

การศึกษาการออกแบบตัวควบคุมแบบปรับค่าได้ตามที่กำหนดไว้ของ  
ระบบปฏิบัติการถึงเก็บความดันแบบปฏิสัมพันธ์  
A STUDY OF SYSTEM IDENTIFICATION BASED GAIN SCHEDULING  
CONTROL DESIGN OF THE PRESSURE PLANT



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2561

การศึกษาการออกแบบตัวควบคุมแบบปรับค่าได้ตามที่กำหนดไว้ของ  
ระบบปฏิบัติการถังเก็บความดันแบบปฏิสัมพันธ์  
A STUDY OF SYSTEM IDENTIFICATION BASED GAIN SCHEDULING  
CONTROL DESIGN OF THE PRESSURE PLANT



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A STUDY OF SYSTEM IDENTIFICATION BASED GAIN SCHEDULING  
CONTROL DESIGN OF THE PRESSURE PLANT



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
BACHELOR OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LARDKRABANG  
ACADEMIC YEAR 2018

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2561

คณะวิศวกรรมศาสตร์

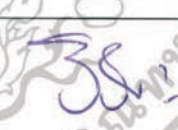

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

หัวข้อปริญญาานิพนธ์ การศึกษาการออกแบบตัวควบคุมแบบปรับค่าได้ตามที่กำหนดไว้ของ  
ระบบปฏิบัติการถึงเก็บความดันแบบปฏิสัมพันธ์  
A STUDY OF SYSTEM IDENTIFICATION BASED GAIN SCHEDULING  
CONTROL DESIGN OF THE PRESSURE PLANT

นักศึกษาผู้จัดทำ นายชานนท์ คงแก้ว รหัสนักศึกษา 58010288  
นายณัฐวุฒิ สุขสุวรรณ รหัสนักศึกษา 58010435  
นายธนวัฒน์ เตชะสาย รหัสนักศึกษา 58010515

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชา วิศวกรรมการวัดคุม  
ปีการศึกษา 2561

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาานิพนธ์	ลายมือชื่อ
รองศาสตราจารย์วิริยะ กองรัตน์	
ดร.นภศูล วงษ์วานิช	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การศึกษาการออกแบบตัวควบคุมแบบปรับค่าได้ตามที่กำหนดไว้ของระบบปฏิบัติการถึงเก็บความดันแบบปฏิสัมพันธ์			
	A STUDY OF SYSTEM IDENTIFICATION BASED GAIN SCHEDULING CONTROL DESIGN OF THE PRESSURE PLANT			
นักศึกษาผู้จัดทำ	นายชานนท์	คงแก้ว	รหัสนักศึกษา	58010288
	นายณัฐวุฒิ	สุขสุวรรณ	รหัสนักศึกษา	58010435
	นายธนวัฒน์	เดชะสาย	รหัสนักศึกษา	58010515
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์วิริยะ	กองรัตน์		
	ดร.นภศุล	วงษ์วานิช		
ปีการศึกษา	2561			

### บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้จัดทำขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษา นำเสนอวิธีการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และการทำนายเอกลักษณ์ของระบบปฏิบัติการถึงเก็บความดันแบบปฏิสัมพันธ์ เพื่อออกแบบตัวควบคุมระบบที่เหมาะสมโดยใช้วิธีการควบคุม PID และทำการออกแบบตัวควบคุมแบบปรับค่าได้ตามที่กำหนดไว้ โดยการศึกษาาระบบปฏิบัติการถึงเก็บความดันแบบปฏิสัมพันธ์ จะทำการเรียนรู้พฤติกรรมของระบบ โดยการเก็บบันทึกค่าความดันในระบบจากสภาวะต่าง ๆ ตามค่าเป้าหมายผ่านทางโปรแกรม LabVIEW เพื่อนำมาสร้างสมการทางคณิตศาสตร์ที่สามารถแสดงพฤติกรรมของระบบและสามารถใช้แทนกระบวนการตัวอย่างระบบถึงความดันอากาศแบบปฏิสัมพันธ์ได้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบดังกล่าว ได้ถูกพัฒนามาจากหลักการสมมูลมวล ซึ่งการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ จะใช้โปรแกรม MATLAB ในการวิเคราะห์ ซึ่งพบว่าสมการและค่าพารามิเตอร์เทียบเคียงได้กับกระบวนการตัวอย่าง และเมื่อพิจารณาปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการ จึงได้ศึกษาในกรณีที่แหล่งจ่ายลมไม่มีเสถียรภาพ พบว่ามีผลต่อระบบ และทำให้ค่าพารามิเตอร์ ต่าง ๆ ของตัวแปรควบคุม เปลี่ยนแปลงไปอย่างมาก ดังนั้นจึงใช้สมการทางคณิตศาสตร์มาออกแบบตัวควบคุมแบบ PID และมีการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ รวมถึงจัดทำตารางของค่าพารามิเตอร์หลาย ๆ ค่า ที่เปลี่ยนแปลงไปตามค่าเป้าหมายที่เปลี่ยนไป เรียกว่า การออกแบบตัวควบคุมแบบปรับค่าได้ตามที่กำหนดไว้ โดยใช้โปรแกรมแลปวิวเพื่อเก็บบันทึกค่าออกแบบตัวควบคุมและส่วนแสดงผลของระบบ ทำให้ได้ตัวควบคุมที่เหมาะสม และปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ที่ครอบคลุมในหลาย ๆ กรณีที่ค่าเป้าหมายเปลี่ยนไปซึ่งจะทำให้การควบคุมของระบบมีเสถียรภาพและผลตอบสนองที่เหมาะสมและตามค่าเป้าหมายที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	A STUDY OF SYSTEM IDENTIFICATION BASED GAIN SCHEDULING CONTROL DESIGN OF THE PRESSURE PLANT	
Authors	Mr. Chanon	Kongkaew
	Mr. Nattawut	Suksuvan
	Mr. Thanawat	Techasai
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Viriya	Kongrat
	Dr. Napasool	Wongvanich
Year	2018	

### ABSTRACT

The objectives of the thesis were to study, present the method of mathematical model simulation and inventing the system identification of operating system of pressure tank system. Those for designing suitable system controllers by applying the methods of PID Control. Implementing the gain scheduling control by examining the pressure tank system, the procedure to know the system behavior, by gathering targeted system pressures in which conditions via program LabVIEW to make a mathematical equation that is able to represent system behaviors and apply in actual conditions. The mentioned equation was derived from mass balance equation principle by analyzing parameters using program MATLAB. Later, it was found that the equation and its parameters can be correlated to actual conditions. Considering affecting factors to the processes by assuming that wind generator is an unstable source, affected system and significantly changed parameters exist. To solve, using the mathematical equation to design PID controllers and modify its parameters as well as tabulating various parameters deviated with its deviated targets. This is called "Gain Scheduling Control" (Design of targeted adjustable controller) by using program LabVIEW that is used to collect measured values, design controllers and be the system result displayer. This method can obtain suitable controllers and being able to modify extensive parameters with variously changed targets, causes of a more stable system control and maximizing the responses as close as to targets.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# กิตติกรรมประกาศ

ในการจัดทำปริญญาบัตรฉบับนี้จะประสบความสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยคำแนะนำ และความเอาใจใส่เป็นอย่างดีจาก รองศาสตราจารย์วิริยะ กองรัตน์ และ ดร.นภศุล วงษ์วานิช ซึ่งเป็น อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาบัตรของคณะผู้จัดทำ อีกทั้งยังสนับสนุนงบประมาณอุปกรณ์และเครื่องมือ ต่าง ๆ ในการทำปริญญาบัตรนี้ คณะผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณท่านเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณท่านคณาจารย์ทุก ๆ ท่านที่ให้ความรู้ความเข้าใจในเนื้อหาวิชา ตั้งแต่ เริ่มเข้าการศึกษาเพื่อนำความรู้ที่ได้จากคณาจารย์ทุก ๆ ท่าน นำมาประกอบในการทำปริญญาบัตร ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณเพื่อน ๆ ทุกคนในภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม ที่ให้คำปรึกษาและกำลังใจใน การทำงานให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ของคณะผู้จัดทำทุกท่าน ซึ่งเป็นผู้ที่ส่งเสริม การศึกษาและอนาคตที่ดี ตลอดจนให้คำปรึกษา กำลังใจ และความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ ในการทำ ปริญญาบัตรฉบับนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี



คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII

บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญของปริญญาโท.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญาโท.....	1
1.3 เป้าหมายและขอบเขตของโครงการ.....	1
1.4 ขั้นตอนการศึกษา.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 ลักษณะของระบบปฏิบัติถึงความดันแบบปฏิสัมพันธ์.....	3
2.2 Mathematical Model & System Identification.....	4
2.2.1 Mathematical Model.....	4
2.2.2 System Identification.....	4
2.3 Control System.....	5
2.3.1 Open Loop.....	5
2.3.2 Close Loop.....	5
2.3.3 PID.....	6
2.3.4 Gain Scheduling.....	9
2.4 ผลการตอบสนองของระบบ.....	10
2.4.1 Rise Time.....	10
2.4.2 Peak Time.....	10
2.4.3 Maximum Overshoot.....	10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.4 Setting Time .....	10
2.5 Hardware.....	11
2.5.1 Control Valve .....	11
2.5.2 Pressure Transmitter .....	13
2.5.3 Terminal Block.....	13
2.5.4 DC Power Supply.....	14
2.5.5 เครื่องจัดเก็บข้อมูลและแปลงสัญญาณ DAQ (Data Acquisition).....	14
2.5.6 Voltage to Current Converter Module 1-5V to 0-20 mA.....	15
2.6 Software.....	15
2.6.1 MATLAB.....	15
2.6.2 LabVIEW และ ประโยชน์ของ LabVIEW.....	16
2.6.3 Maple Program.....	17
<b>บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน .....</b>	<b>18</b>
3.1 แผนผังการดำเนินงาน.....	18
3.2 การหาสมการคณิตศาสตร์ของระบบถึงความดัน.....	19
3.2.1 Parameter.....	19
3.2.2 สมการคณิตศาสตร์ของระบบถึงความดัน.....	21
3.2.3 Integral-based Method for System Identification.....	26
of Pressure Tank System	
3.3 การเก็บค่า .....	28
3.3.1 การต่อสาย .....	28
3.3.2 ขั้นตอนการเก็บค่า.....	29
3.3.3 ส่วนโปรแกรมการเก็บค่า .....	33
3.3.4 การเชื่อมต่อของ LabVIEW กับ Interface.....	34
3.4 การทำ System Identification.....	34
3.4.1 การนำค่าที่เก็บได้จากโปรแกรม LabVIEW เข้าสู่ MATLAB .....	35
3.4.2 ผลลัพธ์จากการทำ System Identification .....	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.4.3 การสังเคราะห์ Loop Transfer Function ของกระบวนการ .....	37
3.5 การสังเคราะห์ PID .....	38
3.5.1 ออกแบบ PID .....	38
3.5.2 หาค่า PID .....	38
3.6 จัดทำ Gain Scheduling .....	39
3.7 การควบคุมระบบถึงความดันแบบปฏิสัมพันธ์ .....	39
<b>บทที่ 4 การทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง .....</b>	<b>41</b>
4.1 ขั้นตอนการทดสอบการทำงานของกระบวนการเมื่อใช้ตัวควบคุม PID.....	41
ที่ได้จากการสังเคราะห์	
4.2 ผลการทดลอง.....	42
4.2.1 ค่าเป้าหมาย ความดันในถังที่สองเท่ากับ 30 psi.....	42
4.2.2 ค่าเป้าหมาย ความดันในถังที่สองเท่ากับ 25 psi.....	43
4.2.3 ค่าเป้าหมาย ความดันในถังที่สองเท่ากับ 20 psi.....	44
4.2.4 ค่าเป้าหมาย ความดันในถังที่สองเท่ากับ 15 psi.....	45
4.3 วิจารณ์ผลการทดลอง .....	46
<b>บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงาน .....</b>	<b>47</b>
5.1 สรุปผลงานวิจัย.....	47
5.1.1 สรุปผลการดำเนินการสร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์.....	47
5.1.2 สรุปผลการดำเนินการสังเคราะห์ตัวควบคุมพีไอดี .....	48
5.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา .....	48
<b>บรรณานุกรม.....</b>	<b>49</b>
<b>ภาคผนวก .....</b>	<b>50</b>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ .....	19
3.2 สมการปัจจัยที่มีผลกระทบต่อกระบวนการ.....	21
3.3 ตารางแสดงค่า System Identification Parameter .....	36
3.4 ตารางแสดงค่าพารามิเตอร์ PID Control ที่ได้จากการสังเคราะห์.....	39
4.1 ตารางแสดงค่าพารามิเตอร์ PID Control ที่ได้จากการสังเคราะห์.....	41



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	ถึงความดันอากาศแบบปฏิสัมพันธ์.....3
2.2	System Identification .....4
2.3	การควบคุมแบบวงเปิด.....5
2.4	การควบคุมแบบวงปิด.....5
2.5	ตัวควบคุม PID ที่ต่อเข้าในระบบแบบอนุกรม.....6
2.6	ลักษณะสมบัติของตัวควบคุมแบบสัดส่วน.....7
2.7	ผลการตอบสนองของระบบ.....10
2.8	Flowserve Control Valve.....11
2.9	Globe Valve Body Schematic.....12
2.10	Pressure Transmitter.....13
2.11	Terminal Block.....13
2.12	DC Power Supply.....14
2.13	เครื่องจัดเก็บข้อมูลและแปลงสัญญาณ DAQ (Data Acquisition).....14
2.14	Voltage to Current Converter Module 1-5V to 0-20 mA.....15
2.16	MATLAB.....15
2.17	LabVIEW.....16
2.18	Maple Program.....17
3.1	แผนผังการดำเนินงาน.....18
3.2	ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการจำลองระบบความดัน.....20
3.3	บล็อกไดอะแกรมแสดงปัจจัยที่มีผลต่อความดันในถังเก็บความดัน 1.....24
3.4	บล็อกไดอะแกรมแสดงปัจจัยที่มีผลต่อความดันในถังเก็บความดัน 2.....25
3.5	บล็อกไดอะแกรมแสดงปัจจัยที่มีผลต่อระบบ.....26
3.6	แบบจำลองระบบปฏิบัติการถังเก็บความดันอากาศแบบปฏิสัมพันธ์.....28
3.7	การเชื่อมต่อสัญญาณ 4-20 mA แบบ 2 สาย.....28
3.8	การสร้าง Text Document.....29
3.9	การตั้งชื่อไฟล์ Text Document.....30
3.10	การใส่ไฟล์ Text ที่ต้องการเก็บข้อมูลในโปรแกรม LabVIEW.....30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.11 การเลือกไฟล์ Text .....	31
3.12 รูป LabVIEW ตอนกำลังเก็บค่า.....	31
3.13 ตัวอย่างค่าที่ได้จากการเก็บค่า.....	32
3.14 รูปโปรแกรมส่วนรับค่าจากกระบวนการถึงความดัน .....	33
3.15 รูปโปรแกรมส่วนควบคุมการเปิดปิดของ Control Valve .....	33
3.16 ระบบสัญญาณของ DAQ.....	34
3.17 Code System Identification ในโปรแกรม MATLAB (1) .....	35
3.18 Code System Identification ในโปรแกรม MATLAB (2) .....	36
3.19 Open Loop Transfer Function.....	37
3.20 Close Loop Transfer Function .....	37
3.21 Transfer Function ที่ได้จากการยุบบล็อก.....	38
3.22 ส่วนแสดงผลการควบคุมถึงความดันแบบปฏิกิริยาในโปรแกรม LabVIEW.....	39
3.23 ส่วนโปรแกรมควบคุมถึงความดันแบบปฏิกิริยาในโปรแกรม LabVIEW.....	40
4.1 ผลตอบสนองของระบบถึงความดันที่ Setpoint = 30 psi.....	42
4.2 ผลตอบสนองของระบบถึงความดันที่ Setpoint = 30 psi..... เมื่อทำการปิดแหล่งจ่ายเป็นเวลา 15 วินาที	42
4.3 ผลตอบสนองของระบบถึงความดันที่ Setpoint = 25 psi.....	43
4.4 ผลตอบสนองของระบบถึงความดันที่ Setpoint = 25 psi..... เมื่อทำการปิดแหล่งจ่ายเป็นเวลา 15 วินาที	43
4.5 ผลตอบสนองของระบบถึงความดันที่ Setpoint = 20 psi.....	44
4.6 ผลตอบสนองของระบบถึงความดันที่ Setpoint = 20 psi..... เมื่อทำการปิดแหล่งจ่ายเป็นเวลา 15 วินาที	44
4.7 ผลตอบสนองของระบบถึงความดันที่ Setpoint = 15 psi.....	45
4.4 ผลตอบสนองของระบบถึงความดันที่ Setpoint = 15 psi..... เมื่อทำการปิดแหล่งจ่ายเป็นเวลา 15 วินาที	45
5.1 ถึงความดันอากาศแบบปฏิกิริยา.....	47

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญของปริญญานิพนธ์

กระบวนการความดันเป็นกระบวนการที่สำคัญ และ ใช้งานอยู่ทั่วไปในโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมน้ำมัน อุตสาหกรรมการผลิต อุตสาหกรรมเคมีภัณฑ์ และอื่น ๆ อีกมากมาย ซึ่งเป็นการนำประโยชน์ของความดันมาใช้งานในกระบวนการต่าง ๆ เช่น การควบคุมความดันในท่อส่งสารเคมี การควบคุมความดันในถังกักเก็บสารเคมี เป็นต้น โดยทั่วไปการออกแบบระบบควบคุม จะมีการใช้วิธี Mathematical Model แต่จำเป็นที่ต้องพิจารณาถึง Spatial Distribution เพื่อแปลงให้อยู่ในรูปแบบ Partial Differential Equation ซึ่งสมการที่ได้ค่อนข้างมีความยุ่งยาก และแก้สมการได้ยาก เพื่อออกแบบระบบควบคุมให้ง่ายขึ้น จึงใช้ Simple Differential Equation ในการวิเคราะห์โดยใช้หลักการสมดุลมวล (Mass Balance) จากนั้นเราจึงนำมาทำ System Identification เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ของระบบ และนำไปใช้ออกแบบระบบควบคุมที่ต้องการ

### 1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

เพื่อศึกษา ปรับปรุง แก้ไข ระบบปฏิบัติการถังเก็บความดันแบบปฏิสัมพันธ์ โดยการทำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และ Systems Identification มาประยุกต์ใช้ในกระบวนการควบคุมภายในระบบผ่านการควบคุมด้วย PID Control, Gain Scheduling Control และปรับจูนค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เพื่อให้ได้ผลตอบสนองที่มีประสิทธิภาพและเสถียรภาพที่มากขึ้น

### 1.3 เป้าหมายและขอบเขตของโครงการ

1. ศึกษาการใช้งานโปรแกรม MATLAB และ LabVIEW
2. ศึกษากระบวนการความดันอากาศแบบปฏิสัมพันธ์
3. ศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการจำลองระบบ
4. ศึกษา System Identification ของระบบ
5. เพื่อสร้างสมการทางคณิตศาสตร์ที่สามารถแสดงพฤติกรรมของระบบและสามารถใช้แทนกระบวนการตัวอย่างได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ศึกษาการควบคุมระบบด้วย PID Control และ Gain Scheduling Control
7. ออกแบบระบบควบคุมความดันในระบบถังเก็บความดันอากาศแบบปฏิสัมพันธ์ โดยใช้ตัวควบคุม PID และ Gain Scheduling เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ทั้งในสภาวะปกติ และสภาวะที่มีการรบกวนจากภายนอก ระบบ ให้สามารถควบคุมความดันในถังลม ให้เป็นไปตามค่าเป้าหมาย โดยมีผลตอบสนองและเสถียรภาพที่ดีที่สุด
8. แสดงผลค่าความดัน ผลตอบสนอง และตัวแปรต่าง ๆ ในโปรแกรม LABVIEW
9. ศึกษาการควบคุมแบบย้อนกลับ (Feedback Control)
10. ศึกษาการทำงานของอุปกรณ์เครื่องมือวัดที่ใช้ในระบบ

#### 1.4 ขั้นตอนการศึกษา

1. ศึกษาทฤษฎีและหลักการการทำงานของ Pressure Tank
2. ศึกษาการใช้งานโปรแกรม MATLAB, LabVIEW
3. Simulator ในโปรแกรม MATLAB โดยการสมมุติสมการ
4. เก็บข้อมูลความดันที่วัดได้จาก Pressure Tank โดยใช้โปรแกรม LabVIEW
5. นำสมการที่ได้จาก Simulator และ Plant มาเปรียบเทียบ
6. ปรับแต่งสมการ เพื่อให้ควบคุม Plant ได้อย่างมีประสิทธิภาพ
7. เขียนรายงานเล่มโครงการ และสอบ

#### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้รับความรู้เกี่ยวกับระบบปฏิบัติการถังเก็บความดันแบบปฏิสัมพันธ์
2. ได้รับความรู้จากการวิเคราะห์ระบบโดยการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และ การทำ System Identification
3. ได้รับความรู้เกี่ยวกับการวิเคราะห์ใช้งานชนิดหรือวิธีการควบคุมระบบ เช่น PID Control และ Gain Scheduling Control
4. ได้ศึกษาการใช้งานอุปกรณ์ทางด้าน Instrument เช่น I/P Converter, Control Valve, Pressure Transmitter และ DAQ เป็นต้น
5. เข้าใจหลักการการทำงานของ Analog to Digital Convertor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ลักษณะของระบบปฏิบัติถึงความดันแบบปฏิสัมพันธ์



รูปที่ 2.1 ถึงความดันอากาศแบบปฏิสัมพันธ์

ระบบปฏิบัติการถึงเก็บความดันอากาศแบบปฏิสัมพันธ์นี้ เป็นระบบแบบเข้าออกทางเดียว ประกอบด้วยการเชื่อมต่อถึงเก็บความดันอากาศสองถึงเข้าด้วยกัน เชื่อมต่อกันแบบอนุกรมแต่ละถึงจะมีขนาดความยาว 35 นิ้ว และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว ทั้งสองถึงมีการติดตั้งทรานสดิวเซอร์ความดัน เพื่อส่งสัญญาณไปยังอุปกรณ์รับส่งข้อมูล (DAQ) นอกจากนี้ยังทำหน้าที่ส่งสัญญาณข้อมูลของตัวแปรความดันทั้งถึงไปยังอินพุตของตัวควบคุม ทั้งนี้ในถึงเก็บความดันทั้งสองถึงมีการติดตั้งมาตรวัดความดันทั้งสองถึง เพื่อทำการเปรียบเทียบกับค่าความดันที่ได้จากทรานสดิวเซอร์ วาล์วควบคุมเชื่อมต่อเข้ากับถึงเก็บความดันอากาศถึงที่หนึ่ง และ ทำหน้าที่ควบคุมความดันที่ไหลเข้าระบบ ตัวเอาต์พุตของตัวควบคุมระหว่างถึงเก็บความดันอากาศถึงที่หนึ่ง และ ถึงที่สองจะมีวาล์วปฏิบัติการมือเชื่อมต่ออยู่ระหว่างสองถึงทำหน้าที่ควบคุมความดันอากาศที่ไหลออกจากถึงที่หนึ่ง เข้าถึงที่สอง และถึงที่สองมีวาล์วปฏิบัติการมือ เชื่อมต่ออยู่ที่ด้านกรไหลออกสู่บรรยากาศของถึงที่สอง ดังรูปที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

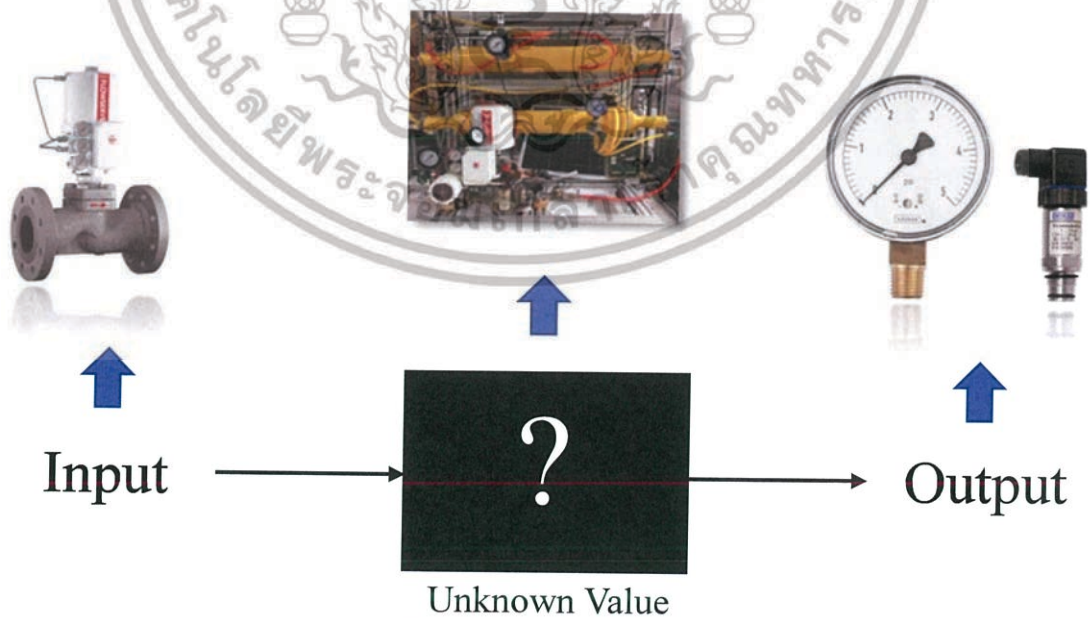
## 2.2 Mathematical Model & System Identification

### 2.2.1 Mathematical Model

เป็นการใช้ความรู้ทางคณิตศาสตร์ ในการอธิบายระบบที่สนใจ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้ถูกใช้ทั้งในสายงานวิทยาศาสตร์ สังคมศาสตร์ มนุษยศาสตร์ และ เศรษฐศาสตร์ โดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ยังถูกนิยามว่าเป็นการแสดงผลของส่วนสำคัญของระบบที่มีอยู่ หรือระบบที่กำลังจะถูกสร้าง เพื่อแสดงความรู้ของระบบในรูปแบบที่สามารถนำมาใช้งานได้

### 2.2.2 System Identification

การทำนายเอกลักษณ์ของระบบ (System Identification) เป็นวิธีการทำนายเอกลักษณ์หรือการสร้างรูปสมการของสมการทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) ให้กับระบบทางกล (Plant) ที่นำมาใช้ทดสอบ โดยอาศัยข้อมูลอินพุต-เอาต์พุต ที่ได้จากการกระตุ้นระบบ การทำนายเอกลักษณ์หรือการสร้างรูปสมการของสมการทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) โดยใช้เทคนิควิธีแบบตัวสังเกตการณ์คาลมาน (Observer Kalman Identification : OKID) นั้นจะใช้ได้ก็แต่กับระบบที่มีเสถียรภาพ กล่าวคือเป็นระบบที่ทำงานได้โดยไม่ต้องใช้ Controller หรือระบบที่เป็นระบบเปิด (Open Loop) เท่านั้น แต่ในงานวิจัยนี้เป็นการพัฒนารูปแบบการทำนายเอกลักษณ์ หรือการเจาะจงระบบขึ้นมา เพื่อที่จะให้สามารถใช้ได้กับระบบที่เป็นวงรอบปิด (Closed-Loop Identification : CLID) คือมี Controller ดังนั้น ตัวระบบที่จะถูกทดสอบ (Plant) จะมีเสถียรภาพหรือไม่ก็ได้ ก็สามารถจะนำเอาวิธีทำนายเอกลักษณ์หรือ การเจาะจงระบบแบบวงรอบปิดไป ทำนายเอกลักษณ์หรือเจาะจงระบบได้ทั้งสิ้น



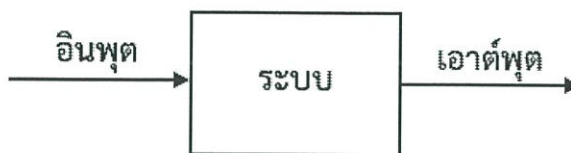
รูปที่ 2.2 System Identification

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.3 Control System [1]

### 2.3.1 Open loop

ระบบควบคุมแบบวงเปิดเป็นระบบที่เอาต์พุตไม่มีผลต่อการควบคุม หรือ กล่าวอีกนัยหนึ่ง ระบบควบคุมแบบวงเปิดไม่ได้มีการวัดเอาต์พุตเพื่อที่จะป้อนกลับไปเปรียบเทียบกับอินพุต

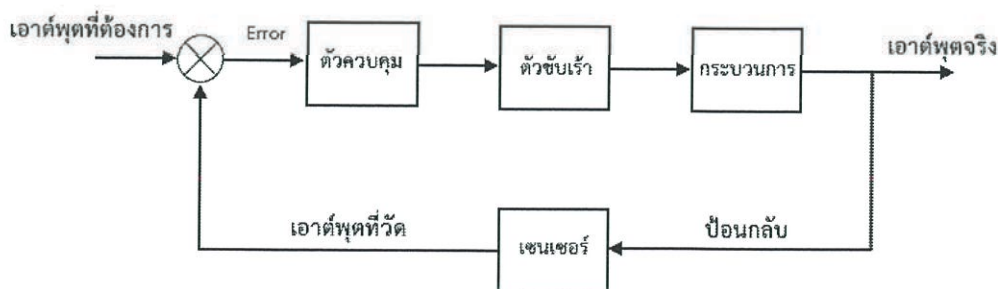


รูปที่ 2.3 การควบคุมแบบวงเปิด [1]

ระบบควบคุมแบบวงเปิด เอาต์พุตไม่ได้ถูกเปรียบเทียบกับอินพุตอ้างอิง ดังนั้นจะต้องมีการกำหนดเงื่อนไขการทำงานที่คงที่สำหรับอินพุตอ้างอิงแต่ละตัว ทำให้ความเที่ยงตรงของระบบขึ้นอยู่กับ การปรับแต่ง (Calibration) ถ้ามีการรบกวนในระบบวงเปิด ระบบจะไม่สามารถทำงานตามที่ต้องการได้ การควบคุมแบบวงเปิดในทางปฏิบัติจะเหมาะกับการทำงานที่รู้ความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตและเอาต์พุต และต้องไม่มีการรบกวนทั้งภายในและภายนอก เพราะระบบไม่มีการป้อนกลับ

### 2.3.2 Close loop

ระบบควบคุมแบบลูปปิด (Closed-loop Control System) หรือระบบควบคุมแบบป้อนกลับ (Feedback Control Systems) โดยปกติแล้วระบบควบคุมแบบป้อนกลับก็คือระบบควบคุมแบบวงปิดนั่นเอง ซึ่งคำสองคำนี้ สามารถใช้แทนกันได้ ระบบลักษณะนี้จะมีการทำงานที่พยายามลดความแตกต่างระหว่างเอาต์พุตและอินพุตอ้างอิง ความแตกต่างนี้ก็คือความผิดพลาดของระบบ (System Error) ซึ่งจะถูกลำเลียงให้กับตัวควบคุมเพื่อให้ตัวควบคุมสั่งงานในกาลดความผิดพลาดนี้ และนำเอาต์พุตไปที่ค่าที่ต้องการ รูปที่ 2.4 แสดงถึงการควบคุมแบบวงปิด

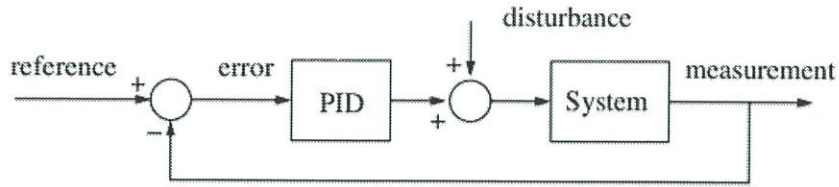


รูปที่ 2.4 การควบคุมแบบวงปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.3 PID

ในระบบควบคุมมีตัวควบคุมหลายชนิด ตัวควบคุมส่วนใหญ่ที่ใช้ในการควบคุมกระบวนการเป็นแบบ PID โดยต่ออนุกรมกับระบบที่ต้องการควบคุม ดังแสดงในรูปที่ 2.5 สัญญาณออกจากตัวควบคุม PID สามารถบรรยายได้ดังนี้



รูปที่ 2.5 ตัวควบคุม PID ที่ต่อเข้าในระบบแบบอนุกรม

$$u(t) = K_p \left( e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_d \frac{de(t)}{dt} \right) \quad (2.1)$$

โดย  $u(t)$  คือสัญญาณควบคุม  $e(t)$  คือค่าความคลาดเคลื่อนของสัญญาณออกจากค่ากำหนด ตัวควบคุม PID ประกอบด้วยเทคนิคการควบคุมพื้นฐาน 3 แบบ แบบสัดส่วน (Proportional หรือ P) แบบอินทิกรัล (Integral หรือ I) และแบบอนุพันธ์ (Derivative หรือ D) แต่ละแบบสามารถนำมาประกอบกันเพื่อให้ได้ตัวควบคุมที่ต้องการ ตัวควบคุมมีพารามิเตอร์ 3 ตัว คือค่าอัตราขยายแบบสัดส่วน ( $K_p$ ) ค่า Integral Time ( $T_i$ ) และ Derivative Time ( $T_d$ ) ซึ่งรายละเอียดของแต่ละแบบมีดังนี้

#### 1) Proportional Action

การควบคุมแบบสัดส่วนเป็นเทคนิคที่ง่ายที่สุด หลักการคือสัญญาณควบคุม ( $u(t)$ ) จากตัวควบคุมที่ส่งไปปรับกระบวนการมีค่าเป็นสัดส่วนกับความคลาดเคลื่อน ซึ่งสามารถเขียนได้ดังสมการที่ (2.2)

$$u(t) = K_p e(t) \quad (2.2)$$

โดยที่  $K_p$  คือค่าอัตราขยายและ

$$e(t) \triangleq \text{ความคลาดเคลื่อน} = \text{ค่ากำหนด} - \text{ค่าวัด} \quad (2.3)$$

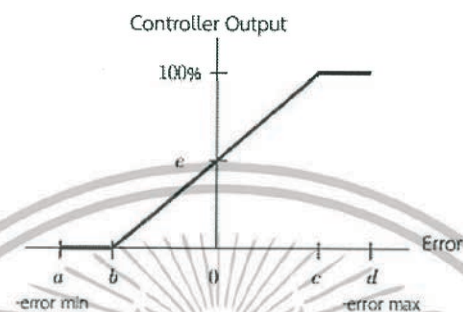
ตัวควบคุมบางตัวสัญญาณเข้า และ สัญญาณออกอาจมีหน่วยต่างกัน เช่นการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่อาจส่งผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของความดัน เพื่อหลีกเลี่ยงการแปลงหน่วย ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณออกและสัญญาณเข้าของตัวควบคุมอาจแสดงเป็นแถบสัดส่วน (Proportional Band หรือ %PB) โดยที่แถบสัดส่วนคือพิสัยของสัญญาณเข้าที่ทำให้ตัวควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปฏิบัติงานเต็มพิสัยการทำงาน หรือถ้ามองจากตัวควบคุม แถบสัดส่วนคือช่วงความคลาดเคลื่อนที่ทำให้สัญญาณออกของตัวควบคุมเปลี่ยนแปลงจากค่าสูงสุดไปต่ำสุด โดยแสดงเป็นเปอร์เซ็นต์ของพิสัยสัญญาณเข้าตัวควบคุม ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราขยายและเปอร์เซ็นต์แถบสัดส่วนคือ

$$K_p = \frac{100}{\%PB} \quad (2.4)$$

ลักษณะสมบัติของการควบคุมแบบสัดส่วนแสดงไว้ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ลักษณะสมบัติของตัวควบคุมแบบสัดส่วน [2]

จากรูปที่ 2.6 ค่าเปอร์เซ็นต์แถบสัดส่วน (%PB) คือระยะ  $\overline{bc}$  แม้ความคลาดเคลื่อนเป็นศูนย์ ยังมีสัญญาณค่าหนึ่ง ออกจากตัวควบคุมที่ป้อนให้กับกระบวนการ ค่านี้ทำหน้าที่เป็นไบแอส (bias) ทำให้ระบบทำงานที่จุดทำงานต่อไปได้ โดยทั่วไปสัญญาณค่านี้มักจะถูกตั้งให้เท่ากับ 50% ของสัญญาณขาออกสูงสุดของตัวควบคุม นั่นคือ

$$\text{สัญญาณออก} = \frac{\% \text{ ความคลาดเคลื่อน}}{\% \text{ แถบสัดส่วน}} + 50\% \quad (2.5)$$

## 2) Integral Action

ผลตอบของการควบคุมแบบสัดส่วนรวมกับการควบคุมแบบอินทิกรัล สามารถอธิบายได้ในสมการที่ (2.6)

$$u(t) = K_p \left( e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau \right) \quad (2.6)$$

เมื่อ  $K_p$  คืออัตราขยาย,  $e(t)$  คือความคลาดเคลื่อน และ  $T_i$  คือ Integral Time (วินาที)

เมื่อเปรียบเทียบกับสมการของตัวควบคุมแบบสัดส่วน ความแตกต่างอยู่ตรงที่เทอมไบแอสนั้นคือตัวควบคุมแบบสัดส่วนถูกจำกัดด้วยส่วนไบแอสเป็นค่าคงที่ ส่วนการควบคุมแบบอินทิกรัล มีการสะสมความคลาดเคลื่อนในการปรับแต่งไบแอส (นั่นคือทำหน้าที่เป็นตัวอินทิกรัล) และจะหยุดสะสมเมื่อความคลาดเคลื่อนของระบบเป็นศูนย์ เมื่อผลตอบเข้าที่สมบูรณ์แล้ว เทอมไบแอสของระบบจะมีค่ามากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับลักษณะของการรบกวน (Disturbance) การทำงานในลักษณะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เช่นนี้มีลักษณะคล้ายกับฟังก์ชันรีเซ็ต ด้วยมือ (Manual-reset Function) ดังนั้นในบางครั้งจึงเรียกดัวอินทิกรัลว่า ฟังก์ชันรีเซ็ต (Reset Function)

คุณสมบัติของตัวอินทิกรัลในการกำจัดความคลาดเคลื่อน (หรือออฟเซต) เป็นข้อดีอย่างมาก จึงเป็นที่นิยมใช้กับระบบควบคุมป้อนกลับ อย่างไรก็ตาม ตัวอินทิกรัลก็มีข้อเสีย นั่นคือทำให้เกิดการล่าช้า (Capacity-like Lag) และทำให้ช่วงเวลาของการแกว่งยาวนานขึ้น โดยทั่วไประบบแบบสัดส่วนรวมกับอินทิกรัล จะมีช่วงเวลาของการแกว่งนานกว่าระบบเชิงสัดส่วนอย่างเดียว 50% หรือ  $TPI = 1.5TP$  สำหรับระบบที่มีค่าคงตัวเวลา (Time Constant) น้อย (เช่น ระบบควบคุมอัตราการไหล) ปัญหานี้จะไม่มีผลมากนัก แต่สำหรับระบบที่มีค่าคงตัวเวลามาก (เช่น ระบบควบคุมระดับ) ปัญหานี้จะมีผลมาก จนทำให้ระบบเข้าสู่จุดวิกฤติที่ไม่สามารถยอมรับได้

การควบคุมแบบอินทิกรัล มีลักษณะเช่นเดียวกับการควบคุมสัดส่วนตรง ผลกระทบของการเพิ่มอัตราขยายของตัวควบคุมหากอัตราขยายมีค่ามากเกินไปจะทำให้ผลตอบของระบบมีการแกว่ง โดยทั่วไป Integral Time ( $T_i = 1/K_i$  sec โดยที่  $K_i = \text{repeats/sec}$ ) เป็นตัวแสดงว่า อัตราการตอบสนองของกระบวนการต่อสัญญาณการควบคุม ค่า  $T_i$  ที่น้อยกว่า จะทำให้ตัวควบคุมมีการตอบสนองที่เร็วกว่าในระยะเริ่มต้น โดยที่ความคลาดเคลื่อนยังเป็นค่าบวกอยู่ ดังนั้นกว่าความคลาดเคลื่อนจะเป็นศูนย์ (ซึ่งทำให้เทอม  $\int_0^t e(t) dt$  หยุดทำงาน) เทอมไบแอสก็จะมีค่าสูงกว่าที่ต้องการ ดังนั้นผลตอบสนองจึงเกิดส่วนพุ่งเกิน (Overshoot) สูงกว่าค่ากำหนด เป็นผลให้ตัวอินทิกรัลทำหน้าที่ปรับให้ความคลาดเคลื่อนมีค่าลดลง การใช้ตัวอินทิกรัลในการควบคุมควรระวังในเรื่องของความคลาดเคลื่อนขนาดใหญ่ (เช่น เกิดการเปลี่ยนแปลงค่ากำหนดขนาดใหญ่) เพราะจะทำให้เกิดปัญหา Integral Windup ถึงแม้ว่า  $T_i$  มีค่าถูกต้องในสภาวะการทำงานธรรมดา แต่สัญญาณควบคุมอาจถึงจุดอิ่มตัวขณะผลตอบเกิดส่วนพุ่งเกิน

### 3) Derivative Action

ตัวควบคุมแบบสัดส่วนและแบบอินทิกรัลต่างก็มีข้อจำกัดอยู่ที่ความคลาดเคลื่อนขนาดใหญ่ ซึ่งเป็นปัญหาต่อการควบคุมกระบวนการแต่ความคลาดเคลื่อนขนาดใหญ่นี้ สามารถรู้ได้ล่วงหน้าโดยพิจารณาจากแนวโน้มของความคลาดเคลื่อน หรืออัตราการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณนั่นเอง ตัวอนุพันธ์มีหลักการการทำงาน คือ ตัวควบคุมตอบสนองต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงของความคลาดเคลื่อน ถึงแม้ว่าความคลาดเคลื่อนยังมีค่าเล็กน้อย สัญญาณออกของตัวอนุพันธ์ไม่ได้สัมพันธ์กับขนาดของความคลาดเคลื่อน แต่ขึ้นอยู่กับอัตราการเปลี่ยนแปลงของความคลาดเคลื่อน ถ้าความคลาดเคลื่อนมีค่าคงที่ ตัวอนุพันธ์จะให้สัญญาณออกเป็นศูนย์ คุณลักษณะข้อนี้มีผลดีคือตัวควบคุมจะมีผลตอบสนองที่เกิดก่อนที่ความคลาดเคลื่อนจะเพิ่มมากขึ้น และทำให้ระบบมีผลตอบสนองที่เร็วขึ้น ตัวควบคุมแบบอนุพันธ์สามารถเขียนได้ดังสมการที่ (2.7)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$u(t) = K_p \left( e(t) + T_d \frac{de(t)}{dt} \right) \quad (2.7)$$

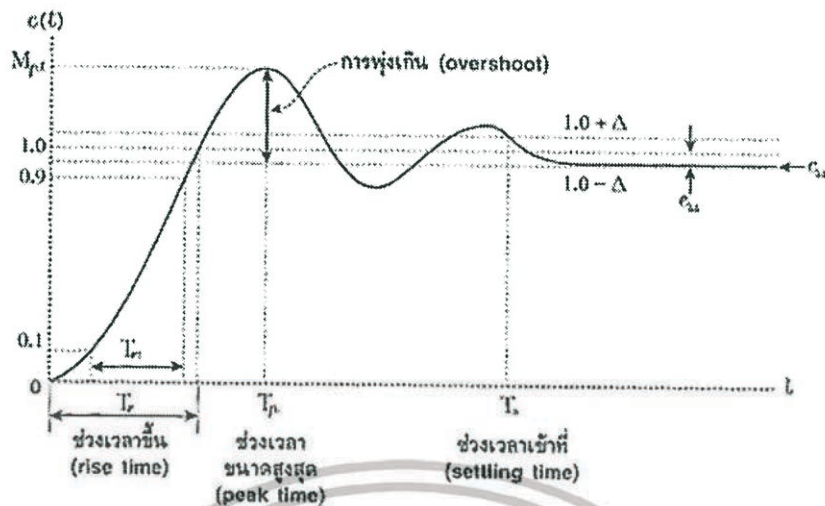
โดย Derivative Time ( $T_d$ ) เป็นเวลาที่แสดงถึงผลตอบสนองเนื่องจากตัวอนุพันธ์การเพิ่ม  $T_d$  จะทำให้ผลตอบสนองของตัวอนุพันธ์มีค่ามากขึ้น เนื่องจากตัวอนุพันธ์มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงมาก ดังนั้นจึงนิยมใช้กับค่าที่วัดได้เท่านั้น แต่ไม่ใช่ค่ากำหนด เพราะการเปลี่ยนค่ากำหนดมักจะเป็นแบบขั้น (Step) ทำให้ผลตอบสนองของตัวอนุพันธ์เป็นพัลส์ และทำให้เกิดการกระแทก (Bump) ของอุปกรณ์ในกระบวนการ สำหรับค่ากำหนดใช้เฉพาะกับตัวควบคุมสัดส่วนและอินทิกรัล

ตัวอนุพันธ์คือตัวควบคุมที่ก่อให้เกิดผลตรงข้ามกับตัวอินทิกรัล ดังนั้นจึงใช้ในการปรับปรุงกระบวนการที่มีการล่าช้าทางเวลา (Time Lag) มาก ๆ ทำให้ผลตอบสนองรวดเร็วขึ้น และช่วงเวลาการแกว่งที่สั้นลง ข้อเสียของตัวอนุพันธ์ คือ มีความไวต่อสัญญาณรบกวนเป็นอย่างมาก เพราะมีผลตอบสนองโดยตรงต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณที่วัดได้ ดังนั้นแม้สัญญาณรบกวนจะมีขนาดเล็ก แต่ก็อาจก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่อสัญญาณออกของตัวควบคุม จึงเป็นไปได้ที่จะใช้ตัวอนุพันธ์ในการควบคุมผลของสัญญาณรบกวน ยิ่งไปกว่านั้นระบบใดที่มีสัญญาณรบกวนมากจะไม่สามารถใช้ตัวอนุพันธ์ในวงจรรูดเสาหกรรมส่วนใหญ่นิยมใช้เพียงตัวควบคุม PI เท่านั้น

#### 2.3.4 Gain Scheduling

ในทฤษฎีการควบคุมการกำหนดตารางเวลาเป็นวิธีการควบคุมระบบที่ไม่ใช่เชิงเส้น ที่ใช้ตระกูลของตัวควบคุมที่เป็นเชิงเส้นมาควบคุม โดยจะให้ผลการควบคุมที่น่าพอใจ สำหรับจุดปฏิบัติการที่แตกต่างกันของระบบ ตัวแปรที่สามารถสังเกตได้หนึ่งตัวหรือมากกว่านั้นเรียกว่าตัวแปรการกำหนดตารางเวลาใช้เพื่อกำหนดขอบเขตการปฏิบัติการที่ระบบอยู่ในขณะนี้ และ เพื่อเปิดใช้งานคอนโทรลเลอร์เชิงเส้นที่เหมาะสม

## 2.4 ผลการตอบสนองของระบบ



รูปที่ 2.7 ผลการตอบสนองของระบบ [3]

### 2.4.1 Rise Time

ช่วงเวลาขึ้น (Rise Time,  $T_r$ ) หมายถึง ช่วงเวลาที่ผลตอบสนองเมื่อสัญญาณเอาต์พุตเพิ่มจาก 10% จนถึง 90% หรือจาก 5% ถึง 95% หรือจาก 0% ถึง 100% ดังนั้นการกำหนดช่วงเวลาขึ้น จำเป็นต้องบอกด้วยว่าวัดโดยใช้ช่วงเวลาไหน

### 2.4.2 Peak Time

เวลาของค่ายอด (Peak Time,  $T_p$ ) หมายถึง เวลาที่สัญญาณผลตอบสนองมีค่าสูงสุดค่าแรกของผลตอบสนองนั้น

### 2.4.3 Maximum Overshoot

โอเวอร์ชูดสูงสุด (Maximum Overshoot,  $M_p$ ) หมายถึง ค่าการตอบสนองสูงสุดที่วัดจากสถานะอยู่ตัวสุดท้าย (Final Steady State) การบอกค่าโอเวอร์ชูดสูงสุดมักจะบอกเป็นเปอร์เซ็นต์ ส่วน Overshoot เป็นค่าแตกต่างสูงสุดระหว่างอินพุตและเอาต์พุตของระบบ ถ้าผลการตอบสนองของระบบ มีค่าที่ภาวะคงที่ไม่เท่ากับหนึ่งแล้วจะได้ว่า

$$\text{Maximum Percent Overshoot} = \frac{c(t_p) - c(\infty)}{c(\infty)} \times 100\% \quad (2.8)$$

### 2.4.4 Setting Time

เวลาเข้าที่ (Setting Time,  $T_s$ ) หมายถึง เวลาที่ผลตอบสนองลดลงจนเริ่มเข้าไปอยู่ในช่วงที่กำหนด ซึ่งจะวัดเทียบกับค่าสุดท้ายของผลตอบสนองในสถานะอยู่ตัวสุดท้าย (Final Steady State) ค่าที่นิยมกำหนดสำหรับช่วงนี้มักจะบอกเป็นเปอร์เซ็นต์ เช่น 1%, 2% หรือ 5% เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.5 Hardware

### 2.5.1 Control Valve [4]



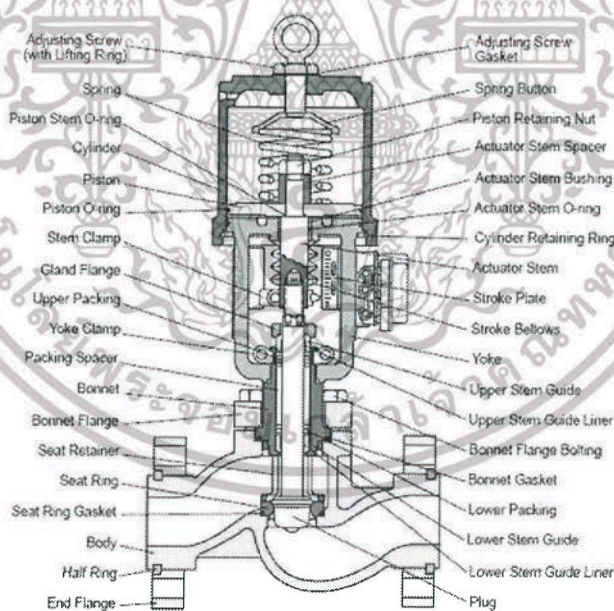
รูปที่ 2.8 Flowserve Control Valve

วาล์วควบคุมหรือ Control Valve หมายถึง อุปกรณ์ที่ถูกขับเคลื่อนด้วยกำลังจากภายนอกเพื่อปรับเปลี่ยนอัตราการไหลของของไหลในระบบการควบคุมกระบวนการทำงานหนึ่ง วาล์วควบคุมจึงประกอบด้วยตัววาล์วและอุปกรณ์เชื่อมต่อกันลึนวาล์วกับกลไกการกระตุ้น (Actuator Mechanism) สามารถเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของชิ้นส่วนควบคุมการไหล (Flow Controlling Element) ภายในตัววาล์วหรือตำแหน่งของลึนวาล์วตามสัญญาณที่ได้รับจากระบบควบคุม (Controlling System) โดยไม่รวมถึง Regulator, Relief Valve และ Hand Valve ดังนั้นวาล์วควบคุมจึงประกอบ 3 ส่วนหลัก คือ

1. วาล์ว (Valve) ส่วนทำหน้าที่ควบคุมการไหลของไหล ประกอบด้วย ชุดรองรับของไหล (Fluid Retaining Assembly) หรือตัวเรือนวาล์ว (Valve Body) รวมถึงช่องทางไหล (Port) ระหว่าง Seat กับ “Flow Control Element” (หรือ “Moveable Closure Member” หรือ “ลึนวาล์ว”) ซึ่งเคลื่อนที่เพื่อเปิดเต็มที่เปิดบางส่วน (Restricts) หรือปิดช่องทางไหลนั้น (ในเอกสารบางฉบับเรียก Seat กับ ลึนวาล์วรวมๆ กันว่า Trim) ทั้งนี้ช่องทางไหลภายในตัวเรือนวาล์วอาจมีมากกว่า 1 ช่องทางไหล ดังนั้นจึงดูเหมือนเป็นองค์ประกอบพื้นฐานเช่นเดียวกับวาล์วที่ใช้มือหมุนทั่ว ๆ ไป (Hand Valve หรือ Manual Valves) ซึ่งเป็นชนิดของวาล์วที่ไม่สามารถควบคุมได้ด้วยตัวมันเองต้องอาศัยคนในการเปิด-ปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. Actuator คือ ส่วนที่ถูกขับด้วยพลังงานไฟฟ้าหรือพลังงานไฮดรอลิก ทำหน้าที่แปลงพลังงานดังกล่าวให้อยู่ในรูปของงาน/แรงเชิงกลเพื่อไปขับเคลื่อนส่วนที่ต้องการให้เคลื่อนที่ในที่นี้ก็คือ Flow Control Element หรือลิ้นวาล์ว ในบางครั้งเราอาจเรียก “Actuator” ว่า “หัวขับวาล์ว”
3. Motion Conversion Mechanism หมายถึงกลไกเชื่อมต่อระหว่างวาล์วกับ Actuator ซึ่งทำหน้าที่แปลงการเคลื่อนที่เชิงเส้น (Linear Motion) ไปเป็นการเคลื่อนที่เชิงมุม (Rotary Motion) นั่นคือการเปลี่ยนแปลงจากการเคลื่อนที่เชิงเส้นของ Actuator ไปเป็นการเคลื่อนที่การหมุนของลิ้นวาล์ว (Rotary Valve Operation) หรือในทางกลับกัน เปลี่ยนแปลงการเคลื่อนที่เชิงมุมของ Actuator ไปเป็นการเคลื่อนที่แนวเส้นตรงของลิ้นวาล์ว (Linear Valve Operation)
4. Accessories แต่ในบางครั้งอาจมีการเพิ่มส่วนประกอบปลีกย่อยร่วมเข้ามาเพื่อสะดวกต่อการทำงานซึ่งจะรวมไปถึงพวก Positioners, I/P Transducers, Limit Switches, Handwheels, Air Set, Position Sensor, Solenoid Valve, Travel Stops เป็นต้น



รูปที่ 2.9 Globe Valve Body Schematic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.5.2 Pressure Transmitter

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดความดันและแปลงสัญญาณออกมาเป็นสัญญาณมาตรฐาน เพื่อนำไปควบคุมกระบวนการต่าง ๆ Pressure Transmitter นั้นสามารถวัดได้ทั้งของเหลว เช่น ก๊าซ น้ำ น้ำมัน เป็นต้น และรวมไปถึงการวัดความดันของ Pneumatic หรือลม เพราะฉะนั้นการเลือกใช้งานควรเลือกให้ถูกประเภท เพื่อการใช้งานที่ถูกต้อง



รูปที่ 2.10 Pressure Transmitter

## 2.5.3 Terminal Block

Terminal Block คือ อุปกรณ์เชื่อมต่อระหว่างสายไฟด้านหนึ่งเข้ากับสายไฟอีกด้านหนึ่ง หรือใช้เป็นจุดพักสายไฟ เพื่อให้ง่ายและรวดเร็วในการซ่อมบำรุงอุปกรณ์ หรือเพื่อเก็บสายไฟให้เป็นระเบียบ สามารถตรวจสอบจุดที่มีปัญหาต่าง ๆ ได้ง่าย



รูปที่ 2.11 Terminal Block

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.5.4 DC Power Supply

DC Power Supply คือ แหล่งจ่ายไฟ หรือ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ให้พลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้โหลดไฟฟ้า หน้าที่หลักของแหล่งจ่ายไฟคือการแปลงรูปแบบหนึ่งของพลังงานไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้า เช่น Pressure Transmitter และ Control Valve เป็นต้น แหล่งจ่ายไฟทุกเครื่องจะต้องได้รับพลังงานที่เป็นอุปกรณ์ในการโหลดของตนเอง เช่นเดียวกับพลังงานที่มันกินในขณะที่การปฏิบัติงานว่าจากแหล่งพลังงาน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับกรอกแบบของแหล่งจ่ายไฟอาจจะได้รับพลังงานจากหลากหลายชนิดของแหล่งพลังงานรวมทั้งระบบส่งพลังงานไฟฟ้า



รูปที่ 2.12 DC Power Supply

### 2.5.5 เครื่องจัดเก็บข้อมูลและแปลงสัญญาณ DAQ (Data acquisition)

เครื่องจัดเก็บข้อมูลและแปลงสัญญาณ DAQ มีหน้าที่ในการเก็บสัญญาณทางกายภาพ เช่น อุณหภูมิ อัตราการไหล ความดันอากาศ เป็นต้น และแปลงเข้าสู่คอมพิวเตอร์เป็นรูปแบบในลักษณะสัญญาณทางไฟฟ้ารวมถึงใช้ในการควบคุม ผ่านโปรแกรม LabVIEW ซึ่งหน้าที่ของ DAQ จะเป็นการอ่านค่าและการสร้างสัญญาณอนาล็อกหรือดิจิทัลเพื่อเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ทรานสดิวเซอร์



รูปที่ 2.13 เครื่องจัดเก็บข้อมูลและแปลงสัญญาณ DAQ (Data Acquisition)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.5.6 Voltage to Current Converter Module 1-5V to 0-20 mA

ทำหน้าที่แปลงสัญญาณอินพุตแรงดันไฟฟ้า 1-5 V ให้เป็นสัญญาณกระแสไฟฟ้า 4-20 mA



รูปที่ 2.14 Voltage to Current Converter Module 1-5V to 0-20 mA

## 2.6 Software

### 2.6.1 MATLAB [5]



รูปที่ 2.16 MATLAB

MATLAB เป็นภาษาคอมพิวเตอร์ระดับสูงที่มาพร้อมด้วยสภาพแวดล้อมการทำงานเชิงโต้ตอบ ซึ่งสามารถคำนวณคณิตศาสตร์ที่ซับซ้อนได้อย่างรวดเร็วเร็วกว่าภาษาคอมพิวเตอร์สมัยก่อน เช่น ภาษา C , ภาษา C++ หรือ ภาษา Fortran

MATLAB เป็นภาษาคอมพิวเตอร์ระดับสูงที่ใช้สำหรับคำนวณเชิงตัวเลข Numerical Computing แสดงผลกราฟฟิก และเขียนแอปพลิเคชัน ทำให้เราสามารถคำนวณผลลัพธ์ พัฒนาอัลกอริทึม สร้างแบบจำลอง และแอปพลิเคชันได้ง่ายและรวดเร็วมาก ภายในตัว MATLAB ประกอบด้วยภาษาคอมพิวเตอร์ Toolbox กลุ่มฟังก์ชันสำเร็จรูปในแต่ละสาขาวิชา และฟังก์ชันพื้นฐานจำนวนมาก ทำให้การวิเคราะห์ทำได้หลากหลายวิธี พร้อมกับคำตอบที่รวดเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราสามารถนำ MATLAB ไปประยุกต์ใช้งานได้หลายสาขา ทั้ง การประมวลผลสัญญาณ Signal Processing การสื่อสาร Communication การประมวลผลภาพและวิดีโอ Image and Video Processing ระบบควบคุม Control System การวัดและควบคุม Instruments and Control การคำนวณทางเศรษฐศาสตร์ Economic การคำนวณทางชีววิทยา Biology และ อื่น ๆ

## 2.6.2 LabVIEW และ ประโยชน์ของ LabVIEW [6]

LabVIEW เป็นโปรแกรมที่ใช้พัฒนา Application โดยหลักการคล้ายกับ Visual Basic ต่างกันเพียงด้านที่เขียนโปรแกรม ใช้การเขียนโปรแกรมโดย Graphic โดย Function ที่ใช้งาน มีลักษณะเป็น Module ความสัมพันธ์ระหว่างใช้การ Wiring สายต่อกัน เหมือนเป็นการต่อวงจรไฟฟ้า ซึ่งทำให้เขียนโปรแกรมได้อย่างรวดเร็ว ความสามารถของโปรแกรม LabVIEW เนื่องจากบริษัท National Instrument (NI) ซึ่งเป็นผู้พัฒนาโปรแกรม LabVIEW มี Product ในการพัฒนาอยู่มากมาย ทั้ง Hardware และ Software จึง ทำให้โปรแกรม LabVIEW มีความสามารถในการติดต่อ Hardware อย่างหลากหลาย ซึ่งมีประโยชน์ต่อการศึกษาการพัฒนาและการใช้งานจริง ๆ ในกระบวนการอุตสาหกรรม

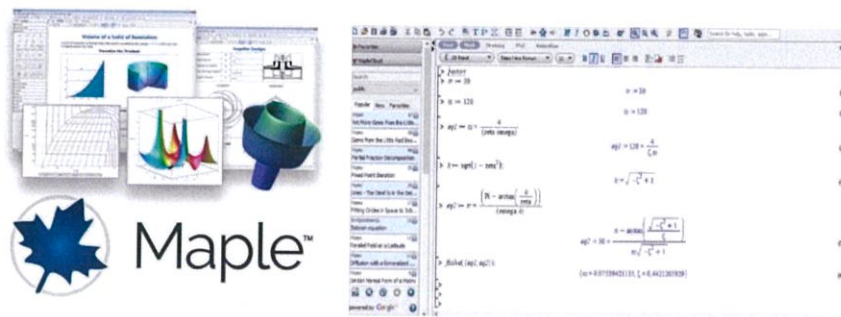


รูปที่ 2.17 LabVIEW

ประโยชน์อีกประการหนึ่งสำหรับการใช้คอมพิวเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่สำหรับใช้ในการวัด ก็คือสามารถที่จะเอามาใช้สำหรับทำเป็น Data Logger และ PLC (Programmable Logical Controlled) ได้พร้อมซึ่งโดยปกติแล้วระบบควบคุมมักจะไม่มียุกรณ์วัดจริงขั้นพื้นฐาน หรือ Data Logger แม้จะเก็บข้อมูลได้แต่การสั่งการปฏิบัติงานกับเครื่องไม้เครื่องมือตัวอื่น จะมีความยุ่งยากในการออกคำสั่งมากมาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.6.3 Maple Program



รูปที่ 2.18 Maple Program

Maple Program เป็นโปรแกรมที่สามารถใช้ในการคำนวณและแก้ไขสมการทางคณิตศาสตร์ ช่วยให้การคำนวณและแก้ไขสมการทางคณิตศาสตร์มีความสะดวกสบายและมีแม่นยำมากยิ่งขึ้น



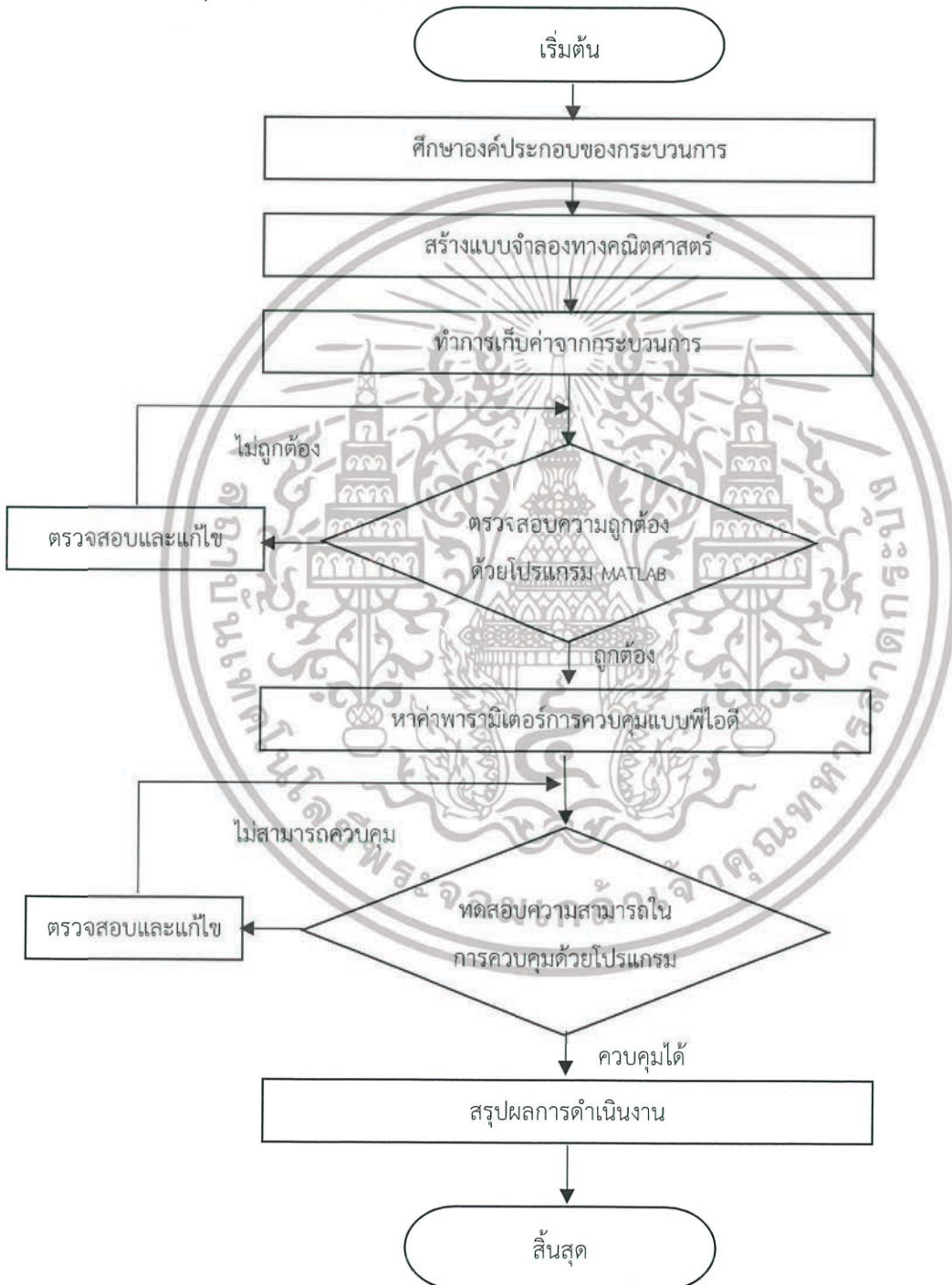
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 3

## วิธีการดำเนินงาน

### 3.1 แผนผังการดำเนินงาน

การศึกษากระบวนการจำลองความดันสำหรับการวิจัยและพัฒนาเรื่องพลวัตกระบวนการ และการควบคุม มีขั้นตอนการทำงานดังนี้



รูปที่ 3.1 แผนผังการดำเนินงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3.2 การหาสมการคณิตศาสตร์ของระบบถังความดัน

### 3.2.1 Parameter

ตารางที่ 3.1 คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

สัญลักษณ์และคำย่อ	ความหมาย	หน่วย
$P_{atm}$	ความดันบรรยากาศ	<i>psig</i>
$\bar{P}_s$	ความดันจากแหล่งจ่าย	<i>psig</i>
$P_1$	ความดันจากถังเก็บความดัน 1	<i>psig</i>
$P_2$	ความดันจากถังเก็บความดัน 2	<i>psig</i>
$\bar{C}_{v1}$	ค่าสัมประสิทธิ์ของวาล์วเข็ม ตัวที่ 1	-
$\bar{C}_{v2}$	ค่าสัมประสิทธิ์ของวาล์วเข็ม ตัวที่ 2	-
$q$	อัตราการไหลผ่านวาล์ว	<i>ft<sup>3</sup>/min</i>
$q_1$	อัตราการไหล ถังเก็บความดัน 1	<i>ft<sup>3</sup>/min</i>
$q_2$	อัตราการไหล ถังเก็บความดัน 1 ไปถังเก็บความดัน 2	<i>ft<sup>3</sup>/min</i>
$q_3$	อัตราการไหล ถังเก็บความดัน 2 ไปถังเก็บความดัน 3	<i>ft<sup>3</sup>/min</i>
$V_1$	ปริมาณถังเก็บความดัน 1	<i>ft<sup>3</sup></i>
$V_2$	ปริมาณถังเก็บความดัน 2	<i>ft<sup>3</sup></i>
$V_p$	ตำแหน่งเปิดของวาล์ว	%
$P_u$	ความดันต้นทาง	<i>psig</i>
$P_d$	ความดันปลายทาง	<i>psig</i>
$\alpha$	ย่านความสามารถ (Rangability)	-
$R$	ค่าคงที่ของแก๊ส	<i>ft<sup>3</sup>psiR<sup>-1</sup>lb<sup>-1</sup>mol<sup>-1</sup></i>
$T$	อุณหภูมิ	$^{\circ}R$
$SSMB$	สถานะคงที่สมดุลมวล	-
$USSMB$	สถานะไม่คงที่สมดุลมวล	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการจำลองระบบความดัน สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.1

อัตราการไหล  $q_1$  มี 3 ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อได้แก่

1. ความดันจากแหล่งจ่ายความดัน
2. ตำแหน่งเปิดของวาล์วควบคุม
3. ความดันภายในถังเก็บความดัน 1

อัตราการไหล  $q_2$  มี 3 ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อได้แก่

1. ความดันจากถังเก็บความดัน 1
2. การเปิดของวาล์วเข็มตัวที่ 1
3. ความดันภายในถังเก็บความดัน 2

อัตราการไหล  $q_3$  มี 3 ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อได้แก่

1. ความดันจากถังเก็บความดัน 2
2. การเปิดของวาล์วเข็มตัวที่ 2
3. ความดันบรรยากาศ



รูปที่ 3.2 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการจำลองระบบความดัน

จากรูปที่ 3.1 แสดงให้เห็นว่ากระบวนการมีการทำงานโดยที่ความดันในถังอากาศมีผลกระทบต่อกันและกัน (Interact) และการทำงานของวาล์วควบคุม วาล์วเข็ม มีผลต่อกระบวนการ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหาสมการคุณลักษณะของวาล์วควบคุมและวาล์วเข็ม ได้ดังตารางที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 สมการปัจจัยที่มีผลกระทบต่อกระบวนการ

ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อกระบวนการ	สมการ
สมการวาล์วควบคุมซึ่งเป็นแบบ Equal Percentage	$q_{vp} = \frac{e^{(\ln\alpha)vp}}{\alpha} \times q_{max}$ $\frac{q_{vp}}{q_{max}} = \frac{e^{(\ln\alpha)vp}}{\alpha}$
สมการการไหลที่ไหลผ่านวาล์วควบคุม	$q = \frac{q_{vp}}{q_{max}} \sqrt{P_u(P_u - P_d)}$
สมการวาล์วเข็ม	$q = C_v \sqrt{P_u(P_u - P_d)}$

### 3.2.2 สมการคณิตศาสตร์ของระบบถึงความดัน

จากการศึกษาหลักการการแทนระบบด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ คุณลักษณะของวาล์วต่าง ๆ และกระบวนการทำงานของระบบจะทำให้สามารถวิเคราะห์ระบบให้เป็นสมการทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

#### USSMB (Tank 1)

$$q_1 - q_2 = \frac{v_1}{\rho RT} \cdot \frac{dP_1}{dt} \quad (3.1)$$

$$q_1 = \frac{q_{vp}}{q_{max}} \sqrt{\bar{P}_s(\bar{P}_s - P_1)} \quad (3.2)$$

$$q_2 = \bar{C}v_1 \sqrt{P_1(P_1 - P_2)} \quad (3.3)$$

แทนค่า  $q_1$  และ  $q_2$  จะได้

$$\frac{q_{vp}}{q_{max}} \sqrt{\bar{P}_s(\bar{P}_s - P_1)} - \bar{C}v_1 \sqrt{P_1(P_1 - P_2)} = \frac{v_1}{\rho RT} \cdot \frac{dP_1}{dt} \quad (3.4)$$

#### USSMB (Tank 2)

$$q_2 - q_3 = \frac{v_2}{\rho RT} \cdot \frac{dP_2}{dt} \quad (3.5)$$

$$q_3 = \bar{C}v_2 \sqrt{P_2(P_2 - P_{atm})} \quad (3.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนค่า  $q_2$  และ  $q_3$  จะได้

$$\left[ C v_1 \sqrt{P_1(P_1 - P_2)} \right] - \left[ C v_2 \sqrt{P_2(P_2 - P_{atm})} \right] = \frac{v_2}{\rho R T} \cdot \frac{dP_2}{dt} \quad (3.7)$$

เนื่องจากสมการยังไม่เป็นเชิงเส้น จึงต้องทำการประมาณเชิงเส้น  $q_1$ ,  $q_2$  และ  $q_3$   
ประมาณเชิงเส้น  $q_1$

จาก

$$\frac{q_{vp}}{q_{max}} = \frac{e^{(\ln \alpha) V_p}}{\alpha} \quad (3.8)$$

จะได้

$$q_1 = \frac{e^{(\ln \alpha) V_p}}{\alpha} \sqrt{\bar{P}_s(\bar{P}_s - P_1)} \quad ; q_1 \propto V_p, P_1 \quad (3.9)$$

$$\therefore q_1 \cong \bar{q}_1 + \frac{\partial q_1}{\partial V_p} [V_p - \bar{V}_p] + \frac{\partial q_1}{\partial P_1} [P_1 - \bar{P}_1] \quad (3.10)$$

เมื่อ

$$C_1 = \frac{\partial q_1}{\partial V_p} \quad \text{และ} \quad C_2 = \frac{\partial q_1}{\partial P_1}$$

จะได้

$$q_1 = \bar{q}_1 + C_1 V_p + C_2 P_1 \quad (3.11)$$

ประมาณเชิงเส้น  $q_2$

จาก

$$q_2 = C v_1 \sqrt{P_1(P_1 - P_2)} \quad ; q_2 \propto P_1, P_2 \quad (3.12)$$

$$\therefore q_2 \cong \bar{q}_2 + \frac{\partial q_2}{\partial P_1} [P_1 - \bar{P}_1] + \frac{\partial q_2}{\partial P_2} [P_2 - \bar{P}_2] \quad (3.13)$$

เมื่อ

$$C_3 = \frac{\partial q_2}{\partial P_1} \quad \text{และ} \quad C_4 = \frac{\partial q_2}{\partial P_2}$$

จะได้

$$q_2 = \bar{q}_2 + C_3 P_1 + C_4 P_2 \quad (3.14)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประมาณเชิงเส้น  $q_3$

จาก

$$q_3 = \overline{C}v_2\sqrt{P_2(P_2 - P_{atm})} \quad ; q_3 \propto P_2 \quad (3.15)$$

$$\therefore q_3 \cong \overline{q}_3 + \frac{\partial q_3}{\partial P_2}[P_2 - \overline{P}_2] \quad (3.16)$$

เมื่อ

$$C_3 = \frac{\partial q_3}{\partial P_2}$$

จะได้

$$q_3 = \overline{q}_3 + C_5P_2 \quad (3.17)$$

SSMB (Tank 1)

$$q_1 - q_2 = 0 \quad (3.18)$$

SSMB (Tank 2)

$$q_2 - q_3 = 0 \quad (3.19)$$

USSMB – SSMB (Tank 1)

$$\text{USSMB : } (\overline{q}_1 + C_1V_p + C_2P_1) - (\overline{q}_2 + C_3P_1 + C_4P_2) = \frac{v_1}{\rho RT} \cdot \frac{dP_1}{dt} \quad (3.20)$$

$$\text{SSMB : } q_1 - q_2 = 0$$

$$\text{USSMB – SSMB : } C_1V_p + C_2P_1 - C_3P_1 - C_4P_2 = \frac{v_1}{\rho RT} \cdot \frac{dP_1}{dt} \quad (3.21)$$

USSMB – SSMB (Tank 2)

$$\text{USSMB : } (\overline{q}_2 + C_3P_1 + C_4P_2) - (\overline{q}_3 + C_5P_2) = \frac{v_2}{\rho RT} \cdot \frac{dP_2}{dt} \quad (3.22)$$

$$\text{SSMB : } q_2 - q_3 = 0$$

$$\text{USSMB – SSMB : } C_3P_1 + C_4P_2 - C_5P_2 = \frac{v_2}{\rho RT} \cdot \frac{dP_2}{dt} \quad (3.23)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ (3.21)

$$C_1V_p + C_2P_1 - C_3P_1 - C_4P_2 = \frac{v_1}{\rho RT} \cdot \frac{dP_1}{dt}$$

$$C_1V_p + C_4P_2 - P_1(C_3 - C_2) = \frac{v_1}{\rho RT} \cdot \frac{dP_1}{dt}$$

$$C_1V_p + C_4P_2 = \frac{v_1}{\rho RT} \cdot \frac{dP_1}{dt} + P_1(C_3 - C_2)$$

นำ  $C_3 - C_2$  หารตลอดทั้งสมการ

$$\frac{C_1V_p}{C_3 - C_2} - \frac{C_4P_2}{C_3 - C_2} = \frac{v_1}{\rho RT} \cdot \frac{1}{C_3 - C_2} + \frac{dP_1}{dt} \cdot \frac{P_1(C_3 - C_2)}{C_3 - C_2} \quad (3.24)$$

เมื่อ

$$K_1 = \frac{C_1}{C_3 - C_2} \quad (3.25)$$

$$K_2 = \frac{C_4}{C_3 - C_2} \quad (3.26)$$

$$\tau_1 = \frac{v_1}{\rho RT} \cdot \frac{1}{C_3 - C_2} \quad (3.27)$$

จะได้

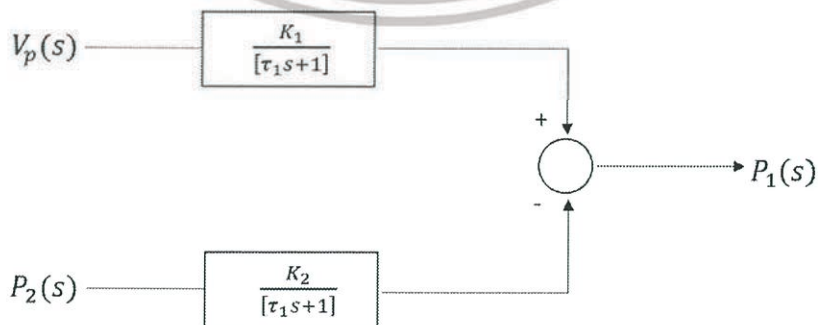
$$K_1V_p - K_2P_2 = \left( \tau_1 \cdot \frac{dP_1}{dt} \right) + P_1 \quad (3.28)$$

\*การกำหนด  $K_1 = \frac{C_1}{C_3 - C_2}$ ,  $K_2 = \frac{C_4}{C_3 - C_2}$  และ  $\tau_1 = \frac{v_1}{\rho RT} \cdot \frac{1}{C_3 - C_2}$  เป็นการนำ LUMP Parameter Model เข้ามาในการคำนวณ ซึ่งจะช่วยให้การจำลองและการออกแบบระบบควบคุมมากขึ้น โดยไม่ต้องมาสนใจ  $C_1, C_2, C_3, C_4, V_1$  และ  $\rho RT$

แปลงลาปลาซ (Laplace Transform)

$$P_1(s)[\tau_1 s + 1] = K_1V_p(s) - K_2P_2(s)$$

$$P_1(s) = \frac{K_1}{[\tau_1 s + 1]} \cdot V_p(s) - \frac{K_2}{[\tau_1 s + 1]} \cdot P_2(s) \quad (3.29)$$



รูปที่ 3.3 บล็อกไดอะแกรมแสดงปัจจัยที่มีผลต่อความดันในถังเก็บความดัน 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ (3.23)

$$C_3 P_1 + C_4 P_2 - C_5 P_2 = \frac{v_2}{\rho RT} \cdot \frac{dP_2}{dt}$$

$$C_3 P_1 - P_2(C_5 - C_4) = \frac{v_2}{\rho RT} \cdot \frac{dP_2}{dt}$$

$$C_3 P_1 = \frac{v_2}{\rho RT} \cdot \frac{dP_2}{dt} + P_2(C_5 - C_4)$$

นำ  $C_5 - C_4$  ทหารตลอดทั้งสมการ

$$\frac{C_3 P_1}{C_5 - C_4} = \frac{v_2}{\rho RT} \cdot \frac{1}{C_5 - C_4} \cdot \frac{dP_2}{dt} + \frac{P_2(C_5 - C_4)}{C_5 - C_4} \quad (3.30)$$

เมื่อ

$$K_3 = \frac{C_3}{C_5 - C_4} \quad (3.31)$$

$$\tau_2 = \frac{v_2}{\rho RT} \cdot \frac{1}{C_5 - C_4} \quad (3.32)$$

จะได้

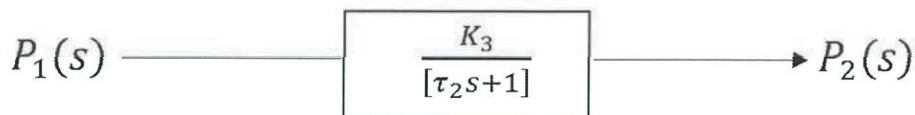
$$K_3 P_1 = \left( \tau_2 \cdot \frac{dP_2}{dt} \right) + \frac{P_2(C_5 - C_4)}{C_5 - C_4} \quad (3.33)$$

\*การกำหนด  $K_3 = \frac{C_3}{C_5 - C_4}$  และ  $\tau_2 = \frac{v_2}{\rho RT} \cdot \frac{1}{C_5 - C_4}$  เป็นการใช้ Lump Parameter Model เข้ามาในการคำนวณ ซึ่งจะทำให้ง่ายต่อการเจาะจงระบบและการออกแบบระบบควบคุมมากขึ้น โดยที่ไม่ต้องมาสนใจ  $C_3, C_4, V_2$  และ  $\rho RT$

แปลงลาปลาซ (Laplace Transform)

$$P_2(s)[\tau_2 s + 1] = P_1(s)K_3$$

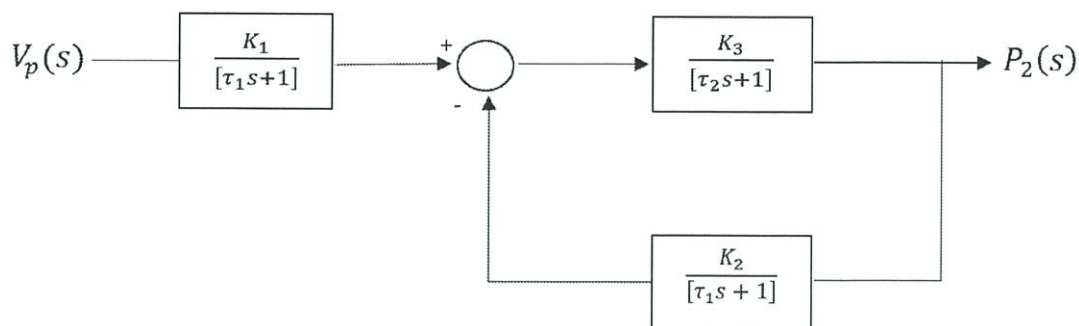
$$P_2(s) = P_1(s) \cdot \frac{K_3}{[\tau_2 s + 1]} \quad (3.34)$$



รูปที่ 3.4 บล็อกไดอะแกรมแสดงปัจจัยที่มีผลต่อความดันในถังเก็บความดัน 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำบล็อกไดอะแกรมทั้งสองส่วนมาประกอบกันจะได้ บล็อกไดอะแกรมรวมทั้งระบบ ดังนี้



รูปที่ 3.5 บล็อกไดอะแกรมแสดงปัจจัยที่มีผลต่อระบบ

### 3.2.3 Integral-based Method for System Identification of Pressure Tank System

แบบจำลองสมการเชิงอนุพันธ์ของสมการ (3.29) และ (3.34) เป็นสมการเชิงเส้นระบบอันดับที่ 1 โดยสัมประสิทธิ์คงที่  $V_p$  (Valve Position) จะพิจารณาเป็นอินพุตสำหรับระบบ ดังนั้น  $P_1$  และ  $P_2$  จะพิจารณาเป็นเอาต์พุตของระบบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เหล่านี้จะถูกใช้ในการระบุระบบถึงความถี่ เพื่อความสะดวกในการวิเคราะห์สมการที่ (3.29) และ (3.34)

$$\dot{y}_1(t) + \frac{1}{\tau_1} y_1(t) = \frac{k_1}{\tau_1} u_1(t) - \frac{k_2}{\tau_1} y_2(t) \quad (3.35)$$

$$\dot{y}_2(t) + \frac{1}{\tau_2} y_2(t) = \frac{k_3}{\tau_2} y_1(t) \quad (3.36)$$

กำหนดให้

$$\text{Inputs : } u_1 = V_p(t) \quad (3.37)$$

$$\text{Outputs : } y_1 = P_1(t), y_2 = P_2(t) \quad (3.38)$$

การรวมสมการที่ (3.37) และ (3.38) ในเทอมของเวลา จะได้

$$y_1 - y_{10} + a_1 \int_0^t y_1(t) dt = a_2 \int_0^t u_1(t) dt + a_3 \int_0^t y_2(t) dt \quad (3.39)$$

$$y_2 - y_{20} + b_1 \int_0^t y_2(t) dt = b_2 \int_0^t y_1(t) dt \quad (3.40)$$

กำหนดให้

$$a_1 = \frac{1}{\tau_1}, \quad a_2 = \frac{k_1}{\tau_1}, \quad a_3 = \frac{k_2}{\tau_1} \quad (3.41)$$

$$b_1 = \frac{1}{\tau_2}, \quad b_2 = \frac{k_3}{\tau_2} \quad (3.42)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ (3.39) และ (3.40) สามารถจัดเรียงให้อยู่ในเทอมของ  $y_{,model(t)}$  จะได้ดังสมการที่ (3.43) และ (3.44)

$$y_{1,model(t)} = y_{10} - a_1 \int_0^t y_1(t) dt + a_2 \int_0^t u_1(t) dt + a_3 \int_0^t y_2(t) dt \quad (3.43)$$

$$y_{2,model(t)} = y_{20} - b_1 \int_0^t y_2(t) dt + b_2 \int_0^t y_1(t) dt \quad (3.44)$$

เมื่อแทนค่า  $t \in \{t_1, \dots, t_N\}$  ลงไปในสมการแล้ว จะทำให้เกิดระบบสมการ  $N$  equations จำนวน 12 สมการในพารามิเตอร์ที่ยังไม่ทราบค่าจำนวน 12 ตัว ซึ่งเขียนให้อยู่ในรูปของสมการเมทริกซ์ จะได้ว่า

$$\mathbf{A} \mathbf{p} = \mathbf{b} \quad (3.45)$$

$$\mathbf{A} = [\mathbf{M}_1][\mathbf{M}_2] \quad (3.46)$$

$$\mathbf{M}_1 = \begin{bmatrix} \mathbf{1}_{N \times 1} & \mathbf{0}_{N \times 1} \\ \mathbf{0}_{N \times 1} & \mathbf{1}_{N \times 1} \end{bmatrix}, \mathbf{M}_2 = \begin{bmatrix} \mathbf{I}_{1,N \times 3} & \mathbf{0}_{N \times 3} \\ \mathbf{0}_{N \times 3} & \mathbf{I}_{2,N \times 1} \end{bmatrix} \quad (3.47)$$

$$\mathbf{I}_{1,N \times 3} = \begin{bmatrix} -\int_0^{t_1} y_1 dt & \int_0^{t_1} u_1 dt & \int_0^{t_1} y_2 dt \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ -\int_0^{t_N} y_1 dt & \int_0^{t_N} u_1 dt & \int_0^{t_N} y_2 dt \end{bmatrix} \quad (3.48)$$

$$\mathbf{I}_{2,N \times 3} = \begin{bmatrix} -\int_0^{t_1} y_2 dt & \int_0^{t_1} y_1 dt \\ \vdots & \vdots \\ -\int_0^{t_N} y_2 dt & \int_0^{t_N} y_1 dt \end{bmatrix} \quad (3.49)$$

$$\mathbf{p} = \begin{bmatrix} y_{10} \\ y_{20} \\ a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ b_1 \\ b_2 \\ K_1 \\ K_2 \\ K_3 \\ T_1 \\ T_2 \end{bmatrix}, \mathbf{b} = \begin{bmatrix} y_1(t) \\ \vdots \\ y_1(t_n) \\ y_2(t) \\ \vdots \\ y_2(t_n) \end{bmatrix} \quad (3.50)$$

$$\mathbf{1}_{M \times 1} = M \times 1 \text{ matrix of ones} \quad (3.51)$$

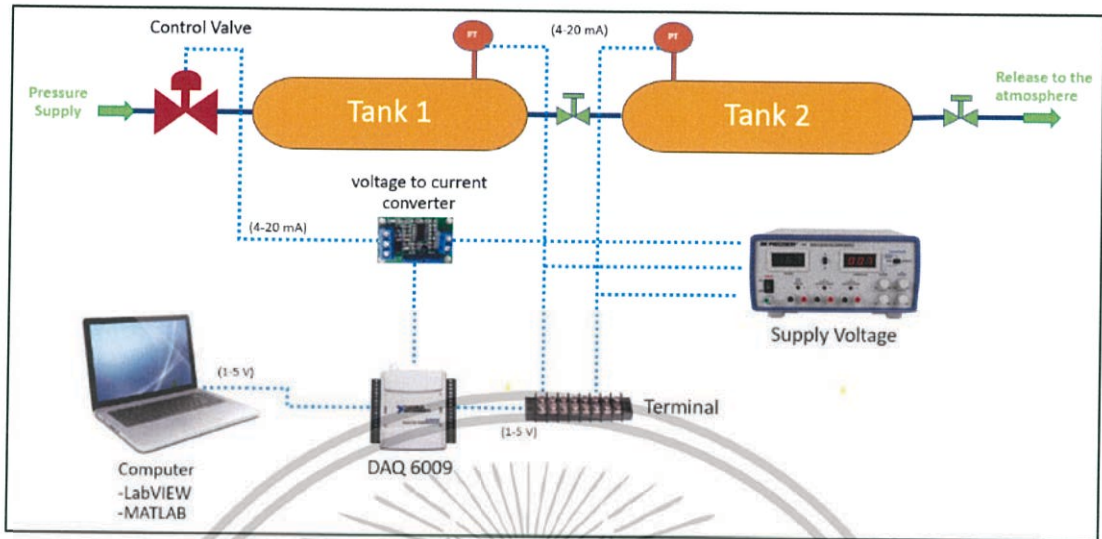
$$\mathbf{0}_{M \times N} = M \times N \text{ matrix of zeros} \quad (3.52)$$

และเมื่อทำการแก้สมการด้วย Linear Least Squares แล้วจะได้ค่าพารามิเตอร์ตาม Vector 1 ในสมการที่ (3.51) ซึ่งเมื่อแทนค่าเหล่านี้ลงไปลงในสมการที่ (3.39) และ (3.40) แล้วจะได้  $y_{1,model(t)}$  และ  $y_{2,model(t)}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

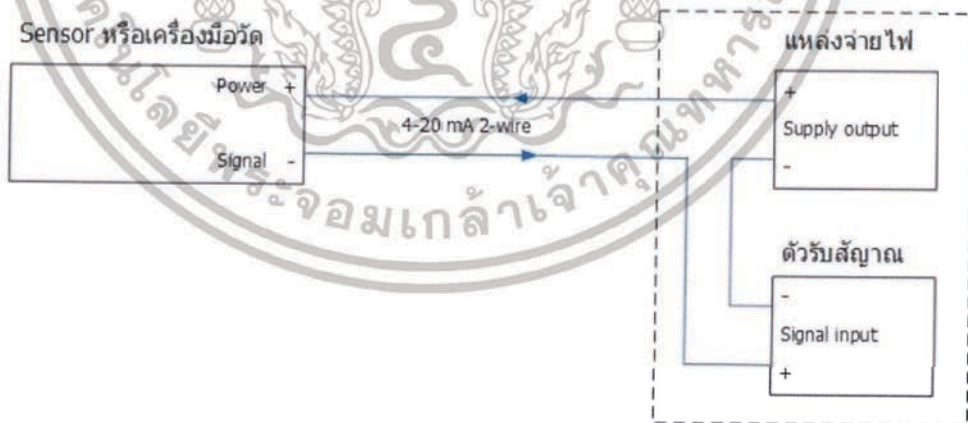
### 3.3 การเก็บค่า

#### 3.3.1 การต่อสาย



รูปที่ 3.6 แบบจำลองระบบปฏิบัติการดึงเก็บความดันอากาศแบบปฏิสัมพันธ์

การต่อลักษณะนี้ถูกออกแบบมาเพื่อช่วยลดต้นทุนของการเดินสายไฟโดยสามารถส่งได้ทั้งสัญญาณ Output และไฟเลี้ยงเครื่องมือวัดไปด้วยกันโดยใช้สายไฟเพียงแค่ 2 เส้น ซึ่งจะเป็นลักษณะการต่อที่ผู้ใช้ทั่วไปไม่เคยชิน ตัวอย่างการต่อแบบ 2-wire ตามรูปที่ 3.7



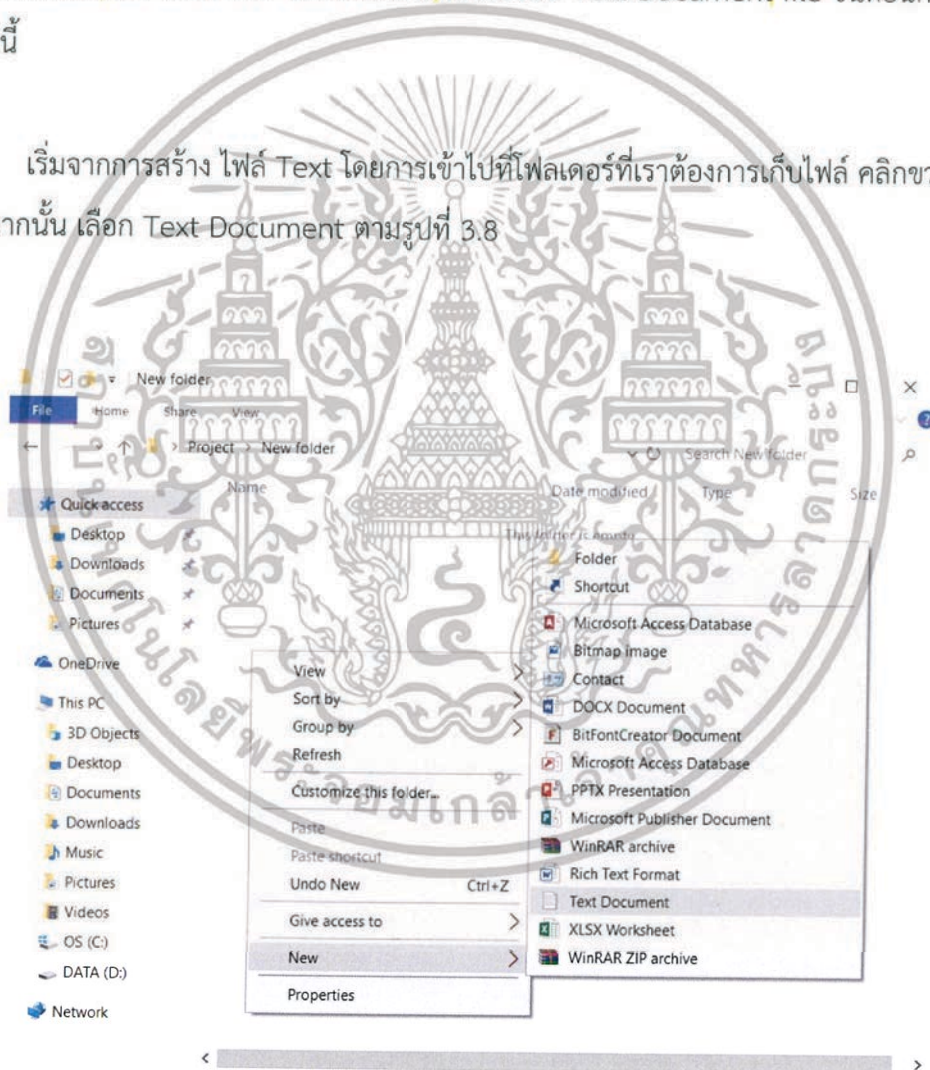
รูปที่ 3.7 การเชื่อมต่อสัญญาณ 4-20 mA แบบ 2 สาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.2 ขั้นตอนการเก็บค่า

เนื่องจาก Control Valve ที่นำมาใช้ค่อนข้างเก่า ซึ่งจากการทดสอบการใช้งาน จะพบว่าที่ช่วง % Open Valve 0-40 % และ 70-100 % ค่าที่วัดได้ไม่ได้มีการแตกต่างกันมาก คือผลลัพธ์ที่ได้แทบไม่มีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งผลลัพธ์จะมีการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจน ช่วง % Open Valve จะอยู่ในช่วง 50-70 % จึงทำการเก็บค่าที่ช่วงนี้ เพราะเป็นช่วงที่เห็นผลลัพธ์ที่แตกต่างกันชัดเจนที่สุด ในการจะเริ่มต้นการทำ System Identification นั้น เราจำเป็นที่จะต้องทราบค่า หรือตัวแปร Input และ Output ของระบบที่สนใจ ซึ่งเราจะทำการเก็บค่าตัวแปรดังกล่าวไปทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ที่มีต่อระบบที่สนใจ โดยผ่านการทำ System Identification ตัวแปรที่เราสนใจจะถูกเก็บค่าจากโปรแกรม LabVIEW โดยจะมีลักษณะไฟล์เป็น Text Document file ขั้นตอนการเก็บค่าจะมีดังนี้

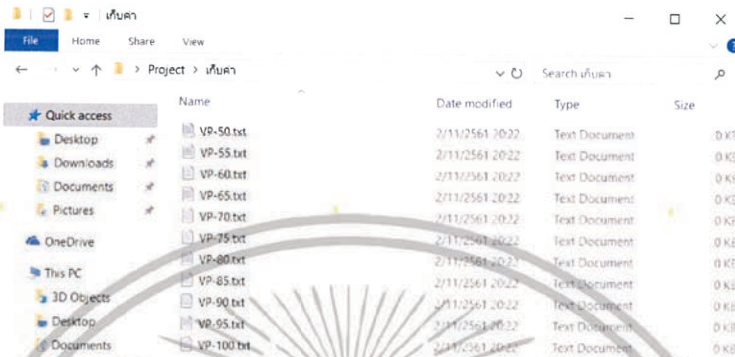
เริ่มจากการสร้าง ไฟล์ Text โดยการเข้าไปที่โฟลเดอร์ที่เราต้องการเก็บไฟล์ คลิกขวาเลือก New จากนั้น เลือก Text Document ตามรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 การสร้าง Text Document

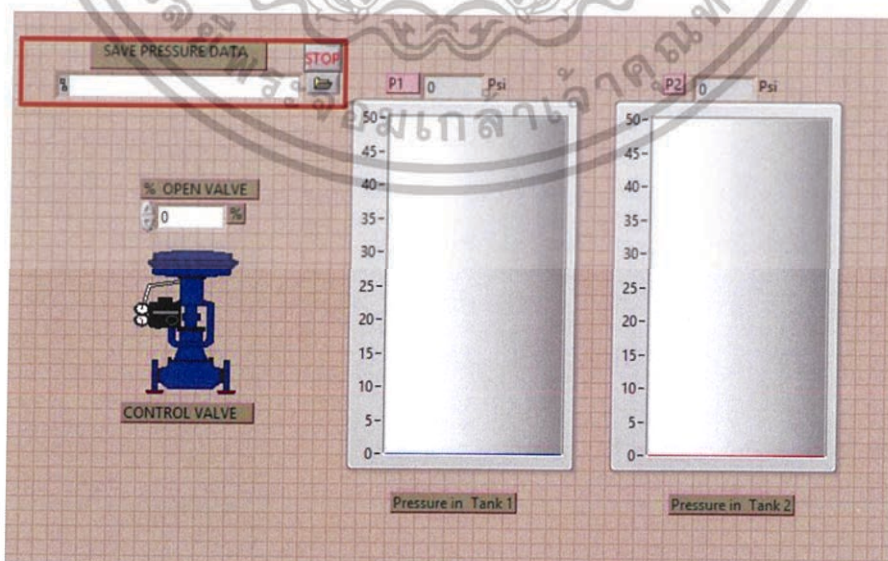
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการทดลองนี้เราจะเก็บค่า Output ของระบบซึ่งคือ ความดันในถังความดัน ทั้ง 2 ถัง โดยความดันดังกล่าวจะเพิ่มหรือลดขึ้นอยู่กับ การเปิดปิดวาล์วควบคุม ที่อยู่หน้ากระบวนการ โดยเมื่อทำการเปิดวาล์วที่เปอร์เซ็นต์วาล์วที่แตกต่างกันไป จะทำให้ความดันในถังทั้ง 2 ถังมีความแตกต่างกันออกไป และเพื่อให้ง่ายต่อการนำไปใช้จึงตั้งชื่อไฟล์โดยแบ่งตามเปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์วควบคุมตามรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 การตั้งชื่อไฟล์ Text Document

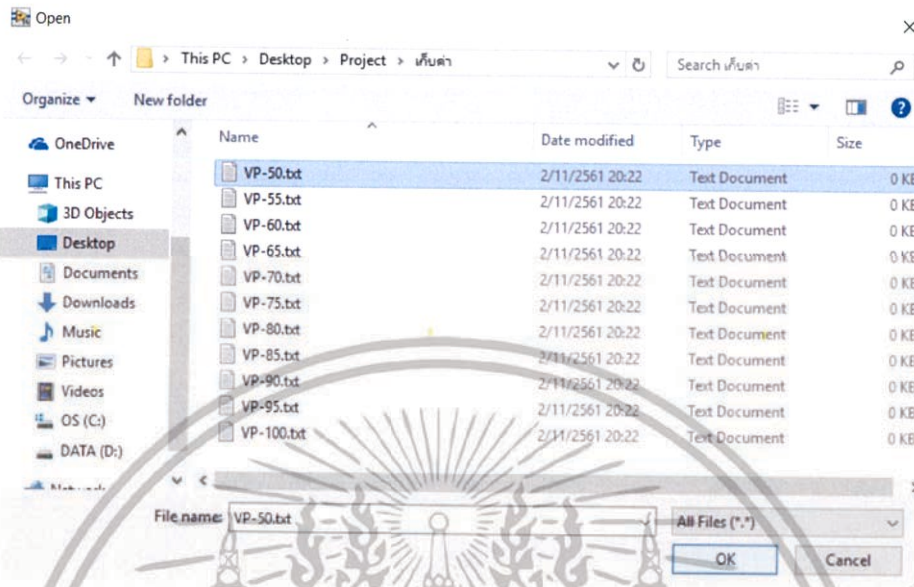
ต่อไปเป็นส่วนของการเก็บค่าโดยการใช้โปรแกรม LabVIEW โดยข้อมูลต่างๆ ที่เราต้องการจะถูกนำไปเก็บไว้ในไฟล์ที่เราเพิ่งสร้างไปในขั้นตอนแรก เริ่มต้นการใช้งานโปรแกรมโดยการกดเลือกรูปแฟ้ม ที่ Save Pressure Data ตามรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 การใส่ไฟล์ Text ที่ต้องการเก็บข้อมูลในโปรแกรม LabVIEW

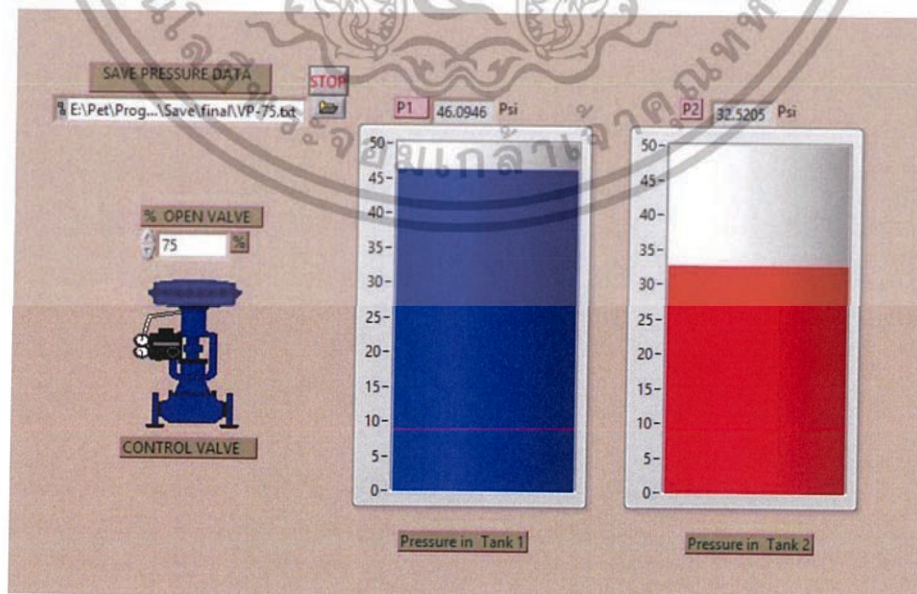
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นจะปรากฏเป็นรูปตามรูปที่ 3.11 ให้เราทำการเลือกไฟล์ที่เราต้องการจะเก็บข้อมูลโดยจะสอดคล้องกับค่าที่เราต้องการเก็บ โดยจะเริ่มเก็บข้อมูลจาก การเปิดวาล์วควบคุม (% Valve Position) ที่ 50% เป็นต้นไป



รูปที่ 3.11 การเลือกไฟล์ Text

เมื่อเลือกไฟล์ Text เสร็จแล้ว ให้เราพิมพ์ตัวเลขเปอร์เซ็นต์วาล์วลงในช่อง % Open Valve ตามที่ได้เลือกไฟล์ไว้จากนั้น กดปุ่ม Run เพื่อทำการเริ่มโปรแกรม โดยให้จับเวลาไว้ที่ 2 นาที เมื่อครบ 2 นาที ให้ทำการกดหยุดโปรแกรม ซึ่งค่าความดันในถังทั้งสอง (P1 และ P2) และ เปอร์เซ็นการเปิดวาล์ว จะถูกบันทึกไว้ในไฟล์ Text ที่ได้ทำการเลือกไว้ ดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 รูป LabVIEW ตอนกำลังเก็บค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นจึงทำการแปลงไฟล์ Text ที่ได้จากการเก็บค่า เป็นไฟล์ Excel โดยการกดเลือกที่ข้อมูล จากนั้น กดเลือกไปที่รับข้อมูลจากข้อความ โดยจะทำการกำหนดส่วนหัวของแต่ละหลัก เพื่อนำค่าต่าง ๆ ไปใช้ในการทำ System Identification โดยลักษณะโปรแกรม Excel ที่ได้จะเป็นดังรูปที่ 3.13

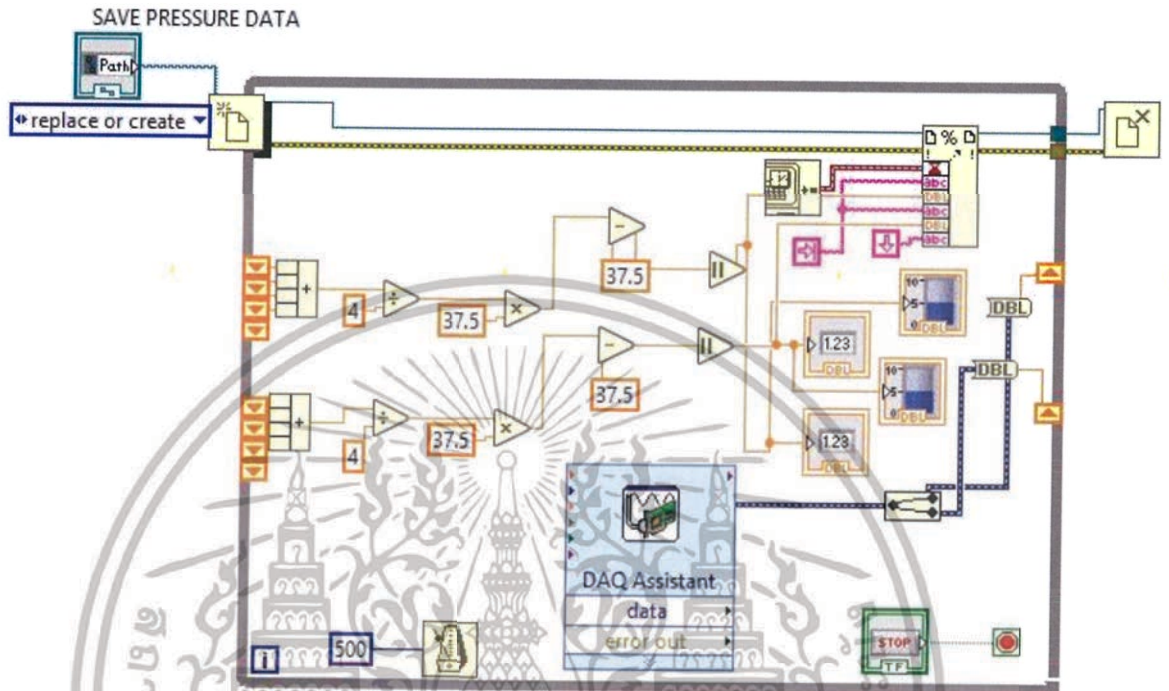
	A	B	C	D	E
1	Timer	P1	P2	Time	%Valve Postion
2	5/7/2019 1:40	1.076593	0.100034	0	0.55
3	5/7/2019 1:40	1.825914	0.079019	0.5	0.55
4	5/7/2019 1:40	1.891568	0.114829	1	0.55
5	5/7/2019 1:40	1.933348	0.019334	1.5	0.55
6	5/7/2019 1:40	2.154184	0.070192	2	0.55
7	5/7/2019 1:40	2.637636	0.117939	2.5	0.55
8	5/7/2019 1:40	2.959937	0.255213	3	0.55
9	5/7/2019 1:40	3.419515	0.350708	3.5	0.55
10	5/7/2019 1:40	3.950715	0.595413	4	0.55
11	5/7/2019 1:40	4.308827	0.810277	4.5	0.55
12	5/7/2019 1:40	4.923587	1.037077	5	0.55
13	5/7/2019 1:40	5.472693	1.240003	5.5	0.55
14	5/7/2019 1:40	5.884522	1.395182	6	0.55
15	5/7/2019 1:40	6.30232	1.586172	6.5	0.55
16	5/7/2019 1:40	6.714149	1.777162	7	0.55
17	5/7/2019 1:40	7.072262	2.027836	7.5	0.55
18	5/7/2019 1:40	7.442311	2.272541	8	0.55
19	5/7/2019 1:40	7.788487	2.50531	8.5	0.55
20	5/7/2019 1:40	8.110788	2.744047	9	0.55
21	5/7/2019 1:40	8.492775	2.905194	9.5	0.55
22	5/7/2019 1:40	8.737485	3.078278	10	0.55
23	5/7/2019 1:40	8.964289	3.203615	10.5	0.55
24	5/7/2019 1:40	9.113503	3.418479	11	0.55

รูปที่ 3.13 ตัวอย่างค่าที่ได้จากการเก็บค่า

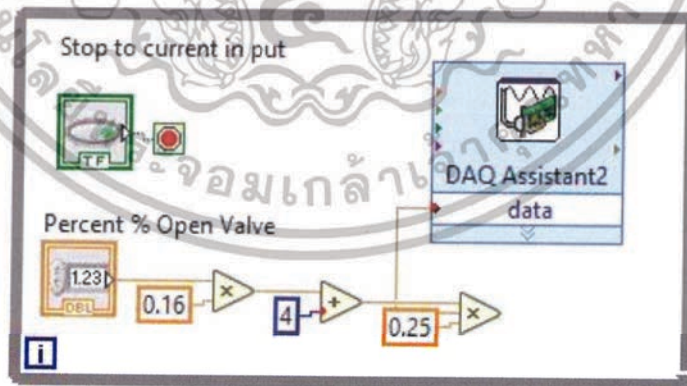
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.3 ส่วนโปรแกรมการเก็บค่า

ส่วนนี้จะใช้โปรแกรม LabVIEW ในการเก็บค่า โดยจะทำการเขียนโปรแกรมผ่านทาง Block Diagram และเขียนส่วนแสดงผลผ่านทาง Front Panel ในโปรแกรม LabVIEW ซึ่งหน้าตาโปรแกรมจะมีดังรูปที่ 3.14 และ 3.15



รูปที่ 3.14 รูปโปรแกรมส่วนรับค่าจากกระบวนการถังความดัน

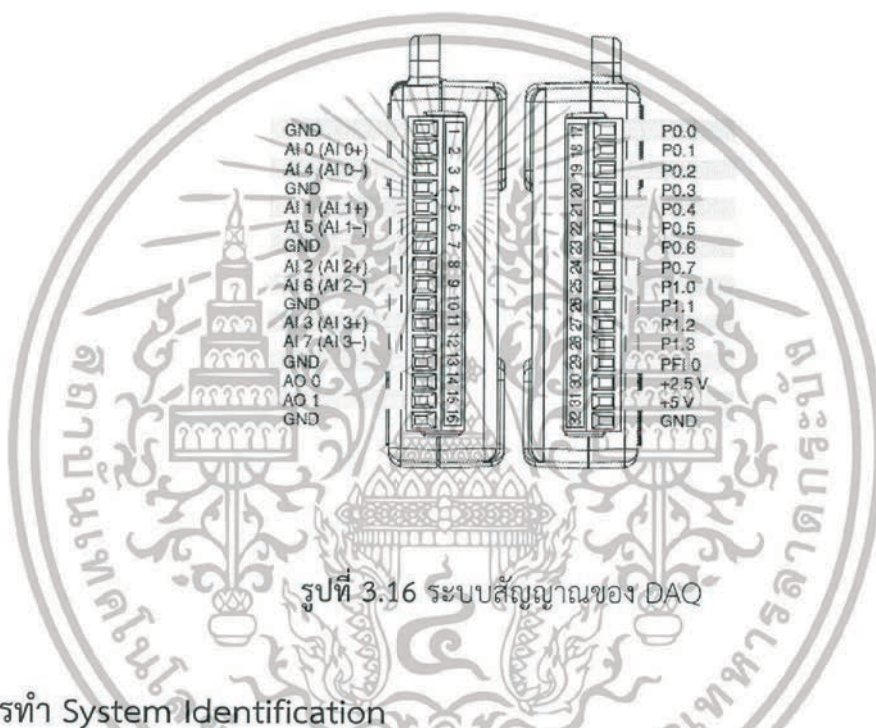


รูปที่ 3.15 รูปโปรแกรมส่วนควบคุมการเปิดปิดของ Control Valve

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.4 การเชื่อมต่อของ LabVIEW กับ Interface [7]

ต่อสายจาก Transmitter จากถังลม 1 และ 2 เข้า Chanel ของ DAQ โดยมีการจ่ายไฟให้อุปกรณ์ทรานสมิตเตอร์ผ่าน Terminal หลังจากนั้นเลือก Chanel ของสัญญาณอนาล็อกที่ต้องการ โดยจากการทดลองมีอุปกรณ์ทรานสมิตเตอร์สองตัว จึงเลือกใช้เป็น AI 0 และ AI 1 โดยแต่ละ Chanel ใช้สัญญาณขั้วบวกจากทรานสมิตเตอร์ เชื่อมเข้ากับ AI 0 และ AI 1 ตามลำดับ ส่วนสัญญาณขั้วลบจากทรานสมิตเตอร์ทั้งสองตัวเชื่อมต่อเข้ากับ GND ในส่วนของเอาต์พุตที่จะนำไปใช้ควบคุมวาล์ว ได้มีการใช้ตัวแปลงสัญญาณจาก 0 ถึง 5 โวลต์ ไปเป็นสัญญาณอนาล็อก 4 ถึง 20 mA เพื่อใช้ในการควบคุมวาล์วในส่วนของเอาต์พุต จะใช้เป็น Chanel AO 0 ตามรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 ระบบสัญญาณของ DAQ

### 3.4 การทำ System Identification

ในการทำ System Identification จะใช้ค่าความถี่ที่ทำการเก็บมาจากกระบวนการวิเคราะห์ที่โดยผ่านโปรแกรม MATLAB ซึ่งจะทำการเขียนโปรแกรมเพื่อดึงค่าจากโปรแกรม Excel ที่ได้บันทึกค่าไว้ เพื่อนำค่ามาวิเคราะห์ดังรูปที่ 3.17 และ 3.18 ซึ่งจะเป็นตัวอย่างโปรแกรมที่ใช้ในการดึงข้อมูลที่เก็บไว้จาก Excel โปรแกรม เพื่อมาทำ System Identification โดยจะพิจารณาจากค่าที่เก็บได้จากการเปิดใช้งานวาล์วควบคุมที่ 70 % โดยรายละเอียดของโปรแกรมจะมีดังนี้

### 3.4.1 การนำค่าที่เก็บได้จากโปรแกรม LabVIEW เข้าสู่ MATLAB

```

clear ;
close all;
clc
Ddatasheet=xlsread('DATA.xlsx','VP70','B2:E242')

T=Ddatasheet(:,3);
P1=Ddatasheet(:,1);
P2=Ddatasheet(:,2);
V =Ddatasheet(:,4);

figure;plot(T,P1,'r+-');
title('Pressure Tank1')
xlabel('Time (s)')
ylabel('Pressure (psi)')
figure;plot(T,P2,'b+-');
title('Pressure Tank2')
xlabel('Time (s)')
ylabel('Pressure (psi)')
figure;plot(T,P1,'r+-',T,P2,'b+-');
title('y_1 Data & y_2 Data')
xlabel('Time (s)')
ylabel('Pressure (psi)')

%Trapezium rule
intP1=cumtrapz(T,P1);
intP2=cumtrapz(T,P2);
intV =cumtrapz(T,V);

%matrix form : Ap=b
A = [ones(size(P1)) intP1 intV intP2]
b = P1;
C = [ones(size(P2)) intP2 intP1]
d = P2;

%result parameter of system identification
sol1=A\b
sol2=C\d
y10=sol1(1)
y20=sol2(1)
a1=(-1)*sol1(2)
a2=sol1(3)
a3=(-1)*sol1(end)
b1=(-1)*sol2(2)
b2=sol2(end)

```

รูปที่ 3.17 Code System Identification ในโปรแกรม MATLAB (1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

%integral formulation of y model
y1_model=y10-a1*cumtrapz(T,P1) +a2*cumtrapz(T,V) - a3*cumtrapz(T,P2);
y2_model=y20-b1*cumtrapz(T,P2) +b2*cumtrapz(T,P1);
figure;plot(T,y1_model,'r+',T,y2_model,'b+-')
title('y_1 model & y_2 model')
xlabel('Time (s)')
ylabel('Pressure (psi)')

figure;plot(T,P1,'b',T,y1_model,'r--')
title('y_1 model & y_1')
xlabel('Time (s)')
ylabel('Pressure (psi)')
figure;plot(T,P2,'g',T,y2_model,'y--')
title('y_2 model & y_2')
xlabel('Time (s)')
ylabel('Pressure (psi)')

```

รูปที่ 3.18 Code System Identification ในโปรแกรม MATLAB (2)

### 3.4.2 ผลลัพธ์จากการทำ System Identification

เมื่อได้ทำการทำ System Identification ตามวิธีการที่กล่าวถึงในหัวข้อ 3.2.3 จะได้ค่าพารามิเตอร์ ตามตารางที่ 3.3

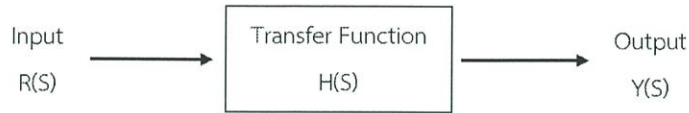
ตารางที่ 3.3 ตารางแสดงค่า System Identification Parameter

Integrating equation parameter	% Valve Position				
	50	55	60	65	70
y10	1.4833	0.9605	-0.3764	-0.9564	-2.6379
y20	0.4065	-0.3032	0.1196	-0.0576	0.0013
a1	0.4082	-0.057	0.0543	0.1001	0.099
a2	3.0834	-1.3444	3.8571	6.132	7.9085
a3	-0.3732	0.2393	0.0507	0.0029	0.0396
b1	0.245	0.2732	0.2314	0.2478	0.26
b2	0.0791	0.1329	0.146	0.1694	0.1824
K1	7.5529	-23.5686	70.9843	61.2723	79.7691
K2	-0.9141	-4.1952	0.9335	0.0294	0.3999
K3	0.3227	0.4864	0.6309	0.6836	0.7013
T1	2.4495	-17.5303	18.4034	9.9922	10.0865
T2	4.082	3.6602	4.3217	4.0351	3.8457

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.3 การสังเคราะห์ Loop Transfer Function ของกระบวนการ

เมื่อได้ค่าพารามิเตอร์แล้ว จึงพิจารณาถึง Transfer Function ของกระบวนการ จะได้ดังรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 Open Loop Transfer Function

$$H(s) = \frac{\mathcal{L}[y(t)]}{\mathcal{L}[r(t)]} = \frac{Y(s)}{R(s)} \quad (3.53)$$

เมื่อพิจารณาจาก Open Loop ของกระบวนการ จะได้ดังสมการที่ (3.54)

$$\frac{y_2(s)}{U(s)} = \frac{a_2 b_2}{a_1 b_1 + a_1 s - a_3 b_2 + b_1 s + s^2} \quad (3.54)$$

จากผลลัพธ์ที่ได้จากการทำ System Identification นำไปออกแบบระบบควบคุม โดยการกำหนด Rise time และ Setting time สองค่านี้สามารถอ้างอิงได้กับค่า Damping Ratio ( $\zeta$ ) และ Natural Frequency ( $\omega_n$ )

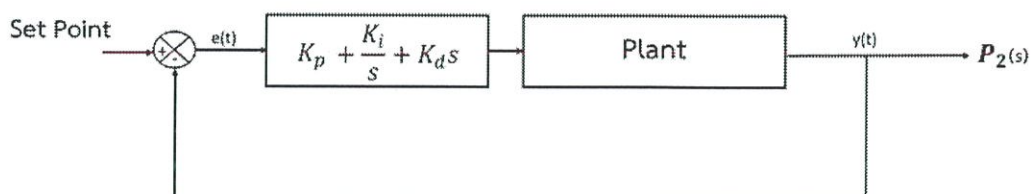
จากนั้น เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ระหว่างค่าที่ได้และสมการลักษณะของระบบอันดับที่สาม

$$\frac{(K_d s^2 + K_p s + K_i) a_2 b_2}{s^3 + (K_d a_2 b_2 + a_1 + b_1) s^2 + (K_p a_2 b_2 + a_1 b_1 - a_3 b_2) s + K_i a_2 b_2} \quad (3.55)$$

ซึ่งรูปแบบทั่วไปของสมการคุณลักษณะที่ต้องการของระบบอันดับที่สาม คือ

$$s^3 + 3\delta\omega_n s^2 + (2\delta^2 + 1)\omega_n^2 s + \delta\omega_n^3 = 0 \quad (3.56)$$

เมื่อได้ Transfer Function ของกระบวนการแล้ว จะทำการพิจารณาในลักษณะของ Close Loop Transfer Function ดังรูปที่ 3.20 เพื่อพิจารณาถึงการออกแบบตัวควบคุมที่มีประสิทธิภาพ



รูปที่ 3.20 Close Loop Transfer Function

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.5 การสังเคราะห์ PID

#### 3.5.1 ออกแบบ PID

จาก Close Loop Transfer Function ของระบบเมื่อพิจารณาแล้ว จะพบว่าได้สมการดังรูปที่ 3.21

$$\text{Input} \longrightarrow \frac{(K_d s^2 + K_p s + K_i) K_1 K_2}{r_1 r_2 s^3 + (K_1 K_3 K_d + r_1 + r_2) s^2 + (K_1 K_3 K_p + K_2 K_3 + 1) s + K_1 K_3 K_i} \longrightarrow \text{Output}$$

รูปที่ 3.21 Transfer Function ที่ได้จากการยุบบล็อก

ซึ่งจะเห็นได้ว่า Close Loop ของกระบวนการจะเป็นลักษณะ 3 Order System จึงสามารถเปรียบเทียบกับสมการ The General Form of Desired Characteristic Equation เพื่อนำไปหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในตัวควบคุมแบบ PID

#### 3.5.2 หาค่า PID

จากสมการ The General Form of Desired Characteristic Equation เราจะทำการออกแบบตัวควบคุม โดยการกำหนดค่า Rise Time และ Setting Time โดยที่จะกำหนดทั้งสองค่าดังสมการที่ (3.58)

$$\text{Rise Time} = 30 \text{ วินาที} \quad \text{Setting Time} = 90 \text{ วินาที} \quad (3.58)$$

โดยค่าทั้งสองจะนำไปแก้สมการเปรียบเทียบเพื่อหาค่า Natural Frequency และ Damping Ratio โดยเปรียบเทียบผ่าน โปรแกรม MAPLE ได้ผลลัพธ์ดังสมการที่ 3.59 และ 3.60

$$\text{Natural Frequency } (\omega) = 0.08376571079 \quad (3.59)$$

$$\text{Damping Ratio } (\zeta) = 0.5305804013 \quad (3.60)$$

จากนั้นจึงทำการเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์ระหว่าง Desired Characteristic Equation ของระบบอันดับ 3 กับ Close Loop Transfer Function ของกระบวนการความดัน เพื่อหาค่า  $K_p$ ,  $K_i$  และ  $K_d$  ออกมา จากตัวอย่างข้างต้น จากการนำข้อมูลกระบวนการความดัน เมื่อเปิดวาล์วควบคุม 70 % ที่ความดัน 4 bar มาวิเคราะห์ System Identification และทำการสังเคราะห์ตัวควบคุม PID จะได้ค่าพารามิเตอร์ดังนี้

$$K_p = 0.0153 \quad K_i = 0.001 \quad K_d = 0.1566$$

จากนั้นได้นำการรวบรวมค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ไปจัดทำตารางรวมค่า PID ที่ควรใช้ตามค่าเป้าหมายที่ต้องการควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.6 จัดทำ Gain Scheduling

เมื่อพิจารณาในหลายๆ ค่าพารามิเตอร์ที่สนใจ ก็จะมีการจัดทำ ตารางพารามิเตอร์เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการเลือกใช้ค่าพารามิเตอร์ PID ที่เหมาะสมกับค่าเป้าหมายที่ต้องการ ซึ่งการจัดทำตาราง Gain Scheduling จะมีรายละเอียดต่าง ๆ ดังตารางที่ 3.4

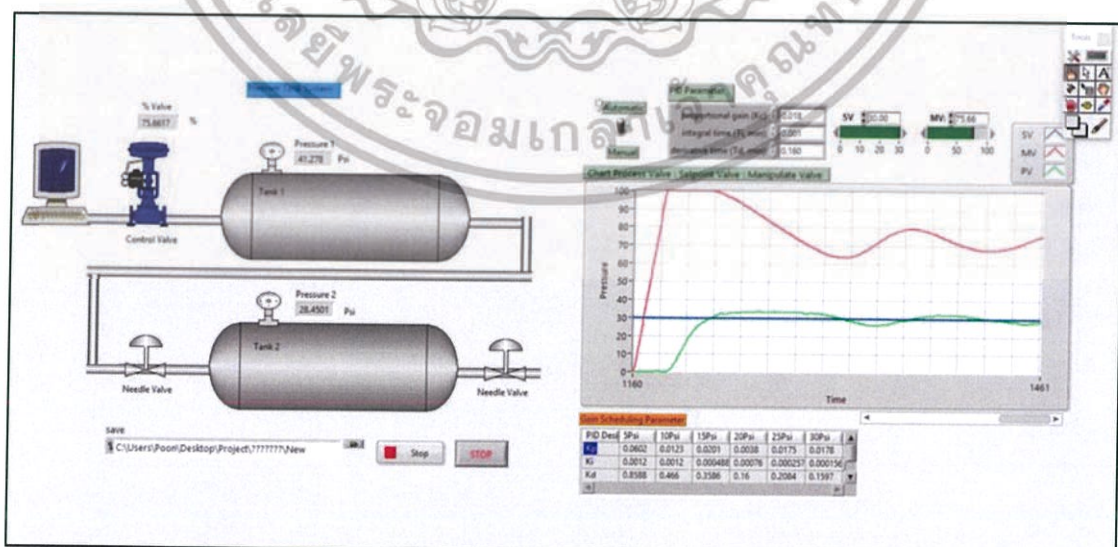
ตารางที่ 3.4 ตารางแสดงค่าพารามิเตอร์ PID Control ที่ได้จากการสังเคราะห์

Gain Scheduling Control Parameter				
PID	15 psi	20 psi	25 psi	30 psi
$K_p$	0.0298	0.0131	0.0138	0.0153
$K_i$	0.005	0.005	0.003	0.001
$K_d$	0.389	0.2174	0.2065	0.1566

และในส่วนของ เนื้อหาในส่วนที่ 4 ของเล่มนี้ จะกล่าวถึงการนำพารามิเตอร์ PID ที่ได้จากการทำ System Identification ไปทำการทดสอบประสิทธิภาพการควบคุมระบบของพารามิเตอร์ดังกล่าว

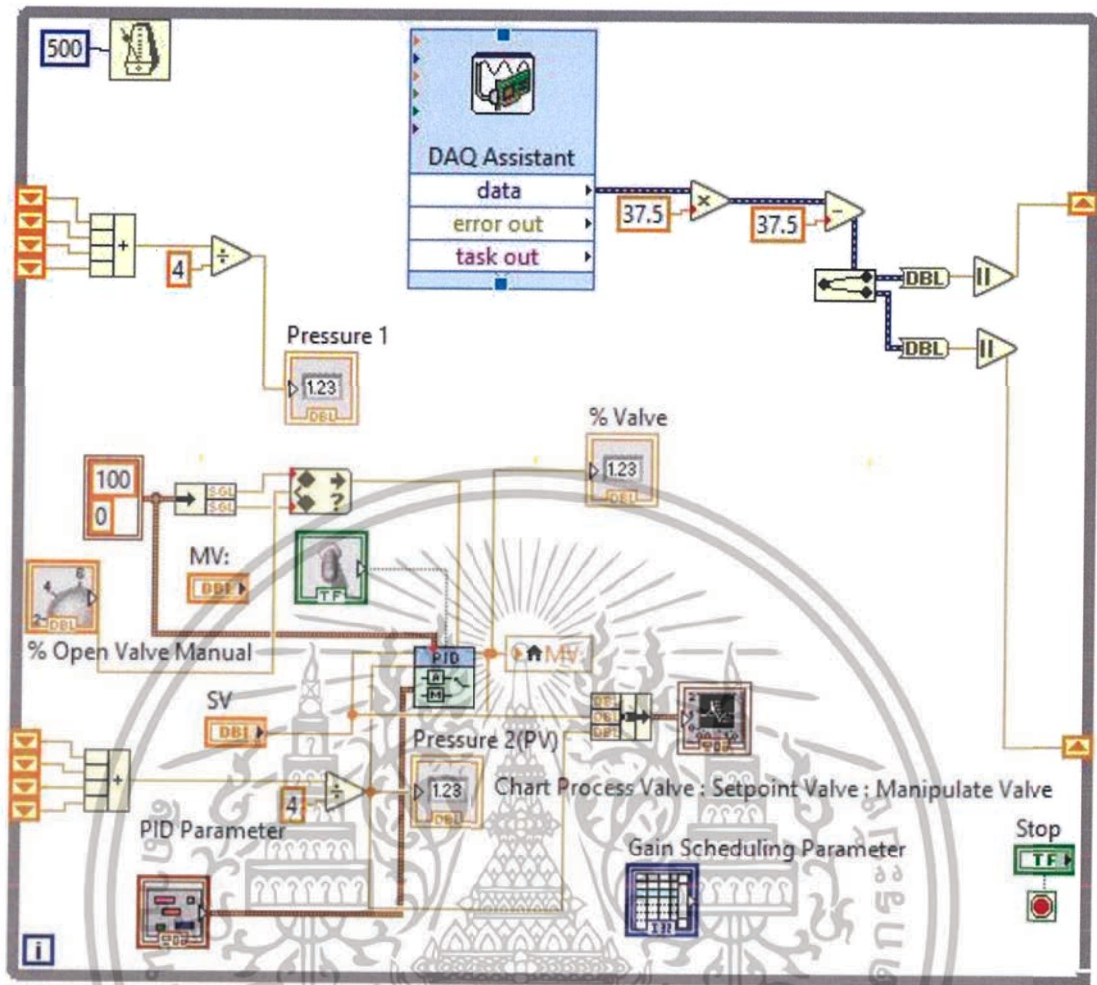
### 3.7 การควบคุมระบบถึงความดันแบบปฏิสัมพันธ์

การทดลองการควบคุมระบบของความดันแบบปฏิสัมพันธ์นั้น สามารถทำได้โดยการเขียนโปรแกรมควบคุมระบบในโปรแกรม LabVIEW ตามรูปที่ 3.23 โดยเชื่อมต่อกับระบบถึงความดันแบบปฏิสัมพันธ์ผ่านทางอุปกรณ์รับส่งข้อมูล DAQ หรือ Data Acquisition โดยทำการป้อนค่าเป้าหมายความดันที่ต้องการ และทำการป้อนค่าพารามิเตอร์ PID ( $K_p$ ,  $K_i$  และ  $K_d$ ) ที่ได้จากการออกแบบ



รูปที่ 3.22 ส่วนแสดงผลการควบคุมถึงความดันแบบปฏิสัมพันธ์ ในโปรแกรม LabVIEW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.23 ส่วนโปรแกรมควบคุมถึงความดันแบบปฏิสัมพันธ์ ในโปรแกรม LabVIEW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### การทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

เพื่อให้การทดสอบสมรรถนะของระบบควบคุมที่ได้ทำการสังเคราะห์พารามิเตอร์มา เพื่อควบคุมความดันในถังความดันแบบปฏิสัมพันธ์ โดยเลือกค่าเป้าหมายการทดลอง คือ ความดันในถังความดันที่สองเท่ากับ 15, 20, 25, 30 psi ตามลำดับ โดยใช้พารามิเตอร์ PID ที่ได้ทำการออกแบบไว้ จากค่าพารามิเตอร์ PID ที่ได้ทำการออกแบบและจัดทำเป็นตารางที่ 4.1 ดังนี้

โดยกำหนดให้ Rise Time = 30 วินาที Setting Time = 90 วินาที

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงค่าพารามิเตอร์ PID Control ที่ได้จากการสังเคราะห์

Gain Scheduling Control Parameter				
PID	15 psi	20 psi	25 psi	30 psi
$K_p$	0.0298	0.0131	0.0138	0.0153
$K_i$	0.005	0.005	0.003	0.001
$K_d$	0.389	0.2174	0.2065	0.157

หมายเหตุ โดยกำหนดให้ output range ของตัวควบคุมอยู่ที่ 55%-70% อันเนื่องมาจากความเท่าของวาล์วควบคุมในส่วนของถังความดัน

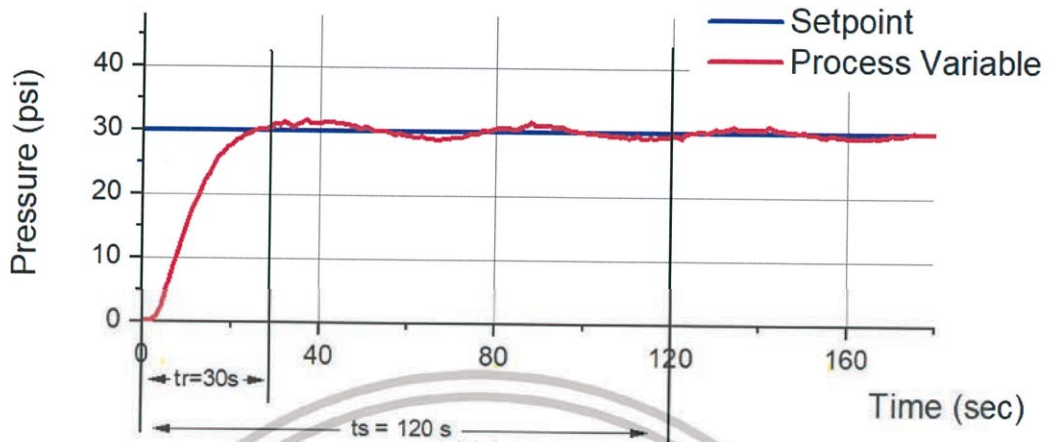
#### 4.1 ขั้นตอนการทดสอบการทำงานของกระบวนการเมื่อใช้ตัวควบคุม PID ที่ได้จากการสังเคราะห์

ในส่วนนี้จะทดสอบผลตอบสนองของระบบ เมื่อใช้ตัวควบคุม PID ที่ได้ออกแบบมาจากพารามิเตอร์ที่ได้จากการทำ System Identification ซึ่งผลตอบสนองที่ได้ทำการทดลองจะแบ่งเป็น 2 แบบ คือ

1. เมื่อระบบไม่มีการรบกวนจากภายนอก (Non-Disturbance System) โดยจะเป็นการควบคุมระบบในลักษณะที่ระบบเป็นปกติในทุก ๆ ส่วน คือแหล่งจ่ายลม แหล่งจ่ายไฟ วาล์วควบคุม และระบบไม่ได้รับการรบกวนจากภายนอก
2. เมื่อทำการปิดแหล่งจ่ายลม (Pressure Supply) ของระบบ เป็นระยะเวลา 15 วินาที เพื่อดูว่าระบบสามารถกลับมาทำการควบคุมได้หรือไม่

## 4.2 ผลการทดลอง

### 4.2.1 ค่าเป้าหมาย ความดันในถังที่สองเท่ากับ 30 psi



รูปที่ 4.1 ผลตอบสนองของระบบถึงความดันที่ Setpoint = 30 psi

จากผลการทดลองตามรูปที่ 4.1 จะได้ค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่ได้ดังนี้

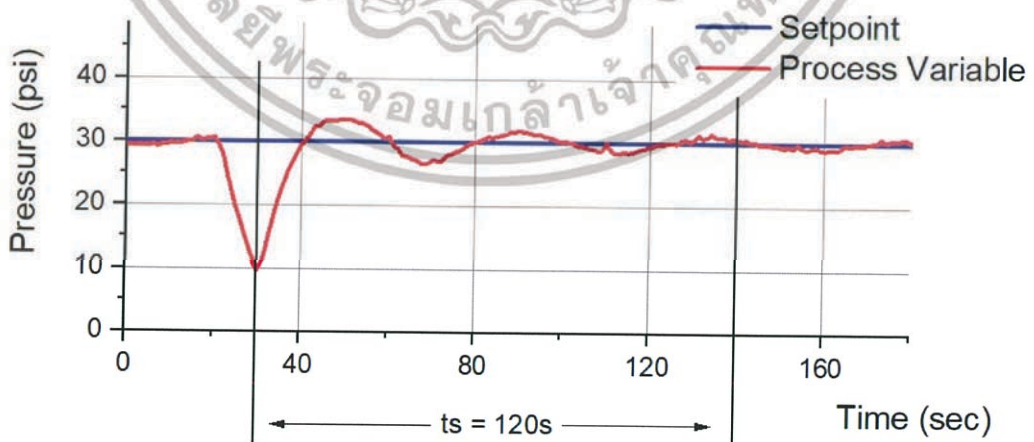
ค่าโอเวอร์ชูต (Over Shoot) = 31.414 psi

ช่วงเวลาขึ้น (Rise Time) = 30 วินาที

เวลาของค่ายอด (Peak Time) = 35 วินาที

เวลาเข้าที่ (Setting Time) = 120 วินาที

ต่อมาเป็นการทดลองเมื่อทำการปิดแหล่งจ่ายลมเข้าระบบเป็นเวลา 15 วินาที ที่ค่าเป้าหมายเท่ากับ 30 psi

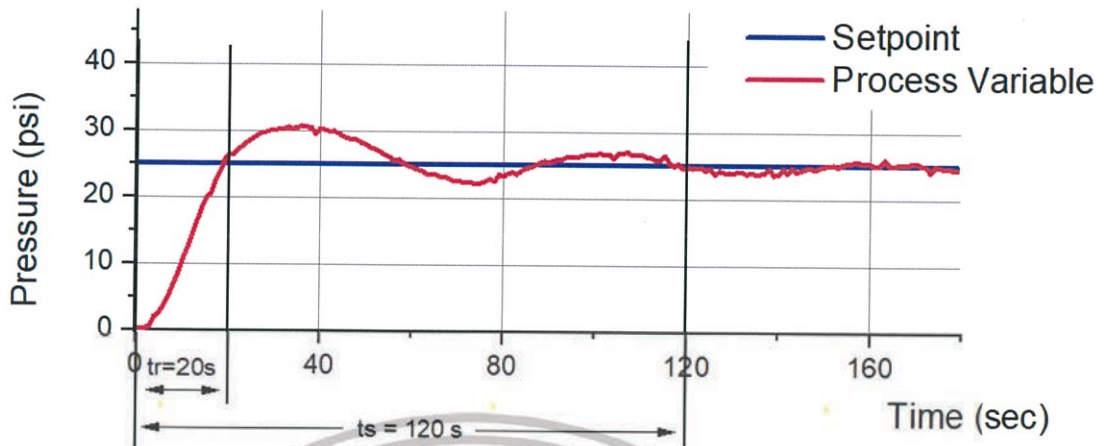


รูปที่ 4.2 ผลตอบสนองของระบบถึงความดันที่ Setpoint = 30 psi

เมื่อทำการปิดแหล่งจ่ายเป็นเวลา 15 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.2 ค่าเป้าหมาย ความดันในถังที่สองเท่ากับ 25 psi

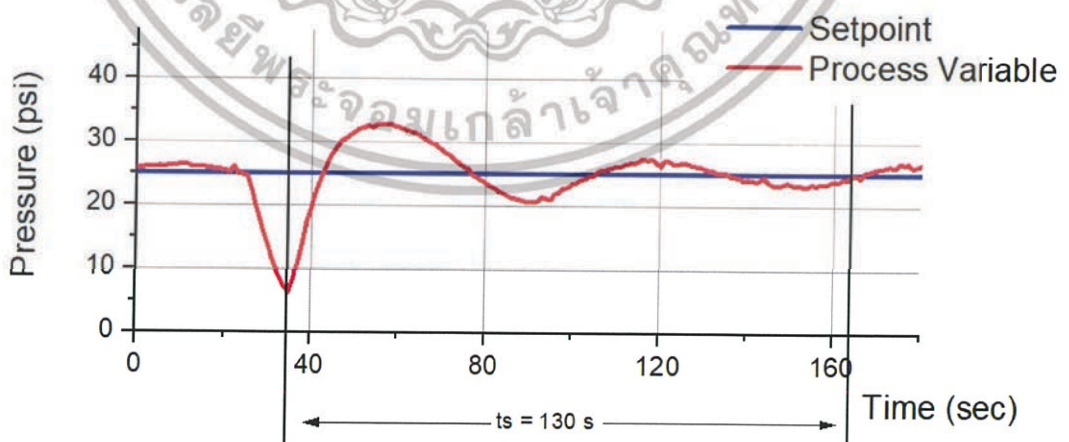


รูปที่ 4.3 ผลตอบสนองของระบบถึงความดันที่ Setpoint = 25 psi

จากผลการทดลองตามรูปที่ 4.3 จะได้ค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่ได้ดังนี้

ค่าโอเวอร์ชูต (Over Shoot)	=	30.27	psi
ช่วงเวลาขึ้น (Rise Time)	=	20	วินาที
เวลาของค่ายอด (Peak Time)	=	30	วินาที
เวลาเข้าที่ (Setting Time)	=	120	วินาที

ต่อมาเป็นการทดลองเมื่อทำการปิดแหล่งจ่ายลมเข้าระบบเป็นเวลา 15 วินาที ที่ค่าเป้าหมายเท่ากับ 25 psi

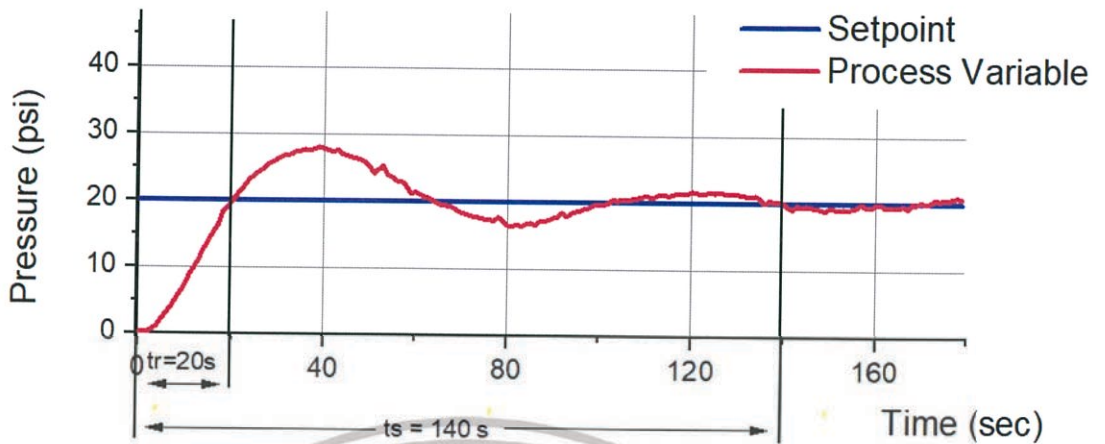


รูปที่ 4.4 ผลตอบสนองของระบบถึงความดันที่ Setpoint = 25 psi

เมื่อทำการปิดแหล่งจ่ายเป็นเวลา 15 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.2.3 ค่าเป้าหมาย ความดันในถังที่สองเท่ากับ 20 psi



รูปที่ 4.5 ผลตอบสนองของระบบถึงความดันที่ Setpoint = 20 psi

จากผลการทดลองตามรูปที่ 4.5 จะได้ค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่ได้ดังนี้

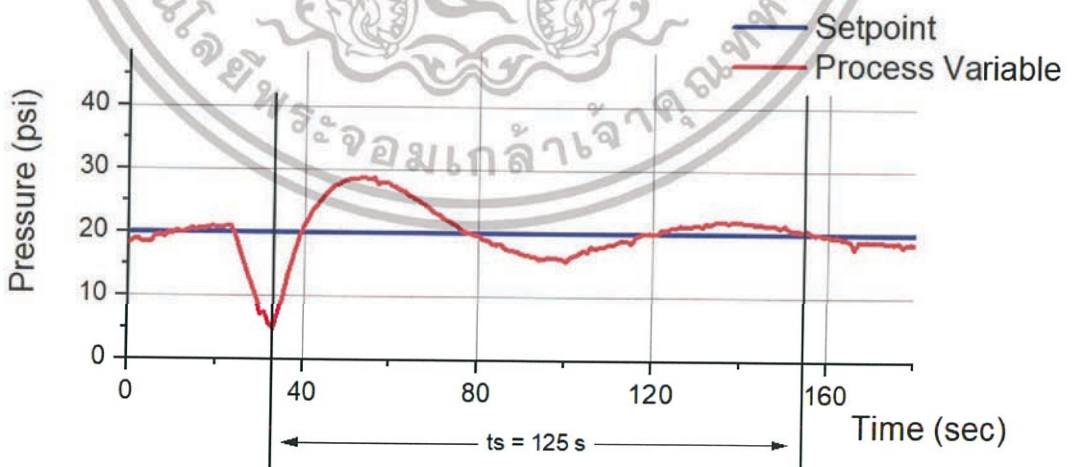
ค่าโอเวอร์ชูต (Over Shoot) = 28.07 psi

ช่วงเวลาขึ้น (Rise Time) = 20 วินาที

เวลาของค่ายอด (Peak Time) = 35 วินาที

เวลาเข้าที่ (Setting Time) = 140 วินาที

ต่อมาเป็นการทดลองเมื่อทำการปิดแหล่งจ่ายลมเข้าระบบเป็นเวลา 15 วินาที ที่ค่าเป้าหมายเท่ากับ 20 psi

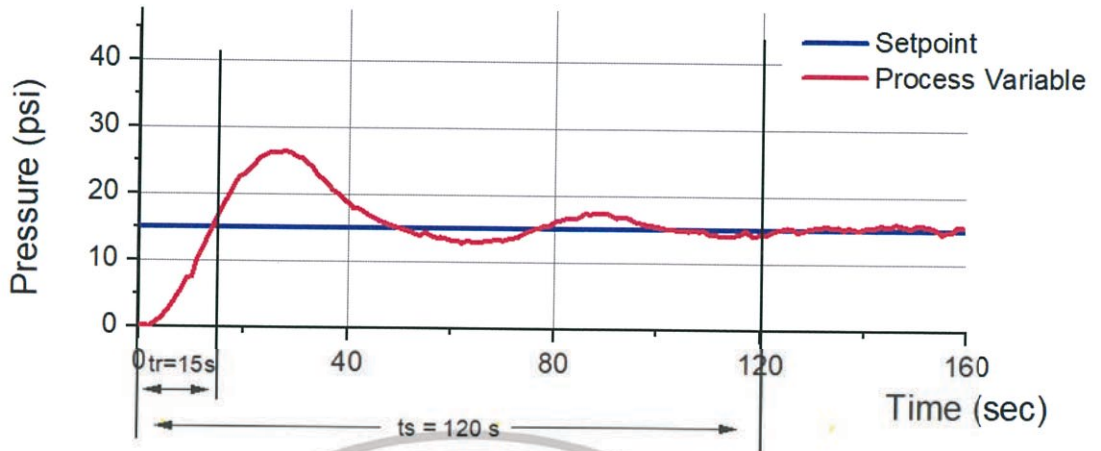


รูปที่ 4.6 ผลตอบสนองของระบบถึงความดันที่ Setpoint = 20 psi

เมื่อทำการปิดแหล่งจ่ายเป็นเวลา 15 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.4 ค่าเป้าหมาย ความดันในถังที่สองเท่ากับ 15 psi



รูปที่ 4.7 ผลตอบสนองของระบบถึงความดันที่ Setpoint = 15 psi

จากผลการทดลองตามรูปที่ 4.7 จะได้ค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่ได้ดังนี้

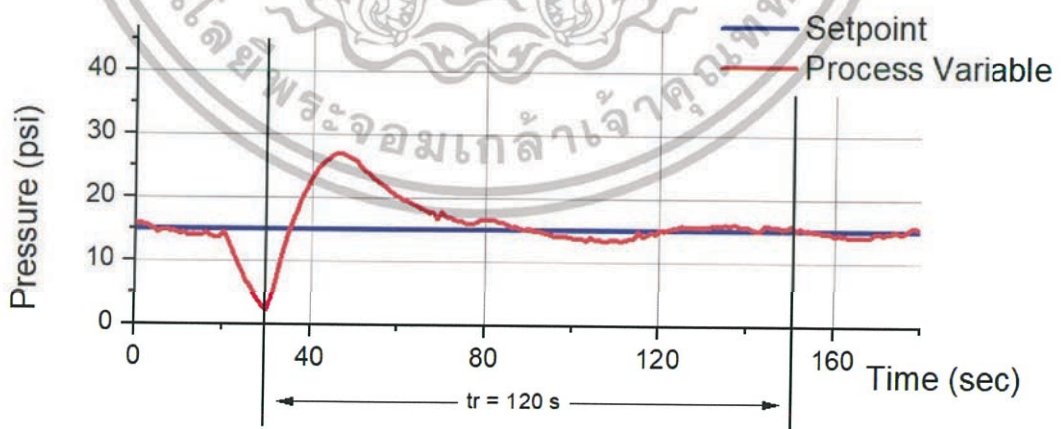
ค่าโอเวอร์ชูต (Over Shoot) = 26.21 psi

ช่วงเวลาขึ้น (Rise Time) = 15 วินาที

เวลาของค่ายอด (Peak Time) = 25 วินาที

เวลาเข้าที่ (Setting Time) = 120 วินาที

ต่อมาเป็นการทดลองเมื่อทำการปิดแหล่งจ่ายลมเข้าระบบเป็นเวลา 15 วินาที ที่ค่าเป้าหมายเท่ากับ 15 psi



รูปที่ 4.8 ผลตอบสนองของระบบถึงความดันที่ Setpoint = 15 psi

เมื่อทำการปิดแหล่งจ่ายเป็นเวลา 15 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3 วิจารณ์ผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่าพารามิเตอร์ PID ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยการทำให้ System Identification สามารถควบคุมระบบความดันได้ทั้งในสภาวะปกติและในสภาวะที่มีการปิดแหล่งจ่ายลมชั่วคราว ซึ่งจะเห็นได้ว่าผลการตอบสนองของระบบกับค่าเป้าหมายบ่งบอกถึงการควบคุมมีความสามารถในการควบคุมระบบให้มีเสถียรภาพตามที่ต้องการได้ แต่อาจมีข้อจำกัดบางอย่างที่ทำให้การควบคุมไม่ได้เป็นไปตามอุดมคติ หรือตามความต้องการอย่างเต็มที่ ซึ่งอาจมีผลจากอาทิ เช่น เรื่อง ฮาร์ดแวร์ของระบบ ความเก่าของอุปกรณ์เครื่องมือวัด เช่น วาล์วควบคุมและทรานสมิตเตอร์ เป็นต้น

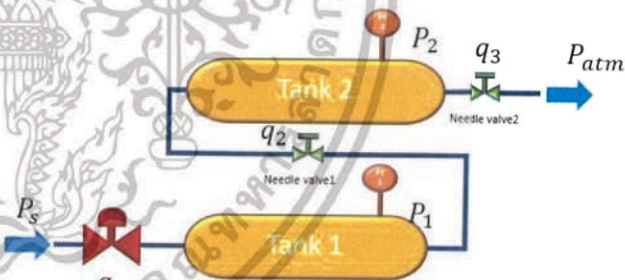
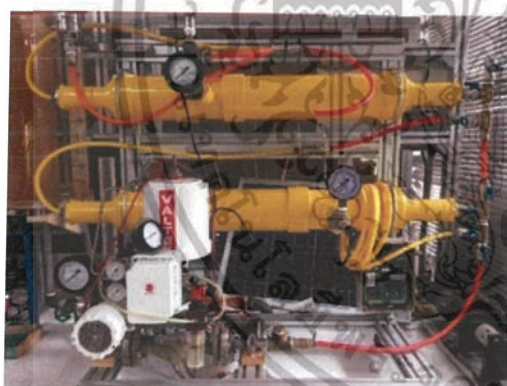


## สรุปผลการดำเนินงาน

### 5.1 สรุปผลงานวิจัย

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์, การทำ System Identification และการออกแบบตัวควบคุมของระบบถึงความดันแบบปฏิสัมพันธ์ ซึ่งเป็นระบบแบบพลวัต โดยงานวิจัยนี้ได้เริ่มจากการศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับแนวคิดวิธีการ และทฤษฎีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการสร้างสมการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Modeling) โดยยึดหลักการสร้างสมการคณิตศาสตร์ด้วยทฤษฎีสมมูลมวลที่จะสามารถอธิบายได้ด้วยสมการเชิงอนุพันธ์ โดยหลังจากนั้นหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ ในระบบเพื่อให้ได้มาซึ่งแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ตลอดจนการศึกษาวិธีการออกแบบสังเคราะห์ตัวควบคุม PID เพื่อใช้ในการควบคุมระบบให้มีประสิทธิภาพตามที่ต้องการ ซึ่งจะใช้โปรแกรมต่าง ๆ ในการศึกษาทดลอง คือ โปรแกรม LabVIEW, โปรแกรม MATLAB และโปรแกรม Maple

#### 5.1.1 สรุปผลการดำเนินการสร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์



รูปที่ 5.1 ถึงความดันอากาศแบบปฏิสัมพันธ์

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สร้างมาจากหลักการของสมมูลมวลของระบบถึงความดันแบบปฏิสัมพันธ์ ประกอบด้วยระบบย่อยสองระบบ มาต่อรวมกันเป็นระบบใหญ่ในลักษณะ Interacting ซึ่งกันและกัน ซึ่งสมการทางคณิตศาสตร์ที่ทำการพิจารณาขึ้นอยู่กับพื้นฐานหลักสมมูลมวล และเมื่อทำการกำหนดสมการทางคณิตศาสตร์ได้อย่างสมบูรณ์ที่สุด ก็จะทำการเก็บค่าความดันจากระบบจริงแล้วนำมาทำการทำ System Identification เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ของระบบที่มีความสัมพันธ์ตลอดจนนำพารามิเตอร์ดังกล่าวไปออกแบบตัวควบคุมพีไอดี เพื่อควบคุมระบบให้มีเสถียรภาพตามที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งจากขั้นตอนต่าง ๆ ที่ได้ทำมานั้น พบว่าสมการทางคณิตศาสตร์ที่ได้จัดทำมีความสำคัญกับระบบความดันที่สนใจเป็นอย่างมาก เพราะถ้าหากสมการมีความผิดพลาดจากความเป็นจริงจะทำให้พารามิเตอร์ที่ได้จากการทำการระบุตัวตนมีความผิดพลาดตามไปด้วย และยังส่งผลต่อการออกแบบตัวควบคุมเพื่อควบคุมระบบความดันอีกต่อไปด้วย

### 5.1.2 สรุปผลการดำเนินการสังเคราะห์ตัวควบคุมพีไอดี

จากการทดลองพบว่า พารามิเตอร์ PID ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยการทำ System Identification สามารถควบคุมระบบความดันได้ ทั้งในสภาวะปกติ และในสภาวะที่มีการปิดแหล่งจ่ายลมเพื่อดูว่าระบบสามารถกลับมาควบคุมได้หรือไม่ ซึ่งจะเห็นได้ว่าผลการตอบสนองของระบบกับค่าเป้าหมายนั้นบ่งบอกถึงว่า การควบคุมมีความสามารถในการควบคุมระบบให้มีเสถียรภาพตามที่ต้องการได้ แต่อาจมีข้อจำกัดบางอย่างที่ทำให้การควบคุมระบบไม่เสถียรได้เต็มที่ ซึ่งอาจมีผลจากอาทิ เช่น เรื่องฮาร์ดแวร์ของระบบ ความเก่าของอุปกรณ์เครื่องมือวัด เช่น วาล์วควบคุมและทรานสมิตเตอร์ เป็นต้น

สรุปได้ว่าการดำเนินงานวิจัยและทดลองนี้ สามารถสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่มาจากหลักการสมมูลมวลที่สามารถอธิบายถึงลักษณะพลวัตและตัวแปรพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นและเกี่ยวข้องกับกระบวนการ รวมถึงการสังเคราะห์ตัวควบคุมพีไอดี ที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ผ่านการทำ System Identification ซึ่งเห็นได้ว่าวิธีดังกล่าว สามารถนำมาเป็นหลักการพื้นฐานในการสร้างตัวควบคุม และง่ายต่อการปรับแต่งพารามิเตอร์ เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมเพื่อนำไปใช้งานกับระบบปฏิบัติการได้อย่างมีประสิทธิภาพ

## 5.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา

จากผลตอบสนองพบว่า ระบบสามารถปรับ Rise Time และ Setting Time ให้เร็วกว่านี้ได้ หากใช้ระบบควบคุมแบบ Fuzzy PID System เสริมเข้าไป ซึ่งจะทำให้ปรับปรุงผลตอบสนองได้ดีกว่าเดิม หากมีผู้ที่ต้องการศึกษาต่อ หรือพัฒนาต่อ แนะนำให้ทำการปรับเปลี่ยนสิ่งต่าง ๆ ของระบบดังนี้

- ออกแบบตัวควบคุมเพื่อลด Delay ของระบบให้มากกว่านี้
- เพิ่มตัวแปร Disturbance ที่มีผลต่อระบบให้มากกว่านี้
- ปรับแก้ระบบหรือชดเชยโดยทำระบบแบบ Feed Forward Control

ควรซ่อมบำรุงหรือปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ให้มีประสิทธิภาพกว่าเดิม เช่น Control Valve, Pressure Transmitter และ DAQ เป็นต้น

## บรรณานุกรม

- [1] อาจินต์ น่วมสำราญ. “ปฏิบัติการที่ 8 Control System การวิเคราะห์และออกแบบระบบควบคุมในโดเมนเวลา” [Online]. Available : <http://arjin.info/doc/CSLAB/LAB8.pdf>
- [2] Nordin Saad and Mohd Syahrul Ridhwan Zailani. "Industrial PC Control Implementation on PID controllers: Application to Pressure Control System. "International Conference on Intelligent and Advanced System". 2007
- [3] อ. ภูมิ เหลืองจามิกร “System response, Feedback system & PID Tuning” [Online]. Available : <http://www.ie.eng.chula.ac.th/~poom/control/feedback.ppt>
- [4] K. Anish Mathew 2012 "Internal Model Control of Pressure Process Using ARM Microcontroller." International Conference on Computing Electronics and Electrical Technologies. 2012(1): 351-353
- [5] “MATLAB”, [Online]. Available : <http://www.w3ii.com/th/matlab/default.html>
- [6] อติศักดิ์ รมพุดตาล. 2555 “ LabVIEW สำนักงานควบคุมฮาร์ดแวร์ ” หนังสือที่ได้รับทุนสนับสนุนการเขียนตำราจากมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
- [7] “DAQ, GPIB and Serial Communication”, [Online]. Available : <http://mechanic-top.blogspot.com/2010/09/daq-gpib-and-serialcommunication.html>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



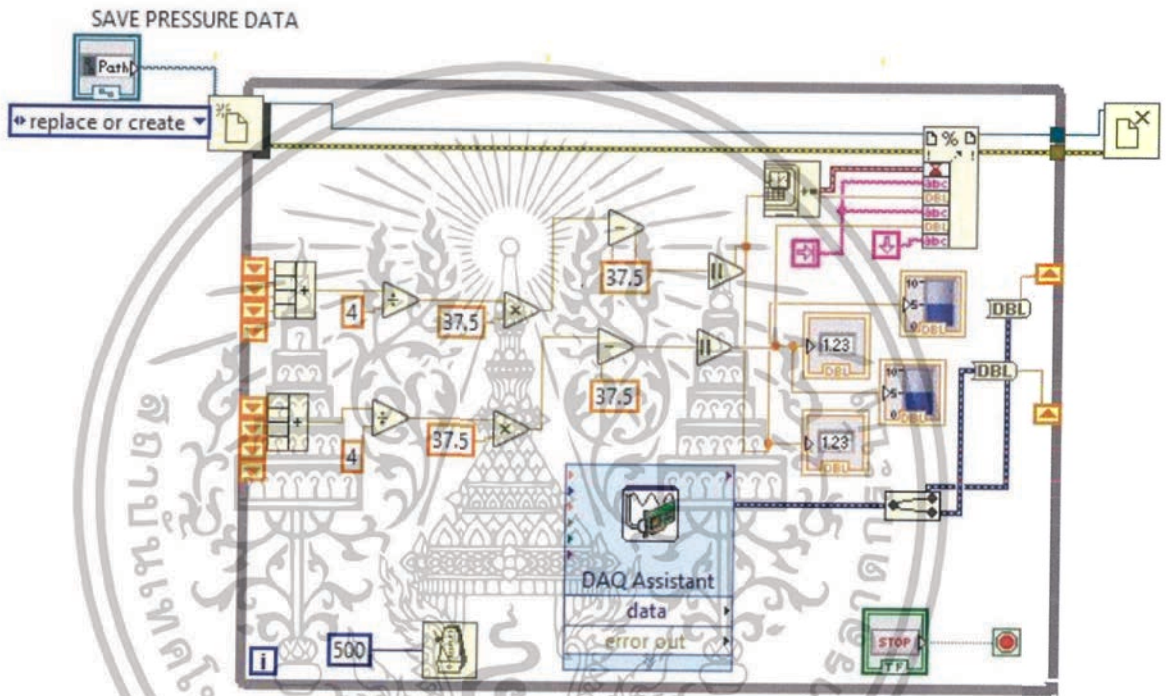
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก

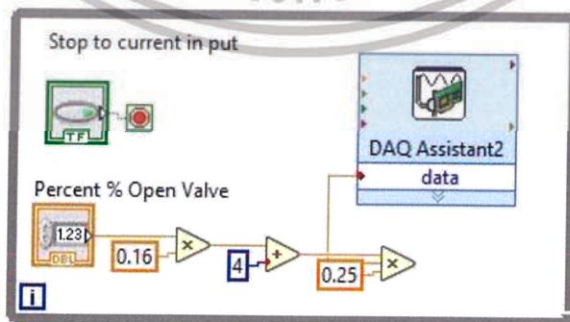
## 1. โปรแกรม LABVIEW

เมื่อสร้างไฟล์ในโปรแกรมแลบวิวจะมีหน้าต่างขึ้นมา 2 ส่วนได้แก่ ส่วน Front Panel ซึ่งเป็นส่วนที่ทำหน้าที่ในการแสดงผลสู่ผู้ใช้งาน และ ส่วน Block Diagram ทำหน้าที่เป็นส่วนของโปรแกรมในการควบคุม

### 1.1 Block diagram ส่วนเก็บค่าความดันจากระบบถึงความดัน



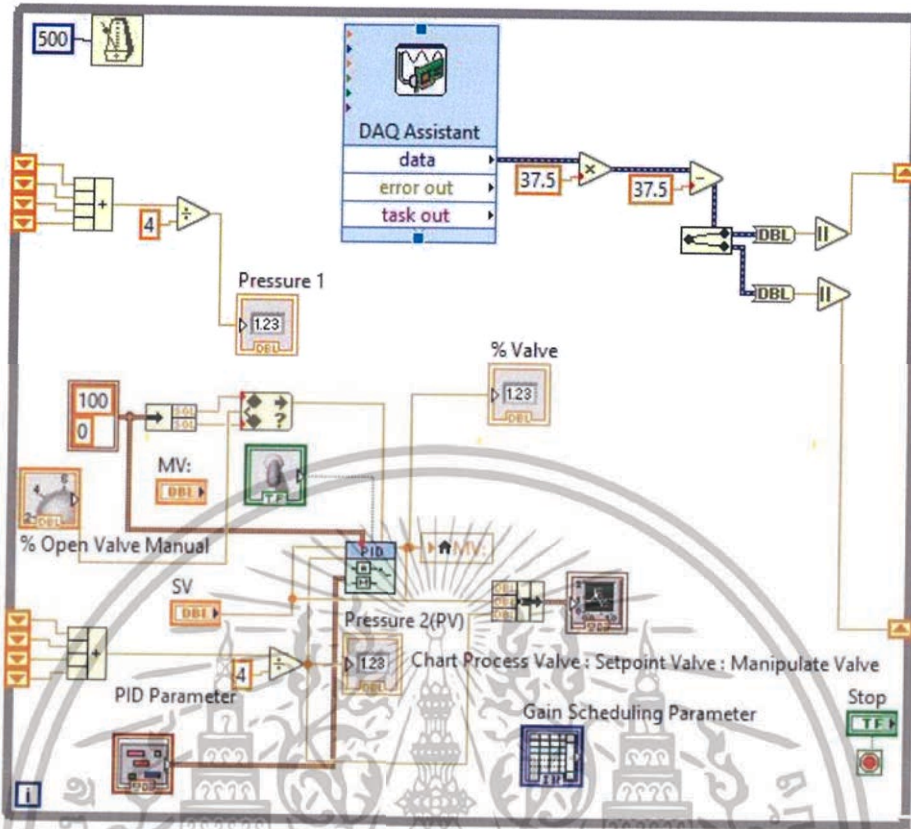
รูปที่ 1 โปรแกรมส่วนรับค่าจากระบบการถึงความดัน



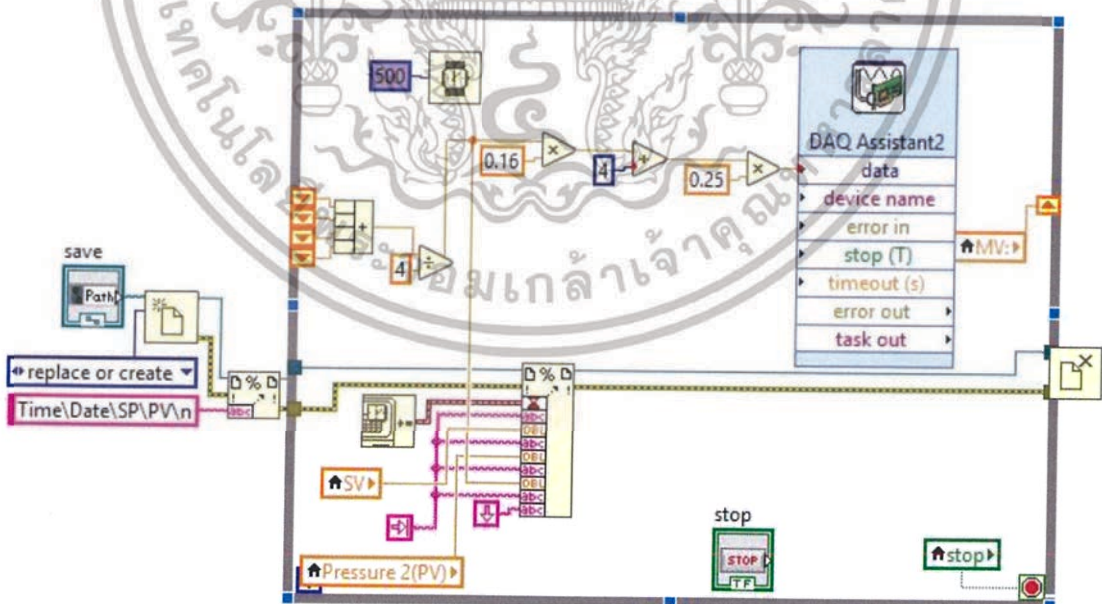
รูปที่ 2 โปรแกรมส่วนควบคุมการเปิดปิดของ Control Valve

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.2 Block diagram ส่วนควบคุมการทำงานของกระบวนการถึงความดัน



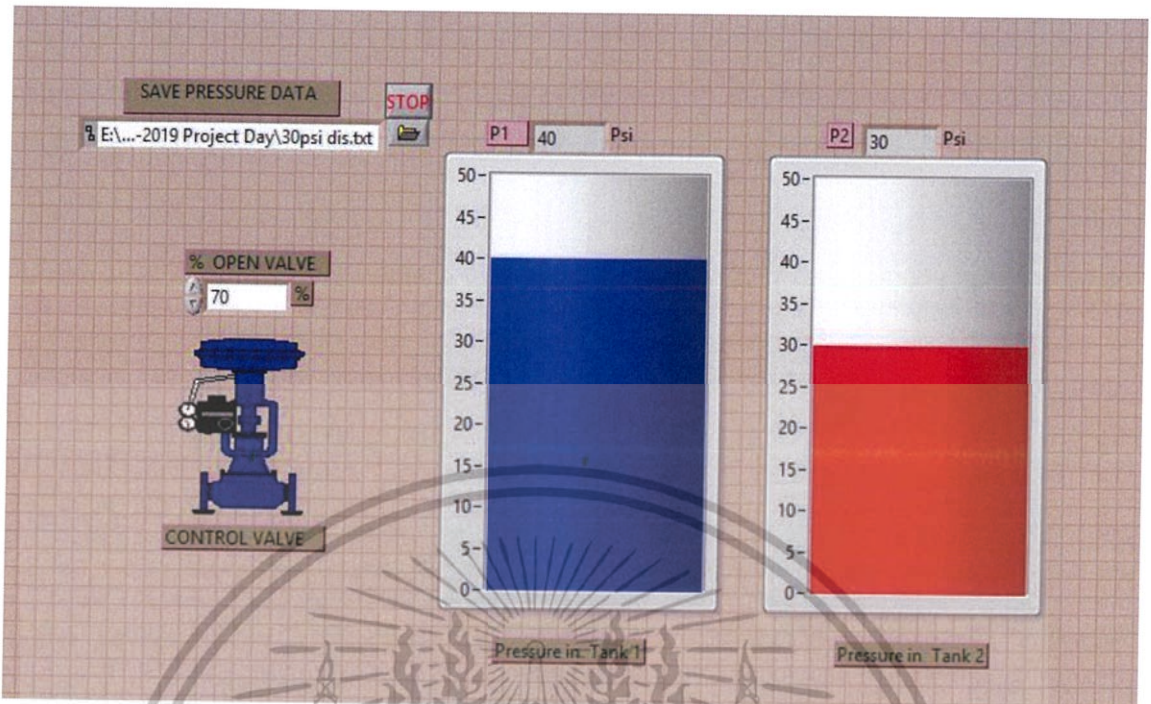
รูปที่ 3 โปรแกรมส่วนควบคุม โดยใช้ฟังก์ชันควบคุมแบบ PID



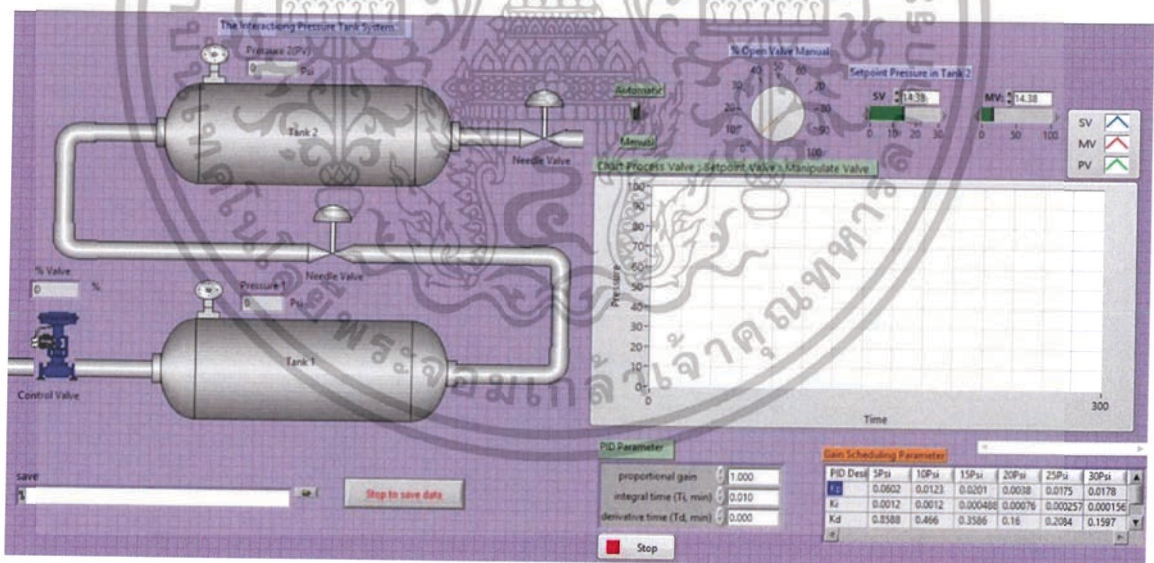
รูปที่ 4 โปรแกรมส่วนควบคุมการเปิดปิดของ Control Valve (โดยนำค่า MV จากส่วนโปรแกรม ด้านบนไปควบคุมการเปิดปิดของ Control Valve )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.3 ใช้โปรแกรม LabVIEW สร้างรูปแบบการแสดงผลการตอบสนองของกระบวนการ



รูปที่ 5 โปรแกรม LabVIEW ส่วน Front Panel ที่ใช้เก็บค่าความดันจาก ระบบถังความดัน



รูปที่ 6 โปรแกรม LabVIEW ส่วน Front Panel ที่ใช้ควบคุมระบบถังความดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. การทำ System Identification โดยโปรแกรม MATLAB

### 2.1 ส่วนการทำ System Identification

```

1  clear ;
2  close all;
3  clc
4  Datasheet=xlsread('DATA.xlsx','VP70','B2:E242')
5
6  T=Datasheet(:,3);
7  P1=Datasheet(:,1);
8  P2=Datasheet(:,2);
9  V =Datasheet(:,4);
10
11 figure;plot(T,P1,'r+-');
12 title('Pressure Tank1')
13 xlabel('Time (s)')
14 ylabel('Pressure (psi)')
15 figure;plot(T,P2,'b+-');
16 title('Pressure Tank2')
17 xlabel('Time (s)')
18 ylabel('Pressure (psi)')
19 figure;plot(T,P1,'r+-',T,P2,'b+-');
20 title('y_1 Data & y_2 Data')
21 xlabel('Time (s)')
22 ylabel('Pressure (psi)')
23

```

รูปที่ 7 Code System Identification ในโปรแกรม MATLAB (1)

```

26 %Trapezium rule
27 intP1=cumtrapz(T,P1);
28 intP2=cumtrapz(T,P2);
29 intV =cumtrapz(T,V);
30
31 %matrix form : Ap=b
32 A = [ones(size(P1)) intP1 intV intP2];
33 b = P1;
34 C = [ones(size(P2)) intP2 intP1];
35 d = P2;
36
37 %result parameter of system identification
38 sol1=A\b
39 sol2=C\d
40 y10=sol1(1)
41 y20=sol2(1)
42 a1=(-1)*sol1(2)
43 a2=sol1(3)
44 a3=(-1)*sol1(end)
45 b1=(-1)*sol2(2)
46 b2=sol2(end)
47

```

รูปที่ 8 Code System Identification ในโปรแกรม MATLAB (2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

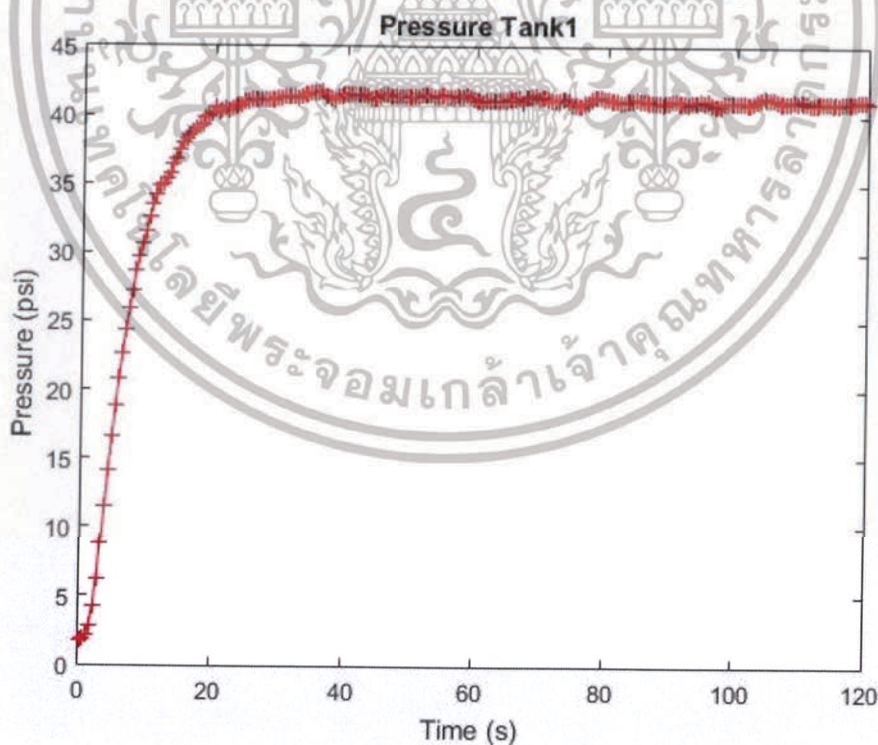
```

48
49 %integral formulation of y model
50 y1_model=y10-a1*cumtrapz(T,P1) +a2*cumtrapz(T,V) - a3*cumtrapz(T,P2);
51 y2_model=y20-b1*cumtrapz(T,P2) +b2*cumtrapz(T,P1);
52 figure;plot(T,y1_model,'r+-',T,y2_model,'b+-')
53 title('y_1 model & y_2 model')
54 xlabel('Time (s)')
55 ylabel('Pressure (psi)')
56
57 figure;plot(T,P1,'b',T,y1_model,'r--')
58 title('y_1 model & y_1')
59 xlabel('Time (s)')
60 ylabel('Pressure (psi)')
61 figure;plot(T,P2,'g',T,y2_model,'y--')
62 title('y_2 model & y_2')
63 xlabel('Time (s)')
64 ylabel('Pressure (psi)')
65

```

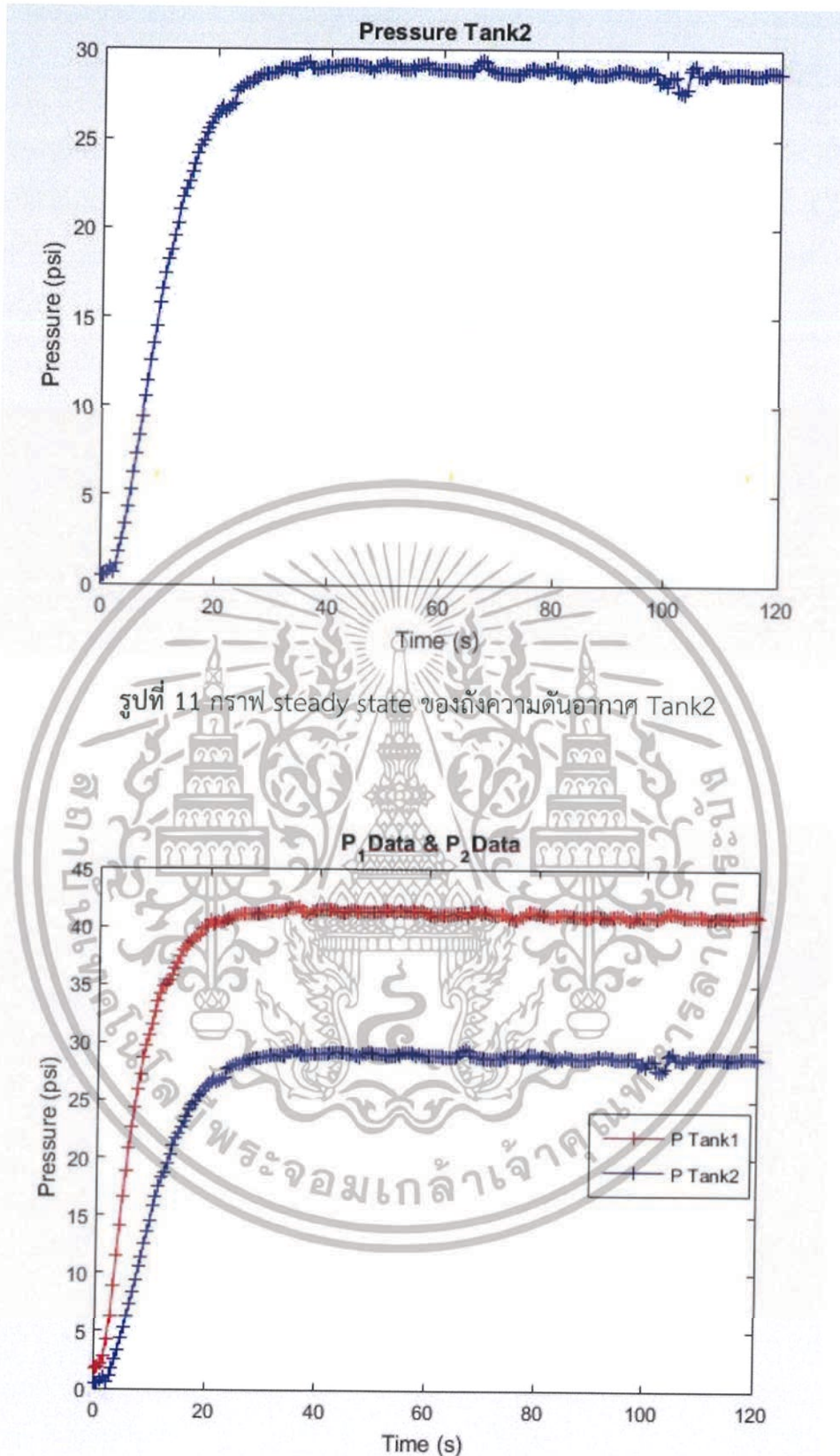
รูปที่ 9 Code System Identification ในโปรแกรม MATLAB (3)

ตัวอย่างกราฟผลลัพธ์จากการทำ System Identification จากค่าข้อมูลที่ทำการเก็บมา



รูปที่ 10 กราฟ steady state ของถังความดันอากาศ Tank1

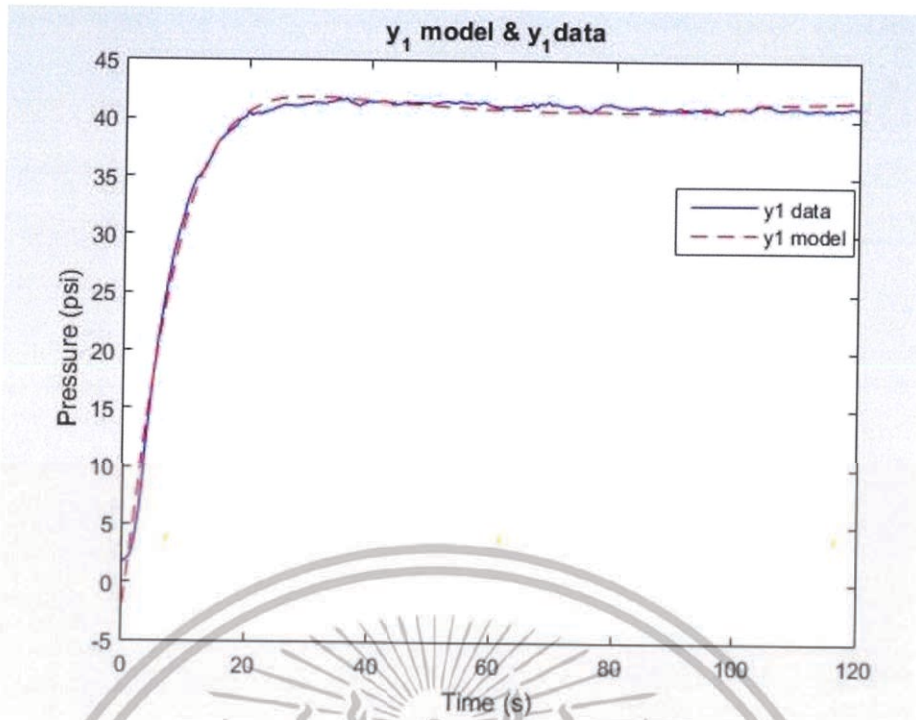
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



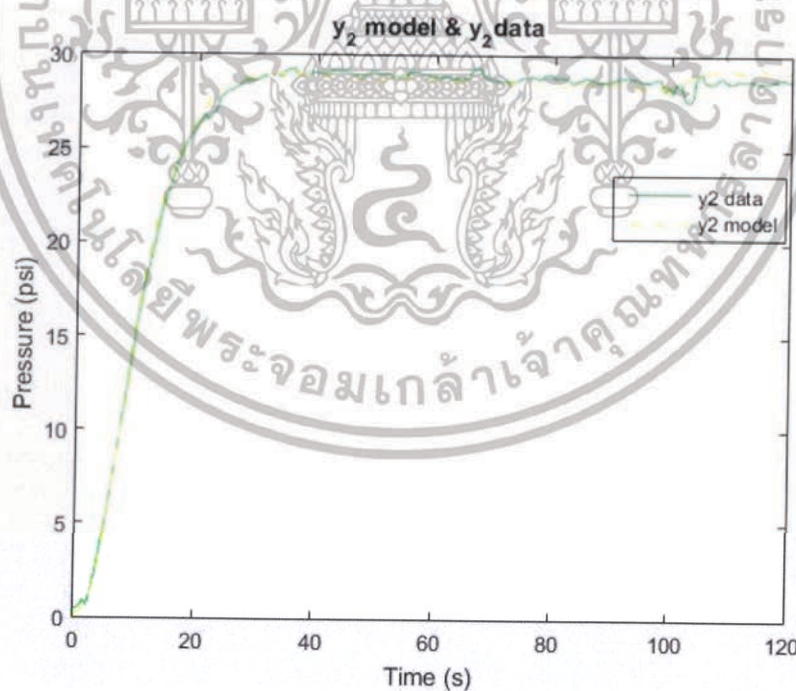
รูปที่ 11 กราฟ steady state ของถึงความดันอากาศ Tank2

รูปที่ 12 กราฟ steady state ของความดันอากาศเปรียบเทียบระหว่าง Tank1 และ Tank2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 13 กราฟผลลัพธ์จากการทำ System Identification ของความดันอากาศเปรียบเทียบระหว่าง  $y_1 model$  และ  $y_1 data$

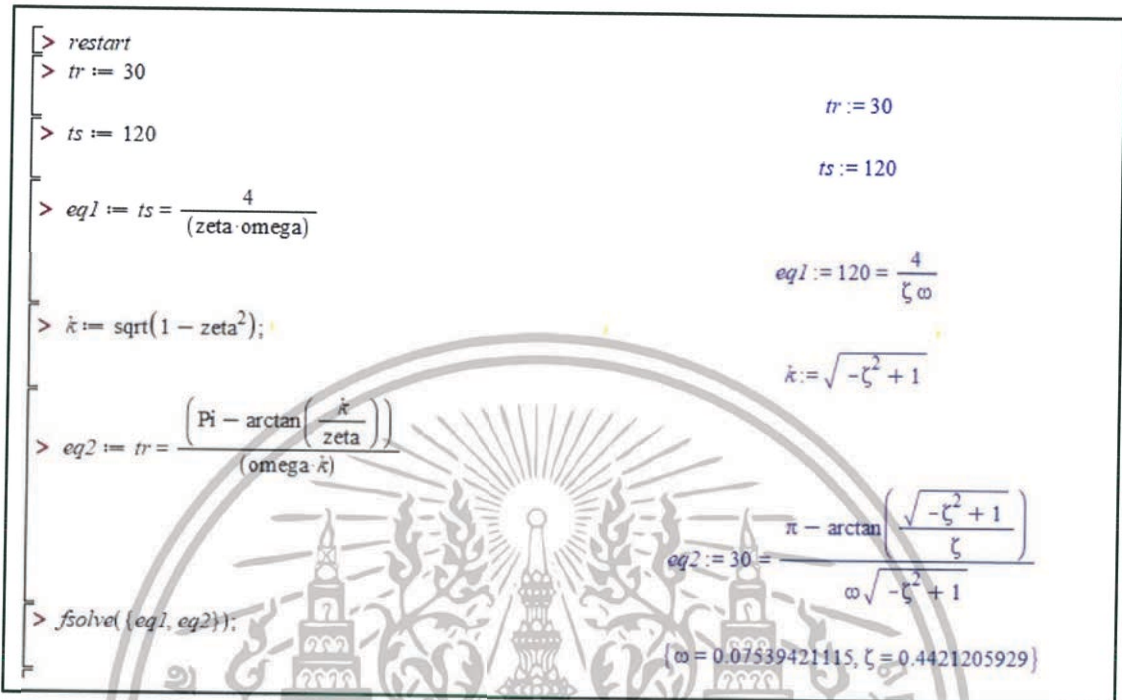


รูปที่ 14 กราฟผลลัพธ์จากการทำ System Identification ของความดันอากาศเปรียบเทียบระหว่าง  $y_2 model$  และ  $y_2 data$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 ส่วนการออกแบบตัวควบคุม

กำหนด rise time = 30 วินาที setting time = 120 วินาที เพื่อนำไปหา Natural frequency และ Damping ratio โดยใช้ โปรแกรม Maple ในการคำนวณ



```

> restart
> tr := 30
> ts := 120
> eq1 := ts = 4 / (zeta * omega)
> k := sqrt(1 - zeta^2);
> eq2 := tr = (Pi - arctan(k / zeta)) / (omega * k)
> fsolve(eq1, eq2);

```

$tr := 30$   
 $ts := 120$   
 $eq1 := 120 = \frac{4}{\zeta \omega}$   
 $k := \sqrt{-\zeta^2 + 1}$   
 $eq2 := 30 = \frac{\pi - \arctan\left(\frac{\sqrt{-\zeta^2 + 1}}{\zeta}\right)}{\omega \sqrt{-\zeta^2 + 1}}$   
 $\{\omega = 0.07539421115, \zeta = 0.4421205929\}$

รูปที่ 15 แก้มการหา Natural frequency และ Damping ratio โดยใช้โปรแกรม Maple

นำค่า Natural frequency , Damping ratio และพารามิเตอร์ที่ได้จากการทำ System Identification หาค่าพารามิเตอร์ PID

```

66 %PID Design
67 %when rise time = 30 s , setting time = 120 s
68 Wn=0.07539421115 ; d=0.4421205929;
69 %Natural frequency & Damping ratio respectively
70
71 Kp= (((2*d^2)+1)*Wn^2) - (a3*b2) - (a1*b1) / (a2*b2)
72 Ki= (d*Wn^3) / (a2*b2)
73 Kd= (((3*d*Wn)) - a1 - b1) / (a2*b2)
74

```

รูปที่ 16 หาค่าพารามิเตอร์ PID โดยใช้โปรแกรม MATLAB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



This is to certify that

**Nattawut Suksuvan, Chanon Kongkaew, Thanawat Techasai**

has successfully completed the presentation of the project entitled

**A Study of System Identification Based Gain Scheduling Control Design of The Pressure Plant**

at the Tenth Instrumentation, Control, and Automation Senior Project Conference (ICA SP-CON 2019) on April 30, 2019 at Sirindhorn International Institute of Technology, Thammasat University, Thailand.

Assoc. Prof. Dr. Watee Kongprawechon  
SIIT, Thammasat University  
ICA SP-CON 2019 General Chair

Asst. Prof. Dr. Itthisek Nilkhamhang  
SIIT, Thammasat University  
ICA SP-CON 2019 Technical Program Chair

รูปที่ 17 ประกาศนียบัตรเข้าร่วมงาน ICA SP-CON 2019



This is to certify that

**Nattawut Suksuvan, Chanon Kongkaew, Thanawat Techasai**

has received the **BEST POSTER PRESENTATION AWARD** for the project entitled

**A Study of System Identification Based Gain Scheduling Control Design of The Pressure Plant**

at the Tenth Instrumentation, Control, and Automation Senior Project Conference (ICA SP-CON 2019) on April 30, 2019 at Sirindhorn International Institute of Technology, Thammasat University, Thailand.

Assoc. Prof. Dr. Watee Kongprawechon  
SIIT, Thammasat University  
ICA SP-CON 2019 General Chair

Asst. Prof. Dr. Itthisek Nilkhamhang  
SIIT, Thammasat University  
ICA SP-CON 2019 Technical Program Chair

รูปที่ 18 ประกาศนียบัตรรางวัลโปสเตอร์ดีเด่นงาน ICA SP-CON 2019

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้