

การศึกษาตัวแปรที่ส่งผลต่อสมรรถนะของเครื่องทำน้ำอุ่น
ด้วยปั๊มความร้อนขนาด 16 กิโลวัตต์

A STUDY OF PARAMETERS AFFECTING THE PERFORMANCE
OF WATER HEATER BY 16 KW HEAT PUMP

ภควัต Һุ่นฉัตร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2561

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

การศึกษาตัวแปรที่ส่งผลต่อสมรรถนะของเครื่องทำน้ำอุ่น
ด้วยปั๊มความร้อนขนาด 16 กิโลวัตต์

ภควัต หนูจันทร์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2561

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การศึกษาตัวแปรที่ส่งผลต่อสมรรถนะของเครื่องทำน้ำอุ่นด้วย
ปั๊มความร้อนขนาด 16 กิโลวัตต์

A Study of Parameters Affecting the Performance of Water Heater by
16 kW Heat Pump

ชื่อ - นามสกุล

นายภควัต หุ่นฉัตร

สาขาวิชา

วิศวกรรมเครื่องกล

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์สถาพร ทองวิค, วศ.ค.

ปีการศึกษา

2561

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



ประธานกรรมการ

(อาจารย์วินัย จันทร์เพ็ญ, วศ.ค.)



กรรมการ

(อาจารย์วณิช นิลนนท์, วศ.ค.)



กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์มนุศักดิ์ जानทอง, Dr.-Ing.)



กรรมการ

(อาจารย์สถาพร ทองวิค, วศ.ค.)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิวกร อ่างทอง, Ph.D.)

วันที่ 5 เดือน พฤศจิกายน พ.ศ. 2561

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาตัวแปรที่ส่งผลต่อสมรรถนะของเครื่องทำน้ำอุ่นด้วยปั๊มความร้อนขนาด 16 กิโลวัตต์
ชื่อ – นามสกุล	นายภควัต หุ่นฉัตร
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์สถาพร ทองวิค, วศ.ค.
ปีการศึกษา	2561

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาตัวแปรที่ส่งผลต่อสมรรถนะของเครื่องทำน้ำอุ่น 550 ลิตรด้วยปั๊มความร้อนแบบอัดไอขนาด 16 กิโลวัตต์ ที่ใช้สารทำความเย็น R-134a โดยเพิ่มอุณหภูมิน้ำจาก 30 องศาเซลเซียส จนกระทั่งอุณหภูมิน้ำที่ทางออกคอนเดนเซอร์เท่ากับ 65 องศาเซลเซียส โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ และเปรียบเทียบสมรรถนะของปั๊มความร้อนภายใต้สภาวะการทำงานที่แตกต่างกัน รวมถึงหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ส่งผลต่อสมรรถนะของปั๊มความร้อน

ทำการทดสอบสมรรถนะของปั๊มความร้อนที่ห้องทดสอบภายใต้สภาวะการทำงานที่แตกต่างกัน โดยตัวแปรที่ต้องการศึกษาในงานนี้คือ อัตราการไหลของสารทำความเย็น (\dot{m}_r) ที่ 0.0589, 0.0751, 0.0837 kg/s อัตราการไหลของน้ำ (\dot{m}_w) ที่ 0.13, 0.23, 0.32 kg/s และอุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าอีวาโปเรเตอร์ (T_a) ที่ 25, 30, 35 องศาเซลเซียส ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบจะถูกนำมาคำนวณ วิเคราะห์ และเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของปั๊มความร้อน (COP) ต่อไป

จากการศึกษาพบว่า ตัวแปรที่มีความสัมพันธ์และส่งผลต่อค่า COP มีดังนี้ อัตราการไหลของสารทำความเย็น (\dot{m}_r) อัตราการไหลของน้ำ (\dot{m}_w) อุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าอีวาโปเรเตอร์ (T_a) และอุณหภูมิน้ำเข้าคอนเดนเซอร์ ($T_{w,i}$) จากความสัมพันธ์ของตัวแปรทั้งหมดจะพบว่าค่า COP จะแปรผันตามอัตราการไหลของสารทำความเย็น (\dot{m}_r) อัตราการไหลของน้ำ (\dot{m}_w) และอุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าอีวาโปเรเตอร์ (T_a) ส่วนอุณหภูมิน้ำเข้าคอนเดนเซอร์ ($T_{w,i}$) จะมีค่าแปรผกผันกับค่า COP จากความสัมพันธ์ของตัวแปรดังกล่าว สามารถนำไปประยุกต์ใช้ควบคุมการทำงานของปั๊มความร้อนให้มีค่า COP สูงสุด ซึ่งจะช่วยให้ประหยัดพลังงาน และใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาระบบทำน้ำร้อนประหยัดพลังงานที่ใช้ปั๊มความร้อนในอนาคตได้

คำสำคัญ: ปั๊มความร้อน เครื่องทำน้ำอุ่น ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ

Thesis Title	A Study of Parameters Affecting the Performance of Water Heater by 16 kW Heat Pump
Name – Surname	Mr. Phakhawat Hunchat
Program	Mechanical Engineering
Thesis Advisor	Mr. Sathaporn Thongwik, D. Eng.
Academic Year	2018

ABSTRACT

The study aimed to compare the coefficient of performance (COP) under different conditions and to investigate the relationship among parameters that affects the performance of the heat pump. The paper presents the research results of parameters effecting the performance of a 550 L water heater by 16 kW heat pump using R-134a refrigerant. The heat pump heated water from initial temperature (30°C) to the set temperature (65°C) at the condenser outlet.

In testing room, the parameters were controlled and varied based on conditions of experiment. The data were collected from the experiment by varying the parameters. The refrigerant mass flow rate (\dot{m}_r) varies at 0.0589, 0.0751 and 0.0837 kg/s. The water mass flow rate (\dot{m}_w) varies at 0.13, 0.23 and 0.32 kg/s. The air temperature at inlet evaporator (T_a) varies at 25, 30 and 35°C. The experimental data were analyzed and the coefficient of performance (COP) was compared.

The results reveal that the associated parameters affecting the COP are the refrigerant mass flow rate (\dot{m}_r), the water mass flow rate (\dot{m}_w), the air temperature at inlet evaporator (T_a) and the water temperature at inlet condenser ($T_{w,i}$). Regarding the overall associated parameters, the COP varied directly with the refrigerant mass flow rate (\dot{m}_r), the water mass flow rate (\dot{m}_w) and the air temperature at inlet evaporator (T_a). On the other hand, the COP varied inversely with the water temperature at inlet condenser ($T_{w,i}$). In addition, these results can be applied to control heat pumps having the highest COP for saving energy and used as a guideline for developing saving energy heat pump water heater systems in the future.

Keywords: heat pump, water heater, COP

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความกรุณาอย่างสูงจาก ดร.สถาพร ทองวิก ซึ่ง เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้เสียสละเวลาให้คำปรึกษาและคำแนะนำอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่ง ในการทำวิจัย ตลอดจนให้ความช่วยเหลือแนะนำแนวทางการแก้ไขปัญหาและข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น ในระหว่างทำวิจัยมาโดยตลอด รวมถึงการจัดหาอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในการทำวิจัย ทำให้ผู้วิจัยทำงาน สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี และติดตามการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จ ซึ่งผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็น อย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ได้สละเวลาในการให้คำแนะนำและ ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล และบุคลากรทุกท่าน ที่ได้กรุณาเอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์ตลอดจนอำนวยความสะดวก ในการทำวิจัย ทำให้ผู้วิจัยทำงาน ได้สะดวกราบรื่น รวมทั้งนักศึกษาปริญญาตรีที่ช่วยเหลือใน การติดตั้งอุปกรณ์ และการเก็บข้อมูล

ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ครูอาจารย์ ญาติพี่น้อง และผู้เกี่ยวข้องทุกท่านที่คอยสนับสนุน ให้กำลังใจ และให้การช่วยเหลือด้วยดีเสมอมาตลอดการศึกษาในครั้งนี้

ท้ายสุดนี้ ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่างานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจทั่วไป หาก งานวิจัยนี้ขาดตกบกพร่อง หรือไม่สมบูรณ์ประการใด ผู้วิจัยขออภัยมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ภกวัต หุ่นฉัตร

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	(3)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	(4)
กิตติกรรมประกาศ.....	(5)
สารบัญ	(6)
สารบัญตาราง	(8)
สารบัญรูป	(9)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(12)
บทที่ 1 บทนำ	13
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	13
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย	16
1.3 สมมติฐานการวิจัย	16
1.4 ขอบเขตของการวิจัย	16
1.5 ขั้นตอนการวิจัย	17
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	17
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	18
2.1 หลักการทำงานของระบบปั๊มความร้อน	18
2.2 การวิเคราะห์วัฏจักรปั๊มความร้อนแบบอัดไอทางอุณหพลศาสตร์	20
2.3 เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	23
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	33
3.1 ออกแบบการทดสอบ	33
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	34
3.3 วิธีการทำวิจัย	37
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	44
4.1 ผลของการเปลี่ยนอัตราการผลิตของสารทำความเย็น	44
4.2 ผลของการเปลี่ยนอัตราการผลิตของน้ำ	49

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3 ผลของการเปลี่ยนอุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าไอวาโปรเตอร์	54
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่เกี่ยวข้องต่อค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของ ปั๊มความร้อน (COP)	57
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	61
5.1 สรุปผลการวิจัย และอภิปรายผล	61
5.2 ข้อเสนอแนะ	62
บรรณานุกรม	63
ภาคผนวก	67
ภาคผนวก ก ตารางบันทึกข้อมูลผลการเปลี่ยนอัตราการไหลของ สารทำความเย็น (\dot{m}_r)	68
ภาคผนวก ข ตารางบันทึกข้อมูลผลจากการเปลี่ยนอัตราการไหลของน้ำ (\dot{m}_w) และผลจากการเปลี่ยนอุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าไอวาโปรเตอร์ (T_a)	72
ภาคผนวก ค ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่	100
ประวัติผู้เขียน	125

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 รายละเอียดเครื่องมือวัดที่ใช้ในการเก็บข้อมูล	36
ตารางที่ 3.2 การบันทึกข้อมูลอุณหภูมิ	38
ตารางที่ 3.3 การบันทึกข้อมูลความดันของสารทำความเย็น	38
ตารางที่ 3.4 ตัวอย่างตารางบันทึกข้อมูล	42
ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบความดันเฉลี่ยของผลจากการเปลี่ยนอัตราการไหลของ สารทำความเย็น.....	42



สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1 สัดส่วนการผลิตและซื้อพลังงานไฟฟ้า	13
รูปที่ 1.2 แสดงความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดของประเทศไทย	14
รูปที่ 1.3 ตัวอย่างการติดตั้งใช้งานปั๊มความร้อนเพื่อผลิตน้ำร้อนสำหรับโรงแรม	15
รูปที่ 2.1 แสดงการขับเคลื่อนทางความร้อนของปั๊มความร้อน	18
รูปที่ 2.2 ส่วนประกอบของปั๊มความร้อน	19
รูปที่ 2.3 แผนภูมิความดันและเอนทาลปีของวัฏจักรปั๊มความร้อนแบบอัดไอทางอุดมคติ..	20
รูปที่ 2.4 การใช้งานระบบปั๊มความร้อนในการผลิตน้ำร้อน	22
รูปที่ 3.1 ระบบทดสอบการใช้ปั๊มความร้อนในการผลิตน้ำร้อน	33
รูปที่ 3.2 ปั๊มความร้อนขนาด 16 kW ที่ใช้ในการทดสอบ	34
รูปที่ 3.3 ถังเก็บน้ำร้อนหุ้มฉนวนอย่างดี	35
รูปที่ 3.4 ชุดอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าฮีวโปรเตอร์ (30 °C และ 35 °C)	35
รูปที่ 3.5 ชุดอุปกรณ์ดึงอากาศเย็นที่เกิดจากการแลกเปลี่ยนความร้อนออกจากห้องทดสอบ	36
รูปที่ 3.6 ขั้นตอนการทดสอบ	39
รูปที่ 3.7 ขั้นตอนการทดสอบเพื่อหาผลของการเปลี่ยนอัตราการไหลของสารทำความเย็น (\dot{m}_r)	40
รูปที่ 3.8 ขั้นตอนการทดสอบหาผลของการเปลี่ยนอัตราการไหลของน้ำ (\dot{m}_w) และ อุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าฮีวโปรเตอร์ (T_a) ที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ ของระบบ (COP)	41
รูปที่ 4.1 เปรียบเทียบความดันด้านสูง (HP) ที่อัตราการไหลของสารทำความเย็นต่างกัน ..	44
รูปที่ 4.2 เปรียบเทียบความดันด้านต่ำ (LP) ที่อัตราการไหลของสารทำความเย็นต่างกัน ...	45
รูปที่ 4.3 เปรียบเทียบค่าความร้อนที่ถ่ายเทออกจากคอนเดนเซอร์ (q_{cond}) ที่ อัตราการไหลของสารทำความเย็นต่างกัน.....	43
รูปที่ 4.4 เปรียบเทียบค่างานที่ป้อนเข้าคอมเพรสเซอร์ (w_{comp}) ที่อัตราการไหลของ สารทำความเย็นต่างกัน.....	47
รูปที่ 4.5 เปรียบเทียบค่า COP ที่อัตราการไหลของสารทำความเย็นต่างกัน	47

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำร้อนที่ผลิตได้ภายในถังเก็บกับ ระยะเวลาที่ใช้ในการทำน้ำร้อนที่อัตราการไหลของสารทำความเย็นต่างกัน	48
รูปที่ 4.7 เปรียบเทียบค่าความร้อนที่ถ่ายเทออกจากคอนเดนเซอร์ (q_{cond}) ที่ อัตราการไหลของน้ำต่างกัน (ในกรณีที่มี $T_a = 35 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$)	49
รูปที่ 4.8 เปรียบเทียบค่างานที่ปั๊มเข้าคอมเพรสเซอร์ (w_{comp}) ที่อัตราการไหลของน้ำ ต่างกัน (ในกรณีที่มี $T_a = 35 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$)	50
รูปที่ 4.9 เปรียบเทียบค่า COP ที่อัตราการไหลของน้ำต่างกัน (ในกรณีที่มี $T_a = 35 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$) ...	50
รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำเข้า ($T_{w,i}$) กับอุณหภูมิน้ำออก ($T_{w,o}$) คอนเดนเซอร์ที่อัตราการไหลของน้ำต่างกัน (ในกรณีที่มี $T_a = 35 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$)	51
รูปที่ 4.11 เปรียบเทียบอัตราการถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำ (\dot{Q}_{cond}) ที่อัตราการไหลของ น้ำต่างกัน (ในกรณีที่มี $T_a = 35 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$)	52
รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำร้อนที่ผลิตได้กับระยะเวลาที่ใช้ที่ อัตราการไหลของน้ำต่างกัน (ในกรณีที่มี $T_a = 35 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$)	53
รูปที่ 4.13 เปรียบเทียบค่าความร้อนที่ถ่ายเทเข้าอีวาโปเรเตอร์ (q_{evap}) ที่อุณหภูมิอากาศที่ ทางเข้าอีวาโปเรเตอร์ต่างกัน (ในกรณีที่มี $\dot{m}_w = 0.32 \text{ kg/s}$)	54
รูปที่ 4.14 เปรียบเทียบค่าความร้อนที่ถ่ายเทออกจากคอนเดนเซอร์ (q_{cond}) ที่อุณหภูมิ อากาศที่ทางเข้าอีวาโปเรเตอร์ต่างกัน (ในกรณีที่มี $\dot{m}_w = 0.32 \text{ kg/s}$)	55
รูปที่ 4.15 เปรียบเทียบค่างานที่ปั๊มเข้าคอมเพรสเซอร์ (w_{comp}) ที่อุณหภูมิอากาศที่ ทางเข้าอีวาโปเรเตอร์ต่างกัน (ในกรณีที่มี $\dot{m}_w = 0.32 \text{ kg/s}$)	55
รูปที่ 4.16 เปรียบเทียบค่า COP ที่อุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าอีวาโปเรเตอร์ต่างกัน ($\dot{m}_w = 0.32 \text{ kg/s}$)	56
รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่าง COP และอัตราการไหลของสารทำความเย็น (\dot{m}_r) ที่ อุณหภูมิน้ำเข้าคอนเดนเซอร์ ($T_{w,i}$) ที่แตกต่างกัน (ในกรณีที่มี $T_a = 35 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$) ...	57
รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่าง COP และอัตราการไหลของน้ำ (\dot{m}_w) ที่อุณหภูมิน้ำเข้า คอนเดนเซอร์ ($T_{w,i}$) ที่แตกต่างกัน (ในกรณีที่มี $T_a = 35 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$)	58

สารบัญญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่าง COP และอุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าอีวาโปเรเตอร์ (T_a) ที่อุณหภูมิน้ำเข้าคอนเดนเซอร์ ($T_{w,i}$) ที่แตกต่างกัน (ในกรณีที่ $\dot{m}_w = 0.32$ kg/s)..	59
รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่าง COP และผลต่างระหว่างค่าอุณหภูมิน้ำเข้าคอนเดนเซอร์ กับอุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าอีวาโปเรเตอร์ ($T_{w,i} - T_a$) ที่อัตราการไหลของน้ำ (\dot{m}_w) ต่างกัน.....	60



คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

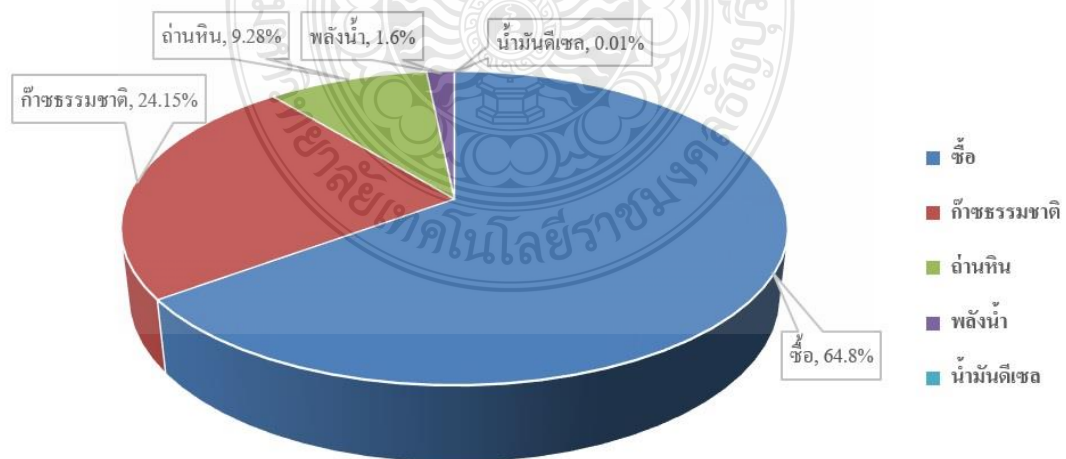
COP	ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบปั๊มความร้อน
C_p	ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ (kJ/kg K)
h	เอนทาลปีของสารทำความเย็น (kJ/kg)
\dot{m}_r	อัตราการไหลของสารทำความเย็น (kg/s)
\dot{m}_w	อัตราการไหลของน้ำ (kg/s)
$\dot{Q}_{cond,r}$	อัตราการถ่ายเทความร้อนออกจากคอนเดนเซอร์ (kW)
$\dot{Q}_{cond,w}$	อัตราการถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำ (kW)
q_{cond}	ค่าความร้อนที่ถ่ายเทออกจากคอนเดนเซอร์ (kJ/kg)
\dot{Q}_{evap}	อัตราความร้อนที่ถ่ายเทเข้าอีวาโปเรเตอร์ (kW)
q_{evap}	ค่าความร้อนที่ถ่ายเทเข้าอีวาโปเรเตอร์ (kJ/kg)
T_a	อุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าอีวาโปเรเตอร์ (°C)
$T_{w,o}$	อุณหภูมิน้ำออกจากคอนเดนเซอร์ (°C)
$T_{w,i}$	อุณหภูมิน้ำก่อนเข้าคอนเดนเซอร์ (°C)
$T_{w,tank}$	อุณหภูมิน้ำภายในถังเก็บน้ำร้อน (°C)
\dot{W}_{comp}	กำลังงานที่ป้อนเข้าคอมเพรสเซอร์ (kW)
w_{comp}	ค่างานที่ป้อนเข้าคอมเพรสเซอร์ (kJ/kg)

บทที่ 1

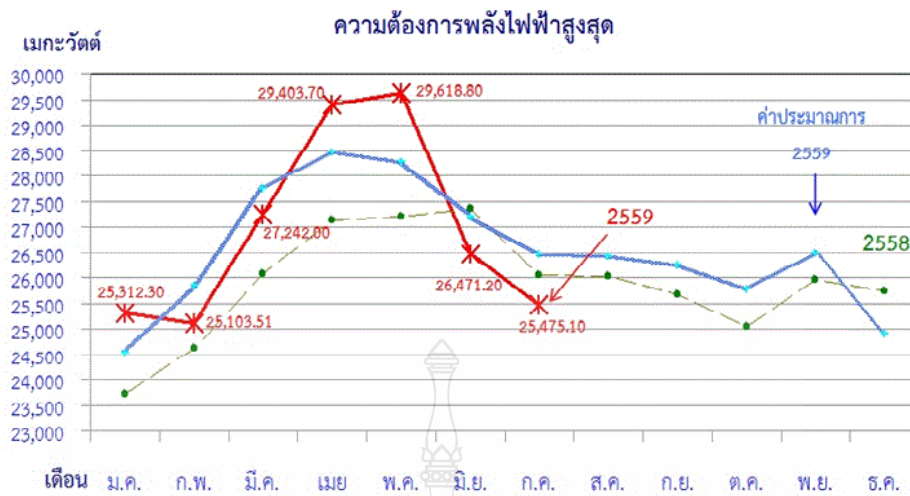
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันปัญหาพลังงานเป็นปัญหาที่สำคัญของโลก ซึ่งพลังงานไฟฟ้าก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญในการดำรงชีวิตของมนุษย์ เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศหนึ่งที่มีทรัพยากรธรรมชาติที่ใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าน้อย จึงจำเป็นต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ซึ่งในแต่ละปีมีมูลค่าจำนวนมาก จากข้อมูลการผลิตและซื้อพลังงานไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย เมื่อเดือนกันยายน พ.ศ. 2559 พบว่ามีปริมาณการซื้อพลังงานไฟฟ้าจากบริษัทเอกชนคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 64.8 [1] ซึ่งมีสัดส่วนเกินกว่าครึ่งหนึ่งของกำลังการผลิตของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย แสดงดังรูปที่ 1.1 และจากปัญหาการใช้พลังงานไฟฟ้าของประเทศไทยที่มีแนวโน้มที่สูงขึ้นเรื่อยๆ พิจารณาจากความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด [2] แสดงดังรูปที่ 1.2 จะพบว่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดของระบบปี 2559 เกิดขึ้นที่เดือนพฤษภาคม มีค่าเท่ากับ 29,618.80 เมกะวัตต์ ซึ่งสูงกว่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดเทียบกับปีที่ผ่านมา และมีแนวโน้มที่สูงขึ้นเรื่อยๆ ทำให้ต้องมีมาตรการควบคุมการใช้พลังงานและออกมาตรการต่างๆ เพื่อที่ช่วยในการแก้ปัญหาดังกล่าว โดยให้ความสำคัญกับการวิจัยและพัฒนาการใช้พลังงานทดแทน รวมทั้งค้นหาวิธีการพัฒนาและปรับปรุงอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น ซึ่งหมายถึงการใช้พลังงานให้เกิดประโยชน์มากที่สุดด้วย



รูปที่ 1.1 สัดส่วนการผลิตและซื้อพลังงานไฟฟ้า [1]



รูปที่ 1.2 แสดงความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดของประเทศไทย [2]

ในสถานประกอบการหลายประเภท เช่น โรงพยาบาล โรงแรม ที่พักอาศัย เป็นต้น นอกจากจะมีการใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นหลักแล้ว ก็จะมีการใช้พลังงานความร้อนด้วย ในส่วนของโรงพยาบาลจะมีการผลิตไอน้ำสำหรับการฆ่าเชื้อเครื่องมือเฉพาะทางการแพทย์ ในขณะที่โรงแรมจะมีการใช้พลังงานความร้อนในส่วนของการปรุงอาหาร การล้างภาชนะต่างๆ รวมถึงการซักกรีด และอุปโภคอื่นๆ เป็นต้น ซึ่งในอุตสาหกรรมดังกล่าวนี้มีค่าใช้จ่ายด้านพลังงานในการผลิตน้ำร้อนถือว่าเป็นค่าใช้จ่ายที่สูง จึงได้มีการพัฒนาระบบทำน้ำร้อนที่ประหยัดพลังงานขึ้นมา ในปัจจุบันได้มีการนำเทคโนโลยีปั๊มความร้อนมาใช้ใน เนื่องจากการใช้ปั๊มความร้อนในการผลิตน้ำร้อนมีประสิทธิภาพสูงเมื่อเทียบกับหม้อไอน้ำ และขดลวดไฟฟ้า ซึ่งปั๊มความร้อนจะดึงความร้อนจากอากาศรอบๆ มาใช้ในการผลิตน้ำร้อน โดยหลักการทำงานเหมือนกับระบบทำความเย็น แต่มีวัตถุประสงค์ที่ต่างกัน กล่าวคือระบบทำความเย็นจะนำความร้อนไปใช้ประโยชน์ ส่วนปั๊มความร้อนจะนำความร้อนไปใช้ประโยชน์

ในหลายๆประเทศได้มีการนำเอาปั๊มความร้อนมาใช้ในการทำน้ำร้อนกันอย่างแพร่หลาย ดังตัวอย่างการใช้งานในรูปแบบที่ 1.3 ที่แสดงการติดตั้งใช้งานปั๊มความร้อนเพื่อผลิตน้ำร้อนสำหรับโรงแรม และได้มีหลายๆงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะของปั๊มความร้อนในการทำน้ำร้อน [12-27] รวมทั้งงานวิจัยที่ศึกษาถึงระบบที่เหมาะสมของการผลิตน้ำร้อนด้วยปั๊มความร้อน โดยใช้อากาศเป็นแหล่งความร้อน พบว่าถ้าระบบมีการออกแบบที่ดีและใช้งานที่สภาวะการทำงานที่เหมาะสม จะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด [14] สำหรับการใช้งานในประเทศไทยกำลังเป็นที่นิยมอย่างแพร่หลาย และมีงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการใช้งานปั๊มความร้อนในการทำน้ำร้อน[4-11,28] แต่ยังไม่มียงานวิจัยที่ศึกษาถึงความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะของระบบทำน้ำร้อนด้วยปั๊มความร้อนแบบอัดไอที่ใช้อากาศแวดล้อมเป็นแหล่งความร้อน



รูปที่ 1.3 ตัวอย่างการติดตั้งใช้งานปั๊มความร้อนเพื่อผลิตน้ำร้อนสำหรับโรงแรม [3]

ในงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาการทำงานของระบบทำน้ำร้อนด้วยปั๊มความร้อนที่ใช้อากาศเป็นแหล่งความร้อน โดยทำการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานที่สภาวะการทำงานต่างกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับตัวแปรที่ต้องการศึกษาทั้ง 3 ตัว คือ อัตราการไหลของสารทำความเย็น อัตราการไหลของน้ำ และอุณหภูมิอากาศ และทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบสมรรถนะ รวมถึงศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ส่งผลต่อสมรรถนะของปั๊มความร้อน เพื่อความรู้ที่ได้จะใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาระบบทำน้ำร้อนให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น และประหยัดค่าใช้จ่ายในสถานประกอบการต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1.2.1 เพื่อทดสอบ วิเคราะห์ และเปรียบเทียบสมรรถนะของปั๊มความร้อนภายใต้สภาวะการทำงานที่ต่างกัน

1.2.2 เพื่อศึกษาผลของตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อสมรรถนะของปั๊มความร้อน

1.2.3 เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ส่งผลต่อสมรรถนะของปั๊มความร้อน

1.3 สมมติฐานการวิจัย

1.3.1 วิเคราะห์วัฏจักรปั๊มความร้อนแบบอัดไอทางอุดมคติ

1.3.2 พิจารณาให้ผนังท่อที่ใช้กับสารทำความเย็นบางมาก อุณหภูมิของผนังท่อภายนอกและภายในมีค่าเท่ากัน จึงประมาณค่าอุณหภูมิของผนังท่อภายนอกเท่ากับอุณหภูมิสารทำความเย็น

1.3.3 พิจารณาให้ผนังท่อที่ใช้กับน้ำร้อนบางมาก อุณหภูมิของผนังท่อภายนอกและภายในมีค่าเท่ากัน จึงประมาณค่าอุณหภูมิของผนังท่อภายนอกเท่ากับอุณหภูมิน้ำร้อน

1.3.4 ความเร็วลมที่ผ่านอีวาโปเรเตอร์คงที่ตลอดเวลา

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1.4.1 ปั๊มความร้อนแบบอัดไอขนาด 16 kW ที่ใช้สารทำความเย็น R-134a เป็นสารทำงาน ประกอบด้วย คอมเพรสเซอร์แบบ Scroll ขนาด 4.46 kW คอนเดนเซอร์ชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำแบบ Coil in Shell ขนาด 18.95 kW วาล์วลดความดัน และอีวาโปเรเตอร์ชนิดระบายความร้อนด้วยอากาศแบบ Fin and Tube ขนาด 2.5 kW ซึ่งมีปั๊มหมุนเวียนน้ำในระบบที่สามารถปรับอัตราการไหลได้ 3 ระดับ คือ 0.13 kg/s, 0.23 kg/s และ 0.32 kg/s ตามลำดับ

1.4.2 ใช้ถังเก็บน้ำร้อนขนาด 850 ลิตร โดยหุ้มฉนวนอย่างดี ปริมาณน้ำที่ใช้ในการทดลองแต่ละครั้งเท่ากับ 550 ลิตร โดยอุณหภูมิน้ำเริ่มต้นเท่ากับ 30 ± 1 °C

1.4.3 ผลิตน้ำร้อนไปจนถึงอุณหภูมิน้ำร้อนที่ออกจากคอนเดนเซอร์เท่ากับ 65 °C

1.4.4 ทำการควบคุมอุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าอีวาโปเรเตอร์ให้คงที่ โดยทดสอบ 3 ค่า คือ 25 °C, 30 °C และ 35 °C (± 1 °C)

1.4.5 ทำการดึงอากาศเย็นที่เกิดจากการแลกเปลี่ยนความร้อนออกจากห้องทดสอบ เพื่อควบคุมอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดสอบ

1.4.6 หาตัวแปรของสภาวะเงื่อนไขต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบปั๊มความร้อน (Coefficient of Performance, COP)

1.5 ขั้นตอนการวิจัย

- 1.5.1 ทำการศึกษาหลักการการทำงานของระบบปั๊มความร้อน
- 1.5.2 ทำการศึกษาและรวบรวมข้อมูลจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 1.5.3 ออกแบบชุดทดสอบของระบบทำน้ำร้อนด้วยปั๊มความร้อนที่ใช้ในการทำวิจัย
- 1.5.4 ทำการติดตั้งชุดทดสอบระบบทำน้ำร้อนด้วยปั๊มความร้อน ชุดอุปกรณ์ควบคุมสถานะการทำงานต่างๆ และชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูล
- 1.5.5 ทำการทดสอบและเก็บข้อมูลตามสถานะการทำงานต่างๆที่กำหนดไว้
- 1.5.6 นำข้อมูลจากการทดสอบมาหาค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบ (COP) และค่าตัวแปรอื่นๆที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำไปวิเคราะห์ และเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบปั๊มความร้อน
- 1.5.7 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.6.1 ทำให้ทราบถึงอิทธิพลของตัวแปรที่ส่งผลต่อสมรรถนะของปั๊มความร้อน
- 1.6.2 ทำให้ทราบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่มีผลต่อสมรรถนะของปั๊มความร้อน
- 1.6.3 สามารถนำเอาความรู้ไปประยุกต์ใช้เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษา และพัฒนาระบบทำน้ำร้อนที่ใช้ปั๊มความร้อนในอนาคตได้

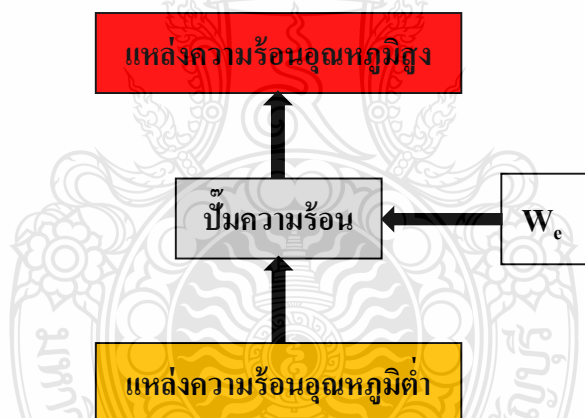
บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับหลักการทำงานของระบบปั๊มความร้อน รวมถึงการวิเคราะห์วัฏจักรปั๊มความร้อนแบบอัดไอทางอุดมคติ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อเป็นความรู้ที่นำมาประยุกต์ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้

2.1 หลักการทำงานของระบบปั๊มความร้อน

โดยปกติความร้อนจะเคลื่อนที่จากแหล่งความร้อนอุณหภูมิต่ำไปสู่แหล่งความร้อนอุณหภูมิสูง แต่หากต้องการย้อนกลับวัฏจักรดังกล่าว เพื่อให้ดึงความร้อนจากแหล่งความร้อนอุณหภูมิต่ำมาจ่ายให้แหล่งความร้อนอุณหภูมิสูง ต้องป้อนพลังงานส่วนหนึ่งให้แก่ระบบ โดยการขับเคลื่อนดังกล่าวแสดงได้ดังรูปที่ 2.1 ทั้งนี้ระบบที่มีลักษณะการทำงานดังกล่าวเรียกว่า ปั๊มความร้อน



รูปที่ 2.1 แสดงการขับเคลื่อนทางความร้อนของปั๊มความร้อน

ระบบปั๊มความร้อนมีหลักการทำงานเช่นเดียวกับหลักการทำงานของระบบทำความเย็นทั่วไป โดยมีส่วนประกอบที่สำคัญของระบบคือ คอมเพรสเซอร์ (Compressor) คอนเดนเซอร์ (Condenser) วาล์วลดความดัน (Expansion valve) และอีวาโปเรเตอร์ (Evaporator) ซึ่งเป็นส่วนประกอบเดียวกันกับระบบทำความเย็นแต่มีวัตถุประสงค์การใช้งานต่างกัน คือ ระบบทำความเย็นจะนำความเย็นไปใช้ประโยชน์ ส่วนระบบปั๊มความร้อนจะนำความร้อนไปใช้ประโยชน์ อุปกรณ์แต่ละตัวของระบบปั๊มความร้อนมีหน้าที่ดังต่อไปนี้

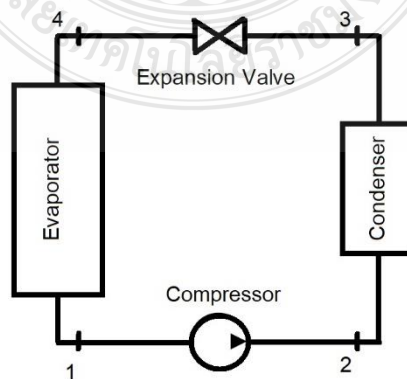
2.1.1 คอมเพรสเซอร์ (Compressor) มีหน้าที่ทำให้สารทำความเย็นไหลเวียนในระบบ และอัดสารทำความเย็นในสถานะไอ เพื่อเพิ่มความดันและอุณหภูมิให้สูงพอที่จะกลั่นตัวเป็นของเหลวในคอนเดนเซอร์ได้ อีกทั้งยังทำหน้าที่ทำให้ความดันในคอนเดนเซอร์และอีวาโปเรเตอร์อยู่ในระดับที่เหมาะสม ทำให้การดูดสารทำความเย็นจากอีวาโปเรเตอร์เข้ามาที่คอมเพรสเซอร์มีความเร็วพอดีกับการที่สารทำความเย็นระเหยจากของเหลวเป็นไอในอีวาโปเรเตอร์ ดังนั้นคอมเพรสเซอร์จึงเป็นตัวที่รักษาระดับความดันให้พอดีทั้งในคอนเดนเซอร์และอีวาโปเรเตอร์

2.1.2 คอนเดนเซอร์ (Condenser) มีหน้าที่ระบายความร้อนจากสารทำความเย็นสถานะไอ ที่ความดันและอุณหภูมิสูง ทำให้สารทำความเย็นเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลวที่ความดันสูงไหลต่อไปยังวาล์วลดความดัน

2.1.3 วาล์วลดความดัน (Expansion valve) มีหน้าที่ควบคุมอัตราการไหลของสารทำความเย็นให้เหมาะสม และลดความดันของสารทำความเย็นที่ออกจากคอนเดนเซอร์ จากความดันสูงให้มีความดันต่ำก่อนเข้าอีวาโปเรเตอร์ เพื่อให้สารทำความเย็นเป็นของเหลวและมีความดันต่ำก็จะสามารถระเหยกลายเป็นไอได้ง่าย เมื่อได้รับความร้อนเพียงเล็กน้อย

2.1.4 อีวาโปเรเตอร์ (Evaporator) มีหน้าที่ดึงความร้อนจากภายนอกหรือบริเวณรอบๆ เข้าสู่ตัวเครื่องทำความเย็น โดยสารทำความเย็นที่ความดันต่ำและอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิภายนอกจะดึงความร้อนจากภายนอกและเปลี่ยนสถานะเป็นไอ

ปั๊มความร้อนมีด้วยกัน 2 ประเภท คือ ปั๊มความร้อนแบบอัดไอ (Vapor compression heat pump) ใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานในการขับเคลื่อนระบบ แต่มีประสิทธิภาพสูง (COP ประมาณ 3) และปั๊มความร้อนแบบดูดกลืน (Absorption heat pump) ที่ใช้พลังงานความร้อนเป็นพลังงานหลักในการขับเคลื่อนระบบ และมีการใช้พลังงานไฟฟ้าร่วมด้วยเล็กน้อย แต่ระบบดังกล่าวมีประสิทธิภาพค่อนข้างน้อย (COP ประมาณ 0.5) มีขนาดใหญ่ รวมทั้งมีราคาค่อนข้างสูง การดูแลรักษาค่อนข้างยาก ปั๊มความร้อนแบบอัดไอจึงเป็นที่นิยมใช้กันส่วนใหญ่ ซึ่งมีอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อกันดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ส่วนประกอบของปั๊มความร้อน

หลักการการทำงานของปั๊มความร้อนจะใช้การแลกเปลี่ยนความร้อนของสารทำความเย็นกับตัวกลาง (น้ำ, อากาศ) คล้ายกับระบบปรับอากาศคือ เมื่อสารทำความเย็นดูดซับความร้อนจากอากาศจะระเหยกลายเป็นไอภายในอีวาโปเรเตอร์ จากนั้นคอมเพรสเซอร์จะดูดสารทำความเย็นในสถานะที่เป็นไอจากอีวาโปเรเตอร์ เพื่ออัดให้มีอุณหภูมิและความดันสูง และส่งต่อไปยังคอนเดนเซอร์เพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำ เมื่อสารทำความเย็นสูญเสียความร้อนจะควบแน่นเป็นของเหลวและไหลไปยังวาล์วลดความดัน เมื่อสารทำความเย็นผ่านวาล์วลดความดันจะทำให้สารทำความเย็นเกิดการขยายตัว ความดันและอุณหภูมิของสารทำความเย็นจะลดลง สารทำความเย็นที่ผ่านวาล์วลดความดันจะมีลักษณะเป็นของผสมไหลไปรับความร้อนที่อีวาโปเรเตอร์ต่อไป การทำงานของปั๊มความร้อนจะทำเป็นวัฏจักรแบบนี้ไปเรื่อยๆ

2.2 การวิเคราะห์วัฏจักรปั๊มความร้อนแบบอัดไอทางอุณหพลศาสตร์

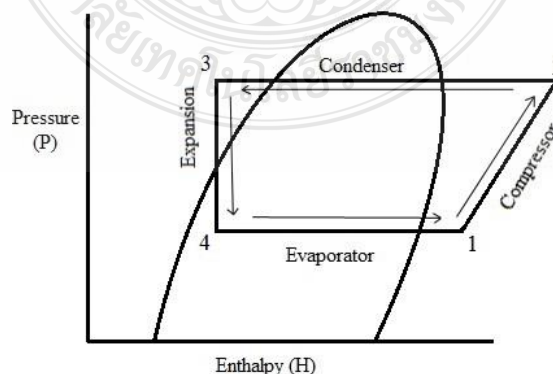
วัฏจักรปั๊มความร้อนแบบอัดไอทางอุณหพลศาสตร์ ประกอบด้วยกระบวนการต่างๆ ดังนี้

กระบวนการ 1-2 คือ กระบวนการที่สารทำความเย็นอัดแบบไอเซนโทรปิกด้วยคอมเพรสเซอร์ให้ไอสารทำความเย็นมีอุณหภูมิและความดันสูงขึ้น (Isentropic process)

กระบวนการ 2-3 คือ กระบวนการที่ไอสารทำความเย็นกลั่นตัวกลายเป็นของเหลวจากการคายความร้อนออกมา ซึ่งเกิดที่คอนเดนเซอร์เป็นกระบวนการความดันคงที่

กระบวนการ 3-4 คือ กระบวนการที่สารทำความเย็นมีสถานะเป็นของเหลวถูกลดความดันด้วยวาล์วลดความดัน ซึ่งเป็นกระบวนการเอนทาลปีคงที่ (Throttling process)

กระบวนการ 4-1 คือ กระบวนการที่สารทำความเย็นที่มีสถานะเป็นของเหลวจะเดือดกลายเป็นไอจากการดูดความร้อนจากอากาศเข้าไป ซึ่งเกิดขึ้นที่อีวาโปเรเตอร์ ซึ่งเป็นกระบวนการความดันคงที่



รูปที่ 2.3 แผนภูมิความดันและเอนทาลปีของวัฏจักรปั๊มความร้อนแบบอัดไอทางอุณหพลศาสตร์

ในวัฏจักรบีบอัดไอทางอุดมคติ สามารถอธิบายการทำงานของวัฏจักรด้วยการทำงานของสารทำความเย็นในวัฏจักร ซึ่งนิยมใช้แผนภูมิในการบรรยายคุณสมบัติ ทั้งนี้เอนทาลปีเป็นคุณสมบัติที่สำคัญและถูกใช้งานมากที่สุด ซึ่งสามารถแสดงด้วยแผนภูมิความดันและเอนทาลปี ดังแสดงในรูปที่ 2.3

กำลังงานที่ป้อนเข้าคอมเพรสเซอร์สำหรับใช้ในการอัดสารทำความเย็น สมมติว่าไม่มีการสูญเสียความร้อน คือจากตำแหน่งที่ 1 ถึงตำแหน่งที่ 2 หาได้จาก

$$W_{comp} = \dot{m}_r(h_2 - h_1) \quad (2.1)$$

- เมื่อ W_{comp} = กำลังงานที่ป้อนเข้าคอมเพรสเซอร์ (kW)
 \dot{m}_r = อัตราการไหลของสารทำความเย็น (kg/s)
 h_1 = เอนทาลปีของสารทำความเย็นก่อนเข้าคอมเพรสเซอร์ (kJ/kg)
 h_2 = เอนทาลปีของสารทำความเย็นออกจากคอมเพรสเซอร์ (kJ/kg)

และ ค่างานที่ป้อนเข้าคอมเพรสเซอร์ สำหรับใช้ในการอัดสารทำความเย็น 1 kg หาได้จาก

$$w_{comp} = h_2 - h_1 \quad (2.2)$$

- เมื่อ w_{comp} = ค่างานที่ป้อนเข้าคอมเพรสเซอร์ (kJ/kg)

อัตราการถ่ายเทความร้อนออกจากคอนเดนเซอร์ ซึ่งเป็นกระบวนการระบายความร้อนออกจากสารทำความเย็นตามกระบวนการความดันคงที่ คือจากตำแหน่งที่ 2 ถึงตำแหน่งที่ 3 หาได้จาก

$$\dot{Q}_{cond,r} = \dot{m}_r(h_2 - h_3) \quad (2.3)$$

- เมื่อ $\dot{Q}_{cond,r}$ = อัตราการถ่ายเทความร้อนออกจากคอนเดนเซอร์ (kW)
 h_3 = เอนทาลปีของสารทำความเย็นออกจากคอนเดนเซอร์ (kJ/kg)

และ ค่าความร้อนที่ถ่ายเทออกจากคอนเดนเซอร์ หาได้จาก

$$q_{cond} = h_2 - h_3 \quad (2.4)$$

- เมื่อ q_{cond} = ค่าความร้อนที่ถ่ายเทออกจากคอนเดนเซอร์ (kJ/kg)

สารทำงานเมื่อผ่านวาล์วลดความดัน ซึ่งเป็นกระบวนการเอนทาลปีคงที่และลดความดันอย่างเดียว ไม่มีงานหรือการถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้น จากตำแหน่งที่ 3 ถึงตำแหน่งที่ 4 จะได้ว่า

$$h_3 = h_4 \quad (2.5)$$

- เมื่อ h_4 = เอนทาลปีของสารทำความเย็นออกจากวาล์วลดความดัน (kJ/kg)

อัตราการถ่ายเทความร้อนเข้าอีวาโปเรเตอร์ ซึ่งเป็นกระบวนการดูดความร้อนเข้ามาของสารทำความเย็นเพื่อเปลี่ยนสถานะตามกระบวนการความดันคงที่ คือจากตำแหน่งที่ 4 ถึงตำแหน่งที่ 1 หาได้จาก

$$\dot{Q}_{evap} = \dot{m}_r(h_1 - h_4) \quad (2.6)$$

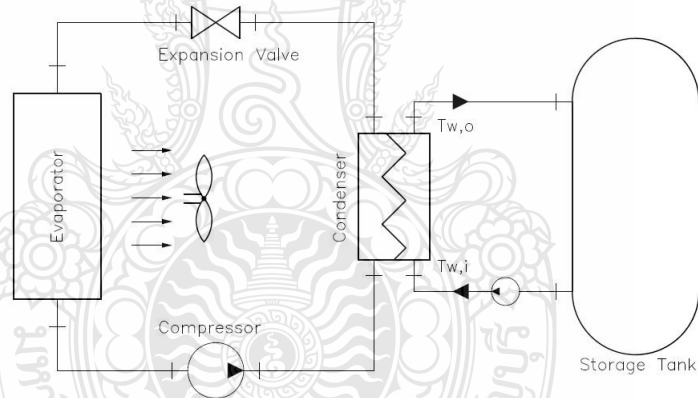
เมื่อ \dot{Q}_{evap} = อัตราความร้อนที่ถ่ายเทเข้าอีวาโปเรเตอร์ (kW)

และ ค่าความร้อนที่ถ่ายเทเข้าอีวาโปเรเตอร์ หาได้จาก

$$q_{evap} = h_1 - h_4 \quad (2.7)$$

เมื่อ q_{evap} = ค่าความร้อนที่ถ่ายเทเข้าอีวาโปเรเตอร์ (kJ/kg)

ในกรณีที่น่าระบบปั๊มความร้อนมาใช้ในการผลิตน้ำร้อนนั้น น้ำที่ต้องการนำไปใช้ประโยชน์จะถูกป้อนผ่านคอนเดนเซอร์เพื่อรับความร้อน ทำให้น้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งถูกส่งไปยังถังเก็บน้ำร้อนโดยปั๊มน้ำ จนอุณหภูมิน้ำร้อนในถังเก็บมีอุณหภูมิสูงตามที่ต้องการ น้ำร้อนจึงจะถูกนำไปใช้งานต่อไป ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 การใช้งานระบบปั๊มความร้อนในการผลิตทำน้ำร้อน

อัตราการถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำ หาได้จาก

$$\dot{Q}_{cond,w} = \dot{m}_w C_p (T_{w,o} - T_{w,i}) \quad (2.8)$$

เมื่อ $\dot{Q}_{cond,w}$ = อัตราการถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำ (kW)

\dot{m}_w = อัตราการไหลของน้ำ (kg/s)

C_p = ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ (kJ/kg K)

$T_{w,o}$ = อุณหภูมิน้ำออกจากคอนเดนเซอร์ (K)

$T_{w,i}$ = อุณหภูมิน้ำก่อนเข้าคอนเดนเซอร์ (K)

เราจะสามารถหาอัตราการไหลของสารทำความเย็น (\dot{m}_r) โดยการสมมูลสมการที่ 2.3 กับ 2.8 จะได้ดังนี้

$$\dot{m}_r = \frac{\dot{m}_w C_p (T_{w,o} - T_{w,i})}{(h_2 - h_3)} \quad (2.9)$$

การหาค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบปั๊มความร้อน (Coefficient of Performance, COP_{HP}) หาได้จากอัตราส่วนของอัตราความร้อนที่ถ่ายเทออกจากคอนเดนเซอร์ต่อกำลังงานที่ป้อนเข้าคอมเพรสเซอร์ ดังนี้

$$COP_{HP} = \frac{Q_{cond}}{W_{comp}} = \frac{\dot{m}_r (h_2 - h_3)}{\dot{m}_r (h_2 - h_1)} = \frac{(h_2 - h_3)}{(h_2 - h_1)} \quad (2.10)$$

2.3 เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.3.1 ระบบทำน้ำร้อนด้วยปั๊มความร้อนที่ใช้อากาศแวดล้อมเป็นแหล่งความร้อน

ปราโมทย์ ลายประดิษฐ์ [4] ศึกษาระบบทำน้ำร้อนด้วยปั๊มความร้อนแบบอัดไอที่ใช้ R-134a เป็นสารทำงาน โดยการจำลองสถานการณ์ของระบบ เพื่อต้องการความร้อนที่ทำได้สูงสุด 3.5 kW เทียบกับเครื่องทำความร้อนไฟฟ้า พบว่าต้องใช้คอมเพรสเซอร์ขนาด 1.1 kW และใช้อีวาโปเรเตอร์ขนาด 2.6 kW โดยที่ระบบมีค่า COP สูงสุดประมาณ 4.0-4.2 และสามารถทำน้ำร้อนได้อุณหภูมิสูงสุด 41.7 °C ที่อัตราการไหลของน้ำ 3 ลิตรต่อนาที และอุณหภูมิน้ำเข้า 25 °C จากการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ พบว่าระบบทำน้ำร้อนด้วยปั๊มความร้อนนี้ จะมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ก็ต่อเมื่อมีการใช้งานอย่างน้อย 2 ชั่วโมงต่อวัน โดยมีระยะเวลาคืนทุนอยู่ในช่วง 5-8 ปี

อาทิตย์ ไชยอรันนท์ [5] ได้สร้างเครื่องต้นแบบสำหรับทำน้ำร้อนที่ใช้ปั๊มความร้อน ออกแบบให้มีขนาดเล็ก สามารถติดตั้งและเคลื่อนย้ายได้ง่าย สะดวกต่อการใช้งานและการบำรุงรักษา ซึ่งเหมาะสำหรับใช้กับบ้านพักอาศัยขนาด 3-4 คน ระบบปั๊มความร้อนใช้คอมเพรสเซอร์แบบลูกสูบขนาด 1.39 kW ที่ใช้สารทำความเย็น R-22 เป็นสารทำงาน อีวาโปเรเตอร์ขนาด 3.51 kW และคอนเดนเซอร์ขนาด 4.46 kW ที่มีลักษณะเป็นท่อทองแดงขดอยู่ภายในถังเก็บน้ำร้อนขนาด 100 ลิตร ทำการประเมินสมรรถนะของเครื่องทำน้ำร้อนโดยทดสอบเหมือนกับการใช้งานจริง โดยเปิดน้ำร้อนใช้งานอย่างต่อเนื่องครั้งละ 150 ลิตร ที่อัตราการไหล 2.5 ลิตรต่อนาที พบว่าน้ำร้อนที่ผลิตได้มีอุณหภูมิเฉลี่ย 50.5 °C ใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยรวมเท่ากับ 3.89 kWh มีค่า COP ของระบบเท่ากับ 3.25 และสามารถประหยัดไฟฟ้าได้มากกว่าเครื่องทำน้ำร้อนด้วยไฟฟ้าประมาณ 2 เท่า แต่ราคายังสูงกว่าเครื่องทำน้ำร้อนด้วยไฟฟ้าอยู่มาก

พีรวิชญ์ เอกสุวรรณ [6] ศึกษาการดึงความร้อนจากห้องใต้หลังคาของอาคารปรับอากาศไปผลิตน้ำร้อนด้วยระบบปั๊มความร้อนที่ใช้ R-134a เป็นสารทำงาน มีความต้องการกำลังไฟฟ้า 290 W และถูกต้องเข้ากับถังเก็บน้ำร้อน 120 ลิตร เพื่อผลิตน้ำร้อนจากอุณหภูมิเริ่มต้น 30 °C ไปจนถึง 50 °C โดยดึงความร้อนออกจากห้องใต้หลังคาไปผลิตน้ำร้อน และยังเป็นกลการลดภาระการทำความร้อนในห้องปรับอากาศที่ควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ 25°C ด้วยเครื่องปรับอากาศขนาด 13,000 BTU/hr. ช่วงระยะเวลาในการผลิตน้ำร้อน คือ 3 ชั่วโมง ระหว่างช่วงเวลา 12:00-15:00 น. และ 14:00-17:00 น. พบว่าเมื่อติดตั้งระบบปั๊มความร้อน อุณหภูมิในห้องใต้หลังคาจะลดลงมาประมาณ 4-6 °C ซึ่งเป็นการลดภาระการทำงานของระบบปรับอากาศของอาคาร และยังสามารถผลิตน้ำร้อนได้ที่อุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 50 °C นอกจากนี้ยังมีการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อทำนายอุณหภูมิในห้องใต้หลังคาและอุณหภูมิน้ำร้อนที่ได้ เพื่อนำไปประเมินความเหมาะสมในเชิงเศรษฐศาสตร์และหาช่วงเวลาการใช้งานปั๊มความร้อนที่เหมาะสมกับระบบ ซึ่งพบว่าช่วงเวลาที่เหมาะสมในการเปิดใช้ปั๊มความร้อนอยู่ที่ช่วงเวลา 14:00 – 17:00 น. อัตราผลตอบแทนในการลงทุน (IRR) 67.55% และระยะเวลาคืนทุน (SPP) 1.42 ปี เมื่อเปรียบเทียบกับระบบทำน้ำร้อนด้วยหลอดไฟฟ้า

วิศิษฎ์ ชูประเสริฐ และ จิตดิน แดงเที่ยง [7] ศึกษาถึงการนำความร้อนปล่อยทิ้งจากระบบทำน้ำเย็นสำหรับใช้ในการปรับอากาศ (Chiller system) มาผลิตน้ำร้อนด้วยปั๊มความร้อน โดยทำการควบคุมอัตราการไหลของน้ำที่ไหลเข้าคอนเดนเซอร์ของระบบปั๊มความร้อน ผลจากการทดลองพบว่าเมื่ออัตราการไหลของน้ำมีค่าลดลง จะทำให้อุณหภูมิน้ำร้อนและกำลังไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์ในระบบปั๊มความร้อนมีค่าเพิ่มขึ้น และในทางตรงกันข้าม เมื่ออัตราการไหลของน้ำมีค่ามากขึ้น จะทำให้อุณหภูมิของน้ำร้อนและกำลังไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์ในระบบปั๊มความร้อนมีค่าลดลง ดังนั้นอุณหภูมิของน้ำร้อนจึงขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของน้ำที่ไหลเข้าคอนเดนเซอร์ของระบบปั๊มความร้อน และค่า COP ของระบบปั๊มความร้อนจะมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 5.01 เป็น 6.39, 6.77, 7.21, 7.56 และ 7.66 คิดเป็น 27.5%, 35.1%, 43.9%, 50.9% และ 52.9% ที่อัตราการไหลของน้ำร้อนเท่ากับ 4, 6, 8, 10, 12 และ 15.5 ลิตรต่อวินาทีตามลำดับ โดยที่ระบบทำความเย็นมีค่า COP เฉลี่ยอยู่ที่ 3.60

สาธิต ทูลไชย และ เคนพงษ์ สุดภักดี [8] ได้ศึกษาระบบผลิตน้ำร้อนด้วยปั๊มความร้อน ร่วมกับการนำความร้อนทิ้งจากระบบปรับอากาศมาใช้ โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับอาคารเชิงพาณิชย์ของประเทศไทย ซึ่งได้เลือกโรงแรมขนาด 115 ห้องที่มีระบบปรับอากาศและผลิตน้ำร้อนใช้ในอาคาร ซึ่งระบบทำน้ำร้อนแบบผสมผสานนี้ ประกอบด้วย ระบบทำน้ำเย็นขนาด 257 kW ระบบปั๊มความร้อนขนาด 25.36 kW ซึ่งใช้สารทำความเย็น R-134a เช่นเดียวกันทั้ง 2 ระบบ รวมทั้งมีถังเก็บน้ำร้อนหุ้มฉนวนขนาด 4.77 m³ และปั๊มน้ำ 1.5 kW โดยนำความร้อนทิ้งจากสารทำความเย็นที่

คอนเดนเซอร์ของเครื่องทำน้ำเย็นมาใช้เพื่อเพิ่มอุณหภูมิน้ำในถังเก็บน้ำร้อน และถ้าระบบปรับอากาศมีภาระการทำความเย็นที่ต่ำในช่วงฤดูหนาวในขณะที่ความต้องการใช้น้ำร้อนมีปริมาณที่สูงกว่าความร้อนที่ได้จากระบบปรับอากาศ บั้มความร้อนจะทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์หลักในการผลิตน้ำร้อน โดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ถูกนำมาใช้เพื่อทำนายการทำงานของระบบตลอดทั้งปี ซึ่งแบ่งตามฤดูกาล เพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะและด้านเศรษฐศาสตร์การลงทุนของระบบกับการผลิตน้ำร้อนด้วยหม้อไอน้ำ แบบจำลองนี้ได้ใช้โปรแกรม ESS (Engineering Equation Solver) มาช่วยในการคำนวณ ผลการศึกษาพบว่า ระบบสามารถผลิตน้ำร้อนได้ที่อุณหภูมิเฉลี่ยทั้งปีเท่ากับ 44.66°C ทั้งนี้อุณหภูมิของน้ำร้อนที่ผลิตได้จะขึ้นอยู่กับภาระการทำความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็นและปริมาณการใช้น้ำร้อน และพบว่าปริมาณความร้อนทั้งหมดที่ถ่ายเทให้กับน้ำร้อนตลอดทั้งปีมาจากระบบบั้มความร้อน 59.62% และความร้อนทั้งจากเครื่องทำน้ำเย็น 40.38% การใช้พลังงานจำเพาะในการผลิตน้ำร้อนของระบบ โดยเฉลี่ยทั้งปีมีค่าต่ำกว่าระบบผลิตน้ำร้อนด้วยหม้อไอน้ำ 71.90% เมื่อวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์พบว่า ถ้าทำการติดตั้งระบบผลิตน้ำร้อนแบบผสมผสานนี้แทนระบบหม้อไอน้ำสามารถคืนทุนได้ภายในเวลา 1.44 ปี มีอัตราผลตอบแทนการลงทุน 104%

ฉัตรพร ถมยาพิทักษ์ [9] ได้ศึกษาการทำน้ำร้อนจากความร้อนทิ้งของเครื่องปรับอากาศแบบอัดไอชนิดแยกส่วนขนาด 18,000 Btu/hr. ที่มีคอมเพรสเซอร์แบบลูกสูบใช้ R-22 โดยเปลี่ยนจากคอนเดนเซอร์แบบระบายความร้อนด้วยอากาศมาเป็นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำที่มีพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนประมาณ 1.714 m^2 การศึกษาได้แบ่งเป็น 2 ส่วน โดยส่วนแรกศึกษาถึงสภาวะการทำงานของเครื่องปรับอากาศก่อนทำการปรับปรุง และส่วนที่สองศึกษาหาสมรรถนะการทำงานของระบบทำน้ำร้อนจากความร้อนทิ้งของเครื่องปรับอากาศ รวมถึงหาขีดจำกัดสูงสุดของอุณหภูมิน้ำเข้าคอนเดนเซอร์ที่จะไม่ทำให้อุปกรณ์ในเครื่องปรับอากาศเสียหาย พบว่าระบบสามารถผลิตน้ำร้อนได้อุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 35.9°C ที่อุณหภูมิน้ำเข้าคอนเดนเซอร์เท่ากับ 31°C และมีอัตราการไหลของน้ำเข้าคอนเดนเซอร์เท่ากับ 15 ลิตรต่อนาที ขีดจำกัดสูงสุดของอุณหภูมิน้ำเข้าคอนเดนเซอร์ที่จะไม่ทำให้อุปกรณ์ในเครื่องปรับอากาศเสียหายมีค่าเท่ากับ 39.1°C ที่อุณหภูมิน้ำออกเท่ากับ 43°C และถ้าอุณหภูมิน้ำเข้าคอนเดนเซอร์มีอุณหภูมิสูงจะส่งผลทำให้ค่า COP และ EER ของเครื่องปรับอากาศมีค่าน้อยกว่าที่อุณหภูมิน้ำเข้าคอนเดนเซอร์ที่ต่ำกว่า จากการวิเคราะห์ในเชิงเศรษฐศาสตร์ พบว่ามีระยะเวลาคืนทุนสั้น และสามารถประหยัดค่าไฟฟ้าในการทำน้ำร้อนได้

Chaiwongsa และ Duangthongsuk [10] ได้ศึกษาและทดสอบศักยภาพในการทำน้ำร้อนด้วยเครื่องปรับอากาศขนาด 12,000 Btu/hrs. ที่ใช้ R-22 เป็นสารทำงาน โดยติดตั้งคอนเดนเซอร์แบบระบายความร้อนด้วยน้ำเพิ่มเข้ามา ซึ่งติดตั้งพร้อมคอนเดนเซอร์เดิมพร้อมด้วยวาล์วเพื่อควบคุมทิศ

ทางการไหลของสารทำความเย็น คอนเดนเซอร์มีลักษณะเป็นขดท่อทองแดงแช่อยู่ในน้ำ 40 ลิตร อุณหภูมิห้องทดสอบควบคุมไว้ที่ 21, 23 และ 25 °C โดยทำน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 40, 45 และ 50 °C เมื่ออุณหภูมิน้ำในคอนเดนเซอร์เพิ่มขึ้นถึงอุณหภูมิที่กำหนดไว้ เครื่องจะหยุดทำงานและน้ำร้อนจะถูกถ่ายไปยังถังเก็บน้ำร้อนขนาด 200 ลิตร พร้อมทั้งเติมน้ำที่อุณหภูมิเริ่มต้นเข้าไปในคอนเดนเซอร์เพื่อทำน้ำร้อนอีกครั้ง ทดสอบเช่นนี้จนกระทั่งได้น้ำร้อนเท่ากับ 200 ลิตร ซึ่งชุดลูกลอยและโซลินอยด์วาล์วจะถูกใช้ควบคุมการทำงานเหล่านี้ หลังจากนั้นจึงจะทำการทดสอบที่สภาวะการทำงานอื่นๆต่อไป จากการศึกษพบว่า ค่า COP ของเครื่องปรับอากาศทั่วไปสูงกว่าเครื่องปรับอากาศที่ปรับปรุงนี้เพียงเล็กน้อย และยังศึกษาถึงผลของอุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิน้ำร้อนที่มีผลต่อค่า COP พบว่า เมื่ออุณหภูมิอากาศเพิ่มขึ้น จะทำให้ค่า COP เพิ่มขึ้นด้วย และเมื่ออุณหภูมิน้ำร้อนเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ค่า COP ลดลง นอกจากนี้จะเห็นได้ว่าเครื่องปรับอากาศที่ปรับปรุงนี้สามารถผลิตน้ำร้อนจำนวน 200 ลิตรได้ตามอุณหภูมิที่ต้องการได้ โดยใช้ความร้อนที่จากการปรับอากาศมาผลิตน้ำร้อนแทนการใช้เครื่องทำน้ำร้อนด้วยไฟฟ้า ซึ่งถือว่าการประหยัดพลังงานไฟฟ้า 3.5-4.5 kW ซึ่งขึ้นอยู่กับสภาวะในการทำงาน

Techarungpaisan และคณะ [11] ได้สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนที่มีการนำความร้อนทิ้งมาผลิตน้ำร้อน ในการศึกษาได้สร้างชุดทดสอบขึ้นมาประกอบด้วย เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนขนาด 12,000 Btu/hr. และติดตั้งถังน้ำขนาด 102 ลิตรภายในมีขดท่อทองแดงยาว 10.6 m เพื่อทำน้ำร้อน จากนั้นทำการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบค่าที่ได้จากแบบจำลอง ซึ่งผลที่ได้พบว่า ค่าจากการทดสอบและแบบจำลองมีค่าใกล้เคียงกัน อุณหภูมิน้ำร้อนสูงสุดที่สามารถทำได้เท่ากับ 47 °C และแบบจำลองนี้ยังสามารถนำไปใช้สำหรับการออกแบบระบบหรือทำนายสมรรถนะของระบบในอนาคตได้ด้วย

Ji และคณะ [12] ศึกษาเกี่ยวกับระบบทำน้ำร้อนจากเครื่องปรับอากาศที่ใช้ในที่พักอาศัย โดยเพิ่มคอนเดนเซอร์ที่ระบายความร้อนด้วยน้ำเข้าไปในระบบปรับอากาศ สามารถทำงานได้ 3 โหมด คือ 1. ปรับอากาศให้เย็นและทำน้ำร้อน 2. ทำน้ำร้อนอย่างเดียว 3. ปรับอากาศให้ร้อนอย่างเดียว ซึ่งได้ทดสอบโดยอ้างอิงตามมาตรฐาน Chinese National Standard GB/T7725-1996 ของประเทศจีน โดยควบคุมอุณหภูมิอากาศด้านนอกแตกต่างกันออกไปในแต่ละโหมดการทำงาน มีผลการทดสอบดังนี้ 1. โหมดปรับอากาศให้เย็นและทำน้ำร้อน กำหนดให้อุณหภูมิอากาศเท่ากับ 35 °C พบว่ามีค่า COP_c ของการปรับอากาศให้เย็นเท่ากับ 2.91 ซึ่งสูงกว่าเครื่องปรับอากาศทั่วไปที่มีค่าอยู่ประมาณ 2.20-2.40 และมีค่า COP_{cw} ของการปรับอากาศให้เย็นและทำน้ำร้อนเท่ากับ 4.02 2. โหมดทำน้ำร้อนอย่างเดียว กำหนดให้อุณหภูมิอากาศแตกต่างกัน 4 ค่า คือ 4.5, 15, 25 และ 31 °C พบว่ามีค่า COP_w ของ

การทำน้ำร้อนเท่ากับ 2, 2.52, 3.25 และ 3.42 ตามลำดับ 3. โหมคปรับอากาศให้ร้อนอย่างเดียว กำหนดให้อุณหภูมิอากาศเท่ากับ 7°C พบว่ามีค่า COP_h ของการปรับอากาศให้ร้อนเท่ากับ 2.72 จาก การทดสอบทำให้เห็นว่า เครื่องปรับอากาศที่ติดตั้งเครื่องทำน้ำร้อนนี้จะสามารถทำงานได้ทั้งการปรับ อากาศ และทำน้ำร้อนได้ในเครื่องเดียวกัน และมีค่า COP สูงกว่าเครื่องปรับอากาศแบบทั่วไป

Shao และคณะ [13] ได้นำเสนอระบบทำน้ำร้อนแบบใหม่สำหรับบ้านพักอาศัย โดยติดตั้ง เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน 2 ชุดเข้าไปในระบบปรับอากาศ เพื่อทำการผลิตน้ำร้อน เครื่องแลกเปลี่ยน ความร้อนชุดแรกจะติดตั้งอยู่ระหว่างคอนเดนเซอร์และวาล์วลดความดัน (Preheater) ส่วนเครื่อง แลกเปลี่ยนความร้อนอีกชุดจะติดตั้งอยู่ระหว่างคอมเพรสเซอร์และคอนเดนเซอร์ (Reheater) ป้อนน้ำจะ ทำหน้าที่ส่งน้ำเข้ามาแลกเปลี่ยนความร้อนที่ Preheater ก่อน ต่อจากนั้นจะไปแลกเปลี่ยนความร้อนที่ Reheater อีกครั้งก่อนถูกส่งออกไปใช้งาน ซึ่งระบบนี้จะสามารถทำงานได้ทั้งระบบปรับอากาศและ ระบบทำน้ำร้อนซึ่งมีการใช้งานตลอดทั้งปีในประเทศจีน จากการทดลองพบว่าสามารถผลิตน้ำร้อน จากอุณหภูมิเริ่มต้น 15°C ไปจนถึง 45°C ซึ่งมีอุณหภูมิสูงพอที่จะใช้ในบ้านพักอาศัย และประหยัด กว่าเครื่องทำน้ำร้อนด้วยไฟฟ้าถึง 10% และ 90% ในฤดูหนาวและฤดูร้อนตามลำดับ นอกจากนี้ยังมี การใช้พลังงานเฉลี่ยตลอดทั้งปีน้อยกว่าระบบเก่า 31.1%

Zhang และคณะ [14] ได้ศึกษาถึงระบบที่เหมาะสมของการผลิตน้ำร้อนด้วยปั๊มความร้อนที่ ใช้อากาศเป็นแหล่งความร้อน ซึ่งใช้ปั๊มความร้อนขนาด 750 W ที่มีคอมเพรสเซอร์แบบ โรตารี และใช้ R-22 เป็นสารทำงาน ทำการผลิตน้ำร้อนปริมาณ 150 ลิตร ที่อุณหภูมิเริ่มต้น 15°C จนถึง 55°C โดยได้ ทำการศึกษาเกี่ยวกับความยาวของท่อแคปิลารีของวาล์วลดความดัน ความยาวของขดท่อของ คอนเดนเซอร์ ปริมาณการเติมสารทำความเย็น และความเข้ากันได้ของระบบ (1.ความสัมพันธ์ของ ปริมาณการเติมสารทำความเย็นกับการเปิดของวาล์วลดความดัน 2.ความสัมพันธ์ของขนาดถังเก็บน้ำ ร้อนกับความสามารถในการทำความร้อนของปั๊มความร้อน) จากการศึกษาพบว่า ความสัมพันธ์ของ ตัวแปรทั้งหมดจะต้องเหมาะสมกันทั้งระบบ ซึ่งจากผลการทดสอบจะเห็นได้ว่า ถ้าระบบมีความ เหมาะสมในความสัมพันธ์ของตัวแปรทั้งหมด ระบบจะมีค่า COP เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด

Yokoyama และคณะ [15] ศึกษาการผลิตน้ำร้อนด้วยปั๊มความร้อนขนาด 4.5 kW ที่ใช้ CO_2 เป็นสารทำงานในระบบ และมีถังเก็บน้ำร้อนหุ้มฉนวนขนาด 370 ลิตร โดยทำการสร้าง แบบจำลองเชิงตัวเลขเพื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลอง ใช้เงื่อนไขสภาวะการทำงานที่อ้างอิงข้อมูลจาก ทั้ง 3 ฤดูกาลในประเทศญี่ปุ่น ซึ่งได้ผลลัพธ์ใกล้เคียงกับผลการทดลองถือเป็นที่ยอมรับได้ หลังจากนั้น นำแบบจำลองนี้ไปทำนายสมรรถนะการทำงานเพื่อวิเคราะห์หาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆที่ส่งผลต่อ สมรรถนะการทำงานของปั๊มความร้อน จากการศึกษาพบว่า สมรรถนะของระบบขึ้นอยู่กับ 3 ปัจจัย

คือ อุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิน้ำขาเข้า และอุณหภูมิน้ำขาออกจากคอนเดนเซอร์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า เมื่ออุณหภูมิอากาศเพิ่มขึ้น ค่า COP ก็เพิ่มขึ้นตามไปด้วย และเมื่ออุณหภูมิน้ำขาเข้า และอุณหภูมิน้ำขาออกจากคอนเดนเซอร์เพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ค่า COP ของระบบลดลง

Yokoyama และคณะ [16] ศึกษาสมรรถนะการทำงานของปั๊มความร้อนในการทำน้ำร้อน 300 ลิตรด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยใช้ปั๊มความร้อนขนาด 4.5 kW ที่มี CO₂ เป็นสารทำงาน โดยนำผลจากการทดลองมาเปรียบเทียบกับผลของแบบจำลองได้ผลลัพธ์ใกล้เคียงกันซึ่งถือว่ายอมรับได้ นอกจากนี้ยังนำแบบจำลองนี้ไปทำนายสมรรถนะการทำงานของปั๊มความร้อน โดยใช้ข้อมูลสภาพแวดล้อมอ้างอิงจากเมืองโอซะกะ ประเทศญี่ปุ่น แบบรายชั่วโมง เพื่อใช้วิเคราะห์ตามฤดูกาลตลอดทั้งปี จากการศึกษาพบว่า เมื่ออุณหภูมิอากาศเพิ่มขึ้น ค่า COP ของระบบก็จะเพิ่มขึ้นด้วย และจะทำให้ระยะเวลาในการทำน้ำร้อน และการสิ้นเปลืองพลังงานลดลง

Huang และ Lin [17] ศึกษาและสร้างเครื่องทำน้ำร้อน โดยใช้ปั๊มความร้อนที่มีขนาดเล็ก และทำน้ำร้อนได้อย่างรวดเร็ว ออกแบบใช้ถังน้ำร้อนคู่ขนาด 100 ลิตร ระบบปั๊มความร้อนใช้ไฟ AC 110V มี R-22 เป็นสารทำงาน คอมเพรสเซอร์ขนาดทำความเย็น 2,600 kcal/hr. และคอนเดนเซอร์มีลักษณะเป็นท่อทองแดงขดอยู่ในถังเก็บน้ำร้อน ทำการทดสอบตามสภาพอากาศในแต่ละฤดูกาลของประเทศไต้หวัน โดยทำน้ำร้อนจากอุณหภูมิน้ำเริ่มต้นที่ขึ้นอยู่กับแต่ละฤดูกาล ไปจนถึงอุณหภูมิน้ำร้อนเท่ากับ 54 °C จากผลการทดสอบพบว่า เครื่องทำน้ำร้อนที่ออกแบบนี้มีค่า COP เท่ากับ 2.0-3.0 ในช่วงฤดูกาลต่างๆ และสามารถประหยัดพลังงานประมาณ 50-70% เมื่อเทียบกับเครื่องทำน้ำร้อนด้วยไฟฟ้า

Zhao และคณะ [18] ได้ศึกษาสมรรถนะของการทำน้ำร้อนด้วยปั๊มความร้อนที่ใช้อากาศแวดล้อมเป็นแหล่งความร้อน ซึ่งปั๊มความร้อนนี้ดัดแปลงมาจากเครื่องปรับอากาศที่ใช้ R-410A เป็นสารทำงาน โดยเปลี่ยนคอนเดนเซอร์ที่ระบายความร้อนด้วยอากาศเป็นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำ เพื่อใช้ทำน้ำร้อน คอนเดนเซอร์ที่ระบายความร้อนด้วยน้ำนี้ทำจากท่อทองแดงขนาด 10 mm ยาว 15 m ขดอยู่ในถังเก็บน้ำร้อนขนาด 414 ลิตรที่หุ้มฉนวนอย่างดี การศึกษาได้แบ่งเป็น 2 ส่วน ดังนี้ 1. ศึกษาในขณะที่ไม่มีการนำน้ำร้อนไปใช้งาน โดยทดสอบที่อุณหภูมิอากาศแวดล้อมเฉลี่ยประมาณ 6-9 °C ทำน้ำร้อนจากอุณหภูมิเริ่มต้น 21 °C จนถึง 55 °C ซึ่งจะพบว่า เมื่ออุณหภูมิน้ำร้อนเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ค่า COP ลดลง 2. ศึกษาในขณะที่มีการนำน้ำร้อนไปใช้งาน พิจารณาถึงผลของอุณหภูมิน้ำเข้าและออก คอนเดนเซอร์ที่มีผลต่อค่า COP กำหนดอุณหภูมิน้ำเข้าคอนเดนเซอร์ที่ 25, 30, 35, 40, 45 และ 50 °C อุณหภูมิน้ำออกคอนเดนเซอร์ที่ 45, 50 และ 55 °C ซึ่งพบว่า เมื่ออุณหภูมิน้ำเข้าและออกคอนเดนเซอร์เพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ค่า COP ลดลง

Peng และคณะ [19] ศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะการทำงานของเครื่องทำน้ำร้อนด้วยปั๊มความร้อนต้นแบบที่ใช้อากาศเป็นแหล่งความร้อน ใช้คอมเพรสเซอร์แบบ scroll ที่มี R-134a เป็นสารทำงาน คอนเดนเซอร์มีลักษณะเป็นขดท่ออลูมิเนียมพันรอบผนังภายนอกของถังเก็บน้ำร้อนขนาด 193 ลิตรและหุ้มฉนวนหนา 50 mm และใช้อิวาโปเรเตอร์แบบ fin and tube มีเงื่อนไขการทดสอบตามสภาพอากาศในแต่ละฤดูกาลของประเทศจีน โดยทำน้ำร้อนจากอุณหภูมิน้ำเริ่มต้นที่ขึ้นอยู่กับแต่ละฤดูกาลไปจนถึงอุณหภูมิน้ำร้อนเท่ากับ 55°C โดยศึกษาว่าลวดความดันที่ต่างชนิดกัน 3 แบบ คือ 1. แบบอิเล็กทรอนิกส์ (EEV) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 1.3 mm 2. แบบท่อแคปิลลารี (Capillary tube) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 1.6 mm ยาว 610 mm 3. แบบออร์ฟิซท้อสั้น (Short tube orifice) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 1.1 mm ยาว 12 mm ซึ่งทำการศึกษาที่สภาวะการทำงานที่แตกต่างกัน จากการศึกษาพบว่า ค่า COP ของระบบที่ติดตั้งว่าลวดความดันแบบ EEV มีค่าสูงสุด ซึ่งแสดงให้เห็นว่าว่าลวดความดันแบบ EEV เหมาะสมที่สุดกับระบบทำน้ำร้อนด้วยปั๊มความร้อนต้นแบบที่ใช้อากาศเป็นแหล่งความร้อน

Wang และคณะ [20] ทำการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของปั๊มความร้อนที่ใช้อากาศเป็นแหล่งความร้อนในการผลิตน้ำร้อนสำหรับบ้านพักอาศัยในเขตตอนใต้ของประเทศจีน ออกแบบห้องทดสอบให้สามารถควบคุมอุณหภูมิอากาศแวดล้อมและความชื้นได้ ใช้ปั๊มความร้อนที่มี R-22 เป็นสารทำงาน คอนเดนเซอร์ระบายความร้อนด้วยน้ำขนาด 5.2 kW ผลิตน้ำร้อน 300 ลิตรจากอุณหภูมิ 30°C จนถึง 54.2°C โดยควบคุมอุณหภูมิอากาศแวดล้อมที่ $-7, 2, 7, 20$ และ 30°C จากการศึกษาพบว่าเมื่ออุณหภูมิอากาศแวดล้อมเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ค่า COP เพิ่มขึ้น และทำให้ระยะเวลาในการทำน้ำร้อนลดลง จากนั้นทำการวิเคราะห์ถึงดัชนีประสิทธิภาพรายปี (Annual Performance Factor, APF) ภายใต้เงื่อนไขสภาพแวดล้อมของเมืองทางตอนใต้ของประเทศจีน ได้แก่ กวางโจว, กุหนิง และหนานจิง ซึ่งพบว่า ค่า APF ของเมืองกวางโจวเท่ากับ 3.35 ในขณะที่เมืองกุหนิง และหนานจิง มีค่า APF ลดลง 11.3% และ 12.2% ตามลำดับ ซึ่งเป็นผลมาจากสภาพของพื้นที่นั้นๆ

2.3.2 ระบบทำน้ำร้อนด้วยปั๊มความร้อนที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นแหล่งความร้อน

Sun และคณะ [21] ศึกษาเปรียบเทียบการทำน้ำร้อนของระบบปั๊มความร้อนที่ใช้แหล่งความร้อนต่างกันระหว่างแหล่งความร้อนจากรังสีแสงอาทิตย์โดยตรงกับแหล่งความร้อนจากอากาศ ซึ่งระบบที่ใช้แหล่งความร้อนจากรังสีแสงอาทิตย์นั้นใช้แผงรับรังสีขนาด 2 m^2 ที่ทำจากอลูมิเนียมเป็นอีวาโปเรเตอร์ในระบบ โดยศึกษาการทำน้ำร้อนจากอุณหภูมิ 30°C จนถึง 55°C ที่สภาวะการทำงานภายใต้สภาพภูมิอากาศของเมืองเซียงไฮ้ ประเทศจีน พบว่า 1. สภาวะกลางวันที่ยังฟ้าแจ่มใส ระบบที่ใช้ความร้อนจากรังสีแสงอาทิตย์มีค่า COP สูงกว่า เพราะว่าพลังงานจากรังสีแสงอาทิตย์ทำให้อุณหภูมิ

ที่อิวาโปเรเตอร์สูงขึ้น ซึ่งส่งผลต่อค่า COP ที่สูงขึ้นด้วย 2. สภาพะกลางวันที่ท้องฟ้ามีเมฆมาก ค่า COP ของระบบทั้ง 2 มีค่าใกล้เคียงกัน 3. สภาพะกลางคืน ระบบที่ใช้ความร้อนจากรังสีแสงอาทิตย์มีค่า COP ต่ำกว่า เพราะว่าไม่มีพลังงานจากรังสีแสงอาทิตย์ จากนั้นได้ทำนายสมรรถนะของระบบทั้ง 2 เพื่อเปรียบเทียบกันตลอดทั้งปี พบว่าระบบทำความร้อนที่ใช้ความร้อนจากรังสีแสงอาทิตย์มีค่า COP สูงกว่าระบบที่ใช้ความร้อนจากอากาศตลอดทั้งปี

Kong และคณะ [22] ศึกษาสมรรถนะทางความร้อนของระบบทำน้ำร้อนด้วยปั๊มความร้อนที่รับความร้อนจากรังสีแสงอาทิตย์โดยตรงจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และเปรียบเทียบกับการทดลอง โดยให้อิวาโปเรเตอร์เป็นแผงรับรังสีขนาด 4.2 m^2 ใช้คอมเพรสเซอร์แบบโรตารีที่ใช้ R-22 เป็นสารทำงานในระบบ คอนเดนเซอร์มีลักษณะเป็นท่อทองแดงขนาด 8.6 mm ยาว 14.9 m ขดตัวอยู่ภายในถังเก็บน้ำร้อนหุ้มฉนวนขนาด 150 ลิตร ซึ่งผลที่ได้จากการทดลองใกล้เคียงกับผลที่ได้จากโปรแกรมจำลอง และจากการวิเคราะห์พบว่า ค่ารังสีแสงอาทิตย์ อุณหภูมิอากาศ และความเร็วรอบของคอมเพรสเซอร์มีผลอย่างมากกับสมรรถนะทางความร้อนของระบบ แต่สำหรับความเร็วลมที่ผ่านอิวาโปเรเตอร์นั้นมีผลน้อย

Gorozaebel Chata และคณะ [23] ศึกษาสมรรถนะการทำงานของระบบทำน้ำร้อนด้วยปั๊มความร้อนที่ใช้แหล่งความร้อนจากรังสีแสงอาทิตย์โดยตรง ซึ่งใช้สารทำความเย็นต่างชนิดกัน พบว่าในกรณีที่สารทำความเย็นเป็นสารบริสุทธิ์ ค่า COP ของระบบที่ใช้ $R-12 > R-22 > R-134a$ และพบว่าค่า COP ของระบบที่ใช้ R-134a ต่ำกว่า R-12 อยู่ประมาณ 2-4% ในกรณีที่สารทำความเย็นเป็นสารผสม ค่า COP ของระบบที่ใช้ $R-410A > R-407C > R-404A$ ซึ่งค่า COP ของระบบที่ใช้ R-410A ต่ำกว่า R-134a อยู่ประมาณ 15-20% ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสารทำความเย็นที่เป็นสารบริสุทธิ์จะทำให้ค่า COP สูงกว่าสารทำความเย็นที่เป็นสารผสม และจากงานวิจัยนี้ยังได้สร้างกราฟสำหรับใช้ในการพิจารณาเลือกขนาดของแผงรับรังสีที่ใช้กับสารทำความเย็นชนิดต่างๆด้วย

Li และคณะ [24] ศึกษาสมรรถนะการทำงานของระบบทำน้ำร้อนด้วยปั๊มความร้อนที่ใช้แหล่งความร้อนจากรังสีแสงอาทิตย์ โดยสร้างชุดทดสอบที่มีอิวาโปเรเตอร์เป็นแผงรับรังสีทำจากอลูมิเนียมจำนวน 4 แผ่นเชื่อมต่อกันแบบขนาน มีพื้นที่รวมเท่ากับ 4.2 m^2 คอมเพรสเซอร์แบบโรตารีขนาด 0.75 kW ที่ใช้ R-22 เป็นสารทำงาน คอนเดนเซอร์เป็นขดท่อทองแดงอยู่ภายในถังเก็บน้ำร้อนขนาด 150 ลิตร ซึ่งทำการทดสอบที่เมืองเซียงไฮ้ ประเทศจีน ในฤดูใบไม้ผลิ พบว่าค่า COP ของระบบสูงถึง 6.61 เมื่อทำน้ำร้อนจากอุณหภูมิ 13.4°C จนถึง 50.5°C โดยใช้เวลา 94 นาที ซึ่งมีอุณหภูมิอากาศ 20.6°C และมีค่ารังสีแสงอาทิตย์ 955 W/m^2 ถึงแม้ว่าเป็นคืนฝนตกที่มีอุณหภูมิอากาศ 17.1°C ค่า COP

ของระบบนี้ยังมีค่าเท่ากับ 3.11 และมีค่า COP เฉลี่ยตลอดฤดูกาลเท่ากับ 5.25 โดยที่ค่าประสิทธิภาพของตัวรับรังสีเท่ากับ 1.08

2.3.3 ระบบทำน้ำร้อนด้วยปั๊มความร้อนที่ใช้แหล่งความร้อนร่วม

Li และคณะ [25] ทำแบบจำลองเพื่อศึกษาระบบทำน้ำร้อนด้วยปั๊มความร้อนที่ใช้แหล่งความร้อนร่วม โดยอิวาโปเรเตอร์ของระบบปั๊มความร้อนถูกออกแบบให้รับความร้อนจากอากาศและรังสีแสงอาทิตย์ ทำการศึกษาระบบที่ใช้สารทำความเย็นต่างกันคือ R-134a, R-744 และ R-22 และมีเงื่อนไขในการทำแบบจำลองเพื่อศึกษาดังนี้ อุณหภูมิอากาศ 5-35 °C ค่ารังสีแสงอาทิตย์ 300 W/m² อากาศผ่านอิวาโปเรเตอร์ 1.04 m³/s โดยทำน้ำร้อนจาก 15 °C จนถึง 55 °C ที่อัตราการไหลของน้ำ 0.06 ลิตรต่อวินาที ผลการศึกษาพบว่า ช่วงอุณหภูมิอากาศ 5-13 °C ค่า COP ของระบบที่ใช้สารทำความเย็น R-744 > R-134a > R-22 ส่วนช่วงอุณหภูมิอากาศ 13-35 °C ค่า COP ของระบบที่ใช้สารทำความเย็น R-134a > R-744 > R-22 เมื่อพิจารณาถึงระยะเวลาในการทำน้ำร้อนจากอุณหภูมิ 15 °C ถึง 55 °C พบว่าระบบที่ใช้สารทำความเย็น R-22 มีระยะเวลาในการทำน้ำร้อนสั้นกว่าระบบที่ใช้สารทำความเย็น R-134a และ R-744

Xu และคณะ [26] ทำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อศึกษาสมรรถนะการทำงานของระบบทำน้ำร้อนด้วยปั๊มความร้อนที่ใช้แหล่งความร้อนจากอากาศและรังสีแสงอาทิตย์ เพื่อเปรียบเทียบกับเครื่องทำน้ำร้อนแบบอื่นๆ โดยออกแบบอิวาโปเรเตอร์ให้สามารถรับแหล่งความร้อนได้ทั้ง 2 ทาง ในระบบใช้ R-22 เป็นสารทำงาน คอมเพรสเซอร์แบบโรตารีขนาด 400 W ถึงเก็บน้ำร้อนขนาด 150 ลิตร คอนเดนเซอร์แบบไหลสวนทาง และมีอัตราการไหลของน้ำ 0.125 ลิตรต่อวินาที โดยได้ทำการศึกษาจากแบบจำลองภายใต้เงื่อนไขของฤดูกาลต่างๆตลอดทั้งปีของเมืองหนานจิง ประเทศจีน พิจารณาถึงน้ำร้อนจากอุณหภูมิเริ่มต้นที่ขึ้นอยู่กับแต่ละฤดูกาลไปจนถึงอุณหภูมิทำน้ำร้อนเท่ากับ 55 °C พบว่าระบบนี้มีสมรรถนะในการทำน้ำร้อนดีกว่าระบบทำน้ำร้อนจากขดลวดไฟฟ้า และระบบทำน้ำร้อนจากปั๊มความร้อนที่ใช้อากาศเป็นแหล่งความร้อนเพียงอย่างเดียว และยังพบว่าตัวแปรรังสีแสงอาทิตย์และอุณหภูมิอากาศเป็นตัวแปรที่สำคัญที่มีผลต่อสมรรถนะการทำงานของระบบนี้

Deng และ Yu [27] ทำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และศึกษาสมรรถนะการทำงานของระบบทำน้ำร้อนด้วยปั๊มความร้อนที่ใช้แหล่งความร้อนร่วมระหว่างอากาศกับรังสีแสงอาทิตย์ เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับระบบที่ใช้แหล่งความร้อนจากรังสีแสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียว อิวาโปเรเตอร์ของระบบแยกเป็น 2 ส่วนชัดเจน โดยอิวาโปเรเตอร์ของแหล่งความร้อนจากรังสีแสงอาทิตย์เป็นแผงรับรังสีแบบแผ่นเรียบขนาด 2 m² และอิวาโปเรเตอร์ของแหล่งความร้อนจากอากาศเป็นแบบท่อกริบใช้ R-134a เป็นสารทำงานในระบบ ถึงเก็บน้ำร้อนมีขนาด 150 ลิตร ผลิตน้ำร้อนจากอุณหภูมิเริ่มต้น

20 °C จนถึงอุณหภูมิ 55 °C จากการศึกษาพบว่า ระบบที่ออกแบบนี้มีค่า COP สูงกว่าระบบที่ใช้แหล่งความร้อนจากรังสีแสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียวถึง 14.1% เนื่องจากในกรณีที่มิมีค่ารังสีแสงอาทิตย์ต่ำ ระบบก็ยังสามารถทำงานได้โดยใช้แหล่งความร้อนจากอากาศแวดล้อม และจะเห็นได้ว่า อุณหภูมิอากาศจะส่งผลอย่างมากกับค่า COP ของระบบในสภาวะการทำงานที่มีค่ารังสีแสงอาทิตย์ต่ำ แต่เมื่อสภาวะการทำงานมีค่ารังสีแสงอาทิตย์ที่สูง อุณหภูมิอากาศจะส่งผลต่อค่า COP ของระบบน้อย

สาธิต ทูลไชย และ สัตยชัย ไร่เพยพัด [28] ศึกษาการผลิตน้ำร้อน โดยการใช้ความร้อนทิ้งของระบบปรับอากาศร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์และปั๊มความร้อนสำหรับโรงแรมในประเทศไทย โดยการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งเลือกโรงแรมขนาด 115 ห้อง ที่มีระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์และมีการผลิตน้ำร้อนด้วยหม้อไอน้ำเป็นกรณีศึกษา ซึ่งระบบผลิตน้ำร้อนแบบผสมผสานนี้ ประกอบด้วย ระบบทำน้ำเย็นขนาด 257 kW ระบบปั๊มความร้อนขนาด 25.36 kW ใช้สารทำความเย็น R-134a เช่นเดียวกันทั้ง 2 ระบบ ระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีตัวรับแสงแบบแผ่นเรียบขนาดพื้นที่ 65 m² และถังเก็บน้ำร้อนหุ้มฉนวนขนาด 6 m³ โดยความร้อนทิ้งจากสารทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นจะถูกนำมาใช้เพื่อผลิตน้ำร้อนร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์ ถ้าอุณหภูมิของน้ำร้อนต่ำกว่าที่ต้องการ ปั๊มความร้อนจะเริ่มทำงานจนกว่าอุณหภูมิของน้ำร้อนจะมีค่าตามที่ต้องการจึงจะหยุดทำงาน จากการจำลองการทำงานของระบบพบว่า สามารถผลิตน้ำร้อนอุณหภูมิเฉลี่ยทั้งปีเท่ากับ 45.8 °C ปริมาณความร้อนที่น้ำร้อนได้รับทั้งหมดมาจากเครื่องทำน้ำเย็น 13.01% พลังงานแสงอาทิตย์ 29.52% และปั๊มความร้อน 57.47% ซึ่งสามารถลดการใช้พลังงานลงได้ 79.53% เมื่อเทียบกับการผลิตน้ำร้อนด้วยหม้อไอน้ำ ส่วนการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ ถ้าติดตั้งระบบผลิตน้ำร้อนแบบผสมผสานนี้แทนหม้อไอน้ำพบว่า มีอัตราผลตอบแทนการลงทุน (IRR) เท่ากับ 105.68%

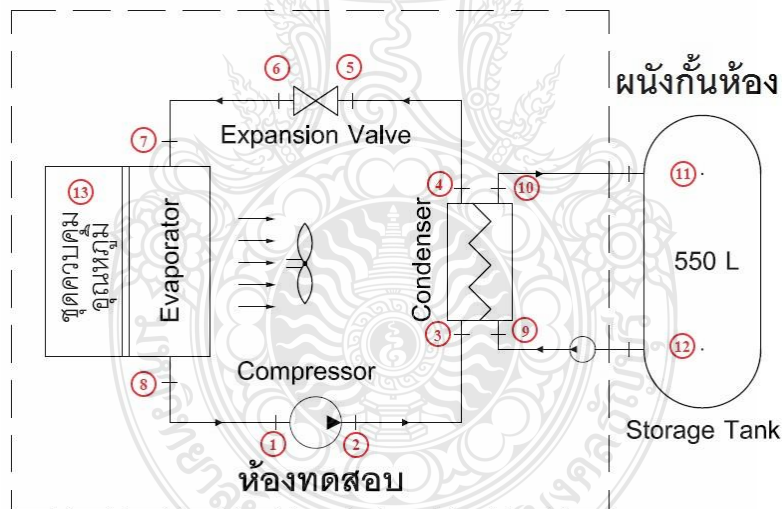
จากผลการศึกษางานวิจัยข้างต้น อุณหภูมิน้ำร้อนที่ระบบผลิตได้ส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วงอุณหภูมิปานกลาง (40-60°C) ซึ่งเหมาะกับการนำมาใช้ประโยชน์ในที่พักอาศัย อพาร์ทเมนท์ โรงแรม โรงพยาบาล และอื่นๆ สำหรับงานวิจัยนี้ได้มุ่งเน้นศึกษาเกี่ยวกับระบบทำน้ำร้อนด้วยปั๊มความร้อนแบบอัดไอที่ใช้อากาศแวดล้อมเป็นแหล่งความร้อน โดยการทดสอบสมรรถนะการทำงานที่สภาวะเงื่อนไขต่างๆ และวิเคราะห์ผล เพื่อหาความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ส่งผลต่อสมรรถนะของการทำน้ำร้อน และเพื่อนำความรู้ที่ได้ไปใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาระบบทำน้ำร้อนให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น และประหยัดค่าใช้จ่ายในสถานประกอบการต่อไป

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับระบบทำน้ำร้อนด้วยปั๊มความร้อนที่สภาวะการทำงานต่างๆ ซึ่งมีตัวแปรที่ต้องการศึกษาคือ อัตราการไหลของสารทำความเย็น (\dot{m}_r) อัตราการไหลของน้ำ (\dot{m}_w) และอุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าอีวาโปเรเตอร์ (T_a) ซึ่งตัวแปรเหล่านี้ล้วนส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบปั๊มความร้อน (COP) โดยทำการปรับเปลี่ยนค่าตัวแปรต่างๆ เพื่อนำข้อมูลที่ได้จากการทดสอบมาคำนวณ และวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อค่า COP ของระบบ ในบทนี้จะนำเสนอถึงการออกแบบชุดทดสอบ อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย และวิธีการทำวิจัย ดังต่อไปนี้

3.1 ออกแบบการทดสอบ



รูปที่ 3.1 ระบบทดสอบการใช้ปั๊มความร้อนในการผลิตน้ำร้อน

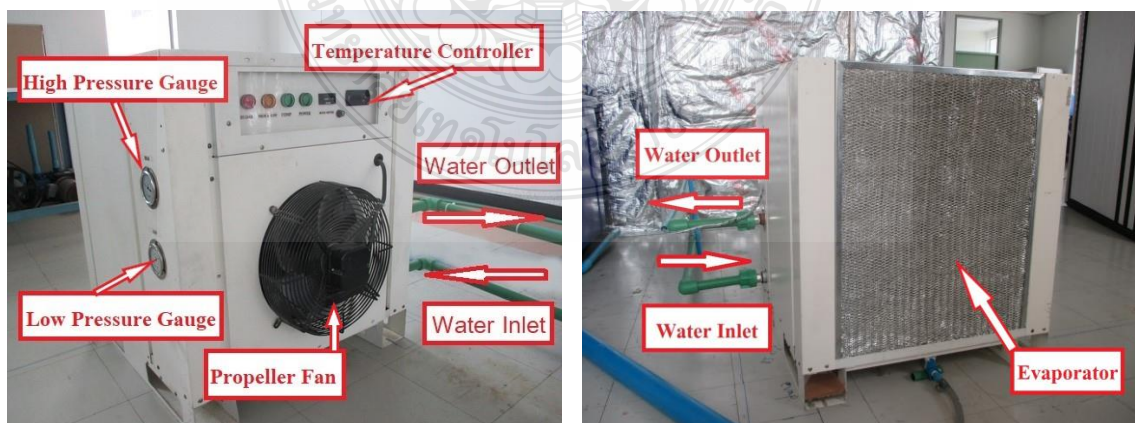
ชุดทดสอบสำหรับงานวิจัยนี้ทำโดยติดตั้งระบบปั๊มความร้อนแบบอัดไอขนาด 16 kW ภายในห้องทดสอบที่เชื่อมต่อกับถังเก็บน้ำร้อนหุ้มฉนวนอย่างดีที่อยู่ภายนอกห้อง พร้อมทั้งติดตั้งชุดควบคุมอุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าอีวาโปเรเตอร์ เพื่อจำลองอุณหภูมิอากาศแวดล้อม และติดตั้งชุดอุปกรณ์ดึงอากาศเย็นที่เกิดจากการแลกเปลี่ยนความร้อนออกจากห้องทดสอบ เพื่อควบคุมอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดสอบ การทดสอบเริ่มจากเติมน้ำอุณหภูมิ 30 °C เข้าไปในถังเก็บน้ำร้อนปริมาณ

550 ลิตร พร้อมทั้งตั้งค่าตัวแปรที่ต้องการศึกษา และตัวแปรที่ควบคุม เปิดปั๊มความร้อนเพื่อทำน้ำร้อน โดยมีปั๊มน้ำหมุนเวียนน้ำในถังเก็บเข้ามาแลกเปลี่ยนความร้อนที่คอนเดนเซอร์ จนกระทั่งอุณหภูมิน้ำร้อนที่ออกจากคอนเดนเซอร์เท่ากับ 65°C จากนั้น Thermostat จะสั่งตัดการทำงานของปั๊มความร้อน หลังจากนั้นเตรียมทำการทดสอบที่สภาวะการทำงานอื่นๆ ในแต่ละครั้งจะถ่ายน้ำร้อนออกจากถังเก็บ และรอจนกว่าอุณหภูมิในระบบกลับสู่สภาวะปกติจึงจะเริ่มการทดสอบครั้งใหม่ ในขณะที่ทดสอบจะบันทึกค่าอุณหภูมิและความดันทุกๆ 1 นาที เพื่อนำไปคำนวณ และวิเคราะห์สมรรถนะของปั๊มความร้อนต่อไป โดยระบบการทดสอบของงานวิจัยนี้มีลักษณะดังรูปที่ 3.1

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.2.1 ปั๊มความร้อน ขนาด 16 kW ที่ใช้ R-134a เป็นสารทำงาน ใช้แรงดันไฟฟ้า 380 V ดังรูปที่ 3.2 มีรายละเอียดดังนี้

1. คอมเพรสเซอร์ แบบ Scroll ยี่ห้อ Copeland รุ่น ZR61KCE-TFD-533 กำลัง 4.46 kW ขนาด 47,800 Btu/hr.
2. คอนเดนเซอร์ชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ แบบ Coil in Shell ยี่ห้อ Aqua Systems รุ่น HS-4 ขนาด 18.95 kW
3. วาล์วลดความดัน ยี่ห้อ Danfoss รุ่น TEN 5 067B3297
4. อีวาโปเรเตอร์ชนิดระบายความร้อนด้วยอากาศ แบบ Fin and Tube ขนาดพื้นที่หน้าตัด 20cm x 26cm x 3 ชั้น ขนาด 2.5 kW
5. ปั๊มหุ่นเวียนน้ำในระบบ ยี่ห้อ Calpeda รุ่น NC3 15-60 ปรับอัตราการไหลได้ 3 ระดับ คือ 0.13 kg/s, 0.23 kg/s และ 0.32 kg/s ตามลำดับ



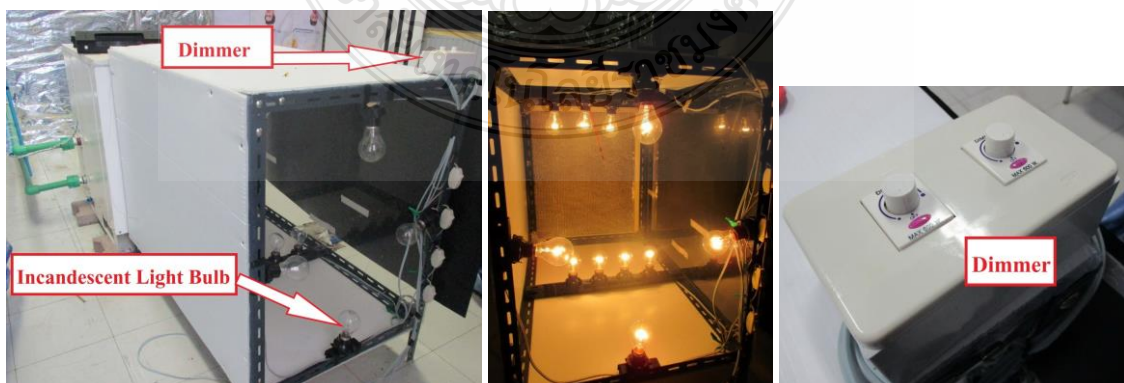
รูปที่ 3.2 ปั๊มความร้อนขนาด 16 kW ที่ใช้ในการทดสอบ

3.2.2 ถังเก็บน้ำร้อนทำจากสแตนเลสและถูกหุ้มฉนวนอย่างดีเชื่อมต่อเข้ากับปั๊มความร้อน ปริมาณน้ำที่ใช้ทดสอบในแต่ละครั้งเท่ากับ 550 ลิตร น้ำถูกดึงไปแลกเปลี่ยนความร้อนที่คอนเดนเซอร์ ทางด้านล่างถังเก็บ และกลับเข้าทางด้านบนของถังเก็บ ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ถังเก็บน้ำร้อนหุ้มฉนวนอย่างดี

3.2.3 ชุดอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าฮีวาโปเรเตอร์ เพื่อจำลองอุณหภูมิอากาศแวดล้อม โดยที่อุณหภูมิ 25 °C ใช้เครื่องปรับอากาศ ส่วนที่อุณหภูมิ 30 °C และ 35 °C ใช้หลอดไฟชนิดไส้ (Incandescent Light Bulb) เป็นตัวทำความร้อน สามารถปรับความเข้มของแสงได้โดยใช้ตัวหรี่ไฟ (Dimmer) เพื่อให้ได้อุณหภูมิตามที่ต้องการ



รูปที่ 3.4 ชุดอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าฮีวาโปเรเตอร์ (30 °C และ 35 °C)



3.2.4 ชุดอุปกรณ์ดึงอากาศเย็นที่เกิดจากการแลกเปลี่ยนความร้อนออกจากห้องทดสอบ เนื่องจากพัดลมดึงอากาศเข้ามาแลกเปลี่ยนความร้อนที่อีวาโปเรเตอร์ทำให้เกิดอากาศเย็นจึงจำเป็นต้องนำอากาศเย็นนี้ออกจากห้องทดสอบ เพื่อควบคุมอุณหภูมิของอากาศภายในห้อง และอุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าอีวาโปเรเตอร์ โดยส่งผ่านท่อออกไปข้างนอกห้องทดสอบ






รูปที่ 3.5 ชุดอุปกรณ์ดึงอากาศเย็นที่เกิดจากการแลกเปลี่ยนความร้อนออกจากห้องทดสอบ

3.2.5 เครื่องมือวัดในการเก็บข้อมูลเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบ จะแสดงรายการเครื่องมือวัดในการเก็บข้อมูล คุณลักษณะของเครื่องมือวัด ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 รายละเอียดเครื่องมือวัดที่ใช้ในการเก็บข้อมูล

เครื่องมือวัด	คุณลักษณะ	รูป
เครื่องเก็บข้อมูล (Data Logger)	ยี่ห้อ EZ ขนาด 24 ช่องสัญญาณ ทำหน้าที่อ่านอุณหภูมิ โดยใช้งานร่วมกับเทอร์โมคัปเปิลชนิด K ค่าความแม่นยำ $\pm 0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$	
สายวัดอุณหภูมิ (Thermo Couple)	สายวัดอุณหภูมิหรือเทอร์โมคัปเปิลชนิด K ใช้งานร่วมกับเครื่องบันทึกข้อมูล	

ตารางที่ 3.1 รายละเอียดเครื่องมือวัดที่ใช้ในการเก็บข้อมูล (ต่อ)

เครื่องมือวัด	คุณลักษณะ	รูป
คอมพิวเตอร์ (Computer)	ใช้ในการบันทึกข้อมูลร่วมกับเครื่องเก็บข้อมูล (Data Logger)	
เกจความดันด้านสูง (High Pressure Gauge)	วัดความดันของสารทำความเย็น ยี่ห้อ REFCO แบบบรรจุแดง มีกลีเซอรินที่หน้าปัด ค่าความแม่นยำ $\pm 1.6 \%$	
เกจความดันด้านต่ำ (Low Pressure Gauge)	วัดความดันของสารทำความเย็น ยี่ห้อ REFCO แบบบรรจุแดง มีกลีเซอรินที่หน้าปัด ค่าความแม่นยำ $\pm 1.6 \%$	

3.3 วิธีการทำวิจัย

3.3.1 เตรียมสถานที่และติดตั้งระบบ

สถานที่ทำการทดสอบอยู่ที่ ห้อง E505 ชั้น 5 อาคารเฉลิมพระเกียรติ 80 พรรษา 5 ธันวาคม 2550 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี โดยเริ่มจากการเตรียมห้องทดสอบที่ติดตั้งระบบทำน้ำร้อนด้วยปั๊มความร้อน ซึ่งมีอุปกรณ์สำคัญดังต่อไปนี้

1. ชุดปั๊มความร้อนขนาด 16 kW ที่ใช้ R-134a เป็นสารทำงาน
2. ชุดถังเก็บน้ำร้อนขนาด 850 ลิตร หุ้มฉนวนอย่างดี
3. ชุดอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าฮีวโปเรเตอร์
4. ชุดอุปกรณ์ดึงอากาศเย็นที่เกิดจากการแลกเปลี่ยนความร้อนออกจากห้องทดสอบ
5. ชุดอุปกรณ์ที่ใช้เก็บข้อมูล

3.3.2 การเก็บข้อมูล

ในการเก็บข้อมูลต่างๆ มีตำแหน่งตรวจวัดดังแสดงในรูปที่ 3.1 สำหรับวิธีการในการเก็บข้อมูลต่าง ๆ นั้นจะแสดงดังตารางที่ 3.2 และ 3.3

ตารางที่ 3.2 การบันทึกข้อมูลอุณหภูมิ

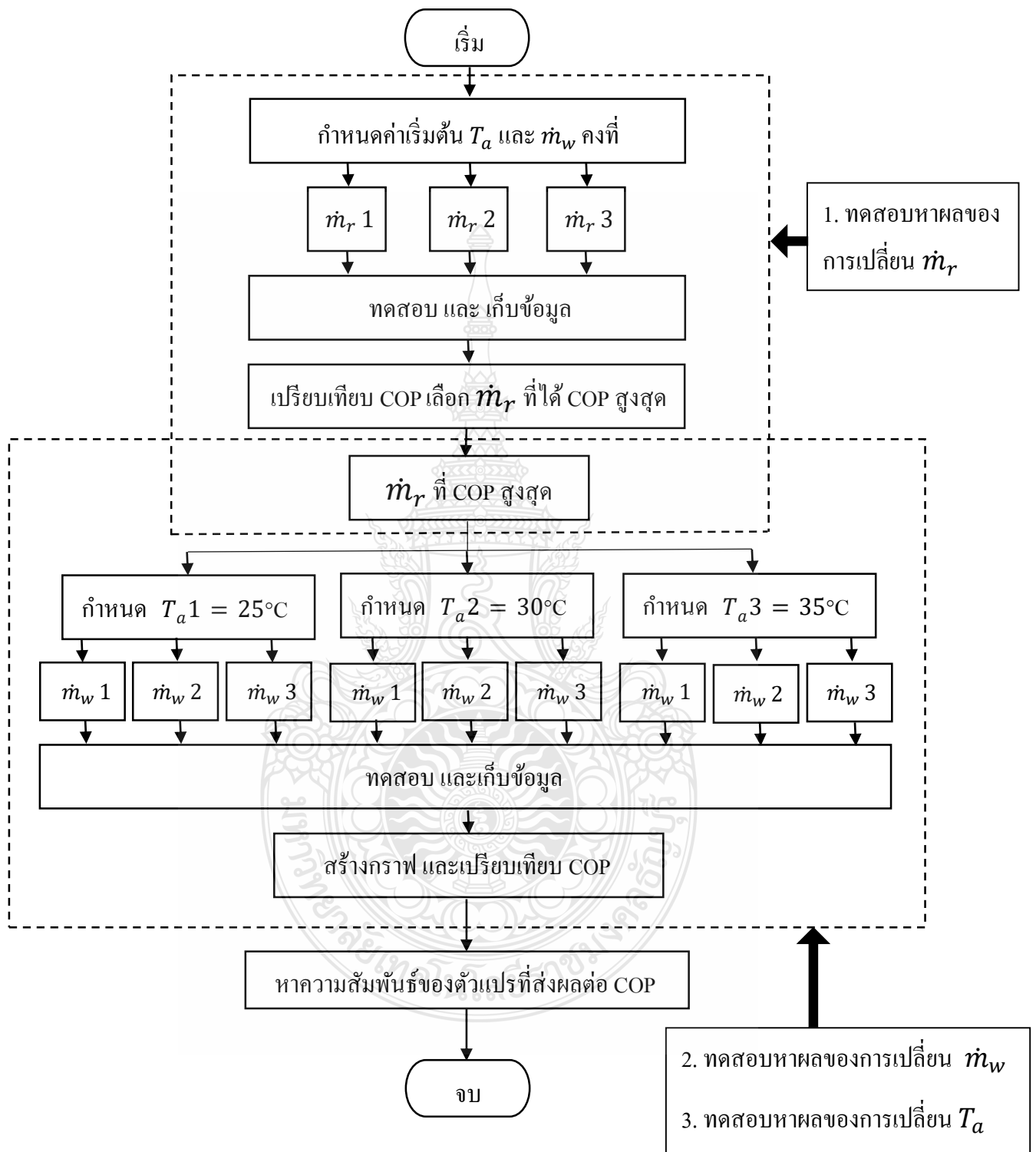
อุณหภูมิ(°C)	ตำแหน่ง	ความถี่	เครื่องมือ
สารทำงานก่อนเข้า Compressor	T1	บันทึกทุกๆ 1 นาที	1. Data Logger 2. Thermo Couple
สารทำงานออกจาก Compressor	T2		
สารทำงานก่อนเข้า Condenser	T3		
สารทำงานออกจาก Condenser	T4		
สารทำงานก่อนเข้า Expansion Valve	T5		
สารทำงานออกจาก Expansion Valve	T6		
สารทำงานก่อนเข้า Evaporator	T7		
สารทำงานออกจาก Evaporator	T8		
น้ำก่อนเข้า Condenser	T9		
น้ำออกจาก Condenser	T10		
น้ำใน Tank	T11,T12		
อากาศก่อนเข้า Evaporator	T13		

ตารางที่ 3.3 การบันทึกความดันของสารทำความเย็น

ความดัน (Bar)	ตำแหน่ง	ความถี่	เครื่องมือ
สารทำงานก่อนเข้า Compressor	LP	บันทึกทุกๆ 5 นาที	1. Pressure Gauge
สารทำงานออกจาก Compressor	HP		

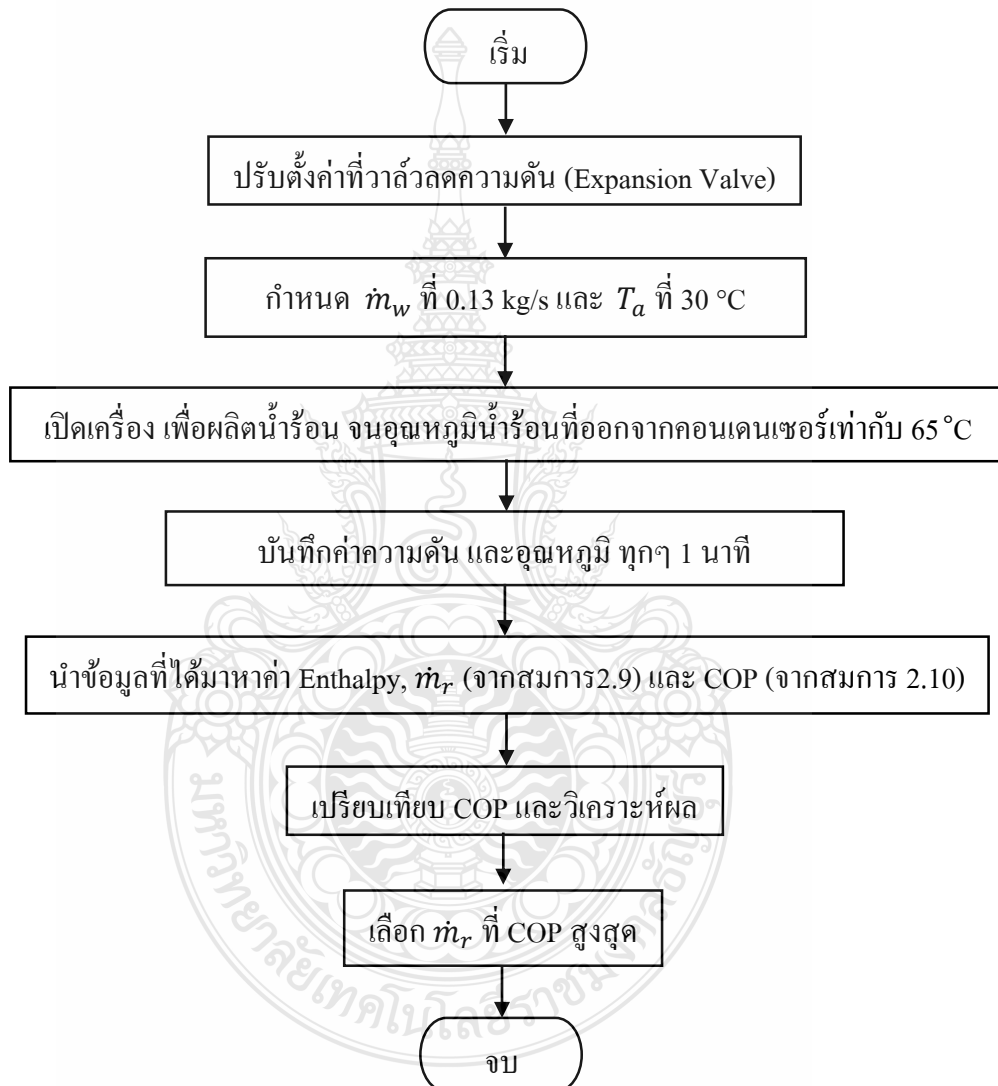
ในการเก็บข้อมูลอุณหภูมิของสารทำความเย็น และน้ำร้อน เนื่องจากการติดตั้งสายวัดอุณหภูมิเข้าไปในท่อทองแดงนั้นทำได้ยาก จึงประมาณค่าอุณหภูมิของสารทำความเย็น และน้ำร้อนจากผิวท่อทองแดงที่สารทำความเย็นและน้ำร้อนนั้นๆ ไหลผ่านอยู่ภายในแทน

3.3.3 ขั้นตอนการทดสอบ



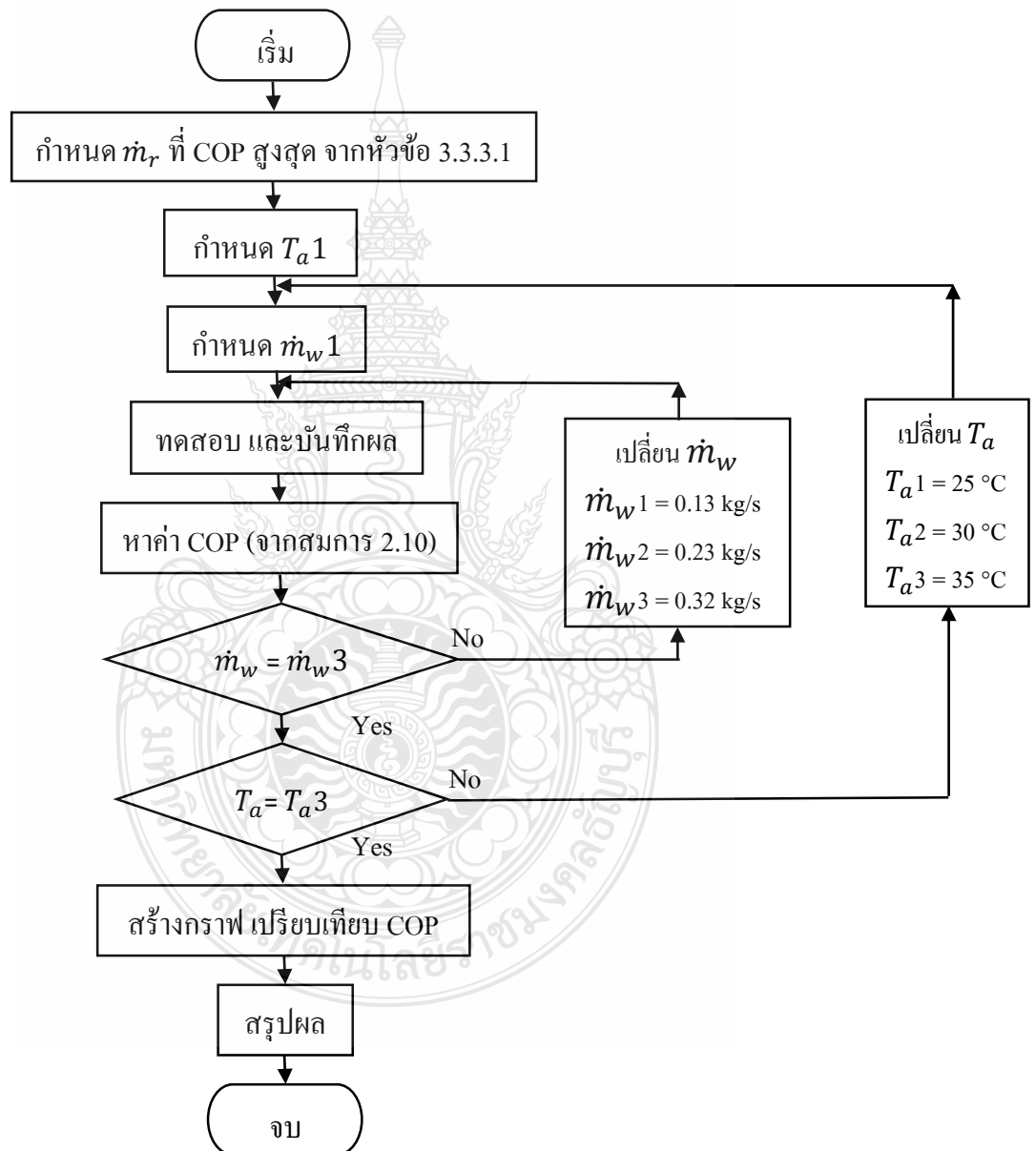
รูปที่ 3.6 ขั้นตอนการทดสอบ

3.3.3.1 ทำการทดสอบเพื่อหาผลของการเปลี่ยนอัตราการไหลของสารทำความเย็น (\dot{m}_r) โดยการปรับที่วาล์วลดความดัน (Expansion Valve) เพื่อเปลี่ยนอัตราการไหลของสารทำความเย็น (\dot{m}_r) แล้วทดสอบที่สภาวะอุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าอีวาโปเรเตอร์ (T_a) ที่ 30 °C และอัตราการไหลของน้ำ (\dot{m}_w) ที่ 0.13 kg/s ซึ่งมีขั้นตอนการทดสอบดังรูปที่ 3.7 เมื่อได้อัตราการไหลสารทำความเย็น (\dot{m}_r) ที่ดีที่สุดแล้ว นำค่านี้เพื่อไปทดสอบลำดับต่อไป



รูปที่ 3.7 ขั้นตอนการทดสอบเพื่อหาผลของการเปลี่ยนอัตราการไหลของสารทำความเย็น (\dot{m}_r)

3.3.3.2 ทำการทดสอบเพื่อหาผลของการเปลี่ยนอัตราการไหลของน้ำ (\dot{m}_w) และอุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าอีวาโปเรเตอร์ (T_a) ที่มีอิทธิพลต่อค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบ (COP) โดยปรับเปลี่ยนอัตราการไหลของน้ำ (\dot{m}_w) ที่ 0.13 kg/s, 0.23 kg/s และ 0.32 kg/s และอุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าอีวาโปเรเตอร์ (T_a) ที่ 25 °C, 30 °C และ 35 °C โดยกำหนดอัตราการไหลของสารทำความเย็น (\dot{m}_r) ที่ดีที่สุดจากหัวข้อ 3.3.3.1 ซึ่งมีขั้นตอนการทดสอบดังรูปที่ 3.8



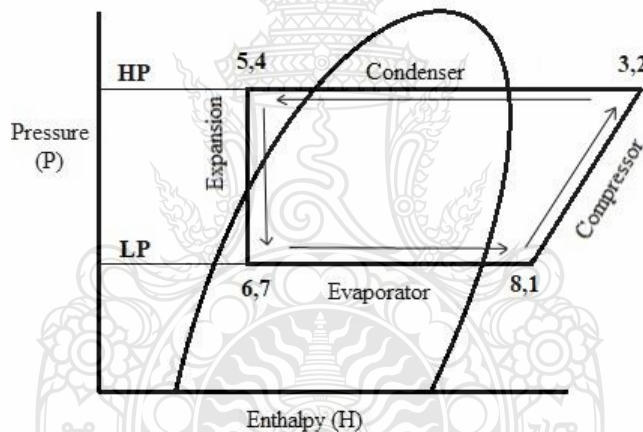
รูปที่ 3.8 ขั้นตอนการทดสอบหาผลของการเปลี่ยนอัตราการไหลของน้ำ (\dot{m}_w) และอุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าอีวาโปเรเตอร์ (T_a) ที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบ (COP)

3.3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบในแต่ละครั้ง จะถูกนำไปคำนวณเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบ (COP) และค่าตัวแปรอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง ดังตัวอย่างการคำนวณต่อไปนี้

ตารางที่ 3.4 ตัวอย่างตารางบันทึกข้อมูล

เวลา (min)	สถานะทดสอบ		อัตราการไหลของน้ำ (\dot{m}_w) = 0.13 kg/s							อุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าวาโปรเตอร์ (T_a) = 30 °C					
	High	Low	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13
0	-	-	33.20	32.80	30.80	29.60	28.20	27.70	26.90	27.80	31.10	29.70	31.90	32.10	30.90
1	15.50	1.80	11.80	65.00	52.40	38.00	33.90	16.20	10.60	14.50	31.60	49.60	32.10	32.30	30.10
2	15.50	1.80	15.20	82.10	71.80	35.40	30.40	13.10	7.70	14.00	31.40	52.40	32.00	32.30	29.60
3	15.50	1.80	13.00	85.60	75.70	35.40	29.70	12.50	7.00	12.10	31.30	53.20	32.00	32.40	30.00
4	15.50	1.80	14.50	89.00	78.60	34.10	28.70	11.70	6.10	14.10	31.00	53.10	32.50	32.20	29.60
5	15.50	1.80	16.00	91.60	80.70	33.50	28.10	11.30	5.70	15.30	31.00	52.90	32.10	32.30	29.50



รูปที่ 3.9 ตำแหน่งการวัดอุณหภูมิและความดันของสารทำความเย็นในแต่ละกระบวนการ

3.3.4.1 นำเอาข้อมูลอุณหภูมิ และความดันของสารทำความเย็นไปหาค่าเอนทาลปีจากตารางคุณสมบัติของสารทำความเย็น R-134a [29] ซึ่งจะแสดงตัวอย่างการคำนวณจากข้อมูลตัวอย่างของตารางที่ 3.4 จะได้ดังนี้

ที่เวลา 5 นาที

$$h_1 = 267.17 \text{ kJ/kg} \quad (\text{เอนทาลปีของสารทำความเย็นก่อนเข้าคอมเพรสเซอร์})$$

$$h_2 = 319.02 \text{ kJ/kg} \quad (\text{เอนทาลปีของสารทำความเย็นออกจากคอมเพรสเซอร์})$$

$$h_3 = 306.68 \text{ kJ/kg} \quad (\text{เอนทาลปีของสารทำความเย็นก่อนเข้าคอนเดนเซอร์})$$

$$h_4 = 98.67 \text{ kJ/kg} \quad (\text{เอนทาลปีของสารทำความเย็นออกจากคอนเดนเซอร์})$$

3.3.4.2 จากการออกแบบชุดทดสอบดังในรูปที่ 3.9 และจากสมการที่ 2.9 จะสามารถหาอัตราการไหลของสารทำความเย็น (\dot{m}_r) ได้ดังนี้

$$\dot{m}_r = \frac{\dot{m}_w C_p (T_{w,out} - T_{w,in})}{(h_3 - h_4)}$$

$$\therefore \dot{m}_r = \frac{(0.13) \times (4.19) \times (52.90 - 31.00)}{(306.68 - 98.67)} = 0.0573 \text{ kg/s}$$

3.3.4.3 จากการออกแบบชุดทดสอบดังในรูปที่ 3.9 และจากสมการที่ 2.10 จะสามารถหาค่า COP ของระบบได้ดังนี้

$$\therefore COP = \frac{(h_3 - h_4)}{(h_2 - h_1)} = \frac{(306.68 - 98.67)}{(319.02 - 267.17)} = 4.01$$

3.3.4.4 ทำการคำนวณหาค่า COP จากข้อมูลในตารางบันทึกข้อมูลทุกๆ 1 นาที รวมทั้งคำนวณหาค่าความร้อนที่ถ่ายเทออกจากคอนเดนเซอร์ (q_{cond}) ค่างานที่ป้อนเข้าคอมเพรสเซอร์ (w_{comp}) ค่าความร้อนที่ถ่ายเทเข้าอีวาโปเรเตอร์ (q_{evap}) และอัตราการถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำ ($\dot{Q}_{cond,w}$) เพื่อนำมาประกอบการวิเคราะห์ข้อมูล และทำการเปรียบเทียบสมรรถนะของปั๊มความร้อน

3.3.4.5 ทำการสร้างกราฟสมรรถนะเพื่อใช้ทำนายค่า COP ที่สภาวะเงื่อนไขต่างๆ และหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อค่า COP ของระบบปั๊มความร้อน

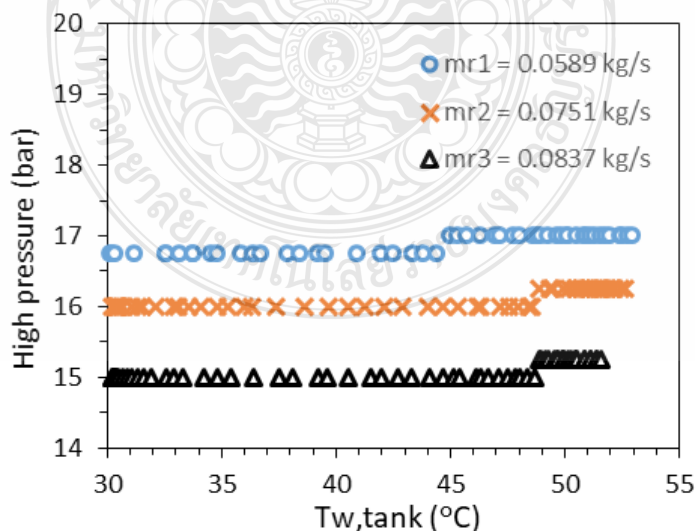
บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

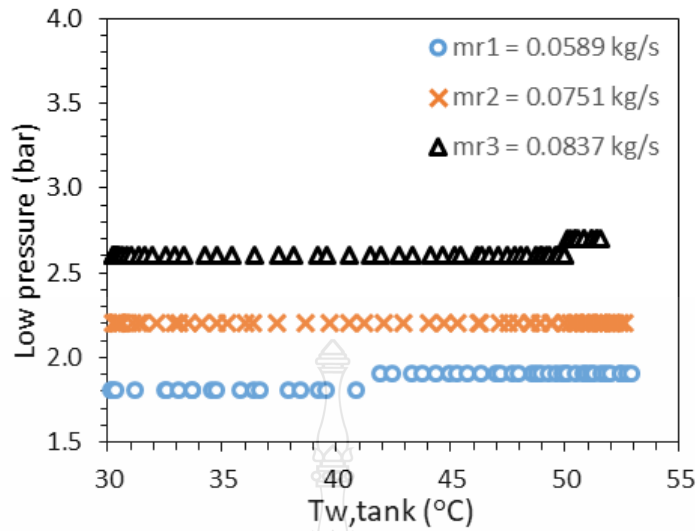
ในบทนี้จะกล่าวถึงผลที่ได้จากการทดสอบสมรรถนะการทำงานของระบบทำน้ำร้อนด้วยปั๊มความร้อนขนาด 16 kW ที่ใช้สารทำความเย็น R-134a ในการทำน้ำร้อน 550 ลิตร จากอุณหภูมิน้ำเริ่มต้น 30 ± 1 °C จนกระทั่งอุณหภูมิน้ำที่ออกจากคอนเดนเซอร์เท่ากับ 65 °C โดยทำการทดสอบภายใต้สภาวะการทำงานที่แตกต่างกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับตัวแปรที่ต้องการศึกษาทั้ง 3 ตัว คือ อัตราการไหลของสารทำความเย็น (\dot{m}_r) อัตราการไหลของน้ำ (\dot{m}_w) และอุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าอีวาโปเรเตอร์ (T_a) ดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 ในหัวข้อวิธีการทำวิจัย เพื่อนำมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อสมรรถนะของระบบ โดยได้แสดงผลการดำเนินงานวิจัยออกเป็น 4 หัวข้อดังนี้

4.1 ผลของการเปลี่ยนอัตราการไหลของสารทำความเย็น

ผลทดสอบการเปลี่ยนอัตราการไหลของสารทำความเย็น (\dot{m}_r) ในระบบปั๊มความร้อนที่ 0.0589 kg/s, 0.0751 kg/s และ 0.0837 kg/s โดยกำหนดให้อัตราการไหลของน้ำเข้าคอนเดนเซอร์ (\dot{m}_w) เท่ากับ 0.13 kg/s และอุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าอีวาโปเรเตอร์ (T_a) เท่ากับ 30 ± 1 °C เพื่อนำข้อมูลจากผลการทดสอบมาพิจารณาผลของการเปลี่ยนอัตราการไหลของสารทำความเย็น ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบได้แสดงไว้ในภาคผนวก ก ซึ่งมีผลการทดสอบดังนี้



รูปที่ 4.1 เปรียบเทียบความดันด้านสูง (HP) ที่อัตราการไหลของสารทำความเย็นต่างกัน



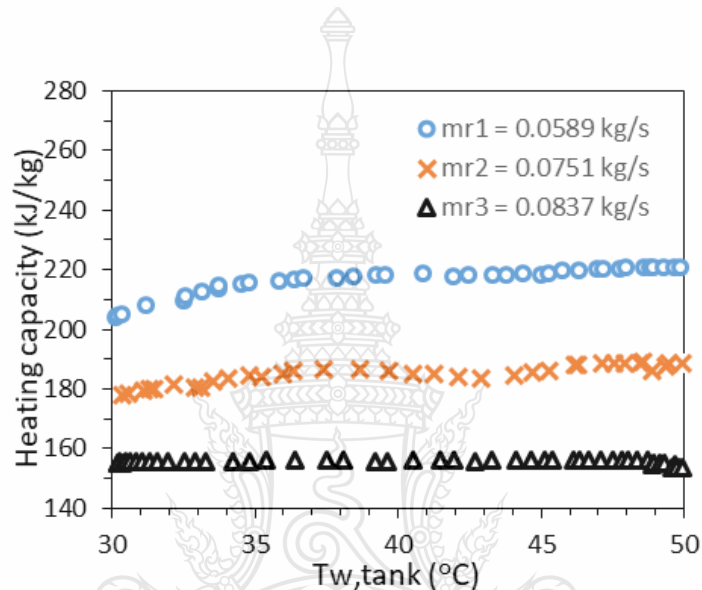
รูปที่ 4.2 เปรียบเทียบความดันด้านต่ำ (LP) ที่อัตราการไหลของสารทำความเย็นต่างกัน

เมื่อพิจารณาถึงความดันในระบบ ซึ่งมี 2 ส่วนด้วยกัน คือ ความดันด้านสูง (High Pressure, HP) คือ เริ่มจากที่ทางออกจากคอมเพรสเซอร์ ผ่านคอนเดนเซอร์ จนถึงที่ทางเข้าวาล์วลดความดัน และความดันด้านต่ำ (Low Pressure, LP) คือ เริ่มจากที่ทางออกวาล์วลดความดัน ผ่านอีวาโปเรเตอร์ จนถึงที่ทางเข้าคอมเพรสเซอร์ จากรูปที่ 4.1 จะเห็นได้ว่า เมื่อทำการปรับแรงดันสปริงของวาล์วลดความดัน เพื่อให้ได้อัตราการไหลของสารทำความเย็นที่แตกต่างกัน พบว่าเมื่อล๊ื่นวาล์วลดความดันเปิดกว้างให้สารทำความเย็นไหลผ่านเข้าอีวาโปเรเตอร์เพิ่มมากขึ้น ทำให้ความดันด้านสูง (HP) ของระบบลดลง เนื่องจากล๊ื่นวาล์วที่เปิดกว้างทำให้สารทำความเย็นไหลผ่านวาล์วลดความดันได้สะดวก ส่งผลทำให้ความดันด้านสูง (HP) ลดลง ถ้าพิจารณาที่ความดันด้านต่ำ (LP) เมื่ออัตราการไหลของสารทำความเย็นเพิ่มขึ้น จะพบว่าความดันด้านต่ำ (LP) ของระบบมีค่าเพิ่มสูงขึ้นด้วย ดังรูปที่ 4.2 เนื่องจากการที่ปรับวาล์วลดความดันให้มีอัตราการไหลของสารทำความเย็นเพิ่มขึ้น จะทำให้มีปริมาณสารทำความเย็นเข้าไปปรับความร้อนที่อีวาโปเรเตอร์เพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ความดันภายในอีวาโปเรเตอร์เพิ่มขึ้นด้วย

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบความดันเฉลี่ยของผลจากการเปลี่ยนอัตราการไหลของสารทำความเย็น

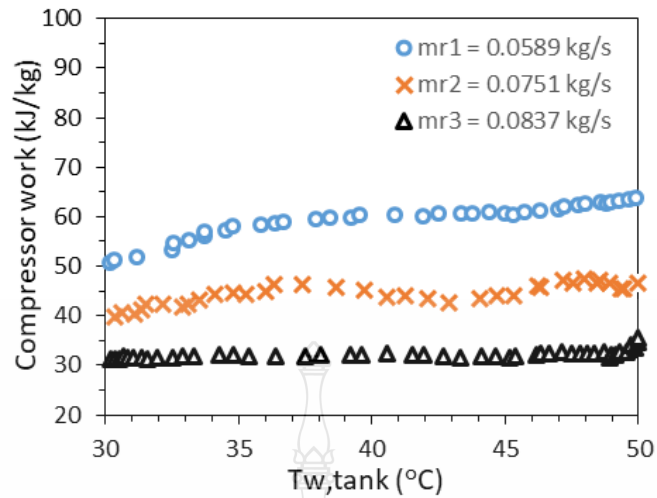
\dot{m}_w (kg/s)	T_a (°C)	\dot{m}_r (kg/s)	Average Pressure (Bar)	
			Low Pressure	High Pressure
		0.0589	1.86	16.88
0.13	30	0.0751	2.20	16.09
		0.0837	2.62	15.08

ความดันเฉลี่ยภายในระบบที่เป็นผลมาจากการเปลี่ยนอัตราการไหลของสารทำความเย็น (\dot{m}_r) ซึ่งทดสอบที่สภาวะการทำงานเดียวกัน คือ อัตราการไหลของน้ำเข้าคอนเดนเซอร์ (\dot{m}_w) เท่ากับ 0.13 kg/s และอุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าอีวาโปเรเตอร์ (T_a) เท่ากับ 30 °C แสดงได้ดังตารางที่ 4.1 จะแสดงให้เห็นว่าเมื่อทำให้อัตราการไหลของสารทำความเย็น (\dot{m}_r) เพิ่มขึ้นโดยการปรับวาล์วลดความดันให้เปิดกว้างขึ้น จะทำให้ความดันด้านสูง (HP) ของระบบลดลง ส่วนความดันด้านต่ำ (LP) ของระบบจะสูงขึ้น



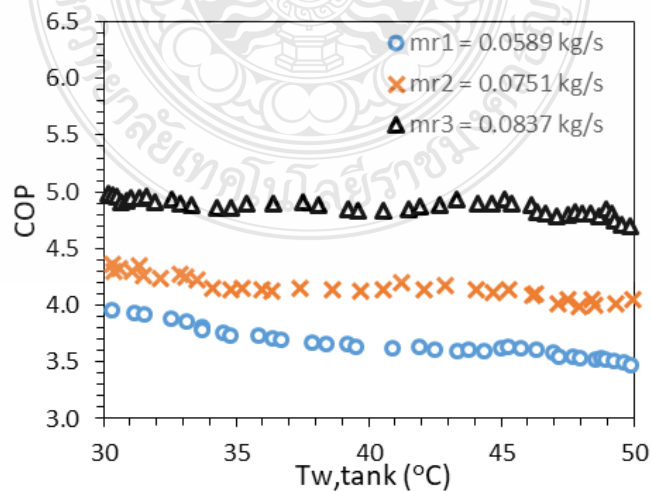
รูปที่ 4.3 เปรียบเทียบค่าความร้อนที่ถ่ายเทออกจากคอนเดนเซอร์ (q_{cond}) ที่อัตราการไหลของสารทำความเย็นต่างกัน

เมื่อพิจารณาถึงค่าความร้อนที่ถ่ายเทออกจากคอนเดนเซอร์ (q_{cond}) ซึ่งเป็นผลต่างระหว่างค่าเอนทาลปีของสารทำความเย็นที่ทางเข้า (h_3) และทางออก (h_4) ของคอนเดนเซอร์ จากรูปที่ 4.3 พบว่าเมื่ออัตราการไหลของสารทำความเย็น (\dot{m}_r) เพิ่มขึ้น นอกจากจะทำให้ความดันด้านสูง (HP) ลดลงแล้ว ยังทำให้ผลต่างของอุณหภูมิสารทำความเย็นที่ทางเข้า (T_3) และทางออก (T_4) ของคอนเดนเซอร์นั้นมีค่าลดลงด้วย จากการนำค่าอุณหภูมิและความดัน ไปหาค่าเอนทาลปี แล้วนำมาคำนวณให้อยู่ในรูปผลต่างของค่าเอนทาลปีของสารทำความเย็นที่ทางเข้า (h_3) และทางออก (h_4) ที่คอนเดนเซอร์ พบว่าผลต่างของค่าเอนทาลปีนี้มีค่าลดลง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่ออัตราการไหลของสารทำความเย็น (\dot{m}_r) เพิ่มขึ้น มีผลทำให้ค่าความร้อนที่ถ่ายเทออกจากคอนเดนเซอร์ (q_{cond}) นั้นมีค่าลดลง



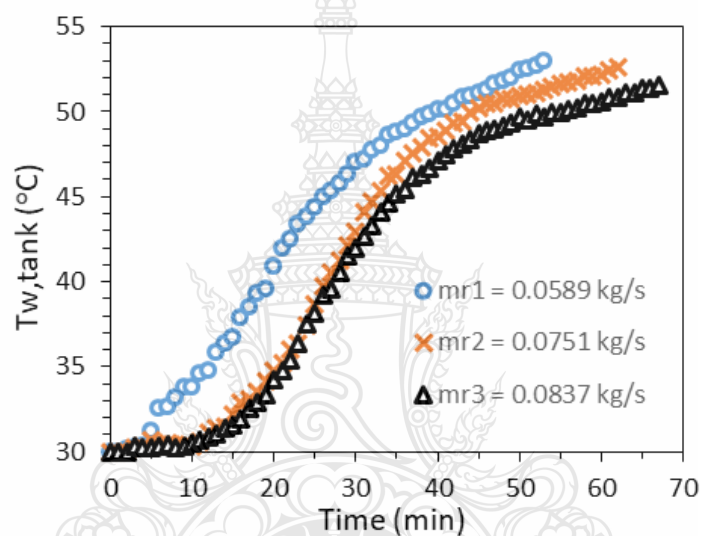
รูปที่ 4.4 เปรียบเทียบค่างานที่ป้อนเข้าคอมเพรสเซอร์ (w_{comp}) ที่อัตราการไหลของสารทำความเย็นต่างกัน

เมื่อพิจารณาถึงค่างานที่ป้อนเข้าคอมเพรสเซอร์ (w_{comp}) ซึ่งเป็นผลต่างระหว่างเอนทาลปีของสารทำความเย็นที่ทางเข้า (h_1) และทางออก (h_2) ของคอมเพรสเซอร์ จากรูปที่ 4.4 จะเห็นได้ว่าการเพิ่มอัตราการไหลของสารทำความเย็น (\dot{m}_r) นั้นจะทำให้ความดันด้านสูง (HP) และอุณหภูมิของสารทำความเย็นที่ออกจากคอมเพรสเซอร์ (T_2) ลดลง ทำให้ค่าเอนทาลปีของสารทำความเย็นที่ทางออกคอมเพรสเซอร์ (h_2) ลดลงด้วย เมื่อนำมาคำนวณให้อยู่ในรูปค่างานที่ป้อนเข้าคอมเพรสเซอร์ (w_{comp}) พบว่ามีค่าลดลง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อปรับอัตราการไหลของสารทำความเย็น (\dot{m}_r) เพิ่มขึ้น จะทำให้ค่างานที่ป้อนเข้าคอมเพรสเซอร์ (w_{comp}) ลดลง



รูปที่ 4.5 เปรียบเทียบค่า COP ที่อัตราการไหลของสารทำความเย็นต่างกัน

เมื่อพิจารณาถึงค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบปั๊มความร้อน (COP) ซึ่งเป็นอัตราส่วนของค่าความร้อนที่ถ่ายเทออกจากคอนเดนเซอร์ (q_{cond}) ต่อกำลังที่ป้อนเข้าคอมเพรสเซอร์ (w_{comp}) จากรูปที่ 4.5 แสดงให้เห็นว่า เมื่อปรับอัตราการไหลของสารทำความเย็น (\dot{m}_r) เพิ่มขึ้น มีผลทำให้ค่า COP ของระบบเพิ่มขึ้นด้วย เป็นผลเนื่องมาจากการเพิ่มอัตราการไหลของสารทำความเย็น ทำให้ค่าความร้อนที่ถ่ายเทออกจากคอนเดนเซอร์ (q_{cond}) มีค่าเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบเป็นอัตราส่วนกับกำลังที่ป้อนเข้าคอมเพรสเซอร์ (w_{comp}) ที่ลดลงอย่างมาก จึงส่งผลทำให้ค่า COP ของระบบมีค่าเพิ่มสูงขึ้น

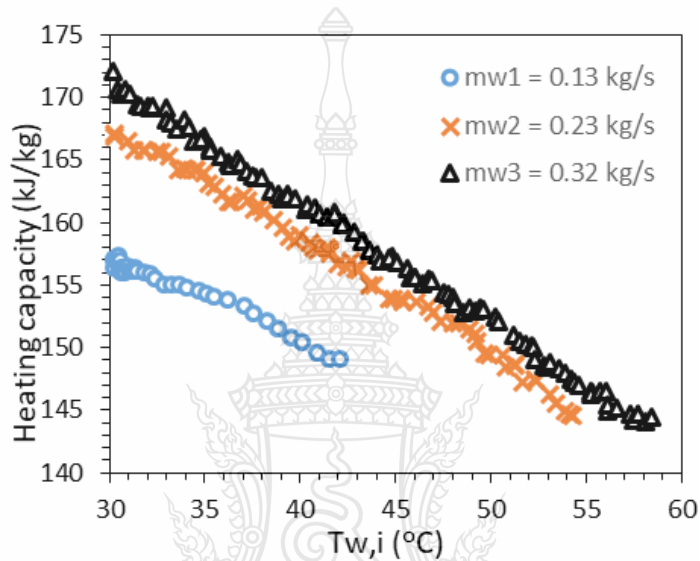


รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำร้อนที่ผลิตได้ภายในถังเก็บกับระยะเวลาที่ใช้ในการทำน้ำร้อนที่อัตราการไหลของสารทำความเย็นต่างกัน

จากรูปที่ 4.6 พบว่าเมื่ออัตราการไหลของสารทำความเย็น (\dot{m}_r) เพิ่มมากขึ้น มีผลทำให้ระยะเวลาที่ใช้ในการทำน้ำร้อนเพิ่มขึ้นจาก 53 นาที เป็น 62 นาที และ 67 นาที ที่อัตราการไหลเท่ากับ 0.0589 kg/s, 0.0751 kg/s และ 0.0837 kg/s ตามลำดับ เนื่องจากอัตราการไหลของสารทำความเย็น (\dot{m}_r) ที่เพิ่มมากขึ้น จะทำให้ค่าความร้อนที่ถ่ายเทออกจากคอนเดนเซอร์ (q_{cond}) ลดลง ดังแสดงในรูปที่ 4.3 ทำให้สารทำความเย็นที่ไหลผ่านคอนเดนเซอร์แลกเปลี่ยนความร้อนให้กับน้ำได้น้อยลง ส่งผลให้อุณหภูมิน้ำที่ออกจากคอนเดนเซอร์เพิ่มขึ้นถึงอุณหภูมิที่ตั้งไว้เท่ากับ 65 °C ด้วยระยะเวลาที่มากขึ้น และเห็นได้ว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำร้อนที่ผลิตได้ภายในถังเก็บ ($T_{w,tank}$) ลดลงจาก 52.95 °C เป็น 52.60 °C และ 51.55 °C ตามลำดับ เมื่ออัตราการไหลของสารทำความเย็น (\dot{m}_r) เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากค่าความร้อนที่ถ่ายเทออกจากคอนเดนเซอร์ (q_{cond}) ที่ลดลงด้วยเช่นกัน

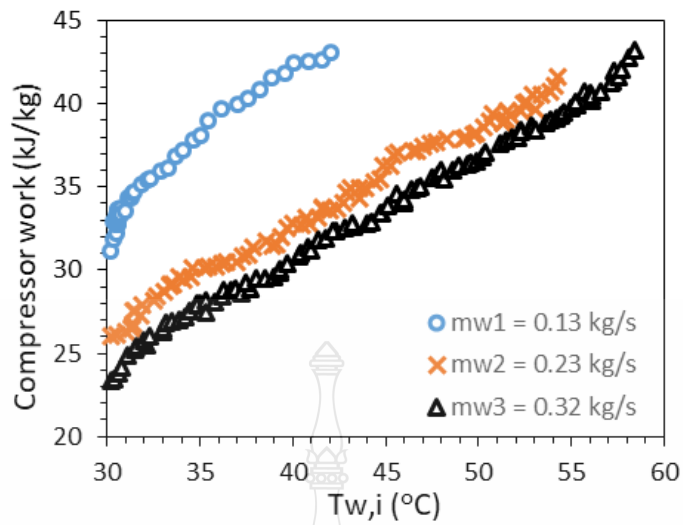
4.2 ผลของการเปลี่ยนอัตราการไหลของน้ำ

ผลทดสอบการเปลี่ยนอัตราการไหลของน้ำเข้าคอนเดนเซอร์ (\dot{m}_w) ที่กำหนดให้อุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าอีวาโปเรเตอร์ (T_a) เท่ากับ 25 ± 1 °C, 30 ± 1 °C และ 35 ± 1 °C โดยในการทดสอบแต่ละชุดจะทำการเปลี่ยนอัตราการไหลของน้ำเข้าคอนเดนเซอร์ (\dot{m}_w) จาก 0.13 kg/s เป็น 0.23 kg/s และ 0.32 kg/s ตามลำดับ ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข มีผลการทดสอบดังนี้

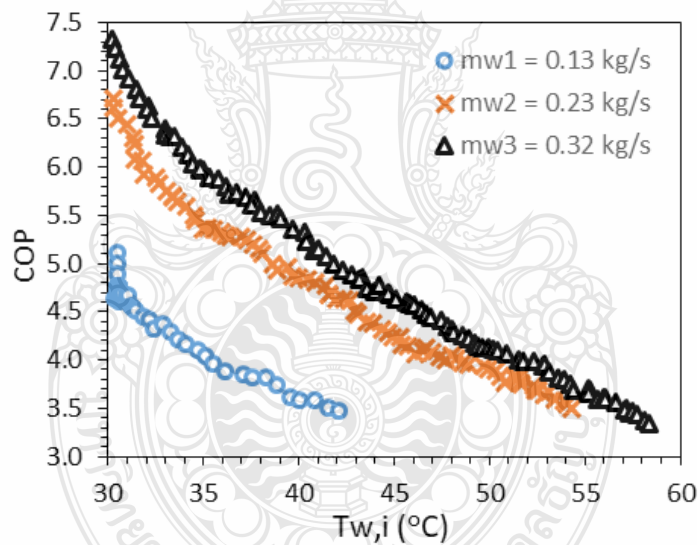


รูปที่ 4.7 เปรียบเทียบค่าความร้อนที่ถ่ายเทออกจากคอนเดนเซอร์ (q_{cond}) ที่อัตราการไหลของน้ำต่างกัน (ในกรณีที่ $T_a = 35\pm 1$ °C)

เนื่องจากผลการทดสอบในแต่ละชุดมีแนวโน้มเดียวกัน จึงขอเสนอเพียงชุดทดสอบที่มีอุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าอีวาโปเรเตอร์ (T_a) เท่ากับ 35 ± 1 °C เท่านั้น จากรูปที่ 4.7 จะพบว่าที่อุณหภูมิน้ำเข้าคอนเดนเซอร์ ($T_{w,i}$) เท่ากัน เมื่ออัตราการไหลของน้ำ (\dot{m}_w) เพิ่มมากขึ้น จะทำให้ค่าความร้อนที่ถ่ายเทออกจากคอนเดนเซอร์ (q_{cond}) มีค่าเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากการเพิ่มอัตราการไหลของน้ำ (\dot{m}_w) จะทำให้ความดันด้านสูง (HP) และอุณหภูมิของสารทำความเย็นที่ทางออกคอนเดนเซอร์ (T_4) ลดลง เป็นผลทำให้ผลต่างของค่าเอนทาลปีของสารทำความเย็นที่ทางเข้า (h_3) และทางออก (h_4) ของคอนเดนเซอร์นั้นมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงถึงค่าความร้อนที่ถ่ายเทออกจากคอนเดนเซอร์ (q_{cond}) สูงขึ้นตามไปด้วย และจะเห็นได้ว่าค่าความร้อนที่ถ่ายเทออกจากคอนเดนเซอร์ (q_{cond}) จะมีค่าลดลงตามการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิน้ำเข้าคอนเดนเซอร์ ($T_{w,i}$) เนื่องจากอุณหภูมิน้ำในถังเก็บที่เพิ่มสูงขึ้น ทำให้ผลต่างระหว่างอุณหภูมิของไอสารทำความเย็นกับน้ำในคอนเดนเซอร์ลดลง ซึ่งจะทำให้ความสามารถในการถ่ายเทความร้อนลดลงด้วย



รูปที่ 4.8 เปรียบเทียบค่างานที่ป้อนเข้าคอมเพรสเซอร์ (w_{comp}) ที่อัตราการไหลของน้ำต่างกัน (ในกรณีที่ $T_a = 35 \pm 1$ °C)

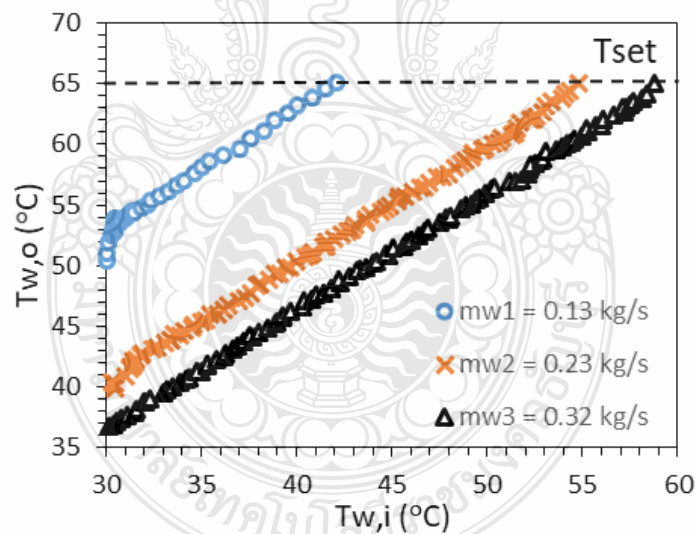


รูปที่ 4.9 เปรียบเทียบค่า COP ที่อัตราการไหลของน้ำต่างกัน (ในกรณีที่ $T_a = 35 \pm 1$ °C)

จากรูปที่ 4.8 จะเห็นได้ว่าที่อุณหภูมิน้ำเข้าคอนเดนเซอร์ ($T_{w,i}$) เท่ากัน เมื่ออัตราการไหลของน้ำ (\dot{m}_w) เพิ่มขึ้น จะทำให้ค่างานที่ป้อนเข้าคอมเพรสเซอร์ (w_{comp}) มีค่าลดลง เนื่องจากการเพิ่มอัตราการไหลของน้ำ (\dot{m}_w) จะทำให้ความดันด้านสูง (HP) และอุณหภูมิสารทำความเย็นที่ออกจากคอมเพรสเซอร์ (T_2) ลดลง ทำให้ค่าเอนทาลปีที่ทางออกคอมเพรสเซอร์ (h_2) ลดลง ซึ่งส่งผลทำให้ผลต่างของค่าเอนทาลปีของสารทำความเย็นที่ทางเข้า (h_1) และทางออก (h_2) ของคอมเพรสเซอร์นั้นลดลง ซึ่งแสดงถึงค่างานที่ป้อนเข้าคอมเพรสเซอร์ (w_{comp}) นั้นลดลงด้วย และจะเห็นได้ค่างานที่

ป้อนเข้าคอมเพรสเซอร์ (w_{comp}) จะเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิน้ำเข้าคอนเดนเซอร์ ($T_{w,i}$) เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิน้ำร้อนนำไปสู่การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในการควบแน่น (Condensing temperature) ส่งผลให้กำลังงานที่ป้อนเข้าคอมเพรสเซอร์เพิ่มสูงขึ้น

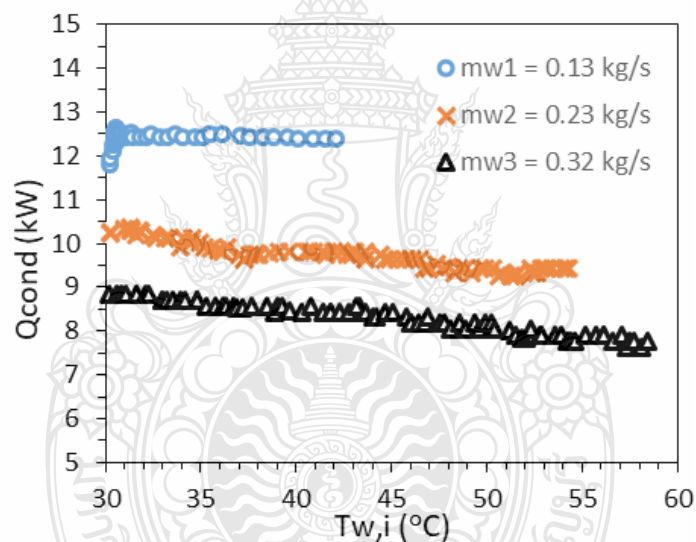
จากรูปที่ 4.9 จะเห็นว่าที่อุณหภูมิน้ำเข้าคอนเดนเซอร์ ($T_{w,i}$) เท่ากัน เมื่อเพิ่มอัตราการไหลของน้ำ (\dot{m}_w) ที่ไหลผ่านคอนเดนเซอร์ จะมีผลทำให้ค่า COP ของระบบมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย ค่า COP ของระบบที่เพิ่มขึ้นมานั้นเป็นผลมาจากค่าความร้อนที่ถ่ายเทออกจากคอนเดนเซอร์ (q_{cond}) นั้นมีค่าเพิ่มขึ้น และในขณะเดียวกันค่างานที่ป้อนเข้าคอมเพรสเซอร์ (w_{comp}) ก็มีค่าลดลงเมื่ออัตราการไหลของน้ำ (\dot{m}_w) เพิ่มขึ้น จึงส่งผลทำให้ค่า COP ของระบบมีค่าเพิ่มสูงขึ้นด้วย และจะเห็นได้ว่า ค่า COP ของระบบจะค่อยๆ ลดลงตามการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิน้ำเข้าคอนเดนเซอร์ ($T_{w,i}$) โดยมีแนวโน้มไปในทางเดียวกันทั้ง 3 อัตราการไหลของน้ำ (\dot{m}_w) เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิน้ำร้อนจะทำให้ค่าความร้อนที่ถ่ายเทออกจากคอนเดนเซอร์ (q_{cond}) ลดลง และทำให้ค่างานที่ป้อนเข้าคอมเพรสเซอร์ (w_{comp}) สูงขึ้น ซึ่งเป็นผลทำให้ค่า COP ของระบบลดลงตามการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิน้ำเข้าคอนเดนเซอร์ ($T_{w,i}$)



รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำเข้า ($T_{w,i}$) กับอุณหภูมิน้ำออก ($T_{w,o}$) คอนเดนเซอร์ที่อัตราการไหลของน้ำต่างกัน (ในกรณีที่ $T_a = 35 \pm 1$ °C)

จากรูปที่ 4.10 จะพบว่าที่อุณหภูมิน้ำเข้าคอนเดนเซอร์ ($T_{w,i}$) เท่ากัน เมื่อเพิ่มอัตราการไหลของน้ำ (\dot{m}_w) จะทำให้อุณหภูมิน้ำที่ออกจากคอนเดนเซอร์ ($T_{w,o}$) ลดลง ส่งผลทำให้ผลต่างของอุณหภูมิน้ำเข้า ($T_{w,i}$) และน้ำออก ($T_{w,o}$) คอนเดนเซอร์ลดลงตามไปด้วย เนื่องจากอัตราการไหลของ

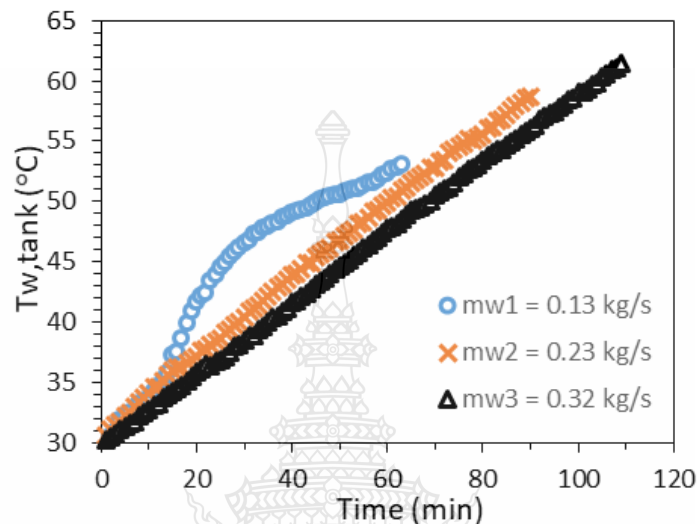
น้ำ (\dot{m}_w) ที่เพิ่มขึ้นนั้นทำให้ระยะเวลาที่น้ำได้รับความร้อนภายในคอนเดนเซอร์ลดลง ส่งผลทำให้ อุณหภูมิน้ำที่ออกจากคอนเดนเซอร์ ($T_{w,o}$) ลดลงด้วย และจะพบว่าที่อัตราการไหลของน้ำ (\dot{m}_w) เท่ากับ 0.13 kg/s ในช่วงแรกอุณหภูมิน้ำเข้าคอนเดนเซอร์ ($T_{w,i}$) เปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ในขณะที่ อุณหภูมิน้ำออกคอนเดนเซอร์ ($T_{w,o}$) เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งเป็นผลมาจากความหนาแน่นของ น้ำร้อนทำให้มวลน้ำร้อนส่วนใหญ่อยู่ด้านบนถึงเก็บ และผลจากค่าอัตราการไหลของน้ำ (\dot{m}_w) ที่ต่ำ เมื่อเทียบกับปริมาณน้ำทั้งหมดภายในถึงเก็บ ทำให้ความสามารถในการดึงมวลน้ำที่อยู่ด้านล่างถึงเก็บ ไปแลกเปลี่ยนความร้อนที่คอนเดนเซอร์ได้น้อย ส่งผลให้อุณหภูมิน้ำเข้าคอนเดนเซอร์ ($T_{w,i}$) เปลี่ยนแปลงเล็กน้อยในช่วงแรกของการทดสอบ แต่อุณหภูมิน้ำออกจากคอนเดนเซอร์ ($T_{w,o}$) เพิ่มขึ้นจนถึงอุณหภูมิที่ตั้งไว้เท่ากับ 65 °C อย่างรวดเร็ว จนกระทั่ง Thermostat ตั้งตัดการทำงานของ บั้มความร้อนในขณะที่อุณหภูมิน้ำเข้ามีค่าเท่ากับ 42.1 °C



รูปที่ 4.11 เปรียบเทียบอัตราการถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำ (\dot{Q}_{cond}) ที่อัตราการไหลของน้ำต่างกัน (ในกรณีที่ $T_a = 35 \pm 1$ °C)

จากรูปที่ 4.11 พบว่าที่อุณหภูมิน้ำเข้าคอนเดนเซอร์ ($T_{w,i}$) เท่ากัน เมื่ออัตราการไหลของน้ำ (\dot{m}_w) เพิ่มขึ้น จะทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำ (\dot{Q}_{cond}) มีค่าลดลง เนื่องจากการเพิ่ม อัตราการไหลของน้ำ (\dot{m}_w) จะทำให้ผลต่างของอุณหภูมิน้ำเข้า ($T_{w,i}$) และน้ำออก ($T_{w,o}$) คอนเดนเซอร์ลดลง (ดังรูปที่ 4.10) ซึ่งสอดคล้องกับสมการการถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำที่แสดงให้เห็นว่า เมื่อปรับอัตราการไหลของน้ำ (\dot{m}_w) เพิ่มขึ้น จะทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำ (\dot{Q}_{cond}) นั้นลดลงด้วย และจะเห็นได้ว่าอัตราการถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำ (\dot{Q}_{cond}) จะค่อยๆลดลง

ตามการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิน้ำเข้าคอนเดนเซอร์ ($T_{w,i}$) ทั้งนี้เนื่องมาจากอุณหภูมิในถังเก็บที่เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งจะทำให้ผลต่างระหว่างอุณหภูมิของไอสารทำความเย็นกับน้ำในคอนเดนเซอร์ลดลง ทำให้ความสามารถในการถ่ายเทความร้อนลดลงด้วย



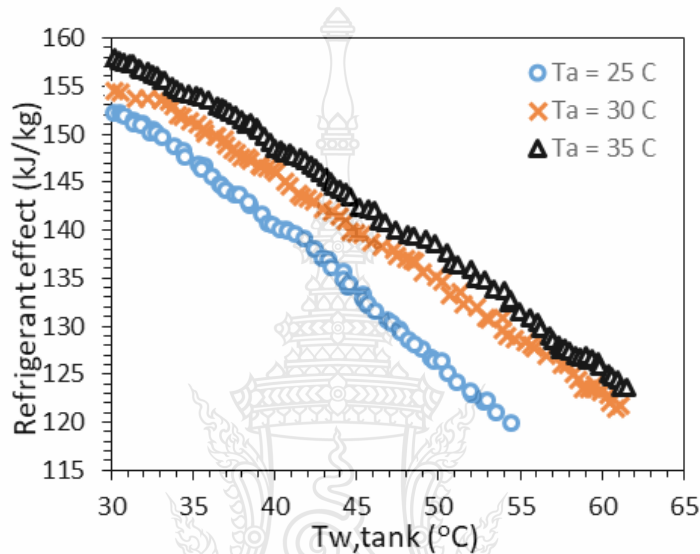
รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำร้อนที่ผลิตได้กับระยะเวลาที่ใช้ที่อัตราการไหลของน้ำต่างกัน (ในกรณีนี้ที่ $T_a = 35 \pm 1$ °C)

จากรูปที่ 4.12 เมื่ออัตราการไหลของน้ำ (\dot{m}_w) เพิ่มมากขึ้น อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำร้อนที่ผลิตได้ภายในถังเก็บ ($T_{w,tank}$) จะเพิ่มสูงขึ้นจาก 53 °C เป็น 58.7 °C และ 61.45 °C เช่นเดียวกันกับระยะเวลาที่ใช้ในการผลิตน้ำร้อนที่เพิ่มขึ้นจาก 63 นาทีเป็น 90 นาที และ 115 นาที ที่อัตราการไหลของน้ำ (\dot{m}_w) จาก 0.13 kg/s เป็น 0.23 kg/s และ 0.32 kg/s ตามลำดับ โดยที่อุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำที่ไหลเข้าคอนเดนเซอร์มีค่าเท่ากับ 30 ± 1 °C เนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของอัตราการไหลของน้ำ (\dot{m}_w) มีผลทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำ (\dot{Q}_{con}) ลดลง จึงทำให้อุณหภูมิที่ออกจากคอนเดนเซอร์ ($T_{w,o}$) เพิ่มขึ้นถึงอุณหภูมิที่ตั้งไว้เท่ากับ 65 °C ด้วยระยะเวลาที่มากขึ้น และยังทำให้น้ำร้อนที่ผลิตได้ในถังเก็บมีอุณหภูมิเฉลี่ยเพิ่มสูงขึ้นด้วย

ข้อมูลผลทดสอบการเปลี่ยนอัตราการไหลของน้ำเข้าคอนเดนเซอร์ (\dot{m}_w) ที่ได้จากการศึกษาในกรณีเปลี่ยนอุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าฮีวโปเรเตอร์ (T_a) เท่ากับ 25 ± 1 °C ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข.1, ข.2 และ ข. 3 ส่วนกรณีเปลี่ยนอุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าฮีวโปเรเตอร์ (T_a) เท่ากับ 30 ± 1 °C ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข.4, ข.5 และ ข. 6

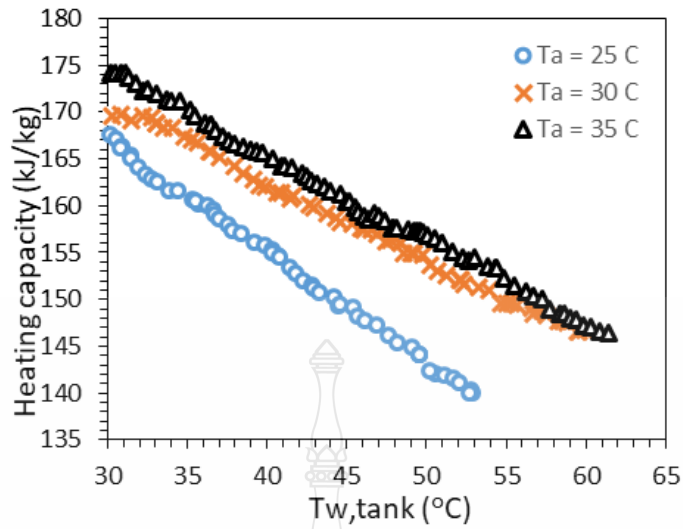
4.3 ผลของการเปลี่ยนอุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าอีวาโปเรเตอร์

ผลทดสอบการเปลี่ยนอุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าอีวาโปเรเตอร์ (T_a) ที่กำหนดอัตราการไหลของน้ำเข้าคอนเดนเซอร์ (\dot{m}_w) เท่ากับ 0.13 kg/s, 0.23 kg/s และ 0.32 kg/s ในการทดสอบแต่ละชุด จะทำการเปลี่ยนอุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าอีวาโปเรเตอร์ (T_a) จาก 25 ± 1 °C เป็น 30 ± 1 °C และ 35 ± 1 °C ตามลำดับ ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข มีผลการทดสอบดังนี้

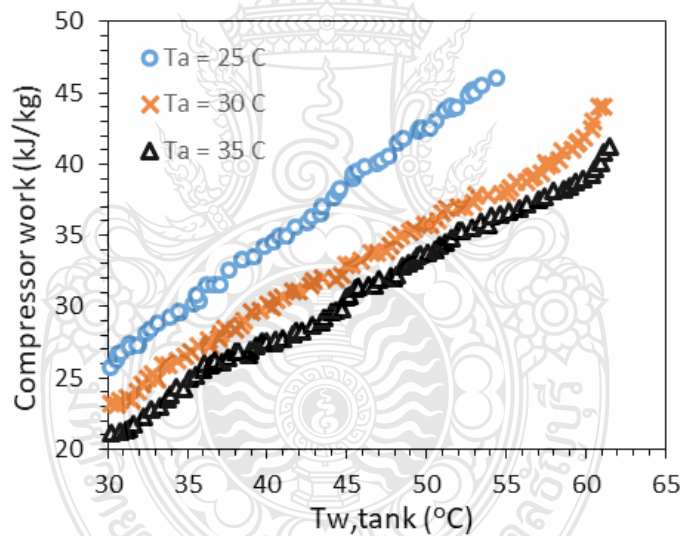


รูปที่ 4.13 เปรียบเทียบค่าความร้อนที่ถ่ายเทเข้าอีวาโปเรเตอร์ (q_{evap}) ที่อุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าอีวาโปเรเตอร์ต่างกัน (ในกรณีนี้ $\dot{m}_w = 0.32$ kg/s)

เมื่อพิจารณาถึงค่าความร้อนที่ถ่ายเทเข้าอีวาโปเรเตอร์ (q_{evap}) ซึ่งเป็นผลต่างระหว่างค่าเอนทาลปีของสารทำความเย็นที่ทางเข้า (h_7) และทางออก (h_8) ของอีวาโปเรเตอร์ จากรูปที่ 4.13 พบว่าเมื่ออุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าอีวาโปเรเตอร์ (T_a) สูงขึ้น มีผลทำให้ค่าความร้อนที่ถ่ายเทเข้าอีวาโปเรเตอร์ (q_{evap}) เพิ่มสูงขึ้นด้วย เนื่องจากการที่อุณหภูมิอากาศ (T_a) เพิ่มสูงขึ้น ทำให้ผลต่างระหว่างอุณหภูมิของสารทำความเย็นกับอากาศมีค่ามากขึ้น สารทำความเย็นที่ไหลผ่านอีวาโปเรเตอร์ก็จะสามารถแลกเปลี่ยนความร้อนได้ดี เป็นผลทำให้ผลต่างของค่าเอนทาลปีของสารทำความเย็นที่ทางเข้า (h_7) และทางออก (h_8) ของอีวาโปเรเตอร์มีค่ามากขึ้น ซึ่งแสดงถึงค่าความร้อนที่ถ่ายเทเข้าอีวาโปเรเตอร์ (q_{evap}) นั้นเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย และเห็นได้ว่าค่าความร้อนที่ถ่ายเทเข้าอีวาโปเรเตอร์ (q_{evap}) จะลดลงตามการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิน้ำร้อนภายในถังเก็บ ($T_{w,tank}$) เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิน้ำร้อนจะทำให้ผลต่างระหว่างอุณหภูมิของสารทำความเย็นกับอากาศที่อีวาโปเรเตอร์มีค่าลดลง ส่งผลทำให้ค่าความร้อนที่ถ่ายเทเข้าอีวาโปเรเตอร์ (q_{evap}) ลดลงด้วย



รูปที่ 4.14 เปรียบเทียบค่าความร้อนที่ถ่ายเทออกจากคอนเดนเซอร์ (q_{cond}) ที่อุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าอีวาโปเรเตอร์ต่างกัน (ในกรณีที่ $\dot{m}_w = 0.32$ kg/s)

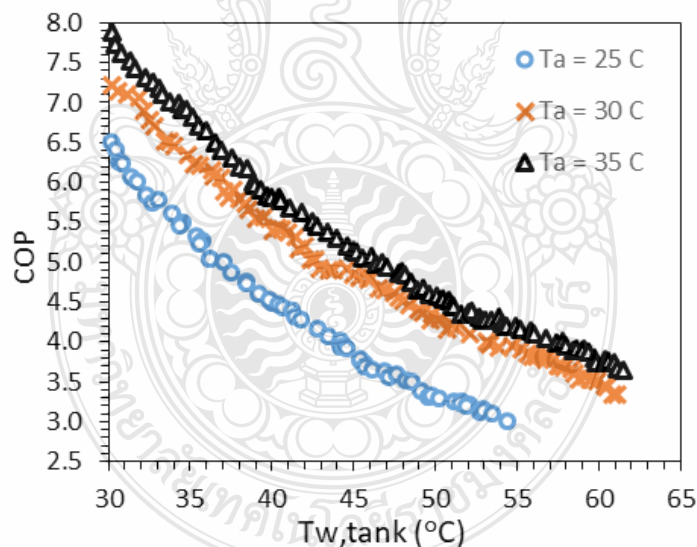


รูปที่ 4.15 เปรียบเทียบค่างานที่ป้อนเข้าคอมเพรสเซอร์ (w_{comp}) ที่อุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าอีวาโปเรเตอร์ต่างกัน (ในกรณีที่ $\dot{m}_w = 0.32$ kg/s)

จากรูปที่ 4.14 พบว่าเมื่ออุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าอีวาโปเรเตอร์ (T_a) เพิ่มขึ้น ทำให้ค่าความร้อนที่ถ่ายเทออกจากคอนเดนเซอร์ (q_{cond}) เพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอากาศ ทำให้ผลต่างระหว่างอุณหภูมิสารทำความเย็นที่ทางเข้า (T_3) และทางออก (T_4) คอนเดนเซอร์ มีค่ามากขึ้น มีผลทำให้ผลต่างของค่าเอนทัลปีของสารทำความเย็นที่ทางเข้า (h_3) และทางออก (h_4) คอนเดนเซอร์มีค่ามากขึ้นเช่นเดียวกัน ซึ่งแสดงถึงค่าความร้อนที่ถ่ายเทออกจากคอนเดนเซอร์ (q_{cond})

นั้นมีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย และจะเห็นได้ว่าค่าความร้อนที่ถ่ายเทออกจากคอนเดนเซอร์ (q_{cond}) นั้นจะลดลงตามการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิน้ำร้อนภายในถังเก็บ ($T_{w,tank}$) เนื่องจากว่าอุณหภูมิน้ำร้อนที่เพิ่มขึ้นทำให้ผลต่างระหว่างอุณหภูมิของไอสารทำความเย็นกับน้ำในคอนเดนเซอร์ลดลง ส่งผลให้ความสามารถในการถ่ายเทความร้อนออกจากคอนเดนเซอร์ลดลงด้วย

จากรูปที่ 4.15 พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าอีวาโปเรเตอร์ (T_a) จะทำให้ค่างานที่ป้อนเข้าคอมเพรสเซอร์ (w_{comp}) ลดลง เนื่องจากอุณหภูมิอากาศที่เพิ่มขึ้น นอกจากจะทำให้อุณหภูมิสารทำความเย็นที่ออกจากอีวาโปเรเตอร์ (T_8) สูงขึ้นแล้ว ยังทำให้อุณหภูมิสารทำความเย็นที่ออกจากคอมเพรสเซอร์ (T_2) ลดลงด้วย ทำให้ผลต่างของค่าเอนทัลปีของสารทำความเย็นที่ทางเข้า (h_1) และทางออก (h_2) ของคอมเพรสเซอร์มีค่าลดลง ส่งผลให้ค่างานที่ป้อนเข้าคอมเพรสเซอร์ (w_{comp}) นั้นลดลงด้วย และจะเห็นได้ว่าค่างานที่ป้อนเข้าคอมเพรสเซอร์ (w_{comp}) จะเพิ่มสูงขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิน้ำร้อนภายในถังเก็บ ($T_{w,tank}$) เนื่องจากอุณหภูมิในถังเก็บที่เพิ่มสูงขึ้น จะทำให้ปริมาตรจำเพาะของสารทำความเย็นเพิ่มขึ้น ซึ่งจะส่งผลทำให้คอมเพรสเซอร์ต้องใช้งานในการอัดสารทำความเย็นเพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 4.16 เปรียบเทียบค่า COP ที่อุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าอีวาโปเรเตอร์ต่างกัน ($\dot{m}_w = 0.32$ kg/s)

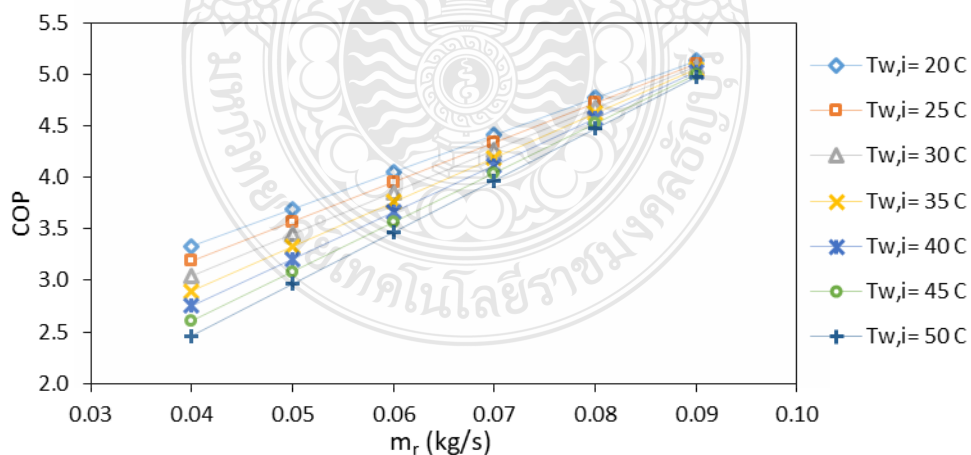
จากรูปที่ 4.16 เห็นได้ว่าเมื่ออุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าอีวาโปเรเตอร์ (T_a) เพิ่มขึ้น มีผลทำให้ค่า COP ของระบบเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากการที่อุณหภูมิอากาศเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าความร้อนที่ถ่ายเทเข้าอีวาโปเรเตอร์ (q_{evap}) สูง โดยค่าความร้อนดังกล่าวจะถูกถ่ายเทออกจากคอนเดนเซอร์สูงขึ้นตาม และยังส่งผลทำให้ค่างานที่ป้อนเข้าคอมเพรสเซอร์ (w_{comp}) ต่ำลง เป็นผลทำให้เมื่อนำไปพิจารณาหา

ค่า COP ของระบบจึงมีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย และจะเห็นได้ว่าค่า COP ของระบบจะลดลงตามการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิน้ำร้อนภายในถังเก็บ ($T_{w,tank}$) เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิน้ำร้อนทำให้ค่าความร้อนที่ถ่ายเทออกจากคอนเดนเซอร์ (q_{cond}) ลดลง และยังคงส่งผลให้ค่างานที่ป้อนเข้าคอมเพรสเซอร์ (w_{comp}) เพิ่มขึ้นด้วย เป็นผลทำให้ค่า COP ของระบบลดลงตามการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิน้ำร้อน

เนื่องจากผลการทดสอบในแต่ละชุดมีแนวโน้มเดียวกัน จึงขอเสนอเพียงชุดทดสอบที่มีอัตราการไหลของน้ำเข้าคอนเดนเซอร์ (\dot{m}_w) เท่ากับ 0.32 kg/s เท่านั้น ข้อมูลผลทดสอบการเปลี่ยนอุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าอีวาโปเรเตอร์ (T_a) ที่ได้จากการศึกษาในกรณีอัตราการไหลของน้ำเข้าคอนเดนเซอร์ (\dot{m}_w) เท่ากับ 0.13 kg/s ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข.1, ข.4 และ ข. 7 ส่วนในกรณีอัตราการไหลของน้ำเข้าคอนเดนเซอร์ (\dot{m}_w) เท่ากับ 0.23 kg/s ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข.2, ข.5 และ ข. 8

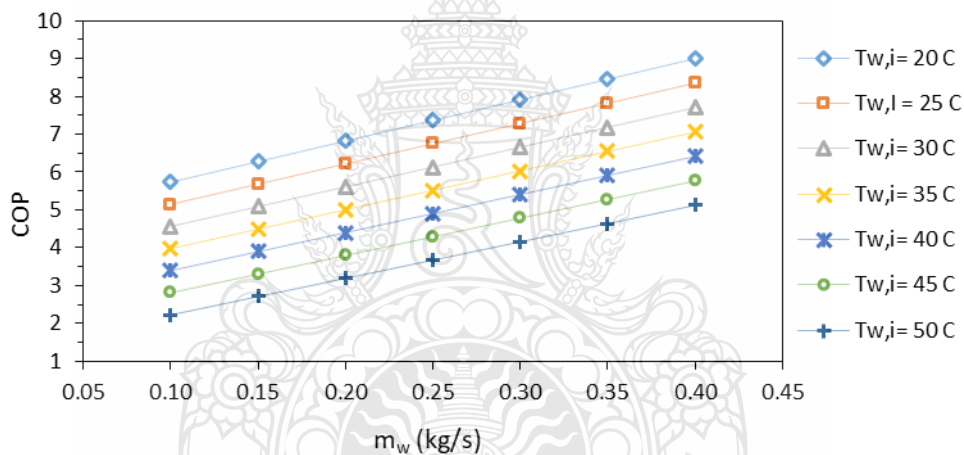
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่เกี่ยวข้องต่อค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของปั๊มความร้อน (COP)

จากข้อมูลผลการทดสอบสมรรถนะการทำน้ำร้อนด้วยปั๊มความร้อนขนาด 16 kW ที่แสดงข้างต้นนั้น ได้ถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อหาความสัมพันธ์ของตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของปั๊มความร้อน (COP) โดยพิจารณาความสัมพันธ์ของค่า COP กับตัวแปรต่างๆ ซึ่งจะนำเสนอสมการความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงที่ได้จากข้อมูลดิบของแต่ละตัวแปรมาทำการสร้างกราฟสมรรถนะเพื่อใช้ทำนายค่า COP ของระบบที่มีตัวแปรที่เกี่ยวข้องกัน มีผลดังนี้



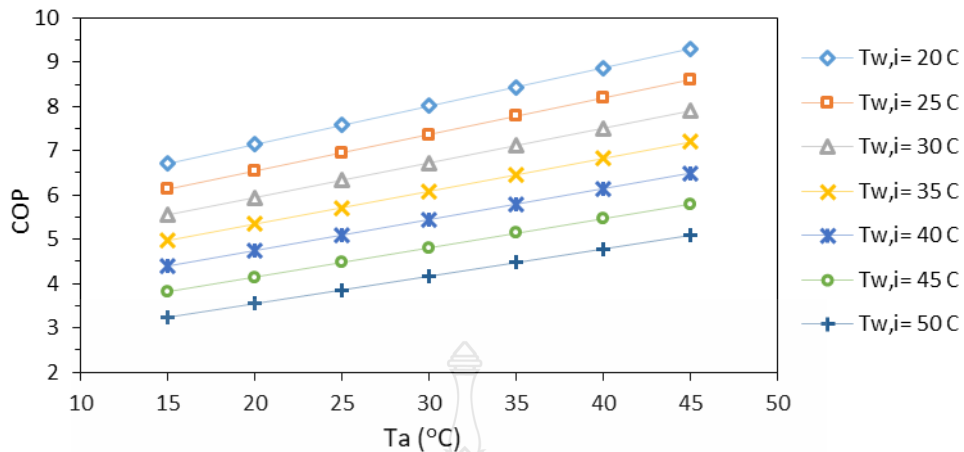
รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่าง COP และอัตราการไหลของสารทำความเย็น (\dot{m}_r) ที่อุณหภูมิน้ำเข้าคอนเดนเซอร์ ($T_{w,i}$) ที่แตกต่างกัน (ในกรณีที่ $T_a = 35 \pm 1\text{ }^\circ\text{C}$)

จากรูปที่ 4.17 ถ้าพิจารณาที่อุณหภูมิน้ำเข้าคอนเดนเซอร์ ($T_{w,i}$) เท่ากัน จะแสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของสารทำความเย็น (\dot{m}_r) ให้สูงขึ้น จะทำให้ค่า COP ของระบบสูงขึ้นด้วย ซึ่งสาเหตุของค่า COP ที่สูงขึ้นนั้นผู้วิจัยได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อ 4.1 แต่ควรคำนึงถึงขีดจำกัดความสามารถของอุปกรณ์แต่ละตัวด้วย และถ้าพิจารณาที่อัตราการไหลของสารทำความเย็น (\dot{m}_r) เท่ากัน เมื่อมีอุณหภูมิน้ำเข้าคอนเดนเซอร์ ($T_{w,i}$) เพิ่มขึ้น จะทำให้ค่า COP ของระบบมีค่าลดลง เนื่องจากอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อประสิทธิภาพของปั๊มความร้อน คือ อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจะทำให้คอนเดนเซอร์มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนความร้อนลดลง นั่นแสดงให้เห็นว่าต้องเสียพลังงานให้กับปั๊มความร้อนเพื่อใช้ผลิตน้ำร้อนเพิ่มขึ้น ซึ่งผลที่ได้จากความสัมพันธ์นี้สามารถนำไปควบคุมการทำงานของปั๊มความร้อนต่อไปได้ โดยนำไปพิจารณาปรับค่าอัตราการไหลของสารทำความเย็น (\dot{m}_r) ให้เหมาะสมกับสภาวะการทำงานในขณะนั้น เพื่อให้ระบบมีค่า COP สูงสุด



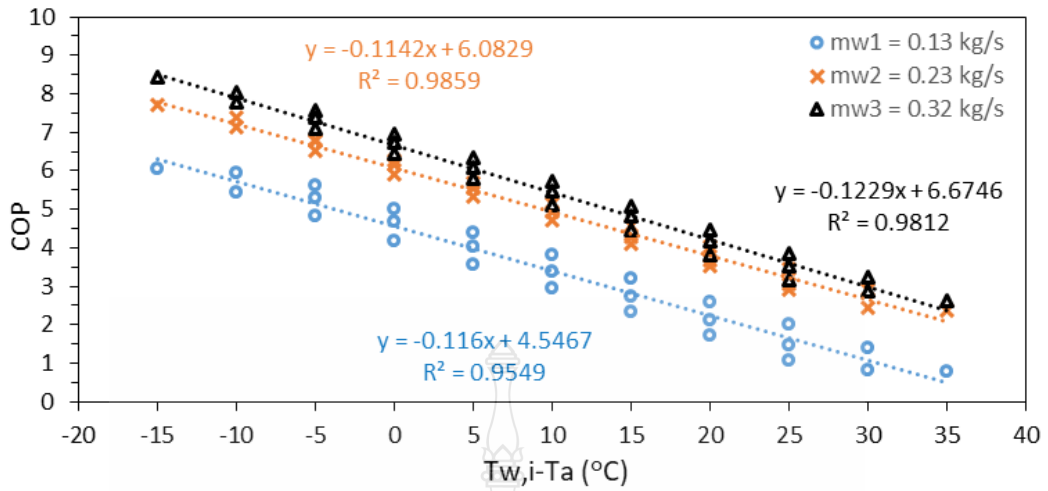
รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่าง COP และอัตราการไหลของน้ำเข้าคอนเดนเซอร์ (\dot{m}_w) ที่อุณหภูมิน้ำเข้าคอนเดนเซอร์ ($T_{w,i}$) ที่แตกต่างกัน (ในกรณีนี้ $T_a = 35 \pm 1\text{ }^\circ\text{C}$)

จากรูปที่ 4.18 ถ้าพิจารณาที่อุณหภูมิน้ำเข้าคอนเดนเซอร์ ($T_{w,i}$) เท่ากัน จะแสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของน้ำ (\dot{m}_w) ให้สูงขึ้น จะทำให้ค่า COP ของระบบมีค่าสูงขึ้น และถ้าพิจารณาที่อัตราการไหลของน้ำ (\dot{m}_w) เท่ากัน เมื่อมีอุณหภูมิน้ำเข้าคอนเดนเซอร์ ($T_{w,i}$) เพิ่มขึ้น จะทำให้ค่า COP ของระบบมีค่าลดลง ซึ่งเหตุผลที่ทำให้ค่า COP เปลี่ยนแปลงนั้นผู้วิจัยได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อ 4.2 ดังนั้นสามารถนำผลที่ได้จากความสัมพันธ์นี้ไปประยุกต์ใช้ควบคุมการทำงานของระบบปั๊มความร้อนต่อไปได้เช่นเดียวกัน โดยนำไปพิจารณาปรับค่าอัตราการไหลน้ำ (\dot{m}_w) ให้เหมาะสมกับสภาวะการทำงานในขณะนั้น เพื่อพยายามทำให้ปั๊มความร้อนทำงานที่สมรรถนะสูงตลอดการใช้งาน



รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่าง COP และอุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าอีวาโปเรเตอร์ (T_a) ที่อุณหภูมิน้ำเข้าคอนเดนเซอร์ ($T_{w,i}$) แยกต่างหาก (ในกรณีที่ $\dot{m}_w = 0.32$ kg/s)

จากรูปที่ 4.19 แสดงให้เห็นว่าที่อุณหภูมิน้ำเข้าคอนเดนเซอร์ ($T_{w,i}$) เท่ากัน เมื่ออุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าอีวาโปเรเตอร์ (T_a) เพิ่มขึ้น จะทำให้ค่า COP ของระบบมีค่าสูงขึ้น และถ้าพิจารณาที่อุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าอีวาโปเรเตอร์ (T_a) เท่ากัน เมื่อมีอุณหภูมิน้ำเข้าคอนเดนเซอร์ ($T_{w,i}$) เพิ่มขึ้น จะทำให้ค่า COP ของระบบมีค่าลดลง ซึ่งเหตุผลที่ทำให้ค่า COP เปลี่ยนแปลงตามค่าตัวแปรอุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าอีวาโปเรเตอร์ (T_a) และอุณหภูมิน้ำเข้าคอนเดนเซอร์ ($T_{w,i}$) นั้นผู้วิจัยได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อ 4.3 ผลจากความสัมพันธ์นี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการพิจารณาคัดตั้งปั๊มความร้อนที่สภาพภูมิอากาศแตกต่างกันของประเทศไทยได้ และแสดงให้เห็นได้ว่าถ้าในฤดูหนาวปั๊มความร้อนจะมีสมรรถนะในการทำงานต่ำกว่าในฤดูร้อน ซึ่งเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศนั่นเอง และผลที่ได้จากความสัมพันธ์นี้ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ควบคุมการทำงานของระบบปั๊มความร้อนต่อไปได้เช่นเดียวกัน ซึ่งในการทำงานของปั๊มความร้อนจริงๆนั้นเราไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าอีวาโปเรเตอร์ (T_a) ได้ ดังนั้นวิธีการที่จะทำให้ระบบปั๊มความร้อนสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพตลอดการใช้งาน อาจจะทำโดยการเพิ่มอุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าอีวาโปเรเตอร์ (T_a) จากแหล่งความร้อนอื่น เช่น ความร้อนเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตอื่นๆ ซึ่งต้องควบคุมให้เหมาะสมกับสภาพการทำงานของปั๊มความร้อนในขณะนั้น เพื่อที่จะทำให้ค่า COP ของระบบสูงอยู่ตลอดเวลาในการทำงาน



รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่าง COP และผลต่างระหว่างค่าอุณหภูมิน้ำเข้าคอนเดนเซอร์กับอุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าอีวาโปเรเตอร์ ($T_{w,i} - T_a$) ที่อัตราการไหลของน้ำ (\dot{m}_w) ต่างกัน

จากรูปที่ 4.20 พบว่าในแต่ละอัตราการไหลของน้ำเข้าคอนเดนเซอร์ (\dot{m}_w) ค่า COP มีความสัมพันธ์ค่อนข้างเป็นเชิงเส้นเทียบกับค่าผลต่างระหว่างอุณหภูมิน้ำเข้าคอนเดนเซอร์กับอุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าอีวาโปเรเตอร์ ($T_{w,i} - T_a$) จะพบว่า ถ้าผลต่างระหว่างอุณหภูมิน้ำเข้าคอนเดนเซอร์กับอุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าอีวาโปเรเตอร์ ($T_{w,i} - T_a$) มีค่าลดลง จะส่งผลทำให้ค่า COP เพิ่มขึ้น และถ้าผลต่างระหว่างอุณหภูมิน้ำเข้าคอนเดนเซอร์กับอุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าอีวาโปเรเตอร์ ($T_{w,i} - T_a$) มีค่าเพิ่มขึ้น จะส่งผลทำให้ค่า COP ลดลง เนื่องจากค่า COP เป็นอัตราส่วนระหว่างค่าความร้อนที่คอนเดนเซอร์ต่อค่างานที่ป้อนเข้าคอมเพรสเซอร์ ถ้าผลต่างระหว่างอุณหภูมิน้ำเข้าคอนเดนเซอร์กับอุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าอีวาโปเรเตอร์ ($T_{w,i} - T_a$) มีค่าเพิ่มขึ้น จะทำให้ค่าความร้อนที่ถ่ายเทออกจากคอนเดนเซอร์ (q_{cond}) มีค่าลดลง ส่วนค่างานที่ป้อนให้กับคอมเพรสเซอร์ (w_{comp}) มีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งทั้งหมดส่งผลทำให้ค่า COP ลดลง

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาเกี่ยวกับระบบทำน้ำร้อนด้วยปั๊มความร้อนภายใต้สภาวะการทำงานที่แตกต่างกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับตัวแปรที่ต้องการศึกษาทั้ง 3 ตัว คือ อัตราการไหลของสารทำความเย็น (\dot{m}_r) อัตราการไหลของน้ำ (\dot{m}_w) และอุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าอีวาโปเรเตอร์ (T_a) โดยพิจารณาผลที่ได้จากการทดสอบแล้วนำมาวิเคราะห์ เปรียบเทียบ และหาความสัมพันธ์ของตัวแปรที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบปั๊มความร้อน (COP) สามารถสรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย และอภิปรายผล

5.1.1 จากผลของการเปลี่ยนอัตราการไหลของสารทำความเย็น (\dot{m}_r) พบว่าค่า COP ของระบบจะแปรผันตามอัตราการไหลของสารทำความเย็น (\dot{m}_r) และจะแปรผกผันกับอุณหภูมิน้ำเข้าคอนเดนเซอร์ ($T_{w,i}$)

5.1.2 จากผลของการเปลี่ยนอัตราการไหลของน้ำ (\dot{m}_w) พบว่าค่า COP จะแปรผันตามอัตราการไหลน้ำ (\dot{m}_w) และจะแปรผกผันกับอุณหภูมิน้ำเข้าคอนเดนเซอร์ ($T_{w,i}$)

5.1.3 จากผลของการเปลี่ยนอุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าอีวาโปเรเตอร์ (T_a) พบว่าค่า COP จะแปรผันตามอุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าอีวาโปเรเตอร์ (T_a) และจะแปรผกผันกับอุณหภูมิน้ำเข้าคอนเดนเซอร์ ($T_{w,i}$)

5.1.4 ตัวแปรทั้งหมดที่มีความสัมพันธ์และส่งผลต่อค่า COP มีดังนี้ อัตราการไหลของสารทำความเย็น (\dot{m}_r), อัตราการไหลของน้ำ (\dot{m}_w), อุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าอีวาโปเรเตอร์ (T_a) และอุณหภูมิน้ำเข้าคอนเดนเซอร์ ($T_{w,i}$)

5.1.5 จากความสัมพันธ์ของตัวแปรทั้งหมดที่ส่งผลต่อค่า COP พบว่าค่า COP จะแปรผันตามอัตราการไหลของสารทำความเย็น (\dot{m}_r) อัตราการไหลของน้ำ (\dot{m}_w) และอุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าอีวาโปเรเตอร์ (T_a) ส่วนอุณหภูมิน้ำเข้าคอนเดนเซอร์ ($T_{w,i}$) จะมีค่าแปรผกผันกับค่า COP

5.1.6 จากความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่เกี่ยวข้องต่อค่า COP สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการควบคุมการทำงานของปั๊มความร้อน เพื่อเป็นการพัฒนาระบบทำน้ำร้อนให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น และประหยัดพลังงานในสถานประกอบการได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 งานวิจัยนี้ยังไม่ได้ศึกษาครอบคลุมถึงผลของการเปลี่ยนแปลงความชื้นในอากาศ และความเร็วลมของอากาศที่ผ่านอีวาโปเรเตอร์ที่อาจจะส่งผลต่อค่า COP

5.2.2 ควรทำการศึกษาถึงสมรรถนะของปั๊มความร้อนในการทำน้ำร้อน เมื่อเปลี่ยนมาใช้คอนเดนเซอร์ชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำแบบอื่นๆ รวมทั้งพิจารณาถึงรูปแบบการไหลภายในคอนเดนเซอร์

5.2.3 ควรทำการศึกษาถึงผลของการเปลี่ยนชนิดสารทำความเย็น การเพิ่มอัตราการไหลของน้ำที่มากขึ้น รวมทั้งการเปลี่ยนอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดอื่นๆ เช่น คอนเดนเซอร์ วาล์วลวด ความดัน เป็นต้น เพื่อให้ได้ค่า COP ที่สูงขึ้น และเป็นการประหยัดพลังงานในระบบ



บรรณานุกรม

- [1] การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, *การผลิตและซื้อพลังงานไฟฟ้า (online)*, 2559, Available: http://www.egat.co.th/index.php?option=com_content&view=article&id=81&Itemid=116, (8 กันยายน 2559)
- [2] การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, *ความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด (online)*, 2559, Available: http://www.egat.co.th/index.php?option=com_content&view=article&id=348&Itemid=116, (8 กันยายน 2559)
- [3] Colmac Industries, *Colmac Waterheat (Online)*, 2016, Available: www.colmacwaterheat.com, (12 October 2016)
- [4] ปราโมทย์ ลายประดิษฐ์, “การวิเคราะห์สมรรถนะของระบบทำน้ำร้อนแบบฮีทปั๊มในบ้านพักอาศัย,” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานและวัสดุ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2542
- [5] อาทิตย์ ไชยอรนันท์, “การทำน้ำร้อนด้วยปั๊มความร้อน,” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาเทคโนโลยีการจัดการพลังงาน คณะพลังงานและวัสดุ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2543
- [6] พีรวิษณุ เอกสุวรรณ, “การลดภาระการทำความเย็นในห้องใต้หลังคาและผลิตน้ำร้อนในอาคารโดยใช้ปั๊มความร้อน,” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2555
- [7] วิศิษฐ์ ชูประเสริฐ และจิตติน แดงเที่ยง, “การนำความร้อนปล่อยทิ้งจากระบบทำน้ำเย็นร่วมกับการใช้ฮีทปั๊มในการผลิตน้ำร้อน,” *วารสารวิจัยพลังงาน*, ปีที่ 9, นน. 48-59, 2555
- [8] สาริต ทูลไชสง และ เคนพงษ์ สุดภักดี, “แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบผลิตน้ำร้อนด้วยปั๊มความร้อนโดยผสมผสานการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ของระบบปรับอากาศ,” ใน *การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 21*, จังหวัดชลบุรี, 2550, pp. 75-82
- [9] จูติพร ฅมยาพิทักษ์, “การทำน้ำร้อนจากความร้อนทิ้งของเครื่องปรับอากาศ,” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาเทคโนโลยีการจัดการพลังงาน คณะพลังงานและวัสดุ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2545

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [10] Praitoon Chaiwongsa and Weerapun Duangthongsuk, “Hot Water Making Potential Using of a Coventional Air Conditioner as an Air-Water Heat Pump,” *Procedia Engineering*, vol. 8, pp. 165-170, 2011.
- [11] P. Techarungpaisan, S. Theerakulpisut and S. Priprem, “Modeling of a split type air conditioner with integrated water heater,” *Energy Conversion and Management*, vol. 48, pp. 1222-1237, 2007
- [12] Jie Ji, Tin-tai Chow, Gang Pei, Jun Dong and Wei He, “Domestic air-conditioner and integrated water heater for subtropical climate,” *Applied Thermal Engineering*, vol. 23, pp. 581-592, 2003
- [13] Shuangquan Shao, Wenxing Shi, Xianting Li and Jie Ma, “A new inverter heat pump operated all year round with domestic hot water,” *Energy Conversion and Management*, vol.45, pp. 2255-2268, 2004
- [14] J. Zhang, R.Z. Wang and J.Y. Wu, “System optimization and experimental research on air source heat pump water heater,” *Applied Thermal Engineering*, vol. 27, pp. 1029-1035, 2007
- [15] Ryohei Yokoyama, Takeshi Shimizu, Kazuhisa Takemura and Koichi Ito, “Performance analysis of a hot water supply system with a CO₂ heat pump by numerical simulation,” *JSME International Journal, Series B*, vol. 49, No. 2, pp. 541-548, 2006
- [16] Ryohei Yokoyama, Takeshi Shimizu, Koichi Ito and Kazuhisa Takemura, “Influence of ambient temperatures on performance of a CO₂ heat pump water heating system,” *Energy*, vol. 32, pp. 388-398, 2007
- [17] B.J. Huang and F.H. Lin, “Compact and fast temperature-response heat pump water heater,” *ASME Journal*, 97-AA-26, 1997
- [18] Xinhui Zhao, Enshen Long, Yin Zhang, Qinjian Liu, Zhenghao Jin and Fei Liang, “Experimental Study on Heating Performance of Air-source Heat Pump with Water Tank for Thermal Energy Storage,” *Procedia Engineering*, vol. 205, pp. 2055-2062, 2017

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [19] Jing-Wei Peng, Hui Li and Chun-Lu Zhang, "Performance comparison of air-source heat pump water heater with different expansion devices," *Applied Thermal Engineering*, vol. 99, pp. 1190-1200, 2016
- [20] Yu Wang, Shijun You, Yingkai Sun and Zhiqiang Li, "Experimental investigations and operational performance analysis on air source heat pump unit for domestic hot water supply in South China," *Procedia Engineering*, vol. 205, pp. 2407-2414, 2017
- [21] Xiaolin Sun, Yanjun Dai, V. Novakovic, J. Wu and Ruzhu Wang, "Performance comparison of direct expansion solar-assisted heat pump and conventional air source heat pump for domestic hot water," *Energy Procedia*, vol. 70, pp. 394-401, 2015
- [22] X.Q.Kong, D.Zhang, Y.Li and Q.M. Yang, "Thermal performance analysis of a direct-expansion solar-assisted heat pump water heater," *Energy*, vol. 36, pp. 6830-6838, 2011
- [23] F.B. Gorozabel Chata, S.K. Chaturvedi and A. Almogbel, "Analysis of a direct expansion solar assisted heat pump using different refrigerants," *Energy Conversion and Management*, vol. 46, pp. 2614-2624, 2005
- [24] Y.W. Li, R.Z. Wang, J.Y. Wu and Y.X. Xu, "Experimental performance analysis on direct-expansion solar-assisted heat pump water heater," *Applied Thermal Engineering*, vol. 27, pp. 2858-2868, 2007
- [25] Shanshan Li, Shuhong Li and Xiaosong Zhang, "Simulation research of a hybrid heat source heat pump using R134a, R744 instead of R22 for domestic water heating in residential buildings," *Energy and Buildings*, vol. 91, pp. 57-64, 2015
- [26] Xu Guoying, Zang Xiaosong and Deng Shiming, "A simulation study on the operating performance of a solar-air source heat pump water heater," *Applied Thermal Engineering*, vol. 26, pp. 1257-1265, 2006
- [27] Weishi Deng and Jianlin Yu, "Simulation analysis on dynamic performance of a combined solar/air dual source heat pump water heater," *Energy Conversion and Management*, vol. 120, pp. 378-387, 2016

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [28] สาธิต ทูลไชสง และ สัตยชัย รำเพยพัค, “แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบผลิตน้ำร้อนด้วย ป้อนความร้อนโดยผสมผสานการนำความร้อนที่กลับมาใช้ของระบบปรับอากาศ,” ใน การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 22, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต, 2551, pp. 59-65
- [29] Cengel, Y.A., and Boles, M.A., *Thermodynamics : An engineering approach*, 5th Edition in SI Units. Singapore: McGraw-Hill, 2006



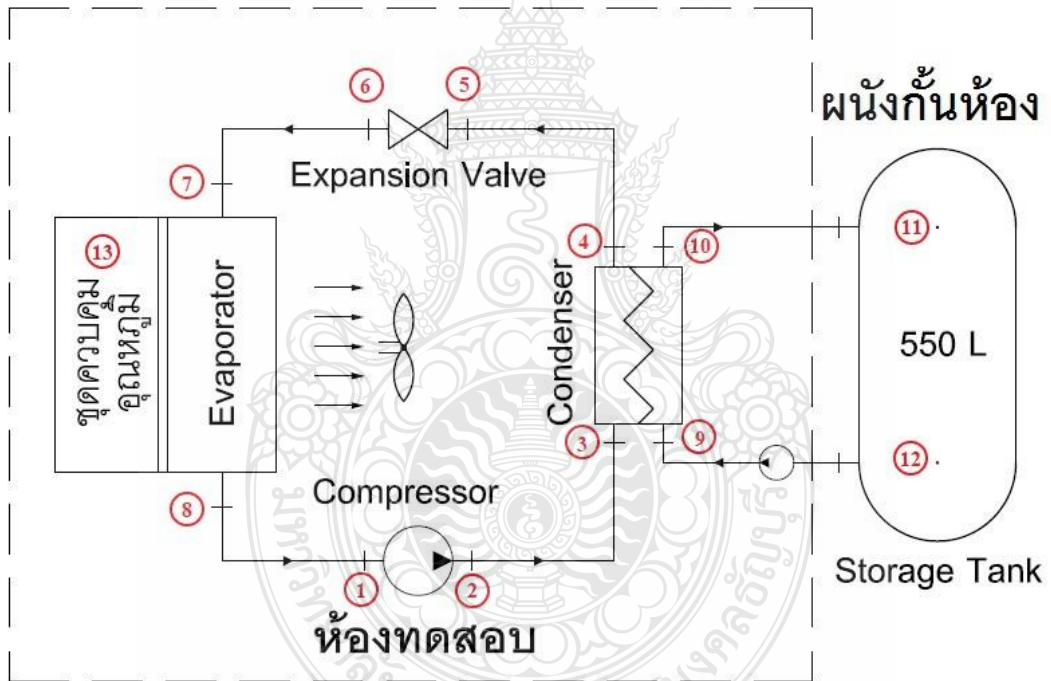
ภาคผนวก



ภาคผนวก ก

ตารางบันทึกข้อมูล

ผลจากการเปลี่ยนอัตราการไหลของสารทำความเย็น (\dot{m}_r)



ตารางที่ ก.1 อุณหภูมิและความดันที่อัตราการไหลของสารทำความเย็น (\dot{m}_r) = 0.0589 kg/s

เวลา (min)	สภาวะทดสอบ		อัตราการไหลของน้ำ (\dot{m}_w) = 0.13 kg/s							อุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าวาปีเรเตอร์ (T_a) = 30 °C					
	ความดัน(Bar)		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13
0	-	-	33.20	32.80	30.80	29.60	28.20	27.70	26.90	27.80	31.10	29.70	31.90	32.10	30.90
1	15.50	1.80	11.80	65.00	52.40	38.00	33.90	16.20	10.60	14.50	31.60	49.60	32.10	32.30	30.10
2	15.50	1.80	15.20	82.10	71.80	35.40	30.40	13.10	7.70	14.00	31.40	52.40	32.00	32.30	29.60
3	15.50	1.80	13.00	85.60	75.70	35.40	29.70	12.50	7.00	12.10	31.30	53.20	32.00	32.40	30.00
4	15.50	1.80	14.50	89.00	78.60	34.10	28.70	11.70	6.10	14.10	31.00	53.10	32.50	32.20	29.60
5	15.50	1.80	16.00	91.60	80.70	33.50	28.10	11.30	5.70	15.30	31.00	52.90	32.10	32.30	29.50
6	16.00	1.80	16.20	93.40	82.30	33.20	27.50	10.80	5.30	15.20	31.10	53.00	32.60	32.50	30.20
7	16.00	1.80	16.60	95.00	83.60	33.10	27.30	10.60	5.20	15.70	31.10	53.20	32.50	32.70	29.60
8	16.00	1.80	17.10	96.10	84.80	33.00	27.20	10.60	5.20	16.10	31.10	53.10	33.00	33.30	29.60
9	16.00	1.80	17.30	97.00	85.50	33.00	27.20	10.60	5.20	16.20	31.20	53.30	33.70	33.80	30.00
10	16.00	1.80	17.50	97.70	86.30	33.00	27.20	10.60	5.30	16.40	31.20	53.30	33.80	33.70	29.90
11	16.00	1.80	17.80	98.40	86.90	33.00	27.30	10.80	5.50	16.80	31.20	53.60	34.40	34.70	30.60
12	16.00	1.80	17.80	99.00	87.50	33.10	27.30	10.80	5.50	16.60	31.20	53.70	34.70	34.90	29.90
13	16.00	1.80	18.10	99.40	88.00	33.00	27.40	10.80	5.70	17.00	31.20	53.70	35.50	36.20	30.70
14	16.00	1.80	18.40	99.90	88.30	33.00	27.40	10.90	5.70	17.20	31.20	53.80	36.60	36.20	30.50
15	16.00	1.80	18.50	100.30	88.80	33.10	27.50	10.90	5.80	17.30	31.20	54.00	36.60	36.80	30.00
16	16.00	1.80	18.30	100.60	89.00	33.10	27.50	11.00	5.80	17.10	31.20	54.10	37.50	38.30	29.80
17	16.00	1.80	18.50	101.00	89.30	33.10	27.60	11.10	6.00	17.30	31.20	54.30	38.00	38.90	30.40
18	16.00	1.80	18.50	101.20	89.70	33.10	27.70	11.30	6.00	17.30	31.30	54.30	38.70	39.80	29.80
19	16.00	1.80	18.50	101.50	89.80	33.10	27.70	11.40	6.10	17.30	31.20	54.20	39.80	39.30	30.50
20	16.00	1.80	18.60	101.80	90.10	33.20	27.80	11.40	6.30	17.30	31.30	54.30	41.00	40.80	29.90
21	16.50	1.90	18.70	102.00	90.20	33.20	27.70	11.30	6.30	17.30	31.30	54.30	41.80	42.10	30.00
22	16.50	1.90	18.50	102.20	90.50	33.30	27.70	11.40	6.30	17.20	31.30	54.40	42.30	42.70	30.60
23	16.50	1.90	18.50	102.30	90.40	33.30	27.80	11.40	6.40	17.20	31.30	54.40	43.30	43.40	29.50
24	16.50	1.90	18.70	102.50	90.80	33.30	27.80	11.50	6.40	17.30	31.40	54.50	43.60	44.00	29.30
25	16.50	1.90	18.80	102.80	91.00	33.40	27.80	11.70	6.70	17.60	31.40	54.60	44.00	44.80	29.50
26	17.00	1.90	19.10	103.20	91.40	33.30	27.90	11.90	6.90	18.10	31.50	55.00	44.90	45.10	29.80
27	17.00	1.90	19.70	103.60	92.00	33.40	27.90	11.90	7.00	18.70	31.50	55.00	45.30	45.30	30.00
28	17.00	1.90	20.00	104.10	92.50	33.30	28.00	12.10	7.20	18.80	31.50	55.10	45.70	45.80	30.30
29	17.00	1.90	20.10	104.50	92.90	33.40	28.10	12.00	7.10	18.80	31.40	55.10	46.30	46.40	30.10
30	17.00	1.90	20.00	104.80	93.10	33.40	28.10	12.10	7.10	18.70	31.50	55.30	46.70	47.30	30.20
31	17.00	2.00	19.80	105.00	93.30	33.50	28.20	12.10	7.20	18.50	31.50	55.30	47.10	47.30	30.30
32	17.00	2.00	19.90	105.20	93.50	33.50	28.20	12.30	7.40	18.60	31.60	55.60	47.70	47.80	30.00
33	17.00	2.00	19.80	105.30	93.60	33.50	28.20	12.30	7.30	18.50	31.50	55.50	47.60	48.40	30.00
34	17.00	2.00	19.90	105.60	93.80	33.60	28.40	12.40	7.50	18.60	31.70	55.80	48.30	48.90	30.70
35	17.00	2.00	20.20	105.80	94.10	33.70	28.40	12.40	7.50	18.80	31.80	55.80	48.50	49.10	30.00
36	17.00	2.00	20.30	106.00	94.20	33.80	28.50	12.40	7.50	19.00	31.70	55.60	48.60	49.30	30.30
37	17.00	2.00	20.40	106.30	94.40	34.00	28.60	12.50	7.60	19.10	31.80	55.90	49.10	49.50	29.80
38	17.00	2.00	20.30	106.50	94.70	34.10	28.60	12.50	7.70	19.00	32.10	56.00	49.40	49.90	29.90
39	17.00	2.00	20.30	106.80	94.90	34.30	28.80	12.70	7.80	19.10	32.30	56.30	49.80	50.00	30.40
40	17.00	2.00	20.20	107.10	95.20	34.50	29.00	12.70	7.80	18.90	32.40	56.50	50.00	50.20	30.00
41	18.00	2.00	20.20	107.50	95.60	34.80	29.30	12.80	7.90	18.90	32.80	56.90	50.00	50.20	29.80

ตารางที่ ก.1 อุณหภูมิและความดันที่อัตราการไหลของสารทำความเย็น (\dot{m}_r) = 0.0589 kg/s (ต่อ)

เวลา (min)	สภาวะทดสอบ		อัตราการไหลของน้ำ (\dot{m}_w) = 0.13 kg/s						อุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าวาโปเรเตอร์ (T_a) = 30 °C						
	ความดัน(Bar)		อุณหภูมิ (°C)												
	High	Low	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13
42	18.00	2.00	20.20	107.90	95.90	35.20	29.50	12.90	7.90	18.90	33.30	57.40	50.20	50.80	30.00
43	18.00	2.00	19.80	108.10	95.90	35.60	29.80	12.80	7.60	18.20	33.60	57.50	50.70	51.00	30.10
44	18.00	2.00	19.40	108.30	96.20	36.10	30.10	13.20	8.20	17.90	33.90	58.20	50.70	51.20	29.90
45	18.00	2.00	19.80	109.20	97.00	36.50	30.60	13.40	8.30	18.50	34.20	59.00	51.00	51.30	30.00
46	19.50	2.00	19.00	109.30	97.20	36.80	30.70	13.30	7.90	17.50	34.90	59.20	51.10	51.50	30.60
47	19.50	2.00	18.40	109.70	97.60	37.70	31.40	13.70	8.30	16.80	35.30	59.70	51.40	51.80	30.00
48	19.50	2.00	17.80	109.80	97.60	37.80	31.60	13.40	8.10	16.30	35.80	60.20	51.60	52.00	30.20
49	19.50	2.00	18.00	111.10	98.50	38.50	31.90	13.50	8.00	16.50	36.40	60.90	52.00	52.00	30.20
50	19.50	2.00	18.20	112.30	99.60	39.00	32.40	13.60	8.10	16.70	37.10	61.60	52.20	52.70	30.20
51	22.00	2.10	18.40	113.90	101.10	39.50	32.80	13.80	8.30	17.10	37.60	62.50	52.40	52.60	29.40
52	22.00	2.10	19.20	115.60	102.80	40.10	33.30	14.10	8.60	17.90	38.40	63.50	52.60	52.90	30.30
53	22.00	2.10	19.70	117.00	104.30	40.70	33.80	14.40	8.80	18.40	38.90	64.20	52.80	53.10	30.30



ตารางที่ ก.2 อุณหภูมิและความดันที่อัตราการไหลของสารทำความเย็น (\dot{m}_r) = 0.0751 kg/s

สภาวะทดสอบ			อัตราการไหลของน้ำ (\dot{m}_w) = 0.13 kg/s							อุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าวาโปรเตอร์ (T_a) = 30 °C					
เวลา (min)	ความดัน(Bar)		อุณหภูมิ (°C)												
	High	Low	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13
0	-	-	28.90	28.70	28.60	28.60	28.70	28.30	26.60	27.60	29.70	29.00	30.20	30.20	30.40
1	14.50	2.50	12.20	49.30	46.00	43.40	40.50	32.00	24.80	12.00	30.00	42.10	30.10	30.20	30.60
2	14.50	2.50	8.20	54.00	51.40	49.80	47.50	29.10	20.70	8.20	30.00	50.20	30.10	30.20	31.00
3	14.50	2.50	6.70	57.50	54.10	50.50	47.40	26.30	18.20	6.80	29.80	51.10	31.10	31.30	30.60
4	14.50	2.50	5.60	60.60	56.60	51.10	47.10	24.30	16.30	5.60	29.70	52.00	30.30	30.40	30.90
5	14.50	2.50	5.00	63.10	58.70	51.60	46.60	23.00	15.20	5.00	29.70	52.60	30.70	30.60	30.50
6	15.50	2.20	4.90	65.00	60.50	50.30	44.50	22.30	14.60	7.00	29.60	53.30	30.40	30.40	30.20
7	15.50	2.20	6.40	67.10	61.90	50.70	42.80	21.40	14.10	6.70	29.50	53.60	30.40	30.60	30.40
8	15.50	2.20	7.60	69.60	64.00	48.50	40.70	20.10	13.20	6.30	29.40	53.90	30.40	30.50	30.60
9	15.50	2.20	7.80	71.70	65.90	46.40	39.40	18.60	12.40	5.60	29.40	54.30	30.40	30.40	30.80
10	15.50	2.20	6.10	72.90	67.10	44.80	38.30	18.10	12.20	5.40	29.20	54.70	30.30	30.40	30.80
11	16.00	2.20	4.60	73.20	68.00	44.60	37.80	18.10	12.30	5.10	29.40	55.00	30.40	30.80	30.70
12	16.00	2.20	5.80	73.80	67.80	43.30	37.10	19.40	12.80	6.60	29.30	55.10	30.80	31.40	29.90
13	16.00	2.20	5.30	74.20	68.20	42.60	36.40	20.00	13.10	7.90	29.40	55.10	30.90	31.80	30.90
14	16.00	2.20	5.10	75.00	68.80	42.20	36.00	20.00	13.10	8.00	29.40	55.30	31.50	31.50	30.90
15	16.00	2.20	4.70	75.60	69.50	41.80	35.50	19.80	13.00	7.60	29.40	55.40	32.00	32.30	30.90
16	16.00	2.20	4.20	74.00	68.80	42.10	35.30	15.70	10.70	4.70	29.30	54.90	32.50	33.30	29.70
17	16.00	2.20	5.40	74.40	68.40	41.70	35.50	17.90	12.00	6.40	29.40	55.30	32.70	33.50	30.00
18	16.00	2.20	4.90	75.60	69.20	41.00	34.80	19.20	12.50	7.60	29.30	55.30	33.10	34.00	30.80
19	16.00	2.20	4.40	76.20	69.80	40.70	34.30	18.40	12.00	6.60	29.30	55.20	33.60	34.60	30.50
20	16.00	2.20	3.90	76.10	70.10	40.30	33.80	16.30	10.90	5.20	29.30	55.00	34.50	35.10	30.80
21	16.00	2.40	5.00	76.30	70.10	40.70	34.50	16.50	11.10	4.80	29.20	55.20	34.80	35.70	30.50
22	16.00	2.40	4.80	76.70	70.20	40.20	34.10	18.50	11.90	6.90	29.30	55.30	35.80	36.20	30.30
23	16.00	2.40	3.90	77.10	70.60	39.70	33.40	17.50	11.30	5.90	29.20	55.10	35.80	36.90	30.30
24	16.00	2.40	4.40	77.40	71.20	39.70	33.30	15.20	10.20	4.70	29.20	55.00	36.90	37.90	30.50
25	16.00	2.40	5.30	77.70	71.40	40.10	33.80	17.40	11.40	5.30	29.20	55.40	38.40	38.90	30.20
26	16.00	2.20	3.70	76.40	70.60	39.60	33.20	15.80	10.40	5.40	29.20	54.90	39.10	40.30	29.90
27	16.00	2.20	5.10	76.20	70.00	40.10	33.90	17.40	11.60	5.20	29.10	55.00	40.40	40.70	29.40
28	16.00	2.20	3.40	75.30	69.50	39.50	33.10	16.10	10.60	4.80	29.30	54.70	40.70	41.80	30.40
29	16.00	2.20	4.70	75.70	69.30	40.10	34.00	17.50	11.50	5.30	29.20	55.10	41.40	42.80	29.80
30	16.00	2.20	3.50	74.10	68.90	40.10	33.50	14.90	10.10	4.00	29.20	54.40	42.50	43.30	29.70
31	16.00	2.10	4.10	75.60	69.10	39.50	33.40	18.20	11.50	6.80	29.20	54.80	43.50	44.60	29.60
32	16.00	2.10	3.40	75.50	69.50	39.20	32.80	14.80	9.90	4.20	29.20	54.30	44.20	45.20	29.20
33	16.00	2.10	4.80	76.40	70.10	39.30	33.10	16.50	10.70	5.40	29.20	54.70	45.00	45.60	30.00
34	16.00	2.10	3.60	77.30	70.70	38.60	32.50	17.30	11.00	6.00	29.30	54.40	45.90	46.50	30.00
35	16.00	2.10	4.30	77.60	71.30	38.80	32.40	14.80	10.00	4.10	29.20	54.50	45.90	46.70	30.20
36	16.00	2.20	4.30	78.50	71.80	38.90	32.70	17.90	11.40	7.10	29.20	55.00	46.80	47.50	29.80
37	16.00	2.20	3.50	77.50	71.40	38.70	32.30	14.40	9.60	4.10	29.20	54.60	47.30	47.80	29.70
38	16.00	2.20	4.00	78.50	71.70	38.90	32.70	17.30	10.90	6.10	29.20	55.10	47.70	48.20	29.70
39	16.00	2.20	3.50	77.50	71.40	38.50	32.20	14.40	9.60	3.70	29.30	54.50	48.30	48.60	29.30
40	16.00	2.20	3.90	78.30	71.50	38.50	32.30	17.40	10.90	6.50	29.40	54.70	48.40	48.70	29.80
41	17.00	2.10	4.20	77.40	71.20	38.70	32.40	15.00	10.00	3.90	29.40	54.50	48.50	49.30	29.60

ตารางที่ ก.2 อุณหภูมิและความดันที่อัตราการไหลของสารทำความเย็น (\dot{m}_r) = 0.0751 kg/s (ต่อ)

เวลา (min)	สภาวะทดสอบ		อัตราการไหลของน้ำ (\dot{m}_w) = 0.13 kg/s						อุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าวาโปเรเตอร์ (T_a) = 30 °C						
	High	Low	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13
42	17.00	2.10	3.90	78.70	71.80	38.30	32.10	17.20	10.60	6.00	29.60	54.60	49.10	49.60	29.60
43	17.00	2.10	4.70	79.10	72.50	38.20	31.80	14.40	9.50	4.00	29.60	54.60	49.30	49.60	30.20
44	17.00	2.10	4.70	80.10	73.20	38.80	32.60	17.40	11.10	7.10	29.90	55.20	49.90	50.00	30.10
45	17.00	2.10	3.90	80.10	73.70	38.50	32.30	14.70	9.80	4.50	30.10	55.10	49.90	50.50	30.40
46	17.00	2.20	4.70	80.70	73.80	39.20	32.90	17.80	11.30	7.20	30.30	55.70	50.30	50.60	30.00
47	17.00	2.20	3.70	80.30	73.90	39.10	32.70	14.80	9.70	3.90	30.60	55.70	50.40	50.60	30.20
48	17.00	2.20	3.80	81.60	74.50	39.20	33.00	17.70	11.10	6.60	30.80	56.30	50.60	50.90	30.60
49	17.00	2.20	4.90	81.60	74.90	39.80	33.30	15.60	10.10	4.00	31.20	56.50	50.60	50.90	29.80
50	17.00	2.20	5.80	83.10	75.80	39.40	33.00	16.70	10.50	5.50	31.50	56.90	50.80	51.10	29.90
51	18.50	2.20	4.70	83.70	76.70	40.00	33.50	15.30	10.00	3.80	31.90	57.30	50.90	51.20	29.70
52	18.50	2.20	3.40	84.30	77.30	39.80	33.10	15.40	9.70	4.20	32.30	57.50	50.90	51.30	29.60
53	18.50	2.20	7.70	85.90	78.50	40.30	33.60	15.60	10.10	5.30	32.90	58.00	51.20	51.40	29.60
54	18.50	2.20	7.80	87.60	79.80	40.30	33.70	16.70	10.50	6.00	33.20	58.60	51.30	51.60	30.20
55	18.50	2.20	7.80	88.40	80.90	41.20	34.30	15.60	10.20	4.10	33.90	59.30	51.40	51.80	30.40
56	19.50	2.20	8.30	90.20	82.10	41.50	34.70	17.60	11.00	6.90	34.70	60.20	51.70	51.70	30.00
57	19.50	2.20	8.40	91.30	83.30	42.00	34.90	15.90	10.10	5.30	35.20	60.80	51.70	52.00	30.50
58	19.50	2.20	8.60	92.60	84.50	42.60	35.70	16.90	10.80	5.70	35.90	61.60	51.90	52.20	30.20
59	19.50	2.20	8.40	93.40	85.40	42.60	35.50	15.80	10.10	5.20	36.50	61.80	51.90	52.30	30.20
60	19.50	2.20	9.20	95.00	86.60	43.40	36.20	17.70	11.10	7.90	37.30	62.70	52.00	52.40	31.00
61	19.50	2.20	7.40	95.70	87.80	43.90	36.40	16.50	10.70	5.80	37.90	63.20	52.30	52.50	31.20
62	19.50	2.20	9.60	97.90	89.20	44.90	37.50	18.40	11.70	8.30	38.80	64.70	52.40	52.80	31.20



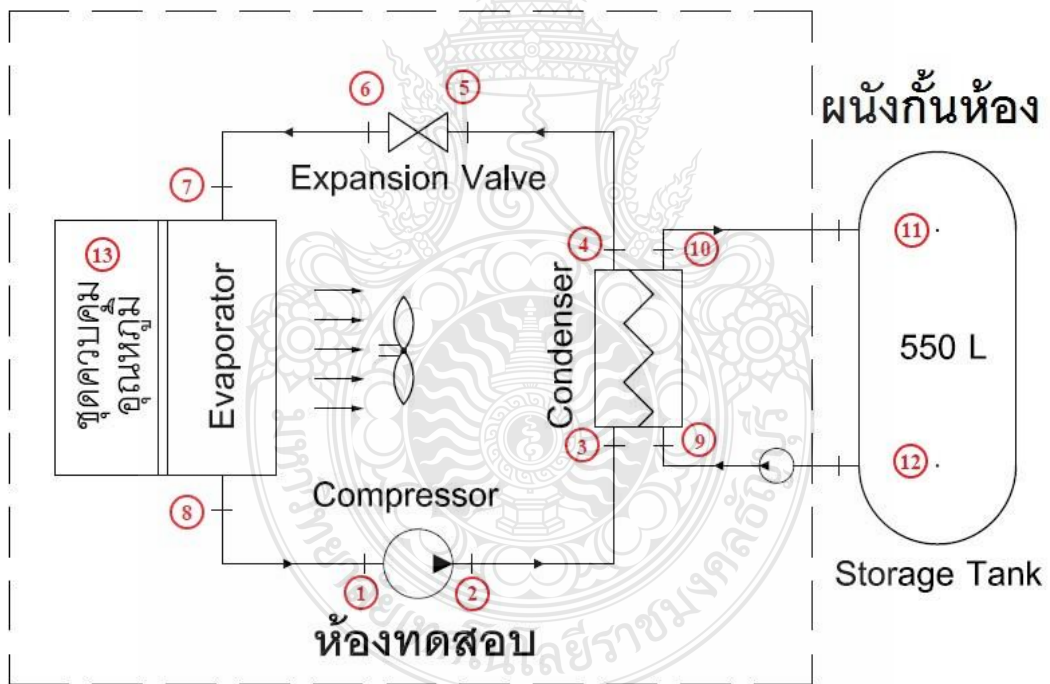
ตารางที่ ก.3 อุณหภูมิและความดันที่อัตราการไหลของสารทำความเย็น (\dot{m}_r) = 0.0837 kg/s

สภาวะทดสอบ			อัตราการไหลของน้ำ (\dot{m}_w) = 0.13 kg/s					อุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าฮีวโปรเตอร์ (T_a) = 30 °C							
เวลา (min)	ความดัน(Bar)		อุณหภูมิ (°C)												
	High	Low	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13
0	-	-	29.10	29.00	28.50	28.60	28.40	28.10	27.20	27.50	30.00	29.60	30.10	30.10	30.10
1	14.00	2.80	10.50	51.20	48.40	47.00	45.00	31.90	23.90	10.20	29.90	47.00	30.00	30.10	29.90
2	14.00	2.80	8.10	54.00	51.70	49.70	47.40	29.20	20.60	7.90	29.90	50.00	30.20	30.20	29.90
3	14.00	2.80	8.10	57.20	54.10	50.70	47.80	27.90	19.70	7.90	29.90	51.00	30.30	30.40	30.00
4	14.00	2.80	7.20	59.90	56.10	51.40	48.00	26.70	18.50	7.10	29.70	52.00	30.10	30.30	30.20
5	14.00	2.80	6.60	61.20	57.30	51.90	48.00	25.80	17.70	6.60	29.50	52.60	30.20	30.30	29.90
6	15.00	2.60	6.50	62.50	58.50	52.40	48.10	25.00	17.20	6.40	29.60	53.10	30.20	30.40	30.20
7	15.00	2.60	6.30	63.30	59.30	52.60	47.90	24.70	16.90	6.20	29.50	53.40	30.30	30.50	29.90
8	15.00	2.60	6.00	63.90	59.80	52.80	47.80	24.00	16.50	6.00	29.40	53.70	30.10	30.30	29.90
9	15.00	2.60	6.40	64.30	60.20	52.90	47.80	24.50	16.80	6.50	29.40	53.90	30.20	30.50	30.20
10	15.00	2.60	6.30	64.30	60.10	52.70	47.70	24.30	16.70	6.40	29.30	53.60	30.40	30.60	31.00
11	15.00	2.60	5.90	64.30	60.10	52.70	47.60	24.40	16.60	6.20	29.30	53.50	30.30	31.00	30.10
12	15.00	2.60	6.00	64.30	60.00	52.60	47.50	24.40	16.60	6.20	29.20	53.50	30.70	31.00	29.70
13	15.00	2.60	6.20	64.30	60.10	52.70	47.50	24.50	16.70	6.30	29.20	53.40	30.80	31.30	29.50
14	15.00	2.60	6.10	64.30	60.10	52.50	47.30	24.50	16.60	6.30	29.20	53.20	31.00	31.70	30.10
15	15.00	2.60	6.00	64.10	59.90	52.50	47.00	24.60	16.60	6.90	29.10	53.20	31.50	31.70	30.40
16	15.00	2.60	5.80	64.20	59.90	52.60	46.90	24.70	16.60	7.30	29.10	53.20	31.70	32.20	29.60
17	15.00	2.60	5.90	64.20	60.10	52.60	46.90	24.80	16.60	7.30	29.00	53.20	32.20	32.90	29.70
18	15.00	2.60	5.70	64.20	60.00	52.60	46.90	24.50	16.50	6.70	29.20	53.40	32.60	33.20	30.20
19	15.00	2.60	5.60	64.20	60.20	52.70	46.90	24.30	16.10	6.50	29.20	53.40	32.90	33.70	30.30
20	15.00	2.60	5.50	64.30	60.20	52.70	46.90	23.90	15.80	6.20	29.10	53.40	33.90	34.60	29.60
21	15.00	2.60	5.50	64.30	60.20	52.60	46.90	23.00	15.50	6.00	29.20	53.40	34.40	35.20	29.50
22	15.00	2.60	5.40	64.10	60.20	52.40	46.80	22.60	15.20	5.80	29.20	53.30	35.30	35.50	29.60
23	15.00	2.60	5.50	64.10	60.10	52.40	46.70	22.40	15.10	5.60	29.20	53.20	35.80	37.00	30.30
24	15.00	2.60	5.70	64.20	60.10	52.40	46.70	22.20	15.10	5.90	29.20	53.20	37.40	37.60	30.50
25	15.00	2.60	5.60	64.30	60.20	52.50	46.90	22.20	15.20	5.70	29.20	53.30	37.90	38.30	30.40
26	15.00	2.60	5.60	64.40	60.20	52.70	47.00	22.30	15.20	5.80	29.20	53.40	39.20	39.20	30.10
27	15.00	2.60	5.30	64.30	60.20	52.60	47.10	22.70	15.40	5.50	29.10	53.40	39.10	40.10	29.90
28	15.00	2.60	5.50	64.50	60.20	52.40	47.00	23.10	15.50	5.50	29.20	53.30	40.00	41.10	29.70
29	15.00	2.60	5.60	64.50	60.20	52.40	47.00	23.50	15.80	5.60	29.20	53.20	41.10	41.90	30.20
30	15.00	2.60	5.50	64.30	60.00	52.30	46.90	23.70	15.90	5.50	29.20	53.10	41.50	42.40	29.80
31	15.00	2.60	5.60	64.20	59.80	52.30	46.60	24.10	16.00	6.50	29.30	53.10	42.30	43.10	29.70
32	15.00	2.60	5.30	63.80	59.80	52.20	46.40	24.10	15.90	6.60	29.20	53.10	42.90	43.70	29.60
33	15.00	2.60	5.20	63.90	59.80	52.30	46.40	23.50	15.70	6.10	29.30	53.00	43.80	44.40	29.40
34	15.00	2.60	5.30	64.00	60.20	52.50	46.50	23.10	15.40	6.00	29.20	53.10	44.60	44.70	29.70
35	15.00	2.60	5.30	64.00	60.20	52.40	46.50	22.60	15.10	5.80	29.20	53.10	44.80	45.50	29.90
36	15.00	2.60	5.40	64.10	60.20	52.40	46.50	22.10	14.90	5.60	29.20	53.10	45.20	45.60	29.90
37	15.00	2.60	5.40	64.20	60.30	52.40	46.70	21.90	14.80	5.50	29.30	53.10	45.90	46.40	29.90
38	15.00	2.60	5.30	64.40	60.40	52.60	47.00	22.00	14.90	5.40	29.20	53.30	46.00	46.70	29.90
39	15.00	2.60	5.30	64.50	60.40	52.50	47.00	22.40	15.10	5.40	29.10	53.00	46.30	47.00	29.50
40	15.00	2.60	5.10	64.50	60.20	52.40	47.00	23.00	15.30	5.30	29.30	53.10	46.90	47.30	29.80
41	15.00	2.60	5.40	64.60	60.30	52.50	46.90	23.50	15.70	5.30	29.40	53.10	47.10	47.90	29.40

ตารางที่ ก.3 อุณหภูมิและความดันที่อัตราการไหลของสารทำความเย็น (\dot{m}_r) = 0.0837 kg/s (ต่อ)

เวลา (min)	สภาวะทดสอบ		อัตราการไหลของน้ำ (\dot{m}_w) = 0.13 kg/s							อุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าวาโปเรเตอร์ (T_a) = 30 °C					
	High	Low	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13
42	15.00	2.60	5.60	64.60	60.20	52.50	46.80	23.80	15.70	5.70	29.50	53.20	47.50	48.10	29.90
43	15.00	2.60	5.10	64.30	60.20	52.50	46.60	23.90	15.70	6.40	29.70	53.30	47.80	48.30	29.60
44	15.00	2.60	5.00	64.30	60.40	52.50	46.50	23.80	15.70	6.20	29.80	53.30	48.30	48.40	30.10
45	15.00	2.60	5.00	64.40	60.40	52.60	46.50	23.00	15.20	5.70	30.10	53.50	48.50	48.90	30.40
46	15.50	2.60	5.10	64.50	60.40	52.70	46.80	22.10	14.60	5.10	30.40	53.40	48.70	49.10	30.00
47	15.50	2.60	5.30	65.00	60.90	52.80	47.00	21.60	14.50	5.20	30.40	53.70	48.80	49.10	29.90
48	15.50	2.60	5.60	65.40	61.40	53.30	47.40	21.70	14.60	5.60	30.70	54.10	49.00	49.30	30.10
49	15.50	2.60	5.50	65.70	61.80	53.50	47.50	21.90	14.70	5.60	31.10	54.40	49.10	49.50	30.40
50	15.50	2.60	5.40	66.10	61.90	53.90	47.90	22.20	14.80	5.50	31.40	54.70	49.50	49.80	30.00
51	16.00	2.60	5.40	66.40	62.40	54.20	48.10	22.10	14.70	5.40	31.60	54.90	49.50	49.60	29.40
52	16.00	2.60	5.20	66.90	62.70	54.60	48.40	22.10	14.70	5.40	32.30	55.30	49.70	50.00	29.90
53	16.00	2.60	5.40	67.60	63.40	55.00	48.70	22.00	14.70	5.50	32.40	55.60	49.60	49.80	29.30
54	16.00	2.60	5.50	68.20	64.00	55.40	49.00	22.20	14.80	5.70	33.10	56.10	49.80	50.10	29.70
55	16.00	2.60	5.40	68.70	64.40	56.00	49.50	22.90	15.10	5.50	33.60	56.70	49.80	50.10	29.90
56	18.00	2.80	5.30	69.30	64.90	56.30	49.60	22.70	14.90	5.60	34.20	57.30	50.00	50.20	30.10
57	18.00	2.80	5.30	70.30	65.80	56.90	49.90	23.80	15.70	6.40	34.80	58.00	50.10	50.40	29.40
58	18.00	2.80	5.90	71.20	66.60	57.60	50.60	25.90	17.10	7.40	35.50	58.70	50.30	50.60	29.90
59	18.00	2.80	6.50	72.40	67.50	58.20	51.50	25.80	17.00	6.90	36.20	59.50	50.30	50.60	29.90
60	18.00	2.80	6.20	73.30	68.60	58.90	52.40	24.20	16.20	6.30	36.90	60.20	50.40	50.70	30.00
61	19.00	2.80	6.10	73.90	69.20	59.40	52.60	22.90	15.30	6.30	37.60	60.80	50.70	51.00	29.60
62	19.00	2.80	6.00	74.60	69.90	60.10	52.80	26.20	17.60	7.60	38.00	61.40	50.70	51.00	30.20
63	19.00	2.80	7.00	75.80	70.70	60.70	53.80	26.60	17.70	7.30	38.70	62.20	51.00	51.30	30.50
64	19.00	2.80	6.60	76.70	71.70	61.30	54.50	23.80	16.10	6.80	39.20	62.90	51.00	51.30	30.30
65	19.00	2.80	6.50	77.20	72.30	61.80	54.40	25.90	17.40	7.40	39.90	63.40	51.30	51.40	30.40
66	19.00	2.80	7.30	78.10	72.80	62.30	55.30	27.00	18.50	7.90	40.40	63.90	51.20	51.60	29.80
67	19.00	2.80	6.90	78.60	73.60	62.70	55.60	23.80	16.30	7.20	41.00	64.40	51.40	51.70	30.10

ภาคผนวก ข
ตารางบันทึกข้อมูล
ผลจากการเปลี่ยนอัตราการไหลของน้ำ (\dot{m}_w) และ
ผลจากการเปลี่ยนอุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าอีวาโปเรเตอร์ (T_a)



ตารางที่ ข.1 อุณหภูมิและความดันที่อัตราการไหลของน้ำ (\dot{m}_w) = 0.13 kg/s และอุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าอีวาโปเรเตอร์ (T_a) = 25 °C

เวลา (min)	ความดัน(Bar)		อุณหภูมิ (°C)												
	High	Low	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13
0	-	-	26.20	27.10	30.30	30.50	26.20	25.20	23.90	23.40	31.10	31.30	31.60	31.70	25.90
1	13.50	2.80	16.20	39.10	34.90	30.40	26.20	25.20	23.90	23.40	31.40	32.50	31.60	31.70	26.10
2	13.50	2.80	9.60	49.10	45.80	43.70	42.30	31.10	23.60	9.50	31.40	43.00	31.60	31.70	25.40
3	13.50	2.80	6.30	53.40	50.60	49.60	47.90	29.90	21.00	6.30	31.10	49.70	31.60	31.80	26.20
4	13.50	2.80	6.50	55.20	52.30	50.20	48.50	28.10	19.30	6.70	31.00	50.70	31.70	32.40	26.90
5	13.50	2.80	5.60	59.60	55.70	52.10	49.30	25.90	17.50	5.40	31.00	52.00	32.20	32.90	26.60
6	15.00	2.40	4.80	63.00	58.80	53.50	49.90	24.80	16.40	4.50	30.90	53.70	32.70	33.40	25.60
7	15.00	2.40	4.30	64.50	60.20	54.10	49.90	23.80	15.50	4.20	30.80	54.40	33.30	34.30	25.90
8	15.00	2.40	4.40	66.30	61.60	54.50	49.80	23.30	15.20	4.10	30.80	55.10	33.30	33.60	26.50
9	15.00	2.40	4.50	67.50	62.70	54.90	49.60	22.80	15.00	4.20	30.90	55.70	34.20	34.50	26.50
10	15.00	2.40	4.10	67.80	63.10	54.90	49.90	23.00	15.10	4.00	30.80	56.00	33.90	34.80	25.30
11	15.00	2.40	3.50	66.40	62.30	54.20	49.10	22.00	14.10	3.10	30.90	55.20	34.80	35.40	24.90
12	15.50	2.40	3.50	66.20	61.60	54.20	48.50	21.70	13.90	3.50	30.70	54.90	35.90	35.80	25.70
13	15.50	2.40	4.40	67.80	62.70	54.50	48.80	20.70	13.90	4.60	30.80	55.60	35.80	37.00	26.10
14	15.50	2.40	4.70	68.10	63.30	54.70	49.30	21.20	14.20	4.70	30.80	55.90	37.10	37.30	26.00
15	15.50	2.40	3.40	67.50	62.90	54.50	49.20	22.70	14.30	2.80	30.80	55.50	37.10	37.70	24.70
16	15.50	2.40	3.00	66.70	62.00	54.40	48.90	21.60	13.70	2.90	30.80	55.20	37.80	38.60	25.40
17	15.50	2.40	3.90	67.30	62.50	54.40	48.10	23.40	14.70	5.80	30.90	55.50	38.80	39.30	25.90
18	15.80	2.40	4.50	67.80	63.00	54.60	48.50	24.00	15.10	6.60	30.90	55.80	39.30	40.40	26.00
19	15.80	2.40	3.50	67.40	63.00	54.40	48.90	22.10	14.00	3.40	30.90	55.50	40.10	40.90	24.70
20	15.80	2.40	2.90	66.60	62.10	54.00	48.30	21.70	13.40	2.50	30.90	55.10	41.00	42.00	24.90
21	15.80	2.40	3.60	67.40	62.60	54.40	48.40	19.90	13.30	3.60	30.90	55.50	41.40	42.10	25.70
22	15.80	2.40	4.10	68.10	63.10	54.40	48.80	21.10	13.70	4.10	30.90	56.00	42.40	42.50	25.90
23	15.80	2.40	2.90	67.80	63.00	54.40	49.10	22.10	13.90	2.80	31.00	55.80	42.70	43.20	24.90
24	15.50	2.40	2.20	66.60	62.00	53.90	48.50	21.20	13.10	1.90	31.00	55.10	43.30	43.60	24.00
25	15.50	2.40	1.20	65.30	61.20	53.00	47.80	20.50	12.20	0.70	30.90	54.10	43.80	44.30	24.00
26	15.50	2.40	1.50	65.00	60.50	52.80	47.00	19.60	11.70	1.10	30.90	53.70	44.40	45.00	25.10
27	15.50	2.40	5.00	68.20	62.50	53.70	46.90	20.60	12.60	4.40	31.00	54.90	44.70	46.20	25.60
28	15.50	2.40	3.90	70.40	65.20	54.20	46.90	18.90	12.60	3.90	31.00	56.40	45.00	45.50	25.00
29	15.50	2.40	3.80	69.50	64.80	54.70	48.20	23.50	14.50	5.60	31.00	56.50	45.40	46.50	24.10
30	15.50	2.40	2.90	68.40	64.10	54.70	48.60	20.50	12.70	2.90	31.00	55.90	45.90	46.80	24.30
31	15.50	2.40	4.10	69.10	64.40	54.90	48.60	19.60	13.00	4.20	31.10	56.40	46.20	46.80	25.30
32	15.50	2.40	5.10	70.10	65.30	55.30	49.30	21.90	14.40	4.90	31.20	57.00	46.80	47.50	25.60
33	15.50	2.40	4.40	70.00	65.40	55.60	50.10	22.40	14.50	4.40	31.40	57.00	47.20	47.50	25.00
34	15.50	2.40	3.10	68.70	64.40	55.20	49.60	22.40	13.80	2.90	31.50	56.40	47.00	47.30	24.10
35	15.50	2.40	3.40	68.50	63.80	55.20	49.30	22.20	13.80	3.10	31.40	56.20	47.60	48.20	25.00
36	16.00	2.40	3.90	69.10	64.50	55.30	48.50	23.20	14.30	5.50	31.50	56.80	47.80	48.00	25.40
37	16.00	2.40	3.50	68.70	64.30	55.20	49.30	21.60	13.60	3.80	31.60	56.50	48.60	48.50	25.50
38	16.00	2.40	2.40	68.60	63.90	55.00	49.60	21.90	13.60	2.20	31.60	56.20	48.40	49.10	24.00
39	16.00	2.40	2.00	67.40	62.90	54.50	48.90	21.00	12.90	1.80	31.80	55.50	48.60	49.60	24.20
40	16.00	2.40	2.60	68.00	63.20	54.80	48.60	19.70	12.40	2.40	31.80	55.90	49.20	48.90	25.00

ตารางที่ ข.1 อุณหภูมิและความดันที่อัตราการไหลของน้ำ (m_w) = 0.13 kg/s และอุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าฮีวโปรเตอร์ (T_a) = 25 °C (ต่อ)

เวลา (min)	ความดัน(Bar)		อุณหภูมิ (°C)												
	High	Low	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13
41	16.00	2.40	4.10	69.50	64.30	55.30	48.90	22.50	14.10	4.20	32.10	56.70	49.10	50.00	25.30
42	16.00	2.40	3.10	69.70	64.70	55.50	49.80	22.70	14.00	3.10	32.10	56.70	49.60	50.00	24.80
43	16.00	2.20	2.20	69.00	64.40	55.40	49.60	20.70	12.90	2.10	32.30	56.40	49.50	50.10	23.40
44	16.00	2.20	2.50	69.10	64.20	55.50	48.80	22.50	13.60	4.20	32.40	56.50	49.70	50.20	24.60
45	16.00	2.20	3.30	70.10	65.30	55.80	48.90	21.50	13.40	4.80	32.80	57.30	49.90	50.30	24.90
46	16.00	2.20	3.30	70.80	65.90	56.50	50.10	22.60	14.10	4.40	33.20	57.70	50.00	50.50	24.50
47	16.00	2.20	2.10	70.60	65.70	56.40	50.70	21.10	13.10	2.20	33.60	57.70	50.30	50.60	23.80
48	16.00	2.20	2.60	70.80	65.80	56.70	50.00	23.00	13.90	4.10	34.00	58.00	50.40	51.10	24.50
49	17.00	2.40	3.40	71.90	66.80	57.20	50.00	22.70	13.50	4.80	34.50	58.80	50.60	51.10	25.00
50	17.00	2.40	3.60	73.00	67.90	58.20	51.30	24.20	14.60	5.20	34.90	59.70	50.90	51.10	24.90
51	17.00	2.40	2.90	73.20	68.20	58.50	52.20	21.70	13.50	2.80	35.40	59.90	51.00	51.50	23.70
52	17.00	2.40	2.90	74.10	68.40	58.90	52.60	22.00	13.80	3.10	36.00	60.40	51.20	51.80	24.40
53	17.00	2.40	4.80	76.00	70.10	59.80	52.90	24.10	15.20	5.00	36.60	61.80	51.20	51.70	25.00
54	17.50	2.40	4.90	77.30	71.50	60.70	54.30	24.10	15.50	5.10	37.10	62.70	51.60	52.00	25.00
55	17.50	2.40	3.40	77.30	71.80	61.00	55.10	23.60	14.80	3.40	37.70	62.90	51.80	52.60	24.10
56	17.50	2.40	4.80	78.40	72.80	61.60	54.40	25.10	15.70	5.20	38.50	63.40	52.10	52.60	24.60
57	17.50	2.40	5.60	79.90	74.60	62.40	54.60	26.70	16.80	7.90	38.80	64.60	52.40	52.90	25.10
58	18.50	2.40	5.50	81.10	76.00	63.30	55.30	26.90	17.00	7.60	39.30	65.50	52.40	52.60	25.00



ตารางที่ ข.2 อุณหภูมิและความดันที่อัตราการไหลของน้ำ (m_w) = 0.23 kg/s และอุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าอีวาโปเรเตอร์ (T_a) = 25 °C

เวลา (min)	ความดัน(Bar)		อุณหภูมิ (°C)												
	High	Low	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13
0	-	-	24.60	24.80	26.20	25.30	24.40	23.50	21.80	22.00	29.30	28.40	30.10	30.30	23.40
1	10.00	2.00	6.60	42.20	38.20	36.10	31.50	28.30	22.30	6.20	29.80	36.50	30.20	30.30	23.70
2	10.00	2.00	2.20	41.70	37.60	39.10	36.70	22.80	15.80	2.00	29.70	38.60	30.20	30.70	24.20
3	10.00	2.00	0.90	42.50	38.10	39.40	36.50	20.30	12.80	0.70	29.80	38.60	30.50	30.70	24.40
4	10.00	2.00	0.30	44.70	39.90	39.80	36.40	18.80	11.40	0.10	30.00	38.80	30.90	30.90	24.40
5	10.00	2.00	-0.20	46.50	41.20	40.00	36.20	17.60	10.30	-0.30	30.00	39.20	30.90	31.30	24.70
6	10.50	1.90	-0.60	47.70	41.90	40.30	36.00	16.90	9.40	-0.80	30.30	39.50	31.40	31.60	24.70
7	10.50	1.90	-0.80	48.30	42.30	40.70	35.80	16.30	9.00	-1.00	30.40	39.80	31.80	31.80	24.90
8	10.50	1.90	-1.00	48.90	42.90	41.00	35.90	15.90	8.80	-1.10	30.50	40.20	32.20	32.40	24.80
9	10.50	1.90	-1.00	49.40	43.20	41.40	35.90	15.70	8.60	-1.10	30.80	40.60	32.50	32.70	25.00
10	10.50	1.90	-1.00	49.90	43.50	41.50	35.90	15.50	8.50	-1.20	30.90	40.80	32.80	33.10	25.00
11	11.00	1.90	-1.00	50.00	43.90	41.80	36.00	15.30	8.50	-1.10	31.00	41.00	33.30	33.50	25.20
12	11.00	1.90	-1.00	50.30	44.10	42.10	36.10	15.50	8.60	-1.10	31.30	41.30	33.70	33.90	25.10
13	11.00	1.90	-0.80	50.50	44.50	42.30	36.20	15.00	8.60	-0.80	31.40	41.60	34.00	34.20	25.30
14	11.00	1.90	-1.00	51.10	44.70	42.50	36.50	15.80	8.90	-1.10	31.80	41.70	34.00	34.50	25.30
15	11.00	1.90	-0.80	51.40	45.00	42.80	36.60	15.90	8.80	-1.00	31.90	42.20	34.50	34.70	25.30
16	11.50	1.90	-0.80	51.50	45.40	42.80	36.60	15.30	8.50	-0.70	32.30	42.10	34.90	35.10	25.30
17	11.50	1.90	-0.70	52.10	45.60	43.30	36.80	14.70	8.40	-0.70	32.60	42.40	35.20	35.50	25.20
18	11.50	1.90	-1.10	52.40	45.90	43.40	37.20	15.30	8.60	-1.10	32.70	42.80	35.40	35.80	25.30
19	11.50	1.90	-1.00	52.90	46.30	43.80	37.40	16.10	9.00	-1.20	33.20	43.20	35.80	36.00	25.40
20	11.50	1.90	-0.90	53.00	46.50	44.10	37.40	16.20	8.90	-0.10	33.30	43.30	36.10	36.50	25.40
21	12.00	1.80	-0.80	53.40	46.90	44.40	37.70	15.50	8.60	-0.40	33.60	43.60	36.50	36.70	25.40
22	12.00	1.80	-1.10	53.70	47.60	44.70	38.30	15.10	8.40	-1.20	34.20	43.80	36.80	37.10	25.50
23	12.00	1.80	-1.60	53.40	47.30	44.70	38.20	15.50	8.20	-1.80	34.40	43.80	36.90	37.40	25.70
24	12.00	1.80	-1.60	53.70	47.50	45.00	38.30	15.20	8.10	-1.90	34.60	44.00	37.30	37.70	25.70
25	12.00	1.80	-1.60	54.00	47.70	45.10	38.40	15.20	8.10	-2.00	34.80	44.20	37.40	37.90	25.70
26	12.00	1.80	-1.70	54.40	48.00	45.60	38.50	15.60	8.20	-2.00	35.20	44.60	37.90	38.30	25.70
27	12.00	1.80	-1.50	54.80	48.40	45.80	38.70	15.20	8.10	-1.80	35.50	45.00	38.40	38.50	25.90
28	12.00	1.80	-1.70	55.40	48.90	46.00	39.00	15.70	8.30	-2.00	35.70	45.20	38.40	38.90	25.80
29	12.00	1.80	-1.50	56.10	49.40	46.40	39.00	16.30	8.50	-1.00	36.10	45.60	38.90	39.20	25.80
30	12.00	1.80	-1.20	56.20	49.80	46.60	39.20	15.80	8.30	-0.60	36.40	45.90	39.20	39.40	25.80
31	12.50	1.80	-1.10	56.60	50.10	46.90	39.50	15.20	8.20	-1.20	36.60	46.10	39.50	39.70	25.80
32	12.50	1.80	-1.20	56.70	50.10	47.00	39.50	15.40	8.30	-1.20	36.60	46.10	39.50	39.70	25.80
33	12.50	1.80	-1.10	57.10	50.40	47.10	39.80	15.00	8.30	-1.20	36.80	46.30	39.70	40.00	25.80
34	12.50	1.80	-1.20	57.60	50.90	47.50	40.20	15.30	8.60	-1.20	37.30	46.60	40.10	40.50	25.80
35	12.50	1.80	-1.20	58.00	51.00	47.60	40.40	16.20	8.90	-1.40	37.50	46.80	40.60	40.70	25.40
36	13.00	1.80	-1.40	58.20	51.30	47.90	40.70	16.90	9.00	-1.60	37.80	47.10	40.80	41.00	24.60
37	13.00	1.80	-1.40	58.20	51.40	48.20	40.70	16.20	8.50	-1.80	38.10	47.50	41.00	41.10	24.50
38	13.00	1.80	-1.80	58.20	51.30	48.30	40.80	15.70	8.20	-2.00	38.20	47.30	41.10	41.40	24.20
39	13.00	1.80	-1.80	58.50	51.50	48.40	41.00	15.90	8.20	-2.20	38.60	47.50	41.20	41.80	23.70
40	13.00	1.80	-2.00	58.80	51.70	48.80	41.20	15.70	8.10	-2.30	38.80	47.80	41.70	42.00	23.80

ตารางที่ ข.2 อุณหภูมิและความดันที่อัตราการไหลของน้ำ (m_w) = 0.23 kg/s และอุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าฮีวโปรเตอร์ (T_a) = 25 °C (ต่อ)

เวลา (min)	ความดัน(Bar)		อุณหภูมิ (°C)												
	High	Low	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13
41	13.50	1.80	-2.10	58.90	51.90	48.80	41.00	15.50	7.80	-2.50	39.00	48.00	42.00	42.30	23.90
42	13.50	1.80	-2.10	59.60	52.30	49.20	41.30	15.60	7.90	-2.40	39.30	48.40	42.30	42.60	24.10
43	13.50	1.80	-1.80	60.10	52.90	49.60	41.00	16.00	8.10	-1.50	39.80	48.80	42.50	42.90	24.40
44	13.50	1.80	-1.40	60.80	53.60	49.80	41.10	17.40	8.80	0.30	40.10	49.20	43.00	43.20	24.60
45	13.50	1.80	-0.90	61.60	54.00	50.20	42.20	17.60	9.20	-0.10	40.30	49.50	43.00	43.50	24.70
46	14.00	2.00	-0.70	62.30	54.60	50.50	42.70	17.50	9.50	-0.60	40.60	49.80	43.20	43.80	24.90
47	14.00	2.00	-0.90	62.60	55.00	50.70	43.10	16.80	9.50	-0.70	40.80	50.00	43.80	44.10	25.00
48	14.00	2.00	-0.80	62.80	55.30	51.00	43.30	16.40	9.30	-0.70	41.10	50.50	44.00	44.30	25.10
49	14.00	2.00	-0.50	63.10	55.70	51.30	43.40	16.00	9.20	-0.50	41.30	50.60	44.30	44.60	25.20
50	14.00	2.00	-0.30	63.20	55.80	51.60	43.50	16.00	9.20	-0.40	41.60	50.80	44.70	44.90	25.30
51	14.50	2.00	-0.20	63.40	56.10	51.80	43.60	16.40	9.30	-0.30	42.00	51.10	44.90	45.30	25.50
52	14.50	2.00	-0.20	63.80	56.40	52.20	43.80	17.20	9.50	0.20	42.20	51.50	45.30	45.60	25.50
53	14.50	2.00	-0.20	64.10	56.70	52.30	44.10	18.70	10.10	0.80	42.20	51.80	45.70	45.80	25.50
54	14.50	2.00	-0.10	64.70	56.90	52.60	44.60	19.10	10.40	0.40	42.70	52.00	46.00	46.20	25.60
55	14.50	2.00	-0.10	65.10	57.40	52.80	45.00	19.00	10.50	-0.10	42.80	52.20	46.10	46.40	25.60
56	15.00	1.90	-0.20	65.40	57.60	53.10	45.40	18.20	10.40	-0.20	43.10	52.50	46.30	46.80	25.40
57	15.00	1.90	-0.50	65.50	57.70	53.30	45.70	17.90	10.20	-0.60	43.50	52.60	46.60	47.00	24.70
58	15.00	1.90	-0.80	65.80	58.00	53.60	45.70	17.60	9.90	-0.90	43.90	52.80	47.20	47.40	24.30
59	15.00	1.90	-1.00	66.00	58.10	53.50	45.60	17.90	9.80	-1.30	44.00	52.90	47.30	47.60	24.30
60	15.00	1.90	-0.70	66.60	58.50	53.90	45.80	18.20	10.00	-0.90	44.30	53.30	47.50	48.00	24.60
61	15.50	2.00	-0.30	67.10	59.00	54.30	46.10	17.30	10.00	-0.40	44.70	53.50	48.00	48.10	24.60
62	15.50	2.00	-0.20	67.10	59.20	54.40	45.80	16.40	9.50	-0.20	44.90	53.70	48.00	48.50	24.90
63	15.50	2.00	-0.10	67.70	59.70	54.80	45.80	18.60	10.10	0.80	45.10	54.30	48.40	48.70	25.10
64	15.50	2.00	0.20	68.40	60.20	55.00	46.80	19.60	10.90	0.30	45.40	54.50	48.70	49.00	25.30
65	15.50	2.00	0.20	68.60	60.70	55.40	47.20	17.10	10.30	0.20	45.70	54.80	49.00	49.30	25.40
66	16.00	2.00	0.20	68.60	60.70	55.60	46.80	19.00	10.50	0.80	46.00	55.00	49.20	49.70	25.40
67	16.00	2.00	0.50	69.40	61.00	55.90	47.70	20.00	11.20	0.40	46.10	55.40	49.60	49.90	25.60
68	16.00	2.00	0.40	69.60	61.70	56.10	47.90	17.80	10.60	0.30	46.50	55.60	49.70	50.10	25.60
69	16.00	2.00	0.30	69.60	61.80	56.20	47.50	18.60	10.40	0.50	46.70	55.70	50.00	50.50	25.00
70	16.00	2.00	0.30	70.20	61.90	56.60	48.10	20.50	11.30	1.10	47.00	56.10	50.50	50.70	25.20
71	16.50	2.00	0.40	70.80	62.60	56.80	48.70	17.90	10.80	0.30	47.30	56.40	50.70	51.10	25.50
72	16.50	2.00	0.40	70.80	62.80	57.20	48.20	19.60	10.80	1.10	47.50	56.70	50.90	51.30	25.50
73	16.50	2.00	0.50	71.70	63.20	57.40	49.20	20.00	11.60	0.60	47.80	57.00	51.10	51.60	25.60
74	16.50	2.00	0.80	71.80	63.50	57.80	48.90	18.10	10.70	0.90	48.10	57.10	51.40	51.80	25.70
75	16.50	2.00	0.80	72.30	63.90	57.90	49.70	21.00	11.90	0.90	48.30	57.40	51.60	52.10	25.20
76	17.00	2.10	0.60	72.20	64.00	58.00	49.80	18.50	11.00	0.50	48.50	57.50	51.90	52.40	24.70
77	17.00	2.10	0.60	72.50	64.20	58.40	49.40	20.90	11.40	1.60	48.90	57.80	52.20	52.60	25.20
78	17.00	2.10	0.80	73.30	64.80	58.50	50.30	19.00	11.40	0.90	49.10	58.10	52.60	52.90	25.50
79	17.00	2.10	0.80	73.30	65.00	58.90	49.90	21.40	12.00	2.20	49.40	58.40	52.70	53.20	25.60
80	17.00	2.10	1.10	74.00	65.60	59.00	50.70	18.50	11.40	1.10	49.60	58.60	53.10	53.50	25.80
81	18.00	2.10	1.40	74.40	65.80	59.30	50.90	21.80	12.50	2.00	49.80	58.90	53.40	53.70	25.80

ตารางที่ ข.2 อุณหภูมิและความดันที่อัตราการไหลของน้ำ (m_w) = 0.23 kg/s และอุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าฮีวโปรเตอร์ (T_a) = 25 °C (ต่อ)

เวลา (min)	ความดัน(Bar)		อุณหภูมิ (°C)												
	High	Low	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13
82	18.00	2.10	1.30	74.40	66.10	59.60	50.70	19.00	11.30	1.50	50.20	59.30	53.80	54.00	25.80
83	18.00	2.10	1.30	75.30	66.60	60.00	51.70	20.30	12.20	1.40	50.50	59.50	53.90	54.20	26.00
84	18.00	2.10	1.20	75.10	66.60	60.10	51.30	22.20	12.40	2.50	50.60	59.70	54.20	54.60	25.20
85	18.00	2.10	1.10	75.60	67.00	60.40	51.80	18.80	11.60	1.20	50.90	59.90	54.60	54.70	25.40
86	18.50	2.20	1.50	76.00	67.30	60.50	52.00	22.00	12.70	1.60	51.10	60.00	54.70	55.10	25.50
87	18.50	2.20	1.30	76.00	67.50	60.70	51.60	20.20	11.80	1.90	51.40	60.50	54.80	55.30	25.60
88	18.50	2.20	1.40	76.70	68.00	61.10	52.50	19.40	12.00	1.50	51.60	60.50	55.20	55.70	25.80
89	18.50	2.20	1.70	77.20	68.30	61.30	52.80	22.20	13.00	1.90	51.80	60.90	55.40	55.80	25.90
90	18.50	2.20	1.50	77.40	68.70	61.90	52.80	22.60	13.00	2.50	52.00	61.30	55.70	56.10	25.00
91	18.50	2.20	1.30	77.80	69.00	61.90	53.30	19.50	12.00	1.30	52.30	61.30	55.90	56.50	24.90
92	18.50	2.20	1.40	78.00	69.10	62.10	53.20	22.60	13.00	1.80	52.70	61.50	56.40	56.60	25.00
93	18.50	2.20	1.40	78.20	69.10	62.10	53.30	22.40	13.00	1.50	52.70	61.50	56.50	56.80	25.00
94	18.50	2.20	1.60	78.20	69.50	62.30	52.70	20.40	12.00	2.10	52.80	61.80	56.40	56.90	25.30
95	18.50	2.20	1.80	78.80	70.00	62.50	53.50	18.80	11.90	1.90	53.10	61.90	56.90	57.20	25.50
96	19.00	2.20	1.70	79.20	70.30	62.80	54.20	20.80	12.80	1.70	53.20	62.20	56.90	57.50	24.70
97	19.00	2.20	1.90	79.40	70.50	63.00	54.20	22.80	13.40	2.20	53.60	62.50	57.30	57.80	24.90
98	19.00	2.20	1.70	79.80	71.00	63.60	53.70	23.00	13.10	3.10	53.80	62.90	57.60	58.00	25.20
99	19.00	2.20	2.10	80.30	71.40	63.70	54.00	20.50	12.30	2.40	54.00	63.10	58.00	58.40	25.40
100	19.00	2.20	2.10	80.70	71.70	63.90	54.60	19.30	12.20	2.10	54.40	63.50	58.30	58.80	25.30
101	19.00	2.20	1.80	81.00	71.90	64.10	55.40	20.90	12.90	1.80	54.80	63.70	58.40	59.00	25.00
102	19.00	2.20	2.10	81.30	72.10	64.30	55.20	22.90	13.60	2.10	54.70	63.60	58.60	59.10	24.70
103	19.00	2.20	2.20	81.60	72.50	64.50	55.20	23.90	14.10	4.10	55.00	64.20	58.80	59.40	25.40
104	19.00	2.20	2.20	82.00	72.90	64.90	55.30	24.60	14.20	4.10	55.10	64.50	59.20	59.50	25.40

ตารางที่ ข.3 อุณหภูมิและความดันที่อัตราการไหลของน้ำ (m_w) = 0.32 kg/s และอุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าอีวาโปเรเตอร์ (T_a) = 25 °C

เวลา (min)	ความดัน(Bar)		อุณหภูมิ (°C)												
	High	Low	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13
0	-	-	24.70	25.20	28.60	27.00	25.10	24.00	22.50	22.00	30.80	30.80	29.00	29.80	25.90
1	9.50	2.00	4.80	42.30	38.80	37.70	35.80	23.10	17.30	4.30	30.90	37.50	28.20	29.10	26.00
2	9.50	2.00	2.30	42.90	38.90	37.70	35.50	20.60	13.60	1.90	31.20	37.30	29.30	29.30	25.90
3	9.50	2.00	1.10	43.80	39.30	37.80	35.30	19.20	12.10	0.80	31.50	37.50	29.40	29.60	25.10
4	9.50	2.00	0.50	44.80	40.10	38.20	35.30	18.10	11.00	0.30	31.80	37.80	30.30	30.10	25.60
5	9.50	2.00	0.20	46.00	40.90	38.70	35.10	17.30	10.10	0.00	32.00	38.30	30.00	31.10	25.60
6	10.00	1.90	0.00	46.80	41.40	39.10	35.00	16.60	9.60	-0.30	32.40	38.70	30.50	31.30	25.80
7	10.00	1.90	-0.30	47.20	41.80	39.60	35.10	16.30	9.30	-0.60	32.80	39.20	30.70	30.70	25.40
8	10.00	1.90	-0.30	47.30	41.80	39.50	35.20	16.20	9.20	-0.60	32.80	39.10	30.70	31.00	25.40
9	10.00	1.90	-0.70	47.60	42.00	39.80	35.20	15.70	8.80	-1.10	33.00	39.40	31.30	31.60	24.90
10	10.00	1.90	-0.80	48.20	42.50	40.20	35.30	15.40	8.60	-1.20	33.40	39.70	31.00	31.90	25.30
11	11.00	1.80	-1.00	48.60	42.90	40.50	35.50	15.20	8.40	-1.20	33.90	40.20	31.70	32.20	25.50
12	11.00	1.80	-1.00	49.30	43.40	40.90	35.60	15.30	8.50	-1.30	34.10	40.30	31.50	32.20	25.30
13	11.00	1.80	-0.90	49.60	43.80	41.30	35.90	15.00	8.40	-1.20	34.50	40.80	32.70	32.60	24.80
14	11.00	1.80	-1.30	50.00	44.00	41.60	36.00	15.20	8.40	-1.50	34.90	41.10	31.70	33.10	24.90
15	11.00	1.80	-0.90	50.60	44.50	42.00	36.10	15.00	8.30	-1.30	35.30	41.50	32.50	33.00	25.10
16	11.50	1.80	-0.90	51.30	45.20	42.50	36.60	14.80	8.50	-1.00	35.80	42.00	32.80	33.50	25.20
17	11.50	1.80	-1.10	52.20	45.70	42.80	37.00	15.80	8.80	-1.30	36.10	42.40	33.90	33.90	24.90
18	11.50	1.80	-1.10	52.50	46.20	43.10	37.20	15.90	8.60	-1.30	36.50	42.70	34.00	35.20	24.60
19	11.50	1.80	-0.90	52.70	46.40	43.50	37.40	15.10	8.30	-1.30	36.90	43.10	34.30	34.60	25.10
20	11.50	1.80	-1.40	53.20	46.90	43.70	37.60	14.70	8.30	-1.50	37.20	43.40	34.10	35.00	25.20
21	12.00	1.80	-1.50	53.70	47.20	44.10	38.10	15.80	8.50	-1.70	37.60	43.80	35.00	35.80	25.20
22	12.00	1.80	-1.50	53.90	47.50	44.40	38.10	15.70	8.30	-1.90	38.10	44.20	35.90	35.60	24.70
23	12.00	1.80	-1.40	54.30	47.90	44.80	38.40	15.00	8.00	-1.70	38.40	44.60	35.30	35.90	24.70
24	12.00	1.80	-1.60	55.00	48.40	45.20	38.70	15.80	8.40	-2.00	38.80	44.90	35.60	36.90	25.10
25	12.00	1.80	-1.30	55.30	48.80	45.60	38.70	16.10	8.40	-0.60	39.30	45.40	35.90	36.60	25.10
26	13.00	1.80	-1.00	55.90	49.50	46.00	39.00	15.30	8.30	-1.30	39.50	45.60	36.70	36.70	24.70
27	13.00	1.80	-1.20	56.40	49.80	46.40	39.70	15.10	8.30	-1.40	40.00	46.00	36.20	37.30	24.80
28	13.00	1.80	-1.30	57.20	50.40	46.80	40.00	16.00	8.70	-1.40	40.30	46.30	36.60	37.50	25.00
29	13.00	1.80	-1.30	57.80	50.70	47.20	40.30	16.70	9.00	-1.30	40.70	46.70	37.00	38.20	25.10
30	13.00	1.80	-1.20	58.20	51.20	47.60	40.40	17.00	9.00	-1.10	41.10	47.10	37.60	38.10	25.10
31	13.00	1.80	-1.00	58.40	51.50	48.00	40.60	16.30	8.60	-1.00	41.40	47.50	38.50	38.50	24.80
32	13.00	1.80	-1.00	58.90	51.90	48.40	40.90	15.40	8.40	-1.20	41.80	47.70	37.80	39.10	24.90
33	13.00	1.80	-1.00	59.30	52.30	48.60	41.30	15.40	8.60	-1.10	42.10	48.10	39.20	39.30	25.10
34	13.00	1.80	-1.10	60.10	52.90	49.00	41.70	15.90	8.80	-1.10	42.60	48.50	40.30	39.80	25.10
35	13.00	1.80	-1.30	60.50	53.30	49.50	42.20	16.40	9.00	-1.40	43.00	48.90	39.60	39.60	24.70
36	14.00	1.80	-1.10	61.20	53.50	49.90	42.40	17.20	9.30	-1.30	43.30	49.10	39.40	40.40	24.80
37	14.00	1.80	-0.90	61.60	54.10	50.20	42.60	17.70	9.40	-1.00	43.50	49.50	40.00	40.80	24.90
38	14.00	1.80	-0.70	62.10	54.40	50.60	42.90	18.00	9.50	-0.60	44.00	49.90	40.30	41.20	25.00
39	14.00	1.80	-0.90	62.50	54.80	51.00	43.10	17.90	9.50	-0.50	44.20	50.20	39.90	40.80	24.50
40	14.00	1.80	-0.90	62.80	55.20	51.30	43.20	17.90	9.30	0.00	44.60	50.50	40.30	41.40	24.70

ตารางที่ ข.3 อุณหภูมิและความดันที่อัตราการไหลของน้ำ (m_w) = 0.32 kg/s และอุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าฮีวโปรเตอร์ (T_a) = 25 °C (ต่อ)

เวลา (min)	ความดัน(Bar)		อุณหภูมิ (°C)												
	High	Low	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13
41	14.50	1.80	-0.70	63.10	55.50	51.60	43.40	17.90	9.40	0.00	45.00	50.90	40.90	41.70	24.90
42	14.50	1.80	-0.70	63.70	56.10	52.00	43.70	18.00	9.60	0.30	45.40	51.30	40.90	42.10	25.20
43	14.50	1.80	-0.70	64.20	56.60	52.40	44.10	18.00	9.60	0.00	45.60	51.50	41.70	41.90	24.60
44	14.50	1.80	-0.80	64.50	56.70	52.70	44.20	17.90	9.50	0.00	45.90	51.80	41.30	42.20	24.40
45	14.50	1.80	-0.70	65.10	57.20	53.00	44.50	18.10	9.60	0.10	46.30	52.20	43.00	42.70	24.80
46	15.50	1.80	-0.70	65.60	57.80	53.40	44.90	18.80	9.80	0.60	46.80	52.50	42.60	43.20	24.90
47	15.50	1.80	-0.60	66.20	58.20	53.70	45.30	19.00	10.10	-0.10	47.10	52.80	42.80	43.90	24.70
48	15.50	1.80	-0.50	66.70	58.60	54.10	45.60	19.00	10.10	-0.40	47.50	53.20	42.90	44.10	24.40
49	15.50	1.80	-0.40	67.30	59.00	54.40	46.00	19.10	10.30	-0.30	47.80	53.50	44.00	44.40	24.70
50	15.50	1.80	-0.30	67.90	59.60	54.70	46.50	18.80	10.40	-0.30	48.20	53.80	43.90	44.50	24.90
51	16.00	1.90	-0.40	68.20	60.00	55.10	46.80	17.20	10.00	-0.20	48.50	54.20	44.50	44.60	25.10
52	16.00	1.90	-0.10	68.60	60.50	55.40	46.70	16.90	9.60	-0.10	48.80	54.60	44.20	45.00	25.10
53	16.00	1.90	0.00	69.00	60.90	55.90	46.90	18.90	10.30	0.70	49.20	55.00	44.70	46.30	25.20
54	16.00	1.90	0.20	69.90	61.30	56.20	47.70	20.10	11.00	0.50	49.60	55.30	45.30	45.50	25.30
55	16.00	1.90	0.10	70.20	61.80	56.40	48.20	18.00	10.60	0.10	49.80	55.50	45.70	45.80	25.40
56	16.50	2.00	0.30	70.30	62.20	56.80	47.80	18.20	10.20	0.40	50.10	56.00	45.20	45.60	25.50
57	16.50	2.00	0.20	71.10	62.60	57.20	48.60	20.60	11.40	1.50	50.60	56.30	45.10	46.40	25.50
58	16.50	2.00	0.20	71.70	63.00	57.50	49.10	18.60	10.90	0.30	50.90	56.60	46.20	46.20	25.50
59	16.50	2.00	0.40	71.80	63.40	57.90	48.70	18.40	10.50	0.60	51.30	57.00	46.60	47.20	25.60
60	16.50	2.00	0.60	72.50	63.80	58.20	49.60	20.90	11.70	0.90	51.50	57.30	46.80	47.60	25.60
61	17.50	2.00	0.50	72.90	64.40	58.50	49.80	17.80	10.80	0.60	51.90	57.60	47.80	47.50	25.60
62	17.50	2.00	0.60	73.30	64.80	58.90	50.00	21.50	11.90	2.30	52.10	58.00	47.20	48.20	25.60
63	17.50	2.00	0.50	73.90	65.10	59.30	50.60	18.60	11.40	0.60	52.50	58.20	49.20	48.90	25.60
64	17.50	2.00	0.70	74.10	65.50	59.60	50.40	21.60	12.00	2.30	53.00	58.80	47.40	49.10	25.70
65	17.50	2.00	0.70	75.00	66.20	60.00	51.40	19.00	11.50	1.00	53.20	58.90	48.20	49.00	25.70
66	18.00	2.20	0.90	75.30	66.50	60.40	51.10	22.00	12.30	2.60	53.70	59.60	48.70	50.40	25.80
67	18.00	2.20	1.00	75.90	67.00	60.50	51.70	18.60	11.40	1.00	54.00	59.70	48.80	49.50	25.80
68	18.00	2.20	1.10	76.40	67.20	61.00	52.10	22.20	12.60	2.10	54.30	60.10	49.00	50.20	25.90
69	18.00	2.20	1.10	76.40	67.20	61.00	52.10	22.20	12.60	2.10	54.30	60.10	49.00	50.20	25.90
70	18.00	2.20	1.20	76.60	67.70	61.20	51.80	18.90	11.30	1.20	54.70	60.40	49.80	49.80	25.90
71	19.00	2.00	1.10	77.50	68.40	61.60	52.90	20.80	12.40	1.20	55.10	60.70	50.10	51.10	25.90
72	19.00	2.00	0.90	77.50	68.70	62.00	52.50	21.70	12.20	2.00	55.30	61.10	49.50	51.00	25.50
73	19.00	2.00	0.80	78.40	69.10	62.30	53.40	20.10	12.00	1.00	55.60	61.30	50.80	51.60	25.20
74	19.00	2.00	1.10	78.70	69.40	62.50	52.90	22.90	12.80	2.90	56.00	61.70	51.00	52.40	25.40
75	19.00	2.00	1.30	79.00	70.00	62.80	53.10	19.30	11.40	1.50	56.20	62.00	51.40	51.80	25.70
76	20.00	2.10	1.20	79.90	70.40	63.10	54.30	19.70	12.20	1.50	56.70	62.30	52.10	52.10	25.50
77	20.00	2.10	1.20	80.10	70.70	63.40	54.20	22.80	13.00	1.80	56.90	62.70	51.10	52.80	25.20
78	20.00	2.10	1.30	80.50	71.20	63.80	53.80	20.70	12.00	2.00	57.30	63.20	52.70	53.20	25.50
79	20.00	2.10	1.60	81.20	71.80	64.00	54.70	19.10	11.90	1.60	57.50	63.30	52.90	52.70	25.60
80	20.00	2.10	1.50	81.80	72.00	64.40	55.40	20.90	13.00	1.60	57.90	63.70	52.30	53.10	25.40
81	20.00	2.10	1.40	82.00	72.30	64.70	55.30	23.30	13.30	2.70	58.20	64.00	52.50	53.50	25.00

ตารางที่ ข.3 อุณหภูมิและความดันที่อัตราการไหลของน้ำ (m_w) = 0.32 kg/s และอุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าฮีวโปรเตอร์ (T_a) = 25 °C (ต่อ)

เวลา (min)	ความดัน(Bar)		อุณหภูมิ (°C)												
	High	Low	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13
82	20.00	2.10	1.20	82.20	72.60	64.90	55.00	20.40	11.90	1.60	58.40	64.30	53.40	53.70	24.90
83	20.00	2.10	1.00	83.30	73.40	65.20	56.00	20.50	12.40	1.10	58.70	64.50	54.40	54.50	24.40



ตารางที่ ข.4 อุณหภูมิและความดันที่อัตราการไหลของน้ำ (m_w) = 0.13 kg/s และอุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าฮีวโปรเตอร์ (T_a) = 30 °C

เวลา (min)	ความดัน(Bar)		อุณหภูมิ (°C)												
	High	Low	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13
0	-	-	27.00	28.00	30.00	30.90	28.20	27.40	26.30	25.70	30.30	31.80	30.90	31.20	31.50
1	14.00	2.80	11.50	50.90	47.10	45.20	43.10	31.50	25.20	11.20	30.50	43.10	30.90	31.40	31.50
2	14.00	2.80	8.70	56.10	53.10	51.30	49.60	30.40	22.20	8.60	30.50	51.20	31.30	31.70	30.80
3	14.00	2.80	7.90	58.00	54.90	52.00	49.80	28.90	20.80	7.80	30.50	52.00	31.40	31.80	30.30
4	14.00	2.80	7.10	61.20	57.30	52.60	49.80	27.10	19.10	7.00	30.40	52.80	31.30	31.70	29.90
5	15.00	2.80	6.60	63.10	59.20	53.40	49.90	26.00	18.10	6.50	30.40	53.80	31.60	31.70	30.00
6	15.00	2.80	6.20	64.60	60.60	53.80	49.90	25.20	17.40	6.20	30.40	54.40	31.50	31.90	30.40
7	15.00	2.80	5.80	65.50	61.50	54.00	49.70	24.90	17.10	5.80	30.40	54.70	31.70	32.10	30.10
8	15.00	2.80	5.90	66.00	61.90	54.20	49.20	25.20	17.00	7.30	30.40	55.10	31.70	32.10	30.00
9	15.00	2.80	6.30	66.40	62.40	54.30	49.30	25.70	17.20	8.10	30.40	55.30	31.90	32.90	30.50
10	15.50	2.60	6.30	66.40	62.30	54.20	49.30	25.30	17.00	7.10	30.40	55.20	32.50	32.70	30.00
11	15.50	2.60	6.50	66.50	62.40	54.10	49.30	24.90	16.90	6.40	30.30	55.10	32.30	32.90	29.90
12	15.50	2.60	6.20	66.60	62.50	54.10	49.30	24.20	16.60	6.30	30.30	55.10	32.80	33.40	29.90
13	15.50	2.60	5.90	66.50	62.40	54.00	49.30	23.60	16.30	6.20	30.20	55.00	33.40	34.00	29.80
14	15.50	2.60	5.90	66.30	62.40	53.80	49.00	22.90	16.20	6.20	30.30	54.80	33.60	34.70	30.00
15	15.50	2.60	5.90	66.10	62.10	53.80	48.80	22.80	16.00	6.20	30.30	54.70	34.00	34.70	29.90
16	15.50	2.60	5.80	65.90	62.20	53.70	48.70	22.70	15.80	6.10	30.30	54.60	34.60	35.50	30.10
17	15.50	2.60	5.70	66.00	62.10	53.90	48.70	23.20	16.00	6.10	30.20	54.70	35.20	36.40	30.00
18	15.50	2.60	5.60	65.90	62.00	53.80	48.70	22.70	15.70	5.80	30.20	54.70	35.90	36.20	30.30
19	15.50	2.60	5.90	66.00	62.30	53.90	48.60	22.60	15.70	6.20	30.20	54.80	36.40	37.40	30.20
20	15.50	2.60	5.40	66.00	62.30	53.80	48.40	23.20	15.80	6.20	30.20	54.70	37.20	37.60	29.70
21	15.50	2.60	5.50	66.00	62.20	53.90	48.30	23.60	15.90	6.50	30.00	54.50	38.60	39.80	29.50
22	15.50	2.60	5.50	66.10	62.20	53.90	48.40	24.20	16.00	6.80	30.10	54.60	39.00	40.10	29.60
23	15.50	2.60	5.50	66.20	62.30	53.90	48.40	24.30	16.10	6.80	30.00	54.70	39.90	40.70	29.20
24	15.50	2.60	5.50	66.30	62.30	54.00	48.40	24.90	16.30	7.40	30.00	54.70	41.00	41.90	29.70
25	15.50	2.60	5.70	66.40	62.30	53.90	48.50	25.10	16.40	7.60	30.00	54.80	42.30	42.70	29.70
26	15.50	2.60	5.90	66.60	62.40	54.10	48.80	25.00	16.50	7.80	30.00	54.90	42.40	43.20	29.80
27	15.50	2.60	6.20	67.00	62.80	54.10	49.00	24.80	16.50	7.30	30.10	55.10	43.10	43.70	30.00
28	15.50	2.60	6.00	67.10	62.70	54.20	49.20	24.70	16.40	6.10	30.00	55.10	44.00	44.70	29.70
29	15.50	2.60	5.70	67.10	62.90	54.40	49.30	24.30	16.40	6.00	30.00	55.20	45.10	45.20	29.60
30	15.50	2.70	5.80	67.40	63.20	54.50	49.50	23.70	16.20	6.10	30.10	55.30	45.00	45.60	29.40
31	15.50	2.70	5.60	67.10	63.00	54.40	49.30	22.90	15.80	5.90	30.10	55.40	45.90	46.40	29.40
32	15.50	2.70	5.50	67.00	63.10	54.40	49.20	22.50	15.60	5.80	30.10	55.40	46.10	46.80	29.70
33	15.50	2.70	5.50	67.00	63.10	54.30	49.10	22.20	15.40	5.80	30.10	55.40	46.50	47.10	29.80
34	15.50	2.70	5.50	66.40	62.60	53.80	48.60	22.40	15.40	5.70	30.20	54.80	46.80	47.50	29.60
35	15.50	2.70	5.50	66.00	62.40	53.70	48.30	22.50	15.40	6.00	30.20	54.70	47.50	48.20	29.40
36	15.50	2.70	5.50	66.10	62.40	53.80	48.30	22.90	15.60	5.90	30.20	54.70	48.30	48.20	29.30
37	15.50	2.70	5.20	65.90	62.30	53.70	48.20	23.30	15.40	5.90	30.30	54.60	48.50	49.00	29.40
38	15.50	2.70	5.10	66.10	62.20	53.90	48.30	22.70	15.30	5.60	30.30	54.70	48.50	49.10	29.50
39	15.50	2.70	5.30	66.40	62.30	54.00	48.40	22.40	15.20	5.90	30.50	54.90	48.90	49.60	29.70
40	16.00	2.60	5.40	66.70	62.70	54.20	48.60	22.80	15.40	6.20	30.50	55.30	49.30	49.60	29.30

ตารางที่ ข.4 อุณหภูมิและความดันที่อัตราการไหลของน้ำ (m_w) = 0.13 kg/s และอุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าฮีวโปรเตอร์ (T_a) = 30 °C (ต่อ)

เวลา (min)	ความดัน(Bar)		อุณหภูมิ (°C)												
	High	Low	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13
41	16.00	2.60	5.40	66.80	63.00	54.40	48.60	23.40	15.70	6.50	30.70	55.30	49.40	50.10	29.60
42	16.00	2.60	5.30	67.10	63.30	54.50	48.80	24.00	15.90	6.80	30.80	55.50	49.70	50.90	29.80
43	16.00	2.60	5.40	67.30	63.40	54.70	48.90	24.80	16.20	7.10	31.00	55.60	50.00	50.40	29.80
44	16.00	2.60	5.60	67.60	63.50	54.90	49.20	25.20	16.40	7.40	31.30	55.80	50.40	50.50	29.30
45	16.00	2.60	5.80	67.90	63.80	54.90	49.30	25.40	16.60	8.00	31.40	56.00	50.30	51.30	30.50
46	16.00	2.60	6.00	68.40	64.10	55.40	49.90	25.10	16.60	8.10	31.90	56.40	50.30	51.20	29.80
47	16.00	2.60	6.40	69.20	64.60	55.80	50.50	24.90	16.80	6.60	32.00	56.90	50.90	51.20	30.10
48	16.00	2.60	6.00	69.70	65.10	56.20	50.90	24.50	16.50	6.10	32.60	57.30	50.60	51.70	29.70
49	16.00	2.60	5.80	70.10	65.90	56.70	51.20	23.50	16.30	6.20	33.10	57.70	50.70	51.20	29.50
50	17.00	2.60	5.90	70.60	66.40	57.10	51.30	22.60	15.90	6.20	33.60	58.20	51.20	51.90	29.60
51	17.00	2.60	6.10	71.20	67.00	57.50	51.50	23.30	16.10	6.80	34.00	58.70	51.20	51.90	29.80
52	17.00	2.60	6.40	72.00	67.50	58.30	52.00	26.00	17.20	7.90	34.80	59.20	51.20	51.80	29.30
53	17.00	2.60	6.70	73.20	68.40	58.90	52.90	26.70	17.60	8.40	35.10	60.00	51.20	51.70	29.30
54	17.00	2.60	6.40	74.30	69.40	59.50	53.80	25.50	17.40	6.90	36.00	60.90	51.30	52.00	29.30
55	17.50	2.80	6.60	75.00	70.40	60.20	54.20	23.40	16.70	7.00	36.60	61.50	51.70	52.10	29.60
56	17.50	2.80	6.50	75.80	71.30	60.70	54.10	25.60	17.30	8.00	37.20	62.30	51.80	52.20	30.10
57	17.50	2.80	7.20	76.90	72.10	61.60	55.20	28.30	18.70	9.80	37.80	63.10	51.90	52.40	29.40
58	17.50	2.80	7.10	78.00	73.00	62.20	56.40	25.30	17.70	7.20	38.70	63.90	51.90	52.60	29.50
59	18.00	2.80	7.20	78.70	74.00	62.50	56.00	24.00	17.00	7.70	39.30	64.50	52.00	52.50	29.80



ตารางที่ ข.5 อุณหภูมิและความดันที่อัตราการไหลของน้ำ (m_w) = 0.23 kg/s และอุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าฮีวโปรเตอร์ (T_a) = 30 °C

เวลา (min)	ความดัน(Bar)		อุณหภูมิ (°C)												
	High	Low	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13
0	-	-	27.70	27.60	28.90	28.60	28.20	27.70	26.40	26.20	28.40	28.60	28.70	28.90	30.10
1	10.50	2.40	10.60	45.20	41.70	35.60	32.50	30.30	25.70	10.40	28.70	36.40	28.50	28.90	30.60
2	10.50	2.40	5.70	44.90	42.60	40.20	38.70	24.00	17.60	5.30	28.50	40.00	28.50	29.00	30.50
3	10.50	2.40	4.50	45.70	43.20	40.10	38.30	22.80	15.80	4.20	28.60	39.70	29.00	29.30	30.60
4	10.50	2.40	4.70	48.10	44.80	41.00	38.80	22.30	15.30	4.70	28.70	40.80	29.60	29.80	30.10
5	10.50	2.40	4.00	48.80	45.80	41.40	38.70	21.50	14.60	3.90	28.70	41.00	29.70	30.00	30.40
6	11.00	2.20	3.40	49.10	46.10	41.30	38.50	20.70	14.10	3.30	28.70	41.00	30.10	30.60	30.90
7	11.00	2.20	3.00	49.40	46.40	41.40	38.00	19.70	13.30	2.80	28.90	41.20	30.70	31.10	30.60
8	11.00	2.20	2.80	49.90	47.00	41.40	37.80	19.20	13.00	2.70	29.10	41.30	31.20	31.60	30.60
9	11.00	2.20	2.60	50.10	47.00	41.50	37.70	19.00	12.90	2.60	29.20	41.50	31.80	32.10	30.60
10	11.00	2.20	2.40	50.00	47.00	41.50	37.60	19.00	12.70	2.30	29.50	41.50	32.10	32.60	30.50
11	11.00	2.20	2.30	50.20	47.10	41.80	37.50	18.70	12.50	2.20	29.70	41.60	32.50	33.10	30.20
12	11.00	2.20	2.30	50.60	47.40	41.60	37.20	18.90	12.50	2.30	29.90	41.80	32.90	33.40	30.40
13	11.00	2.20	2.30	51.20	47.90	42.10	37.70	18.60	12.50	2.40	30.10	42.10	33.20	33.90	30.40
14	11.00	2.20	2.10	51.50	48.20	42.50	38.10	17.70	12.30	2.30	30.70	42.40	33.80	34.20	30.40
15	11.00	2.20	2.30	51.90	48.60	42.50	38.00	17.80	12.10	2.50	30.80	42.60	34.10	34.60	30.40
16	12.00	2.20	2.20	52.20	49.10	43.00	38.20	17.80	12.10	2.40	31.10	43.00	34.30	34.80	30.60
17	12.00	2.20	2.30	52.80	49.60	43.30	38.30	19.10	12.40	3.70	31.10	43.30	34.80	35.30	30.50
18	12.00	2.20	2.30	53.10	49.80	43.60	38.70	19.50	12.60	2.50	32.10	43.60	35.10	35.70	30.30
19	12.00	2.20	2.10	53.50	50.10	43.80	39.20	18.80	12.60	2.20	32.20	43.90	35.50	36.00	30.30
20	12.00	2.20	2.10	53.70	50.40	44.10	39.30	17.80	12.20	2.50	32.50	44.20	35.90	36.40	30.30
21	12.00	2.20	2.10	53.80	50.70	44.30	39.30	18.40	12.10	2.90	32.80	44.40	36.20	36.70	30.20
22	12.00	2.20	2.30	54.60	51.10	44.70	39.70	19.60	12.60	2.70	33.10	44.50	36.40	37.00	30.20
23	12.00	2.20	2.20	55.00	51.50	45.00	40.10	19.50	12.60	2.30	33.30	44.90	37.00	37.40	30.10
24	12.00	2.20	2.20	55.40	51.90	45.30	40.40	18.50	12.30	2.40	33.70	45.30	37.50	37.80	30.10
25	12.00	2.20	1.90	55.40	52.00	45.50	40.20	18.50	12.00	2.30	34.20	45.60	37.60	38.10	30.00
26	13.00	2.20	2.00	56.00	52.40	45.90	40.60	19.70	12.40	3.40	34.60	46.10	38.00	38.60	30.10
27	13.00	2.20	2.10	56.80	52.90	46.20	41.00	19.80	12.60	2.10	34.90	46.30	38.50	39.00	30.10
28	13.00	2.20	1.90	57.00	53.20	46.50	41.30	18.60	12.30	2.10	35.10	46.70	38.90	39.40	30.20
29	13.00	2.20	2.00	57.30	53.50	46.80	41.30	18.30	12.00	2.40	35.60	47.00	39.10	39.70	30.00
30	13.00	2.20	1.90	57.50	53.80	46.90	41.40	20.00	12.40	3.50	36.00	47.10	39.60	40.20	30.10
31	13.50	2.20	1.90	58.10	54.20	47.20	42.00	19.60	12.70	2.00	36.40	47.40	39.90	40.50	30.10
32	13.50	2.20	2.00	58.40	54.50	47.60	42.10	18.50	12.30	2.10	36.80	47.70	40.40	41.00	30.10
33	13.50	2.20	2.10	58.80	55.00	48.10	42.30	19.40	12.40	2.80	36.80	48.20	40.60	41.20	29.90
34	13.50	2.20	2.30	59.50	55.20	48.20	42.70	20.50	12.70	2.70	37.30	48.40	41.00	41.60	30.10
35	13.50	2.20	1.70	59.60	55.50	48.50	43.10	19.20	12.50	2.00	37.70	48.70	41.40	42.00	30.10
36	14.00	2.20	2.00	59.90	56.00	48.90	42.90	18.80	12.10	2.40	37.90	49.10	41.80	42.40	30.20
37	14.00	2.20	2.10	60.60	56.40	49.30	43.50	20.70	12.80	3.10	38.50	49.50	42.10	42.70	30.00
38	14.00	2.20	2.00	60.90	56.80	49.40	43.80	19.10	12.50	2.30	38.40	49.50	42.70	43.00	30.00
39	14.00	2.20	2.10	61.10	56.90	49.80	43.60	19.60	12.40	2.70	39.00	49.80	42.80	43.40	29.90
40	14.00	2.20	2.20	61.80	57.40	50.10	44.20	20.70	12.90	2.10	39.40	50.00	43.10	43.50	29.60

ตารางที่ ข.5 อุณหภูมิและความดันที่อัตราการไหลของน้ำ (m_w) = 0.23 kg/s และอุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าฮีวโปรเตอร์ (T_a) = 30 °C (ต่อ)

เวลา (min)	ความดัน(Bar)		อุณหภูมิ (°C)												
	High	Low	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13
41	14.50	2.20	2.20	61.80	57.40	50.10	44.20	20.70	12.90	2.10	39.40	50.00	43.10	43.50	29.60
42	14.50	2.20	2.20	61.90	57.70	50.20	44.30	18.60	12.30	2.10	39.70	50.40	43.50	44.00	29.70
43	14.50	2.20	1.90	62.20	57.70	50.40	44.10	20.40	12.40	3.10	39.90	50.70	43.70	44.30	29.70
44	14.50	2.20	2.10	62.80	58.30	50.50	44.70	19.60	12.60	2.10	40.00	51.00	44.10	44.60	29.80
45	14.50	2.20	2.60	63.20	58.10	51.00	44.20	20.50	12.80	4.40	40.80	51.50	44.50	45.00	30.30
46	15.00	2.30	3.60	64.20	58.70	51.50	45.20	18.60	12.80	3.70	41.10	52.00	45.10	45.40	30.50
47	15.00	2.30	3.70	64.80	59.10	52.10	46.20	20.60	13.60	3.80	41.40	52.30	45.40	45.80	30.70
48	15.00	2.30	4.40	65.30	59.60	52.60	46.70	22.50	14.20	4.40	41.80	52.90	45.70	46.20	30.90
49	15.00	2.30	3.80	65.20	59.80	53.00	46.70	21.70	13.80	4.40	42.40	53.40	46.10	46.60	30.80
50	15.00	2.30	3.90	65.80	60.10	53.30	47.30	20.70	14.00	3.90	42.60	53.70	46.40	46.90	31.00
51	16.00	2.30	4.10	66.20	60.60	53.60	47.70	22.80	14.40	4.40	42.90	54.10	46.70	47.20	30.20
52	16.00	2.30	4.00	66.10	60.70	53.60	47.30	21.30	13.80	4.00	43.20	54.00	46.90	47.40	30.20
53	16.00	2.30	4.10	66.90	61.20	54.00	48.10	21.40	14.20	3.90	43.40	54.40	47.20	47.80	30.10
54	16.00	2.30	4.30	67.10	61.40	54.20	48.10	23.00	14.50	4.40	43.90	54.80	47.80	48.30	30.20
55	16.00	2.30	3.90	67.30	61.80	54.40	48.00	22.50	14.20	4.70	44.20	55.10	48.10	48.70	30.30
56	16.00	2.40	4.10	67.90	62.30	54.80	48.70	21.00	14.00	3.90	44.50	55.40	48.60	49.00	30.40
57	16.00	2.40	4.20	68.40	62.50	55.10	49.20	21.90	14.50	4.10	45.00	55.70	48.80	49.30	30.50
58	16.00	2.40	4.60	68.80	63.00	55.50	49.40	23.30	14.90	4.30	45.10	56.10	49.10	49.70	30.90
59	16.00	2.40	4.60	69.20	63.40	55.80	49.40	24.20	15.10	6.10	45.60	56.40	49.60	50.00	30.90
60	16.00	2.40	4.20	69.10	63.50	55.90	49.40	23.10	14.70	5.00	46.00	56.60	49.90	50.50	31.00
61	17.00	2.40	4.30	69.50	64.00	56.10	49.80	21.70	14.40	4.20	45.80	56.80	50.30	50.80	30.70
62	17.00	2.40	4.50	70.30	64.50	56.60	50.50	21.70	14.70	4.40	46.30	57.30	50.30	51.10	30.90
63	17.00	2.40	4.70	70.90	65.00	57.00	50.90	22.50	15.10	4.60	46.70	57.80	50.90	51.40	30.90
64	17.00	2.40	4.80	71.40	65.50	57.30	51.20	23.40	15.40	4.60	47.10	58.10	51.20	51.70	31.00
65	17.00	2.40	4.90	71.90	66.00	57.60	51.40	23.90	15.50	4.70	47.20	58.30	51.60	52.10	30.60
66	17.00	2.50	5.10	72.10	66.10	57.80	51.70	24.10	15.60	4.90	47.50	58.40	51.90	52.20	30.40
67	17.00	2.50	5.10	72.40	66.40	58.10	52.00	24.50	15.80	5.00	47.80	58.80	52.00	52.60	30.40
68	17.00	2.50	5.00	72.70	66.60	58.30	52.10	23.90	15.60	4.70	48.20	58.90	52.20	52.90	30.50
69	17.00	2.50	5.00	73.20	67.10	58.60	52.40	24.20	15.80	4.90	48.40	59.40	52.60	53.30	30.40
70	17.00	2.50	5.00	73.50	67.50	58.80	52.70	24.40	15.90	4.90	48.80	59.60	53.10	53.60	30.40
71	17.00	2.60	5.00	73.90	67.80	59.10	52.90	24.40	15.90	4.90	48.90	59.80	53.30	53.90	30.40
72	17.00	2.60	5.00	74.00	68.00	59.20	53.00	23.90	15.90	5.00	49.20	60.00	53.70	54.30	30.40
73	17.00	2.60	5.00	74.40	68.40	59.50	53.40	23.60	15.80	5.10	49.60	60.20	53.90	54.50	30.50
74	17.00	2.60	4.80	74.70	68.60	59.70	53.50	23.10	15.60	5.00	49.70	60.40	54.20	54.90	30.40
75	17.00	2.60	5.00	75.10	69.10	60.10	53.70	22.70	15.60	5.20	49.90	60.80	54.50	55.20	30.40
76	19.00	2.60	5.00	75.40	69.50	60.50	53.90	22.50	15.40	5.20	50.20	61.20	54.90	55.40	30.40
77	19.00	2.60	5.10	76.00	70.20	60.80	53.90	22.90	15.50	5.60	50.60	61.60	55.20	55.80	30.20
78	19.00	2.60	5.00	76.60	70.60	61.40	54.40	25.50	16.30	6.40	51.00	62.00	55.40	56.00	30.00
79	19.00	2.60	5.20	77.20	71.10	61.60	55.00	26.40	16.80	7.00	51.00	62.30	55.70	56.60	30.10
80	19.00	2.60	5.40	77.60	71.30	61.80	55.40	25.20	16.60	5.70	51.60	62.60	56.30	56.90	30.30
81	19.00	2.60	5.20	78.00	71.80	62.10	55.70	23.70	16.30	5.70	51.70	62.90	56.60	57.20	30.40

ตารางที่ ข.5 อุณหภูมิและความดันที่อัตราการไหลของน้ำ (m_w) = 0.23 kg/s และอุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าฮีวโปรเตอร์ (T_a) = 30 °C (ต่อ)

เวลา (min)	ความดัน(Bar)		อุณหภูมิ (°C)												
	High	Low	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13
82	19.00	2.60	5.50	78.20	72.10	62.30	55.40	23.00	15.90	6.00	52.10	63.30	57.00	57.60	30.40



ตารางที่ ข.6 อุณหภูมิและความดันที่อัตราการไหลของน้ำ (m_w) = 0.32 kg/s และอุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าฮีวโปรเตอร์ (T_a) = 30 °C

เวลา (min)	ความดัน(Bar)		อุณหภูมิ (°C)												
	High	Low	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13
0	-	-	28.00	27.90	27.90	27.90	27.70	27.10	25.40	26.30	29.70	29.60	29.80	29.80	31.20
1	9.50	2.40	8.10	43.70	41.50	37.60	36.30	24.60	19.80	7.50	29.70	37.50	29.80	30.10	31.40
2	9.50	2.40	5.30	43.50	41.30	37.60	35.80	22.60	16.40	5.20	29.70	37.20	30.20	30.30	30.50
3	9.50	2.40	4.20	43.50	41.20	37.30	35.30	21.30	15.10	4.20	29.70	36.90	30.50	30.70	30.20
4	9.50	2.40	3.60	44.20	41.60	37.80	35.30	20.30	14.10	3.60	30.20	37.40	30.60	31.00	30.00
5	9.50	2.40	3.10	44.90	42.20	38.20	35.30	19.40	13.30	3.00	30.60	37.90	31.10	31.30	29.90
6	10.00	2.20	2.70	45.60	42.90	38.30	35.20	18.80	12.80	2.70	30.80	38.20	31.30	31.70	30.00
7	10.00	2.20	2.50	46.30	43.50	38.60	35.20	18.30	12.40	2.50	31.20	38.40	31.60	32.20	30.10
8	10.00	2.20	2.20	46.60	43.60	38.50	34.90	17.90	12.00	2.10	31.30	38.60	32.10	32.30	30.10
9	10.00	2.20	2.10	46.90	43.90	38.80	34.90	17.60	11.90	2.00	31.60	38.90	32.50	32.60	30.00
10	10.00	2.20	2.00	47.10	44.10	39.00	34.90	17.30	11.60	1.80	32.00	39.10	32.60	33.00	30.00
11	10.50	2.20	1.80	47.70	44.60	39.30	34.90	16.90	11.50	1.90	32.30	39.40	33.00	33.10	30.10
12	10.50	2.20	1.90	47.60	44.60	39.30	34.90	16.90	11.50	1.90	32.30	39.40	33.10	33.10	30.10
13	10.50	2.20	1.90	48.20	45.10	39.60	35.10	16.60	11.50	2.10	32.60	39.80	33.40	33.60	30.00
14	10.50	2.20	1.80	48.60	45.60	39.80	35.40	16.70	11.50	2.10	32.70	40.00	33.60	34.00	30.00
15	10.50	2.20	1.90	49.00	45.70	40.30	36.00	17.30	11.70	2.00	33.20	40.30	34.00	34.10	29.90
16	11.00	2.20	1.50	49.00	45.90	40.30	35.90	17.00	11.50	1.70	33.30	40.30	34.40	34.40	30.00
17	11.00	2.20	1.80	49.90	46.60	40.90	36.40	17.60	11.80	1.90	33.60	40.80	34.70	35.00	30.00
18	11.00	2.20	1.50	50.10	46.90	41.10	36.50	17.60	11.70	1.80	34.10	41.00	35.20	35.30	29.90
19	11.00	2.20	1.60	50.60	47.20	41.30	36.80	17.60	11.80	1.80	34.10	41.30	35.50	35.80	29.80
20	11.00	2.20	1.50	51.00	47.40	41.60	37.10	17.90	11.80	1.80	34.60	41.50	35.70	35.80	29.80
21	11.50	2.20	1.40	51.10	47.80	42.00	37.20	17.90	11.70	1.60	34.90	41.90	36.40	36.30	29.60
22	11.50	2.20	1.50	51.50	48.00	42.00	37.30	18.10	11.80	1.70	35.00	42.00	36.50	36.40	29.60
23	11.50	2.20	1.60	51.70	48.40	42.40	37.50	18.30	11.80	1.80	35.20	42.20	37.00	36.90	29.60
24	11.50	2.20	1.70	52.40	48.90	43.00	38.00	18.50	12.00	1.90	35.70	42.70	37.10	37.00	29.50
25	11.50	2.20	1.60	52.70	49.20	43.20	38.30	18.50	11.90	1.90	36.00	43.10	37.30	37.50	29.60
26	12.00	2.20	1.50	52.90	49.30	43.20	38.40	18.30	11.80	1.70	36.30	43.00	37.50	37.80	29.30
27	12.00	2.20	1.60	53.50	49.90	43.70	38.70	18.40	11.80	1.70	36.70	43.50	37.90	38.10	29.50
28	12.00	2.20	1.60	53.80	50.10	43.80	38.80	18.30	11.80	1.70	36.90	43.60	38.30	38.40	29.50
29	12.00	2.20	1.60	54.10	50.40	44.20	39.10	18.40	11.90	1.90	37.10	44.00	38.50	38.60	29.50
30	12.00	2.20	1.10	54.20	50.50	44.30	39.10	18.20	11.70	1.50	37.00	44.00	39.10	39.00	29.30
31	12.50	2.20	1.30	54.50	50.80	44.60	39.40	17.90	11.80	1.70	37.50	44.30	39.30	39.10	29.40
32	12.50	2.20	1.50	55.10	51.20	45.00	39.60	17.90	11.80	2.00	37.80	44.80	39.60	39.50	29.40
33	12.50	2.20	1.80	55.40	51.50	45.30	39.80	17.60	11.70	2.10	38.40	45.10	39.70	40.10	29.50
34	12.50	2.20	1.60	55.70	51.80	45.60	40.10	18.70	11.80	2.30	38.60	45.40	39.80	40.30	29.50
35	12.50	2.20	1.80	56.30	52.30	46.00	40.40	19.70	12.20	3.50	39.00	45.80	40.10	40.60	29.40
36	13.00	2.20	2.00	56.90	52.70	46.20	40.80	19.70	12.30	2.40	39.00	46.00	40.50	40.70	29.50
37	13.00	2.20	1.70	56.60	52.60	46.20	40.80	19.40	12.20	1.80	39.20	46.00	40.90	41.00	29.30
38	13.00	2.20	1.50	57.20	53.00	46.60	41.20	19.10	12.20	1.70	39.80	46.40	41.30	41.60	29.50
39	13.00	2.20	1.60	57.80	53.60	47.10	41.50	18.70	12.10	1.90	40.30	46.80	41.70	41.60	29.40
40	13.00	2.20	1.70	58.10	54.00	47.40	41.70	17.90	11.90	2.00	40.50	47.30	41.90	42.10	30.10

ตารางที่ ข.6 อุณหภูมิและความดันที่อัตราการไหลของน้ำ (m_w) = 0.32 kg/s และอุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าฮีวโปรเตอร์ (T_a) = 30 °C (ต่อ)

เวลา (min)	ความดัน(Bar)		อุณหภูมิ (°C)												
	High	Low	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13
41	13.00	2.20	1.70	58.30	54.20	47.60	41.50	18.50	11.80	2.50	40.80	47.50	42.30	42.40	30.40
42	13.00	2.20	1.80	58.80	54.70	47.90	41.90	20.20	12.40	3.60	41.00	47.80	42.60	42.80	30.70
43	13.00	2.20	2.00	59.60	55.20	48.30	42.60	19.80	12.60	2.30	41.20	48.10	42.60	43.30	30.90
44	13.00	2.20	2.00	59.50	55.40	48.50	42.60	18.30	12.20	2.20	41.80	48.30	43.40	43.60	30.80
45	13.00	2.20	2.00	59.60	55.50	48.70	42.50	20.20	12.40	3.30	42.40	48.80	43.70	43.90	30.80
46	14.00	2.20	2.10	60.30	55.90	48.80	43.00	20.10	12.60	2.10	42.10	48.90	43.90	44.10	31.10
47	14.00	2.20	1.90	60.50	56.30	49.20	43.30	18.40	12.10	2.10	42.80	49.40	44.10	44.50	31.20
48	14.00	2.20	1.80	60.70	56.60	49.50	43.20	20.00	12.40	3.00	43.10	49.70	44.50	44.80	31.20
49	14.00	2.20	2.20	61.60	56.80	49.60	43.70	20.30	12.80	2.30	43.20	49.80	44.80	45.20	31.40
50	14.00	2.20	2.30	61.70	57.50	50.10	43.90	18.70	12.40	2.60	43.40	50.20	45.10	45.60	30.60
51	14.50	2.20	2.20	62.00	57.60	50.40	44.20	21.20	13.00	3.50	43.90	50.40	45.50	45.80	30.10
52	14.50	2.20	2.10	62.50	58.10	50.60	44.80	19.60	12.80	2.30	43.90	50.60	45.90	45.90	29.90
53	14.50	2.20	2.00	62.30	58.10	50.70	44.30	19.80	12.60	2.70	44.20	50.70	45.90	46.20	29.80
54	14.50	2.20	2.20	63.30	58.70	51.30	45.20	20.80	13.20	2.50	44.90	51.30	46.30	46.80	29.90
55	14.50	2.20	2.30	63.40	59.20	51.60	45.00	19.60	12.70	2.70	45.10	51.50	46.60	47.20	29.80
56	15.00	2.20	2.30	63.80	59.20	51.70	45.50	21.30	13.20	2.60	45.10	51.80	47.10	47.40	29.60
57	15.00	2.20	2.30	64.40	59.80	52.10	45.90	19.30	12.80	2.60	45.60	52.20	47.30	47.60	29.70
58	15.00	2.20	2.40	64.80	60.20	52.30	45.90	22.10	13.50	4.30	45.70	52.40	47.70	47.80	29.80
59	15.00	2.20	2.40	65.10	60.60	52.50	46.20	19.20	12.80	2.80	46.10	52.60	47.90	48.20	30.20
60	15.00	2.20	2.70	65.60	60.70	52.80	46.50	22.00	13.60	3.20	46.40	52.80	48.30	48.50	30.60
61	15.50	2.20	2.50	65.60	61.00	53.00	46.30	19.40	12.80	2.70	46.80	52.90	48.50	48.70	30.80
62	15.50	2.20	2.70	66.60	61.60	53.50	47.20	21.70	13.70	3.00	47.00	53.50	48.90	49.10	31.00
63	15.50	2.20	2.40	66.60	62.00	53.80	46.80	21.50	13.40	3.80	47.20	53.80	49.10	49.40	31.00
64	15.50	2.20	2.60	67.00	62.30	53.80	47.50	20.20	13.40	3.00	47.30	53.80	49.80	49.90	31.00
65	15.50	2.20	2.70	67.50	62.50	54.30	47.70	22.70	14.00	4.50	47.80	54.40	49.60	49.90	30.10
66	16.00	2.30	2.60	67.60	62.80	54.50	47.60	19.90	13.10	3.00	48.30	54.50	50.20	50.30	29.70
67	16.00	2.30	2.60	68.60	63.50	54.90	48.50	21.30	13.80	3.00	48.70	55.10	50.50	50.90	30.00
68	16.00	2.30	2.80	68.40	63.60	54.90	48.00	23.10	14.10	4.90	48.90	55.20	50.90	51.20	30.00
69	16.00	2.30	2.60	68.50	63.80	55.10	48.30	20.20	13.10	3.00	49.10	55.40	51.30	51.30	29.80
70	16.00	2.30	2.60	69.20	64.10	55.40	49.00	21.30	14.10	2.90	49.50	55.60	51.40	51.60	29.80
71	17.00	2.20	3.00	69.60	64.60	56.00	49.00	23.60	14.50	5.10	50.00	56.10	51.80	52.20	29.90
72	17.00	2.20	2.80	69.80	65.00	56.00	48.80	21.40	13.60	3.80	49.90	56.10	52.10	52.20	29.90
73	17.00	2.20	2.70	69.70	65.00	56.00	48.80	22.00	13.80	4.00	49.90	56.10	52.00	52.20	29.90
74	17.00	2.20	3.00	70.30	65.50	56.30	49.70	20.10	13.60	3.40	50.30	56.50	52.20	52.50	29.90
75	17.00	2.20	3.00	71.10	65.90	56.70	50.30	21.80	14.20	3.30	50.90	56.90	52.80	53.10	30.10
76	17.00	2.40	3.30	71.30	65.90	56.80	50.30	23.40	14.70	3.70	50.80	57.10	53.00	53.20	30.00
77	17.00	2.40	3.00	71.30	66.30	57.10	50.10	24.00	14.60	5.00	51.20	57.50	53.20	53.40	30.30
78	17.00	2.40	3.00	71.70	66.70	57.50	50.20	21.60	13.80	3.80	51.50	57.90	53.80	54.00	30.30
79	17.00	2.40	3.20	72.20	67.20	57.80	50.80	20.10	13.70	3.50	51.90	58.10	53.90	54.00	30.50
80	17.00	2.40	3.20	72.60	67.20	57.90	51.30	20.90	14.10	3.60	52.00	58.30	54.10	54.40	30.40
81	18.00	2.30	3.20	73.20	67.70	58.20	51.70	22.20	14.50	3.60	52.40	58.50	54.60	54.80	30.90

ตารางที่ ข.6 อุณหภูมิและความดันที่อัตราการไหลของน้ำ (m_w) = 0.32 kg/s และอุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าฮีวโปรเตอร์ (T_a) = 30 °C (ต่อ)

เวลา (min)	ความดัน(Bar)		อุณหภูมิ (°C)												
	High	Low	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13
82	18.00	2.30	3.40	73.40	67.90	58.20	51.70	23.00	14.90	3.80	52.40	58.60	55.00	55.10	30.50
83	18.00	2.30	3.90	74.00	68.40	58.80	52.00	24.20	15.20	4.50	53.00	59.30	55.20	55.40	30.70
84	18.00	2.30	3.60	74.10	68.80	58.90	52.10	24.20	15.20	4.40	53.20	59.30	55.50	55.80	30.80
85	18.00	2.30	3.70	74.60	69.00	59.20	52.20	24.80	15.30	5.70	53.40	59.60	55.80	56.00	30.70
86	18.50	2.30	3.70	75.10	69.70	59.70	52.40	25.30	15.40	5.80	54.00	60.20	56.10	56.40	30.80
87	18.50	2.30	3.70	75.30	69.90	59.70	52.60	25.40	15.50	5.80	54.00	60.20	56.50	56.70	31.00
88	18.50	2.30	3.50	75.30	70.00	59.90	52.70	25.40	15.60	5.40	54.20	60.30	56.70	56.80	31.00
89	18.50	2.30	3.80	75.60	70.40	60.00	52.80	25.60	15.70	6.00	54.00	60.60	57.10	57.40	31.00
90	18.50	2.30	4.00	76.30	70.80	60.60	53.30	25.90	15.90	6.20	54.90	61.10	57.40	57.60	30.70
91	19.00	2.40	4.20	76.90	71.40	61.00	53.90	25.80	16.00	6.40	55.20	61.50	57.50	57.70	30.30
92	19.00	2.40	4.40	77.10	71.50	61.00	54.10	25.40	15.90	5.40	55.20	61.40	57.80	57.90	30.40
93	19.00	2.40	4.40	77.40	71.90	61.10	54.40	24.60	16.00	4.80	55.40	61.60	58.20	58.40	30.30
94	19.00	2.40	4.30	77.80	72.00	61.20	54.70	24.20	15.80	4.70	55.70	61.80	58.40	58.70	30.10
95	19.00	2.40	4.00	78.20	72.50	61.70	55.10	23.00	15.40	4.40	55.80	62.20	58.80	58.90	30.00
96	19.50	2.40	3.90	78.40	72.80	61.90	55.00	22.30	15.20	4.30	56.50	62.50	59.10	59.30	30.30
97	19.50	2.40	4.20	78.90	73.40	62.30	55.20	21.50	15.00	4.70	56.70	62.80	59.30	59.60	30.10
98	19.50	2.40	4.30	79.00	73.40	62.30	54.90	21.60	14.80	4.70	56.90	63.00	59.50	59.60	30.20
99	19.50	2.40	4.10	79.10	73.80	62.50	55.00	24.70	15.60	5.30	57.00	63.30	59.90	60.00	30.00
100	19.50	2.40	4.40	79.80	74.10	62.80	55.40	27.00	16.60	6.60	57.10	63.50	60.30	60.40	30.30
101	19.50	2.40	5.00	80.30	74.60	63.20	56.20	26.20	16.60	5.90	57.40	63.80	60.40	60.60	30.00
102	19.50	2.40	4.60	80.70	74.80	63.50	56.70	24.30	16.30	4.90	58.10	63.90	60.80	60.90	30.30
103	19.50	2.40	4.50	80.80	75.10	63.70	56.80	22.50	15.60	4.90	58.20	64.30	61.00	61.20	29.90

ตารางที่ ข.7 อุณหภูมิและความดันที่อัตราการไหลของน้ำ (m_w) = 0.13 kg/s และอุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าอีวาโปเรเตอร์ (T_a) = 35 °C

เวลา (min)	ความดัน(Bar)		อุณหภูมิ (°C)												
	High	Low	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13
0	-	-	27.20	28.10	30.30	30.50	27.20	26.20	26.90	27.40	31.10	31.20	31.30	31.80	35.40
1	13.00	2.80	8.10	53.10	50.20	49.00	47.60	30.30	22.10	7.90	31.00	49.10	31.30	31.80	35.40
2	13.00	2.80	6.90	55.20	52.30	50.40	48.50	28.60	20.10	6.80	30.80	50.30	31.50	32.20	35.60
3	13.00	2.80	6.10	57.50	54.20	51.00	48.50	26.80	18.50	6.10	30.80	51.00	31.50	32.20	35.60
4	13.00	2.80	5.50	60.30	56.40	51.60	48.60	25.50	17.20	5.50	30.70	51.80	31.90	31.90	35.90
5	13.00	2.80	5.10	61.60	57.70	52.10	48.50	24.60	16.30	4.90	30.60	52.50	32.10	32.50	34.70
6	14.00	2.60	4.70	62.60	58.60	52.40	48.30	23.80	15.70	4.50	30.50	52.70	32.40	32.50	35.30
7	14.00	2.60	4.60	63.30	59.10	52.40	48.00	23.20	15.30	4.30	30.40	52.90	32.10	32.50	35.20
8	14.00	2.60	4.60	64.00	59.60	52.70	47.50	23.20	15.20	4.90	30.50	53.50	32.90	33.70	34.80
9	14.00	2.60	5.00	64.60	60.30	52.80	47.50	22.20	15.00	5.50	30.60	53.80	32.70	34.10	35.10
10	14.00	2.60	4.90	64.60	60.40	52.90	47.80	22.50	15.20	5.20	30.60	53.80	33.30	34.00	35.20
11	15.00	2.50	5.00	64.80	60.50	52.90	47.70	21.80	15.10	5.20	30.50	53.80	33.70	34.70	36.20
12	15.00	2.50	4.60	64.60	60.60	52.80	48.00	22.10	15.00	4.70	30.60	53.70	34.10	35.10	35.10
13	15.00	2.50	4.40	64.50	60.20	52.70	47.80	23.30	15.20	4.40	30.50	53.50	34.30	35.90	35.70
14	15.00	2.50	4.40	64.30	60.10	52.60	47.40	23.50	15.10	5.80	30.50	53.50	35.00	36.60	36.00
15	15.00	2.50	4.40	64.30	60.20	52.70	47.40	21.80	14.50	4.60	30.50	53.50	37.00	37.50	34.80
16	15.00	2.50	4.40	64.50	60.20	52.60	47.60	21.60	14.60	4.50	30.50	53.50	37.00	38.10	34.70
17	15.00	2.50	4.30	64.60	60.10	52.50	47.60	22.30	14.80	4.40	30.50	53.40	37.70	39.60	35.60
18	15.00	2.50	4.50	64.50	60.00	52.50	47.40	23.30	15.00	5.20	30.60	53.40	38.80	40.90	35.80
19	15.00	2.50	4.20	64.10	59.80	52.40	47.00	23.50	14.90	5.60	30.60	53.20	39.60	42.20	35.50
20	15.00	2.50	4.20	64.10	59.90	52.40	47.10	22.10	14.40	4.50	30.50	53.20	40.90	42.30	35.90
21	15.00	2.50	4.20	64.20	59.90	52.30	47.40	21.70	14.60	4.30	30.60	53.20	41.30	43.00	35.80
22	15.00	2.50	4.30	64.50	59.90	52.30	47.30	23.10	14.90	4.40	30.50	53.20	41.60	43.30	35.90
23	15.00	2.50	4.10	64.10	59.80	52.40	46.90	23.20	14.80	5.50	30.60	53.20	42.50	44.20	36.10
24	15.00	2.50	4.30	64.30	60.00	52.40	46.90	21.40	14.30	4.90	30.60	53.30	42.80	45.00	34.90
25	15.00	2.50	4.70	64.80	60.50	52.60	47.10	21.20	14.50	5.00	30.60	53.60	43.90	45.20	34.90
26	15.00	2.50	4.80	64.80	60.70	52.80	47.50	21.60	14.80	5.00	30.60	53.50	44.20	45.50	34.80
27	15.00	2.50	4.40	65.00	60.80	52.80	47.60	21.80	14.90	4.80	30.60	53.50	44.90	46.00	34.70
28	15.00	2.50	4.50	65.00	60.80	52.80	47.70	22.50	15.20	4.70	30.60	53.60	45.40	46.20	34.80
29	15.00	2.50	4.50	65.10	60.80	52.80	47.70	23.30	15.40	5.00	30.60	53.60	45.50	46.70	34.80
30	15.00	2.50	4.90	65.00	60.70	52.80	47.40	24.00	15.50	6.00	30.70	53.50	46.10	47.00	35.10
31	15.00	2.50	4.40	64.90	60.70	52.80	47.30	23.80	15.30	6.00	30.70	53.50	46.40	47.20	34.80
32	15.00	2.50	4.40	64.80	60.90	52.80	47.30	22.60	14.90	5.10	30.70	53.40	46.70	47.80	35.00
33	15.00	2.50	4.30	64.80	60.90	52.80	47.40	21.60	14.70	4.60	30.70	53.50	47.20	47.70	35.10
34	15.00	2.50	4.40	65.00	60.90	52.80	47.70	22.20	15.10	4.70	30.80	53.60	47.40	48.10	34.70
35	15.00	2.50	4.60	65.20	60.70	52.80	47.60	23.30	15.40	4.80	30.80	53.70	47.50	48.30	34.90
36	15.00	2.50	4.80	65.00	60.90	53.00	47.40	23.90	15.50	6.00	30.70	53.60	47.70	48.70	35.20
37	15.00	2.40	4.30	64.90	60.90	53.00	47.50	23.60	15.20	5.80	30.80	53.70	48.10	48.60	34.70
38	15.00	2.40	4.30	65.10	61.40	53.10	47.70	21.90	14.80	4.90	31.00	53.80	48.30	49.00	35.10
39	15.00	2.40	4.40	65.10	61.20	53.20	47.80	21.60	14.90	4.60	31.10	53.90	48.40	49.10	35.20
40	15.00	2.40	4.40	65.80	61.50	53.40	48.20	22.30	15.10	4.80	31.20	54.10	48.80	49.40	35.20

ตารางที่ ข.7 อุณหภูมิและความดันที่อัตราการไหลของน้ำ (m_w) = 0.13 kg/s และอุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าอีวาโปเรเตอร์ (T_a) = 35 °C (ต่อ)

เวลา (min)	ความดัน(Bar)		อุณหภูมิ (°C)												
	High	Low	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13
41	15.00	2.40	4.50	65.90	61.60	53.50	48.30	23.10	15.30	4.70	31.30	54.20	48.70	49.60	34.30
42	15.00	2.50	4.80	66.10	61.90	53.60	48.30	23.70	15.50	5.00	31.40	54.40	48.90	49.60	35.20
43	15.00	2.50	4.40	65.90	61.90	53.70	48.20	24.10	15.50	6.30	31.50	54.30	49.00	49.90	34.80
44	15.00	2.50	4.10	66.00	62.00	53.90	48.00	23.30	15.00	5.00	31.90	54.70	49.10	50.20	35.20
45	15.00	2.50	4.30	66.40	62.50	54.10	48.30	22.20	14.80	4.70	32.20	55.00	49.40	50.40	35.20
46	15.00	2.50	4.30	67.00	62.80	54.40	48.80	21.60	14.80	4.70	32.40	55.30	49.80	50.50	34.60
47	15.50	2.40	4.30	67.50	63.20	54.80	49.40	22.10	15.00	4.70	32.90	55.70	49.90	50.60	34.90
48	15.50	2.40	4.20	68.00	63.70	55.10	49.70	22.70	15.20	4.70	33.30	56.10	50.00	50.80	34.90
49	15.50	2.40	4.40	68.70	64.20	55.50	50.10	23.30	15.40	4.60	33.70	56.60	50.10	50.90	35.20
50	15.50	2.40	4.60	69.10	64.50	55.90	50.30	23.80	15.70	4.90	34.10	56.90	50.30	50.90	35.00
51	15.50	2.40	5.10	70.00	65.40	56.50	50.80	24.00	15.90	5.10	34.70	57.50	50.40	51.30	34.90
52	16.00	2.50	4.80	70.60	65.90	56.90	51.30	23.30	15.70	5.00	35.10	58.10	50.40	51.40	35.20
53	16.00	2.50	4.80	71.30	66.80	57.40	51.70	22.70	15.50	5.00	35.50	58.60	50.70	51.30	35.20
54	16.00	2.50	4.80	71.90	67.20	57.90	51.90	22.10	15.20	5.00	36.20	59.10	50.80	51.40	35.20
55	17.00	2.50	4.80	72.40	67.90	58.30	52.10	22.30	15.20	5.20	37.10	59.60	51.00	51.60	34.90
56	16.00	2.50	4.80	73.30	68.70	59.10	52.50	24.00	15.80	5.90	37.60	60.40	51.20	51.80	34.90
57	17.50	2.60	5.00	74.20	69.50	59.70	53.20	26.50	16.70	6.80	38.30	61.10	51.30	51.90	35.10
58	17.50	2.60	5.80	75.50	70.40	60.40	54.20	26.10	17.00	7.20	38.90	61.90	51.30	52.40	35.30
59	17.50	2.60	5.40	76.40	71.40	61.00	55.00	24.30	16.60	5.90	39.60	62.60	51.70	52.60	35.00
60	17.50	2.60	5.70	77.10	72.50	61.40	55.00	22.90	16.00	6.20	40.10	63.20	51.90	52.60	35.30
61	18.50	2.60	5.80	78.10	73.00	62.20	55.40	27.70	17.60	8.00	40.90	63.80	52.10	53.20	35.60
62	18.50	2.60	6.00	79.00	73.90	62.60	56.60	25.40	17.30	6.40	41.58	64.50	52.40	53.10	34.80
63	18.50	2.60	5.90	79.30	74.40	63.00	56.30	23.50	16.30	7.00	42.10	65.00	52.50	53.50	35.10

ตารางที่ ข.8 อุณหภูมิและความดันที่อัตราการไหลของน้ำ (m_w) = 0.23 kg/s และอุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าฮีวโปรเตอร์ (T_a) = 35 °C

เวลา (min)	ความดัน(Bar)		อุณหภูมิ (°C)												
	High	Low	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13
0	-	-	25.80	26.60	29.30	28.20	26.80	25.60	24.30	23.40	30.40	30.40	30.50	30.60	36.30
1	10.50	2.20	7.10	45.00	42.10	39.80	38.50	26.30	20.50	6.60	30.50	39.90	30.60	30.70	35.80
2	10.50	2.20	4.60	46.10	43.30	40.60	38.80	23.50	16.70	4.40	30.30	40.40	31.10	31.20	36.30
3	10.50	2.20	3.60	47.00	44.00	40.50	38.40	21.90	15.00	3.40	30.50	40.30	31.40	31.70	35.80
4	10.50	2.20	2.80	48.40	44.80	40.80	38.20	20.60	13.60	2.50	31.00	40.90	31.80	31.70	35.90
5	10.50	2.20	2.30	49.40	45.60	41.20	38.00	19.70	12.80	2.10	31.30	41.50	32.20	32.20	35.70
6	11.00	2.20	2.20	50.00	46.20	41.30	37.80	19.10	12.20	1.80	31.30	41.60	32.30	32.60	35.80
7	11.00	2.20	2.00	50.40	46.70	41.50	37.80	18.50	11.80	1.50	31.40	41.80	32.80	33.20	36.10
8	11.00	2.20	1.70	50.90	46.90	41.60	37.60	18.20	11.50	1.30	31.50	42.00	33.30	33.50	36.20
9	11.00	2.20	1.80	51.00	47.30	41.60	37.40	17.60	11.20	1.30	31.40	42.10	33.60	33.80	35.50
10	11.00	2.20	1.60	51.20	47.40	41.90	37.20	17.10	11.10	1.40	31.60	42.20	33.90	34.30	35.10
11	11.50	2.20	1.60	51.60	47.80	42.00	37.40	16.80	10.90	1.40	31.80	42.60	34.60	34.70	34.90
12	11.50	2.20	1.50	52.10	48.20	42.30	37.60	16.80	11.00	1.40	31.90	42.80	34.40	34.90	35.10
13	11.50	2.20	1.50	52.30	48.40	42.40	37.50	16.80	10.90	1.30	32.50	43.10	34.90	35.40	35.10
14	11.50	2.20	1.60	52.60	48.80	42.70	37.70	16.90	10.90	1.60	32.70	43.20	35.50	35.80	35.20
15	11.50	2.20	1.60	52.90	49.00	43.00	37.90	17.10	10.90	1.60	33.10	43.60	35.90	36.10	35.10
16	12.00	2.20	1.60	53.30	49.20	43.20	38.10	17.10	10.90	1.50	33.40	43.90	36.00	36.60	35.20
17	12.00	2.20	1.60	53.20	49.20	43.20	38.10	17.30	10.90	1.60	33.40	43.90	36.00	36.50	35.20
18	12.00	2.20	1.50	53.60	49.50	43.60	38.40	17.60	11.10	2.10	33.90	44.20	36.50	36.90	35.30
19	12.00	2.20	1.50	54.10	49.90	43.70	38.60	18.50	11.20	2.80	33.60	44.40	36.70	37.10	35.00
20	12.00	2.20	1.60	54.40	50.20	44.00	38.90	18.60	11.40	2.80	34.10	44.60	37.00	37.40	35.10
21	12.00	2.10	1.90	55.00	50.60	44.30	39.20	18.80	11.60	1.90	34.50	44.90	37.40	37.80	35.40
22	12.00	2.10	1.90	55.50	51.10	44.70	39.70	19.00	11.80	1.80	34.60	45.10	37.60	38.00	35.00
23	12.00	2.10	1.60	55.70	51.30	45.00	40.00	18.10	11.70	1.70	35.00	45.40	38.00	38.40	35.00
24	12.00	2.10	1.40	56.00	51.70	45.20	40.20	18.30	11.70	1.30	35.20	45.50	38.10	38.60	35.10
25	12.00	2.10	1.60	56.20	51.90	45.50	40.40	17.60	11.50	1.60	35.50	46.00	38.30	38.90	34.90
26	13.00	2.10	1.70	56.40	52.20	45.60	40.30	17.30	11.30	1.60	35.90	46.00	39.00	39.20	34.60
27	13.00	2.10	1.40	56.60	52.50	46.00	40.40	18.30	11.40	2.30	36.20	46.40	39.20	39.60	34.90
28	13.00	2.10	1.50	57.10	52.60	46.00	40.50	19.00	11.50	2.90	36.40	46.70	39.50	40.00	35.00
29	13.00	2.10	2.00	57.80	53.10	46.40	40.80	19.50	11.90	2.50	37.00	47.10	39.70	40.40	34.90
30	13.00	2.10	1.60	57.90	53.60	46.60	41.20	17.70	11.60	1.90	37.30	47.30	40.20	40.70	35.20
31	13.00	2.20	1.80	58.10	53.90	47.10	41.20	18.70	11.70	2.50	37.60	47.70	40.60	41.10	34.90
32	13.00	2.20	2.50	59.00	54.40	47.60	41.90	20.10	12.40	2.90	37.90	48.30	40.90	41.40	35.20
33	13.00	2.20	2.20	59.30	54.70	47.90	42.30	18.40	12.20	2.10	38.10	48.50	41.10	41.70	35.10
34	13.00	2.20	2.10	59.70	55.30	48.30	42.30	19.80	12.30	3.00	38.60	48.90	41.50	42.10	35.20
35	13.00	2.20	2.40	60.40	55.60	48.70	43.20	20.10	12.70	2.20	38.90	49.30	41.90	42.40	35.40
36	14.00	2.20	2.20	60.40	55.80	48.70	43.10	18.50	12.30	2.20	39.10	49.30	42.40	42.70	35.20
37	14.00	2.20	2.20	60.80	56.20	49.10	43.00	20.50	12.60	3.60	39.40	49.80	42.80	43.00	34.90
38	14.00	2.20	2.40	61.40	56.70	49.40	43.70	19.60	12.80	2.50	39.70	49.90	42.90	43.40	35.70
39	14.00	2.20	2.40	61.60	57.10	49.70	43.50	19.70	12.60	3.00	40.00	50.40	43.40	43.70	35.40
40	14.00	2.20	2.40	62.40	57.50	50.10	44.50	19.90	13.00	2.50	40.50	50.70	43.60	44.10	35.20

ตารางที่ ข.8 อุณหภูมิและความดันที่อัตราการไหลของน้ำ (m_w) = 0.23 kg/s และอุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าอีวาโปเรเตอร์ (T_a) = 35 °C (ต่อ)

เวลา (min)	ความดัน(Bar)		อุณหภูมิ (°C)												
	High	Low	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13
41	14.50	2.20	2.60	62.20	57.60	50.30	44.00	19.70	12.50	3.00	40.70	50.90	43.80	44.30	35.30
42	14.50	2.20	2.80	62.90	57.90	50.50	44.70	21.00	13.30	2.70	40.90	51.10	44.10	44.80	35.10
43	14.50	2.20	2.70	63.10	58.50	51.00	44.70	19.50	12.70	2.90	41.40	51.60	44.60	45.10	35.10
44	14.50	2.20	2.80	63.70	58.60	51.10	45.20	20.80	13.40	2.80	41.60	51.60	44.70	45.20	35.00
45	14.50	2.20	2.70	63.60	58.90	51.30	44.90	20.80	13.00	3.40	41.60	51.90	45.10	45.60	35.50
46	15.00	2.20	2.70	64.40	59.40	51.80	45.90	20.00	13.20	2.80	42.00	52.20	45.40	45.80	35.20
47	15.00	2.20	2.80	64.60	59.70	52.00	45.60	22.10	13.60	4.70	42.40	52.60	45.70	46.20	35.80
48	15.00	2.20	3.00	65.00	60.30	52.30	46.00	19.20	13.00	3.00	42.70	52.80	45.90	46.50	35.10
49	15.00	2.20	3.10	65.60	60.40	52.40	46.50	21.20	13.70	3.10	42.90	53.00	46.40	47.00	35.20
50	15.00	2.20	2.90	65.70	60.80	52.80	46.30	22.40	13.80	4.40	43.10	53.30	46.50	47.00	34.90
51	16.00	2.20	3.10	66.20	61.20	53.00	46.60	19.50	13.10	3.20	43.60	53.60	47.00	47.40	34.90
52	16.00	2.20	3.10	66.70	61.20	53.30	47.40	21.20	13.70	3.10	43.60	53.80	47.20	47.70	35.40
53	16.00	2.20	3.40	66.90	61.80	53.50	46.90	23.00	14.10	5.30	43.90	54.20	47.50	47.90	34.90
54	16.00	2.20	3.20	67.20	62.10	53.90	47.20	21.00	13.50	4.00	44.40	54.50	48.00	48.30	35.60
55	16.00	2.20	3.30	67.70	62.60	54.20	47.80	20.10	13.50	3.30	44.70	54.70	48.10	48.60	35.50
56	16.00	2.40	3.30	68.30	62.80	54.40	48.40	21.50	14.20	3.30	44.90	54.90	48.50	48.90	35.20
57	16.00	2.40	3.60	68.50	63.10	54.60	48.20	23.20	14.40	5.20	45.30	55.30	48.90	49.40	35.40
58	16.00	2.40	3.20	68.70	63.50	55.10	48.30	22.80	14.30	4.60	45.40	55.70	49.00	49.70	35.60
59	16.00	2.40	3.50	69.10	63.80	55.10	48.50	20.70	13.70	3.80	45.70	55.70	49.50	49.90	35.80
60	16.00	2.40	3.50	69.60	64.00	55.50	49.30	20.60	14.00	3.70	46.10	56.10	49.80	50.00	35.80
61	16.50	2.40	3.60	70.10	64.50	55.90	49.70	22.00	14.50	3.80	46.50	56.50	50.00	50.50	35.00
62	16.50	2.40	4.00	70.40	64.80	55.90	49.90	22.70	14.90	4.10	46.70	56.50	50.10	50.80	35.30
63	16.50	2.40	4.30	70.80	65.20	56.20	50.00	23.60	15.20	4.40	47.00	56.80	50.70	51.10	35.40
64	16.50	2.40	3.90	70.80	65.30	56.60	50.00	24.00	15.00	5.70	47.40	57.30	51.00	51.40	35.30
65	16.50	2.40	3.50	70.90	65.50	56.70	49.80	23.30	14.60	4.70	47.70	57.30	51.30	51.80	35.30
66	17.00	2.40	3.70	71.30	65.80	56.70	49.90	21.40	14.10	4.30	48.00	57.60	51.70	52.00	35.50
67	17.00	2.40	4.10	71.90	66.70	57.30	50.20	21.20	14.30	4.80	48.30	58.00	51.70	52.30	35.40
68	17.00	2.40	4.20	72.40	67.50	57.70	50.70	22.70	14.60	5.20	48.60	58.40	52.10	52.50	35.60
69	17.00	2.40	4.10	72.80	67.40	58.10	51.20	23.40	15.20	5.10	48.90	58.70	52.60	52.90	35.90
70	17.00	2.40	4.00	73.00	67.70	58.20	51.20	22.50	14.80	4.90	49.20	58.90	52.60	53.10	35.10
71	18.00	2.40	4.20	73.50	68.20	58.40	51.40	23.20	15.10	5.50	49.30	59.30	53.00	53.50	35.10
72	18.00	2.40	4.30	73.80	68.60	58.80	51.80	24.60	15.60	6.00	49.70	59.50	53.10	53.80	35.30
73	18.00	2.40	4.60	74.20	68.90	58.90	52.10	25.70	16.10	6.70	49.90	59.70	53.90	54.20	35.60
74	18.00	2.40	5.10	74.80	69.30	59.30	52.70	25.30	16.30	7.10	50.30	60.10	54.00	54.50	35.40
75	18.00	2.40	5.20	75.20	69.60	59.50	53.20	24.30	16.10	5.20	50.60	60.20	54.40	54.70	36.30
76	18.50	2.40	4.70	75.60	69.90	59.70	53.50	23.30	15.80	4.90	50.80	60.50	54.50	55.00	35.50
77	18.50	2.40	5.00	75.80	70.30	60.10	53.50	22.00	15.60	5.20	51.30	60.80	54.90	55.40	35.50
78	18.50	2.40	4.90	75.80	70.30	60.00	53.40	21.60	15.40	5.20	51.30	60.80	54.80	55.40	35.50
79	18.50	2.40	5.00	76.00	70.70	60.20	53.40	21.90	15.30	5.20	51.50	60.90	55.00	55.70	35.80
80	18.50	2.40	4.90	76.30	71.00	60.40	53.30	24.20	15.80	6.20	51.60	61.30	55.30	55.90	35.60
81	19.00	2.40	5.00	77.00	71.30	60.90	54.10	26.30	16.80	7.10	51.70	61.80	55.80	56.20	35.80

ตารางที่ ข.8 อุณหภูมิและความดันที่อัตราการไหลของน้ำ (m_w) = 0.23 kg/s และอุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าอีวาโปเรเตอร์ (T_a) = 35 °C (ต่อ)

เวลา (min)	ความดัน(Bar)		อุณหภูมิ (°C)												
	High	Low	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13
82	19.00	2.40	5.50	77.50	71.80	61.20	54.70	25.20	16.70	5.50	52.30	62.10	55.90	56.50	35.50
83	19.00	2.40	5.10	77.60	72.00	61.40	54.80	23.20	16.10	5.30	52.40	62.10	56.50	56.80	35.40
84	19.00	2.40	5.30	77.80	72.50	61.50	54.50	21.80	15.50	5.40	52.60	62.30	56.50	57.20	35.60
85	19.00	2.40	5.20	78.10	72.70	61.90	54.60	25.40	16.50	6.60	52.90	62.70	56.80	57.50	36.00
86	20.00	2.60	5.80	78.90	73.20	62.20	55.40	26.90	17.30	7.90	53.10	63.20	57.30	57.80	35.60
87	20.00	2.60	5.50	79.40	73.60	62.40	56.00	23.70	16.60	5.80	53.40	63.50	57.80	58.10	35.70
88	20.00	2.60	5.60	79.60	74.10	62.60	55.50	22.30	15.90	5.90	53.90	63.80	58.00	58.40	35.50
89	20.00	2.60	5.50	79.80	74.40	63.00	55.60	27.10	17.40	7.50	54.10	64.10	58.30	58.80	35.70
90	20.00	2.60	6.10	80.60	74.70	63.30	56.70	26.40	17.60	6.60	54.30	64.40	58.50	58.90	36.00



ตารางที่ ข.9 อุณหภูมิและความดันที่อัตราการไหลของน้ำ (m_w) = 0.32 kg/s และอุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าอีวาโปเรเตอร์ (T_a) = 35 °C

เวลา (min)	ความดัน(Bar)		อุณหภูมิ (°C)												
	High	Low	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13
0	-	-	27.70	27.80	27.70	27.70	27.80	27.80	28.30	27.50	28.20	28.30	28.30	28.40	35.80
1	9.00	2.10	10.10	44.10	42.50	34.30	32.50	26.60	23.50	9.90	28.20	34.80	28.30	28.30	35.60
2	9.00	2.10	4.80	41.10	39.30	35.90	34.30	21.70	16.30	4.80	28.20	35.40	28.40	28.70	35.40
3	9.00	2.10	3.50	41.00	39.00	35.60	33.90	20.70	14.50	3.50	28.30	35.10	28.80	29.00	34.80
4	9.00	2.10	2.40	41.90	39.60	35.60	33.60	19.40	13.10	2.50	28.50	35.20	29.20	29.40	34.70
5	9.00	2.10	2.00	42.60	39.90	35.80	33.30	18.30	12.00	1.90	28.90	35.50	29.50	29.50	35.00
6	9.00	2.00	1.40	42.90	40.30	36.00	33.20	17.40	11.20	1.30	29.10	35.80	29.70	30.10	34.90
7	9.00	2.00	1.00	43.50	40.70	36.30	33.10	16.80	10.70	1.00	29.40	36.10	30.10	30.30	35.50
8	9.00	2.00	0.90	43.90	41.00	36.50	33.10	16.30	10.40	0.70	29.60	36.30	30.40	30.50	35.50
9	9.00	2.00	0.60	44.40	41.30	36.70	33.10	16.00	10.00	0.50	29.80	36.50	30.70	30.90	35.00
10	9.00	2.00	0.50	44.40	41.50	36.90	33.20	15.80	9.90	0.40	30.20	36.80	30.90	31.30	35.50
11	10.00	2.00	0.30	44.60	41.70	37.10	33.10	15.60	9.70	0.20	30.40	36.90	31.20	31.50	35.00
12	10.00	2.00	0.20	44.80	41.80	37.40	33.30	15.50	9.60	0.10	30.60	37.20	31.50	31.80	35.10
13	10.00	2.00	0.10	45.10	42.20	37.50	33.40	15.40	9.50	0.00	30.80	37.40	31.80	31.80	35.10
14	10.00	2.00	0.00	45.60	42.40	37.90	33.50	15.40	9.40	0.00	31.10	37.70	32.10	32.40	35.80
15	10.00	2.00	-0.10	45.90	42.70	38.00	33.60	15.50	9.40	-0.20	31.50	37.90	32.40	32.60	34.50
16	10.00	2.00	0.00	46.30	43.10	38.40	33.80	15.30	9.30	0.00	31.60	38.20	32.60	32.90	34.00
17	10.00	2.00	0.00	46.90	43.50	38.80	34.10	15.30	9.50	0.00	32.10	38.70	32.90	33.30	34.10
18	10.00	2.00	0.00	47.30	43.80	38.90	34.10	15.90	9.50	-0.10	32.00	38.80	33.20	33.40	34.20
19	10.00	2.00	0.20	47.60	44.20	39.20	34.20	15.70	9.50	0.90	32.30	39.00	33.50	34.00	33.80
20	10.00	2.00	0.20	48.10	44.80	39.70	34.80	15.20	9.40	0.10	33.00	39.50	33.80	34.10	34.90
21	10.50	2.00	0.00	48.30	44.90	39.70	35.00	15.30	9.40	0.00	33.00	39.50	34.10	34.50	34.60
22	10.50	2.00	-0.10	48.60	45.00	39.90	35.10	16.00	9.50	-0.30	33.20	39.70	34.20	34.80	35.40
23	10.50	2.00	0.00	48.80	45.20	40.20	35.10	16.00	9.50	0.00	33.50	40.00	34.70	34.80	35.70
24	10.50	2.00	0.20	49.30	45.50	40.40	35.30	15.30	9.30	0.20	33.90	40.40	35.00	35.30	35.40
25	10.50	2.00	0.10	49.70	46.00	40.80	35.80	15.30	9.40	0.00	34.20	40.60	35.40	35.60	35.50
26	11.00	2.00	0.00	50.10	46.30	40.80	35.90	16.10	9.70	0.00	34.40	40.70	35.80	36.10	35.50
27	11.00	2.00	0.20	50.60	46.60	41.30	36.20	16.80	9.90	0.00	35.00	41.20	35.90	36.30	35.00
28	11.00	2.00	0.20	50.60	46.80	41.40	36.20	16.60	9.80	0.90	34.80	41.30	36.40	36.60	35.00
29	11.00	2.00	0.30	50.60	46.80	41.40	36.20	16.70	9.90	0.60	34.80	41.30	36.30	36.60	34.90
30	11.00	2.00	0.30	50.90	47.10	41.80	36.50	16.10	9.70	0.60	35.30	41.70	36.70	36.80	34.90
31	11.50	2.00	0.30	51.20	47.40	42.00	36.70	15.70	9.60	0.20	35.30	41.90	36.90	37.00	34.30
32	11.50	2.00	0.30	51.80	47.70	42.30	37.20	16.20	10.00	0.20	35.80	42.20	37.10	37.30	34.50
33	11.50	2.00	0.30	52.10	48.10	42.60	37.50	16.70	10.30	0.20	36.20	42.50	37.40	37.70	34.40
34	11.50	2.00	0.40	52.50	48.30	42.80	37.60	17.30	10.30	0.20	36.30	42.80	37.90	38.10	34.50
35	11.50	2.00	0.50	52.60	48.60	43.10	37.70	17.50	10.40	0.50	36.70	43.10	38.10	38.30	35.00
36	12.00	2.00	0.60	52.80	48.80	43.40	37.90	17.50	10.30	1.60	36.90	43.40	38.20	38.80	34.50
37	12.00	2.00	0.40	53.30	49.20	43.80	38.10	17.40	10.30	1.30	37.20	43.80	38.70	39.00	34.70
38	12.00	2.00	0.50	53.60	49.60	44.10	38.30	17.10	10.30	1.30	37.70	44.10	38.90	39.00	34.70
39	12.00	2.00	0.50	53.90	49.80	44.00	38.40	16.90	10.30	0.70	37.50	44.20	39.30	39.40	34.90
40	12.00	2.00	0.80	54.40	50.30	44.50	38.90	16.90	10.40	0.80	38.00	44.50	39.40	40.00	35.00

ตารางที่ ข.9 อุณหภูมิและความดันที่อัตราการไหลของน้ำ (m_w) = 0.32 kg/s และอุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าอีวาโปเรเตอร์ (T_a) = 35 °C (ต่อ)

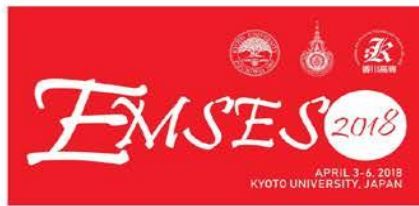
เวลา (min)	ความดัน(Bar)		อุณหภูมิ (°C)												
	High	Low	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13
41	12.50	2.10	0.80	54.70	50.50	44.80	39.10	16.70	10.40	0.80	38.50	44.90	39.90	40.10	34.30
42	12.50	2.10	0.90	55.20	50.70	45.00	39.30	16.70	10.50	0.90	38.90	45.20	40.20	40.60	34.50
43	12.50	2.10	0.70	55.30	51.20	45.20	39.40	16.70	10.50	0.80	39.00	45.40	40.40	40.70	34.90
44	12.50	2.10	0.70	55.60	51.40	45.60	39.90	16.90	10.70	0.80	39.30	45.70	40.90	41.00	35.20
45	12.50	2.10	0.80	56.10	51.80	45.70	40.00	16.90	10.60	0.80	39.30	45.80	41.00	41.20	34.10
46	13.00	2.10	0.90	56.40	52.10	45.90	40.20	16.90	10.80	1.00	39.70	46.20	41.40	41.80	34.30
47	13.00	2.10	1.10	56.80	52.40	46.40	40.50	17.10	10.80	1.10	40.30	46.60	41.60	42.00	34.10
48	13.00	2.10	1.10	57.30	53.10	46.80	40.70	17.70	11.00	1.50	40.40	47.10	42.10	42.30	34.80
49	13.00	2.10	1.00	57.70	53.30	47.00	40.90	18.20	11.20	1.90	40.80	47.20	42.20	42.70	34.70
50	13.00	2.10	1.20	58.00	53.50	47.30	41.30	19.40	11.60	2.60	41.00	47.60	42.70	42.90	34.70
51	13.00	2.20	1.50	58.70	53.90	47.50	41.70	19.60	11.80	1.60	41.40	47.70	43.10	43.10	34.00
52	13.00	2.20	1.30	59.00	54.30	47.90	42.00	19.30	11.90	1.10	41.80	48.10	43.40	43.40	34.30
53	13.00	2.20	1.20	59.20	54.50	48.00	42.20	19.00	11.90	1.30	41.80	48.10	43.50	43.70	34.40
54	13.00	2.20	1.30	59.60	54.90	48.40	42.50	18.50	11.80	1.40	42.30	48.60	43.80	44.20	34.50
55	13.00	2.20	1.30	59.70	54.80	48.50	42.40	17.70	11.40	1.30	42.20	48.80	44.20	44.50	35.50
56	14.00	2.20	1.40	60.10	55.40	48.90	42.50	18.10	11.40	1.30	42.80	49.10	44.50	44.80	34.40
57	14.00	2.20	1.30	60.70	56.00	49.40	42.80	19.90	11.90	2.80	43.30	49.70	44.90	45.00	34.30
58	14.00	2.20	1.70	61.10	56.20	49.40	43.40	20.10	12.30	1.70	43.20	49.60	45.10	45.20	34.40
59	14.00	2.20	1.70	61.50	56.60	49.80	43.70	18.70	12.10	1.70	43.60	49.90	45.40	45.70	34.00
60	14.00	2.20	1.70	61.60	56.60	50.10	43.60	18.50	11.80	1.90	44.00	50.20	45.60	45.90	34.10
61	14.50	2.20	1.60	62.10	57.10	50.40	43.80	20.40	12.10	2.60	44.20	50.40	45.90	46.30	33.90
62	14.50	2.20	1.90	62.80	57.50	50.80	44.60	20.50	12.60	1.90	44.80	50.90	46.30	46.50	34.50
63	14.50	2.20	1.90	62.80	57.90	50.90	44.60	18.80	12.20	2.00	44.70	51.00	46.70	46.80	34.40
64	14.50	2.20	1.70	63.00	58.10	51.10	44.50	20.20	12.30	2.90	45.10	51.40	46.80	47.30	34.30
65	14.50	2.20	2.00	63.80	58.30	51.40	45.20	21.00	12.80	2.20	45.60	51.60	47.20	47.60	34.20
66	15.00	2.20	1.70	64.10	58.80	51.90	45.60	18.90	12.30	1.80	45.80	52.00	47.70	47.90	35.00
67	15.00	2.20	1.60	64.00	58.70	51.90	45.50	18.80	11.80	1.50	46.00	52.10	47.80	48.10	34.70
68	15.00	2.20	1.50	64.10	58.80	51.90	45.20	19.20	11.70	1.70	46.00	52.10	48.10	48.20	35.60
69	15.00	2.20	1.50	64.60	59.00	52.20	45.50	20.70	12.20	2.80	46.40	52.50	48.30	48.70	35.60
70	15.00	2.20	1.70	65.50	59.70	52.60	46.20	20.20	12.50	1.80	46.70	52.80	48.70	49.10	34.80
71	15.00	2.20	1.90	65.50	60.10	52.80	45.80	19.10	12.00	2.20	46.90	53.10	49.10	49.40	34.70
72	15.00	2.20	2.20	66.50	60.60	53.20	46.90	20.90	13.00	2.30	47.50	53.60	49.40	49.50	34.50
73	15.00	2.20	1.80	66.40	60.90	53.50	46.80	18.90	12.10	1.90	47.80	53.90	49.60	49.60	35.00
74	15.00	2.20	1.90	66.70	60.90	53.60	46.70	21.70	12.90	3.50	48.00	53.80	49.70	49.90	34.50
75	15.00	2.20	2.00	67.10	61.50	53.80	47.40	19.20	12.50	2.30	48.10	54.10	50.00	50.20	34.80
76	16.00	2.20	2.30	67.80	61.90	54.30	47.60	22.10	13.30	4.00	48.60	54.70	50.40	50.60	34.40
77	16.00	2.20	2.40	68.10	62.40	54.50	47.60	19.30	12.60	2.50	48.90	54.90	50.60	51.00	34.20
78	16.00	2.20	2.40	68.40	62.60	54.80	48.30	21.60	13.50	2.40	49.20	55.10	51.00	51.00	34.10
79	16.00	2.20	2.30	68.60	63.10	55.10	48.00	21.20	13.10	3.30	49.40	55.50	51.10	51.20	34.40
80	16.00	2.20	2.30	69.20	63.30	55.30	48.80	20.40	13.30	2.60	49.60	55.60	51.60	51.60	34.10
81	16.50	2.20	2.50	69.50	63.60	55.50	48.70	22.70	13.70	3.90	49.90	56.00	52.00	52.00	34.10

ตารางที่ ข.9 อุณหภูมิและความดันที่อัตราการไหลของน้ำ (m_w) = 0.32 kg/s และอุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าอีวาโปเรเตอร์ (T_a) = 35 °C (ต่อ)

เวลา (min)	ความดัน(Bar)		อุณหภูมิ (°C)												
	High	Low	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13
82	16.50	2.20	2.50	69.90	64.00	55.80	48.80	19.60	12.90	2.70	50.20	56.30	52.10	52.40	34.20
83	16.50	2.20	2.60	70.40	64.20	56.00	49.60	21.60	13.80	2.80	50.40	56.40	52.70	52.60	34.30
84	16.50	2.20	2.50	70.50	64.60	56.50	49.30	22.80	13.90	3.80	51.20	56.90	52.70	53.00	34.70
85	16.50	2.20	2.70	70.90	64.90	56.40	49.60	19.70	13.10	2.80	51.50	57.00	53.00	53.10	34.70
86	17.00	2.20	2.70	71.40	65.00	56.70	50.20	21.70	14.00	2.90	51.80	57.10	53.30	53.50	34.90
87	17.00	2.20	3.20	71.60	65.80	57.00	50.00	23.80	14.50	4.90	52.10	57.50	53.80	53.90	34.60
88	17.00	2.20	2.80	71.80	66.10	57.40	50.10	22.60	14.00	4.10	52.20	57.90	54.00	54.10	34.80
89	17.00	2.20	3.00	72.40	66.50	57.70	50.50	20.60	13.50	3.30	52.30	58.20	54.20	54.40	34.80
90	17.00	2.20	3.00	72.40	66.50	57.70	50.40	21.10	13.60	3.50	52.50	58.40	54.30	54.40	34.80
91	18.00	2.20	3.00	72.80	66.80	57.90	51.10	20.70	13.80	3.30	52.30	58.30	54.60	54.70	34.50
92	18.00	2.20	3.30	73.30	67.00	58.20	51.50	22.20	14.40	3.40	52.80	58.70	54.80	55.00	34.80
93	18.00	2.20	3.30	73.20	66.90	58.30	51.50	23.60	14.60	3.50	52.90	58.80	55.20	55.20	35.20
94	18.00	2.20	3.10	73.70	67.50	58.70	51.20	23.90	14.60	4.80	53.10	59.40	55.40	55.70	35.10
95	18.00	2.20	3.10	74.10	67.80	59.00	51.50	22.70	14.20	4.10	53.60	59.50	55.80	55.80	35.00
96	18.00	2.40	3.30	74.40	68.10	59.20	51.70	21.70	13.80	3.70	53.90	59.80	56.10	56.00	34.50
97	18.00	2.40	3.30	74.60	68.40	59.30	52.00	20.80	13.90	3.50	54.20	60.00	56.10	56.40	35.00
98	18.00	2.40	3.30	74.90	68.80	59.60	52.50	20.80	14.00	3.60	54.40	60.20	56.60	56.90	35.00
99	18.00	2.40	3.30	75.50	69.20	59.80	52.90	21.30	14.40	3.70	54.60	60.40	56.90	57.10	34.90
100	18.00	2.40	3.40	76.00	69.60	60.10	53.20	21.60	14.50	3.80	55.00	60.70	57.30	57.30	34.50
101	19.00	2.30	3.50	76.50	70.10	60.50	53.70	21.90	14.70	3.90	55.30	61.00	57.20	57.60	34.50
102	19.00	2.30	3.50	76.40	70.20	60.50	53.60	22.00	14.70	3.90	55.20	61.10	57.60	57.90	34.50
103	19.00	2.30	3.50	76.80	70.40	60.80	53.80	21.80	14.60	3.90	55.20	61.30	57.90	58.10	34.50
104	19.00	2.30	3.70	77.40	71.10	61.20	54.20	21.70	14.80	4.20	55.70	61.60	58.40	58.40	34.60
105	19.00	2.30	3.90	77.50	71.20	61.30	54.30	21.70	14.80	4.20	56.00	61.60	58.60	58.60	34.80
106	19.50	2.30	3.70	77.80	71.40	61.70	54.40	21.50	14.60	4.10	56.10	62.00	59.00	59.10	34.00
107	19.50	2.30	3.90	78.10	71.80	61.70	54.20	21.20	14.60	4.30	56.10	62.00	58.90	59.10	34.30
108	19.50	2.30	4.00	78.40	72.10	62.10	54.50	22.70	14.80	4.40	56.60	62.40	59.40	59.30	34.30
109	19.50	2.30	3.80	78.70	72.10	62.50	54.80	24.00	15.20	4.80	57.20	62.70	59.60	59.80	35.00
110	19.50	2.30	3.80	79.20	72.50	62.70	54.80	24.60	15.30	5.30	57.30	63.00	59.80	59.90	34.10
111	20.00	2.30	3.80	79.40	72.50	62.60	55.00	25.80	15.80	5.70	57.10	63.00	60.20	60.50	35.10
112	20.00	2.30	4.30	80.00	73.10	62.80	55.40	26.40	16.20	6.50	57.50	63.30	60.50	60.60	34.40
113	20.00	2.30	4.70	80.60	73.80	63.10	56.20	24.80	16.30	5.10	57.70	63.50	60.90	60.90	34.00
114	20.00	2.30	4.30	80.90	74.00	63.60	56.50	23.00	15.70	4.70	58.10	63.80	61.10	61.10	34.10
115	20.00	2.30	4.40	81.30	74.50	63.80	56.50	21.90	15.20	4.80	58.40	64.20	61.40	61.50	34.70

ภาคผนวก ค
ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่

- [1] P. Hunchat, S. Thongwik and W. Chanpeng, “Effect of Refrigerant Mass Flow Rate on the Performance of Water Heater”, in *The 14th Eco-Energy and Materials Science and Engineering Symposium (EMSES2018)*, Kyoto University Japan, 2018, pp.50-54.
- [2] ภกวัต หุ่นฉัตร และ สถาพร ทองวิก, “ผลของอัตราการไหลของน้ำที่มีผลต่อสมรรถนะของการทำน้ำร้อนด้วยปั๊มความร้อนขนาด 16 กิโลวัตต์”, ใน *การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 14*, โรงแรมโนโวเทล ระยอง, 2561, หน้า 428-433.

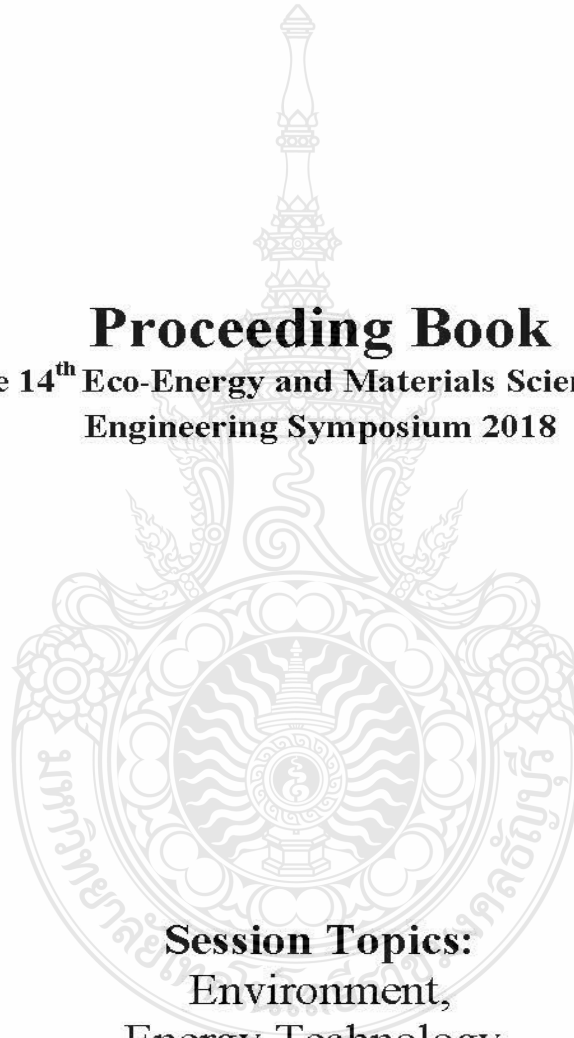


The 14th Eco-Energy and Materials Science and Engineering Symposium

April 3 – 6, 2018, Kyoto University, Japan

Proceeding Book

The 14th Eco-Energy and Materials Science and
Engineering Symposium 2018



Session Topics:

Environment,
Energy Technology,
Materials,

Social Impact and Development and
New Energy and Fusion

14th EMSES 2018 ORGANIZING COMMITTEE

Advisory Chair

Professor Prasert PINPATHOMRAT Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thailand
Professor Takeshi YAO National Institute of Technology Kagawa college, Japan

Organizing Committee

General Chair Hideaki OHGAKI Kyoto University, Japan
General Co-Chair Sommai PIVSA-ART RMUTT, Thailand
General Co-Chair Sivakorn ANGTHONG RMUTT, Thailand

Technical Program Committee

TPC Chair Krischonme BHUMKITTIPICH RMUTT, Thailand
TPC Co-Chair Supakij SUTIRUENGWONG Silpakorn University, Thailand

International Steering Committee

Pitt SUPAPOL PPC, Thailand
Tomoko OTA Chuo Business Group, Japan
Yu-Qiu YANG Donghua University, Japan
Yew Wei LEONG Institute of Materials Research and Engineering, Singapore
Tomoya TAKEDA Kyoto Ryo En, Japan
Mitsunori SUDA Suda store Co., Ltd., Japan
Nobuyoshi KAJIOKA Daikyo Nishikawa Corporation, Japan
Reiko FURUI Tezukayama University, Japan
Hiroyuki NISHIMOTO Takeda Chemical Industries, Co., Ltd., Japan
Akihiro FUJITA Mitsubishi Chemical Corporation, Japan
Yuji FUJITA Mitsubishi Chemical Corporation, Japan
Masaya MATSUSHITA Yuho Co., Ltd., Japan
Takanori NEGORO Negoro Co., Ltd., Japan
Tohru MORII Shonan Institute of Technology, Japan
Kazuhiisa TOU Mazda Motor Corporation, Japan
Kengo NODO Nodo Seisakusho Co., Ltd., Japan
Tsutomu SETO Matsuura & Co., LTD., Japan
Ryo MARUI Marui Textile Machinery Co., Ltd., Japan
Mikako ITO Keiseikai, Japan
Takanori KITAMURA Daiwa Itagama, Japan
Kanta ITO Daiwa Itagama, Japan
Yoshihiro MIZUTANI JPacks Co. Ltd., Japan
Keisuke KITAI Kitai Seisakusyo Co., Ltd., Japan
Takeshi SENBA Kyoto Municipal Institute of Industrial Technology and Culture, Japan
Taiei KUSUHARA SJJ Co., Ltd., Japan
Yuuki HISAKURA Konica Minolta Inc., Japan
T. INOUE Yamagata University, Japan
T. ITO National Institute of Technology Kagawa college
Nagahiro SAITO Nagoya University, Japan
Bawornkit NEKHAMANURAK Rajamangala University of Technology Ratanakosin, Thailand
Pimolpan NIAMLANG Rajamangala University of Technology Ratanakosin, Thailand
Wanchai SUBSINGHA Rangsit University, Thailand
Monthon NAWONG Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thailand
Pimnapat IEMSOMBOON Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thailand
Boonyang PLANGKLANG Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thailand
Sorapong PAVASUPREE Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thailand
Yuttana KUMSUWAN Chiangmai University, Thailand
Kaan KERDCHERN Rajamangala University of Technology Isan, Thailand
Uthen KAMNAN Rajamangala University of Technology Lanna, Thailand
Tanapong SUWANNASRI Thai-German Graduate School of Engineering, Thailand
Wirachai ROYNARIN Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thailand
Napaporn PHUANGPORNPIITAK Kasertsart University, Thailand
Pramuk UNAHALEKHAKA Rajamangala University of Technology Suvannabhumi, Thailand
Boonrit PRASARTKAEW Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thailand
Anin MEMON Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thailand
Weraporn PIVSA-ART Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thailand
Boontida UAPUPATANAKUL Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thailand
Nakarinn PINPATHOMRAT Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thailand
Nipat JONGSAWAT Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thailand
Amnioy RUENGWAREE Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thailand
Natee SRISAWAT Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thailand
Narongchai O-CHAREON Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thailand

Somchai BIANSONGNERN
Nathabhat PHANKONG

Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thailand
Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thailand

Publicity and Website Committee

Rungphet KNOGNOK
Yuttana KONGJEEN
Wasan PHETPHIMOON
Prakasit PRABPALI
Sontaya MANMAI
Thanischat KHAMSRISUK
Tossaporn CHAROENCHAN
Tiphacha PHONGTRAKUL
Sasiporn POLPAISANSAK
Channarong RUEANGKHACHON

Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thailand
Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thailand
Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thailand
Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thailand
Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thailand
Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thailand
Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thailand
Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thailand
Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thailand
Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thailand

General Secretariat

Sumonman NIAMLANG

Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thailand



LIST OF 14th EMSES 2018 REVIEWERS

Boonyang	PLANGKLANG	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Surin	NGAEMNGAM	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Nathabhat	PHANKONG	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Napaporn	PHUANGPORNPI TAK	Kasetsart University
Wekin	PIYARAT	Srinakharinwirot University Ongkharok
Hideaki	OHGAKI	Kyoto University
Kouichi	MIURA	Kyoto University
Krischonmne	BHUMKITTIPICH	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Uthen	KAMNARN	Rajamangala University of Technology Lanna
Boonrit	PRASARTKAEW	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Pramuk	UNAHALEKHAKA	Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi
Pimnapat	BHUMKITTIPICH	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Yuji	FUJITA	Mitsubishi Chemical Reserach
Chanchai	THONGPIN	Silpakom University
Hiroyuki	NISHIMOTO	Takeda Pharmaceutical Company
Tomoya	TAKEDA	Taste Inc.
Nattakarn	HONGSRIPHAN	Silpakom University
Supakij	SUTTIRUENGWONG	Silpakom University
Natee	SRISAWAT	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Narit	TRIAMNAK	Silpakom University
Rattikarn	KHANKRUA	Rajamangala University of Technology Rattanakosin
Sumonman	NIAMLANG	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Sorapong	PAVASUPREE	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Sutinee	GIRDTHEP	Silpakom University
Anin	MEMON	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Winai	CHANPHENG	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Somma	PIVSA-ART	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Cheewita	SUWANCHAWALIT	Silpakom University
Wissanu	CHARERNTANOM	Rajamangala University of Technology Isan
Weraporn	PIVSA-ART	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Bawornkit	NEKHAMANURAK	Rajamangala University of Technology Rattanakosin
Sirichai	TORSAKUL	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Pajaera	PATANATHABUTR	Silpakom University
Akinori	SEITO	Kyoto University
Hitomi	OHARA	Kyoto Institute of Technology
Nadarajah	MITHULANANTHAN	University of Queensland
Takeshi	YAO	Kayawa College
Yuichi	ANADA	Hokkaido Information University
Young	S. CHAI	Youngnam University
Seonghyuk	KO	Yonsei University
Kumron	SIRATHANAKUL	Nakhon Panom University
Jakkree	SRINONCHAT	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Nattapong	PHANTHUNA	Rajamangala University of Technology Pha Nakhon
Sakorn	PO-NGAM	King Mongkut's University of Technology Thonburi
Nattawoot	SUWANTHA	Maharakham University
Tawatchai	CHARINPANITKUL	Chulalongkorn University
Mbaitiga	ZACHAIE	National Institute of Technology, Okinawa College
Natha	KUPTASTHIEN	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Pongsri	SIWARASAK	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Yuji	ASO	Kyoto Institute of Technology
Sutham	NIYOMWAS	Prince of Songkla University
Pramoch	RANGSUMVIGIT	Chulalongkorn University
Winadda	WONGWIRIYAPAN	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Nattachote	RUGTHAICHAROENCHEEP	Rajamangala University of Technology Phra Nakhon
Surawut	CHUANGCHOTE	King Mongkut's University of Technology Thonburi
Chuntip	SAKULKHAEMARUETHAI	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Putinun	UAWONGSUWAN	King Mongkut's University of Technology
Leong	YEW WEI	Institute of Materials Research and Engineering
Chatchai	SUPPITAKSAKUL	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Apisit	KOSITCHAITONG	PTT Global Chemical Public Company Limited
Atitaya	TOHSAN	King Mongkut's University of Technology
Watthanaphon	HEEWAWUTTIPONG	Rajamangala University of Technology Srivijaya
Supattana	NIRUKKANAPORN	Rangsit University
Nithiwatthn	CHOOSAKUL	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Teerin	KONGPUN	Rajamangala University of Technology Rattanakosin
Thirawat	MUEANSICHAI	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Taro S	ONOBÉ	Kyoto University
Noppawan	MOTONG	Naresuan University
Tetsuo	TEZUKA	Kyoto University
Khamphone	NANTHONG	National University of Laos

CONTENT

	Page
Water Footprint of Economic Crop in Ratchaburi Province <i>S. Tiewtoy</i>	17
The Contribution of Wooden Buildings to the Sustainable Development Goals <i>A. Phdungsilp and N.t Areerakulkan</i>	23
Development Of Measurement System Using Various Spectroscopic Methods For Integration Into 3D Laser-Scanner Projector <i>N. Tsumori, R. Niwase and K. Fukuda</i>	28
Development Of Auto-Tracking Pollution Detection System By Using Various Spectroscopic Methods <i>K. Fukuda, R. Niwase and N. Tsumori</i>	31
Investigation of Hot Air Production from Fluidized Bed Kiln with Biomass of Rice Husk <i>W. Chanpeng and P. Chunkaew</i>	36
Proposal of Simple Technique to Visualize Energy-related Statistical Data and its Relevance to Energy Policy Measures <i>H. Unesaki and H. Nojima</i>	41
Collection of Variable Datas Affected Electricity Generation of PV Array with FIO Board STM 32F4 <i>A. Noppakant and J. Songboonkaew</i>	46
Effect Of Refrigerant Mass Flow Rate On The Performance Of Water Heater <i>P. Hunchat, S.Thongwik and W. Chanpeng</i>	50
The Charcoal Yield Characteristics From The Pyrolysis Of Bamboo Using Flue Gas <i>W. Chanpeng and K. Homchat</i>	55
Illumination Control System by LDR for Energy Efficient Buildings <i>S. Raweekul</i>	60
Design and Analysis of a Single-Phase Hybrid Renewable Energy Systems <i>J. Songboonkaew and A. Noppakant</i>	65
Comparison of PV Generation between Thin Film and Poly Crystalline based on PVSYST Program and Real Installation <i>N. Nilkaew, R. Ratchapan and B. Plangklang</i>	70
Mechanical and Thermal Properties of Film based on Poly(lactic acid)/ Ethylene vinyl acetate copolymer blends <i>R. Khankrua, T. Chinsaard, P. Chiaranai and S. Suttiruengwong</i>	73
Effectiveness Of Supply Current Test Method For Resistive Open Fault By Miniaturization Of Manufacturing Process <i>H. Suzaki and I. Tsukimoto</i>	79
The Influence of Silica on Thermal Properties and Melt Flow Index of Reprocessed PLA/PBAT Biocomposite <i>B. Nekhamamurak</i>	83
A Study On Conductor Loss Of Copper-Clad Dielectric Substrate <i>Y. Kusama, Y. Yokoi and R. W. Johnston</i>	89

Effect of Refrigerant Mass Flow Rate on the Performance of Water Heater

Phakhawat Hunchat

Department of Mechanical Engineering
Faculty of Engineering
Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Pathumthani, Thailand
solskjaer_s@msn.com

Sathaporn Thongwik

Department of Mechanical Engineering
Faculty of Engineering
Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Pathumthani, Thailand
thongwik@yahoo.com

Winai Chanpeng³

³ Department of Mechanical Engineering
Faculty of Engineering
Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Pathumthani, Thailand
winai.c@en.rmutt.ac.

Abstract— This research studies the effect of refrigerant mass flow rate on performance of water heater 550 L by 16 kW heat pump using R-134a. The experiment is tested by controlled air temperature is 30 ± 1 °C and water mass flow rate in condenser is 0.13 kg/s. The data is collected from the experiment by varying the refrigerant mass flow rate at 0.0589 kg/s, 0.0751 kg/s and 0.0837 kg/s. The result show that the refrigerant mass flow rate increases with heating capacity and compressor work is decreased. The COP and time taken for heating of water will be increased. The refrigerant mass flow rate at 0.0837 kg/s is the highest COP and the lowest COP at 0.0589 kg/s.

Keywords— Heat pump; Refrigerant mass flow rate; Hot water; Coefficient of performance.

I. INTRODUCTION

Electric power is one of the factors that are important in the life of human beings. Thailand is one country that has natural resources which used in the production of electrical energy but it is not enough. Many researcher tried to improve the energy efficiency and gained the maximum benefit of used energy. Many places use hot water in their production which is produced by using electric power. In several types of establishments, such as hospitals, hotels, industrial as well as residential the hot water production is mainly for use in large quantities each day. This cost in the production of hot water is considered high cost. Currently, the heat pump technology is widely used for reduce the cost of production. Hot water was produced by heat pump has highly effective compared with the boiler and electrical water heater. So, some researches focused on this area are summarized as follows:

Chaiorranan A. [1] designed and constructed the small water heater using heat pumps for 3-4 persons in a house. The heat pump system was composed of hot water storage tank 100 liters, compressor was 1.39 kW

using R-22 refrigerant, evaporator was 3.51 kW and condenser was 4.46 kW. While the experiment, the hot water was used continuously at 2.5 l/min. It found, that the average hot water temperature is 50.5 °C, the total electricity consumption is 3.89 kW, the average COP is 3.25 and the EER is 2.02. Therefore can save costs more than the electric water heater is approximately 2 times.

Thomyapitak T. [2] studied the water heating from waste heat of air conditioning unit was 18,000 Btu/hr. Air cooled condenser was replaced by water cooled condenser. It found that water heater from waste heat of air conditioning unit at water flow rate 15 l/min give the maximum EER at 4.75 Btu/hr/W. The unit can heat up the water temperature from 31 °C to 36 °C. The economy evaluation found that Pay Back Period was 0.82 year.

Eksuwan P. [3] has developed a mathematical model to study the reduction of the cooling load in attic room and water heating. By using the heat pump to extract the heat from the attic room to produce hot water at a temperature of 30 °C to 50 °C and reducing cooling load of the room temperature was controlled at 25 °C with 13,000 Btu/hr air conditioners. It found that when heat pump system installed the temperature in the attic room will decrease about 4-6 °C which reduced the work of air conditioning. Moreover, this system can produced hot water at the temperature not lower than 50 °C.

Yokoyama et al. [4] studied the system of water heating with heat pump 4.5 kW using CO₂ as the working fluid in the system. The CO₂ heat pump can be used in combination with hot water storage tank 370 liters. The mathematical model was to compare with the experimental data. It was found that the experimental and mathematical model results are in good agreement. After that, predict the performance to analyze the influence of different factors that affect the performance of the heat pump. The study found that the performance of this system depends on 3 factors is air temperature, inlet and outlet water temperature in condenser.

Zhang et al. [5] studied the optimization of the water heating system by heat pump 750 W with rotary compressor and use R-22 as the working fluid. The 150 liters of water heating at initial temperature 15° C to 55° C. It found that the capillary tube length, the filling quantity of refrigerant, the condenser coil tube length and system matching are discussed accordingly. From the testing results, it could be seen that the system performance COP could be improved obviously.

Because of the energy costs in the production of hot water is quite high which depends on the water heating system is used that are appropriate and effective. The above mentioned reasons, this research is to study the system of water heating with air source heat pump. By choosing to study the effect of the refrigerant mass flow rate on performance of water heater by heat pump.

II. DATA DESCRIPTION

The heat pump system consists of the compressor, condenser, expansion valve and evaporator which is connected as shown in Fig.1 (a) the devices of the system and Fig.1 (b) is the p-h diagram of the system.

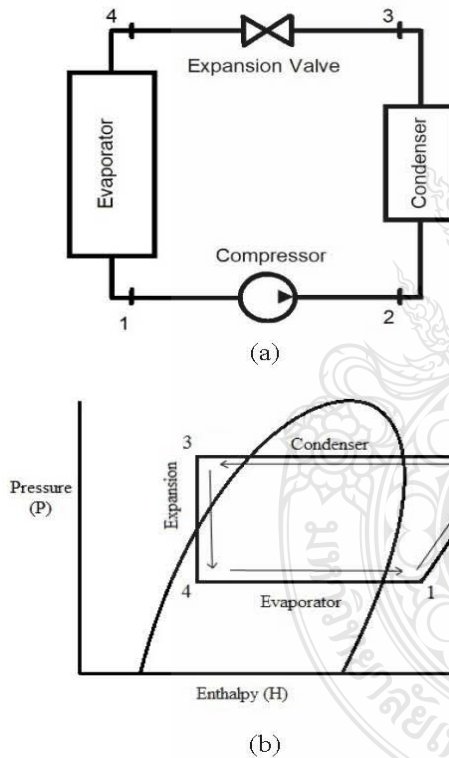


Fig.1. (a) Heat pump cycle. (b) The p-h diagram of heat pump cycle.

A. Compressor

The 1-2 process is a process where the refrigerant is compressed by the compressor. It have higher temperature and pressure. The compressor work can be obtained from:

$$W_{comp} = (h_2 - h_1) \quad (1)$$

when

W_{comp} is the compressor work (kJ/kg)

h_1 is the enthalpy of refrigerant at inlet compressor (kJ/kg)

h_2 is the enthalpy of refrigerant at outlet compressor (kJ/kg)

B. Condenser

The 2-3 process is the process of vapor refrigerant condensing to liquid which occurred at pressure constant. The heat transfer out of the condenser can be obtained from:

$$Q_{cond} = (h_2 - h_3) \quad (2)$$

when

Q_{cond} is the heat transfer out of the condenser (kJ/kg)

h_3 is the enthalpy of refrigerant at outlet condenser (kJ/kg)

C. Expansion Valve

The 3-4 process is a process of liquid refrigerant reduce the pressure by expansion valve.

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

when

h_4 is the enthalpy of the refrigerant at outlet expansion valve (kJ/kg)

D. Evaporator

The 4-1 process is a process of liquid refrigerant receive heat up to boil become to vapor refrigerant. The heat transfer into the evaporator can be obtained from:

$$Q_{evap} = (h_4 - h_1) \quad (4)$$

when

Q_{evap} is the heat transfer into the evaporator (kJ/kg)

Coefficient of performance of a heat pump system (COP_{HP}) can be calculated by the ratio of heat transfer out of the condenser to compressor work:

$$COP_{HP} = \frac{Q_{cond}}{W_{comp}} = \frac{(h_2 - h_3)}{(h_2 - h_1)} \quad (5)$$

III. EXPERIMENTAL APPARATUS AND RPOCEDURES

A. Experimental Equipment

The 16 kW heat pump was used in this study which composed of the scroll compressor 47,800 Btu/hr, the fin and tube evaporator 2.5 kW and the coil in shell condenser 18.95 kW with a capacity of the storage tank

550 L and using R-134a as the working fluid in the system. A circulating pump was used to send the water for heat transfer in condenser. Fig.2 shown the Heat Pump 16 kW and Fig.3 shown the coil in shell condenser.

The data logger and the thermocouples Type K was used to measure temperature of air, water and refrigerant. The pressure of refrigerant measure by bourdon pressure gauge. Data acquisition system is used to collect the experimental data and recorded for every 5 minutes.



Fig. 2. Heat pump 16 kW.



Fig. 3. Coil in shell condenser.

B. Experimental Method

From Fig.4 shows schematic diagram of the experimental apparatus. The study was initially started with feed initial water temperature 28 °C into the storage tank with 550 liters. Then the temperature of the air at inlet evaporator was controlled to $30 \pm 1^\circ\text{C}$ and determine the water mass flow rate into condenser was 0.13 kg/s. After that, switch on heat pump for heating the water until the water temperature at outlet condenser was equal to 60 °C. When the required valve of temperature is reached, the thermostat switched the unit off. The data of temperature, pressure and electric current were recorded every 5 minutes in order to calculate and analyze the performance of the heat pump. Afterward, preparation to test the different conditions by adjusting the refrigerant mass flow rate. Before started the new test, take off hot water from the storage tank and wait the temperature in the system return to normal.

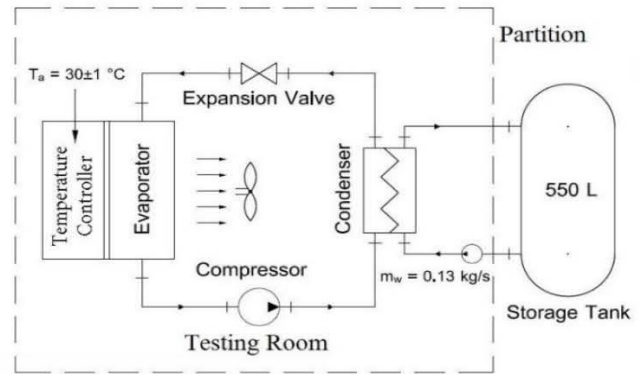
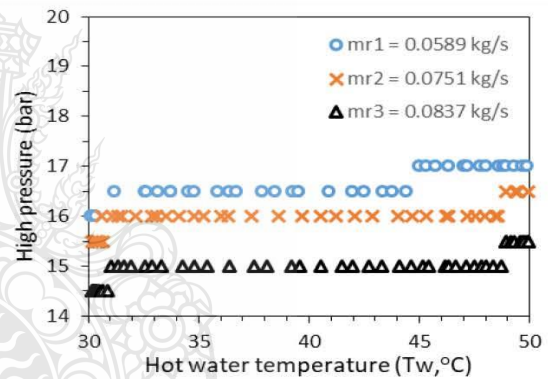


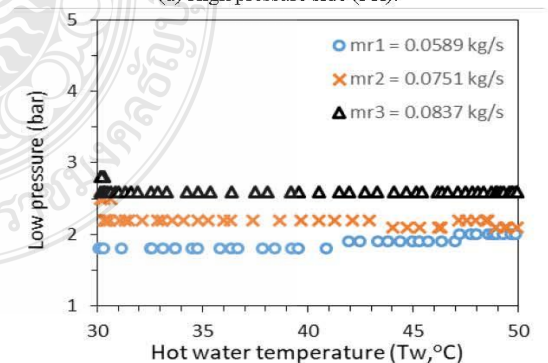
Fig. 4. Schematic diagram of experimental apparatus.

IV. RESULT AND DISCUSSION

The result can be shown in Fig.5. It can be seen that if the spring of the expansion valve opened wide. The refrigerant will be flow through the evaporator increases. To make the high pressure side (PH) of the system decreases as shown in Fig.5 (a). If considered at the low pressure side (PL) it found that there was increases when the refrigerant mass flow rate increases as shown in Fig.5 (b).



(a) High pressure side (PH).



(b) Low pressure side (PL).

Fig. 5. Comparison of pressure for different refrigerant mass flow rate.

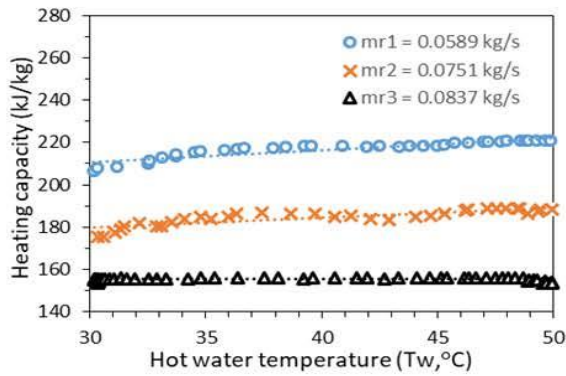


Fig. 6. Comparison of heating capacity for different refrigerant mass flow rate.

Fig.6 shows comparison of heating capacity for different refrigerant mass flow rate. It found that the heating capacity is higher for the refrigerant mass flow rate at 0.0589 kg/s than at 0.0751 kg/s and 0.0837 kg/s respectively. Due to the flow of the refrigerant was increase will be the high pressure side (PH) of the system is reduced. In addition, the difference of the temperature of the refrigerant inlet (T_2) and outlet (T_3) of the condenser is reduced. That as a result of the difference of the enthalpy of the refrigerant inlet (h_2) and outlet (h_3) of the condenser is less, which reflects the heat transfer out of the condenser is low. Therefore, the heat transfer out of the condenser will be decrease when the refrigerant flow rate increase.

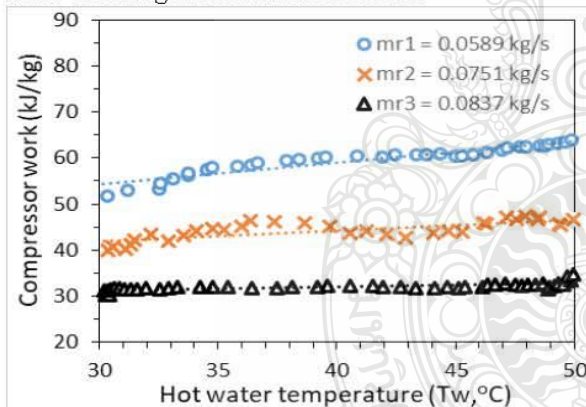


Fig. 7. Comparison of compressor work for different refrigerant mass flow rate.

As shown in Fig.7, it can be seen that the system with the refrigerant mass flow rate at 0.0589 kg/s has compressor work more than at 0.0751 kg/s and 0.0837 kg/s respectively. Due to the increased flow rate of refrigerant to make the high pressure side (PH) and the temperature of the refrigerant at outlet the compressor (T_2) is reduced. Make the enthalpy of refrigerant at outlet compressor (h_2) is reduced. Result that the compressor work is reduced. Additional the compressor work increases with increasing hot water temperature,

because increasing hot water temperature leads to an increase of condensing temperature. So that the compressor work increased.

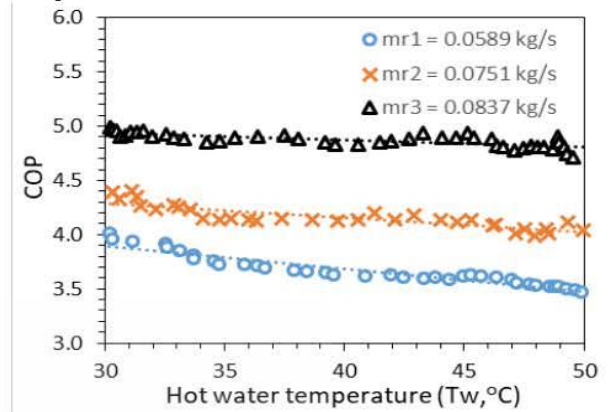


Fig. 8. Comparison of COP for different refrigerant mass flow rate.

From Fig.8, it clearly see that the COP of the system at a flow rate of refrigerant 0.0837 kg/s higher than at 0.0751 kg/s and 0.0589 kg/s, respectively. It showed that when adjusting the rate of refrigerant flow increases, the COP of the system increased. In addition, the COP of the system decreases gradually with the increases hot water temperature, because increasing the hot water temperature leads to an increase in the compressor work which result in a decrease COP of the system.

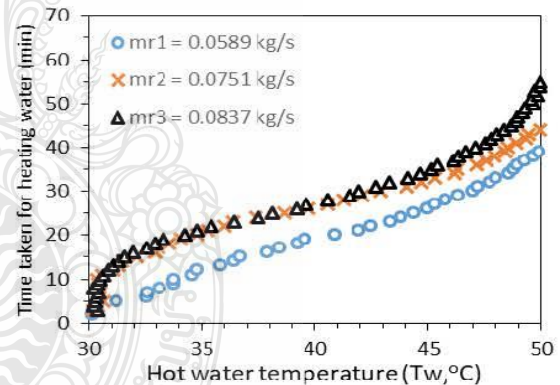


Fig. 9. Comparison of time taken for heating water for different refrigerant mass flow rate.

From Fig.9, it is observed that the time taken for heating of water is longer for the refrigerant flow rate of 0.0837 kg/s, when compared to higher refrigerant flow rate of 0.0751 kg/s and 0.0589 kg/s. This is due to the increasing flow of refrigerant will cause the heat transfer out of the condenser is reduced. (As shown in Fig.6) The heat transfer between refrigerant and water is decreases. Therefore the system use the time taken for heating of water is increases.

V. CONCLUSION

From testing performance of water heater by 16 kW heat pump for study on effect of refrigerant mass flow rate. In the testing room, air temperature was controlled $30 \pm 1^\circ\text{C}$ and water mass flow rate into condenser was 0.13 kg/s. This will be performed by collecting data from the experiment conducted by varying the refrigerant mass flow rate at 0.0589 kg/s, 0.0751 kg/s and 0.0837 kg/s as the effect on hot water production. It found that when the refrigerant mass flow increases, heating capacity and compressor work decrease. In addition, the COP of the system and the time taken for heating of water increase when the refrigerant mass flow increases. The refrigerant mass flow rate at 0.0837 kg/s is the highest COP and the lowest COP at 0.0589 kg/s.

ACKNOWLEDGMENT

The author would like to acknowledge Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathumthani for supporting the tools and equipment.

REFERENCES

- [1] Arthit Chaiorranan, "Water Heater Using Heat Pump" King Mongkut's University of Technology Thonburi (KMUTT), 2000
- [2] Thitiporn Thomyapitak, "Water Heating from Waste Heat of Air Conditioning Unit" King Mongkut's University of Technology Thonburi (KMUTT), 2002
- [3] Peerawit Eksuwan, "Reduction of Cooling Load in Attic Room and Indoor Hot Water Production by Heat Pump" Chiang Mai University, 2012
- [4] Yokoyama, R., T. Shimizu, K. Takemura and K. Ito., "Performance analysis of hot water supply system with CO₂ heat pump by numerical simulation". JSME International Journal, vol.49, no.2, pp. 541-548, 2006.
- [5] Zhang, J., R. Z. Wang and J. Y. Wu., "System optimization and experimental research on air source heat pump water heater". Applied Thermal Engineering, vol. 27, pp. 1029-1035.

ENERGY NETWORK OF THAILAND 14th



14th Conference on Energy Network of Thailand
การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 14

13 - 15 มิถุนายน 2561 ณ โนโวเทล ระยอง

Proceeding



คณะกรรมการการจัดการประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 14

(14th Conference on Energy Network of Thailand)

วันที่ 13-15 มิถุนายน 2561 ณ โรงแรมโนโวเทล ริมเพ อำเภอกลาง จังหวัดระยอง

คณะกรรมการที่ปรึกษา

1. อธิการบดีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
2. อธิการบดีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
3. รองอธิการบดี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
4. คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
5. ผู้ช่วยอธิการบดี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

คณะกรรมการจัดการประชุมวิชาการ

1. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิวกร อ่างทอง
2. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิรัชย์ โรยนรินทร์
3. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จักรี ศรีนนท์มิตร
4. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วารุณี อริยวิริยะนันท์
5. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สรพงศ์ ภาสุปรีย์
6. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อำนาจ เรืองวาริ
7. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ปรากฏ์ อัครนรากุล
8. ดร.สถาพร ทองวิก
9. ดร.วิเชียร อุปแก้ว
10. ดร.สุนนมาลย์ เนียมกลาง
11. รองศาสตราจารย์ ดร.บุญยัง ปลั่งกลาง

กรรมการที่ปรึกษาภาคีศึกษาด้านวิชาการ

1. ศาสตราจารย์ ดร.ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์ (ประเทศไทย)
2. ศาสตราจารย์ ดร.สัมพันธ์ ฤทธิเดช (ประเทศไทย)
3. ศาสตราจารย์ ดร.จงจิตร หิรัญลาภ (ประเทศไทย)
4. ศาสตราจารย์ ดร.ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช (ประเทศไทย)

5. Professor.Dr. Yves Gagnon (Canada)
6. Professor.Dr.Tomoaki Itayama (Japan)
7. Professor.Dr.Velmurugan Palanivel (South Korea)
8. Associate Professor Dr. Redel Gutierrez (Philippines)
9. Assistant Professor Dr. Jayabalan (India)
10. Assistant Professor Dr. Vinoth Kumar (Taiwan)
11. Assistant Professor Dr.Thiagarajan Soundappan (USA)
12. Assistant Professor Dr.Paramasivan Balasubramanian (India)
13. Assistant Professor Dr.Srinivasa Rao Popuri (Barbados)

กรรมการฝ่ายวิชาการ

สาขาพลังงานทดแทน

1. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิวกร อ่างทอง
2. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิรัช โยชนรินทร์
3. รองศาสตราจารย์ ดร.บุญยัง ปลั่งกลาง
4. รองศาสตราจารย์ ดร.กฤษณ์ชนม์ ภูมิภักติพิชญ์
5. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จักรี ศรีนนท์ฉัตร
6. รองศาสตราจารย์ สมชาย กฤตพลวิวัฒน์
7. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมชาย มณีวรรณ
8. รองศาสตราจารย์ ดร.จอมภพ แวศักดิ์
9. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อำนวย เรืองวารี
10. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติ สถาพรประสาธน์

สาขาการอนุรักษ์และการจัดการพลังงาน

1. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิวกร อ่างทอง
2. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิรัช โยชนรินทร์
3. รองศาสตราจารย์ ดร.บุญยัง ปลั่งกลาง
4. รองศาสตราจารย์ ดร.กฤษณ์ชนม์ ภูมิภักติพิชญ์
5. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จักรี ศรีนนท์ฉัตร

6. รองศาสตราจารย์ สมชาย กฤตพลวิวัฒน์
7. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมชาย มณีวรรณ
8. รองศาสตราจารย์ ดร.จอมภพ แวศักดิ์
9. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อำนวย เรืองวารี

สาขาโยบายด้านพลังงาน

1. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิวกร อ่างทอง
2. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิรัช โยชนรินทร์
3. รองศาสตราจารย์ ดร.บุญยัง ปลั่งกลาง
4. รองศาสตราจารย์ ดร.กฤษณ์ชนม์ ภูมิภคพิชญ์
5. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จักรี ศรีนนท์จักร
6. รองศาสตราจารย์ สมชาย กฤตพลวิวัฒน์
7. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมชาย มณีวรรณ
8. รองศาสตราจารย์ ดร.จอมภพ แวศักดิ์
9. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อำนวย เรืองวารี

สาขาวิศวกรรมด้านพลังงาน

1. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิวกร อ่างทอง
2. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิรัช โยชนรินทร์
3. รองศาสตราจารย์ ดร.บุญยัง ปลั่งกลาง
4. รองศาสตราจารย์ ดร.กฤษณ์ชนม์ ภูมิภคพิชญ์
5. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จักรี ศรีนนท์จักร
6. รองศาสตราจารย์ สมชาย กฤตพลวิวัฒน์
7. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมชาย มณีวรรณ
8. รองศาสตราจารย์ ดร.จอมภพ แวศักดิ์
9. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อำนวย เรืองวารี

สาขาเทคโนโลยีด้านการสะสมพลังงาน

1. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิวกร อ่างทอง
2. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิรัช โยชนรินทร์

3. รองศาสตราจารย์ ดร.บุญยัง ปลั่งกลาง
4. รองศาสตราจารย์ ดร.กฤษณ์ชนม์ ภูมิภิตติพิชญ์
5. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จักรี ศรีนนท์ฉัตร
6. รองศาสตราจารย์ สมชาย กฤตพลวิวัฒน์
7. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมชาย มณีวรรณ
8. รองศาสตราจารย์ ดร.จอมภพ แววศักดิ์
9. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อำนวย เรืองวารี

สาขาระบบพลังงานอัจฉริยะเพื่อชุมชน

1. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิวกร อ่างทอง
2. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิรัช โรยนรินทร์
3. รองศาสตราจารย์ ดร.บุญยัง ปลั่งกลาง
4. รองศาสตราจารย์ ดร.กฤษณ์ชนม์ ภูมิภิตติพิชญ์
5. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จักรี ศรีนนท์ฉัตร
6. รองศาสตราจารย์ สมชาย กฤตพลวิวัฒน์
7. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมชาย มณีวรรณ
8. รองศาสตราจารย์ ดร.จอมภพ แววศักดิ์
9. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อำนวย เรืองวารี

สาขาระบบพลังงานอัจฉริยะเพื่อยานยนต์ไฟฟ้า

1. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิวกร อ่างทอง
2. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิรัช โรยนรินทร์
3. รองศาสตราจารย์ ดร.บุญยัง ปลั่งกลาง
4. รองศาสตราจารย์ ดร.กฤษณ์ชนม์ ภูมิภิตติพิชญ์
5. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จักรี ศรีนนท์ฉัตร
6. รองศาสตราจารย์ สมชาย กฤตพลวิวัฒน์
7. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมชาย มณีวรรณ
8. รองศาสตราจารย์ ดร.จอมภพ แววศักดิ์
9. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อำนวย เรืองวารี

สาขาระบบพลังงานอัจฉริยะเพื่อเมืองใหญ่

1. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิวกร อ่างทอง
2. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิรัช โยชนรินทร์
3. รองศาสตราจารย์ ดร.บุญยัง ปลั่งกลาง
4. รองศาสตราจารย์ ดร.กฤษณ์ชนม์ ภูมิภิตติพิชญ์
5. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จักรี ศรีนนท์ฉัตร
6. รองศาสตราจารย์ สมชาย กฤตพลวิวัฒน์
7. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมชาย มณีวรรณ
8. รองศาสตราจารย์ ดร.จอมภพ แวศักดิ์
9. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อำนวย เรืองวาริ



การปรับปรุงอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน : กรณีศึกษา อาคารสำนักงาน ท101.การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย	312
วัสดุกรอบอาคารที่เหมาะสมในการอนุรักษ์พลังงาน.....	318
การพัฒนาอาคารสู่การใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์กรณีศึกษาอาคารสำนักงานของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย	323
ผลกระทบความส่องสว่างของโคมไฟโรงงานแบบแอลอีดี (T8) ที่เปลี่ยนแทนหลอดฟลูออเรสเซนต์ เพื่อการประหยัดพลังงานไฟฟ้าภายในอาคาร	329
การประยุกต์ใช้แสงธรรมชาติเพื่อการประหยัดพลังงานภายในอาคาร	334
การวิเคราะห์สมรรถนะของฉนวนหลายชนิดภายในช่องแคบข้างข้างของตู้เย็นด้วยวิธีไฟไนท์อีลีเมนต์แบบ 3 มิติ.....	340
การเปรียบเทียบเครื่องวัดแบบเบต้าเรย์และเทคนิคการกระเจิงแสงสำหรับตรวจวัดฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM _{2.5} และ PM ₁₀ ในจังหวัดเชียงใหม่.....	345
การใช้พลังงานสำหรับการผลิตข้าวไรซ์เบอร์รี่อินทรีย์	353
การวิเคราะห์สมรรถนะพลังงานของกระบวนการผลิตกล่องฟักสายไฟฟ้า	360
การจัดเรียงสายป้อนและหาตำแหน่งติดตั้งตัวเก็บประจุและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยใช้เทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมหลายวัตถุประสงค์ ...	369
การศึกษาอิทธิพลของเตาแก๊สแรงดันสูงแบบหมุนวนต่อพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนสู่ภาชนะโดยพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ.....	372
อินเวอร์เตอร์สำหรับควบคุมความเร็วมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส.....	378
การออกแบบและสร้างเครื่องกะเทาะเปลือกกาแฟเซอร์รี่สำหรับโครงการหลวงสะเงาะ	383
การจำลองการเกิดเพลิงไหม้ในรถยนต์แบบอ่วงไฟ	390
การเปรียบเทียบวิธีการประมาณภาระทางกลของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสโดยใช้วิธีการคำนวณค่ากระแสไฟฟ้าแบบต่าง ๆ ในสภาวะแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าสมดุลและไม่สมดุล.....	399
การศึกษาการใช้พลังงานและศักยภาพการประหยัดพลังงานในโรงงาน.....	406
การวิเคราะห์เชิงตัวเลขและการทดลองในการกระจายอุณหภูมิของแหล่งความร้อนบนชุดแผ่นวงจร ไฟฟ้าภายใต้ การถ่ายเทความร้อนตามธรรมชาติ.....	412
การทำนายผลของระยะห่างของเหล็กแม่พิมพ์ต่อพฤติกรรมการเผาไหม้ของหัวเผาขนาดเล็ก.....	419
การศึกษาค่าความร้อนจำเพาะของขานอ้อยและการสกัดน้ำตาลของโรงงานน้ำตาล.....	424
ผลของอัตราการไหลของน้ำที่มีผลต่อสมรรถนะของการทำน้ำร้อนด้วยปั๊มความร้อนขนาด 16 กิโลวัตต์.....	428
การประเมินและปรับปรุงสมรรถนะทางด้านพลังงานของอาคารที่พักอาศัยของกองทัพอากาศ	434
การจำลองการถ่ายเทความร้อนของถังน้ำร้อนทรงกระบอกที่มีแหล่งความร้อนรอบถัง.....	442
ผลของกระบวนการผลิตสมบัติและประโยชน์ของพอลิแลคติกแอซิดต่อการลดการใช้พลังงานและปิโตรเลียม	446
การศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพระบบทำน้ำเย็นโดยวิธีปรับอัตราการไหลของน้ำระบายความร้อนให้เหมาะสม	451
การศึกษาเพื่อการตัดสินใจเปลี่ยนเครื่องทำน้ำเย็น (Chiller) ของระบบปรับอากาศ	455
การใช้พลังงานและการปล่อยแก๊สเรือนกระจกในพื้นที่บ้านวังป๋อง อำเภอแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่	460
การศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของกรอบอาคารธุรกิจขนาดใหญ่และอาคารภาครัฐของไทย.....	465
ปัจจัยด้านอุณหภูมิภายนอกของประเทศไทยที่มีผลต่อค่าประสิทธิภาพพลังงานของเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์	472
ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนเมื่อเปลี่ยนสารทำความเย็น HCFC-22 เป็น HFC-32	478

ผลของอัตราการไหลของน้ำที่มีผลต่อสมรรถนะของการทำน้ำร้อนด้วยปั๊มความร้อนขนาด 16 กิโลวัตต์
Effect of Water Mass Flow Rate on Performance of Water Heater by 16 kW Heat Pump

ภควัต หนุ่นฉัตร^{1*} และ สถาพร ทองวิค¹

¹ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

*ผู้ติดต่อ: phakhawat_h@mail.tmut.ac.th, 080-804-5457

บทคัดย่อ

RCM-02-090

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของอัตราการไหลของน้ำที่มีผลต่อสมรรถนะของการทำน้ำร้อน 550 ลิตรด้วยปั๊มความร้อนขนาด 16 kW ที่ใช้สารทำความเย็น R-134a ภายในห้องทดสอบที่ควบคุมอุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าอีวาโปเรเตอร์ 35 ± 1 °C ในการทดสอบนั้นได้ปรับอัตราการไหลของน้ำที่ไหลเข้าไปแลกเปลี่ยนความร้อนที่คอนเดนเซอร์ให้แตกต่างกัน เพื่อหาความสัมพันธ์ที่ส่งผลถึงสมรรถนะของปั๊มความร้อน โดยเก็บข้อมูลจากการทดสอบมาวิเคราะห์และเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบปั๊มความร้อน (COP) จากการศึกษาพบว่า เมื่ออัตราการไหลของน้ำที่ไหลเข้าคอนเดนเซอร์เพิ่มขึ้น อุณหภูมิน้ำร้อนที่ผลิตได้จะมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 53 °C เป็น 58.7 °C และ 61.45 °C เช่นเดียวกันกับระยะเวลาที่ใช้ในการผลิตน้ำร้อนที่เพิ่มขึ้นจาก 63 นาที เป็น 90 นาที และ 115 นาที ที่อัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 0.13 kg/s, 0.23 kg/s และ 0.32 kg/s ตามลำดับ และจะเห็นได้ว่าเมื่ออัตราการไหลของน้ำเพิ่มขึ้น กำลังงานที่ป้อนเข้าคอมเพรสเซอร์จะลดลงด้วย ทำให้ค่า COP ของระบบเพิ่มขึ้น โดยที่อัตราการไหลของน้ำ 0.32 kg/s จะมีค่า COP สูงสุด และสำหรับที่อัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 0.13 kg/s จะมีค่า COP ต่ำสุด

คำหลัก: ปั๊มความร้อน, อัตราการไหลของน้ำ, น้ำร้อน, ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ

Abstract

This research is to study on effect of water mass flow rate on performance of water heater 550 L by 16 kW heat pump using R-134a. In testing room, air temperature at inlet evaporator was controlled 35 ± 1 °C. This will be performed by collecting data from the experiment conducted by varying the water mass flow rate. It was found that when the water mass flow rate increased, the temperature of hot water in tank increased from 53 °C to 58.7 °C and 61.45 °C. Same with the time taken for heating water increased from 63 min. to 90 min. and 115 min. on water mass flow rate at 0.13 kg/s, 0.23 kg/s and 0.32 kg/s respectively. In addition, the water mass flow rate increases, compressor work decreases and the COP increases. The water mass flow rate at 0.32 kg/s is the highest COP and the lowest COP at 0.13 kg/s.

Keywords: Heat pump, Water mass flow rate, Hot water, Coefficient of performance

1. บทนำ

พลังงานไฟฟ้าเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญในการดำรงชีวิตของมนุษย์ เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศหนึ่งที่มีทรัพยากรธรรมชาติที่ใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าไม่เพียงพอ จึงจำเป็นต้องนำเข้าจากต่างประเทศในแต่ละปีเป็นจำนวนมาก [1] และจากปัญหาการใช้พลังงานไฟฟ้าของประเทศไทยที่มีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อยๆในแต่ละปี [2] ทำให้เกิดความตระหนักถึงเรื่องประสิทธิภาพการใช้พลังงานที่ได้รับการวิจัยและพัฒนา เพื่อให้สามารถใช้พลังงานอย่างคุ้มค่าและเกิดประโยชน์สูงสุด

ในสถานประกอบการหลายประเภท เช่น โรงพยาบาล โรงงานอุตสาหกรรม ตลอดจนที่พักอาศัย ส่วนใหญ่มีการผลิตน้ำร้อนเพื่อใช้ในแต่ละวันเป็นปริมาณมาก ซึ่งค่าใช้จ่ายในส่วนนี้ถือว่าเป็นค่าใช้จ่ายที่สูง ในปัจจุบันได้มีการนำเทคโนโลยีปั๊มความร้อนมาใช้ เนื่องจากการใช้ปั๊มความร้อนในการผลิตน้ำร้อนมีประสิทธิภาพสูงเมื่อเทียบกับหม้อไอน้ำ และขดลวดไฟฟ้า ซึ่งระบบปั๊มความร้อนจะดึงความร้อนจากอากาศรอบๆมาใช้ในการทำน้ำร้อน โดยมีหลักการทำงานเดียวกันกับระบบทำความเย็น แต่มีวัตถุประสงค์ต่างกันคือ ระบบทำความเย็นจะนำความร้อนไปใช้ประโยชน์ ส่วนปั๊มความร้อนจะนำความร้อนไปใช้ประโยชน์ ซึ่งงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการผลิตน้ำร้อนโดยใช้แหล่งความร้อนจากอากาศแวดล้อมได้มีผู้สนใจศึกษาไว้หลายท่าน เช่น

อาทิตย์ ไชยอรนนท์ [3] ได้ออกแบบและสร้างเครื่องทำน้ำร้อนที่มีขนาดเล็กโดยใช้ปั๊มความร้อน เพื่อให้เหมาะสมสำหรับใช้กับบ้านพักอาศัยขนาด 3-4 คน ถึงเก็บน้ำร้อนที่ใช้มีขนาด 100 ลิตร ระบบปั๊มความร้อนใช้ R-22 เป็นสารทำงาน เครื่องอัดไอขนาด 1.39 kW เครื่องทำระเหยขนาด 3.51 kW และเครื่องควบแน่นขนาด 4.46 kW ในขณะที่ทดลองเปิดน้ำร้อนใช้งานอย่างต่อเนื่องครั้งละ 150 ลิตร ที่อัตราการไหล 2.5 ลิตรต่อนาที พบว่า น้ำร้อนที่ผลิตได้มีอุณหภูมิเฉลี่ย 50.5 °C มีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบเฉลี่ย 3.25 และสามารถประหยัดไฟฟ้าได้มากกว่าเครื่องทำน้ำร้อนด้วยไฟฟ้าประมาณ 2 เท่า

ฐิติพร ถมยาพิทักษ์ [4] ศึกษาการทำน้ำร้อนจากความร้อนทิ้งของเครื่องปรับอากาศแบบอัดไอขนาด 18,000 Btu/hr. โดยเปลี่ยนเครื่องควบแน่นแบบระบายความร้อนด้วยอากาศมาเป็นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำ พบว่าสามารถทำน้ำร้อนจากความร้อนทิ้งได้ที่อุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 35.9 °C ที่อุณหภูมิน้ำเข้าประมาณ 31 °C ที่อัตราการไหลของน้ำ 15 ลิตรต่อนาที

พีรวิชญ์ เอกสุวรรณ [5] ศึกษาการลดภาระการทำความร้อนในห้องใต้หลังคาและผลิตน้ำร้อนโดยใช้ปั๊มความร้อนเพื่อดึงความร้อนออกจากห้องใต้หลังคาไปผลิตน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 30 °C ให้ขึ้นไปถึง 50 °C และเป็นการลดภาระการทำความร้อนในห้องปรับอากาศที่ควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ 25 °C ด้วยเครื่องปรับอากาศ 13,000 Btu/hr. พบว่าเมื่อติดตั้งระบบ ปั๊มความร้อนอุณหภูมิใน

ห้องใต้หลังคาจะลดลงมาประมาณ 4-6 °C ซึ่งเป็นการลดภาระการทำงานของเครื่องปรับอากาศ และยังสามารถผลิตน้ำร้อนได้ที่อุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 50 °C

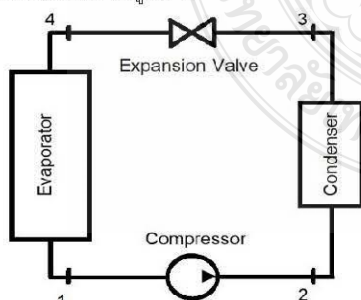
Yokoyama et al. [6] ศึกษากระบวนการผลิตน้ำร้อนด้วย ปั๊มความร้อนขนาด 4.5 kW ที่ใช้ CO₂ เป็นสารทำงานในระบบ และมีการเก็บน้ำร้อนอุณหภูมิขนาด 370 ลิตร โดยสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เปรียบเทียบกับผลจากการทดลอง หลังจากนั้นนำไปทำนายสมรรถนะการทำงานเพื่อวิเคราะห์ข้อผิดพลาดของตัวแปรต่างๆ ที่ส่งผลต่อสมรรถนะการทำงานของปั๊มความร้อน จากการศึกษาพบว่า สมรรถนะการทำงานของระบบนี้ขึ้นอยู่กับ 3 ปัจจัย คือ อุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิน้ำขาเข้าคอนเดนเซอร์ และอุณหภูมิน้ำขาออกคอนเดนเซอร์

Zhang et al. [7] ศึกษาถึงความเหมาะสมของระบบผลิตน้ำร้อนด้วยปั๊มความร้อนขนาด 750 W ที่มีคอมเพรสเซอร์แบบโรตารี และใช้ R-22 เป็นสารทำงานผลิตน้ำร้อนปริมาณ 150 ลิตร ที่อุณหภูมิเริ่มต้น 15 °C จนถึง 55 °C จากการศึกษาพบว่า ความยาวของท่อแคปิลารีของวาล์วลดความดัน ปริมาณการเติมสารทำความเย็น ความยาวของท่อในคอนเดนเซอร์ ความสัมพันธ์ของปริมาณการเติมสารทำความเย็นกับการเปิดของวาล์วลดความดัน และความสัมพันธ์ของขนาดถังน้ำร้อนกับความสามารถในการทำความร้อนของปั๊มความร้อน ซึ่งความสัมพันธ์ของตัวแปรทั้งหมดจะต้องเหมาะสมกันทั้งระบบ จากการทดสอบจะเห็นได้ว่าความสัมพันธ์ที่สมรรถนะของระบบจะเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด

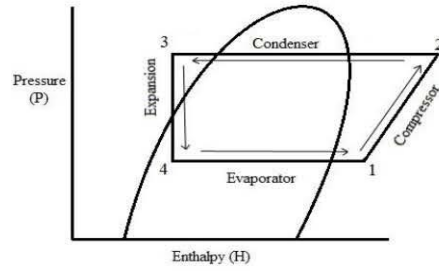
เนื่องจากค่าใช้จ่ายด้านพลังงานในการผลิตน้ำร้อนค่อนข้างสูง ซึ่งขึ้นอยู่กับระบบผลิตน้ำร้อนที่เลือกใช้ด้วยว่ามีความเหมาะสมและมีประสิทธิภาพเพียงใด ด้วยเหตุผลดังกล่าวข้างต้นนี้ ผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาถึงระบบการทำน้ำร้อนด้วย ปั๊มความร้อนที่ใช้อากาศแวดล้อมเป็นแหล่งความร้อน โดยเลือกที่จะศึกษาถึงผลของอัตราการไหลของน้ำต่อสมรรถนะการทำงานของปั๊มความร้อน

2. การวิเคราะห์วัฏจักรปั๊มความร้อนแบบอัดไอทางอุณหพลศาสตร์

ระบบปั๊มความร้อนประกอบด้วย คอมเพรสเซอร์ (Compressor) คอนเดนเซอร์ (Condenser) วาล์วลดความดัน (Expansion Valve) และอีวาโปเรเตอร์ (Evaporator) ซึ่งอุปกรณ์ดังกล่าวจะเชื่อมต่อกันเป็นวัฏจักร ดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งการทำงานของวัฏจักรสามารถอธิบายได้โดยใช้แผนภูมิในการบรรยายคุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของสารทำความเย็น มักใช้แผนภูมิความดันและเอนทาลปี ดังรูปที่ 2



รูปที่ 1 วงจรของระบบปั๊มความร้อน



รูปที่ 2 แผนภูมิความดันและเอนทาลปี

2.1 คอมเพรสเซอร์ (Compressor)

กระบวนการ 1-2 คือ กระบวนการที่สารทำความเย็นถูกอัดด้วยคอมเพรสเซอร์ให้มีอุณหภูมิ และความดันสูงขึ้น กำลังงานที่ป้อนเข้าคอมเพรสเซอร์ หาได้จาก

$$\dot{W}_{comp} = \dot{m}_r (h_2 - h_1) \quad (1)$$

เมื่อ \dot{W}_{comp} คือ กำลังงานที่ป้อนเข้าคอมเพรสเซอร์ (kW)

\dot{m}_r คือ อัตราการไหลของสารทำความเย็น (kg/s)

h_1 คือ เอนทาลปีของสารทำความเย็นก่อนเข้าคอมเพรสเซอร์ (kJ/kg)

h_2 คือ เอนทาลปีของสารทำความเย็นออกจากคอมเพรสเซอร์ (kJ/kg)

2.2 คอนเดนเซอร์ (Condenser)

กระบวนการ 2-3 คือ กระบวนการที่ไอสารทำความเย็นกลั่นตัวกลายเป็นของเหลวคายความร้อนออกมา ซึ่งเกิดที่คอนเดนเซอร์เป็นกระบวนการความดันคงที่ อัตราการถ่ายเทความร้อนออกจากคอนเดนเซอร์ หาได้จาก

$$\dot{Q}_{cond} = \dot{m}_r (h_2 - h_3) \quad (2)$$

$$\dot{Q}_{cond} = \dot{m}_w C_p (T_{w,o} - T_{w,i}) \quad (3)$$

เมื่อ \dot{Q}_{cond} คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนออกจากคอนเดนเซอร์ (kW)

h_3 คือ เอนทาลปีของสารทำความเย็นออกจากคอนเดนเซอร์ (kJ/kg)

\dot{m}_w คือ อัตราการไหลของน้ำ (kg/s)

C_p คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ (kJ/kg K)

$T_{w,o}$ คือ อุณหภูมิน้ำออกจากคอนเดนเซอร์ (K)

$T_{w,i}$ คือ อุณหภูมิน้ำก่อนเข้าคอนเดนเซอร์ (K)

2.3 วาล์วลดความดัน (Expansion Valve)

กระบวนการ 3-4 คือ กระบวนการที่สารทำความเย็นมีสถานะเป็นของเหลวลดความดันด้วยวาล์วลดความดัน

$$h_3 = h_4 \quad (4)$$

เมื่อ h_4 คือ เอนทาลปีของสารทำความเย็นออกจากวาล์วลดความดัน (kJ/kg)

2.4 อีวาโปเรเตอร์ (Evaporator)

กระบวนการ 4-1 คือ กระบวนการที่สารทำความเย็นสถานะเป็นของเหลวดูดความร้อนเข้าไปจนเดือดกลายเป็นไ้อัตราการถ่ายเทความร้อนเข้าอีวาโปเรเตอร์ หาได้จาก

$$\dot{Q}_{evap} = \dot{m}_r (h_4 - h_1) \quad (5)$$

เมื่อ \dot{Q}_{evap} คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนเข้าฮีวโปเรเตอร์ (kW)

2.5 การหาค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบปั๊มความร้อน (Coefficient of Performance, COP_{HP})

หาได้จากอัตราส่วนของอัตราการถ่ายเทความร้อนออกจากคอนเดนเซอร์ต่อกำลังงานที่ป้อนเข้าคอมเพรสเซอร์ ดังนี้

$$COP_{HP} = \frac{\dot{Q}_{cond}}{\dot{W}_{comp}} \quad (6)$$

3. อุปกรณ์และวิธีการ

ปั๊มความร้อนขนาด 16 kW ที่ใช้ในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ ประกอบด้วย คอมเพรสเซอร์แบบ Scroll ขนาด 47,800 Btu/hr. ที่ใช้สารทำความเย็น R-134a ฮีวโปเรเตอร์แบบ Fin and Tube ขนาด 2.5 kW และคอนเดนเซอร์แบบ Coil in Shell ขนาด 18.95 kW ซึ่งน้ำจะไหลผ่านเข้ามาแลกเปลี่ยนความร้อน โดยมีปั๊มน้ำหมุนเวียนเพื่อนำจากถังเก็บเข้ามาแลกเปลี่ยนความร้อน ดังรูปที่ 3-4



รูปที่ 3 ปั๊มความร้อนขนาด 16 kW

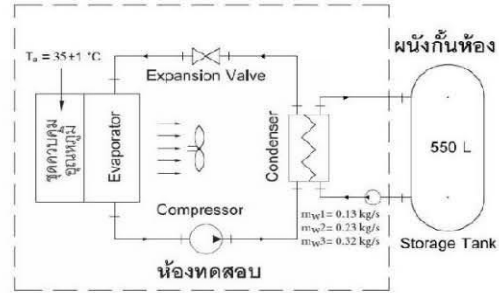


รูปที่ 4 คอนเดนเซอร์แบบ Coil in Shell [8]

สำหรับการเก็บข้อมูลใช้ Data Logger และ Thermo Couple Type K ในการวัดอุณหภูมิ น้ำ สารทำความเย็น และอากาศที่ตำแหน่งต่างๆ ส่วนความดันของสารทำความเย็นจะวัดโดยเกจวัดความดันแบบบูรตองเกก และใช้อุปกรณ์วัดกระแสไฟฟ้าแบบ Digital Clamp Meter

ในการศึกษานี้เป็นการทดสอบสมรรถนะปั๊มความร้อนในการทำน้ำร้อน โดยเริ่มจากเติมน้ำอุณหภูมิ 30±1 °C เข้าไปในถังเก็บน้ำร้อนปริมาณ 550 ลิตร พร้อมทั้งจำลองอุณหภูมิอากาศเข้าฮีวโปเรเตอร์ 35±1 °C และปรับอัตราการไหลของน้ำเข้าคอนเดนเซอร์ 0.13 kg/s เปิดปั๊มความร้อนเพื่อทำ

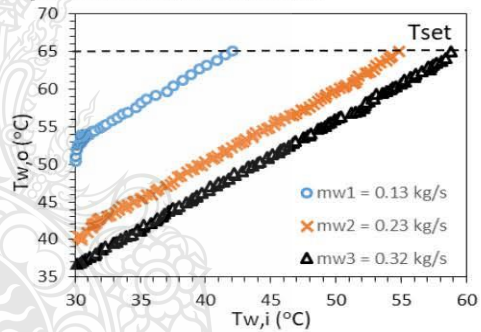
จนกระทั่งอุณหภูมิน้ำร้อนที่ออกจากคอนเดนเซอร์เท่ากับ 65 °C จากนั้น Thermostat จะสั่งตัดการทำงานของปั๊มความร้อน หลังจากนั้นเตรียมทำการทดสอบที่สภาวะการทำงานอื่นๆ โดยปรับอัตราการไหลของน้ำเข้าคอนเดนเซอร์ที่ 0.23 kg/s และ 0.32 kg/s ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 5 ซึ่งในแต่ละครั้งจะถ่ายน้ำร้อนออกจากถังเก็บ รอจนกว่าอุณหภูมิในระบบกลับสู่สภาวะปกติจึงจะเริ่มทำการทดสอบครั้งใหม่ ในขณะที่ทำการทดสอบจะบันทึกค่าอุณหภูมิ ความดัน และกระแสไฟฟ้าทุกๆ 1 นาที เพื่อนำไปคำนวณและวิเคราะห์สมรรถนะของปั๊มความร้อนต่อไป



รูปที่ 5 ชุดทดสอบสมรรถนะการทำงานของปั๊มความร้อน

4. ผลการทดลอง

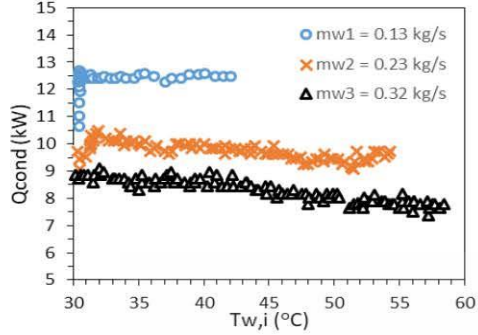
ผลการทดสอบสมรรถนะการทำงานของปั๊มความร้อนที่สภาวะอุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าฮีวโปเรเตอร์ 35±1 °C โดยมีอัตราการไหลของน้ำเข้าคอนเดนเซอร์ 0.13 kg/s, 0.23 kg/s และ 0.32 kg/s ตามลำดับ มีผลการทดลองดังนี้



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่าง $T_{w,i}$ กับ $T_{w,o}$ ที่ \dot{m}_w ต่างกัน

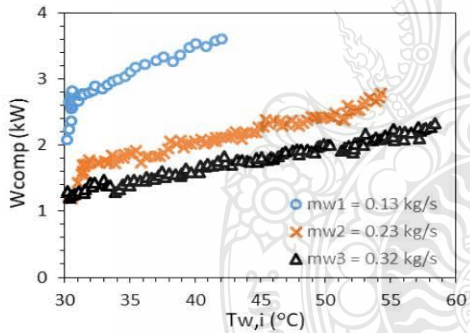
จากรูปที่ 6 จะพบว่าที่อุณหภูมิน้ำเข้าคอนเดนเซอร์เท่ากัน เมื่อเพิ่มอัตราการไหลของน้ำจะทำให้อุณหภูมิน้ำที่ออกจากคอนเดนเซอร์ลดลง ทำให้ผลต่างของอุณหภูมิน้ำเข้าและน้ำออกจากคอนเดนเซอร์ก็จะลดลงตามไปด้วย เนื่องจากการเพิ่มอัตราการไหลของน้ำนั้นทำให้ระยะเวลาที่น้ำได้รับความร้อนภายในคอนเดนเซอร์ลดน้อยลง และจะพบว่าที่อัตราการไหลของน้ำ 0.13 kg/s ในช่วงแรกอุณหภูมิน้ำเข้าคอนเดนเซอร์เปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ในขณะที่อุณหภูมิน้ำออกคอนเดนเซอร์เพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งเป็นผลมาจากความหนาแน่นของ น้ำร้อนทำให้มวลน้ำร้อนส่วนใหญ่อยู่ด้านบนถังเก็บ และผลจากอัตราการไหลของน้ำที่ต่ำ ทำให้ความสามารถในการดึงมวลน้ำที่อยู่ด้านล่างถังเก็บไปแลกเปลี่ยนความร้อนที่คอนเดนเซอร์ได้น้อย ส่งผลให้อุณหภูมิน้ำเข้าคอนเดนเซอร์เปลี่ยนแปลงเล็กน้อยในช่วงแรกของการทดสอบ และส่งผลให้อุณหภูมิน้ำออกจากคอนเดนเซอร์เพิ่มสูงขึ้นจนถึง

อุณหภูมิที่ตั้งไว้เท่ากับ 65 °C อย่างรวดเร็วจนกระทั่ง Thermostat สั่งตัดการทำงานของปั๊มความร้อน ในขณะที่อุณหภูมิน้ำเข้ามีค่าเท่ากับ 42.1 °C



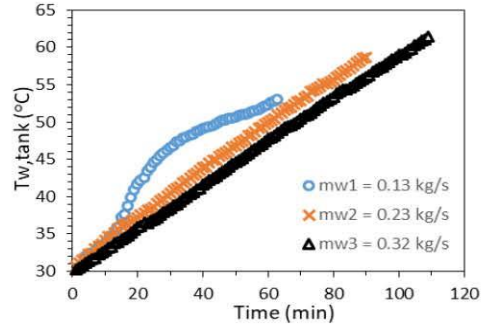
รูปที่ 7 เปรียบเทียบค่า \dot{Q}_{cond} ที่ \dot{m}_w ต่างกัน

จากรูปที่ 7 พบว่าอัตราการถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำที่อัตราการไหลของน้ำ 0.13 kg/s นั้นสูงกว่าที่อัตราการไหลของน้ำ 0.23 kg/s และ 0.32 kg/s ตามลำดับ เนื่องจากการเพิ่มอัตราการไหลของน้ำจะทำให้ผลต่างของอุณหภูมิน้ำเข้าและออกคอนเดนเซอร์ลดลง (ดังรูปที่ 6) ซึ่งส่งผลถึงอัตราการถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำที่ลดลงด้วย และจะเห็นได้ว่าอัตราการถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำจะค่อยๆ ลดลงตามการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิน้ำเข้าคอนเดนเซอร์ ทั้งนี้เนื่องมาจากอุณหภูมิของน้ำในถังเก็บที่เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งจะทำให้ผลต่างระหว่างอุณหภูมิของไอสารทำความเย็นกับน้ำในคอนเดนเซอร์ลดลง ทำให้ความสามารถในการถ่ายเทความร้อนลดลงด้วย



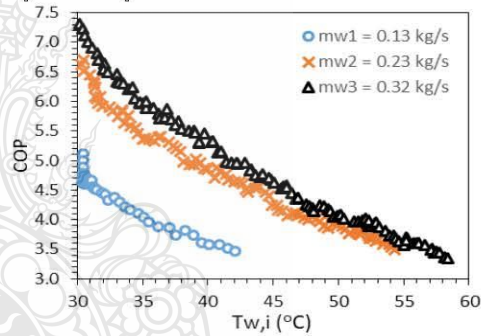
รูปที่ 8 เปรียบเทียบค่า W_{comp} ที่ \dot{m}_w ต่างกัน

จากรูปที่ 8 จะเห็นได้ว่าเมื่ออัตราการไหลของน้ำเพิ่มขึ้น กำลังงานที่ปั๊มเข้าคอมเพรสเซอร์จะมีค่าลดลง เนื่องจากการเพิ่มอัตราการไหลของน้ำจะทำให้ความดันต้นสูงและอุณหภูมิของสารทำความเย็นที่ออกจากคอมเพรสเซอร์ลดลง ทำให้ค่าเอนทาลปีที่ทางออกคอมเพรสเซอร์ลดลง รวมถึงอัตราการไหลของสารทำความเย็นลดลง เนื่องจากความดันที่ลดต่ำลง ซึ่งทั้งหมดส่งผลให้กำลังงานที่ปั๊มเข้าคอมเพรสเซอร์นั้นลดลงด้วย และจะเห็นได้ว่ากำลังงานที่ปั๊มเข้าคอมเพรสเซอร์จะเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิน้ำเข้าคอนเดนเซอร์ เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิน้ำร้อนนำไปสู่การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในการควบแน่น (Condensing temperature) ส่งผลให้กำลังงานที่ปั๊มเข้าคอมเพรสเซอร์เพิ่มสูงขึ้น



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่าง $T_{w,tank}$ กับระยะเวลาที่ \dot{m}_w ต่างกัน

จากรูปที่ 9 เมื่ออัตราการไหลของน้ำเพิ่มมากขึ้น อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำร้อนที่ผลิตได้ภายในถังเก็บจะเพิ่มสูงขึ้นจาก 53 °C, 58.7 °C และ 61.45 °C เช่นเดียวกันกับระยะเวลาที่ใช้ในการผลิตน้ำร้อนที่เพิ่มขึ้นจาก 63 นาที, 90 นาที และ 115 นาที ที่อัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 0.13 kg/s, 0.23 kg/s และ 0.32 kg/s ตามลำดับ โดยที่อุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำที่ไหลเข้าคอนเดนเซอร์มีค่าเท่ากับ 30±1 °C เนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของอัตราการไหลของน้ำทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำลดลง จึงทำให้อุณหภูมิน้ำที่ออกจากคอนเดนเซอร์เพิ่มขึ้นถึงอุณหภูมิที่ตั้งไว้เท่ากับ 65 °C ด้วยระยะเวลาที่มากขึ้น และยังทำให้น้ำร้อนที่ผลิตได้ในถังเก็บมีอุณหภูมิเฉลี่ยเพิ่มสูงขึ้นด้วย



รูปที่ 10 เปรียบเทียบค่า COP ที่ \dot{m}_w ต่างกัน

จากรูปที่ 10 จะเห็นได้ว่าค่า COP ที่อัตราการไหลของน้ำ 0.32 kg/s สูงกว่าที่อัตราการไหลของน้ำ 0.23 kg/s และ 0.13 kg/s ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าที่อุณหภูมิน้ำเข้าคอนเดนเซอร์เท่ากัน เมื่อเพิ่มอัตราการไหลของน้ำที่ไหลผ่านคอนเดนเซอร์ มีผลทำให้ค่า COP ของระบบมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นด้วย และจะเห็นได้ว่าค่า COP ของระบบจะค่อยๆ ลดลงตามการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิน้ำเข้าคอนเดนเซอร์ โดยมีแนวโน้มไปในทางเดียวกันทั้ง 3 อัตราการไหลของน้ำ เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิน้ำร้อนทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนออกจากคอนเดนเซอร์ลดลง และกำลังงานที่ปั๊มเข้าคอมเพรสเซอร์สูงขึ้นเป็นผลทำให้ค่า COP ของระบบลดลงตามการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิน้ำเข้าคอนเดนเซอร์

5.สรุปผลและข้อเสนอนะ

จากการศึกษาผลของอัตราการไหลของน้ำที่มีต่อสมรรถนะของการทำน้ำร้อนด้วยปั๊มความร้อนขนาด 16 kW ที่

สภาวะอุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าฮีทปั๊ม 35±1 °C โดยมี อัตราการไหลของน้ำเข้าคอนเดนเซอร์เท่ากับ 0.13 kg/s, 0.23 kg/s และ 0.32 kg/s พบว่าเมื่ออัตราการไหลของน้ำที่ไหลเข้า คอนเดนเซอร์เพิ่มขึ้น อุณหภูมิน้ำร้อนที่ผลิตได้จะมีค่าเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกันกับระยะเวลาที่ใช้ในการผลิตน้ำร้อน และจะเห็นได้ว่า เมื่ออัตราการไหลของน้ำเพิ่มขึ้น กำลังงานที่ป้อนเข้า คอมเพรสเซอร์จะลดลงด้วย ทำให้ค่า COP ของระบบเพิ่มขึ้น

ในการทดสอบนี้จะพบว่าที่อัตราการไหลของน้ำ 0.32 kg/s จะให้ค่า COP สูงที่สุด เนื่องจากอัตราการไหลของน้ำที่ เพิ่มขึ้น จะทำให้ค่า COP ของระบบจะมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นด้วย หากต้องการเพิ่มค่า COP ของระบบขึ้นอีกก็สามารถปรับอัตราการ ไหลของน้ำที่ไหลผ่านคอนเดนเซอร์ให้มีปริมาณมากขึ้นได้ แต่ถ้า หากทำการเพิ่มอัตราการไหลของน้ำมากขึ้นจนถึงจุดที่อุณหภูมิ น้ำ เข้าและออกจากคอนเดนเซอร์มีค่าใกล้เคียงกันมากๆ ทำให้มี ผลต่างของอุณหภูมิน้อย จากสมการที่ (3) จะแสดงให้เห็นว่า คอนเดนเซอร์มีอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ต่ำมากฯ ซึ่งจะส่งผลให้ ค่า COP ของระบบมีแนวโน้มเข้าสู่ใกล้ค่าศูนย์ ดังนั้นการควบคุม การทำงานของปั๊มความร้อนควรให้มีค่า COP สูง โดยพิจารณาจาก ความเหมาะสมจากผลต่างของอุณหภูมิ และอัตราการไหลของน้ำที่ ไหลผ่านคอนเดนเซอร์

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีที่เอื้อ สถานที่ในการทำวิจัยในครั้งนี้ และขอขอบคุณนักศึกษาปริญญาตรี ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลที่ช่วยติดตั้งชุดทดสอบสมรรถนะเครื่อง ทำน้ำร้อนด้วยปั๊มความร้อน และเก็บข้อมูลในการทดสอบ

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. *การผลิตและซื้อพลังงาน ไฟฟ้า*, [ออนไลน์], ที่มา: <http://www.egat.co.th>, เข้าดูเมื่อวันที่ 8/09/2559
- [2] การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. *ความต้องการพลังงานไฟฟ้า สูงสุด*, [ออนไลน์], ที่มา : <http://www.egat.co.th>, เข้าดูเมื่อวันที่ 8/09/2559
- [3] อาทิตย์ ไชยอรนนท์(2545). การทำน้ำร้อนด้วยปั๊มความร้อน, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยี การจัดการพลังงาน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- [4] รุติพร ธมยาพิทักษ์(2545). การทำน้ำร้อนจากความร้อนทิ้งของ เครื่องปรับอากาศ, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร มหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีการจัดการพลังงาน มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- [5] พีรวิชญ์ เอกสุวรรณ (2555). การลดภาระการทำความร้อนใน ห้องใต้หลังคาและผลิตน้ำร้อนในอาคารโดยใช้ปั๊มความร้อน , วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรม พลังงาน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- [6] Yokoyama, R., T. Shimizu, K. Takemura and K. Ito. (2006). Performance analysis of hot water supply system with CO₂ heat pump by numerical simulation. *JSMIE International Journal*, vol.49(2), pp. 541-548.

[7] Zhang, J., R. Z. Wang and J. Y. Wu. (2007). System optimization and experimental research on air source heat pump water heater, *Applied Thermal Engineering*, vol.27, pp. 1029-1035.

[8] Aqua Systems Incorporated. *What makes an Aqua Systems Heat Exchanger work so well?*, [Online], URL: http://www.aquasystemsinc.com/work_so_well.html, access on 24/10/2016



ที่ ศธ 0578.08/ 257

คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ถนนรังสิต-นครนายก อ.ธัญบุรี
จ.ปทุมธานี 12110

25 พฤษภาคม 2561

เรื่อง ตอบรับบทความเพื่อเข้าร่วมการประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 14

เรียน คุณภควัต หุ่นฉัตร

ตามที่ท่านได้สมัครส่งบทความวิจัยเรื่อง “ผลของอัตราการไหลของน้ำที่มีผลต่อสมรรถนะของ การทำน้ำร้อนด้วยปั๊มความร้อนขนาด 16 กิโลวัตต์” รหัสบทความ “RCM-02-90” เพื่อนำเสนอในงานประชุม วิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 14 (14th Conference on Energy Network of Thailand) ใน ระหว่างวันที่ 13 – 15 มิถุนายน 2561 ณ โรงแรมโนโวเทลริมเพ จังหวัดระยอง นั้น

บัดนี้ คณะกรรมการฝ่ายวิชาการได้พิจารณาบทความของท่านเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ผลงานของ ท่าน ผ่านการพิจารณา และได้รับตอบรับให้นำเสนอประเภท **Oral Presentation** ในการประชุมวิชาการ เครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 14 (14th Conference on Energy Network of Thailand) โดยท่าน สามารถตรวจสอบกำหนดการนำเสนอ และรายละเอียดการเตรียมข้อมูลการนำเสนอได้ทางเว็บไซต์ <http://www.e-nett.org> อนึ่ง ในส่วนของการตีพิมพ์บทความฉบับเต็ม นั้น ขณะนี้อยู่ในกระบวนการพิจารณาจาก ผู้ทรงคุณวุฒิ ท่านจะได้รับอีเมลล์แจ้งสถานะรายงานความก้าวหน้าของบทความจากทางคณะกรรมการจัดการ ประชุมต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบ

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิวกร อ่างทอง)
คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์



การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 14 14th Conference on Energy Network of Thailand

ขอมอบเกียรติบัตรนี้เพื่อแสดงว่า

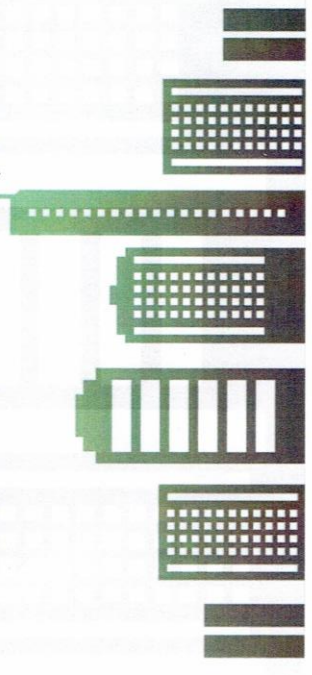
ภาคีวัต หุ่นฉัตร และ สถาพร ทองวิก
ได้เข้าร่วมนำเสนอผลงานวิจัย “ภาคบรรยาย”

ผลของอัตราการไหลของน้ำที่มีผลต่อสมรรถนะของการทำน้ำร้อน
ด้วยปั๊มความร้อนขนาด 16 กิโลวัตต์

ระหว่างวันที่ 13 - 15 มิถุนายน พ.ศ. 2561
ณ โรงแรมโนโวเทล ริมเพ จังหวัดระยอง

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อังทอง
คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิรัชย์ โรจนรินทร์
ประธานกรรมการฝ่ายวิชาการ



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นายภกวัต หุ่นฉัตร
วัน เดือน ปีเกิด	12 ตุลาคม 2529
ที่อยู่	429/5 หมู่ที่ 4 ตำบลวัดโบสถ์ อำเภอวัดโบสถ์ จังหวัดพิษณุโลก 65160
ประวัติการศึกษา	ปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยนเรศวร ปีการศึกษา 2551
ประวัติการทำงาน	วิศวกรขาย แผนกสินค้าพิเศษ บริษัท ไทยเอเยนซี เอ็นยีเนียร์ริง จำกัด ตั้งแต่ พ.ศ. 2552 – พ.ศ. 2559
เบอร์โทรศัพท์	080-804-5457
อีเมลล์	phakhawat_h@mail.rmutt.ac.th

