

การศึกษาการออกแบบเปรียบเทียบความสามารถในการควบคุมแบบพีไอดี
และแบบแอลคิวอาร์ในแง่เก็บความดันแบบปฏิสัมพันธ์

Investigation into the capabilities of the PID and LQR controller designs
for a pressure plant process: a comparison study



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Investigation into the capabilities of the PID and LQR controller designs
for a pressure plant process: a comparison study



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 2019

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์ การศึกษาการออกแบบเปรียบเทียบความสามารถในการควบคุมแบบพีไอดี และแบบแอลคิวอาร์ในแง่เก็บความดันแบบปฏิสัมพันธ์

Investigation into the capabilities of the PID and LQR controller designs for a pressure plant process: a comparison study

นักศึกษาผู้จัดทำ

นางสาวกานต์กมล	พรมจรรย์	รหัสนักศึกษา	59010100
นางสาวณัชชา	สุวัฒน์มาลา	รหัสนักศึกษา	59010394
นายวรากร	จันทาพูน	รหัสนักศึกษา	59011187

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.นภศูล	วงศ์วานิช
รศ.วิริยะ	กองรัตน์

ปีการศึกษา 2562

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาการเปรียบเทียบตัวควบคุม LQR และ PID Control ในระบบอุตสาหกรรมในปัจจุบันได้มีการนำถึงความดันอย่างเช่น ถังเก็บความดันแบบปฏิสัมพันธ์มาใช้ในอุตสาหกรรมเป็นจำนวนมาก จึงมีความจำเป็นของวิศวกรการวัดคุมที่ต้องศึกษาและเรียนรู้ควบคุมเป็นอย่างมาก โครงการนี้จึงศึกษาถึงเก็บความดันแบบปฏิสัมพันธ์ โดยส่วนใหญ่วิศวกรจะทำการทดลองและแก้ไขปัญหา และออกแบบค่า PID ด้วยวิธีการลองผิดลองถูก แต่โครงการนี้จะได้ทำการใช้ Mathematical Modeling จึงทำให้ผลตอบสนองที่มีเสถียรภาพมากขึ้น โดยเก็บบันทึกค่าความดันในระบบ โดยควบคุมผ่านโปรแกรม LabView ซึ่งเหมาะแก่การศึกษา และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมได้ เริ่มด้วยการทำ System Identification ของถังเก็บความดันแบบปฏิสัมพันธ์ จากนั้นทำการออกแบบตัวควบคุมที่เหมาะสมและมีเสถียรภาพมากที่สุด โดยเขียนโปรแกรมเชื่อมต่อฟังก์ชันต่างๆ แล้วนำค่าที่ได้จากการทดลองมาหาค่าพารามิเตอร์เบื้องต้น และใช้โปรแกรม MATLAB ในการวิเคราะห์ โดยจะทำการตรวจสอบค่าพารามิเตอร์ที่หาได้และข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีลักษณะกราฟที่ใกล้เคียงกัน จากนั้นจึงใช้สมการทางคณิตศาสตร์มาทำการออกแบบ PID Control และทำการใช้ทฤษฎี Linear – Quadratic Regulator (LQR) มาเปรียบเทียบกัน เพื่อให้ได้กระบวนการที่มีผลตอบสนองที่มีประสิทธิภาพและเสถียรภาพมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Investigation into the capabilities of the PID and LQR controller designs for a pressure plant process: a comparison study	
Authors	Miss. Khankamol	Promchun
	Miss. Natcha	Suwatanamala
	Mr. WaraKon	Juntapoon
Thesis Advisor	Assit.Prof.Dr. Napasool	Wongvanich
	Assoc.Prof. Viriya	Kongratana
Year	2019	

ABSTRACT

This thesis aims to study the performance comparison between LQR controller and PID controller. Pressure plants are widely used in several industries, including oil and gases; where effective control is required to maintain an efficient production line. Thus, this project will focus mainly on the interaction of pressure plant process. Instrumentation engineers design the PID gains by means of trial and error. However, this project will alternately use mathematical model, which result in more stable response by recording the pressure values from the system. This process is controlled via the LabView program which is applicable for education and can be applied in industrial plants. System Identification algorithms is used to obtain a suitable mathematical model that captures the dynamics of the pressure plant system. This model is then used to design a PID controller and an LQR based controller to compare their performances and stability.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการการศึกษาการออกแบบเปรียบเทียบความสามารถในการควบคุมแบบพีไอดีและแบบแอลคิวอาร์ในถังเก็บความดันแบบปฏิสัมพันธ์นี้จะเกิดขึ้นไม่ได้เลย หากไม่ได้รับคำแนะนำจาก ผศ.ดร.นภศูล วงษ์วานิช และ รศ.วิริยะ กองรัตน์ ที่ให้ความช่วยเหลือทั้งในด้านข้อมูลความรู้ต่างๆ และคำแนะนำที่มีประสิทธิภาพในห้องทดลอง การใช้อุปกรณ์เครื่องมือต่างๆ รวมถึงที่สำคัญที่สุดคือการใช้งานถังเก็บความดันแบบปฏิสัมพันธ์ที่มีส่วนอย่างมากในการเก็บข้อมูล และแนะนำการใช้งานโปรแกรมทางวิศวกรรมต่างๆอย่างเหมาะสมเช่น โปรแกรมแมทแล็บ โปรแกรมแล็บวิว และอีกมากมาย

ในการศึกษาเกิดปัญหาต่างๆขึ้นระหว่างทางมากมาย ที่บางครั้งอาจเกินความสามารถและเกินประสบการณ์ของผู้จัดทำ ก็ได้รับคำแนะนำและการช่วยเหลืออย่างเต็มใจจากอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการเป็นอย่างดีเสมอมา

สุดท้ายแล้วการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้นั้นต้องใช้ความรู้ความสามารถในหลากหลายด้านเพื่อศึกษาค้นคว้าออกมาให้ประสบความสำเร็จ ต้องขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ได้อบรมให้ความรู้ และขอบคุณครอบครัวและเพื่อนๆทุกคนที่ให้การกำลังใจกันเสมอมา จนปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VII
สารบัญตาราง	X

บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญของปริญญานิพนธ์	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์	1
1.3 เป้าหมายและขอบเขตของโครงการ	2
1.4 ขั้นตอนการศึกษา	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ลักษณะของระบบปฏิบัติถึงความดันแบบปฏิสัมพันธ์	3
2.2 System Identification	3
2.3 Control System	4
2.3.1 Open loop	4
2.3.2 Close loop	4
2.3.3 PID	5
2.3.4 LQR	6
2.4 Hardware	8
2.4.1 Control valve	8
2.4.2 Pressure transmitter	9
2.4.3 Terminal block	10
2.4.4 DC power supply	10
2.4.5 เครื่องจัดเก็บข้อมูลและแปลงสัญญาณ DAQ (Data acquisition)	10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และ IV ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.6 Voltage to current converter module 1-5V to 0-20mA	11
2.4.7 Plant	11
2.5 Software.....	12
2.5.1 MATLAB.....	12
2.5.2 LabVIEW	12
2.5.3 Maple Program	12
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน.....	13
3.1 แผนการดำเนินงาน.....	13
3.2 การหาสมการคณิตศาสตร์ของระบบ.....	14
3.2.1 Parameter.....	14
3.2.2 การศึกษาการสร้างสมการคณิตศาสตร์.....	15
3.3 การเก็บค่า.....	20
3.3.1 การต่อสาย.....	20
3.3.2 ค่าที่เก็บได้จากโปรแกรม LabVIEW.....	20
3.4 การหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆในสมการของ Plant จากการเก็บค่าทดลอง.....	21
3.4.1 การดึงข้อมูลจากexcelเพื่อหาค่าพารามิเตอร์จากผลการทดลองด้วยโปรแกรมMATLAB.....	24
3.5 การทำ System identification.....	24
3.5.1 ผลลัพธ์จากการทำ System identification.....	26
3.6 Transfer function	29
3.7 Simulink.....	30
3.8 Simulink.....	30
3.9 การสังเคราะห์ PID วิธี Root locus โดยโปรแกรม MATLAB.....	39
3.10 Gain scheduling	43
บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน	46
4.1 ผลการทดลอง Simulink ในการควบคุม PID.....	46
4.2 ผลการทดลองจริงในการควบคุม PID.....	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา แะ v ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3 ผลการทดลอง Simulink ในการควบคุม LQR.....	51
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง PID controller และ LQR controller.....	53
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	55
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	55
5.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา.....	55
บรรณานุกรม.....	56
ภาคผนวก.....	57



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ถึงความดันอากาศแบบปฏีสัมพันธ์.....	3
2.2 System Identification	4
2.3 Open loop.....	4
2.4 Close loop.....	5
2.5 ตัวควบคุม PID ในระบบ.....	5
2.6 ผลตอบสนองจากการนำเอาตัวควบคุมพีไอดีแบบต่างๆไปใช้กับระบบหลายแบบ	6
2.7 Block Diagram ของ LQR State feed back.....	7
2.8 Control valve	8
2.9 Control valve.....	9
2.10 Pressure Transmitter.....	9
2.11 Terminal Block.....	10
2.12 DC Power Supply.....	10
2.13 เครื่องจัดเก็บข้อมูลและแปลงสัญญาณ DAQ (Data acquisition).....	11
2.14 Voltage to current converter module 1-5V to 0-20mA.....	11
2.15 แบบจำลองระบบปฏิบัติการถึงเก็บความดันอากาศแบบปฏีสัมพันธ์	11
2.16 โปรแกรม Matlab.....	12
2.17 โปรแกรม LabView.....	12
2.18 โปรแกรม Maple.....	12
3.1 กระบวนการจำลองระบบความดัน	15
3.2 Block Diagram กระบวนการทำงานที่มีผลต่อความดันในถังเก็บความดัน 1	17
3.3 Block Diagram กระบวนการทำงานที่มีผลต่อความดันในถังเก็บความดัน 2.....	19
3.4 Block Diagram กระบวนการทำงานที่มีผลต่อระบบ	19
3.5 การต่อสาย	20
3.6 เก็บค่าความดันจากถังที่ 1 และ ถังที่ 2 ที่วาล์วเปิด 60%.....	19
3.7 Block Diagram ของระบบ.....	24
3.8 กราฟที่ได้จากการทดลองของtank1 และ tank2	27
3.9 กราฟที่ได้จากการเปรียบเทียบของtank1 และ tank2	27
3.10 กราฟผลลัพธ์จากการทำ System Identification y_1 model และ y_2 model	27

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.11 กราฟเปรียบเทียบ System Identification $y_1 model$ และ $y_2 model$	28
3.12 กราฟผลลัพธ์จากการทำ System Identification เปรียบเทียบระหว่าง $y model$ และ $p data$ ของ tank1และtank2	28
3.13 กราฟเปรียบเทียบ System Identification เปรียบเทียบระหว่าง $y model$ และ $p data$ ของtank1 และtank2	28
3.14 Block Diagram ของ Open loop.....	29
3.15 ผลตอบสนองของ Simulink จาก Block Diagram	30
3.16 Open loop transfer function	30
3.17 ผลการตอบสนองต่อฟังก์ชันขั้นบันไดของถังที่ 1	31
3.18 ผลการตอบสนองต่อฟังก์ชันขั้นบันไดของถังที่ 2	31
3.19 Close loop transfer function	32
3.20 ผลการตอบสนองของ Close loop transfer function ต่อฟังก์ชันขั้นบันได.....	32
3.21 การป้อน Open-loop transfer function $G(s)$	32
3.22 คำสั่ง Root Locus Design Tool.....	33
3.23 Root locus ก่อนออกแบบตัวควบคุม PID	33
3.24 ผลการตอบสนองของ Close loop transfer function ต่อฟังก์ชันขั้นบันไดก่อนออกแบบตัวควบคุม PID	34
3.25 Root locus หลังออกแบบตัวควบคุม PID.....	35
3.26 ผลการตอบสนองของ Close loop transfer function ต่อ unit step หลังออกแบบตัวควบคุมPID ..	35
3.27 หน้าต่างส่วนแสดงผลของโปรแกรม คำสั่ง sisotool	36
3.28 Close loop transfer function เมื่อชดเชยตัวควบคุมแบบ PID.....	37
3.29 ผลการตอบสนองของ Close loop transfer function เมื่อชดเชยตัวควบคุมแบบ PID ต่อฟังก์ชันขั้นบันได	37
3.30 หน้าต่างโปรแกรมทดสอบตัวควบคุมแบบ PID	38
3.31 ผลการตอบสนองของการทดลองวิธี Root locus	38
3.32 กระบวนการจำลองระบบความดัน	39
3.33 ป้อนเมทริกซ์ State space.....	41
3.34 Block Diagram ของ state feed back	41

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.35 การบ่อนค่า R, Q เพื่อหา Gins K.....	42
3.36 การปรับจูนสเปก.....	43
3.37 การที่ได้จาก Simulink.....	43
3.38 กราฟแสดง Pressure จาก Valve Position (0-100)%.....	44
3.39 Block Diagram ทำการเลือก Gain scheduling ให้ตรงตามเงื่อนไข.....	45
4.1 ความดัน 3.5 psi เปิดวาล์ว 40% ในการควบคุม PID controller simulation.....	46
4.2 ความดัน 10.5 psi เปิดวาล์ว 51%ในการควบคุม PID controller simulation.....	46
4.3 ความดัน 17.5 psi เปิดวาล์ว 53%ในการควบคุม PID controller simulation.....	47
4.4 ความดัน 24.5 psi เปิดวาล์ว 55%ในการควบคุม PID controller simulation.....	47
4.5 ความดัน 31.5 psi เปิดวาล์ว 58%ในการควบคุม PID controller simulation.....	47
4.6 ความดัน 38.5 psi เปิดวาล์ว 65%ในการควบคุม PID controller simulation.....	48
4.7 เปิดวาล์ว 55%.....	48
4.8 เปิดวาล์ว 58%.....	49
4.9 เปิดวาล์ว 65%.....	49
4.10 กราฟที่ได้จากการควบคุมที่ Set point 3.5 psi.....	49
4.11 กราฟที่ได้จากการควบคุมที่ Set point 10.5 psi.....	50
4.12 กราฟที่ได้จากการควบคุมที่ Set point 17.5 psi.....	50
4.13 กราฟที่ได้จากการควบคุมที่ Set point 24.5 psi.....	50
4.14 กราฟที่ได้จากการควบคุมที่ Set point 31.5 psi.....	51
4.15 กราฟที่ได้จากการควบคุมที่ Set point 38.5 psi.....	51
4.16 ความดัน 3.5 psi เปิดวาล์ว 40%ในการควบคุม LQR controller simulation.....	51
4.17 ความดัน 10.5 psi เปิดวาล์ว 51%ในการควบคุม LQR controller simulation.....	52
4.18 ความดัน 17.5 psi เปิดวาล์ว 53%ในการควบคุม LQR controller simulation.....	52
4.19 ความดัน 24.5 psi เปิดวาล์ว 55%ในการควบคุม LQR controller simulation.....	52
4.20 ความดัน 31.5 psi เปิดวาล์ว 58%ในการควบคุม LQR controller simulation.....	53
4.21 ความดัน 38.5 psi เปิดวาล์ว 65%ในการควบคุม LQR controller simulation.....	53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และ IX ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	14
3.2 สมการที่มีผลกระทบต่อกระบวนการ	15
3.3 ค่าความถี่เฉลี่ยของถึงเก็บความถี่แบบปฏิสัมพันธ์	21
3.4 ค่าคงที่	21
3.5 ค่าพารามิเตอร์จาก Matlab	24
3.6 แสดงค่า Parameter จากการทำให้ System Identification	29
3.7 Gain scheduling ของการควบคุม PID	45
3.8 Gain scheduling ของการควบคุม LQR	45
4.1 Gain scheduling ของ PID controller หลังการแก้ไข	48
4.2 แสดงการเปรียบเทียบระหว่าง PID controller และ LQR controller	53



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และxต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญของปัญญาประดิษฐ์

ระบบอุตสาหกรรมในปัจจุบันได้มีการนำถึงความดันอย่างเช่น ถังเก็บความดันแบบปฏิสัมพันธ์มาใช้ในอุตสาหกรรมเป็นจำนวนมาก การควบคุมความดันในถังเก็บความดันโดยทั่วไปแล้วการออกแบบระบบควบคุมใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีหลายแบบจำลองชนิดกำหนดโครงสร้าง (Gray box) และแบบจำลองชนิดไร้โครงสร้าง (Black box) แต่จำเป็นต้องพิจารณาการกระจายเชิงพื้นที่เพื่อแปลงเป็นสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยบางส่วน สมการค่อนข้างซับซ้อน และการแก้สมการนั้นทำได้ยาก เพื่อให้การออกแบบระบบควบคุมง่ายขึ้น โดยศึกษาการออกแบบ สมการทางคณิตศาสตร์มาออกแบบตัวควบคุมแบบ PID และมีการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ รวมถึงจัดทำตารางของค่าพารามิเตอร์หลายๆค่า ที่เปลี่ยนแปลงไปตามค่าเป้าหมายที่เปลี่ยนไป เรียกว่า Gain Scheduling Control (การออกแบบตัวควบคุมแบบปรับค่าได้ตามที่กำหนดไว้) โดยใช้โปรแกรมแลปวิวเพื่อเก็บบันทึกค่า ออกแบบตัวควบคุม และส่วนแสดงผล ของระบบ ทำให้ได้ตัวควบคุมที่เหมาะสม และปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ที่ครอบคลุมในหลายๆกรณีที่ค่าเป้าหมายเปลี่ยนไปซึ่งจะทำให้การควบคุมของระบบมีเสถียรภาพ และผลตอบสนองที่เหมาะสมและตามค่าเป้าหมายที่สุด โดยมีการทดสอบการควบคุมโดยใช้วิธีการควบคุมต่างๆ คือ PID Control, LQR และ Gain Scheduling Control ในการควบคุมเพื่อให้วิศวกรสามารถเลือกใช้ตัวควบคุมได้อย่างเหมาะสม

เนื่องจากได้มีงานวิจัยเรื่องการศึกษาการออกแบบตัวควบคุมแบบปรับค่าได้ตามที่กำหนดไว้ของระบบปฏิบัติการถังเก็บความดันแบบปฏิสัมพันธ์ โดยใช้การควบคุมระบบด้วย PID Control การศึกษาพบว่าผลตอบสนองของระบบสามารถปรับ Rise time และ Setting time ให้เร็วกว่านี้ได้ ซึ่งควรจะทำให้ปรับปรุงผลตอบสนองได้ดีกว่าเดิม ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาการออกแบบตัวควบคุม LQR และ PID Control เพื่อให้ได้การตอบสนองเป็นไปตามต้องการ

1.2 วัตถุประสงค์ของปัญญาประดิษฐ์

การศึกษาการออกแบบตัวควบคุม LQR และ PID Control ของกระบวนการความดัน โดยทำการเก็บข้อมูลจากการทดลอง และการจำลองทางคณิตศาสตร์ System Identification Methods โดยชุดทดลองถังเก็บความดันแบบปฏิสัมพันธ์ 2 ถัง ออกแบบระบบเพื่อให้ได้การตอบสนองเป็นไปตามต้องการ โดยการทดลองจะเปรียบเทียบกระบวนการ PID Control และ LQR เพื่อให้ได้กระบวนการที่ควบคุมที่ทำการออกแบบได้ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหมาะสมที่สุดและเสถียรที่สุดจึงต้องอาศัยความรู้ความเข้าใจกระบวนการ ทฤษฎีการออกแบบระบบควบคุม ด้วยเทคนิคต่างๆ และทักษะความรู้ด้านการใช้ชุดอุปกรณ์ทดลอง

1.3 เป้าหมายและขอบเขตของโครงการ

1. ศึกษาการออกแบบระบบควบคุมโดยใช้หลักการของ system Identification methods
2. ศึกษาโปรแกรม MATLAB และ LabVIEW
3. ศึกษาการควบคุมระบบด้วย PID Control และ Linear – Quadratic Regulator (LQR)
4. ศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จำลองระบบ
5. ศึกษาเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง เช่น Pressure Transmitter, Control valve และ DAQ

1.4 ขั้นตอนการศึกษา

1. ศึกษาหลักการทำงานของถังเก็บความดันแบบปฏิสัมพันธ์
2. ศึกษาเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง
3. ศึกษาโปรแกรม MATLAB และ LabVIEW
4. ศึกษาสมการคณิตศาสตร์ของระบบถังความดัน
5. เก็บบันทึกค่าความดันในระบบ โดยควบคุมผ่านโปรแกรม LabView
6. หาค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดลอง
7. เขียนรูปเล่มรายงาน

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

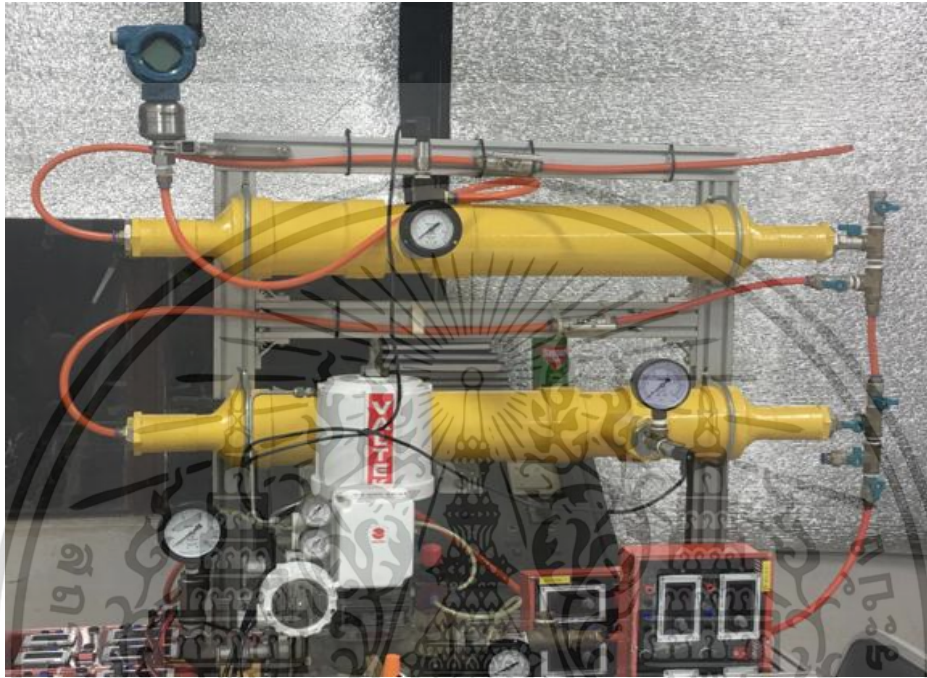
1. การใช้ Mathematical Modeling ออกแบบระบบควบคุม
2. การสร้าง Differential Equation model
3. ศึกษาอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการทดลอง
4. ทำการเก็บข้อมูลเพื่อทำ System Identification
5. การศึกษาระบบควบคุมแบบ PID และ LQR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 ลักษณะของระบบปฏิบัติถึงความดันแบบปฏิสัมพันธ์



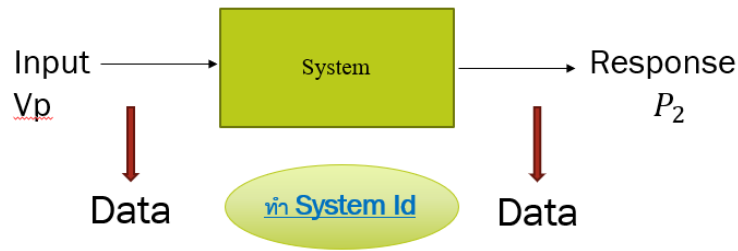
รูปที่ 2.1 ถังความดันอากาศแบบปฏิสัมพันธ์

ระบบปฏิบัติการถังเก็บความดันอากาศแบบปฏิสัมพันธ์ เป็นการเชื่อมต่อถังเก็บความดันอากาศสองถังเข้าด้วยกัน โดยจะมีวาล์วควบคุมการเปิดปิด แต่ละถังจะมีขนาดความยาว 35 นิ้ว และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว มีพาวเวอร์ซัพพลายจ่ายไฟกระแสตรง 24V เข้าสู่กระบวนการ โดยแต่ละถังมีทรานสดิวเซอร์ความดันติดตั้งอยู่ โดยมี DAQ ใช้ในการรับส่งข้อมูลโดยควบคุมผ่านโปรแกรม LabView จากนั้นทำการออกแบบตัวควบคุมที่เหมาะสมเพื่อให้ได้กระบวนการที่มีผลตอบสนองที่มีประสิทธิภาพและเสถียรภาพมากที่สุด ดังรูปที่ 2.1

2.2 System Identification

เป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้สำหรับหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบ โดยจะมองระบบอยู่ในรูปของพลังงาน ซึ่งมี ทั้งพลังงานงานจลน์ และพลังงานศักย์ ทั้งนี้การระบุคุณลักษณะของระบบ สามารถทำได้โดยการป้อนสัญญาณอินพุต $u(t)$ ให้กับระบบและวัด $y(t)$ ที่เกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 System Identification

การระบุคุณลักษณะสามารถทำได้ 2 รูปแบบดังนี้

1. แบบจำลองชนิดกำหนดโครงสร้าง (Gray box) เป็นการทดสอบในเชิงลึก ที่จะตรวจสอบผลลัพธ์ของการอัปเดตข้อมูล
2. แบบจำลองชนิดไร้โครงสร้าง (Black box) โดยจะสนใจข้อมูลนำเข้า เมื่อนำเข้าไปแล้ว ระบบจะสามารถจัดการกับข้อมูลได้หรือไม่

ขั้นตอนการระบุคุณลักษณะของระบบ ไม่ว่าจะระบบจะเป็นอย่างไรก็ตาม ประกอบไปด้วย

1. วัดข้อมูลอินพุตและเอาต์พุต
2. กำหนดโครงสร้างของแบบจำลอง
3. เลือกวิธีการประมาณค่า ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้ คือการประมาณด้วยวิธีดพลากำลังสองน้อยที่สุด (Least square)
4. ประเมินประสิทธิภาพของการประมาณค่า
5. แก้ไขแบบจำลอง

2.3 Control System

2.3.1 Open loop

ระบบควบคุมแบบวงเปิดเป็นระบบควบคุมที่เอาต์พุตของระบบจะไม่มีผลต่อการควบคุมเลย นั่นคือกรณีของระบบควบคุมแบบเปิดนั้น เอาต์พุตของระบบไม่ถูกวัดหรือถูกป้อนกลับเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับอินพุต ดังนั้นความเที่ยงตรงของระบบจะขึ้นอยู่กับ การปรับเทียบ ในบางครั้งปฏิบัติแล้วสามารถใช้ในการควบคุมแบบเปิดได้ถ้าทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตและเอาต์พุต

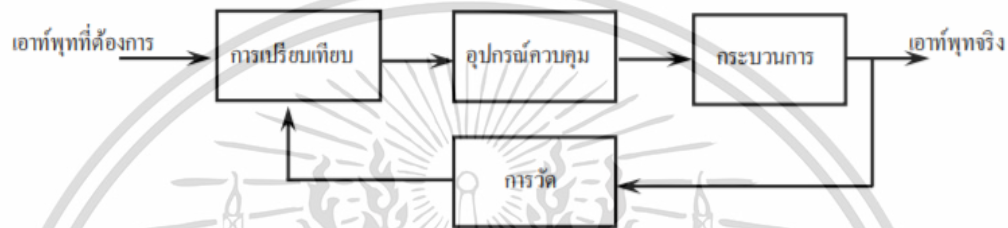


รูปที่ 2.3 Open loop

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 Closed loop

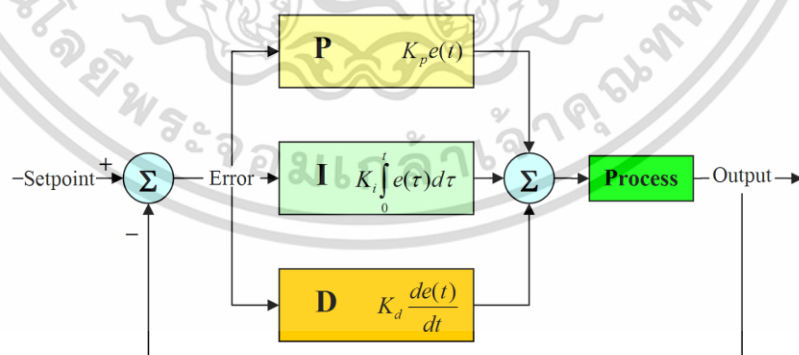
ระบบควบคุมแบบปิด (Closed-loop control system) เป็นระบบควบคุมแบบหนึ่งซึ่งสัญญาณเอาต์พุตจะมีผลโดยตรงต่อการควบคุม ดังนั้นระบบควบคุมแบบปิด คือระบบควบคุมป้อนกลับ สัญญาณค่าความคลาดเคลื่อนซึ่งเป็นสัญญาณแตกต่างระหว่างสัญญาณอินพุตกับสัญญาณป้อนกลับจะถูกป้อนให้กับตัวควบคุมเพื่อที่ลดค่าความคลาดเคลื่อนให้น้อยลงและทำให้เอาต์พุตของระบบมีค่าตามต้องการ สัญญาณป้อนกลับนี้อาจเป็นสัญญาณเอาต์พุตโดยตรง หรือเป็นสัญญาณที่เป็นฟังก์ชันของสัญญาณเอาต์พุต หรือเป็นค่าอนุพันธ์ของเอาต์พุต



รูปที่ 2.4 Closed loop

2.3.3 PID

เป็นระบบควบคุมแบบป้อนกลับที่ใช้กันอย่างกว้างขวาง ซึ่งค่าที่นำไปใช้ในการคำนวณเป็นค่าความผิดพลาดที่หามาจากความแตกต่างของตัวแปรในกระบวนการและค่าที่ต้องการ ตัวควบคุมจะพยายามลดค่าผิดพลาดให้เหลือน้อยที่สุดด้วยการปรับค่าสัญญาณขาเข้าของกระบวนการ ค่าตัวแปรของ PID ที่ใช้จะปรับเปลี่ยนตามธรรมชาติของระบบ



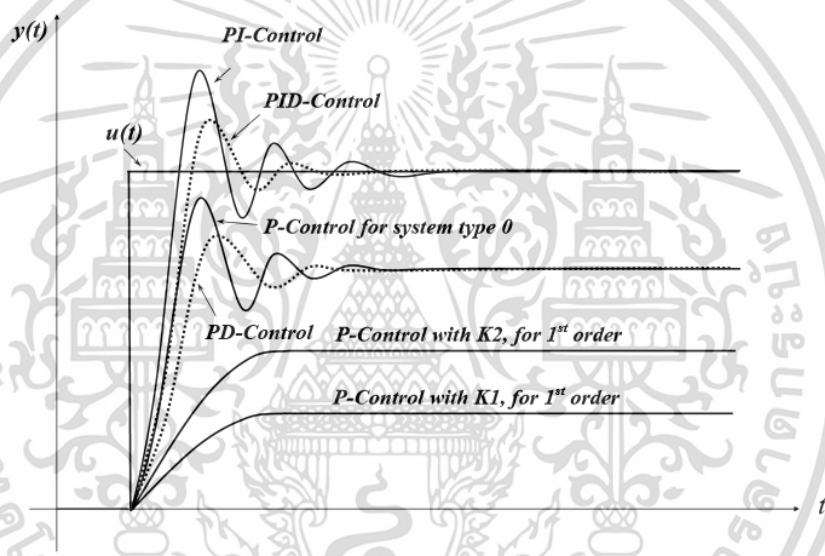
รูปที่ 2.5 ตัวควบคุม PID ในระบบ

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย $u(t)$ คือสัญญาณควบคุม $e(t)$ คือค่าความคลาดเคลื่อนของสัญญาณออกจากค่ากำหนด ตัวควบคุม PID ประกอบไปเทคนิคการควบคุมพื้นฐาน 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)

ตัวควบคุมพีไอดี เป็นตัวควบคุมที่พบบ่อยมากที่สุดในงานอุตสาหกรรมทั่วไป เพราะเป็นตัวควบคุมที่ใช้งานง่าย การปรับค่าเกนอาศัยหลักการปรับแต่งการควบคุมง่ายเมื่อต้องการ ระบบควบคุมแบบพีไอดีมีตัวควบคุมย่อย 3 ตัว คือ ตัวควบคุมแบบสัดส่วนหรือตัวควบคุมพี ตัวควบคุมแบบปริพันธ์หรือตัวควบคุมไอ และตัวควบคุมแบบปริพันธ์หรือตัวควบคุมดี ในการระบบทั่วไปใช้ตัวควบคุมร่วมกัน



รูปที่ 2.6 ผลตอบสนองจากการนำเอาตัวควบคุมพีไอดีแบบต่างๆไปใช้กับระบบหลายแบบ

2.3.4 LQR

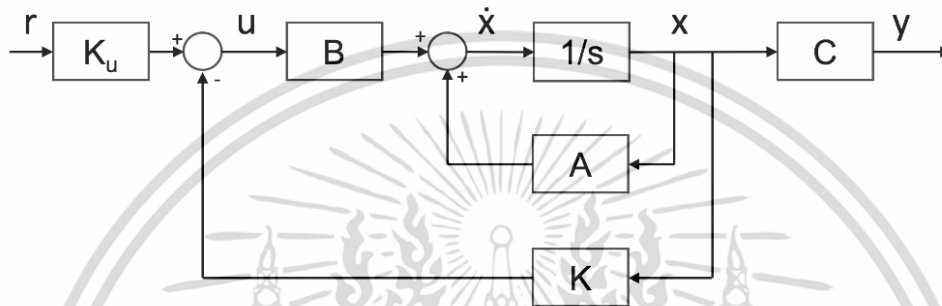
วิธีการควบคุมแบบ Modern Controller ซึ่ง LQR หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Liner Quadratic Regulator เป็นวิธีการหาค่า การควบคุมป้อนกลับสถานะ (State feedback control) เป็นเทคนิคการควบคุมซึ่งเป็นการคูณค่าอัตราขยายป้อนกลับ (Feedback gain, K) และค่าสถานะอ้างอิง (Reference state value, x_{ref}) และค่าที่ควรวัดได้ (Measured value, x) และป้อนกลับค่าที่ได้เข้าไปในระบบ

$$\int_0^{\infty} (x(\tau)^T Q x(\tau) + u(\tau)^T R u(\tau)) d\tau$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การนิยามระบบให้อยู่ในรูปแบบ States space คือ ตัวแทนเชิงคณิตศาสตร์ของระบบที่เขียนอยู่ในรูปของเวกเตอร์ของสมการเชิงอนุพันธ์อันดับที่หนึ่ง

$$\text{States space } \begin{aligned} \dot{x}(t) &= A(t)x(t) + B(t)u(t) \\ y(t) &= C(t)x(t) + D(t)u(t) \end{aligned}$$



รูปที่ 2.7 Block Diagram ของ LQR State feed back

โดยที่ $x(t) = \text{states } (x_1, \dots, x_n)$

$y(t) = \text{output}$

$A(t) = \text{transition matrix}$

$B(t) = \text{input matrix}$

$C(t) = \text{output matrix}$

$D(t) = \text{Direct transmission matrix}$

โดยที่ A , B , C และ D คือ ค่าคงที่ของระบบเป็นเมทริกซ์ x คือ เวกเตอร์สถานะของระบบ ในขณะที่ u และ y เป็นตัวแปรอินพุตและเอาต์พุต ของระบบตามลำดับ การหาสมการสถานะของระบบสามารถทำได้ในลักษณะเดียวกันกับการหาตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ โดย โดยเริ่มจากกำหนดตัวแปรสถานะของระบบเพื่อหาสมการตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ จัดรูปแบบสมการให้อยู่ในรูปแบบ States space ซึ่งตัวแทนระบบที่ใช้ในการออกแบบตัวควบคุมนั้นจะเขียนอยู่ในรูปของสมการสถานะ ในขณะที่ตัวควบคุมจะอยู่ในรูปของเวกเตอร์หรือเมทริกซ์ของคาสอัตรขยาย ซึ่งเมื่อนำไปคูณกับเวกเตอร์ของสถานะจะได้เป็นค่าสัญญาณควบคุมออกมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 Hardware

2.4.1 Control valve



รูปที่ 2.8 Control valve

วาล์วควบคุมหรือ Control Valve หมายถึง อุปกรณ์ที่ถูกขับเคลื่อนด้วยกำลังจากภายนอกเพื่อปรับเปลี่ยนอัตราการไหลของของไหลในระบบการควบคุมกระบวนการทำงานหนึ่ง วาล์วควบคุมจึงประกอบด้วย ตัววาล์วและอุปกรณ์เชื่อมต่อกันลึนวาล์วกับกลไกการกระตุ้น (Actuator Mechanism) สามารถเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของชิ้นส่วนควบคุมการไหล (flow controlling element) ภายในตัววาล์วหรือตำแหน่งของลึนวาล์วตามสัญญาณที่ได้รับจากระบบควบคุม (Controlling System) ดังนั้นวาล์วควบคุมจึงประกอบ 3 ส่วนหลัก คือ

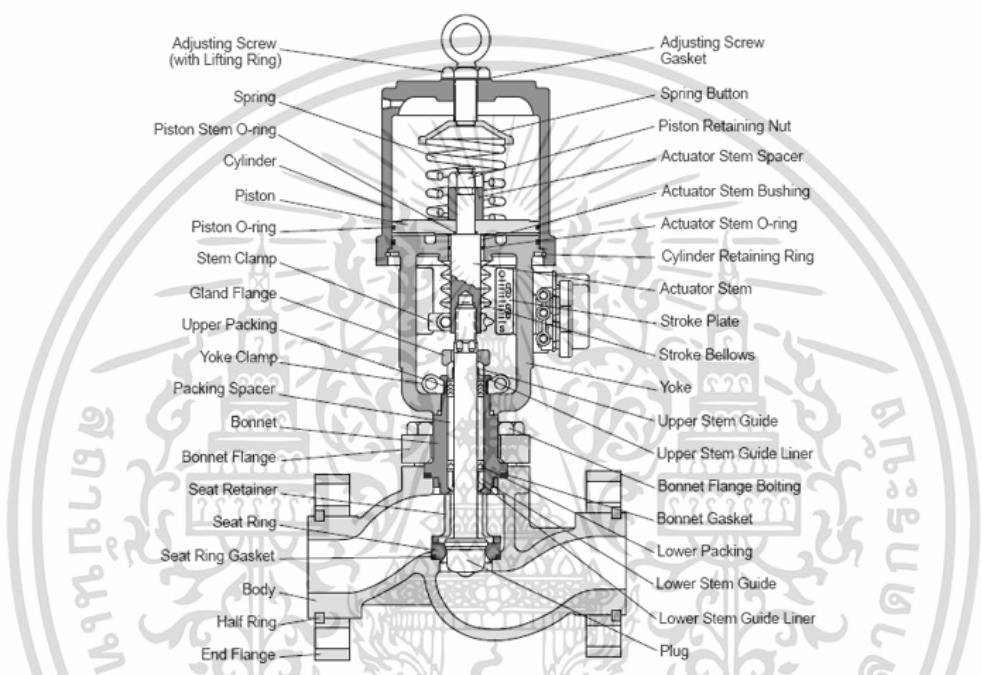
1. วาล์ว (Valve) ทำหน้าที่ควบคุมการไหลของไหล ประกอบด้วย ชุดรองรับของไหล (Fluid Retaining Assembly) หรือตัวเรือนวาล์ว (Valve Body) รวมถึง ช่องทางไหล (Port) ระหว่าง Seat กับ “Flow Control Element” (หรือ “Moveable Closure Member” หรือ “ลึนวาล์ว”) ซึ่งเคลื่อนที่เพื่อเปิดเต็มที่ เปิดบางส่วน (Restricts) หรือปิดช่องทางไหลนั้น ช่องทางไหลภายในตัวเรือนวาล์วอาจมีมากกว่า 1 ช่องทางไหล ดังนั้นจึงดูเหมือนเป็นองค์ประกอบพื้นฐานเช่นเดียวกับวาล์วที่ใช้มือหมุนต่างๆไป (Hand Valve หรือ Manual Valves) ซึ่งเป็นชนิดของวาล์วที่ไม่สามารถควบคุมได้ด้วยตัวมันเองต้องอาศัยคนในการเปิด-ปิด การแบ่งชนิดประเภทของวาล์ว

2. Actuator คือ ส่วนที่ถูกขับเคลื่อนด้วยพลังงานไฟฟ้าหรือพลังงาน ไฮดรอลิก จากนั้นทำหน้าที่แปลงพลังงานดังกล่าวให้อยู่ในรูปของงาน แรงเชิงกลไปขับเคลื่อนชิ้นส่วนที่ต้องการให้เคลื่อนที่ คือ Flow Control Element หรือลึนวาล์ว ในบางครั้งเรียก “Actuator” ว่า “หัวขับเคลื่อนวาล์ว”

3. Motion conversion mechanism หมายถึงกลไกเชื่อมต่อระหว่างวาล์วกับ Actuator ซึ่งทำหน้าที่แปลงการเคลื่อนที่เชิงเส้น (Linear Motion) ไปเป็นการเคลื่อนที่เชิงมุม (Rotary Motion) คือการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และ 8 ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปลี่ยนแปลงจากการเคลื่อนที่เชิงเส้นของ Actuator ไปเป็นการเคลื่อนที่การหมุนของลิ้นวาล์ว (Rotary Valve Operation) หรือในทางกลับกัน เปลี่ยนแปลงการเคลื่อนที่เชิงมุมของ Actuator ไปเป็นการเคลื่อนที่แนวเส้นตรงของลิ้นวาล์ว (Linear Valve Operation)

4. Accessories ในบางครั้งอาจมีการเพิ่มส่วนประกอบปลีกย่อยร่วมเข้ามาเพื่อสะดวกต่อการทำงาน ซึ่งจะรวมไปถึงพวก Positioners, I/P Transducers, Limit Switches, Handwheels, Air Set, Position Sensor, Solenoid Valve, Travel Stops เป็นต้น



รูปที่ 2.9 Control valve

2.4.2 Pressure Transmitter

เป็นอุปกรณ์วัดและตัวที่ทำหน้าที่ในการแปลงสัญญาณจากอุปกรณ์เครื่องมือวัดต่าง ๆ เช่น อุณหภูมิ ความชื้น แรงดัน ให้เป็นสัญญาณอนาล็อกมาตรฐาน ที่มีสัญญาณทางด้านเอาต์พุต เช่น 0-10Vdc, 4-20mA เป็นต้น



รูปที่ 2.10 Pressure Transmitter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และ 9 ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 Terminal Block

Terminal Block คือ อุปกรณ์เชื่อมต่อระหว่างสายไฟด้านหนึ่งเข้ากับสายไฟอีกด้านหนึ่ง การใช้เทอร์มินอลบล็อกช่วยให้จัดการสายไฟได้ง่ายขึ้น และสามารถซ่อมบำรุงหรือเห็นจุดที่มีปัญหาได้อย่างง่าย แก้ไขปัญหาต่างๆ ได้ทันที



รูปที่ 2.11 Terminal Block

2.4.4 DC Power Supply

เครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงชนิดควบคุมด้วยดิจิทัล หรือ Power Supply เป็นเครื่องแปลงแรงดันกระแสสลับและมีระดับแรงดันสูง มาเป็นไฟฟ้ากระแสตรงที่มีระดับแรงดันต่ำ ซึ่งเหมาะสมกับการใช้งานทั่วไป ในการทำการทดลองกับชิ้นงานทางอิเล็กทรอนิกส์ เช่น จ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์เชิงกลต่างๆ เป็นต้น



รูปที่ 2.12 DC Power Supply

2.4.5 เครื่องจัดเก็บข้อมูลและแปลงสัญญาณ DAQ (Data acquisition)

ระบบ DAQ (Data acquisition) เป็นการเก็บรวบรวมวิเคราะห์ข้อมูลจริงในงานวิจัยทดลอง วิทยาศาสตร์และทดสอบงานทางด้านวิศวกรรมเชิงคุณภาพและประสิทธิภาพผ่านคอมพิวเตอร์ เพื่อตรวจจับสัญญาณทางกายภาพทางวิทยาศาสตร์ อาทิเช่น อุณหภูมิ ความดันอากาศ ก๊าซ อัตราการไหล เป็นต้น แปลงเข้าสู่ระบบคอมพิวเตอร์เป็นรูปแบบในลักษณะสัญญาณทางไฟฟ้า



รูปที่ 2.13 เครื่องจัดเก็บข้อมูลและแปลงสัญญาณ DAQ (Data acquisition)

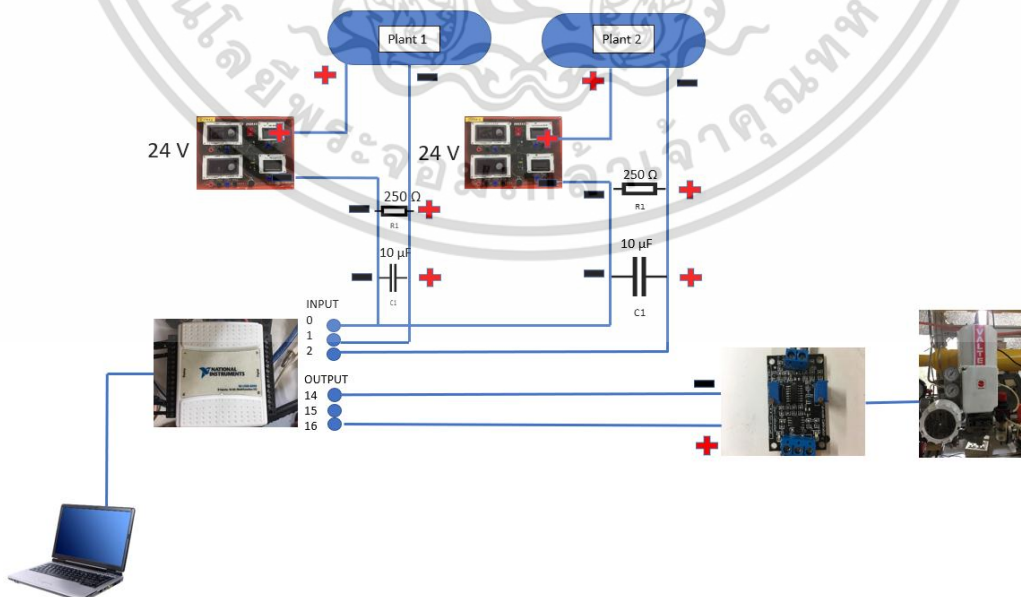
2.4.6 Voltage to current converter module 1-5V to 0-20mA

ทำหน้าที่แปลงสัญญาณอินพุตแรงดันไฟฟ้า 1-5V ให้เป็นสัญญาณกระแสไฟฟ้า 4-20mA



รูปที่ 2.14 Voltage to current converter module 1-5V to 0-20mA

2.4.7 Plant



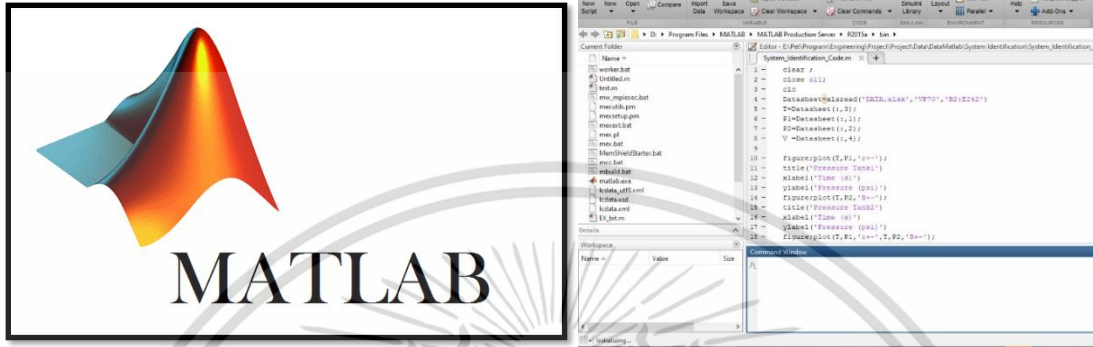
รูปที่ 2.15 แบบจำลองระบบปฏิบัติการถึงเก็บความดันอากาศแบบปฏิกิริยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตเห็นได้ชัดว่าไม่ใช่วิธีการการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 Software

2.5.1 MATLAB

เป็นโปรแกรมคำนวณคณิตศาสตร์ขั้นสูง ทั้งการคำนวณเชิงตัวเลข และการคำนวณเชิงสัญลักษณ์ เมื่อเข้าสู่โปรแกรมจะมีหน้าต่าง Command Windows และ Command History



รูปที่ 2.16 โปรแกรม Matlab

2.5.2 LabVIEW

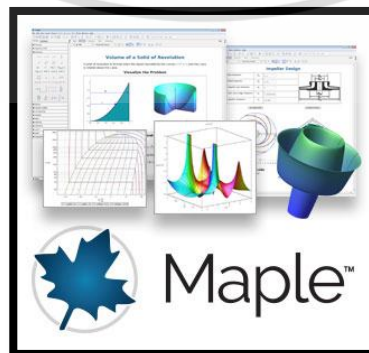
LabVIEW เป็นโปรแกรมที่ใช้พัฒนา Application เป็นเทคโนโลยีที่เปลี่ยนวิธีการทำงานของวิศวกร และนักวิทยาศาสตร์ไปอย่างสิ้นเชิงในการใช้งานระบบเครื่องมือวัด ระบบควบคุม และระบบทดสอบโดยใช้คอมพิวเตอร์เข้ามาเป็นตัวช่วยสำคัญ



รูปที่ 2.17 โปรแกรม LabView

2.5.3 Maple Program

Maple program เป็นโปรแกรมสำเร็จรูปทางคณิตศาสตร์สามารถใช้ในการคำนวณและแก้สมการ มีความสามารถในการคำนวณข้อมูลในรูปสัญลักษณ์หรือข้อความทางคณิตศาสตร์



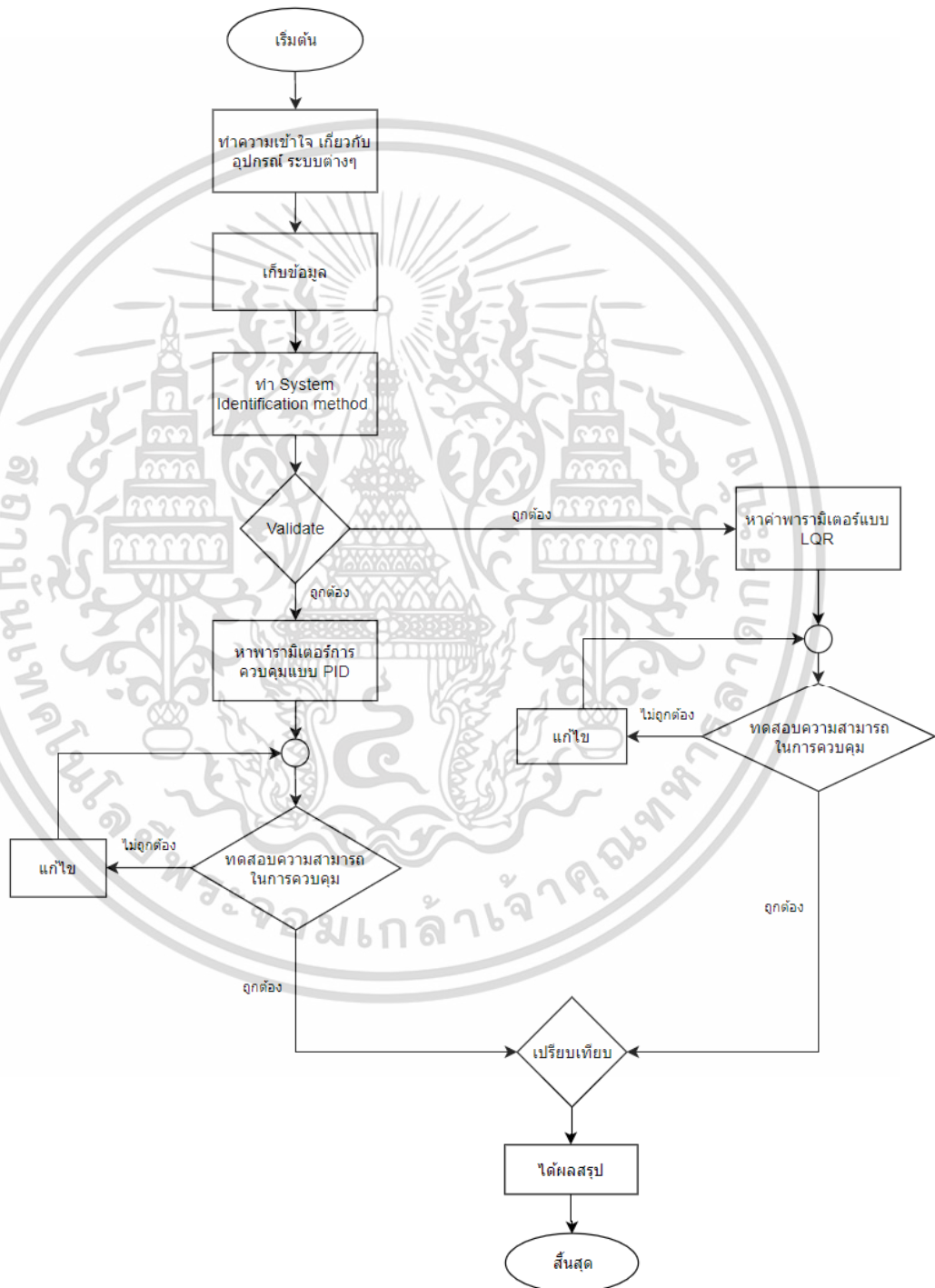
รูปที่ 2.18 โปรแกรม Maple

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

3.1 แผนผังการดำเนินงาน



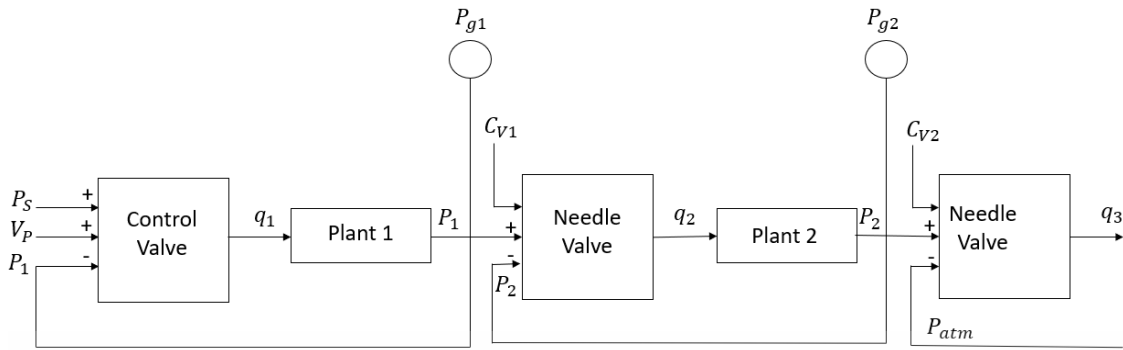
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การหาสมการคณิตศาสตร์ของระบบ

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>ft³/min</i>
q_1	อัตราการไหล ถึงถังเก็บความดัน 1	<i>ft³/min</i>
q_2	อัตราการไหล ถึงถังเก็บความดัน 1 ไปถังเก็บความดัน 2	<i>ft³/min</i>
q_3	อัตราการไหล ถึงถังเก็บความดัน 2 ไปถังเก็บความดัน 3	<i>ft³/min</i>
V_1	ปริมาณถังเก็บความดัน 1	<i>ft³</i>
V_2	ปริมาณถังเก็บความดัน 2	<i>ft³</i>
V_p	ตำแหน่งเปิดของวาล์ว	%
P_u	ความดันต้นทาง	<i>psig</i>
P_d	ความดันปลายทาง	<i>psig</i>
α	ย่านความสามารถ (Rangability)	-
R	ค่าคงที่ของแก๊ส	<i>ft³psiR⁻¹lb⁻¹mol⁻¹</i>
T	อุณหภูมิ	^o R
SSMB	สถานะคงที่สมดุลมวล	-
USSMB	สถานะไม่คงที่สมดุลมวล	-



รูปที่ 3.1 กระบวนการจำลองระบบความดัน

ตารางที่ 3.2 สมการที่มีผลกระทบต่อกระบวนการ

ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อกระบวนการ	สมการ
สมการวาล์วควบคุมซึ่งเป็นแบบ Equal Percentage	$q_{vp} = \frac{e^{(\ln \alpha)vp}}{\alpha} * q_{max}$ $\frac{q_{vp}}{q_{max}} = \frac{e^{(\ln \alpha)vp}}{\alpha}$
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 การศึกษาการสร้างสมการทางคณิตศาสตร์

จากการศึกษาหลักการโดยการแทนระบบด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ คุณลักษณะของวาล์วต่างๆ และกระบวนการทำงานของระบบจะทำให้สามารถวิเคราะห์ระบบ ให้เป็นสมการทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

USSMB Tank (1)

$$q_1 - q_2 = \frac{d}{d(t)} n(t) \tag{3.1}$$

จากสมการ Ideal Equation

$$q_1 - q_2 = \frac{V}{\rho RT} \frac{d}{d(t)} P_1(t) \tag{3.2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$q_1 = \frac{q_{vp}}{q_{\max}} \sqrt{P_u(P_u - P_d)} \quad (3.3)$$

$$q_2 = C_{V_1} \sqrt{P_u(P_u - P_d)} \quad (3.4)$$

แทนค่า q_1 และ q_2 จะได้

$$\frac{q_{vp}}{q_{\max}} \sqrt{P_s(P_s - P_1)} - C_{V_1} \sqrt{P_1(P_1 - P_2)} = \frac{V}{\rho RT} \frac{d}{dt} P(t) \quad (3.5)$$

ทำการประมาณการเชิงเส้นจะได้

$$q_1(t) \cong \bar{q}_1 + \frac{dq_1}{dV_p} [V_p(t) - \bar{V}_p] + \frac{dq_1}{dP_1} [P_1(t) - \bar{P}_1] \quad (3.6)$$

$$q_2(t) \cong \bar{q}_2 + \frac{dq_2}{dV_p} [V_p(t) - \bar{V}_p] + \frac{dq_2}{dP_2} [P_2(t) - \bar{P}_2] \quad (3.7)$$

เมื่อ

$$c_1 = \frac{dq_1}{dV_p}, c_2 = \frac{dq_1}{dP_1}, c_3 = \frac{dq_2}{dP_1} \text{ และ } c_4 = \frac{dq_2}{dP_2}$$

ประมาณเชิงเส้นแล้ว USSMB จะได้

USSMB

$$(\bar{q}_1 + C_1 V_p(t) + C_2 P_1(t)) - (\bar{q}_2 + C_3 P_1(t) + C_4 P_2(t)) = \frac{V_1}{\rho RT} \frac{d}{dt} P_1(t) \quad (3.8)$$

SSMB

$$q_1 - q_2 = 0 \quad (3.9)$$

USSMB - SSMB

$$C_1 V_p + C_2 V_1 - C_3 P_1 \quad (3.10)$$

$$C_1 V_p + C_2 P_1 - C_3 P_1 - C_4 P_2 = \frac{V_1}{\rho RT} \frac{d}{dt} P_1(t) \quad (3.11)$$

$$C_1 V_p(t) - C_4 P_2(t) = \frac{V_1}{\rho RT} \frac{d}{dt} P_1(t) - C_2 P_1(t) + C_3 P_1(t) \quad (3.12)$$

$$C_1 V_p(t) - C_4 P_2(t) = \frac{V_1}{\rho RT} \frac{d}{dt} P_1(t) - P_1(t)(C_3 - C_2) \quad (3.13)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำ $C_3 - C_2$ ทหารทั้งสมการจะได้

$$\frac{C_1}{C_3 - C_2} V_P(t) - \frac{C_4}{C_3 - C_2} P_2(t) = \frac{V_1}{\rho RT} \frac{1}{C_3 - C_2} \frac{d}{dt} P_1(t) + P_1(t) \quad (3.14)$$

เมื่อ

$$k_1 = \frac{C_1}{C_3 - C_2}, \quad k_2 = \frac{C_4}{C_3 - C_2} \quad \text{และ} \quad \tau_3 = \frac{V_1}{\rho RT} \frac{1}{C_3 - C_2}$$

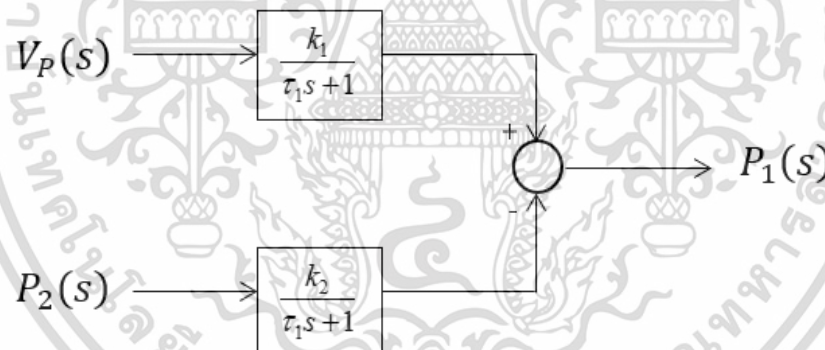
จะได้

$$k_1 V_P(t) - k_2 P_2(t) = \tau_1 \frac{d}{dt} P_1(t) - P_1(t) \quad (3.15)$$

ลาปราชทรานฟอร์มจะได้

$$k_1 V_P(s) - k_2 P_2(s) = [\tau_1 s + 1] P_1(s) \quad (3.16)$$

$$P_1(s) = \frac{1}{\tau_1 s + 1} [k_1 V_P(s) - k_2 P_2(s)] \quad (3.17)$$



รูปที่ 3.2 Block Diagram กระบวนการทำงานที่มีผลต่อความดันในถังเก็บความดัน 1

USSMB Tank (2)

$$q_2 - q_3 = \frac{V}{\rho RT} \frac{d}{dt} P_2(t) \quad (3.18)$$

$$q_2 = C_{v1} \sqrt{P_{u1} (P_{u1} - P_{d2})} \quad (3.19)$$

$$q_3 = C_{v2} \sqrt{P_{u2} (P_{u2} - P_{atm})} \quad (3.20)$$

แทนค่า q_2 และ q_3 จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$C_{v_1} \sqrt{P_1(P_1 - P_2)} - C_{v_2} \sqrt{P_2(P_2 - P_{atm})} = \frac{V}{\rho RT} \frac{d}{d(t)} P_2(t) \quad (3.21)$$

ทำการประมาณเชิงเส้น

$$q_2(t) \cong \bar{q}_2 + \frac{dq_2}{dP_1} [P_1(t) - \bar{P}_1] + \frac{dq_2}{dP_2} [P_2(t) - \bar{P}_2] \quad (3.22)$$

$$q_3(t) \cong \bar{q}_3 + \frac{dq_3}{dP_1} [P_2(t) - \bar{P}_2] \quad (3.23)$$

เมื่อ

$$c_3 = \frac{dq_2}{dP_1}, \quad c_4 = \frac{dq_2}{dP_2} \quad \text{และ} \quad c_5 = \frac{dq_3}{dP_1}$$

ประมาณเชิงเส้นแล้ว USSMB จะได้

USSMB

$$(\bar{q}_2 + C_3 P_1(t) + C_4 P_2(t)) - (\bar{q}_3 + C_5 P_2(t)) = \frac{v_2}{\rho RT} \frac{d}{d(t)} P_2(t) \quad (3.24)$$

SSMB

$$q_2 - q_3 = 0 \quad (3.25)$$

USSMB - SSMB

$$C_3 P_1(t) + C_4 P_2(t) - C_5 P_2(t) = \frac{v_2}{\rho RT} \frac{d}{d(t)} P_2(t) \quad (3.26)$$

$$C_3 P_1(t) = \frac{v_2}{\rho RT} \frac{d}{d(t)} P_2(t) - C_4 P_2(t) + C_5 P_2(t) \quad (3.28)$$

$$C_3 P_1(t) = \frac{v_2}{\rho RT} \frac{d}{d(t)} P_2(t) + P_2(t)(C_5 - C_4) \quad (3.29)$$

นำ $C_5 - C_4$ หารทั้งสมการจะได้

$$\frac{C_3}{C_5 - C_4} P_1(t) = \frac{V_2}{\rho RT} \frac{1}{C_5 - C_4} \frac{d}{dt} P_2(t)(C_5 - C_4) \quad (3.30)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และ 18 ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ

$$k_3 = \frac{C_3}{C_5 - C_4} \quad \text{และ} \quad \tau_2 = \frac{V_2}{\rho RT} \frac{1}{C_5 - C_4}$$

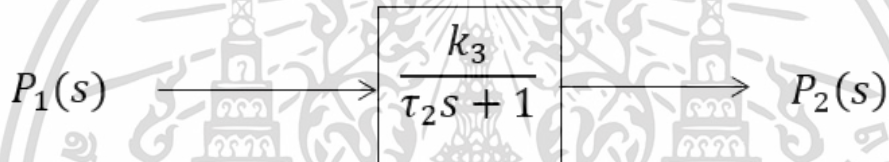
จะได้

$$k_3 P_1(t) = \tau_2 \frac{d}{dt} P_2(t) + P_2(t) \quad (3.31)$$

แปลงลาปลาซทรานฟอร์มจะได้

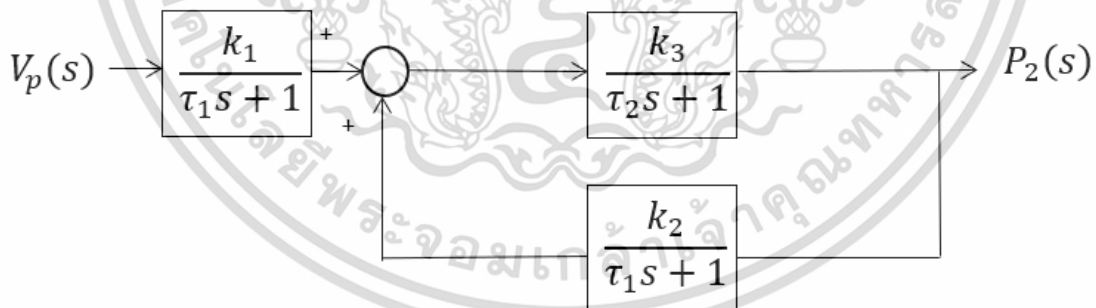
$$k_3 P_1(s) = \tau_2 s + P_2(s) \quad (3.32)$$

$$P_2(s) = \frac{1}{\tau_2 s + 1} k_3 P_1(s) \quad (3.33)$$



รูปที่ 3.3 Block Diagram กระบวนการทำงานที่มีผลต่อความดันในถังเก็บความดัน 2

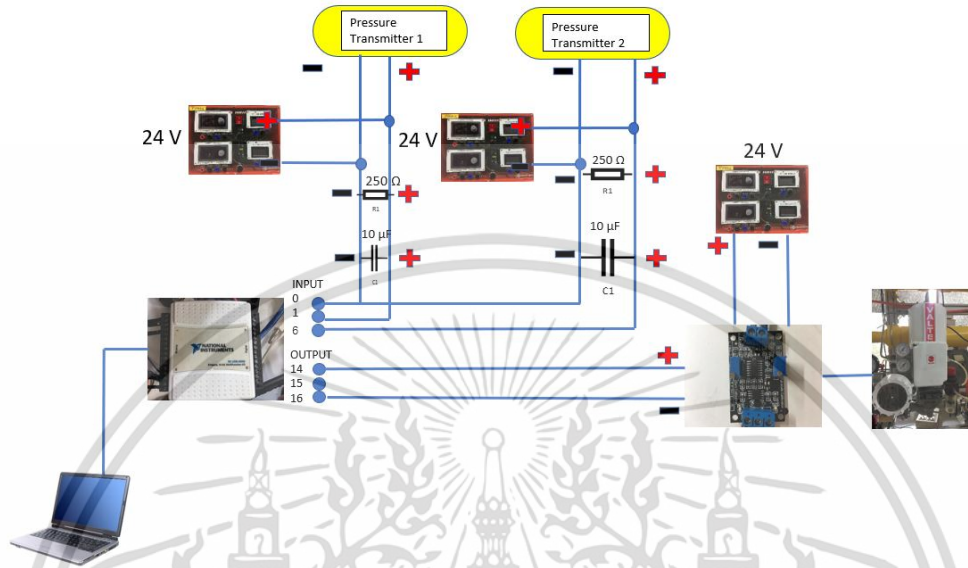
นำทั้งสอง Block Diagram มารวมกันจะได้ Block Diagram ของทั้งระบบดังนี้



รูปที่ 3.4 Block Diagram กระบวนการทำงานที่มีผลต่อระบบ

3.3 การเก็บค่า

3.3.1 การต่อสาย



รูปที่ 3.5 การต่อสาย

3.3.2 ค่าที่เก็บได้จากโปรแกรมLabView

10:06:29.423 PM 10/24/2019	32.482132	39.444814	273	0.6
10:06:30.435 PM 10/24/2019	32.3885	39.444814	274	0.6
10:06:31.446 PM 10/24/2019	32.107603	39.632204	275	0.6
10:06:32.457 PM 10/24/2019	32.107603	39.351119	276	0.6
10:06:33.467 PM 10/24/2019	31.733073	39.351119	277	0.6
10:06:34.478 PM 10/24/2019	31.920338	39.351119	278	0.6
10:06:35.488 PM 10/24/2019	32.01397	39.351119	279	0.6
10:06:36.498 PM 10/24/2019	32.482132	39.538509	280	0.6
10:06:37.508 PM 10/24/2019	32.107603	39.444814	281	0.6
10:06:38.521 PM 10/24/2019	32.294868	39.257424	282	0.6
10:06:39.532 PM 10/24/2019	31.920338	39.538509	283	0.6
10:06:40.545 PM 10/24/2019	32.107603	39.725898	284	0.6
10:06:41.556 PM 10/24/2019	32.201235	39.257424	285	0.6
10:06:42.568 PM 10/24/2019	32.01397	39.538509	286	0.6
10:06:43.578 PM 10/24/2019	32.01397	39.444814	287	0.6
10:06:44.589 PM 10/24/2019	32.01397	39.538509	288	0.6
10:06:45.601 PM 10/24/2019	32.01397	39.538509	289	0.6
10:06:46.612 PM 10/24/2019	32.482132	39.351119	290	0.6
10:06:47.622 PM 10/24/2019	31.920338	39.351119	291	0.6
10:06:48.633 PM 10/24/2019	31.826705	39.163729	292	0.6
10:06:49.644 PM 10/24/2019	31.920338	39.257424	293	0.6
10:06:50.656 PM 10/24/2019	31.920338	38.97634	294	0.6
10:06:51.667 PM 10/24/2019	32.107603	39.351119	295	0.6
10:06:52.678 PM 10/24/2019	32.201235	39.444814	296	0.6
10:06:53.690 PM 10/24/2019	32.294868	39.351119	297	0.6
Average (PSI)	32.18664921	39.52532555		
Average (Bar)	2.189567973	2.688797657		
60%	P2	P1		

รูปที่ 3.6 เก็บค่าความดันจากถังที่ 1 และ ถังที่ 2 ที่วาล์วเปิด 60%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การหาพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในสมการของPlant จากการเก็บค่าการทดลอง

ตารางที่ 3.3 ค่าความดันเฉลี่ยของถังเก็บความดันแบบปฏิสัมพันธ์

	60%	
	P1	P2
Average (Psia)	39.52532555	32.18664921
Average (Bar)	2.688797657	2.189567973

ตารางที่ 3.4 ค่าคงที่

ปริมาตรถังเก็บความดัน(V_1, V_2)	0.2473 ft^3
gas constant (R)	10.73 psia ft^3 -lbmoles- $^{\circ}R$
ρ	0.00263 lbmoles/scf
T	520 $^{\circ}R$
P_s	58.8 psia
P_{atm}	14.7 psia

ที่สภาวะสมดุลของระบบ $q_1 = q_2 = q_3$ สามารถหาค่าสัมประสิทธิ์ของวาล์วเข็ม Cv_1 และ Cv_2

จาก

$$q_1 = \frac{q_{vp}}{q_{max}} \sqrt{P_s(P_s - P_1)}$$

(3.34)

$$q_2 = Cv_1 \sqrt{P_1(P_1 - P_2)} \quad (3.35)$$

$$q_3 = Cv_2 \sqrt{P_2(P_2 - P_{atm})} \quad (3.36)$$

หาค่า Cv_1 ให้ $q_1 = q_2$ จะได้

$$\frac{q_{vp}}{q_{max}} \sqrt{P_s(P_s - P_1)} = Cv_1 \sqrt{P_1(P_1 - P_2)} \quad (3.37)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และ 21 ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Cv_1 = \frac{q_{vp}}{q_{\max}} \sqrt{P_s(P_s - P_1)} \cdot \frac{1}{\sqrt{P_1(P_1 - P_2)}} \quad (3.38)$$

$$Cv_1 = \frac{e^{(\ln \alpha)V_p}}{\alpha} \sqrt{\frac{P_s(P_s - P_1)}{P_1(P_1 - P_2)}} \quad ; \quad \frac{q_{vp}}{q_{\max}} = \frac{e^{(\ln \alpha)V_p}}{\alpha} \quad (3.39)$$

ที่ V_p 60% $\therefore Cv_1 = 0.38430$ แก้สมการโดย Matlab

หาค่า Cv_2 ให้ $q_2 = q_3$ จะได้

$$Cv_1 \sqrt{P_1(P_1 - P_2)} = Cv_2 \sqrt{P_2(P_2 - P_{atm})} \quad (3.40)$$

$$Cv_2 = \sqrt{P_2(P_2 - P_{atm})} \cdot \frac{1}{\sqrt{P_1(P_1 - P_2)}} \quad (3.41)$$

ที่ V_p 60% $\therefore Cv_2 = 0.27590$ แก้สมการโดย Matlab

หาค่า C_1, C_2, C_3, C_4 และ C_5 จาก

$$C_1 = \frac{\partial q_1}{\partial q_2} = \frac{\partial}{\partial V_p} \left[\frac{e^{(\ln \alpha)V_p}}{\alpha} \right] \left[\sqrt{P_s(P_s - P_1)} \right] = \frac{\sqrt{P_s(P_s - P_1)} \cdot e^{(\ln \alpha)V_p} \cdot \ln \alpha}{\alpha} \quad (3.42)$$

ที่ V_p 60% $\therefore C_1 = 26.7982$ แก้สมการโดย Matlab

จาก

$$C_2 = \frac{\partial q_1}{\partial P_1} = \frac{\partial}{\partial P_1} \left[\frac{e^{(\ln \alpha)V_p}}{\alpha} \right] \left[\sqrt{P_s(P_s - P_1)} \right] = \frac{e^{(\ln \alpha)V_p}}{\alpha} \cdot \left[\frac{1}{2\sqrt{P_s^2 - P_s P_1}} \right] \cdot (-P_s) \quad (3.43)$$

ที่ V_p 60% $\therefore C_2 = -0.16980$ แก้สมการโดย Matlab

จาก

$$C_3 = \frac{\partial q_2}{\partial P_1} = \frac{\partial}{\partial P_1} Cv_1 \sqrt{P_1(P_1 - P_2)} = Cv_1 \cdot \left[\frac{1}{2\sqrt{P_1^2 - P_2 P_1}} \right] \cdot (2P_1 - P_2) \quad (3.44)$$

ที่ V_p 60% $\therefore C_3 = 0.52870$ แก้สมการโดย Matlab

จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$C_4 = \frac{\partial q_2}{\partial P_2} = \frac{\partial}{\partial P_2} C_{v1} \sqrt{P_1(P_1 - P_2)} = C_{v1} \cdot \left[\frac{1}{2\sqrt{P_1^2 - P_2 P_1}} \right] \cdot (-P_2) \quad (3.45)$$

ที่ V_p 60% $\therefore C_4 = -0.36310$ แก้สมการโดย Matlab

จาก

$$C_5 = \frac{\partial q_3}{\partial P_2} = \frac{\partial}{\partial P_2} C_{v2} \sqrt{P_2(P_2 - P_{atm})} = C_{v2} \cdot \left[\frac{1}{2\sqrt{P_2^2 - P_2 P_{atm}}} \right] \cdot (2P_2 - P_{atm}) \quad (3.46)$$

ที่ V_p 60% $\therefore C_5 = 0.28880$

หาค่า K_1 , K_2 และ K_3

$$\text{จาก } K_1 = \frac{C_1}{C_3 - C_2} \quad (3.47)$$

$\therefore K_1 = 38.3642$ แก้สมการโดย Matlab

$$K_2 = \frac{C_4}{C_3 - C_2} \quad (3.48)$$

$\therefore K_2 = -0.51990$ แก้สมการโดย Matlab

$$K_3 = \frac{C_3}{C_5 - C_4} \quad (3.49)$$

$\therefore K_3 = 0.81100$ แก้สมการโดย Matlab

และหาค่าคงที่เวลา τ_1 และ τ_2 จาก

$$\tau_1 = \frac{V_1}{\rho RT} \cdot \frac{1}{C_1 + C_2} \quad (3.50)$$

$\therefore \tau_1 = 0.02410$ แก้สมการโดย Matlab

$$\tau_2 = \frac{V_2}{\rho RT} \cdot \frac{1}{C_5 - C_4} \quad (3.51)$$

$\therefore \tau_2 = 0.02580$ แก้สมการโดย Matlab

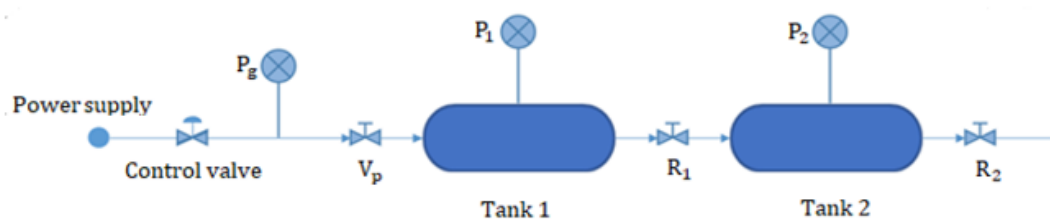
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.1 การดึงข้อมูลจาก excel เพื่อหาค่าพารามิเตอร์จากผลการทดลองด้วยโปรแกรม Matlab

ตารางที่ 3.5 ค่าพารามิเตอร์จาก Matlab

P1	39.5253
P2	32.1866
P supply	58.8000
V position	0.24730
P atm	14.7000
CV1	0.38430
CV2	0.27590
C1	26.7982
C2	-0.16980
C3	0.52870
C4	-0.36310
C5	0.28880
K1	38.3642
K2	-0.51990
K3	0.81100
τ 1	0.02410
τ 2	0.02580

3.5 การทำ System identification



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.7 Block Diagram ของระบบ

สมการตั้งต้นของ tank 1 จากสมการ USSMB

$$P_1(t) = \frac{1}{\tau_1 s + 1} [k_1 V_p(t) - k_2 P_2(t)] \quad (3.52)$$

มี v_p % การเปิดวาล์วเป็น Input และได้ P_1, P_2 ออกมาเป็น Output ของระบบ โดย τ_1, τ_2 คือ Time constants

$$P_1(t)(\tau_1 s + 1) = k_1 V_p(t) - k_2 P_2(t) \quad (3.53)$$

$$P_1(t)\tau_1 s + P_1(t) = k_1 V_p(t) - k_2 P_2(t) \quad (3.54)$$

$$\tau_1 \frac{dp}{dt} P_1(t) + P_1(t) = k_1 V_p(t) - k_2 P_2(t) \quad (3.55)$$

$$\tau_1 \dot{P}_1(t) + P_1(t) = k_1 V_p(t) - k_2 P_2(t) \quad (3.56)$$

สมการตั้งต้นของ tank 2 จากสมการ USSMB

$$P_2(t) = \frac{1}{\tau_2 s + 1} k_3 P_1(t) \quad (3.57)$$

$$P_2(t)(\tau_2 s + 1) = k_3 P_1(t) \quad (3.58)$$

$$P_2(t)\tau_2 s + P_2(t) = k_3 P_1(t) \quad (3.59)$$

$$\dot{P}_2(t)\tau_2 + P_2(t) = k_3 P_1(t) \quad (3.60)$$

เมื่อ Input $v_p = u$ และ Output $P(t) = y(t)$

$$\dot{y}_1(t) + \frac{1}{\tau_1} y_1(t) = \frac{k_1}{\tau_1} u(t) - \frac{k_2}{\tau_2} y_2(t) \quad (3.61)$$

$$\dot{y}_2(t) + \frac{1}{\tau_2} y_2(t) = \frac{k_3}{\tau_1} y_1(t) \quad (3.62)$$

โดยที่ $a_1 = \frac{1}{\tau_1}$, $a_2 = \frac{k_1}{\tau_1}$, $a_3 = \frac{k_2}{\tau_2}$, $b_1 = \frac{1}{\tau_2}$ และ $b_2 = \frac{k_3}{\tau_1}$

ทำการอินทิเกรตได้ดังนี้ได้ค่า y_{model}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

$$y_{2,model(t)} = y_{20} - b_1 \int_0^t y_2(t) dt + b_2 \int_0^t y_1(t) dt \quad (3.63)$$

ได้สมการ y_{model} แต่ยังคงติดตัวแปร $y_{10}, y_{20}, a_1, a_2, a_3, b_1, b_2$ ซึ่งทำการแทนค่าสำหรับช่วงเวลา $t \in \{t_0, \dots, t_n\}$ จะได้ระบบสมการที่มีจำนวนสมการ N และจำนวนที่ไม่ทราบค่า 7 ตัวสามารถเขียนเป็นรูปสมการ Matrix ได้ดังนี้

$$Ap = b \quad (3.64)$$

$$A = [M_1 | M_2 | M_3] \quad (3.65)$$

$$M_1 = \begin{bmatrix} 1_{N \times 1} & 0_{N \times 1} \\ 0_{N \times 1} & 1_{N \times 1} \end{bmatrix} \quad (3.66)$$

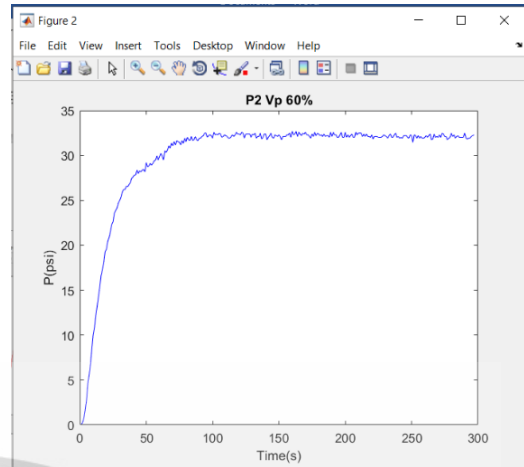
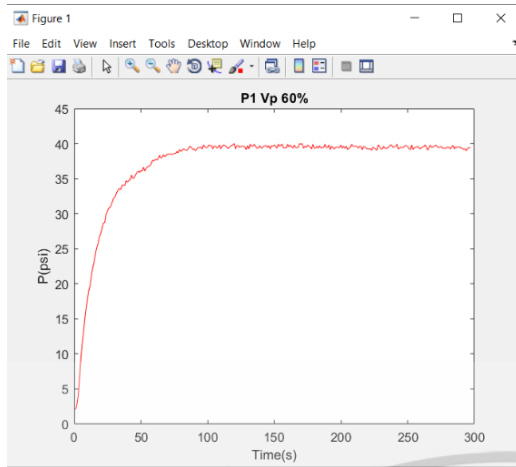
$$M_2 = \begin{bmatrix} I_{1,N \times 2} & 0_{N \times 2} \\ 0_{N \times 2} & I_{N \times 2} \end{bmatrix} \quad I_{N \times 2} = \begin{bmatrix} \int_0^{t_1} y_1 dt & \int_0^{t_1} y_2 dt \\ \vdots & \vdots \\ \int_0^{t_N} y_1 dt & \int_0^{t_N} y_2 dt \end{bmatrix} \quad (3.67)$$

$$M_3 = \begin{bmatrix} I_{2,N \times 1} & 0_{N \times 1} \\ 0_{N \times 1} & I_{N \times 1} \end{bmatrix} \quad I_{2,N \times 2} = \begin{bmatrix} \int_0^{t_1} u_1 dt \\ \vdots \\ \int_0^{t_N} u_1 dt \end{bmatrix} \quad (3.68)$$

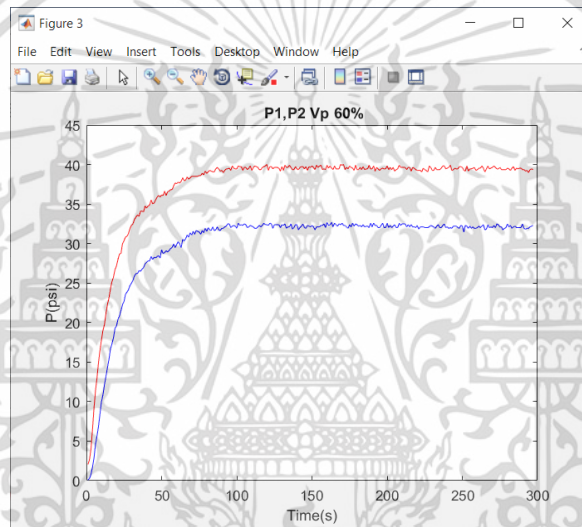
$$p = \begin{bmatrix} y_{10} \\ y_{20} \\ a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} \quad b = \begin{bmatrix} y_1(t) \\ \vdots \\ y_1(t_n) \\ y_2(t) \\ \vdots \\ y_2(t_n) \end{bmatrix} \quad (3.69)$$

3.5.1 ผลลัพธ์จากการทำ System Identification

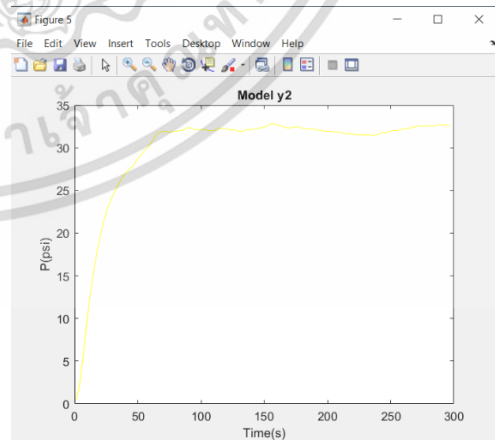
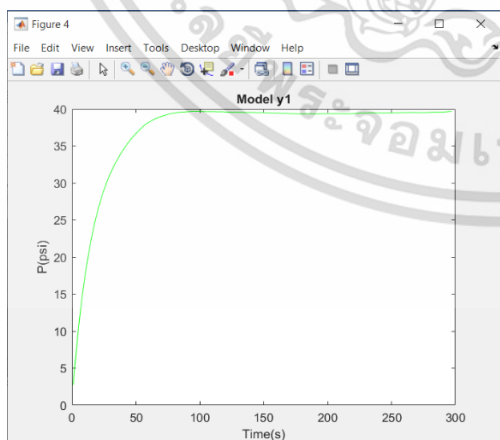
เมื่อทำการดึงค่าข้อมูลที่เก็บไว้จากโปรแกรม Excel มาทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์กับกระบวนการความดัน โดยการทำให้ System Identification พบว่าจะได้ ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ต้องการ โดยพารามิเตอร์เหล่านี้ จะได้กราฟความสัมพันธ์จากค่าที่ได้จากการทดลองและการวิเคราะห์จาก System Identification



รูปที่ 3.8 กราฟที่ได้จากการทดลองของtank1 และ tank2

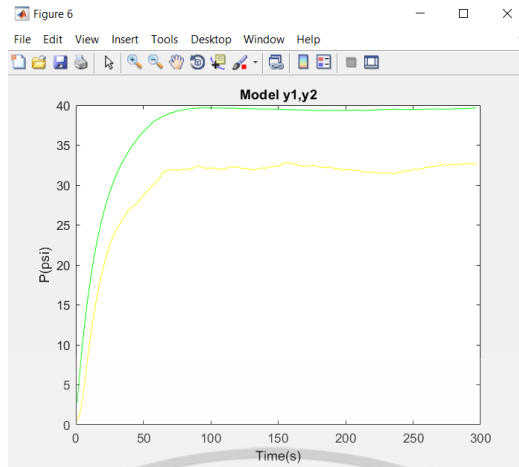


รูปที่ 3.9 กราฟที่ได้จากการเปรียบเทียบของtank1 และ tank2

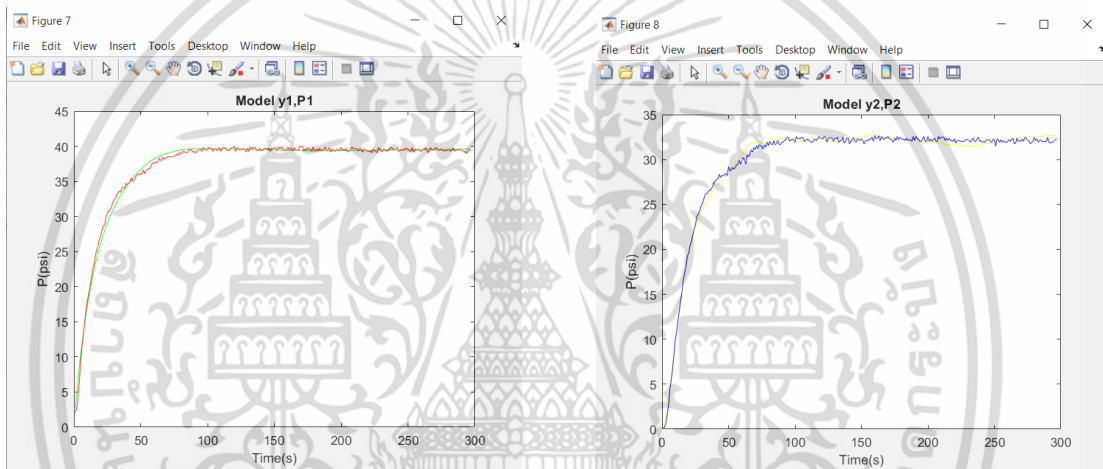


รูปที่ 3.10 กราฟผลลัพธ์จากการทำ System Identification y_1 model และ y_2 model

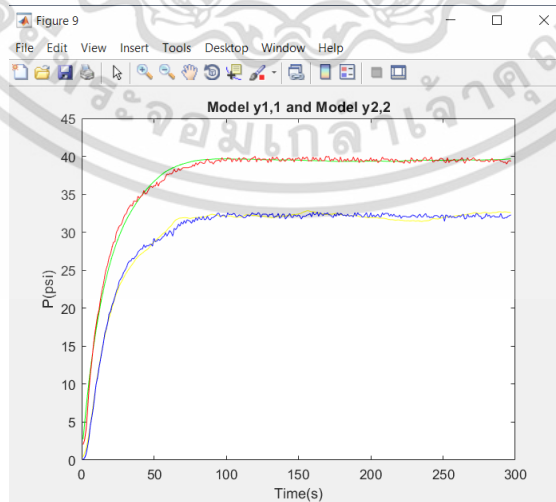
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา แะต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 กราฟเปรียบเทียบ System Identification y_1 model และ y_2 model



รูปที่ 3.12 กราฟผลลัพธ์จากการทำ System Identification เปรียบเทียบระหว่าง y model และ p data ของ tank1 และ tank2



รูปที่ 3.13 กราฟเปรียบเทียบ System Identification เปรียบเทียบระหว่าง y model และ p data ของ

tank1 และ tank2

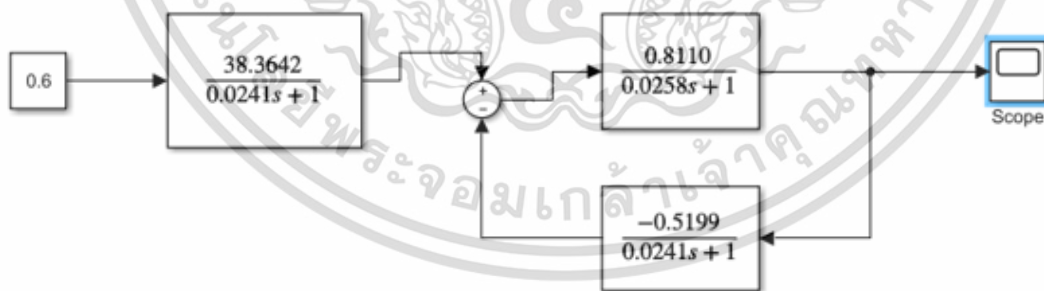
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.6 แสดงค่า Parameter จากการทำ System Identification

y10	2.7451
y20	0.4320
a1	0.0500
a2	3.5118
a3	0.0041
b1	0.2686
b2	0.2188
K1	70.2696
K2	0.0819
K3	0.8145
$\tau 1$	20.0093
$\tau 2$	3.7224

3.6 Transfer Function

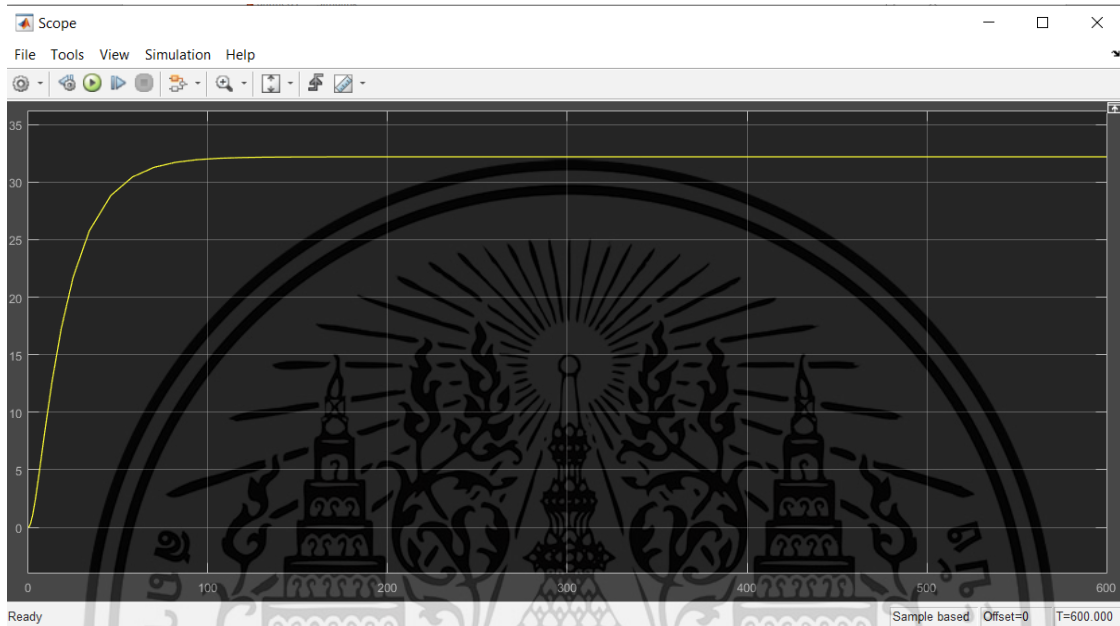
เมื่อได้ค่าพารามิเตอร์ของระบบที่จะนำไปควบคุมกระบวนการ จึงหาสมการ Transfer Function ของระบบ



รูปที่ 3.14 Block Diagram ของ Open loop

3.7 Simulink

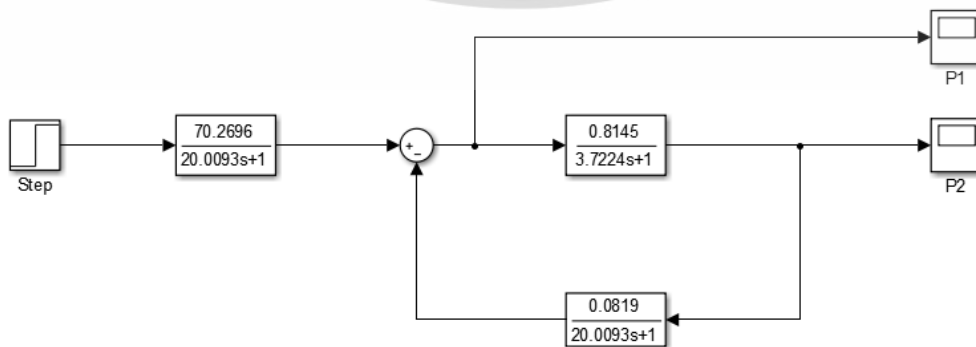
จากการเปิดวาล์วที่ 60% นำค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการคำนวณในโปรแกรม Matlab จากการทำ System identification มาทำ Simulink เพื่อทำการตรวจสอบกราฟที่ได้จากการทดลองและกราฟของพารามิเตอร์ที่ได้จากการทำ Simulink



รูปที่ 3.15 ผลตอบสนองของ Simulink จาก Block Diagram

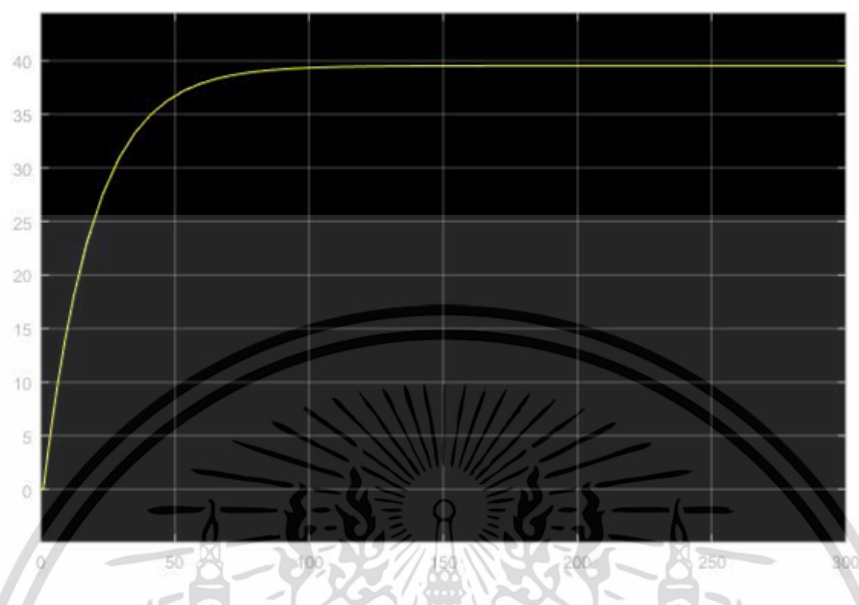
3.8 การสังเคราะห์ PID วิธี root locus โดยโปรแกรม Matlab

หลังจากเก็บข้อมูลจากถังจำลองความดันแบบปฏิสัมพันธ์ และทำการวิเคราะห์ system identification ของระบบ จากนั้นทำการทดสอบผลตอบสนองต่ออินพุตขั้นบันได โดยใช้แบบจำลองระบบ Simulink ในโปรแกรม Matlab และทำการออกแบบวิธีการควบคุมแบบ PID ในวิธีต่างๆ

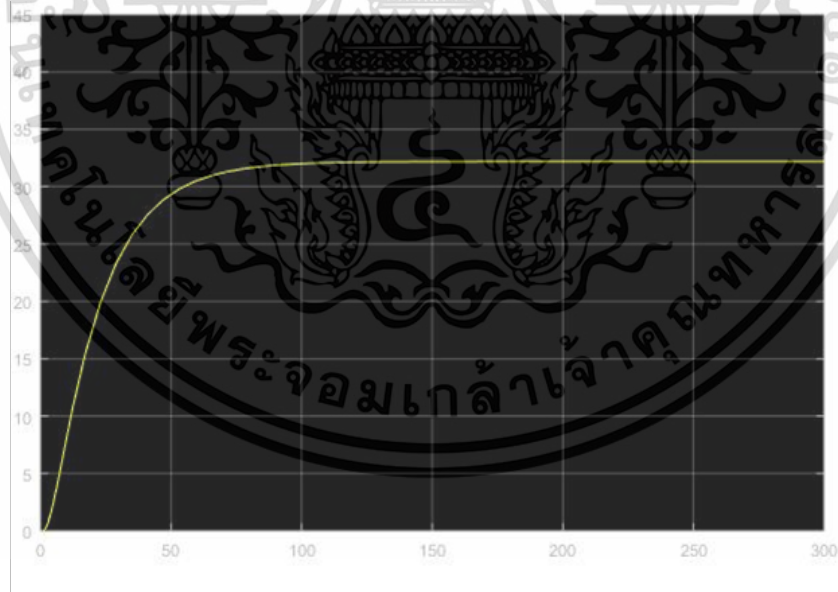


รูปที่ 3.16 Open loop transfer function เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น เมื่อผู้เช่าได้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อกำหนดอินพุตเท่ากับ 0.6 เปอร์เซ็นต์ตามการเปิดวาล์วควบคุมที่ 60% จะได้ผลตอบสนองต่อ ฟังก์ชันขั้นบันไดในแบบจำลอง Simulink



รูปที่ 3.17 ผลการตอบสนองต่อฟังก์ชันขั้นบันไดของถังที่ 1



รูปที่ 3.18 ผลการตอบสนองต่อฟังก์ชันขั้นบันไดของถังที่ 2

จะเห็นว่าผลการตอบสนองของความดันถังที่ 1 อยู่ที่ประมาณ 39 psig และความดันถังที่ 2 ประมาณ 32 psig ซึ่งสอดคล้องกับค่าที่ทำการทดลองจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นทดลองทำ Close loop transfer function เพื่อดูผลตอบสนอง



รูปที่ 3.19 Close loop transfer function



รูปที่ 3.20 ผลการตอบสนองของ Close loop transfer function ต่อฟังก์ชันขั้นบันได

จากกราฟที่ได้ผลการตอบสนองของระบบต่อฟังก์ชันขั้นบันไดจะเห็นได้ว่า ค่าไม่เข้าใกล้ค่าเป้าหมาย มีค่า Error ดังนั้นเราจึงออกแบบตัวควบคุมแบบ PID โดยใช้ Matlab คำสั่ง sisotool และโดยใช้วิธีทางเดินราก Root locus เพื่อกำจัดความค่าผิดพลาด ควบคุมให้ระบบมีเสถียรภาพมากขึ้น และควบคุมให้ระบบเป็นตามที่เราต้องการ โดยอธิบายขั้นตอนการทำดังนี้

โดยเริ่มจากเปิดโปรแกรม MATLAB บน Command Window เราจะทำการป้อน Open-loop transfer function $G(s)$

```

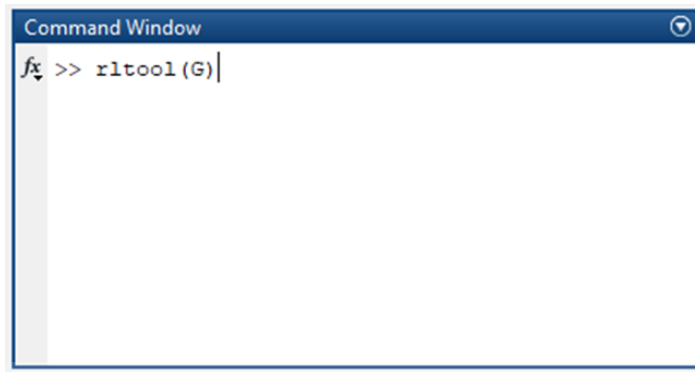
Command Window
>> num=[0.2616104219];
>> den=[1 0.3925751940 0.0307074335];
>> G=tf([num],[den])

G =
      0.2616
-----
s^2 + 0.3926 s + 0.03071

```

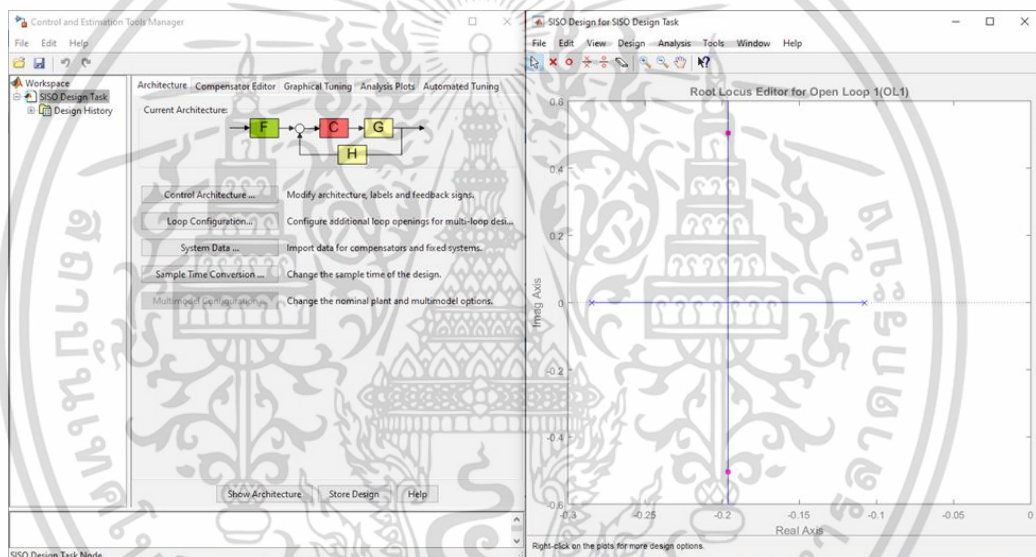
รูปที่ 3.21 การป้อน Open-loop transfer function $G(s)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ผู้ใดเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



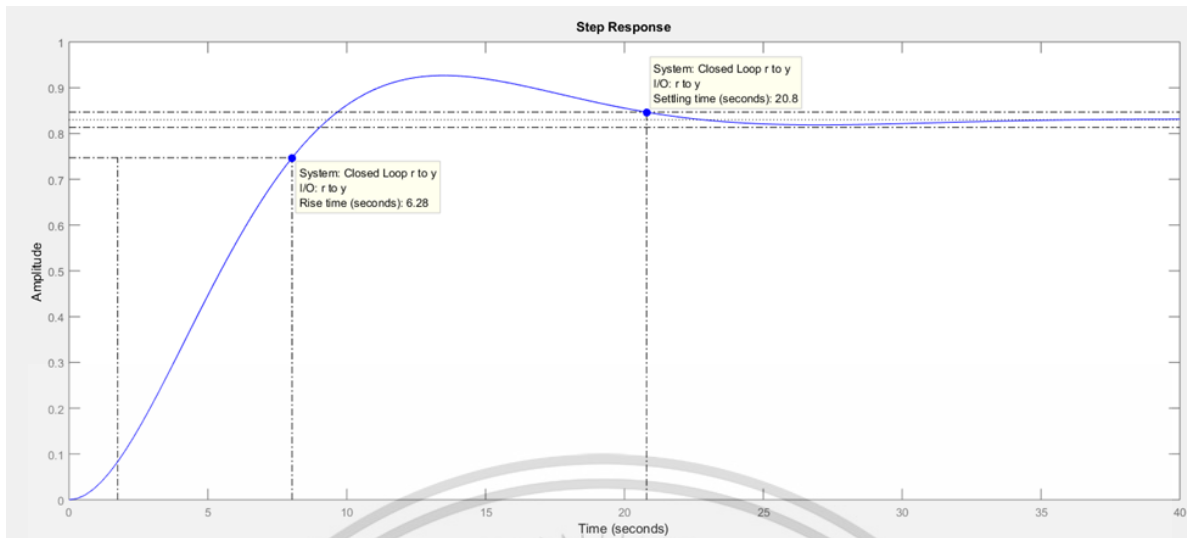
รูปที่ 3.22 คำสั่ง Root Locus Design Tool

เมื่อคำสั่งแสดงผลจะแสดงหน้าต่าง Control and Estimation Tools Manager และ SISO Design for SISO Design Task



รูปที่ 3.23 Root locus ก่อนออกแบบตัวควบคุม PID

บนหน้าต่าง SISO Design for SISO Design Task หรือ หน้าต่าง Root Locus ให้เลือก Analysis > Response to Step Command เพื่อทำการพล็อต Step Response ของระบบ และ click ขวา ที่กราฟ Step Response ให้เลือก Characteristics > เลือกดู Peak Response, Settling Time, Rise Time และ Steady State จะแสดงดังรูป



รูปที่ 3.24 ผลการตอบสนองของ Close loop transfer function ต่อฟังก์ชันขั้นบันไดก่อนออกแบบตัวควบคุม PID

จากรูปที่ 3.22 จะเห็นว่า ผลการตอบสนองของ Close loop transfer function ต่อฟังก์ชันขั้นบันไดก่อนออกแบบ ผลตอบสนองไม่เข้าสู่ค่าเป้าหมาย ทำให้เกิดค่าความผิดพลาด มี Rise time เท่ากับ 6.28 วินาที Settling time เท่ากับ 20.8 โดยมีขั้นตอนการทำ บนหน้าต่าง Root Locus ให้ click ขวา แล้วเลือก Design Requirements > New > เพื่อทำการตั้งค่า โดยทำการวาง Pole และ Zero เพื่อออกแบบตัวควบคุมแบบ PID เนื่องจากตัวควบคุมแบบ PID มี Integrator ตัว และมี Zero 2 ตัว ดังสมการ

$$G_c(s) = \frac{K_d s^2 + K_p s + K_I}{s} = \frac{(s+z_1)(s+z_2)}{s} \quad (3.70)$$

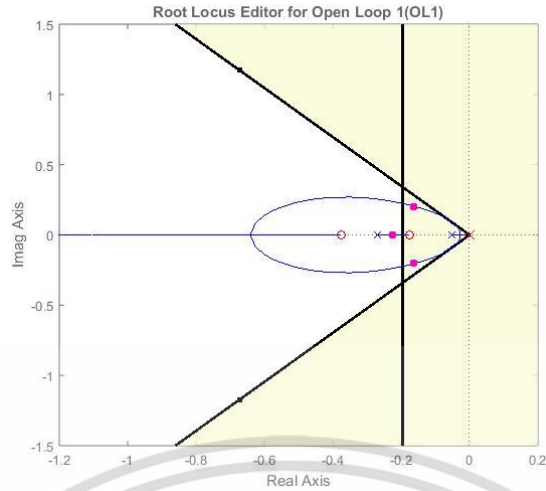
ดังนั้นที่หน้าต่าง Root Locus ให้ click ขวา แล้วเลือก Add Pole/Zero > Integrator, Zero ต่อมาทำการเลื่อนตำแหน่งของ Zero (วงกลมสีแดง) บนแกน Real และโพลของระบบ (Cursor สีชมพู) ไปตามเส้นทางราก สังเกตการเปลี่ยนแปลงบนหน้าต่าง Step Response พร้อมๆ กันว่า Settling Time กับ Percentage overshoot เป็นไปตามที่กำหนดไว้หรือไม่ ดังรูป

โดยจะกำหนด

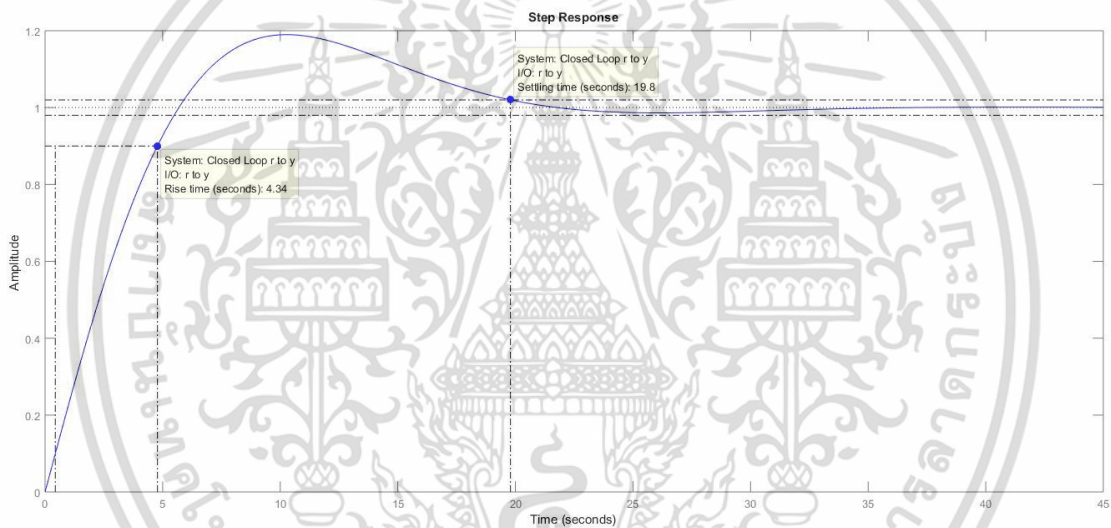
Rise time ไม่เกิน 6 วินาที

Settling time ไม่เกิน 20 วินาที

และสามารถหาค่า $\omega = 0.401906$ $\zeta = 0.4976282$

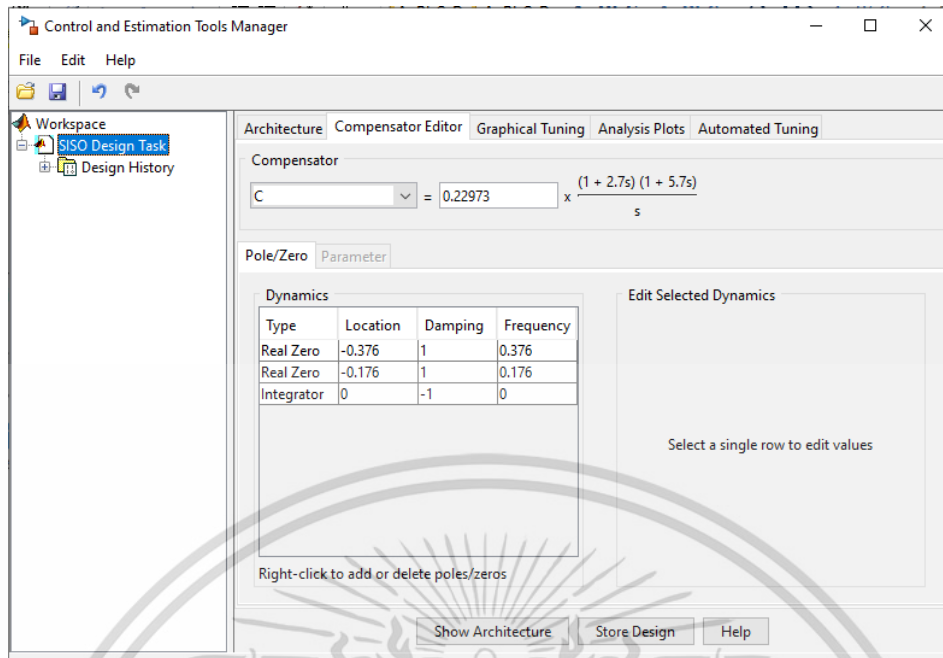


รูปที่ 3.25 Root locus หลังออกแบบตัวควบคุม PID



รูปที่ 3.26 ผลการตอบสนองของ Close loop transfer function ต่อ unit step หลังออกแบบตัวควบคุม PID

เมื่อดูผลการตอบสนองของหลังออกแบบตัวควบคุม PID จะเห็นได้ว่า rise time เท่ากับ 4.34 วินาที setting time เท่ากับ 19.8 วินาที ใกล้เคียงและเป็นไปตามค่าที่กำหนดไว้ คือ 6 วินาที และ 20 วินาที ตามลำดับ และมี overshoot = 19%



รูปที่ 3.27 หน้าต่างส่วนแสดงผลของโปรแกรม คำสั่ง sisotool

จากรูปที่ 3.25 ที่ Compensator คือ ตัวชดเชย PID ที่ได้รับการออกแบบด้วยวิธีทางเดินราก ดังนั้นสามารถหา $K_P, K_I, K_D, K_C, \tau_i$ และ τ_d ดังนี้

$$\frac{K_D s^2 + K_P s + K_I}{s} \quad (3.71)$$

และ สมการจาก Compensator

$$C = 0.22973 \times \frac{(1 + 2.7s)(1 + 5.7s)}{s} \quad (3.72)$$

$$= \frac{3.53554s^2 + 1.92973s + 0.22973}{s} \quad (3.73)$$

เมื่อเทียบสมการจะได้

$$K_P = 1.92797$$

$$K_I = 0.22973$$

$$K_D = 3.53554$$

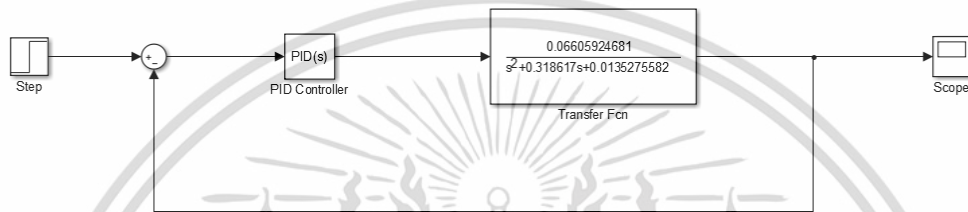
$$K_C = K_P = 1.92797$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

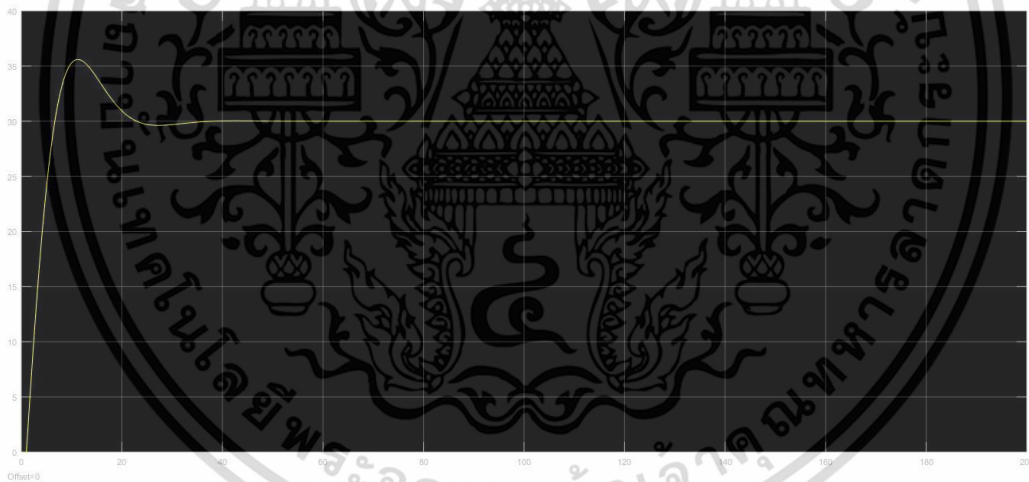
$$\tau_i = \frac{K_p}{K_I} = 8.40000 \text{ วินาที}$$

$$\tau_d = \frac{K_D}{K_p} = 1.83443 \text{ วินาที}$$

จากนั้นทำการทดสอบระบบเมื่อได้รับการชดเชยตัวควบคุม PID ตามค่า Gain ที่ได้มา ในแบบจำลอง Simulink โดยกำหนด Setpoint ไว้ที่ 30 psig

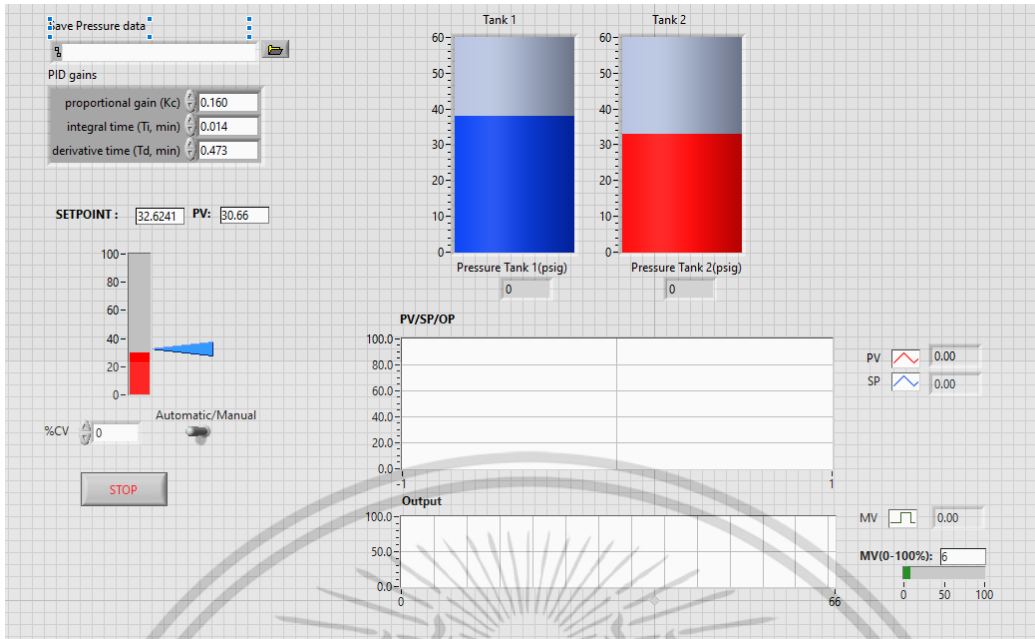


รูปที่ 3.28 Close loop transfer function เมื่อชดเชยตัวควบคุมแบบ PID

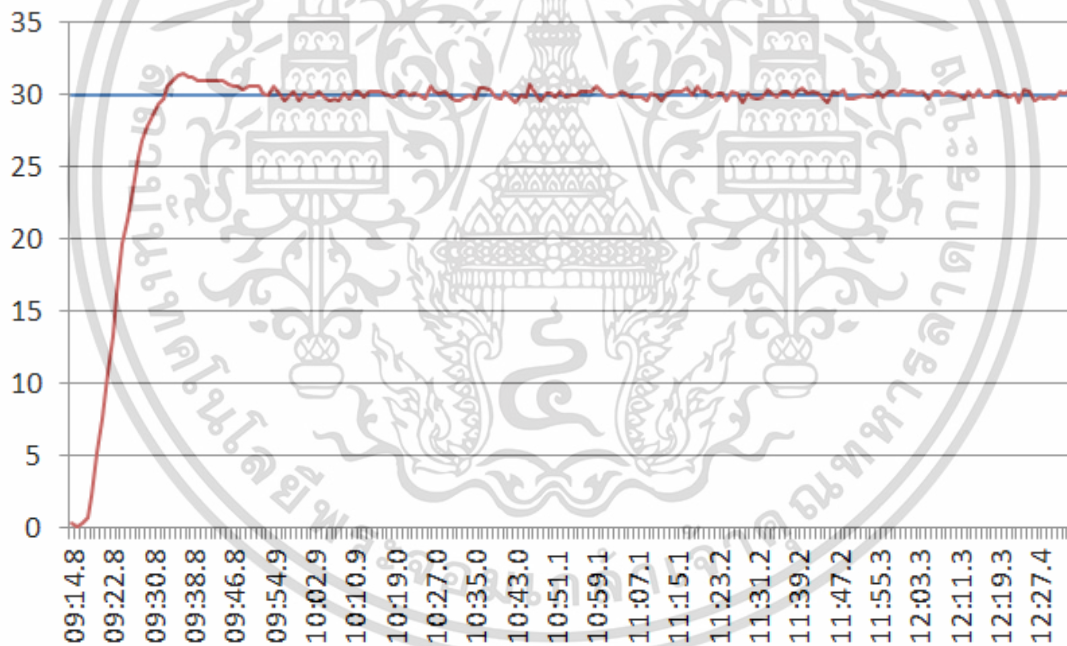


รูปที่ 3.29 ผลการตอบสนองของ Close loop transfer function เมื่อชดเชยตัวควบคุมแบบ PID ต่อฟังก์ชันขั้นบันได

จากนั้นนำค่า Gain ที่ได้คือ $K_C = 1.92797$ $\tau_i = 0.140$ นาที และ $\tau_d = 0.031$ นาที มาทดสอบกับระบบจริง



รูปที่ 3.30 หน้าต่างโปรแกรมทดสอบตัวควบคุมแบบ PID

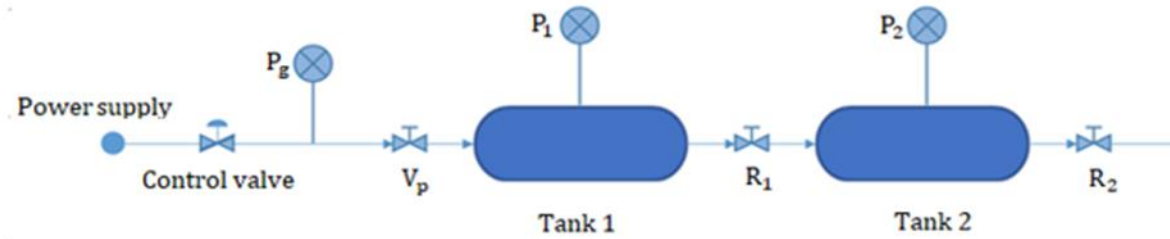


รูปที่ 3.31 ผลการตอบสนองของการทดลองวิธี Root locus

จากผลการทดลองที่กำหนด setpoint ไว้ที่ 30 psig จะเห็นได้ว่า Rise time ประมาณ 9 วินาที Settling time 28 วินาที และมี overshoot เท่ากับ 4.84 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.9 การสังเคราะห์ LQR โดยโปรแกรม Matlab



รูปที่ 3.32 กระบวนการจำลองระบบความดัน

สมการตั้งต้นของถัง 1

$$P_1(t) = \frac{1}{\tau_1 s + 1} [k_1 V_p(t) - k_2 P_2(t)] \quad (3.74)$$

$$P_1(t)(\tau_1 s + 1) = k_1 V_p(t) - k_2 P_2(t) \quad (3.75)$$

$$\tau_1 \dot{P}_1(t) + P_1(t) = k_1 V_p(t) - k_2 P_2(t) \quad (3.76)$$

$$\dot{P}_1(t) = \frac{k_1 V_p(t)}{\tau_1} - \frac{k_2 P_2(t)}{\tau_1} - \frac{P_1(t)}{\tau_1} \quad (3.77)$$

สมการตั้งต้นของถัง 2

$$P_2(t) = \frac{1}{\tau_2 s + 1} k_3 P_1(t) \quad (3.78)$$

$$P_2(t)(\tau_2 s + 1) = k_3 P_1(t) \quad (3.79)$$

$$\dot{P}_2(t) \tau_2 + P_2(t) = k_3 P_1(t) \quad (3.80)$$

$$\dot{P}_2(t) = \frac{k_3 P_1(t)}{\tau_2} - \frac{P_2(t)}{\tau_2} \quad (3.81)$$

กำหนดให้ $x = P(t)$ และ $v_p = u$ ดังนั้น

$$\dot{x}_1 = \frac{k_1 u}{\tau_1} - \frac{k_2 x_2}{\tau_2} - \frac{x_1}{\tau_1} \quad (3.82)$$

$$\dot{x}_2 = \frac{k_3 x_1}{\tau_1} - \frac{x_2}{\tau_2} \quad (3.83)$$

นำสมการที่ 3.82 และ 3.83 เขียนให้อยู่ในรูป State space

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\dot{x} = Ax + Bu \quad (3.84)$$

$$y = Cx + Du \quad (3.85)$$

ดังนั้น

$$A = \begin{bmatrix} -1 & k_2 \\ \tau_1 & \tau_2 \\ k_3 & -1 \\ \tau_1 & \tau_2 \end{bmatrix} \quad (3.86)$$

$$B = \begin{bmatrix} k_1 \\ \tau_1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (3.87)$$

$$C = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3.88)$$

$$D = [0] \quad (3.89)$$

จากโมเดล Valve Position 40%

$$k_1 = 14.4918$$

$$k_2 = -0.4289$$

$$k_3 = 0.4695$$

$$\tau_1 = 5.3358$$

$$\tau_2 = 4.8742$$

โดยเริ่มจากเปิดโปรแกรม MATLAB บน Command Window โดยจะทำการป้อน State space

```

Command Window

>> A=[-1/5.3358 -0.4289/4.8742
      0.4695/5.3358 -1/4.8742]
      B=[14.4918/5.3358 ;0]
      C=[0 1]
      D=[0]

A =

    -0.1874    -0.0880
     0.0880    -0.2052

B =

    2.7160
         0

C =

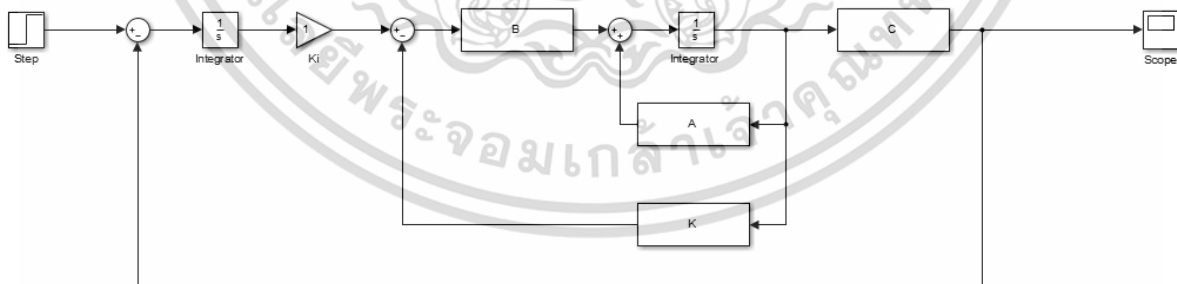
     0     1

D =

     0
  
```

รูปที่ 3.33 ป้อนเมทริกซ์ State space

โดยที่หน้า Home ของหน้าต่างโปรแกรม Matlab ทำการเลือก Simulink library และทำการวาด Block Diagram ดังนี้



รูปที่ 3.34 Block Diagram ของ state feed back

โดยจะสังเกตเห็นบน Command Window ทำการป้อนค่า R, Q เพื่อหา Gins K

```

Command Window

>> R=1
      Q=diag([1 1])
      K=lqr(A,B,Q,R)

R =

      1

Q =

      1      0
      0      1

K =

      0.9386      0.1626

fx >> |

```

รูปที่3.35 การป้อนค่า R, Q เพื่อหา Gains K

ขั้นตอนี้เราจะทำการปรับจูนเพื่อให้ได้สเปกตามที่กำหนด โดยให้

Settling time < 4

Percentage overshoot < 10

หลักและวิธีการปรับจูนคือ

1. เราจะคงค่า $R=1$ และ $Q_{11} = 1$ บน Command Window

2. เราจะปรับค่า Q_{22} บน Command Window และ K_i ใน Simulink ไปเรื่อยๆ พร้อมกับดู

Response ตรง Scope ไปด้วยว่าได้ตามที่ต้องการหรือไม่

```

Command Window

>> R=1;
      Q=diag([1 2500]);
      K=lqr(A,B,Q,R)

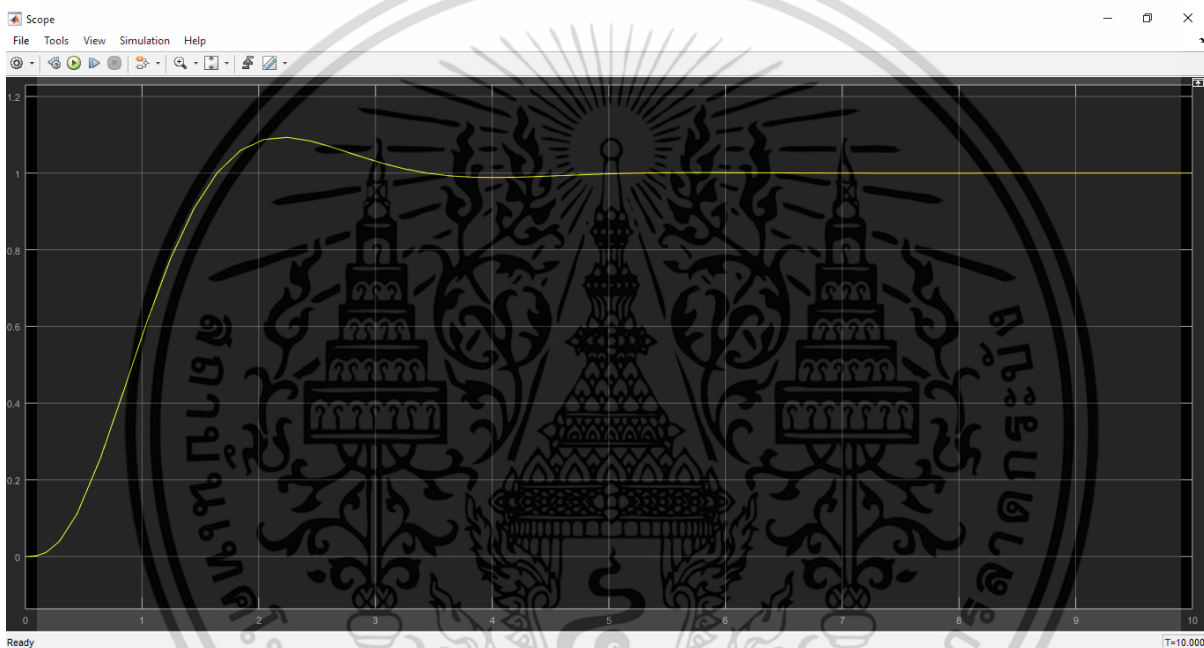
K =

      1.9174      45.3907

fx >> |

```

รูปที่3.36 การปรับจูนสเปก

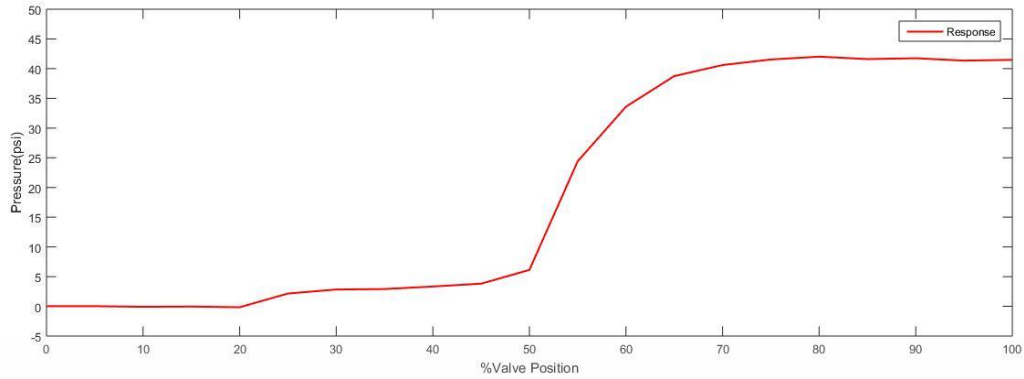


รูปที่3.37 การที่ได้จาก Simulink

3.10 Gain scheduling

Gain scheduling เป็นเทคนิคสำหรับการควบคุมระบบแบบไม่เป็นเชิงเส้น (non-linear) โดยมีการเปลี่ยนแปลงจากสภาวะการทำงานหนึ่งไปอีกสภาวะหนึ่ง Gain scheduling จะนำมาใช้เมื่อชุดควบคุมชุดเดียวไม่สามารถให้ประสิทธิภาพและเสถียรภาพตามที่ต้องการตลอดช่วงการทำงานทั้งหมดได้

เนื่องจากระบบที่เราจะทำการควบคุมนั้นมีลักษณะความสัมพันธ์ของ Input และ Output เป็นแบบ non-linear ฉะนั้นจึงใช้เทคนิค Gain scheduling มาช่วยเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและเสถียรภาพให้กับระบบที่กำลังควบคุม



รูปที่ 3.38 กราฟแสดง Pressure จาก Valve Position (0-100)%

จากกราฟความสัมพันธ์ที่มี Input เป็น %Valve Position (0-100)% และมี Output เป็น Pressure ที่ให้ค่า Output ต่ำสุดเท่ากับ 0 psi และสูงสุดประมาณ 42 psi ถ้าสังเกตที่ Output เริ่มมีตอบสนองต่อ input ที่ %Valve Position เท่ากับ 20 และ Output เริ่มคงที่ที่ %Valve Position เท่ากับ 70 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ระบบนี้ทำงานในช่วง %Valve Position เท่ากับ 20 และ 70

ขั้นตอนการทำ Gain scheduling

1. เลือกช่วงการควบคุมทั้งหมดที่เป็นไปได้ โดยในที่นี้จะเลือกควบคุมตั้งแต่ 0 psi ถึง 42 psi
2. แบ่งช่วงการควบคุมทั้งหมดเป็นช่วงย่อยๆ ให้มีลักษณะเป็นเชิงเส้น

0 – 7 psi , 7 – 14 psi, 14 – 21 psi, 21 – 28 psi, 28 – 35 psi และ 35 - 42 psi (6 ช่วง

การควบคุม)

3. จากนั้นให้ดูว่าที่ค่ากึ่งกลางของช่วงการควบคุมแต่ละช่วง มีความสัมพันธ์กันอย่างไรระหว่าง Input กับ Output และทั้ง 6 ช่วงการควบคุมที่เลือกมานั้นมีค่ากึ่งกลางดังนี้ 3.5 psi, 10.5 psi, 17.5 psi, 24.5 psi 31.5 psi และ 38.5 psi จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Input กับ Output พบว่า

3.5 psi มี %Valve Position ที่ 40%

10.5 psi มี %Valve Position ที่ 51%

17.5 psi มี %Valve Position ที่ 53%

24.5 psi มี %Valve Position ที่ 55%

31.5 psi มี %Valve Position ที่ 58%

38.5 psi มี %Valve Position ที่ 65%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และ 44 ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. หาโมเดลของระบบที่เปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์วต่างๆ และออกแบบตัวควบคุม ซึ่งสุดท้ายแล้วจะได้ค่า Gain ที่ใช้ในการควบคุมระบบ 6 ชุด ตามที่ได้เลือกไว้ดังตาราง

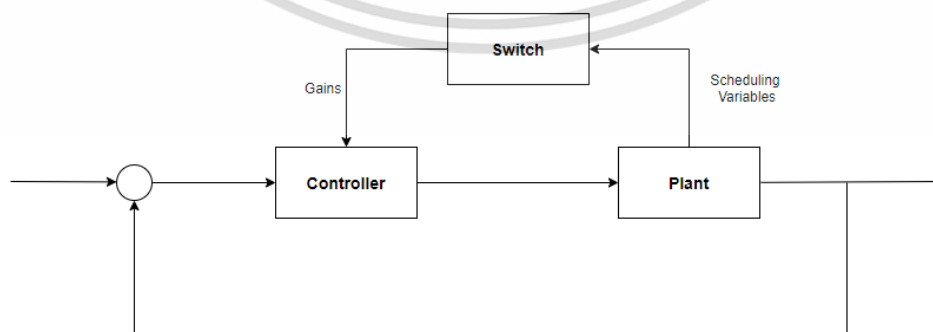
ตารางที่ 3.7 Gain scheduling ของการควบคุม PID

	K_P	K_I	K_D
0 – 7 psi	9.396808	1.626025	10.23551
7 – 14 psi	2.085757	0.315731	3.147789
14 – 21 psi	0.597564	0.053847	0.939078
21 – 28 psi	0.532453	0.040042	1.396451
28 – 35 psi	0.469868	0.044711	1.194741
35 – 42 psi	0.451127	0.053741	0.846281

ตารางที่ 3.8 Gain scheduling ของการควบคุม LQR

	K_1	K_2	k_i
0 – 7 psi	1.9174	45.3907	60
7 – 14 psi	1.2255	8.2715	5
14 – 21 psi	1.0905	4.405	2
21 – 28 psi	1.1202	33.1188	15
28 – 35 psi	1.0288	6.9444	4.5
35 – 42 psi	1.0082	4.1795	3.5

5. จากนั้นทำการทดลองโดยสร้างเงื่อนไขตาม Block Diagram



รูปที่ 3.39 Block Diagram ทำการเลือก Gain scheduling ให้ตรงตามเงื่อนไข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

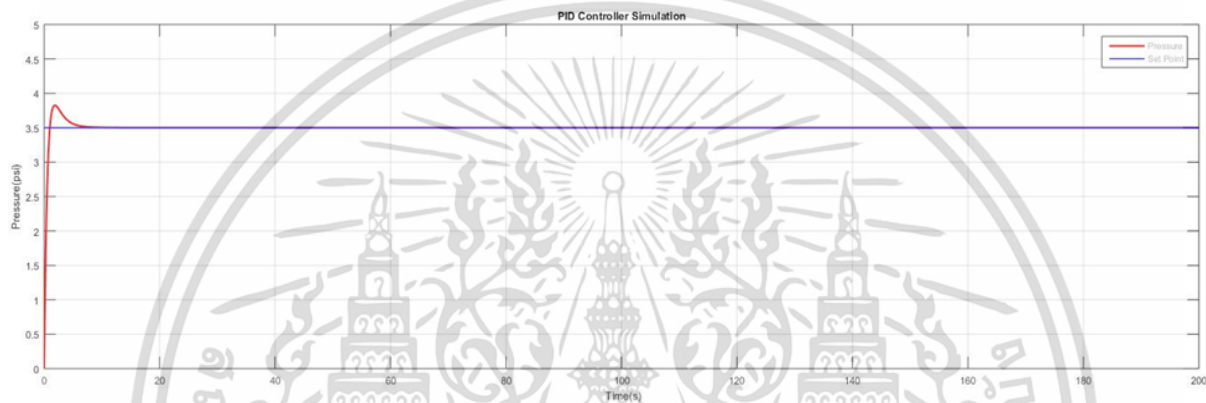
บทที่ 4

ผลการดำเนินงาน

4.1 ผลการทดลอง Simulink ในการควบคุม PID

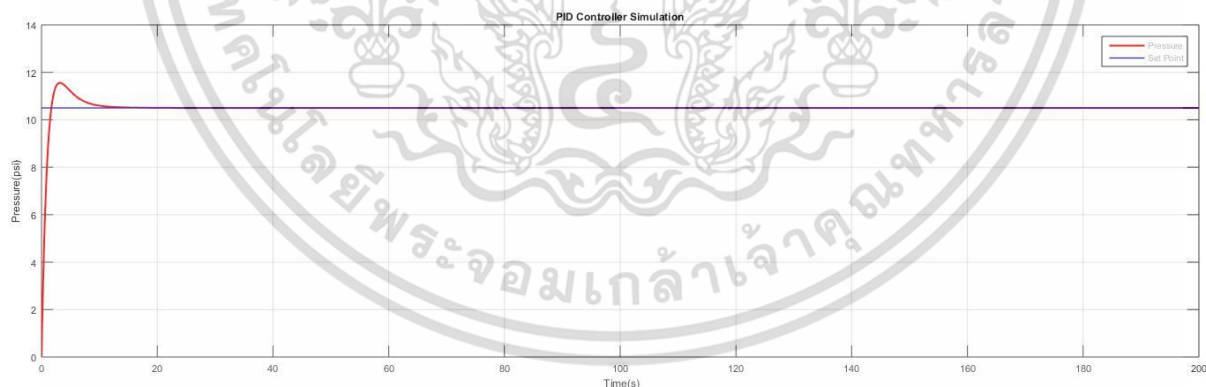
เมื่อได้ค่า Gain scheduling มาแล้ว จึงนำค่าต่างๆที่ได้ ไปใช้ในการควบคุมความดันที่ถังที่ 2 (Output) โดยใช้โปรแกรม Labview ผลที่ได้เป็นดังนี้

1. ความดัน 3.5 psi วาล์วเปิด 40%



รูปที่ 4.1 ความดัน 3.5 psi เปิดวาล์ว 40% ในการควบคุม PID controller simulation

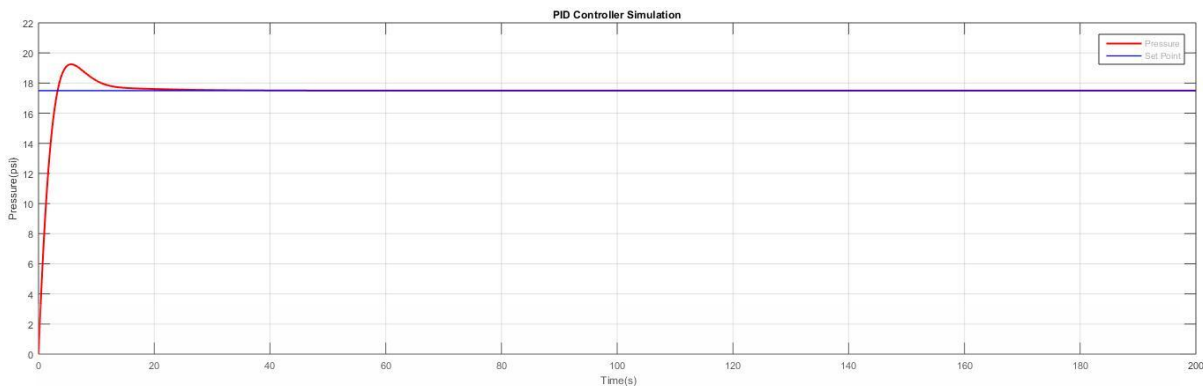
2. ความดัน 10.5 psi วาล์วเปิด 51%



รูปที่ 4.2 ความดัน 10.5 psi เปิดวาล์ว 51% ในการควบคุม PID controller simulation

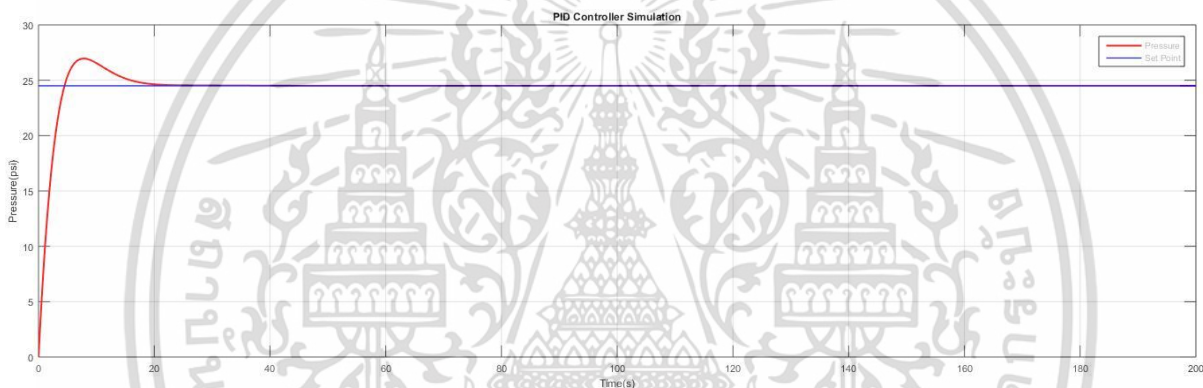
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ความดัน 17.5 psi วาล์วเปิด 53%



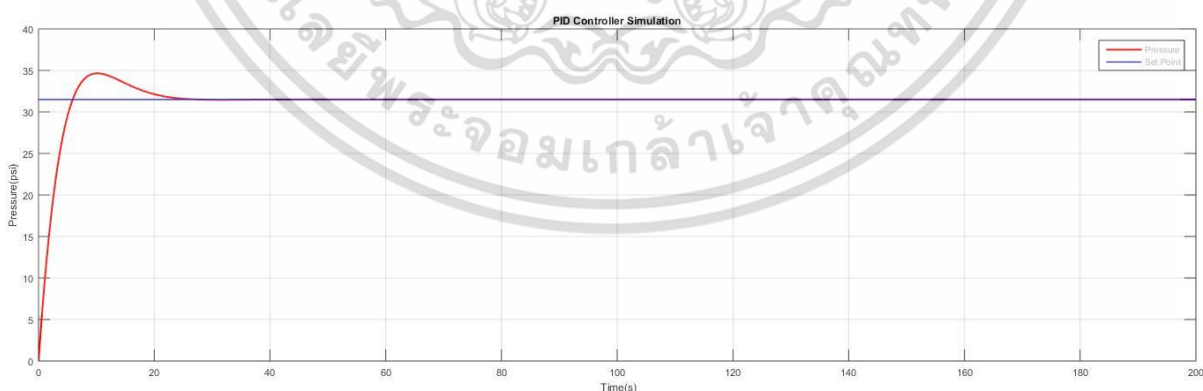
รูปที่ 4.3 ความดัน 17.5 psi เปิดวาล์ว 53%ในการควบคุม PID controller simulation

4. ความดัน 24.5 psi วาล์วเปิด 55%



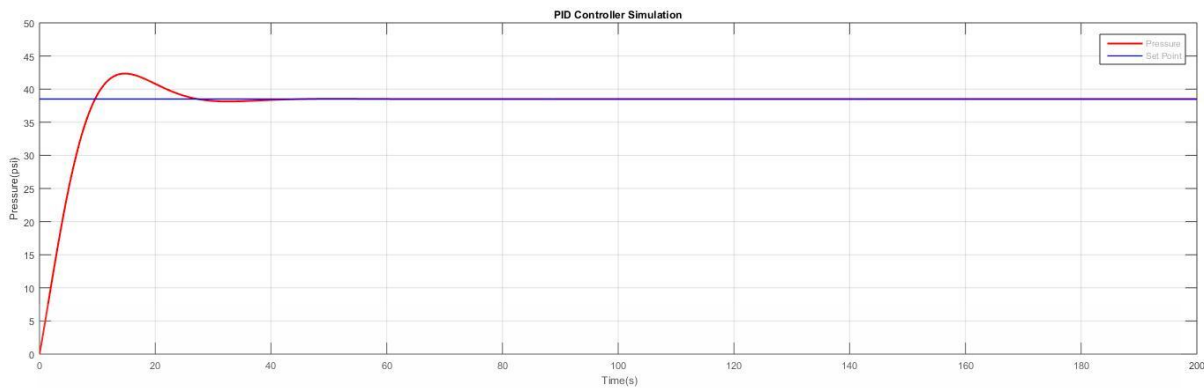
รูปที่ 4.4 ความดัน 24.5 psi เปิดวาล์ว 55%ในการควบคุม PID controller simulation

5. ความดัน 31.5 psi วาล์วเปิด 58%



รูปที่ 4.5 ความดัน 31.5 psi เปิดวาล์ว 58%ในการควบคุม PID controller simulation

6. ความดัน 38.5 psi วาล์วเปิด 65%



รูปที่ 4.6 ความดัน 38.5 psi เปิดวาล์ว 65%ในการควบคุม PID controller simulation

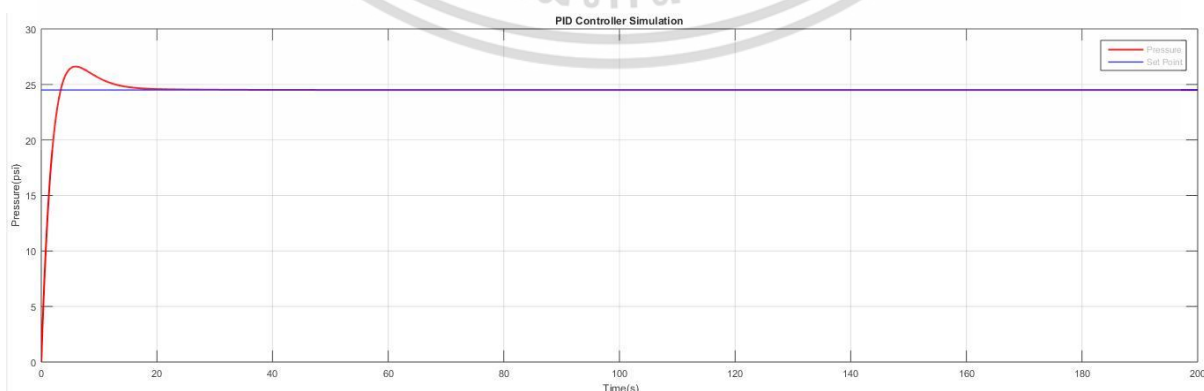
เมื่อนำค่า K_c , T_i และ T_d จากการทดลองจริงพบว่า เมื่อกำหนดค่า K_c น้อยกว่า 0.4 วาล์วจะไม่เคลื่อนที่ ดังนั้นเพื่อให้ K_c มีค่ามากกว่า 0.4 โดยทำการคูณด้วยค่าคงที่ทั้ง 3 ค่า K_p , K_i และ K_d

ตารางที่ 4.1 Gain scheduling ของ PID controller หลังการแก้ไข

Pressure	Constant	K_p	K_i	K_d	$T_i(\text{min})$	$T_d(\text{min})$	K_c
0-7 psi		9.396808	1.626025	10.23551	9.396808	0.096317	0.018154
7-14 psi		2.085757	0.315731	3.147789	0.110102	0.025153	2.085757
14-21 psi		0.597564	0.053847	0.939078	0.184956	0.026192	0.597564
21-28 psi	1.5	0.532453	0.040042	1.396451	0.221621	0.043711	0.532453
28-35 psi	3	0.469868	0.044711	1.194741	0.175149	0.042379	0.469868
35-42 psi	10	0.451127	0.053741	0.846281	0.139908	0.031265	0.451127

เมื่อได้ค่า Gain scheduling ตารางใหม่มาแล้ว จึงนำค่าต่างๆที่ได้ ไปใช้ในการควบคุมความดันที่ถึงที่ 2 (Output)

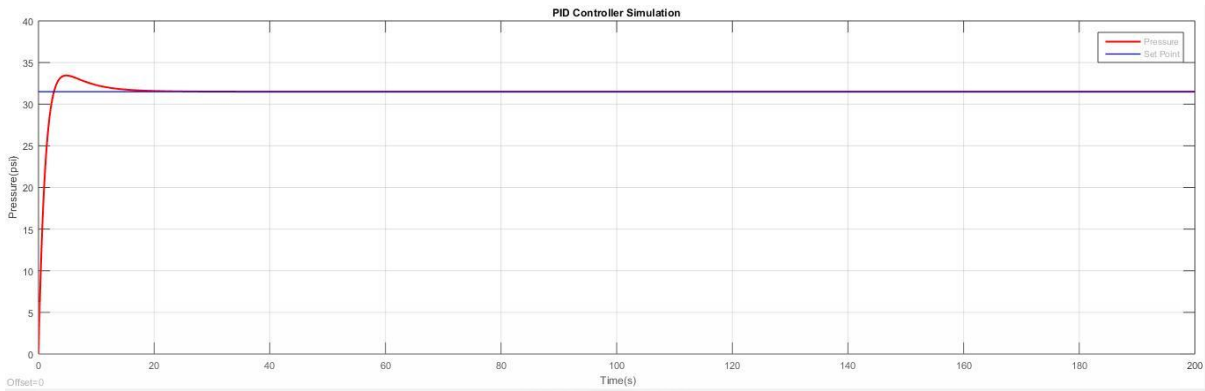
1. ความดัน 24.5 psi วาล์วเปิด 55%



รูปที่ 4.7 เปิดวาล์ว 55%

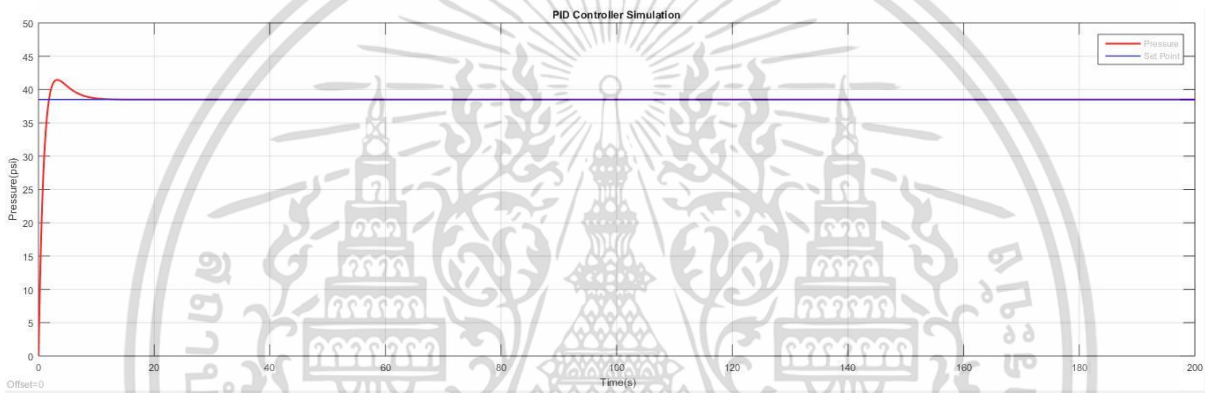
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ความดัน 31.5 psi วาล์วเปิด 58%



รูปที่ 4.8 เปิดวาล์ว 58%

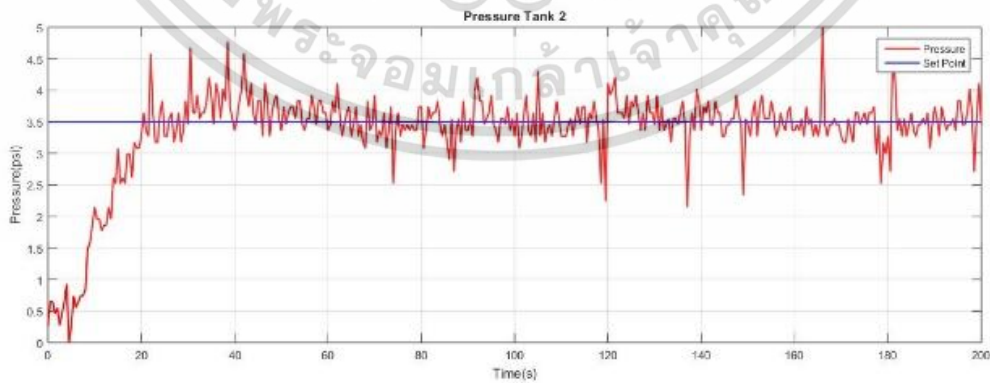
3. ความดัน 38.5 psi วาล์วเปิด 65%



รูปที่ 4.9 เปิดวาล์ว 65%

4.2 ผลการทดลองจริง ในการควบคุม PID

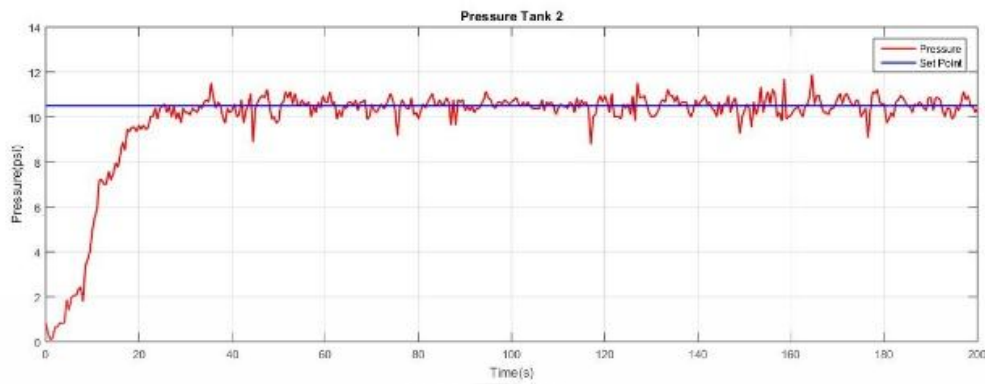
1. Set point 3.5 psi



รูปที่ 4.10 กราฟที่ได้จากการควบคุมที่ Set point 3.5 psi

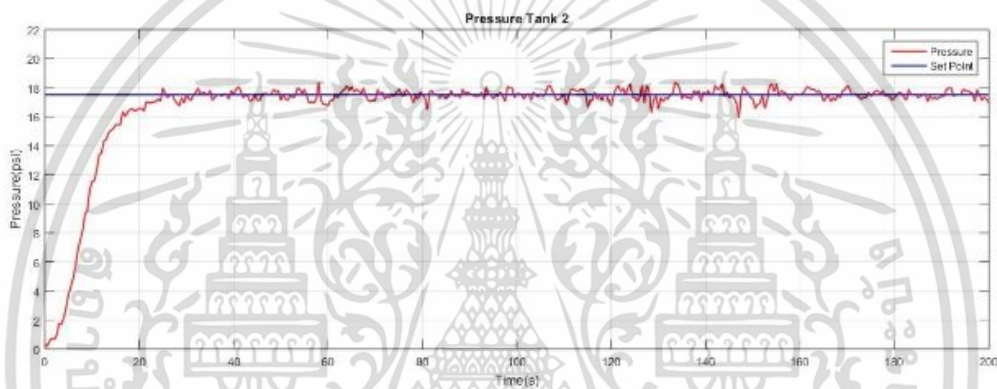
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. Set point 10.5 psi



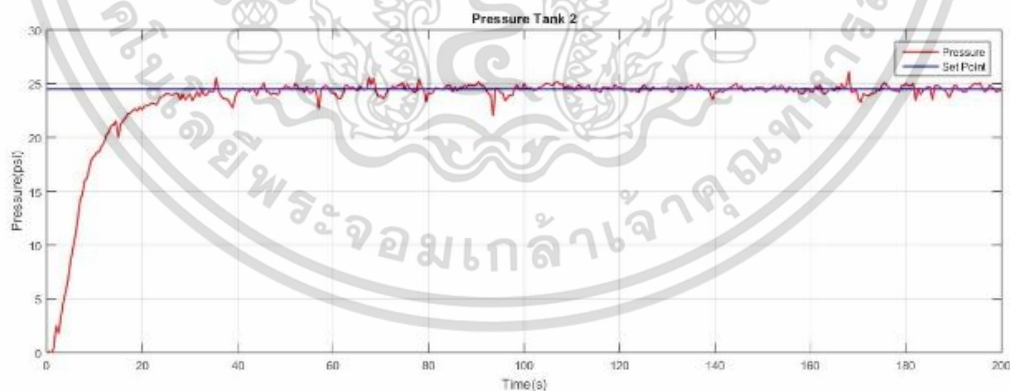
รูปที่ 4.11 กราฟที่ได้จากการควบคุมที่ Set point 10.5 psi

3. Set point 17.5 psi



รูปที่ 4.12 กราฟที่ได้จากการควบคุมที่ Set point 17.5 psi

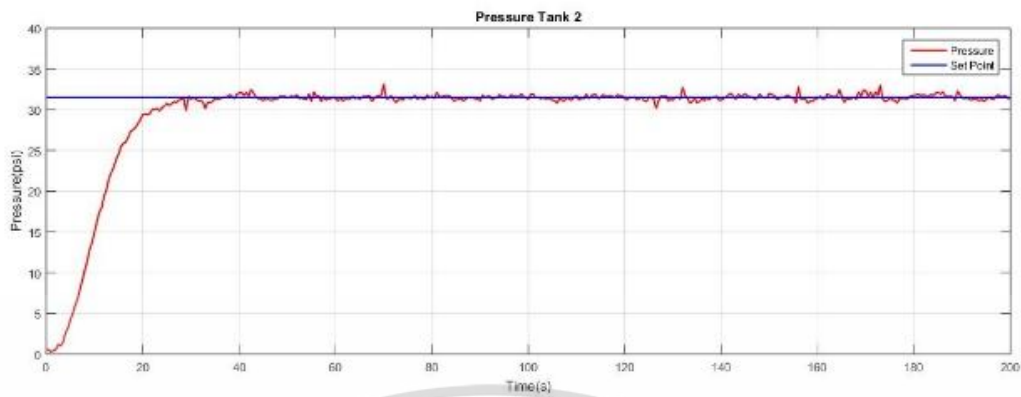
4. Set point 24.5 psi



รูปที่ 4.13 กราฟที่ได้จากการควบคุมที่ Set point 24.5 psi

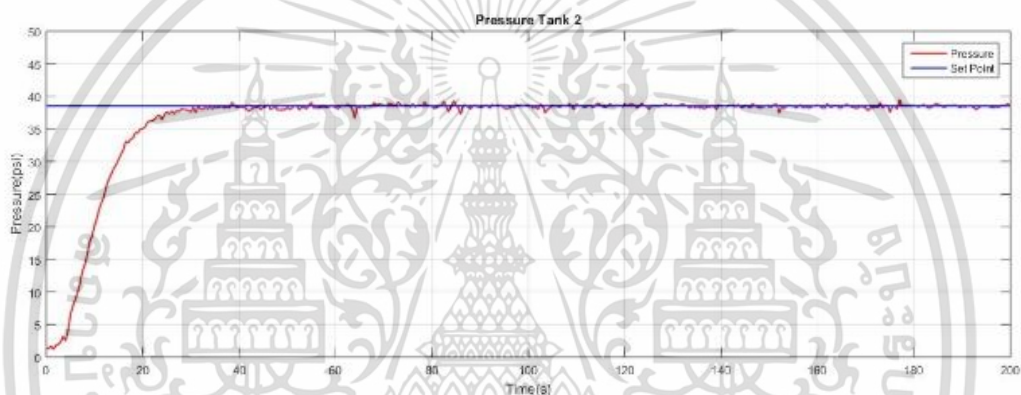
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา แล 50 ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. Set point 31.5 psi



รูปที่ 4.14 กราฟที่ได้จากการควบคุมที่ Set point 31.5 psi

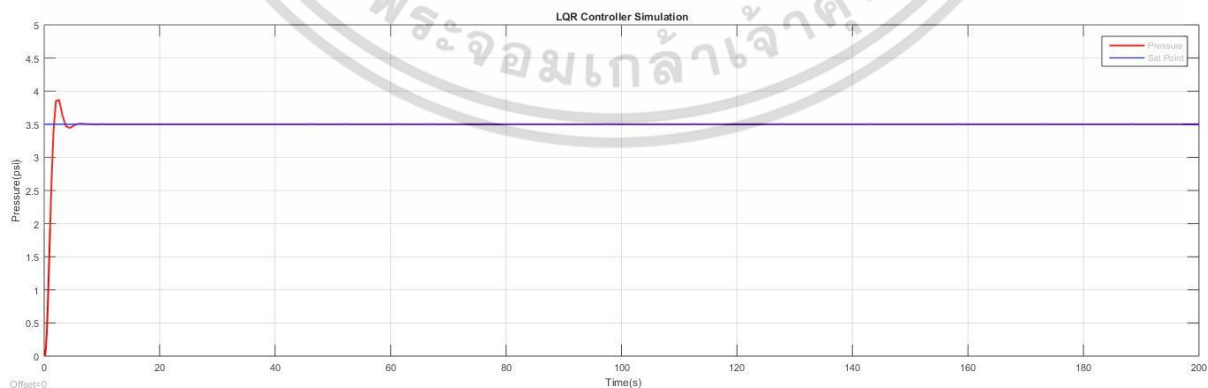
6. Set point 38.5 psi



รูปที่ 4.15 กราฟที่ได้จากการควบคุมที่ Set point 38.5 psi

4.3 ผลการทดลอง Simulink ในการควบคุม LQR

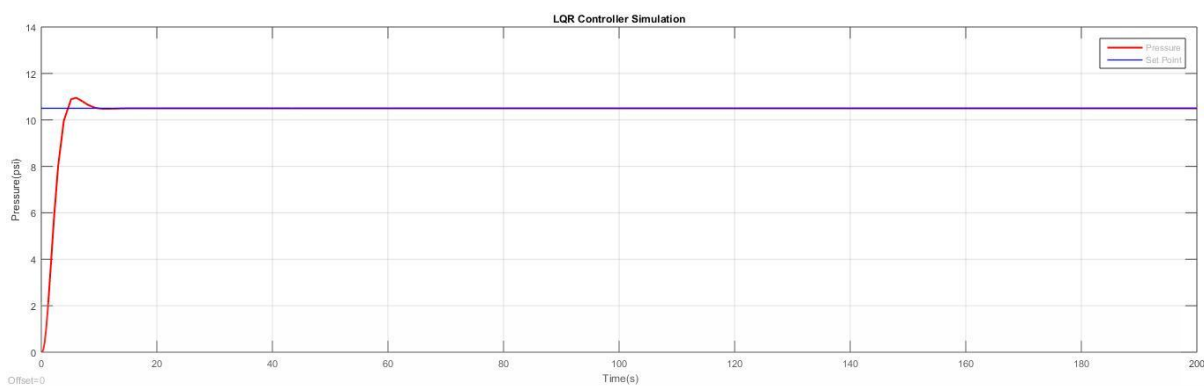
1. ความดัน 3.5 psi วาล์วเปิด 40%



รูปที่ 4.16 ความดัน 3.5 psi เปิดวาล์ว 40%ในการควบคุม LQR controller simulation

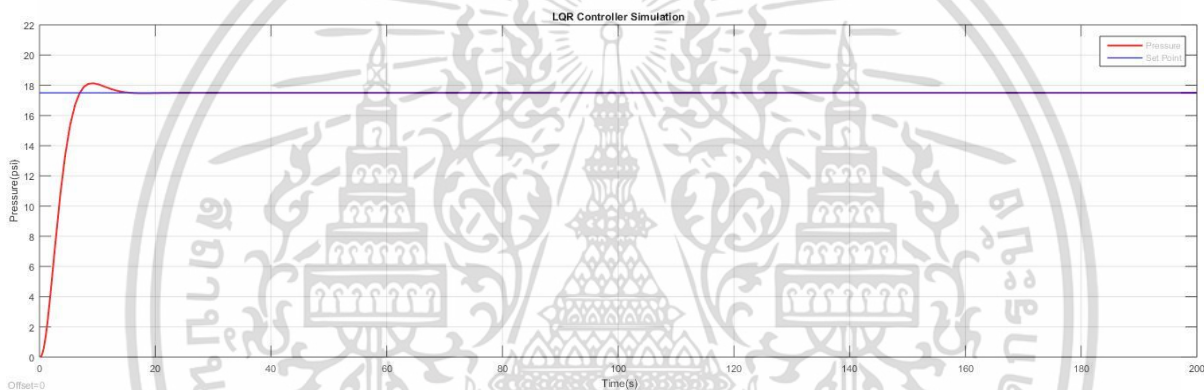
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ความดัน 10.5 psi วาล์วเปิด 51%



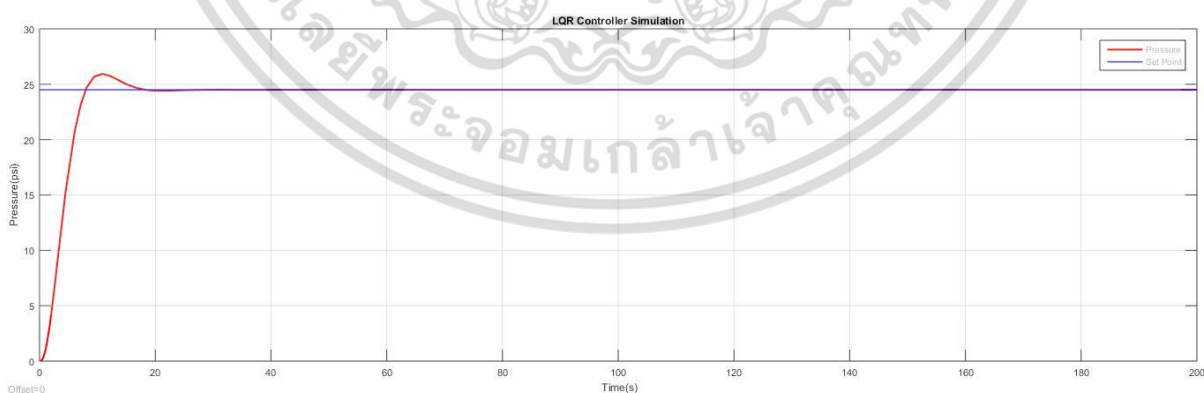
รูปที่ 4.17 ความดัน 10.5 psi เปิดวาล์ว 51%ในการควบคุม LQR controller simulation

3. ความดัน 17.5 psi วาล์วเปิด 53%



รูปที่ 4.18 ความดัน 17.5 psi เปิดวาล์ว 53%ในการควบคุม LQR controller simulation

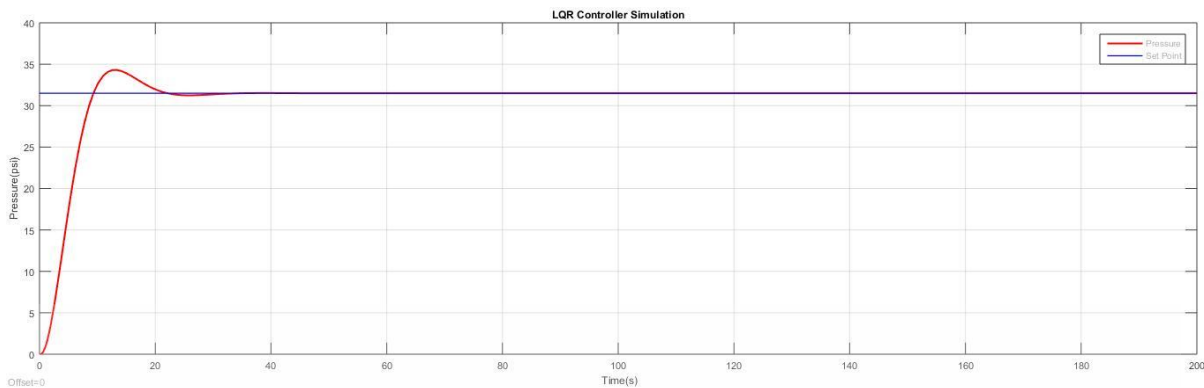
4. ความดัน 24.5 psi วาล์วเปิด 55%



รูปที่ 4.19 ความดัน 24.5 psi เปิดวาล์ว 55%ในการควบคุม LQR controller simulation

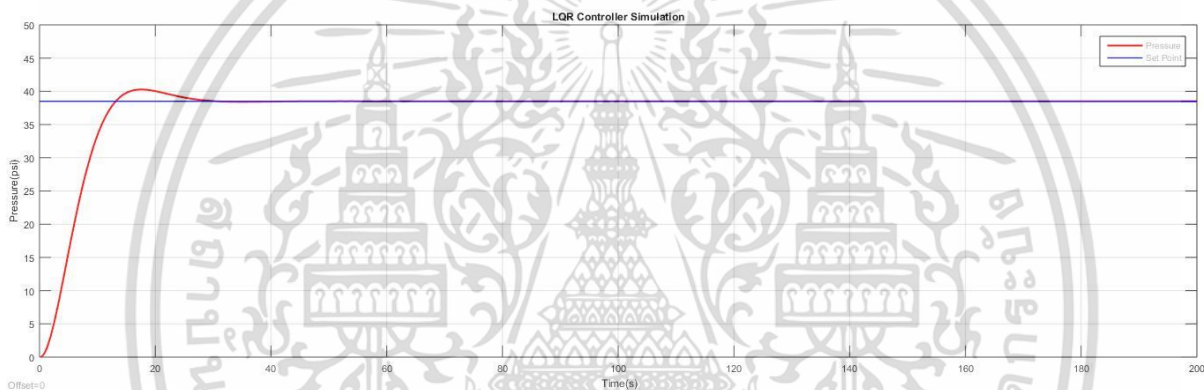
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ความดัน 31.5 psi วาล์วเปิด 58%



รูปที่ 4.20 ความดัน 31.5 psi เปิดวาล์ว 58%ในการควบคุม LQR controller simulation

6. ความดัน 38.5 psi วาล์วเปิด 65%



รูปที่ 4.21 ความดัน 38.5 psi เปิดวาล์ว 65%ในการควบคุม LQR controller simulation

4.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง PID controller และ LQR controller

เมื่อทำ simulation ของตัวอย่างทั้งหมดจนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์ จากนั้นจึงนำมาเปรียบเทียบผลลัพธ์ของการควบคุมทั้งสองอย่าง

ตารางที่ 4.2 แสดงการเปรียบเทียบระหว่าง PID controller และ LQR controller

Pressure	PID Controller			LQR Controller		
	Ts(s)	Tr(s)	IAE	Ts(s)	Tr(s)	IAE
0-7 psi	4	0.678	1.761	3.98	1.39	3.606
7-14 psi	8	1.21	10.67	7.63	2.72	23.78
14-21 psi	12	2.41	32.63	11.72	4.32	58.97
21-28 psi	16	3.27	44.02	15.41	5.11	104.8
28-35 psi	20	4.28	40.77	19.53	6.12	171.8
35-42 psi	24	7.07	35.57	23.76	8.42	251.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปรียบเทียบเกี่ยวกับการจำลองตัวควบคุม PID และการจำลองตัวควบคุม LQR

- การจำลองตัวควบคุม PID มีการจ่ายเวลาเท่ากับตัวควบคุม LQR
- การจำลองตัวควบคุม PID มีเวลาเพิ่มขึ้นน้อยกว่าคอนโทรลเลอร์ LQR
- การจำลองตัวควบคุม PID มีข้อผิดพลาดแบบสัมบูรณ์ (IAE) น้อยกว่าตัวควบคุม LQR

ผลลัพธ์เหล่านี้แสดงว่าการจำลองตัวควบคุม PID เหมาะสมกว่าการจำลองตัวควบคุม LQR ในกรณีนี้



บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษาการออกแบบตัวควบคุม PID และ LQR โดยการระบุระบบของระบบตัวแปรต่างๆ เพื่อใช้ในการควบคุมระบบเพื่อสร้างตารางการรับเพื่อการควบคุมที่เหมาะสม โปรแกรม Matlab ใช้เพื่อค้นหาพารามิเตอร์และจำลองคอนโทรลเลอร์เพื่อดูความสามารถในการควบคุมและโปรแกรม Labview เพื่อเชื่อมต่อกับถังแรงดันเพื่อรวบรวมข้อมูลและทดลองในการควบคุม

จากการจำลองทั้งตัวควบคุม PID และ LQR ในกรณีนี้พบว่าตัวควบคุมแบบ PID นั้นเหมาะสมกว่าเพราะมันมีเวลา settling time ใกล้เคียงกัน นอกจากนี้ตัวควบคุม PID มีเวลาเพิ่มขึ้นและข้อผิดพลาดสัมบูรณ์แบบสมบูรณ์ (IAE) ที่น้อยกว่าตัวควบคุม LQR

5.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา

จากการออกแบบตัวควบคุมและทดลองพบว่า ผลตอบสนองสามารถให้ Settling time ที่เร็วกว่าเดิม 2 ถึง 3 เท่าก่อนการออกแบบตัวควบคุม และที่สำคัญสามารถกำจัดค่าความผิดพลาดในสถานะคงตัวได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่เนื่องจากว่าอุปกรณ์ค่อนข้างเก่าจึงเกิดปัญหาในการทดลอง ความคลาดเคลื่อนจากการทดลองที่ได้มาจากความไม่แม่นยำของอุปกรณ์เซนเซอร์วัดรวมไปถึงความไม่ชำนาญในอุปกรณ์ที่มากพอของคณะผู้จัดทำ

หากมีผู้ที่สนใจต้องการศึกษาต่อ แนะนำดังนี้

- Pressure Transmitter ควรได้รับการสอบเทียบ
- ควรแยก Air Compressor ไม่ต่อรวมกับอุปกรณ์อื่น
- การทดลองแต่ละควรทำการ warm up และทำการปรับ offset error ทุกครั้ง เนื่องจากส่งผลต่อหา

โมเดลโดย System Identification

บรรณานุกรม

[1] โศรฎา แซ่เงงการ. การใช้ Matlab สําหรับงานทางวิศวกรรม.

http://pirun.ku.ac.th/~fengslj/02212471/suppl1/matlab_thai.pdf

[2] Karl J Åström, Björn Wittenmark. Computer-Controlled Systems: Theory and Design. พิมพ์ครั้งที่ 3. 1997.

[3] Shankar P. Bhattacharyya, Aniruddha Datta, L.H. Keel. Linear control theory : structure, robustness, and optimization. 2009.

[4] Stanislaw H. Zak. Systems and Control. 2002.

[5] T Dougherty. Systems & control: an introduction to linear, sampled & non-linear systems. 1995.

[6] Robert H. Bishop. Modern control systems: analysis and design using MATLAB. 1993.

[7] สิทธิโชค สุขมี, วิริยะ กองรัตน์. การพัฒนาแบบจำลองคณิตศาสตร์ของระบบถึงความดันอากาศแบบปฏิสัมพันธ์เพื่อการออกแบบตัวควบคุม. 2559

<http://www.tsme.org/home/phocadownload/MENETT30/DRC/drc0003.pdf>

[8] Deacha Puangdownreong. Effect Assessment and Design of Industrial PID Controllers for Process with Time Delay. 2008

<http://www3.eng.psu.ac.th/pec/6/pec6/paper/EE/PEC6OR080.pdf>

[9] ทศพล ศรีสุ่มังคังกูร และ บุญมั่น แสงสุชีลักษณ์. การควบคุมแนวรักษาความสมดุลโดยใช้ตัวควบคุมแบบ LQR. <http://research.rmutsb.ac.th/fullpaper/2557/2557239875668.pdf>



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

1.การทำ System Identification โดยโปรแกรม MATLAB

1.1 การดึงข้อมูลจาก excel เพื่อหาค่าพารามิเตอร์

```
1 - clear
2 - clc
3
4  %ค่าคงที่
5 - V = 0.2473;
6 - R = 10.73;
7 - gamma = 0.00263;
8 - T = 520;
9 - Ps = 58.8;
10 - Patm = 14.7;
11
12 %ที่วาล์วเปิด 60%
13 - alpha_60 = 60;
14 - VP_60 = 0.60;
15
16 - P1_60 = 39.52532555; % P1 at VP=60%
17 - P2_60 = 32.18664921; % P2 at VP=60%
18
19 %สูตรค่า q1
20 - q1_60 = exp(log(alpha_60)*VP_60)*sqrt(Ps*(Ps-P1_60))/alpha_60;
21
22 %หาค่า CV
23 - CV1_60 = q1_60/(sqrt(P1_60*(P1_60-P2_60)));
24 - CV2_60 = CV1_60*sqrt(P1_60*(P1_60-P2_60))/(sqrt(P2_60*(P2_60-Patm)));
25
```

รูปที่ 1 Code การดึงข้อมูลจาก excel ในโปรแกรม MATLAB[1]

```

26 %หาค่า C1 C2 C3 C4 C5
27 - C1=sqrt(Ps*(Ps-P1_60))*exp(log(alpha_60)*VP_60)*log(alpha_60)/alpha_60;
28
29 - C2=exp(log(alpha_60)*VP_60)*((0.5)*(Ps^2-Ps*P1_60)^(-0.5))*(-Ps)/alpha_60;
30
31 - C3=CV1_60*((0.5)*(P1_60^2-P2_60*P1_60)^(-0.5))*(2*P1_60-P2_60);
32
33 - C4=CV1_60*((0.5)*(P1_60^2-P2_60*P1_60)^(-0.5))*(-P2_60);
34
35 - C5=CV2_60*((0.5)*((P2_60^(2))-(P2_60*Patm))^(-0.5))*((2*P2_60)-Patm);
36
37 %หาค่า K1 K2 K3
38 - K1=C1/(C3-C2);
39 - K2=C4/(C3-C2);
40 - K3=C3/(C5-C4);
41
42 %หาค่า time constant
43 - tau1=(V/(gamma*R*T))*(1/(C3-C2));
44 - tau2=(V/(gamma*R*T))*(1/(C5-C4));

```

รูปที่ 2 Code การดึงข้อมูลจาก excel ในโปรแกรม MATLAB[2]

1.2 ส่วนการทำ System Identification

```

1 - clear %ล้าง work space
2 - clc %ล้าง command window
3
4 %เรียกดัชนีแปรที่เก็บค่าได้จาก Plant
5 - load P60.mat %เรียกข้อมูลจากไฟล์ EXCEL ที่ทำการเก็บค่าที่เวลาเปิด 60%
6 - P1_60 = P60(:,2); %ข้อมูลจาก Pressure Transmitter ค่าที่1 เก็บไว้ที่ Column ที่ 2 ใน EXCEL
7 - P2_60 = P60(:,1); %ข้อมูลจาก Pressure Transmitter ค่าที่2 เก็บไว้ที่ Column ที่ 1 ใน EXCEL
8 - t_60 = P60(:,3); %ข้อมูลเวลา เก็บไว้ที่ Column ที่ 3 ใน EXCEL
9 - Vp_60 = P60(:,4); %ข้อมูลการเปิดคาลา เก็บไว้ที่ Column ที่ 4 ใน EXCEL (0.6)
10
11 %อินทิเกรต
12 - IntP1_60 = cumtrapz(t_60,P1_60); %ค่าสั่งในการอินทิเกรตค่า P1 เทียบกับเวลา
13 - IntP2_60 = cumtrapz(t_60,P2_60); %ค่าสั่งในการอินทิเกรตค่า P2 เทียบกับเวลา
14 - IntVp_60 = cumtrapz(t_60,Vp_60); %ค่าสั่งในการอินทิเกรตค่า Vp เทียบกับเวลา
15
16 %หาค่าคอมของหลายตัวแปรโดยใช้ Matrix Ap = b
17 - M1=[t_60.^0 0*t_60.^0;
18 - 0*t_60.^0 t_60.^0];
19
20 - J1=[IntP1_60 IntP2_60];
21 - M2=[J1 zeros(length(t_60),2);
22 - zeros(length(t_60),2) J1];
23
24 - M3=[IntVp_60; zeros(length(t_60),1)];
25
26 - A = [M1 M2 M3]
27 - b = [P1_60;P2_60]
28
29 - sol = A\b
30

```

รูปที่ 3 Code System Identification ในโปรแกรม MATLAB[1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

31 %Parameter y10 y20 a1 a3 b2 b1 a2
32 Sol = A\b; %การคำนวณหาตัวแปร (p) แล้วนำไปใส่ค่าใน Sol
33 y10 = Sol(1); %ใส่ค่าที่1 จากตัวแปร Sol = y10
34 a1 = (-1)*Sol(3); %ใส่ค่าที่2 จากตัวแปร Sol = a1
35 a2 = Sol(7); %ใส่ค่าที่3 จากตัวแปร Sol = a2
36 a3 = (-1)*Sol(4); %ใส่ค่าที่4 จากตัวแปร Sol = a3
37
38
39 y20 = Sol(2); %ใส่ค่าที่1 จากตัวแปร y20Mat = y20
40 b1 = (-1)*Sol(6); %ใส่ค่าที่2 จากตัวแปร y20Mat = b1
41 b2 = Sol(5); %ใส่ค่าที่3 จากตัวแปร y20Mat = b2
42
43
44
45 %กราฟ P1_60 P2_60 และ เปรียบเทียบ
46 figure(1);
47 plot(t_60,P1_60,'r'); %รูปที่1 plotกราฟP1(สีแดง)
48 title('P1 Vp 60%');
49 xlabel('Time(s)');
50 ylabel('P(psi)');
51
52 figure(2);
53 plot(t_60,P2_60,'b'); %รูปที่2 plotกราฟP2(สีน้ำเงิน)
54 title('P2 Vp 60%');
55 xlabel('Time(s)');
56 ylabel('P(psi)');
57

```

รูปที่ 4 Code System Identification ในโปรแกรม MATLAB[2]

```

58 figure(3);
59 plot(t_60,P1_60,'r',t_60,P2_60,'b'); %รูปที่3 plotกราฟP1(สีแดง), P2(สีน้ำเงิน)
60 title(' P1,P2 Vp 60%');
61 xlabel('Time(s)');
62 ylabel('P(psi)');
63
64 %Model y1,y2 จากสมการ
65 y1 = y10-a1*cumtrapz(t_60,P1_60)+a2*cumtrapz(t_60,Vp_60)-a3*cumtrapz(t_60,P2_60); %สมการ Model y1
66 y2 = y20-b1*cumtrapz(t_60,P2_60)+b2*cumtrapz(t_60,P1_60); %สมการ Model y2
67
68 figure(4);
69 plot(t_60,y1,'g'); %รูปที่4 plotกราฟ Model y1(สีเขียว)
70 title('Model y1');
71 xlabel('Time(s)');
72 ylabel('P(psi)');
73
74 figure(5);
75 plot(t_60,y2,'y'); %รูปที่5 plotกราฟ Model y2 (สีเหลือง)
76 title('Model y2');
77 xlabel('Time(s)');
78 ylabel('P(psi)');
79
80 figure(6);
81 plot(t_60,y1,'g',t_60,y2,'y'); %รูปที่6 plotกราฟ Model y1(สีเขียว),y2(สีเหลือง)
82 title('Model y1,y2');
83 xlabel('Time(s)');
84 ylabel('P(psi)');
85

```

รูปที่ 5 Code System Identification ในโปรแกรม MATLAB[3]

```

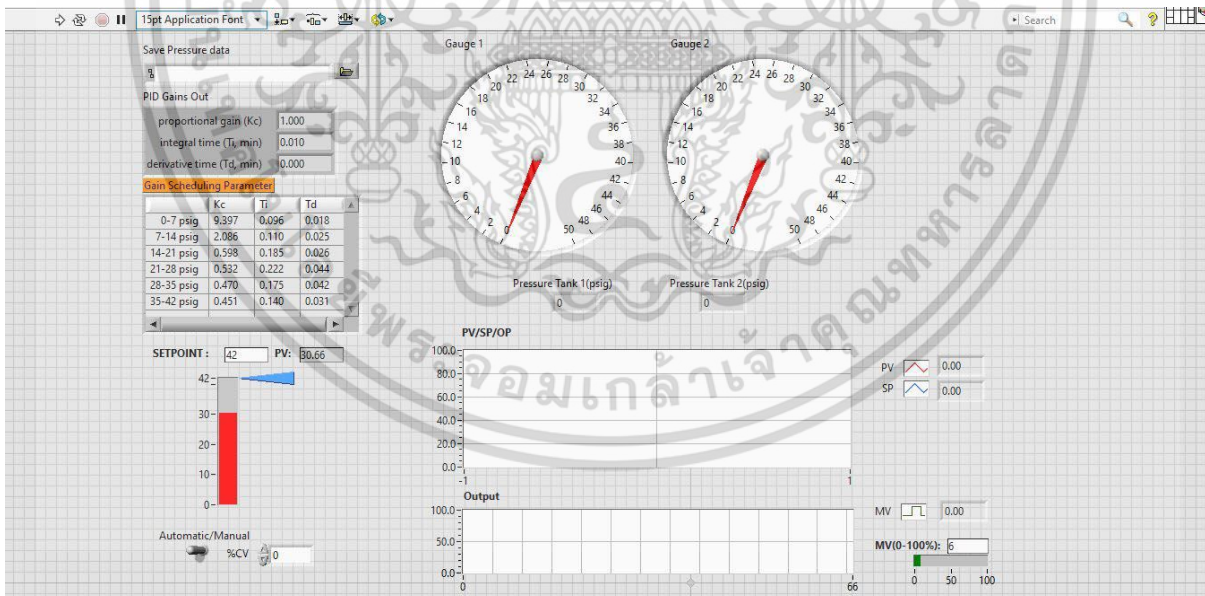
86 - figure(7);
87 - plot(t_60,y1,'g',t_60,P1_60,'r');           %รูปที่7 plotกราฟ Model y1 (สีเขียว), P1 (สีแดง)
88 - title('Model y1,P1');
89 - xlabel('Time(s)');
90 - ylabel('P(psi)');
91
92 - figure(8);
93 - plot(t_60,y2,'y',t_60,P2_60,'b');         %รูปที่8 plotกราฟ Model y2 (สีเหลือง), P2 (สีน้ำเงิน)
94 - title('Model y2,P2');
95 - xlabel('Time(s)');
96 - ylabel('P(psi)');
97
98 - figure(9);
99 - plot(t_60,y1,'g',t_60,y2,'y',t_60,P1_60,'r',t_60,P2_60,'b');
100 %รูปที่9 plotกราฟ Model y1 (สีเขียว), y2 (สีเหลือง), P1 (สีแดง), P2 (สีน้ำเงิน)
101 title('Model y1,1 and Model y2,2');
102 xlabel('Time(s)');
103 ylabel('P(psi)');
104
105 %หาค่า tau1 tau2 K1 K2 K3
106 tau1 = 1/a1;
107 tau2 = 1/b1;
108 K1 = a2*tau1;
109 K2 = a3*tau1;
110 K3 = b2*tau2;

```

รูปที่ 6 Code System Identification ในโปรแกรม MATLAB[4]

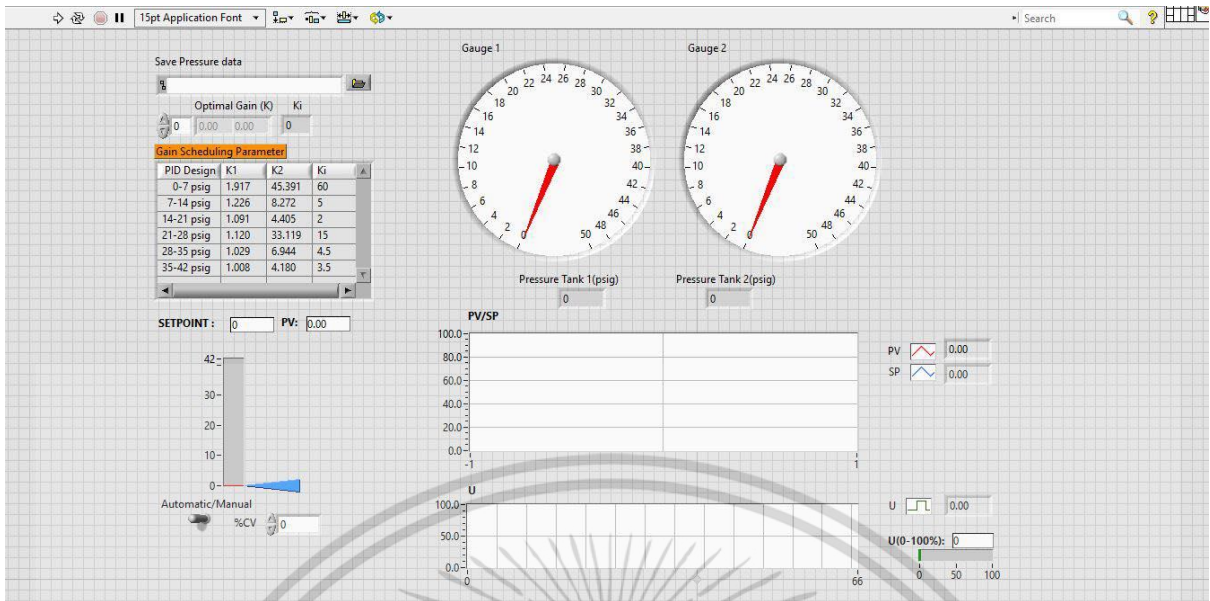
2. โปรแกรม LABVIEW

เมื่อสร้างไฟล์โปรแกรม LABVIEW จะมีหน้าต่างขึ้นมา 2 ส่วนได้แก่ ส่วน Front Panel ซึ่งเป็นส่วนที่ทำหน้าที่ในการแสดงผลสู่ผู้ใช้งาน และ ส่วน Block diagram ทำหน้าที่เป็นส่วนโปรแกรมในการควบคุม

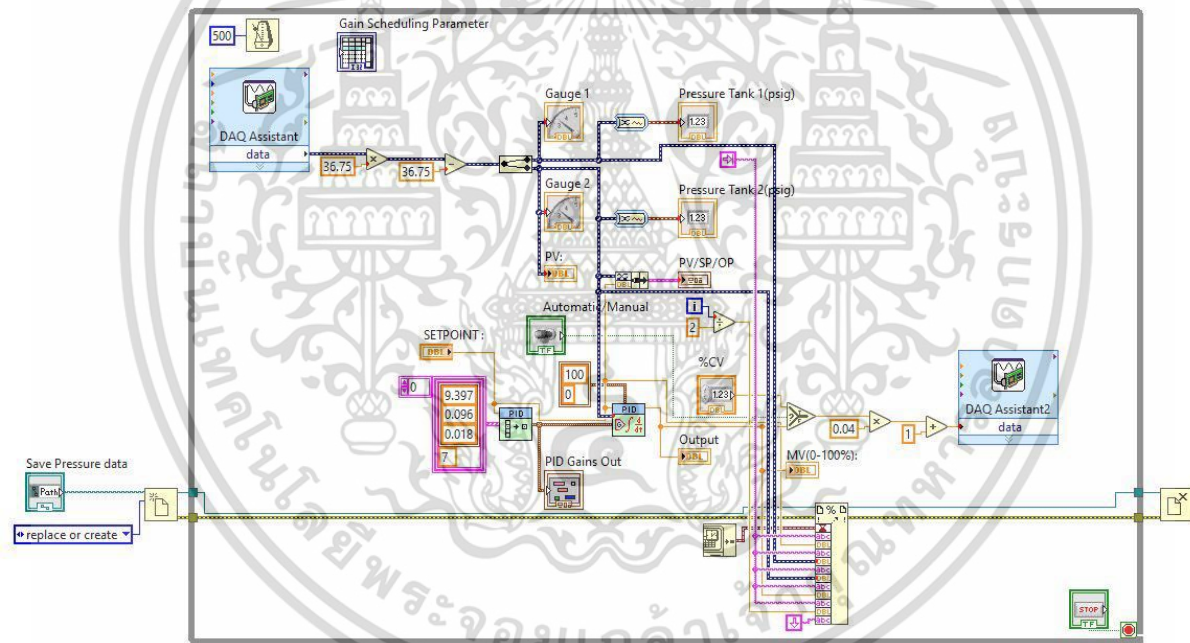


รูปที่ 7 Front Panel ของ PID controller

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

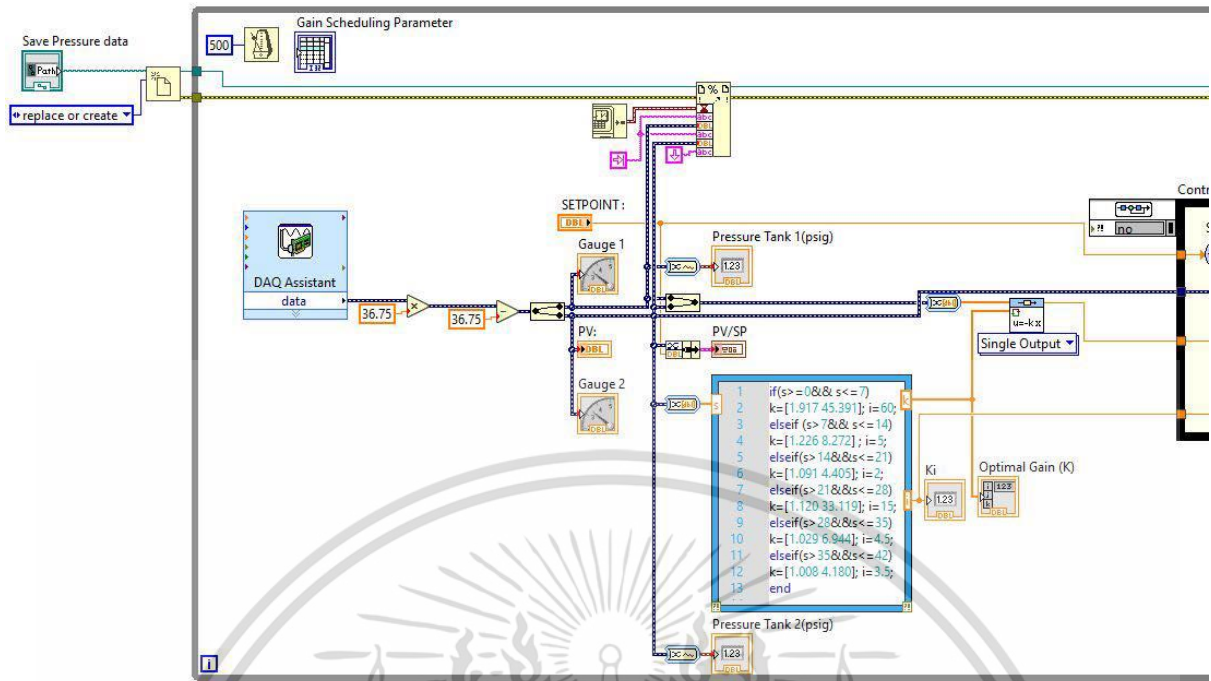


รูปที่ 8 Front Panel ของ LQR controller

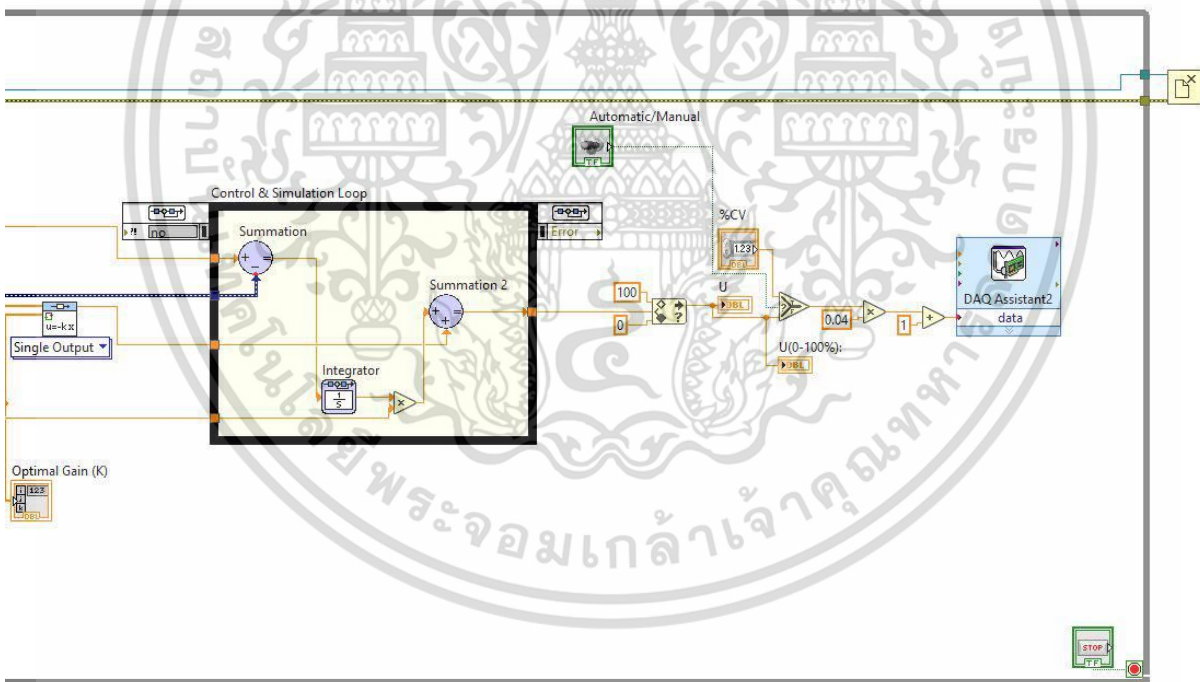


รูปที่ 9 Block diagram ของ PID controller

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 10 Block diagram ของ LQR controller[1]



รูปที่ 11 Block diagram ของ LQR controller[2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้