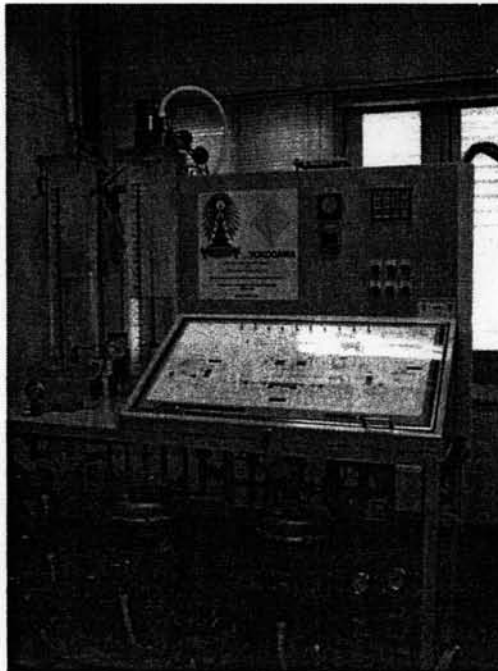


## บทที่ 2

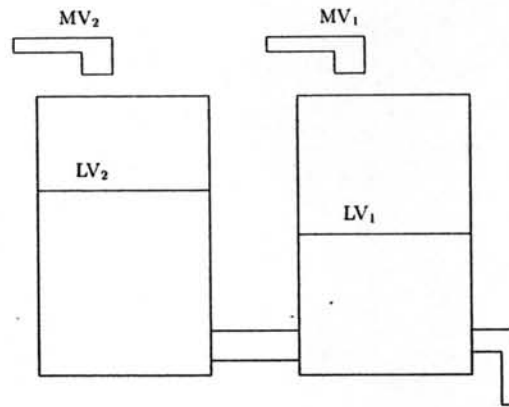
### การระบุเอกลักษณ์ของกระบวนการควบคุมระดับของเหลว

กระบวนการควบคุมระดับของเหลวที่ถูกพิจารณา ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นกระบวนการที่มีสองสัญญาณเข้า สองสัญญาณออก สามารถแสดงลักษณะทางกายภาพ และมีโครงสร้างของกระบวนการได้ดังรูปที่ 2.1, 2.2 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาให้สัญญาณควบคุมที่หนึ่งและสองคือ ตำแหน่งของการเปิด-ปิดวาล์วควบคุมตัวที่หนึ่งและสองตามลำดับ ส่วนสัญญาณด้านออกที่หนึ่งและสองคือ ระดับของเหลวในถังที่หนึ่งและสองตามลำดับ ซึ่งความสัมพันธ์ดังกล่าวมีลักษณะเป็นแบบจำลองอันดับหนึ่งที่มีการประวิงเวลา (first order plus dead time: FOPDT) ในแต่ละความสัมพันธ์ของสัญญาณด้านเข้า และสัญญาณด้านออก โดยสามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ดังสมการ

$$G(s) = \begin{bmatrix} \frac{K_{11}e^{-h_{11}s}}{\tau_{11}s + 1} & \frac{K_{12}e^{-h_{12}s}}{\tau_{12}s + 1} \\ \frac{K_{21}e^{-h_{21}s}}{\tau_{21}s + 1} & \frac{K_{22}e^{-h_{22}s}}{\tau_{22}s + 1} \end{bmatrix}$$



รูปที่ 2.1: ภายภาพของกระบวนการควบคุมระดับของเหลวของห้องปฏิบัติการวิจัยระบบควบคุม

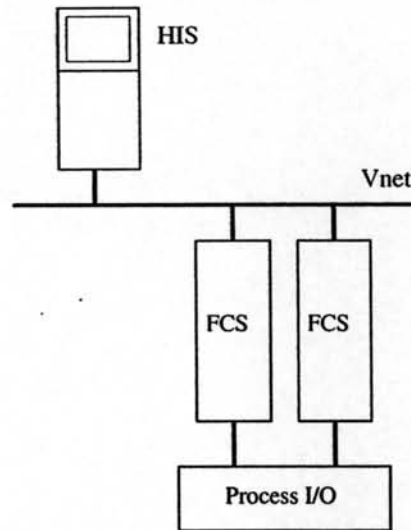


รูปที่ 2.2: โครงสร้างของกระบวนการควบคุมระดับของเหลวสองสัญญาณเข้า สองสัญญาณออก

แม้ว่ากระบวนการควบคุมระดับของเหลวเป็นระบบหลายสัญญาณด้านเข้า หลายสัญญาณด้านออก และมีความไม่เป็นเชิงเส้นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของจุดทำงาน อย่างไรก็ตาม หากพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณขนาดเล็ก (small-signal analysis) การระบุเอกลักษณ์สามารถแบ่งเป็นส่วนๆ ขึ้นอยู่กับขนาดของสัญญาณควบคุม ทำให้ได้ความสัมพันธ์เป็นแบบเชิงเส้น ดังนั้นแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างความเบี่ยงเบนจากจุดสมดุลของสัญญาณด้านเข้า ( $\delta MV$ ) และความเบี่ยงเบนจากจุดสมดุลของสัญญาณด้านออก ( $\delta LV$ ) สอดคล้องกับสมการ (2.1) [7]

$$\begin{bmatrix} \delta LV_1 \\ \delta LV_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{K_{11}e^{-h_{11}s}}{\tau_{11}s + 1} & \frac{K_{12}e^{-h_{12}s}}{\tau_{12}s + 1} \\ \frac{K_{21}e^{-h_{21}s}}{\tau_{21}s + 1} & \frac{K_{22}e^{-h_{22}s}}{\tau_{22}s + 1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta MV_2 \\ \delta MV_1 \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

เราสามารถระบุเอกลักษณ์ของกระบวนการควบคุมระดับของเหลวได้ ตามความสัมพันธ์ของแบบจำลอง ดังสมการ (2.1) โดยอาศัยการวิเคราะห์ผลตอบสนองภาวะชั่วคราว ขั้นตอนวิธีการระบุเอกลักษณ์ และผลลัพธ์ที่ได้จะนำเสนอเป็นลำดับถัดไป สำหรับการระบุเอกลักษณ์ของกระบวนการควบคุมระดับของเหลว เราได้นำระบบควบคุมแบบกระจายตัวมาช่วยในการควบคุมสัญญาณด้านเข้าให้กับกระบวนการรวมทั้งบันทึกผลตอบของสัญญาณด้านออก รูปที่ 2.3 แสดงโครงสร้างของระบบควบคุมแบบกระจายตัว ซึ่งประกอบด้วยสถานีเชื่อมต่อส่วนบุคคล (Human Interface Station: HIS) มีหน้าที่ติดต่อสื่อสารกับผู้ใช้ และสถานีควบคุมเขตข้อมูล (Field Control Station) เป็นส่วนควบคุม เชื่อมต่อกับกระบวนการได้ทั้งแบบสัญญาณเชิงแอนะล็อกและดิจิทัล โดยละเอียดกล่าวในภาคผนวก ก



รูปที่ 2.3: โครงสร้างระบบควบคุมแบบกระจายตัว

## 2.1 การวิเคราะห์ผลตอบสนองสถานะชั่วคราว

การออกแบบตัวควบคุมที่เราเลือกศึกษาในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ล้วนอาศัยแบบจำลองของกระบวนการทั้งสิ้น โดยในบทนี้กล่าวถึงการระบุเอกลักษณ์ของกระบวนการ ซึ่งอาศัยการวิเคราะห์ผลตอบสนองขั้นบันได (Step-response analysis) [8] ซึ่งเป็นวิธีไม่อิงพารามิเตอร์ (Nonparametric method) โดยก่อนการวิเคราะห์เราจำเป็นต้องเลือกจุดทำงานของกระบวนการ และปรับสัญญาณควบคุมป้อนเข้าสู่กระบวนการซึ่งรักษาสัญญาณควบคุมนั้นไว้ให้มีค่าคงที่ จนกระทั่งสัญญาณด้านออกเข้าสู่สภาวะอยู่ตัวแล้วจึงปรับสัญญาณควบคุมอื่นเป็นสัญญาณขั้นบันได จากนั้นบันทึกการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณด้านออก

เมื่อพิจารณาผลตอบสนองของสัญญาณด้านออกจากการป้อนสัญญาณด้านเข้าเป็นสัญญาณขั้นบันได ความสัมพันธ์มีรูปแบบเป็นฟังก์ชันถ่ายโอนอันดับหนึ่งรวมการประวิงเวลาดังนี้

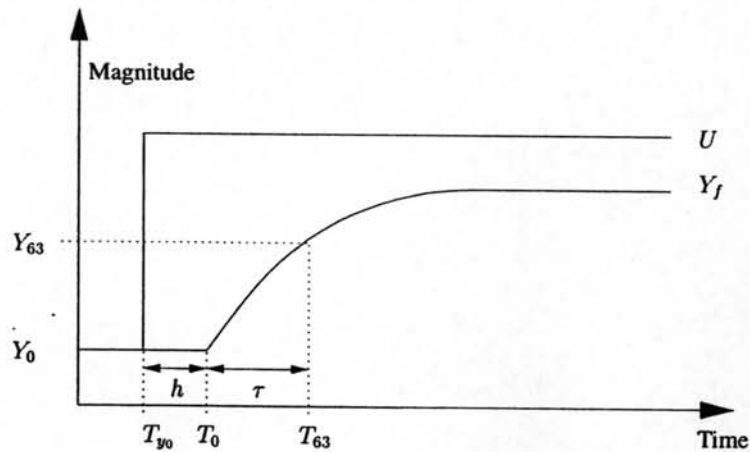
$$G(s) = \frac{Ke^{-hs}}{\tau s + 1} \quad (2.2)$$

โดยที่อัตราขยาย, การประวิงเวลา, และค่าคงตัวเวลาคำนวณได้จาก

$$K = \frac{Y_f - Y_0}{U}$$

$$h = T_0 - T_{Y_0}$$

$$\tau = T_{63} - T_0$$



รูปที่ 2.4: ผลตอบสนองขั้นบันไดของแบบจำลองอันดับหนึ่งที่มีการประวิงเวลา

ซึ่ง  $U$  คือขนาดของสัญญาณด้านเข้า  $Y_0$  และ  $Y_f$  คือขนาดของสัญญาณด้านออก ณ จุดเริ่มต้นและจุดสุดท้าย ตามลำดับ  $T_0$  เป็นเวลาที่สัญญาณด้านออกเริ่มเปลี่ยนแปลงจาก  $Y_0$  ขณะที่  $T_{63}$  เป็นเวลาที่เปลี่ยนแปลงจาก  $Y_0$  ไปเป็น  $Y_{63}$  นั่นคือ จุดที่สัญญาณด้านออกมีการเปลี่ยนแปลง 63%

สำหรับการตรวจสอบความแม่นยำของแบบจำลอง เราเปรียบเทียบระหว่าง ผลตอบสนองจริง กับผลตอบสนองที่ประมาณจากแบบจำลอง แล้วคำนวณค่าเฉลี่ยจากรากที่สองของผลรวมความผิดพลาดกำลังสองดังนี้

$$er = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (y_k - \hat{y}_k)^2} \quad (2.3)$$

โดยที่  $N$  คือจำนวนข้อมูล  $y_k$  คือผลตอบสนองจริงที่ได้จากการวัด และ  $\hat{y}_k$  คือผลตอบสนองที่ประมาณจากแบบจำลอง

## 2.2 แบบจำลองพลวัตของกระบวนการควบคุมระดับของเหลว

เนื่องจากกระบวนการควบคุมระดับของเหลวที่พิจารณาในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีสองสัญญาณเข้า สองสัญญาณออก การวิเคราะห์จึงแบ่งเป็นสองส่วนใหญ่คือ แบบจำลองที่เกิดจากการแปรผันตำแหน่งวาล์วควบคุมตัวที่หนึ่ง และแบบจำลองที่เกิดจากการแปรผันตำแหน่งวาล์วควบคุมตัวที่สอง นอกจากนี้ลักษณะของกระบวนการยังมีความไม่เชิงเส้นที่จุดทำงานต่างกัน ดังนั้นการวิเคราะห์แบบจำลองนี้จึงได้แบ่งการวิเคราะห์ที่จุดทำงานออกเป็นสามช่วง ได้แก่ จุดทำงานที่ระดับต่ำ จุดทำงานที่ระดับกลาง และจุดทำงานที่ระดับสูง จากนั้นนำสัญญาณด้านนอกที่เกิดจากการแปรผันตำแหน่งควบคุมวาล์วทั้งสองไปวิเคราะห์ผลตอบสนองชั่วคราวได้แบบจำลองดังนี้

### แบบจำลองเมื่อแปรผันตำแหน่งควบคุมวาล์วตัวที่หนึ่ง

กำหนดสัญญาณด้านเข้าป้อนให้กับวาล์วควบคุมตัวที่หนึ่งเป็นสัญญาณขั้นบันไดขนาดเท่ากับ 45% และวาล์วควบคุมตัวที่สองขนาดเท่ากับ 40% เป็นจุดทำงานที่ระดับกลาง เนื่องจากขนาดของวาล์วควบคุมจะไม่ทำให้เกิดแรงดันที่บีบมากจนเกินไป เมื่อระดับของเหลวในถังทั้งสองเริ่มคงที่ จึงแปรผันสัญญาณของวาล์วควบคุมตัวที่หนึ่งเป็นขนาดเท่ากับ 47% ในกรณีจุดทำงานที่ระดับต่ำ กำหนดให้วาล์วควบคุมตัวที่หนึ่งมีขนาดเท่ากับ 41% และแปรผันขนาดเท่ากับ 43% ขณะที่วาล์วควบคุมตัวที่สองมีขนาดเท่ากับ 36% กรณีจุดทำงานที่ระดับสูง กำหนดให้วาล์วควบคุมตัวที่หนึ่งมีขนาดเท่ากับ 47% และแปรผันขนาดเท่ากับ 49% ขณะที่วาล์วควบคุมตัวที่สองมีขนาดเท่ากับ 42% จากนั้นนำสัญญาณด้านนอกมาวิเคราะห์สภาวะชั่วคราว ได้ผลลัพธ์เป็นค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันถ่ายโอน แสดงดังตารางที่ 2.1 ค่าพารามิเตอร์ที่เป็นเวลา ได้แก่  $\tau$ ,  $h$  มีหน่วยเป็นวินาที และ  $er$  เป็นความผิดพลาดเฉลี่ย รูปที่ 2.5, 2.7 และ 2.9 แสดงผลตอบสนองจริง และผลตอบสนองที่ได้จากแบบจำลองเมื่อแปรผันสัญญาณตำแหน่งวาล์วควบคุมทั้งสามกรณีดังกล่าว จะเห็นว่า ผลตอบสนองที่ได้จากแบบจำลองมีความใกล้เคียงกับผลตอบสนองจริง

ตารางที่ 2.1: ค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองอันดับหนึ่งรวมการประวิงเวลาเมื่อแปรผันตำแหน่งควบคุมวาล์วตัวที่หนึ่ง

จุดทำงานที่พิจารณา	ระดับของเหลวในถังที่หนึ่ง ( $\delta LV_1$ )				ระดับของเหลวในถังที่สอง ( $\delta LV_2$ )			
	$K_{11}$	$\tau_{11}$	$h_{11}$	$er_{11}$	$K_{21}$	$\tau_{21}$	$h_{21}$	$er_{21}$
ระดับต่ำ	3.8	382	14	0.2458	3.9	472	6	0.1721
ระดับกลาง	3.2	452	7	0.1637	3.1	472	32	0.1887
ระดับสูง	3.2	651	7	0.5782	3.15	520	24	0.2069

ตารางที่ 2.2: ค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองอันดับหนึ่งรวมการประวิงเวลาเมื่อแปรผันตำแหน่งควบคุม วาล์วตัวที่สอง

จุดทำงานที่พิจารณา	ระดับของเหลวในถังที่หนึ่ง ( $\delta LV_1$ )				ระดับของเหลวในถังที่สอง ( $\delta LV_2$ )			
	$K_{12}$	$\tau_{12}$	$h_{12}$	$er_{12}$	$K_{22}$	$\tau_{22}$	$h_{22}$	$er_{22}$
ระดับต่ำ	5.35	433	15	0.4438	6.5	430	10	0.3251
ระดับกลาง	4.15	416	32	0.2646	4.9	443	4	0.2130
ระดับสูง	6.8	568	20	0.5299	7.6	528	6	0.2271

### แบบจำลองเมื่อแปรผันตำแหน่งควบคุมวาล์วตัวที่สอง

กำหนดสัญญาณด้านเข้าป้อนให้กับวาล์วควบคุมตัวที่หนึ่งเป็นสัญญาณขั้นบันได ขนาดเท่ากับ 45% และวาล์วควบคุมตัวที่สองขนาดเท่ากับ 40% เป็นจุดทำงานที่ระดับกลางเช่นเดียวกับกรณีแรก เมื่อระดับของเหลวในถังทั้งสองเริ่มคงที่ จึงแปรผันสัญญาณของวาล์วควบคุมตัวที่สองเป็นขนาดเท่ากับ 42% ในกรณีจุดทำงานที่ระดับต่ำ กำหนดให้วาล์วควบคุมตัวที่สองมีขนาดเท่ากับ 36% และแปรผันขนาดเท่ากับ 38% ขณะที่วาล์วควบคุมตัวที่หนึ่งมีขนาดเท่ากับ 41% ในกรณีจุดทำงานที่ระดับสูง กำหนดให้วาล์วควบคุมตัวที่สองมีขนาดเท่ากับ 42% และแปรผันขนาดเท่ากับ 44% ขณะที่วาล์วควบคุมตัวที่หนึ่งมีขนาดเท่ากับ 47% จากนั้นนำสัญญาณด้านออกมาวิเคราะห์ผลตอบสนองของสภาวะชั่วคราว ตารางที่ 2.2 แสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของฟังก์ชันถ่ายโอน รูปที่ 2.6, 2.8 และ 2.10 แสดงผลตอบสนองจริงกับผลตอบสนองที่ประมาณจากแบบจำลอง

ความสัมพันธ์ระหว่างจุดทำงานของกระบวนการ และการแปรผันตำแหน่งวาล์วควบคุมทั้งสองสามารถสรุปได้ดังตาราง 2.3

เมื่อแปรผันสัญญาณตำแหน่งวาล์วควบคุมทั้งสามกรณีดังกล่าว แบบจำลองกระบวนการสามารถแสดงเป็นเมทริกซ์ฟังก์ชันถ่ายโอนได้ดังนี้

จุดทำงานที่ระดับต่ำ

$$\begin{bmatrix} \delta LV_1 \\ \delta LV_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{3.8}{382s+1} e^{-14s} & \frac{5.35}{433s+1} e^{-15s} \\ \frac{3.9}{472s+1} e^{-6s} & \frac{6.5}{430s+1} e^{-10s} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta MV_1 \\ \delta MV_2 \end{bmatrix} \quad (2.4)$$



จุดทำงานที่ระดับกลาง

$$\begin{bmatrix} \delta LV_1 \\ \delta LV_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{3.2}{452s+1}e^{-7s} & \frac{4.15}{416s+1}e^{-32s} \\ \frac{3.1}{472s+1}e^{-32s} & \frac{4.9}{443s+1}e^{-4s} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta MV_1 \\ \delta MV_2 \end{bmatrix} \quad (2.5)$$

จุดทำงานที่ระดับสูง

$$\begin{bmatrix} \delta LV_1 \\ \delta LV_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{3.2}{651s+1}e^{-7s} & \frac{6.8}{568s+1}e^{-20s} \\ \frac{3.15}{520s+1}e^{-24s} & \frac{7.6}{528s+1}e^{-6s} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta MV_1 \\ \delta MV_2 \end{bmatrix} \quad (2.6)$$

ในส่วนของการประวิงเวลาที่เกิดขึ้น เราได้ประมาณค่าประวิงเวลาด้วยวิธีการประมาณพาด (Padé) ซึ่งเป็นวิธีประมาณโดยการจัดหมู่ของการกระจายอนุกรมกำลังของตัวเศษและของตัวส่วนเข้าด้วยกัน [9] โดยพิจารณาการประมาณพาดที่อันดับหนึ่งและอันดับสองซึ่งมีสมการความสัมพันธ์ดังนี้

$$\text{การประมาณพาดอันดับหนึ่ง : } e^{-hs} \approx \frac{1 - \frac{hs}{2}}{1 + \frac{hs}{2}}$$

$$\text{การประมาณพาดอันดับสอง : } e^{-hs} \approx \frac{1 - \frac{hs}{2} + \frac{(hs)^2}{12}}{1 + \frac{hs}{2} + \frac{(hs)^2}{12}}$$

จากหลักการข้างต้น สามารถประมาณค่าประวิงเวลาในเมทริกซ์ฟังก์ชันถ่ายโอน ด้วยการประมาณพาดอันดับหนึ่งดังนี้

$$G(s) = \begin{bmatrix} \frac{K_{11}e^{-h_{11}s}}{\tau_{11}s+1} & \frac{K_{12}e^{-h_{12}s}}{\tau_{12}s+1} \\ \frac{K_{21}e^{-h_{21}s}}{\tau_{21}s+1} & \frac{K_{22}e^{-h_{22}s}}{\tau_{22}s+1} \end{bmatrix} \approx \begin{bmatrix} \frac{K_{11}(1-h_{11}s/2)}{(\tau_{11}s+1)(1+h_{11}s/2)} & \frac{K_{12}(1-h_{12}s/2)}{(\tau_{12}s+1)(1+h_{12}s/2)} \\ \frac{K_{21}(1-h_{21}s/2)}{(\tau_{21}s+1)(1+h_{21}s/2)} & \frac{K_{22}(1-h_{22}s/2)}{(\tau_{22}s+1)(1+h_{22}s/2)} \end{bmatrix}$$

และเมทริกซ์ถ่ายโอนที่ประมาณค่าประวิงเวลาด้วยการประมาณพาดอันดับสองคือ

$$G(s) \approx \begin{bmatrix} \frac{K_{11} (1 - h_{11}s/2 + (h_{11}s)^2/12)}{(\tau_{11}s + 1) (1 + h_{11}s/2 + (h_{11}s)^2/12)} & \frac{K_{12} (1 - h_{12}s/2 + (h_{12}s)^2/12)}{(\tau_{12}s + 1) (1 + h_{12}s/2 + (h_{12}s)^2/12)} \\ \frac{K_{21} (1 - h_{21}s/2 + (h_{21}s)^2/12)}{(\tau_{21}s + 1) (1 + h_{21}s/2 + (h_{21}s)^2/12)} & \frac{K_{22} (1 - h_{22}s/2 + (h_{22}s)^2/12)}{(\tau_{22}s + 1) (1 + h_{22}s/2 + (h_{22}s)^2/12)} \end{bmatrix}$$

โดยความถูกต้องจากการประมาณจะสูงขึ้น เมื่ออันดับของการประมาณพาดมีค่าสูงขึ้น ขณะเดียวกันก็ทำให้แบบจำลองซับซ้อนมากยิ่งขึ้น เพื่อไม่ให้แบบจำลองของกระบวนการมีความซับซ้อนจนเกินไป ดังนั้นเราจึงเลือกให้การประวิงเวลาถูกประมาณค่าด้วยการประมาณพาดอันดับสอง และแบบจำลองทุกจุดทำงานสามารถแสดงได้ต่อไปนี้

จุดทำงานที่ระดับต่ำ

$$\begin{bmatrix} \delta LV_1 \\ \delta LV_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{3.8s^2 - 1.629s + 0.2327}{382s^3 + 164.7s^2 + 23.82s + 0.06122} & \frac{5.38s^2 - 2.14s + 0.2853}{433s^3 + 174.2s^2 + 23.49s + 0.05333} \\ \frac{3.9s^2 - 3.9s + 1.3}{472s^3 + 473s^2 + 158.3s + 0.333} & \frac{6.5s^2 - 3.9s + 0.78}{430s^3 + 259s^2 + 52.2s + 0.12} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta MV_1 \\ \delta MV_2 \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

จุดทำงานที่ระดับกลาง

$$\begin{bmatrix} \delta LV_1 \\ \delta LV_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{3.2s^2 - 2.743s + 0.7837}{452s^3 + 388.4s^2 + 111.6s + 0.2449} & \frac{4.15s^2 - 0.7781s + 0.04863}{416s^3 + 79s^2 + 5.063s + 0.01172} \\ \frac{3.1s^2 - 0.5813s + 0.03633}{472s^3 + 89.5s^2 + 5.719s + 0.01172} & \frac{4.9s^2 - 7.35s + 3.675}{443s^3 + 665.5s^2 + 333.8s + 0.75} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta MV_1 \\ \delta MV_2 \end{bmatrix} \quad (2.8)$$

จุดทำงานที่ระดับสูง

$$\begin{bmatrix} \delta LV_1 \\ \delta LV_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{3.2s^2 - 2.743s + 0.7837}{651s^3 + 559s^2 + 160.3s + 0.2449} & \frac{6.8s^2 - 2.04s + 0.204}{568s^3 + 171.4s^2 + 17.34s + 0.03} \\ \frac{3.15s^2 - 0.7875s + 0.06562}{520s^3 + 131s^2 + 11.08s + 0.02083} & \frac{7.6s^2 - 7.6s + 2.533}{528s^3 + 529s^2 + 177s + 0.333} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta MV_1 \\ \delta MV_2 \end{bmatrix} \quad (2.9)$$



สำหรับการสร้างเป็นโปรแกรมควบคุม แบบจำลองทั้งหมดจำเป็นต้องถูกแปลง จากระบบเวลาต่อเนื่อง (continuous-time systems) ไปยังระบบกึ่งทวิน (discrete-time systems) หรือจากโดเมน  $s$  ไปยังโดเมน  $z$  ซึ่งในการคำนวณได้เลือกการแปลงด้วยวิธีค่ากำหนดอันดับศูนย์ (zero-order-hold) [10] โดยค่าเวลาซุ่มข้อมูล (sampling time)  $T = 38$  วินาที (รายละเอียดการเลือกค่าเวลาซุ่มข้อมูลสามารถศึกษาได้จากบทที่ 3.3) สามารถแสดงแบบจำลองในรูปแบบไม่ต่อเนื่องได้ดังนี้

จุดทำงานที่ระดับต่ำ

$$\begin{bmatrix} \delta LV_1 \\ \delta LV_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{0.2313z^2 + 0.1286z}{z^3 - 0.9053z^2} & \frac{0.2766z^2 + 0.1732z - 0.0001126}{z^3 - 0.9157z^2 - 0.0002921z} \\ \frac{0.2556z^2 + 0.04603z}{z^3 - 0.9226z^2} & \frac{0.4098z^2 + 0.14z}{z^3 - 0.9154z^2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta MV_1 \\ \delta MV_2 \end{bmatrix} \quad (2.10)$$

จุดทำงานที่ระดับกลาง

$$\begin{bmatrix} \delta LV_1 \\ \delta LV_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{0.2121z^2 + 0.04592z}{z^3 - 0.9194z^2} & \frac{0.06908z^2 + 0.2857z + 0.01739}{z^3 - 0.8862z^2 - 0.02338z - 0.0007345} \\ \frac{0.04551z^2 + 0.1893z + 0.01155}{z^3 - 0.8961z^2 - 0.02365z - 0.0007425z} & \frac{0.362z^2 + 0.04079z}{z^3 - 0.9178z^2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta MV_1 \\ \delta MV_2 \end{bmatrix} \quad (2.11)$$

จุดทำงานที่ระดับสูง

$$\begin{bmatrix} \delta LV_1 \\ \delta LV_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{0.1488z^2 + 0.03263z}{z^3 - 0.9433z^2} & \frac{0.2111z^2 + 0.2313z + 0.0005676}{z^3 - 0.9287z^2 - 0.006178z} \\ \frac{0.08334z^2 + 0.1403z + 0.001923}{z^3 - 0.9136z^2 - 0.01474z} & \frac{0.4469z^2 + 0.08082z}{z^3 - 0.9306z^2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta MV_1 \\ \delta MV_2 \end{bmatrix} \quad (2.12)$$

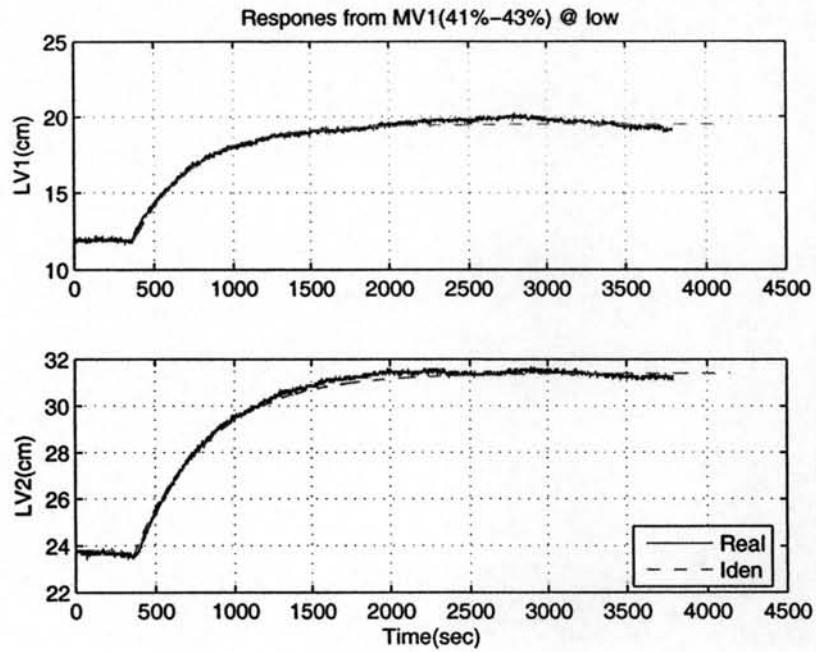
จากแบบจำลองที่ได้จากการระบุเอกลักษณ์กระบวนการจะเห็นว่า แบบจำลองมีค่าพารามิเตอร์แตกต่างกันขึ้นอยู่กับจุดทำงานหรือช่วงของสัญญาณด้านเข้า ที่เป็นเช่นนี้ เนื่องจากความไม่เป็นเชิงเส้นของกระบวนการควบคุมของเหลว ซึ่งเป็นสิ่งที่เราต้องการควบคุมและกล่าวถึงในบทถัดไป

ตารางที่ 2.3: จุดทำงานของแบบจำลองกระบวนการควบคุมระดับของเหลว

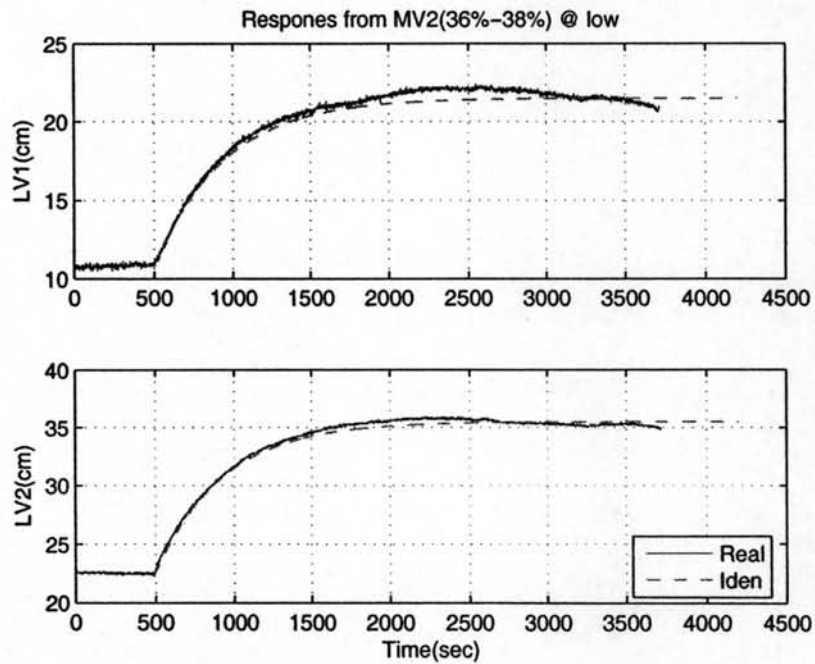
จุดทำงานที่พิจารณา	ระดับต่ำ ( $l = 1$ )	ระดับกลาง ( $l = 2$ )	ระดับสูง ( $l = 3$ )
$y_{l,1}$	12	45	62
$y_{l,2}$	23	58	80
$MV_1$	41%	45%	47%
$MV_2$	36%	40%	42%

### 2.3 สรุป

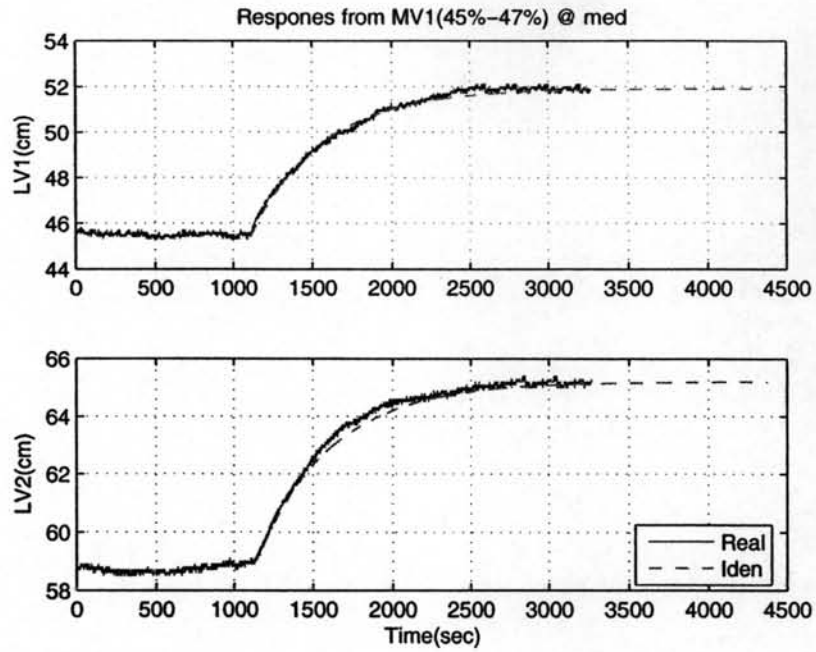
แบบจำลองของกระบวนการนับว่ามีความสำคัญอย่างมากกับการควบคุมเชิงทำนายแบบจำลอง ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เลือกจุดทำงานเพื่อใช้สำหรับหาแบบจำลองทั้งสี่สามกรณี ได้แก่ กรณีจุดทำงานที่ระดับต่ำ กรณีจุดทำงานที่ระดับกลาง และกรณีจุดทำงานที่ระดับสูง เพื่อให้ได้มาซึ่งแบบจำลองดังกล่าวเราเลือกวิธีการวิเคราะห์ผลตอบสนองสภาวะชั่วคราว ซึ่งเป็นวิธีไม่อิงพารามิเตอร์โดยแบบจำลองที่ได้มีลักษณะเป็นระบบอันดับหนึ่งรวมการประวิงเวลา และในส่วนของ การประวิงเวลาเราได้ใช้การประมาณของพาเดอันดับสอง เนื่องจากมีความใกล้เคียงกระบวนการจริง และไม่ทำให้แบบจำลองซับซ้อนจนเกินไป เนื่องจากการนำไปสร้างโปรแกรมทำให้เราพิจารณาแบบจำลองในแบบภินทนะ ซึ่งแปลงด้วยวิธีค่ากำหนดอันดับศูนย์ และค่าเวลาชักสัมพันธ์ข้อมูลเท่ากับ 38 วินาที



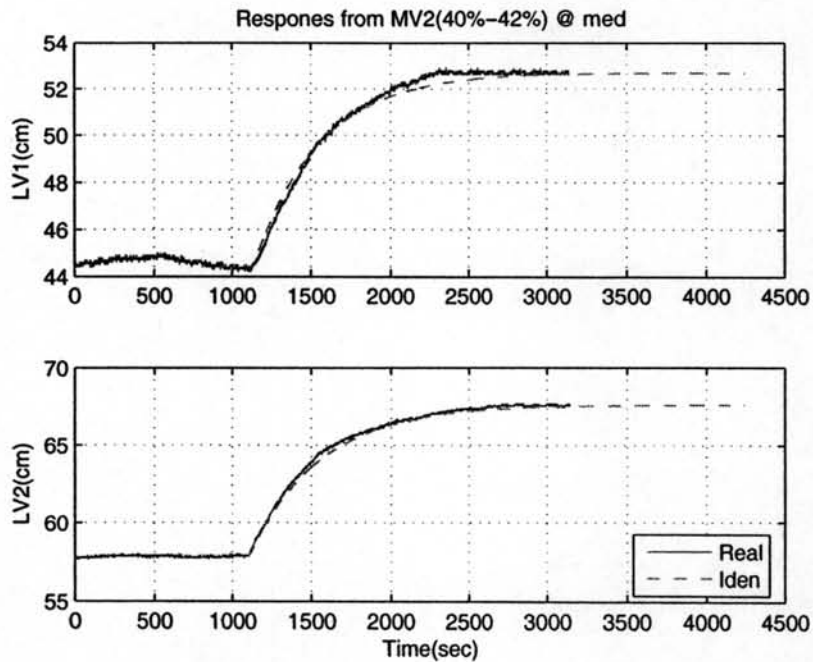
รูปที่ 2.5: เปรียบเทียบผลตอบจริง และผลตอบที่ได้จากแบบจำลองเมื่อปรับสัญญาณตำแหน่งวาล์วควบคุมตัวที่หนึ่งตามกรณี จุดทำงานที่ระดับต่ำ



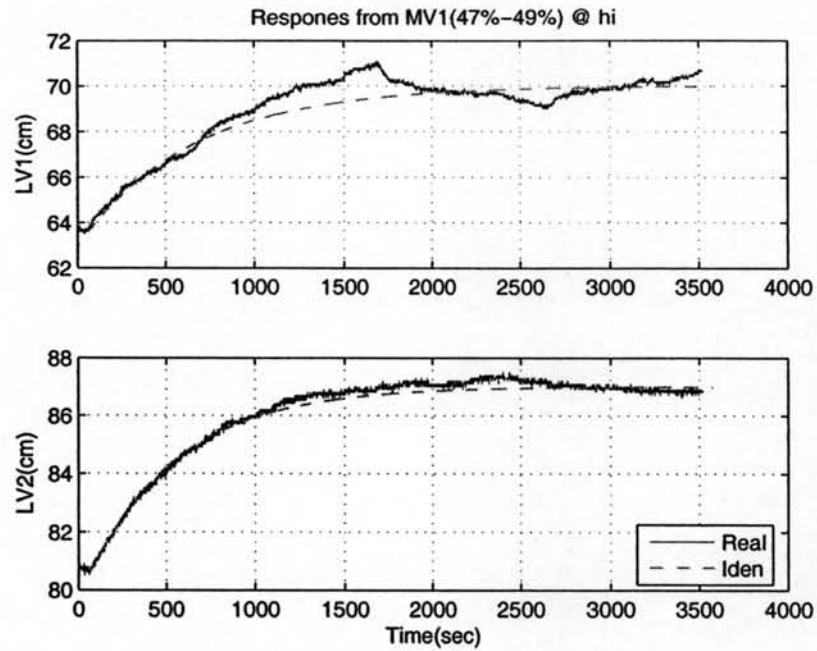
รูปที่ 2.6: เปรียบเทียบผลตอบจริง และผลตอบที่ได้จากแบบจำลองเมื่อปรับสัญญาณตำแหน่งวาล์วควบคุมตัวที่สองตามกรณี จุดทำงานที่ระดับต่ำ



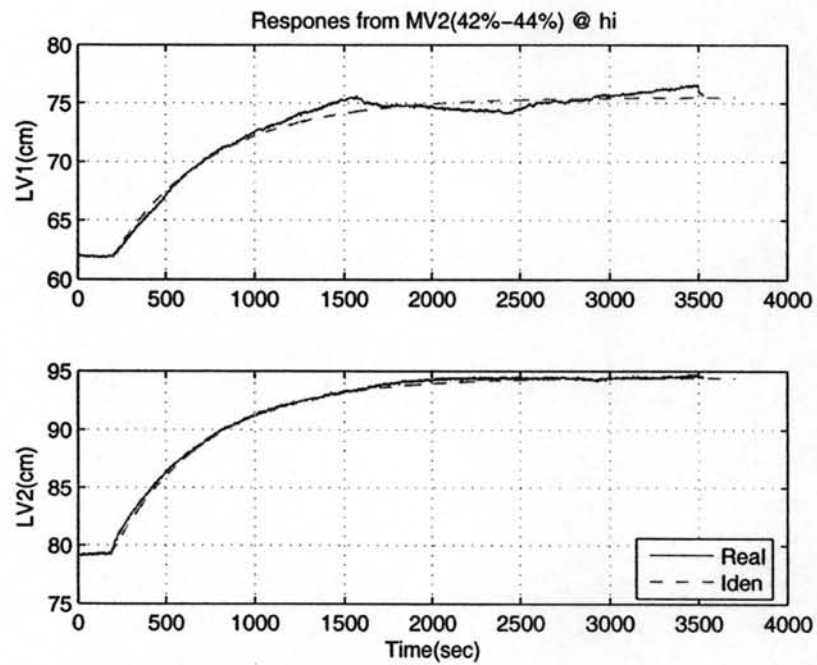
รูปที่ 2.7: เปรียบเทียบผลตอบจริง และผลตอบที่ได้จากแบบจำลองเมื่อปรับสัญญาณตำแหน่งวาล์วควบคุมตัวที่หนึ่งตามกรณี จุดทำงานที่ระดับกลาง



รูปที่ 2.8: เปรียบเทียบผลตอบจริง และผลตอบที่ได้จากแบบจำลองเมื่อปรับสัญญาณตำแหน่งวาล์วควบคุมตัวที่สองตามกรณี จุดทำงานที่ระดับกลาง



รูปที่ 2.9: เปรียบเทียบผลตอบจริง และผลตอบที่ได้จากแบบจำลองเมื่อปรับสัญญาณตำแหน่งวาล์วควบคุมตัวที่หนึ่งตามกรณี จุดทำงานที่ระดับสูง



รูปที่ 2.10: เปรียบเทียบผลตอบจริง และผลตอบที่ได้จากแบบจำลองเมื่อปรับสัญญาณตำแหน่งวาล์วควบคุมตัวที่สองตามกรณี จุดทำงานที่ระดับสูง