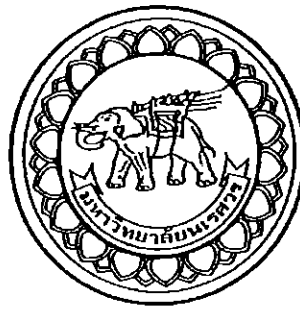




การออกแบบการทดลองและสื่อการเรียนสำหรับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน
แบบท่อซ้อน

THE DESIGN OF EXPERIMENT AND INSTRUCTIONL MEDIA FOR
CONCENTRIC TUBE HEAT EXCHANGER

นางสาวศุภาพร

สุรพัฒน์นาภรณ์

รหัส 50363815

นางสาวสายธาร

อดกลั่น

รหัส 50363846

1551860X

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ..... 10.0.0. 2554
เลขทะเบียน..... 1551860X
เลขเรียกหนังสือ.....
มหาวิทยาลัยนเรศวร ๗/๓๖ ๗

11
๗/๓๖ ๗
2553

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ปีการศึกษา 2553

ชื่อหัวข้อโครงการ	การออกแบบการทดลองและสื่อการเรียนรู้สำหรับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อซ้อน			
ผู้ดำเนินโครงการ	นางสาวศุภาพร	สุรภาพพัฒนาภรณ์ รหัส	50363815	
	นางสาวสายธาร	อดกลั่น รหัส	50363846	
ที่ปรึกษาโครงการ	อาจารย์นพวรรณ	ไม้ทอง		
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ			
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ			
ปีการศึกษา	2553			

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการออกแบบการทดลองและสื่อการเรียนรู้การสอนสำหรับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อซ้อนซึ่งมีแนวคิดมาจากการที่ทางสาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการนั้นได้มีการจัดการเรียนปฏิบัติการเฉพาะหน่วยทางเคมี นั้นได้มีการนำอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมาใช้ในการเรียนการสอนนั้นทางคณะผู้จัดทำจึงมีแนวคิดในการออกแบบการทดลองและสื่อการเรียนรู้การสอนเพื่อสะดวกต่อการเรียนการสอน ซึ่งสามารถนำหลักการรวมถึงการวิเคราะห์การทดลอง มาช่วยในการออกแบบการทดลองเพื่อให้ได้การทดลองที่ถูกต้อง

จากการทดลองพบว่าที่อุณหภูมิน้ำร้อนสูงคือ 10 GPM มีการแลกเปลี่ยนความร้อนมากกว่าที่อุณหภูมิน้ำร้อนต่ำคือ 2 GPM และที่อัตราการไหลของน้ำเย็นต่ำมีการแลกเปลี่ยนความร้อนมากกว่าที่อัตราการไหลของน้ำร้อนสูง ดังนั้นจึงได้ออกแบบการทดลองในช่วงที่เห็นผลการทดลองชัดเจน คือ ช่วงอุณหภูมิน้ำร้อน 65 และ 75 องศาเซลเซียส รวมถึงการปรับอัตราการไหลของน้ำร้อนที่ 2, 4, 6, 8 และ 10 GPM โดยในสื่อของการเรียนประกอบไปด้วย หน้าหลักการทำงานของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อซ้อน ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน วิธีการทดลอง ตัวอย่างการทดลอง บันทึกการทดลอง และโปรแกรมคำนวณผลการทดลอง ซึ่งโปรแกรมที่ใช้ในการสร้างสื่อการเรียนรู้การสอนนั้นเป็นโปรแกรมประยุกต์เหมาะกับการสร้างสื่อและนำเสนองาน

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีด้วยความกรุณาเป็นอย่างยิ่งจากอาจารย์
นพวรรณ โม้ทอง ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน และให้ความกรุณาในการตรวจทานปริญญานิพนธ์
คณะทางผู้ดำเนินโครงงานขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงและขอระลึกถึงความกรุณาของท่านไว้
ตลอดไป

ขอขอบคุณอาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้กับคณะผู้จัดทำ

ขอขอบคุณ อาจารย์ภานุพงศ์ สอนคม ที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับการเขียนโปรแกรมสื่อการเรียน
การสอนทางโปรแกรมประยุกต์

นอกจากนี้ยังขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมที่ให้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน
แบบท่อซ้อนมาใช้งานจนทำให้โครงงานสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เหนือสิ่งอื่นใด คณะผู้ดำเนินโครงงานขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ ผู้มอบความรัก
ความเมตตา สติปัญญา รวมทั้งเป็นผู้ให้ทุกสิ่งทุกอย่างตั้งแต่วัยเยาว์จนถึงปัจจุบัน คอยเป็น
กำลังใจทำให้ประสบความสำเร็จอย่างทุกวันนี้ และขอขอบคุณทุกคนในครอบครัวของคณะ
ผู้ดำเนินโครงงานที่ไม่ได้กล่าวไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ผู้ดำเนินโครงงาน

นางสาวศุภาพร สุราพัฒนานภรณ์

นางสาวสายธาร อดกลั่น

เมษายน 2554

สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองโครงงาน.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ฎ
 บทที่ 1 บทนำ.....	 1
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน.....	1
1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน.....	1
1.4 ผลสำเร็จ.....	1
1.5 ขอบเขตการทดลอง.....	1
1.6 สถานที่ในการดำเนินงานวิจัย.....	1
1.7 ระยะเวลาในการดำเนินงานวิจัย.....	2
1.8 ขั้นตอนและแผนการดำเนินการ.....	2
 บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	 3
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.2.1 การถ่ายเทความร้อน (Heat transfer).....	4
2.2.2 การนำความร้อน (Conduction heat transfer).....	5
2.2.3 การถ่ายเทความร้อนด้วยการพา (Convection heat transfer).....	5
2.2.4 สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (The Overall Heat Transfer Coefficient) แบบท่อซ้อน.....	6
2.2.5 รูปแบบการไหลสำหรับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อซ้อน.....	7
2.2.6 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment).....	8
2.2.7 โปรแกรมประยุกต์.....	9
2.2.8 ฐานข้อมูล (Database).....	9
 บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	 10
3.1 ศึกษาทฤษฎีและออกแบบการทดลอง.....	10
3.2 ออกแบบการทดลองการใช้ชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเบื้องต้นและดำเนินการทดลอง.....	10

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3 ออกแบบและจัดทำสื่อการเรียนการสอนสำหรับชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อซ้อน	10
3.4 สรุปผลการดำเนินการวิจัย.....	15
บทที่ 4 ผลการทดลอง	16
4.1 ผลการทดลอง	16
4.2 ความคลาดเคลื่อนของข้อมูลจากการทดลอง	29
4.3 การออกแบบสื่อการเรียนสำหรับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อซ้อน	30
4.3.1 วิธีใช้สื่อการเรียนสำหรับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อซ้อน	30
4.3.2 แสดงส่วนต่างๆของสื่อการเรียน	30
4.4 การออกแบบการทดลองสำหรับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อซ้อน	33
4.5 ขั้นตอนการทดลอง.....	34
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	35
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	35
5.2 สื่อการเรียนสำหรับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อซ้อน	35
5.3 การออกแบบการทดลอง.....	35
เอกสารอ้างอิง.....	36
ภาคผนวก ก.	37
ภาคผนวก ข.	55
ภาคผนวก ค.	66
ภาคผนวก ง.....	76

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน	2
2.1 ช่วงตัวเลขเรย์โนลด์และชนิดการไหล	7
4.1 แสดงตัวอย่างตารางบันทึกผลการทดลองของชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน แบบท่อซ้อน ในกรณีไหลตามกัน.....	16
4.2 การวิเคราะห์ข้อมูลการทดลองที่อุณหภูมิน้ำร้อน 75 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน = 2 GPM ทิศทางการไหลตามกัน	29
4.3 การวิเคราะห์ข้อมูลการทดลองที่อุณหภูมิน้ำร้อน 75 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน = 2 GPM ทิศทางการไหลสวนทางกัน2	29
ก.1 อุณหภูมิน้ำร้อน 45 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน 2 GPM ตามลำดับ รูปแบบการไหลเป็นแบบไหลตามกัน ณ อัตราการไหลของน้ำเย็นจุดต่างๆ.....	38
ก.2 อุณหภูมิน้ำร้อน 45 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน 4 GPM ตามลำดับ รูปแบบการไหลเป็นแบบไหลตามกัน ณ อัตราการไหลของน้ำเย็นจุดต่างๆ.....	38
ก.3 อุณหภูมิน้ำร้อน 45 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน 6 GPM ตามลำดับ รูปแบบการไหลเป็นแบบไหลตามกัน ณ อัตราการไหลของน้ำเย็นจุดต่างๆ.....	38
ก.4 อุณหภูมิน้ำร้อน 45 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน 8 GPM ตามลำดับ รูปแบบการไหลเป็นแบบไหลตามกัน ณ อัตราการไหลของน้ำเย็นจุดต่างๆ.....	39
ก.5 อุณหภูมิน้ำร้อน 45 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน 10 GPM ตามลำดับ รูปแบบการไหลเป็นแบบไหลตามกัน ณ อัตราการไหลของน้ำเย็นจุดต่างๆ.....	39
ก.6 อุณหภูมิน้ำร้อน 55 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน = 2 GPM ตามลำดับ รูปแบบการไหลเป็นแบบไหลตามกัน ณ อัตราการไหลของน้ำเย็นจุดต่างๆ.....	40
ก.7 อุณหภูมิน้ำร้อน 55 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน = 4GPM ตามลำดับ รูปแบบการไหลเป็นแบบไหลตามกัน ณ อัตราการไหลของน้ำเย็นจุดต่าง.....	40
ก.8 อุณหภูมิน้ำร้อน 55 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน = 6 GPM ตามลำดับ รูปแบบการไหลเป็นแบบไหลตามกัน ณ อัตราการไหลของน้ำเย็นจุดต่างๆ.....	40
ก.9 อุณหภูมิน้ำร้อน 55 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน = 8 GPM ตามลำดับ รูปแบบการไหลเป็นแบบไหลตามกัน ณ อัตราการไหลของน้ำเย็นจุดต่างๆ.....	41
ก.10 อุณหภูมิน้ำร้อน 55 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน = 10 GPM ตามลำดับ รูปแบบการไหลเป็นแบบไหลตามกัน ณ อัตราการไหลของน้ำเย็นจุดต่างๆ.....	41
ก.11 อุณหภูมิน้ำร้อน 65 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน = 2 GPM ตามลำดับ รูปแบบการไหลเป็นแบบไหลตามกัน ณ อัตราการไหลของน้ำเย็นจุดต่างๆ.....	42
ก.12 อุณหภูมิน้ำร้อน 65 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน = 4 GPM ตามลำดับ รูปแบบการไหลเป็นแบบไหลตามกัน ณ อัตราการไหลของน้ำเย็นจุดต่างๆ.....	42
ก.13 อุณหภูมิน้ำร้อน 65 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน = 6 GPM ตามลำดับ รูปแบบการไหลเป็นแบบไหลตามกัน ณ อัตราการไหลของน้ำเย็นจุดต่างๆ.....	42

สารบัญตาราง (ต่อ)

၂

สารบัญตาราง (ต่อ)

၄

สารบัญตาราง (ต่อ)

[illegible]

สารบัญตาราง (ต่อ)

[illegible]

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ง.1 อุณหภูมิ 75 C ทิศทางการไหลแบบไหลตามกัน ตำแหน่งจุดวัดอุณหภูมิน้ำร้อนที่ 1.....	77
ง.2 อุณหภูมิ 75 C ทิศทางการไหลแบบไหลตามกัน ตำแหน่งจุดวัดอุณหภูมิน้ำร้อนที่ 2.....	77
ง.3 อุณหภูมิ 75 C ทิศทางการไหลแบบไหลตามกัน ตำแหน่งจุดวัดอุณหภูมิน้ำร้อนที่ 3.....	77
ง.4 อุณหภูมิ 75 C ทิศทางการไหลแบบไหลตามกัน ตำแหน่งจุดวัดอุณหภูมิน้ำเย็นที่ 1.....	78
ง.5 อุณหภูมิ 75 C ทิศทางการไหลแบบไหลตามกัน ตำแหน่งจุดวัดอุณหภูมิน้ำเย็นที่ 2.....	78
ง.6 อุณหภูมิ 75 C ทิศทางการไหลแบบไหลตามกัน ตำแหน่งจุดวัดอุณหภูมิน้ำเย็นที่ 3.....	78
ง.7 อุณหภูมิ 75 C ทิศทางการไหลแบบไหลสวนกัน ตำแหน่งจุดวัดอุณหภูมิน้ำร้อนที่ 1.....	79
ง.8 อุณหภูมิ 75 C ทิศทางการไหลแบบไหลสวนกัน ตำแหน่งจุดวัดอุณหภูมิน้ำร้อนที่ 2.....	79
ง.9 อุณหภูมิ 75 C ทิศทางการไหลแบบไหลสวนกัน ตำแหน่งจุดวัดอุณหภูมิน้ำร้อนที่ 3.....	79
ง.10 อุณหภูมิ 75 C ทิศทางการไหลแบบไหลตามกัน ตำแหน่งจุดวัดอุณหภูมิน้ำเย็นที่ 1.....	80
ง.11 อุณหภูมิ 75 C ทิศทางการไหลแบบไหลตามกัน ตำแหน่งจุดวัดอุณหภูมิน้ำเย็นที่ 2.....	80
ง.12 อุณหภูมิ 75 C ทิศทางการไหลแบบไหลตามกัน ตำแหน่งจุดวัดอุณหภูมิน้ำเย็นที่ 3.....	80



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 หลักการสำคัญในการออกแบบการทดลอง.....	8
3.1 หน้าหลักของโปรแกรม.....	11
3.2 โครงสร้างการทำงานของโปรแกรม	11
3.3 โครงสร้างการทำงานของหน้าหลัก	12
3.4 โครงสร้างหน้าหลักการทำงานของเครื่อง.....	12
3.5 โครงสร้างหน้าทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน.....	12
3.6 โครงสร้างหน้าวิธีการทดลอง	13
3.7 โครงสร้างหน้าตัวอย่างการทดลอง	13
3.8 โครงสร้างหน้าบันทึกผลการทดลอง.....	14
3.9 โครงสร้างหน้าโปรแกรมคำนวณ.....	14
4.1 กราฟแสดงอัตราการไหลระหว่างน้ำร้อนขาเข้ากับน้ำร้อนขาออก และอัตราการไหลระหว่าง น้ำเย็นขาเข้ากับน้ำเย็นขาออกที่อุณหภูมิน้ำร้อน 65 °C ที่ทุกอัตราการไหลของน้ำร้อน	17
4.2 กราฟแสดงอัตราการไหลระหว่างน้ำร้อนขาเข้ากับน้ำร้อนขาออก และอัตราการไหลระหว่าง น้ำเย็นขาเข้ากับน้ำเย็นขาออกที่อุณหภูมิน้ำร้อน 65 °C ที่ทุกอัตราการไหลของน้ำร้อน	19
4.3 กราฟแสดงอัตราการไหลของน้ำร้อน และอัตราการไหลน้ำเย็นที่อุณหภูมิน้ำร้อน ที่จุดวัด อุณหภูมิตำแหน่งต่างๆ ของอุณหภูมิน้ำร้อน 65 °C เปรียบเทียบอัตราการไหล ของน้ำเย็นต่ำและสูงที่อัตราการไหลของน้ำร้อน 2 GPM ทิศทางการไหลแบบไหลตามกัน	21
4.4 กราฟแสดงอัตราการไหลของน้ำร้อน และอัตราการไหลน้ำเย็นที่อุณหภูมิน้ำร้อน ที่จุดวัด อุณหภูมิตำแหน่งต่างๆ ของอุณหภูมิน้ำร้อน 65 °C เปรียบเทียบอัตราการไหล ของน้ำเย็นต่ำและสูง ที่อัตราการไหลของน้ำร้อน 10 GPM ทิศทางการไหลแบบไหลตามกัน.....	22
4.5 กราฟแสดงอัตราการไหลของน้ำร้อน และอัตราการไหลน้ำเย็นที่อุณหภูมิน้ำร้อน ที่จุดวัดอุณหภูมิตำแหน่งต่างๆ ของอุณหภูมิน้ำร้อน 65 °C เปรียบเทียบอัตราการไหล ของน้ำเย็นต่ำและสูง ที่อัตราการไหลของน้ำร้อน 2 GPM ทิศทางการไหลแบบไหลสวนทางกัน.....	23
4.6 กราฟแสดงอัตราการไหลของน้ำร้อน และอัตราการไหลน้ำเย็นที่อุณหภูมิน้ำร้อน ที่จุดวัดอุณหภูมิตำแหน่งต่างๆ ของอุณหภูมิน้ำร้อน 65 °C เปรียบเทียบอัตราการไหล ของน้ำเย็นต่ำและสูง ที่อัตราการไหลของน้ำร้อน 10 GPM ทิศทางการไหลแบบไหลสวนทางกัน.....	24
4.7 กราฟแสดงค่าการถ่ายเทความร้อน ของน้ำร้อน – น้ำเย็นอัตราการไหลของน้ำร้อน ของอุณหภูมิน้ำร้อน 65 °C ทุกอัตราการไหลของน้ำร้อน – น้ำเย็น ทิศทางการไหล แบบไหลตามกัน	25

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.8 กราฟแสดงค่าการถ่ายเทความร้อน ของน้ำร้อน – น้ำเย็นอัตราการไหลของน้ำร้อน ของอุณหภูมิ น้ำร้อน 75 °C ทุกอัตราการไหลของน้ำร้อน – น้ำเย็น ทิศทางการไหลแบบไหลตามกัน.....	26
4.9 กราฟแสดงค่าการถ่ายเทความร้อน ของน้ำร้อน – น้ำเย็นอัตราการไหลของน้ำร้อน ของอุณหภูมิ น้ำร้อน 65 °C ทุกอัตราการไหลของน้ำร้อน – น้ำเย็น ทิศทางการไหลแบบไหลสวนทางกัน	27
4.10 กราฟแสดงค่าการถ่ายเทความร้อน ของน้ำร้อน – น้ำเย็นอัตราการไหล ของน้ำร้อน ของอุณหภูมิ น้ำร้อน 75 °C ทุกอัตราการไหลของน้ำร้อน – น้ำเย็น ทิศทางการไหลแบบสวนทางกัน	28
4.11 กราฟแสดงค่าผิดพลาดของข้อมูลที่ตำแหน่งจุดวัดอุณหภูมิที่ 1 ที่อุณหภูมิ น้ำร้อน 75 °C ที่อัตราการไหลของน้ำร้อน 2, 4 และ 6 GPM ทิศทางการไหลแบบสวนทางกัน.....	29
4.12 ตารางแสดงค่า standard Diviation ที่อุณหภูมิ น้ำร้อน 75°C ทิศทางการไหลตามกันตำแหน่งจุดวัดอุณหภูมิจุดที่1.....	29
4.13 แสดงส่วนหน้า ลงชื่อเข้าใช้โปรแกรมของสื่อการเรียนสำหรับอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อซ้อน.....	30
4.14 แสดงส่วนหน้าหลักของสื่อการเรียนสำหรับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน แบบท่อซ้อน	31
4.15 แสดงส่วนหน้าหลักการทำงานของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อซ้อน ของสื่อการเรียน สำหรับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อซ้อน	31
4.16 แสดงส่วนหน้าทฤษฎีการถ่ายเทความร้อนของสื่อการเรียนสำหรับอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อซ้อน.....	32
4.17 แสดงส่วนหน้าวิธีการทดลองของสื่อการเรียนสำหรับอุปกรณ์แลกเปลี่ยน ความร้อนแบบท่อซ้อน.....	32
4.18 แสดงส่วนหน้าตัวอย่างการทดลองของสื่อการเรียนสำหรับอุปกรณ์แลกเปลี่ยน ความร้อนแบบท่อซ้อน.....	33

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

จากการที่สาขาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร มีรายวิชาปฏิบัติการเฉพาะหน่วย (Unit Operation) ที่มีการใช้ชุดทดลอง อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อซ้อนมาช่วยในการเรียนการสอนเพื่อศึกษาการถ่ายเทความร้อนนั้น

ทางคณะผู้จัดทำมีแนวคิดที่จะศึกษาและออกแบบการทดลองสำหรับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อซ้อนรวมถึงการออกแบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์มาช่วยเสริมในการเรียนการสอนเพื่อให้ผู้ใช้ชุดการทดลองอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อซ้อน ทราบถึงหลักการทำงานและทฤษฎีพื้นฐานที่สำคัญของการแลกเปลี่ยนความร้อน

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 ศึกษาและออกแบบวิธีการทดลองเพื่อให้ทราบถึงหลักการทำงานของอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อซ้อน

1.2.2 สร้างสื่อการเรียนการสอนแบบซีดีของชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อซ้อน

1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Output)

ผลการทดลองและโปรแกรมช่วยเสริมความเข้าใจสำหรับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อซ้อน

1.4 ผลสำเร็จ (Outcome)

สื่อการเรียนการสอนแบบซีดีของชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อซ้อนที่สามารถนำไปใช้เพิ่มความเข้าใจกับผู้เรียนในรายวิชา ปฏิบัติการเฉพาะหน่วย

1.5 ขอบเขตการทดลอง

1.5.1 ชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อซ้อน ห้องปฏิบัติการทางเคมี อาคารปฏิบัติการ วิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยนเรศวร

1.5.2 ลักษณะการถ่ายเทความร้อนเป็นการนำความร้อนและการพาความร้อน

1.5.3 โปรแกรมที่ใช้ คือ โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ โปรแกรมประยุกต์ โปรแกรมการออกแบบการทดลอง โปรแกรมการเก็บฐานข้อมูล

1.5.4 อุณหภูมิน้ำร้อน ได้แก่ อุณหภูมิน้ำร้อนต่ำ 45°C และ 55°C อุณหภูมิน้ำร้อนสูง คือ 65°C และ 75°C

1.5.5 อัตราการไหลของน้ำร้อนคือ 2, 4, 6, 8 และ 10 GPM อัตราการไหลของน้ำเย็น คือ 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.2, 1.4, 1.6, 1.8 และ 2.0 GPM

1.6 สถานที่ในการดำเนินงานวิจัย

1.6.1 อาคารปฏิบัติการวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

1.6.2 ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

1.6.3 สำนักหอสมุดมหาวิทยาลัยนเรศวร

1.7 ระยะเวลาในการดำเนินงานวิจัย

ตั้งแต่ 1 กรกฎาคม 2553 – 30 เมษายน 2554

1.8 ขั้นตอนและแผนการดำเนินการ

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน

ลำดับ	การดำเนินงาน	ด.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
1	วางแผนและออกแบบการทดลองของ อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อ ซ้อน โดยใช้หลักการการออกแบบ การทดลอง	↔						
2	ทำการทดลองและบันทึกผลของ อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อ ซ้อน ซึ่งบันทึกผลลงในฐานข้อมูล		↔					
3	- ทำการทดลองและบันทึกผลของ อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อ ซ้อน ซึ่งบันทึกผลลงในฐานข้อมูล - วิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้ โปรแกรมประยุกต์ทางสถิติ				↔			
4	เปรียบเทียบผลการทดลองกับทาง ทฤษฎี นำข้อมูลทั้งหมดมาจัดทำสื่อ การเรียนการสอน โดยใช้โปรแกรม ประยุกต์ สรุปผลการทดลอง และ นำเสนอโครงการ						↔	

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นายไพศาล นาผล และกิตติ นิลมิ่ง (2545) ได้ศึกษาลักษณะทางการไหล การถ่ายเทมวลและการถ่ายเทความร้อนของการไหลสวนกันของน้ำและอากาศในท่อที่วางในแนวดิ่ง เรื่องการทดลองได้มีการออกแบบและสร้างอุปกรณ์เพื่อให้ น้ำร้อนไหลผ่านวัสดุที่มีลักษณะเป็นรูปพรุนที่ปลายด้านบนของท่อ และไหลเป็นฟิล์มบางๆ ลงมาตามผนังท่อสวนกับอากาศที่ถูกป้อนให้ไหลขึ้น อัตราการไหลของอากาศและน้ำเป็นอัตราการไหลที่ยังไม่ถึงจุดเริ่มต้นของการไหลท่วมของกระแสไหลสวนกัน ซึ่งนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาช่วยในการออกแบบการทดลอง แบ่งออกได้ 2 ส่วนดังนี้ 1) แบบจำลองการไหลแบบเทอร์ปีวเลนท์ 2) แบบจำลองทางการถ่ายเทความร้อนและมวล ผลการศึกษาผลของคลื่นน้ำที่ผิวสัมผัสที่มีต่อการสูญเสีย ความดันและสัมประสิทธิ์ความเสียหาย ที่ผิวชั้นฟิล์มพบว่า เมื่ออัตราการไหลของน้ำร้อนสูงขึ้นทำให้แอมพลิจูดของน้ำที่ผิวชั้นฟิล์มถูกรบกวนมากขึ้น ซึ่งทำให้ความดันสูญเสียและสัมประสิทธิ์ความเสียหายมากขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้กับผลจากการคำนวณโดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน

ขวัญชัย ไกรทอง และไพศาล นาผล (2546) ได้ศึกษาถึงคุณลักษณะเชิงความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลตามขวางโดยดัดแปลงจากคอนเดนเซอร์ของระบบปรับอากาศรถยนต์ โดยอุปกรณ์ดังกล่าวได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้แลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำร้อนที่ 65°C กับอากาศที่อุณหภูมิห้อง พารามิเตอร์ที่ใช้ในการศึกษาค้นคว้า ได้แก่ อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศที่อยู่บนช่วง 0.1 - 0.4 กก./วินาที จำนวนคอนเดนเซอร์ 1 - 3 ชุด และทิศทางการไหลของน้ำร้อน และอากาศมี 2 แบบคือ การไหลสวนทางกัน และการไหลตามกัน จากการศึกษาพบว่าค่าประสิทธิผลของการแลกเปลี่ยนความร้อนอยู่ระหว่าง 0.4 และ 0.9 ซึ่งขึ้นอยู่กับอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ จำนวนคอนเดนเซอร์ ทิศทางการไหลของน้ำและอากาศ

ชัชพงศ์ เมฆสุธีพิทักษ์ และวิวัฒน์ เทพเสนาธนกิจ (2548) ได้ศึกษากับคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ในรายวิชาการวางแผนการผลิต โดยใช้โปรแกรม Macromedia Authware ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้งานมัลติมีเดียในรูปแบบการนำเสนอข้อมูลหรือที่เรียกว่า Presentation ซึ่งประกอบไปด้วย ภาพประกอบเสียง และภาพเคลื่อนไหว มาสร้างเป็นโปรแกรม CIA ซึ่งช่วยในการเรียนการสอน ในวิชาการวางแผนและการควบคุมการผลิต ซึ่งภายในโปรแกรมประกอบไปด้วย เนื้อหาบทเรียน แบบฝึกหัด ซึ่งโปรแกรม CIA นั้น สามารถเชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ตซึ่งสามารถทำให้เรียนรู้ได้สะดวกยิ่งขึ้น และใช้โปรแกรมได้ง่ายขึ้น ซึ่งทำให้ผู้เรียนสามารถศึกษาได้ด้วยตนเอง และสามารถทดสอบความเข้าใจตนเองหลังเรียนจบและสามารถคำนวณคะแนนของความถูกต้องได้ด้วย

ขวัญชัย ไกรทอง และไพศาล นาผล (2539) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการออกแบบการทดลองแบบผสมเพื่อหาระดับของปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดสำหรับสีฟนรยนต์แห้งเร็วไนโตรเซลลูโลส ซึ่งศึกษาปัญหาของโรงงานฟนสีรถยนต์ไนโตรเซลลูโลสและปัจจัยที่เกี่ยวข้องและตัวแปรที่มีผลต่อกระบวนการ จากนั้นทำการศึกษาและออกแบบการทดลองที่เหมาะสมที่สุดในการผสมสารเคมี ซึ่งจากการทดลองพบว่า การออกแบบการทดลอง แบบ D-optimal นั้นเหมาะสมที่สุดแล้ว ซึ่งมีการนำวิธีการทางสถิติ

ทินเนอร์ ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 3 สูตรย่อยๆ ซึ่งลูกค้าสามารถเลือกสูตรได้ และสามารถลดต้นทุนได้ด้วย

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 การถ่ายเทความร้อน (Heat transfer)

การถ่ายเทความร้อน คือ เมื่อจุดสองตำแหน่งมีอุณหภูมิที่แตกต่างกัน จะมีการถ่ายเทพลังงานจากตำแหน่งที่มีอุณหภูมิสูงกว่าไปยังตำแหน่งที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ซึ่งพลังงานที่เคลื่อนด้วยอิทธิพลของอุณหภูมิที่แตกต่างกันนี้เรียกว่า ความร้อน ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\text{Heat transfer rate, } \dot{q} = U A \Delta T_m \quad (2.1)$$

$$\text{Heat power emitted} = Q_H \rho_H C_{PH} (T_{Hin} - T_{Hout}) \quad (2.2)$$

$$\text{Heat power absorbed} = Q_C \rho_C C_{PC} (T_{Cin} - T_{Cout}) \quad (2.3)$$

$$\text{Heat power lost} = \text{heat power emitted} - \text{heat power absorbed} \quad (2.4)$$

$$\text{Efficiency } \eta = \frac{\text{heat power absorbed}}{\text{heat power emitted}} \times 100 \quad (2.5)$$

$$\text{Log mean temperature difference } \Delta T_m = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}} \quad (2.6)$$

$$\text{Overall heat transfer coefficient } U = \frac{\text{heat power absorbed}}{\text{heat transmission area} \times \Delta T_m} \quad (2.7)$$

เมื่อ

$\dot{q}$	คือ อัตราการถ่ายเทความร้อน (W)
A	คือ พื้นที่ผิวของท่อที่ความร้อนถ่ายเท (m ²)
U	คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (W/m ² °C)
Q_H	คือ อัตราการไหลของของเหลวร้อน (m ³ /s)
ρ_H	คือ ความหนาแน่นของของเหลวร้อน (kg/m ³)
C_{PH}	คือ ความจุความร้อนจำเพาะของของเหลวร้อน (J/kg°C)
T_{Hin}	คือ อุณหภูมิของเหลวร้อนขาเข้า (°C)
T_{Hout}	คือ อุณหภูมิของเหลวร้อนขาออก (°C)

- Q_C คือ อัตราการไหลของของเหลวเย็น (m^3/s)
 ρ_C คือ ความหนาแน่นของของเหลวเย็น (kg/m^3)
 C_{PC} คือ ความจุความร้อนจำเพาะของของเหลวเย็น ($J/kg^\circ C$)
 T_{Cin} คือ อุณหภูมิของเหลวเย็นขาเข้า ($^\circ C$)
 T_{Cout} คือ อุณหภูมิของเหลวเย็นขาออก ($^\circ C$)
 ΔT_m คือ Log mean temperature difference ($^\circ C$)
 ΔT_1 คือ อุณหภูมิของเหลวร้อนขาเข้า - อุณหภูมิของเหลวเย็นขาเข้า ($^\circ C$)
 ΔT_2 คือ อุณหภูมิของเหลวร้อนขาออก - อุณหภูมิของเหลวเย็นขาออก ($^\circ C$)

ซึ่งการถ่ายเทความร้อนแบ่งได้ออกเป็น 3 ลักษณะด้วยกัน คือ

- 2.2.1.1 การนำความร้อน (Conduction heat transfer)
 2.2.1.2 การพาความร้อน (Convection heat transfer)
 2.2.1.3 การแผ่รังสีความร้อน (Radiation heat transfer)

2.2.2 การนำความร้อน (Conduction heat transfer)

การถ่ายเทความร้อนด้วยการนำ คือการที่อุณหภูมิจะถ่ายเทจากด้านในออกสู่ด้านนอก หรือ พลังงานจากอุณหภูมิสูงออกไปสู่อุณหภูมิต่ำลักษณะเช่นนี้คือ พลังงานถ่ายเทด้วยวิธีการนำ อัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อนสามารถหาได้โดยอาศัยกฎของฟูเรียร์ เขียนเป็นสมการคือ

$$\dot{q}_x = -Ak \frac{dT}{dx} \quad (2.8)$$

- เมื่อ
- $\dot{q}_x$ = อัตราการนำความร้อนในทิศทาง x
 - A = พื้นที่ของการนำความร้อนในทิศทางตั้งฉากกับ x
 - k = สภาพการนำความร้อนของวัสดุ
 - $\frac{dT}{dx}$ = เกรเดียนต์ของอุณหภูมิ ณ จุดที่พิจารณา

สภาพการนำความร้อนของวัสดุ ทราบรายละเอียดเกี่ยวกับวัสดุสามารถหาได้โดยใช้ตาราง ถ้าไม่ทราบจะหาได้จากการทดลอง

อัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังเรียบที่มีความหนา L และอุณหภูมิของพื้นผิวทั้งสองคงที่ เขียนในรูป

$$\dot{q}_N = \frac{-k A (T_B - T_A)}{x} \quad (2.9)$$

- เมื่อ $\dot{q}_N$ = การถ่ายเทความร้อนแบบการนำความร้อน

การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังท่อกลมที่มีความยาว L สามารถคำนวณหาได้ในลักษณะที่คล้ายคลึงกัน

2.2.3 การถ่ายเทความร้อนด้วยการพา (Convection heat transfer)

การถ่ายเทความร้อนด้วยการพา เป็นการเคลื่อนที่ของพลังงานความร้อนจากที่หนึ่งไปอีกที่หนึ่ง โดยอาศัยตัวกลางในการเคลื่อนที่และตัวกลางก็เคลื่อนที่ไปด้วย อัตราการพาความร้อนสามารถคำนวณหาโดยใช้กฎการระบายความร้อนของนิวตัน คือ

$$\dot{q}_p = h A (T_w - T_f) \quad (2.10)$$

เมื่อ $\dot{q}_p$ = อัตราการถ่ายเทความร้อนแบบพาความร้อน

A = พื้นที่ของการพาความร้อน

h = สัมประสิทธิ์การพาความร้อน

T_w = อุณหภูมิของพื้นผิวของแข็ง

T_f = อุณหภูมิของของไหล

สัมประสิทธิ์การพาความร้อนในของเหลวจะมีค่าสูงกว่าในแก๊สมาก ซึ่งเป็นผลโดยตรงของความหนาแน่น การถ่ายเทความร้อนในขณะที่มีการเปลี่ยนสถานะ จะมีค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนสูงมากเมื่อเทียบกับไม่เปลี่ยน

ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนโดยทั่วไปจะขึ้นกับสมบัติของของไหลและเส้นทางการไหลที่กำหนดให้ นั่น สัมประสิทธิ์การพาความร้อนโดยหลักใหญ่จะขึ้นกับความเร็วของของไหล เราสามารถนำหลักการของความต้านทานความร้อนมาใช้ในการคำนวณหาการพาความร้อน คือ

$$\dot{q}_p = \frac{T_w - T_f}{\frac{1}{Ah}} \quad (2.11)$$

เมื่อ $R_c = \frac{1}{Ah}$ = ความต้านทานทางความร้อนในการพาความร้อน

2.2.4 สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (The Overall Heat Transfer Coefficient)

สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมระหว่างของไหลที่มีอุณหภูมิเป็น T_h กับของไหลเย็นที่มีอุณหภูมิเป็น T_c ที่กันโดยผนังทึบแบบราบด้วยสมการ

$$q = UA (T_h - T_c) \quad (2.12)$$

$$UA = \frac{1}{\sum_{n=1}^{n=3} R_n} \quad (2.13)$$

สำหรับในกรณีของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ประกอบด้วยท่อกลวง พื้นที่ผิวด้านในนั้นมีค่าเป็น $2\pi r_i L$ ส่วนที่พื้นที่ผิวด้านนอกจะมีค่าเป็น $2\pi r_o L$ ดังนั้น สมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมที่คิดจาก A_o ซึ่งเป็นพื้นที่ผิวด้านนอกก็จะมีค่าเป็น

$$U_o A_o = \frac{1}{\left(\frac{1}{h_{c,i} A_i} + \frac{\ln(r_o/r_i)}{2\pi k L} + \frac{1}{h_{c,o} A_o} \right)} \quad (2.14)$$

$$U_o = \frac{1}{\frac{A_o}{h_{c,i} A_i} + \frac{A_o \ln(r_o/r_i)}{2\pi k L} + \frac{1}{h_{c,o} A_o}} \quad (2.15)$$

แต่ถ้าหากคิดจาก A_i ซึ่งเป็นพื้นที่ด้านในก็มีค่าเป็น

$$U_i = \frac{1}{\frac{1}{h_{c,i}} + \frac{A_i \ln(r_o/r_i)}{2\pi k L} + \frac{A_i}{h_{c,o} A_o}} \quad (2.16)$$

2.2.5 รูปแบบการไหล สำหรับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อซ้อน

การไหลแบบลามินาร์ (lamina flow) เป็นการไหลโดยที่อนุภาคของของไหลเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง ขนานกันไปคล้ายๆกับการไหลเป็นชั้นๆ ความเร็วของของไหลในชั้นที่อยู่ใกล้ๆกันมีค่าไม่เท่ากัน แต่แตกต่างกันเล็กน้อย

การไหลแบบเทอร์บิวเลนซ์ (turbulent flow) เป็นการไหลโดยที่อนุภาคของของไหลเคลื่อนที่อย่างไม่เป็นระเบียบ ความเร็วของอนุภาคของของไหลแตกต่างกันทั้งขนาดและทิศทาง

ความเร็วไม่ใช่สิ่งเดียวที่ชี้ชัดได้ว่าเป็นการไหลแบบลามินาร์หรือเทอร์บิวเลนซ์ สิ่งที่บอกได้อย่างแน่นอนคือ เรย์โนลด์นัมเบอร์ (Reynolds number) ซึ่งจะสามารถคำนวณได้จาก

$$N_R = \frac{DV\rho}{\mu} = \frac{DV}{\nu} \quad (2.17)$$

เมื่อ	D	เป็นเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ m
	V	เป็นความเร็วเฉลี่ยในท่อ m/s
	μ	เป็นความหนืดของของไหลในท่อ Pa.s
	ρ	เป็นความหนาแน่นของของไหลในท่อ kg/m ³

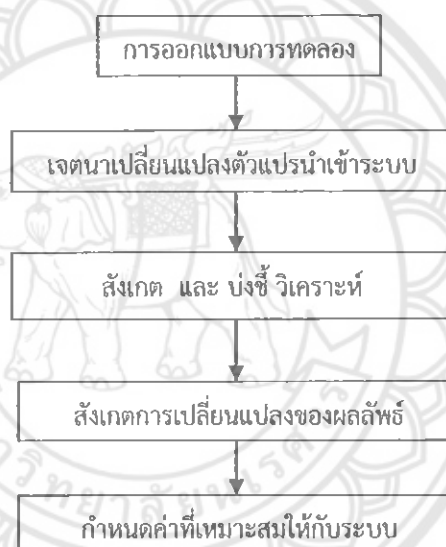
ตารางที่ 2.1 ช่วงตัวเลขเรย์โนลด์และชนิดการไหล

ตัวเลขเรย์โนลด์	ชนิดของการไหล
$N_R < 2300$	การไหลแบบราบเรียบ (Laminar flow)
$2300 < N_R < 4000$	การไหลช่วงเปลี่ยนแปลง (Transient flow)
$N_R > 4000$	การไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent flow)

ที่มา : www.vcharkarn.com/vcafe/86146

2.2.6 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment)

2.2.6.1 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment) เป็นการควบคุมการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรอิสระ ซึ่งเรียกว่าปัจจัย (Factors) ของกระบวนการ แล้วดูผลที่เกิดขึ้นกับตัวแปรตอบสนอง (Responses) ของกระบวนการนั้น ซึ่งการออกแบบการทดลองมีขึ้นเพื่อใช้ประโยชน์ในการปรับปรุงและออกแบบกระบวนการการผลิตหรือระบบที่สนใจ



รูปที่ 2.1 หลักการสำคัญในการออกแบบการทดลอง

ที่มา : จรัส (2546)

ในกระบวนการหนึ่งๆอาจจะมีปัจจัยมากมาย บางตัวเราก็ไม่อาจจะควบคุมได้ และถึงแม้จะเป็นเหตุให้เกิดผลกระทบต่อกระบวนการก็ตาม เราก็จำเป็นต้องปล่อยให้ตัวแปรเหล่านี้เป็นไปตามธรรมชาติของมัน ในการออกแบบการทดลองเราจะเรียกตัวแปรเหล่านี้ว่า Noise แต่ตัวแปรบางตัวเราไม่สามารถปล่อยให้มันเปลี่ยนไปตามธรรมชาติของมันได้ เพราะมันมีผลต่อกระบวนการมากกว่าตัวแปร Noise เราจะต้องควบคุมตัวแปรเหล่านี้

2.2.6.2 ขั้นตอนในการออกแบบการทดลอง DOE

- ก. กำหนดหัวข้อปัญหา (Problem statement) จะต้องชัดเจน เข้าใจได้ง่าย
- ข. การเลือกปัจจัย (Factor) และการกำหนดระดับของปัจจัย (Treatment) จำเป็นที่จะต้องเลือกปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการอย่างแท้จริง ซึ่งสามารถเลือกจากกรรมวิธีคัดกรองโดยเครื่องมือทางสถิติ

ค. การเลือกตัวแปรตอบสนอง (Response) จะต้องเน้นตัวแปรที่สามารถวัดได้ และต้องเป็นตัวแปรที่สื่อถึงกระบวนการที่เราต้องการศึกษานั้นได้ดีด้วย

ง. เลือกแบบทดลอง (Experiment design) เช่น วางแผนการทำการทดลอง วิธีการบันทึกผลการทดลอง และการกำหนดค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ เป็นต้น

จ. ดำเนินการทดลอง (Perform the Experiment) ให้เป็นไปตามแผนการ ทั้งวิธีการดำเนินการ การควบคุมตัวแปรในการทดลอง และเก็บผลการทดลอง

ฉ. การวิเคราะห์ข้อมูล (Data analysis) การ Run computer program เพื่อให้ได้ผลออกมา การตรวจสอบ ลักษณะและคุณภาพของข้อมูลที่ได้จากการทดลอง การพิสูจน์ความถูกต้องของ Model ที่ได้ หาค่าระดับนัยสำคัญของอิทธิพลของแต่ละปัจจัย โดยปกติ DOE จะใช้ ANOVA ในการวิเคราะห์ข้อมูล

ช. สรุปผลการทดลองและให้คำแนะนำ ผู้ดำเนินการทดลองจะเป็นผู้ที่เข้าใจที่ไปที่มาของข้อมูลดี และมองออกว่าผลที่ได้เป็นเช่นนั้นเพราะอะไร มีสาระสำคัญอะไรที่ผู้อ่านรายงานควรจะได้รับรู้ (จรัล, 2546)

2.2.7 โปรแกรมประยุกต์

2.2.7.1 โปรแกรมประยุกต์

เป็นโปรแกรมสำหรับพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ ที่กำลังเป็นที่นิยมใช้อยู่ในปัจจุบัน โปรแกรมประยุกต์ มีความสามารถสูง ใช้งานสะดวก มีรูปแบบสวยงามเพิ่มให้เลือกให้เหมาะสมกับการใช้งาน ซึ่งได้เปลี่ยนรูปแบบการเขียนโปรแกรมใหม่ โดยมีชุดคำสั่งมาสนับสนุนการทำงาน มีเครื่องมือต่างๆ ที่เรียกกันว่า คอนโทรล (Controls) ไว้สำหรับช่วยในการออกแบบโปรแกรม โดยเน้นการออกแบบหน้าจอแบบกราฟิก หรือที่เรียกว่า Graphic User Interface (GUI) ทำให้การจัดรูปแบบหน้าจอเป็นไปได้ง่าย และในการเขียนโปรแกรมนั้นจะเขียนแบบ Event - Driven Programming คือ โปรแกรมจะทำงานก็ต่อเมื่อเหตุการณ์ (Event) เกิดขึ้น ตัวอย่างของเหตุการณ์ได้แก่ ผู้ใช้เลื่อนเมาส์ ผู้ใช้กดปุ่มบนคีย์บอร์ด ผู้ใช้กดปุ่มเมาส์ เป็นต้น (ธนพล, 2547)

2.2.7.2 ขั้นตอนการออกแบบและเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์

ก. ศึกษาความต้องการของผู้ใช้ และกำหนดวัตถุประสงค์ของโปรแกรม

ข. ออกแบบหน้าจอของโปรแกรมที่เราต้องการพร้อมกำหนดคุณสมบัติ

ค. เริ่มเขียนโปรแกรม

ง. รวบรวมโปรแกรมแปลงให้อยู่ในรูปแบบที่พร้อมใช้งานและทดสอบการทำงาน

ฉ. แจกจ่ายโปรแกรมสู่มือของผู้ใช้งาน

2.2.8 ฐานข้อมูล (Database)

ฐานข้อมูล (Database) คือระบบที่รวบรวมข้อมูลไว้ในที่เดียวกัน โดยมีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน ซึ่งประกอบไปด้วยแฟ้มข้อมูล (File) ระเบียบ (Record) และเขตข้อมูล (Field) โปรแกรมคอมพิวเตอร์จะเข้าไปดึงข้อมูลที่ต้องการได้อย่างรวดเร็ว การเข้าถึงข้อมูลในฐานข้อมูลจึงจำเป็นต้องมีระบบการจัดการฐานข้อมูลมาช่วยเรียกว่า database management system (DBMS) ในหน่วยงานใหญ่ๆอาจมีฐานข้อมูลมากกว่า 1 ฐานข้อมูล ฐานข้อมูล แบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท คือ การเรียกดูข้อมูล การเพิ่มข้อมูลใหม่เข้าไปและการลบข้อมูล (ดวงแก้ว, 2543)

บทที่ 3

วิธีการดำเนินโครงการ

3.1 ศึกษาทฤษฎีและออกแบบการทดลอง

3.1.1 ศึกษาทฤษฎีการแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อซ้อนและหลักการทำงานของชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อซ้อน

3.1.2 ศึกษาโปรแกรมประยุกต์ที่นำมาใช้ในการสร้างสื่อการเรียนการสอน

3.2 ออกแบบการทดลองการใช้ชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเบื้องต้นและดำเนินการทดลอง

3.2.1 ออกแบบการทดลองการใช้ชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเบื้องต้นโดยใช้หลักการการออกแบบการทดลอง ดังนี้

3.2.1.1 กำหนดหัวข้อของปัญหา คือ การแลกเปลี่ยนความร้อนของท่อซ้อน

3.2.1.2 เลือกปัจจัยที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนที่สามารถควบคุมได้ ปัจจัยที่เลือกเบื้องต้น คือ อุณหภูมิของน้ำร้อนที่ 45°C , 55°C , 65°C และ 75°C อัตราการไหลของน้ำร้อนที่ 2, 4, 6 และ 10 GPM อัตราการไหลของน้ำเย็นที่ 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.2, 1.4, 1.6, 1.8 และ 2.0 ลิต การไหลของน้ำเย็นคือ แบบไหลสวนทางกันและแบบไหลตามกัน

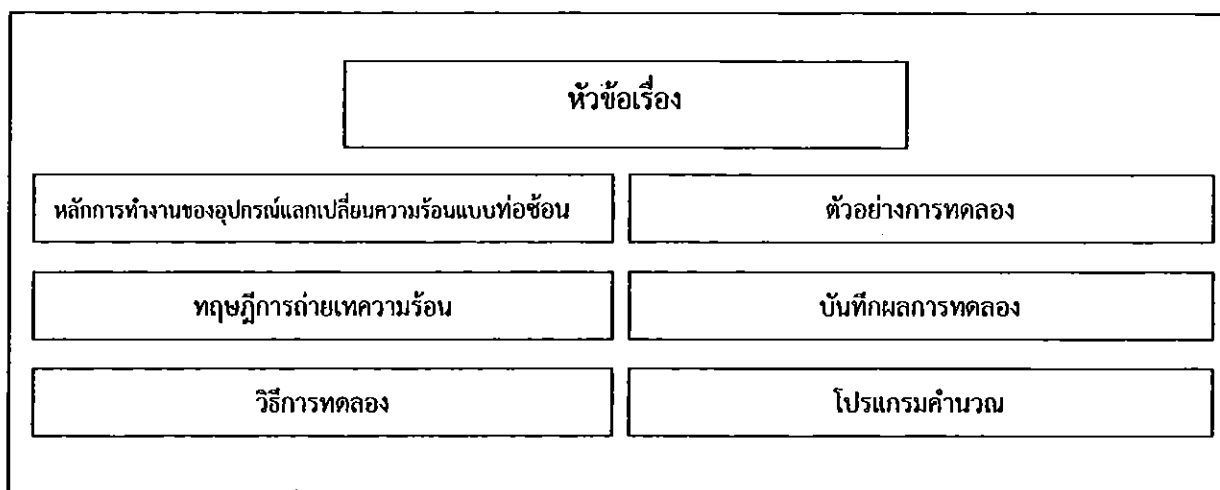
3.2.1.3 เลือกตัวแปรตอบสนอง คือ อุณหภูมิที่จุดเซนเซอร์ของน้ำร้อน และน้ำเย็น ได้แก่ Th1 Th2 Th3 และ Tc1 Tc2 Tc3

3.2.2 ดำเนินการทดลองโดยใช้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อซ้อน และบันทึกผลการทดลอง

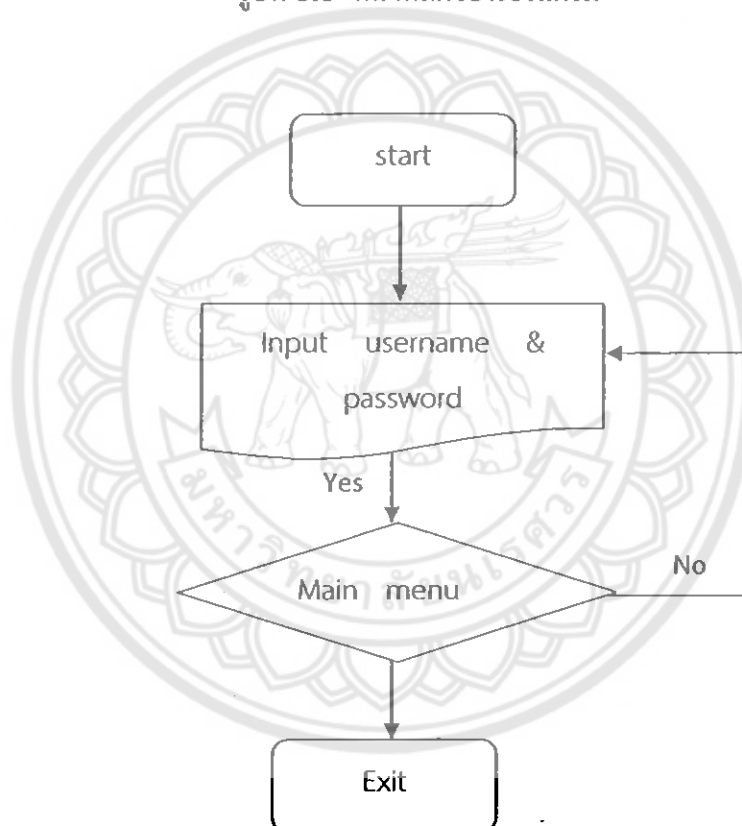
3.2.3 วิเคราะห์ผลการทดลองโดยการใช้โปรแกรมประยุกต์ทางสถิติ และเปรียบเทียบผลการทดลองกับทางทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน เพื่อใช้ในการออกแบบการทดลอง

3.3 ออกแบบและจัดทำสื่อการเรียนการสอนสำหรับชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อซ้อน

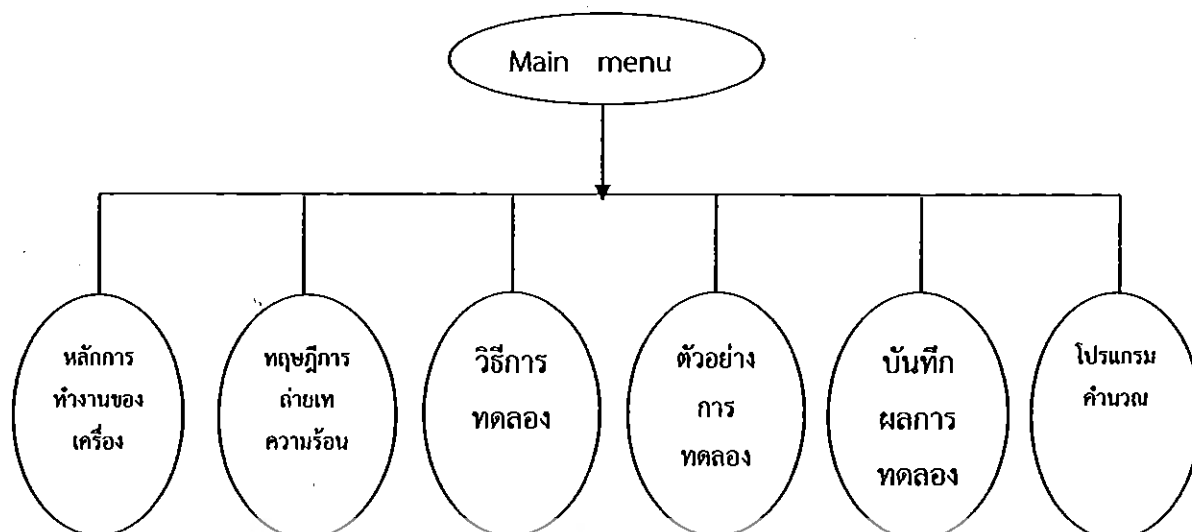
โปรแกรมประยุกต์ในปัจจุบันมีหลากหลายรูปแบบตามลักษณะการใช้งาน ในการสร้างสื่อการเรียนนี้ ผู้จัดทำได้นำ โปรแกรม Visual basic ซึ่งเป็นโปรแกรมประยุกต์ที่ใช้สร้างสื่อการเรียนการสอนแบบการนำเสนอผลงาน



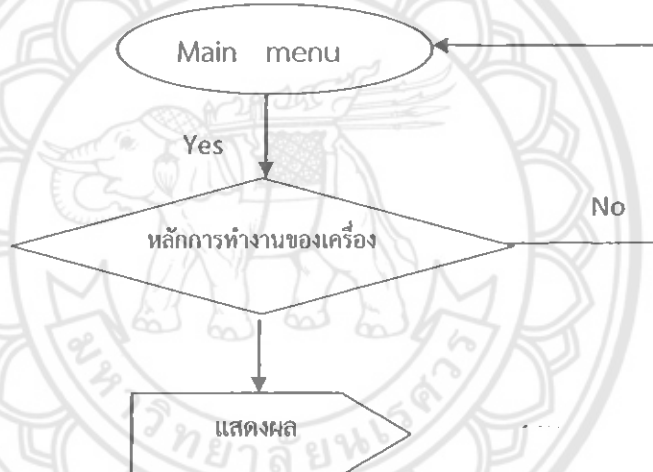
รูปที่ 3.1 หน้าหลักของโปรแกรม



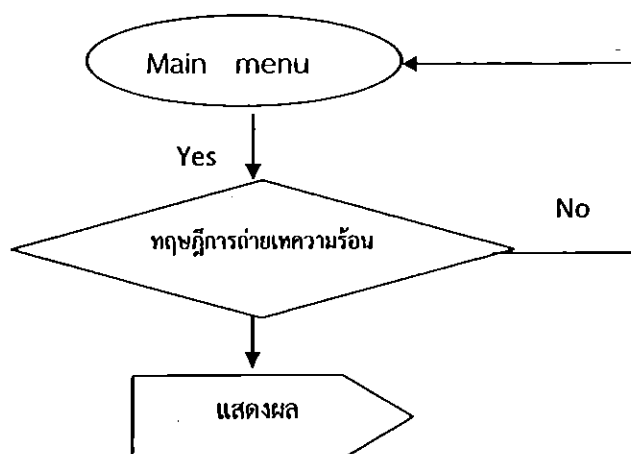
รูปที่ 3.2 โครงสร้างการทำงานของโปรแกรม



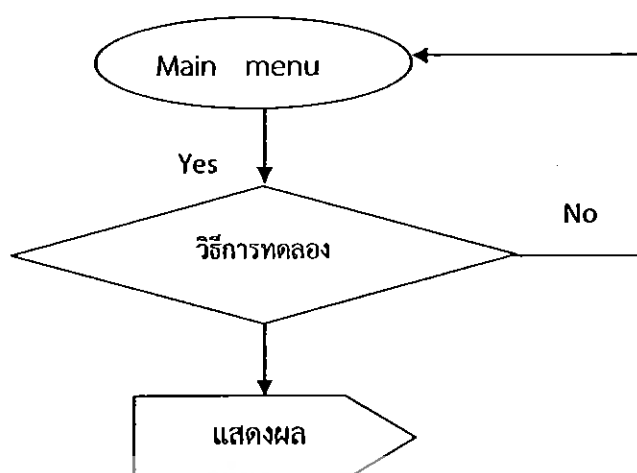
รูปที่ 3.3 โครงสร้างการทำงานของหน้าหลัก



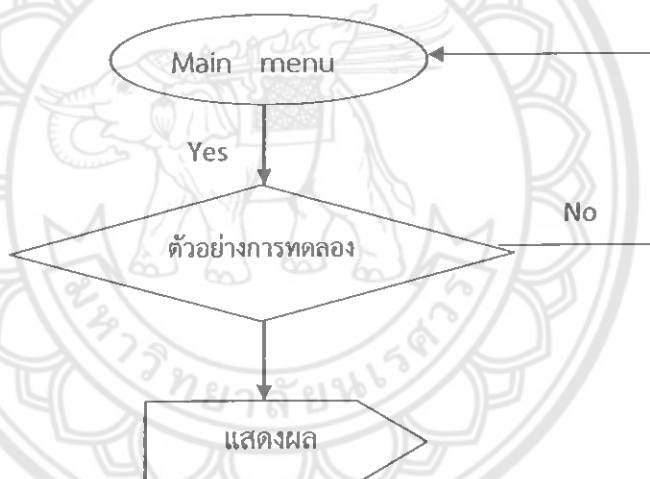
รูปที่ 3.4 โครงสร้างหน้าหลักการทำงานของเครื่อง



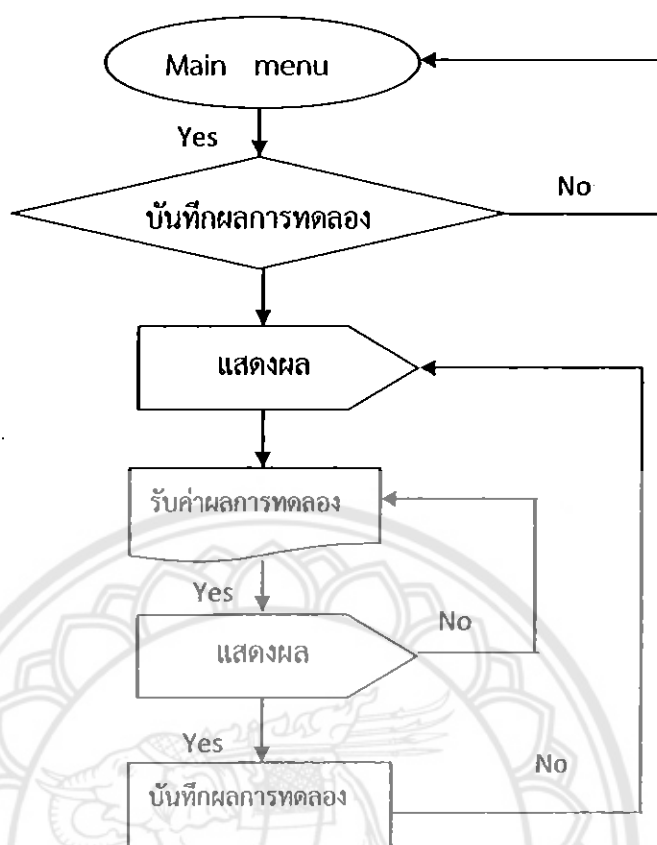
รูปที่ 3.5 โครงสร้างหน้าทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน



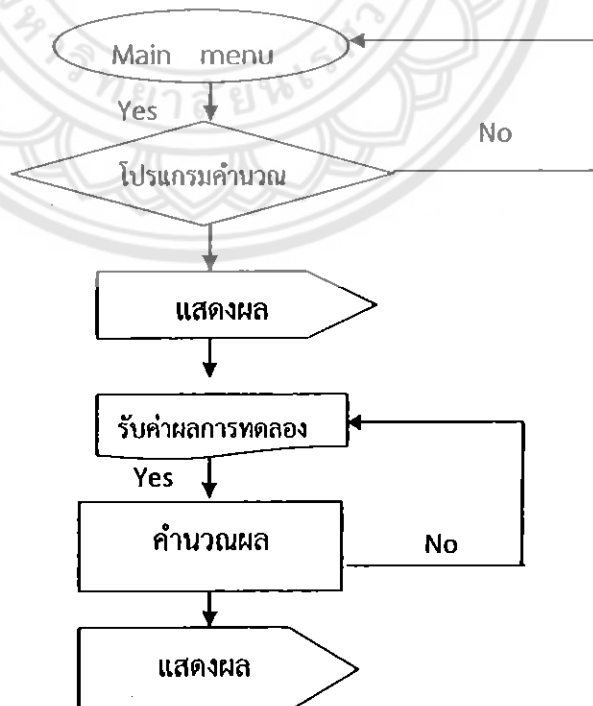
รูปที่ 3.6 โครงสร้างหน้าวิธีการทดลอง



รูปที่ 3.7 โครงสร้างหน้าตัวอย่างการทดลอง



รูปที่ 3.8 โครงสร้างหน้าบันทึกผลการทดลอง



รูปที่ 3.9 โครงสร้างหน้าโปรแกรมคำนวณ

3.4 สรุปผลการดำเนินการวิจัย

นำผลการวิจัยทั้งการทำการทดลองและการสร้างสื่อการเรียนการสอนของชุดอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความรื้อนแบบท่อซ่อนนำมวิเคราะห์ถึงปัจจัยต่างๆ เพื่อเป็นแนวทางในการนำไปใช้ในอนาคต



บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์

4.1 ผลการทดลอง

Data sheet for Concentric tube heat exchanger

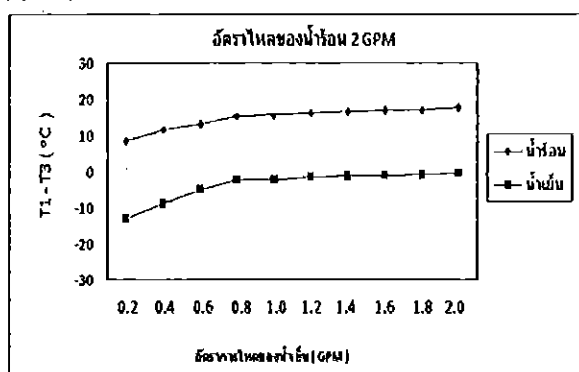
Date : 22 / 11 / 2010
 Test by : ศุภาพร สุวราพัฒน์ และสายธาร อดกลิ่น
 Temperature : 45 องศาเซลเซียส
 Hot water flow rate : 2 GPM
 water direction : ไหลตามกัน

ตารางที่ 4.1 แสดงตัวอย่างตารางบันทึกผลการทดลองของชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อซ้อน ในกรณีไหลตามกัน

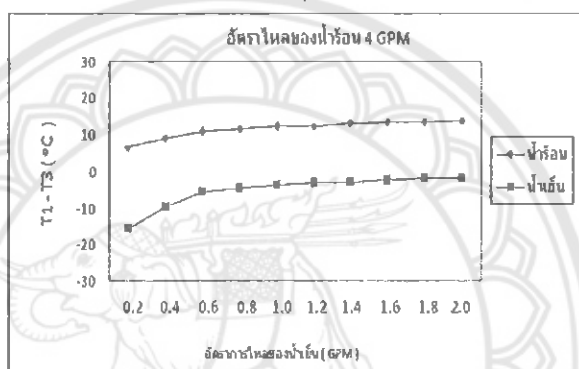
No.	Cold water flow rate (GPM)	จุดวัดอุณหภูมิน้ำร้อน (°C)			จุดวัดอุณหภูมิน้ำเย็น (°C)		
		Th1 (°C)	Th2 (°C)	Th3 (°C)	Tc1 (°C)	Tc2 (°C)	Tc3 (°C)
1	0.2	46.3	44	42.7	31.8	34.3	35.2
2	0.4	45.4	42.8	42.0	32.6	33.2	33.4
3	0.6	45.7	43.0	41.0	33.0	33.0	33.2
4	0.8	45.8	42.3	40.6	33.1	33.1	32.6
5	1.0	45.9	42.1	40.6	33.2	32.9	32.9
6	1.2	46.0	41.9	40.4	33.2	32.9	32.7
7	1.4	46.0	42.1	40.2	33.3	32.9	32.6
8	1.6	46.1	42.0	40.2	33.4	32.9	32.7
9	1.8	46.1	41.9	40.2	33.5	32.8	32.6
10	2.0	46.1	41.0	39.5	33.6	32.8	32.4

จากผลการทดลองที่ศึกษาการไหลแบบไหลตามกัน พบว่า การแลกเปลี่ยนความร้อนเพิ่มขึ้นตามช่วงความต่างของอุณหภูมิระหว่างน้ำร้อน – น้ำเย็น ที่เพิ่มขึ้น ที่ทุกอัตราการไหลของน้ำร้อน ที่อัตราการไหลของน้ำเย็นต่ำกว่า 0.8 GPM อุณหภูมิของน้ำเย็นขาออกเพิ่มขึ้นทุกอัตราการไหลของน้ำร้อน และทุกช่วงอุณหภูมิ ที่อัตราการไหลของน้ำเย็นสูงขึ้น (1.0 - 2.0 GPM) ที่อุณหภูมิของน้ำร้อนต่ำ (45°C และ 55°C) ไม่พบความเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของน้ำเย็นขาออก แต่ที่อุณหภูมิสูงขึ้น (65°C และ 75 °C) พบว่า อุณหภูมิของน้ำเย็นขาออกมีแนวโน้มลดลงเมื่ออัตราการไหลของน้ำเย็นสูงขึ้นเช่นกัน

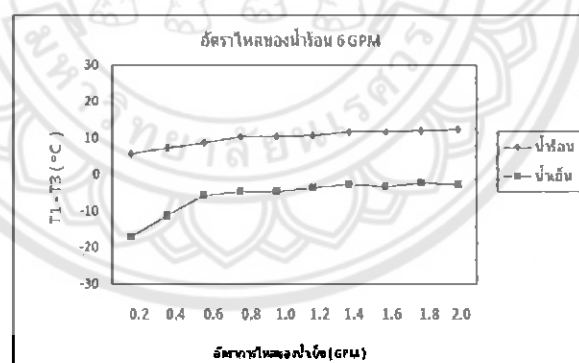
เมื่อพิจารณาผลอัตราการไหลของน้ำร้อนที่อุณหภูมิเดียวกัน พบว่า ที่อัตราการไหลของน้ำร้อนเพิ่มขึ้น ในรูปที่ 4.1 ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบอุณหภูมิน้ำร้อน-น้ำเย็นที่อุณหภูมิของน้ำร้อน 65 °C ที่อัตราการไหลของน้ำร้อนต่างกัน แสดงในตาราง ก.1 – ก.40 ในภาคผนวก



ก)



ข)



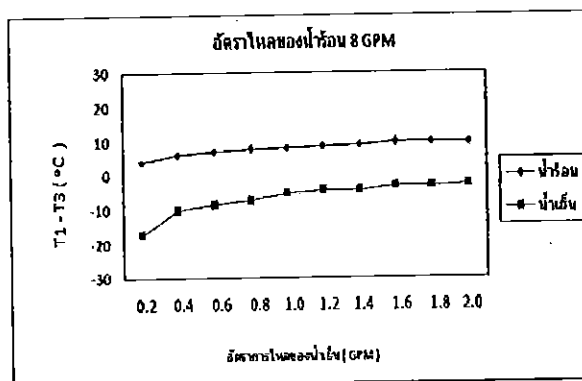
ค)

รูปที่ 4.1 กราฟแสดงอัตราการไหลระหว่างน้ำร้อนขาเข้า - ขาออก และอัตราการไหลระหว่างน้ำเย็นขาเข้า - ขาออกที่อุณหภูมิน้ำร้อน 65 °C ที่ทุกอัตราการไหลของน้ำร้อน แบบไหลตามกัน

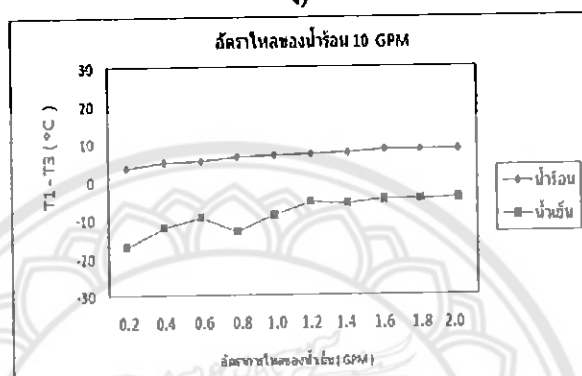
ก) อัตราการไหลน้ำร้อนที่ 2 GPM

ข) อัตราการไหลน้ำร้อนที่ 4 GPM

ค) อัตราการไหลน้ำร้อนที่ 6 GPM



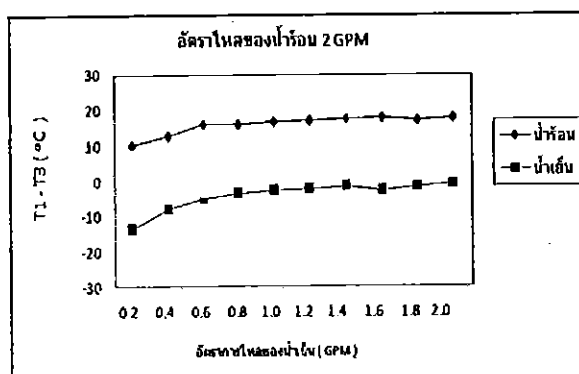
ง)



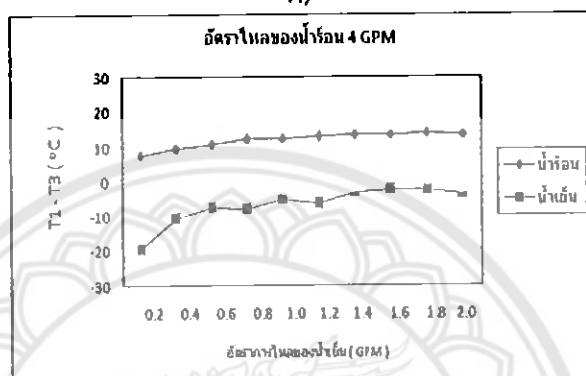
จ)

รูปที่ 4.1(ต่อ) กราฟแสดงอัตราการไหลระหว่างน้ำร้อนขาเข้า - ขาออก และ อัตราการไหลระหว่างน้ำเย็นขาเข้า - ออกที่อุณหภูมิน้ำร้อน 65°C ที่ทุกอัตราการไหลของน้ำร้อนทิศทาง การไหลแบบไหลตามกัน
 ง) อัตราการไหลน้ำร้อนที่ 8 GPM
 จ) อัตราการไหลน้ำร้อนที่ 10 GPM

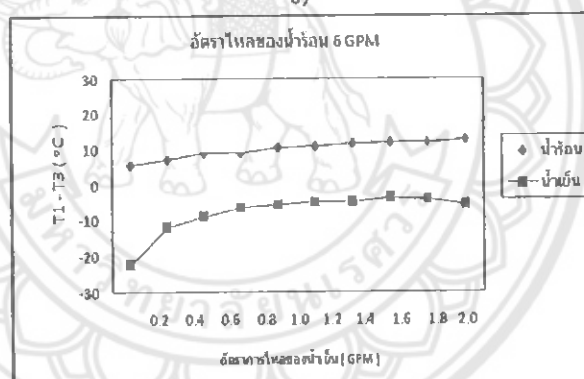
จากการทดลองที่ทิศทางการไหลแบบไหลสวนกัน พบว่าการแลกเปลี่ยนความร้อนมีความแตกต่างระหว่าง $T_{\text{น้ำร้อน}} - T_{\text{น้ำเย็น}}$ เพิ่มขึ้น ตามช่วงอุณหภูมิของน้ำร้อน - น้ำเย็น มากขึ้น ทุกอัตราการไหลของน้ำร้อน ที่อุณหภูมิของน้ำร้อนต่ำ (45°C และ 55°C) ไม่พบการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ น้ำเย็นขาออก แต่ที่อุณหภูมิสูง (65°C และ 75°C) พบว่าการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ น้ำเย็นขาออกมีแนวโน้มลดลงเมื่ออัตราการไหลของน้ำเย็นเพิ่มขึ้น และ ที่ช่วงอัตราการไหลของน้ำเย็นต่ำ (0.2 - 0.8 GPM) การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของน้ำเย็นขาออกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ที่อัตราการไหลของน้ำเย็นสูง (1.0 - 2.0 GPM) ไม่พบการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของน้ำเย็นขาออก



ก)



ข)



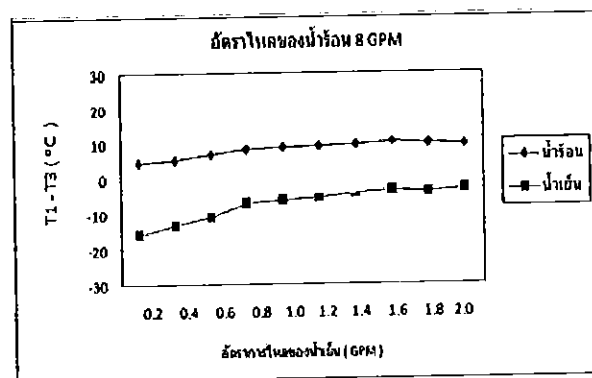
ค)

รูปที่ 4.2 กราฟแสดงอัตราการไหลระหว่างน้ำร้อนขาเข้า - ขาออก และอัตราการไหล ระหว่างน้ำเย็นขาเข้า - ออกที่อุณหภูมิน้ำร้อน 65 °C ที่ทุกอัตราการไหลของน้ำร้อนทิศทางการไหลแบบไหลสวนกัน

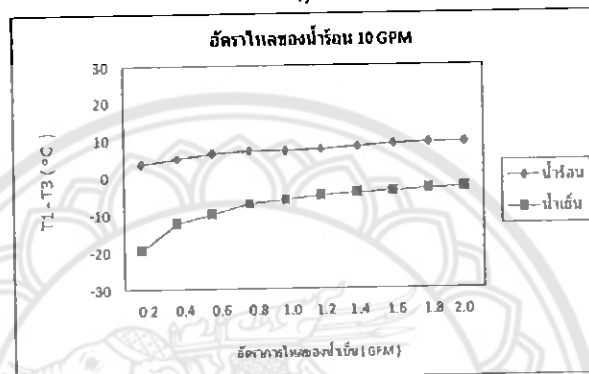
ก) อัตราการไหลน้ำร้อนที่ 2 GPM

ข) อัตราการไหลน้ำร้อนที่ 4 GPM

ค) อัตราการไหลน้ำร้อนที่ 6 GPM



ง)



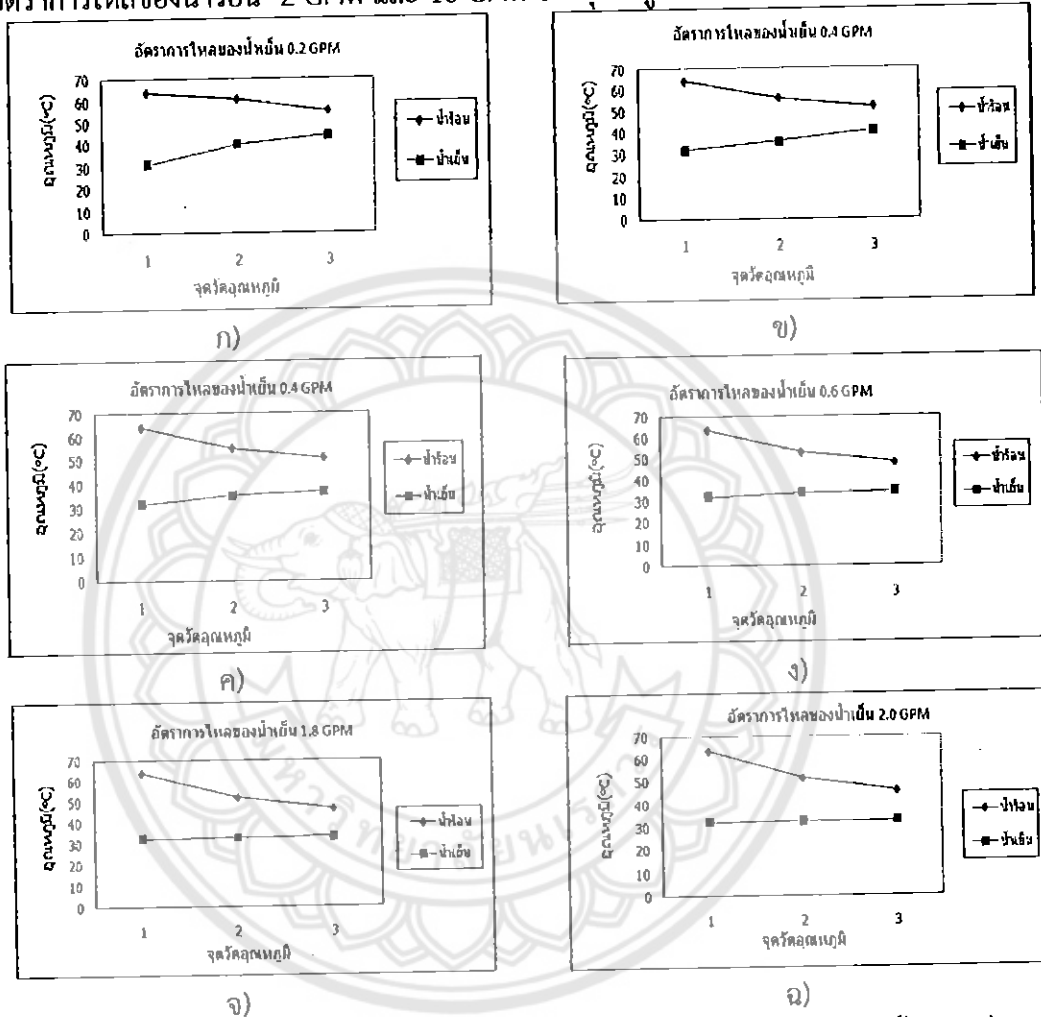
จ)

รูปที่ 4.2(ต่อ) กราฟแสดงอัตราการไหลระหว่างน้ำร้อนขาเข้า - ขาออก และ อัตราการไหลระหว่างน้ำเย็นขาเข้า - ขาออกที่อุณหภูมิน้ำร้อน 65°C ที่ทุกอัตราการไหลของน้ำร้อน ทิศทางการไหลแบบไหลสวนกัน
 ง) อัตราการไหลน้ำร้อนที่ 8 GPM
 จ) อัตราการไหลน้ำร้อนที่ 10 GPM

จากการทดลองพบว่า ทิศทางการไหลแบบสวนทางกัน แลกเปลี่ยนความร้อนได้ดีกว่า ทิศทางการไหลแบบตามกัน การแลกเปลี่ยนความร้อนจะเกิดขึ้นอย่างชัดเจนที่อุณหภูมิน้ำร้อนสูง (65°C และ 75°C) แต่ที่อุณหภูมิต่ำ (45°C และ 55°C) จะไม่พบการเปลี่ยนแปลง แต่ที่ทิศทางการไหลแบบตามกันนั้น การแลกเปลี่ยนความร้อนจะเพิ่มขึ้นตามช่วงอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น การแลกเปลี่ยนความร้อนที่เกิดขึ้น ในทิศทางการไหลแบบไหลตามกันนั้น พบว่า การแลกเปลี่ยนความร้อนลดลงเมื่ออัตราการไหลของน้ำเย็นเพิ่มขึ้น ทุกอัตราการไหลของน้ำร้อน ของทุกช่วงอุณหภูมิ แต่ที่อัตราการไหลของน้ำเย็นต่ำ (0.2 - 0.4 GPM) อุณหภูมิของน้ำเย็นเพิ่มขึ้น อัตราการไหลของน้ำร้อนสูง (6 - 10 GPM) อัตราการไหลของน้ำเย็นต่ำ (0.2 - 0.4 GPM) พบการเปลี่ยนแปลงของน้ำร้อน - น้ำเย็น อย่างชัดเจน ดังแสดงในรูปที่ 4.3 และ รูปที่ 4.4 ซึ่งเป็นการแสดงการเปรียบเทียบการไหลของอุณหภูมิระหว่างน้ำร้อน - น้ำเย็น ที่จุดวัดอุณหภูมิต่างๆ ทุกอัตราการไหลของน้ำเย็น ที่อัตราการไหลของน้ำร้อน 2 GPM และ 10 GPM ของอุณหภูมิน้ำร้อน 65°C

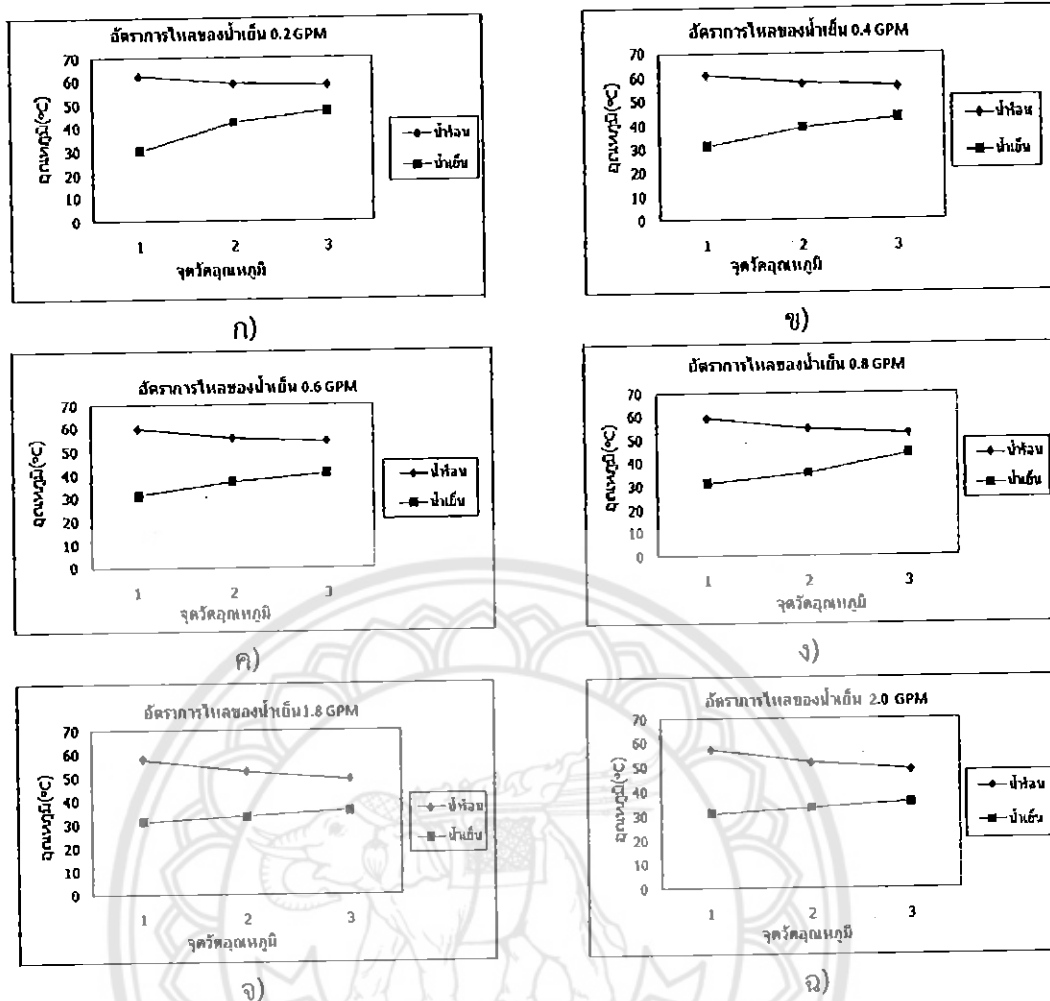
ที่ทิศทางการไหลแบบไหลสวนทางกันนั้น การแลกเปลี่ยนความร้อนที่เกิดขึ้น อุณหภูมิของน้ำเย็นขาออกจะสูงที่สุด ซึ่งไม่สอดคล้องกับผลที่ควรได้ตามทฤษฎี เพราะจุดวัดอุณหภูมิของน้ำเย็นจุดที่ 1 นั้น วัดตรงอัตราการไหลของน้ำเย็น ซึ่งยังไม่มีแลกเปลี่ยนความร้อนเกิดขึ้น เมื่ออ่านค่ากลับกัน

ก็จะตรงกับทางทฤษฎี จากการทดลองพบว่า การแลกเปลี่ยนอุณหภูมิน้ำร้อนมีแนวโน้มลดลงเมื่อ อัตราการไหลของน้ำเย็นเพิ่มขึ้นทุกอัตราการไหลของน้ำร้อน ทุกช่วงอุณหภูมิน้ำร้อน ที่อัตราการไหลของน้ำร้อนต่ำ (2 – 4 GPM) อุณหภูมิของน้ำเย็นเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน แต่ที่อัตราการไหลของน้ำเย็นสูง (0.6 – 2.0 GPM) ไม่พบการเปลี่ยนแปลง ดังแสดงรูปที่ 4.5 และ 4.6 เป็นการแสดงการเปรียบเทียบอัตราการไหลของน้ำร้อน – น้ำเย็น ที่จุดวัดอุณหภูมิต่างๆ ทุกอัตราการไหลของน้ำเย็น ที่อัตราการไหลของน้ำร้อน 2 GPM และ 10 GPM ของอุณหภูมิน้ำร้อน 65 °C



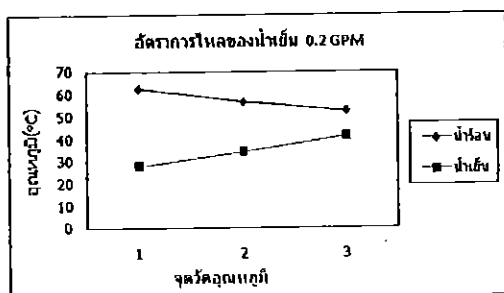
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงอัตราการไหลของน้ำร้อน และอัตราการไหลน้ำเย็นที่อุณหภูมิน้ำร้อน ที่จุดวัดอุณหภูมิตำแหน่งต่างๆ ของอุณหภูมิน้ำร้อน 65 °C เปรียบเทียบอัตราการไหลของน้ำเย็น

ก) อัตราการไหลของน้ำเย็นที่ 0.2 GPM
 ข) อัตราการไหลของน้ำเย็นที่ 0.4 GPM
 ค) อัตราการไหลของน้ำเย็นที่ 0.6 GPM
 ง) อัตราการไหลของน้ำเย็นที่ 0.8 GPM
 จ) อัตราการไหลของน้ำเย็นที่ 1.8 GPM
 ฉ) อัตราการไหลของน้ำเย็นที่ 2.0 GPM
 ที่อัตราการไหลของน้ำร้อน 2 GPM ทิศทางการไหลแบบไหลตามกัน

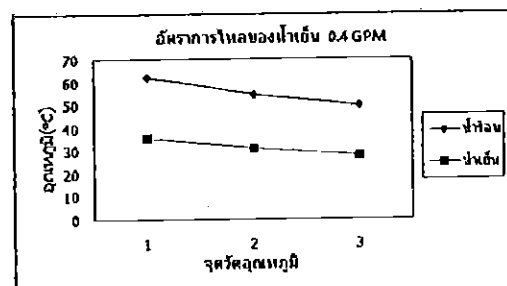


รูปที่ 4.4 กราฟแสดงอัตราการไหลของน้ำร้อน และ อัตราการไหลน้ำเย็นที่อุณหภูมิน้ำร้อน ที่จุดวัดอุณหภูมิตำแหน่งต่างๆ ของอุณหภูมิน้ำร้อน 65°C เปรียบเทียบอัตราการไหลของน้ำเย็น

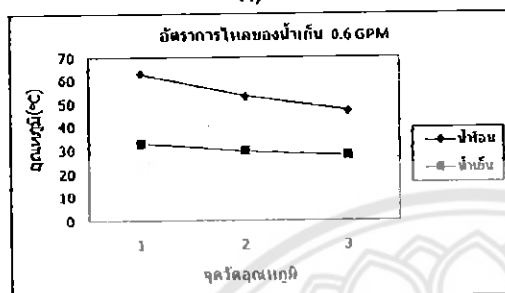
ก) อัตราการไหลของน้ำเย็นที่ 0.2 GPM
 ข) อัตราการไหลของน้ำเย็นที่ 0.4 GPM
 ค) อัตราการไหลของน้ำเย็นที่ 0.6 GPM
 ง) อัตราการไหลของน้ำเย็นที่ 0.8 GPM
 จ) อัตราการไหลของน้ำเย็นที่ 1.8 GPM
 ฉ) อัตราการไหลของน้ำเย็นที่ 2.0 GPM
 ที่อัตราการไหลของน้ำร้อน 10 GPM ทิศทางการไหลแบบไหลตามกัน



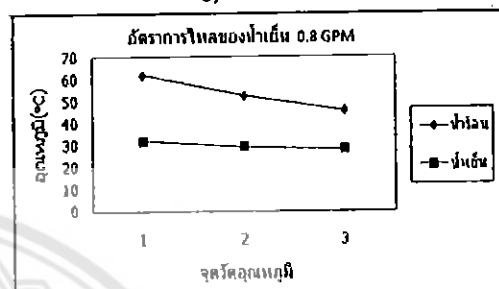
ก)



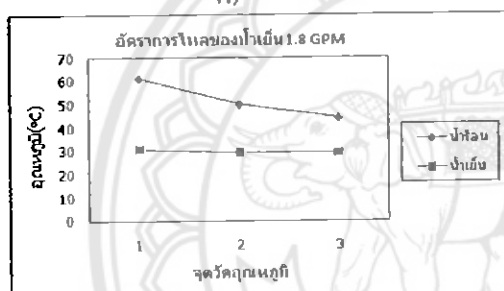
ข)



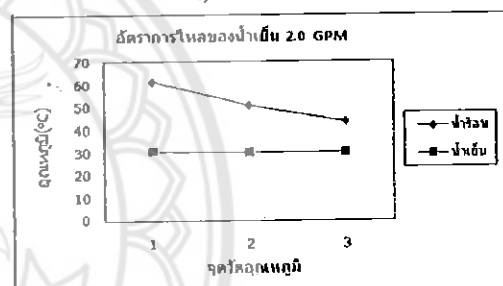
ค)



ง)



จ)



ฉ)

รูปที่ 4.5 กราฟแสดงอัตราการไหลของน้ำร้อน และ อัตราการไหลน้ำเย็นที่อุณหภูมิน้ำร้อนที่จุดวัดอุณหภูมิตำแหน่งต่างๆ ของอุณหภูมิน้ำร้อน 65 °C เปรียบเทียบอัตราการไหลของน้ำเย็น

ก) อัตราการไหลของน้ำเย็นที่ 0.2 GPM

ข) อัตราการไหลของน้ำเย็นที่ 0.4 GPM

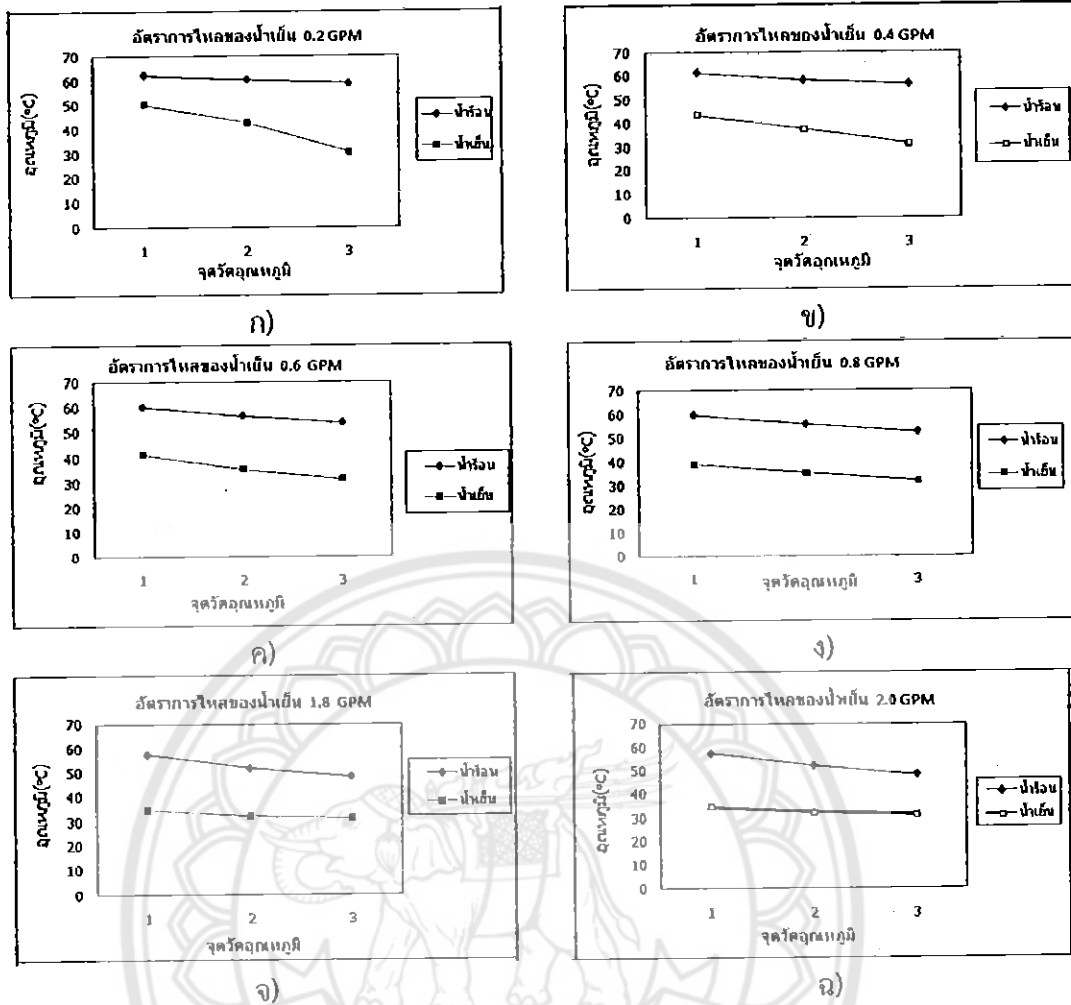
ค) อัตราการไหลของน้ำเย็นที่ 0.6 GPM

ง) อัตราการไหลของน้ำเย็นที่ 0.8 GPM

จ) อัตราการไหลของน้ำเย็นที่ 1.8 GPM

ฉ) อัตราการไหลของน้ำเย็นที่ 2.0 GPM

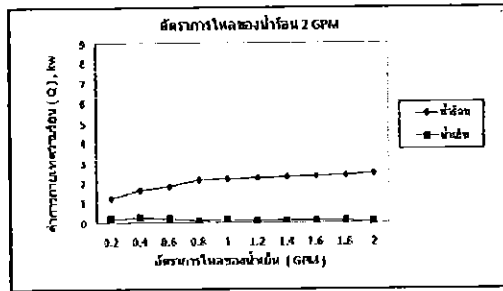
ที่อัตราการไหลของน้ำร้อน 2 GPM ทิศทางการไหลแบบไหลสวนทางกัน



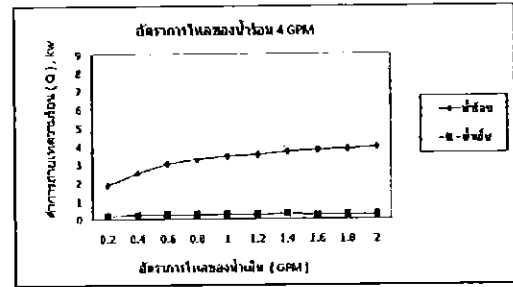
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงอัตราการไหลของน้ำร้อน และ อัตราการไหลน้ำเย็นที่อุณหภูมิน้ำร้อน ที่จุดวัดอุณหภูมิตำแหน่งต่างๆ ของอุณหภูมิน้ำร้อน 65 °C เปรียบเทียบอัตราการไหลของน้ำดังนี้

- ก) อัตราการไหลของน้ำเย็นที่ 0.2 GPM
- ข) อัตราการไหลของน้ำเย็นที่ 0.4 GPM
- ค) อัตราการไหลของน้ำเย็นที่ 0.6 GPM
- ง) อัตราการไหลของน้ำเย็นที่ 0.8 GPM
- จ) อัตราการไหลของน้ำเย็นที่ 1.8 GPM
- ฉ) อัตราการไหลของน้ำเย็นที่ 2.0 GPM

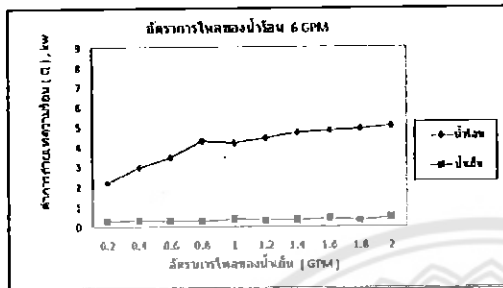
ที่อัตราการไหลของน้ำร้อน 10 GPM ทิศทางการไหลแบบไหลสวนทางกัน



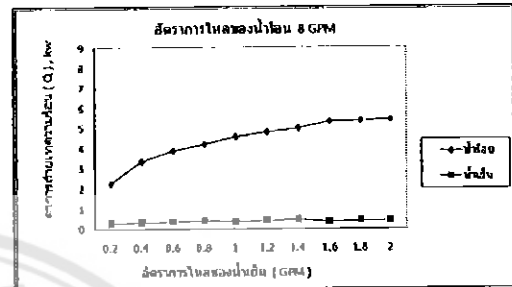
ก)



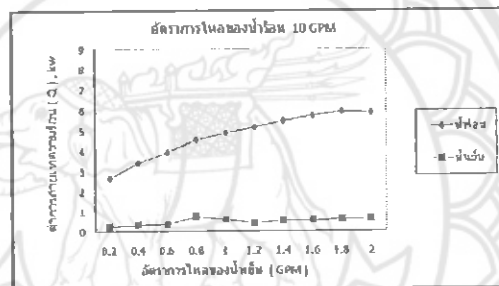
ข)



ค)



ง)



จ)

รูปที่ 4.7 กราฟแสดงค่าการถ่ายเทความร้อน (kw) ของน้ำร้อน - น้ำเย็น อัตราการไหลของน้ำร้อน

ก) อัตราการไหลน้ำร้อนที่ 2 GPM

ข) อัตราการไหลน้ำร้อนที่ 4 GPM

ค) อัตราการไหลน้ำร้อนที่ 6 GPM

ง) อัตราการไหลน้ำร้อนที่ 8 GPM

จ) อัตราการไหลน้ำร้อนที่ 10 GPM

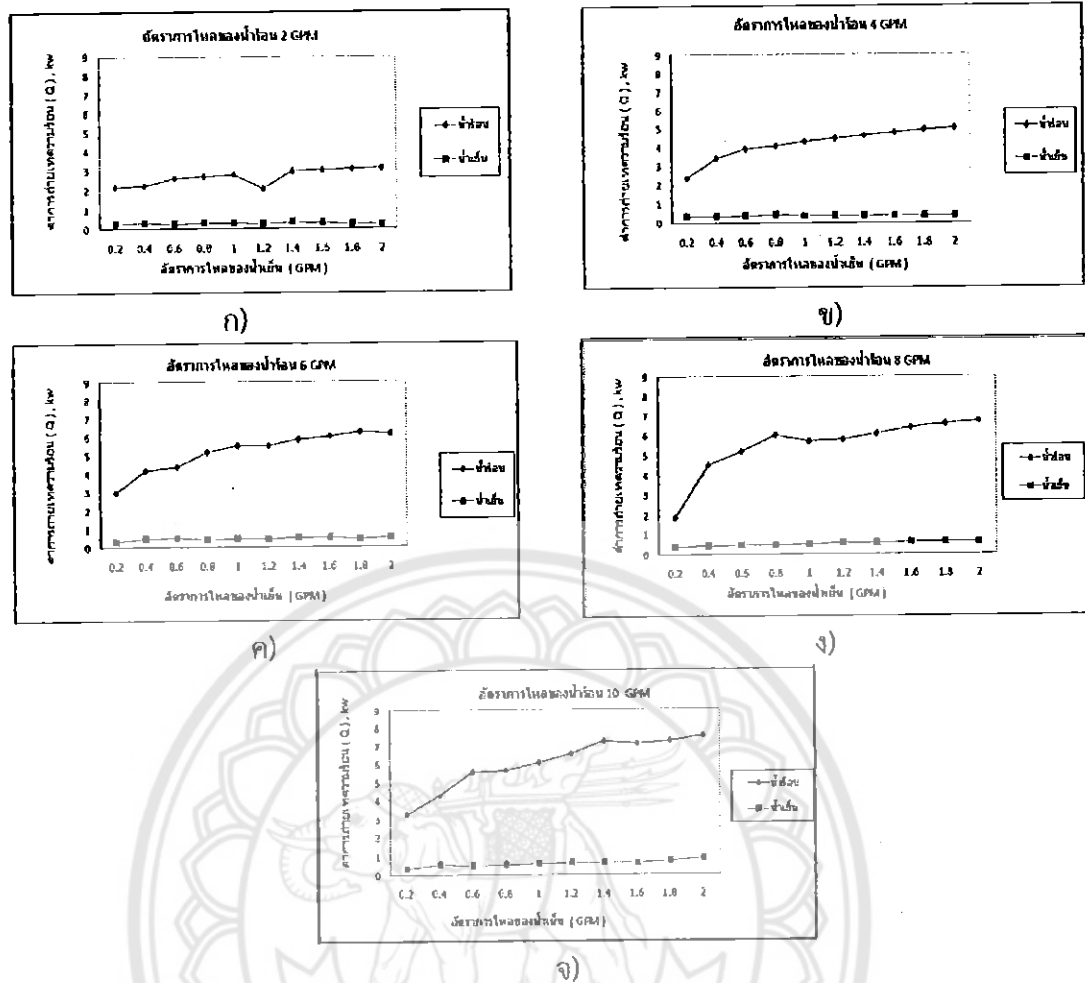
อุณหภูมิน้ำร้อน 65 °C ทุกอัตราการไหลของน้ำร้อน - น้ำเย็น ทิศทางการไหลตามกัน

1551860x

น/ส.

๗/๗๓๖๗

2553



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงค่าการถ่ายเทความร้อน (Q) ของน้ำร้อน - น้ำเย็นอัตราการไหลของน้ำร้อน

ก) อัตราการไหลของน้ำร้อนที่ 2 GPM

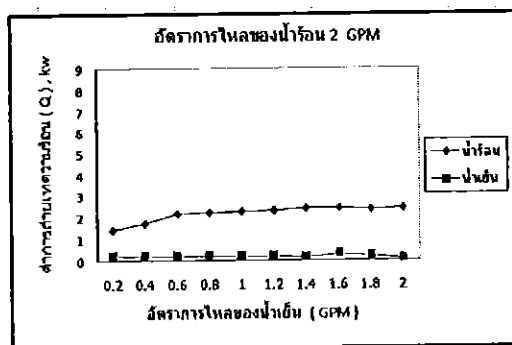
ข) อัตราการไหลของน้ำร้อนที่ 4 GPM

ค) อัตราการไหลของน้ำร้อนที่ 6 GPM

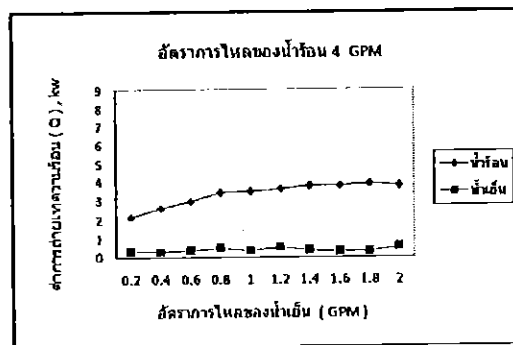
ง) อัตราการไหลของน้ำร้อนที่ 8 GPM

จ) อัตราการไหลของน้ำร้อนที่ 10 GPM

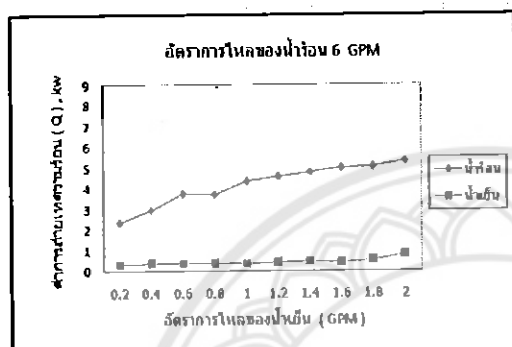
อุณหภูมิของน้ำร้อน 75°C ทุกอัตราการไหลของน้ำร้อน - น้ำเย็น ทิศทางการไหลตามทางกัน



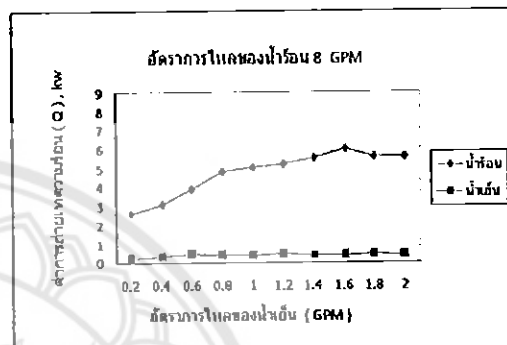
ก)



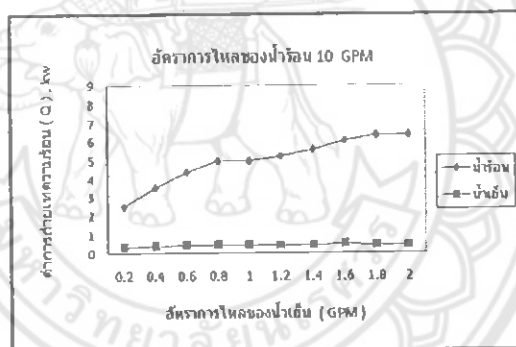
ข)



ค)



ง)



จ)

รูปที่ 4.9 กราฟแสดงค่าการถ่ายเทความร้อนของน้ำร้อน - น้ำเย็น อัตราการไหลของน้ำร้อน

ก) อัตราการไหลน้ำร้อนที่ 2 GPM

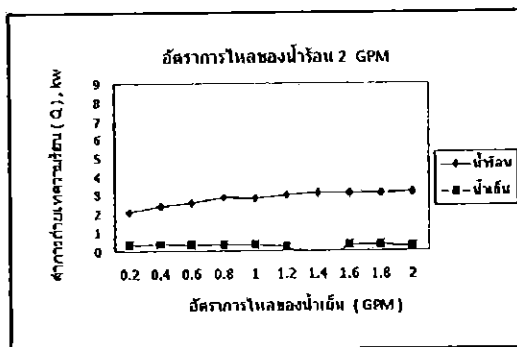
ข) อัตราการไหลน้ำร้อนที่ 4 GPM

ค) อัตราการไหลน้ำร้อนที่ 6 GPM

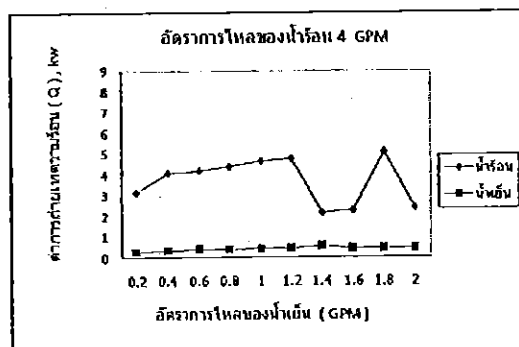
ง) อัตราการไหลน้ำร้อนที่ 8 GPM

จ) อัตราการไหลน้ำร้อนที่ 10 GPM

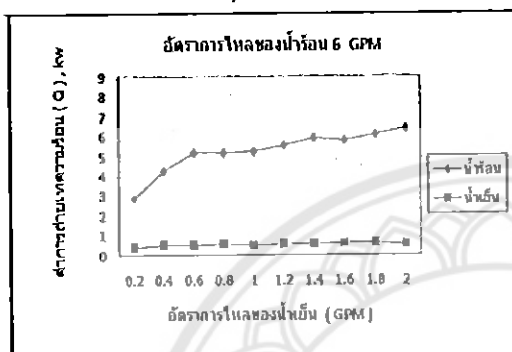
อุณหภูมิน้ำร้อน 65 °C ทุกอัตราการไหลของน้ำร้อน - น้ำเย็น ทิศทางการไหลสวนทางกัน



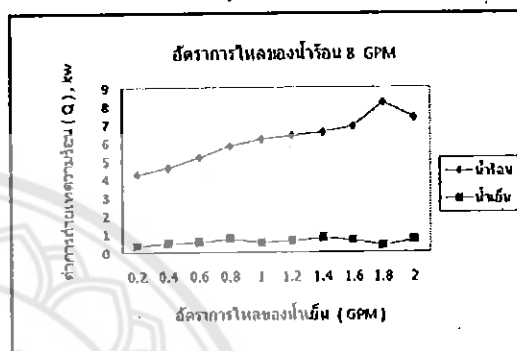
ก)



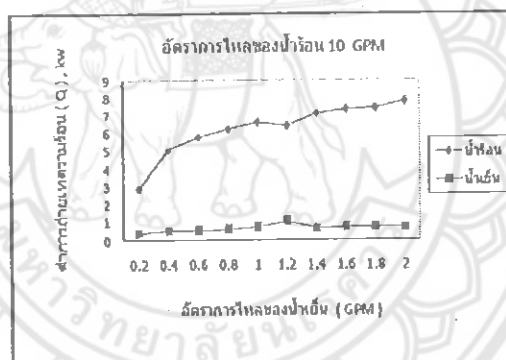
ข)



ค)



ง)



จ)

รูปที่ 4.10 กราฟแสดงค่าการถ่ายเทความร้อนของน้ำร้อน - น้ำเย็นอัตราการไหลของน้ำร้อน

ก) อัตราการไหลน้ำร้อนที่ 2 GPM

ข) อัตราการไหลน้ำร้อนที่ 4 GPM

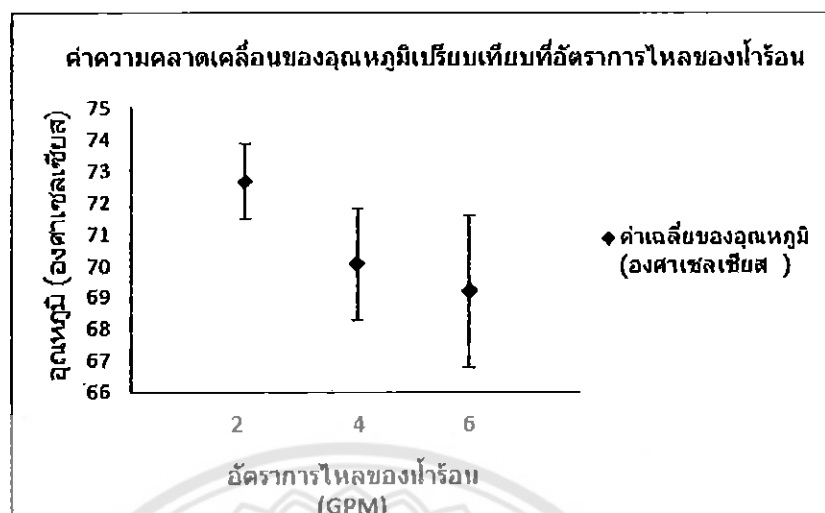
ค) อัตราการไหลน้ำร้อนที่ 6 GPM

ง) อัตราการไหลน้ำร้อนที่ 8 GPM

จ) อัตราการไหลน้ำร้อนที่ 10 GPM

อุณหภูมิน้ำร้อน 75 °C ทุกอัตราการไหลของน้ำร้อน - น้ำเย็น การไหลสวนทางกัน

4.2 ความคลาดเคลื่อนของข้อมูลจากการทดลอง



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงค่าความผิดพลาดของข้อมูลที่ ตำแหน่งจุดวัดอุณหภูมิจุดที่ 1 ที่อุณหภูมิน้ำร้อน 75 °C ที่อัตราการไหลของน้ำร้อน 2, 4 และ 6 GPM ทิศทางการไหลสวนทางกัน

จากผลการวิเคราะห์ค่าความผิดพลาดของข้อมูล ด้วยการเปรียบเทียบค่า Standard Deviation พบว่าที่อัตราการไหลของน้ำร้อนต่ำมีความน่าเชื่อถือของข้อมูลมากกว่าที่อัตราการไหลของน้ำร้อนสูง ทุกจุดวัดอุณหภูมิของน้ำร้อน – น้ำเย็น ดังจะเห็นได้ค่า Standard Deviation จากอัตราการไหลของน้ำร้อน 2 GPM ที่ตำแหน่งจุดวัดอุณหภูมิน้ำร้อนที่ 1 มีค่าเท่ากับ 1.196 อัตราการไหลของน้ำร้อน 4 GPM มีค่าเท่ากับ 1.753 และ ที่อัตราการไหลของน้ำร้อน 6 GPM ที่ตำแหน่งจุดวัดอุณหภูมิน้ำร้อนที่ 1 มีค่าเท่ากับ 2.403 ค่า Standard Deviation แสดงในตาราง ง.1 – ง.12 ในภาคผนวก

อัตราการไหลของน้ำร้อน (GPM)	$\bar{X}$	SD
2	72.643	1.196
4	70.046	1.753
6	69.200	2.403

รูปที่ 4.12 ตารางแสดงค่า Standard Deviation ที่อุณหภูมิน้ำร้อน 75 °C ทิศทางการไหลตามกัน ตำแหน่งจุดวัดอุณหภูมิน้ำร้อนที่ 1

4.3 การออกแบบสื่อการเรียนรู้สำหรับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อซ้อน

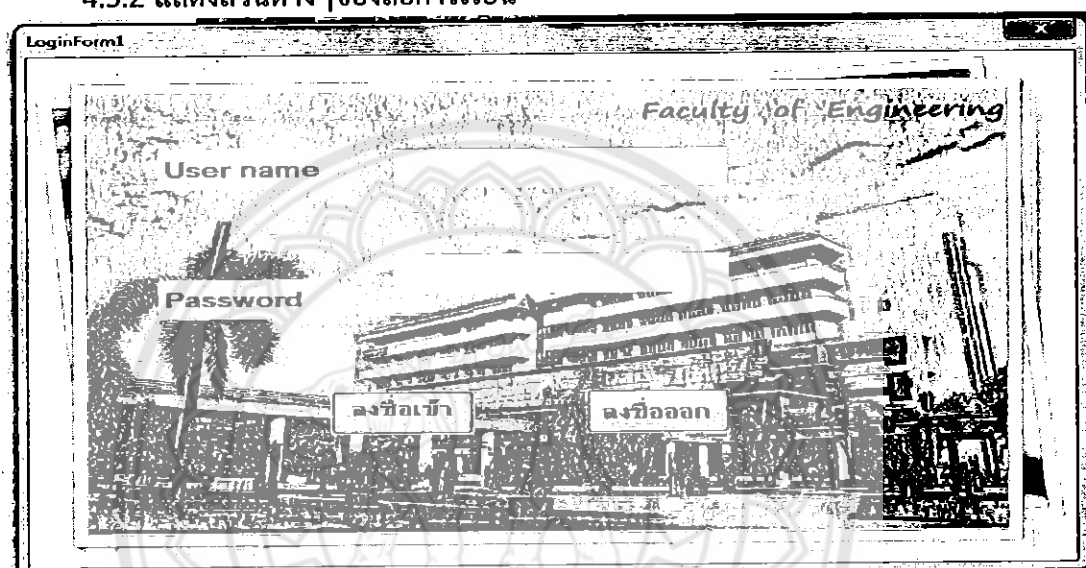
4.3.1 วิธีการใช้สื่อการเรียนรู้สำหรับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อซ้อน

4.3.1.1 ลงชื่อเข้าใช้โปรแกรมตาม password และ username ตามที่กำหนดให้

4.3.1.2 เข้าสู่โปรแกรมการเรียนรู้ จะมีหน้าจอหลัก ซึ่งประกอบไปด้วยหัวข้อต่างๆ ดังนี้
หน้าหลักการทำงานของเครื่องอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อซ้อน ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน
วิธีการทดลอง ตัวอย่างการทดลอง บันทึกผลการทดลอง โปรแกรมคำนวณผล

4.3.1.3 คลิกเข้าสู่เนื้อหาที่ต้องการศึกษาค้นคว้า และใช้งาน

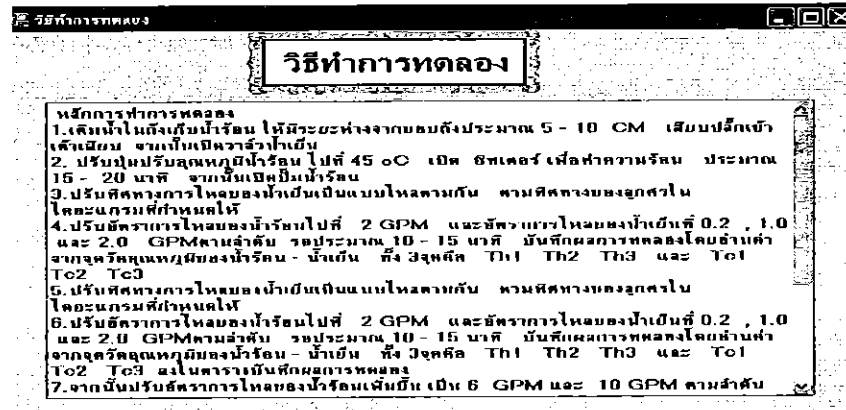
4.3.2 แสดงส่วนต่างๆของสื่อการเรียนรู้



รูปที่ 4.13 แสดงส่วนหน้า ลงชื่อเข้าใช้โปรแกรมของสื่อการเรียนรู้สำหรับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อซ้อน



รูปที่ 4.14 แสดงส่วนหน้าจอหลักของสื่อการเรียนรู้สำหรับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อซ้อน



รูปที่ 4.17 แสดงส่วนหน้าวิธีทำการทดลองของสื่อการเรียนรู้สำหรับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบ ท่อซ้อน

ตัวอย่างการทดลอง

Data sheet
Concentric Tube Heat Exchanger

Date: 17 / 12 / 2553
By : อภิชาติ อภิชาติกุล และ อภิชาติ อภิชาติกุล
Hot water pipe inside diameter = 11 mm Hot water pipe outside diameter = 12.5 mm
Hot water pipe length = 1700 mm
Cold water direction = ไหลจากบนลงล่าง
Temperature = 65

No.	Hot flow	Cold flow	Hot water (Temp °C)	Cold water (Temp °C)	Q				
	Th1	Th2	Th3	Tc1	Tc2	Tc3			
1	2 GPM	0.2	63.9	61	55.2	34.1	40.2	44.1	
2	2 GPM	0.4	64	56	52.2	31.9	36.9	40.9	
3	2 GPM	0.6	63.9	56	50.9	32.1	36.3	37	
4	2 GPM	0.8	63.8	53	48.1	32.2	33.7	34.5	
5	2 GPM	1.0	63.7	53	46	32.3	33.6	34.4	
6	2 GPM	1.2	63.7	52.7	47.4	32.4	33.3	33.9	
7	2 GPM	1.4	63.7	52.3	47.1	32.4	33.2	33.6	
8	2 GPM	1.6	63.6	52.2	46.7	32.4	33	33.5	
9	2 GPM	1.8	63.6	51.8	46.4	32.3	32.8	33.1	
10	2 GPM	2.0	63.7	51.6	46	32.4	32.8	32.8	

Data sheet
Concentric Tube Heat Exchanger

Date: 17 / 12 / 2553
By : อภิชาติ อภิชาติกุล และ อภิชาติ อภิชาติกุล
Hot water pipe inside diameter = 11 mm Hot water pipe outside diameter = 12.5 mm
Hot water pipe length = 1700 mm
Cold water direction = ไหลจากบนลงล่าง
Temperature = 65

No.	Hot flow	Cold flow	Hot water (Temp °C)	Cold water (Temp °C)	Q				
	Th1	Th2	Th3	Tc1	Tc2	Tc3			
1	2 GPM	0.2	63	24.8	25.1	21.5	21.5	21.7	
2	2 GPM	0.4	66.2	67.7	66.2	24.6	34.6	24.9	
3	2 GPM	0.6	62.3	65.3	62.1	27.6	33.9	41.1	
4	2 GPM	0.8	62.2	64.4	60.6	27.8	31.2	35.8	
5	2 GPM	1.0	62.8	63.2	67	27.8	26.9	33	
6	2 GPM	1.2	61.5	62.2	65.8	28	29.2	31.7	
7	2 GPM	1.4	61.3	61.3	64.8	28	28.8	30.8	
8	2 GPM	1.6	61.3	60.4	64.4	28.1	28.7	30.5	
9	2 GPM	1.8	61.2	60	63.7	28.1	28.4	29.8	
10	2 GPM	2.0	61.2	60.6	63.6	28.3	28.5	31.2	

รูปที่ 4.18 แสดงส่วนหน้าตัวอย่างการทดลองของสื่อการเรียนรู้สำหรับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อซ้อน

4.4 การออกแบบการทดลองสำหรับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อซ้อน

จากผลการทดลอง ได้มีการทดลองโดยเปลี่ยนอุณหภูมิ และให้อัตราการไหลของน้ำร้อนและน้ำเย็นคงที่ จะเห็นได้ว่า ที่อุณหภูมิยิ่งสูงจะทำให้เห็นการแลกเปลี่ยนความร้อนได้ชัดเจนและตรงตามทฤษฎี ดังนั้นจึงได้นำอุณหภูมิที่สูงที่สุดมาทำการออกแบบการทดลอง คือ 65, 75 องศาเซลเซียส และในส่วนของการไหลแบบไหลตามกัน เมื่อให้อุณหภูมิกับอัตราการไหลของน้ำร้อนคงที่ และอัตราการไหลของน้ำเย็นเพิ่มขึ้น จะเห็นว่าการแลกเปลี่ยนความร้อนเพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 4.1 เมื่อที่อุณหภูมิคงที่ อัตราการไหลของน้ำร้อนเพิ่มขึ้น และอัตราการไหลของน้ำเย็นคงที่ จะเห็นว่าการแลกเปลี่ยนความร้อนที่ลดลง

ดังนั้นจึงได้นำอุณหภูมิที่สูงที่สุดมาทำการออกแบบการทดลองคือ 65 °C, 75 °C เพื่อเห็นการเปรียบเทียบอย่างชัดเจน จึงได้ออกแบบการทดลองให้อัตราการไหลของน้ำร้อนที่ 2, 6 และ 10 GPM ส่วนอัตราการไหลของน้ำเย็น 0.2, 1.0 และ 2.0 GPM ซึ่งเป็นการดูลักษณะการแลกเปลี่ยนความร้อนในอัตราการไหลต่ำและสูง ทั้งทิศทางการไหลแบบสวนทางกัน และแบบไหลตามกัน



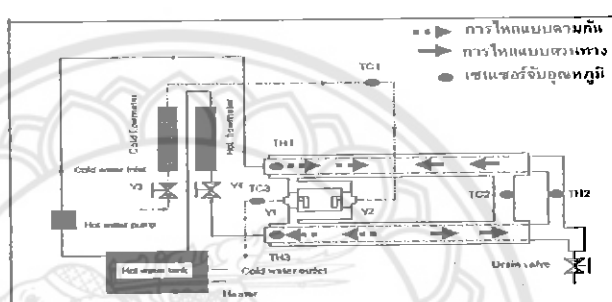
4.5 ขั้นตอนการทำการทดลอง

4.5.1 เติมน้ำในถังเก็บน้ำร้อน ให้มีระยะห่างจากขอบถึงประมาณ 5 – 10 CM เสียบปลั๊กเข้า จากนั้นเปิดวาล์วน้ำเย็น

4.5.2 ปรับปั๊มปรับอุณหภูมิน้ำร้อน ไปที่ 45 °C เปิดฮีทเตอร์ เพื่อทำความร้อนประมาณ 15 - 20 นาที จากนั้นเปิดปั๊มน้ำร้อน

4.5.3 ปรับทิศทางการไหลของน้ำเย็นเป็นแบบไหลตามกัน ตามทิศทางของลูกศรในไดอะแกรมที่กำหนดให้

4.5.4 ปรับทิศทางการไหลของน้ำเย็นเป็นแบบไหลตามกัน ตามทิศทางของลูกศรในไดอะแกรมที่กำหนดให้



รูปที่ 4.17 แสดงไดอะแกรมทิศทางการไหลของน้ำเย็น

4.5.5 ปรับอัตราการไหลของน้ำร้อนไปที่ 2 GPM และอัตราการไหลของน้ำเย็นที่ 0.2, 1.0 และ 2.0 GPM ตามลำดับ รอประมาณ 10 – 15 นาที บันทึกผลการทดลองโดยอ่านค่าจากจุดวัดอุณหภูมิของน้ำร้อน – น้ำเย็น ทั้ง 3 จุดคือ Th1 Th2 Th3 และ Tc1 Tc2 Tc3

4.5.6 ปรับทิศทางการไหลของน้ำเย็นเป็นแบบไหลตามกัน ตามทิศทางของลูกศรในไดอะแกรมที่กำหนดให้

4.5.7 ปรับอัตราการไหลของน้ำร้อนไปที่ 2 GPM และอัตราการไหลของน้ำเย็นที่ 0.2, 1.0 และ 2.0 GPM ตามลำดับ รอประมาณ 10 – 15 นาที บันทึกผลการทดลองโดยอ่านค่าจากจุดวัดอุณหภูมิของน้ำร้อน – น้ำเย็น ทั้ง 3 จุดคือ Th1 Th2 Th3 และ Tc1 Tc2 Tc3 ลงในตารางบันทึกผลการทดลอง

4.5.8 จากนั้นปรับอัตราการไหลของน้ำร้อนเพิ่มขึ้นเป็น 6 GPM และ 10 GPM ตามลำดับ และทำการทดลองตามข้อที่ 3 – 6 ซ้ำอีกครั้งจนครบทุกการทดลอง จากนั้นปรับอุณหภูมิน้ำร้อนเป็น 75°C แล้วทำการทดลองตั้งแต่ ข้อที่ 3 – 7 ซ้ำอีกครั้ง จนครบทุกการทดลอง

4.5.9 บันทึกผลการทดลอง และคำนวณค่าของผลการทดลอง โดยใช้โปรแกรมในสื่อการเรียน สำหรับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อซ้อน และนำค่าที่ได้มาบันทึกผลการทดลอง

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองพบว่า เมื่อพิจารณาที่ทิศทางการไหลของน้ำเย็นพบว่า ที่ทิศทางการไหลแบบตามกันนั้นที่อุณหภูมิน้ำร้อนต่ำ (45°C และ 55°C) การแลกเปลี่ยนความร้อนที่เกิดขึ้นระหว่างน้ำร้อน - น้ำเย็น พบว่ามีค่าความต่างของอุณหภูมิไม่มากนัก แต่ที่อุณหภูมิน้ำร้อนสูง (65°C และ 75°C) นั้นการแลกเปลี่ยนความร้อนที่เกิดขึ้นระหว่างน้ำร้อน - น้ำเย็นนั้น พบว่า มีค่าความต่างของอุณหภูมิมากขึ้น และการแลกเปลี่ยนความร้อนมีแนวโน้มลดลงเมื่ออัตราการไหลของน้ำเย็นเพิ่มขึ้น ซึ่งที่อัตราการไหลของน้ำเย็นต่ำ นั้นการถ่ายเทความร้อนมีมากที่สุด ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน ที่ทิศทางการไหลแบบสวนทางกัน เมื่อเพิ่มอุณหภูมิของน้ำร้อนมากขึ้นพบว่าค่าความต่างของอุณหภูมิระหว่างน้ำร้อน - น้ำเย็น มีมากขึ้น และจากการผลการทดลอง ที่จุดวัดอุณหภูมิของน้ำเย็นจุดที่ 1 นั้น ค่าของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นนั้นไม่ได้มีค่าสูงขึ้นเพราะจุดที่วัดอุณหภูมินั้นวัดตรงอัตราการไหลของน้ำเย็น ซึ่งยังไม่เจอกับน้ำร้อน จึงไม่เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนเกิดขึ้น แต่ผลการทดลองที่ได้นั้นก็เป็นไปตามทฤษฎีการถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในทิศทางการไหลแบบสวนทางกัน

5.2 สื่อการเรียนรู้สำหรับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อซ้อน

สำหรับการทำสื่อการเรียนรู้การสอนของเครื่องอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อซ้อนนั้น มีขั้นตอนในการเข้าใช้ดังนี้ อันดับแรกจะต้อง log in โดยใช้ชื่อ username password ที่ได้กำหนดให้ จากนั้นจะปรากฏหน้าหลักขึ้นให้เลือกสิ่งที่ต้องการศึกษา ซึ่งจะมี หลักการทำงานของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อซ้อน จะเป็นการบอกลักษณะของอุปกรณ์ รวมถึงวิธีการใช้อุปกรณ์นี้ด้วย ตัวอย่างการทดลอง เป็นตัวอย่างที่ผู้จัดทำได้จัดทำขึ้นไว้ ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน บอกเนื้อหาที่ต้องทราบ บันทึกผลการทดลอง เป็นส่วนที่ให้ผู้ผู้ใช้ใส่ข้อมูลและสามารถเก็บข้อมูลไว้ได้ วิธีการทดลอง และโปรแกรมสำหรับคำนวณ เป็นการคำนวณค่าต่างๆ ที่จำเป็นต่อการทดลอง

5.3 การออกแบบการทดลอง

จากการทดลองจะสามารถออกแบบการทดลองได้ โดยใช้อุณหภูมิที่ 75°C องศา เนื่องจากเห็นค่าการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนและที่อัตราการไหลของน้ำเย็นต่ำๆ จะเห็นการแลกเปลี่ยนความร้อนที่ชัดเจน จึงได้ออกแบบโดยใช้อัตราการไหลของน้ำเย็นที่ 0.2 GPM , 1.0 GPM และ 2.0 GPM เพื่อเปรียบเทียบการแลกเปลี่ยนความร้อนของอัตราการไหลของน้ำร้อน 2 GPM , 6 GPM และ 10 GPM

5.4 ข้อเสนอแนะ

5.4.1 ควรศึกษาวิธีการใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อซ้อนให้เข้าใจก่อนลงมือปฏิบัติการทดลอง

5.4.2 ควรทำความสะอาดอุปกรณ์และเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อซ้อนหลังการใช้งานทุกครั้ง

เอกสารอ้างอิง

- ขวัญชัย ไกรทอง และไพศาล นาผล. ลักษณะทางการไหลและการถ่ายเทมวล-ความร้อนของ
การไหล สองสถานะแบบสวนกันในห้องที่วางในแนวดิ่ง วิทยานิพนธ์ วศ.ม.,
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.2546.
- จรัส ทรัพย์เสรี. การออกแบบการทดลอง(Design of experiment), สืบค้น กรกฎาคม 2553,
จาก: www.trecon.co.th/download/doe.pdf.2546.
- ซัชพงศ์ เมฆสุธิพิทักษ์ และวิฑูรย์ เทพเสนาธนกิจ. การประยุกต์ใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน
แบบไหล ตามขวางดัดแปลงจากคอนเดนเซอร์ระบบปรับอากาศรถยนต์: กรณีศึกษาการดึง
ความร้อนทิ้งจากน้ำร้อนมาใช้อุ่นอากาศ ปริญญานิพนธ์ วศ.บ., มหาวิทยาลัยนเรศวร. 2458.
- ดวงแก้ว สวามิภักดิ์. ระบบฐานข้อมูล Database Systems. กรุงเทพฯ: เอช. เอ็น กรุ๊ป. 2543.
- บุญเกียรติ อินปัน, เอก นิเทศัญกิจและพรภาพ แสงทอง. โปรแกรมช่วยสอนเรื่องวิธีการ
พยากรณ์ของ บอชซ์และเจนกินส์ โดยใช้ โปรแกรมมินิแทบ สำหรับวินโดวส์ ปริญญานิพนธ์
วท.บ., มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.2539.
- พงษ์ธร จริญญากรณ์. อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนสำหรับงานอุตสาหกรรม Industrial
Heat Exchangers. กรุงเทพฯ: เอ็มแอนดอี.2542.
- ไพศาล นาผล และกิตติ นิลมั่ง. สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน, ความดันลดและรูปแบบ
การไหลของการไหล สองสถานะน้ำ-อากาศผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น
ปริญญานิพนธ์ วศ.บ., มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี,2545.
- ธนพล จันจรัสวิชัยและคณะ. เรียนรู้ Microsoft Visual Basic , กรุงเทพฯ : เอส.พี.ซี. บุ๊คส์.
2547.



ตารางที่ ก.1 อุณหภูมิน้ำร้อน 45 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน 2 GPM รูปแบบการไหลเป็นแบบ
ไหลตามกัน ณ อัตราการไหลของน้ำเย็นจุดต่างๆ

No.	Rc (GPM)	Th1(°C)	Th2(°C)	Th3(°C)	Tc1(°C)	Tc2(°C)	Tc3(°C)
1	0.2	46.3	44.0	42.7	31.8	34.3	35.2
2	0.4	45.4	42.8	42.0	32.6	33.2	33.4
3	0.6	45.7	43.0	41.0	33.0	33.0	33.2
4	0.8	45.8	42.3	40.6	33.1	33.1	33.6
5	1.0	45.9	42.1	40.6	33.2	32.9	32.9
6	1.2	46.0	41.9	40.4	33.2	32.9	32.7
7	1.4	46.0	42.1	40.2	33.3	32.9	32.6
8	1.6	46.1	42.0	40.2	33.4	32.9	32.7
9	1.8	46.1	41.9	40.2	33.5	32.8	32.6
10	2.0	46.1	41.0	39.5	33.6	32.8	32.4

ตารางที่ ก.2 อุณหภูมิน้ำร้อน 45 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน = 4 GPM รูปแบบการไหลเป็นแบบ
ไหลตามกัน ณ อัตราการไหลของน้ำเย็นจุดต่างๆ

No.	Rc (GPM)	Th1(°C)	Th2(°C)	Th3(°C)	Tc1(°C)	Tc2(°C)	Tc3(°C)
1	0.2	45.1	43.2	42.4	32.0	34.6	35.7
2	0.4	45.2	43.1	42.2	32.8	34.2	35.0
3	0.6	45.3	42.5	41.5	33.0	33.8	35.1
4	0.8	45.3	42.4	41.0	33.2	33.6	33.9
5	1.0	45.3	42.0	40.6	33.3	33.5	33.6
6	1.2	45.4	42.6	40.6	33.4	33.6	33.6
7	1.4	45.4	41.9	40.2	33.6	33.5	33.3
8	1.6	45.4	41.9	40.2	33.7	33.5	33.6
9	1.8	45.4	42.4	40.1	33.7	33.4	33.5
10	2.0	45.4	42.2	40.0	33.7	33.3	33.2

ตารางที่ ก.3 อุณหภูมิน้ำร้อน 45 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน = 6 GPM รูปแบบการไหลเป็นแบบ
ไหลตามกัน ณ อัตราการไหลของน้ำเย็นจุดต่างๆ

No.	Rc (GPM)	Th1(°C)	Th2(°C)	Th3(°C)	Tc1(°C)	Tc2(°C)	Tc3(°C)
1	0.2	46.4	44.7	44.4	33.9	36.7	38.0
2	0.4	46.3	44.6	43.6	34.2	35.5	36.2
3	0.6	46.0	43.5	42.6	34.1	35.0	35.4
4	0.8	45.7	43.0	42.0	34.1	34.7	34.9
5	1.0	45.6	42.8	41.5	34.1	34.4	34.7
6	1.2	45.5	42.6	41.2	34.0	34.1	34.4

ตารางที่ ก.3 (ต่อ) อุณหภูมิน้ำร้อน 45 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน = 6 GPM รูปแบบการไหลเป็นแบบไหลตามกัน ณ อัตราการไหลของน้ำเย็นจุดต่างๆ

No.	Rc (GPM)	Th1(°C)	Th2(°C)	Th3(°C)	Tc1(°C)	Tc2(°C)	Tc3(°C)
7	1.4	45.5	42.4	41.1	33.9	34.1	34.1
8	1.6	45.3	42.3	40.9	34.0	33.9	34.0
9	1.8	45.2	42.1	40.9	34.0	33.7	34.3
10	2.0	45.2	42.0	40.5	34.0	33.7	34.9

ตารางที่ ก.4 อุณหภูมิน้ำร้อน 45 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน = 8 GPM รูปแบบการไหลเป็นแบบไหลตามกัน ณ อัตราการไหลของน้ำเย็นจุดต่างๆ

No.	Rc (GPM)	Th1(°C)	Th2(°C)	Th3(°C)	Tc1(°C)	Tc2(°C)	Tc3(°C)
1	0.2	48.2	47.6	47.2	32.5	37.7	40.1
2	0.4	45.2	43.7	43.2	33.2	34.8	34.5
3	0.6	45.1	43.1	42.4	33.3	34.5	35.2
4	0.8	44.5	42.6	41.5	33.4	34.1	35.0
5	1.0	44.5	42.2	41.3	33.6	34.1	34.4
6	1.2	44.5	42.1	41.1	33.8	34.0	34.3
7	1.4	44.4	41.9	40.8	33.7	33.9	34.0
8	1.6	44.3	41.8	40.5	33.7	33.7	33.9
9	1.8	44.3	41.6	40.5	33.8	33.8	33.8
10	2.0	44.2	41.6	40.4	33.7	33.7	33.7

ตารางที่ ก.5 อุณหภูมิน้ำร้อน 45 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน = 10 GPM รูปแบบการไหลเป็นแบบไหลตามกัน ณ อัตราการไหลของน้ำเย็นจุดต่างๆ

No.	Rc (GPM)	Th1(°C)	Th2(°C)	Th3(°C)	Tc1(°C)	Tc2(°C)	Tc3(°C)
1	0.2	44.7	43.7	43.5	32.6	35.9	37.3
2	0.4	44.7	43.3	42.9	33.2	34.9	35.7
3	0.6	44.6	42.9	42.0	33.2	34.3	35.0
4	0.8	44.3	42.3	41.6	33.3	34.1	34.5
5	1.0	44.2	42.2	41.2	33.5	34.0	34.7
6	1.2	44.1	41.9	41.0	33.5	34.0	34.2
7	1.4	44.1	41.7	41.0	33.5	33.8	34.0
8	1.6	44.0	42	40.8	33.5	33.7	33.9
9	1.8	44.0	41.6	40.5	33.6	33.7	33.8
10	2.0	44.0	41.6	40.2	33.6	33.4	33.9

ตารางที่ ก.6 อุณหภูมิน้ำร้อน 55 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน = 2 GPM รูปแบบการไหลเป็นแบบไหลตามกัน ณ อัตราการไหลของน้ำเย็นจุดต่างๆ

No.	Rc (GPM)	Th1(°C)	Th2(°C)	Th3(°C)	Tc1(°C)	Tc2(°C)	Tc3(°C)
1	0.2	54.5	50.1	47.2	31.8	34.7	36.3
2	0.4	54.7	49.6	47.1	32.3	34.8	36.3
3	0.6	54.6	48.8	46.1	32.6	34.2	35.3
4	0.8	54.6	48.4	45.6	32.7	34.0	34.8
5	1.0	54.6	47.5	44.2	32.8	33.3	33.5
6	1.2	54.7	47.5	44.0	32.8	33.1	34.1
7	1.4	54.7	47.3	43.8	33.0	33.1	33.4
8	1.6	54.7	47.3	43.6	33.0	33.0	33.1
9	1.8	54.8	47.2	43.5	33.0	33.0	33
10	2.0	54.9	47.9	43.6	33.0	33.0	33.2

ตารางที่ ก.7 อุณหภูมิน้ำร้อน 55 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน = 4 GPM รูปแบบการไหลเป็นแบบไหลตามกัน ณ อัตราการไหลของน้ำเย็นจุดต่างๆ

No.	Rc (GPM)	Th1(°C)	Th2(°C)	Th3(°C)	Tc1(°C)	Tc2(°C)	Tc3(°C)
1	0.2	55.3	51.9	50.8	31.1	38.5	41.9
2	0.4	54.0	49.8	47.5	31.8	34.8	36.4
3	0.6	53.6	49.9	46.5	32.2	34.5	35.9
4	0.8	53.0	47.9	45.2	32.3	33.8	34.6
5	1.0	53.0	47.4	44.7	32.4	33.6	34.2
6	1.2	53.0	47.4	44.4	32.5	33.4	34.3
7	1.4	52.8	46.9	44.0	32.6	33.2	33.8
8	1.6	52.9	46.8	43.7	32.6	33.2	34.8
9	1.8	52.9	46.6	43.6	32.6	33.1	33.5
10	2.0	52.9	46.5	43.3	32.6	33.0	33.3

ตารางที่ ก.8 อุณหภูมิน้ำร้อน 55 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน = 6 GPM รูปแบบการไหลเป็นแบบไหลตามกัน ณ อัตราการไหลของน้ำเย็นจุดต่างๆ

No.	Rc (GPM)	Th1(°C)	Th2(°C)	Th3(°C)	Tc1(°C)	Tc2(°C)	Tc3(°C)
1	0.2	54.7	51.9	51.1	32.6	38.7	41.6
2	0.4	54.4	51.4	49.7	33.0	36.4	38.7
3	0.6	53.9	49.9	48.1	33.0	35.5	37.1
4	0.8	53.4	48.8	46.7	32.9	34.8	36.6

ตารางที่ ก.8 (ต่อ) อุณหภูมิน้ำร้อน 55 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน = 6 GPM รูปแบบการไหลเป็นแบบไหลตามกัน ณ อัตราการไหลของน้ำเย็นจุดต่างๆ

No.	Rc (GPM)	Th1(°C)	Th2(°C)	Th3(°C)	Tc1(°C)	Tc2(°C)	Tc3(°C)
5	1.0	53.1	48.4	46.0	32.9	34.3	35.4
6	1.2	52.9	48.1	45.5	32.8	34.1	34.9
7	1.4	52.7	47.7	45.1	32.9	33.9	34.7
8	1.6	52.6	47.3	44.7	32.9	33.6	34.5
9	1.8	52.3	47.0	44.3	32.8	33.4	34.1
10	2.0	52.1	46.8	44.0	32.8	33.3	33.9

ตารางที่ ก.9 อุณหภูมิน้ำร้อน 55 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน = 8 GPM รูปแบบการไหลเป็นแบบไหลตามกัน ณ อัตราการไหลของน้ำเย็นจุดต่างๆ

No.	Rc (GPM)	Th1(°C)	Th2(°C)	Th3(°C)	Tc1(°C)	Tc2(°C)	Tc3(°C)
1	0.2	53.4	51.0	50.4	31.1	38.0	41.4
2	0.4	52.9	50.2	49.0	32.1	36.0	38.7
3	0.6	52.4	49.2	48.0	32.3	35.3	37.2
4	0.8	51.9	48.2	46.4	32.2	34.5	36.3
5	1.0	51.4	47.6	45.5	32.2	34.0	35.2
6	1.2	51.2	47.3	45.4	32.2	33.9	35.3
7	1.4	50.9	46.6	44.5	32.2	33.5	34.5
8	1.6	50.9	46.6	44.4	32.1	33.3	34.7
9	1.8	50.7	46.5	44.0	32.1	33.1	33.8
10	2.0	50.7	46.2	44.0	32.2	33.1	33.8

ตารางที่ ก.10 อุณหภูมิน้ำร้อน 55 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน = 10 GPM รูปแบบการไหลเป็นแบบไหลตามกัน ณ อัตราการไหลของน้ำเย็นจุดต่างๆ

No.	Rc (GPM)	Th1(°C)	Th2(°C)	Th3(°C)	Tc1(°C)	Tc2(°C)	Tc3(°C)
1	0.2	54.2	52.3	51.8	32.2	39.5	43.2
2	0.4	53.8	51.3	50.4	32.6	36.7	39.6
3	0.6	52.5	49.6	48.6	32.8	35.7	37.6
4	0.8	51.8	48.5	47.1	32.7	34.9	36.7
5	1.0	51.6	48.1	46.5	32.7	34.6	36.3
6	1.2	51.4	47.7	46.1	32.6	34.2	35.5
7	1.4	51.0	47.1	45.6	32.5	33.8	35.1
8	1.6	50.7	47.0	45.0	32.5	33.7	34.6
9	1.8	50.6	46.7	44.8	32.5	33.6	34.4
10	2.0	50.5	46.5	44.5	32.5	33.5	34.2

ตารางที่ ก.11 อุณหภูมิน้ำร้อน 65 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน = 2 GPM รูปแบบการไหลเป็นแบบไหลตามกัน ณ อัตราการไหลของน้ำเย็นจุดต่างๆ

No.	Rc (GPM)	Th1(°C)	Th2(°C)	Th3(°C)	Tc1(°C)	Tc2(°C)	Tc3(°C)
1	0.2	63.9	61.0	55.2	31.1	40.2	44.1
2	0.4	64.0	56.0	52.2	31.9	35.9	40.9
3	0.6	63.9	55	50.9	32.1	35.3	37.0
4	0.8	63.6	53.0	48.1	32.2	33.7	34.5
5	1.0	63.7	53.0	48.0	32.3	33.6	34.4
6	1.2	63.7	52.7	47.4	32.4	33.3	33.9
7	1.4	63.7	52.3	47.1	32.4	33.2	33.6
8	1.6	63.6	52.2	46.7	32.4	33	33.5
9	1.8	63.6	51.8	46.4	32.3	32.8	33.1
10	2.0	63.7	51.6	46.0	32.4	32.6	32.8

ตารางที่ ก.12 อุณหภูมิน้ำร้อน 65 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน = 4 GPM รูปแบบการไหลเป็นแบบไหลตามกัน ณ อัตราการไหลของน้ำเย็นจุดต่างๆ

No.	Rc (GPM)	Th1(°C)	Th2(°C)	Th3(°C)	Tc1(°C)	Tc2(°C)	Tc3(°C)
1	0.2	64.8	59.7	58.1	32.5	42.4	48.2
2	0.4	63.9	57.7	54.8	32.6	38.2	42.2
3	0.6	62.9	55.7	52.1	32.6	36.2	38.2
4	0.8	62.4	54.7	50.7	32.6	35.3	37.1
5	1.0	62.0	53.9	49.7	32.6	34.9	36.2
6	1.2	61.7	53.6	49.1	32.6	34.3	35.6
7	1.4	61.5	52.7	48.3	32.4	34.0	35.2
8	1.6	61.3	52.3	47.7	32.4	33.6	34.7
9	1.8	61.1	51.9	47.4	32.4	33.4	34.2
10	2.0	61.0	51.6	46.9	32.5	33.4	34.3

ตารางที่ ก.13 อุณหภูมิน้ำร้อน 65 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน = 6 GPM รูปแบบการไหลเป็นแบบไหลตามกัน ณ อัตราการไหลของน้ำเย็นจุดต่างๆ

No.	Rc (GPM)	Th1(°C)	Th2(°C)	Th3(°C)	Tc1(°C)	Tc2(°C)	Tc3(°C)
1	0.2	64.5	60.5	59.2	30.9	43.1	48.2
2	0.4	61.6	57.0	54.6	31.3	38.0	42.8
3	0.6	60.9	55.2	52.6	31.7	35.1	37.6
4	0.8	60.2	53.9	50.0	31.9	34.9	36.8

ตารางที่ ก.13 (ต่อ) อุณหภูมิน้ำร้อน 65 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน = 6 GPM รูปแบบการไหลเป็นแบบไหลตามกัน ณ อัตราการไหลของน้ำเย็นจุดต่างๆ

No.	Rc (GPM)	Th1(°C)	Th2(°C)	Th3(°C)	Tc1(°C)	Tc2(°C)	Tc3(°C)
5	1.0	60.0	53.5	50.0	31.9	34.9	36.8
6	1.2	60.0	53.1	49.4	31.9	34.2	35.8
7	1.4	59.7	52.3	48.4	31.9	33.9	35.0
8	1.6	59.7	52.1	48.2	31.9	33.7	35.4
9	1.8	59.7	51.9	48.0	32.0	33.5	34.5
10	2.0	59.7	51.9	47.7	32.0	33.4	35.1

ตารางที่ ก.14 อุณหภูมิน้ำร้อน 65 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน = 8 GPM รูปแบบการไหลเป็นแบบไหลตามกัน ณ อัตราการไหลของน้ำเย็นจุดต่างๆ

No.	Rc (GPM)	Th1(°C)	Th2(°C)	Th3(°C)	Tc1(°C)	Tc2(°C)	Tc3(°C)
1	0.2	63.1	60.0	59.1	32.2	44.3	49.6
2	0.4	62.1	57.8	56.1	32.5	39.0	42.9
3	0.6	61.2	56.6	54.3	32.4	37.5	41.2
4	0.8	60.4	55.5	52.9	32.4	36.3	39.9
5	1.0	59.7	54.5	51.5	32.4	35.4	37.6
6	1.2	59.4	53.8	50.8	32.3	34.9	36.8
7	1.4	58.9	53.1	50.0	32.2	34.9	36.8
8	1.6	58.7	52.4	49.2	32.2	34.0	35.5
9	1.8	58.4	52.0	48.8	32.2	33.8	35.4
10	2.0	58.2	51.7	48.5	32.1	33.7	34.9

ตารางที่ ก.15 อุณหภูมิน้ำร้อน 65 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน = 10 GPM รูปแบบการไหลเป็นแบบไหลตามกัน ณ อัตราการไหลของน้ำเย็นจุดต่างๆ

No.	Rc (GPM)	Th1(°C)	Th2(°C)	Th3(°C)	Tc1(°C)	Tc2(°C)	Tc3(°C)
1	0.2	62.1	59.1	58.3	30.3	42.5	47.4
2	0.4	61.0	57.5	56.1	31.1	39.0	43.1
3	0.6	59.8	55.8	54.2	31.1	37.1	40.6
4	0.8	59.1	54.7	52.6	31.1	35.6	44.1
5	1.0	58.7	54.1	51.7	31.1	34.8	39.9
6	1.2	58.2	53.6	50.8	31.1	34.2	36.4
7	1.4	58.0	52.7	50.2	31.2	34.0	37.0
8	1.6	57.9	53.2	49.7	31.2	33.7	36.1

ตารางที่ ก.15 (ต่อ) อุณหภูมิน้ำร้อน 65 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน = 10 GPM รูปแบบการไหล
ตามกัน ณ อัตราการไหลของน้ำเย็นจุดต่างๆ

No.	Rc (GPM)	Th1(°C)	Th2(°C)	Th3(°C)	Tc1(°C)	Tc2(°C)	Tc3(°C)
9	1.8	57.7	52.5	49.2	31.2	33.4	35.9
10	2.0	57.5	52.1	49.1	31.2	33.4	35.7

ตารางที่ ก.16 อุณหภูมิน้ำร้อน 75 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน = 2 GPM รูปแบบการไหลเป็น
แบบไหลตามกัน ณ อัตราการไหลของน้ำเย็นจุดต่างๆ

No.	Rc (GPM)	Th1(°C)	Th2(°C)	Th3(°C)	Tc1(°C)	Tc2(°C)	Tc3(°C)
1	0.2	77.5	66.5	61.8	30.9	42.7	48.4
2	0.4	73.0	62.1	57.1	31.8	39.1	42.5
3	0.6	72.3	59.6	53.5	31.9	35.6	37.5
4	0.8	72.1	58.9	52.8	31.9	35.1	37.0
5	1.0	72.0	58.3	51.8	31.8	34.2	36.0
6	1.2	71.8	57.5	51.0	31.8	33.6	34.6
7	1.4	71.8	58.3	50.4	31.9	33.4	35.2
8	1.6	71.7	56.8	49.9	31.9	33.2	34.5
9	1.8	71.7	56.6	49.6	31.9	32.9	33.8
10	2.0	71.6	56.6	49.2	31.9	32.8	33.7

ตารางที่ ก.17 อุณหภูมิน้ำร้อน 75 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน = 4 GPM รูปแบบการไหล
ตามกัน ณ อัตราการไหลของน้ำเย็นจุดต่างๆ

No.	Rc (GPM)	Th1(°C)	Th2(°C)	Th3(°C)	Tc1(°C)	Tc2(°C)	Tc3(°C)
1	0.2	70.5	63.9	61.9	30.0	47.1	52.2
2	0.4	69.2	61.1	56.9	30.4	38.9	42.5
3	0.6	68.8	59.5	54.7	30.6	36.2	39.3
4	0.8	68.4	58.7	53.8	30.9	35.7	38.3
5	1.0	68.0	58.2	52.5	31.1	34.7	36.8
6	1.2	68.0	57.4	52.0	31.4	34.3	36.0
7	1.4	68.0	57.0	51.3	31.4	33.8	35.2
8	1.6	67.9	56.4	50.8	31.3	33.5	34.6
9	1.8	67.9	56.1	50.2	31.3	33.2	34.2
10	2.0	67.9	55.9	49.9	31.4	33.0	34.1

ตารางที่ ก.18 อุณหภูมิน้ำร้อน 75 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน = 6 GPM รูปแบบการไหลเป็น
แบบไหลตามกัน ณ อัตราการไหลของน้ำเย็นจุดต่างๆ

No.	Rc (GPM)	Th1(°C)	Th2(°C)	Th3(°C)	Tc1(°C)	Tc2(°C)	Tc3(°C)
1	0.2	71.4	66.0	64.4	31.4	47.5	53.4
2	0.4	70.3	63.6	60.4	31.7	41.0	47.3
3	0.6	69.3	62.1	58.9	32.2	39.9	44.5
4	0.8	68.2	60.0	55.9	32.5	37.0	39.6
5	1.0	68.0	59.5	54.9	32.2	35.9	38.4
6	1.2	67.6	59.3	54.4	32.5	35.7	38.0
7	1.4	67.5	58.6	53.5	32.2	35.1	37.2
8	1.6	67.1	57.8	52.7	32	34.6	36.3
9	1.8	66.8	57.0	51.9	31.9	34.1	35.6
10	2.0	66.5	56.9	51.8	32.0	34.0	35.6

ตารางที่ ก.19 อุณหภูมิน้ำร้อน 75 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน = 8 GPM รูปแบบการไหลเป็น
แบบไหลตามกัน ณ อัตราการไหลของน้ำเย็นจุดต่างๆ

No.	Rc (GPM)	Th1(°C)	Th2(°C)	Th3(°C)	Tc1(°C)	Tc2(°C)	Tc3(°C)
1	0.2	71.6	68.4	68.3	32	56.9	60.9
2	0.4	69.5	63.8	61.4	32.3	42.4	47.6
3	0.6	69.1	62.4	59.8	32.6	39.8	44.3
4	0.8	67.3	60.4	56.5	32.6	36.7	41.3
5	1.0	67.3	60.7	57.1	32.8	37.3	40.4
6	1.2	66.8	60.0	56.4	32.7	36.6	39.3
7	1.4	66.2	59.4	55.3	32.4	35.9	38.2
8	1.6	65.8	58.6	54.3	32.2	35.2	37.6
9	1.8	65.7	58.0	53.9	32.1	34.9	36.9
10	2.0	65.3	58.0	53.2	32.1	34.5	36.4

ตารางที่ ก.20 อุณหภูมิน้ำร้อน 75 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน = 10 GPM รูปแบบการไหลเป็น
แบบไหลตามกัน ณ อัตราการไหลของน้ำเย็นจุดต่างๆ

No.	Rc (GPM)	Th1(°C)	Th2(°C)	Th3(°C)	Tc1(°C)	Tc2(°C)	Tc3(°C)
1	0.2	71.3	67.7	66.6	32.2	49.8	57.7
2	0.4	70.0	65.4	63.8	32.6	44.6	51.4
3	0.6	68.5	63.1	60.5	32.8	40.0	44.5
4	0.8	67.2	61.8	59.1	33.1	38.6	42.6

ตารางที่ ก.20 (ต่อ) อุณหภูมิน้ำร้อน 75 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน = 10 GPM รูปแบบการไหลแบบไหลตามกัน ณ อัตราการไหลของน้ำเย็นจุดต่างๆ

No.	Rc (GPM)	Th1(°C)	Th2(°C)	Th3(°C)	Tc1(°C)	Tc2(°C)	Tc3(°C)
5	1.0	66.9	61.2	58.2	32.9	37.9	41.3
6	1.2	66.5	60.4	57.1	32.8	37.0	40.2
7	1.4	66.0	59.3	55.6	32.0	35.6	38.4
8	1.6	65.4	58.7	55.2	32.3	35.6	38.1
9	1.8	65.3	59.0	54.9	32.2	35.3	37.9
10	2.0	65.0	57.9	54.2	32.2	34.9	38.6

ตารางที่ ก.21 อุณหภูมิน้ำร้อน 45 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน 2 GPM รูปแบบการไหลเป็นแบบไหลสวนทางกัน ณ อัตราการไหลของน้ำเย็น จุดต่างๆ

No.	Rc (GPM)	Th1(°C)	Th2(°C)	Th3(°C)	Tc1(°C)	Tc2(°C)	Tc3(°C)
1	0.2	49.5	47.4	44.4	29.7	33.7	38.1
2	0.4	46.1	42.8	40.5	30.4	31.3	33.4
3	0.6	45.8	39.7	38.0	30.8	30.4	31.1
4	0.8	45.4	42.2	39.2	31.0	30.9	31.7
5	1.0	45.2	41.6	39.1	31.6	31.2	31.8
6	1.2	45.1	41.6	38.7	31.4	31.0	32.7
7	1.4	45.0	40.7	38.6	31.4	30.8	30.9
8	1.6	45.0	40.6	38.5	31.5	30.7	31.1
9	1.8	45.0	40.6	38.3	31.4	30.8	33.6
10	2.0	45.0	41.2	38.3	31.4	30.8	30.8

ตารางที่ ก.22 อุณหภูมิน้ำร้อน 45 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน = 4 GPM รูปแบบการไหลเป็นแบบไหลสวนทางกัน ณ อัตราการไหลของน้ำเย็นจุดต่างๆ

No.	Rc (GPM)	Th1(°C)	Th2(°C)	Th3(°C)	Tc1(°C)	Tc2(°C)	Tc3(°C)
1	0.2	45.4	44.2	43.1	31.4	35.1	37.3
2	0.4	45.3	42.8	41.4	32.3	33.0	34.1
3	0.6	45.0	42.2	40.5	31.8	32.2	33.1
4	0.8	44.8	41.6	39.7	31.8	31.9	32.2
5	1.0	44.8	41.6	39.7	32.5	32.3	34.5
6	1.2	44.6	41.5	39.4	32.3	32.0	32.7
7	1.4	44.6	41.2	39.1	32.3	31.9	32.4
8	1.6	44.6	41.1	39.1	32.6	32.2	32.3

ตารางที่ ก.22 (ต่อ) อุณหภูมิน้ำร้อน 45 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน = 4 GPM รูปแบบการไหล
แบบไหลสวนทางกัน ณ อัตราการไหลของน้ำเย็นจุดต่างๆ

No.	Rc (GPM)	Th1(°C)	Th2(°C)	Th3(°C)	Tc1(°C)	Tc2(°C)	Tc3(°C)
9	1.8	44.6	40.9	39.0	32.6	32.1	32.2
10	2.0	44.5	40.8	38.9	32.7	32.2	32.9

ตารางที่ ก.23 อุณหภูมิน้ำร้อน 45 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน = 6 GPM รูปแบบการไหลเป็น
แบบไหลสวนทางกัน ณ อัตราการไหลของน้ำเย็นจุดต่างๆ

No.	Rc (GPM)	Th1(°C)	Th2(°C)	Th3(°C)	Tc1(°C)	Tc2(°C)	Tc3(°C)
1	0.2	46.0	45.1	44.2	32.6	36.6	38.5
2	0.4	45.6	44.0	43	33.0	34.2	38.2
3	0.6	45.1	42.7	41.3	33.4	33.7	34.6
4	0.8	45.0	42.7	41.3	33.6	33.8	34.6
5	1.0	44.9	42.4	41	33.7	33.8	35.6
6	1.2	44.8	42.3	40.6	33.6	33.6	34.0
7	1.4	44.7	42.6	40.3	33.6	33.3	33.7
8	1.6	44.6	41.6	40.0	33.4	33.0	33.2
9	1.8	44.6	42.0	39.9	33.3	32.9	33.2
10	2.0	44.5	41.3	39.7	33.2	32.7	32.8

ตารางที่ ก.24 อุณหภูมิน้ำร้อน 45 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน = 8 GPM รูปแบบการไหลเป็น
แบบไหลสวนทางกัน ณ อัตราการไหลของน้ำเย็นจุดต่างๆ

No.	Rc (GPM)	Th1(°C)	Th2(°C)	Th3(°C)	Tc1(°C)	Tc2(°C)	Tc3(°C)
1	0.2	48.8	47.7	46.7	29.6	35.9	40.2
2	0.4	43.1	41.5	40.5	30.4	31.9	33.3
3	0.6	43.4	41.5	40.5	30.9	31.1	31.5
4	0.8	43.5	41.6	40.5	31.8	32.8	33.7
5	1.0	43.5	41.7	40.3	32.1	33.0	33.6
6	1.2	43.4	41.2	39.8	32.1	32.2	33.0
7	1.4	43.4	41.4	39.6	32.0	32.0	32.4
8	1.6	43.3	40.8	39.3	31.8	31.8	32.2
9	1.8	43.2	41.8	39.2	31.6	31.6	32.0
10	2.0	43.2	40.6	39	31.6	31.5	32.0

ตารางที่ ก.25 อุณหภูมิน้ำร้อน 45 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน = 10 GPM รูปแบบการไหลเป็นแบบไหลสวนทางกัน ณ อัตราการไหลของน้ำเย็นจุดต่างๆ

No.	Rc (GPM)	Th1(°C)	Th2(°C)	Th3(°C)	Tc1(°C)	Tc2(°C)	Tc3(°C)
1	0.2	45.3	45.1	44.0	31.7	36.0	38.6
2	0.4	44.9	43.5	42.8	32.1	33.7	35.4
3	0.6	44.8	42.9	41.7	32.4	33.1	34.3
4	0.8	44.5	42.7	41.8	32.5	33.3	34.7
5	1.0	44.1	42	41.0	32.9	33.1	34.4
6	1.2	43.9	42.3	40.9	33.0	33.2	34.0
7	1.4	43.8	41.7	40.4	32.7	32.8	33.4
8	1.6	43.7	41.5	40.2	32.6	32.6	33.5
9	1.8	43.6	41.3	39.9	32.5	32.4	33.5
10	2.0	43.5	42.0	39.8	32.7	32.5	32.9

ตารางที่ ก.26 อุณหภูมิน้ำร้อน 55 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน = 2 GPM รูปแบบการไหลเป็นแบบไหลสวนทางกัน ณ อัตราการไหลของน้ำเย็นจุดต่างๆ

No.	Rc (GPM)	Th1(°C)	Th2(°C)	Th3(°C)	Tc1(°C)	Tc2(°C)	Tc3(°C)
1	0.2	60.8	55.8	51.8	31.4	36.7	42.4
2	0.4	55.7	50.6	47.5	32.6	34.4	37.0
3	0.6	55.1	49.6	46.1	32.8	33.6	37.2
4	0.8	54.6	48.6	44.3	32.5	32.9	34.0
5	1.0	54.7	48.3	44.7	33.6	33.9	36.8
6	1.2	54.7	48.0	44.3	33.5	33.6	35.1
7	1.4	54.5	47.8	43.8	33.3	33.2	33.9
8	1.6	54.5	47.3	43.4	33.2	33.1	33.9
9	1.8	54.5	47.2	43.3	33.2	32.9	33.3
10	2.0	54.5	47.0	43.1	33.2	32.7	33.2

ตารางที่ ก.27 อุณหภูมิน้ำร้อน 55 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน = 4 GPM รูปแบบการไหลเป็นแบบไหลสวนทางกัน ณ อัตราการไหลของน้ำเย็นจุดต่างๆ

No.	Rc (GPM)	Th1(°C)	Th2(°C)	Th3(°C)	Tc1(°C)	Tc2(°C)	Tc3(°C)
1	0.2	54.0	51.8	49.3	31.2	36.6	42.3
2	0.4	53.4	49.4	46.7	31.4	34.0	36.6
3	0.6	53.4	49.1	45.7	31.6	33.6	35.8
4	0.8	53.2	48.4	45.4	32.0	33.3	35.4

ตารางที่ ก.27 (ต่อ) อุณหภูมิน้ำร้อน 55 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน = 4 GPM รูปแบบการไหล
แบบไหลสวนทางกัน ณ อัตราการไหลของน้ำเย็นจุดต่างๆ

No.	Rc (GPM)	Th1(°C)	Th2(°C)	Th3(°C)	Tc1(°C)	Tc2(°C)	Tc3(°C)
5	1.0	53.0	48.1	44.7	32.2	33.0	34.5
6	1.2	53.0	47.9	44.3	32.3	32.9	34.6
7	1.4	53.0	47.6	44.1	32.7	33.1	34.2
8	1.6	53.0	47.4	43.9	32.8	33.0	34.1
9	1.8	52.8	47.1	43.6	32.8	32.9	34.0
10	2.0	53.0	47.1	43.6	32.7	32.8	33.4

ตารางที่ ก.28 อุณหภูมิน้ำร้อน 55 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน = 6 GPM รูปแบบการไหลเป็น
แบบไหลสวนทางกัน ณ อัตราการไหลของน้ำเย็นจุดต่างๆ

No.	Rc (GPM)	Th1(°C)	Th2(°C)	Th3(°C)	Tc1(°C)	Tc2(°C)	Tc3(°C)
1	0.2	54.7	52.9	51.0	32.4	38.9	43.5
2	0.4	54.4	51.6	49.8	33.0	36.2	39.5
3	0.6	53.7	50.4	48.0	33.0	35.3	37.7
4	0.8	53.1	49.6	46.7	33.0	34.4	36.6
5	1.0	52.8	48.8	45.9	33.1	34.1	35.7
6	1.2	52.5	48.1	45.2	33.0	33.7	35.2
7	1.4	52.3	47.8	44.8	33.0	33.4	34.8
8	1.6	52.1	47.5	44.5	32.8	33.1	34.5
9	1.8	52.0	47.0	44.0	32.8	32.9	33.9
10	2.0	51.8	46.6	43.5	32.7	32.8	33.6

ตารางที่ ก.29 อุณหภูมิน้ำร้อน 55 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน = 8 GPM รูปแบบการไหลเป็น
แบบไหลสวนทางกัน ณ อัตราการไหลของน้ำเย็นจุดต่างๆ

No.	Rc (GPM)	Th1(°C)	Th2(°C)	Th3(°C)	Tc1(°C)	Tc2(°C)	Tc3(°C)
1	0.2	56.4	54.6	52.9	30.2	39.4	45.2
2	0.4	56.2	54.2	52.4	31.0	36.6	43.7
3	0.6	51.8	50.0	47.5	31.9	34.6	37.1
4	0.8	46.7	44.0	42.7	32.1	33.0	34.4
5	1.0	50.7	47.6	45.5	32.7	34.0	35.6
6	1.2	51.0	47.6	45.2	32.7	33.8	35.9
7	1.4	50.9	47.3	44.7	32.5	33.5	35.0
8	1.6	50.7	47.0	44.4	32.3	33.1	34.3

ตารางที่ ก.29 (ต่อ) อุณหภูมิน้ำร้อน 55 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน = 8 GPM รูปแบบการไหล
แบบไหลสวนทางกัน ณ อัตราการไหลของน้ำเย็นจุดต่างๆ

No.	Rc (GPM)	Th1(°C)	Th2(°C)	Th3(°C)	Tc1(°C)	Tc2(°C)	Tc3(°C)
9	1.8	50.6	46.7	44.0	32.3	32.9	34.0
10	2.0	50.4	46.4	43.8	32.2	32.8	33.9

ตารางที่ ก.30 อุณหภูมิน้ำร้อน 55 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน = 10 GPM รูปแบบการไหลเป็น
แบบไหลสวนทางกัน ณ อัตราการไหลของน้ำเย็นจุดต่างๆ

No.	Rc (GPM)	Th1(°C)	Th2(°C)	Th3(°C)	Tc1(°C)	Tc2(°C)	Tc3(°C)
1	0.2	54.5	53.3	52.6	32.3	42.5	46.3
2	0.4	53.4	51.3	49.7	32.9	36.6	39.7
3	0.6	52.9	50.5	48.6	32.9	35.6	38.6
4	0.8	52.2	49.4	47.0	32.9	34.8	37.0
5	1.0	51.8	48.8	46.5	32.8	34.2	36.2
6	1.2	51.5	48.3	46.1	32.8	33.9	35.9
7	1.4	51.0	47.8	45.4	32.6	33.6	35.1
8	1.6	50.8	47.2	44.9	32.4	33.3	34.6
9	1.8	50.6	47.0	44.6	32.4	33.0	34.4
10	2.0	50.5	46.7	44.3	32.3	32.8	34.0

ตารางที่ ก.31 อุณหภูมิน้ำร้อน 65 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน = 2 GPM รูปแบบการไหลเป็น
แบบไหลสวนทางกัน ณ อัตราการไหลของน้ำเย็นจุดต่างๆ

No.	Rc (GPM)	Th1(°C)	Th2(°C)	Th3(°C)	Tc1(°C)	Tc2(°C)	Tc3(°C)
1	0.2	62.3	56.3	52.1	27.5	33.9	41.1
2	0.4	62.2	54.4	49.6	27.9	31.2	35.6
3	0.6	62.8	53.2	47.0	27.9	29.9	33.0
4	0.8	61.5	52.2	45.6	28.0	29.2	31.7
5	1.0	61.3	51.3	44.8	28.0	28.8	30.9
6	1.2	61.3	50.4	44.4	28.1	28.7	30.5
7	1.4	61.2	50.0	43.7	28.1	28.4	29.8
8	1.6	61.2	49.6	43.4	28.3	28.5	31.2
9	1.8	61.2	50.0	44.1	29.3	29.5	30.8
10	2.0	61.3	50.6	43.5	29.8	29.8	30.5

ตารางที่ ก.32 อุณหภูมิน้ำร้อน 65 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน = 4 GPM รูปแบบการไหลเป็น
แบบไหลสวนทางกัน ณ อัตราการไหลของน้ำเย็นจุดต่างๆ

No.	Rc (GPM)	Th1(°C)	Th2(°C)	Th3(°C)	Tc1(°C)	Tc2(°C)	Tc3(°C)
1	0.2	63.5	59.7	55.8	27.8	38.1	47.0
2	0.4	61.2	55.9	51.8	28.7	33.8	39.4
3	0.6	60.5	54.5	49.8	29.0	32.6	36.4
4	0.8	60.3	53.4	48.0	29.2	31.7	37.1
5	1.0	60.0	53.6	47.5	29.2	31.1	34.2
6	1.2	59.8	51.8	46.7	29.5	30.5	35.9
7	1.4	59.8	51.4	46.2	29.9	30.9	33.2
8	1.6	59.7	51.1	46.0	30.0	30.8	32.5
9	1.8	59.6	51.0	45.6	30.0	30.7	32.2
10	2.0	59.6	54.4	46.0	30.1	30.6	33.7

ตารางที่ ก.33 อุณหภูมิน้ำร้อน 65 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน = 6 GPM รูปแบบการไหลเป็น
แบบไหลสวนทางกัน ณ อัตราการไหลของน้ำเย็นจุดต่างๆ

No.	Rc (GPM)	Th1(°C)	Th2(°C)	Th3(°C)	Tc1(°C)	Tc2(°C)	Tc3(°C)
1	0.2	63.2	60.6	57.6	26.3	29.0	48.8
2	0.4	59.9	56.0	52.8	27.3	33.9	39.3
3	0.6	59.6	54.7	50.6	27.6	32.2	36.7
4	0.8	58.8	52.9	49.9	28.3	31.4	34.6
5	1.0	58.5	52.3	48.1	28.3	30.6	33.8
6	1.2	58.2	51.6	47.3	28.3	30.3	33.0
7	1.4	58.2	51.5	46.7	28.5	30.0	33.4
8	1.6	58.2	51.1	46.2	28.5	29.7	32.2
9	1.8	58.1	50.7	46.0	28.6	29.6	32.6
10	2.0	58.0	50.6	45.2	28.6	29.3	34.2

ตารางที่ ก.34 อุณหภูมิน้ำร้อน 65 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน = 8 GPM รูปแบบการไหลเป็น
แบบไหลสวนทางกัน ณ อัตราการไหลของน้ำเย็นจุดต่างๆ

No.	Rc (GPM)	Th1(°C)	Th2(°C)	Th3(°C)	Tc1(°C)	Tc2(°C)	Tc3(°C)
1	0.2	61.8	58.8	57.1	28.9	27.8	44.7
2	0.4	61.6	58.0	56.1	29.6	35.7	42.5
3	0.6	60.7	57.0	53.7	29.7	34.3	40.2
4	0.8	59.8	54.9	51.2	29.9	33.0	36.8

ตารางที่ ก.34 (ต่อ) อุณหภูมิน้ำร้อน 65 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน = 8 GPM รูปแบบการไหลเป็นแบบไหลสวนทางกัน ณ อัตราการไหลของน้ำเย็นจุดต่างๆ

No.	Rc (GPM)	Th1(°C)	Th2(°C)	Th3(°C)	Tc1(°C)	Tc2(°C)	Tc3(°C)
5	1.0	59.3	54	50.2	30.1	32.6	36.1
6	1.2	58.6	53.4	49.2	30.1	31.9	35.5
7	1.4	58.4	52.7	48.5	29.9	31.6	34.1
8	1.6	58.1	51.6	47.3	29.9	30.9	33.2
9	1.8	57.7	51.6	47.6	30.3	31.4	33.8
10	2.0	57.3	51.0	47.3	30.6	31.3	33.5

ตารางที่ ก.35 อุณหภูมิน้ำร้อน 65 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน = 10 GPM รูปแบบการไหลเป็นแบบไหลสวนทางกัน ณ อัตราการไหลของน้ำเย็นจุดต่างๆ

No.	Rc (GPM)	Th1(°C)	Th2(°C)	Th3(°C)	Tc1(°C)	Tc2(°C)	Tc3(°C)
1	0.2	62.5	60.6	58.9	30.7	42.8	50.4
2	0.4	61.5	58.2	56.4	31.1	37.5	43.5
3	0.6	60.3	56.8	54.0	31.5	35.6	41.4
4	0.8	59.7	55.9	52.6	32.0	35.2	39.0
5	1.0	59.2	55.1	52.1	32.0	34.7	38.0
6	1.2	58.5	54.0	51.0	31.7	33.8	36.9
7	1.4	57.8	54.4	49.8	31.3	33.2	35.8
8	1.6	57.9	54.0	49.2	31.4	32.9	35.5
9	1.8	57.5	52.0	48.4	31.4	32.5	34.7
10	2.0	57.3	52.0	48.2	31.4	32.4	34.5

ตารางที่ ก.36 อุณหภูมิน้ำร้อน 75 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน = 2 GPM รูปแบบการไหลเป็นแบบไหลสวนทางกัน ณ อัตราการไหลของน้ำเย็นจุดต่างๆ

No.	Rc (GPM)	Th1(°C)	Th2(°C)	Th3(°C)	Tc1(°C)	Tc2(°C)	Tc3(°C)
1	0.2	72.2	64.2	57.1	28.3	38.5	48.4
2	0.4	71	62.0	54.0	29.0	34.7	42.2
3	0.6	70.4	58.9	52.1	29.2	32.0	36.3
4	0.8	70.4	57.5	49.7	29.6	31.4	34.5
5	1.0	70.3	57.8	50.1	30.0	31.4	34.3
6	1.2	70.3	57.5	49.0	30.0	30.8	33.1
7	1.4	70.3	55.6	48.1	39.8	30.4	32.5
8	1.6	70.0	55.5	47.9	29.8	30.4	32.2

ตารางที่ ก.36 (ต่อ) อุณหภูมิน้ำร้อน 75 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน = 2 GPM รูปแบบการไหล
แบบไหลสวนทางกัน ณ อัตราการไหลของน้ำเย็นจุดต่างๆ

No.	Rc (GPM)	Th1(°C)	Th2(°C)	Th3(°C)	Tc1(°C)	Tc2(°C)	Tc3(°C)
9	1.8	70.0	55.4	47.7	29.8	30.2	32.0
10	2.0	70.0	55.1	47.3	29.8	30.0	31.5

ตารางที่ ก.37 อุณหภูมิน้ำร้อน 75 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน = 4 GPM รูปแบบการไหลเป็น
แบบไหลสวนทางกัน ณ อัตราการไหลของน้ำเย็นจุดต่างๆ

No.	Rc (GPM)	Th1(°C)	Th2(°C)	Th3(°C)	Tc1(°C)	Tc2(°C)	Tc3(°C)
1	0.2	71.0	65.5	59.7	29.9	41.6	50.7
2	0.4	69.4	59.2	54.8	30.5	37.2	42.8
3	0.6	69.4	61.5	54.4	30.6	34.2	39.0
4	0.8	69.1	59.9	53.5	30.8	33.7	37.9
5	1.0	69.1	59.8	52.5	31.0	33.4	37.3
6	1.2	68.8	58.5	51.8	30.8	32.6	35.9
7	1.4	58.5	57.7	50.8	30.6	32.1	36.2
8	1.6	58.2	57	50.1	30.5	31.7	34.3
9	1.8	68.0	56.5	49.8	30.5	31.4	33.8
10	2.0	57.8	56.1	49.2	30.4	31.2	33.3

ตารางที่ ก.38 อุณหภูมิน้ำร้อน 75 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน = 6 GPM รูปแบบการไหลเป็น
แบบไหลสวนทางกัน ณ อัตราการไหลของน้ำเย็นจุดต่างๆ

No.	Rc (GPM)	Th1(°C)	Th2(°C)	Th3(°C)	Tc1(°C)	Tc2(°C)	Tc3(°C)
1	0.2	70.8	67.5	63.9	30.6	47.7	56.7
2	0.4	69.8	64.4	59.6	30.8	39.8	47.7
3	0.6	68.9	62.4	56.6	31.0	36.1	42
4	0.8	68.6	62.1	56.3	31.2	35.2	40.6
5	1.0	67.7	60.6	55.2	31.4	34.6	38.7
6	1.2	67.3	59.5	54.0	31.2	33.7	37.4
7	1.4	67.0	58.9	52.9	30.9	33.1	36.4
8	1.6	66.4	58.2	52.5	30.8	32.8	36.5
9	1.8	66.3	57.5	51.8	30.8	32.6	35.6
10	2.0	66.3	57.3	51.0	30.7	32.7	34.7

ตารางที่ ก.39 อุณหภูมิน้ำร้อน 75 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน = 8 GPM รูปแบบการไหลเป็น
แบบไหลสวนทางกัน ณ อัตราการไหลของน้ำเย็นจุดต่างๆ

No.	Rc (GPM)	Th1(°C)	Th2(°C)	Th3(°C)	Tc1(°C)	Tc2(°C)	Tc3(°C)
1	0.2	71.0	67.9	63.3	27.5	44.0	55.0
2	0.4	68.3	64.0	60.0	28.4	38.2	46.1
3	0.6	67.1	64.0	57.8	28.8	35.9	42.2
4	0.8	67.7	62.3	57.2	29.3	35.5	42.6
5	1.0	65.7	59.5	54.6	29.3	33.2	37.6
6	1.2	65.3	59.2	53.8	29.2	32.4	36.4
7	1.4	64.7	57.9	52.9	28.8	31.8	36.9
8	1.6	64.5	57.1	52.2	28.9	31.3	35.2
9	1.8	64.5	54.2	49.8	28.8	30.2	31.8
10	2.0	64.1	56.3	50.9	28.8	30.8	33.6

ตารางที่ ก.40 อุณหภูมิน้ำร้อน 75 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน = 10 GPM รูปแบบการไหลเป็น
แบบไหลแบบสวนทางกัน ณ อัตราการไหลของน้ำเย็นจุดต่างๆ

No.	Rc (GPM)	Th1(°C)	Th2(°C)	Th3(°C)	Tc1(°C)	Tc2(°C)	Tc3(°C)
1	0.2	70.2	68.8	66.1	29.0	47.5	58.3
2	0.4	68.3	68.0	61.0	29.2	39.9	48.5
3	0.6	67.1	63.0	58.8	29.6	36.0	42.3
4	0.8	66.3	61.4	57.4	30.2	35.2	40.5
5	1.0	65.7	60.3	56.2	30.1	34.1	40.4
6	1.2	64.8	59.4	55.6	29.9	33.5	42.3
7	1.4	64.4	58.5	54.2	29.8	32.7	36.7
8	1.6	64	57.8	53.5	29.8	32.4	36.0
9	1.8	63.6	57.5	53.0	29.8	32.2	35.6
10	2.0	63.8	57.2	52.6	29.8	31.8	35.1

ภาคผนวก ข

ตารางแสดง ผลการคำนวณค่า อัตราการถ่ายเทความร้อน สัมประสิทธิ์การ
ถ่ายเทความร้อน และค่าประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อน



ตารางที่ ข.1 อุณหภูมิ 45 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน = 2 GPM ทิศทางการไหลแบบตามกัน

No.	Rc (GPM)	Qh (KW)	Qc (KW)	Qเฉลี่ย	Uo (W/m.mK)	Ui (W/m.mK)	ประสิทธิภาพ
1	0.2	0.501585	0.047366	0.274475	384.329	440.231	0.135860
2	0.4	0.473715	0.02229	0.248002	349.135	399.918	0.139061
3	0.6	0.654838	0.008359	0.331598	490.481	561.823	0.187401
4	0.8	0.7245	0.027862	0.376181	584.513	669.534	0.212597
5	1.0	0.738434	0.020897	0.379665	564.914	647.084	0.214566
6	1.2	0.780231	0.041793	0.411012	608.963	697.539	0.230467
7	1.4	0.808096	0.068262	0.438179	655.893	751.296	0.247635
8	1.6	0.822029	0.078014	0.450021	677.708	776.284	0.254328
9	1.8	0.822029	0.112841	0.467435	702.691	804.901	0.266266
10	2.0	0.919554	0.167172	0.543363	846.218	969.304	0.311994

ตารางที่ ข.2 อุณหภูมิ 45 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน = 4 GPM ทิศทางการไหลแบบตามกัน

No.	Rc (GPM)	Qh (KW)	Qc (KW)	Qเฉลี่ย	Uo (W/m.mK)	Ui (W/m.mK)	ประสิทธิภาพ
1	0.2	0.752371	0.051545	0.401958	626.113	717.185	0.110113
2	0.4	0.835967	0.061297	0.448632	697.315	798.743	0.129837
3	0.6	1.058888	0.087766	0.573327	943.875	1081.166	0.167275
4	0.8	1.198211	0.039007	0.618609	980.651	1123.291	0.183470
5	1.0	1.30967	0.020897	0.665283	1066.285	1221.381	0.198958
6	1.2	1.337536	0.016717	0.677127	1085.267	1243.124	0.202499
7	1.4	1.448994	0.029255	0.739125	1203.387	1378.425	0.224787
8	1.6	1.448994	0.011145	0.730069	1218.526	1395.766	0.223931
9	1.8	1.476858	0.025076	0.750967	1253.405	1435.719	0.230341
10	2.0	1.504723	0.069655	0.787189	1296.183	1484.719	0.241451

ตารางที่ ข.3 อุณหภูมิ 45 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน = 6 GPM ทิศทางการไหลแบบตามกัน

No.	Rc (GPM)	Qh (KW)	Qc (KW)	Qเฉลี่ย	Uo (W/m.mK)	Ui (W/m.mK)	ประสิทธิภาพ
1	0.2	0.835984	0.057119	0.446552	728.615	834.595	0.085466
2	0.4	1.128572	0.055725	0.592149	921.099	1055.077	0.117079

ตารางที่ ข.3 (ต่อ) อุณหภูมิ 45 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน = 6 GPM ทิศทางการไหลแบบตามกัน

No.	Rc (GPM)	Qh (KW)	Qc (KW)	Qเฉลี่ย	Uo (W/m.mK)	Ui (W/m.mK)	ประสิทธิภาพ
3	0.6	1.421154	0.054332	0.737743	1172.620	1343.183	0.148318
4	0.8	1.546542	0.04458	0.795561	1290.369	1478.059	0.164079
5	1.0	1.713729	0.041794	0.877761	1458.947	1671.158	0.182608
6	1.2	1.797322	0.033435	0.915378	1521.471	1742.776	0.190434
7	1.4	1.839119	0.019504	0.929311	1517.145	1737.821	0.191666
8	1.6	1.839114	0	0.919557	1532.750	1755.696	0.194690
9	1.8	1.797315	0.037614	0.917465	1568.231	1796.337	0.195981
10	2.0	0.919554	0.167172	0.543363	1923.005	2202.714	0.223212

ตารางที่ ข.4 อุณหภูมิ 45 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน = 8 GPM ทิศทางการไหลแบบตามกัน

No.	Rc (GPM)	Qh (KW)	Qc (KW)	Qเฉลี่ย	Uo (W/m.mK)	Ui (W/m.mK)	ประสิทธิภาพ
1	0.2	0.557371	0.10588	0.331625	454.970	521.147	0.037896
2	0.4	1.114629	0.036221	0.575425	833.719	954.987	0.086041
3	0.6	1.504742	0.079408	0.792075	1264.743	1448.706	0.120444
4	0.8	1.67192	0.08916	0.88054	1523.041	1744.575	0.142341
5	1.0	1.783379	0.055725	0.919552	1562.833	1790.154	0.151375
6	1.2	1.894838	0.041794	0.968316	1673.436	1916.845	0.162382
7	1.4	2.006294	0.029255	1.017775	1758.911	2014.753	0.170677
8	1.6	2.11775	0.02229	1.07002	1884.358	2158.446	0.181131
9	1.8	2.11775	0	1.058875	1861.303	2132.038	0.180952
10	2.0	2.117748	0	1.058874	1861.301	2132.036	0.180952

ตารางที่ ข.5 อุณหภูมิ 45 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน = 10 GPM ทิศทางการไหลแบบตามกัน

No.	Rc (GPM)	Qh (KW)	Qc (KW)	Qเฉลี่ย	Uo (W/m.mK)	Ui (W/m.mK)	ประสิทธิภาพ
1	0.2	0.835971	0.065477	0.450724	759.473	869.942	0.053470
2	0.4	1.253952	0.069656	0.661804	1071.530	1227.389	0.082608
3	0.6	1.811253	0.075228	0.943241	1554.448	1780.550	0.118771
4	0.8	1.880909	0.06687	0.973889	1625.444	1861.872	0.127090

ตารางที่ ข.5(ต่อ) อุณหภูมิ 45 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน = 10 GPM ทิศทางการไหลแบบตามกัน

No.	Rc (GPM)	Qh (KW)	Qc (KW)	Qเฉลี่ย	Uo (W/m.mK)	Ui (W/m.mK)	ประสิทธิภาพ
5	1.0	2.089893	0.083587	1.08674	1917.526	2196.439	0.145793
6	1.2	2.159552	0.058511	1.109031	1926.313	2206.504	0.150188
7	1.4	2.159552	0.048759	1.104155	1892.203	2167.433	0.149528
8	1.6	2.229211	0.04458	1.136895	1971.364	2258.108	0.155428
9	1.8	2.438195	0.025076	1.231635	2176.136	2492.665	0.169999
10	2.0	2.647178	0.041793	1.344486	2443.897	2799.373	0.185576

ตารางที่ ข.6 อุณหภูมิ 55 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน = 2 GPM ทิศทางการไหลแบบตามกัน

No.	Rc (GPM)	Qh (KW)	Qc (KW)	Qเฉลี่ย	Uo (W/m.mK)	Ui (W/m.mK)	ประสิทธิภาพ
1	0.2	1.017508	0.06269	0.540099	499.232	571.848	0.170699
2	0.4	1.059329	0.11145	0.585389	547.358	626.974	0.187490
3	0.6	1.184713	0.112842	0.648778	612.775	701.906	0.211582
4	0.8	1.254372	0.117021	0.685697	649.296	743.739	0.224648
5	1.0	1.449399	0.048759	0.749079	714.055	817.917	0.246556
6	1.2	1.491202	0.108662	0.799932	786.895	901.352	0.262093
7	1.4	1.51906	0.039007	0.779034	753.902	863.560	0.257601
8	1.6	1.546918	0.011145	0.779032	750.735	859.933	0.257603
9	1.8	1.574791	0	0.787395	756.843	866.929	0.259174
10	2.0	1.574806	0.027862	0.801334	771.501	883.719	0.262555

ตารางที่ ข.7 อุณหภูมิ 55 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน = 4 GPM ทิศทางการไหลแบบตามกัน

No.	Rc (GPM)	Qh (KW)	Qc (KW)	Qเฉลี่ย	Uo (W/m.mK)	Ui (W/m.mK)	ประสิทธิภาพ
1	0.2	1.254726	0.150461	0.702594	682.958	782.298	0.104124
2	0.4	1.811983	0.128167	0.970075	900.655	1031.659	0.156751
3	0.6	1.979111	0.154636	1.066873	1031.832	1181.917	0.178849
4	0.8	2.174037	0.128166	1.151101	1134.098	1299.058	0.199512
5	1.0	2.313343	0.125379	1.219361	1209.671	1385.623	0.212374
6	1.2	2.396923	0.150456	1.273689	1288.980	1476.469	0.222922

ตารางที่ ข.7 (ต่อ) อุณหภูมิ 55 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน = 4 GPM ทิศทางการไหลแบบตาม

No.	Rc (GPM)	Qh (KW)	Qc (KW)	Qเฉลี่ย	Uo (W/m.mK)	Ui (W/m.mK)	ประสิทธิภาพ
7	1.4	2.452595	0.117021	1.284808	1305.260	1495.116	0.228214
8	1.6	2.564052	0.245188	1.40462	1510.539	1730.254	0.248269
9	1.8	2.59191	0.112841	1.352376	1376.121	1576.284	0.239036
10	2.0	2.675482	0.097517	1.386499	1417.060	1623.178	0.245071

ตารางที่ ข.8 อุณหภูมิ 55 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน = 6 GPM ทิศทางการไหลแบบตามกัน

No.	Rc (GPM)	Qh (KW)	Qc (KW)	Qเฉลี่ย	Uo (W/m.mK)	Ui (W/m.mK)	ประสิทธิภาพ
1	0.2	1.50565	0.125385	0.815517	812.461	930.638	0.088230
2	0.4	1.965549	0.158819	1.062184	1010.561	1157.551	0.118686
3	0.6	2.425328	0.171356	1.298342	1251.528	1433.569	0.148559
4	0.8	2.801417	0.206183	1.5038	1521.854	1743.215	0.175441
5	1.0	2.968524	0.17414	1.571332	1569.249	1797.503	0.186052
6	1.2	3.093851	0.175532	1.634692	1637.012	1875.123	0.194523
7	1.4	3.177378	0.175532	1.676455	1707.329	1955.667	0.202521
8	1.6	3.302721	0.178318	1.74052	1793.017	2053.820	0.211333
9	1.8	3.344416	0.162994	1.753705	1816.842	2081.110	0.215125
10	2.0	3.38614	0.153242	1.769691	1852.025	2121.411	0.219341

ตารางที่ ข.9 อุณหภูมิ 55 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน = 8 GPM ทิศทางการไหลแบบตามกัน

No.	Rc (GPM)	Qh (KW)	Qc (KW)	Qเฉลี่ย	Uo (W/m.mK)	Ui (W/m.mK)	ประสิทธิภาพ
1	0.2	1.672784	0.143495	0.908139	921.154	1055.140	0.073034
2	0.4	2.174422	0.183894	1.179158	1173.467	1344.153	0.101678
3	0.6	2.453018	0.20479	1.328904	1319.697	1511.653	0.118590
4	0.8	3.065964	0.228472	1.647218	1704.359	1952.266	0.149996
5	1.0	3.288723	0.208967	1.748845	1819.438	2084.083	0.163408
6	1.2	3.232935	0.259119	1.746027	1843.158	2111.254	0.164865
7	1.4	3.567172	0.22429	1.895731	2027.869	2322.832	0.181882
8	1.6	3.622892	0.289766	1.956329	2115.109	2422.761	0.186699

ตารางที่ ข.9 (ต่อ) อุณหภูมิ 55 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน = 8 GPM ทิศทางการไหลแบบตามกัน

No.	Rc (GPM)	Qh (KW)	Qc (KW)	Qเฉลี่ย	Uo (W/m.mK)	Ui (W/m.mK)	ประสิทธิภาพ
9	1.8	3.734258	0.213144	1.973701	2098.766	2404.041	0.190387
10	2.0	3.734258	0.222896	1.978577	2110.193	2417.130	0.191889

ตารางที่ ข.10 อุณหภูมิ 55 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน = 10 GPM ทิศทางการไหลแบบตามกัน

No.	Rc (GPM)	Qh (KW)	Qc (KW)	Qเฉลี่ย	Uo (W/m.mK)	Ui (W/m.mK)	ประสิทธิภาพ
1	0.2	1.67296	0.15325	0.913105	951.616	1090.033	0.059542
2	0.4	2.369823	0.195041	1.282432	1236.530	1416.389	0.086788
3	0.6	2.717923	0.200612	1.459267	1453.211	1664.588	0.106290
4	0.8	3.275101	0.222901	1.749001	1816.942	2081.225	0.131410
5	1.0	3.553697	0.250763	1.90223	2005.029	2296.670	0.144441
6	1.2	3.692952	0.242402	1.967677	2044.314	2341.669	0.150209
7	1.4	3.762468	0.253547	2.008007	2113.712	2421.161	0.155781
8	1.6	3.971323	0.234042	2.102683	2242.951	2569.199	0.165821
9	1.8	4.040937	0.238221	2.139579	2289.188	2622.161	0.169666
10	2.0	4.1802	0.236828	2.208514	2380.519	2726.777	0.176109

ตารางที่ ข.11 อุณหภูมิ 65 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน = 2 GPM ทิศทางการไหลแบบตามกัน

No.	Rc (GPM)	Qh (KW)	Qc (KW)	Qเฉลี่ย	Uo (W/m.mK)	Ui (W/m.mK)	ประสิทธิภาพ
1	0.2	1.213656	0.181113	0.697384	517.708	593.012	0.152413
2	0.4	1.64588	0.250768	0.948324	707.728	810.671	0.211804
3	0.6	1.813136	0.204789	1.008963	693.556	794.437	0.227489
4	0.8	2.161496	0.128166	1.144831	800.132	916.514	0.261450
5	1.0	2.189386	0.146276	1.167831	816.207	934.928	0.266702
6	1.2	2.272992	0.125379	1.199185	842.318	964.837	0.274746
7	1.4	2.314793	0.11702	1.215906	854.063	978.290	0.278581
8	1.6	2.35657	0.122593	1.239581	880.751	1008.860	0.284922
9	1.8	2.398368	0.100303	1.249335	883.196	1011.661	0.286251
10	2.0	2.468053	0.055724	1.261888	894.964	1025.141	0.289131

ตารางที่ ข.12 อุณหภูมิ 65 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน = 4 GPM ทิศทางการไหลแบบตามกัน

No.	Rc (GPM)	Qh (KW)	Qc (KW)	Qเฉลี่ย	Uo (W/m.mK)	Ui (W/m.mK)	ประสิทธิภาพ
1	0.2	1.869648	0.218736	1.044192	819.589	938.802	0.115849
2	0.4	2.538864	0.267489	1.403176	1015.138	1162.795	0.160683
3	0.6	3.012624	0.234048	1.623336	1146.824	1313.635	0.192063
4	0.8	3.26338	0.250764	1.757072	1264.981	1448.979	0.211393
5	1.0	3.430503	0.250762	1.840633	1339.586	1534.435	0.224474
6	1.2	3.514022	0.250761	1.882392	1377.923	1578.348	0.231944
7	1.4	3.681181	0.27305	1.977116	1466.338	1679.624	0.243627
8	1.6	3.792587	0.256332	2.024459	1512.345	1732.323	0.251197
9	1.8	3.820382	0.225683	2.023033	1507.177	1726.403	0.252775
10	2.0	3.931813	0.250759	2.091286	1596.127	1828.291	0.263144

ตารางที่ ข.13 อุณหภูมิ 65 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน = 6 GPM ทิศทางการไหลแบบตามกัน

No.	Rc (GPM)	Qh (KW)	Qc (KW)	Qเฉลี่ย	Uo (W/m.mK)	Ui (W/m.mK)	ประสิทธิภาพ
1	0.2	2.218548	0.241025	1.229787	903.403	1034.807	0.087437
2	0.4	2.929108	0.320429	1.624768	1231.415	1410.529	0.128147
3	0.6	3.472637	0.246584	1.85961	1296.988	1485.640	0.152215
4	0.8	4.266905	0.273052	2.269978	1704.582	1952.522	0.191744
5	1.0	4.1832	0.341315	2.262258	1705.577	1953.661	0.192454
6	1.2	4.434065	0.325989	2.380027	1771.012	2028.614	0.202478
7	1.4	4.726587	0.302304	2.514445	1894.625	2170.207	0.216236
8	1.6	4.810197	0.390071	2.600134	1998.886	2289.633	0.223607
9	1.8	4.893806	0.313448	2.603627	1959.362	2244.360	0.224718
10	2.0	5.019216	0.431864	2.72554	2114.009	2421.501	0.235243

ตารางที่ ข.14 อุณหภูมิ 65 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน = 8 GPM ทิศทางการไหลแบบตามกัน

No.	Rc (GPM)	Qh (KW)	Qc (KW)	Qเฉลี่ย	Uo (W/m.mK)	Ui (W/m.mK)	ประสิทธิภาพ
1	0.2	2.232341	0.242422	1.237382	1013.971	1161.458	0.071753
2	0.4	3.347872	0.289781	1.818827	1331.593	1525.280	0.110124

ตารางที่ ข.14(ต่อ) อุณหภูมิ 65 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน = 8 GPM ทิศทางการไหลแบบตาม

No.	Rc (GPM)	Qh (KW)	Qc (KW)	Qเฉลี่ย	Uo (W/m.mK)	Ui (W/m.mK)	ประสิทธิภาพ
3	0.6	3.849556	0.367795	2.108676	1573.101	1801.915	0.131236
4	0.8	4.18386	0.417946	2.300903	1749.837	2004.359	0.147307
5	1.0	4.573894	0.362215	2.468055	1848.430	2117.293	0.162076
6	1.2	4.796782	0.376144	2.586463	1938.845	2220.859	0.171114
7	1.4	4.963803	0.448586	2.706195	2099.540	2404.928	0.181728
8	1.6	5.298188	0.367782	2.832985	2171.020	2486.805	0.191687
9	1.8	5.353779	0.401217	2.877498	2241.082	2567.057	0.196935
10	2.0	5.409418	0.39007	2.899744	2248.322	2575.351	0.199223

ตารางที่ ข.15 อุณหภูมิ 65 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน = 10 GPM ทิศทางการไหลแบบตามกัน

No.	Rc (GPM)	Qh (KW)	Qc (KW)	Qเฉลี่ย	Uo (W/m.mK)	Ui (W/m.mK)	ประสิทธิภาพ
1	0.2	2.650677	0.238237	1.444457	1100.217	1260.248	0.065118
2	0.4	3.41744	0.33436	1.8759	1374.584	1574.524	0.089956
3	0.6	3.905067	0.397047	2.151057	1581.779	1811.856	0.107480
4	0.8	4.532168	0.724452	2.62831	2389.018	2736.512	0.134625
5	1.0	4.880493	0.612982	2.746738	2196.265	2515.722	0.142738
6	1.2	5.159033	0.44301	2.801022	2073.435	2375.026	0.148255
7	1.4	5.437692	0.565606	3.001649	2323.906	2661.929	0.160659
8	1.6	5.716384	0.546099	3.131242	2397.389	2746.100	0.168227
9	1.8	5.925322	0.589285	3.257303	2529.264	2897.157	0.176327
10	2.0	5.855528	0.626898	3.241213	2519.017	2885.419	0.176793

ตารางที่ ข.16 อุณหภูมิ 75 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน = 2 GPM ทิศทางการไหลแบบตามกัน

No.	Rc (GPM)	Qh (KW)	Qc (KW)	Qเฉลี่ย	Uo (W/m.mK)	Ui (W/m.mK)	ประสิทธิภาพ
1	0.2	2.192067	0.243812	1.217939	679.793	778.672	0.187191
2	0.4	2.219227	0.298138	1.258682	729.858	836.019	0.218884
3	0.6	2.623452	0.234046	1.428749	806.382	923.674	0.253430
4	0.8	2.693109	0.284197	1.488653	847.100	970.315	0.265381

ตารางที่ ข.16 (ต่อ) อุณหภูมิ 75 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน = 2GPM ทิศทางการไหลแบบตามกัน

No.	Rc (GPM)	Qh (KW)	Qc (KW)	Qเฉลี่ย	Uo (W/m.mK)	Ui (W/m.mK)	ประสิทธิภาพ
5	1.0	2.818546	0.292554	1.55555	885.167	1013.919	0.277321
6	1.2	2.065567	0.234041	1.149804	563.188	645.107	0.205961
7	1.4	2.985757	0.321808	1.653782	960.718	1100.459	0.297074
8	1.6	3.041478	0.289765	1.665622	963.678	1103.849	0.299961
9	1.8	3.083289	0.23822	1.660754	950.494	1088.748	0.299088
10	2.0	3.125069	0.250757	1.687913	975.325	1117.190	0.304753

ตารางที่ ข.17 อุณหภูมิ 75 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน = 4 GPM ทิศทางการไหลแบบตามกัน

No.	Rc (GPM)	Qh (KW)	Qc (KW)	Qเฉลี่ย	Uo (W/m.mK)	Ui (W/m.mK)	ประสิทธิภาพ
1	0.2	2.400937	0.309298	1.355117	934.894	1070.879	0.119850
2	0.4	3.432864	0.337144	1.885004	1138.495	1304.094	0.174072
3	0.6	3.934746	0.363608	2.149177	1273.203	1458.396	0.201609
4	0.8	4.074023	0.412365	2.243194	1339.374	1534.192	0.214370
5	1.0	4.32481	0.397038	2.360924	1414.929	1620.737	0.229308
6	1.2	4.464213	0.384499	2.424356	1447.860	1658.458	0.237405
7	1.4	4.659367	0.370566	2.514966	1497.936	1715.818	0.246286
8	1.6	4.770832	0.367778	2.569305	1526.207	1748.201	0.251615
9	1.8	4.938088	0.363598	2.650843	1583.122	1813.394	0.259607
10	2.0	5.021712	0.376136	2.698924	1623.130	1859.222	0.265044

ตารางที่ ข.18 อุณหภูมิ 75 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน = 6 GPM ทิศทางการไหลแบบตามกัน

No.	Rc (GPM)	Qh (KW)	Qc (KW)	Qเฉลี่ย	Uo (W/m.mK)	Ui (W/m.mK)	ประสิทธิภาพ
1	0.2	2.931758	0.306516	1.619137	1071.660	1227.538	0.096648
2	0.4	4.145467	0.434681	2.290074	1442.916	1652.795	0.141685
3	0.6	4.354314	0.514087	2.4342	1508.866	1728.338	0.156709
4	0.8	5.148805	0.395655	2.77223	1665.660	1907.938	0.185506
5	1.0	5.483372	0.431873	2.957622	1764.845	2021.550	0.197371
6	1.2	5.524992	0.459735	2.992364	1810.349	2073.673	0.203680

ตารางที่ ข.18 (ต่อ) อุณหภูมิ 75 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน = 6 GPM ทิศทางการไหลแบบตาม

No.	Rc (GPM)	Qh (KW)	Qc (KW)	Qเฉลี่ย	Uo (W/m.mK)	Ui (W/m.mK)	ประสิทธิภาพ
7	1.4	5.85956	0.487595	3.173577	1918.966	2198.088	0.214801
8	1.6	6.02663	0.479233	3.252932	1967.990	2254.244	0.221439
9	1.8	6.235561	0.463906	3.349734	2038.526	2335.039	0.229348
10	2.0	6.151744	0.501521	3.326633	2043.132	2340.315	0.230411

ตารางที่ ข.19 อุณหภูมิ 75 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน = 8 GPM ทิศทางการไหลแบบตามกัน

No.	Rc (GPM)	Qh (KW)	Qc (KW)	Qเฉลี่ย	Uo (W/m.mK)	Ui (W/m.mK)	ประสิทธิภาพ
1	0.2	1.843045	0.402671	1.122858	869.647	996.141	0.050770
2	0.4	4.52237	0.426324	2.474347	1559.013	1785.778	0.119134
3	0.6	5.191855	0.48901	2.840433	1722.3815	1972.909	0.139396
4	0.8	6.027782	0.484822	3.256302	2049.409	2347.505	0.168136
5	1.0	5.693069	0.529401	3.111235	1885.521	2159.778	0.161572
6	1.2	5.804365	0.551687	3.178026	1918.431	2197.476	0.166986
7	1.4	6.082927	0.565614	3.32427	2016.608	2309.933	0.176235
8	1.6	6.417337	0.601833	3.509585	2158.589	2472.566	0.18718
9	1.8	6.584589	0.60183	3.593209	2192.662	2511.595	0.191644
10	2.0	6.751639	0.599042	3.67534	2269.659	2599.791	0.198397

ตารางที่ ข.20 อุณหภูมิ 75 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน = 10 GPM ทิศทางการไหลแบบตามกัน

No.	Rc (GPM)	Qh (KW)	Qc (KW)	Qเฉลี่ย	Uo (W/m.mK)	Ui (W/m.mK)	ประสิทธิภาพ
1	0.2	3.280982	0.355291	1.818137	1324.808	1517.507	0.066610
2	0.4	4.327559	0.523862	2.42571	1592.607	1824.259	0.092921
3	0.6	5.582667	0.489011	3.035839	1838.831	2106.298	0.121859
4	0.8	5.651721	0.529409	3.090565	1895.287	2170.965	0.129893
5	1.0	6.070019	0.585131	3.327575	2022.501	2316.683	0.140274
6	1.2	6.557941	0.618562	3.588252	2191.742	2510.541	0.152620
7	1.4	7.254901	0.624125	3.939513	2375.849	2721.427	0.166098
8	1.6	7.115044	0.646415	3.88073	2381.701	2728.131	0.168076

ตารางที่ ข.20(ต่อ) อุณหภูมิ 75 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน =10 GPM ทิศทางการไหลแบบตามกัน

No.	Rc (GPM)	Qh (KW)	Qc (KW)	Qเฉลี่ย	Uo (W/m.mK)	Ui (W/m.mK)	ประสิทธิภาพ
9	1.8	7.254416	0.714678	3.984547	2451.809	2808.436	0.172576
10	2.0	7.533072	0.89161	4.212341	2705.994	3099.593	0.184120



ภาคผนวก ค

ผลการทดลองซ้ำ รอบที่ 2 และ 3 ของอุณหภูมิน้ำร้อน 75 °C ที่อัตราการไหล
ของน้ำร้อนและน้ำเย็นต่างกัน ทั้งทิศทางการไหลสวนกันและไหลตามกัน



ตารางที่ ค.1 อุณหภูมิ 75 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน = 2 GPM ทิศทางการไหลแบบไหลตามกัน
ครั้งที่ 2

No.	Rc (GPM)	Th1(°C)	Th2(°C)	Th3(°C)	Tc1(°C)	Tc2(°C)	Tc3(°C)
1	0.2	74.2	68.4	62.0	31.6	45.5	50.3
2	0.4	73.3	59.3	54.7	32.7	37.8	41.2
3	0.6	72.7	57.7	53.7	33.0	36.0	37.0
4	0.8	72.6	59.4	53.0	32.8	35.4	36.7
5	1.0	71.9	59.0	52.3	32.9	35.2	39.7
6	1.2	72.0	58.9	51.6	32.8	34.7	36.5
7	1.4	71.8	57.5	50.6	32.8	34.1	40.0
8	1.6	71.8	57	50.1	32.7	33.9	34.5
9	1.8	71.7	56.7	49.7	32.7	37.9	38.6
10	2.0	71.8	57.4	49.3	32.7	37.7	38.7

ตารางที่ ค.2 อุณหภูมิ 75 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน = 4 GPM ทิศทางการไหลแบบไหลตามกัน
ครั้งที่ 2

No.	Rc (GPM)	Th1(°C)	Th2(°C)	Th3(°C)	Tc1(°C)	Tc2(°C)	Tc3(°C)
1	0.2	75.2	70.8	68	31.1	50.3	55.8
2	0.4	72.3	67.3	64.3	31.9	41.3	47.3
3	0.6	71.2	62.2	56.7	32.4	40.2	41.2
4	0.8	70.4	61.8	55.7	32.7	39.5	40.2
5	1.0	70.2	60.3	54.8	33.0	40.0	41.3
6	1.2	70.1	59.5.0	53.8	32.9	36.4	37.7
7	1.4	70.3	59.7	52.5	32.9	37.0	39.4
8	1.6	70.0	58.3	52.1	32.9	36.5	38.8
9	1.8	70.0	58.0	51.6	32.9	37.8	39.0
10	2.0	69.5	57.0	51.4	32.9	35.2	39.1

ตารางที่ ค.3 อุณหภูมิ 75 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน = 6 GPM ทิศทางการไหลแบบไหลตามกัน
ครั้งที่ 2

No.	Rc (GPM)	Th1(°C)	Th2(°C)	Th3(°C)	Tc1(°C)	Tc2(°C)	Tc3(°C)
1	0.2	73.3	68.6	67.1	33.3	50.1	55.9
2	0.4	72.5	66.6	64.2	33.9	43.6	48.9
3	0.6	71.6	64.6	60.8	34.5	41.2	47.3
4	0.8	70.6	63.1	58.7	34.9	39.9	42.9

ตารางที่ ค.3 (ต่อ) อุณหภูมิ 75 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน = 6 GPM ทิศทางการไหลแบบตาม
กันครั้งที่ 2

No.	Rc (GPM)	Th1(°C)	Th2(°C)	Th3(°C)	Tc1(°C)	Tc2(°C)	Tc3(°C)
5	1.0	69.9	61.8	57.4	34.6	38.8	41.3
6	1.2	69.3	60.8	56.2	34.4	37.8	40.9
7	1.4	69.1	60.0	55.1	34.2	37.0	39.2
8	1.6	68.8	59.2	54.1	33.6	36.6	38.3
9	1.8	68.5	58.9	53.5	33.6	36.0	37.7
10	2.0	68.0	58.6	53.3	33.5	35.7	37.2

ตารางที่ ค.4 อุณหภูมิ 75 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน = 8 GPM ทิศทางการไหลแบบไหลตาม
กัน ครั้งที่ 2

No.	Rc (GPM)	Th1(°C)	Th2(°C)	Th3(°C)	Tc1(°C)	Tc2(°C)	Tc3(°C)
1	0.2	73.4	69.6	68.3	33.9	50.9	57.3
2	0.4	71.7	66.7	64.7	34.4	43.9	49.9
3	0.6	70.7	65.4	62.3	34.2	41.0	46.5
4	0.8	69.9	63.6	60.1	34.1	39.6	43.6
5	1.0	68.8	62.1	58.4	34.1	38.5	41.8
6	1.2	68.4	61.5	57.2	34.0	37.9	40.5
7	1.4	67.8	60.5	56.4	34.2	37.5	40.2
8	1.6	67.8	59.9	55.8	34.5	37.3	39.5
9	1.8	67.5	59.7	55.1	34.3	36.9	38.7
10	2.0	67.3	59.5	54.6	34.2	36.4	38.3

ตารางที่ ค.5 อุณหภูมิ 75 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน = 10 GPM ทิศทางการไหลแบบไหลตาม
กัน ครั้งที่ 2

No.	Rc (GPM)	Th1(°C)	Th2(°C)	Th3(°C)	Tc1(°C)	Tc2(°C)	Tc3(°C)
1	0.2	75.1	71.4	70.5	30.3	54.3	60.9
2	0.4	70.3	69.7	68.7	30.3	44.6	45.7
3	0.6	69.8	63.8	60.5	31.1	38.3	43.2
4	0.8	67.2	62.7	59.5	31.8	38.0	42.0
5	1.0	66.6	63.2	57.4	31.7	36.7	40.2
6	1.2	66.1	59.8	56.1	31.5	35.9	40.4
7	1.4	65.7	59.1	55.0	31.4	35.0	38.5
8	1.6	65.4	58	54.3	31.1	34.6	37.9

ตารางที่ ค.5 (ต่อ) อุณหภูมิ 75 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน = 10 GPM ทิศทางการไหลแบบไหลตามกัน ครั้งที่ 2

No.	Rc (GPM)	Th1(°C)	Th2(°C)	Th3(°C)	Tc1(°C)	Tc2(°C)	Tc3(°C)
9	1.8	64.8	58.2	53.8	31.1	34.2	36.6
10	2.0	64.7	58.3	53.9	31.1	34.1	36.5

ตารางที่ ค.6 อุณหภูมิ 75 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน = 2 GPM ทิศทางการไหลแบบไหลตามกัน ครั้งที่ 3

No.	Rc (GPM)	Th1(°C)	Th2(°C)	Th3(°C)	Tc1(°C)	Tc2(°C)	Tc3(°C)
1	0.2	74.0	65.7	60.8	31.3	42.3	46.6
2	0.4	74.0	64.8	58.1	31.6	37.5	40.9
3	0.6	73.9	63.1	57.5	32.3	36.6	39.1
4	0.8	73.0	60.1	52.9	32.7	35.3	39.9
5	1.0	73.0	59.5	52.8	32.9	35.3	39.4
6	1.2	72.5	58.4	52.1	32.8	34.8	39.2
7	1.4	72.5	64.5	51.5	32.8	34.8	38.1
8	1.6	72.5	59.4	50.9	32.5	34.1	36.7
9	1.8	72.3	57.8	50.7	32.6	33.5	36.2
10	2.0	72.3	56.7	48.8	32.8	33.7	34.1

ตารางที่ ค.7 อุณหภูมิ 75 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน = 4 GPM ทิศทางการไหลแบบไหลตามกัน ครั้งที่ 3

No.	Rc (GPM)	Th1(°C)	Th2(°C)	Th3(°C)	Tc1(°C)	Tc2(°C)	Tc3(°C)
1	0.2	73.7	68.7	65.9	32.8	47.1	58.3
2	0.4	72.7	65.4	61.1	32.9	40.3	46.2
3	0.6	71.5	64.4	59	33.3	37.3	42.4
4	0.8	70.6	61.6	50.1	33.3	37.5	40.1
5	1.0	70.5	60.5	55.4	33.7	37.1	39.4
6	1.2	70.2	59.9	54.5	33.8	36.8	39.3
7	1.4	70.0	59.4	53.4	33.5	36.3	38.5
8	1.6	69.6	58.4	52.5	33.3	35.4	39.8
9	1.8	69.5	58.1	52.0	33.3	35.1	38.0
10	2.0	69.3	58.0	51.7	33.3	34.8	37.2

ตารางที่ ค.8 อุณหภูมิ 75 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน = 6 GPM ทิศทางการไหลแบบไหลตามกัน
ครั้งที่ 3

No.	Rc (GPM)	Th1(°C)	Th2(°C)	Th3(°C)	Tc1(°C)	Tc2(°C)	Tc3(°C)
1	0.2	74.1	72.5	30.0	57.4	65.1	74.1
2	0.4	67.4	61.4	31.0	40.2	45.0	67.4
3	0.6	61.5	57.9	31.2	38.0	43.3	61.5
4	0.8	61.4	57.3	31.6	36.8	40.4	61.4
5	1.0	60.7	55.1	31.8	36.0	40.6	60.7
6	1.2	59.4	54.3	31.6	35.1	39.8	59.4
7	1.4	59.5	53.2	31.5	34.0	39.8	59.5
8	1.6	58.4	52.5	31.6	34.7	38.1	58.4
9	1.8	57.4	52.1	31.6	33.9	37.4	57.4
10	2.0	56.9	51.7	31.6	33.7	35.7	56.9

ตารางที่ ค.9 อุณหภูมิ 75 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน = 8 GPM ทิศทางการไหลแบบไหลตามกัน
ครั้งที่ 3

No.	Rc (GPM)	Th1(°C)	Th2(°C)	Th3(°C)	Tc1(°C)	Tc2(°C)	Tc3(°C)
1	0.2	72.5	68.7	67.4	32.0	51.2	61.5
2	0.4	71.3	67.4	63.5	32.6	41.7	50.0
3	0.6	68.8	63.1	60.8	33.1	39.9	43.6
4	0.8	67.4	60.4	56.6	32.8	36.6	39.9
5	1.0	68.2	61.5	57.7	33.2	37.6	40.9
6	1.2	67.5	62.4	56.6	33.3	37.1	39.6
7	1.4	67.3	64.8	56.4	32.8	36.7	39.5
8	1.6	66.5	59.0	54.4	32.5	35.3	38.4
9	1.8	66.5	58.2	54.0	32.5	35.3	37.0
10	2.0	66.2	58.2	53.7	32.4	34.9	36.7

ตารางที่ ค.10 อุณหภูมิ 75 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน = 10 GPM ทิศทางการไหลแบบไหลตามกัน
ครั้งที่ 3

No.	Rc (GPM)	Th1(°C)	Th2(°C)	Th3(°C)	Tc1(°C)	Tc2(°C)	Tc3(°C)
1	0.2	72.7	70.1	69.7	33.4	55.0	61.0
2	0.4	70.7	66.5	64.6	34.1	43.9	51.0
3	0.6	68.8	66.7	62.0	34.2	40.0	44.8
4	0.8	68.5	64.1	60.1	34.2	40.8	43.9

ตารางที่ ค.10 (ต่อ) อุณหภูมิ 75 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน = 10 GPM ทิศทางการไหลแบบ
ตามกัน ครั้งที่ 3

No.	Rc (GPM)	Th1(°C)	Th2(°C)	Th3(°C)	Tc1(°C)	Tc2(°C)	Tc3(°C)
5	1.0	67.8	62.2	58.7	34.1	38.8	42.0
6	1.2	67	60.8	57.4	33.8	37.8	40.5
7	1.4	66.7	60.0	56.6	33.5	37.0	39.3
8	1.6	66.3	59.7	55.7	33.6	36.6	39.3
9	1.8	66.0	59.0	55.3	33.2	36.1	38.2
10	2.0	65.7	60.0	54.5	33.3	35.7	37.9

ตารางที่ ค.11 อุณหภูมิ 75 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน = 2 GPM ทิศทางการไหลแบบไหลสวน
ทางกัน ครั้งที่ 2

No.	Rc (GPM)	Th1(°C)	Th2(°C)	Th3(°C)	Tc1(°C)	Tc2(°C)	Tc3(°C)
1	0.2	80.4	70.5	66.6	31.5	48.7	55.3
2	0.4	73.7	63.3	57.9	32.4	38.7	47.9
3	0.6	73.1	62.4	55.4	33.0	37.1	39.9
4	0.8	72.9	60.8	55.0	33.2	36.4	39.0
5	1.0	72.6	59.5	53.3	33.3	36.0	40.0
6	1.2	72.3	58.9	52.3	33.5	36.0	40.0
7	1.4	72.3	58.9	52.3	33.5	35.1	37.9
8	1.6	72.2	58.0	51.1	33.4	35.0	38.4
9	1.8	72	57.6	50.8	33.6	35.5	37.8
10	2.0	72	57.2	50.5	33.7	34.8	37.7

ตารางที่ ค.12 อุณหภูมิ 75 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน = 4 GPM ทิศทางการไหลแบบไหลสวน
ทางกัน ครั้งที่ 2

No.	Rc (GPM)	Th1(°C)	Th2(°C)	Th3(°C)	Tc1(°C)	Tc2(°C)	Tc3(°C)
1	0.2	73.3	67.0	64.5	33.9	46.5	52.3
2	0.4	72.7	64.9	60.9	34.4	41.5	45.6
3	0.6	71.8	63.6	59.0	34.3	39.4	42.8
4	0.8	71.1	62.2	57.3	34.2	37.6	40.4
5	1.0	70.8	60.9	55.7	34.2	37.6	40.1
6	1.2	70.4	60.2	54.6	34.1	36.8	40.4
7	1.4	70.3	59.9	54.3	34.1	36.3	38.4
8	1.6	70.0	58.7	53.1	34.0	36.0	39.8
9	1.8	70.0	60.6	52.3	34.1	35.7	37.5
10	2.0	69.8	58.7	50.8	34.1	35.4	36.4

ตารางที่ ค.13 อุณหภูมิ 75 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน = 6 GPM ทิศทางการไหลแบบไหลสวนทางกัน ครั้งที่ 2

No.	Rc (GPM)	Th1(°C)	Th2(°C)	Th3(°C)	Tc1(°C)	Tc2(°C)	Tc3(°C)
1	0.2	72.6	68.8	66.0	34.1	47.6	53.8
2	0.4	71.9	66.0	63.2	34.5	43.1	49.1
3	0.6	71.0	64.7	60.7	34.5	40.2	44.4
4	0.8	70.2	63.5	58.8	34.4	39.0	44.0
5	1.0	69.8	61.8	57.6	34.3	38.3	41.6
6	1.2	69.4	61.2	56.6	34.2	37.6	40.2
7	1.4	69.2	60.2	55.5	34.3	36.9	40.8
8	1.6	69.0	59.4	54.4	34.4	36.6	38.1
9	1.8	68.8	59.0	53.9	34.3	36.1	37.7
10	2.0	68.2	58.5	53.4	34.2	36.0	37.5

ตารางที่ ค.14 อุณหภูมิ 75 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน = 8 GPM ทิศทางการไหลแบบไหลสวนทางกัน ครั้งที่ 2

No.	Rc (GPM)	Th1(°C)	Th2(°C)	Th3(°C)	Tc1(°C)	Tc2(°C)	Tc3(°C)
1	0.2	77.4	72.6	71.5	31.0	51.9	60.9
2	0.4	70.6	66.8	62.7	32.3	42.5	49.8
3	0.6	69.5	66.7	61.8	32.7	40.6	45.9
4	0.8	67.5	61.1	57.6	33.3	37.8	40.8
5	1.0	67.5	61.0	57.6	33.3	37.8	40.8
6	1.2	67.1	61.4	56.5	33.0	37.1	39.8
7	1.4	66.8	60.0	55.8	33.1	36.6	39.0
8	1.6	66.2	58.4	54.3	33.0	35.7	37.8
9	1.8	65.9	58.1	54.1	33.1	35.6	39.0
10	2.0	65.9	58.3	53.8	33.2	36.3	38.5

ตารางที่ ค.15 อุณหภูมิ 75 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน = 10 GPM ทิศทางการไหลแบบไหลสวนทางกัน ครั้งที่ 2

No.	Rc (GPM)	Th1(°C)	Th2(°C)	Th3(°C)	Tc1(°C)	Tc2(°C)	Tc3(°C)
1	0.2	71.4	68.8	66.6	33.4	48.1	54.9
2	0.4	70.7	69.3	64.8	34.0	44.7	52.3
3	0.6	70.0	65.4	62.7	34.9	41.4	46.3
4	0.8	70.1	65.8	63.5	34.7	42.3	47.4

ตารางที่ ค.15 (ต่อ) อุณหภูมิ 75 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน = 10 GPM ทิศทางการไหลแบบ
สวนทางกัน ครั้งที่ 2

No.	Rc (GPM)	Th1(°C)	Th2(°C)	Th3(°C)	Tc1(°C)	Tc2(°C)	Tc3(°C)
5	1.0	68.2	62.8	59.4	35.0	40.3	44.9
6	1.2	67.6	61.6	58.4	35.0	38.8	41.5
7	1.4	67.1	60.9	57.1	34.8	38.0	47.1
8	1.6	66.5	59.8	56.3	34.5	37.6	40.0
9	1.8	66.0	59.9	55.8	34.3	37.5	40.0
10	2.0	65.7	59.2	55.5	34.4	36.7	38.8

ตารางที่ ค.16 อุณหภูมิ 75 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน = 2 GPM ทิศทางการไหลแบบไหลสวน
ทางกัน ครั้งที่ 3

No.	Rc (GPM)	Th1(°C)	Th2(°C)	Th3(°C)	Tc1(°C)	Tc2(°C)	Tc3(°C)
1	0.2	75.0	67.1	64.4	34.6	47.2	53.1
2	0.4	74.7	65.1	60.4	34.9	40.7	44.5
3	0.6	74.6	63.5	58.1	35.7	39.6	41.7
4	0.8	74.1	61.7	55.4	35.8	38.3	39.9
5	1.0	73.8	60.2	54.2	36.1	38.0	41.0
6	1.2	73.6	59.9	53.9	35.9	38.0	39.0
7	1.4	73.4	58.1	51.4	35.6	36.3	36.9
8	1.6	73.2	58.5	52.0	35.6	36.6	37.2
9	1.8	73.0	58.2	51.4	35.5	36.3	37.0
10	2.0	72.9	58.2	51.3	35.5	36.1	36.8

ตารางที่ ค.17 อุณหภูมิ 75 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน = 4 GPM ทิศทางการไหลแบบไหลสวน
ทางกัน ครั้งที่ 3

No.	Rc (GPM)	Th1(°C)	Th2(°C)	Th3(°C)	Tc1(°C)	Tc2(°C)	Tc3(°C)
1	0.2	78.0	70.3	67.1	31.5	48.8	58.0
2	0.4	72.0	63.7	59.1	33.0	40.0	43.7
3	0.6	71.3	61.9	56.7	33.0	37.9	40.5
4	0.8	70.0	59.7	54.5	33.1	36.6	40.0
5	1.0	69.9	59.7	54.4	33.1	36.4	38.3
6	1.2	69.9	59.4	54.0	33.2	35.8	37.6
7	1.4	69.9	58.9	53.3	33.3	35.7	37.1
8	1.6	69.6	58.7	52.8	33.4	35.5	37.0
9	1.8	69.5	58.1	52.0	33.5	35.1	36.2
10	2.0	69.4	57.8	51.8	33.6	37.3	36.2

ตารางที่ ค.18 อุณหภูมิ 75 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน = 6 GPM ทิศทางการไหลแบบไหลสวนทางกัน ครั้งที่ 3

No.	Rc (GPM)	Th1(°C)	Th2(°C)	Th3(°C)	Tc1(°C)	Tc2(°C)	Tc3(°C)
1	0.2	73.3	69.6	67.4	33.7	51.8	57.6
2	0.4	72.0	66.0	62.7	34.3	42.3	47.6
3	0.6	71.2	64.7	61.0	34.3	40.4	45.0
4	0.8	70.2	62.4	58.2	34.2	38.8	41.7
5	1.0	70.0	61.2	56.8	34.2	37.9	40.3
6	1.2	69.6	60.4	55.6	34.1	37.1	40.3
7	1.4	69.2	59.7	54.6	34.1	36.5	38.3
8	1.6	68.7	60.0	54.5	34.0	36.3	38.9
9	1.8	68.5	59.2	53.8	34.1	36.1	37.6
10	2.0	68.2	58.6	53.4	34.0	35.8	37.4

ตารางที่ ค.19 อุณหภูมิ 75 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน = 8 GPM ทิศทางการไหลแบบไหลสวนทางกัน ครั้งที่ 3

No.	Rc (GPM)	Th1(°C)	Th2(°C)	Th3(°C)	Tc1(°C)	Tc2(°C)	Tc3(°C)
1	0.2	72.3	68.4	67.1	34.2	49.4	56.2
2	0.4	71.8	66.9	64.3	34.9	43.7	49.3
3	0.6	70.8	65.1	61.9	34.7	40.9	45.2
4	0.8	69.4	62.4	58.7	34.4	38.6	41.7
5	1.0	68.3	61.1	57.4	34.2	38.0	40.5
6	1.2	68.2	61.5	57.3	34.8	39.0	40.7
7	1.4	68.0	60.7	56.6	34.7	38.0	40.3
8	1.6	67.5	59.7	55.8	34.7	37.6	39.2
9	1.8	67.2	59.6	55.1	34.7	36.7	38.2
10	2.0	67.0	59.1	54.6	34.7	36.7	38.2

ตารางที่ ค.20 อุณหภูมิ 75 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน = 10 GPM ทิศทางการไหลแบบไหลสวนทางกัน ครั้งที่ 3

No.	Rc (GPM)	Th1(°C)	Th2(°C)	Th3(°C)	Tc1(°C)	Tc2(°C)	Tc3(°C)
1	0.2	72	69.1	68.1	32.1	53.1	59.3
2	0.4	70.3	66.4	64.0	33.2	44.2	50.4
3	0.6	69.0	63.7	60.8	33.4	39.5	44.5
4	0.8	67.9	62.6	59.6	33.7	40.4	42.9
5	1.0	67.3	61.6	58.4	33.7	38.5	41.6

ตารางที่ ค.20 (ต่อ) อุณหภูมิ 75 °C อัตราการไหลของน้ำร้อน = 10 GPM ทิศทางการไหลแบบ
ไหล

สวนทางกัน ครั้งที่ 3

No.	Rc (GPM)	Th1(°C)	Th2(°C)	Th3(°C)	Tc1(°C)	Tc2(°C)	Tc3(°C)
6	1.2	66.8	60.6	57.2	33.6	40.3	40.3
7	1.4	66.3	59.8	56.2	33.4	36.9	39.1
8	1.6	66.2	59.6	56.2	33.5	36.4	38.4
9	1.8	66.2	59.3	55.4	33.3	36.4	38.4
10	2.0	65.4	58.7	55.0	33.7	36.3	38.2





ภาคผนวก ง
ตารางแสดง ผลการคำนวณค่า ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตารางที่ ง.1 อุณหภูมิ 75 °C ทิศทางการไหลแบบไหลตามกัน ตำแหน่งจุดวัดอุณหภูมิน้ำร้อนที่ 1

อัตราการไหลของน้ำร้อน (GPM)	$\bar{X}$	SD
2	72.643	1.196
4	70.046	1.753
6	69.200	2.403
8	61.666	2.134
10	61.030	2.525

ตารางที่ ง.2 อุณหภูมิ 75 °C ทิศทางการไหลแบบไหลตามกัน ตำแหน่งจุดวัดอุณหภูมิน้ำร้อนที่ 2

อัตราการไหลของน้ำร้อน (GPM)	$\bar{X}$	SD
2	59.750	3.257
4	60.450	3.751
6	61.323	3.896
8	62.063	3.419
10	62.260	3.880

ตารางที่ ง.3 อุณหภูมิ 75 °C ทิศทางการไหลแบบไหลตามกัน ตำแหน่งจุดวัดอุณหภูมิน้ำร้อนที่ 3

อัตราการไหลของน้ำร้อน (GPM)	$\bar{X}$	SD
2	52.360	3.788
4	55.016	4.817
6	56.906	5.030
8	58.340	4.419
10	8358.9	4.889

ตารางที่ ง.4 อุณหภูมิ 75 °C ทิศทางการไหลแบบไหลตามกัน ตำแหน่งจุดวัดอุณหภูมิน้ำเย็นที่ 1

อัตราการไหลของน้ำร้อน (GPM)	$\bar{X}$	SD
2	29.043	0.565
4	29.016	1.097
6	29.203	1.251
8	29.763	0.850
10	29.193	1.157

ตารางที่ ง.5 อุณหภูมิ 75 °C ทิศทางการไหลแบบไหลตามกัน ตำแหน่งจุดวัดอุณหภูมิน้ำเย็นที่ 2

อัตราการไหลของน้ำร้อน (GPM)	$\bar{X}$	SD
2	35.956	3.056
4	37.743	4.181
6	38.876	5.324
8	39.213	5.290
10	39.223	5.525

ตารางที่ ง.6 อุณหภูมิ 75 °C ทิศทางการไหลแบบไหลตามกัน ตำแหน่งจุดวัดอุณหภูมิน้ำเย็นที่ 3

อัตราการไหลของน้ำร้อน (GPM)	$\bar{X}$	SD
2	30.473	3.840
4	32.386	5.484
6	34.170	6.709
8	34.866	6.844
10	34.890	6.794

ตารางที่ ง.7 อุณหภูมิ 75 °C ทิศทางการไหลแบบไหลสวนกัน ตำแหน่งจุดวัดอุณหภูมิน้ำร้อนที่ 1

อัตราการไหลของน้ำร้อน (GPM)	$\bar{X}$	SD
2	72.556	2.133
4	69.300	4.187
6	69.336	1.810
8	67.926	2.815
10	67.296	2.315

ตารางที่ ง.8 อุณหภูมิ 75 °C ทิศทางการไหลแบบไหลสวนกัน ตำแหน่งจุดวัดอุณหภูมิน้ำร้อนที่ 2

อัตราการไหลของน้ำร้อน (GPM)	$\bar{X}$	SD
2	59.903	3.602
4	60.553	3.209
6	61.776	3.353
8	54.746	4.115
10	62.226	3.775

ตารางที่ ง.9 อุณหภูมิ 75 °C ทิศทางการไหลแบบไหลสวนกัน ตำแหน่งจุดวัดอุณหภูมิน้ำร้อนที่ 3

อัตราการไหลของน้ำร้อน (GPM)	$\bar{X}$	SD
2	53.356	4.634
4	54.826	4.207
6	57.063	4.279
8	57.566	4.814
10	58.546	4.241

ตารางที่ ง.10 อุณหภูมิ 75 °C ทิศทางการไหลแบบไหลตามกัน ตำแหน่งจุดวัดอุณหภูมิน้ำเย็นที่ 1

อัตราการไหลของน้ำร้อน (GPM)	$\bar{X}$	SD
2	33.053	2.807
4	32.590	1.571
6	33.120	1.581
8	32.060	2.526
10	32.526	2.119

ตารางที่ ง.11 อุณหภูมิ 75 °C ทิศทางการไหลแบบไหลตามกัน ตำแหน่งจุดวัดอุณหภูมิน้ำเย็นที่ 2

อัตราการไหลของน้ำร้อน (GPM)	$\bar{X}$	SD
2	36.006	4.446
4	36.700	4.015
6	38.090	4.592
8	37.793	4.943
10	38.756	5.016

ตารางที่ ง.12 อุณหภูมิ 75 °C ทิศทางการไหลแบบไหลตามกัน ตำแหน่งจุดวัดอุณหภูมิน้ำเย็นที่ 3

อัตราการไหลของน้ำร้อน (GPM)	$\bar{X}$	SD
2	39.266	5.827
4	39.983	5.532
6	41.940	6.017
8	41.973	6.647
10	43.400	6.455

ประวัติผู้ดำเนินโครงการ



ชื่อ นางสาวศุภาพร สุราพัฒนานภรณ์
ภูมิลำเนา 12/39 ถ.มหาธรรมราชา อ.เมือง ต.ในเมือง
จ.พิษณุโลก

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนเฉลิมขวัญสตรี
จ.พิษณุโลก
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4
สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: fjhj2@hotmail.com



ชื่อ นางสาวสายธาร อดกลิ่น
ภูมิลำเนา 123/2 หมู่ 2 ต.องค์พระ อ.ด่านช้าง
จ. สุพรรณบุรี

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนประชามงคล
จ.กาญจนบุรี
- ปัจจุบันกำลังศึกษาระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4
สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: sop_two_pop_odklan@hotmail.com