

การศึกษาสมรรถนะช่วงขณะของปีมความร้อนแบบลดหลั่น



นายพิมาน เณรแก้ว

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2557

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Study of Transient Performance of a Cascade Heat Pump

Mr. Piman Nenskaew



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Mechanical Engineering

Department of Mechanical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2014

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาสมรรถนะช่วงขณะของปั๊มความร้อนแบบลดหลั่น
โดย	นายพิมาน เณรแก้ว
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร. จิตติน แดงเที่ยง

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ตุลย์ มณีวัฒนา)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร. จิตติน แดงเที่ยง)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อลงกรณ์ พิมพ์พิณ)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร. เวชพฤติ)

พิมาน เณรแก้ว : การศึกษาสมรรถนะชั่วขณะของปั๊มความร้อนแบบลดหลั่น (A Study of Transient Performance of a Cascade Heat Pump) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร. จิตติน แดงเที่ยง, 116 หน้า.

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาสมรรถนะชั่วขณะของปั๊มความร้อนลดหลั่นผ่านชุดทดสอบ ต้นแบบด้วยวิธีการทดลอง ปั๊มความร้อนลดหลั่นประกอบด้วย 4 วัฏจักรดังนี้ วัฏจักรน้ำเย็น วัฏจักรทำความเย็นใช้ R22 เป็นสารทำความเย็น วัฏจักรปั๊มความร้อนใช้ R134a เป็นสารทำความเย็น และวัฏจักรน้ำร้อน ปั๊มความร้อนลดหลั่นผลิตทั้งน้ำเย็นเพื่อทำความเย็นและน้ำร้อนเพื่อทำความร้อนในเวลาเดียวกัน โดยที่น้ำร้อนในวัฏจักรน้ำร้อนทำงานในระบบปิดและรับความร้อนจากปั๊มความร้อนลดหลั่นเพื่อเพิ่มอุณหภูมิอย่างต่อเนื่อง ควบคุมภาระการทำความเย็นและเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของน้ำร้อนจาก 6,12 และ 16 ลิตรต่อนาที เมื่อชุดทดลองเริ่มต้นทำงาน อุณหภูมิน้ำร้อนเพิ่มขึ้นตามเวลาอย่างต่อเนื่อง ความดันควบแน่นของสารทำความเย็น R134a เพิ่มขึ้นตามเวลา เช่นเดียวกัน ในขณะที่ความดันอื่น ๆ มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย กำลังไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องอัดไอของวัฏจักรปั๊มความร้อนเพิ่มขึ้นตามเวลา ในขณะที่กำลังไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องอัดไอของวัฏจักรทำความเย็นมีค่าคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา อัตราการทำความร้อนและอัตราการทำความเย็นเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงเริ่มต้น จากนั้นอัตราการทำความร้อนเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตามเวลาอย่างต่อเนื่อง ในขณะที่อัตราการทำความเย็นมีค่าค่อนข้างคงที่ที่จุดสูงสุด สัมประสิทธิสมรรถนะของวัฏจักรปั๊มความร้อนและสัมประสิทธิสมรรถนะของวัฏจักรทำความเย็นเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงต้น จากนั้นสัมประสิทธิสมรรถนะของวัฏจักรปั๊มความร้อนลดลงตามเวลาอย่างต่อเนื่องหลังจากผ่านจุดสูงสุด ในขณะที่สัมประสิทธิสมรรถนะของวัฏจักรทำความเย็นมีค่าค่อนข้างคงที่ที่จุดสูงสุด เมื่อเปรียบเทียบระหว่างอัตราการไหลของน้ำร้อนต่ำและสูง พบว่าที่อัตราการไหลของน้ำร้อนสูง กำลังไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องอัดไอของวัฏจักรปั๊มความร้อนน้อย สัมประสิทธิสมรรถนะของวัฏจักรปั๊มความร้อนและอุณหภูมิน้ำร้อนสุดท้ายภายในถังน้ำร้อนมีค่ามาก ในขณะที่ค่าอื่น ๆ มีค่าใกล้เคียงกันในทุกอัตราการไหล

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

ลายมือชื่อนิสิต

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

ปีการศึกษา 2557

5670316821 : MAJOR MECHANICAL ENGINEERING

KEYWORDS: TRANSIENT PERFORMANCE / CASCADE HEAT PUMP / CONDENSATION HEAT / HOT WATER

PIMAN NENKAEW: A Study of Transient Performance of a Cascade Heat Pump. ADVISOR: ASSOC. PROF. CHITTIN TANGTHIENG, Ph.D., 116 pp.

This research relates to an experimental study of transient performance of a cascade heat pump. The cascade heat pump system consists of 4 systems: the chilled water system, the low-temperature refrigeration cycle using R22, the high-temperature heat pump cycle using R134a and the hot water system. The cascade heat pump system produces both chilled water for cooling application and hot water for heating application. The hot water system is in a closed loop for continuously increasing temperature. In this study, the cooling load is fixed and the hot water flow rate is varied as 6, 12 and 16 litre/min. As the test rig is started, the hot water temperature also increases with time. The condensing pressure of R134a continuously increases with time but the other refrigerant pressures have marginal changes. The compressor power of the heat pump cycle continuously increases with time whereas the compressor power of the refrigeration cycle is almost constant. The condensation heat and the cooling load rapidly increase at the beginning, and the condensation heat gradually increases whereas the cooling load is almost constant. The COP of the heat pump cycle gradually decreases with time after rapid increase at the beginning, but the COP of the refrigeration cycle is almost constant. By comparing the high and low hot water flow rate, the compressor power of the heat pump cycle is lower, the COP of the heat pump cycle and the final hot water temperature in the storage tank are higher whereas the others are the same.

Department: Mechanical Engineering Student's Signature

Field of Study: Mechanical Engineering Advisor's Signature

Academic Year: 2014

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.จิตติน แดงเทียง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งกรุณาให้ความรู้ความเข้าใจ ชี้แนะแนวทางในการแก้ปัญหาและคำแนะนำต่างๆ จนกระทั่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วง

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ตุลย์ มณีวัฒนา ที่ให้เกียรติเป็นประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รวมถึงผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อลงกรณ์ พิมพ์พิณ และศาสตราจารย์ ทวี เวชพฤติ ที่ให้เกียรติเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รวมทั้งอาจารย์ทุกท่านที่สละเวลาให้คำแนะนำและคำปรึกษา รวมทั้งถ่ายทอดความรู้ตลอดระยะเวลาจนกระทั่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล และหน่วยงานวิจัยด้านพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดข้อมูล รวมทั้งทุนสนับสนุนงานวิจัยฉบับนี้

สุดท้ายนี้ ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัว ที่คอยให้กำลังใจ และสนับสนุนการศึกษาของข้าพเจ้ามาโดยตลอดจนสำเร็จการศึกษา คุณค่าและประโยชน์ที่ได้รับจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบแต่ครูบาอาจารย์และผู้มีพระคุณทุกท่าน

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ	ฎ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ฒ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	3
1.3 ขอบเขต.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
1.5 แผนการดำเนินงานวิจัย	4
บทที่ 2 ปรีทัศน์วรรณกรรม	5
2.1 การผลิตน้ำร้อนจากระบบทำความเย็น	5
2.2 การผลิตน้ำร้อนจากระบบปั๊มความร้อนแบบลดหลั่น	7
2.3 การถ่ายเทความร้อนภายในเครื่องควบแน่น.....	8
2.4 ผลที่ได้จากการศึกษางานวิจัย	9
บทที่ 3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	10
3.1 วงจรทำความเย็นแบบอัดไอ (Vapor-Compression Refrigeration Cycle).....	10
3.1.1 ส่วนประกอบหลักของวงจรทำความเย็นแบบอัดไอ	10
3.1.1.1 เครื่องอัดไอ (compressor).....	10

3.1.1.2 เครื่องควบแน่น (condenser).....	10
3.1.1.3 วาล์วลดความดัน (expansion Valve).....	10
3.1.1.4 เครื่องระเหย (evaporator).....	11
3.1.2 การทำงานของวัฏจักรทำความเย็นแบบอัดไอในอุดมคติ.....	11
3.2 วัฏจักรบีบความร้อน.....	14
3.3 ระบบแบบลดหลั่น (Two-Cycle Cascade system).....	14
3.4 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchangers).....	15
3.4.1 หลักการพื้นฐานของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน.....	16
3.4.2 ชนิดของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน.....	17
3.4.2.1 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเปลือกและท่อ (Shell and Tube Heat Exchanger).....	18
3.4.2.2 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดแผ่น (Plate Heat Exchanger).....	20
3.5 การถ่ายเทความร้อนภายในเครื่องควบแน่น.....	20
บทที่ 4 ชุดทดสอบต้นแบบ.....	24
4.1 หลักการทำงานของชุดทดสอบต้นแบบ.....	24
4.2 ส่วนประกอบต่างๆภายในชุดทดสอบต้นแบบ.....	25
4.3 การควบคุมการทำงานของชุดทดสอบต้นแบบ.....	26
4.4 ขั้นตอนการทำงานของชุดทดสอบต้นแบบ.....	28
บทที่ 5 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	31
5.1 การควบคุมภาระการทำความเย็น.....	31
5.2 การทดสอบระบบทำความเย็นเพื่อการปรับอากาศ.....	32
5.3 การทำน้ำร้อนจากบีบความร้อนแบบลดหลั่นที่สภาวะคงตัว.....	33
5.4 การทำน้ำร้อนจากบีบความร้อนแบบลดหลั่นที่สภาวะชั่วขณะ.....	35

5.4.1 การทดลอง.....	35
5.4.2 การทำนายด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....	35
5.5 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดข้อมูล.....	43
5.5.1 เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple).....	43
5.5.2 Resistance Temperature Detectors (RTD) ชนิด PT100.....	44
5.5.3 เครื่องอ่านค่าอุณหภูมิและบันทึกข้อมูล (Data Logger).....	45
5.5.4 เครื่องบันทึกพลังงานไฟฟ้า (Power Meter Data Logger).....	45
5.5.5 เครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำ (Water Flow Meter).....	46
บทที่ 6 ผลการศึกษาวิจัยและอภิปรายผลการศึกษาวิจัย.....	47
6.1 การทดสอบระบบทำความเย็นเพื่อการปรับอากาศ.....	47
6.2 การทำน้ำร้อนจากปั๊มความร้อนแบบลดหลั่นที่สภาวะคงตัว.....	47
6.3 การทำน้ำร้อนจากปั๊มความร้อนแบบลดหลั่นที่สภาวะชั่วขณะ.....	52
6.3.1 ผลการทดลอง.....	52
6.3.2 ผลการทำนายด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์อย่างง่าย.....	60
บทที่ 7 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	69
7.1 สรุปผลการวิจัย.....	69
7.2 ข้อเสนอแนะ.....	70
รายการอ้างอิง.....	71
ภาคผนวก.....	73
ภาคผนวก ก รายการอุปกรณ์ที่ใช้ในชุดทดสอบต้นแบบ.....	74
ภาคผนวก ข ข้อมูลการวัดจากการทดลอง.....	80
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	116

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1.1 แผนผังรายละเอียดการดำเนินงานวิจัย	4
ตารางที่ 4.1 อุปกรณ์หลักภายในชุดทดสอบต้นแบบ	26
ตารางที่ 5.1 แสดงรายละเอียดการวัดข้อมูลการทดลองระบบทำความเย็นเพื่อการปรับอากาศ	33
ตารางที่ 5.2 แสดงรายละเอียดการวัดข้อมูลการทดลองการทำน้ำร้อนจากปั๊มความร้อนแบบ ลดหลั่น	34
ตารางที่ 5.3 แสดงตัวแปรเริ่มต้นที่ใช้ค่าจากผลการทดลองมาใช้ในการคำนวณ	37
ตารางที่ 5.4 คุณลักษณะทางกายภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดแผ่นแบบเชื่อมที่ใช้ เป็นเครื่องควบแน่นในชุดทดสอบต้นแบบ	37
ตารางที่ 6.1 แสดงข้อมูลการทดลองระบบทำความเย็น	47
ตารางที่ 6.2 แสดงร้อยละการเปลี่ยนแปลงค่าต่างๆที่เป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหล ของน้ำร้อน	51
ตารางที่ 6.3 แสดงการเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบทำความเย็นปกติกับระบบทำความเย็นที่ ทำงานควบคู่กับปั๊มความร้อน	52
ตารางที่ 6.4 เปรียบเทียบระหว่างการทำน้ำร้อนด้วยปั๊มความร้อนลดหลั่นที่สภาวะคงตัวอัตรา การไหลของน้ำร้อน 4 litre/min และที่สภาวะชั่วขณะอัตราการไหลของน้ำร้อน 16 litre/min	60

สารบัญภาพ

รูปที่ 1.1 ค่าใช้จ่ายในการทำน้ำเย็นและน้ำร้อน.....	1
รูปที่ 1.2 วัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ	2
รูปที่ 1.3 ระบบปั๊มความร้อนแบบลดหลั่น	3
รูปที่ 3.1 วัฏจักรทำความเย็นแบบอัดไอ	11
รูปที่ 3.2 แผนภาพ p-h ของระบบทำความเย็นแบบอัดไอในอุดมคติ	12
รูปที่ 3.3 ระบบทำความเย็นแบบหลั่นสองชั้น.....	15
รูปที่ 3.4 ลักษณะการไหลของของไหล และการถ่ายเทความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดท่อคู่แบบการไหลสวนทาง	17
รูปที่ 3.5 โครงสร้างและอุปกรณ์เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ.....	19
รูปที่ 3.6 การไหลของของไหลผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดแผ่น	20
รูปที่ 3.7 แผนภาพอุณหภูมิของสารทำความเย็นและน้ำภายในเครื่องควบแน่น	21
รูปที่ 4.1 แผนภาพกระบวนการทำงานของชุดทดสอบต้นแบบ	25
รูปที่ 4.2 แผนภาพการไหลกระบวนการของชุดทดสอบต้นแบบ	26
รูปที่ 4.3 แผงควบคุมชุดทดลองต้นแบบ	28
รูปที่ 4.4 แผนผังการทำงานของอุปกรณ์และวาล์วของชุดทดสอบต้นแบบ.....	30
รูปที่ 5.1 ท่อลมที่ได้ทำการติดตั้งเพื่อควบคุมลมเข้า-ออกเครื่องเป่าลมเย็น	31
รูปที่ 5.2 แผนภาพเครื่องเป่าลมเย็น.....	32
รูปที่ 5.3 ตำแหน่งตรวจวัดภายในของชุดทดสอบต้นแบบของการทดลองระบบทำความเย็น เพื่อการปรับอากาศ	32
รูปที่ 5.4 ตำแหน่งตรวจวัดภายในชุดทดสอบต้นแบบของการทดลองการทำน้ำร้อน จากปั๊มความร้อนแบบลดหลั่น	34
รูปที่ 5.5 แผนภาพอุณหภูมิของน้ำและสารทำความเย็น R134a ที่เข้าและออกเครื่องควบแน่น	36

รูปที่ 5.6 แสดงแผนภาพรูปแบบการไหลของการคำนวณการหาอุณหภูมิน้ำร้อนออกจากเครื่อง
 ควบแน่น 42

รูปที่ 5.7 แสดงเทอร์โมคัปเปิลชนิด K..... 44

รูปที่ 5.8 แสดง RTD ชนิด PT100 44

รูปที่ 5.9 แสดงเครื่องอ่านค่าอุณหภูมิและบันทึกข้อมูล 45

รูปที่ 5.10 แสดงเครื่องบันทึกพลังงานไฟฟ้า 45

รูปที่ 5.11 แสดงเครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำ..... 46

รูปที่ 6.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำร้อนที่ออกจากเครื่องควบแน่น กับอัตราการไหลของ
 น้ำร้อน 48

รูปที่ 6.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันของสารทำความเย็น R22 และ R134a กับอัตราการ
 ไหลของน้ำร้อน..... 48

รูปที่ 6.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการทำความเย็นและอัตราการทำความร้อน กับอัตราการ
 ไหลของน้ำร้อน..... 49

รูปที่ 6.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องอัดไอของวัฏจักรทำความเย็น
 และวัฏจักรบีบความร้อนกับอัตราการไหลของน้ำร้อน 50

รูปที่ 6.5 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์สมรรถนะของวัฏจักรทำความเย็น และวัฏจักรบีบ
 ความร้อนกับอัตราการไหลของน้ำร้อน 50

รูปที่ 6.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำเข้าและออกเครื่องควบแน่นกับเวลา ที่อัตราการไหล
 ของน้ำร้อน (ก) 6 litre/min (ข) 12 litre/min (ค) 16 litre/min 53

รูปที่ 6.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันของสารทำความเย็น R22 และ R134a กับเวลา ที่อัตรา
 การไหลของน้ำร้อน (ก) 6 litre/min (ข) 12 litre/min (ค) 16 litre/min..... 54

รูปที่ 6.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องอัดไอของวัฏจักรบีบความร้อนกับ
 เวลา ที่อัตราการไหลของน้ำร้อน 6, 12 และ 16 litre/min 55

รูปที่ 6.9 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องอัดไอของวัฏจักรทำความเย็นกับเวลา ที่
 อัตราการไหลของน้ำร้อน 6, 12 และ 16 litre/min..... 55

รูปที่ 6.10 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการทำความร้อนกับเวลา ที่อัตราการไหลของน้ำร้อน 6, 12 และ 16 litre/min.....	56
รูปที่ 6.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการทำความร้อนกับเวลาในช่วงเริ่มต้น ที่อัตราการไหลของน้ำร้อน 6, 12 และ 16 litre/min.....	56
รูปที่ 6.12 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการทำความเย็นกับเวลา ที่อัตราการไหลของน้ำร้อน 6, 12 และ 16 litre/min	57
รูปที่ 6.13 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์สมรรถนะของปั๊มความร้อนลดหลั่นกับเวลา ที่อัตราการไหลของน้ำร้อน 6, 12 และ 16 litre/min	58
รูปที่ 6.14 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์สมรรถนะของวัฏจักรทำความเย็นกับเวลา ที่อัตราการไหลของน้ำร้อน 6, 12 และ 16 litre/min	58
รูปที่ 6.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำร้อนภายในถังน้ำร้อนกับเวลา ที่อัตราการไหลของน้ำร้อน 6, 12 และ 16 litre/min	59
รูปที่ 6.16 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของน้ำ ในช่วงของผสมสองสถานะกับเวลาที่อัตราการไหลของน้ำร้อน 6, 12 และ 16 litre/min.....	61
รูปที่ 6.17 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของสารทำความเย็น R134a ในช่วงของผสมสองสถานะกับเวลาที่อัตราการไหลของน้ำร้อน 6, 12 และ litre/min	61
รูปที่ 6.18 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมในช่วงของผสมสองสถานะกับเวลาที่อัตราการไหลของน้ำร้อน 6, 12 และ 16 litre/min.....	62
รูปที่ 6.19 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของน้ำในช่วงไอร้อนยิ่งยวดกับเวลาที่อัตราการไหลของน้ำร้อน 6, 12 และ 16 litre/min	63
รูปที่ 6.20 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของสารทำความเย็น R134a ในช่วงไอร้อนยิ่งยวดกับเวลาที่อัตราการไหลของน้ำร้อน 6, 12 และ 16 litre/min	63
รูปที่ 6.21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมในช่วงไอร้อนยิ่งยวดกับเวลาที่อัตราการไหลของน้ำร้อน 6, 12 และ 16 litre/min.....	64
รูปที่ 6.22 อุณหภูมิน้ำร้อนขาออกจากเครื่องควบแน่นที่ได้จากผลการคำนวณและผลการทดลอง ที่อัตราการไหลของน้ำร้อน (ก) 6 litre/min (ข) 12 litre/min และ (ค) 16 litre/min.....	65

รูปที่ 6.23 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการทำความร้อนจากผลการคำนวณและผลการทดลองกับ
เวลาที่อัตราการไหลของน้ำร้อน (ก) 6 litre/min (ข) 12 litre/min และ (ค) 16 litre/min..... 67



คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

A	พื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนทั้งหมดภายในเครื่องควบแน่น, m^2
A_{tp}	พื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนของช่วงของผสมสองสถานะ, m^2
A_{sp}	พื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนของช่วงไอร้อนยิ่งยวด, m^2
AHU	เครื่องเป่าลมเย็น (Air Handling Unit), -
c	เครื่องควบแน่น, -
$c_{p,l}$	ความจุความร้อนจำเพาะของสารทำความเย็น R134a ที่สถานะของเหลวอิ่มตัว, $kJ/kg-K$
$c_{p,w}$	ความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ, $kJ/kg-K$
COP	สัมประสิทธิ์สมรรถนะ, -
COP_{HP}	สัมประสิทธิ์สมรรถนะของวัฏจักรบีบอัดความร้อน
COP_R	สัมประสิทธิ์สมรรถนะของวัฏจักรทำความเย็น
CWR	น้ำเย็นขาออกเครื่องเป่าลมเย็น (Chilled water return), -
CWS	น้ำเย็นขาเข้าเครื่องเป่าลมเย็น (Chilled water supply), -
d_h	เส้นผ่าศูนย์กลางไฮดรอลิกของช่องการไหลระหว่างแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน, m
e	เครื่องระเหย, -
G	ฟลักซ์การไหลเชิงมวลของสารทำความเย็น R134a , kg/m^2-s
$h_{c,i,134}$	เอนทัลปีของสารทำความเย็น R134a ที่ขาเข้าเครื่องควบแน่น, kJ/kg
$h_{c,o,134}$	เอนทัลปีของสารทำความเย็น R134a ที่ขาออกเครื่องควบแน่น, kJ/kg
k_l	สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของสารทำความเย็น R134a ที่สถานะของเหลวอิ่มตัว, $kW/m-K$
k_p	สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน, $kW/m-K$
k_w	สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของน้ำ, $kW/m-K$

L	ความยาวแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน, m
\dot{m}_{cw}	อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำเย็น, kg/s
\dot{m}_{hw}	อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำร้อน, kg/s
min	เวลา, minute
n	จำนวนแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนทั้งหมด, -
$n_{ch,r}$	จำนวนช่องที่สารทำความเย็นไหลผ่าน
$n_{ch,w}$	จำนวนช่องที่น้ำไหลผ่าน, -
$P_{c,134}$	ความดันควบแน่นของสารทำความเย็น R134a, bar
Pr_w	ตัวเลขพริ้นด์เดิลของน้ำ, -
q_{Akers}	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากความสัมพันธ์ของ Akers, kW/m ² -K
\dot{Q}_H	อัตราการถ่ายเทความร้อนภายในเครื่องควบแน่น, kW
$\dot{Q}_{H,cal}$	อัตราการถ่ายเทความร้อนภายในเครื่องควบแน่นจากการคำนวณ, kW
$\dot{Q}_{H,tp,cal}$	อัตราการถ่ายเทความร้อนภายในเครื่องควบแน่นจากการคำนวณของช่วงของผสมสองสถานะ, kW
$\dot{Q}_{H,sp,cal}$	อัตราการถ่ายเทความร้อนภายในเครื่องควบแน่นจากการคำนวณของช่วงไอร้อนยิ่งยวด, kW
\dot{Q}_L	อัตราการถ่ายเทความร้อนภายในเครื่องระเหย, kW
$q_{r,sp}$	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของสารทำความเย็น R134a ในช่วงไอร้อนยิ่งยวด, kW/m ² -K
$q_{r,tp}$	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของสารทำความเย็น R134a ในช่วงของผสมสองสถานะ, kW/m ² -K
$q_{w,sp}$	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของน้ำในช่วงไอร้อนยิ่งยวดสองสถานะ, kW/m ² -K
$q_{w,tp}$	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของน้ำในช่วงของผสมสองสถานะ, kW/m ² -K

$Re_{w,tp}$	ตัวเลขเรย์โนลด์ของน้ำในช่วงของผสมสองสถานะ, -
$Re_{w,sp}$	ตัวเลขเรย์โนลด์ของน้ำในช่วงไอร้อนยิ่งยวด, -
s	ความหนาแน่นแลกเปลี่ยนความร้อน, m
t	ระยะห่างระหว่างแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน, m
$T_{c,i,134}$	อุณหภูมิสารทำความเย็น R134a ขาเข้าเครื่องควบแน่น, K
$T_{cw,i}$	อุณหภูมิน้ำเย็นที่เข้าสู่เครื่องระเหย, K
$T_{cw,o}$	อุณหภูมิน้ำเย็นที่ออกจากเครื่องระเหย, K
$T_{hw,g}$	อุณหภูมิน้ำร้อนขาออกจากช่วงของผสมสองสถานะ, K
$T_{hw,i}$	อุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้าสู่เครื่องควบแน่น, K
$T_{hw,o}$	อุณหภูมิน้ำร้อนที่ออกจากเครื่องควบแน่น, K
TR	ตันของการทำความเย็น, ton
U	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม, $\text{kW/m}^2\text{-K}$
U_{tp}	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมในช่วงของผสมสองสถานะ, $\text{kW/m}^2\text{-K}$
U_{sp}	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมในช่วงไอร้อนยิ่งยวด, $\text{kW/m}^2\text{-K}$
$v_{w,ch}$	ความเร็วของน้ำที่ไหลภายในเครื่องควบแน่น, m/s^2
W	ความกว้างแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน, m
\dot{W}	กำลังไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องอัดไอ, kW
\dot{W}_{HP}	กำลังไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องอัดไอของวัฏจักรบีบความร้อน, kW
\dot{W}_R	กำลังไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องอัดไอของวัฏจักรทำความเย็น, kW
Φ	ปัจจัยการขยาย, -
\dot{V}_{cw}	อัตราการไหลเชิงปริมาตรของน้ำเย็น, m^3/s
\dot{V}_{hw}	อัตราการไหลเชิงปริมาตรของน้ำร้อน, m^3/s
$\Delta T_{lm,tp}$	ผลต่างอุณหภูมิเชิงลอการิทึมของช่วงของผสมสองสถานะ, K
$\Delta T_{lm,sp}$	ผลต่างอุณหภูมิเชิงลอการิทึมของช่วงไอร้อนยิ่งยวด, K

μ_l	ความหนืดของสารทำความเย็น R134a ที่สถานะของเหลวอิ่มตัว, Ns/m^2
μ_w	ความหนืดของน้ำ, N-s/m^2
ρ_g	ความหนาแน่นของสารทำความเย็น R134a ที่สถานะของเหลวอิ่มตัว, kg/m^3
ρ_l	ความหนาแน่นของสารทำความเย็น R134a ที่สถานะของเหลวอิ่มตัว, kg/m^3
ρ_w	ความหนาแน่นของน้ำ, kg/m^3

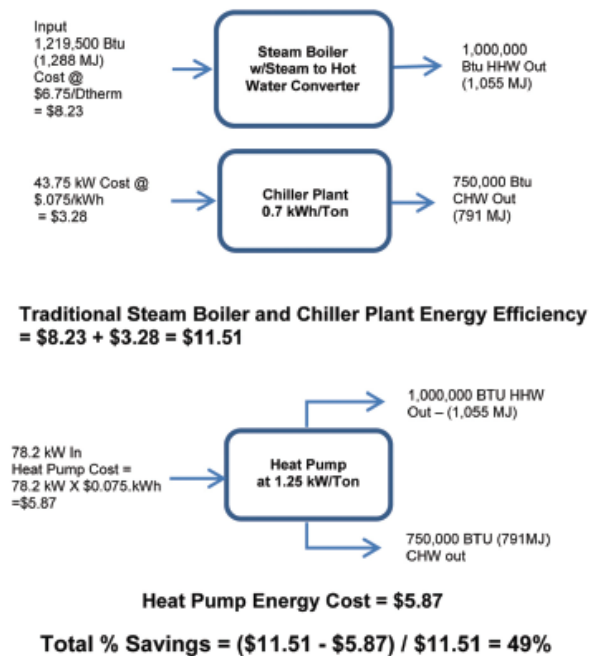


บทที่ 1

บทนำ

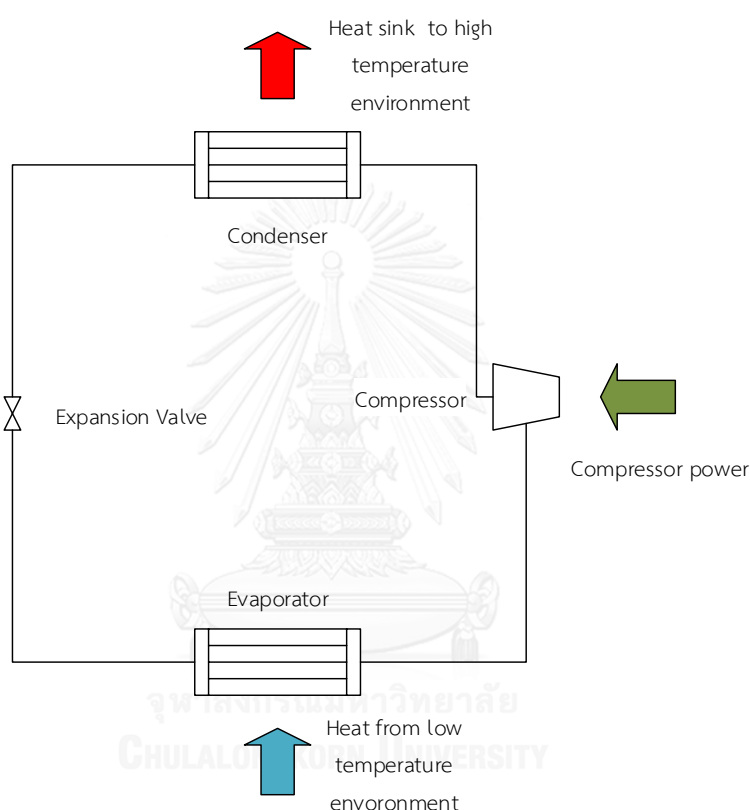
1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในปัจจุบันปัญหาวิกฤตการณ์ทางด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม เช่น การขาดแคลนพลังงาน ในอนาคต สภาพอากาศเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งเกิดจากการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นเป็นปัญหาหลักที่ได้รับความสนใจจากทุกฝ่าย การนำพลังงานเหลือทิ้งกลับมาใช้ประโยชน์เป็นหนึ่งในแนวทางที่จะช่วยประหยัดพลังงาน ตัวอย่างของระบบที่มีความร้อนเหลือทิ้งคือระบบทำความเย็น โดยทั่วไปจะระบายความร้อนทิ้งออกสู่อากาศภายนอก ความร้อนดังกล่าวสามารถนำกลับมาใช้ได้ เหมาะสำหรับอาคารที่ต้องการทั้งความเย็นและความร้อนในเวลาเดียวกันและเป็นกลุ่มอาคารที่มีการใช้พลังงานที่ค่อนข้างสูง ความร้อนดังกล่าวสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายประเภท ได้แก่ การชกரிต การทำความสะอาด อุปกรณ์ต่างๆ การนำความร้อนปล่อยทิ้งจากระบบทำความเย็นกลับมาใช้ประโยชน์ในการทำความร้อนเป็นการลดการใช้พลังงานความร้อนและทำให้ต้นทุนด้านพลังงานของกลุ่มอาคารลดลง [1] แสดงดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 ค่าใช้จ่ายในการทำน้ำเย็นและน้ำร้อน [1]

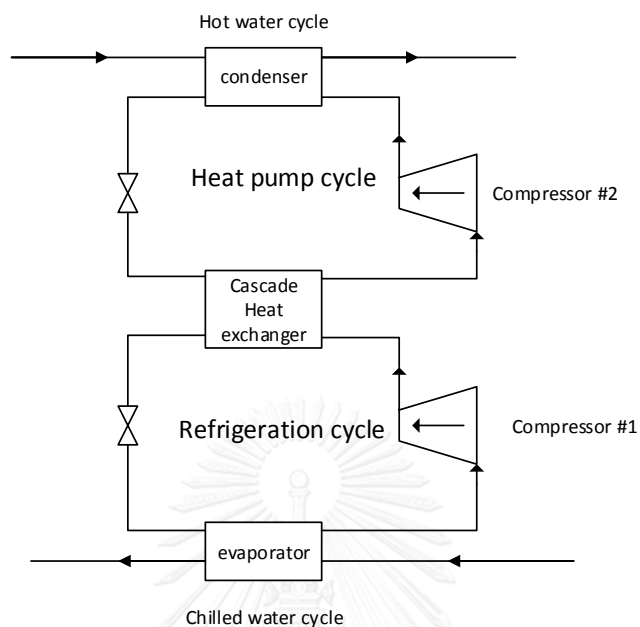
ระบบทำความเย็นที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมีพื้นฐานมาจากวัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ แสดงดังรูปที่ 1.2 ซึ่งจะดูดความร้อนออกจากบริเวณที่ต้องการทำความเย็น เพิ่มความดันผ่านเครื่องอัดไอ และปล่อยทิ้งพลังงานความร้อนไปสู่บริเวณที่มีอุณหภูมิสูงกว่า การนำความร้อนนี้กลับมาใช้ประโยชน์ได้รับความสนใจมาโดยตลอด ซึ่งแนวคิดที่ได้รับความนิยมและสามารถทำได้ไม่ยากนัก คือ การนำความร้อนปล่อยทิ้งนี้กลับมาทำน้ำร้อน โดยการติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำแทนที่เครื่องควบแน่นชนิดเดิมที่ถ่ายเทความร้อนออกสู่อากาศ



รูปที่ 1.2 วัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ

อย่างไรก็ตามอุณหภูมิของน้ำร้อนที่ได้จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของสารทำความเย็นที่เครื่องควบแน่นซึ่งมีค่าคงที่เนื่องจากอยู่ในสถานะของผสมสองสถานะ ในระบบทำความเย็นแบบอัดไอทั่วไป อุณหภูมิของสารทำความเย็นภายในเครื่องควบแน่นจะอยู่ที่ 40-50 องศาเซลเซียส [2] ดังนั้นน้ำร้อนจะมีอุณหภูมิสูงสุดไม่เกิน 50 องศาเซลเซียส ซึ่งน้อยเกินกว่าจะนำมาใช้ในงานบางประเภท เช่น การทำความสะอาดเครื่องมือเครื่องใช้ หรือการซักผ้าภายในโรงพยาบาล การเพิ่มอุณหภูมิของน้ำร้อนให้สูงขึ้นสามารถทำได้โดยการใส่ระบบปั๊มความร้อนแบบลดหลั่นโดยเพิ่มวัฏจักรปั๊มความร้อนให้ทำงานควบคู่กับวัฏจักรทำความเย็นแสดงดังรูปที่ 1.3 จะเห็นว่าความร้อนจากวัฏจักรที่หนึ่งจะถ่ายเทเข้าสู่วัฏจักรที่สองด้วยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนลดหลั่น ทำให้อุณหภูมิของสารทำความเย็นภายในเครื่อง

ควบแน่นของวัฏจักรที่ 2 มีค่าเพิ่มขึ้นซึ่งอาจสูงได้ถึง 70-80 องศาเซลเซียสและทำให้น้ำร้อนที่ได้ อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น



รูปที่ 1.3 ระบบปั๊มความร้อนแบบลดหลั่น

การทำน้ำร้อนจากความร้อนเหลือทิ้งจากระบบทำความเย็นสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การนำน้ำร้อนที่ออกจากเครื่องควบแน่นไปใช้เลยซึ่งน้ำขาเข้าจะเป็นน้ำอุณหภูมิห้องและออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นน้ำที่มีอุณหภูมิสูง ระบบทำน้ำร้อนแบบนี้เรียกว่าการทำงานแบบสภาวะคงตัว สามารถทำน้ำร้อนได้ต่อเนื่อง อีกประเภทคือการทำน้ำร้อนสะสมไว้ในถังน้ำร้อน น้ำร้อนที่ออกจากเครื่องควบแน่นชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำจะถูกเก็บในถังน้ำร้อนและนำกลับมาทำ ความร้อนใหม่จนน้ำในถังมีอุณหภูมิสูงถึงจุดที่ต้องการจึงนำน้ำในถังไปใช้ ระบบทำน้ำร้อนแบบนี้ เรียกว่าการทำงานแบบสภาวะชั่วขณะ การวิจัยครั้งนี้มุ่งศึกษาการทำน้ำร้อนแบบสภาวะชั่วขณะ

1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาสมรรถนะชั่วขณะของปั๊มความร้อนแบบลดหลั่นผ่านชุดทดสอบต้นแบบ
2. ศึกษาผลกระทบของการนำความร้อนปล่อยทิ้งกลับมาผลิตน้ำร้อนที่มีต่อปั๊มความร้อนแบบลดหลั่น

1.3 ขอบเขต

1. ศึกษาการนำความร้อนปล่อยทิ้งกลับมาผลิตน้ำร้อนในสภาวะชั่วขณะจากปั๊มความร้อนแบบลดหลั่นผ่านชุดทดสอบต้นแบบ

2. ศึกษาผลกระทบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของระบบทำน้ำร้อนที่มีต่อปั๊มความร้อนแบบลดหลั่น โดยควบคุมภาระการทำความร้อนให้อยู่ในช่วงที่กำหนด การทำน้ำร้อนเป็นแบบสภาวะชั่วขณะ น้ำร้อนที่ได้จากระบบมีอุณหภูมิสูงเพียงพอสำหรับการใช้งานภายในอาคาร
3. หาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่เกี่ยวกับการทำน้ำร้อน เช่น เวลาในการผลิตน้ำร้อน อัตราการไหลของน้ำร้อน อุณหภูมิสุดท้ายของน้ำร้อน กับการทำงานของปั๊มความร้อนแบบลดหลั่น

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทำให้ทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการทำน้ำร้อนในสภาวะชั่วขณะกับปั๊มความร้อนแบบลดหลั่น
2. สามารถนำไปวิเคราะห์หาจุดทำงานที่ให้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุดสำหรับการผลิตน้ำร้อนที่จุดทำงานใดๆของระบบ
3. ทราบถึงแนวทางในการประยุกต์ในการนำไปใช้จริง และปรับปรุงการทำน้ำร้อนให้ดียิ่งขึ้น

1.5 แผนการดำเนินงานวิจัย

วิทยานิพนธ์นี้มีระยะเวลาการทำงานทั้งสิ้น 18 เดือนตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2557 – มิถุนายน พ.ศ.2558 โดยมีรายละเอียดการทำงานแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1.1 แผนผังรายละเอียดการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงานวิจัย	2557						2558		
	1-2	3-4	5-6	7-8	9-10	11-12	1-2	3-4	5-6
1. ศึกษางานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง									
2. ศึกษาและซ่อมแซมชุดทดสอบต้นแบบ									
3. เก็บข้อมูลการวิจัย									
4. วิเคราะห์และปรับปรุงผลการวิจัย									
5. เขียนวิทยานิพนธ์									

บทที่ 2

ปรีทัศน์วรรณกรรม

การนำความร้อนปล่อยทิ้งจากระบบทำความเย็นกลับมาใช้เป็นหัวข้องานวิจัยที่ได้รับความสนใจมาโดยตลอด เนื่องจากเป็นระบบที่สามารถให้ทั้งความเย็นและความร้อนในเวลาเดียวกัน โดยมีทั้งการทำน้ำร้อนจากระบบทำความเย็น และการใช้ปั๊มความร้อนแบบลดหลั่นเพื่อเพิ่มอุณหภูมิน้ำให้สูงขึ้น นอกจากนี้การศึกษาการถ่ายเทความร้อนภายในเครื่องควบแน่นจะช่วยให้สามารถวิเคราะห์การทำน้ำร้อนได้ดียิ่งขึ้น

2.1 การผลิตน้ำร้อนจากระบบทำความเย็น

Shao et al. [3] ได้ดัดแปลงระบบปรับอากาศสำหรับที่อยู่อาศัยโดยติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ถ่ายเทความร้อนไปยังน้ำที่เพิ่มเข้าไปก่อนและหลังเครื่องควบแน่นที่ระบายความร้อนออกสู่อากาศ พร้อมกันนั้นยังได้ทำการติดตั้งระบบทำความเย็นแบบเดิม และผลิตน้ำร้อนด้วยระบบไฟฟ้าที่เงื่อนไขสภาพแวดล้อมเดียวกันกับระบบใหม่เพื่อทำการเปรียบเทียบสมรรถนะ การทดลองดำเนินไปเป็นระยะเวลา 1 ปีพบว่าประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศของระบบทำความเย็นที่นำความร้อนปล่อยทิ้งกลับมาทำน้ำร้อนสูงกว่าระบบทำความเย็นที่ทำน้ำร้อนด้วยไฟฟ้าถึงร้อยละ 10 และ 90 ในฤดูหนาวและฤดูร้อนตามลำดับ และค่าไฟฟ้าของระบบใหม่น้อยกว่าระบบเก่าถึงร้อยละ 31.1

Huimin et al. [4] ดัดแปลงระบบปรับอากาศสำหรับที่อยู่อาศัยขนาด 4.5 KW ใช้ R-22 เป็นสารทำความเย็น ให้ท่อสารทำความเย็นชนิดตัวในถังน้ำร้อนหลังออกจากเครื่องอัดไอเพื่อถ่ายเทความร้อนแก่น้ำในถังขนาด 200 L จากนั้นจึงจะถ่ายเทความร้อนที่เหลือออกไปสู่อากาศที่เครื่องควบแน่น ชุดทดลองได้ทำการควบคุมอุณหภูมิภายในห้องที่ต้องการทำความเย็น เปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายนอกห้องเพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงสมรรถนะของระบบ จากการทดลองพบว่าเมื่ออุณหภูมิภายนอกห้องคงที่และอุณหภูมิน้ำร้อนที่ต้องการลดลง ภาระการทำความเย็นสูงขึ้น พลังงานไฟฟ้าสำหรับเครื่องอัดไอลดลง แต่ที่อุณหภูมิภายในถังคงที่ พลังงานไฟฟ้าจะมากขึ้น ภาระการทำความเย็นและสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบลดลงเมื่ออุณหภูมิภายนอกสูงขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบกับระบบเดิมที่ถ่ายเทความร้อนด้วยอากาศเพียงอย่างเดียวพบว่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบแบบใหม่มากกว่าระบบเดิมประมาณร้อยละ 10 การทำน้ำร้อนจากระบบแบบใหม่นี้ยังสามารถให้น้ำร้อนได้อย่างต่อเนื่องสำหรับที่พักอาศัยและสามารถดัดแปลงให้ระบบสามารถทำงานได้ในหลากหลายสถานการณ์ สามารถนำไปต่อยอดสำหรับระบบภายในโรงงานได้

Guangcai et al. [5] ทดลองนำความร้อนปล่อยทิ้งจากระบบทำความเย็นกลับมาทำน้ำร้อน และระบบนี้สามารถทำงานเป็นปั๊มความร้อนได้โดยการติดตั้งอุปกรณ์วาล์ว 4 ทางเพื่อเปลี่ยนทิศทางการไหลของสารทำความเย็น สามารถทำน้ำร้อนโดยการติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อถ่ายเทความร้อนสู่น้ำก่อนที่สารทำความเย็นจะถ่ายเทความร้อนให้แก่อากาศที่เครื่องควบแน่น การทดลองดำเนินไปเป็นระยะเวลา 14 เดือน ซึ่งจะมีทั้งช่วงที่ต้องการทำน้ำเย็นเพื่อทำความเย็นและน้ำร้อนสำหรับการใช้งานในฤดูร้อน ช่วงที่ต้องการความร้อนจากเครื่องควบแน่นเพื่อเพิ่มอุณหภูมิให้แก่ที่อยู่อาศัยและน้ำร้อนสำหรับการใช้งานในฤดูหนาว การทดลองได้ทดลองเพื่อหาการเปลี่ยนแปลงของระบบเมื่อการผลิตน้ำร้อนดำเนินไปทำให้น้ำในถังเก็บน้ำร้อนร้อนขึ้นเรื่อยๆ เป็นผลให้อุณหภูมิขาเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสูงขึ้นซึ่งเป็นการทำงานแบบสภาวะชั่วขณะ จากการทดลองพบว่าปริมาณการถ่ายเทความร้อนสู่น้ำลดลงตามเวลา ในขณะที่ภาระการทำความเย็นสูงขึ้น และอุณหภูมิของน้ำร้อนสูงขึ้นเรื่อยๆจนถึงระดับสูงสุด เป็นผลให้สัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบทำความเย็นเพิ่มขึ้นในช่วงแรก และลดลงในเวลาต่อมา ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าการนำความร้อนปล่อยทิ้งจากระบบทำน้ำเย็นสามารถทำได้ต่อเนื่องและสามารถใช้งานได้ในทุกฤดู แต่ในฤดูหนาวอุณหภูมิภายนอกต่ำกว่าควรทำน้ำร้อนควบคู่กับระบบไฟฟ้า

Yokoyama et al. [6] ศึกษาการทำน้ำร้อนด้วยปั๊มความร้อนซึ่งใช้คาร์บอนไดออกไซด์เป็นสารทำความเย็น ถ่ายเทความร้อนไปยังน้ำด้วยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน และน้ำร้อนจะถูกเก็บไว้ในถัง จุดประสงค์คือการวิเคราะห์การทำน้ำร้อนด้วยปั๊มความร้อน จากการศึกษาวิเคราะห์ด้วยวิธีเชิงตัวเลขพบว่าสมรรถนะของการทำน้ำร้อนขึ้นกับ 3 ปัจจัย คืออุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิน้ำขาเข้าและอุณหภูมิน้ำขาออกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน โดยที่เมื่ออุณหภูมิอากาศมากขึ้น สมรรถนะของระบบและภาระการทำความเย็นมากขึ้น ถ้าอุณหภูมิขาเข้าของน้ำร้อนมากขึ้น สัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบลดลง และปริมาณการทำความร้อนลดลงด้วย ถ้าอุณหภูมิขาออกเพิ่มมากขึ้น สัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบลดลง และพลังงานไฟฟ้าสำหรับเครื่องอัดไอสูงขึ้น

Pritoon et al. [7] ศึกษากระบวนการทำความเย็นที่เพิ่มเติมวงจรให้ท่อสารทำความเย็นไปขดตัวในถังเก็บน้ำร้อนเพื่อถ่ายเทความร้อนสู่น้ำ ระบบทำความเย็นแบบอัดไอขนาด 1 ตัน ใช้สาร R-22 เป็นสารทำความเย็น ผลิตน้ำร้อนจากอุณหภูมิห้องไปยังอุณหภูมิสุดท้ายแบ่งเป็น 3 ระดับคือ 40, 45 และ 50 องศาเซลเซียส ควบคุมอุณหภูมิห้องเป็น 3 ระดับคือ 21, 23 และ 25 องศาเซลเซียส จับเวลาที่ใช้ในการผลิตน้ำร้อนและบันทึกการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับระบบทำความเย็น เปรียบเทียบกับระบบทำความเย็นเดิมที่ถ่ายเทความร้อนไปยังอากาศที่เครื่องควบแน่น จากการทดลองพบว่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบปล่อยความร้อนทิ้งที่ถังเก็บน้ำร้อนน้อยกว่าการปล่อยความร้อนทิ้งที่เครื่องควบแน่นเพียงเล็กน้อย และพบว่าตัวแปรที่มีผลต่อระบบคืออุณหภูมิห้องและอุณหภูมิในถังน้ำ

ร้อน เมื่ออุณหภูมิห้องสูงขึ้น สัมประสิทธิ์สมรรถนะสูงขึ้น และเมื่ออุณหภูมิในถังน้ำร้อนสูงขึ้น สัมประสิทธิ์สมรรถนะลดลง, เวลาที่ใช้ในการผลิตน้ำร้อน และพลังงานไฟฟ้าสำหรับเครื่องอัดไอสูงขึ้น

2.2 การผลิตน้ำร้อนจากระบบปั๊มความร้อนแบบลดหลั่น

การนำความร้อนปล่อยทิ้งจากระบบปั๊มความร้อนแบบลดหลั่นกลับมาใช้ประโยชน์ยังไม่เป็นที่นิยมมากนัก เนื่องจากระบบแบบลดหลั่นค่อนข้างซับซ้อน และมักใช้กับงานจำกัด เช่น การทำความเย็นที่ต้องการอุณหภูมิต่ำมากๆ หรืออุณหภูมิภายในห้องทำความเย็นและภายนอกห้องทำความเย็นแตกต่างกันมาก [8] ดังนั้นงานวิจัยส่วนใหญ่จึงเน้นที่การวิเคราะห์สมรรถนะการทำงานของระบบแบบลดหลั่น และตัวแปรที่มีผลกระทบต่อระบบแบบลดหลั่น

Bhattacharyya et al. [9] ศึกษาสมรรถนะของระบบทำความเย็นแบบลดหลั่นซึ่งใช้ในไนตริกออกไซด์เป็นสารทำความเย็นสำหรับวัฏจักรอุณหภูมิต่ำ และคาร์บอนไดออกไซด์สำหรับวัฏจักรอุณหภูมิสูง จากการศึกษาพบว่าตัวแปรที่มีผลต่อระบบคืออุณหภูมิของสารทำความเย็นที่เครื่องระเหยวัฏจักรอุณหภูมิต่ำ อุณหภูมิของสารทำความเย็นที่เครื่องควบแน่นของวัฏจักรอุณหภูมิสูง และผลต่างอุณหภูมิของสารทำความเย็นทั้งสองชนิดที่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนลดหลั่น แต่ที่เกี่ยวข้องกับการนำความร้อนปล่อยทิ้งไปใช้ประโยชน์มี 2 ตัวคืออุณหภูมิที่เครื่องระเหยของวัฏจักรอุณหภูมิต่ำ และอุณหภูมิที่เครื่องควบแน่นของวัฏจักรอุณหภูมิสูง จากการทดลองพบว่าถ้าอุณหภูมิที่เครื่องระเหยของวัฏจักรอุณหภูมิต่ำสูงขึ้น สัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบสำหรับวัฏจักรอุณหภูมิต่ำสูงขึ้น ในขณะที่วัฏจักรอุณหภูมิสูงไม่เปลี่ยนแปลง เช่นเดียวกับเมื่ออุณหภูมิที่เครื่องควบแน่นของวัฏจักรอุณหภูมิสูงมีค่าสูงขึ้น สัมประสิทธิ์สมรรถนะของของวัฏจักรอุณหภูมิสูงมีค่าลดลง ในขณะที่วัฏจักรอุณหภูมิต่ำไม่เปลี่ยนแปลง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงที่วัฏจักรใดวัฏจักรหนึ่งจะไม่กระทบอีกวัฏจักรมากนัก ถ้าการเปลี่ยนแปลงนั้นไม่เกิดขึ้นที่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนลดหลั่น

Jung et al. [10] ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบการนำความร้อนปล่อยทิ้งกลับมาทำน้ำร้อนระหว่างระบบทำความเย็นกับระบบปั๊มความร้อนแบบลดหลั่น ทำการทดลองเพื่อหาตัวแปรที่มีผลต่อระบบทั้งระบบเดี่ยวและระบบลดหลั่น หาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรกับสมรรถนะของระบบ เปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของน้ำร้อน อุณหภูมิขาเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของน้ำร้อน และควบคุมภาระการทำความเย็น จากการทดลองพบว่าสำหรับระบบปั๊มความร้อนแบบลดหลั่นมีค่าปริมาณการทำความร้อนสูงกว่าระบบปกติมาก โดยที่ระบบทำความเย็นผลิตน้ำร้อนได้อุณหภูมิสูงสุด 60 องศาเซลเซียส ในขณะที่ระบบปั๊มความร้อนแบบลดหลั่นสามารถทำได้ที่ 76.6 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิขาเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน 40 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ระบบปั๊มความร้อนแบบลดหลั่นยังมีการถ่ายเทความร้อนที่ต่อเนื่องมากกว่าเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลและอุณหภูมิ

ขาเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของน้ำร้อน อย่างไรก็ตามเมื่ออุณหภูมิขาเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของน้ำร้อนมีค่าน้อย ระบบทำความเย็นจะมีประสิทธิภาพสูงกว่า

วิศิษฐ์ ชูประเสริฐ [11] ได้ทำการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพให้ระบบทำน้ำเย็นโดยการนำความร้อนปล่อยทิ้งกลับมาผลิตน้ำร้อนโดยระบบทำความเย็นแบบอัดไอขนาด 8.45 KW และศึกษา ระบบปั๊มความร้อนแบบลดหลั่นซึ่งประกอบด้วยระบบทำความเย็นแบบอัดไอขนาด 8.45 KW และปั๊มความร้อนขนาด 13 KW ติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อให้สามารถทำความเย็นสามารถถ่ายเทความร้อนไปสู่ น้ำก่อนที่จะระบายความร้อนส่วนที่เหลือไปสู่อากาศ ควบคุมอัตราการไหลของน้ำร้อน และภาระการทำความเย็นเพื่อศึกษาพฤติกรรมของระบบทำความเย็น จากผลการทดลองสรุปได้ว่า เมื่ออัตราการไหลของน้ำร้อนเพิ่มมากขึ้น กำลังไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องอัดไอในระบบทำความเย็นมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ จนถึงจุดๆหนึ่งกำลังไฟฟ้าจะคงที่ ในส่วนของระบบปั๊มความร้อนแบบลดหลั่น กำลังไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องอัดไอของวัฏจักรปั๊มความร้อนลดลง ในขณะที่ของวัฏจักรทำความเย็นคงที่ อัตราการทำความร้อนของทั้งสองระบบคงที่เมื่ออัตราการไหลของน้ำร้อนเปลี่ยนแปลง สัมประสิทธิสมรรถนะของระบบทำความเย็นสูงขึ้นเมื่ออัตราการไหลของน้ำร้อนสูงขึ้น แต่สำหรับปั๊มความร้อนแบบลดหลั่น สัมประสิทธิสมรรถนะของวัฏจักรปั๊มความร้อนสูงขึ้น แต่สัมประสิทธิสมรรถนะของวัฏจักรทำความเย็นคงที่

2.3 การถ่ายเทความร้อนภายในเครื่องควบแน่น

การถ่ายเทความร้อนภายในเครื่องควบแน่นมีความซับซ้อนมากกว่าการถ่ายเทความร้อนภายในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนทั่วไปเนื่องจากสารทำความเย็นมีสถานะเป็นของผสมสองสถานะ นอกจากนี้ยังมีบางช่วงที่สารทำความเย็นมีสถานะเป็นไอร้อนยิ่งยวดและของเหลวเย็นยิ่งอีกด้วย มีการศึกษาถึงการถ่ายเทความร้อนของสารผสมสองสถานะมาเป็นเวลานาน แต่อย่างไรก็ตามการถ่ายเทความร้อนที่สามารถใช้ในการคำนวณหาการถ่ายเทความร้อนของสารผสมสองสถานะได้ในทุกกรณี

Jokar et al. [12] วิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนภายในเครื่องระเหยและเครื่องควบแน่นขนาดเล็กประเภทเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดแผ่น สมการในการหาสัมประสิทธิการพาความร้อนสำหรับสารทำความเย็นที่มีเพียงหนึ่งสถานะไม่สามารถประยุกต์ใช้กับสารสองสถานะได้

Longo et al. [13] วิเคราะห์ผลของอัตราการไหลและอุณหภูมิควบแน่นของสารทำความเย็น R134a ที่มีต่อการถ่ายเทความร้อนภายในเครื่องควบแน่น พบว่าที่อัตราการไหลของสารทำความเย็นต่ำสัมประสิทธิการถ่ายเทความร้อนของสารทำความเย็นค่อนข้างคงที่ แต่จะเพิ่มขึ้นตามอัตราการไหลเมื่ออัตราการไหลมีค่าสูงถึงระดับหนึ่ง อุณหภูมิควบแน่นมีผลต่อสัมประสิทธิการถ่ายเทความร้อนมาก นอกจากนี้ยังเปรียบเทียบสัมประสิทธิการถ่ายเทความร้อนจากผลการทดลองและการคำนวณ

ซึ่งใช้หลายๆ สมการดังนี้ ในช่วงของสารผสมสองสถานะใช้ความสัมพันธ์ของ Nusselt และ Akers [14] ในช่วงของไอร้อนยิ่งยวดใช้ความสัมพันธ์ของ Webb [15] พบว่าผลการคำนวณมีความใกล้เคียงกับผลการทดลองในระดับร้อยละ 20 และสัมประสิทธิ์สมรรถนะของสารทำความเย็นในช่วงไอร้อนยิ่งยวดมีค่ามากกว่าในช่วงของสารผสมสองสถานะประมาณ 5-10% [16]

Mancin et al [17] วิเคราะห์หาสัมประสิทธิ์สมรรถนะการถ่ายเทความร้อนของสารทำความเย็น R407c และ R410a ที่สถานะไอร้อนยิ่งยวดด้วยวิธีการทดลอง พบว่ามีลักษณะเหมือนกับ [16] แต่อัตราการไหลของสารทำความเย็นที่เป็นจุดเปลี่ยนของสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนต่างกัน

2.4 ผลที่ได้จากการศึกษาวิจัย

จากการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการนำความร้อนปล่อยทิ้งกลับมาใช้ประโยชน์ ทำให้เห็นได้ชัดถึงข้อดีต่างๆ เช่น ลดการใช้พลังงาน ประหยัดค่าใช้จ่าย และช่วยเพิ่มประสิทธิภาพให้ระบบทำความเย็น การผลิตน้ำร้อนจากความร้อนปล่อยทิ้งสามารถนำไปใช้งานได้โดยมีประสิทธิภาพ โดยจากงานวิจัยที่ผ่านมาแสดงว่าสามารถผลิตน้ำร้อนได้อย่างต่อเนื่อง สามารถเพิ่มอุณหภูมิน้ำด้วยการใช้ระบบปั๊มความร้อนแบบลดหลั่นโดยที่ผลกระทบต่อการทำงานมีน้อยมาก การถ่ายเทความร้อนภายในเครื่องควบแน่นสามารถวิเคราะห์ได้โดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์และมีความใกล้เคียงกับผลการทดลองแต่ยังมีข้อจำกัดเรื่องชนิดของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน สารทำความเย็น และช่วงการทำงาน

บทที่ 3

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษางานวิจัยนี้มีทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการนำความร้อนปล่อยทิ้งจากปั๊มความร้อนแบบลดหลั่นมาผลิตน้ำร้อนดังนี้ วัฏจักรทำความเย็นแบบอัดไอ วัฏจักรปั๊มความร้อน ระบบแบบลดหลั่น เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน และการถ่ายเทความร้อนภายในเครื่องควบแน่น

3.1 วัฏจักรทำความเย็นแบบอัดไอ (Vapor-Compression Refrigeration Cycle)

การปรับอากาศเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับมนุษย์มากขึ้นเรื่อยๆ ดังจะเห็นได้ว่าในปัจจุบันอาคารสำนักงาน โรงแรม โรงพยาบาล บ้านพักอาศัย จะมีเครื่องปรับอากาศใช้กันแทบทั้งสิ้น ซึ่งจะทำให้ความสบายกับทั้งร่างกายและจิตใจ ส่งผลให้การทำงานมีประสิทธิภาพมากขึ้น ระบบปรับอากาศในปัจจุบันทั้งการทำความเย็นและความร้อนจะใช้วัฏจักรทำความเย็นแบบอัดไอเป็นพื้นฐาน

3.1.1 ส่วนประกอบหลักของวัฏจักรทำความเย็นแบบอัดไอ

วัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอแสดงดังรูปที่ 3.1 มีอุปกรณ์หลัก 4 ชนิดเรียงตามลำดับการทำงานของสารทำความเย็นคือ

3.1.1.1 เครื่องอัดไอ (compressor)

ทำหน้าที่อัดสารทำความเย็นขณะที่มีสถานะเป็นไอที่ความดันและอุณหภูมิต่ำให้เป็นสารทำความเย็นที่มีสถานะเป็นไอที่ความดันและอุณหภูมิสูง

3.1.1.2 เครื่องควบแน่น (condenser)

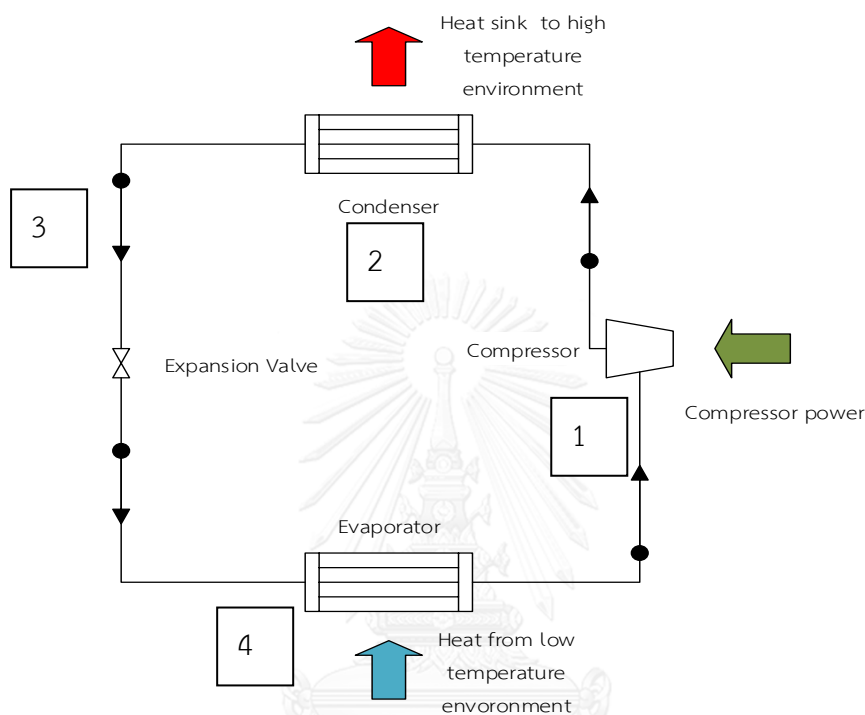
เป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ทำหน้าที่ระบายความร้อนออกจากสารทำความเย็น โดยสารทำความเย็นจะควบแน่นเป็นของเหลวที่ความดันสูง และออกจากเครื่องควบแน่นในสถานะของเหลว

3.1.1.3 วาล์วลดความดัน (expansion Valve)

มีหน้าที่ลดความดันของสารทำความเย็นจากสถานะของเหลวความดันสูง ให้มีความดันและอุณหภูมิต่ำ กระบวนการที่เกิดขึ้นที่อุปกรณ์ลดความดันเป็นกระบวนการที่มีค่าเอนทัลปี (Enthalpy) คงที่

3.1.1.4 เครื่องระเหย (evaporator)

เป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ทำหน้าที่รับความร้อน โดยรับความร้อนจากสิ่งแวดล้อมถ่ายเทให้แก่สารทำความเย็น สารทำความเย็นจะได้รับความร้อนและเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นไอที่ความดันต่ำ



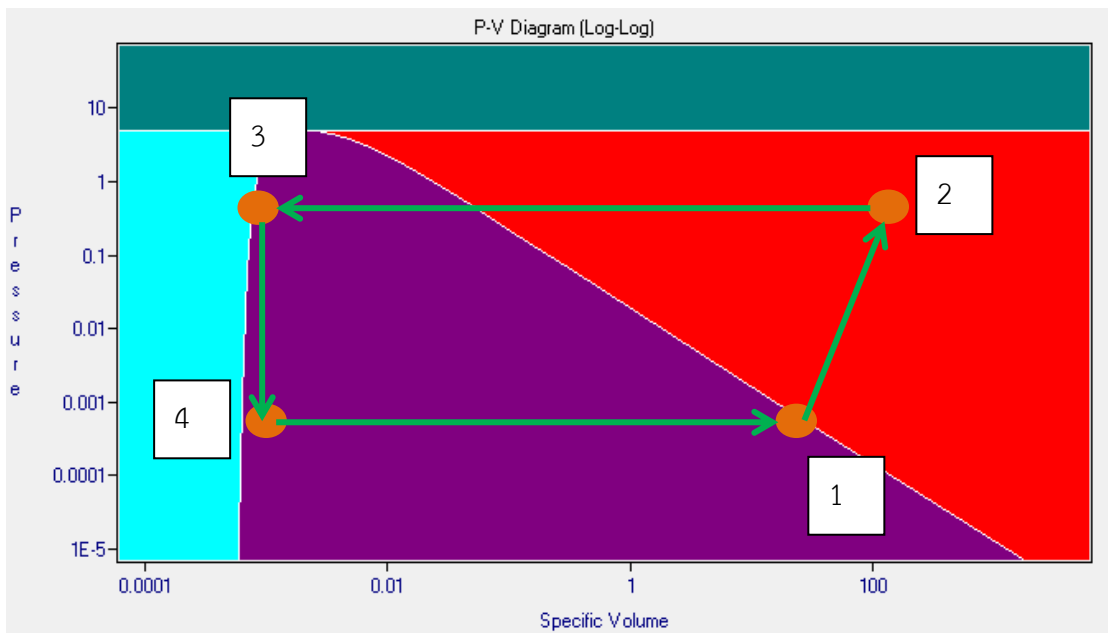
รูปที่ 3.1 วงจรทำความเย็นแบบอัดไอ

3.1.2 การทำงานของวงจรทำความเย็นแบบอัดไอในอุดมคติ

วงจรทำความเย็นแบบอัดไอในอุดมคตินี้ใช้เป็นต้นแบบสำหรับเครื่องทำความเย็นและปั๊มความร้อนอย่างกว้างขวาง โดยกำหนดสมมติฐานต่างๆเพื่อให้สามารถวิเคราะห์การทำงานได้ง่ายขึ้นดังนี้

- ไม่คิดการเปลี่ยนแปลงพลังงานจลน์และพลังงานศักย์
- ไม่คิดความดันตกคร่อมผ่านอุปกรณ์
- สถานะของสารทำความเย็นก่อนเข้าเครื่องอัดไอเป็นสถานะไออิ่มตัวหรือไอร้อนยิ่งยวดเล็กน้อยและออกจากเครื่องอัดไอเป็นไอร้อนยิ่งยวด
- ของเหลวที่ออกจากเครื่องควบแน่นมีสถานะเป็นของเหลวอิ่มตัว

ดังนั้นเมื่อเขียนสภาวะการทำงานของสารทำความเย็นอยู่ในแผนภาพความดันกับเอนทัลปีแสดงดังรูปที่ 3.2 ซึ่งมีกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับระบบทั้งหมด 4 กระบวนการภายในอุปกรณ์ 4 ชนิดดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.2 แผนภาพ p-h ของระบบทำความเย็นแบบอัดไอในอุดมคติ

กระบวนการที่ 1-2 สารทำความเย็นที่มีสถานะไออิ่มตัว (saturated vapor) ความดันต่ำที่จุด 1 ผ่านเข้าสู่เครื่องอัดไอ และจะถูกอัดให้มีความดันสูงขึ้นเป็นสถานะไอร้อนยิ่งยวด (superheated vapor) ที่จุด 2 ด้วยกระบวนการอัดตัวแบบไอเซ็นโทรปิก (isentropic process, $s = \text{constant}$) การหาค่าล้างไฟฟ้าของเครื่องอัดไอแสดงดังสมการที่ 1

$$W_{in} = \dot{m}_r(h_2 - h_1) \quad (1)$$

กระบวนการที่ 2-3 สารทำความเย็นที่มีสถานะเป็นไอร้อนยิ่งยวดที่ออกจากเครื่องอัดไอจะคายความร้อนภายใต้กระบวนการความดันคงที่ (isobaric process) ภายในเครื่องควบแน่น และกลั่นตัวออกมาเป็นของเหลวอิ่มตัว (saturated liquid) ที่จุด 3 การหาอัตราการถ่ายเทความร้อนที่เครื่องอัดไอแสดงดังสมการที่ 2

$$Q_H = \dot{m}_r(h_2 - h_3) \quad (2)$$

กระบวนการที่ 3-4 สารทำความเย็นไหลผ่านวาล์วลดความดัน ความดันลดลงและไม่มีถ่ายเทความร้อน ($h = \text{constant}$) มีสถานะเป็นสารสองสถานะ (two-phase mixture) ที่จุด 4 สามารถแสดงสมการอนุรักษ์พลังงานของวาล์วลดความดันดังสมการที่ 3

$$h_3 = h_4 \quad (3)$$

กระบวนการที่ 4-1 สารทำความเย็นที่ออกจากวาล์วลดความดันไหลผ่านเครื่องระเหย โดยสารทำความเย็นจะรับความร้อนจากภายในบริเวณที่ต้องการทำความเย็น โดยกระบวนการความดันคงที่ และออกมาเป็นสภาวะไออิ่มตัวและกลับเข้าสู่เครื่องอัดไ้อีกครั้งหนึ่ง การหาอัตราการถ่ายเทความร้อนที่เครื่องระเหยแสดงดังสมการที่ 4

$$\dot{Q}_L = \dot{m}_r(h_1 - h_4) \quad (4)$$

การทำงานของวัฏจักรทำความเย็นแบบอัดไอในอุดมคติ เริ่มต้นขึ้นเมื่อสารทำความเย็นเหลวไหลผ่านเครื่องระเหย สารทำความเย็นจะรับเอาความร้อนจากอากาศบริเวณที่ต้องการทำความเย็นที่ไหลผ่านผิวนอกของเครื่องระเหย เมื่อสารทำความเย็นเหลวรับเอาความร้อนอย่างเพียงพอ สารทำความเย็นจะกลายเป็นไอ (สภาวะที่ 1) จากนั้นสารทำความเย็นจะถูกดูดกลับเข้าเครื่องอัดไอ เพื่ออัดตัวให้มีความดันและอุณหภูมิสูงขึ้น (สภาวะที่ 2) ในสภาวะนี้ไอของสารทำความเย็นจะไหลเข้าสู่เครื่องควบแน่น ซึ่งจะถ่ายเทความร้อนออกจากสารทำความเย็นไปยังอากาศภายนอก แล้วเปลี่ยนสถานะของสารทำความเย็นกลับมาเป็นของเหลว (สภาวะที่ 3) ภายใต้สภาวะดังกล่าวของเหลวเมื่อผ่านวาล์วลดความดัน ความดันจะลดลงทันที เมื่อความดันลดลงจะส่งผลให้อุณหภูมิของของเหลวลดต่ำลง จึงสามารถดูดซับความร้อนในพื้นที่ที่ต้องการการทำความเย็นได้ (สภาวะที่ 4) สารทำความเย็นที่ความดันต่ำและมีอุณหภูมิต่ำ จะไหลต่อไปเข้าสู่เครื่องระเหยเพื่อรับความร้อนจากบริเวณที่ต้องการทำความเย็นซึ่งจะเป็นการเริ่มวัฏจักรใหม่อีกครั้ง ประสิทธิภาพของระบบทำความเย็นสามารถบอกได้โดยใช้สัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบทำความเย็น (coefficient of performance, COP) คือ อัตราส่วนของปริมาณการทำความเย็นที่เครื่องระเหยต่อกำลังไฟฟ้าที่ใช้กับเครื่องอัดไอ แสดงดังสมการที่ 5

$$\begin{aligned} COP_R &= \dot{Q}_L / \dot{W}_{in} = \dot{m}_r(h_1 - h_4) / \dot{m}_r(h_2 - h_1) \\ COP_R &= (h_1 - h_4) / (h_2 - h_1) \end{aligned} \quad (5)$$

3.2 วัฏจักรปั๊มความร้อน

วัฏจักรปั๊มความร้อนมีลักษณะการทำงานเช่นเดียวกันกับวัฏจักรทำความเย็น แต่มีวัตถุประสงค์การใช้งานที่แตกต่างกัน โดยระบบปั๊มความร้อนนั้นจะใช้ความร้อนที่ระบายออกที่เครื่องควบแน่นไปใช้งานเพื่อทำความร้อนต่างๆทั้งในการทำน้ำร้อนหรือการปรับอากาศภายในอาคารในฤดูหนาว เป็นต้น โดยที่วัฏจักรการทำงานของปั๊มความร้อนประกอบไปด้วยอุปกรณ์หลักเหมือนกับระบบทำความเย็น คือ เครื่องระเหย, เครื่องอัดไอ, เครื่องควบแน่นและวาล์วลดความดัน ดังรูปที่ 4 ข้างต้น นอกจากนี้หลักการทำงานของปั๊มความร้อนยังเหมือนกับวัฏจักรการทำความเย็นดังรูปที่ 6 ดังนั้นการวิเคราะห์การทำงานของปั๊มความร้อนจะใช้แนวทางเดียวกับวัฏจักรการทำความเย็น ประสิทธิภาพของปั๊มความร้อนสามารถบอกได้โดยใช้สัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบแต่จะต่างจากของวัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอที่สัมประสิทธิ์สมรรถนะของปั๊มความร้อนคืออัตราส่วนการถ่ายเทความร้อนที่เครื่องควบแน่นต่อกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องอัดไอ แสดงดังสมการที่ 6

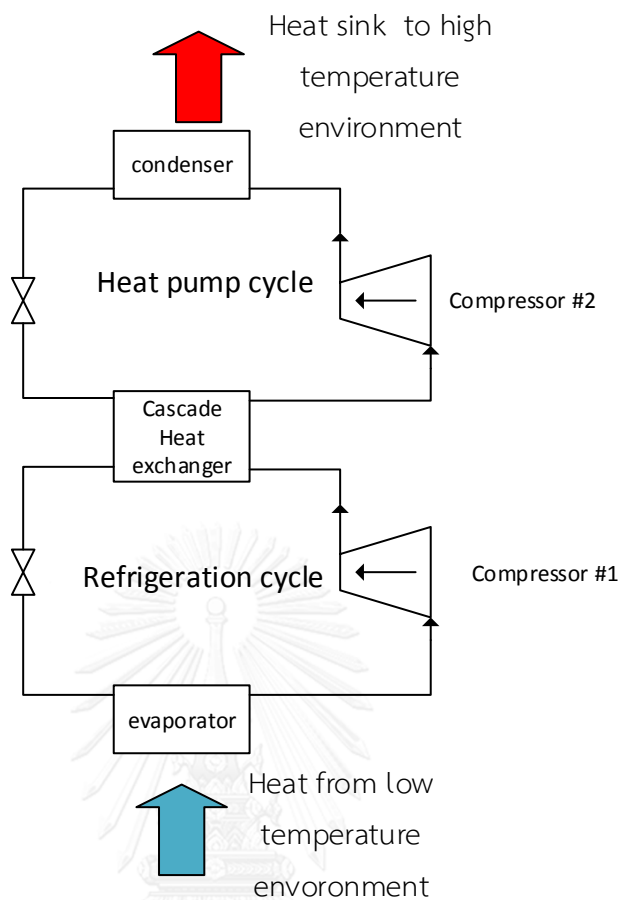
$$COP_{HP} = \frac{Q_H}{W_{in}} \quad (6)$$

โดยค่า COP_{HP} และ COP_R มีความสัมพันธ์กันดังสมการที่ 7

$$COP_{HP} = COP_R + 1 \quad (7)$$

3.3 ระบบแบบลดหลั่น (Two-Cycle Cascade system)

ระบบทำความเย็นแบบลดหลั่นคือระบบทำความเย็นที่ประกอบด้วยวัฏจักรการทำความเย็น 2 วัฏจักรทำงานควบคู่กัน แสดงดังรูปที่ 3.3 การทำงานของแต่ละวัฏจักรการทำความเย็นจะเหมือนกับวัฏจักรการทำความเย็นปกติดังกล่าวข้างต้น โดยวัฏจักรที่หนึ่งรับความร้อนจากบริเวณที่ต้องการทำความเย็น ผ่านเครื่องอัดไอ ถ่ายเทความร้อนไปยังวัฏจักรที่สองผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนลดหลั่น (cascade heat exchanger) เพิ่มความดันผ่านเครื่องอัดไอเครื่องที่สอง และไประบายความร้อนที่เครื่องควบแน่น จากลักษณะดังกล่าวจึงมักเรียกวัฏจักรที่หนึ่งว่าวัฏจักรอุณหภูมิต่ำ และเรียกวัฏจักรที่สองว่าวัฏจักรอุณหภูมิสูง



รูปที่ 3.3 ระบบทำความเย็นแบบหลั่นสองชั้น

การใช้งานระบบทำความเย็นแบบหลั่น มักจะใช้สำหรับจุดที่ต้องการทำความเย็นมี อุณหภูมิต่ำมากๆ หรือผลต่างของอุณหภูมิตั้งระหว่างจุดทำความเย็นและจุดระบายความร้อนสูงมาก เช่น การแช่แข็งผลิตภัณฑ์ที่ต้องการอุณหภูมิต่ำมากๆ การทำความร้อนในฤดูหนาวที่อุณหภูมิตดลบ สูงๆ ทำให้เครื่องอัดไอต้องรับภาระสูงในการเพิ่มความดันและอุณหภูมิของสารทำความเย็น ทำให้ ประสิทธิภาพของเครื่องอัดไอและระบบทำความเย็นลดลง การใช้ระบบทำความเย็นแบบหลั่นช่วย ลดภาระของเครื่องอัดไอ ทำให้ประสิทธิภาพของระบบทำความเย็นสูงขึ้น

ในกรณีของปั๊มความร้อนแบบหลั่น การทำงานจะเหมือนระบบทำความเย็นแบบหลั่น แต่เรียกตามการใช้ประโยชน์คือต้องการใช้ประโยชน์จากความร้อนปล่อยทิ้งซึ่งมากกว่าระบบทำความ เย็นปกติ อย่างไรก็ตามในงานวิจัยนี้ต้องการนำร้อนอุณหภูมิตั้งสูงขึ้น

3.4 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchangers)

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจะทำหน้าที่ในการถ่ายเทความร้อนระหว่างของไหลกับของไหล โดยที่ไม่มีของไหลตัวกลางที่ช่วยให้เกิดการถ่ายเทความร้อน กระบวนการถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้นใน เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเมื่อของไหลเปลี่ยนสถานะจากของเหลวไปเป็นไอ (evaporated),

เปลี่ยนจากไอกลายเป็นของเหลว (condense), หรือของไหลสองชนิดเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อน โดยที่สถานะของของไหลไม่เปลี่ยน การถ่ายเทของพลังงานจะเกิดขึ้นเมื่อของไหลสองชนิดมีอุณหภูมิที่แตกต่างกัน

ในระบบปรับอากาศและระบบทำความเย็น เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจะใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนทั้งความร้อนสัมผัส (sensible heat) หรือความร้อนแฝง (latent heat) ความร้อนสัมผัสนั้นจะเป็นการถ่ายเทความร้อนจากของเหลวชนิดหนึ่งไปยังของเหลวอีกชนิดหนึ่ง ส่วนความร้อนแฝงนั้นจะเป็นการถ่ายเทความร้อนที่เกิดจากเปลี่ยนแปลงสถานะของของเหลว เช่น การกลั่นตัวของน้ำในเครื่องควบแน่น เป็นต้น

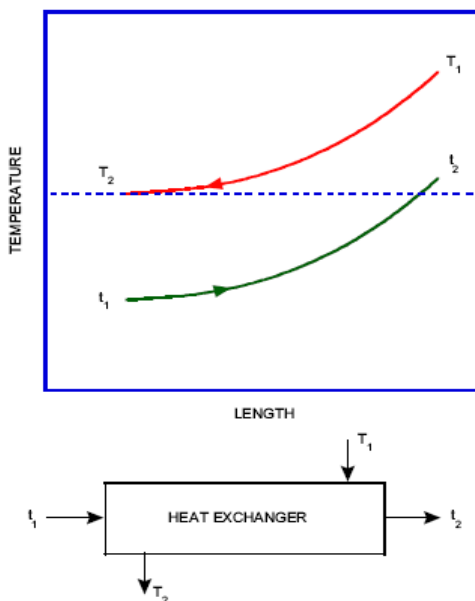
3.4.1 หลักการพื้นฐานของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

เมื่อมีการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างของไหลสองชนิด อัตราการถ่ายเทความร้อนระหว่างของไหลภายในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 6

$$\dot{Q} = UA\Delta t_{lm} \quad (6)$$

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมจะขึ้นอยู่กับลักษณะการจัดตัวของพื้นที่ในการแลกเปลี่ยนความร้อนและชนิดของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยเชิงลอการิทึมจะขึ้นอยู่กับชนิดของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนและลักษณะการไหลของของไหลภายในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เช่น ในกรณีของไหลไหลสวนกันซึ่งโดยทั่วไปการไหลภายในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของระบบทำความเย็นจะเป็นประเภทนี้แสดงดังรูปที่ 3.4 จะเห็นว่าเส้นสีแดงหมายถึงของไหลอุณหภูมิสูงที่ถ่ายเทความร้อนไปยังของไหลอุณหภูมิต่ำเส้นสีเขียว สามารถหาค่าเฉลี่ยลอการิทึมของการถ่ายเทความร้อนแบบนี้ได้ดังสมการที่ 7

$$\Delta t_{lm} = \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{\ln\left(\frac{T_1 - t_2}{T_2 - t_1}\right)} \quad (7)$$



รูปที่ 3.4 ลักษณะการไหลของของไหล และการถ่ายเทความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิด
ท่อคู่แบบการไหลสวนทาง [11]

อัตราการถ่ายเทความร้อนของของไหลแต่ละชนิดสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 8

$$\dot{Q} = \dot{m}c_p(t_{in} - t_{out}) \quad (8)$$

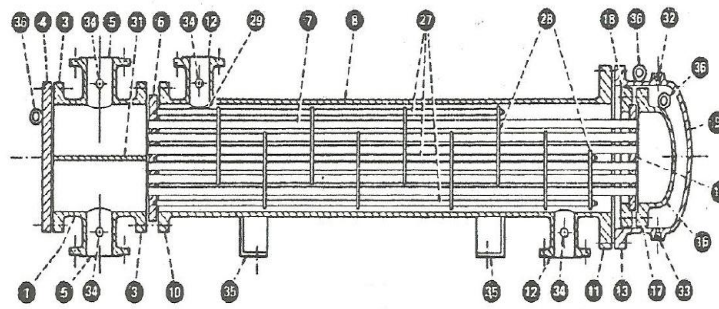
ค่าของอุณหภูมิเฉลี่ยเชิงลอการิทึมเป็นตัวประกอบที่สำคัญในการเลือกขนาดเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เมื่อค่าอุณหภูมิเฉลี่ยเชิงลอการิทึมมีค่ามากพื้นที่ในการถ่ายเทความร้อนจะมีค่าน้อยเพื่อให้เพียงพอกับอัตราการถ่ายเทความร้อน และเมื่อค่าผลต่างของอุณหภูมิระหว่าง T_2 และ t_2 มีค่าใกล้เคียงกันส่งผลให้ค่าของอุณหภูมิเฉลี่ยเชิงลอการิทึมมีค่าน้อย พื้นที่ในการแลกเปลี่ยนความร้อนจะต้องมีค่าเพิ่มขึ้นเพื่อให้เพียงพอต่อภาระการถ่ายเทความร้อน

3.4.2 ชนิดของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ในระบบปรับอากาศและระบบทำความเย็น ส่วนมากมักจะ เป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเปลือกและท่อ (Shell and tube heat exchanger) หรือ เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น (Plate heat exchanger) เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนทั้งสอง ชนิดจะมีลักษณะการไหลของของไหลที่แยกออกจากกัน ไม่สัมผัสกันโดยตรง ซึ่งมีโครงสร้างที่แตกต่าง กันออกไปขึ้นอยู่กับลักษณะและความเหมาะสมในการใช้งาน แต่มีวัตถุประสงค์ไปในทางเดียวกันคือ การเพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อน

3.4.2.1 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเปลือกและท่อ (Shell and Tube Heat Exchanger)

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเปลือกและท่อจะมีท่อถ่ายเทความร้อนจำนวนมากติดตั้งไว้ในเปลือกของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแสดงดังรูปที่ 3.5 ของไหลในท่อและของไหลด้านเปลือกจะทำการแลกเปลี่ยนความร้อนผ่านผนังท่อซึ่งกั้นระหว่างของไหลทั้งสองประเภท ของไหลด้านเปลือกจะถูกปิดกั้นจากบรรยากาศโดยตัวเปลือกและฝาปิดตัวเปลือก ของไหลด้านเปลือกนี้จะถูกทำให้ไหลจากปากทางเข้าไปยังทางออกโดยแผ่นกั้น (baffle) และทำการแลกเปลี่ยนความร้อนกับของไหลในท่อโดยการสัมผัสกับท่อถ่ายเทความร้อน ในระหว่างนั้นแผ่นกั้นการปะทะ (impingement baffle) จำเป็นต้องมีเฉพาะเมื่อความเร็วที่ทางเข้าของของไหลด้านเปลือกมีค่าสูงซึ่งอาจก่อความเสียหายให้กับท่อถ่ายเทความร้อนได้ ท่อถ่ายเทความร้อนจะถูกยึดไว้ระหว่างแผ่นยึดท่อที่อยู่กับที่ (stationary tube sheet) ซึ่งยึดติดกับตัวเปลือกของไหลในท่อจะไหลเข้าทางช่องเปิด (channel nozzle) ซึ่งจะถูกบังคับทิศทางการไหลโดยแผ่นแบ่งที่ยกการไหล (pass partition) จะทำหน้าที่ในการควบคุมจำนวนที่ยกการไหลของของไหลในท่อ แล้วไหลผ่านท่อถ่ายเทความร้อนไปออกที่ช่องเปิดอีกด้านหนึ่ง (floating head) จากนั้นของไหลในท่อจะไหลกลับทิศไปมาจนกระทั่งได้จำนวนที่ยกที่ต้องการ ของไหลจะไหลออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน



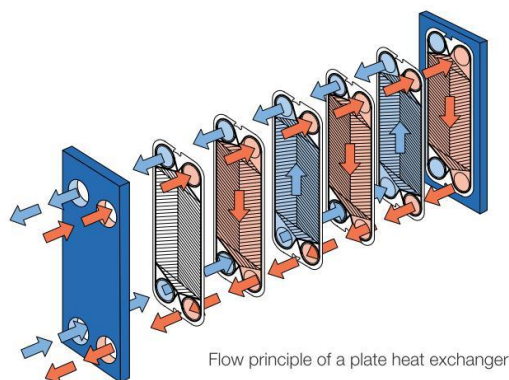
รูปที่ 3.5 โครงสร้างและอุปกรณ์เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ [11]

ซึ่งมีส่วนประกอบต่างๆ ดังนี้

- | | | |
|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| 1. Stationary head channel. | 13. Shell nozzle. | 27. Tie rods and spacers. |
| 2. Stationary head bonnet. | 14. Expansion joint. | 28. Transverse baffles or |
| 3. Stationary head flange | 15. Floating tube sheet. | Support plates. |
| channel or bonnet. | 16. Floating head cover. | 29. Impingement baffle. |
| 4. Channel cover | 17. Floating head flange | 30. Longitudinal baffle. |
| 5. Channel head nozzle | 18. Floating head | 31. Pass partition. |
| 6. Stationary tube sheet. | backing device. | 32. Vent connection. |
| 7. Tubes. | 19. Slip shear ring. | 33. Drain connection. |
| 8. Shell | 20. Slip-on backing flange. | 34. Instrument |
| connection. | | |
| 9. Shell cover. | 21. Floating head cover | 35. Support saddle. |
| 10. Shell flange stationary | 22. Floating tube sheet. | 36. Lifting lug. |
| head end. | skirt. | 37. Support bracket. |
| 11. Shell flange rear | 23. Packing box flange. | 38. Weir. |
| head end. | 24. Packing. | 39. Liquid level |
| connection. | | |
| 12. Shell flange rear | 25. Packing follower ring. | 40. Shell cover flange. |
| head end. | 26. Lantern ring. | |

3.4.2.2 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดแผ่น (Plate Heat Exchanger)

คุณลักษณะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น คือการเอาแผ่นถ่ายเทความร้อนหลายๆ แผ่นมาวางเรียงกันในระยะห่างคงที่ แล้วใช้ของเหลวแต่ละชนิดไหลผ่านช่องว่างระหว่างแผ่นในลักษณะสลับกันช่องเว้นช่อง แสดงดังรูปที่ 3.6 แผ่นถ่ายเทความร้อนนี้ทำด้วยแผ่นสแตนเลส (stainless steel) บางๆ นำมาอัดให้เกิดส่วนนูน ส่วนเว้า และวางประกบกันหลายๆ แผ่น ของไหลแต่ละชนิดจะไหลสลับกันไปตามช่องว่างที่เกิดจากการประกบเพื่อแลกเปลี่ยนความร้อน การนำแผ่นถ่ายเทความร้อนประกบเข้าด้วยกันนั้นมีหลายวิธีเช่น ประกบเข้าด้วยกันโดยใช้ปะเก็น (gasket), เชื่อม (Welded) แผ่นถ่ายเทความร้อนเข้าด้วยกัน และการบัดกรีแผ่นถ่ายเทความร้อนเข้าด้วยกัน (Brazed) ข้อควรระวังของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้วิธีการประกบกันด้วยปะเก็นเพื่อป้องกันไม่ให้ของไหลรั่ว ชนิดของวัสดุที่ใช้ทำปะเก็นจะเป็นตัวกำหนดช่วงของความดันและอุณหภูมิในใช้งาน ซึ่งโดยทั่วไปจะถูกออกแบบมาให้ใช้งานอยู่ในช่วงความดันที่ 2 MPa แต่สำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้วิธีการบัดกรีจะถูกออกแบบเพื่อใช้งานที่ความดันสูงถึง 3 MPa และช่วงอุณหภูมิสูงถึง 260°C

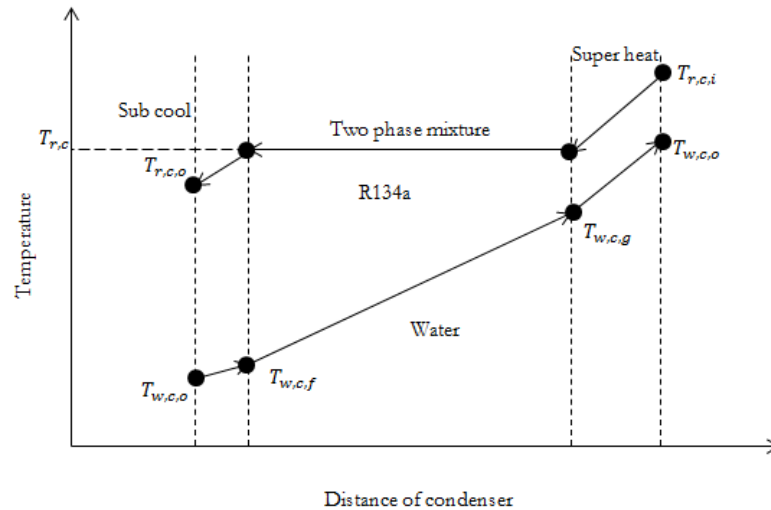


รูปที่ 3.6 การไหลของของไหลผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดแผ่น [18]

3.5 การถ่ายเทความร้อนภายในเครื่องควบแน่น

สารทำความเย็นภายในเครื่องควบแน่นส่วนใหญ่จะมีสถานะเป็นของผสมสองสถานะ นอกจากนี้ยังมีบางส่วนมีสถานะเป็นไอร้อนยิ่งยวดและของเหลวเย็นยิ่งอีกด้วย โดยจะถ่ายความร้อนออกไปสู่ของไหลอีกชนิดหนึ่ง เช่น อากาศ น้ำ เป็นต้น รูปที่ 3.7 แสดงแผนภาพอุณหภูมิของสารทำความเย็นและน้ำภายในเครื่องควบแน่น จะเห็นว่าสารทำความเย็นเข้าเครื่องควบแน่นที่สถานะไอร้อนยิ่งยวด จากนั้นจึงถ่ายเทความร้อนจนมีสถานะเป็นของผสมสองสถานะ และสุดท้ายเป็นของเหลวเย็นยิ่งยวด ในขณะที่น้ำเข้าเครื่องควบแน่นที่อุณหภูมิห้องและออกจากเครื่องควบแน่นเป็นน้ำร้อน ช่วงที่สารทำความเย็นมีสถานะของเหลวเย็นยิ่งยวดมากเมื่อเทียบกับช่วงของอีกสองสถานะ ดังนั้น

ในการคำนวณจึงสามารถสมมติให้สารทำความเย็นออกจากเครื่องควบแน่นมีสถานะเป็นของเหลวอิ่มตัวเหลือแค่การถ่ายเทความร้อนระหว่างสารทำความเย็นสถานะของผสมสองสถานะกับน้ำ และสารทำความเย็นสถานะไอร้อนยวดยิ่งกับน้ำ



รูปที่ 3.7 แผนภาพอุณหภูมิของสารทำความเย็นและน้ำภายในเครื่องควบแน่น

สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมเป็นตัวแปรสำคัญในการวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน สามารถหาได้จากสมการที่ 9

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{q_r} + \frac{s}{k_p} + \frac{1}{q_w} \quad (9)$$

สัมประสิทธิ์การนำความร้อนขึ้นอยู่กับวัสดุของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน โดยส่วนมากจะเลือกใช้วัสดุที่นำความร้อนได้ดีเพื่อให้การถ่ายเทความร้อนระหว่างของไหลมีประสิทธิภาพมากที่สุด ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนจึงมีค่าสูงมากเมื่อเทียบกับสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของสารทำความเย็นและน้ำ ดังนั้นในการคำนวณจึงมักละทิ้งพจน์ที่ 2 ด้านขวามือของสมการที่ 9

ความสัมพันธ์ของสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของน้ำสามารถหาได้จากหลากหลายสมการขึ้นอยู่กับรายละเอียดการทดลอง ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ความสัมพันธ์ของ muley และ manglik จาก [13] ดังสมการ 10

$$h_w = 0.277 \left(\frac{k_w}{d_h} \right) Re_w^{0.766} Pr_w^{0.333} \quad (10)$$

ตัวเลขเรย์โนลด์ของน้ำสามารถหาได้จากสมการที่ 11

$$Re_w = \rho_w v_{w,ch} d_h / \mu_w \quad (11)$$

มีงานวิจัยมากมายศึกษาถึงสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของสารทำความเย็นสำหรับช่วงของผสมสถานะ แต่ทุกๆ ความสัมพันธ์ต่างใช้ได้ดีกับเฉพาะการทดลองของตนเองเท่านั้น ในการวิจัยครั้งนี้เป็นการถ่ายเทความร้อนระหว่างสารทำความเย็น R134a และ น้ำ จึงเลือกใช้ความสัมพันธ์ของ Akers [13] ดังสมการที่ 12

$$h_{AKERS} = 5.03 \left(\frac{k_l}{d_h} \right) Re_{eq}^{1/3} Pr_l^{1/3} \quad (12)$$

ตัวเลขเรย์โนลด์เทียบเท่าและตัวเลขพรันด์เติลหาได้จากสมการที่ 13 และ 14 ตามลำดับ

$$Re_{eq} = G \left[(1 - X) + X \left(\frac{\rho_l}{\rho_g} \right)^{1/2} \right] d_h / \mu_l \quad (13)$$

$$Pr_l = \mu_l c_{p,l} / k_l \quad (14)$$

อย่างไรก็ตามสัมประสิทธิ์สมรรถนะการถ่ายเทความร้อนที่หาได้จากสมการที่ 12 เป็นค่าที่ใช้ได้เฉพาะจุดใดๆ สำหรับในกรณีที่ต้องการค่าเฉลี่ยสำหรับทั้งช่วงต้องทำการอินทิเกรตตามสมการที่ 15

$$h_{r,avg} = \frac{1}{L} \int_0^L \phi h_{AKERS} dl \quad (15)$$

สำหรับสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของสารทำความเย็นในช่วงไอร้อนยิ่งยวด จากการศึกษาที่ผ่านมาโดยใช้ความสัมพันธ์ของ Webb [13],[16] พบว่ามีค่ามากกว่าในช่วงของผสมสองสถานะร้อยละ 8-10 ดังนั้นสามารถนำผลที่ได้จากการหาในช่วงของผสมสองสถานะมาใช้ได้



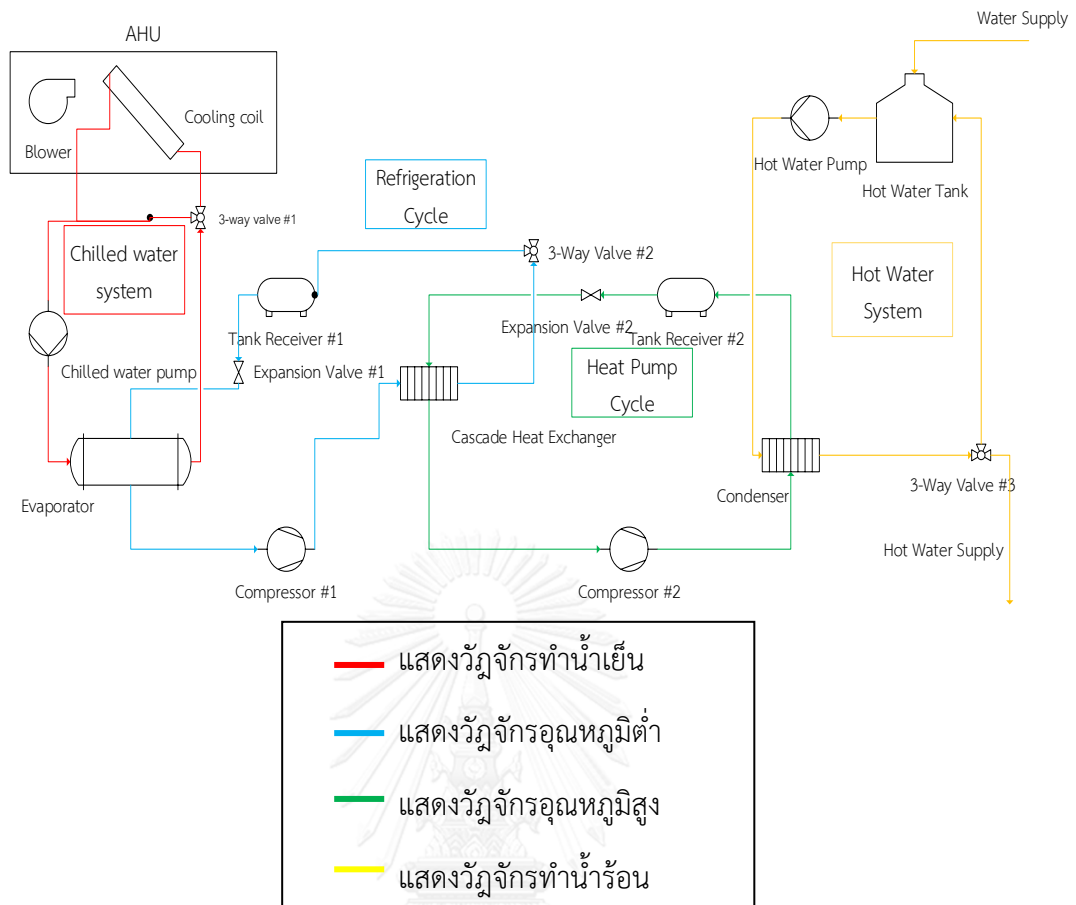
บทที่ 4

ชุดทดสอบต้นแบบ

ชุดทดสอบต้นแบบดัดแปลงมาจากเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนซึ่งเดิมสามารถทำความเย็นได้ 10.56 KW (3 TR) แต่นำแค่อุปกรณ์บางส่วนมาใช้ทำให้ภาระการทำความเย็นสูงสุดของชุดทดสอบต้นแบบลดลงเหลือ 8.45 KW สามารถทำความเย็นด้วยระบบทำความเย็นปกติหรือระบบทำความเย็นแบบลดหลั่นได้โดยการเปลี่ยนทิศทางการไหลของสารทำความเย็น นอกจากนี้ยังสามารถทำน้ำร้อนจากความร้อนปล่อยทิ้งได้อีกด้วย ในบทนี้จะอธิบายถึงเฉพาะส่วนระบบลดหลั่นเท่านั้นโดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 หลักการทำงานของชุดทดสอบต้นแบบ

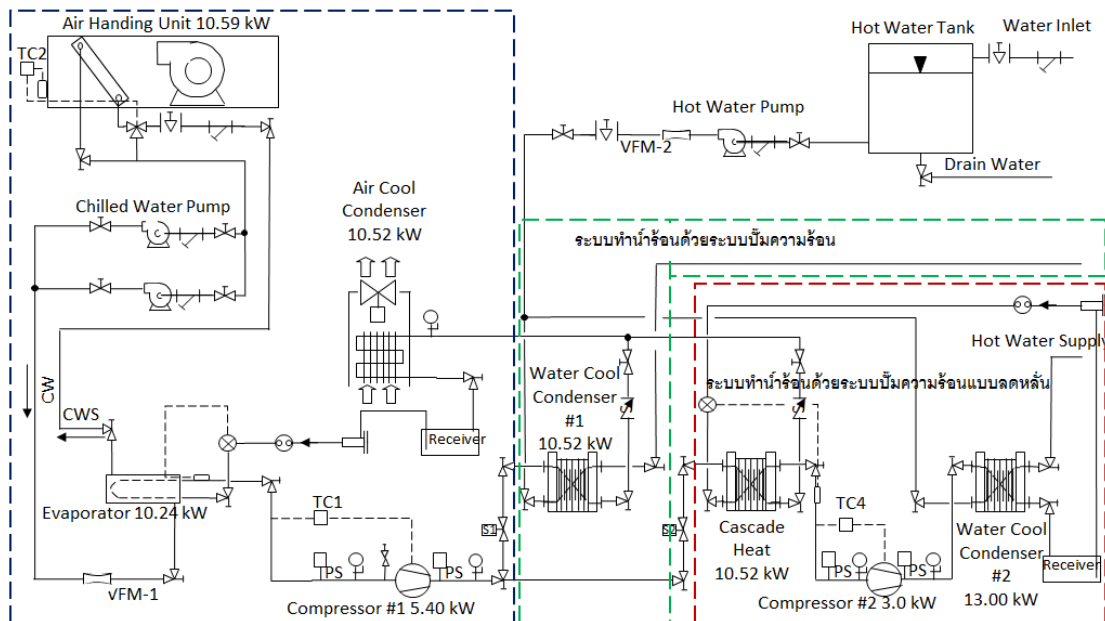
ชุดทดสอบต้นแบบเป็นระบบปั๊มความร้อนแบบลดหลั่น ประกอบด้วย 4 วัฏจักรแสดงดังรูปที่ 4.1 วัฏจักรน้ำเย็นเพื่อปรับอากาศแสดงการทำงานด้วยเส้นสีแดง วัฏจักรทำความเย็นหรือวัฏจักรอุณหภูมิต่ำแสดงการทำงานด้วยเส้นสีฟ้าใช้ R22 เป็นสารทำความเย็น วัฏจักรปั๊มความร้อนหรือวัฏจักรอุณหภูมิสูงแสดงการทำงานด้วยเส้นสีเขียวใช้ R134a เป็นสารทำความเย็น และวัฏจักรน้ำร้อนแสดงการทำงานด้วยเส้นสีเหลือง หลักการทำงานของชุดทดสอบต้นแบบคือ น้ำของวัฏจักรน้ำเย็นรับความร้อนจากบริเวณห้องที่ต้องการทำความเย็นที่เครื่องเป่าลมเย็นถ่ายเทความร้อนให้แก่สารทำความเย็น R22 ของวัฏจักรทำความเย็นที่เครื่องระเหย ผ่านเครื่องอัดไอ และระบายความร้อนที่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนลดหลั่นไปยังวัฏจักรปั๊มความร้อน จากนั้นจะสามารถกำหนดให้สารทำความเย็น R22 ผ่านเครื่องควบแน่นชนิดระบายความร้อนด้วยอากาศหรือไปที่ถังพักสารทำความเย็นเลย ซึ่งควบคุมจากการทำงานของวัฏจักรปั๊มความร้อน ถ้าปั๊มความร้อนไม่ทำงานต้องไประบายความร้อนที่เครื่องควบแน่นด้วย แต่ถ้าปั๊มความร้อนทำงานจะให้สารทำความเย็น R-22 ไปยังถังพักความดัน ผ่านวาล์วลดความดัน และกลับเข้าสู่เครื่องระเหยเพื่อรับความร้อนต่อไปโดยไม่ผ่านเครื่องควบแน่น ความร้อนที่สารทำความเย็น R134a ได้รับที่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนลดหลั่น ผ่านเครื่องอัดไอ ระบายความร้อนที่เครื่องควบแน่นโดยมีน้ำมารับความร้อน จากนั้นสาร R-134a ไปยังถังพักความดัน ผ่านวาล์วลดความดันและกลับไปรับความร้อนที่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนลดหลั่นต่อไป น้ำถูกปั๊มมาจากถังน้ำร้อนไปรับความร้อนปล่อยทิ้งจากปั๊มความร้อนลดหลั่น น้ำที่ออกจากเครื่องควบแน่นจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นและสามารถกำหนดได้ว่าจะนำไปใช้งานหรือนำกลับไปยังถังน้ำร้อนเพื่อนำกลับไปรับความร้อนต่อไปเพื่อเพิ่มอุณหภูมิต่อไป



รูปที่ 4.1 แผนภาพกระบวนการทำงานของชุดทดสอบต้นแบบ

4.2 ส่วนประกอบต่างๆภายในชุดทดสอบต้นแบบ

ชุดทดสอบต้นแบบสามารถทำน้ำร้อนได้ทั้ง 2 ระบบคือ ทำน้ำร้อนจากระบบทำความเย็น และทำน้ำร้อนจากปั๊มความร้อนแบบลดหลั่น แผนภาพแสดงการไหลของกระบวนการ (process Flow Diagram) แสดงดังรูปที่ 4.2 โดยรายละเอียดอุปกรณ์หลักๆแสดงดังตารางที่ 4.1 ในงานวิจัยนี้จะกล่าวถึงเฉพาะระบบทำน้ำร้อนจากปั๊มความร้อนแบบลดหลั่นเท่านั้นโดยรายละเอียดทั้งหมดของชุดทดสอบต้นแบบสามารถหาได้จากแหล่งอ้างอิง [11] รายละเอียดของอุปกรณ์ทั้งหมดแสดงในภาคผนวก ก



รูปที่ 4.2 แผนภาพการไหลกระบวนการของชุดทดสอบต้นแบบ [11]

ตารางที่ 4.1 อุปกรณ์หลักภายในชุดทดสอบต้นแบบ

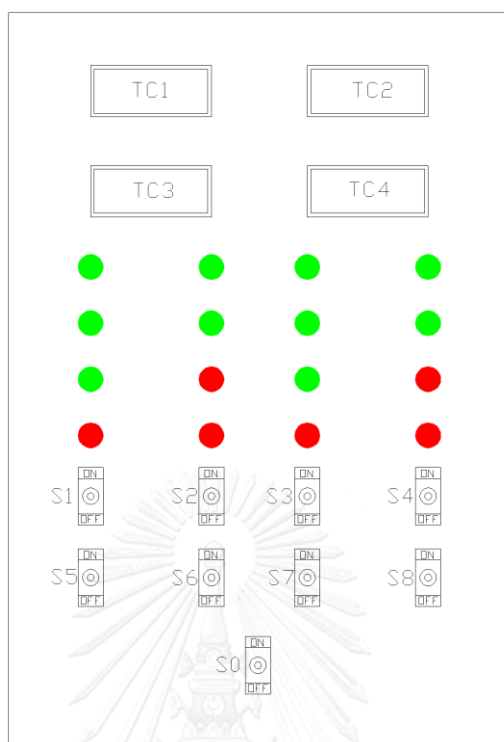
อุปกรณ์	ข้อมูลทางเทคนิค
เครื่องเป่าลมเย็น (AHU)	ขนาด 1570x620x250 mm อัตราการทำความเย็น 10.59 kW
เครื่องระเหย	เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิด เปลือกและท่อ ขนาดพิกัดการทำความเย็น 10.30 kW
เครื่องอัดไอ	ชนิดโรตารี ขนาดพิกัด 5.40 kW
เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบลดทอน	เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดแผ่น
เครื่องอัดไอ	ชนิดสโคล ขนาดพิกัด 3.0 kW
เครื่องควบคุมแรงดันชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ	เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดแผ่น

4.3 การควบคุมการทำงานของชุดทดสอบต้นแบบ

ในการควบคุมการทำงานของชุดทดสอบต้นแบบจะมีทั้งแบบควบคุมด้วยระบบอัตโนมัติและควบคุมด้วยมือ แผงควบคุมรวมประกอบด้วย 3 ส่วนหลักๆ แสดงดังรูปที่ 4.3 ดังต่อไปนี้

- เทอร์โมสแตต (Thermostat) ทำหน้าที่ควบคุมอุณหภูมิ และแสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆดังนี้
 1. TC1 ทำหน้าที่ควบคุมและแสดงผลของอุณหภูมิที่ผิวท่อสารทำความเย็น ก่อนเข้าเครื่องอัดไอของวัฏจักรทำความเย็นเพื่อควบคุมการทำงานของเครื่องอัดไอ
 2. TC2 ทำหน้าที่แสดงผลและควบคุมอุณหภูมิอากาศภายในห้องทำความเย็น
 3. TC3 ทำหน้าที่แสดงอุณหภูมิน้ำในถังน้ำร้อน
 4. TC4 ทำหน้าที่ควบคุมและแสดงผลของอุณหภูมิที่ผิวท่อสารทำความเย็น ก่อนเข้าเครื่องอัดไอของวัฏจักรบีบความร้อนเพื่อควบคุมการทำงานของเครื่องอัดไอ
- หลอดไฟแสดงสถานการณ์ทำงานของอุปกรณ์ต่างๆของชุดทดลองต้นแบบ
- สวิตช์ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์
 1. S0 ควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ชุดทดสอบต้นแบบ
 2. S1 ควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับปั๊มน้ำเย็น
 3. S2 ควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับเครื่องอัดไอของวัฏจักรทำความเย็น
 4. S3 ควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับปั๊มน้ำร้อน
 5. S4 ควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับเครื่องอัดไอของวัฏจักรบีบความร้อน
 6. S5 ควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับโซลินอยวาล์วตัวที่ 1 สำหรับควบคุมการไหลของสารทำความเย็น R-22 ให้เข้าเครื่องควบแน่นชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำของวัฏจักรทำความเย็น (สำหรับการทำน้ำร้อนด้วยระบบทำความเย็น)
 7. S6 ควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับพัดลมระบายความร้อนในเครื่องควบแน่นชนิดระบายความร้อนด้วยอากาศ (สำหรับระบบทำความเย็นปกติ)
 8. S7 ควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับโซลินอยวาล์วตัวที่ 2 สำหรับควบคุมการไหลของสารทำความเย็น R-22 ให้เข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบลดหลั่น

9. S8 ควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับพัดลมในเครื่องเป่าลมเย็น



รูปที่ 4.3 แผงควบคุมชุดทดลองต้นแบบ

นอกจากนี้ถ้าความดันภายในวัฏจักรอุณหภูมิต่ำเกินไปและปั๊มความร้อนสูงหรือต่ำกว่าค่าที่กำหนดไว้สวิตช์ความดัน(Hi-Low Pressure Switch) ก็จะตัดการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับมอเตอร์เครื่องอัดไอออกทันที เพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับระบบ และถ้ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านเข้ามอเตอร์เครื่องอัดไอเกินขนาด Overload Relay ก็จะตัดการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับมอเตอร์เครื่องอัดไอทันทีเช่นกัน เพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับมอเตอร์เครื่องอัดไอ

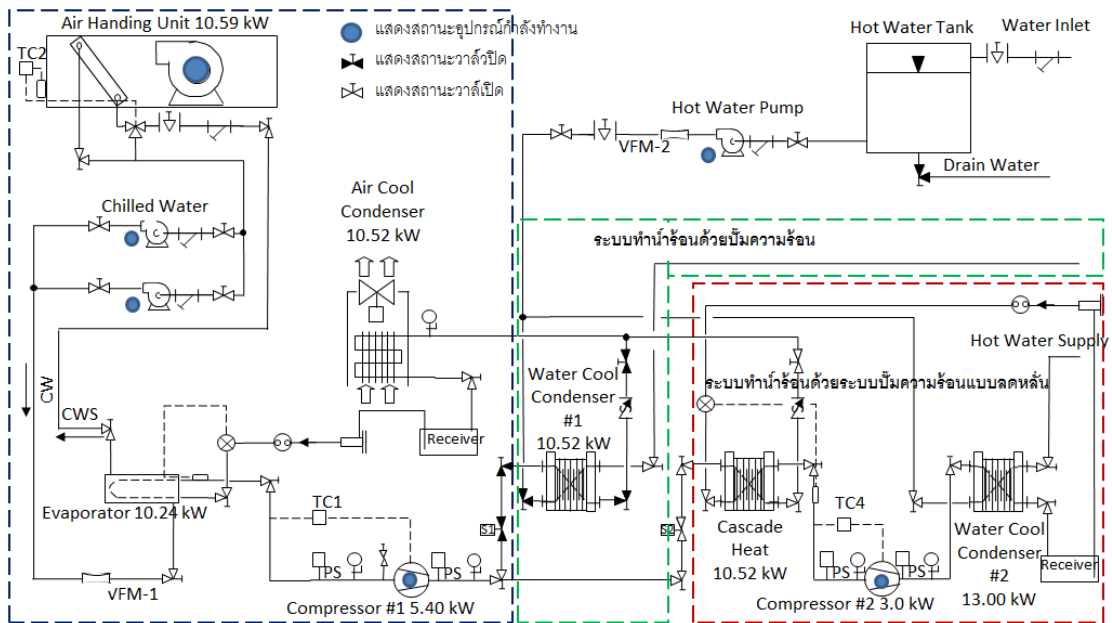
4.4 ขั้นตอนการทำงานของชุดทดสอบต้นแบบ

ในการเริ่มต้นการทำงานของระบบทำน้ำร้อนจากระบบทำความเย็นแบบลัดหลังของชุดทดลองต้นแบบ มีขั้นตอนการทำงานดังต่อไปนี้

- 1) ตรวจสอบสถานะการเปิด-ปิดวาล์วให้อยู่ตำแหน่งที่ถูกต้อง แสดงดังรูปที่ 4.4
- 2) เปิดสวิตช์ S0 เพื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ชุดทดลอง
- 3) เปิดสวิตช์ S8 เพื่อให้พัดลมในเครื่องเป่าลมเย็นทำงาน
- 4) เปิดสวิตช์ S1 เพื่อให้ปั๊มน้ำเย็นทำงาน
- 5) เปิดสวิตช์ S3 เพื่อให้ปั๊มน้ำร้อนทำงาน

6) เปิดสวิตช์ S2 และ S4 เพื่อให้เครื่องอัดไอเครื่องที่ 1 และ 2 ทำงานตามลำดับ

ในการเริ่มต้นการทำงานของปั๊มความร้อนแบบลดหลั่น เมื่ออุปกรณ์ทุกตัวเริ่มทำงานแล้วนั้น ระบบจะเริ่มต้นทำงานโดยจะผลิตน้ำเย็นที่มีอุณหภูมิประมาณ 10 องศาเซลเซียสส่งไปให้กับเครื่องเป่าลมเย็นเพื่อใช้ในการปรับอากาศภายในห้องทำความเย็น น้ำเย็นที่เข้าเครื่องเป่าลมเย็นจะรับความร้อนจากอากาศทำให้น้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้น ในขณะที่อากาศจะมีอุณหภูมิลดลง จากนั้นน้ำเย็นจะถูกดูดกลับผ่านปั๊มน้ำเย็น ถ่ายเทความร้อนให้แก่วัฏจักรทำความเย็นผ่านเครื่องระเหย จากนั้นจึงกลับไปรับความร้อนใหม่ที่เครื่องเป่าลมเย็นต่อไป ความร้อนที่สารทำความเย็น R22 ได้รับจะผ่านเครื่องอัดไอและไประบายความร้อนที่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนลดหลั่นสู่วัฏจักรปั๊มความร้อน จากนั้นสารทำความเย็น R22 จึงผ่านวาล์วลดความดันและกลับไปรับความร้อนที่เครื่องระเหยต่อไป ความร้อนที่สารทำความเย็น R134a ได้รับที่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนลดหลั่นผ่านเครื่องอัดไอของวัฏจักรปั๊มความร้อน และนำไประบายความร้อนที่เครื่องควบแน่นชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ จากนั้นสารทำความเย็น R134a จะถูกดูดกลับผ่านถังเก็บสารทำความเย็น วาล์วลดความดันและกลับไปรับความร้อนที่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนลดหลั่นต่อไป น้ำจากถังน้ำร้อนจะเข้ามารับความร้อนที่เครื่องควบแน่นทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น และสามารถกำหนดได้ว่าจะนำน้ำร้อนจากเครื่องควบแน่นไปใช้ หรือนำกลับเข้าสู่ถังพักน้ำร้อนเพื่อเพิ่มอุณหภูมิต่อไป ระบบจะทำการดูดความร้อนจากอากาศภายในบริเวณที่ปรับอากาศไปเรื่อยๆจนกระทั่งอุณหภูมิของภายในบริเวณที่ปรับอากาศมีค่าต่ำกว่าที่กำหนด เทอร์โมสแตตตัวที่ 2 (TC2) จะสั่งวาล์วสามทางบังคับให้น้ำเย็นไหลกลับเครื่องระเหยโดยที่ไม่ไปรับความร้อนจากเครื่องเป่าลมเย็น จึงไม่มีการถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้นที่เครื่องระเหย สารทำความเย็น R22 ที่ออกจากเครื่องระเหยจึงมีอุณหภูมิจึงลดลง ทำให้อุณหภูมิที่ท่อสารทำความเย็นก่อนเข้าเครื่องอัดไอของวัฏจักรทำความเย็นต่ำกว่าปกติเทอร์โมสแตตตัวที่ 1 (TC1) จึงสั่งตัดการทำงานของเครื่องอัดไอเครื่องที่ 1 ดังนั้นจึงไม่มีความร้อนส่งต่อไปยังสารทำความเย็น R-134a ที่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนลดหลั่น ทำให้อุณหภูมิของสารทำความเย็นขาออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนลดหลั่นลดลง อุณหภูมิของท่อสารทำความเย็นก่อนเข้าเครื่องอัดไอเครื่องอัดไอจึงลดลงจากปกติ เทอร์โมสแตตตัวที่ 4 (TC4) จึงสั่งตัดการทำงานของเครื่องอัดไอตัวที่ 2 และไม่มีการถ่ายเทความร้อนไปยังน้ำร้อน ระบบจะเริ่มทำงานอีกครั้งเมื่ออุณหภูมิในห้องสูงขึ้น เทอร์โมสแตตตัวที่สองจะสั่งวาล์วสามทางให้น้ำเย็นไปรับความร้อนที่เครื่องเป่าลมเย็น จากนั้นน้ำเย็นจึงถ่ายเทความร้อนให้แก่วัฏจักรทำความเย็น วัฏจักรปั๊มความร้อน และวัฏจักรทำน้ำร้อนตามปกติ



รูปที่ 4.4 แผนผังการทำงานของอุปกรณ์และวาล์วของชุดทดสอบต้นแบบ [11]

บทที่ 5

วิธีการดำเนินการวิจัย

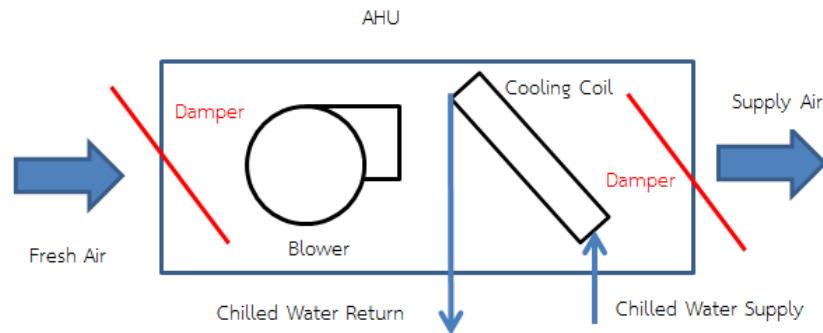
งานวิจัยนี้ได้ศึกษา การทำน้ำร้อนด้วยปั๊มความร้อนแบบลดหลั่นในสภาวะชั่วขณะ โดยมี ภาระการทำความเย็นเป็นตัวแปรควบคุม มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

5.1 การควบคุมภาระการทำความเย็น

ในชุดการทดลองได้ใช้เครื่องเป่าลมเย็นของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนมาใช้ในการทำความเย็น โดยได้ติดตั้งท่อลมนำอากาศจากภายนอกห้องทำความเย็น (fresh air) เข้ามาเพื่อถ่ายเทความร้อนให้แก่น้ำเย็น แสดงดังรูปที่ 5.1 และ 5.2 จากรูปจะเห็นว่าไม่มีการนำอากาศภายในห้องเข้ามาแลกเปลี่ยนความร้อนเพิ่มเติม ทำให้สามารถควบคุมภาระการทำความเย็นให้คงที่ ทั้งนี้ทั้งนั้นขึ้นอยู่กับสภาพอากาศภายนอกห้องด้วย โดยจะมีแผ่นปรับปริมาณลม (damper) ที่ปลายท่อทั้งทางเข้าและทางออกเพื่อควบคุมปริมาณลมให้เหมาะสมได้ นอกจากนี้ น้ำเย็นภายในวัฏจักรทำน้ำเย็นยังถูกควบคุมอัตราการไหลให้คงที่ด้วย ข้อควรระวังคืออากาศภายนอกห้องทำความเย็นมีการเปลี่ยนแปลงตามวันและเวลา การทดลองที่มีช่วงเวลาในการทดลองต่างกันมากจะมีภาระการทำความเย็นที่ต่างกัน การทดลองชุดหนึ่งๆควรทำให้เสร็จในช่วงเวลาเดียวกัน



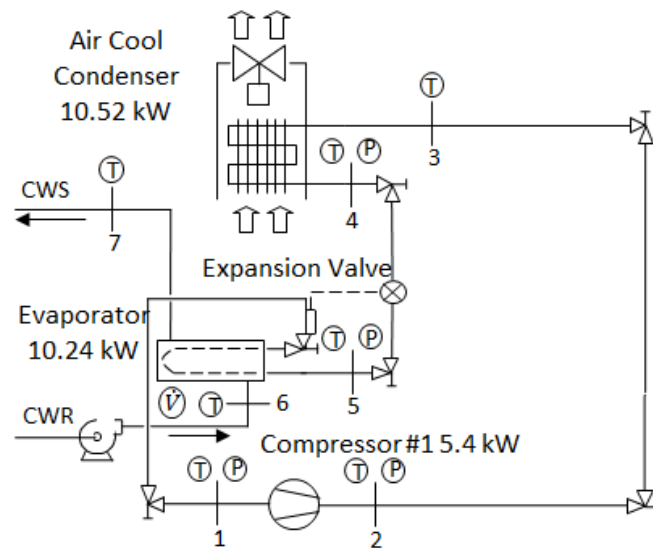
รูปที่ 5.1 ท่อลมที่ได้ทำการติดตั้งเพื่อควบคุมลมเข้า-ออกเครื่องเป่าลมเย็น



รูปที่ 5.2 แผนภาพเครื่องเป่าลมเย็น

5.2 การทดสอบระบบทำความเย็นเพื่อการปรับอากาศ

การทดลองนี้มีจุดประสงค์เพื่อประเมินประสิทธิภาพในการทำความเย็นของวัฏจักรน้ำเย็นและวัฏจักรทำความเย็นหรือวัฏจักรอุณหภูมิต่ำของปั๊มความร้อนลดหล่นเพื่อใช้เป็นข้อมูลเปรียบเทียบกับ การทดลองของปั๊มความร้อนลดหล่น ตำแหน่งการตรวจวัดข้อมูลต่างๆ แสดงดังภาพที่ 5.3 รายละเอียดการวัดแสดงดังตารางที่ 5.1



รูปที่ 5.3 ตำแหน่งตรวจวัดภายในของชุดทดสอบต้นแบบของการทดลองระบบทำความเย็นเพื่อการปรับอากาศ

ตารางที่ 5.1 แสดงรายละเอียดการวัดข้อมูลการทดลองระบบทำความเย็นเพื่อการปรับอากาศ

ตำแหน่ง	ตัวแปรที่ตรวจวัด	หน่วย	อุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัด
1-5	อุณหภูมิของสารทำความเย็น R22	°C	K type thermocouple
6,7	อุณหภูมิน้ำที่เข้าและออกเครื่องระเหย	°C	PT100 type RTD
1,5	ความดันระเหยสารทำความเย็น R22	barg	Low pressure gauge
2,4	ความดันควบแน่นสารทำความเย็น R22	barg	High pressure gauge
6	อัตราการไหลเชิงปริมาตรของน้ำเย็น	m ³ /s	Flow meter
-	กำลังไฟฟ้าที่เครื่องอัดไอ	kW	Power meter

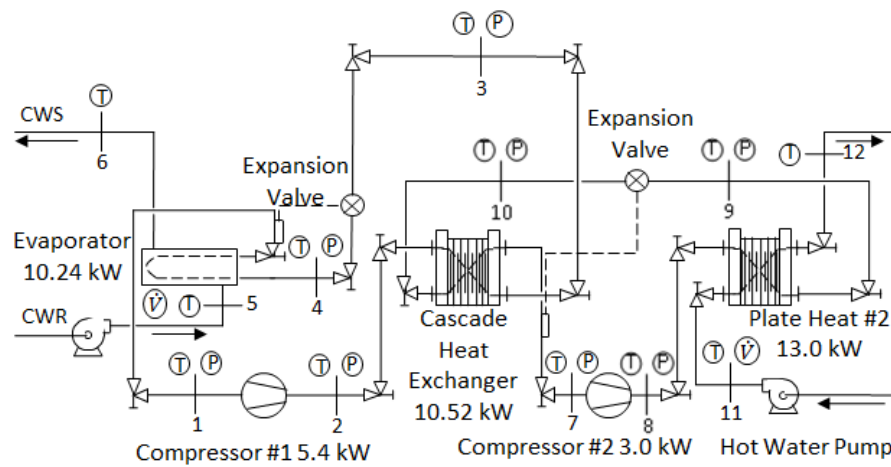
อัตราการทำความเย็นสามารถหาได้จากข้อมูลของน้ำเย็นของวัฏจักรน้ำเย็นแสดงดังสมการที่

16

$$\dot{Q}_L = \dot{m}_{cw} c_{p,w} (T_{cw,i} - T_{cw,o}) \quad (16)$$

5.3 การทำน้ำร้อนจากปั๊มความร้อนแบบลัดหล่นที่สภาวะคงตัว

ศึกษาการทำน้ำร้อนจากปั๊มความร้อนแบบลัดหล่นที่สภาวะคงตัวด้วยวิธีการทดลอง การทดลองนี้ทำน้ำร้อนโดยให้น้ำอุณหภูมิห้องจากถังน้ำร้อนไปรับความร้อนปล่อยทิ้งจากปั๊มความร้อนลัดหล่นทำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น จากนั้นน้ำร้อนจะถูกนำไปใช้โดยไม่กลับไปถังน้ำร้อนเพื่อเพิ่มอุณหภูมิอีก ดังนั้นการทดลองจึงดำเนินไปอย่างต่อเนื่องเป็นการทดลองที่สภาวะคงตัว ควบคุมอัตราการไหลของน้ำร้อนที่ไหลเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนตั้งแต่ 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16 และ 18 litre/min เพื่อประเมินหาการเปลี่ยนแปลงของปั๊มความร้อนแบบลัดหล่น ควบคุมภาระการทำความเย็น ตำแหน่งการตรวจวัดข้อมูลต่างๆแสดงดังรูปที่ 5.4 และรายละเอียดการวัดแสดงดังตารางที่ 5.2



รูปที่ 5.4 ตำแหน่งตรวจวัดภายในชุดทดสอบต้นแบบของการทดลองการทำน้ำร้อนจากปั๊มความร้อนแบบลดหลั่น

ตารางที่ 5.2 แสดงรายละเอียดการวัดข้อมูลการทดลองการทำน้ำร้อนจากปั๊มความร้อนแบบลดหลั่น

ตำแหน่ง	ตัวแปรที่ตรวจวัด	หน่วย	อุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัด
1-4	อุณหภูมิของสารทำความเย็น R22	°C	Thermocouple type K
5,6	อุณหภูมิน้ำที่เข้าและออกเครื่องระเหย	°C	RTD type PT100
1,4	ความดันระเหยของสารทำความเย็น R22	barg	Low pressure gauge
2,3	ความดันควบแน่นของสารทำความเย็น R22	barg	High pressure gauge
5	อัตราการไหลเชิงปริมาตรของน้ำเย็น	m ³ /s	Flow meter
7-10	อุณหภูมิของสารทำความเย็น R134a	°C	Thermocouple type K
7,10	ความดันระเหยของสารทำความเย็น R134a	barg	Low pressure gauge
8,9	ความดันควบแน่นของสารทำความเย็น R134a	barg	High pressure gauge
11,12	อุณหภูมิน้ำที่เข้าและออกเครื่องควบแน่น	°C	RTD type PT100
11	อัตราการไหลเชิงปริมาตรของน้ำร้อน	m ³ /s	Flow meter
-	กำลังไฟฟ้าที่เครื่องอัดไอเครื่องที่ 1 และ 2	kW	Power meter

อัตราการทำความเย็นสามารถหาได้จากสมการที่ 16 ดังกล่าวมาแล้วและอัตราการทำความร้อนสามารถหาได้จากข้อมูลของน้ำร้อนของวัฏจักรน้ำร้อนแสดงดังสมการที่ 17

$$\dot{Q}_H = \dot{m}_{hw} c_{p,w} (T_{hw,o} - T_{hw,i}) \quad (17)$$

5.4 การทำน้ำร้อนจากปั๊มความร้อนแบบลดหลั่นที่สถานะชั่วขณะ

การศึกษาการทำน้ำร้อนจากปั๊มความร้อนแบบลดหลั่นที่สถานะชั่วขณะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ การทดลอง และการทำนายด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์อย่างง่ายเพื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลอง

5.4.1 การทดลอง

การทดลองนี้ทำน้ำร้อนโดยให้น้ำอุณหภูมิห้องจากถังน้ำร้อนไปรับความร้อนปล่อยทิ้งจากปั๊มความร้อนลดหลั่นทำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น จากนั้นน้ำร้อนจะกลับไปยังถังน้ำร้อนเพื่อเพิ่มอุณหภูมิให้มากขึ้นอีก ดังนั้นอุณหภูมิที่เข้าเครื่องควบแน่นจึงมีอุณหภูมิสูงขึ้นเรื่อยๆ และส่งผลกระทบต่อปั๊มความร้อนแบบลดหลั่นเกิดความเปลี่ยนแปลงตาม ดังนั้นการทดลองครั้งนี้จึงถือเป็นสถานะชั่วขณะเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงตามเวลา เปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของน้ำร้อนที่ไหลเข้าเครื่องควบแน่นตั้งแต่ 6, 12 และ 16 litre/min เพื่อประเมินหาการเปลี่ยนแปลงของปั๊มความร้อนแบบลดหลั่น ตำแหน่งการวัดและอุปกรณ์ที่ใช้ตรวจวัดเหมือนกับการทดลองที่สถานะคงตัวแสดงดังรูปที่ 5.5 และตารางที่ 5.3

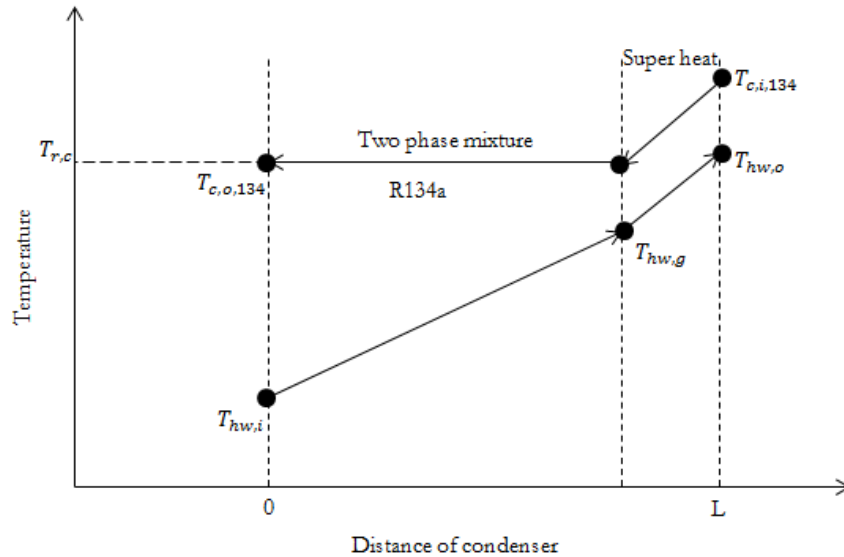
5.4.2 การทำนายด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ในการทำนายด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เป็นการคำนวณอัตราการถ่ายเทความร้อนภายในเครื่องควบแน่น โดยมีการกำหนดสมมติฐานเพื่อไม่ให้เกิดการคำนวณซับซ้อนเกินไปดังต่อไปนี้

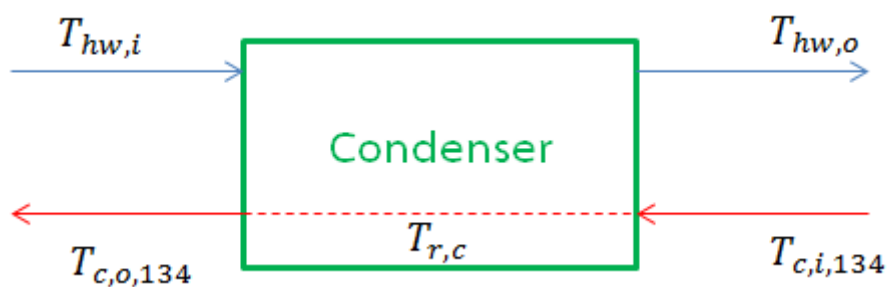
1. สารทำความเย็น R134a ที่ออกจากเครื่องควบแน่นมีสถานะเป็นของเหลวอิ่มตัว
2. ใช้ข้อมูลขาเข้าเครื่องควบแน่นจากข้อมูลของการทดลองเป็นตัวแปรเริ่มต้นในการคำนวณเพื่อหาอุณหภูมิน้ำร้อนขาออกจากเครื่องควบแน่น
3. อัตราการไหลของสารทำความเย็น R134a หาจากกฎทรงพลังงานจากการทดลองเนื่องจากไม่สามารถวัดค่าได้โดยตรง

จากสมมติฐานข้อที่ 1 ทำให้การถ่ายเทความร้อนระหว่างน้ำและสารทำความเย็น R134a ภายในเครื่องควบแน่นแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือการถ่ายเทความร้อนระหว่างสารทำความเย็น R134a

ในช่วงของผสมสองสถานะกับน้ำ และการถ่ายเทความร้อนระหว่างสารทำความเย็น R134a ในช่วงไอร้อนยิ่งยวดกับน้ำแสดงดังรูปที่ 23



(ก)



(ข)

รูปที่ 5.5 แผนภาพอุณหภูมิของน้ำและสารทำความเย็น R134a ที่เข้าและออกเครื่องควบแน่น

จากสมมติฐานข้อที่ 2 จะใช้ข้อมูลขาเข้าของเครื่องควบแน่นที่วัดจากการทดลองเป็นข้อมูลต้นในการคำนวณหาอุณหภูมิน้ำร้อนขาออกเครื่องควบแน่นและอัตราการถ่ายเทความร้อนภายในเครื่องควบแน่น โดยตัวแปรเริ่มต้นที่ใช้ในการคำนวณแสดงดังตารางที่ 5.3 อุณหภูมิสารทำความเย็น R134a ขาออกจากเครื่องควบแน่นมีค่าเท่ากับอุณหภูมิควบแน่นจากสมมติฐานข้อที่ 1

ตารางที่ 5.3 แสดงตัวแปรเริ่มต้นที่ใช้ค่าจากผลการทดลองมาใช้ในการคำนวณ

ตัวแปร	สัญลักษณ์	หน่วย
อุณหภูมิน้ำร้อนขาเข้าเครื่องควบแน่น	$T_{hw,i}$	°C
ความดันควบแน่นของสารทำความเย็น R134a	$P_{c,134}$	barg
อุณหภูมิสารทำความเย็น R134a ขาเข้าเครื่องควบแน่น	$T_{c,i,134}$	°C

จากสมมติฐานข้อที่ 3 จะสามารถหาอัตราการไหลของสารทำความเย็น R134a ได้จากกฎทรงพลังงานภายในเครื่องควบแน่นดังสมการที่ 18

$$\dot{m}_{134} = \frac{\dot{Q}_H}{h_{c,i,134} - h_{c,o,134}} \quad (18)$$

เครื่องควบแน่นของชุดทดสอบต้นแบบเป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดแผ่นแบบเชื่อม โดยมีคุณลักษณะทางกายภาพแสดงดังตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.4 คุณลักษณะทางกายภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดแผ่นแบบเชื่อมที่ใช้เป็นเครื่องควบแน่นในชุดทดสอบต้นแบบ

ตัวแปร	สัญลักษณ์	หน่วย	ค่า
ความยาวแผ่น	L	mm	466
ความกว้างของแผ่น	W	mm	106
ความหนาของแผ่น	s	mm	0.92
พื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อน	A	m ²	1.235
ปัจจัยการขยาย	Φ	-	0.96
ระยะห่างระหว่างแผ่น 2 แผ่น	t	mm	1.9232
จำนวนแผ่นทั้งหมด	n	-	28
จำนวนช่องที่สารทำความเย็นไหลผ่าน	$n_{ch,r}$	-	14

ตารางที่ 5.4 คุณสมบัติทางกายภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดแผ่นแบบเชื่อมที่ใช้เป็นเครื่องควบแน่นในชุดทดสอบต้นแบบ (ต่อ)

ตัวแปร	สัญลักษณ์	หน่วย	ค่า
จำนวนช่องที่น้ำไหลผ่าน	$n_{ch,w}$	-	13
เส้นผ่าศูนย์กลางไฮดรอลิกของแต่ละช่อง	d_h	mm	3.8464

การคำนวณอัตราการถ่ายเทความร้อนภายในเครื่องควบแน่นจำเป็นต้องหาสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมซึ่งประกอบด้วยสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของน้ำและสารทำความเย็น R134a โดยอัตราการทำความร้อนถูกแบ่งออกเป็นสองช่วงดังกล่าวข้างต้นคือ ช่วงที่สารทำความเย็น R134a เป็นของผสมสองสถานะและไอร้อนยิ่งยวด

สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของน้ำในช่วงของผสมสองสถานะสามารถหาได้จากความสัมพันธ์ของ Muley และ Manglik ดังสมการที่ 19

$$q_{w,tp} = 0.277 \left(\frac{k_{w,tp}}{d_h} \right) Re_{w,tp}^{0.766} Pr_{w,tp}^{0.333} \quad (19)$$

โดยที่

$$Re_{w,tp} = \rho_{w,tp} v_{w,ch} d_h / \mu_{w,tp}$$

คุณสมบัติทั้งหมดของน้ำเป็นค่าที่ตำแหน่งอุณหภูมิเฉลี่ยภายในช่วงของผสมสองสถานะระหว่าง $T_{hw,i}$ และ $T_{hw,s}$ แต่เนื่องจาก $T_{hw,s}$ ไม่สามารถวัดได้โดยตรง จึงต้องมีการสมมติค่าขึ้นมาแล้วใช้กระบวนการทำซ้ำเพื่อลดความผิดพลาด

สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของสารทำความเย็น R134a ในช่วงของผสมสองสถานะสามารถหาได้จากความสัมพันธ์ของ Akers ดังสมการที่ 21

$$q_{Akers} = 5.03 \left(\frac{k_{l,tp}}{d_h} \right) Re_{eq,tp}^{1/3} Pr_{l,tp}^{1/3} \quad (21)$$

โดยที่

$$Re_{eq} = G \left[(1 - X) + X \left(\frac{\rho_{l,tp}}{\rho_{g,tp}} \right)^{\frac{1}{2}} \right] d_h / \mu_{l,tp}$$

$$Pr_l = \mu_l c_{p,l} / k_l$$

อย่างไรก็ตามสัมประสิทธิ์สมรรถนะการถ่ายเทความร้อนของสารทำความเย็น R134a ที่หาได้จากสมการที่ 21 เป็นค่าที่ใช้ได้เฉพาะจุดใดๆ ต้องทำการอินทิเกรตเพื่อให้ได้ค่าที่ครอบคลุมทั้งช่วงดังสมการที่ 22

$$q_{r,tp} = \frac{1}{L} \int_0^L \phi h_{AKERS} dl \quad (22)$$

สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมในช่วงของผสมสองสถานะสามารถหาได้จากสมการที่

23

$$\frac{1}{U_{tp}} = \frac{1}{q_{r,tp}} + \frac{1}{q_{w,tp}} \quad (23)$$

สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของน้ำในช่วงไอร้อนยิ่งยวดสามารถหาได้จากความสัมพันธ์ของ Muley และ Manglik เช่นเดียวกัน ดังสมการที่ 24

$$q_{w,tp} = 0.277 \left(\frac{k_{w,tp}}{d_h} \right) Re_{w,tp}^{0.766} Pr_{w,tp}^{0.333} \quad (24)$$

โดยที่

$$Re_{w,tp} = \rho_{w,tp} v_{w,ch} d_h / \mu_{w,tp}$$

คุณสมบัติทั้งหมดของน้ำเป็นค่าที่ตำแหน่งอุณหภูมิเฉลี่ยภายในช่วงไอร้อนยิ่งยวดระหว่าง $T_{hw,g}$ และ $T_{hw,o}$ เนื่องจาก $T_{hw,o}$ เป็นตัวแปรที่ต้องการทราบจึงจำเป็นต้องสมมติค่าขึ้นมาและใช้กระบวนการทำซ้ำเพื่อลดความผิดพลาด

สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของสารทำความเย็น R134a ในช่วงไอร้อนยิ่งยวดสามารถหาได้จากข้อสรุปจากความสัมพันธ์ของ Webb โดยรายละเอียดแสดงใน [13], [16] ดังสมการที่ 25

$$q_{r,sp} = 1.09q_{r,tp} \quad (25)$$

26 สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมในช่วงของผสมสองสถานะสามารถหาได้จากสมการที่

$$\frac{1}{U_{sp}} = \frac{1}{q_{r,sp}} + \frac{1}{q_{w,sp}} \quad (26)$$

พื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนความร้อนในช่วงไอร้อนยิ่งยวดสามารถหาได้จากกฎทรงพลังงาน ดังสมการที่ 27

$$A_{sp} = \frac{\dot{m}_{hw}(T_{hw,o} - T_{hw,g})}{U_{sp}\Delta T_{lm,sp}} \quad (27)$$

โดยที่

$$\Delta T_{lm,sp} = \frac{(T_{c,i,134} - T_{hw,o}) - (T_{c,134} - T_{hw,g})}{\ln \frac{T_{c,i,134} - T_{hw,o}}{T_{c,g,134} - T_{hw,g}}}$$

พื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนในช่วงของผสมสองสถานะสามารถหาได้จากสมการที่ 28

$$A_{tp} = A - A_{sp} \quad (28)$$

อุณหภูมิน้ำร้อนขาออกจากช่วงของผสมสองสถานะสามารถหาได้จากสมการที่ 29

$$T_{hw,g} = T_{hw,i} + (T_{c,134} - T_{hw,i}) \left(1 - e^{-\frac{U_{tp} A_{tp}}{\dot{m}_{hw} C_{p,w}}}\right) \quad (29)$$

อุณหภูมิน้ำร้อนขาออกจากเครื่องควบแน่นสามารถหาได้จากสมการที่ 30

$$T_{hw,o} = T_{hw,g} - (T_{hw,g} - T_{c,i,134}) \left(\frac{1 - e^D}{\frac{\dot{m}_{hw} C_{p,w}}{\dot{m}_{134} C_{p,134}} - e^D}\right) \quad (30)$$

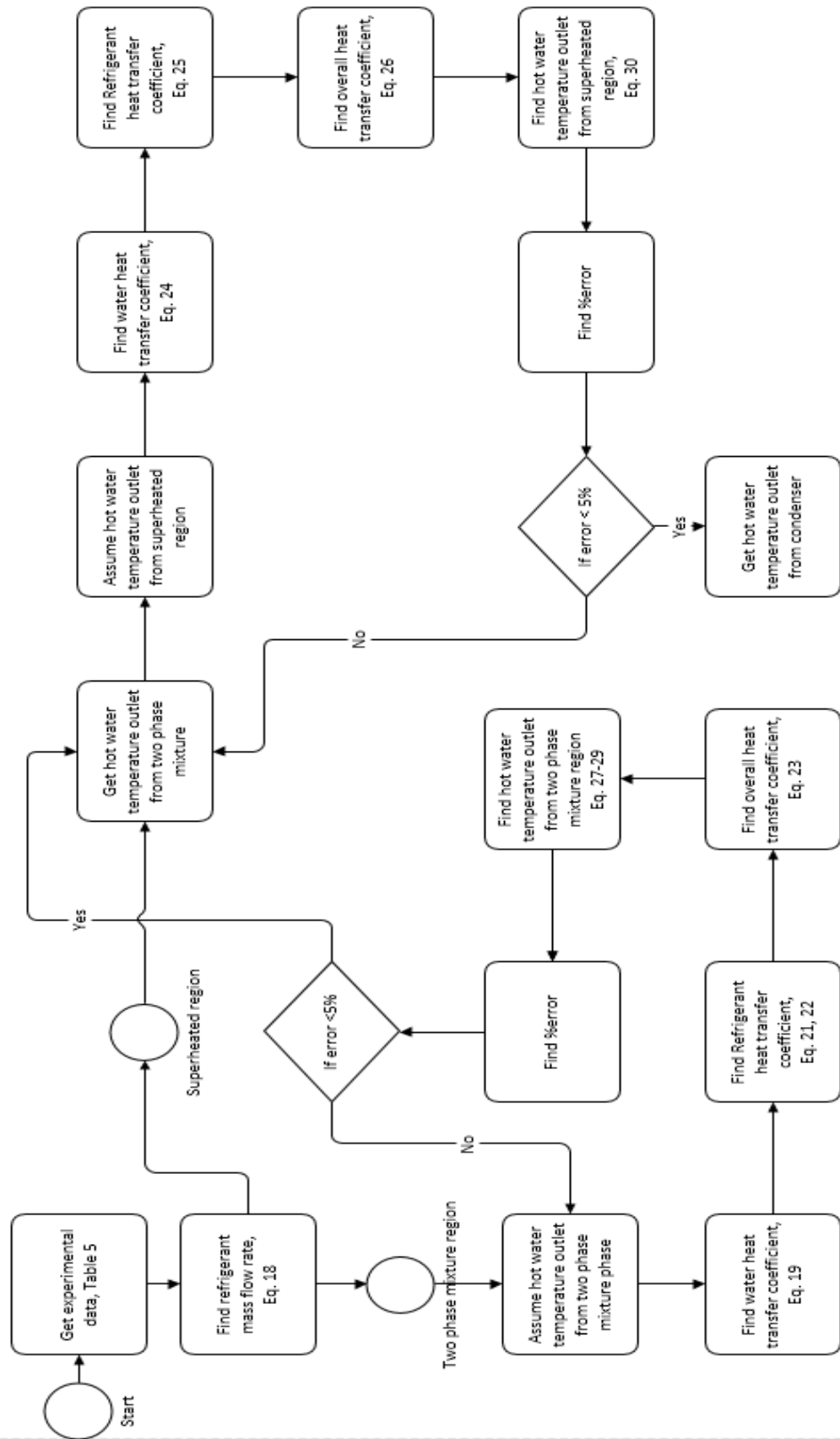
โดยที่

$$D = U_{sp} A_{sp} \left(\frac{1}{\dot{m}_{hw} C_{p,w}} - \frac{1}{\dot{m}_{134} C_{p,134}}\right)$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

การหาอุณหภูมิน้ำร้อนขาออกจากเครื่องควบแน่นสามารถแสดงได้ในแผนภาพรูปแบบการไหล (Flow chart diagram) แสดงดังรูปที่ 5.6

รูปที่ 5.6 แสดงแผนภาพรูปแบบการไหลของการคำนวณหาอุณหภูมิน้ำร้อนออกจากเครื่องควบแน่น



อัตราการทำความร้อนสามารถคำนวณหาได้จากผลรวมของ 2 ช่วงดังกล่าวแสดงดังสมการที่

31

$$\dot{Q}_{H,cal} = \dot{Q}_{H,tp,cal} + \dot{Q}_{H,sp,cal} \quad (31)$$

โดยที่

$$\dot{Q}_{H,tp,cal} = U_{tp} A_{tp} \Delta T_{lm,tp}$$

โดยที่

$$\Delta T_{lm,tp} = \frac{T_{hw,g} - T_{hw,i}}{\ln \frac{T_{c,134} - T_{hw,i}}{T_{c,134} - T_{hw,g}}}$$

$$\dot{Q}_{H,sp,cal} = U_{sp} A_{sp} \Delta T_{lm,sp}$$

โดยที่

$$\Delta T_{lm,sp} = \frac{(T_{c,i,134} - T_{hw,o}) - (T_{c,134} - T_{hw,g})}{\ln \frac{T_{c,i,134} - T_{hw,o}}{T_{c,g,134} - T_{hw,g}}}$$

5.5 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดข้อมูล

5.5.1 เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple)

ภายในชุดทดสอบต้นแบบได้ทำการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลที่พื้นผิวทองแดงของวัฏจักรทำความเย็นและวัฏจักรปั๊มความร้อนดังกล่าวในหัวข้อ 5.2 และ 5.3 และใช้ในการวัดอุณหภูมิอากาศ ซึ่งได้เลือกใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิด K (Type K) แสดงดังรูปที่ 5.7 มีอุณหภูมิใช้งานสูงสุด 400 °C มีค่าความเที่ยงตรงในการอ่าน (Accuracy) ± 1.5 °C



รูปที่ 5.7 แสดงเทอร์โมคัปเปิลชนิด K

5.5.2 Resistance Temperature Detectors (RTD) ชนิด PT100

Resistance Temperature Detectors (RTD) เป็นอุปกรณ์ที่ตรวจวัดอุณหภูมิโดยใช้คุณสมบัติการเปลี่ยนแปลงความต้านทานเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของตัวต้านทาน โดยที่ชนิด PT100 จะมีความต้านทาน 100 Ω ที่ 0 $^{\circ}\text{C}$ และมีความต้านทานเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ค่าความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงไปต่อ 1 $^{\circ}\text{C}$ ในมาตรฐาน DIN มีค่าเท่ากับ 0.00385 และ 0.00392 ในมาตรฐาน JIS [11] แสดงดังรูปที่ 5.8

PT100 มีค่าความแม่นยำและความเป็นเชิงเส้นสูงกว่าเทอร์โมคัปเปิล แต่การวัดอุณหภูมิใช้ได้ไม่เกิน 650 $^{\circ}\text{C}$ ชุดทดสอบต้นแบบนี้ได้ใช้ PT100 ในการวัดอุณหภูมิ น้ำที่ไหลเข้าออกเครื่องระเหย และน้ำที่ไหลเข้าออกเครื่องควบแน่นชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ



รูปที่ 5.8 แสดง RTD ชนิด PT100

5.5.3 เครื่องอ่านค่าอุณหภูมิและบันทึกข้อมูล (Data Logger)

เครื่องอ่านค่าอุณหภูมิและบันทึกข้อมูลเป็นของบริษัท Wisco รุ่น DL2100 แสดงดังรูปที่ 5.9 ใช้ในการอ่านและเก็บข้อมูลที่ได้จากเทอร์โมคัปเปิลและ RTD PT100 มีค่าความเที่ยงตรง 0.1% ของข้อมูลที่เครื่องอ่านได้



รูปที่ 5.9 แสดงเครื่องอ่านค่าอุณหภูมิและบันทึกข้อมูล

5.5.4 เครื่องบันทึกพลังงานไฟฟ้า (Power Meter Data Logger)

ใช้ในการบันทึกค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องอัดไอของวัฏจักรอุณหภูมิต่ำ และวัฏจักรอุณหภูมิสูง เป็นผลิตภัณฑ์ของบริษัท Dent Instrument รุ่น ELITEpro มีช่องสัญญาณ input สูงสุด 4 ช่อง ใช้คู่กับแคลมป์วัดกระแสไฟฟ้าและศักย์ไฟฟ้า สามารถวัดไฟ 3 เฟสได้โดยที่ตัวเครื่องและแคลมป์มีค่าความเที่ยงตรงเท่ากับ 0.2% และ 2.5% + 0.5 mA ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 5.10



รูปที่ 5.10 แสดงเครื่องบันทึกพลังงานไฟฟ้า

5.5.5 เครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำ (Water Flow Meter)

เครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำที่ใช้ในชุดทดสอบต้นแบบเป็นของบริษัท Asahi วัดอัตราการไหลได้สูงสุด 3.5 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ใช้วัดอัตราการไหลของน้ำเย็นสำหรับวัฏจักรการทำน้ำเย็น และอัตราการไหลของน้ำร้อนสำหรับวัฏจักรทำน้ำร้อน มีค่าความเที่ยงตรง 0.28 - 2% ของค่าที่อ่านได้ แสดงดังรูปที่ 5.11



รูปที่ 5.11 แสดงเครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำ

บทที่ 6

ผลการศึกษาวิจัยและอภิปรายผลการศึกษาวิจัย

งานวิจัยนี้แบ่งการศึกษาออกเป็น 3 ชุด คือ การทดสอบระบบทำความเย็นเพื่อการปรับอากาศ การทำน้ำร้อนจากปั๊มความร้อนแบบลดหลั่นที่สภาวะคงตัว การทดสอบการทำน้ำร้อนจากปั๊มความร้อนแบบลดหลั่นที่สภาวะชั่วขณะ โดยผลการศึกษาวิจัยและอภิปรายผลการศึกษาวิจัยมีดังต่อไปนี้

6.1 การทดสอบระบบทำความเย็นเพื่อการปรับอากาศ

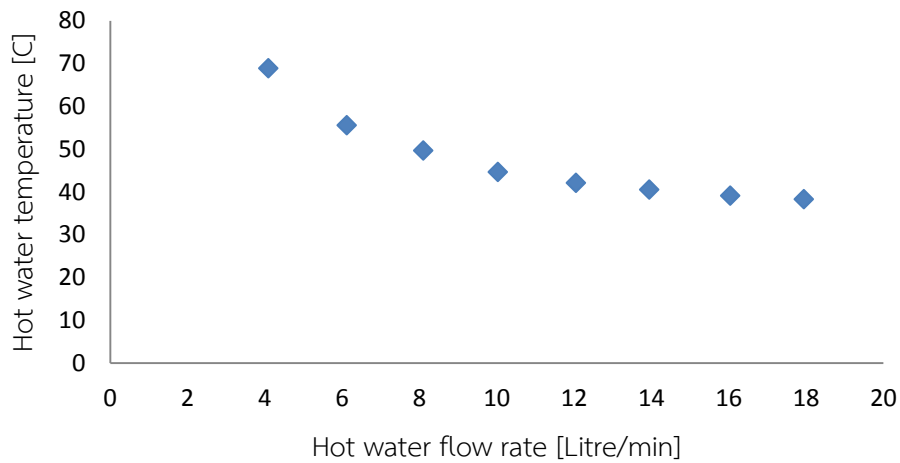
ข้อมูลการทำงานของระบบทำความเย็นแสดงดังตารางที่ 6.1 อัตราการทำความเย็นของวัฏจักรทำความเย็นมีการแปรผันตามอุณหภูมิภายนอกห้องเล็กน้อย โดยมีค่าเฉลี่ยของอัตราการทำความเย็น 7.05 kW กำลังไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องอัดไอของวัฏจักรทำความเย็น 2.87 kW และสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบทำความเย็น 2.46 ที่อุณหภูมิภายนอกห้อง 35.57 °C

ตารางที่ 6.1 แสดงข้อมูลการทดลองระบบทำความเย็น

	หน่วย	#1	#2	#3
อุณหภูมิอากาศภายนอกห้อง	°C	36.93	35.96	33.83
อุณหภูมิลมเย็นจากเครื่องเป่าลมเย็น	°C	21.52	20.11	19.95
กำลังไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องอัดไอ	kW	2.95	2.86	2.79
อัตราการทำความเย็น	kW	7.22	6.83	7.10
สัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบทำความเย็น	-	2.44	2.38	2.54

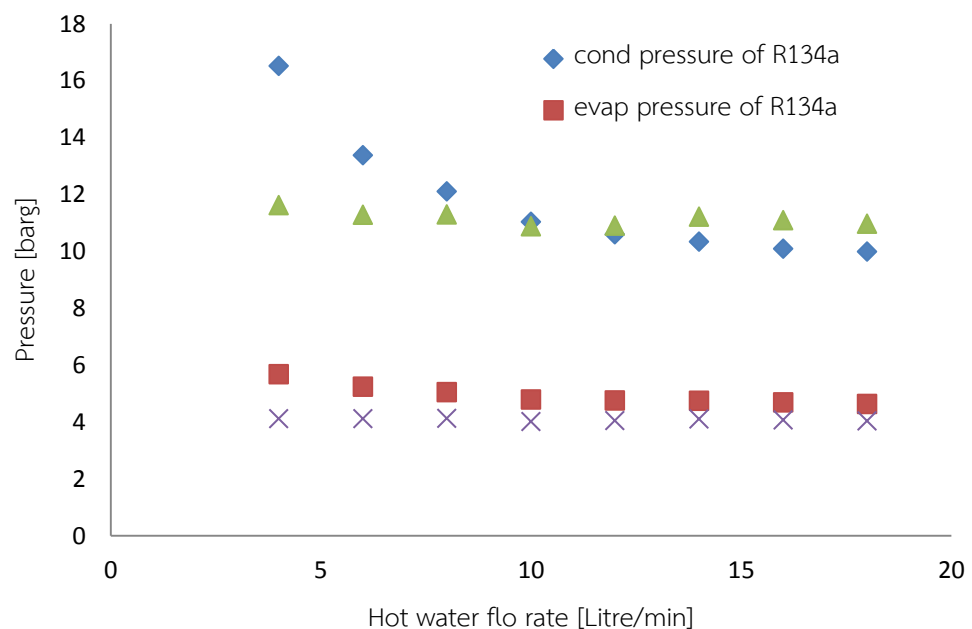
6.2 การทำน้ำร้อนจากปั๊มความร้อนแบบลดหลั่นที่สภาวะคงตัว

เมื่อเริ่มการทดลองปั๊มความร้อนลดหลั่นจะทำงานจนกระทั่งเข้าสู่สภาวะคงตัวในเวลาต่อมา โดยสังเกตจากอัตราการทำความเย็น กำลังไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องอัดไอ และความดันของสารทำความเย็นมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในกรอบที่กำหนดคือ $\pm 10\%$ รูปที่ 6.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำร้อนที่ออกจากเครื่องควบแน่นกับอัตราการไหลของน้ำร้อน เมื่ออัตราการไหลของน้ำร้อนเพิ่มขึ้นอุณหภูมิน้ำร้อนลดลง



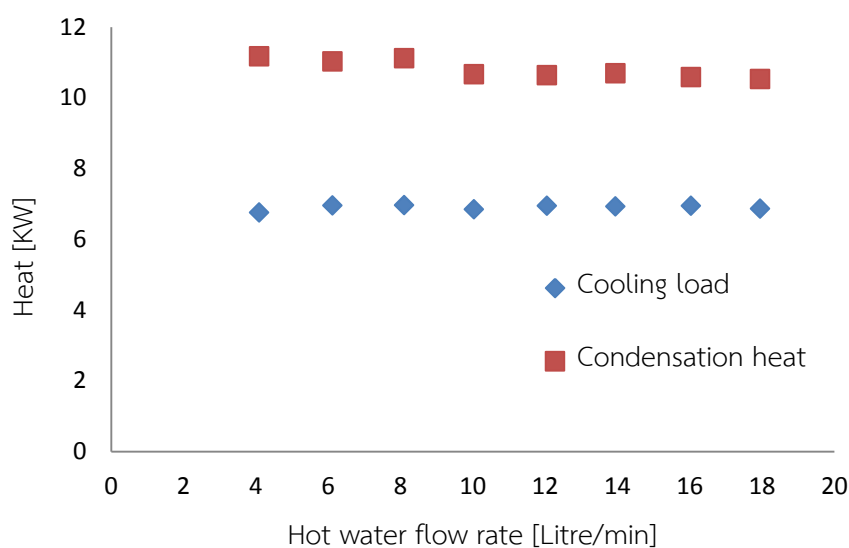
รูปที่ 6.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำร้อนที่ออกจากเครื่องควบแน่น กับอัตราการไหลของน้ำร้อน

รูปที่ 6.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันของสารทำความเย็น R22 และ R134a กับอัตราการไหลของน้ำร้อน เฉพาะความดันควบแน่นของสารทำความเย็น R134a เท่านั้นที่มีการเปลี่ยนแปลงโดยมีค่าลดลงเมื่ออัตราการไหลของน้ำร้อนเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความดันอื่น ๆ มีค่าค่อนข้างคงที่ ซึ่งสอดคล้องกับอุณหภูมิน้ำร้อนที่ลดลงจากรูปที่ 6.1



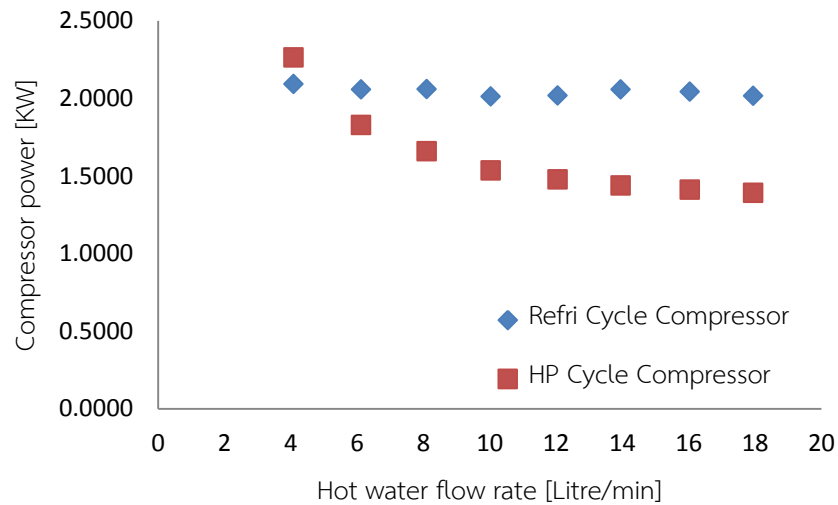
รูปที่ 6.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันของสารทำความเย็น R22 และ R134a กับอัตราการไหลของน้ำร้อน

ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการทำความเย็นและอัตราการทำความร้อนกับอัตราการไหลของน้ำร้อนแสดงดังรูปที่ 6.3 อัตราการทำความเย็นและอัตราการทำความร้อนมีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดทุกอัตราการไหลของน้ำร้อน ทำให้การลดลงของอุณหภูมิน้ำร้อนเมื่ออัตราการไหลของน้ำร้อนเพิ่มขึ้นจากรูปที่ 6.1 เป็นไปตามสมการการถ่ายเทความร้อนในสมการที่ 8



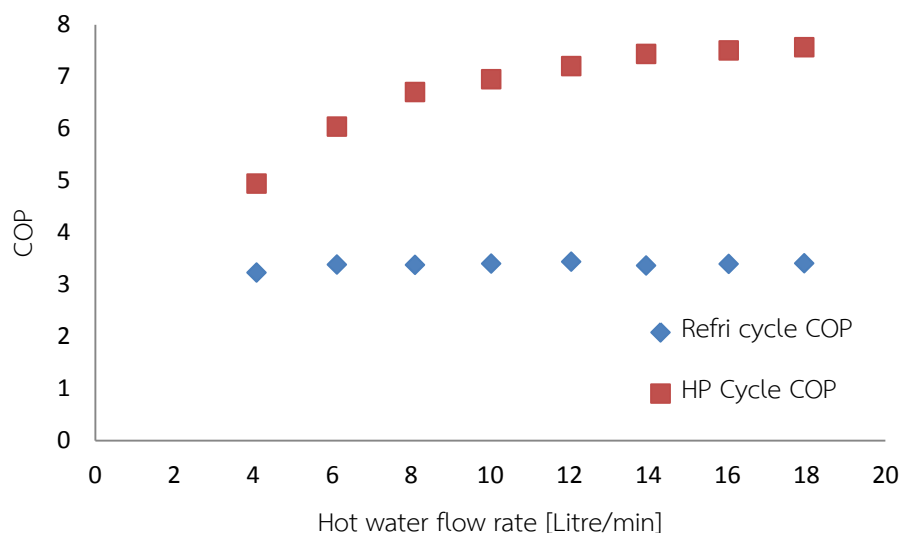
รูปที่ 6.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการทำความเย็นและอัตราการทำความร้อนกับอัตราการไหลของน้ำร้อน

ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องอัดไอของวัฏจักรทำความเย็นและวัฏจักรบีบความร้อนกับอัตราการไหลของน้ำร้อนแสดงดังรูปที่ 6.4 กำลังไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องอัดไอของวัฏจักรทำความเย็นค่อนข้างคงที่ แต่ของวัฏจักรบีบความร้อนลดลงเมื่ออัตราการไหลของน้ำร้อนเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของความดันของสารทำความเย็นในรูปที่ 6.2



รูปที่ 6.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องอัดไอของวัฏจักรทำความเย็นและวัฏจักรปั๊มความร้อนกับอัตราการไหลของน้ำร้อน

รูปที่ 6.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์สมรรถนะของวัฏจักรทำความเย็นและวัฏจักรปั๊มความร้อนกับอัตราการไหลของน้ำร้อน สัมประสิทธิ์สมรรถนะของวัฏจักรปั๊มความร้อนมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราการไหลของน้ำร้อนเพิ่มสูงขึ้น ในขณะที่สัมประสิทธิ์สมรรถนะของวัฏจักรทำความเย็นมีค่าค่อนข้างคงที่ตลอด สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของอัตราการทำความเย็น อัตราการทำความร้อนและกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องอัดไอในรูปที่ 6.3 และ 6.4



รูปที่ 6.5 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์สมรรถนะของวัฏจักรทำความเย็นและวัฏจักรปั๊มความร้อนกับอัตราการไหลของน้ำร้อน

นอกจากนี้เมื่อพิจารณาถึงการลดลงของอุณหภูมิน้ำร้อนที่ออกจากเครื่องควบแน่นมีค่าลดลงน้อยลงเมื่ออัตราการไหลของน้ำร้อนสูงขึ้นโดยมีแนวโน้มจะเข้าสู่ค่าคงที่ รวมไปถึงกำลังไฟฟ้าที่ลดลงและสัมประสิทธิ์สมรรถนะของวัฏจักรบีบความร้อนที่เพิ่มขึ้นแต่มีแนวโน้มไปสู่ค่าคงที่ แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มอัตราการไหลของน้ำร้อนเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจะไม่ลดกำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดไอและไม่เพิ่มประสิทธิภาพของระบบให้มากขึ้นกว่าเดิมมากนัก และน้ำร้อนที่ได้จะมีอุณหภูมิค่อนข้างคงที่ แสดงดังตารางที่ 6.2

ตารางที่ 6.2 แสดงร้อยละการเปลี่ยนแปลงค่าต่างๆที่เป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของน้ำร้อน

ค่าที่เปลี่ยนแปลง	หน่วย	ร้อยละของการเปลี่ยนแปลงจากการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของน้ำร้อน (litre/min)		
		4 → 6	10 → 12	16 → 18
อุณหภูมิน้ำร้อน	°C	19.36	5.60	2.04
กำลังไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องอัดไอของวัฏจักรอุณหภูมิสูง	kW	19.21	3.70	1.43
สัมประสิทธิ์สมรรถนะของวัฏจักรอุณหภูมิสูง	-	22.20	3.63	0.87

เมื่อเปรียบเทียบเฉพาะวัฏจักรทำความเย็นของบีบความร้อนแบบลดหลั่นที่นำความร้อนปล่อยทิ้งกลับมาผลิตน้ำร้อนกับระบบทำความเย็น วัฏจักรทำความเย็นมีอัตราการทำความเย็นใกล้เคียงกับการทำความเย็นปกติ แต่กำลังไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องอัดไอน้อยกว่า ทำให้สัมประสิทธิ์สมรรถนะของวัฏจักรทำความเย็นของบีบความร้อนแบบลดหลั่นมากกว่าของระบบทำความเย็น แสดงดังตารางที่ 6.3

ตารางที่ 6.3 แสดงการเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบทำความเย็นปกติกับระบบทำความเย็นที่ทำงานควบคู่กับปั๊มความร้อน

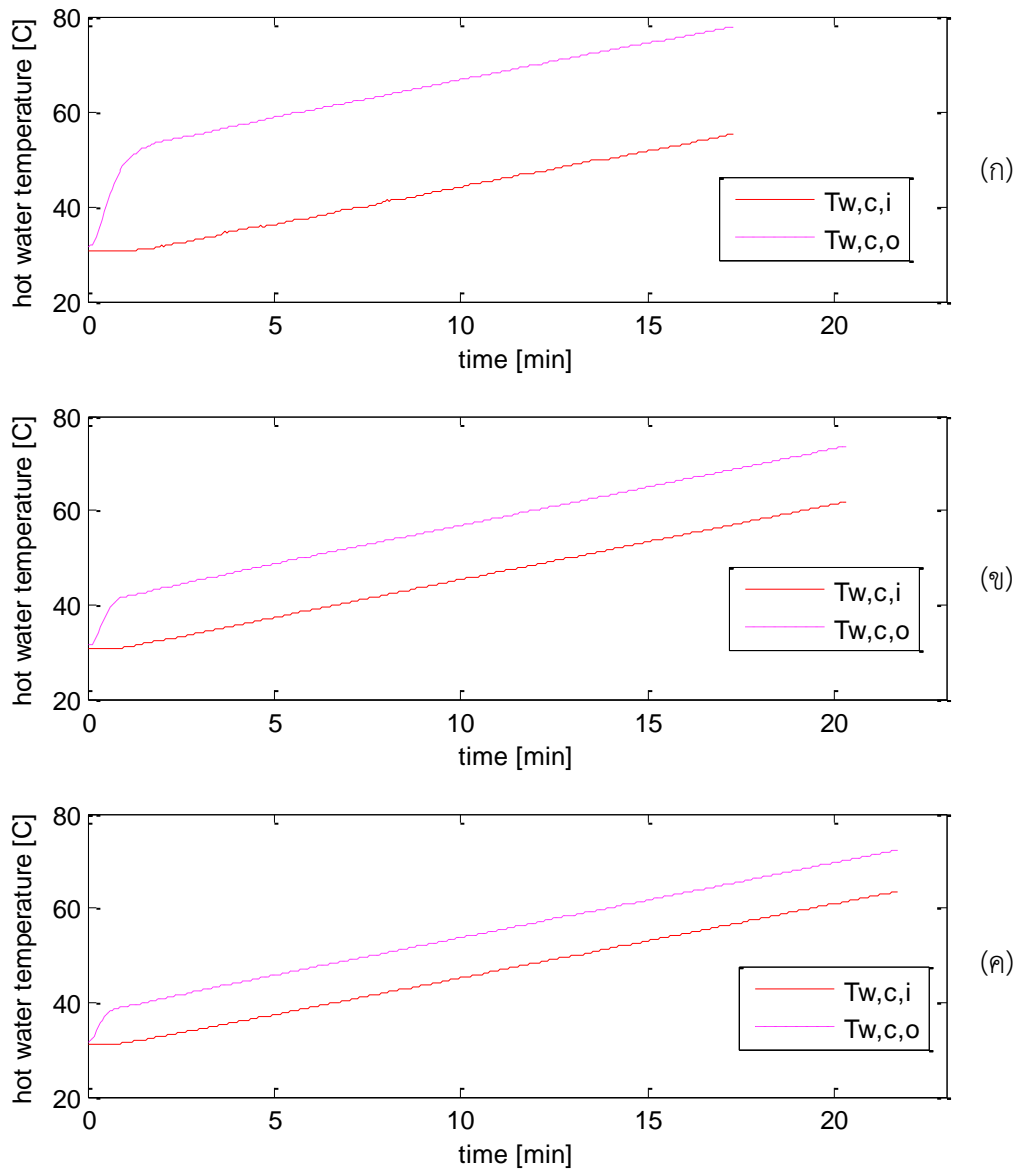
	หน่วย	ระบบทำความเย็น	วัฏจักรทำความเย็นของปั๊มความร้อนลดหลั่น		
			อัตราการไหลของน้ำร้อน [litre/min]		
			6	12	18
อุณหภูมิอากาศภายนอกห้อง	°C	35.57	33.70	30.56	33.96
อัตราการทำความเย็น	kW	7.05	6.95	6.94	6.86
กำลังไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องอัดไอ R22	kW	2.87	2.05	2.02	2.01
สัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบทำความเย็น	-	2.46	3.38	3.44	3.41

6.3 การทำน้ำร้อนจากปั๊มความร้อนแบบลดหลั่นที่สถานะชั่วขณะ

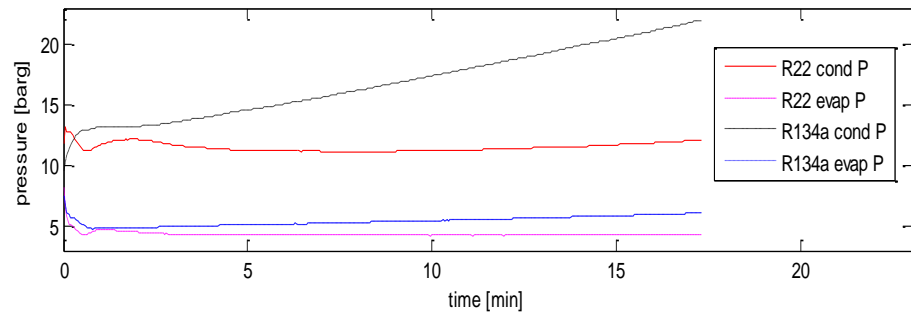
6.3.1 ผลการทดลอง

เมื่อชุดทดลองเริ่มทำงาน อุณหภูมิน้ำร้อนขาเข้าและออกเครื่องควบแน่นเพิ่มขึ้นตามเวลา ด้วยอัตราค่อนข้างคงที่แสดงดังรูปที่ 6.6 ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิน้ำร้อนขาเข้าและออกเครื่องควบแน่นลดลงเรื่อยๆจาก 22.2 11.5 และ 8.3 °C เมื่ออัตราการไหลเพิ่มขึ้นจาก 6 12 และ 16 litre/min การเพิ่มขึ้นตามเวลาของอุณหภูมิน้ำร้อนขาเข้าและออกเครื่องควบแน่นส่งผลกระทบต่อความดันควบแน่นของสารทำความเย็น R134a เพิ่มขึ้นตามเวลาเช่นเดียวกันโดยอัตราการเพิ่มขึ้นตามเวลาของความดันควบแน่นของสารทำความเย็น R134a มีค่าใกล้เคียงกันคือ 0.61 0.62 และ 0.61 barg/min เมื่ออัตราการไหลของน้ำร้อนคือ 6 12 และ 16 litre/min ตามลำดับ ในขณะที่ความดันระเหยของสารทำความเย็น R134a เพิ่มขึ้นตามเวลาเล็กน้อยด้วยอัตราลดลงจาก 0.077 0.076 และ 0.075 barg/min เมื่ออัตราการไหลของน้ำร้อนเพิ่มขึ้นจาก 6 12 และ 16 litre/min ตามลำดับ ความดันควบแน่นของสารทำความเย็น R134a มีค่าค่อนข้างคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงโดยมีค่าใกล้เคียงกันคือ 11.17 11.20 11.14 barg เมื่ออัตราการไหลของน้ำร้อนเพิ่มขึ้นจาก 6 12 และ 16 litre/min

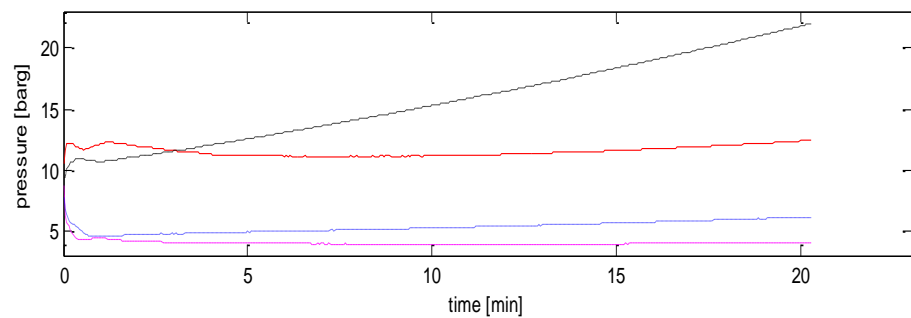
ตามลำดับ และความดันระเหยของสารทำความเย็น R22 มีค่าค่อนข้างคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลาโดยมีค่าใกล้เคียงกันคือ 4.22 4.27 4.21 barg เมื่ออัตราการไหลของน้ำร้อนเพิ่มขึ้นจาก 6 12 และ 16 litre/min ตามลำดับแสดงดังรูปที่ 6.7



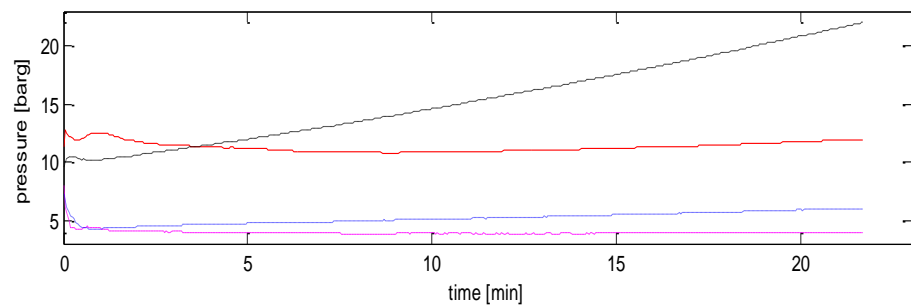
รูปที่ 6.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำเข้าและออกเครื่องควบแน่นกับเวลาที่อัตราการไหลของน้ำร้อน (ก) 6 litre/min (ข) 12 litre/min (ค) 16 litre/min



ก.



ข.



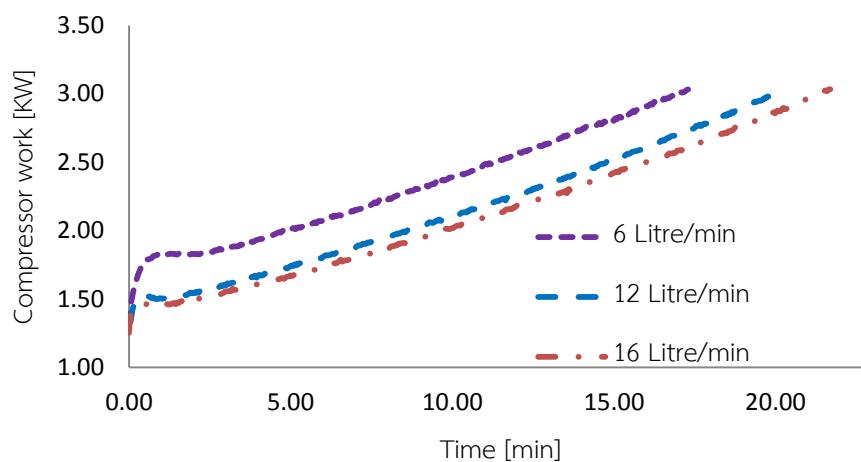
ค.

รูปที่ 6.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันของสารทำความเย็น R22 และ R134a กับเวลาที่อัตราการไหลของน้ำร้อน (ก) 6 litre/min (ข) 12 litre/min (ค) 16 litre/min

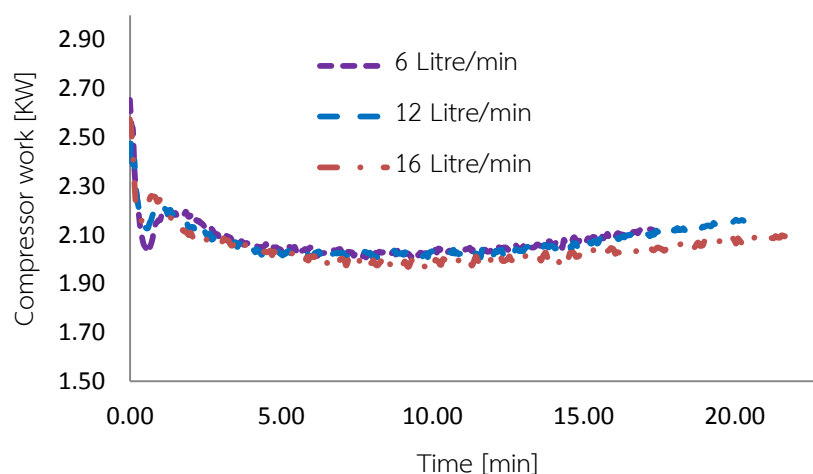
เนื่องจากความดันของสารทำความเย็นถูกควบคุมไม่ให้มีค่าสูงหรือต่ำเกินไปซึ่งอาจก่อให้เกิดความเสียหายแก่เครื่องอัดไอได้ ดังนั้นชุดทดลองจึงทำงานไปได้จนกระทั่งความดันของสารทำความเย็นภายในเครื่องควบแน่นมีค่า 22 barg จากนั้นเพิ่มความร้อนลดหลั่นจะหยุดทำงานทันที จากรูปที่ 35 และ 36 จะเห็นว่าระยะเวลาการทำงานของชุดทดลองเพิ่มขึ้นจาก 17.30 20.30 และ 21.70 min ตามลำดับเมื่ออัตราการไหลของน้ำร้อนเพิ่มขึ้นจาก 6 12 และ 16 litre/min ตามลำดับ เนื่องจากในช่วงเริ่มต้นการทดลองความดันควบแน่นของสารทำความเย็น R134a ที่อัตราการไหลของน้ำร้อนต่ำจะเพิ่มขึ้นสูงกว่าในกรณีที่อัตราการไหลของน้ำร้อนสูงกว่า

การเปลี่ยนแปลงตามเวลาของความดันของสารทำความเย็นส่งผลกระทบต่อกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องอัดไอของวัฏจักรบีบความร้อนและวัฏจักรทำความเย็นแสดงดังรูปที่ 6.8 และ 6.9 ตามลำดับ

กำลังไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องอัดไอของวัฏจักรบีบความร้อนมีค่าเพิ่มขึ้นตามเวลาด้วยอัตราคงที่ โดยอัตราการเพิ่มขึ้นมีค่าใกล้เคียงกันคือ 0.083 0.084 0.082 kW/min เมื่ออัตราการไหลของน้ำร้อน คือ 6 12 และ 16 litre/min ตามลำดับ ในเวลาการทำงานช่วงเดียวกันกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องอัดไอของวัฏจักรบีบความร้อนมีค่าลดลงเมื่ออัตราการไหลของน้ำร้อนเพิ่มขึ้น กำลังไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องอัดไอของวัฏจักรทำความเย็นลดลงในช่วงต้น จากนั้นมีค่าค่อนข้างคงที่และเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในช่วงท้าย นอกจากนี้ยังมีค่าใกล้เคียงกันในช่วงคงที่คือ 2.01 2.05 1.98 kW เมื่ออัตราการไหลของน้ำร้อน 6 12 และ 16 litre/min ตามลำดับ

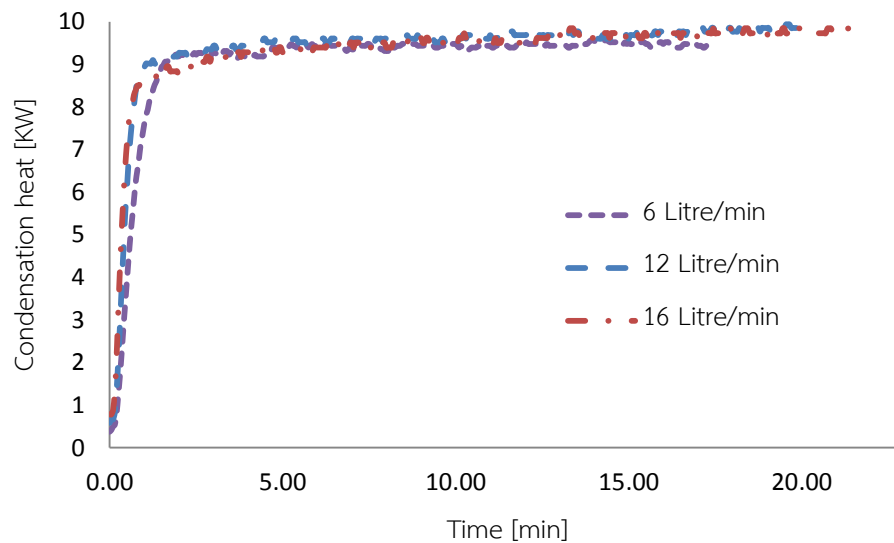


รูปที่ 6.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องอัดไอของวัฏจักรบีบความร้อนกับเวลาที่อัตราการไหลของน้ำร้อน 6, 12 และ 16 litre/min

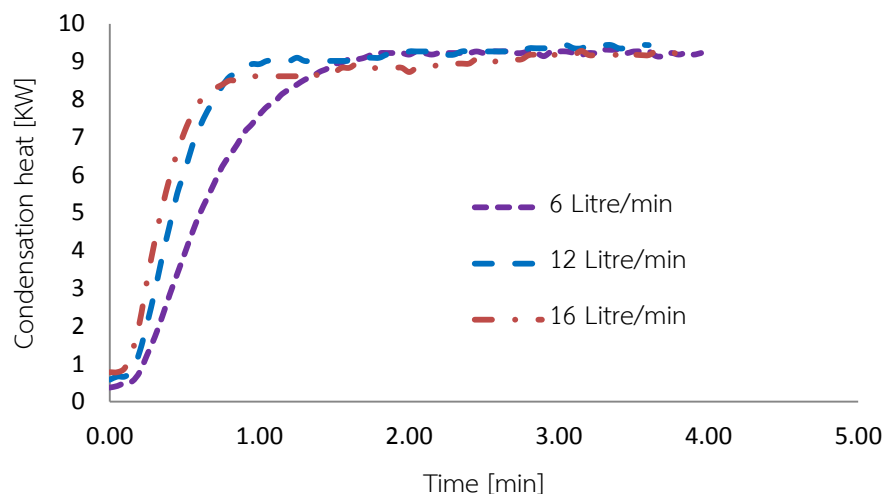


รูปที่ 6.9 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องอัดไอของวัฏจักรทำความเย็นกับเวลาที่อัตราการไหลของน้ำร้อน 6, 12 และ 16 litre/min

รูปที่ 39 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการทำความร้อนกับเวลา อัตราการทำความร้อนมีลักษณะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจาก 0 ถึง 9 kW ในช่วงแรก จากนั้นจะเปลี่ยนเป็นเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตามเวลาด้วยอัตราคงที่ ลักษณะการเพิ่มขึ้นเหมือนกันในทุกอัตราการไหล แต่อัตราการเพิ่มขึ้นในช่วงเริ่มต้นเพิ่มขึ้นจาก 8.63 14.51 และ 16.47 kW/min เมื่ออัตราการไหลของน้ำร้อนเพิ่มขึ้นจาก 6 12 และ 16 litre/min ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 6.11

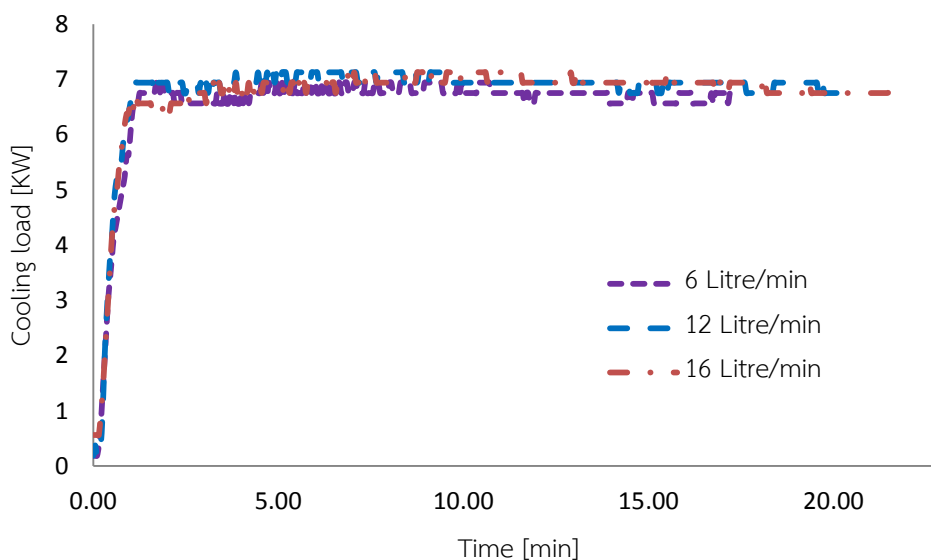


รูปที่ 6.10 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการทำความร้อนกับเวลาที่อัตราการไหลของน้ำร้อน 6, 12 และ 16 litre/min



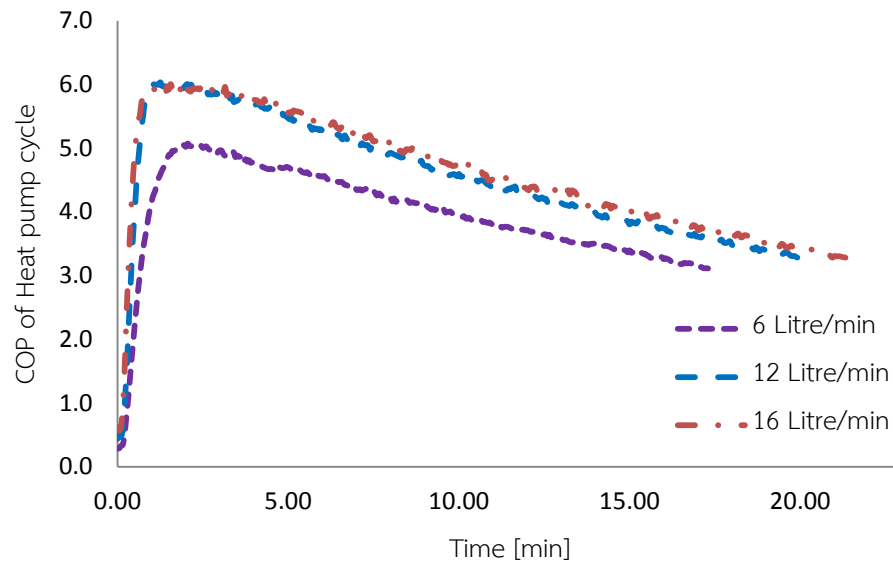
รูปที่ 6.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการทำความร้อนกับเวลาในช่วงเริ่มต้นที่อัตราการไหลของน้ำร้อน 6, 12 และ 16 litre/min

รูปที่ 6.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการทำความเย็นกับเวลา อัตราการทำความเย็นมีลักษณะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจาก 0 ถึง 7 kW ในช่วงแรก เมื่อถึงจุดสูงสุดจึงมีค่าค่อนข้างคงที่ที่ประมาณ 7 kW และลดลงเล็กน้อยในช่วงท้าย นอกจากนี้ยังมีค่าใกล้เคียงกันในทุกอัตราการไหล

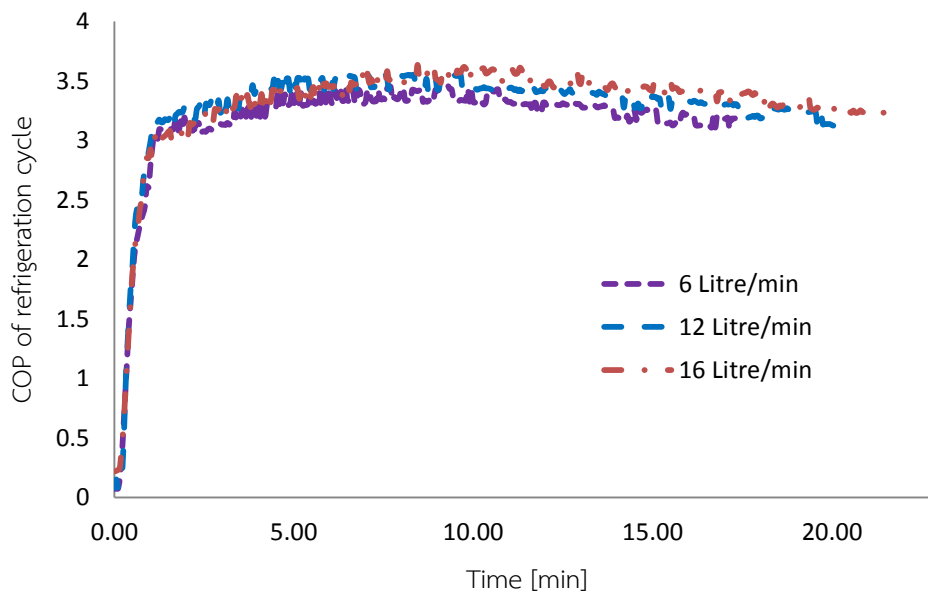


รูปที่ 6.12 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการทำความเย็นกับเวลา ที่อัตราการไหลของน้ำร้อน 6, 12 และ 16 litre/min

จากความสัมพันธ์ของอัตราการทำความเย็น อัตราการทำความร้อนและกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องอัดไอของทั้งสองวัฏจักรกับเวลาทำให้สามารถหาความสัมพันธ์ของสัมประสิทธิ์สมรรถนะของวัฏจักรทำความร้อนและวัฏจักรทำความเย็นกับเวลาจากสมการที่ 5 และ 6 ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 6.13 และ 6.14 ตามลำดับ สัมประสิทธิ์สมรรถนะของวัฏจักรทำความร้อนมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงเริ่มต้น และลดลงอย่างต่อเนื่องหลังจากถึงจุดสูงสุดแล้ว ค่าที่จุดสูงสุดของสัมประสิทธิ์สมรรถนะของวัฏจักรทำความร้อนเพิ่มขึ้นจาก 5.07 5.95 และ 6.10 ที่เวลาลดลงจาก 2:30 1:55 และ 1:42 min เมื่ออัตราการไหลของน้ำร้อนเพิ่มขึ้นจาก 6 12 และ 16 litre/min ตามลำดับ นอกจากนี้ในช่วงเวลาเดียวกันสัมประสิทธิ์สมรรถนะของวัฏจักรทำความร้อนที่อัตราการไหลของน้ำร้อนสูงกว่ามีค่ามากกว่าในกรณีที่อัตราการไหลของน้ำร้อนต่ำกว่า สัมประสิทธิ์สมรรถนะของวัฏจักรทำความเย็นเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจาก 0-3 kW ในช่วงต้น จากนั้นค่อนข้างคงที่และลดลงเล็กน้อยในช่วงท้าย โดยมีค่าเฉลี่ยในช่วงคงที่ใกล้เคียงกันคือ 3.41 3.5 3.40 เมื่ออัตราการไหลของน้ำร้อน 6 12 และ 16 litre/min ตามลำดับ

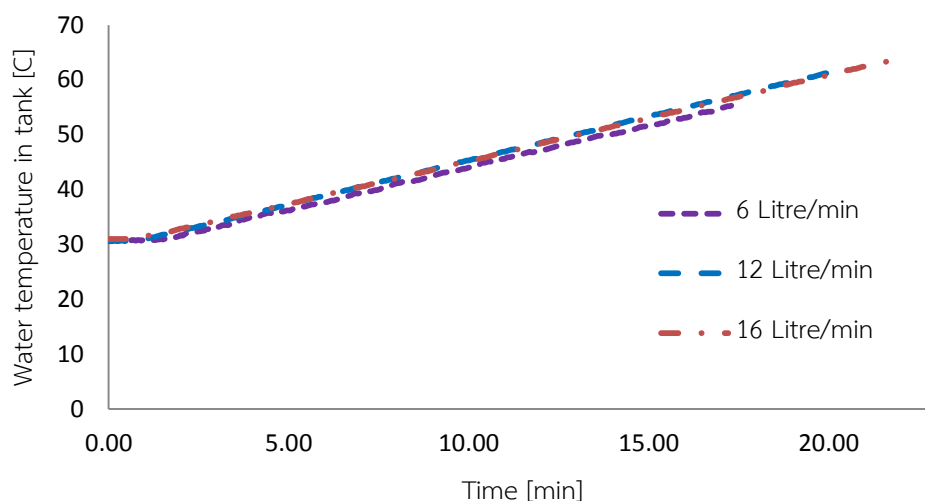


รูปที่ 6.13 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์สมรรถนะของปั๊มความร้อนลดหลั่นกับเวลาที่อัตราการไหลของน้ำร้อน 6, 12 และ 16 litre/min



รูปที่ 6.14 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์สมรรถนะของวัฏจักรทำความเย็นกับเวลาที่อัตราการไหลของน้ำร้อน 6, 12 และ 16 litre/min

รูปที่ 44 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำภายในถังน้ำร้อนกับเวลา อุณหภูมิน้ำร้อนเพิ่มขึ้นตามเวลาด้วยอัตราค่อนข้างคงที่ โดยมีอัตราการเพิ่มขึ้นใกล้เคียงกันคือ 1.60 1.65 1.58 °C/min และอุณหภูมิสูงสุดเพิ่มขึ้นจาก 55.3 61.8 63.5 °C เมื่ออัตราการไหลของน้ำร้อนเพิ่มขึ้นจาก 6 12 และ 16 litre/min ตามลำดับ



รูปที่ 6.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำร้อนภายในถังน้ำร้อนกับเวลาที่อัตราการไหลของน้ำร้อน 6, 12 และ 16 litre/min

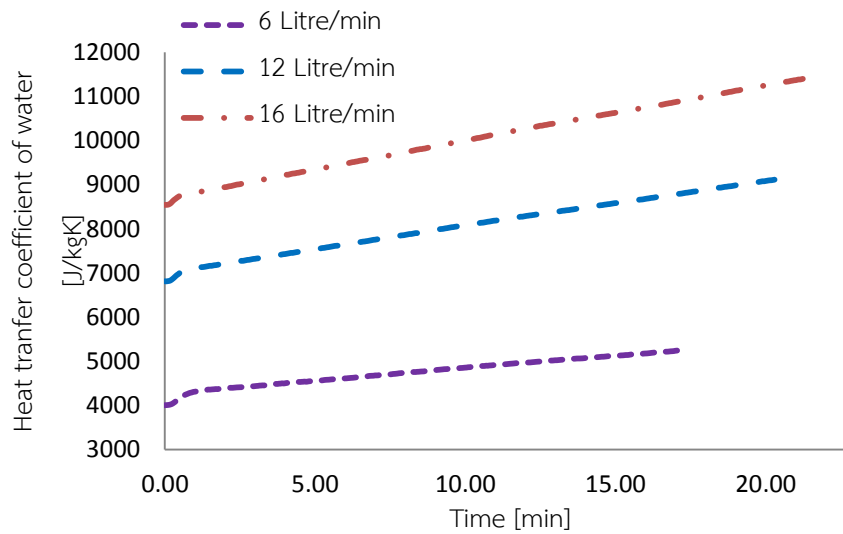
ตารางที่ 6.4 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างการทำน้ำร้อนด้วยปั๊มความร้อนลดหลั่นที่สภาวะคงตัวและสภาวะชั่วขณะ โดยพิจารณาถึงอุณหภูมิน้ำร้อนสูงสุดที่ระบบทำได้ สภาวะคงตัวใช้อัตราการไหลของน้ำร้อน 4 litre/min และสภาวะชั่วขณะใช้อัตราการไหลของน้ำร้อน 16 litre/min ถังน้ำร้อนของชุดทดสอบต้นแบบมีขนาด 80 litre ดังนั้นการทำน้ำร้อนในสภาวะคงตัวต้องใช้เวลา 20 min ในการทำน้ำร้อนจำนวนดังกล่าวซึ่งใช้เวลาน้อยกว่าที่สภาวะชั่วขณะใช้คือ 21.70 min อุณหภูมิน้ำร้อนสูงสุดที่สภาวะคงตัวคือ 69 °C มากกว่าที่สภาวะชั่วขณะคือ 63.5 °C ในขณะที่อัตราการทำความเย็น และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องอัดไอของทั้งสองวัฏจักรมีค่าใกล้เคียงกันคือ แต่อัตราการทำความร้อนที่สภาวะชั่วขณะมีค่าน้อยกว่าที่สภาวะคงตัว แสดงให้เห็นว่าการทำน้ำร้อนจากความร้อนปล่อยทิ้งจากปั๊มความร้อนแบบลดหลั่นที่สภาวะคงตัวมีประสิทธิภาพมากกว่า

ตารางที่ 6.4 เปรียบเทียบระหว่างการทำน้ำร้อนด้วยปั๊มความร้อนลดหลั่นที่สภาวะคงตัวอัตราการไหลของน้ำร้อน 4 litre/min และที่สภาวะชั่วขณะอัตราการไหลของน้ำร้อน 16 litre/min

คุณสมบัติ	หน่วย	สภาวะคงตัวที่อัตราการไหลของน้ำร้อน 4 litre/min	สภาวะชั่วขณะที่อัตราการไหลของน้ำร้อน 16 litre/min
อุณหภูมิน้ำร้อนสูงสุด	°C	69	63.5
เวลาที่ใช้ในการทำน้ำร้อนในถังน้ำร้อนขนาด 80 ลิตร	min	20	21.70
อัตราการทำความเย็น	kW	6.75	6.75
อัตราการทำความร้อน	kW	11.17	9.84
กำลังไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องอัดไอของวัฏจักรทำความเย็น	kW	2.09	2.10
กำลังไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องอัดไอของวัฏจักรปั๊มความร้อน	kW	2.26	2.26

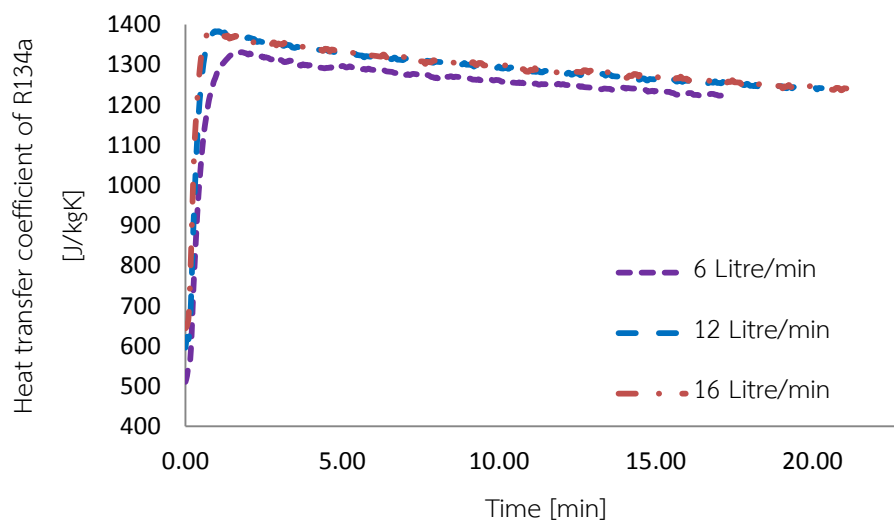
6.3.2 ผลการทำนายด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์อย่างง่าย

จากข้อมูลการทดลอง สามารถนำไปคำนวณหาอัตราการถ่ายเทความร้อนภายในเครื่องควบแน่นด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์อย่างง่ายตามขั้นตอนดังรูปที่ 5.6 รูปที่ 6.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของน้ำในช่วงของผสมสองสถานะกับเวลาสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของน้ำเพิ่มขึ้นตามเวลาด้วยอัตราคงที่ โดยอัตราการเพิ่มขึ้นของสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นจาก 56.3 102.3 และ 125.9 J/kg-K-min และมีค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจาก 4,785 8,095 และ 10,076 J/kg-K เมื่ออัตราการไหลของน้ำร้อนเพิ่มขึ้นจาก 6 12 และ 16 litre/min



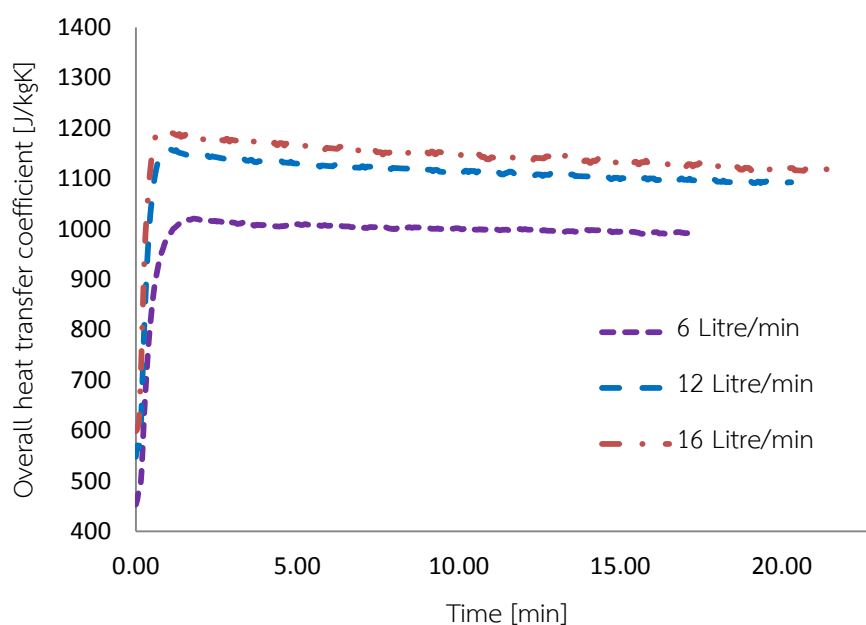
รูปที่ 6.16 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของน้ำ ในช่วงของผสมสองสถานะกับเวลาที่อัตราการไหลของน้ำร้อน 6, 12 และ 16 litre/min

รูปที่ 6.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของสารทำความเย็น R134a ในช่วงของผสมสองสถานะกับเวลา สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของสารทำความเย็น R134a มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมากในช่วงต้น จากนั้นลดลงเล็กน้อยหลังจากถึงจุดสูงสุดและมีแนวโน้มเข้าสู่ค่าคงที่ โดยค่าที่จุดสูงสุดมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 1,330 1,383 และ 1,385 J/kg-K ที่เวลา 1:28 1:03 และ 0:48 min และค่าเฉลี่ยช่วงคงที่เพิ่มขึ้นจาก 1,275 1,312 และ 1,357 J/kg-K เมื่ออัตราการไหลของน้ำร้อนเพิ่มขึ้นจาก 6 12 และ 16 litre/min ตามลำดับ



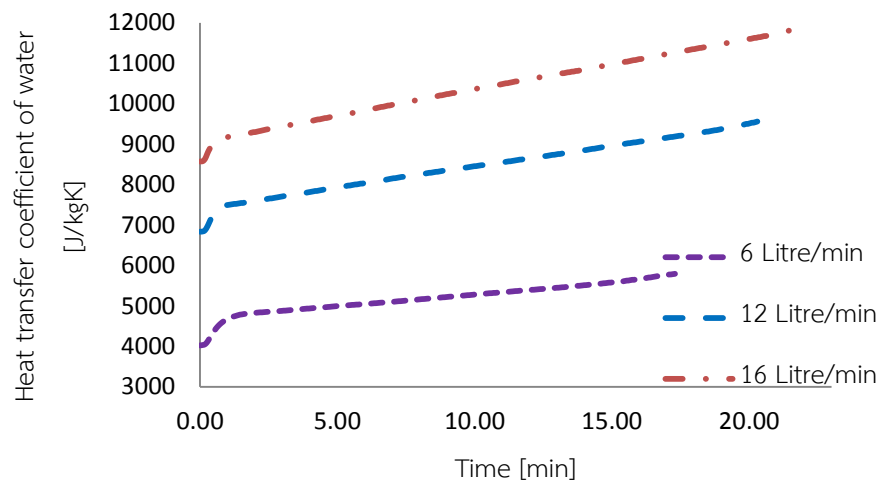
รูปที่ 6.17 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของสารทำความเย็น R134a ในช่วงของผสมสองสถานะกับเวลาที่อัตราการไหลของน้ำร้อน 6, 12 และ 16 litre/min

จากความสัมพันธ์ของสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของน้ำและสารทำความเย็น R134a ในช่วงของผสมสองสถานะกับเวลา ทำให้สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมกับเวลาแสดงดังรูปที่ 6.18 สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมมีความสัมพันธ์กับเวลา เช่นเดียวกันกับสัมประสิทธิ์สมรรถนะการถ่ายเทความร้อนของสารทำความเย็น R134a คือเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงต้น จากนั้นลดลงเล็กน้อยหลังจากถึงจุดสูงสุดแล้ว แต่มีค่าน้อยกว่าคือ มีค่าที่จุดสูงสุดเพิ่มขึ้นจาก 1,020 1,156 และ 1,197 J/kg-K-min ที่เวลา 1:51 1:06 0:54 min และมีค่าเฉลี่ยในช่วงคงที่เพิ่มขึ้นจาก 1,006 1,124 และ 1,157 J/kg-K เมื่ออัตราการไหลของน้ำร้อนเพิ่มขึ้นจาก 6 12 และ 16 litre/min ตามลำดับ



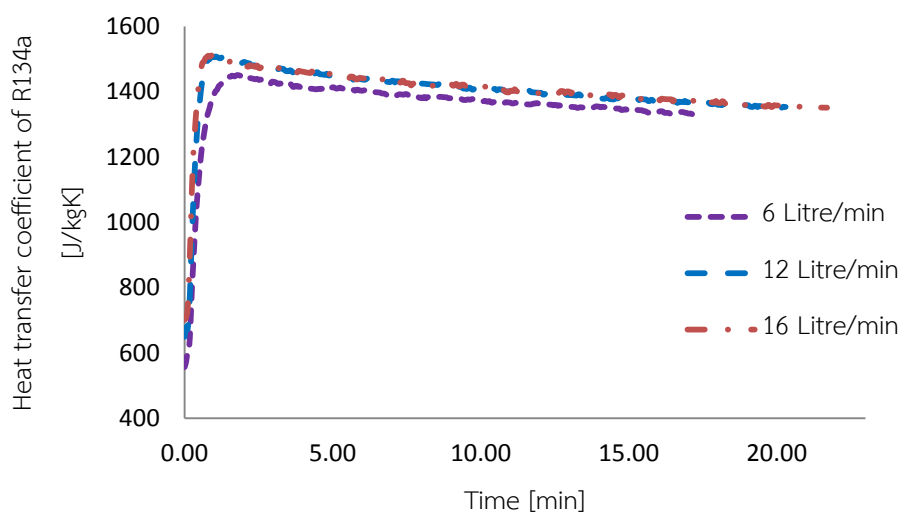
รูปที่ 6.18 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมในช่วงของผสมสองสถานะกับเวลาที่อัตราการไหลของน้ำร้อน 6, 12 และ 16 litre/min

รูปที่ 6.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของน้ำในช่วงไอร้อนยิ่งยวดกับเวลา สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของน้ำเพิ่มขึ้นตามเวลาด้วยอัตราคงที่เช่นเดียวกับในช่วงของผสมสองสถานะ อัตราการเพิ่มขึ้นของสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของน้ำในช่วงไอร้อนยิ่งยวดมีความใกล้เคียงกับในช่วงของผสมสองสถานะคือ 61.8 102.5 และ 125.7 J/kg-K-min และมีค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจาก 5,350 8,798 และ 10,824 J/kg-K เพิ่มขึ้นจากช่วงของผสมสองสถานะร้อยละ 11.81 8.68 7.42 เมื่ออัตราการไหลของน้ำร้อนเพิ่มขึ้นจาก 6 12 และ 16 litre/min ตามลำดับ



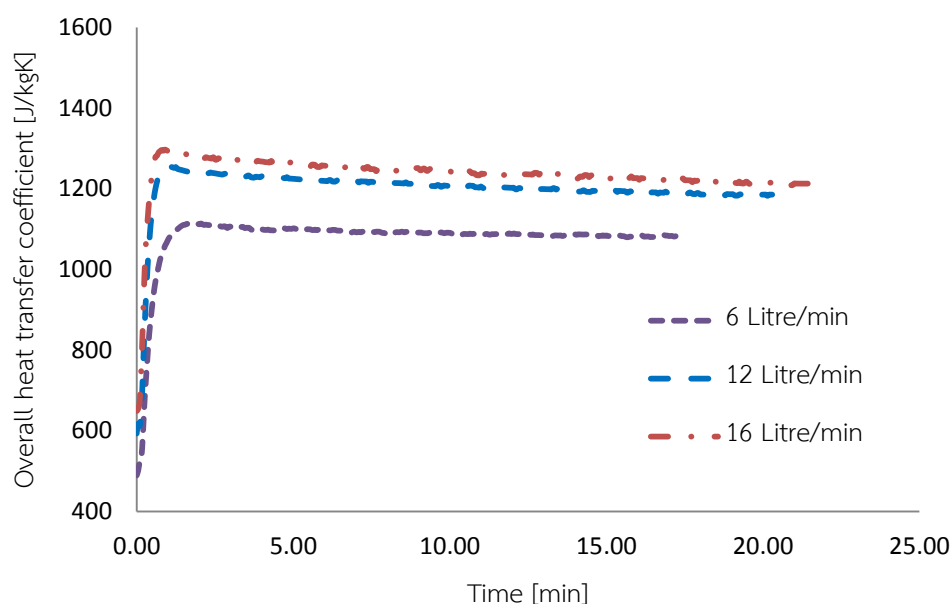
รูปที่ 6.19 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของน้ำในช่วงไอร้อนยิ่งยวดกับเวลาที่อัตราการไหลของน้ำร้อน 6, 12 และ 16 litre/min

รูปที่ 6.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของสารทำความเย็น R134a ในช่วงไอร้อนยิ่งยวดกับเวลา สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของสารทำความเย็น R134a มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงเริ่มต้น จากนั้นจึงลดลงเล็กน้อยหลังจากผ่านจุดสูงสุดและมีแนวโน้มเข้าสู่ค่าคงที่เช่นเดียวกับในช่วงของผสมสองสถานะแต่มีค่าสูงกว่าประมาณร้อยละ 9 จากสมการที่ 25 โดยมีค่าที่จุดสูงสุดเพิ่มขึ้นจาก 1,450 1,507 1,510 J/kg-K ที่เวลา 1:48 0:57 0:54 min และมีค่าเฉลี่ยในช่วงคงที่เพิ่มขึ้นจาก 1,393 1,430 และ 1,479 J/kg-K เมื่ออัตราการไหลของน้ำร้อนเพิ่มขึ้นจาก 6 12 และ 16 litre/min ตามลำดับ



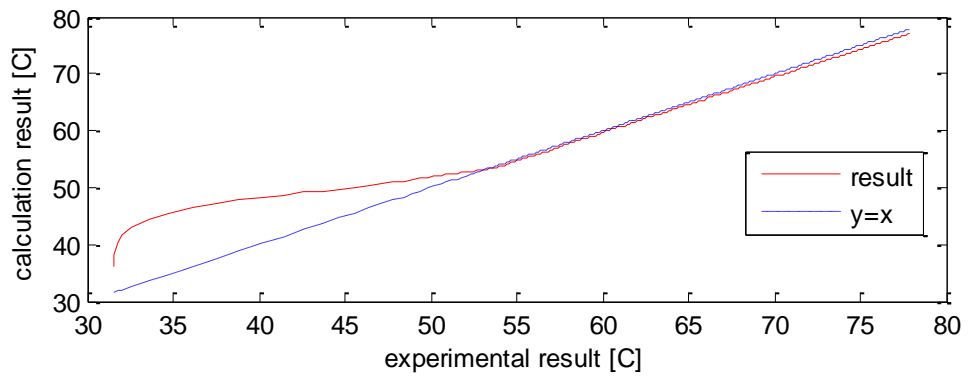
รูปที่ 6.20 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของสารทำความเย็น R134a ในช่วงไอร้อนยิ่งยวดกับเวลาที่อัตราการไหลของน้ำร้อน 6, 12 และ 16 litre/min

จากความสัมพันธ์ของสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของน้ำและสารทำความเย็น R134a ในช่วงไอร้อนยิ่งยวดกับเวลา ทำให้สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมกับเวลาแสดงดังรูปที่ 6.21 สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมมีความสัมพันธ์กับเวลา เช่นเดียวกันกับสัมประสิทธิ์สมรรถนะการถ่ายเทความร้อนของสารทำความเย็น R134a คือเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงต้น จากนั้นลดลงเล็กน้อยหลังจากถึงจุดสูงสุดแล้ว แต่มีค่าน้อยกว่าคือ มีค่าที่จุดสูงสุดเพิ่มขึ้นจาก 1,114 1,255 และ 1,296 J/kg-K ที่เวลา 1:48 1:03 0:48 min และมีค่าเฉลี่ยในช่วงคงที่เพิ่มขึ้นจาก 1,098 1,220 และ 1,254 J/kg-K เพิ่มขึ้นจากช่วงของผสมสองสถานะร้อยละ 9.14 8.54 และ 8.38 เมื่ออัตราการไหลของน้ำร้อนเพิ่มขึ้นจาก 6 12 และ 16 litre/min ตามลำดับ

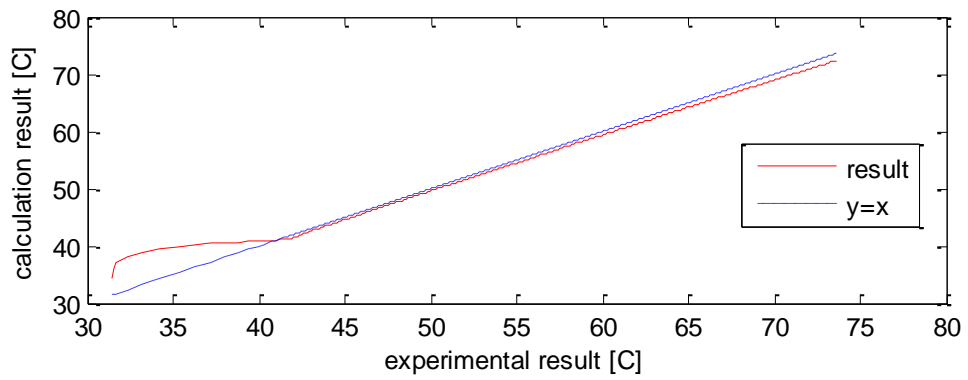


รูปที่ 6.21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมในช่วงไอร้อนยิ่งยวดกับเวลาที่อัตราการไหลของน้ำร้อน 6, 12 และ 16 litre/min

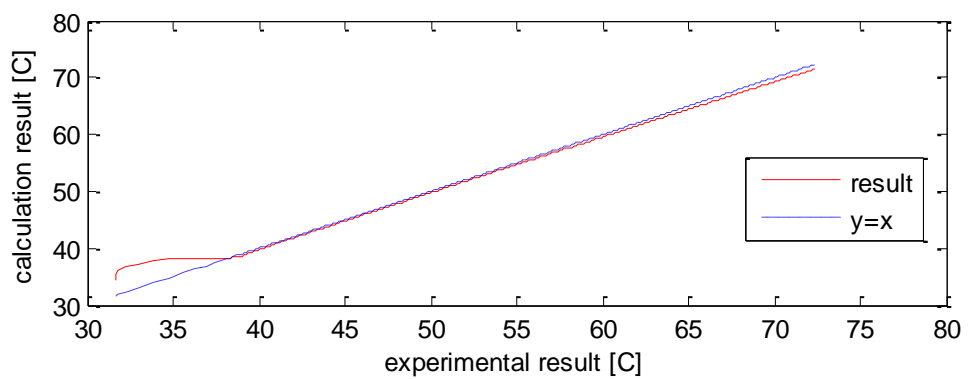
รูปที่ 6.22 แสดงผลการทำนายอุณหภูมิน้ำร้อนขาออกจากเครื่องควบแน่นด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์อย่างง่ายเทียบกับผลการทดลอง ผลการคำนวณมีค่าใกล้เคียงกับผลการทดลอง ยกเว้นในช่วงเริ่มต้นและช่วงสุดท้าย ในช่วงเริ่มต้นผลการคำนวณมีค่ามากกว่าผลการทดลองโดยมีความผิดพลาดสูงสุดร้อยละ 30.74 17.43 13.7 ที่เวลา 0:18 0:12 0:09 min เมื่ออัตราการไหลของน้ำร้อนเพิ่มขึ้นจาก 6 12 และ 16 litre/min ตามลำดับ ในช่วงสุดท้ายผลการคำนวณมีค่าน้อยกว่าผลการทดลองโดยมีความผิดพลาดสูงสุดร้อยละ -1.17 -1.68 -1.22 เมื่ออัตราการไหลของน้ำร้อนเพิ่มขึ้นจาก 6 12 และ 16 litre/min ตามลำดับ จะเห็นว่าเมื่ออัตราการไหลของน้ำร้อนเพิ่มขึ้น ความผิดพลาดจากการคำนวณมีค่าลดลง



ก.



ข.

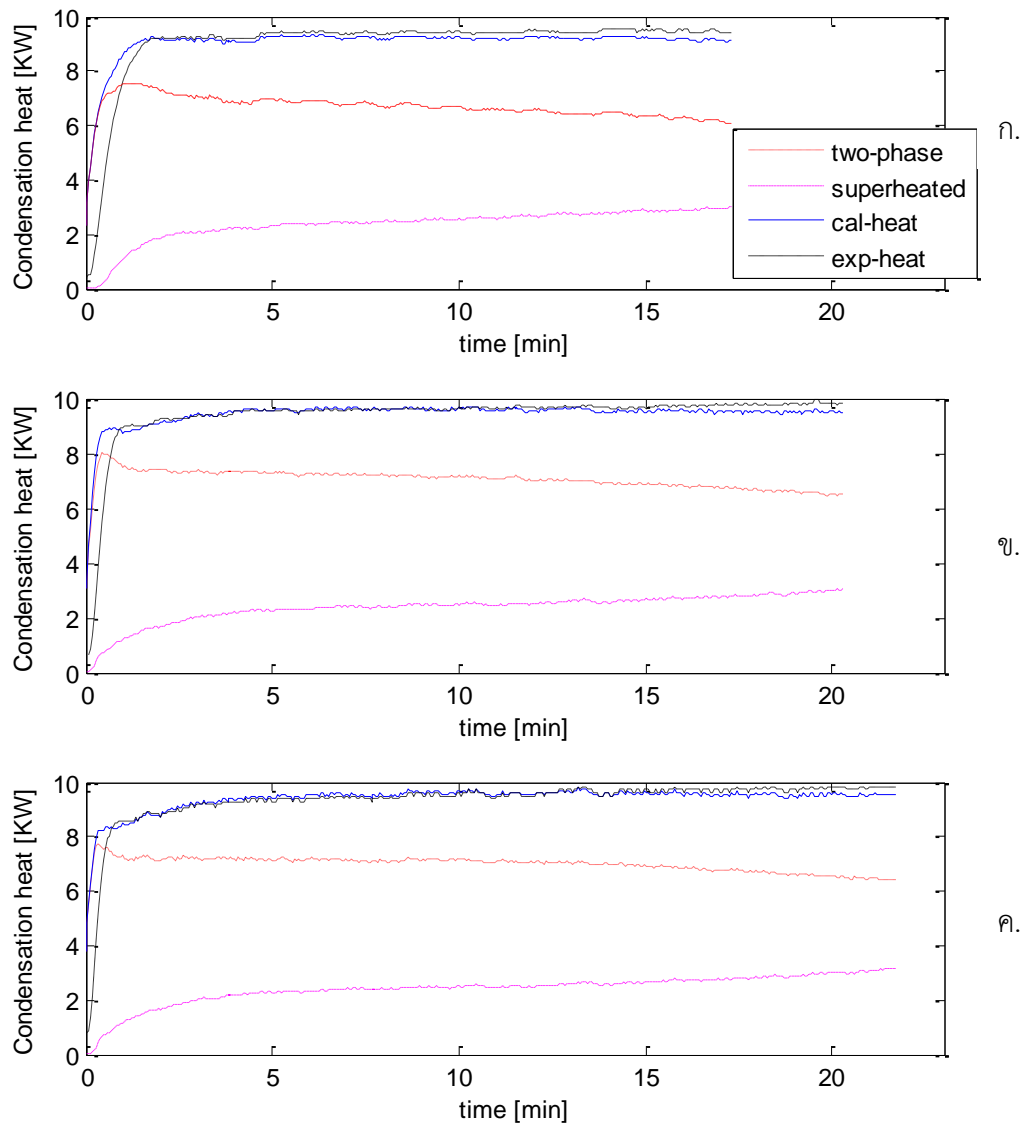


ค.

รูปที่ 6.22 อุณหภูมิน้ำร้อนขาออกจากเครื่องควบแน่นที่ได้จากผลการคำนวณและผลการทดลอง ที่อัตราการไหลของน้ำร้อน (ก) 6 litre/min (ข) 12 litre/min และ (ค) 16 litre/min

รูปที่ 6.23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการทำความร้อนจากผลการคำนวณและผลการทดลองกับเวลา อัตราการทำความร้อนจากการคำนวณคือผลรวมของอัตราการทำความร้อนที่ได้มาจากการทำนายอุณหภูมิน้ำร้อนในช่วงของผสมสองสถานะและช่วงไอร้อนยิ่งยวดจากสมการที่ 31 อัตราการทำความร้อนจากผลการคำนวณใกล้เคียงกับผลการทดลองยกเว้นช่วงเริ่มต้นและช่วงสุดท้าย เช่นเดียวกับการคำนวณอุณหภูมิน้ำร้อนขาออกจากเครื่องควบแน่น อัตราการทำความร้อนในช่วงของผสมสองสถานะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจาก 4-8 kW ในช่วงเริ่มต้น จากนั้นมีค่าลดลงตามเวลาหลังจากผ่านจุดสูงสุด โดยมีค่าที่จุดสูงสุด 7.56 8.05 7.72 kW ที่เวลา 1:09 0:27 0:24 min และมีค่าเฉลี่ยในช่วงคงที่ 6.82 7.26 และ 7.05 kW เมื่ออัตราการไหลของน้ำร้อนเพิ่มขึ้นจาก 6 12 และ 16 litre/min ตามลำดับ อัตราการทำความร้อนในช่วงไอร้อนยิ่งยวดเพิ่มขึ้นตามเวลาจาก 0 กิโลวัตต์ด้วยอัตราค่อนข้างคงที่ โดยอัตราการเพิ่มขึ้นมีค่าใกล้เคียงกันคือ 0.052 0.055 0.047 kW/min และมีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกันคือ 2.66 2.70 2.65 kW เมื่ออัตราการไหลของน้ำร้อนเพิ่มขึ้นจาก 6 12 และ 16 litre/min ตามลำดับ





รูปที่ 6.23 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการทำความร้อนจากผลการคำนวณและผลการทดลองกับเวลา
ที่อัตราการไหลของน้ำร้อน (ก) 6 litre/min (ข) 12 litre/min และ (ค) 16 litre/min

จากผลลัพธ์ของการคำนวณสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของน้ำด้วยความสัมพันธ์ของ Muley และ Manlik สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของสารทำความเย็น R134a ในช่วงของผสมสองสถานะด้วยความสัมพันธ์ของ Akers และสัมประสิทธิ์สมรรถนะของสารทำความเย็น R134a ในช่วงไอร้อนยิ่งยวดด้วยความสัมพันธ์ของ Webb พบว่าสารทำความเย็น R134a มีผลอย่างมากต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนภายในเครื่องควบแน่นเนื่องจากสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของน้ำมีค่ามากกว่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของสารทำความเย็น R134a มาก จึงส่งผลต่อสัมประสิทธิ์

การถ่ายเทความร้อนรวมน้อย และผลการคำนวณอุณหภูมิจากเครื่องควบแน่นและอัตราการทำความร้อนมีความใกล้เคียงกับผลการทดลองยกเว้นในช่วงเริ่มต้นและช่วงสุดท้าย ซึ่งน่าจะเป็นผลมาจากที่ระบบมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วในช่วงต้น แต่แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้พัฒนามาจากการทดลองในสภาวะคงตัวและการละทิ้งช่วงที่สารทำความเย็น R134a เป็นของเหลว เที่ยวยังทำให้ผลการคำนวณมีความผิดพลาดมากขึ้นเรื่อยๆในช่วงสุดท้าย



บทที่ 7

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

7.1 สรุปผลการวิจัย

จากการทดลองการทำงานน้ำร้อนจากปั๊มความร้อนแบบลดหลั่นที่สภาวะช่วงขณะพบว่า เมื่อชุดทดลองเริ่มทำงาน อุณหภูมิน้ำร้อนทั้งขาเข้าและขาออกจากเครื่องควบแน่นเพิ่มขึ้นตามเวลาที่อัตราคงที่ ความดันควบแน่นของสารทำความเย็น R134a เพิ่มขึ้นตามเวลาเช่นเดียวกัน ในขณะที่ความดันของสารทำความเย็นที่เหลือมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ส่งผลให้กำลังไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องอัดไอของวัฏจักรปั๊มความร้อนสูงขึ้นตามเวลาในขณะที่กำลังไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องอัดไอของวัฏจักรทำความเย็นมีค่าคงที่ อัตราการทำความเย็นและอัตราการทำความร้อนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงเริ่มต้น จากนั้นอัตราการทำความร้อนจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตามเวลาที่อัตราคงที่ ในขณะที่อัตราการทำความเย็นมีค่าค่อนข้างคงที่ ชุดทดลองจะหยุดทำงานก็ต่อเมื่อความดันควบแน่นของสารทำความเย็น R134a เพิ่มขึ้นถึงจุดหนึ่งซึ่งเป็นความดันสูงสุดที่ชุดทดสอบต้นแบบสามารถทำได้ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างอัตราการไหลของน้ำร้อนต่ำและสูง อัตราการเพิ่มของความดันควบแน่นของสารทำความเย็น R134a ที่อัตราการไหลต่ำจะมีค่าสูงกว่า ดังนั้นระยะเวลาการทำงานของชุดทดลองที่อัตราการไหลต่ำจะมีค่าน้อยกว่า กำลังไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องอัดไอของวัฏจักรปั๊มความร้อนมีค่ามากกว่าที่อัตราการไหลต่ำในขณะที่กำลังไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องอัดไอของวัฏจักรทำความเย็นมีค่าใกล้เคียงกันในทุกอัตราการไหล อัตราการทำความร้อนและอัตราการทำความเย็นมีค่าใกล้เคียงกันในทุกอัตราการไหล สัมประสิทธิ์สมรรถนะของวัฏจักรทำความเย็นและวัฏจักรปั๊มความร้อนมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงเริ่มต้น จากนั้นสัมประสิทธิ์สมรรถนะของวัฏจักรปั๊มมีค่าลดลงตามเวลาหลังจากผ่านจุดสูงสุด ในขณะที่สัมประสิทธิ์สมรรถนะของวัฏจักรทำความเย็นมีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดเวลา เมื่อเปรียบเทียบระหว่างอัตราการไหลต่ำและสูง สัมประสิทธิ์สมรรถนะของวัฏจักรปั๊มความร้อนมีค่าสูงกว่าที่อัตราการไหลสูง ในขณะที่สัมประสิทธิ์สมรรถนะของวัฏจักรทำความเย็นมีค่าใกล้เคียงกันที่ทุกอัตราการไหล นอกจากนี้ อุณหภูมิน้ำร้อนภายในถังน้ำร้อนมีค่ามากกว่าที่อัตราการไหลของน้ำร้อนสูง

การทำนายการถ่ายเทความร้อนภายในเครื่องควบแน่นด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์อย่างง่ายโดยแบ่งช่วงการถ่ายเทความร้อนออกเป็น 2 ช่วงคือ ช่วงที่สารทำความเย็นเป็นของผสมสองสถานะและเป็นไอร้อนยิ่งยวด ใช้ความสัมพันธ์ของ Muley และ Manglik ในการหาสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของน้ำในทั้งสองช่วง ความสัมพันธ์ของ Akers และความสัมพันธ์ของ Webb ในการหาสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของสารทำความเย็น R134a ในช่วงของผสมสองสถานะและช่วงไอร้อนยิ่งยวดตามลำดับ ผลการคำนวณมีค่าใกล้เคียงกับผลการทดลองยกเว้นในช่วงเริ่มต้นที่ผลการ

คำนวณมีค่ามากกว่าและช่วงสุดท้ายที่ผลการคำนวณมีค่าน้อยกว่า ซึ่งน่าจะเป็นผลจากความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ที่ใช้พัฒนามาจากการทดลองในสภาวะคงตัวและการละทิ้งช่วงที่สารทำความเย็นเป็นของเหลวเย็นยิ่ง นอกจากนี้ยังพบว่าสารทำความเย็น R134a มีผลอย่างมากต่อสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมและการถ่ายเทความร้อนภายในเครื่องควบแน่น

7.2 ข้อเสนอแนะ

1. การใช้ถังน้ำร้อนขนาดใหญ่ขึ้นช่วยให้ระยะเวลาในการทดลองนานมากขึ้น และสามารถสังเกตการเปลี่ยนแปลงตามเวลาของตัวแปรอื่นๆได้ดียิ่งขึ้น
2. การวัดอัตราการไหลของสารทำความเย็นของทั้งสองวัฏจักรจะช่วยให้วิเคราะห์สมรรถนะของปั๊มความร้อนลดหลั่นได้ดียิ่งขึ้น
3. การติดตั้งเครื่องควบแน่นชนิดระบายความร้อนด้วยอากาศเข้าไปเพื่อช่วยลดความดันของสารทำความเย็นของวัฏจักรปั๊มความร้อนทำให้สามารถทำความเย็นได้อย่างต่อเนื่อง
4. การหาผลกระทบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของการทำความเย็นที่มีต่อปั๊มความร้อนลดหลั่นจะช่วยให้เข้าใจถึงสมรรถนะของปั๊มความร้อนลดหลั่นมากยิ่งขึ้น ซึ่งเป็นประโยชน์ในกรณีนำไปติดตั้งใช้งานจริงซึ่งทั้งอัตราการทำความร้อนและอัตราการทำความเย็นมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา

รายการอ้างอิง

1. Jim, H., Alexander M. and Michael S., *Increasing Central Plant Efficiency via a water to water heat pump*. Pharmaceutical Engineering 2011. 31: p. 1-9.
2. Roy, J., Dossat, *Principle of Refrigeration*. 4 ed. 1997, New Jersey: Kendallville.
3. Shao, S., Wenxing, S., Xianting, L., and Jie, M., *A new inverter heat pump operated all year round with domestic hot water*. Energy Conversion and Management 2004. 45: p. 2255-2268.
4. Huimin, J., Yiqiang, J., Yang, W., Zuiliang, M., and Yang, Y., *An experiment study on a modified air conditioner with a domestic hot water supply (ACDHWS)*. Energy, 2006. 31: p. 1789-1803.
5. Guangcai, G., Wei, Zeng., Liping, W., and Chih, W., *A new heat recovery technique for air-conditioning/heat pump system*. Applied Thermal Engineering, 2008. 28: p. 2360-2370.
6. Yokoyama, R., Shimizu, T., Takemura, K., and Ito, K., *Performance analysis of a hot water supply system with a CO₂ heat pump by numerical simulation*. JSME International Journal, 2006. 49(B): p. 541-548.
7. Praitoon, C.a.W.D., *Hot water potential using of a conventional air conditioner as an air-water heat pump*. Procedia Engineering, 2011. 8: p. 165-170.
8. Lee, T., Liu, C. H. and Chen, T. W., *Thermodynamics analysis of optimal condensing temperature of cascade-condenser in CO₂/NH₃ cascade refrigeration systems*. International Journal of Refrigeration, 2006. 29: p. 1100-1108.
9. Bhattacharyya, S., Garai, A. and Sarkar, J., *Thermodynamic analysis and optimization of a novel N₂O-CO₂ Cascade system for refrigeration and heating*. International Journal of Refrigeration 2009. 32: p. 1077-1084.
10. Jung, H.W., Kang, W., Yoon, W. J. and Kim, Y., *Performance comparison between a single-state and a cascade multifunctional heat pump for both air heating and hot water supply*. International Journal of Refrigeration 2013. 36: p. 1431-1441.

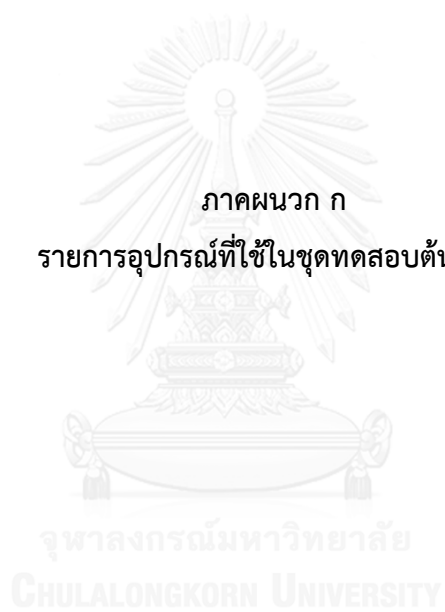
11. ชูประเสริฐ, ว., การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานโดยการนำความร้อนปล่อยทิ้งจากระบบทำน้ำเย็นกลับมาใช้ประโยชน์, in วิศวกรรมเครื่องกล วิศวกรรมศาสตร์. 2011, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
12. Jokar, A., Hosni, H. M. and Eckels, J. S., *Dimensional analysis on the evaporation and condensation of refrigerant R-134a in minichannel plat heat exchangers*. Applied Thermal Engineering, 2006. 26: p. 2287-2300.
13. Longo, A.G., *Refrigerant R134a condensation heat transfer and pressure drop inside a small brazed plate heat exchanger*. International Journal of Refrigeration, 2008. 31: p. 780-789.
14. Incropera, P.F., Dewitt, D. P., Bergman, T. L., Lavine, A. S., *Introduction to heat transfer*. 5 ed. 2007: John Wiley & Son.
15. Webb, R.L., *Convective condensation of superheated vapor*. ASME Journal Heat Transfer, 1998. 120: p. 418-421.
16. Longo, A.G., *The effect of vapour super-heating on hydrocarbon refrigerant condensation inside brazed plate heat exchanger*. Experimental Thermal and Fluid Science, 2011. 35: p. 978-985.
17. Mancin, S., Col, D. D. and Rossetto, L., *Condensation of superheated vapour of R410C and R407C inside plate heat exchangers: Experimental results and simulation procedure*. International Journal of Refrigeration, 2012. 35: p. 2003-2013.
18. *Plate Heat Exchanger*. 2014 [cited 2014 June, 10]; Available from: <http://www.offshoreenergytoday.com/alfa-laval-to-supply-plate-heat-exchangers-for-brazilian-offshore-plaforms>.



ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ก
รายการอุปกรณ์ที่ใช้ในชุดทดสอบต้นแบบ



1. ชุดควบแน่นระบายความร้อนด้วยอากาศ (Condensing Unit)

ยี่ห้อ / รุ่น	:	TRANE / TTK536
ความสามารถในการทำความเย็น	:	36,000 Btu/h
ชนิดของเครื่องอัดไอ	:	Rotary
แหล่งจ่ายไฟฟ้า	:	380V/3 Ph/50 Hz
พิกัดกระแสไฟฟ้า RLA / LRA	:	5.9 / 43.0 A
พิกัดกระแส RLA / LRA ของพัดลมระบายความร้อน	:	1.03 / 1.79 A
ขนาดชุดควบแน่นภายนอก		
สูง (Height)	:	795 mm
กว้าง (Width)	:	1018 mm
ลึก (Depth)	:	360 mm
ขนาดท่อสารทำความเย็น ท่อด้านดูด / ท่อของเหลว	:	3/4" / 3/8"
สารทำความเย็นที่ใช้ / ปริมาณ	:	R-22 / 2.3 kg

2. เครื่องระเหย (Evaporator)

ยี่ห้อ	:	3Q PRODUCT
รุ่น	:	CST 3.5-1-06
ความสามารถในการทำความเย็น	:	35,000 Btu/h
พื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อน	:	8.47 ft ²
ขนาดภายนอก		
สูง (Height)	:	213 mm
ยาว (Long)	:	290 mm
เส้นผ่านศูนย์กลาง (Diameter)	:	5 1/2"
ขนาดท่อสารทำความเย็น ท่อด้านดูด / ท่อของเหลว	:	7/8" / 5/8"
สารทำความเย็นที่ใช้	:	R-22

3. วาล์วลดความดัน (Expansion valve)

ยี่ห้อ	:	Danfoss
รุ่น	:	TEX2
ช่วงความสามารถในการทำความเย็น	:	0.5 to 15.5 kW
สารทำความเย็นที่ใช้	:	R-22

4. เครื่องเป่าลมเย็น (Fan coil unit)

ยี่ห้อ	:	Carrier
รุ่น	:	42VDT012W
แหล่งจ่ายไฟฟ้า	:	220V/1 Ph/50 Hz
ความสามารถในการทำความเย็น	:	36,100 Btu/h
กำลังไฟฟ้าที่ใช้	:	211 W
กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการทำงาน	:	0.97 A
อัตราการไหลของอากาศ	:	1,200 cfm
ระดับเสียงขณะทำงาน (Hi/Med/Lo)	:	56/55/54 dB
ขนาดเครื่องภายนอก		
สูง (Height)	:	620 mm
กว้าง (Width)	:	1,570 mm
ลึก (Depth)	:	250 mm
น้ำหนักรวม	:	69 kg
ขนาดท่อน้ำ เข้า/ออก	:	1/2" / 1/2"
ขนาดท่อน้ำทิ้ง	:	3/4"
สารทำความเย็นที่ใช้	:	น้ำ

5. ปั๊มน้ำเย็น (Chilled water pump)

ยี่ห้อ	:	SAER
--------	---	------

รุ่น	:	SKF
ขนาดแรงม้า	:	0.5 Hp
ความเร็วรอบ	:	2,850 รอบต่อนาที
แหล่งจ่ายไฟฟ้า	:	220V/1 Ph/50 Hz
ขนาดท่อน้ำ เข้า/ออก	:	1" / 1"

6. ปั๊มน้ำร้อน (Hot water pump)

ยี่ห้อ	:	KODAI
รุ่น	:	PRA-050
ขนาดแรงม้า	:	0.5 Hp
ความเร็วรอบ	:	2,850 รอบต่อนาที
แหล่งจ่ายไฟฟ้า	:	220V/1 Ph/50 Hz
อัตราการไหลสูงสุด	:	36 ลิตรต่อนาที
แรงดันน้ำสูงสุด	:	38 เมตร
ขนาดท่อน้ำ เข้า/ออก	:	1" / 1"

7. เครื่องควบแน่นชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ (Plate heat exchanger)

ยี่ห้อ	:	KAORI
รุ่น	:	K95
ขนาดเครื่องภายนอก		
สูง (Height)	:	522 mm
กว้าง (Width)	:	106 mm
หนา (Thickness)	:	10 mm
น้ำหนักต่อแผ่น	:	3.1 kg
พื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อน	:	1.235 m ²
จำนวนแผ่น-ยในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน	:	28 แผ่น

ความหนาของแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน	:	0.92 mm
ระยะช่องว่างระหว่างแผ่น	:	1.9232 mm
8. เครื่องอัดไอของวัฏจักรอุณหภูมิสูง		
ยี่ห้อ	:	Copeland
รุ่น	:	ZR40K3E-TFD
แหล่งจ่ายไฟฟ้า	:	380V/3 Ph/50 Hz
ความสามารถในการทำความเย็น	:	6.3 kW
กำลังไฟฟ้าที่ใช้	:	3.0 kW
กระแสไฟฟ้าที่ใช้	:	5.24 A
อัตราการถ่ายเทความร้อนปล่อยทิ้ง	:	9.2 kW
9. สวิตช์ควบคุมความดัน (Pressure switch)		
ยี่ห้อ	:	Danfoss
รุ่น	:	KP15
แหล่งจ่ายไฟฟ้า	:	220V/1 Ph/50 Hz
ช่วงอุณหภูมิการใช้งาน	:	-4.44°C ถึง 65°C
ความดันสูงสุดที่สามารถทำงานได้		
ด้านความดันต่ำ	:	16.9 bar
ด้านความดันสูง	:	32 bar
ความสามารถที่ให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้	:	240 V a.c.: 8 FLA,
48 LRA		
10. โซลินอยด์วาล์ว (Solenoid valve)		
ยี่ห้อ	:	Danfoss
รุ่น	:	EVRS 10

แหล่งจ่ายไฟฟ้า	:	220V/1 Ph/50 Hz
ช่วงอุณหภูมิการใช้งาน	:	-4.44°C ถึง 40.55°C
ความดันสูงสุดที่สามารถทำงานได้	:	28 bar

11. วาล์วสามทาง (Motorized valve)

ยี่ห้อ	:	Totaline
รุ่น	:	VLV364
แหล่งจ่ายไฟฟ้า	:	220VAC, 50/60 Hz
กำลังไฟฟ้าที่ใช้	:	6.5 W
ความดันสูงสุดที่สามารถทำงานได้	:	1.6 MPa
ช่วงระยะเวลาการเปิด - ปิดของวาล์ว	:	เปิด 14~18 s
	:	ปิด 5~7 s
ช่วงอุณหภูมิการใช้งาน	:	5°C ถึง 90°C

12. วาล์วควบคุมอัตราการไหล

ยี่ห้อ	:	MMA
รุ่น	:	STV 25
ความดันใช้งาน	:	20 bar
ช่วงอุณหภูมิการใช้งาน	:	-15°C ถึง 90°C

13. วาล์วกันกลับของสารทำความเย็น (Check valve)

ยี่ห้อ	:	Danfoss
รุ่น	:	NRV
ความดันใช้งานสูงสุด	:	28 bar
ช่วงอุณหภูมิการใช้งาน	:	-50°C ถึง 140°C

ภาคผนวก ข
ข้อมูลการวัดจากการทดลอง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ในการทดลองการทำน้ำร้อนจากปั๊มความร้อนแบบความชื้นแบบลดหลั่นที่สภาวะชั่วขณะได้เปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของน้ำร้อนตั้งแต่ 6, 12 และ 16 litre/min โดยข้อมูลที่ได้จากการวัดการทดลองที่อัตราการไหลของน้ำเย็น 27 litre/min และอัตราการไหลของน้ำร้อน 6 litre/min แสดงดังตารางที่ ข.1

ตารางที่ ข.1 แสดงข้อมูลดิบจากการวัดที่อัตราการไหลของน้ำร้อน 6 litre/min

Time	$T_{cw,i}$	$T_{cw,o}$	W_R	$P_{c,22}$	$P_{e,22}$	$T_{hw,i}$	$T_{hw,o}$	W_{HP}	$P_{c,134}$	$P_{e,134}$
0:00:00	25.2	25.1	2.65	11.87	8.26	30.6	31.5	1.31	9.60	7.50
0:00:03	25.2	25.1	2.55	13.16	6.51	30.6	31.6	1.44	10.24	6.82
0:00:06	25.2	25.1	2.53	12.82	5.83	30.6	31.8	1.52	10.91	6.06
0:00:09	25.2	25	2.36	12.80	5.12	30.7	32	1.57	11.36	6.01
0:00:12	25.2	24.8	2.29	12.73	5.13	30.7	32.6	1.61	11.74	5.70
0:00:15	25.2	24.5	2.23	12.50	5.05	30.6	33.6	1.65	12.04	5.66
0:00:18	25.2	24.2	2.18	12.28	4.94	30.7	34.8	1.69	12.28	5.70
0:00:21	25.2	23.9	2.12	12.04	4.77	30.7	36.1	1.72	12.50	5.62
0:00:24	25.2	23.6	2.09	11.81	4.58	30.7	37.5	1.74	12.65	5.45
0:00:27	25.2	23.4	2.06	11.62	4.43	30.7	38.8	1.76	12.79	5.31
0:00:30	25.2	23.2	2.05	11.45	4.34	30.8	40.2	1.77	12.88	5.20
0:00:33	25.2	23	2.04	11.32	4.29	30.7	41.4	1.79	12.94	5.10
0:00:36	25.2	22.9	2.03	11.27	4.31	30.7	42.6	1.79	12.97	5.01
0:00:39	25.2	22.8	2.05	11.23	4.36	30.8	43.7	1.79	12.99	4.90
0:00:42	25.2	22.7	2.06	11.23	4.43	30.8	44.7	1.80	12.99	4.87
0:00:45	25.1	22.5	2.09	11.29	4.51	30.7	45.6	1.81	13.01	4.84
0:00:48	25	22.3	2.12	11.34	4.59	30.8	46.4	1.82	13.03	4.80
0:00:51	24.9	22.1	2.15	11.53	4.64	30.8	47.1	1.82	13.12	4.92
0:00:54	24.8	21.8	2.15	11.59	4.69	30.7	47.8	1.82	13.16	4.94
0:00:57	24.6	21.6	2.16	11.64	4.73	30.8	48.4	1.81	13.16	4.89
0:01:00	24.5	21.3	2.16	11.70	4.75	30.7	48.9	1.82	13.18	4.89
0:01:03	24.4	21	2.18	11.77	4.74	30.7	49.4	1.83	13.20	4.91
0:01:06	24.3	20.8	2.17	11.83	4.74	30.8	49.8	1.83	13.22	4.90
0:01:09	24.1	20.6	2.18	11.89	4.73	30.7	50.2	1.83	13.22	4.87
0:01:12	24	20.5	2.19	11.92	4.73	30.8	50.6	1.83	13.24	4.88
0:01:15	23.9	20.3	2.18	11.96	4.73	30.8	50.9	1.83	13.24	4.87
0:01:18	23.8	20.2	2.18	12.02	4.71	30.8	51.2	1.83	13.24	4.86
0:01:21	23.6	20	2.18	12.04	4.70	30.9	51.5	1.83	13.25	4.86
0:01:24	23.5	19.9	2.18	12.07	4.68	30.9	51.8	1.83	13.25	4.86
0:01:27	23.4	19.8	2.18	12.09	4.66	31	52.1	1.83	13.25	4.85
0:01:30	23.2	19.6	2.19	12.11	4.64	30.9	52.3	1.83	13.24	4.83

ตารางที่ ข.1 แสดงข้อมูลดิบจากการวัดที่อัตราการไหลของน้ำร้อน 6 litre/min (ต่อ)

Time	T _{cw,i}	T _{cw,o}	W _R	P _{c,22}	P _{e,22}	T _{hw,i}	T _{hw,o}	W _{HP}	P _{c,134}	P _{e,134}
0:01:33	23	19.4	2.18	12.13	4.63	31	52.5	1.83	13.24	4.84
0:01:36	22.9	19.3	2.19	12.15	4.62	31	52.7	1.83	13.24	4.82
0:01:39	22.7	19.1	2.18	12.17	4.61	31.1	52.8	1.83	13.24	4.83
0:01:42	22.6	18.9	2.19	12.19	4.60	31.2	53	1.83	13.24	4.86
0:01:45	22.4	18.8	2.19	12.17	4.59	31.1	53.1	1.83	13.24	4.85
0:01:48	22.3	18.7	2.19	12.20	4.58	31.2	53.3	1.83	13.24	4.84
0:01:51	22.2	18.5	2.20	12.19	4.57	31.3	53.4	1.83	13.24	4.86
0:01:54	22	18.4	2.18	12.19	4.56	31.4	53.5	1.83	13.25	4.86
0:01:57	21.9	18.2	2.17	12.20	4.55	31.5	53.6	1.83	13.25	4.86
0:02:00	21.7	18.1	2.18	12.19	4.54	31.7	53.7	1.83	13.25	4.87
0:02:03	21.6	18	2.17	12.17	4.52	31.6	53.8	1.83	13.27	4.90
0:02:06	21.5	17.9	2.17	12.15	4.51	31.8	53.9	1.83	13.27	4.89
0:02:09	21.4	17.8	2.15	12.15	4.49	32	54	1.83	13.29	4.91
0:02:12	21.2	17.7	2.16	12.11	4.49	32	54.1	1.83	13.29	4.90
0:02:15	21.1	17.5	2.15	12.09	4.48	32	54.1	1.84	13.31	4.90
0:02:18	21	17.4	2.16	12.07	4.47	32.1	54.2	1.84	13.31	4.92
0:02:21	20.9	17.3	2.15	12.05	4.47	32.2	54.3	1.84	13.33	4.91
0:02:24	20.7	17.2	2.15	12.04	4.46	32.3	54.4	1.84	13.33	4.90
0:02:27	20.6	17.1	2.14	12.02	4.45	32.3	54.5	1.84	13.35	4.90
0:02:30	20.5	17	2.13	11.98	4.44	32.4	54.5	1.84	13.37	4.94
0:02:33	20.4	16.9	2.14	11.96	4.43	32.4	54.6	1.85	13.39	4.94
0:02:36	20.3	16.8	2.12	11.92	4.41	32.5	54.7	1.84	13.40	4.95
0:02:39	20.2	16.7	2.12	11.90	4.41	32.5	54.7	1.86	13.44	4.95
0:02:42	20.1	16.6	2.13	11.87	4.40	32.7	54.8	1.86	13.46	4.96
0:02:45	20	16.5	2.12	11.85	4.39	32.8	54.9	1.86	13.48	4.97
0:02:48	19.9	16.4	2.11	11.83	4.39	32.8	55	1.87	13.50	4.97
0:02:51	19.8	16.3	2.10	11.79	4.38	32.9	55	1.86	13.52	4.98
0:02:54	19.7	16.2	2.10	11.75	4.36	33.2	55.1	1.86	13.55	4.99
0:02:57	19.6	16.1	2.09	11.74	4.36	33	55.2	1.87	13.57	4.99
0:03:00	19.5	16	2.10	11.72	4.35	33.1	55.3	1.87	13.59	5.00
0:03:03	19.4	15.9	2.10	11.70	4.35	33.2	55.4	1.87	13.61	4.98
0:03:06	19.3	15.8	2.10	11.66	4.35	33.3	55.4	1.88	13.65	5.00
0:03:09	19.3	15.8	2.09	11.68	4.34	33.5	55.5	1.88	13.67	5.00
0:03:12	19.2	15.7	2.10	11.64	4.35	33.5	55.6	1.88	13.69	5.00
0:03:15	19.1	15.6	2.08	11.62	4.34	33.6	55.7	1.89	13.70	5.01
0:03:18	19	15.5	2.09	11.60	4.34	33.5	55.8	1.88	13.74	5.01
0:03:21	19	15.4	2.08	11.59	4.34	33.6	55.9	1.89	13.76	5.02

ตารางที่ ข.1 แสดงข้อมูลดิบจากการวัดที่อัตราการไหลของน้ำร้อน 6 litre/min (ต่อ)

Time	T _{cw,i}	T _{cw,o}	W _R	P _{c,22}	P _{e,22}	T _{hw,i}	T _{hw,o}	W _{HP}	P _{c,134}	P _{e,134}
0:03:24	18.9	15.4	2.07	11.57	4.34	33.7	56	1.89	13.78	5.02
0:03:27	18.8	15.3	2.08	11.57	4.34	34	56.1	1.90	13.82	5.02
0:03:30	18.7	15.2	2.08	11.55	4.34	33.9	56.1	1.90	13.84	5.04
0:03:33	18.7	15.1	2.07	11.51	4.34	34	56.2	1.91	13.85	5.03
0:03:36	18.6	15.1	2.06	11.51	4.34	34.1	56.3	1.91	13.87	5.03
0:03:39	18.5	15	2.07	11.51	4.34	34.5	56.4	1.92	13.89	5.04
0:03:42	18.5	14.9	2.07	11.49	4.34	34.6	56.5	1.91	13.91	5.03
0:03:45	18.4	14.8	2.06	11.47	4.34	34.5	56.6	1.91	13.95	5.04
0:03:48	18.3	14.8	2.06	11.47	4.34	34.7	56.7	1.92	13.97	5.06
0:03:51	18.3	14.7	2.07	11.47	4.34	34.7	56.8	1.92	13.99	5.06
0:03:54	18.2	14.7	2.06	11.44	4.34	34.9	56.9	1.93	14.02	5.07
0:03:57	18.1	14.6	2.06	11.44	4.34	34.8	56.9	1.93	14.04	5.07
0:04:00	18.1	14.5	2.06	11.44	4.34	34.9	57	1.93	14.06	5.06
0:04:03	18	14.5	2.06	11.42	4.35	35.1	57.1	1.94	14.08	5.05
0:04:06	18	14.4	2.06	11.42	4.34	35.2	57.2	1.94	14.12	5.08
0:04:09	17.9	14.3	2.06	11.40	4.32	35.3	57.3	1.94	14.14	5.07
0:04:12	17.8	14.3	2.05	11.38	4.30	35.2	57.3	1.95	14.17	5.08
0:04:15	17.8	14.2	2.05	11.38	4.30	35.4	57.4	1.95	14.19	5.10
0:04:18	17.7	14.1	2.05	11.38	4.30	35.5	57.5	1.96	14.23	5.10
0:04:21	17.7	14.1	2.05	11.36	4.30	35.6	57.6	1.96	14.27	5.10
0:04:24	17.6	14	2.05	11.36	4.29	35.7	57.7	1.97	14.29	5.11
0:04:27	17.6	14	2.06	11.34	4.28	35.8	57.8	1.97	14.32	5.12
0:04:30	17.5	13.9	2.06	11.34	4.28	35.7	57.8	1.97	14.36	5.13
0:04:33	17.5	13.8	2.04	11.32	4.27	35.8	57.9	1.98	14.40	5.12
0:04:36	17.4	13.8	2.04	11.32	4.28	35.8	58	1.98	14.42	5.12
0:04:39	17.4	13.7	2.04	11.30	4.29	35.9	58.1	1.99	14.45	5.12
0:04:42	17.3	13.7	2.04	11.30	4.29	35.7	58.2	1.99	14.47	5.10
0:04:45	17.3	13.6	2.05	11.29	4.29	35.8	58.3	2.00	14.49	5.13
0:04:48	17.2	13.6	2.05	11.29	4.30	36	58.4	1.99	14.53	5.12
0:04:51	17.2	13.6	2.05	11.29	4.30	36	58.5	2.00	14.55	5.12
0:04:54	17.1	13.5	2.04	11.29	4.31	36.1	58.6	2.00	14.59	5.13
0:04:57	17.1	13.4	2.04	11.30	4.31	36.2	58.7	2.00	14.60	5.13
0:05:00	17	13.4	2.04	11.27	4.32	36.2	58.8	2.01	14.62	5.13
0:05:03	17	13.4	2.03	11.27	4.32	36.2	58.8	2.01	14.64	5.15
0:05:06	17	13.3	2.04	11.25	4.32	36.4	58.9	2.02	14.66	5.14
0:05:09	16.9	13.3	2.04	11.25	4.32	36.5	59	2.01	14.70	5.16
0:05:12	16.9	13.2	2.04	11.25	4.32	36.5	59.1	2.02	14.72	5.16

ตารางที่ ข.1 แสดงข้อมูลดิบจากการวัดที่อัตราการไหลของน้ำร้อน 6 litre/min (ต่อ)

Time	T _{cw,i}	T _{cw,o}	W _R	P _{c,22}	P _{e,22}	T _{hw,i}	T _{hw,o}	W _{HP}	P _{c,134}	P _{e,134}
0:05:15	16.8	13.2	2.05	11.25	4.32	36.5	59.2	2.02	14.74	5.15
0:05:18	16.8	13.2	2.05	11.25	4.32	36.7	59.3	2.02	14.75	5.14
0:05:21	16.7	13.1	2.05	11.25	4.32	36.8	59.4	2.03	14.77	5.15
0:05:24	16.7	13.1	2.04	11.25	4.33	36.9	59.4	2.03	14.79	5.14
0:05:27	16.7	13	2.05	11.23	4.32	36.9	59.5	2.04	14.81	5.16
0:05:30	16.6	13	2.03	11.25	4.33	37	59.6	2.05	14.83	5.15
0:05:33	16.6	13	2.03	11.25	4.32	37.1	59.7	2.04	14.87	5.14
0:05:36	16.5	12.9	2.04	11.27	4.31	37.2	59.7	2.04	14.89	5.15
0:05:39	16.5	12.9	2.03	11.27	4.31	37.3	59.8	2.05	14.90	5.16
0:05:42	16.5	12.8	2.04	11.25	4.31	37.3	59.9	2.06	14.94	5.16
0:05:45	16.4	12.8	2.04	11.25	4.31	37.4	59.9	2.06	14.96	5.17
0:05:48	16.4	12.7	2.04	11.23	4.30	37.4	60	2.05	15.00	5.19
0:05:51	16.4	12.7	2.04	11.23	4.30	37.4	60.1	2.07	15.02	5.17
0:05:54	16.3	12.7	2.04	11.23	4.30	37.5	60.1	2.07	15.05	5.19
0:05:57	16.3	12.6	2.05	11.23	4.29	37.6	60.2	2.07	15.07	5.17
0:06:00	16.3	12.6	2.05	11.23	4.29	37.7	60.3	2.07	15.11	5.18
0:06:03	16.2	12.6	2.04	11.23	4.29	37.7	60.4	2.08	15.15	5.20
0:06:06	16.2	12.6	2.04	11.21	4.29	37.8	60.5	2.09	15.17	5.18
0:06:09	16.2	12.5	2.03	11.23	4.30	37.9	60.5	2.09	15.20	5.20
0:06:12	16.1	12.5	2.01	11.23	4.29	38	60.6	2.09	15.22	5.21
0:06:15	16.1	12.4	2.03	11.21	4.30	38	60.7	2.10	15.26	5.21
0:06:18	16.1	12.4	2.03	11.21	4.30	38.1	60.8	2.10	15.28	5.23
0:06:21	16	12.4	2.03	11.21	4.30	38.2	60.9	2.11	15.32	5.21
0:06:24	16	12.4	2.03	11.21	4.30	38.3	60.9	2.10	15.34	5.22
0:06:27	16	12.3	2.03	11.19	4.30	38.4	61	2.11	15.35	5.20
0:06:30	15.9	12.3	2.03	11.21	4.29	38.5	61.1	2.11	15.37	5.21
0:06:33	15.9	12.3	2.02	11.21	4.30	38.6	61.2	2.11	15.39	5.20
0:06:36	15.9	12.2	2.03	11.21	4.30	38.7	61.3	2.12	15.41	5.22
0:06:39	15.9	12.2	2.04	11.21	4.29	38.8	61.3	2.12	15.43	5.23
0:06:42	15.8	12.2	2.03	11.21	4.30	38.9	61.4	2.12	15.47	5.23
0:06:45	15.8	12.2	2.04	11.23	4.29	39	61.5	2.13	15.50	5.25
0:06:48	15.8	12.1	2.03	11.23	4.29	39.2	61.6	2.14	15.52	5.25
0:06:51	15.8	12.1	2.04	11.21	4.29	39.3	61.6	2.13	15.56	5.26
0:06:54	15.7	12.1	2.04	11.23	4.29	39.3	61.7	2.14	15.58	5.25
0:06:57	15.7	12.1	2.04	11.21	4.29	39.3	61.8	2.14	15.62	5.26
0:07:00	15.7	12.1	2.03	11.19	4.29	39.5	61.9	2.15	15.64	5.27

ตารางที่ ข.1 แสดงข้อมูลดิบจากการวัดที่อัตราการไหลของน้ำร้อน 6 litre/min (ต่อ)

Time	T _{cw,i}	T _{cw,o}	W _R	P _{c,22}	P _{e,22}	T _{hw,i}	T _{hw,o}	W _{HP}	P _{c,134}	P _{e,134}
0:07:03	15.7	12	2.03	11.19	4.28	39.5	61.9	2.15	15.67	5.27
0:07:06	15.7	12	2.03	11.19	4.28	39.5	62	2.16	15.69	5.26
0:07:09	15.6	12	2.01	11.19	4.28	39.7	62.1	2.16	15.73	5.29
0:07:12	15.6	12	2.03	11.17	4.28	39.7	62.2	2.16	15.77	5.27
0:07:15	15.6	12	2.03	11.17	4.28	39.7	62.3	2.17	15.80	5.29
0:07:18	15.6	12	2.03	11.19	4.27	39.7	62.3	2.17	15.82	5.29
0:07:21	15.6	11.9	2.03	11.17	4.28	39.8	62.4	2.18	15.86	5.30
0:07:24	15.5	11.9	2.01	11.17	4.27	39.9	62.5	2.19	15.90	5.31
0:07:27	15.5	11.9	2.02	11.15	4.28	39.9	62.6	2.18	15.94	5.31
0:07:30	15.5	11.9	2.01	11.17	4.28	40	62.7	2.19	15.95	5.31
0:07:33	15.5	11.9	2.02	11.15	4.29	40.1	62.7	2.20	15.99	5.32
0:07:36	15.5	11.8	2.02	11.15	4.29	40.3	62.8	2.21	16.01	5.31
0:07:39	15.5	11.8	2.01	11.15	4.29	40.3	62.9	2.20	16.05	5.31
0:07:42	15.5	11.8	2.01	11.15	4.28	40.4	63	2.21	16.07	5.32
0:07:45	15.4	11.8	2.02	11.17	4.28	40.5	63.1	2.22	16.09	5.31
0:07:48	15.4	11.8	2.01	11.15	4.28	40.7	63.2	2.21	16.12	5.31
0:07:51	15.4	11.8	2.02	11.15	4.28	40.8	63.2	2.22	16.14	5.32
0:07:54	15.4	11.8	2.02	11.17	4.28	40.9	63.3	2.22	16.16	5.32
0:07:57	15.4	11.8	2.00	11.17	4.28	41.1	63.4	2.21	16.20	5.32
0:08:00	15.4	11.7	2.02	11.19	4.28	41.1	63.5	2.22	16.22	5.33
0:08:03	15.4	11.7	2.02	11.17	4.28	41.3	63.6	2.24	16.24	5.32
0:08:06	15.3	11.7	2.02	11.19	4.28	41.2	63.7	2.23	16.27	5.34
0:08:09	15.3	11.7	2.03	11.17	4.28	41.4	63.7	2.24	16.29	5.34
0:08:12	15.3	11.7	2.02	11.19	4.27	41.3	63.8	2.25	16.33	5.35
0:08:15	15.3	11.7	2.03	11.17	4.28	41.4	63.9	2.25	16.37	5.35
0:08:18	15.3	11.6	2.03	11.17	4.27	41.4	64	2.26	16.39	5.36
0:08:21	15.3	11.6	2.03	11.17	4.26	41.4	64	2.25	16.42	5.37
0:08:24	15.3	11.6	2.03	11.17	4.26	41.5	64.1	2.26	16.46	5.36
0:08:27	15.3	11.6	2.03	11.17	4.26	41.5	64.2	2.27	16.50	5.38
0:08:30	15.3	11.6	2.03	11.17	4.26	41.6	64.3	2.27	16.54	5.38
0:08:33	15.3	11.6	2.02	11.17	4.26	41.7	64.3	2.28	16.57	5.39
0:08:36	15.2	11.6	2.03	11.17	4.26	41.7	64.4	2.29	16.61	5.37
0:08:39	15.2	11.6	2.02	11.17	4.26	41.8	64.5	2.28	16.63	5.40
0:08:42	15.2	11.6	2.03	11.17	4.26	41.9	64.6	2.29	16.67	5.39
0:08:45	15.2	11.6	2.03	11.17	4.26	42	64.7	2.29	16.69	5.39

ตารางที่ ข.1 แสดงข้อมูลดิบจากการวัดที่อัตราการไหลของน้ำร้อน 6 litre/min (ต่อ)

Time	T _{cw,i}	T _{cw,o}	W _R	P _{c,22}	P _{e,22}	T _{hw,i}	T _{hw,o}	W _{HP}	P _{c,134}	P _{e,134}
0:08:48	15.2	11.6	2.02	11.17	4.26	42.1	64.8	2.29	16.72	5.38
0:08:51	15.2	11.6	2.04	11.15	4.26	42.2	64.9	2.30	16.74	5.39
0:08:54	15.2	11.6	2.02	11.19	4.26	42.3	64.9	2.31	16.76	5.39
0:08:57	15.2	11.5	2.03	11.19	4.26	42.4	65	2.30	16.80	5.39
0:09:00	15.2	11.5	2.03	11.19	4.27	42.5	65.1	2.31	16.82	5.40
0:09:03	15.2	11.5	2.03	11.21	4.26	42.6	65.2	2.30	16.84	5.39
0:09:06	15.2	11.5	2.02	11.21	4.26	42.7	65.3	2.32	16.85	5.40
0:09:09	15.2	11.5	2.03	11.21	4.26	42.8	65.3	2.32	16.89	5.41
0:09:12	15.2	11.5	2.02	11.21	4.26	42.9	65.4	2.33	16.91	5.41
0:09:15	15.2	11.5	2.02	11.21	4.26	43	65.5	2.32	16.95	5.41
0:09:18	15.2	11.5	2.01	11.23	4.26	43.1	65.6	2.33	16.99	5.42
0:09:21	15.2	11.5	2.02	11.23	4.25	43.1	65.7	2.34	17.00	5.42
0:09:24	15.2	11.5	2.02	11.21	4.26	43.2	65.7	2.34	17.04	5.42
0:09:27	15.1	11.5	2.02	11.23	4.25	43.3	65.8	2.34	17.08	5.43
0:09:30	15.1	11.5	2.02	11.23	4.25	43.4	65.9	2.35	17.10	5.43
0:09:33	15.1	11.5	2.02	11.23	4.26	43.4	66	2.34	17.14	5.46
0:09:36	15.1	11.5	2.03	11.21	4.25	43.4	66	2.37	17.17	5.45
0:09:39	15.1	11.5	2.02	11.23	4.25	43.5	66.1	2.36	17.21	5.46
0:09:42	15.1	11.5	2.02	11.23	4.26	43.5	66.2	2.37	17.23	5.45
0:09:45	15.1	11.5	2.02	11.23	4.26	43.6	66.3	2.37	17.27	5.46
0:09:48	15.1	11.5	2.03	11.23	4.26	43.7	66.3	2.37	17.30	5.46
0:09:51	15.1	11.4	2.02	11.23	4.25	43.8	66.4	2.37	17.34	5.47
0:09:54	15.1	11.5	2.03	11.25	4.25	43.8	66.5	2.39	17.36	5.46
0:09:57	15.1	11.4	2.03	11.23	4.25	43.9	66.6	2.39	17.40	5.48
0:10:00	15.1	11.5	2.03	11.25	4.26	44	66.7	2.39	17.42	5.47
0:10:03	15.1	11.5	2.04	11.25	4.25	44.1	66.7	2.39	17.45	5.48
0:10:06	15.1	11.5	2.04	11.27	4.25	44.3	66.8	2.40	17.49	5.49
0:10:09	15.1	11.5	2.03	11.27	4.26	44.3	66.9	2.40	17.51	5.49
0:10:12	15.1	11.5	2.04	11.27	4.25	44.5	67	2.41	17.53	5.49
0:10:15	15.1	11.5	2.04	11.27	4.26	44.6	67.1	2.41	17.57	5.50
0:10:18	15.1	11.5	2.05	11.27	4.26	44.6	67.2	2.41	17.59	5.50
0:10:21	15.1	11.5	2.04	11.27	4.26	44.8	67.2	2.41	17.60	5.49
0:10:24	15.1	11.4	2.04	11.27	4.26	44.9	67.3	2.42	17.64	5.51
0:10:27	15.1	11.4	2.04	11.27	4.26	44.9	67.4	2.42	17.66	5.50
0:10:30	15.1	11.4	2.03	11.29	4.26	45	67.5	2.42	17.70	5.51
0:10:33	15.1	11.4	2.03	11.30	4.26	45.1	67.6	2.43	17.74	5.51

ตารางที่ ข.1 แสดงข้อมูลดิบจากการวัดที่อัตราการไหลของน้ำร้อน 6 litre/min (ต่อ)

Time	T _{cw,i}	T _{cw,o}	W _R	P _{c,22}	P _{e,22}	T _{hw,i}	T _{hw,o}	W _{HP}	P _{c,134}	P _{e,134}
0:10:36	15.1	11.4	2.04	11.29	4.26	45.1	67.6	2.44	17.75	5.53
0:10:39	15.1	11.4	2.03	11.30	4.26	45.1	67.7	2.44	17.79	5.52
0:10:42	15.1	11.4	2.03	11.30	4.26	45.3	67.8	2.45	17.83	5.54
0:10:45	15	11.4	2.02	11.29	4.26	45.2	67.8	2.45	17.87	5.54
0:10:48	15	11.4	2.03	11.30	4.26	45.4	67.9	2.45	17.90	5.53
0:10:51	15	11.4	2.03	11.30	4.25	45.4	68	2.46	17.94	5.54
0:10:54	15	11.4	2.02	11.32	4.26	45.5	68.1	2.46	17.96	5.54
0:10:57	15	11.4	2.03	11.30	4.26	45.6	68.2	2.48	18.00	5.55
0:11:00	15	11.4	2.03	11.32	4.26	45.6	68.2	2.48	18.04	5.56
0:11:03	15	11.4	2.03	11.30	4.26	45.8	68.3	2.49	18.07	5.56
0:11:06	15	11.4	2.04	11.32	4.25	45.9	68.4	2.48	18.09	5.56
0:11:09	15	11.4	2.04	11.32	4.26	45.9	68.5	2.49	18.13	5.56
0:11:12	15	11.4	2.04	11.32	4.26	46	68.6	2.49	18.15	5.56
0:11:15	15	11.4	2.05	11.32	4.26	46.1	68.6	2.50	18.19	5.56
0:11:18	15	11.4	2.03	11.32	4.26	46.2	68.7	2.50	18.20	5.56
0:11:21	15	11.4	2.04	11.32	4.26	46.2	68.8	2.50	18.24	5.57
0:11:24	15	11.4	2.05	11.34	4.26	46.3	68.9	2.51	18.26	5.57
0:11:27	15	11.4	2.04	11.34	4.26	46.4	69	2.51	18.30	5.57
0:11:30	15	11.4	2.04	11.34	4.26	46.5	69.1	2.52	18.32	5.58
0:11:33	15	11.4	2.05	11.34	4.26	46.6	69.1	2.52	18.35	5.57
0:11:36	15	11.4	2.05	11.36	4.26	46.7	69.2	2.53	18.37	5.58
0:11:39	14.9	11.4	2.03	11.36	4.26	46.8	69.3	2.53	18.41	5.59
0:11:42	15	11.4	2.04	11.36	4.26	46.9	69.4	2.53	18.43	5.59
0:11:45	15	11.4	2.04	11.36	4.26	46.8	69.4	2.53	18.47	5.60
0:11:48	14.9	11.4	2.03	11.36	4.26	46.8	69.5	2.54	18.50	5.61
0:11:51	14.9	11.4	2.03	11.38	4.26	46.9	69.6	2.55	18.54	5.61
0:11:54	14.9	11.4	2.03	11.36	4.26	46.9	69.7	2.56	18.56	5.62
0:11:57	14.9	11.3	2.04	11.38	4.25	47	69.7	2.56	18.60	5.61
0:12:00	14.9	11.3	2.04	11.38	4.25	47.1	69.8	2.55	18.64	5.61
0:12:03	14.9	11.3	2.05	11.38	4.26	47.1	69.9	2.57	18.67	5.62
0:12:06	15	11.4	2.05	11.40	4.25	47.3	70	2.57	18.71	5.63
0:12:09	15	11.4	2.05	11.38	4.26	47.3	70	2.57	18.75	5.64
0:12:12	15	11.4	2.05	11.40	4.25	47.4	70.1	2.58	18.77	5.64
0:12:15	15	11.4	2.05	11.42	4.26	47.5	70.2	2.58	18.80	5.65
0:12:18	15	11.4	2.04	11.42	4.26	47.6	70.3	2.58	18.82	5.65
0:12:21	15	11.4	2.05	11.42	4.26	47.7	70.4	2.59	18.86	5.66

ตารางที่ ข.1 แสดงข้อมูลดิบจากการวัดที่อัตราการไหลของน้ำร้อน 6 litre/min (ต่อ)

Time	T _{cw,i}	T _{cw,o}	W _R	P _{c,22}	P _{e,22}	T _{hw,i}	T _{hw,o}	W _{HP}	P _{c,134}	P _{e,134}
0:12:24	15	11.4	2.05	11.44	4.26	47.8	70.5	2.59	18.88	5.66
0:12:27	15	11.4	2.05	11.44	4.26	47.9	70.5	2.59	18.90	5.66
0:12:30	15	11.4	2.04	11.44	4.26	47.9	70.6	2.60	18.94	5.67
0:12:33	15	11.4	2.05	11.44	4.26	48	70.7	2.60	18.95	5.66
0:12:36	15	11.4	2.05	11.45	4.26	48.2	70.8	2.61	18.99	5.67
0:12:39	15	11.4	2.05	11.45	4.26	48.2	70.9	2.60	19.01	5.68
0:12:42	15	11.4	2.06	11.45	4.26	48.3	70.9	2.62	19.05	5.68
0:12:45	15	11.4	2.06	11.47	4.26	48.4	71	2.62	19.09	5.68
0:12:48	15	11.4	2.05	11.47	4.26	48.5	71.1	2.62	19.10	5.69
0:12:51	15	11.4	2.04	11.47	4.26	48.6	71.2	2.63	19.14	5.69
0:12:54	15	11.4	2.04	11.47	4.26	48.6	71.2	2.63	19.18	5.70
0:12:57	15	11.4	2.04	11.49	4.26	48.7	71.3	2.64	19.22	5.70
0:13:00	15	11.4	2.05	11.49	4.26	48.8	71.4	2.64	19.24	5.70
0:13:03	15	11.4	2.06	11.51	4.26	48.8	71.4	2.65	19.27	5.72
0:13:06	15	11.4	2.06	11.49	4.26	48.9	71.5	2.65	19.31	5.71
0:13:09	15	11.4	2.06	11.51	4.26	49	71.6	2.65	19.35	5.73
0:13:12	15	11.4	2.06	11.51	4.26	49.1	71.7	2.67	19.39	5.72
0:13:15	15	11.4	2.05	11.51	4.26	49.2	71.7	2.66	19.42	5.73
0:13:18	15	11.4	2.05	11.51	4.26	49.3	71.8	2.67	19.46	5.74
0:13:21	15	11.4	2.05	11.53	4.26	49.3	71.9	2.68	19.48	5.73
0:13:24	15	11.4	2.05	11.53	4.26	49.4	72	2.68	19.52	5.75
0:13:27	15	11.4	2.06	11.53	4.26	49.5	72.1	2.69	19.55	5.75
0:13:30	15	11.4	2.06	11.55	4.25	49.6	72.2	2.69	19.59	5.75
0:13:33	15	11.4	2.06	11.53	4.26	49.7	72.3	2.70	19.63	5.76
0:13:36	15	11.4	2.06	11.55	4.26	49.8	72.3	2.69	19.65	5.76
0:13:39	15	11.4	2.05	11.55	4.26	49.8	72.4	2.70	19.69	5.76
0:13:42	15	11.4	2.06	11.55	4.26	49.9	72.5	2.71	19.72	5.77
0:13:45	15	11.4	2.05	11.57	4.26	49.9	72.6	2.71	19.76	5.77
0:13:48	15	11.4	2.06	11.57	4.26	49.9	72.6	2.72	19.78	5.78
0:13:51	15	11.4	2.07	11.57	4.26	49.9	72.7	2.72	19.82	5.78
0:13:54	15	11.4	2.07	11.57	4.26	49.9	72.8	2.73	19.85	5.78
0:13:57	15	11.5	2.06	11.59	4.26	50	72.9	2.73	19.89	5.78
0:14:00	15	11.5	2.06	11.59	4.26	50.1	73	2.74	19.93	5.79
0:14:03	15	11.5	2.06	11.59	4.26	50.2	73	2.75	19.95	5.80
0:14:06	15	11.5	2.07	11.59	4.26	50.2	73.1	2.75	19.99	5.80

ตารางที่ ข.1 แสดงข้อมูลดิบจากการวัดที่อัตราการไหลของน้ำร้อน 6 litre/min (ต่อ)

Time	T _{cw,i}	T _{cw,o}	W _R	P _{c,22}	P _{e,22}	T _{hw,i}	T _{hw,o}	W _{HP}	P _{c,134}	P _{e,134}
0:14:09	15	11.5	2.08	11.60	4.26	50.3	73.2	2.76	20.02	5.81
0:14:12	15	11.5	2.07	11.60	4.26	50.4	73.3	2.76	20.06	5.81
0:14:15	15	11.5	2.07	11.62	4.26	50.4	73.3	2.76	20.08	5.81
0:14:18	15	11.5	2.05	11.62	4.27	50.5	73.4	2.75	20.10	5.81
0:14:21	15	11.5	2.08	11.64	4.27	50.6	73.5	2.76	20.14	5.82
0:14:24	15	11.5	2.07	11.64	4.27	50.7	73.6	2.76	20.15	5.81
0:14:27	15.1	11.5	2.08	11.64	4.26	50.8	73.6	2.77	20.17	5.81
0:14:30	15.1	11.5	2.08	11.66	4.26	50.9	73.7	2.78	20.19	5.82
0:14:33	15	11.5	2.07	11.68	4.26	51	73.8	2.79	20.23	5.83
0:14:36	15.1	11.5	2.07	11.68	4.26	51	73.8	2.78	20.25	5.83
0:14:39	15.1	11.5	2.09	11.70	4.27	51.1	73.9	2.78	20.27	5.83
0:14:42	15.1	11.5	2.09	11.70	4.27	51.2	74	2.80	20.30	5.84
0:14:45	15.1	11.5	2.08	11.72	4.27	51.4	74	2.79	20.32	5.84
0:14:48	15.1	11.5	2.08	11.70	4.26	51.4	74.1	2.80	20.36	5.85
0:14:51	15.1	11.5	2.07	11.72	4.26	51.5	74.2	2.79	20.40	5.86
0:14:54	15.1	11.5	2.09	11.72	4.26	51.5	74.3	2.81	20.42	5.86
0:14:57	15.1	11.5	2.09	11.74	4.26	51.6	74.3	2.82	20.45	5.87
0:15:00	15.1	11.5	2.09	11.74	4.26	51.6	74.4	2.80	20.47	5.88
0:15:03	15.1	11.5	2.08	11.74	4.26	51.7	74.4	2.82	20.51	5.88
0:15:06	15.1	11.5	2.08	11.75	4.26	51.8	74.5	2.81	20.55	5.88
0:15:09	15.1	11.6	2.09	11.75	4.27	51.8	74.6	2.83	20.59	5.88
0:15:12	15.1	11.6	2.08	11.77	4.27	51.9	74.6	2.83	20.60	5.89
0:15:15	15.1	11.6	2.08	11.77	4.26	51.9	74.7	2.83	20.64	5.90
0:15:18	15.1	11.6	2.09	11.77	4.27	52	74.8	2.85	20.68	5.89
0:15:21	15.1	11.6	2.09	11.79	4.27	52.1	74.9	2.84	20.72	5.91
0:15:24	15.1	11.6	2.09	11.79	4.27	52.1	74.9	2.85	20.75	5.91
0:15:27	15.1	11.6	2.09	11.81	4.27	52.2	75	2.85	20.77	5.91
0:15:30	15.1	11.6	2.08	11.81	4.27	52.4	75.1	2.86	20.81	5.92
0:15:33	15.1	11.6	2.10	11.83	4.27	52.5	75.2	2.86	20.85	5.92
0:15:36	15.1	11.6	2.10	11.83	4.26	52.6	75.2	2.88	20.89	5.92
0:15:39	15.1	11.6	2.09	11.85	4.27	52.8	75.3	2.87	20.90	5.94
0:15:42	15.1	11.6	2.09	11.85	4.27	52.9	75.4	2.88	20.94	5.94
0:15:45	15.1	11.6	2.10	11.85	4.27	52.9	75.5	2.88	20.96	5.95
0:15:48	15.2	11.6	2.10	11.87	4.26	52.9	75.5	2.88	21.00	5.94
0:15:51	15.2	11.6	2.09	11.87	4.26	52.9	75.6	2.89	21.02	5.95
0:15:54	15.2	11.6	2.10	11.87	4.26	52.9	75.7	2.89	21.05	5.95

ตารางที่ ข.1 แสดงข้อมูลดิบจากการวัดที่อัตราการไหลของน้ำร้อน 6 litre/min (ต่อ)

Time	$T_{cw,i}$	$T_{cw,o}$	W_R	$P_{c,22}$	$P_{e,22}$	$T_{hw,i}$	$T_{hw,o}$	W_{HP}	$P_{c,134}$	$P_{e,134}$
0:15:57	15.2	11.6	2.10	11.87	4.26	53	75.8	2.90	21.09	5.95
0:16:00	15.2	11.6	2.10	11.89	4.26	53.1	75.8	2.91	21.11	5.96
0:16:03	15.2	11.6	2.09	11.90	4.26	53.1	75.9	2.91	21.17	5.96
0:16:06	15.2	11.6	2.10	11.90	4.27	53.2	76	2.92	21.20	5.97
0:16:09	15.2	11.6	2.11	11.90	4.27	53.3	76.1	2.93	21.24	5.97
0:16:12	15.2	11.7	2.10	11.92	4.27	53.5	76.1	2.92	21.28	5.99
0:16:15	15.2	11.7	2.10	11.92	4.27	53.6	76.2	2.94	21.32	5.99
0:16:18	15.2	11.7	2.10	11.92	4.27	53.7	76.3	2.93	21.35	5.99
0:16:21	15.2	11.7	2.10	11.94	4.27	53.8	76.4	2.93	21.37	5.99
0:16:24	15.2	11.7	2.10	11.94	4.27	53.9	76.4	2.94	21.41	6.00
0:16:27	15.2	11.7	2.11	11.96	4.27	54	76.5	2.96	21.43	6.01
0:16:30	15.2	11.7	2.11	11.98	4.27	54.1	76.6	2.95	21.47	6.01
0:16:33	15.2	11.7	2.11	11.98	4.27	54.1	76.7	2.97	21.49	6.01
0:16:36	15.2	11.7	2.11	11.98	4.27	54.1	76.8	2.96	21.52	6.02
0:16:39	15.2	11.7	2.11	11.98	4.28	54.2	76.9	2.97	21.56	6.01
0:16:42	15.3	11.7	2.11	12.02	4.27	54.2	76.9	2.97	21.60	6.04
0:16:45	15.2	11.7	2.11	12.02	4.27	54.2	77	2.98	21.64	6.04
0:16:48	15.3	11.7	2.11	12.02	4.28	54.3	77.1	2.98	21.67	6.04
0:16:51	15.3	11.7	2.12	12.04	4.28	54.4	77.2	2.99	21.71	6.05
0:16:54	15.3	11.7	2.12	12.04	4.28	54.5	77.2	3.00	21.75	6.06
0:16:57	15.3	11.7	2.12	12.04	4.28	54.6	77.3	2.99	21.79	6.07
0:17:00	15.3	11.7	2.12	12.05	4.27	54.8	77.4	3.01	21.82	6.07
0:17:03	15.3	11.7	2.12	12.05	4.28	54.9	77.5	3.02	21.86	6.07
0:17:06	15.3	11.7	2.12	12.07	4.27	55	77.6	3.01	21.90	6.07
0:17:09	15.2	11.7	2.12	12.07	4.27	55.1	77.6	3.01	21.92	6.07
0:17:12	15.3	11.7	2.12	12.09	4.27	55.2	77.7	3.02	21.95	6.08
0:17:15	15.3	11.7	2.12	12.09	4.27	55.2	77.8	3.03	21.97	6.08
0:17:18	15.3	11.7	2.12	12.11	4.27	55.3	77.9	3.03	22.01	6.08

ข้อมูลที่ได้จากการวัดการทดลองที่อัตราการไหลของน้ำเย็น 27 litre/min และอัตราการไหลของน้ำร้อน 12 litre/min แสดงดังตารางที่ ข.2

ตารางที่ ข.2 แสดงข้อมูลดิบจากการวัดที่อัตราการไหลของน้ำร้อน 12 litre/min

Time	$T_{cw,i}$	$T_{cw,o}$	W_R	$P_{c,22}$	$P_{e,22}$	$T_{hw,i}$	$T_{hw,o}$	W_{HP}	$P_{c,134}$	$P_{e,134}$
0:00:00	22.1	22	2.40	10.52	8.67	30.7	31.4	1.33	9.35	7.72
0:00:03	22.2	22	2.49	11.57	6.25	30.6	31.4	1.33	9.35	6.81
0:00:06	22.2	22.1	2.39	12.11	5.68	30.7	31.5	1.41	10.14	6.36
0:00:09	22.2	22.1	2.41	12.11	5.45	30.7	31.7	1.45	10.40	5.79
0:00:12	22.2	22	2.29	12.19	4.98	30.7	32.3	1.47	10.59	5.64
0:00:15	22.2	21.7	2.24	12.13	4.75	30.7	33.2	1.51	10.72	5.59
0:00:18	22.3	21.3	2.20	12.02	4.62	30.7	34.2	1.52	10.82	5.48
0:00:21	22.3	20.9	2.17	11.90	4.49	30.7	35.3	1.52	10.87	5.39
0:00:24	22.3	20.6	2.15	11.83	4.38	30.7	36.3	1.52	10.91	5.22
0:00:27	22.3	20.3	2.13	11.75	4.31	30.6	37.2	1.53	10.91	5.13
0:00:30	22.3	20.1	2.13	11.72	4.26	30.7	38	1.53	10.89	5.03
0:00:33	22.4	19.9	2.13	11.68	4.26	30.7	38.8	1.52	10.87	4.89
0:00:36	22.4	19.7	2.13	11.72	4.27	30.7	39.4	1.52	10.84	4.77
0:00:39	22.4	19.6	2.15	11.74	4.31	30.7	39.9	1.52	10.82	4.70
0:00:42	22.4	19.5	2.16	11.79	4.34	30.7	40.3	1.51	10.78	4.65
0:00:45	22.3	19.4	2.18	11.83	4.38	30.7	40.7	1.51	10.76	4.60
0:00:48	22.3	19.2	2.19	11.92	4.41	30.7	41	1.50	10.74	4.59
0:00:51	22.2	19	2.18	11.98	4.41	30.8	41.2	1.50	10.74	4.61
0:00:54	22.1	18.8	2.21	12.04	4.42	30.8	41.4	1.50	10.72	4.56
0:00:57	22	18.6	2.20	12.09	4.42	30.9	41.6	1.51	10.72	4.56
0:01:00	21.9	18.4	2.20	12.15	4.42	31	41.7	1.50	10.70	4.55
0:01:03	21.8	18.2	2.20	12.17	4.41	31	41.8	1.50	10.72	4.56
0:01:06	21.6	18	2.22	12.20	4.40	31.1	41.9	1.50	10.72	4.54
0:01:09	21.5	17.8	2.21	12.26	4.39	31.2	42	1.50	10.74	4.54
0:01:12	21.4	17.7	2.20	12.28	4.37	31.3	42.1	1.50	10.76	4.56
0:01:15	21.3	17.6	2.19	12.28	4.36	31.3	42.2	1.51	10.78	4.58
0:01:18	21.2	17.5	2.20	12.26	4.34	31.4	42.2	1.51	10.80	4.60
0:01:21	21.1	17.4	2.20	12.26	4.33	31.5	42.3	1.51	10.82	4.64
0:01:24	20.9	17.2	2.18	12.24	4.30	31.6	42.4	1.51	10.84	4.61
0:01:27	20.8	17.1	2.19	12.24	4.28	31.7	42.5	1.51	10.85	4.64
0:01:30	20.7	17	2.19	12.22	4.26	31.8	42.6	1.52	10.87	4.64
0:01:33	20.6	16.9	2.17	12.22	4.26	31.8	42.6	1.52	10.91	4.65
0:01:36	20.5	16.8	2.17	12.19	4.24	31.9	42.7	1.53	10.93	4.65

ตารางที่ ข.2 แสดงข้อมูลดิบจากการวัดที่อัตราการไหลของน้ำร้อน 12 litre/min (ต่อ)

Time	$T_{cw,j}$	$T_{cw,o}$	W_R	$P_{c,22}$	$P_{e,22}$	$T_{hw,j}$	$T_{hw,o}$	W_{HP}	$P_{c,134}$	$P_{e,134}$
0:01:39	20.3	16.7	2.17	12.17	4.23	32	42.8	1.52	10.95	4.66
0:01:42	20.2	16.5	2.16	12.13	4.22	32	42.9	1.53	10.99	4.70
0:01:45	20.1	16.4	2.15	12.09	4.20	32.1	43	1.53	11.00	4.71
0:01:48	20	16.3	2.14	12.05	4.19	32.2	43.1	1.53	11.02	4.70
0:01:51	19.9	16.2	2.15	12.05	4.18	32.2	43.2	1.54	11.04	4.70
0:01:54	19.8	16.1	2.14	12.02	4.18	32.3	43.3	1.55	11.06	4.68
0:01:57	19.7	16	2.12	12.00	4.17	32.4	43.4	1.54	11.08	4.70
0:02:00	19.6	15.9	2.13	11.96	4.16	32.4	43.5	1.55	11.10	4.69
0:02:03	19.5	15.9	2.13	11.94	4.14	32.5	43.6	1.54	11.12	4.70
0:02:06	19.4	15.8	2.13	11.90	4.15	32.6	43.7	1.55	11.15	4.71
0:02:09	19.3	15.7	2.12	11.89	4.14	32.7	43.8	1.55	11.17	4.71
0:02:12	19.2	15.6	2.12	11.89	4.14	32.8	43.9	1.56	11.17	4.71
0:02:15	19.1	15.5	2.13	11.87	4.13	32.9	43.9	1.55	11.21	4.73
0:02:18	19.1	15.4	2.13	11.85	4.14	33	44	1.56	11.23	4.73
0:02:21	19	15.3	2.11	11.83	4.13	33	44.1	1.56	11.25	4.74
0:02:24	18.9	15.2	2.10	11.83	4.13	33.1	44.2	1.56	11.27	4.74
0:02:27	18.8	15.2	2.12	11.81	4.12	33.2	44.3	1.56	11.29	4.73
0:02:30	18.7	15.1	2.11	11.79	4.12	33.3	44.4	1.57	11.30	4.74
0:02:33	18.7	15	2.10	11.77	4.12	33.4	44.5	1.57	11.34	4.78
0:02:36	18.6	14.9	2.10	11.75	4.11	33.4	44.5	1.57	11.36	4.79
0:02:39	18.5	14.8	2.11	11.72	4.11	33.5	44.6	1.59	11.40	4.80
0:02:42	18.5	14.8	2.08	11.70	4.10	33.6	44.7	1.58	11.42	4.78
0:02:45	18.4	14.7	2.08	11.68	4.08	33.7	44.8	1.59	11.44	4.77
0:02:48	18.3	14.6	2.09	11.66	4.08	33.7	44.9	1.59	11.47	4.79
0:02:51	18.2	14.6	2.08	11.62	4.08	33.8	45	1.60	11.49	4.78
0:02:54	18.2	14.5	2.08	11.60	4.06	33.9	45.1	1.59	11.53	4.79
0:02:57	18.1	14.5	2.09	11.59	4.06	34	45.2	1.60	11.55	4.79
0:03:00	18	14.4	2.08	11.57	4.06	34	45.3	1.60	11.57	4.79
0:03:03	18	14.3	2.08	11.57	4.05	34.1	45.4	1.61	11.59	4.82
0:03:06	17.9	14.3	2.07	11.55	4.07	34.2	45.4	1.61	11.60	4.79
0:03:09	17.9	14.2	2.07	11.55	4.06	34.3	45.5	1.62	11.62	4.75
0:03:12	17.8	14.2	2.06	11.53	4.05	34.3	45.6	1.62	11.64	4.77
0:03:15	17.8	14.1	2.07	11.53	4.06	34.4	45.7	1.62	11.66	4.78
0:03:18	17.7	14	2.07	11.51	4.06	34.5	45.8	1.63	11.68	4.80
0:03:21	17.7	14	2.07	11.51	4.07	34.6	45.9	1.62	11.72	4.83

ตารางที่ ข.2 แสดงข้อมูลดิบจากการวัดที่อัตราการไหลของน้ำร้อน 12 litre/min (ต่อ)

Time	T _{cw,i}	T _{cw,o}	W _R	P _{c,22}	P _{e,22}	T _{hw,i}	T _{hw,o}	W _{HP}	P _{c,134}	P _{e,134}
0:03:24	17.6	13.9	2.06	11.49	4.05	34.7	45.9	1.63	11.74	4.85
0:03:27	17.5	13.9	2.07	11.47	4.05	34.8	46	1.63	11.75	4.82
0:03:30	17.5	13.8	2.07	11.47	4.05	34.9	46.1	1.63	11.77	4.81
0:03:33	17.4	13.7	2.05	11.45	4.05	34.9	46.2	1.64	11.81	4.82
0:03:36	17.4	13.7	2.06	11.44	4.05	35	46.3	1.65	11.85	4.84
0:03:39	17.3	13.6	2.06	11.44	4.04	35.1	46.3	1.64	11.87	4.84
0:03:42	17.3	13.6	2.05	11.40	4.04	35.2	46.4	1.65	11.92	4.93
0:03:45	17.2	13.5	2.05	11.36	4.04	35.3	46.5	1.65	11.94	4.87
0:03:48	17.2	13.5	2.06	11.36	4.02	35.3	46.6	1.66	11.98	4.87
0:03:51	17.2	13.4	2.06	11.32	4.01	35.4	46.7	1.66	12.00	4.89
0:03:54	17.1	13.4	2.05	11.32	4.01	35.5	46.8	1.67	12.02	4.87
0:03:57	17.1	13.4	2.03	11.29	4.01	35.6	46.9	1.66	12.04	4.86
0:04:00	17	13.3	2.04	11.29	4.00	35.6	47	1.67	12.05	4.86
0:04:03	17	13.3	2.03	11.27	4.01	35.7	47.1	1.68	12.09	4.89
0:04:06	16.9	13.2	2.04	11.25	4.00	35.8	47.2	1.67	12.11	4.90
0:04:09	16.9	13.2	2.03	11.23	4.00	35.9	47.3	1.67	12.13	4.88
0:04:12	16.8	13.1	2.04	11.25	4.00	36	47.4	1.69	12.15	4.86
0:04:15	16.8	13.1	2.03	11.23	4.00	36	47.4	1.69	12.19	4.89
0:04:18	16.8	13.1	2.03	11.21	4.00	36.1	47.5	1.69	12.20	4.90
0:04:21	16.7	13	2.02	11.21	4.00	36.2	47.6	1.69	12.24	4.90
0:04:24	16.7	13	2.03	11.19	4.01	36.3	47.7	1.70	12.26	4.89
0:04:27	16.7	12.9	2.03	11.19	4.01	36.3	47.8	1.70	12.28	4.91
0:04:30	16.6	12.9	2.04	11.19	4.00	36.4	47.9	1.70	12.30	4.91
0:04:33	16.6	12.8	2.03	11.19	4.00	36.5	47.9	1.71	12.34	4.90
0:04:36	16.5	12.8	2.02	11.17	4.00	36.6	48	1.71	12.35	4.91
0:04:39	16.5	12.8	2.02	11.17	4.00	36.7	48.1	1.72	12.37	4.93
0:04:42	16.5	12.7	2.02	11.19	3.99	36.8	48.2	1.72	12.39	4.91
0:04:45	16.4	12.7	2.02	11.17	3.99	36.9	48.3	1.72	12.43	4.90
0:04:48	16.4	12.6	2.03	11.17	4.00	36.9	48.4	1.72	12.45	4.90
0:04:51	16.4	12.6	2.03	11.17	4.00	37	48.4	1.73	12.47	4.93
0:04:54	16.3	12.6	2.03	11.17	4.01	37.1	48.5	1.72	12.50	4.92
0:04:57	16.3	12.5	2.02	11.17	4.01	37.2	48.6	1.73	12.52	4.93
0:05:00	16.3	12.5	2.02	11.15	4.00	37.3	48.7	1.74	12.56	4.95
0:05:03	16.2	12.5	2.02	11.17	4.00	37.4	48.8	1.75	12.58	4.93
0:05:06	16.2	12.4	2.02	11.15	4.00	37.4	48.8	1.74	12.62	4.94

ตารางที่ ข.2 แสดงข้อมูลดิบจากการวัดที่อัตราการไหลของน้ำร้อน 12 litre/min (ต่อ)

Time	T _{cw,i}	T _{cw,o}	W _R	P _{c,22}	P _{e,22}	T _{hw,i}	T _{hw,o}	W _{HP}	P _{c,134}	P _{e,134}
0:05:09	16.2	12.4	2.02	11.15	4.00	37.5	48.9	1.75	12.64	4.96
0:05:12	16.2	12.4	2.03	11.15	4.00	37.6	49	1.75	12.67	4.95
0:05:15	16.1	12.4	2.03	11.15	3.99	37.7	49.1	1.76	12.69	4.94
0:05:18	16.1	12.3	2.03	11.15	3.99	37.7	49.2	1.76	12.71	4.94
0:05:21	16.1	12.3	2.03	11.15	4.00	37.8	49.3	1.77	12.73	4.94
0:05:24	16.1	12.3	2.03	11.15	4.00	37.9	49.4	1.77	12.77	4.94
0:05:27	16	12.3	2.03	11.17	4.00	38	49.4	1.77	12.79	4.97
0:05:30	16	12.2	2.02	11.15	4.00	38.1	49.5	1.77	12.80	4.96
0:05:33	16	12.2	2.02	11.15	3.99	38.2	49.6	1.78	12.84	4.97
0:05:36	16	12.2	2.03	11.15	3.99	38.3	49.7	1.78	12.86	4.97
0:05:39	15.9	12.1	2.04	11.17	3.99	38.4	49.8	1.79	12.88	4.95
0:05:42	15.9	12.1	2.03	11.15	3.98	38.5	49.8	1.79	12.90	4.95
0:05:45	15.9	12.1	2.03	11.15	3.99	38.5	49.9	1.79	12.94	4.97
0:05:48	15.9	12.1	2.02	11.17	3.99	38.6	50	1.80	12.95	4.97
0:05:51	15.8	12.1	2.03	11.15	3.99	38.7	50.1	1.79	12.99	4.98
0:05:54	15.8	12	2.02	11.15	3.99	38.7	50.1	1.80	13.03	4.99
0:05:57	15.8	12	2.01	11.15	3.99	38.8	50.2	1.80	13.05	5.00
0:06:00	15.8	12	2.01	11.14	3.99	38.9	50.3	1.81	13.09	4.99
0:06:03	15.8	12	2.01	11.15	3.98	39	50.4	1.81	13.10	5.00
0:06:06	15.7	12	2.02	11.14	3.98	39.1	50.5	1.82	13.12	4.99
0:06:09	15.7	11.9	2.03	11.15	3.98	39.1	50.6	1.82	13.16	5.01
0:06:12	15.7	11.9	2.03	11.14	3.98	39.2	50.7	1.82	13.18	5.01
0:06:15	15.7	11.9	2.03	11.12	3.98	39.3	50.7	1.82	13.22	5.01
0:06:18	15.7	11.9	2.02	11.14	3.97	39.4	50.8	1.83	13.24	5.01
0:06:21	15.7	11.9	2.02	11.14	3.97	39.5	50.9	1.83	13.25	5.00
0:06:24	15.7	11.9	2.02	11.14	3.97	39.5	51	1.84	13.27	5.01
0:06:27	15.6	11.8	2.02	11.14	3.98	39.6	51.1	1.84	13.31	5.01
0:06:30	15.6	11.8	2.04	11.14	3.98	39.7	51.2	1.85	13.33	5.01
0:06:33	15.6	11.8	2.01	11.15	3.97	39.8	51.2	1.85	13.37	5.02
0:06:36	15.6	11.8	2.01	11.14	3.97	39.9	51.3	1.85	13.39	5.03
0:06:39	15.6	11.8	2.02	11.14	3.98	39.9	51.4	1.85	13.42	5.04
0:06:42	15.6	11.8	2.02	11.14	3.97	40	51.5	1.86	13.44	5.04
0:06:45	15.5	11.8	2.02	11.14	3.96	40.1	51.5	1.86	13.48	5.04
0:06:48	15.5	11.7	2.03	11.12	3.96	40.2	51.6	1.87	13.50	5.04
0:06:51	15.5	11.7	2.02	11.12	3.96	40.3	51.7	1.87	13.52	5.05

ตารางที่ ข.2 แสดงข้อมูลดิบจากการวัดที่อัตราการไหลของน้ำร้อน 12 litre/min (ต่อ)

Time	T _{cw,i}	T _{cw,o}	W _R	P _{c,22}	P _{e,22}	T _{hw,i}	T _{hw,o}	W _{HP}	P _{c,134}	P _{e,134}
0:06:54	15.5	11.7	2.03	11.14	3.97	40.4	51.8	1.87	13.55	5.06
0:06:57	15.5	11.7	2.03	11.14	3.96	40.5	51.9	1.89	13.59	5.05
0:07:00	15.5	11.7	2.02	11.14	3.97	40.5	52	1.88	13.61	5.05
0:07:03	15.5	11.7	2.03	11.12	3.97	40.6	52.1	1.89	13.63	5.06
0:07:06	15.5	11.7	2.02	11.14	3.96	40.7	52.1	1.89	13.67	5.05
0:07:09	15.4	11.7	2.01	11.14	3.96	40.7	52.2	1.89	13.70	5.07
0:07:12	15.4	11.7	2.01	11.12	3.97	40.8	52.3	1.90	13.72	5.07
0:07:15	15.4	11.7	2.01	11.12	3.96	40.9	52.4	1.90	13.74	5.07
0:07:18	15.4	11.6	2.01	11.14	3.96	41	52.5	1.90	13.78	5.08
0:07:21	15.4	11.6	2.01	11.14	3.96	41.1	52.6	1.91	13.80	5.07
0:07:24	15.4	11.6	2.02	11.14	3.96	41.2	52.6	1.91	13.82	5.08
0:07:27	15.4	11.6	2.02	11.14	3.96	41.2	52.7	1.91	13.85	5.09
0:07:30	15.4	11.6	2.01	11.12	3.96	41.3	52.8	1.92	13.87	5.07
0:07:33	15.4	11.6	2.01	11.14	3.96	41.4	52.9	1.92	13.91	5.10
0:07:36	15.4	11.6	2.02	11.14	3.96	41.5	52.9	1.92	13.93	5.08
0:07:39	15.3	11.6	2.03	11.14	3.97	41.6	53	1.93	13.97	5.10
0:07:42	15.3	11.5	2.03	11.14	3.96	41.6	53.1	1.93	13.99	5.10
0:07:45	15.3	11.5	2.03	11.14	3.96	41.7	53.2	1.94	14.02	5.10
0:07:48	15.3	11.5	2.03	11.15	3.96	41.8	53.3	1.94	14.04	5.11
0:07:51	15.3	11.5	2.03	11.14	3.96	41.9	53.4	1.94	14.08	5.14
0:07:54	15.3	11.5	2.03	11.14	3.96	42	53.4	1.94	14.10	5.11
0:07:57	15.3	11.5	2.03	11.15	3.96	42	53.5	1.95	14.14	5.13
0:08:00	15.3	11.5	2.01	11.14	3.96	42.1	53.6	1.95	14.15	5.13
0:08:03	15.3	11.5	2.02	11.12	3.95	42.2	53.7	1.95	14.17	5.13
0:08:06	15.3	11.5	2.01	11.14	3.95	42.3	53.8	1.96	14.21	5.14
0:08:09	15.3	11.5	2.01	11.14	3.96	42.4	53.9	1.96	14.23	5.11
0:08:12	15.3	11.5	2.01	11.12	3.95	42.4	53.9	1.97	14.27	5.13
0:08:15	15.3	11.5	2.01	11.12	3.95	42.5	54	1.97	14.29	5.14
0:08:18	15.3	11.5	2.01	11.14	3.96	42.6	54.1	1.98	14.32	5.13
0:08:21	15.3	11.5	2.01	11.14	3.96	42.7	54.2	1.98	14.34	5.14
0:08:24	15.2	11.5	2.01	11.15	3.95	42.7	54.2	1.98	14.36	5.14
0:08:27	15.2	11.5	2.02	11.14	3.96	42.8	54.3	1.99	14.40	5.14
0:08:30	15.2	11.5	2.02	11.14	3.96	42.9	54.4	1.99	14.42	5.14
0:08:33	15.2	11.5	2.02	11.14	3.96	43	54.5	1.99	14.45	5.15
0:08:36	15.2	11.5	2.02	11.15	3.96	43	54.6	2.00	14.47	5.17

ตารางที่ ข.2 แสดงข้อมูลดิบจากการวัดที่อัตราการไหลของน้ำร้อน 12 litre/min (ต่อ)

Time	T _{cw,i}	T _{cw,o}	W _R	P _{c,22}	P _{e,22}	T _{hw,i}	T _{hw,o}	W _{HP}	P _{c,134}	P _{e,134}
0:08:39	15.2	11.5	2.02	11.15	3.96	43.1	54.6	2.01	14.51	5.17
0:08:42	15.2	11.4	2.03	11.14	3.96	43.2	54.7	2.00	14.55	5.17
0:08:45	15.2	11.5	2.04	11.15	3.95	43.3	54.8	2.01	14.57	5.16
0:08:48	15.2	11.4	2.02	11.15	3.95	43.4	54.9	2.01	14.59	5.16
0:08:51	15.2	11.4	2.03	11.15	3.95	43.5	55	2.01	14.60	5.18
0:08:54	15.2	11.4	2.02	11.14	3.95	43.5	55.1	2.02	14.64	5.17
0:08:57	15.2	11.4	2.02	11.14	3.95	43.6	55.1	2.02	14.68	5.19
0:09:00	15.2	11.5	2.03	11.14	3.94	43.7	55.2	2.03	14.70	5.17
0:09:03	15.2	11.5	2.02	11.14	3.93	43.8	55.3	2.03	14.74	5.18
0:09:06	15.2	11.4	2.03	11.14	3.94	43.9	55.4	2.03	14.75	5.19
0:09:09	15.2	11.4	2.02	11.14	3.94	44	55.5	2.05	14.79	5.18
0:09:12	15.2	11.4	2.02	11.15	3.93	44.1	55.5	2.04	14.81	5.18
0:09:15	15.2	11.4	2.01	11.14	3.93	44.1	55.6	2.05	14.85	5.19
0:09:18	15.2	11.4	2.01	11.14	3.93	44.2	55.7	2.06	14.87	5.20
0:09:21	15.2	11.4	2.01	11.15	3.94	44.3	55.8	2.06	14.90	5.21
0:09:24	15.2	11.4	2.01	11.14	3.94	44.4	55.8	2.06	14.92	5.21
0:09:27	15.2	11.4	2.01	11.15	3.95	44.5	55.9	2.06	14.98	5.24
0:09:30	15.2	11.4	2.01	11.15	3.95	44.6	56	2.07	15.00	5.23
0:09:33	15.2	11.4	2.01	11.15	3.94	44.7	56.1	2.07	15.04	5.23
0:09:36	15.2	11.4	2.01	11.15	3.95	44.7	56.2	2.08	15.05	5.24
0:09:39	15.2	11.4	2.01	11.15	3.95	44.8	56.3	2.07	15.09	5.25
0:09:42	15.1	11.4	2.02	11.14	3.94	44.9	56.3	2.08	15.13	5.25
0:09:45	15.1	11.4	2.02	11.14	3.93	45	56.4	2.08	15.15	5.24
0:09:48	15.1	11.4	2.02	11.15	3.93	45	56.5	2.09	15.19	5.25
0:09:51	15.1	11.4	2.01	11.15	3.94	45.1	56.6	2.09	15.20	5.24
0:09:54	15.1	11.4	2.03	11.15	3.94	45.2	56.7	2.10	15.24	5.25
0:09:57	15.1	11.4	2.03	11.15	3.95	45.3	56.8	2.11	15.26	5.26
0:10:00	15.1	11.4	2.03	11.15	3.94	45.3	56.9	2.11	15.30	5.25
0:10:03	15.1	11.4	2.02	11.15	3.94	45.4	56.9	2.11	15.32	5.26
0:10:06	15.1	11.4	2.03	11.17	3.95	45.5	57	2.11	15.35	5.25
0:10:09	15.1	11.4	2.02	11.15	3.94	45.6	57.1	2.12	15.37	5.27
0:10:12	15.1	11.4	2.02	11.17	3.95	45.6	57.2	2.12	15.41	5.27
0:10:15	15.1	11.4	2.02	11.17	3.95	45.7	57.3	2.12	15.43	5.27
0:10:18	15.1	11.4	2.01	11.17	3.95	45.8	57.3	2.13	15.47	5.28
0:10:21	15.1	11.4	2.02	11.19	3.95	45.8	57.4	2.13	15.49	5.27

ตารางที่ ข.2 แสดงข้อมูลดิบจากการวัดที่อัตราการไหลของน้ำร้อน 12 litre/min (ต่อ)

Time	T _{cw,i}	T _{cw,o}	W _R	P _{c,22}	P _{e,22}	T _{hw,i}	T _{hw,o}	W _{HP}	P _{c,134}	P _{e,134}
0:10:24	15.1	11.4	2.02	11.19	3.95	45.9	57.5	2.13	15.50	5.29
0:10:27	15.1	11.4	2.02	11.19	3.95	46	57.6	2.13	15.54	5.29
0:10:30	15.1	11.4	2.02	11.21	3.95	46.1	57.7	2.15	15.58	5.30
0:10:33	15.1	11.4	2.03	11.21	3.95	46.2	57.7	2.15	15.60	5.30
0:10:36	15.1	11.4	2.03	11.21	3.95	46.2	57.8	2.16	15.64	5.30
0:10:39	15.1	11.4	2.03	11.21	3.95	46.3	57.9	2.15	15.65	5.30
0:10:42	15.1	11.4	2.04	11.21	3.95	46.4	58	2.16	15.69	5.31
0:10:45	15.1	11.4	2.02	11.21	3.94	46.5	58.1	2.16	15.71	5.31
0:10:48	15.1	11.4	2.03	11.23	3.94	46.6	58.1	2.16	15.75	5.31
0:10:51	15.1	11.4	2.02	11.21	3.95	46.7	58.2	2.17	15.77	5.32
0:10:54	15.1	11.4	2.02	11.23	3.94	46.8	58.3	2.17	15.80	5.32
0:10:57	15.1	11.4	2.02	11.23	3.94	46.9	58.4	2.18	15.84	5.33
0:11:00	15.1	11.4	2.02	11.23	3.94	46.9	58.5	2.18	15.86	5.33
0:11:03	15.1	11.4	2.02	11.23	3.95	47	58.5	2.19	15.90	5.34
0:11:06	15.1	11.4	2.02	11.25	3.94	47.1	58.6	2.19	15.94	5.33
0:11:09	15.1	11.4	2.03	11.23	3.94	47.2	58.7	2.20	15.97	5.34
0:11:12	15.1	11.4	2.02	11.25	3.94	47.3	58.8	2.19	15.99	5.35
0:11:15	15.1	11.4	2.03	11.25	3.95	47.3	58.9	2.20	16.03	5.37
0:11:18	15.1	11.4	2.03	11.23	3.94	47.4	58.9	2.21	16.07	5.38
0:11:21	15.1	11.4	2.03	11.21	3.94	47.5	59	2.21	16.10	5.37
0:11:24	15.1	11.4	2.02	11.23	3.93	47.6	59.1	2.21	16.14	5.39
0:11:27	15.1	11.4	2.02	11.23	3.94	47.6	59.2	2.22	16.16	5.37
0:11:30	15.1	11.4	2.02	11.23	3.94	47.7	59.3	2.23	16.18	5.38
0:11:33	15.1	11.4	2.02	11.25	3.94	47.7	59.4	2.23	16.22	5.37
0:11:36	15.1	11.4	2.01	11.25	3.94	47.8	59.5	2.23	16.24	5.38
0:11:39	15.1	11.4	2.04	11.25	3.94	47.9	59.6	2.22	16.27	5.38
0:11:42	15.1	11.4	2.02	11.27	3.94	48	59.6	2.24	16.29	5.39
0:11:45	15.1	11.4	2.04	11.27	3.94	48.1	59.7	2.24	16.31	5.38
0:11:48	15.1	11.4	2.04	11.27	3.94	48.2	59.8	2.24	16.33	5.38
0:11:51	15.1	11.4	2.03	11.27	3.94	48.3	59.9	2.24	16.37	5.39
0:11:54	15.1	11.4	2.03	11.29	3.94	48.3	59.9	2.25	16.39	5.38
0:11:57	15.1	11.4	2.03	11.29	3.95	48.4	60	2.25	16.40	5.39
0:12:00	15.1	11.4	2.02	11.30	3.94	48.5	60.1	2.25	16.44	5.41
0:12:03	15.1	11.4	2.02	11.30	3.95	48.6	60.2	2.27	16.48	5.43
0:12:06	15.1	11.4	2.04	11.29	3.95	48.7	60.2	2.26	16.52	5.41

ตารางที่ ข.2 แสดงข้อมูลดิบจากการวัดที่อัตราการไหลของน้ำร้อน 12 litre/min (ต่อ)

Time	T _{cw,i}	T _{cw,o}	W _R	P _{c,22}	P _{e,22}	T _{hw,i}	T _{hw,o}	W _{HP}	P _{c,134}	P _{e,134}
0:12:09	15.1	11.4	2.03	11.30	3.94	48.8	60.3	2.27	16.55	5.42
0:12:12	15.1	11.4	2.04	11.30	3.95	48.8	60.4	2.28	16.59	5.42
0:12:15	15.1	11.4	2.04	11.32	3.95	48.9	60.5	2.29	16.61	5.42
0:12:18	15.1	11.4	2.04	11.32	3.95	49	60.5	2.28	16.65	5.44
0:12:21	15.1	11.4	2.02	11.32	3.95	49.1	60.6	2.29	16.69	5.44
0:12:24	15.1	11.4	2.03	11.32	3.94	49.1	60.7	2.29	16.72	5.45
0:12:27	15.1	11.4	2.03	11.32	3.95	49.2	60.8	2.29	16.74	5.45
0:12:30	15.1	11.4	2.04	11.32	3.95	49.3	60.9	2.31	16.78	5.46
0:12:33	15.1	11.4	2.05	11.34	3.95	49.4	61	2.30	16.80	5.46
0:12:36	15.1	11.4	2.04	11.34	3.95	49.5	61	2.31	16.84	5.45
0:12:39	15.1	11.4	2.03	11.34	3.95	49.5	61.1	2.31	16.85	5.46
0:12:42	15.1	11.4	2.02	11.34	3.95	49.6	61.2	2.32	16.89	5.46
0:12:45	15.1	11.4	2.04	11.36	3.95	49.7	61.3	2.32	16.93	5.47
0:12:48	15.1	11.4	2.04	11.36	3.95	49.8	61.4	2.34	16.95	5.46
0:12:51	15.1	11.4	2.04	11.36	3.95	49.8	61.5	2.33	16.99	5.47
0:12:54	15.1	11.4	2.03	11.38	3.95	49.9	61.5	2.35	17.02	5.48
0:12:57	15.1	11.4	2.04	11.38	3.95	50	61.6	2.34	17.04	5.48
0:13:00	15.1	11.4	2.03	11.38	3.95	50.1	61.7	2.34	17.08	5.49
0:13:03	15.1	11.4	2.04	11.38	3.95	50.2	61.8	2.35	17.12	5.49
0:13:06	15.1	11.4	2.05	11.40	3.95	50.2	61.8	2.36	17.14	5.50
0:13:09	15.1	11.4	2.05	11.40	3.95	50.3	61.9	2.36	17.17	5.49
0:13:12	15.1	11.4	2.05	11.40	3.96	50.4	62	2.36	17.19	5.49
0:13:15	15.1	11.4	2.05	11.40	3.95	50.5	62.1	2.37	17.23	5.50
0:13:18	15.1	11.4	2.04	11.42	3.96	50.5	62.2	2.37	17.25	5.51
0:13:21	15.1	11.4	2.04	11.42	3.95	50.6	62.3	2.37	17.29	5.52
0:13:24	15.1	11.4	2.04	11.42	3.96	50.7	62.3	2.37	17.32	5.52
0:13:27	15.1	11.4	2.05	11.42	3.96	50.7	62.4	2.38	17.34	5.52
0:13:30	15.1	11.4	2.04	11.42	3.96	50.8	62.5	2.38	17.38	5.53
0:13:33	15.1	11.4	2.04	11.44	3.95	50.9	62.6	2.39	17.40	5.53
0:13:36	15.1	11.4	2.05	11.44	3.96	51	62.6	2.40	17.44	5.54
0:13:39	15.1	11.4	2.05	11.45	3.95	51.1	62.7	2.39	17.45	5.53
0:13:42	15.1	11.4	2.06	11.45	3.96	51.2	62.8	2.40	17.49	5.53
0:13:45	15.1	11.4	2.06	11.47	3.96	51.3	62.9	2.41	17.51	5.54
0:13:48	15.1	11.4	2.05	11.47	3.96	51.4	63	2.42	17.55	5.54
0:13:51	15.1	11.4	2.05	11.47	3.96	51.4	63	2.41	17.59	5.56

ตารางที่ ข.2 แสดงข้อมูลดิบจากการวัดที่อัตราการไหลของน้ำร้อน 12 litre/min (ต่อ)

Time	T _{cw,i}	T _{cw,o}	W _R	P _{c,22}	P _{e,22}	T _{hw,i}	T _{hw,o}	W _{HP}	P _{c,134}	P _{e,134}
0:13:54	15.1	11.4	2.05	11.47	3.96	51.5	63.1	2.42	17.62	5.56
0:13:57	15.1	11.4	2.06	11.49	3.96	51.6	63.2	2.42	17.66	5.57
0:14:00	15.1	11.4	2.05	11.49	3.96	51.7	63.3	2.43	17.70	5.57
0:14:03	15.1	11.4	2.04	11.51	3.96	51.8	63.3	2.43	17.72	5.58
0:14:06	15.1	11.4	2.05	11.49	3.96	51.9	63.4	2.44	17.77	5.59
0:14:09	15.1	11.4	2.05	11.49	3.96	52	63.5	2.44	17.79	5.59
0:14:12	15.1	11.5	2.06	11.51	3.96	52.1	63.6	2.46	17.83	5.59
0:14:15	15.1	11.4	2.06	11.51	3.95	52.1	63.7	2.46	17.87	5.59
0:14:18	15.1	11.4	2.06	11.51	3.96	52.2	63.8	2.45	17.90	5.60
0:14:21	15.1	11.4	2.05	11.51	3.96	52.3	63.8	2.46	17.92	5.61
0:14:24	15.1	11.4	2.06	11.51	3.96	52.4	63.9	2.46	17.96	5.61
0:14:27	15.1	11.4	2.06	11.53	3.96	52.5	64	2.47	18.00	5.61
0:14:30	15.1	11.5	2.06	11.53	3.95	52.6	64.1	2.47	18.04	5.62
0:14:33	15.1	11.5	2.06	11.55	3.95	52.6	64.2	2.48	18.07	5.62
0:14:36	15.1	11.5	2.04	11.55	3.95	52.7	64.3	2.49	18.09	5.63
0:14:39	15.1	11.5	2.07	11.55	3.96	52.8	64.4	2.49	18.13	5.63
0:14:42	15.1	11.5	2.06	11.57	3.96	52.9	64.4	2.49	18.17	5.63
0:14:45	15.1	11.4	2.07	11.57	3.96	53	64.5	2.50	18.20	5.64
0:14:48	15.1	11.4	2.05	11.57	3.96	53	64.6	2.51	18.24	5.65
0:14:51	15.1	11.4	2.06	11.59	3.96	53.1	64.7	2.50	18.28	5.65
0:14:54	15.1	11.4	2.06	11.59	3.96	53.2	64.8	2.51	18.30	5.65
0:14:57	15.1	11.4	2.07	11.59	3.96	53.3	64.9	2.51	18.34	5.66
0:15:00	15.1	11.4	2.06	11.60	3.96	53.4	64.9	2.53	18.37	5.67
0:15:03	15.1	11.4	2.06	11.59	3.96	53.4	65	2.52	18.41	5.67
0:15:06	15.1	11.4	2.06	11.60	3.96	53.5	65.1	2.53	18.43	5.67
0:15:09	15.1	11.4	2.07	11.60	3.96	53.6	65.2	2.53	18.47	5.68
0:15:12	15.1	11.4	2.07	11.62	3.96	53.7	65.3	2.54	18.50	5.68
0:15:15	15.1	11.5	2.06	11.62	3.97	53.7	65.4	2.53	18.52	5.68
0:15:18	15.1	11.5	2.07	11.64	3.96	53.8	65.5	2.55	18.56	5.69
0:15:21	15.1	11.5	2.08	11.62	3.97	53.9	65.5	2.55	18.60	5.69
0:15:24	15.1	11.4	2.07	11.64	3.97	53.9	65.6	2.56	18.64	5.70
0:15:27	15.1	11.4	2.06	11.66	3.97	54	65.7	2.56	18.65	5.70
0:15:30	15.1	11.5	2.07	11.66	3.97	54.1	65.8	2.56	18.69	5.70
0:15:33	15.2	11.5	2.08	11.68	3.98	54.2	65.9	2.57	18.71	5.70
0:15:36	15.2	11.5	2.07	11.66	3.98	54.3	66	2.58	18.75	5.70

ตารางที่ ข.2 แสดงข้อมูลดิบจากการวัดที่อัตราการไหลของน้ำร้อน 12 litre/min (ต่อ)

Time	T _{cw,i}	T _{cw,o}	W _R	P _{c,22}	P _{e,22}	T _{hw,i}	T _{hw,o}	W _{HP}	P _{c,134}	P _{e,134}
0:15:39	15.2	11.5	2.08	11.68	3.97	54.4	66	2.58	18.79	5.72
0:15:42	15.2	11.5	2.08	11.70	3.98	54.5	66.1	2.58	18.82	5.71
0:15:45	15.2	11.5	2.08	11.70	3.98	54.5	66.2	2.59	18.84	5.73
0:15:48	15.2	11.5	2.08	11.70	3.98	54.6	66.3	2.59	18.88	5.74
0:15:51	15.2	11.5	2.07	11.72	3.98	54.7	66.3	2.59	18.92	5.75
0:15:54	15.2	11.5	2.08	11.72	3.98	54.7	66.4	2.61	18.95	5.74
0:15:57	15.2	11.5	2.08	11.72	3.98	54.8	66.5	2.60	18.99	5.75
0:16:00	15.2	11.5	2.08	11.74	3.99	54.9	66.6	2.61	19.03	5.76
0:16:03	15.2	11.5	2.09	11.74	3.98	55	66.7	2.61	19.05	5.75
0:16:06	15.2	11.5	2.09	11.74	3.98	55.1	66.7	2.62	19.09	5.76
0:16:09	15.2	11.5	2.08	11.75	3.98	55.2	66.8	2.62	19.12	5.76
0:16:12	15.2	11.5	2.09	11.75	3.99	55.3	66.9	2.63	19.14	5.77
0:16:15	15.2	11.5	2.09	11.77	3.99	55.3	67	2.64	19.18	5.77
0:16:18	15.2	11.5	2.10	11.77	3.99	55.4	67.1	2.64	19.22	5.77
0:16:21	15.2	11.5	2.09	11.77	3.99	55.5	67.2	2.65	19.25	5.77
0:16:24	15.2	11.5	2.10	11.79	3.99	55.6	67.2	2.64	19.29	5.78
0:16:27	15.2	11.5	2.10	11.79	3.99	55.6	67.3	2.65	19.33	5.79
0:16:30	15.2	11.5	2.10	11.81	3.99	55.7	67.4	2.66	19.37	5.81
0:16:33	15.2	11.5	2.10	11.81	3.99	55.8	67.5	2.66	19.40	5.81
0:16:36	15.2	11.5	2.10	11.81	3.99	55.9	67.6	2.67	19.42	5.80
0:16:39	15.2	11.5	2.10	11.83	4.00	56	67.6	2.68	19.46	5.80
0:16:42	15.2	11.5	2.09	11.83	4.00	56	67.7	2.68	19.50	5.82
0:16:45	15.2	11.5	2.09	11.83	3.99	56.1	67.8	2.69	19.52	5.81
0:16:48	15.2	11.5	2.10	11.85	4.00	56.2	67.9	2.69	19.55	5.82
0:16:51	15.2	11.5	2.10	11.87	3.99	56.3	68	2.69	19.57	5.82
0:16:54	15.2	11.5	2.10	11.85	4.00	56.3	68.1	2.69	19.61	5.83
0:16:57	15.2	11.5	2.11	11.87	4.00	56.4	68.1	2.70	19.65	5.84
0:17:00	15.2	11.5	2.10	11.89	3.99	56.5	68.2	2.70	19.69	5.84
0:17:03	15.2	11.5	2.10	11.89	4.00	56.6	68.3	2.71	19.72	5.85
0:17:06	15.2	11.5	2.10	11.89	4.00	56.7	68.4	2.72	19.76	5.86
0:17:09	15.2	11.5	2.10	11.89	4.00	56.7	68.5	2.71	19.80	5.87
0:17:12	15.2	11.5	2.09	11.90	4.00	56.8	68.5	2.73	19.84	5.86
0:17:15	15.2	11.5	2.11	11.90	4.01	56.9	68.6	2.72	19.85	5.87
0:17:18	15.2	11.5	2.10	11.92	4.00	57	68.7	2.74	19.89	5.87
0:17:21	15.2	11.5	2.10	11.92	4.01	57.1	68.8	2.73	19.93	5.87

ตารางที่ ข.2 แสดงข้อมูลดิบจากการวัดที่อัตราการไหลของน้ำร้อน 12 litre/min (ต่อ)

Time	T _{cw,i}	T _{cw,o}	W _R	P _{c,22}	P _{e,22}	T _{hw,i}	T _{hw,o}	W _{HP}	P _{c,134}	P _{e,134}
0:17:24	15.2	11.5	2.12	11.94	4.01	57.1	68.9	2.75	19.97	5.88
0:17:27	15.2	11.5	2.11	11.94	4.01	57.2	69	2.74	20.00	5.89
0:17:30	15.2	11.5	2.11	11.94	4.00	57.3	69	2.75	20.02	5.89
0:17:33	15.2	11.5	2.11	11.96	4.00	57.4	69.1	2.77	20.06	5.89
0:17:36	15.2	11.5	2.10	11.98	4.01	57.5	69.2	2.76	20.10	5.90
0:17:39	15.2	11.6	2.12	11.98	4.02	57.5	69.3	2.77	20.14	5.90
0:17:42	15.2	11.6	2.11	12.00	4.01	57.6	69.4	2.76	20.17	5.91
0:17:45	15.2	11.6	2.11	11.98	4.01	57.7	69.4	2.77	20.19	5.91
0:17:48	15.2	11.6	2.11	12.00	4.02	57.8	69.5	2.78	20.23	5.91
0:17:51	15.2	11.6	2.11	12.00	4.02	57.9	69.6	2.78	20.27	5.92
0:17:54	15.2	11.6	2.11	12.02	4.02	57.9	69.7	2.79	20.30	5.93
0:17:57	15.2	11.6	2.11	12.02	4.02	58	69.8	2.78	20.34	5.93
0:18:00	15.2	11.6	2.12	12.02	4.02	58.1	69.8	2.81	20.38	5.94
0:18:03	15.2	11.6	2.12	12.04	4.03	58.2	69.9	2.80	20.40	5.94
0:18:06	15.2	11.6	2.13	12.04	4.02	58.3	70	2.81	20.44	5.96
0:18:09	15.2	11.6	2.12	12.05	4.02	58.4	70.1	2.81	20.47	5.95
0:18:12	15.2	11.6	2.12	12.05	4.03	58.4	70.2	2.82	20.51	5.96
0:18:15	15.2	11.6	2.12	12.07	4.03	58.5	70.2	2.82	20.55	5.97
0:18:18	15.2	11.6	2.13	12.07	4.03	58.6	70.3	2.83	20.59	5.97
0:18:21	15.2	11.6	2.12	12.09	4.03	58.7	70.4	2.84	20.62	5.97
0:18:24	15.3	11.6	2.12	12.09	4.03	58.8	70.5	2.84	20.66	5.98
0:18:27	15.3	11.6	2.13	12.11	4.03	58.9	70.6	2.85	20.70	5.99
0:18:30	15.3	11.6	2.13	12.11	4.03	58.9	70.6	2.84	20.74	5.99
0:18:33	15.3	11.6	2.13	12.13	4.03	59	70.7	2.86	20.77	5.99
0:18:36	15.3	11.6	2.12	12.13	4.04	59.1	70.8	2.85	20.81	6.01
0:18:39	15.3	11.6	2.13	12.13	4.04	59.2	70.9	2.87	20.85	6.01
0:18:42	15.3	11.6	2.13	12.15	4.04	59.2	71	2.86	20.89	6.01
0:18:45	15.3	11.6	2.12	12.17	4.04	59.3	71.1	2.87	20.92	6.02
0:18:48	15.3	11.6	2.13	12.17	4.04	59.4	71.1	2.89	20.94	6.02
0:18:51	15.3	11.6	2.14	12.17	4.04	59.4	71.2	2.89	21.00	6.04
0:18:54	15.3	11.6	2.13	12.19	4.04	59.5	71.3	2.88	21.02	6.03
0:18:57	15.3	11.6	2.13	12.20	4.04	59.6	71.4	2.89	21.05	6.02
0:19:00	15.3	11.6	2.13	12.20	4.04	59.7	71.5	2.89	21.09	6.03
0:19:03	15.3	11.6	2.14	12.22	4.04	59.8	71.6	2.90	21.11	6.03
0:19:06	15.3	11.6	2.14	12.22	4.05	59.9	71.6	2.91	21.15	6.04

ตารางที่ ข.2 แสดงข้อมูลดิบจากการวัดที่อัตราการไหลของน้ำร้อน 12 litre/min (ต่อ)

Time	$T_{cw,i}$	$T_{cw,o}$	W_R	$P_{c,22}$	$P_{e,22}$	$T_{hw,i}$	$T_{hw,o}$	W_{HP}	$P_{c,134}$	$P_{e,134}$
0:19:09	15.3	11.6	2.14	12.22	4.04	60	71.7	2.91	21.19	6.05
0:19:12	15.3	11.6	2.13	12.24	4.04	60.1	71.8	2.92	21.22	6.05
0:19:15	15.3	11.6	2.14	12.24	4.04	60.1	71.9	2.92	21.24	6.05
0:19:18	15.3	11.6	2.15	12.26	4.05	60.2	72	2.92	21.30	6.07
0:19:21	15.3	11.6	2.14	12.26	4.05	60.3	72	2.94	21.34	6.07
0:19:24	15.3	11.6	2.14	12.28	4.04	60.3	72.1	2.94	21.37	6.08
0:19:27	15.3	11.6	2.14	12.30	4.05	60.4	72.2	2.95	21.41	6.08
0:19:30	15.3	11.6	2.14	12.28	4.06	60.5	72.3	2.95	21.45	6.09
0:19:33	15.3	11.6	2.14	12.30	4.05	60.5	72.4	2.95	21.49	6.10
0:19:36	15.3	11.7	2.16	12.32	4.05	60.6	72.5	2.96	21.52	6.10
0:19:39	15.3	11.6	2.14	12.32	4.05	60.7	72.6	2.97	21.56	6.10
0:19:42	15.3	11.6	2.15	12.32	4.06	60.8	72.6	2.97	21.58	6.10
0:19:45	15.3	11.7	2.15	12.34	4.05	60.9	72.7	2.98	21.62	6.11
0:19:48	15.3	11.7	2.15	12.34	4.06	61	72.8	2.98	21.64	6.11
0:19:51	15.3	11.7	2.15	12.35	4.06	61.1	72.9	2.98	21.67	6.11
0:19:54	15.3	11.7	2.15	12.35	4.06	61.2	73	3.00	21.71	6.12
0:19:57	15.3	11.7	2.15	12.37	4.06	61.2	73	3.00	21.75	6.12
0:20:00	15.3	11.7	2.16	12.39	4.07	61.3	73.1	3.00	21.79	6.14
0:20:03	15.3	11.7	2.16	12.39	4.07	61.4	73.2	3.02	21.84	6.14
0:20:06	15.3	11.7	2.16	12.41	4.07	61.5	73.3	3.01	21.88	6.15
0:20:09	15.3	11.7	2.16	12.41	4.07	61.6	73.3	3.01	21.92	6.15
0:20:12	15.3	11.7	2.16	12.41	4.07	61.6	73.4	3.02	21.95	6.15
0:20:15	15.3	11.7	2.16	12.41	4.06	61.7	73.5	3.03	21.99	6.15
0:20:18	15.3	11.7	2.16	12.43	4.06	61.8	73.6	3.03	22.03	6.17

ข้อมูลที่ได้จากการวัดการทดลองที่อัตราการไหลของน้ำเย็น 27 litre/min และอัตราการไหลของน้ำร้อน 16 litre/min แสดงดังตารางที่ ข.3

ตารางที่ ข.3 แสดงข้อมูลดิบจากการวัดที่อัตราการไหลของน้ำร้อน 13 litre/min

Time	$T_{cw,i}$	$T_{cw,o}$	W_R	$P_{c,22}$	$P_{e,22}$	$T_{hw,i}$	$T_{hw,o}$	W_{HP}	$P_{c,134}$	$P_{e,134}$
0:00:00	25.5	25.3	2.57	11.36	7.99	31	31.7	1.25	9.54	7.23
0:00:03	25.5	25.3	2.53	12.75	6.17	31	31.7	1.39	10.01	6.67
0:00:06	25.5	25.3	2.43	12.45	5.68	31	31.8	1.41	10.31	6.09
0:00:09	25.5	25.3	2.31	12.19	4.92	31	32.2	1.44	10.42	5.61

ตารางที่ ข.3 แสดงข้อมูลดิบจากการวัดที่อัตราการไหลของน้ำร้อน 13 litre/min (ต่อ)

Time	T _{cw,j}	T _{cw,o}	W _R	P _{c,22}	P _{e,22}	T _{hw,j}	T _{hw,o}	W _{HP}	P _{c,134}	P _{e,134}
0:00:12	25.5	25.1	2.22	12.24	4.39	31	32.9	1.45	10.44	5.38
0:00:15	25.5	24.9	2.20	12.09	4.42	31	33.9	1.46	10.46	5.29
0:00:18	25.5	24.6	2.17	11.96	4.31	31	34.8	1.46	10.46	5.10
0:00:21	25.5	24.3	2.16	11.90	4.22	31	35.6	1.46	10.42	4.85
0:00:24	25.5	24	2.16	11.90	4.18	31	36.3	1.46	10.35	4.65
0:00:27	25.5	23.7	2.17	11.92	4.21	31	36.9	1.46	10.29	4.49
0:00:30	25.5	23.4	2.19	12.00	4.26	31	37.4	1.45	10.24	4.36
0:00:33	25.5	23.2	2.22	12.13	4.34	31	37.8	1.46	10.25	4.40
0:00:36	25.5	23	2.23	12.26	4.41	31	38.1	1.46	10.24	4.33
0:00:39	25.4	22.8	2.25	12.30	4.46	31.1	38.3	1.46	10.22	4.34
0:00:42	25.4	22.6	2.26	12.37	4.43	31.1	38.5	1.45	10.20	4.30
0:00:45	25.3	22.4	2.26	12.45	4.42	31.2	38.7	1.45	10.18	4.26
0:00:48	25.3	22.2	2.26	12.49	4.41	31.2	38.8	1.45	10.18	4.26
0:00:51	25.2	22	2.25	12.52	4.39	31.3	38.9	1.45	10.20	4.27
0:00:54	25.1	21.8	2.24	12.54	4.36	31.3	39	1.46	10.20	4.26
0:00:57	24.9	21.6	2.24	12.56	4.34	31.4	39.1	1.46	10.22	4.27
0:01:00	24.8	21.4	2.24	12.56	4.31	31.4	39.1	1.45	10.24	4.26
0:01:03	24.6	21.3	2.23	12.54	4.28	31.5	39.2	1.45	10.24	4.30
0:01:06	24.5	21.1	2.22	12.52	4.25	31.6	39.3	1.45	10.25	4.32
0:01:09	24.4	20.9	2.21	12.49	4.22	31.7	39.4	1.46	10.27	4.32
0:01:12	24.2	20.8	2.21	12.45	4.19	31.7	39.4	1.46	10.29	4.32
0:01:15	24.1	20.7	2.18	12.41	4.16	31.8	39.5	1.46	10.31	4.32
0:01:18	23.9	20.5	2.18	12.37	4.14	31.9	39.6	1.46	10.33	4.36
0:01:21	23.8	20.4	2.17	12.32	4.12	31.9	39.7	1.47	10.37	4.36
0:01:24	23.7	20.3	2.16	12.24	4.10	32	39.7	1.47	10.39	4.41
0:01:27	23.5	20.1	2.15	12.20	4.08	32	39.8	1.46	10.40	4.40
0:01:30	23.4	20	2.14	12.15	4.07	32.1	39.9	1.47	10.42	4.39
0:01:33	23.3	19.9	2.13	12.09	4.06	32.1	40	1.47	10.44	4.41
0:01:36	23.1	19.8	2.14	12.04	4.04	32.2	40.1	1.48	10.46	4.39
0:01:39	23	19.7	2.12	11.98	4.04	32.2	40.2	1.48	10.48	4.41
0:01:42	22.8	19.5	2.11	11.94	4.03	32.3	40.3	1.47	10.48	4.41
0:01:45	22.7	19.4	2.12	11.90	4.02	32.4	40.3	1.48	10.50	4.42
0:01:48	22.6	19.3	2.11	11.87	4.03	32.5	40.4	1.48	10.52	4.41
0:01:51	22.5	19.2	2.11	11.85	4.03	32.6	40.5	1.49	10.54	4.40
0:01:54	22.4	19	2.11	11.85	4.04	32.7	40.6	1.47	10.55	4.43

ตารางที่ ข.3 แสดงข้อมูลดิบจากการวัดที่อัตราการไหลของน้ำร้อน 13 litre/min (ต่อ)

Time	T _{cw,j}	T _{cw,o}	W _R	P _{c,22}	P _{e,22}	T _{hw,j}	T _{hw,o}	W _{HP}	P _{c,134}	P _{e,134}
0:01:57	22.2	18.9	2.10	11.81	4.05	32.8	40.7	1.48	10.59	4.44
0:02:00	22.1	18.8	2.11	11.77	4.05	32.9	40.7	1.50	10.61	4.46
0:02:03	22	18.7	2.10	11.75	4.04	32.9	40.8	1.49	10.65	4.46
0:02:06	21.9	18.5	2.09	11.74	4.04	33	40.9	1.50	10.67	4.48
0:02:09	21.8	18.4	2.10	11.72	4.04	33.1	41	1.50	10.70	4.50
0:02:12	21.7	18.3	2.09	11.68	4.04	33.1	41.1	1.51	10.72	4.50
0:02:15	21.6	18.2	2.09	11.68	4.04	33.2	41.2	1.51	10.74	4.52
0:02:18	21.5	18.1	2.09	11.64	4.04	33.3	41.3	1.51	10.78	4.55
0:02:21	21.4	18	2.09	11.62	4.03	33.4	41.4	1.51	10.78	4.51
0:02:24	21.3	17.9	2.09	11.62	4.03	33.5	41.5	1.51	10.80	4.52
0:02:27	21.2	17.8	2.08	11.59	4.03	33.5	41.6	1.52	10.84	4.56
0:02:30	21.1	17.7	2.09	11.57	4.04	33.6	41.6	1.52	10.85	4.55
0:02:33	21	17.5	2.08	11.57	4.03	33.7	41.7	1.52	10.87	4.56
0:02:36	20.9	17.5	2.08	11.55	4.02	33.7	41.8	1.52	10.91	4.57
0:02:39	20.8	17.4	2.07	11.53	4.03	33.8	41.9	1.53	10.93	4.56
0:02:42	20.7	17.3	2.07	11.51	4.02	33.9	42	1.53	10.95	4.56
0:02:45	20.6	17.2	2.08	11.53	4.01	34	42.1	1.54	10.97	4.52
0:02:48	20.6	17.1	2.07	11.51	4.02	34	42.2	1.53	10.99	4.56
0:02:51	20.5	17	2.08	11.49	4.01	34.1	42.3	1.54	11.00	4.56
0:02:54	20.4	16.9	2.07	11.49	4.01	34.2	42.3	1.54	11.02	4.56
0:02:57	20.3	16.8	2.07	11.49	4.02	34.2	42.4	1.55	11.04	4.56
0:03:00	20.2	16.7	2.08	11.49	4.02	34.3	42.5	1.56	11.06	4.58
0:03:03	20.1	16.7	2.07	11.47	4.02	34.4	42.6	1.56	11.08	4.58
0:03:06	20.1	16.6	2.09	11.47	4.02	34.5	42.7	1.56	11.10	4.57
0:03:09	20	16.5	2.08	11.45	4.02	34.5	42.8	1.56	11.12	4.56
0:03:12	19.9	16.4	2.08	11.47	4.02	34.6	42.8	1.57	11.14	4.57
0:03:15	19.9	16.3	2.08	11.44	4.01	34.7	42.9	1.57	11.17	4.60
0:03:18	19.8	16.3	2.07	11.44	4.01	34.8	43	1.57	11.19	4.60
0:03:21	19.7	16.2	2.06	11.44	4.01	34.9	43.1	1.57	11.23	4.61
0:03:24	19.7	16.1	2.06	11.42	4.00	35	43.2	1.58	11.27	4.63
0:03:27	19.6	16.1	2.06	11.40	4.00	35.1	43.2	1.59	11.29	4.63
0:03:30	19.5	16	2.07	11.38	3.99	35.1	43.3	1.59	11.30	4.64
0:03:33	19.5	15.9	2.06	11.38	3.99	35.2	43.4	1.59	11.34	4.67
0:03:36	19.4	15.8	2.05	11.36	3.98	35.3	43.5	1.59	11.36	4.67
0:03:39	19.3	15.8	2.05	11.34	3.99	35.3	43.6	1.59	11.38	4.65

ตารางที่ ข.3 แสดงข้อมูลดิบจากการวัดที่อัตราการไหลของน้ำร้อน 13 litre/min (ต่อ)

Time	T _{cw,i}	T _{cw,o}	W _R	P _{c,22}	P _{e,22}	T _{hw,i}	T _{hw,o}	W _{HP}	P _{c,134}	P _{e,134}
0:03:42	19.3	15.7	2.05	11.32	3.98	35.4	43.7	1.60	11.40	4.64
0:03:45	19.2	15.7	2.04	11.32	3.98	35.5	43.8	1.61	11.42	4.64
0:03:48	19.1	15.6	2.06	11.30	3.97	35.6	43.8	1.60	11.44	4.64
0:03:51	19.1	15.5	2.05	11.30	3.97	35.6	43.9	1.60	11.45	4.64
0:03:54	19	15.5	2.05	11.32	3.97	35.7	44	1.61	11.49	4.66
0:03:57	19	15.4	2.05	11.32	3.97	35.8	44.1	1.61	11.51	4.66
0:04:00	18.9	15.4	2.05	11.30	3.97	35.9	44.2	1.61	11.53	4.69
0:04:03	18.8	15.3	2.05	11.29	3.97	36	44.3	1.61	11.55	4.67
0:04:06	18.8	15.2	2.05	11.29	3.97	36	44.3	1.62	11.59	4.68
0:04:09	18.7	15.2	2.05	11.29	3.98	36.1	44.4	1.63	11.60	4.66
0:04:12	18.7	15.1	2.04	11.29	3.97	36.2	44.5	1.62	11.62	4.65
0:04:15	18.6	15.1	2.04	11.29	3.97	36.3	44.6	1.63	11.64	4.67
0:04:18	18.6	15	2.04	11.27	3.97	36.3	44.7	1.63	11.68	4.71
0:04:21	18.5	15	2.03	11.25	3.97	36.4	44.7	1.64	11.70	4.72
0:04:24	18.5	14.9	2.03	11.25	3.97	36.5	44.8	1.63	11.72	4.73
0:04:27	18.5	14.9	2.03	11.25	3.96	36.5	44.9	1.63	11.74	4.70
0:04:30	18.4	14.8	2.03	11.25	3.96	36.6	45	1.64	11.75	4.66
0:04:33	18.3	14.8	2.03	11.27	3.96	36.7	45.1	1.65	11.77	4.69
0:04:36	18.3	14.7	2.03	11.27	3.96	36.8	45.1	1.64	11.79	4.69
0:04:39	18.3	14.7	2.03	11.25	3.97	36.8	45.2	1.64	11.81	4.71
0:04:42	18.2	14.6	2.02	11.25	3.96	36.9	45.3	1.65	11.83	4.70
0:04:45	18.2	14.6	2.03	11.25	3.96	37	45.4	1.65	11.87	4.72
0:04:48	18.1	14.5	2.03	11.23	3.96	37.1	45.4	1.65	11.89	4.72
0:04:51	18.1	14.5	2.02	11.23	3.95	37.2	45.5	1.66	11.90	4.73
0:04:54	18	14.4	2.03	11.21	3.95	37.2	45.6	1.66	11.94	4.73
0:04:57	18	14.4	2.02	11.19	3.94	37.3	45.7	1.67	11.96	4.74
0:05:00	18	14.4	2.02	11.21	3.94	37.4	45.7	1.67	11.98	4.75
0:05:03	17.9	14.3	2.02	11.19	3.94	37.5	45.8	1.67	12.02	4.74
0:05:06	17.9	14.3	2.02	11.19	3.94	37.6	45.9	1.68	12.04	4.75
0:05:09	17.8	14.3	2.02	11.17	3.93	37.6	46	1.68	12.07	4.75
0:05:12	17.8	14.2	2.02	11.15	3.93	37.7	46.1	1.68	12.09	4.79
0:05:15	17.8	14.2	2.03	11.14	3.93	37.7	46.1	1.68	12.13	4.80
0:05:18	17.7	14.2	2.03	11.12	3.92	37.8	46.2	1.69	12.15	4.78
0:05:21	17.7	14.1	2.02	11.12	3.91	37.9	46.3	1.69	12.17	4.77
0:05:24	17.7	14.1	2.03	11.12	3.91	38	46.4	1.69	12.19	4.78

ตารางที่ ข.3 แสดงข้อมูลดิบจากการวัดที่อัตราการไหลของน้ำร้อน 13 litre/min (ต่อ)

Time	T _{cw,i}	T _{cw,o}	W _R	P _{c,22}	P _{e,22}	T _{hw,i}	T _{hw,o}	W _{HP}	P _{c,134}	P _{e,134}
0:05:27	17.6	14.1	2.02	11.12	3.91	38.1	46.5	1.70	12.20	4.78
0:05:30	17.6	14	2.03	11.12	3.91	38.2	46.6	1.70	12.22	4.78
0:05:33	17.6	14	2.01	11.10	3.91	38.3	46.6	1.71	12.24	4.76
0:05:36	17.5	14	2.02	11.10	3.92	38.3	46.7	1.71	12.28	4.78
0:05:39	17.5	13.9	2.01	11.08	3.93	38.4	46.8	1.71	12.30	4.80
0:05:42	17.5	13.9	2.01	11.08	3.91	38.5	46.9	1.72	12.34	4.80
0:05:45	17.4	13.9	2.00	11.06	3.91	38.6	46.9	1.71	12.35	4.79
0:05:48	17.4	13.8	2.00	11.06	3.91	38.7	47	1.73	12.39	4.81
0:05:51	17.4	13.8	2.01	11.06	3.90	38.8	47.1	1.72	12.41	4.82
0:05:54	17.4	13.8	1.99	11.04	3.90	38.8	47.2	1.73	12.45	4.83
0:05:57	17.4	13.8	2.01	11.02	3.90	38.9	47.3	1.73	12.49	4.82
0:06:00	17.3	13.7	2.01	11.02	3.90	39	47.4	1.74	12.50	4.83
0:06:03	17.3	13.7	2.01	11.02	3.89	39	47.4	1.75	12.52	4.85
0:06:06	17.3	13.7	2.01	11.00	3.89	39.1	47.5	1.74	12.54	4.82
0:06:09	17.3	13.7	2.00	10.99	3.89	39.2	47.6	1.74	12.58	4.84
0:06:12	17.2	13.6	1.98	10.99	3.87	39.3	47.7	1.75	12.60	4.84
0:06:15	17.2	13.6	1.99	10.97	3.88	39.4	47.8	1.75	12.62	4.83
0:06:18	17.2	13.6	1.99	10.97	3.88	39.4	47.9	1.76	12.64	4.84
0:06:21	17.1	13.6	1.99	10.97	3.88	39.5	48	1.76	12.67	4.85
0:06:24	17.1	13.6	2.01	10.95	3.88	39.6	48	1.76	12.69	4.85
0:06:27	17.1	13.5	2.00	10.95	3.88	39.7	48.1	1.77	12.73	4.85
0:06:30	17.1	13.5	1.99	10.95	3.88	39.8	48.2	1.78	12.75	4.86
0:06:33	17	13.5	1.98	10.95	3.88	39.8	48.3	1.79	12.77	4.86
0:06:36	17	13.4	1.99	10.93	3.89	39.9	48.4	1.77	12.80	4.86
0:06:39	17	13.4	2.00	10.93	3.88	40	48.4	1.78	12.82	4.87
0:06:42	17	13.4	2.00	10.93	3.88	40	48.5	1.78	12.84	4.88
0:06:45	16.9	13.3	2.00	10.93	3.88	40.1	48.6	1.78	12.86	4.86
0:06:48	16.9	13.3	1.98	10.91	3.88	40.2	48.7	1.79	12.90	4.88
0:06:51	16.9	13.3	1.98	10.91	3.88	40.3	48.8	1.80	12.92	4.87
0:06:54	16.9	13.2	1.98	10.93	3.88	40.4	48.8	1.80	12.94	4.86
0:06:57	16.8	13.2	2.00	10.93	3.88	40.4	48.9	1.80	12.95	4.88
0:07:00	16.8	13.2	2.00	10.91	3.88	40.5	49	1.80	12.97	4.88
0:07:03	16.8	13.1	2.00	10.93	3.88	40.6	49	1.81	13.01	4.86
0:07:06	16.7	13.1	1.99	10.91	3.89	40.6	49.1	1.81	13.03	4.88
0:07:09	16.7	13.1	1.97	10.91	3.88	40.7	49.2	1.81	13.05	4.87

ตารางที่ ข.3 แสดงข้อมูลดิบจากการวัดที่อัตราการไหลของน้ำร้อน 13 litre/min (ต่อ)

Time	T _{cw,i}	T _{cw,o}	W _R	P _{c,22}	P _{e,22}	T _{hw,i}	T _{hw,o}	W _{HP}	P _{c,134}	P _{e,134}
0:07:12	16.7	13.1	1.99	10.93	3.88	40.8	49.3	1.81	13.07	4.87
0:07:15	16.7	13.1	2.01	10.93	3.89	40.9	49.3	1.82	13.10	4.88
0:07:18	16.7	13	2.01	10.93	3.88	41	49.4	1.82	13.12	4.88
0:07:21	16.6	13	2.00	10.93	3.88	41	49.5	1.83	13.14	4.89
0:07:24	16.6	13	1.98	10.93	3.87	41.1	49.6	1.83	13.18	4.90
0:07:27	16.6	13	1.98	10.91	3.87	41.2	49.6	1.83	13.20	4.93
0:07:30	16.6	13	1.99	10.91	3.87	41.3	49.7	1.84	13.24	4.93
0:07:33	16.6	13	2.00	10.89	3.86	41.4	49.8	1.84	13.25	4.93
0:07:36	16.6	12.9	1.99	10.89	3.86	41.5	49.9	1.85	13.29	4.94
0:07:39	16.5	12.9	1.98	10.89	3.85	41.6	49.9	1.85	13.33	4.93
0:07:42	16.5	12.9	1.98	10.87	3.86	41.6	50	1.85	13.35	4.94
0:07:45	16.5	12.9	1.98	10.85	3.86	41.7	50.1	1.86	13.39	4.94
0:07:48	16.5	12.9	2.00	10.87	3.85	41.8	50.2	1.86	13.40	4.94
0:07:51	16.5	12.9	1.99	10.87	3.85	41.9	50.3	1.86	13.42	4.94
0:07:54	16.4	12.8	1.97	10.87	3.85	41.9	50.4	1.86	13.46	4.94
0:07:57	16.4	12.8	1.98	10.85	3.85	42	50.5	1.87	13.48	4.94
0:08:00	16.4	12.8	1.99	10.84	3.85	42.1	50.5	1.88	13.50	4.95
0:08:03	16.4	12.8	2.00	10.84	3.85	42.2	50.6	1.87	13.54	4.96
0:08:06	16.4	12.8	1.98	10.84	3.85	42.3	50.7	1.88	13.55	4.95
0:08:09	16.4	12.8	1.98	10.85	3.85	42.4	50.8	1.89	13.59	4.95
0:08:12	16.3	12.7	1.98	10.85	3.85	42.4	50.9	1.89	13.61	4.96
0:08:15	16.3	12.7	1.98	10.85	3.86	42.5	50.9	1.89	13.65	4.96
0:08:18	16.3	12.7	1.99	10.84	3.85	42.6	51	1.89	13.69	4.98
0:08:21	16.3	12.7	1.98	10.84	3.85	42.7	51.1	1.91	13.70	4.96
0:08:24	16.3	12.7	1.98	10.84	3.86	42.8	51.2	1.90	13.72	4.99
0:08:27	16.3	12.6	1.96	10.85	3.86	42.8	51.3	1.91	13.76	4.97
0:08:30	16.2	12.6	1.97	10.84	3.86	42.9	51.4	1.91	13.78	4.99
0:08:33	16.2	12.6	2.00	10.85	3.85	42.9	51.4	1.91	13.80	4.99
0:08:36	16.2	12.6	1.98	10.84	3.86	43	51.5	1.91	13.84	5.02
0:08:39	16.2	12.6	1.98	10.82	3.86	43	51.6	1.92	13.87	5.01
0:08:42	16.2	12.6	1.97	10.82	3.85	43.1	51.7	1.93	13.89	5.04
0:08:45	16.2	12.5	1.97	10.82	3.84	43.2	51.8	1.93	13.91	5.02
0:08:48	16.2	12.5	1.99	10.82	3.85	43.3	51.8	1.93	13.95	5.02
0:08:51	16.2	12.5	1.98	10.82	3.85	43.3	51.9	1.94	13.97	5.01
0:08:54	16.2	12.5	1.97	10.82	3.85	43.4	52	1.94	13.99	5.01

ตารางที่ ข.3 แสดงข้อมูลดิบจากการวัดที่อัตราการไหลของน้ำร้อน 13 litre/min (ต่อ)

Time	T _{cw,j}	T _{cw,o}	W _R	P _{c,22}	P _{e,22}	T _{hw,j}	T _{hw,o}	W _{HP}	P _{c,134}	P _{e,134}
0:08:57	16.1	12.5	1.97	10.82	3.86	43.5	52.1	1.94	14.00	5.01
0:09:00	16.1	12.5	1.98	10.82	3.87	43.6	52.2	1.94	14.04	5.05
0:09:03	16.1	12.5	1.98	10.82	3.87	43.7	52.2	1.94	14.08	5.05
0:09:06	16.1	12.5	1.99	10.82	3.87	43.8	52.3	1.95	14.10	5.05
0:09:09	16.1	12.4	1.98	10.84	3.87	43.8	52.4	1.95	14.14	5.05
0:09:12	16.1	12.4	1.97	10.84	3.87	43.9	52.5	1.96	14.15	5.05
0:09:15	16.1	12.4	1.98	10.84	3.87	44	52.5	1.96	14.19	5.04
0:09:18	16.1	12.4	1.99	10.84	3.88	44.1	52.6	1.97	14.23	5.06
0:09:21	16	12.4	2.00	10.84	3.87	44.1	52.7	1.97	14.25	5.05
0:09:24	16	12.4	1.99	10.84	3.87	44.2	52.8	1.98	14.27	5.07
0:09:27	16	12.4	1.98	10.84	3.88	44.3	52.9	1.98	14.30	5.06
0:09:30	16	12.4	1.98	10.84	3.88	44.4	52.9	1.99	14.32	5.07
0:09:33	16	12.3	1.99	10.85	3.87	44.5	53	1.99	14.34	5.06
0:09:36	16	12.3	2.00	10.85	3.88	44.6	53.1	1.99	14.38	5.06
0:09:39	16	12.3	2.00	10.85	3.88	44.7	53.2	1.99	14.42	5.08
0:09:42	16	12.3	1.98	10.87	3.88	44.8	53.3	2.01	14.45	5.07
0:09:45	16	12.3	1.97	10.87	3.87	44.8	53.3	2.00	14.49	5.09
0:09:48	16	12.3	1.98	10.85	3.87	44.9	53.4	2.01	14.51	5.08
0:09:51	16	12.3	2.00	10.85	3.88	45	53.5	2.01	14.55	5.10
0:09:54	15.9	12.3	1.99	10.85	3.87	45.1	53.6	2.01	14.57	5.09
0:09:57	15.9	12.2	1.98	10.85	3.88	45.1	53.7	2.01	14.59	5.11
0:10:00	15.9	12.2	1.97	10.87	3.87	45.2	53.8	2.02	14.62	5.09
0:10:03	15.9	12.2	1.98	10.87	3.87	45.3	53.8	2.02	14.66	5.10
0:10:06	15.9	12.2	2.00	10.87	3.87	45.3	53.9	2.03	14.68	5.09
0:10:09	15.9	12.2	1.99	10.87	3.87	45.4	54	2.04	14.70	5.11
0:10:12	15.9	12.2	1.99	10.87	3.87	45.5	54.1	2.04	14.72	5.11
0:10:15	15.9	12.2	1.98	10.87	3.87	45.5	54.2	2.04	14.74	5.09
0:10:18	15.9	12.2	1.98	10.89	3.87	45.6	54.2	2.05	14.75	5.11
0:10:21	15.9	12.2	2.00	10.89	3.87	45.7	54.3	2.05	14.79	5.11
0:10:24	15.9	12.2	2.00	10.91	3.87	45.8	54.4	2.05	14.81	5.12
0:10:27	15.9	12.2	1.99	10.89	3.87	45.8	54.5	2.05	14.83	5.11
0:10:30	15.9	12.2	1.98	10.89	3.87	45.9	54.5	2.05	14.87	5.13
0:10:33	15.9	12.2	1.98	10.91	3.87	46	54.6	2.06	14.89	5.14
0:10:36	15.9	12.2	1.99	10.91	3.87	46.1	54.7	2.07	14.92	5.12
0:10:39	15.8	12.2	2.00	10.91	3.87	46.2	54.8	2.06	14.94	5.13

ตารางที่ ข.3 แสดงข้อมูลดิบจากการวัดที่อัตราการไหลของน้ำร้อน 13 litre/min (ต่อ)

Time	T _{cw,i}	T _{cw,o}	W _R	P _{c,22}	P _{e,22}	T _{hw,i}	T _{hw,o}	W _{HP}	P _{c,134}	P _{e,134}
0:10:42	15.8	12.2	1.99	10.91	3.87	46.3	54.8	2.07	14.98	5.14
0:10:45	15.8	12.2	1.98	10.91	3.87	46.4	54.9	2.07	15.02	5.13
0:10:48	15.8	12.2	1.98	10.93	3.87	46.5	55	2.08	15.05	5.15
0:10:51	15.8	12.2	1.99	10.91	3.87	46.6	55	2.09	15.07	5.14
0:10:54	15.8	12.2	2.00	10.91	3.87	46.7	55.1	2.09	15.11	5.16
0:10:57	15.8	12.1	2.00	10.93	3.87	46.8	55.2	2.09	15.15	5.16
0:11:00	15.8	12.1	1.99	10.93	3.87	46.8	55.3	2.10	15.19	5.16
0:11:03	15.8	12.1	1.98	10.93	3.87	46.9	55.4	2.10	15.22	5.16
0:11:06	15.8	12.1	1.98	10.93	3.87	47	55.5	2.10	15.26	5.18
0:11:09	15.8	12.1	2.00	10.93	3.87	47	55.6	2.11	15.28	5.17
0:11:12	15.8	12.1	2.00	10.93	3.87	47.1	55.6	2.11	15.30	5.18
0:11:15	15.8	12.1	2.00	10.93	3.86	47.2	55.7	2.12	15.34	5.19
0:11:18	15.8	12.1	1.97	10.93	3.87	47.3	55.8	2.13	15.35	5.17
0:11:21	15.8	12.1	1.98	10.93	3.87	47.3	55.9	2.12	15.37	5.19
0:11:24	15.8	12.1	2.00	10.95	3.87	47.4	56	2.13	15.41	5.19
0:11:27	15.8	12.1	2.01	10.95	3.87	47.5	56.1	2.14	15.43	5.17
0:11:30	15.8	12.1	2.00	10.95	3.87	47.6	56.2	2.13	15.47	5.20
0:11:33	15.8	12.1	1.99	10.97	3.87	47.6	56.2	2.13	15.49	5.19
0:11:36	15.7	12.1	1.99	10.95	3.87	47.7	56.3	2.14	15.50	5.21
0:11:39	15.7	12.1	1.99	10.97	3.87	47.8	56.4	2.15	15.54	5.20
0:11:42	15.7	12.1	2.01	10.95	3.87	47.9	56.4	2.16	15.58	5.21
0:11:45	15.7	12.1	2.00	10.97	3.87	48	56.5	2.16	15.60	5.21
0:11:48	15.7	12.1	1.99	10.97	3.87	48.1	56.6	2.16	15.65	5.22
0:11:51	15.7	12.1	1.98	10.97	3.86	48.2	56.7	2.16	15.69	5.23
0:11:54	15.7	12.1	1.99	10.97	3.87	48.3	56.8	2.17	15.71	5.21
0:11:57	15.7	12.1	2.00	10.99	3.86	48.3	56.8	2.17	15.75	5.23
0:12:00	15.7	12.1	2.01	10.99	3.87	48.4	56.9	2.18	15.77	5.23
0:12:03	15.7	12.1	2.00	10.99	3.87	48.5	57	2.19	15.80	5.24
0:12:06	15.7	12.1	1.99	10.99	3.86	48.5	57.1	2.19	15.82	5.25
0:12:09	15.7	12.1	1.99	10.99	3.86	48.6	57.2	2.19	15.86	5.25
0:12:12	15.7	12.1	2.01	10.99	3.87	48.7	57.3	2.19	15.88	5.26
0:12:15	15.7	12.1	2.02	10.99	3.87	48.8	57.4	2.19	15.92	5.24
0:12:18	15.7	12.1	2.00	11.00	3.87	48.9	57.4	2.20	15.94	5.26
0:12:21	15.7	12.1	1.99	10.99	3.86	48.9	57.5	2.21	15.97	5.25
0:12:24	15.7	12.1	1.99	11.00	3.87	49	57.6	2.20	15.99	5.26

ตารางที่ ข.3 แสดงข้อมูลดิบจากการวัดที่อัตราการไหลของน้ำร้อน 13 litre/min (ต่อ)

Time	T _{cw,i}	T _{cw,o}	W _R	P _{c,22}	P _{e,22}	T _{hw,i}	T _{hw,o}	W _{HP}	P _{c,134}	P _{e,134}
0:12:27	15.7	12.1	2.00	11.02	3.86	49.1	57.7	2.21	16.03	5.27
0:12:30	15.7	12.1	2.00	11.00	3.87	49.2	57.8	2.21	16.07	5.27
0:12:33	15.7	12.1	2.01	11.02	3.88	49.2	57.8	2.22	16.09	5.27
0:12:36	15.7	12.1	2.00	11.02	3.86	49.3	57.9	2.22	16.12	5.28
0:12:39	15.7	12.1	2.00	11.02	3.86	49.4	58	2.22	16.16	5.29
0:12:42	15.7	12.1	1.99	11.02	3.87	49.4	58.1	2.24	16.18	5.31
0:12:45	15.7	12.1	2.01	11.02	3.87	49.5	58.2	2.23	16.20	5.30
0:12:48	15.7	12.1	2.01	11.02	3.87	49.6	58.3	2.23	16.24	5.31
0:12:51	15.7	12.1	2.01	11.02	3.87	49.7	58.3	2.24	16.25	5.31
0:12:54	15.8	12.1	2.00	11.02	3.86	49.7	58.4	2.25	16.29	5.31
0:12:57	15.7	12.1	1.99	11.02	3.87	49.8	58.5	2.25	16.31	5.31
0:13:00	15.7	12.1	2.00	11.04	3.87	49.9	58.6	2.25	16.33	5.31
0:13:03	15.8	12.1	2.01	11.04	3.86	50	58.6	2.26	16.37	5.32
0:13:06	15.7	12.1	2.02	11.04	3.87	50	58.7	2.26	16.39	5.31
0:13:09	15.7	12.1	2.01	11.06	3.87	50.1	58.8	2.26	16.42	5.33
0:13:12	15.7	12.1	2.00	11.06	3.87	50.1	58.9	2.27	16.46	5.33
0:13:15	15.7	12.1	1.99	11.06	3.87	50.2	58.9	2.28	16.48	5.34
0:13:18	15.7	12.1	2.00	11.06	3.86	50.2	59	2.27	16.50	5.33
0:13:21	15.7	12.1	2.01	11.06	3.86	50.3	59.1	2.28	16.52	5.33
0:13:24	15.7	12.1	2.02	11.08	3.87	50.4	59.2	2.28	16.54	5.32
0:13:27	15.7	12.1	2.02	11.08	3.87	50.5	59.2	2.28	16.57	5.33
0:13:30	15.7	12.1	2.01	11.08	3.87	50.6	59.3	2.29	16.59	5.34
0:13:33	15.7	12.1	2.00	11.10	3.87	50.7	59.4	2.27	16.63	5.34
0:13:36	15.7	12.1	1.99	11.10	3.88	50.8	59.4	2.30	16.67	5.36
0:13:39	15.7	12.1	2.01	11.10	3.87	50.9	59.5	2.29	16.70	5.36
0:13:42	15.7	12.1	2.02	11.10	3.87	51	59.6	2.31	16.74	5.38
0:13:45	15.7	12.1	2.03	11.10	3.87	51.1	59.6	2.32	16.78	5.39
0:13:48	15.7	12.1	2.01	11.10	3.87	51.2	59.7	2.32	16.82	5.39
0:13:51	15.7	12.1	2.00	11.10	3.86	51.3	59.8	2.32	16.85	5.39
0:13:54	15.7	12.1	2.00	11.10	3.87	51.3	59.9	2.32	16.89	5.40
0:13:57	15.7	12.1	2.01	11.10	3.87	51.4	60	2.33	16.93	5.39
0:14:00	15.7	12.1	2.02	11.10	3.86	51.5	60.1	2.34	16.97	5.40
0:14:03	15.7	12.1	2.02	11.12	3.87	51.6	60.1	2.34	16.99	5.40
0:14:06	15.7	12.1	2.01	11.12	3.87	51.7	60.2	2.34	17.02	5.41
0:14:09	15.7	12.1	2.00	11.12	3.86	51.7	60.3	2.34	17.04	5.41

ตารางที่ ข.3 แสดงข้อมูลดิบจากการวัดที่อัตราการไหลของน้ำร้อน 13 litre/min (ต่อ)

Time	T _{cw,j}	T _{cw,o}	W _R	P _{c,22}	P _{e,22}	T _{hw,j}	T _{hw,o}	W _{HP}	P _{c,134}	P _{e,134}
0:14:12	15.7	12.1	1.99	11.12	3.87	51.8	60.4	2.35	17.08	5.41
0:14:15	15.7	12.1	2.01	11.12	3.87	51.9	60.5	2.35	17.12	5.42
0:14:18	15.7	12.1	2.03	11.12	3.88	51.9	60.6	2.36	17.14	5.41
0:14:21	15.7	12.1	2.02	11.14	3.87	52	60.7	2.37	17.17	5.43
0:14:24	15.7	12.1	2.01	11.14	3.87	52.1	60.8	2.37	17.19	5.43
0:14:27	15.7	12.1	2.00	11.14	3.88	52.2	60.8	2.37	17.21	5.44
0:14:30	15.7	12.1	2.00	11.14	3.87	52.2	60.9	2.38	17.25	5.44
0:14:33	15.7	12.1	2.03	11.15	3.87	52.3	61	2.38	17.29	5.44
0:14:36	15.7	12.1	2.03	11.15	3.87	52.4	61.1	2.39	17.30	5.44
0:14:39	15.7	12.1	2.03	11.15	3.87	52.5	61.1	2.39	17.34	5.44
0:14:42	15.7	12.1	2.02	11.15	3.88	52.6	61.2	2.39	17.36	5.43
0:14:45	15.7	12.1	2.01	11.17	3.88	52.6	61.3	2.40	17.40	5.45
0:14:48	15.7	12.1	2.01	11.17	3.88	52.7	61.4	2.41	17.44	5.45
0:14:51	15.7	12.1	2.01	11.17	3.88	52.8	61.4	2.41	17.45	5.45
0:14:54	15.7	12.1	2.02	11.19	3.88	52.9	61.5	2.41	17.49	5.47
0:14:57	15.7	12.1	2.03	11.19	3.88	52.9	61.6	2.42	17.53	5.47
0:15:00	15.7	12.1	2.03	11.19	3.88	53	61.7	2.42	17.55	5.47
0:15:03	15.8	12.1	2.03	11.19	3.88	53.1	61.8	2.43	17.59	5.47
0:15:06	15.7	12.1	2.01	11.19	3.88	53.2	61.8	2.43	17.60	5.47
0:15:09	15.7	12.1	2.02	11.21	3.88	53.3	61.9	2.43	17.64	5.48
0:15:12	15.7	12.1	2.02	11.21	3.88	53.4	62	2.44	17.68	5.48
0:15:15	15.7	12.1	2.02	11.23	3.88	53.4	62.1	2.45	17.70	5.48
0:15:18	15.7	12.1	2.03	11.23	3.88	53.5	62.1	2.45	17.74	5.49
0:15:21	15.8	12.2	2.05	11.23	3.89	53.6	62.2	2.45	17.77	5.51
0:15:24	15.7	12.1	2.04	11.25	3.88	53.7	62.3	2.46	17.81	5.50
0:15:27	15.7	12.1	2.04	11.25	3.88	53.7	62.4	2.46	17.85	5.52
0:15:30	15.8	12.1	2.03	11.25	3.89	53.8	62.5	2.46	17.87	5.51
0:15:33	15.8	12.2	2.02	11.27	3.89	53.9	62.5	2.46	17.90	5.52
0:15:36	15.8	12.2	2.02	11.27	3.88	54	62.6	2.47	17.94	5.52
0:15:39	15.8	12.2	2.02	11.27	3.88	54	62.7	2.48	17.96	5.53
0:15:42	15.8	12.2	2.02	11.27	3.89	54.1	62.8	2.48	18.00	5.53
0:15:45	15.8	12.2	2.04	11.27	3.88	54.2	62.9	2.48	18.02	5.54
0:15:48	15.8	12.2	2.03	11.29	3.88	54.2	63	2.49	18.05	5.53
0:15:51	15.8	12.2	2.04	11.27	3.88	54.3	63	2.49	18.07	5.53
0:15:54	15.8	12.2	2.05	11.29	3.88	54.4	63.1	2.50	18.09	5.54

ตารางที่ ข.3 แสดงข้อมูลดิบจากการวัดที่อัตราการไหลของน้ำร้อน 13 litre/min (ต่อ)

Time	T _{cw,i}	T _{cw,o}	W _R	P _{c,22}	P _{e,22}	T _{hw,i}	T _{hw,o}	W _{HP}	P _{c,134}	P _{e,134}
0:15:57	15.8	12.2	2.04	11.30	3.88	54.5	63.2	2.50	18.13	5.54
0:16:00	15.8	12.2	2.04	11.30	3.88	54.6	63.3	2.50	18.17	5.54
0:16:03	15.8	12.2	2.02	11.30	3.88	54.7	63.3	2.51	18.20	5.55
0:16:06	15.8	12.2	2.03	11.30	3.89	54.7	63.4	2.51	18.24	5.56
0:16:09	15.8	12.2	2.03	11.30	3.88	54.8	63.5	2.51	18.26	5.57
0:16:12	15.8	12.2	2.03	11.32	3.88	54.9	63.6	2.52	18.30	5.57
0:16:15	15.8	12.2	2.03	11.32	3.88	55	63.7	2.52	18.34	5.57
0:16:18	15.8	12.2	2.04	11.32	3.89	55	63.7	2.52	18.37	5.58
0:16:21	15.8	12.2	2.03	11.32	3.87	55.1	63.8	2.53	18.39	5.58
0:16:24	15.8	12.2	2.03	11.32	3.88	55.2	63.9	2.54	18.43	5.58
0:16:27	15.8	12.2	2.03	11.34	3.88	55.3	64	2.54	18.45	5.59
0:16:30	15.8	12.2	2.02	11.34	3.88	55.4	64	2.55	18.49	5.59
0:16:33	15.8	12.2	2.03	11.34	3.88	55.4	64.1	2.55	18.52	5.60
0:16:36	15.8	12.2	2.02	11.34	3.88	55.5	64.2	2.55	18.56	5.61
0:16:39	15.8	12.2	2.02	11.36	3.88	55.6	64.3	2.55	18.58	5.60
0:16:42	15.8	12.2	2.03	11.36	3.88	55.7	64.4	2.56	18.62	5.61
0:16:45	15.8	12.2	2.03	11.36	3.89	55.8	64.4	2.56	18.65	5.61
0:16:48	15.8	12.3	2.03	11.38	3.89	55.9	64.5	2.56	18.67	5.61
0:16:51	15.8	12.2	2.04	11.38	3.88	55.9	64.6	2.57	18.71	5.62
0:16:54	15.8	12.2	2.04	11.38	3.88	56	64.7	2.57	18.75	5.63
0:16:57	15.8	12.2	2.04	11.38	3.88	56.1	64.8	2.58	18.79	5.62
0:17:00	15.8	12.3	2.05	11.40	3.88	56.2	64.8	2.59	18.82	5.64
0:17:03	15.8	12.3	2.05	11.40	3.88	56.3	64.9	2.59	18.86	5.63
0:17:06	15.8	12.3	2.04	11.40	3.89	56.3	65	2.59	18.88	5.65
0:17:09	15.8	12.3	2.03	11.40	3.88	56.4	65.1	2.61	18.92	5.65
0:17:12	15.9	12.3	2.03	11.40	3.89	56.5	65.2	2.60	18.95	5.65
0:17:15	15.9	12.3	2.04	11.42	3.89	56.6	65.2	2.60	18.99	5.65
0:17:18	15.9	12.3	2.04	11.42	3.89	56.6	65.3	2.61	19.03	5.67
0:17:21	15.9	12.3	2.04	11.44	3.89	56.7	65.4	2.61	19.05	5.68
0:17:24	15.9	12.3	2.04	11.44	3.89	56.8	65.5	2.62	19.09	5.67
0:17:27	15.9	12.3	2.05	11.44	3.89	56.8	65.6	2.62	19.12	5.68
0:17:30	15.9	12.3	2.05	11.44	3.88	56.9	65.6	2.63	19.14	5.68
0:17:33	15.9	12.3	2.04	11.45	3.89	57	65.7	2.63	19.18	5.68
0:17:36	15.9	12.3	2.04	11.45	3.89	57.1	65.8	2.64	19.22	5.69
0:17:39	15.9	12.3	2.04	11.47	3.89	57.2	65.9	2.64	19.24	5.68

ตารางที่ ข.3 แสดงข้อมูลดิบจากการวัดที่อัตราการไหลของน้ำร้อน 13 litre/min (ต่อ)

Time	T _{cw,i}	T _{cw,o}	W _R	P _{c,22}	P _{e,22}	T _{hw,i}	T _{hw,o}	W _{HP}	P _{c,134}	P _{e,134}
0:17:42	15.9	12.3	2.04	11.47	3.89	57.3	66	2.65	19.27	5.69
0:17:45	15.9	12.3	2.05	11.49	3.89	57.4	66	2.65	19.31	5.69
0:17:48	15.9	12.3	2.05	11.47	3.89	57.4	66.1	2.66	19.35	5.71
0:17:51	15.9	12.3	2.04	11.51	3.89	57.5	66.2	2.66	19.39	5.71
0:17:54	15.9	12.3	2.05	11.49	3.89	57.6	66.3	2.67	19.42	5.72
0:17:57	15.9	12.3	2.04	11.51	3.89	57.6	66.4	2.67	19.46	5.72
0:18:00	15.9	12.3	2.04	11.49	3.89	57.7	66.4	2.67	19.48	5.72
0:18:03	15.9	12.3	2.05	11.51	3.89	57.8	66.5	2.67	19.52	5.73
0:18:06	15.9	12.4	2.05	11.51	3.89	57.9	66.6	2.69	19.55	5.74
0:18:09	15.9	12.3	2.05	11.53	3.89	57.9	66.7	2.69	19.57	5.74
0:18:12	15.9	12.4	2.06	11.53	3.89	58	66.8	2.69	19.61	5.73
0:18:15	15.9	12.4	2.06	11.53	3.90	58.1	66.8	2.70	19.63	5.74
0:18:18	15.9	12.4	2.05	11.55	3.90	58.2	66.9	2.70	19.67	5.75
0:18:21	15.9	12.4	2.04	11.53	3.89	58.2	67	2.71	19.70	5.75
0:18:24	15.9	12.4	2.05	11.57	3.90	58.3	67.1	2.71	19.74	5.75
0:18:27	15.9	12.4	2.06	11.57	3.89	58.4	67.2	2.72	19.76	5.76
0:18:30	15.9	12.4	2.06	11.57	3.89	58.5	67.2	2.71	19.80	5.77
0:18:33	15.9	12.4	2.05	11.57	3.89	58.6	67.3	2.73	19.84	5.77
0:18:36	15.9	12.4	2.06	11.57	3.89	58.7	67.4	2.73	19.87	5.79
0:18:39	15.9	12.4	2.05	11.57	3.90	58.8	67.5	2.73	19.91	5.78
0:18:42	15.9	12.4	2.05	11.59	3.89	58.9	67.5	2.74	19.97	5.79
0:18:45	15.9	12.4	2.06	11.59	3.89	59	67.6	2.75	20.00	5.79
0:18:48	15.9	12.4	2.07	11.59	3.90	59.1	67.7	2.76	20.04	5.80
0:18:51	15.9	12.4	2.06	11.60	3.90	59.1	67.8	2.75	20.08	5.81
0:18:54	15.9	12.4	2.06	11.62	3.89	59.2	67.9	2.76	20.12	5.81
0:18:57	15.9	12.4	2.06	11.62	3.89	59.3	68	2.77	20.14	5.81
0:19:00	15.9	12.4	2.07	11.62	3.90	59.4	68.1	2.77	20.19	5.82
0:19:03	15.9	12.4	2.07	11.62	3.90	59.5	68.1	2.77	20.21	5.83
0:19:06	15.9	12.4	2.06	11.64	3.90	59.5	68.2	2.78	20.25	5.83
0:19:09	15.9	12.4	2.05	11.62	3.90	59.6	68.3	2.79	20.29	5.83
0:19:12	16	12.4	2.06	11.64	3.89	59.7	68.4	2.79	20.32	5.83
0:19:15	16	12.4	2.06	11.64	3.89	59.7	68.5	2.79	20.36	5.84
0:19:18	16	12.4	2.06	11.66	3.89	59.8	68.5	2.81	20.38	5.83
0:19:21	16	12.4	2.05	11.66	3.90	59.9	68.6	2.80	20.42	5.84
0:19:24	16	12.5	2.06	11.66	3.90	60	68.7	2.81	20.45	5.84

ตารางที่ ข.3 แสดงข้อมูลดิบจากการวัดที่อัตราการไหลของน้ำร้อน 13 litre/min (ต่อ)

Time	T _{cw,i}	T _{cw,o}	W _R	P _{c,22}	P _{e,22}	T _{hw,i}	T _{hw,o}	W _{HP}	P _{c,134}	P _{e,134}
0:19:27	16	12.5	2.07	11.68	3.91	60	68.8	2.81	20.47	5.84
0:19:30	16	12.5	2.07	11.70	3.91	60.1	68.9	2.82	20.51	5.85
0:19:33	16	12.5	2.07	11.70	3.92	60.2	68.9	2.81	20.55	5.86
0:19:36	16	12.5	2.06	11.70	3.91	60.3	69	2.83	20.59	5.86
0:19:39	16	12.5	2.07	11.72	3.90	60.4	69.1	2.83	20.62	5.87
0:19:42	16	12.5	2.08	11.72	3.90	60.4	69.2	2.84	20.64	5.87
0:19:45	16	12.5	2.08	11.72	3.91	60.5	69.3	2.84	20.70	5.88
0:19:48	16	12.5	2.07	11.74	3.91	60.6	69.3	2.85	20.72	5.88
0:19:51	16	12.5	2.07	11.74	3.90	60.7	69.4	2.85	20.75	5.89
0:19:54	16	12.5	2.09	11.75	3.91	60.7	69.5	2.86	20.79	5.90
0:19:57	16	12.5	2.08	11.74	3.91	60.8	69.6	2.86	20.83	5.90
0:20:00	16	12.5	2.08	11.75	3.92	60.9	69.7	2.86	20.87	5.90
0:20:03	16	12.5	2.06	11.77	3.91	60.9	69.7	2.88	20.89	5.90
0:20:06	16	12.5	2.09	11.77	3.91	61	69.8	2.88	20.92	5.90
0:20:09	16	12.5	2.08	11.77	3.92	61.1	69.9	2.87	20.94	5.91
0:20:12	16	12.5	2.07	11.79	3.91	61.2	70	2.88	20.98	5.90
0:20:15	16	12.5	2.07	11.79	3.91	61.2	70	2.90	21.02	5.92
0:20:18	16	12.5	2.09	11.79	3.91	61.3	70.1	2.89	21.05	5.92
0:20:21	16	12.5	2.08	11.81	3.91	61.4	70.2	2.89	21.07	5.92
0:20:24	16	12.5	2.08	11.83	3.92	61.5	70.2	2.90	21.11	5.92
0:20:27	16.1	12.6	2.08	11.83	3.92	61.6	70.3	2.91	21.17	5.93
0:20:30	16.1	12.6	2.09	11.83	3.92	61.7	70.4	2.92	21.19	5.94
0:20:33	16.1	12.6	2.09	11.83	3.92	61.8	70.5	2.92	21.22	5.95
0:20:36	16.1	12.6	2.08	11.85	3.92	61.8	70.5	2.93	21.28	5.95
0:20:39	16.1	12.6	2.09	11.87	3.92	61.9	70.6	2.93	21.32	5.96
0:20:42	16.1	12.6	2.09	11.85	3.93	62	70.7	2.94	21.34	5.96
0:20:45	16.1	12.6	2.09	11.87	3.92	62	70.8	2.94	21.37	5.97
0:20:48	16.1	12.6	2.08	11.89	3.91	62.1	70.9	2.94	21.41	5.97
0:20:51	16.1	12.6	2.09	11.89	3.92	62.2	71	2.95	21.45	5.97
0:20:54	16.1	12.6	2.09	11.89	3.92	62.3	71	2.95	21.47	5.98
0:20:57	16.1	12.6	2.09	11.89	3.92	62.4	71.1	2.96	21.50	5.98
0:21:00	16.1	12.6	2.09	11.90	3.91	62.4	71.2	2.97	21.54	5.98
0:21:03	16.1	12.6	2.10	11.90	3.92	62.5	71.3	2.98	21.60	5.99
0:21:06	16.1	12.6	2.08	11.90	3.92	62.6	71.4	2.98	21.64	6.00
0:21:09	16.1	12.6	2.09	11.90	3.92	62.6	71.4	2.98	21.65	6.00

ตารางที่ ข.3 แสดงข้อมูลดิบจากการวัดที่อัตราการไหลของน้ำร้อน 13 litre/min (ต่อ)

Time	$T_{cw,j}$	$T_{cw,o}$	W_R	$P_{c,22}$	$P_{e,22}$	$T_{hw,j}$	$T_{hw,o}$	W_{HP}	$P_{c,134}$	$P_{e,134}$
0:21:12	16.1	12.6	2.09	11.92	3.92	62.7	71.5	2.99	21.69	6.00
0:21:15	16.1	12.6	2.09	11.92	3.92	62.8	71.6	2.99	21.71	6.00
0:21:18	16.1	12.6	2.09	11.92	3.91	62.9	71.7	2.99	21.75	6.00
0:21:21	16.1	12.6	2.10	11.94	3.91	62.9	71.7	3.00	21.77	6.01
0:21:24	16.1	12.6	2.09	11.94	3.91	63	71.8	3.00	21.80	6.01
0:21:27	16.1	12.6	2.09	11.94	3.92	63.1	71.9	3.00	21.84	6.01
0:21:30	16.1	12.6	2.09	11.96	3.92	63.2	72	3.02	21.90	6.03
0:21:33	16.1	12.7	2.10	11.96	3.93	63.3	72.1	3.02	21.94	6.03
0:21:36	16.1	12.7	2.10	11.98	3.92	63.3	72.1	3.02	21.95	6.04
0:21:39	16.1	12.7	2.09	11.98	3.92	63.4	72.2	3.03	21.99	6.04
0:21:42	16.1	12.7	2.10	11.98	3.93	63.5	72.3	3.03	22.03	6.04
0:00:00	25.5	25.3	2.57	11.36	7.99	31	31.7	1.25	9.54	7.23
0:00:03	25.5	25.3	2.53	12.75	6.17	31	31.7	1.39	10.01	6.67
0:00:06	25.5	25.3	2.43	12.45	5.68	31	31.8	1.41	10.31	6.09
0:00:09	25.5	25.3	2.31	12.19	4.92	31	32.2	1.44	10.42	5.61
0:00:12	25.5	25.1	2.22	12.24	4.39	31	32.9	1.45	10.44	5.38
0:00:15	25.5	24.9	2.20	12.09	4.42	31	33.9	1.46	10.46	5.29
0:00:18	25.5	24.6	2.17	11.96	4.31	31	34.8	1.46	10.46	5.10
0:00:21	25.5	24.3	2.16	11.90	4.22	31	35.6	1.46	10.42	4.85
0:00:24	25.5	24	2.16	11.90	4.18	31	36.3	1.46	10.35	4.65
0:00:27	25.5	23.7	2.17	11.92	4.21	31	36.9	1.46	10.29	4.49
0:00:30	25.5	23.4	2.19	12.00	4.26	31	37.4	1.45	10.24	4.36
0:00:33	25.5	23.2	2.22	12.13	4.34	31	37.8	1.46	10.25	4.40
0:00:36	25.5	23	2.23	12.26	4.41	31	38.1	1.46	10.24	4.33
0:00:39	25.4	22.8	2.25	12.30	4.46	31.1	38.3	1.46	10.22	4.34
0:00:42	25.4	22.6	2.26	12.37	4.43	31.1	38.5	1.45	10.20	4.30

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ชื่อ พیمان เณรแก้ว

เกิดวันที่ 6 กรกฎาคม 2534

บิดา นายมานพ เณรแก้ว

มารดา นางพริศรา เณรแก้ว

ประวัติการศึกษา สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2555

และเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ภาคต้นปีการศึกษา 2556