การอนุรักษ์พลังงานในระบบปรับอากาศของห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่ติดตั้งเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี : กรณีศึกษา

นายศุภธัช อินทะวัง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน (สหสาขาวิชา) สหสาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2565
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Energy Conservation of Air Conditioning System in Gas Chromatography Laboratory: A Case Study

Mr. Supatus Intawang

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

A Thesis 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 2022

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การอนุรักษ์พลังงานในระบบปรับอากาศของห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่ติดตั้งเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี : กรณีศึกษา
โดย	นายศุภธัช อินทะวัง
สาขาวิชา	เทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน (สหสาขาวิชา)
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.วิทยา ยงเจริญ

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.ยุทธนา ฉัพพรรณรัตน์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมพงษ์ พุทธิวิสุทธิศักดิ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.วิทยา ยงเจริญ)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ประพันธ์ คูชลธารา)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.อมรรัตน์ แก้วประดับ)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ศุภธัช อินทะวัง : การอนุรักษ์พลังงานในระบบปรับอากาศของห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่ติดตั้งเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี : กรณีศึกษา. (Energy Conservation of Air Conditioning System in Gas Chromatography Laboratory:A Case Study) อ.ที่ปรึกษาหลัก : รศ. ดร.วิทยา ยงเจริญ

เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี เป็นเครื่องมือวิทยาศาสตร์ที่หน่วยวิจัยใช้ในการตรวจวิเคราะห์สารพิษในตัวอย่างดิน น้ำและพืชในพื้นที่การเกษตร ซึ่งห้องปฏิบัติการที่ติดตั้งเครื่องมือจะมีการควบคุมอุณหภูมิอยู่ที่ 25±5 °C ตามมาตรฐานที่หน่วยวิจัยได้ทำการประเมินไว้ซึ่งมั่นใจว่าจะไม่ส่งผลต่อความถูกต้องของการวิเคราะห์ตัวอย่าง อย่างไรก็ตาม เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีจะมีการปล่อยความร้อนออกสู่บรรยากาศภายในห้องปรับอากาศทุกครั้งหลังจากเสร็จสิ้นการวิเคราะห์ในแต่ละครั้ง ซึ่งเป็นภาระต่อเครื่องปรับอากาศ งานวิจัยจึงมุ่งที่จะศึกษาหามาตรการประหยัดพลังงานในระบบปรับอากาศที่ติดตั้งเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี และตู้แช่เย็นที่ใช้เก็บตัวอย่าง โดยการตรวจวัดประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศและการใช้พลังงานไฟฟ้าและการระบายความร้อนของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี และตู้แช่เย็นภายในห้องปฏิบัติ ข้อมูลได้ถูกบันทึกแบบต่อเนื่องตลอดทั้งวันเพื่อหามาตรการประหยัดพลังงานในระบบปรับอากาศ จาก การวิเคราะห์พบมาตรการประหยัดพลังงานหลักๆ 3 มาตรการคือ 1) มาตรการล้างเครื่องปรับอากาศ 2) มาตรการปรับตั้งอุณหภูมิ set point ของเครื่องปรับอากาศ ให้สูงขึ้น และ 3) มาตรการลดพลังงานของตู้แช่แข็ง โดยสามารถลดพลังงานไฟฟ้าได้ 963.6 kWh, 1,660.0 kWh และ 49.9 kWh ต่อปี ตามลำดับ มาตรการที่ 1 มีระยะเวลาคืนทุน 0.83 ปี จึงมีความคุ้มค่าในการลงทุน ส่วนมาตรการที่ 2 และ 3 ไม่มีเงินลงทุนแต่สามารถลดค่าไฟฟ้า ได้ 6,640 บาท และ 200 บาทต่อปีตามลำดับ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สาขาวิชา	เทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน (สหสาขาวิชา)	ลายมือชื่อนิสิต .....
ปีการศึกษา	2565	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

6382028320 : MAJOR ENERGY TECHNOLOGY AND MANAGEMENT
KEYWORD: GAS CHROMATOGRAPHY, COOLING LOAD, AIR CONDITIONING SYSTEM

Supatus Intawang : Energy Conservation of Air Conditioning System in Gas Chromatography Laboratory:A Case Study. Advisor: Assoc. Prof. Withaya Yongchareon, Ph.D.

Gas chromatograph is a science instrument that a research institute use to analyse harmful chemicals found in samples of soil, water, and farmed plants. The laboratory where the instrument is installed was maintained at a temperature of 25±5 ℃ guaranteeing that it has no impact on the sample analysis's accuracy. However, it generates heat that is released into the environment in the laboratory room which becomes the cooling load of the air conditioner. Therefore, this research aimed to investigate the energy saving measures of the air conditioning system in gas chromatography laboratory. By measured the efficiency of the air conditioners and both the electric energy and heat dissipation of the gas chromatography and the freezer for samples storage. Data were recorded continuously for all day. For data analysis, it found that there were three major energy saving measures: 1) Cleaning the air conditioners 2) Increasing the temperature set point of the air conditioners and 3) Reducing the electric energy of freezer. These could save the electric energy of 963.6 kWh, 1,660.0 kWh and 49.9 kWh per year, respectively. The payback period for energy saving measures 1. was 0.83 year. Thus, it was worth for investment. The energy saving measures 2 and 3. could saved the electric cost of 6,640 baht and 200 baht per year respectively without investment cost.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Field of Study:	Energy Technology and Management	Student's Signature .....
Academic Year:	2022	Advisor's Signature .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาและให้คำปรึกษาเป็นอย่างดียิ่งจากรองศาสตราจารย์ ดร. วิทยา ยงเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้แนะแนวการทำวิจัยเป็นอย่างดีและช่วยชี้แนะแนวทางแก้ไขปัญหาและอุปสรรคต่าง ๆ ด้วยความเอาใจใส่อย่างดียิ่ง ตลอดจนให้ความอนุเคราะห์ตรวจสอบ ปรับปรุงงานวิจัยฉบับนี้จนสมบูรณ์ได้ด้วยดี ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ พี่ ๆ จากหน่วยวิจัยผลกระทบ กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตรทุกท่าน ที่ช่วยอำนายด้านสถานที่ และให้คำปรึกษาถึงปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการทำวิจัยเสมอมา

สุดท้ายขอขอบคุณพระคุณมารดา ซึ่งเปิดโอกาสให้ได้รับการศึกษาเล่าเรียน ตลอดจนคอยช่วยเหลือและให้กำลังใจมาโดยตลอด

ศุภธัช อินทะวัง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ค

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ง

กิตติกรรมประกาศ ..... จ

สารบัญ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญรูปภาพ ..... ฏ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ 1

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 2

1.3 ขอบเขตการวิจัย 2

1.4 ขั้นตอนการวิจัยและการดำเนินงาน 2

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4

2.1 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี 4

2.1.1 เทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatography, GC) 4

2.1.2 ส่วนประกอบของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี 5

2.1.3 การจัดเตรียมห้องปฏิบัติการตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี 6

2.2 ระบบปรับอากาศ 7

2.2.1 ประเภทของเครื่องปรับอากาศ 7

2.2.2 เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน 7

2.2.3 นิยามประสิทธิภาพหรือสมรรถนะ 8

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.2.4 แผนภาพไซโครเมตริก (Psychometric chart) 10
2.2.5 มาตรฐานระบบปรับอากาศ 12
2.3 มาตรการอนุรักษ์พลังงานในระบบปรับอากาศ 13
2.3.1 การตรวจประเมินเบื้องต้น 13
2.3.2 การล้างทำความสะอาด และบำรุงรักษาเครื่องปรับอากาศ 15
2.3.3 การตรวจวิเคราะห์ด้านประสิทธิภาพพลังงาน 16
2.4 ตู้แช่แข็งในห้องปฏิบัติการ 16
2.4.1 การถ่ายโอนความร้อนของตู้แช่แข็ง 16
2.4.2 สารทำความเย็น (Refrigerant) 17
2.4.3 การประหยัดพลังงานสำหรับตู้แช่แข็ง 18
2.5 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางการเงิน 18
2.5.1 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) 18
2.5.2 อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return: IRR) 19
2.5.3 งวดเวลาคืนทุน (Payback Period: PB) 20
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 20
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัยและเครื่องมือที่ใช้ 24
3.1 ศึกษาข้อมูลการใช้พลังงานเบื้องต้นในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ของกองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร 24
3.1.1 ข้อมูลการใช้งานห้องปฏิบัติการ 25
3.1.2 ข้อมูลการใช้เครื่องปรับอากาศภายในห้องปฏิบัติการ 25
3.1.3 ข้อมูลการใช้เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี 26
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัด 27
3.3 ตรวจวัดขีดความสามารถทำความเย็นและประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ 30
3.4 ตรวจวัดภาระทำความเย็นรวมถึงการคายความร้อนของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี 31

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.5 เก็บข้อมูลเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่นๆ ที่ส่งผลต่อภาระทำความเย็น 32
3.5.1 ชุดอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ 32
3.5.2 ตู้แช่แข็ง (Freezer) 32
3.5.3 หลอดไฟ 33
3.6 จัดทำมาตรการประหยัดพลังงานในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ 34
3.6.1 มาตรการประหยัดพลังงานสำหรับเครื่องปรับอากาศ 34
3.6.2 มาตรการประหยัดพลังงานสำหรับตู้แช่แข็ง 34
3.6.3 มาตรการประหยัดพลังงานสำหรับเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี 34
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล 35
4.1 ข้อมูลการใช้พลังงานเบื้องต้นในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ 35
4.2 ตรวจวัดขีดความสามารถทำความเย็น (COP) และประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ (EER) 38
4.3 ตรวจวัดภาระทำความเย็นรวมถึงการคายความร้อนของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี 39
4.4 ภาระทำความเย็นจากเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่น ๆ 43
4.4.1 ชุดอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ 43
4.4.2 ตู้แช่แข็ง (Freezer) 43
4.5 มาตรการประหยัดพลังงานในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ 49
4.5.1 เครื่องปรับอากาศ 49
4.5.2 ตู้แช่แข็ง 54
4.5.3 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี 57
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 59
บรรณานุกรม 61
ภาคผนวก 63
ภาคผนวก ก ตารางการคำนวณการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ 63

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ข รูปการจัดทำมาตรประหยัดพลังงาน และการรวบรวมข้อมูล..... 81

ประวัติผู้เขียน..... 84

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 ค่าสมรรถนะขั้นต่ำ (COP) และค่าประสิทธิภาพการให้ความเย็น (EER) ของเครื่องปรับอากาศขนาดเล็ก 12

ตารางที่ 2 อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานขั้นต่ำ (COP) 12

ตารางที่ 3 ค่ามาตรฐานเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน สำหรับเครื่องขนาดไม่เกิน 8,000 W (27,296 BTU/hr) 13

ตารางที่ 4 ค่ามาตรฐานเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน สำหรับเครื่องขนาดมากกว่า 8,000 W (27,296 BTU/hr) 13

ตารางที่ 5 ขนาดของเครื่องปรับอากาศที่เหมาะสมกับพื้นที่ของห้อง 14

ตารางที่ 6 ค่าการกระจายความร้อนของ Agilent 6890 series gas chromatographs 31

ตารางที่ 7 ผลการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ เมื่อตั้ง Set Point 25 °C 37

ตารางที่ 8 ค่า Energy Efficiency Ratio และ Coefficient of Performance ของเครื่องปรับอากาศ 38

ตารางที่ 9 การตั้งค่าการรันตัวอย่างทดสอบผ่านตัวตรวจวัดชนิดเฟลมโฟโตเมตริก 39

ตารางที่ 10 ความสอดคล้องของการทำงานและค่าการใช้พลังงานของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี 39

ตารางที่ 11 ค่าการใช้พลังงานของ Freezer ก่อนการละลายน้ำแข็ง 43

ตารางที่ 12 ผลการสังเกตการณ์ทำงานของตู้แช่แข็ง วัดตามระยะเวลาที่เปิดใช้งานโดยเฉลี่ย 47

ตารางที่ 13 ผลการเปรียบเทียบการปรับค่า Set point 25 °C และ 27 °C ของเครื่องปรับอากาศ 51

ตารางที่ 14 ผลการเปรียบเทียบการใช้พลังงานจากมาตรการปรับ Set point ของเครื่องปรับอากาศ 52

ตารางที่ 15 เปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานของ Freezer ก่อน-หลังการละลายน้ำแข็ง 55

ตารางที่ 16 ผลการคำนวณค่า Energy Efficiency Ratio และ Coefficient of Performance ของเครื่องปรับอากาศ 63

ตารางที่ 17 ผลการใช้พลังงานหลังทำมาตรการล้างครื่องปรับอากาศ เครื่องที่ 1 (38,352 BTU/hr) 64

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 18 ผลการใช้พลังงานหลังทำมาตรการล้างครื่องปรับอากาศ เครื่องที่ 2 (25,425 BTU/hr)74
ตารางที่ 19 ผลการใช้พลังงานหลังทำมาตรการล้างครื่องปรับอากาศ เครื่องที่ 3 (13,128 BTU/hr)76
ตารางที่ 20 ค่าการใช้พลังงานของ Freezer หลังการละลายน้ำแข็งหลังการละลายน้ำแข็ง..... 78

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 1 ส่วนประกอบและการทำงานของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี 4

รูปที่ 2 รายการตรวจสอบความพร้อมของห้องปฏิบัติการตรวจวิเคราะห์ด้วย 6

รูปที่ 3 วงจรสารทำความเย็นแบบอัดไอ (Vapor Compression System) 8

รูปที่ 4 แผนภาพไซโครเมตริก (Psychometric chart) 11

รูปที่ 5 การเดินทางของสารทำความเย็นภายในตู้แช่แข็ง 17

รูปที่ 6 แผนผังเครื่องมือหรืออุปกรณ์ต่าง ๆ ภายในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ 24

รูปที่ 7 ภาพถ่ายห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ด้านหน้า-ด้านหลัง 25

รูปที่ 8 เครื่องตรวจวัดกำลังไฟฟ้า 27

รูปที่ 9 เครื่องวัดความเร็วลม 28

รูปที่ 10 Data Logger วัดค่าทางไฟฟ้า 29

รูปที่ 11 Data Logger วัดอุณหภูมิและความชื้น 29

รูปที่ 12 ตลับเมตร 30

รูปที่ 13 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีโมเดล Agilent 6890 series 31

รูปที่ 14 Exhaust deflector 32

รูปที่ 15 รายละเอียดของตู้แช่แข็ง โมเดล Thermo Scientific PLF276 33

รูปที่ 16 กำลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศเครื่องที่ 1, Set Point 25 °C 36

รูปที่ 17 กำลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศเครื่องที่ 2, Set Point 25 °C 36

รูปที่ 18 กำลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศเครื่องที่ 3, Set Point 25 °C 37

รูปที่ 19 กราฟการใช้พลังงานของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีขณะวิเคราะห์ตัวอย่าง 42

รูปที่ 20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิภายในตู้แช่แข็งและการทำงานของคอมเพรสเซอร์ภายใน 1 ชั่วโมง 46

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 21 แผนภูมิสัดส่วนค่าภาระทำความเย็นสูงสุดที่เกิดจากเครื่องมือหรืออุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการ 48
รูปที่ 22 การล้างเครื่องปรับอากาศ..... 49
รูปที่ 23 การละลายน้ำแข็งภายในตู้แช่แข็ง 54
รูปที่ 24 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิภายในตู้แช่แข็งและการทำงานของคอมเพรสเซอร์ภายใน 1 ชั่วโมง หลังละลายน้ำแข็ง 55
รูปที่ 25 แผนภาพมาตรการจัดตารางการรันของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี..... 57
รูปที่ 26 การติดตั้ง Data logger สำหรับเก็บข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ 81
รูปที่ 27 การติดตั้ง Data logger สำหรับเก็บข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นของเครื่องปรับอากาศ..... 81
รูปที่ 28 การตรวจสอบการรั่วซึมของน้ำยาแอร์ภายหลังจากล้างเครื่องปรับอากาศ 82
รูปที่ 29 หน้าต่างเว็บไซต์การแสดงผลของ Data logger ที่ถูกบันทึกผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต..... 82
รูปที่ 30 โปรแกรมการตั้งค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของ Oven ของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี..... 82
รูปที่ 31 ตำแหน่งของคอมเพรสเซอร์ที่ไม่ดี ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาในระบบปรับอากาศ..... 83

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร เป็นหน่วยงานประจำกรมวิชาการเกษตรที่ประกอบด้วยห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์หลายห้อง ซึ่งมาตรฐานของห้องปฏิบัติการจะผ่านการรับรองจาก ISO/IEC 17025 ที่เป็นมาตรฐานสากลก เพื่อประเมินความสามารถของห้องปฏิบัติการทดสอบที่ครอบคลุมถึงเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์และปัจจัยด้านต่างๆ ของห้องปฏิบัติการ ซึ่งหนึ่งในห้องปฏิบัติการที่ได้รับการควบคุมตามมาตรฐานดังกล่าว นั่นคือห้องปฏิบัติการตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี

เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี เป็นเครื่องมือวิทยาศาสตร์ที่หน่วยวิจัยใช้ในการตรวจวิเคราะห์สารพิษในตัวอย่างดิน น้ำและพืชในพื้นที่การเกษตร ซึ่งห้องปฏิบัติการที่ติดตั้งจะต้องมีการควบคุมสภาพแวดล้อมของห้องให้ได้ตามมาตรฐานการใช้งาน ซึ่งค้นพบว่าสิ่งที่มีผลกระทบต่อการใช้พลังงานส่วนใหญ่ภายในห้องปฏิบัติการคืออุณหภูมิ เนื่องจากการทำงานของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีจำเป็นต้องควบคุมให้อุณหภูมิห้องให้อยู่ในช่วง 25±5 องศาเซลเซียสตามมาตรฐานที่กองวิจัยได้ทำการประเมินไว้ซึ่งมั่นใจว่าจะไม่ส่งผลต่อความถูกต้องของการวิเคราะห์ตัวอย่าง และการวนวิเคราะห์เมื่อจบแต่ละรอบของเครื่องมือจะมีการกระจายความร้อนออกไปไปสู่บรรยากาศภายในห้องปฏิบัติการก่อนการวิเคราะห์ในรอบถัดไป อุณหภูมิที่สูงขึ้นนี้เองที่ส่งผลต่อภาระปรับอากาศของเครื่องปรับอากาศและถ้าหากระบบปรับอากาศไม่สามารถทำความเย็นให้อยู่ในช่วงที่กำหนดได้จะส่งผลให้ค่าปริมาณสารพิษที่วิเคราะห์ได้มีความคลาดเคลื่อนไป จึงมีความจำเป็นต้องใช้เครื่องปรับอากาศที่มีขนาดใหญ่ ซึ่งถูกติดตั้งภายในห้องเพื่อทำให้อุณหภูมิอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานดังกล่าว นอกจากนี้การทำงานของเครื่องจะต้องใช้ระยะเวลาหลายชั่วโมงติดต่อกันในการตรวจวิเคราะห์ตัวอย่างแต่ละครั้ง ซึ่งจะต้องควบคุมอุณหภูมิดังกล่าวให้อยู่ในช่วงที่กำหนดตลอดระยะเวลาที่เครื่องทำงานอยู่ ในงานวิจัยนี้จึงมุ่งที่จะศึกษาหามาตรการประหยัดพลังงานในระบบปรับอากาศของห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่ติดตั้งเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีโดยวิธีการเก็บข้อมูลผ่านเครื่องมือวัดและบันทึกข้อมูลทั้งค่าพลังงานไฟฟ้าและอุณหภูมิที่มีความละเอียด เพื่อจะช่วยลดปัญหาการใช้พลังงานที่เกิดขึ้นและส่งผลต่อภาระปรับอากาศทั้งที่มาจากเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีและอุปกรณ์อื่นๆ ภายในห้องปฏิบัติการ และสามารถที่จะคงไว้ซึ่งมาตรฐานของการปฏิบัติงานทางวิทยาศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

งานวิจัยนี้ เลือกใช้ห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ จากกองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร เป็นกรณีศึกษา เนื่องจาก

1. กิจกรรมและการใช้งานภายในห้องปฏิบัติการไม่ค่อยมีการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากมีการใช้งานตามเวลาราชการ

2. พื้นที่ของห้องปฏิบัติการและเครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่ติดตั้งภายในห้องมีความเหมาะสมที่จะทำการศึกษา

3. มีความเป็นไปได้ที่หน่วยงานจะนำผลการศึกษาในครั้งนี้ไปประยุกต์ใช้ปรับปรุงห้องปฏิบัติการในอนาคต เพื่อที่จะได้ข้อมูลที่ได้มาศึกษาปรับปรุง และสามารถใช้เป็นข้อมูลในการปรับปรุงห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์อื่นๆ พำด

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาการจัดการพลังงานในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่ติดตั้งเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี

2. เพื่อหามาตรการอนุรักษ์พลังงานในห้องปฏิบัติการ ที่คงไว้ซึ่งมาตรฐานความเหมาะสมของห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่ติดตั้งเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี

3. เพื่อวิเคราะห์ผลตอบแทนทางการเงินตามมาตรการสำหรับการประหยัดพลังงานในระบบปรับอากาศ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1. ศึกษาข้อมูลการใช้พลังงานและการจัดการพลังงานในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่ติดตั้งเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีของกองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร

2. ศึกษาภาระทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ และการระบายความร้อนของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีและเครื่องมือต่าง ๆ ในห้องปฏิบัติการ

1.4 ขั้นตอนการวิจัยและการดำเนินงาน

1. ศึกษาข้อมูลการใช้พลังงานเบื้องต้นในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ของกองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร

2. ตรวจวัดขีดความสามารถทำความเย็นและประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ

3. ตรวจวัดภาระทำความเย็นรวมถึงการคายความร้อนของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี
4. เก็บข้อมูลเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่นๆ ที่ส่งผลต่อภาระทำความเย็น
5. จัดทำมาตรการประหยัดพลังงานในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์
6. หาแนวทางการจัดการพลังงานจากการประเมินผลการประหยัดพลังงานและความคุ้มค่าในการลงทุนจากมาตรการที่กำหนด
7. สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ
8. จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบแนวทางการจัดการพลังงานที่มีประสิทธิภาพในระบบปรับอากาศของห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ของกองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร

2. ได้มาตรการอนุรักษ์พลังงานในระบบปรับอากาศของห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่ติดตั้งเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี

3. สามารถรักษาอุณหภูมิในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ให้ได้ตามมาตรฐานเพื่อให้ผลการทดสอบมีคุณภาพ

4. สามารถนำผลการศึกษา ไปต่อยอดและประยุกต์ใช้ปรับปรุงห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่มีลักษณะใกล้เคียงกันได้

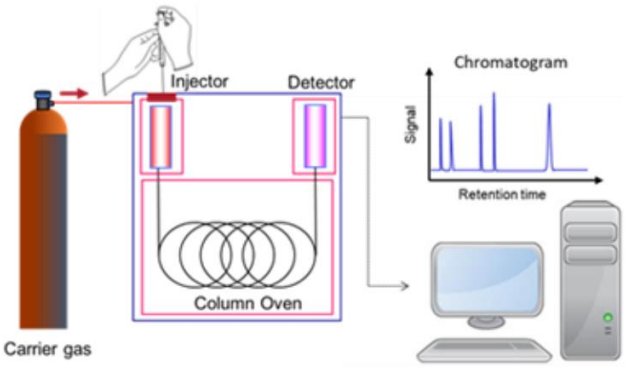
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี

2.1.1 เทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatography, GC)

เป็นเทคนิคที่ใช้แยกสารผสมในสถานะแก๊สออกจากกัน โดยอาศัยคุณสมบัติความสามารถในการละลายและการดูดซับที่แตกต่างกันของสารแต่ละชนิดบนเฟสเคลื่อนที่ (Mobile phase) และเฟสอยู่กับที่ (Stationary phase) เมื่อสารผสมถูกฉีดเข้าเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีที่บริเวณส่วนฉีดสาร (Injector) ซึ่งเป็นบริเวณที่ให้ความร้อนสูงทำให้สารผสมเกิดการระเหยแล้วเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นแก๊ส และถูกแก๊สตัวพา (Carrier Gas) ซึ่งทำหน้าที่เป็นเฟสเคลื่อนที่ (Mobile Phase) ซึ่งเป็นแก๊สเฉื่อยไม่ทำปฏิกิริยากับตัวอย่าง พาไอระเหยของสารผสมเข้าสู่คอลัมน์ที่ทำหน้าที่เป็นเฟสคงที่ (Stationary Phase) และมีจะมีการควบคุมความร้อนของคอลัมน์ทำให้เกิดกระบวนการแยกสารผสมออกจากกัน โดยอาศัยคุณสมบัติในการละลายและการดูดซับในเฟสทั้งสองชนิด ทำให้แต่ละเฟสออกจากคอลัมน์ในเวลาที่ต่างกัน หลังจากนั้นสารผสมที่ถูกแยกภายในคอลัมน์จะเคลื่อนที่เข้าสู่ตัวตรวจวัด (Detector) และผลที่ได้จะถูกแสดงในรูปแบบของโครมาโทแกรม (Chromatogram)



รูปที่ 1 ส่วนประกอบและการทำงานของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี
ที่มา: (SciSpec, 2564)

2.1.2 ส่วนประกอบของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี

1) แก๊สพา (Carrier gases) ทำหน้าที่นำสารตัวอย่างหลังจากการระเหยอยู่ในสถานะแก๊สผ่านเข้าสู่คอลัมน์ และไปยัง Detector ซึ่งแก๊สที่ถูกนำมาใช้จะเป็นแก๊สเฉื่อยที่ไม่ทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของสารตัวอย่าง เช่น แก๊สฮีเลียม ไฮโดรเจน และไนโตรเจน เป็นต้น

2) ส่วนฉีดสาร (Injector) เป็นส่วนที่ใช้ในการฉีดสารตัวอย่างเข้าคอลัมน์ ซึ่งตรงส่วนที่ฉีดสารตัวอย่างเข้าไป (inlet) มักมีตัวให้ความร้อน (heater) ติดตั้งอยู่ เพื่อทำให้สารที่ต้องการตรวจวิเคราะห์เปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอ

3) คอลัมน์ (Column) เป็นส่วนที่ใช้แยกสารตัวอย่างที่ต้องการตรวจวิเคราะห์ เนื่องจากตัวอย่างถูกส่งต่อมาในสถานะแก๊สดังนั้นคอลัมน์จึงต้องอยู่ในตู้อบ (Oven) ที่สามารถควบคุมความร้อนได้ เพื่อป้องกันการควบแน่นของสารตัวอย่าง การเลือกใช้คอลัมน์และการควบคุมอุณหภูมิอย่างเหมาะสมจะทำให้สารตัวอย่างถูกแยกออกมาได้ดี

4) ตัวตรวจวัด (Detector) ทำหน้าที่ตรวจวิเคราะห์ตัวอย่างที่ถูกแยกออกมาจากคอลัมน์แล้วส่งสัญญาณไฟฟ้าไปยังระบบประมวลผล (Data system) ซึ่งสามารถคำนวณและรายงานผลออกมาเป็นโครมาโทรแกรม ให้ทราบถึงองค์ประกอบภายใน ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้ทั้งเชิงปริมาณและคุณภาพ

ซึ่งชนิดตัวตรวจวัดที่นิยมใช้กันอย่างกว่างขวาง ได้แก่

- Flame Photometric Detector (FID) ใช้ในการตรวจหาสารประกอบอินทรีย์ (สารประกอบที่มี C-C, C-H bonds)
- Electron Capture Detector (ECD) เป็นอุปกรณ์ตรวจวัดในการตรวจหาสารประกอบที่มีแฮโลเจนอะตอมเป็นองค์ประกอบ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5) ระบบประมวลผล (Data system) เป็นส่วนที่ทำการประมวลผลข้อมูลต่าง ๆ ด้วยระบบคอมพิวเตอร์ ซึ่งจะคำนวณและรายงานผลตามลำดับเวลาที่สารแต่ละชนิดใช้ผ่านคอลัมน์จากจุดเริ่มต้นถึงจุดสูงสุดของของพีคที่ได้จากโครมาโทแกรม และสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์เชิงคุณภาพเพื่อระบุว่าชนิดของสารเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน นอกจากนี้ลักษณะและขนาดของพีคที่ได้จากโครมาโทรแกรมยังเป็นข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์เชิงปริมาณได้อีกด้วย

2.1.3 การจัดเตรียมห้องปฏิบัติการตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี

System	Feature or Variable	Comments
HVAC	Temperature	Maximum range: 5–40 °C; optimum: 23±3 °C; avoid direct sun or strong drafts
	Humidity	Range: 20–80% relative humidity; non-condensing
	Ventilation	Ventilate toxic effluent from detectors and inlets as required or install in ventilated hood
	Air conditioning	Additional 3000 Btu capacity per installed or anticipated gas chromatograph and an extra 1000 Btu for major accessories
Electrical	Power consumption (consult individual gas chromatograph specifications for exact values)	Typical values range from 2000–3000 V-A
	Voltage and current (some instruments may vary — check manufacturer's documentation)	120 V ac: 20 A; 200–230 V ac: 15 A; 40 V ac: 10 A (15 A for fast-heating ovens)
	Frequency	50–60 Hz ±2 Hz
	Plugs, sockets and wiring	Must match each other and instrument power rating; must adhere to local electrical codes
Benchtop	Weight capacity	Minimum: 250 lb/6 linear ft; recommended: 400 lb/6 linear ft
	Space allotment	5–6 linear ft per instrument and computer plus additional space for accessories; at least 10 in. rear clearance for oven venting

รูปที่ 2 *รายการตรวจสอบความพร้อมของห้องปฏิบัติการตรวจวิเคราะห์ด้วย*
เทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี
ที่มา: (John V. Hinshaw, 2546)

จากรูปที่ 2 รายการที่สำคัญ คือ ระบบ HVAC ที่ย่อมาจาก Heating, Ventilation, and Air-conditioning ซึ่งเป็นระบบการทำความร้อน การระบายอากาศ และการทำความเย็น โดยภายในห้องปฏิบัติการจะมีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศที่มีขนาดใหญ่กว่าห้องภายในบ้านทั่วไปเมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่ใช้สอย และติดตั้งระบบระบายอากาศเพื่อกำจัดสารระเหยที่อาจเป็นอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานให้ออกไป และในส่วนของปริมาณการใช้พลังงานสามารถนำไปใช้เลือกอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีความเหมาะสม และคัดเลือกเครื่องมือเพื่อนำมาใช้ในการตรวจวัด

เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีโดยทั่วไปจะใช้กำลังไฟฟ้าสูงสุดอยู่ที่ 2,000-3,000 วัตต์ และสุดท้ายในรอบของการใช้งาน เครื่องจะมีการปล่อยความร้อนในเตาอบกระจายออกสู่บรรยากาศก่อนการรันเครื่องรอบถัดไป หากมีการใช้งานเครื่องอยู่คิดเป็น 40% ของพลังงานทั้งหมด แต่ละรอบจะมีการปล่อย 0.40 x 2000 W x 1 h = 800 W-h หรือคิดเป็น 2,730 Btu ซึ่งเป็นความร้อนที่ปล่อยออกสู่บรรยากาศ และอุปกรณ์อื่นๆ ได้แก่ คอมพิวเตอร์ จอมอนิเตอร์ และเครื่องปรินท์เอกสารก็สามารถปล่อยความร้อนเพิ่มเติมอีก 250 BTU/hr ได้เช่นเดียวกัน ดังนั้นปริมาณความร้อนที่ปล่อยออกมาจากชุดเครื่องมือสำหรับวิเคราะห์ด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟีจะอยู่ประมาณ 3,000 Btu

2.2 ระบบปรับอากาศ

ระบบปรับอากาศ คือ กระบวนการรักษาอุณหภูมิ ความชื้น และการไหลเวียนของอากาศ ให้เหมาะสม ทำให้เกิดความรู้สึกสบายต่อผู้อยู่อาศัย

ระบบปรับอากาศเป็นการประยุกต์การใช้งานของระบบทำความเย็น ซึ่งส่วนใหญ่เราใช้ระบบปรับอากาศเพื่อความสบายโดยเฉพาะในส่วนสำนักงาน เพราะประเทศไทยอยู่ในเขตร้อนชื้น สำหรับการปฏิบัติงานบางประเภทมีการใช้ระบบปรับอากาศในกระบวนการทำงานเพื่อรักษาอุณหภูมิและความชื้นให้เหมาะสม รวมทั้งการใช้เพื่อระบายความร้อนให้กับอุปกรณ์หรือเครื่องจักรในกระบวนการดังกล่าว

2.2.1 ประเภทของเครื่องปรับอากาศ

ปัจจุบันเครื่องปรับอากาศที่ใช้กันทั่วไปนั้น สามารถจำแนกระบบปรับอากาศออกเป็น 2 แบบ คือ เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type Air-Conditioning System) และครื่องปรับอากาศแบบระบบปรับอากาศส่วนกลาง (Central Air-Conditionings System) มีรายละเอียดดังนี้

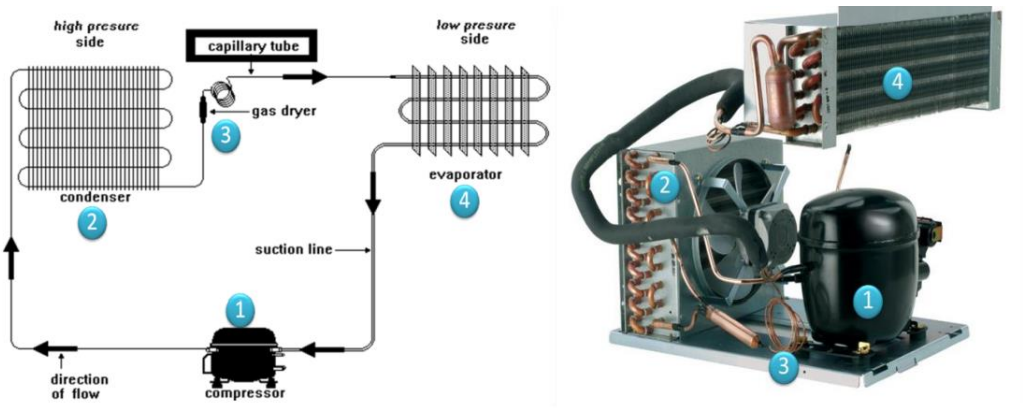
1) เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน เครื่องปรับอากาศแบบนี้สามารถแยกออกได้เป็น 2 ส่วน ส่วนแรกคือส่วนที่อยู่ภายในห้องเรียกว่าแฟนคอยล์ยูนิต (Fan Coil Unit) ประกอบด้วย ตัวตู้พัดลม อีวาโปเรเตอร์ ลิ้นลดความดันและแผงกรองอากาศ ส่วนที่สองคือส่วนที่อยู่ภายนอกห้องเรียกว่าคอนเดนซิ่งยูนิต (Condensing Unit) ซึ่งประกอบไปด้วยคอมเพรสเซอร์ พัดลม คอนเดนเซอร์ แผงสวิตซ์และอุปกรณ์ควบคุมการทำงาน

2) เครื่องปรับอากาศแบบระบบปรับอากาศส่วนกลาง หมายถึง การจัดกล่มเครื่องปรับอากาศหนึ่งเครื่องหรือมากกว่านั้น ที่ทำหน้าที่จ่ายน้ำเย็นให้กับเครื่องส่งลมเย็นขนาดเล็กและเครื่องส่งลมเย็นขนาดใหญ่ที่ติดตั้งอยู่ ณ จุดต่าง ๆ ของอาคารหรือกลุ่มของอาคารโดยเครื่องทำน้ำเย็นไม่จำเป็นต้องวางอยู่ตำแหน่งศูนย์กลาง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.2.2 เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน

การทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนจะถูกแบ่งออกเป็นองค์ประกอบสองชุดที่ทำงานร่วมกัน ได้แก่ ชุดคอนเดนซิง (Condensing Unit) และชุดแฟนคอยล์ (Fan Coil Unit) ที่ใช้ในการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นของอากาศที่ไหลเวียนผ่าน



รูปที่ 3 *วงจรสารทำความเย็นแบบอัดไอ (Vapor Compression System)*
ที่มา: (Energy Auditor Thai, 2560)

หลักการทำงานของวงจรสารทำความเย็นแบบอัดไอ คือ เป็นการระเหยและการควบแน่น โดยการเปลี่ยนแปลงความดันในแต่ละสภาวะตามต้องการ ดังนี้

1) คอมเพรสเซอร์ (Compressor) ทำหน้าที่ อัดไอสารทำความเย็นให้มีความดันสูง ทำให้สารทำความเย็นสามารถไหลเวียนได้ครบวงจรของระบบอัด

2) คอยล์ร้อน (Condenser) ทำหน้าที่ ระบายความร้อน ออกจากสารทำความเย็นและทำให้เกิดการควบแน่นของสารทำความเย็น

3) เอกซ์เพนชั่นวาล์ว (Expansion Valve) หรือ แคปทิวบ์ (Capillary Tube) ทำหน้าที่ ลดความดันของสารทำความเย็นหลังจากผ่านคอยล์ร้อน ซึ่งทำให้สารทำความเย็นเปลี่ยนสถานะจากของเหลวความดันสูงเป็นของเหลวผสมไอที่มีความดันต่ำ

4) คอยล์เย็น (Evaporator) ทำหน้าที่ รับความร้อนจากพื้นที่ปรับอากาศ เพื่อใช้ในการเปลี่ยนสถานะสารทำความเย็นจากของเหลวเป็นไออย่างสมบูรณ์ (ไออิ่มตัว) และจะถูกอัดอีกครั้งด้วยคอมเพรสเซอร์

2.2.3 นิยามประสิทธิภาพหรือสมรรถนะ

1) ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP (Coefficient of Performance) เป็นค่าอัตราส่วนระหว่างความสามารถในการทำความเย็น (Watt) และกำลังไฟฟ้าที่ของเครื่องปรับอากาศที่ใช้ในการทำความเย็น (Watt) โดยค่า COP มีหน่วยเป็น W/W

$$\mathrm{COP} = \frac{QL}{\mathrm{W}}$$

โดย Q_L คือ อัตราการทำความเย็น (kW)

W คือ ความต้องการกำลังไฟฟ้า (kW)

2) ค่าประสิทธิภาพพลังงาน EER (Energy Efficiency Ratio) เป็นค่าอัตราส่วนระหว่าง ขีดความสามารถในการทำความเย็น (BTU/hr) รวมสุทธิ และกำลังไฟฟ้าที่ใช้สำหรับเครื่องปรับอากาศในการทำความเย็น (Watt) โดยค่า EER มีหน่วยเป็น Btu/hr/Watt

$$\mathrm{EER} = \frac{Q}{\mathrm{W}}$$

โดย Q คือ ขีดความสามารถทำความเย็น มีหน่วยเป็น W หรือ Btu/hr

W คือ กำลังไฟฟ้าที่ใช้สำหรับเครื่องปรับอากาศมีหน่วยเป็น W

3) ค่ากำลังไฟฟ้าต่อตันความเย็น (CHP) เป็นค่าอัตราส่วนระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ใช้สำหรับเครื่องปรับอากาศในการทำความเย็น (kW) และความสามารถในการทำความเย็น (TR หรือตันความเย็น) โดยค่า CHP มีหน่วยเป็น kW/TR

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

$$\mathrm{CHP} = \frac{kW}{\mathrm{TON}}$$

โดย kW คือ พิกัดกำลังไฟฟ้าที่ภาระเต็มพิกัด

TON คือ ขีดความสามารถทำความเย็นรวมที่ภาระเต็มพิกัด (TR)

$$\text{TON} = 5.707 \text{ x } 10^{-3} \text{ x CMM x } (\text{Hr} - \text{Hs})$$

โดย CMM คือ ปริมาณลมเย็นที่หมุนเวียนผ่านเครื่องปรับอากาศ หน่วยเป็น m^3 /min

Hr คือ เอนทาลปีของอากาศด้านลมกลับ หน่วยเป็น kJ/kg

Hs คือ เอนทาลปีของอากาศด้านลมจ่าย หน่วยเป็น kJ/kg

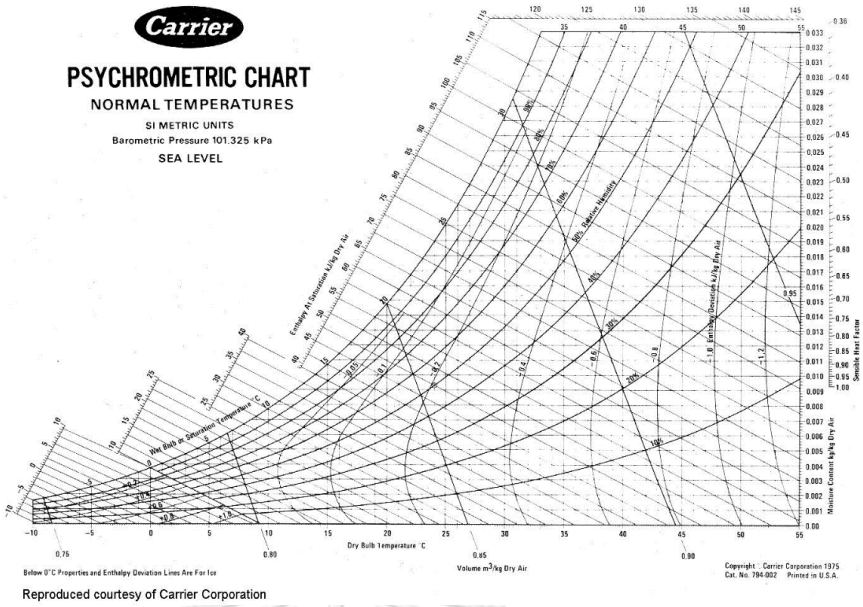
จะเห็นว่าค่านิยามของ EER, kW/TR และ COP เป็นส่วนกลับซึ่งกันและกัน โดยยิ่ง EER และ COP มากเท่าไรก็หมายความว่าเครื่องปรับอากาศมีสมรรถนะการทำงานที่ดี ในขณะที่ kW/TR ยิ่งมีค่าน้อยเท่าไร เครื่องปรับอากาศจะมีค่าสมรรถนะการทำงานที่ดีเท่านั้นด้วย โดยกำหนดความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$\frac{kW}{\text{TON}} = \frac{12}{\text{EER}} \quad \text{หรือ} \quad \text{COP} = \frac{EER}{3.412}$$

2.2.4 แผนภาพไซโครเมตริก (Psychometric chart)

Psychometric chart เป็นกราฟที่แสดงค่าความสัมพันธ์สมบัติของผสมระหว่างอากาศและไอน้ำ เพื่อทำการคำนวณค่าเกี่ยวกับอุณหภูมิและความชื้น ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในระบบปรับอากาศที่จะทำการปรับสภาวะให้เหมาะสมกับความสุขสบาย ดังนั้นการรู้จักความสัมพันธ์ของคุณสมบัติของอากาศในภาวะต่าง ๆ จะทำให้การวิเคราะห์ระบบปรับอากาศนั้นง่ายขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 4 แผนภาพ*ไซโครเมตริก (Psychometric chart)*

ที่มา: (Carrier Corporation, 2518)

Psychometric chart จะประกอบด้วยคุณสมบัติทางกายภาพของอากาศ 5 ลักษณะ

1) อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dry Bulb Temperature) แสดงบนแกนนอนของแผนภูมิ อุณหภูมิกระเปาะแห้งสามารถวัดและอ่านได้ด้วยเทอร์โมมิเตอร์ทั่วไป

2) อุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet-bulb Temperature) คือ อุณหภูมิอากาศอิ่มตัว โดยแสดงบนเส้นแนวทแยงของแผนภูมิ อุณหภูมิสามารถวัดได้จากเทอร์โมมิเตอร์แบบกระเปาะเปียก

3) อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dew Point) คืออุณหภูมิที่ทำให้ไอน้ำในอากาศเริ่มกลั่นตัว อ่านได้โดยการลากเส้นแนวนอนจากสภาวะนั้น ๆ ไปทางซ้ายของแผนภูมิจนตัดเส้นโค้งความชื้นสัมพัทธ์ 100%

4) ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity) คือ อัตราส่วนของไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศเทียบกับปริมาณไอน้ำที่อากาศสามารถรับได้ ณ อุณหภูมินั้นๆ

5) อัตราส่วนความชื้น (Humidity Ratio) คือ อัตราส่วนระหว่างมวลของไอน้ำในอากาศกับมวลของอากาศแห้ง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.2.5 มาตรฐานระบบปรับอากาศ

1) ประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่อง การกำหนดค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะขั้นต่ำ ค่าประสิทธิภาพการให้ความเย็นและค่าพลังงานไฟฟ้าต่อตันความเย็นของระบบปรับอากาศที่ติดตั้งใช้งานในอาคาร พ .ศ. 2552 ได้กำหนดค่าสมรรถนะไว้ ดังนี้

ตารางที่ 1 ค่าสมรรถนะขั้นต่ำ (COP) และค่าประสิทธิภาพการให้ความเย็น (EER) ของเครื่องปรับอากาศขนาดเล็ก

ขนาดของเครื่องปรับอากาศ (วัตต์)	ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP (วัตต์ต่อวัตต์)	ค่าประสิทธิภาพพลังงาน EER (บีทียูต่อชั่วโมงต่อวัตต์)
ไม่เกิน 12,000	3.22	11

2) มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก. 2134-2553)

ได้กำหนดประสิทธิภาพพลังงาน ไว้ดังนี้

1. อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานขั้นต่ำ ต้องไม่น้อยกว่าค่าที่กำหนดไว้

2. อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานไม่น้อยกว่า ร้อยละ 93 ของค่าที่ระบุ

3. ขีดความสามารถทำความเย็นรวมสุทธิของเครื่องไม่น้อยกว่า ร้อยละ 95 ของขีดความสามารถทำความเย็นรวมสุทธิของเครื่องที่ระบุ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

4. กำลังไฟฟ้าที่กำหนดไม่เกินร้อยละ 110 ของกำลังไฟฟ้าที่ระบุ

ตารางที่ 2 อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานขั้นต่ำ (COP)

แบบของเครื่องปรับอากาศสำหรับห้อง	อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน	
	ขีดความสามารถทำความเย็น ไม่เกิน 8,000 W	ขีดความสามารถทำความเย็น 8,001 W ถึง 12,000 W
แบบไม่แยกส่วน	2.82	2.53
แบบแยกส่วน	2.82	2.82

3) การไฟฟ้าฝ่ายผลิต (กฟผ.)

โครงการฉลากเบอร์ 5 ได้ปฏิบัติการตามเกณฑ์ดังกล่าว โดยได้มีการทดสอบและกำหนดค่าจากสถาบันไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (สฟอ.)

ตารางที่ 3 ค่ามาตรฐานเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน สำหรับเครื่องขนาดไม่เกิน 8,000 W (27,296 BTU/hr)

ระดับประสิทธิภาพ	อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (EER)
เบอร์ 5	มากกว่าหรือเท่ากับ 11.60
เบอร์ 4	มากกว่าหรือเท่ากับ 11.00 – น้อยกว่า 11.59
เบอร์ 3	มากกว่าหรือเท่ากับ 10.60 – น้อยกว่า 11.00

ตารางที่ 4 ค่ามาตรฐานเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน 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

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.3 มาตรการอนุรักษ์พลังงานในระบบปรับอากาศ

2.3.1 การตรวจประเมินเบื้องต้น

เป็นวิธีการตรวจประเมินความเหมาะสมในการติดตั้งใช้งาน และตัวแปรต่าง ๆ ซึ่งส่งผลต่อประสิทธิภาพ และการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนในเบื้องต้น

1) การเลือกขนาดของเครื่องปรับอากาศให้เหมาะสมกับพื้นที่

ในทางปฏิบัติโดยทั่วไปสามารถประเมินขนาดเครื่องปรับอากาศที่เหมาะสมได้ จากพื้นที่ของห้องที่ต้องการติดตั้งเครื่องปรับอากาศ

ตารางที่ 5 ขนาดของเครื่องปรับอากาศที่เหมาะสมกับพื้นที่ของห้อง

ขนาดของห้อง (ตารางเมตร)						
ขนาดเครื่อง (บีทียู)	ห้องนอน	ห้องนอนโดนแดด	ห้องรับแขก ห้องนั่งเล่น	ห้องรับแขก ห้องนั่งเล่นโดนแดด	ห้องทำงาน	ห้องทำงานโดนแดด
12,000	16-22	14-20	16-20	14-18	14-18	12-16
15,300	20-28	18-26	20-26	18-23	18-23	15-20
18,000	24-33	21-30	24-30	21-27	21-27	18-24
20,800	28-38	24-35	28-35	24-31	24-31	21-28
22,800	30-42	27-38	30-38	27-34	27-34	23-30
27,200	36-50	32-45	36-45	32-41	32-41	27-36
32,800	44-60	38-55	44-55	38-49	38-49	33-44
38,000	51-70	44-63	51-63	44-57	44-57	38-51
53,000	71-97	62-88	71-88	62-80	62-80	53-71
64,400	86-118	75-107	86-107	75-97	75-97	64-86

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หรือสามารถใช้สูตรคำนวณ

BTU = [กว้าง (เมตร) x ยาว (เมตร)] x ตัวแปร

ตัวแปรที่จะนำมาใช้ ได้แก่

- 750 สำหรับห้องนอนปกติ ที่ไม่โดดแดด

- 800 สำหรับห้องนอนปกติ ที่โดดแดด

- 850 สำหรับห้องทำงาน ที่ไม่โดดแดด

- 900 สำหรับห้องทำงาน ที่โดดแดด

- 950 - 1,100 สำหรับร้านอาหาร ร้านทำผม มินิมาร์ท ร้านค้า สำนักงาน ที่ไม่โดดแดด

- 1,000 - 1,200 สำหรับร้านอาหาร ร้านทำผม มินิมาร์ท ร้านค้า สำนักงาน ที่โดดแดด

- 1,100 - 1,500 ห้องประชุม ห้องสัมมนา ร้านอาหาร

ถ้าในกรณีห้องมีฝ้าเพดานสูง สามารถคำนวณโดยใช้สูตรปริมาตรของห้อง

BTU = [กว้าง(เมตร) x ยาว(เมตร) x สูง(เมตร)] x ตัวแปร] / 3

2) การวางตำแหน่งติดตั้งคอยล์ร้อนและคอยล์เย็น

- ตำแหน่งการติดตั้งคอยล์ร้อนควรอยู่ในบริเวณที่อากาศถ่ายเทได้สะดวก และมีอุณหภูมิต่ำ

- ต้องเว้นระยะห่างระหว่างคอล์ยร้อน และคอล์ยเย็นให้น้อยที่สุด

- หลีกเลี่ยงไม่ให้คอล์ยร้อนถูกแดดและฝน และไม่มีแหล่งความร้อนจากเครื่องจักร

- การติดตั้งคอยล์เย็นควรอยู่บริเวณที่กระจายอากาศเย็นได้ดี และให้อากาศหมุนเวียนเข้าช่องลมกลับได้สะดวก

3) ตรวจเช็คปริมาณสารทำความเย็นในระบบ

สารทำความเย็นหรือน้ำยาแอร์ ในระบบจะผ่านกระบวนการอัดสารทำความเย็นให้เป็นไอไหลเวียนภายในระบบเครื่องปรับอากาศและส่งความเย็นให้แก่ผู้อาศัย ที่นิยมใช้มีอยู่ 3 ประเภทหลักๆ ได้แก่ R22, R410A และ R32 ซึ่งจะระบุชนิดการใช้อยู่ที่ฉลากของเครื่องปรับอากาศ ควรมีการตรวจสอบบ่อยครั้ง เพื่อให้แน่ใจว่าจะไม่มีการรั่วไหลในระบบ

CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.3.2 การล้างทำความสะอาด และบำรุงรักษาเครื่องปรับอากาศ

มลภาวะทางอากาศ เช่น ฝุ่นละออง ควันพิษ และ PM 2.5 มีปริมาณเพิ่มขึ้นในช่วงหลายปีที่ผ่านมา เป็นสาเหตุทำให้เครื่องปรับอากาศเกิดความสกปรก สร้างสุขภาวะที่ไม่ดีต่อผู้อยู่อาศัย และยังทำให้เครื่องปรับอากาศมีประสิทธิภาพการทำงานลดลง มีผลต่ออายุการใช้งานและความสิ้นเปลืองพลังงานที่เพิ่มขึ้น ซึ่งการล้างและการบำรุงรักษา นอกจะช่วยให้เครื่องปรับอากาศมีประสิทธิภาพทำงานได้เต็มที่ ยังทำให้ลดการอุดตันของอุปกรณ์ภายใน ป้องกันเชื้อโรค และลดภาระค่าใช้จ่ายที่จะตามมาได้อีกด้วย

2.3.3 การตรวจวิเคราะห์ด้านประสิทธิภาพพลังงาน

ยกตัวอย่างเช่น การตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้น อัตราการไหลของอากาศ และค่ากำลังไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์ ซึ่งจะได้ค่าที่ถูกต้องแม่นยำ ต้องมีการเลือกเครื่องมือตรวจวัดที่เหมาะสม

2.4 ตู้แช่แข็งในห้องปฏิบัติการ

ตู้แช่แข็งในห้องปฏิบัติการ หรือ Laboratory Freezer เป็นตู้แช่แข็งอุณหภูมิติดลบ ที่สามารถทำทำความเย็นได้ต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส หลักการทำงานของระบบทำความเย็นในตู้แช่แข็งจะเหมือนกับตู้เย็นทั่วไป ซึ่งจะทำอุณหภูมิให้ต่ำลงได้ด้วยระบบทำความเย็นประสิทธิภาพสูงและมักสามารถการควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ตามการตั้งค่าของผู้ใช้งาน หากต้องการให้ภายในตู้แช่แข็งเกิดความเย็น จะต้องมีการถ่ายเทความร้อนออกไปเพื่อรักษาอุณหภูมิให้ต่ำลงตามที่ต้องการ ดังนั้นจึงต้องอาศัยสารเคมีบางชนิดที่มีคุณสมบัติในการช่วยนำพาความร้อนออกจากบริเวณนั้น หรือที่เรียกว่า สารทำความเย็น (Refrigerant) ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน

การเลือกตู้แช่แข็งให้เหมาะสมกับการใช้งาน ควรคำนึงถึง 3 ปัจจัยหลัก ได้แก่

1) ช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมกับการใช้งาน (Temperature Range)

2) ปริมาตรหรือขนาดที่ต้องการ (Volume)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3) พลังงานที่ใช้ (Energy Consumption) เนื่องจากตู้แช่แข็งจะทำอุณหภูมิต่ำ จึงทำให้เปลืองไฟฟ้าตามมา ทำให้มีค่าใช้จ่ายด้านพลังงานที่สูง

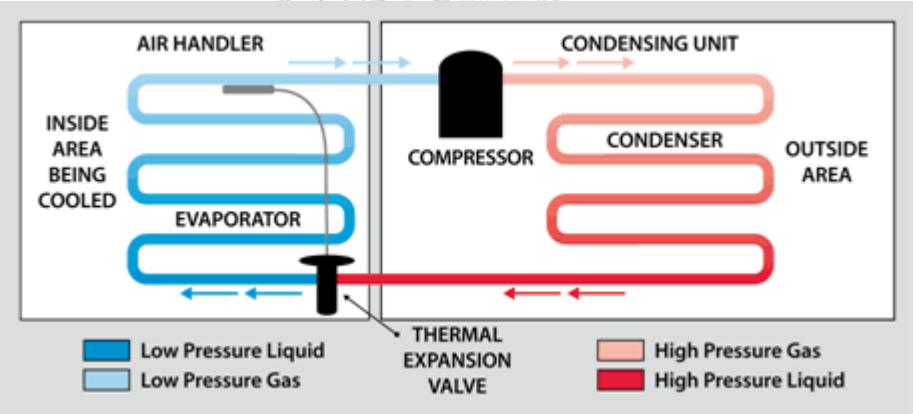
2.4.1 การถ่ายโอนความร้อนของตู้แช่แข็ง

การทำความเย็นเป็นการถ่ายเทความร้อนภายในตู้แช่ออกไปสู่บรรยากาศภายนอกตู้ โดยคอมเพรสเซอร์ (Compressor) ทำหน้าที่ ดูดก๊าซของสารทำความเย็น (Refrigerant) จากเครื่องระเหย (Evaporator) แล้วอัดก๊าซ ไปยังคอยล์ร้อนหรือเครื่องควบแน่น (Condenser) เมื่อมีการระบายความร้อนออกจากคอยล์ร้อนก๊าซจะควบแน่นกลายเป็นของเหลว จากนั้นส่งผ่านไปยังวาล์วลดความดันเพื่อลดความดันลง และส่งกลับไปที่เครื่องระเหย เพื่อดูดความร้อนในตู้แช่แข็งต่อไปอีกเป็นวัฏจักร

2.4.2 สารทำความเย็น (Refrigerant)

สารทำความเย็น เป็นสารเคมีตัวกลางในการทำให้เกิดความเย็นของตู้แช่แข็ง เนื่องจากสารนี้จะทำหน้าที่เดินทางไปยังทุกอุปกรณ์สำคัญที่ทำให้เกิดความเย็นของระบบทำความเย็น (Refrigeration System) หรืออุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น คอยล์เย็น วาล์วลดความดัน และ Condensing Unit ด้วยคุณสมบัติในตัวเองที่สามารถดูดซับและนำพาความร้อนด้วยการเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอ จากนั้นสามารถเปลี่ยนกลับมาเป็นของเหลวเพื่อเข้าสู่กระบวนการทำความเย็นอีกครั้งได้โดยไม่เสื่อมสถานะ

ด้วยสาเหตุที่สารทำความเย็นต้องทำงานอยู่ในระบบทำความเย็นตลอดเวลา สารนี้จึงต้องมีคุณสมบัติที่นอกจากมีเสถียรภาพในการทนความร้อนและเปลี่ยนสถานะได้ดีแล้ว ยังต้องไม่มีสารผสมที่กัดกร่อนหรือทำปฏิกิริยากับโลหะของระบบทำความเย็นเพื่อป้องกันการเสื่อมสภาพของอุปกรณ์ทำความเย็นอื่นๆ จนมีผลต่ออายุการใช้งาน



Chulalongkorn University

รูปที่ 5 การเดินทางของสารทำความเย็นภายในตู้แช่แข็ง

ที่มา: (Harn Engineering Solutions, 2565)

ประเภทของสารทำความเย็นในกลุ่มสารผสม แบ่งออกเป็น

1) R404A (R125/ R143a/ R134a) จะมีอุณหภูมิจุดเดือดอยู่ที่ -46.4 ºC ที่ความดันบรรยากาศ โดยเป็นสารทำความเย็นที่มีความบริสุทธิ์สูงและไม่ส่งผลกระทบต่อชั้นบรรยากาศ คุณสมบัติคือ ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่มีพิษ ด้วยความที่มีอุณหภูมิจุดเดือดต่ำมากจึงสามารถทำความเย็นได้ดี เหมาะสำหรับการใช้งานทั่ว ๆ ไป

2) R407C (R32/ R125/ R134a) มีอุณหภูมิจุดเดือดอยู่ที่ -43.6 ºCที่ความดันบรรยากาศ เป็นสารทำความเย็นที่มีความบริสุทธิ์สูง เป็นสารทำความเย็นที่ได้รับการรณรงค์ให้ใช้อย่างแพร่หลาย

มากขึ้นในปัจจุบัน ซึ่งเครื่องปรับอากาศรุ่นใหม่ก็มีการทำออกมาเพื่อรองรับสารทำความเย็นประเภทนี้ เหมาะสำหรับการทำความเย็นขนาดกลางทั้ง ระบบทำความเย็นในอาคาร ในที่พักอาศัย โรงงานอุตสาหกรรม และตู้เย็น

3) R410A (R125/ R32) มีอุณหภูมิจุดเดือดสูงอยู่ที่ -51.6 °C ที่ความดันบรรยากาศ จึงเหมาะสำหรับการทำความเย็นทั่วไปไปจนถึงการทำความเย็นสำหรับแช่แข็ง ทั้งการทำความเย็นในอาคาร ที่พักอาศัย ในโรงงานอุตสาหกรรม ตู้เย็นและห้องเย็น เป็นต้น

2.4.3 การประหยัดพลังงานสำหรับตู้แช่แข็ง

1) เลือกตั้งอุณหภูมิ Set point ให้เหมาะสมกับการใช้งานและสารที่ต้องการจะแช่แข็ง

2) ไม่ควรเปิดตู้แช่แข็งบ่อยครั้งหรือเปิดตู้ทิ้งไว้เป็นเวลานาน เพราะจะทำให้อุณหภูมิภายนอกจะเข้าไปแทนที่ และทำให้ต้องใช้เวลานานในการทำความเย็นให้กลับมาที่อุณหภูมิตามที่ตั้งไว้ เป็นการสิ้นเปลืองพลังงาน

3) ควรมีตารางการซ่อมบำรุงและทำความสะอาดอย่างชัดเจน ควรมีการนำตัวอย่างที่แช่ออกมาให้หมด และทำความสะอาดโดยหลีกเลี่ยงของมีคมแล้วเช็ดให้แห้งทุกครั้ง

4) ควรใส่ปริมาณตัวอย่างให้เหมาะสมกับขนาดของตู้แช่แข็ง เพื่อตู้แช่จะสามารถทำงานได้อย่างทั่วถึงและเต็มประสิทธิภาพ

5) หมั่นดูแลสายไฟ แผงวงจรและปลั๊กไฟอย่างสม่ำเสมอ และควรเข้ารับการสอบเทียบเครื่องมือ (Calibrate) อย่างน้อยปีละครั้ง เพื่อให้ทราบว่าตู้แช่ที่ใช้มีอุณหภูมิที่ถูกต้องตรงตามค่าการใช้งาน เพราะหากอุณหภูมิผิดเพี้ยนมากจนเกินไปจะทำให้เกิดความเสียหายต่อสารเคมีภายในตัวอย่างได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.5 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางการเงิน

2.5.1 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) คือผลต่างระหว่างมูลค่าปัจจุบันของผลการประหยัดต้นทุนพลังงานจากมาตรการในรูปตัวเงินที่คาดว่าจะได้รับในแต่ละปีตลอดอายุของโครงการกับมูลค่าปัจจุบันของเงินที่จ่ายออกไปภายใต้โครงการที่กำลังพิจารณา ณ อัตราลดค่า (discount rate) หรือค่าของทุน (cost of capital) ที่กำหนดจากคำนิยามข้างต้น การคำนวณหามูลค่าปัจจุบันสุทธิ จะต้องทราบข้อมูลดังนี้

จากสูตร

$$NPV = \sum_1^n \frac{B(1+j)^n}{(1+i)^n} - I_0$$

ในที่นี้

n = อายุของโครงการ (ปี)

I_o = เงินจ่ายลงทุนตอนเริ่มโครงการ (Total investment)

i = อัตราลดค่า (Discount rate)

j = อัตราเงินเฟ้อ (Inflation rate)

B = ผลที่ประหยัดได้ (Benefit)

2.5.2 อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return: IRR) หมายถึง อัตราลดค่า (discount rate) ที่ทำให้มูลค่าปัจจุบัน ของกระแสเงินสด ที่คาดว่าจะต้องจ่ายในการลงทุนเท่ากับมูลค่าปัจจุบัน ของกระแสเงินสดที่คาดว่าจะได้รับจากการดำเนินการประหยัดพลังงานตลอดอายุโครงการ จากคำนิยามข้างต้นการคำนวณหาอัตราผลตอบแทนลดค่าจะต้องทราบข้อมูลดังนี้

จากสูตร

$$I_0 = \sum_{t=1}^{n} \frac{ES_t}{(1+IRR)^t}$$

จุฬาล CHULAL TY

ในที่นี้

n = อายุของโครงการ (ปี)

I_o = เงินจ่ายลงทุนตอนเริ่มโครงการ (Total investment)

ESt = ต้นทุนพลังงานที่ประหยัดได้ (Energy cost savings) รายปีที่ 1 ถึง n

IRR = อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal rate of return)

2.5.3 งวดเวลาคืนทุน (Payback Period: PB) คือ ระยะเวลา (เป็นจำนวนปี เดือน หรือวัน) ที่กระแสเงินสดรับจากโครงการ สามารถชดเชยกระแสเงินสดจ่ายลงทุนสุทธิตอนเริ่มโครงการพอดี เนื่องจากโครงการที่ขอรับการสนับสนุนจะมีลักษณะการลงทุนเพียงครั้งเดียวในปีแรก และให้ผลตอบแทนที่เท่ากันทุกปี อย่างไรก็ตามการคำนวณระยะเวลาคืนทุนมีข้อเสียตรงที่ไม่ได้นำเรื่องค่าของเงินตามเวลามาพิจารณาและไม่ให้ความสำคัญกับกระแสเงินสดที่ได้รับภายหลังระยะเวลาคืนทุน ทำให้อาจเกิดการตัดสินใจเลือกโครงการลงทุนที่ผิดพลาดได้ ดังนั้นในบางกรณีอาจแก้ปัญหาโดยนำกระแสเงินสดมาปรับลดด้วยอัตราคิดลด ซึ่งเป็นการสะท้อนมูลค่าเงินตามเวลาก่อน แล้วค่อยนำมาคำนวณหาระยะเวลาคืนทุน หรือที่เรียกว่า ระยะเวลาคืนทุนแบบคิดลด (Discount payback period : DPB)

$$PB = \text{จำนวนงวดก่อนคืนทุน} + \frac{\text{เงินส่วนที่ยังไม่ได้คืนทุน}}{\text{กระแสเงินสดที่เกิดขึ้นในปีที่คืนทุน}}$$

$$DPB = \text{จำนวนงวดก่อนคืนทุน} + \frac{\text{มูลค่าปัจจุบันของเงินส่วนที่ยังไม่ได้คืนทุน}}{\text{มูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดที่เกิดขึ้นในปีที่คืนทุน}}$$

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วรรษา อุไรรัตน์ (2558) : “การอนุรักษ์พลังงานในอาคารสำนักงานใหญ่การท่าเรือแห่งประเทศไทย”(วรรษา & วิทยา, 2015)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นที่ระบบปรับอากาศ และระบบไฟฟ้าแสงสว่าง โดยการรวบรวมข้อมูลรายละเอียดการใช้งานของเครื่องจักรและอุปกรณ์ไฟฟ้า เพื่อหาแนวทางในการบริหารจัดการพลังงานในอาคาร เมื่อได้มาตรการอนุรักษ์พลังงานจะตรวจวัดประสิทธิภาพของอุปกรณ์ก่อนและหลังการปรับปรุง เพื่อประเมินผลประหยัดพลังงาน และความคุ้มค่าในการลงทุน

นอกจากการสำรวจอุปกรณ์ต่าง ๆ แล้ว ในงานวิจัยได้มีการศึกษาข้อมูลการใช้เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนนอกเวลาทำการ เพื่อไว้สำหรับบางหน่วยงานที่ต้องการใช้เครื่องปรับอากาศในเวลาดังกล่าว โดยไม่ต้องเปิดใช้งานระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ซึ่งเป็นระบบปรับอากาศหลักของอาคาร ซึ่งส่งผลให้ไม่ต้องสิ้นเปลืองพลังงานเกินความจำเป็นและช่วยลดการใช้พลังงานลงได้ แนวคิดนี้สามารถนำมาใช้ในการหาขนาดของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนที่จะ

เหมาะสมกับขนาดพื้นที่และการใช้งานของห้อง และช่วยตัดสินใจในการวางแผนการเปิดใช้งานเครื่องปรับอากาศเท่าที่จำเป็น

ชมพูนิกข์ นามสุวรรณ (2557) : “การจัดการพลังงานในโรงพยาบาล: กรณีศึกษาโรงพยาบาลเจ้าพระยายมราช”(ชมพูนิกข์ et al., 2014)

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาระบบการจัดการพลังงานภายในโรงพยาบาล โดยมีโรงพยาบาลเจ้าพระยายมราชเป็นกรณีศึกษา โดยนำข้อมูลการใช้พลังงานเบื้องต้นของโรงพยาบาลมาทำการวิเคราะห์ และกำหนดหามาตรการตามพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2535 (ฉบับแก้ไขเพิ่มเติม พ.ศ. 2550)

การศึกษาระบบทำความเย็นเป็นหัวใจหลักของการประหยัดพลังงานในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่จำเป็นต้องมีการควบคุมอุณหภูมิให้ได้ตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ ซึ่งจากงานวิจัยดังกล่าวได้สรุปใจความของการทำมาตรการประหยัดพลังงานให้เป็นการเปลี่ยนอุปกรณ์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของอุปกรณ์ ทำให้การใช้พลังงานไฟฟ้ามีปริมาณลดลง ซึ่งโดยสัดส่วนของปริมาณพลังงานจะถูกใช้ในระบบทำความเย็นมากที่สุด และการคำนวณการประหยัดพลังงาน โดยใช้ค่า load factor สามารถทำให้ได้ผลการประหยัดพลังงาน ก่อนนำมาคิดผลการประหยัดเงินในเชิงเศรษฐศาสตร์ได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สุพัชชา กระต่ายแก้ว (2562) : “การใช้พลังงานสำหรับตู้แช่แข็งภายในร้านสะดวกซื้อ” (สุพัชชา & วิทยา, 2019)

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการใช้พลังงานของตู้แช่แข็งและการศึกษาพฤติกรรมผู้ซื้อสินค้าในการเปิดประตูตู้แช่แข็งภายในร้านสะดวกซื้อ โดยมีการตรวจวัดพลังงานด้วยเครื่องวัดทางไฟฟ้า เพื่อหาความสัมพันธ์ของการใช้พลังงานและการเปิดประตูของตู้แช่แข็ง รวมถึงพฤติกรรมของลูกค้าที่เปิดตู้แช่แข็งในแต่ละวัน

เนื่องจากอุปกรณ์หลักอีกชิ้นหนึ่งในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่ให้ภาระทำความเย็นแก่ระบบปรับอากาศภายในห้องปฏิบัติการ นั่นคือ ตู้แช่แข็ง (Freezer) ซึ่งมักถูกติดตั้งภายในห้องปฏิบัติที่ถึงแม้จะมีพื้นที่จำกัด แต่เพื่อความสะดวกในการหยิบตัวอย่างทดลองมาใช้งาน จึงมักเห็นตู้แช่แข็งเหล่านี้ติดตั้งอยู่ที่มุมใดมุมหนึ่งของห้อง 1-2 เครื่องเสมอ ซึ่งยังไม่นับเครื่องที่ถูกใช้งานอยู่ภายนอก

ห้องอีก เนื่องจากปริมาณตัวอย่างที่ใช้สำหรับวิเคราะห์ผ่านเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีมีจำนวนมาก จากงานวิจัยนี้สามารถเป็นแบบอย่างในการศึกษาพฤติกรรมการทำงานของตู้แช่แข็ง และความสัมพันธ์ที่ส่งผลต่อภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศในหนึ่งวัน และการติดตามการเปิดประตูเพื่อใช้งานตู้แช่แข็งทำให้สามารถนำมาคิดหามาตรการประหยัดพลังงานได้

อังคนา สังข์ทองจีน (2562) : “การตั้งเป้าหมายพลังงานและการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครื่องจักรการผลิตในโรงงานเคมีภัณฑ์”(อังคนา et al., 2019)

งานวิจัยนี้ศึกษาถึงการใช้พลังงานของโรงงานเคมีภัณฑ์ตัวอย่าง โดยเก็บข้อมูลการใช้พลังงานจากระบบการติดตามการใช้พลังงาน (Energy Monitoring System) และ ข้อมูลของปริมาณผลผลิตต่อวันมาวิเคราะห์เพื่อเป้าหมายการใช้พลังงานและเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการพลังงานของโรงงานตัวอย่าง โดยแยกย่อยศึกษาแต่ละระบบในพื้นที่นั้นซึ่งประกอบด้วย ระบบไฟฟ้าสำหรับเครื่องจักรการผลิต ระบบอากาศอัด ระบบไฟส่องสว่าง ระบบระบายอากาศ และ ระบบทำความเย็น

จากงานวิจัยดังกล่าว ในส่วนเครื่องจักรการผลิตชิ้นส่วนของยางจะมีส่วนของเครื่องจักรที่ใช้สำหรับควบคุมอุณหภูมิให้ได้ค่าที่เหมาะสมคือ TCU (Temperature Control Unit) ซึ่งการทำงานของ TCU แบ่งออกเป็น 2 โหมดคือ (1) ช่วงสแตนด์บาย (Standby Mode) และ (2) ช่วงเดินเครื่องผลิต (Operate Mode) จากการคำนวณปริมาณพลังงานที่เครื่องจักรใช้ระหว่างเดินเครื่องในสแตนด์บายโหมดกับการปิดเมื่อไม่มีการใช้งานและเปิดเครื่องเฉพาะตอนที่ใช้งาน พบว่าถึงแม้การเปิดปิดเครื่องใหม่จะใช้กำลังไฟฟ้าที่สูงและต้องใช้เวลากว่าจะทำให้เครื่องเข้าสู่อุณหภูมิที่ตั้งค่าไว้ แต่เมื่อเปรียบเทียบแล้วพบว่า เมื่อไม่มีแผนการผลิตนานกว่า 3 ชั่วโมง 20 นาทีควรเลือกใช้วิธีการปิด TCU และเปิดเมื่อมีการผลิต แทนการเดินเครื่องจักรในสแตนด์บายโหมด ซึ่งนอกจากรูปแบบการทำงานจะมีความคล้ายคลึงเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีแล้ว ยังช่วยพิสูจน์ได้อีกว่าการเก็บข้อมูลการทำงานของเครื่องจักรตามระยะเวลาจะสามารถหามาตรการการประหยัดพลังงานได้ นอกจากนี้งานวิจัยดังกล่าวได้แสดงให้เห็นถึงปัญหาการใช้พลังงานสิ้นเปลือง ซึ่งเกิดจากพนักงานที่ไม่ทราบเวลาที่ TCU ทำงานและการเดินเครื่องจักรโดยไม่มีแผนที่แน่นอน รวมถึงไม่เห็นผลประโยชน์และผลตอบแทนที่ได้จากการจัดตารางการใช้งาน ดังนั้นหากผู้วิจัยสามารถติดตามผลการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในห้องปฏิบัติการ และชี้ให้เห็นถึงความสำคัญของมาตรการจัดตารางใช้งานของเครื่องปรับอากาศและ

เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีจะสามารถช่วยลดการใช้พลังงานส่วนเกินที่ไม่จำเป็นออกและไม่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการทำงาน

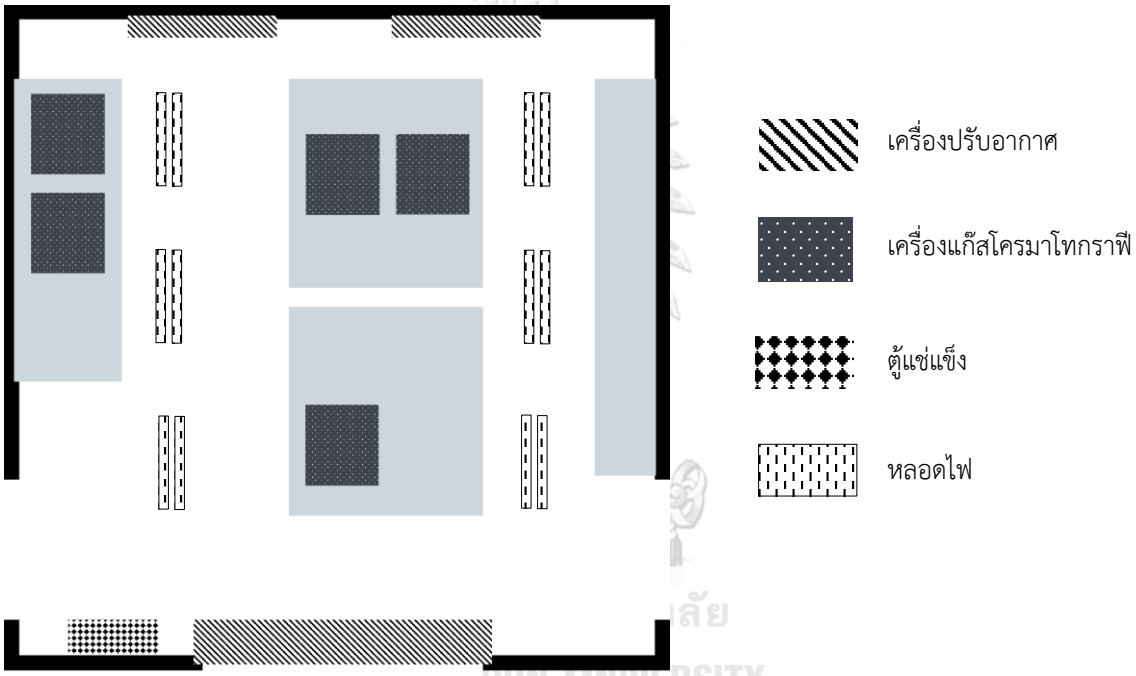
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัยและเครื่องมือที่ใช้

วิธีการวิจัยประกอบด้วยขั้นตอนการศึกษาข้อมูลและการใช้เครื่องมือตรวจวัดค่าต่าง ๆ ในงานวิจัย ดังนี้

3.1 ศึกษาข้อมูลการใช้พลังงานเบื้องต้นในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ของกองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร

รูปที่ 6 แสดงแผนผังเครื่องมือหรืออุปกรณ์ต่าง ๆ ภายในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 6 แผนผังเครื่องมือหรืออุปกรณ์ต่าง ๆ ภายในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์

พื้นที่ของห้องปฏิบัติการ มีขนาด กว้าง x ยาว x สูง อยู่ที่ 5.9 x 10 x 2.8 เมตร

คิดเป็นพื้นที่ เท่ากับ 59 ตารางเมตร และหากคิดรวมความสูงจากพื้นจนถึงเพดานฝ้า จะได้ปริมาตร เท่ากับ 165.2 ลูกบาศก์เมตร

รูปที่ 7 แสดงภาพถ่ายห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ด้านหน้า-ด้านหลัง

ด้านหน้า ด้านหลัง

รูปที่ 7 ภาพถ่ายห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ด้านหน้า-ด้านหลัง

3.1.1 ข้อมูลการใช้งานห้องปฏิบัติการ

ห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่ติดตั้งเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีเป็นส่วนหนึ่งห้องปฏิบัติการภายในตึกวัตถุมีพิษการเกษตร ซึ่งกรณีศึกษาได้ใช้ห้องปฏิบัติการของหน่วยวิจัยผลกระทบจากการใช้วัตุมีพิษการเกษตรในการเก็บข้อมูล ซึ่งหน่วยวิจัยประกอบด้วยเจ้าหน้าที่และนักวิทยาศาสตร์ รวม 14 คน ส่วนใหญ่หมุนเวียนใช้งานห้องปฏิบัติการในช่วงเวลา 8.30-16.30 น. ยกเว้นวันหยุดราชการ คิดเป็น 8 ชั่วโมงต่อวัน

3.1.2 ข้อมูลการใช้เครื่องปรับอากาศภายในห้องปฏิบัติการ

เครื่องปรับอากาศถูกติดตั้งภายในห้องปฏิบัติการ รวมทั้งหมด 3 เครื่อง โดยมีเครื่องตั้งเวลาเปิด-ปิด (Timer) ไว้ควบคุมการใช้งานของเครื่องปรับอากาศให้สลับเปลี่ยนการทำงานตลอด 24 ชั่วโมง ดังนี้

- เครื่องที่ 1 ยี่ห้อ STAR-Aire มีขนาด 38,352.24 BTU/hr เปิดใช้งานเวลา 8.00-16.00 น.

- เครื่องที่ 2 ยี่ห้อ Focus มีขนาด 25,425.20 BTU/hr เปิดใช้งานเวลา 16.00-24.00 น.

- เครื่องที่ 3 ยี่ห้อ STAR-Aire มีขนาด 13,128.35 BTU/hr เปิดใช้งานเวลา 16.00-24.00 น.

จะมีการเปิดเช่นนี้ตลอดการรันตัวอย่างด้วยวิธีแก๊สโครมาโทกราฟี เพื่อรักษาอุณหภูมิห้องให้อยู่ที่ 25±5 °C ซึ่งเป็นช่วงการใช้งานที่เหมาะสมและไม่ทำให้เกิดความคาดเคลื่อนของผลลัพธ์ที่ได้

3.1.3 ข้อมูลการใช้เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี

มีจำนวนทั้งหมด 5 เครื่อง แต่ใช้งานจริงได้สูงสุด 4 เครื่อง เนื่องจากจำเป็นต้องมีเครื่องสำรองไฟเพื่อป้องกันอุบัติเหตุทางไฟฟ้า ซึ่งเครื่องสำรองไฟประจำเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีเครื่องหนึ่งชำรุดเสียหาย

ระยะเวลาการเปิดใช้งาน จะขึ้นอยู่กับวิธีการวิเคราะห์หรือ Method ที่ตั้งค่าในการตรวจหาสารพิษแต่ละชนิด ซึ่งทางหน่วยวิจัยจะใช้เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีในการตรวจหาสารพิษกลุ่มสารกำจัดศัตรูพืช (Pesticides) และรูปแบบการตั้งค่าสำหรับการวิเคราะห์โดยทั่วไปจะประกอบด้วยสารที่บรรจุลงในขวด Vial ดังนี้

1) Solvent ล้างระบบ	2	ขวด
2) Solvent blank	1	ขวด
3) Sample blank	1	ขวด
4) Standard ความเข้มข้น 5 ระดับ	5	ขวด
5) Standard ความเข้มข้นระดับกลาง	1	ขวด
6) Recovery	2	ขวด
7) ตัวอย่างงานบริการ 20 ตัวอย่าง	40	ขวด
8) Solvent ล้างระบบ	2	ขวด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

9) Standard ความเข้มข้นระดับกลางจะถูกฉีดซ้ำทุกครั้งเมื่อมีการฉีดสารตัวอย่างในข้อ 7) ไปแล้ว 5-10 ตัวอย่างตามความเหมาะสม เรียกว่า QC Control ดังนั้นหากมี 20 ตัวอย่างจึงมีการฉีดเพิ่มอีก 4 ขวด

ดังนั้น การวิเคราะห์จะมีประมาณ 58 ขวด โดยเมื่อการรันแต่ละขวดจะใช้เวลาประมาณ 40 นาที เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีจึงมีการเปิดใช้งานอย่างต่อเนื่องยาวนานไม่ต่ำกว่า 38 ชั่วโมง

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัด

จากข้อมูลการใช้พลังงานเบื้องต้นในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์มีการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศเป็นหลัก งานวิจัยจึงมุ่งเน้นที่จะลดการใช้พลังงานในส่วนของระบบปรับอากาศ และอุปกรณ์ใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ ที่จะส่งผลเป็นภาระทำความเย็นต่อเครื่องปรับอากาศได้ จึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีการเก็บข้อมูลงานวิจัยโดยใช้อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัด ดังนี้

1) เครื่องตรวจวัดกำลังไฟฟ้า (Electrical Power Meter)

เป็นเครื่องมือวัดกำลังไฟฟ้าของเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ โดยค่าที่ตรวจวัดได้จะมีทั้งแรงดัน (Volt) กระแสไฟฟ้า (Amp) ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power Factor) กำลังไฟฟ้า (kW) และพลังงานไฟฟ้า (kWh) เหมาะสำหรับการตรวจวัดปัจจัยทางไฟฟ้าต่าง ๆ ของมอเตอร์ หม้อแปลงกำลังไฟฟ้า และเครื่องทำความร้อนด้วยไฟฟ้า

รูปที่ 8 เครื่องตรวจวัดกำลังไฟฟ้า

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Specification ที่ระบุบนเครื่องมือวัด

1. Voltage: AC50-300V

2. Current: 0-10A/0-100A

3. Power: 0-3000W/0-30KW

4. Capacity: 0.01-19999 kWh

5. Timing: 0-200H

และการใช้เครื่องวัดเก็บข้อมูลการทำงานของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีและตู้แช่แข็ง โดยใน Specification ระบุค่าความถูกต้อง (Accuracy) ของกำลังไฟฟ้าอยู่ที่ ±1%

2) เครื่องวัดความเร็วลม (Anemometer) เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดอัตราการไหลของลมหรืออากาศ วัดได้ไม่เกิน 60 °C

รูปที่ 9 เครื่องวัดความเร็วลม

การใช้เครื่องวัดเก็บข้อมูลอัตราการไหลของลมจ่ายและช่องลมกลับของเครื่องปรับอากาศ โดยใน Specification ระบุค่าความถูกต้อง (Accuracy) อยู่ที่ ±2%

3) เครื่องวัดและบันทึก (Data Logger) เก็บค่าอุณหภูมิ, ความชื้น และค่าทางไฟฟ้า

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับบันทึกข้อมูลอุณหภูมิมีเซนเซอร์ที่ติดตั้งไว้ภายในตัวเครื่อง สามารถเก็บรวบรวมข้อมูลโดยอัตโนมัติโดยใช้แบตเตอรี่ มีหน่วยความจำ ภายในตัวเครื่องเพื่อบันทึกอุณหภูมิ โดยสามารถดึงข้อมูลหรือดูรายงานผลการตรวจสอบสภาพอุณหภูมิและความชื้น แบบ Realtime ได้ผ่าน Internet of Things ที่สามารถเชื่อมโยงข้อมูลผ่านอินเทอร์เน็ตไว้ดูค่าย้อนหลังหรือเปิดการแจ้งเตือนไว้ได้ นอกจากนี้บางประเภทยังมี Data Logger ที่ไว้สำหรับเก็บข้อมูลการใช้ไฟฟ้าสำหรับโรงงานอุตสาหกรรม เพื่อใช้ประโยชน์ในการตรวจดูและป้องกันปัญหาที่อาจเกิดขึ้นกับเครื่องจักรได้

รูปที่ 10 Data Logger วัดค่าทางไฟฟ้า

ใช้เครื่อง Data Logger วัดค่าทางไฟฟ้าเก็บค่าแรงดันไฟฟ้า (Voltage), กระแสไฟฟ้า (Current), กำลังไฟฟ้า (Electric Power) และได้ผลการใช้พลังงานไฟฟ้า (Electrical Energy) เป็นหน่วย kWh

Specification ที่ระบุบนเครื่องมือวัด

1. Communication: Wi-Fi 2.4 GHz

2. Voltage Measuring range:0~260V

3. Current Measuring range: 0~100A

4. Active power Measuring range: 0~23kW

5. Active energy Measuring range: 0~9999.99kWh

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

และการใช้เครื่องวัดเก็บข้อมูลการทำงานของเครื่องปรับอากาศ โดยใน Specification ระบุค่าความถูกต้อง (Accuracy) ของกำลังไฟฟ้าอยู่ที่ ±1% W และการใช้พลังงานอยู่ที่ ±1% kWh

รูปที่ 11 Data Logger วัดอุณหภูมิและความชื้น

ใช้เครื่อง Data Logger วัดค่าอุณหภูมิ (°C) และความชื้น (%RH)

Specification ที่ระบุบนเครื่องมือวัด

1. Communication: Wi-Fi 2.4 GHz

2. Humidity: 0 ~ 99.9 %RH

3. Temp: -40~80 °C

และการใช้เครื่องวัดเก็บข้อมูลการทำงานของเครื่องปรับอากาศและอุณหภูมิห้อง โดยใน Specification ระบุค่าความถูกต้อง (Accuracy) ของอุณหภูมิอยู่ที่ ±0.5 °C และความชื้นอยู่ที่ ±3 %RH

4) ตลับเมตร ใช้วัดขนาดความกว้างและความยาว หรือความสูงของอุปกรณ์

รูปที่ 12 ตลับเมตร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

3.3 ตรวจวัดขีดความสามารถทำความเย็นและประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ

เก็บข้อมูลการใช้ไฟฟ้าผ่านเครื่องวัดและบันทึกข้อมูล (Data logger) ที่สามารถเก็บรวบรวมค่าทางไฟฟ้าและอุณหภูมิในช่วงเวลาที่ผู้ตรวจวัดไม่สามารถดำเนินการวัดด้วยตัวเองได้เนื่องจากเครื่องปรับอากาศมีมากกว่า 1 เครื่องและมีการเปิดสลับกันตลอดช่วงเวลา 24 ชั่วโมง ตามที่เครื่องตั้งเวลาเปิด-ปิด (Timer) ตั้งค่าไว้ เพื่อเปรียบเทียบสภาวะของเครื่องปรับอากาศในช่วงเวลาใช้งานทั่วไปและ Rated capacity ที่เครื่องปรับอากาศสามารถทำงานได้ แล้วจึงนำมาคำนวณหาขีดความสามารถทำความเย็น (TR) และประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ (EER)

3.4 ตรวจวัดภาระทำความเย็นรวมถึงการคายความร้อนของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี

รูปที่ 13 แสดงเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีโมเดล Agilent 6890 series ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ

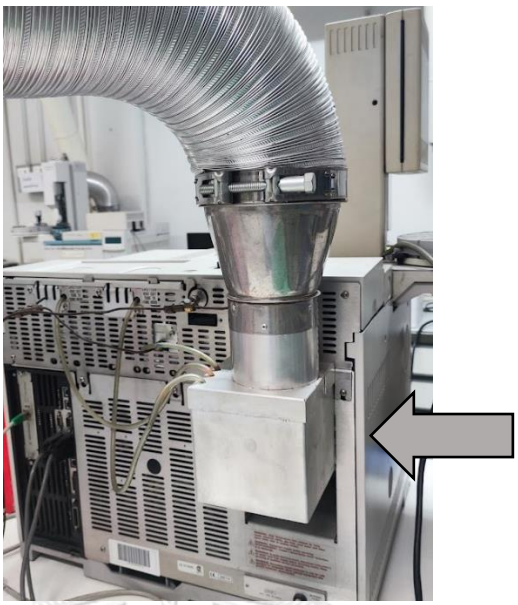
รูปที่ 13 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีโมเดล Agilent 6890 series

เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีที่นำมาศึกษาเป็นโมเดล Agilent 6890 series ซึ่งมีค่าการกระจายทางความร้อน (Heat Dissipation) ระบุบนฉลาก ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ค่าการกระจายความร้อนของ Agilent 6890 series gas chromatographs

Oven type	Heat dissipation
Standard oven ramp	7681 BTU / hour maximum
Fast oven ramp	10,071 BTU / hour maximum

ซึ่งจะแบ่งการทำงานของการรันตัวอย่างแต่ละรอบเป็นสองช่วงดังตาราง และปริมาณความร้อนที่ปล่อยออกมาจะแตกต่างกันตามวิธีการที่ใช้ในการตรวจวัดสารพิษในตัวอย่าง จึงต้องมีการเก็บค่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าด้วยปลั๊กมิเตอร์ ทุกๆ 1-2 นาที ควบคู่กับการติดตามผลที่แสดงผ่านจอคอมมอนิเตอร์ เพื่อหาช่วงเวลาที่อุณหภูมิภายในเตาอบของเครื่องมีการเพิ่มขึ้นและลดลงว่ามากน้อยเพียงใด ก่อนนำมาคำนวณหาค่าภาระปรับอากาศ แต่ทั้งนี้ค่าการกระจายทางความร้อนดังกล่าวสามารถลดลงได้ผ่านการติดตั้งเครื่องดูดควัน (Hood) ผ่านช่อง Exhaust deflector ดังแสดงตามรูปที่ 14 ที่ทำให้อัตราการไหลลดลงจากเดิม 99 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที เหลือ 65 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาทีหรือคิดเป็น 65.66 %



รูปที่ 14 Exhaust deflector

3.5 เก็บข้อมูลเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่นๆ ที่ส่งผลต่อภาระทำความเย็น

3.5.1 ชุดอุปกรณ์คอมพิวเตอร์

คอมพิวเตอร์นับเป็นส่วนหนึ่งของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีด้วยเช่นกัน ซึ่งทำหน้าที่แสดงผลของการรันตัวอย่างผ่านทางหน้าจอมอนิเตอร์ก่อนที่ผู้ปฏิบัติจะดึงข้อมูลไปใช้ทำการวิเคราะห์ในลำดับถัดไปดังนั้นจึงมีการเปิดใช้งานไปพร้อม ๆ กับการทำงานของเครื่อง และชุดอุปกรณ์นี้ยังรวมถึงเครื่องพิมพ์ที่ติดตั้งอยู่ประจำเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีแต่ละเครื่องอีกด้วย ซึ่ง John V. Hinshaw, 2003 ได้ตรวจสอบปริมาณการกระจายความร้อนของอุปกรณ์เหล่านี้อยู่ที่ประมาณ 250 BTU/hr ต่ออุปกรณ์หนึ่งชุด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.5.2 ตู้แช่แข็ง (Freezer)

รูปที่ 15 แสดงรายละเอียดของตู้แช่แข็ง โมเดล Thermo Scientific PLF276 ความสะดวกต่อการทำงานเป็นปัจจัยสำคัญที่ผู้ออกแบบห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์จะคำนึงถึงก่อนเสมอ จึงมักจะเห็นตู้แช่แข็งเหล่านี้ถูกติดตั้งอยู่ภายในห้องเพื่อให้ผู้ปฏิบัติการสามารถหยิบตัวอย่างออกมาใช้ได้สะดวกและลดอุบัติเหตุที่อาจเกิดขึ้นจากการขนย้ายตัวอย่างไปมาระหว่างห้อง การนำตู้แช่แข็งไปติดตั้งในห้องที่มีการควบคุมอุณหภูมิที่เย็นตลอดเวลาเช่นห้องที่ติดตั้งเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟียังช่วยยืดอายุการใช้งานตู้แช่แข็งแต่ทำให้อากาศร้อนส่งผลต่อภาระทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ

Setpoint	-40C	Thermo Scientific PLF276
TEST DATA	Amb Temp→	25C
Avg Temp	C	-39.29
Uniformity	C	4.54
Stability	C	3.21
Peak Var.	C	8.00
PV,warm	C	5.61
PV,cold	C	2.39
Power Consumption	Kwh/day	6.32
Net Heat Rejection	Btu/hr	898.58
CT%	%	74.32%
PD (0 to -40C)	h:min	2:46
WU (-40 to 0)	h:min	6:41
Weighted probe Avg Temp	C	-40.35
Weighted probe Abs Max	C	-39.88
Weighted probe Abs Min	C	-41

รูปที่ 15 รายละเอียดของตู้แช่แข็ง โมเดล Thermo Scientific PLF276
ที่มา: (Thermo Scientific, 2555)

ตู้แช่แข็งที่นำมาใช้เป็นกรณีศึกษาเป็นโมเดล Thermo Scientific PLF276 ซึ่งใช้ สารทำความเย็นชนิด R404a มีช่วงทำความเย็นอยู่ที่ 0 ถึง -40 องศาเซลเซียส และระบบการละลายน้ำแข็ง (Defrost) แบบ Manual ซึ่งผู้ใช้งานต้องทำการกดปุ่มละลายน้ำแข็งหรือปิดพักเครื่องเพื่อนำน้ำแข็งที่เกาะอยู่ภายในตู้ด้วยตนเอง ดังนั้นการกระจายความร้อนของตู้แช่แข็งนี้จะมีปล่อยออกมาในช่วงที่คอมเพรสเซอร์ทำงานตามที่ฉลากระบุ คิดเป็น 898.58 BTU/hr ซึ่งระยะเวลาของการกระจายความร้อนแต่ละรอบจะใช้ปลั๊กมิเตอร์และเทอร์โมมิเตอร์ควบคู่กัน เพื่อติดตามผลและศึกษาพฤติกรรมการใช้งานตู้แช่แข็งของผู้ปฏิบัติการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.5.3 หลอดไฟ

แม้ปัจจุบันอุปกรณ์ชิ้นนี้จะถูกเปลี่ยนมาใช้แบบหลอดฟลูออเรสเซนต์ (Fluorescent) ที่มีความประหยัดและปล่อยความร้อนน้อยกว่าหลอดไฟในอดีต แต่การคำนวณปริมาณความร้อนจากอุปกรณ์สามารถทำให้หาค่าภาระทำความเย็นได้เช่นเดียวกัน

$$Q = \frac{\text{Watt x Hours in use}}{\text{24 Hours}}$$

จากผลการสำรวจห้องปฏิบัติการ หลอดไฟที่ใช้เป็น T8 8W จำนวน 12 ดวง มีการเปิดใช้งาน 8 ชั่วโมงตามเวลาราชการ คิดค่าภาระทำความเย็นได้เท่ากับ 109.18 BTU/hr สำหรับระบบแสงสว่าง

3.6 จัดทำมาตรการประหยัดพลังงานในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์

3.6.1 มาตรการประหยัดพลังงานสำหรับเครื่องปรับอากาศ

1) มาตรการล้างเครื่องปรับอากาศ

2) มาตรการปรับตั้งอุณหภูมิ Set point ของเครื่องปรับอากาศ

3.6.2 มาตรการประหยัดพลังงานสำหรับตู้แช่แข็ง

1) การละลายน้ำแข็งภายในตู้แช่แข็ง

2) การติดป้ายแยกประเภทตัวอย่างด้านในตู้แช่แข็ง เพื่อลดระยะเวลาของการเปิดตู้

3.6.3 มาตรการประหยัดพลังงานสำหรับเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี

1) การจัดตารางการรันของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี

2) มาตรการตรวจสอบความเหมาะสมของการใช้งานเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีที่ส่งผลต่อภาระปรับอากาศ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล

การศึกษาการอนุรักษ์พลังงานในระบบปรับอากาศของห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่ติดตั้งเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี เป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลของผลการตรวจวัดประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศและตรวจวัดการใช้พลังงานไฟฟ้าเครื่องมือหรืออุปกรณ์ต่าง ๆ ที่จะส่งผลต่อการภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศ เพื่อนำไปวิเคราะห์หามาตรการอนุรักษ์พลังงานที่เหมาะสมที่คงไว้ซึ่งมาตรฐานของห้องปฏิบัติการ และสามารถลดการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศของห้องปฏิบัติการ โดยมีผลการศึกษาดังนี้

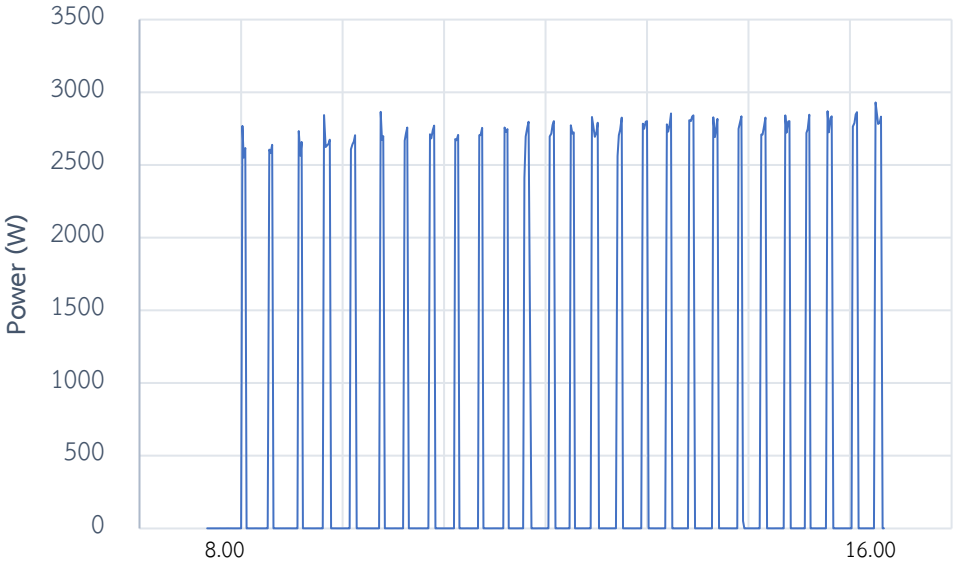
4.1 ข้อมูลการใช้พลังงานเบื้องต้นในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์

ผลการเปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศทั้ง 3 เครื่อง

เก็บข้อมูลติดตามการเปิดใช้งานเครื่องปรับอากาศที่ทางหน่วยวิจัยใช้ตามปกติ ด้วย Data logger เป็นค่ากำลังไฟฟ้า (W) ของคอมเพรสเซอร์ โดยตั้ง Set point ที่ 25 องศาเซลเซียส และตรวจวัดในวันหยุดราชการเพื่อหลีกเลี่ยงผลกระทบจากผู้ปฏิบัติงาน และกำหนดปัจจัยจากเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีให้มีการเปิดใช้งานอยู่เพียง 1-2 เครื่อง รูปที่ 16, 17 และ 18 แสดงกำลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศเครื่องที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับที่ Set Point 25 °C เครื่องปรับอากาศที่ 1 ขนาด 38,352 BTU/hr เปิดใช้งาน 8.00-16.00 น. เครื่องปรับอากาศที่ 2 ขนาด 25,425 BTU/hr เปิดใช้งาน 16.00-24.00 น. และเครื่องที่ 3 ขนาด 13,128 BTU/hr เปิดใช้งาน 0.00-8.00 น.

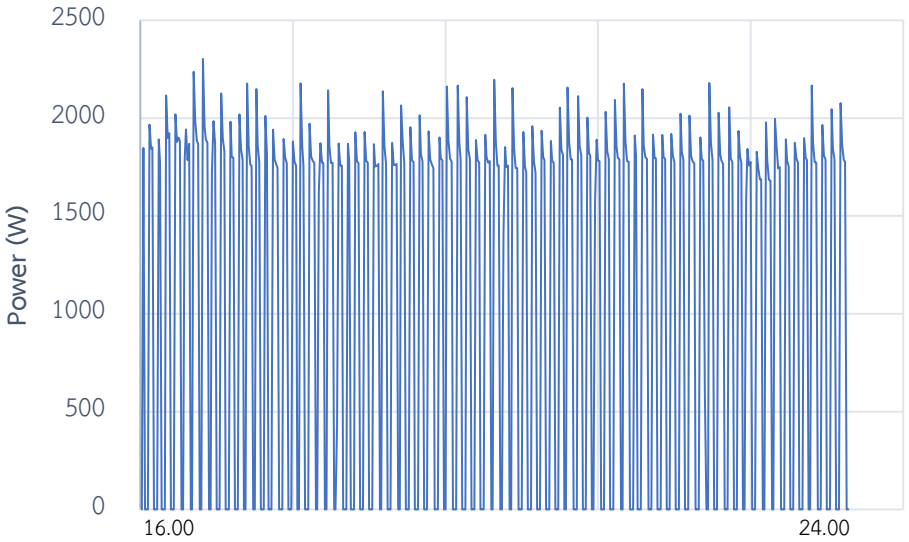
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เครื่องที่ 1 ขนาด 38,352 BTU/hr เปิดใช้งาน 8.00-16.00 น.



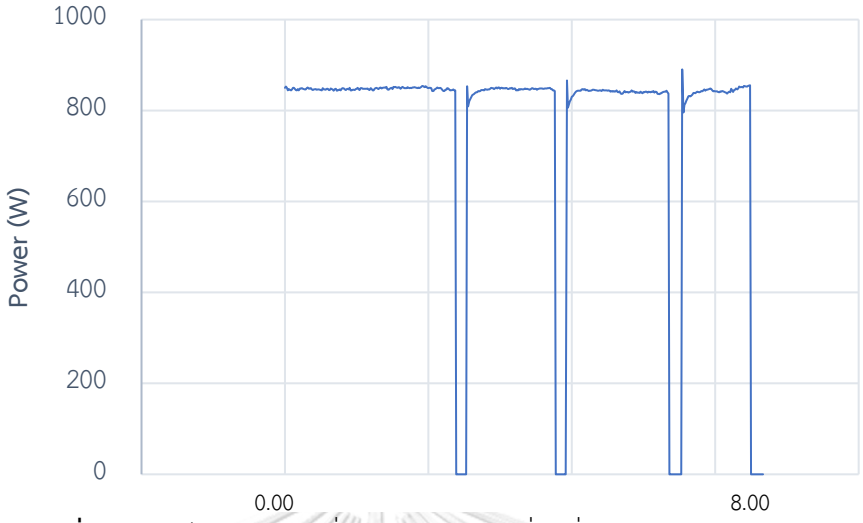
รูปที่ 16 กำลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศเครื่องที่ 1, Set Point 25 °C

เครื่องที่ 2 ขนาด 25,425 BTU/hr เปิดใช้งาน 16.00-24.00 น.



รูปที่ 17 กำลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศเครื่องที่ 2, Set Point 25 °C

เครื่องที่ 3 ขนาด 13,128 BTU/hr เปิดใช้งาน 0.00-8.00 น.



รูปที่ 18 กำลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศเครื่องที่ 3, Set Point 25 °C

แสดงให้เห็นว่าเครื่องปรับอากาศขนาด 25,425 BTU/hour มีการตัดการทำงานของคอมเพรสเซอร์บ่อยครั้ง ดูได้จากเส้นกราฟที่ขึ้นและลงค่อนข้างถี่ ส่วนเครื่องปรับอากาศขนาดเล็กที่สุด 13,128 BTU/hour จะมีการตัดการทำงานของคอมเพรสเซอร์ที่น้อยมาก ทำให้อยู่ในสถานะ Full load เป็นระยะเวลานาน และเครื่องปรับอากาศขนาดใหญ่ที่สุด 38,352 BTU/hour จะมีการตัดการทำงานของคอมเพรสเซอร์ที่มาก และยังคงมีจังหวะการทำงานของคอมเพรสเซอร์ที่ดี ทำให้กราฟที่ได้มีลักษณะของพีคที่ขึ้นลงอย่างคงที่และเห็นระยะห่างของพีคแต่อันที่ชัดเจน ตารางที่ 7 ผลการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ เมื่อตั้ง Set Point 25 °C

ตารางที่ 7 ผลการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ เมื่อตั้ง Set Point 25 °C

เครื่องปรับอากาศ	ขนาด (BTU/hour)	เปิดใช้งาน	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (kWh)
เครื่องที่ 1	38,352	8.00-16.00	4.61
เครื่องที่ 2	25,425	16.00-24.00	8.06
เครื่องที่ 3	13,128	0.00-8.00	6.06

นอกจากนี้จะเห็นว่าถึงแม้เครื่องปรับอากาศขนาด 38,352 BTU/hour จะมีค่ากำลังไฟฟ้า (W) สูงที่สุด แต่เมื่อวัดการใช้พลังงานกลับมีค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (kWh) ต่ำกว่าเครื่องปรับอากาศที่มีขนาดเล็กกว่าทั้งนี้ขึ้นกับภาระทำความเย็น

4.2 ตรวจวัดขีดความสามารถทำความเย็น (COP) และประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ (EER)

หลังจากการล้างเครื่องปรับอากาศได้มีการตรวจวัดประสิทธิภาพพลังงานของเครื่องปรับอากาศทั้ง 3 เครื่อง ดังแสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ค่า Energy Efficiency Ratio และ Coefficient of Performance ของเครื่องปรับอากาศ

List	Unit	เครื่องที่ 1	เครื่องที่ 2	เครื่องที่ 3
Cooling Capacity	BTU/hr	38,352	25,425	13,128
EER	BTU/hr/W	11.39	11.82	12.35
COP	W/W	3.34	3.46	3.62

- มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก. 2134-2553) กำหนดให้ ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP (Coefficient of Performance) ต้องไม่น้อยกว่า 2.82

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

- โครงการฉลากเบอร์ 5 ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิต (กฟผ.) กำหนดค่าประสิทธิภาพพลังงาน EER หรือ Energy Efficiency Ratio สำหรับเครื่องขนาดไม่เกิน 8,000 W (27,296 BTU/hr) ควรมากกว่าหรือเท่ากับ 11.60 และขนาดมากกว่า 8,000 W (27,296 BTU/hr) ควรมากกว่าหรือเท่ากับ 11.00

ดังนั้นจะเห็นว่าประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ (EER) ของเครื่องปรับอากาศทั้งสามเครื่องสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด

4.3 ตรวจวัดภาระทำความเย็นรวมถึงการคายความร้อนของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี

เก็บข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างขั้นตอนการทำงานของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีและการใช้พลังงานไฟฟ้าด้วยปลั๊กมิเตอร์ โดยศึกษาจากการรันตัวอย่างผ่านตัวตรวจวัดชนิดเฟลมโฟโตเมตริก (Flame Photometric Detector, FPD) ซึ่งใช้ระยะเวลาการรันตัวอย่างละ 47 นาที ซึ่งตลอดช่วงการกระจายความร้อนของเตาอบจะเป็นแบบ Standard oven ramp แล้วจึงใช้เวลาสำหรับช่วง Fast oven ramp อีกประมาณ 2 นาที ก่อนเริ่มรันตัวอย่างรอบถัดไป ซึ่งการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเตาอบ จะเกิดขึ้นดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 การตั้งค่าการรันตัวอย่างทดสอบผ่านตัวตรวจวัดชนิดเฟลมโฟโตเมตริก

Oven Ramp	°C/min	Next °C	Hold min	Run Time
Initial		85	2.00	2.00
Ramp 1	25.00	150	0.00	4.60
Ramp 2	2.00	190	0.00	24.60
Ramp 3	3.00	220	0.00	34.60
Ramp 4	3.00	250	2.00	46.60
Ramp 5	0.00	212	2.00	
Ramp 6	30	260	17.00	
Post Run		0	0.00	46.60

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 10 ความสอดคล้องของการทำงานและค่าการใช้พลังงานของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี

เก็บค่าการใช้พลังงานของ GC				
ระยะเวลาที่ใช้	**กำลังไฟ (W)**	**การใช้พลังงาน (kWh)**	**การใช้พลังงานสะสม (kWh)**	**หมายเหตุ**
0:00	64.19	0.0011	0.0011	
0:01	156.4	0.0026	0.0037	
0:02	162.6	0.0027	0.0064	
0:12	173.3	0.0289	0.0353	

0:13	639.3	0.0107	0.0460	เปลี่ยน method FPD
0:14	471.2	0.0079	0.0538	
0:16	400.6	0.0134	0.0672	
0:18	349.9	0.0117	0.0788	
0:20	263.8	0.0088	0.0876	พร้อมสำหรับฉีด
0:22	274	0.0091	0.0968	เปิดแก๊สเข้าสู้ระบบ และจุดเฟรม
0:24	251	0.0084	0.1051	
0:26	276.4	0.0092	0.1143	เริ่มรัน
0:28	261.3	0.0087	0.1230	
0:30	557.4	0.0186	0.1416	อุณหภูมิ (°C) ภายในเตาอบเพิ่มขึ้น 85 ไป 150
0:32	479.2	0.0160	0.1576	
0:34	477.3	0.0159	0.1735	150 ไป 190
0:36	485.2	0.0162	0.1897	
0:38	440.8	0.0147	0.2044	
0:40	408.8	0.0136	0.2180	
0:42	414.4	0.0138	0.2318	
0:44	416.5	0.0139	0.2457	
0:46	435.8	0.0145	0.2602	
0:48	422.3	0.0141	0.2743	
0:50	397.8	0.0133	0.2876	

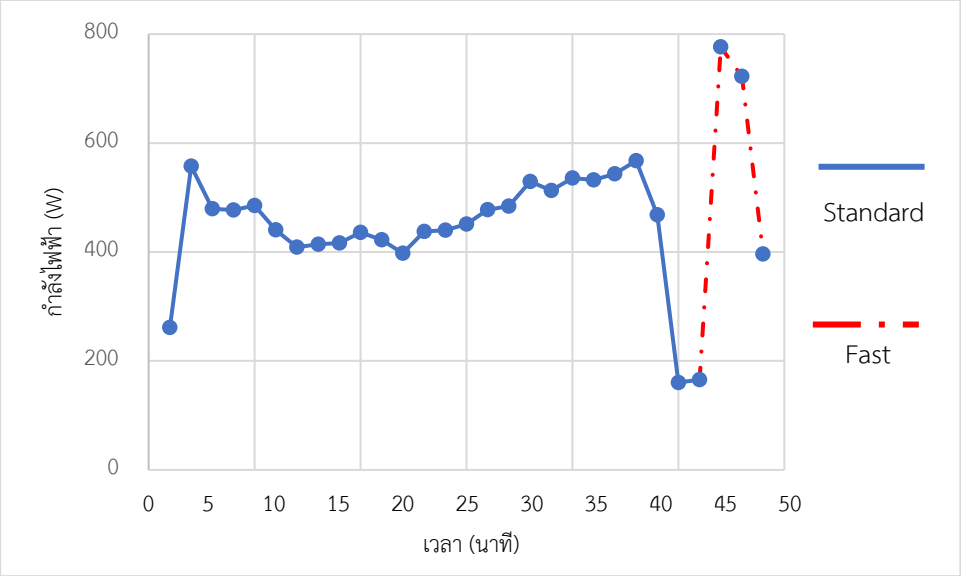
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

0:52	437.7	0.0146	0.3021	190 ไป 220
0:54	440.3	0.0147	0.3168	
0:56	451.2	0.0150	0.3319	
0:58	477.8	0.0159	0.3478	
1:00	484.1	0.0161	0.3639	
1:02	529.1	0.0176	0.3816	220 ไป 250
1:04	512.7	0.0171	0.3987	
1:06	535.9	0.0179	0.4165	
1:08	532.1	0.0177	0.4343	
1:10	543.2	0.0181	0.4524	
1:12	567.3	0.0189	0.4713	จนถึง 250
1:14	468.5	0.0156	0.4869	เสร็จสิ้นการฉีด
1:15	160.5	0.0027	0.4896	
1:16	165.7	0.0028	0.4923	
1:17	776.2	0.0129	0.5053	กลับมาถึงค่าเริ่มต้นมีการเป่าลมร้อนออก
1:18	722.1	0.0120	0.5173	
1:19	396.2	0.0066	0.5239	Ready พร้อมฉีดรอบต่อไป
1:20	382.7	0.0064	0.5303	หลังจากนี้ค่าจะอยู่ในสถานะ Stand by จนกว่าจะสั่ง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

				ฉีดรอบถัดไป
1:23	114.3	0.0057	0.5360	
1:25	115.5	0.0039	0.5398	
1:30	168.9	0.0141	0.5539	
1:35	164.3	0.0137	0.5676	

จากตารางที่ 10 สรุปออกมาเป็นช่วงการใช้พลังงานของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี ขณะวิเคราะห์ตัวอย่างจนเสร็จสิ้นในแต่ละรอบ ได้ดังนี้



CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 19 กราฟการใช้พลังงานของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีขณะวิเคราะห์ตัวอย่าง

จากกราฟผลการใช้พลังงานขณะรันตัวอย่างจะเห็นช่วง Standard oven ramp ใช้เวลาอยู่ 47 นาที ตามที่ตั้งค่าไว้ และหลังจากนั้นอีก 2 นาทีจะเป็นช่วงของ Fast oven ramp ดังนั้นจึงสามารถคิดค่าภาระทำความเย็นที่เกิดขึ้นใน 1 ชั่วโมง และอากาศร้อนที่ถูกเป่าออกไปผ่าน Exhaust deflector จนเหลือ 65.66 % ได้เป็น

- Standard oven ramp 5,043 BTU / hour maximum
- Fast oven ramp 6,613 BTU / hour maximum

และกรณีเมื่อมีการรันต่อเนื่องพร้อมกันจากเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีทั้ง 4 เครื่อง จะได้เป็น

- Standard oven ramp 20,173 BTU / hour maximum
- Fast oven ramp 26,450 BTU / hour maximum

4.4 ภาระทำความเย็นจากเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่น ๆ

4.4.1 ชุดอุปกรณ์คอมพิวเตอร์

เนื่องจากเป็นส่วนประกอบหนึ่งของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีจึงมีการเปิดใช้งานควบคู่พร้อมกันตามการใช้งาน ถ้าหากคิดค่าภาระทำความเย็นรวมทั้ง 4 เครื่อง จะได้เท่ากับ 1,000 BTU/hr

4.4.2 ตู้แช่แข็ง (Freezer)

เก็บข้อมูลกำลังไฟฟ้า (W) ของตู้แช่แข็งด้วยปลั๊กมิเตอร์เพื่อศึกษาพฤติกกรมการทำงานของคอมเพรสเซอร์ เนื่องจากตู้แช่แข็งจะมีการกระจายความร้อนในจังหวะเดียวกับที่คอมเพรสเซอร์ทำงาน ทำให้ทราบช่วงเวลาที่ตู้แช่แข็งก่อให้เกิดภาระทำความเย็นต่อเครื่องปรับอากาศได้ ตารางที่ 11 แสดงค่าการใช้พลังงานของ Freezer ก่อนการละลายน้ำแข็ง

ตารางที่ 11 ค่าการใช้พลังงานของ Freezer ก่อนการละลายน้ำแข็ง

เก็บค่าการใช้พลังงานของ Freezer ก่อนละลายน้ำแข็ง				
เวลา	**กำลังไฟ (W)**	**การใช้พลังงาน (kWh)**	**อุณหภูมิ (°C)**	**หมายเหตุ**
12:28:00 PM	2.85	0.00005	-15.0	
12:29:00 PM	2.85	0.00005	-15.0	
12:30:00 PM	572.5	0.00954	-14.8	Comp.ทำงาน
12:31:00 PM	557.3	0.00929	-15.1	
12:32:00 PM	478.2	0.00797	-15.2	
12:33:00 PM	4.57	0.00008	-15.2	Comp.หยุดทำงาน
12:34:00 PM	3.9	0.00007	-15.4	
12:35:00 PM	3.9	0.00007	-15.4	
12:36:00 PM	3.91	0.00007	-15.4	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

12:37:00 PM	3.91	0.00007	-15.4	
12:38:00 PM	3.9	0.00007	-15.4	
12:39:00 PM	3.9	0.00007	-15.4	
12:40:00 PM	3.65	0.00006	-15.2	
12:41:00 PM	3.65	0.00006	-15.2	
12:42:00 PM	2.75	0.00005	-15.3	
12:43:00 PM	2.75	0.00005	-15.3	
12:44:00 PM	2.9	0.00005	-15.2	
12:45:00 PM	2.9	0.00005	-15.2	
12:46:00 PM	2.93	0.00005	-15.1	
12:47:00 PM	2.93	0.00005	-15.1	
12:48:00 PM	2.9	0.00005	-14.9	
12:49:00 PM	2.9	0.00005	-14.9	
12:50:00 PM	2.96	0.00005	-14.9	
12:51:00 PM	2.96	0.00005	-14.9	
12:52:00 PM	2.81	0.00005	-14.9	
12:53:00 PM	2.81	0.00005	-14.9	
12:54:00 PM	3.94	0.00007	-14.8	
12:55:00 PM	567.8	0.00946	-14.9	Comp.ทำงาน
12:56:00 PM	512.3	0.00854	-15.1	
12:57:00 PM	481.5	0.00803	-15.3	
12:58:00 PM	3.95	0.00007	-15.5	Comp.หยุดทำงาน
12:59:00 PM	3.95	0.00007	-15.5	
1:00:00 PM	3.82	0.00006	-15.5	
1:01:00 PM	3.82	0.00006	-15.5	
1:02:00 PM	3.8	0.00006	-15.5	

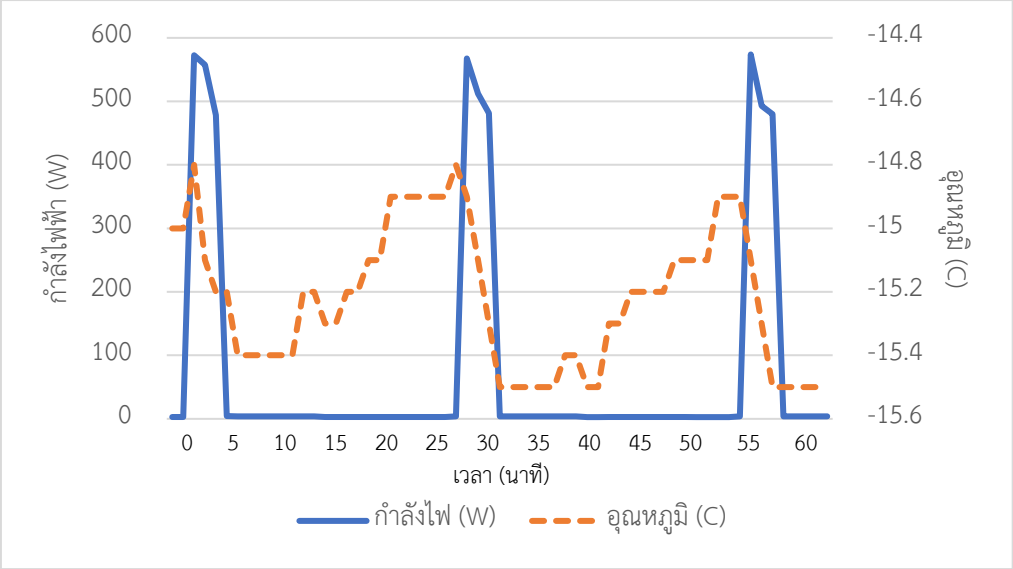
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1:03:00 PM	3.8	0.00006	-15.5	
1:04:00 PM	3.65	0.00006	-15.4	
1:05:00 PM	3.65	0.00006	-15.4	
1:06:00 PM	2.74	0.00005	-15.5	
1:07:00 PM	2.74	0.00005	-15.5	
1:08:00 PM	2.86	0.00005	-15.3	
1:09:00 PM	2.86	0.00005	-15.3	
1:10:00 PM	2.93	0.00005	-15.2	
1:11:00 PM	2.93	0.00005	-15.2	
1:12:00 PM	2.79	0.00005	-15.2	
1:13:00 PM	2.79	0.00005	-15.2	
1:14:00 PM	2.81	0.00005	-15.1	
1:15:00 PM	2.81	0.00005	-15.1	
1:16:00 PM	2.74	0.00005	-15.1	
1:17:00 PM	2.74	0.00005	-15.1	
1:18:00 PM	2.74	0.00005	-14.9	
1:19:00 PM	2.74	0.00005	-14.9	
1:20:00 PM	4.05	0.00007	-14.9	
1:21:00 PM	573.9	0.00957	-15.1	Comp.ทำงาน
1:22:00 PM	493	0.00822	-15.3	
1:23:00 PM	479.8	0.00800	-15.5	
1:24:00 PM	4.14	0.00007	-15.5	Comp.หยุดทำงาน
1:25:00 PM	4.14	0.00007	-15.5	
1:26:00 PM	3.94	0.00007	-15.5	
1:27:00 PM	3.94	0.00007	-15.5	
1:28:00 PM	3.99	0.00007	-15.5	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

	ผลรวม (kWh)	0.08149 kWh/hr		
		1.95584 kWh/วัน		

จากการตรวจวัดทำให้ได้ความสัมพันธ์รหว่างระยะเวลาการเปิดตู้แช่แข็งและการทำงานของคอมเพรสเซอร์ ซึ่งกรณีทำงานทั่วไปโดยไม่มีการเปิดตู้แช่แข็ง ผลรวมปริมาณการใช้ไฟฟ้าภายในหนึ่งชั่วโมง จะเท่ากับ 0.08149 kWh และในขณะนั้นจะมีการคายความร้อนเมื่อเวลาที่คอมเพรสเซอร์ทำงานอยู่ที่ 899 BTU/hr จำนวน 3 ครั้ง ๆ ละ 3 นาที



รูปที่ 20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิภายในตู้แช่แข็งและการทำงานของคอมเพรสเซอร์ภายใน 1 ชั่วโมง

Chulalongkorn University

และจากการเก็บรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานตู้แช่แข็งเมื่อมีการเปิดประตูตู้แช่เป็นระยะเวลานาน 9-25 วินาทีแสดงในตารางที่ 12 เมื่อประตูตู้แช่เปิดออกจะมีอากาศร้อนเข้าไปในตู้ทำให้มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น ทำให้คอมเพรสเซอร์ทำงานเพื่อควบคุมอุณหภูมิให้คงที่

ตารางที่ 12 ผลการสังเกตการณ์ทำงานของตู้แช่แข็ง วัดตามระยะเวลาที่เปิดใช้งานโดยเฉลี่ย

ระยะเวลาเปิดตู้แช่แข็ง	Activity	พลังงานที่ใช้ (kWh)
9 วินาที	Comp. ทำงาน 3 นาที 37 วินาที	0.0313
10 วินาที	Comp. ทำงาน 3 นาที 23 วินาที	0.0292
12 วินาที	Comp. ทำงาน 4 นาที 30 วินาที	0.0390
14 วินาที	Comp. ทำงาน 4 นาที 32 วินาที	0.0392
17 วินาที	Comp. ทำงาน 4 นาที 34 วินาที	0.0395
20 วินาที	Comp. ทำงาน 5 นาที 10 วินาที	0.0448
25 วินาที	Comp. ทำงาน 5 นาที 15 วินาที	0.0458

สรุปภาระทำความเย็นในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่ติดตั้งเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี ซึ่งมาจากเครื่องมือหรืออุปกรณ์ต่าง ๆ ภายในห้องปฏิบัติการ กล่าวโดยสรุปได้ดังนี้

1) เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี เป็นเครื่องมือวิทยาศาสตร์สำคัญ และเป็นภาระทำความเย็นหลักที่เกิดขึ้นภายในห้องปฏิบัติ จากการคำนวณและการตรวจวัดทำให้ทราบช่วงการทำงานของเครื่องมือ จากทั้งหมด 49 นาที แบ่งออกเป็น 2 แบบ นั่นคือ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

- Standard oven ramp ใช้เวลา 47 นาที

มีภาระทำความเย็นเมื่อเปิดใช้งาน 1 เครื่อง เท่ากับ 5,043 BTU/hour

และเมื่อเปิดใช้งานครบ 4 เครื่อง จะเท่ากับ 20,173 BTU/hour

- Fast oven ramp ใช้เวลา 2 นาที

มีภาระทำความเย็นเมื่อเปิดใช้งาน 1 เครื่อง เท่ากับ 6,613 BTU/hour

และเมื่อเปิดใช้งานครบ 4 เครื่อง จะเท่ากับ 26,450 BTU/hour

2) ชุดอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ จะทำงานควบคู่ไปกับเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีเช่นเดียวกัน

เมื่อมีการเปิดใช้งาน 1 เครื่อง จะมีภาระทำความเย็น 250 BTU/hour และหากเปิดทั้ง 4 เครื่อง จะมีภาระทำความเย็น 1,000 BTU/hour

3) ตู้แช่แข็งมีภาระทำความเย็นที่เกิดขึ้นจากการสูญเสียความร้อนผ่านผนังตู้แช่ 899 BTU/hr

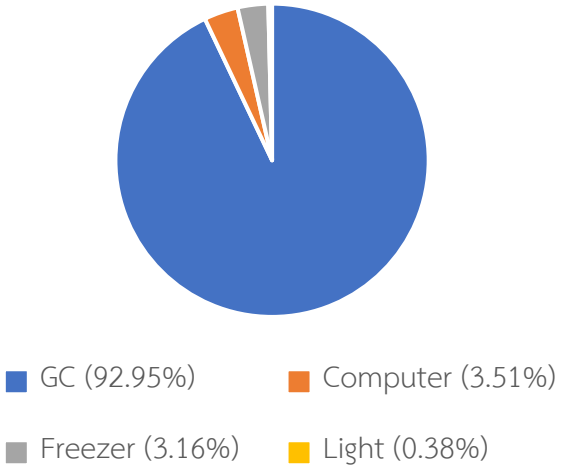
4) หลอดไฟ ที่เมื่อมีการเปิดใช้งานครบ 12 ดวง จะมีภาระทำความเย็นอยู่ที่ 109.18 BTU/hr

ดังนั้นทำให้สามารถรวมภาระทำความเย็นทั้งหมด จากข้อมูลดังกล่าวได้เป็น

1) ค่าสูงสุด = 26,450 + 1,000 + 899 + 109.18 = 28,458.18 BTU/hr

2) ค่าต่ำสุด = 5,043 + 250 = 5,293 BTU/hr

จึงเป็นภาระทำความเย็นที่เกิดขึ้นจากเครื่องมือหรืออุปกรณ์ทำให้สามารถคิดหามาตรการประหยัดพลังงานต่อไปได้



รูปที่ 21 แผนภูมิสัดส่วนค่าภาระทำความเย็นสูงสุดที่เกิดจากเครื่องมือหรืออุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการ

ภาระทำความเย็นผ่านกรอบอาคารไม่ได้ตรวจวัดเพราะไม่ได้ทำมาตรการประหยัดพลังงาน เนื่องจากเป็นอาคารเก่าไม่มีความคุ้มค่าในการลงทุน และภาระทำความเย็นที่น้อยที่ไม่ได้นำมาคิดเป็นประกอบด้วย

1) จากคนทำงานเนื่องจากคนเข้ามาตรวจสอบการทำงานเป็นครั้งคราว

2) จากพัดลมระบายอากาศที่เปิดเป็นครั้งคราว

4.5 มาตรการประหยัดพลังงานในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์

4.5.1 เครื่องปรับอากาศ

1) มาตรการล้างเครื่องปรับอากาศ

รูปที่ 22 แสดงการล้างเครื่องปรับอากาศเพื่อเปรียบเทียบการทำงานก่อนและหลังล้าง นอกจากจะช่วยให้เครื่องปรับอากาศทำอุณหภูมิได้ดียิ่งขึ้นแล้ว จากการติดตามผลยังช่วยลดระเวลาการทำงานของคอมเพรสเซอร์ลงอีกด้วย การตรวจวัดจะใช้เครื่องมือวัดและบันทึกผล (Data Logger) ในการเก็บข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์ ซึ่งนอกจากจะช่วยดูวัฏจักรการตัดการทำงานของคอมเพรสเซอร์ในแต่ละช่วงเวลาได้แล้ว ยังช่วยให้สามารถประเมินผลการประหยัดพลังงานได้แม่นยำขึ้นอีกด้วย

รูปที่ 22 การล้างเครื่องปรับอากาศ

การตรวจวัดจะใช้เครื่องมือวัดและบันทึกผล (Data Logger) ในการเก็บข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์ ซึ่งนอกจากจะช่วยดูวัฏจักรการตัดการทำงานของคอมเพรสเซอร์ในแต่ละช่วงเวลาได้แล้ว ยังช่วยให้สามารถประเมินผลการประหยัดพลังงานได้แม่นยำขึ้นอีกด้วย

- เครื่องปรับอากาศเครื่องที่ 1 ขนาด 38,352 BTU/hr

ก่อนล้าง มีการใช้พลังงาน เท่ากับ 16.10 kWh/วัน

หลังล้าง มีการใช้พลังงาน เท่ากับ 15.10 kWh/วัน

ดังนั้นสามารถประหยัดพลังงานได้ 1.00 kWh ต่อวัน หรือ 365 kWh ต่อปี

- เครื่องปรับอากาศเครื่องที่ 2 ขนาด 25,425 BTU/hr

ก่อนล้าง มีการใช้พลังงาน เท่ากับ 6.37 kWh/วัน

หลังล้าง มีการใช้พลังงาน เท่ากับ 5.84 kWh/วัน

ดังนั้นสามารถประหยัดพลังงานได้ 0.53 kWh ต่อวัน หรือ 193.45 kWh ต่อปี

- เครื่องปรับอากาศเครื่องที่ 3 ขนาด 13,128 BTU/hr

ก่อนล้าง มีการใช้พลังงาน เท่ากับ 4.14 kWh/วัน

หลังล้าง มีการใช้พลังงาน เท่ากับ 3.03 kWh/วัน

ดังนั้นสามารถประหยัดพลังงานได้ 1.11 kWh ต่อวัน หรือ 405.15 kWh ต่อปี

ผลการประหยัดจากมาตรการล้างเครื่องปรับอากาศทั้ง 3 เครื่อง

- พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ก่อนปรับปรุง	26.61	kWh/วัน
- พลังงานไฟฟ้าที่ใช้หลังปรับปรุง	23.97	kWh/วัน
- พลังงานไฟฟ้าที่ลดลง	2.64	kWh/วัน
- พลังงานที่ประหยัด	963.6	kWh/ปี
- ค่าไฟฟ้าต่อหน่วยประมาณ	4	บาท/ kWh
- ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้	3,855	บาท/ปี
- ค่าจ้างล้างเครื่องปรับอากาศ 2 ครั้ง	3,200	บาท/ปี
- ระยะเวลาคืนทุน (PB)	0.83	ปี

(หากมีกำหนดการล้างเครื่องปรับอากาศอยู่ที่ 1-2 ครั้งต่อปี และค่าใช้จ่ายสำหรับการล้างเครื่องปรับอากาศขนาดใหญ่อยู่ที่ 600 บาท และเครื่องปรับอากาศขนาดเล็กอีก 2 เครื่อง ๆ ละ 500 บาท จะคิดค่าใช้จ่ายสำหรับการล้างเครื่องปรับอากาศอยู่ที่ปีละ 2 ครั้ง รวมเป็น 3,200 บาทต่อปี ซึ่งเมื่อเทียบกับผลการประหยัดพลังงานที่ได้แล้วมีความคุ้มค่าเป็นอย่างยิ่ง)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2) มาตรการปรับตั้งอุณหภูมิ Set point ของเครื่องปรับอากาศ

จากค่าอุณหภูมิที่ยอมรับได้ของห้องปฏิบัติการซึ่งอยู่ที่ 25±5 °C โดยปกติห้องปฏิบัติการจะตั้งค่าอุณหภูมิของเครื่องปรับอากาศไว้ที่ 25 °C เสมอ มาตรการนี้จึงทำเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่า ภาระทำความเย็น จากอุณหภูมิเดิมที่ตั้งไว้ และที่เปลี่ยนไปเมื่อมีการตั้ง Set point ไว้ที่ 27 °C ที่ได้จากการที่ห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่ติดตั้งเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีนั้นยอมให้อุณหภูมิสูงได้ถึง 30 °C

ตารางที่ 13 ผลการเปรียบเทียบการปรับค่า Set point 25 °C และ 27 °C ของเครื่องปรับอากาศ

Set point 25C	เครื่องที่ 1 (8.00-16.00)			เครื่องที่ 2 (16.00-24.00)			เครื่องที่ 3 (0.00-8.00)		
Time	Power (W)	Temp Return	Cooling load (kW)	Power (W)	Temp Return	Cooling load (kW)	Power (W)	Temp Return	Cooling load (kW)
1.00	272.60	23.90	0.87	1062.25	25.00	0.58	824.38	24.30	0.89
2.00	506.90	23.90	1.25	1022.17	25.10	0.57	845.78	24.00	0.68
3.00	610.12	23.90	0.77	1020.35	25.10	0.54	848.16	23.90	0.65
4.00	467.28	24.00	1.34	1031.52	25.20	0.60	847.21	23.80	0.65
5.00	708.94	24.00	1.15	1012.27	25.20	0.50	846.92	23.70	0.64
6.00	770.55	24.10	1.31	1026.82	25.20	0.54	846.90	23.50	0.61
7.00	528.52	24.00	1.32	1019.48	25.20	0.56	849.62	23.50	0.61
8.00	767.26	23.90	1.04	985.73	25.20	0.56	846.69	23.40	0.62
Mean	579.02	23.96	1.13	1022.57	25.15	0.56	844.46	23.76	0.67
Set point 27C	เครื่องที่ 1 (8.00-16.00)			เครื่องที่ 2 (16.00-24.00)			เครื่องที่ 3 (0.00-8.00)		
Time	Power (W)	Temp Return	Cooling load (kW)	Power (W)	Temp Return	Cooling load (kW)	Power (W)	Temp Return	Cooling load (kW)
1.00	0.00	24.80	-0.37	750.79	25.80	0.43	512.51	25.40	0.76
2.00	0.00	25.80	-0.31	732.56	26.00	0.48	554.77	25.40	0.73
3.00	0.00	26.20	-0.32	756.26	26.10	0.48	502.03	25.50	0.68
4.00	102.08	25.90	0.21	765.06	26.10	0.45	576.33	25.60	0.69
5.00	152.29	25.80	-0.08	646.32	26.20	0.46	576.52	25.50	0.65
6.00	249.62	25.70	0.26	783.00	26.20	0.53	587.84	25.50	0.72
7.00	245.81	25.70	-0.11	756.10	26.30	0.55	568.97	25.50	0.72
8.00	216.06	25.90	0.50	776.32	26.20	0.58	536.72	25.50	0.69
Mean	120.73	25.73	-0.03	745.80	26.11	0.50	551.96	25.49	0.70

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

จากการตั้ง Set point ที่ 25 °C จะเห็นว่า ภาระการทำความเย็น มากที่สุดจะอยู่ที่ช่วงกลางวัน และลดลงในช่วงกลางคืน เครื่องที่ 1 และ 2 อุณหภูมิจะค่อนข้างคงที่และได้ ภาระการทำความเย็น น้อยกว่าความสามารถทำความเย็นของเครื่อง ดังนั้นในระหว่างการทำงานเครื่องจะมีตัด

การทำงานตามปกติ แต่ในกรณีเครื่องที่ 3 อุณหภูมิลมกลับมีค่าลดลงเรื่อย ๆ แสดงว่า ภาระการทำความเย็น น้อยกว่าความสามารถทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศเมื่ออุณหภูมิคงที่ แต่เปอร์เซ็นการเดินเครื่องจะเป็นเปอร์เซ็นความสามารถทำความเย็นเท่ากับ ภาระการทำความเย็น ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าเครื่องที่ 3 อาจมีการทำงานของเทอร์โมสตัท (Thermostat) ไม่ถูกต้อง ส่งผลให้อุณหภูมิด้านลมกลับลดลงอย่างต่อเนื่องทำให้ไม่มีการตัดการทำงานของคอมเพรสเซอร์ตามพฤติกรรมทั่วไป จึงมีผลให้เกิดการใช้พลังงานมากกว่าปกติ

ในส่วนของ Set point ที่ 27 °C เครื่องปรับอากาศเครื่องที่ 2 และ 3 มีการทำงานปกติเมื่อตั้งอุณหภูมิสูงขึ้น ภาระการทำความเย็น จะลดลง กำลังไฟฟ้าก็ลดลงด้วย ส่วนเครื่องที่ 1 ภาระการทำความเย็น ติดลบเป็นเพราะคอมเพรสเซอร์หยุดการทำงานนานเกินไปในช่วงแรกจากตั้งค่า Set point ไว้ที่อุณหภูมิสูงจากเดิม อาจเป็นเพราะการควบคุมของคอมเพรศเซอร์มีเวลาหน่วงมากเกินไปไม่เหมาะกับที่อุณหภูมิ 27 °C ดังนั้นมาตรการปรับ Set point จึงเหมาะสำหรับเครื่องที่ 2 และ 3 เท่านั้น

ดังนั้นจึงกำหนดให้เครื่องปรับอากาศเครื่องที่ 1 ขนาด 38,352 BTU/hour ตั้ง set point ที่ 25°C และเครื่องปรับอากาศเครื่องที่ 1และเครื่องที่ 2 ที่มี ขนาด 25,425 และ 13,128 BTU/hour ตามลำดับ ตั้ง set point ที่ 27°C ณ ช่วงเวลาทำงานเดิม จะได้ผลการประหยัดจากมาตรการปรับ Set point เครื่องปรับอากาศทั้ง 2 เครื่อง จากการคำนวณเพื่อเปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานจากค่าเฉลี่ยของกำลังไฟฟ้าที่ได้ดังแสดงตามตารางที่ 14

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 14 ผลการเปรียบเทียบการใช้พลังงานจากมาตรการปรับ Set point ของเครื่องปรับอากาศ

Set point 25 °C		
เครื่องปรับอากาศ	ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ย (W)	การใช้พลังงาน (kWh) เมื่อทำงานครบ 8 ชั่วโมง
เครื่องที่ 1	579.02	4.63
เครื่องที่ 2	1022.57	8.18
เครื่องที่ 3	844.46	6.76

Set point 27 °C		
เครื่องปรับอากาศ	ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ย (W)	การใช้พลังงาน (kWh) เมื่อทำงานครบ 8 ชั่วโมง
เครื่องที่ 2	745.80	5.97
เครื่องที่ 3	551.96	4.42

จากตารางที่ 14 สามารถหาผลประหยัดพลังงานได้ดังนี้

- พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ก่อนปรับปรุง 14.94 kWh/วัน
(ตั้ง Set point 25°C ทั้ง 2 เครื่อง = 8.18+6.76 kWh)
- พลังงานไฟฟ้าที่ใช้หลังปรับปรุง 10.39 kWh/วัน
(ตั้ง Set point 27°C ทั้ง 2 เครื่อง = 5.97+4.42 kWh)
- พลังงานไฟฟ้าที่ลดลง 4.55 kWh/วัน
- พลังงานที่ประหยัด 1,660.75 kWh/ปี
- ค่าไฟฟ้าต่อหน่วย 4 บาท/ kWh
- ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ 6,643 บาท/ปี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3) การจัดทำตารางการเปิดเครื่องปรับอากาศให้สอดคล้องกับภาระทำความเย็นที่เปลี่ยนตามการทำงานของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี

โดยทั่วไปการเลือกเครื่องปรับอากาศขนาดใหญ่เกินไปจะทำให้คอมเพรสเซอร์ตัดบ่อย และการเลือกเครื่องปรับอากาศขนาดขนาดเล็กเกินไปจะทำให้คอมเพรสเซอร์ทำงานหนักและใช้พลังงานมาก จากผลการตรวจวัดจะสังเกตเห็นว่า เครื่องปรับอากาศขนาด 25,425 และ 13,128 BTU/hour จะมีการทำงานคอมเพรสเซอร์ที่หนักมาก เมื่อตั้งอุณหภูมิ Set point ที่ 25 °C จึงไม่เหมาะสมที่จะนำมาเปิดในช่วงเวลาราชการที่มีการทำงาน ตั้งแต่ 8.00-16.00 น. ซึ่งจะต้องรับภาระทำความเย็นสูงจากอุณหภูมิภายนอก และ การเดินเข้า-ออกห้องปฏิบัติการ ดังนั้นการใช้เครื่องปรับอากาศขนาดใหญ่ที่สุด 38,352.24 BTU/hour จึงเหมาะสมมากที่สุด ส่วนในช่วงเวลาค่ำการสลับการเปิด

เครื่องปรับอากาศขนาดเล็ก เครื่องละ 8 ชม. ก็เป็นตัวเลือกที่ดี แต่ถ้าหากอุณหภูมิห้องในขณะนั้นร้อนขึ้นจากปัจจัยของฤดูกาลหรือภาระจากเครื่องมือที่เปิดใช้งานเพิ่มขึ้นก็ตาม การสลับกันเปิดเครื่องปรับอากาศขนาดเล็กทั้งสองเครื่องนี้ต่อเนื่องรวม 16 ชั่วโมงที่เหลือ ทั้ง ๆ ที่ไม่สามารถทำอุณหภูมิห้องได้ถึงตามที่ตั้งไว้ จะส่งผลให้คอมเพรสเซอร์ทำงานหนักจนถึงขั้นไม่ตัดการทำงานเลยเป็นเวลาหลายชั่วโมง จึงควรนำเครื่องปรับอากาศเข้ามาช่วยทำงานด้วย เครื่องปรับอากาศเครื่องใหม่นี้ควรมีขีดความสามารถทำความเย็นเท่ากับเครื่องปรับอากาศเครื่องที่ 1 เพื่อสามารถทำงานแทนกันในช่วงเวลากลางวัน

4.5.2 ตู้แช่แข็ง

1) การละลายน้ำแข็งภายในตู้แช่แข็ง

รูปที่ 23 แสดงการละลายน้ำแข็งภายในตู้แช่แข็งได้เก็บข้อมูลการใช้พลังงานของตู้แช่แข็งเพื่อศึกษาพฤติกรรมการทำงานของคอมเพรสเซอร์ หลังจากการทำความสะอาดน้ำแข็งที่เกาะอยู่ตามผนังตู้ออก

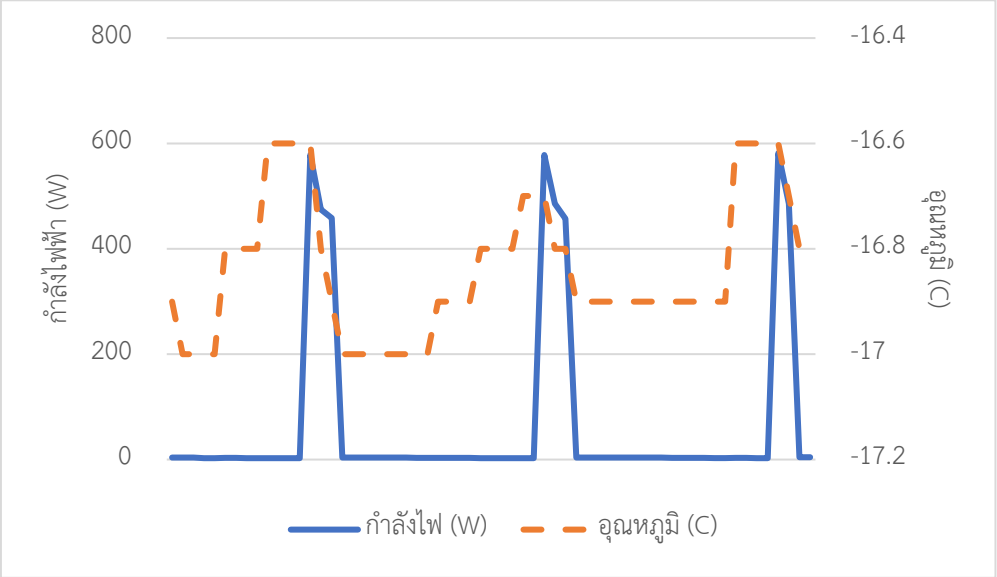
รูปที่ 23 การละลายน้ำแข็งภายในตู้แช่แข็ง

ตารางที่ 15 แสดงค่าการใช้พลังงานของ Freezer เปรียบเทียบระหว่างก่อนและหลังจากการทำความสะอาดน้ำแข็งที่เกาะอยู่ตามผนังตู้ออก โดยใช้เครื่องมือปลั๊กมิเตอร์เก็บข้อมูลผลการใช้พลังงานเมื่อครบระยะเวลา 1 ชั่วโมง พร้อมกับวัดอุณหภูมิภายในที่เปลี่ยนไป ได้ดังนี้

ตารางที่ 15 เปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานของ Freezer ก่อน-หลังการละลายน้ำแข็ง

รายการ	ก่อนละลายน้ำแข็ง	หลังละลายน้ำแข็ง
อุณหภูมิเฉลี่ยภายในตู้แช่แข็ง	-15.2 °C	-16.8 °C
ผลการใช้พลังงาน (kWh) หลังจากครบ 1 ชั่วโมง	0.081 kWh	0.071 kWh

น้ำแข็งที่เกาะอยู่ภายในตู้แช่แข็งเกิดจากความแตกต่างของความชื้นที่เข้าไปขณะที่มีการเปิดตู้แต่ละครั้ง ซึ่งเมื่อสะสมมากเข้าจะส่งผลต่อการทำอุณหภูมิด้านในตู้และทำให้ใช้พลังงานมากขึ้น หลังจากทำมาตรการละลายน้ำแข็งแล้ว เปรียบเทียบผลการใช้พลังงานดังตารางที่ 15 ทำให้ได้ผลการประหยัดพลังงานลดลงจาก 0.081 เหลือ 0.071 kWh คิดเป็น 0.010 kWh หรือ 0.024 kWh/Day และสามารถทำความเย็นได้ดีขึ้นจาก -15.2 เป็น -16.8 °C การจัดตารางล้างตู้แช่แข็งควรมีการสังเกตน้ำแข็งที่อยู่เกาะด้านในอย่างสม่ำเสมอ เนื่องจากเป็นมาตรการที่ไม่ใช้เงินลงทุน ผู้วิจัยแนะนำให้มีการทำมาตรการนี้ทุก ๆ 2 สัปดาห์ รูปที่ 24 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิภายในตู้แช่แข็งและการทำงานของคอมเพรสเซอร์ ภายใน 1 ชั่วโมง หลังละลายน้ำแข็ง



รูปที่ 24 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิภายในตู้แช่แข็งและการทำงานของคอมเพรสเซอร์ ภายใน 1 ชั่วโมง หลังละลายน้ำแข็ง

ผลการประหยัดจากมาตรการละลายน้ำแข็งภายในตู้แช่แข็ง

การละลายน้ำแข็งทำทุก 2 สัปดาห์ หลังการละลายน้ำแข็งการใช้พลังงานจะค่อยๆเพิ่มขึ้น สมมุติให้เป็นเชิงเส้นในช่วงเวลา 14 วัน

- พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ก่อนปรับปรุง	(1.96*14)	27.44	kWh/2week
- พลังงานไฟฟ้าที่ใช้หลังปรับปรุง	14(1.71+(1.96-1.71)/2)	25.69	kWh/2week
- พลังงานไฟฟ้าที่ลดลง		1.75	kWh/ 2week
- พลังงานที่ประหยัดได้	1.75*26	45.5	kWh/year
- ค่าไฟฟ้าต่อหน่วยประมาณ		4	บาท/ kWh
- ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้		182	บาท/ปี

2) การติดป้ายแยกประเภทตัวอย่างด้านในตู้แช่แข็ง เพื่อลดระยะเวลาของการเปิดตู้

การการติดป้ายแยกประเภทตัวอย่างนอกจากมีส่วนช่วยให้ผู้ปฏิบัติงานค้นหาตัวอย่างได้สะดวก ยังช่วยลดอุณหภูมิความร้อนที่เข้าไปในตู้และทำให้ไอเย็นด้านในสูญเสียออกสู่ภายนอกน้อยลง จากการเก็บข้อมูลระยะเวลาการเปิดตู้เพื่อนำกล่องบรรจุตัวอย่างออก เทียบระหว่างก่อนและหลังจากติดป้ายแยกประเภทแล้ว มีระยะเวลาเฉลี่ยของการเปิดตู้ลดลงจาก 17 วินาที เหลือ 12 วินาที คิดเป็นปริมาณการใช้ไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์จากตารางที่ 12 เท่ากับ 0.0395 – 0.0390 = 0.005 kWh

ผลการประหยัดจากมาตรการติดป้ายแยกประเภทตัวอย่างด้านในตู้แช่แข็ง

- พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ก่อนปรับปรุง	0.948	kWh/วัน
- พลังงานไฟฟ้าที่ใช้หลังปรับปรุง	0.936	kWh/วัน
- พลังงานไฟฟ้าที่ลดลง	0.012	kWh/วัน
- พลังงานที่ประหยัด	4.38	kWh/ปี
- ค่าไฟฟ้าต่อหน่วยประมาณ	4	บาท/ kWh
- ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้	17.52	บาท/ปี

รวม สองมาตรการประหยัดพลังงานได้ 49.88 kWh/yr หรือ 200 บาทต่อปี จากผลการประหยัดพลังงานจากการทำมาตรการทั้งสองวิธีของตู้แช่แข็ง ไม่เพียงแต่ช่วยลดการทำงานของตู้แช่

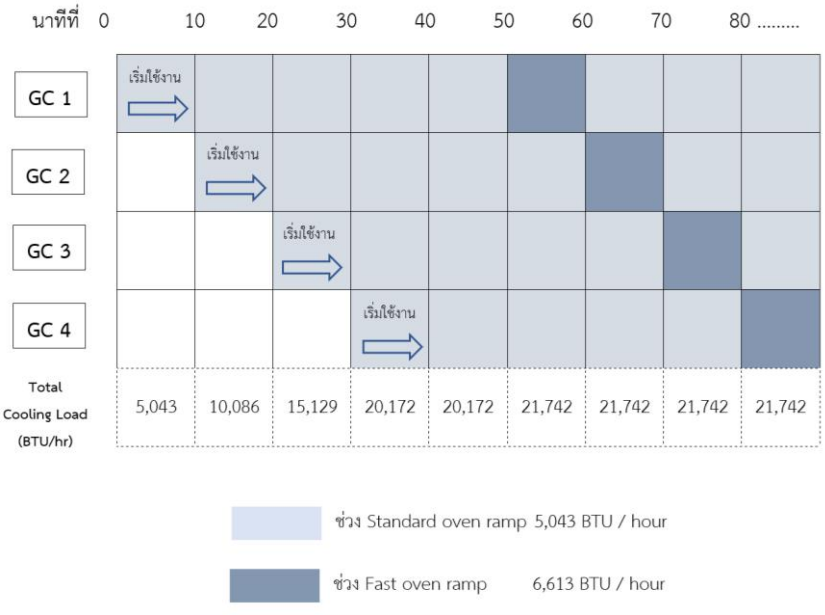
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เอง แต่ยังเป็นการลดช่วงเวลาการทำงานของคอมเพรสเซอร์ที่จะมีการกระจายความร้อนเป็นภาระทำความเย็นต่อระบบปรับอากาศอีกด้วย

4.5.3 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี

1) การจัดตารางการทำงานของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี

การจัดตารางการทำงานของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีมีส่วนสำคัญในการควบคุมปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้น เมื่อสิ้นสุดการวิเคราะห์ในหนึ่งรอบจะเกิดภาระทำความเย็นที่สูงในช่วง Fast oven ramp เนื่องจากเครื่องต้องมีการ Cool down อุณหภูมิภายในเตาอบลง เช่นในวิธีวิเคราะห์ที่ใช้ตัวตรวจวัดชนิดเฟลมโฟโตเมตริกจะมีการลดอุณหภูมิจาก 250 จนเหลือ 85 องศาเซลเซียส เพื่อให้พร้อมต่อการทำงานในรอบถัดไป ซึ่งใช้เวลาเพียง 2 นาทีเท่านั้น ดังนั้นการจัดตารางการทำงานของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีทั้ง 4 เครื่อง ให้ช้ากว่ากัน ประมาณ 10 นาที จะสามารถช่วยหลีกเลี่ยงปริมาณความร้อนที่จะปล่อยออกมาพร้อมกันจนทำให้เครื่องปรับอากาศที่ต้องทำงาน ณ ช่วงเวลานั้นไม่ต้องรับภาระปรับอากาศจากเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีที่สูงถึง 26,450 BTU/hr ดังรูปที่ 25



รูปที่ 25 แผนภาพมาตรการจัดตารางการรันของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี

ผลที่ได้จะเห็นว่ารับภาระปรับอากาศจากเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีที่โดยปกติถ้าเปิดพร้อมกันทั้ง 4 เครื่อง จะสูงถึง 26,450 BTU/hr มีค่าลดลงเหลือ 21,742 BTU/hr ซึ่งเกิดจากการหลีกเลี่ยงช่วง Fast oven ramp ที่จะอยู่ประมาณนาทีที่ 47 ไม่ให้เกิดขึ้นพร้อมกัน

2) มาตรการตรวจสอบความเหมาะสมของการใช้งานเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีที่ส่งผลต่อภาระปรับอากาศ

การเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศให้มีความเหมาะสมกับภาระทำความเย็นที่เกิดขึ้นก็สามารถช่วยลดปัญหาการใช้พลังงานได้เช่นเดียวกัน ซึ่งจากผลการคำนวณภาระทำความเย็นรวมทั้งสิ้นจากอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้แก่ เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี ชุดอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ ตู้แช่แข็ง และหลอดไฟ ได้ค่าภาระทำความเย็นสูงสุดอยู่ที่ 28,458.18 BTU/hr ซึ่งเป็นขนาดขั้นต่ำของการเลือกซื้อเครื่องปรับอากาศใหม่จากภาระทำความเย็นที่เกิดขึ้นเฉพาะจากอุปกรณ์ไฟฟ้า

ทั้งนี้จะพบว่าเครื่องปรับอากาศขนาด 25,425 และ 13,128 BTU/hour นั้นอยู่ต่ำกว่าผลรวมภาระทำความเย็นสูงสุดที่เกิดขึ้นภายในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ ซึ่งไม่เหมาะสมต่อการเปิดใช้งานในสภาวะที่มีภาระทำความเย็นที่ปล่อยออกมาจากเครื่องมือหรืออุปกรณ์อย่างเต็มที่ และนอกจากนี้หากมีการใช้งานเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีเพิ่มขึ้นอีกจะส่งผลให้ผลรวมภาระทำความเย็นที่เกิดขึ้นขณะที่เครื่องมือมีการใช้งานเพิ่มสูงขึ้นไปอีก ดังนั้นเมื่อดูจากช่วง Fast oven ramp ที่กระจายความร้อนสูงสุดอยู่ที่ 6,613 BTU/hour สามารถสรุปสูตรอย่างง่ายสำหรับคำนวณภาระทำความเย็นสูงสุดที่เกิดขึ้นเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีได้เป็น

ภาระทำความเย็นสูงสุด (BTU/hour) = จำนวนเครื่อง GC x 6,613 BTU/hour

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาข้อมูลการใช้พลังงานเกี่ยวกับระบบปรับอากาศในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่ติดตั้งเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีทำให้ทราบผลการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศที่ใช้งานอยู่และประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ (EER) เครื่องที่ 1 11.39 BTU/hr/W เครื่องที่ 2 11.82 BTU/hr/W และ เครื่องที่ 3 11.82 BTU/hr/W ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเครื่องปรับอากาศทั้ง 3 เครื่องยังคงทำงานได้ดีกว่าเกณฑ์มาตรฐาน

จากตรวจวัดภาระทำความเย็นรวมถึงการคายความร้อนของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีพบว่าถ้ามีการเปิดใช้งานเครื่องมือครบทั้ง 4 เครื่อง ในช่วงของ Fast oven ramp จะให้ค่าภาระทำความเย็นสูงถึง 26,450 BTU/hr คิดเป็น 92.95 % ของภาระทำความเย็นจากเครื่องมือหรืออุปกรณ์ภายในห้องปฏิบัติการ ซึ่งประกอบด้วยชุดอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ ตู้แช่แข็ง และหลอดไฟ

มาตรการประหยัดพลังงานหลัก 3 มาตรการได้แก่

1) มาตรการล้างเครื่องปรับอากาศ ประหยัดพลังงานไฟฟ้า 963.6 kWh/ปี คิดเป็นค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ 3,855 บาท/ปี และเมื่อเทียบกับค่าจ้างล้างเครื่องปรับอากาศปีละ 2 ครั้ง เป็นเงิน 3,200 บาท/ปี สามารถคิดระยะเวลาคืนทุน (PB) อยู่ที่ 0.83 ปี

2) มาตรการปรับตั้งอุณหภูมิ Set point ของเครื่องปรับอากาศให้สูงขึ้นจาก 25 เป็น 27 °C สำหรับเครื่องที่ 2 และเครื่องที่ 3 ประหยัดพลังงานไฟฟ้ารวม 1,660 kWh/yr และลดค่าไฟฟ้าได้เป็นเงิน 6,643 บาท/ปี

3) มาตรการลดพลังงานของตู้แช่แข็ง มี 2 มาตรการย่อยคือ1) มาตรการละลายน้ำแข็งประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ 45.5 kWh/yr และมาตรการติดป้ายแยกประเภทตัวอย่างด้านในตู้ประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ 4.38 kWh/yr สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้ารวมได้ผล 49.88 kWh/yr คิดเป็นเงินรวม 200 บาท/ปี

รวมผลการจัดการพลังงานในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่ติดตั้งเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีแบ่งเป็นมาตรการที่ใช้เงินลงทุนประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ 963.6 kWh/ปี เป็นเงิน 3,855 บาท/ปี และมาตรการที่ไม่ใช้เงินลงทุน 1,710 kWh/ปี เป็นเงิน 6,840 บาท/ปี

ข้อเสนอแนะ

1. การตรวจวัดการใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์แบบต่อเนื่องทำให้เข้าใจพฤติกรรมการทำงานอาจพบมาตรการประหยัดพลังงานได้

2. อายุการใช้งานเครื่องปรับอากาศเป็นส่วนสำคัญเช่นกัน ในบางครั้งการใช้งานโดยทั่วไปอาจทำให้ไม่เห็นความแตกต่างที่เกิดขึ้นในด้านการทำงาน แต่ในด้านของประสิทธิภาพการใช้พลังงานเครื่องใช้ไฟฟ้าเหล่านี้จะเสื่อมสภาพลงตามระยะเวลา และส่งผลให้มีการใช้ไฟที่เพิ่มขึ้นโดยไม่รู้ตัว จึงควรมีการตรวจวัดประสิทธิภาพอยู่เสมอ

3.สำหรับห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่ติดตั้งเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีในงานวิจัยนี้ หากมีการใช้งานทุกอุปกรณ์พร้อมกัน ควรจัดหาเครื่องปรับอากาศเพิ่ม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บรรณานุกรม

Engineering, D. o. E. (2021). *Gas Chromatography, GC*. Retrieved 21 พฤษภาคม from http://www.env.eng.chula.ac.th/?q=content/gas-chromatography-gc

John V. Hinshaw, S. C., Hillsboro and Oregon. (2003). Preparing the Laboratory for a Gas Chromatograph. *LC GC Europe*, *21*(2), 130-135.

Solutions, H. E. (2021). ทำความรู้จักกับสารทำความเย็นในระบบทำความเย็น. Retrieved 1 ตุลาคม from https://www.harn.co.th/articles/refrigerant-in-refrigeration-system

TeddyAir. (2017). วิธีคำนวณ *BTU* แอร์ ให้พอดีกับห้อง. Retrieved 23 พฤษภาคม from https://www.teddyaircond.com/th/articles/31466-btu

กระทรวงพลังงาน, ภ. (2010). ระบบปรับอากาศ. Retrieved 4 พฤษภาคม from http://www2.dede.go.th/bhrd/old/web_display/websemple/Commercial(PDF)/Bay39%20Air%20Conditioning_Rev1.pdf

ชมพูนิกข์, น., Chompunick, N., & วิทยา, ย. (2014). การจัดการพลังงานในโรงพยาบาล : กรณีศึกษาโรงพยาบาลเจ้าพระยายมราช [Theses

Government documents]. https://chula.idm.oclc.org/login?url=https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=cat05085a&AN=chu.b2051020&site=eds-live

http://cuir.car.chula.ac.th/handle/123456789/46336

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, ภ. ค. (2021). การคำนวณภาระการปรับอากาศ (*Cooling Load)*. Retrieved 21 พฤษภาคม from http://mte.kmutt.ac.th/elearning/Refrigeration/Website/unit5_1.htm

วรรษา, อ., & วิทยา, ย. (2015). การอนุรักษ์พลังงานในอาคารสำนักงานใหญ่การท่าเรือแห่งประเทศไทย [Theses

Government documents]. https://chula.idm.oclc.org/login?url=https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=cat05085a&AN=chu.b2128732&site=eds-live

http://cuir.car.chula.ac.th/handle/123456789/50632

สุพัชชา, ก., & วิทยา, ย. (2019). การใช้พลังงานสำหรับตู้แช่แข็งภายในร้านสะดวกซื้อ [Theses Government documents]. https://chula.idm.oclc.org/login?url=https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=cat05085a&AN=chu.b2279970&site=eds-live

http://cuir.car.chula.ac.th/handle/123456789/64910

อังคนา, ส., Aungkna, S., & วิทยา, ย. (2019). การตั้งเป้าหมายพลังงานและการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครื่องจักรการผลิตในโรงงานเคมีภัณฑ์ [Theses Government documents]. https://chula.idm.oclc.org/login?url=https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=cat05085a&AN=chu.b2284286&site=eds-live

http://cuir.car.chula.ac.th/handle/123456789/70141

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก ตารางการคำนวณการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ

ตารางที่ 16 ผลการคำนวณค่า Energy Efficiency Ratio และ Coefficient of Performance ของเครื่องปรับอากาศ

รายการ	**หน่วย**	**เครื่องที่ 1 (8.00-16.00)**	**เครื่องที่ 2 (16.00-0.00)**	**เครื่องที่ 3 (0.00-8.00)**
พิกัด (Nameplate)				
ยี่ห้อ	-	Star-Aire	Focus	Star-Aire
การทำความเย็น	Btu/hr	38,352	25,425	13,128
กำลังไฟฟ้า	W	3,316.80	2,158	1,089
kW/TR	-			
ประสิทธิภาพการทำความเย็น (EER)	-	11.71	11.78	12.09
ผลการตรวจวัด				
ด้านจ่าย (Supply Air)				
อุณหภูมิ	℃	12.8	18	14.8
ความชื้นสัมพัทธ์	%	96.7	89.8	95.2
Enthalpy	kJ/kg	35.43	47.59	41.531
ด้านกลับ (Return Air)				
อุณหภูมิ	℃	24.3	25.4	25
ความชื้นสัมพัทธ์	%	65.9	79	77.5
Enthalpy	kJ/kg	56.49	66.841	64.647
ปริมาณอากาศหมุนเวียน	CMM	22.79	15.849	8.1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายการ	หน่วย	เครื่องที่ 1 (8.00-16.00)	เครื่องที่ 2 (16.00-0.00)	เครื่องที่ 3 (0.00-8.00)
กำลังไฟฟ้า	W	2884.70	1768	1038.4
Ton	TR	2.74	1.74	1.07
EER	BTU/hr/W	11.39	11.82	12.35
COP	W/W	3.34	3.46	3.62

ตารางที่ 17 ผลการใช้พลังงานหลังทำมาตรการล้างครื่องปรับอากาศ เครื่องที่ 1 (38,352 BTU/hr)

Before				After			
DATE_TIME	AVERAGE(POWER (W))	AVERAGE(ENERGY (KWH))	kWh per cycle	DATE_TIME	AVERAGE(POWER (W))	AVERAGE(ENERGY (KWH))	kWh per cycle
5/30/2022 8:16	2731	0.04		5/31/2022 11:40	2755.1	0.03	
5/30/2022 8:17	2683.3	0.09		5/31/2022 11:41	2945.6	0.08	
5/30/2022 8:18	2725.3	0.13		5/31/2022 11:42	2993.8	0.13	
5/30/2022 8:19	2741.2	0.18		5/31/2022 11:43	3089.9	0.18	
5/30/2022 8:20	2768.3	0.23		5/31/2022 11:44	3078.5	0.24	0.37
5/30/2022 8:21	2781.5	0.28		5/31/2022 11:46	3075.8	0.29	
5/30/2022 8:22	2773.4	0.33		5/31/2022 11:47	3041.1	0.35	
5/30/2022 8:23	2800.9	0.38	0.63	5/31/2022 11:48	3032.2	0.4	
5/30/2022 8:24	2783.4	0.43		5/31/2022 11:54	2646.6	0.43	
5/30/2022 8:25	2830.4	0.47		5/31/2022 11:55	2924.4	0.48	
5/30/2022 8:26	2797.7	0.52		5/31/2022 11:57	2994.9	0.53	
5/30/2022 8:27	2789.4	0.57		5/31/2022 11:58	3090.3	0.58	
5/30/2022 8:28	2816.4	0.62		5/31/2022 11:59	3022.4	0.64	0.43
5/30/2022 8:30	2787.2	0.67		5/31/2022 12:00	3059	0.69	
5/30/2022 8:39	2560.7	0.7		5/31/2022 12:01	3085.4	0.75	
5/30/2022 8:40	2739.4	0.75		5/31/2022 12:02	3059.4	0.8	
5/30/2022 8:41	2794.1	0.8	0.49	5/31/2022 12:03	2989.2	0.86	
5/30/2022 8:42	2815.1	0.85		5/31/2022 12:11	2674.6	0.89	0.53

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5/30/2022 8:43	2827.3	0.9		5/31/2022 12:12	2921.7	0.94	
5/30/2022 8:44	2815.7	0.94		5/31/2022 12:13	3000.1	0.99	
5/30/2022 8:45	2824.3	0.99		5/31/2022 12:14	3032.8	1.05	
5/30/2022 8:46	2810.9	1.04		5/31/2022 12:15	3081.9	1.1	
5/30/2022 8:47	2801.1	1.09		5/31/2022 12:16	3023.1	1.15	
5/30/2022 8:48	2822	1.14		5/31/2022 12:17	3012.3	1.21	
5/30/2022 8:49	2837.5	1.19		5/31/2022 12:18	3047.3	1.26	
5/30/2022 8:59	2613	1.21		5/31/2022 12:19	3054.8	1.32	
5/30/2022 9:00	2809.1	1.26		5/31/2022 12:20	3036.3	1.37	
5/30/2022 9:01	2876.5	1.31		5/31/2022 12:21	3082.1	1.42	
5/30/2022 9:02	2901.9	1.36		5/31/2022 12:30	2715.1	1.44	
5/30/2022 9:03	2906.1	1.41		5/31/2022 12:31	3016	1.49	
5/30/2022 9:04	2893.3	1.46		5/31/2022 12:32	3101.5	1.55	
5/30/2022 9:05	2858.7	1.51		5/31/2022 12:33	3126.7	1.6	0.37
5/30/2022 9:06	2857.3	1.56	0.71	5/31/2022 12:34	3102.8	1.65	
5/30/2022 9:07	2871.8	1.61		5/31/2022 12:35	2998.4	1.71	
5/30/2022 9:08	2881.4	1.66		5/31/2022 12:36	2986.1	1.76	
5/30/2022 9:09	2886.2	1.71		5/31/2022 12:37	3000.8	1.81	
5/30/2022 9:11	2881.8	1.76		5/31/2022 12:43	2640.5	1.83	
5/30/2022 9:12	2891.2	1.81		5/31/2022 12:44	3029	1.88	
5/30/2022 9:13	2919.9	1.86		5/31/2022 12:45	3007.9	1.93	
5/30/2022 9:14	2895.5	1.92		5/31/2022 12:46	2984	1.98	
5/30/2022 9:20	2585.7	1.94		5/31/2022 12:47	2970.4	2.04	0.42
5/30/2022 9:21	2842.3	1.99		5/31/2022 12:48	2986.2	2.09	
5/30/2022 9:22	2865.6	2.04		5/31/2022 12:49	2986	2.14	
5/30/2022 9:23	2918.2	2.09		5/31/2022 12:51	2973.7	2.2	
5/30/2022 9:25	2916.7	2.14	0.61	5/31/2022 12:52	3038.5	2.25	
5/30/2022 9:26	2910.8	2.19		5/31/2022 12:59	2669.6	2.28	
5/30/2022 9:27	2914.4	2.24		5/31/2022 13:00	2952.7	2.33	0.6
5/30/2022 9:28	2906.5	2.29		5/31/2022 13:01	3025.8	2.39	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5/30/2022 9:29	2900.9	2.34		5/31/2022 13:02	3052.4	2.44	
5/30/2022 9:30	2915.9	2.4		5/31/2022 13:04	3120.2	2.49	
5/30/2022 9:31	2900.7	2.45		5/31/2022 13:05	3074.3	2.55	
5/30/2022 9:32	2911.3	2.5		5/31/2022 13:06	3104.5	2.6	
5/30/2022 9:33	2945.2	2.55		5/31/2022 13:07	3125.3	2.66	
5/30/2022 9:41	2620.9	2.59		5/31/2022 13:08	3027.1	2.71	
5/30/2022 9:42	2859.3	2.64		5/31/2022 13:09	3094.9	2.77	
5/30/2022 9:43	2913.1	2.69		5/31/2022 13:10	2999.5	2.82	
5/30/2022 9:44	2916.2	2.74		5/31/2022 13:11	3011.4	2.88	
5/30/2022 9:45	2940.3	2.79		5/31/2022 13:19	2678.8	2.88	
5/30/2022 9:46	2934.5	2.84		5/31/2022 13:20	2977.5	2.93	
5/30/2022 9:47	2901.3	2.9		5/31/2022 13:21	2993.9	2.99	
5/30/2022 9:48	2920.3	2.95		5/31/2022 13:22	3036.9	3.04	
5/30/2022 9:49	2941.3	3		5/31/2022 13:23	3007.6	3.09	
5/30/2022 9:50	2934	3.05		5/31/2022 13:24	3062	3.14	
5/30/2022 9:51	2947.1	3.1		5/31/2022 13:25	3058.4	3.2	0.64
5/30/2022 9:52	2959.5	3.16		5/31/2022 13:27	3043.2	3.25	
5/30/2022 9:53	2976.4	3.21	2.29	5/31/2022 13:28	3044.8	3.31	
5/30/2022 9:54	2997.5	3.26		5/31/2022 13:29	3049.9	3.36	
5/30/2022 9:56	2990.5	3.31		5/31/2022 13:30	2996.5	3.42	
5/30/2022 9:57	2996.8	3.37		5/31/2022 13:31	3046.7	3.47	
5/30/2022 9:58	2995.1	3.42		5/31/2022 13:32	3036.7	3.52	
5/30/2022 9:59	3007.5	3.47		5/31/2022 13:40	2663.4	3.56	
5/30/2022 10:00	2968.1	3.52		5/31/2022 13:41	2935.1	3.62	
5/30/2022 10:01	2990.4	3.57		5/31/2022 13:42	2956.9	3.67	
5/30/2022 10:02	2964.5	3.63		5/31/2022 13:43	2991.8	3.72	
5/30/2022 10:03	2970.7	3.68		5/31/2022 13:44	3018.8	3.77	0.47
5/30/2022 10:04	2994.7	3.73		5/31/2022 13:45	3040.8	3.82	
5/30/2022 10:05	3006	3.78		5/31/2022 13:46	3022.1	3.88	
5/30/2022 10:06	3009.2	3.83		5/31/2022 13:47	3000.9	3.93	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5/30/2022 10:07	3026.4	3.89		5/31/2022 13:48	2980.5	3.98	
5/30/2022 10:08	3040.9	3.94		5/31/2022 13:50	3011.3	4.03	
5/30/2022 10:09	3033.3	4		5/31/2022 13:55	2610.6	4.05	
5/30/2022 10:10	3003.4	4.05		5/31/2022 13:56	2955.4	4.11	
5/30/2022 10:11	3001	4.1		5/31/2022 13:57	2953.5	4.16	
5/30/2022 10:12	2964.1	4.15		5/31/2022 13:58	2969.7	4.21	
5/30/2022 10:13	2970.9	4.2		5/31/2022 13:59	2962.9	4.26	0.37
5/30/2022 10:14	2980.1	4.25		5/31/2022 14:00	2985.6	4.31	
5/30/2022 10:15	2975.9	4.31		5/31/2022 14:01	2959.7	4.37	
5/30/2022 10:16	2978	4.36		5/31/2022 14:02	2991	4.42	
5/30/2022 10:17	3004	4.41		5/31/2022 14:08	2656.5	4.44	
5/30/2022 10:18	2991.4	4.46		5/31/2022 14:09	2965.7	4.49	
5/30/2022 10:20	2966.7	4.51		5/31/2022 14:10	3021	4.54	
5/30/2022 10:21	3021.7	4.56		5/31/2022 14:11	3066.9	4.6	
5/30/2022 10:22	2974.8	4.62		5/31/2022 14:12	3096.4	4.66	
5/30/2022 10:23	2954.9	4.67		5/31/2022 14:13	3170.8	4.72	
5/30/2022 10:24	2989.3	4.72		5/31/2022 14:14	3108.3	4.77	
5/30/2022 10:25	2989.7	4.77		5/31/2022 14:15	3060.1	4.83	
5/30/2022 10:26	2997.2	4.83		5/31/2022 14:17	3075	4.88	
5/30/2022 10:27	2976.9	4.88		5/31/2022 14:18	3094	4.93	0.99
5/30/2022 10:32	2696	4.89		5/31/2022 14:19	3117.5	4.99	
5/30/2022 10:33	2918.1	4.94		5/31/2022 14:20	3078.2	5.05	
5/30/2022 10:34	2936.6	4.99		5/31/2022 14:21	3071.9	5.11	
5/30/2022 10:36	2974.1	5.05		5/31/2022 14:22	3047.5	5.16	
5/30/2022 10:37	2932.5	5.1		5/31/2022 14:23	3048.1	5.21	
5/30/2022 10:38	2918.5	5.15	1.2	5/31/2022 14:24	3124.6	5.27	
5/30/2022 10:39	2911.1	5.2		5/31/2022 14:25	3159.9	5.32	
5/30/2022 10:40	2957	5.25		5/31/2022 14:26	3182.9	5.38	
5/30/2022 10:41	3015.5	5.3		5/31/2022 14:27	3141.2	5.43	
5/30/2022 10:42	3040.9	5.36		5/31/2022 14:33	2843.4	5.48	0.87

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5/30/2022 10:43	3004.2	5.41		5/31/2022 14:34	2991.6	5.54	
5/30/2022 10:44	3010.3	5.46		5/31/2022 14:36	3100.1	5.59	
5/30/2022 10:45	2977.7	5.51		5/31/2022 14:37	3109.3	5.65	
5/30/2022 10:46	2990.5	5.56		5/31/2022 14:38	3115.8	5.7	
5/30/2022 10:47	2993.1	5.62		5/31/2022 14:39	3095.2	5.76	
5/30/2022 10:48	3046.4	5.67		5/31/2022 14:40	3070.6	5.81	
5/30/2022 10:49	3005.9	5.72		5/31/2022 14:41	3128.7	5.86	
5/30/2022 10:50	2981.4	5.78		5/31/2022 14:42	3057.7	5.92	
5/30/2022 10:51	2994.7	5.83		5/31/2022 14:43	3078.7	5.97	
5/30/2022 10:52	2985.2	5.88		5/31/2022 14:44	3030.1	6.03	
5/30/2022 10:53	2988.2	5.93		5/31/2022 14:45	3064.1	6.08	
5/30/2022 10:54	3008.1	5.99		5/31/2022 14:46	3074.7	6.13	
5/30/2022 10:55	3001.4	6.04		5/31/2022 14:47	3126.4	6.19	
5/30/2022 10:56	2984.3	6.09		5/31/2022 14:48	3109.6	6.24	
5/30/2022 11:01	2631.9	6.13		5/31/2022 14:49	3073.4	6.29	
5/30/2022 11:02	2894.4	6.18		5/31/2022 14:50	3101.7	6.35	
5/30/2022 11:03	2948.9	6.23		5/31/2022 14:57	2667.1	6.38	
5/30/2022 11:04	2942.3	6.28		5/31/2022 14:58	2992.9	6.44	
5/30/2022 11:05	2967.9	6.33		5/31/2022 14:59	3028.6	6.49	
5/30/2022 11:06	2969.5	6.38		5/31/2022 15:01	3033.3	6.55	
5/30/2022 11:07	2981.2	6.43		5/31/2022 15:02	3039.4	6.6	
5/30/2022 11:08	2991.1	6.49		5/31/2022 15:03	3056.8	6.66	
5/30/2022 11:09	2985.2	6.54	1.08	5/31/2022 15:04	3055.5	6.71	0.93
5/30/2022 11:10	2988.8	6.59		5/31/2022 15:05	3061.1	6.76	
5/30/2022 11:11	2993.6	6.64		5/31/2022 15:06	3071.6	6.82	
5/30/2022 11:12	2962.5	6.69		5/31/2022 15:07	3087.1	6.87	
5/30/2022 11:13	2971.8	6.75		5/31/2022 15:08	3047.8	6.93	
5/30/2022 11:14	2955.7	6.8		5/31/2022 15:09	3034.9	6.98	
5/30/2022 11:15	3012.8	6.85		5/31/2022 15:10	3056.3	7.04	
5/30/2022 11:16	3016.9	6.9		5/31/2022 15:11	3037.5	7.1	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5/30/2022 11:17	3001	6.95		5/31/2022 15:12	3067.7	7.15	
5/30/2022 11:19	2998.3	7		5/31/2022 15:13	3049	7.2	
5/30/2022 11:20	3011.6	7.06		5/31/2022 15:14	3061.3	7.26	
5/30/2022 11:21	3025.9	7.11		5/31/2022 15:15	3059.3	7.31	
5/30/2022 11:22	3015.9	7.16		5/31/2022 15:22	2679.9	7.33	
5/30/2022 11:23	3012.5	7.21		5/31/2022 15:24	2965.8	7.38	
5/30/2022 11:29	2626.5	7.26		5/31/2022 15:25	2999.4	7.44	
5/30/2022 11:30	2952.3	7.32		5/31/2022 15:26	2999.8	7.49	
5/30/2022 11:31	2945	7.37		5/31/2022 15:27	3025	7.54	
5/30/2022 11:33	2995.6	7.42		5/31/2022 15:28	3055.5	7.6	
5/30/2022 11:34	3034.3	7.47		5/31/2022 15:29	3022.8	7.66	0.59
5/30/2022 11:35	3015.3	7.53	0.47	5/31/2022 15:30	3043.1	7.71	
5/30/2022 11:36	2995.9	7.58		5/31/2022 15:31	3064.8	7.77	
5/30/2022 11:37	2997.9	7.63		5/31/2022 15:32	3013.7	7.82	
5/30/2022 11:38	2976.2	7.68		5/31/2022 15:33	2999.5	7.87	
5/30/2022 11:39	3004.1	7.73		5/31/2022 15:34	3027.8	7.92	
5/30/2022 11:48	2723.6	7.74		5/31/2022 15:41	2726.1	7.93	
5/30/2022 11:49	2972.8	7.79		5/31/2022 15:42	2941.9	7.99	
5/30/2022 11:50	3006.5	7.84		5/31/2022 15:44	2975.8	8.04	
5/30/2022 11:51	3032.4	7.9		5/31/2022 15:45	3007.7	8.09	
5/30/2022 11:52	3056.6	7.95		5/31/2022 15:46	3065.8	8.14	0.48
5/30/2022 11:53	2972	8.01		5/31/2022 15:47	3058.6	8.19	
5/30/2022 11:54	3019.5	8.06		5/31/2022 15:48	3022.3	8.25	
5/30/2022 11:55	3031.4	8.11	0.9	5/31/2022 15:49	3021.1	8.3	
5/30/2022 11:56	3050.7	8.16		5/31/2022 15:50	3009.6	8.35	
5/30/2022 11:58	3049.3	8.22		5/31/2022 15:51	3023.1	8.41	
5/30/2022 11:59	3041.5	8.27		5/31/2022 15:59	2724	8.44	
5/30/2022 12:00	3036	8.32		5/31/2022 16:00	2843.7	8.5	
5/30/2022 12:01	3038.6	8.38		5/31/2022 16:01	2852.1	8.55	0.31
5/30/2022 12:02	3055.6	8.43		5/31/2022 16:02	2888.6	8.6	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5/30/2022 12:03	3043.9	8.48	
5/30/2022 12:04	3040	8.54	
5/30/2022 12:05	3008.1	8.59	
5/30/2022 12:06	3013.9	8.64	
5/30/2022 12:14	2709.9	8.66	
5/30/2022 12:15	2949.2	8.71	
5/30/2022 12:16	2934.7	8.76	
5/30/2022 12:17	2984.5	8.81	
5/30/2022 12:18	2992.9	8.86	
5/30/2022 12:19	3007.7	8.91	
5/30/2022 12:20	2994.3	8.97	
5/30/2022 12:21	3022.7	9.02	0.68
5/30/2022 12:22	3020.9	9.07	
5/30/2022 12:23	3050.3	9.12	
5/30/2022 12:25	3049.2	9.18	
5/30/2022 12:26	3052.2	9.23	
5/30/2022 12:27	3065.4	9.28	
5/30/2022 12:28	3052.4	9.34	
5/30/2022 12:36	2745.1	9.34	
5/30/2022 12:37	2984.6	9.39	
5/30/2022 12:38	3025	9.45	
5/30/2022 12:39	3043.8	9.5	
5/30/2022 12:40	3033.8	9.56	
5/30/2022 12:41	3047	9.61	
5/30/2022 12:42	3027.2	9.66	0.59
5/30/2022 12:43	3049.6	9.72	
5/30/2022 12:44	3039.8	9.77	
5/30/2022 12:45	3025.5	9.82	
5/30/2022 12:46	3001.5	9.87	
5/30/2022 12:47	3058.2	9.93	
5/31/2022 16:03	2859.4	8.65	
5/31/2022 16:05	2842.7	8.7	
5/31/2022 16:06	2888.8	8.75	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5/30/2022 12:58	2767	9.96	
5/30/2022 12:59	2934.6	10.01	
5/30/2022 13:00	3045.1	10.06	
5/30/2022 13:01	2977	10.12	
5/30/2022 13:02	3005.1	10.17	0.37
5/30/2022 13:03	3002	10.23	
5/30/2022 13:04	2986.4	10.28	
5/30/2022 13:05	2969.7	10.33	
5/30/2022 13:14	2692.6	10.35	
5/30/2022 13:15	2928.6	10.41	
5/30/2022 13:16	2980.7	10.46	
5/30/2022 13:17	2967.6	10.51	
5/30/2022 13:18	3031.8	10.57	
5/30/2022 13:19	3010.1	10.62	
5/30/2022 13:20	3035.4	10.67	
5/30/2022 13:21	3056.1	10.72	
5/30/2022 13:22	3020.6	10.78	0.86
5/30/2022 13:23	3111.3	10.83	
5/30/2022 13:24	3089.7	10.89	
5/30/2022 13:25	3086.2	10.94	
5/30/2022 13:26	3068.6	10.99	
5/30/2022 13:27	3056.4	11.05	
5/30/2022 13:28	3040.2	11.1	
5/30/2022 13:29	3051.9	11.15	
5/30/2022 13:30	3077.9	11.21	
5/30/2022 13:38	2783.9	11.23	
5/30/2022 13:39	3015	11.28	
5/30/2022 13:40	2975.2	11.33	1.13
5/30/2022 13:41	3092.6	11.39	
5/30/2022 13:43	3108.2	11.44	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5/30/2022 13:44	3113.3	11.5	
5/30/2022 13:45	3100.8	11.55	
5/30/2022 13:46	3066.8	11.61	
5/30/2022 13:47	3064.9	11.67	
5/30/2022 13:48	3088.3	11.72	
5/30/2022 13:49	3013.3	11.77	
5/30/2022 13:50	3037.5	11.82	
5/30/2022 13:51	3089.5	11.88	
5/30/2022 13:52	3041	11.93	
5/30/2022 13:53	3129.4	11.98	
5/30/2022 13:54	3110.3	12.04	
5/30/2022 13:55	3083	12.09	
5/30/2022 13:56	3086.5	12.15	
5/30/2022 13:57	3110.6	12.2	
5/30/2022 13:58	3064.3	12.25	
5/30/2022 13:59	3072.1	12.31	
5/30/2022 14:00	3051.7	12.36	
5/30/2022 14:08	2780.6	12.39	
5/30/2022 14:09	2978.4	12.44	
5/30/2022 14:10	3019.9	12.5	
5/30/2022 14:11	3060.1	12.55	
5/30/2022 14:12	3026.5	12.6	
5/30/2022 14:13	3013.5	12.65	
5/30/2022 14:14	3059	12.71	1.02
5/30/2022 14:15	3059.5	12.77	
5/30/2022 14:17	3036.3	12.82	
5/30/2022 14:18	3035.2	12.88	
5/30/2022 14:19	2985	12.93	
5/30/2022 14:20	3018.3	12.99	
5/30/2022 14:21	2994.1	13.04	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5/30/2022 14:22	3045.3	13.09	
5/30/2022 14:23	3037.1	13.14	
5/30/2022 14:24	3025.3	13.2	
5/30/2022 14:25	3059.2	13.25	
5/30/2022 14:26	3059.7	13.3	
5/30/2022 14:27	3045.3	13.36	
5/30/2022 14:28	3047.6	13.41	
5/30/2022 14:39	2764.9	13.44	
5/30/2022 14:40	2997.2	13.5	
5/30/2022 14:41	3007.3	13.55	
5/30/2022 14:42	3031.4	13.6	
5/30/2022 14:43	3056.1	13.65	
5/30/2022 14:44	3043.8	13.71	
5/30/2022 14:45	3080.3	13.76	0.64
5/30/2022 14:46	3046.7	13.81	
5/30/2022 14:47	3017.1	13.87	
5/30/2022 14:48	3017.8	13.92	
5/30/2022 14:49	2998.5	13.97	
5/30/2022 14:50	3050.2	14.02	
5/30/2022 14:51	3057.6	14.08	
5/30/2022 15:02	2765.8	14.12	
5/30/2022 15:03	2961.4	14.17	
5/30/2022 15:04	3023	14.23	
5/30/2022 15:05	3069.2	14.28	
5/30/2022 15:06	3042.3	14.33	0.42
5/30/2022 15:07	3030	14.38	
5/30/2022 15:08	3024.5	14.44	
5/30/2022 15:09	3030	14.49	
5/30/2022 15:10	3057.1	14.54	
5/30/2022 15:17	2710.9	14.55	0.47

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5/30/2022 15:18	2935.1	14.61	
5/30/2022 15:19	2974	14.66	
5/30/2022 15:21	3000.8	14.71	
5/30/2022 15:22	3008.6	14.76	
5/30/2022 15:23	2980.8	14.81	
5/30/2022 15:24	3023.3	14.87	
5/30/2022 15:25	3008.5	14.92	
5/30/2022 15:26	3027.9	14.97	
5/30/2022 15:27	3029	15.02	
5/30/2022 15:37	2738.1	15.07	
5/30/2022 15:38	2994.4	15.12	
5/30/2022 15:39	3041.7	15.18	
5/30/2022 15:40	3069.4	15.23	
5/30/2022 15:41	3058	15.28	
5/30/2022 15:42	3048.3	15.34	
5/30/2022 15:43	3030.1	15.39	0.64
5/30/2022 15:44	3045.2	15.44	
5/30/2022 15:45	3048.1	15.5	
5/30/2022 15:46	3036.5	15.55	
5/30/2022 15:47	3046	15.6	
5/30/2022 15:48	3069.5	15.66	
5/30/2022 15:49	3055.3	15.71	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 18 ผลการใช้พลังงานหลังทำมาตรการล้างครื่องปรับอากาศ เครื่องที่ 2 (25,425 BTU/hr)

Before				After			
DATE_TIME	AVERAGE(POWER (W))	AVERAGE(ENERGY (KWH))	kWh per cycle	DATE_TIME	AVERAGE(POWER (W))	AVERAGE(ENERGY (KWH))	kWh per cycle
5/23/2022 8:15	1	0		5/23/2022 12:00	1	0	
5/23/2022 8:16	2105.3	0.02	0.04	5/23/2022 12:01	0.9	0	
5/23/2022 8:17	1965.9	0.06		5/23/2022 12:02	0.9	0	
5/23/2022 8:18	0.9	0.08		5/23/2022 12:03	1941	0.04	0.03

5/23/2022 8:20	0.9	0.08		5/23/2022 12:04	1904.1	0.07	
5/23/2022 8:21	0.9	0.08		5/23/2022 12:05	1	0.09	
5/23/2022 8:22	2030.2	0.12		5/23/2022 12:06	0.9	0.09	
5/23/2022 8:23	1958	0.15	0.06	5/23/2022 12:07	1	0.09	
5/23/2022 8:24	1969.7	0.18		5/23/2022 12:08	2164.3	0.11	
5/23/2022 8:25	1	0.21		5/23/2022 12:09	1994.6	0.15	0.07
5/23/2022 8:26	0.9	0.21		5/23/2022 12:10	2014.9	0.18	
5/23/2022 8:27	1	0.21		5/23/2022 12:11	0.9	0.19	
5/23/2022 8:28	2164.3	0.23		5/23/2022 12:12	1	0.19	
5/23/2022 8:29	1954.7	0.26	0.07	5/23/2022 12:13	0.9	0.19	
5/23/2022 8:30	1947.6	0.3		5/23/2022 12:14	2075.5	0.23	0.03
5/23/2022 8:31	0.9	0.32		5/23/2022 12:15	2036.3	0.26	
5/23/2022 8:32	0.9	0.32		5/23/2022 12:16	0.9	0.28	
5/23/2022 8:33	0.9	0.32		5/23/2022 12:17	0.9	0.28	
5/23/2022 8:34	2148.7	0.34		5/23/2022 12:18	1	0.28	
5/23/2022 8:35	1946.4	0.38	0.08	5/23/2022 12:19	2141.5	0.31	
5/23/2022 8:37	1948.4	0.42		5/23/2022 12:20	2014.7	0.34	0.07
5/23/2022 8:38	0.9	0.42		5/23/2022 12:21	2053.3	0.38	
5/23/2022 8:39	1	0.42		5/23/2022 12:22	0.9	0.39	
5/23/2022 8:40	2139.5	0.44		5/23/2022 12:23	2411.2	0.39	
5/23/2022 8:41	1955.1	0.47	0.07	5/23/2022 12:24	2024.2	0.43	0.11
5/23/2022 8:42	1952.3	0.51		5/23/2022 12:25	2076.1	0.47	
5/23/2022 8:43	0.9	0.54		5/23/2022 12:26	2073.3	0.5	
5/23/2022 8:44	0.9	0.54		5/23/2022 12:27	0.9	0.51	
5/23/2022 8:45	1	0.54		5/23/2022 12:28	0.9	0.51	
5/23/2022 8:46	2204.5	0.55		5/23/2022 12:29	2247.4	0.52	
5/23/2022 8:47	1946.2	0.59	0.07	5/23/2022 12:30	2010.7	0.56	0.07
5/23/2022 8:49	1955.8	0.62		5/23/2022 12:31	2031.5	0.59	
5/23/2022 8:50	0.9	0.63		5/23/2022 12:32	0.9	0.63	
5/23/2022 8:51	1	0.63		5/23/2022 12:33	1	0.63	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5/23/2022 8:52	2168.4	0.64	0.11	5/23/2022 12:34	0.9	0.63	0.1
5/23/2022 8:53	1948.6	0.68		5/23/2022 12:35	2263.7	0.65	
5/23/2022 8:54	1964	0.72		5/23/2022 12:36	2011.7	0.68	
5/23/2022 8:55	1940.5	0.75		5/23/2022 12:37	2069.2	0.72	
5/23/2022 8:56	0.9	0.75		5/23/2022 12:38	2064.4	0.75	
5/23/2022 8:58	0.9	0.75		5/23/2022 12:39	0.9	0.77	
5/23/2022 8:59	2155.3	0.77	0.11	5/23/2022 12:40	0.9	0.77	0.04
5/23/2022 9:00	1964.4	0.81		5/23/2022 12:41	0.9	0.77	
5/23/2022 9:01	1982.7	0.84		5/23/2022 12:42	2150.3	0.8	
5/23/2022 9:02	1972.6	0.88		5/23/2022 12:43	2040	0.84	
				5/23/2022 12:44	1	0.88	
				5/23/2022 12:45	0.9	0.88	
				5/23/2022 12:46	0.9	0.88	
				5/23/2022 12:47	2273	0.9	0.07
				5/23/2022 12:48	2032.3	0.93	
				5/23/2022 12:49	2029.3	0.97	

ตารางที่ 19 ผลการใช้พลังงานหลังทำมาตรการล้างครื่องปรับอากาศ เครื่องที่ 3 (13,128 BTU/hr)

Before				After			
DATE_TIME	AVERAGE(POWER (W))	AVERAGE(ENERGY (KWH))	kWh per cycle	DATE_TIME	AVERAGE(POWER (W))	AVERAGE(ENERGY (KWH))	kWh per cycle
5/23/2022 10:13	865.3	0.01	0.13	5/23/2022 13:30	817.8	0.01	0.14
5/23/2022 10:14	884.5	0.03		5/23/2022 13:31	900.3	0.02	
5/23/2022 10:15	901.9	0.04		5/23/2022 13:32	942.9	0.04	
5/23/2022 10:16	904.4	0.06		5/23/2022 13:33	962.6	0.06	
5/23/2022 10:17	918.7	0.07		5/23/2022 13:34	980.6	0.08	
5/23/2022 10:18	935.4	0.09		5/23/2022 13:35	1013.1	0.1	
5/23/2022 10:20	941	0.10		5/23/2022 13:36	1054.7	0.11	
5/23/2022 10:21	932.5	0.12		5/23/2022 13:37	997.9	0.13	
5/23/2022 10:22	932.1	0.13		5/23/2022 13:38	1001.4	0.15	
5/23/2022 10:23	931.4	0.15		5/23/2022 13:39	0	0.15	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

5/23/2022 10:27	0	0.15		5/23/2022 13:40	0	0.15	
5/23/2022 10:28	0	0.15		5/23/2022 13:41	0	0.15	
5/23/2022 10:29	0	0.15		5/23/2022 13:42	0	0.15	
5/23/2022 10:31	0	0.15		5/23/2022 13:43	0	0.15	
5/23/2022 10:32	0	0.15		5/23/2022 13:44	0	0.15	
5/23/2022 10:33	0	0.15		5/23/2022 13:45	932.1	0.16	
5/23/2022 10:34	0	0.15		5/23/2022 13:46	985.2	0.17	
5/23/2022 10:35	0	0.15		5/23/2022 13:47	988.2	0.19	0.07
5/23/2022 10:36	916.7	0.16		5/23/2022 13:48	1019.7	0.21	
5/23/2022 10:37	934.2	0.18		5/23/2022 13:49	1008	0.23	
5/23/2022 10:38	945.8	0.19		5/23/2022 13:50	0	0.23	
5/23/2022 10:39	955.8	0.21		5/23/2022 13:51	0	0.23	
5/23/2022 10:40	950.3	0.22		5/23/2022 13:52	0	0.23	
5/23/2022 10:41	946.4	0.24	0.16	5/23/2022 13:53	0	0.23	
5/23/2022 10:42	955.5	0.26		5/23/2022 13:54	0	0.23	
5/23/2022 10:43	951.1	0.27		5/23/2022 13:55	0	0.23	
5/23/2022 10:44	953	0.29		5/23/2022 13:56	958.8	0.24	
5/23/2022 10:45	959.3	0.30		5/23/2022 13:57	992.7	0.26	
5/23/2022 10:46	955.1	0.32		5/23/2022 13:58	1029.4	0.28	
5/23/2022 10:47	0	0.32		5/23/2022 13:59	1029	0.3	0.13
5/23/2022 10:48	0	0.32		5/23/2022 14:00	1038.4	0.32	
5/23/2022 10:49	0	0.32		5/23/2022 14:01	1029.4	0.34	
5/23/2022 10:50	0	0.32		5/23/2022 14:02	1006.8	0.35	
5/23/2022 10:51	0	0.32		5/23/2022 14:03	1018.7	0.37	
5/23/2022 10:52	0	0.32		5/23/2022 14:04	0	0.38	
5/23/2022 10:53	0	0.32		5/23/2022 14:05	0	0.38	
5/23/2022 10:54	900.8	0.34		5/23/2022 14:06	0	0.38	
5/23/2022 10:55	915	0.35	0.14	5/23/2022 14:07	0	0.38	
5/23/2022 10:56	921.4	0.37		5/23/2022 14:08	0	0.38	
5/23/2022 10:57	926.6	0.38		5/23/2022 14:09	0	0.38	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5/23/2022 10:58	928.9	0.40		5/23/2022 14:10	0	0.38	
5/23/2022 10:59	938.3	0.41		5/23/2022 14:11	953.1	0.39	
5/23/2022 11:00	939.3	0.43		5/23/2022 14:12	1005.9	0.41	
5/23/2022 11:01	939.7	0.44		5/23/2022 14:13	1003.6	0.43	
5/23/2022 11:02	944.9	0.46		5/23/2022 14:14	1012.2	0.44	0.09
5/23/2022 11:03	946.2	0.48		5/23/2022 14:15	1030.9	0.46	
				5/23/2022 14:16	1030.3	0.48	

ตารางที่ 20 ค่าการใช้พลังงานของ Freezer หลังการละลายน้ำแข็งหลังการละลายน้ำแข็ง

เก็บค่าการใช้พลังงานของ Freezer หลังละลายน้ำแข็ง				
เวลา	**กำลังไฟ (W)**	**การใช้พลังงาน (kWh)**	**อุณหภูมิ (C)**	**หมายเหตุ**
1:31:00 PM	3.92	0.00007	-16.9	
1:32:00 PM	3.81	0.00006	-17	
1:33:00 PM	3.81	0.00006	-17	
1:34:00 PM	2.83	0.00005	-17	
1:35:00 PM	2.83	0.00005	-17	
1:36:00 PM	2.95	0.00005	-16.8	
1:37:00 PM	2.95	0.00005	-16.8	
1:38:00 PM	2.93	0.00005	-16.8	
1:39:00 PM	2.93	0.00005	-16.8	
1:40:00 PM	2.85	0.00005	-16.6	
1:41:00 PM	2.85	0.00005	-16.6	
1:42:00 PM	2.8	0.00005	-16.6	
1:43:00 PM	2.8	0.00005	-16.6	
1:44:00 PM	578.5	0.00964	-16.6	Comp.ทำงาน
1:45:00 PM	474.7	0.00791	-16.8	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

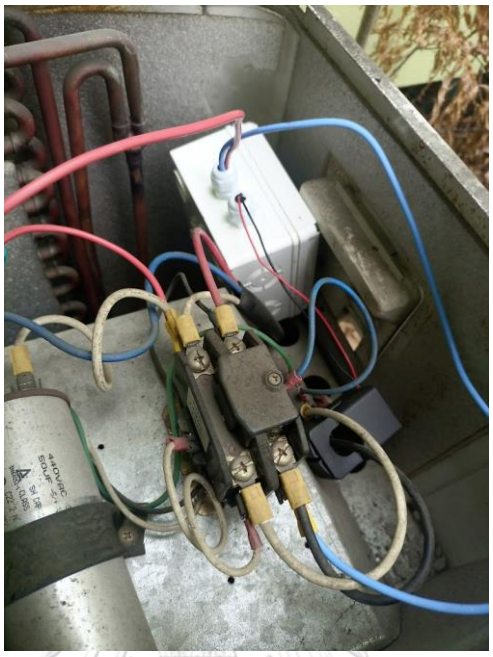
1:46:00 PM	458.5	0.00764	-16.9	
1:47:00 PM	4.03	0.00007	-17	Comp.หยุดทำงาน
1:48:00 PM	3.77	0.00006	-17	
1:49:00 PM	3.77	0.00006	-17	
1:50:00 PM	3.8	0.00006	-17	
1:51:00 PM	3.8	0.00006	-17	
1:52:00 PM	3.74	0.00006	-17	
1:53:00 PM	3.74	0.00006	-17	
1:54:00 PM	2.98	0.00005	-17	
1:55:00 PM	2.98	0.00005	-17	
1:56:00 PM	2.99	0.00005	-16.9	
1:57:00 PM	2.99	0.00005	-16.9	
1:58:00 PM	2.98	0.00005	-16.9	
1:59:00 PM	2.98	0.00005	-16.9	
2:00:00 PM	2.9	0.00005	-16.8	
2:01:00 PM	2.9	0.00005	-16.8	
2:02:00 PM	2.94	0.00005	-16.8	
2:03:00 PM	2.94	0.00005	-16.8	
2:04:00 PM	2.83	0.00005	-16.7	
2:05:00 PM	2.83	0.00005	-16.7	
2:06:00 PM	578.1	0.00964	-16.7	Comp.ทำงาน
2:07:00 PM	485.7	0.00810	-16.8	
2:08:00 PM	456.9	0.00762	-16.8	
2:09:00 PM	3.96	0.00007	-16.9	Comp.หยุดทำงาน
2:10:00 PM	3.88	0.00006	-16.9	
2:11:00 PM	3.88	0.00006	-16.9	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2:12:00 PM	3.79	0.00006	-16.9	
2:13:00 PM	3.79	0.00006	-16.9	
2:14:00 PM	3.8	0.00006	-16.9	
2:15:00 PM	3.8	0.00006	-16.9	
2:16:00 PM	3.89	0.00006	-16.9	
2:17:00 PM	3.89	0.00006	-16.9	
2:18:00 PM	2.97	0.00005	-16.9	
2:19:00 PM	2.97	0.00005	-16.9	
2:20:00 PM	2.98	0.00005	-16.9	
2:21:00 PM	2.98	0.00005	-16.9	
2:22:00 PM	2.79	0.00005	-16.9	
2:23:00 PM	2.79	0.00005	-16.9	
2:24:00 PM	3.04	0.00005	-16.6	
2:25:00 PM	3.04	0.00005	-16.6	
2:26:00 PM	2.92	0.00005	-16.6	
2:27:00 PM	2.92	0.00005	-16.6	
2:28:00 PM	581.5	0.00969	-16.6	Comp.ทำงาน
2:29:00 PM	485.7	0.00810	-16.7	
2:30:00 PM	4.29	0.00007	-16.8	Comp.หยุดทำงาน
2:31:00 PM	4.29	0.00007	-16.8	
	ผลรวม (kWh)	0.07124 kWh/hr		
		1.709764 kWh/Day		

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ข รูปการจัดทำมาตรประหยัดพลังงาน และการรวบรวมข้อมูล



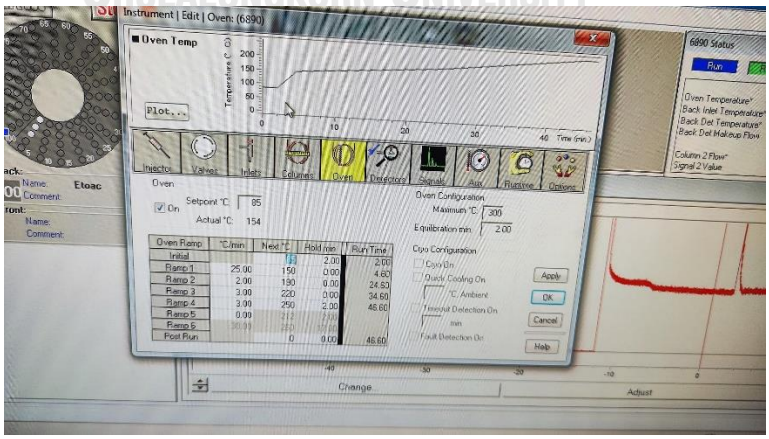
รูปที่ 26 การติดตั้ง Data logger สำหรับเก็บข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ

รูปที่ 27 การติดตั้ง Data logger สำหรับเก็บข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นของเครื่องปรับอากาศ

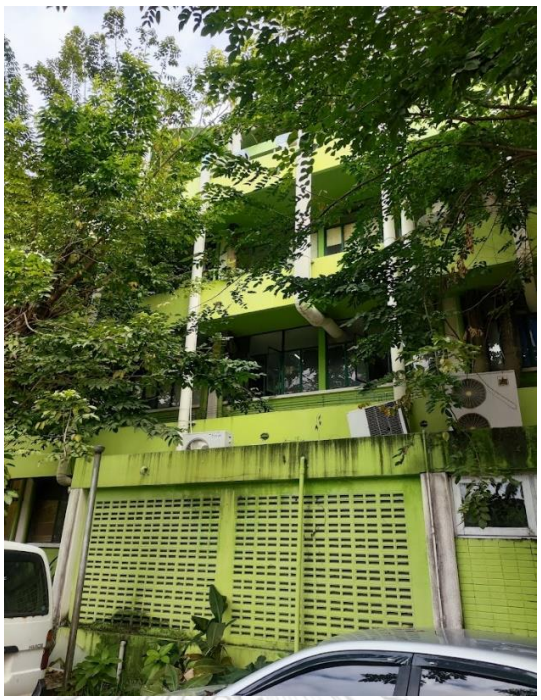
รูปที่ 28 การตรวจสอบการรั่วซึมของน้ำยาแอร์ภายหลังจากล้างเครื่องปรับอากาศ

รูปที่ 29 หน้าต่างเว็บไซต์การแสดงผลของ Data logger ที่ถูกบันทึกผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 30 โปรแกรมการตั้งค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของ Oven ของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี



รูปที่ 31 ตำแหน่งของคอมเพรสเซอร์ที่ไม่ดี ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาในระบบปรับอากาศ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	ศุภธัช อินทะวัง
วัน เดือน ปี เกิด	23 มกราคม พ.ศ. 2541
สถานที่เกิด	นนทบุรี
วุฒิการศึกษา	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ที่อยู่ปัจจุบัน	127/36 ซอยวัดลุ่มคงคาราม หมู่ 4 ต.บางกรวย อ.บางกรวย จ.นนทบุรี 11130

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY