

การประเมินสมรรถนะของระบบปรับอากาศแบบไฮบริดระหว่างระบบทำความเย็น  
แบบน้ำระเหยกับระบบอัดไอในร้านสะดวกซื้อ



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลและระบบกระบวนการ  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี  
ปีการศึกษา 2564

PERFORMANCE EVALUATION OF A HYBRID EVAPORATIVE  
COOLING – VAPOR COMPRESSION AIR CONDITION  
IN A CONVENIENCE STORE



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the Degree of  
Degree of Master of in Mechanical and Process System Engineering  
Suranaree University of Technology  
Academic Year 2021

การประเมินสมรรถนะของระบบปรับอากาศแบบไฮบริดระหว่างระบบทำความเย็น  
แบบน้ำระเหยกับระบบอัดไอในร้านสะดวกซื้อ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา  
ตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารธุรกิจ

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



(ผศ. ดร.กระวี ตรีอำรรต)

ประธานกรรมการ

อาจารย์

(ผศ. ดร.อาทิตย์ คุณศรีสุข)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)



(รศ. ดร.บัณฑิต กฤตาคม)

กรรมการ



(ผศ. ดร.พรรษา ลิบลับ)

กรรมการ



(รศ. ดร.ฉัตรชัย โชติษฐยางกูร)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและประกันคุณภาพ



(รศ. ดร.พรศิริ จงกล)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

ณัฐพล อ่ำไพ : การประเมินสมรรถนะของระบบปรับอากาศแบบไฮบริดระหว่างระบบทำความเย็นแบบน้ำระเหยกับระบบอัดไอในร้านสะดวกซื้อ (PERFORMANCE EVALUATION OF A HYBRID EVAPORATIVE COOLING – VAPOR COMPRESSION AIR CONDITION IN A CONVENIENCE STORE) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อาทิตย์ คุณศรีสุข, 119 หน้า.

คำสำคัญ: ระบบไฮบริด/เครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหยสัมผัสโดยอ้อม/แกนทำความเย็น/ระบบปรับอากาศแบบอัดไอ

ในการศึกษานี้ ได้มีการประเมินระบบไฮบริดประกอบด้วย เครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหยสัมผัสโดยอ้อมและเครื่องปรับอากาศแบบอัดไอ เครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหยช่วยลดอุณหภูมิอากาศด้วยการนำพลังงานกลับมาใช้ใหม่จากอากาศเสียภายในห้องปรับอากาศ อากาศเย็นจะถูกส่งไปยังห้องปรับอากาศเพื่อลดภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ ระบบไฮบริดนี้ได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก เนื่องจากสามารถลดการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศได้ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างและประเมินสมรรถนะของระบบไฮบริด ระบบดังกล่าวถูกติดตั้งที่ร้านสะดวกซื้อหอฟัก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี นครราชสีมา ประเทศไทย แกนทำความเย็นชนิดถูกสร้างและทดสอบ ผลการทดสอบ พบว่า แกนทำความเย็นชนิดไหลตั้งฉากทำให้การใช้พลังงานไฟฟ้าลดลงสูงสุด 33.5% เมื่อเปรียบเทียบกับระบบปรับอากาศแบบอัดไอทั่วไป ดังนั้น จึงเลือกแกนทำความเย็นชนิดไหลตั้งฉาก การสเปรย์น้ำไม่ต่อเนื่อง พบว่า สมรรถนะการทำความเย็นของเครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหยเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับการสเปรย์น้ำต่อเนื่อง นอกจากนี้ พบว่าระบบไฮบริดใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยกว่าเครื่องปรับอากาศทั่วไป 34.55% เมื่ออุณหภูมิอากาศสิ่งแวดล้อมอยู่ที่ 30-33°C และน้อยกว่าเครื่องปรับอากาศทั่วไป 6% เมื่ออุณหภูมิอากาศสิ่งแวดล้อมอยู่ที่ 24-28°C การทดสอบแสดงให้เห็นว่าระบบไฮบริดใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยกว่าเครื่องปรับอากาศทั่วไป 36.42% และ 36.04% ในเดือนพฤษภาคม 2564 และมิถุนายน 2564 ตามลำดับ

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล  
ปีการศึกษา 2564

ลายมือชื่อนักศึกษา ณัฐพล อ่ำไพ  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา อาทิตย์

NATTHAPON AUMPAI : PERFORMANCE EVALUATION OF A HYBRID EVAPORATIVE COOLING – VAPOR COMPRESSION AIR CONDITION IN A CONVENIENCE STORE. THESIS ADVISOR : ASST. PROF. ATIT KOONSRIK, Ph.D., 119 PP.

Keywords: Hybrid System/Indirect Evaporator Cooler/Cooling Core/Vapor Compression Air Condition

A hybrid system consisting of an indirect evaporative cooler and a vapor compression air conditioner was evaluated in this study. The evaporative cooler reduces ambient air temperature by recovering energy from room exhaust air. The cooled air is then supplied to the air-conditioned room to reduce the cooling load of the room air conditioner. This kind of hybrid system is getting a lot of attention because it can lower the energy consumption of the air conditioning system. The objective of this research was to construct and evaluate the performance of a hybrid system. The system was installed in a dormitory convenience store in Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand. Several types of cooling cores were built and tested. The results show that a cross-flow cooling core yielded a maximum reduction in electrical energy consumption of 33.5% compared to a conventional vapor compression system. So the cross-flow cooling core was chosen. It was found that intermittent water spraying resulted in a significant increase in the cooling performance of the evaporative cooler compared to the results of continuous water spraying. It was also found that the hybrid system consumed 34.55% less than that of the conventional air conditioner when the ambient temperatures were 30 – 33 °C and 6% less than that of the conventional air conditioner when the ambient temperatures were 24 – 28 °C. The tests showed that the hybrid system consumed 36.42% and 36.04% less than that of the conventional air conditioner in May 2021 and June 2021, respectively.

School of Mechanical Engineering  
Academic year 2021

Student's Signature ณัฐapon อุมไพ  
Advisor's Signature อ. อติท โคนศรี

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีเนื่องจากได้รับความกรุณาอย่างสูงจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อาทิตย์ คุณศรีสุข อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำ ปรึกษา ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความเอาใจใส่อย่างดียิ่ง ผู้วิจัยตระหนักถึงความตั้งใจและความทุ่มเทของอาจารย์ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กระวี ตรีอำนรรค (ประธานกรรมการ) รองศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต กฤตาคม (กรรมการ) และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรรษา ลิบลับ (กรรมการ) ที่ชี้แนะแนวทางในการดำเนินงานวิจัย และการจัดทำเล่มวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสมบูรณ์

ทุนสนับสนุน OROG จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีที่ให้ความอนุเคราะห์ในการดำเนินงานวิจัยจนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) ที่ได้ร่วมทำโครงการ ชี้แนะทาง จุดประกายทางความคิด และเล็งเห็นถึงข้อบกพร่องที่ต้องปรับปรุง ส่งผลให้ผู้วิจัยได้พัฒนาตนเองอยู่เสมอ

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยหวังว่าวิทยานิพนธ์เล่มนี้จะมีประโยชน์อยู่ไม่น้อยจึงขอมอบส่วนดีทั้งหมดให้แก่เหล่าคณาจารย์ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาจนทำให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้ เป็นประโยชน์ต่อผู้ที่เกี่ยวข้อง และขอขอบความกตัญญูกตเวทิตาคุณ แด่บิดา มารดา ขอบคุณ เพื่อน ๆ พี่ ๆ น้อง ๆ และผู้มีพระคุณทุกท่าน ที่มีส่วนร่วมในการดำเนินงานวิจัยจนจบ

ณัฐพล อำไพ

# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ) .....	ข
กิตติกรรมประกาศ .....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ฉ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ .....	ต
<b>บทที่</b>	
<b>1 บทนำ.....</b>	<b>1</b>
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหาการวิจัย .....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	5
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	6
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	6
<b>2 ปรัชญาบรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....</b>	<b>7</b>
2.1 บทนำ.....	7
2.2 ระบบทำความเย็นแบบน้ำระเหย .....	9
2.3 เครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหยสัมผัสโดยตรง.....	9
2.4 เครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหยสัมผัสโดยอ้อม .....	10
2.4.1 แกนทำความเย็นวัฏจักรเอ็ม (M-cycle cooling core) .....	11
2.4.2 แกนทำความเย็นแบบแบ่งอากาศกลับมาเข้าช่องเป็ยก (Regenerative cooling core).....	12
2.5 ระบบปรับอากาศแบบไฮบริด (Hybrid system).....	14
<b>3 วิธีดำเนินการวิจัย.....</b>	<b>22</b>
3.1 บทนำ.....	22
3.2 การออกแบบ สร้าง และทดสอบชุดทดสอบขนาดเล็ก .....	22

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2.1 วิธีสร้างชุดทดสอบขนาดเล็กที่ใช้แกนทำความเย็นวัฏจักรเอ็ม ชนิดไหลตั้งฉาก .....	24
3.2.2 วิธีสร้างชุดทดสอบขนาดเล็กที่ใช้แกนทำความเย็นแบบแบ่ง อากาศกลับเข้าช่องเปียกชนิดไหลตั้งฉาก .....	28
3.2.3 วิธีสร้างชุดทดสอบขนาดเล็กที่ใช้แกนทำความเย็นแบบแบ่ง อากาศในห้องปรับอากาศกลับเข้าช่องเปียก ชนิดไหลตั้งฉาก .....	33
3.2.4 วิธีสร้างชุดทดสอบขนาดเล็กที่ใช้แกนทำความเย็นแบบแบ่ง อากาศในห้องปรับอากาศกลับเข้าช่องเปียกชนิดไหลสวนทาง แบบมีแผ่นกั้น.....	34
3.2.5 วิธีสร้างชุดทดสอบขนาดเล็กที่ใช้แกนทำความเย็นแบบแบ่ง อากาศในห้องปรับอากาศกลับเข้าช่องเปียกชนิดไหลสวนทาง แบบไม่มีแผ่นกั้น.....	40
3.2.6 วิธีดำเนินการทดสอบ .....	44
3.2.7 อิทธิพลที่ส่งผลต่อการทำงานของระบบปรับอากาศแบบไฮบริด กับอาคารทดสอบขนาดเล็ก.....	44
3.3 การสร้าง ติดตั้ง และทดสอบเครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหยโดยอ้อม สำหรับร้านสะดวกซื้อ.....	44
3.3.1 การสร้างเครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหยชนิดไหลตั้งฉาก .....	44
3.3.2 การสร้างเครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหยชนิดไหลสวนทาง แบบรีเจนเนอเรชั่นด้วยอากาศจากห้องปรับอากาศ.....	50
3.3.3 วิธีดำเนินการทดสอบ .....	56
3.4 การติดตั้งและชนิดของเซนเซอร์ที่ใช้บันทึกข้อมูลสำหรับวิเคราะห์ .....	56
3.4.1 เซนเซอร์และชุดบันทึกผลการทดสอบ.....	56
3.4.2 สมการที่ใช้สำหรับคำนวณข้อมูลที่บันทึกได้จากผลทดสอบ .....	60
<b>4 ผลการดำเนินการวิจัย .....</b>	<b>63</b>
4.1 ผลทดสอบระบบปรับอากาศแบบไฮบริดกับอาคารทดสอบขนาดเล็ก .....	63



## สารบัญ (ต่อ)

### หน้า

4.1.1	การทดสอบอรรถิพลชนิดของแกนทำความเย็น .....	63
4.1.1.1	แกนทำความเย็นวัฏจักรเอ็มชนิดไหลตั้งฉาก .....	63
4.1.1.2	แกนทำความเย็นแบบแบ่งอากาศกลับเข้าช่องเปียก ชนิดไหลตั้งฉาก .....	65
4.1.1.3	แกนทำความเย็นแบบแบ่งอากาศในห้องปรับอากาศ กลับเข้าช่องเปียกชนิดไหลตั้งฉาก .....	67
4.1.1.4	แกนทำความเย็นแบบแบ่งอากาศในห้องปรับอากาศ กลับเข้าช่องเปียกชนิดไหลสวนทางแบบมีแผ่นกั้น .....	69
4.1.1.5	แกนทำความเย็นแบบแบ่งอากาศในห้องปรับอากาศ กลับเข้าช่องเปียกชนิดไหลสวนทางแบบไม่มีแผ่นกั้น .....	71
4.1.2	การทดสอบอรรถิพลตำแหน่งติดตั้งเครื่องทำความเย็นแบบ น้ำระเหย .....	74
4.1.3	การทดสอบอรรถิพลอัตราการไหลของอากาศที่ส่งผลต่อ แกนทำความเย็น .....	76
4.1.4	การทดสอบอรรถิพลระยะเวลาสเปรย์น้ำของเครื่องทำความเย็น แบบน้ำระเหย .....	77
4.1.5	การทดสอบอรรถิพลการเป่าอากาศหลังผ่านช่องเปียกใส่คอยล์ร้อน .....	78
4.1.6	การทดสอบอรรถิพลการติดตั้งผ้าทำความเย็นล่วงหน้า (Pre-cooler) .....	80
4.2	ผลทดสอบระบบปรับอากาศแบบไฮบริดกับร้านสะดวกซื้อ .....	81
4.2.1	การเปรียบเทียบสมรรถนะของแกนทำความเย็นสำหรับ ร้านสะดวกซื้อ .....	82
4.2.2	การเปรียบเทียบการลดปริมาณไฟฟ้าระหว่างระบบปรับอากาศ แบบไฮบริดกับระบบปรับอากาศแบบอัดไอ .....	83
4.2.2.1	การเปรียบเทียบในวันที่อุณหภูมิอากาศสิ่งแวดล้อมสูง และต่ำของระบบปรับอากาศแบบไฮบริดเมื่ออากาศ สิ่งแวดล้อมมีอุณหภูมิและความชื้นสัมบูรณ์ที่แตกต่าง .....	85

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.2.2.2	สมรรถนะของระบบปรับอากาศแบบไฮบริดเมื่ออากาศ สิ่งแวดล้อมมีอุณหภูมิและความชื้นสัมบูรณ์ที่แตกต่าง.....	90
4.2.2.3	ศักยภาพการประหยัดพลังงานของระบบปรับอากาศ แบบไฮบริดเปรียบเทียบจากเดือนธันวาคม 2563 ถึงมิถุนายน 2564 .....	92
5	บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	94
5.1	บทนำ.....	94
5.1.1	สรุปผลทดสอบระบบปรับอากาศแบบไฮบริดกับอาคารทดสอบ ขนาดเล็ก.....	94
5.1.2	สรุปผลทดสอบระบบปรับอากาศแบบไฮบริดกับร้านสะดวกซื้อ.....	95
5.1.3	ข้อเสนอแนะ.....	95
	รายการอ้างอิง.....	96
	ภาคผนวก	
	ภาคผนวก ก. คำสั่งชุดบันทึกข้อมูลและการสอบเทียบเครื่องมือวัด .....	99
	ภาคผนวก ข. การตรวจสอบความถูกต้องระหว่างผลการทดสอบกับผลการจำลอง.....	114
	ประวัติผู้เขียน.....	119

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 การใช้ปริมาณพลังงานไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าตามพื้นที่ในประเทศไทย .....	7
2.2 เครื่องทำความเย็นชนิดที่ได้รับความนิยมในการศึกษา.....	10
3.1 ผลการจำลองขนาดและพารามิเตอร์สำหรับสร้างแกนทำความเย็นวัฏจักรเอ็ม ชนิดไหลตั้งฉาก .....	28
3.2 ผลการจำลองขนาดและพารามิเตอร์สำหรับสร้างแกนทำความเย็นแบบแบ่ง อากาศกลับเข้าช่องเป็ยก.....	33
3.3 ผลการจำลองขนาดและพารามิเตอร์สำหรับสร้างแกนทำความเย็นแบบแบ่ง อากาศกลับเข้าช่องเป็ยกไหลตั้งฉาก .....	34
3.4 ผลการจำลองขนาดและพารามิเตอร์สำหรับสร้างแกนทำความเย็นแบบแบ่ง อากาศในห้องปรับอากาศกลับเข้าช่องเป็ยกชนิดไหลสวนทางแบบมีแผ่นกั้น .....	39
3.5 ผลการจำลองขนาดและพารามิเตอร์สำหรับสร้างแกนทำความเย็น แบบแบ่งอากาศกลับเข้าช่องเป็ยก .....	43
3.6 ผลการจำลองขนาดและพารามิเตอร์สำหรับสร้างแกนทำความเย็นแบบแบ่ง อากาศกลับเข้าช่องเป็ยกชนิดไหลตั้งฉาก .....	50
3.7 ผลการจำลองขนาดและพารามิเตอร์สำหรับสร้างแกนทำความเย็นแบบน้ำระเหย ชนิดไหลสวนทางแบบรีเจนเนอเรชั่นด้วยอากาศจากห้องปรับอากาศ .....	55
4.1 ปริมาตรการไหลของอากาศภายในแกนทำความเย็น .....	65
4.2 ร้อยละการลดพลังงานไฟฟ้ารวมของแกนทำความเย็นแต่ละชนิด.....	74

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1	การส่งออกเครื่องใช้ไฟฟ้าในประเทศไทย ปี 2563.....1
1.2	กระบวนการลดอุณหภูมิของ DEC บนแผนภูมิไซโครเมทริก.....2
1.3	กระบวนการลดอุณหภูมิของ IEC บนแผนภูมิไซโครเมทริก.....3
1.4	กระบวนการลดอุณหภูมิระหว่าง IEC และ DEC บนแผนภูมิไซโครเมทริก IEC .....3
1.5	กระบวนการลดอุณหภูมิของ RIEC บนแผนภูมิไซโครเมทริก .....4
1.6	ระบบระบายอากาศ.....5
2.1	ส่วนประกอบของระบบปรับอากาศ.....8
2.2	งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ IEC ระหว่าง 2553-2564 ปี ของ ScienceDirect .....9
2.3	แกนทำความเย็นแบบร้งผึ้ง..... 10
2.4	อิทธิพลของความเร็วมวลที่ส่งผลต่ออุณหภูมิอากาศหลังผ่าน แกนทำความเย็น..... 11
2.5	อิทธิพลของความเร็วมวลที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำความเย็น..... 12
2.6	อิทธิพลของความชื้นสัมบูรณ์ที่ส่งผลต่ออุณหภูมิอากาศหลังผ่านแกนทำความเย็น..... 12
2.7	การไหลของอากาศในแกนทำความเย็น ก) ไหลตั้งฉาก ข) ไหลสวนทาง..... 13
2.8	อิทธิพลอัตราส่วนของอากาศที่แบ่งให้กับช่องเป็ยกที่ส่งผลต่ออุณหภูมิอากาศ หลังผ่านแกนทำความเย็น..... 13
2.9	อิทธิพลความชื้นสัมบูรณ์ที่ส่งผลต่อสมรรถนะการทำความเย็น..... 14
2.10	สมรรถนะการทำความเย็นเมื่อติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่เคลื่อน สารดูดความชื้น..... 15
2.11	สมรรถนะการทำความเย็นเมื่อติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่เคลื่อน สารดูดความชื้น..... 15
2.12	ระบบปรับอากาศแบบไฮบริด..... 16
2.13	กระบวนการระบบปรับอากาศแบบไฮบริด..... 16
2.14	อิทธิพลของอากาศสิ่งแวดล้อมที่ส่งผลต่อการลดอุณหภูมิ..... 17
2.15	อิทธิพลของอากาศสิ่งแวดล้อมที่ส่งผลต่อการลดความชื้นสัมบูรณ์..... 17

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.16 อิทธิพลอัตราการไหลของอากาศที่ส่งผลต่ออุณหภูมิอากาศหลังผ่าน แกนทำความเย็น.....	18
2.17 อิทธิพลอัตราการไหลของอากาศที่ส่งผลต่ออัตราการทำความเย็น .....	19
2.18 อิทธิพลความกว้างของช่องในแกนทำความเย็นที่ส่งผลต่ออุณหภูมิอากาศ หลังผ่านแกนทำความเย็น .....	19
2.19 อิทธิพลความกว้างของช่องในแกนทำความเย็นที่ส่งผลต่อการสูญเสีย ความดันภายในแกนทำความเย็น .....	20
3.1 อาคารขนาดเล็กสำหรับใช้ทดสอบ .....	23
3.2 Polycarbonate สำหรับสร้างแกนทำความเย็น .....	24
3.3 ผลการออกแบบแกนทำความเย็นวัฏจักรเอ็มด้วยโปรแกรมเขียนแบบ ทางคอมพิวเตอร์ .....	25
3.4 Polycarbonate หลังถูกตัดและเจาะช่อง .....	25
3.5 ขนาดและระยะห่างของรูบน Transparency sheet .....	26
3.6 Polycarbonate ที่พร้อมประกอบเป็นแกนทำความเย็นวัฏจักรเอ็ม .....	26
3.7 แกนทำความเย็นวัฏจักรเอ็มชนิดไหลตั้งฉาก.....	27
3.8 Housing หลังติดตั้งแกนทำความเย็น .....	27
3.9 ชุดทดสอบที่ใช้แกนทำความเย็นวัฏจักรเอ็มชนิดไหลตั้งฉาก .....	28
3.10 ผลการออกแบบแกนทำความเย็นแบบแบ่งอากาศกลับเข้าช่องเป็ยกด้วย โปรแกรมเขียนแบบทางคอมพิวเตอร์ .....	29
3.11 Polycarbonate หลังตัดผ้าสำลี .....	30
3.12 Polycarbonate หลังติด Downcomers .....	30
3.13 แกนทำความเย็นแบบแบ่งอากาศกลับเข้าช่องเป็ยกชนิดไหลตั้งฉาก.....	31
3.14 Housing หลังติดตั้งแกนทำความเย็น .....	31
3.15 รางน้ำสำหรับควบคุมการไหลของน้ำในแกนทำความเย็น .....	32
3.16 ชุดทดสอบที่ใช้แกนทำความเย็นแบบแบ่งอากาศกลับเข้าช่องเป็ยก.....	32
3.17 ชุดทดสอบที่ใช้แกนทำความเย็นแบบแบ่งอากาศในห้องปรับอากาศกลับเข้า ช่องเป็ยกชนิดไหลตั้งฉาก.....	34

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.18 ผลการออกแบบแกนทำความเย็นแบบแบ่งอากาศในห้องปรับอากาศกลับเข้า ช่องเป็ยกชนิดไหลสวนทางแบบมีแผ่นกั้นด้วยโปรแกรมเขียนแบบทางคอมพิวเตอร์ .....	35
3.19 ผลการออกแบบการติดตั้งแผ่นกั้นในช่องแห้ง .....	36
3.20 แผ่นสังกะสีสำหรับโครงสร้างแกนทำความเย็น .....	36
3.21 แผ่นสังกะสีหลังติดตั้งแผ่นกั้น .....	37
3.22 แกนทำความเย็นแบบแบ่งอากาศในห้องปรับอากาศกลับเข้าช่องเป็ยกชนิด ไหลสวนทางแบบมีแผ่นกั้น .....	37
3.23 แกนทำความเย็นหลังติดตั้งโครงสร้างภายนอกและท่อรวมอากาศ.....	38
3.24 ระบบน้ำหลังติดตั้งบนแกนทำความเย็น ก) ระบบท่อจ่ายน้ำ ข) ระบบรับน้ำ .....	38
3.25 ชุดทดสอบที่ใช้แกนทำความเย็นแบบแบ่งอากาศในห้องปรับอากาศกลับเข้า ช่องเป็ยกชนิดไหลสวนทางแบบมีแผ่นกั้น .....	39
3.26 Polycarbonate หลังเจาะเส้นทางการไหลของอากาศเข้าสู่ช่องแห้ง .....	40
3.27 Polycarbonate หลังติดตั้งผ้าสำลี.....	41
3.28 แกนทำความเย็นแบบแบ่งอากาศในห้องปรับอากาศกลับเข้าช่องเป็ยกชนิด ไหลสวนทางแบบไม่มีแผ่นกั้น.....	41
3.29 แกนทำความเย็นหลังติดตั้งโครงสร้างภายนอกและท่อรวมอากาศ.....	42
3.30 ระบบน้ำและหัวกระจายน้ำหลังถูกติดตั้งบนแกนทำความเย็น .....	42
3.31 ชุดทดสอบที่ใช้แกนทำความเย็นแบบแบ่งอากาศในห้องปรับอากาศ กลับเข้าช่องเป็ยกชนิดไหลสวนทางแบบไม่มีแผ่นกั้น .....	43
3.32 Polycarbonate สำหรับสร้างแกนทำความเย็น .....	45
3.33 ผลการออกแบบแกนทำความเย็นแบบไหลตั้งฉาก .....	45
3.34 Polycarbonate สำหรับสร้างแกนทำความเย็น (ก) Polycarbonate หลังตัดให้ได้ขนาด (ข) ตัวคั่นสำหรับแบ่งช่องแห้งและช่องเป็ยก .....	46
3.35 ช่องเป็ยกของแกนทำความเย็นหลังตัดผ้าสำลี.....	46
3.36 แกนทำความเย็นแบบน้ำระเหยชนิดไหลตั้งฉาก.....	47
3.37 แกนทำความเย็นหลังติดตั้งโครงสร้างภายนอกและท่อรวมอากาศ.....	47

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.38 ถังพักน้ำด้านใต้แกนทำความเย็น .....	48
3.39 ระบบสเปรย์น้ำ .....	48
3.40 เครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหยชนิดไหลตั้งฉาก .....	49
3.41 เครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหยชนิดไหลตั้งฉากหลังติดตั้งท่อลมและระบบไฟฟ้า .....	49
3.42 แกนทำความเย็นแบบน้ำระเหยชนิดไหลสวนทางแบบรีเจนเนอเรชั่นด้วยอากาศ จากห้องปรับอากาศ.....	50
3.43 ผลการออกแบบแกนทำความเย็นแบบน้ำระเหยชนิดไหลสวนทางแบบ รีเจนเนอเรชั่นด้วยอากาศจากห้องปรับอากาศ.....	51
3.44 ส่วนประกอบของแกนทำความเย็น (ก) ช่องแห้ง (ข) ช่องแห้งทำความเย็นล่วงหน้า.....	52
3.45 ช่องเปียกหลังติดตัวคั่น .....	52
3.46 การติดตั้งผ้าสำลีลงบนช่องเปียกทั้งสองฝั่ง.....	53
3.47 ช่องเปียกหลังติดผ้าสำลีทั้งสองฝั่ง .....	53
3.48 แกนทำความเย็นแบบน้ำระเหยชนิดไหลสวนทางแบบรีเจนเนอเรชั่นด้วยอากาศ จากห้องปรับอากาศ.....	54
3.49 ส่วนประกอบภายนอกของแกนทำความเย็น (ก) ท่อรวมอากาศ (ข) โครงสร้างภายนอกและฐานเครื่อง .....	54
3.50 เครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหยชนิดไหลสวนทางแบบรีเจนเนอเรชั่น ด้วยอากาศจากห้องปรับอากาศ.....	55
3.51 บอร์ดควบคุม รุ่น Arduino MEGA 2560 .....	56
3.52 บอร์ดส่งข้อมูลแบบไร้สาย รุ่น ESP8266 V2 .....	57
3.53 บอร์ดบันทึกข้อมูล .....	57
3.54 บอร์ดตั้งค่าเวลา.....	58
3.55 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิอากาศ รุ่น DS18B20 .....	58
3.56 เซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้า รุ่น SCT013.....	58
3.57 เครื่องบันทึกข้อมูลหลังติดตั้งโมดูลและเซนเซอร์สำหรับวัดและบันทึกข้อมูล.....	59
3.58 แผนผังการทำงานของเครื่องบันทึกข้อมูล.....	60





## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.13 อุณหภูมิอากาศสิ่งแวดล้อมในวันที่เปิดระบบปรับอากาศแบบไฮบริด และวันที่เปิดเฉพาะระบบปรับอากาศแบบอัดไอ.....	72
4.14 อุณหภูมิภายในห้องทดสอบในวันที่เปิดระบบปรับอากาศแบบไฮบริด และวันที่เปิดเฉพาะระบบปรับอากาศแบบอัดไอ.....	72
4.15 การใช้พลังงานไฟฟ้ารวมในวันที่เปิดระบบปรับอากาศแบบไฮบริด และวันที่เปิดเฉพาะระบบปรับอากาศแบบอัดไอ.....	73
4.16 ตำแหน่งการติดตั้งเครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหย (ก) ภายในอาคารทดสอบ (ข) ภายนอกอาคารทดสอบ .....	74
4.17 อุณหภูมิอากาศสิ่งแวดล้อมในวันที่ทดสอบอิทธิพลของตำแหน่งติดตั้ง เครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหย.....	75
4.18 การใช้พลังงานไฟฟ้ารวมในวันที่ทดสอบอิทธิพลตำแหน่งติดตั้ง เครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหย.....	75
4.19 อุณหภูมิอากาศสิ่งแวดล้อมในวันที่ทดสอบอิทธิพลอัตราการไหล ของอากาศที่ส่งผลต่อแกนทำความเย็น .....	76
4.20 ผลต่างของอุณหภูมิอากาศหลังผ่านแกนทำความเย็นในวันที่ทดสอบ อิทธิพลอัตราการไหลของอากาศที่ส่งผลต่อแกนทำความเย็น .....	76
4.21 ผลต่างของอุณหภูมิอากาศหลังผ่านแกนทำความเย็นในวันที่ทดสอบ อิทธิพลระยะเวลาเปรี๊ยน้ำของเครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหย.....	77
4.22 อุณหภูมิอากาศสิ่งแวดล้อมในวันที่ทดสอบอิทธิพลการเป่าอากาศ หลังผ่านช่องเป่าใส่คอยล์ร้อน.....	79
4.23 การใช้พลังงานไฟฟ้ารวมในวันที่ทดสอบอิทธิพลการเป่าอากาศ หลังผ่านช่องเป่าใส่คอยล์ร้อน.....	79
4.24 การติดตั้งผ้าทำความเย็นลวงหน้า ก. ขนาดเล็ก ข. ขนาดใหญ่.....	80
4.25 อุณหภูมิอากาศสิ่งแวดล้อมในวันที่ทดสอบอิทธิพลการติดตั้งผ้า ทำความเย็นลวงหน้า.....	80
4.26 ผลต่างของอุณหภูมิอากาศหลังผ่านแกนทำความเย็นในวันที่ทดสอบ อิทธิพลการติดตั้งผ้าทำความเย็นลวงหน้า.....	81

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.27 อุณหภูมิอากาศสิ่งแวดล้อมในวันที่เปรียบเทียบแกนทำความเย็น เพื่อร้านสะดวกซื้อ.....	82
4.28 อุณหภูมิอากาศหลังผ่านแกนทำความเย็นแต่ละชนิด .....	82
4.29 การติดตั้งเครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหยที่ใช้แกนทำความเย็น แบบไหลตั้งฉากสำหรับระบบปรับอากาศแบบไฮบริดที่ร้านสะดวกซื้อ.....	83
4.30 แผนผังระบบปรับอากาศแบบไฮบริด รวมถึงตำแหน่งการติดตั้งเซนเซอร์ .....	84
4.31 สภาพอากาศแวดล้อมในการทดสอบระบบของวันที่มีอุณหภูมิแวดล้อมสูง.....	85
4.32 ผลต่างอุณหภูมิหลังผ่านแกนทำความเย็นของวันที่มีอุณหภูมิแวดล้อมสูง .....	86
4.33 การใช้พลังงานไฟฟ้ารวมในช่วงเวลา 10:00 น. ถึง 16:30 น. สำหรับวันที่อุณหภูมิแวดล้อมสูง .....	86
4.34 สภาพอากาศแวดล้อมในการทดสอบระบบ ของวันที่มีอุณหภูมิแวดล้อมต่ำ .....	87
4.35 ผลต่างอุณหภูมิหลังผ่านแกนทำความเย็นของวันที่มีอุณหภูมิล้อมต่ำ.....	88
4.36 การใช้พลังงานไฟฟ้ารวมในช่วงเวลา 10:00 น. ถึง 16:30 น. สำหรับวันที่อุณหภูมิล้อมต่ำ .....	89
4.37 ผลต่างของอุณหภูมิอากาศหลังผ่านแกนทำความเย็นของวันที่มีอุณหภูมิ สิ่งแวดล้อมสูงและต่ำ .....	89
4.38 กระบวนการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความชื้นสำหรับสภาพอากาศแวดล้อม ที่แตกต่างกัน (a - ร้อนแห้ง; b-เย็นแห้ง; c - ร้อนชื้น; d - เย็นชื้น).....	91
4.39 การใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบปรับอากาศแบบไฮบริดเปรียบเทียบ กับระบบปรับอากาศแบบอัดไอในระหว่างเดือนธันวาคม 2563 ถึงเดือนมิถุนายน 2564 .....	92
4.40 ร้อยละพลังงานที่สามารถประหยัดได้เมื่อใช้ระบบปรับอากาศแบบไฮบริด ในระหว่างเดือนธันวาคม 2563 ถึงเดือนมิถุนายน 2564.....	93
ก.1 การสอบเทียบความถูกต้องของเซนเซอร์วัดอุณหภูมิตัวที่ 1.....	107
ก.2 การสอบเทียบความถูกต้องของเซนเซอร์วัดอุณหภูมิตัวที่ 2.....	107
ก.3 การสอบเทียบความถูกต้องของเซนเซอร์วัดอุณหภูมิตัวที่ 3.....	108
ก.4 การสอบเทียบความถูกต้องของเซนเซอร์วัดอุณหภูมิตัวที่ 4.....	108

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ก.5 การสอบเทียบความถูกต้องของเซนเซอร์วัดอุณหภูมิตัวที่ 5.....	109
ก.6 การสอบเทียบความถูกต้องของเซนเซอร์วัดอุณหภูมิตัวที่ 6.....	109
ก.7 การสอบเทียบความถูกต้องของเซนเซอร์วัดอุณหภูมิตัวที่ 7.....	110
ก.8 การสอบเทียบความถูกต้องของเซนเซอร์วัดอุณหภูมิตัวที่ 8.....	110
ก.9 การสอบเทียบความถูกต้องของเซนเซอร์วัดอุณหภูมิตัวที่ 9.....	111
ก.10 การสอบเทียบความถูกต้องของเซนเซอร์วัดอุณหภูมิตัวที่ 10 .....	111
ก.11 การสอบเทียบความถูกต้องของเซนเซอร์วัดอุณหภูมิตัวที่ 11 .....	112
ก.12 การสอบเทียบความถูกต้องของเซนเซอร์วัดอุณหภูมิตัวที่ 12.....	112
ก.13 การสอบเทียบความถูกต้องของเซนเซอร์กระแสไฟฟ้าตัวที่ 1 .....	113
ก.14 การสอบเทียบความถูกต้องของเซนเซอร์กระแสไฟฟ้าตัวที่ 2 .....	113
ก.15 การสอบเทียบความถูกต้องของเซนเซอร์กระแสไฟฟ้าตัวที่ 3 .....	113
ข.1 ผลตรวจสอบความถูกต้องระหว่างการทดสอบกับการจำลองของอุณหภูมิ กระเปาะแห้งที่ทางออกของช่องแห้งสำหรับแกนทำความเย็นชนิดไหลตั้งฉาก .....	115
ข.2 ผลตรวจสอบความถูกต้องระหว่างการทดสอบกับการจำลองของอุณหภูมิ กระเปาะเปียกที่ทางออกของช่องเปียกสำหรับแกนทำความเย็นชนิดไหลตั้งฉาก .....	115
ข.3 ผลตรวจสอบความถูกต้องระหว่างการทดสอบกับการจำลองของอุณหภูมิ กระเปาะแห้งที่ทางออกของช่องแห้งสำหรับแกนทำความเย็นชนิดไหลสวนทาง .....	116
ข.4 ผลตรวจสอบความถูกต้องระหว่างการทดสอบกับการจำลองของอุณหภูมิ กระเปาะเปียกที่ทางออกของช่องเปียกสำหรับแกนทำความเย็นชนิดไหลสวนทาง .....	116
ข.5 ผลตรวจสอบความถูกต้องระหว่างการทดสอบกับการจำลองของอุณหภูมิ กระเปาะแห้งที่ทางออกของช่องแห้งสำหรับแกนทำความเย็นชนิดไหล สวนทางแบบมีแผ่นกั้น .....	117
ข.6 ผลตรวจสอบความถูกต้องระหว่างการทดสอบกับการจำลองของอุณหภูมิ กระเปาะเปียกที่ทางออกของช่องเปียกสำหรับแกนทำความเย็นชนิดไหล สวนทางแบบมีแผ่นกั้น .....	117

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ข.7	ผลตรวจสอบความถูกต้องระหว่างการทดสอบกับการจำลองของอุณหภูมิ กระเปาะแห้งที่ทางออกของช่องแห้งสำหรับแกนทำความเย็นชนิดไหล ตั้งฉากแบบแบ่งอากาศกลับเข้าช่องเปียก ..... 118
ข.8	ผลตรวจสอบความถูกต้องระหว่างการทดสอบกับการจำลอง ของอุณหภูมิกระเปาะเปียกที่ทางออกของช่องเปียกสำหรับ แกนทำความเย็นชนิดไหลตั้งฉากแบบแบ่งอากาศกลับเข้าช่องเปียก..... 118



## คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

$T$	=	อุณหภูมิ (°C)
$RH$	=	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)
$P$	=	ความดัน (Pa)
$A$	=	พื้นที่หน้าตัด (m/s)
$\omega$	=	ความชื้นสัมบูรณ์ (°C)
$m$	=	อัตราการไหลของอากาศ (kg/s)
$\rho$	=	ความหนาแน่นของอากาศ (kg/m <sup>3</sup> )
$v$	=	ความเร็วของอากาศ (m/s)
$W$	=	กำลังไฟฟ้า (kW)
$I$	=	กระแสไฟฟ้า (A)
$V$	=	ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V)
$ft.$	=	การลดยค่าของต้นทุนการผลิตไฟฟ้าที่การไฟฟ้าไม่สามารถควบคุม
$E$	=	พลังงานไฟฟ้า (kWh)
$c_p$	=	ความร้อนจำเพาะ (kJ/kg °C)

### ตัวห้อย

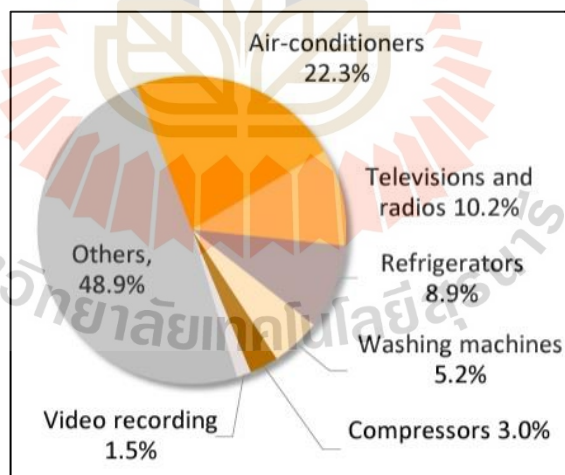
<i>diff</i>	=	ผลต่าง
<i>dry</i>	=	กระเปาะแห้ง
<i>wet</i>	=	กระเปาะเปียก
<i>in</i>	=	ขาเข้า
<i>out</i>	=	ขาออก
<i>VC</i>	=	เครื่องปรับอากาศแบบอัดไอ
<i>pump</i>	=	ปั๊มน้ำ
<i>S</i>	=	Saturation
<i>ws</i>	=	Saturation water
<i>IEC</i>	=	เครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหยโดยอ้อม

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหาการวิจัย

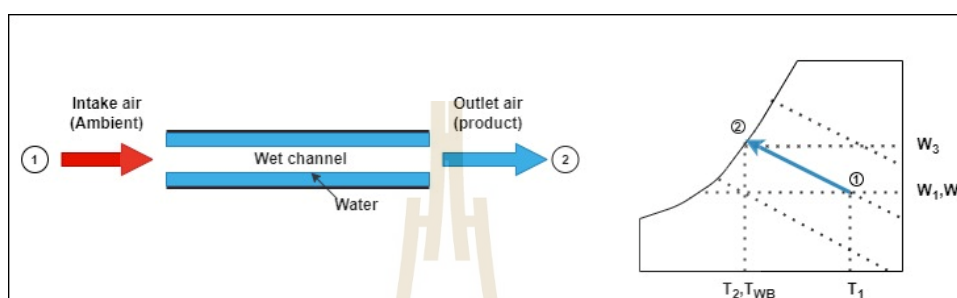
ประเทศไทยมีอุณหภูมิอากาศสูง ศูนย์ภูมิอากาศ กองพัฒนาอุตสาหกรรม (28 มกราคม 2564) ได้ทำการเก็บข้อมูลเชิงสถิติพบว่า ประเทศไทยในฤดูร้อนมีอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 36.9–42.9°C Juntakan et al., (2013) พบว่า สภาพอากาศที่สุขสบาย (Thermal comfort zone) ของคนไทยมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 24–27°C และมีความชื้นสัมพัทธ์ คือ 50–70% สำหรับความเร็วลม 0.2 m/s เครื่องปรับอากาศจึงเป็นปัจจัยสำคัญในการแก้ปัญหาให้ผู้ที่พักอาศัยหรือทำงานอยู่ในอาคารพาณิชย์รู้สึกสุขสบาย เมื่อพิจารณาการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับอาคารพาณิชย์พบว่า การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ (Air conditioner: AC) คิดเป็น 50% ของเครื่องใช้ไฟฟ้าทั้งหมด Luis et al., (2007) นอกจากนี้ เครื่องปรับอากาศยังมีการปล่อย CFC คิดเป็น 33% ที่ส่งผลต่อการทำลายชั้นโอโซนทำให้เกิดสภาวะโลกร้อน (Robert et al., 1990)



รูปที่ 1.1 การส่งออกเครื่องใช้ไฟฟ้าในประเทศไทย ปี 2563 (วรรณ และคณะ 2564)

วรรณ (2564) ได้วิเคราะห์แนวโน้มธุรกิจ/อุตสาหกรรมพบว่า ในปี 2563 อุตสาหกรรมเครื่องใช้ไฟฟ้าโดยเฉพาะเครื่องปรับอากาศมีการส่งออกถึง 22% แสดงดังรูปที่ 1.1 ส่งผลถึงปัญหาการใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้น การใช้เครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหยสัมผัสโดยตรง (Direct Evaporative

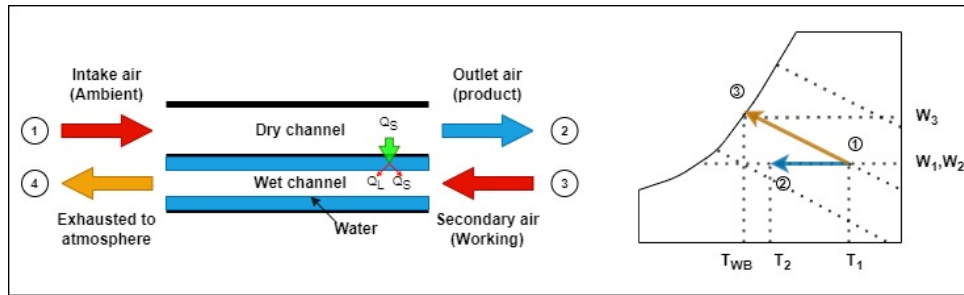
Cooler, DEC) เป็นแนวคิดที่น่าสนใจสำหรับการลดอุณหภูมิอากาศแทนเครื่องปรับอากาศ Deepak et al., (2017) ได้ทำการทดสอบ DEC ในประเทศอินเดียที่มีสภาพอากาศสิ่งแวดล้อม (Ambient air) แบบร้อนแห้งอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 32–40°C ความชื้นสัมพัทธ์อยู่ระหว่าง 9.663–19.247% ในช่วงเวลา 8.30–20.30 น. พบว่า DEC สามารถลดอุณหภูมิอากาศกระเปาะแห้ง (Dry bulb temperature) เหลือ 30.08–35.00°C และมีความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity) เพิ่มขึ้น 28.945–69.380%



รูปที่ 1.2 กระบวนการลดอุณหภูมิของ DEC บนแผนภูมิไซโครเมตริก

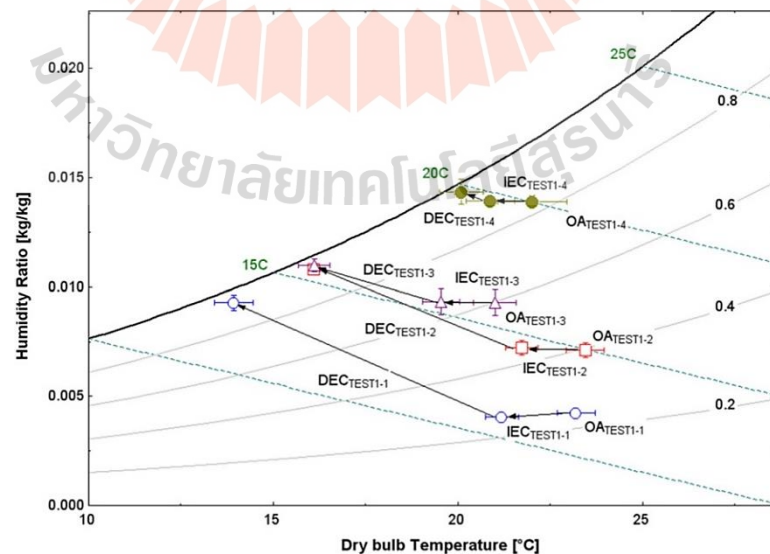
ผลการทดลองของ Deepak et al., (2017) พบว่า สภาพอากาศหลังผ่านการลดอุณหภูมิด้วย DEC ไม่อยู่ในสภาพอากาศที่สุขสบายเนื่องจาก DEC สามารถลดอุณหภูมิอากาศได้สูงสุดเท่ากับอุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet bulb temperature) ของอากาศสิ่งแวดล้อม แสดงดังรูปที่ 1.2 หลักการทำงานของ DEC เริ่มต้นจากการนำอากาศสิ่งแวดล้อมไหลเข้าสู่ช่องเปียก (Wet channel) ซึ่งผนังปกคลุมด้วยน้ำ ความดันไอบริเวณพื้นผิวของน้ำและอากาศสิ่งแวดล้อมมีค่าแตกต่างกัน เมื่ออากาศสิ่งแวดล้อมถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำ น้ำบางส่วนเกิดการระเหยใส่อากาศ (เคมีเล่ม 1 ฉบับปรับปรุง พิมพ์ครั้งที่ 8, ทบวงมหาวิทยาลัย, 2538, บริษัทอักษรเจริญทัศน์ จำกัด กรุงเทพฯ) ส่งผลให้อากาศหลังผ่าน DEC มีอุณหภูมิลดลงแต่ความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้น

เมื่อพิจารณาสภาพอากาศหลังผ่าน DEC พบว่า ไม่เหมาะในการนำมาใช้กับประเทศไทยที่มีสภาพอากาศแบบร้อนชื้น เพราะอากาศจะมีความชื้นสัมพัทธ์เกินสภาพอากาศที่สุขสบาย และก่อให้เกิดเชื้อราภายในห้องปรับอากาศอีกด้วย Zhiyin et al., (2012) ได้กล่าวถึงเครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหย (Evaporative cooler: EC) ถึงศักยภาพการทำงานตั้งแต่อดีต ปัจจุบันและในอนาคต พบว่า เครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหยสัมผัสโดยอ้อม (Indirect evaporative cooler, IEC) สามารถลดอุณหภูมิอากาศได้ในขณะที่ไม่เปลี่ยนแปลงความชื้นสัมบูรณ์ (Humidity ratio) แสดงดังรูปที่ 1.3



รูปที่ 1.3 กระบวนการลดอุณหภูมิของ IEC บนแผนภูมิไซโครเมตริก

แกนทำความเย็น (Cooling core) ของ IEC แตกต่างจาก DEC เนื่องจากแกนทำความเย็นของ IEC ประกอบด้วย ช่องแห้ง (Dry channel) และช่องเปียก นอกจากนี้ IEC มีอากาศสองกระแส ได้แก่ อากาศสิ่งแวดล้อม และอากาศทำงาน (Working air) อากาศสิ่งแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูงจะไหลเข้าสู่ช่องแห้ง ในขณะเดียวกัน อากาศทำงานจะไหลเข้าสู่ช่องเปียกซึ่งเป็นกระบวนการลดอุณหภูมิเช่นเดียวกับ DEC ส่งผลให้อากาศในช่องเปียกมีอุณหภูมิลดลง เมื่อเกิดความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศระหว่างช่องแห้งและช่องเปียก ส่งผลให้เกิดการถ่ายเทความร้อนจากอากาศในช่องแห้งที่มีอุณหภูมิอากาศสูงผ่านผนังสู่ช่องเปียกที่มีอุณหภูมิอากาศต่ำ ดังนั้นอากาศหลังผ่าน IEC (Product air) จึงมีอุณหภูมิลดลง และความชื้นสัมบูรณ์คงที่เนื่องจากช่องแห้งมีผนังกันกับช่องเปียก จึงทำให้การระเหยของน้ำสู่อากาศไม่ไปรบกวนความชื้นสัมบูรณ์ในช่องแห้ง

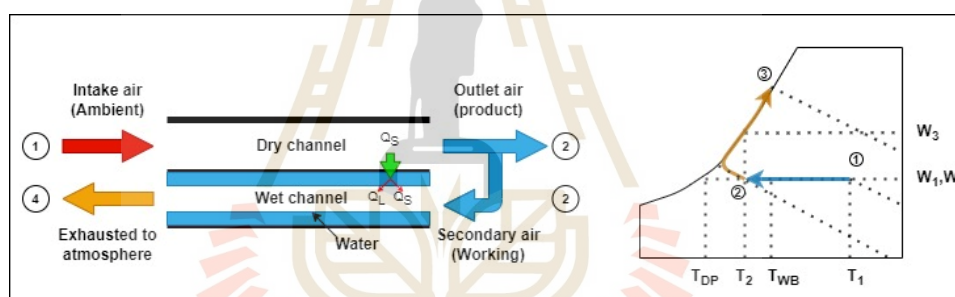


รูปที่ 1.4 กระบวนการลดอุณหภูมิระหว่าง IEC และ DEC บนแผนภูมิไซโครเมตริก IEC Min et al. (2013)



เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงความชื้นสัมบูรณ์ IEC สามารถควบคุมความชื้นได้ดีกว่า DEC ในทางกลับกัน เมื่อพิจารณาการลดอุณหภูมิ DEC สามารถลดอุณหภูมิได้มากกว่า IEC Min et al., (2013) ได้ทดลองและเปรียบเทียบการลดอุณหภูมิอากาศระหว่าง IEC และ DEC ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 1.4

จากรูปที่ 1.4 เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นจากการทำงาน 2 ขั้นตอน (Two-stage operation) ประกอบด้วย IEC และ DEC ที่มีการต่อแบบอนุกรมพบว่า ช่วงการลดอุณหภูมิอากาศของ IEC น้อยกว่าช่วงการลดอุณหภูมิอากาศของ DEC ซึ่งแสดงให้เห็นถึงข้อเสียของ IEC Joohyun et al., (2013) ได้สร้างและศึกษาเครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหยชนิดไหลย้อนกลับ (Regenerative evaporative cooler: RIEC) เมื่อทำการทดสอบ RIEC ที่อุณหภูมิอากาศสิ่งแวดล้อม 32°C ความชื้นสัมพัทธ์ 50% ผลการทดลองพบว่า อุณหภูมิอากาศหลังผ่าน RIEC มีค่า 22°C ซึ่งต่ำกว่าอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมประมาณ 10°C IEC ถูกแก้ไขและปรับปรุงข้อเสียด้วย RIEC กระบวนการลดอุณหภูมิอากาศของ RIEC แสดงดังรูปที่ 1.5

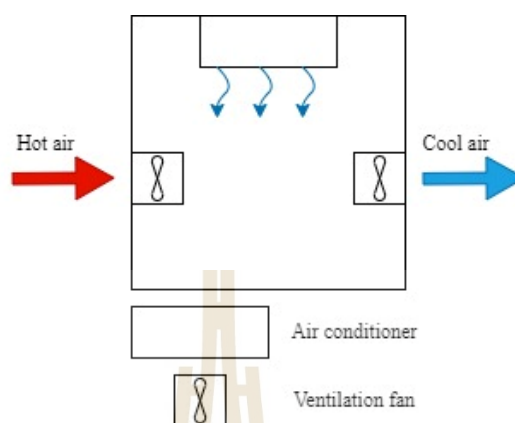


รูปที่ 1.5 กระบวนการลดอุณหภูมิของ RIEC บนแผนภูมิไซโครเมตริก

กระบวนการลดอุณหภูมิของ RIEC แตกต่างจาก IEC ที่การใช้อากาศกระแสนเดียวในการทำงาน และอากาศทำงานในช่องเปียกถูกแทนที่ด้วยการแบ่งอากาศหลังผ่านช่องแห้งของ RIEC ไปเป็นอากาศทำงานแทน ผลลัพธ์ของ RIEC แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มในการลดอุณหภูมิและควบคุมความชื้นในอากาศได้ดีกว่า DEC และ IEC

แม้เครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหยจะบรรลุวัตถุประสงค์ในด้านการลดอุณหภูมิ แต่ไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้เมื่อสภาพอากาศสิ่งแวดล้อมเปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นการใช้เครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหยร่วมกับ AC จึงเป็นสิ่งที่เหมาะสม เนื่องจากอาคารพาณิชย์ทั่วไปมักติดตั้งระบบระบายอากาศ (Ventilation system) แสดงดังรูปที่ 1.6 เพื่อรักษาคุณภาพของอากาศ Aungsiri et al., (2009) ซึ่งเป็นตัวแปรสำคัญในการเพิ่มภาระการทำความเย็น (Cooling load)

ให้กับ AC ส่งผลให้การใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ ระบบระบายอากาศยังทิ้งอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำโดยสูญเปล่า



รูปที่ 1.6 ระบบระบายอากาศ

การนำอากาศอุณหภูมิต่ำที่ถูกทิ้งกลับมาใช้ใหม่เป็นการใช้พลังงานอย่างคุ้มค่า Qian et al., (2021) ได้จำลองการทำงานร่วมกันระหว่าง IEC กับ AC เรียกว่า “ระบบไฮบริด (Hybrid system)” พบว่า ระบบไฮบริดสามารถลดอุณหภูมิอากาศหลังผ่าน IEC ได้ต่ำกว่าอากาศสิ่งแวดล้อมกระเปาะเปียก เมื่อพิจารณาด้านพลังงานไฟฟ้าพบว่า สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 19–135%

งานวิจัยนี้จึงได้สร้างและประเมินสมรรถนะระบบปรับอากาศแบบไฮบริดระหว่างระบบทำความเย็นแบบน้ำระเหยกับระบบอัดไอ โดยทดสอบระบบดังกล่าวภายใต้ร้านสะดวกซื้อหอพักหญิง ที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา ประเทศไทย นอกจากนี้ผู้วิจัยได้ทำการสร้างแกนทำความเย็น และทดสอบอิทธิพลอย่างหลากหลายที่ส่งผลต่อการทำงานของเครื่องทำความเย็น

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 สร้างชุดทดสอบเครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหยโดยอ้อมขนาดเล็กเพื่อประเมินและเลือกรูปแบบที่เหมาะสมสำหรับสร้างชุดต้นแบบ

1.2.2 สร้างชุดต้นแบบเครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหยโดยอ้อมและประเมินสมรรถนะเปรียบเทียบกับระบบปรับอากาศแบบอัดไอ ได้แก่ อิทธิพลตำแหน่งการติดตั้ง, อิทธิพลอัตราการไหลของอากาศ, อิทธิพลระยะเวลาสเปรย์น้ำ, อิทธิพลการเป่าอากาศหลังผ่านช่องเปียกใส่คอยล์ร้อนและอิทธิพลการติดตั้งผ้าทำความเย็นล่วงหน้า

1.2.3 เพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะระบบไฮบริดกับระบบอัดไอ

### 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 เป็นการศึกษาภายใต้สภาพอากาศ ตำบลสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา ประเทศไทย

1.3.2 เป็นการประเมินอิทธิพลที่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะแกนทำความเย็น ได้แก่ อุณหภูมิอากาศหลังผ่านแกนทำความเย็น, ผลต่างของอุณหภูมิอากาศหลังผ่านแกนทำความเย็น และความชื้นสัมบูรณ์

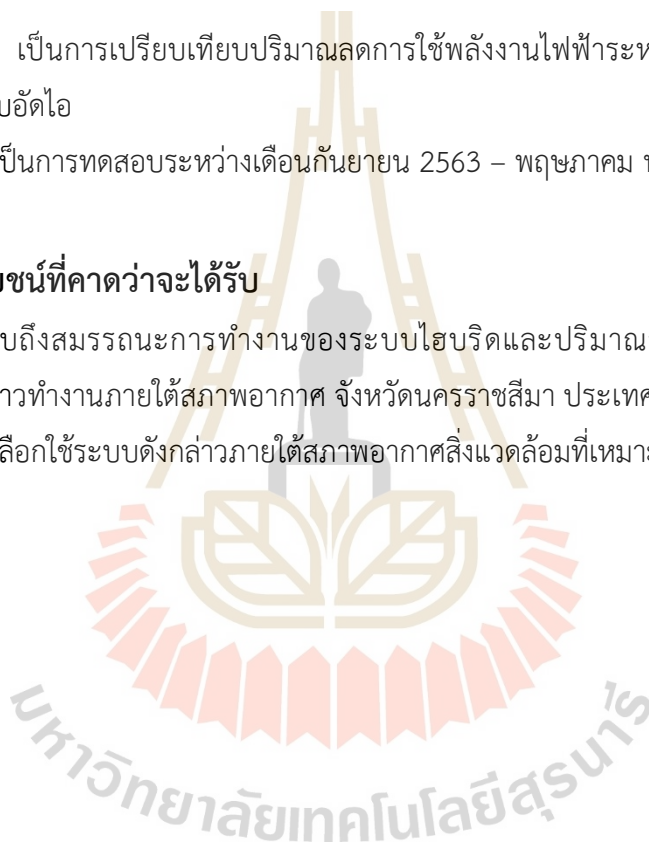
1.3.3 เป็นการทดสอบด้วยแกนทำความเย็น 2 ชนิด ได้แก่ แกนทำความเย็นชนิดไหลตั้งฉาก และแกนทำความเย็นชนิดไหลสวนทางแบบรีเจนเนอเรชั่นแบ่งอากาศในห้องปรับอากาศกลับเข้าช่องเป่า

1.3.4 เป็นการเปรียบเทียบปริมาณลดการใช้พลังงานไฟฟ้าระหว่างการเปิดระบบไฮบริดกับการเปิดระบบอัดไอ

1.3.5 เป็นการทดสอบระหว่างเดือนกันยายน 2563 – พฤษภาคม พ.ศ. 2564

### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ทราบถึงสมรรถนะการทำงานของระบบไฮบริดและปริมาณลดการใช้พลังงานไฟฟ้าเมื่อระบบดังกล่าวทำงานภายใต้สภาพอากาศ จังหวัดนครราชสีมา ประเทศไทย นอกจากนี้ยังใช้เป็นแนวทางในการเลือกใช้ระบบดังกล่าวภายใต้สภาพอากาศสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสม



## บทที่ 2

### ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

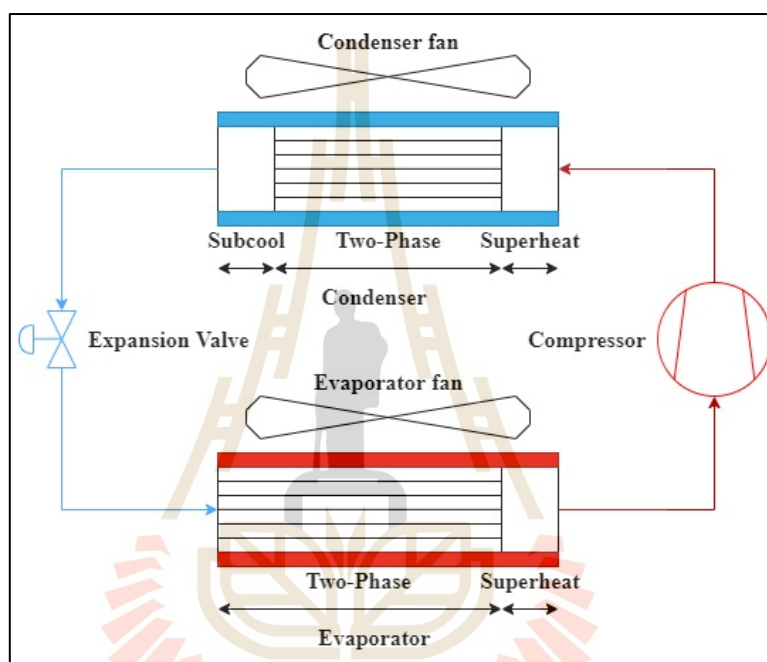
#### 2.1 บทนำ

ในอดีตจนถึงปัจจุบันประเทศไทยมีอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจากการเติบโตของเศรษฐกิจ Kittikun et al., (2020) ได้ศึกษาการใช้พลังงานไฟฟ้าในภาคที่อยู่อาศัยของประเทศไทยพบว่า อัตราการเติบโตของความต้องการใช้ไฟฟ้าคิดเป็น 5.20% ต่อปี เพิ่มขึ้นจาก 32799.46 kW ในปี 2554 เป็น 44373 kW ในปี 2560 เมื่อจำแนกเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใช้ในภาคครัวเรือนของประเทศไทยผลแสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 การใช้ปริมาณพลังงานไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าตามพื้นที่ในประเทศไทย (Kittikun et al., 2020)

เครื่องใช้ไฟฟ้า	การใช้พลังงานไฟฟ้า		พื้นที่	
	ปริมาณไฟฟ้า (GWh)	เปอร์เซ็นต์ไฟฟ้า (%)	ในเมือง	ชนบท
เครื่องปรับอากาศ	9440.34	26.5	65.72	34.28
ตู้เย็น	6884.96	19.33	44.3	55.7
หลอดไฟในร่ม	5319.41	14.93	45.79	54.21
หม้อหุงข้าว	2430.1	6.82	41.07	58.93
โทรทัศน์	2172.07	6.1	43.96	56.04
พัดลม	2050.16	5.75	45.71	54.29
กระติกน้ำร้อน	1193.01	3.35	41.61	58.39
หลอดไฟกลางแจ้ง	1174.12	3.3	44.37	55.63
ปั้มน้ำอัตโนมัติ	930.04	2.61	60.81	39.19
เครื่องทำน้ำอุ่น	663.68	1.86	52.46	47.54
คอมพิวเตอร์	595.41	1.67	61.58	38.42
เตารีด	552.24	1.55	43.62	56.38
อื่นๆ	2218.81	6.23	-	-

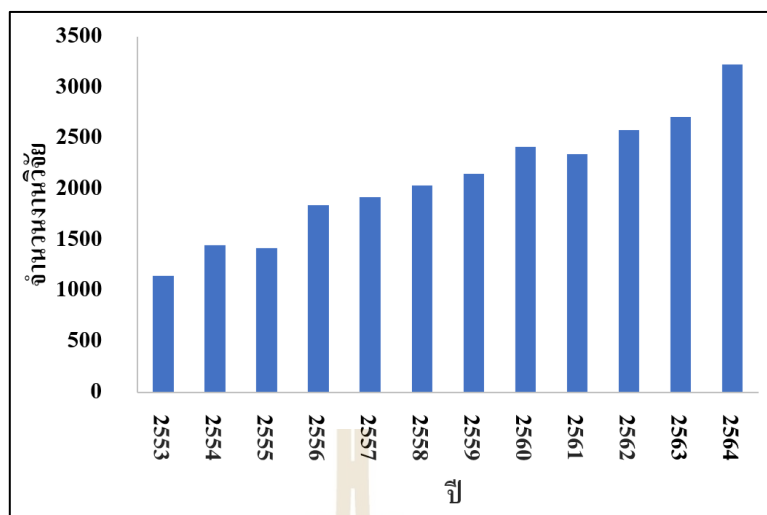
จากการใช้ปริมาณไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าในตารางที่ 2.1 พบว่า เครื่องปรับอากาศมีการใช้ปริมาณไฟฟ้าสูงสุด โดยคิดเป็น 26.5% ของเครื่องใช้ไฟฟ้าทั้งหมด Xiaohong et al., (2016) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการประหยัดพลังงานและส่วนประกอบของเครื่องปรับอากาศ ได้แก่ คอยล์เย็น (Evaporator), คอยล์ร้อน (Condenser), วาล์วลดความดัน (Expansion valve) และเครื่องอัดสารทำความเย็น (Compressor) แสดงดังรูปที่ 2.1 พบว่า เครื่องอัดสารทำความเย็นมีการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุดเมื่อเทียบกับอุปกรณ์ทั้งหมดของระบบปรับอากาศ



รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบของระบบปรับอากาศ

การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องอัดสารทำงานเป็นเหตุจูงใจให้นักวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบปรับอากาศมุ่งเน้นไปที่การสร้างระบบทำความเย็นที่ไม่ต้องพึ่งพาเครื่องอัดสารทำงานเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องแสดงดังรูปที่ 2.2 นอกจากนี้ การใช้ระบบทำความเย็นที่ไม่พึ่งพาเครื่องอัดสารทำงานนั้นช่วยลดการปล่อยสาร CFC ที่ก่อให้เกิดสภาวะโลกร้อน (Zhongcai et al., 2021)

จากแผนการแก้ไขปัญหาด้านพลังงานของระบบปรับอากาศได้มีหลายงานวิจัยเสนอแนวคิดในการสร้างและพัฒนาเครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหยสำหรับช่วยลดภาระการทำงานของระบบปรับอากาศ โดยหนึ่งในเทคโนโลยีที่น่าสนใจ คือ การใช้เครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหยร่วมกับเครื่องปรับอากาศเรียกว่า “ระบบไฮบริด”



รูปที่ 2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ IEC ระหว่างปี พ.ศ. 2553-2564 ของ ScienceDirect

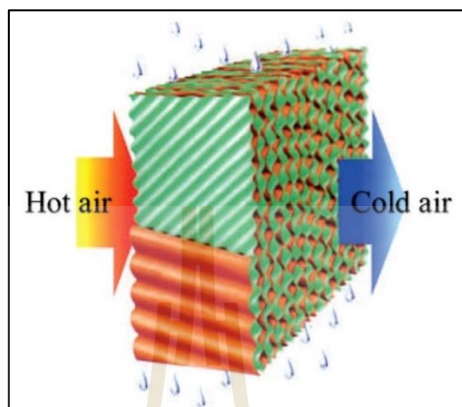
## 2.2 ระบบทำความเย็นแบบน้ำระเหย

ระบบทำความเย็นแบบน้ำระเหยจัดเป็นนวัตกรรมที่น่าสนใจ เนื่องจากสามารถลดอุณหภูมิอากาศได้เช่นเดียวกับระบบปรับอากาศ การลดอุณหภูมิอากาศด้วยเครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหย ได้รับการพิสูจน์แล้วว่าใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยกว่าการเปิดเครื่องปรับอากาศแบบอัดไอ (Varun et. al., 2013) ระบบทำความเย็นแบบน้ำระเหยมีอุปกรณ์ที่สำคัญ ได้แก่ ปั๊มน้ำ (Water pump) แกนทำความเย็น (Cooling core) และพัดลมระบายอากาศ (Ventilation fan) เริ่มต้นปั๊มทำหน้าที่สูบน้ำขึ้นมาสเปรย์ใส่แกนทำความเย็น ขณะเดียวกันอากาศจะไหลผ่านแกนทำความเย็นด้วยพัดลมระบายอากาศ เมื่ออากาศไหลผ่านแกนทำความเย็น อากาศจะรับการระเหยของน้ำส่งผลให้อากาศมีอุณหภูมิลดลง

## 2.3 เครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหยสัมผัสโดยตรง

เครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหยสัมผัสโดยตรงเป็นเครื่องทำความเย็นที่สามารถลดอุณหภูมิอากาศหลังผ่านแกนทำความเย็นได้ใกล้เคียงกับอุณหภูมิกระเปาะเปียก แกนทำความเย็นของเครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหยสัมผัสโดยตรงมีลักษณะคล้ายรังผึ้ง (honeycomb) แสดงดังรูปที่ 2.3 ซึ่งทำหน้าที่ในการกระจายน้ำเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างน้ำกับอากาศ Nada et. al., (2019) ได้ศึกษาสมรรถนะการทำความเย็นของเครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหยสัมผัสโดยตรงพบว่า ผมต่างของอุณหภูมิหลังผ่านแกนทำความเย็น (Temperature drop) แปรผันตามผมต่างของความชื้นสัมบูรณ์ (Humidity ratio increase) แม้ว่าเครื่องทำความเย็นดังกล่าวสามารถลดอากาศอุณหภูมิได้ใกล้เคียงกับอุณหภูมิกระเปาะเปียก แต่เป็นการเพิ่มความชื้น

สัมบูรณ์ให้กับอากาศ จึงไม่เหมาะกับการนำมาใช้ในสภาพอากาศแบบร้อนชื้นอย่างประเทศไทย ดังนั้นการเลือกใช้ทำความเย็นแบบน้ำระเหยสัมผัสโดยอ้อมจึงได้รับความนิยม เนื่องจากสามารถแก้ปัญหาการเพิ่มขึ้นของความชื้นได้



รูปที่ 2.3 แกนทำความเย็นแบบรังผึ้ง (Nada et. al., 2019)

## 2.4 เครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหยสัมผัสโดยอ้อม

การใช้เครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหยโดยอ้อมเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่มีความสนใจมากกว่าเครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหยสัมผัสโดยตรงแสดงดังตารางที่ 2.2 เนื่องจากเครื่องทำความเย็นดังกล่าวสามารถลดอุณหภูมิอากาศในขณะที่ความชื้นคงที่

ตารางที่ 2.2 เครื่องทำความเย็นชนิดที่ได้รับความนิยมในการศึกษา

งานวิจัย	ประเทศ/ภูมิภาค	เครื่องทำความเย็น
Xuan et. al., (2012)	จีน	IEC
Panchabikesan et. al., (2017)	อินเดีย	IEC
Mahmood et. al., (2016)	ร้อนและชื้นทั่วโลก	DC + IEC
Mohammad et. al., (2013)		
Yang et. al., (2019)	ทั่วโลก	IEC
Cuce et. al., (2016)	ทั่วโลก	IEC

หมายเหตุ IEC: เครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหยโดยอ้อม

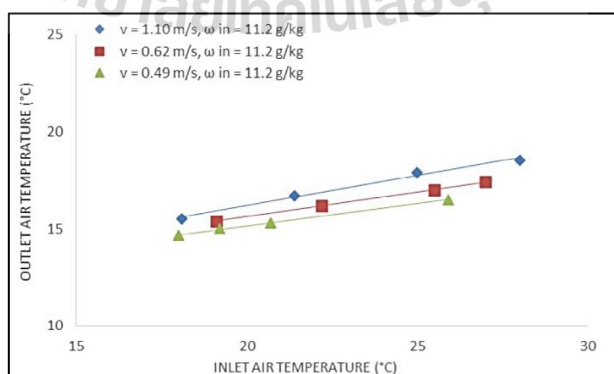
DC: เครื่องทำความเย็นแบบเคลือบสารดูดความชื้น

แม้ว่าการใช้เครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหยโดยอ้อมจะสามารถควบคุมความชื้นของอากาศหลังผ่านแกนทำความเย็นได้ แต่ในด้านการลดอุณหภูมิของอากาศนั้นทำได้แย่กว่าเครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหยสัมผัสโดยตรง ดังนั้น งานวิจัยส่วนใหญ่จึงมุ่งเน้นปรับปรุงและพัฒนาแกนทำความเย็น รวมถึงการศึกษาอิทธิพลต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อสมรรถนะแกนทำความเย็นของเครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหยโดยอ้อม

#### 2.4.1 แกนทำความเย็นวัฏจักรเอ็ม (M-cycle cooling core)

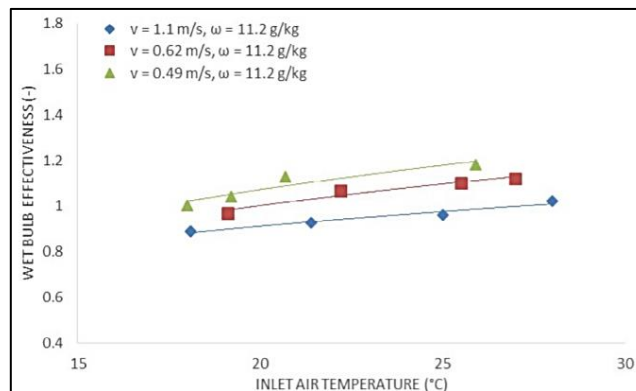
งานวิจัยก่อนหน้านี้ชี้ให้เห็นถึงความนิยมและประโยชน์ของเครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหยเพื่อให้ได้อุณหภูมิของอากาศต่ำ Idalex Technologies (2008) ได้แนะนำเครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหยชนิดใหม่เรียกว่า “Maisotsenko cycle” หรือ “M-cycle” ภายในแกนทำความเย็นประกอบด้วยช่องเป็ยกและช่องแห้งเช่นเดียวกับเครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหยโดยอ้อมแต่มีรูปแบบการหมุนเวียนอากาศที่แตกต่างกันมาก ซึ่งช่วยให้อุณหภูมิกอากาศหลังผ่านแกนทำความเย็นเข้าใกล้อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (dew point temperature) ประสิทธิภาพการทำทำความเย็น (Wet bulb effectiveness) ของแกนทำความเย็นชนิดนี้สูงกว่าแกนทำความเย็นทั่วไปถึง 20% Y.A. Cengel (2006)

อย่างไรก็ตาม อิทธิพลของพารามิเตอร์ที่สำคัญนั้นยังไม่ได้รับการวิเคราะห์โดยละเอียด จากการวิเคราะห์เชิงทดลองเพื่อปรับปรุงแกนทำความเย็นวัฏจักรเอ็มภายใต้ความเร็วอากาศต่ำ (1.1 m/s) Omar et al., (2016) พบว่า ในกรณีที่สภาพอากาศสิ่งแวดล้อมเดียวกัน ที่ความเร็วลมต่ำกว่าสามารถลดอุณหภูมิอากาศหลังผ่านแกนทำความเย็นได้มากกว่าที่ความเร็วลมสูง แสดงดังรูปที่ 2.4 ประสิทธิภาพการทำทำความเย็นมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อความเร็วลมลดลง แสดงดังรูปที่ 2.5 นอกจากนี้ การใช้อากาศที่มีความชื้นสัมบูรณ์ต่ำ ส่งผลให้สามารถลดอุณหภูมิได้สูงขึ้น แสดงดังรูปที่ 2.6

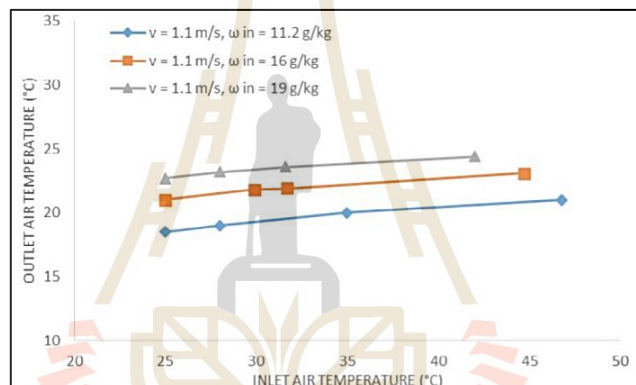


รูปที่ 2.4 อิทธิพลของความเร็วลมที่ส่งผลต่ออุณหภูมิอากาศหลังผ่านแกนทำความเย็น (Omar et al., 2016)





รูปที่ 2.5 อิทธิพลของความเร็วมวลที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำความเย็น (Omar et al., 2016)

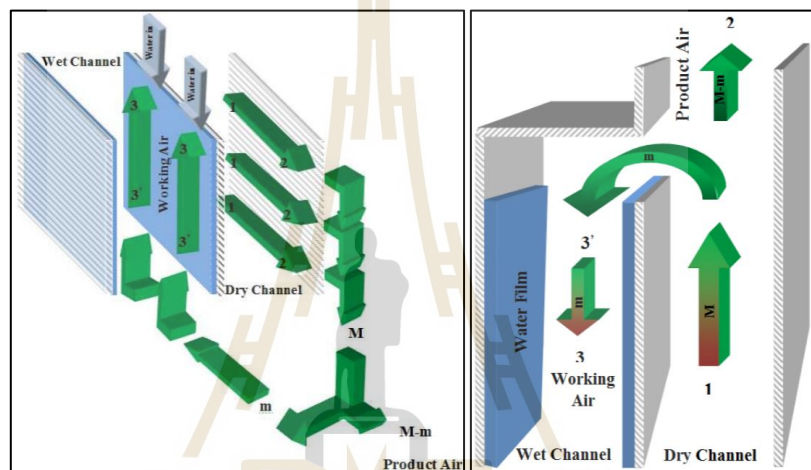


รูปที่ 2.6 อิทธิพลของความชื้นสัมบูรณ์ที่ส่งผลต่ออุณหภูมิอากาศหลังผ่านแกนทำความเย็น (Omar et al., 2016)

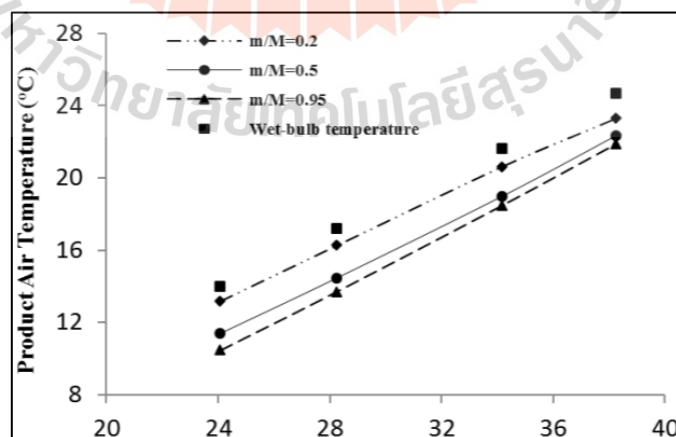
#### 2.4.2 แกนทำความเย็นแบบแบ่งอากาศกลับมาเข้าช่องเป็ยก (Regenerative cooling core)

ในงานวิจัยเกี่ยวกับเครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหยแบบไหลตั้งฉาก (Cross flow indirect evaporative cooler) Pandelidis et al. (2015) ได้วิเคราะห์ผลการทดลองที่ความชื้นสัมบูรณ์ในอากาศ 25 g/kg พบว่า ประสิทธิภาพการทำความเย็นอยู่ระหว่าง 90-110% Liu et al., (2015) ได้ทำการทดสอบจริงเกี่ยวกับพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อสมรรถนะการทำความเย็นของเครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหย เช่น ความดันอากาศ (Air pressure) ประสิทธิภาพ (Efficiency) สัดส่วนปริมาตรอากาศหตุยภูมิ/ปฐมภูมิ ปริมาตรสเปรย์น้ำ และปริมาณน้ำที่ใช้สำหรับเครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหย ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ภายใต้สภาพอากาศสิ่งแวดล้อมกลางแจ้งที่มีความชื้นสูง ประสิทธิภาพการทำความเย็นมีค่าสูงถึง 103% เมื่อเทียบกับเครื่องทำความเย็นที่ใช้แกนทำความเย็นแบบแบ่งอากาศกลับมาเข้าช่องเป็ยก

Moshari et. al., (2015) ได้จำลองเชิงตัวเลขของเครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหยที่ใช้แกนทำความเย็นแบบแบ่งอากาศกลับมาเข้าช่องเปียกที่มีทิศทางการไหลของอากาศชนิดตั้งฉากและสวนทางแสดงดังรูปที่ 2.7 ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า แกนทำความเย็นแบบแบ่งอากาศกลับมาเข้าช่องเปียกที่มีทิศทางการไหลของอากาศสวนทางช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำความเย็นสูงขึ้น 30% นอกจากนี้ อัตราส่วนของอากาศที่แบ่งให้กับช่องเปียก (Air ratio) ได้ถูกวิเคราะห์ พบว่า อุณหภูมิอากาศหลังผ่านแกนทำความเย็นมีแนวโน้มลดลงเมื่อ อัตราส่วนของอากาศที่แบ่งให้กับช่องเปียกเพิ่มมากขึ้นแสดงดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 การไหลของอากาศในแกนทำความเย็น (ก) ไหลตั้งฉาก (ข) ไหลสวนทาง (Moshari et al., 2015)



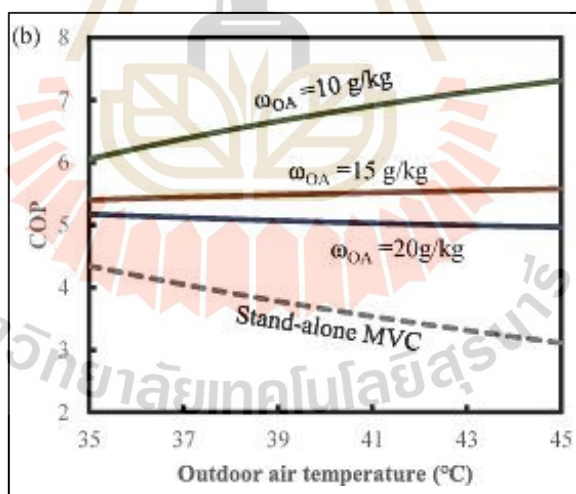
รูปที่ 2.8 อิทธิพลอัตราส่วนของอากาศที่แบ่งให้กับช่องเปียกที่ส่งผลต่ออุณหภูมิอากาศหลังผ่านแกนทำความเย็น (Moshari et al., 2015)

## 2.5 ระบบปรับอากาศแบบไฮบริด (Hybrid system)

การค้นคว้าเทคโนโลยีเกี่ยวกับการทำความเย็นที่ประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมอย่างเครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหยมีแนวโน้มที่ดีและมีความสำคัญมากขึ้นเรื่อย ๆ ทิศทางการวิจัยที่สำคัญส่วนหนึ่งสำหรับเครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหย คือการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ออกแบบพารามิเตอร์และขนาดแกนทำความเย็นให้มีประสิทธิภาพสูงสุด (Dizaji et al., 2020)

อีกส่วนหนึ่งของการวิจัยได้มุ่งเน้นไปที่การสร้างและวิเคราะห์ผลการทดลอง เช่น งานวิจัยของ Li et al., (2018) ได้สร้างและเปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหยในแนวตั้งและแนวนอนภายใต้สภาวะเดียวกัน Cui et al., (2014) ได้มีการติดตั้งโครงเทียม (Artificial ribs) ในช่องแห้งและเปียกเพื่อเพิ่มการถ่ายเทความร้อน Duan et al., (2016) ได้พิจารณาผลกระทบของอุณหภูมิน้ำพบว่า การใช้น้ำที่มีอุณหภูมิต่ำช่วยให้สมรรถนะการทำความเย็นของเครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหยเพิ่มขึ้น

อย่างไรก็ตาม ข้อจำกัดของเครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหย คือ สมรรถนะการทำความเย็นจะลดลงอย่างรุนแรงเมื่ออากาศสิ่งแวดล้อมมีความชื้นสัมบูรณ์สูงแสดงดังรูปที่ 2.9

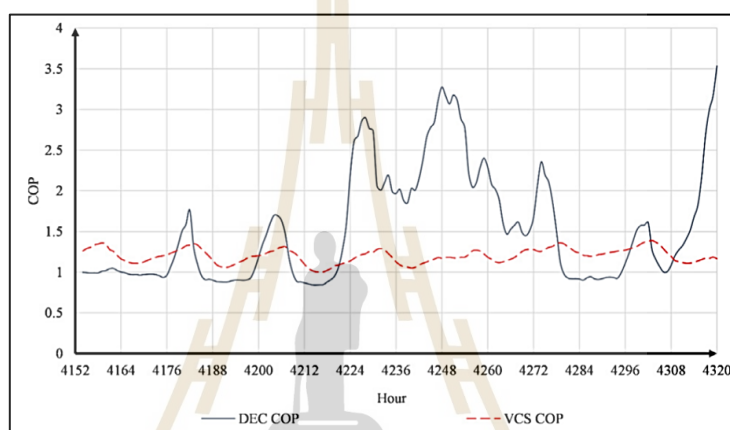


รูปที่ 2.9 อิทธิพลความชื้นสัมบูรณ์ที่ส่งผลต่อสมรรถนะการทำความเย็น (Qian et al., 2021)

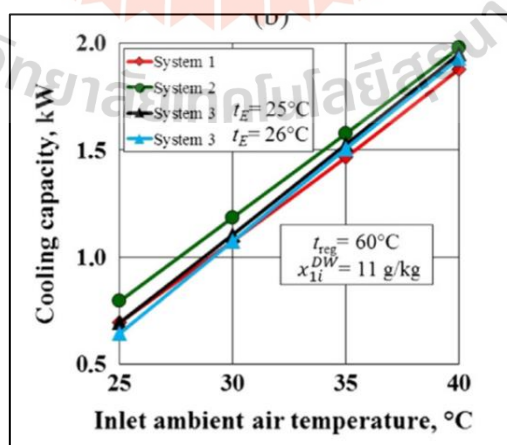
อิทธิพลความชื้นสัมบูรณ์ที่ส่งผลต่อสมรรถนะการทำความเย็นดังแสดงในรูปที่ 2.9 พบว่า เมื่อความชื้นสัมบูรณ์เพิ่มขึ้นส่งผลให้สมรรถนะการทำความเย็นลดลง นอกจากนี้เครื่องทำความเย็นแบบอัดไอน้ำมีสมรรถนะการทำความเย็นลดลงเมื่ออุณหภูมิสิ่งแวดล้อมเพิ่มขึ้น ในทางกลับกันเครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหยมีสมรรถนะการทำความเย็นเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสิ่งแวดล้อมเพิ่มขึ้น

จากปัญหาสภาพอากาศอากาศสิ่งแวดล้อมที่ไม่สามารถควบคุมได้ซึ่งส่งผลกระทบต่อสมรรถนะการทำความเย็นของเครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหย จึงได้มีแนวคิดเกี่ยวกับการลดความชื้นในอากาศสิ่งแวดล้อมก่อนไหลเข้าสู่เครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหย

Heidari et al., (2019) และ Pandelidis et al., (2016) ได้สร้างระบบปรับอากาศแบบไฮบริดที่มีการทำงานร่วมกัน 2 ระบบ ได้แก่ เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่เคลือบสารดูดความชื้นและเครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหยโดยอ้อม พบว่า สมรรถนะการทำความเย็นมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.53 และ 1.35 แสดงดังรูปที่ 2.10 และรูปที่ 2.11 ตามลำดับ

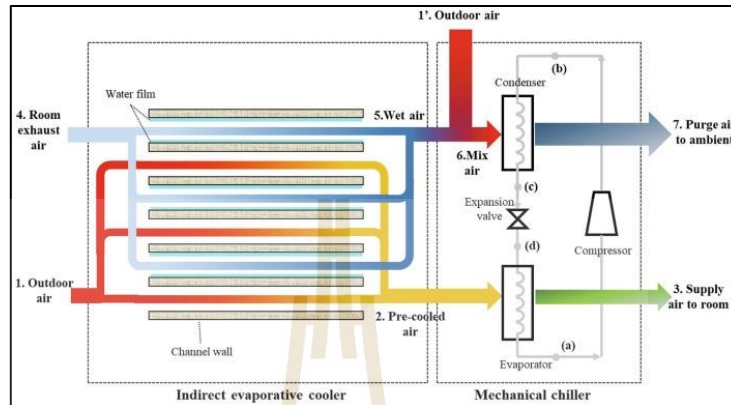


รูปที่ 2.10 สมรรถนะการทำความเย็นเมื่อติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่เคลือบสารดูดความชื้น (Heidari et al., 2019)



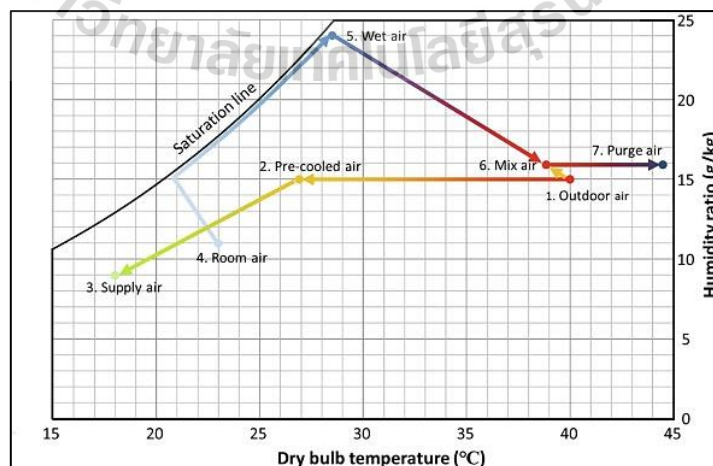
รูปที่ 2.11 สมรรถนะการทำความเย็นเมื่อติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่เคลือบสารดูดความชื้น (Pandelidis et al., 2016)

อย่างไรก็ตาม สมรรถนะการทำความเย็นของระบบดังกล่าวต่ำกว่า 1 เพื่อให้ได้สมรรถนะการทำความเย็นที่ดีขึ้น Qian et al., (2021) จึงได้ทำการศึกษาระบบปรับอากาศแบบไฮบริดที่ทำงานร่วมกันระหว่างเครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหยกับเครื่องปรับอากาศแบบอัดไอแสดงดังรูปที่ 2.12



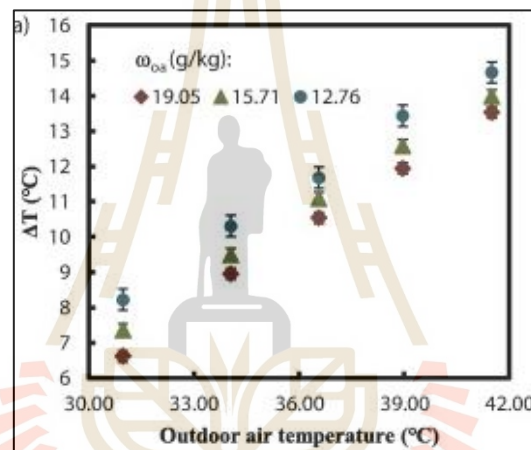
รูปที่ 2.12 ระบบปรับอากาศแบบไฮบริด (Qian et al., 2021)

ระบบปรับอากาศแบบไฮบริดที่ทำงานร่วมกันระหว่างเครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหยกับเครื่องปรับอากาศแบบอัดไอมักนำพลังงานกลับมาใช้ใหม่จากอากาศที่ถูกระบายออกจากห้องเนื่องจากอากาศดังกล่าวเป็นอากาศที่มีอุณหภูมิและความชื้นสัมบูรณ์ต่ำเป็นผลมาจากการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบอัดไอจะถูกส่งเข้าสู่ช่องเป่าลม กระบวนการระบบปรับอากาศแบบไฮบริดแสดงดังรูปที่ 2.13

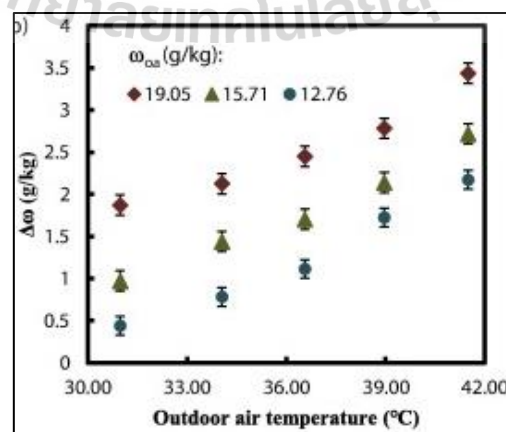


รูปที่ 2.13 กระบวนการระบบปรับอากาศแบบไฮบริด (Qian et al., 2021)

การศึกษาระบบปรับอากาศแบบไฮบริดของ Qian et al., (2021) ได้เปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศสิ่งแวดล้อมในช่วง 30–42°C และความชื้นสัมบูรณ์อยู่ระหว่าง 12.76-19.05 g/kg พบว่าความชื้นสัมบูรณ์ต่ำสามารถลดอุณหภูมิได้มากกว่าความชื้นสัมบูรณ์สูงแสดงดังรูปที่ 2.14 นอกจากนี้พบว่าอากาศหลังผ่านแกนทำความเย็นมีความชื้นสัมบูรณ์ลดลง เนื่องจากเมื่ออากาศสิ่งแวดล้อมสูงขึ้น อากาศภายในช่องเปียกจะมีความร้อนสูงขึ้นเช่นเดียวกัน จากการถ่ายเทความร้อนของอากาศในช่องแห้งส่งผลให้น้ำในช่องเปียกเกิดการระเหยมากขึ้น ซึ่งนำไปสู่การระบายความร้อนแฝงของอากาศในช่องแห้งแสดงดังรูปที่ 2.15 เมื่อพิจารณาสมรรถนะการทำความเย็นพบว่า การใช้ระบบปรับอากาศแบบไฮบริดมีสมรรถนะการทำความเย็นเพิ่มขึ้น 19-135% เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้เครื่องปรับอากาศแบบอัดไอเพียงอย่างเดียว



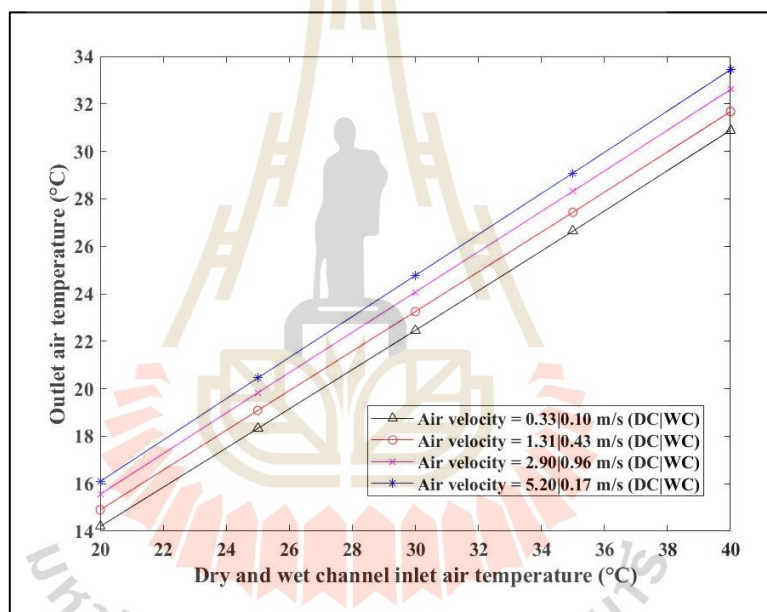
รูปที่ 2.14 อิทธิพลของอากาศสิ่งแวดล้อมที่ส่งผลต่อการลดอุณหภูมิ (Qian et al., 2021)



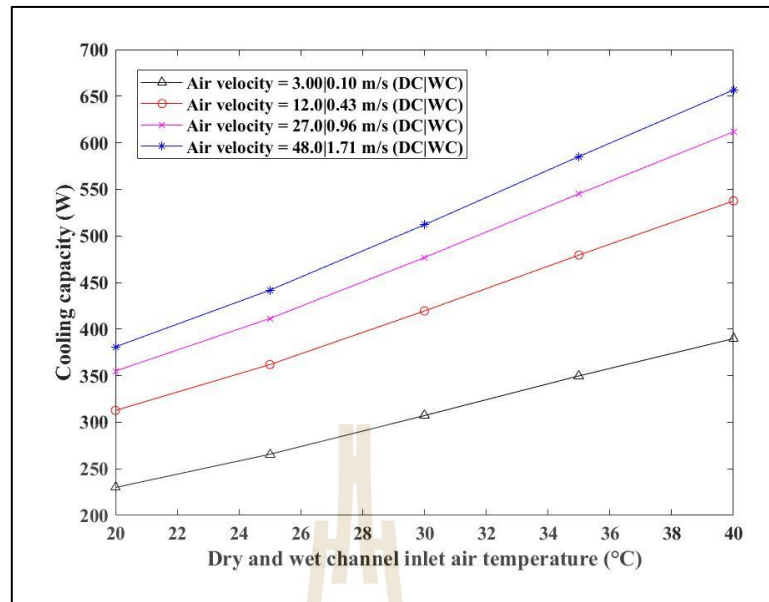
รูปที่ 2.15 อิทธิพลของอากาศสิ่งแวดล้อมที่ส่งผลต่อการลดความชื้นสัมบูรณ์ (Qian et al., 2021)

จากผลการทดลองดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงความสามารถของระบบปรับอากาศแบบไฮบริดที่มีแนวโน้มที่ดีในการช่วยลดภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศแบบอัดไอ นอกจากนี้ระบบดังกล่าวยังเหมาะกับการนำมาใช้ภายใต้สภาพอากาศร้อนขึ้นอย่างประเทศไทย เนื่องจากสามารถลดอุณหภูมิและความชื้นได้

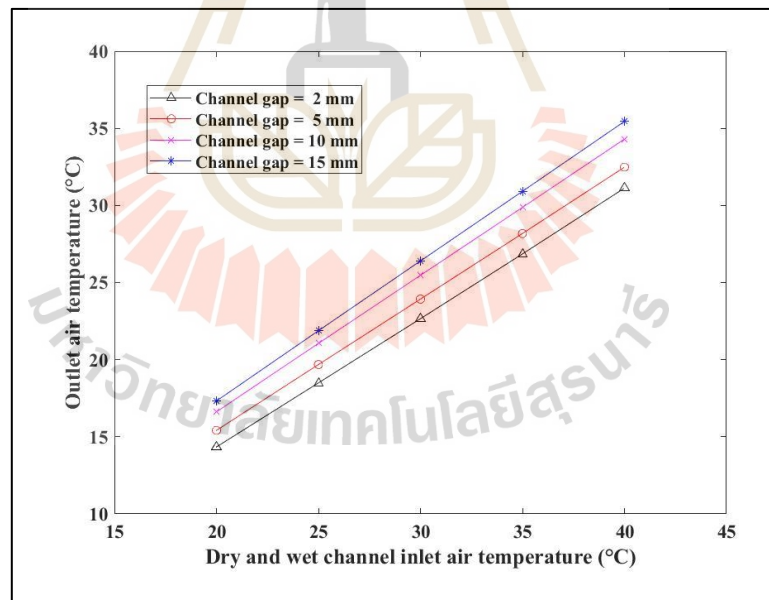
ในการสร้างเครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหยนั้นจำเป็นต้องเลือกขนาดและพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการนำไปใช้งานร่วมกับห้องปรับอากาศที่ขนาดต่าง ๆ เพื่อลดต้นทุนและเปรียบเทียบผลการทดสอบ เทียมทัด (2562) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการจำลองระบบปรับอากาศแบบไฮบริดโดยใช้สภาพอากาศของจังหวัดนครราชสีมา ประเทศไทย เป็นฐานข้อมูลในการคำนวณขนาดและพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของแกนทำความเย็นที่เหมาะสมกับอาคาร ร้านสะดวกซื้อ และที่อยู่อาศัย



รูปที่ 2.16 อิทธิพลอัตราการไหลของอากาศที่ส่งผลต่ออุณหภูมิอากาศหลังผ่านแกนทำความเย็น (เทียมทัด 2562)



รูปที่ 2.17 อิทธิพลอัตราการไหลของอากาศที่ส่งผลต่ออัตราการทำความเย็น (เทียมหัต 2562)

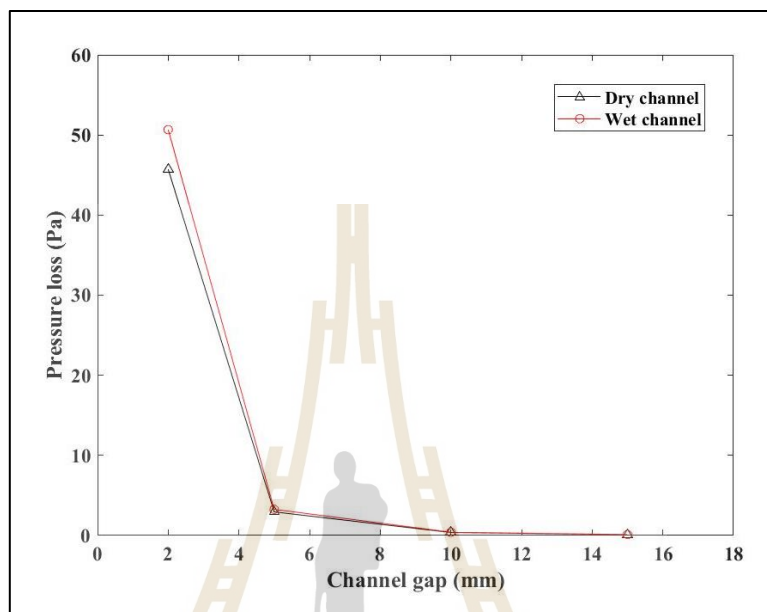


รูปที่ 2.18 อิทธิพลความกว้างของช่องในแกนทำความเย็นที่ส่งผลต่ออุณหภูมิอากาศหลังผ่านแกนทำความเย็น (เทียมหัต 2562)

จากการศึกษาอิทธิพลอัตราการไหลของอากาศที่ส่งผลต่ออุณหภูมิอากาศหลังผ่านแกนทำความเย็นของเทียมหัต (2562) พบว่า การใช้อัตราการไหลต่ำในการทำงานของเครื่องทำความเย็น



แบบน้ำระเหยสามารถลดอุณหภูมิอากาศหลังผ่านแกนทำความเย็นได้สูงสุด ในทางกลับกัน จากรูป 2.17 พบว่า การใช้อัตราการไหลของอากาศต่ำส่งผลให้อัตราการทำความเย็นต่ำด้วย ดังนั้นการเลือกอัตราการไหลของอากาศที่เหมาะสมจึงเป็นสิ่งที่ต้องพิจารณา



รูปที่ 2.19 อิทธิพลความกว้างของช่องในแกนทำความเย็นที่ส่งผลต่อการสูญเสียความดันภายในแกนทำความเย็น (เทียมทัด 2562)

จากการศึกษาอิทธิพลความกว้างของช่องในแกนทำความเย็นที่ส่งผลต่ออุณหภูมิอากาศหลังผ่านแกนทำความเย็นของ เทียมทัด (2564) พบว่า การใช้ความกว้าง 2 mm สามารถลดอุณหภูมิอากาศหลังผ่านแกนทำความเย็นได้สูงสุด ในทางกลับกัน จากรูป 2.19 พบว่า การใช้ความกว้าง 2 mm เกิดการสูญเสียความดันของอากาศส่งผลให้อัตราการไหลของอากาศต่ำ นอกจากนี้อาจต้องใช้พัดลมอุตสาหกรรม

อย่างไรก็ตาม งานวิจัยส่วนใหญ่ของระบบปรับอากาศแบบไฮบริดยังเป็นการทดลองขนาดเล็กและใช้ชุดต้นแบบในการทำงาน นอกจากนี้การเปรียบเทียบชนิดแกนทำความเย็นในสภาพอากาศสิ่งแวดล้อมจริงนั้นมีน้อย ดังนั้น ในวิทยานิพนธ์เล่มนี้จึงได้เลือกทดสอบระบบปรับอากาศแบบไฮบริดภายใต้สภาพอากาศร้านสะดวกซื้อหอพักหญิง ที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา ประเทศไทย โดยการสร้างและพัฒนาแกนทำความเย็น 2 ชนิด ได้แก่ แกนทำความเย็นชนิดไหลตั้งฉาก และแกนทำความเย็นแบบน้ำระเหยชนิดไหลสวนทางแบบรีเจนเนอเรชั่น สุดท้ายตัวแปรที่ใช้ในการชี้วัดถึงสมรรถนะการทำงานของระบบปรับอากาศ

แบบไฮบริด จึงได้มีการเปรียบเทียบปริมาณลดการใช้พลังงานไฟฟ้าระหว่างกรณีเปิดระบบปรับ  
อากาศแบบไฮบริดกับกรณีเปิดระบบปรับอากาศแบบอัดไอเพียงอย่างเดียว



## บทที่ 3

### วิธีดำเนินการวิจัย

#### 3.1 บทนำ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอการสร้างและออกแบบเครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหย โดยอ้อมสำหรับระบบปรับอากาศแบบไฮบริดภายใต้สภาพอากาศร้านสะดวกซื้อหอพักหญิง ที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา ประเทศไทย เพื่อเปรียบเทียบการเปิดระบบปรับอากาศแบบไฮบริดกับการเปิดเฉพาะระบบปรับอากาศแบบอัดไอ โดยใช้ปริมาณลดการใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นตัวแปรในการตัดสินใจ การศึกษานี้แบ่งงานเป็น 3 ส่วน ได้แก่

1. การออกแบบ สร้าง และทดสอบสำหรับชุดทดสอบขนาดเล็ก เริ่มต้นการวิจัยผู้วิจัยได้สร้างและทดสอบแกนทำความเย็นในหลากหลายรูปแบบ เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับใช้เลือกแกนทำความเย็น ผลลัพธ์แสดงให้เห็นถึงแกนทำความเย็น 2 ชนิด ที่มีสมรรถนะการทำความเย็นสูง การวิจัยนี้จึงได้เลือกสร้างและทดสอบแกนทำความเย็นดังกล่าวให้เหมาะกับการทำความเย็นที่ร้านสะดวกซื้อ

2. การสร้าง ติดตั้ง และทดสอบเครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหยโดยอ้อมสำหรับร้านสะดวกซื้อ โดยผู้วิจัยได้เลือกสร้างแกนทำความเย็น 2 ชนิด ได้แก่ แกนทำความเย็นชนิดไหลตั้งฉาก (Cross flow cooling core) และแกนทำความเย็นวัฏจักรเอ็ม (M-cycle cooling core) เพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะการทำความเย็นแล้วได้เลือก 1 ชนิด ที่มีสมรรถนะการทำความเย็นสูงสุด จากนั้นจึงสร้างแกนทำความเย็นดังกล่าวให้มีกำลังทำความเย็นเพียงพอสำหรับร้านสะดวกซื้อ แล้วทดสอบการทำงานของระบบเพื่อวิเคราะห์ผล

3. การติดตั้งเครื่องมือวัดเพื่อใช้สำหรับบันทึกและวิเคราะห์ข้อมูล รวมทั้งการเปรียบเทียบผลการทดสอบกับผลการจำลองของเครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหย

#### 3.2 การออกแบบ สร้าง และทดสอบชุดทดสอบขนาดเล็ก

ในส่วนแรกของการวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ออกแบบ สร้าง และทดสอบชุดทดสอบขนาดเล็กที่มีลักษณะของแกนทำความเย็นหลากหลายรูปแบบ เพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะการทำความเย็นแล้ววิเคราะห์ข้อมูลสำหรับเลือกชนิดแกนทำความเย็นให้เหมาะกับร้านสะดวกซื้อ

เนื่องจากร้านสะดวกซื้อที่ใช้สำหรับทดสอบมีพื้นที่ขนาดใหญ่ และร้านสะดวกซื้อดังกล่าวมีการเปิดเครื่องปรับอากาศจำนวน 3 เครื่อง ผู้วิจัยจึงได้ใช้ขนาดและพารามิเตอร์ต่าง ๆ จากวิทยานิพนธ์

ของเทียมทัด (2564) ที่ได้จำลองถึงเครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหยสำหรับอาคารขนาดเล็ก เพื่อศึกษาอิทธิพลต่าง ๆ และใช้เป็นแนวทางในการออกแบบให้เหมาะสมก่อนนำไปสร้างเครื่องทำความเย็นที่มีขนาดใหญ่ขึ้นสำหรับติดตั้งและทดสอบกับร้านสะดวกซื้อ ในหัวข้อนี้ได้แสดงรายละเอียดเกี่ยวกับการสร้างชุดทดสอบเครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหยกับอาคารขนาดเล็ก แสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 อาคารขนาดเล็กสำหรับใช้ทดสอบ

เครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหยโดยอ้อมที่ทำการศึกษามีส่วนประกอบสำคัญ ได้แก่ แกนทำความเย็น (Cooling core) พัดลมอุตสาหกรรม (Blower) และปั๊มน้ำ (Water pump) ซึ่งในการศึกษานี้จะได้เปรียบเทียบกับแกนทำความเย็น 5 ชนิด ได้แก่

1. แกนทำความเย็นวัฏจักรเอ็มชนิดไหลตั้งฉาก กระบวนการทำความเย็นเริ่มต้นโดยมีพัดลมดูดอากาศสิ่งแวดล้อมเข้าสู่ช่องแห้งก่อนแบ่งอากาศช่องแห้งส่วนหนึ่งผ่านรูเข้าสู่ช่องเปียก จากนั้นอากาศที่เข้าสู่ช่องเปียกจะได้รับการระเหยของน้ำจากการทิ้งความร้อนส่งผลให้มีอุณหภูมิต่ำและสามารถรับความร้อนจากแห้งได้เนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิ ส่งผลให้อุณหภูมิอากาศหลังผ่านแกนทำความเย็นมีอุณหภูมิต่ำเช่นเดียวกัน โดยทิศทางการไหลของอากาศในช่องแห้งตั้งฉากกับอากาศในช่องเปียก

2. แกนทำความเย็นแบบแบ่งอากาศกลับเข้าสู่ช่องเปียกชนิดไหลตั้งฉาก กระบวนการทำความเย็นเริ่มต้นโดยมีพัดลมดูดอากาศสิ่งแวดล้อมเข้าสู่ช่องแห้ง อากาศจากช่องแห้งหลังผ่านแกนทำความเย็นจะมีอุณหภูมิต่ำเนื่องจากแกนทำความเย็นดังกล่าวมีการแบ่งอากาศหลังผ่านแกนทำความเย็นเข้าสู่ช่องเปียกเพื่อลดอุณหภูมิอากาศในช่องเปียกและรับความร้อนจากอากาศในช่องแห้ง โดยทิศทางการไหลของอากาศในช่องแห้งตั้งฉากกับอากาศในช่องเปียก

3. แขนทำความเย็นแบบแบ่งอากาศในห้องปรับอากาศกลับเข้าช่องเป็ยกชนิดไหลตั้งฉาก แขนทำความเย็นชนิดนี้มีลักษณะใกล้เคียงกับชนิดที่ 2 แต่แตกต่างกันที่อากาศที่ไหลเข้าช่องเป็ยกของ แขนทำความเย็นชนิดนี้ใช้อากาศจากห้องปรับอากาศแทน โดยทิศทางการไหลของอากาศในช่องแห่งนี้ ตั้งฉากกับอากาศในช่องเป็ยก

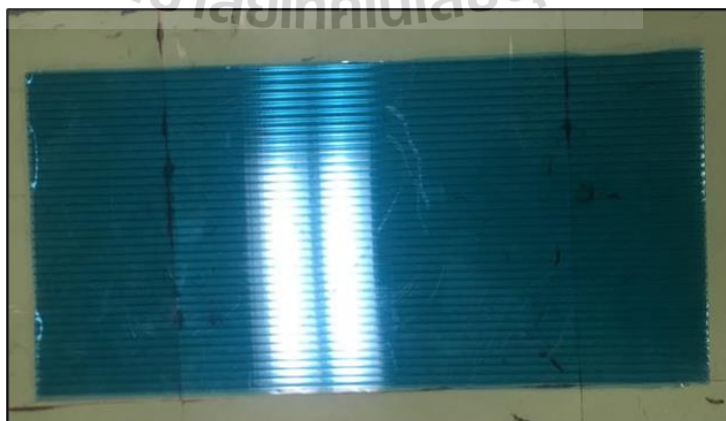
4. แขนทำความเย็นแบบแบ่งอากาศในห้องปรับอากาศกลับเข้าช่องเป็ยกชนิดไหลสวนทาง แบบมีแผ่นกั้น (Baffle) กระบวนการทำความเย็นเริ่มต้นโดยมีพัดลมดูดอากาศสิ่งแวดล้อมเข้าสู่ ช่องแห่งนี้ ซึ่งภายในช่องแห่งนี้จะมีแผ่นกั้นเพื่อให้อากาศเลี้ยวตัวและเกิดการไหลที่ปั่นป่วน (Turbulent flow) เพื่อเพิ่มการถ่ายเทความร้อน (Heat transfer coefficient) ขณะเดียวกันอากาศ จากห้องปรับอากาศจะถูกดูดเข้าสู่ช่องเป็ยกเพื่อลดอุณหภูมิและรับความร้อนจากอากาศในช่องแห่งนี้ โดยทิศทางการไหลของอากาศในช่องแห่งนี้สวนทางกับอากาศในช่องเป็ยก

5. แขนทำความเย็นแบบแบ่งอากาศในห้องปรับอากาศกลับเข้าช่องเป็ยกชนิดไหลสวนทาง แบบไม่มีแผ่นกั้น มีลักษณะการไหลเหมือนกับแขนทำความเย็นชนิดที่ 4 ทุกประการ แต่แตกต่างกัน ที่ลักษณะของแขนทำความเย็นชนิดนี้จะไม่มีการกั้น

### 3.2.1 วิธีสร้างชุดทดสอบขนาดเล็กที่ใช้แขนทำความเย็นวัฏจักรเอ็มชนิดไหลตั้งฉาก

วัฏจักรเอ็มมาจากคำว่า “Maisotsenko cycle” เป็นลักษณะการไหลของอากาศ ภายในแขนทำความเย็นที่นำอากาศจากช่องแห่งนี้ส่วนหนึ่งรั่วเข้าสู่ช่องเป็ยก อากาศที่รั่วเข้าสู่ช่องเป็ยก ส่งผลให้อากาศมีอุณหภูมิต่ำ จึงสามารถรับความร้อนจากอากาศภายในช่องแห่งนี้ได้ แขนทำความเย็น ชนิดที่ 1 ในการวิจัยนี้ได้สร้างให้มีอากาศรั่วเข้าสู่ช่องแห่งนี้ แขนทำความเย็นนี้จึงถูกเรียกว่า “แขนทำความเย็นวัฏจักรเอ็ม”

การวิจัยนี้เลือกใช้วัสดุที่ทำมาจาก Polycarbonate สำหรับสร้างแขนทำความเย็น แสดงดังรูปที่ 3.2

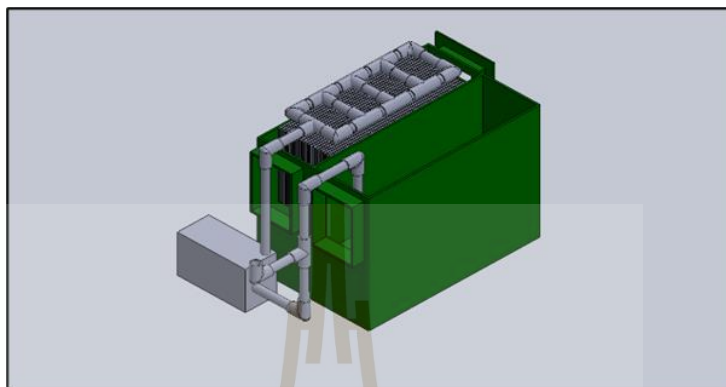


รูปที่ 3.2 Polycarbonate สำหรับสร้างแขนทำความเย็น

วิธีการสร้างชุดทดลองมีดังนี้

- ออกแบบแกนทำความเย็นด้วยโปรแกรมเขียนแบบทางคอมพิวเตอร์แสดงได้

ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ผลการออกแบบแกนทำความเย็นวัฏจักรเอ็มด้วยโปรแกรมเขียนแบบทางคอมพิวเตอร์

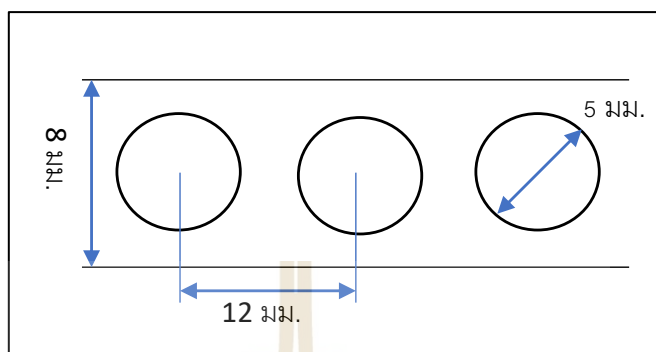
- แกนทำความเย็นถูกสร้างจาก Polycarbonate ที่มีความกว้าง 250 mm ยาว 500 mm จำนวน 16 แผ่น แล้วสร้างช่องด้วยการเจาะที่มีความกว้าง 5 mm ยาว 300 mm ตามแนวช่องว่างภายในแผ่นแสดงดังรูปที่ 3.4



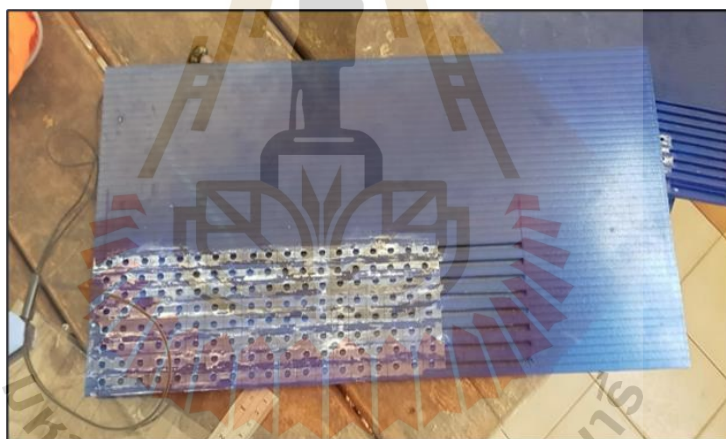
รูปที่ 3.4 Polycarbonate หลังถูกตัดและเจาะช่อง

- การสร้างรูสำหรับการรั่วของอากาศจากช่องแห้งสู่ช่องเปียกด้วย Transparency sheet โดยรูดังกล่าวมีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 5 mm และแต่ละรูห่างกันจากจุดศูนย์กลาง 12 mm

แสดงดังรูปที่ 3.5 จากนั้นติด Transparency sheet ที่ได้รับการเจาะรูลงบน Polycarbonate ตามแนวของช่องที่ได้รับการเจาะช่องแสดงดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.5 ขนาดและระยะห่างของรูบน Transparency sheet



รูปที่ 3.6 Polycarbonate ที่พร้อมประกอบเป็นแกนทำความเย็นวัฏจักรเอ็ม

- ผ้าสำลีถูกติดตั้งบน Polycarbonate ตลอดผนังที่ไม่มีการเจาะช่องเพื่อสร้างเป็นช่องเปือกภายในแกนทำความเย็น แสดงดังรูปที่ 3.7 ผ้าสำลีช่วยกระจายน้ำที่ไหลเข้าสู่ช่องเปือกให้มีพื้นผิวสัมผัสกับอากาศมากขึ้นเพื่อเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อน



รูปที่ 3.7 แกนทำความเย็นวัฏจักรเอ็มชนิดไหลตั้งฉาก

- Polycarbonate ทั้ง 16 แผ่น ถูกประกอบเข้าด้วยกันโดยมีระยะห่างระหว่างแผ่น 5 mm จากนั้นติดตั้งแกนทำความเย็นลงบน Housing แสดงดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 Housing หลังติดตั้งแกนทำความเย็น

- ระบบน้ำถูกติดตั้งสำหรับสเปรย์ลงในช่องเปียก พัดลมอุตสาหกรรมถูกติดตั้งสำหรับดูดอากาศสิ่งแวดล้อมเข้าสู่ช่องแห้ง จากนั้นติดตั้งเครื่องทดสอบไว้ภายในอาคารทดสอบ แสดงดังรูปที่ 3.9





รูปที่ 3.9 ชุดทดสอบที่ใช้แกนทำความเย็นวัฏจักรเอ็มชนิดไหลตั้งฉาก

จากผลการจำลองขนาดและพารามิเตอร์ของเครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหย โดยอ้อมที่ใช้แกนทำความเย็นวัฏจักรเอ็มชนิดไหลตั้งฉาก แสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ผลการจำลองขนาดและพารามิเตอร์สำหรับสร้างแกนทำความเย็นวัฏจักรเอ็มชนิดไหลตั้งฉาก

ชนิดพารามิเตอร์	หน่วย	ข้อมูล
ขนาดของแกนทำความเย็น	mm <sup>3</sup>	240×500×255
ความกว้างของช่องแห้ง	mm	5
ความกว้างของช่องเปียก		5
จำนวนช่องแห้ง		18
จำนวนช่องเปียก		17
ปริมาตรการไหลของอากาศในช่องแห้ง	m <sup>3</sup> /hr	388.53
ปริมาตรการไหลของอากาศในช่องเปียก		197.01

### 3.2.2 วิธีสร้างชุดทดสอบขนาดเล็กที่ใช้แกนทำความเย็นแบบแบ่งอากาศกลับเข้าช่องเปียกชนิดไหลตั้งฉาก

เครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหยโดยอ้อมที่ใช้แกนทำความเย็นแบบแบ่งอากาศกลับเข้าช่องเปียก มีหลักการทำความเย็น คือ อากาศสิ่งแวดล้อมจะไหลเข้าสู่ช่องแห้งเพื่อลดอุณหภูมิ จากนั้นอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำหลังผ่านแกนทำความเย็นจะถูกแบ่งส่วนหนึ่งเข้าสู่ห้องปรับอากาศ และอีกส่วนหนึ่งไหลเข้าสู่ช่องเปียกเพื่อลดอุณหภูมิ ส่งผลให้อากาศในช่องเปียกมีอุณหภูมิต่ำ เมื่ออุณหภูมิระหว่างช่องแห้งและช่องเปียกแตกต่างกัน อากาศที่มีอุณหภูมิสูงในช่องแห้งจึงถ่ายเท

ความร้อนสู่อากาศที่มีอุณหภูมิต่ำในช่องเป็ยก การทำให้อากาศมีอุณหภูมิต่ำก่อนเข้าช่องเป็ยก ซึ่งใช้อากาศกระแสเดียวในการทำงาน เป็นลักษณะเด่นของแกนทำความเย็นแบบแบ่งอากาศกลับเข้าช่องเป็ยกที่ช่วยเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อน กระบวนการดังกล่าวถูกเรียกว่า “รีเจนเนเรชั่น (Regeneration)”

นอกจากนี้ในการสร้างชุดทดสอบที่ใช้แกนทำความเย็นแบบแบ่งอากาศกลับเข้าช่องเป็ยกได้รับการศึกษาอิทธิพลเกี่ยวกับการติด Pre-cooler ซึ่งทำหน้าที่ลดอุณหภูมิของอากาศก่อนเข้าช่องเป็ยกเพื่อให้อากาศที่เข้าช่องเป็ยกสามารถรับความร้อนเพิ่มขึ้นจากอากาศในช่องแห้ง โดย Pre-cooler ดังกล่าวมีส่วนประกอบ ได้แก่

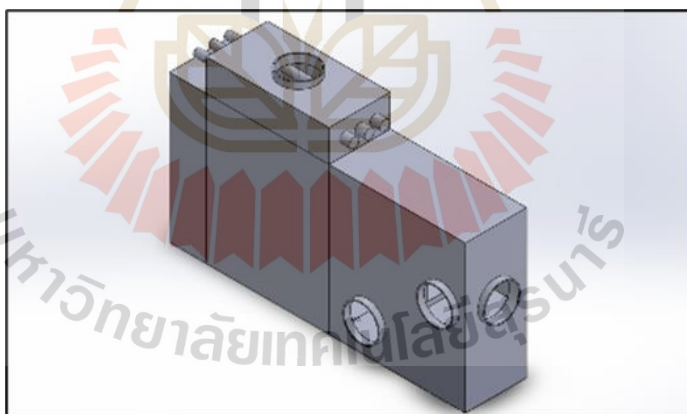
1. Downcomers ทำหน้าที่ลำเลียงน้ำจากด้านบนสู่ด้านล่างของแกนทำความเย็น เพื่อไม่ให้น้ำระเหยก่อนที่จะไหลเข้าสู่ Pre-cooler

2. Splash bars ทำหน้าที่รับน้ำที่ไหลลงมาจาก Downcomers ส่งผลให้เกิดการกระเซ็นของน้ำสู่ Pre-cooler

วิธีการสร้างชุดทดลองมีดังนี้

- ออกแบบแกนทำความเย็นด้วยโปรแกรมเขียนแบบทางคอมพิวเตอร์แสดงได้

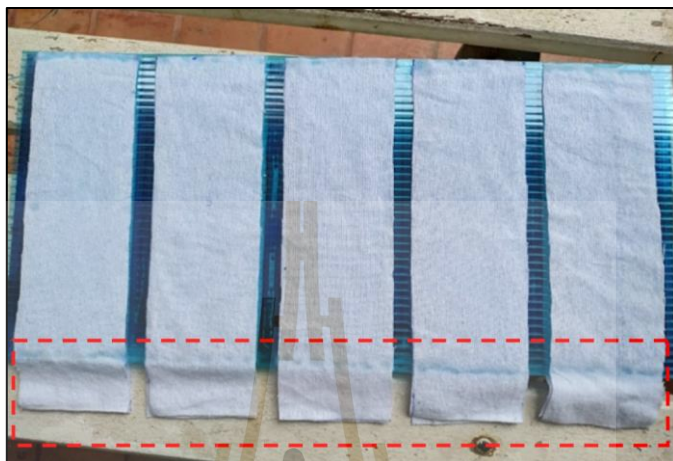
ดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 ผลการออกแบบแกนทำความเย็นแบบแบ่งอากาศกลับเข้าช่องเป็ยกด้วยโปรแกรมเขียนแบบทางคอมพิวเตอร์

- แกนทำความเย็นถูกสร้างจาก Polycarbonate ที่มีความกว้าง 250 mm ยาว 500 mm จำนวน 20 แผ่น

- ผ้าสำลีถูกติดตั้งบน Polycarbonate ในช่องเป็ยกเพื่อเพิ่มพื้นที่การกระจายน้ำ  
ผ้าสำลีที่ยาวเกินแผ่น Polycarbonate ใช้สำหรับลดอุณหภูมิอากาศก่อนนำอากาศไหลเข้าสู่ช่องเป็ยก  
เรียกว่า “Pre-cooler” แสดงดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 Polycarbonate หลังติดผ้าสำลี

- Downcomers ถูกสร้างขึ้นจาก Polycarbonate ที่ถูกตัดออกเป็นสองท่อ  
ติดกัน Downcomers ดังกล่าวมีความสูง 250 mm ความกว้างท่อละ 5 mm ถูกติดลงบน  
Polycarbonate ด้านละ 12 ท่อ แสดงดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 Polycarbonate หลังติด Downcomers

- แขนทำความเย็นถูกประกอบขึ้นจาก Polycarbonate ที่ตีผ้าสำลีและ Downcomers แล้วนำมาประกบกันแสดงดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 แขนทำความเย็นแบบแบ่งอากาศกลับเข้าช่องเป็ยกชนิดไหลตั้งฉาก

- แขนทำความเย็นถูกติดตั้งลงบน Housing พร้อมกับพัดลมดูดอากาศสามารถแสดงดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 Housing หลังติดตั้งแกนทำความเย็น

- รางน้ำถูกติดตั้งลงบนแกนทำความเย็นเพื่อควบคุมให้น้ำไหลลง Downcomers และช่องเปียกอย่างสม่ำเสมอ แสดงดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 รางน้ำสำหรับควบคุมการไหลของน้ำในแกนทำความเย็น

- ป้อนน้ำถูกติดตั้งสำหรับสูบน้ำขึ้นมาสเปรย์ลงบนแกนทำความเย็นสู่ช่องเปียก พัฒนาระบบอากาศถูกติดตั้งที่ทางออกของอากาศหลังผ่านแกนทำความเย็นในช่องแห้งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 ชุดทดสอบที่ใช้แกนทำความเย็นแบบแบ่งอากาศกลับเข้าช่องเปียก

จากผลการจำลองขนาดและพารามิเตอร์ของเครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหย โดยอ้อมที่ใช้แกนทำความเย็นแบบแบ่งอากาศกลับเข้าช่องเปียก แสดงดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ผลการจำลองขนาดและพารามิเตอร์สำหรับสร้างแกนทำความเย็นแบบแบ่งอากาศกลับเข้าช่องเปียก

ชนิดพารามิเตอร์	หน่วย	ข้อมูล
ขนาดของแกนทำความเย็น	mm <sup>3</sup>	240×500×255
ความกว้างของช่องแห้ง	mm	5
ความกว้างของช่องเปียก	mm	5
จำนวนช่องแห้ง	-	20
จำนวนช่องเปียก	-	19
ปริมาตรการไหลของอากาศในช่องแห้ง	m <sup>3</sup> /hr	131.34/446.55
ปริมาตรการไหลของอากาศในช่องเปียก	m <sup>3</sup> /hr	36.12/124.77

หมายเหตุ: ปริมาตรการไหลของอากาศทั้งในช่องแห้งและช่องเปียกแสดงไว้ 2 ค่า (คั่นด้วยเครื่องหมาย /) ค่าแรกเป็นปริมาตรการไหลเมื่อใช้พัดลมขนาด 76 W และค่าที่สองเป็นอัตราการไหลเมื่อใช้พัดลมขนาด 375W

### 3.2.3 วิธีสร้างชุดทดสอบขนาดเล็กที่ใช้แกนทำความเย็นแบบแบ่งอากาศในห้องปรับอากาศกลับเข้าช่องเปียกชนิดไหลตั้งฉาก

แกนทำความเย็นแบบแบ่งอากาศในห้องปรับอากาศกลับเข้าช่องเปียกชนิดไหลตั้งฉาก ใช้แกนทำความเย็นเดียวกับในหัวข้อ 3.2.2 แต่แตกต่างกันที่ แกนทำความเย็นนี้ใช้อากาศสองกระแสในการทำงาน อากาศหลังผ่านแกนทำความเย็นจะไหลเข้าสู่ห้องปรับอากาศ ในขณะที่อากาศที่ไหลเข้าสู่ช่องเปียกมาจากอากาศภายในห้องปรับอากาศ ดังนั้นท่อนำอากาศจึงมีลักษณะดังรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 ชุดทดสอบที่ใช้แกนทำความเย็นแบบแบ่งอากาศในห้องปรับอากาศกลับเข้าช่องเป็ยกชนิดไหลตั้งฉาก

จากผลการจำลองขนาดและพารามิเตอร์ของเครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหยโดยอ้อมที่ใช้แกนทำความเย็นแบบแบ่งอากาศในห้องปรับอากาศกลับเข้าช่องเป็ยกชนิดไหลตั้งฉาก ดังตารางที่ 3.3 ตารางที่ 3.3 ผลการจำลองขนาดและพารามิเตอร์สำหรับสร้างแกนทำความเย็นแบบแบ่งอากาศกลับเข้าช่องเป็ยก

ชนิดพารามิเตอร์	หน่วย	ข้อมูล
ขนาดของแกนทำความเย็น	mm <sup>3</sup>	240×500×255
ความกว้างของช่องแห้ง	mm	5
ความกว้างของช่องเป็ยก	mm	5
จำนวนช่องแห้ง	-	20
จำนวนช่องเป็ยก	-	19
ปริมาตรการไหลของอากาศในช่องแห้ง	m <sup>3</sup> /hr	129.6
ปริมาตรการไหลของอากาศในช่องเป็ยก	m <sup>3</sup> /hr	129.6

### 3.2.4 วิธีสร้างชุดทดสอบขนาดเล็กที่ใช้แกนทำความเย็นแบบแบ่งอากาศในห้องปรับอากาศกลับเข้าช่องเป็ยกชนิดไหลสวนทางแบบมีแผ่นกั้น

เครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหยโดยอ้อมที่ใช้แกนทำความเย็นแบบแบ่งอากาศในห้องปรับอากาศกลับเข้าช่องเป็ยกชนิดไหลสวนทางแบบมีแผ่นกั้น มีหลักการทำความเย็น คือ

อากาศสิ่งแวดล้อมถูกดึงผ่านช่องแห้ง ขณะเดียวกันอากาศจากภายในห้องปรับอากาศถูกดึงเข้าสู่ช่องเปียกส่งผลให้อากาศในช่องเปียกมีอุณหภูมิต่ำ เมื่อเกิดความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศส่งผลให้อากาศในช่องแห้งที่มีอุณหภูมิสูง ถ่ายเทความร้อนสู่อากาศในช่องเปียกที่มีอุณหภูมิต่ำในทิศทางไหลสวนทางกัน ดังนั้นอากาศในช่องแห้งจึงมีอุณหภูมิลดลง ขณะเดียวกันอากาศที่ทางออกของช่องเปียกเป็นอากาศที่ได้รับการระเหยของน้ำส่งผลให้ความชื้นสัมพัทธ์มีค่า 100% โดยประมาณ ซึ่งไม่เหมาะกับการนำไปใช้งานในห้องปรับอากาศจึงถูกปล่อยทิ้งสู่สิ่งแวดล้อม

นอกจากนี้ อิทธิพลของการติดตั้งแผ่นกั้น (Baffles) ถูกศึกษาสำหรับแกนทำความเย็นในหัวข้อนี้ โดยผู้วิจัยได้ติดตั้งแผ่นกั้นลงบนช่องแห้งของแกนทำความเย็นเพื่อให้การไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent flow) ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อน และมีการเปลี่ยนวัสดุที่ใช้สร้างแกนทำความเย็นจาก Polycarbonate ไปเป็นวัสดุที่สามารถนำความร้อนได้ดี คือ สังกะสี ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มการนำความร้อน

วิธีการสร้างชุดทดลองมีดังนี้

- ออกแบบแกนทำความเย็นด้วยโปรแกรมเขียนแบบทางคอมพิวเตอร์สามารถแสดงดังรูปที่ 3.18

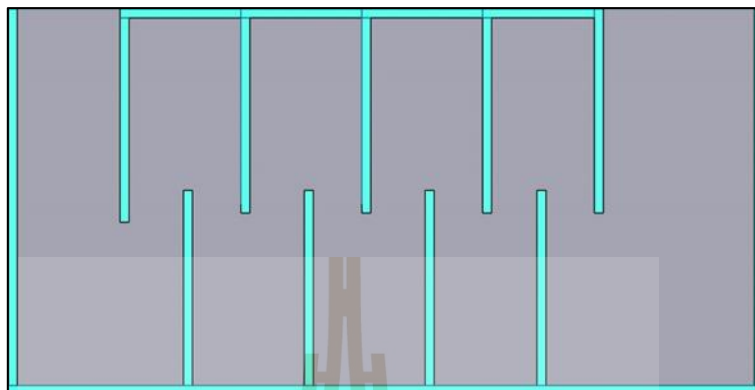


รูปที่ 3.18 ผลการออกแบบแกนทำความเย็นแบบแบ่งอากาศในห้องปรับอากาศกลับเข้าช่องเปียกชนิดไหลสวนทางแบบมีแผ่นกั้นด้วยโปรแกรมเขียนแบบทางคอมพิวเตอร์

- แผ่นคั่นระหว่างช่องแห้งและช่องเปียกถูกสร้างจาก Polycarbonate ที่มีความกว้าง 5 mm ความยาว 500 mm ใช้จำนวนทั้งหมด 78 ชิ้น



- แผ่นกั้น (Baffles) ถูกสร้างจาก Polycarbonate ที่มีความกว้าง 5 mm ความยาว 100 mm ใช้จำนวนทั้งหมด 180 ชิ้น ติดห่างกัน 6 mm แสดงดังรูปที่ 3.19



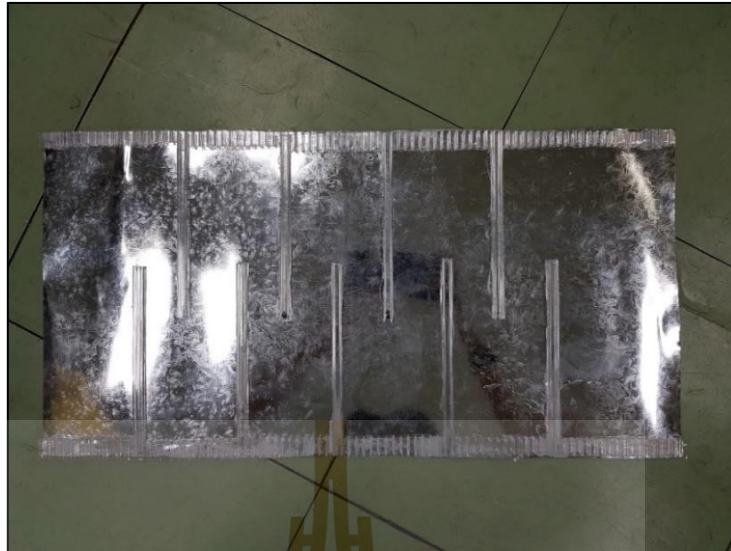
รูปที่ 3.19 ผลการออกแบบการติดตั้งแผ่นกั้นในช่องแห้ง

- แผ่นสังกะสีความกว้าง 400 mm ความยาว 600 mm จำนวน 38 แผ่น ถูกใช้เป็นโครงสร้างของแกนทำความเย็นในหัวข้อนี้อย่างแสดงดังรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 แผ่นสังกะสีสำหรับโครงสร้างแกนทำความเย็น

- แผ่นกั้น (Baffles) ถูกติดตั้งลงบนแผ่นสังกะสีในช่องแห้งของแกนทำความเย็น แสดงดังรูปที่ 3.21



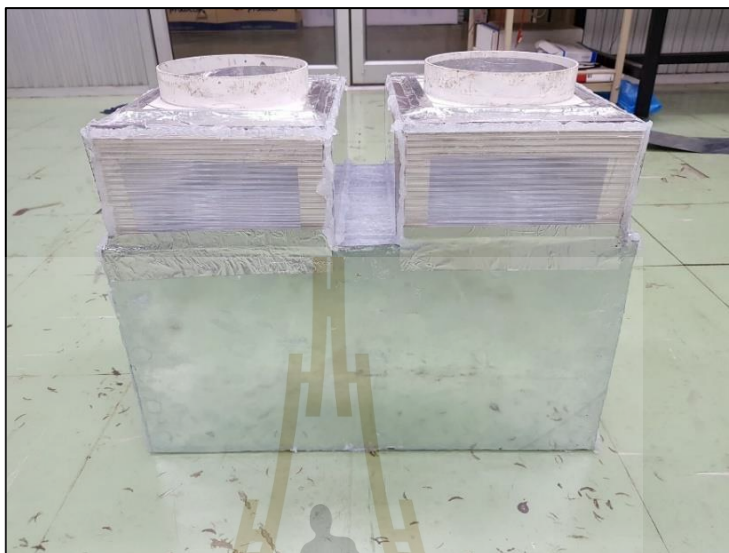
รูปที่ 3.21 แผ่นสังกะสีหลังติดตั้งแผ่นกัน

- แผ่นสังกะสีหลังติดตั้งแผ่นกันและแผ่นกันแล้วนำมาประกอบแบบทับซ้อนกัน เพื่อสร้างเป็นแกนทำความเย็น แสดงดังรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.22 แกนทำความเย็นแบบแบ่งอากาศในห้องปรับอากาศกลับเข้าช่องเป็ยกชนิดไหลสวนทางแบบมีแผ่นกัน

- โครงสร้างภายนอกของแกนทำความเย็นถูกติดตั้งท่อรวมอากาศ (Air header)  
แสดงดังรูปที่ 3.23



รูปที่ 3.23 แกนทำความเย็นหลังติดตั้งโครงสร้างภายนอกและท่อรวมอากาศ

- แกนทำความเย็นด้านบนถูกติดตั้งระบบน้ำ สำหรับสเปรย์น้ำเข้าสู่ช่องเปียกของแกนทำความเย็น แสดงดังรูปที่ 3.24



รูปที่ 3.24 ระบบน้ำหลังติดตั้งบนแกนทำความเย็น (ก) ระบบท่อจ่ายน้ำ (ข) ระบบรางน้ำ

- ปั๊มน้ำถูกติดตั้งสำหรับสูบน้ำใต้แกนทำความเย็นขึ้นมาสเปรย์ในช่องเปียก  
ท่อลมถูกติดตั้งสำหรับควบคุมทิศทางการไหลของอากาศที่ตำแหน่งต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 3.25



รูปที่ 3.25 ชุดทดสอบที่ใช้แกนทำความเย็นแบบแบ่งอากาศในห้องปรับอากาศกลับเข้าช่องเปียกชนิดไหลสวนทางแบบมีแผ่นกั้น

จากผลการจำลองขนาดและพารามิเตอร์ของเครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหย โดยอ้อมที่ใช้แกนทำความเย็นแบบแบ่งอากาศในห้องปรับอากาศกลับเข้าช่องเปียกชนิดไหลสวนทางแบบมีแผ่นกั้น แสดงดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 ผลการจำลองขนาดและพารามิเตอร์สำหรับสร้างแกนทำความเย็นแบบแบ่งอากาศในห้องปรับอากาศกลับเข้าช่องเปียกชนิดไหลสวนทางแบบมีแผ่นกั้น

ชนิดพารามิเตอร์	หน่วย	ข้อมูล
ขนาดของแกนทำความเย็น	mm <sup>3</sup>	240×500×255
ความกว้างของช่องแห้ง	mm	5
ความกว้างของช่องเปียก	mm	5
จำนวนช่องแห้ง	-	20
จำนวนช่องเปียก	-	19
ปริมาตรการไหลของอากาศในช่องแห้ง	m <sup>3</sup> /hr	140.4
ปริมาตรการไหลของอากาศในช่องเปียก	m <sup>3</sup> /hr	140.4

### 3.2.5 วิธีสร้างชุดทดสอบขนาดเล็กที่ใช้แกนทำความเย็นแบบแบ่งอากาศในห้องปรับอากาศกลับเข้าช่องเป็ยกชนิดไหลสวนทางแบบไม่มีแผ่นกั้น

จากการทดสอบแกนทำความเย็นในหัวข้อที่ 3.2.4 พบว่า การติดตั้งแผ่นกั้นทำให้เกิดการสูญเสียความดัน (Pressure drop) ดังนั้น อัตราการไหลของอากาศและอัตราการทำความเย็น (Cooling capacity) จึงลดลงเช่นเดียวกัน

จากปัญหาที่เกิดขึ้น ในหัวข้อนี้จึงได้สร้างแกนทำความเย็นที่มีโครงสร้างเช่นเดียวกับหัวข้อที่ 3.2.4 แต่นำแผ่นกั้นออกเพื่อแก้ปัญหาระสิทธิภาพการทำความเย็นลดลง อย่างไรก็ตาม การนำแผ่นกั้นออก ส่งผลให้สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนลดลง (Heat transfer coefficient) ดังนั้น ผู้วิจัยจึงได้เลือกขนาดของแกนทำความเย็นจากการจำลองของวิทยานิพนธ์ นายธงชัย เทียมทัด และคณะ (2019) ให้เหมาะกับห้องทดสอบ ส่งผลให้แกนทำความเย็นมีขนาดใหญ่ขึ้นเพื่อชดเชยสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนลดลงจากการนำแผ่นกั้นออก

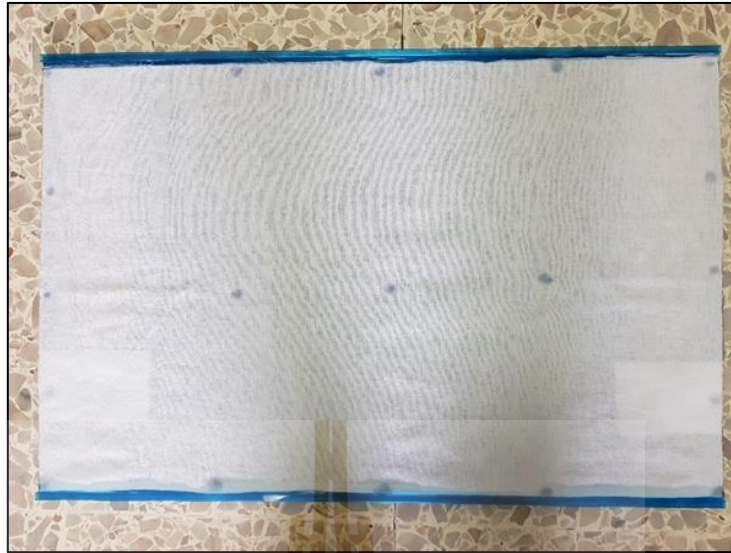
วิธีการสร้างชุดทดลองมีดังนี้

- Polycarbonate ที่มีความกว้าง 400 mm ความยาว 600 mm จำนวน 20 แผ่น ถูกเจาะเส้นทางการไหลของอากาศเข้าสู่ช่องแห้ง แสดงดังรูปที่ 3.26



รูปที่ 3.26 Polycarbonate หลังเจาะเส้นทางการไหลของอากาศเข้าสู่ช่องแห้ง

- ผ้าสำลีถูกติดตั้งทั้งสองด้านของ Polycarbonate เพื่อสร้างช่องเป็ยกและสามารถเพิ่มพื้นที่สัมผัสระหว่างน้ำกับอากาศ แสดงดังรูปที่ 3.27



รูปที่ 3.27 Polycarbonate หลังติดตั้งผ้าสำลี

- Polycarbonate หลังติดตั้งผ้าสำลี ถูกนำมาประกบทับซ้อนกันเพื่อสร้างเป็นแกนทำความเย็น แสดงดังรูปที่ 3.28



รูปที่ 3.28 แกนทำความเย็นแบบแบ่งอากาศในห้องปรับอากาศกลับเข้าช่องเป็ยกชนิดไหลสวนทางแบบไม่มีแผ่นกั้น

- โครงสร้างภายนอกของแกนทำความเย็นถูกติดตั้งท่อรวมอากาศ (Air header) แสดงดังรูปที่ 3.29



รูปที่ 3.29 แขนทำความเย็นหลังติดตั้งโครงสร้างภายนอกและท่อรวมอากาศ

- ระบบน้ำถูกติดตั้งเพื่อควบคุมอัตราการไหลของน้ำที่จ่ายเข้าสู่ช่องเปียกพร้อมทั้งติดตั้งหัวกระจายน้ำ (Springers) เพื่อกระจายน้ำอย่างทั่วถึง แสดงดังรูปที่ 3.30



รูปที่ 3.30 ระบบน้ำและหัวกระจายน้ำหลังถูกติดตั้งบนแกนทำความเย็น

- ป้อนน้ำถูกติดตั้งสำหรับสูบน้ำใต้แกนทำความเย็นขึ้นมาสเปรย์ในช่องเป็ยกท่อลมถูกติดตั้งสำหรับควบคุมทิศทางการไหลของอากาศที่ตำแหน่งต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 3.31



รูปที่ 3.31 ชุดทดสอบที่ใช้แกนทำความเย็นแบบแบ่งอากาศในห้องปรับอากาศกลับเข้าช่องเป็ยกชนิดไหลสวนทางแบบไม่มีแผ่นกั้น

จากผลการจำลองขนาดและพารามิเตอร์ของเครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหยโดยอ้อมที่ใช้แกนทำความเย็นแบบแบ่งอากาศในห้องปรับอากาศกลับเข้าช่องเป็ยกชนิดไหลตั้งฉากแสดงดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 ผลการจำลองขนาดและพารามิเตอร์สำหรับสร้างแกนทำความเย็นแบบแบ่งอากาศกลับเข้าช่องเป็ยก

ชนิดพารามิเตอร์	หน่วย	ข้อมูล
ขนาดของแกนทำความเย็น	mm <sup>3</sup>	240×500×255
ความกว้างของช่องแห้ง	mm	5
ความกว้างของช่องเป็ยก	mm	5
จำนวนช่องแห้ง	-	20
จำนวนช่องเป็ยก	-	19
ปริมาตรการไหลของอากาศในช่องแห้ง	m <sup>3</sup> /hr	270
ปริมาตรการไหลของอากาศในช่องเป็ยก	m <sup>3</sup> /hr	270



### 3.2.6 วิธีดำเนินการทดสอบ

การทดสอบสำหรับชุดทดสอบขนาดเล็กมีขั้นตอนการเปิดเครื่องปรับอากาศ ดังนี้

- การเปรียบเทียบการเปิดระบบปรับอากาศแบบไฮบริดกับระบบปรับอากาศแบบอัดไอ โดยในวันที่ทดสอบระบบปรับอากาศแบบอัดไอจะเปิดเฉพาะเครื่องปรับอากาศแบบอัดไอ และระบบระบายอากาศ ในวันที่ทดสอบระบบปรับอากาศแบบไฮบริดจะเปิดทั้งเครื่องปรับอากาศแบบอัดไอ และเครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหยโดยอ้อม

- วันที่ทดสอบใช้เวลาเก็บข้อมูล 8 ชั่วโมง โดยเริ่มเก็บผลการทดสอบ 8.30 น. ถึง 16.30 น. เครื่องปรับอากาศแบบอัดไอตั้งค่าอุณหภูมิ 25°C โดยประมาณ

- เครื่องมือวัดและเก็บข้อมูล ประกอบด้วย เซนเซอร์วัดอุณหภูมิกระเปาะแห้ง กระเปาะเปียกและเซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้า โดยข้อมูลถูกบันทึกทุก ๆ 10 นาที

### 3.2.7 อิทธิพลที่ส่งผลต่อการทำงานของระบบปรับอากาศแบบไฮบริดกับอาคารทดสอบขนาดเล็ก

การวิจัยนี้มีการทดสอบอิทธิพลที่ส่งผลต่อชุดทดสอบขนาดเล็ก 7 ประเด็น ได้แก่

- อิทธิพลชนิดแกนทำความเย็น
- อิทธิพลตำแหน่งติดตั้งเครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหยโดยอ้อม
- อิทธิพลอัตราการไหลของอากาศในเครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหยโดยอ้อม
- อิทธิพลระยะเวลาเปิด-ปิดปั๊มน้ำของเครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหยโดยอ้อม
- อิทธิพลของการนำอากาศเสียที่มีอุณหภูมิต่ำไหลผ่านเครื่องอัดสารทำความเย็น
- อิทธิพลของ Pre-cooler

## 3.3 การสร้าง ติดตั้ง และทดสอบเครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหยโดยอ้อมสำหรับร้านสะดวกซื้อ

ในหัวข้อนี้ได้กล่าวถึงการสร้างเครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหยโดยอ้อม 2 ชนิด ได้แก่ แกนทำความเย็นชนิดไหลตั้งฉาก (Cross flow cooling core) และแกนทำความเย็นวัฏจักรเอ็ม (M-cycle cooling core) รวมถึงวิธีการติดตั้ง และดำเนินการทดสอบ

### 3.3.1 การสร้างเครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหยชนิดไหลตั้งฉาก

จากการทดสอบในหัวข้อ 3.2 งานวิจัยนี้จึงได้เลือกใช้ Polycarbonate เพื่อสร้างแกนทำความเย็นใช้ทดสอบกับร้านสะดวกซื้อ เนื่องจาก Polycarbonate เป็นวัสดุที่ขึ้นรูปง่าย มีน้ำหนักเบา และสามารถใส่ช่องว่างภายในแผ่นเป็นช่องแห่งของแกนทำความเย็นได้ สามารถแสดงดังรูปที่ 3.32

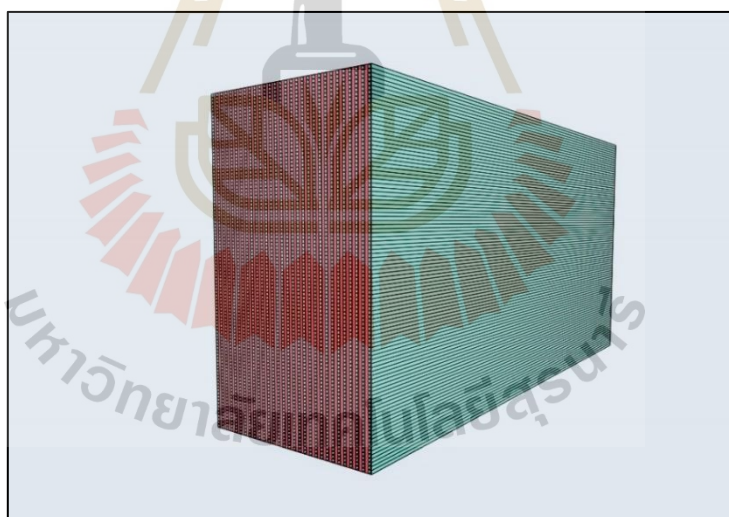
นอกจากนี้ ปัญหาทางด้านการนำความร้อน (Thermal conductivity) ของ Polycarbonate ที่มีค่าต่ำ อย่างไรก็ตาม การใช้วัสดุที่มีความหนาต่ำกว่า 0.5 mm ส่งผลให้ค่าความต้านทานทางการนำความร้อนลดลง (Thermal resistance)



รูปที่ 3.32 Polycarbonate สำหรับสร้างแกนทำความเย็น

วิธีการสร้างชุดทดลองมีดังนี้

- ออกแบบแกนทำความเย็นด้วยโปรแกรมเขียนแบบทางคอมพิวเตอร์สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.33



รูปที่ 3.33 ผลการออกแบบแกนทำความเย็นแบบไหลตั้งฉาก

- Polycarbonate ที่มีความกว้าง 600 mm ความยาว 1200 mm จำนวน 30 แผ่น ถูกนำมาใช้สร้างเป็นช่องแห้ง 30 ช่อง ระหว่างช่องแห้งถูกคั่นด้วย Polycarbonate ที่มีความกว้าง 10 mm ความยาว 600 mm เพื่อสร้างเป็นช่องเปียก 29 ช่อง แสดงดังรูปที่ 3.34



รูปที่ 3.34 Polycarbonate สำหรับสร้างแกนทำความเย็น (ก) Polycarbonate หลังตัดให้ได้ขนาด  
(ข) ตัวคั่นสำหรับแบ่งช่องแห้งและช่องเปียก

- ผ้าสำลีที่มีคุณสมบัติดูดซับน้ำได้ดีถูกติดตั้งบนพื้นผิวในช่องเปียกเพื่อเพิ่มพื้นที่กระจายตัวของน้ำสำหรับสัมผัสกับอากาศ แสดงดังรูปที่ 3.35



รูปที่ 3.35 ช่องเปียกของแกนทำความเย็นหลังติดผ้าสำลี

- Polycarbonate หลังติดผ้าสำลีแล้วถูกนำมาทับซ้อนกันจะได้ช่องแห้ง 30 ช่อง ช่องเปียก 29 ช่อง แสดงดังรูปที่ 3.36



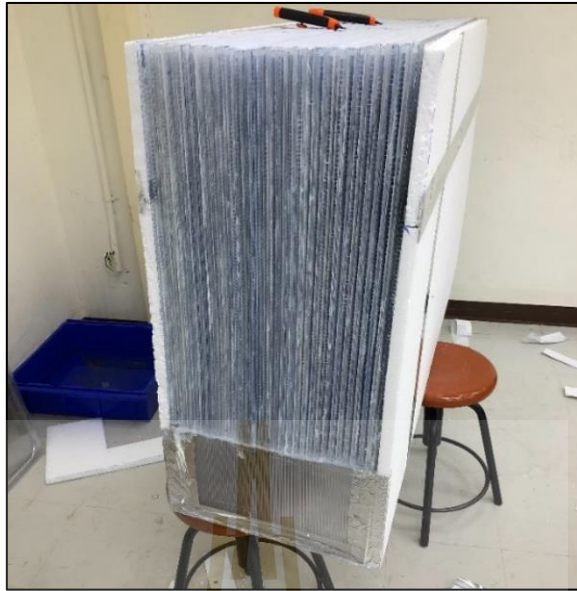
รูปที่ 3.36 แกนทำความเย็นแบบน้ำระเหยชนิดไหลตั้งฉาก

- โครงสร้างภายนอก (Housing) ได้รับการติดตั้งแกนทำความเย็นและท่อรวมอากาศ (Air header) ที่ทางออกของแกนทำความเย็น แสดงดังรูปที่ 3.37



รูปที่ 3.37 แกนทำความเย็นหลังติดตั้งโครงสร้างภายนอกและท่อรวมอากาศ

- ถังพักน้ำถูกสร้างขึ้นใต้แกนทำความเย็นเพื่อรองรับน้ำที่สเปรย์ลงมาก่อนถูกระบายไปที่ถังเก็บน้ำ แสดงดังรูปที่ 3.38



รูปที่ 3.38 ถังพักน้ำด้านใต้แกนทำความเย็น

- ระบบสเปรย์น้ำถูกสร้างภายในโครงสร้างด้านบน (Housing) ที่มีความกว้าง 600 mm ความยาว 300 mm ความสูง 30 mm โดยระบบดังกล่าว ประกอบด้วย ท่อ PVC 2 ท่อ แต่ละท่อติดตั้งหัวสเปรย์ 5 หัว แต่ละหัวมีระยะห่างเท่า ๆ กัน แสดงดังรูปที่ 3.39



รูปที่ 3.39 ระบบสเปรย์น้ำ

- โฟมบอร์ดถูกติดตั้งด้านนอกโครงสร้างแกนทำความเย็น (Housing) เพื่อเป็นฉนวนป้องกันการถ่ายเทความร้อนจากสิ่งแวดล้อมสู่อากาศในแกนทำความเย็น แสดงดังรูปที่ 3.40



รูปที่ 3.40 เครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหยชนิดไหลตั้งฉาก

- ท่ออากาศและระบบไฟฟ้าถูกติดตั้งสำหรับเครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหยชนิดไหลตั้งฉากแสดงดังรูปที่ 3.41



รูปที่ 3.41 เครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหยชนิดไหลตั้งฉากหลังติดตั้งท่อลมและระบบไฟฟ้า

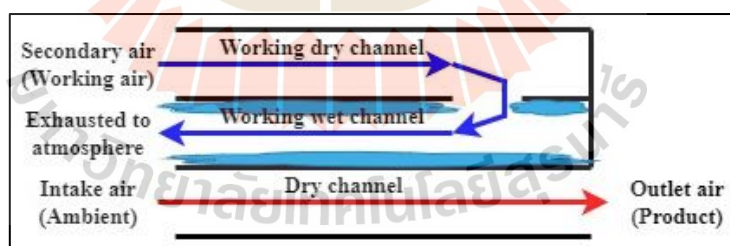
จากผลการจำลองขนาดและพารามิเตอร์ของเครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหยโดยอ้อมที่ใช้แกนทำความเย็นแบบแบ่งอากาศในห้องปรับอากาศกลับเข้าช่องเป็ยกชนิดไหลตั้งฉากแสดงดังตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 ผลการจำลองขนาดและพารามิเตอร์สำหรับสร้างแกนทำความเย็นแบบแบ่งอากาศกลับ  
เข้าช่องเปียกชนิดไหลตั้งฉาก

ชนิดพารามิเตอร์	หน่วย	ข้อมูล
ขนาดของแกนทำความเย็น	mm <sup>3</sup>	354 × 1,200 × 600
ความกว้างของช่องแห้ง	mm	5
ความกว้างของช่องเปียก	mm	5
จำนวนช่องแห้ง	-	30
จำนวนช่องเปียก	-	19
ปริมาตรการไหลของอากาศในช่องแห้ง	m <sup>3</sup> /hr	1,121.35
ปริมาตรการไหลของอากาศในช่องเปียก	m <sup>3</sup> /hr	1,121.35

### 3.3.2 การสร้างเครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหยชนิดไหลสวนทางแบบรีเจนเนอเรชั่นด้วยอากาศจากห้องปรับอากาศ

ในการทดสอบชุดทดสอบขนาดเล็กในหัวข้อที่ 3.2.3 เป็นชนิดไหลตั้งฉาก (Cross flow) และในหัวข้อที่ 3.2.4 เป็นชนิดไหลสวนทาง (Counter flow) ถูกนำมาเปรียบเทียบในงานวิจัยนี้ อย่างไรก็ตาม การสร้างแกนทำความเย็นชนิดไหลสวนทางมีข้อจำกัดหลายอย่าง ดังนั้น ในหัวข้อนี้ แสดงให้เห็นโครงสร้างแกนทำความเย็นหลังถูกปรับปรุง ซึ่งมีลักษณะแสดงดังรูปที่ 3.42



รูปที่ 3.42 แกนทำความเย็นแบบน้ำระเหยชนิดไหลสวนทางแบบรีเจนเนอเรชั่นด้วยอากาศจากห้องปรับอากาศ

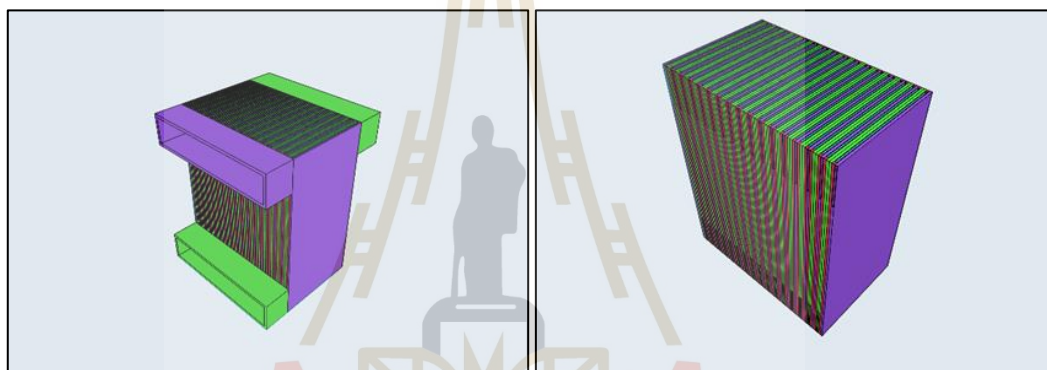
หลักการทำงานของแกนทำความเย็นในหัวข้อนี้ เริ่มต้นอากาศจากห้องปรับอากาศ จะไหลเข้าสู่ ช่องแห้งทำความเย็นล่วงหน้า (Working dry channel) เพื่อลดอุณหภูมิของอากาศในช่องเปียกก่อน (Working wet channel) จากนั้นจึงไหลเข้าสู่ช่องเปียกเพื่อลดอุณหภูมิอากาศ

ในช่องเปียกอีกครั้ง ในขณะที่เดียวกันอากาศสิ่งแวดล้อมจะไหลเข้าสู่ช่องแห้งเพื่อทิ้งความร้อนสู่ช่องเปียกส่งผลให้อากาศหลังผ่านแกนทำความเย็นมีอุณหภูมิลดลง

จากหลักการการทำความเย็นของแกนทำความเย็นในหัวข้อนี้ จะสังเกตเห็นว่ามีส่วนประกอบและการสร้างที่ซับซ้อน นอกจากนี้ ภาระการทำความเย็นในช่องเปียกอาจเพิ่มขึ้นจากการรับความร้อนของช่องแห้งทำความเย็นล่วงหน้า และช่องแห้ง จึงต้องตรวจสอบจากผลการทดสอบจริง

วิธีการสร้างชุดทดลองมีดังนี้

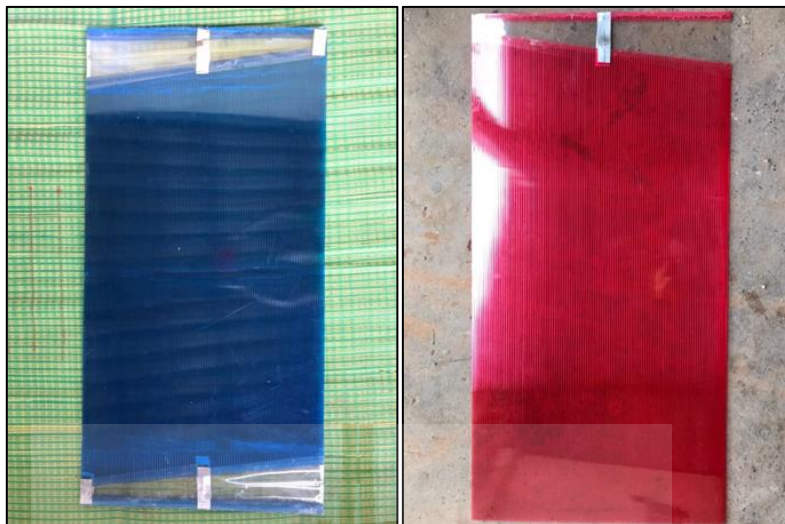
- ออกแบบแกนทำความเย็นด้วยโปรแกรมเขียนแบบทางคอมพิวเตอร์สามารถแสดงดังรูปที่ 3.43



รูปที่ 3.43 ผลการออกแบบแกนทำความเย็นแบบน้ำระเหยชนิดไหลสวนทางแบบรีเจนเนอเรชั่นด้วยอากาศจากห้องปรับอากาศ

- Polycarbonate มีความกว้าง 600 mm ความยาว 1200 mm จำนวน 49 แผ่น ใช้เป็นวัสดุในการประกอบแกนทำความเย็น โดยแบ่งออกเป็น ช่องแห้งทำความเย็นล่วงหน้า 17 แผ่น ช่องแห้ง 32 แผ่น ช่องแห้งถูกตัดเป็นช่องรูปสี่เหลี่ยมคางหมูทั้งสองด้านเพื่อเป็นเส้นทางไหลของอากาศสิ่งแวดล้อม ช่องแห้งทำความเย็นล่วงหน้าถูกตัดเป็นช่องรูปสี่เหลี่ยมคางหมูทั้งหนึ่งด้าน เพื่อเป็นเส้นทางไหลของอากาศจากห้องปรับอากาศแสดงดังรูปที่ 3.44





รูปที่ 3.44 ส่วนประกอบของแกนทำความเย็น (ก) ช่องแห้ง (ข) ช่องแห้งทำความเย็นลวงหน้า

- ด้านบนและด้านล่างของช่องแห้งถูกอุดรูด้วยซิลิโคนเพื่อป้องกันการลวงไหลของอากาศ ในขณะที่ช่องแห้งทำความเย็นลวงหน้า อุดรูเพียงด้านบนเท่านั้นเพื่อบังคับให้อากาศไหลลงสู่ด้านล่างของแกนทำความเย็น
- Polycarbonate ที่มีความกว้าง 120 mm ความยาว 1,200 mm ถูกนำมาใช้เป็นตัวคั่นเพื่อสร้างเป็นช่องเปียกแสดงดังรูปที่ 3.45



รูปที่ 3.45 ช่องเปียกหลังติดตัวคั่น

- ผ้าสำลีถูกติดตั้งลงบนช่องเปียกโดยมีความกว้างและความยาวที่สามารถคลุมช่องเปียกได้ทั้งสองฝั่ง แสดงดังรูปที่ 3.46



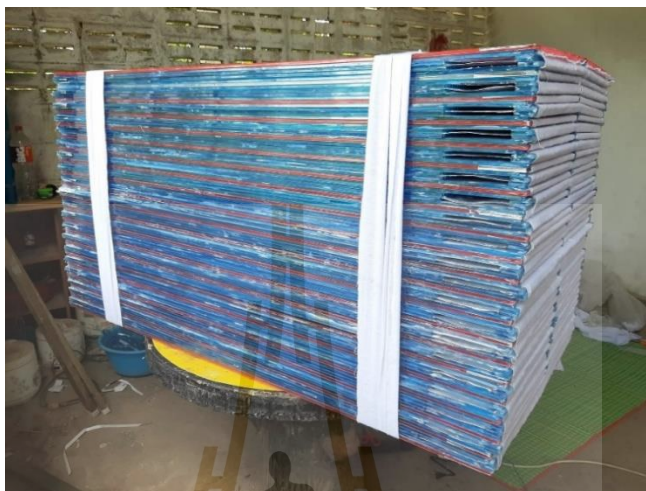
รูปที่ 3.46 การติดตั้งผ้าสำลีลงบนช่องเปียกทั้งสองฝั่ง

- ช่องแห้งและช่องแห้งทำความเย็นล่วงหน้าถูกประกอบทับซ้อนกัน คือ ช่องแห้งทำความเย็นล่วงหน้า 1 แผ่น และ ช่องแห้ง 2 แผ่น แสดงดังรูปที่ 3.47



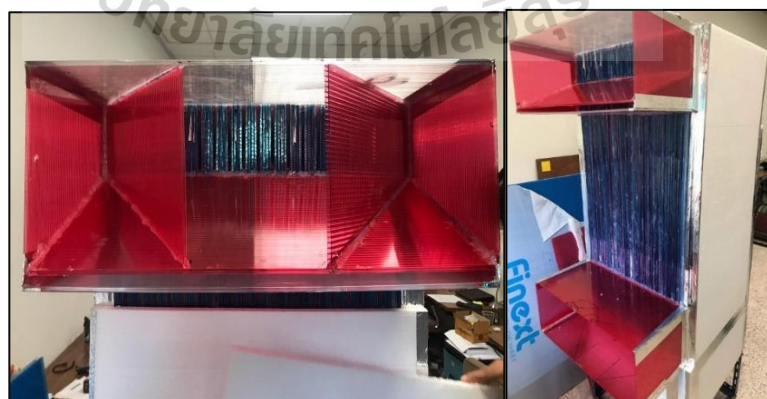
รูปที่ 3.47 ช่องเปียกหลังติดผ้าสำลีทั้งสองฝั่ง

- แขนทำความเย็นแบบชุดย่อย 20 ชุดถูกประกอบเข้าด้วยกันกลายเป็นแกนทำความเย็นแบบน้ำระเหยชนิดไหลสวนทางแบบรีเจนเนเรชั่นด้วยอากาศจากห้องปรับอากาศ แสดงดังรูปที่ 3.48



รูปที่ 3.48 แกนทำความเย็นแบบน้ำระเหยชนิดไหลสวนทางแบบรีเจนเนเรชั่นด้วยอากาศจากห้องปรับอากาศ

- ท่อรวมอากาศ (Air header) ถูกสร้างขึ้นที่บริเวณทางเข้าและทางออกของอากาศที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของแกนทำความเย็น รวมถึงโครงสร้างภายนอก (Housing) และฐานสำหรับขนย้าย แสดงดังรูปที่ 3.49



รูปที่ 3.49 ส่วนประกอบภายนอกของแกนทำความเย็น (ก) ท่อรวมอากาศ  
(ข) โครงสร้างภายนอกและฐานเครื่อง

- โฟมบอร์ดถูกติดตั้งด้านนอกโครงสร้างแกนทำความเย็น (Housing) เพื่อเป็นฉนวนป้องกันการถ่ายเทความร้อนจากสิ่งแวดล้อมสู่อากาศในแกนทำความเย็น แสดงดังรูปที่ 3.50



รูปที่ 3.50 เครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหยชนิดไหลสวนทางแบบรีเจนเนเรชั่นด้วยอากาศจากห้องปรับอากาศ

จากผลการจำลองขนาดและพารามิเตอร์ของเครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหยชนิดไหลสวนทางแบบรีเจนเนเรชั่นด้วยอากาศจากห้องปรับอากาศ แสดงดังตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 ผลการจำลองขนาดและพารามิเตอร์สำหรับสร้างแกนทำความเย็นแบบน้ำระเหยชนิดไหลสวนทางแบบรีเจนเนเรชั่นด้วยอากาศจากห้องปรับอากาศ

ชนิดพารามิเตอร์	หน่วย	ข้อมูล
ขนาดของแกนทำความเย็น	mm <sup>3</sup>	425×1,200×600
ความกว้างของช่องแห้ง	mm	5
ความกว้างของช่องเปียก	mm	5
จำนวนช่องแห้ง	-	32
จำนวนช่องเปียก	-	17
ปริมาตรการไหลของอากาศในช่องแห้ง	m <sup>3</sup> /hr	1,121.35
ปริมาตรการไหลของอากาศในช่องเปียก	m <sup>3</sup> /hr	1,121.35

### 3.3.3 วิธีดำเนินการทดสอบ

การทดสอบสำหรับเครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหยกับร้านสะดวกซื้อมีขั้นตอนการเปิดเครื่องปรับอากาศ ดังนี้

- การเปรียบเทียบการเปิดระบบปรับอากาศแบบไฮบริดกับระบบปรับอากาศแบบอัดไอ โดยในวันที่ทดสอบระบบปรับอากาศแบบอัดไอจะเปิดเฉพาะเครื่องปรับอากาศแบบอัดไอและระบบระบายอากาศ ในวันที่ทดสอบระบบปรับอากาศแบบไฮบริดจะเปิดทั้งเครื่องปรับอากาศแบบอัดไอ และเครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหยโดยอัตโนมัติ
- วันที่ทดสอบใช้เวลาเก็บข้อมูล 8 ชั่วโมง โดยเริ่มเก็บผลการทดสอบ 8.30 น. ถึง 16.30 น. เครื่องปรับอากาศแบบอัดไอตั้งค่าอุณหภูมิ 25°C โดยประมาณ
- เครื่องมือวัดและเก็บข้อมูล ประกอบด้วย เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิกระเปาะแห้ง กระเปาะเปียกและเซ็นเซอร์วัดกระแสไฟฟ้า โดยข้อมูลถูกบันทึกทุก ๆ 1 นาที

### 3.4 การติดตั้งและชนิดของเซนเซอร์ที่ใช้บันทึกข้อมูลสำหรับวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการทดสอบกับผลการจำลองเครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหย

ในหัวข้อนี้แสดงการเปรียบเทียบความถูกต้องระหว่างผลการทดสอบกับผลการจำลองของเครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหย ในงานวิจัยของธงชัย เทียมทัต และคณะ 2019 โดยผลการทดสอบได้มาจากการเก็บข้อมูลผ่านเซนเซอร์ และบอร์ดควบคุมขนาดเล็ก (Arduino)

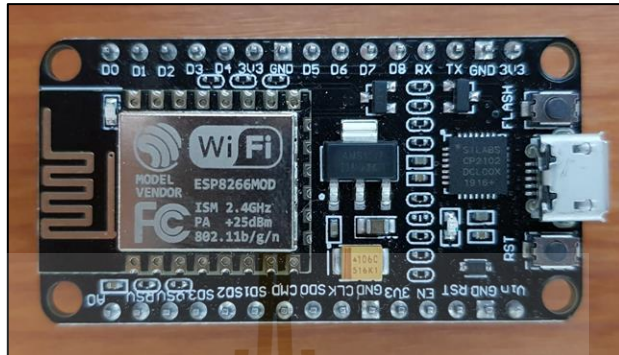
#### 3.4.1 เซ็นเซอร์และชุดบันทึกผลการทดสอบ

การเก็บผลทดสอบเพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์สำหรับเครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหยทำได้โดยใช้บอร์ดควบคุมสั่งการเซนเซอร์วัดข้อมูลที่ตำแหน่งต่าง ๆ แล้วส่งข้อมูลที่วัดได้กลับมาประมวลผลที่บอร์ดควบคุมอีกครั้งก่อนบันทึกข้อมูลต่าง ๆ ลงบนการ์ดเก็บข้อมูล (SD card) โดยอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับวัดค่ามีดังนี้



รูปที่ 3.51 บอร์ดควบคุม รุ่น Arduino MEGA 2560

- บอร์ดควบคุม ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของโมดูลและเซนเซอร์ต่าง ๆ รวมถึงแปลงกระแสไฟฟ้าให้เหมาะสมกับความต้องการของอุปกรณ์ต่อพ่วงเหล่านั้น



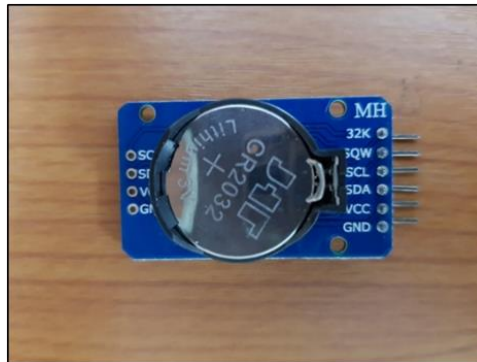
รูปที่ 3.52 บอร์ดส่งข้อมูลแบบไร้สาย รุ่น ESP8266 V2

- บอร์ดส่งข้อมูลแบบไร้สาย ทำหน้าที่รับข้อมูลหลังจากผ่านการประมวลผลที่บอร์ดควบคุม ก่อนส่งข้อมูลมายังแอปพลิเคชัน



รูปที่ 3.53 บอร์ดบันทึกข้อมูล

- บอร์ดบันทึกข้อมูล ทำหน้าที่รับข้อมูลหลังจากผ่านการประมวลผลมาจากบอร์ดควบคุมมาบันทึกข้อมูลไว้ที่การ์ดเก็บข้อมูล



รูปที่ 3.54 บอร์ดตั้งค่าเวลา

- ของการวัดค่า
- บอร์ดตั้งค่าเวลา ทำหน้าที่กำหนดและบอกเวลาการบันทึกข้อมูลในแต่ละครั้ง



รูปที่ 3.55 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิอากาศ รุ่น DS18B20



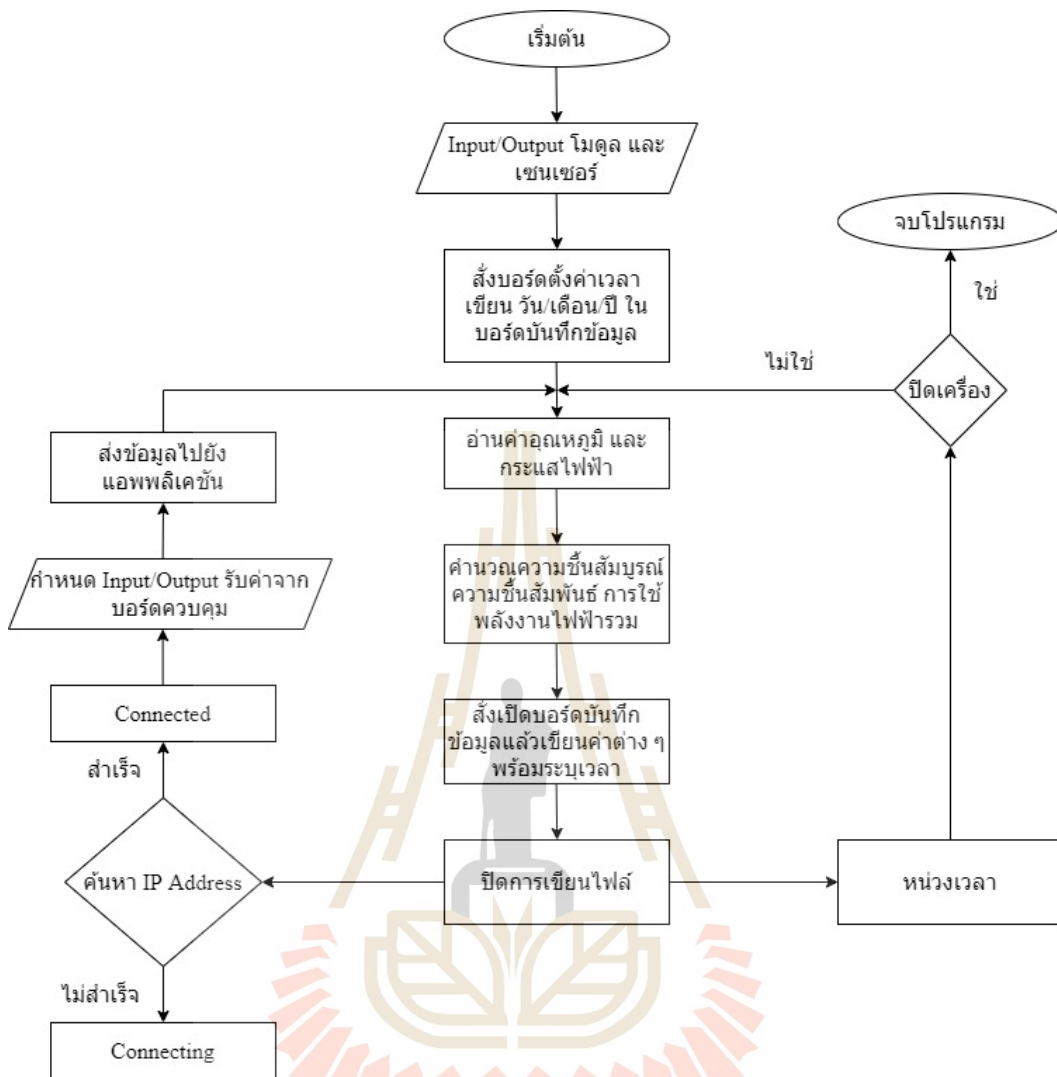
รูปที่ 3.56 เซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้า รุ่น SCT013



รูปที่ 3.57 เครื่องบันทึกข้อมูลหลังติดตั้งโมดูลและเซนเซอร์สำหรับวัดและบันทึกข้อมูล

เครื่องบันทึกข้อมูลแสดงในรูปที่ 3.57 ใช้สำหรับบันทึกค่าจากเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ 8 ตัว ประกอบด้วย เซนเซอร์วัดอุณหภูมิกระแสแห้ง 4 ตัว และเซนเซอร์วัดอุณหภูมิกระแสเปียก 4 ตัว เซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้าจากการทำงานของเครื่องปรับอากาศอย่างละตัวทั้งหมด 3 เครื่อง เครื่องปรับอากาศแต่ละเครื่องทำงานด้วยไฟฟ้าสามเฟส สมการที่ใช้ในการคำนวณ 3.5.1 (หนังสือเขียนแบบไฟฟ้า, ศศิกานุเดช 2556) โดยลักษณะการทำงานของเครื่องบันทึกข้อมูลแสดงดังแผนผังการทำงานในรูปที่ 3.58





รูปที่ 3.58 แผนผังการทำงานของเครื่องบันทึกข้อมูล

### 3.4.3 สมการที่ใช้สำหรับคำนวณข้อมูลที่บันทึกได้จากผลทดสอบ

ในการทดสอบระบบปรับอากาศแบบไฮบริด ได้มีการเก็บข้อมูลสำหรับวิเคราะห์ และประเมินสมรรถนะการทำความเย็น โดยข้อมูลที่ได้จากการวัดยังไม่สามารถบ่งบอกถึงสมรรถนะการทำความเย็นได้ ดังนั้น ข้อมูลดังกล่าวจะถูกคำนวณผ่านสมการเพื่อให้ได้ตัวแปรที่สามารถนำมาใช้ในการประเมินการทำงานของระบบปรับอากาศแบบไฮบริด โดยสมการแสดงดังต่อไปนี้

$$T_{diff} = T_{dry, out} - T_{dry, in} \quad (3.1)$$

$$\%RH = \frac{e_{wet} - N \times (1 + 0.00115 \times T_{wet}) \times (T_{dry} - T_{wet})}{e_{dry}} \times 100 \quad (3.2)$$

$$e_{dry} = 6.112 \times e^{\left(\frac{17.502 \times T_{dry}}{240.97 + T_{dry}}\right)} \quad (3.2.1)$$

$$e_{wet} = 6.112 \times e^{\left(\frac{17.502 \times T_{wet}}{240.97 + T_{wet}}\right)} \quad (3.2.2)$$

$$e = 2.71828182845904 \quad (3.2.3)$$

$$N = 0.6687451584 \quad (3.2.4)$$

$$\omega = \frac{(2501 - 2.381T_{wet})\omega_s^* - 1.006(T_{dry} - T_{wet})}{2501 + 1.805T_{dry} - 4.186T_{wet}} \quad (3.3)$$

$$\omega_s^* = 0.62198 \times \frac{P_{ws}}{P - P_{ws}} \quad (3.3.1)$$

$$P = 101325 \text{ Pa} \quad (3.3.2)$$

$$\ln p_{ws} = \frac{C_8}{T} + C_9 + C_{10}T + C_{11}T^2 + C_{12}T^3 + C_{13} \ln T \quad (3.3.3)$$

$$C_8 = -5.8002206 \times 10^3$$

$$C_9 = 1.391499 \text{ 3}$$

$$C_{10} = -4.8640239 \times 10^{-2}$$

$$C_{11} = 4.176 \text{ 4768} \times 10^{-5}$$

$$C_{12} = -1.4452093 \times 10^{-8}$$

$$C_{13} = 6.5459673$$

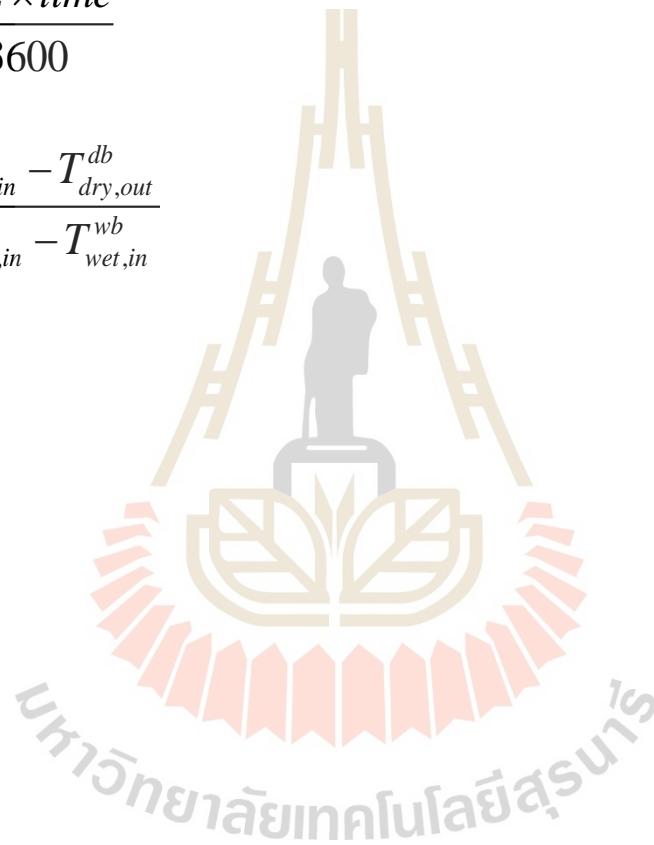
(3.3.4)

$$E_{total} = \sum_{i=1}^n E_{VC,i} \quad (3.5)$$

$$W_{VC} = \frac{I \times V \times 1.732 \times ft.}{1000} \quad (3.5.1)$$

$$E_{VC} = \frac{W_{VC} \times time}{3600} \quad (3.5.2)$$

$$\varepsilon_{wb} = \frac{T_{dry,in}^{db} - T_{dry,out}^{db}}{T_{dry,in}^{db} - T_{wet,in}^{wb}} \quad (3.6)$$



## บทที่ 4

### ผลการดำเนินการวิจัย

เนื้อหาในบทนี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่

- ผลทดสอบระบบปรับอากาศแบบไฮบริดกับอาคารทดสอบขนาดเล็ก
  - ผลทดสอบระบบปรับอากาศแบบไฮบริดกับร้านสะดวกซื้อ
- โดยมีรายละเอียดดังนี้

#### 4.1 ผลทดสอบระบบปรับอากาศแบบไฮบริดกับอาคารทดสอบขนาดเล็ก

การทดสอบระบบปรับอากาศแบบไฮบริดกับอาคารทดสอบขนาดเล็กเกิดขึ้นเพื่อศึกษาอิทธิพลที่ส่งผลต่อการทำความเย็นของแกนทำความเย็นแบบน้ำระเหย อีกทั้งปรับปรุงและพัฒนาให้มีสมรรถนะการทำความเย็นเพิ่มขึ้น

##### 4.1.1 การทดสอบอิทธิพลชนิดของแกนทำความเย็น

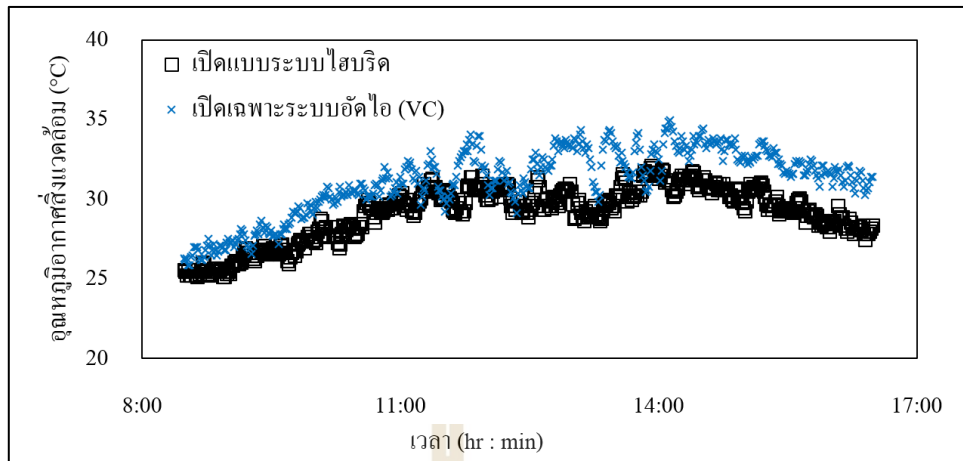
ในการวิจัยนี้มีการสร้างชุดทดสอบที่ใช้แกนทำความเย็นแตกต่างกัน และแกนทำความเย็นแต่ละชนิดถูกทดสอบในสภาพอากาศจริง ดังนั้นการเปรียบเทียบระบบปรับอากาศแบบไฮบริดกับอาคารทดสอบขนาดเล็กจะเลือกข้อมูล 2 วัน ได้แก่

- วันที่เปิดระบบปรับอากาศแบบไฮบริด คือ การเปิดระบบทำความเย็นแบบน้ำระเหยกับการเปิดระบบปรับอากาศแบบอัดไอ
- วันที่เปิดเฉพาะระบบปรับอากาศแบบอัดไอ

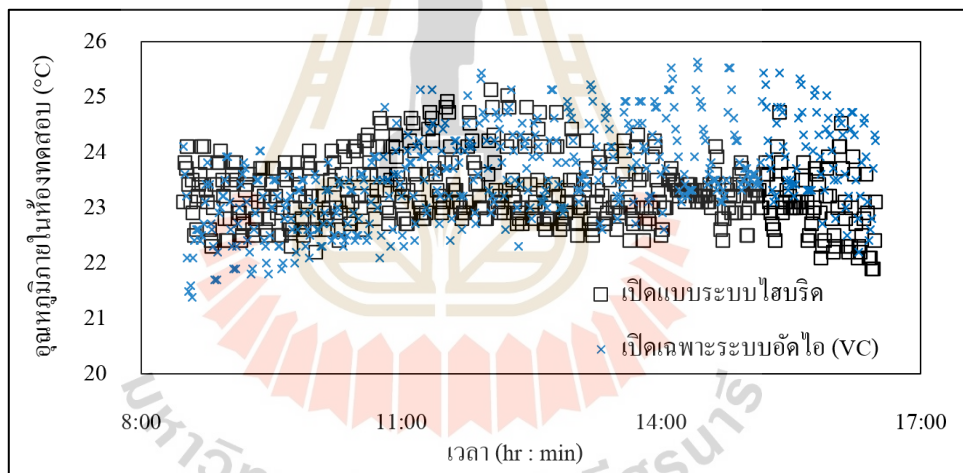
การเปรียบเทียบเพื่อลดอิทธิพลของอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม (Ambient air) จึงได้เลือก 2 วัน ที่อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมใกล้เคียงกัน

##### 4.1.1.1 แกนทำความเย็นวัฏจักรเอ็มชนิดไหลตั้งฉาก

การทดสอบระบบปรับอากาศแบบไฮบริดที่ใช้แกนทำความเย็นวัฏจักรเอ็มชนิดไหลตั้งฉากสำหรับเปรียบเทียบกับวันที่เปิดเฉพาะระบบปรับอากาศแบบอัดไอได้เลือก 2 วัน ที่มีอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมใกล้เคียงกันแสดงดังรูปที่ 4.1 และอุณหภูมิภายในห้องทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.2

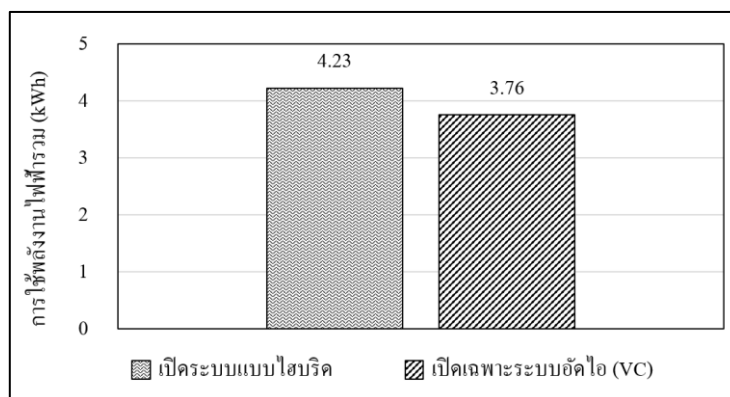


รูปที่ 4.1 อุณหภูมิอากาศสิ่งแวดล้อมในวันที่เปิดระบบปรับอากาศแบบไฮบริดและวันที่เปิดเฉพาะระบบปรับอากาศแบบอัดไอ



รูปที่ 4.2 อุณหภูมิภายในห้องทดสอบในวันที่เปิดระบบปรับอากาศแบบไฮบริดและวันที่เปิดเฉพาะระบบปรับอากาศแบบอัดไอ

การเปรียบเทียบกันทำความเย็นโดยเลือก 2 วันที่มีอุณหภูมิใกล้เคียงกัน จากรูปที่ 4.1 พบว่า อุณหภูมิอากาศสิ่งแวดล้อมทั้ง 2 วันที่ทำการทดสอบมีแนวโน้มที่ใกล้เคียงกัน จึงได้เลือกทั้ง 2 วันดังกล่าวในการเปรียบเทียบ เมื่อสังเกตอุณหภูมิภายในห้องปรับอากาศพบว่า วันที่เปิดระบบปรับอากาศแบบไฮบริดสามารถควบคุมอุณหภูมิได้ใกล้เคียงกับวันที่เปิดเฉพาะระบบปรับอากาศแบบอัดไอ นอกจากนี้ ผลต่างของอุณหภูมิอากาศหลังผ่านแกนทำความเย็นอยู่ในช่วง 0.5–1.8°C การใช้พลังงานไฟฟ้ารวมแสดงดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 การใช้พลังงานไฟฟ้ารวมในวันที่เปิดระบบปรับอากาศแบบไฮบริดและวันที่เปิดเฉพาะระบบปรับอากาศแบบอัตโนมัติ

การใช้พลังงานไฟฟ้ารวมถูกนำมาใช้เป็นตัวแปรสำคัญในการเลือกชนิดแกนทำความเย็น จากรูปที่ 4.3 พบว่า การใช้แกนทำความเย็นวัฏจักรเอ็มในวันที่ทดสอบระบบปรับอากาศแบบไฮบริด ใช้พลังงานไฟฟ้ารวมมากกว่าในวันที่เปิดเฉพาะระบบปรับอากาศแบบอัตโนมัติ 11.1% เนื่องจากในช่วงแรกของการทดสอบแกนทำความเย็นดังกล่าว ได้ติดตั้งพัดลมอุตสาหกรรมและปั้มน้ำภายในห้องทดสอบ ส่งผลให้ความร้อนจากอุปกรณ์ดังกล่าวสร้างภาระการทำความเย็น (Cooling load) ให้กับเครื่องปรับอากาศภายในห้องทดสอบ

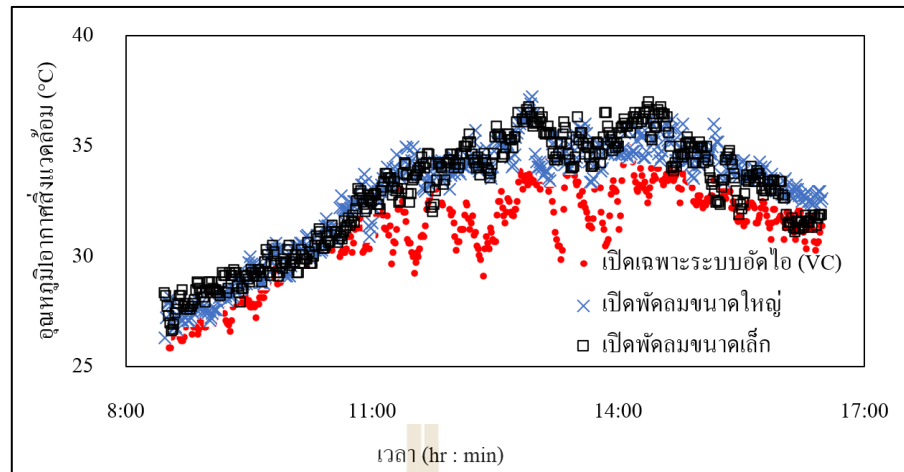
#### 4.1.1.2 แกนทำความเย็นแบบแบ่งอากาศกลับเข้าช่องเป็ยกชนิดไหลตั้งฉาก

การทดสอบระบบปรับอากาศแบบไฮบริดที่ใช้แกนทำความเย็นแบบแบ่งอากาศกลับเข้าช่องเป็ยกชนิดไหลตั้งฉากสำหรับเปรียบเทียบกับวันที่เปิดเฉพาะระบบปรับอากาศแบบอัตโนมัติได้เลือก 2 วัน ที่มีอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมใกล้เคียงกัน แสดงดังรูปที่ 4.4 และอุณหภูมิภายในห้องทดสอบ แสดงดังรูปที่ 4.5

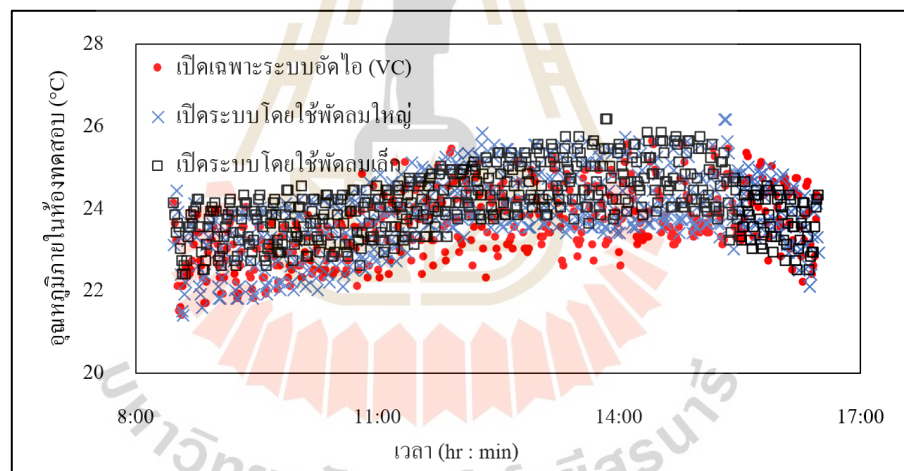
นอกจากนี้ การทดสอบแกนทำความเย็นแบบแบ่งอากาศกลับเข้าช่องเป็ยกชนิดไหลตั้งฉากได้มีการศึกษาอิทธิพลปริมาตรการไหลของอากาศภายในแกนทำความเย็นโดยปริมาตรการไหลของอากาศในการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ปริมาตรการไหลของอากาศภายในแกนทำความเย็น

กำลังไฟฟ้าสำหรับพัดลม (W)	ปริมาตรการไหลของอากาศ ( $m^3/hr$ )	
	ช่องแห้ง	ช่องเปียก
375	446.55	124.77
76	131.34	36.12



รูปที่ 4.4 อุณหภูมิอากาศสิ่งแวดล้อมในวันที่เปิดระบบปรับอากาศแบบไฮบริดและวันที่เปิดเฉพาะระบบปรับอากาศแบบอัดไอ

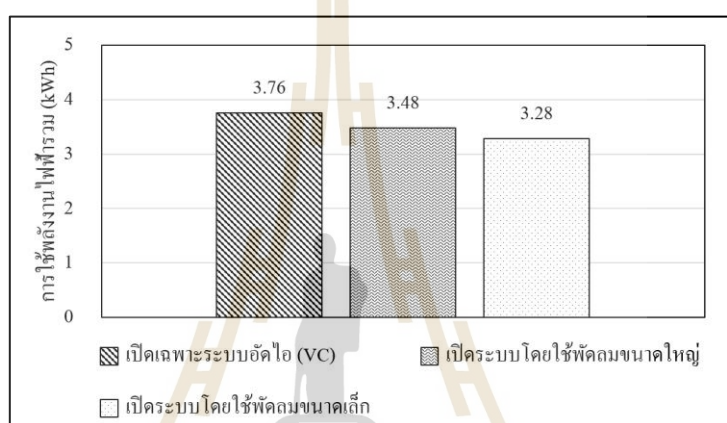


รูปที่ 4.5 อุณหภูมิภายในห้องทดสอบในวันที่เปิดระบบปรับอากาศแบบไฮบริดและวันที่เปิดเฉพาะระบบปรับอากาศแบบอัดไอ

การทดสอบระบบปรับอากาศแบบไฮบริดที่ใช้แกนทำความเย็นแบบแบ่งอากาศกลับเข้าช่องเป็ยกชนิดไหลตั้งฉากพบว่า ผลต่างของอุณหภูมิอากาศหลังผ่านแกนทำความเย็นอยู่ในช่วง 1.1–2.5°C เมื่อเปรียบเทียบแกนทำความเย็นดังกล่าวกับแกนทำความเย็นวัฏจักรเอ็มชนิดไหลตั้งฉาก พบว่า แกนทำความเย็นแบบแบ่งอากาศกลับเข้าช่องเป็ยกชนิดไหลตั้งฉากสามารถลดอุณหภูมิได้มากกว่าแกนทำความเย็นวัฏจักรเอ็มชนิดไหลตั้งฉาก เนื่องจากแกนทำความเย็นแบบแบ่งอากาศกลับเข้าช่องเป็ยกชนิดไหลตั้งฉากนำอากาศที่ถูกลดอุณหภูมิแล้วกลับเข้าช่องเป็ยก

ในทางกลับกันการใช้แกนทำความเย็นวัฏจักรเอ็มชนิดไหลตั้งฉากนำอากาศที่กำลังลดอุณหภูมิกลับเข้าช่องเป็ยก ส่งผลให้อุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศที่เข้าช่องเป็ยกแกนทำความเย็นแบบแบ่งอากาศกลับเข้าช่องเป็ยกชนิดไหลตั้งฉากมีค่าน้อยกว่าแกนทำความเย็นวัฏจักรเอ็มชนิดไหลตั้งฉาก

นอกจากนี้ การทดสอบแกนทำความเย็นที่ใช้ปริมาตรการไหลของอากาศแตกต่างกันพบว่า พัดลมขนาดเล็ก (76 W) มีผลต่างของอุณหภูมิหลังผ่านแกนเย็น 1.1–2.5°C ในขณะที่พัดลมขนาดใหญ่ (375 W) มีผลต่างของอุณหภูมิหลังผ่านแกนเย็น 1.0–1.9°C การใช้พลังงานไฟฟ้าในเงื่อนไขการทดสอบของหัวข้อนี้แสดงดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 การใช้พลังงานไฟฟ้ารวมในวันที่เปิดระบบปรับอากาศแบบไฮบริดและวันที่เปิดเฉพาะระบบปรับอากาศแบบอัดไอ

การเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าของวันที่เปิดระบบปรับอากาศแบบไฮบริดที่ใช้กับแกนทำความเย็นแบบแบ่งอากาศกลับเข้าช่องเป็ยกชนิดไหลตั้งฉากกับวันที่เปิดระบบปรับอากาศแบบอัดไอพบว่า วันที่เปิดระบบปรับอากาศแบบไฮบริดใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับเครื่องปรับอากาศมากกว่าวันที่เปิดเฉพาะระบบปรับอากาศแบบอัดไอ

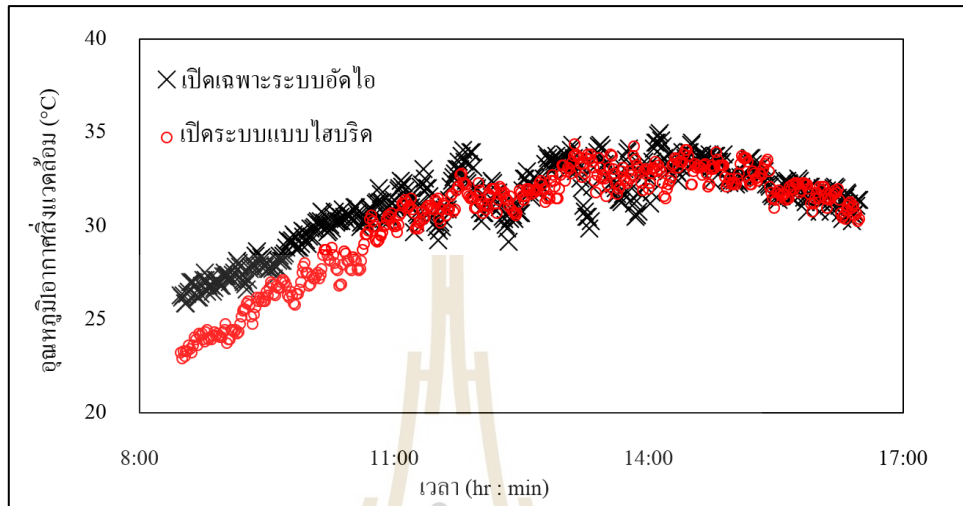
นอกจากนี้ การใช้พัดลมขนาดเล็ก (76 W) สามารถลดพลังงานไฟฟ้าสำหรับเครื่องปรับอากาศได้ใกล้เคียงกับการใช้พัดลมขนาดใหญ่ (375 W) อย่างไรก็ตาม การใช้พัดลมขนาดเล็กอาจส่งผลให้ปริมาตรอากาศไม่เพียงพอ ดังนั้น การเลือกพัดลมที่ให้ปริมาตรเพียงพอต่อผู้อยู่อาศัยจึงเป็นสิ่งที่ควรพิจารณา

#### 4.1.1.3 แกนทำความเย็นแบบแบ่งอากาศในห้องปรับอากาศกลับเข้าช่องเป็ยกชนิดไหลตั้งฉาก

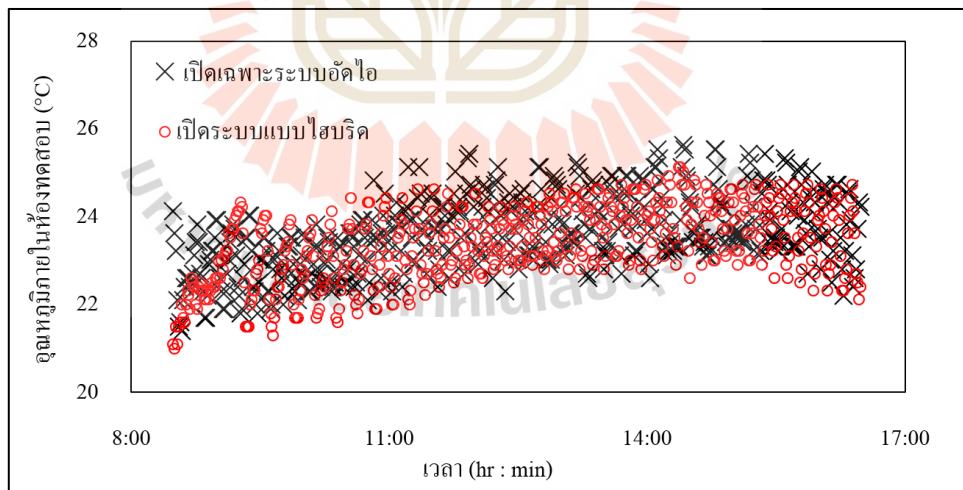
การทดสอบระบบปรับอากาศแบบไฮบริดที่ใช้แกนทำความเย็นแบบแบ่งอากาศในห้องปรับอากาศกลับเข้าช่องเป็ยกชนิดไหลตั้งฉากสำหรับเปรียบเทียบกับวันที่เปิดเฉพาะ



ระบบปรับอากาศแบบอัดไอได้เลือก 2 วัน ที่มีอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมใกล้เคียงกันแสดงดังรูปที่ 4.7 และ อุณหภูมิภายในห้องทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.8

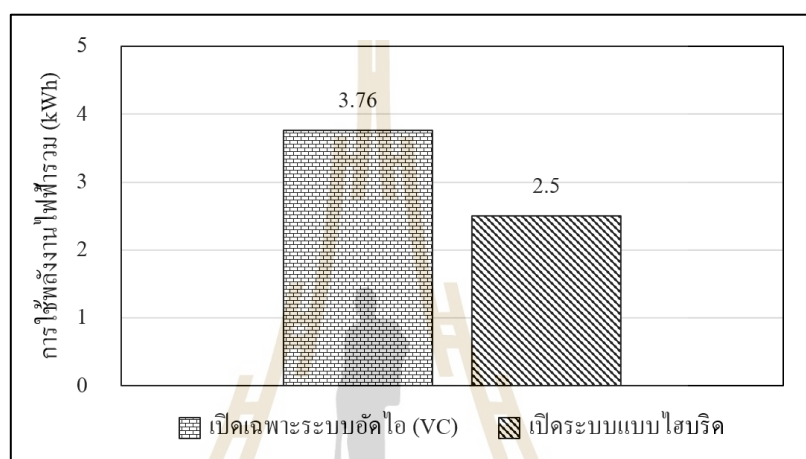


รูปที่ 4.7 อุณหภูมิอากาศสิ่งแวดล้อมในวันที่เปิดระบบปรับอากาศแบบไฮบริดและวันที่เปิดเฉพาะระบบปรับอากาศแบบอัดไอ



รูปที่ 4.8 อุณหภูมิภายในห้องทดสอบในวันที่เปิดระบบปรับอากาศแบบไฮบริดและวันที่เปิดเฉพาะระบบปรับอากาศแบบอัดไอ

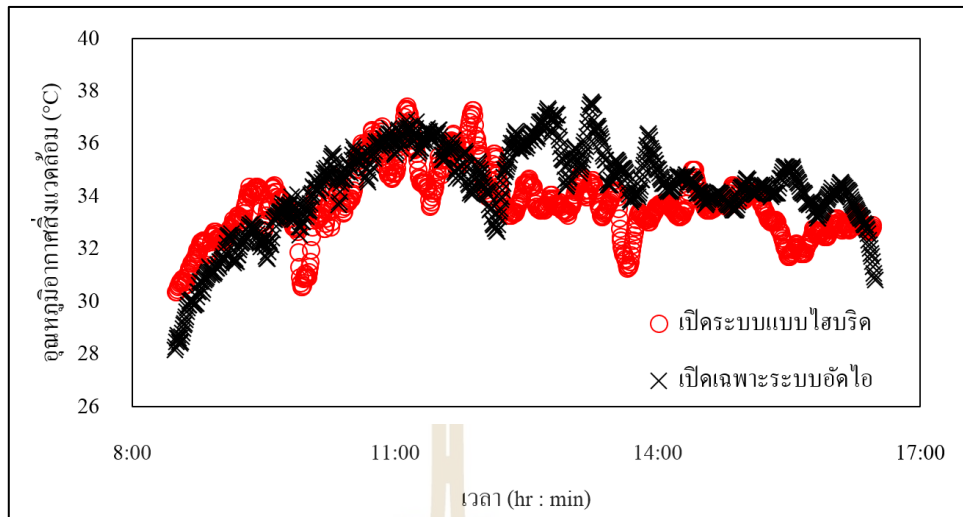
จากการทดสอบระบบปรับอากาศแบบไฮบริดโดยใช้แกนทำความเย็นแบบแบ่งอากาศในห้องปรับอากาศกลับเข้าช่องเป็ยกชนิดไหลตั้งฉากพบว่า แกนทำความเย็นดังกล่าวสามารถควบคุมอุณหภูมิได้ใกล้เคียงกับวันที่ทดสอบเฉพาะระบบอัดไอ ผลต่างของอุณหภูมิอากาศหลังผ่านแกนทำความเย็นอยู่ในช่วง 1.2–7.5°C นอกจากนี้ ในวันที่ทดสอบระบบปรับอากาศแบบไฮบริดมีปริมาณไฟฟ้ารวมต่ำกว่าวันที่เปิดเฉพาะระบบอัดไออยู่ 1.26 kWh โดยการใช้ปริมาณไฟฟ้ารวมแสดงดังรูปที่ 4.9



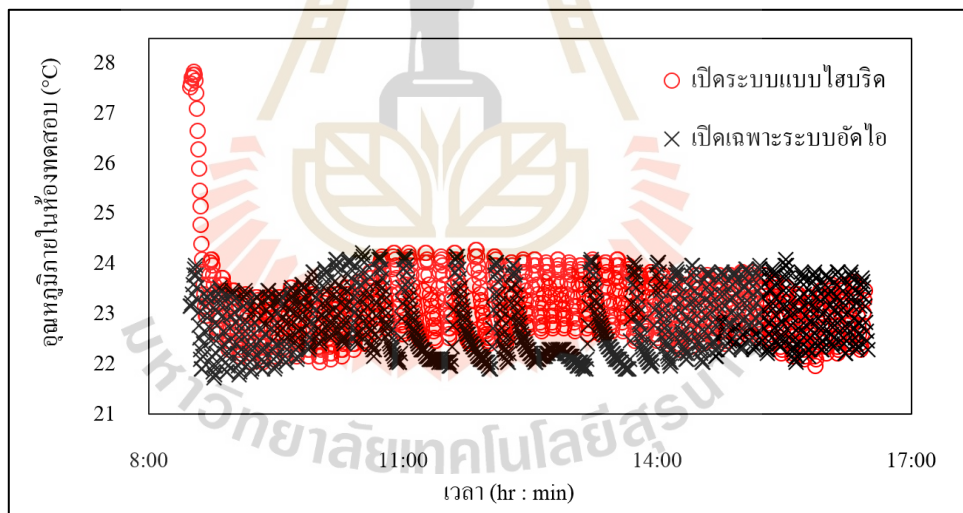
รูปที่ 4.9 การใช้พลังงานไฟฟ้ารวมในวันที่เปิดระบบปรับอากาศแบบไฮบริดและวันที่เปิดเฉพาะระบบปรับอากาศแบบอัดไอ

#### 4.1.1.4 แกนทำความเย็นแบบแบ่งอากาศในห้องปรับอากาศกลับเข้าช่องเป็ยกชนิดไหลสวนทางแบบมีแผ่นกั้น

การทดสอบระบบปรับอากาศแบบไฮบริดที่ใช้แกนทำความเย็นแบบแบ่งอากาศในห้องปรับอากาศกลับเข้าช่องเป็ยกชนิดไหลสวนทางแบบมีแผ่นกั้นสำหรับเปรียบเทียบกับวันที่เปิดเฉพาะระบบปรับอากาศแบบอัดไอได้เลือก 2 วันที่ มีอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมใกล้เคียงกันแสดงดังรูปที่ 4.10 และอุณหภูมิภายในห้องทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.11



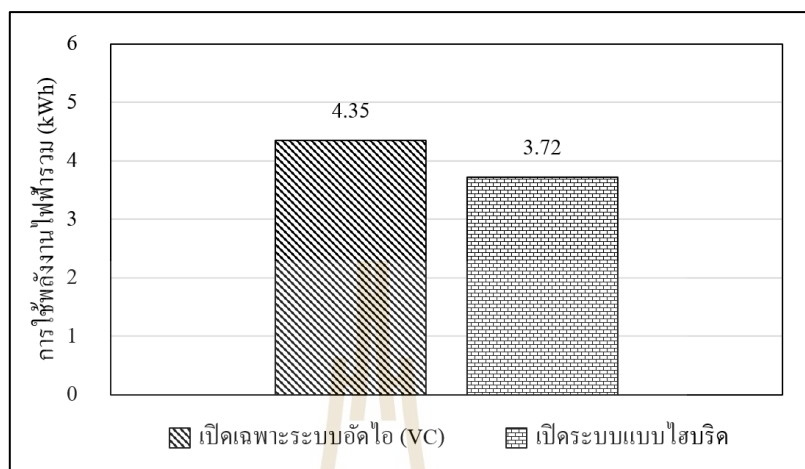
รูปที่ 4.10 อุณหภูมิอากาศสิ่งแวดล้อมในวันที่เปิดระบบปรับอากาศแบบไฮบริดและวันที่เปิดเฉพาะระบบปรับอากาศแบบอัดไอ



รูปที่ 4.11 อุณหภูมิภายในห้องทดสอบในวันที่เปิดระบบปรับอากาศแบบไฮบริดและวันที่เปิดเฉพาะระบบปรับอากาศแบบอัดไอ

จากการทดสอบระบบปรับอากาศแบบไฮบริดที่ใช้แกนทำความเย็นแบบแบ่งอากาศในห้องปรับอากาศกลับเข้าช่องเป็ยกชนิดไหลสวนทางแบบมีแผ่นกั้นพบว่า วันที่เปิดระบบปรับอากาศแบบไฮบริดสามารถควบคุมอุณหภูมิภายในห้องปรับอากาศได้เช่นเดียวกับวันที่เปิดเฉพาะระบบอัดไอ ผลต่างของอุณหภูมิอากาศหลังผ่านแกนทำความเย็นอยู่ในช่วง 3.9–12.6°C

และในวันที่เปิดระบบปรับอากาศแบบไฮบริดมีปริมาณไฟฟ้ารวมน้อยกว่าวันที่เปิดเฉพาะระบบอัตโนมัติ แสดงดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 การใช้พลังงานไฟฟ้ารวมในวันที่เปิดระบบปรับอากาศแบบไฮบริดและวันที่เปิดเฉพาะระบบปรับอากาศแบบอัตโนมัติ

นอกจากนี้ แกนทำความเย็นแบบแบ่งอากาศในห้องปรับอากาศกลับเข้าช่องเป็ยกชนิดไหลสวนทางแบบมีแผ่นกั้นมีพลังงานไฟฟ้ารวมมากกว่าแกนทำความเย็นแบบแบ่งอากาศในห้องปรับอากาศกลับเข้าช่องเป็ยกชนิดไหลตั้งฉาก

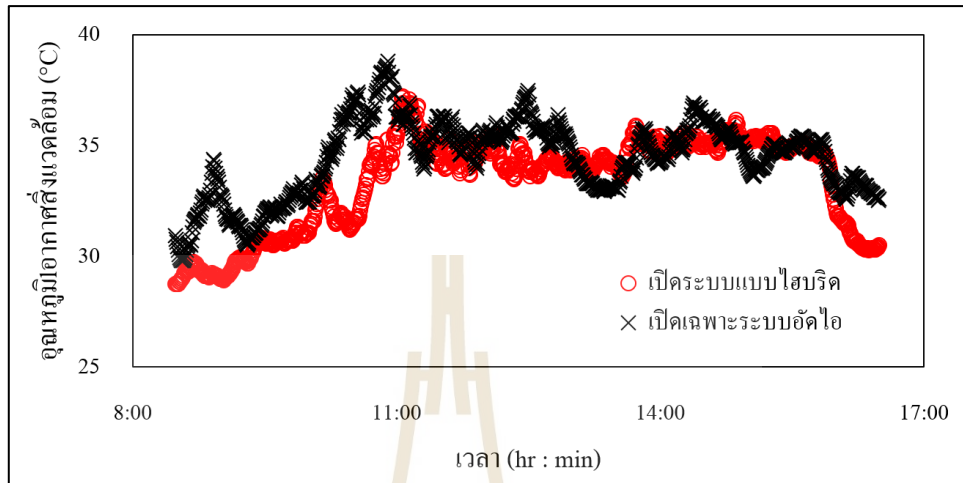
#### 4.1.1.5 แกนทำความเย็นแบบแบ่งอากาศในห้องปรับอากาศกลับเข้าช่องเป็ยกชนิดไหลสวนทางแบบไม่มีแผ่นกั้น

จากการทดสอบระบบปรับอากาศแบบไฮบริดที่ใช้แกนทำความเย็นชนิดไหลสวนทางแบบมีแผ่นกั้นพบว่า แกนทำความเย็นดังกล่าวมีการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมสูงกว่าแกนทำความเย็นแบบไหลตั้งฉาก ซึ่งตรงกันข้ามกับผลการจำลองของธงชัย เทียมทัต และคณะ 2019

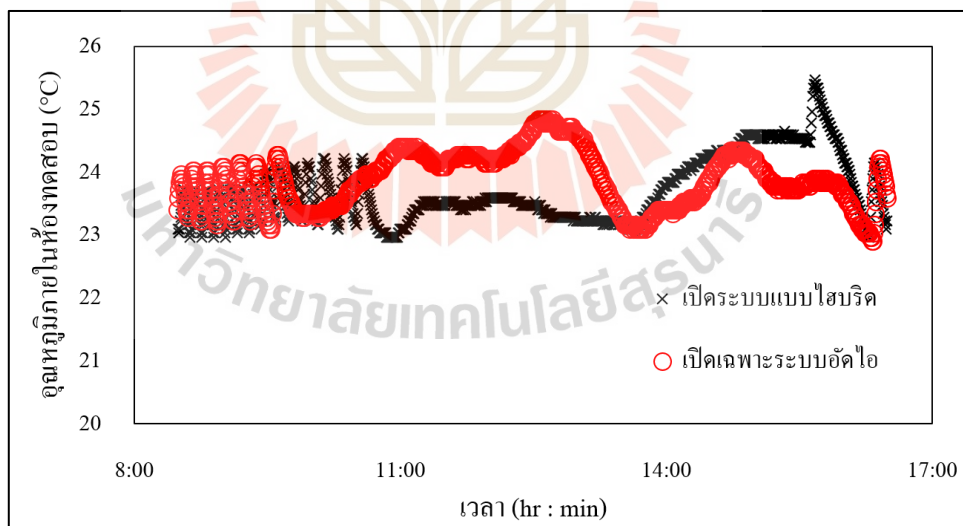
ผู้วิจัยจึงต้องทดสอบเพื่อประเมินสมรรถนะแกนทำความเย็นชนิดไหลสวนทางแบบไม่มีแผ่นกั้น โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดปัญหาการสูญเสียความดันอากาศภายในแกนทำความเย็นส่งผลให้อัตราการไหลของอากาศเพิ่มขึ้น แต่สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจะลดลง (Heat transfer coefficient)

การทดสอบระบบปรับอากาศแบบไฮบริดที่ใช้แกนทำความเย็นแบบแบ่งอากาศในห้องปรับอากาศกลับเข้าช่องเป็ยกชนิดไหลสวนทางแบบมีแผ่นกั้นสำหรับเปรียบเทียบกับวันที่เปิดเฉพาะระบบปรับอากาศแบบอัตโนมัติ ได้เลือก 2 วันที่ มีอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมใกล้เคียงกัน

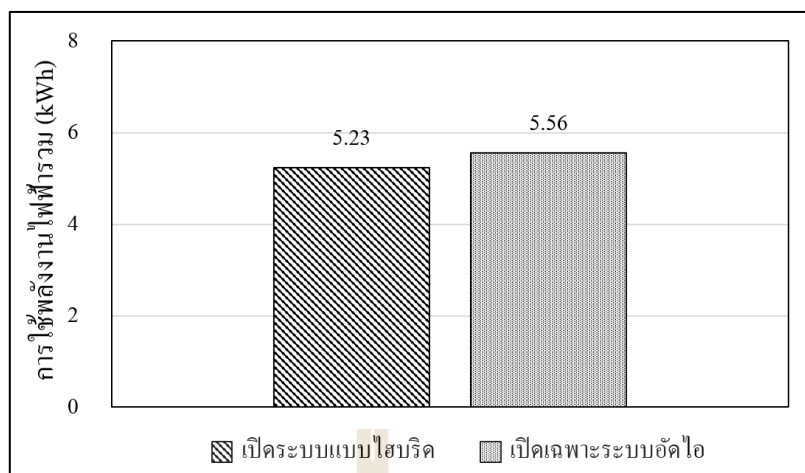
แสดงดังรูปที่ 4.13 อุณหภูมิภายในห้องทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.14 และการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมแสดงดังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.13 อุณหภูมิอากาศสิ่งแวดล้อมในวันที่เปิดระบบปรับอากาศแบบไฮบริดและวันที่เปิดเฉพาะระบบปรับอากาศแบบอัดไอ



รูปที่ 4.14 อุณหภูมิภายในห้องทดสอบในวันที่เปิดระบบปรับอากาศแบบไฮบริดและวันที่เปิดเฉพาะระบบปรับอากาศแบบอัดไอ



รูปที่ 4.15 การใช้พลังงานไฟฟ้ารวมในวันที่เปิดระบบปรับอากาศแบบไฮบริดและวันที่เปิดเฉพาะระบบปรับอากาศแบบอัดไอ

จากผลการทดสอบระบบปรับอากาศแบบไฮบริดที่ใช้แกนทำความเย็นแบบแบ่งอากาศในห้องปรับอากาศกลับเข้าช่องเป็ยกชนิดไหลสวนทางแบบไม่มีแผ่นกั้นพบว่า ผลต่างอุณหภูมิอากาศหลังผ่านแกนทำความเย็นในช่วง 4.5–14°C นอกจากนี้ แกนทำความเย็นดังกล่าวลดพลังงานไฟฟ้ารวมได้น้อยกว่าแกนทำความเย็นในหัวข้อที่ 4.1.1.3 และหัวข้อที่ 4.1.1.4

การเปรียบเทียบผลทดสอบประสิทธิภาพชนิดของแกนทำความเย็น

จากผลการทดสอบระบบปรับอากาศแบบไฮบริดที่ใช้แกนทำความเย็นในหัวข้อที่ 4.1.1.1–4.1.1.5 พบว่า แกนทำความเย็นทุกชนิดที่ได้ทดสอบสามารถควบคุมอุณหภูมิในห้องปรับอากาศได้ใกล้เคียงกับวันที่เปิดเฉพาะระบบอัดไอ นอกจากนี้ การใช้พลังงานไฟฟ้ารวมถูกนำมาเป็นตัวแปรสำคัญในการใช้เลือกแกนทำความเย็นสำหรับนำไปพัฒนาใช้กับร้านสะดวกซื้อ แม้ว่าแกนทำความเย็นหลายชนิดสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ อย่างไรก็ตาม แกนทำความเย็นแต่ละชนิดลดการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมได้แตกต่างกัน จึงเป็นที่มาของการเปรียบเทียบร้อยละการลดพลังงานไฟฟ้ารวมแสดงดังตารางที่ 11

ร้อยละการลดพลังงานไฟฟ้ารวมของแกนทำความเย็นแต่ละชนิดในตารางที่ 11 แสดงให้เห็นว่า แกนทำความเย็นแบบแบ่งอากาศในห้องปรับอากาศกลับเข้าช่องเป็ยกชนิดไหลตั้งฉากสามารถลดพลังงานไฟฟ้าได้สูงสุดเมื่อเทียบกับแกนทำความเย็นชนิดอื่น ดังนั้น ผู้วิจัยจึงเลือกแกนทำความเย็นดังกล่าวสำหรับทดสอบระบบปรับอากาศแบบไฮบริดกับร้านสะดวกซื้อ นอกจากนี้ แกนทำความเย็นชนิดไหลสวนทางแบบรีเจนเนอเรชั่นแบ่งอากาศในห้องปรับอากาศกลับเข้าช่องเป็ยกถูกพัฒนาขึ้นโดยใช้จุดเด่นของแกนทำความเย็นแต่ละชนิด และถูกเปรียบเทียบกับแกนทำความเย็นแบบแบ่งอากาศในห้องปรับอากาศกลับเข้าช่องเป็ยกชนิดไหลตั้งฉาก

ตารางที่ 4.2 ร้อยละการลดพลังงานไฟฟ้ารวมของแกนทำความเย็นแต่ละชนิด

หัวข้อชนิดของแกนทำความเย็น	ร้อยละการลดพลังงานในการปรับอากาศ
4.1.1.1	ไม่สามารถลดได้
4.1.1.2	12.8
4.1.1.3	33.5
4.1.1.4	14.5
4.1.1.5	5.9

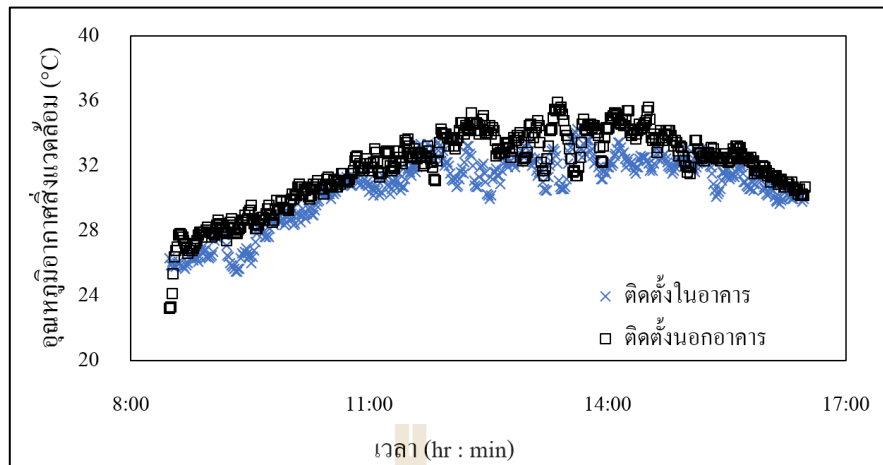
#### 4.1.2 การทดสอบอิทธิพลตำแหน่งติดตั้งเครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหย

การทดสอบอิทธิพลตำแหน่งติดตั้งเครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหยมีเงื่อนไขการทดสอบ 2 แบบ ได้แก่ การติดตั้งเครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหยภายในอาคารทดสอบและติดตั้งภายนอกใกล้กับอาคารทดสอบ โดยตำแหน่งการติดตั้งเครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหยแสดงดังรูปที่ 4.16 อุณหภูมิอากาศสิ่งแวดล้อมในวันที่นำมาเปรียบเทียบแสดงดังรูปที่ 4.17 และการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมแสดงดังรูปที่ 4.18

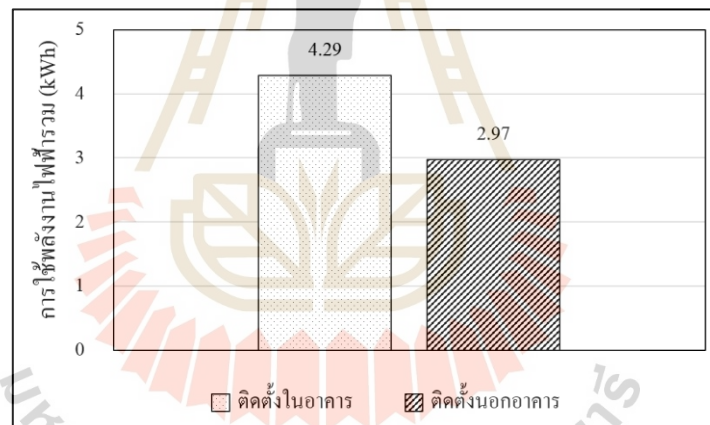


รูปที่ 4.16 ตำแหน่งการติดตั้งเครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหย

(ก) ภายในอาคารทดสอบ (ข) ภายนอกอาคารทดสอบ



รูปที่ 4.17 อุณหภูมิอากาศสิ่งแวดล้อมในวันที่ทดสอบประสิทธิภาพของตำแหน่งติดตั้งเครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหย



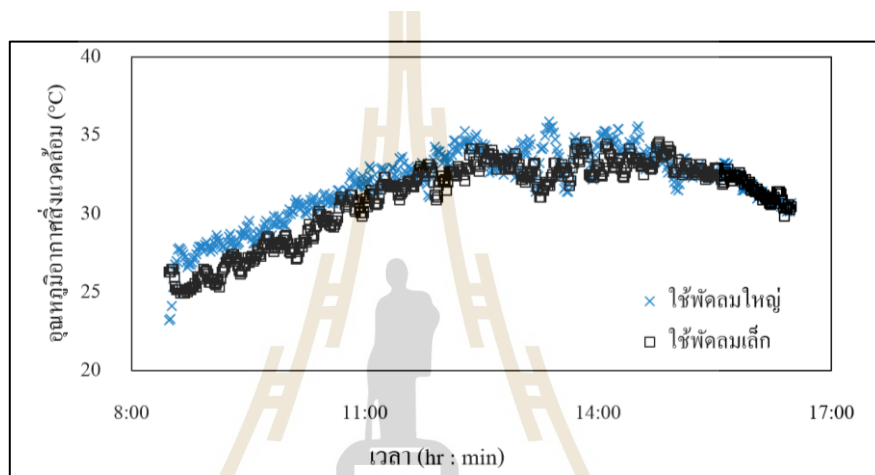
รูปที่ 4.18 การใช้พลังงานไฟฟ้ารวมในวันที่ทดสอบประสิทธิภาพตำแหน่งติดตั้งเครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหย

ผลการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมในวันที่ทดสอบประสิทธิภาพของตำแหน่งติดตั้งเครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหย จากรูป 4.18 แสดงให้เห็นว่า การติดตั้งเครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหยภายนอกอาคารทดสอบมีการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมน้อยกว่าการติดตั้งภายนอก 1.32 kWh เนื่องจากเครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหยมีอุปกรณ์ที่สำคัญ 2 ชนิด ได้แก่ ปั๊มน้ำ และพัดลมอุตสาหกรรม ซึ่งอุปกรณ์เหล่านี้ได้สร้างภาระการทำความเย็น (Cooling load) ให้กับเครื่องปรับอากาศภายในห้อง ส่งผลให้มีการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมเพิ่มขึ้น

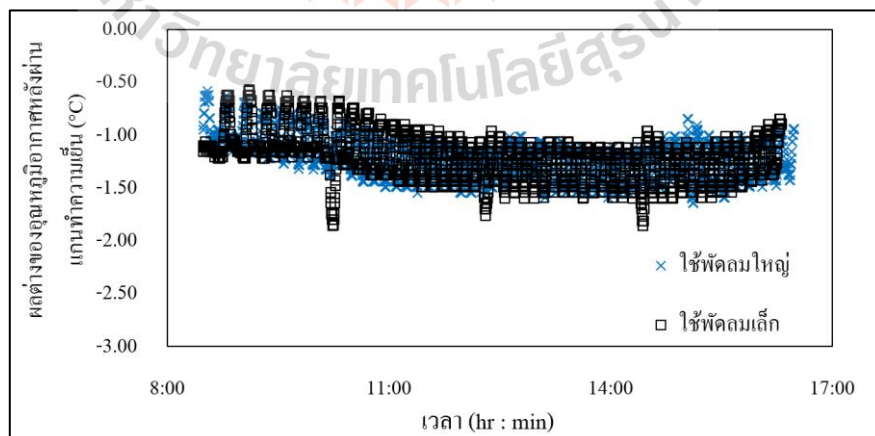


#### 4.1.3 การทดสอบอิทธิพลอัตราการไหลของอากาศที่ส่งผลต่อแกนทำความเย็น

การทดสอบอิทธิพลอัตราการไหลของอากาศที่ส่งผลต่อแกนทำความเย็นมีเงื่อนไขการทดสอบ 2 แบบ ได้แก่ ปริมาตรการไหลของอากาศ  $131.34 \text{ m}^3/\text{hr}$  (พัดลมขนาด 76 W) และ  $446.55 \text{ m}^3/\text{hr}$  (พัดลมขนาด 375 W) ถูกทดสอบร่วมกับแกนทำความเย็นแบบแบ่งอากาศกลับเข้าช่องเป็ยกชนิดไหลตั้งฉากที่มีการแบ่งปริมาตรการไหลของอากาศ 30% ในช่องแห้งเข้าสู่ช่องเป็ยก โดยอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมสำหรับเปรียบเทียบอิทธิพลดังกล่าวแสดงดังรูปที่ 4.19 และผลต่างของอุณหภูมิอากาศหลังผ่านแกนทำความเย็นแสดงดังรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.19 อุณหภูมิอากาศสิ่งแวดล้อมในวันที่ทดสอบอิทธิพลอัตราการไหลของอากาศที่ส่งผลต่อแกนทำความเย็น



รูปที่ 4.20 ผลต่างของอุณหภูมิอากาศหลังผ่านแกนทำความเย็นในวันที่ทดสอบอิทธิพลอัตราการไหลของอากาศที่ส่งผลต่อแกนทำความเย็น

จากผลทดสอบอทธิพลอัตราการไหลของอากาศที่ส่งผลต่อแกนทำความเย็นในรูปที่ 4.20 แสดงให้เห็นว่า ผลต่างของอุณหภูมิอากาศหลังผ่านแกนทำความเย็นของปริมาตรการไหลของอากาศ  $131.34 \text{ m}^3/\text{hr}$  และ  $446.55 \text{ m}^3/\text{hr}$  มีแนวโน้มใกล้เคียงกัน

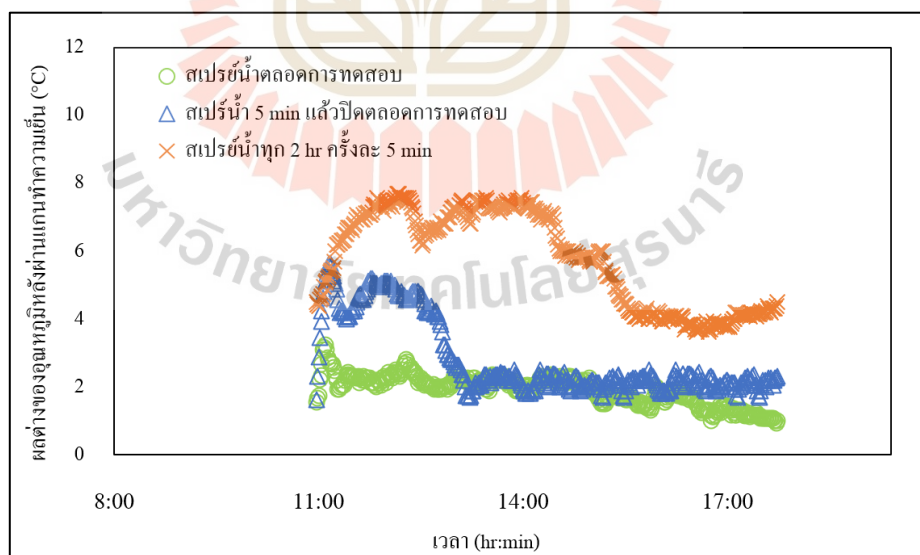
อย่างไรก็ตาม การเลือกใช้ปริมาตรการไหลต่ำอาจส่งผลให้การช่วยลดภาระการทำความเย็นสำหรับเครื่องปรับอากาศทำได้ลดลง ในขณะที่การเลือกใช้ปริมาตรการไหลสูงอาจส่งผลให้การถ่ายเทความร้อนภายในแกนทำความเย็นทำได้ลดลง ดังนั้นการเลือกใช้ปริมาตรการไหลจึงต้องกำหนดให้เหมาะสมกับแกนทำความเย็น

#### 4.1.4 การทดสอบอทธิพลระยะเวลาสเปรย์น้ำของเครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหย

การทดสอบอทธิพลระยะเวลาสเปรย์น้ำของเครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหยได้แบ่งเงื่อนไขการทดลอง 3 แบบ เพื่อหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการสเปรย์น้ำ ได้แก่

- การสเปรย์น้ำตลอดการทดสอบ
- การสเปรย์น้ำตอนเริ่มต้นทดสอบเป็นระยะเวลา 5 min แล้วปิด หลังจากนั้นไม่มีการสเปรย์น้ำอีก
- การสเปรย์น้ำทุก 2 hr แต่ละครั้งสเปรย์นาน 5 min

ผลการทดสอบผลต่างของอุณหภูมิอากาศหลังผ่านแกนทำความเย็นของแต่ละเงื่อนไขการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.21



รูปที่ 4.21 ผลต่างของอุณหภูมิอากาศหลังผ่านแกนทำความเย็นในวันที่ทดสอบอทธิพลระยะเวลาสเปรย์น้ำของเครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหย

ผลการทดสอบอิทธิพลระยะเวลาสเปรย์น้ำของเครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหย ในรูป 4.21 แสดงให้เห็นว่า การสเปรย์น้ำตลอดการทดสอบไม่สามารถลดอุณหภูมิอากาศหลัง ผ่านแกนทำความเย็นได้ เนื่องจาก อากาศก่อนเข้าช่องเป็ยกได้รับการระเหยของน้ำก่อน ส่งผลให้ อากาศมีความชื้นสัมบูรณ์เพิ่มขึ้น การระเหยของน้ำในช่องเป็ยกจึงทำได้ลดลง ทำให้การลดอุณหภูมิ อากาศในช่องแห้งน้อยลง

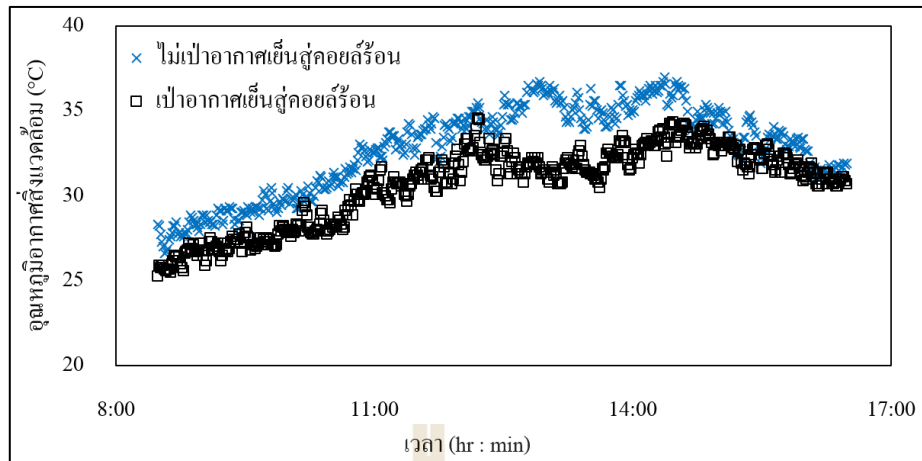
นอกจากนี้ การสเปรย์น้ำตลอดการทดสอบยังเป็นการเพิ่มความร้อนให้กับอากาศ หลังผ่านแกนทำความเย็น เนื่องจาก ระบบน้ำถูกติดตั้งภายนอกอาคารทดสอบ ทำให้ความร้อน เกิดขึ้นกับระบบท่อและถังเก็บน้ำจาก การพาความร้อน (Free convection) และการแผ่รังสี (Radiation) ของดวงอาทิตย์ แตกต่างกับกรณีที่สเปรย์น้ำไม่ต่อเนื่อง ซึ่งใช้ปริมาณน้ำที่เหมาะสม ในการระเหยการเย็นน้ำน้อยลง

การสเปรย์น้ำตอนเริ่มต้นทดสอบเป็นระยะเวลา 5 min แล้วปิด หลังจากนั้นไม่มีการสเปรย์น้ำอีกมีจุดประสงค์เพื่อหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการสเปรย์น้ำครั้งใหม่พบว่า เมื่อเวลา ผ่านไป 2 hr โดยประมาณ ผลต่างของอุณหภูมิอากาศหลังผ่านแกนทำความเย็นเพิ่มขึ้น ดังนั้น จึงได้เลือกสเปรย์น้ำทุก 2 hr

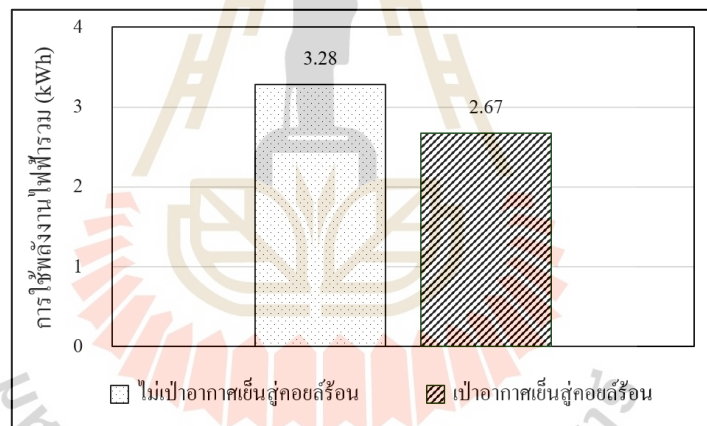
การสเปรย์น้ำทุก 2 hr แต่ละครั้งสเปรย์นาน 5 min แสดงให้เห็นว่า สามารถลด อุณหภูมิอากาศได้สูงสุดเมื่อเทียบกับกรณีอื่น นอกจากนี้ยังสามารถควบคุมผลต่างของอุณหภูมิ อากาศหลังผ่านแกนทำความเย็นได้ตลอดการทดสอบ เนื่องจากปริมาณน้ำเหมาะสมกับการระเหย ในใส่อากาศทุกครั้งของการสเปรย์

#### 4.1.5 การทดสอบอิทธิพลการเป่าอากาศหลังผ่านช่องเป็ยกใส่คอยล์ร้อน

กระบวนการลดอุณหภูมิอากาศของเครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหยสำหรับ ช่องเป็ยก อากาศหลังผ่านช่องดังกล่าวจะมีความชื้นสัมพัทธ์ 100% โดยประมาณ จึงไม่เหมาะกับการนำไปใช้ในห้องปรับอากาศ อย่างไรก็ตาม อากาศหลังผ่านช่องเป็ยกมีอุณหภูมิต่ำ ในหัวข้อนี้ ผู้วิจัยได้นำอากาศดังกล่าวเป่าไปที่คอยล์ร้อนเพื่อลดภาระการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบอัดไอ และเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมกับวันที่ไม่เป่า โดยอุณหภูมิอากาศสิ่งแวดล้อมวันที่ทดสอบ แสดงดังรูปที่ 4.22 และการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมของเครื่องปรับอากาศแบบอัดไอแสดงดังรูปที่ 4.23



รูปที่ 4.22 อุณหภูมิอากาศสิ่งแวดล้อมในวันที่ทดสอบประสิทธิภาพการเป่าอากาศหลังผ่านช่องเปียกใส่คอยล์ร้อน



รูปที่ 4.23 การใช้พลังงานไฟฟ้ารวมในวันที่ทดสอบประสิทธิภาพการเป่าอากาศหลังผ่านช่องเปียกใส่คอยล์ร้อน

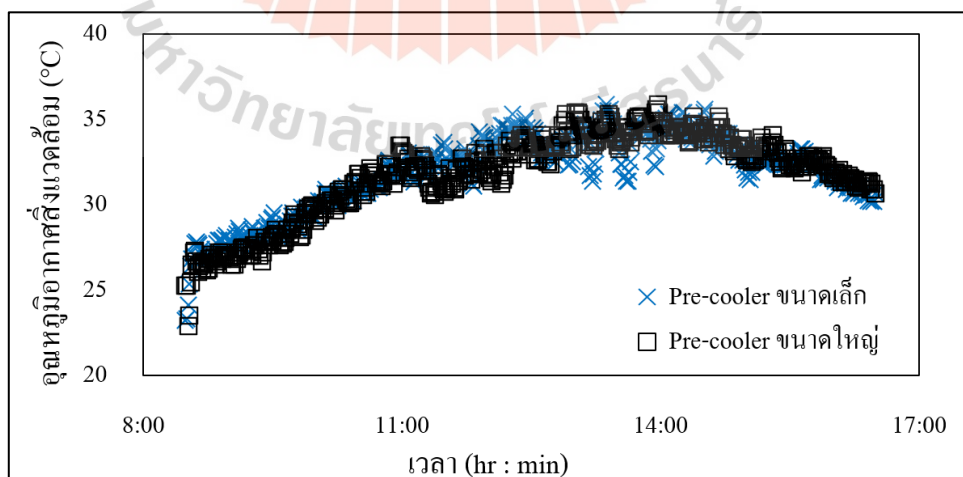
จากผลการทดสอบประสิทธิภาพการเป่าอากาศหลังผ่านช่องเปียกใส่คอยล์ร้อนที่แสดงให้เห็นการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมในรูป 4.23 พบว่า การเป่าอากาศหลังผ่านช่องเปียกใส่คอยล์ร้อนช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศแบบอัดไอ 0.61 kWh เมื่อเปรียบเทียบกับวันที่ไม่เป่า อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาปริมาตรการไหลของอากาศในคอยล์ร้อน (1,620 m<sup>3</sup>/hr) พบว่ามีค่าสูงกว่า ปริมาตรการไหลของอากาศที่ไหลออกจากช่องเปียก (124 m<sup>3</sup>/hr) มีค่าเท่ากับ 7.65% ของคอยล์ร้อน ดังนั้น การพิจารณาระยะห่างระหว่างทางออกช่องเปียกของเครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหยกับทางเข้าของคอยล์ร้อนจึงเป็นสิ่งสำคัญ เนื่องจากการใช้ท่ออากาศยาวส่งผลให้เกิดการสูญเสียความดันอากาศ และทำให้ภาระการทำงานของพัดลมที่คอยล์ร้อนเพิ่มขึ้น

#### 4.1.6 การทดสอบอิทธิพลการติดตั้งผ้าทำความเย็นล่วงหน้า (Pre-cooler)

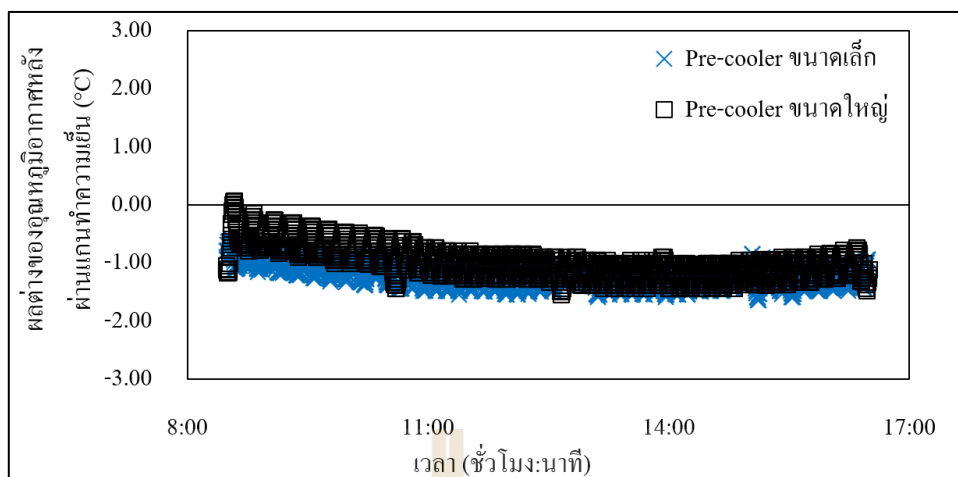
การลดอุณหภูมิอากาศก่อนจ่ายเข้าสู่ช่องเปียกได้รับการพิสูจน์แล้วว่าสามารถช่วยสมรรถนะการทำความเย็นของเครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหยได้ ดังนั้นในหัวข้อนี้จึงได้รายงานและอภิปรายผลเกี่ยวกับการติดตั้งผ้าทำความเย็นล่วงหน้าที่มีวัตถุประสงค์เพื่อลดอุณหภูมิอากาศจากการระเหยของน้ำก่อนจ่ายอากาศเข้าสู่ช่องเปียก โดยแบ่งเงื่อนไขการทดลองเป็น 2 แบบ ได้แก่ ติดตั้งผ้าทำความเย็นล่วงหน้าขนาดเล็ก (45 mm) และขนาดใหญ่ (350 mm ผ้ายาวจนถึงถึงพักน้ำชั่วคราวด้านล่างแกนทำความเย็น) ลักษณะการติดตั้งผ้าทำความเย็นล่วงหน้าแสดงดังรูปที่ 4.24 อุณหภูมิอากาศสิ่งแวดล้อมแสดงดังรูปที่ 4.25 และผลต่างของอุณหภูมิอากาศหลังผ่านแกนทำความเย็นแสดงดังรูปที่ 4.26



รูปที่ 4.24 การติดตั้งผ้าทำความเย็นล่วงหน้า (ก) ขนาดเล็ก (ข) ขนาดใหญ่



รูปที่ 4.25 อุณหภูมิอากาศสิ่งแวดล้อมในวันที่ทดสอบอิทธิพลการติดตั้งผ้าทำความเย็นล่วงหน้า



รูปที่ 4.26 ผลต่างของอุณหภูมิอากาศหลังผ่านแกนทำความเย็นในวันที่ทดสอบบิทธิพล การติดตั้งผ้าทำความเย็นล่วงหน้า

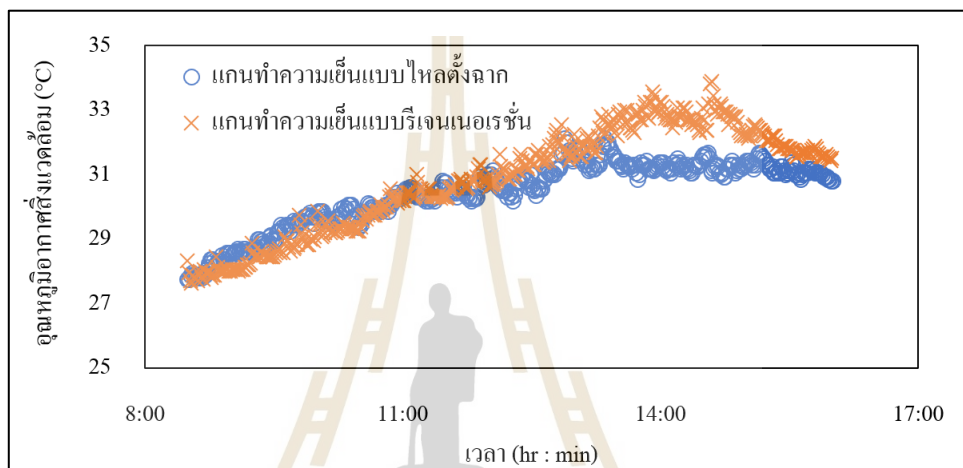
ผลการทดสอบบิทธิพลการติดตั้งผ้าทำความเย็นล่วงหน้าในรูป 4.26 แสดงให้เห็นว่าการติดตั้งผ้าทำความเย็นล่วงหน้าขนาดใหญ่มีผลต่างของอุณหภูมิอากาศหลังผ่านแกนทำความเย็นน้อยกว่าการติดตั้งผ้าทำความเย็นล่วงหน้าขนาดเล็ก เนื่องจากการติดตั้งผ้าทำความเย็นล่วงหน้าขนาดใหญ่ส่งผลให้ความชื้นในอากาศก่อนจ่ายเข้าสู่ช่องเปียกเพิ่มขึ้น ทำให้การระเหยของน้ำและรับความร้อนในช่องเปียกทำได้น้อยลง ส่งผลให้สมรรถนะการทำความเย็นของเครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหยลดลง

#### 4.2 ผลทดสอบระบบปรับอากาศแบบไฮบริดกับร้านสะดวกซื้อ

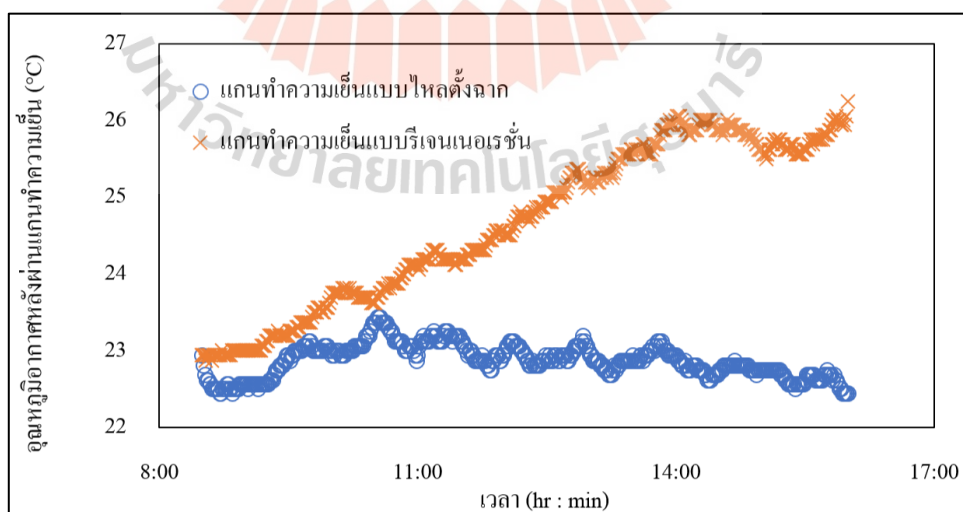
การทดสอบระบบปรับอากาศแบบไฮบริดกับร้านสะดวกซื้อเกิดขึ้นเพื่อนำเครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหยไปใช้งานกับสถานที่ที่มีผู้คนเข้าออกและอยู่ภายในสถานที่นั้นจริง รวมไปถึงมีเครื่องใช้ไฟฟ้าทั่วไปที่ก่อให้เกิดภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ โดยเริ่มต้นได้มีการเปรียบเทียบเครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหยที่ใช้แกนทำความเย็นแบบแบ่งอากาศในห้องปรับอากาศกลับเข้าสู่ช่องเปียกชนิดไหลตั้งฉากกับแกนทำความเย็นชนิดไหลสวนทางแบบรีเจนเนอเรชั่นแบ่งอากาศในห้องปรับอากาศกลับเข้าสู่ช่องเปียก แสดงในหัวข้อที่ 4.2.1 จากนั้นได้เลือกแกนทำความเย็นที่มีผลต่างของอุณหภูมิอากาศหลังผ่านแกนทำความเย็นสูงสุดไปใช้งานจริงเพื่อเปรียบเทียบการลดปริมาณไฟฟ้าระหว่างระบบปรับอากาศแบบไฮบริดกับระบบปรับอากาศแบบอัดไอในหัวข้อที่ 4.2.2

#### 4.2.1 การเปรียบเทียบสมรรถนะของแกนทำความเย็นสำหรับร้านสะดวกซื้อ

จากการศึกษาผลทดสอบประสิทธิภาพของแกนทำความเย็น ผู้วิจัยได้เลือกแกนทำความเย็นชนิดไหลตั้งฉากมาเปรียบเทียบกับแกนทำความเย็นชนิดไหลสวนทางแบบรีเจนเนอเรชั่นที่นำข้อดีจากการทดสอบประสิทธิภาพต่าง ๆ มาพัฒนา โดยอุณหภูมิอากาศสิ่งแวดล้อมในวันที่เปรียบเทียบแกนทำความเย็นทั้ง 2 ชนิด แสดงดังรูปที่ 4.27 และอุณหภูมิอากาศหลังผ่านแกนทำความเย็นแต่ละชนิด แสดงดังรูปที่ 4.28



รูปที่ 4.27 อุณหภูมิอากาศสิ่งแวดล้อมในวันที่เปรียบเทียบแกนทำความเย็นเพื่อร้านสะดวกซื้อ



รูปที่ 4.28 อุณหภูมิอากาศหลังผ่านแกนทำความเย็นแต่ละชนิด

การเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศหลังผ่านแกนทำความเย็นแต่ละชนิดในรูปที่ 4.28 แสดงให้เห็นว่า แกนทำความเย็นแบบไหลตั้งฉากสามารถควบคุมอุณหภูมิอากาศหลังผ่านแกนทำความเย็นได้ตลอดการทดสอบ ในทางกลับกัน การใช้แกนทำความเย็นแบบรีเจนเนอเรชั่นไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิอากาศได้ เมื่อพิจารณาผลต่างของอุณหภูมิอากาศหลังผ่านแกนทำความเย็นพบว่า แกนทำความเย็นแบบไหลตั้งฉากมีค่าสูงสุด 9°C ในขณะที่แกนทำความเย็นแบบรีเจนเนอเรชั่นมีค่าสูงสุด 6.5°C

จากผลการเปรียบเทียบแกนทำความเย็นสำหรับร้านสะดวกซื้อพบว่า แกนทำความเย็นแบบรีเจนเนอเรชั่นมีประสิทธิภาพการทำความเย็นต่ำกว่าแกนทำความเย็นแบบไหลตั้งฉาก เนื่องจากความซับซ้อนการไหลของอากาศส่งผลให้เกิดการสูญเสียความดันอากาศในแกนทำความเย็น นอกจากนี้ ในช่องเป็ยกได้รับภาระการทำความเย็นจากช่องแห้งอากาศทำงานและช่องแห้งส่งผลให้สมรรถนะการทำความเย็นลดลง ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้เลือกแกนทำความเย็นแบบไหลตั้งฉากสำหรับระบบปรับอากาศแบบไฮบริดเพื่อร้านสะดวกซื้อ

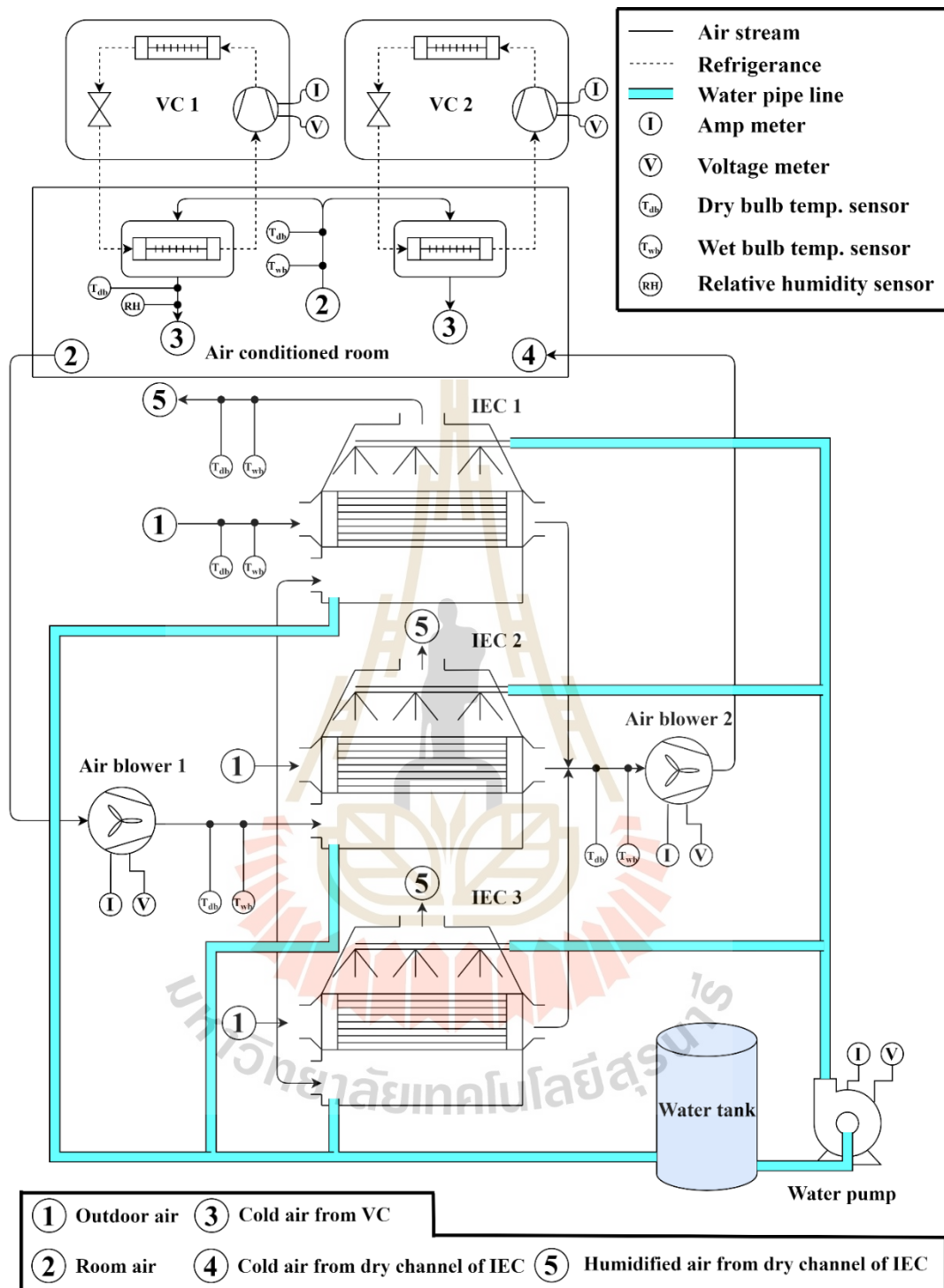
#### 4.2.2 การเปรียบเทียบการลดปริมาณไฟฟ้าระหว่างระบบปรับอากาศแบบไฮบริดกับระบบปรับอากาศแบบอัดไอ

ในหัวข้อนี้เป็นการนำเสนอผลการทดสอบระบบปรับอากาศแบบไฮบริดกับสถานที่จริงอย่างร้านสะดวกซื้อ การทดสอบนี้ได้เปิดระบบปรับอากาศแบบไฮบริดจำนวน 3 เครื่อง ตั้งแต่เวลา 10.00–16.30 น. เครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหยหลังถูกติดตั้งแสดงดังรูปที่ 4.29 และแผนผังระบบปรับอากาศแบบไฮบริด รวมถึงตำแหน่งการติดตั้งเซนเซอร์แสดงดังรูปที่ 4.30



รูปที่ 4.29 การติดตั้งเครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหยที่ใช้แกนทำความเย็นแบบไหลตั้งฉาก สำหรับระบบปรับอากาศแบบไฮบริดที่ร้านสะดวกซื้อ





รูปที่ 4.30 แผนผังระบบปรับอากาศแบบไฮบริดรวมถึงตำแหน่งการติดตั้งเซ็นเซอร์

การเปรียบเทียบเพื่อประเมินสมรรถนะระบบปรับอากาศแบบไฮบริดกับระบบปรับอากาศแบบอัดไอ ผู้วิจัยจึงได้ทดสอบทั้ง 2 ระบบนี้ในวันที่หลากหลาย โดยสลับทดสอบทั้ง 2 ระบบ

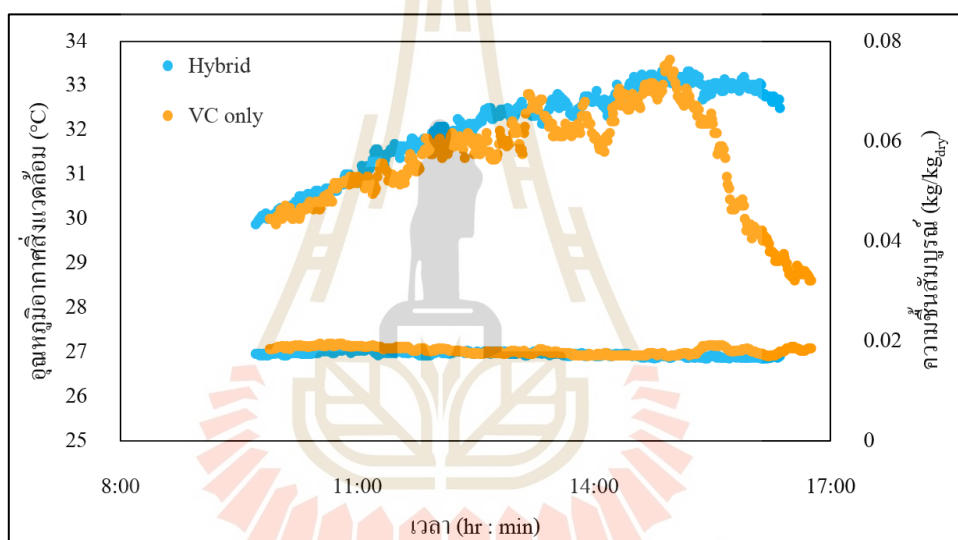
แล้วจึงเลือกวันที่อากาศสิ่งแวดล้อมมีอุณหภูมิและความชื้นสัมบูรณ์ใกล้เคียงกันมาเปรียบเทียบ โดยได้แบ่งหัวข้อการอภิปรายผล ดังนี้

#### 4.2.2.1 การเปรียบเทียบในวันที่อุณหภูมิอากาศสิ่งแวดล้อมสูงและต่ำ

ในหัวข้อนี้เป็นการรายงานและอภิปรายผลการเปรียบเทียบระบบปรับอากาศแบบไฮบริดกับระบบปรับอากาศแบบอัดไอ โดยจะนำเสนอสมรรถนะในวันที่อุณหภูมิอากาศสิ่งแวดล้อมมีค่าสูงจากนั้นจะได้นำเสนอข้อมูลของวันที่อุณหภูมิอากาศสิ่งแวดล้อมมีค่าต่ำ

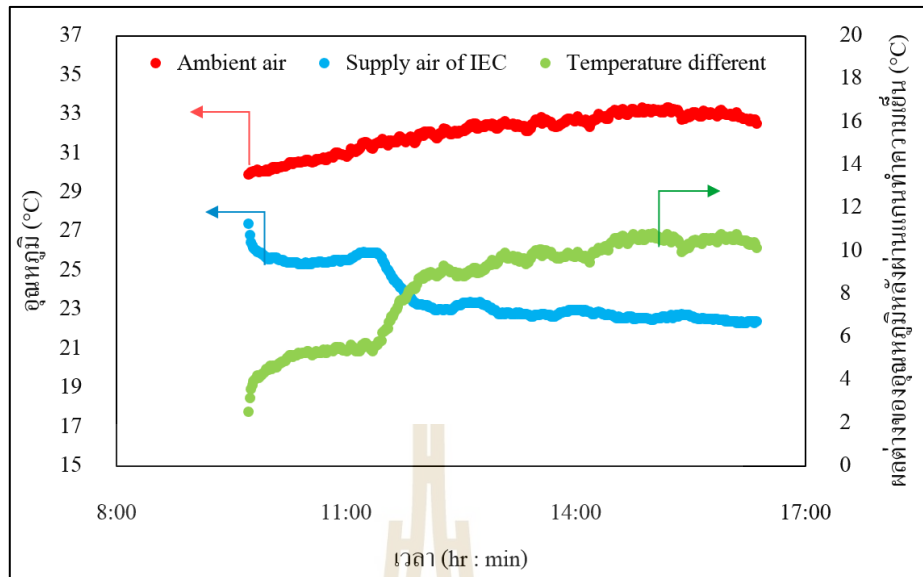
##### กรณีอากาศสิ่งแวดล้อมมีค่าสูง (30-33°C)

ในกรณีนี้อุณหภูมิและความชื้นสัมบูรณ์ของวันที่ทดสอบแต่ละระบบ แสดงดังรูปที่ 99 และผลการทดสอบระบบปรับอากาศแบบไฮบริดแสดงดังรูปที่ 4.31

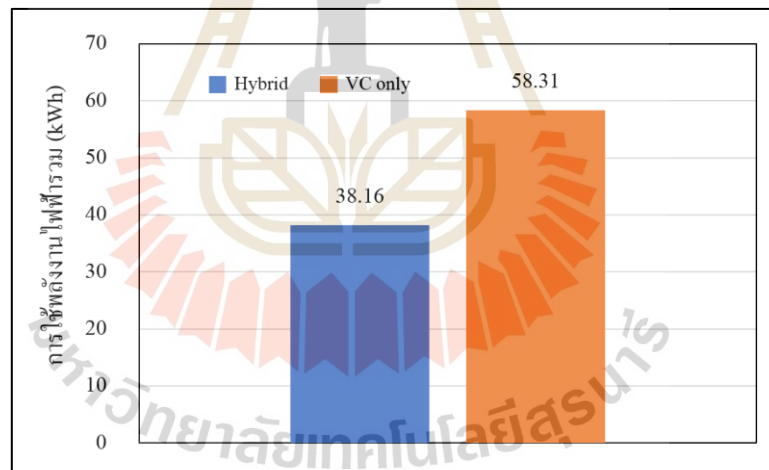


รูปที่ 4.31 สภาพอากาศสิ่งแวดล้อมในการทดสอบระบบของวันที่มีอุณหภูมิแวดล้อมสูง

ในวันที่ทดสอบระบบปรับอากาศแบบไฮบริดของกรณีที่มีอุณหภูมิสูง ในรูปที่ 4.31 แสดงให้เห็นว่า 2 วันดังกล่าวมีอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมบูรณ์ใกล้เคียงกัน โดยวันที่ทดสอบระบบปรับอากาศแบบไฮบริดจะมีอุณหภูมิสูงกว่าเล็กน้อย ในช่วง 14.00–16.00 น. ของวันที่ทดสอบระบบปรับอากาศแบบไฮบริดค่อนข้างคงที่ ในขณะที่ ตั้งแต่เวลาประมาณ 15.00 น. เป็นต้นไปวันที่ทดสอบระบบปรับอากาศแบบอัดไอ อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมลดลงอย่างต่อเนื่อง จากสาเหตุเกิดฝนตกในช่วงเวลาดังกล่าว



รูปที่ 4.32 ผลต่างอุณหภูมิหลังผ่านแกนทำความเย็นของวันที่มีอุณหภูมิแวดล้อมสูง



รูปที่ 4.33 การใช้พลังงานไฟฟ้ารวมในช่วงเวลา 10:00 น. ถึง 16:30 น. สำหรับวันที่อุณหภูมิแวดล้อมสูง

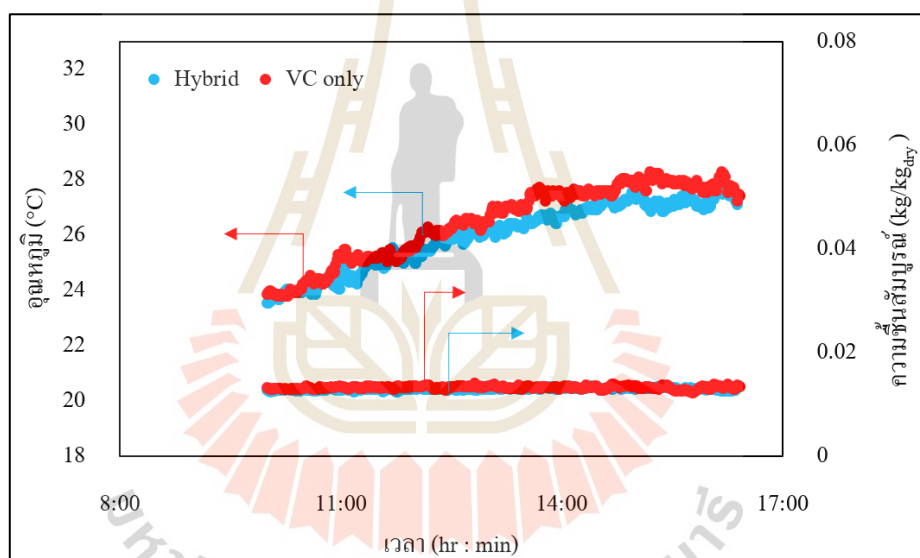
ข้อมูลหลังการทดสอบระบบปรับอากาศแบบไฮบริดของวันที่มีอุณหภูมิแวดล้อมสูงในรูปที่ 4.32 แสดงให้เห็นว่า อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมมีการเปลี่ยนแปลงทั้งวัน เครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหยเริ่มทดสอบที่เวลา 10.00 น. ในขณะที่เครื่องปรับอากาศในวันที่ทดสอบเปิดใช้งานที่เวลา 11.30 น. ส่งผลให้ในช่วง 10.00–11.30 น. การระเหยของน้ำและการลดอุณหภูมิในช่องเปียกน้อยลง อุณหภูมิอากาศหลังผ่านแกนทำความเย็นอยู่ที่ 25°C โดยประมาณ ในช่วงเวลา 11.30–16.30 น. เป็นช่วงที่เครื่องปรับอากาศทำงาน ส่งผลให้อากาศที่ไหลเข้าสู่ช่องเปียกมีอุณหภูมิ

และความชื้นสัมบูรณ์ต่ำ ส่งผลให้อุณหภูมิอากาศหลังผ่านแกนทำความเย็นอยู่ที่  $22^{\circ}\text{C}$  นอกจากนี้การใช้พลังงานไฟฟ้ารวมถูกนำมาวิเคราะห์แสดงดังรูปที่ 4.33

เมื่อเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมในช่วงเวลา 10:00 น. ถึง 16:30 น. สำหรับวันที่อุณหภูมิแวดล้อมสูง จากรูป 4.33 แสดงให้เห็นว่า วันที่ทดสอบระบบปรับอากาศแบบไฮบริดใช้พลังงานไฟฟ้ารวม 38.16 kWh ในขณะที่ วันที่ใช้เฉพาะเครื่องปรับอากาศแบบอัดไอใช้พลังงานไฟฟ้า 58.31 kWh ได้ว่า การใช้ระบบปรับอากาศแบบไฮบริดลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ 20.15 kWh คิดเป็นร้อยละพลังงานที่ประหยัดได้เท่ากับ 34.55

#### กรณีอากาศสิ่งแวดล้อมมีค่าต่ำ ( $24\text{--}28^{\circ}\text{C}$ )

ในกรณีนี้อุณหภูมิและความชื้นสัมบูรณ์ของวันที่ทดสอบแต่ละระบบแสดงดังรูปที่ 4.35 และผลการทดสอบระบบปรับอากาศแบบไฮบริดแสดงดังรูปที่ 4.34

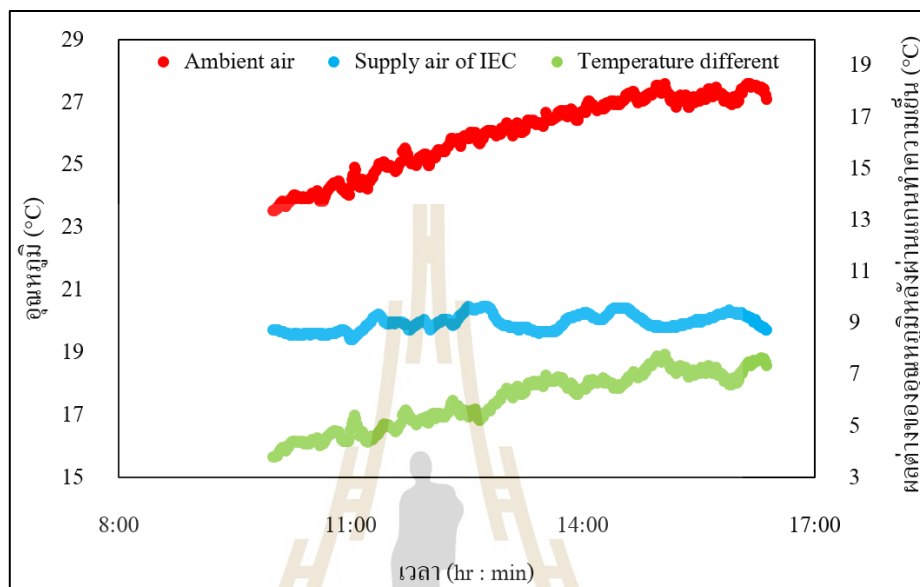


รูปที่ 4.34 สภาพอากาศแวดล้อมในการทดสอบระบบของวันที่มีอุณหภูมิแวดล้อมต่ำ

ในวันที่ทดสอบระบบปรับอากาศแบบอัดไอของกรณีที่มีอุณหภูมิต่ำในรูปที่ 4.34 แสดงให้เห็นว่า ในช่วงเวลา 10.00–14.00 น. อากาศสิ่งแวดล้อมมีค่าเพิ่มขึ้นจาก  $23.87^{\circ}\text{C}$  ถึง  $27.58^{\circ}\text{C}$  และในช่วงเวลา 14.00–16.30 น. อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมค่อนข้างคงที่  $28^{\circ}\text{C}$  โดยประมาณ

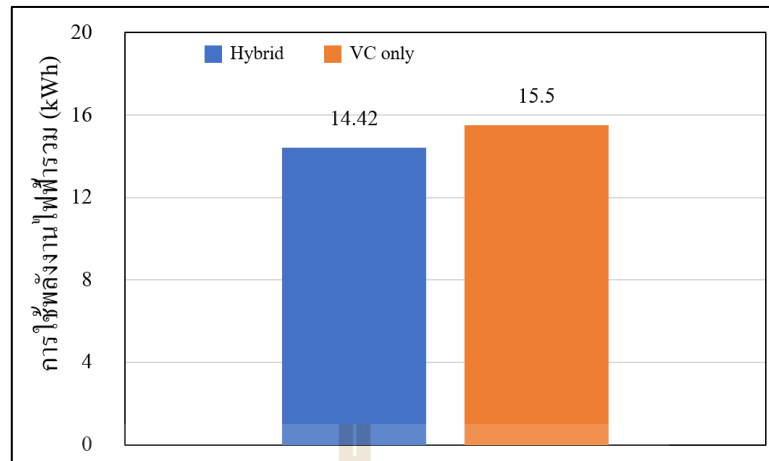
ในวันที่ทดสอบระบบปรับอากาศแบบไฮบริดในช่วงเวลา 10.00–14.00 น. อากาศสิ่งแวดล้อมมีค่าเพิ่มขึ้นจาก  $23.56^{\circ}\text{C}$  ถึง  $27.25^{\circ}\text{C}$  และในช่วงเวลา 14.00–16.30 น. อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมค่อนข้างคงที่  $28^{\circ}\text{C}$  โดยประมาณ

นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาความชื้นสัมบูรณ์ในอากาศพบว่า ทั้ง 2 มีความชื้นสัมบูรณ์ใกล้เคียงกัน และมีหลายช่วงเวลาที่อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมใกล้เคียงกันด้วย ดังนั้น ผู้วิจัยจึงได้เลือกทั้ง 2 วันดังกล่าวในการเปรียบเทียบ



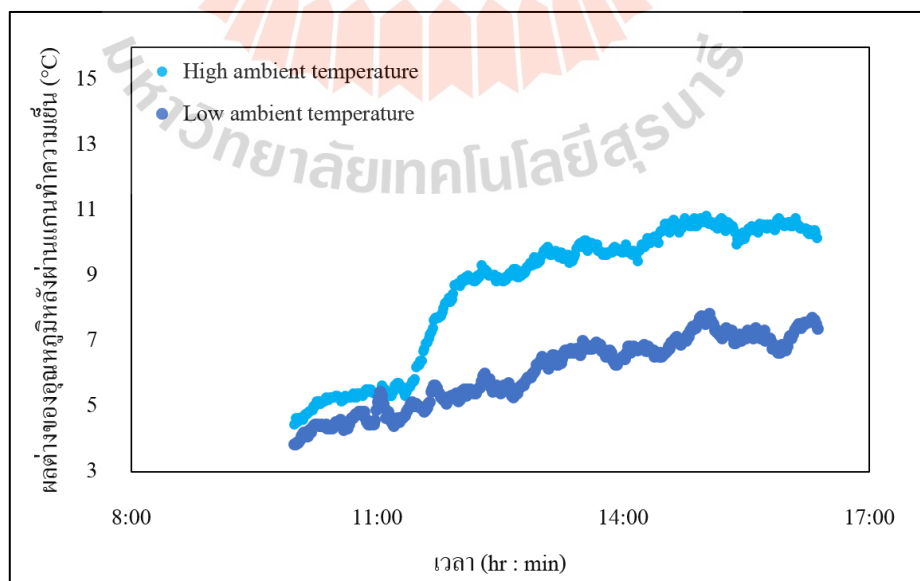
รูปที่ 4.35 ผลต่างอุณหภูมิหลังผ่านแกนทำความเย็นของวันที่มีอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมต่ำ

ข้อมูลหลังการทดสอบระบบปรับอากาศแบบไฮบริดของวันที่มีอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมต่ำในรูปที่ 4.35 แสดงให้เห็นว่า อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมมีการเปลี่ยนแปลงทั้งวัน เครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหยเริ่มทดสอบพร้อมกับการทำงานของเครื่องปรับอากาศที่เวลา 10.00 น. ส่งผลให้อุณหภูมิอากาศหลังผ่านแกนทำความเย็นค่อนข้างคงที่ตลอดการทดสอบเท่ากับ 19.50°C โดยประมาณ ผลต่างอุณหภูมิอากาศหลังผ่านแกนทำความเย็นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิอากาศสิ่งแวดล้อม เนื่องจากเครื่องทำความเย็นมีสมรรถนะการทำความเย็นสูงขึ้นตามอากาศสิ่งแวดล้อมที่มีความร้อนสูง



รูปที่ 4.36 การใช้พลังงานไฟฟ้ารวมในช่วงเวลา 10:00 น. ถึง 16:30 น. สำหรับวันที่อุณหภูมิแวดล้อมต่ำ

เมื่อเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมในช่วงเวลา 10:00 น. ถึง 16:30 น. สำหรับวันที่อุณหภูมิแวดล้อมต่ำจากรูปที่ 4.36 แสดงให้เห็นว่า วันที่ทดสอบระบบปรับอากาศแบบไฮบริดใช้พลังงานไฟฟ้ารวม 14.42 kWh ในขณะที่ วันที่ใช้เฉพาะเครื่องปรับอากาศแบบอัดไอ ใช้พลังงานไฟฟ้า 15.5 kWh หรือกล่าวได้ว่า การใช้ระบบไฮบริดลดพลังงานไฟฟ้าได้ร้อยละ 6 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าวันที่อากาศสิ่งแวดล้อมสูง (ซึ่งมีค่าร้อยละ 34.55) ดังนั้น ปริมาณไฟฟ้าที่ประหยัดได้แปรผันตามอุณหภูมิอากาศสิ่งแวดล้อมอย่างมีนัยสำคัญ



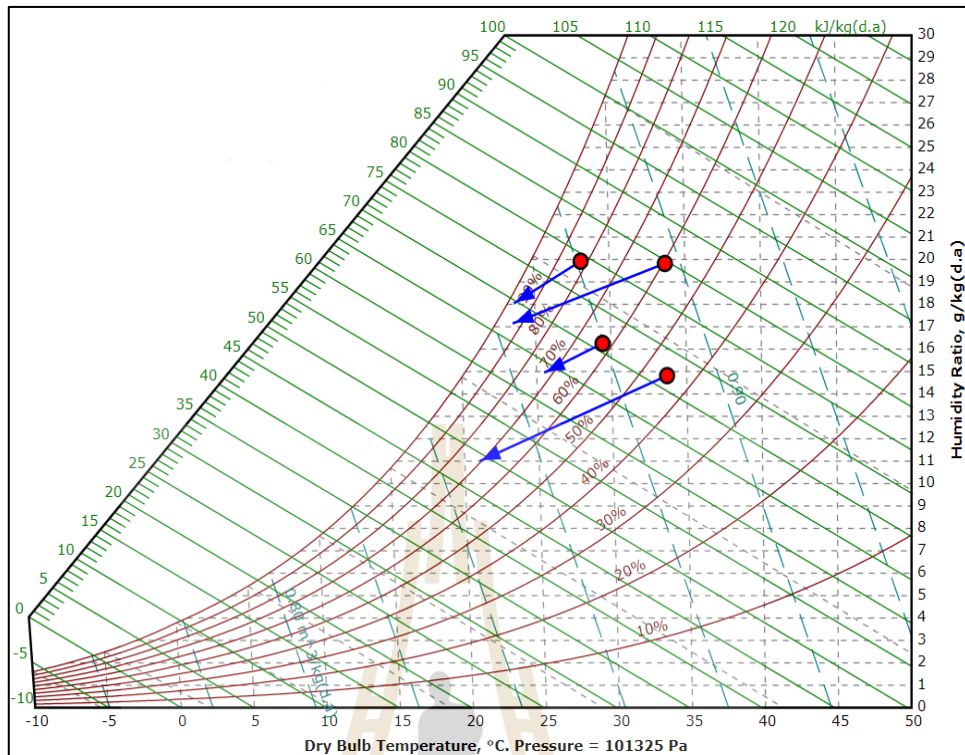
รูปที่ 4.37 ผลต่างของอุณหภูมิอากาศหลังผ่านแกนทำความเย็นของวันที่มีอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมสูงและต่ำ

เมื่อนำผลการทดสอบวันที่มีอุณหภูมิแวดล้อมสูงและต่ำมาเปรียบเทียบกับในรูปที่ 4.37 พบว่า ในช่วง 10.00–11.30 น. ที่เครื่องปรับอากาศยังไม่เปิดค่าอุณหภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลงของ 2 วันมีค่าใกล้เคียงกัน แต่หลังเวลา 11.30 น. เป็นต้นไป ค่าอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงของ 2 วันมีค่าแตกต่างกันอย่างชัดเจน โดยความชันของเส้นมีค่าแปรผันตามอุณหภูมิอากาศสิ่งแวดล้อม ขณะที่ระยะห่างระหว่างเส้นทั้ง 2 มีค่าค่อนข้างคงที่ชี้ให้เห็นว่า เครื่องเครื่องทำความเย็นแบบนี้ระเหยต้องทำงานร่วมกับเครื่องปรับอากาศอัดไอจึงจะสามารถควบคุมอุณหภูมิอากาศในห้องตามที่ต้องการได้

#### 4.2.2.2 สมรรถนะของระบบปรับอากาศแบบไฮบริดเมื่ออากาศสิ่งแวดล้อมมีอุณหภูมิและความชื้นสัมบูรณ์ที่แตกต่าง

หัวข้อนี้จะแสดงผลทดสอบระบบปรับอากาศแบบไฮบริดภายใต้สภาพอากาศที่ต่างกัน 4 แบบ ได้แก่

- สภาพอากาศสิ่งแวดล้อมแบบร้อนแห้งที่ผู้วิจัยทดสอบระบบไฮบริด ณ เวลาที่อากาศสิ่งแวดล้อมมีอุณหภูมิและความชื้นสัมบูรณ์เท่ากับ  $34.17^{\circ}\text{C}$  และ  $14.93\text{ g/kg}$  ตามลำดับ
- สภาพอากาศสิ่งแวดล้อมแบบเย็นแห้งที่ทดสอบระบบไฮบริด ณ เวลาที่อากาศสิ่งแวดล้อมมีอุณหภูมิและความชื้นสัมบูรณ์เท่ากับ  $29.31^{\circ}\text{C}$  และ  $16.42\text{ g/kg}$  ตามลำดับ
- สภาพอากาศสิ่งแวดล้อมแบบร้อนชื้นที่ทดสอบระบบไฮบริด ณ เวลาที่อากาศสิ่งแวดล้อมมีอุณหภูมิและความชื้นสัมบูรณ์เท่ากับ  $33.94^{\circ}\text{C}$  และ  $19.87\text{ g/kg}$  ตามลำดับ
- สภาพอากาศสิ่งแวดล้อมแบบเย็นชื้นที่ทดสอบระบบไฮบริด ณ เวลาที่อากาศสิ่งแวดล้อมมีอุณหภูมิและความชื้นสัมบูรณ์เท่ากับ  $27.83^{\circ}\text{C}$  และ  $19.90\text{ g/kg}$  ตามลำดับ



รูปที่ 4.38 กระบวนการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความชื้นสำหรับสภาพอากาศแวดล้อมที่แตกต่างกัน  
(a - ร้อนแห้ง; b-เย็นแห้ง; c - ร้อนชื้น; d - เย็นชื้น)

ผลทดสอบที่ได้แสดงในรูปที่ 4.38 ซึ่งเป็น Psychrometric chart ที่แสดงเส้น 4 เส้น แต่ละเส้นแสดงข้อมูลของการทดสอบที่สภาพอากาศทั้ง 4 ข้างต้น โดยจุดเริ่มต้นของเส้น (จุดแดง) แสดงสภาวะอากาศแวดล้อม ขณะที่จุดปลายของเส้น (หัวลูกศร) แสดงสภาวะอากาศที่จ่ายเข้าห้อง (คือ อากาศแวดล้อมที่ผ่านช่องแห้งในแกนทำความเย็นของเครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหย) จากรูปจะเห็นว่า

- เมื่ออากาศสิ่งแวดล้อมมีอุณหภูมิสูง (เส้น a กับ c) อุณหภูมิที่เครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหยลดได้มีค่ามากกว่าเมื่ออากาศมีอุณหภูมิต่ำ (เส้น b กับ d)
- ความชื้นสัมบูรณ์ของทั้ง 4 เส้น มีค่าลดลงเมื่อผ่านเครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหยแสดงให้เห็นว่า เกิดการกลั่นตัวของไอน้ำในอากาศภายในช่องแห้งทั้ง 4 สภาพอากาศ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Meng et al. [18]
- เมื่อผ่านเครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหยแล้ว (ตำแหน่งหัวลูกศร) แม้อุณหภูมิอากาศจะต่ำกว่า 25°C แต่ความชื้นสัมพัทธ์มีค่าสูงจึงอาจกล่าวได้ว่า การใช้เครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหยอย่างเดียว สภาพอากาศที่ได้จะอยู่นอก Comfort zone ต้องใช้ระบบไฮบริด

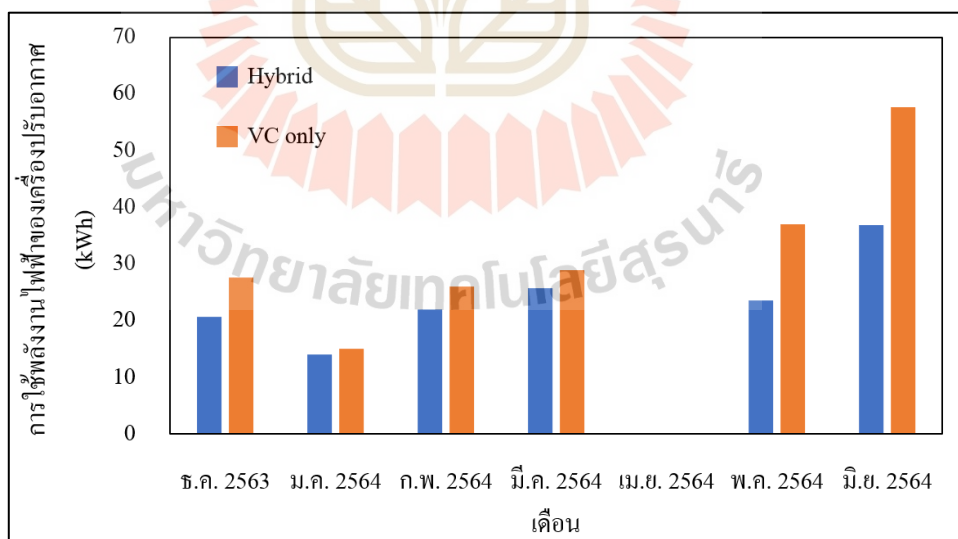


(เครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหย + เครื่องปรับอากาศแบบอัดไอ) เพื่อให้ได้อากาศที่มีอุณหภูมิและความชื้นที่อยู่ใน Comfort zone

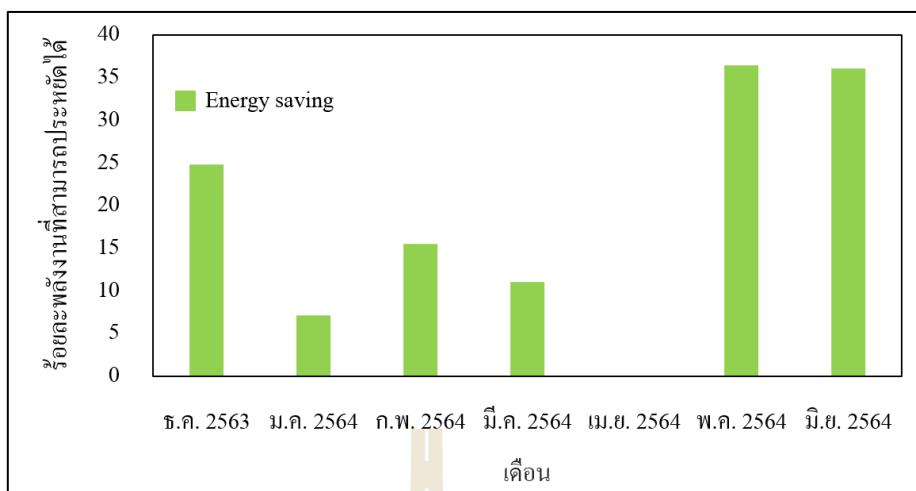
#### 4.2.2.3 ศักยภาพการประหยัดพลังงานของระบบปรับอากาศแบบไฮบริดเปรียบเทียบจากเดือนธันวาคม 2563 ถึงมิถุนายน 2564

ผู้วิจัยได้เก็บข้อมูลผลทดสอบตั้งแต่เดือนธันวาคม 2563 ถึงเดือนมิถุนายน 2564 จากนั้นในแต่ละเดือนได้เลือกข้อมูลของวันที่ทดสอบระบบไฮบริดกับวันที่เปิดเฉพาะเครื่องปรับอากาศแบบอัดไอที่มีสภาพอากาศแวดล้อมใกล้เคียงกัน เพื่อประเมินพลังงานไฟฟ้าที่ใช้และร้อยละของพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้เมื่อใช้งานระบบไฮบริด ยกเว้นในเดือนเมษายน 2564 ที่สถานการณ์การแพร่ระบาดของ Covid - 19 รุนแรง ร้านสะดวกซื้อปิดทำการจึงไม่มีข้อมูลผลทดสอบผลที่ได้แสดงในรูปที่ 4.39 และ 4.40

จากผลดังกล่าวจะเห็นว่า เครื่องปรับอากาศแบบอัดไอใช้ไฟฟ้าน้อยที่สุดในเดือนมกราคม แสดงให้เห็นว่าเป็นเดือนที่อุณหภูมิอากาศแวดล้อมต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับเดือนที่นำมาแสดงส่งผลให้เครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหยทำงานน้อยลง และร้อยละของพลังงานที่ประหยัดได้ก็มีค่าต่ำที่สุด ซึ่งเท่ากับร้อยละ 7.15 ในขณะที่เดือนที่มีอุณหภูมิอากาศแวดล้อมสูง (พฤษภาคมและมิถุนายน) มีร้อยละของพลังงานที่ประหยัดได้สูงกว่าเดือนอื่น ๆ โดยมีค่าประมาณร้อยละ 36



รูปที่ 4.39 การใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบปรับอากาศแบบไฮบริดเปรียบเทียบกับระบบปรับอากาศแบบอัดไอในระหว่างเดือนธันวาคม 2563 ถึงเดือนมิถุนายน 2564



รูปที่ 4.40 ร้อยละพลังงานที่สามารถประหยัดได้เมื่อใช้ระบบปรับอากาศแบบไฮบริดในระหว่างเดือนธันวาคม 2563 ถึงเดือนมิถุนายน 2564

การเปรียบเทียบระบบปรับอากาศแบบไฮบริดกับระบบปรับอากาศแบบอัดไอในเดือนที่มีอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมสูง (พฤษภาคมและมิถุนายน) สามารถลดการใช้ปริมาณไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศได้สูงสุด เนื่องจาก การระเหยของเครื่องปรับอากาศเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมสำหรับวัดที่เปิดระบบปรับอากาศแบบอัดไอ ในทางกลับกัน เมื่อการระเหยของเครื่องปรับอากาศเพิ่มขึ้น ส่งผลเครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหยมีสมรรถนะการทำความเย็นเพิ่มขึ้น เครื่องปรับอากาศจึงทำงานน้อยลงเมื่อเปรียบเทียบกับวันที่เปิดเฉพาะระบบปรับอากาศแบบอัดไอ

เมื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบกับงานวิจัยของ Duan et al., 2019 และ Zanchini and Naldi et al., 2019 ที่ทำการทดสอบภายใต้สภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้น พบว่าเครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหยสามารถลดการใช้ปริมาณไฟฟ้าจากระบบปรับอากาศได้ร้อยละ 38 และ 38.2 ตามลำดับ ซึ่งใกล้เคียงกับในการวิจัยนี้ที่มีค่าลดการใช้ปริมาณไฟฟ้าร้อยละ 36

## บทที่ 5

### บทสรุปและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 บทนำ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้จัดทำขึ้นเพื่อนำเสนอการสร้างและประเมินสมรรถนะระบบปรับอากาศแบบไฮบริดระหว่างระบบทำความเย็นแบบน้ำระเหยกับระบบอัดไอ โดยทดสอบระบบดังกล่าวภายใต้ร้านสะดวกซื้อหอพักหญิง ที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา ประเทศไทย นอกจากนี้ผู้วิจัยได้ทำการสร้างแกนทำความเย็น และทดสอบอรรถิพลอย่างหลากหลายที่ส่งผลต่อการทำงานของเครื่องทำความเย็น

##### 5.1.1 สรุปผลทดสอบระบบปรับอากาศแบบไฮบริดกับอาคารทดสอบขนาดเล็ก

ในการศึกษาและทดสอบอรรถิพลต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อเครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหยกับอาคารขนาดเล็กได้ผลสรุปดังนี้

1. การทดสอบแกนทำความเย็น 5 ชนิดกับอาคารทดสอบขนาดเล็กพบว่า แกนทุกชนิดสามารถควบคุมอุณหภูมิห้องได้ตามที่ต้องการ โดยแกนชนิดไหลตั้งฉากแบบแบ่งอากาศจากห้องปรับอากาศเข้าสู่ช่องเป็ยกประหยัดไฟฟ้าที่สุด และมีค่าเท่ากับ 33.5% เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้เครื่องปรับอากาศแบบอัดไออย่างเดียว
2. การติดตั้งเครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหยนอกห้องปรับอากาศใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยกว่าการติดตั้งไว้ในห้อง
3. การใช้ปริมาณการไหลของอากาศที่มีค่าน้อยกับที่มีค่ามากพบว่า เมื่อเลือกค่าที่เหมาะสม ส่งผลให้ระบบปรับอากาศแบบไฮบริดสามารถรักษาอุณหภูมิห้องไว้ตามที่ต้องการ ในขณะที่ระบบที่ใช้ปริมาณการไหลของน้อยใช้ไฟฟ้าน้อยกว่าระบบที่ใช้ปริมาณการไหลมาก
4. การทดสอบอรรถิพลระยะเวลาสเปร์ย์น้ำพบว่า การเปิดสเปร์ย์น้ำทุก 2 ชั่วโมง โดยเปิดครั้งละ 5 นาที แล้วปิด สามารถควบคุมอุณหภูมิห้องทดสอบให้เป็นไปตามที่ต้องการ
5. การทดสอบอรรถิพลการเป่าอากาศหลังผ่านช่องเป็ยกใส่คอยล์ร้อนพบว่า สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมได้ เมื่อเปรียบเทียบกับไม่เป่า
6. การทดสอบอรรถิพลการติดตั้งผ้าทำความเย็นล่วงหน้าพบว่า การใช้ผ้าทำความเย็นล่วงหน้าขนาดเล็กช่วยลดอุณหภูมิและการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมมากกว่าการใช้ผ้าทำความเย็นล่วงหน้าขนาดใหญ่

### 5.1.2 สรุปผลทดสอบระบบปรับอากาศแบบไฮบริดกับร้านสะดวกซื้อ

1. การทดสอบระบบปรับอากาศแบบไฮบริดกับร้านสะดวกซื้อห่อพักหญิงพบว่า “แกนทำความเย็นชนิดไหลตั้งฉาก” ช่วยลดการพลังงานไฟฟ้ารวมและอุณหภูมิอากาศหลังผ่านแกนทำความเย็นได้ดีกว่าแกนทำความเย็นชนิดไหลสวนทางแบบรีเจนเนอเรชั่นแบ่งอากาศในห้องปรับอากาศกลับเข้าช่องเปียก

2. การทดสอบชุดต้นแบบระบบปรับอากาศแบบไฮบริดที่ใช้แกนทำความเย็นชนิดไหลตั้งฉากกับร้านสะดวกซื้อห่อพักหญิงของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในระหว่างเดือนเดือนธันวาคม 2563 ถึงเดือนมิถุนายน 2564 พบว่า สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับการปรับอากาศลงได้ร้อยละ 36 ในเดือนพฤษภาคมและมิถุนายน โดยสามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องปรับอากาศได้ตามต้องการ

### 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. การวัดอุณหภูมิของการทดสอบแกนทำความเย็นในวิทยานิพนธ์นี้ ได้ติดตั้งเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิที่ทางเข้าและทางออกของแกนทำความเย็นเท่านั้น จึงไม่สามารถเห็นพฤติกรรมของอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงในแกนทำความเย็นได้ ดังนั้น การติดตั้งเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิภายในแกนทำความเย็นจะช่วยให้เห็นถึงพฤติกรรมของอุณหภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลงได้อย่างชัดเจนมากขึ้น

2. อิทธิพลของอากาศที่มีอุณหภูมิและความชื้นสัมบูรณ์ต่ำไหลเข้าสู่ช่องเปียก ส่งผลต่อสมรรถนะการทำความเย็นอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้น การติดตั้งเครื่องลดความชื้นที่ตำแหน่งดังกล่าวเป็นอีกหนึ่งวิธีที่มีแนวโน้มเพิ่มสมรรถนะการทำความเย็น

3. การทดสอบระบบปรับอากาศแบบไฮบริดสำหรับวิทยานิพนธ์นี้ เป็นเพียงการทดสอบในพื้นที่หนึ่งของจังหวัดนครราชสีมา ดังนั้น ในเขตอื่นของจังหวัดดังกล่าวหรือในพื้นที่อื่น ๆ อาจมีสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน ส่งผลให้การสร้างเครื่องทำความเย็นแบบนี้ระเหย ควรหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับสภาพอากาศนั้น

## รายการอ้างอิง

- กรมอุตุนิยมวิทยา สรุปสภาวะอากาศทั่วไปในรอบปี (2563). ข้อมูลสภาวะอากาศของประเทศไทย พ.ศ. 2563.
- พรพรรณ โภคย์สุพิสตร์ และคณะ (2564). อุตสาหกรรมการเครื่องใช้ไฟฟ้า. แนวโน้มธุรกิจ/อุตสาหกรรมการ ปี 2564-66.
- รศ. ธนบูรณ์ ศศิภานุเดช, ผศ. ธนะพงศ์ นพวงศ์ ณ อยุธยา (2556). หนังสือการเขียนแบบไฟฟ้า.
- Aungsiri Klinmalee, Kasama Srimongkol, Nguyen Thi Kim Oanh. (2009). Indoor air pollution levels in public buildings in Thailand and exposure assessment. *Environ Monit Assess*, Volume 156, Pages 581–594.
- Deepak Bishoyi and K. Sudhakar. (2017). Experimental Performance of a Direct Evaporative cooler in composite climate of India. *Energy and Buildings*, Volume 153, Pages 190-200.
- Demis Pandelidis, Aleksandra Cichon, Anna Pacak, Sergey Anisimov, Pawel Drag. (2019). Performance comparison between counter- and cross-flow indirect evaporative coolers for heat recovery in air conditioning systems in the presence of condensation in the product air channels. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Volume 130, Pages 757–777.
- Hongxing Yang, Wenchao Shi, Yi Chen b, Yunran Min. (2021). Research development of indirect evaporative cooling technology: An updated review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 145, 111082.
- Ji, C. and S. Wang (2010). Experimental study on combustion and emissions performance of a hybrid hydrogen-gasoline engine at lean burn limits. *International Journal of Hydrogen Energy*. 35(3), 1453-1462.
- Joohyun Lee and Dae-Young Lee. (2013). Experimental study of a counter flow regenerative evaporative cooler with finned channels. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Volume 65, Pages 173–179.
- Juntakan Taweekun, Ar-U-Wat Tantiwichien. (2013). Thermal Comfort Zone for Thai People. *Engineering*, Volume 5, Pages 525-529.

- Kittikun Poolsawata, Watcharapong Tachajapongb, Sukon Prasitwattanasereec, Wongkot Wongsapaib. (2020). Electricity consumption characteristics in Thailand residential sector and its saving potential. *Energy Reports*, Volume 6, Pages 337–343.
- Luis Pe´rez-Lombard, Jose´ Ortiz, Christine Pout. (2008). A review on buildings energy consumption information. *Energy and Buildings*, Volume 40, Pages 394–398.
- Min-Hwi Kim and Jae-Weon Jeong. (2013). Cooling performance of a 100% outdoor air system integrated with indirect and direct evaporative coolers. *Energy*, Volume 52, Pages 245-257.
- Omar Khalid, Muzaffar Ali, Nadeem Ahmed Sheikh, Hafiz M. Ali, M. Shehryar. (2016). Experimental analysis of an improved Maisotsenko cycle design under low velocity conditions. *Applied Thermal Engineering*, Volume 95, Pages 288–295.
- Qian Chen, M. Kum Ja, Muhammad Burhan, Faheem Hassan Akhtar, Muhammad Wakil Shahzad, Doskhan Ybyraiymkul, Kim Choon Ng. (2021). A hybrid indirect evaporative cooling-mechanical vapor compression process for energy-efficient air conditioning. *Energy Conversion and Management*, Volume 248, 114798.
- Qian Chen, M. Kum Ja, Muhammad Burhan, Faheem Hassan Akhtar, Muhammad Wakil Shahzad, Doskhan Ybyraiymkul, Kim Choon Ng. (2021). A hybrid indirect evaporative cooling-mechanical vapor compression process for energy-efficient air conditioning. *Energy Conversion and Management*, Volume 248, 114798.
- Robert E Foster, G. W. McDonald, M. Heller Turietta. (1990). Phaseout of Chlorofluorocarbon Refrigerants and Opportunities for Evaporative Cooling. *International Refrigeration and Air Conditioning Conference, School of Mechanical Engineering*.
- S. Hossein Elahi and S.D. Farhani. (2021). Increasing evaporative cooler efficiency by controlling water pump run and off times. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, Volume 127, 105525.
- S.A. Nada, A. Fouda, M.A. Mahmoud, H.F. Elattar. (2019). Experimental investigation of energy and exergy performance of a direct evaporative cooler using a new pad type. *Energy & Buildings*, Volume 203, 109449.
- Sen, A. K., et al. (2011). Investigating the effect of hydrogen addition on cyclic variability in a natural gas spark ignition engine: Wavelet multiresolution analysis. *Applied Energy*. 88(12), 4860-4866.

- Sergey Anisimov, Demis Pandelidis, Jan Danielewicz. (2014). Numerical analysis of selected evaporative exchangers with the Maisotsenko cycle. *Energy Conversion and Management*, Volume 88, Pages 426–441.
- Shahab Moshari and Ghassem Heidarinejad. (2015). Numerical study of regenerative evaporative coolers for sub-wet bulb cooling with cross- and counter-flow configuration. *Applied Thermal Engineering*, Volume 89, Pages 669–683.
- Varun Jain, S.C. Mullick, Tara C. Kandpal. (2013). A financial feasibility evaluation of using evaporative cooling with air-conditioning (in hybrid mode) in commercial buildings in India. *Energy for Sustainable Development*, Volume 17, Pages 47–53.
- Wu-Yan Li, Yong-Cai Li, Li-yue Zeng, Jun Lu. (2018). Comparative study of vertical and horizontal indirect evaporative cooling heat recovery exchangers. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Volume 124, Pages 1245–1261.
- Xiaohong Yin, Xinli Wang, Shaoyuan Li, Wenjian Cai. (2016). Energy-efficiency-oriented cascade control for vapor compression refrigeration cycle systems. *Energy*, Volume 116, Pages 1006–1019.
- Yunran Min, Wenchao Shi, Boxu Shen, Yi Chen, Hongxing Yang. (2021). Enhancing the cooling and dehumidification performance of indirect evaporative cooler by hydrophobic-coated primary air channels. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Volume 179, 121733.
- Zhiyin Duan, Changhong Zhan, Xingxing Zhang, Mahmud Mustafa, Xudong Zhao, Behrang Alimohammadisagv and, Ala Hasan. (2012). Indirect evaporative cooling: Past, present and future potentials. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 16, Pages 6823–6850.
- Zhongcai Wang, Qingbin Song, Yan You, Huabo Duan, Wenyi Yuan, Jinhui Li. (2021). Identifying the lifecycle ODP and GWP effects of the refrigerants from household air-conditioners in Macau. *Environmental Impact Assessment Review*, Volume 90, 106639.
- Zixu Yang, Jiaan Zhao, Baolong Wang, Rong Zhuang, Xin Li, Hansong Xiao, Wenxing Shi. (2021). Experimental performance analysis of hybrid air conditioner in cooling season. *Building and Environment*, Volume 204, 108160.



ภาคผนวก ก

คำสั่งชุดบันทึกข้อมูลและการสอบเทียบเครื่องมือวัด

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี





```

Arduino_Mega_New2 | Arduino 1.8.15
File Edit Sketch Tools Help

Arduino_Mega_New2 §
unsigned long StartTime = millis();
buttonState = digitalRead(buttonPin);

sensors1.requestTemperatures(); //สั่งอ่านค่าอุณหภูมิ
T1=sensors1.getTempCByIndex(0);
delay(100);
sensors2.requestTemperatures(); //สั่งอ่านค่าอุณหภูมิ
T2=sensors2.getTempCByIndex(0);
delay(100);
sensors3.requestTemperatures(); //สั่งอ่านค่าอุณหภูมิ
T3=sensors3.getTempCByIndex(0);
delay(100);
sensors4.requestTemperatures(); //สั่งอ่านค่าอุณหภูมิ
T4=sensors4.getTempCByIndex(0);
delay(100);
sensors5.requestTemperatures(); //สั่งอ่านค่าอุณหภูมิ
T5=sensors5.getTempCByIndex(0);
delay(100);
sensors6.requestTemperatures(); //สั่งอ่านค่าอุณหภูมิ
T6=sensors6.getTempCByIndex(0);
delay(100);
sensors7.requestTemperatures(); //สั่งอ่านค่าอุณหภูมิ
T7=sensors7.getTempCByIndex(0);
delay(100);
sensors8.requestTemperatures(); //สั่งอ่านค่าอุณหภูมิ
T8=sensors8.getTempCByIndex(0)-1.5;
delay(100); |

Arduino_Mega_New2 | Arduino 1.8.15
File Edit Sketch Tools Help

Arduino_Mega_New2 §
//----- Wetbulb effectiveness -----
WB_eff = (T1-T5) / (T1-T4);

//----- Relative Humidity Equation -----

ed1 = 6.112*pow((2.71828182845904), ((17.502*T1) / (240.97+T1)));
ed2 = 6.112*pow((2.71828182845904), ((17.502*T2) / (240.97+T2)));
ed3 = 6.112*pow((2.71828182845904), ((17.502*T3) / (240.97+T3)));
ed4 = 6.112*pow((2.71828182845904), ((17.502*T4) / (240.97+T4)));
ed5 = 6.112*pow((2.71828182845904), ((17.502*T5) / (240.97+T5)));
ed6 = 6.112*pow((2.71828182845904), ((17.502*T6) / (240.97+T6)));
ed7 = 6.112*pow((2.71828182845904), ((17.502*T7) / (240.97+T7)));
ed8 = 6.112*pow((2.71828182845904), ((17.502*T8) / (240.97+T8)));

RH1 = ((ew1-(0.6687451584*(1+0.00115*T2)*(T1-T2)))/ed1)*100;
RH2 = ((ew2-(0.6687451584*(1+0.00115*T4)*(T3-T4)))/ed2)*100;
RH3 = ((ew3-(0.6687451584*(1+0.00115*T6)*(T5-T6)))/ed3)*100;
RH4 = ((ew4-(0.6687451584*(1+0.00115*T8)*(T7-T8)))/ed4)*100;

//-----

t = rtc.getTime();

Serial.print(T1); // แสดงค่าอุณหภูมิ
Serial.println(" °C");
Serial.print(T2); // แสดงค่าอุณหภูมิ
Serial.println(" °C");
Serial.print(T3); // แสดงค่าอุณหภูมิ
Serial.println(" °C");
Serial.print(T4); // แสดงค่าอุณหภูมิ
Serial.println(" °C");
Serial.print(T5); // แสดงค่าอุณหภูมิ
Serial.println(" °C");
Serial.print(T6); // แสดงค่าอุณหภูมิ
Serial.println(" °C");
Serial.print(T7); // แสดงค่าอุณหภูมิ
Serial.println(" °C");
Serial.print(T8); // แสดงค่าอุณหภูมิ
Serial.println(" °C");
Serial.print(RH1); // แสดงความชื้นสัมพัทธ์
Serial.println(" %");
Serial.print(RH2); // แสดงความชื้นสัมพัทธ์
Serial.println(" %");
Serial.print(RH3); // แสดงความชื้นสัมพัทธ์
Serial.println(" %");
Serial.print(RH4); // แสดงความชื้นสัมพัทธ์
Serial.println(" %");
Serial.print("Today is the ");
Serial.print(t.date, DEC); // สำหรับตั้งค่าวันที่
Serial.print(" , day of ");
Serial.print(rtc.getMonthStr()); // สำหรับตั้งค่าเดือน
Serial.print(" year ");
Serial.print(t.year, DEC); // สำหรับตั้งค่าปี
Serial.println(" ");
Serial.print(t.hour, DEC); // สำหรับตั้งค่าเวลาเป็นชั่วโมง
Serial.println(" ");

```

```

Arduino_Mega_New2 | Arduino 1.8.15
File Edit Sketch Tools Help

Arduino_Mega_New2 §
Serial.print(t.sec, DEC); // สำหรับที่ค่าจากเป็นหน่วย
Serial.println(" second(s).");

// Clear LCD
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print(" ");
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print(" ");
lcd.setCursor(0, 2);
lcd.print(" ");
lcd.setCursor(0, 3);
lcd.print(" ");

//Selector RH or Temp.
if (buttonState == HIGH) {
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print(" ");
  lcd.print(t.date, DEC);
  lcd.print(" ");
  lcd.print(rtc.getMonthStr());
  lcd.print(" ");
  lcd.print(t.year, DEC);

  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("TIME:");
  lcd.print(t.hour, DEC);
  lcd.print(":");
}

lcd.setCursor(0, 2);
lcd.print("T1:");
lcd.print(T1);
lcd.print("C");
lcd.print(" T3:");
lcd.print(T3);
lcd.print("C");

lcd.setCursor(0, 3);
lcd.print("T5:");
lcd.print(T5);
lcd.print("C");
lcd.print(" T7:");
lcd.print(T7);
lcd.print("C");
} else {

  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print(" ");
  lcd.print(t.date, DEC);
  lcd.print(" ");
  lcd.print(rtc.getMonthStr());
  lcd.print(" ");
  lcd.print(t.year, DEC);

  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("TIME:");

  lcd.print("RH1 :");
  lcd.print(RH1);
  lcd.print("%");
  lcd.setCursor(10, 2);
  lcd.print("RH2 :");
  lcd.print(RH2);
  lcd.print("%");

  lcd.setCursor(0, 3);
  lcd.print("RH3 :");
  lcd.print(RH3);
  lcd.print("%");
  lcd.setCursor(10, 3);
  lcd.print("RH4 :");
  lcd.print(RH4);
  lcd.print("%");
}

cout++;
}

```

```

Arduino_Mega_New2 | Arduino 1.8.15
File Edit Sketch Tools Help

Arduino_Mega_New2 $
lcd.setCursor(19, 1);
lcd.print(cout);
//

if (cout == 6) {
  //รอพิมพ์
  cout == 0;
  lcd.setCursor(14, 1);
  lcd.print("LOG.");

  UnoSerial.print(T1);
  UnoSerial.print(" ");
  UnoSerial.print(T2);
  UnoSerial.print(" ");
  UnoSerial.print(T3);
  UnoSerial.print(" ");
  UnoSerial.print(T4);
  UnoSerial.print(" ");
  UnoSerial.print(T5);
  UnoSerial.print(" ");
  UnoSerial.print(T6);
  UnoSerial.print(" ");
  UnoSerial.print(T7);
  UnoSerial.print(" ");
  UnoSerial.print(T8);
  UnoSerial.print(" ");
  UnoSerial.print(RH1);
  UnoSerial.print(" ");
}

Arduino_Mega_New2 | Arduino 1.8.15
File Edit Sketch Tools Help

Arduino_Mega_New2 $
UnoSerial.print(RH3);
UnoSerial.print(" ");
UnoSerial.print(RH4);
UnoSerial.print(" ");
UnoSerial.print(WB_eff);
UnoSerial.print("\n");

delay(500);
lcd.setCursor(14, 1);
lcd.print("LOG.");
myFile = SD.open("test.txt", FILE_WRITE);
if (myFile) {
  myFile.print(t.date, DEC);
  myFile.print("/");
  myFile.print(rtc.getMonthStr());
  myFile.print("/");
  myFile.print(t.year, DEC);
  myFile.print(",");
  myFile.print(t.hour, DEC);
  myFile.print(":");
  myFile.print(t.min, DEC);
  myFile.print(":");
  myFile.print(t.sec, DEC);
  myFile.print(",");
  myFile.print(T1);
  myFile.print(",");
  myFile.print(T2);
  myFile.print(",");
}

Arduino_Mega_New2 | Arduino 1.8.15
File Edit Sketch Tools Help

Arduino_Mega_New2 $
myFile.print(",");
myFile.print(T3);
myFile.print(",");
myFile.print(T4);
myFile.print(",");
myFile.print(T5);
myFile.print(",");
myFile.print(T6);
myFile.print(",");
myFile.print(T7);
myFile.print(",");
myFile.print(T8);
myFile.print(",");
myFile.print(RH1);
myFile.print(",");
myFile.print(RH2);
myFile.print(",");
myFile.print(RH3);
myFile.print(",");
myFile.print(RH4);
myFile.print(",");
myFile.println(WB_eff);
myFile.close(); // ปิดไฟล์
} // myfile

delay(500);
lcd.setCursor(14, 1);
lcd.print("LOG.");
}

```

```
Arduino_Mega_New2 | Arduino 1.8.15
File Edit Sketch Tools Help

Arduino_Mega_New2$
myFile.print(",");
myFile.print(T7);
myFile.print(",");
myFile.print(T8);
myFile.print(",");
myFile.print(RH1);
myFile.print(",");
myFile.print(RH2);
myFile.print(",");
myFile.print(RH3);
myFile.print(",");
myFile.print(RH4);
myFile.print(",");
myFile.println(WB_eff);
myFile.close(); // ปิดไฟล์
//myfile

delay(500);
lcd.setCursor(14, 1);
lcd.print("LOG...");
cout = 0;
}

unsigned long CurrentTime = millis();
unsigned long ElapsedTime = CurrentTime - StartTime;
unsigned long RealDelay = delaytime - ElapsedTime;
delay(RealDelay);
}
```



## 2. คำสั่งชุดส่งข้อมูลไปยังแอปพลิเคชันจากโปรแกรม Arduino

```

Arduino_ESP8266_New | Arduino 1.8.15
File Edit Sketch Tools Help

Arduino_ESP8266_New
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <SoftwareSerial.h>
#include <BlynkSimpleEsp8266.h>
SoftwareSerial NodeSerial(D2, D3); // RX | TX

char auth[] = "2B9bWzEJbGSWiyObzE8x8C6vqgVpEoSS";
char ssid[] = "AMPHAI";
char pass[] = "0898657331";

void setup() {
  pinMode(D2, INPUT);
  pinMode(D3, OUTPUT);
  Serial.begin(9600);
  NodeSerial.begin(57600);
  Serial.println();
  Serial.println("NodeMCU/ESP8266 Run");

  if (WiFi.begin(ssid, pass))
  {
    while (WiFi.status() != WL_CONNECTED)
    {
      delay(500);
      Serial.print(".");
    }
  }
  Serial.println(" ");
}

Arduino_ESP8266_New | Arduino 1.8.15
File Edit Sketch Tools Help

Arduino_ESP8266_New
Serial.println("WiFi connected");
Serial.print ("IP address: ");
Serial.println(WiFi.localIP());
Blynk.begin(auth, ssid, pass);
}

void loop() {
  Blynk.run();
  while (NodeSerial.available() > 0)
  {
    float T1 = NodeSerial.parseFloat();
    float T2 = NodeSerial.parseFloat();
    float T3 = NodeSerial.parseFloat();
    float T4 = NodeSerial.parseFloat();
    float T5 = NodeSerial.parseFloat();
    float T6 = NodeSerial.parseFloat();
    float T7 = NodeSerial.parseFloat();
    float T8 = NodeSerial.parseFloat();
    float RH1 = NodeSerial.parseFloat();
    float RH2 = NodeSerial.parseFloat();
    float RH3 = NodeSerial.parseFloat();
    float RH4 = NodeSerial.parseFloat();

    float WB_eff = NodeSerial.parseFloat();

    if (NodeSerial.read() == '\n')
    {
      Serial.print("Temperature");
      Serial.print(" : ");
      Serial.print(T1);
      Serial.print(" : ");
      Serial.print(T2);
      Serial.print(" : ");
      Serial.print(T3);
      Serial.print(" : ");
      Serial.print(T4);
      Serial.print(" : ");
      Serial.print(T5);
      Serial.print(" : ");
      Serial.print(T6);
      Serial.print(" : ");
      Serial.print(T7);
      Serial.print(" : ");
      Serial.print(T8);
      Serial.print(" : ");
      Serial.print(RH1);
      Serial.print(" : ");
      Serial.print(RH2);
      Serial.print(" : ");
      Serial.print(RH3);
      Serial.print(" : ");
      Serial.print(RH4);
    }
  }
}

Arduino_ESP8266_New | Arduino 1.8.15
File Edit Sketch Tools Help

Arduino_ESP8266_New

if (NodeSerial.read() == '\n')
{
  Serial.print("Temperature");
  Serial.print(" : ");
  Serial.print(T1);
  Serial.print(" : ");
  Serial.print(T2);
  Serial.print(" : ");
  Serial.print(T3);
  Serial.print(" : ");
  Serial.print(T4);
  Serial.print(" : ");
  Serial.print(T5);
  Serial.print(" : ");
  Serial.print(T6);
  Serial.print(" : ");
  Serial.print(T7);
  Serial.print(" : ");
  Serial.print(T8);
  Serial.print(" : ");
  Serial.print(RH1);
  Serial.print(" : ");
  Serial.print(RH2);
  Serial.print(" : ");
  Serial.print(RH3);
  Serial.print(" : ");
  Serial.print(RH4);
}

```

```
Arduino_ESP8266_New | Arduino 1.8.15
File Edit Sketch Tools Help

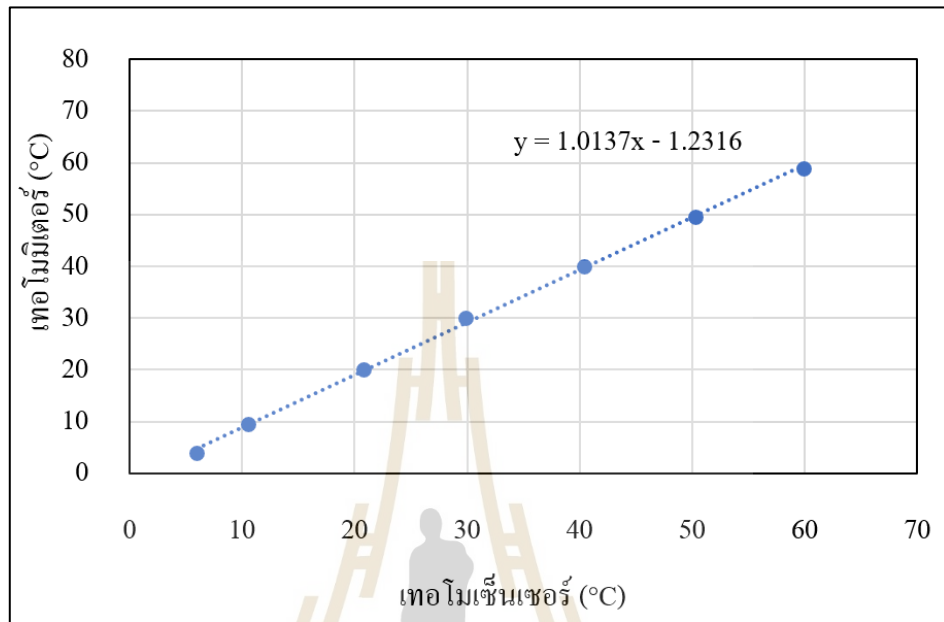
Arduino_ESP8266_New
Serial.print( " : ");
Serial.print(RH1);
Serial.print(" : ");
Serial.print(RH2);
Serial.print(" : ");
Serial.print(RH3);
Serial.print(" : ");
Serial.print(RH4);
Serial.print(" : ");
Serial.println(WB_eff);

Blynk.virtualWrite(V1, T1);
Blynk.virtualWrite(V2, T2);
Blynk.virtualWrite(V3, T3);
Blynk.virtualWrite(V4, T4);
Blynk.virtualWrite(V5, T5);
Blynk.virtualWrite(V6, T6);
Blynk.virtualWrite(V7, T7);
Blynk.virtualWrite(V8, T8);
Blynk.virtualWrite(V9, RH1);
Blynk.virtualWrite(V10, RH2);
Blynk.virtualWrite(V11, RH3);
Blynk.virtualWrite(V12, RH4);
Blynk.virtualWrite(V13, WB_eff);
}
}
```

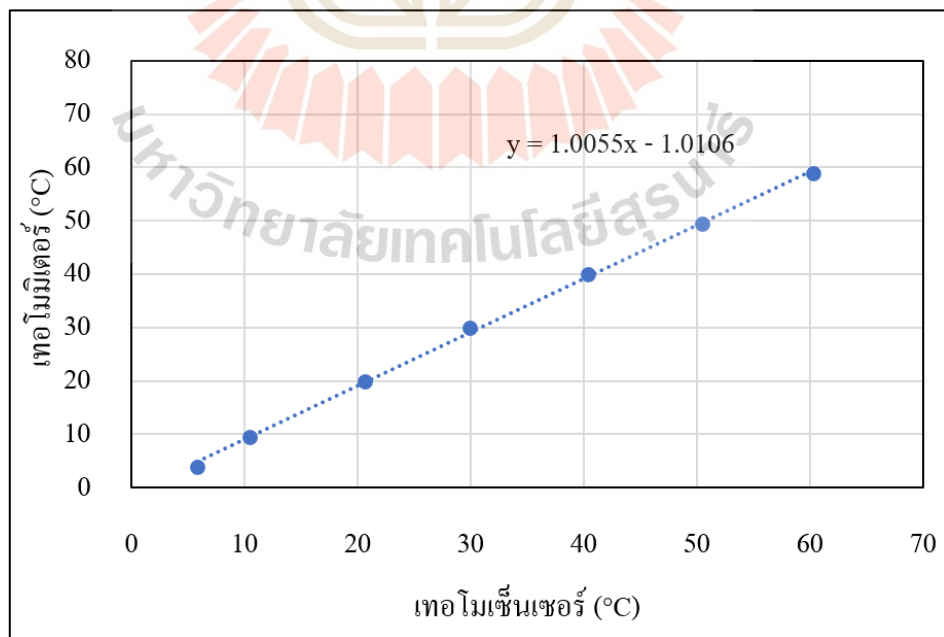


### 3. คำสั่งชุดส่งข้อมูลไปยังแอปพลิเคชันจากโปรแกรม Arduino

#### 1) เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ

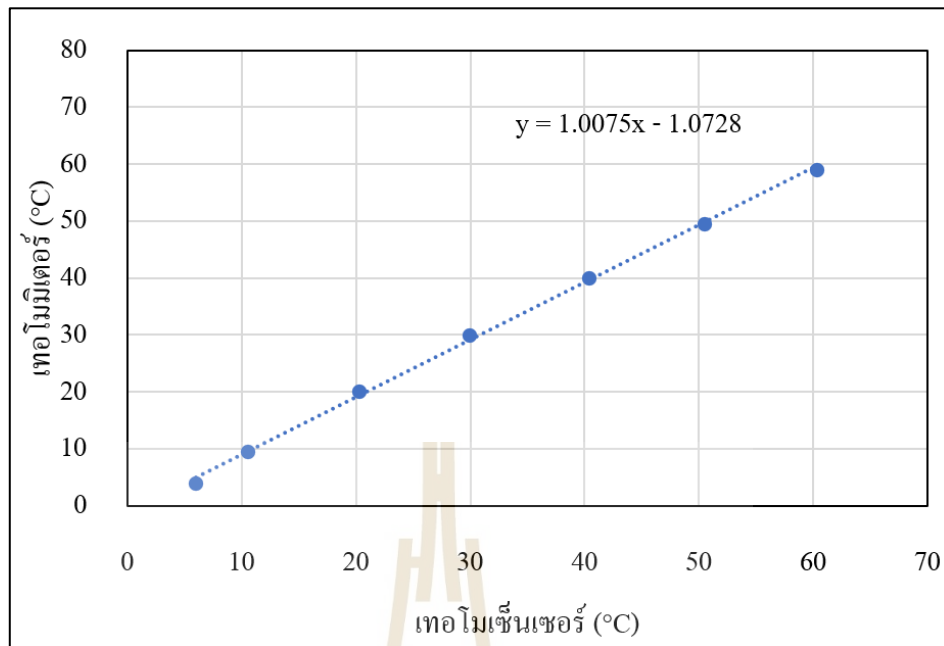


รูปที่ ก.1 การสอบเทียบความถูกต้องของเซนเซอร์วัดอุณหภูมิตัวที่ 1

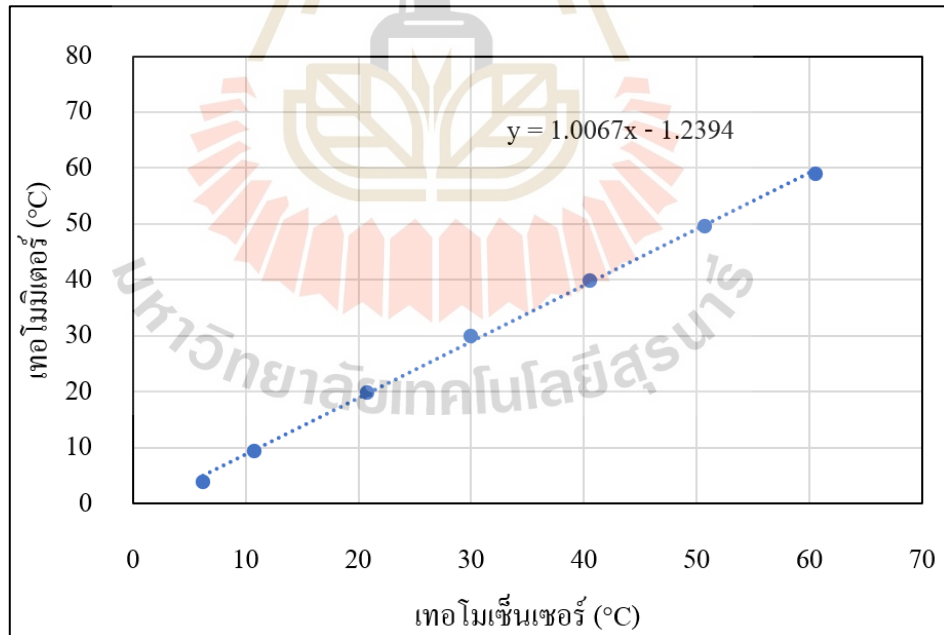


รูปที่ ก.2 การสอบเทียบความถูกต้องของเซนเซอร์วัดอุณหภูมิตัวที่ 2

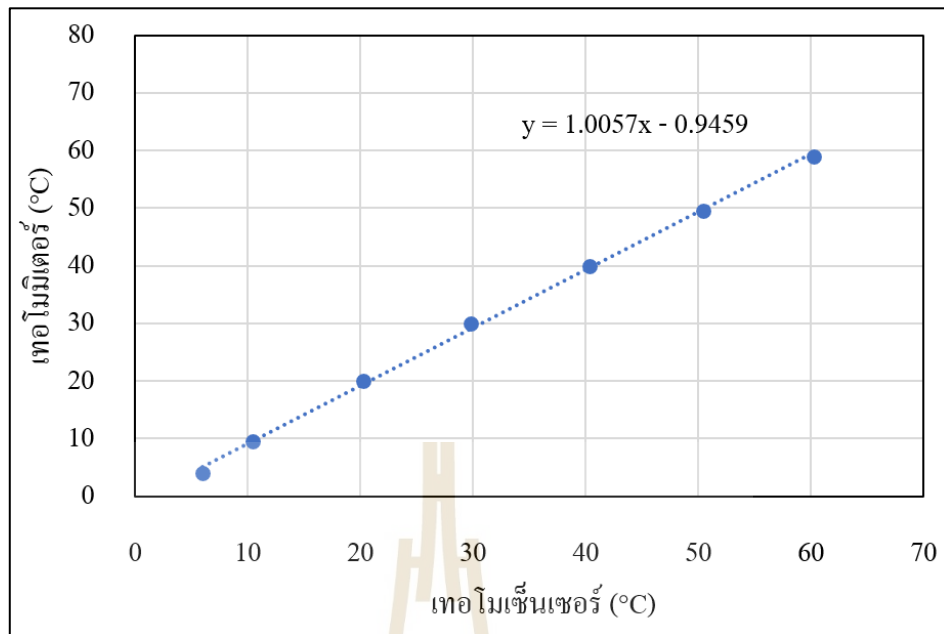




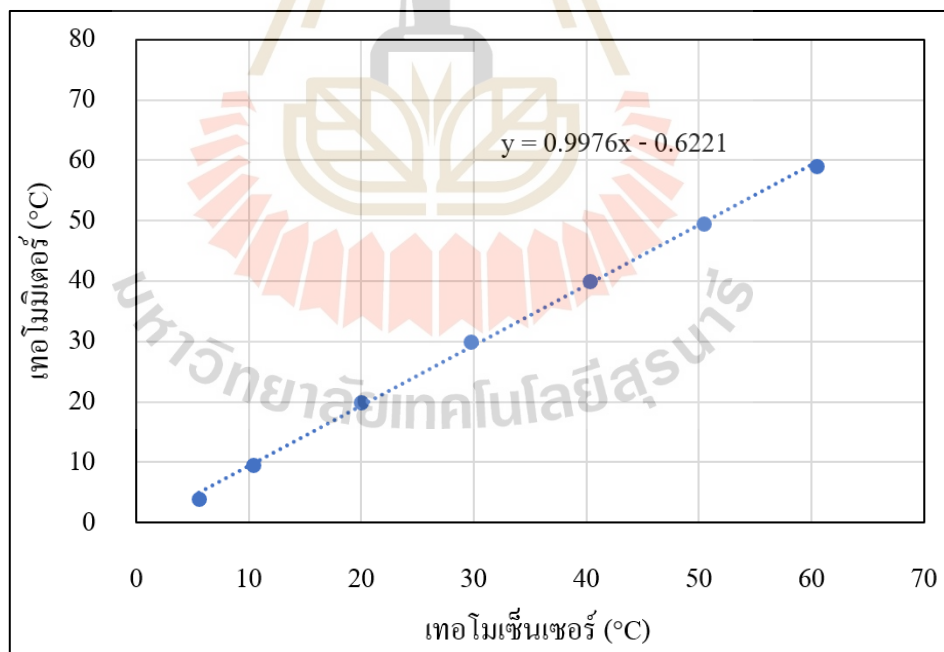
รูปที่ ก.3 การสอบเทียบความถูกต้องของเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิตัวที่ 3



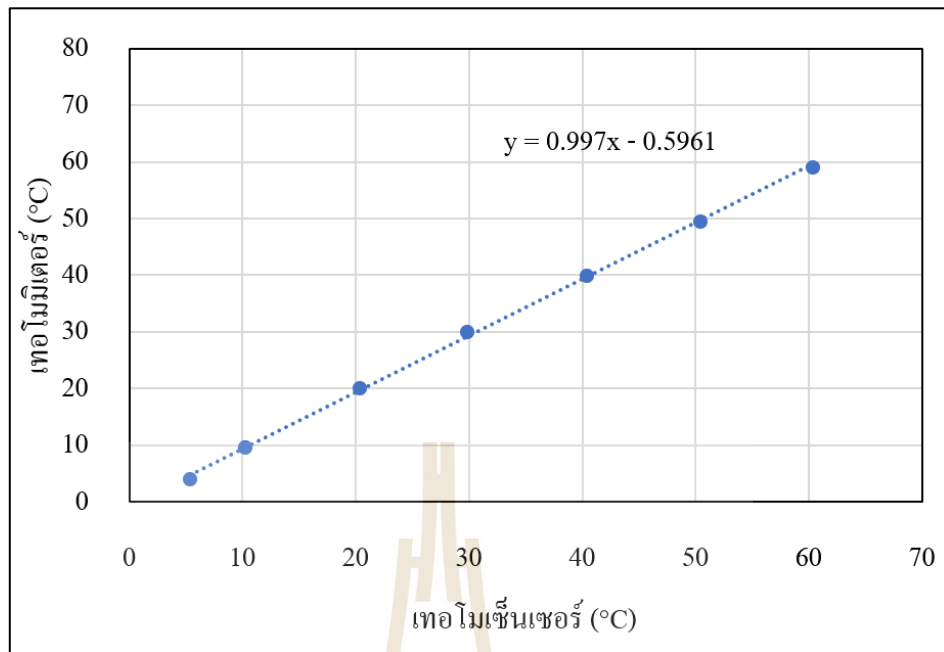
รูปที่ ก.4 การสอบเทียบความถูกต้องของเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิตัวที่ 4



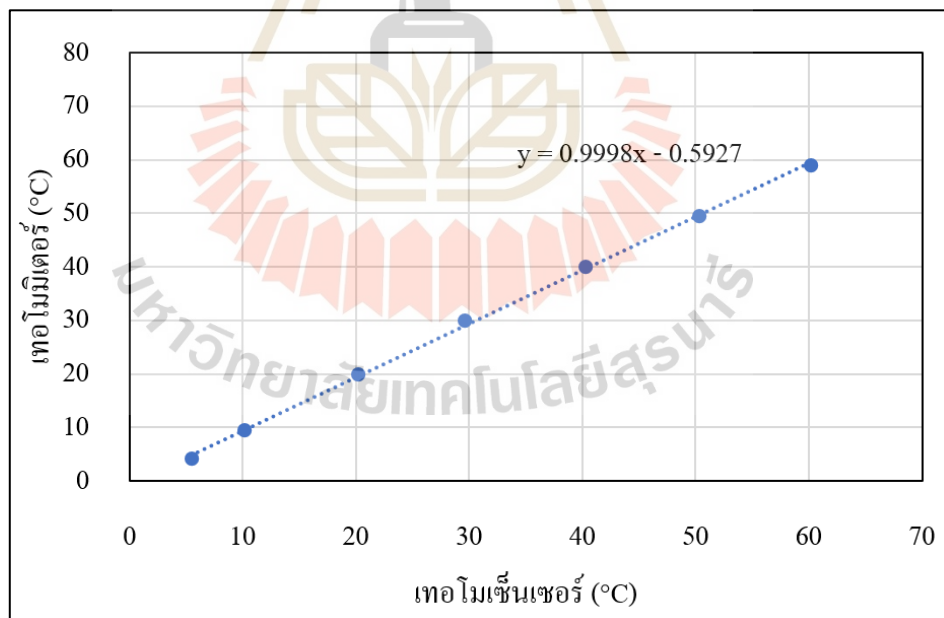
รูปที่ ก.5 การสอบเทียบความถูกต้องของเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิตัวที่ 5



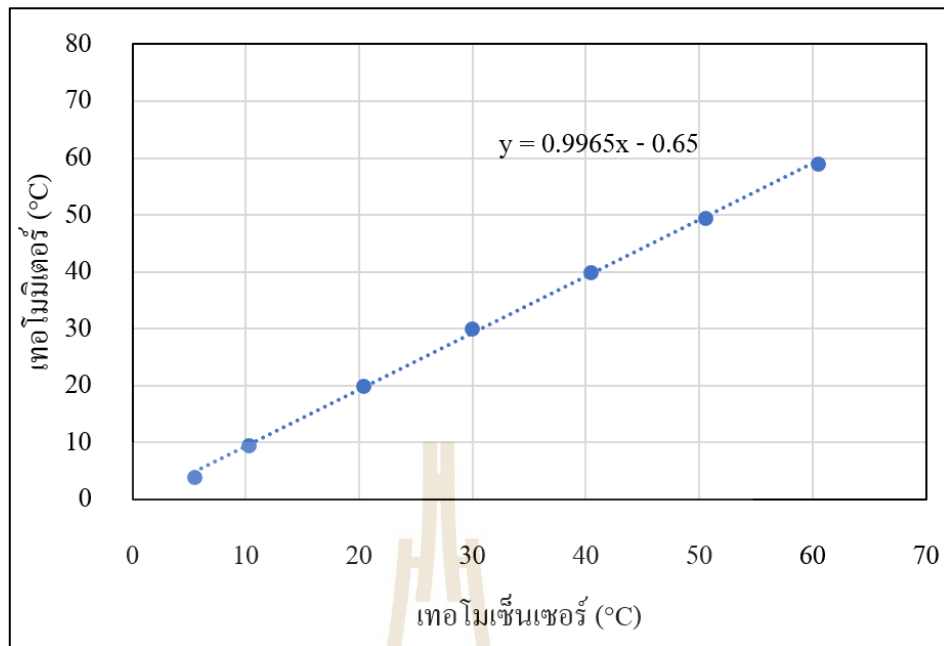
รูปที่ ก.6 การสอบเทียบความถูกต้องของเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิตัวที่ 6



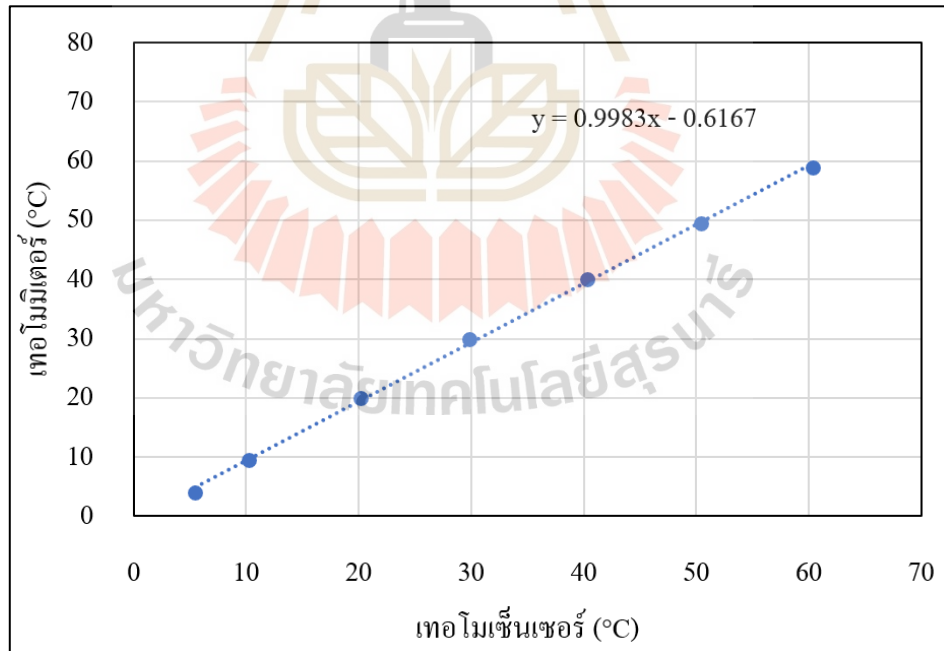
รูปที่ ก.7 การสอบเทียบความถูกต้องของเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิตัวที่ 7



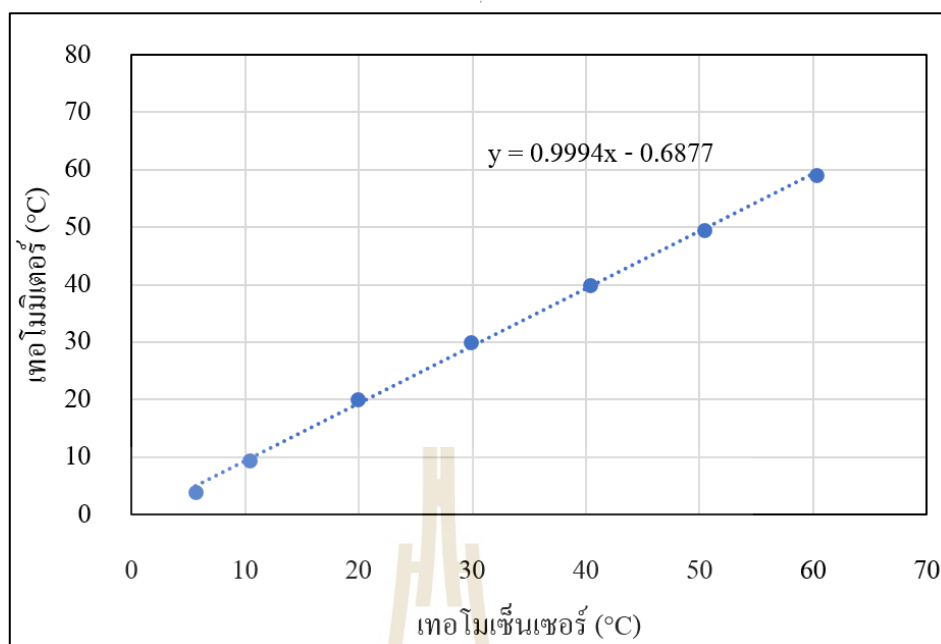
รูปที่ ก.8 การสอบเทียบความถูกต้องของเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิตัวที่ 8



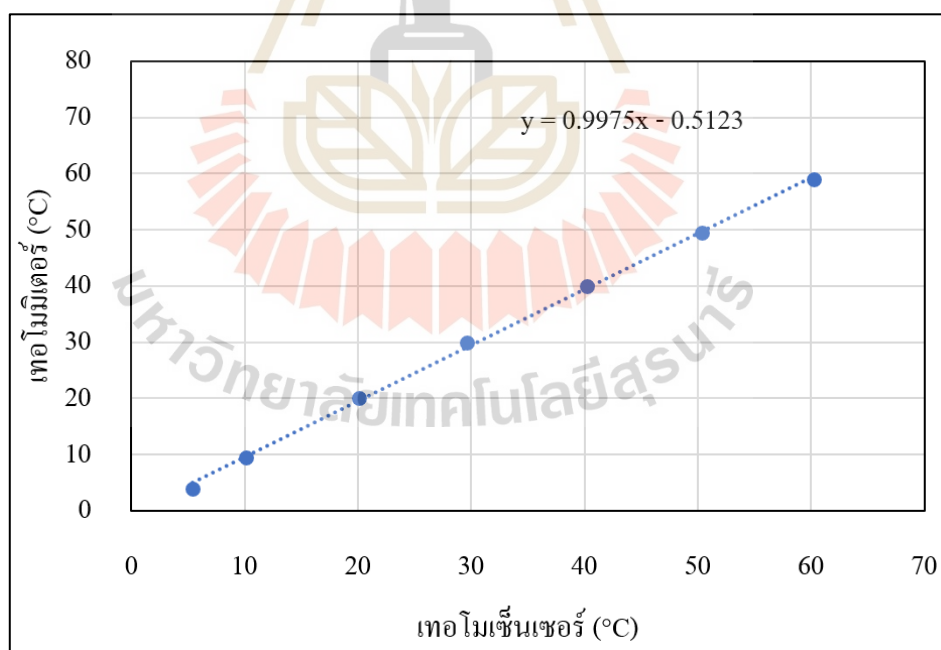
รูปที่ ก.9 การสอบเทียบความถูกต้องของเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิตัวที่ 9



รูปที่ ก.10 การสอบเทียบความถูกต้องของเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิตัวที่ 10

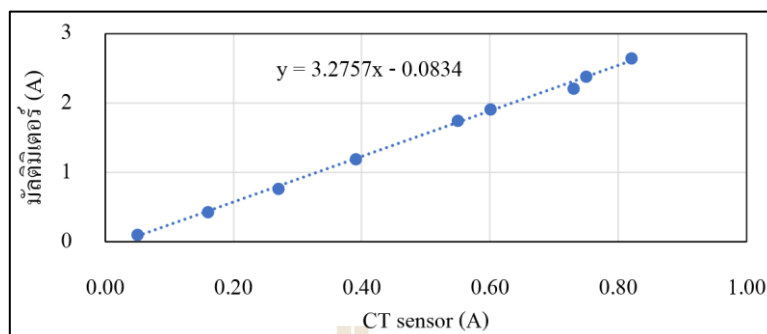


รูปที่ ก.11 การสอบเทียบความถูกต้องของเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิตัวที่ 11

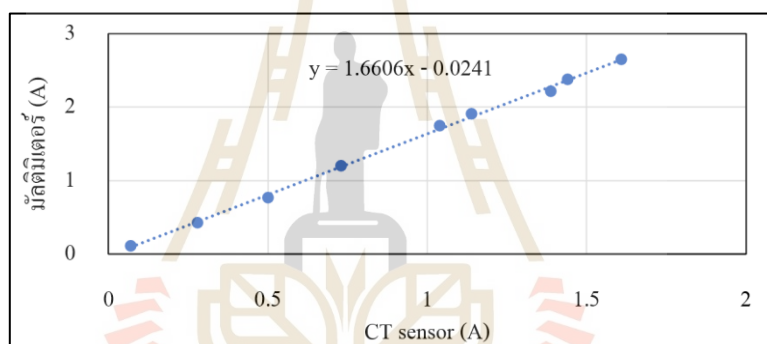


รูปที่ ก.12 การสอบเทียบความถูกต้องของเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิตัวที่ 12

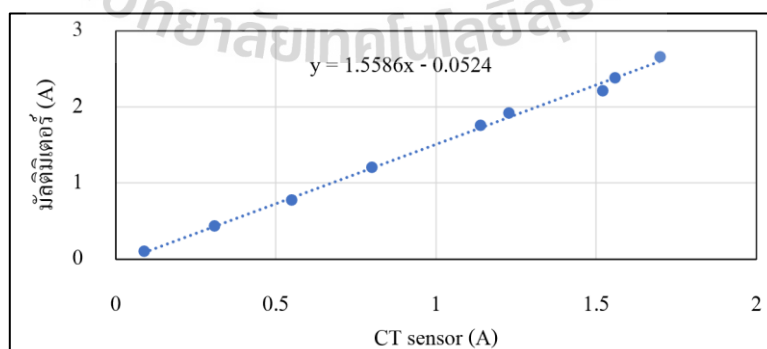
## 2) เซ็นเซอร์วัดกระแสไฟฟ้า



รูปที่ ก.13 การสอบเทียบความถูกต้องของเซ็นเซอร์กระแสไฟฟ้าตัวที่ 1



รูปที่ ก.14 การสอบเทียบความถูกต้องของเซ็นเซอร์กระแสไฟฟ้าตัวที่ 2



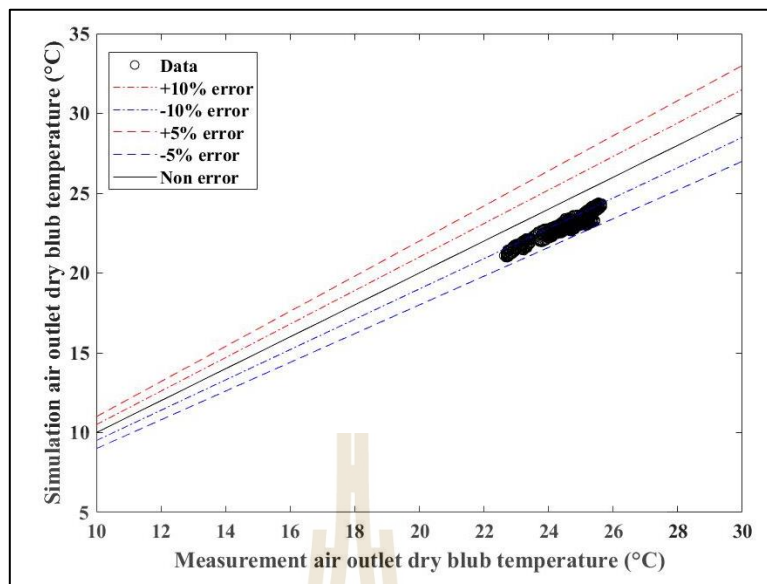
รูปที่ ก.15 การสอบเทียบความถูกต้องของเซ็นเซอร์กระแสไฟฟ้าตัวที่ 3



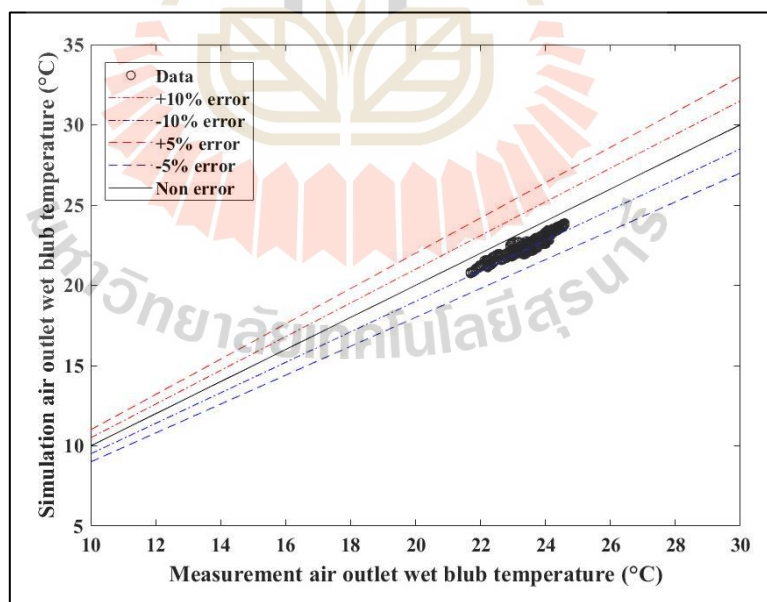
ภาคผนวก ข

การตรวจสอบความถูกต้องระหว่างผลการทดสอบกับผลการจำลอง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

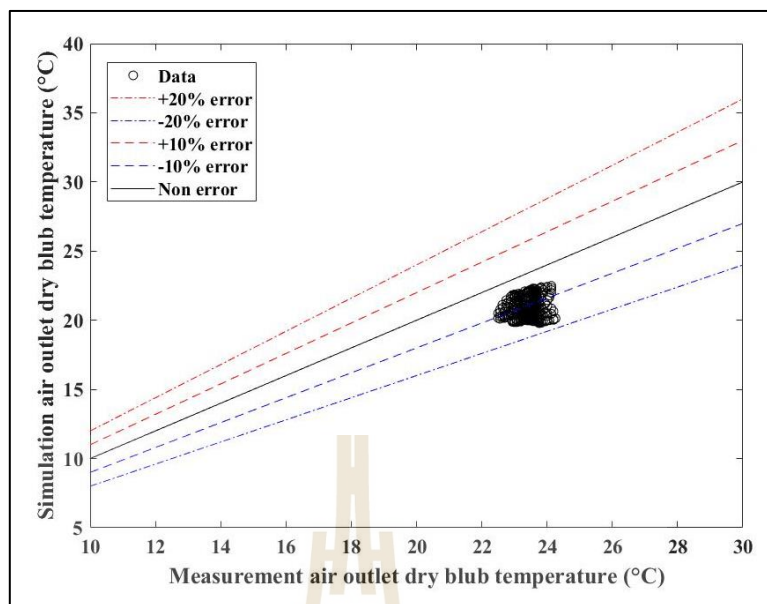


รูปที่ ข.1 ผลตรวจสอบความถูกต้องระหว่างการทดสอบกับการจำลองของอุณหภูมิกระเปาะแห้ง  
ที่ทางออกของช่องแห้งสำหรับแกนทำความเย็นชนิดไหลตั้งฉาก  
(ธงชัย เทียมทัต และคณะ 2019)

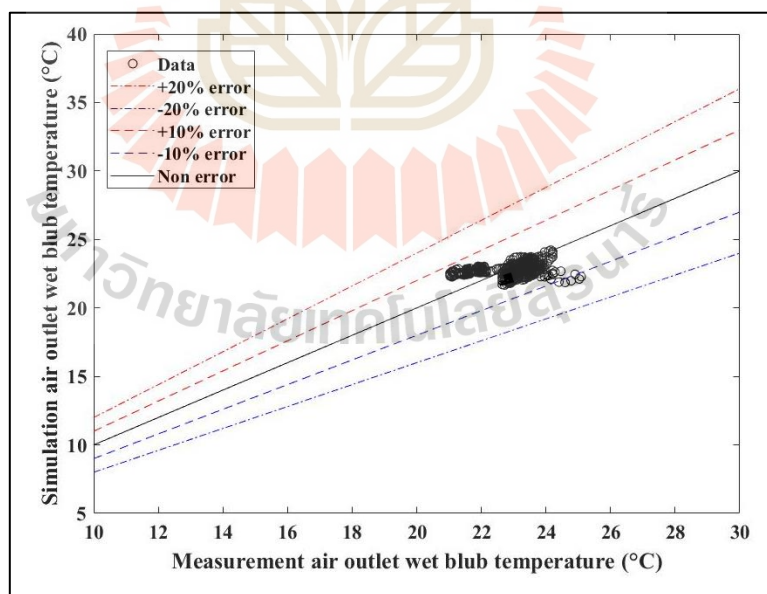


รูปที่ ข.2 ผลตรวจสอบความถูกต้องระหว่างการทดสอบกับการจำลองของอุณหภูมิกระเปาะเปียก  
ที่ทางออกของช่องเปียกสำหรับแกนทำความเย็นชนิดไหลตั้งฉาก  
(ธงชัย เทียมทัต และคณะ 2019)

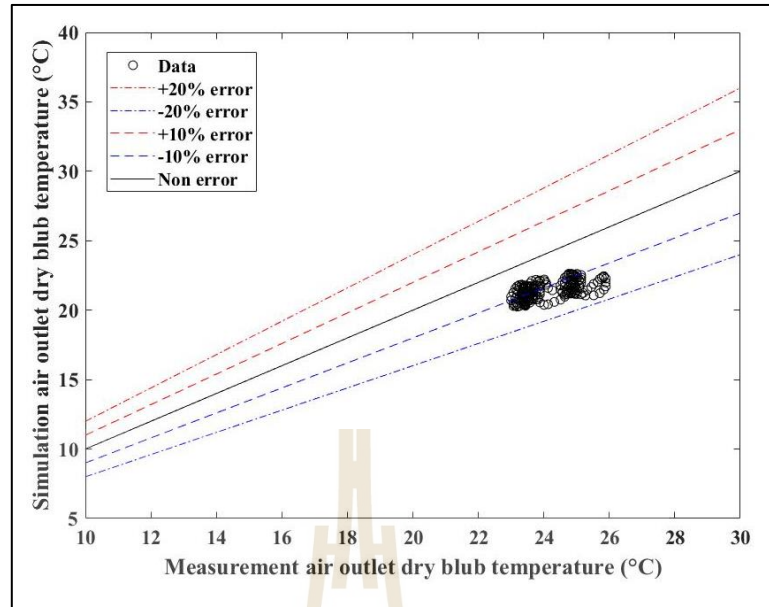




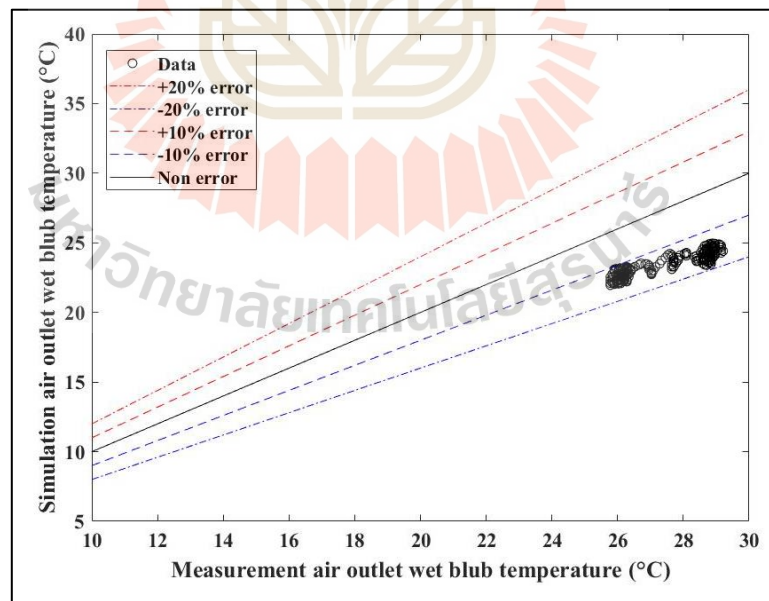
รูปที่ ข.3 ผลตรวจสอบความถูกต้องระหว่างการทดสอบกับการจำลองของอุณหภูมิกระเปาะแห้งที่ทางออกของช่องแห้งสำหรับแกนทำความเย็นชนิดไหลสวนทาง (ธงชัย เทียมทัด และคณะ 2019)



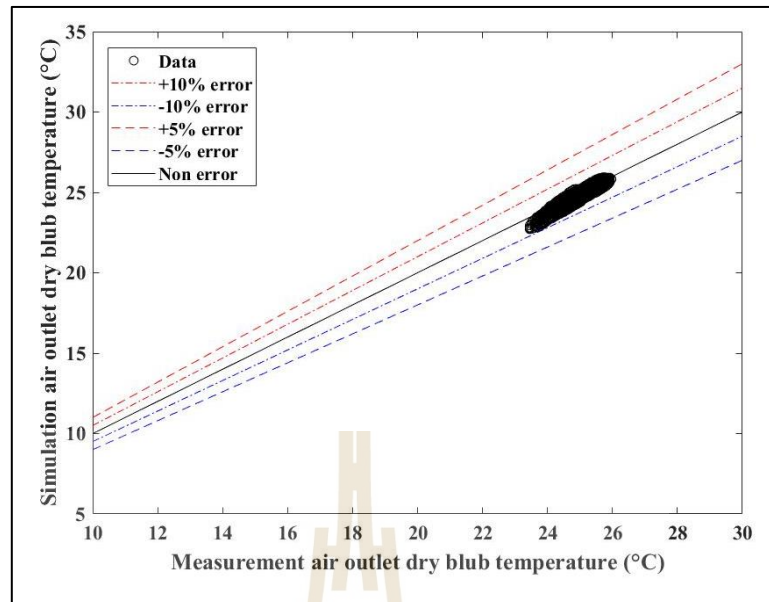
รูปที่ ข.4 ผลตรวจสอบความถูกต้องระหว่างการทดสอบกับการจำลองของอุณหภูมิกระเปาะเปียกที่ทางออกของช่องเปียกสำหรับแกนทำความเย็นชนิดไหลสวนทาง (ธงชัย เทียมทัด และคณะ 2019)



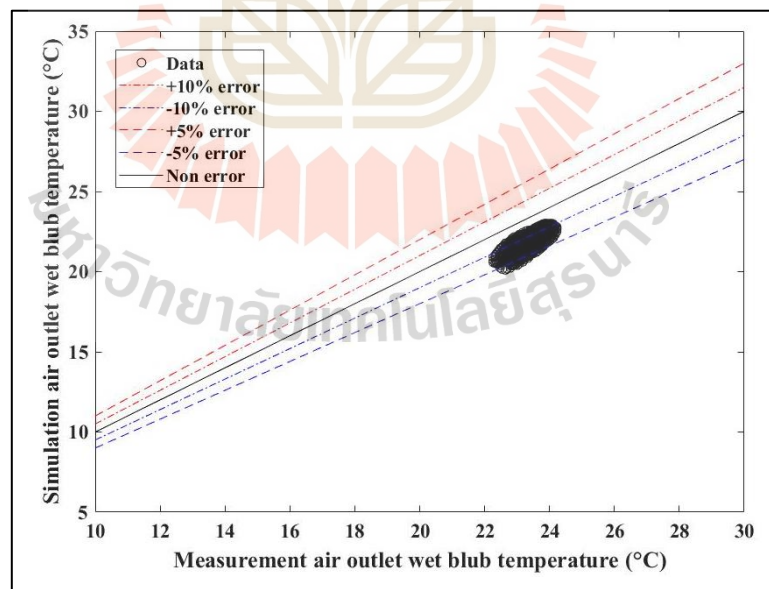
รูปที่ ข.5 ผลตรวจสอบความถูกต้องระหว่างการทดสอบกับการจำลองของอุณหภูมิกระเปาะแห้งที่ทางออกของช่องแห้งสำหรับแกนทำความเย็นชนิดไหลสวนทางแบบมีแผ่นกั้น (ธงชัย เทียมทัด และคณะ 2019)



รูปที่ ข.6 ผลตรวจสอบความถูกต้องระหว่างการทดสอบกับการจำลองของอุณหภูมิกระเปาะเปียกที่ทางออกของช่องเปียกสำหรับแกนทำความเย็นชนิดไหลสวนทางแบบมีแผ่นกั้น (ธงชัย เทียมทัด และคณะ 2019)



รูปที่ ข.7 ผลตรวจสอบความถูกต้องระหว่างการทดสอบกับการจำลองของอุณหภูมิกระเปาะแห้งที่ทางออกของช่องแห้งสำหรับแกนทำความเย็นชนิดไหลตั้งฉากแบบแบ่งอากาศกลับเข้าช่องเปียก (ธงชัย เทียมทัต และคณะ 2019)



รูปที่ ข.8 ผลตรวจสอบความถูกต้องระหว่างการทดสอบกับการจำลองของอุณหภูมิกระเปาะเปียกที่ทางออกของช่องเปียกสำหรับแกนทำความเย็นชนิดไหลตั้งฉากแบบแบ่งอากาศกลับเข้าช่องเปียก (ธงชัย เทียมทัต และคณะ 2019)

## ประวัติผู้เขียน

นายณัฐพล อำไพ เกิดเมื่อวันที่ 17 กรกฎาคม 2538 ณ อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา สำเร็จการศึกษาระดับประถมศึกษาและมัธยมศึกษาที่โรงเรียนมารีย์วิทยา จังหวัดนครราชสีมา สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีสาขาวิศวกรรมเครื่องกล (หลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกล) คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ พ.ศ. 2560 ในปี พ.ศ. 2562 ได้เข้าศึกษาต่อระดับปริญญาโท ที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลและระบบกระบวนการ (หลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกล) โดยได้รับทุน OROG ทั้งนี้ ในระหว่างการศึกษาระดับปริญญาโทได้รับมอบหมายเป็นผู้ช่วยสอนในรายวิชา ได้แก่ วิชาการถ่ายเทความร้อน ได้รับมอบหมายเป็นผู้ช่วยสอนในวิชาปฏิบัติการ ได้แก่ เขียนแบบวิศวกรรม ปฏิบัติการความร้อนและของไหล ปฏิบัติการกระบวนการผลิต นอกจากนี้ ในระหว่างการศึกษาได้มีโอกาสเข้าร่วมการประชุมทางวิชาการเพื่อนำเสนอผลงานวิจัยระดับประเทศ 1 การประชุม และระดับต่างประเทศ 1 การประชุม



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี