หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3
แบบจำลองกระบวนการ

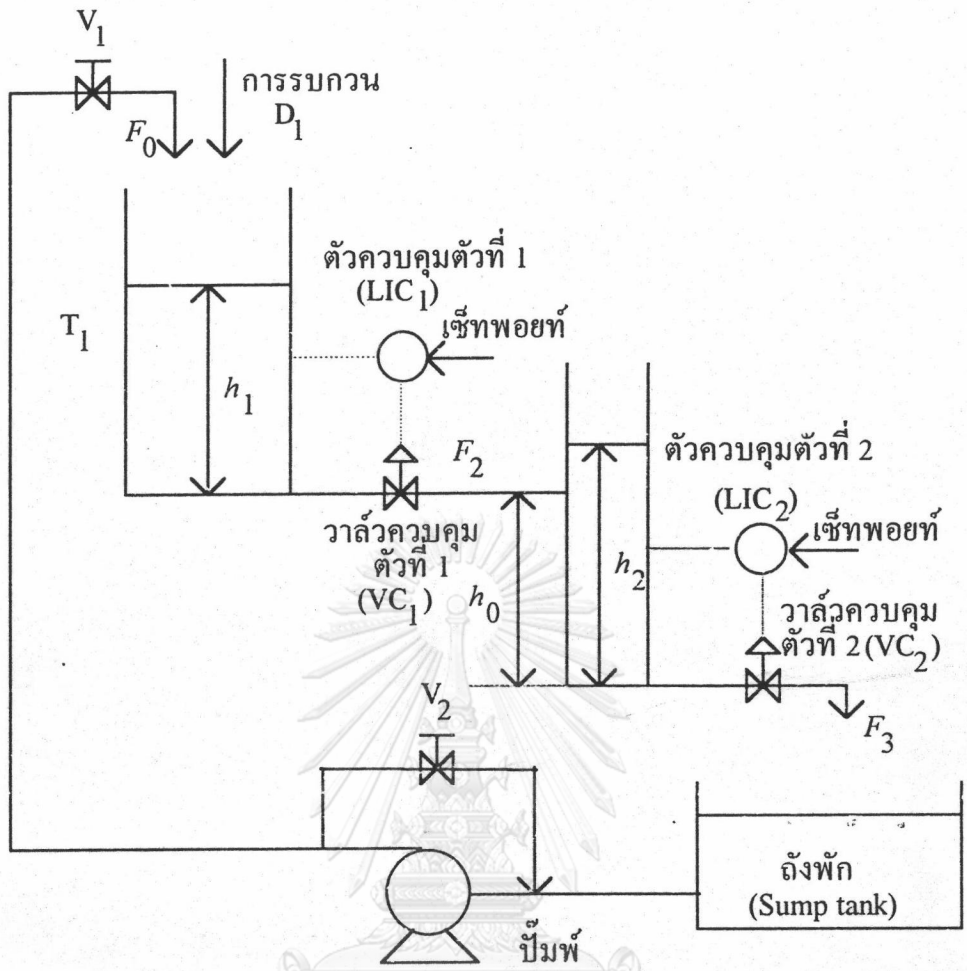
3.1 คำนำ

การสร้างแบบจำลองกระบวนการในวิทยานิพนธ์นี้ ใช้สมการเลียนแบบระบบจากทฤษฎี ในรูปแบบของสมการพลวัต. ตัวแปรที่จะศึกษา คือระดับของของเหลวในถังเก็บของเหลว, ฉะนั้นจะใช้สมการอนุรักษ์มวลเป็นสมการเริ่มต้น และใช้เฉพาะในถังเก็บของเหลวเท่านั้น ส่วนในท่อส่งของเหลว, ปั๊มพ์, วาล์ว และตัววัดจะข้ามไป เพราะจะทำให้ตัวแบบจำลองยุ่งยากและเสียเวลาในการสร้างและขณะใช้งาน โดยได้นัยสำคัญของผลตอบเท่าเดิม. ตัวระบบจะเป็นการไหลของน้ำจากการปั๊มพ์ผ่านถังเก็บ 2 ถัง ซึ่งเชื่อมต่อกันแบบคาสเคดโดยมีทั้ง มีการกระทบกัน และไม่มีการกระทบกัน การควบคุมระดับจะกระทำที่ทางออกของถังแต่ละใบทั้ง 2 ถัง.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.2 ระบบ 2 ถัง

กระบวนการของวิทยานิพนธ์นี้สามารถเขียนเป็นภาพไดอะแกรมดังรูปที่ 3.1.



รูปที่ 3.1 รูปกระบวนการของระบบ 2 ถัง.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

3.2.1 กระบวนการของระบบ

จากรูปที่ 3.1 ของเหลวจากถังพัก (Sump tank) จะถูกปั๊มพ์โดยมีบางส่วนจะ บาย-พาส ผ่านวาล์ว V_2 และปรับการไหลด้วยวาล์ว V_1 ไหลลงสู่ถังแรก (T_1) ด้วยอัตราการไหลโดยปริมาตรเป็น F_0. จะเห็นว่า ถ้าสมมติให้ปั๊มพ์มีอัตราการสูบคงที่แล้ว, ค่าอัตราการไหลของของเหลวสู่ถังที่ 1. (F_0) จะมีค่าเปลี่ยนไปตามค่าคงที่ของวาล์ว V_1 และ V_2. นอกจาก F_0 แล้ว

ของเหลวยังสามารถเข้าสู่ถังที่ 1 ได้จากการรบกวนระบบคือ D_1 ด้วย. ค่าของ D_1 ถูกสมมติโดยผู้วิจัยว่าให้คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของ F_1 โดยการรบกวนจะมี 3 แบบคือ เป็นฟังก์ชันแบบสเต็พ, ฟังก์ชันแบบพัลส์ และฟังก์ชันรบกวนแบบขาว (White noise) หรือแบบสุ่ม. สำหรับการรบกวนสองแบบสุดท้ายนั้น เราต้องรู้หรือกำหนดระยะเวลาของการรบกวนระบบด้วย. ของเหลวในถังที่ 1 จะไหลผ่านวาล์วควบคุมตัวที่ 1 (VC_1) ไปสู่ถังที่ 2 แต่ถ้าหากระดับของของเหลวในถังที่ 2 อยู่สูงกว่าระดับของ VC_1 จะมีแรงดันของเหลวในถังที่ 2 บางส่วนกลับมาในถังที่ 1 ด้วยทำให้เกิดการรบกวนกันขึ้นระหว่างถังทั้งสอง. จากการคำนวณโดยใช้สมการอนุรักษ์มวล, การไม่สมดุลกันระหว่างกระแสที่ไหลเข้าถังที่ 1 คือ F_0, D_1, กระแสไหลกลับจากถังที่ 2 กับกระแสที่ไหลออกจากถังที่ 1 จะทำให้ทราบการเปลี่ยนแปลงของระดับของเหลวในถังที่ 1 (h_1). ระดับ h_1 จะถูกควบคุมด้วยตัวควบคุมตัวที่ 1 (LIC_1) ผ่านวาล์วควบคุมตัวที่ 1 (VC_1).

ในถังที่ 2, ของเหลวที่ไหลเข้าถังที่ 2 ได้มาจากของเหลวที่ไหลด้วยความดันต่างระดับในถังที่ 1 และไหลออกจากถังที่ 2 ได้ 2 ทาง คือ ไหลผ่านวาล์วควบคุม VC_2 และไหลย้อนกลับไปสู่ถังที่ 1. โดยตัวควบคุมที่ 2 (LIC_2) จะควบคุมระดับของของเหลวในถังนี้.

3.2.2 สมการแบบจำลอง

ก. สมการอัตราการไหลของของเหลวเนื่องจากปั๊มพ์สู่ถังที่ 1.

ถ้าสมมติให้ปั๊มพ์ทำงานได้คงที่ และไม่คิด เฮด เนื่องจากความต่างระดับระหว่าง V_2 และ V_1 จะเห็นว่า V_1 และ V_2 ทำหน้าที่เป็นตัวแบ่งอัตราการไหล และถ้าสมมติว่าการแบ่งอัตราการไหลนี้เป็นแบบเชิงเส้น จะสามารถเขียนสมการของ F_0 ได้ดังนี้

$$F_0 = \frac{CV_1}{CV_1 + CV_2} . F_{P1} \qquad (3.1)$$

เมื่อ CV_1 คือ ค่าคงที่ของวาล์ V_1

CV_2 คือ ค่าคงที่ของวาล์ V_2

F_{P1} คือ อัตราการสูบของปั๊มพ์

หากการสมมติให้อัตราการไหลของปั๊มพ์คงที่ และการที่ให้ V_1 และ V_2 แบ่งอัตราการไหลแบบเชิงเส้นมีความผิดพลาด ก็ไม่ทำให้การตอบสนองของแบบจำลองผิดรูปแบบไป เพราะตรงจุดนี้ไม่มีพลวัตใดๆ และอีกประการหนึ่ง ค่า F_0 ก็ไม่ใช่ตัวแปรที่จะส่งผลถึงการตอบสนองตามเวลา แต่เป็นเพียงค่าคงที่หรือ พารามิเตอร์ ตัวหนึ่งเท่านั้น.

ข. อัตราการไหลรบกวน

อัตราการไหลรบกวนที่เป็นฟังก์ชันแบบสเต็พ และฟังก์ชันแบบพัลส์ สามารถหาค่าได้จากเบ่อร์เซ็นต์ของการรบกวนเทียบกับ F_0.

$$D_1 = (\text{เปอร์เซ็นต์ของการรบกวน}) . F_0 \qquad (3.2)$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ค. สมการอนุรักษ์มวลในถังที่ 1

เราใช้สมการอนุรักษ์มวล ซึ่งเขียนในรูปพลวัต เพื่อหาค่าของการเปลี่ยนแปลงระดับของของเหลวในถังที่ 1.

$$\begin{bmatrix} \text{อัตราการสะสม} \\ \text{ของมวลในถังที่ 1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{อัตราการไหลของ} \\ \text{มวลสู่ถังที่ 1} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \text{อัตราการไหลของ} \\ \text{มวลออกจากถังที่ 1} \end{bmatrix}$$

$$\frac{dm_1}{dt} = \left[m_{F0} + m_{D1}\right] - m_{F2}$$

$$\rho A_1 \frac{dh_1}{dt} = \rho F_1 - \rho F_2$$

$$A_1 \frac{dh_1}{dt} = F_1 - F_2 \qquad (3.3)$$

เมื่อ A_1 คือพื้นที่หน้าตัดของถังที่ 1 ซึ่งสมมติให้คงที่

ρ คือ ความหนาแน่นของของเหลว

h_1 คือ ระดับของของเหลวในถังที่ 1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ง. สมการของวาล์วควบคุมตัวที่ 1

โดยปกติถ้าอัตราการไหลของของเหลวออกจากภาชนะที่มีความสูง h จะเป็น

อัตราการไหล = ค่าคงที่.$\sqrt{h}$

และถ้าช่องเปิดนั้นเป็นวาล์ว,สมการจะเป็น

flow = (Valve constant).$\sqrt{h}$

โดยปกติค่าคงที่ของวาล์วจะเป็นฟังก์ชันกับตำแหน่งการเปิดปิดวาล์ว ฉะนั้นเทอม F_2 ใน สมการที่ (3.3) จะเขียนได้เป็น

$$F_2 = C_{VC1}f(P_1)\sqrt{h_1-(h_2-h_0)} \qquad \forall h_2 > h_0$$

$$= C_{VC1}f(P_1)\sqrt{h_1} \qquad \forall h_2 \le h_0 \qquad (3.4)$$

เมื่อ $C_{VC1}f(P_1)$ คือ ค่าคงที่ของวาล์วควบคุมตัวที่ 1

C_{VC1} คือ ค่าคงที่ขนาดวาล์วควบคุม

$f(P_1)$ คือ ค่าคงที่คุณลักษณะของวาล์ว

P_1 คือ ตำแหน่งของการเปิดวาล์ว คิดเป็นสัดส่วนหรือเปอร์เซ็นต์การเปิด

h_0, h_1, h_2 คือ ระยะต่างๆ ตามรูป (3,1)

$P_1 = CO_1/CO_{1max}$

เมื่อ CO_1 คือ ค่าตัวแปรเอาท์พุทของตัวควบคุมตัวที่ 1

CO_{1max} คือ ค่ามากที่สุดของตัวแปร CO_1 ที่จะทำให้วาล์วเปลี่ยนสภาวะจากเปิดสุดเป็นปิดสุด

สมการของ $C_{VC1}f(P_1)$ นั้นขึ้นกับชนิดและขนาดของวาล์วดังตารางที่ 3.1.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 3.1 ค่าคงที่ของวาล์วควบคุมชนิดต่างๆ.

ชนิดของวาล์ว	ค่าคงที่คุณลักษณะของวาล์ว (f)
Linear	l
Square root	$\sqrt{l}$
Equal percentage	R^{l-1} ; R = พารามิเตอร์แบบของวาล์ว

จ. สัญญาณควบคุมจากตัวควบคุมตัวที่ 1

ตัวควบคุมตัวที่ 1 นั้น ผู้เขียนวิทยานิพนธ์ได้กำหนดให้ทำงานเป็น 2 ส่วนคือส่วนที่ 1 ในกรณีที่ไม่เกิดการรบกวนกันของระบบ และส่วนที่ 2 ใช้ในกรณีที่เกิดการรบกวน. นั่นหมายความว่า ตัวควบคุมตัวนี้ มี พารามิเตอร์ 2 ชุด ตัวควบคุมจะเลือกพารามิเตอร์มาใช้คำนวณสัญญาณควบคุมเพียงชุดเดียวตามแต่สถานะของระบบขณะนั้นว่าเกิดการรบกวนกันหรือไม่.

อัลกอริธึมของตัวควบคุม

ในโมดควบคุมแบบอัตโนมัตินั้น ตัวควบคุมในวิทยานิพนธ์นี้จะถูกออกแบบให้ทำงานได้ 4 อัลกอริธึม แล้วแต่ผู้ศึกษาจะเลือกใช้.

(1) Position form, derivative on error.

$$CO = CO_0 + K\left\{e + R\sum e\Delta t + \tau_D\left(\frac{e_n - e_{n-1}}{\Delta t}\right)\right\} \qquad (3.5)$$

2. Position form, derivative on measurement.

$$CO = CO_0 + K\left\{e + R\sum e\Delta t + \tau_D\left(\frac{PV_n - PV_{n-1}}{\Delta t}\right)\right\} \quad (3.6)$$

3. Velocity form, derivative on error.

$$\Delta CO = K\left\{e_n - e_{n-1} + R\sum e\Delta t + \tau_D\left(\frac{e_n - 2e_{n-1} + e_{n-2}}{\Delta t}\right)\right\} \quad (3.7)$$

4. Velocity form, derivative on measurement.

$$\Delta CO = K\left\{PV_{n-1} - PV_n + R\sum e\Delta t + \tau_D\left(\frac{2PV_{n-1} - PV_n + PV_{n-2}}{\Delta t}\right)\right\} \quad (3.8)$$

เมื่อ CO_0 คือ ค่าคงที่สัญญาณควบคุม

e คือ ผลต่างระหว่างเซ็ทพอยท์กับระดับจริงของของเหลวในขณะนั้น

Δt คือ ช่วงเวลาในการอ่านค่าตัวแปรกระบวนการ

PV คือ ตัวแปรกระบวนการในที่นี้คือระดับของของเหลวในถัง

n, n-1, n-2. กำกับตัวแปรบอกสถานะของตัวแปร, n คือปัจจุบัน, n-1 คืออดีต ...

K คือ $\frac{1}{PB\%}X100$

R คือ $\frac{1}{\tau_I}$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ฉ. สมการอนุรักษ์มวลในถังที่ 2

ในทำนองเดียวกันกับถังที่ 1 เราสามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix}\text{อัตราการสะสม}\\ \text{ของมวลในถังที่ 2}\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}\text{อัตราการไหลของ}\\ \text{มวลสู่ถังที่ 2}\end{bmatrix} - \begin{bmatrix}\text{อัตราการไหลของ}\\ \text{มวลออกจากถังที่ 2}\end{bmatrix}$$

$$\rho A_2 \frac{dh_2}{dt} = \rho F_2 - \rho F_3$$

$$A_2 \frac{dh_2}{dt} = F_2 - F_3 \tag{3.9}$$

$$F_2 = \begin{cases} C_{VC1} f(P_1)\sqrt{h_1 - (h_2 - h_0)} & \forall\ h_2 > h_0 \\ C_{VC1} f(P_1)\sqrt{h_1} & \forall\ h_2 \le h_0 \end{cases} \tag{3.10}$$

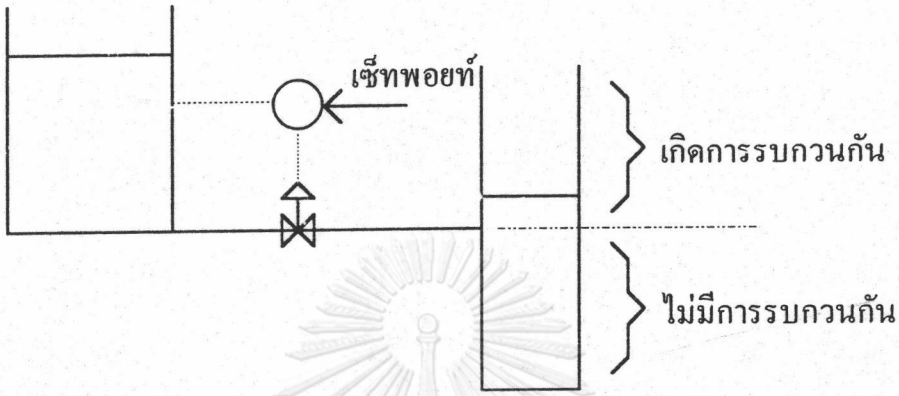
$$F_3 = C_{VC1} f(P_2)\sqrt{h_2} \qquad \forall\ h_2 \ge 0 \tag{3.11}$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ช. ความยากของการควบคุม

จุดพิเศษของระบบ 2 ถังนี้ คือ ความไม่เป็นเชิงเส้นที่เกิดจากระดับของของเหลวในถัง, ค่าคงที่ของวาล์ว และการรบกวนกันของระบบ ซึ่งได้กล่าวไว้แล้ว. จุดที่สำคัญที่สุดของการวิจัยนี้เกิดจากการเกิดเหตุการณ์สลับกันระหว่าง การมีการรบกวนกัน และไม่รบกวนกันของระบบ ซึ่งในจุดนี้ผู้เขียนวิทยานิพนธ์ได้ออกแบบให้ตัวควบคุมตอบสนองระบบเป็น 2 ส่วน ส่วนแรก

ใช้สำหรับช่วงที่ระบบไม่มีการรบกวนกัน และช่วงที่ 2 ใช้สำหรับระบบที่อยู่ในสภาวะรบกวนกัน ดังรูปที่ 3.2.



รูปที่ 3.2 ช่วงเกิดการรบกวนกันและไม่รบกวนกัน.

ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมที่ทำให้ตัวควบคุมควบคุมระบบได้ดีที่สุดนั้นได้จากการปรับบนระบบที่มีธรรมชาติที่ต่อเนื่อง แต่ระบบในรูปที่ 3.2 มีธรรมชาติที่ไม่ต่อเนื่อง ฉะนั้นความยากในการควบคุมจะเกิดขึ้น.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY