

ประสิทธิภาพของพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์

ปริญญานิพนธ์

ของ

กัลป์ จิตรมั่นคง

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา

พฤษภาคม 2552

ประสิทธิภาพของพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์

ปริญญานิพนธ์

ของ

กัลป์ จิตรมั่นคง

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา

พฤษภาคม 2552

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ประสิทธิภาพของพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์

บทคัดย่อ

ของ

กัลป์ จิตรมั่นคง

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา

พฤษภาคม 2552

กัลป์ จิตรมันคง. (2552). *ประสิทธิภาพของพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์*.

ปริญญาานิพนธ์ กศ.ม (อุตสาหกรรมศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. คณะกรรมการควบคุม: อาจารย์ ดร.ไพรัช วงศ์ยุทธไกร,
อาจารย์โสภา สุธรวาน.

การวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อ ศึกษาประสิทธิภาพของพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์
ศึกษาอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ และศึกษาจุดคุ้มทุนจากการติดตั้งพัดลม
ระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์

โดยทำการติดตั้งพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์เข้ากับห้องทดสอบซึ่งใช้แทนห้อง
ในบ้านพักอาศัยที่มีการเปิดใช้เครื่องปรับอากาศเฉพาะช่วงเวลา 20.00 – 06.00 น. และกำหนดให้พัดลม
ระบายอากาศทำงานตามเงื่อนไขที่เป็นจริง 2 ประการ คือ ทำงานเฉพาะช่วงเวลา 17.00 – 20.00 น.
และทำงานเมื่ออุณหภูมิภายในห้องมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิภายนอกห้อง เพื่อนำอากาศจากภายนอกที่มี
อุณหภูมิต่ำเข้ามาภายในห้อง และการถ่ายเทอากาศภายในห้องที่มีอุณหภูมิสูงออกไป การถ่ายเทอากาศ
จะส่งผลให้อากาศภายในห้องมีอุณหภูมิลดต่ำลง ภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศก็จะ
ลดลงตามไปด้วย

ผลการศึกษาประสิทธิภาพของพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ พบว่า ประสิทธิภาพ
ด้านการทำงานเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด ประสิทธิภาพด้านการติดตั้ง การใช้งาน การบำรุงรักษาอยู่
ในเกณฑ์ดี และพัฒมขนาด 8 นิ้วมีประสิทธิภาพด้านผลจากการทำงานดีที่สุด กล่าวคือ 15 นาทีแรก
ของการทดสอบเป็นช่วงเวลาที่แตกต่างกันของอุณหภูมิภายใน-นอกห้องทดสอบมีค่ามากที่สุด โดยมี
ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.2°C เมื่อผ่าน 15 นาทีแรกของการทดสอบไปผลต่างของอุณหภูมิภายใน-นอกห้อง
ทดสอบมีค่าเฉลี่ยคงที่เท่ากับ 0.5°C

ผลการศึกษาอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ พบว่า การระบายอากาศ
ก่อนเปิดใช้เครื่องปรับอากาศช่วยให้ประหยัดพลังงานในการปรับอากาศได้ร้อยละ 17.86

ผลการศึกษาจุดคุ้มทุน พบว่า การระบายอากาศด้วยพัดลมพลังงานแสงอาทิตย์มีระยะเวลา
คืนทุนเท่ากับ 8.13 ปี และเพื่อให้คุ้มทุนรวดเร็วยิ่งขึ้นโดยใช้พัดลมไฟฟ้าแทนพัดลมพลังงาน
แสงอาทิตย์ พบว่า การระบายอากาศด้วยพัดลมไฟฟ้ามีระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 2.14 ปี

THE EFFICIENCY OF VENTILATION OF ELECTRIC FAN USING SOLAR ENERGY

AN ABSTRACT

BY

KUL CHITMANKHONG

Presented in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Master of Education Degree in Industrial Education
at Srinakharinwirot University

May 2009

Kul Chitmankhong. (2009). *The Efficiency of Ventilation of Electric Fan using Solar Energy*. Master thesis, M.Ed. (Industrial Education). Bangkok: Graduate School, Srinakharinwirot University. Advisor Committee: Dr. Pairust vongyuttakrai, Mr. Ophat Sukwan.

The purposes of this research were to study the efficiency of ventilation of electric fan using solar energy, to study ratio of air-conditioner's electricity consumption and to study breaking point of cost from installation of ventilation of electric fan using solar energy.

To install a ventilation fan using solar energy combined with a test room, which had replaced of housing where had been especially during 08.00 p.m. – 06.00 a.m. Through scheduling it followed as two conditions: work in particular during 05.00 p.m.-08.00 p.m. and also re-switched on when interior room temperature had more than exterior. This had because of air diffusion from outside to inside of room and furthermore the interior room ventilation was too high and therefore, the air ventilation would affect on lower interior room temperature, the air-conditioner cooling system was additionally declined.

The results of the efficiency of ventilation of electric fan using solar energy were observed that the task effectiveness in according to a regulation appointed, effectiveness of installation, user's guide, good-maintenance and 8-inch fan all were the best efficiency of its performance. This was said that the first fifteen minutes of this test was the time that during on the difference value of interior-exterior test room at most averaged at 2.2 Celsius. However, after the first fifteen minutes of those testing observed that the difference value between interior-exterior test room averaged at fix 0.5 Celsius.

The results of the ratio of air-conditioner's electricity consumption was found that any ventilation which is started before switching on pre-ventilation had effected to save higher energy up to 17.86 percent

The results of the breaking point of cost were found that ventilation of electric fan using solar energy equated at 8.13 years. In particular, for faster breaking point of cost return via electric fan instead of electric fan using solar energy found that the ventilation of electric fan has the breaking point of cost equated at 2.14 years.

ปริญญานิพนธ์
เรื่อง

ประสิทธิภาพของพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์

ของ
กัลป์ จิตรมั่นคง

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย สันติวัฒนกุล)
วันที่ เดือน พ.ศ. 2552

คณะกรรมการควบคุมปริญญานิพนธ์

คณะกรรมการสอบปากเปล่า

..... ประธาน
(อาจารย์ ดร. ไพรัช วงศ์ยุทธไกร)

..... ประธาน
(อาจารย์ ดร. อูบวิทย์ สุวคันธกุล)

..... กรรมการ
(อาจารย์ โสภาส สุขหวาน)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. ไพรัช วงศ์ยุทธไกร)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. อัมพร กุญชรรัตน์)

..... กรรมการ
(อาจารย์ โสภาส สุขหวาน)

ประกาศคุณูปการ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยความกรุณาของอาจารย์ ดร.ไพรัช วงศ์ยุทธไกร ประธานผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์ และอาจารย์โอภาส สุขหวาน กรรมการควบคุมปริญญานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำแหล่งข้อมูลในการศึกษาค้นคว้า ให้แนวคิดอันเป็นประโยชน์ และปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ตลอดจนช่วยปรับแก้รูปแบบของปริญญานิพนธ์จนแล้วเสร็จ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ ดร.อุปวิทย์ สุวคันทรกุล อาจารย์ผศ.ดร.ธีระพล เทพหัสดิน ณ อยุธยา อาจารย์ ผศ. สุวัฒน์ อัจฉริยนนท์ และอาจารย์ ดร.อัมพร กุญชรรัตน์ คณะกรรมการสอบเค้าโครงปริญญานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำในการจัดทำปริญญานิพนธ์ พร้อมทั้งให้ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงและจัดทำเอกสารปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

ท้ายที่สุดนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ บิดา มารดา พี่ๆ และคนใกล้ชิดทุกคน ที่คอยเป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนด้วยดีตลอดระยะเวลาในการศึกษาวิจัยครั้งนี้

กัลป์ จิตรมั่นคง

สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ.....	1
ภูมิหลัง.....	1
ความมุ่งหมายของการวิจัย.....	2
ความสำคัญของการวิจัย.....	3
ขอบเขตการวิจัย.....	3
กรอบแนวคิดการวิจัย.....	4
สมมุติฐานการวิจัย.....	4
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
สภาพแวดล้อมของที่พักอาศัยและการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกเข้าสู่อาคาร.....	5
การปรับอากาศ เครื่องปรับอากาศ และภาระการปรับอากาศ.....	21
การระบายอากาศและพัดลมระบายอากาศ.....	37
พลังงานทดแทนและเซลล์แสงอาทิตย์.....	40
ประสิทธิภาพของพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์.....	56
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	57
3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	62
ลำดับวิธีการวิจัย.....	63
ข้อมูลพื้นฐานที่ใช้ในการวิจัย.....	64
สถานที่ทดสอบ.....	65
ช่วงเวลาทำงานของพัดลมระบายอากาศ ขนาดพัดลมระบายอากาศ จำนวนพัดลมระบายอากาศ ตำแหน่งติดตั้งพัดลมระบายอากาศ และทิศทางระบายอากาศ.....	69
รายการเครื่องมือวัดที่ต้องใช้ในการวิจัย.....	70
การสร้างตารางเก็บข้อมูล และแบบประเมินประสิทธิภาพ.....	70
การคำนวณหาขนาดของอุปกรณ์ระบายอากาศ และการกำหนดรายการอุปกรณ์ระบายอากาศ.....	70
การตรวจสอบความถูกต้องของการคำนวณและรายการอุปกรณ์ที่นำมาใช้.....	79

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
2 (ต่อ)	
การติดตั้งอุปกรณ์.....	79
การทดสอบและเก็บข้อมูล.....	80
การประเมินประสิทธิภาพด้านการติดตั้ง การใช้งาน การบำรุงรักษา.....	80
การวิเคราะห์ข้อมูล.....	81
4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	82
ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้านประสิทธิภาพของพัดลมระบายอากาศ.....	82
ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้านอัตราการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศ.....	107
ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้านเศรษฐศาสตร์.....	109
5 สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	112
สรุปผลการวิจัย.....	112
อภิปรายผลการวิจัย.....	115
ข้อเสนอแนะ.....	120
บรรณานุกรม.....	122
ภาคผนวก.....	126
ภาคผนวก ก ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ.....	127
ภาคผนวก ข สถิติวิเคราะห์ข้อมูล.....	142
ภาคผนวก ค รายชื่อผู้เชี่ยวชาญ.....	147
ภาคผนวก ง หนังสือเชิญผู้เชี่ยวชาญ.....	149
ภาคผนวก จ แบบประเมินประสิทธิภาพด้านการติดตั้ง การใช้งาน การบำรุงรักษา.....	157
ภาคผนวก ฉ เครื่องมือวัดที่ใช้ในการวิจัย.....	161
ภาคผนวก ช การติดตั้งพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์.....	163
ประวัติย่อผู้วิจัย.....	166

บัญชีตาราง

ตาราง	หน้า
1 ช่วงอุณหภูมิภายในห้องปรับอากาศที่แนะนำสำหรับช่วงเดือนต่างๆ.....	33
2 ช่วงเวลาหน่วยความร้อนของวัสดุ.....	35
3 สมบัติทางฟิสิกส์ของอากาศที่ $T_f = 308 \text{ K}$	71
4 ลักษณะการทดสอบและการเก็บข้อมูล.....	80
5 ประสิทธิภาพด้านการทำงานของพัดลมระบายอากาศขนาด 6 นิ้ว.....	82
6 ประสิทธิภาพด้านการทำงานของพัดลมระบายอากาศขนาด 8 นิ้ว.....	84
7 ประสิทธิภาพการติดตั้ง การใช้งาน การบำรุงรักษาพัดลมระบายอากาศ.....	85
8 ข้อเสนอแนะจากผู้เชี่ยวชาญด้านการติดตั้ง การใช้งาน การบำรุงรักษา.....	86
9 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของ T_{out} s_2 s_1 time RH_{in} RH_{out} v ที่มีต่อ T_i	105
10 ความสัมพันธ์เชิงเส้นที่ T_{out} s_2 time RH_{in} มีต่อ T_i	106
11 แสดงพลังงานในการปรับอากาศ และพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศแบ่งตาม สภาพการระบายอากาศ.....	109
12 ข้อมูลจากการทดสอบครั้งที่ 1 ไม่มีพัดลม.....	128
13 ข้อมูลจากการทดสอบครั้งที่ 2 ไม่มีพัดลม.....	129
14 ข้อมูลจากการทดสอบครั้งที่ 3 ไม่มีพัดลม.....	129
15 ข้อมูลจากการทดสอบครั้งที่ 4 พัดลม 6 นิ้ว.....	130
16 ข้อมูลจากการทดสอบครั้งที่ 5 พัดลม 6 นิ้ว.....	130
17 ข้อมูลจากการทดสอบครั้งที่ 6 พัดลม 6 นิ้ว.....	131
18 ข้อมูลจากการทดสอบครั้งที่ 7 พัดลม 6 นิ้ว.....	131
19 ข้อมูลจากการทดสอบครั้งที่ 8 พัดลม 6 นิ้ว.....	132
20 ข้อมูลจากการทดสอบครั้งที่ 9 พัดลม 8 นิ้ว.....	132
21 ข้อมูลจากการทดสอบครั้งที่ 10 พัดลม 8 นิ้ว.....	133
22 ข้อมูลจากการทดสอบครั้งที่ 11 พัดลม 8 นิ้ว.....	133
23 ข้อมูลจากการทดสอบครั้งที่ 12 พัดลม 8 นิ้ว.....	134
24 ข้อมูลจากการทดสอบครั้งที่ 13 พัดลม 8 นิ้ว.....	134

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1 กรอบแนวคิดการวิจัย.....	4
2 การถ่ายเทความร้อนจากส่วนใกล้เคียงอาคาร.....	6
3 การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังอาคารวัสดุ n ชนิด.....	17
4 การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังอาคารวัสดุ n ชนิด และมีช่องว่างอากาศภายใน.....	18
5 แผนภูมิไซโครเมตริก.....	22
6 กระบวนการทำให้อากาศเย็นและแห้ง.....	23
7 อุปกรณ์หลักของเครื่องปรับอากาศ.....	25
8 วงจรการทำงานของเครื่องปรับอากาศ.....	26
9 P-h ไดอะแกรมของน้ำยา R-12.....	27
10 โครงสร้างของ P-h ไดอะแกรม.....	28
11 แสดงเส้นความดันคงที่ อุณหภูมิคงที่ ปริมาตรคงที่ เอนทัลปี เอนโทรปี.....	29
12 กระบวนการทำงานของเครื่องปรับอากาศ.....	30
13 P-h diagram ของเครื่องปรับอากาศ.....	31
14 การหาค่า h_1 และ h_2 จาก P-h diagram.....	31
15 การหาค่า h_1 และ h_2 กรณีเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของการระเหยให้สูงขึ้น.....	32
16 การไหลของความร้อนที่ห้องได้รับ.....	34
17 การหน่วงและคายความร้อนของวัสดุ.....	34
18 บริเวณความกดอากาศสูงและต่ำ.....	37
19 ผลของช่องเปิดกับสภาพการเคลื่อนไหวยของอากาศภายในห้อง.....	38
20 การจัดตำแหน่งกลอุปกรณ์ระบายอากาศ.....	39
21 ลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์ในกลุ่มที่ทำจากซิลิกอน.....	49
22 ส่วนประกอบของเซลล์แสงอาทิตย์.....	50
23 การผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์.....	51
24 โครงสร้างการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ในสภาวะไม่มีแสงแดด.....	52
25 การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนไปยังชั้น n – type และโฮลไปยังชั้น p type.....	52

บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
26 การเกิดกระแสไฟฟ้าเนื่องจากการเคลื่อนที่ไปจับคู่กันของอิเล็กตรอนและโฮล.....	53
27 ทิศทางการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์.....	54
28 ลำดับขั้นการวิจัย.....	63
29 ภาพถ่ายห้องทดสอบ.....	65
30 มิติห้องทดสอบ.....	65
31 มิติห้องทดสอบในทิศเหนือ.....	67
32 มิติห้องทดสอบในทิศใต้.....	67
33 มิติห้องทดสอบในทิศตะวันออก.....	68
34 มิติห้องทดสอบในทิศตะวันตก.....	69
35 การติดตั้งพัดลมระบายอากาศ 2 เครื่อง.....	70
36 แผนภูมิการกระจายอุณหภูมิ.....	74
37 อุปกรณ์ระบายอากาศและการต่อเชื่อม.....	78
38 ตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์ระบายอากาศ.....	79
39 กราฟแสดงอุณหภูมิในนอกในห้องทดสอบ วันที่ 19 กรกฎาคม 2551.....	87
40 กราฟแสดงอุณหภูมิในนอกในห้องทดสอบ วันที่ 26 กรกฎาคม 2551.....	88
41 กราฟแสดงอุณหภูมิในนอกในห้องทดสอบ วันที่ 2 สิงหาคม 2551.....	89
42 กราฟแสดงอุณหภูมิในนอกในห้องทดสอบ วันที่ 23 สิงหาคม 2551.....	90
43 กราฟแสดงอุณหภูมิในนอกในห้องทดสอบ วันที่ 30 สิงหาคม 2551.....	91
44 กราฟแสดงอุณหภูมิในนอกในห้องทดสอบ วันที่ 6 กันยายน 2551.....	92
45 กราฟแสดงอุณหภูมิในนอกในห้องทดสอบ วันที่ 20 กันยายน 2551.....	93
46 กราฟแสดงอุณหภูมิในนอกในห้องทดสอบ วันที่ 27 กันยายน 2551.....	94
47 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยอุณหภูมิในนอกในห้องทดสอบ ของพัดลม 6 นิ้ว.....	95
48 กราฟแสดงอุณหภูมิในนอกในห้องทดสอบ วันที่ 8 พฤศจิกายน 2551.....	96
49 กราฟแสดงอุณหภูมิในนอกในห้องทดสอบ วันที่ 15 พฤศจิกายน 2551.....	97
50 กราฟแสดงอุณหภูมิในนอกในห้องทดสอบ วันที่ 22 พฤศจิกายน 2551.....	98
51 กราฟแสดงอุณหภูมิในนอกในห้องทดสอบ วันที่ 29 พฤศจิกายน 2551.....	99

บัญชีภาพประกอบ(ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
52 กราฟแสดงอุณหภูมิในหอทดสอบ วันที่ 6 ธันวาคม 2551.....	100
53 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในหอทดสอบกับขนาดพัดลม.....	101
54 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในหอทดสอบกับระยะเวลาระบายอากาศ.....	102
55 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในหอทดสอบกับอุณหภูมินอกหอทดสอบ.....	103
56 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์กับอุณหภูมิในหอทดสอบ.....	104
57 ความชื้นสัมพัทธ์ภายในหอทดสอบ ข้อมูลจากการทดสอบครั้งที่ 1.....	135
58 ความชื้นสัมพัทธ์ภายในหอทดสอบ ข้อมูลจากการทดสอบครั้งที่ 2.....	135
59 ความชื้นสัมพัทธ์ภายในหอทดสอบ ข้อมูลจากการทดสอบครั้งที่ 3.....	136
60 ความชื้นสัมพัทธ์ภายในหอทดสอบ ข้อมูลจากการทดสอบครั้งที่ 4.....	136
61 ความชื้นสัมพัทธ์ภายในหอทดสอบ ข้อมูลจากการทดสอบครั้งที่ 5.....	137
62 ความชื้นสัมพัทธ์ภายในหอทดสอบ ข้อมูลจากการทดสอบครั้งที่ 6.....	137
63 ความชื้นสัมพัทธ์ภายในหอทดสอบ ข้อมูลจากการทดสอบครั้งที่ 7.....	138
64 ความชื้นสัมพัทธ์ภายในหอทดสอบ ข้อมูลจากการทดสอบครั้งที่ 8.....	138
65 ความชื้นสัมพัทธ์ภายในหอทดสอบ ข้อมูลจากการทดสอบครั้งที่ 9.....	139
66 ความชื้นสัมพัทธ์ภายในหอทดสอบ ข้อมูลจากการทดสอบครั้งที่ 10.....	139
67 ความชื้นสัมพัทธ์ภายในหอทดสอบ ข้อมูลจากการทดสอบครั้งที่ 11.....	140
68 ความชื้นสัมพัทธ์ภายในหอทดสอบ ข้อมูลจากการทดสอบครั้งที่ 12.....	140
69 ความชื้นสัมพัทธ์ภายในหอทดสอบ ข้อมูลจากการทดสอบครั้งที่ 13.....	141

บทที่ 1

บทนำ

ภูมิหลัง

วิกฤตการณ์พลังงานที่เกิดขึ้นส่งผลกระทบต่อประเทศไทยซึ่งอยู่ในฐานะผู้นำเข้าพลังงาน แนวยุทธศาสตร์การแก้ไขปัญหาวิกฤตการณ์พลังงานของประเทศจึงมุ่งเน้นไปที่เรื่องของการอนุรักษ์พลังงาน ในทุกภาคส่วน(เวทีทรรคนะ. 2547: 7) เมื่อพิจารณาสัดส่วนของการใช้พลังงานในภาคที่อยู่อาศัย พบว่ามีสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าอยู่ที่ร้อยละ 25 ของปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดภายในประเทศ (บุรณะศักดิ์ มาดหมาย. 2547: 182) และร้อยละ 60 สูญเสียไปกับการปรับอากาศ (ไพศาล ห่อฉิมวงศ์. 2547: 1) รวมถึงยุทธศาสตร์ของการแก้ไขปัญหาวิกฤตการณ์พลังงานอีกข้อหนึ่ง คือ การเร่งใช้พลังงานทดแทน (เวทีทรรคนะ. 2547: 7) สำหรับประเทศไทยพลังงานแสงอาทิตย์นับว่าเป็นพลังงานทดแทนที่มีความพร้อมในการนำมาใช้งานค่อนข้างสูง เนื่องจากประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตร้อนมีแสงแดดแรงตลอดปี ที่สำคัญพลังแสงอาทิตย์เป็นพลังที่สะอาด ไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน: ออนไลน์)

ความจำเป็นในการใช้เครื่องปรับอากาศเป็นผลมาจากความต้องการความสบายในการอยู่อาศัย การปรับอุณหภูมิอากาศภายในห้องให้ต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก จำเป็นต้องดึงความร้อนออกจากห้องในอัตราที่ห้องได้รับ เรียกอัตราความร้อนที่เครื่องปรับอากาศดึงออกจากห้องว่า ภาระการทำความเย็น การลดภาระการทำความเย็นลงจึงเท่ากับเป็นการลดพลังงานไฟฟ้าที่ต้องสูญเสียให้กับเครื่องปรับอากาศ (สุรพล พฤษพานิช. 2529: 95) การลดภาระการทำความเย็นอาจเริ่มกระทำตั้งแต่ขั้นตอนของการออกแบบก่อสร้าง เช่นการหันส่วนที่แคบของอาคารไปทางทิศตะวันออกและทิศตะวันตก การปลูกต้นไม้บังแดด การใช้อุปกรณ์บังแดด การใช้กันสาด การใช้กระจกสะท้อนความร้อน การใช้ฉนวนมวลเบาที่มีค่าการถ่ายเทความร้อนต่ำ และการใช้ฉนวนกันความร้อน ซึ่งมีผลทำให้ภาระการทำความเย็นลดลงอย่างชัดเจน (วัชร มั่งวิทิทกุล. 2544: 64-81) แต่วิธีข้างต้นอาจถูกจำกัดโดยต้นทุนดำเนินการและสถานที่ก่อสร้าง นอกจากนี้ปัญหาสำคัญอีกประการหนึ่ง ก็คือ ความนิยมใช้วัสดุก่อสร้างที่มีค่าการดูดซับ การหน่วง และการคายความร้อนสูง เช่น ผนังก่ออิฐฉาบปูน หลังคาคอนกรีต โดยวัสดุประเภทนี้ จะเก็บและหน่วงความร้อนได้ดีในช่วงเวลากลางวัน แต่จะคายความร้อนออกมาในช่วงเวลากลางคืน ซึ่งไม่เป็นผลดีต่อการปรับอากาศในช่วงเวลากลางคืน (สุรพล พฤษพานิช. 2529: 97)

การแก้ปัญหาเรื่องการคายความร้อนของวัสดุก่อสร้างอาคารกระทำโดยการเปิดประตูหน้าต่างในช่วงเวลาเย็นถึงค่ำเพื่อระบายความร้อน วิธีการนี้เป็นวิธีระบายอากาศโดยธรรมชาติซึ่งจะได้ผลดีก็ต่อเมื่อช่องเปิดในตัวอาคารมีมากพอ ทิศทางของกระแสลมสอดคล้องกับช่องเปิด และมีความรุนแรงมากเพียงพอ (ตรึงใจ บุญสมภพ. 2539: 66) จึงเป็นการยากที่จะหวังผลด้านการระบายความร้อนจากวิธีการนี้ แต่สามารถแก้ปัญหาได้โดยการใช้พัดลมระบายอากาศ ซึ่งก็ต้องสูญเสียพลังงานไฟฟ้าไปอีกจำนวนหนึ่ง

พิจารณาโดยรวมจากสภาพการณ์ที่เป็นอยู่จะเห็นว่า การปรับอากาศเพื่อสร้างความสุขสบายนั้นเป็นเรื่องจำเป็น แต่พลังงานไฟฟ้าส่วนหนึ่งที่ต้องสูญเสียให้กับเครื่องปรับอากาศเพื่อใช้ในการดึงความร้อนออกจากวัสดุก่อสร้างนั้นเป็นการสูญเสียที่ไม่คุ้มค่า การแก้ปัญหาโดยวิธีระบายอากาศโดยธรรมชาติก็มีข้อจำกัด การใช้พัดลมระบายอากาศก็ต้องอาศัยพลังงานไฟฟ้า สภาพการณ์ที่เป็นอยู่จึงควรได้รับการแก้ไข

วิธีการหนึ่งที่สามารถทำได้ คือ การใช้พัดลมพลังงานแสงอาทิตย์ช่วยระบายความร้อนออกจากห้องในช่วงเวลาเย็น เพื่อปรับลดอุณหภูมิอากาศภายในห้องให้มีค่าลดลงก่อนที่จะมีการเปิดใช้เครื่องปรับอากาศในช่วงเวลากลางคืน วิธีการนี้จะช่วยให้ภาระการทำงานของเครื่องปรับอากาศที่ทำงานในช่วงกลางวันลดลง และส่งผลดีด้านการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าอีกประการหนึ่งด้วย

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาวิจัยเรื่อง ประสิทธิภาพของพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ โดยทำการติดตั้งพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์เข้ากับห้องทดสอบ ซึ่งใช้แทนห้องในบ้านพักอาศัยที่มีการเปิดใช้เครื่องปรับอากาศเฉพาะช่วงเวลากลางคืน เพื่อระบายความร้อนออกจากห้องทดสอบก่อนเปิดใช้เครื่องปรับอากาศ ซึ่งผลการวิจัยจะทำให้ทราบถึง ประสิทธิภาพของพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ การลดลงของพลังงานไฟฟ้าที่ใช้การปรับอากาศ และความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์จากการใช้พัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์

ความมุ่งหมายของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 6 นิ้วและ 8 นิ้ว
2. เพื่อศึกษาอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ กรณีเปิดใช้เครื่องปรับอากาศทันที กับกรณีทำการระบายอากาศภายในห้องก่อนเปิดใช้เครื่องปรับอากาศ
3. เพื่อศึกษาจุดคุ้มทุนจากการติดตั้งพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์

ความสำคัญของการวิจัย

1. ได้พัฒนาระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ทำงานอัตโนมัติ ที่สามารถปรับลดอุณหภูมิอากาศภายในห้องในเวลา 20.00 น. ให้มีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิอากาศภายนอกห้องในเวลาเดียวกัน โดยมีผลต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศภายในห้องกับอุณหภูมิอากาศภายนอกห้องไม่เกิน 1 องศาเซลเซียส
2. ได้แนวทางในการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าที่ต้องใช้ในการปรับอากาศ สำหรับบ้านพักอาศัย

ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้นำพัฒนาระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์มาติดตั้งเข้ากับห้องปรับอากาศ ซึ่งพัฒนาระบายอากาศจะเริ่มทำงานและหยุดทำงานโดยอัตโนมัติก่อนที่จะมีการปรับอากาศ โดยผู้วิจัยได้กำหนดขอบเขตของการวิจัยไว้ ดังนี้

1. ใช้พัฒนาระบายอากาศแบบติดกระจก ชื่อการค้า Hatairi ขนาดใบพัด 6 นิ้ว 220 V / 14 W / 0.13 A ให้อัตราการระบายอากาศเท่ากับ $3.5 \text{ m}^3/\text{min}$ และขนาดใบพัด 8 นิ้ว 220 V / 35 W / 0.18 A ให้อัตราการระบายอากาศเท่ากับ $9.8 \text{ m}^3/\text{min}$ ประกอบการวิจัย
2. ใช้เซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 100 W ประกอบการวิจัย โดยคำนวณหาขนาดของเซลล์แสงอาทิตย์จากค่าพลังงานที่พัฒมขนาด 8 นิ้ว 2 เครื่องต้องการใช้ในเวลา 3 ชั่วโมง
3. พัฒนาระบายอากาศทำงานตามเงื่อนไขที่เป็นจริง 2 ประการ คือ
 - 3.1 ทำงานในเวลา 17.00 – 20.00 น.
 - 3.2 ทำงานเมื่ออุณหภูมิอากาศภายในห้องมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกห้อง
4. การเก็บข้อมูลจะกระทำในเวลา 17.00 – 20.00 น.
5. ใช้ห้องประชุมของสาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เป็นห้องทดสอบ
6. ตัวแปรที่ศึกษา
 - 6.1 ตัวแปรต้น ประกอบด้วย พัฒนาระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 6 และ 8 นิ้ว
 - 6.2 ตัวแปรตาม ประกอบด้วย
 - 6.2.1 ประสิทธิภาพของพัฒนาระบายอากาศ
 - 6.2.1 อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ
 - 6.2.2 จุดคุ้มทุนจากการติดตั้งพัฒนาระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์
7. นิยามศัพท์เฉพาะ
 - 7.1 ประสิทธิภาพของพัฒนาระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ แบ่งเป็น 3 ด้าน
 - 7.1.1 ด้านการทำงาน หมายถึง ความสามารถในการทำงานของพัฒนาระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 6 นิ้วและ 8 นิ้ว ตลอดระยะเวลา 3 ชั่วโมง

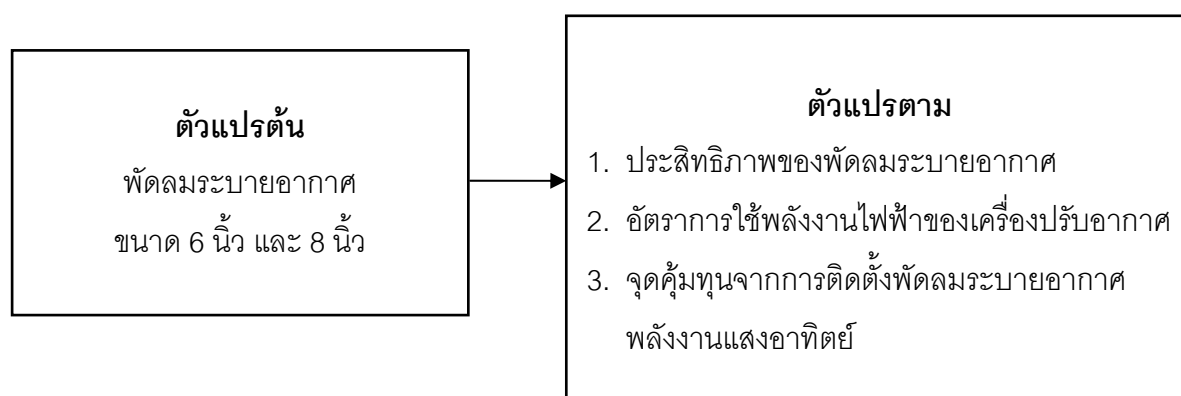
7.1.2 ด้านการติดตั้ง การใช้งาน และการบำรุงรักษา หมายถึง ความเหมาะสมด้านการติดตั้ง การใช้งาน และการบำรุงรักษาพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 6 นิ้วและ 8 นิ้ว

7.1.3 ด้านผลจากการทำงาน หมายถึง การลดลงของอุณหภูมิภายในห้องทดสอบ เนื่องจากการทำงานของพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 6 นิ้วและ 8 นิ้ว

7.2 อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ หมายถึง พลังงานไฟฟ้าที่เครื่องปรับอากาศต้องใช้เพื่อปรับลดอุณหภูมิก่อนการปรับอากาศลงมาเป็นอุณหภูมิปรับอากาศ

7.3 จุดคุ้มทุนจากการติดตั้งพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ หมายถึง ระยะเวลาที่เงินลงทุนติดตั้งพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์มีค่าเท่ากับค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าซึ่งเกิดจากการใช้เครื่องปรับอากาศที่ประหยัดได้

กรอบแนวคิดการวิจัย



ภาพประกอบ 1 กรอบแนวคิดของการวิจัย

สมมุติฐานของการวิจัย

พัดลมระบายอากาศมีประสิทธิภาพ สามารถทำให้อุณหภูมิอากาศภายในห้องทดสอบลดลงจนมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิอากาศภายนอกห้องในระยะเวลาเดียวกัน โดยมีผลต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศภายในห้องกับอุณหภูมิอากาศภายนอกห้องไม่เกิน 1 องศาเซลเซียส

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยได้นำเสนอตามหัวข้อต่อไปนี้

1. สภาพแวดล้อมของที่พักอาศัยและการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกเข้าสู่อาคาร
2. การปรับอากาศ เครื่องปรับอากาศ และภาระการปรับอากาศ
3. การระบายอากาศ และพัดลมระบายอากาศ
4. พลังงานทดแทน และเซลล์แสงอาทิตย์
5. ประสิทธิภาพของพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์
6. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

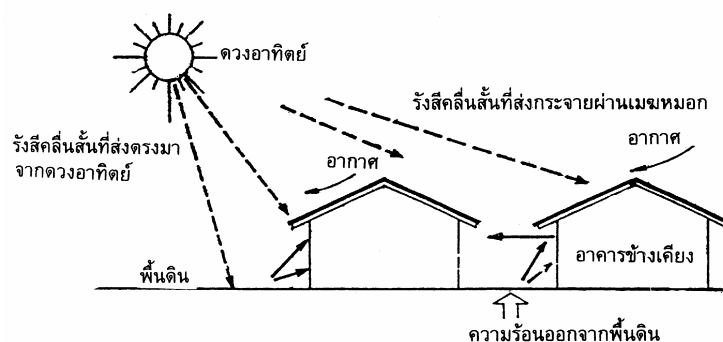
1. สภาพแวดล้อมของที่พักอาศัยและการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกเข้าสู่อาคาร

1.1 อิทธิพลของสภาพแวดล้อมภายนอกที่มีผลต่อที่พักอาศัย

ไพโรจน์ แสงจันทร์ (2536: 55-79) ได้กล่าวถึง อิทธิพลของสภาพแวดล้อมภายนอกที่มีผลต่ออาคารพักอาศัยไว้ว่า การปลูกสร้างอาคารที่พักอาศัยของมนุษย์นั้นเป็นผลมาจากความต้องการแหล่งพักอาศัยที่ปลอดภัย ให้ความสุข สะดวกสบาย ดังนั้นการศึกษาเพื่อให้ทราบถึงลักษณะของสภาพแวดล้อมภายนอก เพื่อนำมาพิจารณาปรับสภาพของอาคารที่พักให้สอดคล้องเหมาะสมกับการอยู่อาศัย โดยปราศจากสิ่งรบกวนตามธรรมชาติจึงเป็นเรื่องที่สำคัญยิ่ง องค์ประกอบของสภาพแวดล้อมภายนอกที่มีอิทธิพลต่ออาคารที่พักอาศัยและผู้อยู่อาศัย ที่สำคัญมีดังนี้

1.1.1 รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ (Radiation)

รังสีความร้อนที่โลกได้รับจากดวงอาทิตย์ และมีผลต่ออาคารที่พักอาศัยจะมีอยู่ 5 ประการด้วยกัน คือ 1) รังสีคลื่นสั้นที่ส่งตรงมาจากดวงอาทิตย์ 2) รังสีคลื่นสั้นที่ส่งกระจายผ่านเมฆหมอก 3) รังสีคลื่นสั้นที่สะท้อนจากพื้นดิน 4) รังสีคลื่นยาวจากพื้นดินร้อน และวัตถุอื่นๆ ที่อยู่ใกล้เคียง 5) รังสีคลื่นยาวที่ส่งออกไปถ่ายเทระหว่างสิ่งก่อสร้างและท้องฟ้า ดังภาพประกอบ 2



ภาพประกอบ 2 แสดงการถ่ายเทความร้อนจากส่วนใกล้เคียงอาคาร

ที่มา: ไพโรจน์ แสงจันทร์. (2536). สถาปัตยกรรมบ้านพักอาศัย. หน้า 59.

ภายในอาคารจะได้รับความร้อนจากรังสีของดวงอาทิตย์เล็กน้อยเพียงไร่นั้น ขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้ประกอบเป็นอาคารนั้นๆ ว่าจะมีคุณสมบัติในการดูดซึม สะท้อน หรือถ่ายเทความร้อนเป็นอย่างไร โดยทั่วไปอัตราการถ่ายเทความร้อนเข้าและออกจากอาคารจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติด้าน ความสามารถในการนำความร้อน ความต้านทานความร้อน การส่งถ่ายความร้อน ลักษณะของผิวสัมผัสวัสดุที่ทำให้เกิดความสามารถในการดูดซึมความร้อน การสะท้อนความร้อน การแผ่ความร้อน การคายความร้อน และความจุความร้อน

การถ่ายเทความร้อนของวัสดุมีหลักอยู่ 3 ประการ คือ

1.1.1.1 การนำความร้อน (Conduction) เกิดจากความร้อนไหลผ่านวัตถุอย่างหนึ่งไปสู่วัตถุอีกอย่างหนึ่งที่สัมผัสกัน โดยความสามารถในการนำความร้อนนี้ขึ้นอยู่กับความหนาแน่น ความชื้น และความแตกต่างของระดับความร้อน วัสดุที่เป็นตัวนำความร้อนที่ดี เช่น โลหะ หิน คอนกรีต เป็นต้น ส่วนวัสดุที่นำความร้อนได้ไม่ดี เช่น โยฟิซ ไม้ เป็นต้น

1.1.1.2 การพาความร้อน (Convection) เกิดขึ้นในของไหล ซึ่งมีความหนาแน่นต่างกัน ทำให้ของไหลเกิดการเคลื่อนที่ และการเคลื่อนที่นี้เองทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อน เช่น การระเหยของน้ำ

1.1.1.3 การแผ่รังสีความร้อน (Radiation) เป็นขบวนการที่เกิดขึ้นเมื่อความร้อนแผ่ออกจากวัสดุและเคลื่อนที่ไปในอากาศสู่วัตถุอีกชนิดหนึ่ง ความมากน้อยของการแผ่รังสีความร้อนขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของวัตถุและธรรมชาติของวัตถุ (ไพโรจน์ แสงจันทร์. 2536: 60-61)

1.1.2 อุณหภูมิ (Temperature)

อุณหภูมิ เป็นชี้บอกความรู้สึกร้อนหนาว หรือเป็นการวัดระดับความหนาแน่นของความร้อน ถ้าอุณหภูมิสูงเป็นเครื่องชี้ว่าระดับของความร้อนมีมาก ทำให้ร่างกายรู้สึกร้อน ในทางตรงกันข้าม ถ้าอุณหภูมิต่ำเป็นเครื่องชี้ว่าระดับของความร้อนน้อย ทำให้ร่างกายรู้สึกเย็น (สมศักดิ์ สุโมทยกุล. 2542: 20) ดังนั้นอุณหภูมิของอากาศภายในอาคารจึงส่งผลโดยตรงต่อความรู้สึกร้อนหนาวของผู้อยู่อาศัย การออกแบบอาคารที่พักอาศัยจึงจำเป็นต้องพิจารณาเรื่องอุณหภูมิด้วย เพื่อหาทางปรับปรุงอุณหภูมิให้ผู้อยู่อาศัยได้รับความสบาย

การพิจารณาผลกระทบของอุณหภูมิที่มีผลต่อการออกแบบอาคารนั้นต้องพิจารณาโดยรวม กล่าวคือ อุณหภูมิที่แวดล้อมผู้อยู่อาศัยโดยตรง ซึ่งหมายถึงความร้อนหนาวที่เกิดจากสภาพอากาศรอบๆ ตัวกับอุณหภูมิภายในร่างกายผู้อยู่อาศัย อุณหภูมิทั้งสองนี้จะมีปฏิสัมพันธ์กันทำให้เกิดความรู้สึกสบายหรือไม่สบายแก่ผู้อยู่อาศัย ดังนั้นความสัมพันธ์ของอุณหภูมิที่ต้องพิจารณาจึงมี 3 ระดับคือ

1.1.2.1 อุณหภูมิภายนอกอาคาร ซึ่งเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพแวดล้อม ตำแหน่งที่ตั้ง สภาพภูมิอากาศ และฤดูกาล อุณหภูมิภายนอกส่งผลโดยตรงต่ออุณหภูมิภายในอาคาร ซึ่งอาจดัดแปลงให้เหมาะสมกับสภาพการอยู่อาศัยได้ โดยการออกแบบทางสถาปัตยกรรม

1.1.2.2 อุณหภูมิภายในอาคาร ขึ้นตรงต่ออุณหภูมิภายนอกอาคาร คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้สร้างอาคาร และการออกแบบอาคาร

1.1.2.3 อุณหภูมิในร่างกายมนุษย์ จุดมุ่งหมายของการออกแบบสภาพแวดล้อมคือ การทำให้ผู้อยู่อาศัยมีความรู้สึกสบาย ดังนั้นอุณหภูมิภายในบริเวณที่พักอาศัยจะต้องเหมาะสมและสัมพันธ์กับอุณหภูมิภายในร่างกาย กล่าวคือการพิจารณาระดับอุณหภูมิที่พอเหมาะนั้นขึ้นอยู่กับเกณฑ์สภาวะสบายของผู้อยู่อาศัย (ไพโรจน์ แสงจันทร์. 2536: 61-62)

1.1.3 การเคลื่อนไหวของอากาศที่ทำให้เกิดลม

ลม คือ การเคลื่อนไหวของอากาศ เกิดขึ้นจากความแตกต่างของความกดอากาศ และความแตกต่างของอุณหภูมิ (ตริงใจ บุรณสมภพ. 2539: 26) การเคลื่อนไหวของอากาศหรือลมจะเคลื่อนไหวหรือพัดจากพื้นที่ที่มีความกดอากาศสูง ไปยังพื้นที่ที่มีความกดอากาศต่ำ สำหรับประเทศไทยลมที่พัดประจำและเป็นผลกระทบอย่างหนึ่งที่ต้องนำมาพิจารณาร่วมกับการออกแบบอาคารที่พักอาศัย ก็คือ ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ซึ่งเป็นลมฝน กับลมจากทิศเหนือและทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งเป็นลมหนาว (ไพโรจน์ แสงจันทร์. 2536: 63)

1.1.3.1 กระแสลม กระแสลมที่เกิดจากการเคลื่อนไหวของอากาศนั้น มีอิทธิพลต่อความรู้สึกสบายของมนุษย์ เพราะสามารถช่วยระบายความร้อนที่เกิดจากสภาพบรรยากาศโดยรอบ และจากตัวของมนุษย์เอง กระแสลมที่มีความเร็วพอเหมาะที่ทำให้เกิดความรู้สึกสบายตัวคือ 1.6-3.3 ฟุต/วินาที

1.1.3.2 การระบายอากาศ หมายถึง การเปลี่ยนเอาอากาศเก่าในห้องออกไปและมีอากาศใหม่ที่มีความสดชื่นมากกว่าเข้ามาแทนที่ การระบายอากาศในอาคารที่พักอาศัยเป็นปัจจัยที่สำคัญยิ่ง เพราะจะทำให้ผู้อยู่อาศัยได้รับความสุขสบายจากการลดความร้อนภายในอาคารให้ได้ อุณหภูมิที่เหมาะสมกับอุณหภูมิของร่างกาย และเพื่อให้เกิดการระบายอากาศที่ดี ควรจัดให้ช่องทางอากาศเข้ามีขนาดเล็กกว่าช่องทางอากาศออกและอยู่ในทิศทางตรงข้ามกัน และอาจใช้อุปกรณ์ป้องกันแดด บานเกล็ด มาช่วยบังคับทิศทางและปริมาณอากาศเข้าออกจากห้องเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดด้านการระบายอากาศ

1.1.3.3 ทิศทางลม หมายถึง ทิศทางที่กระแสลมเคลื่อนที่จากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะ คือ

1.1.3.3.1 ทิศทางลมที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ สำหรับประเทศไทยนั้นมีลมมรสุมที่ถือว่าเป็นลมประจำคือ ลมตะวันตกเฉียงใต้ ซึ่งเป็นลมในฤดูฝน พัดเข้าสู่ประเทศไทยในเดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม รวมระยะเวลา 5 เดือน ลมมรสุมนี้จะพัดเอาอากาศอุ่นและชื้นมาจากมหาสมุทรอินเดียทำให้เกิดฝนตกทั่วไป ในช่วงที่สองของลมมรสุม คือ ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งเริ่มต้นประมาณกลางเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนกุมภาพันธ์ ลมในช่วงนี้จะนำความเย็นจากประเทศจีนเข้ามาทางทิศเหนือและทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งเรียกกันว่าลมหนาว เมื่อลมหนาวอ่อนกำลังลง กระแสลมจากทะเลจีนใต้จะเริ่มพัดเข้าสู่ประเทศไทยทางทิศใต้และทิศตะวันออกเฉียงใต้ ระยะเวลาเป็นระยะที่ดวงอาทิตย์เลื่อนจากใต้ขึ้นมาทางเหนืออยู่ในละติจูดของประเทศไทย จึงเป็นช่วงที่มีอากาศร้อนมาก โดยเฉพาะช่วงเดือนเมษายนถึงเดือนพฤษภาคม

1.1.3.3.2 ทิศทางลมที่เกิดจากการดัดแปลง สำหรับประเทศไทยปัจจัยทางภูมิอากาศที่ต้องการนั้น นอกจากแสงแดดที่เหมาะสมแล้วยังต้องการกระแสลมเย็นเพื่อมาบรรเทาความร้อนที่เกิดขึ้นเพื่อให้เกิดความรู้สึกเย็นลงและสบาย การจัดทิศทางของกระแสลมให้เหมาะสมกับสภาพของลมนับว่ามีความสำคัญมาก เช่น หากจัดให้ลมในฤดูหนาวพัดขึ้นสู่เพดานจะเกิดประโยชน์มากกว่าการจัดให้ลมในฤดูนี้พัดผ่านร่างกายผู้อยู่อาศัยโดยตรง เพราะลมเย็นในฤดูนี้จะเคลื่อนที่เข้ามาผสมกับอากาศภายในห้องและวกตกลงสู่พื้นเบื้องล่าง (ไพโรจน์ แสงจันทร์. 2536: 64-69)

1.1.4 ฝน

ฝน คือ การกลั่นตัวเป็นหยดน้ำของไอน้ำในอากาศ โดยทั่วไปฝนนั้นมีทั้งประโยชน์และโทษ ด้านประโยชน์ก็คือ ให้ความชุ่มชื้น ลดความร้อนภายในอาคาร ส่วนทางด้านโทษก็คือ ทำให้เกิดความชื้นสูง ทำให้เกิดเชื้อรา อาจเกิดการรื้อซึมเข้าภายในอาคาร ทำให้โครงสร้างและส่วนประกอบของอาคารเกิดความเสียหาย และโดยทั่วไปอาคารมักตั้งขวางทิศทางลมเพื่อรับลมได้อย่างเต็มที่ ซึ่งอาจทำให้น้ำฝนสาดเข้าภายในอาคารได้โดยง่าย (ไพโรจน์ แสงจันทร์. 2536: 75)

1.1.5 ความชื้น

ความชื้น คือ ละอองไอน้ำในอากาศ สามารถกล่าวได้หลายทาง แต่ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบคือ ความชื้นสัมพัทธ์และจุดที่กลั่นตัวเป็นหยดน้ำ ความชื้นสัมพัทธ์วัดได้จากอัตราส่วนของจำนวนไอน้ำในอากาศกับจำนวนไอน้ำสูงสุดที่อากาศในอุณหภูมินั้นสามารถอุ้มเอาไว้ได้ ความชื้นสัมพัทธ์ 0% หมายถึง อากาศแห้งสนิท ถ้าความชื้นสัมพัทธ์ 100% หมายถึง อากาศอิ่มตัว คือ ณ อุณหภูมินั้นอากาศไม่สามารถอุ้มน้ำต่อไปได้ จึงกลั่นตัวเป็นฝน หมอก หรือน้ำค้าง

ความชื้นสัมพัทธ์ จะแตกต่างกันไปในแต่ละเวลาและสถานที่ แต่จะสูงสุดในช่วงเวลาใกล้รุ่ง เพราะอุณหภูมิจะลดลงต่ำสุด และความชื้นสัมพัทธ์จะลดต่ำลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น ความชื้นเป็นสาเหตุประการหนึ่งที่ทำให้วัสดุก่อสร้างและวัสดุตกแต่งอาคารเกิดความเสียหาย ความชื้นสามารถนำเชื้อโรค เชื้อราต่างๆ มาสู่มนุษย์ได้ ปัญหาของความชื้นที่เกาะอยู่ตามวัสดุก่อสร้างเป็นเวลานานๆ จะทำให้วัสดุนั้นผุพังเสียหายในที่สุด ดังนั้นประการสำคัญสิ่งในการออกแบบ คือ การให้มีการระบายอากาศได้สะดวกเพื่อให้อากาศบริสุทธิ์ได้เข้ามาพัดไล่ความชื้นให้ระเหยตัวออกไป (ตริ่งใจ บุรณสมภพ. 2539: 24-25)

จากการศึกษาเรื่องอิทธิพลของสภาพแวดล้อมภายนอกที่มีผลต่ออาคารที่พักอาศัย ทำให้ผู้วิจัยทราบว่ารังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ เป็นเหตุปัจจัยสำคัญที่ก่อให้เกิดความร้อนขึ้นในอาคารที่พักอาศัย ซึ่งความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์สามารถถ่ายเทเข้าสู่อาคารที่พักอาศัยได้โดยการนำ การพา และการแผ่รังสี ดังนั้นการป้องกันความร้อนที่จะเข้าสู่อาคารโดยการนำ การพา และการแผ่รังสี จึงเป็นวิธีที่น่าจะให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดที่จะทำให้ผู้อยู่อาศัยเกิดความสบาย แต่ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีสภาพอากาศแบบร้อนชื้น ดังนั้นถึงแม้จะสามารถป้องกันความร้อนไม่ให้เข้าสู่อาคารได้ในทุกทาง แต่ในบางฤดูกาลด้วยอุณหภูมิและความชื้นที่สูงเกินไปอาจก่อให้เกิดสภาวะรบกวนความสบายของการพักอาศัยภายในอาคารขึ้นได้ การปลูกสร้างอาคารจึงมีอาจจะเลยเรื่องของกระแสลมและการระบายอากาศ ด้วยเหตุที่กระแสลมในปริมาณที่เหมาะสมสามารถช่วยระบายความร้อนและความชื้นที่เกิดจากสภาพอากาศได้ สำหรับประเทศไทยมีลมมรสุมพัดผ่านตลอดทั้งปี หากสามารถนำกระแสลมธรรมชาติมาใช้ระบายความร้อนและความชื้นออกจากอาคารก็เป็นประโยชน์ในการสร้างสภาวะสบายเป็นอย่างมาก

1.2 ความเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมที่มีผลต่ออาคารที่พักอาศัย

สุนทร บุญญาธิการ (2542: 10-13) ได้กล่าวถึง ความเปลี่ยนแปลงด้านสภาพแวดล้อมของประเทศไทย ไว้ว่า สภาพแวดล้อมและระบบธรรมชาติที่สมบูรณ์ ซึ่งเคยเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดต่อสภาพนาอยู่ของบ้านไทยในอดีตได้เลือนหายไปจากเมืองไทยแล้ว คงจะดีไม่น้อยหากบรรยากาศและการอยู่กับสภาพแวดล้อมในอดีตจะยังคงสภาพเดิมไว้โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลง เพราะพวกเขาคงจะ

ยังสามารถอยู่อาศัยในบ้านแบบไทยดั้งเดิมของบรรพบุรุษได้อย่างมีความสุข แต่ในความเป็นจริงสภาพปัจจุบันมิได้เป็นเช่นนั้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรุงเทพมหานคร และเมืองใหญ่ต่างๆ ความเจริญก้าวหน้าทางด้านวัตถุทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่นับวันมีแต่จะทำลายความน่าอยู่ของสภาพเดิมไปอย่างไม่หยุดยั้ง สภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไปจากอดีตซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่ออาคารที่พักอาศัยมีหลายประการ ได้แก่

1.2.1 ความร้อน

อาจกล่าวได้ว่า ปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะของที่อยู่อาศัยมากที่สุด ก็คือ ความร้อน สาเหตุของการเกิดความร้อนเพิ่มสูงขึ้นกว่าในอดีต มีหลายประการ ได้แก่

1.2.1.1 การเพิ่มขึ้นของสิ่งก่อสร้างและการลดลงของต้นไม้ สิ่งก่อสร้างต่างๆ เมื่อโดนแสงแดดตลอดกลางวัน จะสะสมความร้อนและคายความร้อนนั้นสู่อากาศทำให้เมืองร้อนขึ้นทั้งกลางวันและกลางคืน

1.2.1.2 มลภาวะที่อยู่เหนืออาคารทำให้เกิดการสะสมความร้อนที่บริเวณผิวโลกมากยิ่งขึ้น เพราะคลื่นความร้อนไม่สามารถกระจายออกสู่ชั้นบรรยากาศได้ง่ายเหมือนก่อน เป็นปัญหาที่เรียกว่า สภาวะเรือนกระจก (Green House Effect)

1.2.1.3 ความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงของรถยนต์ ซึ่งคำนวณจากรถยนต์ในเมืองจำนวนกว่า 3.5 ล้านคัน โดยให้รถแต่ละคันมีอัตราการใช้น้ำมันเฉลี่ยวันละ 10 ลิตร จะทำให้เกิดปริมาณความร้อนขึ้นวันละประมาณ 1 ล้านล้านบีทียู ปริมาณความร้อนนี้เทียบเท่ากับปริมาณความร้อนโดยเฉลี่ยจากดวงอาทิตย์ที่ตกลงบนพื้นที่ 10 ตารางกิโลเมตร

1.2.1.4 ความร้อนที่เกิดจากคน ซึ่งหมายความว่า ในเมืองที่มีความหนาแน่นของประชากรสูงทำให้ปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นมีมากกว่าในเขตชนบท

1.2.2 เสียง

ปัญหาเรื่องเสียงในกรุงเทพมหานคร โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ระดับเสียงที่เกิดจากยานพาหนะ ระดับเสียงเหล่านี้มีความดังอยู่ในช่วงสูงสุดกว่า 85 เดซิเบล ซึ่งเป็นระดับเสียงที่ดังเกินไปสำหรับการใช้ชีวิตประจำวัน

1.2.3 อากาศ

อากาศในบริเวณใจกลางเมืองหรือทางแยกหลายๆ แห่ง มีคุณภาพอากาศต่ำกว่ามาตรฐานหลายเท่า เช่น ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งมาตรฐานกำหนดไว้ที่ระดับ 15 หน่วยต่อล้านหน่วย แต่บางแห่งในกรุงเทพมหานครมีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศสูงกว่าระดับที่มาตรฐานกำหนดไว้มาก และยังมีปริมาณสารพิษอื่นๆ อีกหลายชนิดปนเปื้อนอยู่ในอากาศในปริมาณที่สูงเกินกว่าขอบเขตที่เราจะใช้ชีวิตอยู่ได้

1.2.4 แสงธรรมชาติ

จากสภาพของบ้านเมืองที่หนาแน่น และมลพิษต่างๆ ในบรรยากาศส่งผลให้มีปริมาณแสงส่องลงมาถึงพื้นดินน้อยลง นอกจากนี้ การมีตึกสูงซึ่งบังทิศทางของแสงอาทิตย์ ทำให้ทางเลือกในการออกแบบเจาะช่องเปิด และปริมาณแสงธรรมชาติที่ได้รับจากช่องเปิดต่างๆ เปลี่ยนแปลงไปด้วย

1.2.5 น้ำและการระเหยของน้ำ

การระเหยของน้ำ เป็นการช่วยให้สภาพแวดล้อมเย็นลง แต่ประเทศไทยมีค่าความชื้นสัมพัทธ์สูงเกือบตลอดทั้งปี ทำให้การระเหยของน้ำเป็นไปได้ยาก หากแต่เรายังสามารถปรับสภาพแวดล้อมให้เย็นลงได้ โดยอาศัยกระบวนการสังเคราะห์แสงและการดำรงชีวิตของต้นไม้ โดยต้นไม้ขนาดใหญ่หนึ่งต้นสามารถปรับสภาพแวดล้อมให้เย็นลงได้ถึงชั่วโมงละ 1,2000 บีทียู

การเปลี่ยนแปลงอย่างรุนแรงของสภาพแวดล้อมทั้งหมดข้างต้น ล้วนบั่นทอนสภาวะสบายภายในอาคาร ทำให้ต้องแก้ปัญหาด้วยการติดตั้งเครื่องปรับอากาศและเป็นผลให้ต้องใช้พลังงานจำนวนมากในการทำงานของเครื่องปรับอากาศ (สุนทร บุญญธิการ. 2542: 10 -13)

จากรายละเอียดและบทสรุปข้างต้น ชี้ให้เห็นถึงความจำเป็นในการใช้เครื่องปรับอากาศเพื่อสร้างสภาวะสบาย นอกจากสภาพแวดล้อมภายนอกแล้วโครงสร้างของอาคารก็มีผลต่อความสบายของผู้อยู่อาศัยภายในอาคารเช่นกัน ดังนั้นผู้วิจัยจึงศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับวัสดุที่ใช้ก่อสร้างอาคารเป็นลำดับต่อไป

1.3 วัสดุก่อสร้างอาคาร

เกี่ยวกับการเลือกใช้วัสดุก่อสร้างอาคารนี้ ข้อพิจารณาข้อหนึ่งที่มีอาจมองข้ามได้ ก็คือคุณสมบัติที่เอื้ออำนวยต่อการประหยัดพลังงาน คุณสมบัติที่เอื้ออำนวยต่อการประหยัดพลังงานของวัสดุก่อสร้างอาคารแยกต่างชนิดของวัสดุ ได้ดังนี้ (กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน. 2543: 10)

1.3.1 วัสดุผนังหลังคา

คุณสมบัติที่เอื้ออำนวยต่อการประหยัดพลังงานของวัสดุผนังหลังคานั้นเกี่ยวข้องกับมวลสาร และค่าความต้านทานความร้อน ประการแรกวัสดุผนังหลังคาที่ดีควรมีมวลสารน้อย เพื่อให้เกิดการดูดกลืนความร้อนต่ำ มีผลให้ค่าการถ่ายเทความร้อนจากวัสดุผนังหลังคาเข้ามาในอาคารมีค่าต่ำตามไปด้วย ประการที่สองเพื่อป้องกันการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกเข้าในอาคาร วัสดุผนังหลังคาควรเป็นวัสดุที่มีค่าความต้านทานความร้อนสูง

วัสดุผนังหลังคามีมากมายหลายชนิด แต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติแตกต่างกับออกไป ชนิดต่างๆ ของวัสดุผนังหลังคาที่มีใช้กันอยู่ในปัจจุบันได้แก่ (กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน. 2543: 11)

1.3.1.1 แป้นเกล็ด ทำจากไม้ไผ่ใช้กับบ้านในอดีต ปัจจุบันไม้ไผ่ไม่นิยมใช้ เพราะหายาก มุงยาก และราคาแพง แป้นเกล็ดมีคุณสมบัติสำคัญ 2 ประการคือ คุณสมบัติด้านการดูดซับความชื้น แป้นเกล็ดสามารถดูดซับความชื้นได้ดี จึงควรเคลือบทับด้วยวัสดุอื่นที่มีค่าการกักความชื้นที่ดีกว่า

ประการที่ 2 เป็นเกล็ดมีค่าความเป็นฉนวนในระดับหนึ่งหากมุงซ้อนทับหลายชั้น ทั้งนี้เนื่องจากไม่มีความเป็นฉนวนประมาณ 1 ใน 4 ของฉนวนใยแก้วที่มีความหนาเท่ากัน

1.3.1.2 กระเบื้องคอนกรีต นิยมใช้มากสำหรับบ้านพักอาศัย โดยเฉพาะบ้านจัดสรรผลิตจากคอนกรีตอัดขึ้นรูป มีความแข็งแรง ทนทาน แต่มีน้ำหนักมาก (ประมาณ 4.4 กิโลกรัมต่อแผ่น) ดังนั้นโครงสร้างหลังคาจึงต้องแข็งแรงเพียงพอที่จะรับน้ำหนักได้ และเนื่องจากกระเบื้องคอนกรีตมีมวลสารมาก จึงมีการดูดกลืนความร้อนสูง

1.3.1.3 กระเบื้องซีเมนต์ใยหิน ผลิตจากปูนซีเมนต์ผสมแอสเบสตอส (Asbestos) นำมาอัดขึ้นรูป นิยมใช้กับบ้านพักอาศัยราคาปานกลางและอาคารที่มีพักที่หลังคาหลายๆ ข้อดีของหลังคากระเบื้องซีเมนต์ใยหิน คือ น้ำหนักเบา ทำให้ไม่เกิดการสะสมความร้อนและมีความเป็นฉนวนค่อนข้างมากเมื่อเปรียบเทียบกับกระเบื้องคอนกรีต แต่มีข้อเสียตรงที่กระเบื้องใยหินมีความสามารถในการดูดซับความชื้นสูง

1.3.1.4 หลังคาโลหะ สามารถป้องกันความชื้นได้ 100% โลหะที่นิยมนำมาขึ้นรูปได้แก่ เหล็ก อลูมิเนียม โลหะผสมอลูมิเนียม สังกะสี และซิลิกอน เนื่องจากหลังคาชนิดนี้ทำมาจากโลหะหลังคาชนิดนี้จึงมีค่าการนำความร้อนสูงมากและทำให้การส่งผ่านความร้อนเข้าสู่อาคารมีค่าสูงมากเช่นกัน

1.3.1.4 หลังคาชิงเกิล มีลักษณะเป็นแถบแบนยาวผลิตจากวัสดุหลายชนิดประกอบด้วยแกนกลางซึ่งทำจากใยแก้วอัด ชั้นของบิทูมินัส แคลเซียมคาร์บอเนต และตกแต่งผิวด้านบนด้วยกรวยขนาดเล็กโดยมีเรซินเป็นตัวประสาน สามารถกันน้ำและความชื้นได้เกือบ 100% เนื่องจากหลังคาชิงเกิลมีมวลสารต่ำ ทำให้มีการถ่ายเทความร้อนให้กับสิ่งแวดล้อมได้อย่างรวดเร็วไม่เกิดการสะสมความร้อน แต่ค่าการต้านทานความร้อนของหลังคาชิงเกิลมีค่าไม่สูงมากนักจึงเกิดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารได้โดยง่าย(กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน. 2543: 15)

1.3.2 วัสดุสร้างผนัง ฝ้าเพดาน และวัสดุปูพื้น

ผนังและวัสดุปิดผนังเป็นส่วนประกอบสำคัญของอาคารที่มีพื้นที่มากกว่าส่วนอื่นๆ ของอาคาร โดยเฉพาะอย่างยิ่งผนังภายนอกอาคารซึ่งสัมผัสกับอากาศภายนอกโดยตรงจึงมีผลต่อการถ่ายเทความร้อนเข้ามาภายในอาคาร (กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน. 2543: 16)

1.3.2.1 ผนังภายนอกอาคาร ปัญหาอย่างหนึ่งของการออกแบบอาคารในประเทศไทยซึ่งอยู่ในเขตร้อนชื้น คือ จะการลดปริมาณความร้อนที่จะเข้ามาในอาคารได้อย่างไร จากการศึกษาพบว่า การนำความเย็นในช่วงกลางคืนมาใช้ในการเวลากลางวันโดยอาศัยการหน่วงความร้อนนั้นทำได้ยากมาก เพราะความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างเวลากลางวันและกลางคืนมีค่าน้อย การลดความร้อนเท่าที่เทคโนโลยีในปัจจุบันจะทำได้คือการควบคุมความร้อนไม่ให้ไหลเข้าสู่อาคาร คุณสมบัติด้านการอนุรักษ์พลังงานของผนังภายนอก มีดังนี้

1.3.2.1.1 ผนังก่ออิฐฉาบปูน เป็นผนังภายนอกที่ได้รับความนิยมมากที่สุด เพราะมีความแข็งแรงคงทนสูง แต่เนื่องจากผนังก่ออิฐฉาบปูนมีมวลสารมากจึงมีการดูดกลืนความร้อนสูง ในอาคารที่ไม่มีการปรับอากาศหากก่อสร้างให้มีความหนาตามพอผนังชนิดนี้สามารถหน่วงความร้อนไม่ให้เข้ามาในอาคารในช่วงกลางวันได้ แต่หากเป็นอาคารปรับอากาศผนังชนิดนี้จะเพิ่มภาระการทำความเย็นให้แก่เครื่องปรับอากาศโดยเครื่องปรับอากาศจะต้องรับภาระการนำเอาความร้อนที่สะสมอยู่ออก จึงต้องใช้พลังงานสูงขึ้น ข้อเสียอีกประการหนึ่งของผนังชนิดนี้คือ ปัญหาเรื่องการดูดซับความชื้น

1.3.2.1.2 ผนังไม้ เป็นผนังที่ได้รับความนิยมใช้ลดน้อยลงไปกว่าในอดีต เนื่องจากปัจจุบันไม้หายากและมีราคาแพง ไม้จัดว่าเป็นฉนวนกันความร้อนประเภทหนึ่งจึงช่วยป้องกันความร้อนเข้าสู่อาคารได้ แต่ไม้เป็นวัสดุที่มีการดูดซับความชื้นสูงจึงไม่เหมาะที่จะนำมาก่อสร้างเป็นผนังของห้องหรืออาคารที่มีการปรับอากาศ

1.3.2.1.3 ผนังคอนกรีตมวลเบา ผลิตขึ้นจากทราย ปูนขาว ปูนซีเมนต์ ยิปซัม และสารกระจายฟองอากาศ มีน้ำหนักเบากว่าอิฐธรรมดา 2-3 เท่า และสามารถต้านทานความร้อนได้ดีกว่าอิฐธรรมดา (กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน. 2543: 16-20)

1.3.2.2 ฝ้าเพดานและพื้นภายในอาคาร

การเลือกใช้วัสดุผนังภายในอาคารเพื่อให้เกิดการอนุรักษ์พลังงานนั้น ข้อพิจารณาที่สำคัญได้แก่ มวลสารของวัสดุ กล่าวคือควรเลือกวัสดุที่มีมวลสารน้อยเพื่อให้เกิดการดูดกลืนความร้อนต่ำ ทั้งนี้เพราะความร้อนที่ถูกดูดกลืนเอาไว้ภายในเนื้อวัสดุจะถูกถ่ายเทให้อากาศภายในอาคารเมื่ออุณหภูมิของอากาศภายในอาคารลดต่ำกว่าอุณหภูมิของผนัง ซึ่งนอกจากจะทำให้ผู้อยู่อาศัยรู้สึกร้อนแล้ว ความร้อนดังกล่าวยังเพิ่มภาระการทำความเย็นให้แก่เครื่องปรับอากาศ ทำให้เครื่องปรับอากาศต้องใช้พลังงานในการทำความเย็นเพิ่มขึ้น ข้อพิจารณาอีกข้อหนึ่งก็คือการดูดซับความชื้น เนื่องจากความชื้นเป็นภาระการทำความเย็นอีกประเภทหนึ่งที่มีค่าสูงมาก (กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน. 2543: 20-21)

1.3.2.2.1 ฝ้าเพดาน การเลือกวัสดุฝ้าเพดานต้องพิจารณาให้สามารถแยกส่วนต่างๆ ของอาคารในแนวตั้งได้โดยสมบูรณ์และไม่เกิดการถ่ายเทความร้อนระหว่างชั้น ในกรณีอาคารที่มีการปรับอากาศจะพบว่าฝ้าเพดานที่มีความเป็นฉนวนสามารถช่วยหน่วงความร้อนที่อยู่เหนือเพดานไม่ให้เข้ามาในห้องต่ำกว่าปกติ จึงเป็นการลดภาระการทำความเย็นในช่วงเริ่มเปิดใช้เครื่องปรับอากาศให้น้อยกว่าปกติ (กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน. 2543: 22)

1.3.2.2.2 วัสดุปูพื้น ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบันได้แก่

1.3.2.2.2.1 หินและผลิตภัณฑ์จากหิน สามารถนำความร้อนและความเย็นเข้าสู่อาคารได้ดี ในกรณีที่พื้นดินใต้อาคารมีความเย็นหินสามารถนำความเย็นเข้าสู่อาคารได้ทำให้อากาศภายในอาคารมีอุณหภูมิต่ำลงไปด้วย

1.3.2.2.2.1 ไม้และผลิตภัณฑ์จากไม้ เนื่องจากไม้มีความสามารถในการดูดกลืนความร้อนและความชื้นสูง จึงไม่เหมาะกับการใช้งานภายนอกอาคารโดยเฉพาะอย่างยิ่งกับอาคารที่มีการปรับอากาศ การปรับปรุงคุณสมบัติของไม้เพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานในอาคารอาจทำได้โดยการปิดหรือเคลือบผิวด้วยวัสดุที่มีคุณสมบัติในการป้องกันความร้อนและความชื้น

1.3.2.2.2.3 กระเบื้อง วัสดุปูพื้นประเภทกระเบื้องมีคุณสมบัติในการป้องกันความชื้นที่ดี เป็นตัวนำความร้อนที่ดี สามารถถ่ายเทความร้อนได้ดี มีค่าการดูดกลืนความร้อนต่ำ ดังนั้นความร้อนหรือความเย็นจากพื้นจึงสามารถถ่ายเทเข้าสู่อาคารได้โดยง่าย

1.3.2.2.2.4 กระเบื้องยาง เป็นวัสดุที่ได้รับความนิยมมากเนื่องจากมีราคาถูก เป็นวัสดุที่มีความสามารถในการดูดกลืนความร้อนและความชื้นต่ำมากทำให้มีความเหมาะสมกับการใช้งานภายในอาคาร

1.3.2.2.2.5 พรม สามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภทตามชนิดของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต คือ พรมเส้นใยธรรมชาติ ซึ่งผลิตจากเส้นใยธรรมชาติ 100% พรมชนิดนี้มีการดูดซับความร้อนและความชื้นสูง พรมประเภทที่สองได้แก่ พรมเส้นใยธรรมชาติผสมเส้นใยสังเคราะห์ ซึ่งได้จากการทอผสมกันระหว่างเส้นใยธรรมชาติและเส้นใยสังเคราะห์ในอัตราส่วนที่แตกต่างกันไป หากพรมชนิดนี้มีอัตราส่วนของเส้นใยธรรมชาติอยู่มากการดูดซับความร้อน ความชื้นก็จะสูงขึ้นตามลำดับ พรมประเภทสุดท้ายได้แก่ พรมเส้นใยสังเคราะห์ ผลิตจากเส้นใยสังเคราะห์ 100% มีการดูดกลืนความร้อนและดูดซับความชื้นต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับพรมประเภทอื่น (กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน. 2543: 22-26)

1.3.3 วัสดุตกแต่งภายใน

คุณสมบัติที่เกี่ยวข้องกับการอนุรักษ์พลังงานของวัสดุที่ใช้ในการตกแต่งภายในอาคาร มีดังนี้

1.3.3.1 วัสดุประเภทโลหะและโลหะผสม เช่น เหล็ก ทองเหลือง อลูมิเนียม ฯลฯ เป็นวัสดุที่เป็นตัวนำความร้อนที่ดีมาก ไม่มีการสะสมความร้อนและความชื้น ส่วนใหญ่ใช้ทำโครงสร้างและเป็นส่วนประกอบเครื่องเรือน

1.3.3.2 วัสดุประเภทไม้ ไม้เป็นฉนวนกันความร้อนได้ระดับหนึ่ง มีค่าการนำความร้อนต่ำ แต่เนื่องจากเนื้อไม้มีความพรุนจึงมีการดูดซับความชื้นค่อนข้างสูง จึงเป็นการเพิ่มภาระการทำความเย็นให้แก่ตัวเครื่องปรับอากาศ

1.3.3.3 วัสดุประเภทหินธรรมชาติ วัสดุประเภทนี้มีการดูดซับความชื้นต่ำแต่มีการสะสมความร้อนสูง

1.3.3.4 วัสดุประเภทดินเผา หากเป็นวัสดุดินเผาที่ไม่มีการเคลือบจะมีการดูดซับความชื้นสูงมาก

1.3.3.5 วัสดุประเภทสิ่งทอ ได้แก่ ผ้า พรมชนิดต่างๆ โคมพรม ฯลฯ วัสดุประเภทนี้สามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภทตามลักษณะของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต คือ สิ่งทอที่ทำมาจากเส้นใยธรรมชาติ สิ่งทอที่ทำมาจากเส้นใยธรรมชาติผสมกับเส้นใยสังเคราะห์ และสิ่งทอที่ทำมาจากเส้นใยสังเคราะห์ โดยทั่วไปเส้นใยธรรมชาติจะมีการดูดซับความร้อนและความชื้นสูงมาก ส่วนเส้นใยสังเคราะห์จะมีค่าการดูดกลืนความร้อนและความชื้นต่ำมาก

1.3.3.6 วัสดุประเภทหนังสัตว์และหนังเทียม วัสดุประเภทนี้จะมีค่าการดูดกลืนความร้อนและความชื้นค่อนข้างต่ำ เนื่องจากการเคลือบด้วยวัสดุที่มีความมันก่อนนำมาใช้งาน

1.3.3.7 วัสดุประเภทกระจก วัสดุประเภทนี้มีการดูดกลืนความร้อนและความชื้นต่ำมากจึงไม่เป็นการเพิ่มภาระการทำงานของเครื่องปรับอากาศ

1.3.3.8 วัสดุประเภทกระดาศ วัสดุประเภทนี้ผลิตจากเส้นใยของพืช ซึ่งเป็นเส้นใยเซลลูโลส มีค่าการดูดกลืนความร้อนและความชื้นสูงมาก

1.3.3.9 วัสดุประเภทพลาสติก วัสดุประเภทนี้มีค่าการดูดกลืนความร้อนและความชื้นต่ำมาก (กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน. 2543: 27-29)

จากการศึกษาคุณสมบัติที่เอื้ออำนวยต่อการประหยัดพลังงานของวัสดุก่อสร้างอาคาร โดยพิจารณาควบคู่ไปกับสภาพจริงของอาคารที่พักอาศัยจะพบว่า อาคารพักอาศัยส่วนใหญ่ เช่น บ้านเดี่ยว บ้านจัดสรร ฯลฯ นิยมใช้วัสดุที่มีคุณสมบัติในการดูดซับและสะสมความร้อนสูง เช่น ผนังคอนกรีต หลังคากระเบื้องคอนกรีต ดังนั้น กรอบอาคารจึงไม่สามารถป้องกันความร้อนเข้าสู่อาคารได้ ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับการหาปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่อาคารเป็นหัวข้อต่อไป

1.4 การถ่ายเทความร้อนจากภายนอกเข้าสู่ภายในอาคาร

การประเมินความร้อนที่เข้ามาในอาคารเป็นเรื่องที่ซับซ้อน แต่ก็สามารถกระทำได้โดยการคำนวณ ผลที่ได้จากการคำนวณอาจผิดพลาดจากความเป็นจริงอยู่บ้าง แต่ความผิดพลาดก็ยังอยู่ในขอบเขตที่ยอมรับได้ สำหรับการคำนวณหาความร้อนที่เข้ามาในอาคารนั้น ต้องแยกคำนวณเป็นสองส่วน คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนัง (Overall Thermal Transfer Value : OTTV) และค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านหลังคา (Roof Thermal Transfer Value : RTTV) ซึ่งผลรวมของ OTTV และ RTTV ก็คือ ค่าความร้อนที่เข้ามาในอาคาร หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่าค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของอาคาร (วัชระ มั่งวิทิติกุล. 2544: 68)

สำนักงานกำกับและอนุรักษ์พลังงาน กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ได้แสดงรายละเอียดเกี่ยวกับการประมาณค่าการถ่ายเทความร้อนของ อาคาร ไว้ในพระราชกฤษฎีกากำหนดอาคารควบคุม โดยมีเจตนาให้ไว้เพื่อเป็นคู่มือในการดำเนินการ กิจกรรมต่างๆ ด้านการอนุรักษ์พลังงาน (กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน. 2535: บทนำ) โดยมีรายละเอียด ดังนี้ (กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน. 2535: 8-12)

1.4.1 ค่าการถ่ายเทความร้อนของวัสดุก่อสร้างอาคาร ให้ใช้วิธีการดังต่อไปนี้

1.4.1.1 สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k)

ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุต่างๆ ที่จะใช้ประกอบการคำนวณเพื่อหาความนำความร้อนของวัสดุใดๆ ให้เป็นไปตามที่กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม กำหนด

1.4.1.2 ความนำความร้อน (C)

ค่าการนำความร้อนของวัสดุใดๆ คือ อัตราส่วนระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนกับความหนาของวัสดุ ซึ่งสามารถคำนวณได้จาก

$$C = \frac{K}{\Delta X}$$

เมื่อ ΔX คือ ความหนาของวัสดุ (m)

C คือ ค่าความนำความร้อน ($\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$)

1.4.1.3 ความต้านทานความร้อน (R)

ค่าความต้านทานความร้อนของวัสดุใดๆ คือ ส่วนกลับของค่าการนำความร้อนซึ่งคำนวณได้จาก

$$R = \frac{1}{C} = \frac{\Delta X}{K}$$

เมื่อ R คือ ค่าความต้านทานความร้อน ($\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{W}$)

1.4.1.4 ความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศ (air film)

ความต้านทานของฟิล์มอากาศสามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภท คือ

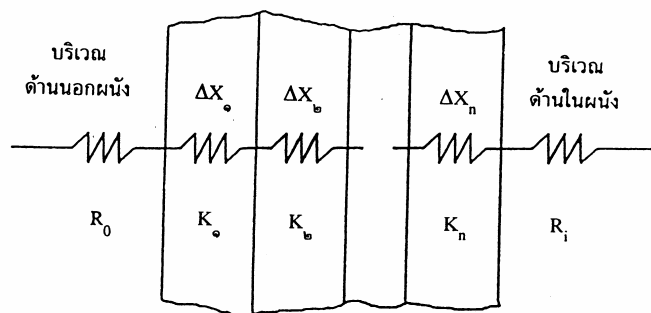
ความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศที่ผิวด้านนอกของอาคาร (R_o) ความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศที่ผิวด้านนอกของอาคาร (R_i) และความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศ ที่อยู่ในช่องว่างอากาศของผนัง หลังคา และเพดาน (R_a)

สำหรับค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศที่ใช้ประกอบการคำนวณ เพื่อหาค่าความต้านทานความร้อนรวมของวัสดุผนัง หรือหลังคา ให้เป็นไปตามที่กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมประกาศกำหนด

1.4.1.5 ความต้านทานความร้อนรวม (R_T)

การคำนวณหาค่าความต้านทานความร้อนรวมของผนัง หลังคา และเพดาน (R_T) ซึ่งมีโครงสร้างประกอบขึ้นจากวัสดุแตกต่างกัน n ชนิด สามารถคำนวณโดยวิธีดังต่อไปนี้

1.4.1.5.1 ในกรณีที่ผนังประกอบด้วยวัสดุ n ชนิด



ภาพประกอบ 3 การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังอาคารซึ่งมีโครงสร้างประกอบขึ้นจากวัสดุ n ชนิด

ที่มา: กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน. (2535: 9).

$$R_T = R_o + \frac{\Delta X_1}{K_1} + \dots + \frac{\Delta X_n}{K_n} + R_i$$

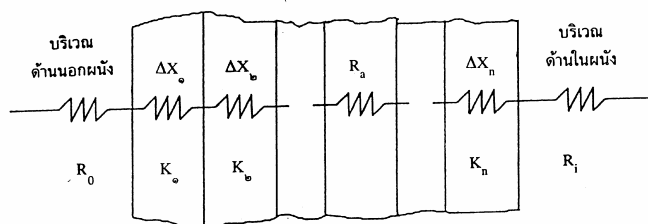
เมื่อ ΔX คือ ความหนาของวัสดุที่ประกอบขึ้นมาเป็นผนัง(m)

K คือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุ

R_o และ R_i คือ ความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศที่ผิวด้านนอกและด้านในอาคารตามลำดับ

1.4.1.5.2 ในกรณีที่ผนังอาคารมีช่องว่างอากาศ

การคำนวณหาค่าความต้านทานความร้อนรวมของผนัง หลังคา และเพดาน (R_T) ซึ่งมีโครงสร้างประกอบขึ้นจากวัสดุแตกต่างกัน n ชนิด และผนังอาคารมีช่องว่างอากาศ สามารถคำนวณโดยวิธีการดังต่อไปนี้



ภาพประกอบ 4 แสดงการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังอาคารซึ่งมีโครงสร้างประกอบด้วยวัสดุ n ชนิด และมีช่องว่างอากาศภายใน

ที่มา: กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน. (2535: 10).

$$R_T = R_0 + \frac{\Delta X_1}{K_1} + \dots + \frac{\Delta X_n}{K_n} + R_a + R_i$$

เมื่อ R_a คือ ความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศที่อยู่ภายในช่องว่างของผนัง

1.4.1.6 สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U)

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม คือ ส่วนกลับของค่าความต้านทานความร้อนรวม สามารถคำนวณได้จาก

$$U = \frac{1}{R_T}$$

1.4.2 การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของอาคารให้ใช้วิธีดังต่อไปนี้

1.4.2.1 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกแต่ละด้าน (OTTV_i) หาได้จาก

$$OTTV_i = [U_w \cdot (1-WWR) \cdot TD_{eq}] + [U_f \cdot WWR \cdot \Delta T] + [SC \cdot WWR \cdot SF]$$

เมื่อ OTTV_i คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านที่พิจารณา (W/m²)

U_w คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนังทึบ (W/m²·°C)

WWR คือ อัตราส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ทั้งหมดของผนังด้านที่พิจารณา

TD_{eq} คือ ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่าระหว่างอุณหภูมิภายนอกกับอุณหภูมิภายในอาคาร (°C) ผลต่างนี้รวมผลจากการดูดกลืนรังสีแสงอาทิตย์ของผนังทึบ โดยให้เป็นไปตามที่กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมกำหนด

U_f คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของกระจก (W/m²·°C)

ΔT คือ อุณหภูมิแตกต่างระหว่างอากาศภายนอกและอากาศภายในอาคาร (°C) ให้เป็นไปตามที่กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมกำหนด

SC คือ สัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจก ให้เป็นไปตามที่กระทรวง วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมกำหนด

SF คือ ค่าตัวประกอบรังสีแสงอาทิตย์ (W/m²) ให้เป็นไปตามที่กระทรวง วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมกำหนด

1.4.2.2 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกทั้งหมดของอาคาร (OTTV) หาได้จาก

$$OTTV = \frac{\sum (A_{oi} \times OTTV_i)}{\sum A_{oi}}$$

เมื่อ A_{oi} คือ พื้นที่ของผนังด้านที่พิจารณา ซึ่งรวมพื้นที่ของผนังทึบและพื้นที่ของหน้าต่าง (m²)

OTTV_i คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกแต่ละด้าน (W/m²)

1.4.2.3 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา(RTTV) หาได้จากสมการ

$$RTTV = [U_r (1-RSR) \cdot TD_{eq}] + [U_{rf} \cdot RSR \cdot \Delta T] + [SC \cdot RSR \cdot SF]$$

- เมื่อ RTTV คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคารที่พิจารณา (W/m^2)
- U_r คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาส่วนที่บ ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)
- RSR คือ อัตราส่วนพื้นที่ส่วนโปร่งแสงต่อพื้นที่ทั้งหมดของหลังคา
- TD_{eq} คือ ค่าความแตกต่างเทียบเท่าระหว่างภายนอกและภายในอาคาร ($^\circ C$)
ผลต่างนี้รวมผลจากการดูดกลืนรังสีแสงอาทิตย์ไว้แล้ว โดยให้เป็นไปตามที่กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมกำหนด
- U_{rf} คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของส่วนโปร่งแสงที่ช่องรับแสง ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)
- ΔT คือ ค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายนอกและภายในอาคาร ($^\circ C$) ให้เป็นไปตามที่กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมกำหนด
- SC คือ สัมประสิทธิ์การบังแดดของส่วนโปร่งแสงที่ช่องรับแสงที่ช่องรับแสงบริเวณหลังคา ให้เป็นไปตามที่กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมกำหนด
- SF คือ ค่าตัวประกอบรังสีอาทิตย์ ที่ผ่านส่วนโปร่งแสงที่ช่องรับแสงบริเวณหลังคา (W/m^2) ให้เป็นไปตามที่กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมกำหนด

จากการศึกษาเรื่องการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกเข้าสู่ภายในอาคาร ผู้วิจัยพบว่าปริมาณความร้อนที่ผ่านเข้าสู่อาคารนั้นขึ้นกับตัวแปรทั้งหมดที่ประกอบอยู่ในสมการหาค่า OTTV และ RTTV ซึ่งผู้วิจัยได้กำหนดให้ห้องทดสอบเป็นส่วนหนึ่งของขอบเขตการวิจัย

จากการศึกษาเรื่องสภาพแวดล้อมของที่พักอาศัยพบว่า เพื่อความสบายในการพักอาศัยอาคารควรมีการระบายอากาศที่ดี แต่ด้วยสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไป ความนิยมในการเลือกใช้วัสดุปลูกสร้างที่มีการสะสมความร้อนสูง การออกแบบอาคารที่สามารถควบคุมการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกเข้าสู่ภายในอาคารทำได้ยาก การปรับอากาศจึงเป็นเรื่องจำเป็น ผู้วิจัยจึงศึกษาเรื่องการปรับอากาศเป็นลำดับต่อไป

2. การปรับอากาศ เครื่องปรับอากาศ และภาระการปรับอากาศ

การปรับอากาศได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อแก้ปัญหาเรื่องความร้อนและความชื้นในอุตสาหกรรมสิ่งทอ ซึ่งพบว่าอากาศที่ร้อนและแห้งนั้นทำให้เส้นด้ายเปราะและขาดง่าย นอกจากนี้ไฟฟ้าสถิตที่เกิดขึ้นจากการเสียดสีกันของเส้นด้ายยังทำให้เส้นด้ายพันกันทำให้เกิดความยุ่งยากในการทอเป็นอย่างมาก จึงได้มีการเพิ่มความชื้นในอากาศเพื่อแก้ปัญหาข้างต้น จากการพัฒนาการปรับอากาศเพื่ออุตสาหกรรมนี้ จึงเกิดการพัฒนาระบบปรับอากาศเพื่อความสบายของมนุษย์ขึ้นในที่สุด และอาจแบ่งการปรับอากาศในปัจจุบันได้เป็น 2 ส่วน คือ การปรับอากาศเพื่ออุตสาหกรรม ซึ่งมีจุดประสงค์เพื่อปรับสภาพอากาศให้เหมาะสมกับการผลิต และส่วนที่ 2 คือ การปรับอากาศเพื่อความสบายของมนุษย์ ซึ่งมีจุดประสงค์เพื่อปรับสภาพอากาศให้มนุษย์สามารถระบายความร้อนออกจากร่างกายในปริมาณที่เหมาะสมกับกระบวนการภายในร่างกาย ทำให้ร่างกายสามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ที่ 98.6°F ได้โดยง่าย ซึ่งจะนำไปสู่ความสบายในที่สุด (สุรพล พุกษพานิช. 2529: 2) การศึกษาเรื่องการปรับอากาศควรศึกษาไล่เรียงตามหัวข้อดังรายละเอียดต่อไปนี้

2.1 ไฮโครเมตริก (Psychrometrics)

ไฮโครเมตริก คือ คุณสมบัติของอากาศทั้งภายนอกและภายในห้องปรับอากาศ การศึกษาไฮโครเมตริกนั้นกระทำเพื่อประโยชน์ในการกำหนดสภาพของอากาศที่เหมาะสมที่สุดในเรื่องของการปรับอากาศ คุณสมบัติต่างๆ ของอากาศที่เกี่ยวข้องกับไฮโครเมตริก มีดังนี้

2.1.1 ส่วนประกอบของอากาศ อากาศที่อยู่รอบๆ ตัวเราเป็นส่วนประกอบของก๊าซต่างๆ และไอน้ำ อากาศแห้งจะประกอบด้วยไนโตรเจนประมาณ 78% ออกซิเจนประมาณ 21% และก๊าซอื่นๆ ประมาณ 1% นอกจากนี้บรรยากาศในโลกจะต้องมีไอน้ำปนอยู่ด้วยเสมอ

2.1.2 อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dry-Bulb Temperature หรือ D.B.) เป็นอุณหภูมิที่วัดได้จากเทอร์โมมิเตอร์แบบธรรมดา

2.1.3 อุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet-Bulb Temperature หรือ W.B.) เป็นอุณหภูมิที่วัดได้จากไฮโครมิเตอร์

2.1.4 ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity หรือ R.H.) คืออัตราส่วนระหว่างปริมาณไอน้ำที่มีอยู่จริงในอากาศกับปริมาณไอน้ำมากที่สุดที่อากาศจะสามารถอุ้มไว้ได้

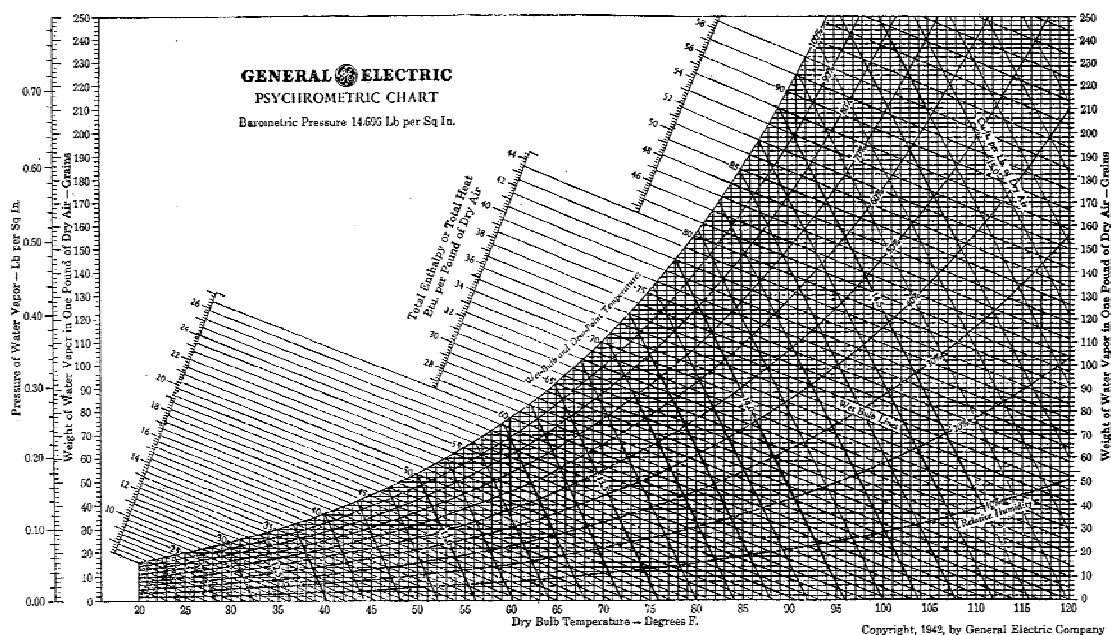
2.1.5 เกรนของความชื้น (Grain of Moisture) คือหน่วยการวัดปริมาณของไอน้ำในอากาศ

2.1.6 ความชื้นในอากาศ (Humidity) เป็นองค์ประกอบที่สำคัญที่เกี่ยวข้องกับการปรับอากาศ ถ้าในอากาศมีความชื้นสูง การกำหนดขนาดของเครื่องปรับอากาศที่จะใช้ก็ต้องมีขนาดใหญ่ตามไปด้วย ทั้งนี้เพราะเครื่องปรับอากาศต้องใช้พลังงานส่วนหนึ่งทำให้ไอน้ำในอากาศกลั่นตัวเป็นหยดน้ำเพื่อลดปริมาณความชื้นของอากาศให้น้อยลงจนถึงจุดที่พอเหมาะ คือ 50 เปอร์เซนต์ R.H.

2.1.7 จุดน้ำค้าง (Dew Point หรือ D.P.) คือ อุณหภูมิที่ไอน้ำในอากาศเกิดการกลั่นตัวเป็นหยดน้ำ (สมศักดิ์ สุเมตยกุล. 2542: 271-272)

2.2 แผนภูมิไซโครเมตริก (Psychrometric Chart)

แผนภูมิไซโครเมตริก เป็นแผนภูมิที่แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติต่างๆ ของอากาศ



ภาพประกอบ 5 แผนภูมิไซโครเมตริก

ที่มา : สมศักดิ์ สุเมตยกุล. (2542). *เครื่องทำความเย็นและการปรับอากาศ*. หน้า 274 .

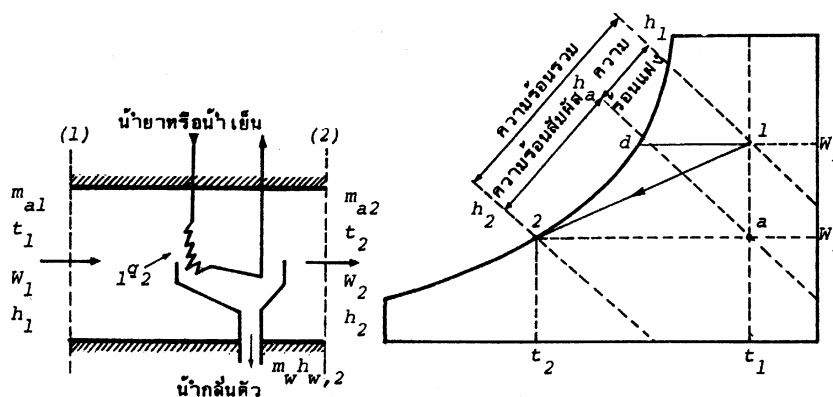
เช่น ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิกระเปาะแห้ง ความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิกระเปาะเปียก ซึ่งหมายความว่าหากทราบค่าคุณสมบัติ 2 ใน 3 ค่า ก็สามารถหาค่าคุณสมบัติที่เหลือได้ (สมศักดิ์ สุเมตยกุล. 2542: 273)

2.3 การปรับอากาศกับแผนภูมิไซโครเมตริก

เครื่องปรับอากาศมีหน้าที่เปลี่ยนภาวะอากาศให้มีภาวะเหมาะสมตามต้องการ เรียกรการเปลี่ยนภาวะอากาศว่ากระบวนการปรับอากาศ ถ้าเขียนกระบวนการปรับอากาศลงในแผนภูมิ ไซโครเมตริก จะช่วยให้สามารถเลือกอุปกรณ์และวิเคราะห์ปัญหาการปรับอากาศได้ง่ายขึ้น ปกติจะแทนกระบวนการปรับอากาศด้วยเส้นตรงจากจุดเริ่มต้นไปยังจุดสุดท้ายของกระบวนการและอากาศจะเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติตามเส้นตรงนี้เสมอ สำหรับกระบวนการปรับอากาศภายในบ้านพักอาศัยสำหรับประเทศไทย เป็นกระบวนการปรับอากาศที่จำเป็นต้องดึงทั้งความร้อนและความชื้นออก เพื่อให้ผู้อยู่อาศัยเกิด

ความสบาย สมมุติฐานของการทำให้อากาศเย็นและแห้ง คือ ในระหว่างกระบวนการความดันมีค่าคงที่ และมีการดึงทั้งความร้อนและความชื้นออก

กระบวนการทำให้อากาศเย็นและแห้งจะทำให้ความร้อนสัมผัสและความร้อนแฝงเกิดการเปลี่ยนแปลง และแทนด้วยกระบวนการ 1-2 ดังแสดงในภาพประกอบ 6 โดยความร้อนสัมผัสเปลี่ยนจำนวนไปเท่ากับ $h_a - h_2$ และความร้อนแฝงเปลี่ยนจำนวนไปเท่ากับ $h_1 - h_a$ (สุรพล พฤษพานิช. 2529: 30-32)



ภาพประกอบ 6 กระบวนการทำให้อากาศเย็นและแห้ง

ที่มา: สุรพล พฤษพานิช. (2529). การปรับอากาศหลักการและระบบ. หน้า 32.

เมื่อทำให้อากาศเย็นลงจนกระทั่งอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้างเดิมของมัน ไอน้ำในอากาศจะกลั่นตัวเป็นหยดน้ำ การกลั่นตัวไม่ได้เกิดที่อุณหภูมิใดอุณหภูมิหนึ่ง แต่จะเกิดในช่วงอุณหภูมิระหว่างอุณหภูมิจุดน้ำค้างเดิมของมันและอุณหภูมิอิ่มตัวสุดท้าย และถือว่าน้ำที่ไหลออกจากคอยล์เย็นมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิอิ่มตัวสุดท้าย (สุรพล พฤษพานิช. 2529: 32)

สมดุลพลังงานของกระบวนการทำให้อากาศเย็นและแห้ง ได้ว่า

$$m_{a1} h_1 = {}_1q_2 + m_w h_{w,2} + m_{a2} h_2$$

สมดุลมวลอากาศของกระบวนการทำให้อากาศเย็นและแห้ง ได้ว่า

$$m_{a1} = m_{a2}$$

สมดุลมวลความชื้นของกระบวนการทำให้อากาศเย็นและแห้ง ได้ว่า

$$m_{a1} W_1 = m_w + m_{a2} W_2$$

ดังนั้น ค่า ${}_1q_2$ จึงมีค่าเท่ากับ

$${}_1q_2 = m_{a1} (h_1 - h_2) - m_{a1} (W_1 - W_2) h_{w,2}$$

เมื่อ

${}_1q_2$ หมายถึง ค่าความร้อนรวม หรือ ขนาดของเครื่องปรับอากาศ หน่วย Btu/hr

m_{a1} หมายถึง น้ำหนักของอากาศแห้งก่อนปรับอากาศ หน่วย lb_a/hr

m_{a2} หมายถึง น้ำหนักของอากาศแห้งหลังปรับอากาศ หน่วย lb_a/hr

h_1 หมายถึง เอนทัลปี (Enthalpy) หรือปริมาณความร้อนที่มีอยู่ในอากาศแห้ง 1 lb และ ความชื้นหนัก W lb มีหน่วยเป็น Btu/lb of dry air (Btu/lb_a) ในที่นี้ h_1 คิดที่สภาวะก่อนปรับอากาศ

h_2 หมายถึง เอนทัลปี (Enthalpy) หรือปริมาณความร้อนที่มีอยู่ในอากาศแห้ง 1 lb และ ความชื้นหนัก W lb มีหน่วยเป็น Btu/lb of dry air (Btu/lb_a) ในที่นี้ h_2 คิดที่สภาวะปรับอากาศ

W_1 หมายถึง อัตราส่วนความชื้น หรือ ความชื้นจำเพาะ หรือ อัตราส่วนระหว่างน้ำหนัก ของไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศ ต่อ 1 lb อากาศแห้ง ในที่นี้ W_1 คิดที่สภาวะก่อนปรับอากาศ หน่วย lb_w/lb_a

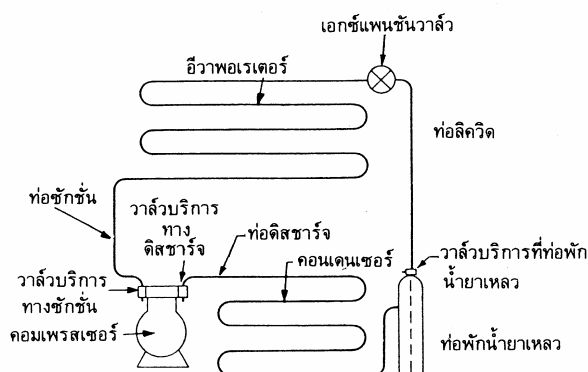
W_2 หมายถึง อัตราส่วนความชื้น หรือ ความชื้นจำเพาะ หรือ อัตราส่วนระหว่างน้ำหนัก ของไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศ ต่อ 1 lb อากาศแห้ง ในที่นี้ W_2 คิดที่สภาวะปรับอากาศ หน่วย lb_w/lb_a

$h_{w,2}$ หมายถึง เอนทัลปี (Enthalpy) ของน้ำกลั่นตัวที่อุณหภูมิปรับอากาศ หน่วย Btu/lb_w

จากการศึกษาเรื่องกระบวนการปรับอากาศกับแผนภูมิไซโครเมตริก ผู้วิจัยพบว่าหากลด อุณหภูมิก่อนปรับอากาศ (t_1) ลง ค่าเอนทัลปีที่สภาวะก่อนปรับอากาศ (h_1) จะลดลงตามไปด้วย ซึ่งจะ ทำให้ค่าพลังงานที่ใช้ในการปรับอากาศ (${}_1q_2$) ลดลงตามความสัมพันธ์ของ h_1 และ ${}_1q_2$ ในการสมการ สมดุลพลังงานของกระบวนการทำให้อากาศเย็นและแห้ง (สุรพล พฤษพานิช. 2529: 32-33)

2.4 เครื่องปรับอากาศ

เครื่องปรับอากาศที่ใช้ในอาคารที่พักอาศัยทำงานในระบบคอมเพรสเซอร์อัดไอ เครื่องปรับอากาศ ระบบคอมเพรสเซอร์อัดไอ (Vapor Compression System) ประกอบด้วยอุปกรณ์หลักที่สำคัญ 5 ชิ้น คือ อีวาพอเรเตอร์ (Evaporator) คอมเพรสเซอร์ (Compressor) คอนเดนเซอร์ (Condenser) ท่อพักสาร ทำความเย็นเหลว (Receiver Tank) และเอกซ์แพนชันวาล์ว (Expansion Valve) (สมศักดิ์ สุโมตยกุล. 2542: 53)



ภาพประกอบ 7 อุปกรณ์หลักของเครื่องปรับอากาศ

ที่มา: สมศักดิ์ สุโมตยกุล. (2542). *เครื่องทำความเย็นและการปรับอากาศ*. หน้า 54.

อุปกรณ์แต่ละชนิดจะมีหน้าที่แตกต่างกันไป โดยมีรายละเอียดดังนี้

อีวาพอเรเตอร์ ทำหน้าที่ดูดซับปริมาณความร้อนจากบริเวณที่ต้องการทำความเย็น ขณะที่สารทำความเย็นภายในระบบตรงบริเวณนี้ระเหยเปลี่ยนสถานะเป็นแก๊สและดูดปริมาณความร้อนผ่านผิวท่อทางเข้าไปยังสารทำความเย็นภายในระบบ ทำให้อุณหภูมิโดยรอบอีวาพอเรเตอร์ลดลง

คอมเพรสเซอร์ ทำหน้าที่ดูดและอัดสารทำความเย็นในสถานะแก๊ส โดยดูดแก๊สที่มีอุณหภูมิต่ำและความดันต่ำจากอีวาพอเรเตอร์ และอัดให้มีอุณหภูมิและความดันสูงขึ้น จนถึงจุดที่แก๊สพร้อมจะควบแน่นเป็นของเหลวเมื่อมีการถ่ายเทความร้อนออกจากสารทำความเย็น

คอนเดนเซอร์ ทำหน้าที่ให้สารทำความเย็นในสถานะแก๊สกลั่นตัวเป็นของเหลว ด้วยการระบายความร้อนออก กล่าวคือ สารทำความเย็นในสถานะแก๊ส อุณหภูมิสูง ความดันสูง ซึ่งถูกอัดส่งมาจากคอมเพรสเซอร์ เมื่อถูกระบายความร้อนแผ่ออกจะกลั่นตัวเป็นของเหลว แต่ยังคงมีอุณหภูมิและความดันสูง

ท่อพักสารทำความเย็นเหลว สารทำความเย็นเหลวที่มีอุณหภูมิและความดันสูง ซึ่งกลั่นตัวมาแล้วจากคอนเดนเซอร์จะถูกส่งเข้ามาพักในท่อพักนี้ ก่อนที่จะถูกส่งไปที่เอกซ์แพนชันวาล์วอีกที่หนึ่ง

เอกซ์แพนชันวาล์ว ทำหน้าที่ควบคุมการไหลของสารทำความเย็นเหลวที่ผ่านเข้าไปยังอีวาพอเรเตอร์ลดความดันของสารทำความเย็นให้มีความดันต่ำลง จนสามารถระเหยเปลี่ยนสถานะเป็นไอได้ที่อุณหภูมิต่ำๆ ในอีวาพอเรเตอร์

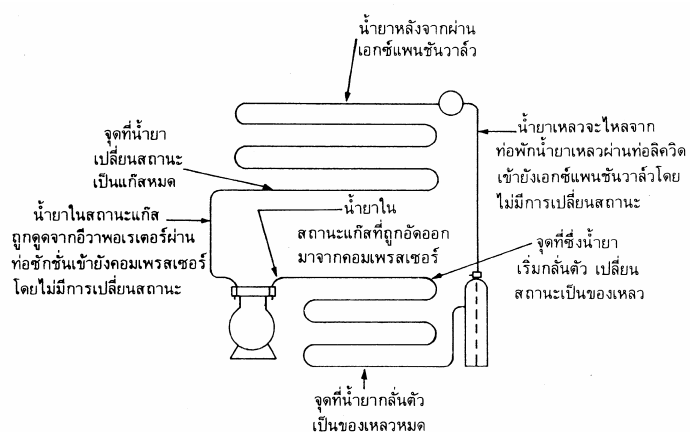
การต่อเชื่อมอุปกรณ์หลักทั้ง 5 เข้าด้วยกันจะกระทำโดยใช้

ท่อชักชั้น (Suction Line) เป็นท่อทางเดินสารทำความเย็นที่ต่ออยู่ระหว่างอีวาพอเรเตอร์กับทางดูดของคอมเพรสเซอร์ สารทำความเย็นในสถานะแก๊ส อุณหภูมิต่ำ ความดันต่ำ จากอีวาพอเรเตอร์จะถูกดูดผ่านท่อชักชั้นเข้าไปยังคอมเพรสเซอร์

ท่อดิสชาร์จ (Discharge Line) เป็นท่อทางเดินสารทำความเย็นที่ต่ออยู่ระหว่างท่อทางอัดของคอมเพรสเซอร์กับคอนเดนเซอร์ สารทำความเย็นในสถานะแก๊สซึ่งถูกคอมเพรสเซอร์อัดให้มีความดันและอุณหภูมิสูงขึ้น จะถูกส่งไปยังคอนเดนเซอร์ โดยผ่านท่อดิสชาร์จนี้

ท่อลิควิด (Liquid Line) เป็นท่อทางเดินสารทำความเย็นที่ต่อระหว่างท่อพักสารทำความเย็นเหลวกับเอกซ์แพนชันวาล์ว สารทำความเย็นเหลว ความดันสูง อุณหภูมิสูง จากท่อพักจะถูกอัดส่งไปยังเอกซ์แพนชันวาล์วโดยผ่านท่อลิควิดนี้

เมื่อนำอุปกรณ์ทั้งหมดต่อเชื่อมเข้าด้วยกันก็จะเรียกว่า เครื่องปรับอากาศ การทำงานของเครื่องปรับอากาศจะทำงานเป็นวงจร โดยวงจรการทำงานของเครื่องปรับอากาศ ดังแสดงในภาพประกอบ 8 เริ่มต้นที่ท่อพักสารทำความเย็นเหลว สารทำความเย็นในท่อซึ่งมีสถานะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิความดันสูง จะถูกส่งเข้าไปยังเอกซ์แพนชันวาล์วโดยผ่านทางท่อลิควิด เอกซ์แพนชันวาล์วจะทำหน้าที่ควบคุมการไหล และลดความดันของสารทำความเย็นเหลวลง ให้มีความดันต่ำจนสามารถระเหยเปลี่ยนสถานะเป็นแก๊สได้ในอีวาพอเรเตอร์



ภาพประกอบ 8 วงจรการทำงานของเครื่องปรับอากาศ

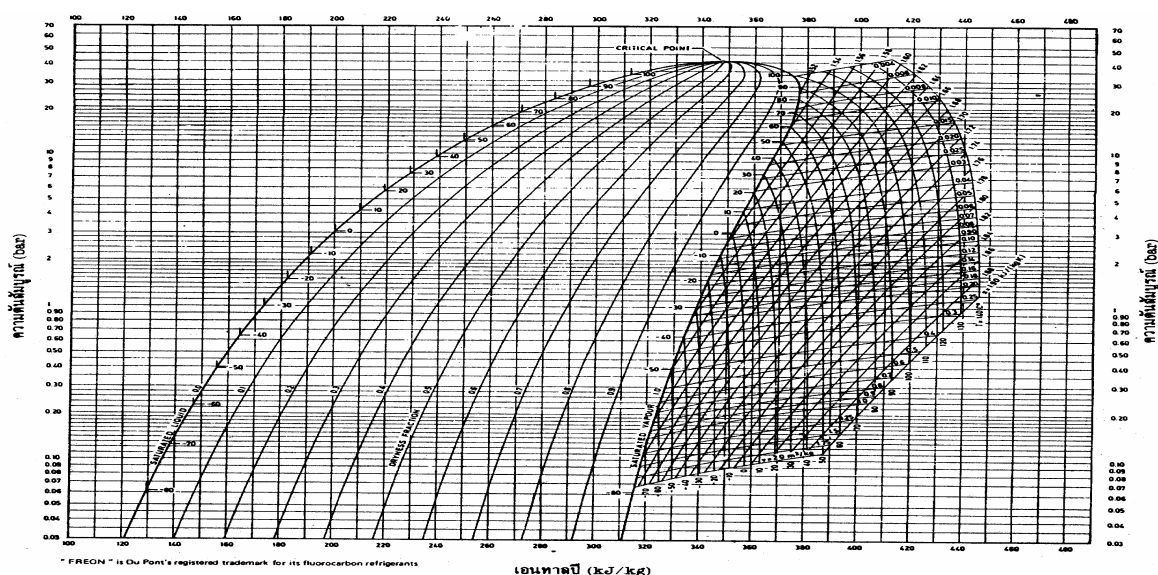
ที่มา: สมศักดิ์ สุเมตยกุล. (2542). *เครื่องทำความเย็นและการปรับอากาศ*. หน้า 55.

ขณะที่สารทำความเย็นเหลวไหลผ่านอีวาพอเรเตอร์ มันจะดูดซับความร้อนจากอากาศโดยรอบ และจะระเหิดตัวเปลี่ยนสถานะเป็นแก๊ส ทำให้อากาศโดยรอบอีวาพอเรเตอร์มีอุณหภูมิต่ำลง และถ้ามีฉนวนกันความร้อนกันโดยรอบอีวาพอเรเตอร์ไว้ ความร้อนจากภายนอกไม่สามารถผ่านเข้าไปได้ก็จะทำให้อุณหภูมิภายในบริเวณที่ต้องการปรับอากาศลดต่ำลง

แก๊สซึ่งมีอุณหภูมิและความดันต่ำจากอีวาพอเรเตอร์จะถูกคอมเพรสเซอร์ดูดผ่านเข้าทางท่อชักขึ้น และอัดส่งออกทางท่อดิสชาร์จ ในลักษณะของแก๊สที่มีอุณหภูมิและความดันสูง เพื่อส่งไปกลั่นตัวเป็นของเหลวในคอนเดนเซอร์โดยกระบวนการระบายความร้อนออก แต่สารทำความเย็นเหลวที่ไหลออกมาจากคอนเดนเซอร์จะยังมีอุณหภูมิและความดันสูงอยู่ จึงถูกส่งเข้าไปในท่อพักสารทำความเย็นเหลว ก่อนที่จะถูกส่งไปยังเอกแพนชันวาล์วอีกครั้งหนึ่งอันเป็นการครบวงจร(สมศักดิ์ สุโมตยกุล. 2542: 55-56)

2.5 แผนภูมิแสดงคุณสมบัติของสารทำความเย็น(P-h diagram)

หากพิจารณาวงจรการทำงานของเครื่องปรับอากาศ จะพบว่า แต่ละกระบวนการจะมีการเปลี่ยนแปลงความดัน (P) และอุณหภูมิ (t) ซึ่งเป็นผลให้ค่าเอนทัลปี (h) ของสารทำความเย็นเกิดการเปลี่ยนแปลงไปด้วย ความสัมพันธ์ระหว่างความดัน (P) และค่าเอนทัลปี (h) ของสารทำความเย็นนั้นสามารถแสดงได้ด้วย P-h ไดอะแกรม ดังนั้นศึกษาเรื่องการทำงานของเครื่องปรับอากาศจึงควรกระทำควบคู่ไปกับการศึกษาเรื่อง P-h ไดอะแกรม (สมศักดิ์ สุโมตยกุล. 2542: 166)



ภาพประกอบ 9 แสดง P-h ไดอะแกรมของน้ำยา R-12

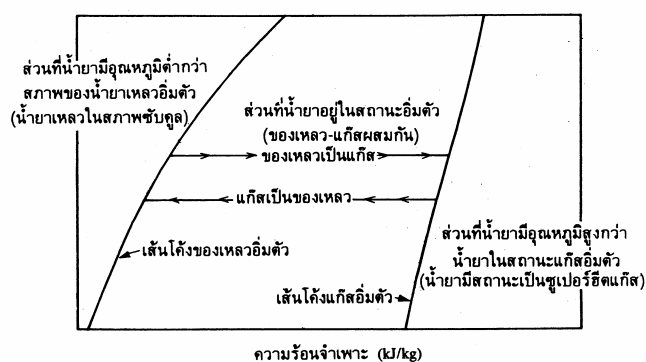
ที่มา: สมศักดิ์ สุโมตยกุล. (2542). เครื่องทำความเย็นและการปรับอากาศ. หน้า 167.

โครงสร้างของ P-h ไดอะแกรม ในภาพประกอบ 10 แสดงให้เห็นประกอบ 3 ส่วน คือ

ส่วนของสารทำความเย็นอิ่มตัว ซึ่งอยู่ตอนกลาง สารทำความเย็นในส่วนนี้ถ้ามีสถานะเป็นของเหลวพร้อมที่จะเปลี่ยนสถานะเป็นแก๊ส และในทางกลับกันสารทำความเย็นที่อยู่ในสถานะแก๊สพร้อมจะเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลว

ส่วนของสารทำความเย็นที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิของสารทำความเย็น (เหลว) อิ่มตัว ซึ่งอยู่ทางด้านซ้าย สารทำความเย็นในส่วนนี้มีสถานะเป็นของเหลวล้วน (ของเหลว ซับคูล)

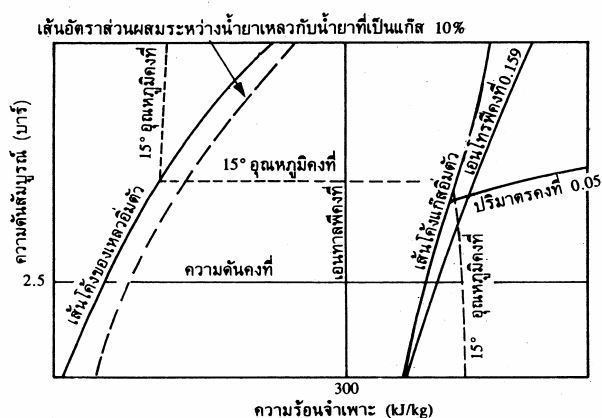
ส่วนของสารทำความเย็นที่มีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิของสารทำความเย็น (แก๊ส) อิ่มตัว ซึ่งอยู่ทางด้านขวา สารทำความเย็นในส่วนนี้มีสถานะเป็นแก๊สล้วน (ซูเปอร์ฮีตแก๊ส)



ภาพประกอบ 10 แสดงโครงสร้างของ P-h ไดอะแกรม

ที่มา: สมศักดิ์ สุโมทยกุล. (2542). *เครื่องทำความเย็นและการปรับอากาศ*. หน้า 168.

ความหมายของเส้นต่างๆ ใน P-h ไดอะแกรม ที่แสดงไว้ในภาพประกอบ 11 มีรายละเอียดดังนี้ (สมศักดิ์ สุโมทยกุล. 254: 168-169)



ภาพประกอบ 11 แสดงเส้นความดันคงที่ อุณหภูมิคงที่ ปริมาตรคงที่ เอนทัลปี เอนโทรปี

ที่มา: สมศักดิ์ สุโมทยกุล. (2542). *เครื่องทำความเย็นและการปรับอากาศ*. หน้า 168.

เส้นความดันสมบูรณ์ มีหน่วยเป็นบาร์ เป็นเส้นที่อยู่ในแนวนอน

เส้นอัตราส่วนผสมระหว่างสารทำความเย็นเหลวกับสารทำความเย็นที่เป็นแก๊ส มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ เป็นเส้นโค้งในแนวดิ่ง แต่ละเส้นบอกถึงจำนวนเปอร์เซ็นต์ของสารทำความเย็นอิ่มตัวที่มีสถานะเป็นของเหลวพร้อมที่จะระเหยหรือเดือดเป็นแก๊ส หรือในทางกลับกันคือแก๊สกลั่นตัวเป็นของเหลว เส้นที่อยู่ทางซ้ายเป็นเส้นของสารทำความเย็นเหลวอิ่มตัว 100 เปอร์เซ็นต์ และเส้นที่อยู่ทางขวาเป็นเส้นแก๊สอิ่มตัว 100 เปอร์เซ็นต์

เส้นอุณหภูมิ มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส เป็นเส้นประ เส้นอุณหภูมินี้จะอยู่ในแนวนอน เมื่อสารทำความเย็นมีสถานะอิ่มตัวเท่านั้น จะกระดกขึ้นเมื่อสารทำความเย็นมีสถานะเป็นของเหลวอิ่มตัว และจะกระดกลงเมื่อสารทำความเย็นมีสถานะเป็นแก๊สอิ่มตัว

เส้นเอนทัลปีคงที่ มีหน่วยเป็นกิโลจูล/กิโลกรัม (KJ/Kg) เป็นเส้นที่อยู่ในแนวดิ่ง

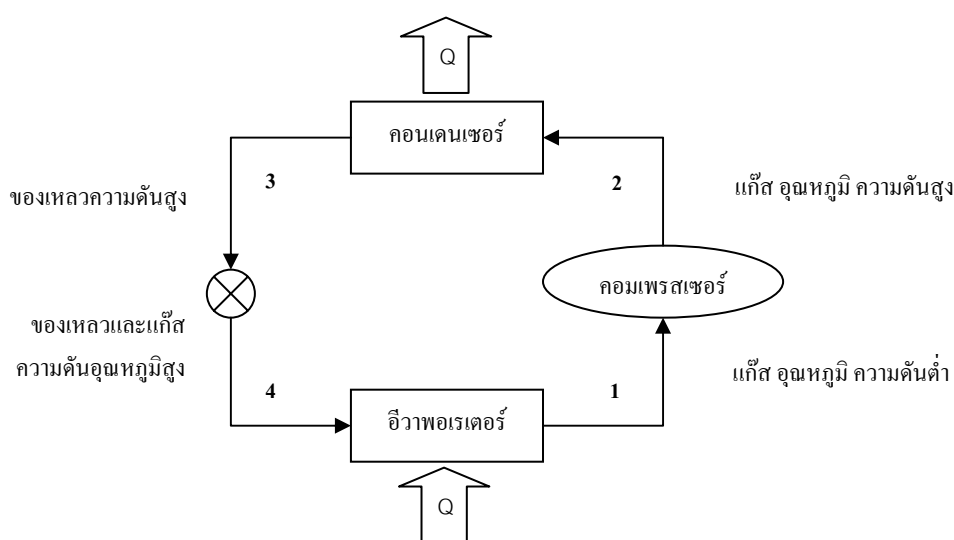
เส้นปริมาตรจำเพาะ มีหน่วยเป็นลิตร/กิโลกรัม เป็นเส้นโค้งในแนวดิ่งและแนวนอน ซึ่งอยู่ในส่วนที่มีอุณหภูมิสูงกว่าสารทำความเย็นที่มีสถานะเป็นแก๊สอิ่มตัว

เส้นเอนโทรปี มีหน่วยเป็นกิโลจูล/กิโลกรัม/องศาเซลเซียส (KJ/Kg/K) เป็นเส้นทแยงมุมในแนวดิ่งแยกขึ้นจากเส้นแก๊สอิ่มตัว ซึ่งอยู่ในส่วนที่มีอุณหภูมิสูงกว่าแก๊สอิ่มตัว เส้นนี้แสดงการอัดตัวของสารทำความเย็นที่มีสภาพเป็นแก๊สให้มีความดันสูงขึ้น ซึ่งเป็นผลให้อุณหภูมิสูงขึ้นโดยไม่มีการถ่ายเทความร้อนและการเสียดทาน

2.6 เครื่องปรับอากาศกับ P-h diagram

การวัดค่าอุณหภูมิและความดันของสารทำความเย็นนั้น สามารถทำได้โดยการใช้เครื่องมือวัดอุณหภูมิและความดันประเภทต่างๆ และหากนำค่าที่วัดได้จากกระบวนการทำงานของการปรับอากาศได้มาเขียนลงใน P-h diagram ก็จะทำให้ทราบค่า เอนทัลปี (h) ของสารทำความเย็น ซึ่งจะเป็นประโยชน์อย่างมากในการวิเคราะห์กระบวนการทำงานของเครื่องปรับอากาศ

ภาพประกอบ 12 เป็นภาพสรุปกระบวนการทำงานของเครื่องปรับอากาศ ซึ่งในแต่ละกระบวนการมีรายละเอียดโดยสรุป ดังนี้



ภาพประกอบ 12 กระบวนการทำงานของเครื่องปรับอากาศ

ที่มา: กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน. (2549: ออนไลน์).

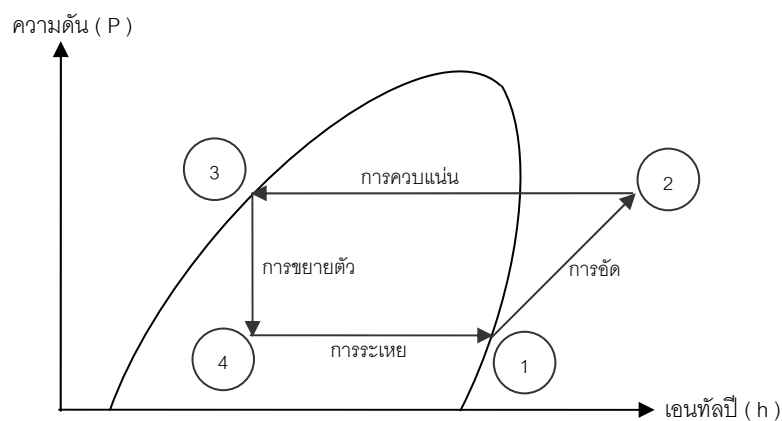
จาก 1 ไป 2 การอัด (Compression) อัดก๊าซเย็นความดันต่ำ ให้เป็นก๊าซร้อนความดันสูง

จาก 2 ไป 3 การควบแน่น (Condensing) ก๊าซควบแน่นเป็นของเหลว และคายความร้อน

จาก 3 ไป 4 การขยายตัว (Expansion) จากความดันสูงไปเป็นความดันต่ำ พร้อมทั้งลดอุณหภูมิลง และเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นของเหลวผสมก๊าซ

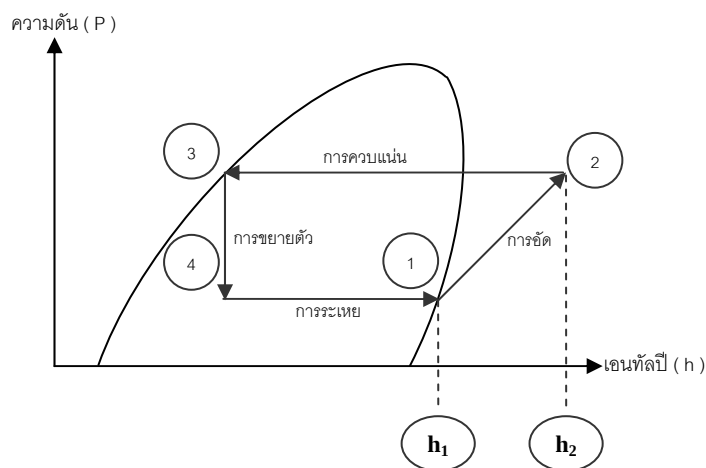
จาก 4 ไป 1 การระเหย (Evaporation) ความร้อนจากสิ่งแวดล้อมจะถูกดูดเพื่อใช้ในการระเหยตัวของของเหลวให้กลายเป็นก๊าซทั้งหมด

ความดันของสารทำความเย็นในแต่ละขั้นตั้งแต่ขั้นตอนที่ 1 ถึง 4 อธิบายได้โดยใช้ P-h diagram ซึ่งเมื่อนำภาพกระบวนการทำงานของเครื่องปรับอากาศมาเขียนลงใน P-h diagram ก็จะมีลักษณะตามภาพประกอบ 13



ภาพประกอบ 13 ภาพแสดง P-h diagram ของเครื่องปรับอากาศ

ที่มา: กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน. (2549: ออนไลน์)



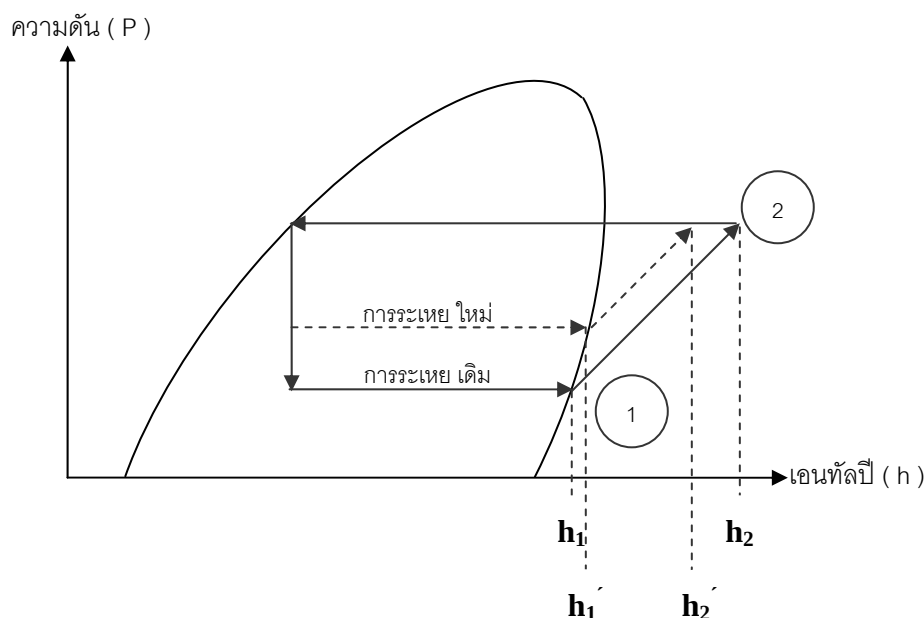
ภาพประกอบ 14 ภาพแสดงการหาค่า h_1 และ h_2 จาก P-h diagram

ที่มา: ศุภชัย ปัญญาวิรุ. (2546). ระบบปรับอากาศ ชุดที่ 2. หน้า 125.

จากภาพประกอบ 13 หากต้องการทราบค่าของงานที่คอมเพรสเซอร์ใช้ในการอัดสารทำความเย็นก็สามารถทำได้ โดยการลากเส้นในแนวดิ่งเพื่อหาค่า เอนทัลปี (h) ซึ่งผลต่างของค่า h_1 และ h_2 ก็คือค่าของงานที่คอมเพรสเซอร์ใช้ในการอัดสารทำความเย็น ดังภาพประกอบ 14

เมื่อพิจารณาภาพประกอบ 14 จะพบว่า ค่า h_1 และ h_2 นั้นขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของการระเหย และอุณหภูมิของการควบแน่น ซึ่งหมายความว่าหากทำการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของการระเหย หรือ อุณหภูมิการควบแน่น หรือทั้งสองอย่างพร้อมกัน จะส่งผลให้ผลต่างของ h_1 และ h_2 มีค่าเปลี่ยนแปลงไป

หากต้องการเปลี่ยนแปลงผลต่างของ h_1 และ h_2 เพื่อการอนุรักษ์พลังงานวิธีที่ง่ายที่สุดคือการเพิ่มอุณหภูมิของการระเหยให้สูงที่สุดเท่าที่จะทำได้ ดูภาพประกอบ 15



ภาพประกอบ 15 การหาค่า h_1 และ h_2 กรณีเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของการระเหยให้สูงขึ้น

ที่มา: ศุภชัย ปัญญาวิวัฒน์. (2546). ระบบปรับอากาศ ชุดที่ 2. หน้า 129.

จากภาพประกอบ 15 พิจารณาผลต่างของ h_1 และ h_2 ซึ่งก็คืองานที่คอมเพรสเซอร์ใช้อัดสารทำความเย็นเมื่อใช้อุณหภูมิการระเหยเดิมกับผลต่างของ h_1' และ h_2' ซึ่งหมายถึงงานที่คอมเพรสเซอร์ใช้อัดสารทำความเย็นเมื่อใช้อุณหภูมิการระเหยใหม่ จะพบว่าผลต่างของ h_1' และ h_2' มีค่าน้อยกว่าผลต่างของ h_1 และ h_2 จึงสรุปได้ว่าการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิการระเหยให้สูงขึ้นมีผลให้งานที่คอมเพรสเซอร์ใช้อัดสารทำความเย็นมีค่าลดลง การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิการระเหยสามารถทำได้โดยการปรับตั้ง

อุณหภูมิในห้องปรับอากาศให้สูงเท่าที่จะทำได้ สำหรับอุณหภูมิที่แนะนำในตาราง 3 เป็นช่วงอุณหภูมิสูงสุดที่ยังทำให้เกิดสภาวะสบายแก่ผู้อยู่อาศัยภายในห้องปรับอากาศ

ตาราง 1 ช่วงอุณหภูมิภายในห้องปรับอากาศที่แนะนำสำหรับช่วงเดือนต่างๆ

เดือน	มี.ค. - พ.ค.	มิ.ย. - ส.ค.	ก.ย. - พ.ย.	ธ.ค. - ก.พ.
อุณหภูมิภายในห้องปรับอากาศ ที่แนะนำ (°C)	25 - 25.5	25.5 - 26	24.5 - 25.5	24 - 26.5

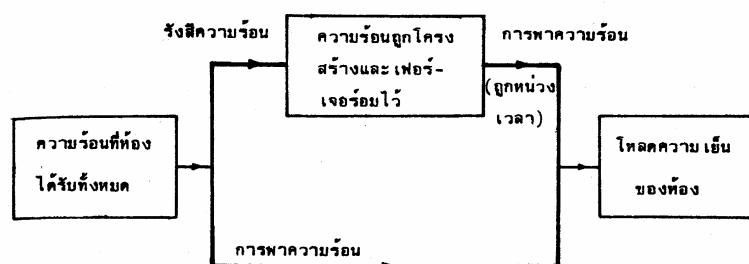
ที่มา: ศุภชัย ปัญญาวิวัฒน์. (2546). *ระบบปรับอากาศ* ชุดที่ 2. หน้า 130.

จากการศึกษาทฤษฎีของการปรับอากาศ ผู้วิจัยพบว่าขนาดของเครื่องปรับอากาศมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิอากาศภายในห้องปรับอากาศก่อนเปิดใช้เครื่องปรับอากาศ โดยความสัมพันธ์ดังกล่าวเป็นสัดส่วนตรงต่อกัน กล่าวคือ เครื่องปรับอากาศจะมีขนาดเล็กลงหรือใช้พลังงานน้อยลงหากสามารถลดอุณหภูมิอากาศภายในห้องปรับอากาศก่อนเปิดใช้เครื่องปรับอากาศลงได้ นอกจากนี้การปรับตั้งอุณหภูมิปรับอากาศที่เหมาะสมก็สามารถลดพลังงานที่คอมเพรสเซอร์ใช้ในการอัดสารทำความเย็นลงได้เช่นกัน ซึ่งอุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 25 องศาเซลเซียส

2.7 การทำความเย็นของห้องปรับอากาศ

การปรับอากาศเพื่อให้ผู้อยู่อาศัยรู้สึกสบายนั้น จำเป็นต้องดึงความร้อนออกจากห้องในอัตราเท่ากับอัตราความร้อนที่ห้องได้รับ เรียกอัตราความร้อนที่เครื่องปรับอากาศดึงออกจากห้องปรับอากาศว่า การทำความเย็นของห้องปรับอากาศ ความร้อนทั้งหมดที่ห้องปรับอากาศได้รับสามารถแยกได้ 7 แหล่ง คือ 1) ความร้อนถ่ายเทผ่านผนังด้านนอก หลังคาและกระจก 2) ความร้อนถ่ายเทผ่านผนังด้านใน เพดานและพื้นห้อง 3) ความร้อนจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ผ่านกระจก 4) ความร้อนจากไฟแสงสว่าง 5) ความร้อนจากผู้อยู่อาศัย 6) ความร้อนจากเครื่องมือและอุปกรณ์ 7) ความร้อนเนื่องจากอากาศภายนอกห้องรั่วผ่านช่องเปิดต่างๆ เข้าห้องปรับอากาศ

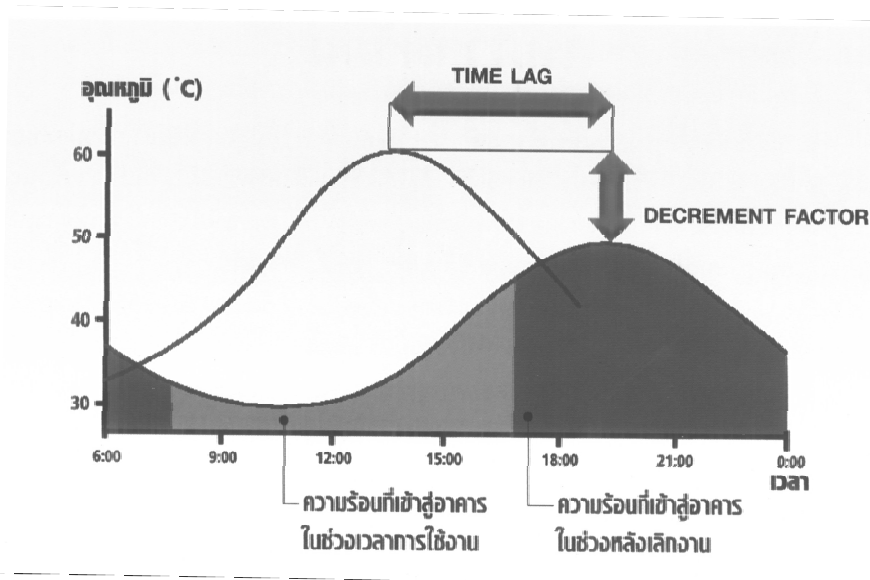
ซึ่งความร้อนจากแหล่งความร้อนทั้งหมดจะทำให้เกิดผลการเปลี่ยนแปลงด้านอุณหภูมิขึ้นภายในห้องปรับอากาศ 2 ประการด้วยกัน คือ ส่วนหนึ่งของความร้อนที่ห้องปรับอากาศได้รับจะทำให้อุณหภูมิอากาศภายในห้องสูงขึ้นทันที อีกส่วนหนึ่งจะถูกวัสดุต่างๆ ที่เป็นส่วนประกอบของห้องสะสมเอาไว้ ดังแสดงในภาพประกอบ 16



ภาพประกอบ 16 แสดงการไหลของความร้อน ความร้อนที่ห้องได้รับ ความร้อนที่ถูกอมเอาไว้ และภาระการทำความเย็น

ที่มา: สุรพล พฤษพานิ. (2536). การปรับอากาศหลักการและระบบ. หน้า 97.

การคำนวณภาระการทำความเย็นจึงจำเป็นต้องคำนึงถึงความสามารถในการอมความร้อนของห้องปรับอากาศด้วย เพราะการอมความร้อนจะทำให้ความร้อนทั้งหมดที่ห้องได้รับถูกส่วนประกอบของห้องอมไว้บางส่วน ส่วนที่เหลือจะทำให้อากาศในห้องร้อนขึ้นทันที



ภาพประกอบ 17 แสดงการหน่วงและคายความร้อนของวัสดุ

ที่มา: กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน. (2543: 46).

ความร้อนที่ส่วนประกอบของห้องสะสมไว้จะถูกหน่วงเวลาไว้ระยะหนึ่ง จนกระทั่งอุณหภูมิของอากาศภายในห้องลดต่ำกว่าอุณหภูมิของส่วนประกอบห้อง ความร้อนที่ถูกสะสมไว้ในส่วนประกอบห้องจะถูกปลดปล่อยออกมา (สุรพล พฤษพานิช. 2536: 95-96-97) ความร้อนที่ส่วนประกอบของห้องสะสมเอาไว้ เป็นผลมาจากอิทธิพลของมวลสาร (Thermal Mass) วัสดุที่มีมวลสารมากจะมีผลทำให้เกิดการหน่วงความร้อน (Time Lag) ซึ่งเป็นผลดีต่อการปรับอากาศในช่วงเวลากลางวัน แต่เป็นผลเสียต่อการปรับอากาศในช่วงเวลาเย็นถึงค่ำ สำหรับอิทธิพลของมวลสารแสดงไว้ในภาพประกอบ 17 (กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน. 2543: 46)

ตาราง 2 แสดงค่าช่วงเวลาหน่วงความร้อน (Time-lag) ที่ไหลผ่านวัสดุ

วัสดุ	ความหนา (นิ้ว)	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน : U (W / m ² .°C)	Time-lag
อิฐ	4	0.61	2.5
	8	0.41	5.5
	12	0.31	8.5
คอนกรีต	4	0.85	2.5
	8	0.67	5
	12	0.55	8
ไม้	1.5	0.68	10
	1	0.47	25
	2	0.30	1

ที่มา: ตรึงใจ บุรณสมภพ. (2539). การออกแบบอาคารที่มีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงาน. หน้า 39.

ภาวะการปรับอากาศที่เกิดจากการคายความร้อนของกรอบอาคาร ซึ่งเป็นผลมาจากการถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อนอย่างอิสระ สามารถคำนวณหาได้จากสมการ (มนตรี พิรุณเกษตร. 2541: 503-546)

$$q = \bar{h} \cdot A \cdot \Delta t$$

เมื่อ q = ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทออกจากกรอบอาคาร (W)
 $\bar{h}$ = สัมประสิทธิ์การพาความร้อนอย่างอิสระ ($\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$)
 A = พื้นที่ผิว ($\text{N.m/Kg} \cdot ^\circ\text{K}$)
 Δt = อุณหภูมิแตกต่างระหว่างผิววัสดุกับอากาศที่สัมผัสอยู่ ($^\circ\text{K}$)

สำหรับระยะเวลาในการคายความร้อนสามารถคำนวณหาได้โดยอาศัยแผนภูมิวิเคราะห์การกระจายอุณหภูมิ $T(x,t)$ ในแผ่นระนาบ ของไฮเลอร์ และกรอเบอร์ ซึ่งเป็นการนำความร้อนหนึ่งมิติ สภาวะไม่คงตัว ไม่มีแหล่งความร้อนภายในตัวกลาง (มนตรี พิรุณเกษตร. 2541: 209-220)

$$\tau = \frac{\alpha \cdot t}{L^2}$$

เมื่อ τ = ตัวเลขฟูเรียร์
 α = ความสามารถในการแพร่กระจายความร้อน (m^2/s)
 L = ระยะทางจากแกนกลางผนังถึงผิวผนัง (m)
 $m = \frac{1}{\beta}$
 t = เวลา(s)

สรุปภาพรวมของการศึกษาเรื่อง สภาพแวดล้อมของที่พักอาศัย และการปรับอากาศ ผู้วิจัยพบว่าเป็นการยากที่จะควบคุมอุณหภูมิภายในอาคารให้เหมาะสมกับการพักอาศัยโดยอาศัยเพียงธรรมชาติเป็นเครื่องช่วย เมื่อต้องปรับสภาพอากาศก็พบข้อความจริงอีกว่า นอกจากจะต้องสูญเสียพลังงานให้กับเครื่องปรับอากาศเพื่อลดอุณหภูมิอากาศแล้ว ยังต้องสูญเสียพลังงานอีกส่วนหนึ่งไปกับภาระการนำความร้อนที่สะสมอยู่ในส่วนต่างๆ ของอาคารเช่น ผนัง พื้น เพดาน ฯลฯ ออกไปทั้งยังบริเวณนอกเขตปรับอากาศ

ดังนั้น ก่อนเปิดใช้เครื่องปรับอากาศ หากสามารถระบายความร้อนที่สะสมอยู่ให้หมดสิ้นไป ก็จะเป็นการลดภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศลงได้ระดับหนึ่ง ผู้วิจัยจึงทำการศึกษาค้นคว้า ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการระบายอากาศ เป็นลำดับต่อไป

3. การระบายอากาศ และพัดลมระบายอากาศ

การระบายอากาศ หมายถึง การถ่ายเทอากาศเก่าออกจากห้องแล้วนำอากาศใหม่จากภายนอกเข้ามาแทนที่ ซึ่งสามารถกระทำได้ด้วยวิธีการ ดังนี้ (สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย. 2540: 111)

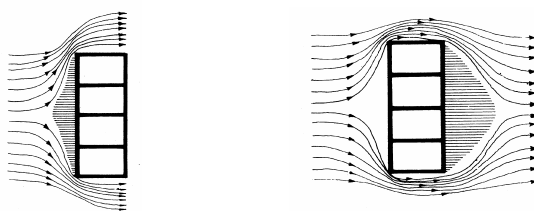
3.1 วิธีการระบายอากาศ

วิธีการระบายอากาศนั้น ทำได้ 2 วิธี คือ

3.1.1 การระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติ

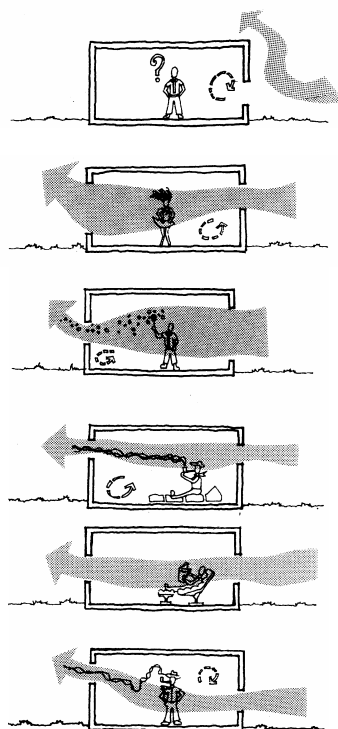
การระบายอากาศวิธีนี้มีเงื่อนไข คือ ห้องหรือบริเวณที่ต้องการระบายอากาศจะต้องมีผนังด้านนอกอย่างน้อยหนึ่งด้าน โดยให้มีช่องเปิดสู่ภายนอกได้ เช่น ประตู หน้าต่าง ช่องบานเกล็ดผนังอิฐโปรง ซึ่งจะต้องเปิดให้อากาศผ่านในขณะที่ใช้สอยพื้นที่นั้นๆ พื้นที่ของช่องเปิดนั้น ต้องมีพื้นที่ลมผ่านสุทธิไม่น้อยกว่าร้อยละ 10 เมื่อเทียบกับพื้นที่ของห้องนั้นหรือบริเวณนั้น(สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย. 2540: 112)

ตรึงใจ บุรณสมภพ (2539: 66-70)ได้กล่าวถึงเรื่องการระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติไว้ว่า การระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติเกี่ยวข้องโดยตรงกับช่องเปิดในตัวอาคาร และกระแสลม เมื่อลมพัดผ่านอาคาร มันจะพัดโอบรอบอาคารทำให้เกิดความกดอากาศสูงและความกดอากาศต่ำ โดยทั่วไปความกดอากาศสูงจะเกิดที่ผนังด้านปะทะลม ส่วนความกดอากาศต่ำจะเกิดขึ้นที่เขตด้านหลังอาคาร เพื่อให้เกิดการถ่ายเทของอากาศ จะต้องออกแบบให้เกิดบริเวณความกดอากาศสูงและความกดอากาศต่ำต่อเนื่องกัน ที่สำคัญคือจะต้องมีช่องทางเข้าด้านความกดอากาศสูงและมีช่องทางออกด้านความกดอากาศต่ำ (ตรึงใจ บุรณสมภพ. 2539: 66)



ภาพประกอบ 18 แสดงบริเวณความกดอากาศสูงและบริเวณความกดอากาศต่ำ

ที่มา: ตรึงใจ บุรณสมภพ. (2539). การออกแบบอาคารที่มีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงาน. หน้า 67.



ลมไม่สามารถพัดเข้าอาคาร

เกิดลมแรงภายในห้อง

ความรุนแรงของลมต่ำลง

เนื้อที่ส่วนล่างของห้องอัดลม

ลมเข้าห้องได้มากที่สุด

ได้รับกระแสลมที่เย็นสบาย

ภาพประกอบ 19 แสดงผลของช่องเปิดกับสภาพการเคลื่อนไหวของอากาศภายในห้อง

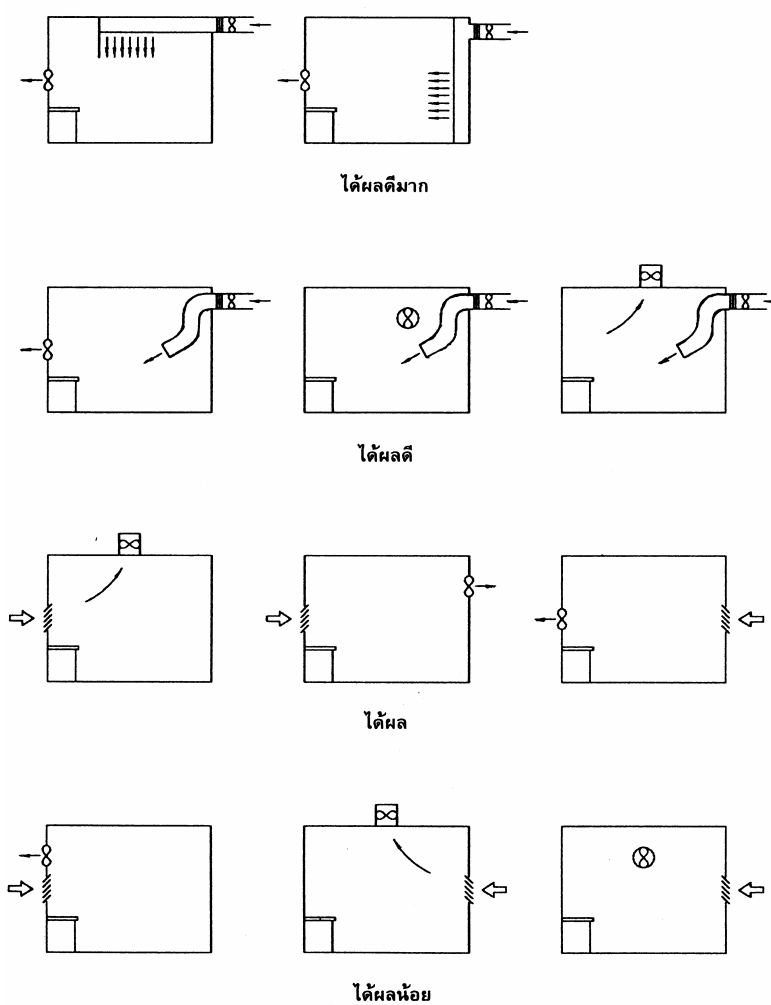
ที่มา: ตรึงใจ บุณสมภพ. (2539). การออกแบบอาคารที่มีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงาน. หน้า 69-70.

ตำแหน่งและขนาดของช่องเปิดสัมพันธ์กับสภาพการเคลื่อนไหวของอากาศภายในห้องดังแสดงในภาพประกอบ 19

3.1.2 การระบายอากาศโดยวิธีกล

การระบายอากาศวิธีนี้ใช้กับพื้นที่ใดก็ได้ โดยจัดให้มีกลอุปกรณ์ขับเคลื่อนอากาศเพื่อให้เกิดการนำอากาศจากภายนอกเข้าสู่ห้อง

ตำแหน่งของช่องเปิดหรือตำแหน่งของพัดลมเพื่อให้ลมเข้าและเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งของกลอุปกรณ์ที่จะขับลมออกควรปฏิบัติตามหลักการที่ดี หลีกเลี่ยงการปฏิบัติที่มีประสิทธิภาพน้อย ดังแสดงในภาพประกอบ 20 (สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย. 2540: 113)



ภาพประกอบ 20 การจัดตำแหน่งกลอุปรกรณ์ระบายอากาศ

ที่มา: สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย. (2540: 113).

สำหรับการระบายความร้อนจากในอาคารไปทั้งนอกอาคารโดยการระบายอากาศ สามารถคำนวณได้จาก (สรุพล พฤษพานิช. 2529: 123)

$$q = 1.1 \times CFM \times TC$$

เมื่อ q = พลังงานความร้อนที่ต้องการระบายออก (Btu/hr)

$$1.1 = \text{ค่าคงที่} \left[(60 \text{ min/hr}) \times (0.244 \text{ Btu/lb} \cdot ^\circ\text{F}) / (13.34 \text{ ft}^3/\text{lb}) \right]$$

CFM = อัตราการระบายอากาศ (ft^3/min)

TC = ผลต่างของอุณหภูมิภายในห้องกับภายนอก ($^\circ\text{F}$)

3.2 พัฒนาระบายอากาศ

พัฒนาระบายอากาศชนิดที่นิยมใช้ในบ้านพักอาศัยโดยทั่วไปคือพัดลมชนิดอากาศไหลตามแนวแกน (AXIAL FAN) ซึ่งพัดลมแบบนี้อากาศจะไหลขนานกับแกนของใบพัด และตั้งฉากกับระนาบการหมุนของใบพัด ชุดใบพัดจะถูกติดตั้งอยู่บนแกนเพลาชักของมอเตอร์ต้นกำลัง ซึ่งอยู่ภายในตัวเรือนพัดลม ทำให้มอเตอร์สามารถระบายความร้อนออกไปพร้อมกับอากาศที่ถูกขับเคลื่อนพัดลมชนิดนี้มีราคาถูก ขนาดเล็ก เคลื่อนย้ายง่าย ติดตั้งง่าย มีความปลอดภัยในการใช้งาน แต่การทำงานของพัดลมจะมีเสียงดัง (อนุตร จำลองกุล. 2543: 114) สำหรับประเทศไทย กระทรวงอุตสาหกรรมได้กำหนดมาตรฐาน พัดลมไฟฟ้ากระแสสลับชนิดระบายอากาศขึ้น เพื่อเป็นการส่งเสริมการทำและเป็นแนวทางในการควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์

เกี่ยวกับการระบายอากาศนี้ หากต้องการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติโดยพึ่งพากระแสลมเหนี่ยวนำให้เกิดการเปลี่ยนถ่ายอากาศขึ้นภายในอาคาร ในสภาวะลมสงบซึ่งอาจเกิดจากสภาพอากาศหรือการบังลมของอาคารข้างเคียง แม้จะออกแบบช่องเปิดรับลมให้มีประสิทธิภาพสูงเพียงไรก็ตาม ก็ไม่สามารถสร้างการระบายอากาศที่ดีขึ้นได้ วิธีทางกลโดยการใช้พัดลมช่วยนำอากาศเข้าและออกจากห้องจึงเป็นวิธีเหมาะสมมากกว่า โดยผู้วิจัยเลือกใช้พัดลมระบายอากาศที่มีจำหน่ายทั่วไปและได้รับมาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก.710-2530) เพื่อความสะดวกในการนำผลการวิจัยไปประยุกต์ใช้งาน และคำนวณหาอัตราการระบายอากาศที่เหมาะสมจากสมการ $CFM = \frac{q}{1.1 \times TC}$

จากการศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยในหัวข้อเรื่องสภาพแวดล้อมของที่พักอาศัย การปรับอากาศ และการระบายอากาศนั้น สามารถสรุปได้ว่าการปรับอากาศเป็นเรื่องจำเป็น ซึ่งภาระการปรับอากาศส่วนหนึ่งเกิดจากความร้อนที่สะสมอยู่ในส่วนประกอบต่างๆ ของห้อง ดังนั้นการระบายความร้อนส่วนนี้ทิ้งไปก่อนที่จะมีการปรับอากาศจึงเป็นการช่วยลดพลังงานไฟฟ้าที่ต้องสูญเสียให้กับเครื่องปรับอากาศ และจะเป็นการง่ายกว่าถ้าจะระบายความร้อนที่สะสมอยู่นี้ออกไปโดยวิธีบังคับโดยอาศัยพัดลมระบายอากาศเป็นอุปกรณ์ทำงาน และเพื่อเป็นการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้า พลังงานที่จะนำมาขับเคลื่อนพัดลมระบายอากาศจึงควรเป็นพลังงานที่สะอาดและได้มาจากธรรมชาติ ดังนั้นผู้วิจัยจึงศึกษาเรื่องพลังงานทดแทนเพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้าเป็นลำดับต่อไป

4. พลังงานทดแทน และเซลล์แสงอาทิตย์

พลังงานทดแทน หมายถึง พลังงานที่นำมาใช้แทนน้ำมันเชื้อเพลิง สามารถแบ่งตามแหล่งที่ได้มาได้เป็น 2 ประเภท คือ พลังงานทดแทนจากแหล่งที่ใช้แล้วหมดไป อาจเรียกว่า พลังงานสิ้นเปลือง ได้แก่ ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ นิวเคลียร์ หินน้ำมัน และทรายน้ำมัน เป็นต้น และพลังงานทดแทนอีกประเภทหนึ่งเป็นแหล่งพลังงานที่ใช้แล้วสามารถหมุนเวียนมาใช้ได้อีก เรียกว่า พลังงานหมุนเวียน ได้แก่

แสงอาทิตย์ ลม ชีวมวล น้ำ และไฮโดรเจน เป็นต้น ซึ่งในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจะกล่าวถึงเฉพาะพลังงานหมุนเวียนเท่านั้น เพราะพลังงานหมุนเวียนเป็นพลังงานที่สะอาด ไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และเป็นแหล่งพลังงานที่มีอยู่ในท้องถิ่น เช่น พลังงานลม พลังแสงอาทิตย์ และพลังชีวมวล เป็นต้น (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน: ออนไลน์)

4.1 พลังงานหมุนเวียน

พลังงานหมุนเวียนที่มีใช้กันอยู่ในปัจจุบันสามารถแยกย่อยได้เป็น 7 ประเภท โดยมีรายละเอียด ดังนี้

4.1.1 พลังงานแสงอาทิตย์

พลังงานแสงอาทิตย์ เป็นพลังงานทดแทนประเภทหมุนเวียนที่ใช้แล้วเกิดขึ้นใหม่ได้ตามธรรมชาติ เป็นพลังงานที่สะอาด ปราศจากมลพิษ และเป็นพลังงานที่มีศักยภาพสูง ในการใช้พลังงานแสงอาทิตย์สามารถจำแนกออกเป็น 2 รูปแบบคือ การใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า และการใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตความร้อน

เทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า ได้แก่ ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ แบ่งออกเป็น 3 ระบบ คือ

4.1.1.1 ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ (PV Stand alone system)

ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ ได้รับการออกแบบสำหรับใช้งานในพื้นที่ชนบทที่ไม่มีระบบจำหน่ายไฟฟ้าจาก National Grid โดยมีหลักการทำงานแบ่งได้เป็น 2 ช่วงเวลา กล่าวคือ ช่วงเวลากลางวัน เซลล์แสงอาทิตย์ได้รับแสงแดดสามารถผลิตไฟฟ้าจ่ายให้แก่โหลดพร้อมทั้งประจุพลังงานไฟฟ้าส่วนเกินไว้ในแบตเตอรี่พร้อมๆ กัน ส่วนในช่วงกลางคืน เซลล์แสงอาทิตย์ไม่ได้รับแสงแดดจึงไม่สามารถผลิตไฟฟ้าได้ ดังนั้น พลังงานจากแบตเตอรี่ที่เก็บประจุไว้ในช่วงกลางวันจะถูกจ่ายให้แก่โหลดจึงสามารถกล่าวได้ว่า ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระสามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าให้โหลดได้ทั้งกลางวันและกลางคืน อุปกรณ์ระบบที่สำคัญประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อุปกรณ์ควบคุมการประจุแบตเตอรี่ แบตเตอรี่ และอุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ เป็นต้น

4.1.1.2 ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่าย (PV Grid connected system)

เป็นระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกออกแบบสำหรับผลิตไฟฟ้าผ่านอุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับเข้าสู่ระบบจำหน่ายไฟฟ้า National Grid โดยตรงมีหลักการทำงานแบ่งเป็น 2 ช่วง กล่าวคือ ในช่วงเวลากลางวัน เซลล์แสงอาทิตย์ได้รับแสงแดดสามารถผลิตไฟฟ้าจ่ายให้แก่โหลดได้โดยตรง โดยผ่านอุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ และหากมีพลังงานไฟฟ้าส่วนเกินจะถูกจ่ายเข้าระบบจำหน่ายไฟฟ้า สังเกตได้เนื่องจาก

มิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้าจะหมุนกลับทาง ส่วนในช่วงกลางคืนเซลล์แสงอาทิตย์ไม่สามารถผลิตไฟฟ้าได้ กระแสไฟฟ้าจากระบบจำหน่ายไฟฟ้าจะจ่ายให้แก่โหลดโดยตรง สังเกตได้จากมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้าจะหมุนปกติ ดังนั้น ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่ายจะเป็นการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้าในเขตเมืองหรือพื้นที่ที่มีระบบจำหน่ายไฟฟ้าเข้าถึง อุปกรณ์ระบบที่สำคัญประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับชนิดต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า Grid connected เป็นต้น

4.1.1.3 ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสาน (PV Hybrid system)

เป็นระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกออกแบบสำหรับทำงานร่วมกับอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าอื่นๆ เช่น ระบบเซลล์แสงอาทิตย์กับพลังงานลมและเครื่องยนต์ดีเซล ระบบเซลล์แสงอาทิตย์กับพลังงานลมและไฟฟ้าพลังน้ำ เป็นต้น โดยรูปแบบระบบจะขึ้นอยู่กับกรอกแบบตามวัตถุประสงค์โครงการเป็นกรณีเฉพาะ เช่น ระบบเซลล์แสงอาทิตย์กับพลังงานลมและเครื่องยนต์ดีเซล มีหลักการทำงาน กล่าวคือ ในช่วงเวลากลางวัน เซลล์แสงอาทิตย์ได้รับแสงแดดสามารถผลิตไฟฟ้าได้ จะจ่ายกระแสไฟฟ้าผ่านอุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับชนิด Multi function ทำงานร่วมกับไฟฟ้าจากพลังงานลม จ่ายกระแสไฟฟ้าให้แก่โหลดพร้อมทั้งทำงานประจุไฟฟ้าส่วนที่เกินไว้ในแบตเตอรี่ ในกรณีพลังงานลมต่ำไม่สามารถผลิตไฟฟ้าหรือเวลากลางคืนไม่มีไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ ชุดแบตเตอรี่จะจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แก่โหลด และกรณีแบตเตอรี่จ่ายกระแสไฟฟ้ามากจนถึงพิกัดที่ออกแบบไว้ เครื่องยนต์ดีเซลจะทำงานโดยอัตโนมัติเป็นอุปกรณ์สำรองพลังงาน กล่าวคือจะจ่ายกระแสไฟฟ้าประจุแบตเตอรี่โดยตรงและแบ่งจ่ายให้แก่โหลดพร้อมกัน และหากโหลดมีมากเกินไประบบจะหยุดทำงานทันที และจะทำงานใหม่อีกครั้งเมื่อเซลล์แสงอาทิตย์หรือพลังงานลมสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าประจุแบตเตอรี่ได้ ปริมาณตามพิกัดที่ออกแบบไว้พร้อมทั้งขนาดโหลดอยู่ในพิกัดที่ชุดแบตเตอรี่สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าได้ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน: ออนไลน์)

4.1.2 พลังงานน้ำ

การทำงานของโรงไฟฟ้าพลังน้ำเป็นการนำทรัพยากรน้ำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ในการผลิตไฟฟ้าโดยอาศัยความเร็วและแรงดันสูงมาหมุนเครื่องกังหันน้ำ มีขั้นตอนดังนี้ 1) น้ำในอ่างเก็บน้ำที่อยู่ในระดับสูงกว่าโรงไฟฟ้าทำให้มีแรงดันน้ำสูง 2) ปล่อยน้ำในปริมาณที่ต้องการเข้ามาตามระบบชักน้ำผ่านท่อส่งน้ำ เพื่อส่งไปยังอาคารโรงไฟฟ้าที่อยู่ต่ำกว่า 3) น้ำในอ่างเก็บน้ำอยู่ในระดับสูงกว่าโรงไฟฟ้าทำให้มีแรงดันน้ำสูง ซึ่งสามารถหมุนเพลลาของเครื่องกังหันน้ำที่ต่ออยู่กับเพลลาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทำให้โรเตอร์หมุนเกิดการเหนี่ยวนำขึ้นในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ได้พลังงานไฟฟ้าออกมาใช้งาน (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน: ออนไลน์)

4.1.3 พลังงานลม

ลมเป็นปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ ซึ่งเกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิ ความกดดันของบรรยากาศ และแรงจากการหมุนของโลก สิ่งเหล่านี้เป็นปัจจัยที่ก่อให้เกิดความเร็วลมและกำลังลม เป็นที่ยอมรับโดยทั่วไปว่าลมเป็นพลังงานรูปหนึ่งที่ไม่ต้องซื้อหา เป็นพลังงานที่สะอาดไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสภาพแวดล้อม และสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างไม่รู้จักหมดสิ้น

กังหันลม คือ เครื่องจักรกลอย่างหนึ่งที่สามารถเปลี่ยนพลังงานจลน์จากการเคลื่อนที่ของลมให้เป็นพลังงานกลได้ และสามารถนำพลังงานกลที่ได้มาใช้ประโยชน์โดยตรง เช่น การบดสีเมล็ดพืช การสูบน้ำ หรือผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้า (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน: ออนไลน์)

4.1.4 พลังงานจากขยะ

การผลิตพลังงานจากขยะกระทำได้โดยวิธีการต่างๆ ดังต่อไปนี้

4.1.4.1 การใช้กระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนในการจัดการขยะมูลฝอยชุมชน โดยทั่วไปสามารถแบ่งการทำงานออกเป็น 3 ขั้นตอน ประกอบด้วย

ขั้นตอนแรก การบำบัดขั้นต้น ซึ่งประกอบด้วยการคัดแยกขยะมูลฝอยอินทรีย์จากขยะมูลฝอยรวม หรือการคัดแยกสิ่งปะปนออกจากขยะมูลฝอยอินทรีย์ และลดขนาดของขยะมูลฝอยอินทรีย์ให้เหมาะสมสำหรับการย่อยสลาย และเพื่อให้เกิดความสม่ำเสมอของสารอินทรีย์ที่จะป้อนเข้าสู่ระบบ) รวมทั้งเพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับระบบ ซึ่งโดยทั่วไประบบบำบัดขั้นต้นสำหรับเทคโนโลยีย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ 1) Dry Separation Process ซึ่งมักจะใช้ Rotary Screen เป็นอุปกรณ์สำคัญในการคัดแยกขยะมูลฝอยอินทรีย์ และใช้ Shredder ในการบดย่อยขยะมูลฝอยอินทรีย์ให้มีขนาดเหมาะสำหรับการย่อยสลาย 2) Wet Separation Process จะใช้หลักการคัดแยกสิ่งปะปนออกจากขยะมูลฝอยอินทรีย์โดยวิธีการจม-ลอย ซึ่งส่วนใหญ่จะมีอุปกรณ์สำคัญที่เรียกว่า Pulper ทำหน้าที่ในการคัดแยกและบดย่อยขยะมูลฝอยอินทรีย์

ขั้นตอนที่สอง การย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน ซึ่งเป็นขั้นตอนการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะมูลฝอยอินทรีย์สำหรับนำไปใช้เป็นพลังงาน และเพื่อทำให้ขยะมูลฝอยอินทรีย์ถูกย่อยสลายเปลี่ยนเป็นอินทรีย์วัตถุที่มีความคงตัว ไม่มีกลิ่นเหม็น ปราศจากเชื้อโรคและเมล็ดวัชพืช โดยอาศัยการทำงานของจุลินทรีย์ในสภาพที่ไร้ออกซิเจน ซึ่งขั้นตอนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนนี้สามารถแบ่งออกได้ 2 ประเภทหลักๆ คือ Dry Digestion Process และ Wet Digestion Process

ขั้นตอนที่สาม การบำบัดขั้นหลัง ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นขั้นตอนการจัดการกากตะกอนจากการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนให้มีความคงตัวมากขึ้น เช่น การนำไปหมักโดยใช้ระบบหมักปุ๋ยแบบใช้อากาศ รวมทั้งการคัดแยกเอาสิ่งปะปนต่างๆ เช่น เศษพลาสติกและเศษโลหะออกจาก Compost โดยใช้ตะแกรงร่อน ตลอดจนการปรับปรุงคุณภาพของ Compost ให้เหมาะสมกับการนำไปใช้ประโยชน์ในการเพาะปลูกพืช เช่น การอบเพื่อฆ่าเชื้อโรคและลดความชื้น เป็นต้น

โดยทั่วไปการใช้เทคโนโลยีย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนในการบำบัดขยะมูลฝอยอินทรีย์ 1 ตัน จะได้ก๊าซชีวภาพประมาณ 100-200 ลูกบาศก์เมตร ก๊าซชีวภาพที่ได้จะมีมีเทนเป็นองค์ประกอบประมาณร้อยละ 55-70 และมีค่าความร้อนประมาณ 20-25 เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งพลังงานประมาณร้อยละ 20-40 ของพลังงานของก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ จะถูกนำมาใช้ในระบบทั้งในรูปของพลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อน และจะมีพลังงานไฟฟ้าส่วนที่เหลือประมาณ 75-150 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตันขยะ ที่สามารถส่งออกไปจำหน่ายได้

4.1.4.2 การผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากขยะ ประกอบไปด้วยกระบวนการสลายตัว และกระบวนการกลั่นสลายของโมเลกุลสารอินทรีย์ในขยะ ที่อุณหภูมิสูงประมาณ 1,200 – 1,400 °C ในบรรยากาศที่ควบคุมปริมาณออกซิเจน เพื่อผลิตสารระเหยและถ่านชาร์ ในขั้นตอนของกระบวนการกลั่นสลายขยะจะสลายตัวด้วยความร้อนเกิดเป็นสารระเหยเช่น มีเทน และส่วนที่เหลือยังคงสภาพของแข็งอยู่เรียกว่า ถ่านชาร์ สารระเหยจะทำปฏิกิริยาสันดาปแบบไม่สมบูรณ์ต่อที่อุณหภูมิสูง หรือปฏิกิริยาทุติยภูมิ (secondary reaction) ในขณะที่ถ่านชาร์จะถูกก๊าซซิฟายต่อไปโดยอากาศ ออกซิเจน หรือน้ำ ได้เป็นก๊าซเชื้อเพลิง

ปฏิกิริยาที่กล่าวมาทั้งหมดนี้จะเป็นตัวกำหนดองค์ประกอบของก๊าซเชื้อเพลิง ซึ่งปัจจัยหลักที่จะกำหนดการเกิดปฏิกิริยาดังกล่าวคืออุณหภูมิภายในเครื่องปฏิกรณ์ เช่น ถ้า residence time ในบริเวณ hot zone ของเครื่องปฏิกรณ์น้อยเกินไป หรืออุณหภูมิต่ำเกินไป จะทำให้โมเลกุลขนาดกลางไม่เกิดการสันดาปและจะหลุดออกไปเกิดการควบแน่นที่บริเวณ reduction zone เป็นน้ำมันทาร์

รูปแบบการใช้งานก๊าซเชื้อเพลิง เช่น ให้ความร้อนโดยตรง ผลิตไฟฟ้า หรือใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับพาหนะ จะเป็นตัวกำหนดองค์ประกอบของก๊าซเชื้อเพลิง การกำจัดปริมาณของน้ำมันทาร์และฝุ่นละอองในก๊าซเชื้อเพลิง ปัจจัยที่กำหนดสัดส่วนองค์ประกอบของก๊าซเชื้อเพลิงคือ ชนิดของเครื่องปฏิกรณ์ สภาวะความดันและอุณหภูมิ และคุณลักษณะของขยะ คุณลักษณะของขยะจะเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อพฤติกรรมทางด้านเคมีความร้อนของเครื่องปฏิกรณ์ในแง่ของประสิทธิภาพของระบบและคุณภาพของก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้ ก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้สามารถนำไปใช้กับเครื่องยนต์สันดาปภายใน การเผาในกังหันก๊าซ หรือหม้อไอน้ำ

4.1.4.3 การแปรรูปขยะไปเป็นพลังงานความร้อนโดยใช้เตาเผา Incineration คือการเผาขยะในเตาที่ได้มีการออกแบบมาเป็นพิเศษเพื่อให้เข้ากับลักษณะสมบัติของขยะ คือมีอัตราความชื้นสูง และมีค่าความร้อนที่แปรผันได้ การเผาไหม้จะต้องมีการควบคุมที่ดีเพื่อจะป้องกันไม่ให้เกิดมลพิษและการรบกวนต่อสิ่งแวดล้อม เช่น ก๊าซพิษ เขม่า กลิ่น เป็นต้น ก๊าซซึ่งเกิดจากการเผาไหม้ จะได้รับการกำจัดเขม่าและอนุภาคตามที่กฎหมายควบคุม ก่อนที่จะส่งออกสู่บรรยากาศ ชี้นำซึ่งเหลือจากการเผาไหม้ ซึ่งมีปริมาตรประมาณ 10% และน้ำหนักประมาณ 25 ถึง 30% ของขยะที่ส่งเข้า

เตาเผา จะถูกนำไปฝังกลบหรือใช้เป็นวัสดุพื้นฐานสำหรับการสร้างถนน ส่วนซีเมนต์ที่มีส่วนประกอบของโลหะอาจถูกนำกลับมาใช้ใหม่ได้ นอกจากนี้ในบางพื้นที่ที่มีปริมาณขยะอยู่มาก สามารถที่จะนำพลังงานความร้อนที่ได้จากการเผาขยะมาใช้ในการผลิตไอน้ำ ทำน้ำร้อน หรือผลิตกระแสไฟฟ้าได้

ประโยชน์หลักที่ได้รับจากการเผาไหม้ขยะมูลฝอยในเตาเผาได้แก่การนำเอาพลังงานที่มีอยู่ในขยะมูลฝอยกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ โดยการเผาทำลายขยะมูลฝอยในเตาเผาสามารถลดปริมาณการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากหลุมฝังกลบและสามารถใช้ทดแทนเชื้อเพลิงฟอสซิลได้ นอกจากนี้ยังเป็นการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยรวมด้วย ก๊าซร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ในเตาเผาจะมีพลังงานที่เกิดจากการเผาไหม้อยู่ในตัวด้วย มันจะถูกทำให้เย็นตัวลงในหม้อน้ำก่อนที่จะไหลเข้าสู่อุปกรณ์ควบคุมมลพิษอากาศ ชนิดของหม้อน้ำที่ติดตั้งขึ้นอยู่กับความต้องการพลังงานในรูปของน้ำร้อนเพื่อใช้กับระบบน้ำร้อน หรือไอน้ำเพื่อใช้ในกระบวนการอุตสาหกรรม หรือเพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้า ประสิทธิภาพเชิงความร้อนโดยรวมของโรงเผาขยะมูลฝอยชุมชนซึ่งรวมถึงระบบการผลิตพลังงานขึ้นอยู่กับพลังงานรูปสุดท้ายที่ต้องการใช้งาน การผลิตกระแสไฟฟ้าจะให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่ต่ำและจะให้ราคาขายพลังงานที่สูง ในขณะที่การผลิตน้ำร้อนเพื่อใช้ในระบบเครือข่ายน้ำร้อนจะได้พลังงานที่มีราคาขายพลังงานที่ไม่แพง แต่จะให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่สูงกว่าและความยุ่งยาก รวมทั้งต้นทุนและความต้องการการติดตั้งด้านเทคนิคค่อนข้างต่ำกว่า

4.1.4.4 การผลิตพลังงานจากขยะมูลฝอยโดยใช้ก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบขยะ

เทคโนโลยีการผลิตพลังงานจากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยแบบถูกหลักสุขาภิบาล เป็นการพัฒนาและปรับปรุงระบบฝังกลบขยะมูลฝอยเพื่อลดการปล่อยออกของก๊าซมีเทนที่เกิดจากกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนภายในหลุมฝังกลบ ซึ่งเป็นก๊าซเรือนกระจกที่ก่อให้เกิดปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก หรือภาวะโลกร้อน ดังนั้นโครงการผลิตพลังงานโดยใช้ก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยซึ่งเป็นการกู้คืนมีเทน จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถลดปัญหาดังกล่าว และเป็นการทดแทนการใช้เชื้อเพลิงจากฟอสซิลในการผลิตพลังงาน ทั้งนี้ควรมีการพิจารณาปัจจัยหลักต่างๆ ดังนี้ ปริมาณขยะมูลฝอยในพื้นที่ฝังกลบตลอดอายุการดำเนินงานฝังกลบ (เฉลี่ยประมาณ 20 ปี) ที่เหมาะสมที่จะนำมาผลิตกระแสไฟฟ้าควรมีปริมาณไม่น้อยกว่า 1 ล้านตันขึ้นไป เนื่องจากปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณขยะมูลฝอยที่นำมาฝังกลบในพื้นที่โครงการ นอกจากนี้ยังมีปัจจัยด้านความลึกของชั้นฝังกลบขยะมูลฝอยซึ่งควรมีความลึกมากกว่า 12 เมตรขึ้นไป รวมทั้งปัจจัยอื่นๆ ได้แก่ องค์ประกอบขยะมูลฝอย สภาพแวดล้อมในพื้นที่ฝังกลบ ความชื้น สภาพความเป็นกรด และอุณหภูมิ โดยกลุ่มประเทศที่มีการผลิตพลังงานโดยใช้ก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยกันมาก ได้แก่ ประเทศในกลุ่มยุโรป อเมริกา แคนาดา ออสเตรเลีย นิวซีแลนด์ และประเทศในแถบเอเชีย ได้แก่ เกาหลีใต้ ฟิลิปปินส์ เป็นต้น สำหรับประเทศไทยเองได้มีการริเริ่มโครงการนำร่องขึ้นในปี พ.ศ. 2538 โดยศูนย์ปฏิบัติการวิศวกรรมพลังงานและสิ่งแวดล้อม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ได้เริ่มดำเนินโครงการบำบัดและใช้ประโยชน์จากขยะ โดยได้รับงบประมาณจากมูลนิธิชัยพัฒนาเพื่อจัดตั้งกองทุนบำบัดและใช้ประโยชน์จากขยะตามแนวพระราชดำริพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวฯ ซึ่งมีเป้าหมายในการผลิตกระแสไฟฟ้าขนาด 650 กิโลวัตต์ จากพื้นที่ประมาณ 65 ไร่ ของแหล่งฝังกลบขยะอย่างถูกหลักสุขาภิบาลกำแพงแสน และอยู่ห่างจากโรงไฟฟ้าซึ่งตั้งอยู่ภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์กำแพงแสน 1.7 กิโลเมตร ปัจจุบันอยู่ระหว่างการเริ่มต้นดำเนินโครงการระยะที่ 3 เพื่อเดินเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าเครื่องที่ 1 ขนาดกำลังผลิต 435 กิโลวัตต์

4.1.4.5 ขยะเชื้อเพลิง การใช้ขยะมูลฝอยที่เก็บรวบรวมได้เพื่อการเผาไหม้โดยตรง มักก่อให้เกิดความยุ่งยากในการทำงานเนื่องจากความไม่แน่นอนในองค์ประกอบต่างๆ ที่ประกอบกันขึ้นเป็นขยะมูลฝอย ซึ่งเปลี่ยนแปลงไปตามชุมชนและตามฤดูกาล อีกทั้งขยะมูลฝอยเหล่านี้มีค่าความร้อนต่ำ มีปริมาณแฉะและความชื้นสูง สิ่งเหล่านี้ก่อความยุ่งยากให้กับผู้ออกแบบโรงเผาและผู้ปฏิบัติ และควบคุมการเกิดผลกระทบต่องสิ่งแวดล้อมได้ยาก การแปรรูปขยะมูลฝอยโดยผ่านกระบวนการจัดการต่างๆ เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมีของขยะมูลฝอยเพื่อให้กลายเป็น ขยะเชื้อเพลิง (Refuse Derived Fuel; RDF) จะสามารถแก้ปัญหาดังกล่าวมาข้างต้นได้ ซึ่งขยะเชื้อเพลิงที่ได้นั้นสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อผลิตพลังงานได้ ขยะเชื้อเพลิง หมายถึง ขยะมูลฝอยที่ผ่านกระบวนการจัดการต่างๆ เช่น การคัดแยกวัสดุที่เผาไหม้ได้ออกมา การฉีกหรือตัดขยะมูลฝอยออกเป็นชิ้นเล็กๆ ขยะเชื้อเพลิงที่ได้นี้จะมีค่าความร้อนสูงกว่าหรือมีคุณสมบัติเป็นเชื้อเพลิงที่ดีกว่าการนำขยะมูลฝอยที่เก็บรวบรวมมาใช้โดยตรง เนื่องจากมีองค์ประกอบทั้งทางเคมีและกายภาพสม่ำเสมอกว่า ข้อดีของขยะเชื้อเพลิง คือ ค่าความร้อนสูง (เมื่อเปรียบเทียบกับขยะมูลฝอยที่เก็บรวบรวมมา) ง่ายต่อการจัดเก็บ การขนส่ง การจัดการต่างๆ รวมทั้งส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่ำ การใช้ RDF นั้น ทั้งเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าและความร้อน โดยที่อาจจะมีการใช้ RDF เป็นเชื้อเพลิงภายในที่เดียวกัน หรือมีการขนส่งในกรณีที่ตั้งของโรงงานไม่ได้อยู่ที่เดียวกัน ทางเลือกอีกทางหนึ่งก็คือ นำไปใช้เผาร่วมกับถ่านหิน เพื่อลดปริมาณการใช้ถ่านหินลง อุตสาหกรรมบางประเภท เช่น อุตสาหกรรมซีเมนต์ ได้มีการนำ RDF ไปใช้ในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ ทำให้ลดการใช้ถ่านหินลงไปได้ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน: ออนไลน์)

4.1.5 เชลล์เชื้อเพลิง

เชลล์เชื้อเพลิง คือ อุปกรณ์ที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมี-ไฟฟ้า ระหว่างออกซิเจนกับไฮโดรเจนซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงพลังงานของเชื้อเพลิงไปเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยตรง ไม่ต้องผ่านการเผาไหม้ ทำให้เครื่องยนต์ที่ใช้เชลล์เชื้อเพลิงนี้ไม่ก่อมลภาวะทางอากาศ ทั้งยังมีประสิทธิภาพสูงกว่าเครื่องยนต์เผาไหม้ 1-3 เท่าขึ้นอยู่กับชนิดของเชลล์เชื้อเพลิงและชนิดของเชื้อเพลิงที่ใช้ เชลล์เชื้อเพลิงมีหลายแบบขึ้นอยู่กับสารที่ใช้เป็นเชื้อเพลิง เช่น เชลล์เชื้อเพลิงไฮโดรเจน-ออกซิเจน ไฮโดรเจน-ไฮโดรคาร์บอน โพรเพน-ออกซิเจน เป็นต้น และชนิดที่เป็นที่นิยมใช้คือ เชลล์เชื้อเพลิงไฮโดรเจน-ออกซิเจน เพราะ

เซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้ไม่ก่อให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เช่นเซลล์เชื้อเพลิงชนิดอื่นๆ เซลล์เชื้อเพลิงมีลักษณะคล้ายกับเซลล์สะสมไฟฟ้าแบบตะกั่วหรือที่เรียกกันโดยทั่วไปว่าแบตเตอรี่มากในด้านที่สามารถอัดประจุใหม่ได้เรื่อยๆ แต่เซลล์เชื้อเพลิงยังไม่นิยมใช้ทั่วไปอย่างแบตเตอรี่เพราะต้นทุนการผลิตอุปกรณ์ในครั้งแรกสูง และยังมีอันตรายที่ต้องใช้ความรู้เฉพาะควบคุมหลายประการ แต่ในปัจจุบันได้นำมาใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าหลายชนิดเช่น โทรศัพท์มือถือ ปาล์ม notebook (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน: ออนไลน์)

4.1.6 พลังงานก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นจากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไร้ออกซิเจน โดยที่ก๊าซชีวภาพจะมีก๊าซมีเทน (CH_4) เป็นองค์ประกอบหลักอยู่ประมาณ 50–80% นอกนั้นเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และมีก๊าซ H_2S , N_2 , H_2 อีกเล็กน้อย ดังนั้นจึงสามารถ นำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนได้ ปัจจุบันสารอินทรีย์ที่นิยมนำมาผ่านกระบวนการนี้แล้วให้ก๊าซชีวภาพ คือ น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม เช่น โรงงานแปรงมันสำปะหลัง โรงงานเบียร์ โรงงานผลไม้กระป๋อง เป็นต้น การผลิตพลังงานก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียในฟาร์มเลี้ยงสัตว์ จะได้ก๊าซชีวภาพ 0.3 – 0.5 ลบ.ม./กิโลกรัม ซึ่งก๊าซมีเทนมีค่าความร้อน 39.4 เมกะจูล/ลบ.ม. สามารถใช้ทดแทนน้ำมันเตาได้ 0.67 ลิตร คิดเทียบเท่าพลังงานไฟฟ้าได้เท่ากับ 9.7 kWh (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน: ออนไลน์)

4.1.7 พลังงานจากน้ำพุร้อน

พลังงานความร้อนใต้พิภพเป็นแหล่งพลังงานหมุนเวียนที่ใช้ไม่หมดสิ้นซึ่งปรากฏให้เห็นในรูปของน้ำพุร้อน ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติที่มีน้ำร้อนไหลขึ้นมาจากใต้ผิวดิน แสดงให้เห็นว่าภายในโลกยังคงมีความร้อนอยู่ จึงเป็นแหล่งพลังงานรูปแบบหนึ่งที่สามารถพัฒนาเพื่อนำมาใช้ประโยชน์ด้านต่าง ๆ เช่น การผลิตกระแสไฟฟ้า ด้านอุตสาหกรรม และการเกษตรกรรม อีกทั้งยังพัฒนาเป็นแหล่งท่องเที่ยวได้อีกด้วย โดยประเภทการใช้ประโยชน์ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของน้ำพุร้อน อัตราการไหลของน้ำพุร้อน ลักษณะโครงสร้างของชั้นหินที่เป็นหินกักเก็บซึ่งเป็นช่องทางการนำน้ำพุร้อนขึ้นมาสู่ผิวโลก (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน: ออนไลน์)

จากการศึกษาเรื่องพลังงานหมุนเวียนเพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้า ผู้วิจัยพบว่า เซลล์แสงอาทิตย์มีความเหมาะสมมากที่สุดในการนำมาใช้ประกอบการวิจัย เพราะแสงอาทิตย์เป็นพลังงานที่ได้เปล่า และการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์มีความสอดคล้องกับความสนใจของผู้วิจัยที่ต้องการลดอุณหภูมิภายในห้องทดสอบที่มีผลมาจากความร้อนของแสงอาทิตย์ ดังนั้นในวันที่ไม่มีแสงอาทิตย์และเซลล์แสงอาทิตย์ไม่สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ ก็ไม่ใช่อุปสรรคกับการวิจัย เพราะหากไม่มีแสงอาทิตย์ก็จะเป็นที่ว่างในห้องทดสอบด้วย จึงไม่มีความจำเป็นต้องใช้พลังงานไฟฟ้าในวันนั้นๆ ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์เป็นลำดับต่อไป

4.2 เซลล์แสงอาทิตย์(Solar Cell)

แสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานตามธรรมชาติที่สะอาด มีอยู่ทั่วไป และมีขนาดใหญ่ที่สุด แต่การนำมาใช้งานยังมีข้อจำกัดอยู่บ้าง ทั้งนี้เนื่องจากแสงอาทิตย์มีเฉพาะในตอนกลางวัน ตลอดจนความเข้มของแสงที่ไม่แน่นอนขึ้นอยู่กัฏฤดูกาลและสภาพอากาศ แสงอาทิตย์เกิดจากปฏิกิริยาเทอร์โมนิวเคลียร์ในดวงอาทิตย์ เมื่อแสงอาทิตย์เดินทางมาถึงนอกชั้นบรรยากาศของโลก จะมีความเข้มโดยเฉลี่ยประมาณ 1,350 วัตต์ต่อตารางเมตร แต่พลังงานประมาณร้อยละ 30 จะสูญเสียไปเมื่อผ่านชั้นบรรยากาศของโลก ค่าความเข้มของแสงอาทิตย์ที่กระทบผิวโลกจึงมีค่าเหลือประมาณ 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร (ชาย ชีวะเกตุ; และชนานัญ บัวเขียว. 2543: 54) หรือเฉลี่ย 4000–5000 วัตต์ต่อชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อวัน ซึ่งหมายความว่าในหนึ่งวันบนพื้นที่หนึ่งตารางเมตรนั้นเราจะได้รับพลังงานแสงอาทิตย์ 1000 วัตต์เป็นเวลานาน 4 – 5 ชั่วโมง(ดุสิต เครืองาม. 2542: 689)

ปริมาณแสงอาทิตย์ที่พื้นที่หนึ่งพื้นที่ใดได้รับจะมีปริมาณสูงสุด เมื่อพื้นที่นั้นทำมุมตั้งฉากกับแสงอาทิตย์ ดังนั้นหากต้องการให้พื้นที่ได้รับแสงอาทิตย์มากที่สุดต่อวัน จะต้องปรับพื้นที่นั้นให้เคลื่อนที่ตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ ซึ่งดวงอาทิตย์จะเคลื่อนที่จากทิศตะวันออกสู่ทิศตะวันตกเสมอ นอกจากนี้จากการที่โลกเอียงทำให้ซีกโลกเหนือหันเข้าหาดวงอาทิตย์ในช่วงฤดูร้อน และซีกโลกใต้หันเข้าหาดวงอาทิตย์ในช่วงฤดูหนาว จึงต้องปรับมุมก้มและมุมเงยของพื้นที่รับแสงนั้นๆ ในแนวเหนือใต้ให้สอดคล้องกับฤดูกาล เพื่อให้พื้นที่นั้นๆ รับแสงอาทิตย์ได้มากที่สุดตลอดทั้งปี (ชาย ชีวะเกตุ; และชนานัญ บัวเขียว. 2543: 54)

เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) เป็นสิ่งประดิษฐ์กรรมทางอิเล็กทรอนิกส์ ที่สร้างขึ้นเพื่อเป็นอุปกรณ์สำหรับเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยการนำสารกึ่งตัวนำ เช่น ซิลิกอน ซึ่งมีราคาถูกที่สุดและมีมากที่สุดบนพื้นโลกมาผ่านกระบวนการทางวิทยาศาสตร์เพื่อผลิตให้เป็นแผ่นบางบริสุทธิ์ และทันทีที่แสงตกกระทบบนแผ่นเซลล์ รังสีของแสงที่มีอนุภาคของพลังงานประกอบที่เรียกว่า โฟตอน (Proton) จะถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอน (Electron) ในสารกึ่งตัวนำจนมีพลังงานมากพอที่จะกระโดดออกมาจากแรงดึงดูดของอะตอม (atom) และเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ ดังนั้นเมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ครบวงจรจะทำให้เกิดไฟฟ้ากระแสตรงขึ้น เมื่อพิจารณาลักษณะการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์พบว่า เซลล์แสงอาทิตย์จะมีประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าสูงที่สุดในช่วงเวลากลางวัน ซึ่งสอดคล้องและเหมาะสมในการนำเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้ผลิตไฟฟ้า เพื่อแก้ไขปัญหาการขาดแคลนพลังงานไฟฟ้าในช่วงเวลากลางวัน การผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์มีจุดเด่นที่สำคัญ แตกต่างจากวิธีอื่นหลายประการ เช่น ไม่มีชิ้นส่วนที่เคลื่อนไหวในขณะที่ใช้งาน จึงทำให้ไม่มีมลภาวะทางเสียง ไม่ก่อให้เกิดมลภาวะเป็นพิษจากขบวนการผลิตไฟฟ้า มีการบำรุงรักษาน้อยมากและใช้งานแบบอัตโนมัติได้ง่าย ประสิทธิภาพคงที่ไม่ขึ้นกับขนาด สามารถผลิตเป็นแผงขนาดต่างๆ ได้ง่าย ทำให้สามารถผลิต

ได้ปริมาณมาก ผลิตไฟฟ้าได้แม้มีแสงแดดอ่อนหรือมีเมฆ เป็นการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้มาจากธรรมชาติและมีไม่สิ้นสุด ผลิตไฟฟ้าได้ทุกมุมโลกแม้บนเกาะเล็กๆ กลางทะเล บนยอดเขาสูง หรือในอวกาศ ได้พลังงานไฟฟ้าโดยตรงซึ่งเป็นพลังงานที่นำมาใช้ได้สะดวกที่สุด (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. 2550: ออนไลน์)

4.2.1 ประวัติความเป็นมาของเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ถูกสร้างขึ้นมากครั้งแรกในปี ค.ศ. 1954 (พ.ศ. 2497) โดย แชปปีน (Chapin) ฟูลเลอร์ (Fuller) และเพียร์สัน (Pearson) แห่งเบลล์เทเลโฟน (Bell Telephone) โดยทั้ง 3 ท่านนี้ได้ค้นพบเทคโนโลยีการสร้างรอยต่อ พี-เอ็น (P-N) แบบใหม่ โดยวิธีการแพร่สารเข้าไปในผลึกของซิลิกอน จนได้เซลล์แสงอาทิตย์อันแรกของโลก ซึ่งมีประสิทธิภาพเพียง 6% ซึ่งปัจจุบันนี้เซลล์แสงอาทิตย์ได้ถูกพัฒนาขึ้นจนมีประสิทธิภาพสูงกว่า 15% แล้ว ในระยะแรกเซลล์แสงอาทิตย์ส่วนใหญ่จะใช้สำหรับโครงการด้านอวกาศ ดาวเทียมหรือยานอวกาศที่ส่งจากพื้นโลกไปโคจรในอวกาศ ก็ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดพลังงาน ต่อมาจึงได้มีการนำเอาแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้งานบนพื้นโลกเช่นในปัจจุบัน เซลล์แสงอาทิตย์ในยุคแรกๆ ส่วนใหญ่จะมีสีเทาดำ แต่ในปัจจุบันนี้ได้มีการพัฒนาให้เซลล์แสงอาทิตย์มีสีต่างๆ กันไป เช่น แดง น้ำเงิน เขียว ทอง เป็นต้น เพื่อความสวยงาม (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. 2550: ออนไลน์)

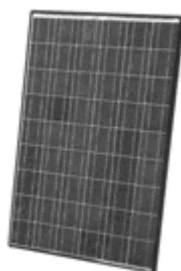
4.2.2 ประเภทของเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ที่นิยมใช้กันอยู่ในปัจจุบันจะแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ



แบบผลึกเดี่ยว

(Single Crystal)



แบบผลึกรวม

(Poly Crystal)



แบบอะมอร์ฟัส

(Amorphous)

ภาพประกอบ 21 ลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์ในกลุ่มที่ทำจากสารกึ่งตัวนำประเภทซิลิคอน

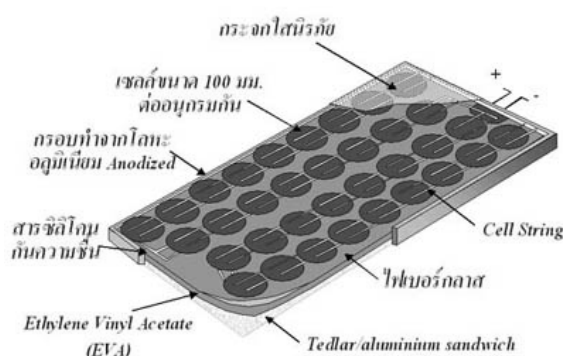
ที่มา: การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. (2500). เทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์. (ออนไลน์).

4.2.2.1 กลุ่มเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำประเภทซิลิคอน จะแบ่งตามลักษณะของผลึกที่เกิดขึ้น คือ แบบที่เป็นรูปผลึก (Crystal) และแบบที่ไม่เป็นรูปผลึก (Amorphous) แบบที่เป็นรูปผลึกจะแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิคอน (Single Crystalline Silicon Solar Cell) และชนิดผลึกรวมซิลิคอน (Poly Crystalline Silicon Solar Cell) แบบที่ไม่เป็นรูปผลึก คือ ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอน (Amorphous Silicon Solar Cell)

4.2.2.2 กลุ่มเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารประกอบที่ไม่ใช่ซิลิคอน ซึ่งประเภทนี้ จะเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพสูงถึง 25% ขึ้นไป แต่มีราคาสูงมากไม่นิยมนำมาใช้บนพื้นโลก นิยมใช้กับงานสำหรับดาวเทียมและระบบรวมแสงเป็นส่วนใหญ่ แต่การพัฒนาขบวนการผลิตสมัยใหม่จะทำให้มีราคาถูกลง และนำมาใช้มากขึ้นในอนาคต (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. 2550: ออนไลน์)

4.2.3 ส่วนประกอบของเซลล์แสงอาทิตย์

แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ผลิตขึ้นจากเซลล์แสงอาทิตย์เพียงเซลล์เดียวจะมีค่าต่ำมาก การนำมาใช้งานจะต้องนำเซลล์หลายๆ เซลล์มาต่อกันแบบอนุกรมเพื่อเพิ่มค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าให้สูงขึ้น เซลล์ที่นำมาต่อกันในจำนวนและขนาดที่เหมาะสมเรียกว่า แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Module หรือ Solar Panel) การทำเซลล์แสงอาทิตย์ให้เป็นแผงก็เพื่อความสะดวกในการนำไปใช้งาน ด้านหน้าของแผงเซลล์ประกอบด้วย แผ่นกระจกที่มีส่วนผสมของเหล็กดำ ซึ่งมีคุณสมบัติในการยอมให้แสงผ่านได้ดี และยังเป็นเกราะป้องกันแผ่นเซลล์อีกด้วย



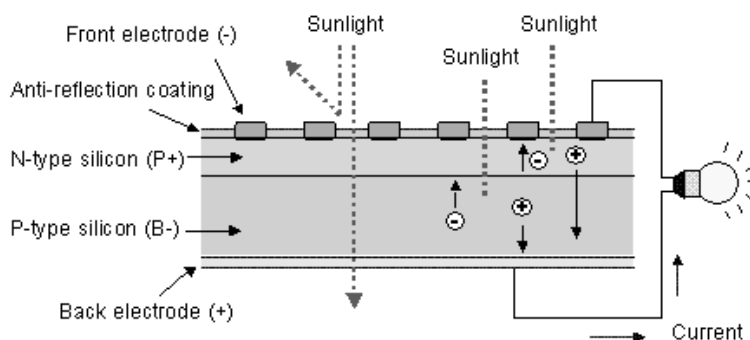
ภาพประกอบ 22 แสดงส่วนประกอบของเซลล์แสงอาทิตย์

ที่มา: การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. (2500). เทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์. (ออนไลน์).

แผงเซลล์จะต้องมีการป้องกันความชื้นที่ดีมาก เพราะจะต้องอยู่กลางแจ้งเป็นเวลานาน ในการประกอบจะต้องใช้วัสดุที่มีความคงทนและป้องกันความชื้นที่ดี เช่น ซิลิโคน และอีวีเอ (Ethelele Vinyl Acetate) เป็นต้น เพื่อเป็นการป้องกันแผ่นกระจกด้านบนของแผงเซลล์จึงต้องมีการทำกรอบด้วยวัสดุที่มีความแข็งแรง แต่บางครั้งก็ไม่มีเวลาจำเป็นถ้ามีการเสริมความแข็งแรงของแผ่นกระจกให้เพียงพอ ซึ่งก็สามารถทดแทนการทำกรอบได้เช่นกัน ดังนั้นแผงเซลล์จึงมีลักษณะเป็นแผ่นเรียบ(laminate) ซึ่งสะดวกในการติดตั้ง (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. 2550: ออนไลน์)

4.2.4 หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์

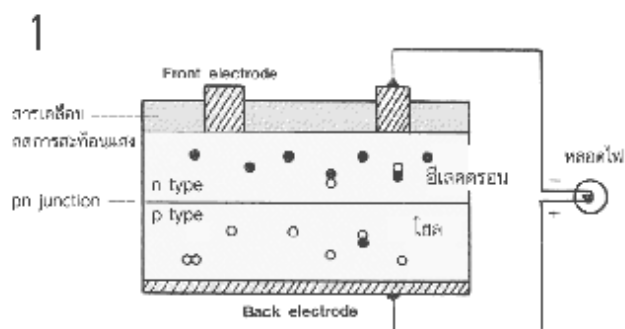
การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นขบวนการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นกระแสไฟฟ้าได้โดยตรง โดยเมื่อแสงซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและมีพลังงานกระทบกับสารกึ่งตัวนำ จะเกิดการถ่ายทอดพลังงานระหว่างกัน พลังงานจากแสงจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของกระแสไฟฟ้า (อิเล็กตรอน) ขึ้นในสารกึ่งตัวนำ จึงสามารถต่อกระแสไฟฟ้างดกล่าวไปใช้งานได้ ดังแสดงในภาพประกอบ 23



ภาพประกอบ 23 แสดงการผลิตกระแสไฟฟ้าโดยเซลล์แสงอาทิตย์

ที่มา: การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. (2500). *เทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์*. (ออนไลน์).

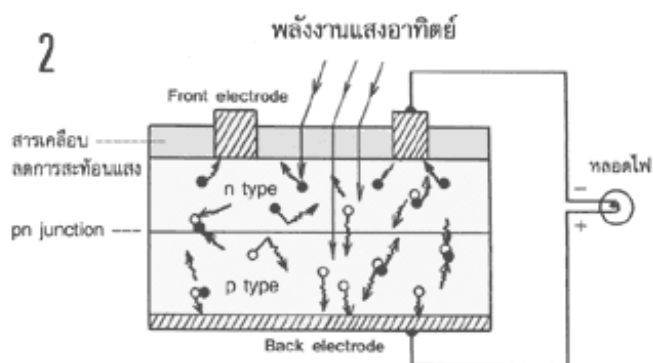
ในสถานะที่ไม่มีแสงแดด n - type ซิลิคอนซึ่งอยู่ด้านหน้าของเซลล์ คือ สารกึ่งตัวนำที่ได้รับการโด๊ปด้วยสารฟอสฟอรัส มีคุณสมบัติเป็นตัวให้อิเล็กตรอนเมื่อรับพลังงานจากแสงอาทิตย์ p - type ซิลิคอน คือสารกึ่งตัวนำที่ได้รับการโด๊ปด้วยสารโบรอน ทำให้โครงสร้างของอะตอมสูญเสียอิเล็กตรอน (โฮล) เมื่อรับพลังงานจากแสงอาทิตย์จะทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน เมื่อนำซิลิคอนทั้ง 2 ชนิดมาประกบต่อกันด้วย p - n junction จึงทำให้เกิดเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ ในสถานะที่ยังไม่มีแสงแดด n - type ซิลิคอนซึ่งอยู่ด้านหน้าของเซลล์ส่วนประกอบส่วนใหญ่พร้อมจะให้อิเล็กตรอน แต่ก็ยังมีโฮลปะปนอยู่บ้างเล็กน้อย ด้านหน้าของ n - type จะมีแถบโลหะเรียกว่า Front Electrode ทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน ส่วน p - type ซิลิคอนซึ่งอยู่ด้านหลังของเซลล์ โครงสร้างส่วนใหญ่เป็นโฮล แต่ยังคงมีอิเล็กตรอนปะปนบ้างเล็กน้อย ด้านหลังของ p - type ซิลิคอนจะมีแถบโลหะเรียกว่า Back Electrode ทำหน้าที่เป็นตัวรวบรวมโฮล (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. 2550: ออนไลน์)



ภาพประกอบ 24 โครงสร้างการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ในสภาวะไม่มีแสงแดด

ที่มา: การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. (2500). เทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์. (ออนไลน์).

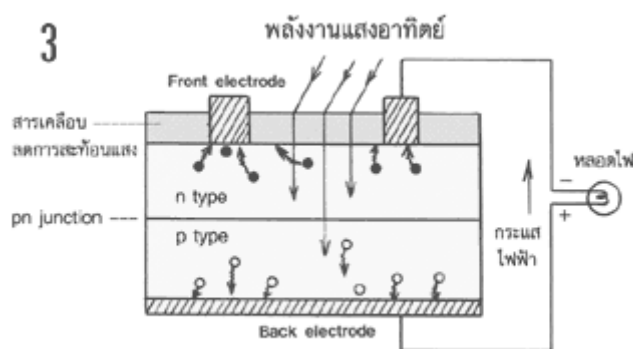
เมื่อมีแสงอาทิตย์ตกกระทบ แสงอาทิตย์จะถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอนและโฮล ทำให้เกิดการเคลื่อนไหว เมื่อพลังสูงพอทั้งอิเล็กตรอนและโฮลจะวิ่งเข้าหาเพื่อจับคู่กัน อิเล็กตรอนจะวิ่งไปยังชั้น n - type และโฮลจะวิ่งไปยังชั้น p type



ภาพประกอบ 25 การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนไปยังชั้น n – type และโฮลไปยังชั้น p type

ที่มา: การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. (2500). เทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์. (ออนไลน์).

อิเล็กตรอนวิ่งไปรวมกันที่ Front Electrode และโฮลวิ่งไปรวมกันที่ Back Electrode เมื่อมีการต่อวงจรไฟฟ้าจาก Front Electrode และ Back Electrode ให้ครบวงจร ก็จะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้น เนื่องจากทั้งอิเล็กตรอนและโฮลจะวิ่งเพื่อจับคู่กัน



ภาพประกอบ 26 การเกิดกระแสไฟฟ้าเนื่องจากการเคลื่อนที่ไปจับคู่กับของอิเล็กตรอนและโฮล

ที่มา: การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. (2500). *เทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์*. (ออนไลน์).

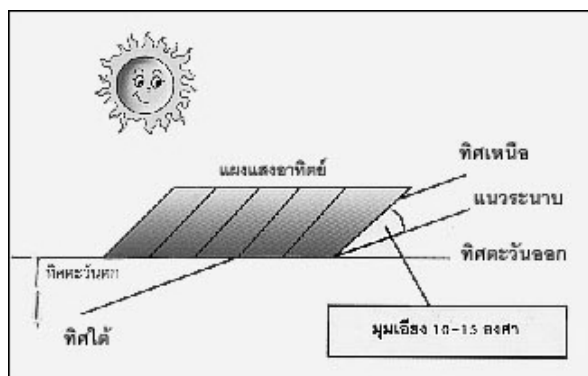
4.2.5 คุณสมบัติและตัวแปรที่สำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์

ตัวแปรที่สำคัญที่มีส่วนทำให้เซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพการทำงานในแต่ละพื้นที่ต่างกัน และมีความสำคัญในการพิจารณานำไปใช้ในแต่ละพื้นที่ ตลอดจนการนำไปคำนวณระบบหรือคำนวณจำนวนแผงแสงอาทิตย์ที่ต้องใช้ในแต่ละพื้นที่ มีดังนี้(การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. 2550: ออนไลน์)

4.2.5.1 ความเข้มของแสง

กระแสไฟ (Current) จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มของแสง หมายความว่าเมื่อความเข้มของแสงสูง กระแสที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ก็จะสูงขึ้น ในขณะที่แรงดันไฟฟ้าหรือโวลต์แทบจะไม่แปรไปตามความเข้มของแสงมากนัก ความเข้มของแสงที่ใช้วัดเป็นมาตรฐานคือ ความเข้มของแสงที่วัดบนพื้นโลกในสภาพอากาศปลอดโปร่ง ปราศจากเมฆหมอกและวัดที่ระดับน้ำทะเลในสภาพที่แสงอาทิตย์ตั้งฉากกับพื้นโลก ซึ่งความเข้มของแสงจะมีค่าเท่ากับ $1,000 \text{ W/m}^2$ ซึ่งมีค่าเท่ากับ AM 1.5 (Air Mass 1.5) และถ้าแสงอาทิตย์ทำมุม 60 องศากับพื้นโลกความเข้มของแสงจะมีค่าประมาณ 750 W/m^2 ซึ่งมีค่าเท่ากับ AM 2 กรณีของแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้นจะใช้ค่า AM 1.5 เป็นมาตรฐานในการวัดประสิทธิภาพของแผง(การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. 2550: ออนไลน์)

ในกรณีที่ต้องการให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์รับแสงได้มากที่สุดในแต่ละวันควรติดตั้งโดย หันหน้าไปทางทิศใต้ และทำมุมเอียง 10 – 15 องศา จากแนวระดับ (ฐานข้อมูลวารสารโลกพลังงาน. 2550: ออนไลน์)



ภาพประกอบ 27 ทิศทางการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์

ที่มา:ฐานข้อมูลวารสารโลกพลังงาน. (2550). *มารู้จักเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell)*. (ออนไลน์).

4.2.5.2 อุณหภูมิ

กระแสไฟ (Current) จะไม่แปรตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป ในขณะที่แรงดันไฟฟ้า (โวลท์) จะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งโดยเฉลี่ยแล้วทุกๆ 1 องศาที่เพิ่มขึ้น จะทำให้แรงดันไฟฟ้าลดลง 0.5% และในกรณีของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาตรฐานที่ใช้กำหนดประสิทธิภาพของแผงแสงอาทิตย์คือ ณ อุณหภูมิ 25°C เช่น กำหนดไว้ว่าแผงแสงอาทิตย์มีแรงดันไฟฟ้าที่วงจรเปิด (Open Circuit Voltage หรือ Voc) ที่ 21 V ณ อุณหภูมิ 25°C ก็จะหมายความว่า แรงดันไฟฟ้าที่จะได้จากแผงแสงอาทิตย์เมื่อ ยังไม่ได้ต่อกับอุปกรณ์ไฟฟ้า ณ อุณหภูมิ 25°C จะเท่ากับ 21 V ถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 25°C เช่น อุณหภูมิ 30°C จะทำให้แรงดันไฟฟ้าของแผงแสงอาทิตย์ลดลง 2.5% ($2.5\% \times 5^{\circ}\text{C}$) นั่นคือ แรงดันของแผงแสงอาทิตย์ที่ Voc จะลดลง 0.525 V ($21\text{ V} \times 2.5\%$) เหลือเพียง 20.475 V ($21\text{V} - 0.525\text{V}$) สรุปได้ว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น แรงดันไฟฟ้าก็จะลดลง ซึ่งมีผลทำให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงแสงอาทิตย์ลดลงด้วย

จากข้อกำหนดดังกล่าวข้างต้น ก่อนที่ผู้ใช้จะเลือกใช้แผงแสงอาทิตย์จะต้องคำนึงถึงคุณสมบัติของแผงที่ระบุไว้ในแผงแต่ละชนิดด้วยว่า ใช้มาตรฐานอะไร หรือมาตรฐานที่ใช้วัดแตกต่างกันหรือไม่ เช่นแผงชนิดหนึ่งระบุว่า ให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ 80 วัตต์ ที่ความเข้มแสง $1,200\text{ W/m}^2$ ณ อุณหภูมิ 20°C ขณะที่อีกชนิดหนึ่งระบุว่า ให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ 75 วัตต์ ที่ความเข้มแสง $1,000\text{ W/m}^2$ และอุณหภูมิมาตรฐาน 25°C แล้ว จะพบว่าแผงที่ระบุว่าให้กำลังไฟฟ้า 80 W จะให้กำลังไฟฟ้าต่ำกว่า จากสาเหตุดังกล่าวผู้ที่ผู้ใช้แผงจึงต้องคำนึงถึงข้อกำหนดเหล่านี้ในการเลือกใช้แผงแต่ละชนิดด้วย (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. 2550: ออนไลน์)

4.2.6 วิธีการกำหนดขนาดของอุปกรณ์ในระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

ขั้นตอนการกำหนดขนาดของอุปกรณ์ในระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ควรเริ่มต้นจาก (คู่มือ เครื่องาม. 2542: 689)

4.2.6.1 คำนวณหาความต้องการใช้ไฟฟ้าในแต่ละวัน

ความต้องการใช้ไฟฟ้าในแต่ละวัน หรือ PL มีหน่วยเป็น W.hr สามารถคำนวณหาได้จากสมการ

$$PL = \text{จำนวนเครื่องใช้ไฟฟ้า} \times \text{กำลังไฟฟ้าต่อชิ้น(W)} \times \text{จำนวนชั่วโมงใช้งานในหนึ่งวัน(hr)}$$

4.2.6.2 คำนวณหาขนาดของเซลล์แสงอาทิตย์

$$P_{call} = \frac{PL}{\left(\frac{Q \times A \times B \times C \times Z}{D} \right)}$$

- เมื่อ P_{call} = ขนาดของเซลล์แสงอาทิตย์ (W)
 PL = ความต้องการพลังงานไฟฟ้าในหนึ่งวัน (W.hr)
 Q = พลังงานแสงอาทิตย์รวมในหนึ่งวัน
 สำหรับประเทศไทยมีค่าเท่ากับ 4000 W.hr/m²
 A = ค่าชดเชยการสูญเสียของเซลล์ กำหนดค่าเท่ากับ 0.8
 B = ค่าชดเชยการสูญเสียเชิงความร้อน กำหนดค่าเท่ากับ 0.85
 C = ประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์ กำหนดค่าเท่ากับ 0.9
 Z = ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ กำหนดค่าเท่ากับ 0.9
 D = ความเข้มของแสง กำหนดค่าเท่ากับ 1000 W/m²

4.2.6.3 ขนาดของเครื่องควบคุมการประจุกระแสไฟฟ้า (Charge Controller)

เครื่องควบคุมการประจุกระแสไฟฟ้าควรมีขนาดเท่ากับหรือมากกว่าขนาดของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านแบตเตอรี่ และมีค่าไม่เกิน 10 % ของความจุแบตเตอรี่

4.2.6.4 ขนาดของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (Inverter)

ต้องสามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แก่โหลดได้อย่างเพียงพอ เนื่องจากอินเวอร์เตอร์มีประสิทธิภาพประมาณ 85 – 90 % จึงต้องเผื่อขนาดให้มากกว่าโหลด 10 – 15 %

4.2.6.5 ขนาดของแบตเตอรี่ (Battery)

ขนาดของแบตเตอรี่ หรือความจุแบตเตอรี่ มีหน่วยเป็น (Ah) สามารถคำนวณหาได้จากสมการ

$$\text{ขนาดของแบตเตอรี่} = \frac{PL}{(E \times F \times C)}$$

เมื่อ PL = ความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละวัน (W.hr)

E = แรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ กำหนดค่าเท่ากับ 12 V

F = ร้อยละของการใช้กระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ กำหนดค่าเท่ากับ 30 %

C = ประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์ กำหนดค่าเท่ากับ 0.9

จากการศึกษาเรื่องพลังงานแสงอาทิตย์ ผู้วิจัยพบว่า ระบบที่เหมาะสมในการนำมาใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าในงานวิจัยคือ ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าแบบอิสระ เนื่องจากไม่มีความซับซ้อนในการต่อใช้งานง่ายต่อการบำรุงรักษา อุปกรณ์ต่างๆ หาซื้อง่าย และมีอายุการใช้งานยาวนาน สำหรับการกำหนดขนาดของอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย จะดำเนินการตามขั้นตอนการกำหนดขนาดอุปกรณ์ในระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ดังที่ได้แสดงไว้ในหัวข้อ 4.2.6

5. ประสิทธิภาพของพัฒนาระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์

คำว่าประสิทธิภาพ หมายถึง ความสามารถที่ทำให้เกิดผลในการทำงาน (ราชบัณฑิตยสถาน. 2542) ทั้งนี้ผลจากการระบายอากาศที่ผู้วิจัยต้องการ คือ การลดลงของอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดสอบ ดังนั้นประสิทธิภาพของพัฒนาระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ จึงหมายถึง ความสามารถในการทำหน้าที่ระบายอากาศซึ่งมีผลทำให้อุณหภูมิอากาศภายในห้องทดสอบลดลง โดยในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ศึกษาประสิทธิภาพ 3 ด้าน คือ

5.1 ด้านการทำงาน หมายถึง ความสามารถในการทำงานของพัฒนาระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 6 นิ้วและ 8 นิ้ว ตลอดระยะเวลา 3 ชั่วโมง

5.2 ด้านการติดตั้ง การใช้งาน และการบำรุงรักษา หมายถึง ความเหมาะสมด้านการติดตั้ง การใช้งาน และการบำรุงรักษาพัฒนาระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 6 นิ้วและ 8 นิ้ว

5.2 ด้านผลจากการทำงาน หมายถึง ผลการลดลงของอุณหภูมิภายในห้องทดสอบ เนื่องจากการทำงานของพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 6 นิ้วและ 8 นิ้ว

6. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

6.1 งานวิจัยภายในประเทศ

รังสิมา กาญจนสมบัติ (2541) ได้ทำการศึกษาผลกระทบของการดูดซับความร้อนและความชื้นของวัสดุภายในอาคารต่อการทำความเย็นของการปรับอากาศ โดยกล่าวถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นไว้ว่า ทุกครั้งที่มีการเปิดเครื่องปรับอากาศ อากาศภายในห้องจะไม่เย็นลงทันที เนื่องจากเครื่องปรับอากาศจะต้องรับภาระในการดึงเอาความร้อนและความชื้นส่วนเกินที่มีอยู่ภายในห้องออกให้หมดเสียก่อน จึงสามารถปรับอุณหภูมิและความชื้นในห้องให้ลดลงอยู่ในสภาวะที่ต้องการได้ และเมื่อปิดเครื่องปรับอากาศ ความร้อนและความชื้นทั้งจากภายในและภายนอกห้องก็จะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่ปิดเครื่องปรับอากาศ เมื่อเปิดเครื่องปรับอากาศใหม่อีกครั้ง เครื่องปรับอากาศจะต้องเริ่มทำหน้าที่นำเอาภาระความร้อนและความชื้นออกจากห้องอีกครั้ง ด้วยเหตุนี้ รังสิมา กาญจนสมบัติ จึงมุ่งศึกษาพฤติกรรมการดูดซับความร้อนและความชื้นของวัสดุชนิดต่างๆ และประเมินผลกระทบของการดูดซับความร้อนและความชื้นของวัสดุต่อการทำความเย็นของระบบปรับอากาศ

ผลการศึกษาพฤติกรรมการดูดซับความร้อนและความชื้นของวัสดุชนิดต่างๆ อาทิเช่น หินแกรนิต กระเบื้องเซรามิก ไม้เนื้อแข็ง ไม้เนื้ออ่อน ยิปซัม พรมขนแกะ พรม Acrylic และสมุดโทรศัพท์ ฯลฯ พบว่าวัสดุข้างต้นมีอัตราการดูดซับและคายความร้อนสูงสุดในช่วง 15 – 30 นาทีแรก ของกระบวนการดูดซับและคายความร้อน และมีอัตราการดูดซับและคายความชื้นค่าสูงสุดในช่วง 15 นาทีแรก ของกระบวนการดูดซับและคายความชื้น โดยได้สรุปผลการศึกษาวิจัยไว้ข้อหนึ่งว่า การใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศจะมีค่าสูงสุดในช่วงแรกของการเปิดเครื่องปรับอากาศ เนื่องจากต้องนำเอาภาระในการทำความเย็น(ความร้อนและความชื้น)ออกจากห้อง แต่หลังจากภาระการทำความเย็นถูกนำออกจากห้องหมดแล้ว เครื่องปรับอากาศจะใช้พลังงานเพียงเล็กน้อยในการทำความเย็นให้กับอากาศ ดังนั้นหากสามารถควบคุมให้ภาระการทำความเย็นเกิดขึ้นน้อยที่สุด การใช้พลังงานในการปรับอากาศก็จะมีค่าต่ำมาก

ด้านการเก็บข้อมูลผู้วิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลเกี่ยวกับอุณหภูมิอากาศภายนอก และอุณหภูมิของชั้นทดสอบทุกๆ 15 นาที

สรณูา ประวิตรวงกูร (2543) ได้ทำการศึกษาเรื่องอิทธิพลของมวลสารผนังภายนอกที่มีต่อสภาวะน่าสบายและภาระการปรับอากาศ ซึ่งสามารถสรุปผลการวิจัยได้ว่า วัสดุผนังภายนอกที่มีปริมาณมวลสารต่างกัน ถึงแม้ว่าจะมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนใกล้เคียงกัน แต่ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านผนังเข้ามาในอาคารตามช่วงเวลาต่างๆ จะไม่เท่ากัน ซึ่งส่งผลให้สภาวะน่าสบายและภาระการปรับอากาศแตกต่างกัน

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้กำหนดสภาพการใช้งานอาคารตามพฤติกรรมการอยู่อาศัยจริง โดยกำหนดสภาพการใช้อาคารไว้ 4 ลักษณะ คือ อาคารที่ไม่มีการปรับอากาศ อาคารที่มีการปรับอากาศ 24 ชั่วโมง อาคารที่มีการปรับอากาศเฉพาะช่วงเวลากลางวัน (8.00-18.00 น.) และอาคารที่มีการปรับอากาศเฉพาะในช่วงเวลากลางคืน (20.00-6.00 น.) ในกรณีของการปรับอากาศเฉพาะในช่วงเวลากลางคืน พบว่า ผนังที่มีมวลสารน้อยมีการสะสมความร้อนในช่วงเวลากลางวันและคายความร้อนในช่วงเวลากลางคืนน้อยกว่าผนังที่มีมวลสารมาก จึงทำให้มีการทำความเย็นน้อยกว่า เมื่อพิจารณาผลรวมของภาระการทำความเย็นตลอดทั้งปีของผนังที่มีมวลสารมากและมีมวลสารน้อย พบว่า ผนังที่มีมวลสารน้อยช่วยลดภาระการทำความเย็นลดได้ประมาณ 65 เปอร์เซ็นต์

ด้านการเก็บข้อมูล ผู้วิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลเกี่ยวกับอุณหภูมิอากาศภายนอก และอุณหภูมิอากาศภายในอาคารจำลอง

สมพงษ์ เหยียบสุญ (2521: บทคัดย่อ) ได้ทำการศึกษาแนวทางการสร้างแบบประเมินการดูดซับความร้อนและความชื้นของวัสดุอาคารและเครื่องเรือนเพื่อการประหยัดพลังงานในภูมิอากาศเขตร้อนชื้น โดยรวบรวมข้อมูลการดูดซับความร้อนและความชื้นของวัสดุ ร่วมกับการศึกษาตัวแปรของส่วนประกอบอาคารที่พักอาศัย แล้วนำมาสร้างเป็นแบบประเมิน ผลการศึกษาพบว่า เมื่อวัสดุอยู่ภายใต้สภาวะการปรับอากาศ การคายความร้อนจะใช้เวลาประมาณ 3-5 ชั่วโมง และใช้เวลา 3-10 ชั่วโมงในการคายความชื้น ภาระการทำความเย็นที่เกิดจากการคายความร้อนและความชื้นในชั่วโมงแรกและชั่วโมงที่สองของการเปิดใช้เครื่องปรับอากาศมีค่าประมาณ 63 เปอร์เซ็นต์ และ 17 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ส่วนชั่วโมงที่เหลือของการปรับอากาศมีค่าภาระการทำความเย็นประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ของภาระการทำความเย็นทั้งหมด สำหรับวัสดุที่ก่ออาคารที่ก่อให้เกิดภาระการทำความเย็นน้อยได้แก่ กระฉก ยิปซัมบอร์ด และวัสดุที่ก่ออาคารที่ก่อให้เกิดภาระการทำความเย็นมากได้แก่ ผนังก่ออิฐฉาบปูน

สหรัฐ อิงคะวณิช (2542) ได้ทำการออกแบบระบบเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อเพิ่มสมรรถนะของหลังคารับรังสีอาทิตย์ โดยทำการติดตั้งพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ไว้บริเวณช่องว่างระหว่างหลังคาและฝ้าเพดานของบ้านจำลอง เมื่อพัดลมระบายอากาศได้รับพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จะทำให้อากาศบริเวณช่องว่างระหว่างหลังคาและฝ้าเพดานเกิดการเคลื่อนที่ อากาศร้อนจะถูกถ่ายเทออกสู่บรรยากาศและอากาศใหม่ที่เย็นกว่าจะถูกนำเข้ามาแทนที่ เป็นผลให้ความร้อนจากหลังคาถ่ายเทผ่านฝ้าเพดานเข้ามาภายในห้องลดน้อยลง ผลการวิจัยสรุปได้ว่าการนำเอาเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้กับพัดลมกระแสตรง เพื่อให้มีการระบายอากาศภายในบ้านมากขึ้น สามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยพบว่าอุณหภูมิของอากาศภายในห้องต่ำกว่าอุณหภูมิแวดล้อมภายนอกเฉลี่ยประมาณ 1 องศาเซลเซียส

ด้านการเก็บข้อมูลวิจัย ได้ทำการเก็บข้อมูลเกี่ยวกับอุณหภูมิตามจุดต่างๆ ภายในห้อง ช่างได้หลังคา บริเวณผิวล่างบนของหลังคา และอุณหภูมิอากาศภายนอก ทุกๆ 15 นาที

ศุภลักษณ์ ใจเรือง (2542: บทคัดย่อ) ได้ทำการออกแบบและปรับปรุงประสิทธิภาพของหลังคาเพื่อการระบายอากาศและลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร โดยมุ่งออกแบบและปรับปรุงประสิทธิภาพของหลังคา 2 วิธี วิธีแรกเป็นการเพิ่มความสามารถในการระบายอากาศให้กับหลังคาโดยวิธีการต่างๆ และวิธีที่สองเป็นการป้องกันความร้อนผ่านจากหลังคาเข้าสู่ห้องโดยใช้ฉนวนชนิดต่างๆ ผลการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่า การใช้พัดลมระบายอากาศเป็นวิธีที่ดีที่สุดในการเพิ่มความสามารถในการระบายอากาศให้กับหลังคา และการใช้ฉนวนเซลลูโลสให้ผลในการป้องกันความร้อนเข้าสู่ห้องได้ดีที่สุด และสรุปผลการวิจัยได้ว่า การใช้ฉนวนเป็นวิธีที่ดีที่สุดในการลดการถ่ายเทความร้อนจากหลังคาเข้าสู่ห้อง

วิกรม จานงจิตต์ (2545: บทคัดย่อ) ทำงานวิจัยในหัวข้อเรื่อง ประสิทธิภาพของการออกแบบการระบายอากาศช่างได้หลังคาเพื่อป้องกันการถ่ายเทความร้อนจากหลังคา ผลการวิจัยสรุปเป็นสาระสำคัญได้ 3 ประการ กล่าวคือ ประการแรก การติดตั้งพัดลมไว้บริเวณช่องว่างระหว่างหลังคา กับเพดานเพื่อระบายอากาศร้อนออกสู่บรรยากาศ มีผลทำให้อุณหภูมิภายในห้องทดสอบลดลงเฉลี่ยประมาณ 0.1 องศาเซลเซียส ประการที่ 2 การปูแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ติดกับหลังคา เพื่อป้องกันการแผ่รังสีความร้อนผ่านเพดานเข้าสู่ห้องทดสอบ มีผลทำให้อุณหภูมิภายในห้องทดสอบลดลงเฉลี่ยประมาณ 0.2 องศาเซลเซียส ประการที่ 3 การปูฉนวนกันความร้อนไว้บนฝ้าเพดาน เพื่อป้องกันการนำความร้อนผ่านฝ้าเพดานเข้าสู่ห้องทดสอบ มีผลให้อุณหภูมิภายในห้องทดสอบลดลงเฉลี่ยประมาณ 0.3 องศาเซลเซียส นอกจากสาระสำคัญทั้ง 3 ประการ ผลการศึกษายังแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดสอบในช่วงเวลากลางคืน กล่าวคือ อุณหภูมิอากาศภายในห้องที่ปูฉนวนกันความร้อนไว้บนฝ้าเพดาน นั้นมีค่าสูงกว่า อุณหภูมิอากาศภายในห้องที่ติดตั้งพัดลมระบายความร้อนไว้ในช่องใต้หลังคา และสูงกว่าห้องที่ปูแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ติดกับโครงหลังคา

6.2 งานวิจัยต่างประเทศ

จิ จาย และคณะ (Ji Jie; et al. 2549) ได้ศึกษาผลของการใช้พัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีต่อการลดลงของอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดสอบ โดยใช้พัดลมระบายอากาศกระแสตรงขนาด 12 โวลต์ 0.45 แอมป์แปร์ ทำงานโดยอาศัยพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 10 วัตต์ ผลการศึกษพบว่า การใช้พัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์สามารถช่วยลดอุณหภูมิภายในห้องทดสอบลงประมาณ 0.5°C

เอ็น โอเด่ และคณะ (N. Odeh; et al. 2548) ศึกษาความถูกต้องของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้วิเคราะห์ผลการทำความร้อนภายในอาคาร เพื่อประโยชน์ในการนำผลการศึกษาไปใช้ออกแบบระบบทำความร้อนภายในอาคารในอนาคต แบบจำลองการทำความร้อนภายในอาคารทำงานโดยอาศัย พัดลมไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เป็นอุปกรณ์ช่วยนำอากาศร้อนจากบริเวณหลังคาภายนอกอาคาร เข้าสู่ภายในอาคารตามท่อนำอากาศร้อนที่สร้างไว้ ผลการศึกษาพบว่าผลการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ผิดพลาดจากความเป็นจริงประมาณ 12%

เอ แกงกูรี และเอส ยอส (A. Ganguly; & S. Ghosh. 2549) ได้สร้างและศึกษาผลของการระบายอากาศภายในเรือนเพาะชำพืช ระบบระบายอากาศที่ใช้ประกอบด้วยพัดลมระบายอากาศ 2 เครื่อง ทำหน้าที่ระบายอากาศออกจากเรือนเพาะชำ ขณะเดียวกันอากาศจากภายนอกจะเข้ามาแทนอากาศที่ถูกระบายออกไปโดยผ่านทางช่องเปิดที่ผนังด้านข้างโรงเรือน ผลการศึกษาพบว่า ในเดือนเมษายนซึ่งมีความชื้นสัมพัทธ์ 50% อุณหภูมิภายในเรือนเพาะชำจะลดลงประมาณ 6°C ในเดือนกรกฎาคมซึ่งมีความชื้นสัมพัทธ์ 75% อุณหภูมิภายในเรือนเพาะชำจะลดลงประมาณ 2°C และในเดือนกันยายนซึ่งมีความชื้นสัมพัทธ์ 50% อุณหภูมิภายในเรือนเพาะชำจะลดลงประมาณ 5°C สำหรับในเดือนมกราคมซึ่งเป็นช่วงฤดูหนาว จึงลดจำนวนพัดลมระบายอากาศลงเหลือเพียง 1 เครื่อง จากการศึกษาพบว่าเมื่ออุณหภูมิอากาศภายนอกมีค่าสูงสุดประมาณ 27°C ความชื้นสัมพัทธ์ 50% อุณหภูมิภายในเรือนเพาะชำจะลดลงประมาณ 4°C

จากการศึกษางานวิจัยทั้งในและต่างประเทศ ผู้วิจัยได้นำผลของงานวิจัยที่ได้ศึกษามาประยุกต์ใช้ดังนี้

1. เนื่องจากอัตราการคายความร้อนสูงสุดของวัสดุตัวอย่างขนาดเล็กจะเกิดขึ้นในช่วง 15 – 30 นาทีแรกของกระบวนการคายความร้อน ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการเก็บข้อมูลเกี่ยวกับอุณหภูมิทุกๆ 15 นาที
2. เนื่องจากกระบวนการคายความร้อนของวัตถุ จะเกิดขึ้นเมื่อวัตถุนั้นมีอุณหภูมิสูงกว่าสิ่งแวดล้อม ดังนั้น พัดลมระบายอากาศในการวิจัยนี้จึงเริ่มทำงานในช่วงเวลา 17.00 น. ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่อุณหภูมิอากาศรอบๆ ห้องทดสอบลดต่ำลงแล้ว และหยุดทำงานเวลา 20.00 น. เพื่อให้สอดคล้องกับพฤติกรรมการใช้เครื่องปรับอากาศในบ้านพักอาศัย

จากการศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องผู้วิจัยสามารถสรุปรายละเอียดเป็นข้อๆ ได้ดังนี้

1. วัสดุที่นิยมใช้การปลูกสร้างอาคารที่พักอาศัยส่วนใหญ่มีคุณสมบัติในการดูดซับความร้อน มีช่วงเวลากการหน่วงความร้อนที่ยาวนาน และมีอัตราการคายความร้อนในช่วงเวลาเย็นถึงค่าสูง ทำให้อุณหภูมิภายในอาคารในช่วงเย็นถึงค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร จึงต้องแก้ปัญหาด้วยการปรับอากาศ

2. ภาระการปรับอากาศส่วนหนึ่งเป็นผลมาจากการคายความร้อนของกรอบอาคาร เนื่องอาคารที่พักอาศัยโดยทั่วไปไม่สามารถสร้างสภาพการระบายอากาศที่ดีได้ ความร้อนที่กรอบอาคารสะสมไว้ในช่วงกลางวันจึงไม่สามารถถ่ายเทออกไปได้ เมื่อมีการเปิดใช้เครื่องปรับอากาศภาระการปรับอากาศส่วนหนึ่งจึงเป็นผลมาจากการคายความร้อนของกรอบอาคาร

3. ภาระการปรับอากาศมีความสัมพันธ์โดยตรงกับอุณหภูมิปรับอากาศ อุณหภูมิที่ทำให้เกิดความสบายและความประหยัดคือ 25°C ผู้วิจัยจึงไม่ทำการทดสอบเมื่ออุณหภูมิอากาศมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 25°C เพราะไม่มีความจำเป็นต้องเปิดใช้เครื่องปรับอากาศ

4. ภาระการปรับอากาศมีความสัมพันธ์โดยตรงกับอุณหภูมิก่อนการปรับอากาศ ซึ่งหากปรับลดลงได้ก็จะทำให้ภาระการปรับอากาศลดลง

5. การถ่ายเทความร้อนจากกรอบอาคารให้กับอากาศภายในห้องเป็นการถ่ายเทโดยการพาความร้อนอย่างอิสระ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ $q = \bar{h} \cdot A \cdot \Delta t$

6. ระยะเวลาในการคายความร้อนของกรอบอาคาร ซึ่งเป็นการนำความร้อนหนึ่งมิติสภาวะไม่คงตัว ไม่มีแหล่งความร้อนภายในตัวกลาง สามารถคำนวณหาได้โดยอาศัยแผนภูมิวิเคราะห์การกระจายอุณหภูมิ $T(x,t)$ ในแผ่นระนาบ และเป็นไปตามสมการ $\tau = \frac{\alpha \cdot t}{L^2}$

7. การระบายอากาศที่มีความเหมาะสมในการนำมาใช้ในการวิจัย คือ การระบายอากาศแบบบังคับ โดยอาศัยพัดลมช่วยให้เกิดการระบายอากาศ สำหรับอัตราการระบายอากาศหรือความร้อนนั้น มีค่าสามารถคำนวณหาได้จาก $q = 1.1 \times CFM \times TC$

8. เพื่อเป็นการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าที่จะต้องสูญเสียให้กับพัดลมระบายอากาศ ดังนั้นพลังงานไฟฟ้าที่จะป้อนให้กับพัดลมระบายอากาศ ผู้วิจัยจึงเลือกใช้พลังงานทดแทน ประเภท พลังงานแสงอาทิตย์ โดยอาศัยผลที่ได้จากการคำนวณเป็นแนวทางในการเลือกใช้อุปกรณ์ต่างๆ ในระบบ

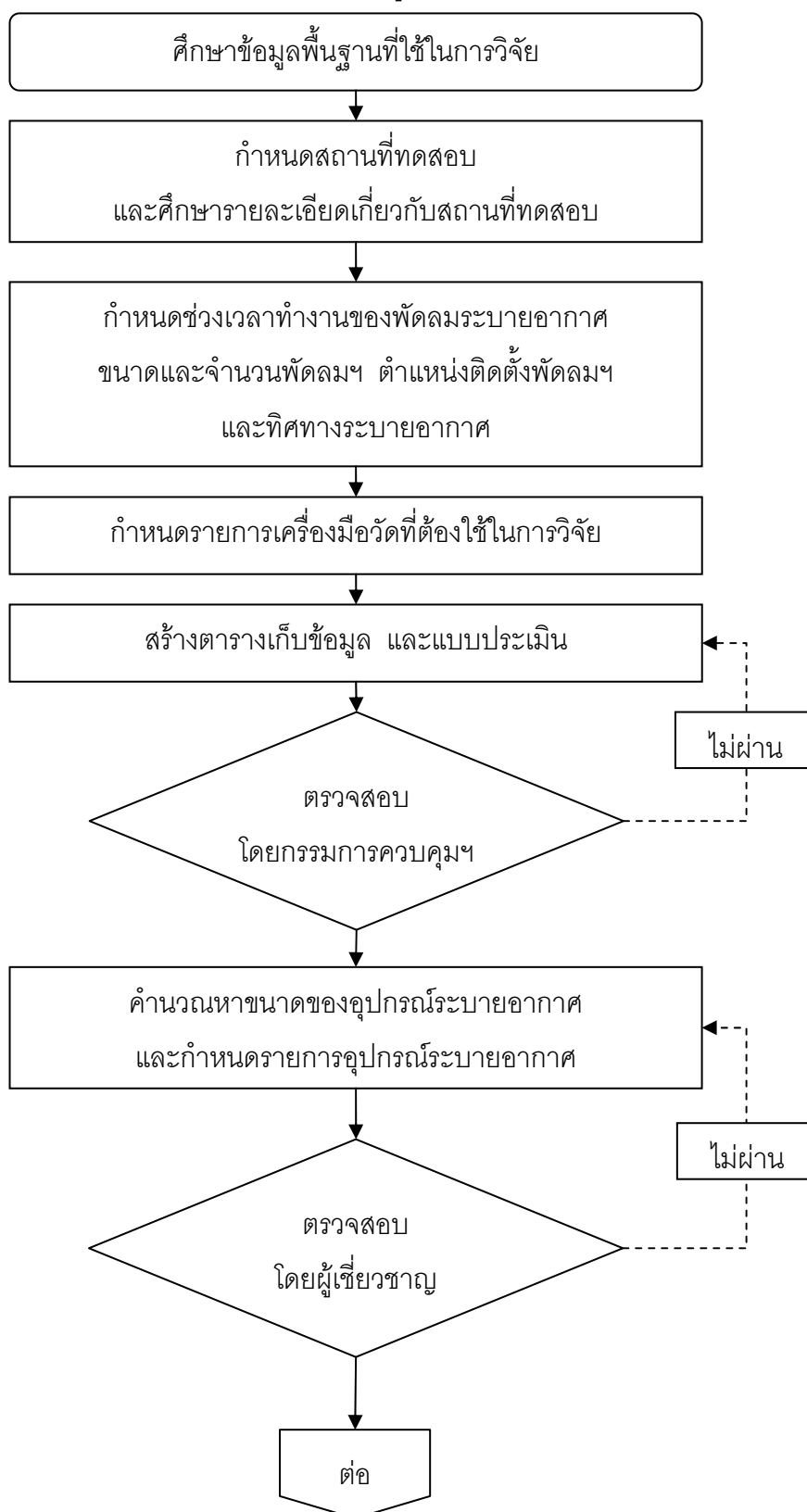
บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

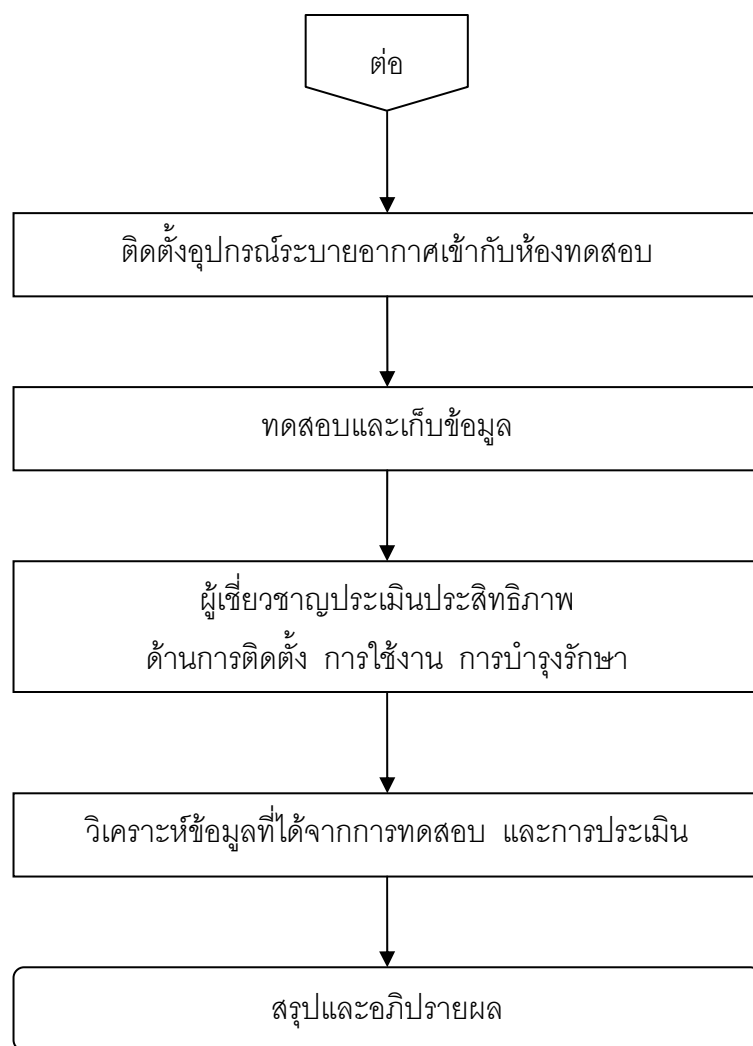
ผู้วิจัยได้ลำดับวิธีการดำเนินการวิจัยไว้ ดังนี้

1. ศึกษาข้อมูลพื้นฐานที่ใช้ในการวิจัย
2. กำหนดสถานที่ทดสอบและศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับสถานที่ทดสอบ
3. กำหนดช่วงเวลาทำงานของพัดลมระบายอากาศ ขนาดของพัดลมระบายอากาศ จำนวนพัดลมระบายอากาศ ตำแหน่งติดตั้งพัดลมระบายอากาศ และทิศทางระบายอากาศ
4. กำหนดรายการเครื่องมือวัดที่ต้องใช้ในการวิจัย
5. สร้างตารางเก็บข้อมูล และแบบประเมินประสิทธิภาพด้านการติดตั้ง การใช้งาน การบำรุงรักษา
6. ตรวจสอบตารางเก็บข้อมูล และแบบประเมินประสิทธิภาพด้านการติดตั้ง การใช้งาน การบำรุงรักษาโดยกรรมการควบคุมปริมาณนิพนธ์
7. คำนวณหาขนาดของอุปกรณ์ระบายอากาศ และกำหนดรายการอุปกรณ์ระบายอากาศ
8. ตรวจสอบความถูกต้องของการคำนวณ และรายการอุปกรณ์ระบายอากาศ โดยผู้เชี่ยวชาญ
9. ติดตั้งอุปกรณ์ระบายอากาศเข้ากับห้องทดสอบ
10. ทดสอบและเก็บข้อมูล
11. ผู้เชี่ยวชาญประเมินประสิทธิภาพด้านการติดตั้ง การใช้งาน การบำรุงรักษา
12. วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ และการประเมิน
13. สรุปและอภิปรายผล

ลำดับขั้นตอนการวิจัย สามารถแสดงเป็นแผนภูมิได้ดังนี้



ภาพประกอบ 28 แสดงลำดับขั้นตอนการวิจัย



ภาพประกอบ 28 (ต่อ)

1. ศึกษาข้อมูลพื้นฐานที่ใช้ในการวิจัย

เพื่อตรวจสอบความถูกต้องเกี่ยวกับทฤษฎีต่างๆ ที่ต้องใช้ในงานวิจัย ผู้วิจัยจึงศึกษารายละเอียดของเนื้อหาตามหัวข้อเรื่องต่อไปนี้

- 1.1 สภาพแวดล้อมของที่พักอาศัยและการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกเข้าสู่อาคาร
- 1.2 การปรับอากาศและเครื่องปรับอากาศ
- 1.3 การระบายอากาศและพัดลมระบายอากาศ
- 1.4 พลังงานทดแทนและเซลล์แสงอาทิตย์
- 1.5 ประสิทธิภาพของพัดลมระบายอากาศ
- 1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

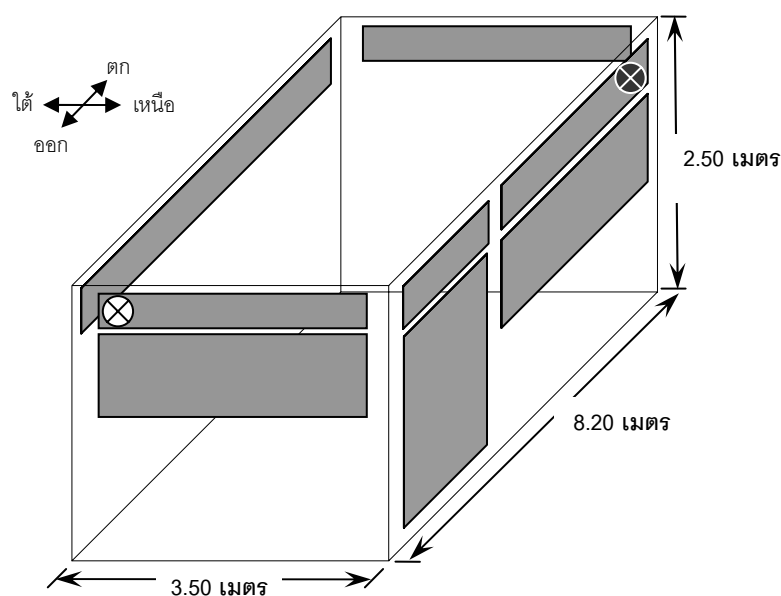
รายละเอียดและข้อสรุปเกี่ยวกับข้อมูลพื้นฐานที่ใช้ในการวิจัย ได้แสดงไว้ในบทที่ 2

2. สถานที่ทดสอบและรายละเอียด

ผู้วิจัยเลือกใช้ห้องประชุมสาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา(ห้อง 901) คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒเป็นห้องทดสอบ ซึ่งมีปริมาณภายในห้องรวมเท่ากับ 63.36 m^3 รายละเอียดต่างๆ ของห้องทดสอบมีดังนี้



ภาพประกอบ 29 ภาพถ่ายห้องทดสอบ



ภาพประกอบ 30 แสดงมิติภายนอกของห้องทดสอบ

2.1 ห้องทดสอบตั้งอยู่บนคาบฟ้า (ชั้น 8) ของอาคารเรียนคณะศึกษาศาสตร์

2.2 คุณสมบัติต่างๆ ของวัสดุก่อสร้าง มีดังนี้

2.2.1 ผนังที่ปกคลุมอิฐฉาบปูน ความหนารวม (ΔX) = 10 C.m. สีเทาอ่อน

2.2.1.1 สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) = 0.807 W/m⁻⁰C

2.2.1.2 ผิวด้านไม่สะท้อนแสงมีสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง

2.2.1.3 ความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศที่ผิวด้านใน (R_i) = 0.12 m²-⁰C / W

2.2.1.4 ความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศที่ผิวด้านนอก (R_o) = 0.044 m²-⁰C/W

2.2.1.5 ความหนาแน่น 1760 Kg/m³

2.2.1.6 สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ (แอลฟา) มีค่า $> 0.2 \leq 0.4$

2.2.2 กระจกดูดความร้อน หนา 6 mm.

2.2.2.1 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของกระจก (U_g) = 5.791 W/m²-C

2.2.2.2 ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจก (SC_g) = 0.65

2.2.3 กระเบื้องซีเมนต์ใยหินลอนใหญ่ หนา (ΔX) 6 mm.

2.2.3.1 สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) = 0.441 W/m-⁰C

2.2.3.2 ความหนาแน่น 2000 Kg/m³

2.2.3.3 หลังคาเอียงทำมุม 16.22 องศา กับแนวระดับ ไม่มีการระบายอากาศ

2.2.3.4 ผิวด้านไม่สะท้อนแสงมีสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง

2.2.3.5 ความกว้างของช่องระหว่างหลังคาและเพดาน มากกว่า 100 mm.

2.2.3.6 ความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศในช่องว่างมีค่าอยู่ระหว่าง 0.174 – 0.165 m²-⁰C / W

2.2.3.7 ความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศที่ผิวด้านนอก (R_o) = 0.055 m²-⁰C/W

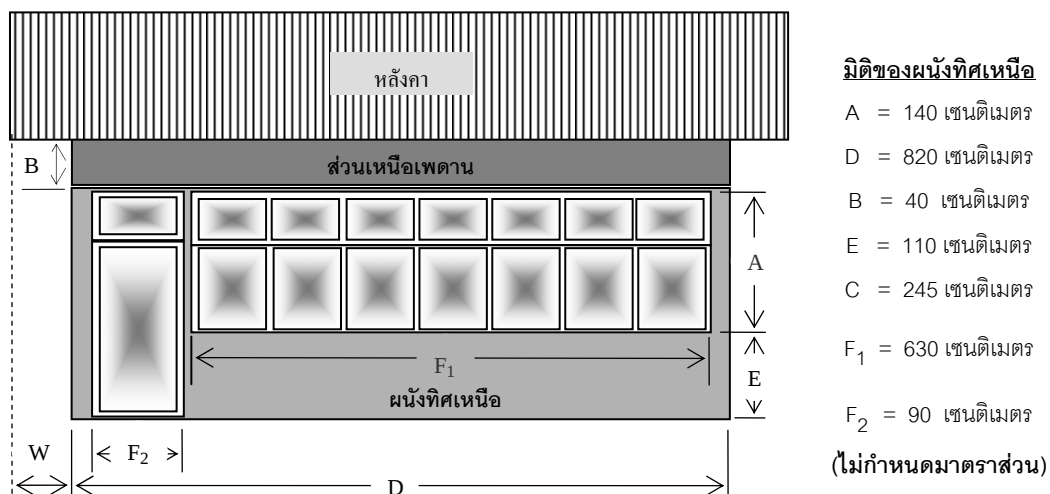
2.2.3.8 ความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศที่ผิวด้านใน (R_i) อยู่ระหว่าง 0.162 – 0.148 m²-⁰C / W

2.2.4 ฝ้าเพดานซีบซัมบอร์ด หนา(ΔX) 10 mm.

2.2.4.1 สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) = 0.191 W/m-⁰C

2.2.4.2 ความหนาแน่น 880 Kg/m³

2.3 รายละเอียดของผนังด้านทิศเหนือ



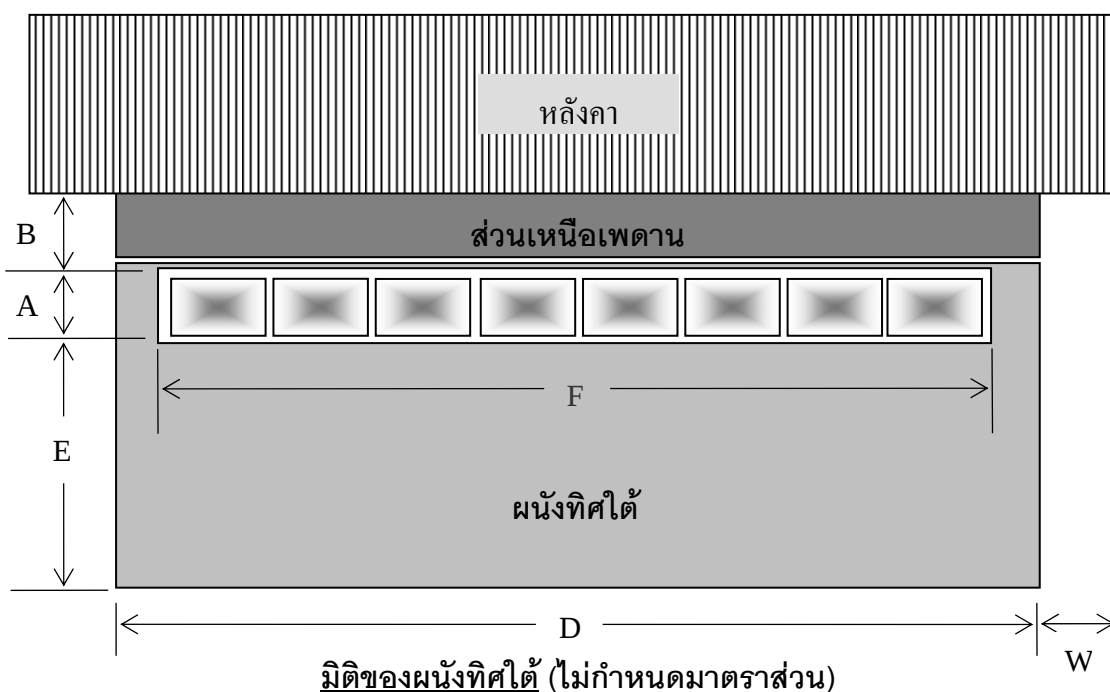
ภาพประกอบ 31 แสดงมิติภายนอกของห้องทดสอบในทิศเหนือ

2.3.1 พื้นที่ผนังที่มีค่าเท่ากับ 9.43 m²

2.3.2 พื้นที่กระจกมีค่าเท่ากับ 11.07 m²

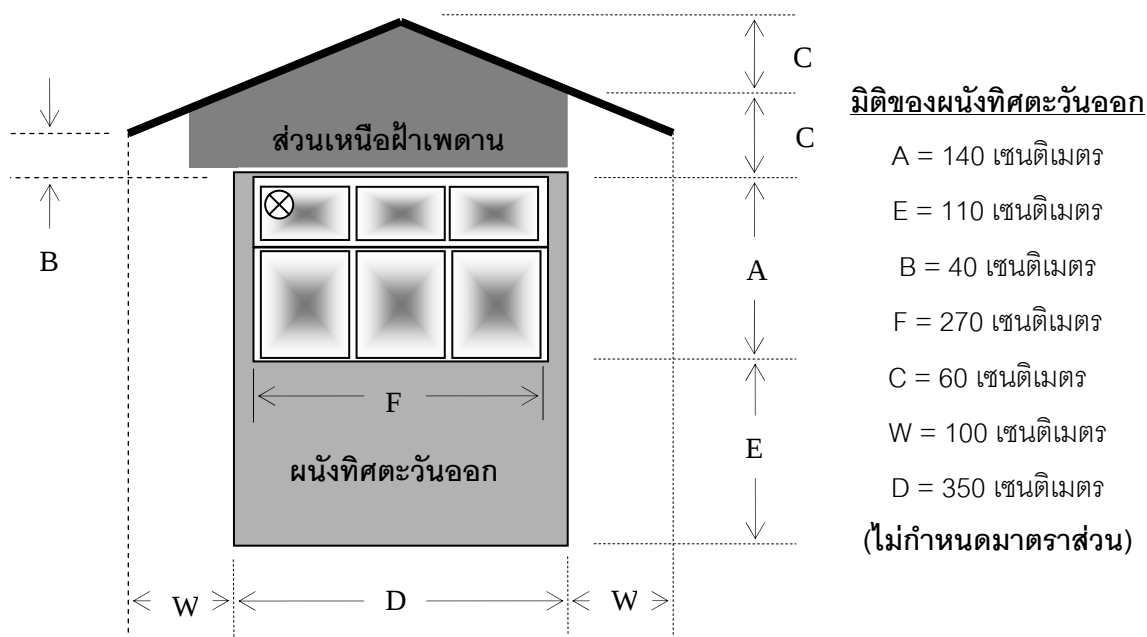
2.3.3 มีการบังแดดจากอาคารข้างเคียงตลอดวัน ลมธรรมชาติพัดผ่านได้สะดวก

2.4 รายละเอียดของผนังด้านทิศใต้



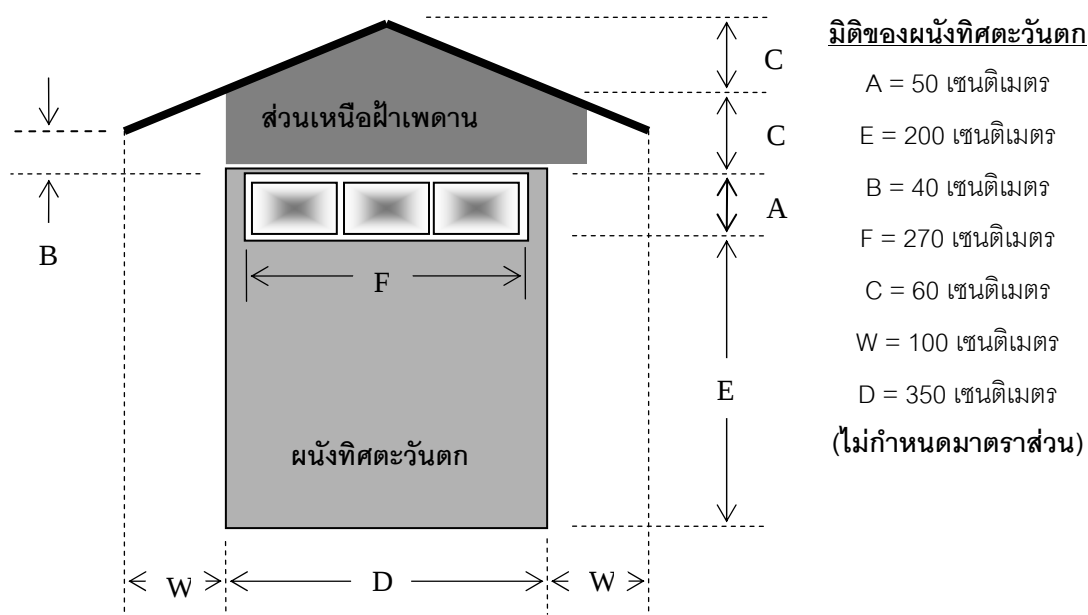
ภาพประกอบ 32 แสดงมิติภายนอกของห้องทดสอบในทิศใต้

- 2.4.1 พื้นที่ผนังทึบมีค่าเท่ากับ 16.9 m^2
- 2.4.2 พื้นที่กระจกมีค่าเท่ากับ 3.6 m^2
- 2.4.3 อัตราส่วน B/A เท่ากับ 0.8
- 2.4.4 อัตราส่วน W/A เท่ากับ 2
- 2.2.5 มีการบังแดดจากถ้ำน้ำขนาดใหญ่และชั้นวางของ ลมธรรมชาติพัดผ่านได้สะดวก
- 2.2.6 ภายในไม่มีอุปกรณ์ป้องกันแดด
- 2.5 รายละเอียดของผนังด้านทิศตะวันออก
- 2.5.1 พื้นที่ผนังทึบมีค่าเท่ากับ 4.97 m^2
- 2.5.2 พื้นที่กระจกมีค่าเท่ากับ 3.78 m^2
- 2.5.3 อัตราส่วน B/A เท่ากับ 0.28
- 2.5.4 อัตราส่วน W/A เท่ากับ 0.71
- 2.2.5 ไม่มีการบังแดดจากอาคารข้าง ลมธรรมชาติพัดผ่านได้สะดวก
- 2.2.6 ภายในไม่มีอุปกรณ์ป้องกันแดด



ภาพประกอบ 33 แสดงมิติภายนอกของห้องทดสอบในทิศตะวันออก

2.6 รายละเอียดของผนังด้านทิศตะวันตก



ภาพประกอบ 34 แสดงมิติภายนอกของห้องทดสอบในทิศตะวันตก

2.6.1 พื้นที่ผนังทึบมีค่าเท่ากับ 7.4 m^2

2.6.2 พื้นที่กระจกมีค่าเท่ากับ 1.35 m^2

2.6.3 อัตราส่วน B/A เท่ากับ 0.8

2.6.4 อัตราส่วน W/A เท่ากับ 2

2.2.5 ไม่มีการบังแดดจากอาคารข้าง ลมธรรมชาติพัดผ่านได้สะดวก

2.2.6 ภายในมีอุปกรณ์ป้องกันแดด

3. ช่วงเวลาทำงานของพัดลมระบายอากาศ ขนาดพัดลมระบายอากาศ จำนวนพัดลมระบายอากาศ ตำแหน่งติดตั้งพัดลมระบายอากาศ และทิศทางระบายอากาศ

3.1 ผู้วิจัยกำหนดช่วงเวลาทำงานของพัดลมระบายอากาศไว้ ตามเงื่อนไขที่เป็นจริง 2 ประการ คือ

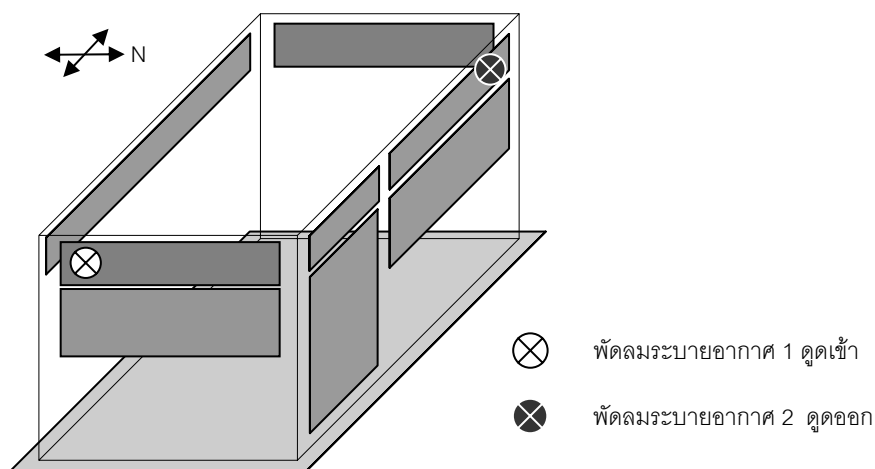
3.1.1 พัดลมระบายอากาศทำงานในช่วง 17.00 – 20.00 น.

3.1.2 พัดลมระบายอากาศทำงานเมื่ออุณหภูมิภายในห้องสูงกว่าภายนอกห้อง

3.2 จำนวนพัดลมระบายอากาศ และตำแหน่งติดตั้ง เป็นดังนี้

พัดลมระบายอากาศ 2 เครื่อง ตำแหน่งติดตั้ง และทิศทางระบายอากาศดังแสดงใน

ภาพประกอบ 35



ภาพประกอบ 35 การติดตั้งพัดลมระบายอากาศ 2 เครื่อง

4. รายการเครื่องมือวัดที่ต้องใช้ในการวิจัย

รายการเครื่องมือวัดที่ต้องใช้ในงานวิจัยประกอบด้วย

- 4.1 เครื่องมือวัดอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ
- 4.2 เครื่องมือวัดความเร็วลม
- 4.3 ไฮโดรมิเตอร์
- 4.4 นาฬิกาจับเวลา
- 4.5 มิลลิเมตร

5. สร้างตารางเก็บข้อมูล และแบบประเมินประสิทธิภาพด้านการติดตั้ง การใช้งาน การบำรุงรักษา

- 5.1 สร้างตารางเก็บข้อมูล และแบบประเมินฯ
- 5.2 ตรวจสอบตารางเก็บข้อมูล และแบบประเมินฯ โดยกรรมการผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์
- 5.3 แก้ไขตารางเก็บข้อมูล และแบบประเมินฯ ตามคำแนะนำของกรรมการผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์

6. คำนวณหาขนาดของอุปกรณ์ระบายอากาศและกำหนดรายการอุปกรณ์ระบายอากาศ

6.1 ค่าการระบายอากาศที่ต้องการ

ค่าการระบายอากาศที่ต้องการขึ้นอยู่กับปริมาณความร้อน (q) ที่เกิดจากการคายความร้อนของผนังและฝ้าเพดาน ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังนี้

6.1.1 ค่าการคายความร้อนของผนัง ซึ่งเป็นการถ่ายเทความร้อนจากผนังสู่อากาศในห้อง โดยการพาความร้อนตามธรรมชาติ (Natural Convection) สามารถคำนวณได้ดังนี้

- ความสูงของผนัง (ความยาวของการพาความร้อนในแนวตั้ง) = $L = 2.5 \text{ m}$.

- อุณหภูมิผิวผนัง = $T_s = 40^\circ\text{C} = 313\text{ K}$
- อุณหภูมิอากาศในห้อง = อากาศภายนอก (เวลา 17.00 น.) = $T_\infty = 30^\circ\text{C} = 303\text{ K}$
- พื้นที่ของผนังปูน = $A = 9.43\text{ m}^2 + 16.9\text{ m}^2 + 4.97\text{ m}^2 + 7.4\text{ m}^2 = 38.7\text{ m}^2$
- อุณหภูมิที่ใช้ในการพิจารณาสมบัติทางฟิสิกส์ของอากาศ = $T_f = \frac{(T_s + T_\infty)}{2} =$

$$\frac{(40 + 30)}{2} = 35^\circ\text{C} = 308\text{ K}$$

ตาราง 3 สมบัติทางฟิสิกส์ของอากาศที่ $T_f = 308\text{ K}$

อุณหภูมิ (K)	$\nu \times 10^6$ (m ² /s)	$k \times 10^3$ (W/m.K)	$\alpha \times 10^6$ (m ² /s)	Pr (ไม่มีหน่วย)
308 (T_f)	16.69	26.89	23.68	0.705

◆ ค่าเรย์ลี (Rayleigh Number) หรือค่า Ra_L สามารถหาได้จาก

$$\begin{aligned}
 Ra_L &= \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\alpha\nu} \\
 &= \frac{9.81 \times (1/308)(313 - 303) \times 2.5^3}{(23.68 \times 10^{-6}) \times (16.69 \times 10^{-6})} \quad \frac{\left(\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)\left(\frac{1}{\text{K}}\right)(\text{K})(\text{m}^3)}{\left(\frac{\text{m}^2}{\text{s}}\right)\left(\frac{\text{m}^2}{\text{s}}\right)} \\
 &= 1.26 \times 10^{10}
 \end{aligned}$$

◆ เนื่องจาก $0.1 < Ra_L < 10^{12}$ ดังนั้น $\overline{Nu}_L$ จึงต้องหาจาก

$$\begin{aligned}
 \overline{Nu}_L &= \left(0.825 + \frac{0.387 Ra_L^{1/6}}{\left(1 + (0.492/\text{Pr})^{9/16} \right)^{8/27}} \right)^2 \\
 \overline{Nu}_L &= \left(0.825 + \frac{0.387 \times (1.26 \times 10^{10})^{1/6}}{\left(1 + (0.492/0.705)^{9/16} \right)^{8/27}} \right)^2 = 271.14
 \end{aligned}$$

- ◆ ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (Convection Coefficient) หรือค่า $\bar{h}$ สามารถหาได้จาก

$$\overline{Nu_L} = \frac{\bar{h}L}{K}$$

$$\bar{h} = \frac{\overline{Nu_L} \cdot K}{L} = \frac{271.14 \times (26.89 \times 10^3) \text{ W/m.K}}{2.5 \text{ m.}} = 2.916 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

- ◆ ค่าการพาความร้อนตามธรรมชาติจากผนังสู่อากาศ (Natural Convection) หรือค่า q ของผนังทั้งสองด้าน หาได้จาก

$$q = \bar{h} \cdot A \cdot \Delta t = \bar{h} \cdot A \cdot (T_s - T_\infty) = 2.916 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \times 38.7 \text{ m}^2 \times (313 - 303) \text{ K}$$

$$q = 1128.49 \text{ W} = 1128.49 \text{ W} \times \left(\frac{3.4122 \text{ Btu/hr}}{1 \text{ W}} \right) = 3850.63 \frac{\text{Btu}}{\text{hr}}$$

- ◆ ค่าการพาความร้อนตามธรรมชาติจากผนังสู่อากาศ (Natural Convection) เฉพาะด้านใน หาได้จาก

$$q \text{ ของผนังด้านใน} = \frac{1}{2} \times q \text{ ของผนังทั้งสองด้าน}$$

$$= \frac{1}{2} \times 3850.63 \frac{\text{Btu}}{\text{hr}} = 1925.3 \frac{\text{Btu}}{\text{hr}}$$

6.1.2 ค่าการคายความร้อนของฝ้าเพดาน ซึ่งเป็นการถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อนตามธรรมชาติ (Natural Convection) สามารถคำนวณได้ดังนี้

- พื้นที่ของฝ้าเพดาน = $A = 3.5 \text{ m.} \times 8.2 \text{ m.} = 28.7 \text{ m}^2$.
- ความยาวสำคัญของฝ้าเพดาน = L = อัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อความยาวเส้นรอบรูป = $\frac{A}{P} = \frac{3.5 \text{ m.} \times 8.2 \text{ m.}}{3.5 \text{ m.} + 3.5 \text{ m.} + 8.2 \text{ m.} + 8.2 \text{ m.}} = 1.2 \text{ m.}$
- อุณหภูมิผิวฝ้าเพดาน = $T_s = 40^\circ \text{C} = 313 \text{ K}$
- อุณหภูมิอากาศในห้อง = อากาศภายนอก (เวลา 17.00 น.) = $T_\infty = 30^\circ \text{C} = 303 \text{ K}$

• อุณหภูมิที่ใช้ในการพิจารณาสมบัติทางฟิสิกส์ของอากาศ $= T_f = \frac{(T_s + T_\infty)}{2} = \frac{(40 + 30)}{2} = 35^\circ\text{C} = 308\text{ K}$

◆ ค่าเรย์ลีย์ (Rayleigh Number) หรือค่า Ra_L สามารถหาได้จาก

$$\begin{aligned} Ra_L &= \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\alpha\nu} \\ &= \frac{9.81 \times (1/308)(313 - 303) \times 1.2^3}{(23.68 \times 10^{-6}) \times (16.69 \times 10^{-6})} \frac{\left(\frac{m}{s^2}\right)\left(\frac{1}{K}\right)(K)(m^3)}{\left(\frac{m^2}{s}\right)\left(\frac{m^2}{s}\right)} \\ &= 1.39 \times 10^9 \end{aligned}$$

◆ เนื่องจาก $10^5 \leq Ra_L \leq 10^{10}$ มีลักษณะการจัดวางแบบผิวร้อนคว่ำลง ดังนั้น $\overline{Nu}_L$ จึงต้องหาจาก

$$\begin{aligned} \overline{Nu}_L &= 0.27 Ra_L^{\frac{1}{4}} \\ &= 0.27 \times (1.39 \times 10^9)^{\frac{1}{4}} = 52.13 \end{aligned}$$

◆ ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (Convection Coefficient) หรือค่า $\bar{h}$ สามารถหาได้จาก

$$\begin{aligned} \overline{Nu}_L &= \frac{\bar{h}L}{k} \\ \bar{h} &= \frac{\overline{Nu}_L \cdot k}{L} = \frac{52.13 \times (26.89 \times 10^{-3}) \text{ W/m.K}}{1.2 \text{ m}} = 1.168 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \end{aligned}$$

◆ ค่าการพาความร้อนตามธรรมชาติ (Natural Convection) หรือค่า q หาได้จาก

$$q = \bar{h} \cdot A \cdot \Delta t = \bar{h} \cdot A \cdot (T_s - T_\infty) = 1.168 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \times 28.7 \text{ m}^2 \times (313 - 303) \text{ K}$$

$$q = 335.21 \text{ W} = 335.21 \text{ W} \times \left(\frac{3.4122 \text{ Btu/hr}}{1 \text{ W}} \right) = 1143.82 \frac{\text{Btu}}{\text{hr}}$$

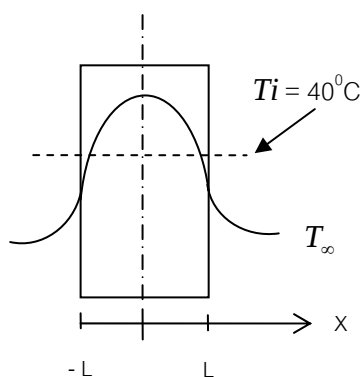
6.1.3 ค่าการคายความร้อนรวมของผนังและเพดาน หรือค่าความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่ห้อง

$$q_{\text{รวม}} = q_{\text{ผนังด้านใน}} + q_{\text{เพดาน}}$$

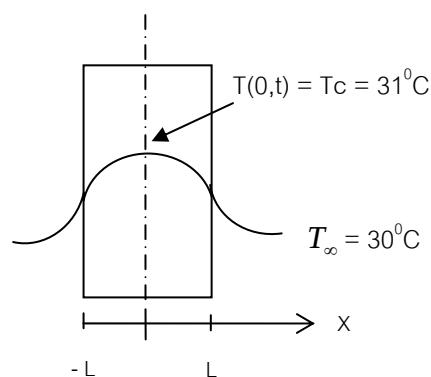
$$q_{\text{รวม}} = 1925.3 \frac{\text{Btu}}{\text{hr}} + 1143.82 \frac{\text{Btu}}{\text{hr}} = 3069.12 \frac{\text{Btu}}{\text{hr}}$$

6.1.4 ระยะเวลาในการคายความร้อนของผนังปูน (t) สามารถคำนวณหาได้โดยอาศัยแผนภูมิวิเคราะห์การกระจายอุณหภูมิ $T(x,t)$ ในแผ่นระนาบ ของไฮเลอร์ และกรอเบอร์ ซึ่งเป็นการนำความร้อนหนึ่งมิติ สภาวะไม่คงตัว ไม่มีแหล่งความร้อนภายในตัวกลาง

- อุณหภูมิแกนกลางผนังที่ต้องการ = $T(0,t) = T_c = 31^{\circ}\text{C}$
- อุณหภูมิอากาศภายนอก = อุณหภูมิอากาศภายใน = $T_{\infty} = 30^{\circ}\text{C}$
- อุณหภูมิเฉลี่ยของผนังที่เวลา 17.00 น. = $T_i = 40^{\circ}\text{C}$
- สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของผนัง = $K = 0.692 \text{ W/m.K}$
- ค่าความสามารถในการแพร่กระจายความร้อนของผนัง = $\alpha = 5.16 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$
- สัมประสิทธิ์การพาความร้อนระหว่างอากาศกับผนัง = $\bar{h} = 2.916 \text{ W/m}^2.\text{K}$
- ระยะทางจากแกนกลางผนังถึงผิวผนัง = $L = 0.05 \text{ m}$.



ก่อนระบายความร้อน



หลังระบายความร้อน

ภาพประกอบ 36 แผนภูมิการกระจายอุณหภูมิ

- ◆ ค่าอัตราส่วน บีโธ (Biot Number) หรือค่า $\frac{1}{Bi}$ สามารถหาได้จาก

$$\frac{1}{Bi} = \frac{K}{h.L} = \frac{0.692}{2.916 \times 0.05} \frac{\left(\frac{W}{m.K}\right)}{\left(\frac{W}{m^2.K}\right) \times m.} = 4.75$$

- ◆ ค่า $\frac{T(0,t)-T_{\infty}}{T_i-T_{\infty}}$ มีค่าเท่ากับ

$$\frac{T(0,t)-T_{\infty}}{T_i-T_{\infty}} = \frac{31^{\circ}C - 30^{\circ}C}{40^{\circ}C - 30^{\circ}C} = 0.1$$

- ◆ หาค่า ตัวเลขฟูเรียร์ (τ) จากแผนภูมิวิเคราะห์การกระจายอุณหภูมิ $T(x,t)$ ในแผ่น
ระนาบ เมื่อ $\frac{1}{Bi} = 4.75$ และ $\frac{T(0,t)-T_{\infty}}{T_i-T_{\infty}} = 0.1$ ซึ่งได้ค่า $\tau = 12$

- ◆ เวลาในการคายความร้อน (t) สามารถหาได้จาก

$$\tau = \frac{\alpha.t}{L^2}$$

$$t = \frac{\tau.L^2}{\alpha} = \frac{12 \times 0.05^2 m^2}{5.16 \times 10^{-7} m^2/s} = 58139.53 \text{ S} = 16.15 \text{ hr.}$$

6.1.5 อัตราการระบายอากาศ (Cfm)

ความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่ห้อง = ความร้อนที่พัดลมต้องระบายออกไป

$$3069.12 \text{ Btu/hr} = 1.1 \times Cfm \times \Delta t$$

$$3069.12 \text{ Btu/hr} = 1.1 \times Cfm \times (T_{\text{ที่ต้องการ}} - T_{\text{อากาศภายนอก}})$$

$$3069.12 \text{ Btu/hr} = 1.1 \times Cfm \times (31^{\circ}C - 30^{\circ}C)$$

$$3069.12 \text{ Btu/hr} = 1.1 \times Cfm \times (87.8^{\circ}F - 86^{\circ}F)$$

$$Cfm = 1550 \text{ Ft}^3/\text{min} = 1550 \text{ Ft}^3/\text{min} \times \frac{1m^3}{35.315 \text{ Ft}^3}$$

$$Cfm (\text{อัตราการระบายอากาศ}) = 43.89 \text{ m}^3/\text{min}$$

อัตราการระบายอากาศข้างต้นคำนวณจากสภาวะอุณหภูมิผนังและอุณหภูมิอากาศภายนอกมีค่าคงที่ ซึ่งแตกต่างจากสภาพจริงที่ทั้งอุณหภูมิผนังและอุณหภูมิอากาศภายนอกมีค่าลดลงตามเวลา

6.2 ขนาดของพัดลมระบายอากาศ

เพื่อให้เหมาะสมกับการนำมาใช้ในอาคารบ้านพักอาศัย ผู้วิจัยเลือกใช้พัดลมระบายอากาศแบบติดกระจก ชื่อการค้า Hatairi ขนาดใบพัด 150 มิลลิเมตร (6 นิ้ว) 220 V / 14 W / 0.13 A ให้อัตราการระบายอากาศเท่ากับ $3.5 \text{ m}^3/\text{min}$ และขนาดใบพัด 200 มิลลิเมตร (8 นิ้ว) 220 V / 35 W / 0.18 A ให้อัตราการระบายอากาศเท่ากับ $9.8 \text{ m}^3/\text{min}$ ประกอบการวิจัย

6.3 ขนาดของอุปกรณ์สร้างพลังงานไฟฟ้า

ขั้นตอนการกำหนดขนาดของอุปกรณ์สร้างพลังงานไฟฟ้า เริ่มต้นจาก

6.3.1 คำนวณหาความต้องการใช้ไฟฟ้ารวมในหนึ่งวัน (PL) จากสมการ

$$PL = \text{จำนวนเครื่องใช้ไฟฟ้า} \times \text{กำลังไฟฟ้าต่อเครื่อง(W)} \times \text{จำนวนชั่วโมงใช้งานในหนึ่งวัน(hr)}$$

เมื่อ จำนวนเครื่องใช้ไฟฟ้า = พัดลมไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 8 นิ้ว 2 เครื่อง

กำลังไฟฟ้าต่อเครื่อง = 35 W

จำนวนชั่วโมงใช้งานสูงสุดในหนึ่งวัน = 3 hr (17.00 น.-20.00 น.)

ดังนั้น

$$PL = 2 \times 35 \text{ W} \times 3 \text{ hr} = 210 \text{ W.hr}$$

6.3.2 คำนวณหาขนาดของเซลล์แสงอาทิตย์ (Pcall)

$$P_{call} = \frac{PL}{Q \times A \times B \times C \times Z}$$

เมื่อ PL = ความต้องการใช้ไฟฟ้ารวมในแต่ละวัน คำนวณค่าได้เท่ากับ 84 W.hr

Q = พลังงานแสงอาทิตย์รวมในหนึ่งวัน กำหนดค่าเท่ากับ 4000 W.hr/m^2

A = ค่าชดเชยการสูญเสียของเซลล์ กำหนดค่าเท่ากับ 0.8

B = ค่าชดเชยการสูญเสียเชิงความร้อน กำหนดค่าเท่ากับ 0.85

C = ประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์ กำหนดค่าเท่ากับ 90 %

Z = ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ กำหนดค่าเท่ากับ 90 %

D = ความเข้มของแสงปกติ กำหนดค่าเท่ากับ 1000 W/m^2

ดังนั้น

$$P_{call} = \frac{210W.hr}{\left(\frac{4000 \frac{W.hr}{m^2} \times 0.8 \times 0.85 \times 0.9 \times 0.9}{1000 \frac{W}{m^2}} \right)} = 95.32W$$

ผู้วิจัยจึงเลือกใช้เซลล์แสงอาทิตย์ ขนาด 100 W / 14.5 V ประกอบการวิจัย

6.3.3 คำนวณหาขนาดของแบตเตอรี่

$$\text{ขนาดของแบตเตอรี่} = \frac{PL}{E \times F \times C}$$

เมื่อ PL = ความต้องการใช้ไฟฟ้าในแต่ละวัน คำนวณค่าได้เท่ากับ 210 W.hr

E = แรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ มีค่าเท่ากับ 12 V

F = ร้อยละของการใช้กระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ กำหนดค่าเท่ากับ 30 %

C = ประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์ กำหนดค่าเท่ากับ 90 %

$$\text{ดังนั้น ขนาดของแบตเตอรี่ที่ต้องการจริง} = \frac{210W.hr}{12V \times 0.3 \times 0.9} = 64.81A.hr$$

ผู้วิจัยจึงเลือกใช้แบตเตอรี่ ขนาด 12 V / 70 A.hr ประกอบการวิจัย

6.3.4 กำหนดขนาดของเครื่องควบคุมการประจุกระแสไฟฟ้า (Charge Controller)

เครื่องควบคุมการประจุกระแสไฟฟ้าควรมีขนาดเท่ากับหรือมากกว่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านแบตเตอรี่ และมีค่าไม่เกิน 10 % ของความจุแบตเตอรี่ ดังนั้นขนาดของ Charge Controller ที่ต้องการจริง คือ 14.5 V และ 10 % ของ 70 A.hr หรือ 7 A.hr

ผู้วิจัยจึงเลือกใช้ Charge Controller ขนาด 14.5 V 7 A.hr ประกอบการวิจัย

6.3.5 กำหนดขนาดของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (Inverter)

เพื่อให้ Inverter สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แก่โหลดได้อย่างเพียงพอ เนื่องจากอินเวอร์เตอร์มีประสิทธิภาพประมาณ 90 % จึงต้องเผื่อขนาดให้มากกว่าโหลด 10 % ดังนั้นขนาดอินเวอร์เตอร์ที่ต้องการจริง คือ $210 W + (210 W \times 10 \%) = 231 W$

ผู้วิจัยจึงเลือกใช้ Inverter ขนาด 500 W / 220 V ประกอบการวิจัย

6.4 สรุปรายการอุปกรณ์ระบายอากาศที่ใช้ในการวิจัย

6.4.1 แผงโซลาร์เซลล์ (Solar module) จัดจำหน่ายโดย บริษัท บางกอกโซลาร์ จำกัด
ขนาด 100 W / 14.5 V ประเภทวัสดุ อะมอร์ฟัสซิลิกอน

6.4.2 อุปกรณ์ควบคุมการประจุและจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง (Charge Controller) จัดจำหน่ายโดย บริษัท ออลเทคโนโลยี จำกัด ขนาด 14.5 V / 7 A.hr

6.4.3 อุปกรณ์เก็บไฟฟ้ากระแสตรง (Battery) ชื่อการค้า 3K ขนาด 12 V./70 A.hr ประสิทธิภาพ 90 %

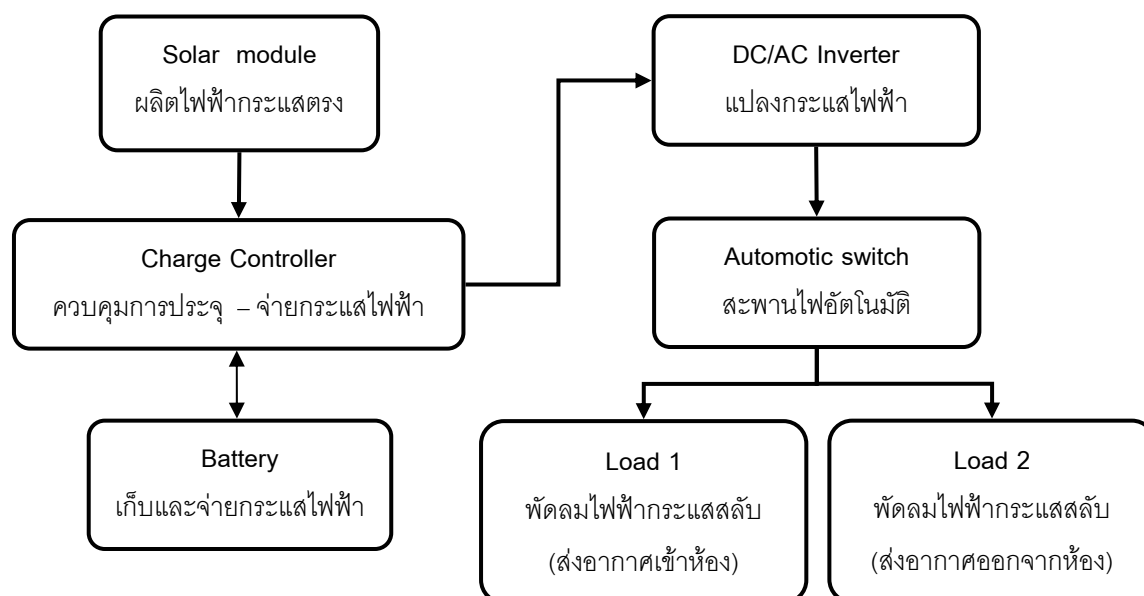
6.4.4 อุปกรณ์แปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับ (DC/AC Inverter) จัดจำหน่ายโดย บริษัท คอมมิวนิเคชันเทคโนโลยี จำกัด input 12 V. output 220 V. ± 5 % 500 W. ประสิทธิภาพ 90 %

6.4.5 สะพานไฟทำงานอัตโนมัติตามเวลาและอุณหภูมิที่กำหนด (Automotic switch)

6.4.6 พัดลมไฟฟ้ากระแสสลับ ชื่อการค้า Hatari ขนาดใบพัด 150 มิลลิเมตร (6 นิ้ว) 220 V / 14 W / 0.13 A ให้อัตราการระบายอากาศเท่ากับ 3.5 m³/min จำนวน 2 เครื่อง

6.4.7 พัดลมไฟฟ้ากระแสสลับ ชื่อการค้า Hatari ขนาดใบพัด 200 มิลลิเมตร (8 นิ้ว) 220 V / 35 W / 0.18 A ให้อัตราการระบายอากาศเท่ากับ 9.8 m³/min จำนวน 2 เครื่อง

การต่อเชื่อมอุปกรณ์เป็นไปตามภาพประกอบ 37



ภาพประกอบ 37 อุปกรณ์ระบายอากาศและการต่อเชื่อมอุปกรณ์

7. ตรวจสอบความถูกต้องของการคำนวณ และรายการอุปกรณ์ระบายอากาศ โดยผู้เชี่ยวชาญ

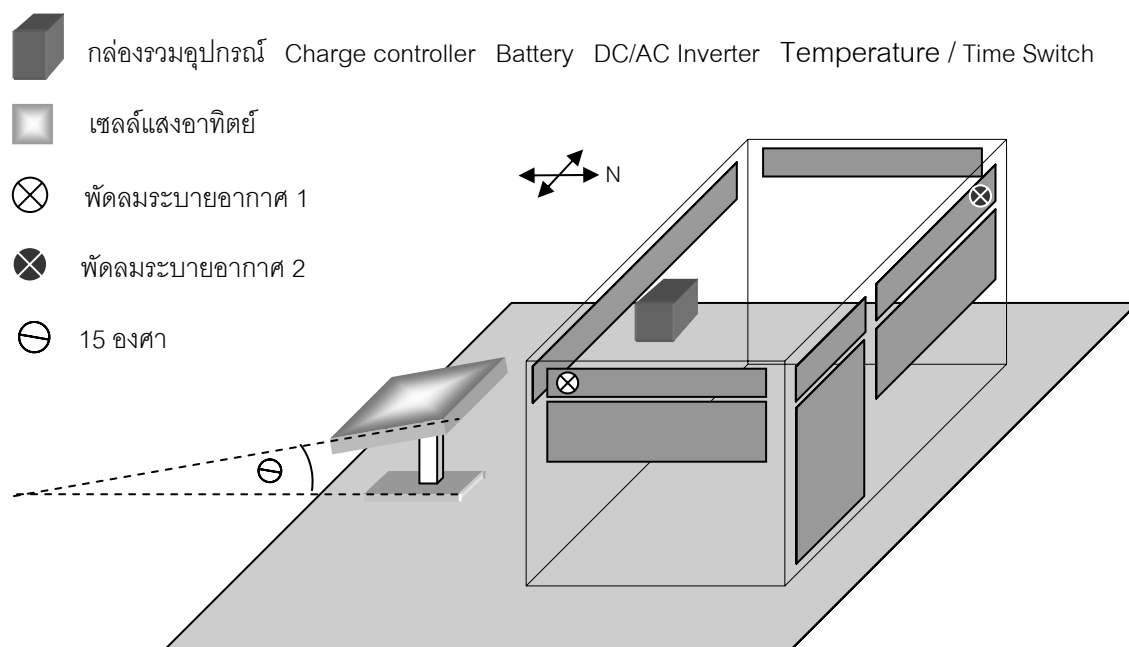
ผู้วิจัยได้ให้ผู้เชี่ยวชาญ 2 ท่านคือ นายวีรวัฒน์ ไกรทองสุข และนายเอกพล เนตรแสงสี ตรวจสอบความถูกต้องเหมาะสมของรายการอุปกรณ์ระบายอากาศที่จะนำมาใช้ในการวิจัย รายละเอียดเกี่ยวกับผู้เชี่ยวชาญมีดังนี้

1. นายวีรวัฒน์ ไกรทองสุข อาจารย์ประจำภาควิชาเครื่องกลโรงเรียนเทคโนโลยีสยาม (ช่างกลสยาม) วุฒิมัธยมศึกษา ปริญญาโทครุศาสตรบัณฑิต (คอม.) สาขาเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ประสบการณ์การทำงานด้านเครื่องกลระยะเวลา 10 ปี

2. นายเอกพล เนตรแสงสี อาจารย์ประจำภาควิชาไฟฟ้าโรงเรียนเทคโนโลยีสยาม (ช่างกลสยาม) วุฒิมัธยมศึกษา ปริญญาตรีครุศาสตรบัณฑิต (คป.) สาขาช่างไฟฟ้า มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร ประสบการณ์การทำงานเกี่ยวกับไฟฟ้าในอาคาร ระยะเวลา 14 ปี

8. ติดตั้งอุปกรณ์ระบายอากาศเข้ากับห้องทดสอบ

ตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์ระบายอากาศ ซึ่งประกอบด้วย 1) พัดลมไฟฟ้ากระแสสลับ 2 เครื่อง 2) Solar module 3) Charge controller 4) Battery 5) DC/AC Inverter 6) Temperature Switch และ 7) Time Switch แสดงไว้ในภาพประกอบ 38



ภาพประกอบ 38 แสดงตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์ระบายอากาศ

9. ทดสอบและเก็บข้อมูล

การทดสอบและเก็บข้อมูล จะกระทำในช่วงเวลา 17.00 – 20.00 น. โดยมีรายละเอียดดังแสดงในตาราง 4

ตาราง 4 แสดงลักษณะการทดสอบและเก็บข้อมูล

ลักษณะที่	พัฒลขนาด	พัฒล 1	พัฒล 2	การบันทึกข้อมูล
1	-	-	-	ตารางเก็บข้อมูล
2	6 นิ้ว	ทำงาน	ทำงาน	ตารางเก็บข้อมูล
3	8 นิ้ว	ทำงาน	ทำงาน	ตารางเก็บข้อมูล

10. ผู้เชี่ยวชาญประเมินประสิทธิภาพด้านการติดตั้ง การใช้งาน การบำรุงรักษา

ผู้วิจัยได้ให้ผู้เชี่ยวชาญ 5 ท่าน ประเมินประสิทธิภาพด้านการติดตั้ง การใช้งาน การบำรุงรักษา รายละเอียดเกี่ยวกับผู้เชียวชาญมีดังนี้

1. นายสมศักดิ์ ไชยเหล็ก อาจารย์ประจำภาควิชาไฟฟ้าโรงเรียนเทคโนโลยีสยาม (ช่างกลสยาม) วุฒิมการศีกษา ปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต (วศบ.) สาขาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร ประสบการณ์การทำงานเกี่ยวกับไฟฟ้าในอาคารระยะเวลา 14 ปี
2. นายสายชล ประสพสุข อาจารย์ประจำภาควิชาไฟฟ้าโรงเรียนเทคโนโลยีสยาม (ช่างกลสยาม) วุฒิมการศีกษา ปริญญาตรีอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต (อศบ.) สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยสยาม ประสบการณ์การทำงานเกี่ยวกับไฟฟ้าในอาคารระยะเวลา 10 ปี
3. นายธีรเดช วัฒนานุสรณ์ อาจารย์ประจำภาควิชาไฟฟ้าโรงเรียนเทคโนโลยีสยาม (ช่างกลสยาม) วุฒิมการศีกษา ปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศบ.) สาขาไฟฟ้ากำลัง สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตเทเวศน์ ประสบการณ์การทำงานเกี่ยวกับไฟฟ้าในอาคารระยะเวลา 6 ปี
4. นายสมเกียรติ นกกล่อม อาจารย์ประจำภาควิชาเครื่องกลโรงเรียนเทคโนโลยีสยาม (ช่างกลสยาม) วุฒิมการศีกษา ปริญญาตรีครุศาสตรอุตสาหกรรมบัณฑิต (คอบ.) สาขาเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตเทเวศน์ ประสบการณ์การทำงานด้านเครื่องกล ระยะเวลา 11 ปี
5. นายไพฑูรย์ อัสวเวชวิทยา อาจารย์ประจำภาควิชาเครื่องกลโรงเรียนเทคโนโลยีสยาม (ช่างกลสยาม) วุฒิมการศีกษา ปริญญาตรีอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต (อศบ.) สาขาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยสยาม ประสบการณ์การทำงานด้านเครื่องกล ระยะเวลา 6 ปี

11. วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบและแบบประเมิน

11.1 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

11.1.1 ค่าเฉลี่ยเลขคณิต

$$\bar{X} = \frac{\Sigma X}{N}$$

เมื่อ	$\bar{X}$	คือ ค่าเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูล
	ΣX	คือ ผลรวมของข้อมูลในกลุ่มข้อมูล
	N	คือ จำนวนข้อมูลในกลุ่มข้อมูล

11.1.2 ค่า t-test ใช้ทดสอบสมมุติฐานการวิจัย

$$t = \frac{\bar{X} - \mu_0}{\frac{SD}{\sqrt{N}}}$$

$$SD = \sqrt{\frac{\Sigma(X - \bar{X})^2}{N - 1}}$$

เมื่อ	SD	คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุ่มข้อมูล
	μ_0	คือ ค่าคงที่

11.1.3 เกณฑ์การแปลความหมายค่าเฉลี่ยคะแนนจากแบบประเมิน

ค่าเฉลี่ยระหว่าง	ความหมาย
4.51 - 5.00	ผลการประเมินอยู่ในระดับดีมาก
3.51 - 4.50	ผลการประเมินอยู่ในระดับดี
2.51 - 3.50	ผลการประเมินอยู่ในระดับพอใช้
1.51 - 2.50	ผลการประเมินอยู่ในระดับต้องปรับปรุง
1.00 - 1.50	ผลการประเมินอยู่ในระดับใช้ไม่ได้

11.2 การนำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูล

นำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้กราฟเส้น และตารางสถิติ ประกอบความเรียง

ตาราง 5 (ต่อ)

หัวข้อทดสอบ	ค่าที่วัดได้ตามวันที่ทดสอบ					ค่าที่ต้องการ
	23 ส.ค. 51	30 ส.ค. 51	6 ก.ย. 51	20 ก.ย. 51	27 ก.ย. 51	
4. แรงดันไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ หลังพัดลมฯ ทำงานต่อเนื่องครบ 3 ชั่วโมง	12.3	12.3	12.3	12.3	12.3	$\geq 12.0 \text{ V}$
5. แรงดันไฟฟ้าจาก DC/AC Inverter ก่อนพัดลมฯ ทำงาน	220	220	220	220	220	220 V
6. แรงดันไฟฟ้าจาก DC/AC Inverter หลังพัดลมฯ ทำงานต่อเนื่องครบ 3 ชั่วโมง	220	220	220	220	220	220 V

ผลการทดสอบประสิทธิภาพด้านการทำงานของพัดลมระบบอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 6 นิ้ว พบว่า

1.1.1.1 การทดสอบทุกครั้ง ความถ่วงจำเพาะของน้ำกรดในแบตเตอรี่ ตรวจวัดเมื่อแบตเตอรี่ได้รับการประจุไฟจากเซลล์แสงอาทิตย์ตลอดช่วงเวลา 7.00 – 17.00 น. ตรวจวัดเวลา 17.00 น. อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด 1.275 – 1.3

1.1.1.2 การทดสอบทุกครั้ง ความถ่วงจำเพาะของน้ำกรดในแบตเตอรี่ ตรวจวัดเมื่อพัดลมฯ ทำงานต่อเนื่องครบ 3 ชั่วโมง ตรวจวัดเวลา 20.00 น. อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด 1.225 – 1.3

1.1.1.3 การทดสอบทุกครั้ง แรงดันไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ ตรวจวัดเมื่อพัดลมฯ เริ่มทำงานในเวลา 17.00 น. อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด $\geq 12.4 \text{ V}$

1.1.1.4 การทดสอบทุกครั้ง แรงดันไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ ตรวจวัดเมื่อพัดลมฯ ทำงานต่อเนื่องครบ 3 ชั่วโมง ตรวจวัดเวลา 20.00 น. อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด $\geq 12.0 \text{ V}$

1.1.1.5 การทดสอบทุกครั้ง แรงดันไฟฟ้าจาก DC/AC Inverter ตรวจวัดเมื่อพัดลมฯ เริ่มทำงานในเวลา 17.00 น. อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด เท่ากับ 220 V

1.1.1.6 การทดสอบทุกครั้ง แรงดันไฟฟ้าจาก DC/AC Inverter ตรวจวัดเมื่อพัดลมฯ ทำงานครบ 3 ชั่วโมง ตรวจวัดในเวลา 20.00 น. อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด เท่ากับ 220 V

1.1.2 ประสิทธิภาพด้านการทำงานของพัดลมระบบอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 8 นิ้ว มีรายละเอียดดังตาราง 6

ตาราง 6 ประสิทธิภาพด้านการทำงานของพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 8 นิ้ว

หัวข้อทดสอบ	ค่าที่วัดได้ตามวันที่ทดสอบ					ค่าที่ต้องการ
	8 พ.ย. 51	15 พ.ย. 51	22 พ.ย. 51	29 พ.ย. 51	6 ธ.ค. 51	
1. ความถ่วงจำเพาะของน้ำกรดในแบตเตอรี่ ก่อนพัดลมฯ ทำงาน	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.275 – 1.3
2. ความถ่วงจำเพาะของน้ำกรดในแบตเตอรี่ หลังพัดลมฯ ทำงานต่อเนื่องครบ 3 ชั่วโมง	1.250	1.250	1.250	1.250	1.250	1.225 – 1.3
3. แรงดันไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ ก่อนพัดลมฯ ทำงาน	12.4	12.4	12.4	12.4	12.4	≥ 12.4 V
4. แรงดันไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ หลังพัดลมฯ ทำงานต่อเนื่องครบ 3 ชั่วโมง	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	≥ 12.0 V
5. แรงดันไฟฟ้าจาก DC/AC Inverter ก่อนพัดลมฯ ทำงาน	220	220	220	220	220	220 V
6. แรงดันไฟฟ้าจาก DC/AC Inverter หลังพัดลมฯ ทำงานต่อเนื่องครบ 3 ชั่วโมง	220	220	220	220	220	220 V

ผลการทดสอบประสิทธิภาพด้านการทำงานของพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 8 นิ้ว พบว่า

1.1.1.1 การทดสอบทุกครั้ง ความถ่วงจำเพาะของน้ำกรดในแบตเตอรี่ ตรวจวัดเมื่อแบตเตอรี่ได้รับการประจุไฟจากเซลล์แสงอาทิตย์ตลอดช่วงเวลา 7.00 – 17.00 น. ตรวจวัดเวลา 17.00 น. อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด 1.275 – 1.3

1.1.1.2 การทดสอบทุกครั้ง ความถ่วงจำเพาะของน้ำกรดในแบตเตอรี่ ตรวจวัดเมื่อพัดลมฯ ทำงานต่อเนื่องครบ 3 ชั่วโมง ตรวจวัดเวลา 20.00 น. อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด 1.225 – 1.3

1.1.1.3 การทดสอบทุกครั้ง แรงดันไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ ตรวจวัดเมื่อพัดลมฯ เริ่มทำงานในเวลา 17.00 น. อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด ≥ 12.4 V

1.1.1.4 การทดสอบทุกครั้ง แรงดันไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ ตรวจวัดเมื่อพัดลมฯ ทำงานต่อเนื่องครบ 3 ชั่วโมง ตรวจวัดเวลา 20.00 น. อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด ≥ 12.0 V

1.1.1.5 การทดสอบทุกครั้ง แรงดันไฟฟ้าจาก DC/AC Inverter ตรวจวัดเมื่อพัดลมฯ เริ่มทำงานในเวลา 17.00 น. อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด เท่ากับ 220 V

1.1.1.6 การทดสอบทุกครั้ง แรงดันไฟฟ้าจาก DC/AC Inverter ตรวจวัดเมื่อพัดลมฯ ทำงานครบ 3 ชั่วโมง ตรวจวัดในเวลา 20.00 น. อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด เท่ากับ 220 V

1.2 ประสิทธิภาพด้านการติดตั้ง ด้านการใช้งาน และด้านการบำรุงรักษา

ผลการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญ 5 ท่าน มีรายละเอียดดังนี้

ตาราง 7 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพด้านการติดตั้ง ด้านการใช้งาน และด้านการบำรุงรักษา

หัวข้อการประเมิน	$\bar{X}$	SD	แปลความ
ด้านการติดตั้ง			
1) ความสะดวกในการติดตั้ง	4.4	0.547	ดี
2) จำนวนพัดลมระบายอากาศเหมาะสมกับการนำมาติดตั้งในอาคารที่พักอาศัย	4	0	ดี
3) ตำแหน่งติดตั้งพัดลมระบายอากาศเหมาะสมกับการนำมาติดตั้งในอาคารที่พักอาศัย	4.4	0.547	ดี
รวมด้านการติดตั้ง	4.26	0.23	ดี
ด้านการใช้งาน			
4) ความสะดวกในการใช้งานพัดลมระบายอากาศ	5	0	ดีมาก
5) ความปลอดภัยในการใช้งานพัดลมระบายอากาศ	4	0	ดี
รวมด้านการใช้งาน	4.5	0.707	ดี
ด้านการบำรุงรักษา			
6) ความสะดวกในการเปลี่ยนแทนอุปกรณ์ต่างๆ ในกรณีที่เกิดความชำรุดเสียหาย	4	0	ดี
7) ความสะดวกในการเติมน้ำกลั่นแบตเตอรี่	4	0	ดี
รวมด้านการบำรุงรักษา	4	0	ดี
รวมทุกด้าน	4.26	0.378	ดี

ตาราง 8 ข้อเสนอแนะจากผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับประสิทธิภาพด้านการติดตั้ง ด้านการใช้งาน และด้านการบำรุงรักษา

ข้อเสนอแนะ	จำนวนผู้ให้ข้อเสนอแนะ
ด้านการติดตั้ง - ควรทำช่องเปิดบริเวณพื้นห้องแทนการใช้พัดลมฯ ส่งลมเข้าห้อง	1
ด้านการใช้งาน - ไม่มีผู้ให้ข้อเสนอแนะ	-
ด้านการบำรุงรักษา - ควรเปลี่ยนไปใช้แบตเตอรี่สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์	2

จากตาราง 7 โดยรวมประสิทธิภาพด้านการติดตั้ง ด้านการใช้งาน และด้านการบำรุงรักษา มีค่าเฉลี่ยความพึงพอใจ เท่ากับ 4.26 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.378 แปลความว่าประสิทธิภาพด้านการติดตั้ง ด้านการใช้งาน และด้านการบำรุงรักษา อยู่ในเกณฑ์ดี

เมื่อแยกวิเคราะห์ในรายละเอียดพบว่า ประสิทธิภาพด้านการติดตั้ง มีค่าเฉลี่ยความพึงพอใจ เท่ากับ 4.26 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.23 แปลความว่า ประสิทธิภาพด้านการติดตั้งอยู่ในเกณฑ์ดี ส่วนประสิทธิภาพด้านการใช้งาน มีค่าเฉลี่ยความพึงพอใจ เท่ากับ 4.5 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.707 แปลความว่า ประสิทธิภาพด้านการติดตั้งอยู่ในเกณฑ์ดี และสุดท้าย ประสิทธิภาพด้านการบำรุงรักษา มีค่าเฉลี่ยความพึงพอใจ เท่ากับ 4.26 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.23 แปลความว่า ประสิทธิภาพด้านการบำรุงรักษาอยู่ในเกณฑ์ดี

จากตาราง 8 ด้านการติดตั้งผู้เชี่ยวชาญ 1 ท่านเสนอแนะให้ทำช่องเปิดบริเวณพื้นห้องแทนการใช้พัดลมฯ ส่งลมเข้าห้อง เพื่อลดจำนวนพัดลมระบายอากาศลง ด้านการใช้งานไม่มีผู้เชี่ยวชาญให้ข้อเสนอแนะ ด้านการบำรุงรักษาผู้เชี่ยวชาญ 2 ท่านเสนอแนะให้ใช้แบตเตอรี่สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์แทนแบตเตอรี่ที่ใช้ในการวิจัย เพื่อยืดอายุการใช้งานให้กับแบตเตอรี่

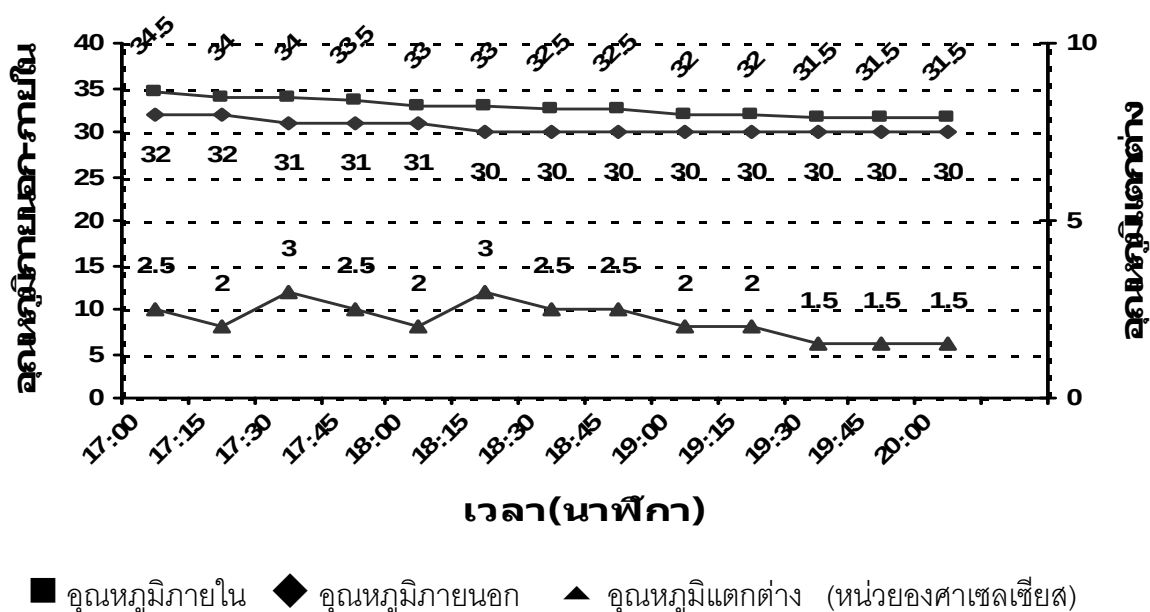
1.3 ประสิทธิภาพด้านผลการทำงาน

ผู้วิจัยได้วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ ซึ่งประกอบด้วย อุณหภูมิภายในห้องทดสอบ (T_{in}) อุณหภูมิภายนอกห้องทดสอบ (T_{out}) ความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องทดสอบ (RH_{out}) ความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องทดสอบ (RH_{in}) และค่าความเร็วลมภายนอกห้องทดสอบ (v) โดยแยกตามลักษณะการทดสอบ 3 ลักษณะ คือ ไม่ใช้พัดลมระบายอากาศ ใช้พัดลมระบายอากาศขนาด 6 นิ้ว (s_1) และใช้พัดลมระบายอากาศขนาด 8 นิ้ว (s_2) ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพด้านผลการทำงานของพัดลมระบายอากาศ พลังงานแสงอาทิตย์ มีรายละเอียดดังนี้

1.3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิภายนอก-ภายในห้องทดสอบ และผลต่างของอุณหภูมิภายนอก-ภายในห้องทดสอบ กับ ระยะเวลาในการระบายอากาศ แยกตามลักษณะการทดสอบ

1.3.1.1 กรณีไม่ใช้พัดลมระบายอากาศ ทำการทดสอบทั้งหมด 3 ครั้ง ตั้งแต่วันที่ 19 กรกฎาคม 2551 ถึง วันที่ 2 สิงหาคม 2551 มีรายละเอียดดังนี้

1.3.1.1.1 ทดสอบวันที่ 19 กรกฎาคม 2551

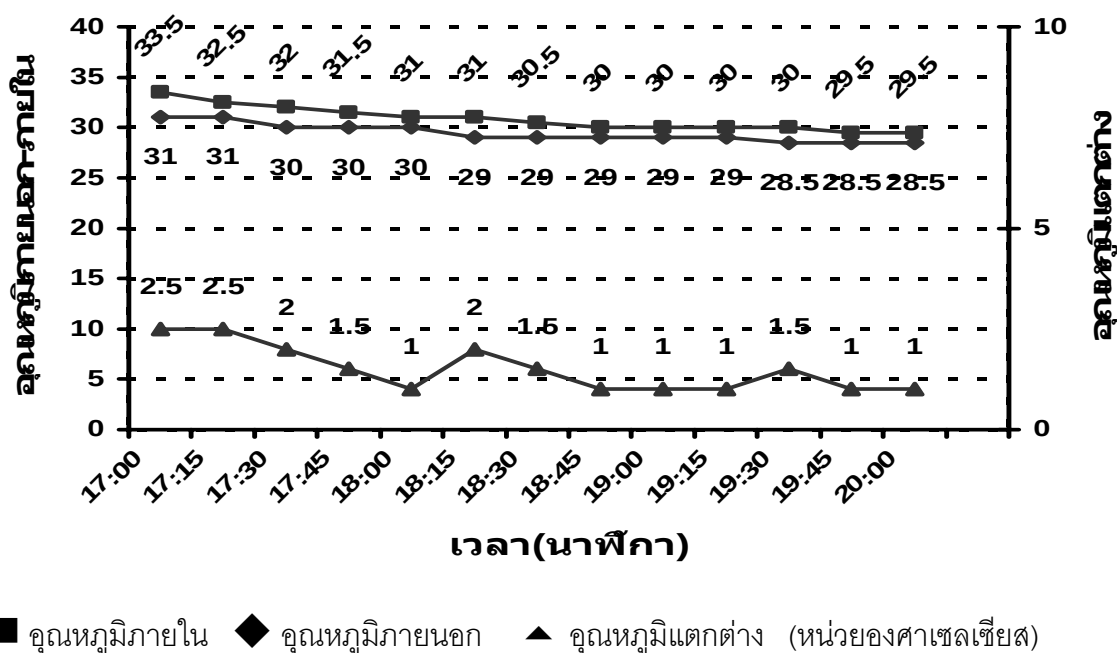


ภาพประกอบ 39 กราฟแสดงค่าอุณหภูมิภายนอก ภายในห้องทดสอบ และผลต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอกกับอุณหภูมิภายในห้องทดสอบ ทดสอบวันที่ 19 กรกฎาคม 2551

จากการทดสอบเมื่อวันที่ 19 กรกฎาคม 2551 พบว่าผลต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอกและอุณหภูมิภายในห้องทดสอบ มีค่าสูงสุดเท่ากับ 2.5°C ต่ำสุดเท่ากับ 1.5°C ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.19°C ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.52 ค่าความแปรปรวนเท่ากับ 0.27

ผลการทดสอบสมมุติฐานได้ค่า $t = 8.251$ จึงยอมรับสมมุติฐานหลัก $H_0: \bar{X} \geq 1$; $H_1: \bar{X} < 1$ ค่าวิกฤตของการแจกแจงที (t) = -1.782 ระดับนัยสำคัญ 0.05

1.3.1.1.2 ทดสอบวันที่ 26 กรกฎาคม 2551

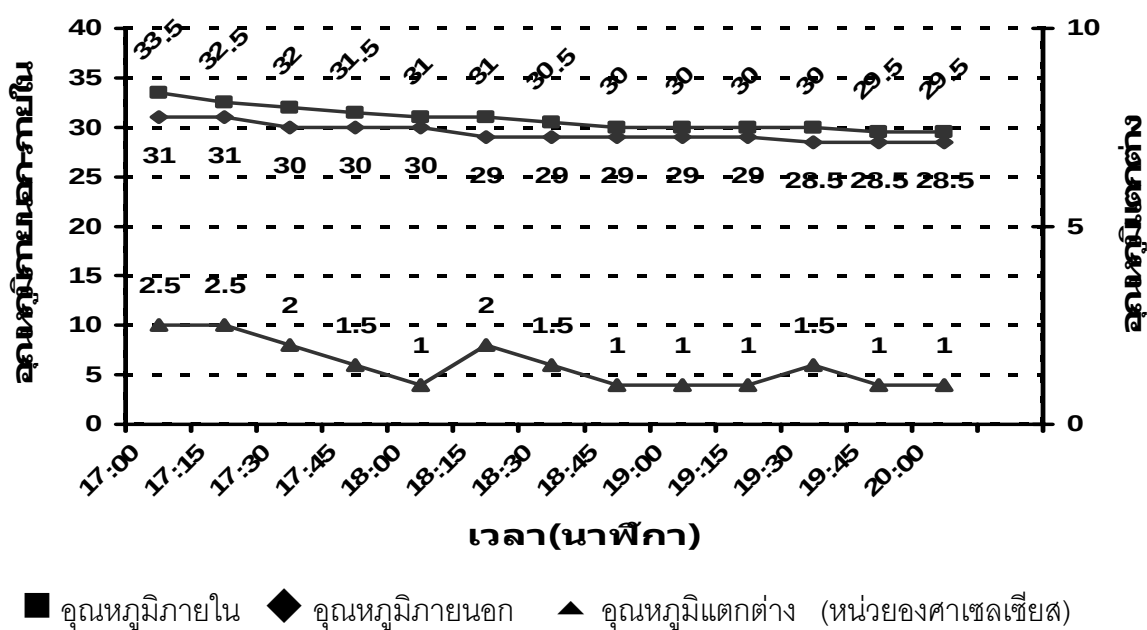


ภาพประกอบ 40 กราฟแสดงค่าอุณหภูมิภายนอก ภายในห้องทดสอบ และผลต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอกกับอุณหภูมิภายในห้องทดสอบ ทดสอบวันที่ 26 กรกฎาคม 2551

จากการทดสอบเมื่อวันที่ 26 กรกฎาคม 2551 พบว่าผลต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอกและอุณหภูมิภายในห้องทดสอบ มีค่าสูงสุดเท่ากับ 2.5°C ต่ำสุดเท่ากับ 1°C ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.5°C ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.577 ค่าความแปรปรวนเท่ากับ 0.33

ผลการทดสอบสมมุติฐานได้ค่า $t = 3.12$ จึงยอมรับสมมุติฐานหลัก $H_0: \bar{X} \geq 1$; $H_1: \bar{X} < 1$ ค่าวิกฤตของการแจกแจงที(t) = -1.782 ระดับนัยสำคัญ 0.05

1.3.1.1.3 ทดสอบวันที่ 2 สิงหาคม 2551



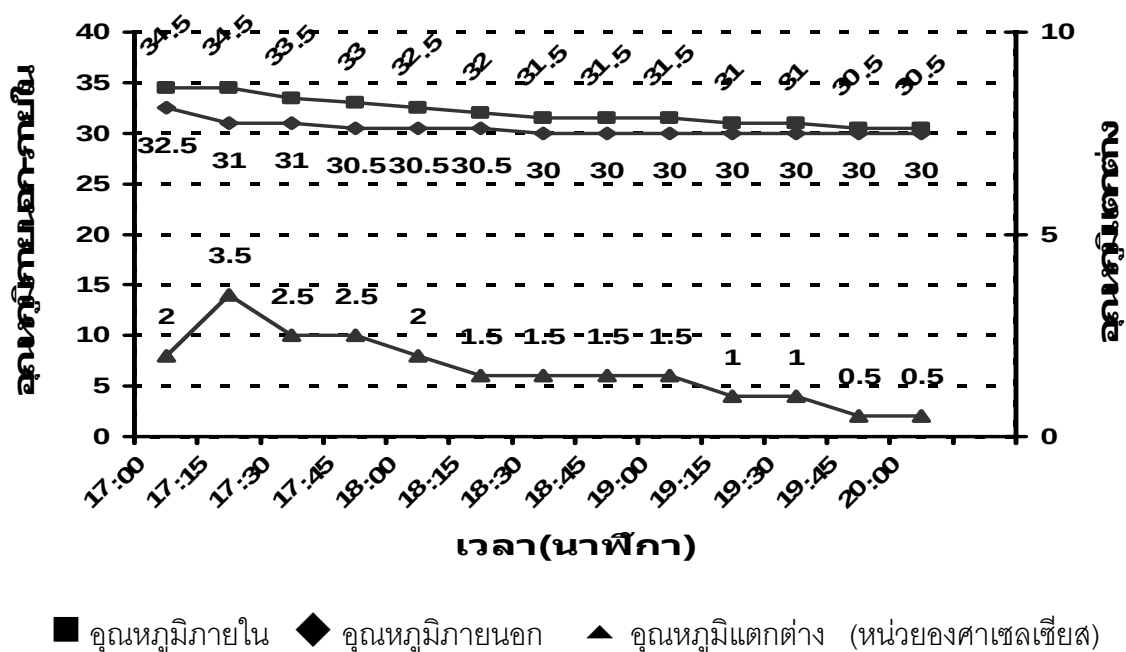
ภาพประกอบ 41 กราฟแสดงค่าอุณหภูมิภายนอก ภายในห้องทดสอบ และผลต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอกกับอุณหภูมิภายในห้องทดสอบ ทดสอบวันที่ 2 สิงหาคม 2551

จากการทดสอบเมื่อวันที่ 2 สิงหาคม 2551 พบว่าผลต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอกและอุณหภูมิภายในห้องทดสอบ มีค่าสูงสุดเท่ากับ 2°C ต่ำสุดเท่ากับ 1°C ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.3°C ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.38 ค่าความแปรปรวนเท่ากับ 0.147

ผลการทดสอบสมมุติฐานได้ค่า $t = 2.846$ จึงยอมรับสมมุติฐานหลัก $H_0: \bar{X} \geq 1$; $H_1: \bar{X} < 1$ ค่าวิกฤตของการแจกแจงที(t) = -1.782 ระดับนัยสำคัญ 0.05

1.3.1.2 กรณีใช้พัดลมระบายอากาศขนาด 6 นิ้ว ทำการทดสอบทั้งหมด 5 ครั้ง ตั้งแต่วันที่ 23 สิงหาคม 2551 ถึง วันที่ 27 กันยายน 2551 มีรายละเอียดดังนี้

1.3.1.2.1 ทดสอบวันที่ 23 สิงหาคม 2551

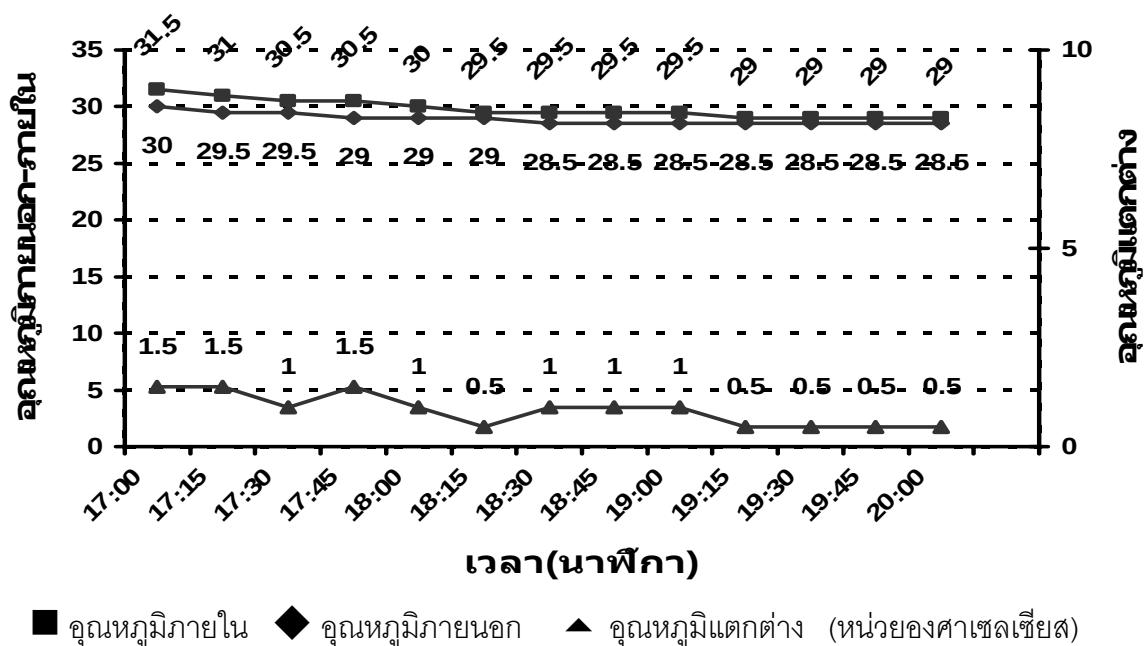


ภาพประกอบ 42 กราฟแสดงค่าอุณหภูมิภายนอก ภายในห้องทดสอบ และผลต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอกกับอุณหภูมิภายในห้องทดสอบ ทดสอบวันที่ 23 สิงหาคม 2551

จากการทดสอบเมื่อวันที่ 23 สิงหาคม 2551 พบว่าผลต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอกและอุณหภูมิภายในห้องทดสอบ มีค่าสูงสุดเท่ากับ 3.5°C ต่ำสุดเท่ากับ 0.5°C ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.65°C ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.85 ค่าความแปรปรวนเท่ากับ 0.72

ผลการทดสอบสมมุติฐานได้ค่า $t = 2.757$ จึงยอมรับสมมุติฐานหลัก $H_0: \bar{X} \geq 1$; $H_1: \bar{X} < 1$ ค่าวิกฤตของการแจกแจงที(t) = -1.782 ระดับนัยสำคัญ 0.05

1.3.1.2.2 ทดสอบวันที่ 30 สิงหาคม 2551

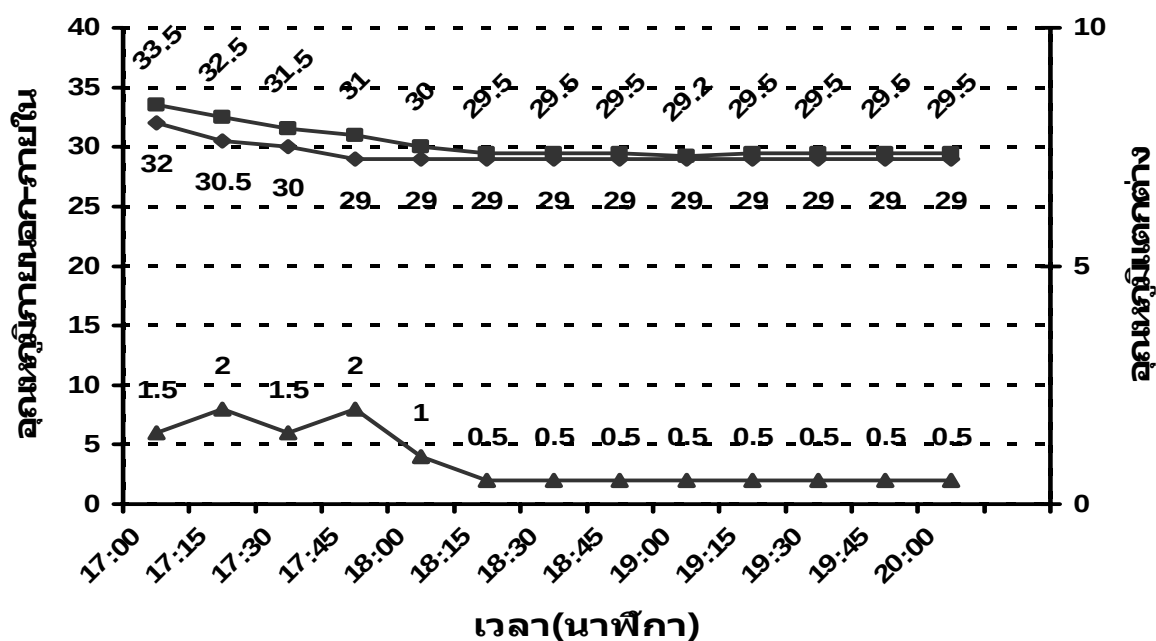


ภาพประกอบ 43 กราฟแสดงค่าอุณหภูมิภายนอก ภายในห้องทดสอบ และผลต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอกกับอุณหภูมิภายในห้องทดสอบ ทดสอบวันที่ 30 สิงหาคม 2551

จากการทดสอบเมื่อวันที่ 30 สิงหาคม 2551 พบว่าผลต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอกและอุณหภูมิภายในห้องทดสอบ มีค่าสูงสุดเท่ากับ 1.5°C ต่ำสุดเท่ากับ 0.5°C เฉลี่ยเท่ากับ 0.92°C ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.4 ค่าความแปรปรวนเท่ากับ 0.16

ผลการทดสอบสมมุติฐานได้ค่า $t = -0.721$ จึงยอมรับสมมุติฐานหลัก $H_0: \bar{X} \geq 1$; $H_1: \bar{X} < 1$ ค่าวิกฤตของการแจกแจงที(t) = -1.782 ระดับนัยสำคัญ 0.05

1.3.1.2.3 ทดสอบวันที่ 6 กันยายน 2551



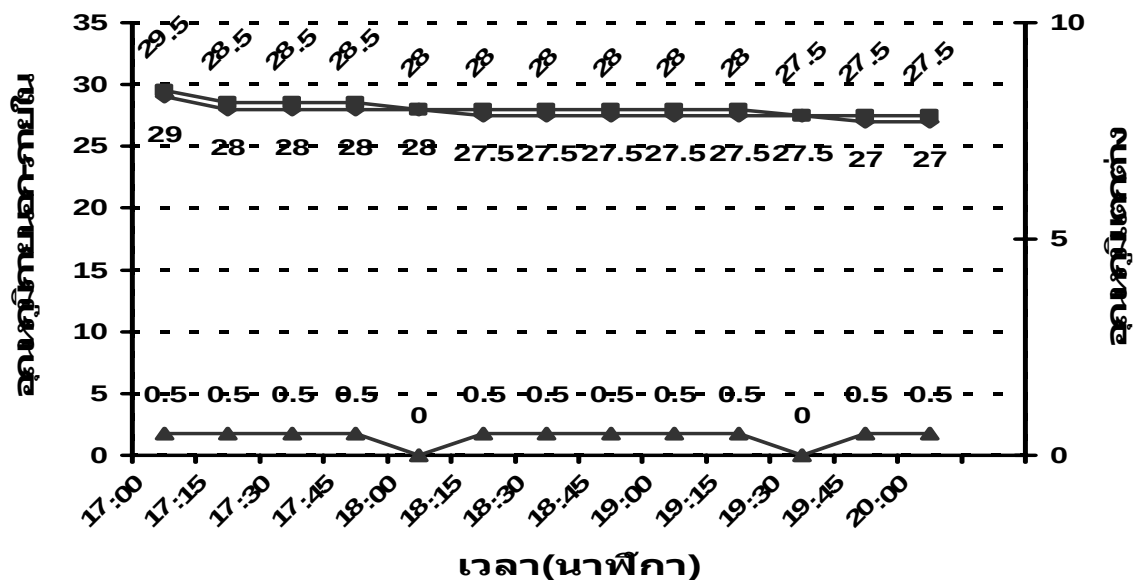
■ อุณหภูมิภายใน ◆ อุณหภูมิภายนอก ▲ อุณหภูมิแตกต่าง (หน่วยองศาเซลเซียส)

ภาพประกอบ 44 กราฟแสดงค่าอุณหภูมิภายนอก ภายในห้องทดสอบ และผลต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอกกับอุณหภูมิภายในห้องทดสอบ ทดสอบวันที่ 6 กันยายน 2551

จากการทดสอบเมื่อวันที่ 6 กันยายน 2551 พบว่าผลต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอกและอุณหภูมิภายในห้องทดสอบ มีค่าสูงสุดเท่ากับ 2°C ต่ำสุดเท่ากับ 0.5°C เฉลี่ยเท่ากับ 0.92°C ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.61 ค่าความแปรปรวนเท่ากับ 0.36

ผลการทดสอบสมมุติฐานได้ค่า $t = -0.473$ จึงยอมรับสมมุติฐานหลัก $H_0: \bar{X} \geq 1$; $H_1: \bar{X} < 1$ ค่าวิกฤตของการแจกแจงที(t) = -1.782 ระดับนัยสำคัญ 0.05

1.3.1.2.4 ทดสอบวันที่ 20 กันยายน 2551



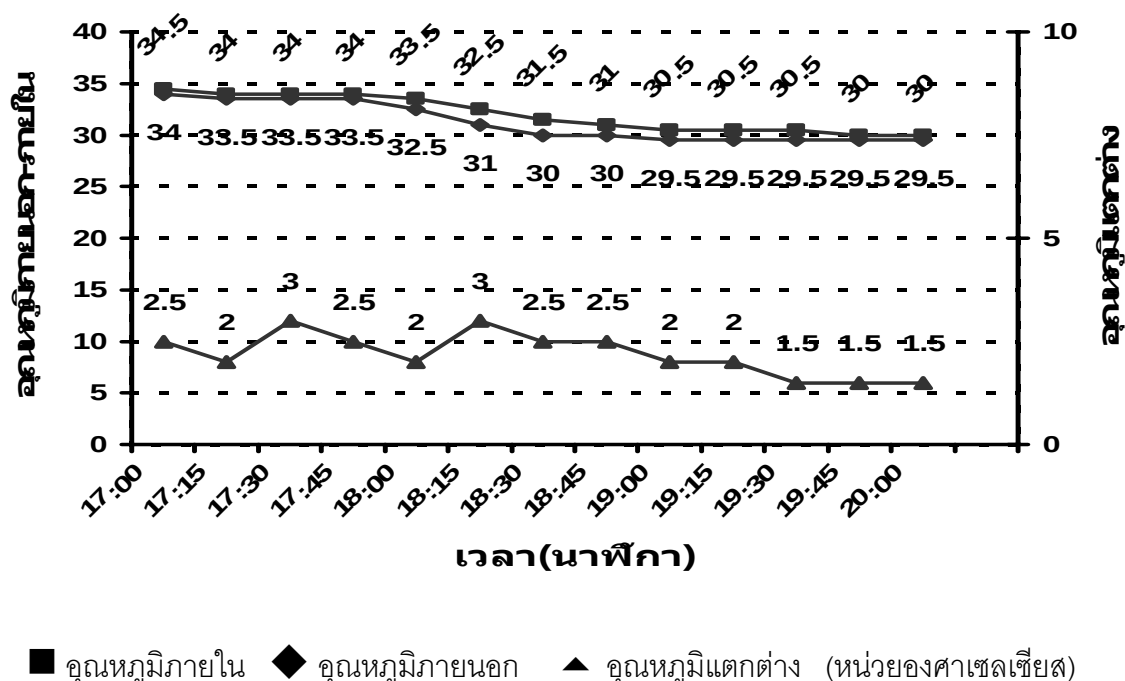
■ อุณหภูมิภายใน ◆ อุณหภูมิภายนอก ▲ อุณหภูมิแตกต่าง (หน่วยองศาเซลเซียส)

ภาพประกอบ 45 กราฟแสดงค่าอุณหภูมิภายนอก ภายในห้องทดสอบ และผลต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอกกับอุณหภูมิภายในห้องทดสอบ ทดสอบวันที่ 20 กันยายน 2551

จากการทดสอบเมื่อวันที่ 20 กันยายน 2551 พบว่าผลต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอกและอุณหภูมิภายในห้องทดสอบ มีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.5°C ต่ำสุดเท่ากับ 0°C เฉลี่ยเท่ากับ 0.42°C ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.188 ค่าความแปรปรวนเท่ากับ 0.035

ผลการทดสอบสมมติฐานได้ค่า $t = -11.12$ จึงปฏิเสธสมมติฐานหลัก $H_0: \bar{X} \geq 1$; $H_1: \bar{X} < 1$ ค่าวิกฤตของการแจกแจงที(t) = -1.782 ระดับนัยสำคัญ 0.05

1.3.1.2.5 ทดสอบวันที่ 27 กันยายน 2551



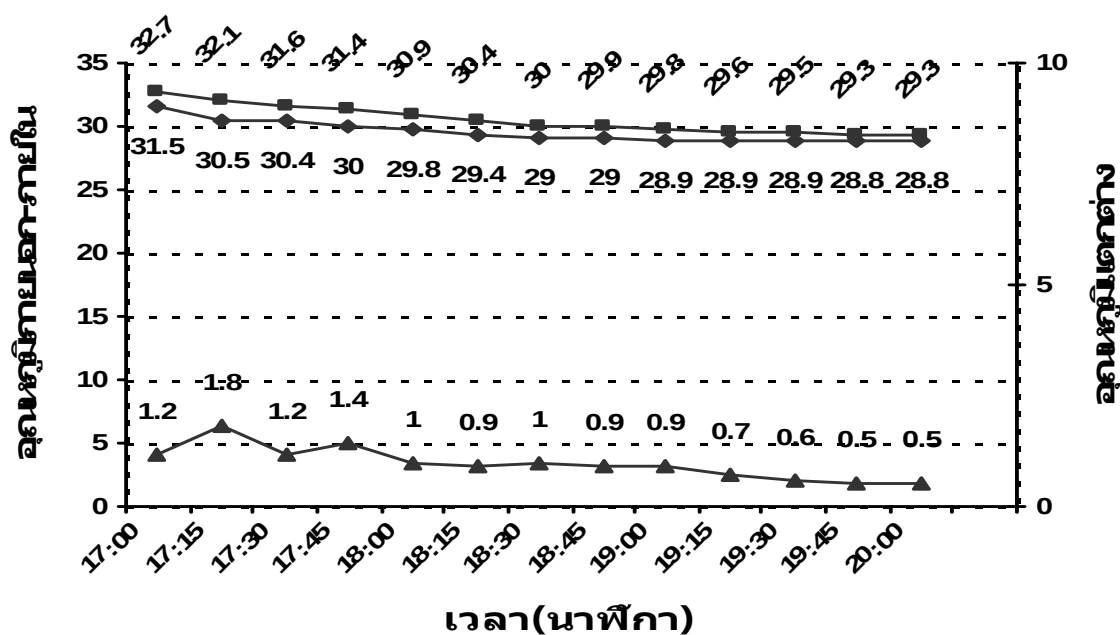
ภาพประกอบ 46 กราฟแสดงค่าอุณหภูมิภายนอก ภายในห้องทดสอบ และผลต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอกกับอุณหภูมิภายในห้องทดสอบ ทดสอบวันที่ 27 กันยายน 2551

จากการทดสอบเมื่อวันที่ 27 กันยายน 2551 พบว่าผลต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอกและอุณหภูมิภายในห้องทดสอบ มีค่าสูงสุดเท่ากับ 1.5°C ต่ำสุดเท่ากับ 0.5°C เฉลี่ยเท่ากับ 0.92°C ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.4 ค่าความแปรปรวนเท่ากับ 0.16

ผลการทดสอบสมมติฐานได้ค่า $t = -0.721$ จึงยอมรับสมมติฐานหลัก $H_0: \bar{X} \geq 1$; $H_1: \bar{X} < 1$ ค่าวิกฤตของการแจกแจงที (t) = -1.782 ระดับนัยสำคัญ 0.05

1.3.1.2.6 ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิภายนอก ภายในห้องทดสอบ และค่าเฉลี่ยของผลต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอกกับอุณหภูมิภายในห้องทดสอบ

ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิภายนอก ภายในห้องทดสอบ และค่าเฉลี่ยของผลต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอกกับอุณหภูมิภายในห้องทดสอบ ในกรณีใช้พัดลม 6 นิ้ว แยกตามช่วงเวลา มีรายละเอียดดังนี้



■ อุณหภูมิภายใน ◆ อุณหภูมิภายนอก ▲ อุณหภูมิแตกต่าง (หน่วยองศาเซลเซียส)

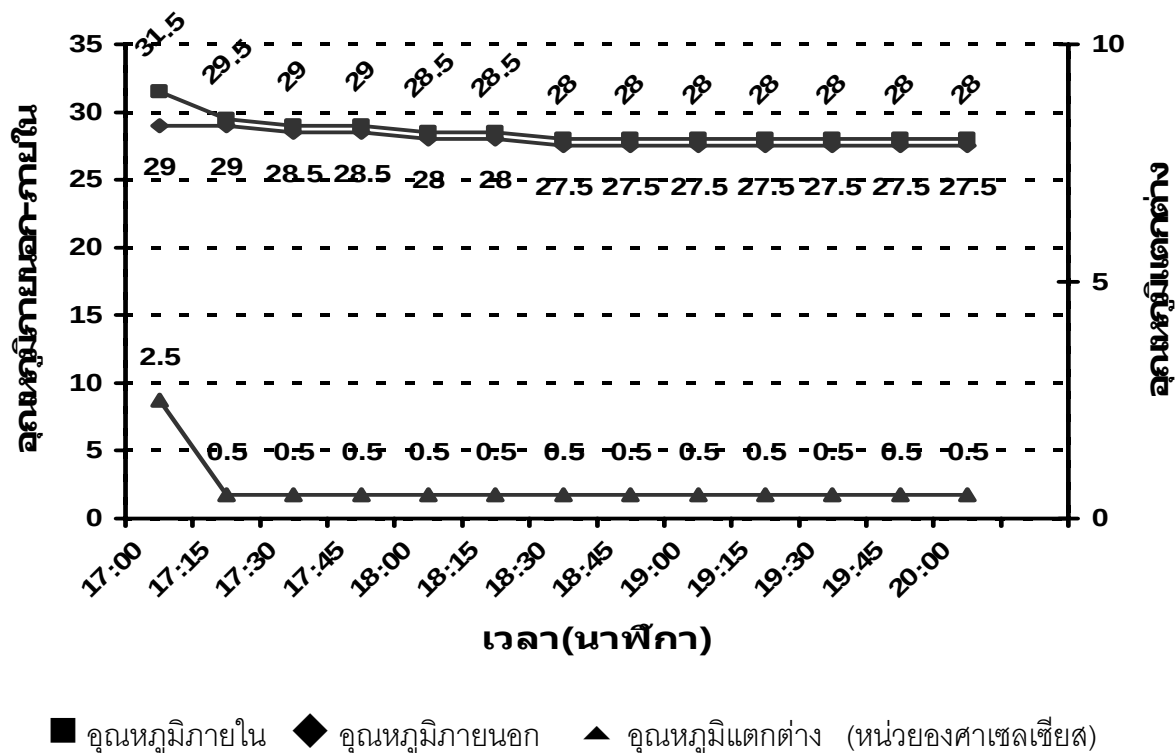
ภาพประกอบ 47 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิภายนอก ภายในห้องทดสอบ และค่าเฉลี่ยของผลต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอกกับอุณหภูมิภายในห้องทดสอบ ในกรณีใช้พัดลม 6 นิ้ว

พบว่าผลต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอกและอุณหภูมิภายในห้องทดสอบ มีค่าสูงสุดเท่ากับ 1.8°C ต่ำสุดเท่ากับ 0.5°C เฉลี่ยรวมเท่ากับ 0.969°C ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.37 ค่าความแปรปรวนเท่ากับ 0.137

ผลการทดสอบสมมุติฐานได้ค่า $t = -0.302$ จึงยอมรับสมมุติฐานหลัก $H_0: \bar{X} \geq 1$; $H_1: \bar{X} < 1$ ค่าวิกฤตของการแจกแจงที (t) = -1.782 ระดับนัยสำคัญ 0.05

1.3.1.3 กรณีใช้พัดลมระบายอากาศขนาด 8 นิ้ว ทำการทดสอบทั้งหมด 5 ครั้ง ตั้งแต่วันที่ 8 พฤศจิกายน 2551 ถึง วันที่ 6 ธันวาคม 2551 มีรายละเอียดดังนี้

1.3.1.3.1 ทดสอบวันที่ 8 พฤศจิกายน 2551

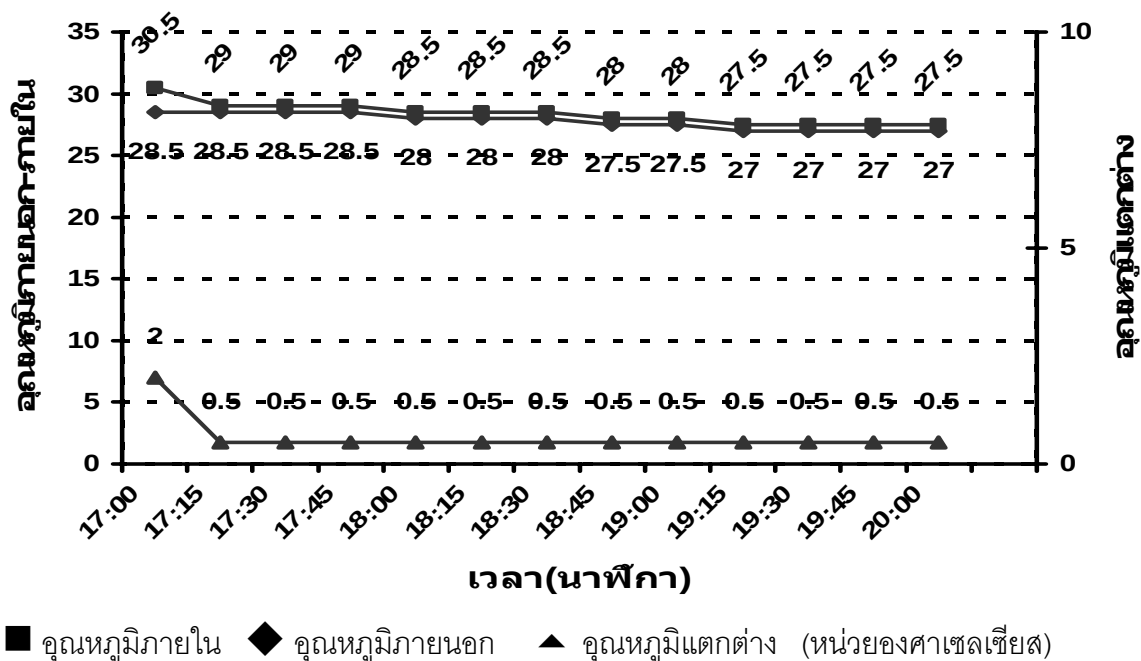


ภาพประกอบ 48 กราฟแสดงค่าอุณหภูมิภายนอก ภายในห้องทดสอบ และผลต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอกกับอุณหภูมิภายในห้องทดสอบ ทดสอบวันที่ 8 พฤศจิกายน 2551

จากการทดสอบเมื่อวันที่ 8 พฤศจิกายน 2551 พบว่าผลต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอกและอุณหภูมิภายในห้องทดสอบ มีค่าสูงสุดเท่ากับ 2.5°C ต่ำสุดเท่ากับ 0.5°C เฉลี่ยเท่ากับ 0.654°C ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.55 ค่าความแปรปรวนเท่ากับ 0.31

ผลการทดสอบสมมุติฐานได้ค่า $t = -2.27$ จึงปฏิเสธสมมุติฐานหลัก $H_0: \bar{X} \geq 1$; $H_1: \bar{X} < 1$ ค่าวิกฤตของการแจกแจงที $(t) = -1.782$ ระดับนัยสำคัญ 0.05

1.3.1.3.2 ทดสอบวันที่ 15 พฤศจิกายน 2551

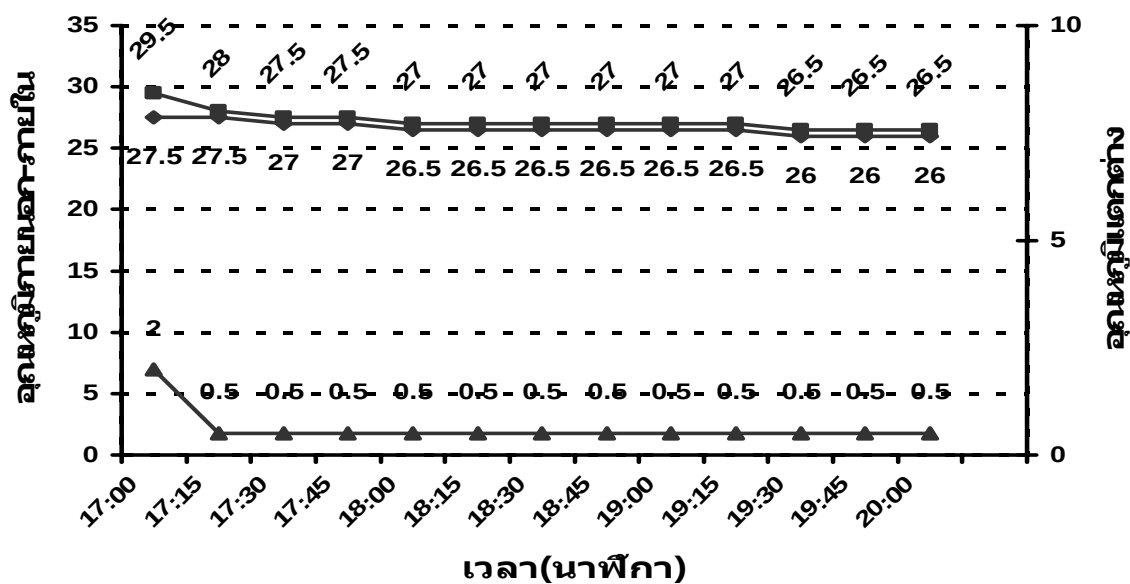


ภาพประกอบ 49 กราฟแสดงค่าอุณหภูมิภายนอก ภายในห้องทดสอบ และผลต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอกกับอุณหภูมิภายในห้องทดสอบ ทดสอบวันที่ 15 พฤศจิกายน 2551

จากการทดสอบเมื่อวันที่ 15 พฤศจิกายน 2551 พบว่าผลต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอกและอุณหภูมิภายในห้องทดสอบ มีค่าสูงสุดเท่ากับ 2°C ต่ำสุดเท่ากับ 0.5°C เฉลี่ยเท่ากับ 0.615°C ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.416 ค่าความแปรปรวนเท่ากับ 0.173

ผลการทดสอบสมมติฐานได้ค่า $t = -3.336$ จึงปฏิเสธสมมติฐานหลัก $H_0: \bar{X} \geq 1$; $H_1: \bar{X} < 1$ ค่าวิกฤตของการแจกแจงที (t) = -1.782 ระดับนัยสำคัญ 0.05

1.3.1.3.3 ทดสอบวันที่ 22 พฤศจิกายน 2551



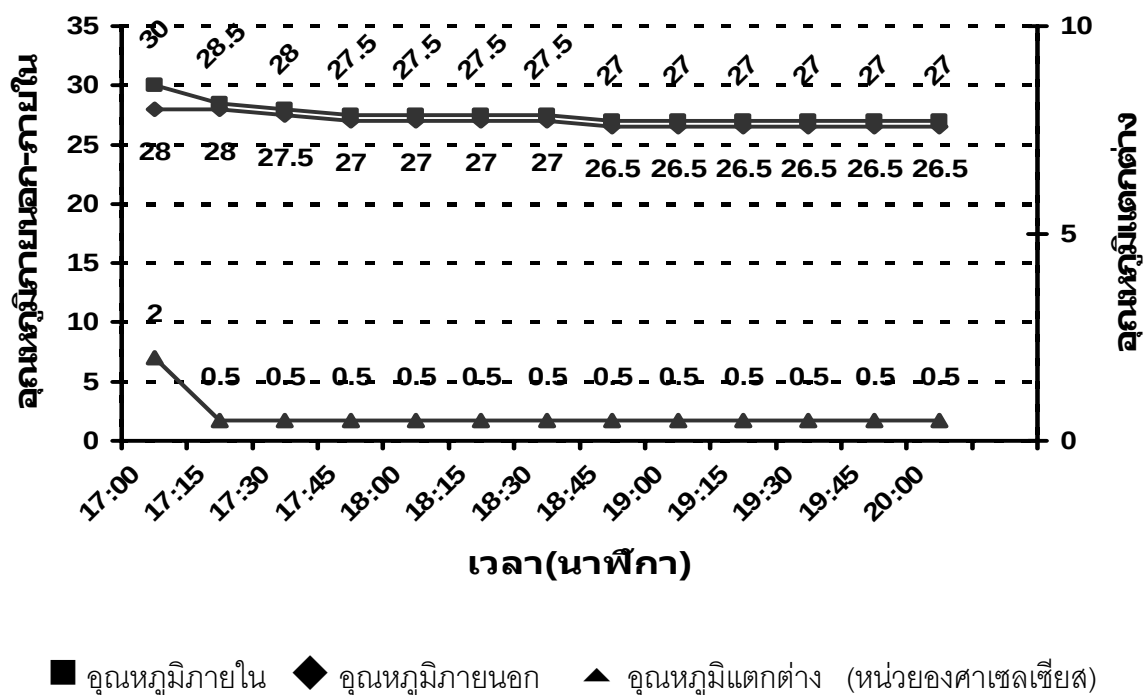
■ อุณหภูมิภายใน ◆ อุณหภูมิภายนอก ▲ อุณหภูมิแตกต่าง (หน่วยองศาเซลเซียส)

ภาพประกอบ 50 กราฟแสดงค่าอุณหภูมิภายนอก ภายในห้องทดสอบ และผลต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอกกับอุณหภูมิภายในห้องทดสอบ ทดสอบวันที่ 22 พฤศจิกายน 2551

จากการทดสอบเมื่อวันที่ 22 พฤศจิกายน 2551 พบว่าผลต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอกและอุณหภูมิภายในห้องทดสอบ มีค่าสูงสุดเท่ากับ 2°C ต่ำสุดเท่ากับ 0.5°C เฉลี่ยเท่ากับ 0.615°C ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.416 ค่าความแปรปรวนเท่ากับ 0.173

ผลการทดสอบสมมุติฐานได้ค่า $t = -3.336$ จึงปฏิเสธสมมุติฐานหลัก $H_0: \bar{X} \geq 1$; $H_1: \bar{X} < 1$ ค่าวิกฤตของการแจกแจงที (t) = -1.782 ระดับนัยสำคัญ 0.05

1.3.1.3.4 ทดสอบวันที่ 29 พฤศจิกายน 2551

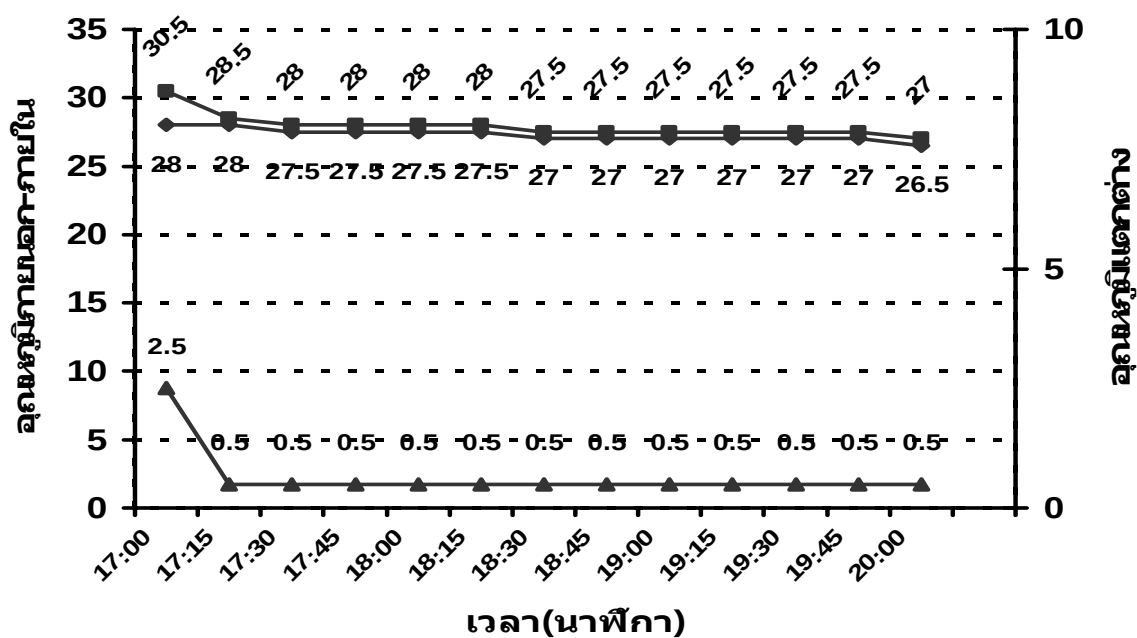


ภาพประกอบ 51 กราฟแสดงค่าอุณหภูมิภายนอก ภายในห้องทดสอบ และผลต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอกกับอุณหภูมิภายในห้องทดสอบ ทดสอบวันที่ 29 พฤศจิกายน 2551

จากการทดสอบเมื่อวันที่ 29 พฤศจิกายน 2551 พบว่าผลต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอกและอุณหภูมิภายในห้องทดสอบ มีค่าสูงสุดเท่ากับ 2°C ต่ำสุดเท่ากับ 0.5°C เฉลี่ยเท่ากับ 0.615°C ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.416 ค่าความแปรปรวนเท่ากับ 0.173

ผลการทดสอบสมมุติฐานได้ค่า $t = -3.336$ จึงปฏิเสธสมมุติฐานหลัก $H_0: \bar{X} \geq 1$; $H_1: \bar{X} < 1$ ค่าวิกฤตของการแจกแจงที (t) = -1.782 ระดับนัยสำคัญ 0.05

1.3.1.3.5 ทดสอบวันที่ 6 ธันวาคม 2551



■ อุณหภูมิภายใน ◆ อุณหภูมิภายนอก ▲ อุณหภูมิแตกต่าง (หน่วยองศาเซลเซียส)

ภาพประกอบ 52 กราฟแสดงค่าอุณหภูมิภายนอก ภายในห้องทดสอบ และผลต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอกกับอุณหภูมิภายในห้องทดสอบ ทดสอบวันที่ 6 ธันวาคม 2551

จากการทดสอบเมื่อวันที่ 6 ธันวาคม 2551 พบว่าผลต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอกและอุณหภูมิภายในห้องทดสอบ มีค่าสูงสุดเท่ากับ 2.5°C ต่ำสุดเท่ากับ 0.5°C เฉลี่ยเท่ากับ 0.654°C ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.55 ค่าความแปรปรวนเท่ากับ 0.31

ผลการทดสอบสมมุติฐานได้ค่า $t = -2.27$ จึงปฏิเสธสมมุติฐานหลัก $H_0: \bar{X} \geq 1$; $H_1: \bar{X} < 1$ ค่าวิกฤตของการแจกแจงที (t) = -1.782 ระดับนัยสำคัญ 0.05

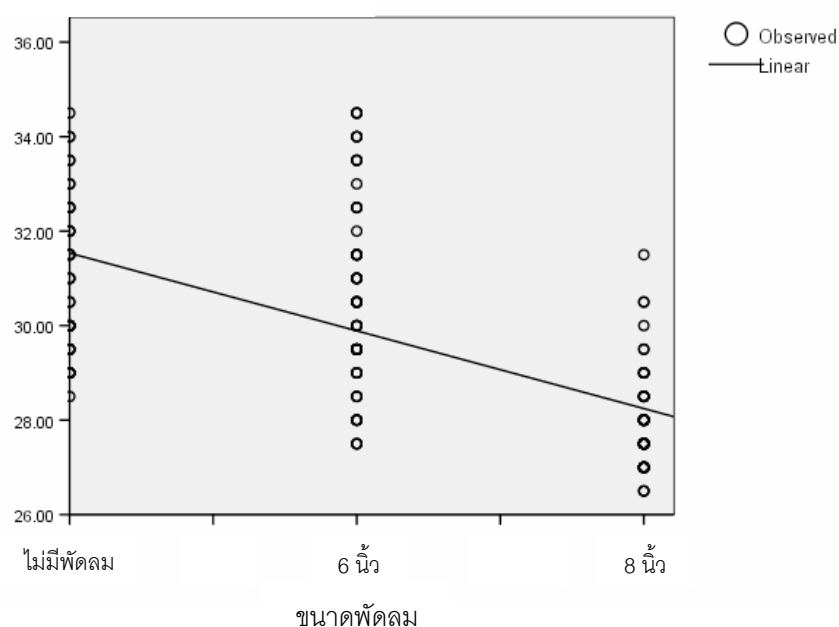
1.3.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง อุณหภูมิภายในห้องทดสอบ กับ ปัจจัยที่ส่งผลกระทบกับการลดลงของอุณหภูมิภายในห้องทดสอบ

ปัจจัยที่ส่งผลกระทบกับการลดลงของอุณหภูมิภายในห้องทดสอบประกอบด้วย พัดลมขนาด 6 นิ้ว (s_1) พัดลมขนาด 8 นิ้ว (s_2) อุณหภูมิภายนอกห้องทดสอบ (T_{out}) ระยะเวลาในการระบายอากาศ (time) และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในห้องทดสอบ (RH_{in}) ซึ่งเมื่อนำปัจจัยดังกล่าวมาสร้างเป็นกราฟร่วมกับอุณหภูมิภายในห้องทดสอบ ได้ผลดังนี้

1.3.2.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง อุณหภูมิภายในห้องทดสอบ กับ ขนาดของพัดลม

อุณหภูมิอากาศภายในห้องทดสอบ

(องศาเซลเซียส)



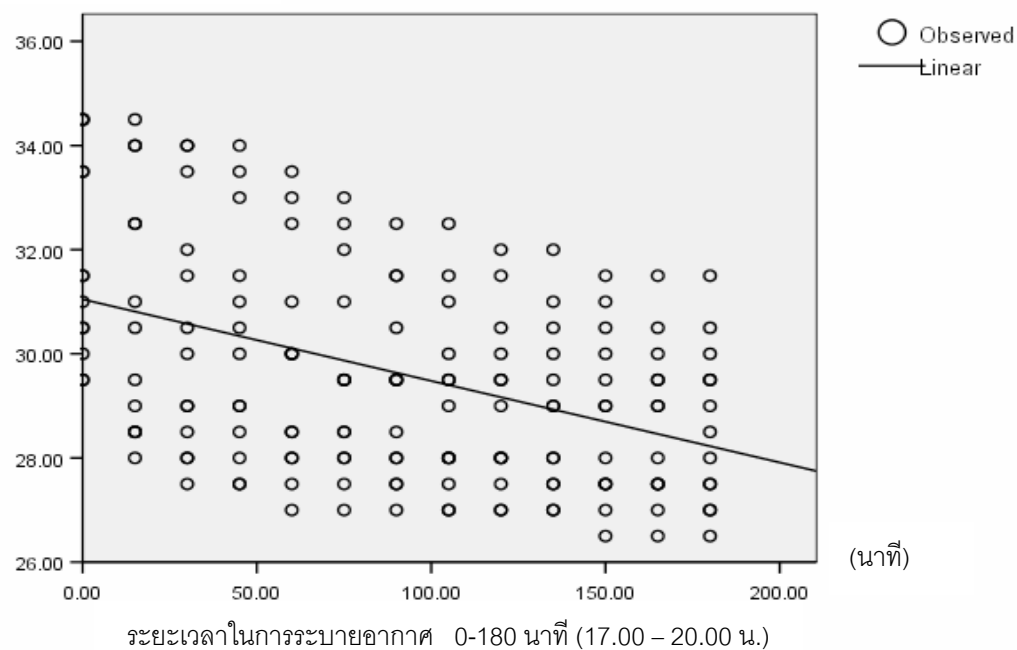
ภาพประกอบ 53 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิภายในห้องทดสอบ กับ ขนาดของพัดลม

จากกราฟ ซึ่งเป็นการแสดงค่าอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดสอบ เมื่อห้องทดสอบไม่มีการระบายอากาศ ห้องทดสอบมีการระบายอากาศโดยใช้พัดลมขนาด 6 นิ้ว และห้องทดสอบมีการระบายอากาศโดยใช้พัดลมขนาด 8 นิ้ว พบว่า อุณหภูมิภายในห้องทดสอบลดลงตามขนาดของพัดลม โดยพัดลมขนาด 8 นิ้ว ให้ผลในการลดลงของอุณหภูมิอากาศในห้องได้มากที่สุด

1.3.2.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง อุณหภูมิภายในห้องทดสอบ กับ ระยะเวลาในการระบายอากาศ

อุณหภูมิอากาศภายในห้องทดสอบ

(องศาเซลเซียส)



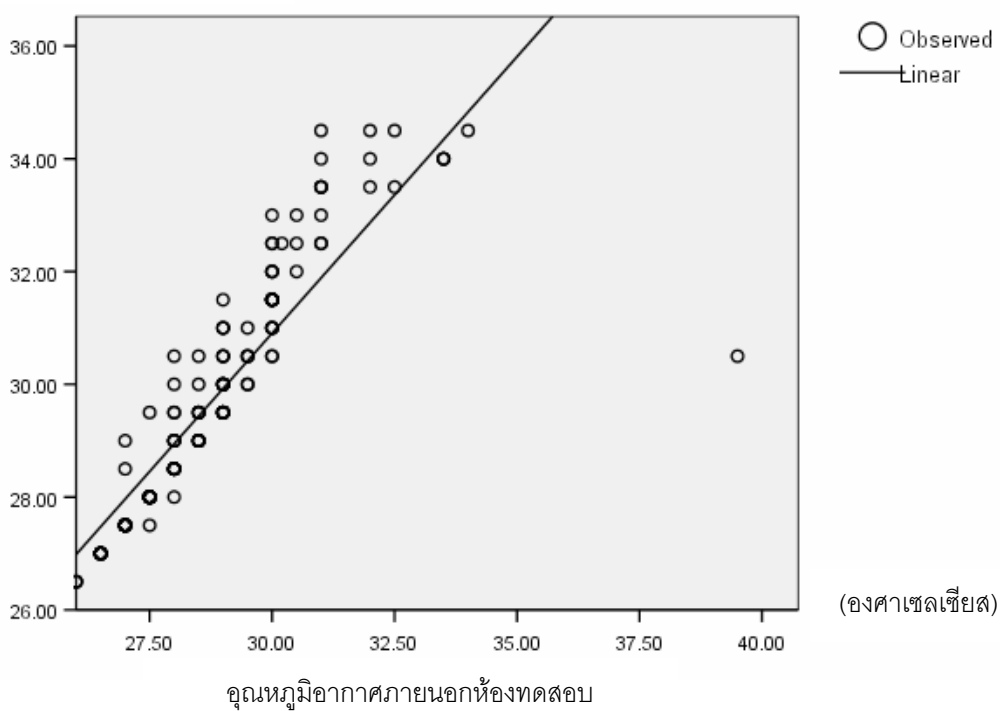
ภาพประกอบ 54 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิภายในห้องทดสอบ กับ ระยะเวลาในการระบายอากาศ

จากกราฟพบว่า อุณหภูมิอากาศภายในห้องทดสอบผกผันกับระยะเวลาในการระบายอากาศ กล่าวคือ ระยะเวลาระบายอากาศที่ยาวนาน อุณหภูมิอากาศในห้องทดสอบจะยิ่งลดต่ำลง

1.3.2.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง อุณหภูมิภายในห้องทดสอบ กับอุณหภูมิอากาศภายนอกห้องทดสอบ

อุณหภูมิอากาศภายในห้องทดสอบ

(องศาเซลเซียส)



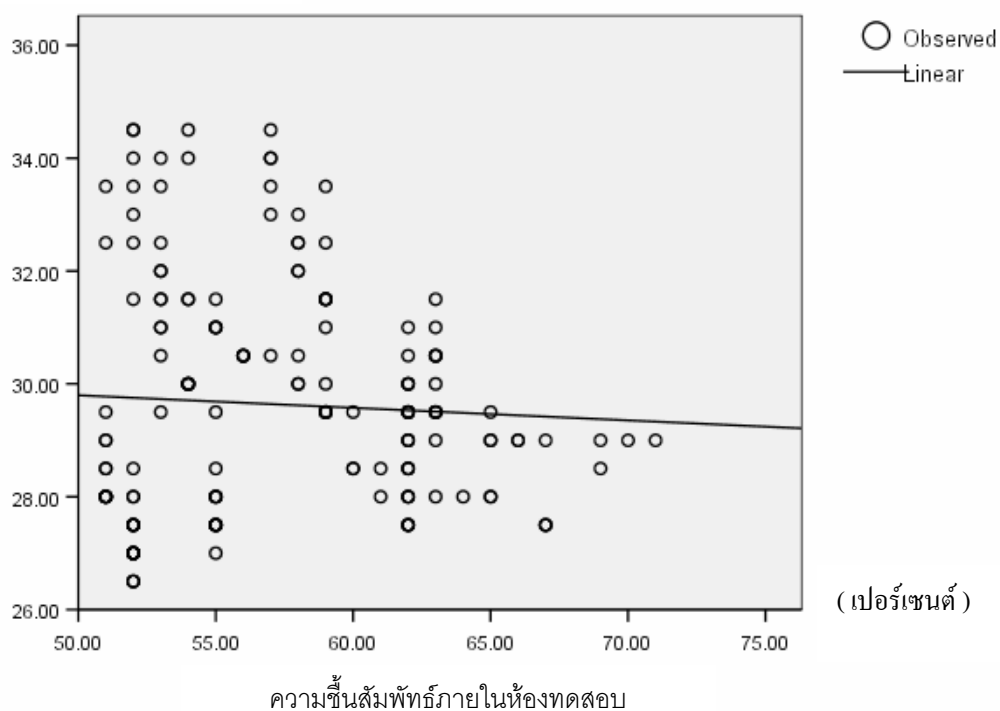
ภาพประกอบ 55 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิภายในห้องทดสอบ กับอุณหภูมิภายนอกห้องทดสอบ

จากกราฟพบว่า อุณหภูมิอากาศในห้องทดสอบแปรผันตามอุณหภูมิอากาศนอกห้องทดสอบ กล่าวคือ เมื่ออุณหภูมิอากาศนอกห้องมีค่าสูง อุณหภูมิอากาศในห้องก็จะมีค่าสูงตาม และเมื่ออุณหภูมิอากาศนอกห้องมีค่าลดลง อุณหภูมิอากาศในห้องก็จะลดลงตามไปด้วย

1.3.2.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง อุณหภูมิภายในห้องทดสอบ กับความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องทดสอบ

อุณหภูมิอากาศภายในห้องทดสอบ

(องศาเซลเซียส)



ภาพประกอบ 56 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์ กับ อุณหภูมิภายในห้องทดสอบ

จากกราฟ ซึ่งเป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง อุณหภูมิภายในห้องทดสอบ กับความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องทดสอบ พบว่า อุณหภูมิอากาศภายในห้องทดสอบผกผันกับความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องทดสอบ กล่าวคือ เมื่อห้องทดสอบมีค่าความชื้นสัมพัทธ์สูงอุณหภูมิในห้องทดสอบจะมีค่าน้อย

1.3.3 ความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่าง อุณหภูมิภายในห้องทดสอบ กับ ปัจจัยที่ส่งผล กระทบต่อการลดลงของอุณหภูมิภายในห้องทดสอบ

1.3.3.1 ระดับความสัมพันธ์ของ T_{out} s_2 s_1 time RH_{in} RH_{out} v ที่มีต่อ T_{in}

ผู้วิจัยได้นำค่า T_{out} s_2 s_1 time RH_{in} RH_{out} v มาวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ สัมประสิทธิ์การกำหนด และค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการประมาณของ T_{out} s_2 s_1 time RH_{in} RH_{out} v กับ T_{in} เพื่ออธิบายว่าตัวแปรเหล่านี้มีความสัมพันธ์ต่อ T_{in} ในระดับใด โดยใช้โปรแกรม spss ซึ่งได้ผล ดังนี้

ตาราง 9 ผลการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของ T_{out} s_2 s_1 time RH_{in} RH_{out} v ที่มีต่อ T_{in}

Model Summary

Model	R	Adjusted R Square	Std. Error of Estimate
5	.919 ^e	.840	.82652

e. Predictors : (Constant), T_{out} s_2 time s_1 RH_{in}

ผลการวิเคราะห์ Model 5 พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์(R) เท่ากับ 0.919 แปลความว่า T_{out} s_2 time s_1 RH_{in} มีความสัมพันธ์กับ T_{in} ในระดับสูง ส่วน RH_{out} v ไม่พบความสัมพันธ์

ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด(R^2) เท่ากับ 0.840 แปลความว่า อิทธิพลของ T_{out} s_2 time s_1 RH_{in} ที่มีต่อ T_{in} คิดเป็น 84.0 % ที่เหลือเป็นผลมาจากตัวแปรอื่น ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการประมาณ(Std. Error of Estimate) เท่ากับ .82652 แปลความว่า การประมาณค่า T_{in} มีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นเท่ากับ 0.82652°C

1.3.3.2 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่าง T_{out} s_2 time s_1 RH_{in} กับ T_{in}

ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบสมมุติฐานเพื่อตรวจสอบว่า T_{out} s_2 time s_1 RH_{in} มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับ T_{in} หรือไม่ และรูปแบบสมการความสัมพันธ์ระหว่าง T_{out} s_2 time s_1 RH_{in} กับ T_{in} เป็นอย่างไร โดยใช้โปรแกรม spss ซึ่งได้ผลดังนี้

ตาราง 10 ความสัมพันธ์เชิงเส้นที่ T_{out} s_2 time s_1 RH_{in} มีต่อ T_{in} Coefficients^a

Model	Unstandardized Coefficients		Unstandardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
(Constant)	15.453	2.140		7.222	.000
T_{out}	.661	.053	.583	12.473	.000
5 s_2	-1.940	.244	-.459	-8.652	.000
Time	-.008	.001	-.210	-6.184	.000
s_1	-.711	.169	-.168	-4.218	.000
RH_{in}	-.054	.016	-.132	-3.423	.001

a. Dependent Variable: T_{in}

ผลทดสอบความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่าง T_{in} กับ T_{out} กำหนด $H_0: \beta_1 = 0$ และ $H_1: \beta_1 \neq 0$
 ค่า $t = 12.473$ ค่า $Sig. = 0.000$ ค่า $\alpha = 0.05$ พบว่าค่า $Sig. < \alpha$ จึงปฏิเสธสมมุติฐานหลัก
 แปลความว่า T_{in} กับ T_{out} มีความสำคัญเชิงเส้นกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ผลทดสอบความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่าง T_{in} กับ s_2 กำหนด $H_0: \beta_1 = 0$ และ $H_1: \beta_1 \neq 0$
 ค่า $t = -8.652$ ค่า $Sig. = 0.000$ ค่า $\alpha = 0.05$ พบว่าค่า $Sig. < \alpha$ จึงปฏิเสธสมมุติฐานหลัก
 แปลความว่า T_{in} กับ s_2 มีความสำคัญเชิงเส้นกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ผลทดสอบความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่าง T_{in} กับ time กำหนด $H_0: \beta_1 = 0$ และ $H_1: \beta_1 \neq 0$
 ค่า $t = -6.184$ ค่า $Sig. = 0.000$ ค่า $\alpha = 0.05$ พบว่าค่า $Sig. < \alpha$ จึงปฏิเสธสมมุติฐานหลัก
 แปลความว่า T_{in} กับ time มีความสำคัญเชิงเส้นกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ผลทดสอบความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่าง T_{in} กับ s_1 กำหนด $H_0: \beta_1 = 0$ และ $H_1: \beta_1 \neq 0$
 ค่า $t = -4.218$ ค่า $Sig. = 0.000$ ค่า $\alpha = 0.05$ พบว่าค่า $Sig. < \alpha$ จึงปฏิเสธสมมุติฐานหลัก
 แปลความว่า T_{in} กับ s_1 มีความสำคัญเชิงเส้นกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ผลทดสอบความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่าง T_{in} กับ RH_{in} กำหนด $H_0: \beta_1 = 0$ และ $H_1: \beta_1 \neq 0$
 ค่า $t = -3.423$ ค่า $Sig. = 0.001$ ค่า $\alpha = 0.05$ พบว่าค่า $Sig. < \alpha$ จึงปฏิเสธสมมุติฐานหลัก
 แปลความว่า T_{in} กับ RH_{in} มีความสำคัญเชิงเส้นกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

จากค่า B สามารถสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่าง T_{out} s_2 time s_1 RH_{in} กับ T_{in} เมื่อ
time ≥ 180 และ $s_1 + s_2 = 0$ ได้ว่า

$$T_{in} = 15.453 - 0.711 s_1 - 1.940 s_2 - 0.008 \text{ time} + 0.661 T_{out} - 0.054 RH_{in}$$

และจากค่า Beta สามารถสร้างสมการ ได้ว่า

$$T_{in} = -0.168 s_1 - 0.459 s_2 - 0.210 \text{ time} + 0.583 T_{out} - 0.132 RH_{in}$$

2. อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ กรณีเปิดใช้เครื่องปรับอากาศทันที กับ กรณีทำการระบายอากาศภายในห้องก่อนเปิดใช้เครื่องปรับอากาศ

2.1 พลังงานที่ใช้ในการปรับอากาศ กรณีไม่มีการระบายอากาศก่อนเปิดใช้ เครื่องปรับอากาศ

- ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิภายนอกห้องทดสอบ (T_{out}) เวลา 20.00 น. มีค่าเท่ากับ 28°C
- ค่าเฉลี่ยผลต่างของอุณหภูมิภายใน-นอกห้องทดสอบ (d_i) มีค่าเท่ากับ 1.33°C
- อุณหภูมิก่อนปรับอากาศ (T_1) มีค่าเท่ากับ $28^\circ\text{C} + 1.33^\circ\text{C} = 29.33^\circ\text{C} = 85^\circ\text{F}$
- อุณหภูมิปรับอากาศ (T_2) ที่ต้องการมีค่าเท่ากับ $25^\circ\text{C} = 77^\circ\text{F}$
- ค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศก่อนปรับอากาศเท่ากับ 65 %
- ค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศหลังปรับอากาศเท่ากับ 50 %
- ค่าความชื้นจำเพาะของอากาศในห้องก่อนปรับอากาศ (W_1) มีค่าเท่ากับ $118 \text{ gr}_w/\text{Ib}_a$
- ค่าความชื้นจำเพาะของอากาศในห้องหลังปรับอากาศ (W_2) มีค่าเท่ากับ $68 \text{ gr}_w/\text{Ib}_a$
- อัตราระบายลมเย็น (cfm) เมื่อต้องการให้ห้องเย็นลงถึงอุณหภูมิ 25°C ภายในเวลา 10 นาที มีค่าเท่ากับ $250 \text{ ft}^3/\text{min}$
- ◆ พลังงานที่ต้องใช้ในการปรับอากาศ คือ

$$\begin{aligned} Q &= 1.1 \text{ cfm } (T_1 - T_2) + 0.68 \text{ cfm } (W_1 - W_2) \\ &= 1.1 \times 250 \text{ ft}^3/\text{min} \times (85 - 77)^\circ\text{F} + 0.68 \times 250 \text{ ft}^3/\text{min} \times (118 - 68) \text{ gr}_w/\text{Ib}_a \\ &= 10700 \text{ Btu/hr} = 3136.7 \text{ W} \end{aligned}$$

2.2 พลังงานที่ใช้ในการปรับอากาศ กรณีระบายอากาศก่อนเปิดใช้เครื่องปรับอากาศ ด้วยพัดลมขนาด 8 นิ้ว

- ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิภายนอกห้องทดสอบ (T_{out}) เวลา 20.00 น. มีค่าเท่ากับ 28°C
- ค่าเฉลี่ยผลต่างของอุณหภูมิภายใน-นอกห้องทดสอบ (d_t) มีค่าเท่ากับ 0.5°C
- อุณหภูมิก่อนปรับอากาศ (T_1) มีค่าเท่ากับ $28^{\circ}\text{C} + 0.5^{\circ}\text{C} = 28.5^{\circ}\text{C} = 83^{\circ}\text{F}$
- อุณหภูมิปรับอากาศ (T_2) ที่ต้องการมีค่าเท่ากับ $25^{\circ}\text{C} = 77^{\circ}\text{F}$
- ค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศก่อนปรับอากาศเท่ากับ 65 %
- ค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศหลังปรับอากาศเท่ากับ 50 %
- ค่าความชื้นจำเพาะของอากาศในห้องก่อนปรับอากาศ (W_1) มีค่าเท่ากับ $110 \text{ gr}_w/\text{lb}_a$
- ค่าความชื้นจำเพาะของอากาศในห้องหลังปรับอากาศ (W_2) มีค่าเท่ากับ $68 \text{ gr}_w/\text{lb}_a$
- อัตราระบายลมเย็น (cfm) เมื่อต้องการให้ห้องเย็นลงถึงอุณหภูมิ 25°C ภายในเวลา 10 นาที มีค่าเท่ากับ $250 \text{ ft}^3/\text{min}$
- ◆ พลังงานที่ต้องใช้ในการปรับอากาศ คือ

$$\begin{aligned} Q &= 1.1 \text{ cfm } (T_1 - T_2) + 0.68 \text{ cfm } (W_1 - W_2) \\ &= 1.1 \times 250 \text{ ft}^3/\text{min} \times (83 - 77)^{\circ}\text{F} + 0.68 \times 250 \text{ ft}^3/\text{min} \times (110 - 68) \text{ gr}_w/\text{lb}_a \\ &= 7140 \text{ Btu/hr} = 2576.3 \text{ W} \end{aligned}$$

2.3 พลังงานในการปรับอากาศที่ประหยัดได้

$$\text{พลังงานในการปรับอากาศที่ประหยัดได้} = 1 - \frac{7140 \text{ Btu/hr}}{10700 \text{ Btu/hr}} \times 100\% = 17.86\%$$

ตาราง 11 แสดงพลังงานในการปรับอากาศ และพลังงานไฟฟ้าที่ต้องจ่ายให้กับเครื่องปรับอากาศแบ่งตามสภาพการระบายอากาศ

หัวข้อ	สภาพการระบายอากาศ	
	ไม่มีการระบายอากาศ	ระบายอากาศโดยพัดลมขนาด 8 นิ้ว
พลังงานในการปรับอากาศ	10700 <i>Btu/hr</i>	7140 <i>Btu/hr</i>
พลังงานไฟฟ้าที่ต้องจ่ายให้กับเครื่องปรับอากาศ	3136.7 W	2576.3 W

3. ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้านเศรษฐศาสตร์

เพื่อให้ทราบถึงความคุ้มค่าในการลงทุนติดตั้งพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ ผู้วิจัยจึงทำการวิเคราะห์หาจุดคุ้มทุน ผลการวิเคราะห์เป็นดังนี้

3.1 ค่าไฟฟ้า

3.1.1 ค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการปรับอากาศเมื่อไม่มีการระบายอากาศก่อนเปิดใช้เครื่องปรับอากาศ

- คิดค่าไฟฟ้าหน่วยละ 2.5 บาท
- ◆ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อเดือน = $\frac{3136.7W \times 5hr \times 30day}{1000W} = 470.505 \text{ KW/เดือน}$
- ◆ ค่าไฟฟ้าต่อเดือน = $470.505 \text{ KW/เดือน} \times 2.5 \text{ บาท/KW} = 1176.26 \text{ บาท/เดือน}$

3.1.2 ค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการปรับอากาศเมื่อมีการระบายอากาศก่อนเปิดใช้เครื่องปรับอากาศ

- คิดค่าไฟฟ้าหน่วยละ 2.5 บาท
- ◆ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อเดือน = $\frac{2576.3W \times 5hr \times 30day}{1000W} = 386.445 \text{ KW/เดือน}$
- ◆ ค่าไฟฟ้าต่อเดือน = $386.445 \text{ KW/เดือน} \times 2.5 \text{ บาท/KW} = 966.11 \text{ บาท/เดือน}$

3.1.3 ค่าไฟฟ้าสำหรับพัดลมระบายอากาศ กรณีใช้ไฟฟ้าจากสายส่งของการไฟฟ้า

- คิดค่าไฟฟ้าหน่วยละ 2.5 บาท
- ◆ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อเดือน = $\frac{(35 \times 2)W \times 3hr \times 30day}{1000W} = 6.3 \text{ KW/เดือน}$
- ◆ ค่าไฟฟ้าต่อเดือน = $6.3 \text{ KW/เดือน} \times 2.5 \text{ บาท/KW} = 15.75 \text{ บาท/เดือน}$

3.2 จุดคุ้มทุน

ผู้วิจัยได้แยกวิเคราะห์จุดคุ้มทุน 2 รูปแบบคือ 1) จุดคุ้มทุน กรณีเปรียบเทียบระหว่างไม่มีการระบายอากาศ กับ มีการระบายอากาศด้วยพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ และ 2) จุดคุ้มทุน กรณีเปรียบเทียบระหว่างไม่มีการระบายอากาศ กับ มีการระบายอากาศด้วยพัดลมระบายอากาศพลังงานไฟฟ้า ดังรายละเอียดต่อไปนี้

3.2.1 จุดคุ้มทุน เปรียบเทียบกรณีไม่มีการระบายอากาศ กับ มีการระบายอากาศด้วยพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์

- ราคาเซลล์แสงอาทิตย์ ราคา 5000 บาท
- ราคาแบตเตอรี่ ราคา 1500 บาท
- ราคาอินเวอร์เตอร์ ราคา 1000 บาท
- ราคาเครื่องควบคุมการประจุกระแสไฟฟ้า ราคา 1000 บาท
- ราคาสะพานไฟอัตโนมัติทำงานตามอุณหภูมิและเวลาที่กำหนด ราคา 10000 บาท
- ราคาพัดลมระบายอากาศขนาด 8 นิ้ว 2 เครื่อง ราคา 2000 บาท
- กรณีไม่มีการระบายอากาศ ค่าไฟฟ้าสำหรับการปรับอากาศ คือ 1176.26 บาท/เดือน
- กรณีมีการระบายอากาศ ค่าไฟฟ้าสำหรับการปรับอากาศ คือ 966.11 บาท/เดือน
- ◆ เงินลงทุนทั้งสิ้น $5000+1500+1000+1000+10000+2000 = 20500$ บาท
- ◆ ค่าไฟฟ้าลดลง $= 1176.26 \text{ บาท/เดือน} - 966.11 \text{ บาท/เดือน}$
 $= 210.15 \text{ บาท/เดือน} = 2521.8 \text{ บาท/ปี}$
- ◆ จุดคุ้มทุน $= \text{เงินลงทุนทั้งสิ้น} \div \text{ค่าไฟฟ้าที่ลดลง}$
 $= 20500 \text{ บาท} \div 2521.8 \text{ บาท/ปี}$
 $= 8.13 \text{ ปี}$

3.2.2 จุดคุ้มทุน เปรียบเทียบกรณีไม่มีการระบายอากาศ กับ มีการระบายอากาศด้วยพัดลมระบายอากาศพลังงานไฟฟ้า

กรณีนี้คิดเงินลงทุนโดยตัดชุดเซลล์แสงอาทิตย์ออกแล้วใช้พลังงานไฟฟ้าแทน และตัดสะพานไฟอัตโนมัติทำงานตามอุณหภูมิและเวลาออกแล้วใช้สะพานไฟอัตโนมัติทำงานตามเวลาแทน โดยมีรายละเอียดดังนี้

- พัดลมระบายอากาศขนาด 8 นิ้ว 2 เครื่อง ราคา 2000 บาท
- สะพานไฟอัตโนมัติทำงานตามเวลา ราคา 3000 บาท
- กรณีไม่มีการระบายอากาศ ค่าไฟฟ้าสำหรับการปรับอากาศ คือ 1176.26 บาท/เดือน

● กรณีมีการระบายอากาศ ค่าไฟฟ้าสำหรับการปรับอากาศ คือ 966.11 บาท/เดือน
และค่าไฟฟ้าสำหรับพัดลมระบายอากาศ คือ 15.75 บาท/เดือน

◆ เงินลงทุนทั้งสิ้น $2000 + 3000 = 5000$ บาท

◆ ค่าไฟฟ้าลดลง = $1176.26 \text{ บาท/เดือน} - (966.11 + 15.75) \text{ บาท/เดือน}$
 $= 194.4 \text{ บาท/เดือน} = 2332.8 \text{ บาท/ปี}$

◆ จุดคุ้มทุน = เงินลงทุนทั้งสิ้น ÷ ค่าไฟฟ้าที่ลดลง
 $= 5000 \text{ บาท} \div 2332.8 \text{ บาท/ปี}$
 $= 2.14 \text{ ปี}$

บทที่ 5

สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การวิจัยเรื่องประสิทธิภาพของพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ ได้ข้อสรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ ดังนี้

สรุปผลการวิจัย

1. ด้านประสิทธิภาพของพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์

1.1 ประสิทธิภาพด้านการทำงาน ของพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ ขนาด 6 นิ้ว และ 8 นิ้ว เป็นดังนี้

1.1.1 ความถ่วงจำเพาะของน้ำกรดในแบตเตอรี่ ก่อนพัดลมฯ ทำงาน เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

1.1.2 ความถ่วงจำเพาะของน้ำกรดในแบตเตอรี่หลังพัดลมฯ ทำงานต่อเนื่องครบ 3 ชั่วโมง เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

1.1.3 แรงดันไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ ก่อนพัดลมฯ ทำงาน เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

1.1.4 แรงดันไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ หลังพัดลมฯ ทำงานต่อเนื่องครบ 3 ชั่วโมง เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

1.1.5 แรงดันไฟฟ้าจาก DC/AC Inverter ก่อนพัดลมฯ ทำงาน เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

1.1.6 แรงดันไฟฟ้าจาก DC/AC Inverter หลังพัดลมฯ ทำงานต่อเนื่องครบ 3 ชั่วโมง เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

1.2 ประสิทธิภาพด้านการติดตั้ง ด้านการใช้งาน และด้านการบำรุงรักษา ผลการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญ 5 ท่าน เป็นดังนี้

1.2.1 ประสิทธิภาพด้านการติดตั้ง อยู่ในเกณฑ์ดี

1.2.2 ประสิทธิภาพด้านการใช้งาน อยู่ในเกณฑ์ดี

1.2.3 ประสิทธิภาพด้านการบำรุงรักษา อยู่ในเกณฑ์ดี

1.2.4 ข้อเสนอแนะจากผู้เชี่ยวชาญ มี 2 ข้อ คือ

1.2.4.1 ควรทำช่องเปิดบริเวณพื้นห้องแทนการใช้พัดลมฯ ส่งลมเข้าห้อง เพื่อลดจำนวนพัดลมระบายอากาศลง

1.2.4.2 ควรใช้แบตเตอรี่สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์แทนแบตเตอรี่ที่ใช้ในการวิจัย เพื่อยืดอายุการใช้งานให้กับแบตเตอรี่

1.3 ประสิทธิภาพด้านผลการทำงาน

1.3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิภายนอก-ภายในห้องทดสอบ และผลต่างของอุณหภูมิภายนอก-ภายในห้องทดสอบ กับ ระยะเวลาในการระบายอากาศ แยกตามลักษณะการทดสอบ

1.3.1.1 กรณีไม่มีการระบายอากาศ อุณหภูมิภายในมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิภายนอก ทุกช่วงเวลาทดสอบ เมื่อทดสอบสมมุติฐานพบว่า ผลต่างของอุณหภูมิภายใน-ภายนอกห้องทดสอบ มีค่า $\geq 1^{\circ}\text{C}$

1.3.1.2 กรณีใช้พัดลมระบายอากาศขนาด 6 นิ้ว จากการทดสอบทั้งหมด 5 ครั้ง มีสี่ครั้งยอมรับว่าผลต่างของอุณหภูมิภายใน-นอกห้องทดสอบมี $\geq 1^{\circ}\text{C}$ และหนึ่งครั้งยอมรับว่าผลต่างของอุณหภูมิภายใน-นอกห้องทดสอบมีค่า $< 1^{\circ}\text{C}$ เมื่อทดสอบสมมุติฐานรวม พบว่า ผลต่างของอุณหภูมิภายใน-นอกห้องทดสอบมีค่า $\geq 1^{\circ}\text{C}$ แต่การทดสอบทุกครั้งพบว่าในช่วงเวลา 20.00 น. ผลต่างของอุณหภูมิภายใน-นอกห้องทดสอบ มีค่าน้อยกว่า 1 องศาเซลเซียส

1.3.1.3 กรณีใช้พัดลมระบายอากาศขนาด 8 นิ้ว พบว่าใน 15 นาทีแรกของการทดสอบเป็นช่วงเวลาที่ผลต่างของอุณหภูมิภายใน-นอกห้องทดสอบมีค่ามากที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.2°C เมื่อผ่าน 15 นาทีแรกของการทดสอบไปผลต่างของอุณหภูมิภายใน-นอกห้องทดสอบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.5°C การทดสอบทุกครั้งพบว่าผลต่างของอุณหภูมิภายใน-นอกห้องทดสอบมีค่า $< 1^{\circ}\text{C}$

1.3.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง อุณหภูมิภายในห้องทดสอบ กับ ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อ การลดลงของอุณหภูมิภายในห้องทดสอบ

1.3.2.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง อุณหภูมิภายในห้องทดสอบ กับ ขนาดของพัดลมฯ พบว่า อุณหภูมิภายในห้องทดสอบลดลงตามขนาดของพัดลมฯ โดยพัดลมขนาด 8 นิ้ว ให้ผลในการลดลงของอุณหภูมิอากาศในห้องได้มากที่สุด

1.3.2.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง อุณหภูมิภายในห้องทดสอบ กับ ระยะเวลาในการระบายอากาศ พบว่า อุณหภูมิอากาศภายในห้องทดสอบลดลงตามระยะเวลาในการระบายอากาศ

1.3.2.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง อุณหภูมิภายในห้องทดสอบ กับ อุณหภูมิอากาศภายนอกห้องทดสอบ พบว่า อุณหภูมิอากาศในห้องทดสอบแปรผันตามอุณหภูมิอากาศนอกห้องห้องทดสอบ

1.3.2.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง อุณหภูมิภายในห้องทดสอบ กับ ความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องทดสอบ พบว่า อุณหภูมิอากาศภายในห้องทดสอบผกผันกับความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องทดสอบ

1.3.3 ความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่าง อุณหภูมิภายในห้องทดสอบ กับ ปัจจัยที่ส่งผลกระทบกับการลดลงของอุณหภูมิภายในห้องทดสอบ

ตัวแปรที่มีผลต่อการลดลงของอุณหภูมิภายในห้องทดสอบ มากที่สุดคือ อุณหภูมิภายนอกห้องทดสอบ รองลงมาคือ พัฒนาระบายอากาศขนาด 8 นิ้ว และระยะเวลาในการระบายอากาศ และพัฒนาระบายอากาศขนาด 6 นิ้ว และความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องทดสอบ ตามลำดับ อิทธิพลที่ตัวแปรหมดมีต่ออุณหภูมิภายในทดสอบคิดเป็น 84 % และสามารถเขียนสมการประมาณค่าอุณหภูมิภายในทดสอบ ได้ว่า $T_{in} = 15.453 - 0.711 s_1 - 1.940 s_2 - 0.008 \text{ time} + 0.661 T_{out} - 0.054 RH_{in}$ หรือ $T_{in} = -0.168 s_1 - 0.459 s_2 - 0.210 \text{ time} + 0.583 T_{out} - 0.132 RH_{in}$ โดยค่าที่ประมาณได้จากสมการจะมีค่าผิดพลาดเท่ากับ 0.82652°C

2. อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ กรณีเปิดใช้เครื่องปรับอากาศทันที กับ กรณีทำการระบายอากาศภายในห้องก่อนเปิดใช้เครื่องปรับอากาศ

2.1 กรณีไม่มีการระบายอากาศก่อนเปิดใช้เครื่องปรับอากาศ เครื่องปรับอากาศต้องใช้พลังงานเท่ากับ 10700 Btu/hr หรือ 3136.7 W

2.2 กรณีใช้พัฒนาระบายอากาศขนาด 8 นิ้ว เครื่องปรับอากาศต้องใช้พลังงานเท่ากับ 7140 Btu/hr หรือ 2576.3 W

2.3 พลังงานในการปรับอากาศที่ประหยัดได้คิดเป็นร้อยละ 17.86

3. ด้านเศรษฐศาสตร์

3.1 ค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการปรับอากาศเมื่อไม่มีการระบายอากาศก่อนเปิดใช้เครื่องปรับอากาศมีค่าเท่ากับ 1176.26 บาท/เดือน

3.2 ค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการปรับอากาศเมื่อมีการระบายอากาศก่อนเปิดใช้เครื่องปรับอากาศมีค่าเท่ากับ 966.11 บาท/เดือน

3.3 จุดคุ้มทุน เปรียบเทียบกรณีไม่มีการระบายอากาศ กับ มีการระบายอากาศด้วยพัฒนาระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ เท่ากับ 8.13 ปี

3.4 จุดคุ้มทุน เปรียบเทียบกรณีไม่มีการระบายอากาศ กับ มีการระบายอากาศด้วยพัฒนาระบายอากาศพลังงานไฟฟ้า เท่ากับ 2.14 ปี

อภิปรายผลการวิจัย

จากสมมุติฐานที่ตั้งไว้ว่า พัฒลมระบายอากาศมีประสิทธิภาพ สามารถทำให้อุณหภูมิอากาศภายในห้องทดสอบลดลงจนมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิอากาศภายนอกห้องทดสอบ ณ เวลาเดียวกัน โดยมีผลต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศภายในห้องกับอุณหภูมิอากาศภายนอกห้องไม่เกิน 1 องศาเซลเซียส นั้น ผลการวิจัยได้ข้อสรุปที่ได้สอดคล้องกับสมมุติฐานข้างต้น โดยมีรายละเอียดสามารถอภิปรายผลได้ดังนี้

1. ประสิทธิภาพของพัฒลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์

1.1 ประสิทธิภาพด้านการทำงานของพัฒลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ พบว่าเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด ที่เป็นเช่นนี้เพราะ ผู้วิจัยคำนวณหาขนาดเซลล์แสงอาทิตย์ แบตเตอรี่ และ DC/AC Inverter จากความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าของพัฒลมระบายอากาศ ซึ่งได้ค่าที่ถูกต้อง ทำให้เซลล์แสงอาทิตย์สามารถประจุไฟลงในแบตเตอรี่ได้อย่างเพียงพอกับความต้องการของพัฒลมระบายอากาศ แบตเตอรี่สามารถส่งไฟฟ้ากระแสตรงให้กับ DC/AC Inverter ไฟฟ้าอย่างเพียงพอ และ DC/AC Inverter สามารถเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์ เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์พร้อมส่งต่อให้กับพัฒลมระบายอากาศได้อย่างเพียงพอ พัฒลมระบายอากาศจึงทำงานได้อย่างสมบูรณ์ นอกจากนี้เซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 100 วัตต์ที่ใช้ในการวิจัย ถูกติดตั้งให้หันหน้าไปทางทิศใต้ ทำมุมเอียงประมาณ 15 องศาจากแนวระดับ จึงสามารถรับแสงอาทิตย์ได้เต็มที่ และสร้างพลังงานไฟฟ้าได้เพียงพอต่อการใช้งานของพัฒลมระบายอากาศ สอดคล้องกับหลักการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ที่แนะนำโดยการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ที่กล่าวว่าตัวแปรสำคัญที่มีส่วนทำให้เซลล์แสงอาทิตย์ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ คือทิศทางการติดตั้ง โดยหากหันหน้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไปทางทิศใต้ ทำมุมเอียง 10 – 15 องศา จากแนวระดับ จะทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์รับแสงมากที่สุด (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. 2550: ออนไลน์) สอดคล้องกับงานวิจัยเรื่อง การประยุกต์ระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับโครงการอีสานเขียว ที่พบว่าปัจจัยสำคัญที่ทำให้เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตกระแสไฟฟ้าได้เต็มประสิทธิภาพคือทิศทางการติดตั้งแผงเซลล์ ทิศทางที่เหมาะสมคือ หันหน้าไปทางทิศใต้ ทำมุมเอียง 10 - 15 องศาจากแนวระดับ (สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว; และคณะ. 2535) และงานวิจัยเรื่อง การออกแบบระบบเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อเพิ่มสมรรถนะของหลังคารับรังสีอาทิตย์ ซึ่งคำนวณหาขนาดของเซลล์แสงอาทิตย์จากความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าของพัฒลมระบายอากาศ จึงทำให้พัฒลมระบายอากาศทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ(สหรัฐ อิงคะวณิช. 2542)

1.2 ประสิทธิภาพด้านการติดตั้ง ด้านการใช้งาน และด้านการบำรุงรักษา โดยรวมอยู่ในเกณฑ์ดี อภิปรายผลได้ดังนี้

1.2.1 ด้านการติดตั้ง พบว่า มีความสะดวกในการติดตั้ง ตำแหน่งติดตั้งพัดลมระบายอากาศเหมาะสมกับการนำมาติดตั้งในอาคารที่พักอาศัย และจำนวนพัดลมระบายอากาศเหมาะสมกับการนำมาติดตั้งในอาคารที่พักอาศัย ที่เป็นเช่นนี้เพราะ ชนิดและตำแหน่งติดตั้งพัดลมระบายอากาศที่ใช้ในงานวิจัยเป็นชนิดและตำแหน่งที่นิยมนำมาใช้และติดตั้งในบ้านเรือนทั่วไป และด้วยสภาพบ้านเรือนในปัจจุบันที่ถูกออกแบบให้มีช่องว่างตามกรอบประตูและหน้าต่างน้อยลง การใช้พัดลมระบายอากาศ 2 เครื่องเพื่อการดูดและส่งอากาศออกจากห้องจึงให้ผลด้านการระบายอากาศที่ดีกว่า สอดคล้องกับทฤษฎีเรื่อง พัดลมระบายอากาศที่กล่าวว่า พัดลมระบายอากาศชนิดที่นิยมใช้ในบ้านพักอาศัยโดยทั่วไปคือ พัดลมชนิดอากาศไหลตามแนวแกน (AXIAL FAN) เนื่องจากพัดลมชนิดนี้มีราคาถูก ขนาดเล็ก เคลื่อนย้ายง่าย มีความสะดวกในการติดตั้ง (อนุตร จำลองกุล. 2543: 114) สำหรับตำแหน่งติดตั้งและจำนวนพัดลมสอดคล้องกับทฤษฎีเรื่อง การจัดวางตำแหน่งพัดลมระบายอากาศซึ่งแนะนำให้ติดตั้ง พัดลม 2 เครื่องในตำแหน่งตรงข้ามกัน (สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย. 2540: 113) สอดคล้องกับงานวิจัยเรื่อง ประสิทธิภาพของการออกแบบการระบายอากาศช่องใต้หลังคาเพื่อป้องกันการถ่ายเทความร้อนจากหลังคา ที่เลือกใช้พัดลมชนิดอากาศไหลตามแนวแกนประกอบการวิจัย (วิกรม จำนงค์จิตต์. 2545: บทคัดย่อ) และงานวิจัยออกแบบระบบเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อเพิ่มสมรรถนะของหลังคารับรังสีอาทิตย์ ซึ่งเลือกใช้พัดลมชนิดอากาศไหลตามแนวแกนประกอบการวิจัยเช่นเดียวกัน (สหรัฐ อิงคะวณิช. 2542)

1.2.2 ด้านการใช้งาน พบว่า มีความสะดวกในการใช้งานอยู่ในเกณฑ์ดีมาก และมีความปลอดภัยในการใช้งานอยู่ในเกณฑ์ดี ที่เป็นเช่นนี้เพราะ อุปกรณ์ที่นำมาใช้ต้องการบำรุงรักษาน้อย การใช้งานไม่ก่อให้เกิดมลพิษ อุปกรณ์ไฟฟ้าถูกซ่อนเก็บอย่างมิดชิดในกล่องพลาสติกที่มีความเป็นฉนวน ระบายอากาศได้ดี ติดตั้งอยู่ในตำแหน่งที่ปลอดภัย และพัดลมระบายอากาศสามารถทำงานได้โดยอัตโนมัติ สอดคล้องกับทฤษฎีเรื่อง จุดเด่นของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ไม่มีชิ้นส่วนที่เคลื่อนไหว ในขณะที่ใช้งานจึงทำให้ไม่มีมลภาวะทางเสียง ไม่ก่อให้เกิดมลภาวะเป็นพิษจากขบวนการผลิตไฟฟ้า มีการบำรุงรักษาน้อยมาก และใช้งานได้ง่าย (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. 2550: ออนไลน์) และสอดคล้องกับทฤษฎีเรื่อง ความปลอดภัยในการใช้เครื่องมือไฟฟ้า ที่แนะนำให้ใช้วัสดุที่เป็นฉนวนห่อหุ้มเปลือกชั้นนอกของเครื่องไฟฟ้าเพื่อป้องกันอันตรายจากการรั่วของกระแสไฟฟ้า (พงษ์วุฒิ สิทธิพล. ม.ป.ป.: 159) สอดคล้องกับงานวิจัยเรื่อง การประยุกต์ระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับโครงการอีสานเขียว ที่เลือกใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพราะมีความปลอดภัยขณะใช้งาน และไม่ต้องการการบำรุงรักษามากนัก (สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว; และคณะ. 2535) และงานวิจัยเรื่อง การพัฒนาพัดลมปรับความเร็วตามสภาวะแวดล้อมแบบอัตโนมัติ ที่พบว่าพัดลมและวงจรไฟฟ้าที่สร้างขึ้นมีความสะดวกปลอดภัยในการใช้งาน (ณรงค์ วัชรเสถียร. 2543)

1.2.3 ด้านการบำรุงรักษา พบว่า มีความสะดวกในการเปลี่ยนแทนอุปกรณ์ต่างๆ ในกรณีที่เกิดความชำรุดเสียหาย และมีความสะดวกในเติมน้ำกลั่นแบตเตอรี่อยู่ในเกณฑ์ดี ที่เป็นเช่นนี้ เพราะอุปกรณ์ต่างๆ ที่นำมาใช้มีจำหน่ายทั่วไปในท้องตลาด และอุปกรณ์แต่ละชิ้นเป็นอิสระต่อกัน อุปกรณ์ชิ้นใดทำงานบกพร่องหรือชำรุดเสียหายก็ปรับเปลี่ยนเฉพาะตัวอุปกรณ์ชิ้นนั้น นอกจากนี้ อุปกรณ์เกือบทุกชิ้นยังไม่ต้องการการบำรุงรักษาเป็นพิเศษ ยกเว้นแบตเตอรี่ที่ต้องตรวจเติมน้ำกลั่น ประมาณสัปดาห์ละครั้ง ซึ่งถ้าเปลี่ยนไปใช้แบตเตอรี่แท่งก็สามารถตัดปัญหาเรื่องการเติมน้ำกลั่นไปได้ จึงถือได้ว่าการบำรุงรักษาพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์เป็นเรื่องที่ง่าย สอดคล้องกับงานวิจัยเรื่อง การพัฒนาพัดลมปรับความเร็วตามสภาวะแวดล้อมแบบอัตโนมัติ ซึ่งเลือกใช้อุปกรณ์ที่หาซื้อง่ายและเป็นอิสระต่อกันมาใช้ประกอบการวิจัยเพราะสะดวกในการบำรุงรักษา (ณรงค์ วัชรเสถียร. 2543) และงานวิจัยเรื่อง ออกแบบระบบเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อเพิ่มสมรรถนะของหลังคารับรังสีอาทิตย์ ก็เลือกใช้ อุปกรณ์ที่หาซื้อง่ายและเป็นอิสระต่อกันมาใช้ประกอบการวิจัย เพื่อความสะดวกในการบำรุงรักษา เช่นเดียวกัน (สหรัฐ อิงคะวณิช. 2542)

1.3 ประสิทธิภาพด้านผลการทำงาน

1.3.1 กรณีที่ไม่มีการระบายอากาศ

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่า ไม่สามารถทำให้ผลต่างของอุณหภูมิภายนอกในห้องทดลอง มีค่าน้อยกว่า 1 องศาเซลเซียสได้ ที่เป็นเช่นนี้เพราะห้องทดสอบไม่มีช่องเปิดระบายอากาศ ทำให้ไม่สามารถระบายความร้อนที่สะสมอยู่ในห้องออกไปได้ สอดคล้องกับทฤษฎีเรื่อง การระบายอากาศตามธรรมชาติ ที่จะต้องมีช่องเปิดที่ลมผ่านสุทธิได้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 10 เมื่อเทียบกับพื้นที่ของห้องนั้นๆ (สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย. 2540:112) และช่องเปิดนั้นต้องมีการออกแบบที่ดี คือ จะต้องออกแบบให้เกิดบริเวณความกดอากาศสูงและต่ำที่ต่อเนื่องกัน ช่องเปิดทางด้านเข้าต้องมีความกดอากาศสูง และช่องเปิดทางด้านออกต้องมีความกดอากาศต่ำ (ตรึงใจ บุรณสมภพ. 2539: 66) สอดคล้องกับงานวิจัยเรื่อง แนวทางการออกแบบปรับปรุงบ้านเอื้ออาทรเพื่อสภาวะน่าสบาย และการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ ที่พบว่าอาคารที่ไม่มีช่องเปิดหรือมีช่องเปิดที่ไม่ดีพอจะส่งผลโดยตรงต่อความร้อนที่เกิดขึ้นในอาคาร (อริคม วิมลวัตรเวที; ธนิต จินดาวงนิค; และอรรจน์ เศรษฐบุตตร. 2549: บทคัดย่อ)

1.3.2 กรณีระบายอากาศโดยใช้พัดลมขนาด 6 นิ้ว

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่า พัดลมขนาด 6 นิ้วก็ไม่สามารถทำให้ผลต่างของอุณหภูมิภายนอกในห้องทดสอบ มีค่าน้อยกว่า 1 องศาเซลเซียสได้เช่นกัน ที่เป็นเช่นนี้เพราะอัตราการระบายอากาศมีน้อยเกินไป โดยพัดลมขนาด 6 นิ้วที่ใช้ในการวิจัยสร้างอัตราการระบายอากาศได้เท่ากับ 210 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ซึ่งไม่เพียงพอสำหรับการระบายความร้อนออกจากห้องทดสอบ

สอดคล้องกับทฤษฎีเรื่อง วิธีระบายอากาศทางกล ที่กำหนดให้มีอัตราการระบายไม่น้อยกว่า 7 เท่าของปริมาตรห้องใน 1 ชั่วโมง สำหรับห้องทดสอบในงานวิจัยนี้ ควรมีอัตราการระบายอากาศไม่น้อยกว่า 445 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง (สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย. 2540: 112) และทฤษฎีเรื่อง การระบายอากาศ ซึ่งกล่าวโดยรวมได้ว่าการลดลงของอุณหภูมิภายในห้องขึ้นอยู่กับอัตราการระบายอากาศ (สุรพล พุกษพานิช. 2529: 123) สอดคล้องกับงานวิจัยเรื่อง สมรรถนะของการระบายอากาศภายในบ้านโดยใช้พัดลมระบายอากาศระบายอากาศในโพรงใต้หลังคา ที่พบว่าอัตราการระบายอากาศมีผลต่อความร้อนในโพรงใต้หลังคา (สหรัฐ อิงคะวณิช. 2542)

1.3.3 กรณีระบายอากาศโดยใช้พัดลมขนาด 8 นิ้ว

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่า พัดลมขนาด 8 นิ้ว สามารถทำให้ผลต่างของอุณหภูมิภายนอก-ในห้องทดสอบ มีค่าน้อยกว่า 1 องศาเซลเซียสได้ ที่เป็นเช่นนี้เพราะพัดลมขนาด 8 นิ้ว ที่ใช้ในการวิจัยสร้างอัตราการระบายอากาศได้เพียงพอต่อการระบายความร้อนออกจากห้องทดสอบสอดคล้องกับทฤษฎีเรื่อง วิธีระบายอากาศทางกล โดยพัดลมขนาด 8 นิ้ว สร้างอัตราการระบายอากาศได้เท่ากับ 588 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง มากกว่าอัตราการระบายอากาศที่ต้องการตามคำแนะนำของสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย. 2540: 112) สอดคล้องกับผลการวิจัยของสหรัฐ อิงคะวณิชที่ศึกษาถึงสมรรถนะของการระบายอากาศภายในบ้านโดยใช้พัดลมระบายอากาศระบายอากาศในโพรงใต้หลังคา ซึ่งพบว่าเมื่ออากาศในโพรงใต้หลังคามีอัตราการไหลเพิ่มมากขึ้นจะทำให้อุณหภูมิของอากาศในห้องใต้หลังคาลดต่ำลงได้ (สหรัฐ อิงคะวณิช. 2542) เช่นเดียวกับศุภลักษณ์ ใจเรือง ที่ได้ออกแบบและปรับปรุงประสิทธิภาพของหลังคาเพื่อการระบายอากาศและลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร ที่พบว่าอัตราการระบายอากาศผกผันกับความร้อนที่เข้าสู่อาคาร (ศุภลักษณ์ ใจเรือง. 2542)

นอกจากนี้ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพด้านผลการทำงาน ยังพบอีกว่า อุณหภูมิอากาศในห้องทดสอบแปรผันตรงกับอุณหภูมิอากาศนอกห้องทดสอบ ที่เป็นเช่นนี้เพราะ อากาศในห้องทดสอบจะถูกแทนที่ด้วยอากาศภายนอกห้องทดสอบ ดังนั้น หากอากาศนอกห้องทดสอบมีอุณหภูมิต่ำก็จะสามารถระบายความร้อนออกจากห้องทดสอบได้อย่างรวดเร็ว จึงมีผลทำให้อากาศในห้องทดสอบมีอุณหภูมิลดต่ำลงตามไปด้วย สอดคล้องกับทฤษฎีเรื่อง สมการความร้อนสัมผัส ที่มีรูปสมการว่า $q = 1.1 \times CFM \times (T_{out} - T_{in})$ เมื่อทำการย้ายข้างสมการใหม่จะได้ว่า $T_{in} = T_{out} - (q \div 1.1 \div CFM)$ จากสมการจะเห็นว่าอุณหภูมิภายในห้องทดสอบแปรผันตรงกับอุณหภูมิภายนอกห้องทดสอบ (สุรพล พุกษพานิช. 2529: 123) สอดคล้องกับผลการวิจัยของสหรัฐ อิงคะวณิชที่ศึกษาถึงสมรรถนะของการระบายอากาศภายในบ้านโดยใช้พัดลมระบายอากาศระบายอากาศในโพรงใต้หลังคา ซึ่งพบว่าอุณหภูมิอากาศในโพรงหลังคาแปรผันตรงกับอุณหภูมิอากาศภายนอกที่นำมาระบายอากาศในโพรงหลังคา (สหรัฐ อิงคะวณิช. 2542) เช่นเดียวกับศุภลักษณ์ ใจเรือง ที่ได้ออกแบบและปรับปรุงประสิทธิภาพของหลังคาเพื่อการระบายอากาศและลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร ที่พบว่าความร้อนที่เข้าสู่อาคารแปรผันตามอุณหภูมิอากาศภายนอก (ศุภลักษณ์ ใจเรือง. 2542)

และยังพบอีกว่า อุณหภูมิภายในห้องทดสอบผกผันตามความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องทดสอบ ที่เป็นเช่นนี้เพราะในช่วงเวลาค่าอากาศภายนอกห้องทดสอบมีอุณหภูมิต่ำลงส่งผลให้ค่าความชื้นสัมพัทธ์สูงขึ้น แต่ความชื้นสัมพัทธ์ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความร้อนสัมผัสในอากาศ ดังนั้นการที่อุณหภูมิอากาศภายในห้องทดสอบลดลงจึงไม่ได้เป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของความชื้นสัมพัทธ์แต่เป็นผลมาจากการลดลงของอุณหภูมิอากาศภายนอก ซึ่งการเพิ่มขึ้นของความชื้นสัมพัทธ์นี้เป็นผลเสียต่อการปรับอากาศ การนำผลการวิจัยไปใช้งานจึงควรระวังตรงจุดนี้ สอดคล้องกับทฤษฎีเรื่อง ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ ที่กล่าวว่าความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศจะเพิ่มสูงขึ้นในเวลาเย็นและค่ำ เพราะอุณหภูมิอากาศมีค่าลดต่ำลง (ตริ่งใจ บุรณสมภพ. 2539: 24-25) และทฤษฎีเรื่อง การเปลี่ยนแปลงค่าความร้อนสัมผัสของอากาศ ซึ่งตามสมการความร้อนสัมผัสของอากาศ $q = 1.1 \times CFM \times (T_{out} - T_{in})$ นั้นจะไม่พิจารณามวลของไอน้ำในอากาศเพราะถือว่าไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความร้อนสัมผัสของอากาศ น้อยมาก (สุรพล พฤกษ์พานิช. 2529: 28) และทฤษฎีเรื่องภาระการปรับอากาศของเครื่องปรับอากาศ ที่กล่าวว่าความชื้นสัมพัทธ์ที่เพิ่มสูงขึ้นส่งผลเสียต่อการปรับอากาศ เพราะในขณะที่ปรับอากาศ เครื่องปรับอากาศจะดึงความร้อนและความชื้นออกไปทิ้งนอกห้อง ดังนั้นหากอากาศในห้องมีความชื้นสัมพัทธ์สูงเครื่องปรับอากาศก็ต้องใช้พลังงานสูงตามไปด้วย (สุรพล พฤกษ์พานิช. 2529: 32-33) สอดคล้องกับงานวิจัยเรื่อง ผลกระทบของการดูดซับความร้อนและความชื้นของวัสดุภายในอาคารต่อภาระการทำความเย็นของการปรับอากาศ ที่พบว่า ความชื้นเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลทำให้เครื่องปรับอากาศมีภาระการทำความเย็นเพิ่มขึ้น (รังสิมา กาญจนสมบัติ. 2541)

2. อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ กรณีเปิดใช้เครื่องปรับอากาศทันที กับ กรณีทำการระบายอากาศภายในห้องก่อนเปิดใช้เครื่องปรับอากาศ

ผลการวิเคราะห์อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ กรณีเปิดใช้เครื่องปรับอากาศทันที กับ กรณีทำการระบายอากาศภายในห้องก่อนเปิดใช้เครื่องปรับอากาศ พบว่า กรณีทำการระบายอากาศภายในห้องก่อนเปิดใช้เครื่องปรับอากาศทำให้ประหยัดพลังงานในการปรับอากาศลงได้ 17.86 % ที่เป็นเช่นนี้เพราะ การระบายอากาศทำให้อุณหภูมิก่อนการปรับอากาศลดลง เครื่องปรับอากาศจึงใช้พลังงานลดลงตามไปด้วย สอดคล้องกับทฤษฎีเรื่อง ภาระการปรับอากาศ กล่าวคือพลังงานที่ใช้ในการปรับอากาศมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิอากาศภายในห้องก่อนเปิดใช้เครื่องปรับอากาศ โดยหากลดอุณหภูมิก่อนปรับอากาศลง ค่าเอนทัลปีที่สภาวะก่อนปรับอากาศจะลดลงตามไปด้วย ซึ่งจะทำให้ค่าพลังงานที่ใช้ในการปรับอากาศลดลงตามความสัมพันธ์ของเอนทัลปีกับพลังงานในสมการสมดุลพลังงานของกระบวนการทำให้อากาศเย็นและแห้ง (สุรพล พฤกษ์พานิช. 2529 : 32-33) สอดคล้องกับงานวิจัยของรังสิมา กาญจนสมบัติ ที่พบว่าการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศจะมีค่าสูงสุดในช่วงแรกของการเปิดเครื่อง เนื่องจากต้องนำเอาภาระในการปรับอากาศออกจากห้อง ดังนั้นหากภาระในการปรับอากาศลดลง พลังงานในการปรับอากาศก็จะลดลงเช่นกัน (รังสิมา กาญจนสมบัติ. 2541)

3. ด้านเศรษฐศาสตร์

จุดคุ้มทุน เปรียบเทียบกรณีไม่มีการระบายอากาศ กับ มีการระบายอากาศด้วยพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ พบว่าการระบายอากาศด้วยพัดลมพลังงานแสงอาทิตย์มีระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 8.13 ปี และจุดคุ้มทุน เปรียบเทียบกรณีไม่มีการระบายอากาศ กับ มีการระบายอากาศด้วยพัดลมระบายอากาศพลังงานไฟฟ้า พบว่าการระบายอากาศด้วยพัดลมพลังงานไฟฟ้ามีระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 2.14 ปี เป็นเช่นนี้เพราะราคาของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์และสะพานไฟอัตโนมัติทำงานตามเวลาและอุณหภูมิมีค่าสูง ทำให้มีระยะเวลาคืนทุนที่ยาวนาน สอดคล้องกับทฤษฎี เรื่องการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ที่กล่าวว่า ปัจจุบันเซลล์แสงอาทิตย์มีราคาแพงสูง เนื่องจากผลึกของซิลิกอนที่เป็นส่วนประกอบสำคัญในการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์จะมีมูลค่าเพิ่มสูงกว่า ถ้าจะนำไปผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์แบบอื่นๆ จึงอาจไม่คุ้มค่าในการนำเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้งานในปัจจุบัน (ชาย ชีวะเกตุ; และชนานัญ บัวเขียว. 2543: 57) สอดคล้องกับงานวิจัยเรื่อง การประยุกต์ระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับโครงการอีสานเขียว ที่พบว่าปัจจุบันเซลล์แสงอาทิตย์ยังมีราคาค่อนข้างสูง แต่ในอนาคตมีความเป็นไปได้ที่ราคาของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จะมีมูลค่าต่ำลง เพราะมีบริษัทเอกชนลงทุนสร้างโรงงานผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อจำหน่ายเป็นเชิงพาณิชย์แล้วในประเทศไทย (สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว; และคณะ. 2535)

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะจากผลการวิจัย

1.1 การศึกษาวิจัยพบว่าการระบายอากาศก่อนเปิดใช้เครื่องปรับอากาศมีผลทำให้เครื่องปรับอากาศใช้พลังงานน้อยลง สำนักรกักกักและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมในฐานะหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมดูแลการใช้พลังงานของประเทศ จึงควรประชาสัมพันธ์ส่งเสริมให้ประชาชนทราบถึงผลเสียของการเปิดใช้เครื่องปรับอากาศทันทีในขณะที่ห้องยังมีอุณหภูมิสูงอยู่ และผลดีของการการระบายอากาศก่อนเปิดใช้เครื่องปรับอากาศ

1.2 เนื่องจากพัดลมระบายอากาศสามารถลดอุณหภูมิอากาศในห้องได้ดีกว่าการระบายอากาศตามธรรมชาติ สำนักรกักกักและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม ควรกำหนดให้การติดตั้งพัดลมระบายอากาศในอาคารเพื่อระบายความร้อนเป็นส่วนหนึ่งของพระราชกฤษฎีกากำหนดอาคารควบคุม

1.3 การผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์มีข้อดีหลายประการ แต่ปัจจุบันยังมีราคาค่อนข้างสูง ผลการวิจัยพบว่า การระบายอากาศด้วยพัดลมพลังงานแสงอาทิตย์มีระยะเวลาคืนทุนที่ยาวนาน ไม่เหมาะสมในการนำมาใช้งาน กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม และสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมการลงทุน

ควรให้ความช่วยเหลือแก่ผู้ประกอบการเดิมและผู้ประกอบการรายใหม่ ให้เกิดการลงทุน การแข่งขัน ด้านราคา เพื่อให้ราคาของเซลล์แสงอาทิตย์มีมูลค่าลดลง เหมาะสมในการใช้เป็นพลังงานทางเลือกในอนาคต

1.4 เนื่องจากผลการวิจัยที่ได้มีความสอดคล้องกับแนวทางการจัดการด้านไฟฟ้า (Demand Side Management) ซึ่งเป็นมาตรการที่กำหนดขึ้นเพื่อส่งเสริมให้ผู้บริโภคใช้ไฟฟ้าตามรูปแบบที่การไฟฟ้าต้องการ โดยรูปแบบหนึ่งของการไฟฟ้าต้องการก็คือ การลดความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงเวลา 18.30 – 21.30 น. ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่มีความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุด (Peak) ลง ดังนั้น หากการไฟฟ้าแห่งประเทศไทยจะนำผลการวิจัยนี้ไปขยายผลก็จะเป็นผลดีด้านการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้า

2. ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

2.1 ผลการวิจัยพบว่าเมื่อผ่าน 15 นาทีแรกของการระบายอากาศไปแล้วผลต่างของอุณหภูมิภายนอก-ในห้องทดลองจะมีค่าคงที่เท่ากับ 0.5 องศาเซลเซียส ซึ่งมีความเป็นไปได้ที่จะปรับลดระยะเวลาในการระบายอากาศลง จึงควรทำการศึกษาเรื่อง ประสิทธิภาพการระบายความร้อนโดยพัดลมระบายอากาศตามระยะเวลาที่ต้องการจริง

2.2 ควรทำช่องเปิดบริเวณพื้นห้องแทนการใช้พัดลมฯ ส่งลมเข้าห้อง เพื่อลดจำนวนพัดลมระบายอากาศลง และควรทำการวิจัยเรื่อง ประสิทธิภาพการระบายความร้อนโดยใช้พัดลมระบายอากาศร่วมกับช่องเปิด

2.3 ควรพัฒนาพัดลมระบายอากาศให้สามารถทำงานร่วมกับเครื่องปรับอากาศได้โดยอัตโนมัติ

2.4 ควรพัฒนาพัดลมระบายอากาศให้สามารถกรองความชื้นในอากาศที่นำมาระบายได้

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

- การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. (2550). เทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์. สืบค้นเมื่อ 15 มกราคม 2550, จาก <http://www.egat.co.th/re/solarcell/solarcell.htm>.
- เกชา ธีระโกเมน. (2546, กุมภาพันธ์). การออกแบบระบบปรับอากาศ. รวมบทความจากวารสาร เทคนิคระบบปรับอากาศ. 1(1): 202-208.
- ชาย ชีวะเกตุ; และ ชนานัญ บัวเขียว. (2543, กรกฎาคม-กันยายน). การผลิตไฟฟ้าโดยเซลล์แสงอาทิตย์. วารสารนโยบายพลังงาน. (49): 54-64.
- ฐานข้อมูลวารสารโลกพลังงาน. (2550). มารู้จักเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell). สืบค้นเมื่อ 30 พฤษภาคม 2550, จาก <http://www.teenet.chiangmai.ac.th/emac/journal/2003/21/05.php>.
- ณรงค์ วัชรเสถียร. (2543). การพัฒนาพัฒนาปรับปรุงความเร็วตามสภาวะแวดล้อมแบบอัตโนมัติ. วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (เทคโนโลยีพลังงาน). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย สถาบัน เทคโนโลยี พระจอมเกล้าธนบุรี. ถ่ายเอกสาร.
- ดุสิต เครื่องาม. (2542). สิ่งประดิษฐ์ออปโตอิเล็กทรอนิกส์ ฟิสิกส์ เทคโนโลยีและการทำงาน เล่ม 1. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ตรึงใจ บุรณสมภพ. (2539). การออกแบบอาคารที่มีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงาน. กรุงเทพฯ: อมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง.
- ธนาคม สุนทรชัยนาคแสง. (2546). ระบบปรับอากาศ ชุดที่ 2. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดดูเคชั่น.
- บรรจง ชัยนกิจ. (2550, เมษายน-มิถุนายน). พลังงานทางเลือกทำไมต้องเลือกและทำไมยังไม่ถูกเลือก. วารสารพลังงานทดแทน. (6): 28 – 30.
- บุรณะศักดิ์ มาดหมาย. (2547). *Industrial*. 10(125): 182.
- ประเสริฐ เทียนนิมิตร; วิวัฒน์ ภัททิยธนี; และ ปานเพชร ชินินทร. (2543). ทฤษฎีและการคำนวณ เทอร์โมไดนามิกส์. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดดูเคชั่น.
- พงษ์วุฒิ สิทธิพล; และคณะ. (ม.ป.ป.). ระบบและความปลอดภัยในโรงงาน. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์เจริญธรรม.
- พรชัย รุจิประภา. (2550, มีนาคม). E-LEADER. วารสารรักษ์พลังงาน. (10): 18-20.
- พัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, กรม. (2535). พระราชกฤษฎีกากำหนดอาคารควบคุม. กรุงเทพฯ: สำนักกำกับและอนุรักษ์พลังงาน กรมฯ.
- พัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, กรม. (2543). การใช้วัสดุและอุปกรณ์เพื่อการอนุรักษ์พลังงาน. กรุงเทพฯ: สำนักกำกับและอนุรักษ์พลังงาน กรมฯ.

- พัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กรม. (2550). พลังงานทดแทน. สืบค้นเมื่อ 16 ตุลาคม 2550, จาก <http://www.dede.go.th/dede/index.php?id=35>.
- ไพโรจน์ แสงจันทร์. (2536). สถาปัตยกรรมบ้านพักอาศัย. กรุงเทพฯ: หน่วยศึกษานิเทศก์ กรมการฝึกหัดครู.
- ไพศาล ห่ออิวงค์. (2547). การพัฒนาเครื่องคัดขนาดกุ้งกุลาดำ. วิทยานิพนธ์ กศ.ม. (อุตสาหกรรมศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.
- มนตรี พิรุณเกษตร. (2541). การถ่ายเทความร้อน. กรุงเทพฯ: วิทยาพัฒนา.
- รังสิมา กาญจนสมบัติ. (2541). ผลกระทบของการดูดซับความร้อนและความชื้นของวัสดุภายในอาคารต่อภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศ. วิทยานิพนธ์ วท.ม. (เทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากร). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล. ถ่ายเอกสาร.
- ราชบัณฑิตยสถาน. (2546). พจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถาน พ.ศ.2542. กรุงเทพฯ: นานมีบุ๊คส์พับลิเคชันส์
- วัชรระ มั่งวิทิกุล. (2544). กระบวนการและเทคนิคการลดค่าใช้จ่ายพลังงานสำหรับอาคารและโรงงานอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ: ศูนย์อนุรักษ์พลังงานแห่งประเทศไทย.
- วิเศษ จูภิบาล. (2548, เมษายน - พฤษภาคม). เวทีทรรศนะ. วารสารกิจการไฟฟ้า. (33): 7.
- วิกรม จ้างคจิตต์. (2545). ประสิทธิภาพของการออกแบบการระบายอากาศช่องใต้หลังคาเพื่อป้องกัน การถ่ายเทความร้อนจากหลังคา. วิทยานิพนธ์ สด.ม. (สถาปัตยกรรม). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. ถ่ายเอกสาร.
- วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย, สมาคม. (2540). มาตรฐานระบบปรับอากาศและระบายอากาศ. กรุงเทพฯ: ส.เอเชียเพรส(1989).
- ศุภชัย ปัญญาวิทย์. (2546). ระบบปรับอากาศ ชุดที่ 2. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดดูเคชั่น.
- ศุภลักษณ์ ใจเรือง. (2542). การออกแบบและปรับปรุงประสิทธิภาพของหลังคาเพื่อการระบายอากาศ และลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารกรณีศึกษาอาคารพักอาศัย 2 ชั้น. วิทยานิพนธ์ สด.ม. (สถาปัตยกรรมเขตร้อน). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. ถ่ายเอกสาร.
- สมพงษ์ เหยียบสุญ. (2521). แนวทางในการสร้างแบบประเมินการดูดซับความร้อนและความชื้นของวัสดุอาคารและเครื่องเรือนเพื่อการประหยัดพลังงานในภูมิอากาศเขตร้อนชื้น. วิทยานิพนธ์ สด.ม. กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. ถ่ายเอกสาร.

- สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว; และคณะ. (2535). โครงการการประยุกต์ระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ สำหรับโครงการอีสานเขียว. กรุงเทพฯ: ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สมศักดิ์ สุโมตยกุล. (2542). *เครื่องทำความเย็นและการปรับอากาศ*. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดดูเคชั่น.
- สรญา ประวิตรางกูร. (2543). *อิทธิพลของมวลสารผนังภายนอกที่มีผลต่อสภาวะน่าสบายและการปรับอากาศในการออกแบบอาคาร*. วิทยานิพนธ์ สก.ม. (เทคโนโลยีอาคาร). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. ถ่ายเอกสาร.
- สหรัฐ อิงคะวณิช. (2542). *การออกแบบเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อเพิ่มสมรรถนะของหลังคารับรังสีอาทิตย์*. วิทยานิพนธ์ ป.บัณฑิต (เทคโนโลยีพลังงาน). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. ถ่ายเอกสาร.
- สุนทร บุญญาธิการ. (2542). *เทคนิคการออกแบบบ้านประหยัดพลังงานเพื่อคุณภาพชีวิตที่ดีกว่า*. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สุรพล พฤษพานิช. (2536). *การปรับอากาศหลักการและระบบ*. กรุงเทพฯ: พิสิกส์เซ็นเตอร์.
- อริคม วิมลวัตรเวที; ธนิต จินดาวงศ์; และ อรรถชัย เศรษฐบุตร. (2549). แนวทางการออกแบบ ปรับปรุงบ้านเอื้ออาทรเพื่อสภาวะน่าสบายและการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ. *วารสารวิจัยพลังงาน*. 3: 51-88.
- อนุสรณ์ แสงนันทนวล. (2550, กรกฎาคม – กันยายน). *พลังงานทดแทนในสภาวะโลกร้อน*. *วารสารพลังงานทดแทน*. (7): 40 -45.
- อนุตร จำลองกุล. (2543). *เครื่องสูบลม เครื่องอัด พัดลม*. กรุงเทพฯ: คณะวิศวกรรมศาสตร์ เทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล.
- อำนาจ ผดุงศิลป์. (2547, มิถุนายน). DSM เส้นทางสู่การใช้ไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพ. *INDUSTRIAL*. 10(125): 113-117.
- A. Ganguly; & S. Ghosh. (2006). *Modelling and analysis of a fan-pad ventilated Floricultural greenhouse*. Retrieved June 4, 2007, from <http://www.elsevier.com/locate/enbuild>.
- Ji Jie; et al. (2006). *Study of PV-Trombe wall assisted with DC fan*. Retrieved June 4, 2007, from <http://www.elsevier.com/locate/buildenv>.
- N. Odeh; et al. (2005). *Modelling of flow rate in a photovoltaic-driven roof slate-based solar ventilation air preheating system*. Retrieved June 4, 2007, from <http://www.elsevier.com/locate/enconman>.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ

ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ

ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบมีรายละเอียดดังตาราง 9 – 24 และภาพประกอบ 57 – 69
ตัวแปรในตารางมีความหมายดังนี้

Time	หมายถึง	เวลา (ช่วงห่างการวัดเท่ากับ 15 นาที)
d_t	หมายถึง	ผลต่างของอุณหภูมิภายนอกกับอุณหภูมิภายในห้องทดสอบ($^{\circ}\text{C}$)
T_{in}	หมายถึง	อุณหภูมิภายในห้องทดสอบ($^{\circ}\text{C}$)
T_{out}	หมายถึง	อุณหภูมิภายนอกห้องทดสอบ($^{\circ}\text{C}$)
RH_{in}	หมายถึง	ความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องทดสอบ(%)
RH_{out}	หมายถึง	ความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกห้องทดสอบ(%)
v	หมายถึง	ความเร็วลมนอกห้องทดสอบ(m/s)

ตาราง 12 ข้อมูลจากการทดสอบครั้งที่ 1 วันที่ทดสอบ 19 กรกฎาคม 2551 ไม่มีพัดลม

time	d_t	T_{in}	T_{out}	RH_{in}	RH_{out}	v
17:00	2.5	34.5	32	57	59	2.1
17:15	2	34	32	57	59	1.2
17:30	3	34	31	57	59	1.3
17:45	2.5	33.5	31	57	59	2.1
18:00	2	33	31	57	60	2
18:15	3	33	30	58	61	2.5
18:30	2.5	32.5	30	58	62	0.9
18:45	2.5	32.5	30	58	63	0.7
19:00	2	32	30	58	63	2.2
19:15	2	32	30	58	65	2.9
19:30	1.5	31.5	30	59	65	2.1
19:45	1.5	31.5	30	59	66	1.1
20:00	1.5	31.5	30	59	67	0.7

ตาราง 13 ข้อมูลจากการทดสอบครั้งที่ 2 วันที่ทดสอบ 26 กรกฎาคม 2551 ไม่มีพัดลม

time	d_t	T_{in}	T_{out}	RH_{in}	RH_{out}	v
17:00	2.5	33.5	31	53	50	3.44
17:15	2.5	32.5	31	53	50	2.83
17:30	2	32	30	53	50	3.11
17:45	1.5	31.5	30	53	56	2
18:00	1	31	30	53	65	3.11
18:15	2	31	29	53	62	2.19
18:30	1.5	30.5	29	53	62	1.8
18:45	1	30	29	54	59	3.16
19:00	1	30	29	54	59	1.39
19:15	1	30	29	54	59	2.52
19:30	1.5	30	28.5	54	60	3.27
19:45	1	29.5	28.5	55	64	2.21
20:00	1	29.5	28.5	59	67	1.58

ตาราง 14 ข้อมูลจากการทดสอบครั้งที่ 3 วันที่ทดสอบ 2 สิงหาคม 2551 ไม่มีพัดลม

time	d_t	T_{in}	T_{out}	RH_{in}	RH_{out}	v
17:00	2	31	29	62	64	0.46
17:15	1.5	30.5	29	62	64	1.61
17:30	1	30	29	62	64	0.37
17:45	1	30	29	62	64	0.44
18:00	1	30	29	62	64	1.51
18:15	1.5	29.5	28	62	64	1.64
18:30	1.5	29.5	28	65	68	2.69
18:45	1	29	28	65	68	1.54
19:00	1	29	28	65	68	1.21
19:15	1	29	28	66	68	2.4
19:30	1	29	28	66	72	1.69
19:45	2	29	27	67	72	2.51
20:00	1.5	28.5	27	69	72	1.76

ตาราง 15 ข้อมูลจากการทดสอบครั้งที่ 4 วันที่ทดสอบ 23 สิงหาคม 2551 พัดลม 6 นิ้ว

time	d_t	T_{in}	T_{out}	RH_{in}	RH_{out}	v
17:00	2	34.5	32.5	52	62	1
17:15	3.5	34.5	31	52	62	1.04
17:30	2.5	33.5	31	52	65	1.86
17:45	2.5	33	30.5	52	65	0.96
18:00	2	32.5	30.5	52	65	1.54
18:15	1.5	32	30.5	53	68	2.9
18:30	1.5	31.5	30	53	68	1.72
18:45	1.5	31.5	30	54	68	1.99
19:00	1.5	31.5	30	55	70	0.8
19:15	1	31	30	55	70	2
19:30	1	31	30	55	70	2.05
19:45	0.5	30.5	30	56	70	1.72
20:00	0.5	30.5	30	56	70	0.7

ตาราง 16 ข้อมูลจากการทดสอบครั้งที่ 5 วันที่ทดสอบ 30 สิงหาคม 2551 พัดลม 6 นิ้ว

time	d_t	T_{in}	T_{out}	RH_{in}	RH_{out}	v
17:00	1.5	31.5	30	63	68	1.92
17:15	1.5	31	29.5	63	68	1.32
17:30	1	30.5	29.5	63	68	2.56
17:45	1.5	30.5	29	63	68	2.6
18:00	1	30	29	63	68	1.5
18:15	0.5	29.5	29	63	68	1.6
18:30	1	29.5	28.5	63	68	1
18:45	1	29.5	28.5	63	72	2.1
19:00	1	29.5	28.5	63	72	1.9
19:15	0.5	29	28.5	63	72	0.6
19:30	0.5	29	28.5	69	72	1.74
19:45	0.5	29	28.5	70	72	1.26
20:00	0.5	29	28.5	71	72	1.5

ตาราง 17 ข้อมูลจากการทดสอบครั้งที่ 6 วันที่ทดสอบ 6 กันยายน 2551 พัดลม 6 นิ้ว

time	d_t	T_{in}	T_{out}	RH_{in}	RH_{out}	v
17:00	1.5	33.5	32	59	57	2.25
17:15	2	32.5	30.5	59	57	1.44
17:30	1.5	31.5	30	59	58	0.65
17:45	2	31	29	59	59	1.3
18:00	1	30	29	59	60	0.9
18:15	0.5	29.5	29	59	60	1.74
18:30	0.5	29.5	29	59	61	0.23
18:45	0.5	29.5	29	59	62	0.25
19:00	0.5	29.5	29	59	64	0.25
19:15	0.5	29.5	29	62	65	0.81
19:30	0.5	29.5	29	62	65	0
19:45	0.5	29.5	29	62	65	0.23
20:00	0.5	29.5	29	62	65	0.3

ตาราง 18 ข้อมูลจากการทดสอบครั้งที่ 7 วันที่ทดสอบ 20 กันยายน 2551 พัดลม 6 นิ้ว

time	d_t	T_{in}	T_{out}	RH_{in}	RH_{out}	v
17:00	0.5	29.5	29	60	62	1.72
17:15	0.5	28.5	28	60	62	1.5
17:30	0.5	28.5	28	60	65	1.5
17:45	0.5	28.5	28	61	65	1.26
18:00	0	28	28	61	65	1.3
18:15	0.5	28	27.5	62	65	1.7
18:30	0.5	28	27.5	63	68	1.7
18:45	0.5	28	27.5	64	68	1.63
19:00	0.5	28	27.5	65	68	0.84
19:15	0.5	28	27.5	65	68	0.7
19:30	0	27.5	27.5	67	68	0.72
19:45	0.5	27.5	27	67	68	1.28
20:00	0.5	27.5	27	67	68	1.1

ตาราง 19 ข้อมูลจากการทดสอบครั้งที่ 8 วันที่ทดสอบ 27 กันยายน 2551 พัดลม 6 นิ้ว

time	d_t	T_{in}	T_{out}	RH_{in}	RH_{out}	v
17:00	0.5	34.5	34	54	55	2.05
17:15	1.5	34	33.5	54	55	0.23
17:30	0.5	34	33.5	53	55	0.32
17:45	0.5	34	33.5	52	55	0.9
18:00	1	33.5	32.5	51	55	0.1
18:15	1.5	32.5	31	51	52	0.23
18:30	1.5	31.5	30	54	68	0.1
18:45	1	31	30	55	68	1.9
19:00	1	30.5	39.5	56	68	2.45
19:15	1	30.5	29.5	57	68	1.83
19:30	1	30.5	29.5	58	68	0.88
19:45	0.5	30	29.5	58	68	1.89
20:00	0.5	30	29.5	58	68	1.8

ตาราง 20 ข้อมูลจากการทดสอบครั้งที่ 9 วันที่ทดสอบ 8 พฤศจิกายน 2551 พัดลม 8 นิ้ว

time	d_t	T_{in}	T_{out}	RH_{in}	RH_{out}	v
17:00	2.5	31.5	29	52	51	1
17:15	0.5	29.5	29	51	51	0.8
17:30	0.5	29	28.5	51	51	0.9
17:45	0.5	29	28.5	51	51	1.2
18:00	0.5	28.5	28	51	51	2
18:15	0.5	28.5	28	51	51	2.2
18:30	0.5	28	27.5	51	51	0.8
18:45	0.5	28	27.5	51	51	0.9
19:00	0.5	28	27.5	51	51	1
19:15	0.5	28	27.5	51	51	1.1
19:30	0.5	28	27.5	51	51	1.3
19:45	0.5	28	27.5	51	51	0.9
20:00	0.5	28	27.5	51	51	0.6

ตาราง 21 ข้อมูลจากการทดสอบครั้งที่ 10 วันที่ทดสอบ 27 กันยายน 2551 พัดลม 8 นิ้ว

time	d_t	T_{in}	T_{out}	RH_{in}	RH_{out}	v
17:00	2	30.5	28.5	63	62	0.2
17:15	0.5	29	28.5	62	62	0.3
17:30	0.5	29	28.5	62	62	0.4
17:45	0.5	29	28.5	62	62	0.6
18:00	0.5	28.5	28	62	62	1
18:15	0.5	28.5	28	62	62	1.4
18:30	0.5	28.5	28	62	62	0.5
18:45	0.5	28	27.5	62	62	0.4
19:00	0.5	28	27.5	62	62	0.6
19:15	0.5	27.5	27	62	62	0.8
19:30	0.5	27.5	27	62	62	0.2
19:45	0.5	27.5	27	62	62	0.2
20:00	0.5	27.5	27	62	62	0.1

ตาราง 22 ข้อมูลจากการทดสอบครั้งที่ 11 วันที่ทดสอบ 22 พฤศจิกายน 2551 พัดลม 8 นิ้ว

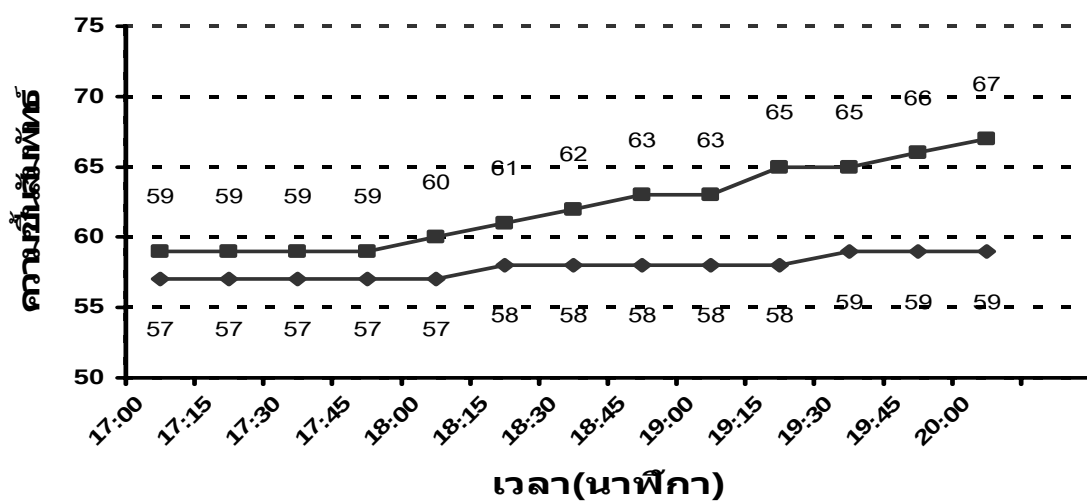
time	d_t	T_{in}	T_{out}	RH_{in}	RH_{out}	v
17:00	2	29.5	27.5	53	52	0.4
17:15	0.5	28	27.5	52	52	0.6
17:30	0.5	27.5	27	52	52	0.1
17:45	0.5	27.5	27	52	52	0.5
18:00	0.5	27	26.5	52	52	0.1
18:15	0.5	27	26.5	52	52	0.3
18:30	0.5	27	26.5	52	52	0.4
18:45	0.5	27	26.5	52	52	0.6
19:00	0.5	27	26.5	52	52	0.4
19:15	0.5	27	26.5	52	52	0.9
19:30	0.5	26.5	26	52	52	0.7
19:45	0.5	26.5	26	52	52	0.9
20:00	0.5	26.5	26	52	52	0.1

ตาราง 23 ข้อมูลจากการทดสอบครั้งที่ 12 วันที่ทดสอบ 29 พฤศจิกายน 2551 พัดลม 8 นิ้ว

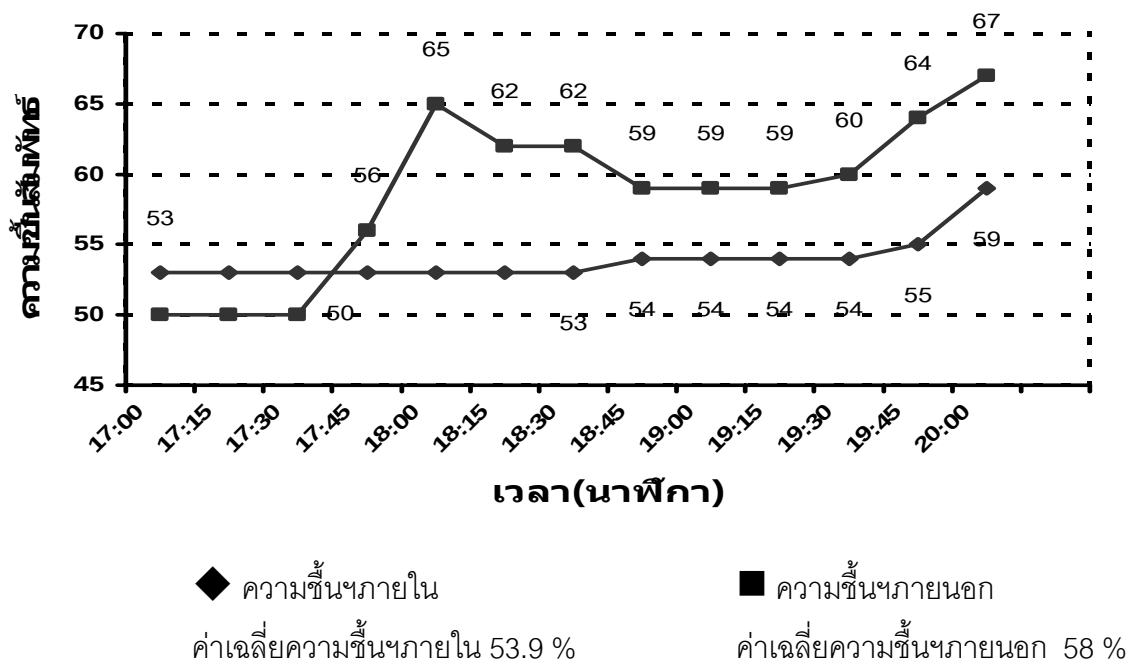
time	d_t	T_{in}	T_{out}	RH_{in}	RH_{out}	v
17:00	2	30	28	54	52	1.2
17:15	0.5	28.5	28	52	52	1.7
17:30	0.5	28	27.5	52	52	0.6
17:45	0.5	27.5	27	52	52	1
18:00	0.5	27.5	27	52	52	0.8
18:15	0.5	27.5	27	52	52	0.3
18:30	0.5	27.5	27	52	52	0.1
18:45	0.5	27	26.5	52	52	0.8
19:00	0.5	27	26.5	52	52	0.4
19:15	0.5	27	26.5	52	52	0.7
19:30	0.5	27	26.5	52	52	0.2
19:45	0.5	27	26.5	52	52	0.8
20:00	0.5	27	26.5	52	52	0.3

ตาราง 24 ข้อมูลจากการทดสอบครั้งที่ 13 วันที่ทดสอบ 6 ธันวาคม 2551 พัดลม 8 นิ้ว

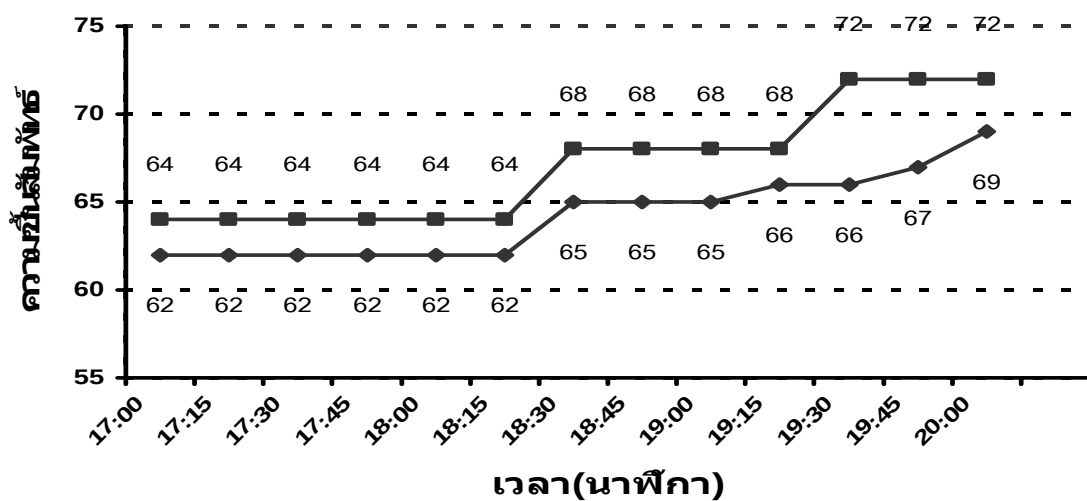
time	d_t	T_{in}	T_{out}	RH_{in}	RH_{out}	v
17:00	2.5	30.5	28	56	55	1
17:15	0.5	28.5	28	55	55	1
17:30	0.5	28	27.5	55	55	0.8
17:45	0.5	28	27.5	55	55	1
18:00	0.5	28	27.5	55	55	0.8
18:15	0.5	28	27.5	55	55	0.1
18:30	0.5	27.5	27	55	55	0.5
18:45	0.5	27.5	27	55	55	0.8
19:00	0.5	27.5	27	55	55	0.1
19:15	0.5	27.5	27	55	55	0.8
19:30	0.5	27.5	27	55	55	0.4
19:45	0.5	27.5	27	55	55	0.3
20:00	0.5	27	26.5	55	55	0.6



ภาพประกอบ 57 ความถี่สัมพัทธ์ภายในภายนอกห้องทดสอบ (ทดสอบครั้งที่ 1)



ภาพประกอบ 58 ความถี่สัมพัทธ์ภายในภายนอกห้องทดสอบ (ทดสอบครั้งที่ 2)



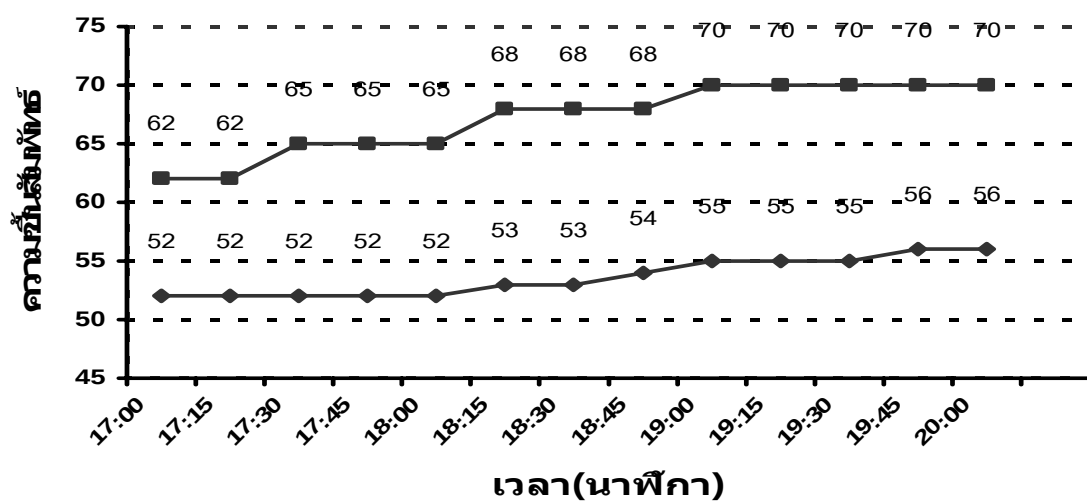
◆ ความถี่ 심박พัทธ์ภายใน

■ ความถี่ 심박พัทธ์ภายนอก

ค่าเฉลี่ยความถี่ 심박พัทธ์ภายใน 64.23 %

ค่าเฉลี่ยความถี่ 심박พัทธ์ภายนอก 67.07 %

ภาพประกอบ 59 ความถี่ 심박พัทธ์ภายในภายนอกห้องทดสอบ (ทดสอบครั้งที่ 3)



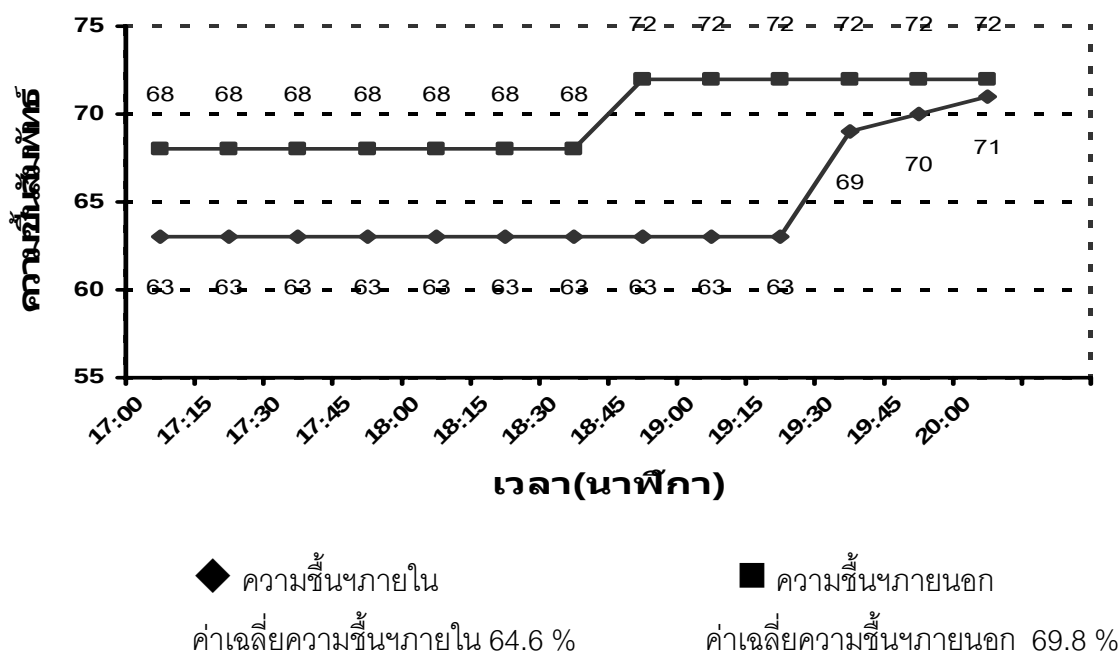
◆ ความถี่ 심박พัทธ์ภายใน

■ ความถี่ 심박พัทธ์ภายนอก

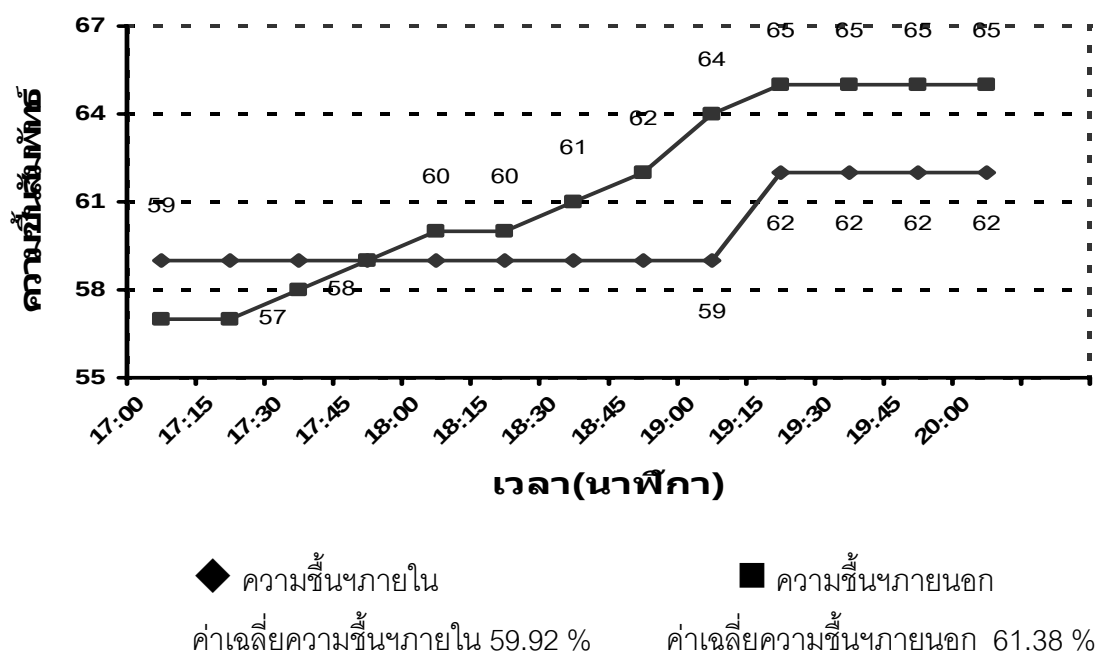
ค่าเฉลี่ยความถี่ 심박พัทธ์ภายใน 53.61 %

ค่าเฉลี่ยความถี่ 심박พัทธ์ภายนอก 67.15 %

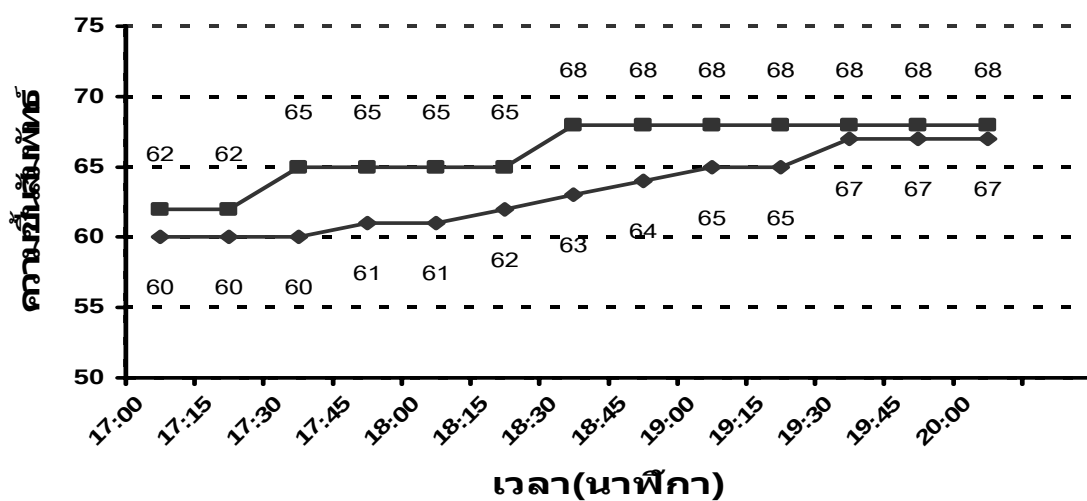
ภาพประกอบ 60 ความถี่ 심박พัทธ์ภายในภายนอกห้องทดสอบ (ทดสอบครั้งที่ 4)



ภาพประกอบ 61 ความถี่สัมพัทธ์ภายในภายนอกห้องทดสอบ (ทดสอบครั้งที่ 5)



ภาพประกอบ 62 ความถี่สัมพัทธ์ภายในภายนอกห้องทดสอบ (ทดสอบครั้งที่ 6)



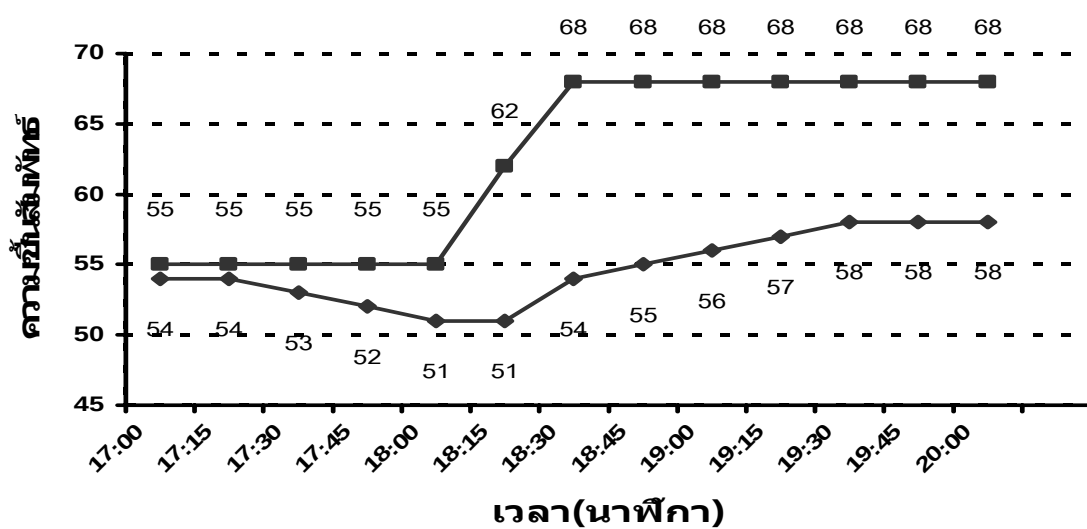
◆ ความชื้นภายใน

■ ความชื้นภายนอก

ค่าเฉลี่ยความชื้นภายใน 63.23 %

ค่าเฉลี่ยความชื้นภายนอก 66.15 %

ภาพประกอบ 63 ความชื้นสัมพัทธ์ภายในภายนอกห้องทดสอบ (ทดสอบครั้งที่ 7)



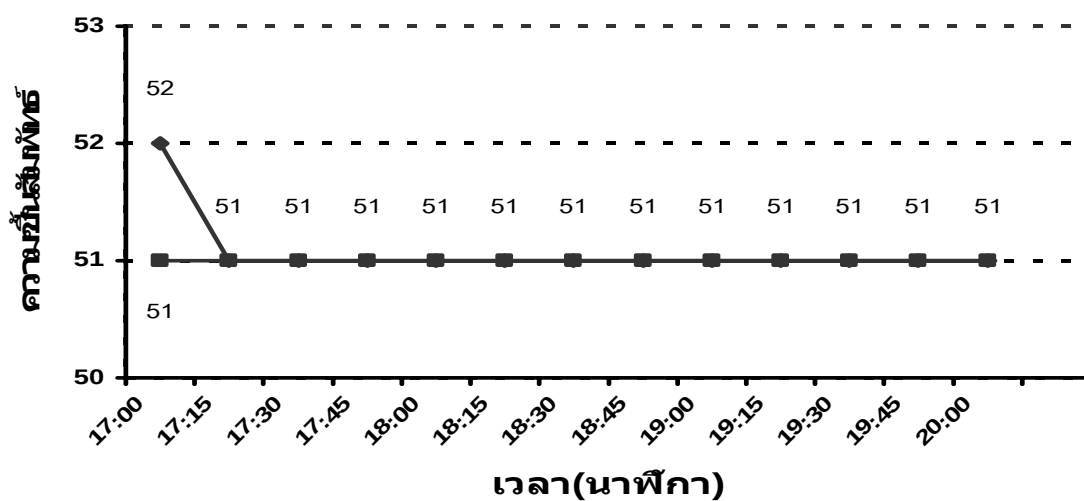
◆ ความชื้นภายใน

■ ความชื้นภายนอก

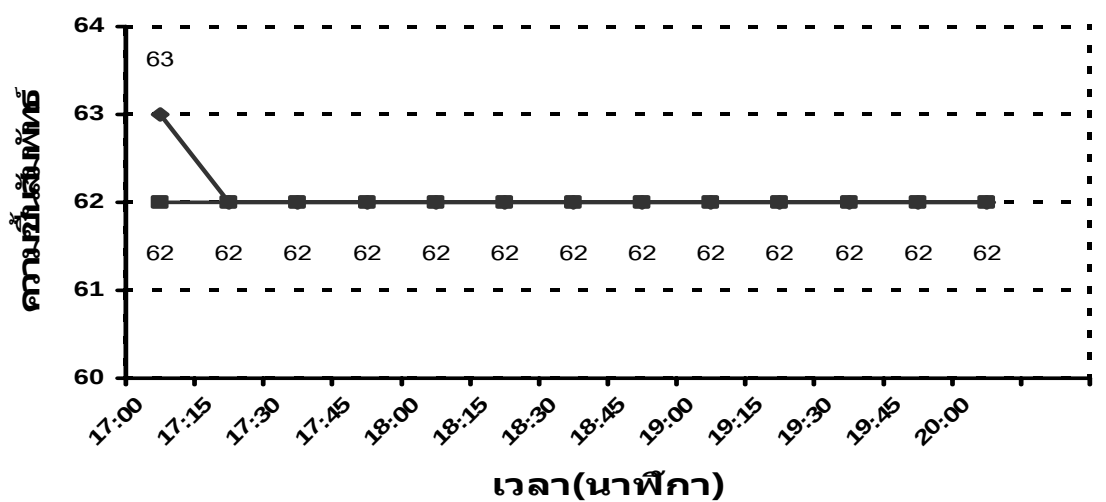
ค่าเฉลี่ยความชื้นภายใน 54.69 %

ค่าเฉลี่ยความชื้นภายนอก 65.54 %

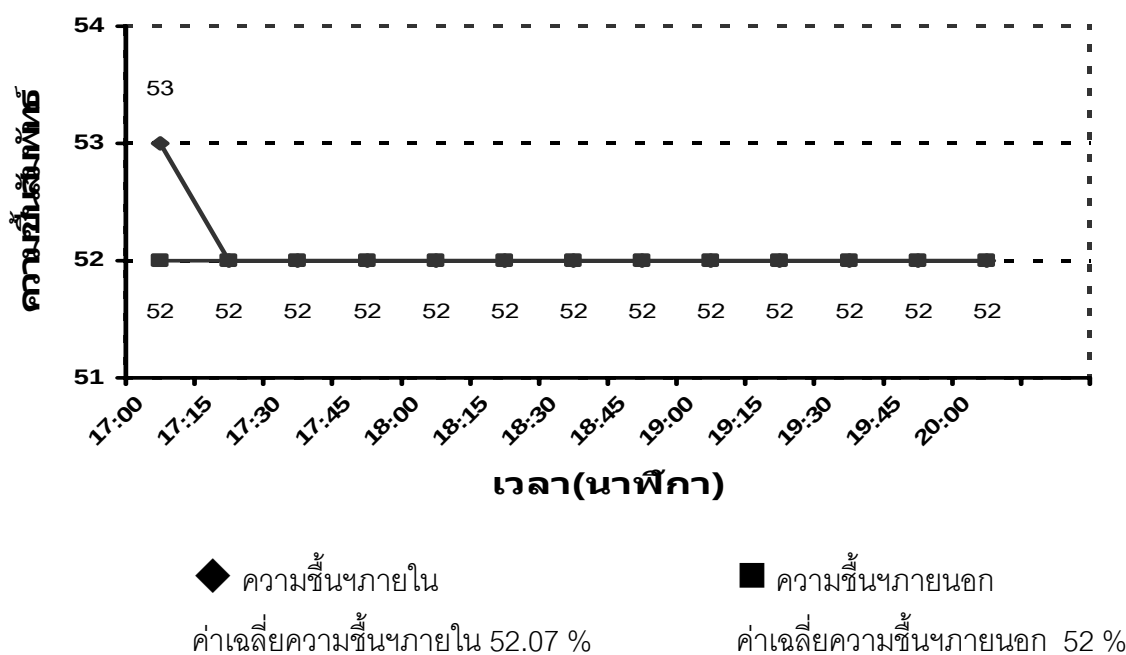
ภาพประกอบ 64 ความชื้นสัมพัทธ์ภายในภายนอกห้องทดสอบ (ทดสอบครั้งที่ 8)



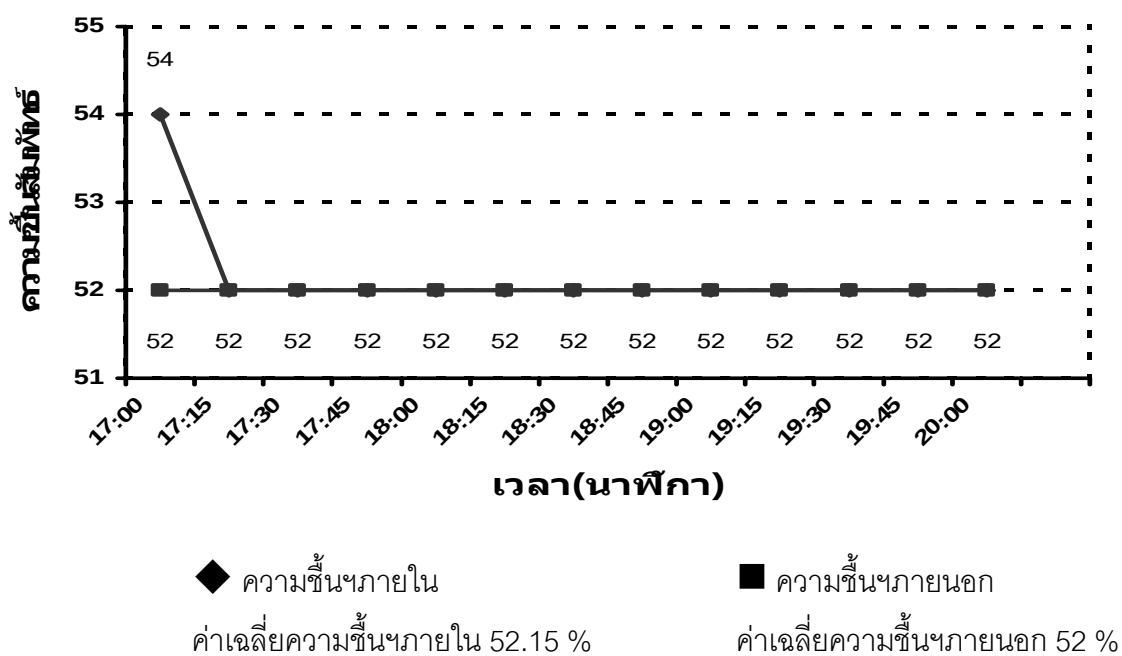
ภาพประกอบ 65 ความชื้นสัมพัทธ์ภายในภายนอกห้องทดสอบ (ทดสอบครั้งที่ 9)



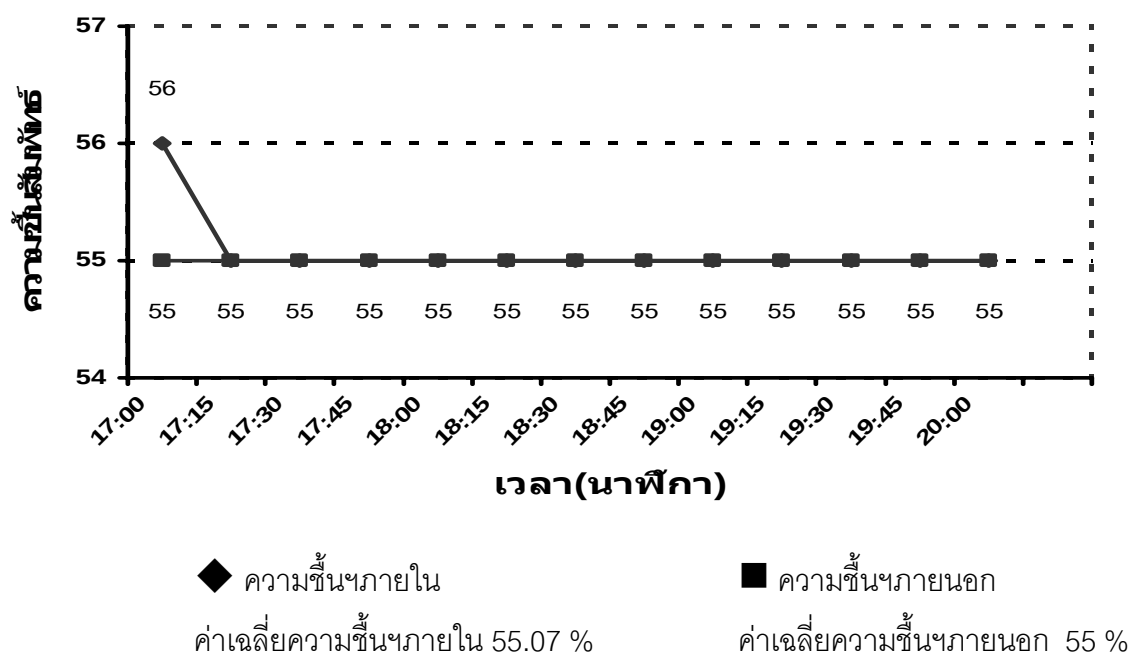
ภาพประกอบ 66 ความชื้นสัมพัทธ์ภายในภายนอกห้องทดสอบ (ทดสอบครั้งที่ 10)



ภาพประกอบ 67 ความชื้นสัมพัทธ์ภายในภายนอกห้องทดสอบ (ทดสอบครั้งที่ 11)



ภาพประกอบ 68 ความชื้นสัมพัทธ์ภายในภายนอกห้องทดสอบ (ทดสอบครั้งที่ 12)



ภาพประกอบ 69 ความชื้นสัมพัทธ์ภายในภายนอกห้องทดสอบ (ทดสอบครั้งที่ 13)

ภาคผนวก ข
สถิติวิเคราะห์ข้อมูล

ผลวิเคราะห์ข้อมูล

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลโดยโปรแกรม SPSS ได้ผลดังนี้

Regression

Variables Entered/ Removed^a

Model	Variables Entered	Variables Removed
1	T _{Out}	-
2	S ₂	-
3	time	-
4	S ₁	-
5	h _{in}	-

Variables Entered/ Removed^a

Model	Method
1	Stepwise (Criteria: Probability-of-F-to-enter<= .050, Probability-of-F-to-enter>= .100).
2	Stepwise (Criteria: Probability-of-F-to-enter<= .050, Probability-of-F-to-enter>= .100).
3	Stepwise (Criteria: Probability-of-F-to-enter<= .050, Probability-of-F-to-enter>= .100).
4	Stepwise (Criteria: Probability-of-F-to-enter<= .050, Probability-of-F-to-enter>= .100).
5	Stepwise (Criteria: Probability-of-F-to-enter<= .050, Probability-of-F-to-enter>= .100).

a. Dependent Variable: t_{in}

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.865 ^a	.749	.748	1.03726
2	.880 ^b	.774	.771	.98760
3	.902 ^c	.814	.810	.89912
4	.913 ^d	.833	.829	.85310
5	.919 ^e	.844	.840	.82652

a. Predictors: (Constant), T_{Out}

b. Predictors: (Constant), T_{Out}, S₂

c. Predictors: (Constant), T_{Out}, S₂, time

d. Predictors: (Constant), T_{Out}, S₂, time, S₁

e. Predictors: (Constant), T_{Out}, S₂, time, S₁, h_{in}

ANOVA^f

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	536.193	1	536.193	498.362	.000 ^a
	Residual	179.677	167	1.076		
	Total	715.870	168			
2	Regression	553.962	2	276.981	283.981	.000 ^b
	Residual	161.908	166	.975		
	Total	715.870	168			
3	Regression	582.482	3	194.161	240.176	.000 ^c
	Residual	133.388	165	.808		
	Total	715.870	168			
4	Regression	596.514	4	149.128	204.909	.000 ^d
	Residual	119.356	164	.728		
	Total	715.870	168			
5	Regression	604.518	5	120.904	176.982	0.00 ^e
	Residual	111.352	163	.683		
	Total	715.870	168			

a. Predictors:(Constant), T_{Out}

b. Predictors:(Constant), T_{Out} , s_2

c. Predictors:(Constant), T_{Out} , s_2 , time

d. Predictors:(Constant), T_{Out} , s_2 , time, s_1

e. Predictors:(Constant), T_{Out} , s_2 , time, s_1 , h_{in}

f. Dependent Variable: t_{in}

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	1.479	1.264		1.170	.244
	T _{Out}	.981	.044	.865	22.324	.000
2	(Constant)	5.697	.1557		3.659	.000
	T _{Out}	.845	.053	.746	16.084	.000
	s ₂	-.837	.196	-.198	-4.268	.000
3	(Constant)	10.237	1.611		6.356	.000
	T _{Out}	.716	.053	.632	13.629	.000
	s ₂	-1.129	.185	-.267	-6.095	.000
	time	-.008	.001	-.219	-5.940	.000
4	(Constant)	10.166	1.528		6.652	.000
	T _{Out}	.734	.050	.648	14.675	.000
	s ₂	-1.564	.202	-.370	-7.752	.000
	time	-.008	.001	-.214	-6.108	.000
	s ₁	-.761	.173	-.180	-4.391	.002
5	(Constant)	15.453	2.140		7.222	.000
	T _{Out}	.661	.053	.583	12.473	.000
	s ₂	-1.940	.224	-.459	-8.652	.000
	time	-.008	.001	-.210	-6.184	.000
	s ₁	-.711	.169	-.168	-4.218	.000
	h _{in}	-.054	.016	-.132	-3.423	.001

a. Dependent Variable: t_{in}

Excluded Variables^f

Model	Beta In	t	Sig.	Partial Correlation	Collinearity Statistics
					Tolerance
1	s_1	-.050 ^a	-1.178	.240	.820
	s_2	-.198 ^a	-4.268	.000	.634
	time	-.160 ^a	-4.064	.000	.892
	h_{in}	-.008 ^a	-.210	.834	.997
	RH_{out}	.019 ^a	.474	.636	.941
	v	.106 ^a	2.599	.010	.872
2	s_1	-.188 ^b	-4.165	.000	.606
	time	-.219 ^b	-5.940	.000	.829
	h_{in}	-.155 ^b	-3.492	.001	.652
	RH_{out}	.207 ^b	-3.910	.000	.448
	v	.047 ^b	1.090	.277	.736
3	s_1	-.180 ^c	-4.391	.000	.605
	h_{in}	-.146 ^c	-3.623	.000	.651
	RH_{out}	-.128 ^c	-2.459	.015	.406
	v	.028 ^c	.707	.480	.731
4	RH_{in}	-.132 ^d	-3.423	.001	.646
	RH_{out}	-.078 ^d	-1.524	.129	.382
	V	-.033 ^d	-.819	.414	.644
5	RH_{out}	.076 ^e	1.095	.275	.200
	v	-.048 ^e	-1.235	.219	.636

a. Predictors in the Model:(Constant), T_{out} b. Predictors in the Mode:(Constant), T_{out} , s_2 c. Predictors in the Mode:(Constant), T_{out} , s_2 , timed. Predictors in the Mode:(Constant), T_{out} , s_2 , time, s_1 e. Predictors in the Mode:(Constant), T_{out} , s_2 , time, s_1 , h_{in} f. Dependent Variable: t_{in}

ภาคผนวก ค
รายชื่อผู้เชี่ยวชาญ

รายชื่อผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบความถูกต้องของการคำนวณ และรายการอุปกรณ์ระบายอากาศ

- | | |
|--------------------------|---|
| 1. นายวีรวัฒน์ ไกรทองสุข | อาจารย์ประจำภาควิชาเครื่องกล
โรงเรียนเทคโนโลยีสยาม(ช่างกลสยาม) |
| 2. นายเอกพล เนตรแสงสี | อาจารย์ประจำภาควิชาไฟฟ้า
โรงเรียนเทคโนโลยีสยาม(ช่างกลสยาม) |

รายชื่อผู้เชี่ยวชาญประเมินประสิทธิภาพด้านการติดตั้ง การใช้งาน การบำรุงรักษา

- | | |
|----------------------------|---|
| 1. นายสมศักดิ์ ไชยเหล็ก | อาจารย์ประจำภาควิชาไฟฟ้า
โรงเรียนเทคโนโลยีสยาม(ช่างกลสยาม) |
| 2. นายสายชล ประสพสุข | อาจารย์ประจำภาควิชาไฟฟ้า
โรงเรียนเทคโนโลยีสยาม(ช่างกลสยาม) |
| 3. นายธีรเดช วัฒนานุสรณ์ | อาจารย์ประจำภาควิชาไฟฟ้า
โรงเรียนเทคโนโลยีสยาม(ช่างกลสยาม) |
| 4. นายสมเกียรติ นกกล่อม | อาจารย์ประจำภาควิชาเครื่องกล
โรงเรียนเทคโนโลยีสยาม(ช่างกลสยาม) |
| 5. นายไพฑูรย์ อัครเวทวิทยา | อาจารย์ประจำภาควิชาเครื่องกล
โรงเรียนเทคโนโลยีสยาม(ช่างกลสยาม) |

ภาคผนวก ง
หนังสือเชิญผู้เชี่ยวชาญ

ภาคผนวก จ

แบบประเมินประสิทธิภาพด้านการติดตั้ง การใช้งาน การบำรุงรักษา

แบบประเมินประสิทธิภาพ ของพัฒนาระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์

แบบประเมินชุดนี้ เป็นแบบประเมินความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ เกี่ยวกับประสิทธิภาพด้านการติดตั้ง ด้านการใช้งาน และด้านการบำรุงรักษาพัฒนาระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์

คำชี้แจง

แบบประเมินชุดนี้แบ่งออกเป็น 3 ตอน

ตอนที่ 1 ข้อมูลเกี่ยวกับสถานะภาพของผู้เชี่ยวชาญ ประกอบด้วยข้อคำถาม 6 ข้อ

ตอนที่ 2 ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ เกี่ยวกับประสิทธิภาพด้านการติดตั้ง ด้านการใช้งาน และด้านการบำรุงรักษาพัฒนาระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ ประกอบด้วยข้อคำถาม 7 ข้อ

ตอนที่ 3 ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ ประกอบด้วยข้อคำถาม 3 ข้อ

วัตถุประสงค์ของการประเมิน

แบบประเมินชุดนี้สร้างขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อสำรวจความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับระดับความเหมาะสมของประสิทธิภาพด้านการติดตั้ง ด้านการใช้งาน และด้านการบำรุงรักษาพัฒนาระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์

.....

ตอนที่ 1 ข้อมูลเกี่ยวกับสถานะภาพของผู้เชี่ยวชาญ

ข้อแนะนำ กรุณาทำเครื่องหมาย ☒ ลงในกรอบ ☐ หน้าข้อความที่ตรงกับความเป็นจริง และเติมข้อความลงในช่องว่างที่กำหนดไว้ให้

1. เพศ ☐ ชาย ☐ หญิง
2. อายุ ปี
3. ระดับการศึกษา ☐ ต่ำกว่าปริญญาตรี สาขา
- ☐ ปริญญาตรีหรือเทียบเท่า สาขา
- ☐ ปริญญาโทหรือเทียบเท่า สาขา
- ☐ อื่นๆ โปรดระบุ
4. ตำแหน่งงาน
5. อายุงาน.....
6. สถานที่ทำงาน

ตอนที่ 2 ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ เกี่ยวกับระดับความเหมาะสมของประสิทธิภาพด้านการติดตั้ง ด้านการใช้งาน และด้านการบำรุงรักษาพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์

ข้อแนะนำ กรุณาทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องมาตราส่วนประเมินค่า ตามความคิดเห็นของท่าน

ลำดับ	รายละเอียดการประเมิน	ระดับการประเมิน				
		ดีมาก	ดี	พอใช้	ต้องปรับปรุง	ใช้ไม่ได้
	ด้านการติดตั้ง					
1	ความสะดวกในการติดตั้ง					
2	จำนวนพัดลมระบายอากาศ 2 ตัว เหมาะสมกับการนำมาติดตั้งในอาคารที่พักอาศัย					
3	ตำแหน่งติดตั้งพัดลมระบายอากาศ เหมาะสมกับการนำมาติดตั้งในอาคารที่พักอาศัย					
	ด้านการใช้งาน					
4	ความสะดวกในการใช้งานพัดลมระบายอากาศ					
5	ความปลอดภัยในการใช้งานพัดลมระบายอากาศ					
	ด้านการบำรุงรักษา					
6	ความสะดวกในการเปลี่ยนแทนอุปกรณ์ต่างๆ ในกรณีที่เกิดความชำรุดเสียหาย					
7	ความสะดวกในการเติมน้ำกลั่นแบตเตอรี่					

ตอนที่ 3 ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ

ข้อแนะนำ กรุณาแสดงความคิดเห็นและข้อเสนอแนะ ตามหัวข้อต่อไปนี้

3.1 ด้านการติดตั้ง

.....

.....

.....

.....

3.2 ด้านการใช้งาน

.....

.....

.....

.....

3.3 ด้านการบำรุงรักษา

.....

.....

.....

.....

ชื่อผู้เชี่ยวชาญ

(.....)

ประเมินเมื่อวันที่ เดือน พ.ศ.

ภาคผนวก จ
เครื่องมือวัดที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือวัดที่ใช้ในการวิจัย



ไฮโดรมิเตอร์



เครื่องวัดความเร็วลม



มัลติมิเตอร์



เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์

ภาคผนวก ข

การติดตั้งพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์

การติดตั้งพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์



การติดตั้งพัดลมระบายอากาศ 1



การติดตั้งพัดลมระบายอากาศ 2



การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์



การติดตั้ง Charge Controller DC/AC Inverter และ Automatic switch

ประวัติย่อผู้วิจัย

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ ชื่อสกุล	นายกล้าป์ จิตรมั่นคง
วันเดือนปีเกิด	4 มกราคม 2514
สถานที่เกิด	กรุงเทพฯ
ที่อยู่ปัจจุบัน	481/189 ซอย จรัญสนิทวงศ์ 37 ถนน จรัญสนิทวงศ์ แขวง บางขุนศรี เขต บางกอกน้อย กรุงเทพฯ 10700
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	ครูประจำภาควิชาเครื่องกล
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	โรงเรียนเทคโนโลยีสยาม

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2533	ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นต้น สาขาวิชา ช่างยนต์ จากโรงเรียนเทคโนโลยีสยาม
พ.ศ. 2535	ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาวิชา ช่างยนต์ จากมหาวิทยาลัยสยาม
พ.ศ. 2538	อุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล จากมหาวิทยาลัยสยาม
พ.ศ. 2552	การศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชา อุตสาหกรรมศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ