



## รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การประเมินชนิดของระบบปรับอากาศที่เหมาะสมต่อการใช้งานในอาคารสูง

### ASSESSMENT OF APPROPRIATE AIR CONDITIONING SYSTEM TYPES IN HIGH-RISE BUILDING

พีรพงศ์ แก้วเวียงคุณ

PHIRAPONG KAEWWIANGKHUN

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

หลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกล

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

ปีการศึกษา 2564

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประเมินชนิดของระบบปรับอากาศที่เหมาะสมต่อการใช้งานในอาคารสูง  
ASSESSMENT OF APPROPRIATE AIR CONDITIONING SYSTEM  
TYPES IN HIGH-RISE BUILDING



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
หลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกล  
ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร  
ปีการศึกษา 2564

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดก่แปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ASSESSMENT OF APPROPRIATE AIR CONDITIONING SYSTEM  
TYPES IN HIGH-RISE BUILDING



A PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT  
FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING  
DEPARTMENT OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
PRINCE OF CHUMPHON

2021

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2022

DEPARTMENT OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

PRINCE OF CHUMPHONE CAMPUS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร  
ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

หัวข้อสหกิจศึกษา การประเมินชนิดของระบบปรับอากาศที่เหมาะสมต่อการใช้งาน  
ในอาคารสูง

PROJECT TITLE ASSESSMENT OF APPROPRIATE AIR CONDITIONING  
SYSTEM TYPES IN HIGH-RISE BUILDING

ชื่อนักศึกษา นายพีรพงศ์ แก้วเวียงคุณ รหัสนักศึกษา 61512059




ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ชมพูนุช กุลเกตุวงศ์

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผศ.ดร.ดิษฐพร ตุงโสธานนท์


วิศวกรที่ปรึกษา นายศานติ เดชะพรหมพันธ์

คณะกรรมการสอบปริญญาานิพนธ์			ลายมือชื่อ
ผศ.วราภชล	วัฒนธรรม	ประธานกรรมการ	
ผศ.ดร.ดิษฐพร	ตุงโสธานนท์	อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	
ผศ.ดร.ชมพูนุช	กุลเกตุวงศ์	อาจารย์ที่ปรึกษา	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 7 เมษายน พ.ศ. 2565 เวลา 14.00-15.00 น.

สถานที่สอบ ห้องสอบออนไลน์

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว


  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปราโมทย์ กุศล)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ 29 มิถุนายน พ.ศ. 2565

รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์  
ประจำปีการศึกษา 2564

โครงการ การประเมินชนิดของระบบปรับอากาศที่เหมาะสมต่อการใช้งาน  
ในอาคารสูง  
ผู้จัดทำ นายพีรพงศ์ แก้วเวียงคุณ รหัสนักศึกษา 61512059  
ปฏิบัติงาน บริษัท ซีพี ออลล์ จำกัด (มหาชน)  
ที่อยู่ 40-46 ถนนแจ้งวัฒนะ ซอยอินทนิล อาคารเดอะธารา ตำบลบางตลาด  
อำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี 11120  
วิศวกรที่ปรึกษา นายศานติ เดชะพรหมพันธุ์

  
อาจารย์ที่ปรึกษา  
(ผศ.ดร.ชมพูนุช กุลเกตุวงศ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## หนังสือส่งรายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

เรื่อง ขอส่งรายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

เรียน อาจารย์ที่ปรึกษาสหกิจศึกษา สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

ข้าพเจ้า นายพีรพงศ์ แก้วเวียงคุณ นักศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร ได้ปฏิบัติงานสหกิจศึกษาระหว่างวันที่ 9 สิงหาคม พ.ศ. 2564 ถึงวันที่ 10 ธันวาคม พ.ศ. 2564 ในตำแหน่งนักศึกษาฝึกงานในฝ่ายวิศวกรรม ฝ่ายบริหารอาคาร ณ บริษัท ซีพี ออลล์ จำกัด (มหาชน) และได้รับมอบหมายจากวิศวกรที่ปรึกษาสหกิจศึกษาให้ศึกษาและจัดทำโครงการเรื่องการประเมินชนิดของระบบปรับอากาศที่เหมาะสมต่อการใช้งานในอาคารสูง

บัดนี้ การปฏิบัติงานสหกิจศึกษาได้เสร็จสิ้นลงแล้ว จึงใคร่ขอส่งรายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์ดังกล่าว จำนวน 1 เล่ม เพื่อขอรับคำปรึกษาต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อพิจารณา

ขอแสดงความนับถือ

นายพีรพงศ์ แก้วเวียงคุณ

นักศึกษาสหกิจศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกล

ชื่อปริญญาบัตร	การประเมินชนิดของระบบปรับอากาศที่เหมาะสมต่อการใช้งานในอาคารสูง	
ชื่อนักศึกษา	นายพีรพงศ์ แก้วเวียงคุณ	รหัสประจำตัว 61512059
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต	
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล	
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.ชมพูนุช กุลเกตุวงศ์	
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผศ.ดร.ดิษฐพร ตุงโสธานนท์	
วิศวกรที่ปรึกษา	นายศานติ เดชะพรหมพันธุ์	

### บทคัดย่อ

ระบบปรับอากาศเป็นระบบที่ใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารมากที่สุด การเลือกใช้ระบบปรับอากาศให้เหมาะสมกับอาคารจึงสำคัญอย่างยิ่ง ดังนั้นโครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินและเปรียบเทียบระบบปรับอากาศให้เหมาะสมกับพฤติกรรมการใช้งานของบุคลากรในอาคารสูง โดยวัดค่าความสามารถในการทำความเย็นของระบบปรับอากาศทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ ระบบปรับอากาศแบบทำน้ำเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ และระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน จากนั้นจึงจำลองอาคารสูงขึ้นเพื่อกำหนดพฤติกรรมการใช้งานระบบปรับอากาศ และทำการคำนวณหาภาระทำความเย็นในอาคารพบว่าการใช้ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์เหมาะสมกับพฤติกรรมการใช้งานของบุคลากรในอาคารสูงนี้ที่สุด และยังสามารถประหยัดพลังงานได้มากกว่าระบบทำน้ำเย็น และระบบแยกส่วน คิดเป็น 2.9 และ 23.21% ตามลำดับ

**สำคัญ:** ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์, พฤติกรรมการใช้งานระบบปรับอากาศ, อาคารสูง

<b>Project Title</b>	Assessment of Appropriate Air Conditioning System Types in High-rise Building	
<b>Student</b>	Mr.Phirapong Kaewwiangkhun	<b>Student ID</b> 61512059
<b>Degree</b>	Bachelor of Engineering	
<b>Program</b>	Mechanical Engineering	
<b>Project Advisor</b>	Asst.Prof.Dr. Chompoonud Kulketwong	
<b>Project Co-advisor</b>	Asst.Prof.Dr. Dithaporn Thungsotanon	
<b>Project Engineer</b>	Mr. Santi Dechapompun	

## ABSTRACT

The air conditioning system uses the most electrical power in the building. The proper choice of the air conditioning system is very important. Therefore, the objectives of this project were to assess and compare the appropriate air conditioning system for the behavior of people to open-close devices in the high-rise building. The coefficient of performance of the 3 types of systems such as variable refrigerant flow system, water cooled-chiller system and spilt type system were evaluated. The high-rise building was modeled to determine the behavior of opening-closing air condition and the cooling load was estimated. The results found that the variable refrigerant flow system was proper usage for everyone in this building and saved more energy than the cooled-chiller system and spilt type system of 2.9 and 23.32%, respectively.

**Keywords:** Variable refrigerant flow system, Air conditioning system usage behavior, High-rise building

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการสหกิจศึกษาฉบับนี้สำเร็จได้นั้นผู้จัดทำขอขอบพระคุณ บริษัท ซีพี ออลล์ จำกัด (มหาชน) เป็นอย่างสูงที่ให้โอกาสข้าพเจ้าได้มาสหกิจเพื่อเรียนรู้การทำงาน

ขอขอบพระคุณอาจารย์ชมพูนุช กุลเกตุวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการสหกิจศึกษาและอาจารย์ดิษฐพร ตุงโสธานนท์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการสหกิจร่วม ที่ได้ให้คำปรึกษา คำแนะนำ แนวคิด ความรู้ต่าง ๆ และความช่วยเหลือเสมอมาจนโครงการสหกิจศึกษาสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณผู้เป็นวิศวกรที่ปรึกษา คุณศานติ เดชะพรหมพันธุ์ ผู้จัดการฝ่ายบริหารอาคาร และเจ้าหน้าที่ทุกคนในแผนกวิศวกรรมอาคารที่ให้ความเอาใจใส่ดูแลแนะนำความรู้ และให้ความช่วยเหลือเสมอมาตลอดเวลาที่ทำการปฏิบัติสหกิจศึกษา ขอขอบคุณพนักงานทุกคนที่ให้การต้อนรับ เป็นอย่างดีซึ่งให้ความรู้คำแนะนำการทำงานภายในอาคาร ทำให้ได้รับประสบการณ์และความรู้อันมีค่าเป็นอย่างยิ่ง

ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ผู้มีพระคุณและเป็นที่เคารพรัก ที่คอยให้การสนับสนุนและกำลังใจแก่คณะผู้จัดทำเสมอ คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่ง และขอขอบคุณ พี่ๆ เพื่อนๆ นักศึกษาที่คอยช่วยเหลือแนะนำและสนับสนุนในทุกๆ ด้าน รวมถึงกำลังใจซึ่งทำให้การจัดทำปฏิญานិพนธ์นี้สำเร็จลุล่วง ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่งมา ณ ที่นี้

พีรพงศ์ แก้วเวียงคุณ

พฤษภาคม 2565

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูป	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3 สมมติฐานของการศึกษา	2
1.4 ขอบเขตของการศึกษา	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.6 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
1.7 แผนการดำเนินงาน	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 การหาค่าความสามารถของระบบปรับอากาศ	4
2.2 แผนภูมิไซโครเมตริก	7
2.3 การวิเคราะห์ค่าพลังงานของเครื่องทำความเย็นด้วยค่า NPLV, IPLV	10
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	12
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการดำเนินงาน	16
3.1 วัสดุและอุปกรณ์	16
3.2 การทำความสะอาดระบบปรับอากาศ	18
3.3 จำลองอาคารและติดตั้งอุปกรณ์วัดค่า	20
3.4 การวิเคราะห์ผล	23
บทที่ 4 ผลการศึกษาและการวิเคราะห์ผลการศึกษา	25
4.1 ภาระทำความเย็นจากการจำลองอาคารสูง	25
4.2 ผลการทดสอบการหาค่าความสามารถการทำความเย็นของระบบปรับอากาศ	28

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3 ผลการทดสอบการหาค่าความสามารถการทำความเย็นของระบบปรับอากาศแบบทำน้ำเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ	30
4.4 ผลการทดสอบการหาค่าความสามารถการทำความเย็นของระบบปรับอากาศชนิดแยกส่วน	30
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	33
5.1 สรุปผลการทดลอง	33
5.2 ปัญหาที่พบ	33
5.3 ข้อเสนอแนะ	34
เอกสารอ้างอิง	35
ภาคผนวก	37
ภาคผนวก ก ผลการวัดอุณหภูมิและความชื้น	38
ประวัติผู้จัดทำ	46

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	แผนการดำเนินงาน	3
4.1	ภาระทำความเข้าใจจากผนังต่างๆของตัวอาคาร	25
4.2	ภาระทำความเข้าใจจากอากาศไหลเวียน	27
4.3	ภาระทำความเข้าใจเบ็ดเตล็ด	27
4.4	ภาระทำความเข้าใจรวม	28
4.5	ค่าความสามารถของระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ในแต่ละช่วงเวลา	29
4.6	ค่าความสามารถการทำความเข้าใจและอัตราการใช้พลังงานต่อวัน	31
ก.1	เก็บผลช่วงเวลา 09:00 – 10:00 น.	39
ก.2	เก็บผลช่วงเวลา 10:00 – 11:00 น.	39
ก.3	เก็บผลช่วงเวลา 11:00 – 12:00 น.	40
ก.4	เก็บผลช่วงเวลา 12:00 – 13:00 น.	41
ก.5	เก็บผลช่วงเวลา 13:00 – 14:00 น.	42
ก.6	เก็บผลช่วงเวลา 14:00 – 15:00 น.	43
ก.7	เก็บผลช่วงเวลา 15:00 – 16:00 น.	43
ก.8	เก็บผลช่วงเวลา 16:00 – 17:00 น.	44

## สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	แผนการดำเนินงาน	2
2.1	เส้นอุณหภูมิกระเปาะแห้งบนแผนภูมิไซโครเมตริก	8
2.2	เส้นอุณหภูมิกระเปาะเปียกบนแผนภูมิไซโครเมตริก	8
2.3	แสดงการหาอุณหภูมิจุดน้ำค้าง	8
2.4	สภาวะต่างๆของน้ำในอากาศ	9
2.5	แสดงเส้นความชื้นสัมพัทธ์	9
2.6	ค่าสมบัติต่างๆของแบบแผนภาพไซโครเมตริก	10
2.7	น้ำหนักของโอกาสเกิด Part Load ในแต่ละช่วง	11
2.8	โปรแกรม Legand Bticino F454	13
2.9	อุณหภูมิอากาศภายนอกและภายในของวันที่ทดลอง	13
2.10	ค่าไฟฟ้าก่อนและหลังปรับปรุง	14
3.1	เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้น	16
3.2	เครื่องวัดความเร็วลม	16
3.3	เครื่องฉีดน้ำแรงดันสูง	17
3.4	ผ้าใบล้างแอร์แบบกรวย	17
3.5	เครื่องเป่าลม	18
3.6	(ก) ถอดหน้ากาก FCU (ข) ถอดแผ่นกรองฝุ่นของ	18
3.7	(ก) นำแผ่นกรองฝุ่นออกจากระบบ (ข) ฉีดน้ำล้างแผ่นกรองฝุ่น	19
3.8	ฉีดน้ำแรงดันสูงล้างแผงคอยล์ร้อน	19
3.9	กำหนดขนาดของอาคาร	20
3.10	ตำแหน่งการวางเครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นในอาคาร	21
3.11	นำเครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นติดตั้งในห้อง	21
3.12	ตำแหน่งการวางเครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นนอกอาคาร	22
3.13	นำเครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นติดตั้งนอกอาคาร	22
3.14	นำเครื่องวัดความเร็วลมติดตั้งที่	22
3.15	(ก) นำเครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นเข้าไปติดตั้งที่ ท่อลมจ่าย และ (ข) ท่อลมกลับของคอยล์เย็น	23
4.1	ประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์	29
4.2	Data Performance Chiller ขนาด 750	30
4.3	ประสิทธิภาพระบบปรับอากาศชนิดแยกส่วน	31

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญ

บริษัท ซีพี ออลล์ จำกัด (มหาชน) คือหนึ่งในผู้ถือหุ้นรายใหญ่ของประเทศไทย ผู้ดำเนินธุรกิจร้านสะดวกซื้อ 7-Eleven ที่กระจายอยู่ทั่วประเทศมากกว่า 10,000 สาขา และธุรกิจอื่นๆ มากมาย จึงกล่าวได้ว่าบริษัท ซีพี ออลล์ จำกัด (มหาชน) เป็นบริษัทที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในประเทศไทย มีอาคารสูงเป็นของตนเองมากกว่า 100 แห่งทั่วประเทศรวมไปถึงอาคารที่กำลังถูกก่อสร้างและกำลังจะก่อสร้างในอนาคต [1] ทางบริษัทจึงต้องควบคุมการก่อสร้าง การติดตั้ง และการเลือกใช้เครื่องปรับอากาศที่เหมาะสมกับตัวอาคารนั้นๆ ในปัจจุบันระบบปรับอากาศที่นิยมติดตั้งในอาคารสูงนั้นมี 3 ชนิดคือ ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ (Variable Refrigerant Flow System) และระบบปรับอากาศแบบน้ำเย็นชนิดระเหยความร้อนด้วยน้ำ (Water Cooled-Chiller) และระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type) [2] ตัวแปรที่ใช้ในการพิจารณาเลือกใช้ระบบปรับอากาศนั้นมีได้มีเพียงขนาดของตัวอาคาร แต่ยังคงรวมถึงพฤติกรรมการใช้งานระบบปรับอากาศซึ่งส่งผลโดยตรงกับค่าภาระทำความเย็น [3] การศึกษาครั้งนี้จึงมุ่งเน้นไปที่การสำรวจและเก็บข้อมูลพฤติกรรมการใช้งานในอาคารเป็นหลัก

การประเมินชนิดของระบบปรับอากาศที่เหมาะสมต่อการใช้งานในอาคารสูงนี้ เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบศักยภาพการทำงานของระบบปรับอากาศทั้ง 3 ชนิดแล้วนำมาพิจารณาเลือกใช้ระบบปรับอากาศให้เหมาะสมในอาคารนั้นๆ [4] ดังนั้นจึงต้องศึกษาลักษณะการทำงานของระบบปรับอากาศแต่ละชนิด วิธีการวัดค่าประสิทธิภาพ รวมไปถึงเกณฑ์ที่ใช้ในการตัดสินใจเลือกระบบปรับอากาศ [5, 6] จึงได้นำโปรแกรมคอมพิวเตอร์ทางวิศวกรรมช่วยในการสร้างแบบจำลองอาคารเพื่อให้สามารถเข้าใจลักษณะของภาระทำความเย็นที่เกิดขึ้นในตัวอาคาร [7-10]

ดังนั้น โครงการนี้จึงได้ทำการศึกษาและประเมินชนิดของระบบปรับอากาศที่เหมาะสมต่อการใช้งานในอาคารสูง เพื่อให้สามารถเลือกใช้ชนิดของระบบปรับอากาศได้อย่างเหมาะสม สามารถดึงประสิทธิภาพของระบบได้อย่างเต็มที่แต่ยังคงความคุ้มค่าในด้านพลังงาน

### 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 เพื่อเปรียบเทียบระบบปรับอากาศให้เหมาะสมกับพฤติกรรมการใช้งานในอาคารสูง

### 1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

1.3.1 พฤติกรรมการใช้งานเครื่องปรับอากาศส่งผลกับการใช้พลังงานและความเหมาะสมในการเลือกใช้ชนิดของเครื่องปรับอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.4 ขอบเขตการศึกษา

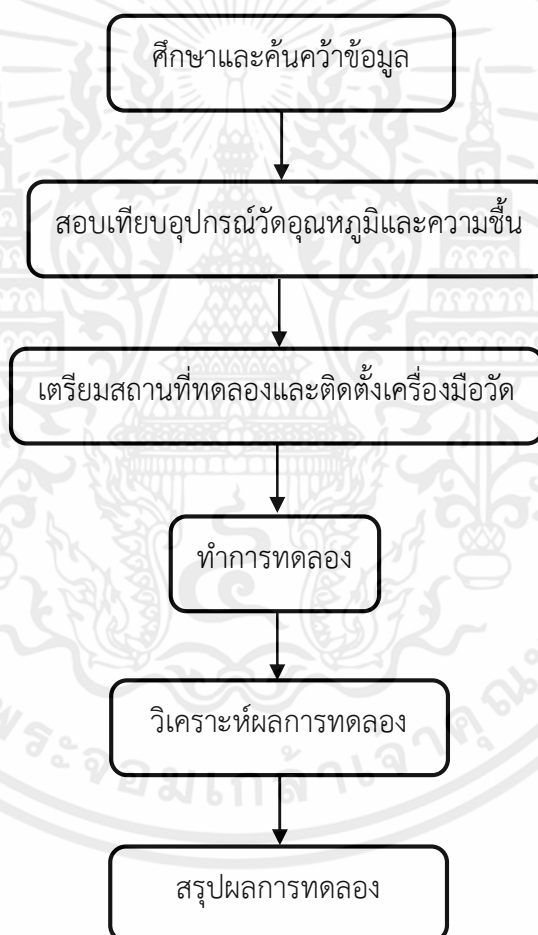
1.4.1 ใช้ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ (VRF) และแบบชนิดส่วนกลางระบายความร้อนด้วยอากาศ (Air-Cooled Chiller) ใช้สารทำความเย็น R410A

1.4.2 รวบรวมข้อมูลชั่วโมงการใช้ห้องเรียนและรายละเอียดของเครื่องปรับอากาศที่ใช้ในปีการศึกษา 2561 - 2562

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ได้ข้อมูลระบบปรับอากาศที่เหมาะสมกับพฤติกรรมการใช้งานของบุคลากรในอาคาร

## 1.6 แผนการดำเนินงาน



รูปที่ 1.1 แผนการดำเนินงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.7 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 การประเมินชนิดของระบบปรับอากาศที่เหมาะสมต่อการใช้งานในอาคารสูง

ขั้นตอนการดำเนินงาน	ระยะเวลาการดำเนินงาน									
	2564					2565				
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	ม.ย.	พ.ค.
1.ศึกษาและรวบรวมข้อมูล	←→									
2.วางแผนการทดสอบ		←→								
3.ทดสอบและเก็บผล			←→							
4.วิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบ				←→						
5.ทำปฏิญานិพนธ์								←→		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงข้อมูลเบื้องต้นของระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ ภาระทำความเย็น ความสามารถของระบบปรับอากาศ และเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 การหาค่าประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศ

ค่าประสิทธิภาพ เป็นค่าชี้วัดคุณภาพของระบบปรับอากาศ และประสิทธิภาพของการใช้งานจริง โดยประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศนั้น มีอยู่ 3 หน่วย

2.1.1 ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (Coefficient of Performance, COP) เป็นค่าอัตราส่วนระหว่างความสามารถในการทำความเย็น (Watt) และกำลังไฟฟ้าที่ใช้สำหรับเครื่องปรับอากาศในการทำความเย็น ดังสมการที่ (2.1) [8]

$$COP = \frac{Q}{W} \text{ หรือ } COP = \frac{\Delta h_{out}(\dot{m})}{\Delta h_{in}(\dot{m})} \quad (2.1)$$

โดยที่

$COP$  = ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบ (ไร้หน่วย)

$Q$  = ชีตความสามารถในการทำความเย็นรวม (W)

$W$  = พิกัดกำลังเครื่องปรับอากาศ (W)

$\dot{m}$  = อัตราการไหลของสารทำความเย็น (kg/s)

$\Delta h_{out}$  = เอนทาลปีด้านทำความเย็น (kJ/kg)

$\Delta h_{in}$  = เอนทาลปีด้าน Compressor (kJ/kg)

2.2.2 ค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (Energy Efficiency Ratio, EER) เป็นค่าอัตราส่วนระหว่าง ชีตความสามารถในการทำความเย็น รวมสุทธิและกำลังไฟฟ้าที่ใช้สำหรับเครื่องปรับอากาศในการทำความเย็น โดยค่า EER มีหน่วยเป็น Btu/hr/Watt คือชีตความสามารถในการทำความเย็นรวม ดังสมการที่ (2.2) [8]

$$EER = \frac{Q}{W} \quad (2.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่

- $EER$  = ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบ (Btu/W-hr)  
 $Q$  = ชีตความสามารถของการทำความเย็นรวม (Btu/hr)  
 $W$  = พิกัดกำลังเครื่องปรับอากาศ (W)

2.2.3 ค่าความสามารถการทำความเย็น (Combined Heat and Power, CHP) เป็นค่าอัตราส่วนระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ใช้สำหรับเครื่องปรับอากาศในการทำความเย็น และความสามารถในการทำความเย็น ดังสมการที่ (2.3) [8]

$$CHP = \frac{kWh}{TR} \quad (2.3)$$

โดยที่

- $CHP$  = ค่ากำลังไฟฟ้าต่อตันความเย็น (kWh/TR)  
 $kWh$  = ชีตความสามารถของการทำความเย็นรวม (W)  
 $TR$  = ชีตความสามารถการทำความเย็นที่ภาระเต็มพิกัด (TR)

จากคำจำกัดความของทั้ง 3 ค่าในข้างต้น จะเห็นได้ว่าค่านิยามของ EER, CHP และ COP เป็นส่วนกลับซึ่งกันและกัน โดย EER และ COP ยังมีค่าสูงเท่าไรก็หมายความว่าเครื่องปรับอากาศมีสมรรถนะการทำงานที่ดี ในขณะที่ค่า CHP ยังมีค่าต่ำเท่าไรระบบปรับอากาศนั้นก็ยังมีค่าสมรรถนะการทำงานที่ดีเท่านั้น โดยทั้งนี้สามารถกำหนดความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ ได้ดังสมการที่ (2.4) [2]

$$CHP = \frac{12}{EER}, COP = \frac{EER}{3.412} \quad (2.4)$$

โดยที่

- $CHP$  = ค่ากำลังไฟฟ้าต่อตันความเย็น (kWh/TR)  
 $COP$  = ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบ (ไร้หน่วย)  
 $EER$  = อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (Btu/W-hr)

หมายเหตุ : ที่ประสิทธิภาพมอเตอร์ และประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อน = 100%

2.2.4 ภาระทำความเย็น (Colling Load) คือจำนวนความร้อนทั้งหมดที่เกิดขึ้น ทั้งจากภายในห้องทำความเย็น และความร้อนจากภายนอกที่เข้ามาในห้องทำความเย็น ซึ่งเป็นภาระที่เครื่องทำความเย็นจะต้องนำออกเพื่อลดและรักษาอุณหภูมิในห้องให้ได้ตามที่ต้องการ ดังสมการที่ (2.5) [2]

$$\text{Cooling load} = F (\Delta h) \quad (2.5)$$

โดยที่

*Cooling load* = ภาระทำความเย็นเต็มพิกัดของระบบ (kWh/TR)

*F* = อัตราการไหลของลมเย็น ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$\Delta h$  = ส่วนต่างเอนทัลปี (kJ/kg)

2.2.5 ภาระทำความเย็นต่อวันที่เกิดจากพฤติกรรมการใช้งานหาได้จากสมการที่ (2.6) [8]

$$\text{Cooling load} = \frac{ikw / d}{CHP(9hr)} \quad (2.6)$$

โดยที่

*Cooling load* = ภาระทำความเย็นเต็มพิกัดของระบบ (kWh/TR)

*ikw / d* = ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ระบบปรับอากาศใช้ต่อวัน (kWh/24 hr)

*CHP* = ค่ากำลังไฟฟ้าต่อตันความเย็น (kWh/TR)

2.2.6 ภาระทำความเย็นที่ผ่านเข้ามาจากผนัง ( $Q_{wall}$ ) หาได้จากสมการที่ (2.7) [8]

$$Q_{wall} = A U D \quad (2.7)$$

โดยที่

*A* = พื้นที่ผิวของผนัง ( $\text{ft}^2$ )

*U* = สัมประสิทธิ์สิ่งผ่านความร้อนของผนัง ( $\text{Btu}/\text{h-F-ft}^2$ )

*D* = อุณหภูมิที่แตกต่างระหว่างผนังด้านนอกและด้านใน ( $^{\circ}\text{F}$ )

2.2.7 ภาระทำความเย็นจากอากาศร้อนที่เข้ามาในห้อง ( $Q_{change}$ ) หาได้จากสมการที่ (2.8) [8]

$$Q_{change} = 0.075 V (h_1 - h_2) \quad (2.8)$$

โดยที่

$Q_{change}$  = ภาระทำความเย็นจากอากาศร้อนที่เข้ามาในห้อง (Btu/24hr)

*m* = อัตราการไหลของอากาศที่เข้ามาในห้องเวลา 24 hr (lb/24hr)

*V* = ปริมาตรอากาศที่เข้ามาในห้อง ในช่วงเวลา 24 hr ( $\text{ft}^3/24\text{hr}$ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$h_1$  = ค่าความร้อนของอากาศภายนอก (Btu/lb)

$h_2$  = ค่าความร้อนของอากาศภายในห้อง (Btu/lb)

2.2.8 ภาระทำความเย็นจากผลิตภัณฑ์ ( $Q_{product}$ ) หาได้จากสมการที่ (2.9) [8]

$$Q_{product} = m c (\Delta T) \quad (2.9)$$

โดยที่

$Q_{product}$  = ภาระทำความเย็นจากอากาศร้อนที่เข้ามาในห้อง (Btu/hr)

$m$  = มวลของผลิตภัณฑ์ (lb)

$c$  = ค่าความร้อนจำเพาะ (ก่อนถึงจุดเยือกแข็ง) ( $ft^3/24hr$ )

$\Delta T$  = ส่วนต่างอุณหภูมิระหว่างจุดเริ่มต้นถึงจุดที่ต้องการ ( $^{\circ}F$ )

2.2.9 ภาระทำความเย็นเบ็ดเตล็ด ( $Q_{other}$ ) หาได้จากสมการที่ (2.10) และ (2.11) [8]

1. ภาระทำความเย็นจากหลอดไฟแสงสว่าง ( $Q_{light}$ )

$$Q_{light} = 3.42 W \quad (2.10)$$

2. ภาระทำความเย็นจากคน ( $Q_{people}$ )

$$Q_{people} = F_{occupant} N_{person} \quad (2.11)$$

โดยที่

$Q_{light}$  = ภาระทำความเย็นจากหลอดไฟแสงสว่าง (Btu/hr)

$Q_{people}$  = ภาระทำความเย็นจากคนในห้อง (Btu/hr)

$F_{occupant}$  = ค่าการแผ่รังสีความร้อนของมนุษย์ (Watt)

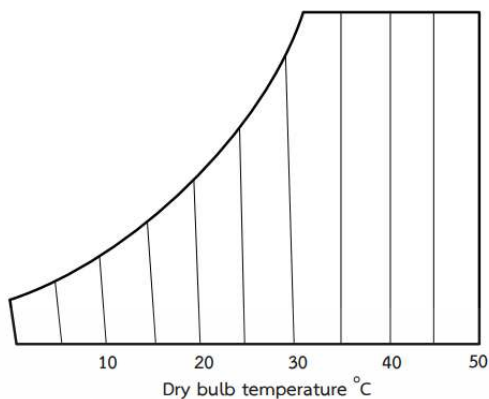
$N_{person}$  = จำนวนคนที่อยู่ในห้อง (person)

$W$  = ขนาดกำลังไฟของหลอดไฟ ( $ft^3/24hr$ )

## 2.2 แผนภูมิไซโครเมตริก

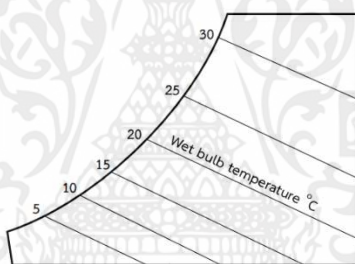
ในการหาค่าสมรรถนะของเครื่องปรับอากาศ จำเป็นต้องทราบถึงสภาวะอากาศรอบๆ ก่อนอากาศประกอบด้วยก๊าซไนโตรเจนประมาณ 78 % ออกซิเจนประมาณ 21 % และก๊าซอื่นๆ อีก 1% นอกจากก๊าซต่างๆ แล้วอากาศยังมีไอน้ำปนอยู่ด้วยเสมอ [4]

2.2.1 อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dry Bulb Temperature, DB ) แสดงบนแกนนอนของแผนภูมิ อุณหภูมิ กระเปาะแห้งสามารถวัดและอ่านได้ด้วยเทอร์โมมิเตอร์ปกติ รูปที่ 2.1



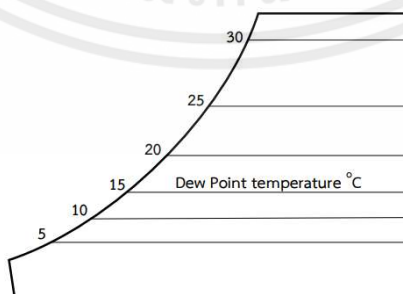
รูปที่ 2.1 เส้นอุณหภูมิระเปาะแห้งบนแผนภูมิไซโครเมตริก [4]

2.2.2 อุณหภูมิระเปาะเปียก (Wet-bulb Temperature : WB) คืออุณหภูมิอากาศอิ่มตัว โดยแสดงบน เส้นแนวแยงของแผนภูมิ อุณหภูมิระเปาะเปียกสามารถวัดและอ่านได้จากเทอร์โมมิเตอร์ ซึ่งระเปาะของหลอดแก้วถูกหุ้มด้วยผ้าเปียก (รูปที่ 2.2)



รูปที่ 2.2 เส้นอุณหภูมิระเปาะเปียกบนแผนภูมิไซโครเมตริก [4]

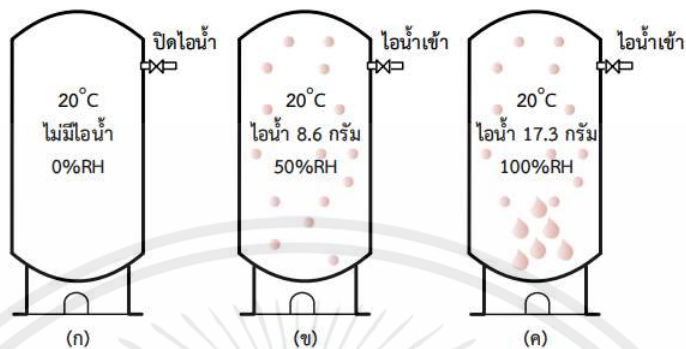
2.2.3 อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dew Point, DP) คืออุณหภูมิที่ทำให้ไอน้ำในอากาศเริ่มกลั่นตัว อ่านค่าได้โดยการลากเส้นแนวนอนจากสภาวะนั้นๆ ไปทางซ้ายของแผนภูมิจนตัดเส้นโค้งความชื้นสัมพัทธ์ 100% (รูปที่ 2.3)



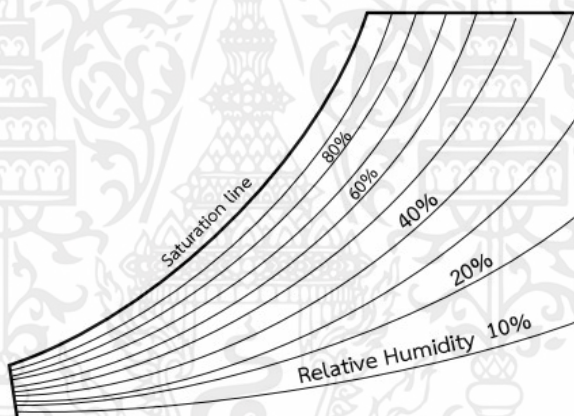
รูปที่ 2.3 อุณหภูมิจุดน้ำค้าง [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4 ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity, %RH) คืออัตราส่วนของไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศ เทียบกับปริมาณไอน้ำที่อากาศสามารถรับได้ ณ อุณหภูมินั้นๆ (รูปที่ 2.4 และ 2.5)



รูปที่ 2.4 สถานะต่างๆ ของน้ำในอากาศ [4]

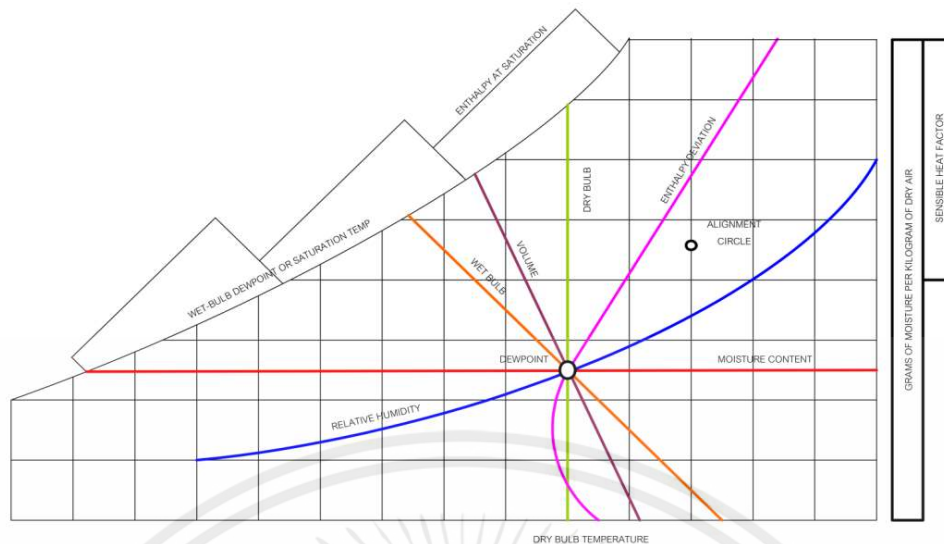


รูปที่ 2.5 แสดงเส้นความชื้นสัมพัทธ์ [4]

2.2.5 เกรนของความชื้น (Grain of Moisture) คือหน่วยวัดปริมาณไอน้ำในอากาศ ต่ออากาศแห้ง

2.3.6 เอนทัลปี (Enthalpy) คือพลังงานความร้อนที่มีอยู่ในอากาศ ประกอบด้วย ความร้อนสัมผัส (Sensible Heat) และ ความร้อนแฝง (Latent Heat) (รูปที่ 2.6)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 ค่าสมบัติต่างๆ ของแผนภาพไซโครเมตริก [4]

### 2.3 การวิเคราะห์ค่าพลังงานของเครื่องทำความเย็นด้วยค่า NPLV, IPLV

จากหัวข้อ 2.1 ว่าด้วยเรื่องการหาค่าประสิทธิภาพทำความเย็น (Chiller Efficiency) ซึ่งมีหน่วยเป็น Kwh/Tonr จะบ่งบอกได้ถึงความสามารถในการดึงความร้อนออกจากพื้นที่ทำความเย็นต่อกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้ระบบ โดยทั่วไปค่า CHP ที่วัดได้จะบ่งบอกถึงค่าประสิทธิภาพของเครื่องทำความเย็นสูงสุดที่เครื่องทำได้ หรือที่เรียกว่า Full Load [3]

แต่ในความเป็นจริงแล้ว เครื่องทำความเย็นสามารถทำความเย็นได้ตามภาระทำความเย็นที่เกิดขึ้นและเปลี่ยนแปลงภายในอาคารได้ทุกกรณี โดยเรียกช่วงที่ไม่ใช่ Full Load ว่า Part Load

Part Load คือค่าภาระทำความเย็นที่น้อยกว่า 100% ของขนาดระบบปรับอากาศที่ได้มีการออกแบบไว้ ยกตัวอย่างเช่น ระบบปรับอากาศมีขนาด 400 ตันความเย็น แต่มีการทำงาน ณ เวลานั้นเพียง 350 ตันความเย็น เป็นต้น [3]

ค่าประสิทธิภาพของเครื่องทำความเย็นช่วง Part Load เป็นส่วนสำคัญมากในการพิจารณาเครื่องทำความเย็นสำหรับการประหยัดพลังงานให้มากที่สุด เพราะภาระทำความเย็นของอาคารจะอยู่ในช่วง Part Load ถึง 99% ตลอดทั้งปี จึงนับว่าเป็นส่วนสำคัญในการพิจารณา

IPLV, NPLV (Integrated Part Load Value) เป็นตัวแทนการวิเคราะห์พลังงานของเครื่องทำความเย็นให้ความสำคัญของค่าประสิทธิภาพที่ Part Load เป็นหลักต่ออัตราส่วนน้ำหนักโอกาสที่จะเกิดภาระการทำความเย็นที่แต่ละ % ของการทำงานในตัวอาคารต่อปีดังนี้ อัตราการเกิดภาระทำความร้อนที่ 100% = 0.01 , 75% = 0.42 , 50% = 0.45 และ 25% = 0.12 ต่อปี ซึ่งได้นำมาใช้ในสูตรการคำนวณ ดังสมการที่ (2.12) [3]

$$IPLV = \frac{1}{\frac{0.01}{A} + \frac{0.42}{B} + \frac{0.45}{C} + \frac{0.12}{D}} \quad (2.12)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ

$IPLV$  = ค่าประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำเย็นจากประมาณ (kWh/TR)

$A$  = ค่าประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำเย็นที่ 100% (kWh/TR)

$B$  = ค่าประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำเย็นที่ 75% (kWh/TR)

$C$  = ค่าประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำเย็นที่ 50% (kWh/TR)

$D$  = ค่าประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำเย็นที่ 25% (kWh/TR)

ความแตกต่างของ IPLV และ NPLV คือเป็นค่าที่ใช้พิจารณาประสิทธิภาพเครื่องทำน้ำเย็นที่ Part Load ทั้งคู่ ต่างกันที่ ค่า IPLV ใช้อุณหภูมิใช้งานตาม ARI Standard 550/590-98 ซึ่งเป็นมาตรฐานสากล โดยอุณหภูมิต่างๆ อาจมีความแตกต่างจากสภาวะใช้งานของประเทศไทย แต่ค่า NPLV สามารถปรับเปลี่ยนอุณหภูมิใช้งานได้ตามสภาวะอากาศ ณ ที่นั้นๆ ทำให้ค่า NPLV ของแต่ละบริษัทผู้ผลิตเครื่องทำน้ำเย็นในประเทศไทยอาจกำหนดค่ามาตรฐาน การอ้างอิงการคำนวณ ประสิทธิภาพ NPLV ไม่เหมือนกัน เนื่องจากปัจจุบันประเทศไทยยังไม่มีกำหนดเกณฑ์มาตรฐานในการ อ้างอิงที่สอดคล้องกับสภาพภูมิอากาศในประเทศไทย (รูปที่ 2.7) [3]

% Part Load	% ของการทำงาน ในแต่ละช่วง Part Load
90-100 %	5 %
80-89 %	16 %
70-79 %	28 %
60-69 %	18 %
50-59 %	14 %
40-49 %	10 %
30-39 %	7 %
20-29 %	2 %
<b>Total</b>	<b>100 %</b>

รูปที่ 2.7 น้ำหนักของโอกาสเกิด Part Load ในแต่ละช่วง [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Nada and Said [11] ได้ทำการทดลองหาค่าประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนในอาคารสูง โดยให้ความสนใจไปที่ตำแหน่งการติดตั้ง (Condensing Unit, CDU) โดยตั้งสมมุติฐานว่า อุณหภูมิภายนอกที่เพิ่มขึ้นทุกๆ 1 °C จะส่งผลโดยตรงให้ค่าประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศลดลงถึง 3% จากการศึกษาครั้งนี้พบว่า การติดตั้ง CDU ไว้ที่ชั้นบนสุดของอาคารทำให้ระบบปรับอากาศต้องพบกับอุณหภูมิที่สูงขึ้นกว่า 7-10 °C หรืออาจกล่าวได้ว่ามีภาระทำความเย็นที่สูงขึ้น ซึ่งส่งผลโดยตรงกับค่าประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนลดลงกว่า 28% หรือมากกว่านั้น

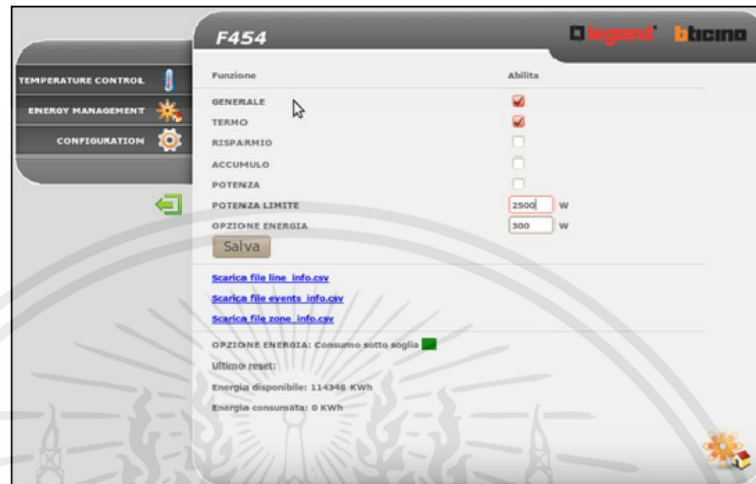
Zhuang and Wang [12] ได้ทำการทดลองระบบปรับอากาศในห้องปลอดเชื้อ ห้องพยาบาล และอื่นๆ ที่ต้องการความสะอาดมากเป็นพิเศษ เพื่อหาอุณหภูมิและความชื้นที่เหมาะสมกับห้อง และการเลือกโหมดของระบบปรับอากาศ โดยต้องคำนึงถึงโอกาสที่จะเกิดเชื้อโรคสะสมตามส่วนต่างๆ ของระบบปรับอากาศ ซึ่งระบบปรับอากาศที่นำมาใช้ทำสอบคือ ระบบปรับอากาศแบบทำน้ำเย็น (Water Cooled-Chiller) ที่มี (Air-Handling Unit, AHU) เป็นตัวขับเคลื่อน จากการศึกษาพบว่าหากต้องการควบคุมความสะอาดจากระบบปรับอากาศภายในห้องปลอดเชื้อ ห้องพยาบาล หรืออื่นๆ ควรกำหนดให้ความชื้นสัมพัทธ์ไม่เกิน 37-52% และควรเลือกใช้ Dry Mode ซึ่งมีการควบคุมความชื้นใกล้เคียงกับตัวเลขที่กล่าวมาข้างต้น หรืออาจเลือกใช้ Custom Mode เพื่อให้การควบคุมความชื้นเป็นไปได้มากที่สุด ในขณะที่ยังคงความสบายตัวของผู้ใช้งาน

Liu et al. [13] ได้ทดลองสร้างแบบจำลองของระบบปรับอากาศเพื่อหา อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสมรวมไปถึงวัสดุที่ใช้ทำชิ้นส่วนนั้นๆ เพื่อลดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และแบคทีเรียในระบบปรับอากาศ โดยได้ให้ความสนใจไปที่ ครีบกอยล์เย็น ข้อต่อท่อ และใบพัดของคอยล์เย็นเป็นหลัก ซึ่งเป็นจุดสะสมของแบคทีเรีย โดยใช้เวลาในการทดลอง 5 วันเพื่อสังเกตการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย จากผลการทดสอบพบว่า แผ่นเหล็กอบสังกะสีมีการเจริญเติบโตของแบคทีเรียมากที่สุดที่ความชื้นสัมพัทธ์ 75%-85% โดยหากต้องการลดการเจริญเติบโตของแบคทีเรียควรปรับอุณหภูมิให้อยู่ที่ 24-25 °C และความชื้นสัมพัทธ์ที่ 45%-55% เพื่อให้อากาศที่ไหลเวียนในระบบมีความสะอาดมากที่สุด

Graditi et al. [14] ได้ใช้โปรแกรม Legrand bticino F454 ควบคุมระบบปรับอากาศและจัดการพลังงานในตัวอาคารแบบเรียลไทม์เพื่อให้ระบบสามารถประหยัดพลังงานได้สูงที่สุด แต่ยังคงความสามารถในการทำความเย็น โดยได้ทำการทดลองออกเป็น 2 กรณี กรณีแรกให้ตัวอาคารใช้ระบบปรับอากาศปกติไม่มีโปรแกรมช่วยจัดการพลังงานโดยใช้เพียงระบบ Manual ในการจัดการพลังงาน กรณีที่สองใช้ระบบปรับอากาศโดยมีโปรแกรมช่วยจัดการพลังงานในตัวอาคารแบบเรียลไทม์ จากการทดลองพบว่าในกรณีที่สอง ที่มีการใช้โปรแกรม Legrand bticino F454 เข้ามาช่วยจัดการพลังงานในอาคารแบบเรียลไทม์ส่งผลให้สามารถประหยัดพลังงานมากกว่ากรณีแรกได้ถึง

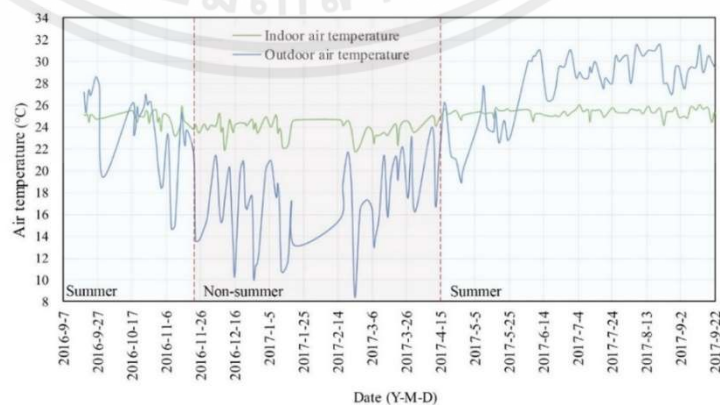
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

24%-32% เนื่องจากการควบคุมกำลังไฟฟ้าที่จุด on peak และยังมีการจัดการความร้อนที่ระบบปรับอากาศระบายออกนำไปผลิตเป็นน้ำร้อนใช้ในอาคาร ส่งผลให้ค่าประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศดีขึ้นถึง 22%



รูปที่ 2.8 โปรแกรม Legrand bticino F454 [14]

Zhang et al. [15] ได้ทดลองหาค่าความสบายของบุคลากรที่ใช้งาน อาคารสูงที่ตั้งในภูมิอากาศร้อนชื้นโดยแบ่งออกเป็นสองกรณี คือ 1.ความพึงพอใจของผู้ที่นั่งทำงานในอาคาร 2.ความพึงพอใจของผู้ที่เรียนในอาคาร เพื่อหาอุณหภูมิและความชื้นที่เหมาะสมกับการใช้งานระบบปรับอากาศ โดยใช้ค่าดัชนีเฉลี่ยความรู้สึกร้อนของกลุ่มคนตัวอย่าง (Predicted Mean Vote, PMV) โดยใช้กลุ่มคนทดสอบ 100 คนต่อครั้ง จากนั้นเก็บความคิดเห็นของแต่ละบุคคลมาคำนวณในสมการ PMV จึงได้ข้อสรุปว่า อุณหภูมิที่เป็นที่ยอมรับในห้องทำงานช่วงฤดูร้อนคือ 25.6 °C และในช่วงฤดูอื่น ๆ คือ 24.5 °C สำหรับอุณหภูมิที่เหมาะสมกับห้องเรียนในช่วงฤดูร้อนและฤดูอื่น ๆ คือ 24.8 °C และ 24.2 °C ตามลำดับ



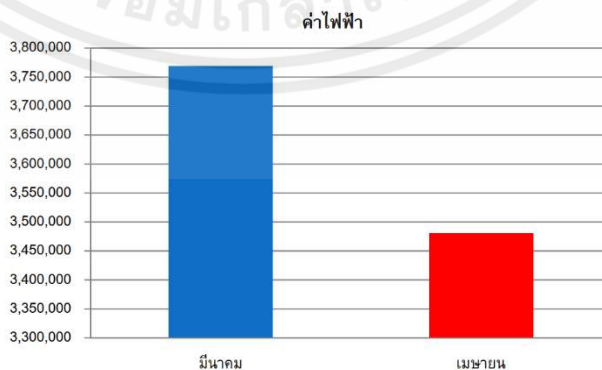
รูปที่ 2.9 อุณหภูมิอากาศภายนอกและภายในห้องของวันที่ทดลอง [15]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Nazi et al. [16] ได้ทดสอบการนำวัสดุเปลี่ยนเฟส (Phase Change Material, PCM) มาสร้างเป็นฉนวนในผนังเพื่อกันความร้อนที่เข้าสู่ตัวอาคาร โดยการสร้างแบบจำลองในซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ โดยจำลองห้องทำงาน และห้อง IT จากผลการทดลองพบว่า ห้องทำงานที่หุ้มด้วยฉนวนกันความร้อน PCM สามารถลดความภาระทำความเย็นได้ถึง 49.21% หากเทียบกับผนังห้องทำงานที่ไม่มีการหุ้มฉนวน และห้อง IT ที่หุ้มฉนวน PCM ส่งผลให้สามารถลดภาระทำความเย็นที่เข้าผ่านผนังมาได้เพียง 47.53% หากเทียบกับผนังห้องที่ไม่มีการหุ้มฉนวน เนื่องจากภาระทำความเย็นส่วนหนึ่งเกิดจากอุปกรณ์ภายในห้อง ดังนั้นห้อง IT จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการใช้ระบบปรับอากาศเพื่อกันไม่ให้เกิดความร้อนสะสมภายใน

Dhumane et al. [17] ได้ทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ (Variable Refrigerant Flow System, VRF) กับระบบปรับอากาศแบบน้ำเย็น (Water Cooled-Chiller, Chiller) ในประเทศจีนโดยใช้เงื่อนไขการทดลองแบบเดียวกัน โดยแบ่งเป็น 3 กรณี 1. ที่ภาระทำความเย็นเท่ากับ 30% ของทั้งระบบ 2. ที่ภาระทำความเย็น 60% ของทั้งระบบ 3. ที่ภาระทำความเย็น 90% ของทั้งระบบ จากการทดลองพบว่า ที่ภาระทำความเย็น 30% ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์มีค่าประสิทธิภาพดีกว่าถึง 8.2% ที่ภาระทำความเย็น 60% ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์มีค่าประสิทธิภาพดีกว่าถึง 4.87% และที่ภาระทำความเย็น 90% ระบบปรับอากาศแบบน้ำเย็นมีค่าประสิทธิภาพที่ดีกว่าระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ 14.7% จากผลดังกล่าวจึงกล่าวได้ว่าทั้งสองระบบมีความสามารถในการทำความเย็นต่างกันหากพิจารณาที่ภาระทำความเย็นในแต่ละช่วง โดยไม่ได้คำนึงถึงงบประมาณในการติดตั้งระบบ

พจน์ชววัฒน์ และคณะ [18] ได้ทำการสำรวจอัตราการใช้พลังงานจากเครื่องปรับอากาศแบบทำน้ำเย็น (Water Cooled-Chiller, Chiller) ของโรงแรมแพลตินัม กรุงเทพฯ เพื่อแก้ปัญหาการใช้พลังงานมากเกินไปจนความจำเป็น โดยพบว่า Chiller ทั้งหมด 4 ชุด แต่ละชุดมีประสิทธิภาพไม่เท่ากัน เนื่องจากขนาดของตัวเครื่องไม่เท่ากัน จึงแก้ปัญหาโดยการจัดการภาระทำความเย็นเพิ่มไปที่ Chiller ที่มีประสิทธิภาพดีกว่า และลดภาระทำความเย็นที่จะถูกส่งไปยัง Chiller ที่มีค่าประสิทธิภาพน้อยกว่า จากการปรับปรุงดังกล่าวส่งผลให้ค่าไฟฟ้าของโรงแรมลดลงถึง 7.69% หรือคิดเป็นเงินกว่า 290,000 บาทต่อเดือน



รูปที่ 2.10 ค่าไฟฟ้าก่อนและหลังปรับปรุง [18]

นทีธรรณท์ และ บุญวัฒน์ [19] ได้ทำการวิจัยเพื่อหาแนวทางที่เหมาะสมในการพัฒนาการจัดการพลังงานในอาคารทันตแพทย์ที่มหาวิทยาลัยพะเยา โดยมีจุดประสงค์หลักคือการลดต้นทุนพลังงานไฟฟ้าในช่วงที่ต้นทุนพลังงานสูงหรือที่เรียกว่า On Peak ซึ่งใช้วิธีการสำรองพลังงานให้อยู่ในรูปแบบของน้ำเย็น (Chilled Water Thermal Storage, CWTS) วิธีการทำงานคือ ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type) เมื่ออยู่ในช่วงไร้อาคารทำความเย็น ระบบจะยังคงทำงานต่อไปโดยจะผลิตน้ำเย็นเก็บไว้ในถัง กรณีที่มีความต้องการใช้เครื่องปรับอากาศเป็นจำนวนมากพร้อมกัน ระบบจะนำเอาน้ำเย็นที่เก็บไว้ มาใช้แลกเปลี่ยนความร้อนออกจากอาคาร เพื่อลดค่าพลังงานไฟฟ้าสูงสุด (Peak Demand, PD) จากการวิจัยดังกล่าวพบว่าค่า PD เฉลี่ยลดลงถึง 35.10% เมื่อเทียบกับค่า PD ก่อนปรับปรุง และพลังไฟฟ้าจำเพาะต่อพื้นที่ใช้งานคิดเป็น 26.09 W/m<sup>2</sup>

ปรเมษฐ์ [20] ได้ทำการวิจัยการประมาณค่าความสามารถการทำความเย็น (Integrated Part Load Value, IPLV) เนื่องจากสมการดังกล่าวมักใช้ค่ามาตรฐานจาก AHRI 550/590 เป็นค่ามาตรฐานจากประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งมีภูมิอากาศที่แตกต่างจากประเทศไทยอยู่มากพอสมควร การวิจัยนี้จึงได้นำเอาวิธีการคำนวณด้วยสมการ (Non-Integrated Part Load Value, NPLV) ซึ่งแตกต่างจากค่า IPLV เพราะจะมีการปรับเปลี่ยนค่าในสมการตามความเหมาะสมของสภาพอากาศในภูมิภาคนั้นๆ จากการทดลองพบว่า สมการ IPLV มีค่าความคลาดเคลื่อนมากถึง 12.01% เมื่อเทียบกับสมการ NPLV จึงสรุปได้ว่าหากต้องการประมาณค่าความสามารถการทำความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็น (Chiller) ควรใช้สมการ NPLV เพื่อให้ได้ค่าประสิทธิภาพหรือค่าความสามารถการทำความเย็นที่ใกล้เคียงกับภูมิอากาศของประเทศไทย

## บทที่ 3

### อุปกรณ์และวิธีการ

ในบทนี้จะกล่าวถึง อุปกรณ์ต่างๆในระบบปรับอากาศ วิธีการติดตั้งอุปกรณ์วัดค่า วิธีการดำเนินงานการหาค่าประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศภายใต้ภาระทำความเย็นของอาคารที่จำลอง

#### 3.1 วัสดุและอุปกรณ์

1. เครื่องปรับอากาศแบบรวมศูนย์ (VRF) ขนาด 16.4kW
2. เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้น BALDR รุ่น 0335<sup>TH</sup> (รูปที่ 3.1)



รูปที่ 3.1 เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้น BALDR รุ่น 0335<sup>TH</sup>

3. เครื่องวัดความเร็วลม UNI-T รุ่น UT363 BT (รูปที่ 3.2)



รูปที่ 3.2 เครื่องวัดความเร็วลม UNI-T รุ่น UT363 BT

4. เครื่องฉีดน้ำแรงดันสูงยี่ห้อ BOSCH แรงดัน 150 bar (รูปที่ 3.3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 เครื่องฉีดน้ำแรงดันสูง BOSCH

5. หัวฉีดน้ำล้างแอร์
6. สายฉีดน้ำแรงดันสูง 15 m
7. ผ้าใบล้างแอร์แบบกรวย ขนาด 3x4 m<sup>2</sup> (รูปที่ 3.4)



รูปที่ 3.4 ผ้าใบล้างแอร์แบบกรวย

8. ปลั๊กไฟพ่วง แบบกันน้ำ 220 V
9. เครื่องเป่าลม ยี่ห้อ BOSCH ขนาด 1200 W (รูปที่ 3.5)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

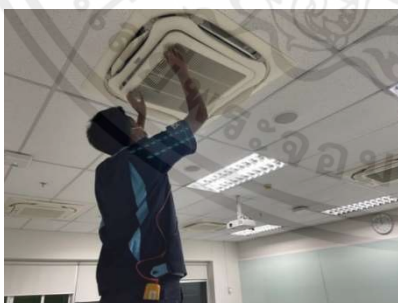


รูปที่ 3.5 เครื่องเป่าลม BOSCH

10. น้ำยาล้างเครื่องปรับอากาศ 3M
11. โปรแกรม INTELLIGENT TASK MANAGEMENT
12. โปรแกรม Psychrometric Calculations
13. โปรแกรม Microsoft Excel Version 365
14. Personal Computer ยี่ห้อ MSI รุ่น DESKTOP-1HV2QB6

### 3.2 การทำความสะอาดระบบปรับอากาศ

1. ตัดไฟฟ้าของระบบคอยล์เย็น โดยตั้งค่าจากโปรแกรม INTELLIGENT TASK MANAGEMENT ในคอมพิวเตอร์ควบคุมและปิดเบรกเกอร์ย่อยที่ด้านข้างของตัวคอยล์เย็น
2. ใช้ไขควงขันสกรูทั้ง 4 ด้านของคอยล์เย็นแล้วถอดหน้ากากของตัวเครื่อง (รูปที่ 3.6 (ก) และ (ข))



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.6 (ก) ถอดหน้ากากของ FCU (ข) ถอดแผ่นกรองฝุ่นของ FCU

3. ถอดแผงวงจรควบคุมและถาดรองน้ำทิ้งออกจากระบบ
4. ถอดใบพัดและปั๊มเตรนน้ำทิ้งออกจากตัวเครื่อง โดยระวังไม่ให้ใบพัดเสียหาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ใช้ผ้าใบกันน้ำขนาด 3x4 m<sup>2</sup> หุ้มตัวคอยล์เย็น แล้วใช้เครื่องฉีดน้ำแรงดันสูง ฉีดน้ำล้างคราบสกปรกที่แผงคอยล์เย็น (รูปที่ 3.7 (ก) และ (ข))



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.7 (ก) นำแผ่นกรองฝุ่นออกจากระบบ (ข) ฉีดน้ำล้างแผ่นกรองฝุ่น

6. ใช้น้ำยาล้างเครื่องปรับอากาศ 3M ฉีดเข้าไปที่แผงคอยล์เย็นกำจัดคราบที่ฝังลึกจากนั้นล้างด้วยน้ำสะอาดซ้ำ

7. ใช้เครื่องเป่าลมเป่าหยดน้ำออกจากคอยล์เย็นป้องกันไม่ให้มีน้ำแข็งตัวที่แผงคอยล์เย็นหากเปิดใช้งานระบบ

8. ประกอบใบพัด แผงวงจรควบคุม บัมเตรนน้ำทิ้ง แผ่นร่อนน้ำทิ้ง และหน้ากากคอยล์เย็นกลับเข้าที่

9. ทำความสะอาดคอยล์ร้อนภายนอกอาคาร (Condensing) ใช้ไขควงขันสกรูแล้วเปิดฝาดูครอบตัวเครื่อง

10. ใช้เครื่องฉีดน้ำแรงดันสูง ฉีดน้ำล้างแผงคอยล์ร้อนตรงส่วนที่เป็นท่อทองแดง โดยระวังไม่ให้น้ำฉีดเข้ามอเตอร์และกล่องควบคุมโดยตรง (รูปที่ 3.8 )



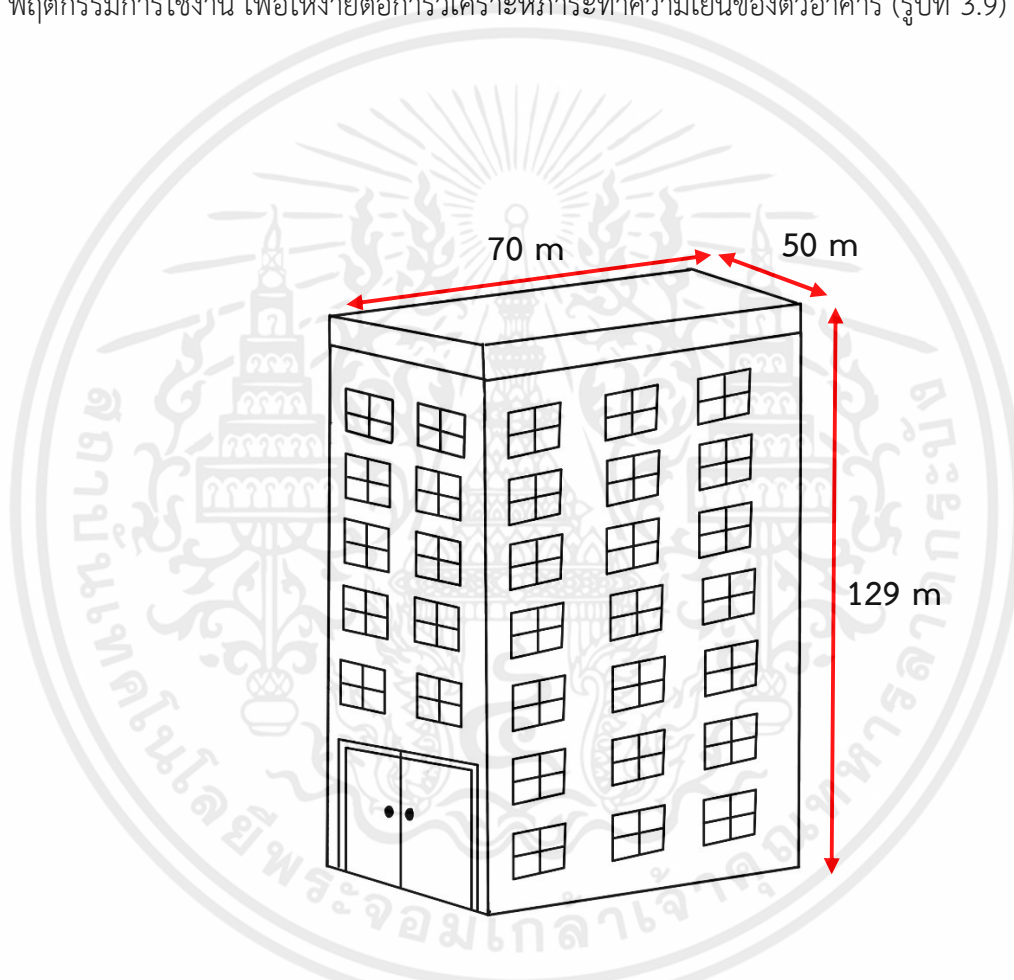
รูปที่ 3.8 ฉีดน้ำแรงดันสูงล้างแผงคอยล์ร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. ใช้เครื่องเป่าลมขนาดเป่าหยดน้ำป้องกันไม่ให้มีน้ำตกค้างที่มอเตอร์และกล่องควบคุมของ Condensing
12. ประกอบฝาครอบกลับเข้าที่จุดเดิมแล้วเปิดระบบปรับอากาศ 15 min ตรวจสอบการทำงานของระบบตามคู่มือการบำรุงรักษาระบบปรับอากาศของผู้ผลิต

### 3.3 จำลองอาคารและติดตั้งอุปกรณ์วัดค่า

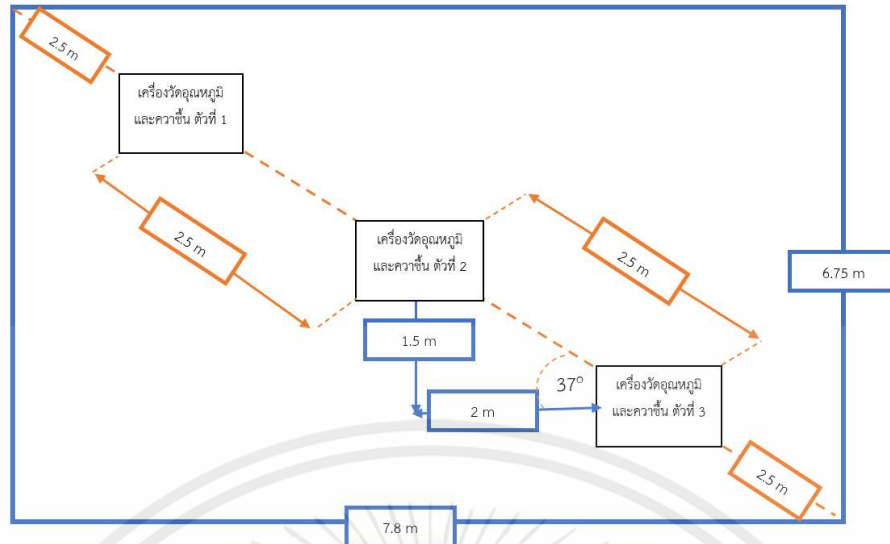
1. จำลองอาคารเรียนอย่างง่ายขึ้นมา 1 หลัง โดยกำหนดขนาดตามรูปที่ 3.9 เงื่อนไข และพฤติกรรมการใช้งาน เพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ภาระทำความเย็นของตัวอาคาร (รูปที่ 3.9)



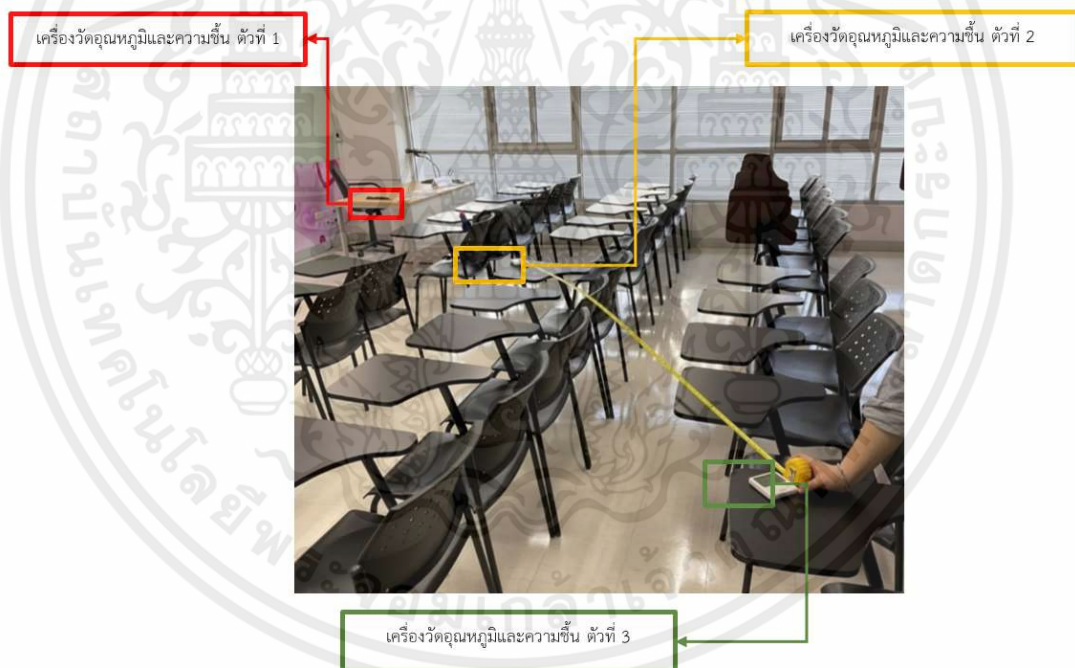
รูปที่ 3.9 กำหนดขนาดของอาคาร

2. วัดอุณหภูมิ ( $T_{in}$ ) และความชื้น ( $RH_{in}$ ) ด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้น ติดตั้งในห้อง 3 ตำแหน่ง โดยแต่ละจุดมีระยะห่าง 2.5 m ในแนวเส้นทแยงมุม จากนั้นวัดค่าที่ได้ แล้วนำไปหาค่าเฉลี่ย (รูปที่ 3.10 และ 3.11)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



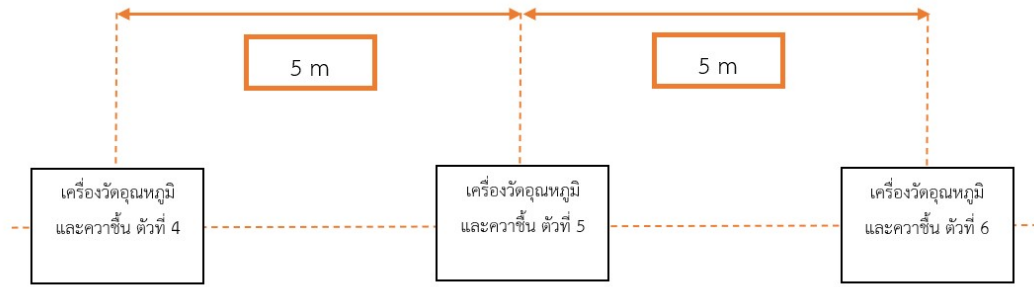
รูปที่ 3.10 ตำแหน่งการวางเครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นภายในอาคาร



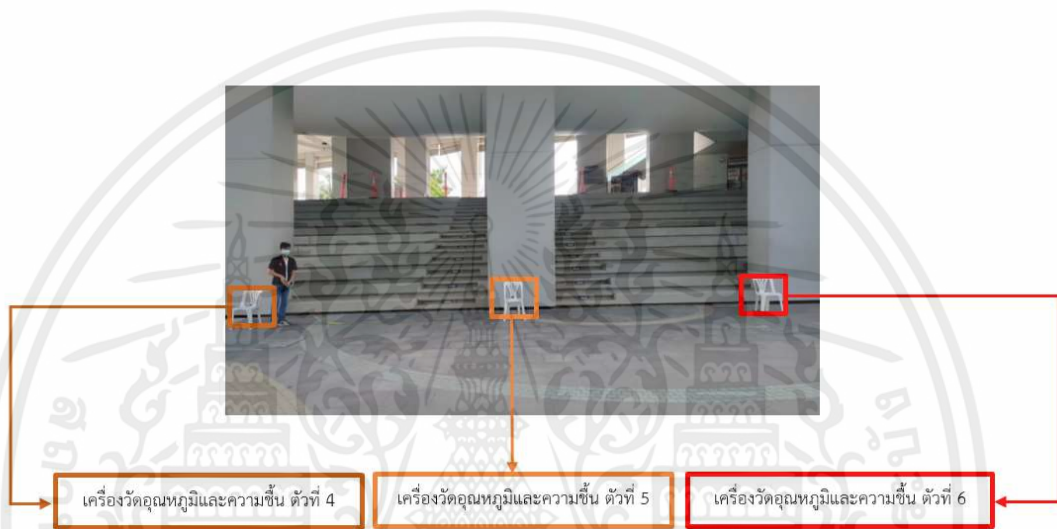
รูปที่ 3.11 นำเครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นไปติดตั้งภายในห้องในตำแหน่งที่กำหนดไว้

3. นำเครื่องวัดอุณหภูมิ ( $T_{out}$ ) และความชื้น ( $RH_{out}$ ) ด้วยเครื่อง BALDR รุ่น 0335<sup>TH</sup> ติดตั้งในที่ร่มภายนอกตัวอาคารโดยแต่ละจุดมีระยะห่าง 5 m ในแนวระนาบจากนั้นวัดค่าที่ได้แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย (รูปที่ 3.12 และ 3.13)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 ตำแหน่งการวางเครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นภายนอกอาคาร



รูปที่ 3.13 นำเครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นไปติดตั้งภายนอกอาคารตามตำแหน่งที่กำหนดไว้

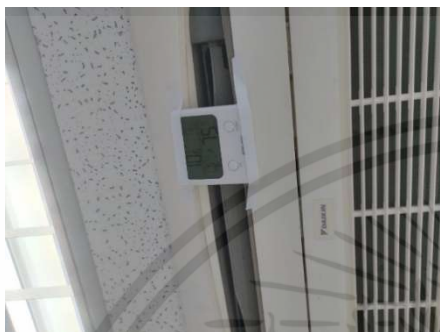
4. นำเครื่องวัดความเร็วลมเข้าไปวัดความเร็วลมที่ออกจากคอยล์เย็นโดยติดตั้งให้เครื่องวัดอยู่ห่างจากช่องลมจ่ายไม่เกิน 3 cm พร้อมทั้งวัดอุณหภูมิที่ทางออก ( $T_s$ ) และทางเข้า ( $T_r$ ) ของคอยล์เย็น (รูปที่ 3.14)



รูปที่ 3.14 นำเครื่องวัดความเร็วลมเข้าไปติดตั้งที่ ท่อลมจ่าย และท่อลมกลับของคอยล์เย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. นำเครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นเข้าไปวัดค่าความชื้นที่ทางออก ( $\%RH_s$ ) และทางเข้า ( $\%RH_r$ ) ที่ท่อจ่ายลมของคอยล์เย็น โดยติดตั้งไว้ในระยะไม่เกิน 3 cm ของท่อลมจ่ายและท่อลมกลับ (รูปที่ 3.15 (ก) และ (ข))



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.15 (ก) นำเครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นเข้าไปติดตั้งที่ ท่อลมจ่าย และ (ข) ท่อลมกลับ-ของคอยล์เย็น

### 3.4 การวิเคราะห์ผล

1. นำข้อมูลที่วัดได้ กล่าวถึงการนำค่าความชื้นที่ทางออก ( $\%RH_s$ ) ทางเข้าท่อลมกลับ ( $\%RH_r$ ) อุณหภูมิที่ทางออก ( $T_s$ ) ทางเข้าท่อลมกลับ ( $T_r$ ) มาวิเคราะห์หาค่าประสิทธิภาพจริงของระบบโดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel Version 365

2. นำค่าเฉลี่ยความชื้นที่ทางออก ( $\%RH_s$ ) ทางเข้าท่อลมกลับ ( $\%RH_r$ ) อุณหภูมิที่ทางออก ( $T_s$ ) และทางเข้าท่อลมกลับ ( $T_r$ ) ป้อนลงในโปรแกรม Psychrometric Calculations เพื่อหาค่าเอนทัลปี ที่ทางเข้าและทางออกของลมเย็น

3. นำค่าเอนทัลปีและค่าอัตราการไหลของลมเย็นมาคำนวณหาภาระทำความเย็น กำลังไฟฟ้า และค่าไฟฟ้า

4. นำค่า CHP ที่ได้จาก Performance Data Chiller ขนาด 750 tR [2] มาวิเคราะห์หาค่าประสิทธิภาพเมื่อจำลองให้อยู่อาคารสูง ด้วยการใช้ค่า (Integrate Part Load Value, IPLV)

5. นำค่า EER ที่ได้จากมาตรฐานฉลากเบอร์ 5 ของกระทรวงพลังงานแปลงค่าประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนให้อยู่ในหน่วย กำลังไฟฟ้าต่อตันความเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. นำข้อมูลของขนาดของอาคารที่จำลองขึ้น มาคำนวณหาค่าภาระทำความเย็นของอาคาร กล่าวถึงภาระทำความเย็นที่เกิดจากความร้อนผ่านผนังของห้อง ( $Q_{wall}$ ) ภาระทำความเย็นที่เกิดจากอากาศที่ถ่ายเทของอากาศ ( $Q_{change}$ ) และภาระทำความเย็นเบ็ดเตล็ด ( $Q_{other}$ )

7. คำนวณหาค่าผลรวมภาระทำความเย็นทั้งหมดของอาคาร แล้วนำมาวิเคราะห์ผลเพื่อหาความเหมาะสมในการเลือกติดตั้งระบบปรับอากาศ โดยคำนึงถึงศักยภาพของระบบเป็นสำคัญ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลและการวิเคราะห์ผล

ในบทนี้กล่าวถึงผลการการเปรียบเทียบศักยภาพและความสามารถทำความเย็นของระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ (Variable Refrigerant Flow System) ระบบปรับอากาศแบบน้ำเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ (Water Cooled-Chiller) และระบบปรับอากาศชนิดแยกส่วน (Split Type) เพื่อหาความเหมาะสมในการเลือกติดตั้งในอาคารที่จำลอง โดยคำนึงถึงศักยภาพของระบบเป็นสำคัญ

#### 4.1 ภาระทำความเย็นจากการจำลองอาคารสูง

จากการจำลองอาคารเรียนสูงขนาด 16 ชั้นขึ้นมาโดยคำนวณค่าภาระทำความเย็นร่วมกับโปรแกรม Microsoft Excel โดยแบ่งออกเป็น 3 ชนิดได้แก่ ภาระทำความเย็นจากผนังภาระทำความเย็นจากอากาศที่ไหลเวียน และภาระทำความเย็นเบ็ดเตล็ด ตารางที่ 4.1, 4.2, และ 4.3

ตารางที่ 4.1 ภาระทำความเย็นจากผนังต่างๆของตัวอาคาร

Building Part	Area (ft <sup>2</sup> )	Cooling Load (Btu/24h)
North Side Wall (concrete 150 mm)	306.77	3,202,694.11
East Side Wall (concrete 150 mm)	88.80	19,469,008.89
West Side Wall (concrete 150 mm)	452.08	70,796,396.12
South Side Wall (concrete 150 mm)	306.77	3,202,694.11
Floor (concrete 400 mm)	1,431.60	4,123,008.51
Ceiling (concrete 400 mm)	1,431.60	4,123,008.51
East Side Glass Wall (airspace 13 mm)	363.282	133,722,796.38
Lobby Floor (concrete 400 mm)	20,655.79	5,948,868.86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

Building Part	Area (ft <sup>2</sup> )	Cooling Load (Btu/24h)
North Side Lobby Wall (concrete 150 mm)	991.36	5,795,917.85
East Side Lobby Wall (concrete 150 mm)	2,260.42	2,359,879.87
West Side Lobby Wall (concrete 150 mm)	2,260.42	2,359,879.87
South Side Lobby Wall (concrete 150 mm)	991.36	5,795,917.85
Floor Meeting Room (concrete 400 mm)	37,835.00	726,431.94
North Side Meetingroom Wall (concrete 150 mm)	1,614.59	629,301.30
East Side Meeting Room Wall (concrete 150 mm)	2,270.10	3,317,977.88
West Side Meeting Room Wall (concrete 150 mm)	2,270.10	1,105,992.63
South Side Meeting Room Wall (concrete 150 mm)	1,614.59	629,301.30
Roof (concrete 400 mm)	37,835.00	25,425,117.83
Total Wall gain load		283,294,674.32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.1 ภาระทำความเย็นที่เกิดจากผนังของอาคาร คือความร้อนภายนอกที่สู่อาคารโดยผ่านทางผนังของตัวอาคารโดยกำหนดให้อุณหภูมิภายในห้องเรียนอยู่ที่ 25 °C และอุณหภูมิภายนอกอาคารอยู่ที่ 32 °C และใช้ค่าความร้อนผ่านผนัง (Thermal Conductivity, K) จาก ASHRAE ส่งผลให้มีค่าความร้อนผ่านผนังรวมเท่ากับ 283,294,674.32 Btu/day

#### ตารางที่ 4.2 ภาระทำความเย็นจากอากาศไหลเวียน

Room	Volume (ft <sup>3</sup> )	Cooling Load (Btu/24h)
Classroom	14,090.55	8,953,137.61
Total Air Change Load		8,953,137.61

จากตารางที่ 4.2 ภาระทำความเย็นจากอากาศที่ไหลเวียน เนื่องจากพื้นที่ปรับอากาศตามกฎกระทรวงฉบับที่ 33 ปี พ.ศ. 2535 บังคับให้ต้องมีอากาศไหลเวียนอากาศในห้องเรียนมากกว่า 10 เท่าของปริมาตรห้องเพื่อลดปริมาณ CO<sub>2</sub> ที่อาจสะสมและเป็นอันตราย ดังนั้นค่าภาระทำความเย็นดังกล่าวจึงเกิดจากการนำอากาศร้อนภายนอกไหลเวียนเข้ามาในห้องเรียน ส่งผลให้มีค่าภาระทำความเย็นเท่ากับ 8,953,17.61 Btu/day

#### ตารางที่ 4.3 ภาระทำความเย็นเบ็ดเตล็ด

Types	Unit	Cooling Load (Btu/24h)
Light Bulb In The Classroom (25W)	8	2,462,400.00
Light Bulb In The Meeting Room (25W)	60	123,120.00
Light Bulb In The Lobby (25W)	20	615,600.00
People In The Classroom	30	12,420,000.00
People In The Lobby	20	2,340,000.00
People In The Meeting Room	200	624,000.00
Total Miscellaneous Load		18,585,120.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.3 ภาระทำความเย็นเบ็ดเตล็ด ในตารางนี้แสดงให้เห็นถึงค่าความร้อนต่างๆที่อาจเกิดขึ้นมาได้จากเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในห้อง รวมไปถึงคนที่อยู่ในห้องซึ่งมีการแผ่รังสีความร้อน ซึ่งมีค่าภาระทำความเย็นดังกล่าวถึง 18,585,120.00 Btu/day

**ตารางที่ 4.4** ภาระทำความเย็นรวมของอาคาร

Types of Load	Load per day (Btu/day)	Load per hour (Btu/h)
Wall Gain Load ( $Q_{wall}$ )	283,294,674.32	11,803,944.76
Air Change Load ( $Q_{air}$ )	134,297,064.21	5,595,711.01
Miscellaneous Load ( $Q_{other}$ )	18,585,120.00	774,380.00
Total Load	436,176,858.54	18,174,035.77

จากตารางที่ 4.4 แสดงให้เห็นค่าภาระทำความเย็นรวมของอาคารที่สูงถึง 436,176,858.54 Btu/day และมีค่าภาระทำความเย็นต่อชั่วโมง 18,174,035.77 Btu/h โดยค่าดังกล่าวคือภาระทำความเย็นรวมที่มีอยู่ในอาคาร เกิดจากการรวมกันของ ภาระทำความเย็นผ่านผนัง (Wall Gain Load,  $Q_{wall}$ ) ภาระทำความเย็นจากอากาศที่ไหลเวียน (Air Change Load,  $Q_{change}$ ) และภาระทำความเย็นเบ็ดเตล็ด (Miscellaneous Load,  $Q_{other}$ )

จากนั้นนำค่าภาระทำความเย็นดังกล่าวเป็นตัวกำหนดขนาดระบบปรับอากาศที่ต้องการติดตั้ง กำหนดพฤติกรรมให้มีการใช้งานเครื่องปรับอากาศ 7 hr/day โดยแบ่งเป็นช่วงเวลาเช้า 09:00 - 12:00 น. และ 13:00 - 17:00 น. เนื่องจากมีการพักรับประทานอาหารเป็นเวลา 1 hr และตลอดเวลาที่ใช้งานกำหนดให้มีการเปิดเครื่องปรับอากาศร้อยละ 65 ของทั้งระบบ เนื่องจากอาจมีในบางห้องเรียนที่จัดตารางเรียนไม่เท่ากัน หรือกล่าวได้ว่า อาจมีการเปิดใช้งานในยามวิกาลเมื่อมีการเรียนนอกเวลาอีกประมาณร้อยละ 5-10 ของทั้งระบบ

## 4.2 ผลการทดสอบการหาค่าความสามารถทำความเย็นของระบบปรับอากาศ

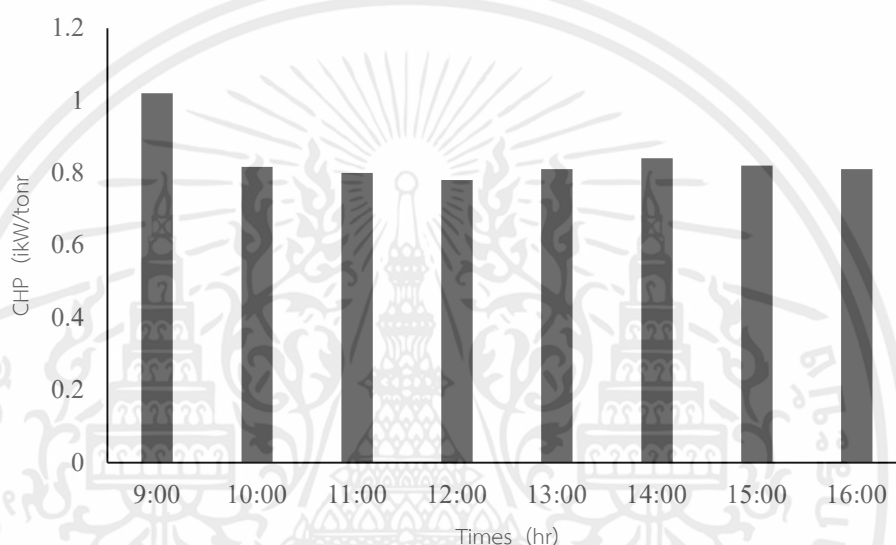
### ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์

จากการทดสอบการหาประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ โดยการวัดค่าลมเย็นของระบบแล้วเก็บข้อมูลลงในโปรแกรม Microsoft Excel และนำค่าที่ได้มาคำนวณและวิเคราะห์ ผลจะได้ประสิทธิภาพของระบบดังตารางที่ 4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ในแต่ละช่วงเวลา

Times	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	Average
Power Input (kWh)	20.8	18.3	15.4	15.1	19.6	11.8	15.0	14.8	16.35
CHP (ikW/tR)	1.02	0.816	0.80	0.78	0.81	0.84	0.82	0.81	0.837



รูปที่ 4.1 ประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์

จากรูปที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่าช่วงเวลา que เริ่มเปิดใช้งานระบบปรับอากาศครั้งแรกของวัน ระบบจะมีการใช้พลังงานมากที่สุด เพื่อดึงความร้อนออกจากพื้นที่ทำความเย็นให้ได้มากที่สุด จึงส่งผลให้ค่าประสิทธิภาพมีแนวโน้มค่อนข้างสูง (ใช้พลังงานสูงหากเทียบกับความสามารถในการดึงความร้อน) และหากสังเกตในช่วง 10:00 - 16:00 ระบบอยู่ในช่วงภาระทำความเย็นที่น้อยกว่า 100% (Part Load) ระบบใช้พลังงานต่ำลงแต่ยังคงความสามารถในการดึงความร้อน จึงส่งผลให้ค่าประสิทธิภาพดีขึ้น (ตารางที่ 4.5)

เมื่อทำการวิเคราะห์ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์พบว่า มีค่าเฉลี่ยของ CHP ทั้งระบบอยู่ที่ 0.837 ikW/tR (ตารางที่ 4.5) จากค่า CHP ของระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์คำนวณค่าพลังงานต่อวันที่ใช้ในระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ เท่ากับ 7,542.45 kWh/day จากตารางที่ 4.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3 ผลการทดสอบการหาค่าความสามารถการทำความเย็นของระบบปรับอากาศชนิดน้ำเย็น

จากการทดสอบการหาประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศชนิดน้ำเย็น โดยการจำลอง ประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศชนิดน้ำเย็นรุ่นที่มีขนาดตัวเครื่อง 750 TR ดังรูปที่ 4.2

Output Type	Full Load (I-P)	Part Load (I-P)	Part Load (I-P)	Part Load (I-P)	Part Load (I-P)	Part Load (I-P)	Part Load (I-P)	Part Load (I-P)	Part Load (I-P)	Part Load (I-P)
Percent Load	100.00	90.00	80.00	70.00	60.00	50.00	40.00	30.00	20.00	10.00
Chiller Capacity	700.0 tonR	630.0 tonR	560.0 tonR	490.0 tonR	420.0 tonR	350.0 tonR	280.0 tonR	210.0 tonR	140.0 tonR	70.0 tonR
Chiller Input kW	399.0 kW	355.8 kW	318.9 kW	283.6 kW	250.9 kW	217.5 kW	182.6 kW	157.0 kW	136.9 kW	125.9 kW
Chiller Efficiency	0.5700 kW/tonR	0.5648 kW/tonR	0.5696 kW/tonR	0.5788 kW/tonR	0.5974 kW/tonR	0.6215 kW/tonR	0.6522 kW/tonR	0.7474 kW/tonR	0.9781 kW/tonR	1.799 kW/tonR
Chiller COPR	6.170 kW/kW	6.227 kW/kW	6.175 kW/kW	6.076 kW/kW	5.887 kW/kW	5.659 kW/kW	5.392 kW/kW	4.705 kW/kW	3.596 kW/kW	1.955 kW/kW
<b>Cooler</b>										
Entering Temp.	54.97 F	53.96 F	52.96 F	51.96 F	50.96 F	49.99 F	48.99 F	47.99 F	46.99 F	46.00 F
Leaving Temp.	45.00 F	45.00 F	45.00 F	45.00 F	45.00 F	45.00 F	45.00 F	45.00 F	45.00 F	45.00 F
Flow Rate	1,680. gpm	1,680. gpm	1,680. gpm	1,680. gpm	1,680. gpm	1,680. gpm	1,680. gpm	1,680. gpm	1,680. gpm	1,680. gpm

รูปที่ 4.2 Data Performance Chiller ขนาด 750 TR [5]

ค่าความสามารถของระบบปรับอากาศแบบทำน้ำเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำเมื่อจำลอง พฤติกรรมการใช้งานโดยใช้ภาระทำความเย็นเดียวกับระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ พบว่าค่าเฉลี่ย ของประสิทธิภาพทั้งระบบเท่ากับ 0.862 i kW/tR โดยที่ค่าประสิทธิภาพดังกล่าว หาได้จากสมการ NPLV โดยอ้างอิงจากสมาคมวิศวกรรมปรับอากาศแห่งประเทศไทย (สมการที่ 2.9)

จากค่า CHP ของระบบปรับอากาศแบบทำน้ำเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ จากรูปที่ 4.2 แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพจริงหากจำลองระบบดังกล่าวติดตั้งในอาคารสูง จากค่า CHP ดังกล่าว ของระบบปรับอากาศแบบทำน้ำเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ คำนวนค่าพลังงานต่อวันที่ใช้ ในระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ เท่ากับ 7,542.45 kWh/day จากตารางที่ 4.6

### 4.4 ผลการทดสอบการหาค่าความสามารถการทำความเย็นของระบบปรับอากาศชนิด แยกส่วน

จากการทดสอบการหาประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศชนิดแยกส่วน โดยการจำลอง ประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศชนิดน้ำแยกส่วนจากค่า COP มาตรฐานที่ประกาศใช้โดยกระทรวง พลังงาน (รูปที่ 4.3)

สำหรับเครื่องขนาดมากกว่า 8,000 W (27,296 Btu/hr)

ระดับประสิทธิภาพ	อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (EER)
เบอร์ 5	มากกว่าหรือเท่ากับ 11.00
เบอร์ 4	มากกว่าหรือเท่ากับ 10.60 – น้อยกว่า 10.99
เบอร์ 3	มากกว่าหรือเท่ากับ 9.60 – น้อยกว่า 10.59

หมายเหตุ : อ้างอิงจากค่ามาตรฐานของกระทรวงพลังงานเป็นตัวกลาง [10]

### รูปที่ 4.3 ประสิทธิภาพระบบปรับอากาศชนิดแยกส่วน

จากรูปที่ 4.3 ได้ว่า EER ของฉลากเบอร์ 5 นี้ซึ่งมาค่าเท่ากับ 11.00 เมื่อแปลงให้อยู่ในรูปความสามารถทำความเย็น จะมีค่า CHP เท่ากับ 1.09 kW/tR โดยอ้างอิงจากค่ามาตรฐานของกระทรวงพลังงาน (รูปที่ 4.3)

ความสามารถทำความเย็นของระบบปรับอากาศชนิดแยกส่วน เมื่อจำลองพฤติกรรมการใช้งานโดยใช้ภาระทำความเย็นเดียวกับ ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ ซึ่งมีประสิทธิภาพโดยประมาณเท่ากับ 1.09 kW/tR (จากการแปลงให้อยู่ในรูป CHP) ใช้งานในภาระทำความเย็นแบบเดียวกับสองระบบที่กล่าวมา คำนวณหาค่าพลังงานต่อวันที่ใช้ในระบบ ระบบปรับอากาศชนิดแยกส่วน ใช้พลังงานโดยประมาณ 9,912.42 kWh/day

### ตารางที่ 4.6 ประสิทธิภาพและอัตราการใช้พลังงานต่อวัน

Repetitions	VRF	Chiller	Spilt Type	Different	
				Spilt-VRF	Spilt-Chiller
CHP (kW/tonR)	0.837	0.862	1.09	0.253	0.228
Energy Consumption per Day (kW/day)	7,542.45	7,767.73	9,912.42	2,396.97	2,144.69

จากตารางที่ 4.6 แสดงให้เห็นถึงค่าประสิทธิภาพและอัตราการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศทั้ง 3 ชนิด เมื่อจำลองการติดตั้งในอาคารสูง ในเงื่อนไขเดียวกัน จะเห็นได้ว่าค่าประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์จะมีประสิทธิภาพดีที่สุดคือ 0.837 kW/tR เมื่อเทียบกับระบบปรับอากาศทั้ง 3 ชนิด พบว่าระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์จะมีค่าความสามารถทำความเย็น

ดีกว่าระบบปรับอากาศแบบทำน้ำเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำอยู่ที่ 2.9% และระบบปรับอากาศชนิดแยกส่วนมีค่าความสามารถในการทำความเย็นดีกว่าระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์เท่ากับ 23.21%

จากการทดสอบหาค่าประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศในอาคารสูง ในการจำลองสถานการณ์ จากภาระทำความเย็นจริงทำให้ได้ทราบว่าประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์โดยเฉลี่ยของทั้งอาคารนั้นมีค่าประมาณ 0.837 kW/tR (ตารางที่ 4.3) เนื่องจากยังมีค่าสูญเสียพลังงาน ทั้งการสูญเสียพลังงานความร้อนจากความร้อนจากการแลกเปลี่ยนความร้อนของคอยล์ร้อยภายในอาคาร หรือแม้กระทั่งการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากพฤติกรรมการใช้งาน และอื่นๆ จึงทำให้ค่าประสิทธิภาพที่วัดได้ออกมา ทำให้อัตราการใช้พลังงานประมาณ 7,542.45 kWh/d ซึ่งมีส่วนต่างกับระบบปรับอากาศชนิดแยกส่วน กว่า 2,396.97 kWh/d (ตารางที่ 4.6)

จากการคำนวณหาค่าความสามารถในการทำความเย็นของระบบปรับอากาศแบบทำน้ำเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ (Water Cooled-Chiller) โดยการจำลองการติดตั้งระบบปรับอากาศแบบน้ำเย็นทั้งระบบ ใสในอาคารสูง แล้วจำลองพฤติกรรมการใช้งานในลักษณะเดียวกับพฤติกรรมของระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ ทำให้ได้ทราบว่าค่า CHP ของระบบมีค่าประมาณ 0.862 kW/tR รวมทั้งระบบโดยไม่คิดค่าสูญเสียพลังงาน จึงทำให้เมื่อจำลองภาระทำความเย็นแล้ว ระบบปรับอากาศชนิดน้ำเย็นใช้พลังงาน 7,767.73 kWh/d เห็นได้ว่าระบบปรับอากาศแบบน้ำเย็นมีส่วนต่างการใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยกว่าระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนกว่า 2,144.69 kWh/d (ตารางที่ 4.6)

จึงกล่าวได้ว่าระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ (Variable Refrigerant Flow System, VRF) เป็นระบบปรับอากาศที่เหมาะสมกับอาคารสูงที่ได้จำลองพฤติกรรมขึ้นมามากที่สุด เนื่องจากพิจารณาจากศักยภาพของระบบที่มีความคล่องตัว มีต้นทุนการติดตั้งที่ต่ำกว่า Chiller อีกทั้งยังมีค่าประสิทธิภาพในช่วง Part Load ที่ดีกว่าระบบปรับอากาศทั้ง 3 ที่ได้กล่าวมาข้างต้น

## บทที่ 5

# สรุปผลการทดลอง

### 5.1 สรุปผลการศึกษา

เมื่อทำการวิเคราะห์ผลการทดสอบ หาค่าความสามารถทำความเย็นของระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ (Variable Refrigerant Flow System, VRF) ระบบปรับอากาศแบบทำน้ำเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ (Water Cooled Chiller, Chiller) และระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน (Spilt Type) พบว่ามีค่าความสามารถทำความเย็นโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 0.837, 0.862 และ 1.09 kW/tR ตามลำดับ หากพิจารณาจากพฤติกรรมการใช้งานของอาคารสูง พบว่าเป็นการใช้งานแบบ Part Load (ช่วงภาระทำความเย็นน้อยกว่า 100% ของกำลังเครื่องปรับอากาศ) เป็นส่วนมาก และจะถูกปิดใช้งานช่วง 18:00 – 07:00 น. มากกว่า 90% ของทั้งระบบ ด้วยความได้เปรียบของระบบ VRV/VRF ที่สามารถทำงานได้ดีในช่วง Part Load และรองรับพฤติกรรมในการใช้งานแบบ เปิด-ปิด หลายครั้งต่อวันจึงทำให้มีความคล่องตัวสูง ส่งผลให้ใช้พลังงานโดยประมาณ เท่ากับ 7,542.45 kWh/d ซึ่งดีกว่าระบบ Chiller และระบบ Spilt Type โดยคิดเป็นร้อยละ 2.9 และ 23.21 ตามลำดับ

จึงกล่าวได้ว่าระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ (Variable Refrigerant Flow System) เป็นระบบปรับอากาศที่เหมาะสมกับอาคารสูงที่ได้จำลองพฤติกรรมขึ้นมามากที่สุด เนื่องจากพิจารณาจากศักยภาพของระบบที่มีความคล่องตัว มีต้นทุนการติดตั้งที่ต่ำกว่า Chiller อีกทั้งยังมีค่าประสิทธิภาพในช่วง Part Load ที่ดีกว่าระบบปรับอากาศทั้ง 2 ชนิด

### 5.2 ปัญหาที่พบ

จากขั้นตอนการวัดค่าประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศนั้น กรณีปัญหาที่พบในการวัดค่าประสิทธิภาพระบบปรับอากาศแบบทำน้ำเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ (Water-Cooled Chiller)

1. เนื่องจากระบบปรับอากาศแบบน้ำเย็นในพื้นที่อาคารสูง ไม่สามารถวัดค่าประสิทธิภาพจริง เพราะขนาดของระบบปรับอากาศแบบทำน้ำเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ ที่มีอยู่ไม่ตรงกับขนาดที่จำลองให้ติดตั้งในอาคารสูง จึงทำให้ต้องมีการประมาณค่าจาก Performance Data ของเครื่องทำน้ำเย็นจากผลทดสอบในห้องปฏิบัติการ แล้วนำมาประมาณโดยอ้างอิงจากพฤติกรรมการใช้งานเครื่องปรับอากาศของอาคารสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.3 ข้อเสนอแนะ

เบื้องต้นเป็นเพียงข้อมูลที่ถูกวัดค่าและประมาณในปี พ.ศ.2564 ข้อมูลดังกล่าวไม่สามารถใช้เป็นเกณฑ์ตัดสินความเหมาะสมในการเลือกใช้งานระบบปรับอากาศได้ทั้งหมด หากแต่ผู้ใช้งานต้องพิจารณาตัวแปรอื่นๆ ร่วมด้วย เช่น พฤติกรรมในการใช้งาน ค่าติดตั้ง ค่าบำรุงรักษา และค่าเสียโอกาส เป็นต้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Cp All. (2020). **The Cp All History**. Accessed 10 December 2021.  
Available from <https://www.cpall.co.th/en/about-us/history>
- [2] Carrier. (2020). **Data Performance of Chiller**. Accessed 10 December 2021  
Available from [https://www.carrier.co.th/products/chiller/dl/19XR\\_catalog.pdf](https://www.carrier.co.th/products/chiller/dl/19XR_catalog.pdf)
- [3] วรณ เชียงวโน. (2558). **ค่าประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำเย็นในช่วง Part Load**.  
เข้าถึงเมื่อ 10 ธันวาคม 2564. เข้าถึงได้จาก  
[https://www.acat.or.th/download/acat\\_or\\_th/journal-9/09%20-%2019.pdf](https://www.acat.or.th/download/acat_or_th/journal-9/09%20-%2019.pdf)
- [4] นพรัตน์ เกตุขาว. (2558). “ระบบปรับอากาศและระบบระบายอากาศ” พิมพ์ครั้งที่ 2.  
กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ เนชั่นบุ๊ค
- [5] กระทรวงพลังงาน. (2561). **ประสิทธิภาพการทำความเย็น IPLV และ NPLV**  
เข้าถึงเมื่อ 10 ธันวาคม 2564. เข้าถึงได้จาก  
<http://old.2e-building.com/article.php?cat=knowledge&id=318>
- [6] Carrier. (2018). **Energy Efficiency Ratio**. Accessed 10 December 2021.  
Available from  
[https://www.carrier.co.th/news2015/knowledge/knowledge\\_2.asp](https://www.carrier.co.th/news2015/knowledge/knowledge_2.asp)
- [7] การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. (2562). **ฉลากประหยัดไฟเบอร์ 5 เครื่องปรับอากาศ**  
เข้าถึงเมื่อ 10 ธันวาคม 2564. เข้าถึงได้จาก  
<http://labelno5.egat.co.th/new58/?p=1411>
- [8] วิสิทธิ์ เอกวานิช. (2564). “ระบบปรับอากาศ” เอกสารประกอบการสอนรายวิชา 11126358  
การปรับอากาศ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยี  
พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังวิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร
- [9] สมาคมวิศวกรรมปรับอากาศแห่งประเทศไทย. (2558). **มาตรฐานระบบปรับอากาศและระบาย  
อากาศ** เข้าถึงเมื่อ 12 ธันวาคม 2564. เข้าถึงได้จาก <https://www.acat.or.th>
- [10] The Sugar Engineers. (2018). **Psychrometric Calculator** Accessed 10 December  
2021. Available from <http://www.sugartech.co.za/psychro/index.php>
- [11] Nada, S. A., and M. A. Said. (2017). “Performance and energy consumptions of  
split type air conditioning units for different arrangements of outdoor  
units in confined building shafts.” **Applied Thermal Engineering** 123: 874-  
890.

- [12] Zhuang, Chaoqun, and Shengwei Wang. (2020). “Risk-based online robust optimal control of air-conditioning systems for buildings requiring strict humidity control considering measurement uncertainties.” **Applied Energy** 261: 114451.
- [13] Liu, Zhijian, et al. (2021). “Dust accumulated fungi in air-conditioning system: Findings based on field and laboratory experiments.” **Building Simulation** 14(3): 793-811.
- [14] Graditi, G., et al. (2015). “Innovative control logics for a rational utilization of electric loads and air-conditioning systems in a residential building.” **Energy and Buildings** 102: 1-17.
- [15] Zhang, Zhongjun, Yufeng Zhang, and Adnan Khan. (2020). “Thermal comfort of people in a super high-rise building with central air-conditioning system in the hot-humid area of China.” **Energy and Buildings** 209: 109727.
- [16] Nazi, Wan Iman Wan Mohd, et al. (2017). “Passive cooling using phase change material and insulation for high-rise office building in tropical climate.” **Energy Procedia** 142: 2295-2302.
- [17] Dhumane, Rohit, et al. (2021). “Investigation of the variability in the measurement of cyclic degradation coefficient of air conditioning systems.” **International Journal of Refrigeration** 128: 1-11.
- [18] พจน์ชววัฒน์ เลาะเลิศสุข และคณะ. (2556). “การลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารสูง กรณีศึกษา: ระบบปรับอากาศโรงแรมโนโวเทล แพลตินั่ม กรุงเทพฯ.” **วิศวกรรมศาสตร์เกษมบัณฑิต** 3(2): 48-56.
- [19] นทีธันนัท พงษ์พานิช และบุญวัฒน์ วิจารณ์พล. (2563). “การจัดการพลังงานอาคารเพื่อลดความต้องการใช้ไฟฟ้าในระบบปรับอากาศของอาคารต้นแบบ มหาวิทยาลัยพะเยา.” **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยพะเยา** 39(5): 572-579
- [20] ประเมษฐ์ นิตกาล. (2562). “การประเมินการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศของเครื่องทำน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำโดยวิธีรวมพลังงานจากภาระงานที่แปรเปลี่ยน.” สารนิพนธ์ วิศวกรรมศาสตร มหาบัณฑิต สาขาการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม คณะ วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม.
- [21] กระทรวงพลังงาน (2563). **เทคโนโลยีอนุรักษ์พลังงาน สำหรับการควบคุม** เข้าถึงเมื่อ 15 ธันวาคม พ.ศ.2564 เข้าถึงได้จาก <https://wedkc.dede.go.th/testmax/sites/default/files>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.1 เก็บผลช่วง 09:00 - 10:00 น.

Time (min)	T <sub>in</sub> (°C)	T <sub>out</sub> (°C)	%Rh <sub>in</sub> (%)	%Rh <sub>out</sub> (%)	%Rh <sub>s</sub> (%)	%Rh <sub>r</sub> (%)	V <sub>air</sub> (m/s)	T <sub>s</sub> (°C)	T <sub>r</sub> (°C)
3	31.7	40.2	62	36	68	56	4.5	24.6	26.4
6	31.2	40.3	62	38	69	58	4.9	23.5	26.2
9	30.8	40.8	64	39	72	54	4.7	22.4	27.6
12	30.6	40.1	64	37	72	54	4.6	22.1	27.4
15	30.6	39.6	61	36	73	51	4.9	19.2	27.3
18	30.4	39.8	59	36	79	52	5.4	16.5	26.6
21	29.9	39.7	58	36	80	59	5.2	15.4	23.8
24	29.7	39.6	60	35	82	65	5.3	12.6	23.4
27	29.7	39.2	64	34	83	64	5.1	10.5	20.4
30	29.9	39.8	62	38	85	65	5	9.7	21
33	29.7	39.7	59	35	86	68	4.5	9.1	23.9
36	29.1	39.1	54	39	84	63	5.4	9.5	23.7
39	28.4	37.6	55	38	85	64	5.2	9.6	23.7
42	28.6	37.4	55	37	89	61	5.3	10.6	20.6
45	28.8	38.1	52	42	89	59	5.1	10.9	18.5
48	28.4	37.9	56	44	87	59	5	11.4	18.2
51	27.8	37.3	52	47	90	64	4.5	11.4	18.3
54	27.8	36.8	56	45	85	61	4.9	11.6	16.8
57	27.3	37.1	58	42	88	59	4.7	11.2	17.2
60	27.1	38.5	54	45	88	58	4.6	12.8	17.5
Average	29.375	38.93	58.35	38.95	81.7	59.7	4.94	14.23	22.425

ตาราง ก.2 เก็บผลช่วง 10:00 - 11:00 น.

Time (min)	T <sub>in</sub> (°C)	T <sub>out</sub> (°C)	%Rh <sub>in</sub> (%)	%Rh <sub>out</sub> (%)	%Rh <sub>s</sub> (%)	%Rh <sub>r</sub> (%)	V <sub>air</sub> (m/s)	T <sub>s</sub> (°C)	T <sub>r</sub> (°C)
3	27	40.6	57	36	88	55	4.9	12	21.6
6	26.8	40.7	54	38	89	55	5.1	11.5	20.5
9	26.8	41.2	52	39	78	56	5.2	12.8	20.4
12	26.6	41.5	56	38	87	53	5.1	11.2	20.8
15	26.4	40	54	34	83	58	5.2	12.5	20.9
18	26.5	41	52	33	81	56	4.5	10.3	20.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.2 (ต่อ)

Time (min)	T <sub>in</sub> (°C)	T <sub>out</sub> (°C)	%Rh <sub>in</sub> (%)	%Rh <sub>out</sub> (%)	%Rh <sub>s</sub> (%)	%Rh <sub>r</sub> (%)	V <sub>air</sub> (m/s)	T <sub>s</sub> (°C)	T <sub>r</sub> (°C)
21	25.9	39	58	33	83	53	4.9	6.9	20.1
24	25.8	38.9	54	33	74	53	4.7	5.8	19.5
27	25.8	38.7	54	35	72	54	4.6	11.2	19.2
30	25.4	39.2	55	34	83	57	4.9	9.6	19.7
33	25.2	37.2	56	33	84	55	5.2	15.3	20.3
36	25.4	37.2	53	38	75	61	5.1	12.6	20.8
39	25.1	37.6	54	39	81	62	5.4	13.5	21
42	25.3	37.4	58	41	88	61	5.2	13.8	21.7
45	25.2	38.1	57	45	82	62	5.3	14.6	22.5
48	25.4	37.9	55	44	78	62	5.1	13.5	23.2
51	25.1	37.3	56	47	69	62	5	9.5	23.3
54	24.8	36.8	56	42	62	60	4.5	6.8	23.4
57	24.9	37.1	57	45	65	60	5.4	12.6	23.2
60	25.1	36.9	56	46	62	58	5	13.9	23.3
Average	25.725	35.3985	55.2	38.65	78.2	57.65	5.015	11.495	21.305

ตาราง ก.3 เก็บผลช่วง 11:00 - 12:00 น.

Time (min)	T <sub>in</sub> (°C)	T <sub>out</sub> (°C)	%Rh <sub>in</sub> (%)	%Rh <sub>out</sub> (%)	%Rh <sub>s</sub> (%)	%Rh <sub>r</sub> (%)	V <sub>air</sub> (m/s)	T <sub>s</sub> (°C)	T <sub>r</sub> (°C)
3	25.9	35	52	48	61	52	5.3	20.4	24.3
6	25.8	34.8	48	47	65	50	5.1	19.8	24.9
9	23.6	34.7	49	48	66	50	5	19.6	25
12	23.1	34.9	52	49	68	51	4.9	20.6	25.1
15	23.2	34.8	52	50	69	49	5.1	14.5	21.5
18	23.7	34.4	51	49	67	50	5.2	15.68	22.8
21	22.4	34.5	53	48	54	51	5.1	14.58	22.6
24	22.8	34.8	53	48	55	53	5	13.48	23.4
27	23.9	34.9	55	49	55	53	4.5	15.3	21.8
30	23.7	34.6	56	56	53	51	5.4	15	22.6
33	24.6	34.9	58	56	52	52	5.2	15.8	22.1
36	24.3	34.8	56	57	51	51	5.3	16.9	22.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.3 (ต่อ)

Time (min)	T <sub>in</sub> (°C)	T <sub>out</sub> (°C)	%Rh <sub>in</sub> (%)	%Rh <sub>out</sub> (%)	%Rh <sub>s</sub> (%)	%Rh <sub>r</sub> (%)	V <sub>air</sub> (m/s)	T <sub>s</sub> (°C)	T <sub>r</sub> (°C)
39	22.6	34.5	52	59	55	52	5.1	19	23.8
42	23	34.6	57	62	51	49	5	13.4	25.8
45	23.7	35.4	54	60	53	49	4.8	12.5	25.1
48	23.2	35.5	52	63	52	51	4.7	11	19.8
51	23.2	35.2	49	64	56	52	4.9	16	21.5
54	23.9	35.1	52	61	53	52	5.2	19	23.4
57	22.8	34.8	56	61	55	51	4.8	22.3	25.2
60	22.4	34.6	53	62	55	51	5.1	21.6	25.4
Average	23.59	34.84	53	54.85	57.3	51	5.035	16.822	23.435

ตาราง ก.4 เก็บผลช่วง 12:00 - 13:00 น.

Time (min)	T <sub>in</sub> (°C)	T <sub>out</sub> (°C)	%Rh <sub>in</sub> (%)	%Rh <sub>out</sub> (%)	%Rh <sub>s</sub> (%)	%Rh <sub>r</sub> (%)	V <sub>air</sub> (m/s)	T <sub>s</sub> (°C)	T <sub>r</sub> (°C)
3	24.9	32.5	54	61	77	56	4.7	15.2	21.6
6	24.5	33.2	55	65	76	52	4.6	14.6	21.5
9	24.8	33.4	51	64	72	59	4.9	14.5	21.9
12	24.5	33.1	52	64	68	55	5.2	14.6	21.6
15	24.6	33.2	57	62	64	55	5.1	14.9	22.4
18	24.9	32.8	54	59	75	55	5.4	15.1	22.9
21	24.7	32.7	53	58	73	54	5.2	14.8	22.5
24	24.8	32.9	52	60	72	52	5.3	16.8	23.7
27	25	33.2	54	61	77	51	5.1	17.8	23.5
30	25.2	33.1	56	59	72	56	5	17.4	23.4
33	25.1	32.9	52	62	71	60	4.5	17.2	23.6
36	25.1	33.4	58	61	68	61	5.2	11.5	18.9
39	25.1	33.5	52	59	65	59	5.3	11.6	18.6
42	24.9	33.6	54	58	66	59	5.1	10.9	17.6
45	24.8	33.9	54	55	63	58	5	10.2	17.5
48	24.7	32.6	52	58	68	58	4.9	9.2	16.8
51	24.8	33.4	49	58	69	59	5.1	14.5	21.5
54	24.9	32.5	49	59	68	57	5.2	16.8	22.3
57	25.3	33.6	48	61	71	56	5.1	17.5	23.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.4 (ต่อ)

Time (min)	T <sub>in</sub> (°C)	T <sub>out</sub> (°C)	%Rh <sub>in</sub> (%)	%Rh <sub>out</sub> (%)	%Rh <sub>s</sub> (%)	%Rh <sub>r</sub> (%)	V <sub>air</sub> (m/s)	T <sub>s</sub> (°C)	T <sub>r</sub> (°C)
60	25.1	33.4	48	64	65	60	5.2	17.4	23.9
Average	24.885	33.145	52.7	60.4	70	56.6	5.055	14.625	21.475

ตาราง ก.5 เก็บผลช่วง 13:00 - 14:00 น.

Time (min)	T <sub>in</sub> (°C)	T <sub>out</sub> (°C)	%Rh <sub>in</sub> (%)	%Rh <sub>out</sub> (%)	%Rh <sub>s</sub> (%)	%Rh <sub>r</sub> (%)	V <sub>air</sub> (m/s)	T <sub>s</sub> (°C)	T <sub>r</sub> (°C)
3	24.1	33.3	56	62	80	65	5.4	14.5	20.7
6	23.5	33.4	58	64	85	63	5.2	13.4	20.4
9	23.4	33.5	59	68	84	66	5.3	13.2	20.6
12	23.4	33.6	56	64	83	65	5.1	12.6	19.8
15	23.1	33.4	58	63	88	63	5	12.5	19.6
18	23.4	33.9	56	64	79	64	4.5	10.4	17.6
21	23.1	34.1	58	62	76	68	5.2	14.7	21.7
24	22.8	33.7	56	65	75	60	5.3	14.6	21.6
27	22.5	32.9	55	61	81	59	5.1	15.2	23.4
30	22.7	32.5	55	63	75	57	5	17.6	23.6
33	22.8	33	55	63	72	55	4.9	12.4	23.1
36	22.7	33.6	58	64	68	52	5.1	12.6	20.6
39	22.9	33.9	57	63	65	54	5.2	15.4	22.4
42	23.4	34.7	52	61	66	59	4.8	14.1	22.5
45	23.6	34.1	53	62	67	58	5.1	13.2	22.1
48	23.5	34.3	55	61	62	64	5	13.6	22.1
51	23.4	33.8	55	60	58	65	4.8	10.6	18.5
54	23.8	34.1	54	59	59	66	4.7	11.5	19.4
57	23.9	33.4	57	56	64	65	4.9	11.8	19.6
60	24.3	34.2	54	52	63	64	5.2	12.7	19.8
Average	23.315	33.67	55.85	61.85	72.5	61.6	5.04	13.33	20.955

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.6 เก็บผลช่วง 14:00 - 15:00 น.

Time (min)	T <sub>in</sub> (°C)	T <sub>out</sub> (°C)	%Rh <sub>in</sub> (%)	%Rh <sub>out</sub> (%)	%Rh <sub>s</sub> (%)	%Rh <sub>r</sub> (%)	V <sub>air</sub> (m/s)	T <sub>s</sub> (°C)	T <sub>r</sub> (°C)
3	24.4	30.6	49	78	81	65	5.2	10.6	20.7
6	24.9	30.9	52	79	80	61	4.5	11.5	20.3
9	24.7	30.8	52	77	82	70	4.9	16.1	20.6
12	24.5	31.2	51	76	80	62	5	11.7	21.4
15	24.9	32	53	76	71	65	4.9	18.4	21.8
18	25.4	31.4	53	79	71	71	4.9	20.1	22.5
21	25.1	32.2	55	74	72	70	5.2	20.8	22.9
24	24.8	31.4	56	76	75	68	5.1	21.2	23.5
27	24.8	31	58	77	72	69	5.4	22.1	23.9
30	24.8	30.9	56	78	72	64	5.2	22.7	24.8
33	24.9	30.6	55	80	70	65	5.3	21	24.1
36	25.3	30.4	52	79	65	66	5.1	21.8	23.8
39	25.1	30.5	56	75	62	62	4.8	22.4	24.9
42	24.7	30.9	52	76	66	63	4.9	24	24.3
45	24.8	31.1	56	75	62	62	5.1	21.5	24.5
48	24.5	31.1	58	75	60	64	5.2	21.3	24.7
51	24.5	31.3	54	77	69	63	5.1	21.8	24.8
54	25.4	31.6	54	76	68	57	4.7	20.8	25
57	24.8	31.8	53	77	70	61	4.8	20.6	25
60	24.7	31.8	52	76	72	60	5.1	20.1	24.9
Average	24.85	31.175	53.85	76.8	71	64.4	5.02	19.525	23.42

ตาราง ก.7 เก็บผลช่วง 15:00 - 16:00 น.

Time (min)	T <sub>in</sub> (°C)	T <sub>out</sub> (°C)	%Rh <sub>in</sub> (%)	%Rh <sub>out</sub> (%)	%Rh <sub>s</sub> (%)	%Rh <sub>r</sub> (%)	V <sub>air</sub> (m/s)	T <sub>s</sub> (°C)	T <sub>r</sub> (°C)
3	24.5	32.4	56	65	65	51	4.8	15.6	24.5
6	24.6	32.5	52	59	62	54	5.2	15.2	24.1
9	24.7	32.4	58	61	72	65	5.3	12.1	23.1
12	24.8	32.6	52	62	73	62	5.1	13.5	22.5
15	25.3	33.1	54	63	72	64	5	13.8	22.2
18	24.6	33.5	54	60	76	75	4.9	13.1	22
21	24.5	32.8	52	59	78	54	5.1	12.9	22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.7 (ต่อ)

Time (min)	T <sub>in</sub> (°C)	T <sub>out</sub> (°C)	%Rh <sub>in</sub> (%)	%Rh <sub>out</sub> (%)	%Rh <sub>s</sub> (%)	%Rh <sub>r</sub> (%)	V <sub>air</sub> (m/s)	T <sub>s</sub> (°C)	T <sub>r</sub> (°C)
24	24.8	32.9	49	59	71	72	5.2	12.5	20.1
27	24.7	33.2	49	58	75	66	4.9	12.8	19.7
30	24.5	33	48	57	62	56	5.1	12	20.9
33	24.4	32.5	48	58	72	61	5	11.2	19.5
36	24.3	32.8	54	56	75	53	4.8	13.4	21
39	24.1	33	55	55	63	57	4.8	16.6	22.8
42	24.6	33.3	56	58	61	52	5.2	18.2	22.5
45	24.8	33.4	53	60	60	54	4.8	22.4	22.4
48	24.3	33.6	54	57	53	51	4.8	20.9	21.5
51	24.7	33.2	58	56	58	54	4.9	24.4	25.1
54	25.3	33.2	57	57	59	53	4.9	24.4	24.9
57	25.2	33.7	55	58	54	52	5.1	24.6	24.9
60	25.2	33.8	56	55	54	52	4.9	25	25.4
Average	24.695	33.045	53.5	58.65	65.75	57.9	4.99	16.73	22.555

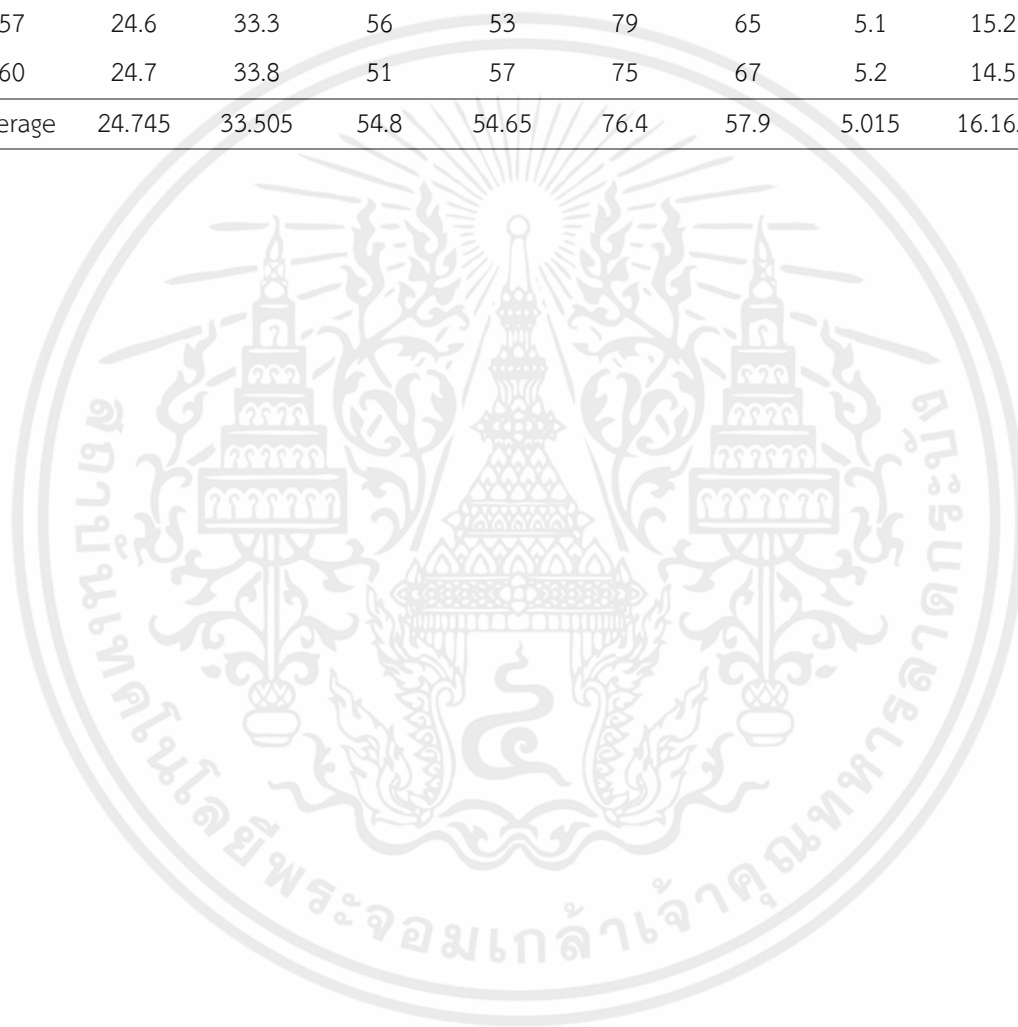
ตาราง ก.8 เก็บผลช่วง 16:00 - 17:00 น.

Time (min)	T <sub>in</sub> (°C)	T <sub>out</sub> (°C)	%Rh <sub>in</sub> (%)	%Rh <sub>out</sub> (%)	%Rh <sub>s</sub> (%)	%Rh <sub>r</sub> (%)	V <sub>air</sub> (m/s)	T <sub>s</sub> (°C)	T <sub>r</sub> (°C)
3	24.9	33.6	52	53	58	56	5.4	22.4	25.2
6	24.7	33.7	56	54	57	55	5.1	23.3	25.3
9	24.5	33.4	54	52	58	56	4.8	21.6	25.2
12	25.3	33.8	52	51	57	56	4.9	22.4	25.1
15	25.4	33.1	58	57	57	56	4.7	21.3	25.5
18	24.3	33.2	54	56	68	56	5	14.8	24.1
21	24.8	33.4	54	55	74	56	5.1	13.1	24.1
24	24.8	33.9	55	55	83	55	4.7	13.3	24.5
27	24.8	33.8	56	54	88	55	4.8	14.7	24
30	24.9	33.7	53	56	87	56	4.5	13	24.1
33	24.5	33.5	54	57	91	56	5.2	10.2	24.5
36	24.7	33.6	58	55	90	55	5.1	10.6	24
39	24.7	33.7	56	54	92	56	5.4	11.8	22.5
42	24.9	32.8	53	54	88	58	5.2	14.6	21.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.8 (ต่อ)

Time (min)	T <sub>in</sub> (°C)	T <sub>out</sub> (°C)	%Rh <sub>in</sub> (%)	%Rh <sub>out</sub> (%)	%Rh <sub>s</sub> (%)	%Rh <sub>r</sub> (%)	V <sub>air</sub> (m/s)	T <sub>s</sub> (°C)	T <sub>r</sub> (°C)
45	24.7	33.2	54	54	83	58	5.3	14.9	21.6
48	24.8	33.7	58	57	84	60	5.1	16.2	21.5
51	24.7	33.2	57	54	82	61	4.8	16.9	21
54	24.2	33.7	55	55	77	65	4.9	18.5	21.3
57	24.6	33.3	56	53	79	65	5.1	15.2	22.5
60	24.7	33.8	51	57	75	67	5.2	14.5	22.8
Average	24.745	33.505	54.8	54.65	76.4	57.9	5.015	16.165	23.53



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน



ชื่อ-สกุล นายพีรพงศ์ แก้วเวียงคุณ  
 วัน เดือน ปีเกิด วันที่ 24 เดือน กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2543  
 ภูมิลำเนา จังหวัดกาฬสินธุ์  
 ที่อยู่ 92 หมู่ที่ 9 บ้านหนองหว้า ตำบลหนองกุงศรี  
 อำเภอหนองกุงศรี  
 จังหวัดกาฬสินธุ์ 46220  
 E-mail p.kaewwiangkun@gmail.com

## ประวัติการศึกษา

- สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนศรีกระนวน  
 วิทยาคม ปีการศึกษา 2560 จังหวัดขอนแก่น
- สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต วศ.บ  
 (วิศวกรรมเครื่องกล) ปีการศึกษา 2564 จากสถาบันเทคโนโลยี  
 พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
 วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

## ผลงานและกิจกรรม

- ดำรงตำแหน่งรองประธานชมรมดนตรีสากล สถาบันเทคโนโลยี  
 พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร  
 เขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร ในปี พ.ศ. 2563
- นักศึกษาทุนเครื่องเจริญโภคภัณฑ์ ในปี พ.ศ. 2563 - 2565
- สหกิจศึกษา ณ บริษัท ซีพี ออลล์ จำกัด(มหาชน) จังหวัด  
 นนทบุรี ฝ่ายบริหารอาคาร วิศวกรอาคาร ปี พ.ศ. 2564

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้