

การศึกษาเปรียบเทียบผลตอบสนองของการควบคุมระหว่างวงรอบเดี่ยว
และวงรอบคาสเคด
A STUDY OF COMPARISON CONTROL RESPONSES BETWEEN
SINGLE AND CASCADE LOOPS



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

การศึกษาเปรียบเทียบผลตอบสนองการควบคุมระหว่างวงรอบเดี่ยว
และวงรอบคาสเคด

A STUDY OF COMPARISON CONTROL RESPONSES BETWEEN
SINGLE AND CASCADE LOOPS



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A STUDY OF COMPARISON CONTROL RESPONSES BETWEEN
SINGLE AND CASCADE LOOPS



TANAWAT KAEWPRADUB
TEERAPONG UNLUM
NUNTHAWAT TONGPET

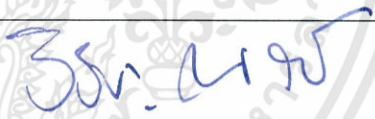
A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING
FACTULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2559
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

หัวข้อปริญญาานิพนธ์ การศึกษาเปรียบเทียบผลตอบสนองการควบคุม
ระหว่างวงรอบเดี่ยวและวงรอบคาสเคด
A STUDY OF COMPARISON CONTROL RESPONSES
BETWEEN SINGLE AND CASCADE LOOPS

นักศึกษาผู้จัดทำ นายธนวัฒน์ แก้วประดับ รหัสนักศึกษา 56010551
นายธีรพงษ์ อุ่นลุม รหัสนักศึกษา 56010617
นายณันท์วัฒน์ ทองเพชร รหัสนักศึกษา 56010671
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมการวัดคุม
ปีการศึกษา 2559

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาานิพนธ์	ลายมือชื่อ
รองศาสตราจารย์วิริยะ กองรัตน์	

หัวข้อปริญญาานิพนธ์	การศึกษาการเปรียบเทียบผลตอบสนองการควบคุมระหว่างวงรอบเดี่ยวและวงรอบคาสเคด			
	A STUDY OF COMPARISON CONTROL RESPONSES BETWEEN SINGLE AND CASCADE LOOPS			
นักศึกษาผู้จัดทำ	นายธวัชวัฒน์	แก้วประดับ	รหัสนักศึกษา	56010551
	นายธีรพงษ์	อุ้นลุม	รหัสนักศึกษา	56010617
	นายณัฏฐวัฒน์	ทองเพชร	รหัสนักศึกษา	56010671
อาจารย์ที่ปรึกษา ปีการศึกษา	รองศาสตราจารย์วิริยะ	กองรัตน์		
	2559			

บทคัดย่อ

โครงการฉบับนี้นำเสนอวิธีการการเปรียบเทียบผลตอบสนองของการควบคุมระหว่างวงรอบเดี่ยวและการควบคุมแบบวงรอบคาสเคด โดยวิธีการจำลองระบบกระบวนการผ่านโปรแกรม MATLAB ซึ่งมีข้อดีคือสามารถจำลองระบบทั้งระบบของแพลนท์ที่ยังสามารถปรับค่าพารามิเตอร์ควบคุมต่างๆ เช่น พารามิเตอร์ PID ฟังก์ชันถ่ายโอน เป็นต้น ทำให้เราสามารถจำลองระบบและศึกษาผลตอบสนองจากโปรแกรม MATLAB แทนการสร้างแพลนท์ขึ้นจริงซึ่งอาจเกิดปัญหาด้านค่าใช้จ่ายที่สูง เริ่มจากการสร้างรูปแบบทางคณิตศาสตร์คุณลักษณะของอุปกรณ์ต่างๆ แล้วทำการวิเคราะห์เสถียรภาพ นำค่าที่ได้มาวิเคราะห์ในโปรแกรม MATLAB ทำการปรับค่าให้สามารถใช้งานได้ และนำผลที่ได้ไปใช้ในการเปรียบเทียบระหว่างการควบคุมทั้ง 2 ว่ามีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันอย่างไร การนำไปใช้กับอุตสาหกรรมควรเลือกการควบคุมแบบไหนถึงจะเหมาะกับการใช้งาน โดยทำการเปรียบเทียบความสามารถในการควบคุมค่ากระบวนการให้เข้าสู่ค่าเป้าหมายได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำ พร้อมทั้งเปรียบเทียบความสามารถในการรักษาภาวะคงที่เมื่อเกิดสัญญาณรบกวนจากภายนอกระบบ ผลการทดลองพบว่าการควบคุมทั้งสองระบบมีผลดีและผลเสียแตกต่างกันไป การเลือกใช้ระบบควบคุมจึงขึ้นอยู่กับกระบวนการที่ต้องการควบคุม ว่าเหมาะสมกับพฤติกรรมของการควบคุมแบบใด ระบบควบคุมแบบวงรอบเดี่ยวเหมาะกับกระบวนการที่ต้องการความรวดเร็วในการควบคุมค่ากระบวนการให้เข้าใกล้ค่าเป้าหมาย เช่น การควบคุมนิรภัย เป็นต้น ส่วนการควบคุมแบบวงรอบคาสเคดเหมาะกับกระบวนการที่มี Time constant มากๆ และต้องการความแม่นยำในการควบคุมเช่น การควบคุมระดับน้ำ เป็นต้น

Thesis Title	A STUDY OF COMPARISON CONTROL RESPONSES BETWEEN SINGLE AND CASCADE LOOPS	
Authors	Mr.Tanawat	Keawpradub
	Mr.Teerapong	Unlum
	Mr.Nanthawat	Tongpet
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Viriya	Kongratana
Year	2016	

ABSTRACT

This project investigates the control performances of a single loop controller, in comparison to a cascade loop controller. Specifically, a mathematical model describing the characteristics of the level plant is firstly developed in MATLAB, upon which a stability analysis is conducted. The two controllers are then designed using the developed mathematical model, with their responses, namely transient and rise times, compared. Additionally, the ability to maintain steady state in the presence of disturbances is also compared. Results showed that the cascade loop controller outperformed the single loop controller in both aspects. However, both the cascade controller and the single loop controller each has its own advantage and disadvantage. Here the choice of the controller architecture to be used, depend on the process to be controlled. Single loop control architecture is suitable for process requiring fast responses to quickly reach the target, such as safety control. Cascade control architecture is suited to processes with larger time constants, and require greater precision. An example of such processes is water level control.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์วิริยะ กองรัตน์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาเป็นอย่างสูง ที่ให้ความรู้ความคิดริเริ่มและชี้แนะแนวทางต่างๆ ตลอดจนให้คำปรึกษาแนวทางการค้นคว้า

ขอขอบพระคุณอาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุมทุกท่านที่ได้ให้คำแนะนำและช่วยเหลืออันเป็นประโยชน์ต่อการทำปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ของคณะผู้จัดทำทุกท่านซึ่งเป็นผู้ที่มอบชีวิตมอบ การศึกษาและอนาคตที่ดีคอยสนับสนุนตลอดจนให้คำปรึกษาและความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ ซึ่งทำให้ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากปริญญาานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์ฉบับนี้ทางคณะผู้จัดทำขอมอบแต่ผู้ที่มีพระคุณทุกท่าน

คณะผู้จัดทำ



สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.2.4 พิจารณาเครื่องควบคุม (Controller).....	13
2.4.2.5 การแก้ปัญหา (Solution).....	13
บทที่ 3 การออกแบบและวิธีการดำเนิน.....	14
3.1 ศึกษาวิธีการดำเนินการจากตัวอย่างที่สนใจเพื่อไปใช้ในแพลนทำงานจริง.....	15
3.2 วิเคราะห์เสถียรภาพจากสมการทางคณิตศาสตร์ของตัวอย่าง.....	19
3.3 ศึกษาการใช้งานโปรแกรม MATLAB.....	23
3.3.1 การสร้างหน้าต่างการทำงาน (Simulink model).....	23
3.3.2 การเรียกใช้หน้าต่างเครื่องมือ (Simulink).....	24
3.3.3 การสร้างบล็อกไดอะแกรม (Block diagram).....	25
3.3.3.1 การสร้างบล็อกสเต็ปอินพุต (Step).....	25
3.3.3.2 การสร้างบล็อกตัวควบคุม (Controller).....	26
3.3.3.3 การสร้างบล็อกฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer function).....	28
3.3.3.4 การสร้างบล็อกสโคป (Scope).....	29
3.3.3.5 การจำลองการทำงานและดูกราฟผลตอบสนอง.....	30
3.4 การศึกษาผลตอบสนองการควบคุม.....	31
3.4.1 ช่วงเวลาขึ้น (Rise time, t_r).....	31
3.4.2 ช่วงเวลาสู่สมดุล (Setting time, t_s).....	31
3.4.3 ความผิดพลาดที่สภาวะคงที่ (Steady state error, e_{ss}).....	31
3.4.4 ค่าโอเวอร์ชูตสูงสุด (Maximum overshoot, M_p).....	32
3.5 การศึกษาผลตอบสนองการควบคุมจากตัวอย่าง.....	32
3.5.1 ตัวอย่างกระบวนการควบคุมอุณหภูมิแบบวงรอบเดี่ยว.....	32
3.5.2 ตัวอย่างกระบวนการควบคุมอุณหภูมิแบบวงรอบคาสเคด.....	33
3.5.3 การเปรียบเทียบผลตอบสนองการควบคุมของตัวอย่าง.....	35
3.6 แพลนทำงานของการควบคุมแบบคาสเคดเพื่อทำการควบคุมระดับ.....	37
3.7 ขั้นตอนการวิเคราะห์เสถียรภาพของแพลนทำงานจริง.....	41
3.7.1 การหาฟังก์ชันการถ่ายโอน (Transfer function).....	42
3.7.1.1 หาฟังก์ชันการถ่ายโอนของบล็อก I/P.....	44
3.7.1.2 หาฟังก์ชันการถ่ายโอนของบล็อก Valve.....	45
3.7.1.3 หาฟังก์ชันการถ่ายโอนของบล็อก Tank.....	46
3.7.1.4 หาฟังก์ชันการถ่ายโอนของบล็อก Lt.....	48
3.7.1.5 หาฟังก์ชันการถ่ายโอนของบล็อก Ft.....	49
3.7.1.6 หาฟังก์ชันการถ่ายโอนของบล็อก Disturbance.....	50
3.7.2 การคำนวณหาค่า K_{cu} และ ω_u เพื่อจำลองกราฟในโปรแกรม MATLAB.....	51

สารบัญ (ต่อ)

บรรณานุกรม.....	หน้า 76
ภาคผนวก.....	77



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 ตาราง Ziegler-Nichols.....	22
4.1 การเปรียบเทียบผลตอบสนองระหว่างการจำลองการควบคุมระดับแบบวงรอบเดี่ยว และวงรอบคาสเคดที่ค่าเป้าหมาย 40%.....	65
4.2 การเปรียบเทียบผลตอบสนองระหว่างการจำลองการควบคุมระดับแบบวงรอบเดี่ยว และวงรอบคาสเคดที่ค่าเป้าหมาย 50%.....	67
4.3 การเปรียบเทียบผลตอบสนองระหว่างการจำลองการควบคุมระดับแบบวงรอบเดี่ยว และวงรอบคาสเคดที่ค่าเป้าหมาย 60%.....	69



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 การควบคุมแบบวงรอบเดียว.....	4
2.2 แผนผังระบบควบคุมแบบคาสเคด.....	5
2.3 ตัวควบคุมแบบสัดส่วน (Proportional controller).....	7
2.4 แสดงการเกิดออฟเซต (Offset).....	8
2.5 ตัวควบคุมแบบปริพันธ์ (Integral controller).....	8
2.6 แสดงผลตอบสนองการควบคุมแบบปริพันธ์จากสัญญาณขั้นบันได.....	9
2.7 ตัวควบคุมแบบอนุพันธ์ (Derivative controller).....	9
2.8 กราฟระนาบเอส (S-Plane).....	10
2.9 กราฟแสดงการเปรียบเทียบผลตอบสนองการควบคุมที่ได้จากระนาบเอส (S-Plane).....	11
3.1 กระบวนการควบคุมแบบวงรอบเดียว.....	16
3.2 กระบวนการควบคุมแบบวงรอบคาสเคด.....	17
3.3 กราฟแสดงการเปรียบเทียบผลตอบสนองระหว่างการควบคุมแบบวงรอบเดียว และวงรอบคาสเคด.....	18
3.4 กระบวนการควบคุมแบบวงรอบเดียว.....	19
3.5 บล็อกไดอะแกรมของกระบวนการควบคุมแบบคาสเคด.....	19
3.6 กระบวนการควบคุมแบบคาสเคด.....	21
3.7 บล็อกไดอะแกรมของกระบวนการควบคุมแบบคาสเคด.....	21
3.8 แสดงการสร้างหน้าต่าง Simulink model.....	23
3.9 แสดงหน้าต่าง Simulink model.....	24
3.10 การเรียกหน้าต่างเครื่องมือ Simulink.....	24
3.11 หน้าต่างเครื่องมือ Simulink.....	25
3.12 การเลือกใช้บล็อกสแต็ปอินพุต.....	26
3.13 บล็อกสแต็ปอินพุตและหน้าต่างการตั้งค่า.....	26
3.14 การเลือกใช้บล็อกตัวควบคุมพีไอดี.....	27
3.15 บล็อกตัวควบคุมพีไอดีและหน้าต่างการตั้งค่าพารามิเตอร์.....	27
3.16 การเลือกใช้บล็อกฟังก์ชันถ่ายโอน.....	28
3.17 บล็อกฟังก์ชันถ่ายโอนและหน้าต่างการตั้งค่าฟังก์ชันถ่ายโอน.....	28
3.18 การเลือกใช้บล็อกสโคป.....	29
3.19 บล็อกสโคปและหน้าต่างกราฟแสดงผลตอบสนองของสโคป.....	29
3.20 บล็อกไดอะแกรมที่ได้จากการจำลองกระบวนการควบคุม.....	30
3.21 การจำลองการทำงานของกระบวนการ.....	30
3.22 กราฟผลตอบสนองการควบคุมกระบวนการที่ได้จากการจำลอง.....	31
3.23 บล็อกไดอะแกรมตัวอย่างกระบวนการควบคุมอุณหภูมิแบบวงรอบเดียว.....	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และห้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.24 กราฟผลตอบสนองการควบคุมอุณหภูมิแบบวงรอบเดี่ยว.....	33
3.25 บล็อกไดอะแกรมตัวอย่างกระบวนการควบคุมอุณหภูมิแบบวงรอบคาสเคด.....	34
3.26 กราฟผลตอบสนองการควบคุมอุณหภูมิแบบวงรอบคาสเคด.....	34
3.27 กราฟเปรียบเทียบผลตอบสนองระหว่างการควบคุมแบบวงรอบเดี่ยวและวงรอบคาสเคด.....	35
3.28 แพลนทำงานของการควบคุมแบบคาสเคดเพื่อทำการควบคุมระดับ.....	37
3.29 I/P และ Control valve.....	38
3.30 Orifice.....	38
3.31 Magnetic flow meter.....	39
3.32 Rotameter.....	39
3.33 Tank.....	40
3.34 P&ID ของแพลนทำงานของการควบคุมแบบคาสเคดเพื่อทำการควบคุมระดับ.....	40
3.35 บล็อกไดอะแกรมของแพลนทำงานของการควบคุมแบบคาสเคดเพื่อทำการควบคุมระดับ.....	41
3.36 บล็อกไดอะแกรมการควบคุมแบบวงรอบเดี่ยว.....	41
3.37 บล็อกไดอะแกรมการควบคุมแบบคาสเคด.....	42
3.38 ระบบอันดับหนึ่ง (First order system).....	42
3.39 กราฟตัวอย่างแสดงผลตอบสนองของระบบอันดับหนึ่ง.....	43
3.40 กราฟในสภาวะสมดุลคงตัว (Steady state) ของบล็อก I/P.....	44
3.41 กราฟในสภาวะไม่คงตัว (Unsteady state) ของบล็อก I/P.....	45
3.42 กราฟในสภาวะสมดุลคงตัว (Steady state) ของบล็อก Valve.....	45
3.43 กราฟในสภาวะไม่คงตัว (Unsteady state) ของบล็อก Valve.....	46
3.44 กราฟในสภาวะสมดุลคงตัว (Steady state) ของบล็อก Tank.....	47
3.45 กราฟในสภาวะไม่คงตัว (Unsteady state) ของบล็อก Tank.....	47
3.46 กราฟในสภาวะสมดุลคงตัว (Steady state) ของบล็อก Lt.....	48
3.47 กราฟในสภาวะสมดุลคงตัว (Steady state) ของบล็อก Ft.....	49
3.48 ฟังก์ชันการถ่ายโอนของการควบคุมแบบวงรอบเดี่ยว.....	50
3.49 ฟังก์ชันการถ่ายโอนของการควบคุมแบบคาสเคด.....	50
4.1 คอมพิวเตอร์.....	47
4.2 โปรแกรม MATLAB.....	47
4.3 กราฟผลตอบสนองการจำลองการควบคุมระดับแบบวงรอบเดี่ยวที่ค่าเป้าหมาย 40%.....	57
4.4 กราฟผลตอบสนองการจำลองการควบคุมระดับแบบวงรอบเดี่ยวที่ค่าเป้าหมาย 50%.....	58
4.5 กราฟผลตอบสนองการจำลองการควบคุมระดับแบบวงรอบเดี่ยวที่ค่าเป้าหมาย 60%.....	59
4.6 กราฟผลตอบสนองการจำลองการควบคุมระดับแบบคาสเคดที่ค่าเป้าหมาย 40%.....	61
4.7 กราฟผลตอบสนองการจำลองการควบคุมระดับแบบคาสเคดที่ค่าเป้าหมาย 50%.....	62

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.8 กราฟผลตอบแทนการลงทุนการควบคุมระดับแบบคาสเคดที่ค่าเป้าหมาย 60%.....	63
4.9 กราฟเปรียบเทียบผลตอบแทนระหว่างการจำลองการควบคุมแบบวงรอบเดียว และวงรอบคาสเคดที่ค่าเป้าหมาย 40%.....	64
4.10 กราฟเปรียบเทียบผลตอบแทนระหว่างการจำลองการควบคุมแบบวงรอบเดียว และวงรอบคาสเคดที่ค่าเป้าหมาย 50%.....	66
4.11 กราฟเปรียบเทียบผลตอบแทนระหว่างการจำลองการควบคุมแบบวงรอบเดียว และวงรอบคาสเคดที่ค่าเป้าหมาย 60%.....	68
4.12 กราฟผลตอบแทนการควบคุมระดับแบบวงรอบเดียวที่ค่าเป้าหมาย 40%.....	70
4.13 กราฟผลตอบแทนการควบคุมระดับแบบวงรอบเดียวที่ค่าเป้าหมาย 50%.....	71
4.14 กราฟผลตอบแทนการควบคุมระดับแบบวงรอบเดียวที่ค่าเป้าหมาย 60%.....	71
4.15 กราฟผลตอบแทนการควบคุมระดับแบบวงรอบคาสเคดที่ค่าเป้าหมาย 40%.....	72
4.16 กราฟผลตอบแทนการควบคุมระดับแบบวงรอบคาสเคดที่ค่าเป้าหมาย 50%.....	72
4.17 กราฟผลตอบแทนการควบคุมระดับแบบวงรอบคาสเคดที่ค่าเป้าหมาย 60%.....	73

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปริญญาโท

ปัจจุบันนี้ระบบอุตสาหกรรมในประเทศไทย ได้มีการพัฒนาและเติบโตอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะระบบควบคุมภายในโรงงานอุตสาหกรรม จากอดีตในโรงงานอุตสาหกรรมการผลิตต่างๆ ใช้ระบบควบคุมแบบควบคุมด้วยมือหรือที่เรียกว่า แมนยวล (Manual) ที่การควบคุมกระบวนการต้องใช้มือในการควบคุม การควบคุมแบบแมนยวลมีข้อเสียคือทำให้กระบวนการผลิตหยุดชะงักเมื่อแรงงานหยุดทำงานและอาจเกิดความผิดพลาดจากมนุษย์ในการควบคุมกระบวนการ (Human error) ต่อมาเมื่อระบบควบคุมอัตโนมัติเข้ามาในอุตสาหกรรม ส่งผลให้การควบคุมกระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมเกิดความต่อเนื่อง และมีความแม่นยำในการควบคุมกระบวนการ โครงการนี้จัดทำขึ้นภายใต้แนวคิดการเรียนรู้เชิงรุก ที่มุ่งเน้นการเสริมทักษะ ความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับหลักการทำงานของการควบคุมแบบวงรอบเดี่ยวและวงรอบคาสเคด รวมถึงวิธีการจำลองระบบผ่านโปรแกรม MATLAB เพื่อใช้ในการศึกษาเปรียบเทียบผลตอบสนองระหว่างการควบคุมแบบวงรอบเดี่ยวและวงรอบคาสเคด ซึ่งมีความสำคัญมากสำหรับนักศึกษาที่เข้ามาเรียนในหลักสูตรเนื่องจากนักศึกษาทั้งหมดเป็นนักเรียนในสายสามัญ และส่วนใหญ่เกือบทั้งหมดจะไม่มีความรู้และความเข้าใจเกี่ยวกับการควบคุมทั้งสองระบบนี้ จึงมีความสำคัญมากต่อการพัฒนาต่อยอดความรู้ทางด้านวิศวกรรมของนักศึกษาในชั้นสูงขึ้นไป การศึกษาที่ผ่านมานั้นจะใช้อุปกรณ์ที่เป็นชุดทดลองซึ่งมีอยู่จำนวนจำกัดทำให้อุปกรณ์ไม่เพียงพอกับจำนวนนักศึกษา ด้วยเหตุนี้ จึงมีแนวคิดที่จะทำโครงการดังกล่าวขึ้นเพื่อเป็นความรู้ให้แก่นักศึกษาที่ไม่มีโอกาสได้เข้ามาใช้อุปกรณ์ทดลองด้วยตัวเอง

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญาโท

1. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบความแตกต่างของผลตอบสนองระหว่างการควบคุมแบบวงรอบเดี่ยว (Single loop) และวงรอบคาสเคด (Cascade loop)
2. เพื่อศึกษาสมการทางคณิตศาสตร์ของแพลน (Plant) ที่จะใช้ในการวิเคราะห์การควบคุมของการควบคุมแบบวงรอบเดี่ยว (Single loop) และวงรอบคาสเคด (Cascade loop)
3. เพื่อศึกษาการใช้งานโปรแกรม MATLAB เบื้องต้นที่จะสามารถนำไปต่อยอดใช้ในการทำงานต่อไป
4. เพื่อนำไปเป็นข้อมูลในการวิเคราะห์เลือกระบบควบคุมได้อย่างเหมาะสม

1.3 ขอบเขตของปริญญาโท

1. ศึกษาการสร้างรูปแบบทางคณิตศาสตร์ ที่จะใช้ในการจำลองการทำงานของระบบที่นำมาวิเคราะห์
2. ศึกษาวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบควบคุมแบบวงรอบเดี่ยว (Single loop) และวงรอบคาสเคด (Cascade loop)
3. ศึกษาการใช้งานโปรแกรม MATLAB ในเบื้องต้น เพื่อใช้ในการจำลองการทำงานของแพลน (Plant) ที่จะใช้ในการวิเคราะห์ผลตอบสนอง

1.4 วิธีดำเนินงาน

1. กำหนดหัวข้อการทำงานและวางแผนการทำงาน
2. ศึกษาค้นคว้าข้อมูลและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมแบบวงรอบเดี่ยว (Single loop) และวงรอบคาสเคด (Cascade loop)
3. ทำการศึกษาการใช้งานโปรแกรม MATLAB เบื้องต้น
4. ทำการศึกษาการวิเคราะห์เสถียรภาพจากสมการทางคณิตศาสตร์จากแพลนงานที่นำมาศึกษา
5. สร้างสมการทางคณิตศาสตร์จากแพลนที่นำมาศึกษา
6. ทำการออกแบบการทดลองการควบคุมว่าเป็นไปตามทฤษฎีหรือไม่
7. ทำการทดลองและเก็บค่าผลการทดลอง
8. รวบรวมความรู้ต่างๆและจัดทำองค์ความรู้
9. ตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลและทำการแก้ไขข้อมูล
10. กระจายองค์ความรู้และเก็บข้อมูลความคิดเห็น
11. สรุปผลการทำงานและนำเสนอ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. มีความรู้และความเข้าใจเกี่ยวกับรูปแบบทางคณิตศาสตร์ของระบบควบคุมแบบวงรอบเดี่ยว (Single loop) และวงรอบคาสเคด (Cascade loop)
2. มีความรู้และเข้าใจในการใช้งานโปรแกรม MATLAB เบื้องต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ได้ความรู้จากการศึกษาการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ที่มีผลต่อระบบที่นำมาทดลอง
3. ได้ข้อมูลที่มีประโยชน์ในการตัดสินใจเลือกระบบควบคุมให้เหมาะสมกับอุตสาหกรรมที่ต้องการควบคุม
4. ได้ความรู้และความเข้าใจ เกี่ยวกับการทำงานของระบบควบคุมแบบวงรอบเดี่ยว (Single loop) และวงรอบคาสเคด (Cascade loop)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

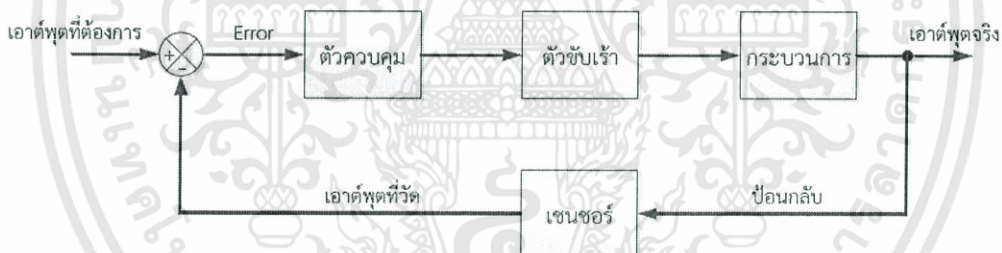
บทที่ 2

ทฤษฎีของการควบคุมและตัวอย่างที่นำมาศึกษา

ในบทนี้จะอธิบายทฤษฎีของการควบคุมแบบวงรอบเดี่ยว (Single loop control) การควบคุมแบบวงรอบคาสเคด (Cascade control) เครื่องควบคุม (Controller) และการวิเคราะห์เสถียรภาพ (Stability analysis condition) ของระบบ

2.1 การควบคุมแบบวงรอบเดี่ยว (Single loop control)

การควบคุมแบบวงรอบเดี่ยว (Single loop control) หรือระบบควบคุมแบบป้อนกลับ (Feedback control systems) โดยปกติแล้วระบบควบคุมวงรอบเดี่ยว (Single loop control) หรือระบบควบคุมแบบป้อนกลับ (Feedback control systems) ระบบลักษณะนี้จะมีการทำงานที่พยายามลดความแตกต่างระหว่างเอาต์พุตและอินพุตอ้างอิง ความแตกต่างนี้ก็คือความผิดพลาดของระบบ (System error) ซึ่งจะถูกลงส่งให้กับตัวควบคุมเพื่อให้ตัวควบคุมสั่งงานในการลดความผิดพลาดนี้ และนำเอาต์พุตไปที่ค่าที่ต้องการ

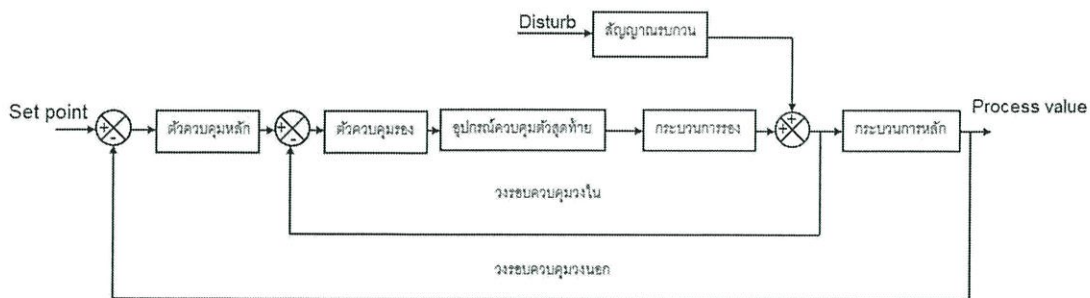


รูปที่ 2.1 การควบคุมแบบวงรอบเดี่ยว

ตัวอย่างการควบคุมแบบวงปิดได้แก่ระบบควบคุมอุณหภูมิภายในห้อง อุณหภูมิจริงภายในห้องจะถูกวัดและนำมาเปรียบเทียบกับอุณหภูมิอ้างอิงหรืออุณหภูมิที่ต้องการ แล้วสั่งการให้เทอร์โมสแตต (Thermostat) เปิดหรือปิดอุปกรณ์ทำความร้อนหรือทำความเย็น เพื่อรักษาอุณหภูมิภายในห้องไว้ในระดับที่ต้องการโดยไม่ต้องคำนึงถึงสภาพอุณหภูมิภายนอกห้อง

2.2 การควบคุมแบบคาสเคด (Cascade control)

การควบคุมแบบคาสเคดคือการกำหนดเอาต์พุตจากตัวควบคุมหนึ่งไปเป็นอินพุตหรือเซตพอยท์ให้กับตัวควบคุมอีกชุดหนึ่งหรืออีกแ่งหนึ่งคือการแทรกกระบวนการควบคุมแบบป้อนกลับลูปในไว้ในระบบการควบคุมแบบป้อนกลับของลูปนอก ซึ่งมีแผนผังการควบคุมแบบคาสเคดดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แผนผังระบบควบคุมแบบคาสเคด

2.2.1 โครงสร้างระบบควบคุมแบบคาสเคด

1. มีตัวควบคุม 2 ตัว คือตัวควบคุมหลัก (Master) และตัวควบคุมรอง (Slave)
2. มีตัวแปรการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการ 2 ตัว
3. มีตัวควบคุมสุดท้ายตัวเดียว เช่น บีม คอมเพลสเซอร์ คอนโทรลวาล์ว
4. เอาต์พุตของตัวควบคุมหลัก (Master) จะกลายเป็นอินพุตของตัวควบคุมรอง (Slave)

สังเกตได้ว่ากระบวนการที่ต้องการจะควบคุมถูกแบ่งส่วนออกโดยมีการนำเอาตัวแปรของกระบวนการที่ยังเปลี่ยนแปลงอยู่ที่เรียกชื่อว่า Intermediate variable หรือ Secondary variable มาเป็นตัวแปรควบคุมของการควบคุมลูปใน

ตัวควบคุมในลูปในมีชื่อเรียกว่าตัวควบคุมรอง (Slave) จะประมวลโดยใช้ค่าเป้าหมายซึ่งเป็นเอาต์พุตจากตัวควบคุมหลัก (Master)

ตัวควบคุมหลักจะวัดค่าตัวแปรควบคุมที่ถือว่าเป็นผลจากระบบควบคุมแบบคาสเคดที่เรียกว่า Primary หรือ Final variable แล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่าเป้าหมาย

การแบ่งกระบวนการออกเป็น 2 ส่วน เป็นกระบวนการหลักและกระบวนการรอง จะทำให้กระบวนการล่าช้า (Process lag) ในกระบวนการรวมถูกแบ่งตัดตอนออกเป็น 2 ส่วนไปด้วย ซึ่งจะเป็นผลทำให้ควบคุมได้ง่ายขึ้น เพราะเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าของกระบวนการควบคุมรองไปจากค่าเป้าหมายนั้น ตัวควบคุมรองจะทำการแก้ไขในทันทีโดยค่าความผิดพลาดกระบวนการหลักยังไม่ทันจะเกิดขึ้น ทำให้การควบคุมกระบวนการที่ล่าช้ามากๆ ทำได้ง่ายขึ้นเหมือนกับเป็นการที่ลดขนาดของระยะเวลาล่าช้า (Time lag) โดย Time lag แต่ละตัวจะถูกประมวลผลไปพร้อมๆกัน ทำให้ Time lag มีผลกระทบต่อการควบคุมลดลงไปด้วย การควบคุมแบบคาสเคดจึงเหมาะสมที่จะใช้สำหรับการควบคุมกระบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างช้าหรือกระบวนการที่มีเวลาคงที่ (Time constant) มากๆ เช่น การควบคุมอุณหภูมิ

กระบวนการที่กล่าวถึงนี้มีความผิดพลาด (Error) หรือการเบี่ยงเบน (Deviation) เกิดขึ้นแล้วก็มักจะเป็นอยู่นานและแม้แต่สภาพรบกวน (Disturbance) ที่ผ่านเข้ามารบกวนกับกระบวนการก็ต้องอาศัยระยะเวลาพอสมควร จึงจะแสดงผลออกมาให้ระบบควบคุมทราบและจัดการแก้ไข ผลของการแก้ไขก็เช่นกัน จำเป็นต้องรอเวลาอยู่ระยะหนึ่งจึงจะเห็นผล กระบวนการที่มีลักษณะดังกล่าวมักจะเป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายเทความร้อนหรือการควบคุมอุณหภูมิของกระบวนการที่มีมวลหรือความจุความร้อนสูง

การเลือกตัดกระบวนการว่าตัดตอนที่ส่วนไหนดีสุดหรือพิจารณาว่าส่วนไหนเป็น Intermediate point สามารถแบ่งทำได้หลายอย่างตามความเหมาะสมและประสบการณ์ของผู้ออกแบบ

หลักการทั่วไปต้องพยายามแบ่งโดยให้ส่วนที่มีการเกิด Process lag มากเป็นกระบวนการหลักและในขณะเดียวกันก็พยายามนำเอาสภาพของการรบกวน (Disturbances) เข้ามาอยู่ในกระบวนการรอง เพื่อให้ระบบควบคุมแบบคาสเคดทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ มักจะมีการกำหนดให้ความเร็วของตัวควบคุมรองหรือสภาพทางไดนามิกของกระบวนการรองอย่างน้อยต้องเร็วเท่ากันหรือเร็วกว่าตัวควบคุมหลักหรือระบบควบคุมหลัก เหตุผลสำหรับการกำหนดในลักษณะเช่นนี้ก็เพื่อให้ตัวควบคุมรองสามารถแก้ไขการรบกวน (Disturbances) ที่เกิดขึ้นที่กระบวนการรองได้ทันก่อนที่ผลจากการรบกวน (Disturbances) ดังกล่าวจะไปมีอิทธิพลต่อตัวแปรควบคุม

2.2.2 ข้อดีของการควบคุมแบบคาสเคด

1. ทำให้การควบคุมเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ
2. สามารถควบคุมให้ค่าของกระบวนการเข้าหาค่าเป้าหมายได้เร็วขึ้นเมื่อระบบถูกรบกวน
3. ลดผลกระทบจากสิ่งรบกวนที่จะเข้ามารบกวนกระบวนการหลักได้ดีกว่าการควบคุมแบบวงรอบเดี่ยว
4. ลดปริมาณ Time lag
5. ช่วยทำให้กระบวนการที่มีระบบที่เป็น Dynamic ทำงานได้อย่างเสถียรมากขึ้น

2.2.3 ข้อเสียของการควบคุมแบบคาสเคด

1. มีความซับซ้อนในการควบคุมมากกว่าวงรอบเดี่ยว
2. ใช้อุปกรณ์การควบคุมมากกว่าแบบวงรอบเดี่ยว ทำให้ค่าใช้จ่ายสูงกว่า
3. การปรับควบคุมทำได้ยากกว่าแบบวงรอบเดี่ยว เพราะมีค่าพารามิเตอร์มากกว่า

2.3 เครื่องควบคุม (Controller)

การเลือกลักษณะการทำงานของเครื่องควบคุม (Controller action) มีความสำคัญเป็นอย่างมาก ถ้าเลือกเครื่องควบคุมผิดกระบวนการจะควบคุมไม่ได้ นอกจากนั้นลักษณะการทำงานของเครื่องควบคุมยังมีความเกี่ยวข้องกับลักษณะการทำงานของวาล์วควบคุม ในลักษณะการทำงานของวาล์วควบคุมนั้น จะเป็นตัวกำหนดอัตราการขยายเชิงสถิติของวาล์วควบคุม ดังนั้นการเลือกลักษณะการทำงานของอุปกรณ์จะเป็นตัวกำหนดคุณลักษณะการทำงานของเครื่องควบคุม

2.3.1 การควบคุมแบบสัดส่วน (Proportional control, P-controller)

การควบคุมระบบแบบป้อนกลับโดยใช้ตัวควบคุมแบบสัดส่วนนั้น สัญญาณควบคุมจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับสัญญาณความผิดพลาด ที่เกิดจากผลต่างระหว่างค่าสัญญาณอ้างอิงกับสัญญาณเอาต์พุตของระบบที่ต้องการควบคุมสมการที่ใช้สำหรับการควบคุมแบบสัดส่วนคือ

$$m(t) = K_p e(t) \bar{m} \quad (2.1)$$

$$\text{หรือ} \quad \frac{M(s)}{E(s)} = K_p \quad (2.2)$$

โดยที่ $m(t)$ = ตัวแปรเอาต์พุตการควบคุม

\bar{m} = ค่าความไวการตอบสนองของการควบคุมแบบสัดส่วน

$e(t)$ = ค่าความคลาดเคลื่อน

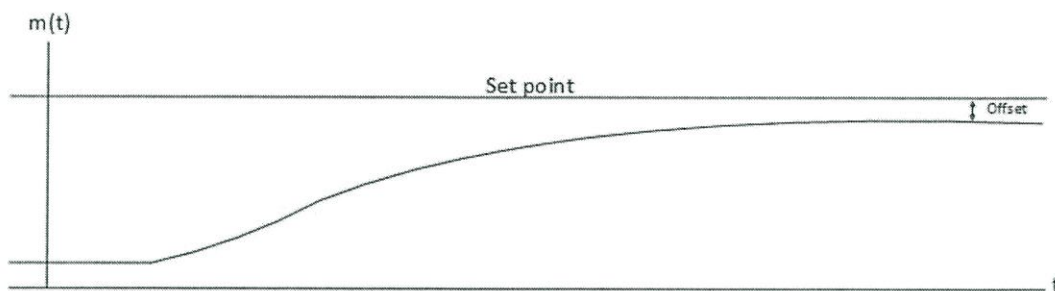


รูปที่ 2.3 ตัวควบคุมแบบสัดส่วน (Proportional controller)

หลักการทำงานของการควบคุมแบบสัดส่วน การควบคุมแบบสัดส่วนนี้คำนวณหาค่าสัญญาณของเอาต์พุตได้โดยคำนวณค่าสัญญาณเอาต์พุตเป็นสัดส่วนกับขนาดของค่าความคลาดเคลื่อนของกระบวนการ โดยสัญญาณเอาต์พุตของการควบคุมจะขึ้นอยู่กับขนาดของค่าความคลาดเคลื่อนและอัตราขยายเชิงสถิติของการควบคุม K_p

การควบคุมแบบสัดส่วนจะมีข้อดีคือเป็นการควบคุมอย่างง่าย เนื่องจากมีพารามิเตอร์ที่ต้องกำหนดค่าเพียงค่าเดียวคือค่า K_p แต่มีข้อเสียคือในการควบคุมอาจเกิดความแตกต่างจากค่าเป้าหมายได้ โดยความแตกต่างนี้เรียกว่าออฟเซต (Offset)

การเกิดออฟเซตเป็นคุณลักษณะของระบบควบคุมแบบสัดส่วน เนื่องจากการทำงานของระบบควบคุมแบบสัดส่วนนั้นไม่สามารถควบคุมระบบที่มีภาระที่เปลี่ยนแปลงไปได้ดีเท่าที่ควร และในกรณีที่มีภาระคงที่แต่การเปลี่ยนแปลงค่าของระดับค่าเป้าหมาย (Set point) ที่ควบคุมไปก็จะมี การเกิดค่าของออฟเซตขึ้นโดยที่ออฟเซตคือค่าความแตกต่างระหว่างอินพุตและเอาต์พุตที่สภาวะคงที่



รูปที่ 2.4 แสดงการเกิดออฟเซต (Offset) [1]

2.3.2 การควบคุมแบบปริพันธ์ (Integral control, I-controller)

การควบคุมแบบปริพันธ์มีรูปแบบสมการคือ $m(t) = K_i \int_0^t e(t) dt$ เมื่อค่า K_i คือ ค่าคงที่ของตัวควบคุมแบบปริพันธ์ ซึ่งเป็นการควบคุมกระบวนการซึ่งจะเอาค่าของเอาต์พุตที่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าปริพันธ์เชิงเวลาของอินพุต โดยจะมีความสัมพันธ์ระหว่างค่าเอาต์พุตของตัวควบคุม $m(t)$ และค่าความคลาดเคลื่อน $e(t)$ ดังนี้

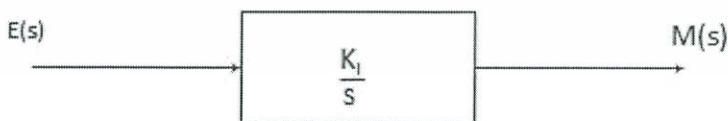
$$\frac{dm(t)}{dt} = K_i e(t) \quad (2.3)$$

$$\text{หรือ} \quad m(t) = K_i \int_0^t e(t) dt \quad (2.4)$$

โดยที่ K_i เป็นค่าคงที่ที่สามารถปรับค่าได้

ฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer Function) ของการควบคุมแบบปริพันธ์ คือ

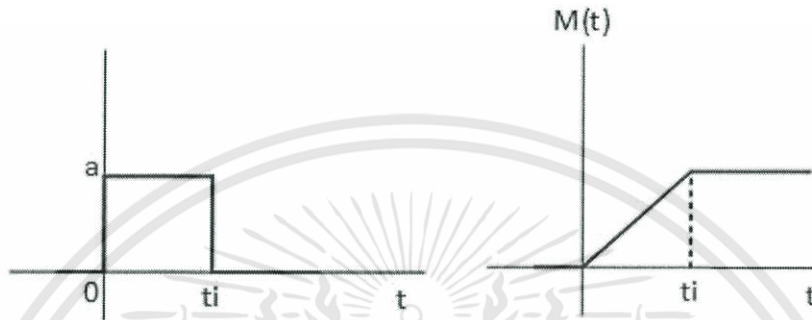
$$\frac{M(s)}{E(s)} = \frac{K_i}{s} \quad (2.5)$$



รูปที่ 2.5 ตัวควบคุมแบบปริพันธ์ (Integral controller)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การควบคุมแบบปรีฟันนั้นค่าเอาต์พุตที่ตัวควบคุม $m(t)$ จะเปลี่ยนแปลงตามค่าความผิดพลาด $e(t)$ ถ้าเกิดความผิดพลาดจะทำให้ระบบได้ค่าที่ผิดพลาดไปจากค่าที่ต้องการแล้วอุปกรณ์ควบคุมจะจัดการกับความผิดพลาดอย่างรวดเร็ว เมื่อตัวแปรควบคุมอยู่ที่ค่าเป้าหมายแล้วอุปกรณ์ควบคุมตัวสุดท้าย (Final element control) จะยังไม่ทำงานซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบอยู่ในสภาวะคงที่นั่นเอง ดังนั้นการควบคุมแบบปรีฟันนี้จะไม่ทำให้เกิดค่าของออฟเซต



รูปที่ 2.6 แสดงผลตอบสนองการควบคุมแบบปรีฟันจากสัญญาณขั้นบันได [1]

2.3.3 การควบคุมแบบอนุพันธ์ (Derivative control, D-controller)

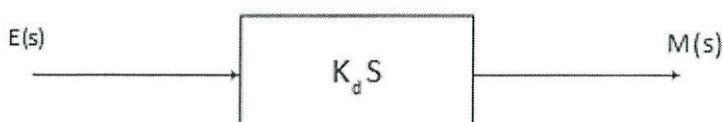
การควบคุมแบบอนุพันธ์มีรูปแบบสมการคือ $m(t) = K_d \frac{de(t)}{dt}$ เมื่อ K_d คือค่าคงที่ของตัวควบคุมแบบอนุพันธ์ โดยมีสมการความสัมพันธ์ดังนี้

$$m(t) = K_d X \frac{de(t)}{dt} \quad (2.6)$$

$$\text{หรือ} \quad \frac{M(s)}{E(s)} = K_d S \quad (2.7)$$

โดยที่ K_d เป็นค่าคงที่ที่สามารถปรับค่าได้

การควบคุมแบบอนุพันธ์มักใช้ร่วมกับตัวควบคุมตัวอื่น เช่น ใช้ร่วมกับตัวควบคุมแบบสัดส่วน ซึ่งเรียกว่าตัวควบคุมแบบสัดส่วนบวกกับอนุพันธ์หรือ (PD-controller) และถ้าใช้ตัวควบคุมแบบสัดส่วนร่วมกับตัวควบคุมแบบปรีฟันและตัวควบคุมแบบอนุพันธ์เรียกว่า (PID-controller)



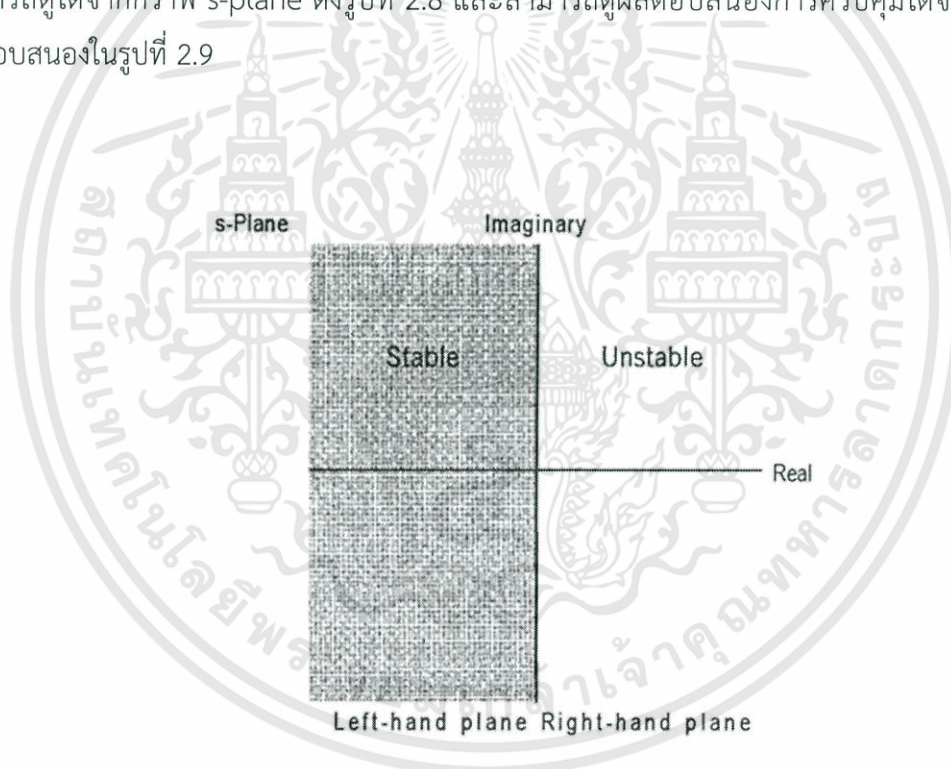
รูปที่ 2.7 ตัวควบคุมแบบอนุพันธ์ (Derivative controller)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

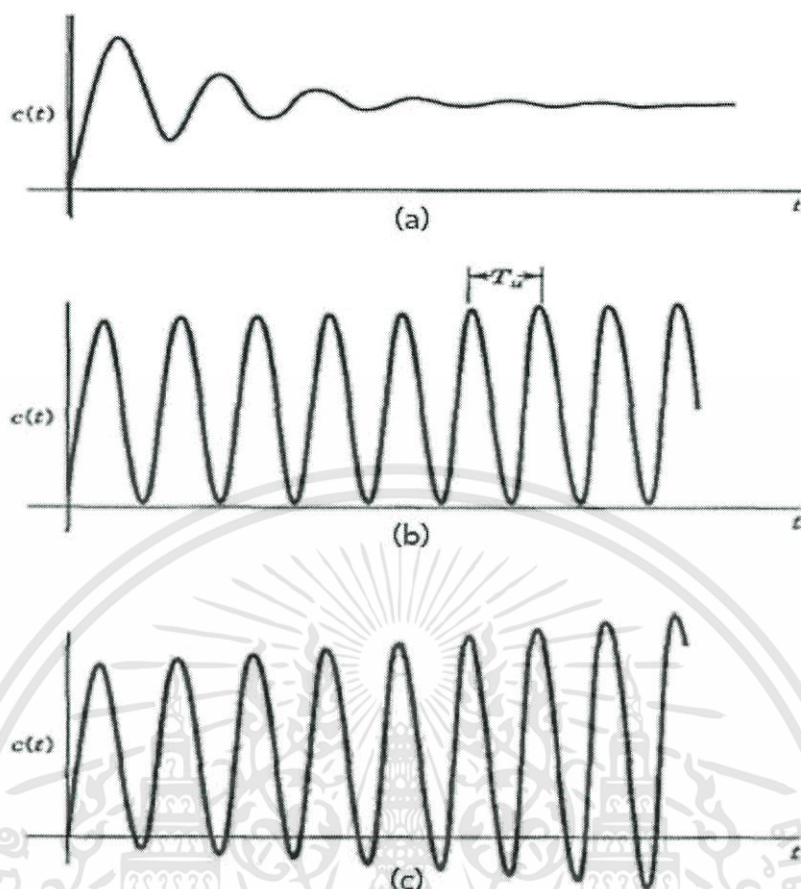
การควบคุมแบบอนุพันธ์นี้จะช่วยเพิ่มความหน่วง (Damping) ให้กับระบบที่ต้องการจะควบคุม นั่นคือทำให้ระบบมีเสถียรภาพมากขึ้น ในขณะที่เดียวกันจะเห็นว่าสัญญาณเอาต์พุตที่ออกจากตัวควบคุมอนุพันธ์นี้เป็นสัญญาณที่เกิดจากการหาอนุพันธ์ของสัญญาณความผิดพลาด ดังนั้นถ้าสัญญาณความผิดพลาดนี้มีสัญญาณรบกวนมากสัญญาณเอาต์พุตที่ออกมาจากตัวควบคุมแบบอนุพันธ์นี้จะกระเพื่อม (Fluctuate) ค่อนข้างมาก (เนื่องจากความชัน (Slope) ของสัญญาณมีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างมาก) ซึ่งจะทำให้ระบบควบคุมของเราไม่มีเสถียรภาพ

2.4 การวิเคราะห์เสถียรภาพ (Stability analysis condition)

การเปรียบเทียบผลตอบสนองการควบคุมนั้นจำเป็นต้องมีขอบเขตที่ใช้ในการเปรียบเทียบเพื่อให้อยู่ในเงื่อนไขเดียวกันจึงจะสามารถนำมาเปรียบเทียบการควบคุมทั้ง 2 แบบได้คือใช้เป็นเงื่อนไขที่ค่าของรากอยู่ระหว่างกลางระหว่างเสถียรและไม่เสถียรหรือที่เรียกว่า ช่วงอุดมคติ (Imaginary) ซึ่งสามารถดูได้จากกราฟ s-plane ดังรูปที่ 2.8 และสามารถดูผลตอบสนองการควบคุมได้จากกราฟผลตอบสนองในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.8 กราฟระนาบเอส (s-Plane) [1]



รูปที่ 2.9 กราฟแสดงการเปรียบเทียบผลตอบสนองของการควบคุมที่ได้จากระนาบเอส (s-Plane) [1]

2.4.1 การเปรียบเทียบผลตอบสนองของการควบคุม

จากรูปที่ 2.9 กราฟ (a) คือกราฟของผลตอบสนองของการควบคุมในพื้นที่ Stable ของระนาบเอส (s-Plane) กราฟ (b) คือกราฟของผลตอบสนองของการควบคุมในพื้นที่ที่อยู่ตรงกลางระหว่าง Stable และ Unstable ของระนาบเอส (s-Plane) หรือเรียกได้ว่าเป็นตำแหน่งอุดมคติ กราฟ (c) คือกราฟของผลตอบสนองของการควบคุมในพื้นที่ Unstable ของระนาบเอส (s-Plane)

ซึ่งในการจะเปรียบเทียบกันได้นั้น จะต้องอยู่ในสถานะเดียวกัน กล่าวคือ เราจะต้องใช้สถานะที่อยู่กึ่งกลางระหว่าง Stable และ Unstable เนื่องจากเป็นจุดๆเดียว หรือตำแหน่งที่มีตำแหน่งเดียวของทุกระบบ (กราฟ (b)) ซึ่งต่างจากผลตอบสนองที่เป็น Stable และ Unstable ที่มีพื้นที่ที่มากกว่าทำให้ไม่สามารถระบุได้ว่าระบบนั้นอยู่ในสถานะเดียวกันที่จะสามารถนำมาเปรียบเทียบกันได้

การเปรียบเทียบผลตอบสนองของการควบคุมจะใช้กราฟ (b) ในรูปที่ 2.9 ซึ่งเป็นลักษณะไซน์เวฟ (Sinewave)

การวิเคราะห์เสถียรภาพทำได้โดยนำสมการคุณลักษณะ (Characteristic) ของการควบคุมแบบวงรอบเดี่ยวและวงรอบคาสเคดเพื่อมาหาค่า K_{cu} และ ω_u เพื่อนำไปใช้วิเคราะห์เปรียบเทียบผลการตอบสนองโดยใช้วิธีการแทนค่าโดยตรง (Direct Substitution Method)

วิธีการแทนค่าโดยตรงเป็นกระบวนการที่มีความสะดวกในการหาค่าพารามิเตอร์ (Parameter) ของการควบคุมการตอบสนองแบบวงรอบปิด (Close loop) ที่คงที่ กระบวนการนี้ขึ้นอยู่กับค่าในสมการคุณลักษณะ (Characteristics)

2.4.2 ตัวอย่างการคำนวณหาอัตราขยายและคาบเวลาของการควบคุม

ตัวอย่างการคำนวณหาอัตราขยายการควบคุม K_{cu} และคาบเวลาของการควบคุม ω_u ของกระบวนการควบคุมอุณหภูมิโดยวิธีแทนค่าโดยตรง (Direct substitution) โดยที่สมการคุณลักษณะต่างๆ ของอุปกรณ์เป็นการสมมติขึ้นมาโดยอ้างอิงมาจากหนังสือ Smith & Corripio wiley 1997. Principles and Praticce of Automatic Process Control ในบทที่ 10

2.4.2.1 พิจารณาเครื่องแลกเปลี่ยนอุณหภูมิ (Exchanger)

สมมติเครื่องแลกเปลี่ยนอุณหภูมิมีการแลกเปลี่ยนอัตราไหลของไอน้ำ (Steam) มีอัตราขยายเท่ากับ $50^{\circ}\text{C}/(\text{kg}/\text{s})$ และค่าคงที่ของเวลา (Time constant) เท่ากับ 30s เขียนสมการคุณลักษณะได้ดังสมการ

$$G_s(s) = \frac{50}{30s+1} \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{kg}/\text{s}} \quad (2.9)$$

2.4.2.2 พิจารณาเซนเซอร์และทรานสมิตเตอร์ (Sensor and Transmitter)

สมมติเซนเซอร์และทรานสมิตเตอร์ที่ถูกสอบเทียบ (Calibrate) มาแล้วมีช่วงการวัด (Range) $50^{\circ}\text{C} - 150^{\circ}\text{C}$ และค่าคงที่ของเวลาเท่ากับ 10s เขียนสมการคุณลักษณะได้ดังสมการ

$$H(s) = \frac{1.0}{10s+1} \frac{\%TO}{^{\circ}\text{C}} \quad (2.10)$$

2.4.2.3 พิจารณาวาล์วควบคุม (Control Valve)

สมมติวาล์วควบคุมมีความจุของไอน้ำสูงสุด $1.6\text{kg}/\text{s}$ เป็นคุณลักษณะเชิงเส้น มีการสูญเสียความดัน (Pressure drop) คงที่ และมีค่าคงที่ของเวลาเท่ากับ 3s เขียนสมการคุณลักษณะได้ดังสมการ

$$G_v(s) = \frac{0.016}{3s+1} \frac{\text{kg}/\text{s}}{\%CO} \quad (2.11)$$

2.4.2.4 พิจารณาเครื่องควบคุม (Controller)

สมมติเครื่องควบคุมมีฟังก์ชันสัดส่วน (Proportional function) คือ

$$G_c(s) = K_c \frac{\%CO}{\%TO} \quad (2.12)$$

2.4.2.5 การแก้ปัญหา (Solution)

สมการคุณลักษณะ (Characteristic) คือ

$$1 + H(s)G_s(s)G_v(s)G_c(s) = 0 \quad (2.13)$$

ทำการแทนค่าฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer function) ของแต่ละอุปกรณ์ (Element)

$$1 + \frac{1.0}{10s+1} \times \frac{50}{30s+1} \times \frac{0.016}{3s+1} \times K_c = 0 \quad (2.14)$$

ทำการจัดให้อยู่ในรูปพหุนาม (Polynomial form)

$$(10s+1)(30s+1)(3s+1) + 0.8K_c = 0 \quad (2.15)$$

$$900s^3 + 420s^2 + 43s + 1 + 0.8K_c = 0 \quad (2.16)$$

แทนค่า $s = i\omega_u$ และ $K_c = K_{cu}$

$$900(i\omega_u)^3 + 420(i\omega_u)^2 + 43(i\omega_u) + 1 + 0.8K_{cu} = 0 \quad (2.17)$$

ทำการแบ่งส่วนของจำนวนจริงและส่วนของจำนวนจินตภาพออกจากกัน

$$(-420\omega_u^2 + 1 + 0.8K_{cu}) + i(-900\omega_u^3 + 43\omega_u) = 0 \quad (2.18)$$

จะได้

$$-420\omega_u^2 + 1 + 0.8K_{cu} = 0 \quad (2.19)$$

$$-900\omega_u^3 + 43\omega_u = 0 \quad (2.20)$$

ทำการหาค่า K_{cu} และ ω_u

$$\text{เมื่อ } \omega_u = 0 \text{ จะได้ } K_{cu} = 1.25 \frac{\%CO}{\%TO}$$

$$\text{เมื่อ } \omega_u = 0.2186 \text{ rad/s} \text{ จะได้ } K_{cu} = 23.8 \frac{\%CO}{\%TO}$$

ในการเลือกค่า K_{cu} มาใช้นั้นจะคำนึงถึงตัวควบคุมของเราว่าเป็นแบบ P หรือ PID ในกรณีที่เป็นการควบคุมแบบ P จะใช้ที่ค่า $\omega_u = 0$ เพราะในการคำนวณหาค่า P ที่จะนำไปใช้จำลองกระบวนการนั้นขึ้นอยู่กับค่า K_{cu} เพียงอย่างเดียว ส่วนการควบคุมแบบ PID นั้นจะใช้ ω_u ที่เราคำนวณมาจากสมการที่ (2.20) เพื่อไปหาค่า T_u ซึ่งหาได้จาก $\omega_u = 2\pi f$ และ $f = \frac{1}{T_u}$ จากนั้นใช้ค่า T_u เพื่อการคำนวณหาค่า I และ D ต่อไปตามตาราง Ziegler-Nichols ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 1 ตาราง Ziegler-Nichols

รูปแบบของตัวควบคุม	K_p	T_i	T_d
แบบสัดส่วน (P)	$\frac{K_u}{2}$	-	-
แบบสัดส่วนปริพันธ์ (PI)	$\frac{K_u}{2.2}$	$\frac{T_u}{1.2}$	-
แบบสัดส่วนปริพันธ์อนุพันธ์ (PID)	$\frac{K_u}{1.7}$	$\frac{T_u}{2}$	$\frac{T_u}{8}$

K_p คือค่า P ที่จะนำไปป้อนให้กับตัวควบคุม

T_i คือค่า I ที่จะนำไปป้อนให้กับตัวควบคุม

T_d คือค่า D ที่จะนำไปป้อนให้กับตัวควบคุม

บทที่ 3

ขั้นตอนการดำเนินงาน

ในการศึกษาการเปรียบเทียบผลตอบสนองการควบคุมระหว่างการควบคุมแบบวงรอบเดี่ยว (Single loop control) และวงรอบคาสเคด (Cascade control) นั้นจะแบ่งการดำเนินการหลักๆ เป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของการศึกษาผลตอบสนองการควบคุมจากตัวอย่างในหนังสือและส่วนของการเปรียบเทียบผลตอบสนองการควบคุมจากการจำลองแพลนท์โดยใช้โปรแกรม MATLAB ซึ่งสาเหตุที่แบ่งการดำเนินงานเป็นสองส่วนเพราะว่า ต้องการศึกษานโยบายในการเปรียบเทียบผลตอบสนองการควบคุมจากตัวอย่าง เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาการเปรียบเทียบผลตอบสนองของแพลนท์จริง

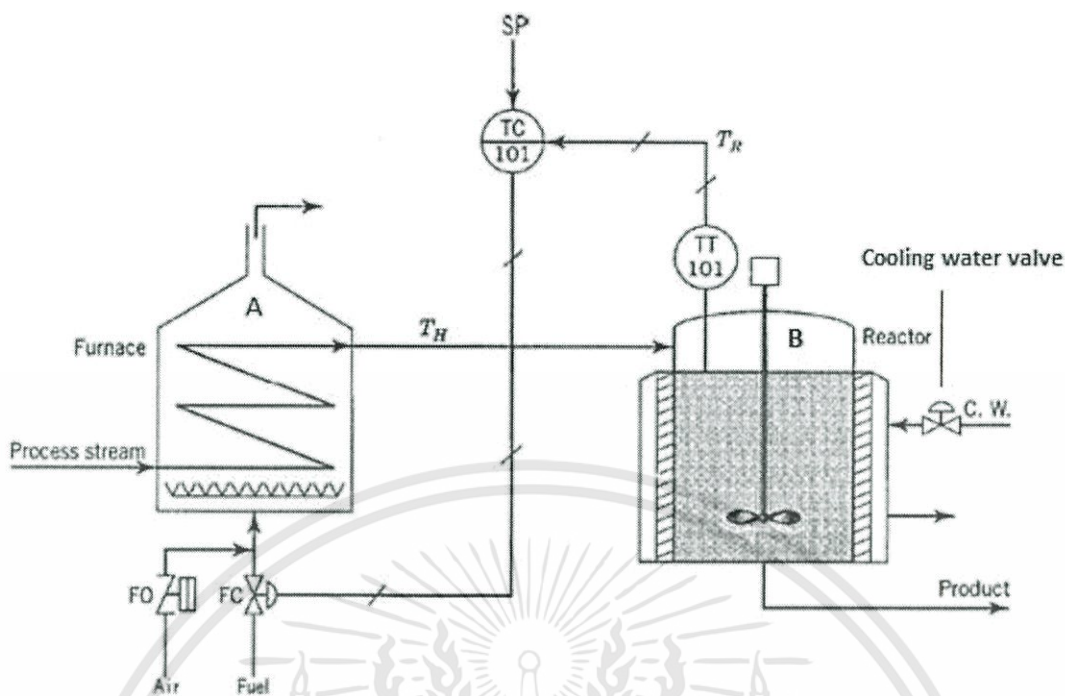
3.1 ศึกษาวิธีดำเนินการจากตัวอย่างที่สนใจเพื่อไปใช้ในการจำลองแพลนท์งานจริง

ระบบการควบคุมแบบวงรอบเดี่ยว (Single loop control systems) เป็นรูปแบบการควบคุมอย่างง่ายที่สุดของการควบคุมกระบวนการที่ใช้ชุดเซตการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการ อย่างไรก็ตามข้อเสียของการควบคุมแบบวงรอบเดี่ยวก็คือ การทำงานของการควบคุมแบบวงรอบเดี่ยว จะเกิดขึ้นหลังจากกระบวนการได้มีการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ไปแล้ว ซึ่งเมื่อเกิดสัญญาณรบกวนขึ้นในระบบ จะส่งผลกระทบต่อกระบวนการ และจะทำให้ตัวแปรควบคุมมีค่าเบี่ยงเบนไปจากค่าที่ตั้งไว้ก่อนการป้อนกลับจะเกิดขึ้น การควบคุมแบบวงรอบเดี่ยวยังคงเป็นวิธีการควบคุมในกระบวนการอุตสาหกรรมกว่า 80% ซึ่งเป็นการควบคุมแบบวงรอบเดี่ยว

ถึงแม้ว่ากระบวนการจะล่าช้าและเกิดการรบกวนขึ้นอยู่บ่อยครั้ง ประสิทธิภาพของการควบคุมแบบวงรอบเดี่ยวย่อยครั้งจะไม่ใช่ที่ยอมรับ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะใช้วิธีการควบคุมแบบอื่นเพื่อให้มีประสิทธิภาพตามความต้องการและยอมรับได้ เงื่อนไขการควบคุมแบบใหม่นี้เป็นส่วนหนึ่งของการควบคุมแบบวงรอบเดี่ยว วิธีการนี้ได้นำมาใช้งานร่วมกับการควบคุมแบบวงรอบเดี่ยว ซึ่งกล่าวได้ว่าการควบคุมแบบใหม่มีความจำเป็นที่จะต้องใช้การป้อนกลับจากตัวควบคุมร่วมอยู่ด้วย

การควบคุมแบบคาสเคด (Cascade control) เป็นการควบคุมที่ถูกพัฒนามาจากการควบคุมแบบวงรอบเดี่ยว (Single loop control) วิธีการควบคุมแบบคาสเคดนี้เป็นที่รู้จักมานาน โดยใช้คอมพิวเตอร์ในการทำงานซึ่งทำให้ง่ายขึ้น และปลอดภัยขึ้น ดังนั้นการควบคุมแบบคาสเคดจึงถูกนำมาใช้งานบ่อยขึ้นในปัจจุบัน

ตัวอย่างกระบวนการพิจารณารบวนการของเตาเผาและเตาปฏิกรณ์ในรูปที่ 3.1 ในกระบวนการนี้เป็นปฏิกิริยาจาก A ไป B ซึ่งเกิดขึ้นในเตาปฏิกรณ์ โดยปกติแล้วสารตั้งต้น A ซึ่งคือไอน้ำจะมีอุณหภูมิต่ำซึ่งต้องทำการให้ความร้อนเพื่อเพิ่มอุณหภูมิก่อนจะจ่ายให้กับเตาปฏิกรณ์โดยเตาปฏิกรณ์มีการระบายความร้อนจากแจ๊คเก็ตระบายความร้อนที่ล้อมรอบเตาปฏิกรณ์



รูปที่ 3.1 กระบวนการควบคุมแบบวงรอบเดียว [1]

ตัวแปรที่ต้องการควบคุมของกระบวนการคืออุณหภูมิของเตาปฏิกรณ์ (T_R) แต่เดิมวิธีการควบคุมอุณหภูมิคือการควบคุมอัตราการไหลของน้ำของระบบระบายความร้อนที่ไหลไปยังแจ๊คเก็ต ส่วนอุณหภูมิของไอน้ำที่ไหลไปยังเตาปฏิกรณ์จะถูกควบคุมโดยสัญญาณการจัดการเปิด-ปิดวาล์วเชื้อเพลิงที่ป้อนให้กับเตาเผา ปัจจุบันวาล์วน้ำระบายความร้อนจะเปิดอยู่ตลอดเวลาเพื่อระบายความร้อนของเตาปฏิกรณ์ ดังนั้นการควบคุมอุณหภูมิของกระบวนการนี้จะได้โดยการควบคุมการเปิด-ปิดวาล์วเชื้อเพลิงที่ป้อนให้กับเตาเผาดังรูปที่ 3.1

เมื่อกระบวนการเริ่มทำงานอุณหภูมิของเตาปฏิกรณ์จะเปลี่ยนแปลงไปจากค่าเป้าหมายทำให้ระบบเสถียร ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิดังกล่าวทำให้ผลผลิตที่ได้ไม่เป็นไปตามความต้องการ วิศวกรจึงทำการตรวจสอบและปรับแก้การปรับแต่งการควบคุมของกระบวนการ หลังจากการตรวจสอบการปรับแต่งการควบคุมของกระบวนการแล้ว ทางวิศวกรจึงเริ่มมองหาสาเหตุของสัญญาณรบกวนอื่นในกระบวนการที่สามารถเกิดขึ้นได้เพื่อปรับแก้ให้สามารถควบคุมค่ากระบวนการให้มีประสิทธิภาพต่อไป

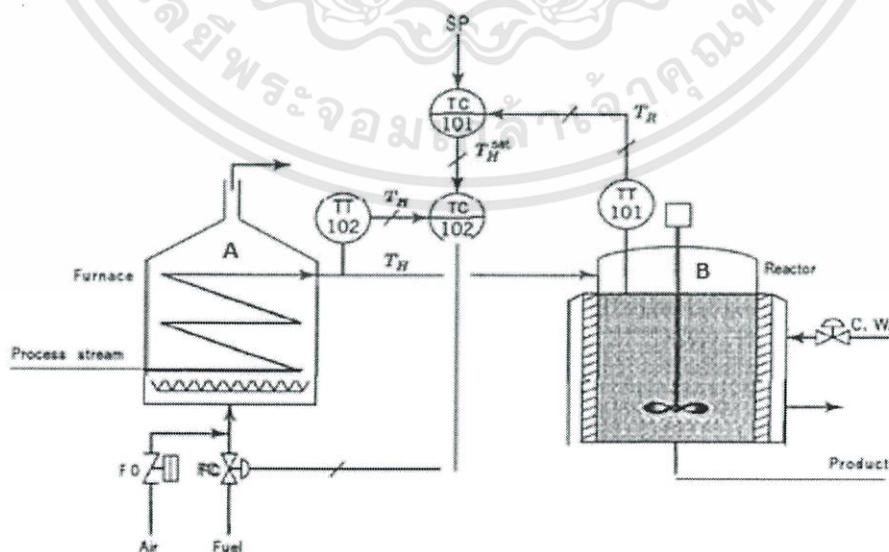
สาเหตุของสัญญาณรบกวนที่ตรวจพบคือพฤติกรรมของกระบวนการระบายความร้อนของเตาปฏิกรณ์ ได้แก่ อุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในการระบายความร้อน และการไหลของน้ำเป็นแบบปั่นป่วน นอกจากนี้ยังพบที่บริเวณเตาเผา ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของไอน้ำ ค่าความร้อนที่ได้จากเชื้อเพลิง ทั้งนี้ยังพบว่าอุณหภูมิของไอน้ำสูญเสียจากอุณหภูมิสถานะแวดล้อมของท่อ ขณะป้อนไปยังเตาปฏิกรณ์ เป็นต้น

วิธีการควบคุมที่ดีสามารถออกแบบได้โดยใช้ข้อเท็จจริงของการรบกวนที่เกิดขึ้นในเตาเผาที่ส่งผลกับอุณหภูมิ T_H ซึ่งเป็นสาเหตุที่ตัวควบคุมวาล์วเชื้อเพลิงจะเริ่มส่งสัญญาณการจัดการวาล์วเชื้อเพลิงทันทีหลังเกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ T_H ก่อนที่ค่าอุณหภูมิ T_R จะเปลี่ยนแปลง ซึ่งการควบคุมนี้ไม่จำเป็นต้องรอค่าความผิดพลาดของอุณหภูมิ T_R ทั้งนี้เพื่อลดผลกระทบทางไดนามิกของกระบวนการนี้เป็นหลักการของการควบคุมแบบคาสเคดดังแสดงในรูปที่ 3.2

วิธีการนี้ประกอบด้วยเซนเซอร์สองตัว ทรานสมิตเตอร์สองตัว ตัวควบคุมสองตัวและวาล์วควบคุมหนึ่งตัว เซนเซอร์ตัวแรกทำหน้าที่วัดค่าระหว่างกระบวนการหรือค่าตัวแปรรอง (T_H) เซนเซอร์อีกตัวหนึ่งวัดค่าตัวแปรหลัก (T_R) ดังนั้นวิธีการนี้จะส่งผลให้มีวงรอบควบคุมสองวงรอบ ประกอบด้วย วงรอบควบคุม T_H และวงรอบควบคุม T_R อุณหภูมิของไอน้ำที่ออกจากเตาเผาถูกใช้เป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนอุณหภูมิเพื่อควบคุมอุณหภูมิของเตาปฏิกรณ์ ซึ่งเป็นเป้าหมายสำคัญของการควบคุม

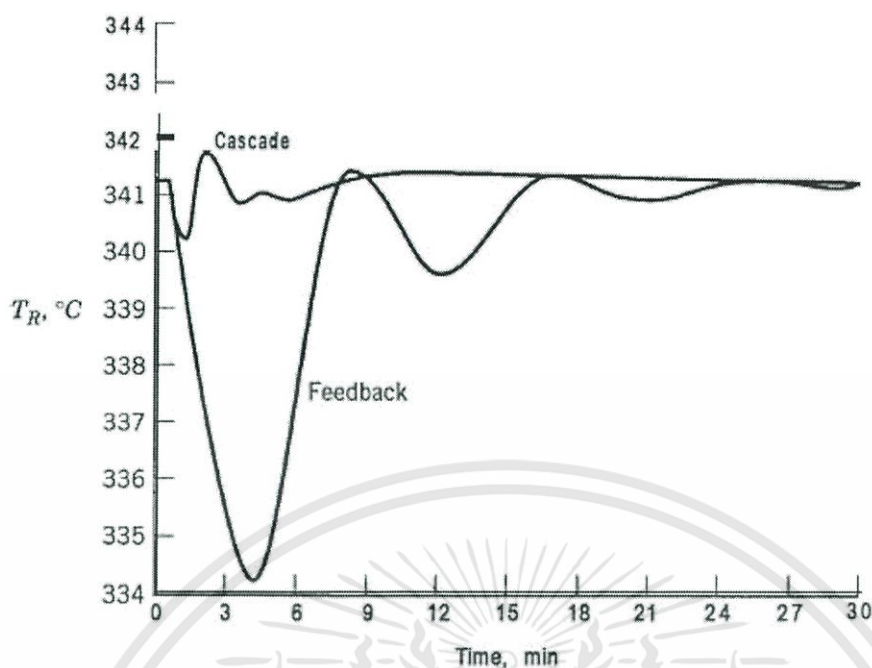
หลักการดำเนินงานมีดังนี้ ตัวควบคุม TC101 จะทำการควบคุมอุณหภูมิเตาปฏิกรณ์โดยปรับอุณหภูมิของไอน้ำให้เหมาะสมกับค่าเป้าหมาย การควบคุมนี้จะส่งผ่านไปยังตัวควบคุม TC102 ในรูปของค่าเป้าหมาย (Set point) ตัวควบคุมอุณหภูมิ TC102 จะส่งสัญญาณการจัดการไปยังวาล์วเชื้อเพลิงเพื่อควบคุมอุณหภูมิ T_H ให้เข้าสู่ค่าเป้าหมายซึ่งค่าเป้าหมายนี้ถูกตั้งโดยตัวควบคุม TC101 ถ้าอุณหภูมิของไอน้ำ T_H มีการเปลี่ยนแปลงไปจากค่าเป้าหมาย (Set point) ตัวควบคุม TC102 จะทำการควบคุมอุณหภูมิให้กลับเข้าสู่ค่าเป้าหมาย (Set point) ก่อนที่ค่าอุณหภูมิ T_R จะเปลี่ยนแปลง ดังนั้นอุปกรณ์ควบคุมในกระบวนการจะแยกกันทำงาน เพื่อชดเชยความผิดพลาดให้กับระบบในเตาเผา ก่อนที่จะส่งผลต่ออุณหภูมิในเตาปฏิกรณ์

โดยทั่วไปตัวควบคุมจะรักษาตัวแปรหลักเอาไว้ตามค่าเป้าหมาย (Set point) ซึ่งเรียกว่า Master controller หรือ Outer controller หรือ Primary controller ส่วนตัวควบคุมที่มีไว้เพื่อให้คงค่าตัวแปรรองไว้ให้อยู่ที่ค่าเป้าหมาย (Set point) เรียกว่า Slave controller หรือ Inner controller หรือ Secondary controller



รูปที่ 3.2 กระบวนการควบคุมแบบวงรอบคาสเคด [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



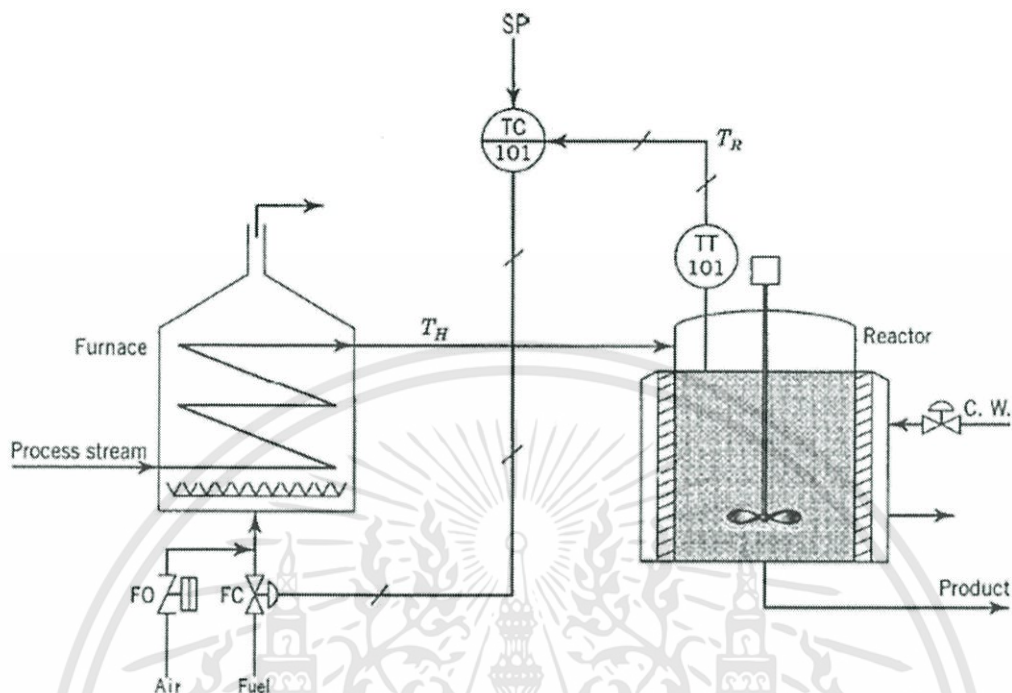
รูปที่ 3.3 กราฟแสดงการเปรียบเทียบผลตอบสนอง
ระหว่างการควบคุมแบบวงรอบเดี่ยวและวงรอบคาสเคด [1]

จากรูปที่ 3.3 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการซึ่งเปรียบเทียบระหว่างการควบคุมแบบวงรอบเดี่ยว และวงรอบคาสเคดเห็นได้ชัดว่าการควบคุมแบบคาสเคดมีผลตอบสนองในการควบคุมที่ดีกว่าอย่างมาก

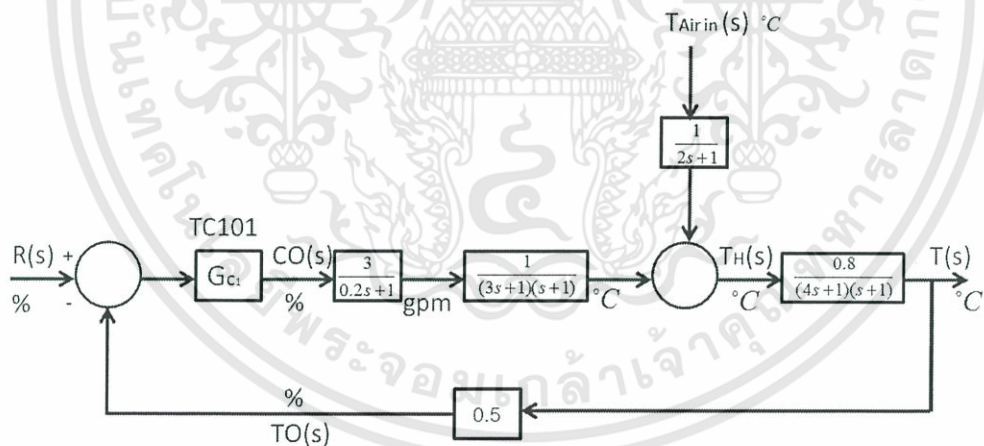
ส่วนที่ต้องให้ความสำคัญ ในการออกแบบระบบควบคุมแบบคาสเคด สิ่งสำคัญที่สุดคือการพิจารณาว่า วงรอบควบคุมวงในจะต้องมีการทำงานที่เร็วกว่าวงรอบควบคุมวงนอกและต้องดีกว่า ยกตัวอย่างหากมีจำนวนวงรอบมากกว่าสองวงรอบ เช่น กระบวนการควบคุมคาสเคดมีจำนวนสี่วงรอบ กล่าวคือ วงรอบที่สามต้องเร็วกว่าวงรอบที่สี่ วงรอบที่สองต้องเร็วกว่าวงรอบที่สาม และสุดท้ายวงรอบที่หนึ่งต้องเร็วกว่าวงรอบที่สอง

ข้อสังเกต จะเห็นได้ว่าวงรอบในสุดจะเป็นตัวส่งสัญญาณไปควบคุมวาล์ว ในขณะที่วงรอบอื่นๆจะทำหน้าที่เป็นค่าเป้าหมาย (Set point) ให้กับตัวควบคุมอื่น

3.2 ตัวอย่างการวิเคราะห์เสถียรภาพโดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์



รูปที่ 3.4 กระบวนการควบคุมแบบวงรอบเดียว [1]



รูปที่ 3.5 บล็อกไดอะแกรมของกระบวนการควบคุมแบบคาสเคด [1]

$$\text{กำหนดให้ Transfer function ของ Valve} = \frac{3}{0.2s + 1}$$

$$\text{กำหนดให้ Transfer function ของ Furnace} = \frac{1}{(3s + 1)(s + 1)}$$

$$\text{กำหนดให้ Transfer function ของ reactor} = \frac{0.8}{(4s + 1)(s + 1)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการคุณลักษณะการควบคุมแบบวงรอบเดี่ยว

$$1 + \frac{1.2G_{c1}}{(0.2s+1)(3s+1)(s+1)(4s+1)(s+1)} = 0 \quad (3.1)$$

หา K_{cu} และ ω_u โดยใช้วิธี Direct Substitution

แปลง Mathematic model ให้อยู่ในรูป Polynomial form

$$(0.2s+1)(3s+1)(s+1)(4s+1)(s+1) + 1.2G_{c1} = 0$$

$$(0.2s+1)(3s^2+4s+1)(4s^2+5s+1) + 1.2K_c = 0$$

$$(0.2s+1)(12s^4+15s^3+16s^3+3s^2+20s^2+4s^2+4s+5s+1) + 1.2K_c = 0$$

$$(0.2s+1)(12s^4+31s^3+27s^2+9s+1) + 1.2K_c = 0$$

$$2.4s^5+18.2s^4+36.4s^3+28.8s^2+9.2s+1+1.2K_c = 0$$

ให้ $S = j\omega_u$ และ $K_c = K_{cu}$

$$2.4j^5\omega_u^5+18.2j^4\omega_u^4+36.4j^3\omega_u^3+28.8j^2\omega_u^2+9.2j\omega_u+1+1.2K_{cu} = 0$$

$$2.4j\omega_u^5+18.2\omega_u^4-36.4j\omega_u^3-28.8\omega_u^2+9.2j\omega_u+1+1.2K_{cu} = 0$$

$$(18.2\omega_u^4-28.8\omega_u^2+1+1.2K_{cu}) + j(2.4\omega_u^5-36.4\omega_u^3+9.2\omega_u) = 0 + j0$$

$$18.2\omega_u^4-28.8\omega_u^2+1+1.2K_{cu} = 0 \quad (3.2)$$

$$2.4\omega_u^5-36.4\omega_u^3+9.2\omega_u = 0 \quad (3.3)$$

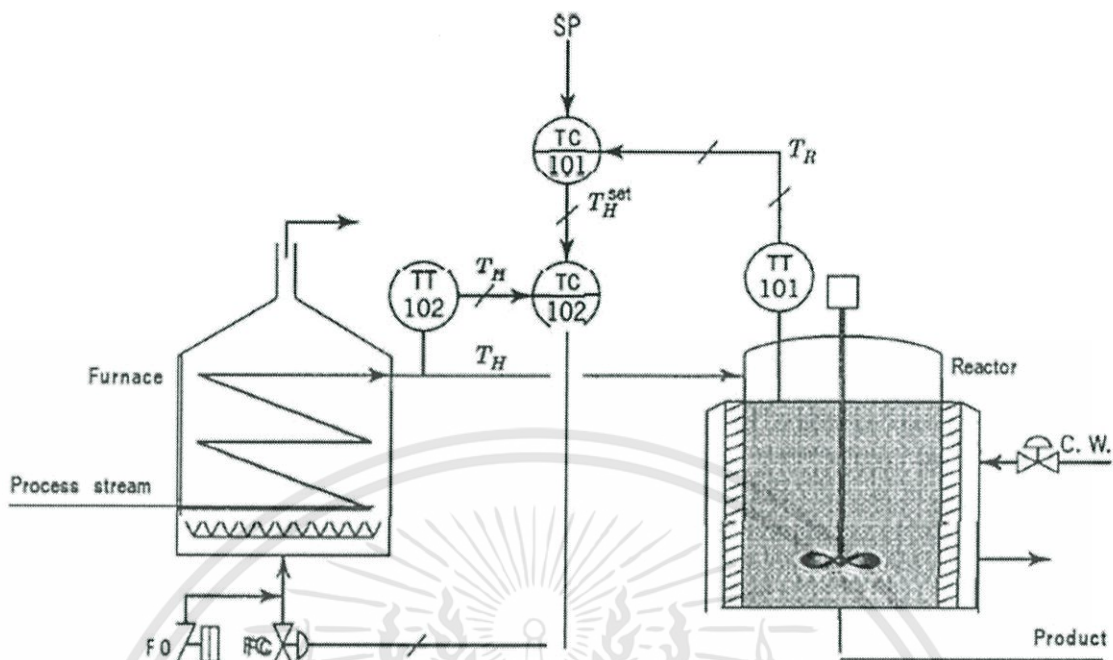
หาค่า ω_u โดยใช้สมการที่ (3.3)

$$\text{จะได้ } \omega_u = 0.507 \text{ Rad/s}$$

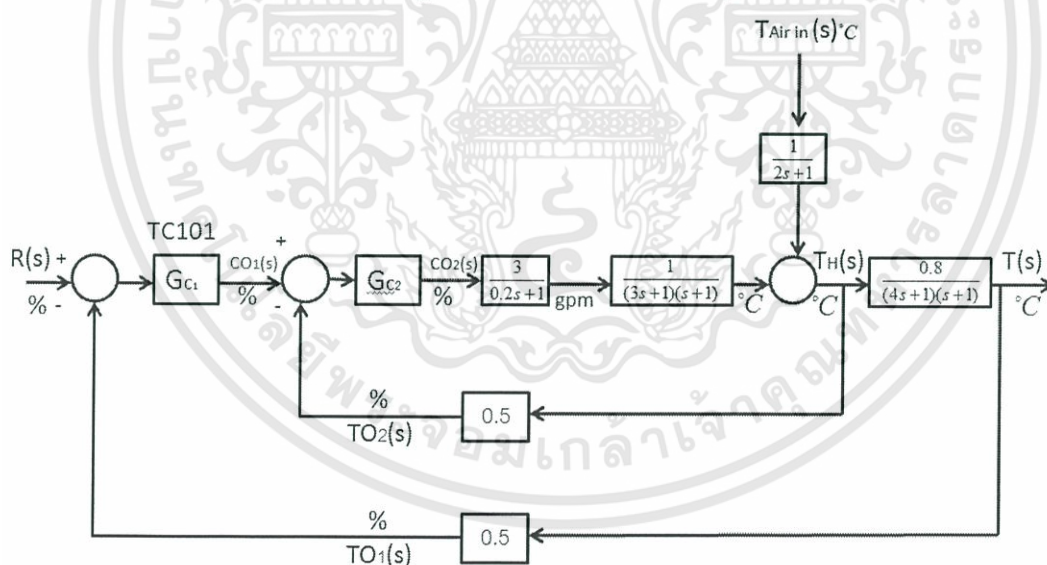
และนำค่า ω_u ไปแทนค่าที่สมการที่ (3.2) เพื่อหาค่า K_{cu}

$$\text{จะได้ } K_{cu} = 4.33 \frac{\%CO}{\%TO}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 กระบวนการควบคุมแบบคาสเคด [1]



รูปที่ 3.7 บล็อกไดอะแกรมของกระบวนการควบคุมแบบคาสเคด [1]

$$\text{กำหนดให้ Transfer function ของ Valve} = \frac{3}{0.2s+1}$$

$$\text{กำหนดให้ Transfer function ของ Furnace} = \frac{1}{(3s+1)(s+1)}$$

$$\text{กำหนดให้ Transfer function ของ reactor} = \frac{0.8}{(4s+1)(s+1)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการคุณลักษณะการควบคุมแบบวงรอบคาสเคด

$$1 + \frac{1.2G_{c1}G_{c2}}{(0.2s+1)(3s+1)(s+1)(4s+1)(s+1)} = 0 \quad (3.4)$$

$$1 + \frac{1.5G_{c2}}{(0.2s+1)(3s+1)(s+1)}$$

หา K_{cu} และ ω_u โดยใช้วิธี Direct Substitution

แปลง Mathematic model ให้อยู่ในรูป Polynomial form

ให้ $S = j\omega_u$ และ $K_c = K_{cu}$

$$1.44\omega_u^8 - 101.08\omega_u^6 + 286.04\omega_u^4 - 71.24\omega_u^2 - 38.91G_{c1}\omega_u^2 + 10.2396G_{c1} = 0 \quad (3.5)$$

$$-20.04\omega_u^6 - 234.44\omega_u^4 - 192.92\omega_u^2 + 13.4 + 43.01G_{c1} = 0 \quad (3.6)$$

หาค่า ω_u และ K_{cu}

$$\text{จะได้ } \omega_u = 1.54 \text{ Rad/s}, \quad K_{cu} = 7.2 \frac{\%CO}{\%TO}$$

จากนั้นทำการหาค่า K_p โดยการเปิดตาราง Ziegler-Nichols

ตารางที่ 3.1 ตาราง Ziegler-Nichols

รูปแบบของตัวควบคุม	K_p	T_i	T_d
แบบสัดส่วน (P)	$\frac{K_u}{2}$	-	-
แบบสัดส่วนปริพันธ์ (PI)	$\frac{K_u}{2.2}$	$\frac{T_u}{1.2}$	-
แบบสัดส่วนปริพันธ์อนุพันธ์ (PID)	$\frac{K_u}{1.7}$	$\frac{T_u}{2}$	$\frac{T_u}{8}$

จะเห็นได้ว่าแบบสัดส่วน (P) $K_p = \frac{K_u}{2}$

∴ Single loop ได้ค่า $K_u = 4.33 \frac{\%CO}{\%TO}$ จะได้ค่า $K_p = 2.165$

Cascade loop ได้ค่า $K_u = 7.2 \frac{\%CO}{\%TO}$ จะได้ค่า $K_p = 3.6$

นำค่า K_p ที่ได้ไปทำการวิเคราะห์เสถียรภาพใน MATLAB ต่อไป

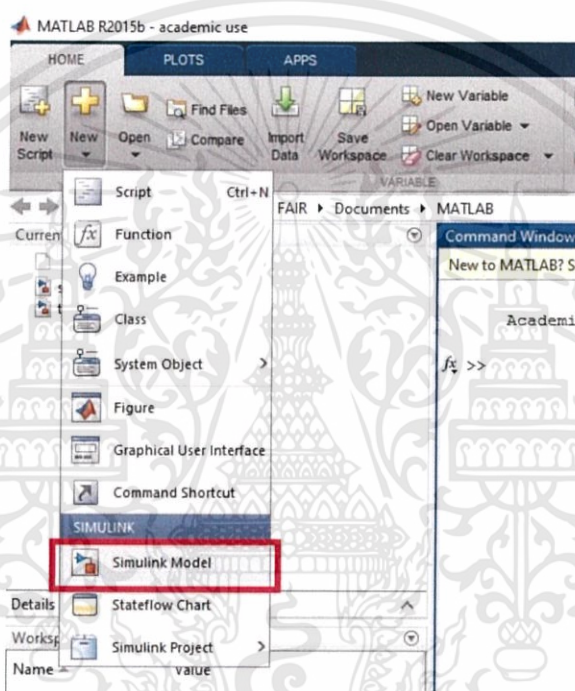
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ขั้นตอนการใช้งานโปรแกรม MATLAB

ในส่วนนี้จะอธิบายขั้นตอนการใช้โปรแกรม MATLAB ในการสร้างบล็อกไดอะแกรมแสดงเส้นทางกระบวนการภายในแพลนท์และใช้จำลองผลตอบสนองในรูปแบบกราฟผลตอบสนองเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบผลตอบสนองกระบวนการ

3.3.1 การสร้างหน้าต่างการทำงาน (Simulink model)

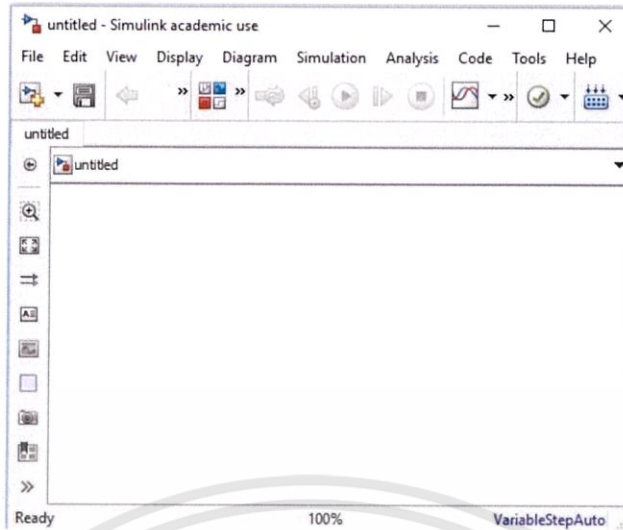
การสร้างบล็อกไดอะแกรมเพื่อจำลองกระบวนการควบคุมนั้น จะต้องสร้างหน้าต่างการทำงานของโปรแกรมที่เรียกว่า “Simulink model” ซึ่งหน้าต่างนี้จะใช้จัดวางบล็อกไดอะแกรมแสดงเส้นทางของกระบวนการควบคุม



รูปที่ 3.8 แสดงการสร้างหน้าต่าง Simulink model

ในการสร้างหน้าต่าง Simulink model มีขั้นตอนดังนี้

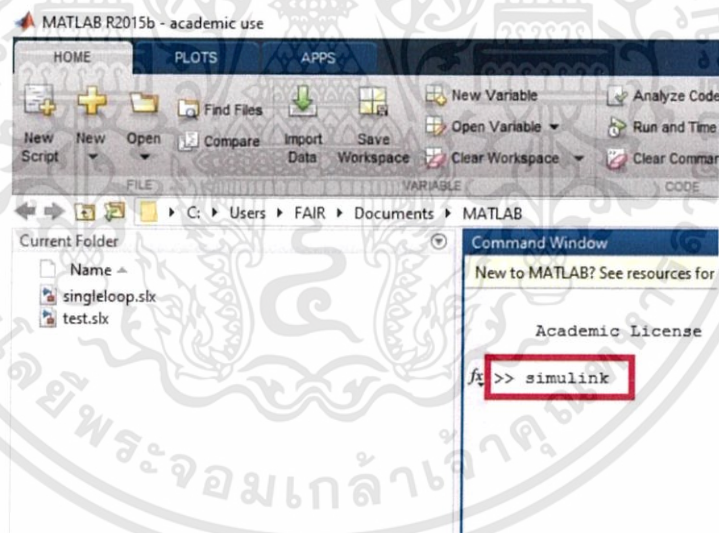
1. เปิดโปรแกรม MATLAB ขึ้นมา
2. คลิกไปที่แถบเมนู Home
3. คลิกไปที่ New แล้วเลือก Simulink model ดังรูปที่ 3.8 จะได้หน้าต่าง Simulink model ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 แสดงหน้าต่าง Simulink model

3.3.2 การเรียกใช้หน้าต่างเครื่องมือ (Simulink)

การสร้างบล็อกไดอะแกรมในหน้าต่าง Simulink model นั้น จะต้องเรียกหน้าต่างเครื่องมือขึ้นมาเพื่อใช้งานอุปกรณ์ต่างๆที่จำเป็นในการสร้างบล็อกไดอะแกรม

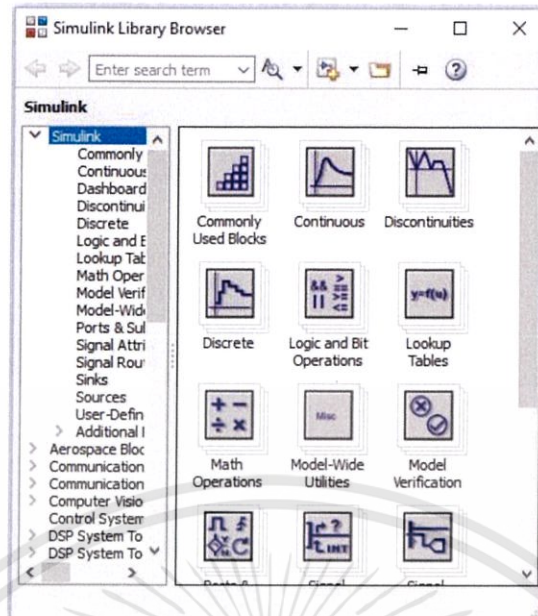


รูปที่ 3.10 การเรียกหน้าต่างเครื่องมือ Simulink

การเรียกหน้าต่างเครื่องมือ Simulink มีขั้นตอนดังนี้

1. ไปที่หน้าต่างโปรแกรม MATLAB
2. ไปที่หน้าต่าง Command window
3. พิมพ์คำสั่ง “Simulink” ในหน้าต่าง Command window แล้วกด Enter จะได้หน้าต่างเครื่องมือ Simulink ขึ้นมาพร้อมใช้งานดังรูปที่ 3.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 หน้าต่างเครื่องมือ Simulink

3.3.3 การสร้างบล็อกไดอะแกรม (Block diagram)

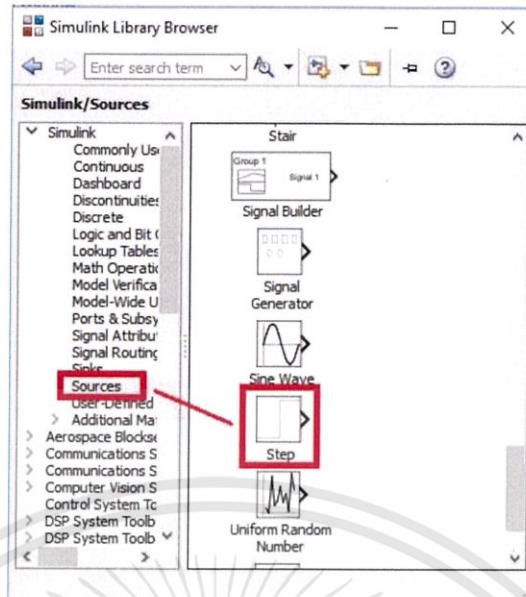
บล็อกไดอะแกรมเป็นการจำลองเส้นทางการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆภายในแพลนท์ ทำการจัดวางบล็อกไดอะแกรมให้ตรงกับกระบวนการ จากนั้นทำการจำลองการทำงานเพื่อดูผลตอบสนองของการควบคุม

3.3.3.1 การสร้างบล็อกสเต็ปอินพุต (Step)

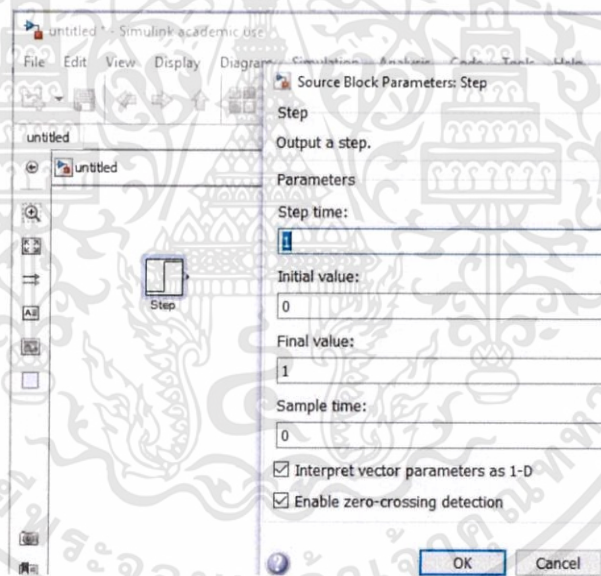
บล็อกสเต็ปอินพุตเป็นการจำลองค่าอินพุตให้กับกระบวนการ ซึ่งสามารถปรับตั้งค่า Setting time ค่าเริ่มต้นกระบวนการ และค่าสุดท้ายของกระบวนการได้อีกด้วย ทั้งนี้บล็อกสเต็ปอินพุตสามารถประยุกต์ใช้เป็นสัญญาณรบกวน (Disturbance) ได้

ขั้นตอนการสร้างบล็อกสเต็ปอินพุต

1. เปิดหน้าต่างเครื่องมือ Simulink และหน้าต่าง Simulink model ขึ้นมา
2. ที่หน้าต่าง Simulink ไปที่เมนู Sources แล้วคลิกซ้ายที่บล็อกสเต็ปอินพุต (Step) ดังรูปที่ 3.12 แล้วลากไปยังหน้าต่าง Simulink model จะได้บล็อกสเต็ปอินพุต ดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.12 การเลือกใช้บล็อกสเต็ปอินพุต



รูปที่ 3.13 บล็อกสเต็ปอินพุตและหน้าต่างการตั้งค่า

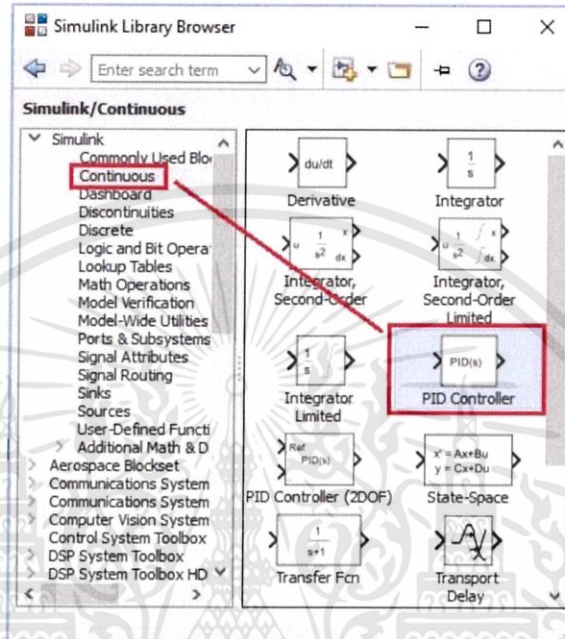
3.3.3.2 การสร้างบล็อกตัวควบคุม (Controller)

บล็อกตัวควบคุมเป็นตัวบล็อกจำลองตัวควบคุมและตัวจัดการค่ากระบวนการ เราใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดี (PID Controller) ซึ่งเราสามารถตั้งค่าพารามิเตอร์พีไอดีของตัวควบคุมได้ เพื่อจำลองการควบคุมของกระบวนการในโปรแกรม MATLAB

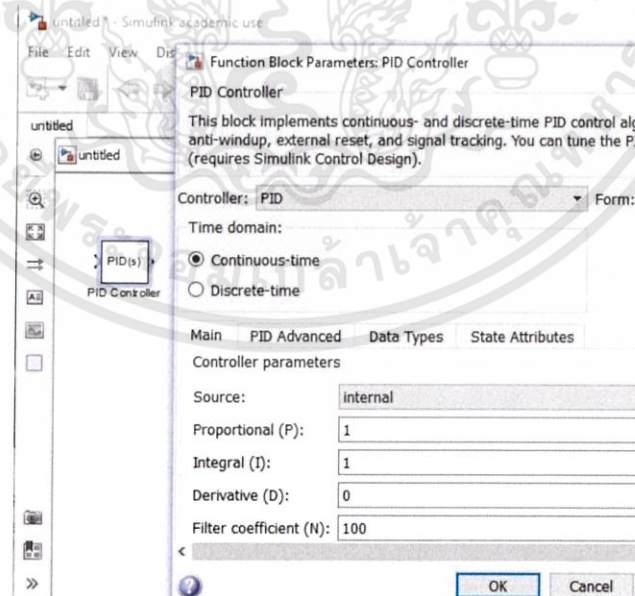
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการสร้างบล็อกตัวควบคุม

1. เปิดหน้าต่างเครื่องมือ Simulink และหน้าต่าง Simulink model ขึ้นมา
2. ที่หน้าต่าง Simulink ไปที่เมนู Continuous แล้วคลิกซ้ายที่บล็อกตัวควบคุมพีไอดี (PID-Controller) ดังรูปที่ 3.14 แล้วลากไปยังหน้าต่าง Simulink model จะได้บล็อกตัวควบคุมพีไอดีดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.14 การเลือกใช้บล็อกตัวควบคุมพีไอดี



รูปที่ 3.15 บล็อกตัวควบคุมพีไอดีและหน้าต่างการตั้งค่าพารามิเตอร์

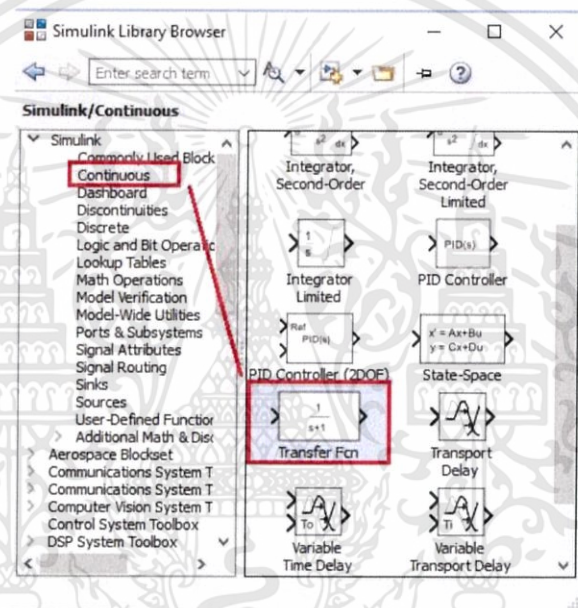
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3.3 การสร้างบล็อกฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer function)

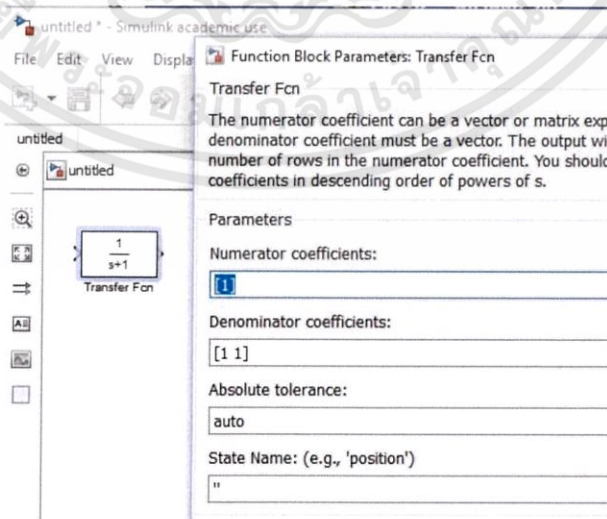
บล็อกฟังก์ชันถ่ายโอนเป็นบล็อกที่ใช้แทนคุณลักษณะของอุปกรณ์ภายในแพลงก์ที่มีผลต่อกระบวนการควบคุม ซึ่งภายในบล็อกนี้จะมีสมการทางคณิตศาสตร์ของฟังก์ชันถ่ายโอนอยู่ภายในบล็อก ฟังก์ชันถ่ายโอนนี้เป็นการจำลองการทำงานหรือพฤติกรรมของแต่ละอุปกรณ์ที่มีผลต่อกระบวนการ

ขั้นตอนการสร้างบล็อกฟังก์ชันถ่ายโอน

1. เปิดหน้าต่างเครื่องมือ Simulink และหน้าต่าง Simulink model ขึ้นมา
2. ที่หน้าต่าง Simulink ไปที่เมนู Continuous แล้วคลิกซ้ายที่บล็อกฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer function) ดังรูปที่ 3.16 แล้วทำการลากไปยังหน้าต่าง Simulink model จะได้บล็อกฟังก์ชันถ่ายโอนดังรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.16 การเลือกใช้บล็อกฟังก์ชันถ่ายโอน



รูปที่ 3.17 บล็อกฟังก์ชันถ่ายโอนและหน้าต่างการตั้งค่าฟังก์ชันถ่ายโอน

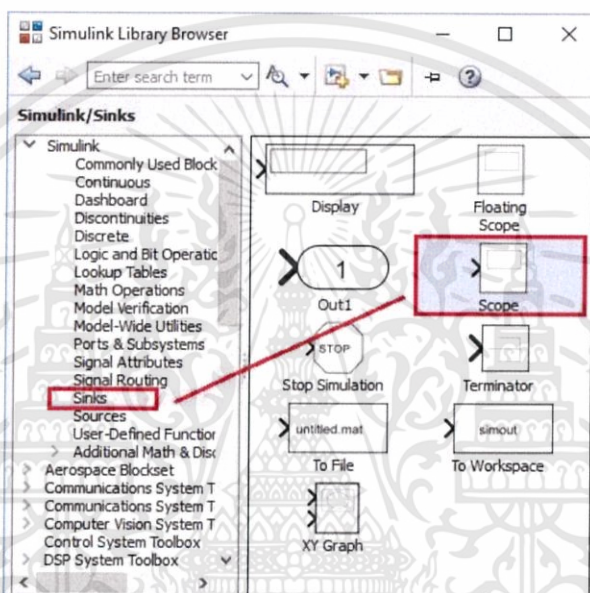
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3.4 การสร้างบล็อกสโคป (Scope)

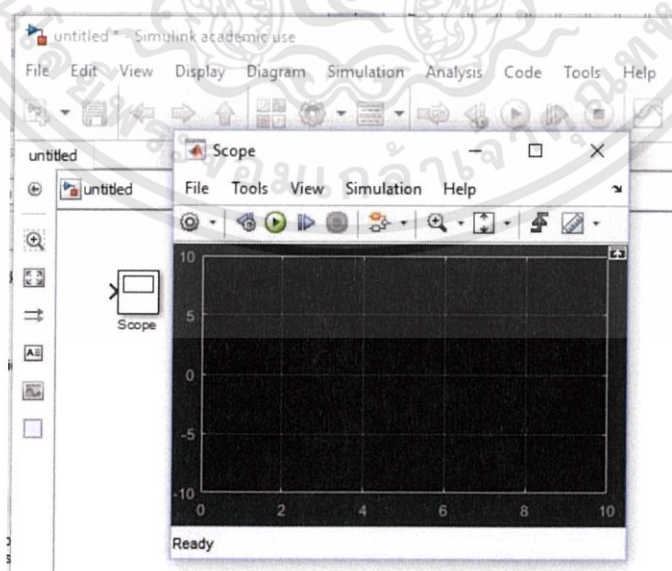
บล็อกสโคปเป็นบล็อกที่ใช้ในการแสดงผลของค่ากระบวนการในรูปภาพผลตอบสนอง เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบผลตอบสนองของกระบวนการควบคุม และสังเกตผลตอบสนองของกระบวนการภายในแพลนท์

ขั้นตอนการสร้างบล็อกสโคป

1. เปิดหน้าต่างเครื่องมือ Simulink และหน้าต่าง Simulink model ขึ้นมา
2. ที่หน้าต่าง Simulink ไปที่เมนู Sink แล้วคลิกซ้ายที่บล็อกสโคป (Scope) ดังรูปที่ 3.18 แล้วทำลากไปยังหน้าต่าง Simulink model จะได้บล็อกสโคปดังรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.18 การเลือกใช้บล็อกสโคป

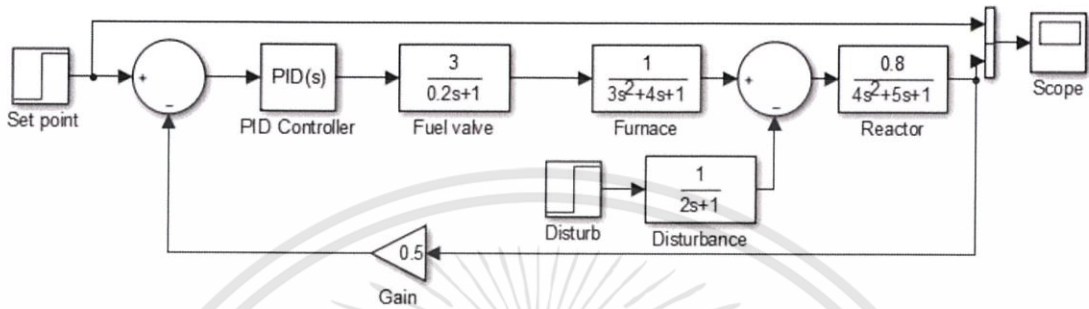


รูปที่ 3.19 บล็อกสโคปและหน้าต่างกราฟแสดงผลตอบสนองของสโคป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

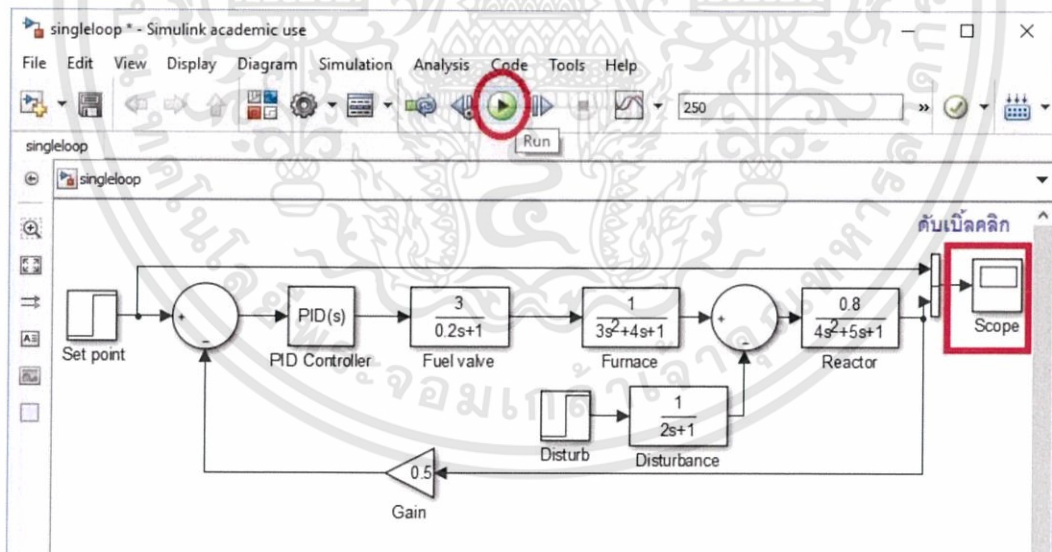
3.3.3.5 การจำลองการทำงานและดูกราฟผลตอบสนอง

การจำลองการทำงานของกระบวนการทำได้โดยการสร้างบล็อกไดอะแกรมจำลองกระบวนการขึ้นมาในโปรแกรม MATLAB โดยใช้บล็อกต่างๆที่ได้อธิบายมาก่อนหน้านี้ จากนั้นทำการรันโปรแกรมแกรมการทำงานของบล็อกไดอะแกรม และดูกราฟผลตอบสนองการควบคุมจากสโคป ซึ่งเมื่อเราสร้างบล็อกไดอะแกรมเสร็จดังรูปที่ 3.20

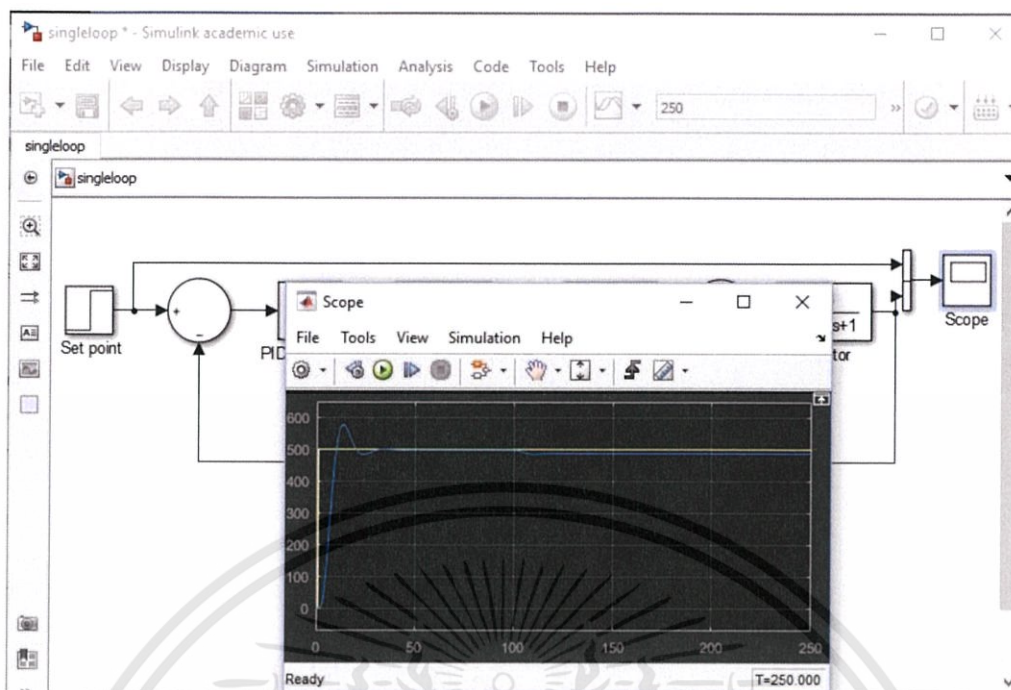


รูปที่ 3.20 บล็อกไดอะแกรมที่ได้จากการจำลองกระบวนการควบคุม

เมื่อสร้างบล็อกไดอะแกรมเสร็จแล้ว ให้ทำการจำลองการทำงาน โดยกดปุ่มรัน (Run) ในแถบเมนูคำสั่งของโปรแกรม MATLAB ดังรูปที่ 3.21 แล้วทำการดับเบิลคลิกที่บล็อกสโคปเพื่อดูกราฟผลตอบสนองของการควบคุมกระบวนการดังรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.21 การจำลองการทำงานของกระบวนการ



รูปที่ 3.22 กราฟผลตอบสนองการควบคุมกระบวนการที่ได้จากการจำลอง

3.4 การศึกษาผลตอบสนองการควบคุม

การศึกษาผลตอบสนองของการควบคุมสามารถพิจารณาได้จากช่วงเวลาต่าง ๆ ระหว่างกระบวนการทำงาน ซึ่งค่าที่นิยมนำไปออกแบบหรือพิจารณาถึงคุณภาพของระบบประกอบไปด้วย ช่วงเวลาขาขึ้น (Rise time) ช่วงเวลาสู่สมดุล (Setting time) ค่าความผิดพลาดที่สภาวะคงที่ (Steady state error) และ ค่าโอเวอร์ชูตสูงสุด (Maximum overshoot)

3.4.1 ช่วงเวลาขึ้น (Rise time, t_r)

ช่วงเวลาขึ้น คือ ช่วงเวลาที่ระบบทำงานในช่วงเริ่มต้น โดยคิดที่ช่วงเวลาตั้งแต่ 10 ถึง 90 % ของค่าที่สภาวะคงที่ ถ้าช่วงเวลาขึ้นมีค่าน้อยจะแสดงได้ว่าระบบทำงานได้เร็วในช่วงแรก

3.4.2 ช่วงเวลาสู่สมดุล (Setting time, t_s)

ช่วงเวลาสู่สมดุล คือ ช่วงเวลาก่อนที่สัญญาณจะเริ่มเข้าสู่สภาวะคงที่ (Steady state) ปกติจะวัดจากระดับ $\pm 2\%$ ถึง $\pm 5\%$ ของค่าที่สภาวะคงที่ ถ้าค่าช่วงเวลาสู่สมดุลมีค่าน้อย แสดงว่าระบบจะเข้าสู่สภาวะทำงานคงที่เร็วขึ้น

3.4.3 ความผิดพลาดที่สภาวะคงที่ (Steady state error, e_{ss})

ความผิดพลาดที่สภาวะคงที่ คือ ค่าความผิดพลาดจากผลต่างระหว่างค่าเป้าหมายและค่าของเอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.4 ค่าโอเวอร์ชูตสูงสุด (Maximum overshoot, Mp)

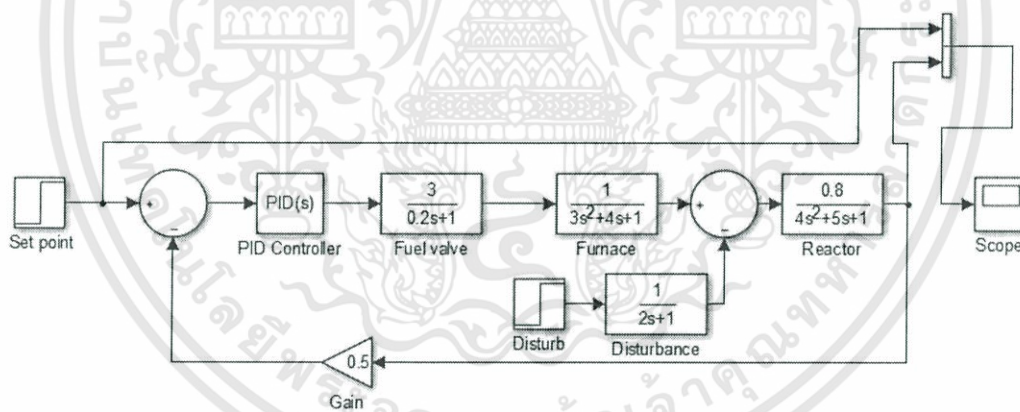
ค่าโอเวอร์ชูต คือ ค่าของผลตอบสนองที่แกว่งขึ้นสูงกว่าค่าเป้าหมายในช่วงเริ่มทำงาน ถ้าค่าโอเวอร์ชูตมีค่ามาก จะทำให้เกิดการแกว่งหรือการกระเพื่อม และจะส่งผลให้ช่วงเวลาสู่สมดุลมากขึ้นตามไปด้วย แต่มีข้อดีคือถ้าค่าโอเวอร์ชูตมีค่ามาก จะทำให้ระดับของความผิดพลาดที่สภาวะคงที่ลดลง

3.5 การศึกษาผลตอบสนองการควบคุมจากตัวอย่าง

ตัวอย่างกระบวนการควบคุมที่เราได้ศึกษานั้น เป็นกระบวนการควบคุมอุณหภูมิของเตาปฏิกรณ์ โดยการควบคุมอัตราการจ่ายเชื้อเพลิงให้กับเตาเผา เพื่อควบคุมอุณหภูมิของเตาปฏิกรณ์ให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมตามค่าเป้าหมาย โดยจะทำการเปรียบเทียบผลตอบสนองระหว่างระบบควบคุมแบบวงรอบเดี่ยว และระบบควบคุมแบบวงรอบคาสเคด โดยจำลองการทำงานของแพลนท์ในโปรแกรม MATLAB

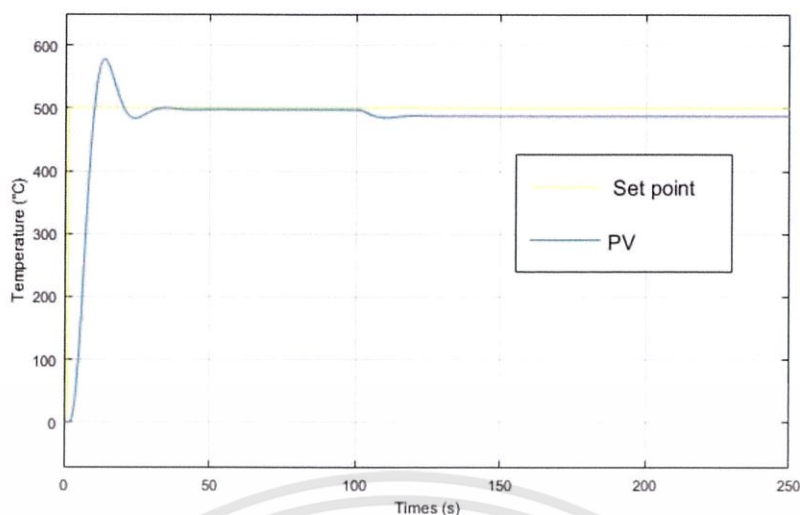
3.5.1 ตัวอย่างกระบวนการควบคุมอุณหภูมิแบบวงรอบเดี่ยว

จากการศึกษาตัวอย่างกระบวนการควบคุมแบบวงรอบเดี่ยวในหนังสือ เราจะได้บล็อกไดอะแกรมของกระบวนการควบคุมอุณหภูมิเตาปฏิกรณ์แบบวงรอบเดี่ยวที่สร้างโดยโปรแกรม MATLAB ดังรูปที่ 3.23



รูปที่ 3.23 บล็อกไดอะแกรมตัวอย่างกระบวนการควบคุมอุณหภูมิแบบวงรอบเดี่ยว

กระบวนการควบคุมอุณหภูมิแบบวงรอบเดี่ยวของเตาปฏิกรณ์เมื่อเริ่มการทำงานจะได้ผลตอบสนองจากสโคปดังรูปที่ 3.24



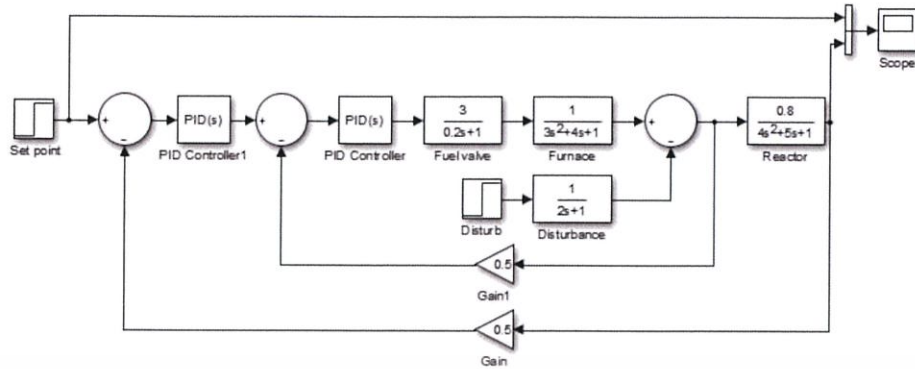
รูปที่ 3.24 กราฟผลตอบสนองการควบคุมอุณหภูมิแบบวงรอบเดียว

จากกราฟผลการตอบสนองของการควบคุมอุณหภูมิแบบวงรอบเดียว สามารถพิจารณาผลตอบสนองได้ดังนี้

- ค่าช่วงเวลาขึ้น (Rise time)
ที่อุณหภูมิ 10 ถึง 90% อยู่ระหว่าง 5 - 450 °C เมื่อทำการวัดช่วงเวลา ณ ช่วงของอุณหภูมินี้จะมีค่าประมาณ 6.5 วินาที
 - ค่าเวลาสู่สมดุล (Setting time)
ที่อุณหภูมิสถานะคงที่เท่ากับ 500 °C เมื่อทำการวัดที่อุณหภูมิ $\pm 2\%$ จะได้ค่าอุณหภูมอยู่ระหว่าง 490 ถึง 510 °C จะได้ช่วงเวลาสู่สมดุลประมาณ 23 วินาที
 - ค่าความผิดพลาดที่สถานะคงที่ (Steady state error)
ที่สถานะคงที่วัดอุณหภูมิได้ 505 °C ดังนั้นค่าความผิดพลาดที่สถานะคงที่ เท่ากับ - 5 °C (ค่ามากกว่าค่าเป้าหมาย)
 - ค่าโอเวอร์ชูดสูงสุด (Maximum overshoot)
เมื่อเริ่มการทำงานของแพลนท์ ค่าอุณหภูมิพุ่งสูงขึ้นถึง 589.2 °C ดังนั้น ค่าโอเวอร์ชูดสูงสุดที่ได้เท่ากับ 89.2 °C
- โดยที่ค่าต่างๆ ที่ได้มานี้ พิจารณาขึ้นมาจากกราฟของผลตอบสนอง รูปที่ 3.24

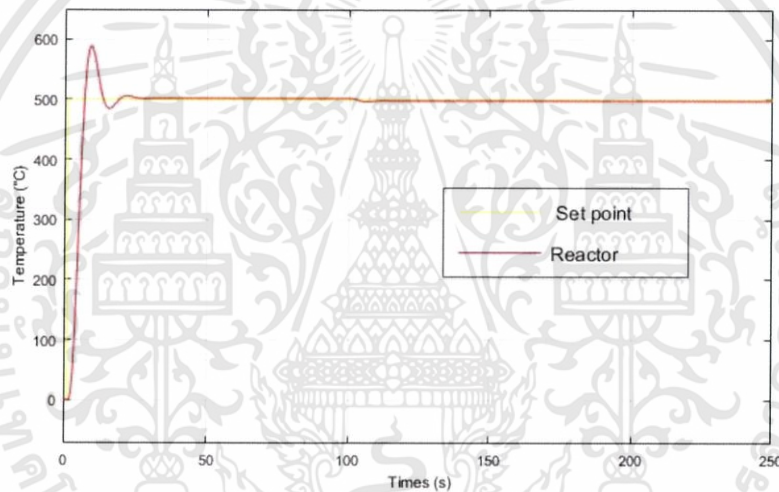
3.5.2 ตัวอย่างกระบวนการควบคุมอุณหภูมิแบบวงรอบคาสเคด

จากการศึกษาตัวอย่างกระบวนการควบคุมในหนังสือ Smith & Corripio wiley 1997. Principles and Praticte of Automatic Process Control [1] เราจะได้บล็อกไดอะแกรมของกระบวนการควบคุมอุณหภูมิเตาปฏิกรณ์แบบวงรอบคาสเคดที่สร้างโดยโปรแกรม MATLAB ได้ดังในรูปที่ 3.25



รูปที่ 3.25 บล็อกไดอะแกรมตัวอย่างกระบวนการควบคุมอุณหภูมิแบบวงรอบคาสเคด

กระบวนการควบคุมอุณหภูมิแบบวงรอบเดี่ยวของเตาปฏิกรณ์เมื่อเริ่มการทำงานจะได้ผลตอบสนองจากสโคปดังรูปที่ 3.26



รูปที่ 3.26 กราฟผลตอบสนองการควบคุมอุณหภูมิแบบวงรอบคาสเคด

จากกราฟผลการตอบสนองของการควบคุมอุณหภูมิแบบวงรอบคาสเคด สามารถพิจารณาผลตอบสนองได้ดังนี้

- ค่าช่วงเวลาขึ้น (Rise time)

ที่อุณหภูมิ 10 ถึง 90% อยู่ระหว่าง 5 – 450 °C เมื่อทำการวัดช่วงเวลา ณ ช่วงของอุณหภูมินี้จะมีค่าประมาณ 4.4 วินาที

- ค่าเวลาสู่สมดุล (Setting time)

ที่อุณหภูมิสถานะคงที่เท่ากับ 500 °C เมื่อทำการวัดที่อุณหภูมิ $\pm 2\%$ จะได้ค่าอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 490 ถึง 510 °C จะได้ช่วงเวลาสู่สมดุลประมาณ 17 วินาที

- ค่าความผิดพลาดที่สถานะคงที่ (Steady state error)

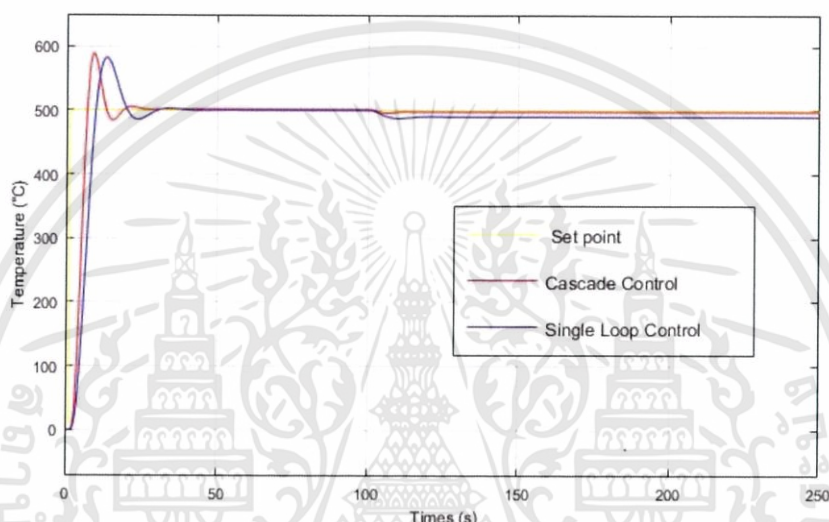
ที่สถานะคงที่วัดอุณหภูมิได้ 502 °C ดังนั้นค่าความผิดพลาดที่สถานะคงที่ เท่ากับ - 2 °C (ค่ามากกว่าค่าเป้าหมาย)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ค่าโอเวอร์ชูตสูงสุด (Maximum overshoot)
เมื่อเริ่มการทำงานของแพลนท์ ค่าอุณหภูมิพุ่งสูงขึ้นถึง $588.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ ดังนั้น ค่าโอเวอร์ชูตสูงสุดที่ได้เท่ากับ $88.6\text{ }^{\circ}\text{C}$

3.5.3 การเปรียบเทียบผลตอบสนองการควบคุมของตัวอย่าง

การเปรียบเทียบผลตอบสนองการควบคุมระหว่างการควบคุมแบบวงรอบเดียวและวงรอบคาสเคด ทำได้โดยการนำกราฟผลตอบสนองการควบคุมของทั้งสองระบบมาเปรียบเทียบกัน จะได้กราฟผลตอบสนองดังรูปที่ 3.27



รูปที่ 3.27 กราฟเปรียบเทียบผลตอบสนองระหว่างการควบคุมแบบวงรอบเดียวและวงรอบคาสเคด

จากกราฟผลการตอบสนองของการควบคุมอุณหภูมิแบบวงรอบเดียว และวงรอบคาสเคด สามารถพิจารณาการเปรียบเทียบผลตอบสนองได้ดังนี้

- ค่าช่วงเวลาขึ้น (Rise time)

ที่อุณหภูมิ 10 ถึง 90% อยู่ระหว่าง $5 - 450\text{ }^{\circ}\text{C}$ เมื่อทำการวัดช่วงเวลา ณ ช่วงของอุณหภูมินี้ การควบคุมอุณหภูมิแบบวงรอบเดียวจะมีค่าประมาณ 6.5 วินาที และการควบคุมแบบวงรอบคาสเคดมีค่าประมาณ 4.4 วินาที สังเกตได้ว่า การควบคุมแบบวงรอบเดียวใช้เวลามากกว่าการควบคุมแบบวงรอบคาสเคดประมาณ 2.1 วินาที แสดงว่าการควบคุมแบบวงรอบคาสเคดทำงานได้เร็วกว่าการควบคุมแบบวงรอบเดียวในช่วงแรก

- ค่าเวลาสู่สมดุล (Setting time)

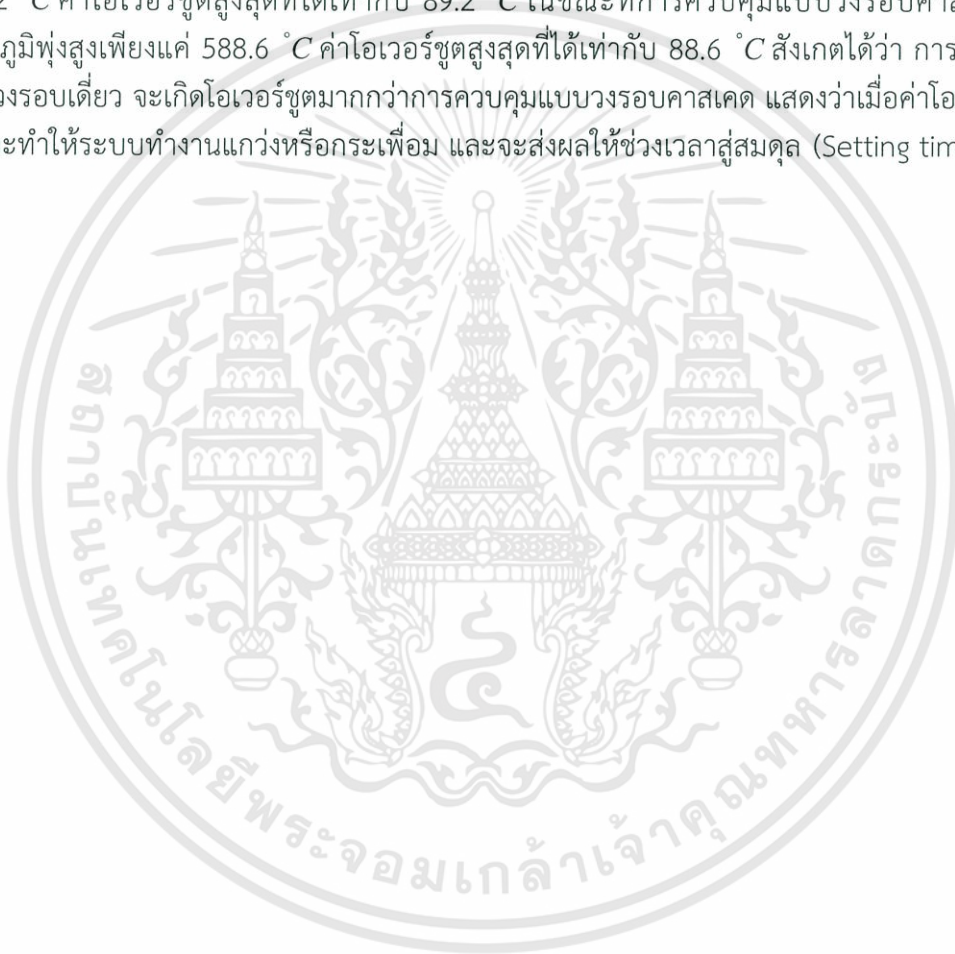
ที่อุณหภูมิสถานะคงที่เท่ากับ $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ เมื่อทำการวัดช่วงเวลาที่อุณหภูมิ $\pm 2\%$ จะได้ค่าอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 490 ถึง $510\text{ }^{\circ}\text{C}$ การควบคุมอุณหภูมิแบบวงรอบเดียวจะได้ช่วงเวลาสู่สมดุลประมาณ 23 วินาที ในขณะที่การควบคุมแบบวงรอบคาสเคดมีค่าประมาณ 17 วินาที สังเกตได้ว่า การควบคุมแบบวงรอบเดียวใช้เวลามากกว่าการควบคุมแบบวงรอบคาสเคดประมาณ 6 วินาที แสดงว่าการควบคุมแบบวงรอบคาสเคดจะเข้าสู่สภาวะทำงานคงที่ได้เร็วกว่าการควบคุมแบบวงรอบเดียว

- ค่าความผิดพลาดที่สภาวะคงที่ (Steady state error)

การควบคุมอุณหภูมิแบบวงรอบเดี่ยวที่สภาวะคงที่วัดอุณหภูมิได้ 505°C ดังนั้นค่าความผิดพลาดที่สภาวะคงที่ เท่ากับ -5°C (ค่ามากกว่าค่าเป้าหมาย) ในขณะที่การควบคุมแบบวงรอบคาสเคดที่สภาวะคงที่วัดอุณหภูมิได้ 502°C เท่ากับ -2°C (ค่ามากกว่าค่าเป้าหมาย) สังเกตได้ว่าการควบคุมแบบวงรอบเดี่ยวเกิดความผิดพลาดมากกว่าการควบคุมแบบวงรอบคาสเคดประมาณ 3°C แสดงว่าการควบคุมแบบวงรอบคาสเคดให้ความถูกต้องแม่นยำมากกว่าการควบคุมแบบวงรอบเดี่ยว

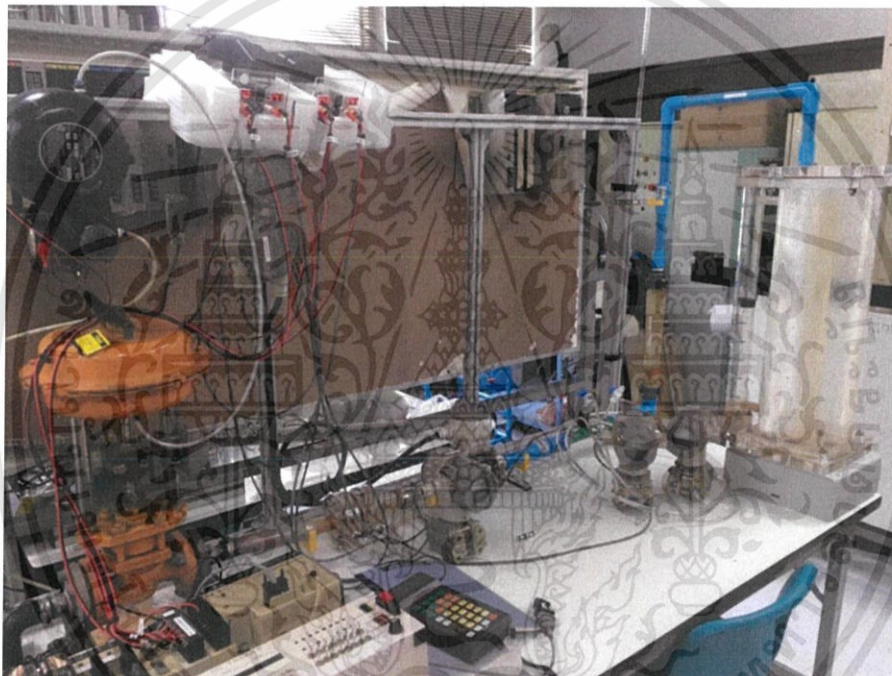
- ค่าโอเวอร์ชูตสูงสุด (Maximum overshoot)

เมื่อเริ่มการทำงานของแพลนท์ การควบคุมแบบวงรอบเดี่ยวค่าอุณหภูมิพุ่งสูงขึ้นถึง 589.2°C ค่าโอเวอร์ชูตสูงสุดที่ได้เท่ากับ 89.2°C ในขณะที่การควบคุมแบบวงรอบคาสเคดค่าอุณหภูมิพุ่งสูงเพียงแค่ 588.6°C ค่าโอเวอร์ชูตสูงสุดที่ได้เท่ากับ 88.6°C สังเกตได้ว่า การควบคุมแบบวงรอบเดี่ยว จะเกิดโอเวอร์ชูตมากกว่าการควบคุมแบบวงรอบคาสเคด แสดงว่าเมื่อค่าโอเวอร์ชูตมากจะทำให้ระบบทำงานแกว่งหรือกระเพื่อม และจะส่งผลให้ช่วงเวลาดูแล (Setting time) นานขึ้น

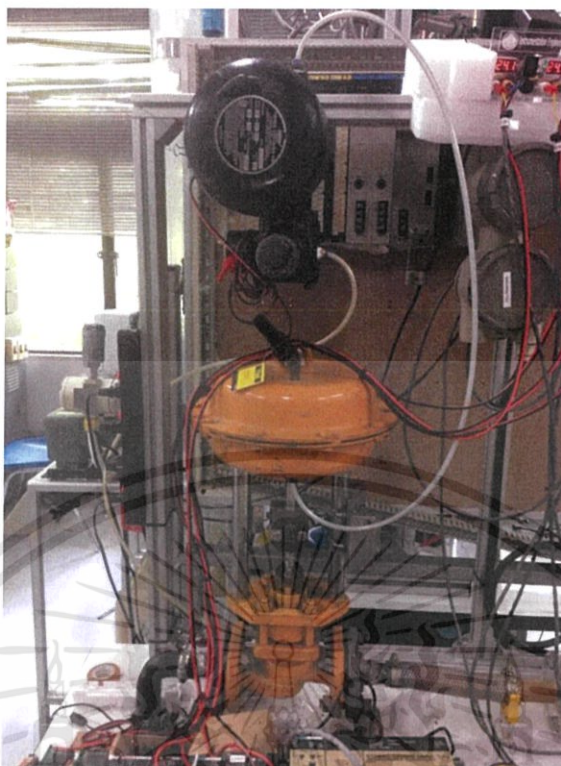


3.6 แพลนทำงานของการควบคุมแบบคาสเคดเพื่อทำการควบคุมระดับ

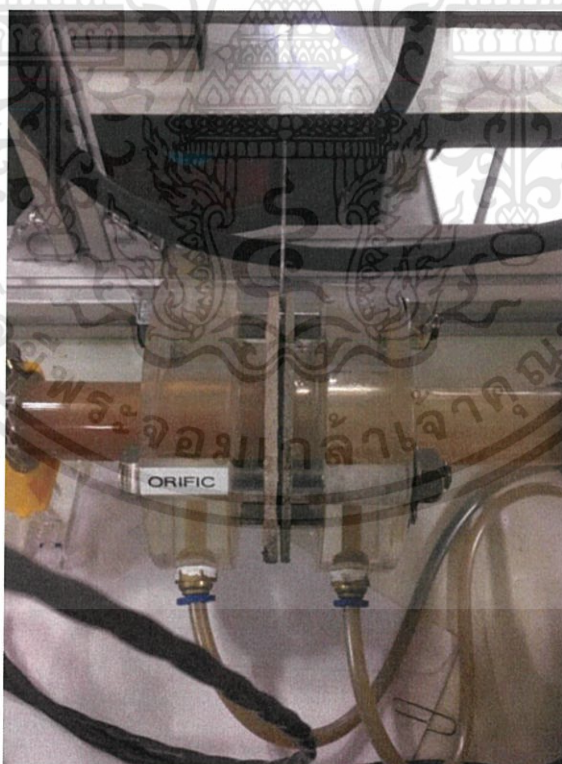
จากการที่ได้ทำการศึกษาแพลนตัวอย่างไปนั้นทำให้รู้ถึงวิธีขั้นตอนในการหาวิธีการวิเคราะห์ ผลการตอบสนองของระบบโดยเริ่มจากการสร้าง บล็อกไดอะแกรม หาฟังก์ชันการถ่ายโอน (Transfer function) ทำการวิเคราะห์เสถียรภาพเพื่อหาค่า K_{cu} และ ω_u เพื่อนำไปใช้ในการจำลองกราฟโดยใช้ โปรแกรม MATLAB ซึ่งในส่วนนี้จะเป็นการที่นำวิธีที่ได้ศึกษามานั้นไปใช้ในการทดลองกับแพลนที่จริง ซึ่งแพลนที่ทำการทดลองนั้นคือ แพลนที่การควบคุมแบบคาสเคดเพื่อทำการควบคุมระดับ ซึ่งจะประกอบไปด้วย I/P, Control valve ทำหน้าที่เป็นส่วนที่ทำการควบคุมอัตราการไหล Orifice, Magnetic flow meter, Ventury, Rotameter เป็นส่วนที่ทำการวัดอัตราการไหล และ Tank เป็นส่วนที่ทำหน้าที่วัดระดับ,



รูปที่ 3.28 แพลนทำงานของการควบคุมแบบคาสเคดเพื่อทำการควบคุมระดับ



รูปที่ 3.29 I/P และ Control valve



รูปที่ 3.30 Orifice

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.31 Magnetic flow meter

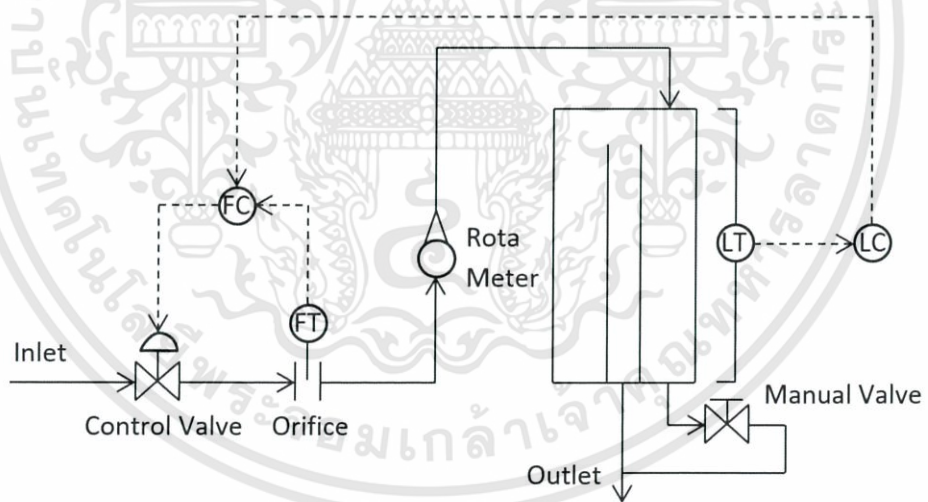


รูปที่ 3.32 Rotameter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

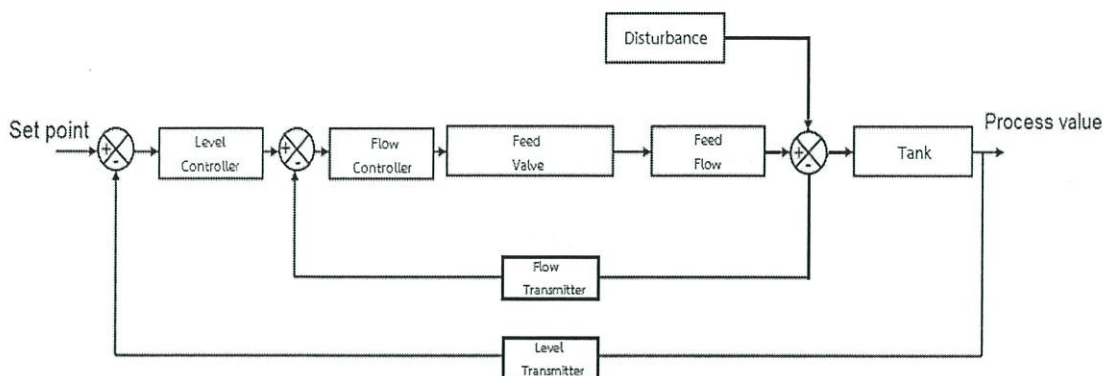


รูปที่ 3.33 Tank



รูปที่ 3.34 P&ID ของแผนผังงานของการควบคุมแบบคาสเคดเพื่อทำการควบคุมระดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

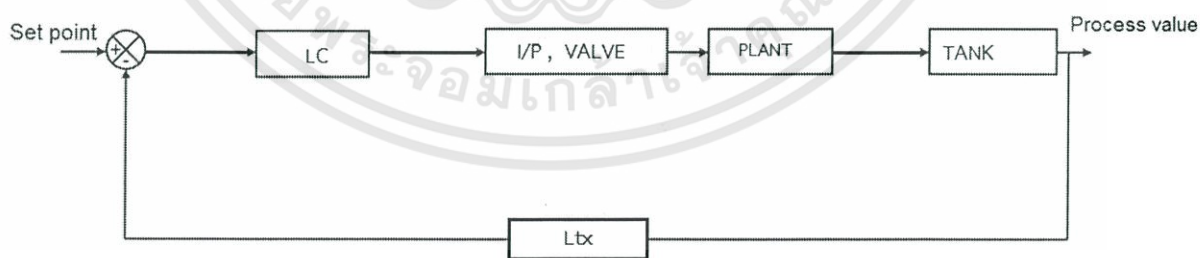


รูปที่ 3.35 บล็อกไดอะแกรมของแผนผังงานของการควบคุมแบบคาสเคดเพื่อทำการควบคุมระดับ

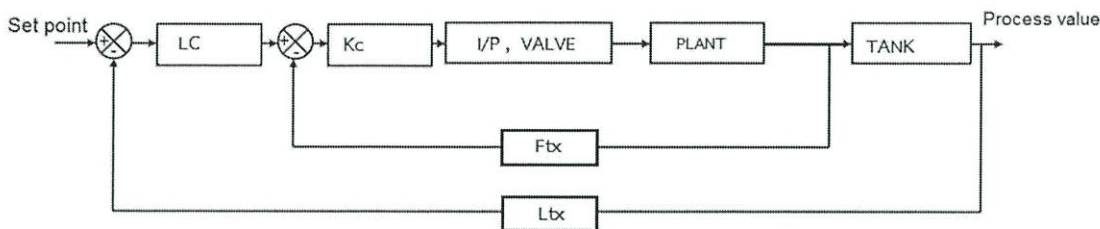
แผนผังงานของการควบคุมแบบคาสเคดเพื่อทำการควบคุมระดับจะเริ่มต้นด้วยในส่วนของ Level Controller จะทำการรับค่า Level set point (SP1) และ Level Sensor/Transmitter (PV1) เพื่อมาประมวลผลคำนวณค่า Controller output ตัวที่ 1 (CO1) เพื่อนำมาเป็น Flow set point (SV2) และนำค่าที่วัดได้จาก Flow Sensor/Transmitter มาประมวลผลคำนวณค่า Controller output ตัวที่ 2 (CO2) นำไปขับเคลื่อน Control Valve ให้ค่อยๆเปิด ซึ่งในขั้นตอนนี้จะพบว่าเกิดตัวแปรบกวน จากความดันภายในท่อที่เปลี่ยนแปลงไป เมื่อยก Plug ในเวลาถัดมา ฉะนั้น Inner loop จึงต้องทำหน้าที่ชดเชยตัวแปรรบกวนนี้ Output ของ Inner loop จะทำหน้าที่เป็น PV2 ของกระบวนการ หรือ input ของแทงค์ และจะมีการนำค่าระดับน้ำปัจจุบัน หรือ PV1 กลับไปควบคุมที่ Level Controller ต่อไป

3.7 ขั้นตอนการวิเคราะห์เสถียรภาพของแผนผังงานจริง

การที่เราจะวิเคราะห์เสถียรภาพได้นั้นขั้นตอนแรกต้องทำการเขียนบล็อกไดอะแกรมของแผนผังที่ได้ดังรูปที่ 3.36



รูปที่ 3.36 บล็อกไดอะแกรมการควบคุมแบบวงรอบเดี่ยว



รูปที่ 3.37 บล็อกไดอะแกรมการควบคุมแบบคาสเคด

เมื่อได้บล็อกไดอะแกรมขั้นตอนต่อไปคือการหาฟังก์ชันการถ่ายโอน (Transfer function)

3.7.1 การหาฟังก์ชันการถ่ายโอน (Transfer function)

ในการทดลองของเรานั้นจะใช้รูปแบบของ First order ในการหาฟังก์ชันการถ่ายโอน (Transfer function) เพราะ First order เป็นวิธีการที่สามารถเข้าใจได้ง่ายและไม่ซับซ้อนเหมาะสำหรับการจำลองผลตอบสนองในขั้นต้น

ฟังก์ชันการถ่ายโอน (Transfer function) สามารถหาได้โดยใช้รูปแบบของ First Order ซึ่งมีรูปแบบดังนี้

$$\frac{K_t}{\tau, s + 1} \tag{3.7}$$

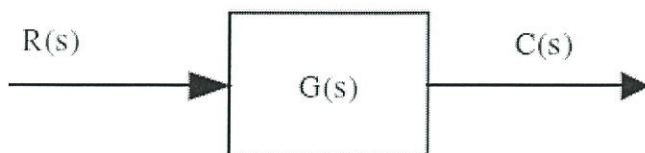
K = Process gain
 τ = Time Constant

ค่า K = Process gain หาได้จาก

$$K_t = \frac{\text{Span OUTPUT}}{\text{Span INPUT}} \tag{3.8}$$

ค่า τ = Time constant

สถานการณ์การทดลองหลายอย่างจำเป็นต้องวัดค่าเวลาคงที่ของระบบ (Time constant) ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงระยะเวลาหน่วงของระบบที่จะเข้าสู่สภาวะสมดุล เราทำการพิจารณาจากรูปที่ 3.38 เป็นรูปแสดงระบบอันดับหนึ่ง (First order system) จะสามารถเขียนสมการได้ดังนี้



รูปที่ 3.38 ระบบอันดับหนึ่ง (First order system) [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้ $R(s)$ เป็นสัญญาณระดับ (Unit step)

$$R(s) = \frac{1}{s} \quad (3.9)$$

กำหนด $G(s)$ ในรูปแบบ First order

$$G(s) = \frac{a}{s+a} \quad (3.10)$$

ทรานเฟอร์ฟังก์ชันคือ $G(s)$ และ $R(s)$ เป็นอินพุตแบบสัญญาณระดับ (Unit step) จะสามารถหาสมการทางเอาต์พุตดังนี้

$$C(s) = G(s)R(s) = \frac{a}{a(s+a)} \quad (3.11)$$

แยกเศษส่วนย่อยจะได้

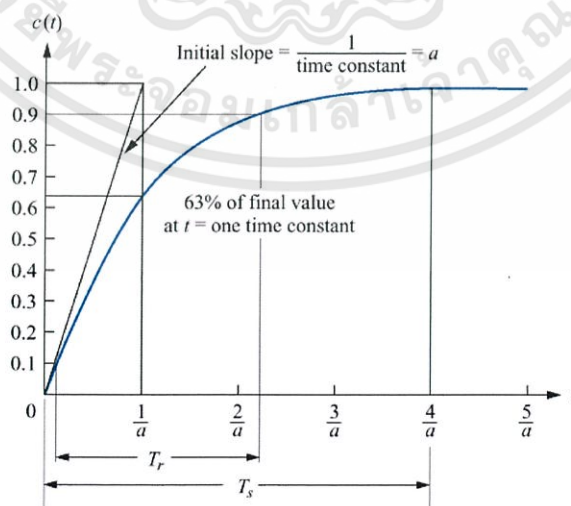
$$C(s) = \frac{1}{s} \times \frac{1}{s+a} \quad (3.12)$$

แปลงลาปลาซผกผันจะได้

$$c(t) = (1 - e^{-at}) \quad (3.13)$$

การตอบสนองของระบบแสดงไว้ในรูปที่ 3.39 การตอบสนองของระบบสิ่งที่เราสนใจที่จะศึกษาคือ Risetime และ Setting time

ถ้ายังค่าคงที่ของเวลา (Time constant) $T = 1/a$ น้อยลงเท่าไรระบบจะเข้าสู่ภาวะเสถียรภาพโดยใช้เวลาน้อยลง ระบบอันดับหนึ่ง ค่อนข้างจะใช้น้อยมากแต่จะเสถียรมาก ที่จุด $t=T$ จะได้ค่าของ $C(t)$ เท่ากับ 0.632 หรือ 63.2% ของการเปลี่ยนแปลงทั้งหมด ลักษณะความชันของระบบจะมีค่าเท่ากับ $1/T$ ในที่นี้คือ a



รูปที่ 3.39 กราฟตัวอย่างแสดงผลตอบสนองของระบบอันดับหนึ่ง [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อมาทำการใช้รูปแบบของ First Order ในการหาฟังก์ชันการถ่ายโอน (Transfer function) ของแต่ละบล็อก

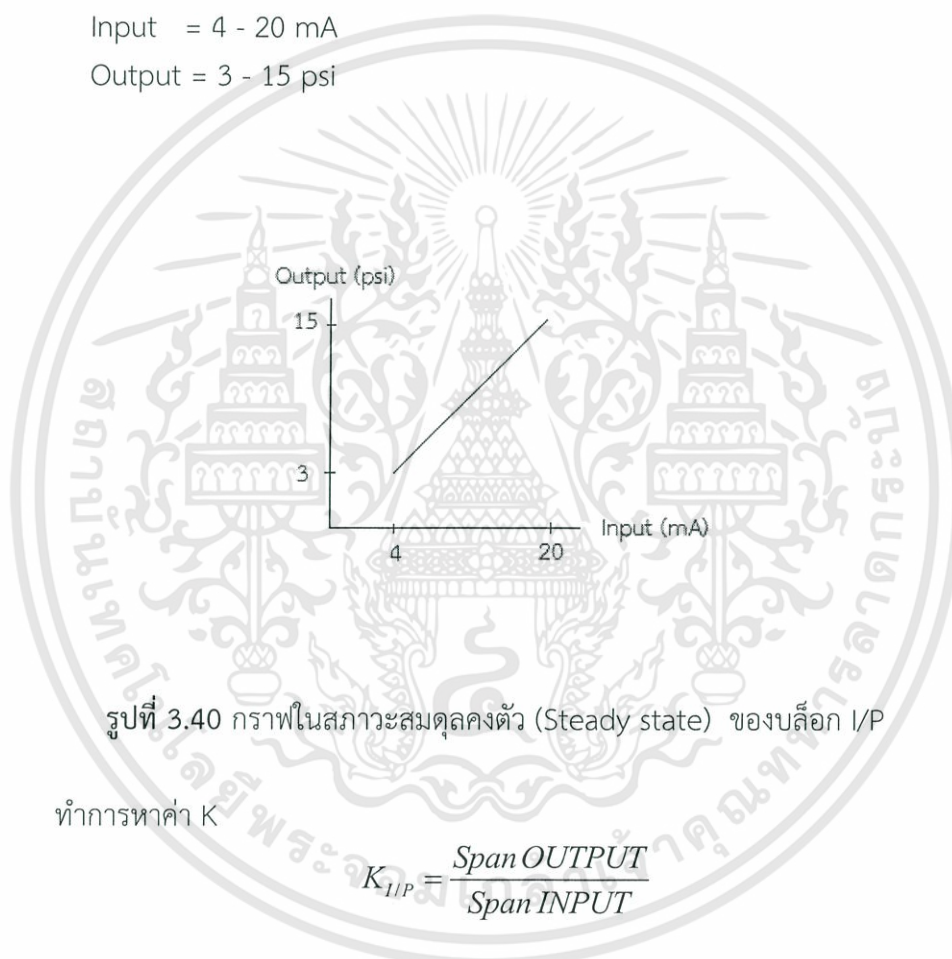
ฟังก์ชันการถ่ายโอน (Transfer function) ของบล็อกไดอะแกรมการควบคุมแบบวงรอบเดี่ยว และ บล็อกไดอะแกรมการควบคุมแบบคาสเคด

3.7.1.1 หาฟังก์ชันการถ่ายโอน (Transfer function) ของบล็อก I/P

จากบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 3.36 และ 3.37 หาฟังก์ชันการถ่ายโอน (Transfer function) ของบล็อก I/P โดยทำการวิเคราะห์หาค่า $K_{I/P}$ ที่ สภาวะสมดุลคงตัว (Steady State)

Input = 4 - 20 mA

Output = 3 - 15 psi



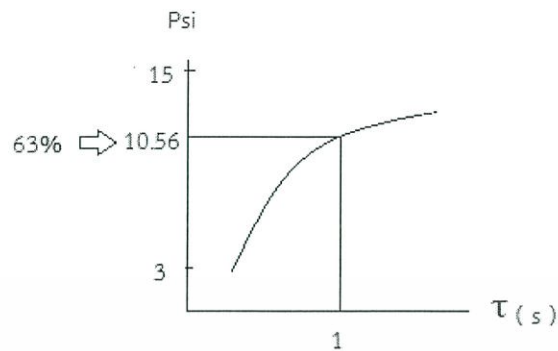
ทำการหาค่า K

$$K_{I/P} = \frac{\text{Span OUTPUT}}{\text{Span INPUT}}$$

$$= \frac{12 \text{ psi}}{16\%}$$

$$= 0.75 \text{ psi}/\%$$

ทำการวิเคราะห์หาค่า τ ที่สภาวะไม่คงตัว (Unsteady state)



รูปที่ 3.41 กราฟในสภาวะไม่คงตัว (Unsteady state) ของบล็อก I/P

ต่อมาใช้ Pressure gauge เป็นตัววัดความดัน (psi) ทำการโดยเปิดวาล์วสุด (20 mA) ทำการจับเวลาโดยสังเกตที่ 9 psi (63%) ได้เวลาประมาณ 1 s เมื่อได้ค่า $K_{I/P}$ และ τ เราสามารถหาค่า ฟังก์ชันการถ่ายโอน (Transfer function) ของบล็อก I/P ได้ดังนี้

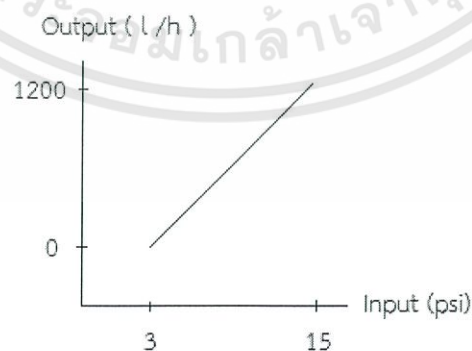
$$\text{ฟังก์ชันการถ่ายโอนบล็อก I/P} = \frac{0.75}{s+1}$$

3.7.1.2 หาฟังก์ชันการถ่ายโอน (Transfer function) ของบล็อก Valve

จากบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 3.36 และ 3.37 หาฟังก์ชันการถ่ายโอน (Transfer function) ของบล็อก Valve โดยทำการวิเคราะห์หาค่า K_{valve} ที่ สภาวะสมดุลคงตัว (Steady State)

Input = 3 - 15 psi

Output = 0 - 1200 (Fmax) L / h



รูปที่ 3.42 กราฟในสภาวะสมดุลคงตัว (Steady state) ของบล็อก Valve

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการหาค่า K

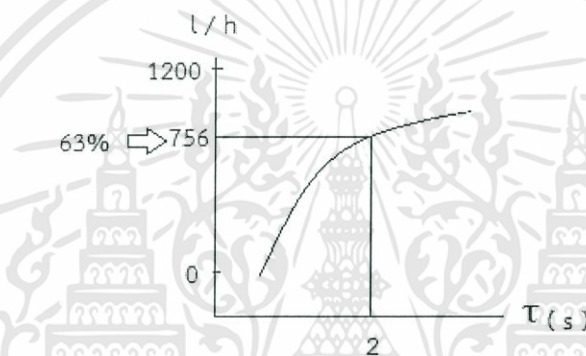
$$K_{valve} = \frac{Span\ OUTPUT}{Span\ INPUT}$$

$$= \frac{1200\ l / hr}{12\ psi}$$

$$= 100\ l / hr / psi$$

ทำการวิเคราะห์หาค่า τ ของบล็อก Valve

โดยทำการเปิดวาล์วสุด (15 psi) และจับเวลาโดยสังเกตที่โรตาริเตอร์อัตราไหลเท่ากับ 756 l / h (63 %) ได้เวลาประมาณ 2 s



รูปที่ 3.43 กราฟในสถานะไม่คงตัว (Unsteady state) ของบล็อก Valve

เมื่อได้ค่า K_{valve} และ τ เราสามารถหาค่า ฟังก์ชันการถ่ายโอน (Transfer function) ของบล็อก I/P ได้ดังนี้

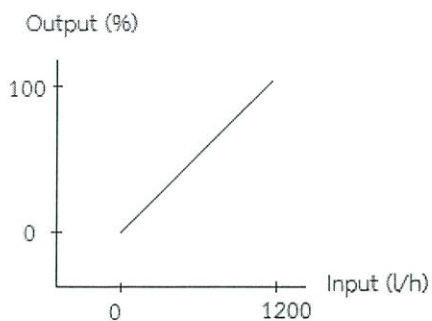
$$\text{ฟังก์ชันการถ่ายโอนบล็อก I/P} = \frac{100}{2s + 1}$$

3.7.1.3 หาฟังก์ชันการถ่ายโอน (Transfer function) ของบล็อก Tank

จากบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 3.36 และ 3.37 หาฟังก์ชันการถ่ายโอน (Transfer function) ของบล็อก Tank โดยทำการวิเคราะห์หาค่า K_{tank} ที่สถานะสมดุลคงตัว (Steady state)

$$\text{Input} = 0 - 1200\ l / h$$

$$\text{Output} = 0 - 100\ \%$$



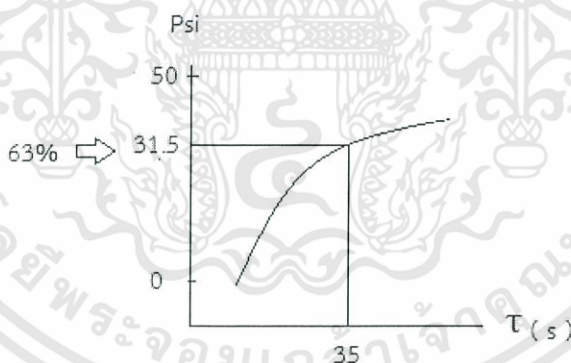
รูปที่ 3.44 กราฟในสภาวะสมดุลคงตัว (Steady state) ของบล็อกร Tank

ทำการหาค่า K

$$\begin{aligned} K_{Tank} &= \frac{\text{Span OUTPUT}}{\text{Span INPUT}} \\ &= \frac{100\%}{1200\text{ l/hr}} \\ &= 0.083 \end{aligned}$$

ทำการวิเคราะห์หาค่า τ ที่สภาวะไม่คงตัว (Unsteady state)

โดยทำการจับเวลาเมื่อระดับน้ำขึ้นไปถึงที่ 63% ของระดับที่ควบคุมได้ 50 s



รูปที่ 3.45 กราฟในสภาวะไม่คงตัว (Unsteady state) ของบล็อกร Tank

เมื่อได้ค่า K_{tank} และ τ เราสามารถหาค่า ฟังก์ชันการถ่ายโอน (Transfer function) ของบล็อกร Tank ได้ดังนี้

$$\text{ฟังก์ชันการถ่ายโอนบล็อกร Tank} = \frac{0.083}{50s + 1}$$

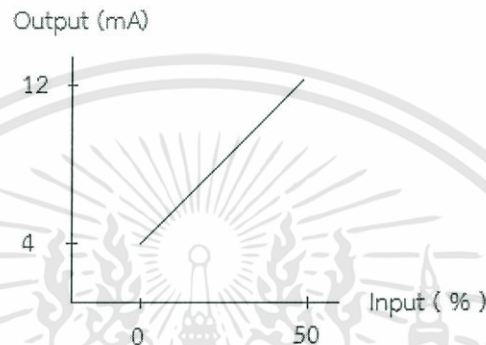
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7.1.4 หาฟังก์ชันการถ่ายโอน (Transfer function) ของบล็อก Level transmitter

จากบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 3.36 และ 3.37 หาฟังก์ชันการถ่ายโอน (Transfer function) ของบล็อก Level transmitter โดยทำการวิเคราะห์หาค่า K_{LT} ที่สถานะสมดุลคงตัว (Steady state)

Input = 0 – 50 % (ทำการควบคุมระดับน้ำที่ 50 %)

Output = 4 – 12 mA



รูปที่ 3.46 กราฟในสถานะสมดุลคงตัว (Steady state) ของบล็อก Lt

ทำการหาค่า k

$$\begin{aligned}
 K_{I/P} &= \frac{\text{Span OUTPUT}}{\text{Span INPUT}} \\
 &= \frac{8 \text{ mA}}{50\%} \\
 &= 0.16 \text{ mA}/\%
 \end{aligned}$$

ทำการวิเคราะห์หาค่า τ ที่สถานะไม่คงตัว (Unsteady state)

เนื่องจากเวลาที่กระแสเปลี่ยนจาก 4 mA ไป 9.04 mA (63%) ของ Level transmitter มีค่าน้อยมากจึงสมมติให้ τ เท่ากับ 0.2s

เมื่อได้ค่า $K_{I/P}$ และ τ เราสามารถหาค่า ฟังก์ชันการถ่ายโอน (Transfer function) ของบล็อก Lt ได้ดังนี้

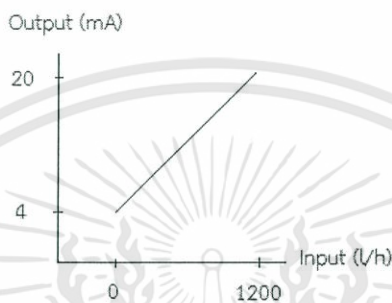
$$\text{ฟังก์ชันการถ่ายโอนบล็อก Lt} = \frac{0.16}{0.2s + 1}$$

3.7.1.5 หาฟังก์ชันการถ่ายโอน (Transfer function) ของบล็อก Flow transmitter

จากบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 3.37 หาฟังก์ชันการถ่ายโอน (Transfer function) ของบล็อก Flow transmitter โดยทำการวิเคราะห์หาค่า K_{FT} ที่สภาวะสมดุลคงตัว (Steady state)

Input = 0 – 1200 l / h

Output = 4 – 20 mA



รูปที่ 3.47 กราฟในสภาวะสมดุลคงตัว (Steady state) ของบล็อก Ft

ทำการหาค่า k

$$\begin{aligned} K_{FT} &= \frac{\text{Span OUTPUT}}{\text{Span INPUT}} \\ &= \frac{16 \text{ mA}}{1200 \text{ l/h}} \\ &= 0.0133 \text{ mA/l/h} \end{aligned}$$

ทำการวิเคราะห์หาค่า τ ที่สภาวะไม่คงตัว (Unsteady state)

เนื่องจากเวลาที่กระแสเปลี่ยนจาก 4 mA ไป 10.08 mA (63%) ของ Flow transmitter มีค่าน้อยมาก τ เท่ากับ 0.2 s

เมื่อได้ค่า K_{FT} และ τ เราสามารถหาค่า ฟังก์ชันการถ่ายโอน (Transfer function) ของบล็อก Ft ได้ดังนี้

$$\text{ฟังก์ชันการถ่ายโอนบล็อก Ft} = \frac{0.0133}{0.2s + 1}$$

3.7.1.6 หาฟังก์ชันการถ่ายโอน (Transfer function) ของบล็อก

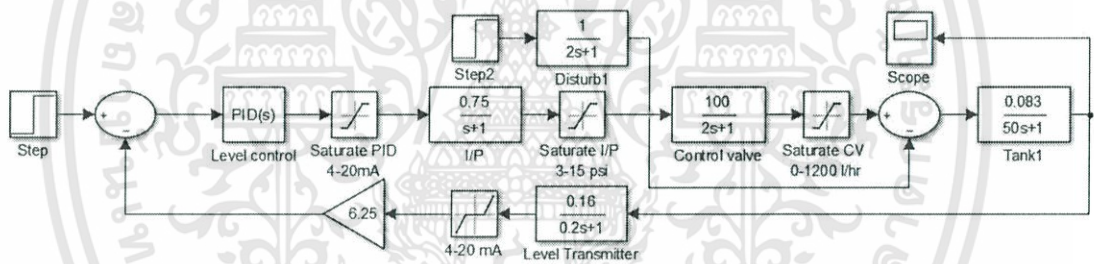
Disturbance

ในการหาค่าฟังก์ชันการถ่ายโอนของ Disturbance จะทำการทำในรูปแบบของของฟังก์ชันการรบกวนของระบบ (Load disturbance sensitivity function) โดยจะให้ค่า $k = 1$ จากนั้นทำการหาค่า Time constant โดยจับเวลาเมื่อทำการควบคุมระบบเข้าสู่สภาวะคงที่แล้ว ค่าที่ได้มีการเปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากระบบตอบสนองต่อสิ่งรบกวน เช่น ระดับน้ำที่ไม่คงที่ โดยทำการวัดแล้วได้ค่า $\tau = 2s$

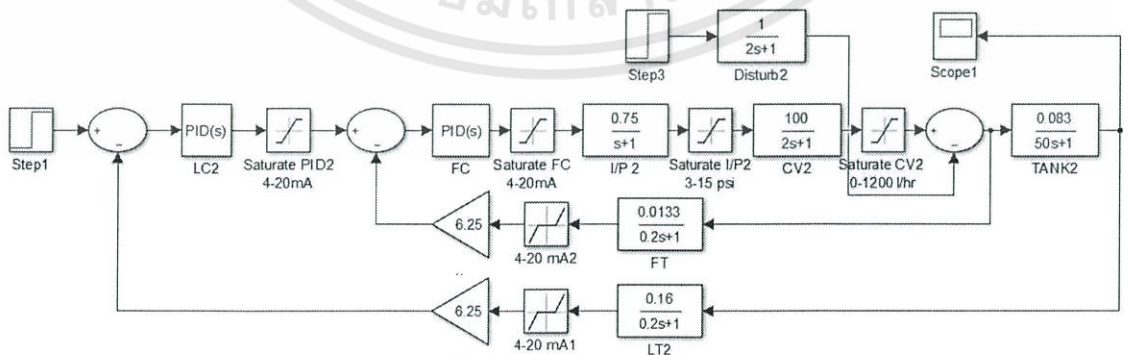
เมื่อได้ค่า k และ τ เราสามารถหาค่า ฟังก์ชันการถ่ายโอน (Transfer function) ของบล็อก Disturbance ได้ดังนี้

$$\text{ฟังก์ชันการถ่ายโอนบล็อก Disturbance} = \frac{1}{2s+1}$$

นำฟังก์ชันการถ่ายโอน (Transfer function) ของบล็อกทั้งหมดที่หามาได้ ใส่ลงในบล็อกไดอะแกรมได้ดังนี้



รูปที่ 3.48 ฟังก์ชันการถ่ายโอนของการควบคุมแบบวงรอบเดี่ยว



รูปที่ 3.49 ฟังก์ชันการถ่ายโอนของการควบคุมแบบคาสเคด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7.2 การคำนวณหาค่า K_{cu} และ ω_u เพื่อนำไปจำลองกราฟในโปรแกรม MATLAB

3.7.2.1 สมการคุณลักษณะการควบคุมแบบวงรอบเดี่ยว

$$1 + \frac{0.996G_c}{(s+1)(2s+1)(50s+1)(0.2s+1)} = 0 \quad (3.14)$$

หา K_{cu} และ ω_u โดยใช้วิธี Direct substitution

แปลง Mathematic model ให้อยู่ในรูป Polynomial form

$$\frac{(s+1)(2s+1)(50s+1)(0.2s+1) + 0.996G_c}{(s+1)(2s+1)(50s+1)(0.2s+1)} = 0$$

$$(s+1)(2s+1)(50s+1)(0.2s+1) + 0.996G_c = 0$$

$$20s^4 + 130.4s^3 + 162.6s^2 + 53.2s + 1 + 0.996G_c = 0$$

$$s = j\omega$$

$$20(j\omega_u)^4 + 130.4(j\omega_u)^3 + 162.6(j\omega_u)^2 + 53.2(j\omega_u) + 1 + 0.996K_c = 0$$

$$20\omega_u^4 - 130.4j\omega_u^3 - 162.6\omega_u^2 + 53.2j\omega_u + 1 + 0.996K_c = 0 + 0j$$

แก้สมการหา ω_u

$$20\omega_u^4 - 162.6\omega_u^2 + 1 + 0.996K_c = 0 \quad (3.15)$$

$$(-130.4\omega_u^3 + 53.2\omega_u)j = 0j \quad (3.16)$$

ใช้สมการที่ (3.16) เพื่อหา ω_u

$$\omega_u^2 = \frac{53.2}{130.4} = 0.4079$$

$$\omega_u = 0.63867$$

แทนค่า ω_u ในสมการที่ (3.15)

$$14(0.4079)^2 - 114.6(0.4079) + 1 + 0.996K_c = 0$$

$$0.996K_c = 61.9969$$

$$K_c = 62.2459$$

จะได้

$$K_p = \frac{K_c}{1.7} = \frac{62.2459}{1.7} = 36.615$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำ ω_u มาใช้เพื่อหาค่า I และ D

$$\text{จาก } \omega_u = 2\pi f \quad \text{และ} \quad f = \frac{1}{T_u}$$

$$\text{แทนค่า } 0.6387 = 2\pi f$$

$$\text{จะได้ } f = 0.1016 \quad \text{และ} \quad T_u = 9.8379$$

$$\text{เพราะฉะนั้น} \quad T_I = \frac{T_u}{2} = \frac{9.8379}{2} = 4.9189$$

$$T_D = \frac{T_u}{8} = \frac{9.8379}{8} = 1.2297$$

ในการป้อนค่าในโปรแกรม MATLAB จะมีการคำนวณค่าดังต่อไปนี้

$$P = K_p = 36.615$$

$$I = \frac{K_p}{T_I} = \frac{36.615}{4.9189} = 7.4437$$

$$D = K_p \times T_D = 36.615 \times 1.2297 = 45.0255$$

3.7.2.2 สมการคุณลักษณะการควบคุมแบบวงรอบคาสเคด

$$1 + \frac{0.996G_{c1}G_{c2}}{(s+1)(2s+1)(50s+1)(0.2s+1)} = 0 \quad (3.17)$$

$$1 + \frac{0.9975G_{c2}}{(s+1)(2s+1)(0.2s+1)}$$

ใช้วิธี Direct substitution คิดหา G_{c2}

แปลง Mathematic model ให้อยู่ในรูป Polynomial form

$$\frac{(s+1)(2s+1)(0.2s+1) + 0.9975G_{c2}}{(s+1)(2s+1)(0.2s+1)} = 0$$

$$(s+1)(2s+1)(0.2s+1) + 0.9975G_{c2} = 0$$

$$0.4s^3 + 2.6s^2 + 3.2s + 1 + 0.9975G_{c2} = 0$$

$$s = j\omega$$

$$0.4(j\omega_u)^3 + 2.6(j\omega_u)^2 + 3.2(j\omega_u) + 1 + 0.9975K_{C2} = 0$$

$$-0.4j\omega_u^3 - 2.6\omega_u^2 + 3.2j\omega_u + 1 + 0.9775K_{C2} = 0 + 0j$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$-2.6\omega_u^2 + 1 + 0.9775K_{p2} = 0 \quad (3.18)$$

$$(-0.4\omega_u^3 + 3.2\omega_u)j = 0j \quad (3.19)$$

แก้สมการหา ω_u จากสมการที่ (3.19)

$$\omega_u^2 = \frac{3.2}{0.4} = 8$$

$$\omega_u = 2\sqrt{2}$$

แทนค่า ω_u ในสมการที่ (3.18)

$$-2.6(8) + 1 + 0.9975K_{C2} = 0$$

$$0.9975K_{C2} = 19.8$$

$$K_{C2} = 19.8496$$

จะได้

$$K_{p2} = \frac{K_{C2}}{1.7} = \frac{19.8496}{1.7} = 11.6762$$

นำ ω_u มาใช้เพื่อหาค่า I และ D

จาก $\omega_u = 2\pi f$ และ $f = \frac{1}{T_u}$

แทนค่า $2\sqrt{2} = 2\pi f$

จะได้ $f = 0.4502$ และ $T_u = 2.2212$

เพราะฉะนั้น

$$T_{I2} = \frac{T_u}{2} = \frac{2.2212}{2} = 1.1106$$

$$T_{D2} = \frac{T_u}{8} = \frac{2.2212}{8} = 0.2777$$

ในการป้อนค่าในโปรแกรม MATLAB จะมีการคำนวณค่าดังต่อไปนี้

$$P_2 = K_{p2} = 11.6762$$

$$I_2 = \frac{K_{p2}}{T_{I2}} = \frac{11.6762}{1.1106} = 10.5134$$

$$D_2 = K_{p2} \times T_{D2} = 11.6762 \times 0.2777 = 3.2425$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นหาค่า G_{C_2} เพื่อไปแทนค่าในสมการที่ (3.17) เพื่อหา G_{C_1}

$$G_{C_2} = K_{p_2} \left(1 + \frac{1}{T_{I_2}} + T_{D_2} \right) \quad (3.20)$$

(สมการที่ (3.20) อ้างอิงมาจากหนังสือ Smith & Corripio wiley 1997. Principles and Praticce of Automatic Process Control ในบทที่ 5)

$$G_{C_2} = 11.6762 \left(1 + \frac{1}{10.5134} + 3.2425 \right)$$

$$G_{C_2} = 50.6469$$

แทนค่าในสมการที่ (3.17)

$$1 + \frac{0.996(50.6469)G_{c1}}{(s+1)(2s+1)(50s+1)(0.2s+1)} = 0$$

$$1 + \frac{0.9975(50.6469)}{(s+1)(2s+1)(0.2s+1)} = 0$$

$$1 + \frac{50.4443G_{c1}}{(s+1)(2s+1)(50s+1)(0.2s+1)} = 0$$

$$1 + \frac{50.5203}{(s+1)(2s+1)(0.2s+1)} = 0$$

$$1 + \frac{50.4443G_{c1}}{(s+1)(2s+1)(50s+1)(0.2s+1)} = 0$$

$$1 + \frac{(s+1)(2s+1)(50s+1)(0.2s+1)}{(s+1)(2s+1)(0.2s+1) + 50.5203} = 0$$

$$1 + \frac{50.4443G_{c1}}{(50s+1)[(s+1)(2s+1)(0.2s+1) + 50.5203]} = 0$$

$$\frac{(50s+1)[(s+1)(2s+1)(0.2s+1) + 50.5203] + 50.4443G_{c1}}{(50s+1)[(s+1)(2s+1)(0.2s+1) + 50.5203]} = 0$$

$$20s^4 + 130.4s^3 + 162.6s^2 + 2579.21s + 51.5203 + 50.4443G_{c1} = 0$$

$$s = j\omega$$

$$20(j\omega)^4 + 130.4(j\omega)^3 + 162.6(j\omega)^2 + 2579.21(j\omega) + 51.5203 + 50.4443K_{C_1} = 0$$

$$20\omega_u^4 - 130.4j\omega_u^3 - 162.6\omega_u^2 + 2579.21j\omega_u + 51.5203 + 50.4443K_{C_1} = 0 + 0j$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$20\omega_u^4 - 162.6\omega_u^2 + 51.5203 + 50.4443K_{C_1} = 0 \quad (3.21)$$

$$(-130.4\omega_u^3 + 2579.21\omega_u)j = 0j \quad (3.22)$$

แก้สมการหา ω_u จากสมการที่ (3.22)

$$\omega_u^2 = \frac{2579.21}{130.4} = 19.7792$$

$$\omega_u = 4.4474$$

แทนค่า ω_u ในสมการที่ (3.21)

$$20(4.4474)^4 - 162.6(4.4474)^2 + 51.5203 + 50.4443K_{C_1} = 0$$

$$50.4443K_{C_1} = 4659.86$$

$$K_{C_1} = 92.3763$$

จะได้

$$K_{p_1} = \frac{K_{C_1}}{1.7} = \frac{92.3763}{1.7} = 54.339$$

นำ ω_u มาใช้เพื่อหาค่า I และ D

จาก $\omega_u = 2\pi f$ และ $f = \frac{1}{T_u}$

แทนค่า $4.4474 = 2\pi f$

จะได้ $f = 0.7078$ และ $T_u = 1.4128$

เพราะฉะนั้น $T_{I_1} = \frac{T_u}{2} = \frac{1.4128}{2} = 0.7064$

$$T_{D_1} = \frac{T_u}{8} = \frac{1.4128}{8} = 0.1766$$

ในการป้อนค่าในโปรแกรม MATLAB จะมีการคำนวณค่าดังต่อไปนี้

$$P_1 = K_{p_1} = 54.339$$

$$I_1 = \frac{K_{p_1}}{T_{I_1}} = \frac{54.339}{0.7064} = 76.9238$$

$$D_1 = K_{p_1} \times T_{D_1} = 54.339 \times 0.1766 = 9.5963$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

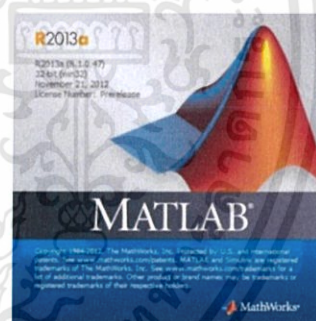
จากบทที่แล้วนั้นเป็นขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน การทดลองแพลนท์เพื่อหาฟังก์ชันการถ่ายโอน วิธีการใช้งานโปรแกรม MATLAB ในการจำลองกระบวนการเพื่อศึกษาผลตอบสนอง โดยแสดงให้เห็นการใช้งานโปรแกรม MATLAB ในรูปแบบต่างๆของบล็อกไดอะแกรมและการเขียนบล็อกไดอะแกรมจำลองการทำงานของระบบควบคุม ในบทที่ 4 นี้ผู้จัดทำจะแสดงการเปรียบเทียบผลตอบสนองของกระบวนการจริงและผลที่ได้การเปรียบเทียบของระบบการควบคุมว่ามีผลเป็นอย่างไร การควบคุมแบบวงรอบคาสเคด ให้ผลตอบสนองที่ดีกว่าการควบคุมแบบวงรอบเดียวจริงหรือไม่

4.1 เครื่องมือที่ใช้ในการจำลองกระบวนการ

1. คอมพิวเตอร์
2. โปรแกรม MATLAB
3. บล็อกไดอะแกรมจำลองการทำงานของระบบควบคุมระดับแบบวงรอบเดียว
4. บล็อกไดอะแกรมจำลองการทำงานของระบบควบคุมแบบระดับวงรอบคาสเคด



รูปที่ 4.1 คอมพิวเตอร์



รูปที่ 4.2 โปรแกรม MATLAB

4.2 ขั้นตอนการทดลอง

ในการทดลองนั้น ผู้จัดทำจะทำการสร้างบล็อกไดอะแกรมการจำลองกระบวนการควบคุม ในโปรแกรม MATLAB เพื่อจำลองการทำงานของกระบวนการควบคุม แล้วทำการนำผลตอบสนองที่ได้มาเปรียบเทียบความแตกต่างกัน โดยจะทำการเปรียบเทียบในเรื่องของ ช่วงเวลาขึ้น (Rise time) ช่วงเวลาสู่สมดุล (Setting time) ความผิดพลาดที่สภาวะสมดุล (Steady state error) และ โอเวอร์ชูตสูงสุด (Maximum overshoot)

4.2.1 การจำลองการควบคุมกระบวนการในโปรแกรม MATLAB

กระบวนการควบคุมที่เราได้ศึกษานั้น เป็นกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในแทงค์ซึ่งทำได้โดยการควบคุมอัตราการไหลของกระบวนการโดยการควบคุมการเปิดปิดวาล์วควบคุม เพื่อควบคุมอัตราการไหลของกระบวนการให้เหมาะสมกับระดับที่ต้องการควบคุม ภายในกระบวนการควบคุมประกอบไปด้วยตัวแปรควบคุมสองตัวแปรได้แก่ อัตราการไหลของน้ำและระดับของน้ำในแทงค์

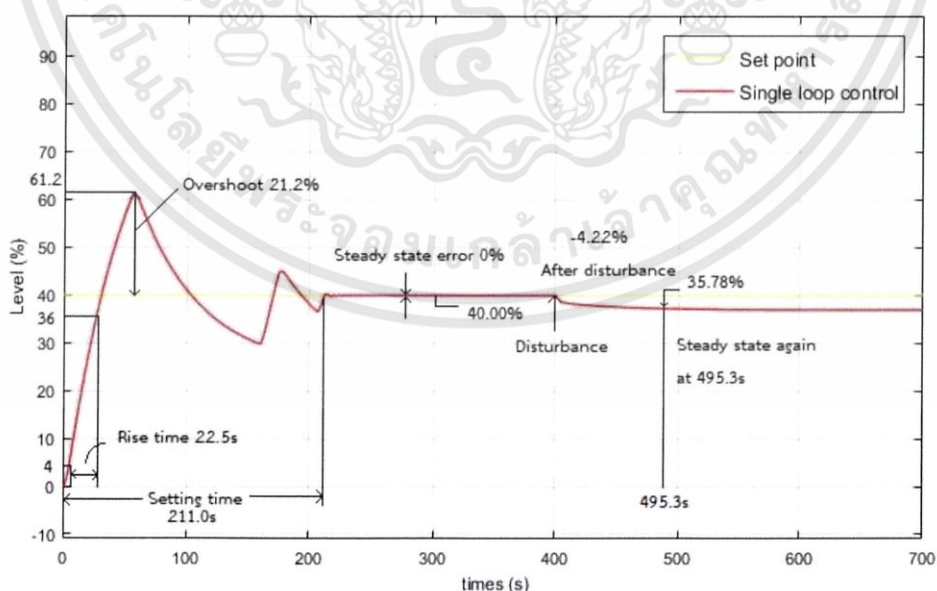
การจำลองการควบคุมจะใช้ตัวควบคุมแบบพีเอดี โดยการควบคุมแบบวงรอบเดี่ยว จะใช้ค่า $P=36.615$, $I=7.4437$ และ $D=45.0255$ การควบคุมแบบวงรอบคาสเคด จะใช้ค่า $P_1=54.339$, $I_1=76.9238$, $D_1=9.5963$, $P_2=11.6762$, $I_2=10.5134$, และ $D_2=3.2425$ โดยค่าตัวควบคุมนี้ได้จากการคำนวณในบทที่ 3

4.2.1.1 การจำลองการควบคุมระดับแบบวงรอบเดี่ยว

จากการทดลองเพื่อหาฟังก์ชันการถ่ายโอนของกระบวนการจริงในบทที่ 3 โดยการควบคุมระดับของการควบคุมแบบวงรอบเดี่ยว จะใช้เพียงตัวแปรระดับมาทำการคำนวณเพื่อสร้างสัญญาณควบคุมอัตราการไหลให้ได้ค่าระดับตามค่าเป้าหมาย เราจะได้บล็อกไดอะแกรมของกระบวนการควบคุมระดับแบบวงรอบเดี่ยวที่สร้างโดยโปรแกรม MATLAB ดังรูปที่ 3.49 (ในบทที่ 3) จากนั้นทำการจำลองการทำงานในโปรแกรม MATLAB ทั้งหมด 3 ค่าเป้าหมาย (Set point) ได้แก่ 40%, 50% และ 60% ตามลำดับ

4.2.1.1.1 การจำลองการควบคุมแบบวงรอบเดี่ยวที่ค่าเป้าหมายระดับ 40%

เมื่อเริ่มการจำลองการทำงานของระบบควบคุม จะได้ผลตอบสนองจากสโคปดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 กราฟผลตอบสนองการจำลองการควบคุมระดับแบบวงรอบเดี่ยวที่ค่าเป้าหมาย 40%

จากกราฟผลการตอบสนองของการจำลองการควบคุมระดับแบบวงรอบเดียวที่ค่าเป้าหมาย 40% สามารถพิจารณาผลตอบสนองได้ดังต่อไปนี้

- ค่าช่วงเวลาขึ้น (Rise time)
ที่เอาต์พุตระหว่าง 10% ถึง 90% ค่าของระดับอยู่ระหว่าง 4-36% เมื่อทำการวัดช่วงเวลา ณ ช่วงของระดับข้างต้นจะมีค่าประมาณ 22.5 วินาที
- ค่าเวลาสู่สมดุล (Setting time)
ที่ระดับสภาวะคงที่เท่ากับ 40.00% เมื่อทำการวัดที่ระดับ $\pm 2\%$ ของค่าที่สภาวะคงที่ จะได้ค่าระดับอยู่ระหว่าง 39.2% ถึง 40.8% จะได้ช่วงเวลาสู่สมดุลประมาณ 211.0 วินาที

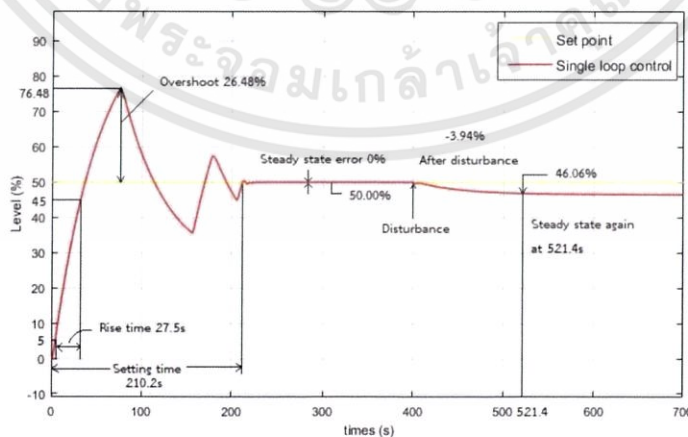
- ค่าความผิดพลาดที่สภาวะคงที่ (Steady state error)
ที่สภาวะคงที่วัดระดับได้ 40.00% ดังนั้นค่าความผิดพลาดที่สภาวะคงที่ เท่ากับ 0%

- ค่าโอเวอร์ชูตสูงสุด (Maximum overshoot)
เมื่อเริ่มการทำงานของแพลนท์ ค่าระดับพุ่งสูงถึง 61.20% ดังนั้นค่าโอเวอร์ชูตสูงสุดที่ได้เท่ากับ 21.20%

- การเกิดสัญญาณรบกวน (Disturbance)
ค่ากระบวนการเข้าสู่สภาวะคงที่ที่ 40.00% แต่เมื่อกระบวนการควบคุมมีการรบกวนเข้ามา รบกวนที่วินาทีที่ 400 โดยทำการสูบลมเข้ามามากขึ้นให้กับบล็อกไดอะแกรมในส่วนของการรบกวน ทำให้ค่ากระบวนการเปลี่ยนแปลงจาก 40.00% ไปเป็น 35.78% และเข้าสู่สภาวะคงที่ต่อไปที่วินาทีที่ 495.3 ซึ่งใช้เวลาในการเข้าสู่สภาวะสมดุล 95.3 วินาที หลังการเกิดสัญญาณรบกวน และทำให้ค่าระดับลดลง 4.22%

4.2.1.1.2 การจำลองการควบคุมแบบวงรอบเดียวที่ค่าเป้าหมายระดับ 50%

เมื่อเริ่มการจำลองการทำงานของระบบควบคุม จะได้ผลตอบสนองจากสโคปดังรูปที่ 4.4



1

รูปที่ 4.4 กราฟผลตอบสนองการจำลองการควบคุมระดับแบบวงรอบเดียวที่ค่าเป้าหมาย 50%

จากกราฟผลการตอบสนองของการจำลองการควบคุมระดับแบบวงรอบเดียวที่ค่าเป้าหมาย 50% สามารถพิจารณาผลตอบสนองได้ดังต่อไปนี้

- ค่าช่วงเวลาขึ้น (Rise time)
ที่เอาต์พุตระหว่าง 10% ถึง 90% ค่าของระดับอยู่ระหว่าง 5-45%
เมื่อทำการวัดช่วงเวลา ณ ช่วงของระดับข้างต้นจะมีค่าประมาณ 27.5 วินาที
- ค่าเวลาสู่สมดุล (Setting time)
ที่ระดับสถานะคงที่เท่ากับ 50.00 % เมื่อทำการวัดที่ระดับ ± 2 %
ของค่าที่สถานะคงที่ จะได้ค่าระดับอยู่ระหว่าง 49.0% ถึง 51.0% จะได้ช่วงเวลาสู่สมดุลประมาณ 210.2 วินาที

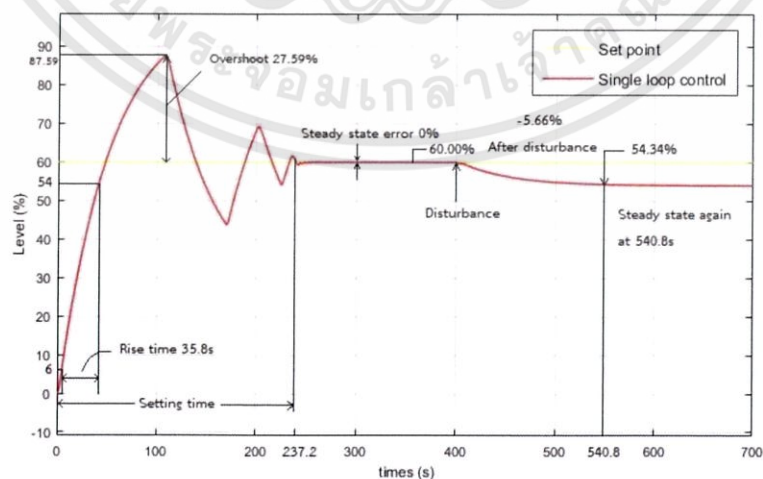
- ค่าความผิดพลาดที่สถานะคงที่ (Steady state error)
ที่สถานะคงที่วัดระดับได้ 50.00% ดังนั้นค่าความผิดพลาดที่สถานะคงที่ เท่ากับ 0%

- ค่าโอเวอร์ชูตสูงสุด (Maximum overshoot)
เมื่อเริ่มการทำงานของแพลนท์ ค่าระดับพุ่งสูงถึง 76.48% ดังนั้นค่าโอเวอร์ชูตสูงสุดที่ได้เท่ากับ 26.48%

- การเกิดสัญญาณรบกวน (Disturbance)
ค่ากระบวนการเข้าสู่สถานะคงที่ที่ 50.00% แต่เมื่อกระบวนการควบคุมมีการรบกวนเข้ามาที่วินาทีที่ 400 โดยทำการสุ่มค่าขึ้นมาป้อนให้กับบล็อกไดอะแกรมในส่วนของ Disturbance ทำให้ค่ากระบวนการเปลี่ยนแปลงจาก 50.00% เป็น 46.06% และเข้าสู่สถานะคงที่ต่อไปที่วินาทีที่ 521.4 ซึ่งใช้เวลาในการเข้าสู่สภาวะสมดุล 121.4 วินาที หลังการเกิดการสัญญาณรบกวน และทำให้ค่าระดับลดลง 3.94%

4.2.1.1.3 การจำลองการควบคุมแบบวงรอบเดียวที่ค่าเป้าหมายระดับ 60%

เมื่อเริ่มการจำลองการทำงานของระบบควบคุม จะได้ผลตอบสนองจากสโคปดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 กราฟผลตอบสนองการจำลองการควบคุมระดับแบบวงรอบเดียวที่ค่าเป้าหมาย 60%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟผลการตอบสนองของการจำลองการควบคุมระดับแบบวงรอบเดียวที่ค่าเป้าหมาย 60% สามารถพิจารณาผลตอบสนองได้ดังต่อไปนี้

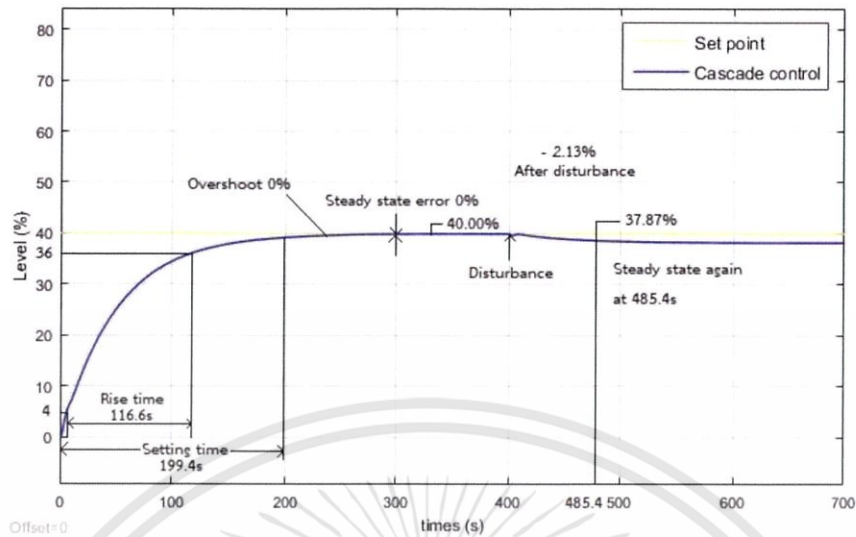
- ค่าช่วงเวลาขึ้น (Rise time)
ที่เอาต์พุตระหว่าง 10% ถึง 90% ค่าของระดับอยู่ระหว่าง 6-54% เมื่อทำการวัดช่วงเวลา ณ ช่วงของระดับข้างต้นจะมีค่าประมาณ 35.8 วินาที
- ค่าเวลาสู่สมดุล (Setting time)
ที่ระดับสถานะคงที่เท่ากับ 60.00% เมื่อทำการวัดที่ระดับ $\pm 2\%$ ของค่าที่สถานะคงที่ จะได้ค่าระดับอยู่ระหว่าง 58.8% ถึง 61.2% จะได้ช่วงเวลาสู่สมดุลประมาณ 237.2 วินาที
- ค่าความผิดพลาดที่สถานะคงที่ (Steady state error)
ที่สถานะคงที่วัดระดับได้ 60.00% ดังนั้นค่าความผิดพลาดที่สถานะคงที่ เท่ากับ 0%
- ค่าโอเวอร์ชูดสูงสุด (Maximum overshoot)
เมื่อเริ่มการทำงานของแพลนท์ ค่าระดับพุ่งสูงถึง 87.59% ดังนั้นค่าโอเวอร์ชูดสูงสุดที่ได้เท่ากับ 27.59%
- การเกิดสัญญาณรบกวน (Disturbance)
ค่ากระบวนการเข้าสู่สถานะคงที่ที่ 60.00% แต่เมื่อกระบวนการควบคุมมีการรบกวนเข้ามาที่วินาทีที่ 400 โดยทำการสุ่มค่าขึ้นมาป้อนให้กับบล็อกไดอะแกรมในส่วนของ Disturbance ทำให้ค่ากระบวนการเปลี่ยนแปลงจาก 60.00% เป็น 54.34% และเข้าสู่สถานะคงที่ต่อไปที่วินาทีที่ 540.8 ซึ่งใช้เวลาในการเข้าสู่สภาวะสมดุล 140.8 วินาที หลังการเกิดการสัญญาณรบกวน และทำให้ค่าระดับลดลง 5.66%

4.2.1.2 การจำลองการควบคุมระดับแบบวงรอบคาสเคด

จากการทดลองเพื่อหาฟังก์ชันการถ่ายโอนของกระบวนการจริง โดยการควบคุมระดับของการควบคุมแบบวงรอบคาสเคด จะใช้ทั้งตัวแปรระดับและตัวแปรอัตราการไหลมาทำการคำนวณ เพื่อสร้างสัญญาณควบคุมไปควบคุมกระบวนการให้ได้ค่าระดับตามค่าเป้าหมาย เราจะได้บล็อกไดอะแกรมของกระบวนการควบคุมระดับแบบวงรอบคาสเคดที่สร้างโดยโปรแกรม MATLAB ดังรูปที่ 3.50 (ในบทที่ 3) จากนั้นทำการจำลองการทำงานในโปรแกรม MATLAB ทั้งหมด 3 ค่าเป้าหมาย (Set point) ได้แก่ 40% 50% และ 60% ตามลำดับ

4.2.1.2.1 การจำลองการควบคุมแบบคาสเคดที่ค่าเป้าหมายระดับ 40%

เมื่อเริ่มการจำลองการทำงานจะได้ผลตอบสนองของระบบควบคุมจากสโคปดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 กราฟผลตอบสนองการจำลองการควบคุมระดับแบบคาสเคดที่ค่าเป้าหมาย 40%

จากกราฟผลการตอบสนองของการจำลองการควบคุมระดับแบบคาสเคดที่ค่าเป้าหมาย 40% สามารถพิจารณาผลตอบสนองได้ดังต่อไปนี้

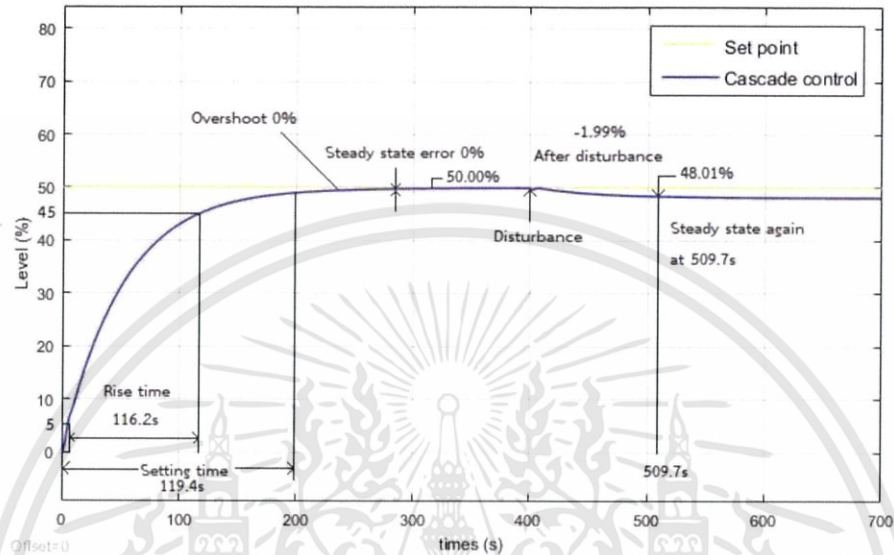
- ค่าช่วงเวลาขึ้น (Rise time) ที่เอาต์พุตระหว่าง 10% ถึง 90% ค่าของระดับอยู่ระหว่าง 4–36% เมื่อทำการวัดช่วงเวลา ณ ช่วงของระดับข้างต้นจะมีค่าประมาณ 116.6 วินาที
- ค่าเวลาสู่สมดุล (Setting time) ที่ระดับสภาวะคงที่เท่ากับ 40.00 % เมื่อทำการวัดที่ระดับ ± 2 % ของค่าที่สภาวะคงที่ จะได้ค่าระดับอยู่ระหว่าง 39.2% ถึง 40.8% จะได้ช่วงเวลาสู่สมดุลประมาณ 199.4 วินาที
- ค่าความผิดพลาดที่สภาวะคงที่ (Steady state error) ที่สภาวะคงที่วัดระดับได้ 40.00% ดังนั้นค่าความผิดพลาดที่สภาวะคงที่ เท่ากับ 0%
- ค่าโอเวอร์ชูตสูงสุด (Maximum overshoot) เมื่อเริ่มการทำงานของแพลนท์ ค่ากระบวนเข้าสู่สภาวะคงที่โดยไม่เกิดโอเวอร์ชูต ดังนั้นค่าโอเวอร์ชูตสูงสุดที่ได้เท่ากับ 0%
- การเกิดสัญญาณรบกวน (Disturbance) ค่ากระบวนการเข้าสู่สภาวะคงที่ที่ 40.00% แต่เมื่อกระบวนการควบคุมมีการรบกวนเข้ามาที่วินาทีที่ 400 โดยทำการสุ่มค่าขึ้นมาป้อนให้กับบล็อกไดอะแกรมในส่วนของ Disturbance ทำให้ค่ากระบวนการเปลี่ยนแปลงจาก 40.00% เป็น 37.87% และเข้าสู่สภาวะคงที่ต่อไปที่วินาทีที่ 485.4 ซึ่งใช้เวลาในการเข้าสู่สภาวะสมดุล 85.4 วินาที หลังการเกิดการสัญญาณรบกวน และทำให้ค่าระดับลดลง 2.13%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1.2.2 การจำลองการควบคุมแบบคาสเคดที่ค่าเป้าหมายระดับ 50%

เมื่อเริ่มการจำลองการทำงานจะได้ผลตอบสนองของระบบควบคุม

จากสโคปดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 กราฟผลตอบสนองการจำลองการควบคุมระดับแบบคาสเคดที่ค่าเป้าหมาย 50%

จากกราฟผลการตอบสนองของการจำลองการควบคุมระดับแบบคาสเคดที่ค่าเป้าหมาย 50% สามารถพิจารณาผลตอบสนองได้ดังต่อไปนี้

- ค่าช่วงเวลาขึ้น (Rise time) ที่เอาต์พุตระหว่าง 10% ถึง 90% ค่าของระดับอยู่ระหว่าง 5-45% เมื่อทำการวัดช่วงเวลา ณ ช่วงของระดับข้างต้นจะมีค่าประมาณ 116.2 วินาที

- ค่าเวลาสู่สมดุล (Setting time) ที่ระดับสภาวะคงที่เท่ากับ 50.00% เมื่อทำการวัดที่ระดับ $\pm 2\%$ ของค่าที่สภาวะคงที่ จะได้ค่าระดับอยู่ระหว่าง 49.0% ถึง 51.0% จะได้ช่วงเวลาสู่สมดุลประมาณ 119.4 วินาที

- ค่าความผิดพลาดที่สภาวะคงที่ (Steady state error) ที่สภาวะคงที่วัดระดับได้ 50.00% ดังนั้นค่าความผิดพลาดที่สภาวะคงที่ เท่ากับ 0%

- ค่าโอเวอร์ชูตสูงสุด (Maximum overshoot) เมื่อเริ่มการทำงานของแพลนท์ ค่ากระบวนเข้าสู่สภาวะคงที่โดยไม่เกิดโอเวอร์ชูต ดังนั้นค่าโอเวอร์ชูตสูงสุดที่ได้เท่ากับ 0%

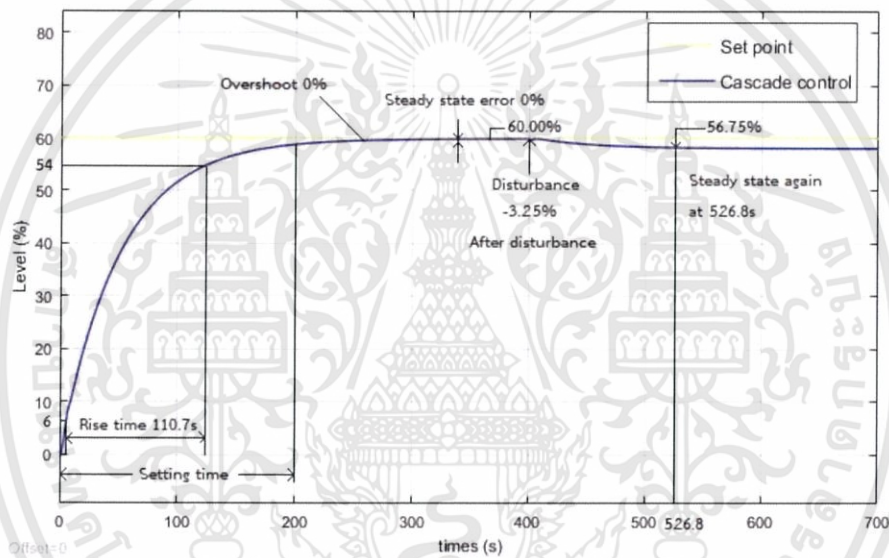
- การเกิดสัญญาณรบกวน (Disturbance)

ค่ากระบวนการเข้าสู่สภาวะคงที่ที่ 50.00% แต่เมื่อกระบวนการควบคุมมีการรบกวนเข้ามาที่วินาทีที่ 400 โดยทำการสุ่มค่าขึ้นมาป้อนให้กับบล็อกไดอะแกรมในส่วนของ Disturbance ทำให้ค่ากระบวนการเปลี่ยนแปลงจาก 50.00% เป็น 48.01% และเข้าสู่สภาวะคงที่ต่อไปที่วินาทีที่ 509.7 ซึ่งใช้เวลาในการเข้าสู่สภาวะสมดุล 109.7 วินาที หลังการเกิดการสัญญาณรบกวน และทำให้ค่าระดับลดลง 1.99%

4.2.1.2.3 การจำลองการควบคุมแบบคาสเคดที่ค่าเป้าหมายระดับ 60%

เมื่อเริ่มการจำลองการทำงานจะได้ผลตอบสนองของระบบควบคุม

จากสโคปดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 กราฟผลตอบสนองการจำลองการควบคุมระดับแบบคาสเคดที่ค่าเป้าหมาย 60%

จากกราฟผลการตอบสนองของการจำลองการควบคุมระดับแบบคาสเคดที่ค่าเป้าหมาย 60% สามารถพิจารณาผลตอบสนองได้ดังต่อไปนี้

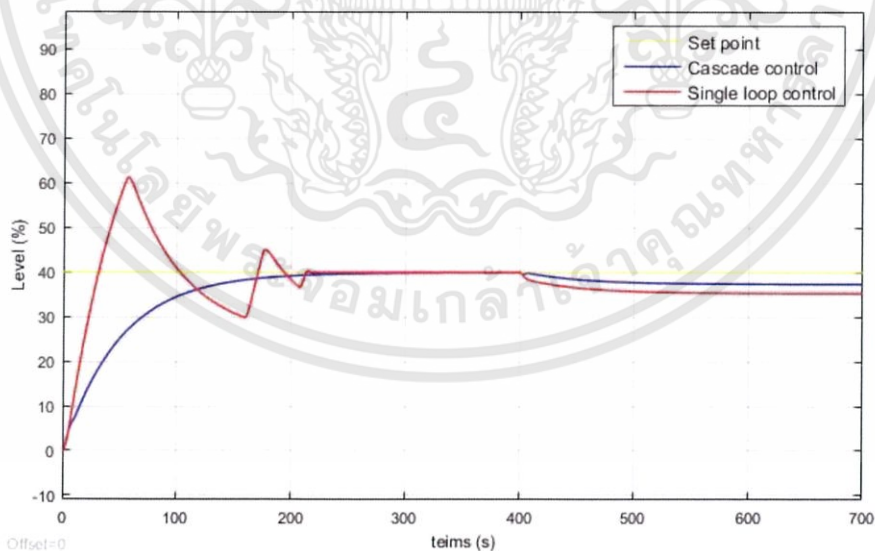
- ค่าช่วงเวลาขึ้น (Rise time) ที่เอาต์พุตระหว่าง 10% ถึง 90% ค่าของระดับอยู่ระหว่าง 6-54% เมื่อทำการวัดช่วงเวลา ณ ช่วงของระดับข้างต้นจะมีค่าประมาณ 110.7 วินาที
- ค่าเวลาสู่สมดุล (Setting time) ที่ระดับสภาวะคงที่เท่ากับ 60.00% เมื่อทำการวัดที่ระดับ $\pm 2\%$ ของค่าที่สภาวะคงที่ จะได้ค่าระดับอยู่ระหว่าง 58.8% ถึง 61.2% จะได้ช่วงเวลาสู่สมดุลประมาณ 200.0 วินาที

- ค่าความผิดพลาดที่สภาวะคงที่ (Steady state error) ที่สภาวะคงที่วัดระดับได้ 60.00% ดังนั้นค่าความผิดพลาดที่สภาวะคงที่ เท่ากับ 0%
- ค่าโอเวอร์ชูตสูงสุด (Maximum overshoot) เมื่อเริ่มการทำงานของแพลนท์ ค่ากระบวนการเข้าสู่สภาวะคงที่โดยไม่เกิดโอเวอร์ชูต ดังนั้นค่าโอเวอร์ชูตสูงสุดที่ได้เท่ากับ 0%
- การเกิดสัญญาณรบกวน (Disturbance) ค่ากระบวนการเข้าสู่สภาวะคงที่ที่ 60.00% แต่เมื่อกระบวนการควบคุมมีการรบกวนเข้ามาที่วินาทีที่ 400 โดยทำการสุ่มค่าขึ้นมาป้อนให้กับบล็อกไคอะแกรมในส่วนของ Disturbance ทำให้ค่ากระบวนการเปลี่ยนแปลงจาก 60.00% เป็น 56.75% และเข้าสู่สภาวะคงที่ต่อไปที่วินาทีที่ 526.8 ซึ่งใช้เวลาในการเข้าสู่สภาวะสมดุล 126.8 วินาที หลังการเกิดการสัญญาณรบกวน และทำให้ค่าระดับลดลง 3.25%

4.2.2 การเปรียบเทียบผลตอบสนองจากการจำลองการควบคุมโดยใช้โปรแกรม MATLAB

การเปรียบเทียบผลตอบสนองการควบคุมระหว่างการควบคุม ระดับแบบวงรอบเดี่ยวและวงรอบคาสเคด ทำได้โดยการนำกราฟและค่าที่ได้ของผลตอบสนองการควบคุมที่ได้จากการจำลองในโปรแกรม MATLAB ของทั้งสองระบบมาเปรียบเทียบกัน ดังต่อไปนี้

4.2.2.1 การเปรียบเทียบผลตอบสนองการจำลองการควบคุมที่ค่าเป้าหมาย 40%



รูปที่ 4.9 กราฟเปรียบเทียบผลตอบสนองระหว่างการจำลองการควบคุมแบบวงรอบเดี่ยวและวงรอบคาสเคดที่ค่าเป้าหมาย 40%

จากกราฟผลการตอบสนองของการจำลองการควบคุมระดับแบบวงรอบเดี่ยวและวงรอบคาสเคด สามารถพิจารณาการเปรียบเทียบผลตอบสนองได้ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4.1 การเปรียบเทียบผลตอบสนองระหว่างการจำลองการควบคุมระดับแบบวงรอบเดี่ยวและวงรอบคาสเคดที่ค่าเป้าหมาย 40%

ชนิดการควบคุม ค่าที่เปรียบเทียบ	การควบคุมแบบวงรอบเดี่ยว (Single loop control)	การควบคุมแบบวงรอบคาสเคด (Cascade loop control)
1. Rise time (s)	22.5	116.6
2. Setting time (s)	211.0	199.4
3. Steady state error (%)	0	0
4. Maximum overshoot (%)	21.20	0
5. Disturbance (PV) (%)	ลดลง 4.22	ลดลง 2.13
6. Disturbance (Time to SS) (s)	95.3	85.4

จากตารางที่ 4.1 สามารถอธิบายผลการจำลองการควบคุมได้ดังต่อไปนี้

- ค่าช่วงเวลาขึ้น (Rise time)

การควบคุมระดับแบบวงรอบเดี่ยวจะมีค่าประมาณ 22.5 วินาทีและการควบคุมแบบวงรอบคาสเคดมีค่าประมาณ 116.6 วินาที สังเกตได้ว่า การควบคุมแบบวงรอบเดี่ยวใช้เวลาน้อยกว่าการควบคุมแบบวงรอบคาสเคดประมาณ 94.1 วินาที แสดงว่าการควบคุมแบบวงรอบเดี่ยวทำงานได้เร็วกว่าการควบคุมแบบวงรอบคาสเคดในช่วงเริ่มต้นของกระบวนการ

- ค่าเวลาสู่สมดุล (Setting time)

การควบคุมระดับแบบวงรอบเดี่ยวใช้เวลาในการเข้าสู่สมดุลประมาณ 211.0 วินาที ในขณะที่ การควบคุมแบบวงรอบคาสเคดใช้เวลาในการเข้าสู่สมดุลประมาณ 199.4 วินาที สังเกตได้ว่า การควบคุมระดับแบบวงรอบเดี่ยวใช้เวลามากกว่าการควบคุมแบบวงรอบคาสเคดประมาณ 11.6 วินาที แสดงว่าการควบคุมแบบวงรอบคาสเคดจะเข้าสู่สภาวะการทำงานคงที่ได้เร็วกว่าการควบคุมแบบวงรอบเดี่ยว

- ค่าความผิดพลาดที่สภาวะคงที่ (Steady state error)

การควบคุมระดับแบบวงรอบเดี่ยวที่สภาวะคงที่วัดระดับได้ 40.00% ดังนั้นค่าความผิดพลาดที่สภาวะคงที่ เท่ากับ 0% และการควบคุมระดับแบบวงรอบคาสเคดที่สภาวะคงที่วัดระดับได้ 40.00% เช่นกัน ดังนั้นค่าความผิดพลาดที่สภาวะคงที่เท่ากับ 0% แสดงว่าการควบคุมทั้งสองระบบให้ความแม่นยำเท่ากัน

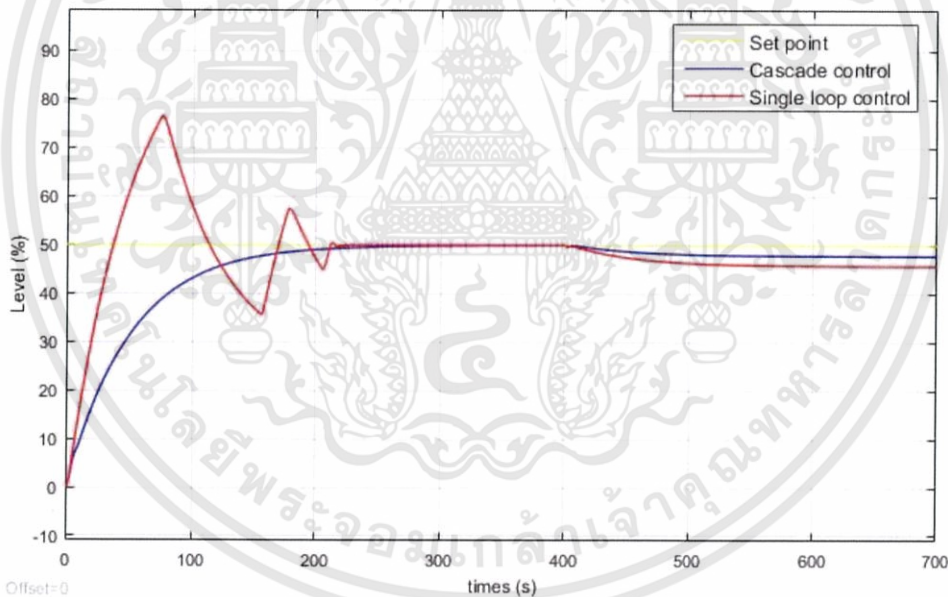
- ค่าโอเวอร์ชูตสูงสุด (Maximum overshoot)

เมื่อเริ่มการทำงานของแพลนท์ ผลตอบสนองของการควบคุมระดับแบบวงรอบเดี่ยวมีค่าโอเวอร์ชูตสูงสุดที่ได้จะเท่ากับ 21.20% ในขณะที่ผลตอบสนองของการควบคุมระดับแบบวงรอบคาสเคดไม่มีโอเวอร์ชูต แสดงว่าการควบคุมระดับแบบวงรอบเดี่ยวจะเกิดโอเวอร์ชูตขึ้นในการควบคุม แต่ในทางกลับกันการควบคุมระดับแบบวงรอบคาสเคดไม่เกิดโอเวอร์ชูตขึ้นในการควบคุม

- การเกิดสัญญาณรบกวน (Disturbance)

การควบคุมระดับแบบวงรอบเดี่ยว ค่ากระบวนการเปลี่ยนแปลงจากสถานะคงที่เดิมคือลดลง 4.22% และใช้เวลาในการควบคุมค่ากระบวนการให้กลับเข้าสู่สภาวะคงที่เป็นเวลา 95.3 วินาที ในขณะที่ค่ากระบวนการของการควบคุมระดับแบบวงรอบคาสเคดมีการเปลี่ยนแปลงลดลงเพียง 2.13% และใช้เวลาในการควบคุมค่ากระบวนการให้กลับเข้าสู่สภาวะคงที่เป็นเวลา 85.4 วินาที สังเกตได้ว่า ค่ากระบวนการของการควบคุมระดับแบบวงรอบคาสเคด เกิดการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่า และใช้เวลาในการเข้าสู่สภาวะคงที่น้อยกว่า 9.9 วินาที

4.2.2.2 การเปรียบเทียบผลตอบสนองการจำลองการควบคุมที่ค่าเป้าหมาย 50%



รูปที่ 4.10 กราฟเปรียบเทียบผลตอบสนองระหว่างการจำลองการควบคุมแบบวงรอบเดี่ยวและวงรอบคาสเคดที่ค่าเป้าหมาย 50%

จากกราฟผลการตอบสนองของการจำลองการควบคุมระดับแบบวงรอบเดี่ยวและวงรอบคาสเคดสามารถพิจารณาการเปรียบเทียบผลตอบสนองได้ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบผลตอบสนองระหว่างการจำลองการควบคุมระดับแบบวงรอบเดี่ยวและวงรอบคาสเคดที่ค่าเป้าหมาย 50%

ค่าที่เปรียบเทียบ \n ชนิดการควบคุม	การควบคุมแบบวงรอบเดี่ยว (Single loop control)	การควบคุมแบบวงรอบคาสเคด (Cascade loop control)
1. Rise time (s)	27.5	116.2
2. Setting time (s)	210.2	119.4
3. Steady state error (%)	0	0
4. Maximum overshoot (%)	26.48	0
5. Disturbance (PV) (%)	ลดลง 3.94	ลดลง 1.99
6. Disturbance (Time to SS) (s)	121.4	109.7

จากตารางที่ 4.2 สามารถอธิบายผลการจำลองการควบคุมได้ดังต่อไปนี้

- ค่าช่วงเวลาขึ้น (Rise time)

การควบคุมระดับแบบวงรอบเดี่ยวจะมีค่าประมาณ 27.5 วินาที และการควบคุมแบบวงรอบคาสเคดมีค่าประมาณ 116.6 วินาที สังเกตได้ว่า การควบคุมแบบวงรอบเดี่ยวใช้เวลาน้อยกว่าการควบคุมแบบวงรอบคาสเคดประมาณ 88.7 วินาที แสดงว่าการควบคุมแบบวงรอบเดี่ยวทำงานได้เร็วกว่าการควบคุมแบบวงรอบคาสเคดในช่วงเริ่มต้นของกระบวนการ

- ค่าเวลาสู่สมดุล (Setting time)

การควบคุมระดับแบบวงรอบเดี่ยวใช้เวลาในการเข้าสู่สมดุลประมาณ 210.2 วินาที ในขณะที่ การควบคุมแบบวงรอบคาสเคดใช้เวลาในการเข้าสู่สมดุลประมาณ 119.4 วินาที สังเกตได้ว่า การควบคุมระดับแบบวงรอบเดี่ยวใช้เวลามากกว่าการควบคุมแบบวงรอบคาสเคดประมาณ 10.8 วินาที แสดงว่าการควบคุมแบบวงรอบคาสเคดจะเข้าสู่สภาวะการทำงานคงที่ได้เร็วกว่าการควบคุมแบบวงรอบเดี่ยว

- ค่าความผิดพลาดที่สภาวะคงที่ (Steady state error)

การควบคุมระดับแบบวงรอบเดี่ยวที่สภาวะคงที่วัดระดับได้ 50.00% ดังนั้นค่าความผิดพลาดที่สภาวะคงที่เท่ากับ 0% และการควบคุมระดับแบบวงรอบคาสเคดที่สภาวะคงที่วัดระดับได้ 50.00% เช่นกัน ดังนั้นค่าความผิดพลาดที่สภาวะคงที่เท่ากับ 0% แสดงว่าการควบคุมทั้งสองระบบให้ความแม่นยำเท่ากัน

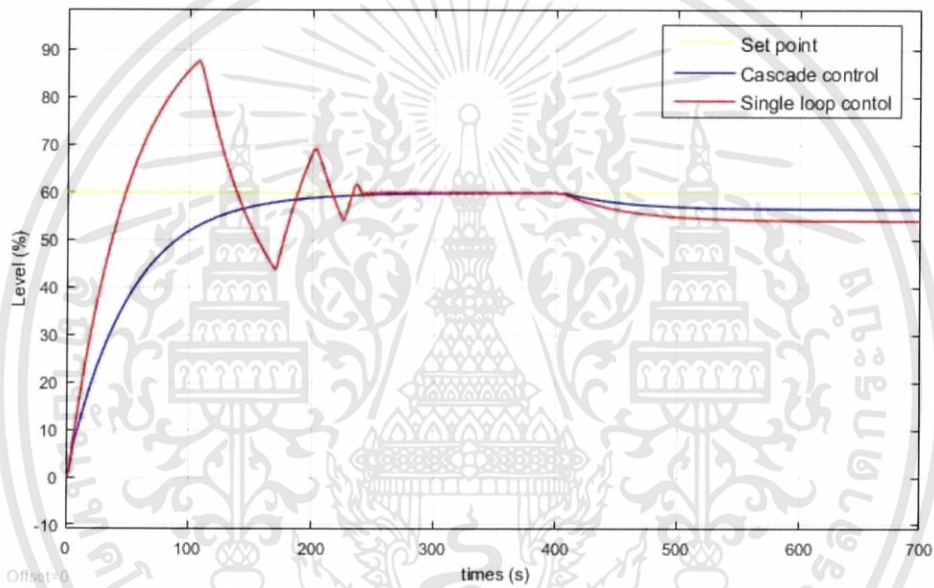
- ค่าโอเวอร์ชูตสูงสุด (Maximum overshoot)

เมื่อเริ่มการทำงานของแพลนท์ ผลตอบสนองของการควบคุมระดับแบบวงรอบเดี่ยวมีค่าโอเวอร์ชูตสูงสุดที่ได้จะเท่ากับ 26.48% ในขณะที่ผลตอบสนองของการควบคุมระดับแบบวงรอบคาสเคดไม่มีโอเวอร์ชูต แสดงว่าการควบคุมระดับแบบวงรอบเดี่ยวจะเกิดโอเวอร์ชูตขึ้นในการควบคุม แต่ในทางกลับกันการควบคุมระดับแบบวงรอบคาสเคดไม่เกิดโอเวอร์ชูตขึ้นในการควบคุม

- การเกิดสัญญาณรบกวน (Disturbance)

การควบคุมระดับแบบวงรอบเดี่ยว ค่ากระบวนการเปลี่ยนแปลงจากสถานะคงที่เดิมคือลดลง 3.94% และใช้เวลาในการควบคุมค่ากระบวนการให้กลับเข้าสู่สภาวะคงที่เป็นเวลา 121.4 วินาที ในขณะที่ค่ากระบวนการของการควบคุมระดับแบบวงรอบคาสเคดมีการเปลี่ยนแปลงลดลงเพียง 1.99% และใช้เวลาในการควบคุมค่ากระบวนการให้กลับเข้าสู่สภาวะคงที่เป็นเวลา 109.7 วินาที สังเกตได้ว่า ค่ากระบวนการของการควบคุมระดับแบบวงรอบคาสเคด เกิดการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่า และใช้เวลาในการเข้าสู่สภาวะคงที่น้อยกว่า 11.7 วินาที

4.2.2.3 การเปรียบเทียบผลตอบสนองการจำลองการควบคุมที่ค่าเป้าหมาย 60%



รูปที่ 4.11 กราฟเปรียบเทียบผลตอบสนองระหว่างการจำลองการควบคุมแบบวงรอบเดี่ยวและวงรอบคาสเคดที่ค่าเป้าหมาย 60%

จากกราฟผลการตอบสนองของการจำลองการควบคุมระดับแบบวงรอบเดี่ยวและวงรอบคาสเคด สามารถพิจารณาการเปรียบเทียบผลตอบสนองได้ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4.3 การเปรียบเทียบผลตอบสนองระหว่างการจำลองการควบคุมระดับแบบวงรอบเดี่ยวและวงรอบคาสเคดที่ค่าเป้าหมาย 60%

ค่าที่เปรียบเทียบ \ ชนิดการควบคุม	การควบคุมแบบวงรอบเดี่ยว (Single loop control)	การควบคุมแบบวงรอบคาสเคด (Cascade loop control)
1. Rise time (s)	35.8	110.7
2. Setting time (s)	237.2	200.0
3. Steady state error (%)	0	0
4. Maximum overshoot (%)	27.59	0
5. Disturbance (PV) (%)	ลดลง 5.66	ลดลง 3.25
6. Disturbance (Time to SS) (s)	140.8	126.8

จากตารางที่ 4.3 สามารถอธิบายผลการจำลองการควบคุมได้ดังต่อไปนี้

- ค่าช่วงเวลาขึ้น (Rise time)

การควบคุมระดับแบบวงรอบเดี่ยวจะมีค่าประมาณ 35.8 วินาที และการควบคุมแบบวงรอบคาสเคดมีค่าประมาณ 110.7 วินาที สังเกตได้ว่า การควบคุมแบบวงรอบเดี่ยวใช้เวลาน้อยกว่าการควบคุมแบบวงรอบคาสเคดประมาณ 74.9 วินาที แสดงว่าการควบคุมแบบวงรอบเดี่ยวทำงานได้เร็วกว่าการควบคุมแบบวงรอบคาสเคดในช่วงเริ่มต้นของกระบวนการ

- ค่าเวลาสู่สมดุล (Setting time)

การควบคุมระดับแบบวงรอบเดี่ยวใช้เวลาในการเข้าสู่สมดุลประมาณ 237.2 วินาที ในขณะที่ การควบคุมแบบวงรอบคาสเคดใช้เวลาในการเข้าสู่สมดุลประมาณ 200.0 วินาที สังเกตได้ว่า การควบคุมระดับแบบวงรอบเดี่ยวใช้เวลามากกว่าการควบคุมแบบวงรอบคาสเคดประมาณ 37.2 วินาที แสดงว่าการควบคุมแบบวงรอบคาสเคดจะเข้าสู่สภาวะการทำงานคงที่ได้เร็วกว่าการควบคุมแบบวงรอบเดี่ยว

- ค่าความผิดพลาดที่สภาวะคงที่ (Steady state error)

การควบคุมระดับแบบวงรอบเดี่ยวที่สภาวะคงที่วัดระดับได้ 50.00% ดังนั้นค่าความผิดพลาดที่สภาวะคงที่ เท่ากับ 0% และการควบคุมระดับแบบวงรอบคาสเคดที่สภาวะคงที่วัดระดับได้ 50.00% เช่นกัน ดังนั้นค่าความผิดพลาดที่สภาวะคงที่เท่ากับ 0% แสดงว่าการควบคุมทั้งสองระบบให้ความแม่นยำเท่ากัน

- ค่าโอเวอร์ชูตสูงสุด (Maximum overshoot)

เมื่อเริ่มการทำงานของแพลนท์ ผลตอบสนองของการควบคุมระดับแบบวงรอบเดี่ยวมีค่าโอเวอร์ชูตสูงสุดที่ได้จะเท่ากับ 27.59% ในขณะที่ผลตอบสนองของการควบคุมระดับแบบวงรอบคาสเคดไม่มีโอเวอร์ชูต แสดงว่าการควบคุมระดับแบบวงรอบเดี่ยวจะเกิดโอเวอร์ชูตขึ้นในการควบคุม แต่ในทางกลับกันการควบคุมระดับแบบวงรอบคาสเคดไม่เกิดโอเวอร์ชูตขึ้นในการควบคุม

- การเกิดสัญญาณรบกวน (Disturbance)

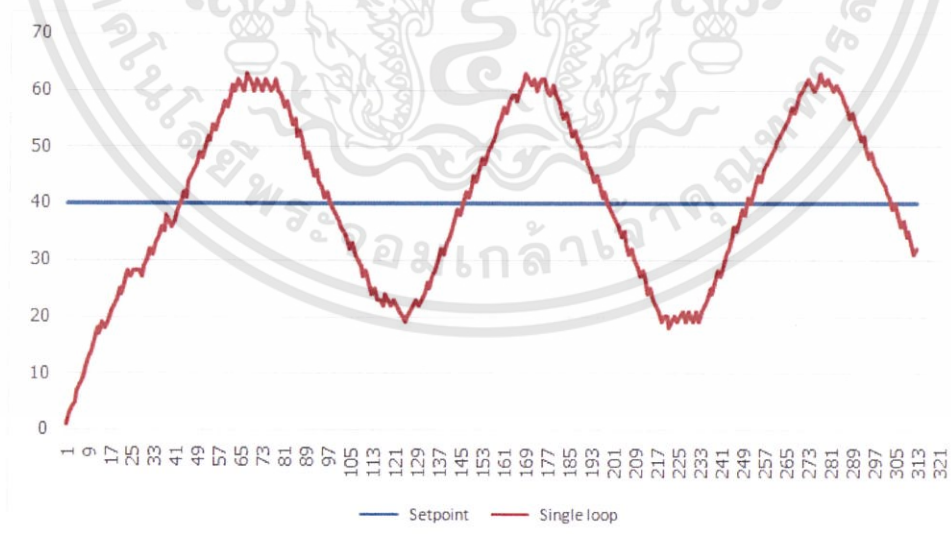
การควบคุมระดับแบบวงรอบเดี่ยว ค่ากระบวนการเปลี่ยนแปลงจากสถานะคงที่เดิมคือลดลง 5.66% และใช้เวลาในการควบคุมค่ากระบวนการให้กลับเข้าสู่สภาวะคงที่เป็นเวลา 140.8 วินาที ในขณะที่เดียวกัน ค่ากระบวนการของการควบคุมระดับแบบวงรอบคาสเคดมีการเปลี่ยนแปลงลดลงเพียง 3.25% และใช้เวลาในการควบคุมค่ากระบวนการให้กลับเข้าสู่สภาวะคงที่เป็นเวลา 126.8 วินาที สังเกตได้ว่า ค่ากระบวนการของการควบคุมระดับแบบวงรอบคาสเคด เกิดการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่า และใช้เวลาในการเข้าสู่สภาวะคงที่น้อยกว่า 14.0 วินาที

4.2.3 การทดลองการควบคุมกระบวนการในแพลนท์จริง

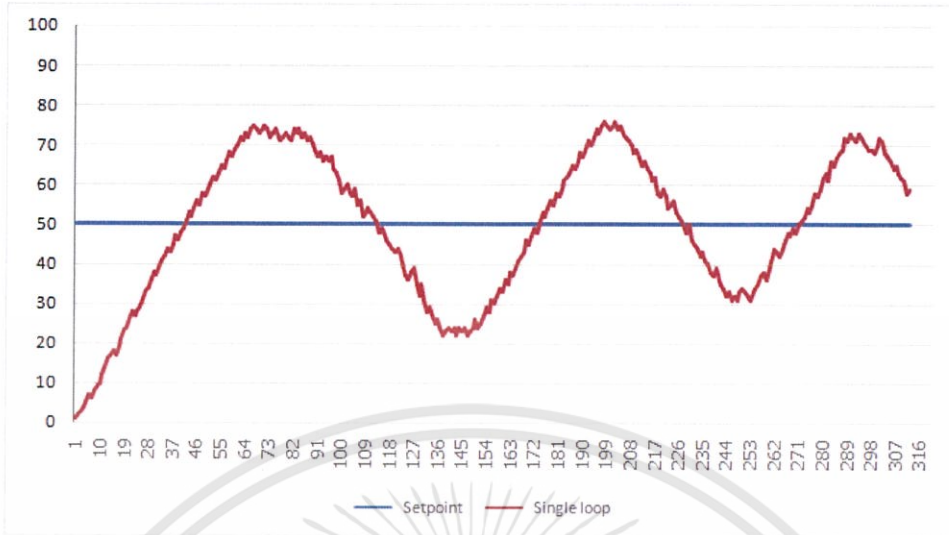
การทดลองการควบคุมในแพลนท์จริงจะใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดีเช่นเดียวกับการจำลองในโปรแกรม MATLAB เพื่อเปรียบเทียบผลที่ได้จากการจำลองกระบวนการในโปรแกรม MATLAB และการทดลองกระบวนการจริง โดยการควบคุมระดับแบบวงรอบเดี่ยว จะใช้ค่า $P=36.615$, $I=7.4437$ และ $D=45.0255$ ส่วนการควบคุมระดับแบบวงรอบคาสเคด จะใช้ค่า $P_1=54.339$, $I_1=76.9238$, $D_1=9.5963$, $P_2=11.6762$, $I_2=10.5134$, และ $D_2=3.2425$ โดยค่าตัวควบคุมนี้ได้จากการคำนวณในบทที่ 3

4.2.3.1 การทดลองการควบคุมระดับแบบวงรอบเดี่ยว

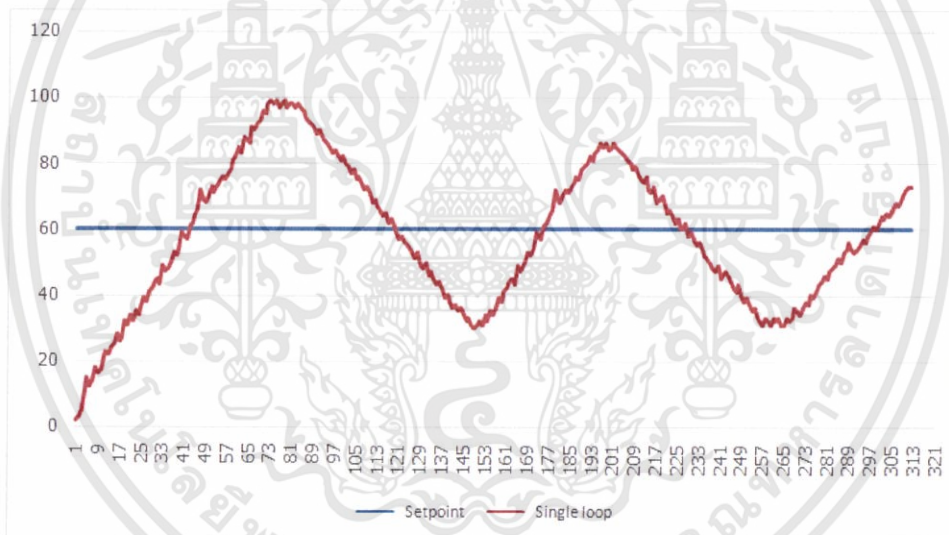
การทดลองการควบคุมระดับแบบวงรอบเดี่ยวจะทำการทดสอบการควบคุมทั้งหมด 3 ค่าเป้าหมาย (Set point) ได้แก่ 40%, 50% และ 60% และได้กราฟผลตอบสนองการควบคุมดังรูปที่ 4.12, 4.13 และ 4.14 ตามลำดับ



รูปที่ 4.12 กราฟผลตอบสนองการควบคุมระดับแบบวงรอบเดี่ยวที่ค่าเป้าหมาย 40%



รูปที่ 4.13 กราฟผลตอบสนองการควบคุมระดับแบบวงรอบเดี่ยวที่ค่าเป้าหมาย 50%



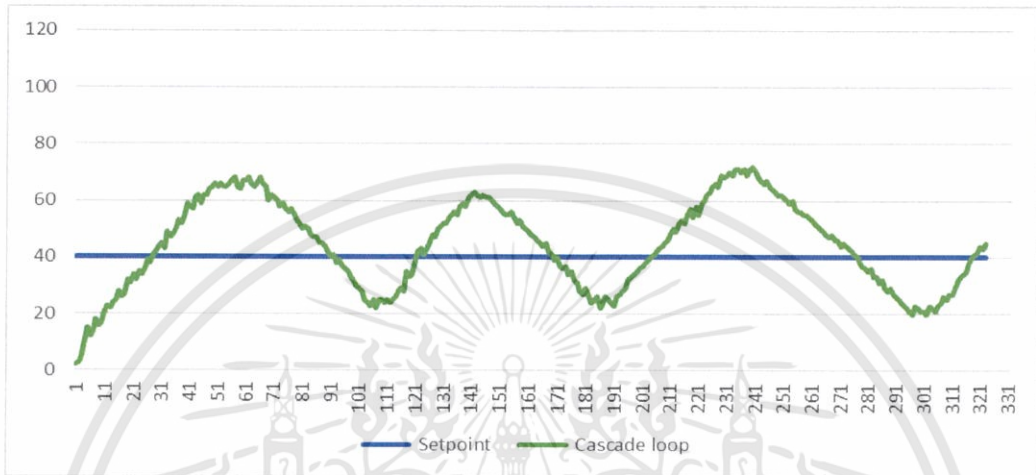
รูปที่ 4.14 กราฟผลตอบสนองการควบคุมระดับแบบวงรอบเดี่ยวที่ค่าเป้าหมาย 60%

จากกราฟผลตอบสนองการควบคุมระดับแบบวงรอบเดี่ยวที่ค่าเป้าหมายระดับ 40%, 50% และ 60% สามารถพิจารณาผลตอบสนองได้ดังนี้

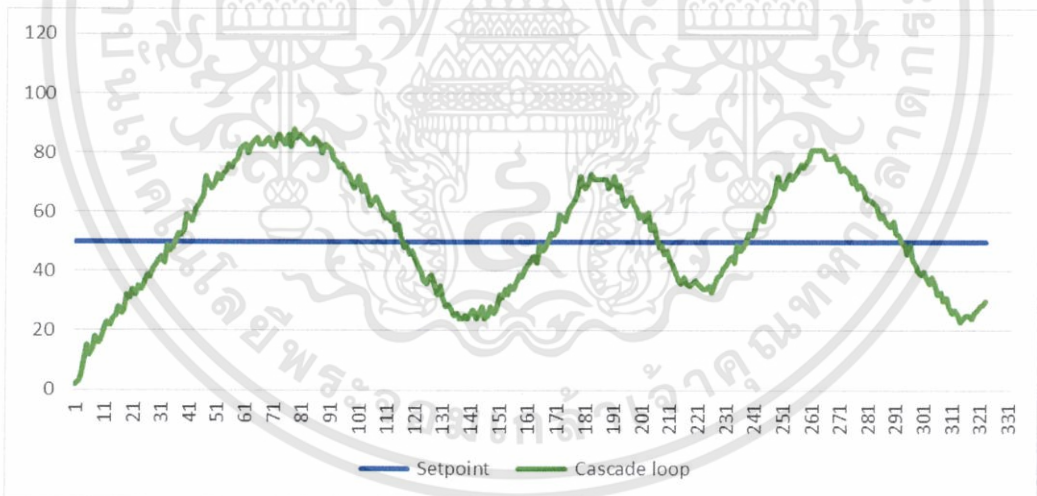
เมื่อนำค่า PID ได้จากการคำนวณไปป้อนให้กับตัวควบคุมในการทำการทดลองใน แพลนท์จริงจะเห็นได้ว่ากราฟที่ได้นั้นไม่สามารถทำการควบคุมให้ค่ากระบวนการเข้าสู่ค่าเป้าหมาย (Set point) ได้ โดยในช่วงแรกกราฟจะเกิดโอเวอร์ชูต (Over shoot) ทำให้กราฟพุ่งขึ้นสูง จากนั้นตัวควบคุม พยายามควบคุมค่ากระบวนการให้ลงมาสู่ค่าเป้าหมาย แต่ไม่สามารถทำได้จึงทำให้เกิดการแกว่งหรือ กระเพื่อม (Oscillate) ขึ้นลงอย่างต่อเนื่อง

4.2.3.2 การทดลองการควบคุมระดับแบบวงรอบคาสเคด

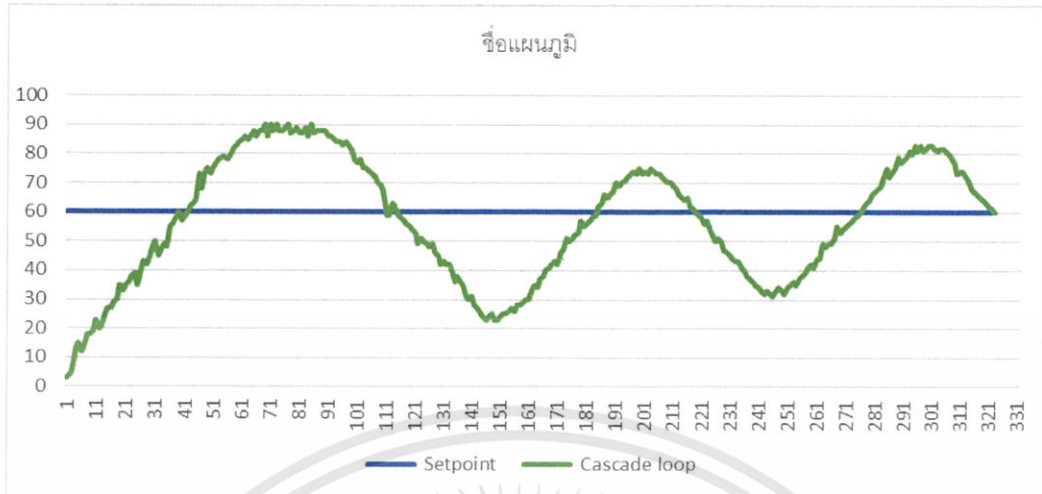
การทดลองการควบคุมระดับแบบวงรอบคาสเคดจะทำการทดลองการควบคุมทั้งหมด 3 ค่าเป้าหมาย (Set point) ได้แก่ 40%, 50% และ 60% และได้กราฟผลตอบสนองการควบคุมดังรูปที่ 4.15, 4.16 และ 4.17 ตามลำดับ



รูปที่ 4.15 กราฟผลตอบสนองการควบคุมระดับแบบวงรอบคาสเคดที่ค่าเป้าหมาย 40%



รูปที่ 4.16 กราฟผลตอบสนองการควบคุมระดับแบบวงรอบคาสเคดที่ค่าเป้าหมาย 50%



รูปที่ 4.17 กราฟผลตอบสนองการควบคุมระดับแบบวงรอบคาสเคดที่ค่าเป้าหมาย 60%

จากกราฟผลตอบสนองการควบคุมระดับแบบวงรอบคาสเคดที่ค่าเป้าหมายระดับ 40%, 50% และ 60% สามารถพิจารณาผลตอบสนองได้ดังนี้

เมื่อนำค่า PID ที่ได้จากการคำนวณไปป้อนให้กับตัวควบคุมในการทำการทดลองในแพลนท์จริงจะเห็นได้ว่ากราฟที่ได้นั้นไม่สามารถทำการควบคุมให้ค่ากระบวนการเข้าสู่ค่าเป้าหมาย (Set point) ได้ โดยในช่วงแรกกราฟจะเกิดโอเวอร์ชูต (Over shoot) ทำให้กราฟพุ่งขึ้นสูง จากนั้นตัวควบคุมพยายามควบคุมค่ากระบวนการให้ลงมาสู่ค่าเป้าหมาย แต่ไม่สามารถทำได้จึงทำให้เกิดการแกว่งหรือกระเพื่อม (Oscillate) ขึ้นลงอย่างต่อเนื่อง

ข้อสังเกต จากกราฟผลตอบสนองการควบคุมแบบวงรอบเดี่ยว (Single loop control) และแบบวงรอบคาสเคด (Cascade control) เห็นได้ชัดว่าไม่สามารถควบคุมกระบวนการให้สามารถเข้าสู่ค่าเป้าหมาย (Set point) ได้ จึงไม่สามารถทำการเปรียบเทียบผลตอบสนองการควบคุมจากการทดลองการควบคุมกระบวนการจริงได้ ซึ่งปัญหาของการทดลองได้ระบุไว้ในส่วนของข้อเสนอแนะในบทที่ 5

บทที่ 5

สรุปผล ปัญหาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุป

จากการศึกษาและทำการทดลองการเปรียบเทียบผลตอบสนองการควบคุมระหว่างการควบคุมระดับแบบวงรอบเดียว และการควบคุมระดับแบบวงรอบคาสเคด ด้วยการจำลองกระบวนการควบคุมในโปรแกรม MATLAB พบว่า ระบบการควบคุมทั้งสองต่างมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันไป สังเกตได้จากผลตอบสนองของการควบคุมทั้งสองระบบ โดยการควบคุมระดับแบบวงรอบเดียวสามารถทำงานได้เร็วกว่าในช่วงแรก (เนื่องจาก Rise time มีค่าน้อยกว่า) แต่ทำการควบคุมค่ากระบวนการให้เข้าสู่สภาวะคงที่ช้ากว่าการควบคุมระดับแบบวงรอบคาสเคด (เนื่องจาก Setting time มีค่ามากกว่า) และเมื่อค่ากระบวนการเข้าสู่สภาวะคงที่แล้ว พบว่าการควบคุมแบบวงรอบคาสเคดสามารถควบคุมค่ากระบวนการให้มีค่าเข้าใกล้ค่าเป้าหมาย (Set point) ได้ดีกว่า (เนื่องจากค่า Steady state error มีค่าน้อยกว่า) อีกทั้งการควบคุมระดับแบบวงรอบเดียวยังมีโอเวอร์ชูตสูงมากอีกด้วย เมื่อเทียบกับการควบคุมระดับแบบวงรอบคาสเคดที่ไม่เกิดโอเวอร์ชูตเลย การเกิดโอเวอร์ชูตมีข้อดีคือ จะทำให้ระดับของ Steady state error ลดลงได้ แต่มีข้อเสียคือทำให้ระบบทำงานแกว่งหรือกระเพื่อมและจะส่งผลให้ช่วงเวลา Setting time นานขึ้น นอกจากนี้เมื่อเกิดสัญญาณรบกวนจากภายนอกสู่ระบบควบคุม การควบคุมระดับแบบวงรอบเดียวจะทำการควบคุมค่ากระบวนการให้เข้าสู่สภาวะคงที่ได้ช้ากว่าการควบคุมระดับแบบวงรอบคาสเคด เป็นต้น

ในการทดลองจะเห็นว่า ค่า PID ที่ได้จากการทดลองนั้นไม่สามารถนำไปใช้กับแพลนท์จริงได้ทั้งนี้สาเหตุอาจเกิดมาจากวิธีการหาค่า Transfer function ที่ใช้วิธีการ First order อาจจะไม่เหมาะสมกับอุปกรณ์ทุกชนิด อุปกรณ์บางอย่างอาจจำเป็นต้องใช้วิธีอื่นในการคำนวณ เช่น Second order หรือ Third order เพื่อให้ได้ค่า Transfer function ที่เหมาะสมสำหรับอุปกรณ์นั้นๆ เพื่อที่จะนำไปใช้งานในแพลนท์จริงได้ และองค์ประกอบของตัวแปรในการเขียน Block diagram ให้สมบูรณ์นั้นบางส่วนไม่ได้นำมาคิดอาจจะมีผลทำให้ไม่สามารถนำค่า PID มาใช้กับงานแพลนท์จริงได้ การควบคุมทั้งสองระบบมีผลดีและผลเสียแตกต่างกันไป การเลือกใช้ระบบควบคุมจึงขึ้นอยู่กับกระบวนการที่ต้องการควบคุม ว่าเหมาะสมกับพฤติกรรมของการควบคุมแบบใด ระบบควบคุมแบบวงรอบเดียวเหมาะกับกระบวนการที่ต้องการความเร็วในการควบคุมค่ากระบวนการให้เข้าใกล้ค่าเป้าหมายให้อย่างรวดเร็ว ส่วนการควบคุมแบบวงรอบคาสเคดเหมาะกับกระบวนการที่ Time constant มากๆ และต้องการความแม่นยำในการควบคุม เป็นต้น

5.2 ปัญหา

การทำโครงการจำเป็นต้องมีการศึกษาข้อมูลต่างๆก่อนทำ ซึ่งในขั้นตอนของการทดลองแพลนท์จริงเพื่อหาฟังก์ชันการถ่ายโอน เป็นเรื่องยากที่ต้องทำการทดลองและบันทึกค่าให้ตรงกับพฤติกรรมของกระบวนการจริง จึงเกิดความคลาดเคลื่อนระหว่างฟังก์ชันการถ่ายโอนของแพลนท์ กับพฤติกรรมจริงของกระบวนการ ส่งผลต่อการตอบสนองที่ได้จากการจำลองกระบวนการควบคุมในโปรแกรม MATLAB ไม่สอดคล้องกับการทำงานของแพลนท์จริง ด้วยปัญหานี้ทำให้ไม่สามารถนำค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการคำนวณในทางทฤษฎีไปปรับใช้กับกระบวนการจริงได้แนวทางการแก้ไข ในการจำลองกระบวนการในโปรแกรม MATLAB ต้องทำการเลือกฟังก์ชันถ่ายโอนให้เหมาะสมกับอุปกรณ์ภายในแพลนท์ เพื่อให้ได้พฤติกรรมของกระบวนการที่จำลองสอดคล้องกับกระบวนการจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากการทดลองเพื่อหาฟังก์ชันการถ่ายโอนของแพลนท์ที่ต้องนำมาใช้จำลองการควบคุมในโปรแกรม MATLAB เป็นเรื่องยาก จึงต้องศึกษาวิธีการในการหาฟังก์ชันถ่ายโอนของกระบวนการให้ละเอียด เพื่อให้ได้ฟังก์ชันถ่ายโอนสอดคล้องกับกระบวนการจริง
2. เนื่องจากการใช้โปรแกรม MATLAB มีฟังก์ชันต่างๆมากมายให้เลือกใช้ จึงต้องใช้เวลาในการศึกษาและคุ้นเคยกับตัวโปรแกรม ซึ่งควรศึกษาคู่มือวิธีการใช้เบื้องต้นก่อน เพื่อให้เกิดความสะดวกต่อการใช้งานโปรแกรม
3. เนื่องจากการคำนวณวิเคราะห์เสถียรภาพค่อนข้างซับซ้อน ทั้งยังต้องใช้ความรู้ทางคณิตศาสตร์และความรู้วิชาระบบควบคุม จึงควรทบทวนบทเรียนวิชาคณิตศาสตร์และวิชาระบบควบคุมเพิ่มเติมก่อน เพื่อสร้างคุ้นเคยและทำให้ง่ายต่อการคำนวณวิเคราะห์เสถียรภาพ
4. การหาฟังก์ชันการถ่ายโอนของแพลนท์ ต้องทำการศึกษาพฤติกรรมหรือรูปแบบคณิตศาสตร์ของอุปกรณ์ต่างๆภายในกระบวนการให้ละเอียด เพื่อให้ได้ฟังก์ชันการถ่ายโอนที่ตรงตามพฤติกรรมจริงของอุปกรณ์ภายในแพลนท์
5. เนื่องจากค่า PID ที่คำนวณมาเป็นค่า PID ที่ป้อนให้กับโปรแกรม MATLAB แต่แพลนท์งานจริงใช้โปรแกรม LABVIEW ในการควบคุมกระบวนการและค่า PID ที่ใช้งานจะเป็นค่า PID ที่ไม่เหมือนกัน ซึ่งจะทำให้กระบวนการทำงานไม่ได้ตรงตามที่ต้องการ

บรรณานุกรม

[1] Smith & Corripio wiley 1997. Principles and Practice of Automatic Process Control

[2] แนะนำระบบควบคุม (Introduction to control systems)

fivedots.coe.psu.ac.th/Software.coe/240-209/vcrcontrol.pdf



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

☰ CONTENTS

Close

< Documentation Home

< MATLAB 1

Getting Started with MATLAB

- Language Fundamentals
- Mathematics
- Graphics
- Data Import and Analysis
- Programming Scripts and Functions
- App Building
- Advanced Software Development
- Desktop Environment
- Supported Hardware

Examples

Functions

Release Notes

PDF Documentation

Getting Started with MATLAB

MATLAB Product Description
System Requirements

Tutorials

Desktop Basics
Enter statements at the command line and view results

Matrices and Arrays
MATLAB® operates primarily on arrays and matrices, both in whole and in part. A matrix is a two-dimensional array often used for linear algebra.

Array Indexing
Variables in MATLAB are typically arrays that can hold many numbers. When you want to access selected elements of an array, use indexing.

Workspace Variables
The workspace contains variables that you create within or import into MATLAB from data files or other programs.

Text and Characters
When you are working with text, enclose sequences of characters in single quotes.

Calling Functions
MATLAB provides a large number of functions that perform computational tasks. To call a function, enclose its input arguments in parentheses.

2-D and 3-D Plots
Graphics functions include 2-D and 3-D plotting functions to visualize data and communicate results.

Programming and Scripts
The simplest type of MATLAB program is called a script. A script contains a sequence of commands and function calls.

Help and Documentation
All functions have supporting documentation that includes examples and describes the function inputs, outputs, and calling syntax.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้