การประหยัดพลังงานในระบบปรับอากาศขนาดใหญ่ โดยการติดตั้งระบบควบคุมอัตโนมัติ กรณีศึกษา ศูนย์การค้าแห่งหนึ่ง

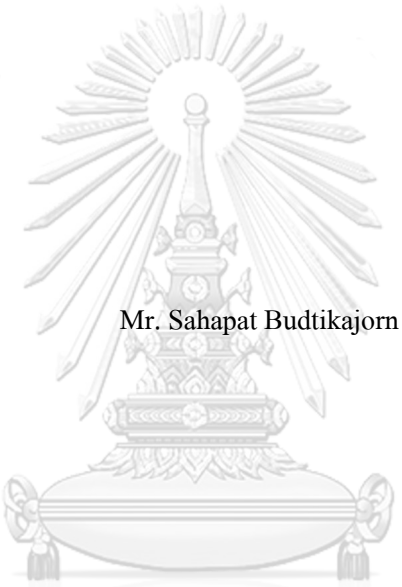
นายสหภัส พุทธิขจร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารนิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน สหสาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2562
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ENERGY SAVING IN A LARGE AIR CONDITIONING SYSTEMBY INSTALLING AN AUTOMATIC CONTROL SYSTEMCASE STUDY : A SHOPPING CENTER

Mr. Sahapat Budtikajorn



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

An Independent Study Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science in Energy Technology and Management

Inter-Department of Energy Technology and Management

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 2019

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อสารนิพนธ์	การประหยัดพลังงานในระบบปรับอากาศขนาดใหญ่ โดยการติดตั้งระบบควบคุมอัตโนมัติ กรณีศึกษา ศูนย์การค้าแห่งหนึ่ง
โดย	นายสหภัส พุทธิขจร
สาขาวิชา	เทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.วิทยา ยงเจริญ

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับสารนิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

คณะกรรมการสอบสารนิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.วิบูลย์ ศรีเจริญชัยกุล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.วิทยา ยงเจริญ)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมพงษ์ พุทธิวิสุทธิศักดิ์)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สหภัส พุทธิขจร : การประหยัดพลังงานในระบบปรับอากาศขนาดใหญ่ โดยการติดตั้งระบบควบคุมอัตโนมัติ กรณีศึกษา ศูนย์การค้าแห่งหนึ่ง. (ENERGY SAVING IN A LARGE AIR CONDITIONING SYSTEMBY INSTALLING AN AUTOMATIC CONTROL SYSTEMCASE STUDY : A SHOPPING CENTER) อ.ที่ปรึกษาหลัก : รศ. ดร.วิทยา ยงเจริญ

การใช้พลังงานของระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์อยู่ที่ประมาณ 45% ของการใช้พลังงานรวมในศูนย์การค้า ดังนั้น การควบคุมการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นจึงเป็นสิ่งสำคัญในการประหยัดพลังงานในระบบปรับอากาศขนาดใหญ่ ในระบบปรับอากาศแบบดั้งเดิม การเปลี่ยนแปลงของภาระการทำความเย็นจะส่งผลกระทบถึงอัตราการไหลของน้ำเย็นในระบบส่งจ่ายลมเย็นและภาระการทำความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็นเพื่อที่จะรักษาอุณหภูมิอากาศภายในห้อง ระบบควบคุมแบบดั้งเดิมนี้มีเวลาในการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของภาระการทำความเย็นที่นาน เป็นเหตุให้เกิดการแกว่งที่มากของอุณหภูมิอากาศในพื้นที่ปรับอากาศ และ ใช้พลังงานไฟฟ้าที่มากในการเดินเครื่องทำน้ำเย็น งานวิจัยนี้นำเสนอการใช้ระบบควบคุมอัตโนมัติที่ทำงานร่วมกับเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิอากาศภายในพื้นที่ปรับอากาศเพื่อสนับสนุนระบบควบคุมแบบดั้งเดิมสำหรับควบคุมการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นในศูนย์การค้า ระบบควบคุมอัตโนมัตินี้ใช้เซนเซอร์วัดอุณหภูมิอากาศที่ติดตั้งในพื้นที่ปรับอากาศเพื่อจำกัดภาระการทำความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็นโดยตรง ระบบควบคุมอัตโนมัตินี้สามารถลดเวลาในการตอบสนองเป็นเหตุให้การแกว่งของอุณหภูมิอากาศลดลง ค่าเฉลี่ยกำลังสองของอุณหภูมิอากาศของ โรงภาพยนตร์ พื้นที่ศูนย์การค้า และ ศูนย์อาหาร ถูกลดลงเป็น 0.0 0.16 และ 0.43 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และด้วยการช่วยของระบบควบคุมอัตโนมัติสำหรับการเฝ้าดูอุณหภูมิอากาศในพื้นที่ปรับอากาศอย่างต่อเนื่อง ระบบส่งจ่ายลมเย็นควบคุมค่าปรับตั้งของโรงภาพยนตร์ พื้นที่ศูนย์การค้า และ ศูนย์อาหาร ซึ่งค่าปรับตั้งได้ถูกปรับเปลี่ยนเป็นค่าใหม่คือ 24.5 25.3 และ 25.3 องศาเซลเซียส ตามลำดับ หลังจากใช้งานระบบควบคุมอัตโนมัติ การใช้พลังงานไฟฟ้าต่อวันลดลง 25.8 %

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สาขาวิชา	เทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน	ลายมือชื่อนิสิต .....
ปีการศึกษา	2562	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

6187553920 : MAJOR ENERGY TECHNOLOGY AND MANAGEMENT

KEYWORD: AUTOMATIC CONTROL SYSTEM, CHILLER, TEMPERATURE FLUCTUATION, ENERGY SAVING

Sahapat Budtikajorn : ENERGY SAVING IN A LARGE AIR CONDITIONING SYSTEMBY INSTALLING AN AUTOMATIC CONTROL SYSTEMCASE STUDY : A SHOPPING CENTER. Advisor: Assoc. Prof. Withaya Yongchareon, Ph.D.

The energy consumption of air conditioning system is approximately 45% of the total energy consumption in a shopping center. Therefore, chiller operation control is important for energy saving in the large central air conditioning system. In conventional control, the change in air-condition load will affect the air handling unit chilled water flow rate and then the chiller load in order to maintain room air temperatures. This conventional control has a long response time to the load change causing much air temperature fluctuation in air-conditioned area and consuming more electrical energy in chiller operation. This research presents the use of an automatic control system working with room air temperature sensors in air-conditioned area to assist the conventional control system of chillers operation at shopping center. This automatic control system uses air temperature sensors installed in air-conditioned areas to limit chiller load target directly. This automatic control system could reduce response time causing air temperature fluctuation is reduced. The root mean square of air temperatures were reduced 0.0, 0.16 and 0.43 ^{o}C of cinema area, shopping area, and food center area respectively. With the aid of this automatic control for continuous monitoring of all temperatures in the air conditioning areas, the air handling unit temperature control set points of cinema area, shopping area, and food center area were changed to the new target values which were 24.5, 25.3 and 25.3 ^{o}C respectively. After applying this automatic control, the electrical energy consumption per day was reduced by 25.8 %.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Field of Study:	Energy Technology and Management	Student's Signature .....
Academic Year:	2019	Advisor's Signature .....

กิตติกรรมประกาศ

สารนิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลือ และความเอาใจใส่อย่างยิ่งจาก รศ. ดร. วิทยา ยงเจริญ ที่กรุณารับเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาสารนิพนธ์ พร้อมทั้งให้คำปรึกษาชี้แนะแนวทางและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการทำวิจัย ตลอดจน ให้ความอนุเคราะห์ตรวจสอบ ปรับปรุงงานวิจัยฉบับนี้เพื่อให้งานวิจัยมีความสมบูรณ์และเป็นประโยชน์ในการนำไปปฏิบัติงาน

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ท่านอาจารย์ประจำหลักสูตรเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน ที่ได้ให้ความรู้ และแนวคิดในการค้นคว้าและการทำวิจัย นอกจากนี้ ขอขอบคุณ ห้างสรรพสินค้าโรบินสันที่ได้เอื้อเฟื้อข้อมูลในการทำวิจัยอันจะเป็นประโยชน์ต่อการทำวิจัยเป็นอย่างยิ่ง

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอขอบคุณบิดา และ มารดา รวมไปถึง ญาติพี่น้องของข้าพเจ้า ตลอดจนผู้บังคับบัญชา ผู้ซึ่งให้โอกาสทางการศึกษาและเป็นกำลังใจให้ด้วยดีเสมอมา

สหภัส พุทธิขจร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ค

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ง

กิตติกรรมประกาศ ..... จ

สารบัญ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ซ

สารบัญรูป ..... ฌ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2

1.3 ขอบเขตของการวิจัย 3

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 3

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4

2.1 ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ โดยใช้เครื่องทำน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำ 4

2.2 ประสิทธิภาพหรือสมรรถนะของเครื่องทำน้ำเย็น 7

2.3 ระบบควบคุมอุณหภูมิอากาศแบบดั้งเดิม 8

2.4 ระบบควบคุมอาคารอัตโนมัติ 11

2.5 การวิเคราะห์ค่าสมรรถนะการทำความเย็นที่สภาวะมาตรฐาน 15

2.6 ค่าเฉลี่ยและค่าเฉลี่ยกำลังสอง 18

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 18

บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัยและเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย 21

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

3.1 การดำเนินงานเก็บข้อมูล.....21
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....30
4.1 ค่าประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำเย็นในสภาวะมาตรฐาน.....30
4.2 การลดการแกว่งของอุณหภูมิอากาศ.....32
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....37
5.1 สรุปผลงานวิจัย.....37
5.2 ข้อเสนอแนะ.....37
บรรณานุกรม.....39
ภาคผนวก.....40
ภาคผนวก ก.....41
ภาคผนวก ข.....42
ภาคผนวก ค.....43
ภาคผนวก ง.....44
ภาคผนวก จ.....47
ประวัติผู้เขียน.....50

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 สัดส่วนการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์โดยใช้การระบายความร้อนด้วยน้ำ..... 7

2.2 ค่าแก้ไขขนาดทำความเย็นและพลังไฟฟ้าสำหรับเครื่องทำน้ำเย็นระบายความร้อนด้วยน้ำ..... 16

3.1 ข้อมูลการตรวจวัด ที่นำไปใช้ในการคำนวณผลประหยัด..... 26

4.1 ค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ที่วัดและบันทึกของเครื่องทำน้ำเย็นตัวที่ 1 และตัวที่ 2 ก่อนการปรับปรุงไปใช้ระบบควบคุมอัตโนมัติ..... 30

4.2 ค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ที่วัดและบันทึกของเครื่องทำน้ำเย็นตัวที่ 1 และตัวที่ 2 หลังการปรับปรุงไปใช้ระบบควบคุมอัตโนมัติ..... 30

4.3 ค่าประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำเย็นที่สภาวะภาระทำความเย็นที่เกิดขึ้นจริงและสภาวะการทำความเย็นที่สภาวะมาตรฐาน..... 30

4.4 ผลของการประหยัดพลังงานและประหยัดค่าไฟฟ้าหลังการใช้ระบบควบคุมอัตโนมัติ..... 31

4.5 ค่าเฉลี่ย ค่าเฉลี่ยกำลังสอง และ ค่าผลต่างของอุณหภูมิอากาศก่อนและหลังการปรับปรุง..... 32

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

1.1 เครื่องทำน้ำเย็นของระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ภายในห้างสรรพสินค้า..... 2
2.1 ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ โดยใช้เครื่องทำน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำ..... 5
2.2 ไดอะแกรมการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นในระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์..... 9
2.3 ไดอะแกรมการทำงานของเครื่องส่งจ่ายลมเย็นในระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์..... 10
2.4 ไดอะแกรมโครงสร้างของระบบควบคุมอาคารอัตโนมัติ..... 11
2.5 ภาพกราฟิกจำลองการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นภายใต้ระบบควบคุมอาคารอัตโนมัติ..... 14
2.6 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิก่อนการใช้ระบบอัตโนมัติ..... 19
2.7 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิหลังการใช้ระบบอัตโนมัติ..... 19
2.8 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าผลต่างของอุณหภูมิที่วัดได้จริงกับอุณหภูมิที่ปรับตั้ง
ก่อนและหลังการใช้ระบบควบคุมอัตโนมัติ..... 20
2.9 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ
ก่อนและหลังการใช้ระบบควบคุมอัตโนมัติ..... 20
3.1 เครื่องทำน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำ..... 21
3.2 เครื่องสูบน้ำเย็น..... 21
3.3 เครื่องสูบน้ำหล่อเย็น..... 22
3.4 ตำแหน่งการตรวจวัดเครื่องทำน้ำเย็น..... 23
3.5 การวัดอัตราการไหลของน้ำเย็นด้วยเครื่องมือวัดอัตราการไหลของน้ำ..... 23
3.6 เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ..... 24
3.7 คอมพิวเตอร์สำหรับระบบควบคุมแบบอัตโนมัติ..... 24
3.8 ไดอะแกรมระบบควบคุมการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นแบบอัตโนมัติ..... 25
3.9 กราฟแสดงค่า TR และ kW ของเครื่องทำน้ำเย็น ก่อนการปรับปรุง (วันที่ 1) 27
3.10 กราฟแสดงค่า TR และ kW ของเครื่องทำน้ำเย็น ก่อนการปรับปรุง (วันที่ 2) 28
3.11 กราฟแสดงค่า TR และ kW ของเครื่องทำน้ำเย็น หลังการปรับปรุง (วันที่ 1) 28
3.12 กราฟแสดงค่า TR และ kW ของเครื่องทำน้ำเย็น หลังการปรับปรุง (วันที่ 2) 29
4.1 อุณหภูมิอากาศในพื้นที่ปรับอากาศก่อนการปรับปรุง..... 35
4.2 อุณหภูมิอากาศในพื้นที่ปรับอากาศหลังการปรับปรุง..... 36

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ระบบปรับอากาศขนาดใหญ่แบบรวมศูนย์ มีสัดส่วนการใช้พลังงานมากที่สุดในอาคารขนาดใหญ่ โดยมีการใช้พลังงานประมาณ 45 % ของการใช้พลังงานทั้งหมดในอาคาร ดังนั้น มาตรการการประหยัดพลังงานในระบบปรับอากาศขนาดใหญ่แบบรวมศูนย์จึงเป็นสิ่งสำคัญเพื่อการประหยัดพลังงานในอาคารขนาดใหญ่

สำหรับมาตรการการประหยัดพลังงานสำหรับระบบปรับอากาศขนาดใหญ่แบบรวมศูนย์มีอยู่หลายมาตรการ สำหรับในงานวิจัยนี้ให้ความสนใจในมาตรการการนำระบบควบคุมอัตโนมัติมาใช้ในการควบคุมการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำ เพื่อการประหยัดพลังงาน โดยมุ่งเน้นที่การควบคุมที่อุณหภูมิอากาศ ในพื้นที่ปรับอากาศโดยตรงแทนการควบคุมอุณหภูมิของน้ำเย็นที่ออกจากเครื่องทำน้ำเย็นและควบคุมอัตราการไหลของน้ำเย็นที่ไหลผ่านคอล์ยทำความเย็นของระบบส่งจ่ายลมเย็น ซึ่งเป็นระบบควบคุมแบบดั้งเดิม อีกทั้งการนำระบบควบคุมอัตโนมัติมาใช้งานโดยมุ่งเน้นที่การควบคุมที่อุณหภูมิอากาศเป็นหลัก ยังช่วยในการลดการแกว่งของอุณหภูมิอากาศ โดยสำหรับการแกว่งของอุณหภูมิอากาศนั้นเกิดจากผลต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศที่ปรับตั้งไว้กับอุณหภูมิอากาศที่วัดได้จริง โดยในระบบควบคุมแบบดั้งเดิมจะมีการแกว่งของอุณหภูมิอากาศที่มาก โดยในกรณีที่ค่าอุณหภูมิอากาศที่วัดได้จริงมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศที่ปรับตั้ง แสดงถึงภาระการทำความเย็น ในพื้นที่ปรับอากาศที่มาก ทำให้เครื่องทำน้ำเย็นต้องรับภาระในการทำความเย็นเพื่อให้ได้ค่าอุณหภูมิอากาศที่วัดได้จริงใกล้เคียงกับค่าอุณหภูมิอากาศที่ปรับตั้งไว้ ทำให้ต้องใช้พลังงานไฟฟ้าที่มากในการเดินเครื่องทำน้ำเย็น หรือในทางกลับกัน ในกรณีที่อุณหภูมิอากาศที่วัดได้จริง ในพื้นที่ปรับอากาศ มีค่าต่ำกว่าค่าอุณหภูมิอากาศที่ปรับตั้งไว้ แสดงถึงภาระการทำความเย็นที่ลดลง เครื่องทำน้ำเย็นจะเดินเครื่องในสภาวะอันโหลดเพื่อเป็นการประหยัดพลังงาน แต่เนื่องจากด้วยระบบควบคุมการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นแบบดั้งเดิม ส่งผลให้มีผลต่างอุณหภูมิอากาศที่กว้าง จึงทำให้ค่าอุณหภูมิอากาศ ในพื้นที่ปรับอากาศ กลับมามีค่าสูงกว่าค่าอุณหภูมิอากาศที่ปรับตั้งอีกครั้ง ทำให้ต้องใช้พลังงานไฟฟ้าที่มากในการเดินเครื่องทำน้ำเย็นเพื่อที่จะลดอุณหภูมิอากาศในพื้นที่ปรับอากาศให้ใกล้เคียงกับอุณหภูมิอากาศที่ปรับตั้งไว้อีกครั้ง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ทำให้ต้องใช้พลังงานไฟฟ้าในการเดินเครื่องทำน้ำเย็น เพื่อควบคุมให้อุณหภูมิอากาศ ในพื้นที่ปรับอากาศมีค่าใกล้เคียงกับค่าอุณหภูมิอากาศที่ปรับตั้งไว้

การนำระบบควบคุมอัตโนมัติมาใช้งานร่วมกับระบบควบคุมแบบดั้งเดิมเพื่อควบคุมการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นจะช่วยทำให้ลดการแกว่งของอุณหภูมิอากาศและลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในการเดินเครื่องทำน้ำเย็น เป็นการประหยัดพลังงานในระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ โดยมุ่งเน้นที่การประหยัดพลังงานที่เครื่องทำน้ำเย็นเป็นหลัก ดังแสดงในรูปที่ 1.1

รูปที่ 1.1 เครื่องทำน้ำเย็นของระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ภายในห้างสรรพสินค้า

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.2 **วัตถุประสงค์ของการวิจัย**

1.2.1 เพื่อศึกษาการนำระบบควบคุมอัตโนมัติมาใช้ในการประหยัดพลังงานในระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ ในห้างสรรพสินค้า

1.2.2 เพื่อศึกษาถึงการผลของการลดการแกว่งของอุณหภูมิอากาศ ต่อการประหยัดพลังงานที่เครื่องทำน้ำเย็นในระบบปรับอากาศ

1.2.3 เพื่อศึกษาถึงผลการประหยัด สำหรับการติดตั้งระบบควบคุมอัตโนมัติและใช้งานร่วมกับระบบควบคุมแบบดั้งเดิม

1.3 **ขอบเขตของการวิจัย**

1.3.1 วัดและบันทึกผลอุณหภูมิอากาศทั้งวันในบริเวณพื้นที่ปรับอากาศภายในห้างสรรพสินค้า 1 แห่ง

1.3.2 ศึกษาเฉพาะการประหยัดพลังงานไฟฟ้าในการเดินเครื่องทำน้ำเย็น

1.4 **ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย**

1.4.1 ศึกษาทฤษฎี งานวิจัย และทบทวนวรรณกรรม ที่เกี่ยวข้องกับการนำระบบควบคุมแบบอัตโนมัติ มาใช้ในการวัดและแสดงผลของอุณหภูมิอากาศในพื้นที่ปรับอากาศ

1.4.2 สำรวจข้อมูลการใช้งานระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ของห้างสรรพสินค้า

1.4.3 ศึกษาข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าและค่าการทำความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็นก่อนการใช้งานระบบควบคุมแบบอัตโนมัติ

1.4.4 รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องในการนำระบบควบคุมอัตโนมัติมาใช้ในการควบคุมการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นในระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ โดยทำการเก็บข้อมูลก่อนและหลังการใช้งานระบบควบคุมอัตโนมัติ ข้อมูลที่เก็บประกอบด้วย ค่าอุณหภูมิอากาศในพื้นที่ปรับอากาศ ค่าอุณหภูมิน้ำเย็นที่เข้าและออกจากเครื่องทำน้ำเย็น ค่าอัตราการไหลของน้ำเย็นที่ออกจากเครื่องทำน้ำเย็น

1.4.5 วิเคราะห์ข้อมูลโดยนำผลที่บันทึกได้มาทำการเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งก่อนและหลังการใช้งานระบบควบคุมอัตโนมัติ

1.4.6 ศึกษาถึงผลของการนำระบบควบคุมอัตโนมัติมาใช้ในการลดการแกว่งของอุณหภูมิอากาศในพื้นที่ปรับอากาศ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.4.7 ศึกษาถึงผลการประหยัดสำหรับการติดตั้งระบบควบคุมอัตโนมัติสำหรับการประหยัดพลังงานในการเดินเครื่องทำน้ำเย็น

1.4.8 สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ

1.5 **ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ**

1.5.1 เป็นแนวทางในการนำระบบควบคุมอัตโนมัติซึ่งเป็นระบบที่ทันสมัย มาใช้ในการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในการเดินเครื่องทำน้ำเย็น ในระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์

1.5.2 เป็นแนวทางในการควบคุมการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็น โดยใช้ค่าของอุณหภูมิอากาศ ในพื้นที่ปรับอากาศ

1.5.3 สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับระบบปรับอากาศขนาดใหญ่ เช่น อาคารสำนักงาน โรงพยาบาล และ อาคารอื่น ๆ ได้

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การนำระบบควบคุมอัตโนมัติมาใช้ในการควบคุมการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นเพื่อการประหยัดพลังงาน ใช้ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับค่าการทำความเย็น ค่าพารามิเตอร์เกี่ยวข้องกับอุณหภูมิน้ำเย็น และอุณหภูมิอากาศ รวมไปถึงค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าและค่ากำลังไฟฟ้า รวมไปถึงวิธีการวัดและพิสูจน์ผลเพื่อการประหยัดพลังงาน โดยได้แบ่งออกเป็นหัวข้อต่าง ๆ ดังนี้

2.1 ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ โดยใช้เครื่องทำน้ำเย็นระบายความร้อนด้วยน้ำ

2.2 ประสิทธิภาพหรือสมรรถนะของเครื่องทำน้ำเย็น

2.3 ระบบควบคุมอุณหภูมิอากาศแบบดั้งเดิม

2.4 ระบบควบคุมอาคารอัตโนมัติ

2.5 การวิเคราะห์ค่าสมรรถนะการทำความเย็นที่สภาวะมาตรฐาน

2.6 ค่าเฉลี่ยและค่าเฉลี่ยกำลังสอง

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ โดยใช้เครื่องทำน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำ

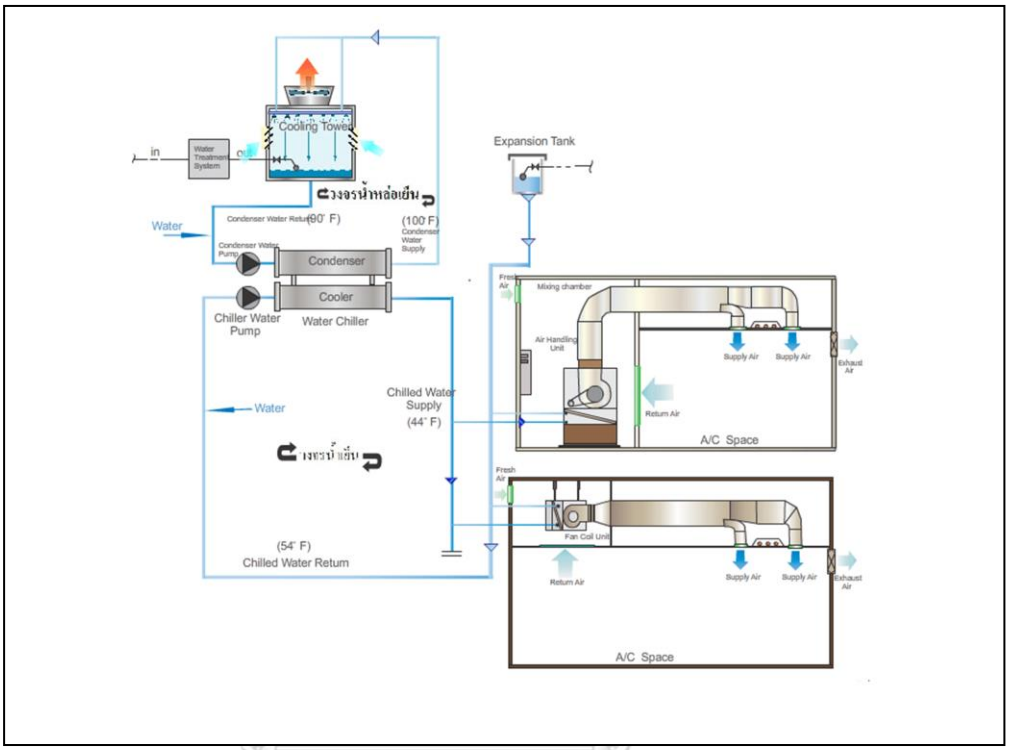
ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์เป็นระบบปรับอากาศขนาดใหญ่ เหมาะสำหรับใช้ในอาคารขนาดใหญ่ที่ต้องการพื้นที่การปรับอากาศที่มาก อาทิเช่น ห้างสรรพสินค้า โรงพยาบาล ฯลฯ โดยระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ขนาดใหญ่จะใช้น้ำเป็นตัวกลางในทำความเย็นในพื้นที่ปรับอากาศโดยมีเครื่องทำน้ำเย็นที่เปรียบเสมือนหัวใจในระบบปรับอากาศ โดยเครื่องทำน้ำที่ใช้จะแบ่งออกเป็น 2 ประเภทตามการระบายความร้อน ได้แก่การระบายความร้อนด้วยอากาศ และ การระบายความร้อนด้วยน้ำ สำหรับในงานวิจัยนี้จะเกี่ยวข้องกับระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ที่ใช้เครื่องทำน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำ

สำหรับระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ โดยใช้เครื่องทำน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำ มีส่วนประกอบ ดังนี้

2.1.1 เครื่องทำน้ำเย็น

เครื่องทำน้ำเย็นเป็นหัวใจของระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์[1] โดยเครื่องทำน้ำเย็นจะมีระบบควบคุมอุณหภูมิน้ำเย็นที่ไหลเข้าและออกจากเครื่องทำน้ำเย็น ให้มีอุณหภูมิอยู่ที่ประมาณ 12 องศาเซลเซียส และ 7 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำ จะนำน้ำเย็นที่หมุนเวียนมาจากพื้นที่ปรับอากาศมาแลกเปลี่ยนความร้อนกับสารทำความเย็น

จากนั้นสารทำความเย็นก็จะแลกเปลี่ยนความร้อนที่รับมาจากน้ำเย็นไปแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำหล่อเย็น โดยน้ำหล่อเย็นจะรับความร้อนจากสารทำความเย็นไประบายที่หอผึ่งน้ำ โดยมีไดอะแกรมของระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ โดยใช้เครื่องทำน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ โดยใช้เครื่องทำน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำ

2.1.2 อุปกรณ์ระเหย

อุปกรณ์ระเหย จัดเป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบหนึ่ง โดยภายในอุปกรณ์ระเหยจะทำการแลกเปลี่ยนความร้อนจากน้ำเย็นที่รับความร้อนจากภาระโหลดการทำความเย็นจากพื้นที่ปรับอากาศมาแลกเปลี่ยนความร้อนกับสารทำความเย็นที่อุปกรณ์ระเหยนี้

2.1.3 อุปกรณ์ควบแน่น

อุปกรณ์ควบแน่น หรือ ในอีกชื่อเรียกที่นิยมเรียกกันว่า คอล์ยร้อน จัดเป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบหนึ่งอีกเช่นกัน โดยทำหน้าที่ในการให้สารทำความเย็นระบายความร้อนที่ได้รับการถ่ายเทมาจากน้ำเย็น และทำการระบายความร้อนนี้ให้กับน้ำหล่อเย็นในกรณีเครื่องทำน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำ

2.1.4 วาล์วลดความดัน

วาล์วลดความดันเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ในการลดความดันของสารทำความเย็น หลังจากที่สารทำความเย็นนั้นไหลผ่านอุปกรณ์ควบแน่นมาแล้ว โดยสารทำความเย็นที่ผ่านวาล์วลดความดัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จะเป็นสารทำเย็นที่เปลี่ยนสถานะจากเดิมที่เป็นของเหลวที่มีความดันสูง กลายเป็นของเหลวผสมไอและมีความดันต่ำ ก่อนที่สารทำความเย็นนั้นจะไหลกลับเข้าสู่คอมเพรสเซอร์

2.1.5 คอมเพรสเซอร์

คอมเพรสเซอร์มีหน้าที่ในการเพิ่มความดันให้กับสารทำความเย็น ทำให้สารทำความเย็นที่มีสถานะเป็นไอไหลเวียนไปทั่วในวงจรอัดไอ เพื่อส่งให้ไอของสารทำความเย็นไปรับความร้อนกับน้ำเย็นที่อุปกรณ์ระเหยและให้ไอของสารทำความเย็นไปถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำหล่อเย็นที่อุปกรณ์ควบแน่น โดยคอมเพรสเซอร์นี้จัดว่าเป็นหัวใจของระบบทำความเย็นนี้

2.1.6 เครื่องสูบน้ำเย็น

เครื่องสูบน้ำเย็น เป็น อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ในการส่งจ่ายน้ำเย็นให้ไหวเวียนในระบบทำความเย็น โดยเครื่องสูบน้ำเย็นจะทำการส่งจ่ายน้ำเย็นที่ออกจากเครื่องทำน้ำเย็นให้ไหลเวียนไปที่เครื่องส่งจ่ายลมเย็นและน้ำเย็นที่ผ่านเครื่องส่งจ่ายลมเย็นจะรับภาระความร้อนจากการปรับอากาศในพื้นที่ปรับอากาศและไหลเวียนกลับเข้ามาที่เครื่องทำน้ำเย็นอีกครั้ง

2.1.7 เครื่องส่งจ่ายลมเย็น

เครื่องส่งจ่ายลมเย็นมีแผงขอท่อน้ำเย็นสำหรับรับน้ำเย็นที่ไหลส่งมาจากเครื่องทำน้ำเย็นและมีพัดลมที่ดูดอากาศจากภายนอกให้มารับความเย็นจากแผงขดท่อน้ำเย็น เพื่อส่งจ่ายลมเย็นนี้ไปยังท่อส่งลมเย็นที่ติดตั้งกระจายไปทั่วตามพื้นที่ปรับอากาศ

2.1.8 เครื่องสูบน้ำหล่อเย็น

เครื่องสูบน้ำหล่อเย็นทำหน้าที่ในการส่งจ่ายน้ำหล่อเย็นให้ไหวเวียนในระบบการระบายความร้อน โดยน้ำหล่อเย็นจะไหลเวียนมารับความร้อนจากสารทำความเย็นที่อุปกรณ์ควบแน่นและไหลเวียนกลับไประบายความร้อนที่หอผึ่งน้ำ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.1.9 หอผึ่งน้ำ

หอผึ่งน้ำเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ระบายความร้อนของน้ำหล่อเย็นที่ไหลเวียนมาจากอุปกรณ์ควบแน่น เพื่อให้น้ำหล่อเย็นที่รับความร้อนของสารทำความเย็นที่อุปกรณ์ควบแน่น เพื่อมาถ่ายเทความร้อนออกสู่อากาศภายนอกที่หอผึ่งน้ำนี้

โดยในแต่ละอุปกรณ์ของระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ โดยใช้การระบายความร้อนด้วยน้ำ จะมีสัดส่วนการใช้พลังงาน ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สัดส่วนการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์
โดยใช้การระบายความร้อนด้วยน้ำ

อุปกรณ์ในระบบ	สัดส่วนการใช้พลังงาน
เครื่องทำน้ำเย็น	50 – 60 %
เครื่องสูบน้ำเย็นและน้ำหล่อเย็น	15 – 25 %
หอผึ่งน้ำ	4 – 8 %
เครื่องส่งลมเย็น	15 – 25 %

ที่มา : คู่มือประกอบการฝึกอบรมหลักสูตร “การประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน” กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน

จากตารางที่ 2.1 จะเห็นได้ว่าเครื่องทำน้ำเย็นมีสัดส่วนการใช้พลังงานมากที่สุดในระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์นี้[2] ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นไปที่การประหยัดพลังงานในเครื่องทำน้ำเย็น

2.2 **ประสิทธิภาพหรือสมรรถนะของเครื่องทำน้ำเย็น**

สำหรับเครื่องน้ำน้ำเย็นจะมีวิธีการหาค่าประสิทธิภาพหรือสมรรถนะของเครื่องทำน้ำเย็น โดยทั่วไปนิยมอยู่ 2 วิธี คือการหาค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ และ การหาค่ากำลังไฟฟ้าต่อตันความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็น

2.2.1 ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ

ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะเป็นค่าอัตราส่วนระหว่าง ขีดความสามารถการทำความเย็นรวมสุทธิของเครื่องทำน้ำเย็น มีหน่วยเป็นวัตต์ กับ ค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องทำน้ำเย็น มีหน่วยเป็นวัตต์เช่นกัน โดยค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของเครื่องทำน้ำเย็น คำนวณได้จากสมการ

$$\mathrm{COP} = \frac{Q_e}{W} \qquad (2.1)$$

เมื่อ COP คือ สัมประสิทธิ์สมรรถนะของเครื่องทำน้ำเย็น

Qe คือ ความสามารถทำความเย็นรวมสุทธิของเครื่องทำน้ำเย็น (Watt)

W คือ กำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการเดินเครื่องทำน้ำเย็น (Watt)

2.2.2 ค่ากำลังไฟฟ้าต่อตันความเย็น

ค่ากำลังไฟฟ้าต่อตันความเย็น คือ อัตราส่วนระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการเดินเครื่องทำน้ำเย็นมีหน่วยเป็นวัตต์ กับ ขีดความสามารถการทำความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็นมีหน่วยเป็น ตัน โดยค่ากำลังไฟฟ้าต่อตันความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็น คำนวณได้จากสมการ

$$\text{CHP} = \frac{kW}{TR} \qquad (2.2)$$

เมื่อ CHP คือ ค่ากำลังไฟฟ้าต่อตันความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็น (kW/Ton)

kW คือ กำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการเดินเครื่องทำน้ำเย็น (kW)

TR คือ ความสามารถทำความเย็นรวมสุทธิของเครื่องทำน้ำเย็น (Ton)

โดยการหาค่าการทำความเย็นสุทธิของเครื่องทำน้ำเย็น หาได้จากสมการ (ในหน่วยของอังกฤษ)

$$Q_e = \frac{F \times (T_{in} - T_{out})}{24} \qquad (2.3)$$

เมื่อ Qe คือ ความสามารถทำความเย็นรวมสุทธิของเครื่องทำน้ำเย็น (Ton)

F คือ อัตราการไหลของน้ำเย็น (GPM)

T_{in} คือ อุณหภูมิน้ำเย็นด้านขาเข้าของเครื่องทำน้ำเย็น (^{o}F)

T_{out} คือ อุณหภูมิน้ำเย็นด้านขาออกของเครื่องทำน้ำเย็น (^{o}F)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.3 ระบบควบคุมอุณหภูมิอากาศแบบดั้งเดิม

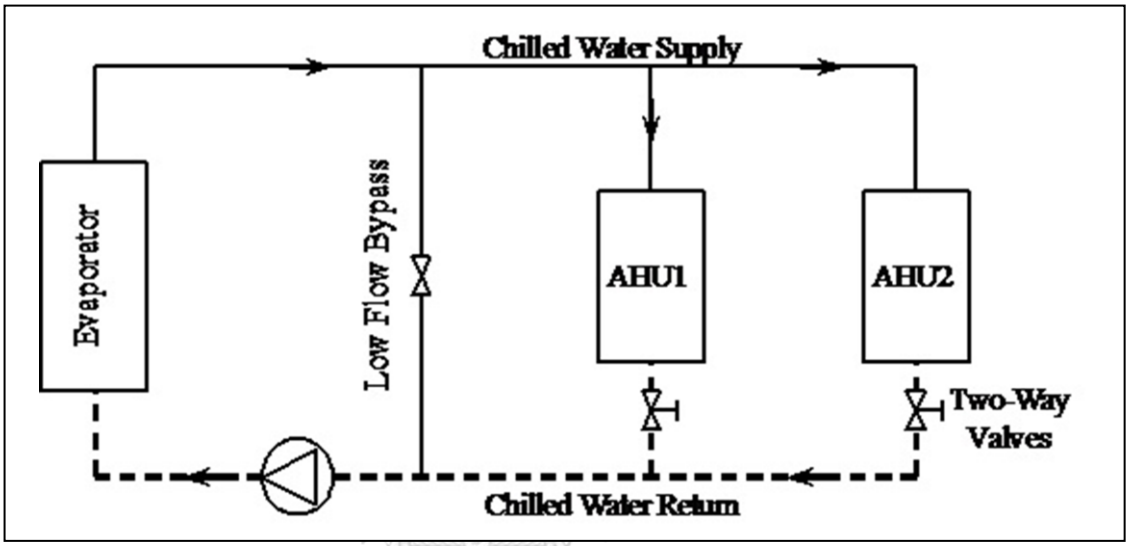
สำหรับการควบคุมในระบบปรับอากาศแบบดั้งเดิมจะแบ่งการควบคุมออกเป็นส่วนต่าง ๆ ดังนี้

2.3.1 การควบคุมระบบทำความเย็นที่เครื่องทำน้ำเย็น

โดยทั่วไป ขนาดของเครื่องทำน้ำเย็นที่นำมาใช้ในระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ขนาดใหญ่ที่นิยมใช้ในอาคาร มักจะถูกออกแบบให้มีขนาดพิกัดการทำความเย็นที่มากกว่าภาระการทำความเย็นที่เกิดขึ้นจริง เนื่องจาก การเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศภายนอกอาคารที่มีความไม่แน่นอน แต่เพื่อให้การควบคุมอุณหภูมิในพื้นที่ปรับอากาศภายในอาคาร ที่ควรให้มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ปรังตั้งไว้ตลอดเวลา การออกแบบขนาดการทำความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็นจึงมักออกแบบให้มีขนาดการทำความเย็นที่มากกว่าภาระการทำความเย็นภายในอาคารที่ได้คำนวณไว้ โดยปกติ

เครื่องทำน้ำเย็นทุกประเภทถูกออกแบบให้มีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อเครื่องทำน้ำเย็นเดินที่ประมาณ 90% ของภาระการทำความเย็นสูงสุด ในกรณีที่ภาระการทำความเย็นลดลง เครื่องทำน้ำเย็นจะทำงานในสภาวะอันโหลด

เครื่องทำน้ำเย็นที่ใช้ในระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ใช้เครื่องสูบน้ำเย็นสำหรับหมุนเวียนน้ำเย็นให้ไหลผ่านอุปกรณ์ระเหยและแผงขดท่อน้ำเย็นภายในเครื่องส่งจ่ายลมเย็น โดยมีไดอะแกรมของระบบหมุนเวียนของน้ำเย็น ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ไดอะแกรมการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นในระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์

ตามรูปที่ 2.2 สำหรับระบบควบคุมอุณหภูมิอากาศแบบดั้งเดิมนั้น ใช้อุณหภูมิของน้ำเย็นที่ไหลกลับมาที่อุปกรณ์ระเหยในการบ่งบอกถึงภาระการทำความเย็นในพื้นที่ปรับอากาศที่เปลี่ยนไป[3] เพราะน้ำเย็นที่ออกจากเครื่องทำน้ำเย็นจะถูกปั๊มสูบน้ำเย็นให้ไหลเวียนไปที่แผงขดท่อน้ำเย็นภายในเครื่องส่งจ่ายลมเย็น ซึ่งที่เครื่องส่งจ่ายลมเย็นอุณหภูมิอากาศที่ไหลกลับเข้ามาจากพื้นที่ปรับอากาศจะเป็นตัวบ่งบอกถึงภาระการทำความเย็นที่เปลี่ยนแปลงไป หากอุณหภูมิอากาศที่ไหลเข้ามามีค่าสูงบ่งบอกถึงภาระการทำความเย็นในพื้นที่ปรับอากาศมีค่ามากขึ้น อันเนื่องมาจาก สภาพภูมิอากาศด้านนอกอาคาร จำนวนผู้คนที่เข้ามาภายในอาคาร การเปิดใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ทำให้เกิดความร้อน ฯลฯ ในทางกลับกันหากอุณหภูมิอากาศที่ไหลกลับเข้ามาจากพื้นที่ปรับอากาศมีค่าต่ำบ่งบอกถึงภาระการทำความเย็นในพื้นที่ปรับอากาศที่ลดลง ดังนั้น ระบบควบคุมอุณหภูมิแบบดั้งเดิมจึงใช้การควบคุมอุณหภูมิของน้ำเย็นที่ไหลออกจากเครื่องทำน้ำเย็นในการเดินเครื่องน้ำเย็นแทนการควบคุมที่อุณหภูมิอากาศในพื้นที่ปรับอากาศโดยตรง

ตัวอย่างเช่น การควบคุมการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็น มีค่าปรับตั้งของอุณหภูมิน้ำเย็นที่ไหลออกจากเครื่องทำน้ำเย็นอยู่ที่ 44 องศาฟาเรนไฮต์ โดยมีผลต่างของอุณหภูมิของน้ำเย็นที่เข้าและ

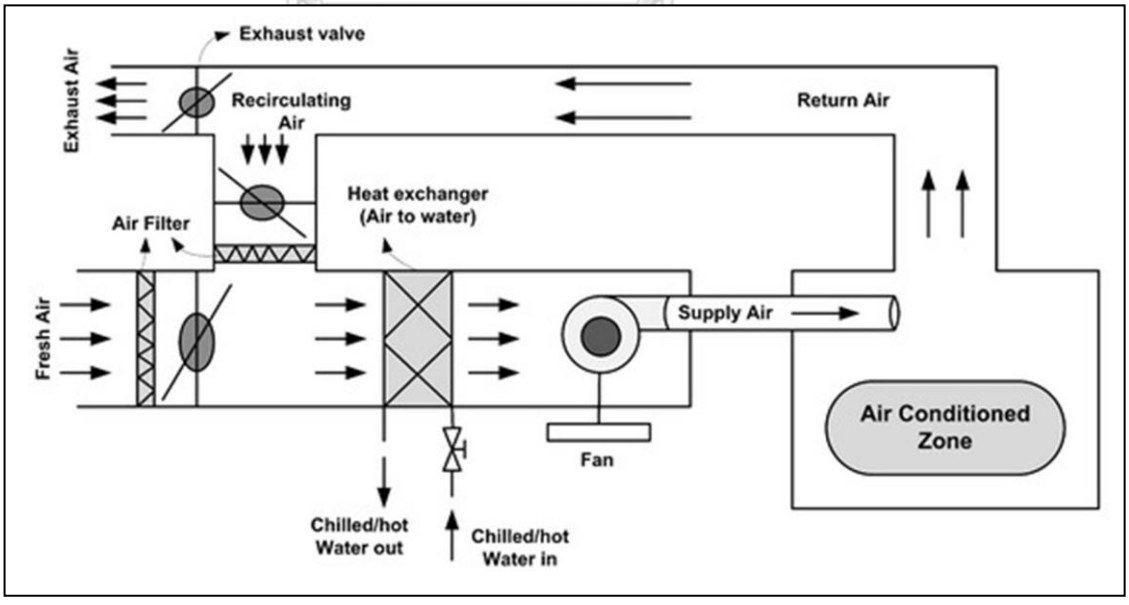
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ออกจากเครื่องทำน้ำเย็นอยู่ที่ 12 องศาฟาเรนไฮต์ ในกรณีที่อุณหภูมิของน้ำเย็นที่ไหลกลับมาที่เครื่องทำน้ำเย็นมีค่าสูงกว่า 56 องศาฟาเรนไฮต์ บ่งบอกถึงภาระการทำความเย็นในพื้นที่ปรับอากาศที่เพิ่มสูงขึ้น เครื่องทำน้ำเย็นจะทำงานที่พิกัดภาระการทำความเย็น แต่ในกรณีที่อุณหภูมิของน้ำเย็นที่ไหลกลับมาที่เครื่องทำน้ำเย็นมีค่าต่ำกว่า 56 องศาฟาเรนไฮต์ บ่งบอกถึงภาระการทำความเย็นในพื้นที่ปรับอากาศที่ลดลง เครื่องทำน้ำเย็นจะทำงานในสภาวะอันโหลด

2.3.2 การควบคุมอัตราการไหลของน้ำเย็นที่เครื่องส่งลมเย็น

เนื่องจากการควบคุมอุณหภูมิอากาศแบบดั้งเดิมจะใช้ค่าอัตราการไหลของน้ำเย็นที่คงที่ ดังนั้นเครื่องสูบน้ำเย็นที่ทำหน้าที่สูบน้ำเย็นให้ไหลเวียนในระบบทำความเย็นจะถูกปรับให้ทำงานที่ความเร็วรอบคงที่ โดยการควบคุมอุณหภูมิอากาศจะกระทำที่เครื่องส่งจ่ายลมเย็นโดยการใช้วาล์วสองทางในการควบคุมอัตราการไหลของน้ำเย็นที่ไหลผ่านแผงขดท่อทำความเย็นภายในเครื่องส่งจ่ายลมเย็น

สำหรับปริมาณลมเย็นที่ส่งออกมาจากเครื่องส่งจ่ายลมเย็น ในระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ที่ใช้ในอาคารขนาดใหญ่ทั่วไปมักจะใช้ระบบส่งจ่ายลมเย็นเป็นชนิดปริมาณลมเย็นส่งออกคงที่ ซึ่งในระบบดังกล่าว ปริมาณลมเย็นที่ส่งออกไปยังพื้นที่ปรับอากาศในโซนต่าง ๆ จะมีปริมาณคงที่ไม่แปรเปลี่ยนตามภาระการทำความเย็นที่เกิดขึ้น แต่อัตราการไหลของน้ำเย็นจะแปรเปลี่ยนตามภาระการทำความเย็นที่เกิดขึ้นในพื้นที่ปรับอากาศ โดยมีไดอะแกรมการทำงานของเครื่องส่งจ่ายลมเย็น ดังแสดงตามรูปที่ 2.3

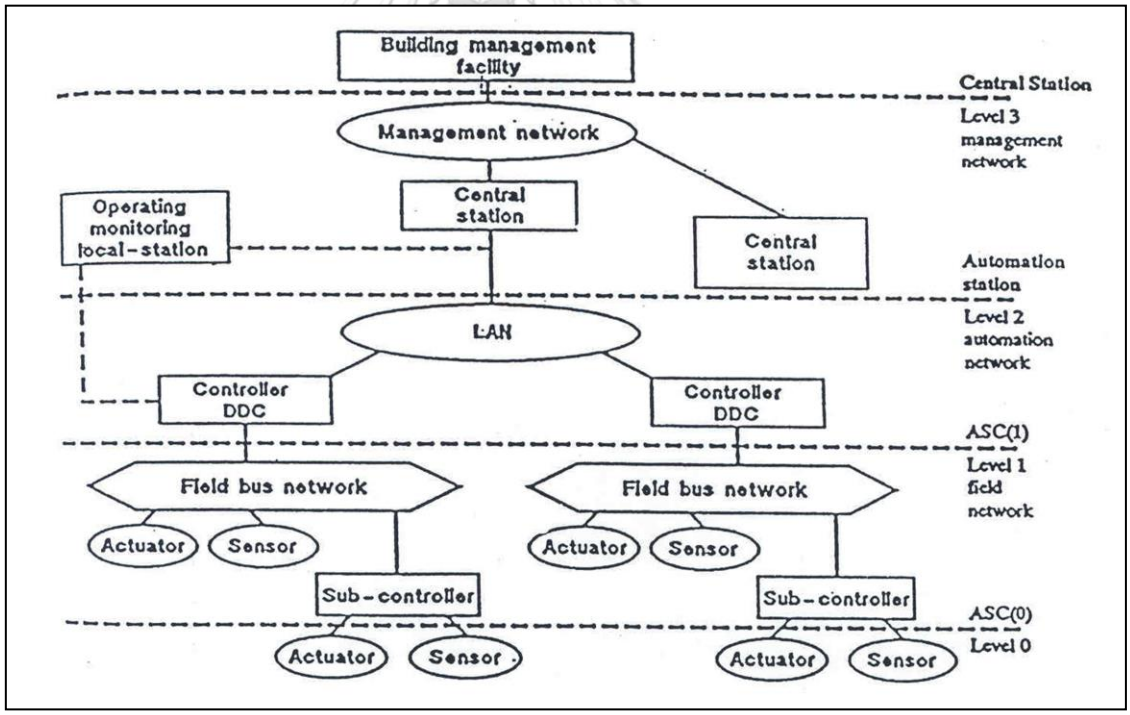


รูปที่ 2.3 ไดอะแกรมการทำงานของเครื่องส่งจ่ายลมเย็นในระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์

2.4 ระบบควบคุมอาคารอัตโนมัติ

ระบบควบคุมอาคารอัตโนมัติ คือ การประยุกต์ใช้ระบบคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อใช้ในการควบคุมการทำงานของระบบต่าง ๆ ในอาคาร โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อให้เกิดความสะดวกสบายให้กับผู้อยู่อาศัยและผู้ใช้งาน เพื่อความปลอดภัย และ เพื่อเป็นการประหยัดพลังงาน[4] โดยระบบควบคุมอาคารอัตโนมัติจะใช้ระบบคอมพิวเตอร์มาควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ ในอาคาร อาทิเช่น ระบบแสงสว่าง ระบบปรับอากาศ ระบบสุขาภิบาล และ ระบบรักษาความปลอดภัย เป็นต้น สำหรับงานวิจัยนี้จะกล่าวถึงการประยุกต์ใช้ระบบควบคุมอาคารอัตโนมัติมาใช้ในการควบคุมการทำงานของระบบปรับอากาศ

โดยโครงสร้างของระบบควบคุมอาคารอัตโนมัติประกอบไปด้วย ส่วนของ Building management facility ส่วนของระบบ Management network ระบบของ Central station และส่วนของระบบเครือข่าย Local Area Network (LAN) ซึ่งติดต่อสื่อสารกับตัวควบคุมดิจิทัลแบบตรง (Controller DDC) และเชื่อมต่อกับระบบ Field bus network จนไปถึงอุปกรณ์ เซ็นเซอร์ และแอคชูเอเตอร์โดยแสดงในไดอะแกรมของระบบอาคารอัตโนมัติ ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ไดอะแกรมโครงสร้างของระบบควบคุมอาคารอัตโนมัติ

2.4.1 ส่วนประกอบของระบบควบคุมอาคารอัตโนมัติ

จากไดอะแกรมโครงสร้างของระบบควบคุมอาคารอัตโนมัติ ดังแสดงในรูปที่ 2.4 มีส่วนประกอบต่าง ๆ ดังนี้

2.4.1.1 คอมพิวเตอร์เวิร์คสเตชั่น

คอมพิวเตอร์เวิร์คสเตชั่นจะติดตั้งในห้องควบคุมที่เป็นศูนย์กลางของระบบควบคุมอาคารอัตโนมัติ โดยคอมพิวเตอร์เวิร์คสเตชั่นทำหน้าที่ในการรันโปรแกรมระบบควบคุมอาคารอัตโนมัติ เพื่อใช้สำหรับแสดงผลและควบคุมระบบต่าง ๆ ในอาคาร

2.4.1.2 ตัวควบคุมหลัก

ตัวควบคุมหลักทำหน้าที่ในการควบคุมและบริหารจัดการอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่เชื่อมต่อกันภายในระบบเครือข่ายเดียวกัน ของระบบควบคุมอาคารอัตโนมัติ

2.4.1.3 ระบบเครือข่าย

เป็นระบบเครือข่ายสื่อสารหลักสำหรับ สำหรับให้คอมพิวเตอร์เวิร์คสเตชั่น ตัวควบคุมหลัก และตัวควบคุมดิจิทัลแบบตรง ใช้ในการติดต่อสื่อสารแลกเปลี่ยนข้อมูลเพื่อสั่งการอุปกรณ์ภายในระบบควบคุมอาคารอัตโนมัติ โดยระบบเครือข่ายที่นิยมใช้ อาทิเช่น ระบบเครือข่ายท้องถิ่นอีเทอร์เน็ต แบ็คเน็ต โลนทอล์ค เป็นต้น

2.4.1.4 ตัวควบคุมดิจิทัลแบบตรง

ตัวควบคุมดิจิทัลโดยตรงเป็นตัวควบคุมที่ประมวลผลสัญญาณอนาล็อกและดิจิทัลจากอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบควบคุมอาคารอัตโนมัติ โดยรับสัญญาณจากตัวควบคุมหลักผ่านระบบเครือข่ายและส่งผ่านสัญญาณดิจิทัลเพื่อควบคุมอุปกรณ์ในระบบควบคุมอาคารอัตโนมัติ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.4.1.5 เซ็นเซอร์ และ แอคชูเอเตอร์

เซ็นเซอร์คืออุปกรณ์ที่ทำหน้าที่แปลงค่าทางกายภาพ อาทิเช่น อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิน้ำเย็น อัตราการไหลของน้ำเย็น ฯลฯ ไปเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า
ส่วน แอคชูเอเตอร์ คืออุปกรณ์ที่ตอบสนองต่อสัญญาณทางไฟฟ้าที่ส่งมาจากตัวควบคุมดิจิทัลโดยตรง สำหรับเปลี่ยนแปลง ค่าทางกายภาพ อาทิเช่น แอคชูเอเตอร์ที่เป็นวาล์วน้ำทำการปิด-เปิดหรือหรี่วาล์ว มีผลกระทบต่ออัตราการไหลของน้ำ เป็นต้น

2.4.1.6 อินพุต และ เอาท์พุต

อินพุต และ เอาท์พุต คือ อุปกรณ์ที่ระบบควบคุมอาคารอัตโนมัติใช้ในการรับหรือส่งสัญญาณสำหรับการควบคุมอุปกรณ์ต่าง ๆ ภายในอาคาร โดย อินพุต แบ่งได้เป็น

ดิจิทัล อินพุต รับสัญญาณจาก สวิตซ์ไฟ

อนาล็อก อินพุต รับสัญญาณจาก อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ฯลฯ

ดิจิทัล เอาท์พุต ส่งสัญญาณไปสั่งงาน รีเลย์

อนาล็อก เอาท์พุต ส่งสัญญาณไปขับเคลื่อน วาล์วน้ำ ด้วยระบบสัญญาณมาตรฐาน 4 – 20 มิลลิแอมแปร์ หรือ 0 – 10 โวลต์

2.4.2 โปรแกรมการทำงานของระบบควบคุมอาคารอัตโนมัติ

สำหรับโปรแกรมการทำงานของระบบควบคุมอาคารอัตโนมัติ เฉพาะที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของระบบปรับอากาศในอาคาร สามารถ แบ่งออกได้เป็นหัวข้อต่าง ๆ ดังนี้

2.4.2.1 โปรแกรมกำหนดตารางเวลาการเดิน – หยุด ของเครื่องปรับอากาศ

ระบบควบคุมอาคารอัตโนมัติ สามารถ โปรแกรมตารางเวลาการเดิน หรือ หยุด การทำงานของระบบปรับอากาศ ไม่ว่าจะเป็นโปรแกรมการเดิน-หยุด เป็นจำนวนชั่วโมงต่อวัน หรือ การเดิน-หยุด เป็นจำนวนวันต่อสัปดาห์ โปรแกรมนี้ช่วยในการลดการใช้พลังงาน โดยตั้งค่าโปรแกรมให้ระบบสั่งการให้หยุดการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นในระบบปรับอากาศในกรณีที่อาคารดังกล่าวปิดทำการ หรือโปรแกรมให้ระบบลดการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นในระบบปรับอากาศในกรณีที่มีภาระการทำความเย็นที่ลดน้อยลง

โดยระบบการตั้งโปรแกรมการเดินหรือหยุดการทำงานของระบบปรับอากาศนี้ถือว่าเป็นระบบการทำงานพื้นฐานของระบบควบคุมอาคารอัตโนมัติ

2.4.2.2 โปรแกรมการทำงานเป็นวัฏจักร

โปรแกรมการทำงานเป็นวัฏจักรเป็นการกำหนดโปรแกรมให้อุปกรณ์ตัวใดตัวหนึ่งในระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์หยุดการทำงานเป็นช่วงเวลาสั้น ๆ ในขณะที่เดินระบบปรับอากาศอยู่ เช่น ในระหว่างที่เดินระบบเครื่องปรับอากาศแบบรวมศูนย์ ในแต่ละชั่วโมง ทำการโปรแกรมให้เครื่องส่งจ่ายลมเย็น เดินเครื่องเป็นเวลา 45 นาทีและหยุดการทำงานเป็นเวลา 15 นาที

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

โดยการโปรแกรมให้คาบเวลาของการหยุดหรือเดินเครื่องให้กับอุปกรณ์ในแต่ละชั่วโมงนั้น สอดคล้องกับภาระการทำความเย็นในพื้นที่ปรับอากาศ

2.4.2.3 โปรแกรมการจำกัดการใช้พลังไฟฟ้า

โปรแกรมการจำกัดการใช้พลังไฟฟ้า เป็นการสั่งการให้เครื่องจักรที่เป็นภาระทางไฟฟ้าหยุดการทำงานเพื่อป้องกันไม่ให้ค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดเกินกว่าค่าที่ตั้งไว้ เพื่อไม่ให้ต้องเสียค่าไฟฟ้าในส่วนของค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด

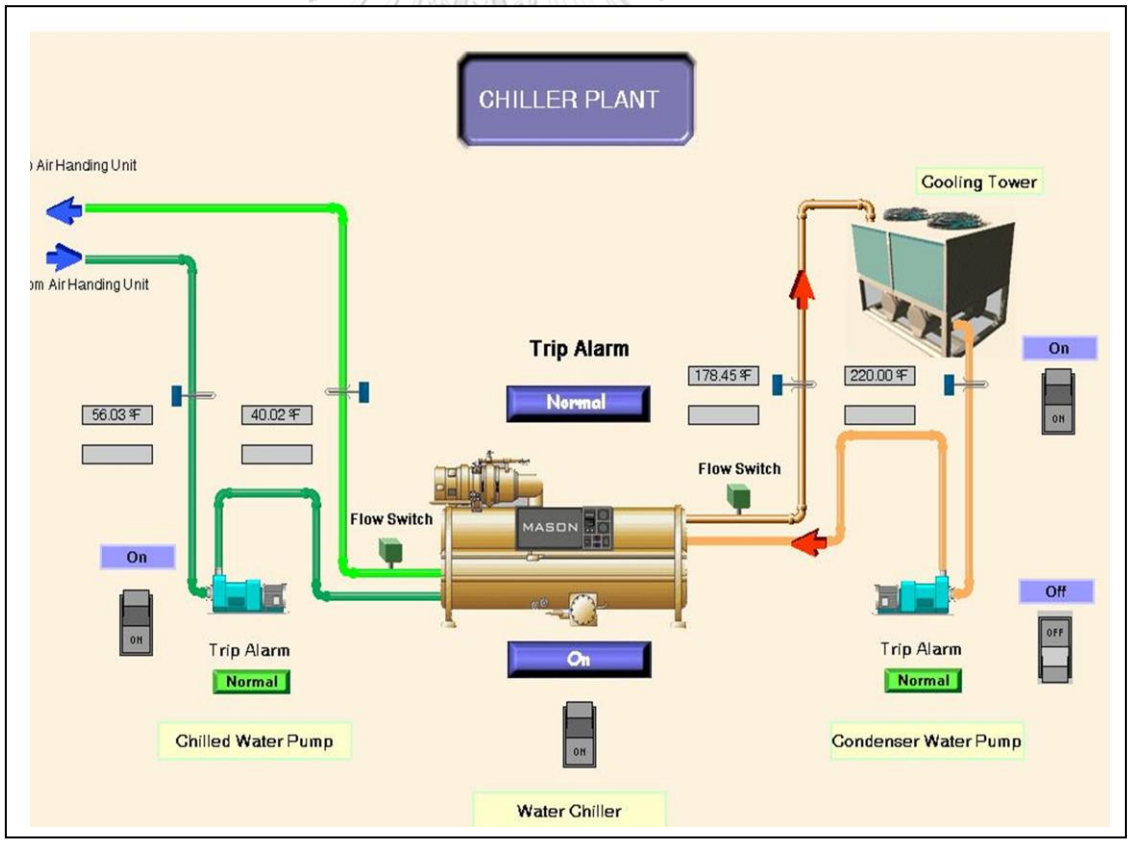
2.4.2.4 โปรแกรมเอนทัลปี้ที่เหมาะสม

โปรแกรมเอนทัลปี้ที่เหมาะสมเป็นโปรแกรมที่นำเอาอากาศจากภายนอกอาคารที่มีค่าเอนทัลปี้ต่ำให้เข้ามาภายในอาคารเพื่อช่วยในการลดอุณหภูมิภายในอาคาร อันจะเป็นการลดการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นในระบบปรับอากาศ และนำไปสู่การประหยัดพลังงาน

โดยโปรแกรมนี้จะขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศภายนอกอาคาร กล่าวคือ ในกรณีที่ค่าเอนทัลปี้ของอากาศภายนอกอาคารมีค่าต่ำกว่าค่าเอนทัลปี้ของอากาศที่ไหลวนกลับเข้าสู่ระบบส่งจ่ายลมเย็น โปรแกรมก็จะสั่งการให้มีการนำเอาอากาศที่มีค่าเอนทัลปี้ที่ต่ำที่อยู่ภายนอกอาคารให้ไหลเข้ามาภายในพื้นที่ปรับอากาศภายในอาคาร

2.4.2.5 โปรแกรมชิลเลอร์ที่เหมาะสม

โปรแกรมชิลเลอร์ที่เหมาะสมเป็นโปรแกรมที่ทำการตรวจสอบค่าของอุณหภูมิอากาศในพื้นที่ปรับอากาศและทำการปรับการใช้พลังงานของคอมเพรสเซอร์ของเครื่องทำน้ำเย็นให้เหมาะสมกับค่าของอุณหภูมิอากาศที่เกิดขึ้นจริงในพื้นที่ปรับอากาศ เช่น ในกรณีที่ค่าอุณหภูมิอากาศในพื้นที่ปรับอากาศมีค่าลดต่ำลง บ่งบอกถึงภาระการทำความเย็นที่ลดน้อยลง โปรแกรมจะทำการเปลี่ยนค่าปรับตั้งของอุณหภูมิน้ำเย็นที่ออกจากเครื่องทำน้ำเย็นให้มีค่าอุณหภูมิที่สูงขึ้น หรือสั่งลดกระแสไฟฟ้าที่เข้าเครื่องคอมเพรสเซอร์เพื่อเป้าหมายในการประหยัดพลังงานไฟฟ้า โดยมีตัวอย่างของภาพกราฟิกจำลองการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็น ที่แสดงผ่านทางหน้าจอของระบบควบคุมอาคารอัตโนมัติ ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ภาพกราฟิกจำลองการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นภายใต้ระบบควบคุมอาคารอัตโนมัติ

2.5 **การวิเคราะห์ค่าสมรรถนะการทำความเย็นที่สภาวะมาตรฐาน**

ในการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัดเพื่อหาผลการประหยัดพลังงานไฟฟ้าในเครื่องทำน้ำเย็นนั้น กระทำโดยการวัดค่าของอุณหภูมิของน้ำเย็นที่ออกจากเครื่องทำน้ำเย็น และอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นที่ออกจากหอผึ่งน้ำและนำค่าดังกล่าวมาคำนวณหาค่าพลังไฟฟ้าต่อตันความเย็น หากแต่การวัดค่าอุณหภูมิของน้ำเย็นและน้ำหล่อเย็นดังกล่าว กระทำในสภาวะที่เครื่องทำน้ำเย็นทำงานในภาวะจริง ซึ่งในสภาวะจริงนั้น ค่าของอุณหภูมิน้ำมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา และแตกต่างไปจากค่าคุณลักษณะทางเทคนิคของผู้ผลิตเครื่องทำน้ำเย็น ทำให้ยากต่อการเปรียบเทียบค่าพลังไฟฟ้าต่อตันความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็นระหว่างก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุงการใช้มาตรการอนุรักษ์พลังงาน

ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องปรับค่าพลังไฟฟ้าต่อตันความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็นให้อยู่ในสภาวะที่มาตรฐานเสียก่อน จึงจะทำการเปรียบเทียบค่าพลังไฟฟ้าต่อตันความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็นระหว่างก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุงการใช้มาตรการอนุรักษ์พลังงานได้[5]

โดยที่ สภาวะมาตรฐาน ได้กำหนดให้
อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นที่ออกจากหอผึ่งน้ำ มีอุณหภูมิ 32.2 องศาเซลเซียส หรือ 90 องศาฟาเรนไฮต์
อุณหภูมิน้ำเย็นที่ออกจากเครื่องทำน้ำเย็น มีอุณหภูมิ 7.2 องศาเซลเซียส หรือ 45 องศาฟาเรนไฮต์
โดยการหาค่าค่าพลังไฟฟ้าต่อตันความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็นในสภาวะมาตรฐานนั้นจะต้องทำการปรับแก้ค่าพลังไฟฟ้าต่อตันความเย็นด้วยค่าแก้ไข จากสมการที่ 2.4, 2.5 และ 2.6 ตามลำดับ

$$TR^* = TR \times C_R \qquad (2.4)$$

เมื่อ TR* คือ ความสามารถทำความเย็นรวมสุทธิของเครื่องทำน้ำเย็นหลังการปรับแก้ให้อยู่ในสภาวะมาตรฐาน (Ton)

TR คือ ความสามารถทำความเย็นรวมสุทธิของเครื่องทำน้ำเย็นในสภาวะจริง (Ton)

C_R คือ ค่าแก้ไขขนาดทำความเย็น

$$P^* = P \times C_E \qquad (2.5)$$

เมื่อ P* คือ พลังไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นหลังการปรับแก้ให้อยู่ในสภาวะมาตรฐาน (kW)

P คือ พลังไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำความเย็นในสภาวะจริง (kW)

C_E คือ ค่าแก้ไขพลังไฟฟ้า

$$CHP^* = \frac{P^*}{TR^*} \qquad (2.6)$$

เมื่อ CHP* คือ ค่าพลังไฟฟ้าต่อตันความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็นหลังการปรับแก้ให้อยู่ในสภาวะมาตรฐาน (kW/Ton)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

P* คือ พลังไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นหลังการปรับแก้ให้อยู่ในสภาวะมาตรฐาน (kW)

TR* คือ ความสามารถทำความเย็นรวมสุทธิของเครื่องทำน้ำเย็นหลังการปรับแก้ให้อยู่ในสภาวะมาตรฐาน (Ton)

โดยค่าแก้ไขขนาดทำความเย็นและค่าแก้ไขพลังไฟฟ้าสำหรับปรับแก้ให้อยู่ในสภาวะมาตรฐานได้แสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ค่าแก้ไขขนาดทำความเย็นและพลังไฟฟ้า
สำหรับเครื่องทำน้ำเย็นระบายความร้อนด้วยน้ำ

อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นเข้าเครื่องทำน้ำเย็น (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิน้ำเย็นออกจากเครื่องทำน้ำเย็น (องศาเซลเซียส)	ค่าแก้ไข		
		ขนาดทำความเย็น	พลังไฟฟ้า	พลังไฟฟ้าต่อตันความเย็น
25	5	0.98	1.14	1.16
	6	0.95	1.14	1.19
	7	0.93	1.12	1.20
	7.2	0.93	1.12	1.20
	8	0.90	1.11	1.22
	9	0.88	1.10	1.24
	10	0.87	1.09	1.25
30	5	1.39	1.05	0.76
	6	1.01	1.04	1.04
	7	0.98	1.03	1.05
	7.2	0.97	1.03	1.06
	8	0.95	1.02	1.08
	9	0.93	1.01	1.09
	10	0.90	1.00	1.11
32.2	5	1.25	1.02	0.82
	6	1.03	1.01	0.98
	7	1.00	1.00	1.00
	7.2	1.00	1.00	1.00
	8	0.98	0.99	1.02
	9	0.95	0.98	1.03
	10	0.93	0.97	1.05

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 2.2 (ต่อ) ค่าแก้ไขขนาดทำความเย็นและพลังไฟฟ้า
สำหรับเครื่องทำน้ำเย็นระบายความร้อนด้วยน้ำ

อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น เข้าเครื่องทำน้ำเย็น (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิน้ำเย็น ออกจากเครื่องทำน้ำเย็น (องศาเซลเซียส)	ค่าแก้ไข		
		ขนาดทำความเย็น	พลังไฟฟ้า	พลังไฟฟ้าต่อตันความเย็น
35	5	1.11	0.99	0.88
	6	1.06	0.97	0.92
	7	1.03	0.96	0.93
	7.2	1.03	0.96	0.93
	8	1.01	0.95	0.94
	9	0.98	0.94	0.96
	10	0.95	0.93	0.98
40	5	1.16	1.04	0.90
	6	1.12	0.92	0.81
	7	1.10	0.93	0.84
	7.2	1.10	0.92	0.84
	8	1.08	0.89	0.83
	9	1.04	0.88	0.85
	10	1.01	0.88	0.87
45	5	1.23	0.88	0.71
	6	1.20	0.86	0.72
	7	1.16	0.85	0.73
	7.2	1.16	0.85	0.74
	8	1.14	0.84	0.74
	9	1.10	0.83	0.76
	10	1.08	0.82	0.77

ที่มา : กรมพัฒนาทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.6 **ค่าเฉลี่ยและค่าเฉลี่ยกำลังสอง**

2.6.1 ค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Arithmetic Mean)

ค่าเฉลี่ยเลขคณิตแทนได้ด้วย μ (มิว) กรณีคำนวณจากข้อมูลของประชากรทั้งหมด แต่ในกรณีคำนวณจากข้อมูลตัวอย่าง ค่าเฉลี่ยเลขคณิตแทนด้วย $\bar{X}$ โดยการคำนวณหาได้จากผลรวมของข้อมูลทุกค่าแล้วหารด้วยจำนวนข้อมูลตัวอย่าง[6] ดังสมการที่ 2.7

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n} \qquad (2.7)$$

เมื่อ $\bar{x}$ คือ ค่าเฉลี่ยเลขคณิตของกลุ่มข้อมูลตัวอย่าง

$\sum x$ คือ ผลรวมข้อมูลทุกค่าของกลุ่มข้อมูลตัวอย่าง

n คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมดของกลุ่มข้อมูลตัวอย่าง

2.6.2 ค่าเฉลี่ยกำลังสอง (Root Mean Square)

ค่าเฉลี่ยกำลังสองเป็นค่าที่วัดปริมาณที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา[6] สำหรับค่าเฉลี่ยกำลังสองสำหรับข้อมูลตัวอย่างเขียนแทนด้วย RMS (Root Mean Square) คำนวณได้จากสมการที่ (2.8)

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}{n}} \qquad (2.8)$$

เมื่อ *RMS* คือ ค่าเฉลี่ยกำลังสองของกลุ่มข้อมูลตัวอย่าง

$\bar{x}$ คือ ค่าเฉลี่ยเลขคณิตของกลุ่มข้อมูลตัวอย่าง

x_i คือ ข้อมูลทุกค่าของกลุ่มข้อมูลตัวอย่าง

n คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมดของกลุ่มข้อมูลตัวอย่าง

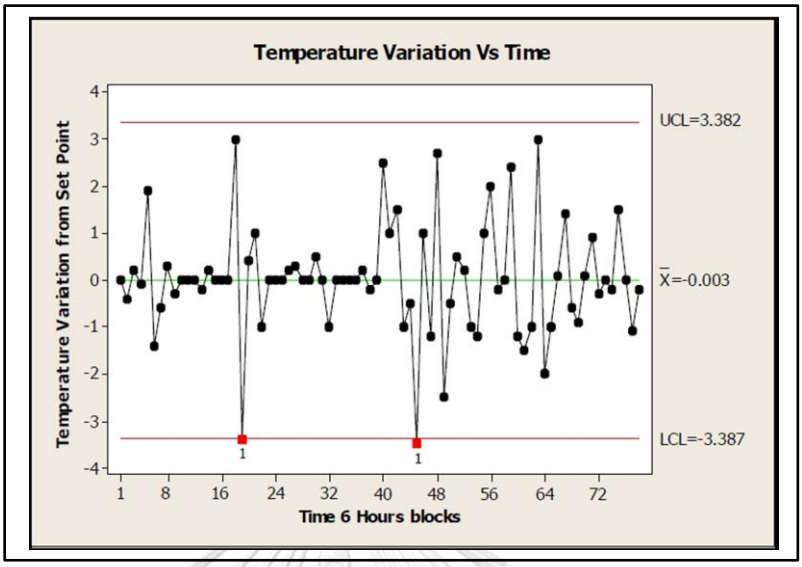
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.7 **งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง**

2.7.1. การใช้ระบบควบคุมอาคารอัตโนมัติในการควบคุมเครื่องทำน้ำเย็น

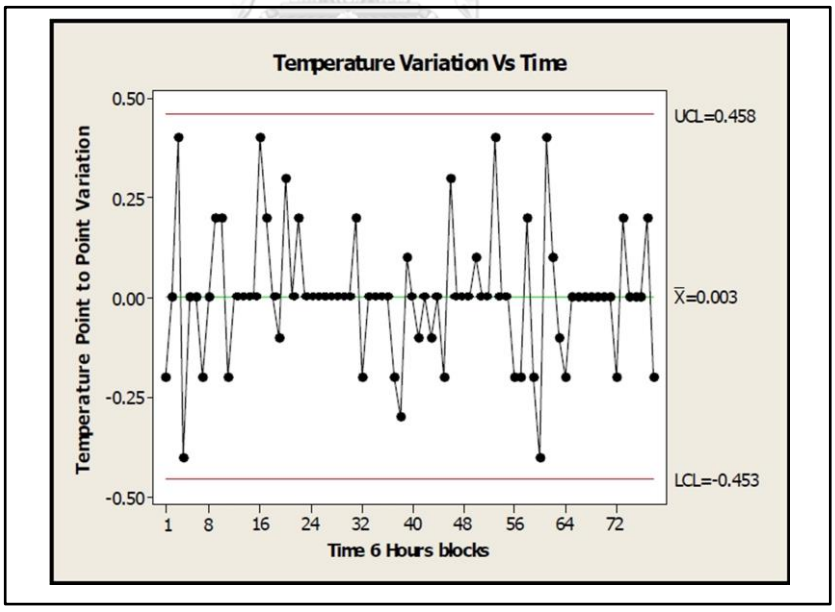
จากผลการศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างของอุณหภูมิที่เข้าและออกจากเครื่องทำน้ำเย็นกับค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (COP) และค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นทำให้มีการนำระบบควบคุมอาคารอัตโนมัติมาใช้ในการควบคุมการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็น โดยมีผลการศึกษาของ Mahendra Dissasekera[7] ที่ทำการศึกษาถึงการนำเอาระบบควบคุมอัตโนมัติเข้ามาใช้ในการควบคุมเครื่องทำน้ำเย็นเพื่อควบคุมอุณหภูมิ

โดยก่อนการควบคุมเครื่องทำน้ำเย็นด้วยระบบอัตโนมัติ จะมีค่าการแกว่งของอุณหภูมิที่มาก ดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิก่อนการใช้ระบบอัตโนมัติ

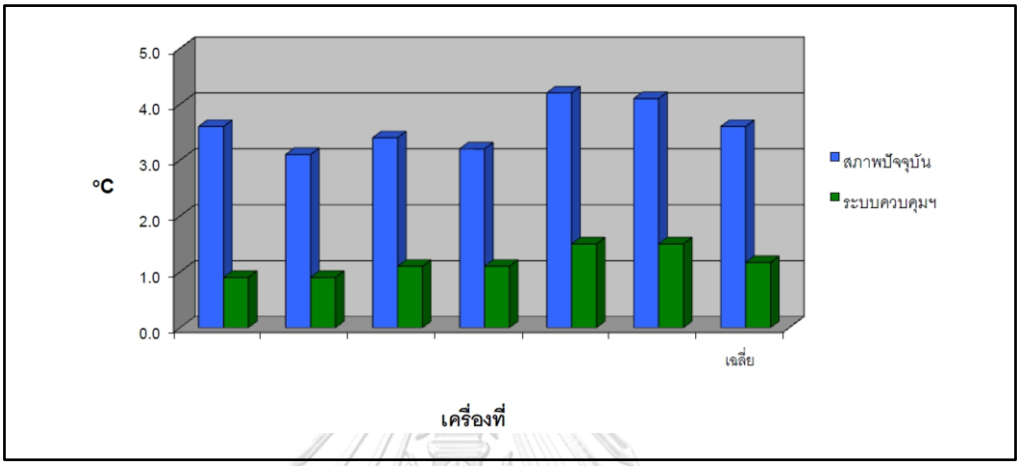
ภายหลังการควบคุมเครื่องทำน้ำเย็นด้วยระบบอัตโนมัติ ค่าการแกว่งของอุณหภูมิได้ลดลง ดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิหลังการใช้ระบบอัตโนมัติ

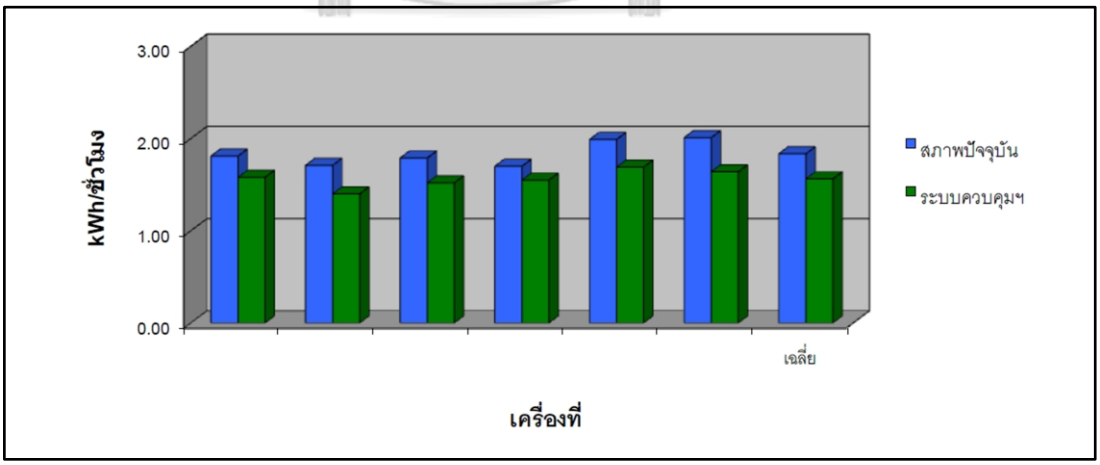
อีกทั้งการลดช่วงการแกว่งของอุณหภูมิอากาศของเครื่องปรับอากาศคือการลดผลต่างระหว่างอุณหภูมิที่วัดได้จริง ณ พื้นที่ปรับอากาศ กับอุณหภูมิที่ปรับตั้งนั้น ยังส่งผลให้ลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในเครื่องปรับอากาศ จากผลการศึกษาของ ณัฐสิทธิ์ ทองคำฟู[8] ได้ทำการศึกษาผลต่าง

ระหว่างอุณหภูมิที่วัดได้จริงกับอุณหภูมิที่ปรับตั้งและผลของการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนโดยทำการเปรียบเทียบในกรณีก่อนติดตั้งระบบควบคุมอัตโนมัติ (ใช้เทอร์โมสแตทในการควบคุมเครื่องปรับอากาศ) และหลังจากใช้ระบบควบคุมอัตโนมัติ จากการศึกษาได้พบว่าหลังจากนำระบบควบคุมอัตโนมัติมาใช้ในการควบคุมเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนทำให้สามารถลดผลต่างของอุณหภูมิที่วัดจริงกับอุณหภูมิที่ปรับตั้งได้ดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าผลต่างของอุณหภูมิที่วัดได้จริงกับอุณหภูมิที่ปรับตั้งก่อนและหลังการใช้ระบบควบคุมอัตโนมัติ

และการลดผลต่างของอุณหภูมิของเครื่องปรับอากาศทำให้สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศดังแสดงในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศก่อนและหลังการใช้ระบบควบคุมอัตโนมัติ

บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัยและเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

3.1 การดำเนินงานเก็บข้อมูล

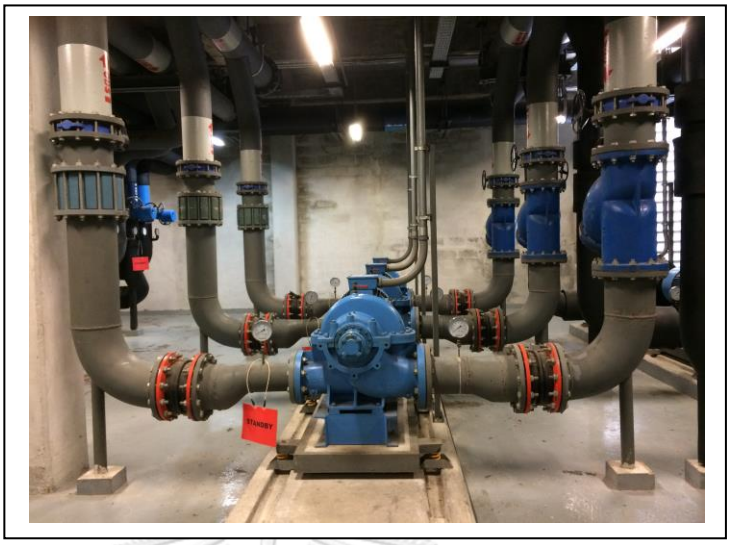
ห้างสรรพสินค้า มีพื้นที่ปรับอากาศ 33,736 ตารางเมตร และ มีระบบทำความเย็นแบบรวมศูนย์ มีขนาดการทำความเย็นที่ 1,500 ตันความเย็น ซึ่งประกอบไปด้วย เครื่องทำน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำ ขนาด 500 ตันความเย็น จำนวน 3 ตัว ดังแสดงในรูปที่ 3.1

รูปที่ 3.1 เครื่องทำน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำ

เครื่องสูบน้ำเย็น ขนาด 45 กิโลวัตต์ จำนวน 3 ชุด ดังแสดงในรูปที่ 3.2

รูปที่ 3.2 เครื่องสูบน้ำเย็น

เครื่องสูบน้ำหล่อเย็นขนาด 37 กิโลวัตต์ จำนวน 3 ชุด ดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 เครื่องสูบน้ำหล่อเย็น

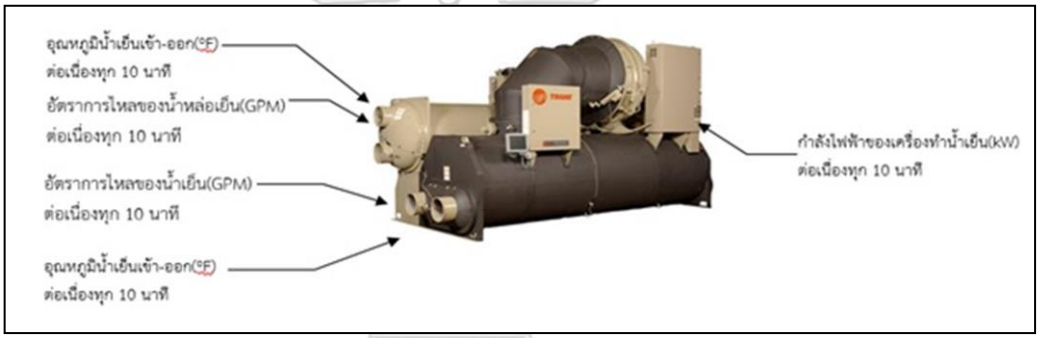
โดยทางห้างสรรพสินค้าเปิดใช้งานเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 3 ตัว ร่วมกับ เครื่องสูบน้ำเย็น เครื่องสูบน้ำหล่อเย็นและหอผึ่งน้ำ อย่างละ 3 ชุด ตั้งแต่เวลา 9:30 – 21:30 น. เป็นเวลา 12 ชั่วโมงต่อวัน และเปิดใช้งาน 365 วันต่อปี และเนื่องจากระบบควบคุมเครื่องทำน้ำเย็นเดิมก่อนการปรับปรุงไปใช้ระบบควบคุมอัตโนมัติ เป็นระบบควบคุมแบบปรับตั้งค่าต่าง ๆ แบบคงที่ ทำให้การทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นไม่สอดคล้องกับภาระการทำความเย็นที่เกิดจริงในพื้นที่ปรับอากาศ ทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าในการเดินเครื่องทำน้ำเย็น

ดังนั้นจากปัญหาดังกล่าว จึงได้มีมาตรการในการติดตั้งระบบควบคุมการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นให้เป็นระบบควบคุมแบบอัตโนมัติด้วยการใช้โปรแกรม iCEE (Intelligent Chiller Energy) เข้ามาใช้งานร่วมกับระบบควบคุมของเครื่องน้ำเย็นที่มีอยู่เดิม เพื่อช่วยในการควบคุมการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นให้สอดคล้องกับภาระการทำความเย็นที่เกิดขึ้นจริงในพื้นที่ปรับอากาศ ระบบ iCEE นี้เป็นระบบการควบคุมการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นให้มีประสิทธิภาพและประหยัดพลังงานไฟฟ้าในการเดินเครื่องทำน้ำเย็น โดยเป็นระบบที่ตอบสนองต่อความร้อนที่เกิดขึ้นในอาคารได้อย่างรวดเร็ว และทำการควบคุมการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นให้มีประสิทธิภาพและสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้ากว่า 15% ถึง 25% โดยระบบ iCEE นี้ได้มีการติดตั้งใช้งานในอาคารศูนย์การค้าและอาคารสำนักงานหลายแห่งในประเทศไทย อาทิเช่น ห้างสรรพสินค้าโรบินสันสาขาสุขุมวิท ห้างสรรพสินค้าโรบินสันสาขาสระบุรี อาคารสำนักงานของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เป็นต้น[9]

การทำงานของระบบ iCEE จะทำงานร่วมกับเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ติดตั้งในบริเวณพื้นที่ปรับอากาศ โดยในการควบคุมจะทำการปรับตั้งค่าของอุณหภูมิ

อากาศที่เหมาะสมกับพื้นที่ปรับอากาศในแต่ละโซน ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 โซน ได้แก่ โซนของโรงภาพยนตร์ โซนของศูนย์การค้า และ โซนของศูนย์อาหาร โดยค่าของอุณหภูมิอากาศที่ปรับตั้งนี้จะถูกนำไปควบคุมการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นผ่านทางระบบควบคุมอัตโนมัติ

โดยก่อนการปรับปรุงด้วยระบบควบคุมแบบอัตโนมัติ จะทำการวัดค่าตัวแปรที่มีผลต่อค่าสมรรถนะการทำความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็น เช่น ปริมาณการไหลของน้ำเย็น อุณหภูมิของน้ำเย็นที่ออกจากเครื่องทำน้ำเย็น อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นที่ออกจากหอผึ่งน้ำรวมไปถึงค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าขณะที่ทำการเดินเครื่องทำน้ำเย็น โดยการตรวจวัดนั้นอ้างอิงแนวทางของ IPMVP (International Performance and Verification Protocol)และวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผล โดยมีตำแหน่งการตรวจวัด ประกอบไปด้วย อุณหภูมิน้ำเย็นเข้าและออก อัตราการไหลของน้ำเย็น อัตราการไหลของน้ำหล่อเย็น และ ค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็น ดังแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ตำแหน่งการตรวจวัดเครื่องทำน้ำเย็น

นอกจากนี้ทำการตรวจวัดอัตราการไหลของน้ำเย็น ด้วยเครื่องมือตรวจวัดอัตราการไหลของน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 3.5

รูปที่ 3.5 การวัดอัตราการไหลของน้ำเย็นด้วยเครื่องมือวัดอัตราการไหลของน้ำ

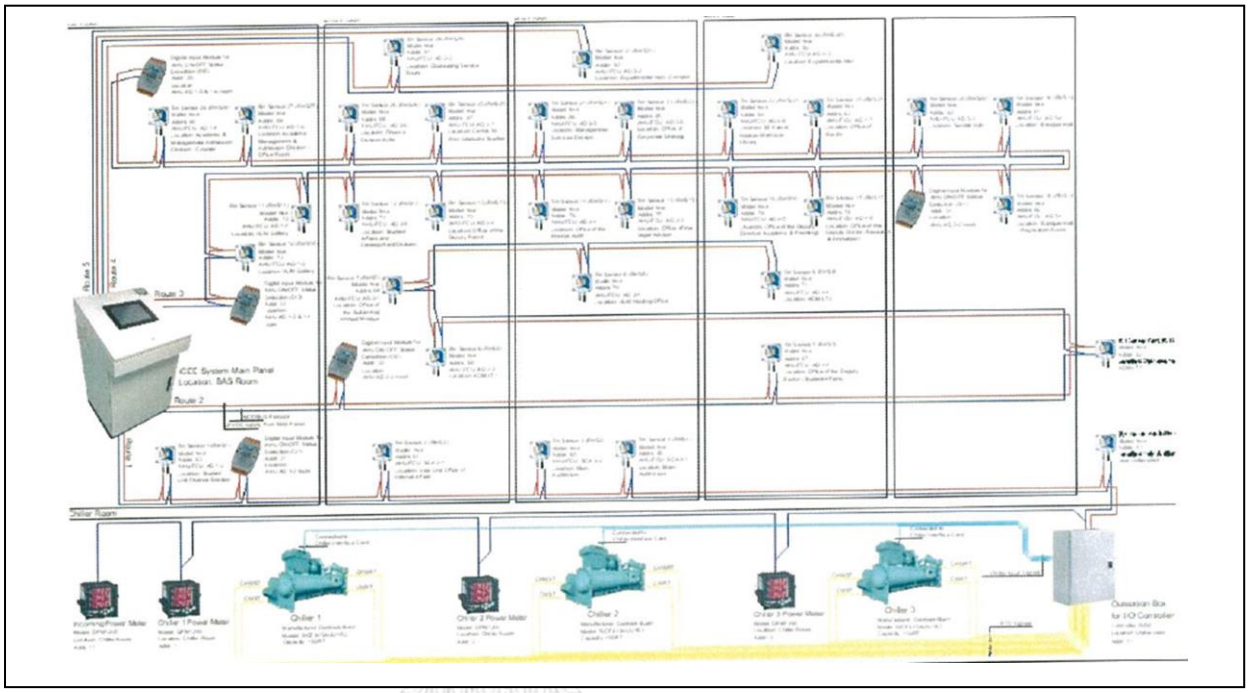
สำหรับระบบควบคุมอัตโนมัติจะทำงานร่วมกับเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ที่ติดตั้งกระจายไปในพื้นที่ปรับอากาศ โดยเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ จะมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 3.6

รูปที่ 3.6 เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ

สำหรับระบบควบคุมอัตโนมัติ จะทำการควบคุมการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็น โดยผู้ใช้งานจะต้องทำการปรับตั้งค่าการควบคุมต่าง ๆ เช่น ค่าอุณหภูมิอากาศ รวมไปถึงตรวจดูค่าการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็น เช่น อุณหภูมิของน้ำเย็นที่เข้าและออกจากเครื่องทำน้ำเย็น ดังแสดงในรูปที่ 3.7

รูปที่ 3.7 คอมพิวเตอร์สำหรับระบบควบคุมแบบอัตโนมัติ

สำหรับระบบควบคุมอัตโนมัติจะทำงานโดยรับค่าของอุณหภูมิอากาศที่ได้จากการตรวจวัดจากเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิอากาศ ค่าของอุณหภูมิน้ำเย็นที่ไหลเข้าและออกจากเครื่องทำน้ำเย็น ค่าของกำลังไฟฟ้าที่เครื่องทำน้ำเย็น มาประมวลผลที่อุปกรณ์ควบคุมและแสดงผลที่จอคอมพิวเตอร์ โดยมีไดอะแกรมระบบควบคุมอัตโนมัติ ดังแสดงในรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 ไดอะแกรมระบบควบคุมการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นแบบอัตโนมัติ

จากรูปที่ 3.8ส่วนประกอบของระบบควบคุมอัตโนมัติ มีส่วนประกอบต่าง ๆ ดังนี้

- 12.1” TFT LCD Industrial touchscreen panel PC จำนวน 1 ชุด
- Gateway device จำนวน 1 ชุด
- Industrial automation controller จำนวน 1 ชุด
- PT100 immersion temperature sensors จำนวน 12 ชุด
- Digital power meters จำนวน 4 ชุด
- RHT relative humidity/temperature sensors จำนวน 33 ชุด โดยแบ่งการติดตั้งเป็น โซนศูนย์การค้า 15 ชุด โซนศูนย์อาหาร 10 ชุด และโซนโรงภาพยนตร์ 8 ชุด
- iCEE software Vijeo Citect จำนวน 1 ชุด

โดยการทำงานของระบบควบคุมอัตโนมัติจะทำงานร่วมกับระบบควบคุมการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นแบบดั้งเดิม โดยการควบคุมในช่วงเริ่มต้นระบบ จะใช้ค่าอุณหภูมิของน้ำเย็นที่กลับเข้ามาที่เครื่องทำน้ำเย็นเป็นค่าปรับตั้งสำหรับการเดินเครื่องทำน้ำเย็น ต่อมา เมื่อเครื่องทำน้ำเย็นทำงาน ระบบควบคุมจะเปลี่ยนไปใช้อุณหภูมิอากาศในพื้นที่ปรับอากาศแทนที่อุณหภูมิของ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

น้ำเย็นที่กลับเข้ามาที่เครื่องทำน้ำเย็นเพื่อให้การควบคุมการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นให้สอดคล้องกับภาระการทำความเย็นที่เกิดขึ้นจริงในพื้นที่ปรับอากาศ กล่าวคือ ในกรณีที่อุณหภูมิอากาศมีค่าลดลง บ่งบอกถึงภาระการทำความเย็นในพื้นที่ปรับอากาศที่ลดลง ระบบควบคุมอัตโนมัติจะทำการสั่งปรับลดการทำงานของมอเตอร์คอมเพรสเซอร์ของเครื่องทำน้ำเย็นลง โดยใช้เทคนิคการจำกัดกระแสไฟฟ้าที่มอเตอร์คอมเพรสเซอร์ ซึ่งผลจากการใช้ระบบควบคุมอัตโนมัติมาควบคุมการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นนี้ จะทำให้ประหยัดพลังงานไฟฟ้าในการเดินเครื่องทำน้ำเย็นเนื่องจากลดเวลาหน่วง (Delay time) ของระบบเมื่อเทียบกับระบบเดิมที่ใช้อุณหภูมิน้ำเย็นกลับในการลดภาระทำความเย็น

เพื่อทำการเปรียบเทียบผลการประหยัดพลังงานทั้งก่อนและหลังการปรับปรุงไปใช้ระบบควบคุมให้เป็นระบบอัตโนมัติร่วมกับเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นของอากาศ จะต้องทำการวัดและบันทึกข้อมูล ค่าอุณหภูมิน้ำเย็นและน้ำหล่อเย็น และ ค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า รวมไปถึง ค่ากำลังไฟฟ้า (กิโลวัตต์) ทั้งก่อนและหลังการปรับปรุง โดยมีแนวทางการวิเคราะห์ผลประหยัด จะพิจารณาจากค่ากำลังไฟฟ้า (กิโลวัตต์) ต่อความสามารถในการทำความเย็น (ตันความเย็น) ของเครื่องทำน้ำเย็นทั้งก่อนและหลังการปรับปรุง โดยอ้างอิงแนวทางของ IPMVP และวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัดโดยมีรายละเอียดข้อมูลและขั้นตอนการตรวจวัดพิสูจน์ผล ดังแสดงในตารางที่ 3.1

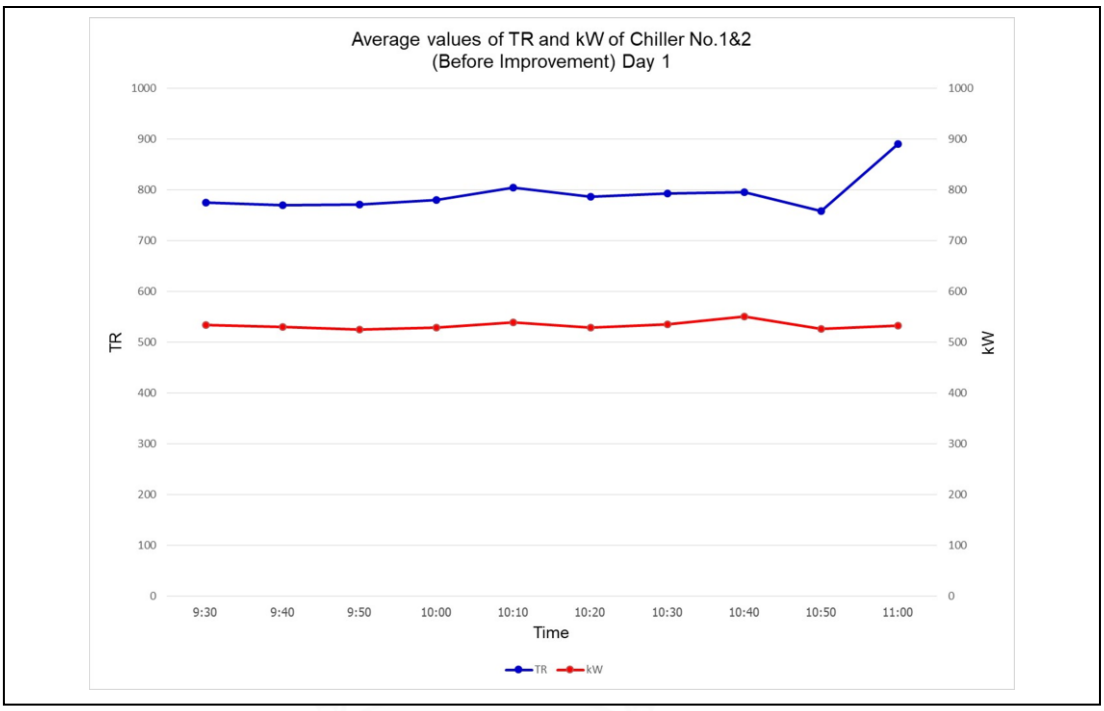
ตารางที่ 3.1 ข้อมูลการตรวจวัด ที่นำไปใช้ในการคำนวณผลประหยัด

ลำดับ	รายละเอียด	ระยะเวลาการบันทึกข้อมูล	คำย่อ และ หน่วย
1	ตรวจวัดและบันทึกอัตราการไหลของน้ำเย็น	ทุก 10 นาที	m_w (GPM)
2	ตรวจวัดและบันทึกพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า รวมไปถึง กำลังไฟฟ้า	ทุก 10 นาที	P (kW)
3	ตรวจวัดและบันทึกอุณหภูมิน้ำเย็นขาเข้าเครื่องทำน้ำเย็น	ทุก 10 นาที	T_{in} (^oF)
4	ตรวจวัดและบันทึกอุณหภูมิน้ำเย็นขาออกเครื่องทำน้ำเย็น	ทุก 10 นาที	T_{out} (^oF)
5	ตรวจวัดและบันทึกอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์	ทุก 10 นาที	T_a (^oC), %RH

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย CHULALONGKORN UNIVERSITY

โดยมีผลการวัดและบันทึกค่าอุณหภูมิน้ำเย็นและน้ำหล่อเย็น และ ค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า ดังแสดงในตารางค่าอุณหภูมิน้ำเย็น น้ำหล่อเย็น และ ค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าก่อนและหลังการปรับปรุงในภาคผนวก ก และ ข ตามลำดับ

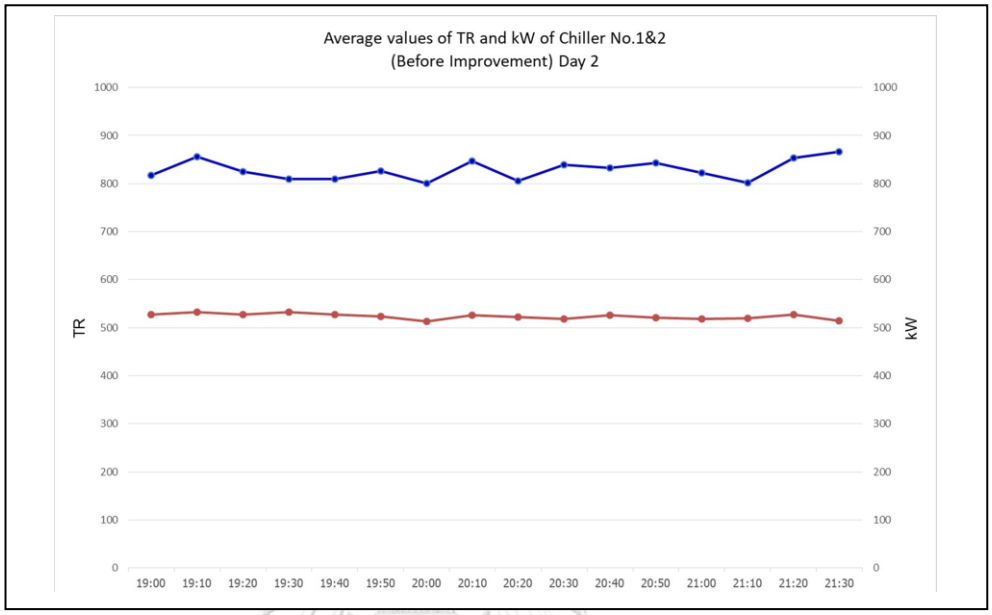
โดยการเปลี่ยนแปลงของค่าทำความเย็นเฉลี่ยและกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของเครื่องทำน้ำเย็นก่อนการปรับปรุงจากการตรวจวัดในวันที่ 1 จะเห็นได้ว่าค่าทำความเย็นมีค่าสูงในช่วงเวลาประมาณ 10:50 น. ถึงเวลา 11:00 น. ในขณะที่ค่ากำลังไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ดังแสดงในรูปที่ 3.9



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

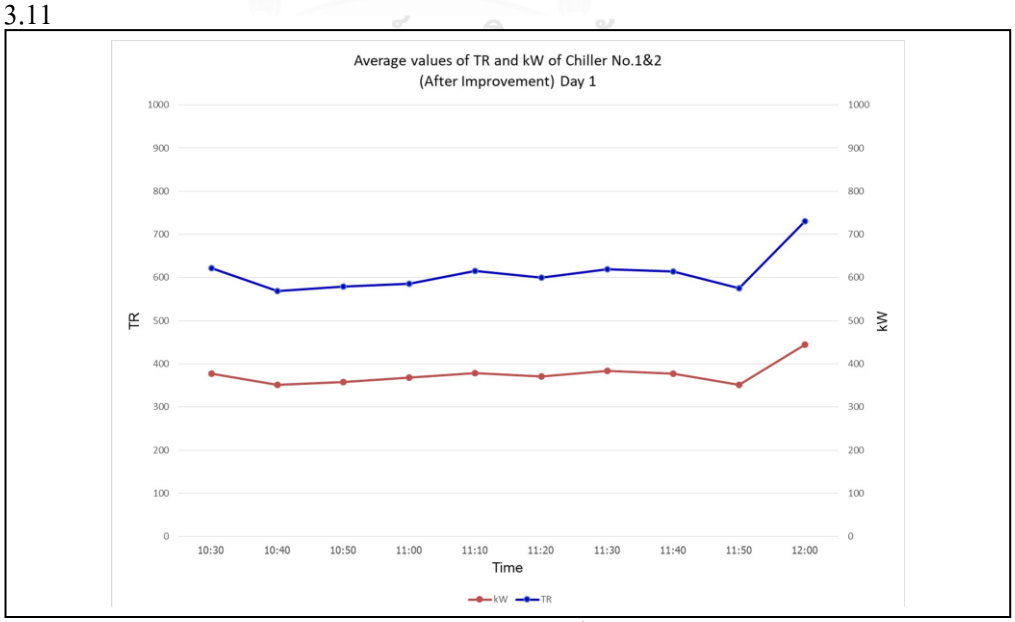
รูปที่ 3.9 กราฟแสดงค่า TR และ kW ของเครื่องทำน้ำเย็น ก่อนการปรับปรุง (วันที่ 1)

สำหรับค่าทำความเย็นและค่ากำลังไฟฟ้า ก่อนการปรับปรุงจากการตรวจวัดในวันที่ 2 จะเห็นได้ว่าค่าทำความเย็นมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดทั้งวัน ในขณะที่ค่ากำลังไฟฟ้ามีค่าที่ค่อนข้างจะคงที่ดังแสดงในรูปที่ 3.10



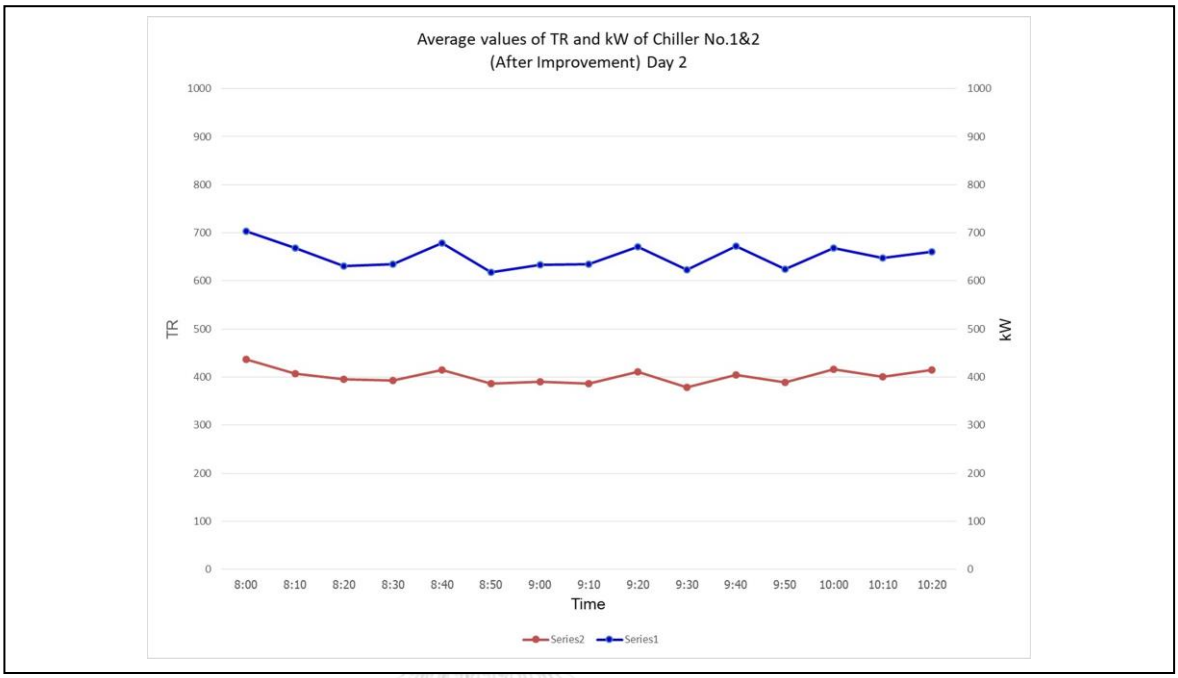
รูปที่ 3.10 กราฟแสดงค่า TR และ kW ของเครื่องทำน้ำเย็น ก่อนการปรับปรุง (วันที่ 2)

สำหรับค่าทำความเย็นและค่ากำลังไฟฟ้า หลังการปรับปรุงจากการตรวจวัดในวันที่ 1 จะเห็นได้ว่าค่าทำความเย็นมีค่าสูงในช่วงเวลาประมาณ 10:50 น. ถึงเวลา 11:00 น. ในขณะที่ค่ากำลังไฟฟ้ามีลักษณะกราฟการเปลี่ยนแปลงที่สอดคล้องกับกราฟของค่าทำความเย็นดังแสดงในรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 กราฟแสดงค่า TR และ kW ของเครื่องทำน้ำเย็น หลังการปรับปรุง (วันที่ 1)

สำหรับค่าทำความเย็นและค่ากำลังไฟฟ้า หลังการปรับปรุงจากการตรวจวัดในวันที่ 2 จะเห็นได้ว่าเห็นได้ว่าค่าทำความเย็นมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดทั้งวัน ในขณะที่ค่ากำลังไฟฟ้ามีลักษณะกราฟมีลักษณะกราฟการเปลี่ยนแปลงที่สอดคล้องกับกราฟของค่าทำความเย็นดังแสดงในรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 กราฟแสดงค่า TR และ kW ของเครื่องทำน้ำเย็น หลังการปรับปรุง (วันที่ 2)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 ค่าประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำเย็นในสภาวะมาตรฐาน

จากตารางค่าอุณหภูมิน้ำเย็นและน้ำหล่อเย็น และ ค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าก่อนและหลังการปรับปรุงในภาคผนวก ก และ ข ตามลำดับ ทำการหาค่าเฉลี่ยของกำลังไฟฟ้า ค่าการทำความเย็น ค่าอัตราการไหลของน้ำเย็น ค่าอุณหภูมิของน้ำเย็นที่ไหลเข้าเครื่องทำน้ำเย็น ค่าอุณหภูมิของน้ำเย็นที่ไหลออกจากเครื่องทำน้ำเย็น และ ค่าอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นที่ไหลกลับเข้าเครื่องทำน้ำเย็น โดยทั้งหมดดังกล่าวเป็นค่าเฉลี่ยของการเดินเครื่องทำน้ำเย็นจำนวน 2 ตัว คือ เครื่องทำน้ำเย็นตัวที่ 1 และตัวที่ 2 ดังแสดงในตารางที่ 4.1 และ ตารางที่ 4.2 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.1 ค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ที่วัดและบันทึกของเครื่องทำน้ำเย็นตัวที่ 1 และตัวที่ 2 ก่อนการปรับปรุงไปใช้ระบบควบคุมอัตโนมัติ

ค่าพารามิเตอร์	อักษรย่อ	ค่าเฉลี่ย	หน่วย
กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของเครื่องทำน้ำเย็น	P_{PRE}	527.3	kW
ค่าการทำความเย็นเฉลี่ยของเครื่องทำน้ำเย็น	TR	808.5	Ton
อัตราการไหลเฉลี่ยของน้ำเย็น	m_w	2,425.5	GPM
อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำเย็นที่ไหลเข้าเครื่องทำน้ำเย็น	T_{in}	54.6	^oF
อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำเย็นที่ไหลออกเครื่องทำน้ำเย็น	T_{out}	46.6	^oF
อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำหล่อเย็นที่ไหลเข้าเครื่องทำน้ำเย็น	TC_{in}	85.5	^oF

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ที่วัดและบันทึกของเครื่องทำน้ำเย็นตัวที่ 1 และตัวที่ 2 หลังการปรับปรุงไปใช้ระบบควบคุมอัตโนมัติ

ค่าพารามิเตอร์	อักษรย่อ	ค่าเฉลี่ย	หน่วย
กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของเครื่องทำน้ำเย็น	P_{POST}	391.5	kW
ค่าการทำความเย็นเฉลี่ยของเครื่องทำน้ำเย็น	TR	636.1	Ton
อัตราการไหลเฉลี่ยของน้ำเย็น	m_w	2,423.2	GPM
อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำเย็นที่ไหลเข้าเครื่องทำน้ำเย็น	T_{in}	52.9	^oF
อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำเย็นที่ไหลออกเครื่องทำน้ำเย็น	T_{out}	46.6	^oF
อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำหล่อเย็นที่ไหลเข้าเครื่องทำน้ำเย็น	TC_{in}	86.2	^oF

จากค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ที่วัดและบันทึกของเครื่องทำน้ำเย็นตัวที่ 1 และตัวที่ 2 ทั้งก่อนและหลังปรับปรุงไปใช้งานระบบควบคุมแบบอัตโนมัติ ทำการคำนวณหาประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำเย็นตัวที่ 1 และตัวที่ 2 ทั้งในสภาวะที่ภาระการทำความเย็นที่เกิดขึ้นจริงและในสภาวะที่ภาระการทำความเย็นที่สภาวะมาตรฐาน โดยการคำนวณที่สภาวะมาตรฐานใช้ค่าแก้ไขขนาดทำความเย็นที่ 0.95 และค่าแก้ไขพลังงานไฟฟ้าที่ 1.02 ตามตารางที่ 2.2 โดยผลการคำนวณแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ค่าประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำเย็นที่สภาวะภาระทำความเย็นที่เกิดขึ้นจริงและสภาวะการทำความเย็นที่สภาวะมาตรฐาน

ค่าพารามิเตอร์	อักษรย่อ	ค่าเฉลี่ย	หน่วย
ค่าประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำเย็นตัวที่ 1 และตัวที่ 2 ในสภาวะภาระทำความเย็นที่เกิดขึ้นจริงก่อนการปรับปรุง	CHP_{PRE}	0.65	kW/TR
ค่าประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำเย็นตัวที่ 1 และตัวที่ 2 ในสภาวะภาระทำความเย็นที่เกิดขึ้นจริงหลังการปรับปรุง	CHP_{POST}	0.62	kW/TR
ค่าประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำเย็นตัวที่ 1 และตัวที่ 2 ในสภาวะมาตรฐานก่อนการปรับปรุง	CHP^*_{PRE}	0.70	kW/TR
ค่าประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำเย็นตัวที่ 1 และตัวที่ 2 ในสภาวะมาตรฐานหลังการปรับปรุง	CHP^*_{POST}	0.66	kW/TR

จากค่าประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำเย็นตัวที่ 1 และตัวที่ 2 ดังแสดงในตารางที่ 4.3 เมื่อพิจารณาที่สภาวะของภาระการทำความเย็นที่สภาวะมาตรฐาน จะเห็นได้ว่าเมื่อใช้ระบบควบคุมอัตโนมัติมาทำงานร่วมกับระบบควบคุมเครื่องทำน้ำเย็นที่เป็นระบบเดิม จะให้ค่าประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำเย็นดีกว่าการใช้งานระบบควบคุมเครื่องทำน้ำเย็นที่เป็นระบบเดิมแต่เพียงอย่างเดียวถึง 0.04 kW/TR หรือ 5.7 %

ในส่วนของผลของการประหยัดพลังงาน ห้างสรรพสินค้ามีการเดินเครื่องทำน้ำเย็นเป็นเวลา 12 ชั่วโมงต่อวัน เมื่อใช้ค่าเฉลี่ยของค่าการทำความเย็นและค่าประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำเย็นของเครื่องทำน้ำเย็นตัวที่ 1 และตัวที่ 2 ดังที่ได้กล่าวไว้ในตารางที่ 4.1 ถึง 4.3 และใช้ค่าเฉลี่ยของค่าไฟฟ้าที่ 3.93 บาทต่อหน่วยซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของค่าไฟฟ้าที่บันทึกและคำนวณในปี พ.ศ. 2559 ดังแสดงในตารางข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้ง 12 เดือน ของปี พ.ศ. 2559 ในภาคผนวก ค

ผลของการประหยัดพลังงานไฟฟ้าและผลการประหยัดค่าไฟฟ้าหลังการใช้ระบบควบคุมแบบอัตโนมัติ แสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลของการประหยัดพลังงานและประหยัดค่าไฟฟ้าหลังการใช้ระบบควบคุมอัตโนมัติ

ค่าพารามิเตอร์	อักษรย่อ	ปริมาณ	หน่วย
พลังงานไฟฟ้าก่อนการปรับปรุง	E_{PRE}	6,451.8	kWh/day
พลังงานไฟฟ้าหลังการปรับปรุง	E_{POST}	4,786.0	kWh/day
พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้	E_{SAVE}	1,665.8	kWh/day
ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้		6,546.6	Baht/day
ร้อยละของพลังงานที่ประหยัดได้		25.8	%

4.2 **การลดการแกว่งของอุณหภูมิอากาศ**

ในระบบควบคุมเครื่องทำน้ำเย็นแบบดั้งเดิมที่ใช้อุณหภูมิของน้ำเย็นที่ไหลกลับมาจากเครื่องส่งจ่ายลมเย็นเป็นตัวสะท้อนถึงภาระการทำความเย็นที่เพิ่มขึ้น การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของน้ำเย็นที่ไหลกลับมาจากเครื่องส่งจ่ายลมเย็นเป็นไปอย่างช้า ๆ ทำให้ไม่สามารถสะท้อนได้ถึงภาระการทำความเย็นในพื้นที่ปรับอากาศที่เพิ่มขึ้นได้อย่างทันท่วงที ก่อให้เกิดเวลาในการตอบสนองที่นานในการที่ระบบควบคุมจะสั่งงานให้เครื่องทำน้ำเย็นเพิ่มการอัดสารทำความเย็นให้มากขึ้น ซึ่งในช่วงเวลานั้นอุณหภูมิอากาศในพื้นที่ปรับอากาศจะเริ่มเพิ่มสูงขึ้น กระทั่งเครื่องทำน้ำเย็นทำงานอัดสารทำความเย็นที่มากขึ้นและมาแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำเย็นที่ไหลกลับมาจากเครื่องส่งจ่ายลมเย็นที่อุปกรณ์ระเหย และเมื่อน้ำเย็นที่ได้ทำการแลกเปลี่ยนความร้อนกับสารทำความเย็นแล้วก็จะถูกส่งกลับไปยังอุปกรณ์ส่งจ่ายลมเย็นอีกครั้งเพื่อทำการลดอุณหภูมิอากาศในพื้นปรับอากาศให้มีค่าลดลง ในทางกลับกันในกรณีที่ภาระการทำความเย็นเริ่มลดน้อยลง การลดลงของอุณหภูมิของน้ำเย็นที่ไหลกลับมาจากเครื่องส่งจ่ายลมเย็นเป็นไปอย่างช้า ๆ ก่อให้เกิดเวลาเกิดเวลาการตอบสนองที่นานในการที่ระบบควบคุมจะสั่งงานให้เครื่องทำน้ำเย็นลดการอัดสารทำความเย็นให้น้อยลง เพื่อให้น้ำเย็นที่ไหลออกจากเครื่องทำน้ำเย็นกลับไปยังอุปกรณ์ส่งจ่ายลมเย็นมีอุณหภูมิที่สูงขึ้นเพื่อตอบสนองต่อภาระการทำความเย็นในพื้นที่ปรับอากาศที่น้อยลง ทำให้อุณหภูมิอากาศในพื้นที่ปรับอากาศค่อย ๆ เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งจะเห็นได้ว่าระบบควบคุมแบบดั้งเดิมที่ใช้น้ำเย็นที่ไหลกลับจากอุปกรณ์ส่งจ่ายลมเย็นเป็นตัวสะท้อนถึงภาระการทำความเย็นในพื้นที่ปรับอากาศเป็นระบบที่ใช้เวลาในการตอบสนองที่นาน ทำให้ผลต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศที่สูงสุดและต่ำสุดมีค่ามาก และเกิดการแกว่งของอุณหภูมิอากาศที่มาก เป็นเหตุให้เครื่องทำน้ำเย็นต้องใช้พลังงานที่มากขึ้นในการอัดสารทำความเย็น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การนำระบบควบคุมแบบอัตโนมัติมาใช้ในการควบคุมเครื่องทำน้ำเย็นร่วมกับระบบควบคุมแบบเดิม ช่วยลดการแกว่งของอุณหภูมิอากาศ โดยห้างสรรพสินค้าได้แบ่งพื้นที่สำหรับการปรับอากาศออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนโรงภาพยนตร์ ส่วนศูนย์การค้า และ ส่วนของศูนย์อาหาร โดยในพื้นที่ปรับอากาศทั้ง 3 ส่วนนี้ ได้มีการติดตั้งเครื่องมือวัดและบันทึกผลของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ โดยผลของการวัดและบันทึกผลของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศทั้งก่อนและหลังการปรับปรุงได้แสดงในตารางผลการวัดของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศบริเวณพื้นที่ที่กำหนดก่อนและหลังการปรับปรุงในภาคผนวก ง และ จ ตามลำดับ

จากผลการวัดอุณหภูมิอากาศจากในภาคผนวก ง และ จ นำมาทำการหาค่าเฉลี่ย และค่าเฉลี่ยกำลังสอง (Root Mean Square : RMS) ของอุณหภูมิอากาศทั้งก่อนและหลังการปรับปรุงไปใช้ระบบควบคุมแบบอัตโนมัติ รวมไปถึงค่าผลต่างของค่าเฉลี่ยและค่าเฉลี่ยกำลังสองของอุณหภูมิอากาศระหว่างหลังการปรับปรุงและก่อนการปรับปรุง ดังแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ค่าเฉลี่ย ค่าเฉลี่ยกำลังสอง และ ค่าผลต่างของอุณหภูมิอากาศก่อนและหลังการปรับปรุง

พื้นที่	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)					
	ก่อนการปรับปรุง		หลังการปรับปรุง		ผลต่าง	
	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ยกำลังสอง	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ยกำลังสอง	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ยกำลังสอง
โรงภาพยนตร์	22.6	0.30	24.5	0.30	1.90	0.00
ศูนย์การค้า	22.5	0.32	25.3	0.16	2.70	-0.16
ศูนย์อาหาร	25.9	0.60	25.3	0.17	-0.70	-0.43

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากตารางที่ 4.5 ค่าเฉลี่ยกำลังสองของอุณหภูมิอากาศของโรงภาพยนตร์ ศูนย์การค้า และศูนย์อาหาร ก่อนการปรับปรุง เป็น 0.30 0.32 และ 0.60 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ในขณะที่ค่าเฉลี่ยกำลังสองของอุณหภูมิอากาศของโรงภาพยนตร์ ศูนย์การค้า และ ศูนย์อาหาร หลังการปรับปรุง เป็น 0.30 0.16 และ 0.17 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และในส่วนของผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยกำลังสองของโรงภาพยนตร์ ศูนย์การค้า และ ศูนย์อาหาร ทั้งก่อนและหลังการปรับปรุงเป็น 0.00 -0.16 และ -0.43 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เพื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยกำลังสองของผลต่างจะเห็นได้ว่าค่าผลต่างของค่าเฉลี่ยกำลังสองในส่วนพื้นที่โรงภาพยนตร์ทั้งก่อนและหลังการปรับปรุงมีค่าไม่แตกต่างกัน แต่ค่าผลต่างของค่าเฉลี่ยกำลังสองในส่วนของพื้นที่ ศูนย์การค้า และ ศูนย์อาหาร มีค่าลดลง

โดยการลดการแกว่งของอุณหภูมิอากาศในพื้นที่ปรับอากาศ หลังจากใช้งานระบบควบคุมอัตโนมัติร่วมกับอุปกรณ์วัดอุณหภูมิอากาศ มีขั้นตอนการทำงาน ดังนี้

ในกรณีที่ภาระการทำความเย็นในพื้นที่ปรับอากาศมีค่ามากขึ้นทำให้ค่าของอุณหภูมิอากาศในพื้นที่ปรับอากาศมีค่าเพิ่มสูงขึ้น ระบบควบคุมอัตโนมัติซึ่งรับค่าของอุณหภูมิอากาศในพื้นที่ปรับอากาศโดยตรง ทำให้เวลาในการตอบสนองที่เร็วในการที่ระบบควบคุมจะสั่งงานให้เครื่องทำน้ำเย็นเพิ่มการอัดสารทำความเย็นให้มากขึ้น เพื่อไปแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำเย็นที่ไหลกลับมาจากเครื่องส่งจ่ายลมเย็น ทำให้น้ำเย็นที่ไหลออกจากเครื่องทำน้ำเย็นไหลกลับไปที่อุปกรณ์ส่งจ่ายลมเย็นมีอุณหภูมิที่ลดต่ำลง เพื่อไปทำการลดอุณหภูมิอากาศในพื้นที่ปรับอากาศได้อย่างทันท่วงที

ในกรณีที่ภาระการทำความเย็นในพื้นที่ปรับอากาศมีค่าลดลงทำให้ค่าของอุณหภูมิอากาศในพื้นที่ปรับอากาศมีค่าลดต่ำลง ระบบควบคุมอัตโนมัติซึ่งรับค่าของอุณหภูมิอากาศในพื้นที่ปรับอากาศโดยตรง จะสั่งงานให้เครื่องทำน้ำเย็นลดการอัดสารทำความเย็นให้น้อยลง เพื่อไปแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำเย็นที่ไหลกลับมาจากเครื่องส่งจ่ายลมเย็น ทำให้น้ำเย็นที่ไหลออกจากเครื่องทำน้ำเย็นไหลกลับไปที่อุปกรณ์ส่งจ่ายลมเย็นมีอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้น เพื่อไปทำการเพิ่มอุณหภูมิอากาศในพื้นที่ปรับอากาศได้อย่างทันท่วงที

ซึ่งจะเห็นได้ว่าระบบควบคุมแบบอัตโนมัติที่ใช้อุณหภูมิอากาศในพื้นที่ปรับอากาศมาควบคุมการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นโดยตรง เป็นระบบที่ใช้เวลาในการตอบสนองที่เร็ว ทำให้ผลต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศที่สูงสุดและต่ำสุดมีค่าลดลง และลดการแกว่งของอุณหภูมิอากาศ ทำให้เครื่องทำน้ำเย็นใช้พลังงานที่ลดลงในการอัดสารทำความเย็น

จะเห็นได้ว่าค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิอากาศก็คือค่าเป้าหมาย (Set Point) ของอุณหภูมิอากาศในพื้นที่ปรับอากาศทั้งในส่วนของ โรงภาพยนตร์ ศูนย์การค้า และ ศูนย์อาหาร ทั้งก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุงโดยจะเห็นได้ว่าค่าเป้าหมายของอุณหภูมิอากาศหลังการปรับปรุงของโรงภาพยนตร์และศูนย์การค้าจะมีค่าที่มากกว่าค่าเป้าหมายของอุณหภูมิอากาศก่อนการปรับปรุง

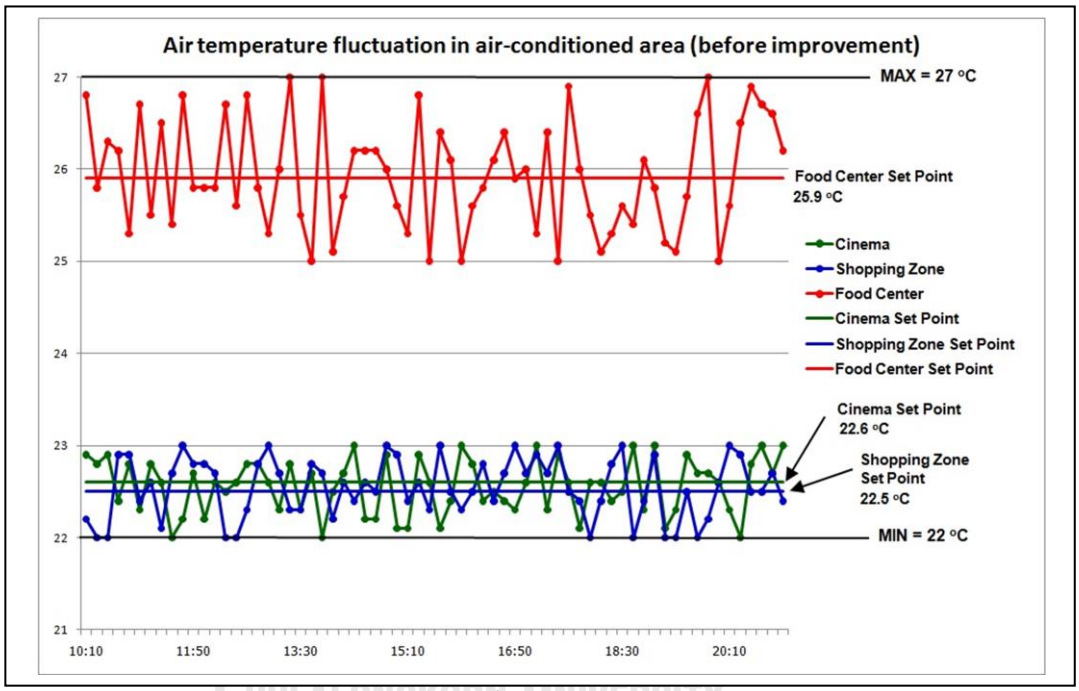
ในขณะที่ค่าเป้าหมายของอุณหภูมิอากาศหลังการปรับปรุงของศูนย์อาหารจะมีค่าที่น้อยกว่าค่าเป้าหมายของอุณหภูมิอากาศก่อนการปรับปรุง ในขณะที่ค่าเฉลี่ยกำลังสองของพื้นที่ปรับอากาศโซนของโรงภาพยนตร์นั้นมีค่าเท่ากันแสดงถึงว่าทั้งก่อนและหลังการปรับปรุงมีค่าการแกว่งของอุณหภูมิอากาศที่ใกล้เคียงกัน แต่ในส่วนของค่าเฉลี่ยกำลังสอง ของพื้นที่ปรับอากาศในโซนของศูนย์การค้าและศูนย์อาหารนั้นจะเห็นได้ว่าหลังการปรับปรุงไปใช้ระบบควบคุมอัตโนมัติค่าเฉลี่ยกำลังสองมีค่าที่ลดลง แสดงถึงค่าการแกว่งของอุณหภูมิอากาศที่แคบลงของพื้นที่ปรับอากาศในส่วนของศูนย์การค้าและศูนย์อาหารหลังการปรับปรุงไปใช้ระบบควบคุมอัตโนมัติ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ดังนั้น การประหยัดพลังงานของการเดินเครื่องทำน้ำเย็น ในพื้นที่ปรับอากาศทั้ง 3 โซน หลังการใช้งานระบบควบคุมอัตโนมัติ เกิดขึ้นจาก 2 ปัจจัยหลักคือ การปรับเปลี่ยนค่าเป้าหมาย และการลดการแกว่งของอุณหภูมิอากาศ

นำผลการวัดอุณหภูมิอากาศจากตารางในภาคผนวก ง และ จ มาพล้อตกราฟแสดงอุณหภูมิอากาศที่เบี่ยงเบนไปจากค่าเป้าหมาย (Set Point) ของพื้นที่ปรับอากาศของทั้ง 3 โซน ได้แก่ โซนโรงภาพยนตร์ โซนศูนย์การค้าและ โซนของศูนย์อาหาร

สำหรับกราฟของอุณหภูมิอากาศของพื้นที่ปรับอากาศของทั้ง 3 โซนก่อนการปรับปรุง ได้แสดงดังรูปที่ 4.1

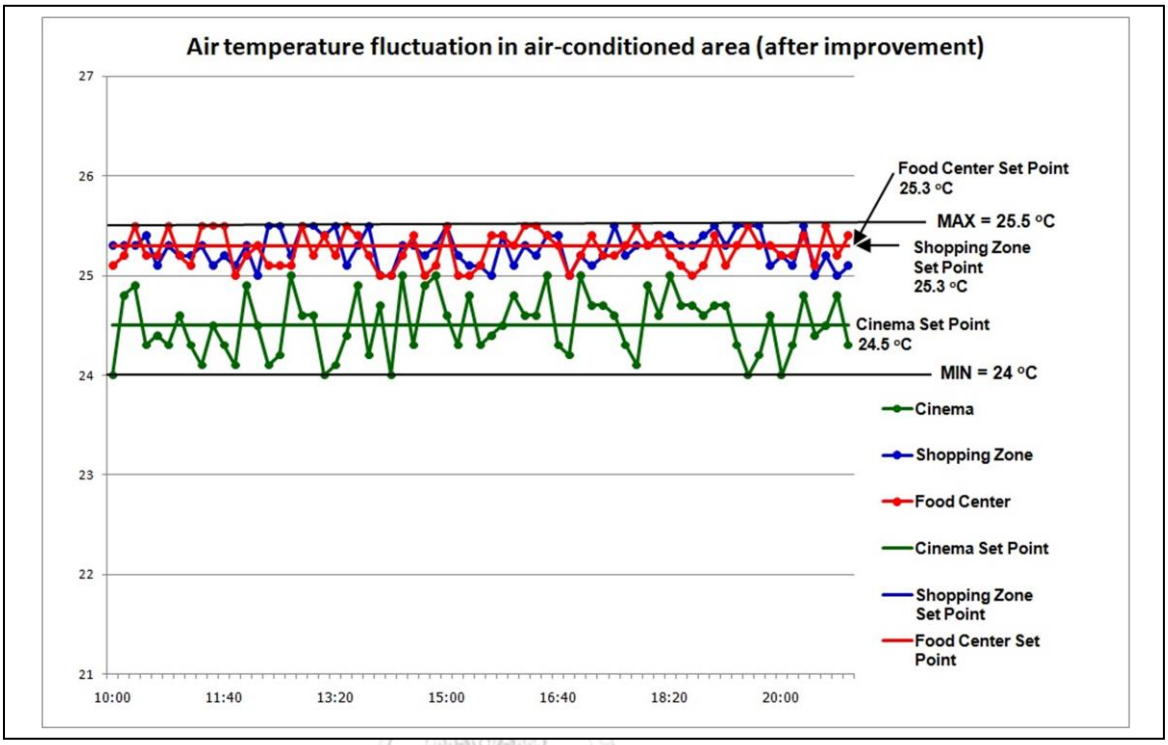


CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 4.1 อุณหภูมิอากาศในพื้นที่ปรับอากาศก่อนการปรับปรุง

จากรูปที่ 4.1 เป็นรูปกราฟแสดงอุณหภูมิอากาศที่เบี่ยงเบนไปจากค่าเป้าหมาย (Set Point) ในพื้นที่ปรับอากาศก่อนการปรับปรุง โดยในพื้นที่ปรับอากาศในอาคารมีอุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่ 27 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิต่ำสุดอยู่ที่ 22 องศาเซลเซียส โดยในที่นี้ผลต่างของอุณหภูมิอากาศอยู่ที่ 5 องศาเซลเซียส โดยผลต่างของอุณหภูมิอากาศที่มากในพื้นที่ปรับอากาศเกิดจากระบบควบคุมแบบดั้งเดิมในการควบคุมการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็น ที่ใช้อุณหภูมิของน้ำเย็นที่ไหลกลับเครื่องทำน้ำเย็นเป็นตัวสะท้อนถึงภาระการทำความเย็นในพื้นที่ปรับอากาศ ซึ่งใช้เวลาการตอบสนองที่นาน

หลังการปรับปรุง กราฟของอุณหภูมิอากาศของพื้นที่ปรับอากาศของทั้ง 3 โซนได้แสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 อุณหภูมิอากาศในพื้นที่ปรับอากาศหลังการปรับปรุง

จากรูปที่ 4.2 เป็นรูปกราฟแสดงอุณหภูมิอากาศที่เบี่ยงเบนไปจากค่าเป้าหมาย (Set Point) ในพื้นที่ปรับอากาศหลังการปรับปรุง โดยในพื้นที่ปรับอากาศในอาคารมีอุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่ 25.5 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิต่ำสุดอยู่ที่ 24 องศาเซลเซียส โดยในที่นี้ผลต่างของอุณหภูมิอากาศลดลงเหลือเพียง 1.5 องศาเซลเซียส โดยผลต่างของอุณหภูมิอากาศในพื้นที่ปรับอากาศที่ลดลง เกิดจากการนำระบบควบคุมอัตโนมัติมาใช้ในการควบคุมการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็น ที่ใช้อุณหภูมิอากาศในพื้นที่ปรับอากาศมาควบคุมการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็น ซึ่งใช้เวลาการตอบสนองที่เร็ว

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ทำการวิจัยถึงผลของการนำระบบควบคุมอัตโนมัติมาใช้ในการควบคุมการเดินเครื่องทำน้ำเย็นในระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ในอาคารของศูนย์การค้า โดยงานวิจัยมุ่งเน้นที่ผลของการประหยัดพลังงานไฟฟ้าหลังการใช้งานระบบควบคุมอัตโนมัติร่วมกับระบบควบคุมแบบดั้งเดิมเพื่อใช้ในการควบคุมการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็น เพื่อช่วยในการลดการแกว่งของอุณหภูมิอากาศและประหยัดพลังงานไฟฟ้าในการเดินเครื่องทำน้ำเย็นในระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์

จากผลของการศึกษาพบว่าหลังการนำระบบควบคุมอัตโนมัติมาใช้ในการควบคุมการเดินเครื่องทำน้ำเย็นในระบบปรับอากาศโดยใช้งานร่วมกับระบบควบคุมแบบดั้งเดิม ผลจากการทดสอบโดยใช้ค่าเฉลี่ยจากการเดินเครื่องทำน้ำเย็นจำนวน 2 เครื่อง จาก 3 เครื่อง (เครื่องทำน้ำเย็นเบอร์ 1 และเบอร์ 2) พบว่า หลังการใช้งานระบบควบคุมอัตโนมัติ ทำให้ค่าการใช้กำลังไฟฟ้าและค่าการทำความเย็นรวมของเครื่องทำน้ำเย็นลดลง ส่งผลให้ค่ากำลังไฟฟ้าต่อตันความเย็นมีค่าลดลง เครื่องทำน้ำเย็นทำงานที่ค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานที่ดีขึ้น 5.7% และมีค่าการประหยัดพลังงาน (คิดเป็นต่อวัน) เป็นร้อยละ 25.8

5.2 ข้อเสนอแนะ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

เนื่องจากผลการตรวจวัดและบันทึกค่าของ อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิน้ำเย็น อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น และ ค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็น ทั้งก่อนและหลังการปรับปรุงไปใช้ระบบควบคุมแบบอัตโนมัติ กระทำในขณะที่ห้างสรรพสินค้าเปิดให้บริการให้กับผู้เข้ามาใช้บริการภายในห้างสรรพสินค้า ทำให้จำเป็นต้องมีการปรับเปลี่ยนค่าปรับตั้งของอุณหภูมิอากาศภายในพื้นที่ปรับอากาศเพื่อให้อุณหภูมิอากาศมีความเหมาะสมและสร้างความพึงพอใจของผู้เข้ามาใช้บริการตลอดจนร้านค้าต่าง ๆ ที่เข้ามาเช่าพื้นที่ภายในห้างสรรพสินค้า ทำให้การปรับตั้งค่าเป้าหมายของอุณหภูมิอากาศในพื้นที่ปรับอากาศทั้ง 3 โซน ได้แก่ โซนของโรงภาพยนตร์ โซนของศูนย์การค้าและโซนของศูนย์อาหาร ทั้งก่อนและหลังการใช้ระบบควบคุมอัตโนมัติมีค่าที่ไม่เท่ากัน

ดังนั้นในการทำการวิจัย ถ้ามีการปรับตั้งค่าเป้าหมายของอุณหภูมิอากาศในพื้นที่ปรับอากาศของทั้ง 3 โซนที่เท่ากัน ทั้งก่อนและหลังการใช้ระบบควบคุมอัตโนมัติ จะทำให้การตรวจวัดและพิสูจน์ผลของการประหยัดพลังงานมีค่าที่ถูกต้องและแม่นยำมากขึ้น

อีกทั้งในงานวิจัยนี้ในส่วนของข้อมูลของอุณหภูมิอากาศ ไม่มีข้อมูลในส่วนของค่าปรับตั้ง (Set point) ของอุณหภูมิอากาศของทั้ง 3 โซน ทำให้ผู้วิจัยต้องใช้การประมาณการค่าปรับตั้งของอุณหภูมิอากาศจากค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Arithmetic mean) แทน ดังนั้นในการทำวิจัยถ้ามีข้อมูลของค่าปรับตั้งของอุณหภูมิอากาศของพื้นที่ปรับอากาศทั้ง 3 โซน มาประกอบกับข้อมูลของอุณหภูมิอากาศที่วัดได้จริงของพื้นที่ปรับอากาศทั้ง 3 โซน จะทำให้การวิเคราะห์ผลการประหยัดพลังงานถูกต้องและแม่นยำมากขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บรรณานุกรม

1. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, เทคโนโลยีการอนุรักษ์พลังงานสำหรับอาคารควบคุม การอนุรักษ์พลังงานในระบบปรับอากาศ. . กระทรวงพลังงาน: กรุงเทพมหานคร.
2. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, คู่มือฝึกอบรม การประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน. . กระทรวงพลังงาน.: กรุงเทพมหานคร.
3. Herbert, W., *Chillers control HVAC Water Chillers and Cooling Towers Fundamentals, Application, and Operation*. 2003, New York.
4. วิทยา ยงเจริญ, ท.เ., เชิดพันธ์ วิทูราภรณ์ และ ดุลย์ มณีวัฒนา, การควบคุมแบบดีดีซีในระบบปรับอากาศ. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
5. วัชระวิสิทธิ์., จ.เ.แ.พ., *Case study M&V of Chiller*. 2559: Promoting of Energy Efficiency in Commercial Buildings (PEECB).
6. มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม., ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวสถิติ. 2554: E-Learning PSRU.
7. Dissasekera, M., *Electricity Saving and Cost Reducing Through Chiller System Optimization*. 2010.
8. ทองคำฟู, ณ., ระบบคอมพิวเตอร์จัดการการทำงานเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน, in คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์. 2553, จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย: กรุงเทพมหานคร.
9. Prabodh, K.S., *We Make Your Chillers Intelligent*. 2017: Vienna Energy Forum.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ก

ค่าอุณหภูมิน้ำเย็นและน้ำหล่อเย็น และ ค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าก่อนการปรับปรุง

DATE	Time	Cooler					Condenser			Compressor Power Consumption							kW/Tonr	
		Flow	Temperature		TR	C_R	Flow	Temperature		V	Ir	Is	It	kW	Pf.	C_E	ก่อนปรับแก้	หลังปรับแก้
		Rate	CHS	CHR			Rate	IN	OUT									
		(gpm)	(°F)	(°F)			(gpm)	(°F)	(°F)									
บันทึกผลเครื่องทำน้ำเย็นชุดที่ 1 และชุดที่ 2 วันที่ 1																		
29/11/60	9:30	2,418	46.6	54.3	775.8	0.95	3,063	86.6	93.7	385.0	873.0	913.0	882.0	533.7	0.90	1.02	0.69	0.74
29/11/60	9:40	2,432	46.5	54.1	770.1	0.95	3,019	86.7	93.6	381.0	875.0	894.0	907.0	529.8	0.90	1.02	0.69	0.74
29/11/60	9:50	2,436	46.5	54.1	771.4	0.95	3,021	86.6	94.0	382.0	880.0	920.0	878.0	525.6	0.89	1.02	0.68	0.73
29/11/60	10:00	2,400	46.5	54.3	780.0	0.95	3,068	86.0	93.0	382.0	896.0	882.0	885.0	528.6	0.90	1.02	0.68	0.73
29/11/60	10:10	2,444	46.5	54.4	804.5	0.95	3,017	87.0	93.5	382.0	902.0	914.0	904.0	539.9	0.90	1.02	0.67	0.72
29/11/60	10:20	2,423	46.6	54.4	787.5	0.95	3,095	86.9	93.8	382.0	899.0	883.0	911.0	528.6	0.89	1.02	0.67	0.72
29/11/60	10:30	2,410	46.5	54.4	793.3	0.95	3,002	86.0	93.3	384.0	908.0	902.0	876.0	535.9	0.90	1.02	0.68	0.73
29/11/60	10:40	2,419	46.6	54.5	796.3	0.95	3,043	86.4	93.7	385.0	895.0	908.0	920.0	550.8	0.91	1.02	0.69	0.74
29/11/60	10:50	2,429	46.6	54.1	759.1	0.95	3,027	86.0	92.8	384.0	898.0	879.0	890.0	526.2	0.89	1.02	0.69	0.74
29/11/60	11:00	2,401	46.6	55.5	890.4	0.95	3,100	86.2	93.1	383.0	873.0	892.0	886.0	533.4	0.91	1.02	0.60	0.64
บันทึกผลเครื่องทำน้ำเย็นชุดที่ 1 และชุดที่ 2 วันที่ 2																		
2/12/60	19:00	2,422	46.6	54.7	817.4	0.95	3,002	85.3	92.3	383.0	899.0	898.0	882.0	527.2	0.89	1.02	0.64	0.69
2/12/60	19:10	2,444	46.6	55.0	855.4	0.95	3,094	85.4	92.3	383.0	886.0	900.0	893.0	533.1	0.90	1.02	0.62	0.67
2/12/60	19:20	2,445	46.5	54.6	825.2	0.95	3,043	85.7	92.5	385.0	889.0	888.0	889.0	527.4	0.89	1.02	0.64	0.69
2/12/60	19:30	2,427	46.6	54.6	809.0	0.95	3,095	85.2	90.1	383.0	880.0	886.0	883.0	533.0	0.91	1.02	0.66	0.71
2/12/60	19:40	2,429	46.5	54.5	809.7	0.95	3,100	85.1	90.3	385.0	880.0	862.0	867.0	527.7	0.91	1.02	0.65	0.70
2/12/60	19:50	2,417	46.6	54.8	825.8	0.95	3,066	85.6	90.3	381.0	876.0	877.0	862.0	523.4	0.91	1.02	0.63	0.68
2/12/60	20:00	2,433	46.6	54.5	800.9	0.95	3,090	85.9	91.1	381.0	867.0	878.0	878.0	513.5	0.89	1.02	0.64	0.69
2/12/60	20:10	2,449	46.6	54.9	846.9	0.95	3,053	86.0	90.5	382.0	874.0	867.0	878.0	525.6	0.91	1.02	0.62	0.67
2/12/60	20:20	2,418	46.5	54.5	806.0	0.95	3,080	85.5	89.8	382.0	862.0	868.0	869.0	521.6	0.91	1.02	0.65	0.69
2/12/60	20:30	2,427	46.6	54.9	839.3	0.95	3,046	85.6	89.7	383.0	862.0	880.0	862.0	518.2	0.90	1.02	0.62	0.66
2/12/60	20:40	2,438	46.6	54.8	833.0	0.95	3,092	85.0	89.0	383.0	873.0	878.0	864.0	526.2	0.91	1.02	0.63	0.68
2/12/60	20:50	2,409	46.5	54.9	843.2	0.95	3,072	85.5	89.5	383.0	860.0	867.0	862.0	521.0	0.91	1.02	0.62	0.66
2/12/60	21:00	2,435	46.6	54.7	821.8	0.95	3,033	85.0	89.2	384.0	874.0	877.0	879.0	518.9	0.89	1.02	0.63	0.68
2/12/60	21:10	2,405	46.6	54.6	801.7	0.95	3,012	85.8	89.5	380.0	868.0	870.0	864.0	519.5	0.91	1.02	0.65	0.70
2/12/60	21:20	2,408	46.5	55.0	852.8	0.95	3,095	85.3	89.2	384.0	864.0	874.0	873.0	526.8	0.91	1.02	0.62	0.66
2/12/60	21:30	2,446	46.5	55.0	866.3	0.95	3,087	85.4	89.1	382.0	869.0	872.0	878.0	514.1	0.89	1.02	0.59	0.64

ภาคผนวก ข

ค่าอุณหภูมิน้ำเย็นและน้ำหล่อเย็น และ ค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าหลังการปรับปรุง

DATE	Time	Cooler					Condenser			Compressor Power Consumption							kW/Tonr	
		Flow Rate (gpm)	Temperature CHS (°F)	Temperature CHR (°F)	TR	C_R	Flow Rate (gpm)	Temperature IN (°F)	Temperature OUT (°F)	V	Ir	Is	It	kW	Pf.	C_E	ก่อนปรับแก้	หลังปรับแก้
ผลการบันทึกข้อมูลเครื่องทำน้ำเย็นวันที่ 1 จำนวน 2 ชุด																		
3/9/61	10:30	2,449	46.5	52.6	622.45	0.95	3,030	86.0	92.1	381.0	608.8	607.8	607.8	377.2	0.94	1.02	0.61	0.65
3/9/61	10:40	2,405	46.6	52.3	571.19	0.95	3,024	85.8	91.5	385.0	566.7	568.7	566.7	351.9	0.93	1.02	0.62	0.66
3/9/61	10:50	2,440	46.6	52.3	579.50	0.95	3,018	85.4	91.1	382.0	568.7	570.7	569.7	358.1	0.95	1.02	0.62	0.66
3/9/61	11:00	2,400	46.6	52.5	590.00	0.95	3,080	86.0	91.8	382.0	584.8	584.8	585.8	367.8	0.95	1.02	0.63	0.67
3/9/61	11:10	2,407	46.5	52.6	611.78	0.95	3,050	85.9	92.1	384.0	612.8	611.8	612.8	378.9	0.93	1.02	0.62	0.66
3/9/61	11:20	2,406	46.6	52.6	601.50	0.95	3,044	85.8	91.8	380.0	597.8	598.8	598.8	370.3	0.94	1.02	0.62	0.66
3/9/61	11:30	2,439	46.6	52.7	619.91	0.95	3,050	86.2	92.3	383.0	609.8	607.8	608.8	383.7	0.95	1.02	0.62	0.66
3/9/61	11:40	2,410	46.6	52.7	612.54	0.95	3,032	86.0	92.1	383.0	610.8	611.8	610.8	377.0	0.93	1.02	0.61	0.66
3/9/61	11:50	2,427	46.6	52.3	576.41	0.95	3,030	85.3	91.0	380.0	567.7	567.7	569.7	351.6	0.94	1.02	0.61	0.65
3/9/61	12:00	2,445	46.5	53.7	733.50	0.95	3,028	87.2	94.3	381.0	717.2	718.2	716.2	444.8	0.94	1.02	0.61	0.65
บันทึกผลเครื่องทำน้ำเย็นชุดที่ 1 และชุดที่ 2 วันที่ 2																		
6/9/61	8:00	2,404	46.5	53.5	701.17	0.95	3,075	87.0	94.0	382.0	701.1	703.1	703.1	436.9	0.94	1.02	0.62	0.67
6/9/61	8:10	2,448	46.6	53.2	673.20	0.95	3,093	86.4	92.9	382.0	654.0	655.0	655.0	407.1	0.94	1.02	0.61	0.65
6/9/61	8:20	2,404	46.5	52.8	631.05	0.95	3,078	85.9	92.2	385.0	630.9	628.9	630.9	395.0	0.94	1.02	0.63	0.67
6/9/61	8:30	2,420	46.6	52.9	635.25	0.95	3,026	85.9	92.2	384.0	628.9	629.9	628.9	393.4	0.94	1.02	0.62	0.66
6/9/61	8:40	2,444	46.6	53.3	682.28	0.95	3,068	86.8	93.4	383.0	665.0	667.0	666.0	415.3	0.94	1.02	0.61	0.65
6/9/61	8:50	2,402	46.6	52.8	620.52	0.95	3,090	86.1	92.2	385.0	616.9	616.9	617.9	386.9	0.94	1.02	0.63	0.67
6/9/61	9:00	2,418	46.6	52.9	634.73	0.95	3,029	86.1	92.4	381.0	627.9	628.9	627.9	389.7	0.94	1.02	0.61	0.66
6/9/61	9:10	2,450	46.5	52.7	632.92	0.95	3,069	86.2	92.4	382.0	621.9	620.9	620.9	386.3	0.94	1.02	0.61	0.66
6/9/61	9:20	2,439	46.5	53.1	670.73	0.95	3,041	86.3	92.9	382.0	661.0	660.0	661.0	410.9	0.94	1.02	0.61	0.66
6/9/61	9:30	2,429	46.5	52.7	627.49	0.95	3,028	86.2	92.3	382.0	614.8	616.8	615.8	378.9	0.93	1.02	0.61	0.65
6/9/61	9:40	2,439	46.5	53.1	670.73	0.95	3,023	86.1	92.7	380.0	661.0	661.0	662.0	404.8	0.93	1.02	0.60	0.65
6/9/61	9:50	2,415	46.5	52.7	623.88	0.95	3,072	86.1	92.3	385.0	620.9	620.9	621.9	389.4	0.94	1.02	0.62	0.67
6/9/61	10:00	2,414	46.5	53.1	663.85	0.95	3,099	86.4	93.1	381.0	665.0	664.0	664.0	416.5	0.95	1.02	0.62	0.67
6/9/61	10:10	2,425	46.6	53.0	647.68	0.95	3,064	86.4	92.8	380.0	639.9	640.9	641.9	400.7	0.95	1.02	0.62	0.66
6/9/61	10:20	2,401	46.5	53.1	661.28	0.95	3,055	86.3	92.9	385.0	662.0	662.0	660.0	414.5	0.94	1.02	0.63	0.67

ภาคผนวก ค

ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้ง 12 เดือน ของปี พ.ศ. 2559

เดือน	พลังไฟฟ้าสูงสุด				พลังงานไฟฟ้า		ค่าไฟฟ้ารวม (บาท)	ค่าตัวประกอบภาระ (เปอร์เซ็นต์)	ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย (บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง)
	P (กิโลวัตต์)	PP/OP1 (กิโลวัตต์)	PP/OP2 (กิโลวัตต์)	ค่าใช้จ่าย (บาท)	ปริมาณ (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)	ค่าใช้จ่าย (บาท)			
ม.ค.-59	2,112	1,056	2,184	280,748.16	787,020	3,006,682.00	3,217,149.27	48.44	4.09
ก.พ.-59	2,184	1,104	2,280	290,319.12	735,840	2,888,208.00	3,090,382.84	48.03	4.20
มี.ค.-59	2,328	1,032	2,328	309,461.04	845,700	3,357,538.00	3,592,566.15	48.83	4.25
เม.ย.-59	2,376	1,320	2,376	315,841.68	866,920	3,261,862.00	3,420,192.83	50.68	3.95
พ.ค.-59	2,352	1,320	2,376	312,651.36	893,700	3,163,562.00	3,385,011.81	50.56	3.79
มิ.ย.-59	2,232	1,248	2,304	296,699.76	829,220	3,037,586.00	3,250,216.71	49.99	3.92
ก.ค.-59	2,304	1,224	2,592	306,270.72	869,220	3,025,775.00	3,237,579.37	45.07	3.72
ส.ค.-59	2,232	1,224	2,280	296,699.76	869,160	3,136,383.00	3,355,929.95	51.24	3.86
ก.ย.-59	2,256	1,248	2,304	299,890.08	838,980	3,070,641.00	3,285,585.84	50.58	3.92
ต.ค.-59	2,304	1,152	2,328	306,270.72	873,300	3,129,294.00	3,348,344.11	50.42	3.83
พ.ย.-59	2,160	1,200	2,256	287,128.80	805,860	2,953,562.00	3,160,311.68	49.61	3.92
ธ.ค.-59	2,136	1,584	2,236	283,938.48	827,400	2,946,936.00	3,153,221.16	49.74	3.81
เฉลี่ย				**298,826.64**	**836,860**	**3,081,502.42**	**3,291,374.31**	**49.43**	**3.93**

ภาคผนวก ง

ผลการวัดของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศบริเวณพื้นที่ที่กำหนด ก่อนการปรับปรุง

เวลา	พื้นที่							
	โรงภาพยนตร์		ศูนย์การค้า		ศูนย์อาหาร		อุณหภูมิแวดล้อม	
	อุณหภูมิ	ความชื้น	อุณหภูมิ	ความชื้น	อุณหภูมิ	ความชื้น	อุณหภูมิ	ความชื้น
10:00	22.3	64.3	23	61.5	25	66	33.8	63.30
10:10	22.9	62.5	22.2	63.1	26.8	65.3	32	64.60
10:20	22.8	65.8	22	65.5	25.8	61.8	32.8	63.20
10:30	22.9	61.8	22	63.4	26.3	60.1	32.4	64.60
10:40	22.4	63.2	22.9	64.3	26.2	64.9	32.3	62.70
10:50	22.8	61	22.9	64.4	25.3	66.8	34	64.10
11:00	22.3	64.6	22.4	65.3	26.7	67.3	33.9	61.50
11:10	22.8	63.2	22.6	61.3	25.5	60.3	33.9	61.80
11:20	22.6	61.6	22.1	64.9	26.5	67.3	34	64.80
11:30	22	65.5	22.7	64.9	25.4	67.2	34.5	62.60
11:40	22.2	63.1	23	62	26.8	61.9	34.9	63.20
11:50	22.7	65.7	22.8	61.7	25.8	67.1	33	62.70
12:00	22.2	63.5	22.8	65.3	25.8	63.9	33.9	60.00
12:10	22.6	64.1	22.7	60.8	25.8	69.5	33.5	65.00
12:20	22.5	64.6	22	61.4	26.7	64.5	34.7	64.10
12:30	22.6	61	22	63.7	25.6	69.8	33.3	61.20
12:40	22.8	65.6	22.3	60.6	26.8	61.9	34	61.70
12:50	22.8	63.2	22.8	60.2	25.8	69.4	34	61.00
13:00	22.6	61.1	23	60.7	25.3	66.2	35.2	64.30
13:10	22.3	63.7	22.7	64.6	26	61.6	35.1	63.90
13:20	22.8	64.6	22.3	63	27	63	36.4	60.00
13:30	22.3	64	22.3	65.6	25.5	66.6	35.6	64.30
13:40	22.7	65.8	22.8	63.8	25	66.1	36.7	65.00
13:50	22	63.2	22.7	60.7	27	62.9	36.5	63.00
14:00	22.5	64.7	22.2	60.3	25.1	61	35.9	63.40
14:10	22.7	65.2	22.6	65.5	25.7	66	36.6	63.20

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ผลการวัดของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศบริเวณพื้นที่ที่กำหนด ก่อนการปรับปรุง (ต่อ)

เวลา	พื้นที่							
	โรงภาพยนตร์		ศูนย์การค้า		ศูนย์อาหาร		อุณหภูมิแวดล้อม	
	อุณหภูมิ	ความชื้น	อุณหภูมิ	ความชื้น	อุณหภูมิ	ความชื้น	อุณหภูมิ	ความชื้น
14:20	23	64.6	22.4	61.8	26.2	65.2	35.3	61.90
14:30	22.2	64.3	22.6	64.3	26.2	67.6	35	64.10
14:40	22.2	63.9	22.5	60.9	26.2	65.9	35.9	61.10
14:50	22.9	65.7	23	65.1	26	60.6	35.3	61.50
15:00	22.1	62.3	22.9	64	25.6	67.5	36.6	63.00
15:10	22.1	64.3	22.4	65.7	25.3	63.9	35.5	63.10
15:20	22.9	60.8	22.6	63.4	26.8	69.2	35	62.10
15:30	22.6	61.2	22.3	65.7	25	69	35.8	62.30
15:40	22.1	60.8	23	64.1	26.4	65.9	34.1	61.30
15:50	22.4	60.2	22.5	65.3	26.1	69.1	33	63.70
16:00	23	61.6	22.3	60.7	25	66.6	34.4	64.00
16:10	22.8	64.1	22.5	60.4	25.6	61.1	33.8	62.50
16:20	22.4	61.1	22.8	61.8	25.8	61.1	33.7	64.40
16:30	22.5	66	22.4	63.4	26.1	69.4	33.1	60.20
16:40	22.4	65.8	22.7	65.1	26.4	65.8	34.1	61.00
16:50	22.3	65.2	23	62.6	25.9	68.8	33.2	63.90
17:00	22.6	62.4	22.7	61.2	26	68.9	34.1	61.50
17:10	23	64.4	22.9	60.2	25.3	68.3	34.1	60.90
17:20	22.3	63.2	22.7	60.1	26.4	62.9	33.6	61.50
17:30	22.9	60.1	23	61.2	25	67.9	34.6	61.80
17:40	22.6	63.5	22.5	64.4	26.9	67	33.2	61.30
17:50	22.1	62.8	22.4	61.7	26	60	35	63.40
18:00	22.6	65.9	22	65.4	25.5	69.5	33.1	63.80
18:10	22.6	62.7	22.4	64.5	25.1	62.8	31	63.40
18:20	22.4	62.8	22.8	63.6	25.3	69.9	32.8	63.70
18:30	22.5	61.8	23	62	25.6	61.3	32.7	63.80
18:40	23	63.1	22	60.7	25.4	60.7	32.7	64.50
18:50	22.3	64	22.4	60	26.1	61.8	32.2	63.20

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ผลการวัดของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศบริเวณพื้นที่ที่กำหนด ก่อนการปรับปรุง (ต่อ)

เวลา	พื้นที่							
	โรงภาพยนตร์		ศูนย์การค้า		ศูนย์อาหาร		อุณหภูมิแวดล้อม	
	อุณหภูมิ	ความชื้น	อุณหภูมิ	ความชื้น	อุณหภูมิ	ความชื้น	อุณหภูมิ	ความชื้น
19:00	23	61.9	22.9	61.5	25.8	63.9	32.7	60.70
19:10	22.1	62.5	22	62	25.2	68.8	32.2	61.50
19:20	22.3	60.1	22	61.3	25.1	60.7	31.6	63.60
19:30	22.9	61.3	22.5	65.2	25.7	63.6	32.7	61.10
19:40	22.7	60.7	22	62.3	26.6	64	33	64.80
19:50	22.7	62.4	22.2	65	27	63.4	32.3	60.30
20:00	22.6	64.7	22.6	60.1	25	63.5	32.8	63.60
20:10	22.3	63	23	62.8	25.6	67.2	32.8	64.80
20:20	22	62.3	22.9	64.7	26.5	64.7	32	60.90
20:30	22.8	64.8	22.5	64.4	26.9	66.1	31.3	60.00
20:40	23	61.8	22.5	65.8	26.7	61.8	31.8	62.10
20:50	22.7	65	22.7	62.6	26.6	66.6	31.8	60.80
21:00	23	64.9	22.4	60.1	26.2	60	31.4	62.30
เฉลี่ย	**22.6**	**63.3**	**22.5**	**62.9**	**25.9**	**65.1**	**33.8**	**62.7**

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก จ

ผลการวัดของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศบริเวณพื้นที่ที่กำหนด หลังการปรับปรุง

เวลา	พื้นที่							
	โรงหนัง		Shopping Zone		ศูนย์อาหาร		อุณหภูมิแวดล้อม	
	อุณหภูมิ	ความชื้น	อุณหภูมิ	ความชื้น	อุณหภูมิ	ความชื้น	อุณหภูมิ	ความชื้น
10:00	24	64.6	25.3	64.1	25.1	64.8	33.9	64.40
10:10	24.8	64.6	25.3	64.3	25.2	64	33.8	64.00
10:20	24.9	63.1	25.3	63	25.5	64.3	34.3	64.80
10:30	24.3	63.4	25.4	64.1	25.2	65.9	34.2	64.90
10:40	24.4	63.7	25.1	65	25.2	65.4	33.6	64.20
10:50	24.3	63.1	25.3	63.8	25.5	64.9	33.8	64.30
11:00	24.6	64.2	25.2	64.6	25.2	64.8	33.8	64.90
11:10	24.3	64.4	25.2	63.7	25.1	66	34.5	64.90
11:20	24.1	63.4	25.3	63.1	25.5	65.8	33.5	64.90
11:30	24.5	64.1	25.1	64.9	25.5	65.5	34.1	64.50
11:40	24.3	64.3	25.2	64.4	25.5	65.5	33.8	65.00
11:50	24.1	64.1	25.1	64.9	25	65.5	33.7	64.70
12:00	24.9	64.9	25.3	64.8	25.2	65.9	33.6	64.50
12:10	24.5	63.9	25	64	25.3	65.9	34.2	64.90
12:20	24.1	63.3	25.5	63.8	25.1	65.6	33.9	64.30
12:30	24.2	64.1	25.5	63.4	25.1	65.4	34.2	64.30
12:40	25	63.9	25.2	64.5	25.1	65.9	34.5	64.60
12:50	24.6	64.2	25.5	63.9	25.5	64.2	34	64.60
13:00	24.6	63	25.5	63.8	25.2	65.1	33.9	64.80
13:10	24	64	25.4	63.4	25.4	64.7	34.5	64.00
13:20	24.1	64.7	25.5	63.6	25.2	64	34.5	64.00
13:30	24.4	63.7	25.1	63.9	25.5	64.6	33.8	64.10
13:40	24.9	63.4	25.3	63.7	25.4	65.6	34.1	64.70
13:50	24.2	63.8	25.5	63.8	25.2	65.1	33.8	64.60
14:00	24.7	63	25	64.8	25	65.2	34	64.90
14:10	24	64.3	25	63.5	25	65.3	33.5	64.80
14:20	25	63.4	25.3	64.3	25.2	64.4	34.1	64.60

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ผลการวัดของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศบริเวณพื้นที่ที่กำหนด หลังการปรับปรุง (ต่อ)

เวลา	พื้นที่							
	โรงภาพยนตร์		ศูนย์การค้า		ศูนย์อาหาร		อุณหภูมิแวดล้อม	
	อุณหภูมิ	ความชื้น	อุณหภูมิ	ความชื้น	อุณหภูมิ	ความชื้น	อุณหภูมิ	ความชื้น
14:30	24.3	63.1	25.3	65	25.4	65.5	34.4	64.20
14:40	24.9	63.4	25.2	64.1	25	64.6	33.9	64.50
14:50	25	63.4	25.3	63.1	25.1	64.2	33.9	64.00
15:00	24.6	64.1	25.5	65	25.5	64.8	34.5	64.10
15:10	24.3	64.6	25.2	63.6	25	64.5	34.4	65.00
15:20	24.8	64.5	25.1	63.7	25	65.2	33.5	64.50
15:30	24.3	63.7	25.1	64.3	25.1	64.1	33.9	64.70
16:40	24.3	63.2	25.4	63.2	25.3	64	33.9	64.70
16:50	24.2	64.4	25	64.2	25	64.1	33.6	64.90
17:00	25	63.1	25.2	64.3	25.2	65.1	33.7	64.50
17:10	24.7	64	25.1	63.7	25.4	65.7	33.5	64.00
17:20	24.7	63.5	25.2	64.4	25.2	65.1	34	64.00
17:30	24.6	63.8	25.5	64.5	25.2	65.6	34.4	64.70
17:40	24.3	63.4	25.2	63.6	25.3	65.7	34.5	64.30
17:50	24.1	64.7	25.3	64.5	25.5	64.2	33.7	64.60
18:00	24.9	64.3	25.3	63.1	25.3	64.1	34.1	65.00
18:10	24.6	63.6	25.4	64.7	25.4	64.4	34.4	64.50
18:20	25	65	25.4	64.7	25.2	64.2	34.2	64.10
18:30	24.7	63.4	25.3	63	25.1	65.3	34	64.70
18:40	24.7	64.3	25.3	63	25	65.1	34.3	64.40
18:50	24.6	64.6	25.4	64.6	25.1	65	33.6	64.70
19:00	24.7	64.8	25.5	63.2	25.4	65.4	34.3	64.40
19:10	24.7	63.5	25.3	63	25.1	64.6	34.2	64.20
19:20	24.3	64.1	25.5	64.6	25.3	65.3	34.4	64.40
19:30	24	63.2	25.5	64.7	25.5	64.5	34.1	64.60
19:40	24.2	63.2	25.5	63.6	25.3	64.7	34.1	64.70
19:50	24.6	63.8	25.1	64.8	25.3	65.6	34.1	64.20

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ผลการวัดของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศบริเวณพื้นที่ที่กำหนด หลังการปรับปรุง (ต่อ)

เวลา	พื้นที่							
	โรงภาพยนตร์		ศูนย์การค้า		ศูนย์อาหาร		อุณหภูมิแวดล้อม	
	อุณหภูมิ	ความชื้น	อุณหภูมิ	ความชื้น	อุณหภูมิ	ความชื้น	อุณหภูมิ	ความชื้น
20:00	24	63.6	25.2	64.8	25.2	65	34.1	64.20
20:10	24.3	63	25.1	64.7	25.2	65.6	34.3	64.50
20:20	24.8	63.1	25.5	63.2	25.4	66	33.8	64.30
20:30	24.4	64.9	25	64.1	25.1	65.6	34.3	65.00
20:40	24.5	64.9	25.2	63.3	25.5	65.9	33.6	64.50
20:50	24.8	64.7	25	63.8	25.2	65.3	34.1	64.60
21:00	24.3	63.4	25.1	63	25.4	65.2	34.1	64.50
เฉลี่ย	**24.5**	**63.9**	**25.3**	**64.0**	**25.3**	**65.1**	**34.0**	**64.5**

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	สหภัส พุทธิขจร
วัน เดือน ปี เกิด	10 มกราคม 2522
สถานที่เกิด	กาญจนบุรี
วุฒิการศึกษา	ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขา วิศวกรรมไฟฟ้า
ที่อยู่ปัจจุบัน	5/4 ซอยปากน้ำกระโจมทอง 37 แขวงบางพรม เขตตลิ่งชัน กรุงเทพฯ 10170
ผลงานตีพิมพ์	ENERGY SAVING IN A LARGE AIR CONDITIONING SYSTEM BY USING AN AUTOMATIC CHILLER CONTROL SYSTEM. CASE STUDY: A SHOPPING CENTER
รางวัลที่ได้รับ	The 10th Thai Society of Mechanical Engineers, International Conference on Mechanical Engineering · (TSME-ICoME 2019)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University