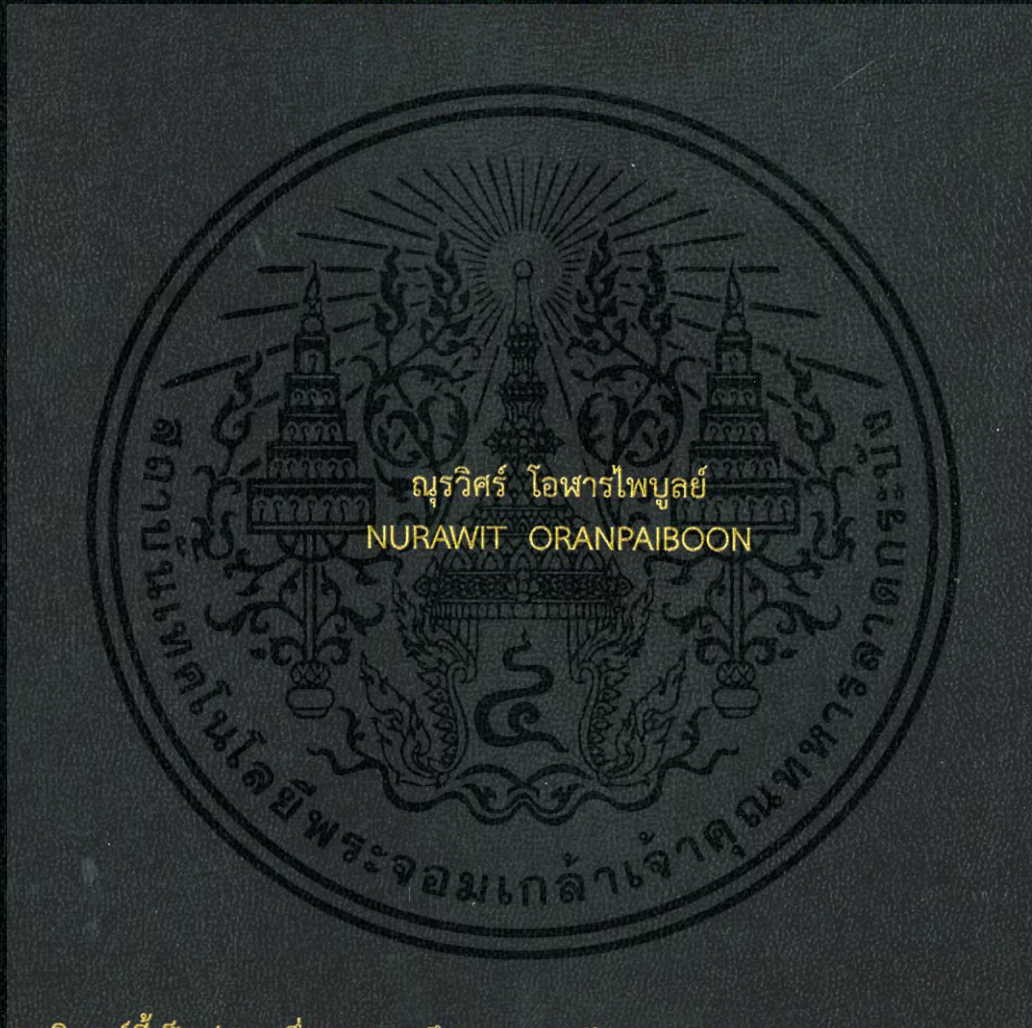


การพัฒนาเครื่องมือทางวิศวกรรมวัดคุมในการศึกษา
เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

THE DEVELOPING TOOL FOR HEAT EXCHANGER EDUCATION IN
INSTRUMENTATION ENGINEERING



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมการวัดคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2560

KMITL-2017-EN-M-060-017

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การพัฒนาเครื่องมือทางวิศวกรรมวัดคุมในการศึกษา
เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

THE DEVELOPING TOOL FOR HEAT EXCHANGER EDUCATION IN
INSTRUMENTATION ENGINEERING



T148775



ณัฐวิศร์ โอฬารไพบูลย์
NURAWIT ORANPAIBOON

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน **148775**
ในเดือนจ. **123 1110 2560**

b. **00266919**
l.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมการวัดคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2560

KMITL-2017-EN-M-060-017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THE DEVELOPING TOOL FOR HEAT EXCHANGER EDUCATION IN
INSTRUMENTATION ENGINEERING



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

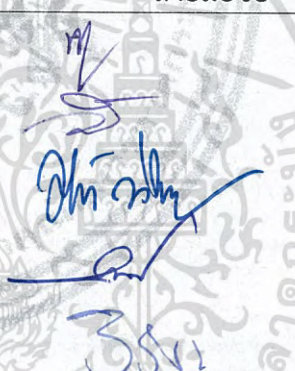
2017

KMITL-2017-EN-M-060-017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การพัฒนาเครื่องมือทางวิศวกรรมวัดคุมในการศึกษาเครื่องมือแลกเปลี่ยนความร้อน
Thesis Title The Developing Tool for Heat Exchanger Education in Instrumentation Engineering
นักศึกษา นายณัฐวิศร์ โอฬารไพบูลย์
รหัสประจำตัว 57601215
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมการวัดคุม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.วิริยะ กองรัตน์
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2017-EN-M-060-017

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.ดร.พุศศักดิ์	ชีวิสุวิทย์	
รศ.ดร.วิทยา	ทิพย์สุวรรณพร	
รศ.อาจินต์	น่วมสำราญ	
รศ.ดร.สุพรรณ	กุลพณิชย์	
รศ.วิริยะ	กองรัตน์	

วัน / เดือน/ ปี ที่สอบ วันพุธที่ 22 มีนาคม พ.ศ. 2560 เวลา 13.00-15.00 น.
สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 5 ห้องประชุม 3

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ข้อมูลด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องยื่นเรื่องส่งเอกสารนี้คืนให้หน่วยงานที่มีการนำไปใช้
วันที่ 22 มีนาคม พ.ศ. 2560

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาเครื่องมือทางวิศวกรรมวัดคุมในการศึกษา
	เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน
นักศึกษา	นาย ณัฐวิศร์ โอฬารไพบูลย์
รหัสประจำตัว	57601215
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมการวัดคุม
พ.ศ.	2560
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ. วิริยะ กองรัตน์

บทคัดย่อ

งานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการนำเสนอการพัฒนาเครื่องมือในการควบคุมปรับปรุงเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนให้เข้าใกล้อุดมคติโดยใช้วิธีสมดุลพลังงานและวิธีการจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยในบทความนี้มีจุดประสงค์ที่จะปรับปรุงกระบวนการในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนโดยอาศัยวิธีการสมดุลพลังงานและการจำลองทางคณิตศาสตร์ ขั้นแรกในสมดุลพลังงานสามารถใช้กฎอนุรักษ์พลังงานในการคำนวณหาพลังงานระหว่างด้านร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานและด้านเย็นของเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานซึ่งก็คือ พลังงานที่เข้าไปจะมีค่าเท่ากับพลังงานที่ออกมาจากระบบจากนั้นเราจะใช้เครื่องควบคุมในการควบคุมระบบในลำดับต่อไป ขั้นที่สองการใช้วิธีการจำลองทางคณิตศาสตร์จะใช้สมการทางคณิตศาสตร์ของสมการพลังงานในการจำลองหาแพลนและหาตัวแปรของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนและจากนั้นจึงใช้เครื่องควบคุมระบบในลำดับต่อไป ผลที่ได้จากกระบวนการเหล่านี้คือช่วยควบคุม, แก้ไขปัญหาและเปรียบเทียบวิธีการระหว่างวิธีสมดุลพลังงานกับการจำลองทางคณิตศาสตร์ซึ่งผลที่ได้จากการทดลองคือได้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2017

FACULTY OF ENGINEERING

เอกสาร KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis	The Developing Tool For Heat Exchanger Education In Instrumentation Engineering
Student	Mr. Nurawit Oranpaiboon
Student ID.	57601215
Degree	Master of Engineering
Program	Instrumentation Engineering
Year	2017
Thesis Advisor	Asoc.Prof. Viriya Kongratana

ABSTRACT

The purpose of this project is to develop the methods for tuning heat exchanger to reach ideal state including balance energy technique and Math Model technique. This paper proposes the method to improve heat exchanger system by balance energy and Math Model. Firstly, The energy balance uses energy laws for calculating energy between temperature at hot side and cold side that is the energy of input equal energy of output after that PID controller is used for controlling process. Secondly, Math Model use mathematical equations of thermal equation for finding transfer functions of system and variables of heat exchanger, then system is tuned to ideal state by PID controller. Finally, this project, energy balance and Math Model, would help another plant. The result of this method would help to control system, fix problem and compare between energy balance method and Math Model. The results from both methods give the similarly output.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ. วิริยะ กองรัตน์ ที่ให้การสนับสนุนและช่วยเหลือทั้งด้านการวิจัยพร้อมด้วยการให้คำชี้แนะในการ แก้ไขปัญหา ตลอดจน การให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีและเป็นประโยชน์แก่ข้าพเจ้าผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์ของท่านและกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง นอกจากนี้ขอขอบพระคุณทุกท่านที่มีส่วนร่วมในวิทยานิพนธ์เล่มนี้ทั้งด้านคำแนะนำต่างๆ เพื่อให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้เสร็จสมบูรณ์

สุดท้ายข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่คอยอยู่เคียงข้างและให้กำลังใจ พร้อมทั้งช่วยเหลือสนับสนุนในทุกๆด้านจนทำให้ ข้าพเจ้าผ่านทุกอย่างมาได้จนถึงทุกวันนี้

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้แด่ บิดา มารดา ผู้ซึ่งเป็นที่รัก พร้อมทั้งอาจารย์ที่ข้าพเจ้าเคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้แก่ข้าพเจ้า

ณัฐวิศร์ โอฬารไพบูลย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา III และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 ขั้นตอนการศึกษาและวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ.....	3
1.6 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์.....	4
บทที่ 2 การทบทวนวรรณกรรม.....	5
2.1 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน.....	5
2.2 การเลือกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน.....	9
2.3 พื้นฐานระบบควบคุมเบื้องต้น.....	10
2.4 การออกแบบเครื่องควบคุม IMC-Based PID สำหรับ Second-Order.....	17
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา IV ะต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	24
3.1 รูปแบบและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	24
3.2 การจำลองโมเดลทางคณิตศาสตร์ของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน.....	27
บทที่ 4 ผลการทดลองและผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง.....	32
4.1 การจำลองทางคณิตศาสตร์ใน MatLAB.....	32
4.2 วิธีสมดุปลังงาน.....	33
4.3 เปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างวิธีสมดุปลังงานกับการจำลองทางคณิตศาสตร์.....	34
4.4 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน.....	35
4.5 ผลลัพธ์ที่ได้จากค่า Manipulated.....	41
บทที่ 5 การควบคุมเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน.....	45
5.1 แบบจำลองการควบคุมเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน.....	45
5.2 ผลการทดลองการเปรียบเทียบระหว่าง PID และ IMC-Based.....	45
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัย.....	47
6.1 สรุปผลการวิจัย.....	47
6.2 ข้อเสนอแนะ.....	47
เอกสารอ้างอิง.....	48
ภาคผนวก.....	50
ภาคผนวก แบบทดสอบกรณีศึกษาเพิ่มเติม.....	51
ภาคผนวก ผลงานการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทำวิทยานิพนธ์และได้รับการตีพิมพ์.....	52

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้าที่
2.1 แสดงผลการควบคุมของเครื่องควบคุมแต่ละชนิด.....	19
2.2 ตารางแสดงผลลัพธ์ของเครื่องควบคุมชนิด PID กับ FB+FF.....	23
4.1 ตารางอุณหภูมิในแบบจำลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน.....	33
4.2 ตารางอุณหภูมิในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน.....	34
4.3 ตารางอุณหภูมิในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเทียบกับอุณหภูมิที่ได้จากการจำลองทาง คณิตศาสตร์.....	34
4.4 ตารางแสดงผลที่ได้จากค่าManipulated.....	43



สารบัญญรูป

รูปที่	หน้าที่
2.1 แสดงทิศทางการไหลของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน.....	5
2.2 แสดงลักษณะการไหลที่แตกต่างกันของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้น.....	6
2.3 แสดงการไหลที่แตกต่างกันใน cross flow heat exchanger.....	6
2.4 แสดงเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเซลล์และแบบท่อ.....	7
2.5 แสดงการไหลของของเหลวในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อ.....	7
2.6 แสดงถึงบล็อกไดอะแกรมอย่างง่ายสำหรับการสังเคราะห์การควบคุม.....	10
2.7 แสดงถึงกราฟรายละเอียดผลตอบสนองของลูปปิดอันดับหนึ่งสำหรับการสังเคราะห์การควบคุม.....	12
2.8 บล็อกไดอะแกรมสำหรับโมเดลการควบคุมภายใน.....	15
2.9 แสดงกราฟเปรียบเทียบเครื่องควบคุมในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน.....	20
2.10 แสดงแบบจำลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน.....	20
2.11 กราฟแสดงค่าเป้าหมายและสิ่งรบกวนการตอบสนองโดยใช้เครื่องควบคุมชนิด PID.....	21
2.12 กราฟแสดงเป้าหมายและสิ่งรบกวนการตอบสนองโดยใช้เครื่องควบคุมชนิด feedback plus feed-forward controller.....	22
2.13 กราฟแสดงค่าเป้าหมายและสิ่งรบกวนการตอบสนองโดยใช้เครื่องควบคุมชนิด IMC.....	22
3.1 แบบจำลองของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน.....	24
3.2 ฟังก์ชันบล็อกไดอะแกรมของอุณหภูมิสูง.....	28
3.3 ฟังก์ชันบล็อกไดอะแกรมของอุณหภูมิเย็น.....	29
3.4 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน.....	30
3.5 ฟังก์ชันบล็อกไดอะแกรมของเครื่องทำความร้อน.....	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์ การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา VII๕ ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้าที่
4.1 การจำลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน.....	32
4.2 การจำลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในโปรแกรม LabVIEW.....	33
4.3 กราฟแสดงผลสัมพัทธ์ความสัมพันธ์ของการจำลองระหว่างการจำลองทางคณิตศาสตร์และผลที่วัด จริงจากการเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน.....	35
4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำร้อนที่มากขึ้น ($f1$) เทียบกับค่าสัมประสิทธิ์ ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ($K1, K2$).....	36
4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำร้อนที่มากขึ้น ($f1$) เทียบกับค่าสัมประสิทธิ์ ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ($T1$).....	36
4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำร้อนที่มากขึ้น ($f1$) เทียบกับอุณหภูมิขาออก ที่เปลี่ยนไป ($T4$).....	37
4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำร้อนที่มีค่าลดลง ($f1$) เทียบกับค่า สัมประสิทธิ์ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ($K1, K2$).....	37
4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำร้อนที่มีค่าลดลง ($f1$) เทียบกับค่า สัมประสิทธิ์ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ($T1$).....	38
4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำร้อนที่มีค่าลดลง ($f1$) เทียบกับอุณหภูมิที่วัด ได้ทางขาออก ($T4$).....	38
4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำเย็นที่มีค่าลดลง ($f2$) เทียบกับค่า สัมประสิทธิ์ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ($K3, K4$).....	39
4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำเย็นที่มีค่าลดลง ($f2$) เทียบกับค่า สัมประสิทธิ์ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ($T2$).....	40

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้าที่
4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำเย็นที่มีค่าลดลง (f_2) เทียบกับ อุณหภูมิที่วัดได้ทางขาออก (T4).....	40
4.13 แสดงแบบจำลองเครื่องทำความร้อนและเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน.....	41
4.14 กราฟแสดงผลการตอบสนองในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ค่า Manipulated = 25 %.....	41
4.15 กราฟแสดงผลการตอบสนองในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ค่า Manipulated = 50 %.....	42
4.16 กราฟแสดงผลการตอบสนองในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ค่า Manipulated = 75 %.....	42
4.17 กราฟแสดงผลการตอบสนองในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ค่า Manipulated = 100 %....	42
4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า manipulated กับ อุณหภูมิทางด้านขาออก (T4).....	44
5.1 แสดงระบบควบคุมของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน.....	45
5.2 แสดงกราฟเปรียบเทียบระหว่าง เครื่องควบคุมชนิดพีไอดี (PID) กับ เครื่องควบคุมไอเอ็มซีบนพีไอดี (IMC-Based PID).....	46
5.3 แสดงกราฟอุณหภูมิทางขาออก (T4) เมื่อเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนถูกควบคุมโดยเครื่องควบคุมระบบชนิดพีไอดี (PID).....	46

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันความต้องการในเรื่องของพลังงานเป็นสิ่งจำเป็นเนื่องด้วยเหตุนี้การควบคุมพลังงานจึงเป็นสิ่งจำเป็นในทุกๆประเทศทุกๆอุตสาหกรรม โดยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนก็เป็นอุปกรณ์หนึ่งในอุตสาหกรรมซึ่งใช้อย่างแพร่หลายในทุกอุตสาหกรรมกระบวนการอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับพลังงานความร้อน ส่วนใหญ่มีเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นองค์ประกอบได้แก่ระบบอุตสาหกรรมยานยนต์ เช่น อุตสาหกรรมปิโตรเลียม อุตสาหกรรมเคมี การระบายความร้อนในหม้อน้ำรถยนต์ระบบอุตสาหกรรมทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ เช่น การแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างคอยล์เย็นกับอากาศเพื่อจ่ายอากาศเย็นไปยังห้องปรับอากาศระบบ.

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนคือ เครื่องมือที่ใช้สำหรับถ่ายเทความร้อนจากของไหลชนิดหนึ่งไปยังของไหลอีกชนิดหนึ่ง วิศวกรจึงควรมีความรู้ที่จะคำนวณการออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนได้ ในการออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน วิศวกรต้องมีความรู้ในการคำนวณหาสัมประสิทธิ์และค่าพารามิเตอร์การพาความร้อน การส่งผ่านของความร้อน, การศึกษาการออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อให้ได้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีประสิทธิภาพและการควบคุมระบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

หน้าที่หลักของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนก็คือ การนำเอาพลังงานความร้อนมาใช้อย่างถูกหลักการ และมีประสิทธิภาพ ดังนั้นการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์และค่าของพารามิเตอร์ต่างๆจึงมีความสำคัญอย่างมากที่จะนำมาใช้ควบคุมกระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อนให้มีความถูกต้องและเที่ยงตรงเพื่อนำสัมประสิทธิ์ไปใช้ในการควบคุมระบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนโดยการนำค่าสัมประสิทธิ์และพารามิเตอร์ต่างๆมาประยุกต์ใช้กับโปรแกรม MatLAB เพื่อจำลองการแลกเปลี่ยนความร้อนและนำข้อมูลที่ได้มาเทียบกับระบบการแลกเปลี่ยนความร้อนโดยใช้โปรแกรม LabVIEW โดยใช้ OPC Servers ในการเชื่อมต่ออุปกรณ์ในระบบกับ PLC ของ Omron

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาลักษณะการทำงานของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน Alfa Laval China Model CB27-80H
2. เพื่อศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน Alfa Laval China Model CB27-80H และนำสัมประสิทธิ์เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนไปใช้ในระบบการควบคุมระบบในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนได้อย่างเหมาะสมและถูกต้อง
3. ศึกษาและประยุกต์เพื่อนำไปใช้ในระบบอุตสาหกรรมต่างๆ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นชนิดแบบแผ่น (Plate Heat Exchanger) ซึ่งประกอบไปด้วยชุดแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนโดยใช้น้ำเป็นตัวแลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งเราจะพิจารณาอุณหภูมิของน้ำด้านขาออกของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน
2. จัดเตรียมระบบประมวลผลอุณหภูมิซึ่งประกอบด้วย โปรแกรม MatLAB, LabVIEW เพื่อนำข้อมูลที่ได้จากการหาสัมประสิทธิ์ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนไปใช้ในการประมวลผล
3. ทำการจำลองการถ่ายเทความร้อนภายในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ในสถานะคงตัว (Steady state) โดยตั้งสมมติฐานให้การถ่ายเทความร้อนไม่สูญเสียพลังงานออกนอกระบบ
4. ทดลองทำการเก็บค่าอุณหภูมิที่สถานะต่างๆ เพื่อนำมาประมวลผลเทียบกับอุณหภูมิที่วัดได้จากแพลนจริงโดยใช้กราฟเพื่อเปรียบเทียบลักษณะของอุณหภูมิด้านขาออกเพื่อยืนยันถึงประสิทธิภาพของระบบ

1.4 ขั้นตอนการศึกษาและวิจัย

1. ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน การทำงานของโปรแกรม MatLAB, LabVIEW และ การควบคุมระบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน
2. วางแผนและดำเนินการทดลองเพื่อเก็บค่าอุณหภูมิภายในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนทางขาเข้าและขาออกของระบบเพื่อนำข้อมูลไปใช้ในการตรวจสอบความสอดคล้องของแบบจำลองผ่านโปรแกรม LabVIEW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. สร้างแบบจำลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนด้วยสมการความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนโดยการจำลองผ่านโปรแกรม MatLAB โดยพิจารณาลักษณะอุณหภูมิทางขาเข้า และ ทางขาออกของระบบ

4. วิเคราะห์ผลที่ได้จากการจำลองและค่าอุณหภูมิที่บันทึก เพื่อหาความสอดคล้องระหว่างทั้งสองผลลัพธ์ที่ได้

5. ตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง โดยการเปรียบเทียบอุณหภูมิจากผลการทดลองกับแบบจำลอง

6. เพิ่มประสิทธิภาพในการควบคุมเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนด้วยเครื่องมือควบคุมระบบ (Controller) เข้าไปในระบบเพื่อควบคุมระบบ

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ

1. สร้างความเข้าใจในการแลกเปลี่ยนความร้อนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนซึ่งประกอบไปด้วยโครงสร้างภายในแบบต่างๆที่สามารถคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ต่างๆภายในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนโดยจะนำค่าที่ได้ไปใช้ในการสร้างแบบจำลองของระบบนอกจากนี้ทำให้ผู้ใช้สามารถระบุการใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2. สามารถเข้าใจถึงแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน Alfa Laval China Model CB27-80H และสามารถใช้โปรแกรม MatLAB เพื่อทำการจำลองผลลัพธ์ทางทฤษฎีของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ให้ตรงกับผลลัพธ์ในทางปฏิบัติเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในระบบอุตสาหกรรมได้

3. ได้รับข้อมูลที่เป็นประโยชน์เบื้องต้นในการปรับปรุงและพัฒนาให้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมีประสิทธิภาพในการควบคุมมากยิ่งขึ้น

1.6 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็นทั้งหมด 6บท ซึ่งเนื้อหาแต่ละบทมีรายละเอียดโดยสังเขปดังนี้

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมา ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการวิจัย ขอบเขตของการวิจัย ขั้นตอนการดำเนินการวิจัยโดยย่อ ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย และรายละเอียดของวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 กล่าวถึงหลักการและทฤษฎีที่มีความสำคัญต่องานวิจัยนี้ ทั้งนี้เพื่อเป็นแนวทางในการกำหนด และดำเนินกระบวนการวิจัย ซึ่งประกอบด้วยระบบการทำความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยน ความร้อน ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อนเบื้องต้น พื้นฐานระบบควบคุมเบื้องต้น

บทที่ 3 กล่าวถึงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนวิธีการทดลองและขั้นตอนการสร้างแบบจำลอง

บทที่ 4 กล่าวถึงผลการทดลองและผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองโดยเปรียบเทียบกับผลการทดลอง

บทที่ 5 กล่าวถึงการควบคุมเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนด้วยวิธีต่างๆ

บทที่ 6 กล่าวถึงบทสรุปของการวิจัย ข้อเสนอแนะและแนวทางการนำองค์ความรู้ไปใช้ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

การทบทวนวรรณกรรม

ในบทนี้กล่าวถึงทฤษฎีที่จำเป็นในการดำเนินงานวิจัยซึ่งประกอบด้วยพื้นฐานการทำงาน ระบบการทำความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อนเบื้องต้น พื้นฐาน ระบบควบคุมเบื้องต้น

2.1 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger)

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger) คือ เครื่องมือที่ใช้สำหรับการถ่ายเทความร้อนของของไหลชนิดหนึ่งไปยังของไหลอีกชนิดหนึ่ง โดยที่ของไหลไม่จำเป็นต้องผสมกัน เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นเครื่องมือที่สำคัญอย่างมากในทางอุตสาหกรรมและเป็นเครื่องมือที่ใช้ในระบบต่างๆทางวิศวกรรมอย่างกว้างขวาง เช่น ในอุตสาหกรรมน้ำมันจะใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในการทำให้น้ำมันดิบร้อนขึ้นหรือทำให้ไอที่ออกจากหอกลั่นเป็นของเหลวหรือใช้ลดอุณหภูมิของน้ำมันหรือก๊าซ หรือในอุตสาหกรรมอื่นๆ เช่น อุตสาหกรรมปุ๋ย, เส้นใย, อาหารกระป๋องมีการนำเอาความร้อนมาเวียนใช้ใหม่หรือแลกเปลี่ยนความร้อนสำหรับเพิ่มหรือลดความร้อน

2.1.1 ทิศทางการไหลของ Heat Exchanger

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมีทิศทางการไหลแบ่งออกเป็นสามชนิดหลักๆ คือ

2.1.1.1 ทิศทางการไหลแบบขนานกัน

2.1.1.2 ทิศทางการไหลแบบสวนทางกัน

2.1.1.3 ทิศทางการไหลแบบตั้งฉากกัน



การไหลแบบขนานกัน



การไหลแบบสวนทางกัน



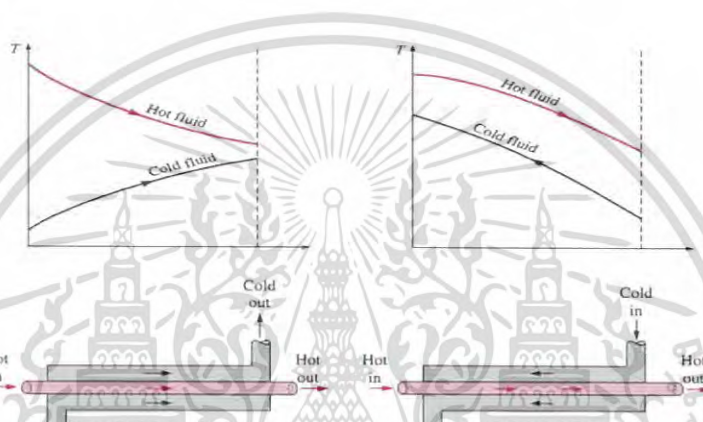
การไหลแบบตั้งฉากกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการรูปที่ 2.1 แสดงทิศทางการไหล [4] ภาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 ชนิดของ Heat Exchanger (Type of Heat Exchanger)

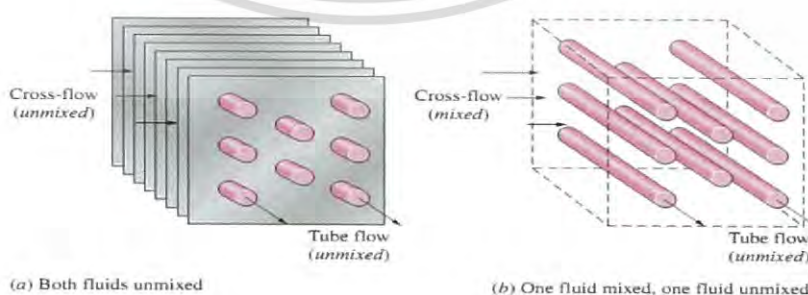
เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมีหลายแบบการจำแนกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนอาจทำได้โดยอาศัยทิศทางการเคลื่อนที่ของของไหลในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน และลักษณะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นหลัก โดยทั่วไปแล้วจำแนกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนออกได้เป็น 3 แบบคือ

2.1.2.1 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้น เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดนี้อาจอยู่ในลักษณะที่ท่อสองท่อสวมเข้าด้วยกันดังรูปที่ 2.2 ส่วนการไหลของของไหลอาจไหลสวนทางกันหรือไหลขนานกัน



รูปที่ 2.2 แสดงลักษณะการไหลที่แตกต่างกันและการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้น

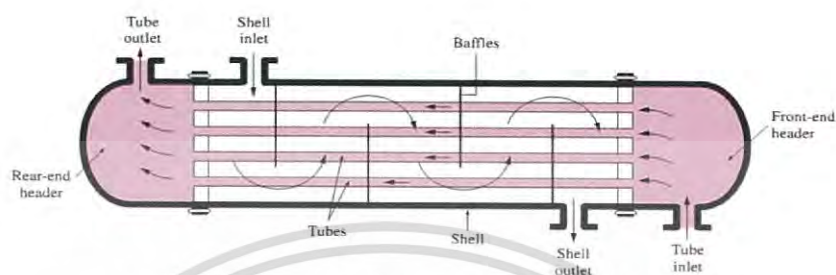
2.1.2.2 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ของไหลมีทิศทางตั้งฉากกัน (Cross flow) ในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน แบบนี้ ของไหลจะไหลในทิศทางตั้งฉากกัน ดังแสดงใน รูปที่ 2.3 การสร้างนั้นอาจให้อยู่ในลักษณะของไหลเดี่ยวเดียวหรือไหลสองเดี่ยวหรือมากกว่าก็ได้



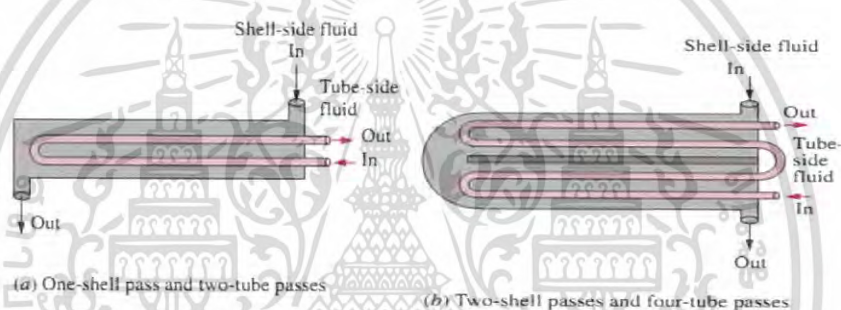
รูปที่ 2.3 แสดงการไหลที่แตกต่างกันใน cross flow heat exchanger [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2.3 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเชลล์และท่อเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดนี้ของไหล อย่างหนึ่งจะอยู่ในเชลล์และอีกอย่างหนึ่งจะอยู่ในท่อ สำหรับการไหลนั้นจะอยู่ในลักษณะไหลสวนทางหรือไหลขนานก็ได้หรือทั้งสองอย่างในเครื่องเดียวกันก็ได้ นอกจากนี้นี้อาจออกแบบให้ของไหลมีทิศทางตั้งฉากกับท่อก็ได้



รูปที่ 2.4 แสดงเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเชลล์และแบบท่อ [4]



รูปที่ 2.5 แสดงการไหลของของเหลวในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อ [4]

นอกจากนี้ยังสามารถแบ่งประเภทของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมสามารถกระทำได้ 2 วิธีคือแบ่งตามสภาวะของของไหลที่ใช้และแบ่งตามการใช้งานดังนี้

2.1.2 การแบ่งตามสภาวะของไหลที่ใช้

2.1.3.1 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างของเหลว-ของเหลว เป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนประเภทที่ไม่มี การเปลี่ยนแปลงสภาวะของของไหลทั้ง 2 ชนิด เช่น น้ำมันก๊าดหอกลับและน้ำมันดิบที่ป้อนเข้าหอกลับ เป็นต้น

2.1.3.2 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างของเหลว-ของเหลว ชนิดที่มีการเปลี่ยนแปลงสภาวะของของไหลทั้ง 2 ชนิด โดยของเหลวชนิดหนึ่งจะเปลี่ยนสภาวะเป็นก๊าซหรือระเหยเป็นไอในระหว่างแลกเปลี่ยนความร้อนเช่น เครื่องต้มซ้ำ (Re-boiler) ของหอกลับน้ำมันซึ่งใช้น้ำมันอุณหภูมิสูงเป็นแหล่งความร้อน

2.1.3.3 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างก๊าซ-ก๊าซ ชนิดไม่มีการเปลี่ยนแปลงสถานะ ไม่เกิดการควบแน่นเป็น ของเหลว เช่น เครื่องอุ่นอากาศที่ใช้ก๊าซทิ้งเป็นแหล่งความร้อน

2.1.3.4 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างก๊าซ-ก๊าซ ชนิดที่มีการเปลี่ยนแปลงสถานะ โดยชนิดหนึ่งจะมีการควบแน่น เป็นของเหลว เช่น เครื่องกระจายความร้อน (Radiator) สำหรับทำความอบอุ่นในห้อง โดยทำอากาศให้อุ่น ด้วยไอน้ำ

2.1.3.5 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างก๊าซ-ของเหลว ชนิดไม่มีการเปลี่ยนแปลงสถานะ โดยชนิดหนึ่งเป็นก๊าซ และอีกชนิดหนึ่งเป็นของเหลว เช่น เครื่องอุ่นน้ำป้อน ที่ใช้ก๊าซทิ้งจากหม้อไอน้ำเป็นแหล่งความร้อน

2.1.3.6 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างก๊าซ-ของเหลว ชนิดที่มีการเปลี่ยนแปลงสถานะ เช่น หม้อไอน้ำแบบท่อ ซึ่งระเหยน้ำให้เป็นไอน้ำด้วยก๊าซสันดาป และเครื่องควบแน่น ซึ่งควบแน่นไอให้เป็นของเหลวด้วยน้ำระบาย ความร้อน

2.1.4 การแบ่งประเภทตามจุดประสงค์การใช้งาน

อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนสามารถแบ่งตามประเภทจุดประสงค์การใช้งานหรือลักษณะการใช้งานนั้น ได้แก่

2.1.4.1 เครื่องระเหย (Evaporator) หรือหม้อเคี่ยว (Concentrator) การใช้งานคือการระเหยของเหลวให้เป็นไอเพื่อใช้ไอที่เกิดขึ้นให้เป็นประโยชน์หรือเพื่อให้ได้ของเหลวที่เข้มข้นขึ้น

2.1.4.2 เครื่องอุ่น หรือเครื่องทำให้ร้อนล่วงหน้า (Preheater) จุดประสงค์ก็เพื่อทำให้ของไหลร้อนล่วงหน้า ซึ่งเป็นการ เพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของกระบวนการ โดยทั่วไปมักจะเรียกชื่อตามตำแหน่งข้างหน้าของการใช้งาน หรือตามประเภทของของไหลที่ถูกอุ่นให้ร้อน เช่น เครื่องอุ่นน้ำป้อนหม้อไอน้ำ (Boiler Feed Water Preheater) เป็นต้น

2.1.4.3 เครื่องทำให้เกิดความร้อน (Heater) จุดประสงค์ก็เพื่อเพิ่มอุณหภูมิให้กับของไหลให้มีค่าอุณหภูมิสูงขึ้น

2.1.4.4 เครื่องทำให้ร้อนยิ่งยวด (Superheat-heater) เครื่องนี้จะทำหน้าที่เพิ่มความร้อนให้กับของไหลที่ถูกทำให้ร้อน มาแล้ว เพื่อที่จะทำให้อยู่ในสภาพร้อนยิ่งยวด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4.5 เครื่องต้มซ้ำ (Re-boiler) เครื่องนี้ทำหน้าที่ให้ความร้อนให้กับของเหลวเพื่อที่จะระเหยให้เป็นไออีกครั้ง

2.1.4.6 เครื่องควบแน่น (Condenser) จุดประสงค์ที่สำคัญก็เพื่อควบคุมน้ำให้กลายเป็นของเหลว เช่น เครื่องควบแน่นไอน้ำ

2.1.4.7 เครื่องควบแน่นหมด (Total Condenser) เครื่องนี้เป็นเครื่องควบแน่นชนิดหนึ่งที่ใช้กับหอกลั่นได้รับการออกแบบให้สามารถควบแน่นไอที่ออกมาจากยอดหอกลั่นได้ทั้งหมด

2.1.4.8 เครื่องควบแน่นบางส่วน (Partial Condenser) เป็นเครื่องควบแน่นประเภทผลิตขึ้นใช้กับหอกลั่นมีจุดประสงค์ เพื่อควบแน่นบางส่วนให้กลายเป็นของเหลว

2.1.4.9 เครื่องระบายความร้อน (Cooler) เครื่องนี้ทำหน้าที่ระบายความร้อนให้กับของไหลเพื่อลดอุณหภูมิของของไหล

2.1.4.10 เครื่องทำให้เย็นจัด (Chillier) ทำหน้าที่ลดอุณหภูมิของของไหลให้ต่ำลงมาก โดยใช้สารทำความเย็น (Refrigeration) เช่น ฟรียอน แอมโมเนีย เป็นต้น

2.2 การเลือกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน Heat Exchanger

เนื่องจากมีตัวแปรหลายตัวที่เกี่ยวข้องกัน การเลือกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ดีที่สุดเป็นสิ่งที่ ทำท่าย เราสามารถคำนวณด้วยมือได้แต่ต้องคำนวณซ้ำๆหลายครั้งเพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้องมากที่สุด เช่นนี้แล้วเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนส่วนใหญ่ถูกเลือกผ่านเครื่องคอมพิวเตอร์หรือโดยวิศวกรระบบ เพื่อทำการเลือกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน วิศวกรระบบในอันดับแรกได้ถูกออกแบบในข้อจำกัด สำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแต่ละชนิดโดยราคาก็เป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจอย่างหนึ่งและ เกณฑ์อื่นๆในการเลือกที่สำคัญมีดังนี้

- ข้อจำกัดของความดันต่ำสุด/ความดันสูงสุด
- ประสิทธิภาพทางความร้อน
- ยานการวัดอุณหภูมิ
- การผสมกันของของไหล (ของไหล/ของไหล, อนุภาค หรือ ของเหลวที่มีความหนาแน่นสูง)
- ความดันที่ตกหลังผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยน
- ค่าความจุของของไหล
- การทำความสะอาด, การปรับปรุงและการซ่อมบำรุง

วัสดุที่ต้องการสำหรับการสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

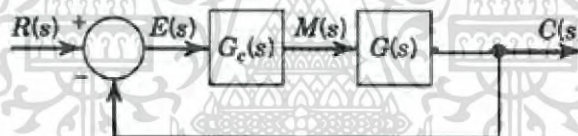
- ศักยภาพและความสะอาดในการขยายในอนาคต
- การเลือกวัสดุ เช่น ทองแดง, อะลูมิเนียม, เหล็กคาร์บอน, เหล็กสแตนเลส, โลหะผสมนิกเกิล, เซรามิก, พอลิเมอร์และ ไทเทเนียม

ในการเลือกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ถูกต้องจะต้องการความรู้ที่ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในชนิดที่แตกต่างกันเช่นเดียวกันกับสิ่งแวดล้อมได้ทำงานโดยทั่วไปแล้วในอุตสาหกรรมการผลิตนั้นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนหลายๆชนิดที่แตกต่างกันได้ถูกใช้งานเพื่อกระบวนการหรือระบบเพียงอย่างเดียวเพื่อสร้างเป็นผลผลิตสุดท้าย

2.3 พื้นฐานระบบควบคุมเบื้องต้น

2.3.1 Synthesis of feedback controller

ให้ฟังก์ชันการส่งผ่านอยู่ในรูปของวงจรถูกป้อนกลับในการสังเคราะห์เครื่องควบคุมการพัฒนาการสังเคราะห์เครื่องควบคุม พวกเราจะพิจารณาเกี่ยวกับบล็อกไดอะแกรมดัง รูปที่ 2.6 ซึ่งสมการในการแลกเปลี่ยนขององค์ประกอบในวงจรถูกป้อนกลับ นอกเหนือจากเครื่องควบคุมทำการยุบบล็อกไดอะแกรม $G(s)$



รูปที่ 2.6 แสดงถึงบล็อกไดอะแกรมอย่างง่ายสำหรับการสังเคราะห์การควบคุม [1]

จากบล็อกไดอะแกรมสมการแลกเปลี่ยนในวงจรถูกป้อนคือ

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{G_c(s)G(s)}{1 + G_c(s)G(s)} \quad (2.1)$$

ต่อไปเราใช้การจัดรูปสมการการแลกเปลี่ยนของเครื่องควบคุม

$$G_c(s) = \frac{1}{G(s)} \cdot \frac{C(s)/R(s)}{1 - C(s)/R(s)} \quad (2.2)$$

การสังเคราะห์เครื่องควบคุมโดยจะให้ฟังก์ชันการแลกเปลี่ยนของเครื่องควบคุมจากฟังก์ชันการแลกเปลี่ยนของกระบวนการ และค่าตอบสนองของลูปปิด เพื่อที่จะอธิบายว่าสมการ โดยพิจารณาการควบคุมที่สมบูรณ์นั้นคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลลัพธ์ของตัวควบคุมคือ

$$G_c(s) = \frac{1}{G(s)} \cdot \frac{1}{1-1} = \frac{1}{G(s)} \cdot \frac{1}{0} \quad (2.3)$$

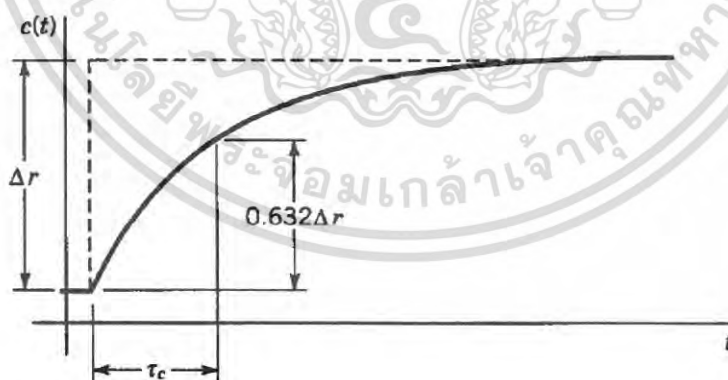
นี้สามารถพูดได้ว่าเพื่อที่จะบังคับให้ผลลัพธ์เท่ากับค่าเป้าหมายตลอดเวลา ค่าอัตราขยายของเครื่องควบคุมจะต้องเป็นอนันต์ในอีกแง่มุมหนึ่ง การควบคุมแบบสมบูร์นแบบไม่สามารถทำได้ในการควบคุมแบบป้อนกลับ เพราะว่าการแก้ไขการป้อนกลับใดๆ จะมีความผิดพลาดเกิดขึ้นเสมอ

2.3.2 รายละเอียดของการตอบสนองของวงรอบปิด (close-loop)

ผลตอบสนองของวงรอบปิด(close-loop)ที่ง่ายที่สุดคือผลตอบสนองอันดับหนึ่ง (first order) ในช่วงเวลาของกระบวนการในช่วงที่ระบบไม่มีการเกิดเวลาวิกฤต(dead-time)ขึ้น ผลตอบสนองจะเป็นไปตาม รูปที่ 2.7 และผลลัพธ์ของการตอบสนองฟังก์ชันการถ่ายโอนในวงรอบปิด (close-loop)

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{1}{\tau_c s + 1} \quad (2.4)$$

โดย τ_c เป็นค่าคงที่เวลาของผลตอบสนองของวงรอบปิด (close-loop) และสามารถปรับค่าได้เป็นการปรับค่าพารามิเตอร์ตัวเดียวสำหรับการสังเคราะห์เครื่องควบคุม τ_c ที่น้อยลง การปรับค่าก็จะบีบขึ้น



รูปที่ 2.7 แสดงถึงกราฟรายละเอียดผลตอบสนองของลูปปิดอันดับหนึ่งสำหรับการสังเคราะห์การควบคุม [1]

นำ สมการที่ 2.4 กลับกับ สมการที่ 2.2

$$G_c(s) = \frac{1}{G(s)} \cdot \frac{1}{\tau_c s} \quad (2.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราจะเห็นได้ว่าตัวเครื่องควบคุมที่อยู่ในโหมด integral โดยผลลัพธ์จากรายละเอียดของ อัตราขยาย ในฟังก์ชันการถ่ายโอนในวงรอบปิด (สมการ 2.4) จะทำให้มั่นใจได้ว่าจะไม่มีการเกิด ออฟเซ็ทเกิดขึ้น แม้ว่าผลตอบสนองของวงรอบปิดของอันดับสอง (second-order) และอันดับสูง (higher-order) สามารถระบุได้มันจะไม่ค่อยจำเป็น อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าในกระบวนการจะระบุว่ามี dead time อยู่ผลตอบสนองของวงรอบปิดจะต้องมี ตัวแปรของเวลาวิกฤต (dead time) โดยค่าของเวลาวิกฤต (dead time) จะเท่ากับค่าเวลาวิกฤต (dead time) ของกระบวนการ อย่างแรกเราจะมาดูว่า การวิเคราะห์เครื่องควบคุม สามารถนำเราไปสู่โหมดสำหรับฟังก์ชันการแลกเปลี่ยนของกระบวนการ ต่างๆ

2.3.3 โหมดของเครื่องควบคุมและการปรับค่าพารามิเตอร์

ผลตอบสนองของเครื่องควบคุมแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างฟังก์ชันการส่งผ่านของ กระบวนการกับโหมดของเครื่องควบคุมแบบพีดี (PID) เพราะว่าโดยปกติแล้วฟังก์ชันการส่งผ่านที่ ไม่มีอยู่ในรูปของเวลาวิกฤต (dead time) ผลตอบสนองของเครื่องควบคุมจะประกอบไปด้วยรูปแบบ ของค่าพารามิเตอร์ควบคุมแบบสัดส่วนค่าพารามิเตอร์ควบคุมแบบปริพันธ์และค่าพารามิเตอร์ควบคุม แบบอนุพันธ์ นอกจากนี้ผลตอบสนองของเครื่องควบคุมยังแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างการ ปรับค่าพารามิเตอร์ของเครื่องควบคุมซึ่งจะอยู่ในเทอมของค่าคงที่ทางเวลาของการควบคุมแบบวงจรร ะบบปิด, กับค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันการส่งผ่าน ซึ่งจะแบ่งความสัมพันธ์ของค่าพารามิเตอร์ต่างๆ โดย การแทนค่าลงในฟังก์ชันการส่งผ่านของกระบวนการ

กระบวนการที่มีการตอบสนองแบบทันทีทันใด

$$G(s) = K$$

จาก สมการที่ 2.5

$$G_c(s) = \frac{1}{K\tau_c} \cdot \frac{1}{s} \quad (2.6)$$

โดยที่ K คือ ค่าอัตราขยายของกระบวนการ

สมการที่ 2.6 คือสมการของตัวควบคุมแบบอินทิกรัล ซึ่งเป็นสิ่งแสดงให้เห็นว่ากระบวนการนั้นจะต้อง มีการควบคุมอย่างรวดเร็ว ตัวอย่างเช่น การควบคุมอัตราการไหล การควบคุมตัวขับเคลื่อนชุดกังหัน ระบายความร้อน และการควบคุมอุณหภูมิขาออกของเตาเผา

กระบวนการอันดับหนึ่ง (First-Order Process)

$$G(s) = \frac{K}{\tau s + 1}$$

จาก สมการ 2.5

$$G_c(s) = \frac{\tau s + 1}{K} \cdot \frac{1}{\tau_c s}$$

$$G_c(s) = \frac{\tau}{K \tau_c} \left(1 + \frac{1}{\tau s} \right) \quad (2.7)$$

โดยที่ τ คือ ค่าคงที่ทางเวลาของกระบวนการ

สมการที่ 2.7 คือสมการของตัวควบคุมแบบสัดส่วน - อินทิกรัล (ตัวควบคุมแบบพีไอ) ประกอบด้วยพารามิเตอร์ที่ปรับได้ คือ

$$K_c = \frac{\tau}{K \tau_c} \quad (2.8)$$

$$\tau_1 = \tau$$

กระบวนการอันดับสอง (Second-Order Process)

$$G(s) = \frac{K}{(\tau_1 s + 1)(\tau_2 s + 1)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จาก สมการที่ 2.5

$$\begin{aligned}
 G(s) &= \frac{(\tau_1 s + 1)(\tau_2 s + 1)}{K} \cdot \frac{1}{\tau_c s} \\
 &= \frac{\tau_1}{K \tau_c} \left(1 + \frac{1}{\tau_1 s} \right) (\tau_2 s + 1)
 \end{aligned} \tag{2.9}$$

โดยที่

τ_1 คือ ค่าคงที่ทางเวลาที่มีขอบเขตหรือมีค่ายาวนานกว่า

τ_2 คือ ค่าคงที่ทางเวลาที่มีขอบเขตหรือมีค่าสั้นกว่า

ให้ สมการที่ 2.9 เท่ากับสมการฟังก์ชันการถ่ายโอนของตัวควบคุมแบบพีไอดี (PID) โดยไม่ติดในรูปของตัวกรองสัญญาณรบกวน $(\alpha \tau'_D s + 1)$

$$G_c(s) = K'_c \left(1 + \frac{1}{\tau'_I s} \right) \left(\frac{\tau'_D s + 1}{\alpha \tau'_D s + 1} \right) \tag{2.10}$$

พารามิเตอร์ที่ปรับค่าคือ

$$K'_c = \frac{\tau_I}{K \tau_c}$$

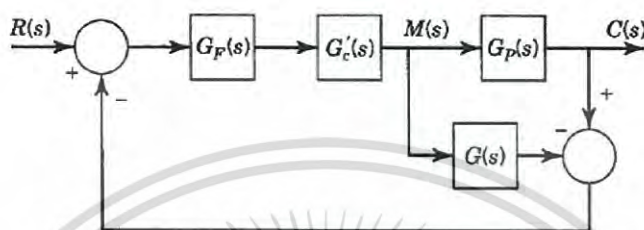
$$\begin{aligned}
 \tau'_I &= \tau_1 \\
 \tau'_D &= \tau_2
 \end{aligned}$$

(2.11)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4 กฎการปรับค่าโดยการควบคุมภายใน (IMC)

วิธีที่นิยมที่สุดสำหรับการปรับค่าการควบคุมแบบป้อนกลับปกติจะเรียกว่า กฎการปรับค่าของ Rivera et al. (1986) [1] ได้แสดงว่ากฎการปรับค่าสำหรับการควบคุมแบบย้อนกลับโดยสามารถพัฒนาโดยไอเอ็มซี (IMC) ในส่วนนี้เราจะดูที่วิธีการของไอเอ็มซี (IMC) และดูกฎการปรับค่าของเครื่องควบคุมเป็นพื้นฐานที่เราใช้พัฒนาจากวิธีการวิเคราะห์ห้วงรอบแบบปิด



รูปที่ 2.8 บล็อกไดอะแกรมสำหรับโมเดลการควบคุมภายใน [1]

พิจารณาวงรอบการป้อนกลับของ IMC จากรูปข้างบนในบล็อกไดอะแกรมเป็นฟังก์ชันการถ่ายโอนของโมเดลภายในของกระบวนการถ่ายโอนที่แท้จริงการควบคุมแบบป้อนกลับประกอบด้วย บล็อก 3 อันโมเดลภายใน ตัวกรองที่สามารถปรับค่าได้ตัวชดเชยทางกลตัวกรองส่วนใหญ่จะอยู่ในอันดับหนึ่ง (first order) ด้วยค่าคงที่ทางเวลาที่สามารถปรับค่าได้ และโมเดลภายในและตัวชดเชยถูกออกแบบสำหรับกระบวนการแต่ละแบบจาก

บล็อกไดอะแกรมจากรูปข้างบนขาออกของตัวควบคุมคือ

$$M(s) = G'_c(s)G_F(s)[R(s) - C(s) + G(s)M(s)]$$

ทำการแก้ค่า $M(s)$ และย้ายข้างสมการจะได้สมการการถ่ายโอนของตัวควบคุม

$$G_c(s) = \frac{M(s)}{R(s) - C(s)} = \frac{G'_c(s)G_F(s)}{1 - G'_c(s)G(s)G_F(s)} \quad (2.12)$$

นี่คือสมการการวิเคราะห์ของตัวไอเอ็มซี (IMC) ที่สำคัญตัวกรองในสมการนี้จะอยู่ในอันดับหนึ่ง (first-order) กับค่าอัตราขยาย

$$G_F(s) = \frac{1}{\tau_c s + 1} \quad (2.13)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเป็นตัวกรองค่าคงที่ที่ทางเวลาที่สามารถปรับค่าได้ โมเดลภายใน $G(s)$ ได้ถูกเลือกให้จับคู่กับฟังก์ชันกระบวนการถ่ายโอนที่แท้จริงและตัวชดเชยทางกลได้ถูกเลือกสามารถแทนที่ของโมเดลกระบวนการ โดยไม่รวมตัวแปรใดๆที่ไม่สามารถหาค่าได้ เช่นเวลาวิกฤต (dead time) รวมถึงสิ่งที่จะทำให้เกิดความไม่คงที่ เช่น positive zero ที่จริงแล้วเราสามารถแทนที่โมเดลกระบวนการ $G(s)$ โดยเราจะเห็นได้จากสมการที่ 2.12 ถ้าในกรณีนี้ อัตราขยายของตัวกรองรวมกัน ค่าอัตราขยายของสภาวะคงที่ของตัวควบคุมจะมีค่าเป็นอนันต์ นั้นหมายความว่ามันจะไม่เกิดออฟเซตขึ้นเลย

เพื่อแสดงว่าสมการการวิเคราะห์การควบคุมแบบจำลองภายใน (IMC) เท่ากับสมการการวิเคราะห์ผลตอบสนองของลูปปิด แทน สมการ 2.13 ใน สมการที่ 2.12 และแปลงสมการเพื่อให้ได้ค่า

$$G'_c(s) = \frac{\frac{1}{G(s)} \cdot \frac{1}{\tau_c s + 1}}{1 - \frac{1}{G(s)} \cdot \frac{1}{\tau_c s + 1}} = \frac{1}{G(s)} \cdot \frac{1}{\tau_c s} \quad (2.14)$$

สมการนี้คล้ายกับสมการการวิเคราะห์ของ สมการ 2.5 ซึ่งมันคือ โหมดเครื่องควบคุมแบบป้อนกลับ แต่ยกเว้นสำหรับสมการชุดสุดท้ายซึ่งเป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับเวลาวิกฤต (dead time)

$$G(s) = \frac{K e^{-t_0 s}}{\tau s + 1} \quad G'_c(s) = \frac{\tau s + 1}{K}$$

ทำการแทนที่ สมการที่ 2.13 แทนลงไป ใน สมการ 2.12 และจัดรูปจะได้

$$G'_c(s) = \frac{\tau s + 1}{K} \cdot \frac{1}{\tau_c s + 1 - e^{-t_0 s}} \quad (2.15)$$

2.4 การออกแบบเครื่องควบคุม IMC-Based PID สำหรับ Second-Order process

จากสมการกระบวนการอันดับสอง (second-order process)

$$\tilde{g}_p(s) = \frac{k_p}{(\tau_1 s + 1)(\tau_2 s + 1)}$$

จาก IMC ฟังก์ชันการถ่ายโอน, โดย $q(s)$ เป็นตัวกรอง

$$q(s) = \tilde{q}(s)f(s) = g_p^{-1}(s)f(s) = \frac{(\tau_1 s + 1)(\tau_2 s + 1)}{k_p} \cdot \frac{1}{(\lambda s + 1)}$$

หาค่าเครื่องควบคุมแบบป้อนกลับโดยใช้วิธีการเปลี่ยนรูป

$$g_c(s) = \frac{q(s)}{1 - \tilde{g}_p(s)q(s)} = \frac{\frac{(\tau_1 s + 1)(\tau_2 s + 1)}{k_p (\lambda s + 1)}}{1 - \frac{(\tau_1 s + 1)(\tau_2 s + 1)}{k_p (\lambda s + 1)}} = \left[\frac{\tau_1 \tau_2 s^2 + (\tau_1 + \tau_2)s + 1}{k_p \lambda s} \right] \quad (2.16)$$

นำฟังก์ชันการถ่ายโอนสำหรับเครื่องควบคุม PID แบบอุดมคติ คือ

$$g_c(s) = k_c \left[\frac{\tau_I \tau_D s^2 + \tau_I s + 1}{\tau_I s} \right] \quad (2.17)$$

นำ สมการที่ 2.16 ทำการจัดรูปให้เป็นดังเช่น สมการที่ 2.17

$$g_c(s) = \left(\frac{\tau_1 + \tau_2}{k_p \lambda} \right) \frac{\tau_1 \tau_2 s^2 + (\tau_1 + \tau_2)s + 1}{(\tau_1 + \tau_2)s}$$

เมื่อทำการเทียบเราจะได้ ความสัมพันธ์ดังนี้คือ

$$k_c = \frac{(\tau_1 + \tau_2)}{k_p \lambda}$$

$$\tau_I = \tau_1 + \tau_2$$

$$\tau_D = \frac{\tau_1 \tau_2}{\tau_1 + \tau_2}$$

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.5.1 การวิเคราะห์เครื่องควบคุมสำหรับการควบคุมเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

Saranya.SN (2016) ได้ศึกษาและการทดลองเกี่ยวกับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเชลล์และท่อ (shell and tube) เพื่อควบคุมเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนโดยใช้การควบคุมจากการจำลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนด้วยวิธีการจำลองจากข้อมูลในการทดลอง (experimental data) โดยใช้เครื่องควบคุมแบบพีไอดี PID(proportional-integral-derivative), ควบคุมแบบจำลองภายใน IMC (Internal-Model-Controller), Fuzzy โดยงานวิจัยมุ่งเน้นในการควบคุมเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนซึ่งผลการศึกษาพบว่าเครื่องควบคุมแบบจำลองภายใน IMC จะเป็นเครื่องควบคุมที่มีค่าเวลาเข้าสู่สมดุล (settling time) ที่น้อยกว่าทั้งสองเครื่องควบคุมดัง รูปที่ 2.9

แสดงวิธีการจำลองทางคณิตศาสตร์โดยใช้ค่าที่ได้จากการทดลอง (experimental data)

อัตราขยายของอัตราไหลในเหลว = 1 องศา / (กิโลกรัม/วินาที)

อัตราขยายอุณหภูมิ = 1

ค่าความจุของวาล์ว = 1.6 kg/sec

ค่าเวลาคงที่ (Time constant) ของวาล์ว = 3 วินาที

ขอบเขตอุณหภูมิของเซ็นเซอร์ = 50 ถึง 150 องศา

อัตราขยายของเซ็นเซอร์ = 10 วินาที

จากข้อมูล สามารถหา ฟังก์ชันการส่งผ่านและอัตราขยายได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{ฟังก์ชันการส่งผ่าน (Transfer function) ของระบบ} = \frac{50}{30s + 1}$$

$$\text{ฟังก์ชันการส่งผ่าน (Transfer function) ของวาล์ว} = \frac{0.1333}{3s + 1}$$

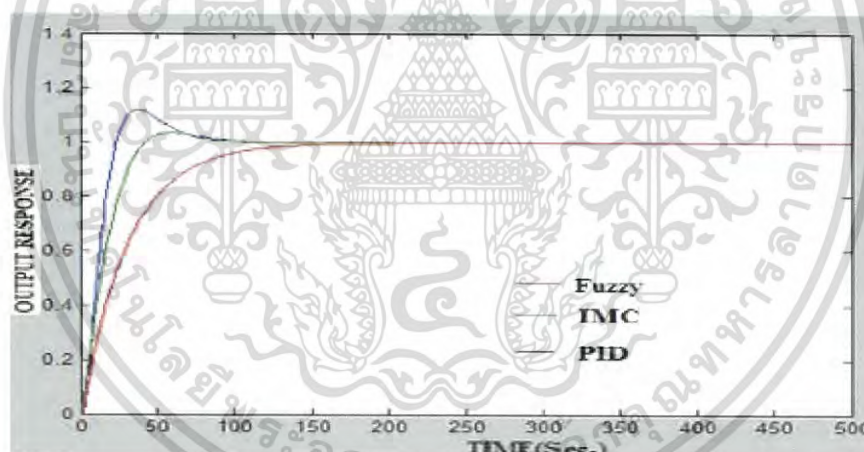
อัตราขยายของวาล์ว = 0.75

$$\text{ฟังก์ชันการส่งผ่าน (Transfer function) ของเซ็นเซอร์} = \frac{0.042}{3s + 1}$$

$$\text{ฟังก์ชันการส่งผ่าน (Transfer function) ของสิ่งรบกวนอุณหภูมิ} = \frac{3}{30s + 1}$$

$$\text{ฟังก์ชันการส่งผ่าน (Transfer function) ของสิ่งรบกวนการไหล} = \frac{1}{30s + 1}$$

$$\text{ฟังก์ชันรวมการส่งผ่านของเครื่องแลกเปลี่ยน} = \frac{4.9875}{90s^2 + 33s + 1}$$



รูปที่ 2.9 แสดงกราฟเปรียบเทียบเครื่องควบคุมในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน [9]

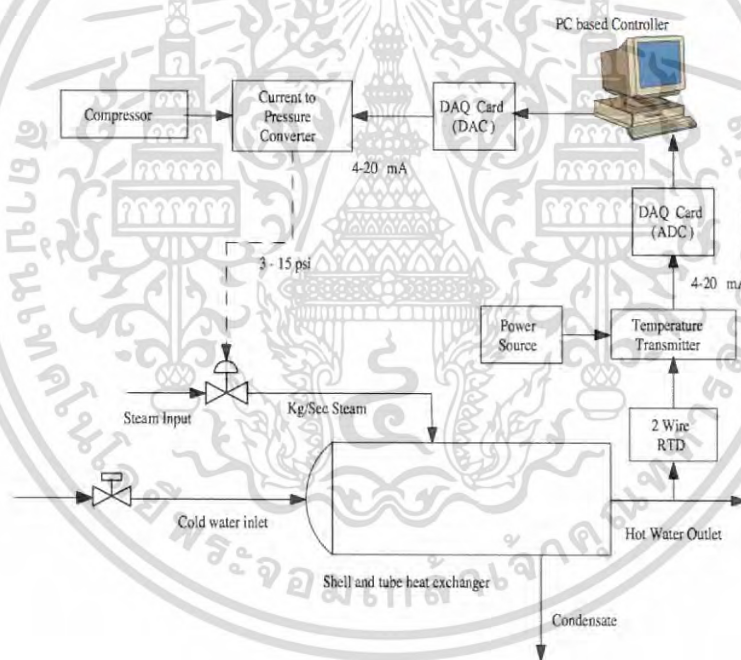
ตารางที่ 2.1 แสดงผลการควบคุมของเครื่องควบคุมแต่ละชนิด

แบบที่	ชนิดเครื่อง ควบคุม	เวลาขาขึ้น (Rise time)	เปอร์เซ็นต์ค่าเกิน เป้าหมาย (Overshoot)	เวลาเข้าสู่สถานะ สมดุล (Settling Time)
1	PID	18.94	1.129	196
2	IMC	30.9	1.103	150
3	Fuzzy	70	0	220

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 การออกแบบเครื่องควบคุมสำหรับการควบคุมเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

Subhransu padhee (2014) ได้ศึกษาและการทดลองเกี่ยวกับชนิดของเครื่องควบคุมในการควบคุมเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนซึ่งใช้วิธี feedback, feedback plus feed-forward และควบคุมแบบจำลองเครื่องภายใน (internal model controller) โดยจำลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเชลล์และท่อ (shell and tube) ในการทดลองใช้วิธีจำลองทางคณิตศาสตร์แบบ สมการอันดับสอง (SOPTD) และใช้ค่าที่ได้จากการทดลอง(experimental data)มาจำลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งจากผลการทดลองและศึกษาพบว่า ประสิทธิภาพในเครื่องควบคุมชนิดต่างๆ ต่างกันโดยเครื่องควบคุมชนิดแบบการควบคุมแบบจำลองภายใน(internal model control)จะเป็นชนิดที่ดีที่สุดเมื่อเทียบกับสองวิธีข้างต้นโดยวิธีการควบคุมแบบจำลองภายใน (internal model control) จะลดค่าสูงสุด (overshoot) และเวลาเข้าสู่สมดุล (settling time) ดังที่แสดงในรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.10 แสดงแบบจำลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน [5]

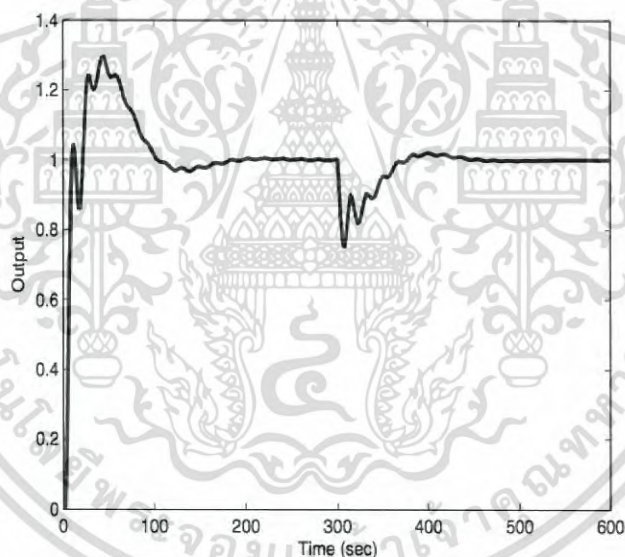
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำลองทางคณิตศาสตร์แบบ สมการอันดับสอง (SOPTD)

$$G(s) = \frac{K_p e^{-\tau_D s}}{(\tau_1 s + 1)(\tau_2 s + 1)}$$

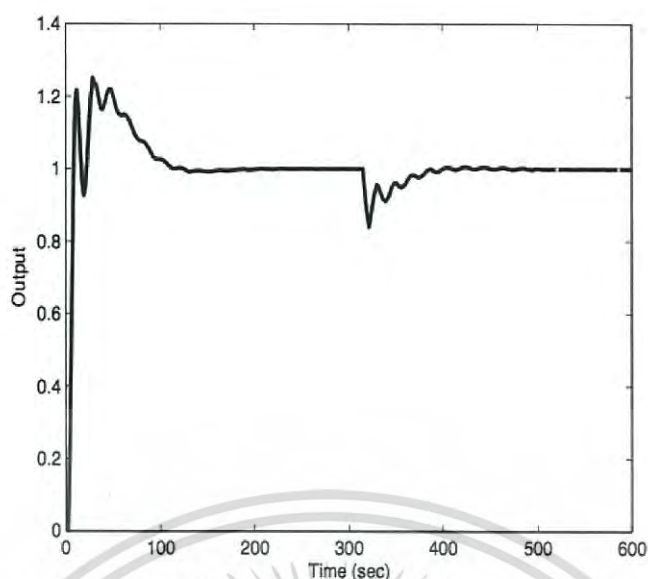
ใช้ค่าที่ได้จากการทดลอง (experimental data)

$$G(s) = \frac{5e^{-1s}}{90s^2 + 33s + 1}$$

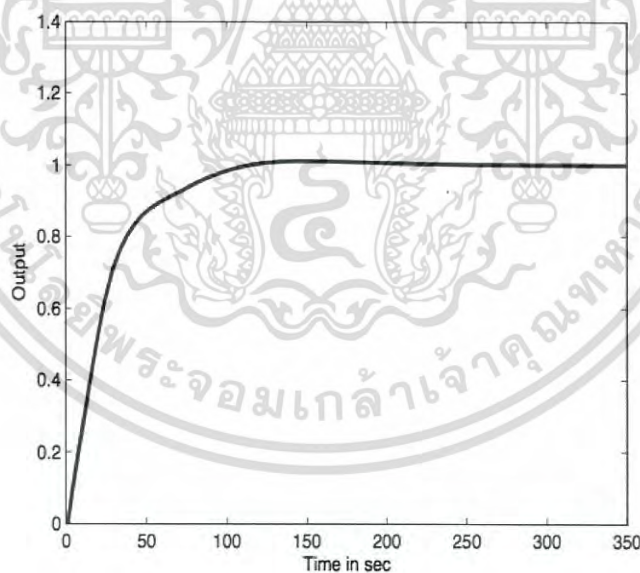


รูปที่ 2.11 กราฟแสดงค่าเป้าหมาย (set point) เมื่อมีสิ่งรบกวน (load disturbance) การตอบสนองโดยใช้เครื่องควบคุมชนิดพีไอดี (PID) [5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 กราฟแสดงค่าเป้าหมาย (Set point) เมื่อมีสิ่งรบกวน (load disturbance) การตอบสนองโดยใช้เครื่องควบคุมชนิด feedback plus feed-forward controller [5]



รูปที่ 2.13 กราฟแสดงค่าเป้าหมาย (Set point) เมื่อมีสิ่งรบกวน (load disturbance) การตอบสนองโดยใช้เครื่องควบคุมชนิดไอเอ็มซี (IMC) [5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3 การควบคุมเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนโดยใช้วิธีการจำลองเครื่องควบคุมภายใน

K.Rajalakshmi (2013) ได้ศึกษาและการทดลองเกี่ยวกับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนโดยทำการใช้ควบคุมเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนโดยใช้เครื่องควบคุมชนิดต่างๆ เนื่องจากเครื่องควบคุมชนิดพีไอดี (PID) แบบปรกติยากต่อการควบคุมซึ่งจากบทความได้กล่าวถึงการเปรียบเทียบเครื่องควบคุมชนิดต่างๆดังนี้ PI, FOPID, FUZZY และการควบคุมแบบจำลองภายใน IMC โดยควบคุมจากฟังก์ชันการส่งผ่านของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนโดยใช้วิธีการจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งได้มาจากวิธีเก็บผลการทดลอง (experimental data) จากผลการทดลองพบว่าการควบคุมแบบจำลองภายใน (IMC) เป็นเครื่องควบคุมที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด

ตารางที่ 2.2 ตารางแสดงผลลัพธ์ของเครื่องควบคุมชนิด PID กับ FB+FF

พารามิเตอร์	เครื่องควบคุมชนิด PID	เครื่องควบคุมชนิด FB+FF
เวลาขาขึ้น (Rise time)	35.95	87.9
เวลาที่เข้าสมดุล (Settling time)	198.5	148
เกินค่าเป้าหมาย (Overshoot)	16.77	1.34
ค่าสูงสุด (Peak)	1.16	1.01
เวลาที่มีค่าสูงสุด (Peak time)	97.10	200

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

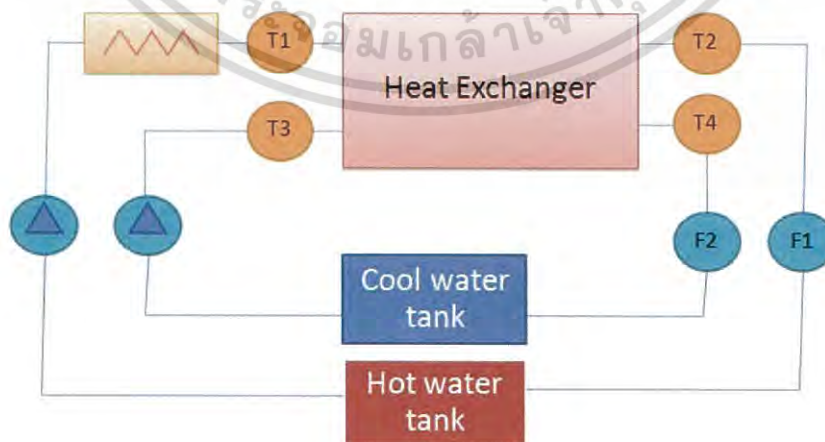
ในบทนี้กล่าวถึงขั้นตอนการศึกษาวิจัยซึ่งประกอบด้วยส่วนหลักคือส่วนของการดำเนินการทดลองเพื่อวัดอุณหภูมิภายในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนและส่วนของการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

3.1 รูปแบบและอุปกรณ์ที่ใช้

3.1.1 รูปแบบการทดลอง

โครงสร้างของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจะประกอบไปด้วยสองขดลวดซึ่งคือขดลวดเย็นและขดลวดร้อนซึ่งแสดงใน รูปที่ 3.1 และใช้น้ำในการทำหน้าที่เป็นตัวขับเคลื่อนของไหลในการถ่ายเทความร้อนในระบบ. ดังนั้นน้ำจึงเป็นตัวแปรสำคัญในระบบ นอกจากนี้การควบคุมอุณหภูมิของน้ำจึงเป็นหัวข้อหลักในการควบคุมน้ำทางด้านปลายทางซึ่งเป็นผลลัพธ์ของระบบ

ซึ่งการทดลองจะจำลองฟังก์ชันส่งผ่านของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนซึ่งจะทำการเก็บผลการทดลองผลลัพธ์ที่ได้นำไปเปรียบเทียบกับ ผลลัพธ์ที่ได้จากตัวเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจากนั้นจึงนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ไปใช้ในการควบคุมแพลนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน



รูปที่ 3.1 แบบจำลองของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

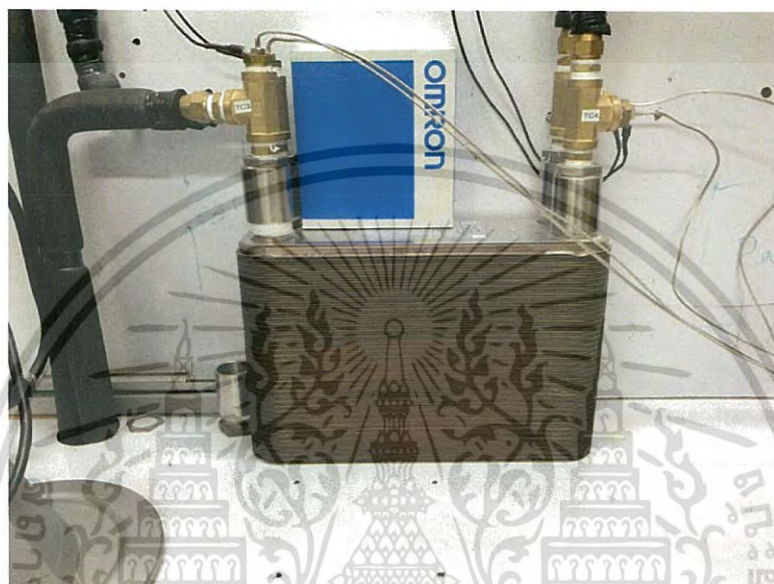
3.1.2 อุปกรณ์ที่ใช้

สำหรับการดำเนินการทดลองจะประกอบด้วยอุปกรณ์ซึ่งประกอบด้วย

1. เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat exchanger)

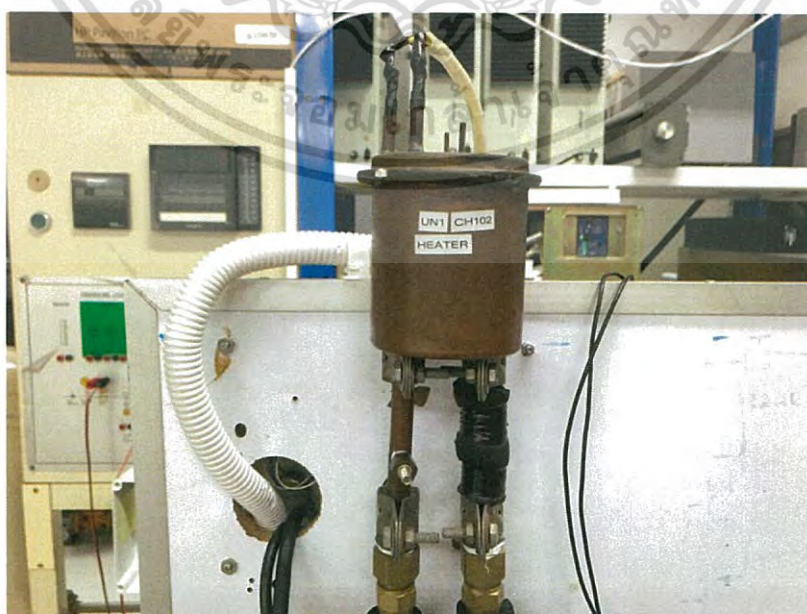
รุ่น Alfa Laval China Model CH27-80H

ชนิดแผ่น (Plate Heat Exchanger)



2. เครื่องให้ความร้อน (Heater)

รุ่น UN1 CH102



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

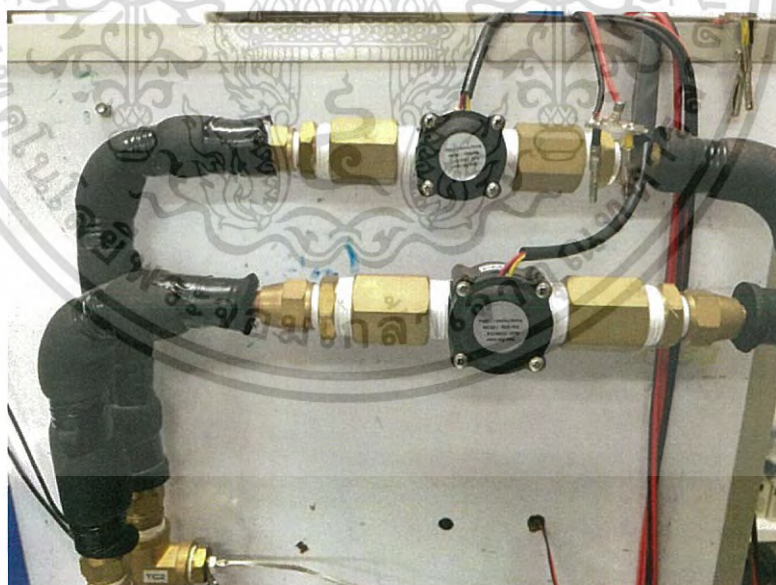
3. เครื่องปั้มน้ำ

รุ่น Sonic Model AP 4500



4. Flow sensors 2 ตัว

รุ่น Water Flow Sensor Model FS300A G3/4



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การจำลองโมเดลทางคณิตศาสตร์ของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

จะเป็นการจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อหาฟังก์ชันส่งผ่านของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนโดยใช้สมการความร้อนในการคำนวณ ซึ่งจะให้อุณหภูมิของน้ำร้อนและน้ำเย็นในการกำหนดสมการขึ้น โดยคิดที่สถานะไม่คงที่และที่สถานะไม่คงที่

คิดที่อุณหภูมิสูง (Hot)

สมการ USSEB [13]

$$m_h c_p T_1(t) - UA[T_2(t) - T_4(t)] - m_h c_p T_2(t) = m_h c_p \frac{dT_2(t)}{dt}$$

$$\rho_f c_p T_1(t) - UA[T_2(t) - T_4(t)] - \rho_f c_p T_2(t) = V_h \rho c_p \frac{dT_2(t)}{dt}$$

สมการ SSEB [13]

$$m_h c_p \bar{T}_1 - UA[\bar{T}_2 - \bar{T}_4] - m_h c_p \bar{T}_2 = 0$$

$$\rho_f c_p \bar{T}_1 - UA[\bar{T}_2 - \bar{T}_4] - \rho_f c_p \bar{T}_2 = 0$$

USSEB-SSEB

$$\rho_f c_p T_1(t) - UA[T_2(t) - T_4(t)] - \rho_f c_p T_2(t) = V_h \rho c_p \frac{dT_2(t)}{dt}$$

$$\rho_f c_p T_1(t) - UA T_2(t) + UA T_4(t) - \rho_f c_p T_2(t) = V_h \rho c_p \frac{dT_2(t)}{dt}$$

$$\rho_f c_p T_1(t) + UA T_4(t) = V_h \rho c_p \frac{dT_2(t)}{dt} + \rho_f c_p T_2(t) + UA T_2(t)$$

$$\rho_f c_p T_1(t) + UA T_4(t) = V_h \rho c_p \frac{dT_2(t)}{dt} + [\rho_f c_p + UA] T_2(t)$$

$$\left[\frac{\rho_f c_p}{\rho_f c_p + UA} \right] T_1(t) + \left[\frac{UA}{\rho_f c_p + UA} \right] T_4(t) = \left[\frac{V_h \rho c_p}{\rho_f c_p + UA} \right] \frac{dT_2(t)}{dt} + T_2(t)$$

$$K_1 T_1(t) + K_2 T_4(t) = \tau_1 \frac{dT_2(t)}{dt} + T_2(t)$$

แปลงลาปลาซที่ ค่าเริ่มต้น=0

$$K_1 T_1(s) + K_2 T_4(s) = [\tau_1 s + 1] T_2(s)$$

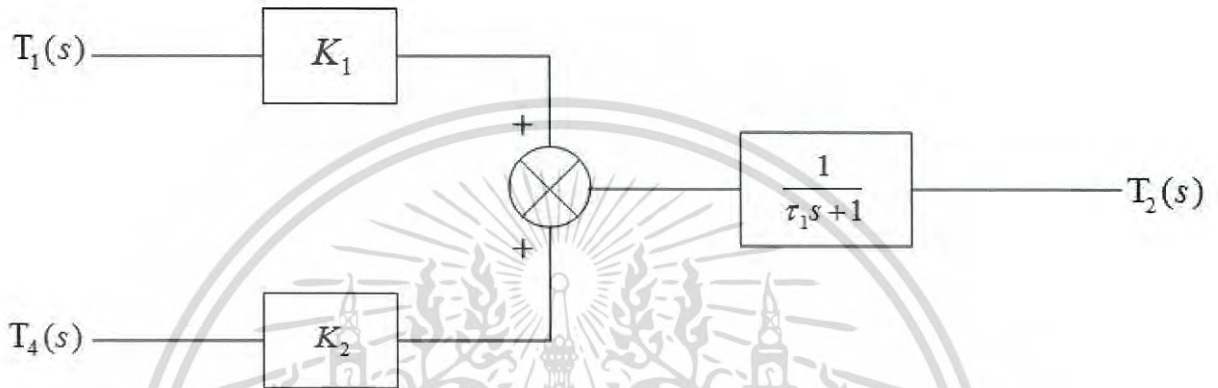
$$T_2(s) = \left[\frac{1}{\tau_1 s + 1} \right] (K_1 T_1(s) + K_2 T_4(s))$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{โดยที่ } K_1 = \left[\frac{\rho f_1 c_p}{\rho f_1 c_p + UA} \right]$$

$$K_2 = \left[\frac{UA}{\rho f_1 c_p + UA} \right]$$

$$\tau_1 = \left[\frac{V_h \rho c_p}{\rho f_1 c_p + UA} \right]$$



รูปที่ 3.2 ฟังก์ชันบล็อกไดอะแกรมของอุณหภูมิสูง (Hot)

คิดที่อุณหภูมิต่ำ (Cool)

สมการ USSEB

$$m_c c_p T_3(t) + UA[T_2(t) - T_4(t)] - m_c c_p T_4(t) = m_c c_p \frac{dT_4(t)}{dt}$$

$$\rho f_2 c_p T_3(t) + UA[T_2(t) - T_4(t)] - \rho f_2 c_p T_4(t) = V_c \rho c_p \frac{dT_4(t)}{dt}$$

สมการ SSEB

$$m_c c_p \bar{T}_3 + UA[\bar{T}_2 - \bar{T}_4] - m_c c_p \bar{T}_4 = 0$$

$$\rho f_2 c_p \bar{T}_3 + UA[\bar{T}_2 - \bar{T}_4] - \rho f_2 c_p \bar{T}_4 = 0$$

USSEB-SSEB

$$\rho f_2 c_p T_3(t) + UA[T_2(t) - T_4(t)] - \rho f_2 c_p T_4(t) = V_c \rho c_p \frac{dT_4(t)}{dt}$$

$$\rho f_2 c_p T_3(t) + UAT_2(t) - UAT_4(t) - \rho f_2 c_p T_4(t) = V_c \rho c_p \frac{dT_4(t)}{dt}$$

$$\rho f_2 c_p T_3(t) + UAT_2(t) = UAT_4(t) + \rho f_2 c_p T_4(t) + V_c \rho c_p \frac{dT_4(t)}{dt}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\rho f_2 c_p T_3(t) + UA T_2(t) = V_c \rho c_p \frac{dT_4(t)}{dt} + [UA + \rho f_2 c_p] T_4(t)$$

$$\left[\frac{\rho f_2 c_p}{\rho f_2 c_p + UA} \right] T_3(t) + \left[\frac{UA}{\rho f_2 c_p + UA} \right] T_2(t) = \left[\frac{V_c \rho c_p}{\rho f_2 c_p + UA} \right] \frac{dT_4(t)}{dt} + T_4(t)$$

$$K_3 T_3(t) + K_4 T_2(t) = \tau_2 \frac{dT_4(t)}{dt} + T_4(t)$$

แปลงลาปลาซที่ ค่าตั้งต้น=0

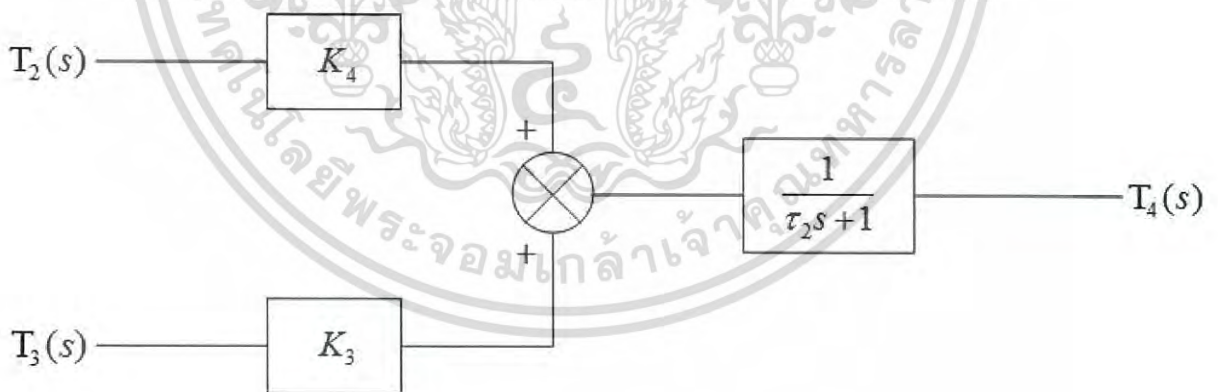
$$K_3 T_3(s) + K_4 T_2(s) = [\tau_2 s + 1] T_4(s)$$

$$T_4(s) = \left[\frac{1}{\tau_2 s + 1} \right] (K_3 T_3(s) + K_4 T_2(s))$$

$$\text{โดยที่ } K_3 = \left[\frac{\rho f_2 c_p}{\rho f_2 c_p + UA} \right]$$

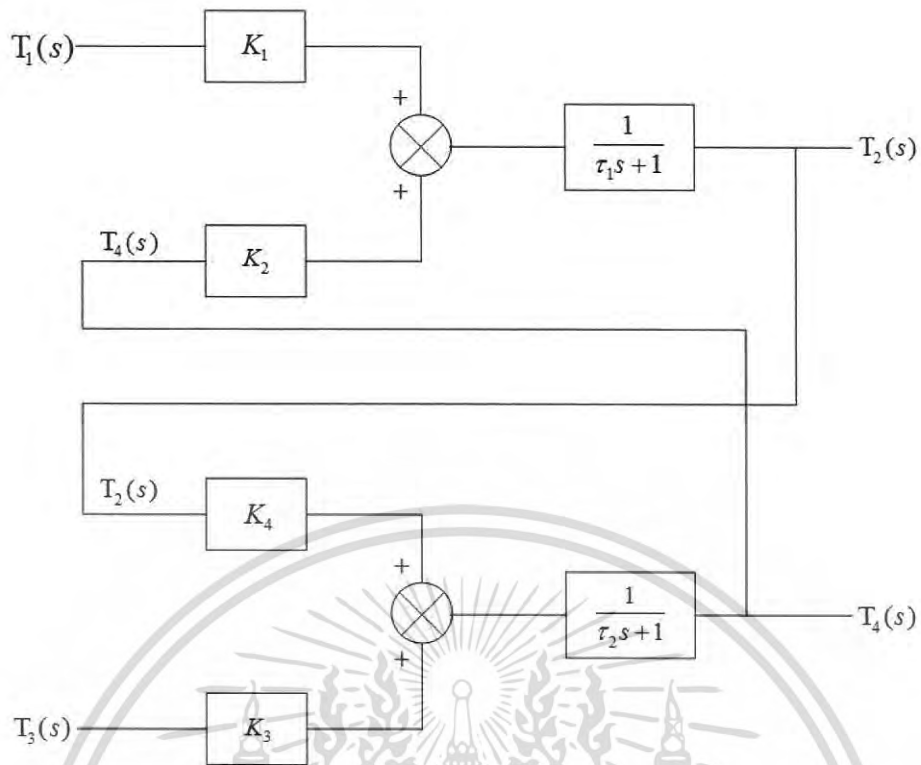
$$K_4 = \left[\frac{UA}{\rho f_2 c_p + UA} \right]$$

$$\tau_2 = \left[\frac{V_c \rho c_p}{\rho f_2 c_p + UA} \right]$$



รูปที่ 3.3 ฟังก์ชันบล็อกไดอะแกรมของอุณหภูมิเย็น (Cool)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

หาค่าพารามิเตอร์

เมื่อ ค่าความหนาแน่นของน้ำ

$$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$$

อัตราไหลน้ำร้อน

$$f_1 = 0.079 \text{ kg/s}$$

อัตราไหลน้ำเย็น

$$f_2 = 0.136 \text{ kg/s}$$

ความจุจำเพาะของน้ำ

$$c = 4.187 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$$

สัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อน

$$U = 4,897 \text{ J/m}^2\text{ }^\circ\text{C}$$

ปริมาตรเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนด้านเย็น = (พื้นที่หน้าตัด * ความยาว)/2

$$V_h = \frac{0.11 \times 0.19 \times 0.3}{2} = 3.135 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

ปริมาตรเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนด้านเย็น = (พื้นที่หน้าตัด * ความยาว)/2

$$V_c = \frac{0.11 \times 0.19 \times 0.3}{2} = 3.135 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

พื้นที่ของแผ่นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน = กว้าง * ยาว * จำนวนแผ่น

$$A = 0.3 \times 0.11 \times 39 = 1.287 \text{ m}^2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนค่าตัวแปรที่ได้เพื่อหาค่าพารามิเตอร์

$$K_1 = \left[\frac{\rho f_1 c_p}{\rho f_1 c_p + UA} \right] = \frac{1000(0.079)(4.187)}{(1000)(0.079)(4.187) + (4,897)(1.287)} = 0.98$$

$$K_2 = \left[\frac{UA}{\rho f_1 c_p + UA} \right] = \frac{(4,897)(1.287)}{(1000)(0.079)(4.187) + (4,897)(1.287)} = 0.018$$

$$\tau_1 = \left[\frac{V_h \rho c_p}{\rho f_1 c_p + UA} \right] = \frac{(3.135 \times 10^{-3})(1000)(4.187)}{(1000)(0.079)(4.187) + (4,897)(1.287)} = 0.0389$$

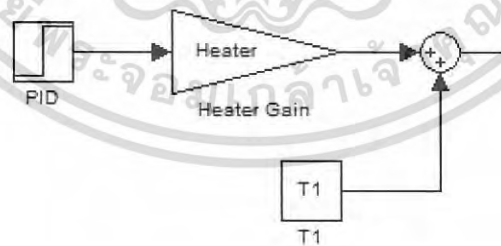
$$K_3 = \left[\frac{\rho f_2 c_p}{\rho f_2 c_p + UA} \right] = \frac{1000(0.136)(4.187)}{(1000)(0.136)(4.187) + (4,897)(1.287)} = 0.989$$

$$K_4 = \left[\frac{UA}{\rho f_2 c_p + UA} \right] = \frac{(4,897)(1.287)}{(1000)(0.136)(4.187) + (4,897)(1.287)} = 0.0109$$

$$\tau_2 = \left[\frac{V_c \rho c_p}{\rho f_2 c_p + UA} \right] = \frac{(3.135 \times 10^{-3})(1000)(4.187)}{(1000)(0.136)(4.187) + (4,897)(1.287)} = 0.0228$$

3.3 การจำลอง Heater

การจำลองเครื่องทำความร้อนจะคำนวณจากสมการกำลังไฟฟ้าของเครื่องทำความร้อนโดยสมการจะได้ดังสมการดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.5 ฟังก์ชันบล็อกไดอะแกรมของเครื่องทำความร้อน

จาก

$$\rho f_1 c_p (T - T_1) = W$$

$$\rho f_1 c_p (T - T_1) = 10(\%M)$$

$$T = T_1 + K(\%M)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

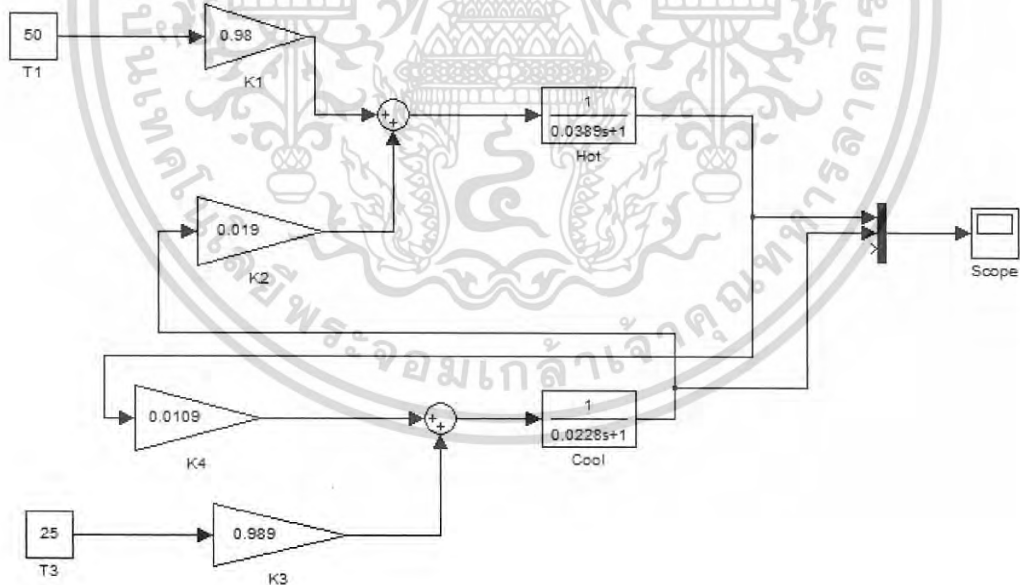
บทที่ 4

ผลการทดลองและผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

ในบทนี้กล่าวถึงผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองที่สร้างขึ้นในงานวิจัยนี้ ด้วยการเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการทดลองเก็บค่าอุณหภูมิภายในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนกับแบบจำลองระบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนโดยผลการศึกษามีรายละเอียดดังนี้

4.1 การจำลองทางคณิตศาสตร์ใน MatLAB

การศึกษานี้เพื่อเป็นการจำลองหาผลลัพธ์ของแบบจำลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ได้มาจากกระบวนการทางคณิตศาสตร์ข้างต้น ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะนำไปทดลองในโปรแกรม MatLAB ซึ่งแสดงดัง รูปที่ 4.1 และในการหาผลลัพธ์ของการทดลองคืออุณหภูมิขาออก (T4) โดยจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิทางขาเข้า (T1)จากการทดลองที่แสดงใน ตารางที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าเมื่ออุณหภูมิทางขาเข้ามากขึ้นจะทำให้อุณหภูมิที่ขาออก (T4) มีค่ามากขึ้นตามลำดับ



รูปที่ 4.1 การจำลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

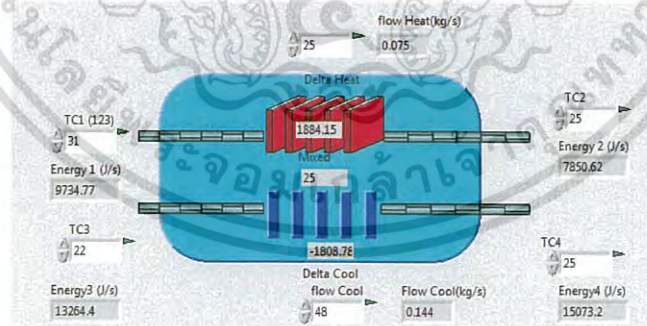
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ตารางอุณหภูมิในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

ด้านร้อน	ด้านเย็น	ด้านร้อน	ด้านเย็น
T1	T3	T2	T4
31	22	29	23
40	31	38	32
50	42	48	43
60	52	58	53

4.2 วิธีสมมูลพลังงาน (จากการทดลองจริง)

ในการทดลองนี้เป็นการศึกษาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนโดยผลข้อมูลที่ได้นี้ ได้จากการนำค่าข้อมูลอุณหภูมิจากการทดลองจริงซึ่งนำค่าอุณหภูมิส่งข้อมูลผ่าน PLC มายังโปรแกรม LabVIEW ดังรูปที่ 4.2 และทำการเก็บผลการทดลองในตารางเช่นเดียวกับ หัวข้อที่ 4.1



รูปที่ 4.2 การจำลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในโปรแกรม LabVIEW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ตารางอุณหภูมิในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

ด้านร้อน	ด้านเย็น	ด้านร้อน	ด้านเย็น
T1	T3	T2	T4
31	22	25	25
40	31	33	34
50	42	43	45
60	52	52	55

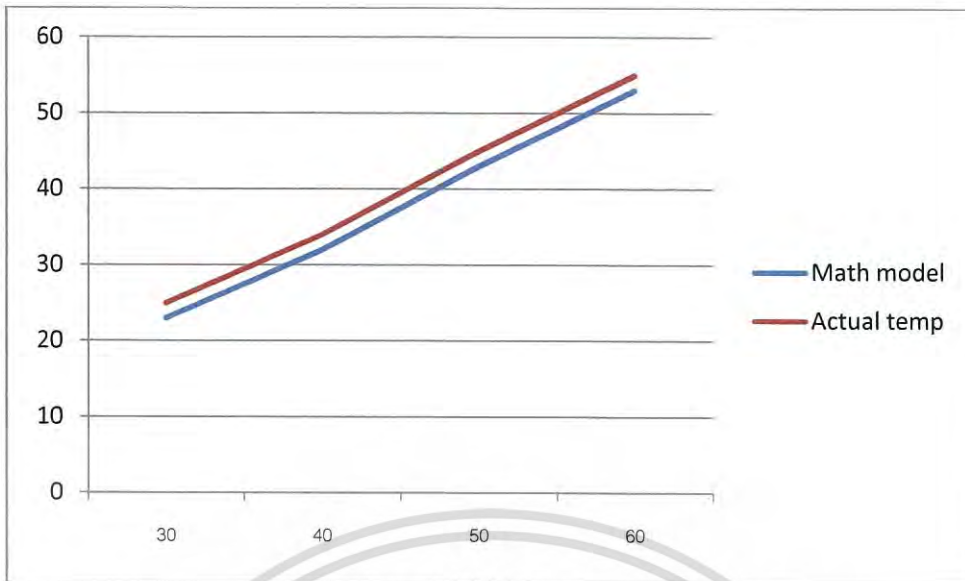
4.3 เปรียบเทียบผลการทดลองระหว่าง วิธี สมดุลพลังงานกับ การจำลองทางคณิตศาสตร์

จากการทดลอง 4.1 และ 4.2 จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิทั้งสองวิธีมีค่าใกล้เคียงกันดัง ตารางที่ 4.3 และ รูปที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ตารางอุณหภูมิในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเทียบกับอุณหภูมิที่ได้จากการจำลองทางคณิตศาสตร์

T1	Math Model(T4)	Actual temp.(T4)
31	23	25
40	32	34
50	43	45
60	53	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



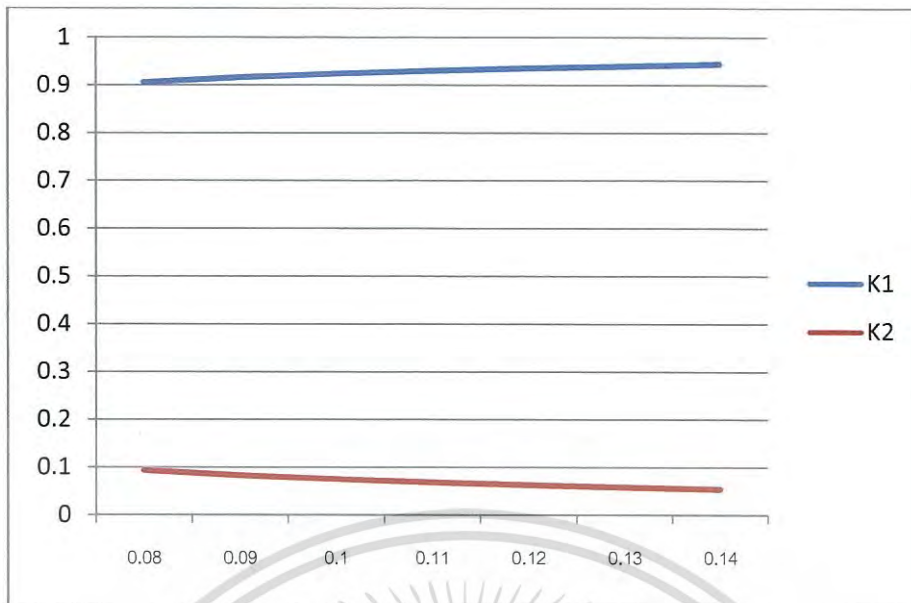
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงผลสัมพันธภาพของการจำลองระหว่างการจำลองทางคณิตศาสตร์และผล
ที่วัดได้จริงจากการเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

4.4 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำที่มีผลต่อสัมประสิทธิ์ของ เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนและอุณหภูมิขาออกของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

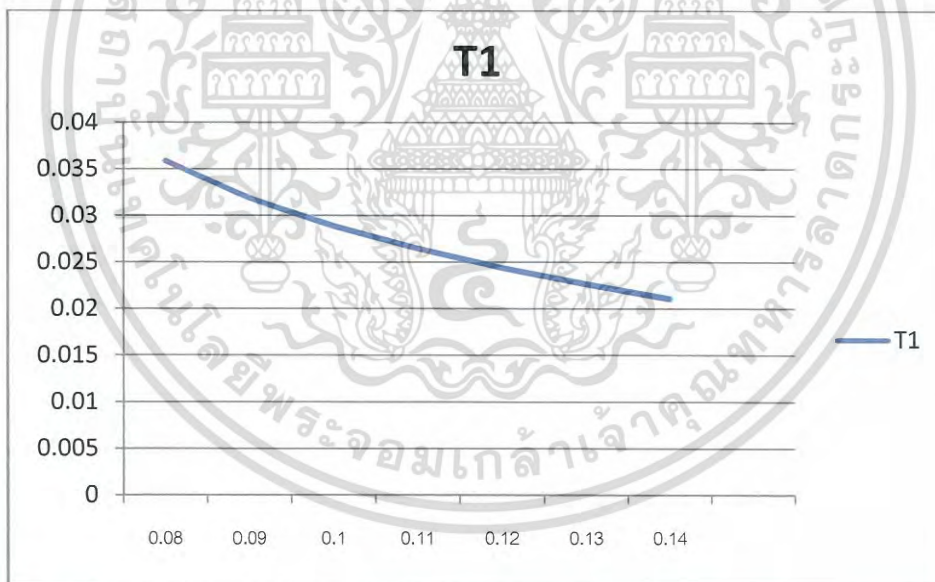
เป็นการพิจารณาศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราที่มีผลต่อสัมประสิทธิ์ของเครื่อง
แลกเปลี่ยนความร้อนซึ่งจะทำให้ผลลัพธ์ของอุณหภูมิมีค่าเปลี่ยนไปซึ่งถ้าอัตราการไหลมีค่าที่
เหมาะสมจะทำให้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมีประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนมากขึ้น

4.4.1 ที่เมื่ออัตราการไหลของน้ำร้อนมีค่าสูงขึ้น ($f1$)

เมื่ออัตราการไหลของน้ำมีค่าสูงขึ้นจะเห็นได้ว่าสัมประสิทธิ์ ($K1$, $K2$ และ $T1$) ของเครื่อง
แลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าเปลี่ยนไปซึ่งจะทำให้อุณหภูมิทางขาออกมีค่ามากขึ้น ($T4$) ดังที่แสดงใน
รูปที่ 4.6

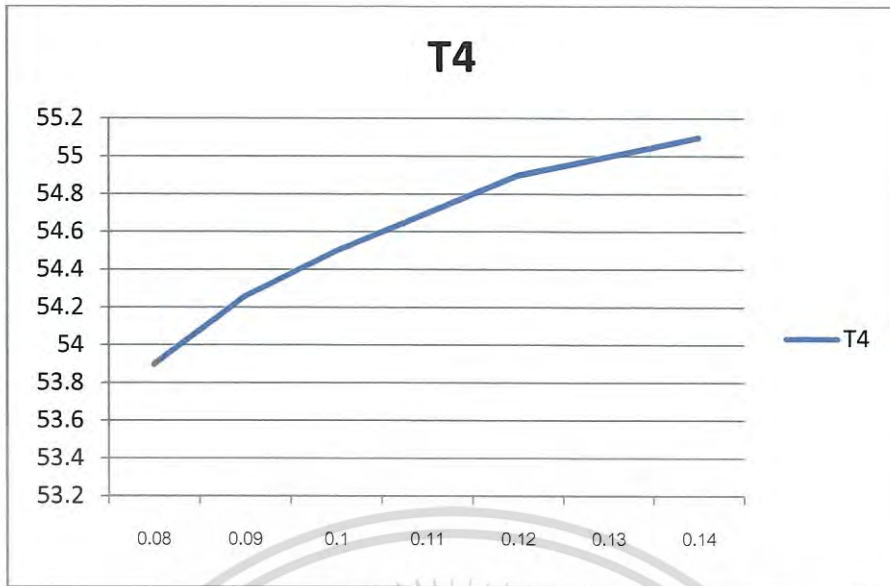


รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำร้อนที่มากขึ้น (f_1) เทียบกับค่าสัมประสิทธิ์ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (K1, K2)



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำร้อนที่มากขึ้น (f_1) เทียบกับค่าสัมประสิทธิ์ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (T1)

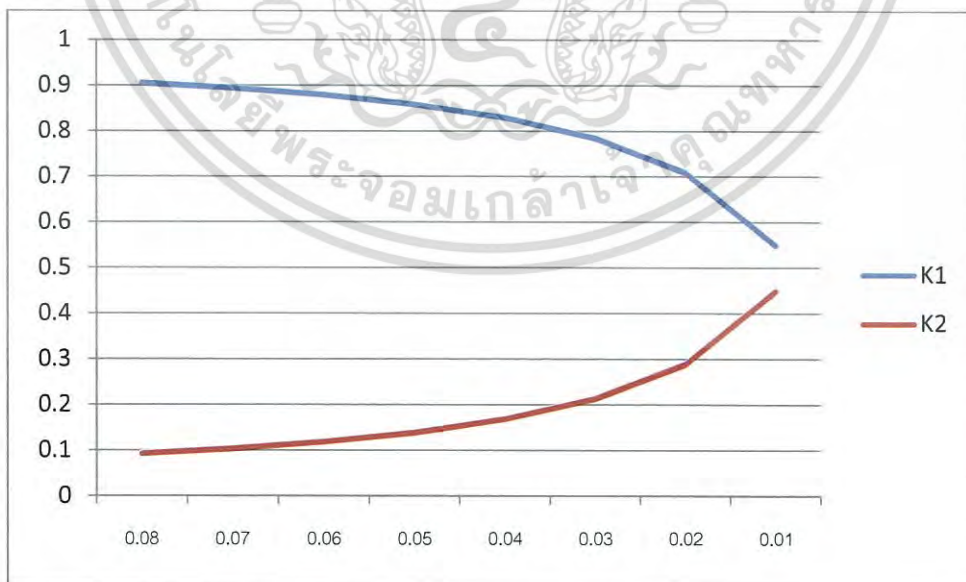
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำร้อนที่มากขึ้น ($f1$) เทียบกับอุณหภูมิขาออกที่เปลี่ยนไป (T4)

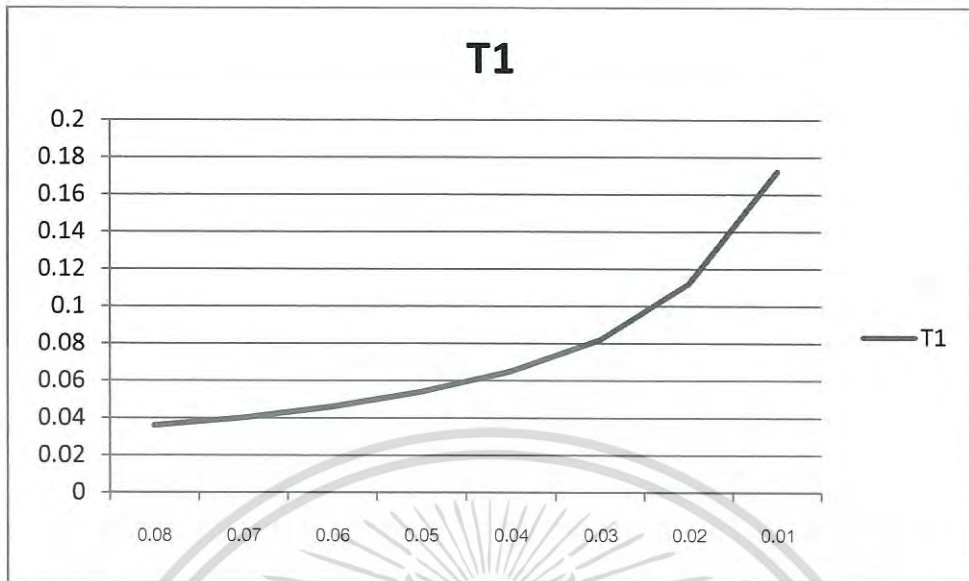
4.4.2 ที่เมื่ออัตราการไหลของน้ำร้อนมีค่าลดลง ($f1$)

เมื่ออัตราการไหลของน้ำมีค่าลดลงจะเห็นได้ว่าสัมประสิทธิ์ (K1, K2 และ T1) ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าเปลี่ยนไปซึ่งจะทำให้อุณหภูมิทางขาออกมีค่าลดลง (T4) ดังที่แสดงในรูปที่ 4.9

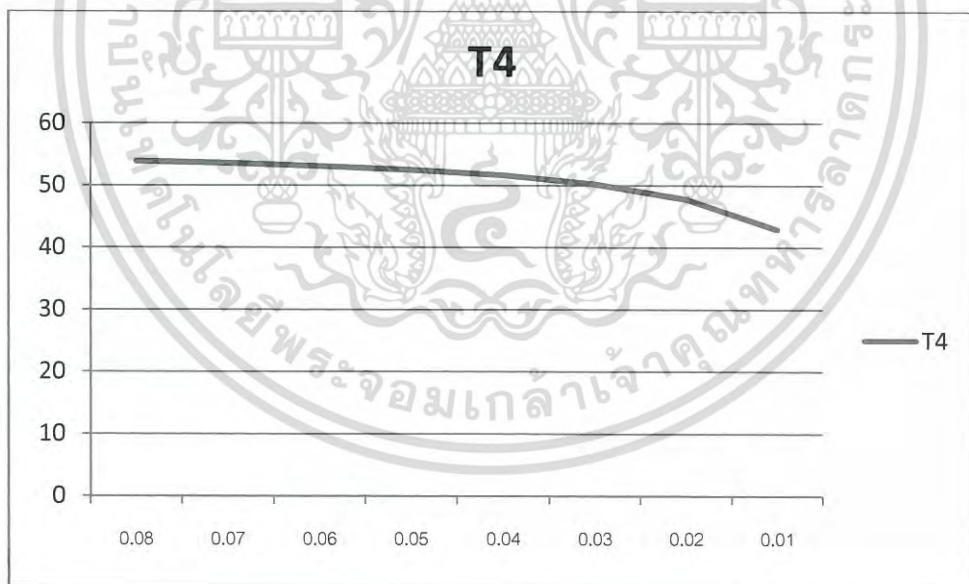


รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำร้อนที่มีค่าลดลง ($f1$) เทียบกับค่าสัมประสิทธิ์ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (K1, K2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำร้อนที่มีค่าลดลง ($f1$) เทียบกับค่าสัมประสิทธิ์ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (T1)

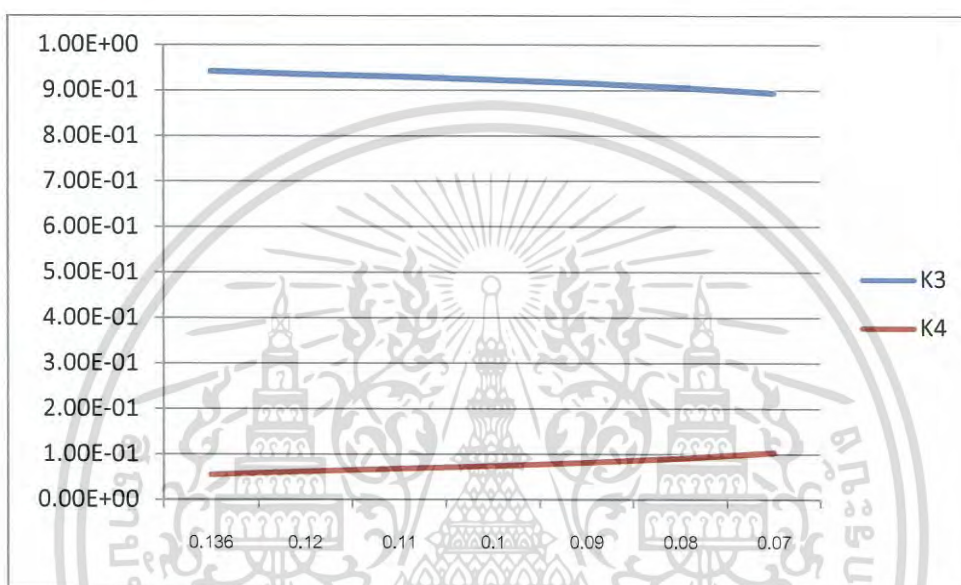


รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำร้อนที่มีค่าลดลง ($f1$) เทียบกับอุณหภูมิที่วัดได้ทางขาออก (T4)

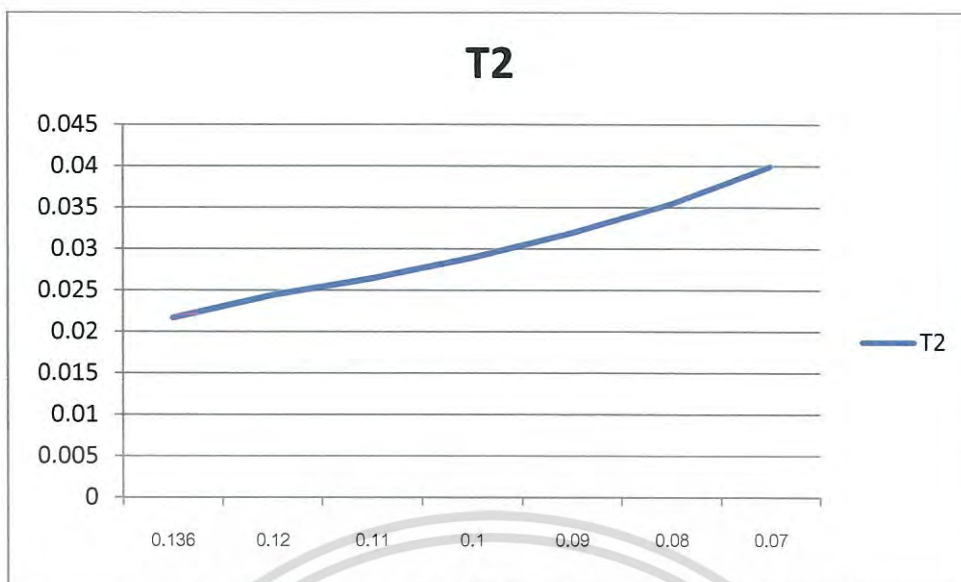
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.3 ที่เมื่ออัตราการไหลของน้ำเย็นมีค่าลดลง (f_2)

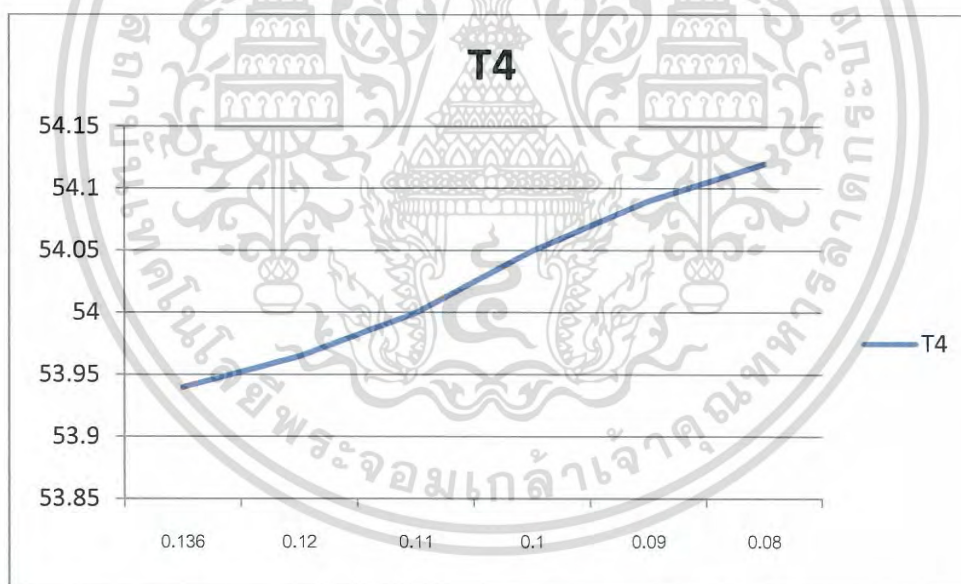
เมื่ออัตราการไหลของน้ำเย็นมีค่าลดลงจะเห็นได้ว่าสัมประสิทธิ์ (K3, K4 และ T2) ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าเปลี่ยนไปซึ่งจะทำให้อุณหภูมิทางขาออกมีค่ามากขึ้นดังที่แสดงในรูปที่ 4.12 แต่มีผลน้อยมาก เมื่อเทียบกับค่า f_1 ที่มากขึ้นดัง หัวข้อ 4.4.1 (T4) และในกรณีที่น้ำเย็นมีอัตราการไหลที่มากขึ้นจะทำให้อุณหภูมิทางขาออกมีค่าลดลงแต่ไม่มากเช่นเดียวกับ กรณีหัวข้อที่ 4.4.3



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำเย็นที่มีค่าลดลง (f_2) เทียบกับค่าสัมประสิทธิ์ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (K3, K4)

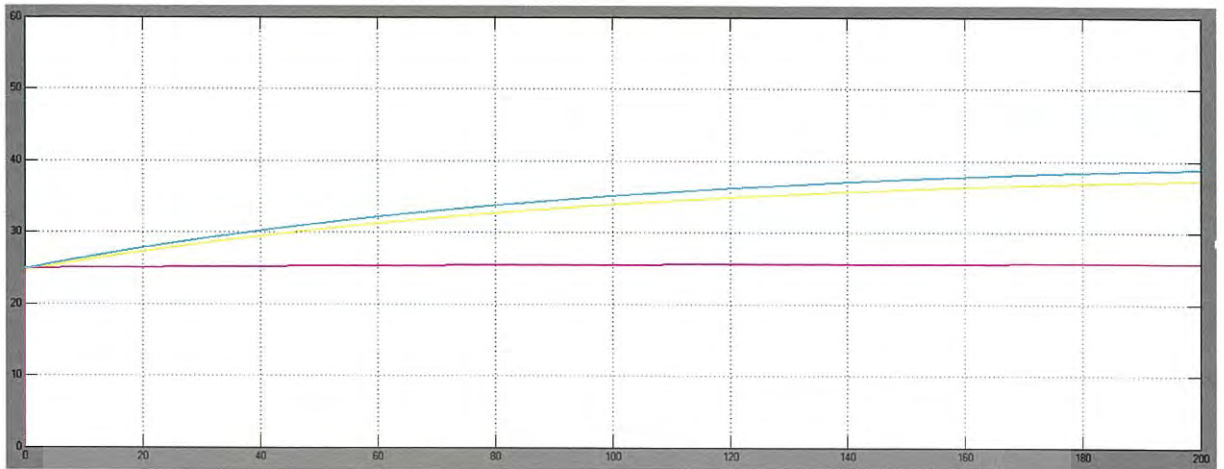


รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการใช้ของน้ำเย็นที่มีค่าลดลง (f_2) เทียบกับค่าสัมประสิทธิ์ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (T₂)

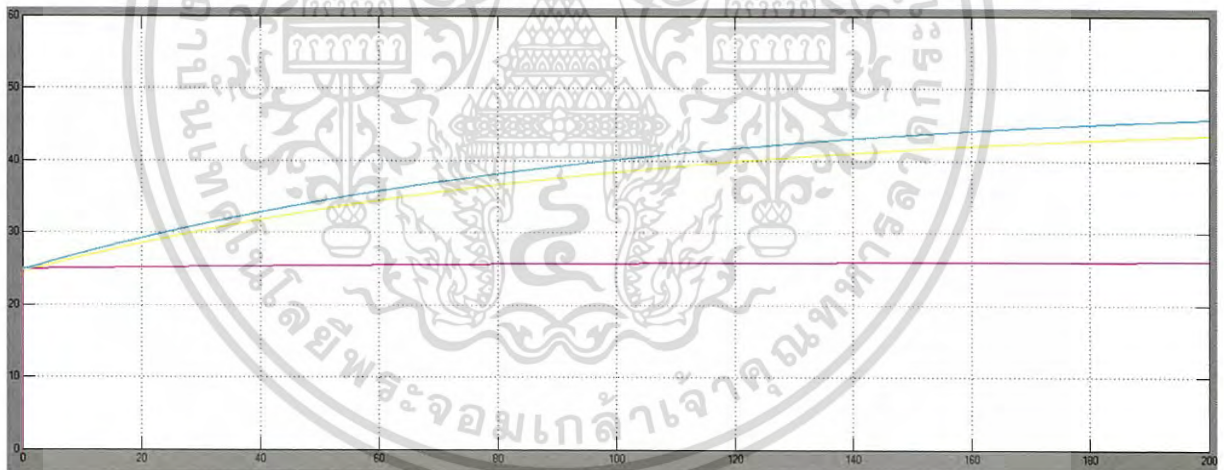


รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการใช้ของน้ำเย็นที่มีค่าลดลง (f_2) เทียบกับอุณหภูมิที่วัดได้ทางขาออก (T₄)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

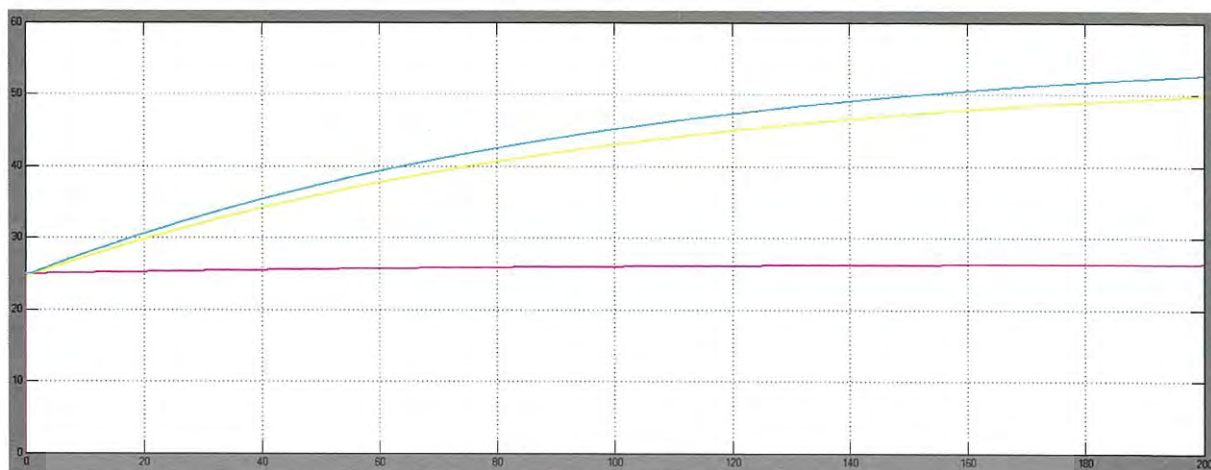


รูปที่ 4.15 กราฟแสดงผลการตอบสนองในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ค่า Manipulated = 50 %
เมื่อกำหนดให้ T3 = สีชมพู, T2 = สีเหลือง และ T4 = สีฟ้า



รูปที่ 4.16 กราฟแสดงผลการตอบสนองในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ค่า Manipulated = 75 %
เมื่อกำหนดให้ T3 = สีชมพู, T2 = สีเหลือง และ T4 = สีฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

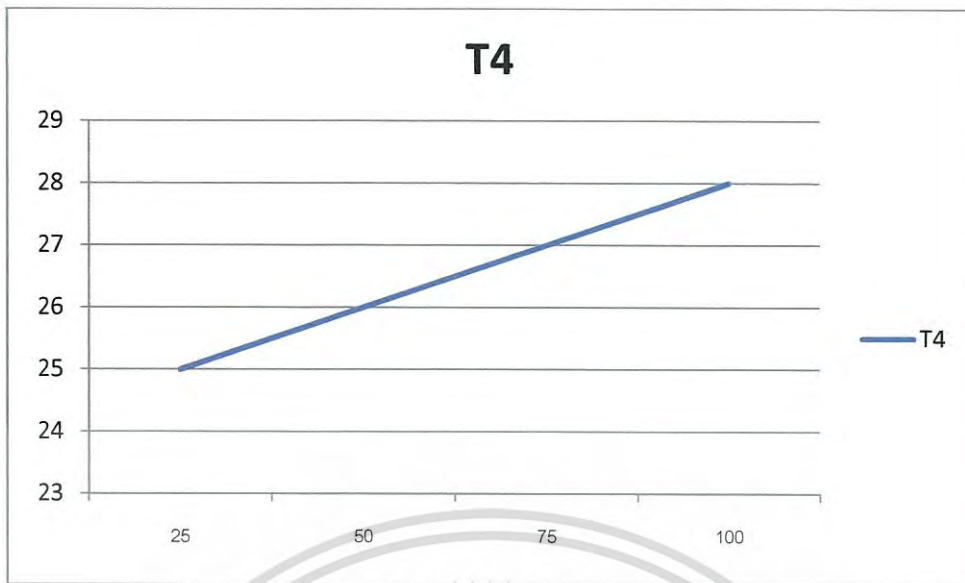


รูปที่ 4.17 กราฟแสดงผลการตอบสนองในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ค่า Manipulated = 100 %
เมื่อกำหนดให้ T3 = สีชมพู, T2 = สีเหลือง และ T4 = สีฟ้า

ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงผลที่ได้จากค่า Manipulated

(%)	T1	T2	T4
25	33	32	25
50	41	39	26
75	49	47	27
100	57	54	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า manipulated กับ อุณหภูมิทางด้านขาออก (T4)



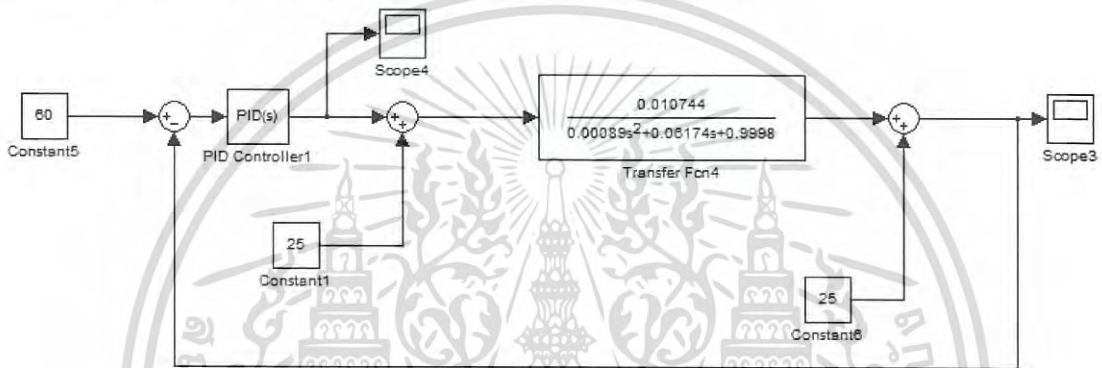
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การควบคุมเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

ในบทนี้กล่าวถึงการควบคุมเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนโดยใช้เครื่องควบคุม (Controller) มาควบคุมระบบ โดยจะใช้สองวิธีในการควบคุมคือพีไอดี (PID) และ ไอเอ็มซีบนพีไอดี (IMC-Based PID)

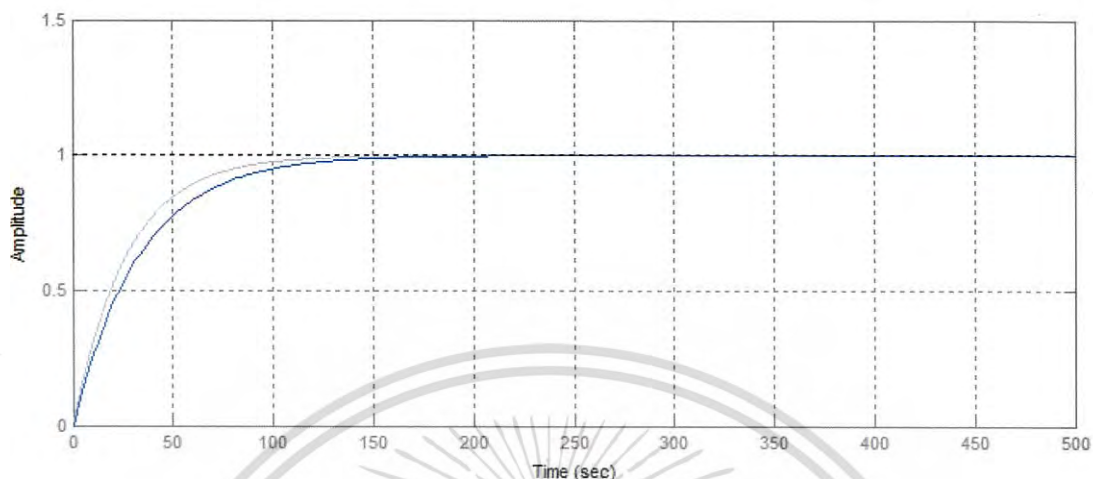
5.1 แบบจำลองการควบคุมเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน



รูปที่ 5.1 แสดงระบบควบคุมของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

5.2 ผลการทดลองการเปรียบเทียบระหว่างคือพีไอดี (PID) และ ไอเอ็มซีบนพีไอดี (IMC-Based)

จากการทดลองจะเห็นได้ว่า ไอเอ็มซีบนพีไอดี (IMC-Based PID) ให้ค่าเวลาช่วงขึ้น (rise time), เวลาสู่สมดุล (settling time), ค่าการตอบสนองที่สูงสุด (overshoot) ที่มีค่าน้อยกว่า PID ซึ่งแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการควบคุมที่ดีกว่า PID ปรกติดังที่แสดงใน รูปที่ 5.2 และ รูปที่ 5.3 แสดงถึงอุณหภูมิทางด้านขาออก (T4)



รูปที่ 5.2 แสดงกราฟเปรียบเทียบระหว่าง เครื่องควบคุมชนิดพีไอดี (สีน้ำเงิน) กับ เครื่องควบคุม ไอเอ็มซีบนพีไอดี (สีเทา)



รูปที่ 5.3 แสดงกราฟอุณหภูมิทางขาออก (T4) เมื่อเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนถูกควบคุมโดยเครื่อง ควบคุมระบบชนิดพีไอดี (PID)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัย

ในบทนี้กล่าวถึงบทสรุปของการวิจัย ข้อเสนอแนะและแนวทางการนำองค์ความรู้ที่ได้จากการวิจัยไปใช้ต่อไป

6.1 สรุปผลการวิจัย

บทความนี้เป็นการนำเสนอแนวทางออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในรูปแบบวิธีการทางคณิตศาสตร์และใช้วิธีการทางสมดุลพลังงานในการจำลองแผนของระบบเพื่อที่จะนำมาใช้ในการควบคุมระบบซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองโดยใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์และใช้วิธีการทางสมดุลพลังงานมีค่าใกล้เคียงกัน

แบบจำลองที่ได้จากการศึกษานี้สามารถนำไปใช้ต่อไปเป็นเครื่องมือในการศึกษาผลของสภาวะการทำงานอื่น ๆ ที่มีต่อการถ่ายเทความร้อนภายใต้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนได้ซึ่งสามารถกำหนดจากค่าสัมประสิทธิ์การ ถ่ายเทความร้อนโดยรวม ปริมาณและรูปร่างของไหลที่บรรจุ เป็นต้น นอกจากนี้ผลจากแบบจำลองสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานเพื่อเป็นแนวทางการปรับปรุงและพัฒนาการออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนให้มีประสิทธิภาพทั้งทางการใช้พลังงานและด้านความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์มากยิ่งขึ้น

6.2 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากการตั้งสมมติฐานของแบบจำลองเป็นการคำนวณอยู่ภายใต้สภาวะคงตัวจากการศึกษาจึงพบว่าเกิดความคลาดเคลื่อนของผลที่ได้จากแบบจำลองอยู่ เพื่อพัฒนาและปรับปรุงให้แบบจำลองมีความถูกต้องและแม่นยำยิ่งขึ้น อาจพิจารณาการคำนวณให้อยู่ภายใต้สภาวะไม่คงตัวซึ่งจะสามารถกำหนดให้อุณหภูมิที่สูญเสียไปมีอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงได้ตามเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Carlos A. Smith, Armando B. Corripio. 1997. Principles and Practice of Automatic Process Control. New York: John Wiley and Sons.
- [2] Wikipedia. 2015. Heat Exchanger. [Online]
Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Heat_exchanger/
- [3] MathWorks. 2015. internal model control design for a chemical reactor plant.
Available: <http://mathworks.com/help/control/examples/internal-model-control-design-for-a-chemical-reactor-plant.html>
- [4] Cengel, Y.A. , Turner, R. H., Cimbala, J. M. (2012), Fundamentals of Thermal-fluid Sciences, 4th edition, London: McGraw Hill higher Education
- [5] First law of thermodynamics explained [Online]
Available: http://everything.explained.today/First_law_of_thermodynamics/
- [6] Subhransu Padhee, Controller Design for Temperature Control of Heat Exchanger System: Simulation Studies, WSEAS TRANSACTIONS on SYSTEMS and CONTROL, Volume 9, 2014.
- [7] Neeraj Srivastava, Deoraj Kumar Tanti, Md Akram Ahmad. Matlab Simulation of Temperature Control of Heat Exchanger using Different Controllers. Automation Control and Intelligent Systems. Vol. 2, No. 1, 2014, pp. 1-5.
- [8] Yuvraj Bhushan Khare Yaduvir Singh, PID Control of Heat Exchanger System, International Journal of Computer Applications (0975 – 8887) Volume 8– No.6, October 2010

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [9] K.Rajalakshmi , Ms.V.Mangaiyarkarasi, Control Of Heat Exchanger Using Internal Model Controller, IOSR Journal of Engineering (IOSRJEN) e-ISSN: 2250-3021, p-ISSN: 2278-8719 Vol. 3, Issue 7 (July. 2013), ||V1 || PP 09-15
- [10] Saranya.SN, Dr.Prabhakaran.D, Dr.Thirumarimurugan.M, Analysis of Advanced Controllers for Temperature Control in a Heat Exchanger, IJRASET International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology, Vol.5, Issue 2, Februray 2016
- [11] Shanu Khan, Modelling and Temperature Control of Heat Exchanger process, IJRASET I International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology, Vol.2 Issue II, February 2014
- [12] B.Wayne Bequette, Process Control, Modeling, Design, and Simulation, Prentice Hall International Series In the Physical and Chemical Engineering Sciences.
- [13] M.Bakosova a M.Fikar (2015) .Mathematical Models of Processes. [Online] Available:https://kirp.chtf.stuba.sk/moodle/pluginfile.php/62348/mod_resource/content/3/pres-predn8%20EN.pdf
- [14] Miral Changela, Designing a Controller for Two Tank Interacting System, IJRASET International Journal of Innovative Research, Vol.4 Issue 5, May 2015

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบทดลองกรณีศึกษาเพิ่มเติม

เพื่อศึกษาการจำลองฟังก์ชันในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนและหาเครื่องควบคุมที่มีประสิทธิภาพเพื่อใช้ในการควบคุมแพลนชนิดต่างๆ

1. จงหาฟังก์ชันส่งผ่านของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนโดยใช้วิธีการจาก หัวข้อที่ 3.2 โดยกำหนดให้ ค่าความหนาแน่นของน้ำ $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$

$$\text{อัตราไหลน้ำร้อน} \quad f_1 = 0.1 \text{ kg/s}$$

$$\text{อัตราไหลน้ำเย็น} \quad f_2 = 0.2 \text{ kg/s}$$

$$\text{ความจุจำเพาะของน้ำ} \quad c = 4.187 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$$

$$\text{สัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อน} \quad U = 4,000 \text{ J/m}^2\text{ }^\circ\text{C}$$

$$\text{ปริมาตรเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนด้านเย็น} \quad V = 6.27 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

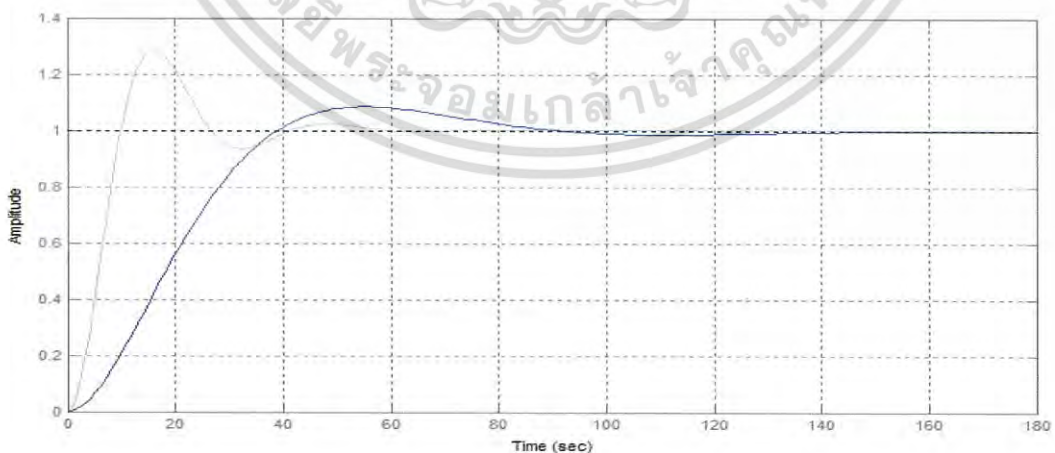
$$\text{ปริมาตรเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนด้านเย็น} \quad V = 6.27 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$\text{พื้นที่ของแผ่นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน} \quad A = 2.6 \text{ m}^2$$

$$(G_p = \frac{0.01197}{0.00189s^2 + 0.0921s + 0.997})$$

2. จงแสดงกราฟเปรียบเทียบการควบคุมของเครื่องควบคุมชนิด PID กับ IMC based PID เมื่อ

$$\text{กำหนดให้ฟังก์ชันส่งผ่านของแพลนของแท่งน้ำ [14] มีค่าเท่ากับ } \frac{642.86}{199s^2 + 40.04s + 1}$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ICCAS 2016

October 16(SUN)~19(WED), 2016

HICO, Gyeongju, Korea

2016 16th International Conference on Control, Automation and Systems

<http://2016.iccas.org>

Plenary Speakers



Andrew Schwartz
Univ. of Pittsburgh,
USA



Maria Prandini
Politecnico di
Milano, Italy



Sangehul Won
POSTECH,
Korea



Satoshi Tadokoro
Tohoku Univ.,
Japan



James Ashton-Miller
Univ. of Michigan,
USA



Huijun Gao
Harbin Institute of
Technology, China



Song K. Choi
Univ. of Hawaii,
USA

Topics

Control Theory and Systems
Industrial Applications of Control
Sensors and Signal Processing
Robotics
Unmanned Vehicle Systems
Navigation, Guidance and Control
Process Systems
Biomedical Systems
Machine Learning

Important Dates

May 6, 2016 : Submission of organized session proposals
May 13, 2016 : Submission of full papers
July 15, 2016 : Notification of paper acceptance
August 12, 2016 : Submission of final camera-ready papers

Paper Submission

Authors are invited to submit full papers (3 to 6 pages) to the website.

Indexed in

IEEE Xplore, EI compendex, SCOPUS

Contact

TEL: +82-32-234-5801(Ext.3)

FAX: +82-32-234-5807

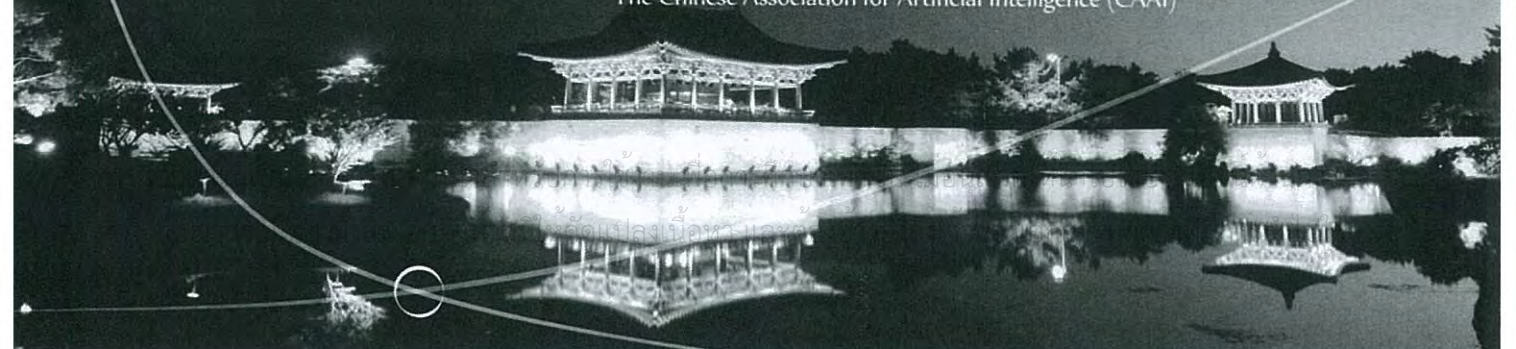
E-mail: conference@icross.org

Organized by

Institute of Control, Robotics and Systems (ICROS)

Technically Co-Sponsored by

IEEE Industrial Electronics Society
IEEE Robotics and Automation Society
IEEE Control Systems Society
The Society of Instrument and Control Engineers (SICE)
Asian Control Association (ACA)
The Instrumentation, Systems and Automation Society (ISA)
Chinese Automatic Control Society (CACS)
The Chinese Association of Automation (CAA)
The Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications
and Information Technology (ECTI) Association
The Chinese Association for Artificial Intelligence (CAAI)



The Developing Tool for Heat Exchanger Education in Instrumentation Engineering

Nurawit Oranpaiboon¹, Viriya Krongratana², Vittaya Tipsuwanporn³
and Suphan Gulpanich⁴

^{1,2,3,4} Department of Instrumentation Engineering, Faculty of Engineering,
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang,
Bangkok, 10520, Thailand, e-mail : vannurawit0025@gmail.com, viriya.kr@kmitl.ac.th

Abstract: The purpose of this paper is to find out the method for constructing heat exchanger model that is a mathematical model comparing with balance energy technique. Firstly, the energy balance applies energy laws for calculating energy between hot and cold side of temperature which is the energy of input equal to energy of output and the result of this process is the outcome temperature would increase further to energy power that heater provides from hot side of heat exchanger. Secondly, Mathematical Model is related to using equations of thermal and finding transferred functions of system and variables of heat exchanger and simulation for responding viewing of output temperature. Finally, this project about energy balance and Mathematical Model would help some other plants in building plant model and calculating energy of system. The result of this method would help to compare between energy balance method and Mathematical Model and results outcome of both.

Keywords: Project Based Learning; Heat exchanger; Mathematical Model; Energy Balance.

1. INTRODUCTION

Nowadays, the demand of energy has been increasing, as a result, energy conservation has become a key issue and many countries around the world has been focused by using efficient energy. Heat Exchangers use two fluid flow directions for exchanging heat and widely applied in many industries such as the petroleum industry chemical industry, food and etc. Over the period of time a number of heat exchanger has been developed and designed to provide increasing performance. The plate heat exchangers (PHE) is a heat exchanger that is considered the most powerful one. It has many advantages, such as compactness, high thermal efficiency, easy cleaning and maintenance.

This paper reports a work regarding the heat model exchanger plant by mathematical model and thermal equation. This paper differ from other papers that concern with mathematical model using the available experimental data [5] [7] [8]. On the other hand this study is about the process of model plant using thermal equation for designing transfer function of system resulting in the outlet temperature would be similar result as actual temperature from experiment, moreover, this consequence is used for controlling by controller in next section such as Proportional-Integral-Derivative Controller and Fuzzy Logic Controller [6].

yet, maintaining of temperature is the main problem of this project for controlling water output temperature as shown in figure 1 and 2.

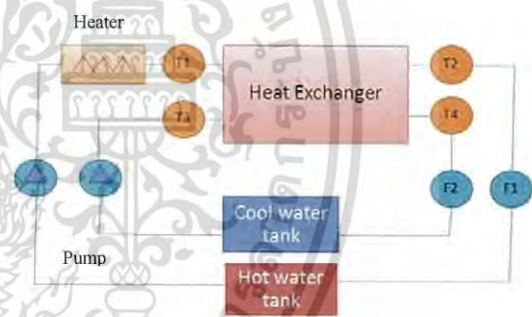


Fig.1 Plant diagram.

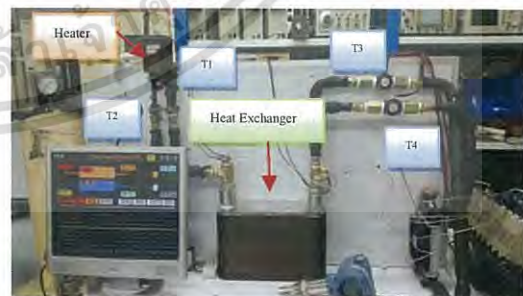


Fig.2 Heat exchanger plant.

2. THEORY OF HEAT EXCHANGER

2.1 Structure of heat exchanger

The structure of heat exchanger is comprised of two coils which are cool and hot coils and uses water as a working fluid for generating heat exchange process. Hence, water is the significant factor of this process and

2.2 Type of heat exchanger[2]

Heat exchangers could be divided by the direction flow of fluids in the heat exchanger and the nature of the heat exchanger. In general, the classification of the heat exchanger is categorized into three types.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ขออนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1 Concentric tube and Double pipe

This heat exchanger is used for countercurrent flow and parallel (or co-current) flow as shown in Figure 3

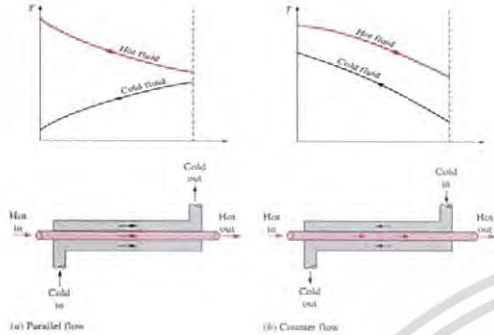


Fig.3 Different directions of fluid flow.

2.1.2 Cross flow heat exchanger

A cross-flow heat exchanger exchanges thermal energy from one side to another and can be operated flowing in perpendicular direction to each other between cross flow and tube flow as shown in figure 4.

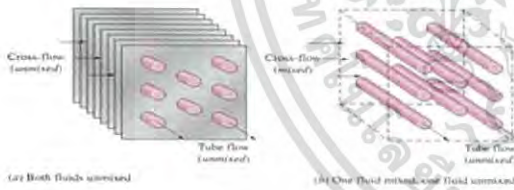


Fig.4 Flow direction in heat exchanger.

2.1.3 Shell and tube heat exchanger

Shell and tube heat exchangers can be operated in both parallel and counter-flow configurations as shown in figure 5.

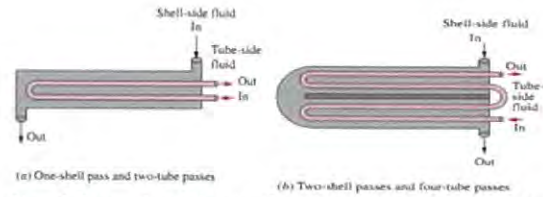
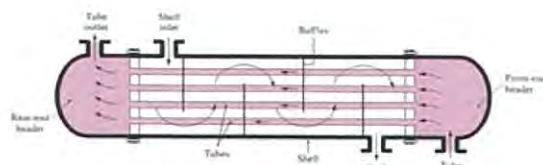
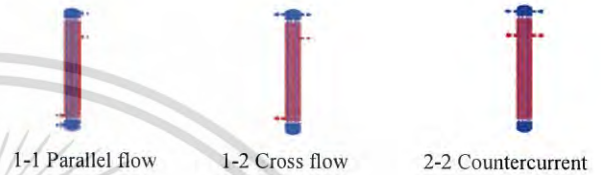


Fig. 5 Flow direction in Shell and Tube heat exchanger.

2.3 Fluid flow direction

The flow heat exchanger is divided into three main types.



3. MATHEMATICAL MODEL METHOD

Calculation at Hot side[1]

Unsteady State Energy Balance (USSEB) equations

$$m_h c_p T_1(t) - UA[T_2(t) - T_4(t)] - m_h c_p T_2(t) = m_h c_p \frac{dT_2(t)}{dt}$$

$$\rho f_1 c_p T_1(t) - UA[T_2(t) - T_4(t)] - \rho f_1 c_p T_2(t) = V_h \rho c_p \frac{dT_2(t)}{dt}$$

Steady State Energy Balance (SSEB) equations

$$m_h c_p \bar{T}_1 - UA[\bar{T}_2 - \bar{T}_4] - m_h c_p \bar{T}_2 = 0$$

$$\rho f_1 c_p \bar{T}_1 - UA[\bar{T}_2 - \bar{T}_4] - \rho f_1 c_p \bar{T}_2 = 0$$

Unsteady State Energy -Steady State Energy Balance(USSEB-SSEB)

$$\rho f_1 c_p T_1(t) - UA[T_2(t) - T_4(t)] - \rho f_1 c_p T_2(t) = V_h \rho c_p \frac{dT_2(t)}{dt}$$

$$\rho f_1 c_p T_1(t) - UA T_2(t) + UA T_4(t) - \rho f_1 c_p T_2(t) = V_h \rho c_p \frac{dT_2(t)}{dt}$$

$$\rho f_1 c_p T_1(t) + UA T_4(t) = V_h \rho c_p \frac{dT_2(t)}{dt} + \rho f_1 c_p T_2(t) + UA T_2(t)$$

$$\rho f_1 c_p T_1(t) + UA T_4(t) = V_h \rho c_p \frac{dT_2(t)}{dt} + [\rho f_1 c_p + UA] T_2(t)$$

$$\left[\frac{\rho f_1 c_p}{\rho f_1 c_p + UA} \right] T_1(t) + \left[\frac{UA}{\rho f_1 c_p + UA} \right] T_4(t) = \left[\frac{V_h \rho c_p}{\rho f_1 c_p + UA} \right] \frac{dT_2(t)}{dt} + T_2(t)$$

$$K_1 T_1(t) + K_2 T_4(t) = \tau_1 \frac{dT_2(t)}{dt} + T_2(t)$$

$$K_1 T_1(s) + K_2 T_4(s) = [\tau_1 s + 1] T_2(s)$$

$$T_2(s) = \left[\frac{1}{\tau_1 s + 1} \right] (K_1 T_1(s) + K_2 T_4(s))$$

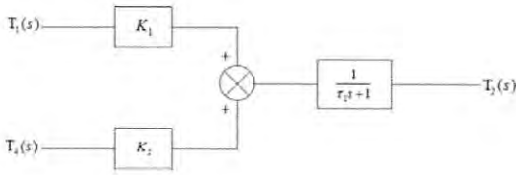
By
$$K_1 = \left[\frac{\rho f_1 c_p}{\rho f_1 c_p + UA} \right]$$

$$K_2 = \left[\frac{UA}{\rho f_1 c_p + UA} \right]$$

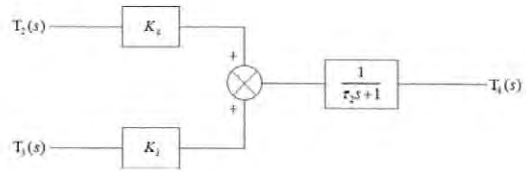
$$\tau_1 = \left[\frac{V_h \rho c_p}{\rho f_1 c_p + UA} \right]$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Block diagram of hot side



Block diagram of cool side



Calculation at Cool side [1]

$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$
 $f_1 = 0.079 \text{ kg/s}$
 $f_2 = 0.136 \text{ kg/s}$
 $c = 4.187 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$
 $U = 26,666 \text{ J/m}^2\text{ }^\circ\text{C}$

USSEB equations

$m_c c_p T_3(t) + UA[T_2(t) - T_4(t)] - m_c c_p T_4(t) = m_c c_p \frac{dT_3(t)}{dt}$
 $\rho f_2 c_p T_3(t) + UA[T_2(t) - T_4(t)] - \rho f_2 c_p T_4(t) = V_c \rho c_p \frac{dT_4(t)}{dt}$

$V_h = \frac{0.11 \times 0.19 \times 0.3}{2} = 3.135 \times 10^{-3} \text{ m}^3$

$V_c = \frac{0.11 \times 0.19 \times 0.3}{2} = 3.135 \times 10^{-3} \text{ m}^3$

SSEB equations

$m_c c_p \bar{T}_3 + UA[\bar{T}_2 - \bar{T}_4] - m_c c_p \bar{T}_4 = 0$

$\rho f_2 c_p \bar{T}_3 + UA[\bar{T}_2 - \bar{T}_4] - \rho f_2 c_p \bar{T}_4 = 0$

$A = 0.3 \times 0.11 \times 39 = 1.287 \text{ m}^2$

$K_1 = \frac{\rho f_1 c_p}{\rho f_1 c_p + UA} = \frac{1000(0.079)(4.187)}{(1000)(0.079)(4.187) + (26,666)(1.287)} = 0.9$

$K_2 = \frac{UA}{\rho f_2 c_p + UA} = \frac{(35.5)(1.287)}{(1000)(0.079)(4.187) + (26,666)(1.287)} = 0.094$

USSEB-SSEB

$\rho f_2 c_p T_3(t) + UA[T_2(t) - T_4(t)] - \rho f_2 c_p T_4(t) = V_c \rho c_p \frac{dT_4(t)}{dt}$

$\rho f_2 c_p T_3(t) + UA T_2(t) - UA T_4(t) - \rho f_2 c_p T_4(t) = V_c \rho c_p \frac{dT_4(t)}{dt}$

$\rho f_2 c_p T_3(t) + UA T_2(t) = UA T_4(t) + \rho f_2 c_p T_4(t) + V_c \rho c_p \frac{dT_4(t)}{dt}$

$\rho f_2 c_p T_3(t) + UA T_2(t) = V_c \rho c_p \frac{dT_4(t)}{dt} + [UA + \rho f_2 c_p] T_4(t)$

$\left[\frac{\rho f_2 c_p}{\rho f_2 c_p + UA} \right] T_3(t) + \left[\frac{UA}{\rho f_2 c_p + UA} \right] T_2(t) = \left[\frac{V_c \rho c_p}{\rho f_2 c_p + UA} \right] \frac{dT_4(t)}{dt} + T_4(t)$

$\tau_1 = \frac{V_h \rho c_p}{\rho f_1 c_p + UA} = \frac{(3.135 \times 10^{-3})(1000)(4.187)}{(1000)(0.079)(4.187) + (26,666)(1.287)} = 0.0359$

$K_3 = \frac{\rho f_2 c_p}{\rho f_2 c_p + UA} = \frac{1000(0.136)(4.187)}{(1000)(0.136)(4.187) + (26,666)(1.287)} = 0.943$

$K_4 = \frac{UA}{\rho f_2 c_p + UA} = \frac{(26,666)(1.287)}{(1000)(0.136)(4.187) + (26,666)(1.287)} = 0.0568$

$\tau_2 = \frac{V_c \rho c_p}{\rho f_2 c_p + UA} = \frac{(3.135 \times 10^{-3})(1000)(4.187)}{(1000)(0.136)(4.187) + (26,666)(1.287)} = 0.0217$

$K_3 T_3(t) + K_4 T_2(t) = \tau_2 \frac{dT_4(t)}{dt} + T_4(t)$

$K_3 T_3(s) + K_4 T_2(s) = [\tau_2 s + 1] T_4(s)$

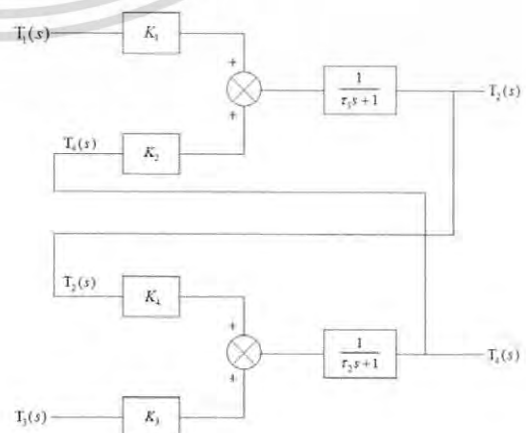
$T_4(s) = \left[\frac{1}{\tau_2 s + 1} \right] (K_3 T_3(s) + K_4 T_2(s))$

By $K_3 = \left[\frac{\rho f_2 c_p}{\rho f_2 c_p + UA} \right]$

$K_4 = \left[\frac{UA}{\rho f_2 c_p + UA} \right]$

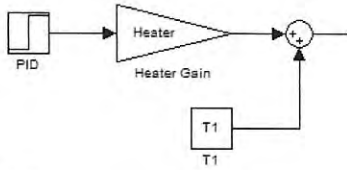
$\tau_2 = \left[\frac{V_c \rho c_p}{\rho f_2 c_p + UA} \right]$

Block diagram of plant



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Heater Model



From

$$\sigma f_1 c_p (T - T_1) = W$$

$$\sigma f_1 c_p (T - T_1) = 10(\%PID)$$

$$T = T_1 + K(\%PID)$$

4. ENERGY BALANCE METHOD

The energy balance use energy laws for calculating energy between temperature at hot side and cold side that is the energy of input equal to energy of output. This method uses negative feedback control that is energy implement from output for accessing closed loop to input of system by the losing energy which is lacking energy of system

According to the First Law of thermodynamics (the conservation of energy principle) provides study of the relationships between forms of energy and energy interactions. The first law states that: energy can be neither generated nor destroyed during a process; it can only change forms [4] as shown in Figure 6

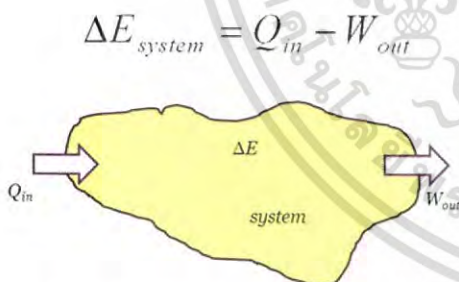


Fig.6 The First Law of thermodynamics.

Heat exchanger processes heat energy transfer from hot side of heat exchanger to cool side as Figure 5, therefore we could implement energy from heat side to cool side of heat exchanger by finding losing energy of system and add the losing energy to the system.

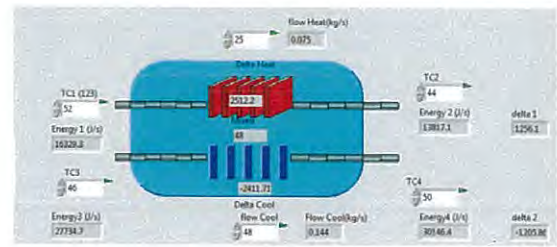


Fig.7 Heat exchanger plant via LabVIEW.

5. EXPERIMENT

5.1 Mathematical Model Method by MatLAB[3]

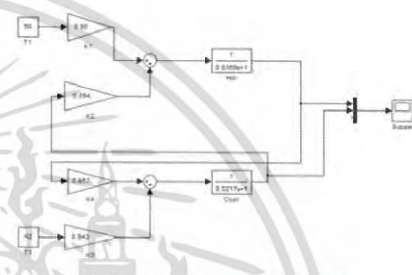


Fig.8 Heat Exchanger Model.

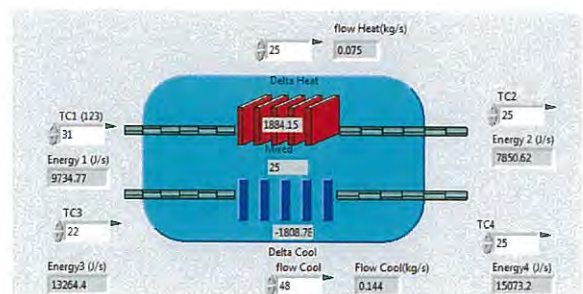
By $T_1(s) = 30, 40, 50, 60^\circ c$ respectively
and $T_3(s) = 22, 31, 42, 52^\circ c$

Table 1. Temperature of Mathematical Model.

Hot side	Cool side	Hot side	Cool side
T1	T3	T2	T4
31	22	29	23
40	31	38	32
50	42	48	43
60	52	58	53

5.2 Energy Balance method (Actual temperature)

Experiment figure:



At $T_1(s) = 31^\circ c$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 The result of Manipulated value affects temperature graph of heat exchanger (T1,T2,T4)

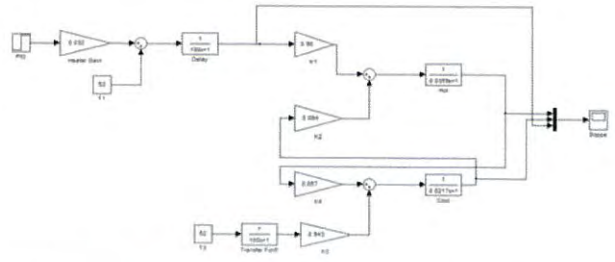
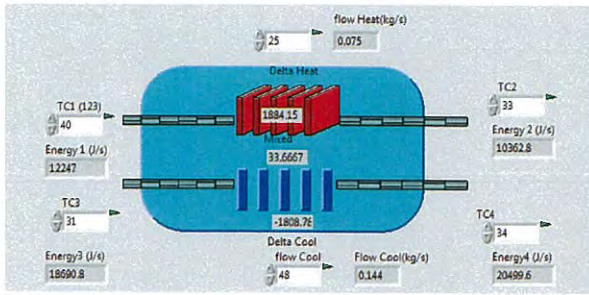
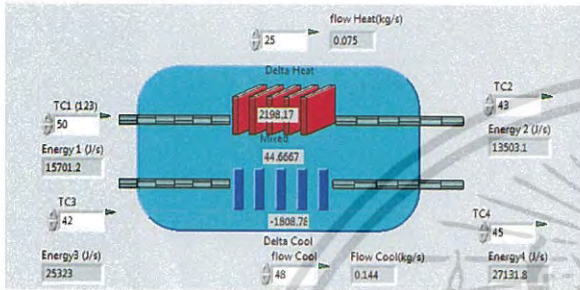


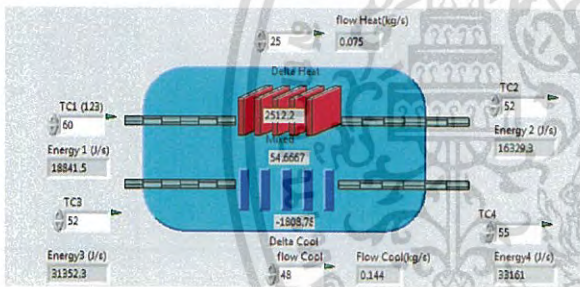
Fig.9 Heater and Heat exchanger Model.



At $T_1(s) = 40^\circ c$



At $T_1(s) = 50^\circ c$



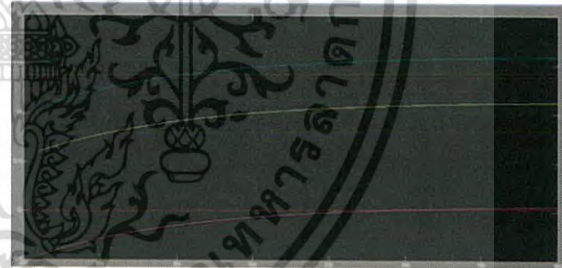
At $T_1(s) = 60^\circ c$

Table 2. Actual Temperature.

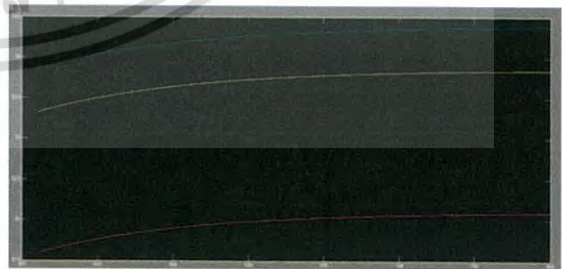
Hot side	Cool side	Hot side	Cool side
T1	T3	T2	T4
31	22	25	25
40	31	33	34
50	42	43	45
60	52	52	55



Manipulated Value = 25%



Manipulated Value = 50%



Manipulated Value = 75%

5.3 Comparing experiment at output temperature (T4)

Table 3. Temperature of Math Model and Actual.

T1	Math Model(T4)	Actual temp.(T4)
31	23	25
40	32	34
50	43	45
60	53	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Manipulated Value = 100%

Table 4. Manipulated Value and Temperature.

Manipulated Value (%)	T1	T2	T4
25	53	52	52
50	54	53	52
75	54	54	52
100	55	54	52

Comparing between actual and mathematical model

Mathematical Model

Manipulated Value (%)	T1	T2	T4
100	55	54	52

Actual

Manipulated Value (%)	T1	T2	T4
100	55	53	52

6. CONCLUSION

Being based on the obtained results, in addition, it could be concluded that output temperature of heat exchanger between Mathematical Model and Energy balance Method are similar value. This method helped to establish model of transferring function of this system and it would help in the next step for controlling system. Finally, The next research is implemented the PID controller in Heat exchanger model and comparing result of output temperature (T4) between Mathematical model and actual.

REFERENCES

- [1] Carlos A. Smith, Armando B. Corripio 1997. Principles and Practice of Automatic Process Control. New York: John Wiley and Sons.
- [2] Wikipedia. 2015. Heat Exchanger. [online] Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Heat_exchanger/
- [3] MathWorks. 2015. internal model control design for a chemical reactor plant. [online]. Available: <http://www.mathworks.com/help/control/examples/internal-model-control-design-for-a-chemical-reactor-plant.html>
- [4] First law of thermodynamics explained [online] Available: <http://everythingexplainedtoday.com/First-law-of-thermodynamics/>
- [5] Subhransu Padhee, Yuvraj Bhushan Khare, Yaduvir Singh "Internal Model Based PID Control of Shell and Tube Heat Exchanger System," IEEE, JAN 2011.
- [6] Neeraj Srivastava, Deoraj Kumar Tanti, Md Akram Ahmad. Matlab Simulation of Temperature Control of Heat Exchanger using Different Controllers. Automation, Control and Intelligent Systems. Vol. 2, No. 1, 2014, pp. 1-5.
- [7] Yuvraj Bhushan Khare Yaduvir Singh, PID Control of Heat Exchanger System, International Journal of Computer Applications (0975 – 8887) Volume 8– No.6, October 2010
- [8] K. Rajalakshmi, Ms. V. Mangaiyarkarasi Control Of Heat Exchanger Using Internal Model Controller, IOSR Journal of Engineering (IOSRJEN) e-ISSN: 2250-3021, p-ISSN: 2278-8719 Vol. 3, Issue 7 (July. 2013), ||V1 || PP 09-15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นายณรรวิศร์ โอฟารไพบูลย์
 วัน เดือน ปีเกิด 24 ตุลาคม 2534 ที่กรุงเทพมหานคร
 ที่อยู่ 302 หมู่บ้านสินแก้ว ถ.ศรีนครินทร์
 ต.หนองบอน อ.ประเวศ จ.กรุงเทพมหานคร 10250
 โทร.084-3550025

ประวัติการศึกษา 2556 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ความชำนาญเฉพาะด้าน 1.)เขียนโปรแกรมแอปพลิเคชันในโทรศัพท์มือถือ
 2.)การออกแบบวงจรทางอิเล็กทรอนิกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้