

การระบุอัตลักษณ์กระบวนการระดับของเหลวถังแบบปฏิสัมพันธ์เพื่อจำลอง  
ผลลัพธ์กระบวนการด้วยโปรแกรม LabVIEW  
A system identification for double tank interacting level process  
for PID controller design by LabVIEW



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A system identification for double tank interacting level process  
for PID controller design by LabVIEW



Kan Chantrapantragul  
Jassada Sangkwan  
Yanathip Phoojareon

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF ENGINEERING IN  
INSTRUMENTATION ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LARDKRABANG ACADEMIC YEAR

2020

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2563

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ใ้รับรองปริญญาานิพนธ์

.....

หัวข้อปริญญาานิพนธ์ การระบุอัตลักษณ์กระบวนการระดับของเหลวถังคู่แบบปฏิสัมพันธ์เพื่อ  
จำลองผลลัพธ์กระบวนการด้วยโปรแกรม LabVIEW  
A system identification for double tank interacting level  
process for PID controller design

นักศึกษาผู้จัดทำ นายกานต์ จันทราพันธกุล รหัสนักศึกษา 60010060  
นายเจษฎา แสงขวัญ รหัสนักศึกษา 60010167  
นายญาณาริพ ภูเจริญ รหัสนักศึกษา 60010254  
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชา วิศวกรรมวัดคุม  
ปีการศึกษา 2563

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาานิพนธ์	ลายมือชื่อ
รศ.วิริยะ กองรัตน์	
ผศ.ดร.นภศูล วงษ์วานิช	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การระบุอัตลักษณ์กระบวนการระดับของเหลวถังคู่แบบปฏิสัมพันธ์ เพื่อจำลองผลลัพธ์กระบวนการด้วยโปรแกรม LabVIEW		
นักศึกษาผู้จัดทำ	นายกานต์	จันทราพันธกุล	รหัสนักศึกษา 60010060
	นายเจษฎา	แสงขวัญ	รหัสนักศึกษา 60010167
	นายญาณธิป	ภูเจริญ	รหัสนักศึกษา 60010256
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.วิริยะ กองรัตน์ ผศ.ดร.นภศูล วงษ์วานิช		
ปีการศึกษา	2563		

### บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จัดทำขึ้นมาเพื่อนำเสนอการหาโมเดลทางคณิตศาสตร์ของระบบเพื่อระบุพารามิเตอร์หรือเอกลักษณ์ของโมเดลทางกายภาพ รวมถึงการออกแบบตัวควบคุม PID ในโมเดลจำลองเพื่อควบคุมระดับน้ำในแท่งค้ทั้งสอง การหาโมเดลทางคณิตศาสตร์หรือการทำ (System Identification) ทำโดยการเขียนโปรแกรมใน LabVIEW เพื่อรับค่าและเก็บบันทึกผลตอบสนองจากการป้อนอินพุทในระบบจริง นำข้อมูลที่บันทึกไว้มาทำการระบุเอกลักษณ์ด้วยระบบโมเดลเชิงเส้น เมื่อได้โมเดลทางคณิตศาสตร์ของระบบ สร้างโมเดลจำลองผ่านโปรแกรม LabVIEW ออกแบบ Block diagram และ Front Panel เพื่อให้ผู้ใช้สามารถเปลี่ยนแปลงอินพุท สังเกตการเปลี่ยนแปลงและบันทึกผลตอบสนองได้ เมื่อได้ระบบจำลองแล้วทำการหาค่าความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Deviation) หรือย่อว่า MAD ระหว่างค่าจริงกับค่าที่ได้จากระบบจำลองเพื่อเปรียบเทียบความแม่นยำของระบบจำลอง สุดท้ายทำการออกแบบตัวควบคุม PID ในระบบควบคุมระดับน้ำของแท่งค้ทั้งสอง โดยใช้การออกแบบโดย PID Tuner เพื่อทำให้ผลตอบสนองของ PID ต่อค่าเป้าหมายมีประสิทธิภาพและเป็นไปตามที่ต้องการให้ได้มากที่สุด รวมถึงเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์เช่น ช่วงเวลาขึ้น (Rise time) เวลาเข้าสู่สมดุล (Setting time) ค่าพุ่งเกิน (Overshoot)

<b>Thesis Title</b>	A system identification for double tank interacting level process for PID controller design by LabVIEW
<b>Authors</b>	Mr. Kan Chantrapuntakul Mr. Jassada Sangkwun Mr. Yanathip Phoojareon
<b>Thesis Advisor</b>	Advisor Assoc.Prof. Viriya Kongratana
<b>Thesis Advisor</b>	Dr. Napasool Wongvanich
<b>Year</b>	2020

## ABSTRACT

This thesis presents the System Identification of parameters or the identity of physical models. As well as design PID controller for the simulation model to control the water level in both tanks. Mathematical Model or System Identification is done by programming in LabVIEW to obtain and record the response from the input in the Physical model. After that we start design simulation models through LabVIEW program. Design block diagram and front panel to allow users to change inputs, observe the changes and record the response of system. Then, we calculate Mean Absolute Deviation or MAD between real value and simulated value to show how accurate the simulation system is. Finally, The PID controller will be designed for the water level system of both tanks using PID Tuner. To make the PID's response to the target value as efficient and as desired as possible. Finally, compare the response of the simulation and the real system to improve the response, and also parameters such as rise time, setting time and overshoot

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานี้สำเร็จลุล่วงด้วยดีด้วยความกรุณาจาก รศ.วิริยะ กองรัตน์ และ ผศ.ดร.นภศุล วงษ์วานิช ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ที่คอยช่วยเหลือและให้คำแนะนำในการแก้ไขปัญหา และให้ความรู้ ประสบการณ์ตลอดระยะเวลาการดำเนินงานโครงการ โดยทางคณะผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในความ อนุเคราะห์ และขอกราบพระคุณอย่างสูง

ขอกราบพระคุณคณาจารย์จากสาขาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบัน เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาและอำนวยความสะดวก สถานที่ทำให้แก่ทางคณะผู้จัดทำ

ขอขอบคุณเพื่อนๆ และรุ่นพี่ในสาขาภาควิชาวัดคุม ที่คอยให้คำแนะนำ และเป็นกำลังใจ คอย สนับสนุนตลอดระยะเวลาการดำเนินงานโครงการ ซึ่งทำให้ปริญญานี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

โดยสุดท้ายทางคณะผู้จัดทำขอขอบคุณผู้แต่งและผู้เขียนทั้งผ่านทาง เว็บไซต์ หนังสือ และ แหล่งข้อมูลต่างๆที่เป็นแหล่งสำหรับการสืบค้น ค้นคว้าข้อมูล ทำให้ปริญญานี้สำเร็จลุล่วงไป ด้วยดี ทางคณะผู้จัดทำรู้สึกขอบคุณอย่างสุดซึ้ง

คณะผู้จัดทำ

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	i
ABSTRACT .....	ii
กิตติกรรมประกาศ.....	iii
สารบัญ .....	iv
สารบัญรูป.....	ix
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา .....	2
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	2
1.4 ขอบเขตการวิจัย .....	2
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ.....	2
1.6 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ระบบควบคุม.....	4
2.1.1 ระบบควบคุมแบบเปิด (Open Loop Control System).....	4
2.1.2 ระบบควบคุมแบบปิด (Close Loop Control System).....	5
2.2 การระบุเอกลักษณ์ของระบบ.....	5
2.3 วิธีกำลังสองน้อยสุด หรือ Least Square Method .....	6
2.4 ตัวควบคุม (Controller) .....	7
2.4.1 ตัวควบคุมแบบสัดส่วน .....	9
2.4.2 ตัวควบคุมแบบปริพันธ์.....	10
2.4.3 ตัวควบคุมแบบอนุพันธ์.....	11

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.4 ตัวควบคุมแบบ PID.....	12
2.5 อุปกรณ์หลัก.....	12
2.5.1 Current to Pneumatic Converter .....	12
2.5.2 วาล์วควบคุมหรือ Control Valve.....	12
2.5.3 Electromagnetic Flow Meter.....	14
<b>บทที่ 3 หลักการออกแบบและวิธีดำเนินการ.....</b>	<b>16</b>
3.1 การออกแบบระบบทางกายภาพ.....	16
3.2 การออกแบบทางด้านซอฟต์แวร์ .....	18
3.2.1 Block Diagram .....	18
3.2.2 Front Panel .....	20
3.3 การระบุเอกลักษณ์ของระบบด้วยวิธีปริพันธ์ .....	20
3.3.1 บันทึกค่า $h_1$ , $h_2$ , $q_i$ และ % valve โดยบันทึกด้วยโปรแกรม Excel.....	21
3.3.2 พิจารณาโมเดลทางกายภาพและตั้งสมการกายภาพของ Plant .....	22
3.3.3 ทำปริพันธ์ของสมการทั้งสองข้างค์ และแทนค่าตัวแปร.....	23
3.3.4 หาค่าพารามิเตอร์ $a$ และ $b$ โดยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด.....	25
3.3.5 แสดงผลลัพธ์ของการแก้สมการ และโมเดลคณิตศาสตร์ของ plant .....	26
3.4 การหาฟังก์ชันส่งผ่าน (transfer function) ของระบบ.....	29
3.5 การออกแบบระบบจำลองด้วยโปรแกรม LabVIEW.....	30
3.5.1 ฟังก์ชันส่งผ่านของตัวกระตุ้นทำงาน (Transfer function of actuator) .....	30
3.5.2 ฟังก์ชันส่งผ่านของแพล้น (Transfer function of plant).....	30
3.5.3 ตัวควบคุมของระบบ (Controller).....	31
3.5.4 ส่วนแสดงผลของระบบ (Front panel).....	31

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.6 การออกแบบตัวควบคุม PID .....	32
<b>บทที่ 4 ผลการทดลอง .....</b>	<b>36</b>
4.1 ผลลัพธ์จากการระบุเอกลักษณ์ของระบบ (System Identification) .....	36
4.2 โปรแกรมแบบจำลองโดยโปรแกรม LabVIEW .....	39
4.2.1 ฟังก์ชันส่งผ่าน (Transfer Function).....	39
4.2.2 ระบบจำลอง (Simulation System).....	39
4.2.2.1 Block Diagram.....	39
4.2.2.2 Front Panel .....	42
4.2.3 การเปรียบเทียบผลตอบสนองของระบบจำลองควบคุมกับระบบจริง.....	43
4.3 ผลลัพธ์จากการใช้ตัวควบคุมแบบ PID (PID controller).....	45
4.3.1 PID controller.....	45
4.3.2 PID parameter.....	46
4.3.2.1 Proportional gain (Kp).....	46
4.3.2.2 Integral gain (Ki).....	47
4.3.2.3 Derivative gain (Kd) .....	49
<b>บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ .....</b>	<b>50</b>
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	50
5.1.1 การหาโมเดลทางคณิตศาสตร์ของระบบ .....	50
5.1.2 การสร้างระบบจำลองจากโมเดลทางคณิตศาสตร์.....	50
5.1.3 การออกแบบตัวควบคุม .....	51
5.2 ข้อเสนอแนะ .....	51

บรรณานุกรม.....	52
ภาคผนวก ก.....	54
1. โปรแกรมการระบุเอกลักษณ์ของระบบ .....	54
2. โปรแกรมออกแบบตัวควบคุม PID.....	56
ภาคผนวก ข.....	57



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการระบุเอกลักษณ์ของระบบสำหรับโมเดลเชิงเส้น.....36 โดยเปิดวาล์วควบคุมที่ 70%	
4.2 ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยที่ได้จากการคำนวณความคลาดเคลื่อนใน.....45 ทั้งสองแท่งค์เทียบกับระบบจริง โดยเปิดวาล์วควบคุมที่ 70%	
4.3 เปรียบเทียบระหว่างระบบที่ยังไม่ได้ใส่ตัว controller.....46 กับระบบที่ได้ทำการใส่ตัว controller	



# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 Block Diagram ของ ระบบควบคุมแบบเปิด (Open Loop Control System).....	4
2.2 Block Diagram ของ ระบบควบคุมแบบปิด (Close Loop Control System).....	5
2.3 Model.....	5
2.4 ผลรวมกำลังสองของผลต่าง.....	6
2.5 แผนภาพบล็อกของการควบคุมแบบพีไอดี.....	8
2.6 ตัวอย่างผลตอบสนองเมื่อมีการปรับค่า Kp.....	9
2.7 ตัวอย่างผลตอบสนองเมื่อมีการปรับค่า Ki.....	10
2.8 ตัวอย่างผลตอบสนองเมื่อมีการปรับค่า Kd.....	11
2.9 Current to Pneumatic Converter.....	12
2.10 แสดงองค์ประกอบของ Actuator.....	14
2.11 การทำงานของ Electromagnetic Flow Meter.....	15
2.12 กฎของฟาราเดย์.....	15
3.1 แสดงระบบทางกายภาพ.....	16
3.2 แสดงภาพรวมทั้งหมดของ Project.....	17
3.3 DAQ (Data Acquisition).....	18
3.4 แสดงโปรแกรมในส่วนของการป้อน Input.....	19
3.5 แสดงโปรแกรมในส่วนของการบันทึกค่าและแสดงค่า.....	19
3.6 แสดงหน้าต่าง Front Panel.....	20
3.7 โปรแกรมบันทึกค่า.....	21
3.8 การเก็บข้อมูลใน Excel.....	22
3.9 โมเดลทางกายภาพ.....	22
3.10 แสดงค่าจริงกับโมเดลที่ทำการระบุเอกลักษณ์ของระบบ..... สำหรับโมเดลเชิงเส้นของแท่งค้ำที่ 2	27
3.11 การกำหนดเวลาที่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงของข้อมูล.....	28
3.12 ข้อมูลของช่วงเวลาและระดับความสูงในแท่งค้ำที่ 2 ที่ใช้ในการหาค่าเฉลี่ย.....	28
3.13 ฟังก์ชัน Control & Simulation ในโปรแกรม LabVIEW.....	31
3.14 แผนภาพบล็อก (Block Diagram) ของระบบควบคุมแบบปิด.....	31
3.15 แสดงคำสั่งการกำหนดตัวแปร s.....	32
3.16 แสดงคำสั่งกำหนดสมการ transfer function.....	32

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.17 แสดงคำสั่งสำหรับป้อน Input.....	33
3.18 แสดงผลตอบสนองของระบบหลังทำการป้อน step input.....	33
3.19 แสดงขั้นตอนในการ Import สมการ Transfer function.....	33
3.20 แสดงขั้นตอนในการ Import สมการของระบบ.....	34
3.21 ภาพแสดงขั้นตอนในการชนิดของตัวควบคุม.....	34
3.22 ค่า gain ของ PID.....	35
3.23 ภาพแสดงค่า parameter ต่างๆ.....	35
4.1 แสดงค่าจริงกับโมเดลที่ทำการระบุเอกลักษณ์ของระบบสำหรับ โมเดลเชิงเส้นของแท่งค้ำที่ 1 ในการเปิดวาล์วควบคุมที่ 70%	37
4.2 แสดงค่าจริงกับโมเดลที่ทำการระบุเอกลักษณ์ของระบบ..... สำหรับโมเดลเชิงเส้นของแท่งค้ำที่ 2 ในการเปิดวาล์วควบคุมที่ 70%	38
4.3 โมเดลเชิงเส้นของแท่งค้ำที่ 2 ในการเปิดวาล์วควบคุมที่ 70%..... โดยใช้ Piecewise Function	38
4.4 Block Diagram.....	40
4.5 สัญญาณขาเข้า (Input).....	40
4.6 แผนภาพบล็อกของฟังก์ชันส่งผ่านทั้ง 2 แท่งค้ำ.....	41
4.7 ฟังก์ชันสำหรับแสดงระดับน้ำและกราฟในทั้ง 2 แท่งค้ำ.....	41
4.8 คำสั่งบันทึกค่าผลตอบสนอง.....	42
4.9 Front Panel.....	42
4.10 Front Panel.....	43
4.11 แท่งค้ำน้ำจำลอง.....	43
4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $h_1(\%)$ กับ $T(s)$ ระหว่างระบบจริงกับระบบจำลอง.....	44
4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $h_2(\%)$ กับ $T(s)$ ระหว่างระบบจริงกับระบบจำลอง.....	44
4.14 กราฟเปรียบเทียบ 2 ระบบระหว่าง ระหว่างระบบที่ยังไม่ได้ใส่ตัว controller..... กับระบบที่ได้ทำการใส่ตัว controller	46
4.15 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของระบบเมื่อทำการเพิ่มค่า $K_p$ .....	47
4.16 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของระบบเมื่อทำการลดค่า $K_p$ .....	47
4.17 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของระบบเมื่อทำการเพิ่มค่า $K_i$ .....	48
4.18 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของระบบเมื่อทำการลดค่า $K_i$ .....	48

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.19 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของระบบเมื่อทำการเพิ่มค่า $K_d$ .....	49
4.20 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของระบบเมื่อทำการลดค่า $K_d$ .....	49



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันกระบวนการผลิตแบบอัตโนมัติในอุตสาหกรรมขนาดใหญ่เป็นกระบวนการที่ซับซ้อน จึงต้องมีการออกแบบการควบคุมที่มีประสิทธิภาพเหมาะสมกับระบบ โดยตัวควบคุมชนิดหนึ่งที่นิยมใช้คือตัวควบคุม PID (Proportional Integral Derivative Control) ซึ่งเป็นระบบควบคุมที่มีการป้อนกลับ โดยมีค่าสัดส่วนที่สำคัญกับกระบวนการควบคุม P, I และ D แต่ก่อนหน้าการออกแบบตัวควบคุมสิ่งสำคัญคือการหาเอกลักษณ์หรือโมเดลคณิตศาสตร์ของระบบจากการทำ System identification ซึ่งได้มาจากการหาค่า Output ของระบบจากการป้อนค่า Input หลากๆ โดยใช้ DAQ card (Data acquisition card) ซึ่งเป็นตัวรับส่งข้อมูลจากภายนอกซึ่งมีซอฟต์แวร์ที่สามารถใช้ได้กับโปรแกรมอย่าง LabVIEW โดยโปรแกรม LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) เป็นโปรแกรมที่มีการแสดงผลเป็นกราฟฟิค โดยใช้เครื่องมือวัดเสมือนหรือ Virtual Instrument ในการควบคุมหรือแสดงผลการทำงาน โปรแกรม LabVIEW มีข้อดีที่สามารถใช้งานได้ง่าย สะดวก และประหยัดเวลาในการทำงาน การหาเอกลักษณ์ของระบบด้วยวิธีปริพันธ์ (Integral) จากงานวิจัยของ Hann และคณะ (2008) เพื่อระบุโมเดลของระบบ กลูโคส-อินซูลิน และ Hann และคณะ (2010) ได้ผลลัพธ์เป็นโมเดลทางคณิตศาสตร์ที่มีความใกล้เคียงกับโมเดลจริง จึงได้นำวิธีดังกล่าวมาใช้

เอกลักษณ์ของระบบจากการทำการทำ System identification มีความสำคัญอย่างมากเพราะเป็นตัวบ่งบอกถึงพฤติกรรมของระบบโดยแสดงถึงความสัมพันธ์ของ Input และ Output ซึ่งโมเดลคณิตศาสตร์ที่ดีจะทำให้ผลตอบสนองต่างๆ ทั้งค่าเปอร์เซ็นต์พุ่งเกิน (Overshoot) เวลาเข้าสู่สมดุล (Settling Time) และช่วงเวลาขาขึ้น (Rise Time) จากการออกแบบระบบควบคุมให้มีความถูกต้องและแม่นยำตามความต้องการของระบบมากที่สุด ในการออกแบบระบบควบคุม มีความสำคัญอย่างมากที่จะมีการจำลองการทำงานก่อนแล้วนำไปเปรียบเทียบกับระบบจริง เพื่อช่วยลดความผิดพลาดและยังง่ายต่อการแก้ไขอีกด้วย

ในโครงการนี้ได้ทำการออกแบบโมเดลคณิตศาสตร์ด้วยการทำ System Identification ด้วยวิธีปริพันธ์ (Integral) ด้วยโมเดลแบบเชิงเส้น โดยทำการคำนวณผ่านโปรแกรม MATLAB และสร้างระบบจำลองภายในโปรแกรม LabVIEW เพื่อออกแบบตัวควบคุม PID และนำไปช่วยในการออกแบบ PID ในระบบจริง รวมถึงเปรียบเทียบค่าให้มีความใกล้เคียงกันอีกด้วย

## 1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อหาโมเดลทางกายภาพ (Physical model) ให้เหมาะสมกับระบบ
2. เพื่อหาโมเดลทางคณิตศาสตร์ด้วยการระบุเอกลักษณ์ของระบบด้วยวิธีปริพันธ์จากการหาค่าพารามิเตอร์ของโมเดลกายภาพ
3. เพื่อออกแบบตัวควบคุมพีไอดีให้เหมาะสมกับโมเดลทางคณิตศาสตร์ของระบบ

## 1.3 สมมติฐานของการศึกษา

1. การหาโมเดลทางคณิตศาสตร์ด้วยวิธีปริพันธ์ สามารถระบุค่าพารามิเตอร์ของระบบทางกายภาพได้อย่างถูกต้องและเหมาะสม
2. ตัวควบคุมแบบ PID ที่ออกแบบในระบบจำลองจากโมเดลคณิตศาสตร์ สามารถควบคุมกระบวนการให้เป็นไปตามเงื่อนไขที่ต้องการได้อย่างเหมาะสม
3. ระบบทางกายภาพและระบบจำลองที่ผ่านการออกแบบตัวควบคุม PID แล้ว มีผลตอบสนองที่ใกล้เคียงกันและยอมรับได้

## 1.4 ขอบเขตการวิจัย

1. ศึกษาการควบคุมระบบการไหลและระดับในแท้งค์
2. ศึกษาในระบบจำลองใน LabVIEW
3. ศึกษาโมเดลคณิตศาสตร์ผ่านการทำ System identification ในโปรแกรม MATLAB
4. ออกแบบตัวควบคุม PID จากโมเดลคณิตศาสตร์
5. เปรียบเทียบผลตอบสนองของระบบจำลองกับระบบจริง

## 1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ

1. เข้าใจการทำงานของระบบควบคุมการไหลและระดับ
2. ทำให้เข้าใจหลักการหาโมเดลคณิตศาสตร์หรือการทำ System identification ผ่านโปรแกรม MATLAB
3. สามารถหาโมเดลคณิตศาสตร์ของระบบได้
4. สามารถออกแบบระบบจำลองจากโมเดลคณิตศาสตร์ในโปรแกรม LabVIEW
5. สามารถออกแบบตัวควบคุม PID ในระบบจำลองผ่านโปรแกรม LabVIEW

## 1.6 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 5 บทด้วยกันต่อไปนี้

- บทที่ 1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา สมมติฐานของการศึกษา ขอบเขตการวิจัย ประโยชน์ที่ได้รับ และ รายละเอียดของวิทยานิพนธ์
- บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- บทที่ 3 หลักการออกแบบและวิธีดำเนินการ
- บทที่ 4 ผลการทดลอง
- บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทนี้จะกล่าวถึงหลักการของระบบควบคุม ประเภทของระบบควบคุมประกอบด้วย ระบบควบคุมแบบเปิด, ระบบควบคุมแบบปิด การระบุเอกลักษณ์ของระบบ ซึ่งใช้วิธี กำลังสองน้อยสุด และหลักการของตัวควบคุมและชนิดของตัวควบคุม

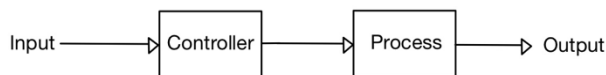
### 2.1 ระบบควบคุม

ระบบควบคุม (Control System) (วิภพ, 2559) หมายถึง ระบบที่ให้ผลตอบสนองหรือผลตอบรับที่เมื่อมีการป้อนค่าอินพุตเข้าไป โดยต้องผ่านกระบวนการควบคุมจากผู้ควบคุมเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่มีความแม่นยำ ตรงกับความต้องการ โดยคำศัพท์ที่เกี่ยวข้องกับระบบควบคุมมีดังนี้

- 1) **อินพุต (Input)** หมายถึง สัญญาณที่ป้อนให้แก่ระบบควบคุม เพื่อให้ได้ผลตอบสนองสามารถแสดงได้ในหลายรูปแบบเช่น สัญญาณไฟฟ้า
  - 2) **ระบบ (System)** หมายถึง กระบวนการต่างๆ ประกอบไปด้วยเครื่องมือและเครื่องจักร ซึ่งทำงานสอดคล้องและสัมพันธ์กันได้โดยผ่านการควบคุม จึงเรียกว่า “ระบบควบคุม”
  - 3) **ระบบควบคุมวงเปิด (Open-Loop Control)** หมายถึง ระบบที่ซึ่งสัญญาณเอาต์พุตไม่มีผลกระทบ หรือไม่ได้ถูกเอามาใช้งานเป็นสัญญาณป้อนกลับ (Feedback Signal) ในระบบควบคุม
  - 4) **ระบบควบคุมวงปิด (Closed-Loop Control)** หมายถึง ระบบที่ซึ่งสัญญาณเอาต์พุตมีผลกระทบ และถูกเอามาใช้งานเป็นสัญญาณป้อนกลับ (Feedback Signal) ในระบบควบคุม
  - 5) **เอาต์พุต (Output)** หมายถึง ผลตอบสนองที่อยู่ในรูปต่างๆ เช่น ผลตอบสนองทางกล (Mechanical Response) หรือผลตอบสนองทางไฟฟ้า (Electrical response) ที่เกิดขึ้นจากการป้อนอินพุตให้แก่ระบบที่ถูกควบคุม
  - 6) **ดิสเทอบลานซ์ (Disturbance)** เป็นสิ่งที่มักเจอในระบบควบคุมซึ่งหมายถึง อินพุตที่ไม่ต้องการ ซึ่งมีผลกระทบต่อระบบ ส่งผลให้ผลตอบสนองของระบบเปลี่ยนแปลงไปเช่น สัญญาณรบกวน (Noise Signal)
- ระบบควบคุมแบ่งออกเป็น 2 ประเภทได้แก่

#### 2.1.1 ระบบควบคุมแบบเปิด (Open Loop Control System)

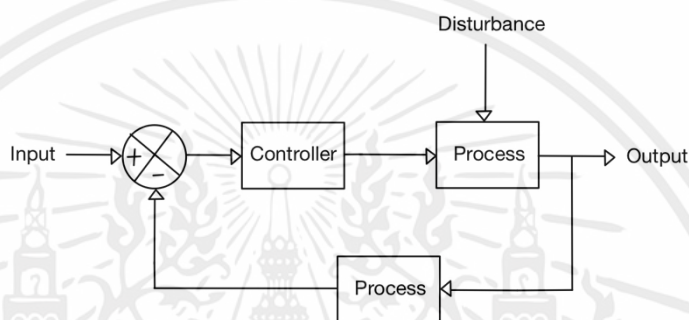
คือระบบที่ได้รับอินพุต ผ่านตัวควบคุม (Controller) ซึ่งควบคุมกระบวนการ (Process) และมีผลตอบสนองหรือเอาต์พุตจากกระบวนการออกมา โดยเอาต์พุตไม่ได้ถูกเอามาใช้งานเป็นสัญญาณป้อนกลับ (Feedback Signal) ในระบบควบคุม ซึ่งแสดงไว้เป็นแผนภาพในภาพที่ 2.1



รูปที่ 2.1 Block Diagram ของ ระบบควบคุมแบบเปิด (Open Loop Control System)

### 2.1.2 ระบบควบคุมแบบปิด (Close Loop Control System)

คือระบบที่ได้รับอินพุตผ่านตัวควบคุม (Controller) ซึ่งควบคุมกระบวนการ (Process) และมีผลตอบสนองหรือเอาต์พุตจากกระบวนการออกมา โดยเอาต์พุตจะถูกเอามาใช้งาน

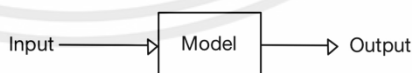


เป็นสัญญาณป้อนกลับ (Feedback Signal) ในระบบควบคุม ซึ่งแสดงไว้ในภาพที่ 2.1

รูปที่ 2.2 Block Diagram ของ ระบบควบคุมแบบปิด (Close Loop Control System)

## 2.2 การระบุเอกลักษณ์ของระบบ

เอกลักษณ์ของระบบ คือสมการโมเดลทางคณิตศาสตร์ (Math Model) ซึ่งแสดงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตที่ป้อนให้ในตัวระบบงาน (Plant) กับผลตอบสนองหรือเอาต์พุตที่เกิดขึ้น ซึ่งในการที่จะควบคุมระบบให้มีผลตอบสนองเป็นไปตามข้อกำหนดที่ต้องการนั้น เราควรจะต้องทำการระบุเอกลักษณ์ของระบบให้ได้ตรงกับระบบจริงที่สุด โดยโมเดลดังกล่าวสามารถจำแนกได้ 3 รูปแบบตามข้อมูลที่ทราบของระบบจริง



รูปที่ 2.3 Model

1) **White Box Modelling** : แสดงถึงรูปแบบระบบที่ทราบโครงสร้างของระบบอย่างสมบูรณ์ โดยเป็นโมเดลทางคณิตศาสตร์ที่ออกแบบมาจากข้อมูลของระบบจริงเป็นส่วนใหญ่

2) **Grey Box Modelling** : แสดงถึงรูปแบบระบบที่ทราบข้อมูลจริงเกี่ยวกับระบบเพียงบางส่วน โดยรูปแบบโมเดลคณิตศาสตร์ที่ได้จะเป็นการใช้ข้อมูลและพารามิเตอร์จริงที่ได้จากระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

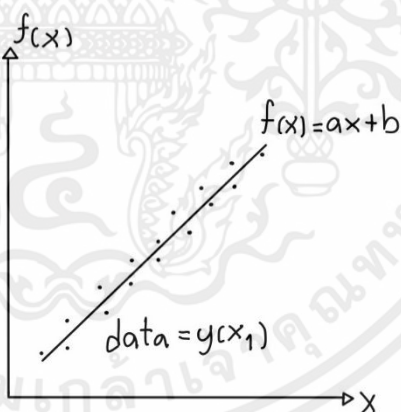
รวมกับการใช้ข้อมูลอ้างอิงจากทฤษฎีบางส่วนในการระบุ โดยพารามิเตอร์ที่ไม่ทราบอาจหาข้อมูลได้จากประสบการณ์ ความชำนาญ การทดลอง และการปรับค่า (Tuning data)

3) **Black Box Modelling** : แสดงถึงรูปแบบที่ไม่ทราบความรู้เกี่ยวกับโครงสร้างภายในของระบบ ไม่สามารถหาข้อมูลทางทฤษฎีมารองรับได้ โดยโมเดลคณิตศาสตร์ที่ได้จะเกิดจากการคาดเดาความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นของระบบระหว่างอินพุตกับเอาต์พุต

โดยส่วนมากแล้ว ระบบในความเป็นจริงจะเป็นระบบรูปแบบที่ไม่ทราบข้อมูลพารามิเตอร์ทั้งหมดหรือไม่ทราบข้อมูลบางส่วน ได้แก่ Black box model และ Grey box model ทำให้ยากต่อการระบุเอกลักษณ์ที่ถูกต้องและมีความแม่นยำอย่างแท้จริง เช่นอุปกรณ์ที่ไม่มีเอกสารข้อมูล หรือเครื่องจักรที่ใช้เป็นเวลานาน ทำให้ค่าพารามิเตอร์ไม่คงที่

## 2.3 วิธีกำลังสองน้อยสุด หรือ Least Square Method

จากงานของ ศิริลักษณ์ (2535) วิธีดังกล่าวเป็นหนึ่งในการวิเคราะห์ความถดถอยที่ได้รับความนิยมอย่างมาก โดยเป็นการคำนวณหาค่าตัวแปร  $a$  และ  $b$  จากการหาค่าผลรวมกำลังสองของผลต่างของข้อมูลกับตัวแปรตาม และนำมาสร้างเส้นที่เหมาะสมที่สุด (Line of Best Fit) เพื่อระบุค่าตัวแปรตามที่เป็นตัวแทนของข้อมูลที่เก็บมา ซึ่งครอบคลุมข้อมูลที่เก็บมาได้มากที่สุด เส้นแนวโน้มที่ได้จากวิธีกำลังสองน้อยสุดแสดงดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ผลรวมกำลังสองของผลต่าง

ผลรวมกำลังสองของผลต่างระหว่างค่าแนวโน้มกับข้อมูลที่เก็บมาเขียนได้ดังนี้

$$E = \sum_{i=1}^n (y(x_i) - (ax_i + b))^2 = 0 \quad (2.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หาอนุพันธ์บางส่วน (Partial Derivative) ของ  $a$  และ  $b$  เพื่อหาค่าตัวแปรทั้งสอง จะได้

$$\frac{\partial E}{\partial a} = 2 \sum_{i=1}^n (y(x_i) - (ax_i + b)) * (-x_i) = 0 \quad (2.2)$$

$$\frac{\partial E}{\partial b} = 2 \sum_{i=1}^n (y(x_i) - (ax_i + b)) * (-1) = 0 \quad (2.3)$$

เมื่อหารสมการที่ 2.2 ด้วย  $x_i$  จะได้ผลลัพธ์เป็นสมการเดียวกันกับสมการที่ 2.3 ซึ่งค่า  $a$  และ  $b$  สามารถหาได้จากผลรวมของสมการที่ 2.3 ซึ่งได้

$$\begin{aligned} y(x_1) + y(x_2) + \dots + y(x_n) \\ = (ax_1 + b) + (ax_2 + b) + \dots + (ax_n + b) \end{aligned} \quad (2.4)$$

เขียนสมการที่ 4 เป็น สมการเมทริกซ์ Overdetermined System ดังนี้

$$AX = B \quad (2.5)$$

$$\begin{bmatrix} x_1 & 1 \\ x_2 & 1 \\ \vdots & \vdots \\ x_n & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y(x_1) \\ y(x_2) \\ \vdots \\ y(x_n) \end{bmatrix} \quad (2.6)$$

จากสมการที่ 2.5 หาเวกเตอร์  $X$  โดยทำการหาเมทริกซ์สลับเปลี่ยน (Transpose) จะได้ดังนี้

$$A^T AX = A^T B \quad (2.7)$$

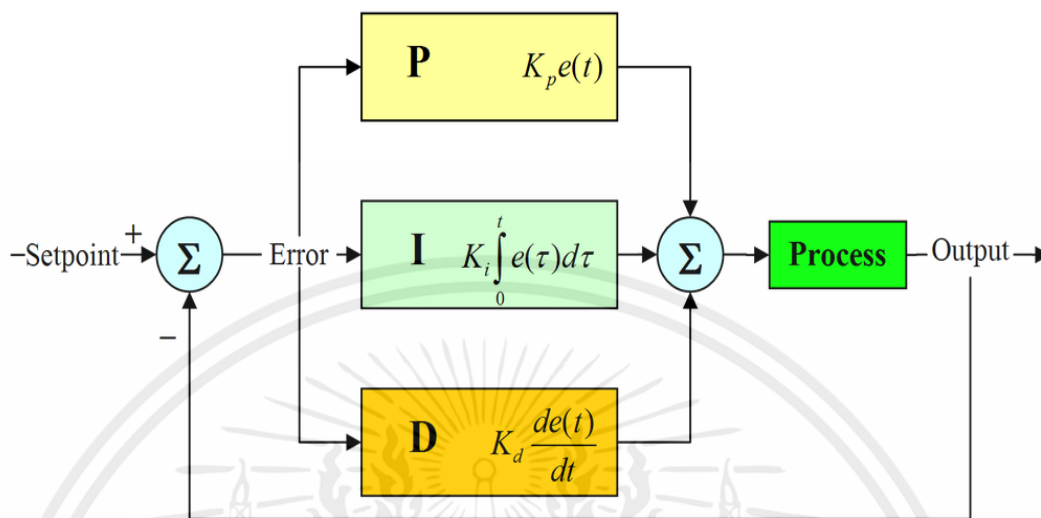
$$X = (A^T A)^{-1} A^T B \quad (2.8)$$

ซึ่งเวกเตอร์  $X$  คือการคำนวณด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดในกาหาค่า  $a$  และ  $b$

## 2.4 ตัวควบคุม (Controller)

ระบบควบคุมแบบสัดส่วน-ปริพันธ์-อนุพันธ์ (PID controller) (Lipták, 1995) คือระบบควบคุมที่ใช้ผลตอบสนอง หรือเอาต์พุตเป็นสัญญาณป้อนกลับ (Feedback Signal) ตัวควบคุมจะเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณค่าความผิดพลาด  $e(t)$  (Error Value) ของความแตกต่างระหว่างค่าที่ต้องการควบคุม (Setpoint) และค่าที่วัดได้จากกระบวนการ (Process Variable) โดยตัวควบคุมจะพยายามลดค่าความผิดพลาดโดยอ้างอิงจากพารามิเตอร์ P I และ D ทั้งสามตัว



รูปที่ 2.5 แผนภาพบล็อกของการควบคุมแบบพีไอดี

การหาค่า PID ขึ้นอยู่กับค่าตัวแปรทั้ง 3 ได้แก่ ค่าอนุพันธ์ ค่าปริพันธ์ และค่าสัดส่วน ซึ่งถูกกำหนดจากผลความผิดพลาดในปัจจุบัน โดยที่ค่าปริพันธ์จะขึ้นอยู่กับผลรวมของความผิดพลาดเมื่อเวลาผ่านไป และค่าอนุพันธ์ซึ่งขึ้นอยู่กับผลบนพื้นฐานอัตราการเปลี่ยนแปลงของความผิดพลาด ซึ่งทั้งสามค่านี้จะมีผลร่วมกันในการปรับกระบวนการให้คงที่

โดยการปรับค่าคงที่ PID จะส่งผลให้สามารถปรับตัวควบคุมเพื่อที่จะให้ผลตอบสนองของการควบคุมมีความเหมาะสมและตรงกับความต้องการได้ ซึ่งผลการตอบสนองตัวควบคุมจะแสดงผลออกมาเป็น การไหวของตัวควบคุม ค่าความผิดพลาด ค่าแกว่งของระบบ (Oscillation) และค่าโอเวอร์ชูด (Overshoot) แต่การใช้ PID นั้น ก็ไม่ใช่วิธีที่ถูกรับรองว่าเป็นระบบที่เหมาะสมที่สุด หรือการทำให้ระบบมีความสมดุลหรือเสถียรแน่นอน

ซึ่งการใช้งานในบางครั้งอาจจะใช้เพียงหนึ่งถึงสองรูปแบบ ซึ่งทั้งหมดจะขึ้นอยู่กับลักษณะของกระบวนการ ในบางครั้งพีไอดีจะถูกเรียกว่า PD, PI, P หรือค่า I แล้วแต่ลักษณะรูปแบบของการใช้งาน การควบคุมแบบ PID เป็นการรวมกันของค่าพารามิเตอร์ทั้งสาม ซึ่งอยู่ในรูปแบบสมการดังนี้

$$MV(t) = P_{out} + I_{out} + D_{out} \quad (2.9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ  $P_{out}$ ,  $I_{out}$  และ  $D_{out}$  เป็นผลของสัญญาณขาออกจากระบบควบคุม PID ซึ่งสามารถนิยามแต่ละเทอมตามรายละเอียดด้านล่าง

#### 2.4.1 ตัวควบคุมแบบสัดส่วน

เทอมของสัดส่วนซึ่งเรียกว่าอัตราขยายนั้น จะถูกเปลี่ยนแปลงเป็นค่าสัดส่วนของความผิดพลาด โดยการนำค่าความผิดพลาดมาคูณกับเทอมของค่าคงที่  $K_p$  ซึ่งก็คือ ค่าการตอบสนองของสัดส่วน หรือเรียกว่า อัตราขยายสัดส่วน เทอมของสัดส่วนจะเป็นไปตามสมการ

$$P_{out} = K_p e(t) \quad (2.10)$$

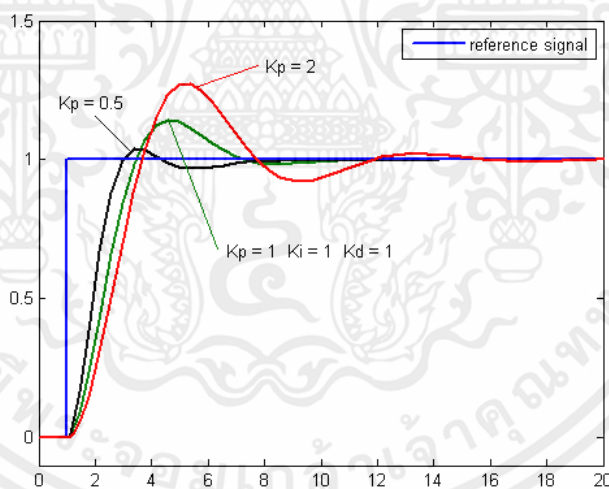
เมื่อ

$P_{out}$  คือ สัญญาณขาออกของเทอมสัดส่วน

$K_p$  คือ อัตราขยายสัดส่วน, ตัวแปรปรับค่าได้

$e$  คือ ค่าความผิดพลาด =  $SP - PV$

$t$  คือ เวลา



รูปที่ 2.6 ตัวอย่างผลตอบสนองเมื่อมีการปรับค่า  $K_p$

การที่ค่าของอัตราขยายสูงขึ้นจะทำให้ค่าความผิดพลาดเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งการใช้ค่าที่สูงเกินไปจะส่งผลให้ระบบเกิดความไม่เสถียร โดยในทางกลับกัน การที่ค่าอัตราขยายต่ำจะมีผลให้ระบบควบคุมจะมีการตอบสนองที่ต่ำลงไปด้วย

### 2.4.2 ตัวควบคุมแบบปริพันธ์

เทอมของปริพันธ์ อาจเรียกว่าค่า reset เป็นสัดส่วนระหว่างขนาดและเวลาของความผิดพลาด โดยค่าผลรวมของความผิดพลาดจากระยะเวลาทั้งหมด หรือปริพันธ์ของความผิดพลาด จะให้ค่าออฟเซตสะสมที่ควรจะเป็นก่อนหน้าที่ความผิดพลาดจะถูกคูณกับเทอมของอัตราขยายปริพันธ์ ซึ่งผลของเทอมปริพันธ์ จะแปรผันตรงหรือมีค่าขึ้นอยู่กับอัตราขยายปริพันธ์  $K_i$  โดยเทอมดังกล่าวจะเป็นไปตามสมการต่อไปนี้

$$I_{out} = K_i \int_0^t e(\tau) d\tau \quad (2.11)$$

เมื่อ

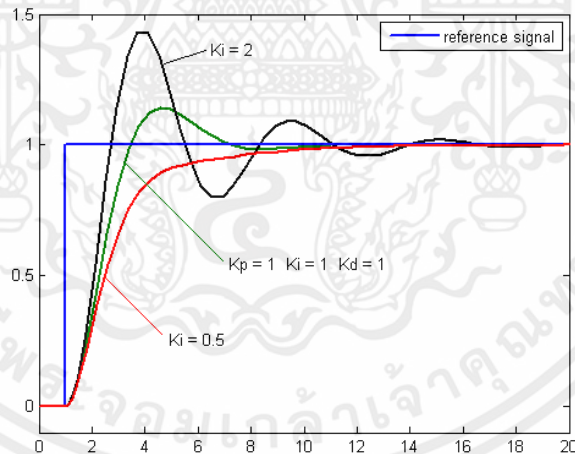
$I_{out}$  คือ สัญญาณขาออกของเทอมปริพันธ์

$K_i$  คือ อัตราขยายปริพันธ์, ตัวแปรปรับค่าได้

$e$  คือ ค่าความผิดพลาด =  $SP - PV$

$t$  คือ เวลา

$\tau$  คือ ตัวแปรปริพันธ์หุ่น



รูปที่ 2.7 ตัวอย่างผลตอบสนองเมื่อมีการปรับค่า  $K_i$

เทอมปริพันธ์เมื่อรวมเข้ากับเทอมสัดส่วน จะทำให้กระบวนการเข้าใกล้จุดที่ต้องการได้เร็วขึ้นและทำการขจัดค่าความผิดพลาดที่มีอยู่ซึ่งเกิดขึ้นโดยใช้แค่เพียงเทอมสัดส่วน โดยที่เทอมปริพันธ์นั้นจะเป็นการตอบสนองค่าความผิดพลาดสะสมในช่วงเวลาที่ผ่านมา ซึ่งทำให้เกิดค่าพุ่งเกินได้ (Overshoot)

### 2.4.3 ตัวควบคุมแบบอนุพันธ์

เมื่อกระบวนการมีการเปลี่ยนแปลงของค่าความผิดพลาด ค่านั้นสามารถคำนวณได้โดยตรงจากค่าความชันของค่าความผิดพลาดในทุกๆ ช่วง (เป็นอนุพันธ์อันดับหนึ่งกับเวลา) และทำการคูณด้วยอัตราขยายอนุพันธ์  $K_d$  ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ในเทอมของอนุพันธ์หรืออัตรา ชันอยู่กับค่าอัตราขยายอนุพันธ์  $K_d$  ตามสมการต่อไปนี้

$$D_{out} = K_d \frac{d}{dt} e(t) \quad (2.12)$$

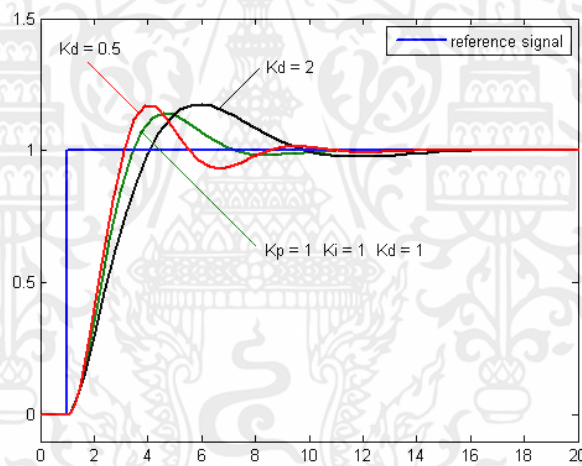
เมื่อ

$D_{out}$  คือ สัญญาณขาออกของเทอมสัดส่วน

$K_d$  คือ อัตราขยายสัดส่วน, ตัวแปรปรับค่าได้

$e$  คือ ค่าความผิดพลาด =  $SP - PV$

$t$  คือ เวลา



รูปที่ 2.8 ตัวอย่างผลตอบสนองเมื่อมีการปรับค่า  $K_d$

เทอมอนุพันธ์จะทำให้อัตราการเปลี่ยนแปลงสัญญาณขาออกชะลอตัวลง และทำให้ระบบที่กำลังควบคุมเริ่มเข้าใกล้จุดสมดุลที่ต้องการ เนื่องจากเทอมอนุพันธ์มีส่วนช่วยในการลดค่าพุ่งเกิน (Overshoot) จากเทอมปริพันธ์ มีผลให้ระบบควบคุมมีเสถียรภาพมากขึ้น แต่จะทำให้อนุพันธ์ของสัญญาณรบกวนซึ่งถูกขยายมีความไวต่อการรบกวนในเทอมความผิดพลาดมาก ส่งผลให้กระบวนการในระบบมีความไม่เสถียรเมื่อสัญญาณที่มารบกวน และอัตราขยายอนุพันธ์มีขนาดใหญ่พอ

#### 2.4.4 ตัวควบคุมแบบ PID

Ang และคณะ (2005) กล่าวไว้ว่า เทอมสัดส่วน, ปริพันธ์, และอนุพันธ์ จะนำมารวมกันเป็นสัญญาณขาออกของการควบคุมแบบ PID กำหนดให้  $u(t)$  เป็นสัญญาณขาออก สมการสุดท้ายของวิธี PID คือ

$$u(t) = MV(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{d}{dt} e(t) \quad (2.13)$$

## 2.5 อุปกรณ์หลัก

### 2.5.1 Current to Pneumatic Converter



รูปที่ 2.9 Current to Pneumatic Converter

เป็นอุปกรณ์ที่มีหน้าที่ในการแปลงค่าสัญญาณอนาล็อกหรือสัญญาณ 4-20 mA ให้เป็นสัญญาณนิวเมตริก 3-15 psig ซึ่งค่าของกระแสไฟฟ้าและความดันจะมีความสัมพันธ์กันไปในทางเชิงเส้น โดยอุปกรณ์ดังกล่าวจะใช้เพื่อรับสัญญาณอนาล็อกจากระบบไฟฟ้าแล้วจึงแปลงไปควบคุมวาล์วควบคุม ซึ่งใช้สัญญาณความดัน ลักษณะของCurrent to Pneumatic Converter แสดงอยู่ในรูปที่ 2.9

### 2.5.2 วาล์วควบคุมหรือ Control Valve

อุปกรณ์วาล์วควบคุม (สำนักงานกลางซึ่งตวงวัด, 2560) หรือ Control valve เป็นอุปกรณ์ชนิดหนึ่งที่ต้องการขับเคลื่อนจากภายนอกเพื่อที่จะควบคุมหรือปรับเปลี่ยนอัตราไหลของระบบการควบคุม วาล์วจะมีส่วนประกอบหลักๆได้แก่ ตัวของวาล์ว อีกส่วนคืออุปกรณ์ที่ใช้ในการเชื่อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก้านลิ้นของวาล์วกับส่วนที่เป็นกลไกกระตุ้น (Actuator Mechanism) ซึ่งตำแหน่งของชิ้นส่วนที่ใช้ในการควบคุมการไหล (flow controller element) สามารถเปลี่ยนแปลงได้ โดยชิ้นส่วนจะอยู่ภายในตัววาล์วหรือลิ้นวาล์ว ตามสัญญาณที่ได้รับมาจากตัวระบบควบคุม (controlling system) ซึ่งยังไม่รวม Hand valve, Relief valve และ Regulator ซึ่งส่วนประกอบจะแบ่งออกมาเป็น 3 ส่วนหลักๆ ดังนี้

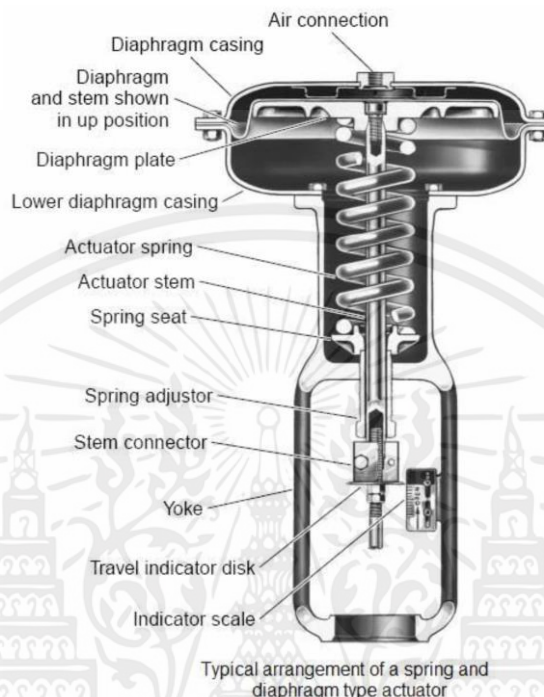
1) วาล์ว (Valve) ในส่วนประกอบนี้จะทำงานในการควบคุมอัตราไหล ซึ่งจะมีส่วนประกอบเป็น ตัวเรือนวาล์ว (valve body) หรือชุดรองรับของไหล (Fluid retaining assembly) ซึ่งจะมี ช่องทางการไหล (Port) ระหว่าง ลิ้นวาล์ว (Flow control element หรือ moveable closure member) กับส่วนที่เป็น Seat ซึ่งการทำงานจะมีสามระดับคือ ปิดช่องทางการไหล ปิดบางส่วน (restricts) และเปิดเต็มที่ (บางแหล่งข้อมูลเรียกรวมลิ้นวาล์วกับส่วน Seat ว่า “Trim”) ช่องทางการไหลของตัววาล์วนั้นอาจจะมีมากกว่า 1 ช่องทาง ซึ่งองค์ประกอบโดยรวมพื้นฐานคล้ายคลึงกับวาล์วที่เป็น manual valve หรือ วาล์วมือหมุน (Hand valves) ซึ่งการทำงานจะไม่สามารถที่จะควบคุมตัวมันเองได้ ต้องอาศัยคนในการทำงาน

2) Actuator คือ ส่วนที่ถูกขับเคลื่อนด้วยพลังงานไฟฟ้าหรือพลังงาน ไฮดรอลิก จากนั้นทำหน้าที่แปลงพลังงานดังกล่าวให้อยู่ในรูปของงาน/แรงเชิงกลไปขับเคลื่อนชิ้นส่วนที่ต้องการให้เคลื่อนที่ในที่นี้ก็คือ Flow Control Element หรือลิ้นวาล์ว ในบางครั้งเราอาจเรียก “Actuator” ว่า “หัวขับเคลื่อนวาล์ว” ในส่วนของ Actuator เป็น Pneumatic Actuator ใช้พลังงานจากภายนอกด้วยแรงดันอากาศ โดยทั่วไปกำหนดระบบสร้างความดันอากาศเพื่อส่งไปยัง Actuator

ซึ่งจะใช้ Pneumatic Actuator ในรูปแบบ Diaphragm Actuator ทำหน้าที่แปลงสัญญาณความดันอากาศ จาก controller หรือตัวควบคุม ให้ไปเป็นการยกตัวของก้านลิ้นวาล์วในระยะต่างๆ หรือควบคุมการเคลื่อนที่ลิ้นวาล์ว ซึ่งจะใช้ความดันอากาศซึ่งมาจากแหล่งกำเนิดภายนอกให้มาอัดกับตัว Diaphragm หรือเรียกว่า Air Bladder ที่เชื่อมติดกับตัวก้านลิ้นวาล์วให้สามารถเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่เรากำหนดได้ โดยจะต้องติดตั้งสปริงซึ่งทำหน้าที่ในการสร้างแรงต้านเพื่อสวนทางกับแรงที่กระทำในตัวของ Diaphragm ซึ่งทำหน้าที่ในการหน่วงการเคลื่อนที่ของ Diaphragm หรือทำงานเสมือน Damper อีกหน้าที่คือการดัน Diaphragm ที่กำลังต่อกับตัวก้านลิ้นวาล์วให้สามารถเคลื่อนที่กลับไปยังจุดเดิม เมื่อความดันจากภายนอกมีความผิดพลาดและไม่สามารถส่งค่าของความดันอากาศไปยังวาล์วได้

Control valve ที่ใช้งานนั้นเป็นแบบ Direct-Acting ทำงานเมื่อมีความดันอากาศที่เกิดมาจากภายนอกอัดเข้ามาใน Actuator และกระทำต่อ Diaphragm ที่เชื่อมอยู่กับตัวก้านลิ้นวาล์ว ส่งผลให้ก้านลิ้นวาล์วเคลื่อนตัวไปยังตำแหน่งที่เป็นการเปิด และเมื่อความดันที่ส่งมาจากภายนอกมีค่าลดลง สปริงจะทำหน้าที่ในการต้านแรงและดึงตัวกลับไปยังจุดตำแหน่งเดิม หรือจุดสมดุลของแรงที่กำลังกระทำต่อ Diaphragm และเมื่อแหล่งกำเนิดที่กำลังส่งจ่ายความดันภายนอกทำงานขัดข้องหรือไม่มีความดันอากาศส่งไปยัง Actuator สปริงซึ่งติดอยู่กับ Diaphragm ซึ่งทำหน้าที่ต้านแรง จะทำ

การดัน Diaphragm ซึ่งอยู่ติดกับก้านลิ้นวาล์ว ให้ทำการเคลื่อนที่กลับไปยังตำแหน่งสมดุลหรือตำแหน่งเริ่มต้น นั่นก็คือการปิดวาล์ว ดังนั้นสปริงจึงไม่จำเป็นต้องมีค่า  $k$  ที่สูงมากนัก ซึ่งแสดงให้เห็นในรูปดังกล่าวรูปที่ 2.10

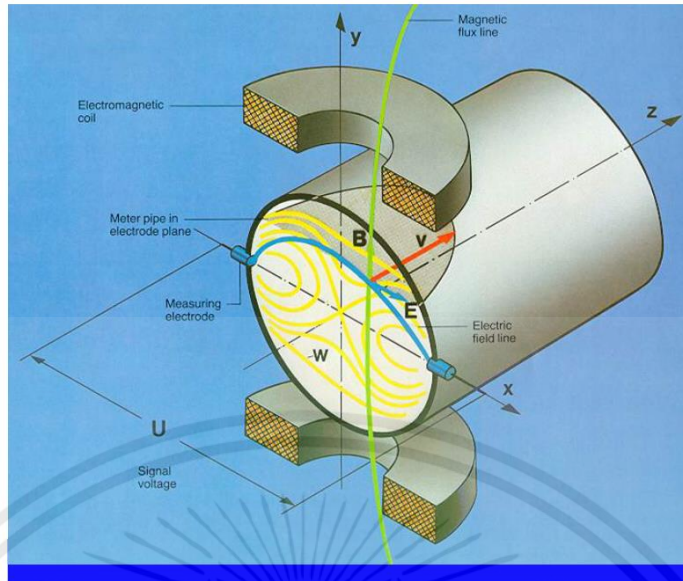


รูปที่ 2.10 แสดงองค์ประกอบของ Actuator

**3) Motion conversion mechanism** เป็นกลไกที่ในการเชื่อมระหว่าง Actuator กับวาล์ว ซึ่งมีหน้าที่ในการเปลี่ยนการเคลื่อนที่เชิงเส้น (Linear Motion) ให้กลายเป็นการเคลื่อนที่เชิงมุม (Rotary Motion) ซึ่งก็คือการแปลงจากการเคลื่อนที่ที่เป็นเชิงเส้นของ Actuator เปลี่ยนให้เป็นการหมุนของลิ้นวาล์ว (Rotary Valve Operation) โดยในทางตรงกันข้ามก็สามารถทำการเปลี่ยนแปลงจากการเคลื่อนที่เชิงมุมของ Actuator ให้ไปเป็นการเคลื่อนที่เชิงเส้นของลิ้นวาล์ว (Linear Valve Operation)

### 2.5.3 Electromagnetic Flow Meter

Aballtechino (2020) อธิบายไว้ว่า Electromagnetic Flow Meter เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดค่าอัตราการไหล ซึ่งอุปกรณ์ชนิดนี้จะไม่มีการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนที่ใช้ในการวัด แต่จะเป็นการใช้หลักการการทำงานของแม่เหล็กไฟฟ้าตามกฎของฟาราเดย์ โดยอาศัยหลักของการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า



รูปที่ 2.11 การทำงานของ Electromagnetic Flow Meter

การทำงานของ flow meter ชนิด Electromagnetic ใช้กฎของฟาราเดย์ ซึ่งอาศัยการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า แสดงไว้ในภาพที่ 2.12 ซึ่งทิศทางของสนามแม่เหล็กจะออกมาในแนวตั้งฉากกับการไหลของของไหล และทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเมื่อของไหลทำการวิ่งผ่านสนามแม่เหล็กไฟฟ้า โดยสามารถอธิบายหลักการทำงานได้ด้วยกฎมือขวา ซึ่งแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นมา จะตัดผ่านสนามแม่เหล็กไฟฟ้า และสามารถหาค่าต่างๆ รวมถึงอัตราการไหลได้ดังสมการดังกล่าว

$$U = BDvK \tag{2.14}$$

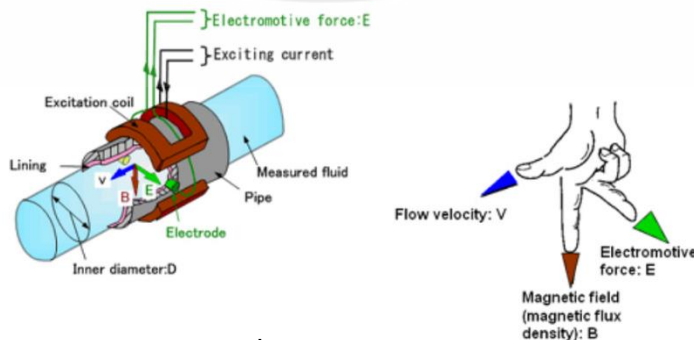
U = แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ได้

B = ค่าสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำ

D = พื้นที่หน้าตัด

v = ความเร็วเฉลี่ยของเหลว

Q = ค่า flowrate



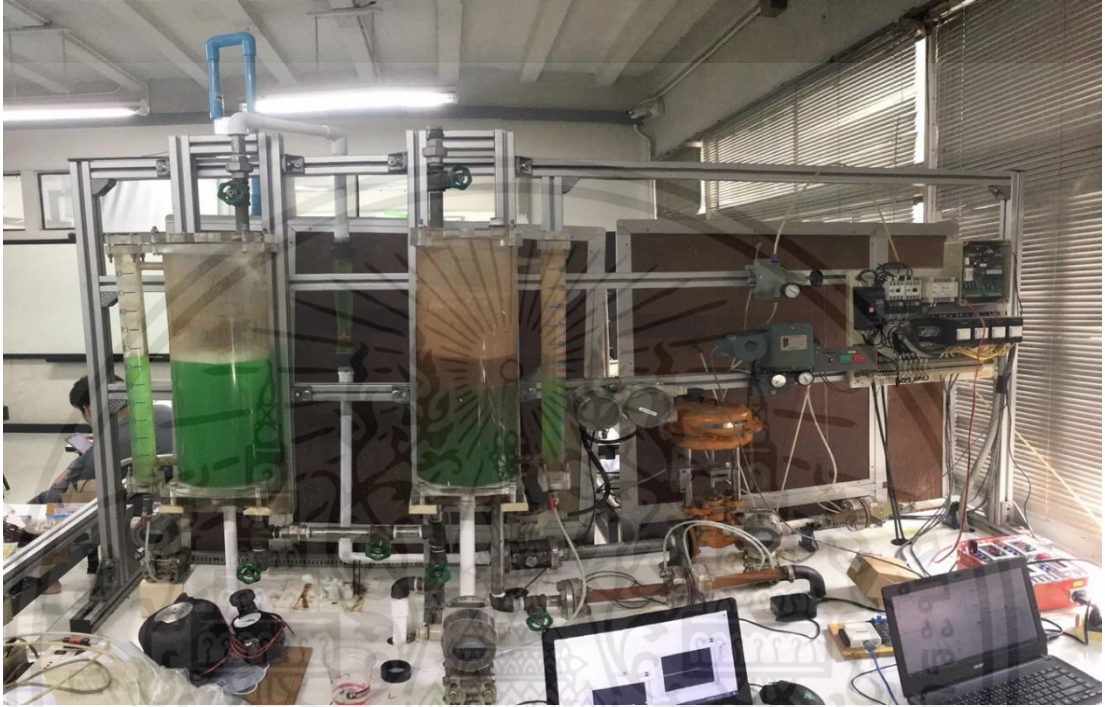
รูปที่ 2.12 กฎของฟาราเดย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

# หลักการออกแบบและวิธีดำเนินการ

### 3.1 การออกแบบระบบทางกายภาพ



รูปที่ 3.1 แสดงระบบทางกายภาพ

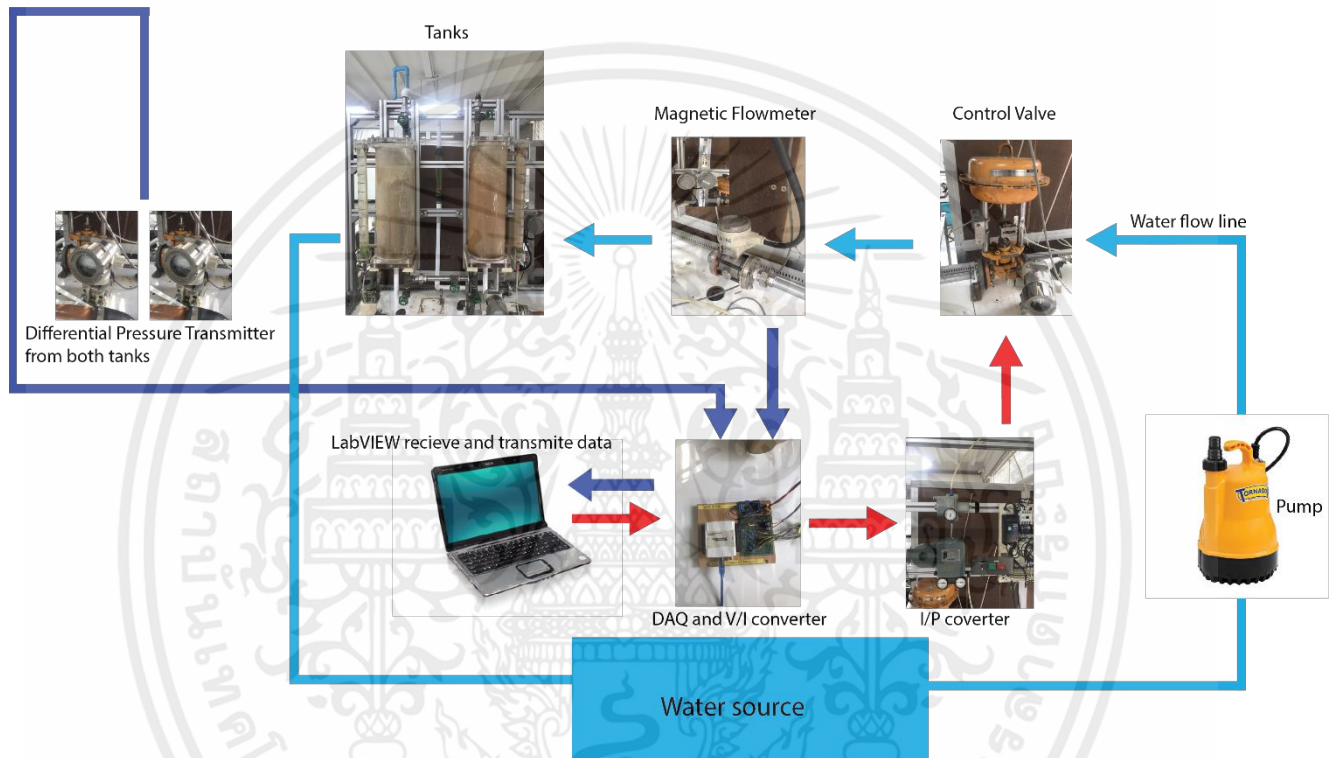
จากรูปเป็นระบบควบคุมระดับน้ำในแท้งค์ทั้งสองแบบปฏิสัมพันธ์กัน น้ำผ่านคอนโทรลวาล์วทางแท้งค์ที่หนึ่งแล้วจึงไหลผ่านวาล์วมือเข้าแท้งค์สองแล้วไหลออกโดยจากรูป สามารถแบ่งอุปกรณ์ออกเป็นสองส่วนดังนี้ ชุดอุปกรณ์การวัดซึ่งได้แก่ อุปกรณ์วัดระดับและอัตราการไหล อีกส่วนคือชุดอุปกรณ์การควบคุม

1. อุปกรณ์วัดระดับ
  - Differential Pressure Transmitter หน่วย psi X 2
  - Level scale X 2 หน่วย % PV
2. อุปกรณ์วัดอัตราการไหล
  - Magnetic Flowmeter
  - Rotameter หน่วย V/h
3. อุปกรณ์การควบคุม
  - Control Valve
  - Ni USB 6009 DAQ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Current to pneumatic Converter
- Voltage to Current Converter

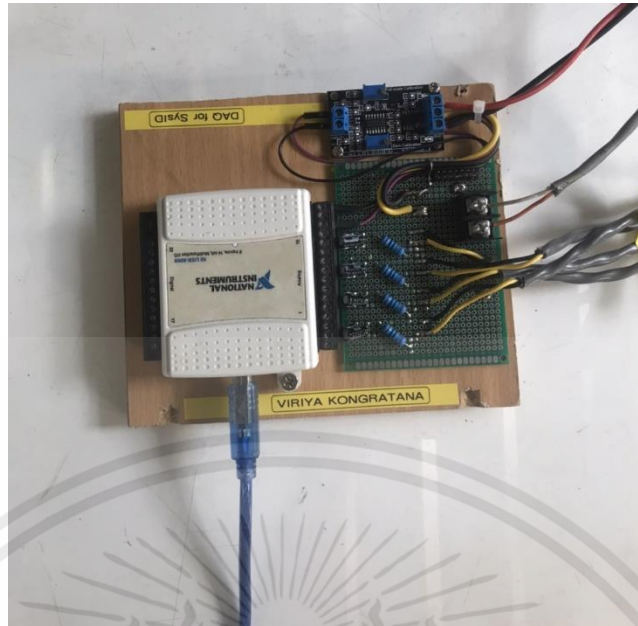
การเก็บข้อมูลจะเก็บข้อมูลทั้งหมดสามส่วนได้แก่ ระดับน้ำในแท่งค์ทั้งสอง โดยใช้ Differential Pressure Transmitter สองตัวในแต่ละแท่งค์ อัตราการไหลของน้ำขาเข้าแท่งค์ โดยใช้ Magnetic Flowmeter ซึ่งอยู่ถัดจาก Control Valve และสุดท้ายบันทึกเปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์วในแต่ละครั้ง ภาพด้านล่างแสดงอุปกรณ์ในกระบวนการวัดและควบคุมของระบบ



รูป 3.2 แสดงภาพรวมทั้งหมดของ Project

การสื่อสารระหว่างอุปกรณ์เพื่อสั่งควบคุมและรับข้อมูลจาก Transmitter สื่อสารผ่านโดยใช้ DAQ (Data acquisition) เป็นตัวกลางหรือ OPC server โปรแกรมที่ใช้คือโปรแกรม LabVIEW โดยเมื่อสั่งเปิด Control Valve ผ่านโปรแกรมหดงกล่าว ตัว DAQ จะสร้างสัญญาณแรงดัน 0-5 V โดยผ่าน Voltage to Current Converter เพื่อแปลงสัญญาณแรงดันให้เป็นกระแสไฟฟ้า 4-20 mA สัญญาณดังกล่าวจึงผ่าน Current to pneumatic Converter เป็นสัญญาณลม 0.2 – 1 bar หรือประมาณ 3 – 15 psi เพื่อเปิด Control Valve การอ่านค่าจาก Transmitter รับผ่านช่อง Input ของ DAQ แล้วจึงมาแสดงค่าและกราฟการเปลี่ยนแปลงในโปรแกรม LabVIEW โดยค่าจะถูกบันทึกในรูปของไฟล์ .CSV ในโปรแกรม Microsoft Excel แสดงวงจรถัดดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



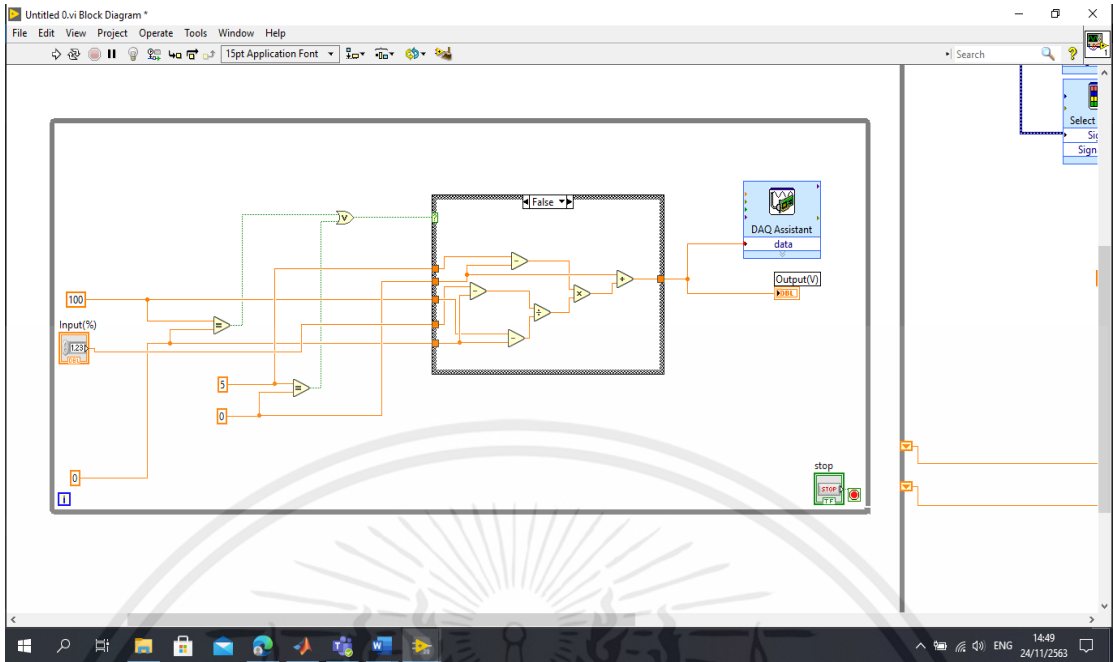
รูปที่ 3.3 DAQ (Data Acquisition)

### 3.2 การออกแบบทางด้านซอฟต์แวร์

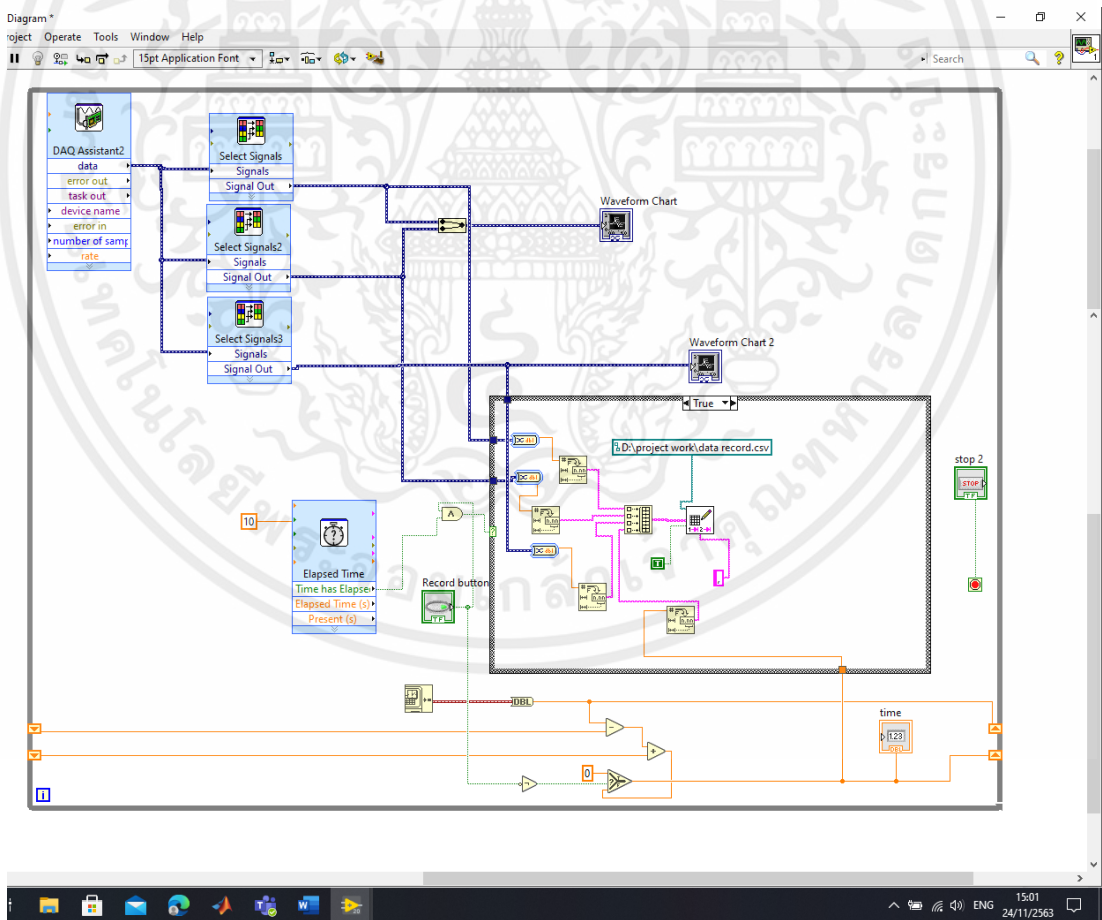
ใช้ LabVIEW เพื่อออกแบบโปรแกรมสำหรับรับข้อมูลจาก Transmitters เป็นสัญญาณแรงดันมาตรฐาน 1 – 5 V และเพื่อสั่งควบคุม Control Valve โดยโปรแกรมแบ่งออกได้เป็นสองส่วน ได้แก่ Black Diagram ซึ่งเป็นส่วนสำหรับเขียนเงื่อนไขและคำสั่ง และ Front Panel ซึ่งเป็นส่วนสำหรับสังเกตการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลและสั่งการ เช่นกราฟแสดงผล ปุ่มบันทึกข้อมูล และเมนูป้อน % วาล์ว

#### 3.2.1 Block Diagram

ในส่วนของ Block Diagram ประกอบไปด้วย 2 ส่วนย่อย ในรูปที่ 3.4 เป็นคำสั่งเพื่อแปลงค่า % Valve ที่ต้องการสั่งควบคุมเป็นค่าสัญญาณแรงดัน 0-5 V ผ่านตัว DAQ (National Instrument. 2005.) ต่อมาในรูปที่ 3.5 เป็นส่วนสำหรับแสดงผลการเปลี่ยนแปลงผ่านกราฟ เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของความสูงระหว่างทั้งสองแท่ง และอัตราการไหลในท่อขาเข้า โดยใช้คำสั่ง Select Signals เพื่อแยกสัญญาณจาก DAQ ไปแสดงในกราฟ ใช้ Event loop โดยตั้งเงื่อนไขด้วยคำสั่ง Elapsed Time เพื่อบันทึกข้อมูลลง Excel โดยตัว Record Button จะสั่งเก็บข้อมูลพร้อมกับเวลาในทุกๆ 10 วินาที



รูปที่ 3.4 แสดงโปรแกรมในส่วนของการป้อน Input

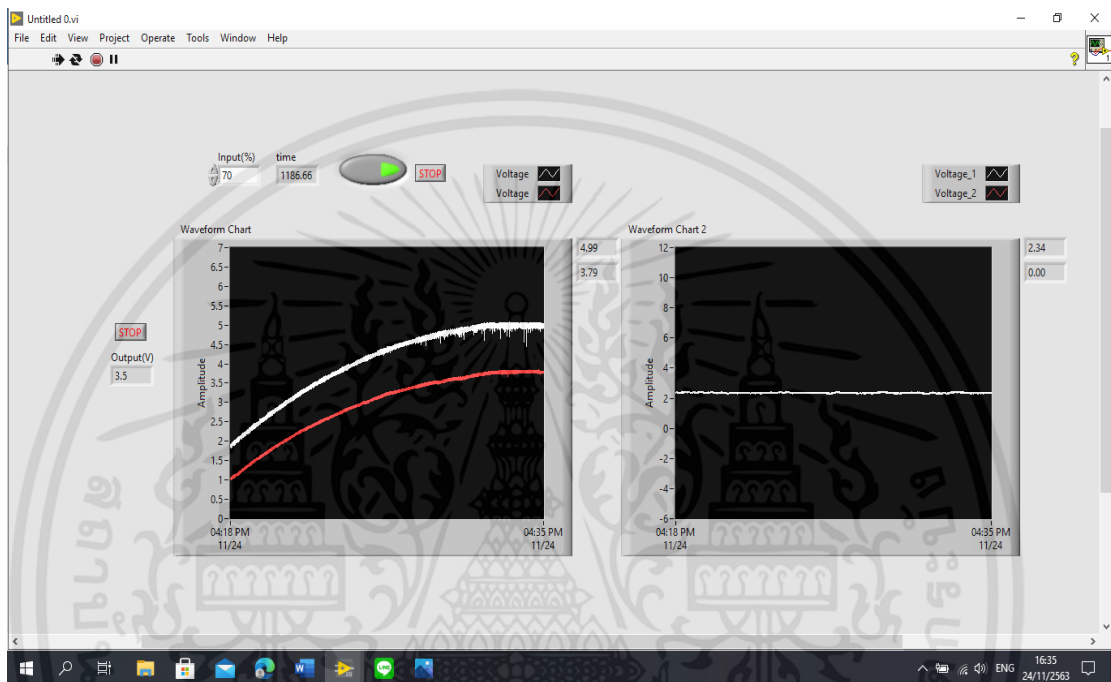


รูป 3.5 แสดงโปรแกรมในส่วนของการบันทึกค่าและแสดงค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.2 Front Panel

Front Panel ประกอบด้วย 2 กราฟ กราฟที่ 1 แสดงระดับน้ำในแท็งก์ทั้งสอง โดยเส้นสีขาวแสดงระดับน้ำในแท็งก์แรก และสีแดงแสดงระดับในแท็งก์ที่สอง กราฟที่ 2 แสดงการเปลี่ยนแปลงของอัตราไหลเข้าของน้ำในแท็งก์แรก โดยแต่ละกราฟจะมีค่าแรงดันที่อ่านได้กำกับอยู่ด้วย ส่วนช่อง อินพุท เวลา และปุ่มสำหรับบันทึกค่า แสดงไว้ด้านบนของกราฟที่ 1



รูปที่ 3.6 แสดงหน้าต่าง Front Panel

### 3.3 การระบุเอกลักษณ์ของระบบด้วยวิธีปริพันธ์

จากการศึกษางานวิจัยของ Somkane (2019) ได้แบ่งขั้นตอนการระบุเอกลักษณ์ทางคณิตศาสตร์ไว้ทั้งหมด 5 ขั้นตอนดังนี้

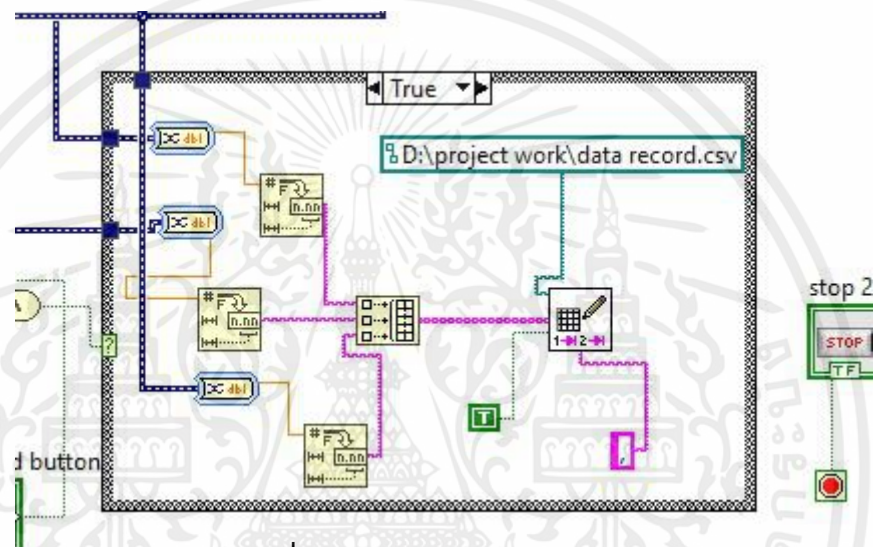
- 1) บันทึกค่าตัวแปรต่างๆ ได้แก่  $h_1$ ,  $h_2$ ,  $q_i$  และ % valve โดยบันทึกด้วยโปรแกรม Excel
- 2) พิจารณาโมเดลทางกายภาพและตั้งสมการกายภาพของ Plant  $\rightarrow y' + ay = bu(t)$  โดยใช้สมการของแบร์นูลลี
- 3) ทำปริพันธ์ของสมการทั้งสองแท็งก์ และแทนค่าตัวแปรด้วยข้อมูลจากการเก็บผลการทดลอง
- 4) หาค่าพารามิเตอร์  $a$  และ  $b$  โดยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด
- 5) แสดงผลลัพธ์ของการแก้สมการ และโมเดลคณิตศาสตร์ของ plant

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.1 บันทึกค่าตัวแปร h1, h2, qi และ % valve โดยบันทึกด้วยโปรแกรม Excel

เริ่มจากการกำหนดช่วง % การเปิดวาล์วที่เหมาะสม โดยกำหนดได้จากการปรับวาล์วระหว่างทั้งสองแท็งก์ และวาล์วทางขาออกของแท็งก์ที่สอง โดยเมื่อได้ตำแหน่งที่เหมาะสมแล้วจะต้องยึดตำแหน่งดังกล่าวไว้เป็นตัวแปรควบคุม โดยช่วงที่เลือกมาได้แก่ช่วงเปิดวาล์ว 70 % เพื่อทำการเก็บข้อมูล

เมื่อรับข้อมูลจาก Transmitter มาอ่านใน LabVIEW ได้แล้วจึงเริ่มเขียนโปรแกรมเพื่อบันทึกข้อมูลดังกล่าว โดยทำ Data log ผ่านโปรแกรม Excel เขียนโปรแกรมได้ดังนี้



รูปที่ 3.7 โปรแกรมบันทึกค่า

ใช้คำสั่ง Write Delimited Spreadsheet.vi ของ LabVIEW โดยคำสั่งดังกล่าวจะดึงข้อมูลไปเก็บใน Excel โดยสามารถกำหนดตำแหน่งไฟล์ได้ดังภาพ เนื่องจากข้อมูลที่จะเก็บต้องอยู่ในรูปแบบ String จึงมีคำสั่ง Convert from Dynamic Data4 และ Number to Fractional string ช่วยแปลงชนิดข้อมูลจาก Dynamic -> Integer -> String ค่าที่บันทึกในโปรแกรม Excel เป็นข้อมูลดังรูปต่อไป

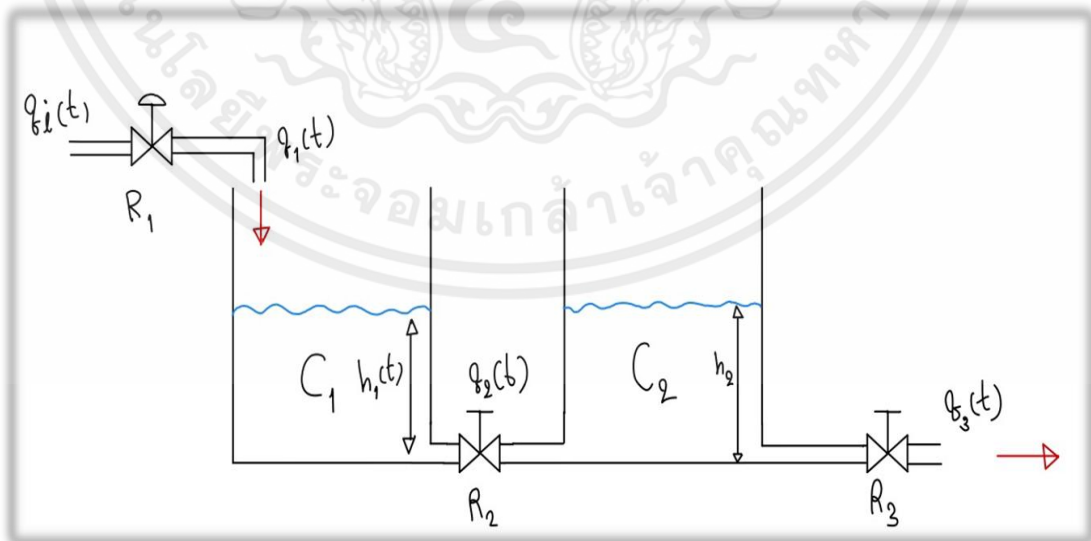
The collected data at 60% valve open

Time (s)	H <sub>1</sub> (V)	H <sub>2</sub> (V)	q <sub>i</sub> (V)	H <sub>1</sub> (%)	H <sub>2</sub> (%)	q <sub>i</sub> (L/h)
9.119764	0.833505	0.85032	1.730975	0.083452381	0.37002381	239.0135042
19.256742	0.840508	0.836318	2.168341	0.166738095	0.036642857	382.0230193
29.39335	1.044235	0.846501	2.341505	5.017380952	0.279095238	438.6440179
39.534544	1.142278	0.842683	2.419174	7.351738095	0.188190476	464.040153
49.66929	1.201486	0.840137	2.437636	8.761452381	0.127571429	470.0768401
59.806494	1.258147	0.84141	2.439546	10.11052381	0.157880952	470.70137
69.940519	1.324358	0.838227	2.452915	11.68697619	0.082095238	475.0727528
80.079066	1.368287	0.842046	2.445912	12.73290476	0.17302381	472.7829186
90.214769	1.417945	0.844592	2.451005	13.9152381	0.233642857	474.4482229
100.353964	1.456143	0.843956	2.440183	14.82471429	0.2185	470.9096557
110.49525	1.514715	0.842683	2.443366	16.21928571	0.188190476	471.95043
120.639515	1.551003	0.843956	2.446549	17.08328571	0.2185	472.9912043
130.779513	1.587929	0.84141	2.439546	17.96247619	0.157880952	470.70137
140.918134	1.640134	0.843956	2.443366	19.20545238	0.2185	471.95043
150.055498	1.684699	0.843956	2.452915	20.26652381	0.2185	477.1546284
161.192495	1.720351	0.847138	2.455462	21.11538095	0.294261905	475.9055685
171.331693	1.757276	0.865595	2.445276	21.99454762	0.733714286	472.5749599
181.470749	1.791655	0.879598	2.42745	22.81309524	1.067119048	466.7462316
191.625157	1.818394	0.892327	2.441456	23.4497381	1.370190476	471.3259
201.762692	1.8324	0.917785	2.42363	23.78321429	1.976333333	465.4971716
211.902625	1.873782	0.924787	2.412171	24.7685	2.143047619	461.7503188
222.040801	1.892245	0.94579	2.452915	25.20809524	2.643119048	475.0727528
232.175947	1.917711	0.955973	2.442729	25.81442857	2.885571429	471.7421443
242.31544	1.938083	0.991615	2.457372	26.29947619	3.734190476	476.5300984
252.456375	1.961002	0.996707	2.453552	26.84516667	3.855428571	475.2810385
262.600399	1.980738	1.010073	2.444639	27.31507143	4.173666667	472.3666743
272.742903	2.003658	1.020893	2.475197	27.86078571	4.431285714	482.3584998
282.881189	2.0183	1.034895	2.470104	28.20940476	4.764666667	480.6931956
293.019802	2.02785	1.05017	2.447822	28.43678571	5.128357143	473.4074486
303.161829	2.045676	1.065445	2.412808	28.86121429	5.492047619	461.9586045
313.302896	2.062229	1.08263	2.430633	29.25533333	5.901214286	467.7870059
323.441302	2.078782	1.094723	2.442729	29.64945238	6.189142857	471.7421443
333.593818	2.104247	1.110634	2.449732	30.2557619	6.56797619	474.0319786

รูป 3.8 การเก็บข้อมูลใน Excel

### 3.3.2 พิจารณาโมเดลทางกายภาพและตั้งสมการกายภาพของ Plant

ร่างโมเดลทางกายภาพและใส่ตัวแปรทั้งหมดที่เกี่ยวข้อง ทั้งอัตราการไหลของน้ำขาเข้าและขาออก ความสูงและการเปลี่ยนของระดับน้ำในทั้งสองแท็งค์ ความต้านทานของวาล์วมือทั้งสองจุด โดยแสดงดังรูปต่อไปนี้



รูปที่ 3.9 โมเดลทางกายภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สมการของ Tank ที่ 1

$$C_1 \frac{dh_1(t)}{dt} = q_i(t) - q_1(t) \quad (3.1)$$

เมื่อ

$h_1$  คือความสูงของระดับน้ำใน tank ที่ 1 หน่วย %

$C_1$  คือความจุซึ่งอธิบายโดยการเปลี่ยนแปลงของปริมาตรน้ำต่อระดับน้ำที่เปลี่ยนไป

หน่วย  $\frac{m^3}{m}$ 

$q_i$  อัตราน้ำไหลเข้า หน่วย  $\frac{L}{h}$

$q_1$  อัตราน้ำไหลออกจาก Tank 1 หน่วย  $\frac{L}{h}$

## สมการของ Tank ที่ 2

$$C_2 \frac{dh_2(t)}{dt} = q_1(t) - q_o(t) \quad (3.2)$$

เมื่อ

$h_2$  คือความสูงของระดับน้ำใน tank ที่ 2 หน่วย %

$C_2$  คือความจุซึ่งอธิบายโดยการเปลี่ยนแปลงของปริมาตรน้ำต่อระดับน้ำที่เปลี่ยนไป

หน่วย  $\frac{m^3}{m}$ 

$q_o$  อัตราน้ำไหลออกจาก Tank ที่ 2 หน่วย  $\frac{L}{h}$

## 3.3.3 ทำปริพันธ์ของสมการทั้งสองแท่งค์ และแทนค่าตัวแปร

หาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล  $q_1(t)$  และ  $q_o(t)$  ในรูปของความสูง  $h_1(t)$  และ  $h_2(t)$  เนื่องจากสามารถหาค่าระดับน้ำในทั้งสองแท่งค์ได้จากการทดลอง และทราบแค่อัตราไหล  $q_i(t)$  เท่านั้น โดยสมการที่ได้จะแสดงในรูปความสูงที่เปลี่ยนแปลงเทียบกับความต้านทานในวาล์วมือทั้งสองจุด โดยความต้านทานจะถูกแทนด้วยตัวแปร R ซึ่งแสดงถึงความเปลี่ยนแปลงความแตกต่างของระดับน้ำระหว่างสองแท่งค์ต่อความเปลี่ยนแปลงของอัตราการไหล แล้วจึงทำปริพันธ์ทั้งสองสมการ

ความสัมพันธ์ของอัตราการไหล  $q_1(t)$  และ  $q_o(t)$  ในรูปของระดับน้ำที่เปลี่ยนแปลงไปหาได้สมการ 3.3 และ 3.4

$$q_1(t) = \frac{h_1(t) - h_2(t)}{R_1} \quad (3.3)$$

$$q_o(t) = \frac{h_2(t)}{R_2} \quad (3.4)$$

### Tank 1

แทนสมการที่ 3.3 ลงในสมการที่ 3.1 ของ Tank 1

$$C_1 \frac{dh_1(t)}{dt} = q_i(t) - \left( \frac{h_1(t) - h_2(t)}{R_1} \right) \quad (3.5)$$

$$\frac{dh_1(t)}{dt} = \frac{1}{C_1} q_i(t) - \frac{1}{R_1 C_1} h_1(t) + \frac{1}{R_1 C_1} h_2(t) \quad (3.6)$$

จะได้โมเดลทางกายภาพของแท้งค์ที่ 1 ดังสมการที่ 3.7

$$\frac{dh_1(t)}{dt} = a_1 q_i(t) - a_2 h_1(t) + a_2 h_2(t) \quad (3.7)$$

$$\text{เมื่อ } a_1 = \frac{1}{C_1}, a_2 = \frac{1}{R_1 C_1}$$

ทำการอินทิเกรตสมการที่ 3.7 เทียบกับเวลา

$$h_1(t) - h_1(0) = a_1 \int_0^t q_i(t) dt - a_2 \int_0^t h_1(t) dt + a_2 \int_0^t h_2(t) dt \quad (3.8)$$

$$h_1(t) = h_1(0) + a_1 \int_0^t q_i(t) dt - a_2 \int_0^t h_1(t) dt + a_2 \int_0^t h_2(t) dt \quad (3.9)$$

### Tank 2

แทนสมการที่ 3.3 และ 3.4 ลงในสมการที่ 3.2 ของ Tank 2

$$C_2 \frac{dh_2(t)}{dt} = \frac{h_1(t) - h_2(t)}{R_1} - \frac{h_2(t)}{R_2} \quad (3.10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{dh_2(t)}{dt} = \frac{1}{R_1 C_2} h_1(t) - \frac{1}{C_2} \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) h_2(t) \quad (3.11)$$

จะได้โมเดลทางกายภาพของแท่งค้ำที่ 2 ดังสมการที่ 3.12

$$\frac{dh_2(t)}{dt} = b_1 h_1(t) - b_2 h_2(t) \quad (3.12)$$

$$\text{เมื่อ } b_1 = \frac{1}{R_1 C_2}, b_2 = \frac{1}{C_2} \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

ทำการอินทิเกรตสมการที่ 3.12 เทียบกับเวลา

$$h_2(t) - h_2(0) = b_1 \int_0^t h_1(t) dt - b_2 \int_0^t h_2(t) dt \quad (3.13)$$

$$h_2(t) = h_2(0) + b_1 \int_0^t h_1(t) dt - b_2 \int_0^t h_2(t) dt \quad (3.14)$$

### 3.3.4 หาค่าพารามิเตอร์ a และ b โดยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด

หลังจากทำการอินทิเกรตสมการของทั้งสองแท่งค้ำแล้ว สมการที่ 3.9 และ 3.14 จะถูกหาค่าโดยใช้กฎสี่เหลี่ยมคางหมู (Trapezoidal Rule) โดยแทน  $h_1(t) = h_{1,data}(t)$ ,  $q_i(t) = q_{i,data}(t)$  และ  $h_2(t) = h_{2,data}(t)$  โดย  $t = \{t_1, t_2, \dots, t_N\}$  แล้วจึงจัดให้อยู่ในรูปเมทริกซ์

$$Ax = B \quad (3.15)$$

ได้เมทริกซ์ดังนี้

$$A = \begin{bmatrix} 1 & \int_0^{t_1} q_{i,data}(t)dt & -\int_0^{t_1} h_{1,data}(t)dt + \int_0^{t_1} h_{2,data}(t)dt & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & \int_0^{t_N} q_{i,data}(t)dt & -\int_0^{t_N} h_{1,data}(t)dt + \int_0^{t_N} h_{2,data}(t)dt & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & \int_0^t h_1(t)dt & -\int_0^t h_2(t)dt \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 1 & \int_0^N h_1(t)dt & \int_0^N h_2(t)dt \end{bmatrix} \quad (3.16)$$

$$X = \begin{bmatrix} h_1(0) \\ a_1 \\ a_2 \\ h_2(0) \\ b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} \quad (3.17)$$

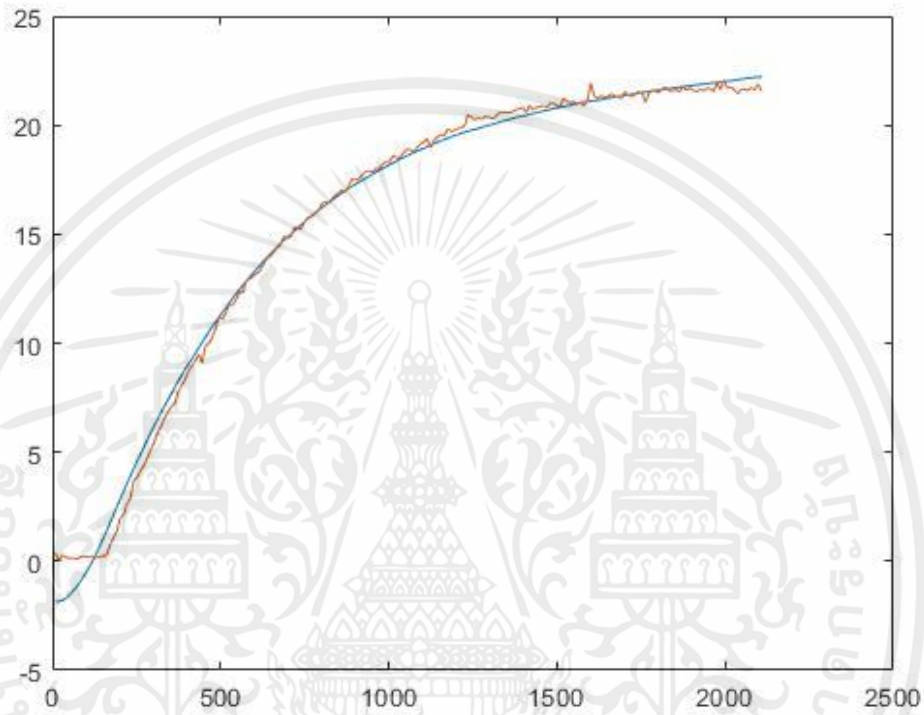
$$B = \begin{bmatrix} h_1(t_0) \\ \vdots \\ h_1(t_N) \\ h_2(t_0) \\ \vdots \\ h_2(t_N) \end{bmatrix} \quad (3.18)$$

แก้สมการที่ 3.15 จนถึงสมการที่ 3.18 ด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Least Squares Method) เพื่อหาค่าพารามิเตอร์  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $b_1$  และ  $b_2$  ซึ่งมี  $h_1(0)$  และ  $h_2(0)$  เป็นเงื่อนไขเริ่มต้น หรือค่าระดับน้ำเริ่มต้นซึ่งมีค่าเท่ากับศูนย์ ค่า  $h_{1,data}(t)$ ,  $h_{2,data}(t)$  และ  $q_{i,data}(t)$  ขึ้นอยู่กับค่าที่วัดได้

### 3.3.5 แสดงผลลัพธ์ของการแก้สมการ และโมเดลคณิตศาสตร์ของ plant

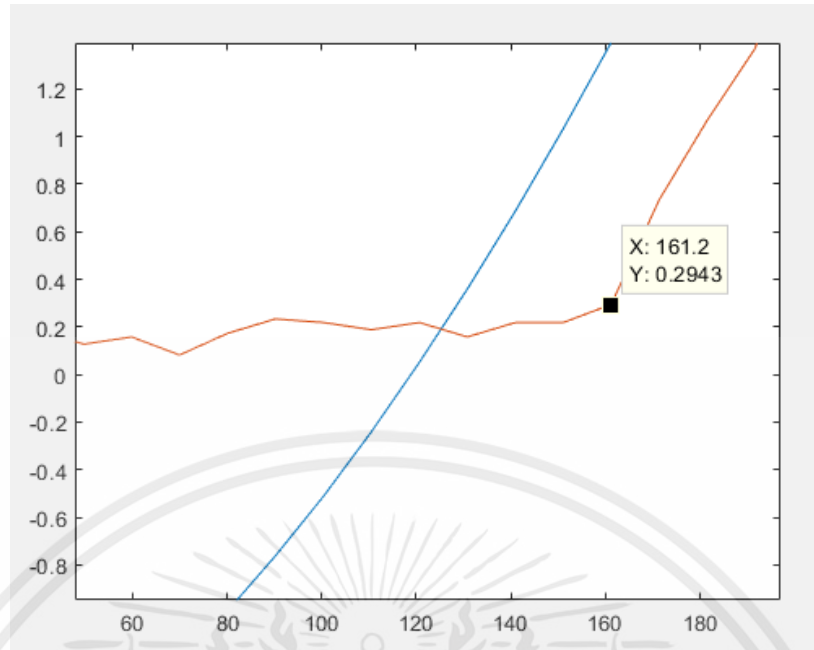
เมื่อได้ค่าบันทึกผลจากการทดลองเรียบร้อยแล้ว ใช้โปรแกรม MATLAB แก้สมการด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Least Squares Method) ดังหัวข้อที่ 3.3.4 ที่ผ่านมา หลังจากนั้นทำการแสดงผลในรูปแบบของกราฟแสดงความสัมพันธ์กับเวลาเปรียบเทียบกัน

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ได้จากการเก็บข้อมูลกับค่าที่ได้จากโมเดลที่ผ่านการระบุเอกลักษณ์ของระบบสำหรับโมเดลเชิงเส้นของแท่งค์ที่ 2 ในการเปิดวาล์วควบคุมที่ 70% แสดงในรูปที่ 3.10 ในช่วงเริ่มต้นของกระบวนการ ค่าที่ได้จากการเก็บข้อมูลจริงมีความแตกต่างอย่างเห็นได้ชัดกับค่าที่ได้จากโมเดลจำลอง เมื่อกระบวนการต้องการสมการมากกว่า 1 สมการเพื่ออธิบายเอาต์พุตที่เกิดขึ้น เราจะสามารถแก้ไขปัญหาได้ด้วยวิธีการใช้ฟังก์ชันที่แยกนิยามเป็นช่วง ๆ (Piecewise Function)



รูปที่ 3.10 แสดงค่าจริงกับโมเดลที่ทำการระบุเอกลักษณ์ของระบบสำหรับโมเดลเชิงเส้นของแท่งค์ที่ 2 ในการเปิดวาล์วควบคุมที่ 70%

ทำการหาช่วงเวลาที่เส้นกราฟของค่าจากการเก็บข้อมูลเริ่มมีการเปลี่ยนแปลง จากภาพที่ 3.11 ระบุได้ว่าเวลาที่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ที่ 161.2 วินาที จึงใช้ช่วงเวลาดังกล่าวในการหาค่าเฉลี่ยของข้อมูลทั้งหมดในช่วงตั้งแต่เริ่มการเก็บข้อมูลจนถึงเวลาดังกล่าว ข้อมูลระดับความสูงในแท่งค์ที่ลิงก์กับเวลาแสดงอยู่ในรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.11 การกำหนดเวลาที่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงของข้อมูล

Time (s)	H2 (%)
9.119764	0.37002381
19.256742	0.036642857
29.39335	0.279095238
39.534544	0.188190476
49.66929	0.127571429
59.806494	0.157880952
69.940519	0.082095238
80.079066	0.17302381
90.214769	0.233642857
100.353964	0.2185
110.49525	0.188190476
120.639515	0.2185
130.779513	0.157880952
140.918134	0.2185
151.055498	0.2185
161.192495	0.294261905

รูปที่ 3.12 ข้อมูลของช่วงเวลาและระดับความสูงในแท่งที่ 2 ที่ใช้ในการหาค่าเฉลี่ย

วิธีการใช้ฟังก์ชันที่แยกนิยามเป็นช่วง ๆ (Piecewise Function) จะทำให้การออกแบบระบบจำลองและตัวควบคุมมีความใกล้เคียงกับระบบจริงมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4 การหาฟังก์ชันส่งผ่าน (transfer function) ของระบบ

ฟังก์ชัน Control & Simulation ภายในโปรแกรม LabVIEW สามารถใช้ในการสร้างระบบควบคุมได้ง่ายและสะดวก โดยสามารถสร้างเป็นในรูปแบบของแผนภาพบล็อก (Block Diagram) โดยในการออกแบบ มีความจำเป็นที่จะต้องคำนวณหาฟังก์ชันส่งผ่านของแพลนท์ (Plant) โดยมีขั้นตอนดังนี้

จากสมการที่ 3.7 ของแท่งที่ 1 และสมการที่ 3.12 ของแท่งที่ 2 ทำการแปลงลาปลาซ (Laplace Transform) (สเนศ, 2549) โดยเป็นการแปลงจากเวลา (Time Domain) ให้อยู่ในโดเมนความถี่ (Frequency domain) หรือที่เราเรียกว่า S Domain เพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ โดยการแปลงลาปลาซแสดงความสัมพันธ์ในสมการที่ 3.19 ดังนี้

$$L[f(t)] = F(s) = \int_0^{\infty} f(t)e^{-st} dt \quad (3.19)$$

จากสมการที่ 3.7 ของแท่งที่ 1 และสมการที่ 3.12 ของแท่งที่ 2 ทำการแปลงลาปลาซได้ดังนี้

Tank 1

$$sh_1(s) = a_1q_i(s) - a_2h_1(s) + a_2h_2(s) \quad (3.20)$$

Tank 2

$$sh_2(s) = b_1h_1(s) + b_2h_2(s) \quad (3.21)$$

จากสมการที่ 3.21 ของแท่งที่ 2 ทำการจัดรูปให้เหลือเพียง  $h_2(s)$  ได้ดังนี้

$$h_2(s) = \frac{b_1h_1(s)}{s + b_2} \quad (3.22)$$

แทนที่สมการที่ 3.22 ในสมการที่ 3.20 ของแท่งที่ 1 จะได้สมการความสัมพันธ์ของระดับน้ำในแท่งที่ 1 ต่ออัตราไหลดังนี้

$$\frac{h_1(s)}{q_i(s)} = \frac{a_1(s + b_2)}{s^2 + (a_2 + b_2)s + a_2b_2 - a_2b_1} \quad (3.23)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จัดรูปสมการที่ 3.21 จะได้ความสัมพันธ์ของระดับน้ำในแท่งที่ 2 ระดับน้ำในแท่งที่ 1 ดังนี้

$$\frac{h_2(s)}{h_1(s)} = \frac{b_1}{s + b_2} \quad (3.24)$$

จากสมการที่ 3.20 ของแท่งที่ 1 ทำการจัดรูปให้เหลือเพียง  $h_1(s)$  ได้ดังนี้

$$h_1(s) = \frac{a_1 q_1(s) + a_2 h_2(s)}{s + a_2} \quad (3.25)$$

แทนที่สมการที่ 3.25 ในสมการที่ 3.21 ของแท่งที่ 2 จะได้สมการความสัมพันธ์ของระดับน้ำในแท่งที่ 2 ต่ออัตราไหลดังนี้

$$\frac{h_2(s)}{q_i(s)} = \frac{b_1 a_1}{s^2 + (a_2 + b_2)s + a_2 b_2 - a_2 b_1} \quad (3.26)$$

### 3.5 การออกแบบระบบจำลองด้วยโปรแกรม LabVIEW

หลังจากได้ทำการหาสมการส่งผ่านแล้ว เริ่มออกแบบระบบจำลองด้วยโปรแกรม LabVIEW โดยใช้ฟังก์ชัน Control & Simulation แสดงในรูปที่ 3.13 ในการออกแบบ โดยแทนค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการระบุเอกลักษณ์ของระบบในฟังก์ชันส่งผ่าน (transfer function) ซึ่งแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณขาเข้า (Input signal) ต่อสัญญาณขาออก (Output signal) ในรูปของสมการทาง โดยระบบจำลองประกอบไปด้วย

#### 3.5.1 ฟังก์ชันส่งผ่านของตัวกระตุ้นทำงาน (Transfer function of actuator)

ตัวกระตุ้นของระบบคือ วาล์วควบคุม (Control valve) ซึ่งทำหน้าที่เปิด-ปิด การไหลเข้าของน้ำ เพื่อควบคุมอัตราการไหลขาเข้าของระบบ (Inlet flow)

#### 3.5.2 ฟังก์ชันส่งผ่านของแพล้น (Transfer function of plant)

แพล้น เป็นส่วนที่ถูกควบคุมของระบบ ได้แก่ แท่งทั้งสองแท่งในระบบ

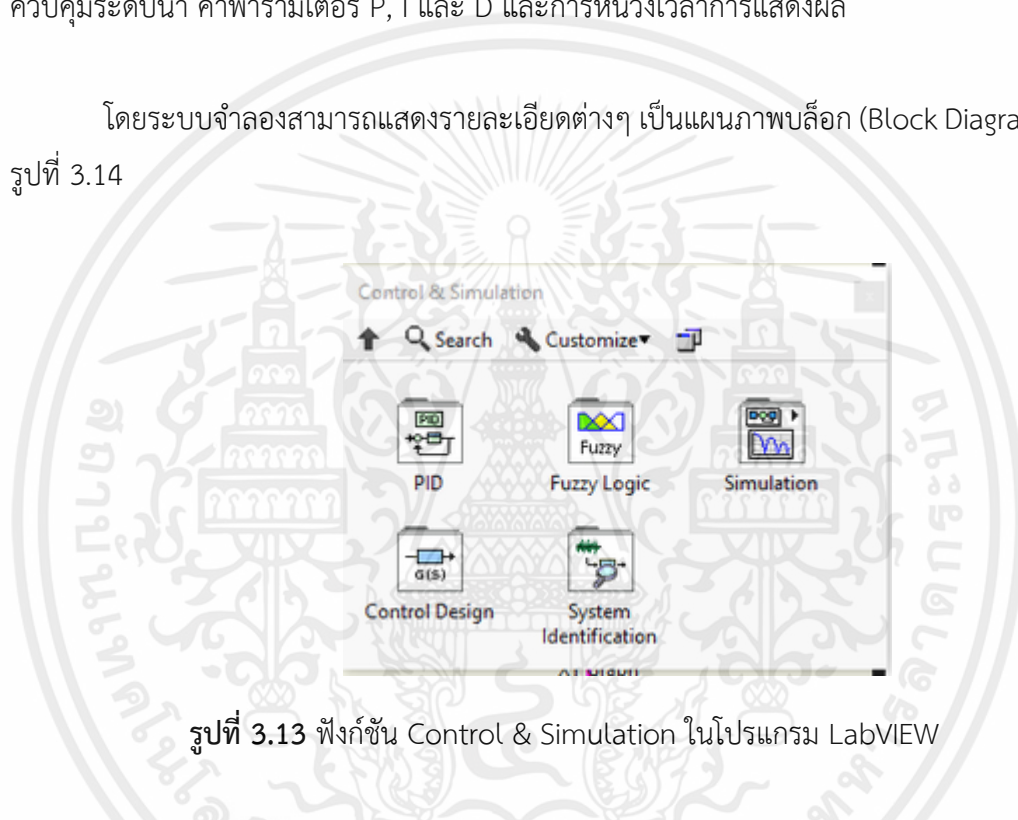
### 3.5.3 ตัวควบคุมของระบบ (Controller)

ตัวควบคุมในระบบได้แก่ ตัวควบคุม PID ซึ่งสามารถใช้ได้ทั้งฟังก์ชันสำเร็จรูปของโปรแกรม LabVIEW หรือ สร้างด้วยฟังก์ชันย่อยซึ่งประกอบด้วยสามตัวแปรคือค่าสัดส่วน ปริพันธ์ และ อนุพันธ์

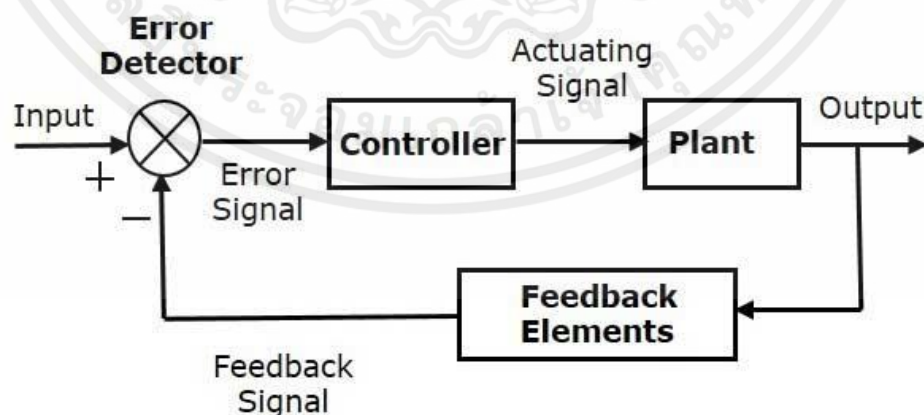
### 3.5.4 ส่วนแสดงผลของระบบ (Front panel)

ในหน้าแสดงผลจะประกอบไปด้วยกราฟแสดงผลตอบสนองของระบบที่ผ่านการควบคุมด้วยตัวควบคุม PID รวมถึงแสดงระดับน้ำในแท็งก์ทั้งสอง รวมถึงแผงควบคุมการเปิดวาล์วเพื่อควบคุมระดับน้ำ ค่าพารามิเตอร์ P, I และ D และการหน่วงเวลาการแสดงผล

โดยระบบจำลองสามารถแสดงรายละเอียดต่างๆ เป็นแผนภาพบล็อก (Block Diagram) ได้ในรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.13 ฟังก์ชัน Control & Simulation ในโปรแกรม LabVIEW



รูปที่ 3.14 แผนภาพบล็อก (Block Diagram) ของระบบควบคุมแบบปิด

ที่มา: <https://www.polytechnichub.com/block-diagram-process-control-system/>

### 3.6 การออกแบบตัวควบคุม PID

จาก MathWorks (n.d) และ Fellani and Gabaj (2015) การหาค่าพารามิเตอร์ P I และ D ผ่าน PID Tuner โดย PID Tuner นั้นเป็นเครื่องมือชนิดหนึ่งของ MATLAB อ้างอิงจาก โดย

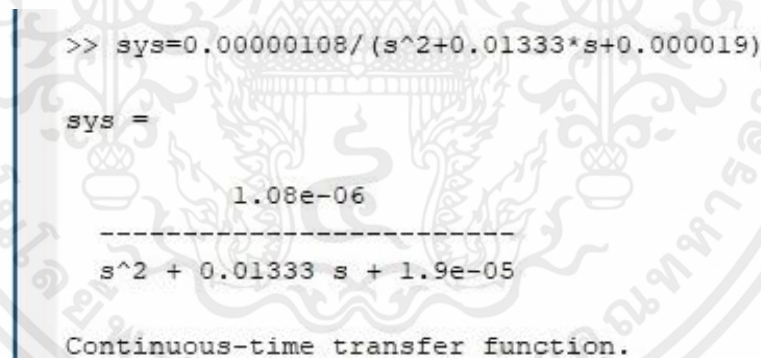
1) ทำการเปิด command window ในโปรแกรม MATLAB เพื่อป้อนคำสั่ง  $s = \text{'s'}$  โดยตัวแปร  $s$  นั้นหมายถึง  $s$  domain



```
Command Window
>> s = tf('s')
s =
s
Continuous-time transfer function.
```

รูปที่ 3.15 แสดงคำสั่งการกำหนดตัวแปร  $s$

2) นำ transfer function ของกระบวนการที่ต้องการหาค่าของ PID โดยใช้คำสั่ง  $\text{sys} =$  (transfer function) เพื่อกำหนด transfer function ของระบบที่จะนำไปคำนวณ



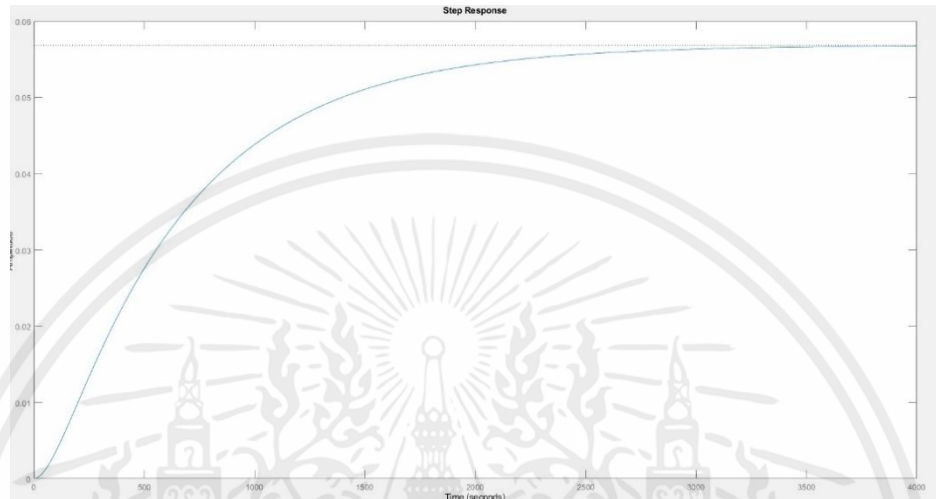
```
>> sys=0.00000108/(s^2+0.01333*s+0.000019)
sys =
1.08e-06
-----
s^2 + 0.01333 s + 1.9e-05
Continuous-time transfer function.
```

รูปที่ 3.16 ภาพแสดงคำสั่งกำหนดสมการ transfer function

3) เขียนคำสั่งในการป้อน input ให้แก่ระบบ โดยกระบวนการในโครงการนี้จะป้อน input เป็น step input

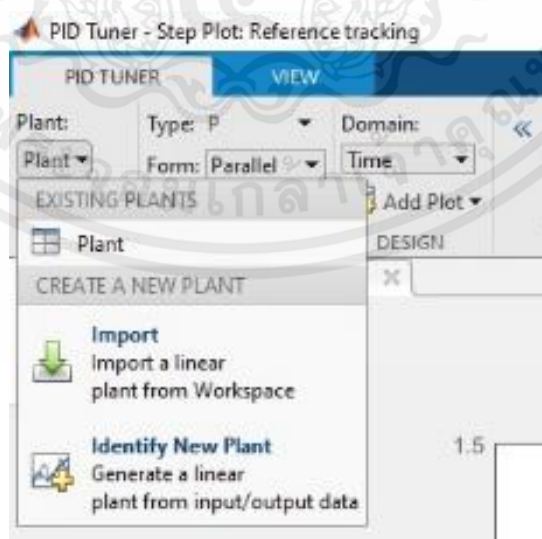
```
>> step(sys)
fx >> |
```

รูปที่ 3.17 แสดงคำสั่งสำหรับป้อน Input



รูปที่ 3.18 ภาพแสดงผลตอบสนองของระบบหลังทำการป้อน step input

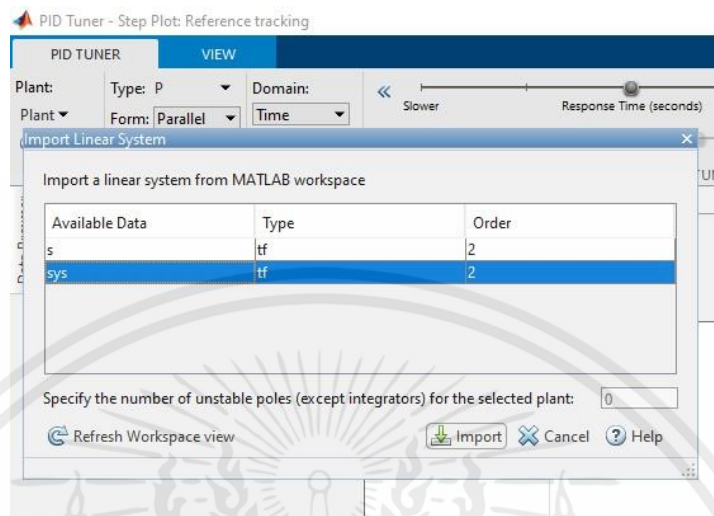
4) หลังจากทำการตอนที่ 3 เสร็จแล้ว ให้ทำการเปิด PID Tuner โดยการเลือกตรง Menu Apps ตรง Menu bar ของ MATLAB ให้ทำการเลือก Plant ที่แถบ Menu bar ของ PID Tuner หลังจากนั้นให้เลือกหัวข้อ Import



รูปที่ 3.19 ภาพแสดงขั้นตอนในการ Import สมการ Transfer function

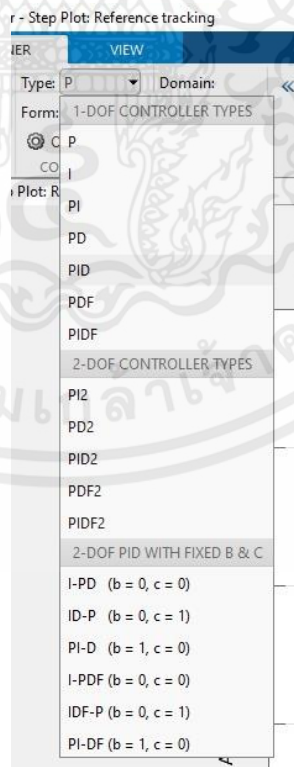
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) เลือกระบบที่ใช้ในการหาค่าพารามิเตอร์ของ PID โดยเลือกสมการ Transfer function ที่ได้กำหนดไว้ในขั้นตอนที่ 2



รูปที่ 3.20 ภาพแสดงขั้นตอนในการ Import สมการของระบบ

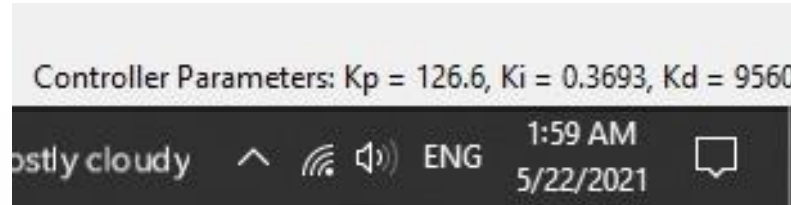
6) เลือกตัวควบคุมผ่านเมนู “Type” เป็นแบบ PID เนื่องจากในโครงการนี้ได้เลือกตัวควบคุมเป็น PID



รูปที่ 3.21 ภาพแสดงขั้นตอนในการชนิดของตัวควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7) หลังจากทำการเลือกชนิดตัวควบคุมเสร็จเรียบร้อยแล้ว จะได้กราฟของผลตอบสนองของระบบ ซึ่งจะระบุค่าพารามิเตอร์ของ PID ไว้ สำหรับค่าของ parameter อื่นๆและผลตอบสนองของระบบ แสดงอยู่ที่ “Show parameter” ในแถบตัวเลือก Menu bar



รูปที่ 3.22 ค่า gain ของ PID

Controller Parameters	
	Tuned
Kp	32.5019
Ki	0.080538
Kd	2770.1135
Tf	n/a
Performance and Robustness	
	Tuned
Rise time	554 seconds
Settling time	1.95e+03 seconds
Overshoot	6.97 %
Peak	1.07
Gain margin	Inf dB @ NaN rad/s
Phase margin	74.2 deg @ 0.00295 rad/s
Closed-loop stability	Stable

รูปที่ 3.23 ภาพแสดงค่า parameter ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

#### 4.1 ผลลัพธ์จากการระบุเอกลักษณ์ของระบบ (System Identification)

ทำการระบุด้วยกระบวนการทั้ง 5 ขั้นตอนจากบทที่ 3 การระบุเอกลักษณ์ของระบบด้วยวิธีปริพันธ์ โดยใช้ค่าจากการเก็บข้อมูลตำแหน่งการเปิดวาล์วที่ 70% ในการคำนวณโดยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Least Square Method) ผ่านการโปรแกรม MATLAB ซึ่งวิธีดังกล่าวได้ปรากฏในงานวิจัย การระบุเอกลักษณ์ของระบบเพื่อออกแบบตัวควบคุมพีไอดีสำหรับระบบจำลองควบคุมระดับน้ำที่มีการสื่อสารฮาร์ดแบบไร้สาย ของ สมคะเน พงศกร (Somkane, 2019) เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ โดยผลลัพธ์จากการคำนวณได้ถูกแสดงไว้ในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการระบุเอกลักษณ์ของระบบสำหรับโมเดลเชิงเส้น โดยเปิดวาล์วควบคุมที่ 70%

พารามิเตอร์	วาล์ว 70%
$h_1(0)$	0.6312
$a_1$	0.0006
$a_2$	0.0095
$h_2(0)$	-1.8391
$b_1$	0.0018
$b_2$	0.0038

สมการความสัมพันธ์ของแท่งทั้งสองภายหลังที่สามารถหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ดังที่แสดงไว้ในตารางที่ 4.1 เมื่อแทนค่าในสมการที่ 3.9 และ 3.14 จะได้สมการที่ 4.1 และ 4.2 ที่ได้แสดงไว้ดังต่อไปนี้

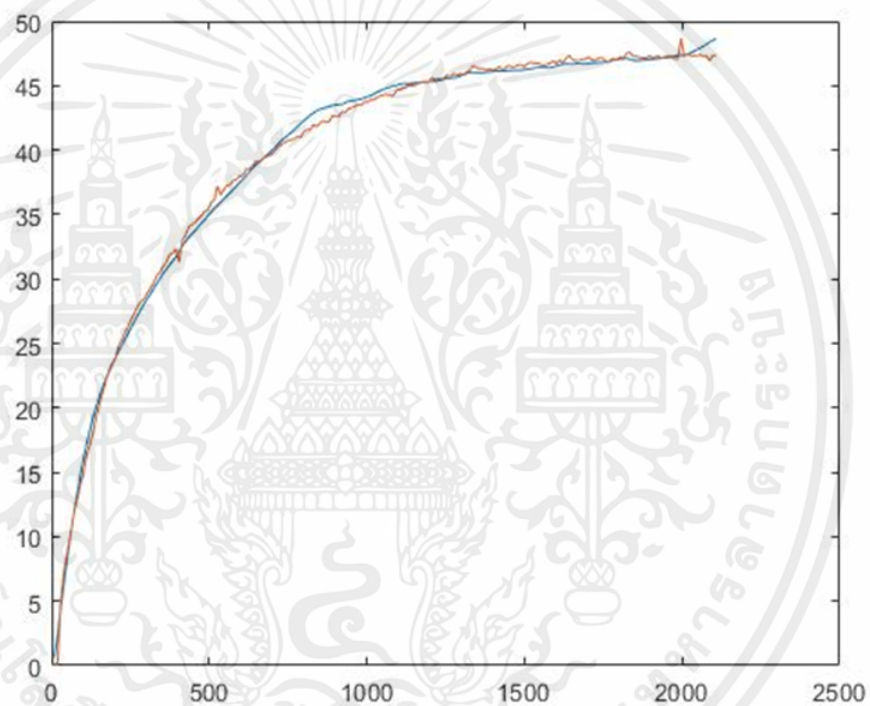
#### Tank 1

$$h_1(t) = 0.6312 + 0.0006 \int_0^t q_i(t) dt - 0.0095 \int_0^t h_1(t) dt + 0.0095 \int_0^t h_2(t) dt \quad (4.1)$$

## Tank 2

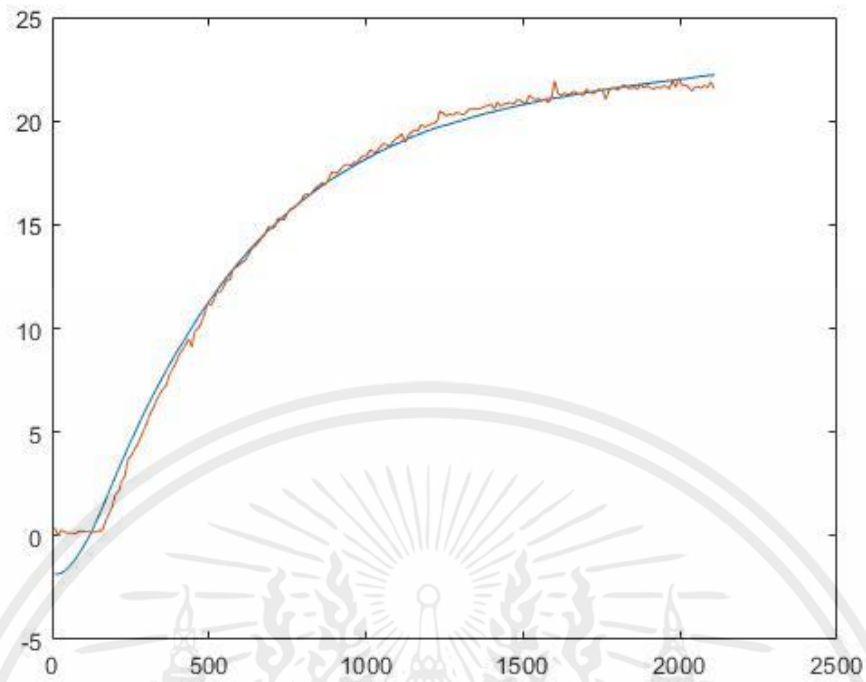
$$h_2(t) = \begin{cases} 0.1912 & \text{when } 0 \leq t \leq 161.2 \\ -1.8391 + 0.0018 \int_0^t h_1(t)dt - 0.0038 \int_0^t h_2(t)dt & \text{when } 161.2 < t \leq 210 \end{cases} \quad (4.2)$$

ใช้สมการที่ 4.1 และ 4.2 เป็นสมการโมเดลหรือระบบจำลอง ทำการพล็อตกราฟเปรียบเทียบระหว่างค่าจริงกับโมเดลของระบบทั้งสองแท้งค์ ที่การเปิดวาล์วควบคุม 70% ผลลัพธ์ได้ถูกแสดงไว้ดังภาพต่อไปนี้



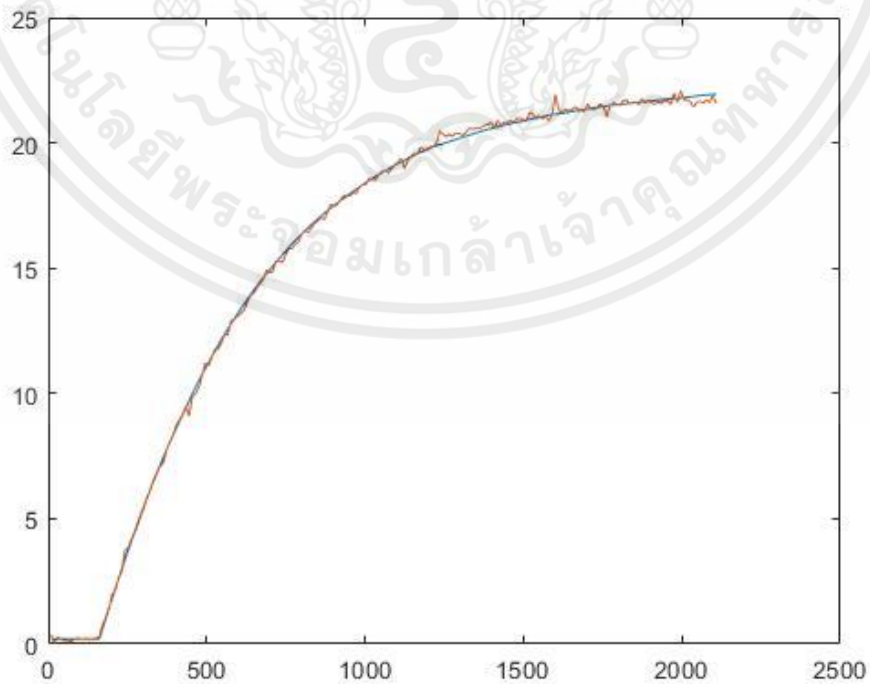
รูปที่ 4.1 แสดงค่าจริงกับโมเดลที่ทำการระบุเอกลักษณ์ของระบบสำหรับโมเดลเชิงเส้นของแท้งค์ที่ 1  
ในการ  
เปิดวาล์วควบคุมที่ 70%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 แสดงค่าจริงกับโมเดลที่ทำการระบุเอกลักษณ์ของระบบสำหรับโมเดลเชิงเส้นของแท่งค้ำที่ 2  
ในการ  
เปิดวาล์วควบคุมที่ 70%

กราฟในรูปที่ 4.2 หลังจากการใช้ฟังก์ชันที่แยกนิยามเป็นช่วง ๆ (Piecewise Function) เข้า  
มาปรับปรุงสมการ



รูปที่ 4.3 โมเดลเชิงเส้นของแท่งค้ำที่ 2 ในการเปิดวาล์วควบคุมที่ 70% โดยใช้ Piecewise Function

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 โปรแกรมแบบจำลองโดยโปรแกรม LabVIEW

ทำการออกแบบโดยใช้ฟังก์ชัน Control & Simulation ภายในโปรแกรม LabVIEW โดยสร้างในรูปแบบของแผนภาพบล็อก (Block Diagram) ภายในรูปการจำลองของ LabVIEW จำเป็นต้องเขียนแผนภาพบล็อกให้อยู่ในรูปของฟังก์ชันส่งผ่าน (Transfer Function) ต่อมาจึงเริ่มทำการออกแบบทั้งส่วนของ Block Diagram และ Front Panel และทำการเปรียบเทียบผลตอบสนองของระบบจำลองควบคู่กับระบบจริง

### 4.2.1 ฟังก์ชันส่งผ่าน (Transfer Function)

จากฟังก์ชันส่งผ่านที่ได้คำนวณไว้ในหัวข้อที่ 3.4 บทที่ 3 สมการที่ 3.23 3.24 และ 3.26 เมื่อแทนค่าพารามิเตอร์ในตารางที่ 4.1 แล้วจะได้สมการดังนี้

$$\frac{h_1(s)}{q_i(s)} = \frac{0.0006s + 2.28 \times 10^{-6}}{s^2 + 0.0133s + 1.9 \times 10^{-5}} \quad (4.1)$$

$$\frac{h_2(s)}{h_1(s)} = \frac{0.0018}{s + 0.0038} \quad (4.2)$$

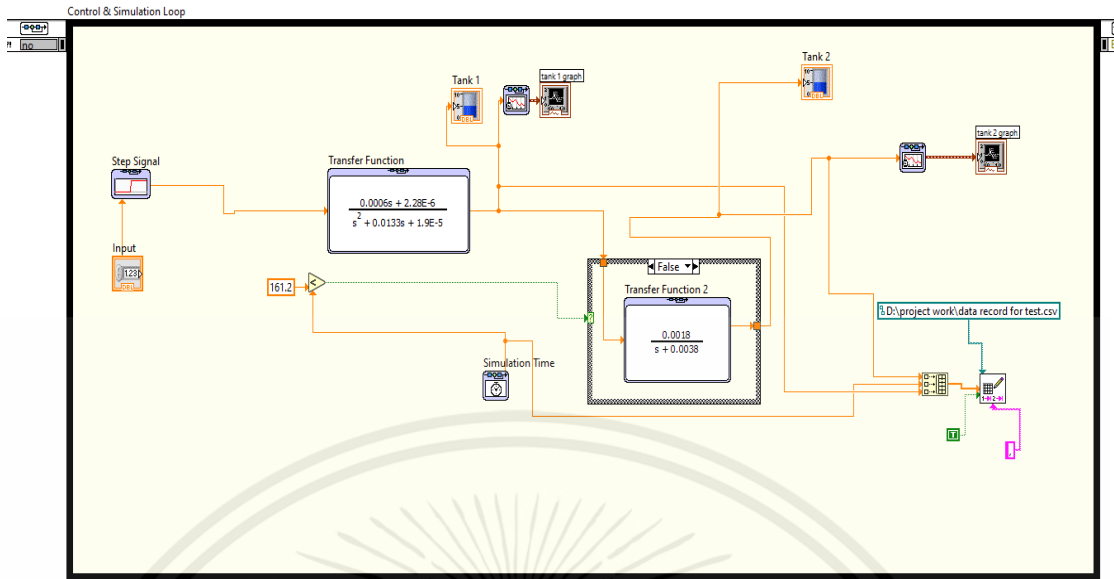
$$\frac{h_2(s)}{q_i(s)} = \frac{1.08 \times 10^{-6}}{s^2 + 0.0133s + 1.9 \times 10^{-5}} \quad (4.3)$$

### 4.2.2 ระบบจำลอง (Simulation System)

การออกแบบระบบจำลองในโปรแกรม LabVIEW ได้แบ่งออกเป็นสองส่วนได้แก่ Block Diagram และ Front Panel

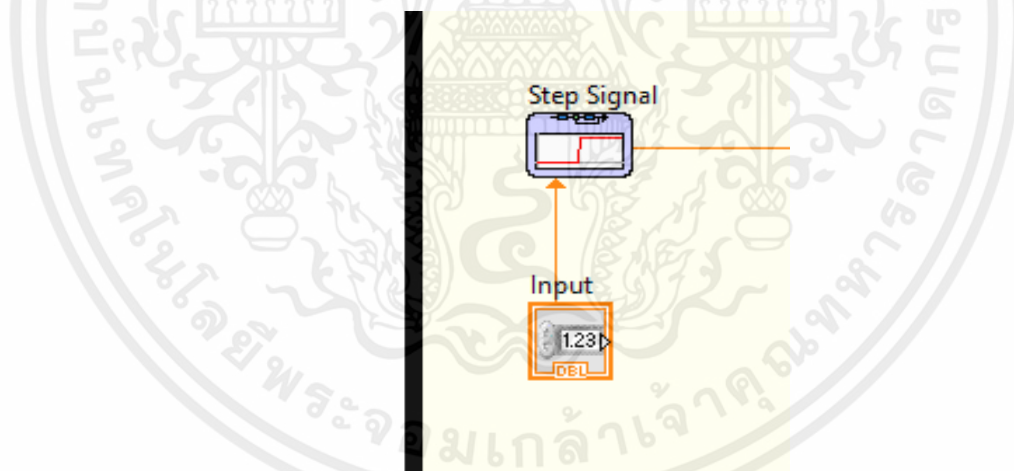
#### 4.2.2.1 Block Diagram

Block Diagram เป็นส่วนสำหรับเขียนเงื่อนไขและคำสั่ง โดยภาพรวมในส่วนของ Block Diagram ที่ออกแบบแสดงไว้ในรูปที่ 4.4 โดยประกอบไปด้วย 4 ส่วนดังนี้



รูปที่ 4.4 Block Diagram

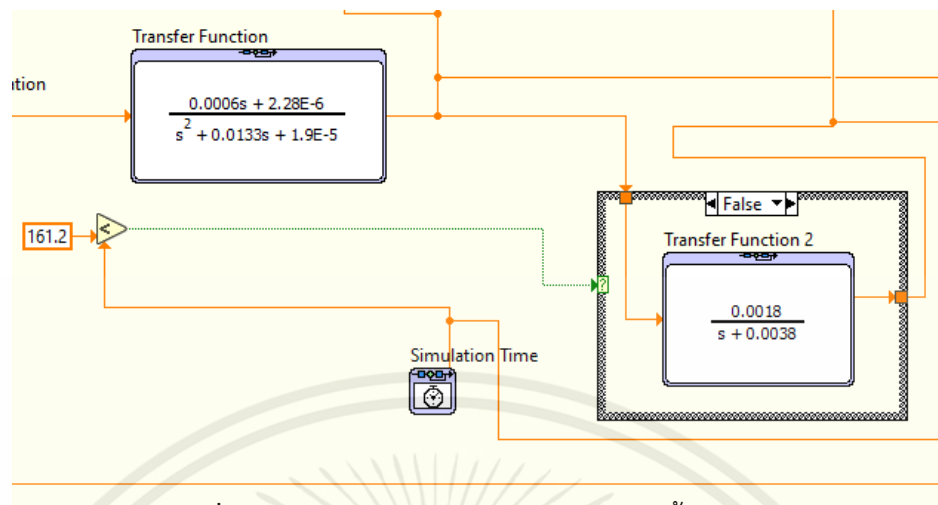
- 1) สัญญาณขาเข้า (Input) ในรูปที่ 4.5 ป้อนเป็นอัตราการไหลที่วาล์วเปิด 70 % c



รูปที่ 4.5 สัญญาณขาเข้า (Input)

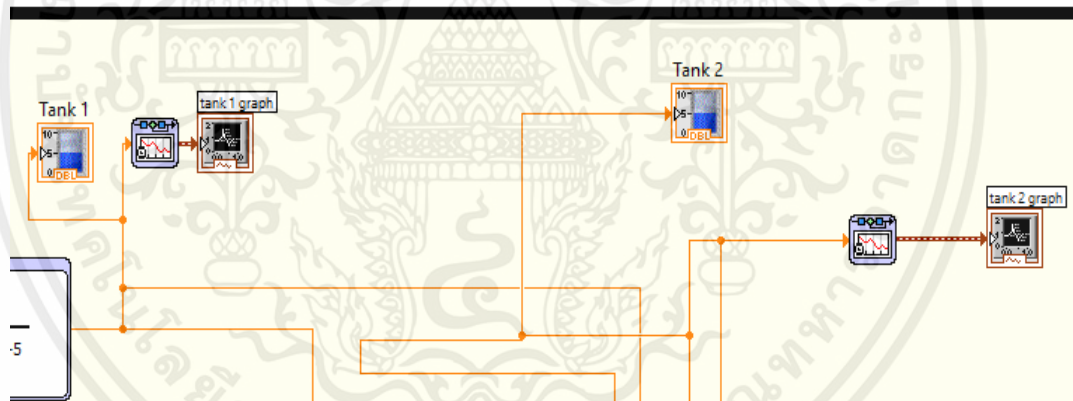
- 2) แผนภาพบล็อกของฟังก์ชันส่งผ่านทั้ง 2 แทงค์ โดยใช้สมการที่ 4.1 เป็นตัวแทนของแทงค์ที่ 1 และสมการที่ 4.2 เป็นตัวแทนของแทงค์ที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 แผนภาพบล็อกของฟังก์ชันส่งผ่านทั้ง 2 แท่งค์

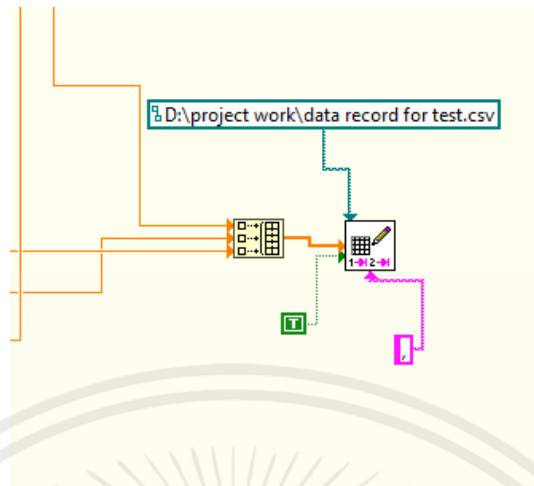
- 3) ฟังก์ชันสำหรับแสดงระดับน้ำและกราฟ เป็นส่วนสำหรับการพล็อตกราฟและแสดงระดับน้ำในแท่งค์ทั้งสอง โดยจะแสดงผลตอบสนองในส่วนของ Front Panel



รูปที่ 4.7 ฟังก์ชันสำหรับแสดงระดับน้ำและกราฟในทั้ง 2 แท่งค์

- 4) คำสั่งบันทึกค่าผลตอบสนอง โดยทำการบันทึกผลตอบสนองจากระบบจำลองเพื่อเปรียบเทียบกับระบบจริงโดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel

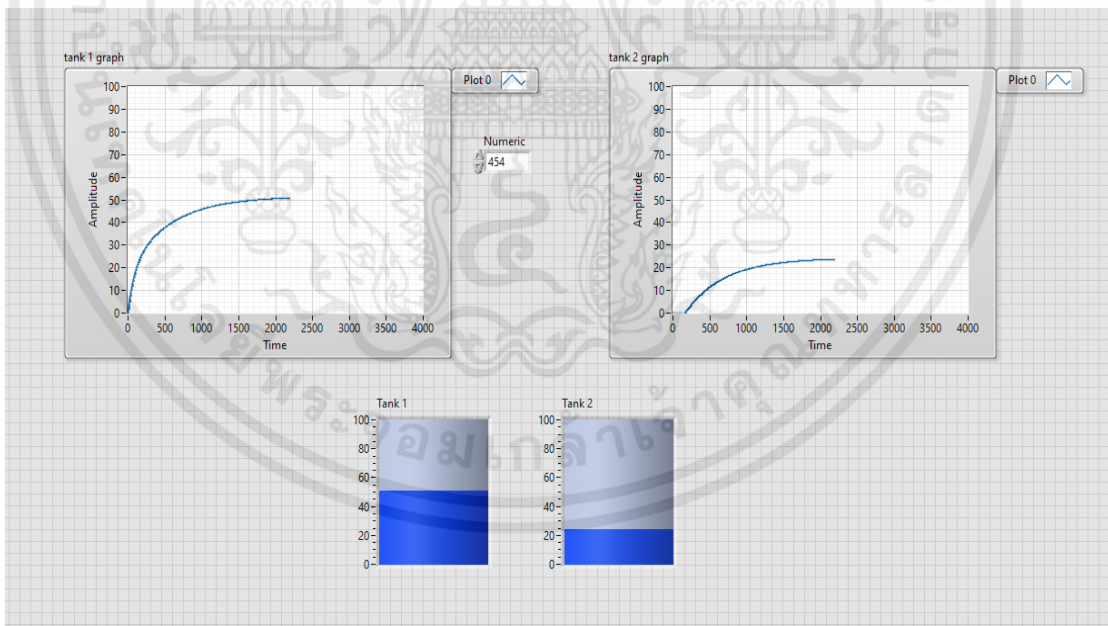
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 คำสั่งบันทึกค่าผลตอบสนอง

#### 4.2.2.2 Front Panel

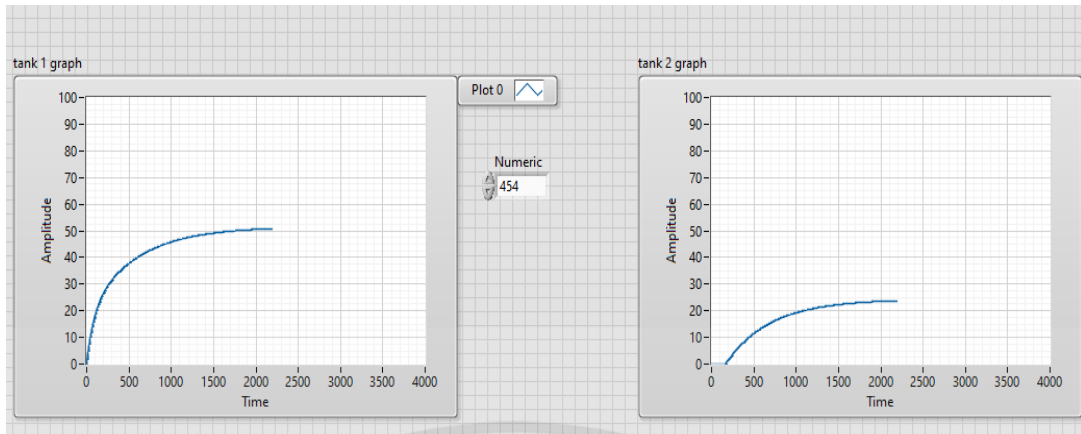
Front Panel เป็นส่วนสำหรับแสดงผลและควบคุมระบบ โดยภาพรวมใน ส่วนของ Front Panel ที่ออกแบบแสดงไว้ในรูปที่ 4.9 โดยประกอบไปด้วย 3 ส่วนดังนี้



รูปที่ 4.9 Front Panel

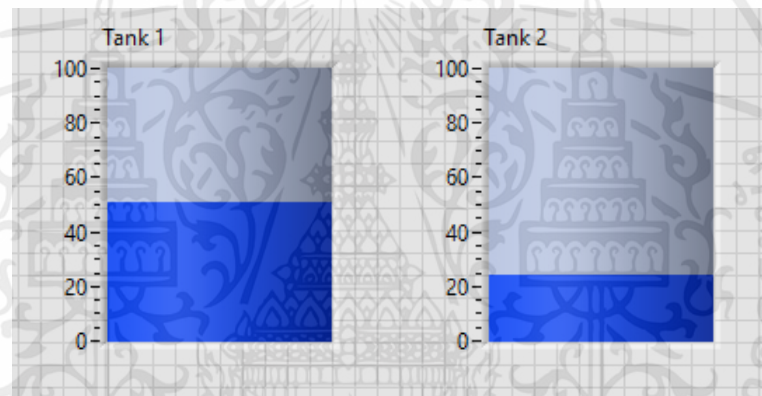
- 1) กราฟแสดงระดับน้ำในแท้งค์ที่ 1 และ 2 เทียบกับเวลา แสดงไว้ในรูปที่ 4.10
- 2) ตัวควบคุมปรับเปลี่ยนค่าอินพุต แสดงไว้ในรูปที่ 4.10 เช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 Front Panel

## 3) แท็งก์น้ำจำลอง

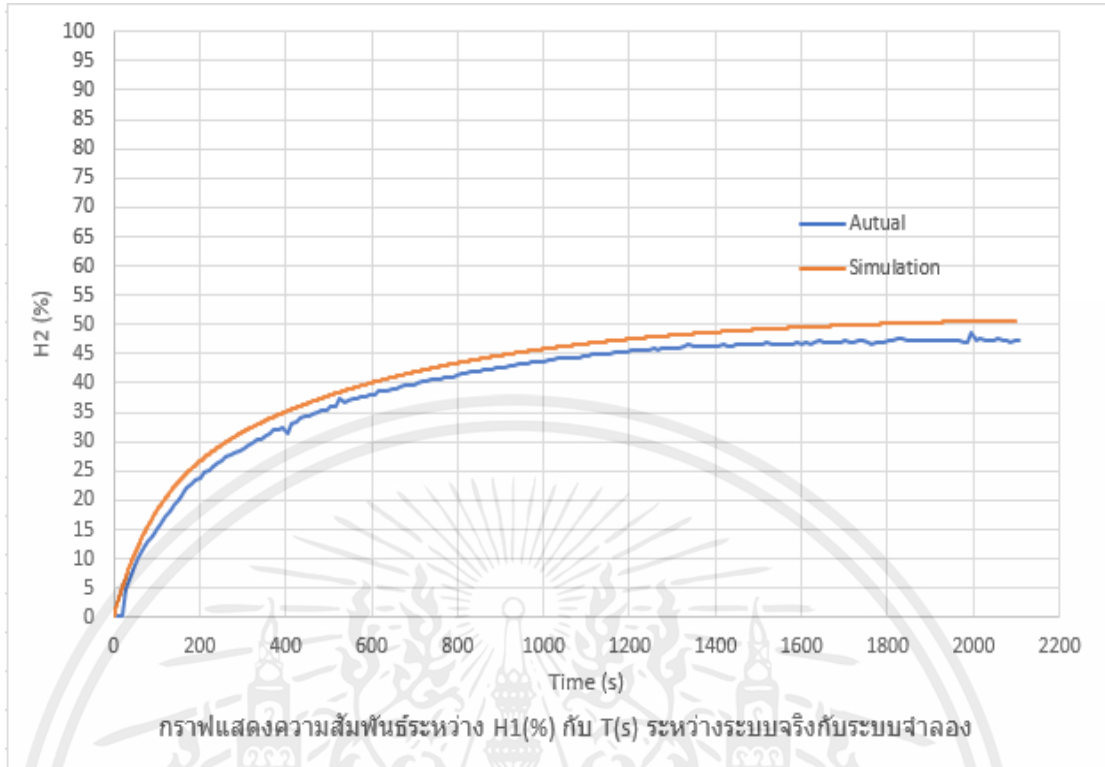


รูปที่ 4.11 แท็งก์น้ำจำลอง

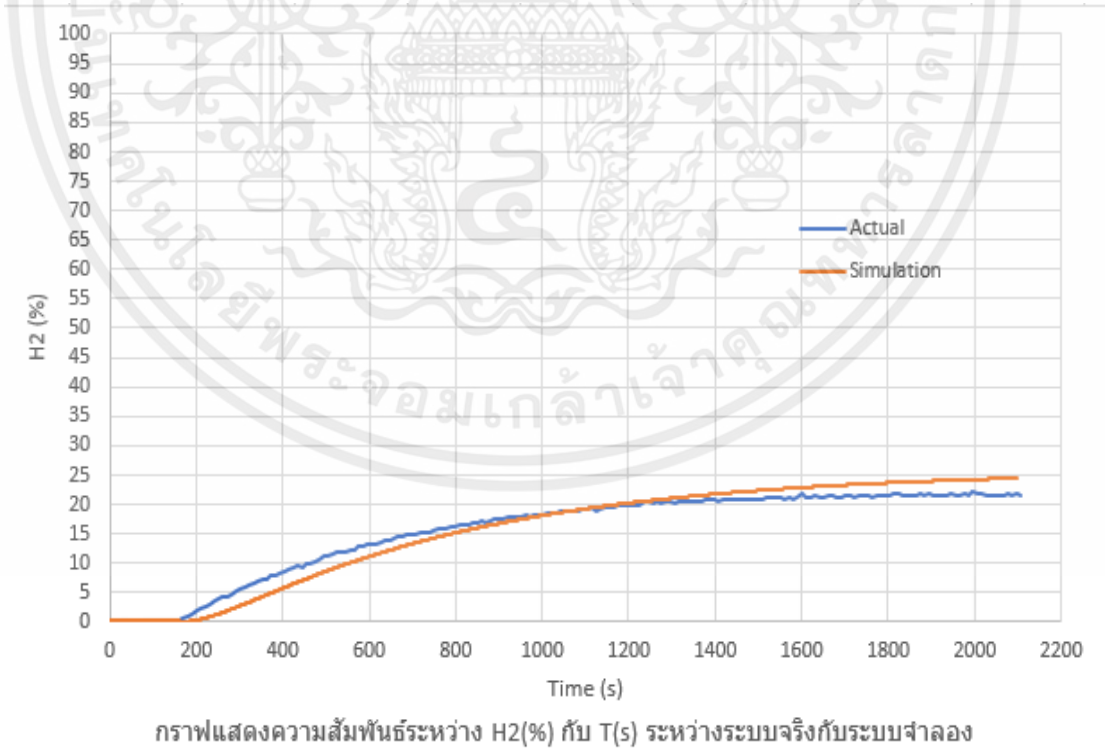
## 4.2.3 การเปรียบเทียบผลตอบสนองของระบบจำลองควบคู่กับระบบจริง

บันทึกผลตอบสนองจากระบบจำลองลงในไฟล์ .xlsx ในโปรแกรม Microsoft Excel จากนั้นทำการเปรียบเทียบระหว่างค่าที่เก็บมาจากระบบจริงและระบบจำลองโดยการพล็อตกราฟเทียบกับเวลา ในอัตราการเปิดวาล์วที่ 70% หรืออินพุตที่ 454 L/hr กราฟของแท็งค์ที่ 1 แสดงไว้ในรูปที่ 4.12 และกราฟของแท็งค์ที่ 2 แสดงไว้ในรูปที่ 4.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $h_1$ (%) กับ T (s) ระหว่างระบบจริงกับระบบจำลอง



รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $h_2$ (%) กับ T (s) ระหว่างระบบจริงกับระบบจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Deviation) หรือย่อว่า MAD ของทั้งสองแท่งค์ได้ถูกแสดงไว้ในตารางที่ 4.2 โดยสามารถคำนวณได้โดยใช้สมการที่ 4.4

$$MAD = \frac{|\text{ค่าที่เกิดขึ้น} - \text{ค่าที่พยากรณ์}|}{n} \quad (4.4)$$

ตารางที่ 4.2 ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยที่ได้จากการคำนวณความคลาดเคลื่อนในทั้งสองแท่งค์เทียบกับระบบจริง โดยเปิดวาล์วควบคุมที่ 70%

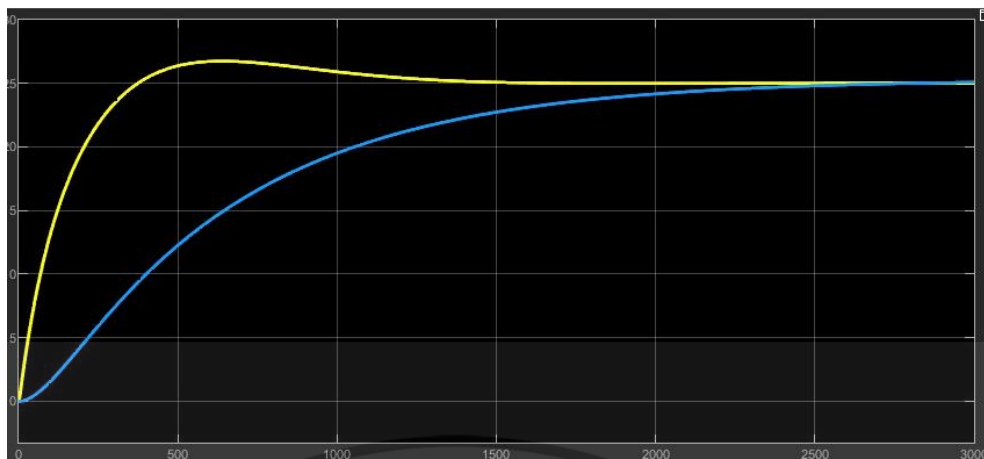
หมายเลขแท่งค์	MAD (%)
1	3.210466667
2	3.519568027

### 4.3 ผลลัพธ์จากการใช้ตัวควบคุมแบบ PID (PID controller)

ในการหาค่า PID Controller ทำได้ด้วยการใช้ PID tuner โดยอ้างอิงมาจากเว็บไซต์ MathWorks (MathWorks, n.d.) ซึ่งมีความน่าเชื่อถือมาก และได้นำขั้นตอนเหล่านั้นมาใช้เพื่อทำการหาค่า PID controller โดยทำตามขั้นตอนในบทที่ 3 และทำการทดสอบระบบโดยการเปลี่ยนค่า Kp Ki และ Kd เพื่อดูผลตอบสนองนั้นเกิดการเปลี่ยนแปลงไปอย่างไรจากค่าที่ได้จาก PID tuner

#### 4.3.1 PID controller

การใช้ PID controller จะส่งผลให้ระบบเข้าสู่ set point ได้รวดเร็วยิ่ง ซึ่งจะแสดงให้ดังรูปที่ 4.14 เป็นกราฟเปรียบเทียบกระบวนที่ไม่ได้ใส่ PID กับกราฟที่ได้ทำการใส่ PID controller โดยกราฟเส้นสีเหลืองนั้นคือระบบที่ได้ทำการใส่ PID controller กราฟเส้นสีฟ้านั้นคือระบบที่ไม่ได้ใส่ PID controller และค่าพารามิเตอร์ระหว่างระบบที่ยังไม่ได้ใส่ตัว controller กับระบบที่ได้ทำการใส่ตัว controller ได้ทำการแสดงไว้ยังตารางที่ 4.3



รูปที่ 4.14 กราฟเปรียบเทียบ 2 ระบบระหว่าง ระหว่างระบบที่ยังไม่ได้ใส่ตัว controller กับระบบที่ได้ทำการใส่ตัว controller

ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบระหว่างระบบที่ยังไม่ได้ใส่ตัว controller กับระบบที่ได้ทำการใส่ตัว controller

กระบวนการที่มี controller		กระบวนการที่ไม่มี controller	
Kp	126.6412	Kp	0
Ki	0.36931	Ki	0
Kd	9560.2837	Kd	0
Rise time (s)	176	Rise time (s)	1376.3
Settling time (s)	898	Settling time (s)	2502.4
Overshoot (%)	7.6	Overshoot (%)	0

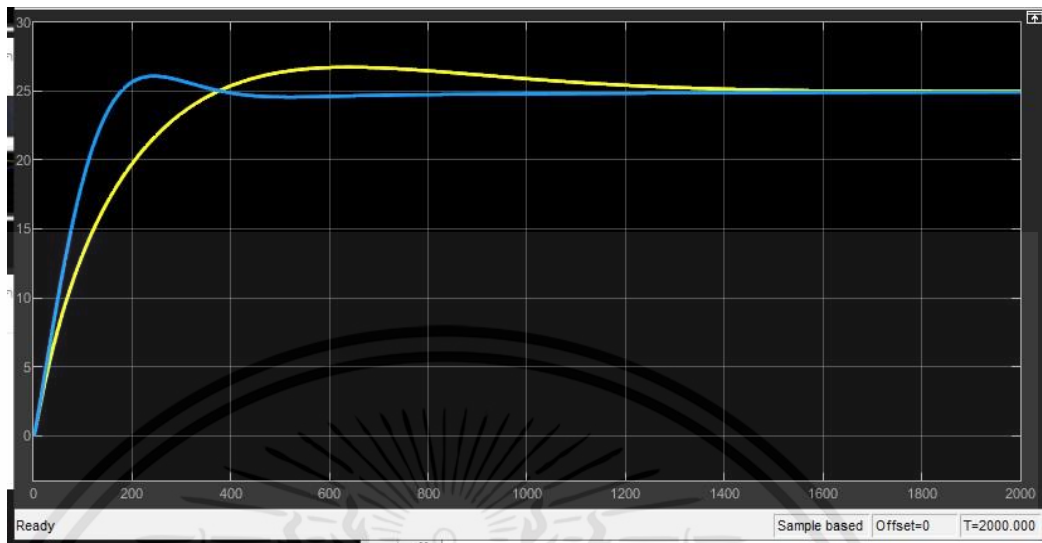
#### 4.3.2 PID parameter

เป็นผลลัพธ์ในการเปรียบเทียบค่าของ PID controller ซึ่งจะทำให้การตรวจสอบความสัมพันธ์กันของค่าต่างๆ เพื่อนำไปปรับปรุงให้เข้าเข้ากระบวนการมากยิ่งขึ้น

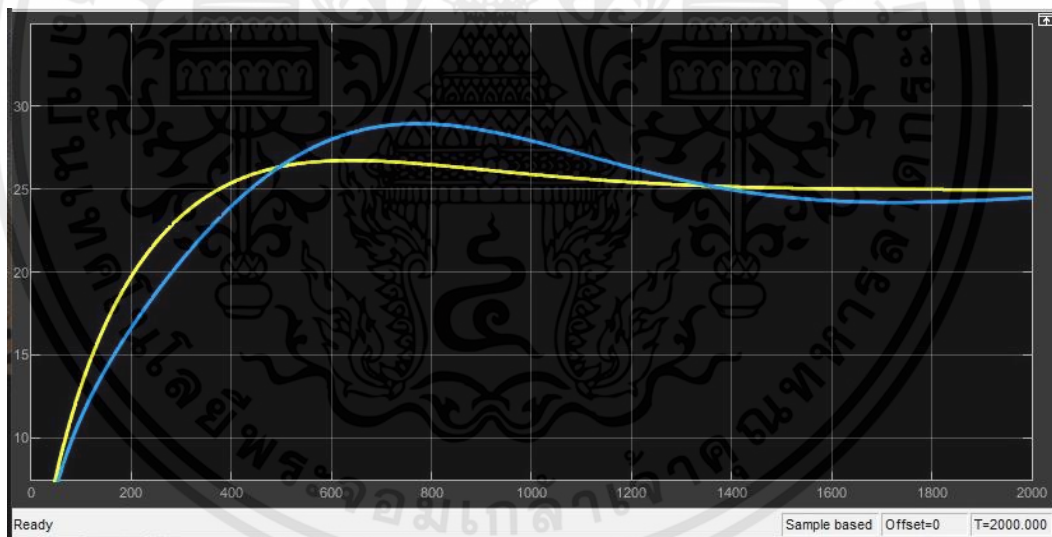
##### 4.3.2.1 Proportional gain (Kp)

Proportional gain ที่มีค่ามากจึงส่งผลให้ Rise Time เปลี่ยนแปลงเร็ว (เพิ่มเร็ว ลดเร็ว) แต่ถ้า ใส่มากจะส่งผลให้ค่าของผลตอบสนองระบบนั้นมีค่ามากเกินไปก็อาจทำให้เกิด Overshoot ได้ง่าย หรือถ้าหากใส่ค่าน้อยเกินไปก็จะส่งผลให้ค่าของผลตอบสนองระบบนั้นมีค่าน้อย และทำให้ระบบนั้นจะเข้าสู่ค่า set point ช้าลง ซึ่งจะแสดงให้เห็นดัง รูปที่ 4.15 และ ภาพที่ 4.16 โดย

กราฟเส้นสีเหลืองคือระบบที่ไม่ได้ทำการปรับแต่งค่า  $K_p$  และ กราฟเส้นสีฟ้าคือระบบที่ได้ทำการปรับแต่งค่า  $K_p$



รูปที่ 4.15 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของระบบเมื่อทำการเพิ่มค่า  $K_p$

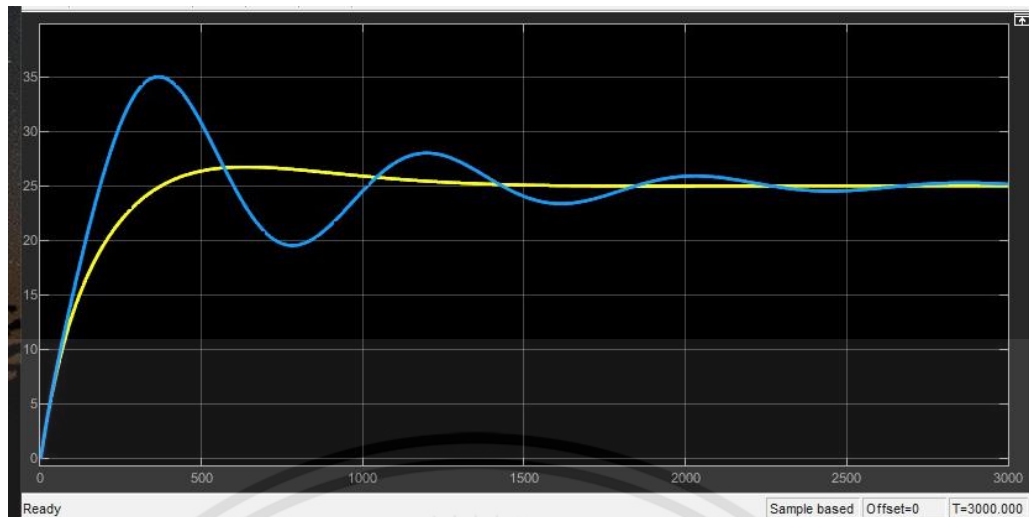


รูปที่ 4.16 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของระบบเมื่อทำการลดค่า  $K_p$

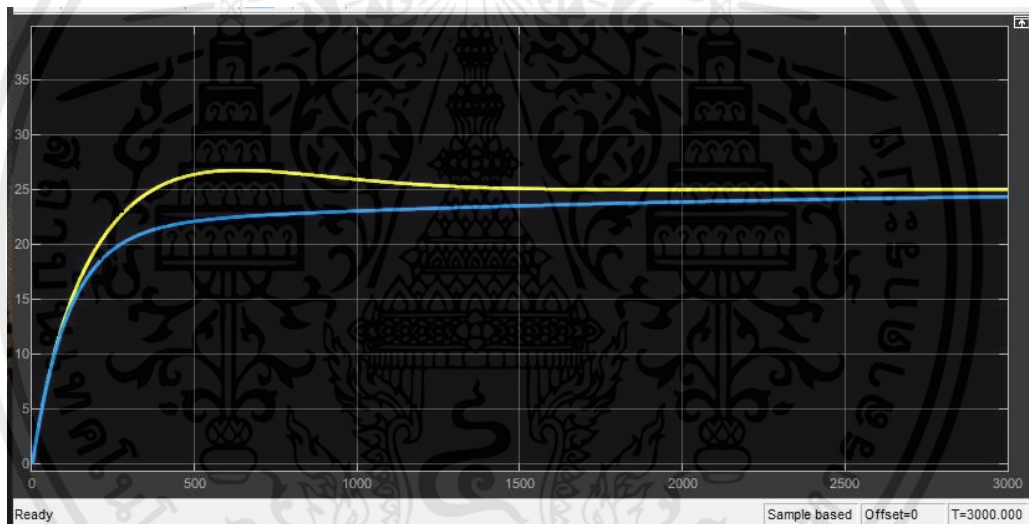
#### 4.3.2.2 Integral gain ( $K_i$ )

ค่าของ Integral gain นั้นจะช่วยให้ระบบเข้าสู่ set point ได้เร็วขึ้นแต่ถ้าหากมีค่ามากเกินไปก็จะส่งผลให้เกิด Overshoot มากขึ้น ถ้าหากค่าน้อยเกินไปก็จะทำให้ ระบบนั้นเข้า set point ได้ช้ามาก ซึ่งจะแสดงให้เห็นดังรูปที่ 4.17 และ รูปที่ 4.18 โดยกราฟเส้นสีเหลืองคือระบบที่ไม่ได้ทำการปรับแต่งค่า  $K_i$  และ กราฟเส้นสีฟ้าคือระบบที่ได้ทำการปรับแต่งค่า  $K_i$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.17 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของระบบเมื่อทำการเพิ่มค่า  $K_i$

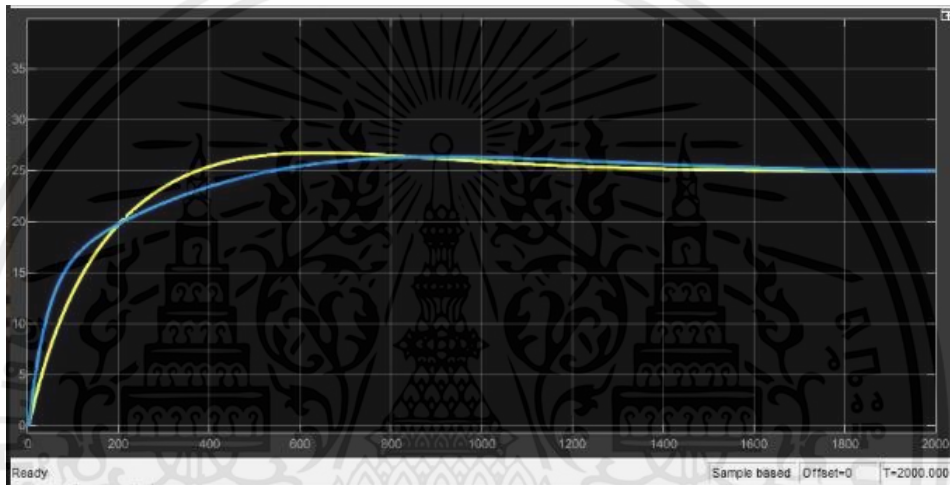


รูปที่ 4.18 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของระบบเมื่อทำการลดค่า  $K_i$

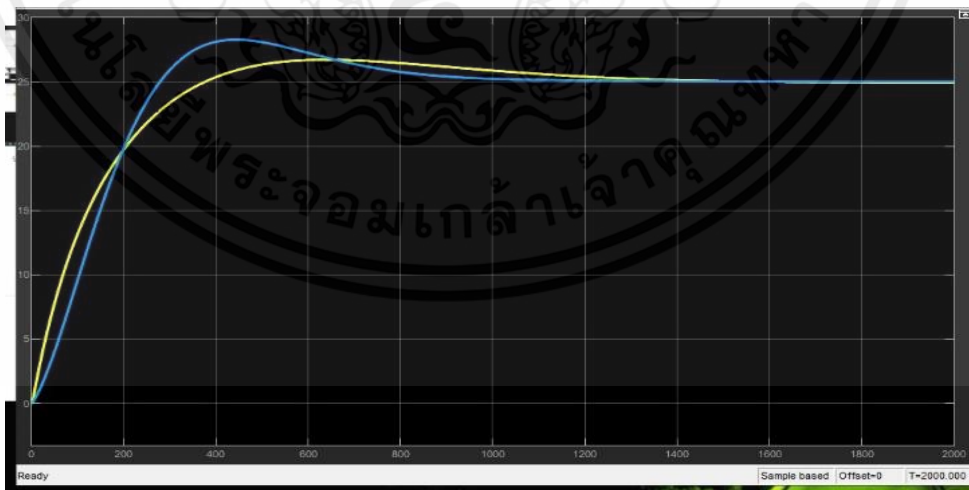
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3.2.3 Derivative gain (Kd)

ค่า Derivative gain ส่งผลให้ผลการตอบสนองนั้นมีการแกว่งน้อยลงส่งผลให้ระบบนั้นเข้าสู่ set point นั้นได้เร็วยิ่งขึ้น ซึ่งค่าของ Derivative gain ส่งผลต่อกระบวนการมากเมื่อเทียบกับ Proportional gain และ Integral gain แต่ถ้าหากเราสามารถหาค่าที่เหมาะสมได้ก็จะส่งผลให้ระบบเข้าสู่ set point ได้เร็วยิ่งขึ้นเนื่องจากการแกว่งของกระบวนการที่เกิดจาก gain อื่นๆ ซึ่งจะเห็นได้ดังรูปที่ 4.19 และภาพที่ รูปที่ 4.20 โดยกราฟเส้นสีเหลืองคือระบบที่ไม่ได้ทำการปรับแต่งค่า Kd และ กราฟเส้นสีฟ้าคือระบบที่ได้ทำการปรับแต่งค่า Kd



รูปที่ 4.19 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของระบบเมื่อทำการเพิ่มค่า Kd



รูปที่ 4.20 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของระบบเมื่อทำการลดค่า Kd

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จัดทำขึ้นขึ้นมา มีจุดประสงค์หลักเพื่อนำเสนอการหาโมเดลทางคณิตศาสตร์ (System Identification) ของระบบเพื่อระบุพารามิเตอร์หรือเอกลักษณ์ของโมเดลทางกายภาพ จากนั้นนำโมเดลทางคณิตศาสตร์ดังกล่าวมาใช้ในการสร้างระบบจำลองและสุดท้ายเป็นการควบคุมระบบจำลองด้วยตัวควบคุมแบบ PID ดังนั้นการสรุปผลสามารถแยกออกได้เป็น 3 ส่วนดังนี้

##### 5.1.1 การหาโมเดลทางคณิตศาสตร์ของระบบ

จากการวิเคราะห์โมเดลทางกายภาพเนื่องจากระบบเป็นโมเดลแบบทราบดีค่าเพียงบางส่วน (Grey box Modelling) มีค่าพารามิเตอร์บางชนิดที่จะต้องใช้การวิเคราะห์ข้อมูลจากระบบ โดยมีการเปลี่ยนค่าอัตราการไหล  $q_1(t)$  และ  $q_0(t)$  ให้อยู่ในรูปของระดับน้ำ ในส่วนของความต้านทาน และความจุ C ที่ไม่ทราบค่าถูกรวมให้อยู่เป็นค่าพารามิเตอร์  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $b_1$  และ  $b_2$  การหาโมเดลคณิตศาสตร์ทำด้วยวิธีการหาปริพันธ์สำหรับโมเดลเชิงเส้นโดยใช้โปรแกรม MATLAB

จากกราฟเปรียบเทียบระหว่างค่าจากระบบจริงและค่าจากโมเดลทางคณิตศาสตร์ที่หามาจากวิธีปริพันธ์โดยโมเดลเชิงเส้นมีความใกล้เคียงกันในในภาพที่ 4.1 4.2 และ 4.3 แสดงให้เห็นว่าวิธีการดังกล่าวให้โมเดลทางคณิตศาสตร์ที่มีประสิทธิภาพ เป็นตัวแทนของระบบจริง และเหมาะสมแก่การนำไปสร้างระบบจำลองต่อไป

##### 5.1.2 การสร้างระบบจำลองจากโมเดลทางคณิตศาสตร์

ในการทำการทดสอบโมเดลทางคณิตศาสตร์ที่หาได้จากวิธีการหาปริพันธ์สำหรับโมเดลเชิงเส้น ว่ามีประสิทธิภาพ และสามารถนำไปใช้ประโยชน์โดยเป็นตัวแทนของระบบจริง จึงได้ทำการออกแบบสร้างระบบจำลองขึ้นมาโดยใช้โปรแกรม LabVIEW ในส่วนของโปรแกรมสามารถแบ่งออกได้เป็นสองส่วน Block Diagram เป็นส่วนสำหรับเขียนเงื่อนไขและคำสั่ง และ Front Panel เป็นส่วนสำหรับแสดงผลและควบคุมระบบ ผลของการทดสอบการทำงานของระบบจำลองได้ถูกบันทึกไว้ในโปรแกรม Microsoft Excel โดยกราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ในรูปที่ 4.12 และ 4.13 แสดงให้เห็นค่าความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์เฉลี่ยของแท่งที่ 1 เท่ากับ 3.210466667% และแท่งที่ 2 เท่ากับ 3.519568027% แสดงว่าโมเดลทางคณิตศาสตร์ที่คำนวณมา มีความคลาดเคลื่อนราว 3% จากระบบจริง แสดงให้เห็นว่าโมเดลทางคณิตศาสตร์ที่คำนวณมา มีความคลาดเคลื่อนราวๆ 3% จากระบบจริง

### 5.1.3 การออกแบบตัวควบคุม

ค่าของ PID ที่ได้จาก PID Tuner เมื่อนำค่าเหล่านี้มาใช้ในการควบคุมระบบส่งผลระบบจะเข้าสู่ set point ได้เร็วยิ่งขึ้นนั่นเอง ซึ่งสามารถสังเกตได้จากช่วงเวลาขึ้น (Rise time) มีค่าน้อยลง หมายความว่าระบบจะเข้าสู่ค่า Set point ได้เร็วกว่าระบบที่ไม่ได้ใช้ตัวควบคุมแบบ PID และนอกจากนี้ค่าเวลาเข้าสู่สมดุล (Setting time) นั้นก็มีค่าน้อยลง ส่งผลให้ระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ (Steady state) ได้รวดเร็วยิ่งขึ้น ซึ่งได้ทำการเปรียบเทียบกราฟระหว่างระบบที่ได้ทำการใส่ตัวควบคุมและไม่ได้ใส่ตัวควบคุมไว้ยังบทที่ 4 ในหัวข้อที่ 4.3.1 แล้ว ตารางที่ 4.3 โดยจากตารางระบบมีผลตอบสนองทั้ง Rise time(s) และ Settling time(s) ดีขึ้นทั้งคู่ มีเพียงค่า Overshoot (%) ที่เพิ่มมากขึ้นเป็น 7.6 %

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

หลังจากทำการทดลองในการเพิ่มและลดค่า gain ต่างๆในหัวข้อที่ 4.3.2 นั้นพบว่า หากเพิ่มหรือลดค่าของ P และ I จะส่งผลให้ระบบนั้นเข้าสู่ Set point ได้ช้าลง แต่ถ้าหากทำการลดค่า Kd นั้นระบบจะเข้าสู่ Set point ได้เร็วยิ่งขึ้นแต่จะแลกมาด้วย Over shoot ที่มากขึ้น แสดงว่าถ้าหากทำการควบคุมระดับของของเหลวที่มีระดับต่ำนั้นเราสามารถลดค่า Kd ให้มากขึ้นได้ เพราะเมื่อเกิด Over shoot น้ำในถังก็จะยังไม่ล้นออกมา แต่ถ้าหากควบคุมระดับของของเหลวให้อยู่ในระดับที่สูง ก็จะไม่สามารถใช้ได้เนื่องจากระบบของของเหลวนั้นจะล้นถึงออกมา

## บรรณานุกรม

ธเนศ เคารพพงศ์. 2549. แนะนำระบบควบคุม. [Online].

Available: <http://fivedots.coe.psu.ac.th/Software.coe/240-209/vcrcontrol.pdf>

วิภพ ใจแข็ง. 2559. ระบบควบคุม. เชียงราย: คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏ เชียงราย.

ศิริลักษณ์ สุวรรณวงศ์. 2535. การวิเคราะห์ห่อ นุกรมเวลา. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สุวีริยาสาส์น.

Bela, L. 1995. Instrument Engineers' Handbook: Process Control. Radnor, Pennsylvania: Chilton Book Company. pp. 20–29.

สำนักงานกลางชั่งตวงวัด. 2560. วาล์วควบคุมกับระบบมาตรวัดปริมาตรของเหลว (CONTROL VALVES IN DYNAMIC MEASURING SYSTEMS) ตอนที่ 1. [Online].  
Available: [http://www.cbwmthai.org/Activity\\_Detail.aspx?id=23](http://www.cbwmthai.org/Activity_Detail.aspx?id=23).

Aballtechno Co., LTD. 2020. Electromagnetic Flow Meter. [Online].

Available: <https://www.aballtechno.com/article/16/electromagnetic-flow-meter>.

Ang, K.H., Chong, G.C.Y., and Li, Y. 2005. PID control system analysis, design, and technology, IEEE Trans Control Systems Tech, 13(4), pp.559-576.

Fellani, M.A., and Gabaj, A.M. 2015. PID Controller Design for Two Tanks Liquid Level Control System using Matlab. Tripoli, Libya.

Hann, C.E., Chase, J.G., Ypma, M.F., Elfring, J., Nor, N.H.M., Lawrence, P., and Shaw, G.M. 2008. The Impact of Parameter Identification Methods on Drug Therapy Control in an Intensive Care Unit. The Open Medical Informatics Journal. 2: 92-104.

Hann, C., Sirisena, H., and Napasool, W. 2010. Simplified modeling approach to system identification of nonlinear boat dynamics. Proceedings of the American Control Conference. DOI: 10.1109/ACC.2010.5530459

Inst Tools. 2020. Current to Pressure (I/P) Converter Principle. [Online].

Available: <https://instrumentationtools.com/current-pressure-ip-converter-principle>.

Lipták, B.G. 1995. Instrument Engineers' Handbook: Process Control. Radnor, Pennsylvania: Chilton Book Company. pp. 20–29.

MathWorks. n.d. Open PID Tuner. [Online].

Available: <https://www.mathworks.com/help/slcontrol/ug/designing-controllers-with-the-pid-tuner.html>.

National Instrument. 2005. User guide and specifications for USB-6008/6009. [Online].

Available:  
[https://www.tau.ac.il/~electro/pdf\\_files/computer/ni\\_6008\\_ADC\\_manual.pdf](https://www.tau.ac.il/~electro/pdf_files/computer/ni_6008_ADC_manual.pdf)

Somkane, P. 2019. “System Identification Based PID Controller Design For A Level Plant Subjected To Wirelesshart Communication.” Master’s thesis of Instrumentation Engineering, King Mongkut’s Institute of Technology Ladkrabang.

ภาคผนวก ก  
การเขียนโปรแกรม MATLAB

1. โปรแกรมการระบุเอกลักษณ์ของระบบ

```
clear
JJ=importdata('70_convert_test1.xlsx')

H1 = JJ(:,2);
H2 = JJ(:,3);
qi = JJ(:,4);
t = JJ(:,1);

IntH1=cumtrapz(t,H1);
IntH2=cumtrapz(t,H2);
Intqi=cumtrapz(t,qi);

A1=[t.^0 Intqi -IntH1+IntH2];
A2=[t.^0 IntH1 -IntH2];

A=blkdiag(A1,A2);
b=[H1;H2];

sol=lsqlin(A,b)

h10=sol(1); a1=sol(2); a2=sol(3);
h20=sol(4); b1=sol(5); b2=sol(6);

%model
h1_model=h10+a1*Intqi-a2*(IntH1-IntH2);
h2_test=h20+b1*IntH1-b2*IntH2;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

figure;plot(t,h1_model,t,H1);
figure;plot(t,h2_test,t,H2);

%%%%%%PIECEWISE

T1=t(1:16);
T2=t(16:end);

A1=T1.^0;
b1=H2(1:16);

sol=A1\b1;
h20=sol;

h2_model1=sol*ones(size(T1));

IntH2_ =cumtrapz(T2,H2(16:end));
IntH1_ =cumtrapz(T2,H1(16:end));

A2_=[IntH1_ -IntH2_];
b2_=H2(16:end)-h20;

sol_ =A2_ \b2_

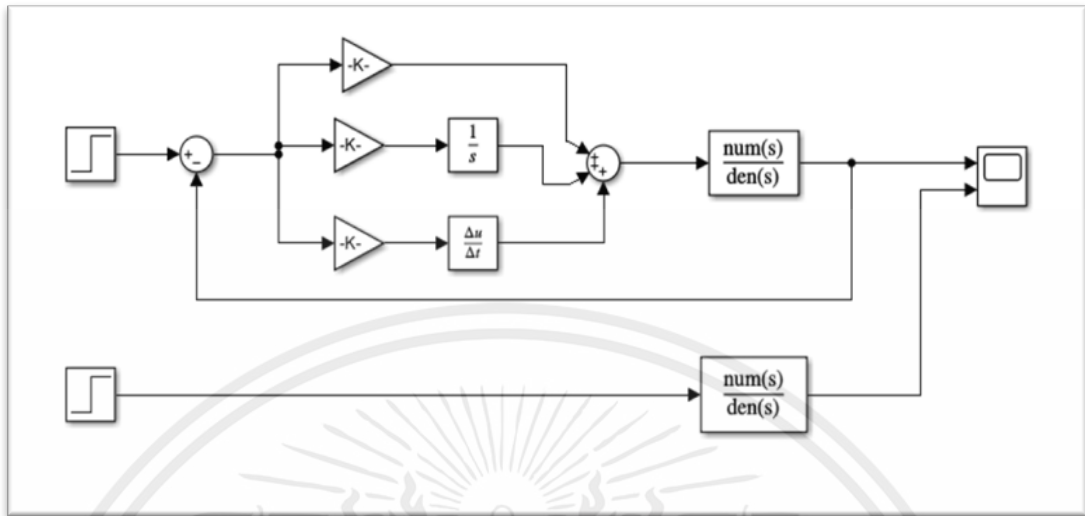
h2_model2=h20+sol_(1)*IntH1_-sol_(2)*IntH2_ ;

h2_model=[h2_model1(1:end-1);h2_model2];
figure;plot(t,h2_model,t,H2);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. โปรแกรมออกแบบตัวควบคุม PID



รูปที่ ก.1 โปรแกรมออกแบบตัวควบคุม PID ส่วน Simulink

VARIABLE	CODE	SIMULINK	ENVIRONMENT
MATLAB			
Command Window			
	<pre>&gt;&gt; s = tf('s')</pre>		
	<pre>s =</pre> <pre>s</pre> <pre>Continuous-time transfer function.</pre>		
	<pre>&gt;&gt; sys=0.00000108/(s^2+0.01333*s+0.000019)</pre>		
	<pre>sys =</pre> <pre>1.08e-06</pre> <pre>----- </pre> <pre>s^2 + 0.01333 s + 1.9e-05</pre> <pre>Continuous-time transfer function.</pre>		
	<pre>&gt;&gt; step(sys)</pre>		
	<pre>fx &gt;&gt;  </pre>		

รูปที่ ก.2 โปรแกรมออกแบบตัวควบคุม PID ส่วน Command

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข  
รายละเอียดอุปกรณ์

## USER GUIDE AND SPECIFICATIONS USB-6008/6009

This guide describes how to use the National Instruments USB-6008/6009 data acquisition (DAQ) devices and lists specifications.

### Introduction

The NI USB-6008/6009 provides connection to eight analog input (AI) channels, two analog output (AO) channels, 12 digital input/output (DIO) channels, and a 32-bit counter with a full-speed USB interface.



**Note** This manual revision updates naming conventions to reflect the conventions used in NI-DAQmx. Table 1 notes the correlation between the old and updated names.

**Table 1.** Digital Output Driver Type Naming Conventions

Hardware Functionality	NI-DAQmx Terminology
Open-drain	Open collector
Push-pull	Active drive

**Table 2.** Differences Between the USB-6008 and USB-6009

Feature	USB-6008	USB-6009
AI Resolution	12 bits differential, 11 bits single-ended	14 bits differential, 13 bits single-ended
Maximum AI Sample Rate, Single Channel*	10 kS/s	48 kS/s
Maximum AI Sample Rate, Multiple Channels (Aggregate)*	10 kS/s	42 kS/s
DIO Configuration	Open collector	Open collector or active drive

\* Might be system dependent.



รูปที่ ข.1 USB-6008/6009 data acquisition User Guide หน้า 1

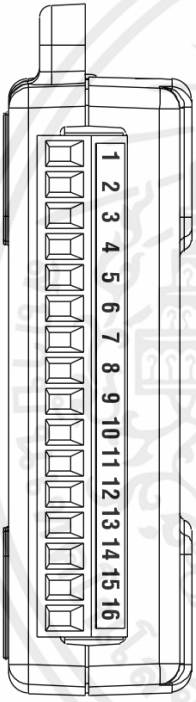
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## I/O Connector

The USB-6008/6009 ships with one detachable screw terminal block for analog signals and one detachable screw terminal block for digital signals. These terminal blocks provide 16 connections that use 16 AWG to 28 AWG wire.

Table 3 lists the analog terminal assignments, and Table 4 lists the digital terminal assignments.

**Table 3.** Analog Terminal Assignments

Module	Terminal	Signal, Single-Ended Mode	Signal, Differential Mode
	1	GND	GND
	2	AI 0	AI 0+
	3	AI 4	AI 0-
	4	GND	GND
	5	AI 1	AI 1+
	6	AI 5	AI 1-
	7	GND	GND
	8	AI 2	AI 2+
	9	AI 6	AI 2-
	10	GND	GND
	11	AI 3	AI 3+
	12	AI 7	AI 3-
	13	GND	GND
	14	AO 0	AO 0
	15	AO 1	AO 1
	16	GND	GND

### รูปที่ ข.2 USB-6008/6009 data acquisition User Guide หน้า 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้