

การพัฒนาระบบปรับอากาศที่ใช้คอมเพรสเซอร์กระแสดรง

ฤตกร กัลละกะ

TNI

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

บัณฑิตวิทยาลัย สาขาเทคโนโลยีวิศวกรรม

สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

ปีการศึกษา 2559

DEVELOPMENT OF AIR CONDITIONING SYSTEM USING DC COMPRESSOR

Ruetakorn Kallaka



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Engineering Technology

Graduate School

Thai-Nichi Institute of Technology

Academic Year 2016

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การพัฒนาระบบปรับอากาศที่ใช้คอมเพรสเซอร์กระแสตรง

โดย

ฤตกร กัลกะ

สาขาวิชา

เทคโนโลยีวิศวกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิภาวดี วงษ์สุวรรณ

บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร. พิชิต สุขเจริญพงษ์)

วันที่เดือน.....พ.ศ.....

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิพัฒน์ ชัยวิวัฒน์วรกุล)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. ณัฐพล ลิ้มจิระจรัส)

..... กรรมการ

(ดร. เอกอุ ธรรมกรบัญญัติ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิภาวดี วงษ์สุวรรณ)

ถอดกร กัลละ : การพัฒนาระบบปรับอากาศที่ใช้คอมเพรสเซอร์กระแสดรง.

อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิภาวดี วงษ์สุวรรณ, 91 หน้า.

การนำพลังงานหมุนเวียนมาใช้ในระบบปรับอากาศ นอกจากเป็นการประหยัดพลังงานไฟฟ้าแล้ว ยังมีผลดีต่อสิ่งแวดล้อมและลดมลพิษจากการผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้เชื้อเพลิงซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อน โดยการนำไฟฟ้ากระแสตรงจากโซลาร์เซลล์เพื่อจ่ายให้ชุดแบตเตอรี่และเครื่องปรับอากาศแบบรับไฟฟ้ากระแสตรง มีข้อดีคือไม่ต้องมีการแปลงไฟฟ้าเป็นกระแสสลับเพื่อใช้กับเครื่องปรับอากาศไฟฟ้ากระแสสลับโดยทั่วไป งานวิจัยนี้จึงมุ่งพัฒนาและทดสอบระบบปรับอากาศชนิดไฟฟ้ากระแสตรง ให้ทำงานร่วมกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาได้

ระบบปรับอากาศไฟฟ้ากระแสตรงจากเซลล์แสงอาทิตย์นี้ ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อเป็นแบบจำลองสำหรับดูเก็บเงินทางด่วน ระบบทดสอบมีการติดตั้งเซ็นเซอร์หรืออุปกรณ์เพื่อตรวจวัดอุณหภูมิ ความชื้น ความต่างศักย์ กระแสไฟฟ้า และความเร็วลม โดยค่าการวัดอุณหภูมิและความชื้นอากาศได้รับการบันทึกลงในคอมพิวเตอร์เพื่อการประมวลผล และมีการใช้แบบสอบถามผู้เข้าร่วมทดสอบเพื่อประเมินความสบายทางอุณหภูมิด้วย

ผลการทดสอบแสดงว่าอัตราการทำความเย็นของระบบปรับอากาศสูงสุดมีค่า 7,981 Btu/hr และสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น (COP) มีค่า 3.2 อัตราการทำความเย็นต่อการใช้พลังงาน (EER) มีค่าเท่ากับ 10.9 ตามมาตรฐาน มอก. ได้ค่าประหยัดไฟฟ้าเบอร์ 5 สรุปว่า มีความเป็นไปได้ที่จะประยุกต์ใช้ระบบปรับอากาศแบบรับไฟฟ้ากระแสตรงจากชุดแบตเตอรี่ ที่ประจุโดยระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา เพื่อปรับสภาพอากาศภายในห้องเก็บเงินทางด่วนให้มีความสบายทางอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับผู้ทำงาน หากแบตเตอรี่ประจุเต็มเริ่มใช้งานประมาณเที่ยงวันก็จะใช้งานได้อย่างน้อย 3 ชั่วโมง และมีคุ่มค่าที่จะพัฒนาต่อยอดเพื่อให้ระบบมีความคุ่มค่าต่อการลงทุนมากขึ้น

RUETAKORN KALLAKA : DEVELOPMENT OF AIR CONDITIONING SYSTEM USING DC COMPRESSOR. THESIS ADVISOR : Asst. Prof. WIPAWADEE WONGSUWAN, D.Eng., 91 PP.

The utilization of renewable energy for air-conditioning system has advantage not only for electricity conservation, but also for environmental friendly and reducing pollution that power generation by fossil fuel was the cause of global warming effect. The use of direct current electricity from solar cells supplying to batteries set and to an air-conditioner has benefit to neglect loss due to conversion to alternating current (AC) that normally required by the conventional Air-conditioner. Therefore, the research was conducted for development and testing of the DC air-conditioner integrating with the rooftop photovoltaic (PV) system.

The integrated PV-DC air-conditioner system was developed for modeling of the toll way booth. The test unit has equipped with set of sensors for monitoring the air temperature and humidity (T vs. RH), and measuring devices for electric voltage and current and air velocity. The measured data of T vs. RH of room air was also recorded into the computer for analysis. There was the questionnaire survey on the occupants to evaluate their thermal comfort as well.

The test result showed that the maximum cooling capacity of the air-conditioner was 7,981 Btu/hr and the coefficient of performance (COP) was 3.2, while the energy efficiency ratio (EER) was 10.9, conforming to the Thai industrial standard (TIS) as energy conservation equipment label no. 5. In brief, it is possible to apply the DC air-conditioner using electricity from batteries charged by the rooftop PV for cooling of the toll way booth, with appropriated thermal comfort for the occupant. If the batteries are fully charged and beginning in use from noon, the DC Air-conditioner could be operated for 3 hours. Therefore, it is worthwhile to develop the system for better benefit and return on investment.

Graduate School

Student's Signature.....

Master Program in Engineering Technology Thesis Advisor's Signature.....

Academic Year 2016

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาอย่างสูงจาก ผศ.ดร.วิภาวดี วงษ์สุวรรณ อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัย ที่กรุณาให้คำแนะนำปรึกษาตลอดจนปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยความเอาใจใส่เป็นอย่างดี ผู้วิจัยตระหนักถึงความตั้งใจและความทุ่มเทของอาจารย์ จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ และขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ที่กรุณาให้ข้อเสนอแนะเป็นอย่างดี จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ในที่สุด

ขอขอบพระคุณทุกท่านที่ให้ความร่วมมือในการตอบแบบสอบถาม โดยเฉพาะอย่างยิ่งร้านเทคนิคไดนาโม โดยนายสุบัณฑิต กษิรากร บิดา มารดา และขอบคุณนางสาวฤชดา กัลละ ที่ได้ให้ความร่วมมือช่วยเหลือและเป็นกำลังใจเป็นอย่างดียิ่งตลอดมา และขอแสดงความขอบคุณผู้ช่วยวิจัยจากห้องวิจัยอิเล็กทรอนิกส์อัจฉริยะที่ช่วยพัฒนาเซนเซอร์ต่างๆ จนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

งานวิจัยฉบับนี้หากจะมีประโยชน์อยู่บ้าง ขอมอบส่วนดีนี้ให้แก่บรรดาคณาจารย์ที่ได้ประสาทวิชาจนทำให้มีผลงานวิจัยซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่เกี่ยวข้อง และขอมอบความกตัญญูกตเวทิตาคุณ แต่บิดา มารดา และผู้มีพระคุณทุกท่าน หากมีข้อเสนอแนะประการใด ผู้วิจัยขอน้อมรับ ด้วยความขอบคุณ

ฤตกร กัลละ

TNI

THAI - NICHI INSTITUTE OF TECHNOLOGY

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	ฎ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	3
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตการศึกษาและวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
2 หลักการพื้นฐาน เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 ระบบทำความเย็นแบบอัดไอ.....	6
2.2 วัฏจักรจริงของระบบทำความเย็นอัดไอ.....	7
2.3 สารทำความเย็น.....	8
2.4 ส่วนประกอบของระบบทำความเย็นอัดไอ.....	11
2.5 คุณสมบัติของอากาศชื้น.....	15
2.6 การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังและฉนวน.....	18
2.7 ดัชนีการไหลเวียนความร้อนเชิงความสบาย (Thermal Comfort).....	19
2.8 ค่าการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ.....	22
2.9 การหาค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ.....	23
2.10 การหาค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน EER	24
2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	25

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
3 ระเบียบวิธีวิจัย.....	30
3.1 แนวคิดการวิจัย.....	30
3.2 การติดตั้งระบบทดสอบระบบปรับอากาศ.....	33
3.3 ปัจจัยที่ส่งผลต่อสภาวะน่าสบายภายในตู้ทดสอบ.....	40
3.4 ขั้นตอนการทดลอง.....	40
3.5 การวิเคราะห์ภาระของเครื่องปรับอากาศ.....	42
3.6 สมรรถนะการทำความเย็น.....	44
4 ผลการวิจัยและการวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	47
4.1 การติดตั้งระบบปรับอากาศแบบคอมเพรสเซอร์ชนิดกระแสดัง.....	47
4.2 ผลการติดตั้งระบบปรับอากาศ.....	48
4.3 ผลการทดสอบระบบปรับอากาศเบื้องต้น.....	49
4.4 การใช้กระแสไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ.....	50
4.5 การเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศในตู้ทดสอบ.....	52
4.6 ผลจากแบบสำรวจความพึงพอใจต่อสภาพทางอุณหภูมิในห้องปรับอากาศ..	53
4.7 สมดุลย์พลังงานของห้องปรับอากาศ.....	56
4.8 การวิเคราะห์ผลจากภาระการทำความที่ระบบปรับอากาศสามารถทำได้.....	60
4.9 คำนวณหาจำนวนและขนาดของแผงโซลาร์เซลล์และแบตเตอรี่ที่ใช้.....	61
4.10 ค่าใช้จ่ายตลอดอายุงานของระบบปรับอากาศที่ใช้โซลาร์เซลล์เป็นแหล่งพลังงาน.....	62
5 สรุปผลการวิจัย.....	66
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	66
5.2 ข้อเสนอแนะเพื่อการพัฒนาต่อ.....	68
บรรณานุกรม.....	69

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
ภาคผนวก.....	73
ภาคผนวก ก. กราฟแสดงค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในและภายนอกตู้ทดสอบ	73
ประวัติย่อผู้วิจัย.....	91



สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 คุณสมบัติของน้ำยาทำความเย็น.....	9
2.2 คุณสมบัติของน้ำยาทำความเย็น R-134a.....	10
2.3 ค่าปริมาณความร้อนในร่างกายของกิจกรรมแต่ละประเภท.....	21
2.4 ค่าฉนวนความร้อนของเสื้อผ้าชนิดต่างๆ.....	21
2.5 ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานของเครื่องปรับอากาศตามมาตรฐาน.....	24
2.6 แสดงงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	25
3.1 ข้อมูลองค์ประกอบระบบปรับอากาศไฟฟ้ากระแสตรง.....	33
3.2 เครื่องมือวัด.....	38
3.3 สรุปข้อมูลสำหรับแต่ละชุดการทดลอง.....	42
4.1 สรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากการวัดเบื้องต้น.....	49
4.2 ตารางสรุปข้อมูลและผลการประเมินจากแบบสอบถามความสบายเชิงอุณหภูมิ.....	55
4.3 ผลการวิเคราะห์สมมูลพลังงานของอากาศภายในตู้ทดสอบ.....	57
4.4 ผลการประเมินอัตราการทำความเย็นของห้องเก็บเงินทางด่วน.....	59
4.5 คำนวณหาจำนวนและขนาดของแผงโซลาร์เซลล์และแบตเตอรี่ที่ใช้.....	61
4.6 ข้อมูลระยะเวลาคืนทุนของระบบปรับอากาศ.....	65

TNI

TAHT

NICHI INSTITUTE OF TECHNOLOGY

สารบัญรูป

รูป	หน้า
1.1 ระบบปรับอากาศแบบไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้ไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์.....	2
1.2 แนวทางการประยุกต์ใช้ระบบปรับอากาศแบบไฟฟ้ากระแสตรงที่รับไฟฟ้าจากเซลล์ แสงอาทิตย์.....	3
2.1 ภาพอย่างง่ายแสดงวัฏจักรทำความเย็นแบบอัดไอร่วมกับแหล่งความร้อน.....	6
2.2 วัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ.....	7
2.3 เปรียบเทียบวัฏจักรทางจลนศาสตร์ และ วัฏจักรจริงของการทำความเย็นแบบอัดไอ บนแผนภาพมอลเลียร์ (Mollier Diagram).....	8
2.4 แผนภาพความดัน-เอนทัลปี ของสารทำความเย็น R-134a	11
2.5 คอมเพรสเซอร์แบบสกอลล์.....	14
3.1 ห้องเก็บเงินทางด่วน.....	30
3.2 ภาพอย่างง่ายระบบปรับอากาศที่ใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ของระบบเซลล์แสงอาทิตย์	31
3.3 ห้องเก็บเงินค่าทางด่วนมีพื้นที่ด้านบนหลังคาเพื่อติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์.....	32
3.4 ตัวอย่างห้องปฏิบัติการจำลองห้องเก็บเงินค่าทางด่วน.....	32
3.5 ภาพแสดงชุดคอยล์ร้อนที่ติดตั้งด้านนอกตู้เก็บเงิน.....	32
3.6 คอมเพรสเซอร์สกอลล์ชนิดไฟฟ้ากระแสตรง 24 Volt DC	33
3.7 กล่องควบคุมคอมเพรสเซอร์ขนาด 1000 Watt 24 Volt	33
3.8 คอยล์ร้อนหรือ Condensing unit ขนาด 400(W) 350(H) 40(L) mm พร้อมสายท่อ น้ำยาสารทำความเย็นใช้สำหรับ R-134 a ยาว 4 m.....	34
3.9 พัดลมสำหรับระบายความร้อนจากคอยล์ร้อน ขนาด12” แรงดันไฟฟ้า 24 Volt 90 Watt.....	34
3.10 คอมเพรสเซอร์และกล่องควบคุมภายในคอยล์ร้อน.....	34
3.11 ภาพแสดงการชาร์จน้ำยาทำความเย็นเข้าคอมเพรสเซอร์.....	34
3.12 คอยล์เย็นขนาด 600(W) 280(H) 180(L) mm	35
3.13 แบตเตอรี่ Deep Cycle ขนาด 12 Volt 150Ah จำนวน 4 ลูก ทำการต่อวงจรเป็น อนุกรม24 Volt สามารถสำรองไฟฟ้าได้ ประมาณ 6 ชั่วโมง.....	35

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
3.14 โฟโตโวลตาอิกโมดูลยี่ห้อ Schutten ขนาด 250 Watt จำนวน 4 แผง 1000 Watt แรงดันไฟสูงสุด 37.75 Volt DC.....	35
3.15 เซนเซอร์ DHT 11.....	38
3.16 การต่อ DHT 11 กับบอร์ด Arduino	38
3.17 แผงติดตั้งเซนเซอร์ T- RH บนบอร์ด Arduino	38
3.18 แผงเซนเซอร์ T- RH บนบอร์ดที่พัฒนาขึ้น.....	38
3.19 เซนเซอร์ SHT 15.....	39
3.20 เครื่องมือวัด Temperature – Anemometer ของ EXTECH	39
3.21 เครื่องมือวัดมลพิษสำหรับวัดกระแสไฟฟ้า.....	39
3.22 ผังตำแหน่งอุปกรณ์ในตู้ทดสอบ.....	39
3.23 สเกลประเมินสภาวะน่าสบายโดย Fanger	44
3.24 การวัดความเร็วลมบริเวณหน้าต่างช่องลมจ่าย.....	45
3.25 การวัดอุณหภูมิและความชื้นโดยใช้เซ็นเซอร์ T & RH	46
3.26 การวัดกำลังไฟฟ้าที่ระบบปรับอากาศใช้งาน.....	46
4.1 คอมเพรสเซอร์แบบสกอร์ที่ได้รับบริจาคจาก SANDEN	48
4.2 คอมเพรสเซอร์จากผู้ผลิตในประเทศจีน.....	48
4.3 อัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตามเวลาของตู้ทดสอบ.....	50
4.4 กระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้ระบบปรับอากาศ.....	51
4.5 กระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้ระบบปรับอากาศหลังจากมีการปรับปรุงใหม่.....	51
4.6 สัดส่วนการใช้ไฟฟ้าในระบบปรับอากาศโดยองค์ประกอบ.....	52
4.7 กราฟการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและอัตราส่วนความชื้นของตู้ทดสอบใน 5 การทดลอง.....	53
4.8 กราฟแสดงสัดส่วนขององค์ประกอบความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่อากาศในตู้ทดสอบ.....	57
4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง AMV และ PMV	58
4.10 กราฟแสดงกำลังไฟฟ้าที่จ่าย ความเย็นที่ทำได้ และสัมประสิทธิ์สมรรถนะ.....	60
4.11 วงจรการใช้งานของระบบปรับอากาศจากแหล่งพลังงานโซลาร์เซลล์ระยะเวลา 10 ปี.....	63
4.12 ระยะเวลาคืนทุนอย่างง่าย (Simple Payback Period).....	64

บทที่ 1

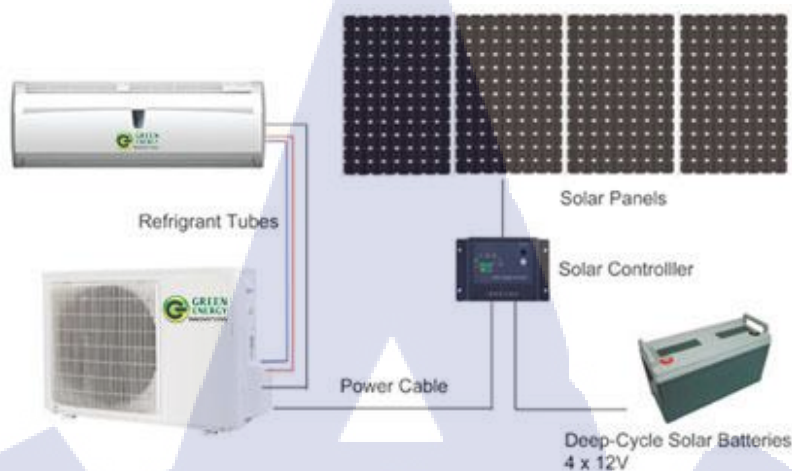
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันระบบปรับอากาศทวีความสำคัญต่อการสร้างความสภาวะน่าสบายในขณะทำงาน และในการดำรงชีวิต จึงมีการใช้งานระบบปรับอากาศกันทั่วไปและอย่างแพร่หลายมากขึ้น ส่งผลให้ ความต้องการใช้พลังงานเพื่อการปรับอากาศสูงขึ้นทุกปี โดยเฉพาะประเทศไทยที่มีสภาวะอากาศร้อน ขึ้น แนวทางหนึ่งในการนำพลังงานทดแทนมาใช้กับระบบปรับอากาศ คือ การนำพลังงานไฟฟ้า กระแสตรงที่ผลิตได้จากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ถูกสะสมในแบตเตอรี่มาจ่ายให้กับระบบปรับอากาศ โดยตรง หรือนำมาแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับก่อน

ระบบปรับอากาศในบ้านเรือนและในรถยนต์ส่วนใหญ่เป็นระบบทำความเย็นแบบอัดไอ กรณีระบบปรับอากาศตามบ้านเรือนจะใช้ไฟกระแสสลับจ่ายให้คอมเพรสเซอร์ แต่ในรถยนต์ทั่วไปจะ จ่ายกำลังผ่านสายพานจากเครื่องยนต์เพื่อขับเคลื่อนระบบทำความเย็น ส่วนรถยนต์ไฮบริดจะนิยมใช้ ไฟฟ้า หรือบางรุ่นสามารถใช้ได้ทั้งไฟฟ้าจากแบตเตอรี่หรือกำลังจากเครื่องยนต์

การนำระบบปรับอากาศแบบรับไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อขับเคลื่อนคอมเพรสเซอร์มาใช้ประโยชน์ จะ ช่วยลดความสูญเสียจากการแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับ อีกทั้งยังสามารถใช้พลังงานไฟฟ้า จากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งอยู่บนหลังคา บนโรงรถ บนผนังอาคาร ฯลฯ ได้อย่างเหมาะสมด้วย ดังภาพระบบตัวอย่างในรูปที่ 1.1 จาก Green Energy Innovation [1] ซึ่งใช้ไฟฟ้าจากชุดแผงเซลล์ แสงอาทิตย์จ่ายให้กับเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนที่รับไฟฟ้ากระแสตรง 100% โดยมีชุดควบคุม ไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ให้เข้าสู่เครื่องปรับอากาศหรือแบตเตอรี่ ระบบนี้จะไม่มีการสูญเสียจากการ เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงจากชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งต้องใช้อินเวอร์เตอร์ ก่อนป้อนไฟฟ้ากระแสสลับให้กับเครื่องปรับอากาศดังเช่นระบบแบบทั่วไป ระบบปรับอากาศในรูปที่ 1.1 ทำความเย็นได้ 12,000 Btu/h รับไฟฟ้ากระแสตรง 48 VDC กำลังไฟฟ้า 560 W และมีค่า EER เป็น 21.43 ระบบนี้พัฒนาในต่างประเทศ และยังไม่พบการนำเข้ามาใช้งานในประเทศไทยเท่าใดนัก อีกทั้งยังไม่ทราบว่า จะทำงานได้สมรรถนะเป็นอย่างไรเมื่อนำมาใช้กับสภาพเมืองร้อนอย่างในประเทศไทย



รูปที่ 1.1 ระบบปรับอากาศแบบไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้ไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ [1]

อย่างไรก็ตามระบบปรับอากาศแบบไฟฟ้ากระแสตรงนี้ยังไม่มีการใช้งานแพร่หลายในประเทศไทย จึงเป็นที่มาของโจทย์วิจัยนี้ ที่จะประยุกต์ใช้เครื่องปรับอากาศแบบคอมเพรสเซอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Compressor) เพื่อขับเคลื่อนสารทำความเย็นในวงจรทำความเย็นแบบอัดไอของระบบปรับอากาศ

จากการค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้อง [2-8] ทำให้เกิดแนวคิดที่จะประยุกต์การพัฒนาระบบนี้ให้มีประสิทธิภาพที่เหมาะสมต่อการใช้งานในสภาวะแวดล้อมของประเทศไทย มีความเหมาะสมกับการใช้กับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ โดยการติดตั้งไม่ซับซ้อนและสามารถใช้งานได้ง่าย องค์ประกอบระบบที่สำคัญ ได้แก่ คอยล์ร้อนที่ประกอบด้วยคอมเพรสเซอร์ คอยล์เย็น และระบบท่อ จะต้องได้รับการคัดเลือกมาใช้งานโดยออกแบบให้เหมาะสม และสร้างความสบายทางอุณหภูมิให้กับผู้ใช้งานได้

แนวทางการประยุกต์ใช้ก็จะเน้นไปที่การปรับอากาศสำหรับพื้นที่หรือห้องปรับอากาศที่อยู่กลางแจ้ง และสามารถติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ได้ด้วย ดังรูปที่ 1.2 อาทิ ตู้เก็บเงินค่าผ่านทางด่วนที่ตั้งอยู่กลางแจ้งที่ต้องปรับอากาศเพื่อความสบายของพนักงานภายในตู้ อีกทั้งบริเวณด้านบนของตู้เก็บเงินที่เรียงกันเป็นแถวจะมีหลังคาปกคลุมอยู่ ซึ่งอาจมีความเป็นไปได้ในการติดตั้งชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ หรือ ตู้คอนเทนเนอร์สำหรับพนักงานปฏิบัติงานที่ไซต์งานก่อสร้าง ซึ่งต้องมีการปรับอากาศเช่นกัน ในขณะที่ด้านบนตู้คอนเทนเนอร์ก็สามารถติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ได้เช่นกัน

จากที่มาของโจทย์วิจัยดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น สรุปได้ว่าควรจะมีการออกแบบ ประกอบ ติดตั้งและทดสอบระบบปรับอากาศแบบไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้งานร่วมกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ และตรวจสอบว่าสามารถใช้งานได้จริงและทำให้ผู้ทำงานหรืออาศัยในพื้นที่ปรับอากาศรู้สึกสบายหรือไม่ จึงนำมาซึ่งวัตถุประสงค์การวิจัยนี้



(ก) ด่านเก็บเงินค่าทางด่วน [2]

(ข) Sundragon Portable Solar Power System [3]

รูปที่ 1.2 แนวทางการประยุกต์ใช้ระบบปรับอากาศแบบไฟฟ้ากระแสตรงที่รับไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

พัฒนาระบบปรับอากาศชนิดไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้งานร่วมกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์

1.3 ขอบเขตของการศึกษาและการวิจัย

แนวทางพัฒนาระบบทำความเย็นเพื่อการปรับอากาศชนิดไฟฟ้ากระแสตรงมีขอบเขตการวิจัย ดังนี้

1.3.1 ระบบปรับอากาศ ประกอบด้วย คอมเพรสเซอร์แบบกระแสตรง คอยล์ร้อน คอยล์เย็น และระบบท่อน้ำยาปรับอากาศ

1.3.2 ระบบปรับอากาศสามารถทำงานได้จากแหล่งพลังงานแบตเตอรี่ ขนาดแรงดันไฟฟ้า 24 Volt

1.3.3 น้ำยาทำความเย็นที่เลือกใช้ คือ R-134a ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม หาได้ทั่วไปและมีการใช้อย่างแพร่หลาย

1.3.4 การทดสอบระบบในตู้ทดสอบที่ดัดแปลงจากตู้คอนเทนเนอร์ ที่ติดตั้งในห้อง K-105 โดยจำลองภาระความร้อนของคอยล์เย็นด้วยหลอดไฟฟ้า คน และอุปกรณ์คอมพิวเตอร์

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ผลการทดสอบการใช้งานระบบปรับอากาศแบบกระแสตรงที่ใช้งานร่วมกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์

1.4.2 ระบบปรับอากาศที่สามารถปรับสภาพอากาศในห้องทดสอบได้ และสามารถเป็นแนวทางในการไปประยุกต์ใช้งานกับตู้เก็บเงินทางด่วน และเหมาะสมต่อการสร้างความสบายทางอุณหภูมิให้กับผู้ใช้งานได้



บทที่ 2

หลักการพื้นฐาน เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทนี้กล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ระบบทำความเย็น วัฏจักรทำความเย็นในอุดมคติ องค์ประกอบของระบบทำความเย็นแบบอัดไอ และการทำความเย็นในระบบปรับอากาศ ตลอดจนการรักษาอุณหภูมิและความชื้นในทางอุตสาหกรรม โดยที่มีจุดประสงค์เพื่อให้อุณหภูมิในบริเวณที่ต้องการมีอุณหภูมิตกลงให้ได้ตามที่ต้องการ อย่างไรก็ตามการที่จะทำความเย็นนั้นต้องอาศัยพลังงานในรูปแบบต่างๆ มาช่วยในการขับเคลื่อนระบบ ซึ่งสามารถกระทำได้หลายรูปแบบ

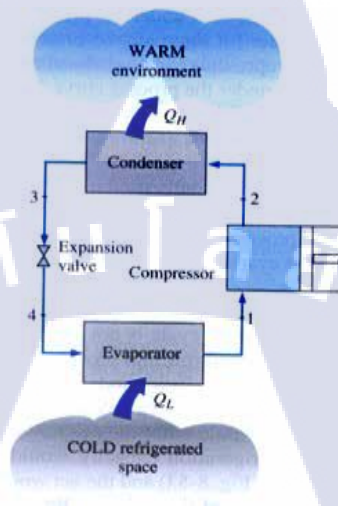
ระบบของเครื่องปรับอากาศนั้นโดยทั่วไปมีพื้นฐานมาจากวัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ โดยอัดสารทำความเย็นให้ไหลเวียนระหว่างอุปกรณ์ต่างๆ จนเกิดการเปลี่ยนสถานะและอุณหภูมิ จึงทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนออกไปจากห้องที่ทำการปรับอากาศ ซึ่งขับเคลื่อนการจ่ายกระแสไฟฟ้าสู่เครื่องอัดไอ ด้วยสารทำความเย็นซึ่งเป็นตัวกลางการถ่ายเทความร้อน โดยผ่านกระบวนการดังต่อไปนี้ กระบวนการอัดสารทำความเย็นให้เป็นไอ กระบวนการควบแน่น กระบวนการขยายตัวลดความดัน และกระบวนการระเหย ซึ่งเกิดขึ้นที่คอมเพรสเซอร์ คอนเดนเซอร์ อุปกรณ์ควบคุมหุ่นยนต์ และคอยล์เย็น

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาเรื่องการปรับปรุงระบบทำความเย็นของการปรับอากาศที่ใช้คอมเพรสเซอร์ชนิดใช้กระแสไฟฟ้ากระแสตรงที่จะกล่าวถึงต่อไป เกี่ยวข้องกับ

- 1) วัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอพื้นฐาน
- 2) วัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอในการทำงานจริง
- 3) ชนิดของสารทำความเย็น
- 4) อุปกรณ์ในระบบการทำความเย็นแบบอัดไอ
- 5) คุณสมบัติของอากาศชื้น
- 6) การถ่ายเทความร้อนผ่านผนัง
- 7) การประเมินค่าดัชนีความรู้สึกสบาย
- 8) งานศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้อง

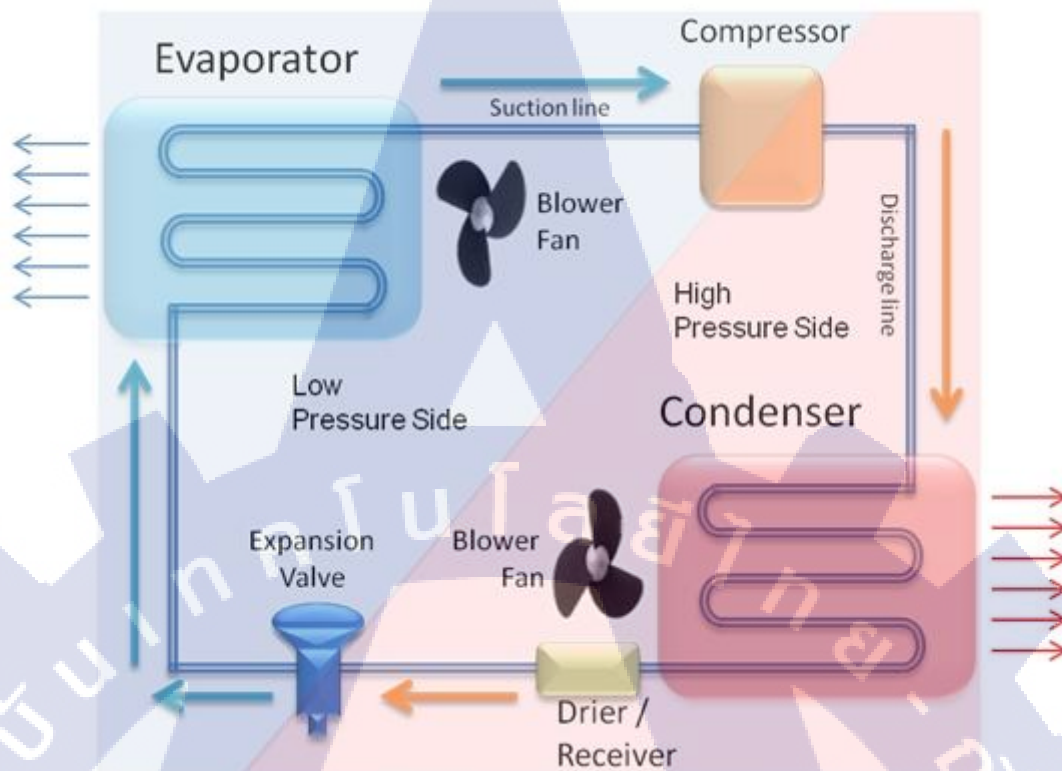
2.1 ระบบทำความเย็นแบบอัดไอ

ระบบทำความเย็นแบบอัดไอสามารถอธิบายตามวัฏจักรทำความเย็นแบบอัดไอ (ดังรูปที่ 2.1) เริ่มต้นโดยอาศัยการทำงานด้วยการอัดไอสารทำความเย็นจากคอมเพรสเซอร์เพื่อทำการหมุนเวียนสารทำความเย็นในวงจรในระบบปิดเพื่อทำการแลกเปลี่ยนความร้อนและแลกเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอด้วย ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ โดยสารทำความเย็นที่ใช้ในงานวิจัยคือ R-134a



รูปที่ 2.1 ภาพอย่างง่ายแสดงวัฏจักรทำความเย็นแบบอัดไรร่วมกับแหล่งความร้อน [4]

ระบบอัดไอดังรูปที่ 2.2 จะมีองค์ประกอบเสริมนอกเหนือจากองค์ประกอบหลัก อาทิเช่น หม้อดักน้ำมันและไส้กรอง โดยคอมเพรสเซอร์จะดูดไอสารทำความเย็นมาจากคอยล์เย็น และอัดไอสารทำความเย็นออกจากท่อส่ง ไอลไหลผ่านหม้อดักน้ำมัน (Oil Separator) เข้าสู่คอนเดนเซอร์ หม้อดักน้ำมันจะแยกน้ำมันออกจากไอสารทำความเย็น แล้วส่งน้ำมันกลับเข้าคอมเพรสเซอร์เพื่อใช้หล่อลื่นในคอมเพรสเซอร์ ส่วนของน้ำมันที่ตกไว้ไม่หมดจะไปกับสารทำความเย็น และค้างตามท่อ สารทำความเย็นจะเป็นตัวพาบน้ำมันส่วนนี้ไหลกลับคืนเข้าคอมเพรสเซอร์ต่อไป ไอสารทำความเย็นร้อนจะถูกอัดเข้าคอนเดนเซอร์และถูกระบายความร้อนออกจนกลายเป็นสารทำความเย็นซึ่งมีสถานะเป็นของเหลว เหลว และไหลผ่านไส้กรองเพื่อคัดความชื้นและกรองสิ่งสกปรกออกจากสารทำความเย็นและน้ำมันเครื่อง สารทำความเย็นจะถูกดันไปที่วาล์วเอ็กแพนชัน (Expansion Valve) หรืออุปกรณ์ควบคุมการไหล ซึ่งจะมีรูเล็กๆ ที่สามารถปรับขนาดได้และปล่อยให้สารทำความเย็นผ่านเข้าไประเหยในคอยล์เย็น (Evaporator) ในปริมาณที่พอเหมาะที่จะระเหยได้หมดพอดีก่อนที่จะถูกดูดผ่าน Accumulator เข้าคอมเพรสเซอร์เพื่ออัดต่อไป



รูปที่ 2.2 วงจรการทำความเย็นแบบอัดไอ [5]

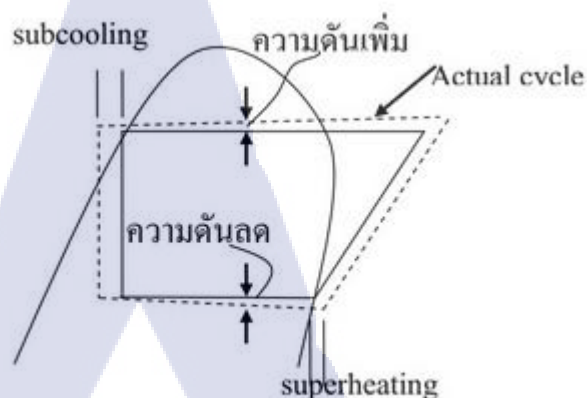
2.2 วงจรจริงของระบบทำความเย็นอัดไอ

วงจรจริงของระบบทำความเย็นแบบอัดไอแตกต่างจากทางทฤษฎี ในประเด็นดังต่อไปนี้

2.2.1 อุณหภูมิของสารทำความเย็นในเครื่องควบแน่นถูกทำให้ความดันต่ำกว่าอุณหภูมิของเหลวอิ่มตัว (Subcooled Liquid) ก่อนที่จะผ่านเข้าไปในลิ้นลดแรงดัน (Expansion Valve) เพื่อให้ค่าการทำความเย็นต่อกิโกรัมของสารทำความเย็นเพิ่มขึ้น

2.2.2 ไอของสารทำความเย็นจะเป็นไอร้อนยวดยิ่ง (Superheat vapor) ก่อนที่จะเข้าไปในเครื่องอัดไอ เป็นการทำความเย็นต่อกิโกรัมของสารทำความเย็นเพิ่มขึ้นอีก

ในทฤษฎี การอัดไอของสารทำความเย็นเป็นแบบไอเซนโทรปิก แต่ในทางปฏิบัติยุ่งยากมาก จึงไม่สามารถทำได้และความดันในช่วงการอัดตัวนี้จะแตกต่างจากเครื่องระเหยและเครื่องควบแน่น โดยความดันก่อนอัดตัวจะลดลง เนื่องจากเกิดความสูญเสียในขณะผ่านท่อ และไอของสารทำความเย็นดูดไวกจากผนังเส้นท่อในจังหวะดูดทำให้อุณหภูมิและความดันสูงขึ้น เช่นในรูปที่ 2.3 การออกแบบท่อสารทำความเย็นในระบบปรับอากาศ ก็จะใช้การคำนวณทางด้านกลศาสตร์ของไหลในการหาค่าแรงเสียดทานที่ผนังท่อทองแดงหรือค่าความดันลดของระบบดังนี้



รูปที่ 2.3 เปรียบเทียบวัฏจักรทางจินตนาการ และ วัฏจักรจริงของการทำความเย็น แบบอัดไอบน
แผนภาพมอลเลียร์ (Mollier Diagram)

2.3 สารทำความเย็น (Refrigerant)

สารทำความเย็นเป็นส่วนหนึ่งที่มีความสำคัญมาก โดยตารางที่ 2.1 สรุปรายการสารทำความเย็นที่มีใช้กันอยู่ โดยแสดงถึงคุณสมบัติสำคัญต่างๆ อาทิ ชื่อ สูตรเคมี มวลโมเลกุล ค่า Ozone Depletion Potential (ODP) ค่า Hydrocarbon Global warming potential (HGWP) ความดันทำระเหย ความดันควบแน่น อัตราส่วนการอัด เป็นต้น ตารางที่ 2.2 แสดงคุณสมบัติของสารทำความเย็น R-134a และรูปที่ 2.4 แสดงแผนภาพความดันเอนทัลปีของสารทำความเย็น R-134a

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของสารทำความเย็น [6]

TABLE 9.1 Properties of Commonly Used Refrigerants at 40°F Evaporating and 100°F Condensing

		Chemical formula	Molecular mass	Ozone depletion potential (ODP)	Halocarbon global warming potential (HGWP)	Evaporating pressure, psia	Condensing pressure, psia	Compression ratio	Refrigeration effect, Btu/lb
Hydrofluorocarbons (HFCs)									
HFC-32	Difluoromethane	CH ₂ F ₂	52.02	0	0.11	135.6	340.2	2.51	36.4
HFC-125	Pentafluoroethane	CHF ₂ CF ₃	120.02	0	0.84	112.4	276.8	2.46	
HFC-134a	Tetrafluoroethane	CF ₃ CH ₂ F	102.3	0	0.28	49.8	138.9	2.79	
HFC-143a	Trifluoroethane	CH ₃ CF ₃	84.0	0	1.1				
HFC-152a	Difluoroethane	CHF ₂ CH ₃	66.05	0	0.03	44.8	124.3	2.77	
HFC-245ca	Pentafluoropropane	CF ₃ CF ₂ CH ₃	134.1	0	0.09				
Azeotropic HFC									
HFC-507	HFC-125/HFC-143a (45/55)			0	0.98				
HFC-507A	HFC-125/HFC-143a (50/50)			0		104.6	257.6	2.46	
Near-azeotropic HFC									
HFC-404A	HFC-125/HFC-143a/ HFC-134a (44/52/4)			0	0.95	109.16	251.18	2.30	
HFC-410A	HFC-32/HFC-125 (50/50)			0	0.48	132.90	332.33	2.50	
HFC Zeotropic									
HFC-407A	HFC-32/HFC-125/ HFC-134a (20/40/40)			0	0.47				
HFC-407C	HFC-32/HFC-125/ HFC-134a (23/25/52)			0	0.38	86.13	225.22	2.61	
Hydrochlorofluorocarbons (HCFCs) and their zeotropes									
HCFC-22	Chlorodifluoromethane	CHClF ₂	86.48	0.05	0.34	82.09	201.5	2.46	69.0
HCFC-123	Dichlorotrifluoroethane	CHCl ₂ CF ₃	153.0	0.016	0.02	5.8	20.8	3.59	62.9
HCFC-124	Chlorotetrafluoroethane	CHClCF ₃	136.47	0.02	0.10	27.9	80.92	2.90	52.1
Near-azeotropic HCFC									
HCFC-402A	HCFC-22/HFC-125/ PRO-290 (38/60/2)			0.02					
Zeotropic HCFC									
HCFC-401A	HCFC-22/HCFC-124/ HFC-152a (53/34/13)			0.037	0.22				
HCFC-401B	HCFC-22/HCFC-124/ HFC-152a (61/28/11)			0.04	0.24				
Inorganic compounds									
R-717	Ammonia	NH ₃	17.03	0	0	71.95	206.81	2.87	467.4
R-718	Water	H ₂ O	18.02	0					
R-729	Air		28.97	0					
Chlorofluorocarbons (CFCs), halons, and their azeotropes									
CFC-11	Trichlorofluoromethane	CCl ₃ F	137.38	1.00	1.00	6.92	23.06	3.33	68.5
CFC-12	Dichlorodifluoromethane	CCl ₂ F ₂	120.93	1.00	3.1	50.98	129.19	2.53	50.5
BFC-13B1	Bromotrifluoromethane	CF ₃ Br	148.93	10					
CFC-113	Trichlorotrifluoroethane	CCl ₃ CF ₂ CF ₃	187.39	0.80	1.4	2.64	10.21	3.87	54.1
CFC-114	Dichlorotetrafluoroethane	CCl ₂ FCF ₂	170.94	1.00	3.9	14.88	45.11	3.03	42.5
CFC-500	HFC-12/HFC-152a (73.8/26.2)		99.31	0.74		59.87	152.77	2.55	60.5
CFC-502	HCFC-22/CFC-115 (48.8/51.2)		111.63	0.22	3.7				

Source: Adapted with permission from ASHRAE Handbook 1997, Fundamentals, and ANSI/ASHRAE Standard 34-1992 and Addenda 1997.

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติของสารทำความเย็น R-134a

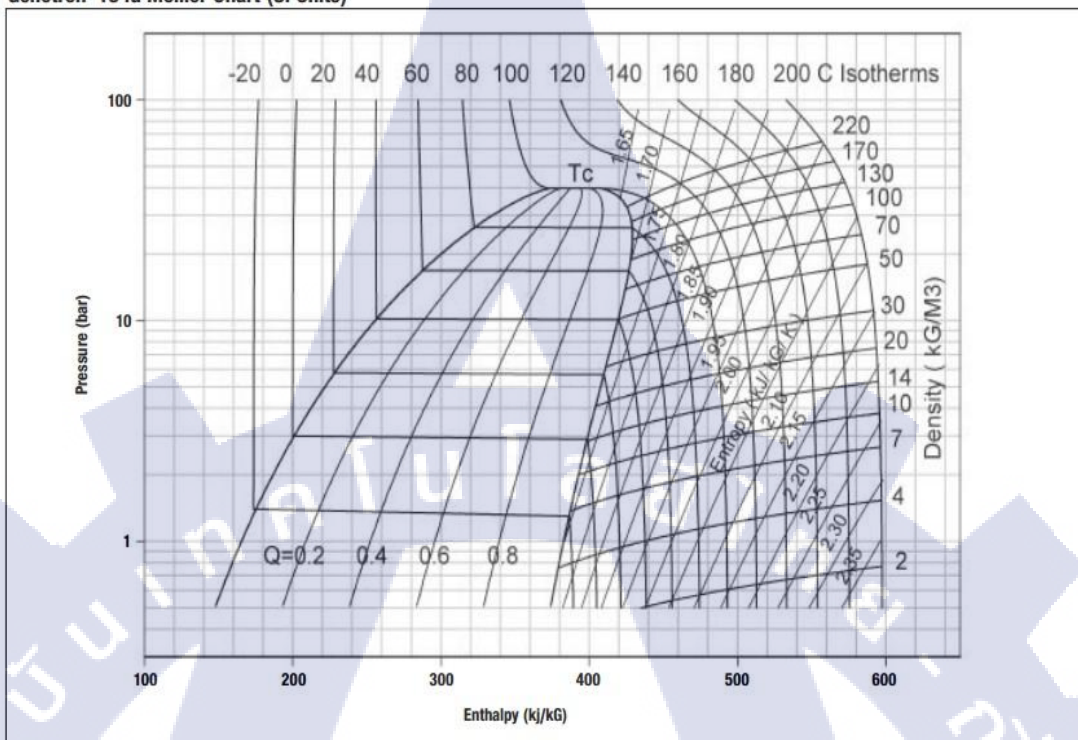
General Information

Item	Specification
ASHRAE #	R-134a
Class	HFC
Refrigerant Type	Single Component Fluid
Typical Lubricant	POE
Substitutes	CFC-12
Glide	No Glide

Physical Properties

Property	Value
Chemical Name	Tetrafluoroethane
Chemical Notation	$\text{CF}_3\text{CH}_2\text{F}$
Molecular Weight	102
Boiling Point @ 1 Atm, (°F)	-14.9
Freezing Point @ 1 Atm, (°F)	-141.9
Critical Temperature (°F) (ASTM D-1321)	213.91
Critical Pressure* (psia)	588.75
Saturated Liquid Density @ 86°F, (lb/ft ³)	74.1
Specific Heat of Liquid @ 86°F, (Btu/lb•°F)	0.35
Specific Heat of Vapor @ Constant Pressure* (Cp), @ 86° and 1 Atm, (Btu/lb•°F)	0.18
Flammable range, %vol. in air (Based on ASHRAE Standard 34 with Match Ignition)	None
ANSI/ASHRAE Standard 34-1992 Safety Group Classification	A1

Genetron®134a Mollier Chart (SI Units)



รูปที่ 2.4 แผนภาพความดัน-เอนทัลปี ของสารทำความเย็น R-134a [7]

2.4 ส่วนประกอบของระบบทำความเย็นอัดไอ

ระบบอัดไประกอบด้วยอุปกรณ์หลัก คือ คอยล์เย็น คอมเพรสเซอร์ คอนเดนเซอร์ และ อุปกรณ์ควบคุมการไหล ซึ่งอุปกรณ์แต่ละส่วนมีหน้าที่ดังนี้

2.4.1 คอยล์เย็น (Evaporator)

ทำหน้าที่รับความร้อนจากพื้นที่หรือวัตถุที่ต้องการทำความเย็น ไปถ่ายเทให้ท่อสารทำให้เกิดการกลายเป็นไอของสารทำความเย็น ออกแบบเป็นหลายๆ แฉวให้สารทำความเย็นเดือดระเหยทั่วทั้งคอยล์และมีการรองรับน้ำที่เกิดจากการควบแน่นของน้ำในอากาศ

- สำหรับเครื่องปรับอากาศในบ้าน ชุดคอยล์เย็นจะตั้งอยู่ในห้องโดยมีพัดลมดูดอากาศจากในห้องเป่าผ่านชุดคอยล์เย็น ซึ่งมีครีบอลูมิเนียมอยู่รอบๆ ที่คายความร้อนให้กับชุดคอยล์ ลมที่ออกมาจึงเย็นลง ครีบอลูมิเนียมช่วยในการถ่ายเทความร้อนให้เร็วขึ้น
- สำหรับรถยนต์ก็ใช้หลักการเดียวกับเครื่องปรับอากาศภายในบ้าน

เมื่อสารทำความเย็นรับความร้อนจะระเหยตัวในคอยล์เย็น แล้วก็จะถูกดูดกลับไปสู่คอมเพรสเซอร์เพื่ออัดให้มีความดัน แล้วไปผ่านคอนเดนเซอร์ (คอยล์ร้อน) เพื่อควบแน่นให้กลายเป็นของเหลวต่อไป ระบบเครื่องทำความเย็นจึงทำหน้าที่ที่รับความร้อนจากแห่งหนึ่งแล้วนำไปคายออกยังอีกแห่งหนึ่ง ความร้อนถูกส่งเข้าสู่ระบบคอยล์เย็นและคายออกจากระบบตรงคอยล์ร้อน

2.4.2 คอนเดนเซอร์ (Condenser)

คอยล์ร้อน ทำหน้าที่ระบายความร้อนให้กับไอสารทำความเย็นที่มีอุณหภูมิสูง ออกสู่อากาศภายนอก ระบบ เมื่อไอสารทำความเย็นได้รับการระบายความร้อนจะเกิดการควบแน่นเป็นสารทำความเย็นเหลว สารทำความเย็นที่ออกจากคอนเดนเซอร์จะอยู่ในสถานะของเหลวอุณหภูมิสูงและความดันสูง ซึ่งจะไหลเข้าสู่รับสารทำความเย็น ภายในถึงรับสารทำความเย็นจะประกอบด้วยสารทำความเย็นที่อยู่ในสถานะของเหลวกับสารทำความเย็นที่อยู่ในสถานะไอ ซึ่งยังไม่ควบแน่นลอยอยู่ด้านบน

- ในเครื่องปรับอากาศของบ้านใช้พัดลมเป่าระบายความร้อนเป็นชุดอยู่นอกบ้าน
- ในรถยนต์คอยล์ร้อนจะติดตั้งติดกับหม้อน้ำ (Radiator) ซึ่งอาศัยพัดลมช่วยระบายความร้อน

2.4.3 อุปกรณ์ควบคุมการไหล (Expansion Valve)

วาล์วหรือท่อสำหรับลดความดัน (Expansion Valve or Capillary Tube) ทำหน้าที่ลดความดันของสารทำความเย็นลง นอกจากนี้วาล์วยังทำหน้าที่ควบคุมอัตราการไหลของสารทำความเย็นให้เหมาะสมกับอุณหภูมิความเย็นที่ต้องการ

ตัววาล์วหรือท่อลดความดันจะติดอยู่กับคอยล์เย็น เมื่อสารทำความเย็นซึ่งมีความดันสูงวิ่งผ่านรูขนาดเล็กในวาล์วออกสู่ช่องในคอยล์เย็น ความดันจะลดลงมาก เกิดการเดือดและระเหยตัวอย่างรวดเร็ว ในการเดือดระเหยตัวนี้ของเหลวต้องการความร้อนแฝงสำหรับการระเหยตัวมาก จึงดูดเอาจากบริเวณใกล้เคียงซึ่งคือจากตัวคอยล์เย็นนั่นเอง

สารทำความเย็นเหลวจะถูกปล่อยออกจากถึงรับสารทำความเย็น ส่งผ่านทางท่อของเหลวเข้าอุปกรณ์ควบคุมการไหล ระหว่างทางสารทำความเย็นซึ่งเป็นของเหลวอิ่มตัวจะมีอุณหภูมิอิ่มตัวสูงกว่าอากาศรอบ ๆ ท่อ ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนจากสารทำความเย็นไปยังอากาศทำให้อุณหภูมิของสารทำความเย็นลดลงต่ำกว่าอุณหภูมิอิ่มตัว ซึ่งกระบวนการนี้คือการอิ่มตัวที่อุณหภูมิต่ำและเรียกของเหลวที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิอิ่มตัวว่า ของเหลวอิ่มตัวที่อุณหภูมิต่ำ (Sub Cool Liquid)

ต่อจากนี้การไหลเวียนของสารทำความเย็นทำความเย็นก็จะเริ่มรอบใหม่ ผ่านกระบวนการขยายตัว กระบวนการเดือดเป็นไอ กระบวนการอัดไอ และกระบวนการควบแน่น กลับเป็นของเหลวตามเดิมโดยจะหมุนเวียนไปเรื่อย ๆ ตลอดเวลาของการทำงาน

2.4.4 อุปกรณ์กรองและอุปกรณ์ดักความชื้น (Filter/Dryer)

อุปกรณ์กรองทำหน้าที่ดักเอาสิ่งสกปรกที่เป็นของแข็งซึ่งปะปนในสารทำความเย็นออกมาเก็บไว้ เพื่อป้องกันการอุดตันที่วาล์วลดความดัน ซึ่งอุปกรณ์กรองและอุปกรณ์ดักความชื้นบางชนิดก็สามารถดูดซับน้ำที่ปะปนในสารทำความเย็นออกได้ด้วย ปกติระบบทำความเย็นเป็นระบบปิด ซึ่งสิ่งสกปรกหรือน้ำมันสามารถเข้ามาได้ตอนถอดซ่อมหรือตอนเติมสารทำความเย็น

2.4.5 มอเตอร์ (Motor)

มอเตอร์มีหน้าที่เป็นต้นกำลังเพื่อขับหมุนใบพัดเพื่อให้เกิดการหมุนเวียนอากาศ

2.4.6 พัดลมระบายความร้อน (Condensing fan)

พัดลมระบายความร้อนอยู่ด้านหน้าของแผงระบายความร้อน ทำหน้าที่ดูดอากาศภายนอกเข้ามาผ่านแผงท่อระบายความร้อน ของคอยล์ร้อน เพื่อระบายความร้อนจากระบบให้สารทำความเย็นมีอุณหภูมิลดลง

2.4.7 คอมเพรสเซอร์ (Compressor)

ทำหน้าที่อัดสารทำความเย็น ทำหน้าที่เพิ่มความดันให้กับสารทำความเย็นจนกลายเป็นไอแล้วขับส่งสารทำความเย็น และไปยังชุดควบแน่น (Condenser) สารทำความเย็นจะถูกดูดเข้ามาในสภาพที่เป็นไอ และถูกอัดจนมีอุณหภูมิและความดันสูงขึ้น โดยสารทำความเย็นจะร้อนขึ้นมากเนื่องจากถูกอัดให้มีความดันสูงขึ้น สำหรับคอมเพรสเซอร์ที่เหมาะสมกับการใช้งานกับไฟฟ้ากระแสตรงที่พบในรถยนต์ คือ คอมเพรสเซอร์แบบกันหอย (Scroll Compressor)



รูปที่ 2.5 คอมเพรสเซอร์แบบกันหอย (Scroll Compressor)

เครื่องอัดแบบกันหอย (Scroll Compressor) ประกอบด้วยชิ้นส่วนลักษณะกันหอยหมุนเข้าหากันเข้าข้างใน ลักษณะประกบกันดังรูปที่ 2.5 ซึ่งทำให้เกิดเป็นกระเปาะหลายห้อง สำหรับกักเก็บไอสารทำความเย็นระหว่างกระบวนการอัด ในการทำงานสเกลอร์อันหนึ่งจะคงที่ ในอีกส่วนจะเคลื่อนที่เปียดเข้าหากันกับอันแรก ขณะที่เกิดการเปียดเข้าหากันหรือทำการอัด ห้องอัดต่างๆ ระหว่างชิ้นส่วนกันหอยทั้งสองชิ้นจะรีดให้สารทำความเย็นเข้าสู่ศูนย์กลาง ซึ่งเป็นการอัดเพื่อลดปริมาตร และทำให้สารมีความดันสูงขึ้นและถูกจ่ายออกไปทางช่องที่อยู่ตรงศูนย์กลาง ระหว่างการอัด กระเปาะต่างๆ จะถูกอัดพร้อมกัน เป็นผลให้กระบวนการเป็นไปอย่างราบเรียบและต่อเนื่องทั้งกระบวนการดูด กระบวนการอัด และกระบวนการคาย

ข้อดีของคอมเพรสเซอร์แบบกันหอย (Scroll Compressor)

- สามารถทำการติดตั้งได้ง่าย
- ชิ้นส่วนที่ทำการขยับมีน้อย จึงทำให้เงียบ มีการสั่นสะเทือนน้อย การสึกหรอต่ำ
- มีการกินไฟน้อย

- ข้อดีอีกประการ คือ “การจัดการน้ำมันที่ดีกว่า” ซึ่งแตกต่างจากคอมเพรสเซอร์แบบลูกสูบ (Reciprocating Compressor) ที่ร้อยละ 3 ของปริมาณที่ปล่อยออกมาทั้งหมด เป็นน้ำมันที่ได้รับจากลูกสูบที่ขึ้นลงตามข้อเหวี่ยง การขึ้นลงของลูกสูบก็จะเป็นการดูดและอัดให้สารทำความเย็นไหลเวียนอยู่ในระบบ แต่เครื่องอัดแบบหมุน (Rotary) อาทิ แบบกันหอย จะปล่อยน้ำมันออกมาน้อยกว่า จึงลดปัญหาการหล่อลื่นที่มักพบบ่อยในคอมเพรสเซอร์แบบลูกสูบ (Reciprocating Compressor)

2.5 คุณสมบัติของอากาศชื้น

การควบคุมสภาวะบรรยากาศที่เป็นอากาศชื้นทำให้ความรู้สึกละสบายในการอยู่อาศัย อากาศรอบตัวเรานั้นเป็นอากาศที่มีความชื้น โดยมีไอน้ำผสมปนอยู่ในบรรยากาศ จึงมิได้เป็นการควบคุมเฉพาะอุณหภูมิอย่างเดียวเท่านั้น แต่ยังหมายถึงการควบคุมปริมาณความชื้นของบรรยากาศ นั้นอีกด้วย อากาศแห้ง (Dry Air) ที่ระดับน้ำทะเลประกอบด้วยออกซิเจน และไนโตรเจน ในสัดส่วน 76.8% และ 23.2% โดยน้ำหนัก สำหรับอากาศในบรรยากาศปกติเป็นของผสมระหว่างอากาศแห้ง และไอน้ำ (Air-Vapor Mixture) เรียกว่าอากาศชื้น

อากาศชื้น (Moist Air) หมายถึงอากาศที่มีส่วนผสมของอากาศแห้งรวมกับไอน้ำของอากาศ ที่แห้งมากก็มีความชื้นแทรกอยู่น้อยและพร้อมที่จะรับเอาความชื้นเข้าตัวอากาศได้อีก ส่วนอากาศที่ชื้นมากก็ย่อมมีความชื้นแทรกอยู่มากและพร้อมที่กลั่นตัวแยกออกมาในรูปของหยดน้ำก็ได้ ขึ้นอยู่กับสภาวะที่เหมาะสม โดยเปลี่ยนแปลงแต่เพียงอุณหภูมิหรือความดันอันใดอันหนึ่งก็ได้ ซึ่งความเข้าใจในคุณสมบัติของอากาศชื้น จะเป็นประโยชน์ในการวิเคราะห์ทดสอบการควบคุมสภาวะปรับอากาศ [8]

2.5.1 ความดันไอ (Vapor Pressure, PV)

ความดันไอ คือ ส่วนของความดันย่อย (Partial Pressure) ที่กระทำโดยโมเลกุลของไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศชื้น ซึ่งความดันไอนี้ก็คือความดันย่อยของไอน้ำในอากาศนั่นเอง ความดันของอากาศชื้นในบรรยากาศจะเท่ากับผลรวมของความดันย่อยขององค์ประกอบต่างๆ ซึ่งได้แสดงตามสมการดังต่อไปนี้ [8]

$$P_{at} = P_a + P_v \quad (2.1)$$

เมื่อ P_{at} = ความดันของอากาศชื้นในบรรยากาศ

P_a = ความดันย่อยของอากาศแห้ง

P_v = ความดันย่อยของไอน้ำในอากาศ

2.5.2 อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dry Bulb Temperature, T_{db})

อุณหภูมิกระเปาะแห้งคืออุณหภูมิของอากาศที่อ่านได้จากเทอร์โมมิเตอร์แบบมาตรฐานที่ใช้กันอยู่ทั่วไป อุณหภูมิกระเปาะแห้งเป็นอุณหภูมิที่เกิดจากปริมาณความร้อนในอากาศโดยตรงไม่ได้ขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในอากาศ เมื่อกล่าวถึงอุณหภูมิของอากาศเฉยๆ ถือว่าเป็นอุณหภูมิกระเปาะแห้ง

2.5.3 อุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet Bulb Temperature, T_{wb})

อุณหภูมิกระเปาะเปียก คืออุณหภูมิของอากาศชั้นที่มีการซึบออกโดยเทอร์โมมิเตอร์ซึ่งกระเปาะถูกหุ้มด้วยผ้าเปียกชุบน้ำ และมีลมเป่าผ่านกระเปาะด้วยความเร็วลม เมื่ออากาศที่ไม่อิ่มตัวไหลผ่านลำที่เปียก น้ำบางส่วนที่สาละจะเกิดการระเหย ความร้อนที่สูญเสียออกจากน้ำเนื่องจากการระเหยเท่ากับความร้อนที่เพิ่มขึ้น อุณหภูมิที่อ่านได้คือ อุณหภูมิกระเปาะเปียก [9]

2.5.4 อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dew Point Temperature, T_{dp})

อุณหภูมิจุดน้ำค้างคืออุณหภูมิที่ความชื้นในอากาศมากเกินไปจนเริ่มควบแน่นเป็นหยดน้ำอากาศจะเกิดการควบแน่นบนพื้นผิวที่เย็น ปริมาณน้ำจำนวนมากมักจะระเหยในเวลากลางวัน เมื่ออุณหภูมิลดลงช่วงเวลากลางคืนการระเหยของน้ำลดน้อยลง ทำให้อากาศจุความชื้นมากขึ้น ในช่วงขณะหนึ่งอุณหภูมิลดต่ำลงความจุความชื้นของอากาศมีค่าเท่ากับปริมาณความชื้นในอากาศ จะเกิดอากาศอิ่มตัว ความชื้นบางส่วนจะเกิดควบแน่นเป็นน้ำค้าง อุณหภูมิที่เกิดการควบแน่นเมื่ออากาศเย็นตัวลงที่ความดันคงที่ เขียนได้ดังสมการ 2.2 [9]

$$T_{dp} = T_{sat@P_v} = 14.62 \times \ln \left(\frac{P_v \times 10^3}{600.245} \right) \quad (2.2)$$

2.5.5 ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity, %RH)

ความชื้นสัมพัทธ์คือค่าความชื้นในบรรยากาศ โดยคิดเป็นสัดส่วนเทียบระหว่างมวลจริงของไอน้ำของอากาศขณะนั้นกับมวลของไอน้ำในอากาศขณะที่เกิดการอิ่มตัว (ปริมาณความชื้นสูงสุด) ณ อุณหภูมิกระเปาะแห้งและความดันบรรยากาศเดียวกัน ปริมาณความชื้นในอากาศมีผลต่อความรู้สึกสบายในร่างกาย ความรู้สึกสบายจะขึ้นอยู่กับความชื้นในอากาศที่มีอยู่ เทียบกับปริมาณความ

ความชื้นมากที่สุดที่จะมีอยู่ได้ในอากาศที่อุณหภูมิเดียวกันนั้น อัตราส่วนระหว่างปริมาณของทั้งสอง เรียกว่าความชื้นสัมพัทธ์ ปริมาณของอากาศแห้งในส่วนผสมระหว่างอากาศกับไอน้ำมักจะคงที่ แต่ ปริมาณไอน้ำมักจะเปลี่ยนแปลง [9] ค่าความชื้นสัมพัทธ์สามารถหาได้ดังสมการดังต่อไปนี้

$$\%RH = \left(\frac{m_v}{m_s} \right) \times 100 = \left(\frac{P_v}{P_{vs}} \right) \times 100 \quad (2.3)$$

เมื่อ	%RH	= ความชื้นสัมพัทธ์, (%)
	m_v	= มวลของไอน้ำในอากาศขณะนั้น, (kg)
	m_s	= มวลของไอน้ำในอากาศอิ่มตัว, (kg)
	P_v	= ความดันไอ, (kPa)
	P_{vs}	= ความดันไออิ่มตัว, (kPa)

2.5.6 ความชื้นจำเพาะหรืออัตราส่วนความชื้น (Humidity Ratio or Specific Humidity, ω)

ความชื้นจำเพาะหรืออัตราส่วนความชื้น เป็นปริมาณไอน้ำในอากาศกำหนดโดยมวลของไอน้ำที่มีอยู่ในหนึ่งหน่วยของมวลอากาศแห้ง เรียกว่าความชื้นสัมบูรณ์ โดยความชื้นจำเพาะในอากาศจะมีค่าคงที่เสมอถ้าหากไม่มีการเพิ่มปริมาณความชื้นจำนวนใหม่ให้แก่อากาศ หรือไม่มีการดึงความชื้นออกจากอากาศ เราสามารถเพิ่มความชื้นในอากาศได้อีกจนกว่าอากาศจุดดั่งกล่าวเป็นอากาศที่อิ่มตัว ด้วยความชื้น จะถูกเรียกว่าอากาศอิ่มตัว โดยอัตราส่วนความชื้นเขียนได้ดังสมการ 2.4 [9]

$$\omega = \frac{m_v}{m_a} = \frac{0.62197 P_v}{101.325 - P_v} \quad (2.4)$$

เมื่อ	ω	= ความชื้นจำเพาะหรืออัตราส่วนความชื้น, (kg_{water}/kg_{dryair})
	m_v	= มวลไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศชื้น, (kg_{water})
	m_a	= มวลของอากาศแห้ง, (kg_{dryair})

2.6 การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังและฉนวน

ความสามารถในการถ่ายเทความร้อนออกเป็นหน้าที่หนึ่งของห้องสภาวะปรับอากาศ วัสดุที่ใช้ทำผนังห้องมีผลต่อค่าการถ่ายเทความร้อนของห้องปรับอากาศ การเลือกใช้วัสดุควรช่วยในการอนุรักษ์พลังงาน ค่าการถ่ายเทความร้อนสำหรับอาคาร เรียกว่า ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกอาคาร (Overall Thermal Transfer Value, OTTV) มีผลต่อการสมดุลพลังงานตามหลักอุณหพลศาสตร์

ความร้อนและการแผ่รังสีความร้อนจากภายนอกเข้าสู่ภายใน เป็นไปตามหลักของการถ่ายโอนความร้อนและพลังงาน เกิดเมื่อมีความแตกต่างของอุณหภูมิ จากกฎข้อที่หนึ่งของอุณหพลศาสตร์ที่ระบุว่า “พลังงานจะไม่ถูกสร้างขึ้น หรือถูกทำลายแต่สามารถเปลี่ยนรูปได้” ดังนั้นพลังงานโดยรวมของระบบจะประกอบด้วยพลังงานภายใน (Internal energy) พลังงานจลน์ (Kinetic energy) และพลังงานศักย์ (Potential energy) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงพลังงานที่เกิดขึ้นในระบบ แสดงดังสมการ 2.5 ส่วนผลการอินทิเกรตสมการที่ 2.5 จะได้ดังสมการ 2.6 ที่มีเทอมของความร้อนด้วย

$$E_{in} - E_{out} = \frac{dE_{system}}{dt} \quad (2.5)$$

$$Q_{in} - Q_{out} + E_{gen} = \Delta E_{system} \quad (2.6)$$

สำหรับการถ่ายโอนความร้อนในระบบปิดแสดงดังสมการ 2.7 และสำหรับระบบที่มีการถ่ายโอนความร้อนเพียงอย่างเดียวโดยไม่มีแรงภายนอกมากระทำแสดงดังสมการที่ 2.8

$$E_{in} - E_{out} = \Delta U = mC_v \Delta T \quad (2.7)$$

$$Q = mC_v \Delta T \quad (2.8)$$

โดยที่

E_{in} = พลังงานสุทธิที่เข้าสู่ระบบ (J)

E_{out} = พลังงานสุทธิที่ออกจากระบบ (J)

E_{system} = พลังงานของระบบ (J)

t = เวลา (sec)

Q = ปริมาณความร้อนสุทธิที่ถ่ายโอนเข้าหรือออกจากระบบ (W)

Q_{in}	= การถ่ายโอนความร้อนเข้าสู่ระบบ (W)
Q_{out}	= การถ่ายโอนความร้อนออกจากระบบ (W)
ΔU	= การเปลี่ยนแปลงพลังงานภายในระบบ (J)
M	= มวล (kg)
C_v	= ค่าความจุความร้อนจำเพาะที่ปริมาตรคงที่ (J/g. °C)
ΔT	= การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (°C)

การถ่ายเทความร้อนจะสิ้นสุดเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะสมดุลความร้อน เริ่มต้นจากสภาวะของสสารที่มีอุณหภูมิต่างกัน เกิดถ่ายเทความร้อนซึ่งกันและกันจากอุณหภูมิสูงไปยังสารที่มีอุณหภูมิต่ำ ทั้งที่เกิดจากการนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อนโดยการถ่ายเทความร้อนของสสารนี้จะเกิดขึ้นจนกระทั่งสสารทั้งสองมีอุณหภูมิเท่ากันหรือเข้าสู่สมดุล

การดึงความร้อนออกในระบบปรับอากาศ ทำให้เกิดการทำความเย็นโดยลดความชื้นในอากาศ แสดงกระบวนการได้บนแผนภูมิไซโครเมตริก (Psychrometric Chart) โดยอากาศชื้นภายในห้องจะไหลผ่านคอยล์เย็นที่มีท่อสารทำความเย็นอุณหภูมิต่ำทำให้อุณหภูมิอากาศลดลง เกิดการควบแน่นของความชื้นในอากาศ ความชื้นบางส่วนถูกกำจัดออก อากาศที่เย็นจะวนกลับออกมาสู่ห้อง ปริมาณความชื้นในอากาศจะลดลงเล็กน้อย ดังสมการ 2.9

$$\dot{Q} - \dot{W} = \sum \dot{m}_e h_e - \dot{m}_i h_i \quad (2.9)$$

กระบวนการนี้จะทำการกำจัดความชื้นและความร้อนออกจากอากาศในห้องปรับอากาศ

2.7 ค่าการประเมินเฉลี่ยความร้อนเชิงความสบาย (Thermal Comfort)

2.7.1 ค่าดัชนีค่าเฉลี่ยความรู้สึกร้อนของกลุ่มคนตัวอย่างสำรวจ (Predicted Mean Vote, PMV)

คนเราต้องการความสบายคือไม่ร้อนหรือไม่เย็นเกินไป ความชื้นไม่แห้งและไม่ชื้นเกินไปจึงมีปัจจัยต่างๆที่มีผลกระทบเช่นอุณหภูมิความชื้น จึงมีการให้ค่าการประเมินเฉลี่ย หรือตัวเลขแสดงสภาวะน่าสบาย จากสมการสบายเชิงความร้อนที่แสดงถึงสมดุลความร้อน ที่จะบอกได้ว่าจะต้องปรับเปลี่ยนตัวแปรค่าใดเพื่อให้คนรู้สึกสบาย แต่ไม่สามารถทำนายได้ เพราะหากคนทำกิจกรรมต่างกันก็ทำให้มีค่าความสบายไม่เท่ากัน และยังขึ้นอยู่กับสภาพการสวมใส่เสื้อผ้าแต่ละชนิดด้วย ดังนั้น Fanger [10] จึงเสนอสมการเพื่อคำนวณค่าการประเมินเฉลี่ยที่เรียกว่า Predicted Mean Vote (PMV) ดังแสดงสมการที่ 2.10 - 2.13

$$PMV = (0.325e^{-0.042M} + 0.032) \left[\begin{aligned} &M - 0.35(43 - 0.061M - P_v) - 0.042(M - 50) \\ &- 0.0023M(44 - P_v) - 0.0014M(34 - T_a) \\ &- 3.4 \times 10^{-8} f_{cl}((T_{cl} + 273)^4 - (T_{mrt} + 273)^4) - f_{cl}h_c(T_{cl} - T_a) \end{aligned} \right] \quad (2.10)$$

$$T_{cl} = 35.7 - 0.032M - 0.18I_{cl} \left[3.4 \times 10^{-8} f_{cl}((T_{cl} + 273)^4 - (T_{mrt} + 273)^4) - f_{cl}h_c(T_{cl} + T_a) \right] \quad (2.11)$$

$$h_c = \begin{cases} 2.05(T_{cl} - T_a)^{0.25} & \text{for } 2.38(T_{cl} - T_a)^{0.25} > 10.4\sqrt{v} \\ 10.4\sqrt{v} & \text{for } 2.38(T_{cl} - T_a)^{0.25} < 10.4\sqrt{v} \end{cases} \quad (2.12)$$

$$P_v = P_s r_h / 100 \quad (2.13)$$

เมื่อ	M	= อัตราการผลิตพลังงานในร่างกาย เนื่องจากการทำกิจกรรม, (W/m^2)
	P_a	= ค่าความดันย่อยของไอน้ำในอากาศ, (P_a)
	f_{cl}	= อัตราส่วนพื้นที่ของเสื้อผ้าที่สวมใส่ต่อพื้นที่ผิวร่างกายทั้งหมด
	T_{mrt}	= ค่าอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ย, $^{\circ}C$
	T_a	= ค่าอุณหภูมิอากาศภายในห้อง, $^{\circ}C$
	T_{cl}	= ค่าอุณหภูมิเสื้อผ้าที่สวมใส่, $^{\circ}C$
	h_{cl}	= ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนระหว่างอากาศกับเสื้อผ้า, $W/m^2 \cdot C$
	i_{cl}	= ค่าความเป็นฉนวนของเสื้อผ้า (clo)

PMV เป็นตัวแปรที่ใช้ทำนายความรู้สึกของคนส่วนใหญ่ว่ามีความรู้สึกร้อนหนาวอย่างไร ภายใต้ตัวแปรสิ่งแวดล้อม ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ ความชื้นอากาศ ความเร็วลมรอบตัวคนและอุณหภูมิการแผ่รังสี และภายใต้ตัวแปรเกี่ยวกับคน ได้แก่ เพศ อายุ ชนิดของกิจกรรม และชนิดของเสื้อผ้าที่สวมใส่ โดย กิจกรรมแต่ละประเภท [11] จะให้ค่าความร้อนที่เกิดภายในร่างกายที่แตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 2.3 และเสื้อผ้าแต่ละชนิดมีค่าฉนวนความร้อนที่แตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.3 ค่าปริมาณความร้อนในร่างกายของกิจกรรมแต่ละประเภท

ชนิดของกิจกรรม	ค่าความร้อน (W/m ²)
กิจกรรมเบา	
- นอน	40
- นั่ง	60
- ยืน	70
งานในสำนักงาน	
- อ่านหนังสือ	55
- เขียนหนังสือ	60
- พิมพ์ดีด	65
- เดิน	100
ขับพาหนะ	
- รถยนต์	60 – 115
- รถบรรทุก	185

ตารางที่ 2.4 ค่าฉนวนความร้อนของเสื้อผ้าชนิดต่างๆ

ชนิดของเสื้อผ้าที่สวมใส่	ค่าความร้อน (Clo)
เสื้อเชิ้ตแขนสั้น	0.19
เสื้อเชิ้ตแขนยาว	0.25
เสื้อยืดคอกลม	0.08
เสื้อยืดแขนกุดบาง	0.13
เสื้อยืดแขนกุดหนา	0.22
เสื้อยืดแขนยาวบาง	0.38
เสื้อยืดแขนยาวหนา	0.58
กางเกงยาวบาง	0.15
กางเกงยาวหนา	0.24
กระโปรงบาง	0.14
กระโปรงหนา	0.23
ถุงเท้า	0.02
รองเท้าหุ้มส้น	0.10
รองเท้าแตะ	0.02

จากตารางที่ 2.3 จะเห็นว่าลักษณะการทำการกิจกรรมต่างๆ จะก่อให้เกิดความร้อนแตกต่างกัน ถ้าต้องใช้แรงมาก ทำให้ต้องมีการเผาผลาญมาก เพื่อให้เกิดพลังงานขึ้น จึงส่งผลให้เกิดความร้อนในร่างกายสูง ซึ่งจำเป็นต้องระบายออกจากร่างกาย หากสภาวะแวดล้อมไม่เหมาะสม เช่น อากาศรอบตัวร้อนเกินไป จนไม่สามารถระบายความร้อนได้ทันจะรู้สึกร้อนมากขึ้น ร่างกายจะทำการขับเหงื่อออกมา เพื่อเป็นการเร่งการระบายความร้อนวิธีหนึ่งของร่างกาย

การวัดค่าและระบุค่าความเป็นฉนวนของเสื้อผ้าแต่ละชนิดเป็นไปได้ยาก ดังนั้นจึงได้มีการกำหนดค่าฉนวนของเสื้อผ้าเป็นชุด โดยเสื้อผ้าที่สวมใส่โดยจะมีค่าตัวเลขให้กับเสื้อผ้าแต่ละชิ้นซึ่งจะนำมาบวกกันรวมเป็นตัวเลขในหน่วย clo โดย 1 clo เท่ากับค่าความต้านทาน $0.155 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ (หรือ $0.88 \text{ }^\circ\text{F} \cdot \text{ft}^2 \cdot \text{h/Btu}$ ในระบบหน่วยอังกฤษ) และจากตารางที่ 2.4 จะเห็นว่าเสื้อผ้าที่บางจะมีค่าฉนวนกันความร้อนที่ต่ำกว่ากรณีเสื้อผ้าหนา ดังนั้น หากสวมใส่เสื้อผ้าที่พอดีกับสภาวะอากาศ และระดับกิจกรรมที่ทำก็จะทำให้รู้สึกสบายได้ แต่หากสวมใส่ไม่พอดีก็จะส่งผลให้รู้สึกร้อนหรือเย็นได้เช่นกัน

2.7.2 ค่าทำนายจำนวนเปอร์เซ็นต์ของคนที่ไม่สบายจากความร้อนเทียบกับจำนวนคนทั้งหมด (Predicted percentage of dissatisfied, PPD)

PPD Index ค่าดัชนีคาดการณ์ร้อยละความพึงพอใจ ETM30 (Predicted percentage of dissatisfied, PPD) โดยค่าดัชนีคาดการณ์โหวตเฉลี่ยเป็นค่าที่ได้จากผลการลงความเห็นของคนกลุ่มใหญ่โดยได้แบ่งเป็นค่าอยู่ 7 ระดับของความพอใจ ซึ่งจะอยู่ในช่วงตั้งแต่ -3 (หนาวมาก) ถึง +3 (ร้อนมาก) และ 0 หมายถึงลักษณะปานกลาง (รู้สึกสบายพอดี) ส่วนค่าคาดการณ์หรือความอยากให้เป็นตามความต้องการหรือความไม่พอใจ จะใช้คะแนนของคนที่ยังพอใจสภาวะที่อาศัยอยู่เป็นค่าตัวเลขจาก -1 ถึง 1

2.7.3 อุณหภูมิการแผ่รังสีความร้อนเฉลี่ย (Mean Radiant Temperature, MRT)

ค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย (Mean Radiant Temperature, MRT) ถูกนิยามให้เป็นอุณหภูมิสมำเสมอของผิวสมมุติภายในที่ให้การแผ่รังสีความร้อนจากร่างกายคน เท่ากับความร้อนที่แผ่ออกจากสภาวะจริง จึงต้องแบ่งเป็นสองส่วนคือ ค่าอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ยที่คิดเฉพาะผลจากอุณหภูมิของผิวกระจก และค่าอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ยที่รวมถึงผลจากอุณหภูมิผิวกระจกและรังสีแสงอาทิตย์ที่ผ่านกระจกมากระทบร่างกายคน

2.8 ค่าการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ

ค่าการทำความเย็นที่ได้ของระบบปรับอากาศ หรือ ความสามารถในการดึงความร้อนหรือความสามารถในการทำความเย็นจากคอยล์เย็น หรือ Fan coil unit (FCU) ภายในห้องปรับอากาศ มีหน่วยเป็น บีทียูต่อชั่วโมง ค่าความร้อนที่เปลี่ยนแปลงของอากาศ คัดจากผลต่างของเอนทาลปีลม

กลับเข้าสู่เครื่องปรับอากาศ (ลมร้อนกลับเข้าสู่ FCU) กับลมจ่ายออกจากเครื่องปรับอากาศ (ลมเย็นออกจาก FCU) คูณกับอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศที่หารด้วยปริมาตรจำเพาะ ดังสมการ

$$\dot{Q} = \frac{\dot{V}}{v} (h_r - h_s) \quad (2.14)$$

เมื่อ 3.968 BTU มีค่า 4.187 kJ จะสมการที่เปลี่ยนหน่วยเป็นบีทียูต่อชั่วโมง ได้ดังสมการ

$$\dot{Q} = \frac{\dot{V}}{1.05519(v)} (h_r - h_s) \quad (2.15)$$

เมื่อ

$\dot{Q}$	คือ ค่าความสามารถในการทำความเย็น (Btu/hr)
$\dot{V}$	คือ อัตราการไหลเชิงปริมาตรลมที่ไหลผ่านคอยล์เย็น (m^3/hr)
v	คือ ค่าปริมาตรจำเพาะของอากาศ (m^3/kg)
h_r	คือ ค่าเอนทัลปีของอากาศช่องลมกลับ (kJ/kg)
h_s	คือ เอนทัลปีของอากาศช่องลมจ่าย (kJ/kg)
$\dot{V}$	คือ อัตราการไหลเชิงปริมาตรลมที่ไหลผ่านคอยล์ (m^3/hr)

$$\dot{V} = (3600)(S)(A) \quad (2.16)$$

เมื่อ

S	คือ ความเร็วลมที่ออกจากคอยล์เย็น (m/s)
A	คือ พื้นที่หน้าตัดช่องลมจ่ายสู่ห้องของคอยล์เย็น (m^2)

2.9 การหาค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ C.O.P. (Coefficient of performance)

ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะแสดงประสิทธิภาพการทำความเย็นของระบบปรับอากาศ เป็นค่าอัตราส่วนระหว่างค่าทำความเย็นที่ระบบทำได้ กับค่าพลังงานที่ป้อนให้กับระบบ หรือกำลังงานไฟฟ้าที่ระบบปรับอากาศใช้งาน (คูณกับตัวเปลี่ยนหน่วย 3.41266 Btu เท่ากับ 1 Watt) ดังสมการ

$$COP = \frac{Q}{(3.41266)P} \quad (2.17)$$

เมื่อ

- COP คือ ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ
- Q คือ ค่าความสามารถในการทำความเย็น (Btu/hr)
- P คือ ค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ (W)

2.10 การหาค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน EER (Energy Efficiency Ratio)

ค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน EER ใช้เพื่อเป็นหลักเกณฑ์ในการอ้างอิงความสิ้นเปลืองพลังงานของเครื่องทำความเย็นและเครื่องปรับอากาศตามมาตรฐาน มอก. 1155-2536 ที่มีการแสดงประสิทธิภาพพลังงานเป็น 5 ระดับดังตารางนี้

ตารางที่ 2.5 ตารางแสดงค่าความสิ้นเปลืองพลังงานของเครื่องปรับอากาศตามมาตรฐาน มอก.

No.	Efficiency	EER
5	Very good	10.6 Upper
4	Good	9.6-10.6
3	Medium	8.6-9.6
2	Fair	7.6-8.6
1	Low	7.6 lower

ค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพสามารถหาค่าได้ดังสมการนี้

$$EER = \frac{Q}{P_e} \quad (2.18)$$

เมื่อ

- EER คือ ค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพ
- Q คือ ค่าความสามารถในการทำความเย็น (Btu/hr)
- P_e คือ ค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ (W)

2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผลการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการปรับอากาศที่ใช้คอมพิวเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ด้วยการหาข้อมูลสำหรับงานวิจัยที่มีเนื้อหาใกล้เคียงกัน พบว่าผลการวิจัยจากผู้ทำการศึกษาหลายท่าน แตกต่างกันไป และสรุปไว้ดังตารางที่ 2.6 ดังนี้

ตารางที่ 2.6 แสดงงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ชื่อผู้แต่ง	ข้อบกพร่อง	วัตถุประสงค์งานวิจัย	ผลที่ได้รับ
F. Zhang and R. de Dear [12]	อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมและอุณหภูมิที่รู้สึกสบายซึ่งมีอิทธิพลโดยตรงต่อระบบการควบคุมอุณหภูมิห้องบรรยายรวม	ใช้ DLC ควบคุมการใช้ไฟฟ้าของระบบปรับอากาศ โดยใช้โปรแกรม Energy Plus กับแบบจำลองควบคุมการใช้ไฟฟ้าหลายวงจร โดยกำหนดระดับ และใช้ตัวแปรควบคุม PMV/PPD	อัตราส่วนการทำงานต่อช่วงเวลาทำความเย็น และอุณหภูมิที่ตั้งไว้มีความสัมพันธ์ต่อความรู้สึกสบาย
A.A. Al-Ugla et al. [13]	วิเคราะห์การนำเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้ลดภาระการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบทำความเย็นของอาคารพาณิชย์ขนาดใหญ่	เปรียบเทียบระบบปรับอากาศ 3 ชนิด โดยวิเคราะห์เปรียบเทียบทางเศรษฐศาสตร์ ๒ วิธี	ระบบที่ใช้การดูดซึมความร้อนด้วยสารละลายลิเทียมโบรไมด์ มีผลคุ้มค่าและประหยัดกว่าการดูดความร้อนที่ใช้โซลาร์เซลล์ช่วยและควบแน่นไอสารทำความเย็น

ตารางที่ 2.6 แสดงงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

ชื่อผู้แต่ง	ชื่อบทความ	วัตถุประสงค์งานวิจัย	ผลที่ได้รับ
Y. He et al. [14]	ศึกษาความรู้สึกร้อนและและอุณหภูมิที่ความรู้สึกลบจากอุณหภูมิของเครื่องปรับอากาศภายในห้องพักในฤดูร้อน	วัดตัวแปรสภาพแวดล้อมของอากาศจากการสอบถามถึงอุณหภูมิที่ทำให้ความรู้สึกลบของนักศึกษาที่พักในห้องพักปรับอากาศ	ปัจจัยที่มีผลต่อความสบายของนักศึกษา ได้แก่ อุณหภูมิความร้อนในห้องพัก สภาพแวดล้อมภายใน การสวมใส่เสื้อผ้า กิจกรรมที่ทำ
Y. He et al. [15]	การปรับอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศภายในห้องพักของมหาวิทยาลัยในเขตร้อนชื้นในฤดูร้อนเพื่อให้เกิดความรู้สึกลบ	เพื่อหาอุณหภูมิที่ทำให้ผู้พักอาศัยและความคุ้นชินในสภาพแวดล้อมซึ่งมีภูมิอากาศแบบร้อนชื้นในฤดูร้อนมาเป็นเวลานานเกิดความรู้สึกลบ	ความคุ้นชินกับอากาศร้อนจากการพักอาศัยในสภาพแวดล้อมซึ่งมีภูมิอากาศแบบร้อนชื้นในฤดูร้อนมาเป็นเวลานานทำให้ร่างกายปรับตัวซึ่งมีผลกับการปรับอุณหภูมิของเครื่องปรับอากาศ

ตารางที่ 2.6 แสดงงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

ชื่อผู้แต่ง	ชื่อบทความ	วัตถุประสงค์งานวิจัย	ผลที่ได้รับ
D. N. Nkwetta and J. Sandercock [16]	ระบบปรับอากาศ พลังงานแสงอาทิตย์	ผสมผสานการใช้พลังงาน แสงอาทิตย์กับระบบ ระบายความร้อนด้วย ของเหลว เพื่อเพิ่ม ประสิทธิภาพ และลด ต้นทุน	ใช้หลอดสุญญากาศ เพิ่มเข้าไปกับเซลล์ แสงอาทิตย์และเติม สารละลายลิเทียมโบร ไมด์เหลว (LiBr/H ₂ O) เพื่อดูดซับความร้อน เพิ่มค่าสัมประสิทธิ์ใน เครื่องทำความเย็น
P. Hsu et al. [17]	โครงการสลับระบบ เซลล์แสงอาทิตย์ แบบไฮบริด PV	พัฒนาระบบเซลล์หลัง แสงอาทิตย์แบบไฮบริด PV (HyPV) ที่สามารถใช้ทั้งเซลล์ แสงอาทิตย์ระบบ PV โดยตรง และส่งผ่านเครือข่ายไปใช้ (grid) โดยอัตโนมัติ	เมื่อมีพลังงานในเซลล์ แสงอาทิตย์ เพียงพอ อุปกรณ์ไฟฟ้าในระบบ HyPV จะใช้พลังงาน จากเซลล์ Stand-alone PV system แต่เมื่อ พลังงานที่เก็บในเซลล์ไม่ เพียงพอ ระบบจะ switch ไปใช้ Grid โดยอัตโนมัติ
G. Y. Yun et al. [18]	การนำระบบควบคุม การปรับอุณหภูมิ เพื่อให้เกิดความรู้สึก สบาย Adaptive Comfort Control (ACC) ไปใช้กับ เครื่องปรับอากาศ	พัฒนาตัวควบคุม ACC ใน ระบบปรับอากาศและการ ทดสอบการใช้ ACC กับ ผู้ปฏิบัติงานในสำนักงาน	โมเดลของ ACC สามารถนำมาใช้กับ เครื่องทำความเย็น ของระบบปรับอากาศ ในอาคาร และทำให้ ทราบปริมาณพลังงาน ที่ใช้ เมื่อใช้ ACC

ตารางที่ 2.6 แสดงงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

ชื่อผู้แต่ง	ชื่อบทความ	วัตถุประสงค์งานวิจัย	ผลที่ได้รับ
O. Nemati et al. [19]	รูปแบบของตัวเก็บพลังงาน PV/T	เซลล์ย่อยตัวเก็บพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตพลังงานรูปแบบใหม่ จะถูกนำรวมกับกรอบอาคาร (Building-integrated) เพื่อสร้างเซลล์เก็บความร้อนชนิด Photovoltaic-thermal (PV/T) บนหลังคาและผนัง เพื่อใช้จ่ายไฟฟ้าด้วยเครื่องจ่ายส่งจ่ายแบบอิสระ	รูปทรง คือ กว้าง-ยาว-สูง มีผลต่อการเก็บความร้อน การไหลและความหนืดของอากาศร้อนระหว่างแผ่นขนานกับการรวมอากาศผ่านช่องแคบและการส่งผ่านความร้อนผ่านช่องแคบมีประสิทธิภาพความร้อนรวม
Dr. Prakash [20]	การวิเคราะห์และการปรับปรุงอุณหภูมิความน่าสบายของห้องที่ปรับอากาศที่มีการเพิ่มอุณหภูมิความร้อน	ฉนวนกันความร้อนช่วยลดรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ และมีผลต่ออุณหภูมิความน่าสบายของห้องปรับอากาศ โดยจำลองการไหลของอากาศภายในห้อง และมีการประเมินค่าความน่าสบาย PMV	ห้อง D เป็นห้องชนิดที่มีความเป็นฉนวนมากที่สุด มีอุณหภูมิเฉลี่ย 293K PMV มีค่า -3.05 ทำให้มีค่าความเย็นมากซึ่งทำให้รู้สึกไม่สบาย สามารถลดความร้อนผ่านเพดานและผนังได้ดี พบว่าค่าที่เกิดความสบาย ควรอยู่ที่อุณหภูมิ 299 K และยังสามารถเปลี่ยนพลังงานต่ำด้วย

ตารางที่ 2.6 แสดงงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

ชื่อผู้แต่ง	ชื่อบทความ	วัตถุประสงค์งานวิจัย	ผลที่ได้รับ
สุรศักดิ์ สวัสดิ์ รักษ์กุล และ ชัยยพล ธงชัยสุริชต์กุล [21]	โปรแกรมตรวจวัด ประสิทธิภาพและ ควบคุม เครื่องปรับอากาศ แบบแยกส่วน สำหรับการอนุรักษ์ พลังงาน	ทดสอบติดตั้งชุดวัดเก็บ ค่าตัวแปรการหา ประสิทธิภาพ เครื่องปรับอากาศและ พัฒนาโปรแกรมควบคุม ประสิทธิภาพ เครื่องปรับอากาศแบบแยก ส่วน	โปรแกรมตรวจชุดตรวจวัด ประสิทธิภาพและควบคุม เครื่องปรับอากาศแบบแยก ส่วน ช่วยลดการใช้พลังงาน ไฟฟ้า โดยลดการทำงานใน ส่วนที่ไม่จำเป็นของระบบ ทำความเย็นลง

บทที่ 3

ระเบียบวิธีการวิจัย

3.1 แนวคิดการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาระบบปรับอากาศแบบใช้คอมเพรสเซอร์ที่ใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงในการขับเคลื่อน โดยใช้ไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ของระบบพลังงานแสงอาทิตย์แทนพลังงานไฟฟ้าจากระบบโครงข่ายไฟฟ้า จึงไม่ต้องใช้อินเวอร์เตอร์ในการแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับ มีการติดตั้งทดสอบระบบในห้องทดลอง และทดสอบความสบายทางอุณหภูมิ หรือ สภาวะน่าสบาย (Thermal comfort) ของผู้ที่อยู่ในพื้นที่ปรับอากาศด้วยระบบนี้

แนวความคิดออกแบบสำหรับงานวิจัยนี้ คือ การนำระบบปรับอากาศจากรังสีอาทิตย์แบบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง มาใช้เพื่อลดภาระค่าไฟฟ้าสำหรับห้องเก็บเงินค่าผ่านทางด่วน ดังตัวอย่างใน **รูปที่ 3.1** ซึ่งจะเห็นว่าเป็นห้องที่มีขนาดเล็กประมาณ $W\ 1.2\ m \times L\ 2\ m \times H\ 2.8\ m$ โดยภายในห้องเก็บเงินมีการปรับอากาศ ในขณะที่ห้องนี้จะรับความร้อนจากอากาศแวดล้อมโดยตรง ส่วนด้านบนเหนือขึ้นไปจะมีหลังคาครอบห้องเก็บเงินทั้งหมดที่ติดตั้งขนานกันตามจำนวนช่องเก็บเงิน และบนหลังคาก็จะสามารถติดตั้งระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ด้วย



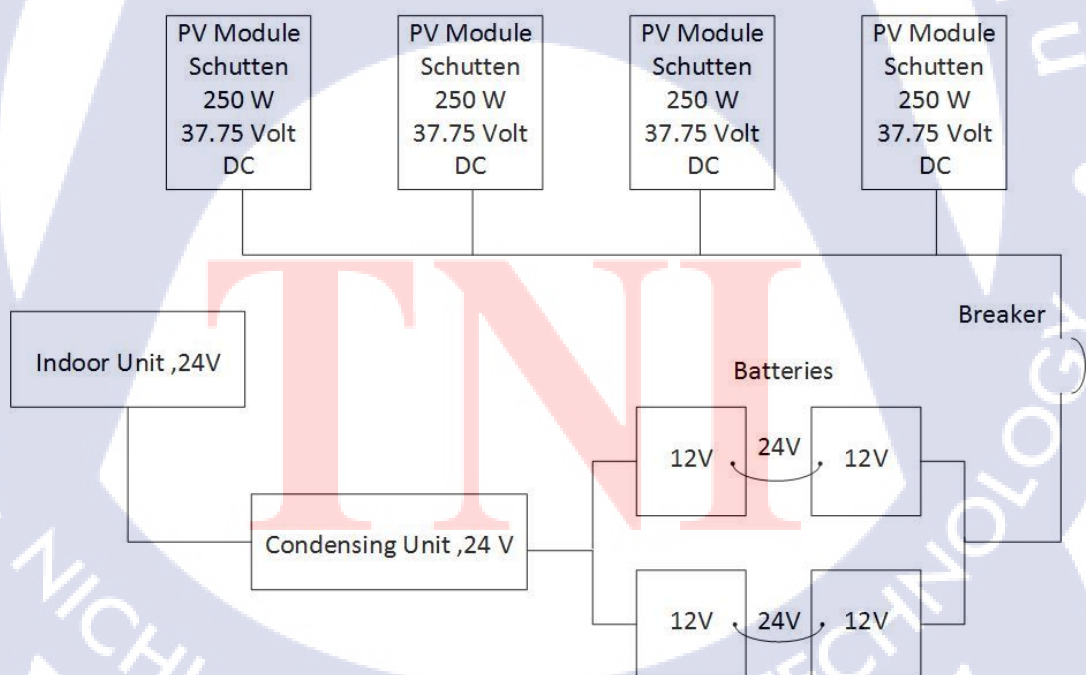
รูปที่ 3.1 ห้องเก็บเงินทางด่วน

การวิจัยมีการออกแบบระบบปรับอากาศที่ประกอบด้วยหน่วยภายในห้อง (Indoor Unit หรือ Fan coil unit) และหน่วยภายนอกห้อง (Outdoor unit หรือ Condensing unit) โดย Indoor Unit ถูกติดตั้งทดสอบในห้องทดลองที่ปรับมาจากตู้คอนเทนเนอร์ขนาด กว้าง 2.5 m (W) X ยาว 3

m (L) X สูง 2.2 m (H) ซึ่งอยู่ภายในห้อง K-105 ของโรงปฏิบัติการ K ของสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น โดยต่อไปนี้จะเรียกว่าตู้ทดสอบ (Experimental Chamber)

ภาพอย่างง่ายของระบบแสดงดังรูปที่ 3.2 โดยระบบประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโพลีคริสตัลไลน์ (Polycrystalline) ของ Schutten จำนวน 4 แผง กำลังไฟฟ้าแผงละ 250 W ได้ศักย์ไฟฟ้าสูงสุด 37.75 Volt DC ส่งไฟฟ้ากระแสตรงเข้าแบตเตอรี่ของ Globatt pace ขนาด 12 Volt ความจุ 150 Ah จำนวน 4 ลูก และมีการดึงไฟฟ้ากระแสตรงจากแบตเตอรี่จ่ายให้กับคอยล์ร้อน (Condensing unit) ที่มีคอมเพรสเซอร์แบบรีฟไฟฟ้กระแสตรงอยู่ใน คอยล์ร้อนนี้ติดตั้งภายนอกตู้ทดสอบแต่อยู่ในห้องทดสอบ K-105 ในขณะที่สารทำความเย็นจะหมุนเวียนเป็นวัฏจักรไปยังคอยล์เย็น (Indoor unit หรือ Fan coil unit) ซึ่งติดตั้งภายในตู้ทดสอบ และสามารถทำให้ได้อุณหภูมิภายในตู้ทดสอบ จนมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิภายนอกตู้ทดสอบที่อุณหภูมิบรรยากาศได้

จากที่ได้กล่าวในข้างต้นเป้าหมายคือพัฒนาระบบให้ทำความเย็นสำหรับตู้เก็บเงินค่าผ่านทางด่วน ซึ่งมีความเป็นไปได้ที่จะติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่หลังคาที่คลุมห้องเก็บเงินค่าทางด่วน ดังรูปที่ 3.3 โดยในการทดลองนี้ได้ติดตั้งแผงเซลล์ทั้ง 4 บนหลังคาอาคาร K ซึ่งสูงขึ้นไปจากตู้ทดสอบประมาณ 7-8 m ส่วนตู้ทดสอบดังรูปที่ 3.4 ภายในห้องทดลอง K-105 ก็จะใช้แทนตู้เก็บเงินค่าทางด่วน โดยมีคอยล์ร้อนติดตั้งทางด้านนอกตู้ดังตัวอย่างในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.2 ภาพอย่างง่ายระบบปรับอากาศที่ใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ของระบบเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ 3.3 ห้องเก็บเงินค่าทางด่วนมีพื้นที่ด้านบนหลังคาเพื่อติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์



รูปที่ 3.4 ตัวอย่างห้องปฏิบัติการจำลองห้องเก็บเงินค่าทางด่วน



รูปที่ 3.5 ภาพแสดงชุดคอยล์ร้อนที่ติดตั้งด้านนอกตู้เก็บเงิน

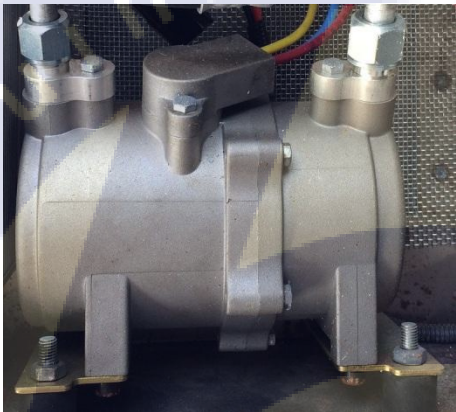
3.2 การติดตั้งระบบทดสอบระบบปรับอากาศ

ระบบทดสอบทั้งหมดติดตั้งภายในห้องทดลอง K-105 ยกเว้นชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งอยู่บนหลังคาห้อง K-105 ซึ่งสามารถอธิบายตามข้อมูลรายละเอียดและภาพถ่ายดังต่อไปนี้

3.2.1 องค์ประกอบระบบปรับอากาศ

ระบบปรับอากาศขนาดอัตราทำความเย็น 5,700 Btu/h ต้องการไฟฟ้า 960 Watt ที่แรงดันไฟฟ้า 24 Volt โดยรับไฟฟ้ากระแสตรงจากแบตเตอรี่ของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ ภาพและข้อมูลขององค์ประกอบในระบบปรับอากาศ สรุปดังตารางที่ 3.1 และรูปที่ 3.6 – 3.14

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลองค์ประกอบระบบปรับอากาศไฟฟ้ากระแสตรง

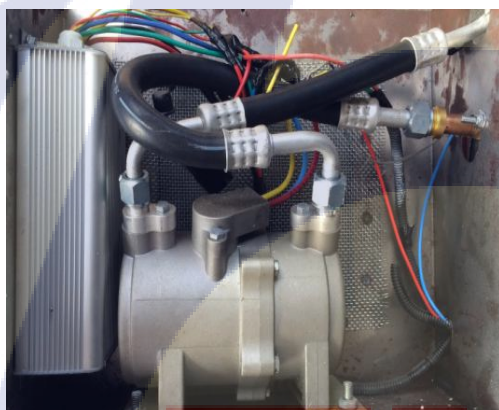
 รูปที่ 3.6 คอมเพรสเซอร์แบบกันหอยชนิดไฟฟ้า กระแสตรง 24 Volt DC	 รูปที่ 3.7 กล่องควบคุมคอมเพรสเซอร์ ขนาด 1000 Watt 24 Volt
---	--



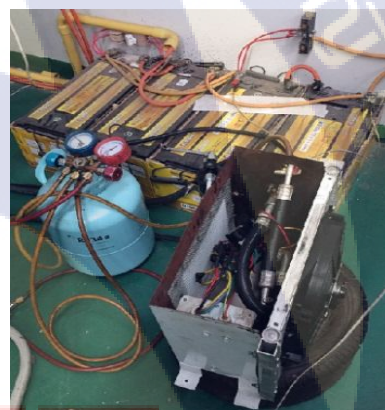
รูปที่ 3.8 คอยล์ร้อนหรือ Condensing unit ขนาด 400 (W) X 350 (H) X 40 (L) mm พร้อมสายท่อสารทำความเย็นใช้สำหรับ R-134a ยาว 4 m.



รูปที่ 3.9 พัดลมสำหรับระบายความร้อนจากคอยล์ร้อน ขนาด 12" แรงดันไฟฟ้า 24 Volt 90 Watt



รูปที่ 3.10 คอมเพรสเซอร์และกล่องควบคุมภายในชุดคอยล์ร้อน



รูปที่ 3.11 ภาพแสดงการชาร์จสารทำความเย็นเข้าคอมเพรสเซอร์



รูปที่ 3.12 คอยล์เย็นขนาด 600 (W) X 280 (H) X 180 (L) mm



รูปที่ 3.13 แบตเตอรี่ Globatt แบบ Deep Cycle ขนาด 12 Volt 150 Ah 4 ลูก ต่อวงจรเป็นอนุกรมและขนานได้ 24 Volt สามารถสำรองไฟฟ้าได้ประมาณ 6 ชั่วโมง



รูปที่ 3.14 โฟโตโวลตาอิกโมดูลยี่ห้อ Schutten ขนาด 250 Watt จำนวน 4 แผง รวม 1000 Watt แรงดันไฟสูงสุด 37.75 Volt DC

3.2.2 การเตรียมระบบทดสอบ

การเตรียมระบบปรับอากาศ ดำเนินการดังนี้

3.2.2.1 กำหนดคุณลักษณะจำเพาะขององค์ประกอบระบบปรับอากาศ ขนาดกำลังทำความเย็น 5,700 Btu/h ได้แก่ คอยล์ร้อน คอยล์เย็น โดยสั่งซื้อจากประเทศจีน จากนั้นนำมาปรับปรุงให้เหมาะกับการใช้งานในประเทศไทย สั่งซื้อระบบท่อสารทำความเย็นและสายไฟฟ้า

3.2.2.2 ติดตั้งองค์ประกอบระบบ

- ติดตั้งคอยล์ร้อนและคอยล์เย็นชนิดแยกส่วนในระยะที่ห่างกันไม่เกิน 4 m คอยล์เย็นติดตั้งในตู้ทดสอบ ส่วนคอยล์ร้อนวางไว้ด้านนอกตู้ทดสอบ คอมเพรสเซอร์เป็นแบบกันหอย (Scroll Compressor) ใช้ไฟฟ้ากระแสตรง ขับเคลื่อนผ่านกล่องควบคุม
- เดินสายทำความเย็นและสายไฟฟ้าผ่านช่องที่เจาะไว้ด้านล่างของตู้ทดสอบ โดยท่อสารทำความเย็นเป็นท่อพอลิเมอร์ยาง (Rubber Polymer) ชนิดเดียวกับที่ใช้ในรถยนต์
- ติดตั้งพัดลมไฟฟ้าสำหรับระบายความร้อนจากคอยล์ร้อน โดยใช้พัดลมชนิดเดียวกับในรถยนต์ใช้แรงดันไฟฟ้า 24 V
- อัดสารทำความเย็น R-134a เข้าสู่ระบบ โดยติดตั้งอุปกรณ์กำจัดความชื้นจากสารทำความเย็นในระบบ
- ติดตั้งท่อระบายของไหลน้ำจากการควบแน่นไอน้ำในอากาศ หรือ คอนเดนเซท ออกจากระบบ
- ต่อระบบสายไฟฟ้าเข้ากับชุดแบตเตอรี่ขนาดแรงดัน 24 V
- ติดตั้งหลอดไฟฟาส่องสว่างชนิดไส้ขนาด 40 W จำนวน 6 หลอด เพื่อแทนภาระความร้อน
- ติดตั้งชุดอุปกรณ์ตรวจวัดเครื่องมือวัด และคอมพิวเตอร์สำหรับเก็บข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจวัด

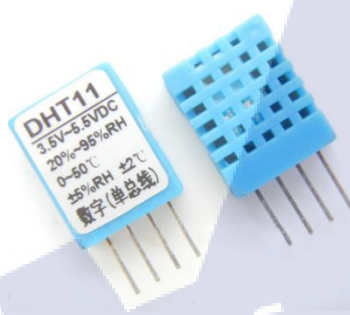
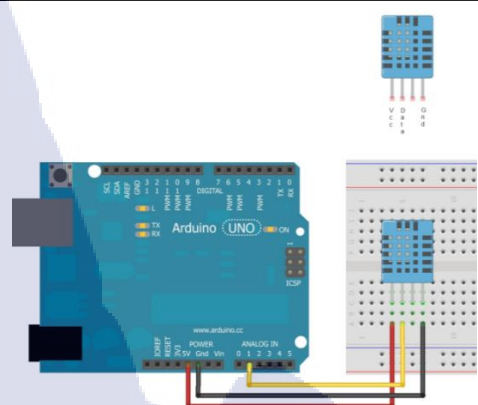
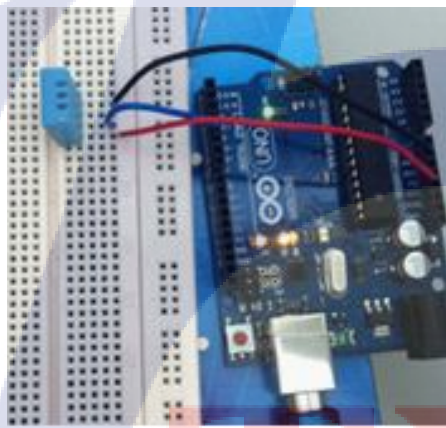
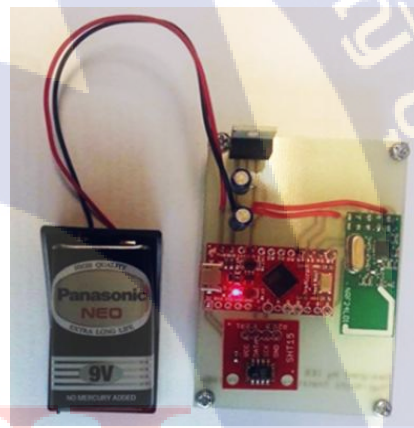
3.2.3 อุปกรณ์ตรวจวัด

เครื่องมือวัดของระบบทดสอบแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ เครื่องมือวัดที่ติดตั้งมากับคอยล์ร้อนและคอยล์เย็น และเครื่องมือวัดเพื่อเก็บค่าการทดลอง ดังสรุปในตารางที่ 3.2 เครื่องมือวัดอุณหภูมิ (Temperature) และความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity) เป็นอุปกรณ์ตรวจวัดที่พัฒนาขึ้นจาก

ห้องวิจัยอิเล็กทรอนิกส์อัจฉริยะ (IES Research Laboratory) ออกแบบโดยใช้บอร์ดอาดูอิโน (Arduino) ซึ่งเป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR ที่เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่นใหม่ๆ ที่มีการพัฒนาต่อมาจาก MCS-51 มีให้เลือกใช้งานตั้งแต่ 8 bit ถึง 32 bit บอร์ดนี้มีการพัฒนาแบบโอเพนซอร์ส (Open Source) คือมีการเปิดเผยข้อมูลทั้งด้าน Hardware และ Software ตัวบอร์ดอาดูอิโนถูกออกแบบมาให้ใช้งานได้ง่าย และผู้ใช้งานยังสามารถดัดแปลง เพิ่มเติม พัฒนาต่อยอดทั้งตัวบอร์ด หรือโปรแกรมต่อได้อีกด้วย [22] บอร์ดอาดูอิโนสามารถใช้งานได้ง่ายโดยการต่ออุปกรณ์เสริมหรือต่อวงจรอิเล็กทรอนิกส์จากภายนอก แล้วเชื่อมต่อเข้ามาที่ขา I/O ของบอร์ด ซึ่งอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ซึ่งต่อไปนี้จะเรียกว่า T-RH sensor เป็นโมเดล DHT11 (3.5V – 5.5 VDC) ดังรูปที่ 3.15 วัดอุณหภูมิได้ $0 - 50^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ และวัดความชื้นสัมพัทธ์ได้ $20\% - 95\% \pm 5\%$ และเหมาะสมกับการต่อเข้ากับบอร์ดอาดูอิโน อุปกรณ์ตรวจวัด DHT11 [23-24] นี้ราคาถูกและให้สัญญาณดิจิตอลออกมาที่ 8 บิต โดยรับไฟฟ้า 3.5 V การต่อเชื่อม DHT11 เข้ากับบอร์ดอาดูอิโนจะใช้ M-F jumper wires โดยมีตัวอย่างวงจรดังรูปที่ 3.16 ที่มีต่อเซอร์กิตโดยการต่อ Vcc กับ +5V ต่อ GND กับ GND และต่อข้อมูล (Data) เข้ากับ pin A1

รูปที่ 3.17 แสดงภาพถ่ายการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดเข้ากับบอร์ดอาดูอิโน โดยทดสอบวัดอุณหภูมิห้องและส่งข้อมูลไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์และเก็บข้อมูลโดยใช้โปรแกรม Matlab ในเครื่องคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ (Personal Computer; PC) หลังจากนั้นได้พัฒนาบอร์ดวงจรโดยสังเกตุเซอร์กิตตามที่ได้ออกแบบเอง เพื่อให้สะดวกต่อการใช่วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่หลายตำแหน่ง และเปลี่ยนมาใช้อุปกรณ์ตรวจวัดรุ่น SHT15 และรับไฟฟ้าจากถ่าน 9V ดังรูปที่ 3.18 และภาพเฉพาะอุปกรณ์ตรวจวัด SHT15 ดังรูปที่ 3.19 ซึ่งบอร์ด SHT15 นั้นใช้งานได้ง่ายบอร์ดที่เลือกเป็นของ Sensirion [25] โดยอุปกรณ์ตรวจวัดวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์แบบดิจิตอล SHT15 ได้รับการสอบเทียบให้มีการวัดที่แม่นยำและใช้งานได้ยาวนานในขณะที่ราคาไม่สูง อาศัยเทคโนโลยีดิจิตอล CMOSens ที่รวมอุปกรณ์ตรวจวัดทั้งสองแบบ (T vs. RH) ไว้ด้วยกันและให้ค่าเซอร์กิตออกมาในชิปเพียงตัวเดียว ต่อเพียง 2 สาย โดยช่วงค่าวัดอยู่ที่ 0 - 100% RH ที่ความแม่นยำ $\pm 2\%$ RH (10 - 90% RH) ความแม่นยำการวัดอุณหภูมิที่ 25°C คือ $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ ต้องการกำลังไฟฟ้าเพียง 30 μW เหมาะกับการใช้วัดค่าและบันทึกผลรวมถึงการส่งต่อข้อมูลการวัดผลจากการทดลองเข้าคอมพิวเตอร์ ชุดวัด T-RH ได้รับการทดสอบผลการวัดค่าอุณหภูมิห้องที่ 25°C เทียบกับเครื่องมือวัดอุณหภูมิและความเร็วลม (Temperature- Anemometer probe) โมเดล AN100 จาก EXTECH ดังรูปที่ 3.20 พบว่าอ่านค่าได้อุณหภูมิใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 3.2 เครื่องมือวัด

 รูปที่ 3.15 อุปกรณ์ตรวจวัด DHT11 [22]	 รูปที่ 3.16 การต่อ DHT11 กับบอร์ดอาดูอิโน้ (Arduino) [23]
 รูปที่ 3.17 แผงติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัด T-RH บนบอร์ดอาดูอิโน้ [24]	 รูปที่ 3.18 แผงอุปกรณ์ตรวจวัด T-RH บนบอร์ดที่พัฒนาขึ้น [25]



รูปที่ 3.19 อุปกรณ์ตรวจวัด SHT15

รูปที่ 3.20 เครื่องมือวัด Temperature-Anemometer ของ EXTECH

ชุดอุปกรณ์ตรวจวัด T-RH แบบ SHT15 [25] ถูกติดตั้งกับระบบทดสอบเพื่อวัดอุณหภูมิฝั่งลมกลับเข้าสู่คอยล์เย็น นอกจากนี้ยังมีเครื่องมือวัดความดันสารทำความเย็น คือ เกจวัดความดันติดตั้งที่ทางเข้าของคอมเพรสเซอร์ เพื่อให้สามารถตรวจสอบค่าความดันสารทำความเย็น สำหรับเครื่องมือวัดที่กระแสไฟฟ้าเข้าสู่ระบบปรับอากาศ ใช้มัลติมิเตอร์ของ FLUKE ดังรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.21 เครื่องมือวัดมัลติมิเตอร์สำหรับวัดกระแสไฟฟ้า

3.3 ปัจจัยที่ส่งผลต่อสภาวะน่าสบายภายในตู้ทดสอบ

ปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลกระทบต่อตู้ทดสอบ คือการระความร้อนจากส่วนต่างๆ เช่น ความร้อนสะสมในผนังที่มีฉนวนของตู้ทดสอบ ภาระจากคนหรือผู้ทำการปฏิบัติงานภายในตู้ทดสอบ ภาระจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในห้องทดสอบ (เช่น คอมพิวเตอร์, เครื่องมือวัดต่างๆ) ภาระจากหลอดไฟฟ้าที่ให้แสงสว่างภายในห้องทดสอบ ภาระจากการที่อากาศภายนอกรั่วไหลเข้ามาเมื่อเปิดประตูเข้าออกตู้ทดสอบ

3.4 ขั้นตอนการทดลอง

ตู้ทดสอบโดยขนาดปริมาตร กว้าง 2.5 m (W) X ยาว 3 m (L) X สูง 2.2 m (H) โดยคาดว่าจะปรับสภาพอุณหภูมิภายในห้องประมาณ 23-28 °C ความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 40-60 %RH เพื่อสร้างสภาวะน่าสบายให้กับผู้อาศัยในห้อง โดยภาพผังห้อง (Floor plan) ของตู้ทดสอบแสดงดังรูปที่ 3.22 ที่แสดงตำแหน่งการวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ตำแหน่งติดตั้งชุดคอยล์ร้อนและคอยล์เย็น และตำแหน่งการนั่งของผู้ทดสอบ โดยทำการทดสอบระบบปรับอากาศในคาบเวลา 3 ชั่วโมง ด้วยขั้นตอนดังนี้

3.4.1 เปิดระบบปรับอากาศก่อนเริ่มทดสอบประมาณ 15 นาที เพื่อให้อุณหภูมิในห้องค่อนข้างคงที่ โดยระบบรับไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ ในขณะที่แบตเตอรี่รับไฟฟ้าจากระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์

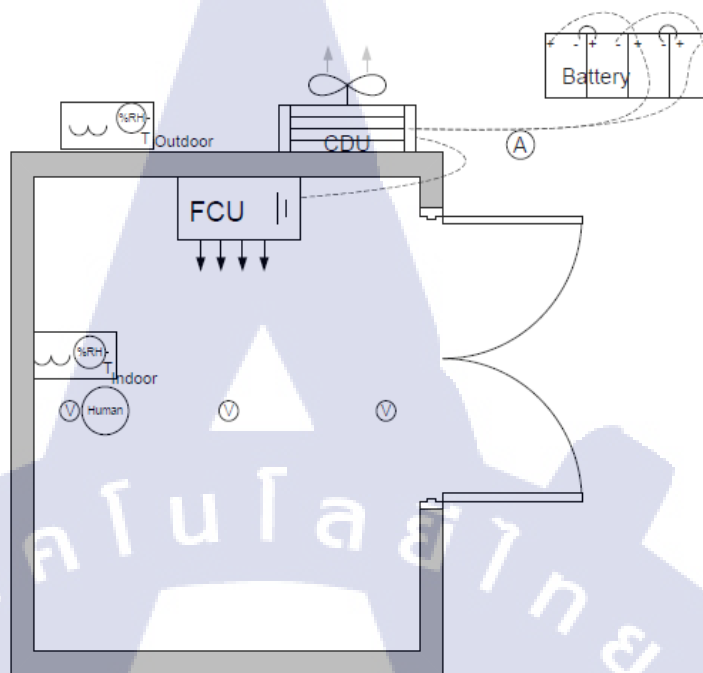
3.4.2 เปิดหลอดไฟฟ้าส่องสว่าง

3.4.3 กำหนดตัวแปร อายุ และดัชนีมวลกาย ของผู้เข้าทดสอบและเข้านั่งประจำที่ในห้องทดสอบ และกำหนดอิริยาบถของผู้ทดสอบโดยเปลี่ยนเป็นนั่งหรือยืน โดยผู้ทดสอบจะต้องตอบแบบประเมินความสบายทุกๆ ครึ่งชั่วโมง

3.4.4 บันทึกค่าอุณหภูมิและความชื้นทุก 10 นาทีระหว่างการทดสอบ และบันทึกค่าในคอมพิวเตอร์

3.4.5 บันทึกค่ากระแสไฟฟ้าที่เครื่องปรับอากาศใช้

3.4.6 วัดความเร็วลมเย็นจากเครื่องปรับอากาศ



รูปที่ 3.22 ผังตำแหน่งอุปกรณ์ในตู้ทดสอบ

การออกแบบการทดลอง กำหนดว่าจะทดสอบระบบเบื้องต้น 2 วัน เพื่อตรวจสอบอุณหภูมิที่ระบบปรับอากาศทำได้ จากนั้นทำการทดลองอีก 5 วัน ซึ่งจะมีผู้เข้าร่วมทดสอบนั่งในตู้ทดสอบ และตอบแบบสอบถามเพื่อประเมินความรู้สึกสบายของผู้อยู่ในห้องทดสอบด้วย ดังข้อมูลวันเวลาเริ่มทดสอบ อุณหภูมิขณะเริ่มทดสอบ กรณีการใช้แบตเตอรี่ที่ประจุมาแล้ว หรือกรณีการใช้หรือไม่ใช้ไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เพศและอายุของผู้ทดสอบ ความเร็วลมจากเครื่องปรับอากาศ ดังข้อมูลในตารางที่ 3.3 รวมเป็นทั้งสิ้น 7 การทดลอง เวลาที่เริ่มการทดลองจะเป็นช่วงเที่ยงถึงเย็นเป็นส่วนใหญ่ เพื่อให้มั่นใจว่าแบตเตอรี่ประจุมาเต็มแล้ว และกำหนดความเร็วลมจาก FCU เป็น 0.5 m/s คงที่ตลอดการทดลอง มีการประจุไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้แบตเตอรี่ในการทดลองที่ 4 และ 7 โดยผู้เข้าร่วมทดสอบมีอายุตั้งแต่ 26 – 62 ปี

ตารางที่ 3.3 สรุปข้อมูลสำหรับแต่ละชุดการทดลอง

การทดลองที่	วันที่	เวลาที่เริ่มทำการทดลอง	ระยะเวลาทำการทดลอง	อุณหภูมิบรรยากาศขณะเริ่มทำการทดลอง	การทดสอบต่อเนื่องโดยไม่มีหรือมีการชาร์จแบตเตอรี่มาก่อน	เพศของผู้เข้าร่วมทดสอบ	อายุของผู้เข้าร่วมทดสอบ	ความเร็วลมเครื่องปรับอากาศ	การใช้งานแผงโซลาร์เซลล์ขณะทดสอบ
		(น.)	(hours)	(°C)			(ปี)	(m/s)	
1	29 พ.ค. 59	9.52	3	37.0	n/a	n/a	n/a	0.5	ไม่มี
2	26 มิ.ย. 59	16.58	3	33.0	n/a	n/a	n/a	0.5	ไม่มี
3	9 ก.ค. 59	16.40	3	32.3	ไม่มี	หญิง	26	0.5	ไม่มี
4	10 ก.ค. 59	14.30	3	32.5	มี	หญิง	28	0.5	มี
5	23 ก.ค. 59	11.40	3	32.0	ไม่มี	ชาย	27	0.5	ไม่มี
6	30 ก.ค. 59	12.40	3	32.1	ไม่มี	หญิง	23	0.5	ไม่มี
7	31 ก.ค. 59	16.38	3	33.4	มี	หญิง	62	0.5	มี

3.5 การวิเคราะห์ภาระของเครื่องปรับอากาศ

3.5.1 การถ่ายเทความร้อนจากผนังที่มีฉนวน

ผนังตู้ทดสอบหนา 0.204 m ทำจากวัสดุที่มีผิวด้านนอกเป็นเหล็กดำ (SS400) หนา 2.0 mm ตรงกลางเป็นฉนวนใยแก้วหนา 100 mm จำนวน 2 ชั้น และผิววัสดุด้านในห้องเป็นสแตนเลส 304 (SUS304) หนา 2.0 mm การคำนวณภาระจากผนังห้องเย็น (Wall Gain Load) ซึ่งระหว่างการปรับอากาศหรือการลดอุณหภูมิภายในห้อง เครื่องปรับอากาศก็ต้องดึงความร้อนที่สะสมไว้ที่ผนัง 3 ชั้นนี้ออกมาด้วย [26-28]

3.5.2 คนหรือผู้ปฏิบัติงานปฏิบัติงานภายในห้องทดสอบ

คนหรือพนักงานผู้ปฏิบัติงานในห้องปรับอากาศเป็นแหล่งความร้อนเช่นเดียวกัน โดยสำหรับค่าความร้อนจากบุคคลที่นั่งทำงานแบบออฟฟิศหรืออื่น (ดังในกรณีทดสอบ) มีค่าความร้อนสัมผัสและค่าความร้อนแฝง 75 W (250 Btu/h) และ 55 W (200 Btu/h) ตามลำดับ

3.5.3 อุปกรณ์ที่ใช้ปฏิบัติการภายในห้องทดสอบ

นอกเหนือจากคนแล้วยังมีอุปกรณ์ที่เป็นแหล่งให้ความร้อนภายในตู้ทดสอบ คือ หลอดไฟส่องสว่าง และคอมพิวเตอร์ หลอดไฟขนาด 40 W จำนวน 6 หลอด และ คอมพิวเตอร์ขนาด 300 W จำนวน 1 เครื่อง

3.5.4 สมดุลพลังงานสำหรับระบบตู้ทดสอบ

สมมติว่าตู้ทำทดสอบเป็นระบบที่อากาศส่วนใหญ่ในห้องจะถูกไหลเวียนผ่านคอยล์เย็นของเครื่องปรับอากาศ อากาศถูกทำให้เย็นแล้วเป่ากลับออกมาสู่ภายในห้อง และการทดลองจำเป็นต้องเปิดปิดประตูทุก 10 นาที คิดประเมินเป็นค่าการรั่วไหลอากาศจากภายนอกเป็น 4 ACH ตามมาตรฐาน ASHRAE 62.2 ปี 2004 ที่กำหนดการระบายอากาศสำหรับอาคารที่พักอาศัยไว้ ตู้ทดสอบนี้มีปริมาตรภายใน 16.5 m^3 เทียบเป็นอากาศจากบรรยากาศภายนอกตู้ทดสอบไหลเข้ามา $66 \text{ m}^3/\text{hr}$

หากปริมาตรควบคุมคืออากาศภายในห้อง และปริมาตรควบคุมนี้ไม่มีงานอื่นๆ มาเกี่ยวข้อง ความร้อนที่ปริมาตรควบคุมได้รับมาจากมนุษย์ในห้อง หลอดไฟฟอสฟอรัส และคอมพิวเตอร์ ในขณะที่ไม่คิดความร้อนที่สูญเสียจากห้องเพราะตู้ทดสอบหุ้มฉนวนไว้หนามาก ดังนั้นความเย็นที่ระบบปรับอากาศทำได้ ก็คือความร้อนที่ถ่ายเทออกจากอากาศในปริมาตรควบคุม หาได้จากสมการที่ 3.1 โดยค่าการเปลี่ยนแปลงพลังงานในปริมาตรควบคุมคิดจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตามเวลาและมวลทางอุณหภูมิ (Thermal mass) หรือ ผลรวมของผลคูณของมวลและความจุความร้อนขององค์ประกอบภายในปริมาตรควบคุม

$$\frac{dE}{dt} = \sum \dot{Q} - \sum \dot{W}$$

$$\sum_i (M.Cp)_i \frac{dT}{dt} = \sum \dot{Q}_{in} - \sum \dot{Q}_{out} = (\dot{Q}_{wall} + \dot{Q}_{lighting} + \dot{Q}_{human} + \dot{Q}_{computer} + \dot{Q}_{infil}) - \dot{Q}_{AC} \quad (3.1)$$

การวิเคราะห์สมดุลพลังงาน จะพิจารณาคาบเวลาที่มีผู้อยู่อาศัยในห้องทดสอบเป็นระยะเวลาการทดสอบ 3 ชั่วโมง โดยการหาค่าความร้อนที่เครื่องปรับอากาศดึงออกจากห้องได้จริงจะต้องอินทิเกรตสมการที่ 3.1 จากเวลาเริ่มต้นถึงเวลาสิ้นสุดที่ 3 ชั่วโมง โดยค่าอุณหภูมิของอากาศลดลงจากค่าเริ่มต้น (T_i) ถึงค่าสิ้นสุด (T_f) จนได้สมการที่ 3.2 และ 3.3 ตามลำดับ และเนื่องจากปริมาตรควบคุมคิดเฉพาะมวลของอากาศภายในตู้ทดสอบจึงหาค่า Thermal mass ($M.Cp$) เฉพาะของอากาศเท่านั้น

$$-(M.Cp)_{air}(T_i - T_f) = \sum Q_{in} - Q_{AC} \quad (3.2)$$

$$Q_{extracted \text{ by } AC} = (M.Cp)_{air}(T_i - T_f) + (Q_{wall} + Q_{lighting} + Q_{human} + Q_{computer} + Q_{infil}) \quad (3.3)$$

3.5.5 แบบทดสอบอุณหภูมิกับความสบาย

แบบสอบถามเกี่ยวกับสภาพความสบายในห้อง ทดสอบกับกลุ่มบุคคลที่อยู่ในตู้ทดสอบ โดยแบ่งตามชั้นช่วงอายุ มีการกรอกแบบสอบถามแล้วนำมาคำนวณค่า Predicted Mean Vote (PMV) และ Percent of People Dissatisfied (PPD) เพื่อให้ทราบความรู้สึกเชิงอุณหภูมิในขณะสภะนั้นว่ามีความรู้สึกอย่างไร โดยอ้างอิงจากมาตรฐาน ASHRAE Standard 55 ที่มีการแบ่งระดับตามศาสตราจารย์ Fanger ซึ่งกำหนดไว้ตั้งแต่ ค.ศ. 1980 เป็นสเกลดังรูปที่ 3.23 ที่แบ่งเป็น 7 ระดับ สเกลนี้เป็นฐานสำหรับการสอบถามข้อมูลกลุ่มคนส่วนใหญ่ว่าผู้คนรู้สึกอย่างไร ภายใต้ความหลากหลายของกิจกรรม เสื้อผ้า และสภาวะสิ่งแวดล้อมภายในพื้นที่ปรับอากาศ



รูปที่ 3.23 สเกลประเมินสภาวะน่าสบายโดย Fanger [29]

3.6 สมรรถนะการทำความเย็น

สมรรถนะของเครื่องปรับอากาศแสดงด้วยค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (Coefficient of Performance, COP) ดังนิยามในสมการที่ (2.4) และค่า COP สูงแสดงถึงประสิทธิภาพที่ดีของระบบปรับอากาศ [30]

ขั้นตอนวิธีดำเนินการ

3.6.1 การเก็บข้อมูล

- วัดพื้นที่ช่องลมออกจากเครื่องหรือลมจ่าย Supply air
- วัดความเร็วลมบริเวณหน้าลมจ่ายหรือด้าน Supply air
- วัดอุณหภูมิ (Ts) ด้านลมจ่ายและความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) ด้านลมจ่าย ของเครื่องปรับอากาศ

- วัดอุณหภูมิ (Tr) ด้านลมกลับและความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) ด้านลมกลับของเครื่องปรับอากาศ
- วัดกระแสไฟฟ้าที่ระบบปรับอากาศใช้ ในหน่วย Ampere
- วัดความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ระบบปรับอากาศใช้ ในหน่วย Volt

3.6.2 การใช้ Psychometric ในการคำนวณหาค่า

- อัตราส่วนความชื้นในอากาศที่จ่าย (w)
- ความเร็วลมที่วิ่งผ่านช่องลมจ่าย (v)
- เอนทาลปี (Enthalpy) ลมจ่าย
- เอนทาลปี (Enthalpy) ลมกลับ

3.6.3 การใช้สมการคำนวณหาค่า

- อัตราการไหลเชิงปริมาตรของลมออกจากช่องลมจ่าย (CFM)
- ค่าภาระการทำความเย็น (Btu/hr)
- ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบปรับอากาศ (COP)
- ค่าสมรรถนะการใช้พลังงาน (EER)



รูปที่ 3.24 การวัดความเร็วลมบริเวณหน้าตัดช่องลมจ่าย



รูปที่ 3.25 การวัดอุณหภูมิและความชื้นโดยใช้เซ็นเซอร์ T & RH



รูปที่ 3.26 การวัดกำลังไฟฟ้าที่ระบบปรับอากาศใช้งาน

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

ผลการวิจัยในการทำวิทยานิพนธ์นี้ ได้นำเสนอในบทนี้ตั้งแต่ขั้นการออกแบบติดตั้งและทดสอบระบบปรับอากาศจากรังสีอาทิตย์แบบไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาไปใช้ประโยชน์กับห้องเก็บค่าผ่านทางด่วนขนาดเล็ก ระบบใช้ไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ที่ประจุไฟฟ้าโดยชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ระบบทำความเย็นกับตู้ทดสอบได้ดี โดยมีการประเมินผลความสะดวกสบายของผู้อยู่อาศัยในห้องปรับอากาศด้วย

4.1 การติดตั้งระบบปรับอากาศแบบคอมเพรสเซอร์ชนิดกระแสตรง

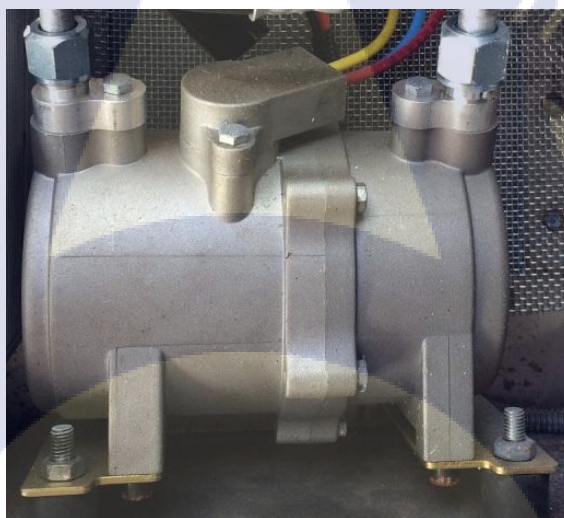
ห้องหรือตู้ทดสอบ (Experimental Chamber) เป็นห้องที่มีผนังฉนวนหนา เพราะดัดแปลงมาจากห้องทดสอบชิ้นส่วนยานยนต์ที่ต้องควบคุมอุณหภูมิ ตู้ทดสอบมีพื้นที่ของพื้น 7.5 m^2 และมีปริมาตร 16.5 m^3 โดยตู้นี้ได้รับบริจาคจากบริษัทโตโยต้ามอเตอร์ (ประเทศไทย) จำกัด มีขนาดประมาณ 3 เท่าของตู้เก็บเงินทางด่วน เหตุผลที่ใช้ตู้ทดสอบซึ่งฉนวนหนา ก็เพื่อลดความร้อนถ่ายเทจากบรรยากาศภายนอก จึงทำให้ทราบว่าระบบปรับอากาศนี้มีความสามารถในการลดอุณหภูมิได้เต็มที่เท่าใด อีกทั้งเบื้องต้นนี้ยังไม่สามารถทำการทดสอบกับกรณีตู้เก็บเงินทางด่วนจริงที่ได้รับความร้อนจากภายนอกโดยตรง

ขั้นตอนการคัดเลือกระบบปรับอากาศแบบคอมเพรสเซอร์กระแสตรง ได้ทดลองจากหลายทางเลือก อาทิ การประยุกต์ใช้คอมเพรสเซอร์แบบสกอลล์จากรถยนต์ไฮบริด ซึ่งทาง TNI ได้รับบริจาคจากบริษัท SANDEN (ประเทศไทย) ที่สามารถซื้อการทำงานได้สองทาง คือ จากเครื่องยนต์และการใช้ไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ แต่การสตาร์ทให้คอมเพรสเซอร์แบบ Brushless ดังรูปที่ 4.1 ขนาด 15 cc. กำลังไฟฟ้า 1.6 kW ความต่างศักย์ไฟฟ้ากระแสตรง 149 VDC ให้ทำงานได้นั้นทำได้ยาก เพราะคอมเพรสเซอร์ได้รับการออกแบบให้เหมาะสมกับการใช้งานกับรถยนต์ไฮบริดเท่านั้น

ผลการทดสอบเบื้องต้นพบว่าชุดลดภายในใหม่และไม่สามารถใช้งานได้ จึงได้ใช้ทางเลือกอื่น โดยคัดเลือกคอมเพรสเซอร์กระแสตรงที่ขนาดเล็กที่สุดที่สามารถหาได้ และมีความใกล้เคียงคอมเพรสเซอร์แบบสกอลล์ที่ได้รับบริจาค พบขนาดความจุ 23 cc. กำลังไฟฟ้า 1.8 kW โดยสั่งซื้อจากประเทศจีน ดังรูปที่ 4.2 และยังสั่งซื้อคอยล์ร้อนและคอยล์เย็นมาครบชุด แต่ต้องมาปรับเปลี่ยนองค์ประกอบระบบ และเพิ่มอุปกรณ์เสริม อาทิ เดินท่อน้ำยาทำความเย็น R-134a เดินสายไฟฟ้าใหม่ อัดน้ำยาเอง ติดตั้งเกจวัดความดัน และเครื่องมือวัดต่างๆ จนกระทั่งระบบสามารถทำงานได้ และสามารถวัดค่าจากการทดสอบต่างๆ เพื่อประเมินสมรรถนะการทำงานได้



รูปที่ 4.1 คอมเพรสเซอร์แบบสกอลล์ที่ได้รับบริจาคจาก SANDEN



รูปที่ 4.2 คอมเพรสเซอร์จากผู้ผลิตในประเทศไทย

4.2 ผลการติดตั้งระบบปรับอากาศ

ระบบปรับอากาศที่ออกแบบการประกอบและการติดตั้งเสร็จสิ้นแล้ว ได้รับการทดสอบเบื้องต้นโดยไม่มีผู้อยู่อาศัยในห้อง พบว่าสามารถลดอุณหภูมิห้องทดสอบภายในเวลา 3 ชั่วโมง ได้ถึง 17-20 °C และทำงานได้นานถึง 6 ชั่วโมง จึงได้ออกแบบการทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานระบบปรับอากาศนี้ เป็น 2 ส่วน ได้แก่

4.2.1 ทดสอบการทำงานเบื้องต้นของระบบปรับอากาศในห้องทดสอบ โดยไม่มีผู้อยู่ภายในห้องทดสอบ และวัดเฉพาะการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ จำนวน 2 การทดลอง (การทดลองที่ 1-2)

4.2.2 ทดสอบการทำงานของระบบปรับอากาศ จำนวน 5 การทดลอง (การทดลองที่ 3-7) โดยให้ระบบทำงาน 3 ชั่วโมงต่อเนื่อง โดยมีผู้อยู่อาศัยในตู้ทดสอบด้วย เพื่อรอกแบบประเมินความพึงพอใจต่อสภาวะน่าสบายในตู้ทดสอบ ตามมาตรฐานความสบายของ ASHRAE 55 (1992) (Thermal Comfort)

การทดสอบระบบปรับอากาศ โดยทำการเปิดเครื่องปรับอากาศและวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในและภายนอกตู้ทดสอบ โดยเซนเซอร์ T-RH ที่พัฒนาขึ้นดังกล่าวในหัวข้อ 3.3.3 โดยบันทึกค่าทุก 10 แต่ละการทดสอบใช้เวลา 3 ชั่วโมง ทำการทดสอบ 5 วัน โดยมีปัจจัยควบคุม คือ ภาระจากคนหนึ่งคนภายในห้องทดสอบ ภาระจากคอมพิวเตอร์ที่ใช้เก็บข้อมูลภายในห้องทดสอบ ภาระจากหลอดไฟฟ้าที่ให้แสงสว่างภายในห้องทดสอบ ภาระจากการรั่วของอากาศเข้าห้องเนื่องจากการเปิดประตูเข้าออกห้องทดสอบ เป็นต้น โดยสรุปผลการวิเคราะห์ทางสถิติของผลการวัด ได้แก่ ค่าน้อยสุด ค่ามากที่สุด และค่าเฉลี่ย ของอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ กระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับเครื่องปรับอากาศ และความเร็วลม ได้ดังตารางที่ 4.1 โดยอ้างอิงเงื่อนไขการทดลองจากตารางที่ 3.3

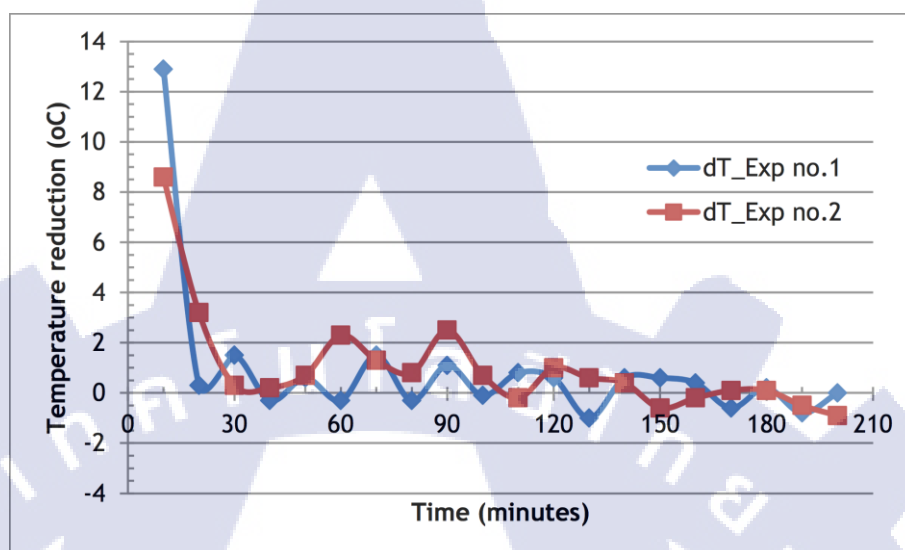
ตารางที่ 4.1 สรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากการวัดเบื้องต้น

การทดลองที่	อุณหภูมิภายในห้อง (oC)			อุณหภูมิในห้องนอกห้อง (oC)			ความชื้นสัมพัทธ์ในห้อง (%)			ความชื้นสัมพัทธ์ในห้องนอก (%)			กระแสไฟฟ้า (A)			ความเร็วลม (m/s)
	Min	Max	Avg.	Min	Max	Avg.	Min	Max	Avg.	Min	Max	Avg.	Min	Max	Avg.	
1	16.9	35.8	20.2	37.0												0.20
2	11.8	34.2	17.3	33.0												0.20
3	23.2	34.5	26.4	29.8	34.0	32.0	50.1	59.2	54.1	58.5	63.5	60.1	41.4	48.5	43.9	0.20
4	23.2	32.0	25.3	30.7	32.5	31.6	44.0	63.0	51.8	65.0	79.0	70.6	40.1	45.1	42.1	0.20
5	23.7	32.0	26.7	32.0	34.0	33.0	45.0	59.1	49.6	58.0	61.0	59.1	41.7	45.8	43.7	0.20
6	22.2	32.9	25.3	30.7	32.1	31.1	42.8	57.7	47.2	57.0	64.1	59.5	38.2	45.5	41.0	0.20
7	22.9	33.5	25.6	32.3	33.6	33.0	44.7	53.8	47.4	50.7	56.5	52.8	39.9	45.5	41.7	0.20

4.3 ผลการทดสอบระบบปรับอากาศเบื้องต้น

การทดสอบเบื้องต้นที่ 1 และ 2 ได้ทดสอบเมื่อ 29 พ.ค. 59 (เริ่มทดสอบประมาณ 10:00 น.) และ 26 มิ.ย. 59 (เริ่มทดสอบประมาณ 17:00 น.) ในวันที่อุณหภูมิบรรยากาศภายนอกเริ่มต้นสูงถึง 37 °C และ 33 °C ตามลำดับ กราฟแสดงอัตราการลดลงของอุณหภูมิทุก 10 นาที ดังรูปที่ 4.3 ซึ่ง

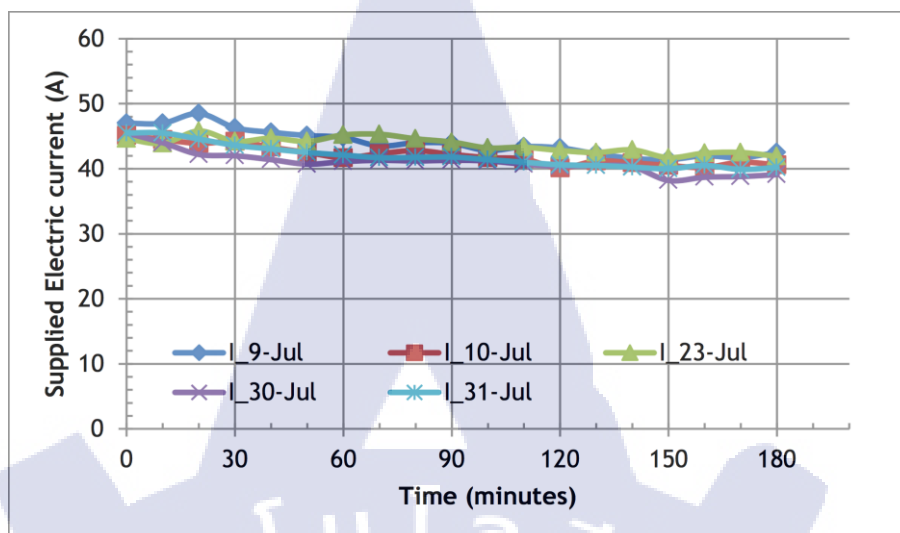
อุณหภูมิลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 20-30 นาทีแรก จากนั้นจะเปลี่ยนแปลงในระดับ $0.9 - 2.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ โดยมีความร้อนผ่านผนังตู้ทดสอบประมาณ $4.37 - 4.62 \text{ W/m}^2$



รูปที่ 4.3 อัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตามเวลาของตู้ทดสอบ

4.4 การใช้กระแสไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ

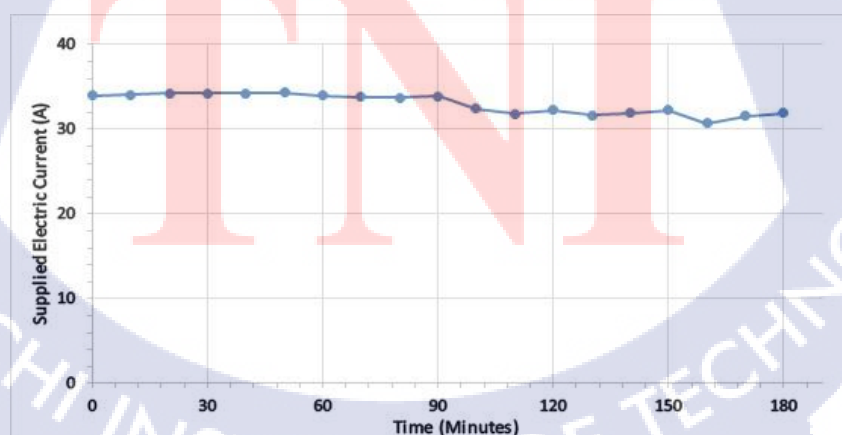
การทดลองที่ 3-7 ในเดือน ก.ค. 59 ระหว่างวันที่ 9 - 31 ก.ค. 59 กระแสไฟฟ้าที่ใช้ขับเคลื่อนเครื่องปรับอากาศดึงจากแบตเตอรี่ และจ่ายให้กับคอมเพรสเซอร์กระแสตรง พัดลมของคอยล์ร้อน และพัดลมของคอยล์เย็น วัดค่ากระแสไฟฟ้าด้วยมัลติมิเตอร์ โดยความต่างศักย์จากแบตเตอรี่ไม่ต่ำกว่า 24 VDC โดยช่วงสแตร์ทการทำงานของคอมเพรสเซอร์ต้องการพลังงานไฟฟ้ามากกว่าขณะทำงานปกติ โดยในช่วงต้นของการทำงานมีการใช้กระแสไฟฟ้าสูง เนื่องจากการสแตร์ทที่มีความเสียดทาน เมื่อผ่านไปช่วงระยะเวลา 5 นาที การใช้กระแสไฟจะเริ่มค่อนข้างคงที่



รูปที่ 4.4 กระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้ระบบปรับอากาศ

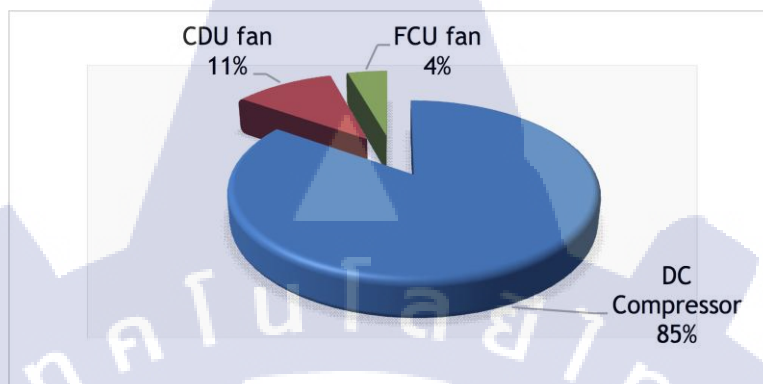
จากรูปที่ 4.4 กระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ขณะเริ่มต้นประมาณ 45 A แล้วค่อยๆ ลดลงอย่างช้าๆ ในช่วง 3 ชั่วโมง หรือค่อนข้างคงที่ ค่าอยู่ในช่วง 38.2 – 48.5 A ซึ่งกระแสไฟฟ้าที่ลดลงโดยรวมในช่วงการทำงาน 3 ชั่วโมง ประมาณ 4.7 A และค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยตลอดการทำงานจากการทดลองนี้คือ 42.5 A

จากนั้นในขั้นตอนของการหาค่าการทำความเย็นของระบบปรับอากาศ ผู้วิจัยได้มีการปรับปรุงระบบปรับอากาศ ในด้านชุดสายไฟของระบบ และมีการเปลี่ยนถ่ายสารทำความเย็นของระบบใหม่ มีผลทำให้ค่าการใช้กระแสไฟฟ้าของระบบปรับอากาศมีค่าลดลง มีค่าอยู่ในช่วง 30 – 34.5 A ในการทดสอบ 180 นาที ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 กระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้ระบบปรับอากาศหลังจากมีการปรับปรุงระบบใหม่

สัดส่วนการใช้ไฟฟ้าของระบบปรับอากาศในส่วนคอมเพรสเซอร์กระแสตรง พัดลมของ Condensing Unit หรือคอยล์ร้อน และพัดลมของ Fan Coil Unit หรือคอยล์เย็น แสดงดังรูปที่ 4.6 โดยคอมเพรสเซอร์ใช้ไฟฟ้าไป 85% ที่เหลือเป็นของพัดลม

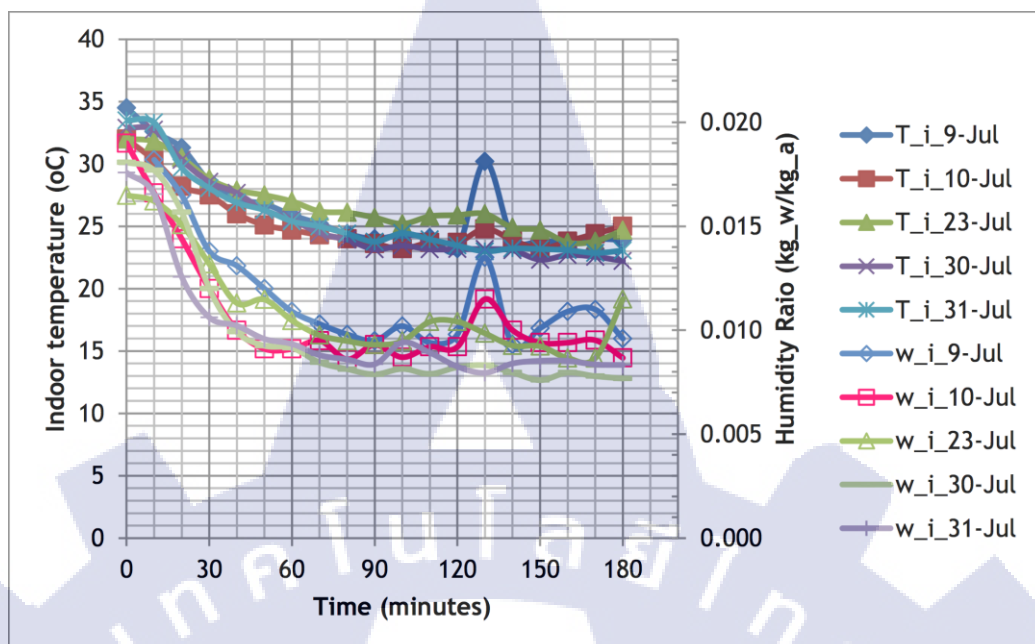


รูปที่ 4.6 สัดส่วนการใช้ไฟฟ้าในระบบปรับอากาศโดยองค์ประกอบระบบ

4.5 การเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศในตู้ทดสอบ

การทดลองที่ 3-7 มีการวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในและภายนอกตู้ทดสอบอย่างต่อเนื่อง เพื่อประเมินให้ทราบสมรรถนะของระบบปรับอากาศ โดยการทดลองที่ 3, 5 และ 6 มีการดึงไฟฟ้าจากแบตเตอรี่เท่านั้น ส่วนวันที่ 4 และ 7 มีการประจุไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาด้วย กราฟรูปที่ 4.7 แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและอัตราส่วนความชื้น (Humidity ratio) ตามเวลาของการทดลองที่ 3-7 ใน 5 วัน ซึ่งพบว่าค่าอุณหภูมิและความชื้นค่อยๆ ลดลงอย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลาทดสอบ 3 ชั่วโมง ซึ่งอุณหภูมิลดลงจากอุณหภูมิบรรยากาศภายนอกประมาณ 32 – 34.5 °C จนเหลือ 22 – 25 °C ในขณะที่ความชื้นสัมพัทธ์ลดลงจากช่วงค่า 53.8% – 63% เหลือ 44% – 59.1% และอัตราส่วนความชื้นลดลงจนต่ำกว่า 0.01 kg_w/kg_a ซึ่งเข้าใกล้ช่วงความสบายตามมาตรฐานของ ASHRAE ที่กำหนดให้สภาวะในช่วงหน้าร้อน มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 23 – 25 °C และความชื้นสัมพัทธ์ไว้อยู่ในช่วงที่ 30%-70%

อย่างไรก็ตาม ในวันที่ 9 ก.ค. ค่าอุณหภูมิมีการแกว่งขึ้นลงเนื่องจากปัจจัยต่างๆ เช่น การเปิดประตูเข้าออก หรือกิจกรรมที่ผู้อาศัยทำ เป็นต้น แต่ทั้งนี้เครื่องปรับอากาศยังคงรักษาความชื้นสัมพัทธ์ให้อยู่ในขอบเขตของความสบายได้



รูปที่ 4.7 กราฟการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและอัตราส่วนความชื้นของตู้ทดสอบใน 5 การทดลอง

ระหว่างกระบวนการปรับอากาศจะมีการทำความเย็นที่คอยล์เย็นจนกระทั่งถึงจุดน้ำค้าง และความชื้นในอากาศควบแน่นออกมา ดังจะเห็นได้จากกราฟที่ค่าอัตราส่วนความชื้นหรือกลีโกรัมน้ำต่อกลีโกรัมอากาศ คำนวณได้ค่าอัตราการระบายน้ำออก 102 – 216 mL/s รวมเป็นน้ำที่ถูกควบแน่นออกไปจากอากาศขึ้นตลอดระยะเวลา 3 ชั่วโมง ถึง 1.10 – 2.33 kg

4.6 ผลจากแบบสำรวจความพึงพอใจต่อสภาพทางอุณหภูมิในห้องปรับอากาศ

การปรับอากาศเป็นไปเพื่อสร้างความสบายให้กับผู้อยู่อาศัยในห้องปรับอากาศ ซึ่งจะวัดโดยค่า PMV และ PPD ดังกล่าวไว้ในบทที่ 2 และเพื่อให้ทราบความพึงพอใจจำเป็นต้องใช้แบบสอบถามความสบายเชิงอุณหภูมิ หรือ สภาวะน่าสบาย (Thermal Comfort) โดยผู้ตอบแบบสอบถามต้องกรอกข้อมูลทั่วไป อาทิ ชื่อ นามสกุล เพศ น้ำหนัก อายุ (แบ่งเป็น 6 ช่วง คือ 1: ต่ำกว่า 20 ปี, 2: 20 – 25 ปี, 3: 26 – 30 ปี, 4: 31 – 35 ปี, 5: 36 – 40 ปี และ 6: 40 ปีขึ้นไป) เสื้อผ้าที่สวมใส่โดยจะมีค่าตัวเลขให้กับเสื้อผ้าแต่ละชิ้นซึ่งจะนำมาบวกกันรวมเป็นตัวเลขในหน่วย clo โดย 1 clo เท่ากับค่าความต้านทาน $0.155 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ (หรือ $0.88 \text{ }^\circ\text{F} \cdot \text{ft}^2 \cdot \text{h/Btu}$ ในระบบหน่วยอังกฤษ) ซึ่งข้อมูลส่วนตัวนี้จะถูกแปลค่าเป็นตัวเลขต่อไป

นอกจากนี้ในแต่ละการทดลองตลอดคาบเวลา 3 ชั่วโมง ทุก 30 นาที ผู้ตอบแบบสอบถามก็จะกรอกแบบสอบถาม เพื่อระบุความรู้สึกของตนเองต่อสภาพอากาศในห้องปรับอากาศ โดยตอบ 7

คำถาม ทั้งหมด 6 ครั้ง ทำให้มีข้อมูลทั้งหมด 30 ข้อมูล ซึ่งผลการตอบแบบสอบถามจะถูกแปลค่าเป็นตัวเลขต่อไป โดยผลการกรอกแบบสอบถามสรุปไว้ดังตารางที่ 4.2

- (1) ความรู้สึกกับความสบาย ณ ปัจจุบัน (AMV) มีค่าระหว่าง -3 ถึง 3 จาก “หนาว” ถึง “ร้อน”
- (2) การยอมรับต่ออุณหภูมิของอากาศในห้อง ณ ขณะนั้น (TempAC) มีค่าระหว่าง 1 – 3 จาก “ไม่ยอมรับ” ถึง “ยอมรับได้อย่างพึงพอใจ”
- (3) ความต้องการให้อุณหภูมิในห้องปรับอากาศเป็นเช่นนั้น (TempPre) มีค่าระหว่าง -1 ถึง 1 จาก “เย็นขึ้น” ถึง “อุ่นขึ้น”
- (4) ความรู้สึกต่อระดับการไหลเวียนของลมภายในห้อง (FlowAC) มีค่าระหว่าง -3 ถึง 3 จาก “ลมต่ำไปนิดหน่อย” ถึง “ลมแรงมาก”
- (5) ความต้องการอยากให้การไหลเวียนของลมในห้องเป็นเช่นนั้น (FlowPre) มีค่าระหว่าง -1 ถึง 1 จาก “น้อยลง” ถึง “มากขึ้น”
- (6) ความรู้สึกต่อความชื้นภายในห้อง (HumAC) มีค่าระหว่าง -3 ถึง 3 จาก “แห้งมาก” ไปถึง “ชื้นมากเกินไป”
- (7) ความต้องการให้ความชื้นภายในห้องเป็นเช่นนั้น (HumPre) มีค่าระหว่าง -1 ถึง 1 จาก “แห้งลงอีก” ถึง “ชื้นมากขึ้น”

นอกจากนี้ยังมีอีกคำถามเพื่อตรวจสอบความเคยชินต่อสภาพอากาศของผู้ทดสอบ ที่สอบถามว่าผู้ทดสอบนอนหลับในห้องที่เปิดเครื่องปรับอากาศเป็นปกติหรือไม่

จากการตอบแบบสอบถามของผู้ตอบ 5 คน อายุ 23, 26, 27, 28 และ 62 ปี และมีทั้งเพศชายและหญิง ดังสรุปในตารางที่ 3.3 โดยผู้ทดสอบนั่งในตู้ทดสอบที่มีการปรับอากาศโดยเครื่องปรับอากาศแบบคอมเพรสเซอร์กระแสดังเป็นระยะเวลาอย่างน้อย 3 ชั่วโมง โดยมีการใส่เสื้อผ้าที่มีค่าความเป็นฉนวนระหว่าง 0.25 – 0.48 clo

การคำนวณค่า PMV และ PPD จะต้องทราบข้อมูลอย่างน้อย 6 ค่า คือ อุณหภูมิอากาศ (Air Temperature) อุณหภูมิการแผ่รังสีความร้อนเฉลี่ย (Mean Radiant Temperature) ความเร็วของลม (Relative Air Velocity) ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity) ความเป็นฉนวนของเสื้อผ้า (Clothing) และอัตราเมตาบอลิก (Metabolic Rate) มีข้อมูลจากการวัดในการทดลอง 3 ค่า คือ อุณหภูมิอากาศ (T) ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ (RH) และความเร็วลม (v)

นอกจากนี้ มีข้อมูลอีก 2 ค่าที่แสดงในตารางที่ 4.2 ที่มาจากการคำนวณ คือ อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (T_{dp}) ที่มาจากการใช้ Psychrometric Calculation Online [31] และอุณหภูมิโกลบ (T_g) ซึ่งเป็นการประเมินผลของการแผ่รังสี อุณหภูมิอากาศ และความเร็วลมต่อสภาวะน่าสบายของมนุษย์ แต่ค่านี้ไม่ได้วัดจากการทดลองเพราะไม่มีเครื่องมือวัดจึงต้องคำนวณจากสมการที่มาจากฐานข้อมูล

ทราบแล้ว ทำให้ได้ค่า T_g ที่เป็นฟังก์ชันของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ $T_g = f(T, RH)$ ดังสมการที่ (4.1) ซึ่งมาจากการเลือกโมเดลคณิตศาสตร์แบบ Linear โดยโปรแกรม SPSS เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์โดยสมการนี้มีระดับความเชื่อมั่นที่ 0.05 และค่า Sig. มีค่าน้อยกว่า 0.05 สำหรับสัมประสิทธิ์ $\beta_0, \beta_1, \beta_2$

$$T_g = 27.8(0.134 + 0.898(T) - 0.053(RH)) \quad (4.1)$$

ตารางที่ 4.2 ตารางสรุปข้อมูลและผลการประเมินจากแบบสอบถามความสบายเชิงอุณหภูมิภาพ

No.	Sex	Age	Clo	Ta	Rh	Tdp	Tg	Va	AMV	TempAC	TempPre	FlowAC	FlowPre	HumAC	HumPre	Tmrt	PMV	PPD	To
1	2	3	0.25	28.6	56.0	18.98	27.1	0.5	1	2	-1	0	0	1	0	27.0	0.0	5.0	27.8
2	2	3	0.25	25.9	52.1	15.36	24.9	0.5	0	2	0	0	0	0	0	24.8	-1.3	39.7	25.3
3	2	3	0.25	24.0	51.0	13.28	23.3	0.5	-1	3	0	0	0	-1	0	23.2	-2.2	83.9	23.6
4	2	3	0.25	23.2	55.1	13.73	22.5	0.5	-1	3	0	1	0	0	0	22.4	-2.5	94.1	22.8
5	2	3	0.25	23.8	55.1	14.29	23.0	0.5	-1	3	0	1	0	0	0	22.9	-2.3	86.8	23.3
6	2	3	0.25	23.9	52.1	13.52	23.1	0.5	-2	3	0	1	0	0	0	23.1	-2.2	85.5	23.5
7	2	3	0.42	27.5	52.0	16.80	26.3	0.5	0	3	-1	-1	1	0	0	26.1	0.0	5.0	26.8
8	2	3	0.42	24.7	47.0	12.68	24.0	0.5	0	3	0	0	0	0	0	23.9	-1.1	30.2	24.3
9	2	3	0.42	23.6	51.0	12.92	22.9	0.5	0	3	0	0	0	0	0	22.8	-1.5	51.1	23.2
10	2	3	0.42	23.7	50.3	12.80	23.0	0.5	0	3	0	0	0	0	0	22.9	-1.5	49.2	23.3
11	2	3	0.42	23.2	53.0	13.13	22.5	0.5	0	3	0	0	0	0	0	22.4	-1.6	59.2	22.8
12	2	3	0.42	25.0	44.0	11.95	24.3	0.5	0	3	0	0	0	0	0	24.2	-1.0	25.7	24.6
13	1	3	0.34	28.8	53.1	18.33	27.4	0.5	0	3	0	0	0	-1	0	27.2	0.3	7.5	28.0
14	1	3	0.34	27.0	47.0	14.77	26.0	0.5	0	3	0	0	0	0	0	25.8	-0.4	9.3	26.4
15	1	3	0.34	25.7	45.2	12.99	24.9	0.5	0	3	0	0	0	0	0	24.8	-1.0	26.4	25.2
16	1	3	0.34	25.9	49.9	14.70	24.9	0.5	0	3	0	0	0	0	0	24.8	-0.9	22.3	25.4
17	1	3	0.34	24.7	47.6	12.87	23.9	0.5	0	3	0	0	0	0	0	23.9	-1.4	46.4	24.3
18	1	3	0.34	24.7	59.1	16.21	23.7	0.5	0	3	0	0	0	0	0	23.5	-1.4	44.4	24.1
19	2	2	0.38	28.6	49.0	16.87	27.3	0.5	0	3	0	0	0	-1	1	27.1	0.3	7.2	27.8
20	2	2	0.38	25.5	45.0	12.74	24.7	0.5	-2	3	1	1	-1	-2	1	24.6	-0.9	23.0	25.1
21	2	2	0.38	23.2	44.6	10.52	22.7	0.5	-2	2	1	2	-1	-2	1	22.6	-1.9	70.6	22.9
22	2	2	0.38	23.2	46.5	11.15	22.6	0.5	-3	2	1	2	-1	-2	1	22.6	-1.9	70.1	22.9
23	2	2	0.38	22.3	45.5	10.00	21.9	0.5	-2	2	1	2	-1	-2	1	21.9	-2.2	84.9	22.1
24	2	2	0.38	22.2	46.2	10.14	21.8	0.5	-2	3	1	1	-1	-1	1	21.8	-2.2	86.3	22.0
25	2	6	0.48	28.1	44.7	14.99	26.9	0.5	1	3	0	0	0	1	0	26.8	0.3	7.4	27.4
26	2	6	0.48	25.4	46.2	13.05	24.6	0.5	0	2	0	0	0	0	0	24.5	-0.6	13.3	24.9
27	2	6	0.48	23.8	45.6	11.40	23.2	0.5	0	2	0	0	0	0	0	23.1	-1.2	36.7	23.4
28	2	6	0.48	23.5	45.8	11.19	22.9	0.5	-1	2	0	0	0	0	0	22.9	-1.3	42.2	23.2
29	2	6	0.48	23.2	48.2	11.69	22.6	0.5	-1	2	0	0	0	0	0	22.5	-1.4	47.2	22.9
30	2	6	0.48	23.1	47.4	11.35	22.5	0.5	-2	1	1	0	0	0	0	22.5	-1.5	49.6	22.8
Statistic data of Questionnaire	Avg		0.37	24.9	49.2	13.5	24.0	0.5	-1	3	0	0	0	0	0	24.0	-1.2	43.7	24.4
	Min		0.25	22.2	44.0	10.0	21.8	0.5	-3	1	-1	-1	-1	-2	0	21.8	-2.5	5.0	22.0
	Max		0.48	28.8	59.1	19.0	27.4	0.5	1	3	1	2	1	1	1	27.2	0.3	94.1	28.0
	stdev		0.08	1.93	3.97	2.30	1.66	0.0	1	1	1	1	0	1	0	1.63	0.82	28.70	1.78

อุณหภูมิการแผ่รังสีความร้อนเฉลี่ย (T_{mrt}) คำนวณจากอุณหภูมิโกลบ (T_g) อุณหภูมิอากาศ (T_a) และความเร็ว (v) ดังสมการที่ (4.2) ส่วนค่าความเป็นฉนวนของเสื้อผ้าได้จากแบบสอบถาม และค่าอัตราเมตาบอลิกกำหนดให้คงที่เป็น 1.2

$$T_{mrt} = \left[(T_g + 273.15)^4 + \frac{1.1 \times 10^8 \times v^{0.6} (T_g - T_a)}{(0.95 \times 100^{0.4})} \right]^{0.25} - 273.15 \quad (4.2)$$

อุณหภูมิอีกค่าที่ใช้ในการพิจารณา คือ Operative Temperature (T_o) หรือ อุณหภูมิที่ผู้อาศัยในห้องปรับอากาศสามารถรู้สึกได้ เป็นอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยรอบตัวที่มีผลมาจากอุณหภูมิการแผ่รังสีกับอุณหภูมิอากาศ คำนวณได้จากสมการที่ (4.3)

$$T_o = \frac{T_a + T_{mrt}}{2} \quad (4.3)$$

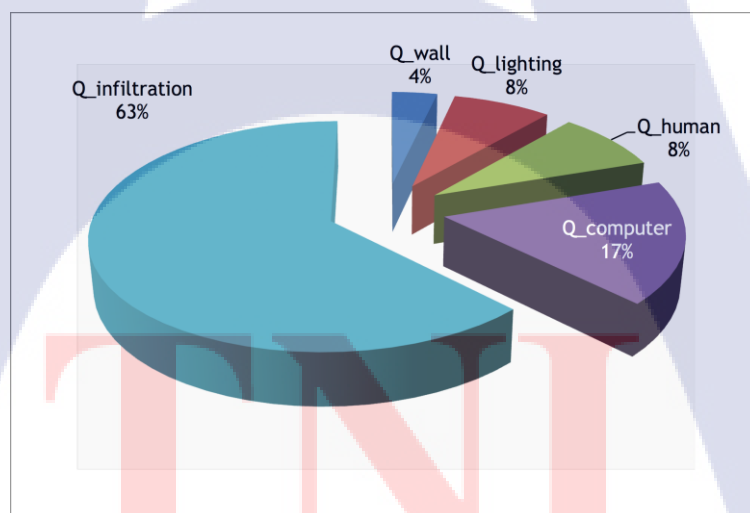
จากตารางที่ 4.2 ที่สรุปค่าวัดจากการทดลอง ค่าจากแบบสอบถาม และผลการคำนวณ T_{mrt} , PMV, PPD และ T_o ด้วย สรุปได้ว่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ระหว่างการทดลอง คือ $24.9 \pm 1.9^\circ\text{C}$ และ $49.2 \pm 4.0\% \text{RH}$ โดยค่า Dew point จากการเปิดโปรแกรมคำนวณออนไลน์ Psychometric chart calculation คือ $13.5 \pm 2.3^\circ\text{C}$ และค่า T_g ที่คำนวณได้จากสมการที่ (4.1) โดยเฉลี่ยคือ $24 \pm 1.7^\circ\text{C}$

4.7 สมดุลย์พลังงานของห้องปรับอากาศ

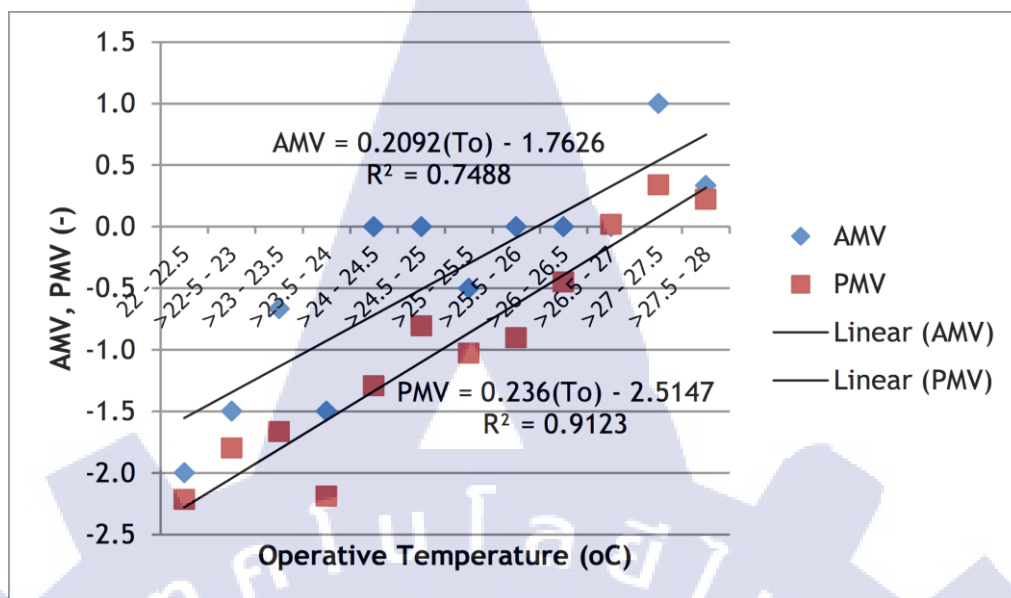
การทำสมดุลย์พลังงานของตู้ทดสอบที่ปรับอากาศโดยระบบปรับอากาศแบบรับไฟฟ้ากระแสตรง จากข้อมูล 5 การทดลอง ทำให้ทราบว่าเครื่องปรับอากาศสามารถดึงความร้อนออกไปได้เท่าไร โดยใช้สมการที่ 3.3 และได้ผลดังสรุปในตารางที่ 4.3 พบว่า ระบบปรับอากาศดึงความร้อนหรือทำความเย็นได้ 4,294 – 6,316 Btu/h หรือโดยเฉลี่ย 5,305 Btu/h โดยสัดส่วนของแต่ละองค์ประกอบความร้อนที่ถ่ายเทเข้าปริมาตรควบคุมของอากาศในตู้ทดสอบแสดงดังกราฟรูปที่ 4.8 ที่แสดงว่าผลจากอากาศร้อนที่รั่วไหลเข้ามาจากด้านนอกตู้ทดสอบมีถึง 63% ซึ่งคล้ายกับตู้เก็บเงินค่าผ่านทางด่วนที่จะมีการเปิดหน้าต่างตลอดเวลาทำให้อากาศร้อนไหลเข้าไปยังห้องปรับอากาศ (หากไม่มีม่านอากาศ) ส่วนผลการประเมินจากแบบสอบถาม 7 รายการ โดยเฉลี่ยรู้สึกว่าย่ำเย็น และมีการยอมรับต่ออุณหภูมิของอากาศในห้อง ณ ขณะนั้น โดยเฉลี่ยพอใจในอุณหภูมิอากาศ ความชื้น และการไหลเวียนของลม และไม่ต้องการให้ปรับเปลี่ยน

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์สมดุลย์พลังงานของอากาศภายในตู้ทดสอบ

BASIS: 3 hours					
Item	9-Jul	10-Jul	23-Jul	30-Jul	31-Jul
Mass of indoor air (kg)	19.10	19.21	19.12	19.25	19.21
Indoor air temp (K)	299.6	298.5	299.9	298.5	298.8
Cp of indoor air (kJ/kg.K)	1.0027	1.0026	1.0028	1.0026	1.0027
M.Cp_indoor air (kJ/K)	19.15	19.26	19.17	19.30	19.26
Initial indoor temperature (oC)	34.5	32.0	32.0	32.9	33.5
Final indoor temperature (oC)	23.9	25.0	24.7	22.2	23.1
(M.Cp)_air. (Ti-Tf)	203	135	140	206	201
Q_wall (kJ)	533	590	596	552	702
Q_lighting (kJ)	1296	1296	1296	1296	1296
Q_human (kJ)	1404	1404	1404	1404	1404
Q_computer (kJ)	1620	3240	3240	3240	3240
Q_infiltration (kJ)	8522	13308	10567	9756	9783
Q_extracted by DC Air-con (kJ)	13,578	19,973	17,242	16,455	16,626
Q_AC (kW)	1.26	1.85	1.60	1.52	1.54
Q_AC (Btu/hr)	4,294	6,316	5,452	5,203	5,258
Range (Btu/hr) Min/Max	4,294	6,316			
Average (Btu/hr)		5,305			



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงสัดส่วนขององค์ประกอบความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่อากาศในตู้ทดสอบ



รูปที่ 4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง AMV และ PMV

จากข้อมูลในตารางที่ 4.2 ที่แสดงค่า AMV (Actual Mean Vote) หรือความสบาย ณ ปัจจุบันของผู้อาศัยในตู้ทดสอบที่ได้จากแบบสอบถาม และค่า PMV (Predicted Mean Vote) ที่แสดงค่าผลทำนายความรู้สึกของผู้อาศัยตามมาตรฐาน ASHRAE 55 สามารถแสดงเป็นกราฟความสัมพันธ์กับ Operative Temperature ได้ดังรูปที่ 4.9 ซึ่งจะได้แนวโน้มเป็นเส้นตรง โดยค่า PMV ที่คำนวณได้จะต่ำกว่าค่า AMV อยู่ 0.6 ± 0.4 °C และพบว่าค่า R-square ของเส้นตรงที่เป็นแนวโน้มของ AMV กับ Operative temperature ค่อนข้างต่ำ อีกทั้งผู้อาศัยในตู้ทดสอบจะรู้สึกหนาวถึงเย็นเป็นส่วนใหญ่แต่ก็ยอมรับได้ ในขณะที่เส้นแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่าง PMV และ To มีค่า R-square 0.9123 และเป็นเส้นเกือบขนานที่ต่ำกว่าเส้น AMV

หากอยู่ในสถานการณ์จริงซึ่งผนังห้องเก็บเงินค่าทางด่วนไม่มีฉนวนหนาเช่นตู้ทดสอบ และแวดล้อมด้วยสภาพบรรยากาศภายนอก จึงมีความร้อนถ่ายเทผ่านผนังเข้ามามากกว่า หากสมมติว่าใช้ผนังแบบคอนกรีตมวลเบาความหนาแน่น 620 kg/m^3 ที่หนา 7.5 cm และมีเหล็ก SS400 หนา 2 mm ประกัปด้านนอก โดยการใช้งานจริงจะมีการเปิดหน้าต่างโดยตลอดเพื่อรับเงินจากผู้ใช้บริการ และให้ใบเสร็จค่าทางด่วน ซึ่งเมื่อปรับอากาศแล้วอุณหภูมิภายในห้องไม่ลดลงมาต่ำจนถึงระดับที่ทำให้ผู้อยู่อาศัยเกิดความรู้สึกเย็นหรือหนาวดังกรณีในตู้ทดสอบ

ทั้งนี้ ผู้วิจัยได้จำลองสถานการณ์หากมีการติดตั้งระบบปรับอากาศแบบไฟฟ้ากระแสตรงในขนาดเดียวกัน และจ่ายไฟฟ้าโดยแบตเตอรี่ของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา โดยคิดจาก

กรณีขนาดพื้นที่ปรับอากาศจริงของตู้เก็บเงินค่าทางด่วน ขนาดพื้นที่ห้อง 2.4 m^2 และปริมาตร 6.72 m^3

อุณหภูมิอากาศภายนอกในกรณีห้องเก็บเงินที่แวดล้อมด้วยบรรยากาศภายนอกจะสูงกว่าในห้องทดสอบ K-105 โดยมีค่าการเปลี่ยนถ่ายอากาศต่อชั่วโมงเพิ่มขึ้นเป็น 6 ACH สำหรับฤดูร้อน (กรณีที่ 1) ที่อุณหภูมิภายนอกอาจสูงถึง 37°C ความชื้นสัมพัทธ์ 60% และสำหรับฤดูที่เย็นกว่า (กรณีที่ 2) ซึ่งอุณหภูมิภายนอกประมาณ 30°C และความชื้นสัมพัทธ์ 60% ก็เพิ่มการระบายอากาศได้ถึง 12 ACH เพราะมีการเปิดหน้าต่างโดยตลอด คาดว่าระบบจะสามารถทำความเย็นให้ห้องเก็บเงินทางด่วนได้อย่างน้อย 3 ชั่วโมง เพื่อให้ห้องมีอุณหภูมิ 25°C และความชื้นสัมพัทธ์ 50% ดังแสดงสรุปการคำนวณค่ากำลังการทำความเย็นในตารางที่ 4.4 ที่ประมาณ 5,200 – 5,800 Btu/h เมื่อประเมินสมรรถนะการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศนี้ที่รับไฟฟ้ากระแสตรง 24 VDC จากชุดแบตเตอรี่ และรับกระแสไฟฟ้าโดยเฉลี่ยเมื่อยังไม่ได้ปรับปรุงระบบ คือ 42.7 A และเมื่อปรับปรุงระบบแล้วไม่เกิน 35 A ระบบจึงต้องการกำลังไฟฟ้าไม่เกิน 1,000 W และทำความเย็นได้อย่างน้อย 1,553 W หรือ 5,305 Btu/h

ตารางที่ 4.4 ผลการประเมินอัตราการทำความเย็นของห้องเก็บเงินทางด่วน

Item	Case 1	Case 2	Data fo Q_infiltration Calculation		
Mass of indoor air (kg)	7.37	7.64	m_dot (kg/s)	0.012	0.025
Indoor air temp (K)	299.0	298.9	v_o (m3/kg)	0.9114	0.8799
Cp of indoor air (kJ/kg.K)	1.0027	1.0027	T_av (oC)	31	27.5
M.Cp_indoor air (kJ/K)	7.39	7.66	T_o (oC)	37	30
Initial indoor temperature (oC)	37	30	RH_o (%)	60	60
Final indoor temperature (oC)	25	25	T_i (oC)	25	25
(M.Cp)_air. (Ti-Tf)	89	38	RH_i (%)	50	50
Q_wall (kJ)	3876	1615	h_o (kJ/kg)	98.9	71.2
Q_lighting (kJ)	216	216	h_i (kJ/kg)	50.3	50.3
Q_human (kJ)	1404	1404	w_o (kgw/kga)	0.024	0.016
Q_computer (kJ)	1620	3240	w_i (kgw/kga)	0.00988	0.00988
Q_infiltration (kJ)	11,001	9,833	h_fg (kJ/kg)	2428.9	2436.7
Q_extracted by DC Air-con (kJ)	18,206	16,346	Q_inf_kJ/s	1.019	0.910
Q_cooling AC (kW)	1.69	1.51			
Q_cooling AC (Btu/hr)	5,757	5,169			

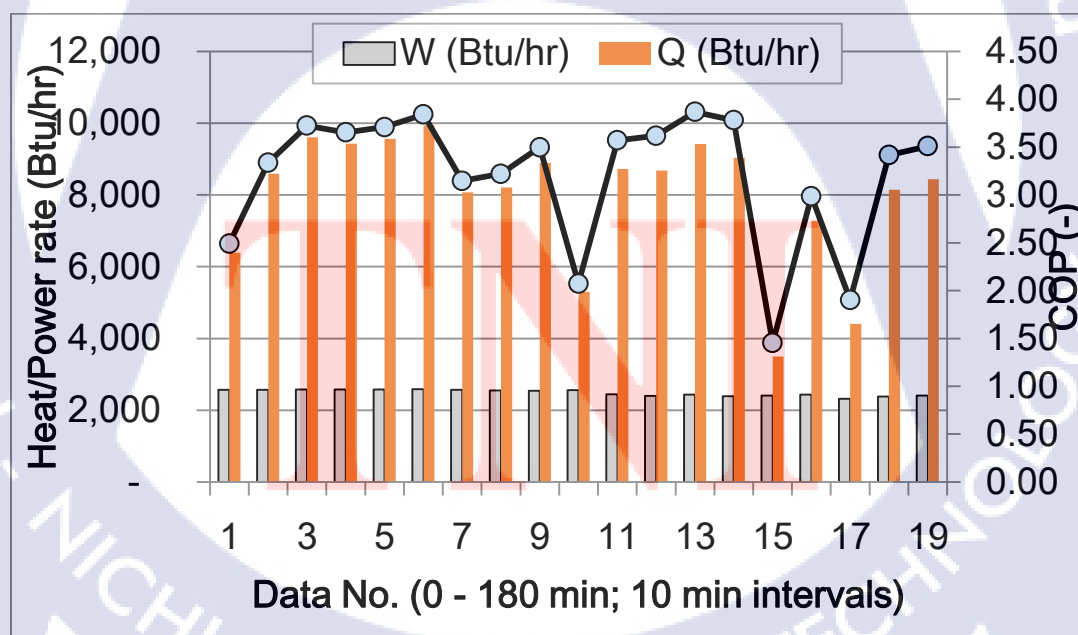
สรุปว่ามีความเป็นไปได้ที่จะประยุกต์ใช้ระบบปรับอากาศแบบคอมเพรสเซอร์กระแสตรง ที่รับไฟฟ้าจากชุดแบตเตอรี่ที่ประจุโดยระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา โดยใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโพลีคริสตัลไลน์ขนาดกำลังไฟฟ้าสูงสุด 250 W จำนวน 4 แผง และใช้แบตเตอรี่แบบ Deep cycle ขนาด 150 Ah จำนวน 4 ลูก เพื่อปรับสภาพอากาศภายในห้องเก็บเงินทางด่วนให้มีความสบายทางอุณหภูมิที่เหมาะสม โดยกรณีที่เริ่มต้นใช้งานแบตเตอรี่ประจุเต็มแล้วและเริ่มเดิน

ระบบประมาณเที่ยงวัน ก็จะใช้งานได้น้อย 3 ชั่วโมง และอาจทำงานได้นานถึง 6 ชั่วโมง โดยมีกำลังการทำความเย็นสูงสุดบริเวณผู้ร่วมทดสอบนั่งอยู่ที่ประมาณ 5,700 Btu/h ทั้งนี้ ในการวิจัยขั้นต่อไปก็ควรจะหาทางติดตั้งและทดสอบสมรรถนะระบบปรับอากาศชนิดนี้กับสถานที่จริง จึงจะทราบสมรรถนะของระบบที่แท้จริงต่อไป

การคำนวณสมการสมดุลพลังงานในห้องปรับอากาศ ดังตารางที่ 4.4 ยังไม่มีการนำค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเย็นที่จ่ายจาก FCU มาคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น (COP) เนื่องจากตำแหน่งที่ทำการวัดค่าในการทดลองช่วงแรกนั้น เน้นเพื่อทดสอบหาค่าความสบายของผู้อาศัยภายในห้องทดสอบปรับอากาศเท่านั้น ไม่ใช่ตำแหน่งที่วัดค่าเพื่อสมรรถนะการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ ผู้วิจัยจึงได้ทดสอบวัดค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มเติม จึงสามารถประเมินภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศชนิดกระแสดัง และสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (COP) ได้ ดังแสดงผลในหัวข้อ 4.8

4.8 การวิเคราะห์ผลจากการทำความเย็นที่ระบบปรับอากาศสามารถทำได้

การประเมินประสิทธิภาพของการทำความเย็น ได้มีการวัดค่าอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลมของลมป้อนและลมกลับจากคอยล์เย็น ทำให้คำนวณอัตราการดึงความร้อนและ COP ของเครื่องปรับอากาศในระยะเวลา 180 นาที ดังแสดงผลสรุปในรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงกำลังไฟฟ้าที่จ่าย ความเย็นที่ทำได้ และสัมประสิทธิ์สมรรถนะ

จากกราฟจะพบว่าที่การจ่ายกำลังไฟฟ้าค่อนข้างคงที่ในช่วง 2,316 - 2,587 Btu/hr โดยค่าเฉลี่ย 2,489 Btu/hr และอัตราการทำความเย็นที่มีช่วงการเปลี่ยนแปลงมากกว่าด้วยค่า 3,495 - 9,938 Btu/hr คิดเป็นค่าเฉลี่ย 7,981 Btu/hr ส่งผลให้ค่า COP ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างค่าอัตราทำความเย็นที่ได้ต่อกำลังไฟฟ้าที่ใช้ส่วนใหญ่อยู่ในช่วงประมาณ 3.7 และค่าจะลดต่ำลงในช่วงเวลา โดยเกิดขึ้นหลังจากนาทิตั้ง 90 เป็นต้นไป และลดได้ต่ำสุดถึง 1.45 โดยรวมแล้วค่า COP ของระบบนี้จึงได้ตามมาตรฐาน มอก. ส่วนในช่วงที่ค่าลดต่ำลงอาจเกิดได้หลายสาเหตุ อาทิ คุณภาพของอุปกรณ์ เครื่องมือวัด หรือเซนเซอร์ ซึ่งหากต้องการการวัดที่แม่นยำขึ้นคงต้องพัฒนาอุปกรณ์วัดให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

งานวิจัยนี้เน้นการนำพลังงานหมุนเวียน คือ พลังงานรังสีอาทิตย์มาใช้ทดแทนพลังงานไฟฟ้า ดังนั้นการพัฒนาระบบขั้นต่อไป คือ การเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น เพื่อให้ใช้พลังงานจากรังสีอาทิตย์ฝ่ายชุดแบตเตอรี่ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

4.9 คำนวณหาจำนวนและขนาดของแผงโซลาร์เซลล์และแบตเตอรี่ที่ใช้

เพื่อพัฒนาระบบปรับอากาศให้ใช้เครื่องปรับอากาศขนาด 1 ตันทำความเย็น ซึ่งตรงตามคุณลักษณะจำเพาะที่ต้องการสำหรับผู้เก็บเงินค่าผ่านทางด่วน โดยให้ใช้งานระบบได้นานยิ่งขึ้นด้วยผู้วิจัยจึงได้ประเมินขนาดของระบบและองค์ประกอบระบบใหม่ โดยเครื่องปรับอากาศแบบกระแสตรงรับไฟฟ้าจากแบตเตอรี่เท่านั้น ดังข้อมูลฐานสำหรับการคำนวณในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ข้อมูลฐานสำหรับการคำนวณ

ที่	รายการ	ค่า	หน่วย
1	ค่าการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ	12,000	Btu/hr
2	กำลังไฟฟ้าที่ใช้	1,000	W
3	ความต่างศักย์หรือแรงดันไฟฟ้าของระบบปรับอากาศ	24	VDC
4	กระแสไฟฟ้าที่ใช้งาน	45	A
5	COP ของระบบปรับอากาศชนิดไฟฟ้ากระแสตรง	3.51	-
6	แผงโซลาร์เซลล์ขนาด 250 W จำนวนอย่างน้อย 7 แผง ต่อขนานคิดที่แผงละ 8.3 A ประสิทธิภาพ 80%	250 W x 7	W
7	แบตเตอรี่ขนาด 150 Ah จำนวน 6 ลูก	450	Ah
8	แอมป์อาร์จากแผงโซลาร์ 8.3 (A) x 7 แผง x ประสิทธิภาพ 0.8 x ชั่วโมงการชาร์จ 8 hr	372	Ah
9	เวลาที่ต้องการชาร์จแบตเตอรี่ = 371.84 Ah/45 A	8.2	ชั่วโมง

การวิเคราะห์ระบบใช้ค่าในตารางที่ 4.5 เพื่อหาค่าการใช้แหล่งพลังงานหรือแหล่งสำรองพลังงานสำหรับระบบปรับอากาศ โดยสมมุติว่าเครื่องปรับอากาศใช้งานได้ในช่วงเวลา 8 ชั่วโมง ระหว่างเวลา 9.00 น. จนถึงเวลา 17.00 น. โดยไม่ใช้ไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์และจ่ายไฟฟ้าโดยใช้แบตเตอรี่เท่านั้น อย่างไรก็ตาม ผลการวิจัยแสดงว่าสามารถใช้งานระบบปรับอากาศขณะทำการประจุไฟฟ้าใส่แบตเตอรี่โดยแผงโซลาร์เซลล์ได้ ซึ่งชั่วโมงการทำงานของระบบจะเพิ่มขึ้นอีกเป็น 9 ชั่วโมง

4.10 ค่าใช้จ่ายตลอดอายุงานของระบบปรับอากาศที่ใช้โซลาร์เซลล์เป็นแหล่งพลังงาน

Life Cycle Costing คือ ต้นทุนตลอดอายุ เป็นการคำนวณต้นทุนทั้งหมดตลอดอายุใช้งานเป็นมูลค่าปัจจุบัน (Net Present Value: NPV) โดยใช้ตัวคูณลด (Discount Factor) ต้นทุนตลอดอายุประกอบด้วย เงินลงทุน (Capital Cost) ค่าใช้จ่ายทางการเงิน (Financial Cost) ค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติการ (Operational Cost) ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา (Maintenance Cost) รวมถึง ค่าใช้จ่ายในการกำจัดเมื่อหมดอายุ (Disposal Cost) [32]

การคำนวณ Life Cycle Costing

การวิเคราะห์มูลค่าตลอดอายุการใช้งานเป็นเครื่องมือที่สำคัญในการตัดสินใจว่าระบบนั้นๆ ควรจะมีใช้งานไปในทิศทางใด เพื่อที่จะทำให้ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานน้อยที่สุด ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานสามารถเขียนอธิบายให้อยู่ในรูปของสมการที่ 4.4 ดังนี้

$$LCC = CA + CM + CR + CRE - CS \quad (4.4)$$

เมื่อ LCC = ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน (บาท)

CA = ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบ (บาท)

CM = ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาระบบ (บาทต่อปี)

CR = ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบ (บาทต่อปี)

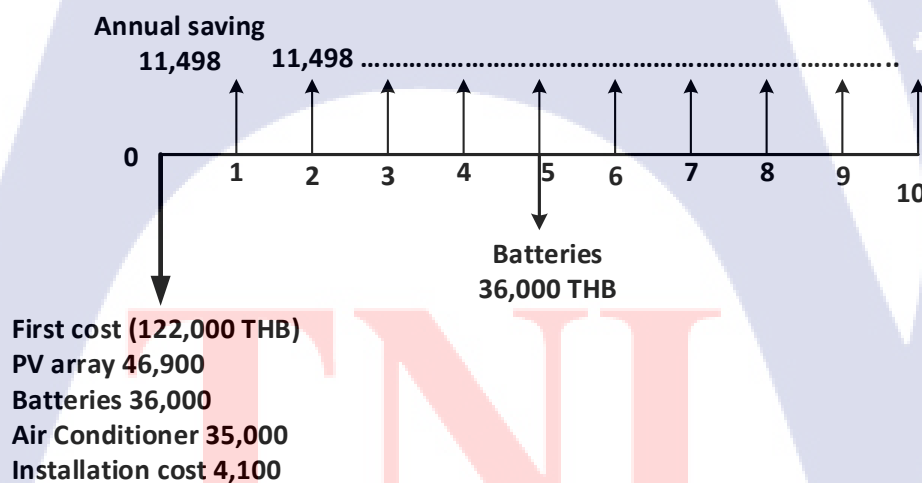
CRE = ค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนอุปกรณ์ในระบบ (บาท)

CS = มูลค่าซากของระบบ (บาท)

โดยต้องหาค่า CM และ CR เป็นมูลค่าปัจจุบันด้วยการใช้แฟคเตอร์ ($P/A, i, N$) และสำหรับ CRE และ CS ให้หาค่าเป็นมูลค่าปัจจุบันโดยแฟคเตอร์ ($P/F, I, N$) ดังตารางที่ 4.6 ได้มูลค่าตลอดอายุการใช้งาน (Life Cycle Cost) **170,770 บาท** และมีมูลค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ตลอด 10 ปี เป็น **111,299 บาท**

เมื่อ P = จำนวนเงินปัจจุบัน หรือ มูลค่าเริ่มต้น (บาท)
 A = จำนวนเงินที่รับ หรือ จ่ายเท่าๆกันทุกๆ ช่วงเวลา (บาท)
 F = จำนวนเงินอนาคต หรือ มูลค่าสุดท้าย (บาท)
 i = อัตราส่วนลด (%)
 n = อายุการใช้งานของระบบ (ปี)

	ปีที่ 0	ปีที่ 2	ปีที่ 4	ปีที่ 6	ปีที่ 8	ปีที่ 10
โซลาร์เซลล์						
แบตเตอรี่						
เครื่องปรับอากาศ						
การติดตั้งระบบ	★					



รูปที่ 4.11 วงจรการใช้งานของระบบปรับอากาศจากแหล่งพลังงานโซลาร์เซลล์ระยะเวลา 10 ปี

การวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุนอย่างง่ายของระบบปรับอากาศไฟฟ้ากระแสตรงจากกังหันลม ใช้ข้อมูล ดังนี้

- (1) แผงโซลาร์เซลล์ขนาด 250 Watt ราคาแผงละ 6,700 บาท จำนวน 7 แผง รวมเท่ากับ 46,900 บาท

(2) แบตเตอรี่ Deep cycle จำนวน 6 ลูก ราคาลูกละ 6,000 บาท รวมเท่ากับ 36,000 บาท จำนวน 2 ชุด รวมเป็น **72,000 บาท**

(3) เครื่องปรับอากาศกระแสนตรงแรงดันไฟฟ้า 24 VDC ราคาเครื่องละ **35,000 บาท** โดยไม่รวมค่าติดตั้งโดยประมาณ **4,100 บาท**

(4) รวมค่าอุปกรณ์ประกอบระบบ (โซลาร์เซลล์ แบตเตอรี่ เครื่องปรับอากาศ) และค่าติดตั้งทั้งหมด เฉพาะปีแรก **122,000 บาท** และหากรวมแบตเตอรี่ที่เปลี่ยนในปีที่ 5 จะได้เท่ากับ **158,000 บาท**

(5) สมมตินำมาเปรียบเทียบกับค่าไฟฟ้าบ้านจากระบบโครงข่ายไฟฟ้า (กริด) เทียบกับการใช้งานแบตเตอรี่ 8 ชั่วโมง และเพิ่มอีก 1 ชั่วโมงสำหรับการประจุไฟฟ้าและการดึงไฟฟ้าไปพร้อมกันอีก 1 ชั่วโมง รวมเป็น 9 ชั่วโมง

คิดที่กำลังไฟฟ้าที่เครื่องปรับอากาศต้องการใช้ 1000 Watt ต่อชั่วโมงหรือคิดเป็นหน่วยไฟฟ้า 1 kWh ที่อัตราค่าไฟฟ้าคงที่ 3.5 บาท จะประหยัดค่าไฟฟ้าได้ 31.5 บาทต่อวัน ตลอดระยะเวลาใช้งานตู้เก็บเงินทางด่วนจะ ปี 1 หรือ วัน 365 ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ **11,498 บาทต่อปี** คำนวณระยะเวลาคืนทุนอย่างง่าย (Simple Payback period) ได้เป็น **13.7 ปี**

รายละเอียด	จำนวน	หน่วย
จำนวนชั่วโมงการใช้งานแบตเตอรี่	9	ชั่วโมง
พลังไฟฟ้า	1	kW
พลังงานไฟฟ้า	9	kWh
อัตราค่าไฟฟ้า	3.5	บาท/kWh
ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ต่อวัน	31.5	บาท/วัน
ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ต่อปี (ทำงาน 365 วัน)	11,498	บาท/ปี
เงินลงทุนเบื้องต้น (รวมแบตเตอรี่ปีที่ 5)	158,000	บาท
ระยะเวลาคืนทุนอย่างง่าย (Simple Payback)	13.7	ปี

รูปที่ 4.12 ระยะเวลาคืนทุนอย่างง่าย (Simple Payback Period)

ตารางที่ 4.6 ข้อมูลการคิดมูลค่าต่ออายุการใช้งานของระบบปรับอากาศ

ที่	รายการ	จำนวน	หน่วย	ราคาต่อหน่วย	รวม (บาท)
1	แผงโซลาร์เซลล์ขนาด 250 W	7	แผง	6,700	46,900
2	แบตเตอรี่ Deep cycle (6 ลูก จำนวน 1 ชุด เบื้องต้น)	6	ลูก	6,000	36,000
3	เครื่องปรับอากาศกระแสดรง แรงดันไฟฟ้า 24 VDC	1	เครื่อง	35,000	35,000
4	ค่าติดตั้งเครื่องปรับอากาศ	1	เครื่อง	4,100	4,100
5	การคำนวณค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ คิดที่กำลังไฟฟ้า 1,000 W	9	ชั่วโมงต่อวัน	30	วันต่อเดือน
5.1	หน่วยไฟฟ้าที่ประหยัดได้ต่อวัน	9	kWh	12	เดือนต่อปี
5.2	หน่วยไฟฟ้าที่ประหยัดได้ต่อเดือน	270	kWh		
5.3	อัตราค่าไฟฟ้า	3.5	บาทต่อหน่วย		
5.4	ค่าบริการ	8.19	บาทต่อเดือน		
5.5	ค่าไฟฟ้าเพื่อการปรับอากาศที่ประหยัดได้	953	บาทต่อเดือน	11,438	บาทต่อปี
	อัตราดอกเบี้ย	0.5	%	0.005	
	จำนวนปีที่เครื่องปรับอากาศใช้งานได้	10	ปี		
	เงินลงทุนแบตเตอรี่ปีที่ 5	36,000	บาท	(P/F, I, N)	1.025
	ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาและเดินระบบ	1,200	บาทต่อปี	(P/A, I, N)	9.730
	มูลค่าซาก	500	บาท	(P/F, I, N)	$\frac{1}{(1+i)^N}$
	ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบเมื่อเริ่มต้น (CA)	122,000	บาท		
	ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาและเดินระบบ (CM+CR)	11,676	บาทต่อปี	(P/A, I, N)	$\frac{(1+i)^N - 1}{i(1+i)^N}$
	ค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนแบตเตอรี่ในปีที่ 5 (CRE)	36,914	บาท		
	มูลค่าซากของระบบ (CS)	513	บาท	https://www.me.utexas.edu/~me353/lessons/S2_Evaluation/L02_Equivalence/factor_formulas.html	
	มูลค่าตลอดอายุการใช้งาน (Life Cycle Cost: LCC)	170,077	บาท		
	ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ตลอด 10 ปี	111,299	บาท		

บทที่ 5

สรุปผลงานวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยชิ้นนี้ได้ออกแบบ พัฒนา และทดสอบระบบปรับอากาศชนิดไฟฟ้ากระแสตรง รับไฟฟ้าจากชุดแบตเตอรี่จำนวน 4 ลูก ประจุไฟฟ้าโดยระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบโพลีคริสตัลไลน์ขนาด 250 W จำนวน 4 แผง ที่ติดตั้งบนหลังคาอาคาร K ที่มีตู้ทดสอบติดตั้งอยู่ เพื่อเป็นแนวทางประยุกต์ใช้กับห้องเก็บเงินค่าผ่านทางด่วน ผลการวัดค่าพารามิเตอร์สำคัญจากการทดลอง อาทิ อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ความดันน้ำยา R-134a ความเร็วลมจากเครื่อง กระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ที่ระบบใช้ ตลอดจนการใช้แบบสอบถามประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานห้องปรับอากาศเมื่อนำมาวิเคราะห์ผลแล้วสรุปผลได้ดังนี้

ผลทดสอบการทำงานของระบบปรับอากาศ เบื้องต้นที่ไม่มีผู้อาศัยในห้องจำนวน 2 การทดลอง และอีก 5 การทดลองเมื่อมีผู้อยู่ในห้องทดสอบด้วย ได้อุณหภูมิภายในห้องโดยเฉลี่ย 25.3 – 26.7 °C อุณหภูมิต่ำสุด 22 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 44% - 59.1% และทำอัตราส่วนความชื้นได้ต่ำกว่า 0.01 kg_w/kg_a โดยเมื่อระบบปรับอากาศทำงาน 3 ชั่วโมงต่อเนื่อง ยังคงรักษาอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ให้อยู่ในขอบเขตของความสบายได้ดี

กรณีภายในห้องหรือตู้ทดสอบ (ดัดแปลงจากตู้คอนเทนเนอร์สำหรับทดสอบชิ้นส่วนยานยนต์) ที่ขณะทดลองมีผู้ใช้งานหนึ่งคน โดยมีการประเมินความพึงพอใจต่อสภาพอากาศในตู้ทดสอบโดยแบบสอบถาม พบว่า ความพึงพอใจจากผู้เข้าทดสอบจากผลแบบสอบถาม (AMV) แสดงว่าผู้ใช้งานรู้สึกว่าการปรับอากาศเย็นและสามารถยอมรับได้ และพอใจในอุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วลม นอกจากนี้ยังประเมินค่าสภาวะความสบายทางอุณหภูมิ (PMV) ตามมาตรฐาน ASHRAE 55 และสมการของแฟงเกอร์ ได้ค่าต่ำกว่าค่า AMV อยู่เล็กน้อย

การใช้กระแสไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ ในการทดลองระบบปรับอากาศไฟฟ้ากระแสตรงในช่วงแรก เริ่มต้นเดินระบบมีการใช้กระแสไฟฟ้าประมาณ 45 A จากนั้นค่อยๆ ลดลงจนมีค่าค่อนข้างคงที่ โดยค่าเฉลี่ยตลอดการทำงานคือ 42.5 A ระบบทำงานได้ 3 ชั่วโมงต่อเนื่อง และอาจทำงานได้นานถึง 6 ชั่วโมง หลังจากปรับปรุงระบบจ่ายไฟฟ้าให้กับคอมเพรสเซอร์ ทำให้กระแสไฟฟ้าที่ระบบใช้โดยเฉลี่ยลดลงเหลือ 33 A

นอกจากนี้ จากผลการประเมินสมรรถนะระบบปรับอากาศ ทำให้ทราบค่าอัตราการทำความเย็นของระบบปรับอากาศได้ค่าโดยเฉลี่ย 7,981 Btu/hr และได้ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นหรือ COP ประมาณ 3.2 และค่าอัตราการทำความเย็นต่อการใช้พลังงานไฟฟ้า หรือ EER

เท่ากับ 10.9 อ้างอิงตามมาตรฐาน มอก. ได้ค่าประหยัดไฟเบอร์ 5 โดยคาดว่าระบบยังสามารถพัฒนาต่อไปได้อีกเพื่อให้ใช้พลังงานจากรังสีอาทิตย์ได้คุ้มค่ายิ่งขึ้น

เมื่อพิจารณาความเป็นไปได้ที่จะประยุกต์ใช้ระบบปรับอากาศแบบคอมเพรสเซอร์ กระแสตรง ที่รับไฟฟ้าจากชุดแบตเตอรี่ และประจุไฟฟ้าโดยระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา โดยใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโพลีคริสตัลไลน์ ขนาดกำลังไฟฟ้าสูงสุด 250 W จำนวน 4 แผง และใช้แบตเตอรี่แบบดีพไซเคิล (Deep cycle) ขนาด 150 Ah จำนวน 4 ลูก เพื่อปรับสภาพอากาศภายในห้องเก็บเงินทางด่วนให้มีความสบายทางอุณหภูมิที่เหมาะสม โดยคิดกรณีที่เมื่อเริ่มต้นแบตเตอรี่ประจุเต็มแล้ว และเริ่มใช้งานระบบประมาณเที่ยงวัน ก็จะใช้งานได้น้อย 3 ชั่วโมง และทำงานได้นานถึง 6 ชั่วโมง โดยมีกำลังการทำความร้อนสูงสุดประมาณ 5,700 Btu/h

อย่างไรก็ดี เพื่อให้ได้ระบบปรับอากาศจากพลังงานรังสีอาทิตย์ที่มีคุณลักษณะจำเพาะเหมาะสมกับการใช้งานกับตู้เก็บเงินทางด่วน ที่ต้องการเครื่องปรับอากาศขนาด 12,000 Btu/hr และใช้กำลังไฟฟ้าไม่เกิน 1,000 W ค่า COP ประมาณ 3.5 โดยพิจารณาทางด้านเศรษฐศาสตร์สำหรับระบบที่ทำงานได้นาน 9 ชั่วโมง จะต้องลงทุนเริ่มต้น 122,000 บาท และลงทุนตลอด 10 ปี จำนวน 158,000 บาท ระยะเวลาใช้งานระบบ 10 ปี ระบบจะประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 7 แผง แบตเตอรี่ 2 ชุด ชุดละ 6 ลูก โดยเปลี่ยนชุดแบตเตอรี่ในปีที่ 5 ใช้เครื่องปรับอากาศแบบกระแสตรงหนึ่งเครื่อง ทำให้มีระยะเวลาคืนทุนอย่างง่ายที่ 13.7 ปี และหากพิจารณามูลค่าตลอดอายุการใช้งาน (Life Cycle Cost: LCC) โดยคิดการเปลี่ยนแปลงมูลค่าของเงินตามเวลาด้วย จะได้ค่า LCC 170,770 บาท และมีมูลค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ตลอด 10 ปี เป็น 111,299 บาท

สรุปว่า หากมองในระยะยาวก็มีความเป็นไปได้ที่จะประยุกต์ใช้ระบบปรับอากาศแบบรับไฟฟ้ากระแสตรง ที่รับไฟฟ้าจากชุดแบตเตอรี่ที่ประจุโดยระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา เพื่อปรับสภาพอากาศภายในห้องเก็บเงินทางด่วน ให้มีความสบายทางอุณหภูมิที่เหมาะสม โดยได้ระบบที่ลดการใช้ไฟฟ้าจากระบบกริดและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

อย่างไรก็ตาม วัสดุประกอบระบบปรับอากาศแบบกระแสตรงที่ใช้พลังงานรังสีอาทิตย์นั้น มีผู้ผลิตในประเทศไม่มาก ส่วนใหญ่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศทำให้มีราคาต้นทุนที่สูง ทำให้ระยะเวลาคืนทุนค่อนข้างยาว แต่หากในอนาคตราคาระบบลดลงเรื่อยๆ ประกอบกับภาครัฐก็อาจมีมาตรการสนับสนุนด้วย ก็น่าจะเป็นไปได้ที่ระยะเวลาคืนทุนจะสั้นลง หรือ มูลค่าตลอดอายุการใช้งานลดลงได้

5.2 ข้อเสนอแนะเพื่อการพัฒนาต่อ

งานวิจัยนี้มีข้อเสนอแนะเพื่อการทำวิจัยในขั้นต่อไป ดังนี้

5.2.1 เพิ่มภาระงาน (Load) ภายในห้องทดสอบ เพื่อให้มีการกำเนิดความร้อนคล้ายการทำงานของตู้เก็บเงินค่าผ่านทางด่วนมากขึ้น

5.2.2 มีการพัฒนาระบบชาร์จไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ให้เป็นอัตโนมัติ และควบคุมการเปิดปิดระบบการชาร์จแบตเตอรี่ด้วยระบบระบบเซลล์แสงอาทิตย์ด้วย เพื่อยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่

5.2.3 ทดสอบระบบปรับอากาศกรณีต่อตรงเพื่อรับไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ โดยเพิ่มอุปกรณ์ปรับความเรียบของกระแสไฟฟ้าด้วย

5.2.4 มีการนำระบบควบคุมแบบ PID หรือ Fuzzy เพื่อควบคุมการทำงานของระบบให้สิ้นเปลืองพลังงานน้อยลง ในขณะที่สามารถรักษาสภาพความสบายทางอุณหภูมิไว้ได้ด้วย

5.3.5 เมื่อพัฒนาระบบจนมีความมั่นใจในสมรรถนะของระบบปรับอากาศนี้แล้ว ควรนำไปทดสอบกับสถานที่จริง

บรรณานุกรม

TNI

บรรณานุกรม

- [1] Green Energy Innovation, “*The HSAC Line of Solar or Wind Air Conditioner,*” Available: http://www.geinnovations.net/solar_air_conditioner.html. [Accessed: October 25, 2015].
- [2] Homenayoo, “*ด้านเก็บเงินค่าทางด่วน,*” Available: <http://www.homenayoo.com>. [Accessed: October 29, 2015].
- [3] Sundragon Portable Solar Power System, “*Solar Power System,*” Available: <http://www.skyfireenergy.com/sundragon-portable-solar-power-system/> Accessed: October 29, 2015].
- [4] ASHRAE, “*Fundamentals Handbook, American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers,*” Available: <http://machineryequipmentonline.com/hydraulics-and-pneumatics/power-and-refrigeration-cycle-the-ideal-vapor-compression-refrigeration-cycle/> [Accessed: October 29, 2015].
- [5] The Hvac Blogger, “*Air Conditioning,*” Available: <http://thehvacblogger.com/tag/air-conditioning/> [Accessed: October 29, 2015].
- [6] ASHRAE, *Fundamentals Handbook, American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers*, New York: McGraw-Hill, 1997.
- [7] Honeywell, “*Refrigerant Properties,*” Available: <http://products.asiftraders.com/honeywell.html> [Accessed: October 29, 2015].
- [8] สัมพันธ์ ไชยเทพ, “*เทอร์โมไดนามิกส์และกลศาสตร์ของของไหล,*” เชียงใหม่: โครงการจัดตั้งภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2540.
- [9] Y. A. Cengel and M. A. Bole, “*เทอร์โมไดนามิกส์,*” ฉบับที่ 7, แปลและเรียบเรียงโดย สมชัย อัครธิวา และขวัญจิต วงษ์ขารี, กรุงเทพฯ: ท็อป, 2554.
- [10] Fanger P.O., “*Thermal Comfort Analysis and Application in Environmental Engineering,*” New York, McGraw-Hill, 1972.
- [11] สุรัตน์ อรรถจริยกุล, “*ความรู้สึกลบสบายเชิงความร้อนสำหรับการปรับอากาศในประเทศไทย,*” *วิศวกรรมสาร มช.* , ปีที่ 34, ฉบับที่ 2, หน้า 141-150, มีนาคม – เมษายน 2550.

- [12] F. Zhang and R. de Dear, "Thermal environments and thermal comfort impacts of direct load control air-conditioning strategies in university lecture theatres," *Energy and Buildings*, vol. 86, no. 6, pp. 233-242, January 2015.
- [13] A.A. Al-Ugla et al., "Techno-economic analysis of solar-assisted air-conditioning systems for commercial buildings in Saudi Arabia," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 54, no. 4, pp. 1301-1310, February 2016.
- [14] Y. He et al., "Overall and local thermal sensation & comfort in air-conditioned dormitory with hot-humid climate," *Building and Environment*, vol. 101, no. 1, pp. 102-109, May 2016.
- [15] Y. He et al., "Field study on adaptive comfort in air conditioned dormitories of university with hot-humid climate in summer," *Energy and Buildings*, vol. 119, no. 1 pp. 1-12, February 2016.
- [16] D. N. Nkwetta and J. Sandercock, "A state-of-the-art review of solar air-conditioning systems," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 60, no. 1, pp. 1351-1366, July 2016.
- [17] P. Hsu et al., "Effect of switching scheme on the performance of a hybrid solar PV system," *Renewable Energy*, vol. 96, no. 1, pp. 520-530, October 2016.
- [18] G. Y. Yun et al., "Extending the applicability of the adaptive comfort model to the control of air-conditioning systems," *Building and Environment*, vol. 105, no. 1, pp. 13-23, August 2016.
- [19] O. Nemati et al., "Review of computer models of air-based, curtainwall-integrated PV/T collectors," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 63, no. 1, pp. 102-117, September 2016.
- [20] D. Prakash, "Transient analysis and improvement of indoor thermal comfort for an air-conditioned room with thermal insulations," *Ain Shams Engineering Journal*, vol. 6, no. 3, pp. 947-956, September 2015.
- [21] สุรศักดิ์ สวัสดิ์รักษกุล และ ชัยยพล ชงชัยสุรชต์กุล, "โปรแกรมตรวจวัดประสิทธิภาพและควบคุมเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนสำหรับการอนุรักษ์พลังงาน," *วารสารวิชาการครุศาสตร์อุตสาหกรรม พระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, ปีที่ 6, ฉบับที่ 1, หน้า 122-129, มกราคม - มิถุนายน 2558.

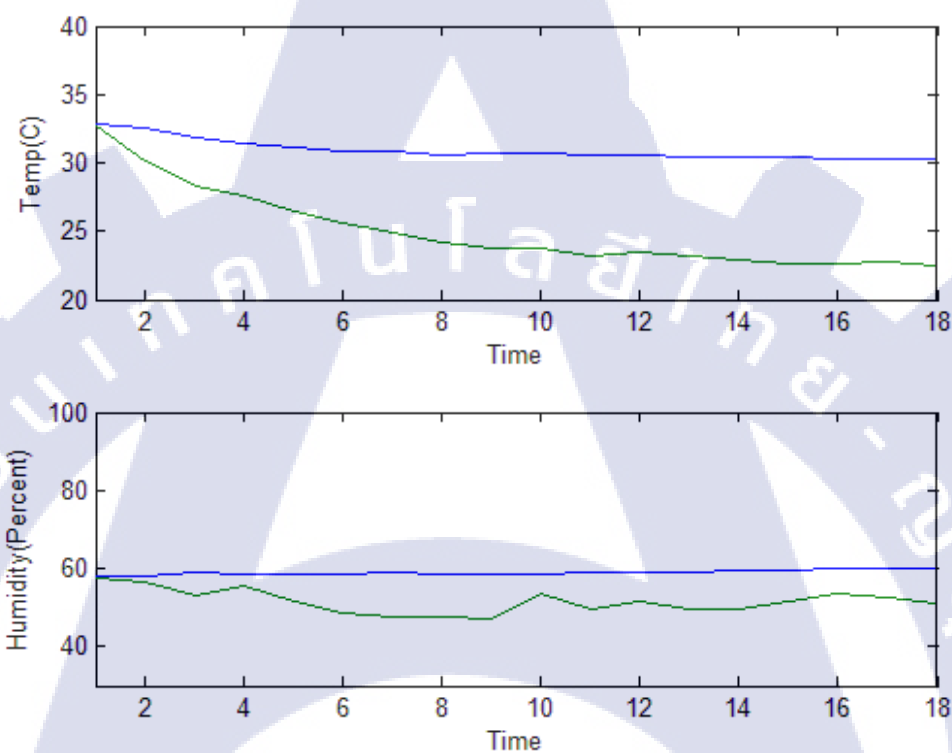
- [22] ThaiEasyElec, “Basic Electric,” Available: <http://www.thaieasyelec.com/article-wiki/basic-electronics/> [Accessed: July 31, 2016].
- [23] Electoyou, “Product,” Available: <http://www.elec2you.com/product/74/dht11> [Accessed: July 31, 2016].
- [24] Oddwires, “Product,” Available: <http://www.oddwires.com/using-a-dht11-to-measure-temperature-and-humidity/> [Accessed: July 31, 2016].
- [25] ARMmbed, “SHT15,” Available: <https://developer.mbed.org/cookbook/SHT15> [Accessed: July 31, 2016].
- [26] จันทร์ประภา พุ่มประเสริฐ และ ประกอบ สุรพัฒน์วารณ, “การศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบของการวิเคราะห์และการออกแบบระบบปรับอากาศ กรณีศึกษา โรงงานประกอบเครื่องใช้ไฟฟ้า,” *Kasetsart Engineering Journal*, ปีที่ 23, ฉบับที่ 72, หน้า 71-79, พฤษภาคม – กรกฎาคม 2553.
- [27] กระทรวงพลังงาน, “หลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคารในแต่ละระบบ การใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร และการใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่างๆ,” *ราชกิจจานุเบกษา*, เล่มที่ 126, หน้า 21-58, 28 สิงหาคม 2558.
- [28] คณะอนุกรรมการมาตรฐานระบบปรับอากาศและระบายอากาศ ในคณะกรรมการสาขาวิศวกรรมเครื่องกล, “มาตรฐานระบบปรับอากาศ และระบายอากาศ,” พิมพ์ครั้งที่ 3, กรุงเทพฯ: โกลบอล กราฟฟิค, *วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์*, 2558.
- [29] Danieloverbey, “Human Thermal Comfort,” Available: <http://danieloverbey.blogspot.com/2013/02/evaluating-human-thermal-comfort.html> [Accessed: August 16, 2016].
- [30] N. Rachapradit et al., “The study of impacts of ventilation patterns on the level of relative humidity in office using split type air-conditioner,” *Naresuan University Journal 2013*, Special Issue, July 2013.
- [31] Sugartech, “Psychometric Calculation Online,” Available: <http://www.sugartech.co.za/psychro/> [Accessed: October 30, 2016].
- [31] Expproservices, “Life Cycle Costing”, Available: <http://www.expproservices.com/3pdf/21Life%20Cycle%20Costing%20%E0%B8%84%E0%B8%B7%E0%B8%AD%E0%B8%AD%E0%B8%B0%E0%B9%84%E0%B8%A3.pdf> [Accessed: January 25, 2017].

ภาคผนวก

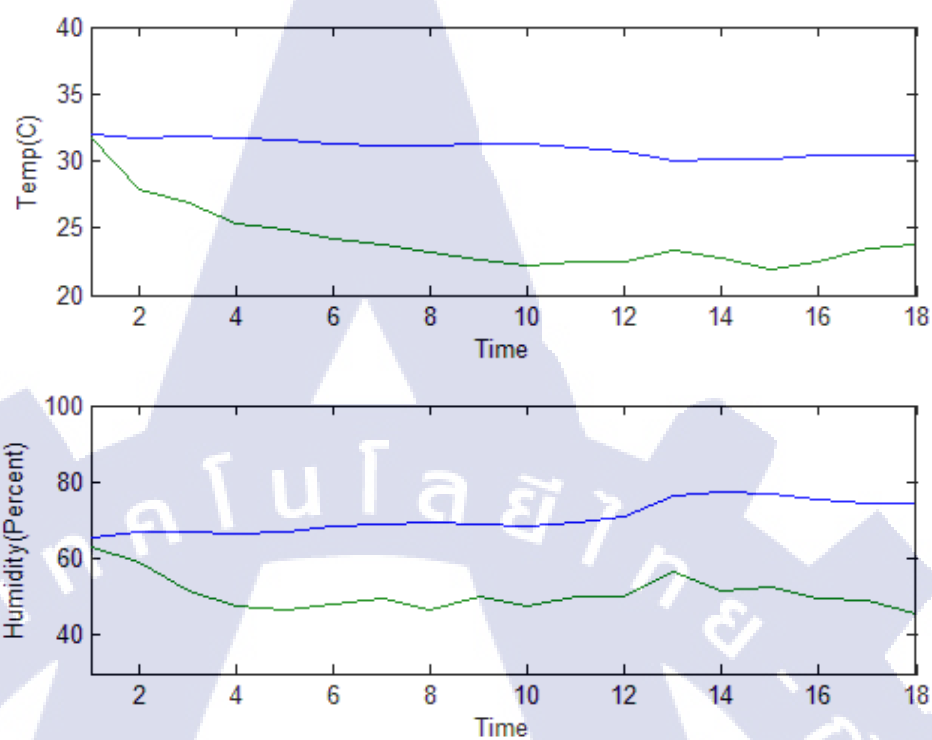
TNI

ภาคผนวก ก

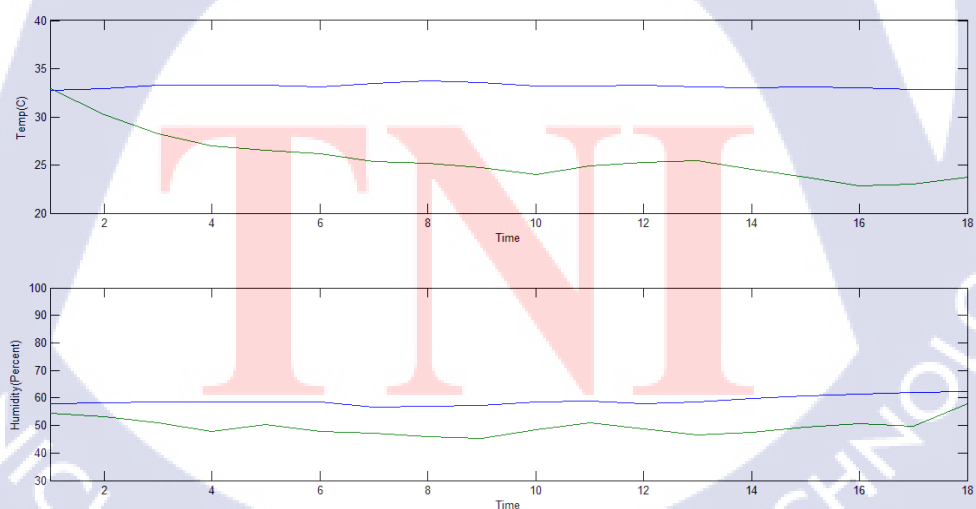
ก-1 กราฟแสดงค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในและภายนอกตู้ทดสอบ



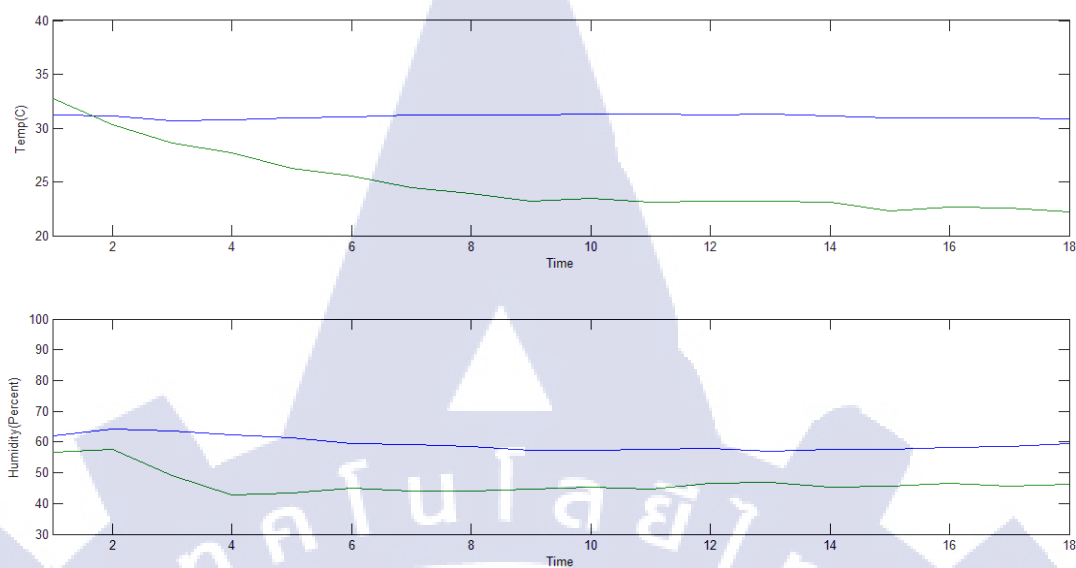
รูปที่ ก-1 กราฟแสดงอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ทั้งภายในและภายนอกตู้ทดสอบ
ของการทดสอบครั้งที่ 3 วันที่ 9 กรกฎาคม 2559



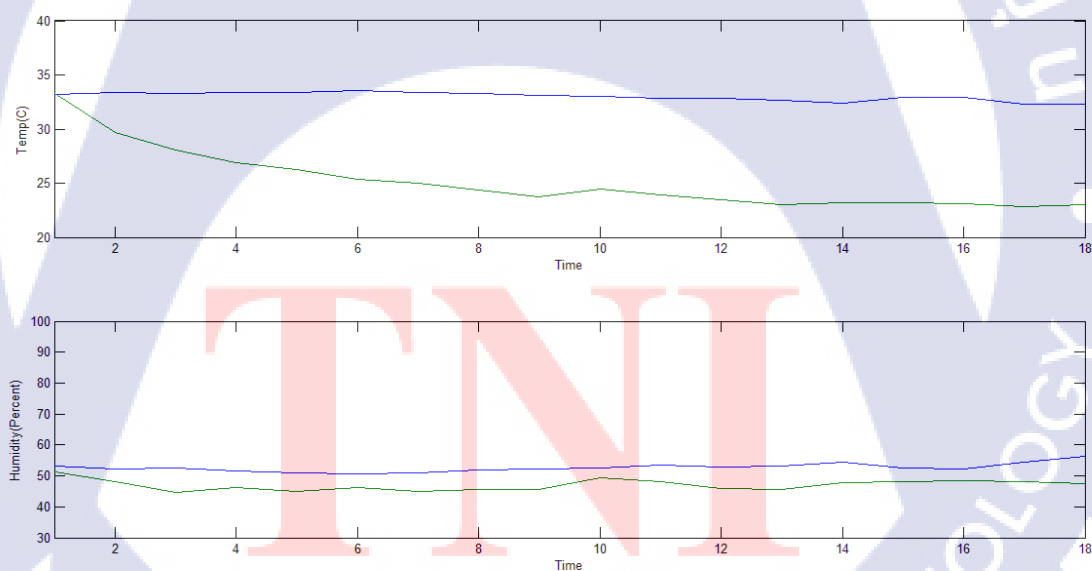
รูปที่ ก-2 กราฟแสดงอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ทั้งภายในและภายนอกตู้ทดสอบ
ของการทดสอบครั้งที่ 4 วันที่ 10 กรกฎาคม 2559



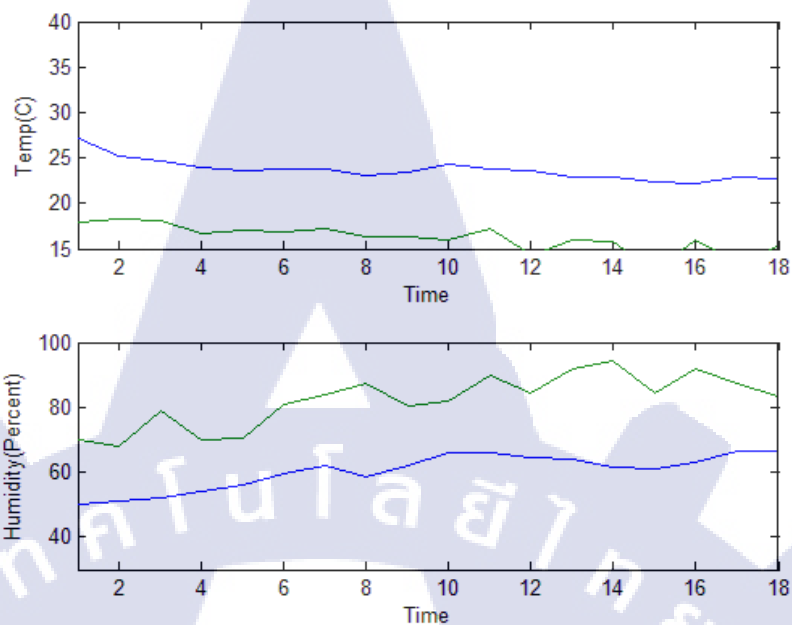
รูปที่ ก-3 กราฟแสดงอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ทั้งภายในและภายนอกตู้ทดสอบ
ของการทดสอบครั้งที่ 5 วันที่ 23 กรกฎาคม 2559



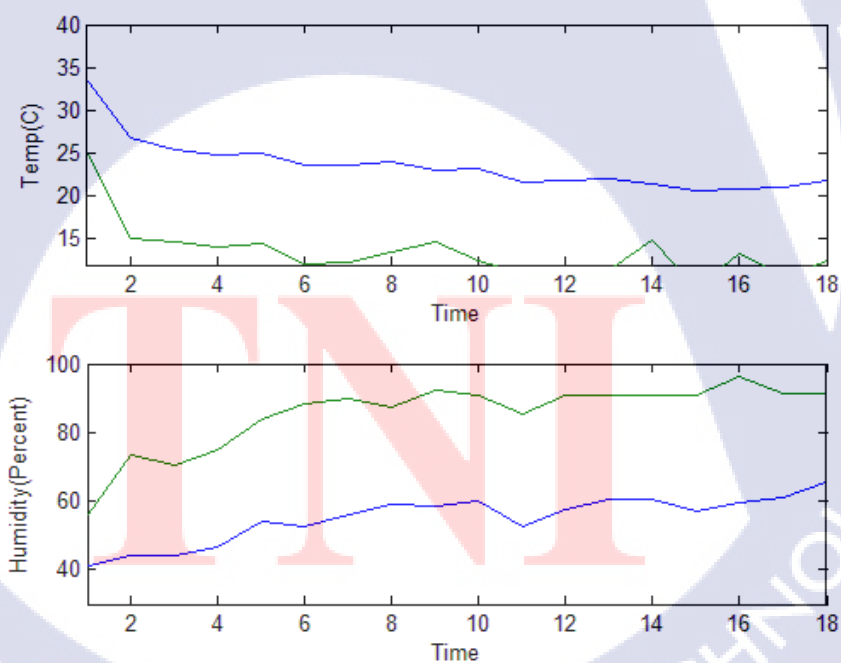
รูปที่ ก-4 กราฟแสดงอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ทั้งภายในและภายนอกตู้ทดสอบ
ของการทดสอบครั้งที่ 6 วันที่ 30 กรกฎาคม 2559



รูปที่ ก-5 กราฟแสดงอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ทั้งภายในและภายนอกตู้ทดสอบ
ของการทดสอบครั้งที่ 7 วันที่ 31 กรกฎาคม 2559



รูปที่ ก-6 กราฟแสดงอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ทั้งด้านลมจ่ายและลมกลับระบบปรับอากาศของการทดสอบครั้งที่ 8 วันที่ 4 กุมภาพันธ์ 2560



รูปที่ ก-7 กราฟแสดงอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ทั้งด้านลมจ่ายและลมกลับระบบปรับอากาศของการทดสอบครั้งที่ 9 กุมภาพันธ์ 2560

ก-2 ตารางผลการทดลอง

ตาราง ก-1 ผลการวัดค่าอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ กระแสไฟฟ้า วันที่ 9 ก.ค. 59

No.	TIME	Time	Time	T_outside	T_inside	Humid outside	Humid inside	Electrical
		min	sec	(°C)	(°C)	%RH	%RH	Amp
0	16.4	0	0	34.0	34.5	58.60	58.60	47.60
1	16.5	10	600	34.0	32.6	58.5	58.4	47.0
2	17.0	20	1200	34.0	31.3	58.5	57.2	48.5
3	17.1	30	1800	33.2	28.6	60.0	56.0	46.3
4	17.2	40	2400	32.8	27.2	59.3	57.8	45.6
5	17.3	50	3000	32.3	26.8	59.0	54.5	45.1
6	17.4	60	3600	31.7	25.9	58.9	52.1	44.8
7	17.5	70	4200	31.7	25.2	59.4	51.5	43.5
8	18.0	80	4800	31.5	24.4	58.7	51.6	44.0
9	18.1	90	5400	31.8	24.0	58.7	51.0	43.9
10	18.2	100	6000	31.8	24.3	58.7	53.7	42.8
11	18.3	110	6600	31.6	24.1	59.3	50.1	43.4
12	18.4	120	7200	31.6	23.2	59.3	55.1	43.2
13	18.5	130	7800	31.4	30.2	59.3	50.1	42.3
14	19.0	140	8400	31.4	24.0	62.1	50.1	41.6
15	19.1	150	9000	31.4	23.8	62.1	55.1	41.4
16	19.2	160	9600	31.2	23.8	63.2	59.2	42.0
17	19.3	170	10200	31.2	24.0	63.5	58.7	41.7
18	19.4	180	10800	29.8	23.9	63.5	52.1	42.5

หมายเหตุ

T_outside = อุณหภูมิภายนอกตู้ทดสอบ

T_inside = อุณหภูมิภายในตู้ทดสอบ

Humid outside = ความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกตู้ทดสอบ

Humid inside = ความชื้นสัมพัทธ์ภายในตู้ทดสอบ

Electrical = กระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ที่จ่ายเข้าเครื่องปรับอากาศกระแสตรง

ตาราง ก-2 ผลการวัดค่าอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ กระแสไฟฟ้า วันที่ 10 ก.ค. 59

No.	TIME	Time	Time	T_outside	T_inside	Humid outside	Humid inside	Electrical
		min	sec	(°C)	(°C)	%RH	%RH	Amp
0	14.3	0	0	32.5	32.0	65.0	63.0	45.1
1	14.4	10	600	32.4	30.3	66.0	61.0	44.5
2	14.5	20	1200	32.3	28.2	67.0	59.8	43.9
3	15.0	30	1800	32.4	27.5	67.0	52.0	44.2
4	15.1	40	2400	32.3	26.0	66.0	47.5	43.3
5	15.2	50	3000	32.2	25.1	67.0	46.0	42.5
6	15.3	60	3600	31.9	24.7	69.3	47.0	41.7
7	15.4	70	4200	31.5	24.3	69.5	50.0	42.3
8	15.5	80	4800	31.5	24.0	70.0	46.5	42.8
9	16.0	90	5400	31.9	23.6	69.5	51.0	42.2
10	16.1	100	6000	31.9	23.2	69.0	49.0	41.7
11	16.2	110	6600	31.5	23.7	71.0	50.3	41.5
12	16.3	120	7200	31.1	23.7	72.0	50.3	40.1
13	16.4	130	7800	30.7	24.8	76.0	59.0	41.2
14	16.5	140	8400	30.9	23.9	79.0	54.0	40.9
15	17.0	150	9000	31.0	23.2	78.0	53.0	40.5
16	17.1	160	9600	30.8	23.8	75.0	51.0	40.2
17	17.2	170	10200	30.8	24.4	73.0	50.0	41.0
18	17.3	180	10800	30.8	25.0	73.0	44.0	40.6

ตาราง ก-3 ผลการวัดค่าอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ กระแสไฟฟ้า วันที่ 23 ก.ค. 59

No.	TIME	Time min	Time sec	T_outside (°C)	T_inside (°C)	Humid outside %RH	Humid inside %RH	Electrical Amp
0	11.4	0	0	32.0	32.0	58.0	55.0	44.6
1	11.5	10	600	32.7	31.8	58.0	54.7	43.9
2	12.0	20	1200	32.3	30.5	58.1	54.9	45.8
3	12.1	30	1800	33.0	28.8	58.4	53.1	44.2
4	12.2	40	2400	33.0	27.9	58.4	48.1	44.7
5	12.3	50	3000	33.0	27.5	58.4	50.0	44.2
6	12.4	60	3600	32.0	27.0	58.4	47.0	45.2
7	12.5	70	4200	33.7	26.2	58.0	46.0	45.3
8	13.0	80	4800	34.0	26.1	58.1	45.0	44.6
9	13.1	90	5400	33.7	25.7	58.2	45.2	44.1
10	13.2	100	6000	33.0	25.2	60.0	47.4	43.2
11	13.3	110	6600	33.0	25.8	60.1	50.2	43.3
12	13.4	120	7200	33.9	25.9	58.3	49.9	42.8
13	13.5	130	7800	33.5	26.0	59.7	47.0	42.5
14	14.0	140	8400	32.8	24.9	60.2	47.2	42.9
15	14.1	150	9000	33.2	24.7	60.3	47.6	41.7
16	14.2	160	9600	33.1	23.7	60.4	47.5	42.4
17	14.3	170	10200	33.0	23.8	60.5	47.2	42.5
18	14.4	180	10800	33.0	24.7	61.0	59.1	41.9

ตาราง ก-4 ผลการวัดค่าอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ กระแสไฟฟ้า วันที่ 30 ก.ค. 59

No.	TIME	Time	Time	T_outside	T_inside	Humid outside	Humid inside	Electrical
		min	sec	(°C)	(°C)	%RH	%RH	Amp
0	12.4	0	0	32.1	32.9	62.8	57.2	45.5
1	12.5	10	600	31.3	32.7	61.9	56.7	44.0
2	13.0	20	1200	31.1	30.3	64.1	57.7	42.2
3	13.1	30	1800	30.7	28.6	63.5	49.0	42.0
4	13.2	40	2400	30.8	27.7	62.4	42.8	41.4
5	13.3	50	3000	30.9	26.3	61.2	43.4	40.7
6	13.4	60	3600	31.0	25.5	59.5	45.0	41.1
7	13.5	70	4200	31.2	24.5	59.0	44.2	41.3
8	14.0	80	4800	31.2	23.9	58.4	44.1	41.2
9	14.1	90	5400	31.2	23.2	57.2	44.6	41.3
10	14.2	100	6000	31.3	23.5	57.3	45.2	41.2
11	14.3	110	6600	31.3	23.2	57.6	44.7	40.7
12	14.4	120	7200	31.2	23.2	58.0	46.5	40.4
13	14.5	130	7800	31.3	23.2	57.0	47.0	40.5
14	15.0	140	8400	31.1	23.1	57.6	45.3	40.3
15	15.1	150	9000	31.0	22.3	57.7	45.5	38.2
16	15.2	160	9600	31.0	22.7	58.1	46.4	38.7
17	15.3	170	10200	30.9	22.6	58.4	45.7	38.8
18	15.4	180	10800	30.8	22.2	59.4	46.2	39.1

ตาราง ก-5 ผลการวัดค่าอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ กระแสไฟฟ้า วันที่ 31 ก.ค. 59

No.	TIME	Time	Time	T_outside	T_inside	Humid outside	Humid inside	Electrical
		min	sec	(°C)	(°C)	%RH	%RH	Amp
0	16.2	0	0	33.3	33.5	53.8	53.8	45.10
1	16.3	10	600	33.2	33.3	53.3	51.3	45.5
2	16.4	20	1200	33.4	29.7	52.3	48.1	42.9
3	16.5	30	1800	33.3	28.1	52.4	44.7	43.6
4	16.6	40	2400	33.4	26.9	51.7	46.2	42.3
5	17.1	50	3000	33.4	26.3	51.0	44.9	42.5
6	17.2	60	3600	33.6	25.4	50.7	46.2	42.1
7	17.3	70	4200	33.4	25.0	51.1	45.0	41.7
8	17.4	80	4800	33.3	24.4	51.8	45.7	40.7
9	17.5	90	5400	33.1	23.8	52.3	45.6	41.8
10	17.6	100	6000	33.0	24.4	52.5	49.4	40.9
11	18.1	110	6600	32.8	24.0	53.3	48.0	40.7
12	18.2	120	7200	32.8	23.5	53.0	45.8	40.6
13	18.3	130	7800	32.6	23.0	53.3	45.5	40.5
14	18.4	140	8400	32.4	23.2	54.3	47.9	40.2
15	18.5	150	9000	32.9	23.2	52.6	48.2	40.0
16	18.6	160	9600	32.9	23.1	52.1	48.5	40.5
17	19.1	170	10200	32.3	22.9	54.6	48.2	39.9
18	19.2	180	10800	32.3	23.1	56.5	47.4	40.2

ตาราง ก-6 ผลการวัดค่าอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ กระแสไฟฟ้า วันที่ 4 กุมภาพันธ์ 2560

No.	TIME	Time	Time	T_return	T_supply	Humid return	Humid supply	Electrical
		min	sec	(°C)	(°C)	%RH	%RH	Amp
0	15.4	0	0	27.5	17.8	50.0	70.0	34.0
1	15.5	10	600	26.1	18.0	51.1	69.8	33.8
2	16.0	20	1200	25.1	18.3	51.9	69.1	33.9
3	16.1	30	1800	24.8	18.1	52.9	79.2	33.2
4	16.2	40	2400	24.2	16.8	55.4	70.0	33.4
5	16.3	50	3000	23.8	17.2	57.2	70.8	33.7
6	16.4	60	3600	24.1	16.9	59.8	81.3	33.2
7	16.5	70	4200	23.3	17.2	61.0	84.8	33.3
8	17.0	80	4800	24.0	16.8	58.8	89.2	33.3
9	17.1	90	5400	24.6	16.8	62.8	81.9	33.1
10	17.2	100	6000	23.9	16.2	66.5	83.6	33.0
11	17.3	110	6600	23.8	17.3	66.6	91.7	32.8
12	17.4	120	7200	23.3	14.8	65.0	86.1	32.6
13	17.5	130	7800	23.3	15.9	64.4	93.9	32.7
14	18.0	140	8400	22.9	15.8	61.6	95.3	32.3
15	18.1	150	9000	22.3	14.7	61.2	86.1	32.2
16	18.2	160	9600	22.1	16.0	64.9	94.1	32.1
17	18.3	170	10200	22.9	14.2	67.2	89.2	31.9
18	18.4	180	10800	22.7	15.3	67.2	83.5	32.2

ตาราง ก-7 ผลการวัดค่าอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ กระแสไฟฟ้า วันที่ 6 กุมภาพันธ์ 2560

No.	TIME	Time	Time	T_return	T_supply	Humid return	Humid supply	Electrical
		min	sec	(°C)	(°C)	%RH	%RH	Amp
0	11.2	0	0	33.5	25.5	40.7	56.9	34.0
1	11.3	10	600	31.8	21.3	42.4	65.4	34.1
2	11.4	20	1200	27.3	15.1	43.9	73.7	34.2
3	11.5	30	1800	25.9	14.2	44.1	70.2	34.2
4	12.0	40	2400	24.6	12.8	46.6	74.4	34.2
5	12.1	50	3000	25.1	13.8	54.8	84.2	34.3
6	12.2	60	3600	23.1	12.2	52.4	88.3	34.0
7	12.3	70	4200	23.2	12.6	55.5	90.2	33.8
8	12.4	80	4800	23.9	13.7	58.5	87.2	33.7
9	12.5	90	5400	22.8	14.6	58.1	91.8	33.9
10	13.0	100	6000	22.9	12.7	60.2	90.9	32.4
11	13.1	110	6600	21.5	10.2	51.7	85.3	31.8
12	13.2	120	7200	21.8	10.5	57.5	90.8	32.3
13	13.3	130	7800	22.0	11.5	60.2	90.8	31.7
14	13.4	140	8400	21.2	14.8	60.5	90.8	31.9
15	13.5	150	9000	20.7	10.9	56.9	91.0	32.3
16	14.0	160	9600	20.9	13.1	59.1	96.4	30.7
17	14.1	170	10200	21.0	11.3	61.5	91.2	31.6
18	14.2	180	10800	21.7	12.5	65.4	91.1	31.9

การประชุมวิชาการ เรื่อง การถ่ายทอดผลงานวิจัยและนวัตกรรม
ในอุปกรณ์ด้านความร้อนและกระบวนการ (ครั้งที่ 16)
ระหว่างวันที่ 23-24 กุมภาพันธ์ 2560
ณ ศูนย์ฝึกอบรมบุคลากรไทยภาคใต้ จังหวัดสิงห์บุรี

การทดสอบระบบปรับอากาศจากรังสีอาทิตย์แบบรับไฟฟ้ากระแสตรง THE TEST OF SOLAR ASSISTED DC AIR CONDITIONING SYSTEM

อัครกร กัลละ

วิภาวดี วงษ์สุวรรณ

สาขาเทคโนโลยีวิศวกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

1771/1 ถ.พัฒนาการ แขวงเรตสวนหลวง

กรุงเทพฯ 10250

E-mail: wipawadee@itl.ac.th

Tel: 02-763-2600 ext. 2904, 2926,

086-8127633

บทคัดย่อ

งานวิจัยนำเสนอผลการทดสอบระบบปรับอากาศแบบไฟฟ้ากระแสตรงที่รับไฟฟ้าจากชุดระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบโพลีคริสตัลไลน์ (Polycrystalline) ที่ติดตั้งบนหลังคาอาคารจำนวน 4 แผง กำลังไฟฟ้า 250 W ต่อแผง ซึ่งจ่ายกระแสไฟฟ้ามาประจุในแบตเตอรี่ Globatt pace ขนาด 12 Volt ความจุ 150 Ah จำนวน 4 ลูก ไฟฟ้ากระแสตรงจากแบตเตอรี่จ่ายให้กับระบบปรับอากาศแบบกระแสตรงที่ติดตั้งในห้องทดสอบระบบปรับอากาศจากรังสีอาทิตย์ในทางานเฉพาะช่วงกลางวัน กระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่จ่ายให้กับคอมเพรสเซอร์กระแสตรง พัดลมของคอยล์ร้อน และพัดลมของคอยล์เย็น โดยความต่างศักย์จากแบตเตอรี่ไม่ต่ำกว่า 24 VDC ห้องทดสอบมีการติดตั้งอุปกรณ์เพื่อตรวจวัดอุณหภูมิ ความชื้น กระแสไฟฟ้า และความเร็วลมจากเครื่องปรับอากาศ ระบบใช้กระแสไฟฟ้าอยู่ในช่วง 38.2 – 48.5 A ค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ถูกบันทึกลงในคอมพิวเตอร์ มีการประเมินสภาวะน่าสบายจากผู้เข้าร่วมทดสอบตามมาตรฐาน ASHRAE ระบบปรับอากาศสามารถรักษาอุณหภูมิภายในห้องอยู่ในช่วง 23-28°C ความชื้นสัมพัทธ์ 47-59 %RH ระบบทำความเย็นได้ 4,294 – 6,316 Btu/h หรือโดยเฉลี่ย 5,305 Btu/h เนื่องจากห้องทดสอบอยู่ในอาคารและไม่ได้รับความร้อนจากนอกอาคารโดยตรงผู้ทดสอบในห้องจึงรู้สึกหนาวถึงเย็นเป็นส่วนหนึ่ง และจากการประเมินศักยภาพการใช้งานระบบ มีความเป็นไปได้ที่จะนำมาใช้เป็นระบบปรับอากาศสำหรับตู้เก็บเงินทางด่วน

คำสำคัญ: ระบบปรับอากาศไฟฟ้ากระแสตรง, แผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา, พลังงานหมุนเวียน

Abstract

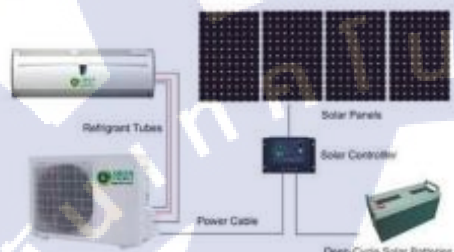
The research work presents test result of the solar DC air-conditioner system receiving DC from the solar PV rooftop consisting of 4 polycrystalline panels with four 12-V and 150 Ah Globatt pace batteries. Electricity from battery set supplied to the DC air-conditioner installed inside the experimental chamber. The solar air-conditioner was operated during daytime. Electric current from batteries supplied to DC compressor, and fans of condenser coil and cooling coil, maintaining voltage at least 24 VDC. The instruments were installed to measure temperature, humidity, electric current and air velocity from air-conditioner. The system required current in the range of 38.2 – 48.5 A. Temperature and relative humidity were recorded by a personal computer. The thermal comfort conditions of occupants were evaluated based on ASHRAE standard. The air-conditioner could control inside conditions of chamber to temperature ranged between 23 – 28 °C while relative humidity within 47-59 %RH, and the cooling capacity was 4,294 – 6,316 Btu/h that averaged to 5,305 Btu/h. The test chamber was located inside the workshop building that no direct heat gain from ambient; therefore, the occupants almost felt slightly cool to cool. The system was potentially applied to the pay toll booth.

Keywords: DC air-conditioner, Solar PV Rooftop, Renewable energy

1. บทนำ

ระบบปรับอากาศมีความจำเป็นสำหรับประเทศไทย มีการใช้งานกันทั่วไปและอย่างแพร่หลายมากขึ้น ส่งผลให้ความต้องการใช้พลังงานเพื่อการปรับอากาศสูงขึ้นทุกปี เราอาจลดการใช้พลังงานไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงฟอสซิลได้หากมีการนำไฟฟ้ากระแสตรงที่มีผลิตได้จากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีถูกสะสมในแบตเตอรี่มาจ่ายให้กับระบบปรับอากาศแบบไฟฟ้ากระแสตรง หรือนำมาแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับเพื่อจ่ายให้กับเครื่องปรับอากาศทั่วไป

ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งอยู่บนหลังคา โรงรถ หรือผนังอาคาร ที่มักเรียกกันว่า Solar PV Rooftop สามารถนำมาใช้กับเครื่องปรับอากาศทั้งระบบในรูปแบบที่ 1 จาก Green Energy Innovation [1]



รูปที่ 1 ระบบปรับอากาศแบบไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้ไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ [1]

ระบบปรับอากาศแบบไฟฟ้ากระแสตรงนี้ยังไม่มีการใช้งานแพร่หลายในประเทศไทย แม้จะพบงานวิจัยที่นำพลังงานรังสีอาทิตย์เพื่อการปรับอากาศในต่างประเทศอยู่หลายชิ้น [2-3] งานวิจัยนี้จึงได้ทดสอบการประยุกต์ใช้เครื่องปรับอากาศแบบคอมเพรสเซอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Compressor) ในตู้ทดสอบที่ติดตั้งภายในอาคารปฏิบัติการ ของสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น กทม. โดยผลทดสอบในเบื้องต้นได้ถูกนำมาอภิปรายและสรุปไว้ในบทความนี้

2. การออกแบบระบบทดสอบ

ระบบปรับอากาศแบบไมโครแอร์ไฟฟ้ากระแสตรงคือไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ของระบบพลังงานแสงอาทิตย์ จึงต้องใช้อินเวอร์เตอร์ในการแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับ การออกแบบให้สอดคล้องกับการนำประยุกต์ใช้เพื่อลดการค่าไฟฟ้าสำหรับตู้เก็บเงินค่าผ่านทางด่วน ดังตัวอย่างในรูปที่ 2 [4] ซึ่งจะเห็นว่าเป็นห้องที่มีขนาดประมาณ กว้าง x ยาว x สูง คือ 1.2 m x 2 m x 2.8 m ซึ่งกำหนดขนาดเครื่องปรับอากาศไปต่ำกว่า 12,000 Btu/h และ มี ค่า EER > 11.0 Btu/h.W ซึ่งแม้ตู้เก็บเงินทางด่วนจะหุ้มฉนวนอย่างดี มีการป้องกันการรั่วของอากาศจากภายนอกและติดตั้งเครื่องปรับอากาศใต้หลังคา แต่ก็พบว่าอยู่กลางแจ้งและมีการเปิดหน้าต่างสำหรับรับเงินไว้เกือบตลอด และเพื่อความสบายของผู้ปฏิบัติงานจึงต้องเปิด

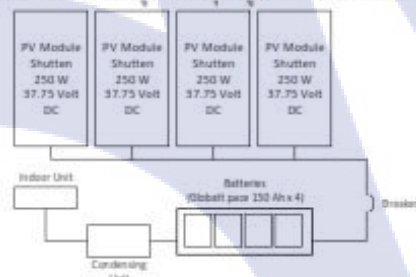
เครื่องปรับอากาศตลอดเวลาจึงเป็นการสิ้นเปลืองพลังงานพอสมควรแม้ว่าจะมีศักยภาพในการนำพลังงานรังสีอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ก็ตาม



รูปที่ 2 ภาพตู้เก็บเงินทางด่วน (Toll Booth) ในกรุงเทพฯ [4]

ระบบปรับอากาศที่ใช้ในการทดสอบ ประกอบด้วย คอมพิวเตอร์ (FCU) และคอนดีชั่น (CDU) โดย FCU ติดตั้งในตู้ทดสอบที่ปรับปรุงมาจากตู้คอนเทนเนอร์สำหรับทดสอบชิ้นส่วนยานยนต์ ขนาดกว้าง 2.5 m x ยาว 3 m x สูง 2.2 m ที่อยู่ภายในห้องปฏิบัติการ K-105 ของโรงปฏิบัติการ K ที่เป็นอาคารแบบชั้นเดียวหลังคามุงหลังคาที่ติดตั้งสูง 8 m แผนภาพอย่างง่ายของระบบแสดงดังรูปที่ 3 ประกอบด้วยชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโพลีคริสตัลไลน์ (Polycrystalline) ของ Shuttlen จำนวน 4 แผง กำลังไฟฟ้าแผงละ 250 W ทำศักยภาพสูงสุดได้ 37.75 Volt DC ส่งไฟฟ้ากระแสตรงเข้าชุดแบตเตอรี่ของ Globall pace ที่มีโวลท์ 12 V ความจุ 150 Ah จำนวน 4 ลูก

ไฟฟ้ากระแสตรงจากแบตเตอรี่จ่ายให้กับกล่องคอนดีชั่นที่ติดตั้งภายนอกตู้ทดสอบ และมีคอมเพรสเซอร์แบบกระแสตรงอยู่ภายใน ตัวทำความเย็นจะหมุนเวียนเป็นวัฏจักรไปยังคอนดีชั่นซึ่งติดตั้งภายในตู้ทดสอบ และสามารถทำให้ภายในตู้ทดสอบมีอุณหภูมิและความชื้นเหมาะสม



รูปที่ 2 ภาพอย่างง่ายระบบปรับอากาศที่ใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ของระบบเซลล์แสงอาทิตย์

เป้าหมายหลักของงานวิจัย คือออกแบบและพัฒนาระบบปรับอากาศสำรอง เพื่อประยุกต์ใช้กับตู้เก็บเงินค่าผ่านทางด่วน (Toll Booth) ซึ่งมีพื้นที่ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาปกคลุมตลอดแนวตู้เก็บเงินค่าผ่านทางด่วนที่เรียงราย ดังรูปที่ 3 การทดลองนี้จึงติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 4 ที่หลังคาอาคาร K ส่วนตู้ทดสอบดังรูปที่ 4 อยู่ภายใต้หลังคา เพื่อจำลองการปรับอากาศตู้เก็บเงินหลังคาที่มีความแตกต่างที่ตู้ทดสอบมีหม้อฉนวนหนา เพราะตัดแปลงมาจากห้องทดสอบชิ้นส่วนยานยนต์ ซึ่งได้รับบริจาคจากบริษัทโตโยต้ามอเตอร์ (ประเทศไทย) จำกัด

(TMT) และอยู่ภายในอาคารที่มีผนัง (ด้วยข้อจำกัดของพื้นที่) ซึ่งมีพื้นที่ของพื้น 7.5 m² และมีปริมาตร 16.5 m³ เทียบเป็นขนาดประมาณ 2.5-3 เท่าของตู้เก็บเงินทางด่วน



รูปที่ 3 ตู้เก็บเงินค่าทางด่วนที่มีพื้นที่ด้านบนหลังคาที่สามารถติดตั้งชุดแผงโซลาร์เซลล์ได้



รูปที่ 4 ชุดทดสอบจำลองตู้เก็บเงินค่าทางด่วน

3. วิธีทำการวิจัย

เครื่องปรับอากาศแบบไฟฟ้ากระแสตรง จัดซื้อจากประเทศจีน โดยจัดส่งมาแบบแยกส่วนและนำมาประกอบเอง และจำเป็นต้องปรับปรุงหลายส่วนเพื่อให้สามารถใช้งานได้ ระบบออกแบบมาให้มีกำลังการทำงานเป็น 5,700 Btu/h ใช้กำลังไฟฟ้า 960 Watt ที่แรงดัน 24 Volt ผู้ทดลองนำมาประยุกต์ใช้เพื่อรับไฟฟ้ากระแสตรงจากแบตเตอรี่ของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่นั่น คอมพิวเตอร์แบบพกพาแสดงดังรูปที่ 5 กล่องควบคุม (Control box) ดังรูปที่ 6 ซึ่งคอยรีเวอร์หรือ CDB แสดงดังรูปที่ 7 รูปที่ 8 แสดงภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาอาคารโรงปฏิบัติการ K และรูปที่ 10 แสดงภาพชุดแบตเตอรี่ที่อยู่ภายในอาคาร ซึ่งสามารถสำรองไฟฟ้าได้ประมาณ 6 ชั่วโมง นอกจากนี้ยังมีการติดตั้งพัดลมไฟฟ้าสำหรับระบายความร้อนจากคอยล์รีเวอร์ โดยใช้พัดลมชนิดเดียวกับในรถยนต์ใช้แรงดันไฟฟ้า 24 โวลต์ ดังรูปที่ 11



รูปที่ 5 คอมพิวเตอร์สกรีนชนิดไฟฟ้ากระแสตรง



รูปที่ 6 กล่องควบคุมคอมพิวเตอร์ 1000 Watt 24 Volt



รูปที่ 7 คอยล์รีเวอร์ขนาด 400(W) X 350(H) X 40(L) mm พร้อมสายท่อนำยาสารทำความเย็นใช้สำหรับ R-134a ยาว 4 m



รูปที่ 8 คอยล์เย็นขนาด 600(W) X 250(H) X 100(L)



รูปที่ 9 โมดูลแผงเซลล์แสงอาทิตย์ยี่ห้อ Schuberger ขนาด 250 Watt

จำนวน 4 แผง รวม 1000 Watt



รูปที่ 10 แบตเตอรี่ Globatt แบบ Deep Cycle ขนาด 12 Volt 150 Ah 4 ลูก ต่อวงจรเป็นอนุกรมและขนานได้ 24 Volt



รูปที่ 11 พัดลมสำหรับระบายความร้อนจากคอยล์รีเวอร์ ขนาด 12\"/>

แรงดันไฟฟ้า 24 Volt 90 Watt นอกจากนี้ภายในตู้ทดสอบยังมีการติดตั้งหลอดไฟฟอสฟอรัสชนิดไส้ขนาด 40 W จำนวน 6 หลอด เพื่อแทนการทำความร้อน และเก็บผลการทดสอบโดยชุดเซนเซอร์ เครื่องมือวัด และคอมพิวเตอร์สำหรับเก็บข้อมูลชุดเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ (Temperature) และความชื้นสัมพัทธ์ (Relative

(TMT) และอยู่ภายในอาคารที่มีผนัง (ด้วยข้อจำกัดของพื้นที่) พื้นที่มีพื้นที่รองรับ 7.5 m² และมีปริมาตร 16.5 m³ เทียบเป็นขนาดประมาณ 2.5-3 เท่าของตู้เก็บเงินทางด่วน



รูปที่ 3 ตู้เก็บเงินค่าทางด่วนที่มีพื้นที่ด้านบนหลังคาที่สามารถติดตั้งชุดแผงโซลาร์เซลล์ได้



รูปที่ 4 ชุดทดสอบจำลองตู้เก็บเงินค่าทางด่วน

3. วิธีทำการวิจัย

เครื่องปรับอากาศแบบไฟฟ้ากระแสตรง จัดซื้อจากประเทศจีน โดยจัดส่งมาแบบแยกส่วนและนำมาประกอบเอง และจำเป็นต้องปรับปรุงหลายส่วนเพื่อให้สามารถใช้งานได้ ระบบออกแบบมาให้มีกำลังการทำงานเป็น 5,700 Btu/h ใช้กำลังไฟฟ้า 960 Watt ที่แรงดัน 24 Volt ผู้ทดลองนำมาประยุกต์ใช้เพื่อรับไฟฟ้ากระแสตรงจากแบตเตอรี่ของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์เท่านั้น คอมพิวเตอร์แบบพกพาแสดงดังรูปที่ 5 กล้องควบคุม (Control box) ดังรูปที่ 6 ซึ่งคอยดูหรือ CDB แสดงดังรูปที่ 7 รูปที่ 8 แสดงภาพคอมดเป็นซึ่งติดตั้งภายในตู้ทดสอบ ในขณะรูปที่ 9 แสดงภาพโมดูลของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาอาคารโรงปฏิบัติการ K และรูปที่ 10 แสดงภาพชุดแบตเตอรี่ที่อยู่ในอาคาร ซึ่งสามารถสำรองไฟฟ้าได้ประมาณ 6 ชั่วโมง นอกจากนี้ยังมีการติดตั้งพัดลมไฟฟ้าสำหรับระบายความร้อนจากคอยล์ร้อน โดยใช้พัดลมชนิดเดียวกับในรถยนต์ใช้แรงดันไฟฟ้า 24 โวลต์ ดังรูปที่ 11



รูปที่ 5 คอมพิวเตอร์สกรีนข้อมูลไฟฟ้ากระแสตรง



รูปที่ 6 กล้องควบคุมคอมพิวเตอร์ 1000 Watt 24 Volt



รูปที่ 7 คอยล์ร้อนขนาด 400(W) X 350(H) X 40(L) mm พร้อมสายท่อน้ำยาสารทำความเย็นใช้สำหรับ R-134a ยาว 4 m



รูปที่ 8 คอยล์เย็นขนาด 600(W) X 250(H) X 100(L)



รูปที่ 9 โมดูลแผงเซลล์แสงอาทิตย์ยี่ห้อ Schuften ขนาด 250 Watt จำนวน 4 แผง รวม 1000 Watt



รูปที่ 10 แบตเตอรี่ Globatt แบบ Deep Cycle ขนาด 12 Volt 150 Ah 4 ลูก ต่อวงจรเป็นอนุกรมและขนานได้ 24 Volt



รูปที่ 11 พัดลมสำหรับระบายความร้อนจากคอยล์ร้อน ขนาด 12\"/>

นอกจากนี้ภายในตู้ทดสอบยังมีการติดตั้งหลอดไฟฟ้าส่องสว่างชนิดไส้หลอด 40 W จำนวน 6 หลอด เพื่อแทนภาวะความร้อน และเก็บผลการทดสอบโดยชุดเซนเซอร์ เครื่องมือวัด และคอมพิวเตอร์สำหรับเก็บข้อมูลชุดเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ (Temperature) และความชื้นสัมพัทธ์ (Relative

(PMV) และ Percent of People Dissatisfied (PPD) เพื่อให้ทราบ ความรู้สึกเชิงอุณหภูมิในขณะสภาวะนั้น โดยอ้างอิงจากมาตรฐาน ASHRAE 55 ที่มีการแบ่งระดับเป็นสเกล -3 ถึง 3 จากหนาวถึงร้อน [7]

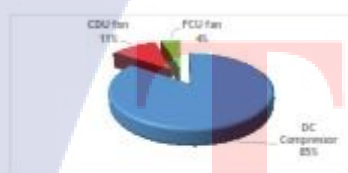
จากผลการทดสอบ 5 วัน (อีก 2 วันแรกไม่มีผู้ตอบ แบบสอบถาม) โดยมีปัจจัยควบคุม คือ ความร้อนจากคนหนึ่งคน จาก คอมพิวเตอร์ที่ใช้เก็บข้อมูลภายในห้องทดสอบ จากหลอดไฟที่ให้ แสงสว่างภายในห้องทดสอบ และจากการรั่วของอากาศเข้าห้อง เนื่องจากการที่ผู้ทดลองเปิดประตูเข้าออกห้องทดสอบ สรุปผลการ วิเคราะห์ทางสถิติเบื้องต้นของผลการวัด ได้แก่ ค่าเฉลี่ยสุด ค่ามากที่สุด และค่าเฉลี่ย ของอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ กระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับ เครื่องปรับอากาศ และความเร็วลม สรุปได้ดังตารางที่ 1

ระบบปรับอากาศทำให้อุณหภูมิอากาศตั้งแต่ต้นถึง 33 - 37 °C ลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 20-30 นาทีแรก จากนั้นจะเปลี่ยนแปลง ในช่วงแคบๆ 0.9 - 2.5 °C ระบบปรับอากาศสามารถรักษาอุณหภูมิ ภายในห้องในช่วง 23-28°C ความชื้นสัมพัทธ์ 47-59 %RH ระบบทำความ เป็นได้ 4,294 - 6,316 Btu/h หรือโดยเฉลี่ย 5,305 Btu/h เนื่องจากผู้ทดสอบอยู่ในอาคารและไม่ได้รับความร้อนจากนอก อาคารโดยตรงผู้ทดสอบไม่รู้สึกหนาวเย็นเป็นส่วนใหญ่ กระแสไฟฟ้าจ่ายจากแบตเตอรี่ขณะเริ่มต้นสูงกว่า 45 A แล้วค่อยๆ ลดลงอย่างช้าๆ ในช่วง 3 ชั่วโมง หรือก่อนข้างเปลี่ยนแปลง ในช่วง 38.2 - 45.5 A คิดเป็นค่าเฉลี่ย 42.5 A

ตารางที่ 1 ส่วนผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากการวัดเบื้องต้น

Day No.	Indoor Temperature (°C)			Outdoor Temperature (°C)			Indoor Relative Humidity (%)			Outdoor Relative Humidity (%)			Supply current (A)			Windy (m/s)
	Min	Max	Avg	Min	Max	Avg	Min	Max	Avg	Min	Max	Avg	Min	Max	Avg	
1	25.0	25.0	25.0	32												0.5
2	11.0	34.0	17.5	33												0.5
3	25.0	34.0	29.4	33.0	34.0	33.5	50.1	50.0	50.1	50.0	50.0	50.1	45.4	49.5	45.9	0.5
4	23.0	32.0	25.5	30.0	31.0	30.5	46.0	50.0	48.0	50.0	50.0	50.0	43.1	45.1	42.1	0.5
5	23.0	32.0	25.0	32.0	33.0	32.5	46.0	50.0	48.0	50.0	50.0	50.1	45.7	45.0	45.7	0.5
6	22.0	32.0	25.0	30.0	32.0	31.0	42.0	50.0	46.0	50.0	50.0	50.1	39.5	39.5	40.0	0.5
7	23.0	31.0	26.0	32.0	33.0	32.5	46.0	50.0	48.0	50.0	50.0	50.0	39.0	39.0	40.0	0.5

สัดส่วนการใช้ไฟฟ้าของระบบปรับอากาศในส่วน ของ คอมเพรสเซอร์และพัดลม พัดลมของคอยล์ร้อนและของคอยล์เย็น แสดงดังรูปที่ 14 โดยคอมเพรสเซอร์ใช้ไฟฟ้าไป 55% ที่เหลือเป็นของ พัดลมทั้งสอง



รูปที่ 14 สัดส่วนการใช้ไฟฟ้าในระบบปรับอากาศ

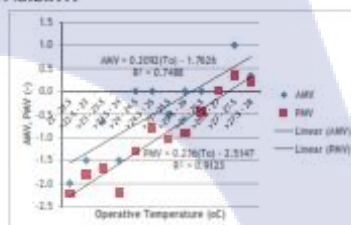
จากการคำนวณน้ำหนักอากาศที่ดูดเข้าจากภายนอกขึ้น ตลอดระยะเวลา 3 ชั่วโมง ระบบสามารถกำจัดน้ำออก 102 - 216 mL/s รวมแล้ว 1.1 - 2.33 kg

การคำนวณค่า PMV และ PPD จะต้องทราบข้อมูลอย่างน้อย 6 ค่า อาทิ อุณหภูมิอากาศ (Air Temperature) ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity) ความเร็วของลม (Relative Air Velocity) อุณหภูมิการแผ่รังสีความร้อนเฉลี่ย (Mean Radiant Temperature) ความเป็นฉนวนของ เสื้อผ้า (Clothing) และอัตราการเผาผลาญ (Metabolic Rate) มีข้อมูลวัดใน การทดลอง 3 ค่า คือ อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ และ ความเร็วลมความเป็นฉนวนได้จากแบบสอบถาม ส่วนอัตราการเผาผลาญ กำหนดเป็นค่าคงที่ อุณหภูมิโกลบ (T_{rg}) ถูกคำนวณจากสมการที่ได้จาก ฐานข้อมูล ทำให้ได้ค่าที่เป็นฟังก์ชันกับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ $T_{rg} = f(T, RH)$ ดังสมการที่ 2 ที่เป็นโมเดลคณิตศาสตร์แบบเส้นตรงจาก โปรแกรม SPSS ได้ค่าสัมประสิทธิ์ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 และค่า Sig. น้อยกว่า 0.05

$$T_{rg} = 27.8(0.134 + 0.898T) - 0.053(RH) \quad (2)$$

ส่วนอุณหภูมิการแผ่รังสีความร้อนเฉลี่ย (T_{ra}) คำนวณจากอุณหภูมิ โกลบ (T_{rg}) อุณหภูมิอากาศ (T_a) และความเร็วลม (V)

ผลจากแบบสอบถามใช้หาค่า AMV (Actual Mean Vote) หรือความ สมัย ณ ปัจจุบันของผู้ที่อยู่ในห้องทดสอบ รวมถึงค่า PMV (Predicted Mean Vote) ที่ถูกคำนวณเพื่อทำนายความรู้สึกของผู้อาศัยตามมาตรฐาน ASHRAE 55 โดยสามารถแสดงเป็นกราฟความสัมพันธ์ของค่าทั้งสอง เทียบกับอุณหภูมิ Operative ดังรูปที่ 15 ซึ่งจะได้นำไปเป็นต้นตอ โดย ค่า PMV ที่คำนวณได้จะต่ำกว่าค่า AMV อยู่ 0.6 ± 0.4 °C เป็นการประเมิน ค่าว่าความเป็นจริง



รูปที่ 15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง AMV และ PMV

จากการประเมินหากมีการติดตั้งระบบปรับอากาศแบบไฟฟ้า กระแสตรงในขนาดเดียวกันที่รับไฟฟ้าที่ความต่างศักย์ 24 VDC และกระแส โดยเฉลี่ย 42.7 A จากแบตเตอรี่ของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบน หลังคา คัดจากพื้นที่ปรับอากาศจริงของผู้เก็บเงินค่าทางด่วน ที่มีพื้นที่พื้น 2.4 m² และปริมาตร 0.72 m³ ค่าตัวแปรระบบจะสามารถหาค่าความเย็นให้พื้นที่ ได้อย่างน้อย 3 ชั่วโมง เพื่อให้ทำให้ผู้ที่มีอุณหภูมิ 25 °C และความชื้นสัมพัทธ์ 50% และต้องการกำลังไฟฟ้า 1,025 W ในขณะที่ทำความเย็นได้ 1,553 W

หรือ 5,305 Btu/h หากเริ่มตั้งแต่ไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ประจุเต็มแล้วและเริ่มใช้งานระบบประมาณเที่ยงวัน จะใช้งานได้อย่างน้อย 3-6 ชั่วโมง โดยมีกำลังการทำความเป็นอยู่สูงสุดที่ประมาณ 5,700 Btu/h

5. สรุป

งานวิจัยนี้ได้ทดสอบระบบปรับอากาศที่ใช้คอมเพรสเซอร์กระแสตรง รับไฟฟ้าจากชุดแบตเตอรี่ของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาอาคาร ระบบปรับอากาศออกแบบมาให้มีกำลังการทำความร้อน 5,700 Btu/h รับกำลังไฟฟ้า 960 Watt ที่ความถี่ 24 VDC กระแสไฟฟ้า 42.3 A ระบบปรับอากาศสามารถรักษาอุณหภูมิภายในห้องอยู่ในช่วง 23-25°C ความชื้นสัมพัทธ์ 47-59 %RH ระบบทำความเย็นได้ 4,294 - 6,316 Btu/h หรือโดยเฉลี่ย 5,305 Btu/h เครื่องปรับอากาศทำงานและสามารถทำความร้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ประเมินความพึงพอใจต่อสภาวะน่าสบายได้ค่า AMV อยู่ในช่วงหนึ่งถึงค่อนข้างอุ่น แต่ส่วนใหญ่หนาวจนถึงค่อนข้างเย็น ประเมินว่าระบบจะสามารถทำความเย็นให้ผู้อยู่ในห้องได้เป็นอย่างดี 3 ชั่วโมง เพื่อให้อุณหภูมิ 25 °C และความชื้นสัมพัทธ์ 50% โดยต้องการกำลังไฟฟ้า 1,025 W และทำความเย็นได้โดยประมาณ 1,553 W แสดงว่ามีความเป็นไปได้ที่จะนำระบบปรับอากาศแบบไฟฟ้ากระแสตรงจากเซลล์แสงอาทิตย์ไปใช้สำหรับตู้เก็บเงินทางด่วน

6. กิจกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอแสดงความขอบคุณนักวิจัยและผู้ช่วยวิจัยจากห้องวิจัย IES ขอขอบคุณทุนวิจัยจากส่วนงานวิจัยและบริหารวิชาการ สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น รวมถึงอาสาสมัครที่เข้าร่วมการทดสอบ ตลอดจนฝ่ายอาคารสถานที่ซึ่งช่วยสนับสนุนการจัดแบ่งห้องทดสอบ

7. เอกสารอ้างอิง

- [1]. Green Energy Innovation (2017), The HSAC Line of Solar or Wind Air Conditioner, http://www.geinnovations.net/solar_air_conditioner.html
- [2]. A.A. Al-Ugla, M.A.I. El-Shaarawi, S.A.M. Said, A.M. Al-Qutub (2016), Techno-economic analysis of solar-assisted air-conditioning systems for commercial buildings in Saudi Arabia, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 54, pp. 1301-1310.
- [3]. Dan NchalelebeNkwetta, Jim Sandercock (2016), A state-of-the-art review of solar air-conditioning systems, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 60, pp. 1351-1366.

[4]. Easy Pass

(2017), http://www.easypass.com/electric/index.php?option=com_content&view=article&id=32&Itemid=6&lang=th

[5]. Motorval (2017), <http://www.motorval.com/cop-car-never-paid-toll>

[6]. ASHRAE (1997), *Fundamentals Handbook*, American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, New York.

[7]. Fanger P.O. (1980), *Thermal Comfort Analysis and Application in Environmental Engineering*, McGraw-Hill, New York, pp. 244.