินเป็นถังปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง
- มีการผสมกันอย่างสมบูรณ์แบบ
- ความหนาแน่นของสารในระบบมีค่าคงที่



รูปที่ 4.1 แสดงไดอะแกรมของกระบวนการควบคุมค่าพีเอชและระดับน้ำในถังสะเทิน

สมดุลที่เกี่ยวข้องกับระบบที่สนใจ ประกอบด้วย

1. สมดุลมวลสารทั้งหมด
2. สมดุลมวลสารขององค์ประกอบ " H^+"

- จากสมดุลมวลสารขององค์ประกอบทั้งหมด รอบ ๆ ถังสะเทิน :

อัตราการสะสมมวลสาร = อัตราการผลิตสารขึ้นมาใหม่ + อัตราเข้าสุทธิทั้งหมด

ให้ อัตราการผลิตสารขึ้นมาใหม่เท่ากับศูนย์

∴ อัตราการสะสมมวลสาร = อัตราเข้าสุทธิทั้งหมด

หรือ

อัตราการสะสมมวลสาร = อัตรามวลเข้าทั้งหมด - อัตรามวลออกทั้งหมด (4.1)

จากรูปที่ 1. แทนค่าต่าง ๆ ลงไปในสมการที่ (4.1)

$$\frac{d(\rho V)}{dt} = \rho q_a + \rho q_w + \rho q_b - \rho q \tag{4.2}$$

เมื่อ ρ คงที่

$$\frac{dV}{dt} = q_a + q_w + q_b - q \tag{4.3}$$

- จากสมดุลมวลสารขององค์ประกอบ " H^+" รอบ ๆ ถังสะเทิน :

อัตราการสะสมมวลขององค์ประกอบ " H^+" = อัตราการผลิตสารขึ้นมาใหม่ขององค์ประกอบ " H^+" + อัตราเข้าสุทธิ ขององค์ประกอบ" H^+"

ให้ อัตราการผลิตขึ้นมาใหม่ขององค์ประกอบ " H^+" เท่ากับ ศูนย์

ดังนั้น อัตราการสะสมมวลขององค์ประกอบ " H^+" = อัตราเข้าสุทธิขององค์ประกอบ " H^+"

จะได้ว่า อัตราการสะสมมวลสารขององค์ประกอบ " H^+" = อัตรามวลเข้าขององค์ประกอบ "H^+" ทั้งหมด - อัตรามวลออกขององค์ประกอบ " H^+" ทั้งหมด (4.4)

เนื่องจากอัตรามวลออกของไฮโดรเจนไอออนเท่ากับ อัตรามวลเข้าของไฮดรอกไซด์ไอออน

ดังนั้น จากสมการที่ (4.4) แทนค่าตัวแปรต่าง ๆ จะได้ว่า

$$\frac{d(VC_{H^+})}{dt} = q_a C_{H^+a} + q_w C_{H^+w} - qC_{H^+} - q_b C_{OH^-} \tag{4.5}$$

$$\frac{d(VC_{H^+})}{dt} = V\frac{dC_{H^+}}{dt} + C_{H^+}\frac{dV}{dt} \tag{4.6}$$

เนื่องจาก ปริมาตร เท่ากับ ผลคูณของความสูงกับพื้นที่หน้าตัดของถัง ($V = Ah$)
จากสมการที่ (4.3) จะได้

$$\frac{dV}{dt} = \frac{Adh}{dt} = (q_a + q_w + q_b - q) \tag{4.7}$$

แทนค่า สมการที่ (4.7) ลงในสมการที่ (4.6)

$$\frac{d(VC_{H^+})}{dt} = V\frac{dC_{H^+}}{dt} + C_{H^+}(q_a + q_b + q_w - q) \tag{4.8}$$

และจากเทอมซ้ายมือของสมการที่ (4.5) เท่ากับเทอมซ้ายมือของสมการที่ (4.8) จะได้ว่า

$$q_a C_{H^-a} + q_w C_{H^+w} - qC_{H^+} - q_b C_{OH^-} = V\frac{dC_{H^+}}{dt} + C_{H^+}(q_a + q_b + q_w - q)$$

จัดรูปใหม่

$$V\frac{dC_{H^-}}{dt} = q_a C_{H^+a} + q_w C_{H^+w} - qC_{H^+} - q_b C_{OH^-} - C_{H^+}(q_a + q_b + q_w - q) \tag{4.9}$$

กระจายเทอมทั้งสองข้างของสมการ

$$\frac{dC_{H^+}}{dt} = \frac{1}{V}(q_a C_{H^+a} + q_w C_{H^+w} - qC_{H^+} - q_b C_{OH^-} - q_a C_{H^+} - q_b C_{H^-} - q_w C_{H^+} + qC_{H^+})$$

จัดรูปใหม่

$$\frac{dC_{H^+}}{dt} = \frac{1}{V}(q_a(C_{H^+a} - C_{H^+}) + q_w(C_{H^+w} - C_{H^+}) - q_b(C_{OH^-} + C_{H^+}))$$

หรือ

$$\frac{dC_{H^+}}{dt} = \frac{1}{Ah}(q_a(C_{H^+a} - C_{H^+}) + q_w(C_{H^+w} - C_{H^+}) - q_b(C_{OH^-} + C_{H^+})) \qquad (4.10)$$

ดังนั้นสมการ แบบจำลองคณิตศาสตร์ของกระบวนการที่ใช้ในการทดลองนี้คือสมการที่ (4.7) และสมการที่(4.10)

$$\boxed{\begin{aligned} \frac{dh}{dt} &= \frac{1}{A}(q_a + q_w + q_b - q) \\ \frac{dC_{H^+}}{dt} &= \frac{1}{Ah}(q_a(C_{H^+a} - C_{H^+}) + q_w(C_{H^+w} - C_{H^+}) - q_b(C_{OH^-} + C_{H^+})) \end{aligned}} \qquad \begin{aligned} (4.7) \\ (4.10) \end{aligned}$$

ซึ่งจะมีความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชและความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนดังสมการที่ (4.11)ดังนี้

$pH = -\log[C_{H^+}]$ หรือ $C_{H^+} = 10^{-pH}$ (4.11)

โดยที่ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนอยู่ในหน่วยโมลต่อลิตร (molar) เท่านั้น

ในที่นี้จะได้ว่า

- ตัวแปรควบคุม (controlled variables) คือ pH, h
- ตัวแปรที่สามารถปรับค่าได้ (manipulated variables) คือ q_b, q
- ตัวแปรรบกวน (disturbanced variables) คือ $q_a, q_w, C_{H^+a}, C_{H^+w}$

และระบบนี้จะมีลักษณะเป็น MIMO คือ มีตัวแปรปรับและตัวแปรควบคุม หลายตัว

จากข้อมูลที่ได้จากการปฏิบัติงานจริงของโรงงานทำลวดเหล็ก คือ ความเข้มข้นของกรดเสีย น้ำเสีย, ด่าง และอัตราการไหลเข้าถังสะเทินของน้ำเสีย, กรดเสีย และด่าง รวมทั้งอัตราการ

ไหลออกของน้ำเสีย ความสูงของระดับน้ำในถัง มาเลียนแบบการจำลองการควบคุมค่าพีเอช ซึ่งมีค่าของตัวแปรที่ใช้ในการทดลองดังนี้

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าที่ใช้ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ณ สภาวะคงที่มีดังนี้

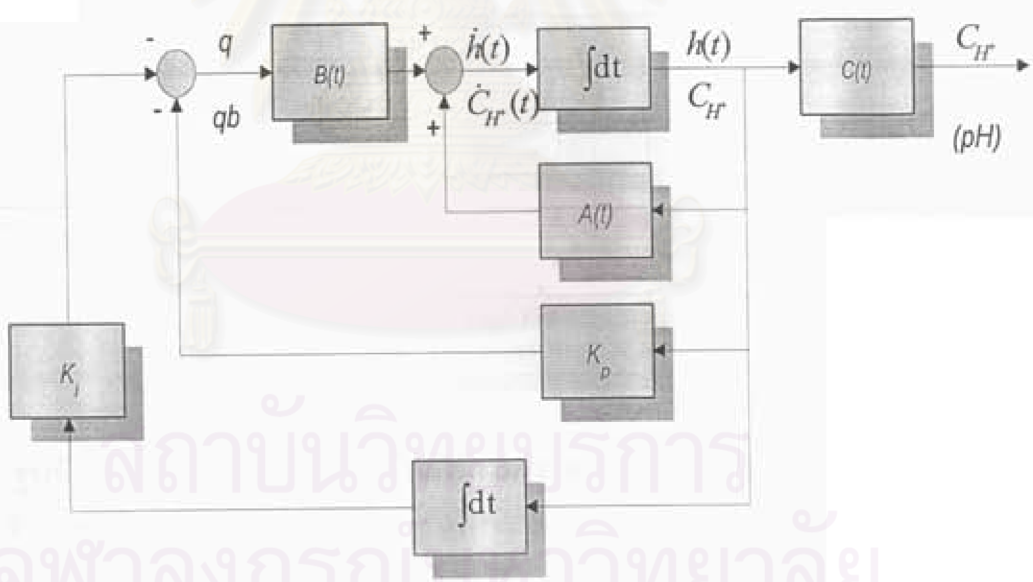
ตัวแปร	ความหมาย	มีค่า	หน่วย
q_a	อัตราการไหลเข้าถังของกรดเสีย	3.156×10^{-3}	m^3/min
q_w	อัตราการไหลเข้าถังของน้ำเสีย	296.4×10^{-3}	m^3/min
q_b	อัตราการไหลเข้าถังของด่าง	1.907×10^{-3}	m^3/min
q	อัตราการไหลออกจากถังของน้ำที่ออกจากถัง	301.5×10^{-3}	m^3/min
C_{H^+a}	ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนในกรดเสียก่อนเข้าถัง	0.93×10^{3}	g/m^3
C_{H^+w}	ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนในน้ำเสียก่อนเข้าถัง	0.004×10^{3}	g/m^3
C_{H^+}	ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนในน้ำที่ออกจากถัง	$10^{-7} \times 10^{3}$	g/m^3
C_{OH^-}	ความเข้มข้นของไฮดรอกซิลไอออนในด่างก่อนเข้าสู่ถัง	2.16×10^{3}	g/m^3
A	พื้นที่หน้าตัดของถัง	13	m^2
h	ความสูงของของเหลวในถัง	2	m
pH	ค่าพีเอชของน้ำในถัง	7	-

4.2 ขั้นตอนการการประยุกต์ใช้ตัวควบคุมแบบป้อนกลับสเตต และการประมาณค่าสเตตโดยใช้คาลมานฟิลเตอร์

จากบทที่ 3.ได้กล่าวถึงทฤษฎีการควบคุมแบบป้อนกลับสเตต ซึ่งการนำไปประยุกต์ใช้ในงานวิจัยนี้จะมีแผนภาพแสดงดังรูปที่ 4.2

ขั้นตอนการประยุกต์ใช้ตัวควบคุมแบบป้อนกลับสเตต มีลำดับขั้นตอน ดังนี้

1. จัดสมการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ให้อยู่ในรูปสมการสเตตสเปซ
2. ตรวจสอบความควบคุมได้
3. เลือกตำแหน่งของ closed-loop pole ที่ต้องการ
4. หาค่าอัตราขยายของการควบคุมป้อนกลับสเตต (K_p) และค่าอัตราการขยายของการควบคุมอินทีกรัล (K_i)ในการควบคุมแบบป้อนกลับสเตตเพื่อคำนวณตัวแปรปรับที่เหมาะสม



รูปที่ 4.2 แสดงแผนภาพการประยุกต์ใช้การควบคุมแบบป้อนกลับสเตตร่วมกับพีไอ-คอนโทรล ในการควบคุมค่าพีเอช

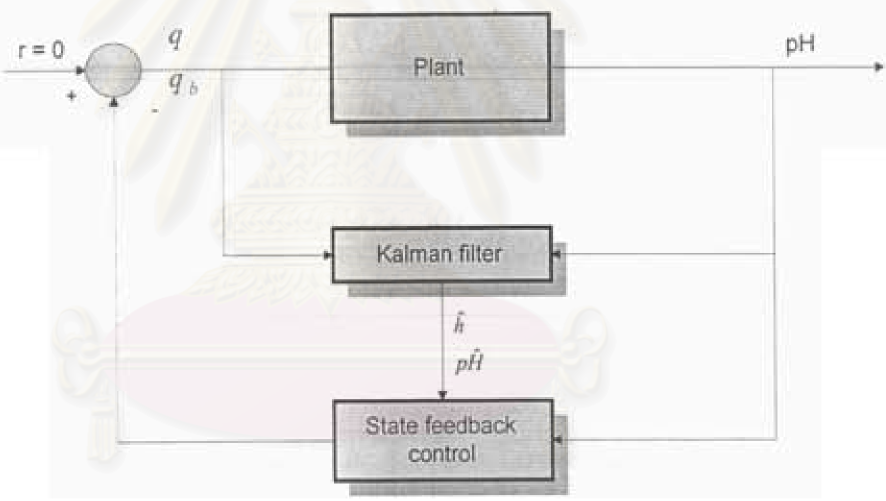
ซึ่งสเตตบางตัวที่วัดค่าไม่ได้ จึงนำเอาการประมาณค่าสเตต เช่น คาลมานฟิลเตอร์ มาใช้ในการประมาณค่าสเตตตัวที่ต้องการทราบค่า และแผนภาพการประยุกต์ใช้คาลมานฟิลเตอร์ร่วมกับตัวควบคุมแบบป้อนกลับสเตต ในงานวิจัยนี้ แสดงดังรูปที่ 4.3 และขั้นตอนของการออกแบบคาลมานฟิลเตอร์ มีดังนี้

1.ตรวจสอบความสังเกตได้

2.เปลี่ยนสมการสเตต สเปซในรูปโดเมนเวลา ให้อยู่ในรูปดิสครีต

3. เลือก P_o , Q, R และ $\hat{x}_0$

4. วนกลับทำตามอัลกอริธึมของคาลมานฟิลเตอร์ เพื่อประมาณค่าสเตตที่เวลา $k+1$ ไปเรื่อย ๆ จนกว่า P จะคงที่



รูปที่ 4.3 แสดงแผนภาพการประยุกต์ใช้การควบคุมแบบป้อนกลับสเตตร่วมกับคาลมานฟิลเตอร์ ในการควบคุมค่าพีเอช

จะเห็นได้ว่าก่อนที่จะประยุกต์ใช้ตัวควบคุมแบบป้อนกลับสเตต และ คาลมาน ฟิลเตอร์ ต้องจัดสมการให้อยู่ในรูปสเตตสเปซ และตรวจสอบเงื่อนไขที่สำคัญ คือ ความควบคุมได้และความสังเกตได้ ก่อนที่ปฏิบัติในขั้นตอนต่อไป

ดังนั้นต่อไปจึงกล่าวถึง สมการสเตต สเปซ และ การตรวจสอบความควบคุมได้และความสังเกตได้ของระบบ

4.2.1 สมการสเตต สเปซ ของกระบวนการควบคุมค่าพีเอช

จากรูปทั่วไป ของสมการสเตตสเปซ (กำหนดให้ D=0) คือสมการที่ (3.7)และ(3.8)

$$\delta \dot{x}(t) = A\delta\, x(t) + B\delta\, u(t)$$

$$\delta\, y(t) = C\delta\, x(t)$$

เมื่อ x เป็นเวกเตอร์สเตต มีขนาด $nx1$

u เป็นเวกเตอร์ตัวแปรปรับ มีขนาด $rx1$

y เป็นเวกเตอร์เอาท์พุท มีขนาด $px1$

ค่า A,B,C เป็น แมทริกซ์จาโคเบียน (Jacobian matrix) มีขนาด, nxn ,nxr และ pxn ตามลำดับ

สำหรับกระบวนการนี้ ตัวแปรสเตต x ได้แก่ h, C_{H^+}

ตัวแปรปรับ u ได้แก่ q, q_b

ตัวแปรเอาท์พุทที่วัดค่าได้คือ h, C_{H^+}

นั่นคือ n =2 , r =2 และ p =2

ดังนั้นเขียนสมการสเตต สเปซ ของระบบนี้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} \dot{h} \\ \dot{C}_{H^+} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a11 & a12 \\ a21 & a22 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h \\ C_{H^+} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b11 & b12 \\ b21 & b22 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} q \\ qb \end{bmatrix} \tag{4.12}$$

$$\begin{bmatrix} h \\ C_{H^+} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c11 & c12 \\ c21 & c22 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h \\ C_{H^+} \end{bmatrix} \tag{4.13}$$

เมื่อ $\dot{h} = \dot{h} - \dot{h}_s$, $\dot{C}_{H^+} = \dot{C}_{H^+} - \dot{C}_{H^+ s}$, $h = h - h_s$ และ $C_{H^+} = C_{H^+} - C_{H^+ s}$

กำหนดให้

$$f_1 = \frac{dh}{dt} = \frac{1}{A}(q_a + q_w + q_b - q)$$

$$f_2 = \quad \frac{dC_{H^+}}{dt} = \frac{1}{Ah}(q_a(C_{H^+a} - C_{H^+}) + q_w(C_{H^+w} - C_{H^+}) - q_b(C_{OH^-} + C_{H^+}))$$

จะได้ว่า $a11 = \frac{\partial f_1}{\partial h}\Big|_{h_s, C_{Hs}}$, $a12 = \frac{\partial f_1}{\partial C_{H^+}}\Big|_{h_s, C_{Hs}}$

$$a21 = \frac{\partial f_2}{\partial h}\Big|_{h_s, C_{Hs}} \quad , \quad a22 = \frac{\partial f_2}{\partial C_{H^+}}\Big|_{h_s, C_{Hs}}$$

และ

$$b11 = \frac{\partial f_1}{\partial q_b}\Big|_{q_s, q_{bs}} \ , \ b12 = \frac{\partial f_1}{\partial q}\Big|_{q_s, q_{bs}}$$

$$b21 = \frac{\partial f_2}{\partial q_b}\Big|_{q_s, q_{bs}} \ , \ b22 = \frac{\partial f_2}{\partial q}\Big|_{q_s, q_{bs}}$$

และ $c11 = \frac{\partial y_1}{\partial h}\Big|_{h_s, C_{Hbs}}$, $c12 = \frac{\partial y_2}{\partial C_{H^+}}\Big|_{h_s, C_{Hs}}$

$$c21 = \frac{\partial y_1}{\partial h}\Big|_{h_s, C_{Hbs}} , c12 = \frac{\partial y_2}{\partial C_{H^+}}\Big|_{h_s, C_{Hs}}$$

การหาค่าสมาชิกในแมทริกซ์ จาโคเบียน สรุปดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ค่าสมาชิกในแมทริกซ์ จาโคเบียน A,B,C,D

สมการ		ตัวแปรสเตต		ตัวแปรปรับ	
		h	C_{H+}	q	qb
สเตต	$\dot{h}$	a11 = 0	a12 = 0	b11 = $\frac{1}{A}$	b12 = $-\frac{1}{A}$
	$\dot{C}_{H^-}$	a21 = $-\frac{1}{Ah^2}(q_a(C_{H^+a}-C_{H^+})$ $+q_w(C_{H^+w}-C_{H^+})$ $-q_b(C_{OH^-}+C_{H^+}))$	a22 = $\frac{1}{Ah}(-q_a-q_w$ $-q_b)$	b21 = $\frac{1}{Ah}(-C_{OH^-}$ $-C_{H^+})$	b22 = 0
เอาท์พุท	h	c11 = 1	c12 = 0	d11=0	d12=0
	C_{H^-}	c21 = 0	c22 = 1	d21=0	d22=0

เมื่อแทนค่าต่าง ๆ ณ สภาวะตามตารางที่ 4.1 จะได้ค่า A,B,C ดังนี้

$$A=\begin{bmatrix}0 & 0\\ -2.94*10^{-5} & -0.116\end{bmatrix}$$

$$B=\begin{bmatrix}0.077 & -0.077\\ -83.077 & 0\end{bmatrix}$$

$$C=\begin{bmatrix}1 & 0\\ 0 & 1\end{bmatrix}$$

∴ สมการสเตตสเปซ ของระบบนี้คือ

$$\begin{bmatrix} \dot{h} \\ \dot{C}_{H^+} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ -2.94*10^{-5} & -0.116 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h \\ C_{H^+} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0.077 & -0.077 \\ -83.077 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} q \\ qb \end{bmatrix} \qquad (4.13)$$

และ

$$\begin{bmatrix} h \\ C_{H^+} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h \\ C_{H^+} \end{bmatrix} \qquad (4.14)$$

4.2.3 ตรวจสอบความควบคุมได้

นิยาม : สำหรับระบบที่มีจำนวนตัวแปรสเตต n ตัว ระบบนี้มีความควบคุมได้ ถ้า controllability matrix :

$$Mc = \left[B \vdots AB \vdots A^2B \vdots \cdots \vdots A^{n-1}B\right] \qquad (4.15)$$

มีแรงค์เท่ากับค่าฟูลแรงค์ (full rank) ซึ่ง controllability matrix จะประกอบด้วยคอลัมน์ B และคอลัมน์ AB เท่านั้น

สำหรับกระบวนการที่ใช้ในการทดลองนี้มี n เท่ากับ 2 จะได้ว่า

$$Mc = \left[B \vdots AB\right]$$

$$AB = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ -2.94*10^{-5} & -0.116 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.077 & -0.077 \\ -83.077 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 9.637 & 2.26*10^{-6} \end{bmatrix}$$

$$Mc = \begin{bmatrix} 0.077 & -0.077 & 0 & 0 \\ -83.077 & 0 & 9.637 & 2.26*10^{-6} \end{bmatrix}$$

แรงค์ของแมทริกซ์ Mc เท่ากับ 2 มีค่าเท่ากับ ฟูลแรงค์

$\therefore$ ระบบสามารถควบคุมได้ นั่นคือ ตัวแปรปรับที่เลือกไว้ คือ q และ q_b สามารถควบคุมระบบนี้ได้

4.2.4 ตรวจสอบความสังเกตได้

นิยาม : เช่นเดียวกันกับการตรวจสอบความควบคุมได้ สำหรับระบบที่มีจำนวนตัวแปรสเตต n ตัว ระบบนี้มีความสังเกตได้ ถ้า observability matrix :

$$Mo = \begin{bmatrix} C \\ \cdots \\ CA \\ \cdots \\ \vdots \\ \cdots \\ CA^{n-1} \end{bmatrix}$$

หรือ

$$Mo = \left[C^T \vdots A^T C^T \vdots (A^T)^2 C^T \vdots \cdots \vdots (A^T)^{(n-1)} C^T \right] \qquad (4.16)$$

มีแรงค์เท่ากับค่าฟูลแรงค์ (Full rank) นั่นคือ Mo มีจำนวนแถวที่ไม่ขึ้นต่อกัน n แถว จะมีแรงค์เท่ากับ n

สำหรับกระบวนการที่ใช้ในการทดลองนี้มี n เท่ากับ 2 จะได้ว่า

$$Mo = \left[C^T \vdots A^T C^T \right]$$

$$A^T C^T = \begin{bmatrix} 0 & -2.94 * 10^{-5} \\ 0 & -0.116 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 2.94 * 10^{-5} \\ 0 & -0.116 \end{bmatrix}$$

$$Mo = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 2.94 * 10^{-5} \\ 0 & 1 & 0 & -0.116 \end{bmatrix}$$

แรงค์ของแมทริกซ์ Mo เท่ากับ 2 มีค่าเท่ากับ ฟูลแรงค์

$\therefore$ ระบบสามารถสังเกตได้ นั่นคือสามารถวัดความสูงของระดับน้ำในถังและความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนหรือวัดค่าพีเอช แล้วสามารถใช้เป็นตัวแทนในการประมาณค่าสเตตหรือพารามิเตอร์ของระบบนั้นๆ ได้

4.3 บทสรุป

ในการออกแบบตัวควบคุมต่าง ๆ จำเป็นต้องมีการสร้างแบบจำลองของกระบวนการเพื่อใช้ อธิบายการเปลี่ยนแปลงและความสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆ ของกระบวนการ ซึ่งแบบจำลองที่เขียนขึ้นเป็นแบบจำลองเชิงพลวัต (dynamic behavior) ได้จากการสมดุลมวลสารรอบ ๆ ระบบที่สนใจ เมื่อได้แบบจำลองคณิตศาสตร์ของกระบวนการที่ใช้ในการทดลองแล้ว ต้องมีการจัดรูปแบบของแบบจำลองให้เหมาะสมเพื่อนำไปทำซิมมูเลทต่อไป และทำการตรวจสอบเงื่อนไขของการประยุกต์ใช้ตัวควบคุมและการประมาณค่าสเตตซึ่งได้แก่ ความควบคุมได้และ ความสังเกตได้ของระบบให้ได้เสียก่อน