

ประสิทธิภาพการระบายอากาศในห้องน้ำของอาคารที่พักอาศัยโดยการใช้พัดลมระบายอากาศพลังงาน  
แสงอาทิตย์



นางสาวเกษญา รัตโนภาส

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)  
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)  
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์  
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ปีการศึกษา 2559  
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

VENTILATION EFFECTIVENESS IN BATHROOM OF RESIDENTIAL BUILDINGS BY USING SOLAR PHOTOVOLTAIC POWERED FANS

Miss Kesaya Rattanopas



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

Department of Architecture

Faculty of Architecture

Chulalongkorn University

Academic Year 2016

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

ประสิทธิภาพการระบายอากาศในห้องน้ำของอาคารที่พัก

อาศัยการใช้พัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์

โดย

นางสาวเกษญา รัตโนภาส

สาขาวิชา

สถาปัตยกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

รองศาสตราจารย์ ดร.อรรจน์ เศรษฐบุตุร

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น  
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารธุรกิจ

.....คณบดีคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร.ปิ่นรัชฎ์ กาญจนะจฤติ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ พรรณชลิท สุริโยธิน)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร.อรรจน์ เศรษฐบุตุร)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรภัทร์ ینگโรจน์ฤทธิ์)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(อาจารย์ ดร.ดารณี จารีมิตร)

เกษญา รัตโนภาส : ประสิทธิภาพการระบายอากาศในห้องน้ำของอาคารที่พักอาศัยโดยใช้พัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ (VENTILATION EFFECTIVENESS IN BATHROOM OF RESIDENTIAL BUILDINGS BY USING SOLAR PHOTOVOLTAIC POWERED FANS) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร.อรรจน์ เศรษฐบุต, 94 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินประสิทธิภาพการลดความชื้น การประหยัดพลังงานและหาค่าความคุ้มทุนของการใช้พัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ในห้องน้ำของอาคารที่พักอาศัย วิจัยเปรียบเทียบระหว่างห้องน้ำที่ใช้ระบบพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ ระบบพัดลมระบายอากาศแบบใช้ไฟฟ้า และไม่มีระบบพัดลมระบายอากาศ การวิจัยแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ส่วนแรก ทำการหาค่าแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีอาทิตย์ และอัตราการระบายอากาศ (CFM) ของระบบพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อนำมาคำนวณหาอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศต่อชั่วโมง (Air changes per hour : ACH) ที่ได้ในการวิจัย โดยการวิจัยนี้ใช้พัดลมระบายอากาศขนาด 41 CFM ทำให้เกิดการระบายอากาศเท่ากับ 8.76 ACH และใช้เซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 10 W ผลที่ได้คือ รังสีดวงอาทิตย์ยิ่งมากอัตราการระบายอากาศของพัดลมจะยิ่งมากตาม ส่วนที่สองทำการหาค่าแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างค่า ACH และค่าผลต่างของอัตราส่วนความชื้น (Humidity ratio) ภายใน-ภายนอกห้องน้ำ จากการวิจัย ระบบที่มีค่าเฉลี่ยผลต่าง Humidity ratio น้อยที่สุดคือ ระบบพัดลมระบายอากาศแบบใช้ไฟฟ้า รองลงมาคือ ระบบพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ ส่วนระบบที่มีค่าเฉลี่ยผลต่าง Humidity ratio มากที่สุดคือ ห้องน้ำที่ไม่มีระบบพัดลมระบายอากาศ ซึ่งหมายความว่ามีความชื้นสะสมในห้องน้ำสูงสุด โดยค่าผลต่าง Humidity ratio ภายใน-ภายนอกห้องน้ำ จะแปรผกผันกับค่า ACH และจะมีค่าเท่ากับ 0 เมื่อค่า ACH อยู่ที่ 18.70 ACH ซึ่งหมายถึงอัตราการระบายที่สามารถเอาความชื้นสะสมออกจากห้องได้ทั้งหมด ในส่วนที่สาม ใช้โปรแกรม Visual DOE คำนวณหาความชื้น และค่าการประหยัดพลังงานตลอดทั้งปีของระบบพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีการติดตั้งร่วมกับพัดลมระบายอากาศแบบใช้ไฟฟ้าเพื่อใช้งานได้ตลอดทั้งวัน คำนวณโดยใช้พัดลม 2 ตัว ทำให้มีค่า ACH เท่ากับ 17.53 ACH พบว่า สามารถลดค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์ใน 1 ปี ลงได้ 10.92% เมื่อเทียบกับห้องน้ำที่ไม่มีระบบพัดลมระบายอากาศ และสามารถลดค่าการใช้ไฟฟ้าได้มากกว่าระบบพัดลมระบายอากาศแบบใช้ไฟฟ้า 40.29% และจะถึงจุดคุ้มทุนได้ภายใน 9 ปี หากมีจำนวนยูนิตของอาคารชุดพักอาศัยเพียงพอที่ระบบจะใช้กำลังไฟฟ้ามากกว่า 6,000 W ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าการใช้ระบบพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพัดลมระบายอากาศแบบใช้ไฟฟ้า มีประสิทธิภาพเพียงพอในการลดความชื้นในห้องน้ำของอาคารที่พักอาศัย และยังส่งเสริมการประหยัดพลังงานให้กับอาคารได้อีกทางหนึ่ง

ภาควิชา สถาปัตยกรรมศาสตร์

ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา สถาปัตยกรรม

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

ปีการศึกษา 2559

# # 5973333225 : MAJOR ARCHITECTURE

KEYWORDS: BATHROOM VENTILATION / HUMIDITY / SOLAR FAN

KESAYA RATTANOPAS: VENTILATION EFFECTIVENESS IN BATHROOM OF RESIDENTIAL BUILDINGS BY USING SOLAR PHOTOVOLTAIC POWERED FANS. ADVISOR: ASSOC. PROF. ATCH SRESHTHAPUTRA, Ph.D., 94 pp.

The research aims to evaluate the efficiency of dehumidification and energy saving in a bathroom of residential buildings by using solar photovoltaic powered fan. A comparison is made between bathroom of 3 different ventilation systems; solar fan system, electric fan system and no ventilation system. The experiment was divided into 3 parts. The first, research on the relationship between solar radiation and ventilation rate (CFM) for calculating the air changes per hour (ACH), obtained in the experiment. This experiment used a ventilation fan which has a ventilation rate is 41 CFM equal to 8.76 ACH and used a 10 W solar panel. It was found that the more the solar radiation, the greater the fan's ventilation rate. The second, research on the relationship between ACH and the difference in humidity ratio, between the inside and outside of the bathroom. The results show that the lowest average of the difference in humidity ratio is an electric fan system. Secondary is a solar fan system and the highest average of the difference in humidity ratio is a bathroom without a ventilation system. It means this system has the highest humidity. The difference in humidity ratio is inverse with ACH. The moisture content will leave the bathroom at all when ACH is 18.70 ACH. The last, using Visual DOE for calculating the lower relative humidity and the annual energy savings of solar fans system which is equipped with electric fans system for available throughout the day and add 2 fans in the system to increase ACH to 17.53 ACH. This system can reduce the average relative humidity in a year by 10.92% compared to a bathroom without a ventilation system. And it can reduce the electricity consumption by 40.29%. Payback period is 9 years if there are enough units that the system will use more than 6,000 W. In conclusion, solar fans system which is equipped with electric fans system is effective for dehumidifying in the bathrooms of residential buildings and can save energy.

Department: Architecture

Student's Signature .....

Field of Study: Architecture

Advisor's Signature .....

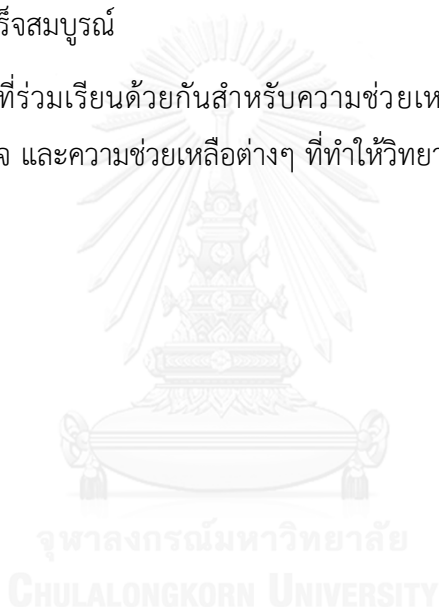
Academic Year: 2016

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความอนุเคราะห์จาก รองศาสตราจารย์ ดร. อรรถจัน เศรษฐบุตร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่คอยให้คำปรึกษา ให้ความรู้ ให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ ช่วยเหลือตรวจทาน และแก้ไขข้อบกพร่องในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จนทำให้วิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรภัทร์ อิงคโรจน์ฤทธิ รองศาสตราจารย์ พรรณชลัท สุริโยธิน และอาจารย์ ดร. ดารณี จาริมิตร ที่ให้ความรู้ และคำแนะนำและปรับปรุงเล่มวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณผู้ที่ร่วมเรียนด้วยกันสำหรับความช่วยเหลือและคำแนะนำ และขอบคุณครอบครัวสำหรับกำลังใจ และความช่วยเหลือต่างๆ ที่ทำให้วิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี



## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ฉุ
สารบัญแผนภูมิ.....	ฐ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
1.3 สมมุติฐานการวิจัย.....	3
1.4 ขอบเขตของการศึกษา.....	3
1.5 ระเบียบวิธีวิจัย.....	4
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
2.1 ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับการระบายอากาศ และพัดลมระบายอากาศ.....	7
2.2 ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับข้อบังคับของอัตราการระบายอากาศในห้องน้ำ.....	11
2.3 ศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับการใช้พลังงานแสงอาทิตย์และเซลล์แสงอาทิตย์.....	14
2.4 ศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับแผนภูมิไซโครเมตริก.....	17
2.5 ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	22
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	30
3.1 ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย.....	30

3.2	กำหนดลักษณะของห้องและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำวิจัย.....	31
3.3	พฤติกรรมในการเข้าใช้ห้องน้ำ.....	33
3.4	วิธีการวิจัย.....	33
บทที่ 4	ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	41
4.1	การประเมินด้านประสิทธิภาพในการลดความชื้น .....	41
4.2	การประเมินด้านการประหยัดพลังงานและค่าความคุ้มทุน.....	65
บทที่ 5	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ .....	70
5.1	สรุปผลการวิจัย .....	70
5.2	แนวทางเพื่อการประยุกต์ใช้ .....	74
5.3	ข้อเสนอแนะ .....	74
	รายการอ้างอิง .....	76
	ภาคผนวก.....	79
	ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ .....	94



## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 อัตราการระบายอากาศโดยวิธีกล (กฎกระทรวงฉบับที่ 39, 2537).....	11
ตารางที่ 2 ความต้องการอากาศภายนอกสำหรับระบายอากาศ (วสท.3010, 2545) .....	12
ตารางที่ 3 อัตราการระบายอากาศขั้นต่ำ (ASHRAE 62.1, 2013).....	13
ตารางที่ 4 สูตรข้อบังคับของของอัตราการระบายอากาศในห้องน้ำ.....	14
ตารางที่ 5 ค่าเฉลี่ยของอัตราการระบายอากาศที่ได้ในค่าเฉลี่ยรังสีอาทิตย์ที่แตกต่างกัน 15 ช่วง.....	34
ตารางที่ 6 ช่วงเวลาส่วนใหญ่ที่อุณหภูมิและความชื้นมีค่าต่ำที่สุด-สูงที่สุด และค่าเฉลี่ยอุณหภูมิและความชื้นที่ต่ำที่สุด-สูงที่สุดใน 1 วัน ของภายในและภายนอกห้องน้ำในแต่ละระบบ .....	51
ตารางที่ 7 ค่า Humidity ratio เฉลี่ยในแต่ละเดือนภายในห้องน้ำในแต่ละระบบ .....	61
ตารางที่ 8 ค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์ในแต่ละเดือนของห้องน้ำที่ไม่มีระบบพัดลมระบายอากาศ (RH No Fan) ห้องน้ำที่ใช้ระบบพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้พัดลม 2 ตัว (RH Solar Fan*2) และภายนอกอาคาร (RH Outdoor).....	64
ตารางที่ 9 ข้อมูลจำเพาะของพัดลมระบายอากาศแบบฝังฝ้าต่อท่อระบายอากาศที่มีจำหน่ายในปัจจุบัน (panasonic.com) .....	65
ตารางที่ 10 ราคาเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาด 12 V ที่มีจำหน่ายในปัจจุบัน (Solarshop, 2015) .....	66
ตารางที่ 11 ระยะเวลาคุ้มทุนต่อ 1 ยูนิต เมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างระบบพัดลมระบายอากาศทั้ง 5 ระบบ .....	67
ตารางที่ 12 ระยะเวลาคุ้มทุนต่อ 352 ยูนิต เมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างระบบพัดลมระบายอากาศทั้ง 5 ระบบ .....	67

## สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1 บริเวณความกดอากาศสูงและบริเวณความกดอากาศต่ำ (ตริงใจ บูรณสมภพ, 2539) .....	8
ภาพที่ 2 ผลของช่องเปิดกับไหลผ่านของอากาศภายในห้อง (ตริงใจ บูรณสมภพ, 2539).....	8
ภาพที่ 3 ตำแหน่งช่องเปิด และอุปกรณ์ระบายอากาศที่มีผลต่อประสิทธิภาพการระบายอากาศ (สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย, 2540).....	9
ภาพที่ 4 ชนิดของพัดลมระบายอากาศ แบบติดผนังแบบไม่มีหน้ากาก (ซ้าย) แบบติดผนังแบบมีหน้ากาก (กลาง) แบบติดกระจก (ขวา) (मितซูบิชิ, 2556).....	10
ภาพที่ 5 ชนิดของพัดลมระบายอากาศ แบบฝังฝ้าไม่ต่อท่อระบายอากาศ (ซ้าย) แบบต่อท่อฝังฝ้า (ขวา) (मितซูบิชิ, 2556) .....	11
ภาพที่ 6 การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ (โซลาร์เซลล์โมโนเลจ, 2556).....	15
ภาพที่ 7 ลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์ในกลุ่มที่ทำจากสารกึ่งตัวนำประเภทซิลิคอน (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2550).....	16
ภาพที่ 8 แผนภูมิไซโครเมตริก (ASHRAE, 1992) .....	17
ภาพที่ 9 เส้นอุณหภูมิกระเปาะแห้งบนแผนภูมิไซโครเมตริก (อาจหาญ ณ นรงค์, 2556) .....	18
ภาพที่ 10 เส้นอุณหภูมิกระเปาะเปียกบนแผนภูมิไซโครเมตริก (อาจหาญ ณ นรงค์, 2556).....	19
ภาพที่ 11 เส้นอุณหภูมิจุดน้ำค้างบนแผนภูมิไซโครเมตริก (อาจหาญ ณ นรงค์, 2556).....	19
ภาพที่ 12 เส้นความชื้นสัมพัทธ์บนแผนภูมิไซโครเมตริก (อาจหาญ ณ นรงค์, 2556) .....	20
ภาพที่ 13 เส้นอัตราส่วนความชื้นบนแผนภูมิไซโครเมตริก (อาจหาญ ณ นรงค์, 2556).....	21
ภาพที่ 14 เส้นปริมาตรจำเพาะของอากาศบนแผนภูมิไซโครเมตริก (อาจหาญ ณ นรงค์, 2556).....	21
ภาพที่ 15 เส้นเอนทัลปีบนแผนภูมิไซโครเมตริก (อาจหาญ ณ นรงค์, 2556) .....	22
ภาพที่ 16 การติดตั้งพัดลมพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อเพิ่มสมรรถนะของหลังคารับรังสีอาทิตย์ (สหรัฐ อิงคะฉวนิช, จงจิตร หิรัญลาก และ โจเซฟ เคตารี, 2543).....	23

ภาพที่ 17 รูปตัดของบ้านทดสอบทั้ง 3 แบบ บ้านที่มีระบบระบายอากาศโดยใช้อากาศจาก  
ภายนอกบ้าน (ซ้าย) บ้านที่มีระบบระบายอากาศโดยใช้อากาศภายในบ้าน (กลาง) และบ้านที่ติด  
แผ่นสะท้อนความร้อนและฉนวน (ขวา) (วิทยา พวงสมบัติ, โจเซฟ เคตารี และ จงจิตร หิรัญลาภ,  
2545)..... 23

ภาพที่ 18 เรือนกระจกจำลองที่ติดตั้งพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์เพื่ออบแห้งกล้วย  
(Janjai, Chaichoet and Intawee, 2005)..... 24

ภาพที่ 19 รูปตัดของบ้านทดสอบทั้ง 3 แบบ หลังคาคอนกรีตทั่วไป (ซ้าย) หลังคาระบายอากาศ  
ห้องใต้หลังคาแบบธรรมชาติ (กลาง) และหลังคาเซลล์แสงอาทิตย์การระบายอากาศในห้องใต้  
หลังคา (ขวา) (ปริดา จันทวงษ์, โจเซฟ เคตารี และ จงจิตร หิรัญลาภ, 2555)..... 25

ภาพที่ 20 รูปตัดของบ้านทดสอบหลังคาทั่วไป (ซ้าย) กับปล่องหลังคาเซลล์แสงอาทิตย์ระบาย  
อากาศแบบธรรมชาติร่วมกับพัดลมไฟฟ้ากระแสตรง (ขวา) (ปริดา จันทวงษ์, 2556)..... 25

ภาพที่ 21 รูปตัดของบ้านทดสอบทั้ง 3 แบบ หลังคาคอนกรีตทั่วไป (ซ้าย) หลังคาแบบมีช่องเปิด  
ด้านบนอยู่ภายนอกหลังคา (กลาง) และหลังคามีช่องเปิดที่ชายคา (ขวา) (ปริดา จันทวงษ์ และ  
บุญชอบ โสตประวัตติ, 2556)..... 26

ภาพที่ 22 ห้องทดลองแบบที่ติดตั้งพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ (ซ้าย) และ  
ห้องทดลองที่ไม่ติดตั้ง (ขวา) (Jie, Hua, Gang et al., 2006)..... 27

ภาพที่ 23 ระยะห่างระหว่างโถสุญญากาศและช่องระบายอากาศ (Tung, Hu and Tsai, 2009) ..... 27

ภาพที่ 24 พัดลมระบายอากาศติดหลังคาพลังงานแสงอาทิตย์ (Parker and Sherwin, 2000)..... 28

ภาพที่ 25 ผังพื้นแสดงระยะและหน้าตาของห้องน้ำที่นำมาใช้ในการทำการวิจัย ..... 31

ภาพที่ 26 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำการวิจัย..... 32

ภาพที่ 27 อุปกรณ์วัดความเร็วลม (ซ้าย) อุปกรณ์วัดรังสีอาทิตย์ (กลาง) อุปกรณ์วัดค่าความ  
อุณหภูมิและความชื้น (ขวา) ตามลำดับ ..... 33

ภาพที่ 28 การติดตั้งอุปกรณ์ทำการทดลอง ..... 35

ภาพที่ 29 การติดตั้งอุปกรณ์บันทึกผล ..... 35

ภาพที่ 30 การติดตั้งอุปกรณ์บันทึกค่าความชื้น และอุณหภูมิ ทั้ง 2 ตำแหน่ง ..... 35

ภาพที่ 31 แบบจำลองพื้นที่รับแสงของเซลล์แสงอาทิตย์ในโปรแกรม Visual DOE 4.1 ..... 36

ภาพที่ 32 ข้อมูลการตั้งค่าความลาดชันของหลังคา ในโปรแกรม Visual DOE 4.1 ..... 37

ภาพที่ 33 ตัวอย่างผลการคำนวณค่ารังสีดวงอาทิตย์บนพื้นผิวหลังคา ในโปรแกรม Visual DOE 4.1 ..... 37

ภาพที่ 34 แบบจำลองของห้องน้ำที่ใช้ในการวิจัยในโปรแกรม Visual DOE 4.1 ..... 38

ภาพที่ 35 ตัวอย่างผลการคำนวณค่าอุณหภูมิอากาศ และค่า Humidity ratio ภายนอกอาคารในโปรแกรม Visual DOE 4.1 ..... 38

ภาพที่ 36 รายละเอียดของห้องน้ำที่ไม่มีระบบพัฒนาระบายอากาศ (ซ้าย) และห้องน้ำที่ใช้ระบบพัฒนาระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้พัดลม 2 ตัว (ขวา) ในโปรแกรม Visual DOE 4.1..... 39

ภาพที่ 37 ตัวอย่างผลการคำนวณค่าอุณหภูมิอากาศภายในห้องน้ำที่ไม่มีระบบพัฒนาระบายอากาศ (ซ้าย) และห้องน้ำที่ใช้ระบบพัฒนาระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้พัดลม 2 ตัว (ขวา) ในโปรแกรม Visual DOE 4.1 ..... 40

## สารบัญแผนภูมิ

	หน้า
แผนภูมิที่ 1 ขั้นตอนการศึกษา .....	6
แผนภูมิที่ 2 ค่าแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยรังสีดวงอาทิตย์ ( $W/m^2$ ) และอัตราการระบายอากาศ (CFM) .....	41
แผนภูมิที่ 3 ค่ารังสีอาทิตย์ ( $W/m^2$ ) ที่วัดได้ตั้งแต่วันที่ 23 มกราคม - 2 กุมภาพันธ์ 2560 และ 7-9 กุมภาพันธ์ 2560 รวมทั้งหมด 14 วัน.....	43
แผนภูมิที่ 4 ค่าอัตราการระบายอากาศ (CFM) ที่ได้ตั้งแต่วันที่ 23 มกราคม - 2 กุมภาพันธ์ 2560 และ 7 - 9 กุมภาพันธ์ 2560 รวมทั้งหมด 14 วัน .....	44
แผนภูมิที่ 5 ค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องน้ำ (Indoor) และภายนอกห้องน้ำ (Outdoor) ของห้องน้ำที่ใช้ระบบพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ ตั้งแต่วันที่ 23 มกราคม - 2 กุมภาพันธ์ 2560 และ 7 - 9 กุมภาพันธ์ 2560 รวมทั้งหมด 14 วัน .....	45
แผนภูมิที่ 6 ค่าอุณหภูมิอากาศภายในห้องน้ำ (Indoor) และภายนอกห้องน้ำ (Outdoor) ของห้องน้ำที่ใช้ระบบพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ ตั้งแต่วันที่ 23 มกราคม - 2 กุมภาพันธ์ 2560 และ 7 - 9 กุมภาพันธ์ 2560 รวมทั้งหมด 14 วัน .....	46
แผนภูมิที่ 7 ค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องน้ำ (Indoor) และภายนอกห้องน้ำ (Outdoor) ของห้องน้ำที่ใช้ระบบพัดลมระบายอากาศแบบใช้ไฟบ้าน ตั้งแต่วันที่ 11 - 24 กุมภาพันธ์ 2560 รวมทั้งหมด 14 วัน .....	47
แผนภูมิที่ 8 ค่าอุณหภูมิอากาศภายในห้องน้ำ (Indoor) และภายนอกห้องน้ำ (Outdoor) ของห้องน้ำที่ใช้ระบบพัดลมระบายอากาศแบบใช้ไฟบ้าน ตั้งแต่วันที่ 11 - 24 กุมภาพันธ์ 2560 รวมทั้งหมด 14 วัน .....	48
แผนภูมิที่ 9 ค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องน้ำ (Indoor) และภายนอกห้องน้ำ (Outdoor) ของห้องน้ำที่ไม่มีระบบพัดลมระบายอากาศ ตั้งแต่วันที่ 27 กุมภาพันธ์ - 10 มีนาคม 2560 และ 13 - 14 มีนาคม 2560 รวมทั้งหมด 14 วัน .....	49

<p>แผนภูมิที่ 10 ค่าอุณหภูมิอากาศภายในห้องน้ำ (Indoor) และภายนอกห้องน้ำ (Outdoor) ของห้องน้ำที่ไม่มีระบบพัดลมระบายอากาศ ตั้งแต่วันที่ 27 กุมภาพันธ์ - 10 มีนาคม 2560 และ 13 - 14 มีนาคม 2560 รวมทั้งหมด 14 วัน .....</p>	50
<p>แผนภูมิที่ 11 Psychrometric chart ของภายในห้องน้ำ (Indoor) และภายนอกห้องน้ำ (Outdoor) ของห้องน้ำที่ใช้ระบบพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ ตั้งแต่วันที่ 23 มกราคม - 2 กุมภาพันธ์ 2560 และ 7 - 9 กุมภาพันธ์ 2560 รวมทั้งหมด 14 วัน .....</p>	52
<p>แผนภูมิที่ 12 Psychrometric chart ของภายในห้องน้ำ (Indoor) และภายนอกห้องน้ำ (Outdoor) ของห้องน้ำที่ใช้ระบบพัดลมระบายอากาศแบบใช้ไฟฟ้า ตั้งแต่วันที่ 11 - 24 กุมภาพันธ์ 2560 รวมทั้งหมด 14 วัน .....</p>	52
<p>แผนภูมิที่ 13 Psychrometric chart ของภายในห้องน้ำ (Indoor) และภายนอกห้องน้ำ (Outdoor) ของห้องน้ำที่ไม่มีระบบพัดลมระบายอากาศ ตั้งแต่วันที่ 27 กุมภาพันธ์ - 10 มีนาคม 2560 และ 13 - 14 มีนาคม 2560 รวมทั้งหมด 14 วัน .....</p>	53
<p>แผนภูมิที่ 14 ค่า Humidity ratio เปรียบเทียบระหว่างภายในห้องน้ำ (Indoor) และภายนอกห้องน้ำ (Outdoor) ของห้องน้ำที่ใช้ระบบพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ ตั้งแต่วันที่ 23 มกราคม - 2 กุมภาพันธ์ 2560 และ 7 - 9 กุมภาพันธ์ 2560 รวมทั้งหมด 14 วัน .....</p>	54
<p>แผนภูมิที่ 15 ค่า Humidity ratio เปรียบเทียบระหว่างภายในห้องน้ำ (Indoor) และภายนอกห้องน้ำ (Outdoor) ของห้องน้ำที่ใช้ระบบพัดลมระบายอากาศแบบใช้ไฟฟ้า ตั้งแต่วันที่ 11 - 24 กุมภาพันธ์ 2560 รวมทั้งหมด 14 วัน .....</p>	55
<p>แผนภูมิที่ 16 ค่า Humidity ratio เปรียบเทียบระหว่างภายในห้องน้ำ (Indoor) และภายนอกห้องน้ำ (Outdoor) ของห้องน้ำที่ไม่มีระบบพัดลมระบายอากาศ ตั้งแต่วันที่ 27 กุมภาพันธ์ - 10 มีนาคม 2560 และ 13 - 14 มีนาคม 2560 รวมทั้งหมด 14 วัน .....</p>	56
<p>แผนภูมิที่ 17 ช่วงเวลาอาบน้ำและค่า Humidity ภายในห้องน้ำ (Indoor) และภายนอกห้องน้ำ (Outdoor) ของห้องน้ำที่ใช้ระบบพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Fan) วันที่ 23 - 24 มกราคม ระบบพัดลมระบายอากาศแบบใช้ไฟฟ้า (Electric Fan) วันที่ 11 - 12 กุมภาพันธ์ และห้องน้ำที่ไม่มีระบบพัดลมระบายอากาศ (No Fan) วันที่ 27 - 28 กุมภาพันธ์ .....</p>	57
<p>แผนภูมิที่ 18 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Humidity ratio ระหว่างภายในกับภายนอกห้องน้ำของห้องน้ำที่ใช้ระบบพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Fan) ระบบพัดลมระบายอากาศแบบใช้ไฟฟ้า (Electric Fan) และห้องน้ำที่ไม่มีระบบพัดลมระบายอากาศ (No Fan) .....</p>	58

แผนภูมิที่ 19 ค่าเฉลี่ยผลต่าง Humidity ratio ระหว่างภายในกับภายนอกห้องน้ำของห้องน้ำที่ใช้ระบบพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Fan) ระบบพัดลมระบายอากาศแบบใช้ไฟฟ้า (Electric Fan) และห้องน้ำที่ไม่มีระบบพัดลมระบายอากาศ (No Fan) .....	59
แผนภูมิที่ 20 ค่าแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างผลต่าง Humidity ratio ของภายในและภายนอกห้องน้ำ และค่า ACH .....	60
แผนภูมิที่ 21 ค่าเฉลี่ย Humidity ratio ของภายในห้องน้ำทั้ง 5 ระบบเปรียบเทียบกับ ค่า Humidity ratio ภายนอกอาคาร (Outdoor) ในแต่ละเดือน .....	62
แผนภูมิที่ 22 Psychrometric chart เทียบระหว่างภายในห้องน้ำ (Indoor) และภายนอกห้องน้ำ (Outdoor) ของห้องน้ำที่ไม่มีระบบพัดลมระบายอากาศ.....	63
แผนภูมิที่ 23 Psychrometric chart เทียบระหว่างภายในห้องน้ำ (Indoor) และภายนอกห้องน้ำ (Outdoor) ของห้องน้ำที่ใช้ระบบพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้พัดลม 2 ตัว .....	63
แผนภูมิที่ 24 ค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์ในแต่ละเดือนของห้องน้ำที่ไม่มีระบบพัดลมระบายอากาศ (RH No Fan) ห้องน้ำที่ใช้ระบบพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้พัดลม 2 ตัว (RH Solar Fan*2) และภายนอกอาคาร (RH Outdoor).....	64
แผนภูมิที่ 25 ผลการคำนวณค่าการใช้ไฟฟ้า (kWh) ต่อหนึ่งยูนิต ของระบบพัดลมระบายอากาศทั้ง 5 ระบบตลอดทั้งปี.....	66

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ห้องน้ำที่ถูกสุขอนามัยควรเป็นห้องน้ำที่แห้งและปราศจากความชื้นเพราะความชื้นเป็นบ่อเกิดของเชื้อราและแบคทีเรียชนิดต่างๆ ซึ่งเป็นปัญหาสำคัญในการดูแลรักษาห้องน้ำ เพราะเชื้อราในห้องน้ำอาจจะนำพาโรคภัยต่างๆมาสู่ผู้ใช้งานได้ การหายใจเอาสปอร์ของเชื้อราเข้าไป อาจส่งผลทำให้เกิดผลเสียต่อระบบทางเดินหายใจและมีโอกาสก่อให้เกิดปฏิกิริยาแพ้ต่างๆได้ เช่น เกิดอาการคัดจมูก หอบหืด ไอ หายใจไม่ออก เป็นต้น ส่งผลเสียต่อสุขภาพกายและสุขภาพจิตของผู้ใช้งาน ซึ่งปัจจัยที่สำคัญที่ก่อให้เกิดเชื้อราได้แก่ สภาพแวดล้อมที่มีความอับชื้นหรือมีความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่า 60% มีอากาศนิ่งไม่มีการหมุนเวียน อุณหภูมิไม่เกิน 40 – 50 องศาเซลเซียส และเชื้อราสามารถเจริญเติบโตบนพื้นผิวแทบทุกชนิดโดยเฉพาะพื้นผิวที่จำพวกอินทรีย์วัตถุ ในทุกซอกมุมของอาคารที่อับชื้น เชื้อราสามารถก่อตัวได้ในมุมที่มีความชื้นสูงหรือน้ำขังเกินกว่า 24 - 48 ชั่วโมงขึ้นไป แต่เชื้อราจะไม่สามารถเจริญเติบโตอยู่ได้ถ้าไม่มีความชื้นหรือน้ำ (สุพจน์ เตชะอำนวยวิทย์, 2551) สำหรับอาคารที่พักอาศัย ห้องน้ำเป็นห้องที่มีความชื้นมากที่สุด เพราะเกี่ยวกับความชื้นโดยตรง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการระบายอากาศที่ดีที่สุด (สามเอ็ม, 2557) และความชื้นในห้องน้ำยังมีโอกาสจะเล็ดลอดไปยังส่วนอื่นๆของอาคารได้ ซึ่งอาจทำให้เกิดความเสียหายกับวัสดุภายในอาคาร ได้แก่ ฝ้าเพดาน ฝ้าปูเตียง ผ้ามุ้งห้อง และเฟอร์นิเจอร์ต่างๆ (ปรเมธ ประเสริฐยิ่ง, 2547) ดังนั้นเพื่อลดปัญหาอันเกิดจากความชื้นที่สูงเกินไปนี้ การระบายอากาศในห้องน้ำเพื่อลดความชื้นจึงเป็นสิ่งที่ควรคำนึงถึง

ปัจจุบันอาคารประเภท คอนโดมิเนียม อพาร์ทเมนท์ หอพัก และโรงแรม มักจะออกแบบห้องน้ำติดกับโถงทางเดินภายในอาคารเพื่อสะดวกแก่การซ่อมบำรุงและเพื่อให้ภายในห้องนอนได้พื้นที่ทัศนียภาพภายนอกได้อย่างเต็มที่ จึงทำให้ห้องน้ำของอาคารประเภทนี้มักจะไม่มีย่านด้านใดติดกับภายนอกอาคารโดยตรง ซึ่งทำให้ห้องน้ำไม่มีหน้าต่างระบายอากาศช่วยระบายความชื้นออกจากห้องน้ำ ในปัจจุบันมีวิธีที่นิยมใช้เพื่อแก้ปัญหาสำหรับห้องน้ำที่ไม่มีหน้าต่างระบายอากาศอยู่ 2 วิธี ได้แก่ วิธีแรกคือการก่อผนังให้ไม่สูงถึงฝ้าเพดาน รวมถึงให้ประตูห้องน้ำติดบานเกล็ดระบายอากาศ ซึ่งมักจะทำในอาคารเก่าหรือตึกแถว แต่วิธีนี้จะทำให้กลิ่นในห้องน้ำเล็ดลอดไปยังส่วนอื่นๆของอาคาร รวมถึงความชื้นจะยังคงอยู่ในอาคารก่อนจะระบายออกทางหน้าต่าง และหากห้องน้ำติดกับห้องที่มีเครื่องปรับอากาศก็จะทำให้เชื้อโรคและกลิ่นจากห้องน้ำหมุนเวียนอยู่ในระบบปรับอากาศได้ วิธีที่สองคือการติดตั้งลมระบายอากาศบนฝ้าเพดาน ซึ่งพัดลมนี้จะต้องเชื่อมต่อกับท่อลมเพื่อนำอากาศออกไป



ทั้งภายนอกบ้าน โดยท่อลมจะเดินอยู่บนฝ้าเพดานไปจนถึงผนังที่ติดกับภายนอกบ้านที่เจาะไว้เป็นช่องระบายอากาศ และจะมีฝ้าครอบปลายท่อลักษณะเป็นตะแกรงป้องกันสัตว์และแมลงรบกวน รวมถึงป้องกันน้ำฝนเข้า (เอสซีจี, 2559) การใช้พัดลมระบายอากาศนี้จะใช้การเชื่อมต่อกับสวิตช์ไฟเพื่อเปิดปิดการใช้งานพัดลม และหากต้องการให้ห้องน้ำมีการระบายอากาศที่ดีและสม่ำเสมอ จำเป็นต้องเปิดพัดลมระบายอากาศอย่างต่อเนื่องเป็นเวลานาน ซึ่งจะสิ้นเปลืองพลังงานและเพิ่มภาระค่าใช้จ่าย เช่น ค่าไฟฟ้าของผู้ใช้อาคารได้ ซึ่งวิธีการลดการใช้พลังงานของอาคารมีด้วยกันหลากหลายวิธี โดยในปัจจุบันมีการหาแหล่งพลังงานสะอาดมาใช้เป็นพลังงานทดแทนมากขึ้น เช่น พลังงานน้ำ พลังงานลม พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานจากก๊าซชีวภาพ เป็นต้น ซึ่งแหล่งพลังงานทดแทนที่ถูกกล่าวถึงกันมากที่สุดคือ พลังงานแสงอาทิตย์หรือการใช้เซลล์แสงอาทิตย์ ถึงแม้การใช้พลังงานแสงอาทิตย์จะไม่ใช้เรื่องใหม่แต่หากเปรียบเทียบกับสมัยก่อนแล้วนั้นในปัจจุบันการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ได้มีการพัฒนาให้สะดวกสบายมากขึ้น และสามารถลดภาระค่าไฟฟ้าของอาคารในระยะยาวได้ (วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี, 2559)

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้พัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์พบว่า งานวิจัยที่เกี่ยวข้องส่วนมากศึกษาการติดตั้งพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับระบบหลังคาระบายความร้อนแบบต่างๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการลดความร้อนให้กับอาคาร ซึ่งผลที่ได้คือการใช้พัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์สามารถช่วยในการระบายอากาศสามารถลดอุณหภูมิภายในห้องได้ และมีความคุ้มค่าสำหรับการลงทุน (ปริดา จันทวงษ์, 2556) และมีเพียงบางงานวิจัยเท่านั้นที่ศึกษาเกี่ยวกับการลดความชื้นโดยตรง เช่น การนำระบบพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์มาติดตั้งกับเรือนกระจกอบแห้งกล้วย ซึ่งสามารถลดค่าความชื้นทำให้อบแห้งกล้วยได้เร็วขึ้น (Janjai, Chaichoet and Intawee, 2005) สามารถคาดการณ์ได้ว่า การใช้พัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพในการลดความชื้นได้ แต่เนื่องจากยังไม่ได้มีการศึกษาในเชิงลึก และงานวิจัยนี้ยังเป็นการติดตั้งพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์เข้ากับเรือนกระจกอบแห้งไม่ใช้กับอาคารที่มีคนใช้งานจริง จึงควรมีการศึกษาค่าการใช้พัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อช่วยลดความชื้นให้กับอาคารเพิ่มเติม

จากที่กล่าวมาข้างต้นนี้สรุปได้ว่า การเปิดพัดลมระบายอากาศเป็นระยะเวลาเวลานานเพื่อให้สามารถระบายอากาศให้ได้อย่างสม่ำเสมอและมีประสิทธิภาพ เป็นการสิ้นเปลืองพลังงาน การใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อเป็นพลังงานทดแทนจึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการแก้ปัญหา และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้พัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ โดยส่วนมากจะศึกษาด้านการลดความ

ร้อน ส่วนในด้านการลดความชื้นให้กับอาคารยังไม่ได้มีการศึกษามากนัก ดังนั้นจึงมีความสำคัญที่จะทำการศึกษารลดความชื้นของอาคารโดยใช้พัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ งานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพการระบายอากาศในห้องน้ำของอาคารที่พักอาศัยโดยใช้พัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อประเมินประสิทธิภาพการลดความชื้นในห้องน้ำรวมถึงประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานและคำนวณหาค่าความคุ้มค่า

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อประเมินประสิทธิภาพการลดความชื้นในห้องน้ำของอาคารที่พักอาศัยโดยใช้พัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์

1.2.2 เพื่อประเมินประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานและความคุ้มค่าของการใช้พัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์

1.2.3 เพื่อเสนอแนะแนวทางในการออกแบบระบบระบายอากาศของห้องน้ำที่ไม่มีช่องเปิดโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์

## 1.3 สมมุติฐานการวิจัย

1.3.1 ระบบพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์สามารถลดความชื้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.3.2 ห้องน้ำที่ใช้ระบบพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์สามารถประหยัดพลังงานได้มากกว่าห้องน้ำที่ใช้ระบบพัดลมระบายอากาศแบบใช้ไฟฟ้า

1.3.3 การระบายอากาศที่มีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศต่อชั่วโมงยิ่งมากยิ่งสามารถลดความชื้นได้มาก

## 1.4 ขอบเขตของการศึกษา

1.4.1 การวิจัยนี้ทำการศึกษาการใช้พัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ในห้องน้ำของอาคารพักอาศัย

1.4.2 การวิจัยจะทำการทดลองที่ในประเทศไทย ที่จังหวัดปทุมธานี

1.4.3 การวิจัยทำการทดลองโดยใช้ห้องน้ำที่มีการใช้งานจริงขนาด 3.16 ตารางเมตรหรือมีปริมาตร 7.95 ลูกบาศก์เมตร

1.4.4 ขนาดพัดลมระบายอากาศที่ใช้ในการวิจัยต้องมีอัตราการระบายอากาศขั้นต่ำเป็นไปตามกฎกระทรวงฉบับที่ 39 ซึ่งเมื่อเทียบกับขนาดห้องทดลอง พัดลมระบายอากาศต้องมีขนาดไม่ต่ำกว่า 9.36 CFM

1.4.5 เครื่องวัดค่ารังสีดวงอาทิตย์ที่ใช้สามารถวัดค่ารังสีอาทิตย์ได้ไม่เกิน  $833.33 \text{ W/m}^2$  ส่วนที่เกินจึงเป็นค่าที่ไม่สามารถวัดได้

## 1.5 ระเบียบวิธีวิจัย

งานวิจัยนี้ใช้การวิจัยโดยการทำการทดลอง และจำลองค่าโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อหาค่าความชื้นที่ลดลง ค่าการประหยัดพลังงานและความคุ้มทุนของห้องน้ำที่ใช้ระบบพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ โดยมีรายละเอียดระเบียบวิธีวิจัยดังต่อไปนี้ (แผนภูมิที่ 1)

### 1.5.1 ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.5.1.1 ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับการระบายอากาศ และพัดลมระบายอากาศ

1.5.1.2 ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับข้อบังคับของอัตราการระบายอากาศในห้องน้ำ

1.5.1.3 ศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับการใช้พลังงานแสงอาทิตย์และเซลล์แสงอาทิตย์

1.5.1.4 ศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับแผนภูมิไซโครเมตริก

1.5.1.5 ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 1.5.2 กำหนดตัวแปรและค่าต่างๆ ที่ใช้ในการวิจัย

1.5.2.1 ตัวแปรต้น ได้แก่ ค่ารังสีดวงอาทิตย์ และระบบพัดลมระบายอากาศ

1.5.2.2 ตัวแปรควบคุม ได้แก่ ลักษณะและขนาดของห้องน้ำที่ใช้ในการวิจัย พัดลมระบายอากาศ เซลล์แสงอาทิตย์ ช่วงเวลาการเข้าใช้งานห้องน้ำ และสภาพอากาศ ช่วงเวลาที่ใช้ในการวิจัย

1.5.2.3 ตัวแปรตาม ได้แก่ อัตราการระบายอากาศของพัดลม ผลต่างอัตราส่วนของความชื้น (Humidity ratio) ภายใน-ภายนอกของห้องน้ำที่ใช้ในการทำวิจัย ค่าความชื้นและอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลอง

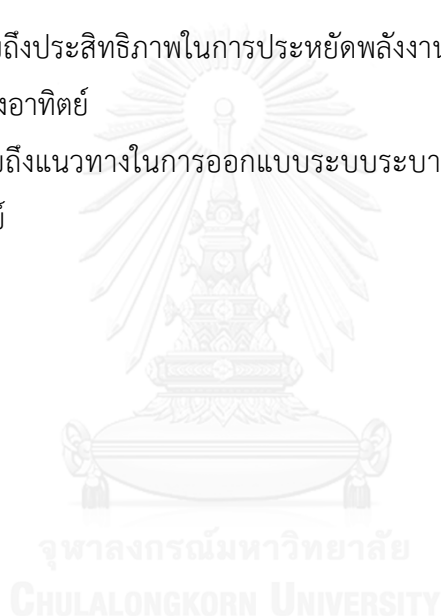
1.5.3 การทำการวิจัยโดยเปรียบเทียบระหว่างห้องน้ำที่ใช้ระบบพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ ระบบพัดลมระบายอากาศแบบใช้ไฟฟ้า และแบบที่ไม่มีระบบพัดลมระบายอากาศ

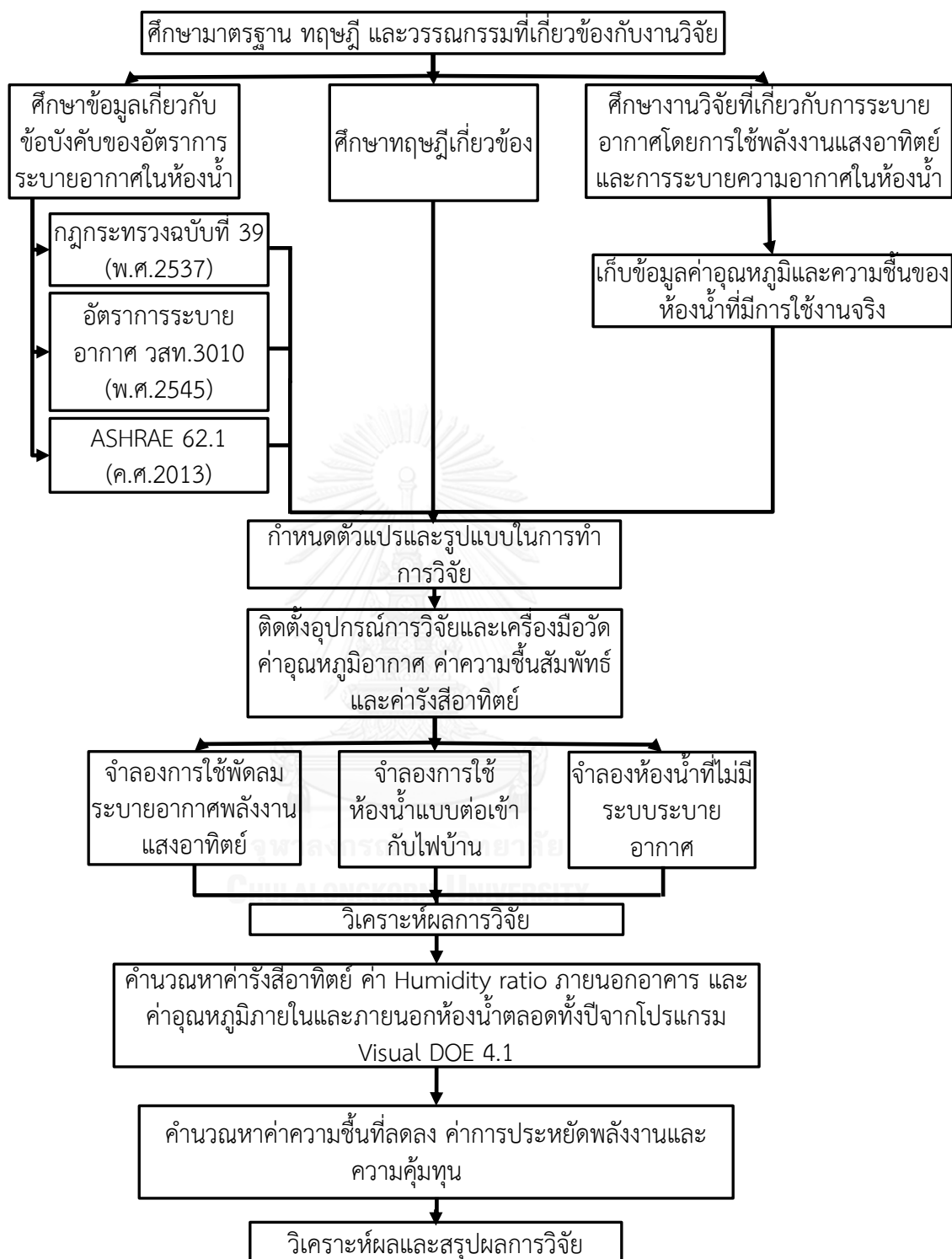
### 1.5.4 วิเคราะห์ผลการวิจัย

- 1.5.5 คำนวณหาค่ารังสีอาทิตย์ ค่า Humidity ratio ภายนอกอาคาร และค่าอุณหภูมิภายในและภายนอกห้องน้ำตลอดทั้งปีจากโปรแกรม Visual DOE 4.1
- 1.5.6 คำนวณหาค่าความชื้นที่ลดลง ค่าการประหยัดพลังงานและความคุ้มทุน
- 1.5.7 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

## 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.6.1 ได้ทราบถึงค่าความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ที่มีผลต่ออัตราการระบายอากาศในการช่วยลดความชื้นในห้องน้ำ
- 1.6.2 ได้ทราบถึงประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานและความคุ้มทุนของการใช้พัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์
- 1.6.3 ได้ทราบถึงแนวทางในการออกแบบระบบระบายอากาศของห้องน้ำที่ไม่มีช่องเปิดโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์





แผนภูมิที่ 1 ขั้นตอนการศึกษา

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงทดลองเพื่อศึกษาประสิทธิภาพการระบายอากาศในห้องน้ำของอาคารที่พักอาศัยโดยการใช้พัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ การศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยจึงได้ศึกษาในเรื่องดังต่อไปนี้

- 2.1 ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับการระบายอากาศ และพัดลมระบายอากาศ
- 2.2 ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับข้อบังคับของอัตราการระบายอากาศในห้องน้ำ
- 2.3 ศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับการใช้พลังงานแสงอาทิตย์และเซลล์แสงอาทิตย์
- 2.4 ศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับแผนภูมิไซโครเมตริก
- 2.5 ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับการระบายอากาศ และพัดลมระบายอากาศ

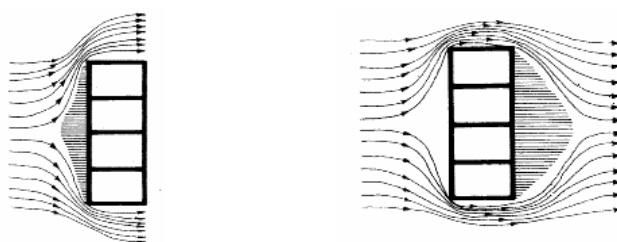
##### 2.1.1 การระบายอากาศ

ระบบระบายอากาศ (Ventilation) คือ การจัดระบบการถ่ายเทอากาศจากภายนอกอาคารเข้ามาภายในอาคาร ส่วนการระบายอากาศ (Ventilation Air) คือ ระบบการระบายอากาศที่ทำให้อากาศในระดับที่เป็นที่ยอมรับตามคุณภาพอากาศภายใน (Indoor Air Quality : IAQ) การระบายอากาศเป็นสิ่งจำเป็นที่จะต้องมีการออกแบบโดยมีวัตถุประสงค์ต่างๆ เช่น เพื่อให้มีการผลัดเปลี่ยนอากาศ ลดความชื้นของกลิ่นหรือขจัดให้หมดไป ทำให้ความชื้นที่พื้นผิวระเหยง่ายขึ้น ลดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ และลดมลสารพิษที่มากับอากาศ เป็นต้น (วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, 2559) โดยวิธีการระบายอากาศนั้น ทำได้ 2 วิธี คือ

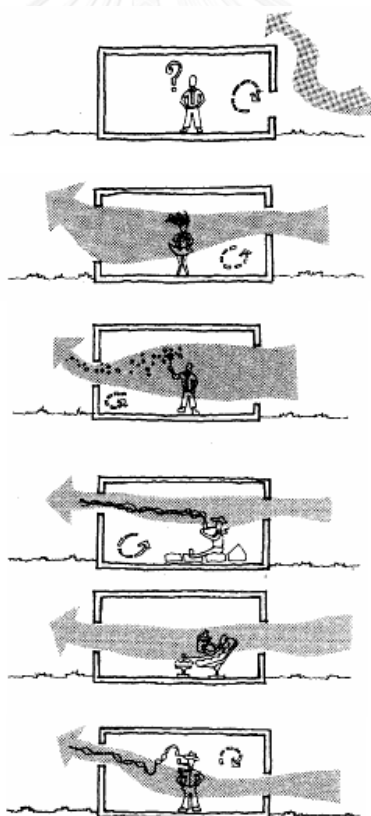
##### 2.1.1.1 การระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติ

การที่จะสามารถให้การระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติได้นั้น ห้องหรือบริเวณที่ต้องการระบายอากาศจะต้องมีผนังอย่างน้อยหนึ่งด้านติดกับด้านนอกโดยตรง จึงจะทำให้มีช่องเปิดสู่ภายนอกได้ เช่น ประตู หน้าต่าง ช่องบานเกล็ด และผนังอิฐโปร่ง เป็นต้น (กัลป์ จิตรมั่นคง, 2552) ซึ่งจะต้องเปิดให้อากาศผ่านในขณะที่ใช้สอยพื้นที่นั้นๆ ต้องมีพื้นที่ลมผ่านสุทธิไม่น้อยกว่าร้อยละ 10 เมื่อเทียบกับพื้นที่ของห้อง การระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติเกี่ยวข้องโดยตรงกับช่องเปิดของอาคาร และ

กระแสลม เมื่อลมพัดผ่านอาคาร ผนังอาคารด้านที่มีการปะทะลมโดยตรงจะเกิดความกดอากาศสูง ส่วนด้านหลังที่ลมพัดผ่านของอาคารจะเกิดความกดอากาศต่ำ การออกแบบจึงต้องคำนึงถึงการทำให้ บริเวณที่มีความกดอากาศสูง และความกดอากาศต่ำมีความต่อเนื่องกัน เพื่อให้เกิดการถ่ายเทของ อากาศ และจะต้องมีช่องเปิดเข้าด้านทางความกดอากาศสูง และมีช่องเปิดออกทางด้านความกด อากาศต่ำ (ตริงใจ บูรณสมภพ, 2539)



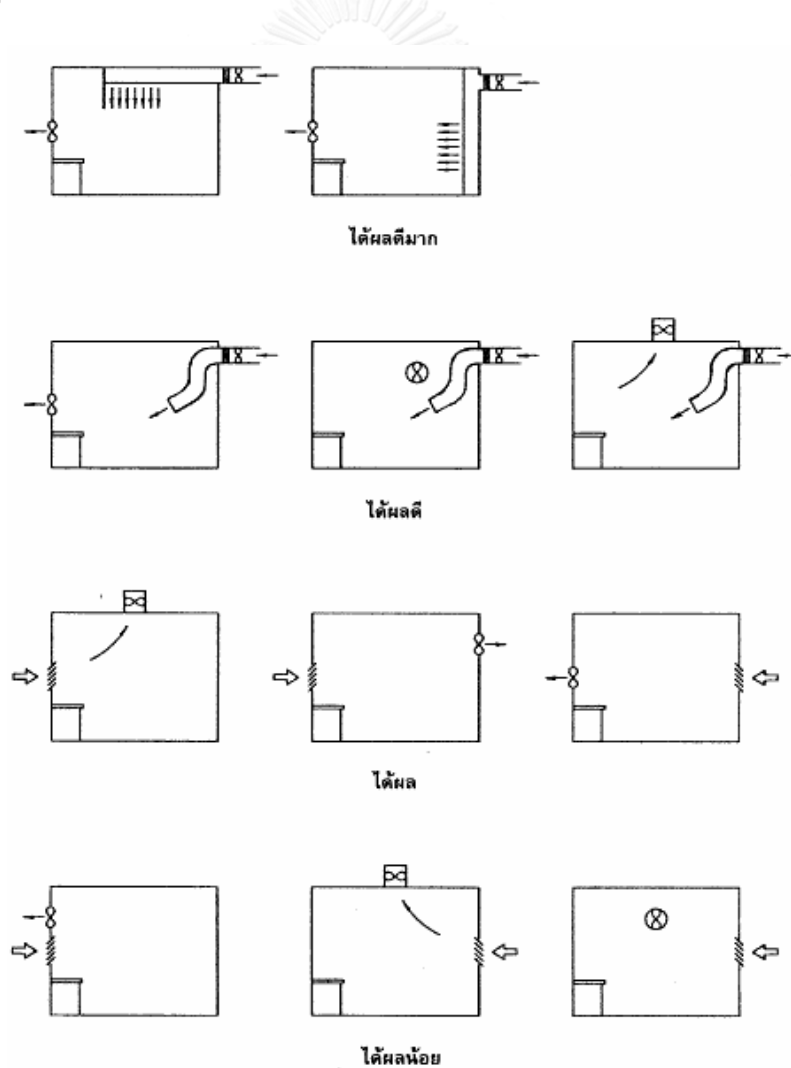
ภาพที่ 1 บริเวณความกดอากาศสูงและบริเวณความกดอากาศต่ำ (ตริงใจ บูรณสมภพ, 2539)



ภาพที่ 2 ผลของช่องเปิดกับไหลผ่านของอากาศภายในห้อง (ตริงใจ บูรณสมภพ, 2539)

### 2.1.1.2 การระบายอากาศโดยวิธีกล

การระบายอากาศโดยวิธีกลสามารถใช้กับพื้นที่ใดก็ได้ โดยต้องมีอุปกรณ์ที่ช่วยในการขับเคลื่อนอากาศ เพื่อให้เกิดการนำอากาศจากภายนอกเข้าสู่ภายในห้อง หรือการนำอากาศจากภายในห้องออกสู่ภายนอก และต้องมีอัตราการระบายอากาศไม่น้อยกว่าข้อกำหนดที่ระบุไว้ในกฎกระทรวงฯ ที่ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร โดยตำแหน่งของช่องเปิดหรือตำแหน่งที่ติดตั้งพัดลมที่ใช้ในการระบายอากาศจะมีผลต่อประสิทธิภาพการระบายอากาศ โดยจากภาพที่ 3 จะเห็นได้ว่าห้องที่มีการติดตั้งพัดลมที่ช่องนำอากาศเข้าและนำอากาศออกจะมีประสิทธิภาพการระบายอากาศดีกว่าการติดตั้งพัดลมที่ช่องนำอากาศเข้าหรือออกเพียงอย่างเดียวใดอย่างหนึ่ง และตำแหน่งของช่องนำอากาศเข้าและออกไม่ควรอยู่ใกล้กันมากเกินไป เพราะจะทำให้อากาศถ่ายเทได้ไม่ทั่วถึงทั้งห้อง



ภาพที่ 3 ตำแหน่งช่องเปิด และอุปกรณ์ระบายอากาศที่มีผลต่อประสิทธิภาพการระบายอากาศ

(สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย, 2540)



### 2.1.2 พัดลมระบายอากาศ

พัดลมเป็นส่วนประกอบที่สำคัญอีกส่วนหนึ่งของระบบระบายอากาศโดยวิธีกล หากพัดลมที่ติดตั้งในระบบระบายอากาศมีขนาดเล็กเกินไปจะทำให้มีประสิทธิภาพในการระบายอากาศได้ไม่เพียงพอ ในขณะที่เดียวกัน หากใช้พัดลมที่มีขนาดใหญ่เกินไปความจำเป็นจะทำให้สิ้นเปลืองทั้งค่าพัดลมและค่าพลังงานในการทำงานของพัดลมโดยเปล่าประโยชน์ โดยทั่วไปพัดลมที่ถูกผลิตขึ้นเพื่อการค้าในปัจจุบันสามารถปรับความเร็วรอบเพื่อให้ได้อัตราการระบายอากาศที่เหมาะสมได้ เพื่อความสะดวกเมื่อต้องการเปลี่ยนแปลงอัตราการระบายอากาศ และช่วยลดความผิดพลาดในการเลือกพัดลม การปรับรอบความเร็วให้เหมาะสมย่อมทำได้ง่ายและสิ้นเปลืองน้อยกว่าการเปลี่ยนพัดลมใหม่ อย่างไรก็ตามเนื่องจากความเร็วรอบของพัดลมสัมพันธ์กับอัตราการระบายอากาศ และสัมพันธ์กับพลังงานที่ใช้ด้วย ดังนั้นเมื่อเพิ่มความเร็วรอบ อัตราการระบายอากาศ และพลังงานที่ใช้ย่อมเพิ่มตามไปด้วย (วันทนี พันธุ์ประสิทธิ์, 2552) โดยที่แหล่งพลังงานไฟฟ้าของพัดลมระบายอากาศ ได้แก่ ไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating Current : AC) และไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current : DC)

ในปัจจุบันพัดลมระบายอากาศที่ใช้งานในอาคารพักอาศัยสามารถแบ่งได้เป็น 5 ประเภท ดังนี้

1. พัดลมระบายอากาศแบบติดผนังแบบไม่มีหน้ากาก
2. พัดลมระบายอากาศแบบติดผนังแบบมีหน้ากาก
2. พัดลมระบายอากาศแบบติดกระจก
3. พัดลมระบายอากาศแบบฝังฝ้าไม่ต่อท่อระบายอากาศ
4. พัดลมระบายอากาศแบบต่อท่อฝังฝ้า



ภาพที่ 4 ชนิดของพัดลมระบายอากาศ แบบติดผนังแบบไม่มีหน้ากาก (ซ้าย) แบบติดผนังแบบมีหน้ากาก (กลาง) แบบติดกระจก (ขวา) (มิตชูบิชิ, 2556)



ภาพที่ 5 ชนิดของพัดลมระบายอากาศ แบบฝังฝ้าไม่ต่อท่อระบายอากาศ (ซ้าย) แบบต่อท่อฝังฝ้า (ขวา) (मितซูบิชิ, 2556)

## 2.2 ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับข้อบังคับของอัตราการระบายอากาศในห้องน้ำ

### 2.2.1 กฎกระทรวงฉบับที่ 39 (2537)

ตารางที่ 1 อัตราการระบายอากาศโดยวิธีกล (กฎกระทรวงฉบับที่ 39, 2537)

ลำดับ	สถานที่ (ประเภทการใช้)	อัตราการระบายอากาศ ไม่น้อยกว่าจำนวนเท่าของปริมาตรของห้องใน 1 ชั่วโมง
1	ห้องน้ำ ห้องส้วมของที่พักอาศัยหรือสำนักงาน	2
2	ห้องน้ำ ห้องส้วมของอาคารสาธารณะ	4
3	ที่จอดรถที่อยู่ต่ำกว่าระดับพื้นดิน	4
4	โรงงาน	4
5	โรงมหรสพ	4
6	อาคารพาณิชย์	4
7	ห้างสรรพสินค้า	4
8	สถานที่จำหน่ายอาหารและเครื่องดื่ม	7
9	สำนักงาน	7
10	ห้องพักในโรงแรมหรืออาคารชุด	7
11	ห้องครัวของที่พักอาศัย	12
12	ห้องครัวของสถานที่จำหน่ายอาหารและเครื่องดื่ม	24

กฎกระทรวงฉบับที่ 39 (2537) กำหนดให้ห้องน้ำในที่พักอาศัยต้องมีอัตราการระบายอากาศไม่น้อยกว่า 2 ACH

## 2.2.2 อัตราการระบายอากาศ วสท. 3010 (2545)

ตารางที่ 2 ความต้องการอากาศภายนอกสำหรับระบายอากาศ (วสท.3010, 2545)

ประเภท	จำนวนคน สูงสุด	ความต้องการอากาศภายนอก				ข้อแนะนำ
	คน ต่อ 1000 ตร.ฟุต หรือ 100 ตร.ม.	ลบ.ฟุต ต่อ นาที ต่อ คน	ลิตร ต่อ วินาที ต่อ คน	ลบ.ฟุต ต่อ นาที ต่อ ตร.ฟุต	ลิตร ต่อวินาที ต่อ ตร.ม.	
โรงรถ, โรงซ่อม, สถานีบริการ - สถานที่จอดรถที่มีติดชิด - ห้องซ่อมอัดโนมิตี				1.50 1.50	7.5 7.5	ควรพิจารณาถึงการกระจายท่ามกลางประชาชน สถานที่คนปฏิบัติงานปริมาณเครื่องจักร ตำแหน่งเครื่องจักรทำงานควรมีระบบระบายอากาศเสียจากเครื่องจักรไว้ โดยใช้ Contaminant Sensor ในการควบคุมการระบายอากาศ
โรงแรม, โมเต็ล, รีสอร์ท, หอพัก - ห้องนอน				ปริมาณต่อห้อง		ปริมาณต่อห้องใช้ไม่พร้อมกัน
- ห้องนั่งเล่น				30	15	
- ห้องอาบน้ำ				35	18	
- ห้องรับรอง	30	15	8			ให้ดูที่หมวดอาหารการบริการ
- ห้องประชุม	50	20	10			เครื่องดื่ม ร้านตัดผมและร้านเสริมสวย
- ห้องรวมพล	120	15	8			โรงรถ
- พื้นที่สำหรับนอนของหอพัก	20	15	8			

อัตราการระบายอากาศ วสท. 3010 (2545) กำหนดให้ห้องอาบน้ำในอาคารประเภท โรงแรม โมเต็ล รีสอร์ท และหอพัก ต้องมีอัตราการระบายอากาศไม่น้อยกว่า 35 CFM หรือ 18 l/s ต่อห้อง

## 2.2.3 ASHRAE 62.1 (2013)

ตารางที่ 3 อัตราการระบายอากาศขั้นต่ำ (ASHRAE 62.1, 2013)

Occupancy Category	Exhaust Rate, cfm/unit	Exhaust Rate, cfm/ft <sup>2</sup>	Notes	Exhaust Rate, L/s-unit	Exhaust Rate, L/s-m <sup>2</sup>	Air Class
Arenas	—	0.50	B	—	—	1
Art classrooms	—	0.70		—	3.5	2
Auto repair rooms	—	1.50	A	—	7.5	2
Barber shops	—	0.50		—	2.5	2
Beauty and nail salons	—	0.60		—	3.0	2
Cells with toilet	—	1.00		—	5.0	2
Copy, printing rooms	—	0.50		—	2.5	2
Darkrooms	—	1.00		—	5.0	2
Educational science laboratories	—	1.00		—	5.0	2
Janitor closets, trash rooms, recycling	—	1.00		—	5.0	3
Kitchenettes	—	0.30		—	1.5	2
Kitchens—commercial	—	0.70		—	3.5	2
Locker/dressing rooms	—	0.25		—	1.25	2
Locker rooms	—	0.50		—	2.5	2
Paint spray booths	—	—	F	—	—	4
Parking garages	—	0.75	C	—	3.7	2
Pet shops (animal areas)	—	0.90		—	4.5	2
Refrigerating machinery rooms	—	—	F	—	—	3
Residential kitchens	50/100	—	G	25/50	—	2
Soiled laundry storage rooms	—	1.00	F	—	5.0	3
Storage rooms, chemical	—	1.50	F	—	7.5	4
Toilets—private	25/50	—	E, H	12.5/25	—	2
Toilets—public	50/70	—	D, H	25/35	—	2
Woodwork shop/classrooms	—	0.50		—	2.5	2

## NOTES:

A Stands where engines are run shall have exhaust systems that directly connect to the engine exhaust and prevent escape of fumes.

B When combustion equipment is intended to be used on the playing surface additional dilution ventilation and/or source control shall be provided.

C Exhaust not required if two or more sides comprise walls that are at least 50% open to the outside.

D Rate is per water closet and/or urinal. Provide the higher rate where periods of heavy use are expected to occur, e.g., toilets in theatres, schools, and sports facilities. The lower rate may be used otherwise.

E Rate is for a toilet room intended to be occupied by one person at a time. For continuous system operation during normal hours of use, the lower rate may be used. Otherwise use the higher rate.

F See other applicable standards for exhaust rate.

G For continuous system operation, the lower rate may be used. Otherwise use the higher rate.

H Exhaust air that has been cleaned to meet Class 1 criteria from Section 5.16.1 shall be permitted to be recirculated.

ASHRAE 62.1 (2013) กำหนดให้ห้องน้ำในส่วนตัว ต้องมีอัตราการระบายอากาศไม่น้อยกว่า 25 CFM หรือ 50 CFM ต่อห้อง โดยมีเงื่อนไขสำหรับการใช้งาน 1 คน ต่อการงานในห้องน้ำ 1 ครั้ง และหากมีการเปิดใช้งานพัดลมระบายอากาศยาวนานเป็นเวลาต่อเนื่องอาจสามารถใช้อัตราการระบายอากาศที่ต่ำลงได้

ตารางที่ 4 สรุปข้อบังคับของของอัตราการระบายอากาศในห้องน้ำ

standard	กำหนด	หน่วย	ACH	f3/m	m3/h
กฎกระทรวง39	2	ACH	2.00	9.36	15.90
วสท.3010	35	f3/m	7.48	35.00	59.47
วสท.3010	18	l/s	8.15	38.14	64.80
ASHRAE62.1	25	f3/m	5.34	25.00	42.48
ASHRAE62.1	50	f3/m	10.69	50.00	84.95

ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้กฎอัตราการระบายอากาศโดยวิธีกลตามข้อกำหนดของกฎกระทรวงฉบับที่ 39 เป็นหลัก เนื่องจากเป็นข้อบังคับขั้นต่ำที่จำเป็นจะต้องทำตามสำหรับอาคารในประเทศไทย

## 2.3 ศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับการใช้พลังงานแสงอาทิตย์และเซลล์แสงอาทิตย์

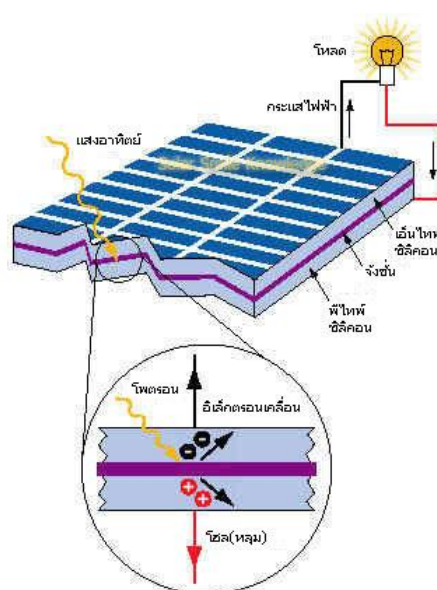
### 2.3.1 พลังงานแสงอาทิตย์

พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานที่ได้มาจากดวงอาทิตย์ เป็นพลังงานทดแทนประเภทหมุนเวียนที่ใช้แล้วเกิดขึ้นใหม่ได้ตามธรรมชาติ เป็นพลังงานสะอาด ปราศจากมลพิษ และเป็นพลังงานที่มีศักยภาพสูง โดยพลังงานที่สำคัญที่โลกได้รับมาจากแสงอาทิตย์โดยตรงได้แก่ พลังงานความร้อน และพลังงานแสงสว่าง ตั้งแต่ในสมัยโบราณมนุษย์ได้มีการใช้ประโยชน์จากพลังงานแสงอาทิตย์ เช่น การตาก หรืออบสินค้าเกษตร การทำให้น้ำอุ่น เป็นต้น ต่อมาในยุคปัจจุบันได้มีการศึกษาวิจัยเพื่อที่จะพัฒนาเอาพลังงานแสงอาทิตย์มาทำให้เกิดกระแสไฟฟ้า โดยการสร้างแผงสำหรับความร้อนหรือเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า หรือที่เรียกว่า เซลล์แสงอาทิตย์ (ฟิลิสิกส์ราชชมงคล, 2554)

### 2.3.2 เซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) เป็นสิ่งประดิษฐ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ ที่สร้างขึ้นเพื่อเป็นอุปกรณ์สำหรับเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยที่เซลล์แสงอาทิตย์จะมีประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าสูงสุดในช่วงเวลากลางวัน (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2550) เซลล์แสงอาทิตย์เป็นการนำสารกึ่งตัวนำ เช่น ซิลิคอน มาผ่านกระบวนการโด๊ป (doped) คือกระบวนการทางเคมีที่เกี่ยวข้องกับอิเล็กตรอน โปรตอน และนิวเคลียส จนได้เป็นเอ็นไทป์ (n-type) และพีไทป์ (p-type) โดยมีส่วนที่เป็นจังก์ชันคั่นอยู่ตรงกลางระหว่างเอ็นไทป์และพีไทป์ ในสภาวะปกติที่เซลล์แสงอาทิตย์ไม่ได้รับแสงอิเล็กตรอนจะไม่มีเคลื่อนไหว แต่หากมีแสงมาตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ จะทำให้

เกิดพลังงานที่ผลึกอิลีكتروนให้สามารถเคลื่อนที่ผ่านชั้นจังก์ชันได้ เมื่อต่อวงจรระหว่างเอ็นไทป์กับพีไทป์เข้าด้วยกันจะทำให้เกิดการไหลของอิลีكتروน หรือเรียกว่า กระแสไฟฟ้า ซึ่งสามารถนำไปจ่ายให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าได้โดยตรง หรือเก็บกระแสไฟฟ้าในแบตเตอรี่เพื่อสะสมพลังงานไฟฟ้าไว้ได้ ในปัจจุบันเซลล์แสงอาทิตย์จะมีค่าประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าประมาณ 15-20% โดยอาจมีเซลล์แสงอาทิตย์บางชนิดที่สามารถมีค่าประสิทธิภาพที่สูงกว่าได้ แต่ราคาย่อมสูงขึ้นตาม (โซลาร์สไมล์โนวเลจ, 2556)



ภาพที่ 6 การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ (โซลาร์สไมล์โนวเลจ, 2556)

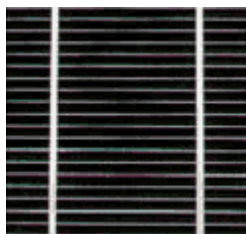
### 2.3.2.1 ประเภทของเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ที่นิยมใช้กันอยู่ในปัจจุบันจะแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ

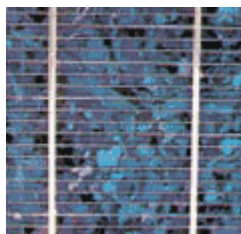
1. กลุ่มเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิคอน แบ่งตามลักษณะของผลึก ได้แก่ แบบที่เป็นรูปผลึก (Crystal) และแบบที่ไม่เป็นรูปผลึก (Amorphous) ซึ่งบางครั้งอาจเรียกว่า เซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มบาง (Thin Film Solar Cell) โดยที่เซลล์แสงอาทิตย์แบบที่เป็นรูปผลึกจะแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ชนิดผลึกเดี่ยว (Crystalline) และชนิดผลึกรวม (Polycrystalline)

2. กลุ่มเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารประกอบ เช่น สารประกอบแกเลียมอาเซไนด์ แคดเมียมเทลลูไรด์ คอปเปอร์ อินเดียมไดอาเซไนด์ เป็นต้น มีทั้งแบบผลึกเดี่ยว และผลึกรวม เซลล์แสงอาทิตย์ประเภทนี้จะมีประสิทธิภาพสูงถึง 25% ขึ้นไป ข้อเสียคือ มีราคาสูง บางชนิดทำจากสารที่

เป็นพิษต่อสภาวะแวดล้อม และยังมีปัญหาเรื่องอายุการใช้งาน มักมีการใช้งานสำหรับดาวเทียม และระบบรวมแสง (ฟิลิกส์ราชวมงคล, 2554)



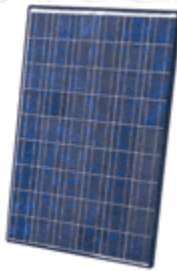
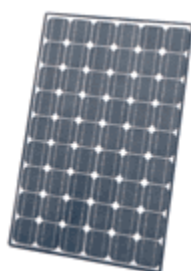
แบบผลึกเดี่ยว  
( Single Crystal )



แบบผลึกรวม  
( Poly Crystal )



แบบอะมอร์ฟัส  
( Amorphous )



ภาพที่ 7 ลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์ในกลุ่มที่ทำจากสารกึ่งตัวนำประเภทซิลิคอน (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2550)

### 2.3.2.2 คุณสมบัติและตัวแปรที่สำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์

ตัวแปรสำคัญที่ทำให้เซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพในการทำงานแตกต่างกันในและพื้นที่คือ ความเข้มของแสง และอุณหภูมิ โดยมีรายละเอียดดังนี้

#### 1. ความเข้มของแสง

กระแสไฟ (Current) ที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์จะแปรผันตรงกับค่าความเข้มของแสง หากความเข้มของแสงมีค่าสูงกระแสไฟที่ได้ก็จะสูง ในขณะที่ความเข้มของแสงไม่มีผลกระทบต่อแรงดันไฟฟ้ามากนัก การวัดความเข้มของแสงจะวัดบนพื้นโลกในสภาพอากาศปลอดโปร่ง ไม่มีเมฆหมอก และจะวัดที่ระดับน้ำทะเลในช่วงเวลาที่แสงอาทิตย์ตั้งฉากกับพื้นโลก



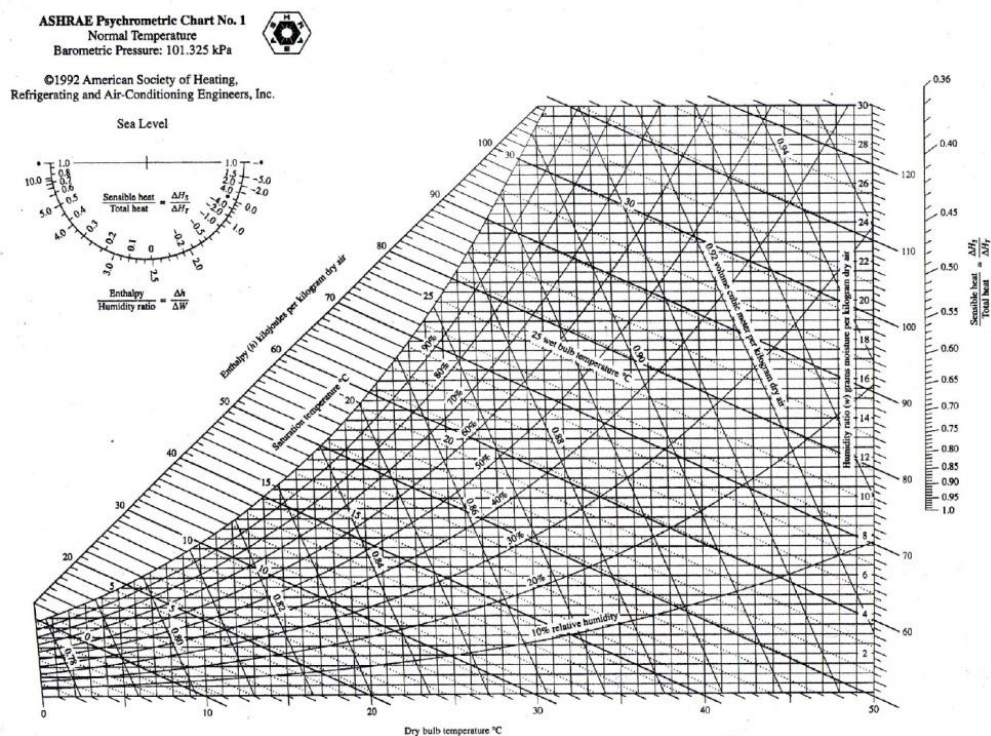
## 2. อุณหภูมิ

อุณหภูมิที่ไม่มีผลกระทบต่อกระแสไฟ ในขณะที่แรงดันไฟฟ้า (Voltage) ของเซลล์แสงอาทิตย์จะแปรผกผันกับอุณหภูมิ หากอุณหภูมิมีค่าสูงแรงดันไฟฟ้าที่ได้ก็จะลดลง โดยเฉลี่ยแล้ว อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นในทุก 1 องศาเซลเซียส จะทำให้แรงดันไฟฟ้าลดลง 0.5% ซึ่งจะมีผลทำให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงแสงอาทิตย์ลดลงด้วย(การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2550)

### 2.4 ศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับแผนภูมิไซโครเมตริก

ไซโครเมตริก (Psychrometric) คือ คุณสมบัติของผสมระหว่างอากาศและไอน้ำ ทั้งภายในและภายนอกห้องปรับอากาศ เนื่องจากอากาศในบรรยากาศจะมีไอน้ำปะปนอยู่ ดังนั้นการศึกษาไซโครเมตริกจึงมีความสำคัญเพื่อใช้ประโยชน์ในการกำหนดสภาพอากาศที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งได้มีการนำมาประยุกต์ใช้ในระบบปรับอากาศ หรือ ระบบระบายอากาศ

แผนภูมิไซโครเมตริก (Psychrometric Chart) คือ แผนภูมิที่บอกถึงรายละเอียดของอากาศที่สถานะต่างๆ การศึกษาและทำความเข้าใจแผนภูมิไซโครเมตริกจะทำให้เข้าใจถึงกระบวนการเปลี่ยนแปลงของสถานะอากาศ โดยที่ในแผนภูมิดังกล่าวจะรวบรวมความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ ของอากาศให้ง่ายต่อการเข้าใจในรายละเอียด



ภาพที่ 8 แผนภูมิไซโครเมตริก (ASHRAE, 1992)



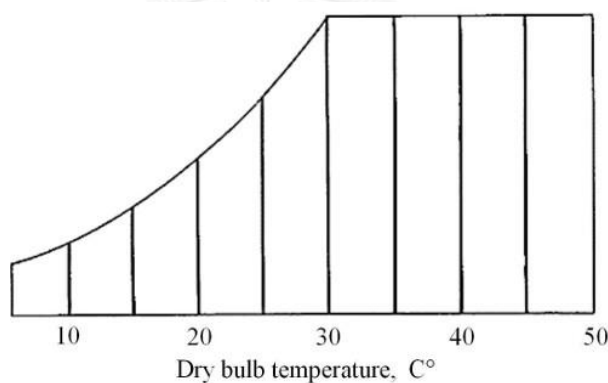
คุณสมบัติต่างๆ ของอากาศที่เกี่ยวข้องกับไซโครเมตริก มีดังนี้

#### 2.4.1 อุณหภูมิ (Temperature)

อุณหภูมิที่เข้าใจได้โดยทั่วไปจะหมายถึงตัวที่บ่งบอกถึงความร้อนและความเย็น แต่นอกจากนี้ อุณหภูมิยังเป็นตัวที่บ่งบอกถึงระดับพลังงานที่มีอยู่ในอากาศ ซึ่งในอากาศที่ร้อนจะมีพลังงานอยู่ในตัวเองมากกว่าในอากาศที่เย็น อุณหภูมิของอากาศแบ่งออกเป็น 3 ชนิด ได้แก่

##### 2.4.1.1 อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dry Bulb Temperature : DB)

เป็นอุณหภูมิที่วัดจากเทอร์โมมิเตอร์ธรรมดา การอ่านค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งในแผนภูมิไซโครเมตริกจะเป็นเส้นตามแนวตั้งอยู่ในแผนภูมิโดยค่าจะเรียงตั้งแต่ซ้ายไปขวามากจากซ้ายมือไปยังขวามือ โดยที่เส้นนี้จะวาดตรงไม่ขนานไปกับเส้นอื่นและเอียงเล็กน้อย

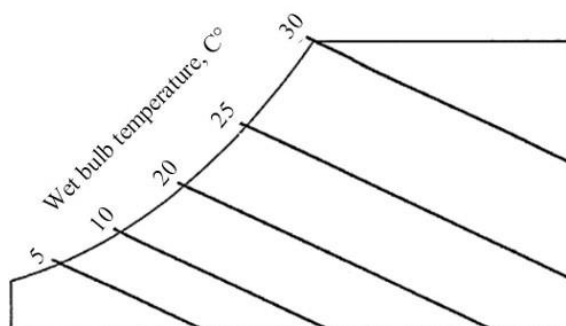


ภาพที่ 9 เส้นอุณหภูมิกระเปาะแห้งบนแผนภูมิไซโครเมตริก (อาจหาญ ณ นรงค์, 2556)

##### 2.4.1.2 อุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet Bulb Temperature : WB)

เป็นอุณหภูมิที่วัดโดยใช้เทอร์โมมิเตอร์เช่นเดียวกับที่วัดแบบกระเปาะแห้ง แต่ที่กระเปาะปลายเทอร์โมมิเตอร์จะนำผ้าชุบน้ำพันกระเปาะเอาไว้ และต้องทำให้ปลายกระเปาะเปียกดังกล่าวเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสักพักแล้วจึงจะอ่านค่าอุณหภูมิ เพื่อดูค่าความชื้นในอากาศ ถ้าค่าความชื้นในอากาศมีน้อยผ้าชุบน้ำที่พันกระเปาะเอาไว้จะระเหยได้ง่าย และจะดูความร้อนรอบๆ ตัวกระเปาะมาทำให้ความชื้นเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอ ดังนั้นจึงทำให้อุณหภูมิที่วัดได้หรืออุณหภูมิกระเปาะเปียกจะต่ำกว่าอุณหภูมิกระเปาะแห้ง แต่หากในอากาศมีความชื้นอยู่มาก ผ้าชุบน้ำที่พันกระเปาะเอาไว้จะระเหยได้ยาก ความร้อนที่ใช้ในการระเหยตัวจะน้อยทำให้ค่าอุณหภูมิที่วัดจะใกล้เคียงกับอุณหภูมิกระเปาะแห้ง และอุณหภูมิกระเปาะแห้งกับกระเปาะเปียกจะเท่ากันที่จุดที่ความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 100% หรือที่เรียกว่า เส้นอากาศอิ่มตัว (Saturated Temperature) การ

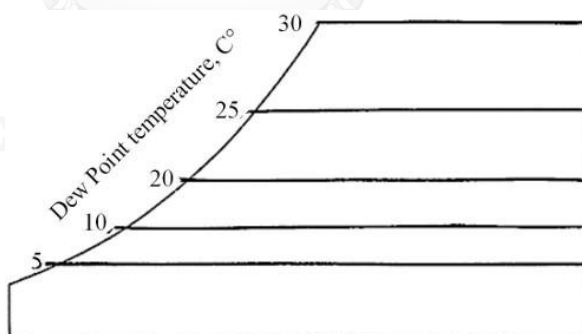
อ่านค่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกในแผนภูมิไซโครเมตริกจะเป็นเส้นเอียงทแยง และค่าจะเพิ่มขึ้นจากน้อยไปมากจากด้านซ้ายไปยังด้านขวา



ภาพที่ 10 เส้นอุณหภูมิกระเปาะเปียกบนแผนภูมิไซโครเมตริก (อ้างอิง ณ นรงค์, 2556)

#### 2.4.1.3 อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dew Point temperature : DP)

เป็นอุณหภูมิที่ไอน้ำในอากาศเริ่มกลั่นตัวเป็นหยดน้ำเมื่ออากาศถูกลดอุณหภูมิที่ความดันคงที่ หรืออุณหภูมิอิ่มตัวของไอน้ำเมื่อเปรียบเทียบกับความดันของน้ำ การอ่านค่าอุณหภูมิหยดน้ำค้างของอากาศในแผนภูมิไซโครเมตริกจะเป็นเส้นจากจุดนั้นขนานไปกับเส้นปริมาตรจำเพาะไปทางขวามือไปชนกับเส้นอากาศอิ่มตัว



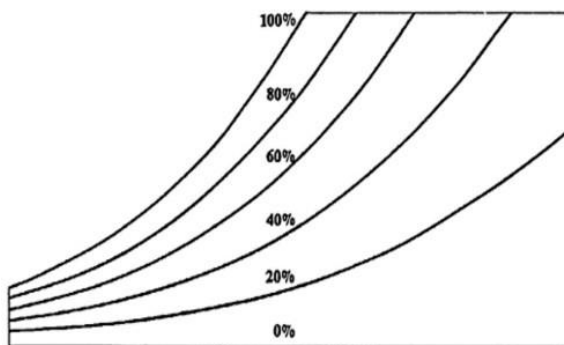
ภาพที่ 11 เส้นอุณหภูมิจุดน้ำค้างบนแผนภูมิไซโครเมตริก (อ้างอิง ณ นรงค์, 2556)

#### 2.4.2 ความชื้นในอากาศ (Humidity)

ความชื้นคือ อัตราส่วนของไอน้ำที่ปะปนอยู่ในอากาศ ซึ่งหากปริมาณไอน้ำมีมากจนถึงจุดหนึ่งที่อากาศไม่สามารถรองรับปริมาณไอน้ำดังกล่าวเพิ่มได้จนทำให้ไอน้ำส่วนที่เกินเกิดการกลั่นตัวเป็นหยดน้ำ จะเรียกว่า จุดอิ่มตัวของไอน้ำในอากาศ หรืออากาศอิ่มตัว (Saturated Air) ซึ่งคือเส้นที่ความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 100%

### 2.4.2.1 ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity : RH)

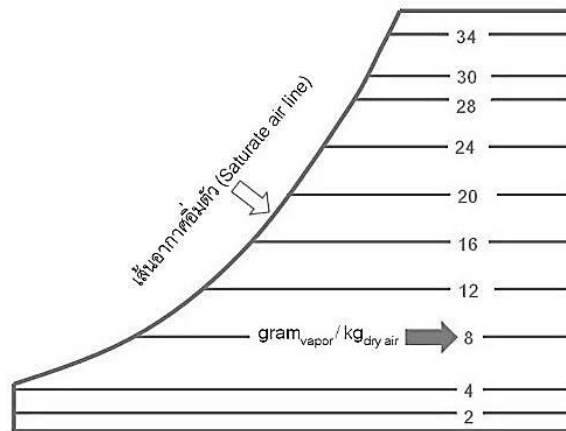
เป็นอัตราส่วนระหว่างปริมาณมวลของไอน้ำในอากาศต่อปริมาณมวลของไอน้ำในอากาศที่อยู่สภาวะอิ่มตัวที่อุณหภูมิเท่ากัน โดยปริมาณมวลของไอน้ำสูงสุดที่อากาศจะสามารถรับไว้ได้จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิอากาศ ยิ่งอากาศมีอุณหภูมิสูงก็จะยิ่งสามารถรับปริมาณมวลของไอน้ำไว้ได้มาก การอ่านค่าความชื้นสัมพัทธ์ในแผนภูมิไซโครเมตริกจะเป็นเส้นโค้งดังภาพที่ 12 โดยเส้นแรกทางซ้ายที่อยู่ด้านนอกสุดคือเส้นอากาศอิ่มตัว (Saturated Air Line) จะมีค่าความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 100% ถัดมาทางด้านขวา ค่าความชื้นสัมพัทธ์จะลดลงเรื่อยๆ จากแผนภูมิไซโครเมตริกจะเห็นว่า อากาศที่มีปริมาณความชื้นอยู่เท่ากันแต่หากอุณหภูมิต่ำกว่าค่าความชื้นสัมพัทธ์จะสูงกว่า



ภาพที่ 12 เส้นความชื้นสัมพัทธ์บนแผนภูมิไซโครเมตริก (อ้างอิง ณ นรงค์, 2556)

### 2.4.2.2 อัตราส่วนความชื้น (Humidity Ratio : W)

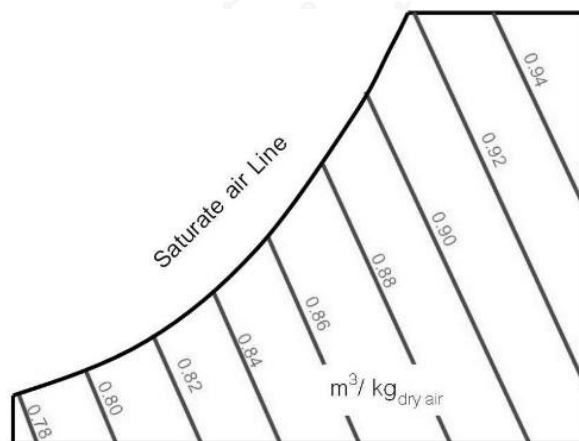
เป็นอัตราส่วนระหว่างมวลของไอน้ำในอากาศ กับมวลของอากาศแห้ง เรียกอีกอย่างหนึ่งว่าค่าความชื้นจำเพาะ (Specific Humidity) การอ่านค่าความชื้นสัมพัทธ์ในแผนภูมิไซโครเมตริกจะเป็นเส้นแนวนอนบนแผนภูมิ โดยเส้นที่อยู่ด้านล่างค่าอัตราส่วนความชื้นจะยิ่งต่ำ เส้นที่อยู่ด้านบนบนค่าอัตราส่วนความชื้นจะยิ่งสูง



ภาพที่ 13 เส้นอัตราส่วนความชื้นบนแผนภูมิไซโครเมตริก (อาจหาญ ณ นรงค์, 2556)

#### 2.4.3 ปริมาตรจำเพาะของอากาศ (Specific Volume, Submit)

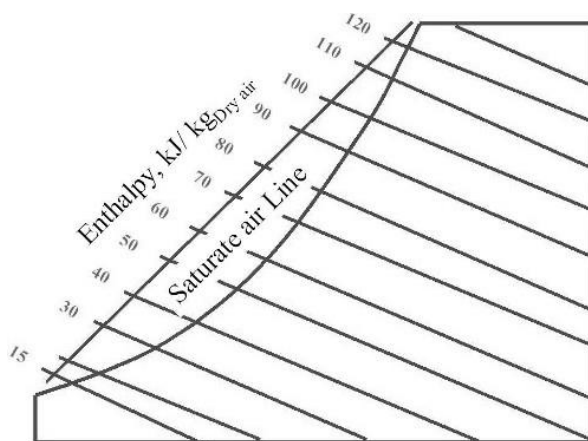
เป็นอัตราส่วนระหว่างปริมาตร (Volume) ต่อมวล (Mass) ของอากาศ มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัม ( $\text{m}^3/\text{kg}$ ) ในระบบ SI ที่ความดันคงที่ อุณหภูมิอากาศต่ำอากาศจะมีปริมาตรจำเพาะน้อย น้ำหนักอากาศต่อหน่วยปริมาตรจะมาก อุณหภูมิอากาศสูงอากาศจะขยายตัวทำให้ปริมาตรจำเพาะของอากาศของอากาศมากขึ้น น้ำหนักของอากาศต่อหน่วยปริมาตรจะลดลง การอ่านค่าปริมาตรจำเพาะของอากาศในแผนภูมิไซโครเมตริกจะเป็นเส้นทแยงดังภาพที่ 14 โดยเส้นที่อยู่ด้านซ้ายจะมีค่าปริมาตรจำเพาะน้อย และค่าปริมาตรจำเพาะจะเพิ่มขึ้นเมื่อเส้นถัดไปด้านขวา



ภาพที่ 14 เส้นปริมาตรจำเพาะของอากาศบนแผนภูมิไซโครเมตริก (อาจหาญ ณ นรงค์, 2556)

#### 2.4.4 เอนทัลปีของอากาศ (Enthalpy of air)

เป็นค่าที่บ่งบอกถึงระดับพลังงานภายในบวกกับพลังงานที่มาจากการเปลี่ยนแปลงของควมดันและปริมาตรของของไหลรวมถึงอากาศ การอ่านค่าเอนทัลปีของอากาศในแผนภูมิไซโครเมตริกจะเป็นเส้นทแยงที่อยู่ด้านซ้ายมือหรือด้านหน้าของเส้นอากาศอิ่มตัว โดยที่เส้นนี้จะไม่ขนานกับเส้นอุณหภูมิกระเปาะเปียก การหาค่าเอนทัลปีที่จุดต่างๆ หลังจากเขียนจุดลงบน Psychrometric chart ให้ทำการลากเส้นตรงในแนวระนาบมาตัดกับเส้นอากาศอิ่มตัวทางซ้ายมือและเอาค่าที่จุดตัดนั้นมาดูว่าตรงกับค่าเอนทัลปีเท่าใด

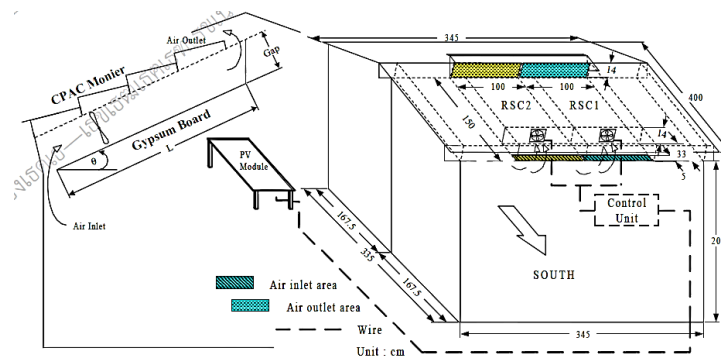


ภาพที่ 15 เส้นเอนทัลปีบนแผนภูมิไซโครเมตริก (อาจหาญ ณ นรงค์, 2556)

## 2.5 ศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้อง

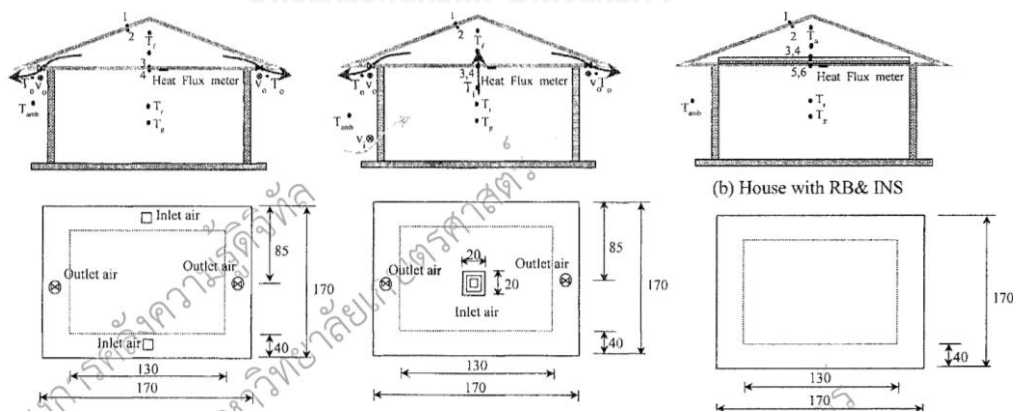
### 2.5.1 งานวิจัยในประเทศ

สพ.รัฐ อิงคะวณิช, จงจิตร ธีรัญญาลภ และ โจเซฟ เคตารี (2543) ได้ทำการวิจัยการออกแบบระบบเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อเพิ่มสมรรถนะของหลังคารับรังสีอาทิตย์ ทดลองโดยการติดตั้งระบบระบายอากาศโดยใช้พลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ภายในช่องว่างของหลังคารับรังสีอาทิตย์ (Roof Solar Collector : RSC) และทดสอบในสภาวะจริงของห้องที่มีการปรับอากาศ ซึ่งผลการทดลองที่ได้คืออุณหภูมิของอากาศภายใต้ RSC มีค่าลดลง และค่าความต่างของอุณหภูมิของแผ่นกระเบื้องหลังคาและอุณหภูมิของฝ้าก็มีค่าลดลงด้วยดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า เมื่อมีการติดตั้งพัดลมระบายอากาศให้กับ RSC จะมีส่วนช่วยในการระบายอากาศให้ดีขึ้น ส่งผลให้อุณหภูมิมีความแตกต่างระหว่างอากาศแวดล้อมและอากาศภายในห้องมีค่าใกล้เคียงกันตลอดทั้งวันจึงเป็นการลดภาระทำความร้อนของเครื่องปรับอากาศลง ดังนั้นระบบนี้จึงสามารถนำมาใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ



ภาพที่ 16 การติดตั้งพัดลมพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อเพิ่มสมรรถนะของหลังคารับรังสีอาทิตย์  
(สหรัฐ อิงคะวนิช, จงจิตร หิรัญลาภ และ โจเซฟ เคดารี, 2543)

วิทยา พวงสมบัติ, โจเซฟ เคดารี และ จงจิตร หิรัญลาภ (2545) ได้ทำการวิจัยการระบายอากาศในห้องใต้หลังคาโดยใช้ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ได้ทดลองโดยการจำลองเปรียบเทียบอุณหภูมิของบ้านที่มีระบบระบายอากาศโดยใช้อากาศจากภายในบ้าน และบ้านที่มีระบบระบายอากาศโดยใช้อากาศภายนอกบ้าน แล้ววัดผล ซึ่งผลที่ได้คือบ้านที่มีระบบระบายอากาศโดยใช้อากาศจากภายในบ้านเข้าไประบายอากาศในห้องใต้หลังคาสามารถลดความร้อนของฝ้าได้ดีกว่าบ้านที่มีระบบระบายอากาศโดยใช้อากาศนอกบ้าน ซึ่งมีค่าเปลี่ยนแปลงตั้งแต่  $2-5 \text{ W/m}^2$  และบ้านที่มีระบบระบายอากาศโดยใช้อากาศจากภายในบ้านจะมีความร้อนไหลผ่านฝ้าเพดานมากกว่าบ้านที่ติดแผ่นสะท้อนความร้อนและฉนวนกันความร้อนเพียงเล็กน้อย โดยมีค่าเปลี่ยนแปลงประมาณ  $2-3 \text{ W/m}^2$  แต่จะช่วยให้อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศภายในบ้านสูงขึ้น ซึ่งมีค่าเปลี่ยนแปลงอยู่ที่  $30-400 \text{ ACH}$



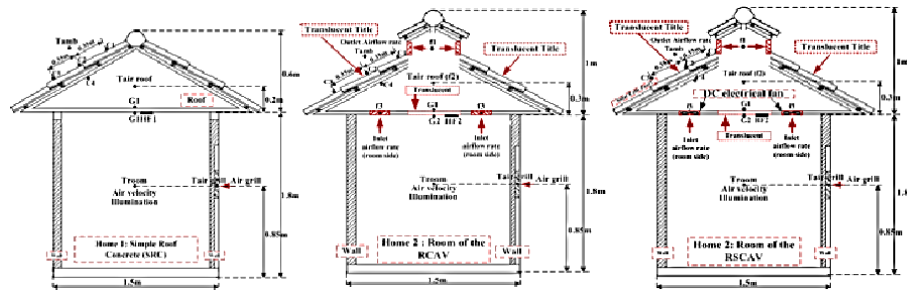
ภาพที่ 17 รูปตัดของบ้านทดสอบทั้ง 3 แบบ บ้านที่มีระบบระบายอากาศโดยใช้อากาศจากภายนอกบ้าน (ซ้าย) บ้านที่มีระบบระบายอากาศโดยใช้อากาศภายในบ้าน (กลาง) และบ้านที่ติดแผ่นสะท้อนความร้อนและฉนวน (ขวา) (วิทยา พวงสมบัติ, โจเซฟ เคดารี และ จงจิตร หิรัญลาภ, 2545)

Janjai, Chaichoet and Intawee (2005) ทำการศึกษาตรวจสอบประสิทธิภาพของเรือนกระจกอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้การจำลองเรือนกระจกและมีการติดตั้งพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์เพื่ออบแห้งกล้วย พบว่าอัตราการระบายอากาศของพัดลมที่ได้อยู่ที่ 1,000-2,500  $m^3/hr$  ซึ่งจะทำงานตั้งแต่ 8:00 – 17:00 น. และยิ่งค่ารังสีดวงอาทิตย์มากค่าอัตราการระบายอากาศจะยิ่งมากตาม โดยที่ 50 กิโลกรัมของกล้วยสดที่มีความชื้นเริ่มต้น 70% สามารถอบแห้งใน 3 วัน ด้วยสภาพอากาศเดียวกันตามธรรมชาติที่จำเป็นต้องใช้เวลา 5 วันในการอบแห้ง อุณหภูมิภายในเรือนกระจกในเวลาเที่ยงวันของวันที่อากาศปลอดโปร่งคือ 60-70 องศาเซลเซียส แสดงให้เห็นว่าระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์นี้สามารถช่วยลดค่าความชื้นได้จริง



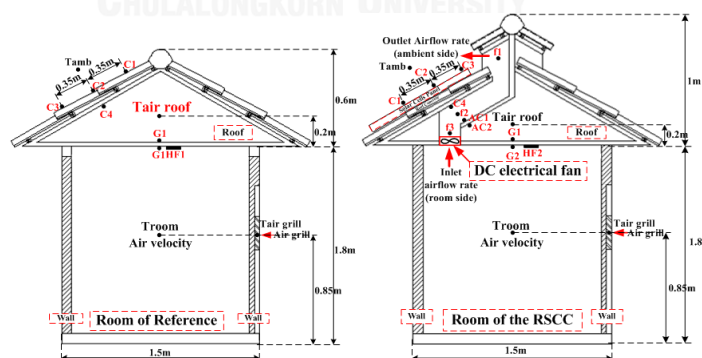
ภาพที่ 18 เรือนกระจกจำลองที่ติดตั้งพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์เพื่ออบแห้งกล้วย (Janjai, Chaichoet and Intawee, 2005)

ปรีดา จันทวงษ์, โจเซฟ เคตารี และ จงจิตร หิรัญลาภ (2555) ทำการศึกษาการระบายอากาศในห้องใต้หลังคาโดยใช้ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ของบ้านจำลองภายใต้สภาวะอากาศของกรุงเทพมหานคร โดยการจำลองเปรียบเทียบการลดภาระความเย็นระหว่างหลังคาคอนกรีตทั่วไป (Simple Roof Concrete : SRC) กับหลังคาระบายอากาศห้องใต้หลังคาแบบธรรมชาติ (Roof Attic Ventilation : RAV) และหลังคาเซลล์แสงอาทิตย์การระบายอากาศในห้องใต้หลังคา (Roof Solar Cells Attic Ventilation : RSCAV) ผลการศึกษาทดลองพบว่าบ้านที่ติดตั้งหลังคา RAV และหลังคา RSCAV มีอุณหภูมิภายในห้องต่ำกว่าบ้านที่ติดตั้งหลังคา SRC ประมาณ 0.5-7°C ทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคาเข้าสู่บ้านจะลดลง ช่วยระบายอากาศภายในห้องให้เกิดการไหลเวียนของอากาศภายในบ้านดีขึ้น



ภาพที่ 19 รูปตัดของบ้านทดสอบทั้ง 3 แบบ หลังคาคอนกรีตทั่วไป (ซ้าย) หลังคาระบายอากาศห้องใต้หลังคาแบบธรรมชาติ (กลาง) และหลังคาเซลล์แสงอาทิตย์การระบายอากาศในห้องใต้หลังคา (ขวา) (ปริดา จันทวงษ์, โจเซฟ เคดารี และ จงจิตร หิริญลภ, 2555)

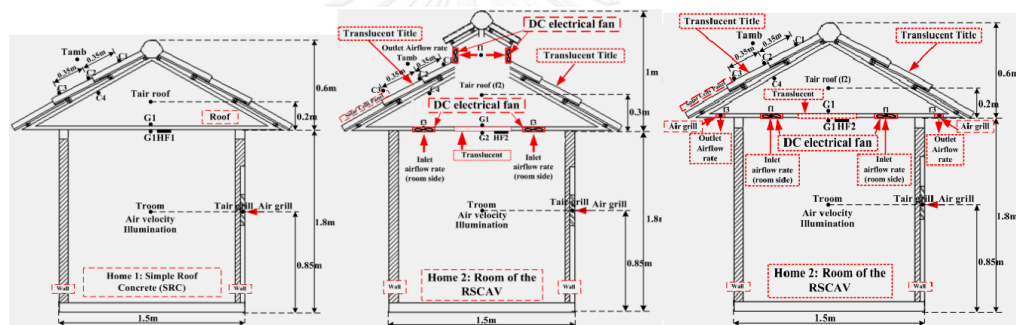
ปริดา จันทวงษ์ (2556) ทำการศึกษาเปรียบเทียบทดสอบระหว่างหลังคาทั่วไปกับปล่องหลังคาเซลล์แสงอาทิตย์ระบายอากาศแบบธรรมชาติร่วมกับพัดลมไฟฟ้ากระแสตรง และวิเคราะห์ต้นทุนวงจรชีวิต ทำการทดลองโดยการจำลองห้อง และทดสอบจริงระหว่างบ้านที่ติดตั้งหลังคาทั่วไปจะเป็นหลังคาแบบปิด และบ้านที่ติดตั้งปล่องหลังคาเซลล์แสงอาทิตย์ระบายอากาศแบบธรรมชาติร่วมกับพัดลมไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งเป็นหลังคาแบบเปิด ผลการวิจัยที่ได้คือ อุณหภูมิภายในและห้องใต้หลังคาของบ้านจำลองและค่าความร้อนไหลผ่านหลังคาของบ้านที่ติดตั้งหลังคาทั่วไป มีค่าสูงกว่าบ้านที่ติดตั้งปล่องหลังคาเซลล์แสงอาทิตย์ และอัตราผลตอบแทนการลงทุนของบ้านที่ติดตั้งปล่องหลังคาเซลล์แสงอาทิตย์มีค่ามากกว่าบ้านที่ติดตั้งหลังคาทั่วไป จึงเป็นการเปลี่ยนแปลงส่งเสริมการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในการอนุรักษ์พลังงาน ช่วยรักษาสิ่งแวดล้อมและคุ้มค่าสำหรับการลงทุน



ภาพที่ 20 รูปตัดของบ้านทดสอบหลังคาทั่วไป (ซ้าย) กับปล่องหลังคาเซลล์แสงอาทิตย์ระบายอากาศแบบธรรมชาติร่วมกับพัดลมไฟฟ้ากระแสตรง (ขวา) (ปริดา จันทวงษ์, 2556)



ปริดา จันทวงษ์ และ บุญชอบ โสตประวัตติ (2556) ทำการวิจัยการศึกษาทดสอบการลดภาระความร้อน และเปรียบเทียบสมรรถนะเชิงความร้อนระหว่างหลังคาคอนกรีตทั่วไปกับหลังคาเซลล์แสงอาทิตย์ระบายอากาศห้องใต้หลังคาพร้อมกับพัดลมไฟฟ้ากระแสตรงทั้งสองแบบ โดยการจำลองเปรียบเทียบบ้านที่ติดตั้งหลังคาคอนกรีตทั่วไป (Simple Roof Concrete : SRC) กับหลังคาเซลล์แสงอาทิตย์ระบายอากาศห้องใต้หลังคาพร้อมกับพัดลมไฟฟ้ากระแสตรงทั้งสองแบบ (Roof Solar Cells Attic Ventilation : RSCAV) คือแบบที่ 1 มีช่องเปิดด้านบนอยู่นอกหลังคา (RSCAV1) และ แบบที่ 2 มีช่องเปิดที่ชายคา (RSCAV2) ผลที่ได้คืออุณหภูมิอากาศ และมวลความชื้นที่สะสมภายในห้องใต้หลังคาของบ้านที่ติดตั้งหลังคา SRC มีค่าสูงกว่าบ้านที่ติดตั้งหลังคา RSCAV1-2 อีกทั้งหลังคา RSCAV1-2 ยังช่วยลดความร้อนผ่านหลังคาเข้าสู่ตัวบ้านได้ดีกว่า หลังคา SRC ประมาณร้อยละ 38.4, 56.45 ตามลำดับ



ภาพที่ 21 รูปตัดของบ้านทดสอบทั้ง 3 แบบ หลังคาคอนกรีตทั่วไป (ซ้าย) หลังคาแบบมีช่องเปิดด้านบนอยู่นอกหลังคา (กลาง) และหลังคามีช่องเปิดที่ชายคา (ขวา) (ปริดา จันทวงษ์ และ บุญชอบ โสตประวัตติ, 2556)

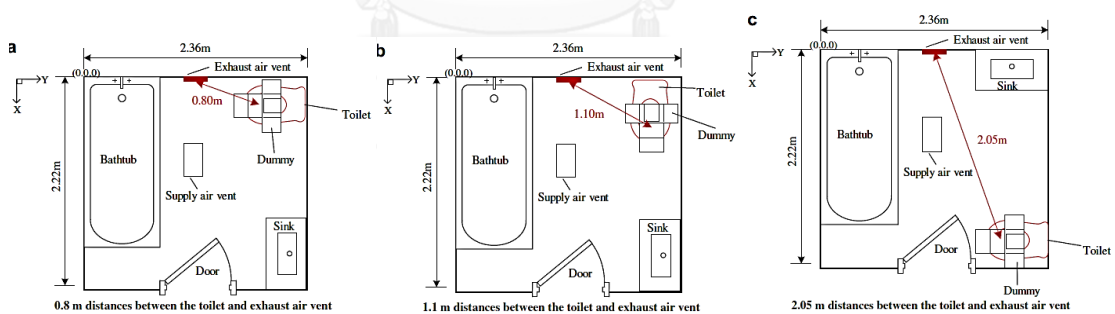
## 2.5.2 งานวิจัยต่างประเทศ

Jie, Hua, Gang et al. (2006) ได้ศึกษาผลของการใช้พัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีต่อการลดลงของอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดสอบ โดยใช้พัดลมระบายอากาศกระแสตรงขนาด 12 โวลต์ 0.45 แอมแปร์ ทำงานโดยอาศัยพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 10 W ผลการศึกษาพบว่า การใช้พัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์สามารถช่วยลดอุณหภูมิภายในห้องทดสอบลงประมาณ 0.50 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 22 ห้องทดลองแบบที่ติดตั้งพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ (ซ้าย) และห้องทดลองที่ไม่ติดตั้ง (ขวา) (Jie, Hua, Gang et al., 2006)

Tung, Hu and Tsai (2009) ได้ทำการศึกษาการประเมินคุณภาพของรูปแบบของการกำจัดกลิ่นในห้องน้ำจากปัจจัยของอัตราการระบายอากาศ และตำแหน่งของโถสุขภัณฑ์โดยการจำลองเปรียบเทียบห้องน้ำที่มีค่า ventilation rates เท่ากับ 6.5, 8.5, 17 และ 24 ACH และเปรียบเทียบการเปลี่ยนตำแหน่งที่ตั้งของโถสุขภัณฑ์ในการกระจายความเข้มข้นของกลิ่น ผลที่ได้พบว่าอัตราการระบายอากาศที่สูงจะช่วยให้การระบายกลิ่นได้ดี ซึ่งการระบายอากาศที่เหมาะสมจะอยู่ที่อัตรา 8.5 ACH และระยะระหว่างโถสุขภัณฑ์และช่องระบายอากาศซึ่งน้อยยิ่งมีประสิทธิภาพในการกำจัดกลิ่น



ภาพที่ 23 ระยะห่างระหว่างโถสุขภัณฑ์และช่องระบายอากาศ (Tung, Hu and Tsai, 2009)

Parker and Sherwin (2000) ได้ทำการวิจัยประเมินประสิทธิภาพของการระบายความร้อนโดยใช้พัดลมระบายอากาศติดหลังคาพลังงานแสงอาทิตย์ โดยการจำลองบ้านที่มีการติดตั้งพัดลมระบายอากาศติดหลังคาพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งผลที่ได้พบว่าหลังจากที่บ้านทดลองติดตั้งพัดลมระบายอากาศติดหลังคาพลังงานแสงอาทิตย์สามารถลดอุณหภูมิช่วงเวลาสูงสุดของวันได้มากกว่า 20 องศาฟาเรนไฮต์



ภาพที่ 24 พัดลมระบายอากาศติดตั้งหลังคาพลังงานแสงอาทิตย์ (Parker and Sherwin, 2000)

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้พัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์พบว่า งานวิจัยที่เกี่ยวข้องส่วนมากศึกษาการติดตั้งพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับระบบ หลังคาระบายความร้อนแบบต่างๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการลดความร้อนให้กับอาคาร ซึ่งผลที่ได้ คือการใช้พัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์มีส่วนช่วยในการระบายอากาศให้ดีขึ้น ส่งผลให้อุณหภูมิมีความแตกต่างระหว่างอากาศแวดล้อม และอากาศภายในห้องมีค่าใกล้เคียงกันตลอดทั้งวัน (สหรัฐ อิงคะวณิช, จงจิตร หิรัญลาภ และ โจเซฟ เคนดารี, 2543) ทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนผ่าน หลังคาเข้าสู่อาคารจะลดลง ช่วยระบายอากาศภายในห้อง เกิดการไหลเวียนของอากาศดีขึ้น (ปรีดา จันทวงษ์, โจเซฟ เคนดารี และ จงจิตร หิรัญลาภ, 2555) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Jie, Hua, Gang et al. (2006) และ Parker and Sherwin (2000) โดยที่ระบบระบายอากาศที่ใช้อากาศจากภายใน อาคารเข้าไปช่วยระบายอากาศในห้องให้หลังคาสามารถลดความร้อนของฝ้าได้ดีกว่าบ้านที่มีระบบ ระบายอากาศที่ไม่ใช้อากาศจากภายในอาคารมาช่วยระบายอากาศ (วิทยา พวงสมบัติ, โจเซฟ เคนดารี และ จงจิตร หิรัญลาภ, 2545) และบ้านที่ติดตั้งหลังคาแบบพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ มีอัตราผลตอบแทนการลงทุนมากกว่าบ้านที่ติดตั้งหลังคาทั่วไปจึงคุ้มค่าสำหรับการลงทุน (ปรีดา จันทวงษ์, 2556)

ด้านงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการใช้พัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ในการลดความชื้น ได้แก่ การนำระบบพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์มาติดตั้งกับเรือนกระจกอบแห้งกล้วย ซึ่ง พบว่ายี่งคาร์บอนไดออกไซด์มากค่าอัตราการระบายอากาศจะยิ่งมากตาม และการใช้ระบบนี้ทำให้ลด ค่าความชื้นทำให้อบแห้งกล้วยได้เร็วขึ้น (Janjai, Chaichoet and Intawee, 2005) ซึ่งสอดคล้องกับ งานวิจัยของ ปรีดา จันทวงษ์ และ บุญชอบ โสตประวัตติ (2556) ที่ว่าความชื้นที่สะสมภายในห้องได้ หลังคาของบ้านที่ติดตั้งหลังคาที่มีการติดตั้งพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ จะมีค่าน้อยกว่า

บ้านที่ติดตั้งหลังคาคอนกรีตทั่วไป และงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการระบายอากาศในห้องน้ำ ได้แก่ งานวิจัยของ Tung, Hu and Tsai (2009) ที่ว่าอัตราการระบายอากาศที่เหมาะสมสำหรับห้องน้ำในอาคารที่พักอาศัยในด้านการกำจัดกลิ่นจะอยู่ที่ 8.5 ACH

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องมักใช้พัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อช่วยระบายอากาศ และมุ่งเน้นที่การลดความร้อนให้กับอาคาร โดยการจำลองห้องแล้ววัดค่าอุณหภูมิ ซึ่งงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการใช้พัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ในการลดความชื้นให้กับอาคารยังมีไม่มากนัก โดยเฉพาะการลดความชื้นในห้องน้ำ ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีความเกี่ยวข้องกับความชื้นโดยตรง จึงควรมีการศึกษาการใช้พัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อช่วยลดความชื้นให้กับห้องน้ำเพิ่มเติม นอกจากนี้ควรมีการศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีอาทิตย์และอัตราการระบายอากาศของพัดลม เนื่องจากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่ายิ่งค่ารังสีดวงอาทิตย์มากค่าอัตราการระบายอากาศจะยิ่งมากตาม (Janjai, Chaichoet and Intawee, 2005) จึงควรศึกษารายละเอียดเพิ่มเติมเพื่อให้สะดวกต่อการนำมาคำนวณในอนาคต ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาด้านการประเมินประสิทธิภาพการลดความชื้น การประหยัดพลังงาน และความคุ้มค่าของการใช้พัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ในห้องน้ำของอาคารที่พักอาศัย โดยใช้ห้องน้ำที่มีการใช้งานจริง ทำการเปรียบเทียบระหว่างห้องน้ำที่ใช้ระบบพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ ระบบพัดลมระบายอากาศแบบใช้ไฟฟ้า และห้องน้ำที่ไม่มีระบบพัดลมระบายอากาศ

### บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงทดลอง เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการระบายอากาศในห้องน้ำของอาคารที่พักอาศัยโดยการใช้พัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ โดยในการวิจัยใช้ห้องน้ำที่มีการใช้งานจริงอยู่ในบ้านเดี่ยวที่จังหวัดปทุมธานีซึ่งเป็นบ้านของผู้วิจัย โดยศึกษาเปรียบเทียบระหว่างห้องน้ำที่ใช้ระบบพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Fan) ห้องน้ำที่ใช้ระบบพัดลมระบายอากาศแบบต่อเข้ากับไฟบ้าน (Electric Fan) และห้องน้ำที่ไม่มีระบบพัดลมระบายอากาศ (No Fan) นำผลที่ได้มาคำนวณหาค่าความชื้นที่ลดลง และค่าการประหยัดพลังงานที่ได้ใน 1 ปี ด้วยโปรแกรม Visual DOE 4.1 และหาจุดคุ้มทุน

#### 3.1 ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

##### 3.1.1 ตัวแปรต้น

###### 3.1.1.1 ค่ารังสีอาทิตย์

###### 3.1.1.2 ระบบพัดลมระบายอากาศ ได้แก่

- ระบบพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์
- ระบบพัดลมระบายอากาศแบบใช้ไฟบ้าน
- แบบที่ไม่มีระบบพัดลมระบายอากาศ

##### 3.1.2 ตัวแปรควบคุม

###### 3.1.2.1 ลักษณะและขนาดของห้องน้ำที่ใช้ในการวิจัย

###### 3.1.2.2 พัดลมระบายอากาศ และเซลล์แสงอาทิตย์

###### 3.1.2.3 จำนวนผู้ใช้งาน และช่วงเวลาการเข้าใช้งานห้องน้ำ

###### 3.1.2.4 สภาพอากาศช่วงเวลาที่ใช้ในการวิจัย

##### 3.1.3 ตัวแปรตาม

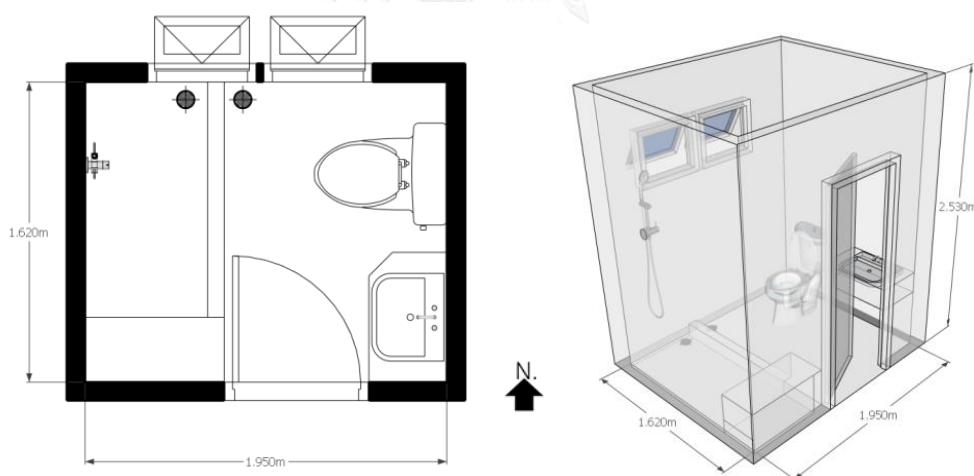
###### 3.1.3.1 อัตราการระบายอากาศของพัดลม

- 3.1.3.2 ผลต่างอัตราส่วนของความชื้น (Humidity ratio) ภายใน-ภายนอกของห้องน้ำที่ใช้ในการทำวิจัย
- 3.1.3.3 ค่าอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลอง
- 3.1.3.4 ค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์ที่ลดลงใน 1 ปี
- 3.1.3.5 ค่าการประหยัดพลังงาน

### 3.2 กำหนดลักษณะของห้องและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำวิจัย

#### 3.2.1 ลักษณะห้องน้ำที่ใช้ในการทำวิจัย

ห้องน้ำที่ใช้ในการวิจัยมีความกว้าง 1.62 เมตร ยาว 1.95 เมตร ความสูงจากพื้นถึงฝ้า 2.53 เมตร มีพื้นที่ 3.16 ตารางเมตรและมีปริมาตร 7.95 ลูกบาศก์เมตร ดังภาพที่ 25 โดยในระหว่างการวิจัยจะทำการปิดหน้าต่างละใช้กระดาษลึงปิดแสงจากหน้าต่าง และปิดประตูห้องน้ำตลอดเวลา เพื่อจำลองห้องน้ำแบบในอาคารคอนโดมิเนียมที่ไม่มีช่องระบายอากาศออกสู่ภายนอกอาคาร



ภาพที่ 25 ผังพื้นแสดงระยะและหน้าต่างของห้องน้ำที่นำมาใช้ในการทำการทำวิจัย

### 3.2.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำการทำวิจัย



ภาพที่ 26 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำการทำวิจัย

พัดลมระบายอากาศที่ใช้ในการทำวิจัยมีต้องอัตราการระบายอากาศขั้นต่ำเป็นไปตามกฎกระทรวงฉบับที่ 39 คือมีค่าอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศต่อชั่วโมง (Air changes per hour : ACH) มากกว่าเท่ากับ 2 ACH ซึ่งเมื่อเทียบกับขนาดห้องทดลอง พัดลมระบายอากาศต้องมีขนาดไม่ต่ำกว่า 9.36 CFM โดยในงานวิจัยนี้ใช้พัดลมที่มีอัตราการระบายอากาศเท่ากับ 41 CFM ใช้ไฟฟ้ากระแสตรง 1.7 W 12 V ขนาด 80x80x25 มิลลิเมตร และอุปกรณ์อื่นที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้แก่ เซลล์แสงอาทิตย์ 16.8-21.0 V ไฟฟ้ากระแสตรง 10 W ขนาด 245x334x18 มิลลิเมตร ท่อลมอลูมิเนียมพอยล์ ชนิดยืดหยุ่น ท่อ 6 นิ้ว ยาว 10 เมตร เชื่อมต่อพัดลมระบายอากาศกับภายนอกอาคาร สายไฟ และอะแดปเตอร์แปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรง 12 V

### 3.2.3 อุปกรณ์การวัดค่า

ในการวิจัยการศึกษาประสิทธิภาพการระบายอากาศในห้องน้ำของอาคารที่พักอาศัยโดยการใช้พัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ ได้ใช้อุปกรณ์วัดความเร็วลม ได้แก่ Testo 350-XL testo 454 โดยมีหัวเซ็นเซอร์ที่สามารถวัดค่าตามตำแหน่งที่ต้องการได้ อุปกรณ์วัดรังสีอาทิตย์ Solar Power Meter SPM-1116SD และอุปกรณ์วัดค่าความอุณหภูมิและความชื้น HOBO ดังที่แสดงในภาพที่ 27





ภาพที่ 27 อุปกรณ์วัดความเร็วลม (ซ้าย) อุปกรณ์วัดรังสีอาทิตย์ (กลาง) อุปกรณ์วัดค่าความอุณหภูมิและความชื้น (ขวา) ตามลำดับ

### 3.3 พฤติกรรมในการเข้าใช้ห้องน้ำ

งานวิจัยนี้กำหนดให้มีผู้ใช้งานห้องน้ำเพียง 1 คน จำลองลักษณะการเข้าใช้ห้องน้ำของอาคารพักอาศัยประเภทคอนโดมิเนียม โดยกำหนดให้มีช่วงเวลาอาบน้ำ 2 ครั้งใน 1 วัน คือช่วงเวลาประมาณ 7.40 – 8.00 น. และ 23.00 – 23.30 น.

### 3.4 วิธีการวิจัย

ในงานวิจัยประสิทธิภาพการระบายอากาศในห้องน้ำของอาคารที่พักอาศัยโดยใช้พัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ได้มีการแบ่งวิธีการวิจัยออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

#### 3.4.1 หาความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีอาทิตย์ และอัตราการระบายอากาศของพัดลม

ทำการวิจัยหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีอาทิตย์ (Solar Radiation :  $W/m^2$ ) และอัตราการระบายอากาศ (CFM) ของพัดลม เพื่อนำมาคำนวณหาค่าอัตราการระบายอากาศ และค่า ACH ที่ได้ในระหว่างทำการวิจัยระบบพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ โดยการติดตั้งพัดลมระบายอากาศเข้ากับเซลล์แสงอาทิตย์ ติดตั้งอุปกรณ์วัดรังสีอาทิตย์บริเวณด้านข้างของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยทำมุมเอียงเข้าหาแสงอาทิตย์เท่ากับมุมเอียงของเซลล์แสงอาทิตย์ และใช้อุปกรณ์วัดความเร็วลมวัดความเร็วลม (m/s) ของพัดลมที่ได้ เนื่องจากการวัดค่ารังสีอาทิตย์และค่าความเร็วลมมีค่าไม่คงที่ ดังนั้นจึงใช้วิธีวัดค่าความเร็วลมที่ได้ในค่ารังสีอาทิตย์ที่แตกต่างกัน 15 ช่วง ช่วงละ 10 ครั้ง นำค่าความเร็วลมมาคำนวณหาค่าอัตราการระบายอากาศ และค่า ACH แล้วนำมาเฉลี่ยในแต่ละช่วงเพื่อคำนวณหาสมการแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีอาทิตย์ และอัตราการระบายอากาศ



ตารางที่ 5 ค่าเฉลี่ยของอัตราการระบายอากาศที่ได้ในค่าเฉลี่ยรังสีอาทิตย์ที่แตกต่างกัน 15 ช่วง

ลำดับ	ค่ารังสีอาทิตย์	ค่าความเร็วลม (m/s)	CFM	ACH
1	133.12	0.823	7.95	1.70
2	193.45	1.91	18.46	3.94
3	225.21	2.847	27.51	5.88
4	259.72	3.597	34.76	7.43
5	310.98	3.498	33.80	7.22
6	367.90	3.987	38.52	8.23
7	405.25	3.519	34.00	7.27
8	430.25	3.762	36.35	7.77
9	518.63	4.123	39.84	8.51
10	529.17	3.915	37.83	8.08
11	650.96	4.289	41.44	8.86
12	736.42	4.432	42.82	9.15
13	765.08	4.43	42.81	9.15
14	788.63	4.436	42.86	9.16
15	825.58	4.404	42.55	9.09

### 3.4.2 หาแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างของค่าอัตราส่วนความชื้น และค่า ACH

ทำการวิจัยโดยติดตั้งระบบพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ในห้องน้ำที่ทำการวิจัย วางเซลล์แสงอาทิตย์ไว้ภายนอกอาคารในจุดที่สามารถรับแดดได้ตลอดทั้งวันโดยไม่มีสิ่งกีดขวางบดบังแสงอาทิตย์ โดยทำมุมเอียง 15 องศาไปและหันทางทิศใต้ และติดตั้งเครื่องวัดค่ารังสีดวงอาทิตย์ให้มีความเอียงองศาเดียวกันกับองศาของเซลล์แสงอาทิตย์ ติดตั้งอุปกรณ์วัดค่าความชื้นและอุณหภูมิอากาศภายในห้องน้ำที่ใช้ในการทำวิจัยโดยแขวนไว้ให้อยู่กึ่งกลางห้องน้ำ ติดตั้งอุปกรณ์วัดค่าความชื้นและอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารของห้องน้ำที่ใช้ทำการวิจัยโดยติดตั้งให้ความสูงอยู่ในระดับเดียวกันกับอุปกรณ์วัดค่าที่อยู่ในห้องน้ำ ทำการบันทึกค่ารังสีอาทิตย์ โดยบันทึกค่าที่ได้ในทุกครึ่งชั่วโมงเป็นเวลา 2 สัปดาห์ และมีการบันทึกเวลาในการเข้าใช้ห้องน้ำในทุกวัน ทำเช่นเดียวกันนี้กับห้องน้ำที่ใช้ระบบพัดลมระบายอากาศแบบต่อเข้ากับไฟบ้าน และห้องน้ำแบบที่ไม่มีระบบพัดลมระบายอากาศ โดยในการวิจัยของระบบพัดลมระบายอากาศแบบต่อเข้ากับไฟบ้าน กำหนดให้มีการ

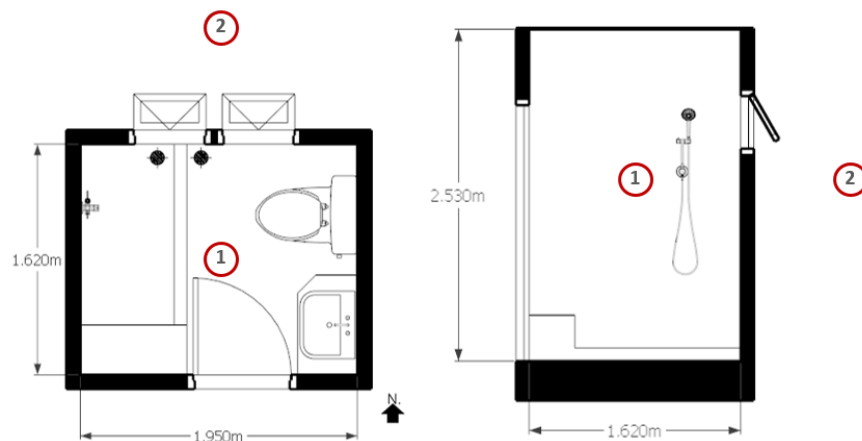
เปิดใช้งานไว้ตลอดทั้งวัน หลังจากนั้นนำข้อมูลที่ได้จากการศึกษาของระบบพัดลมระบายอากาศทั้ง 3 ระบบ มาประเมินโดยทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยผลต่างของค่าอัตราส่วนความชื้น (Humidity ratio : kg/kg) ภายในและภายนอกของห้องน้ำที่ใช้ในการวิจัยที่ในแต่ละระบบ และคำนวณหาสมการแนวโน้มความสัมพันธ์ของค่า ACH และค่าผลต่าง Humidity ratio



ภาพที่ 28 การติดตั้งอุปกรณ์ทำการทดลอง



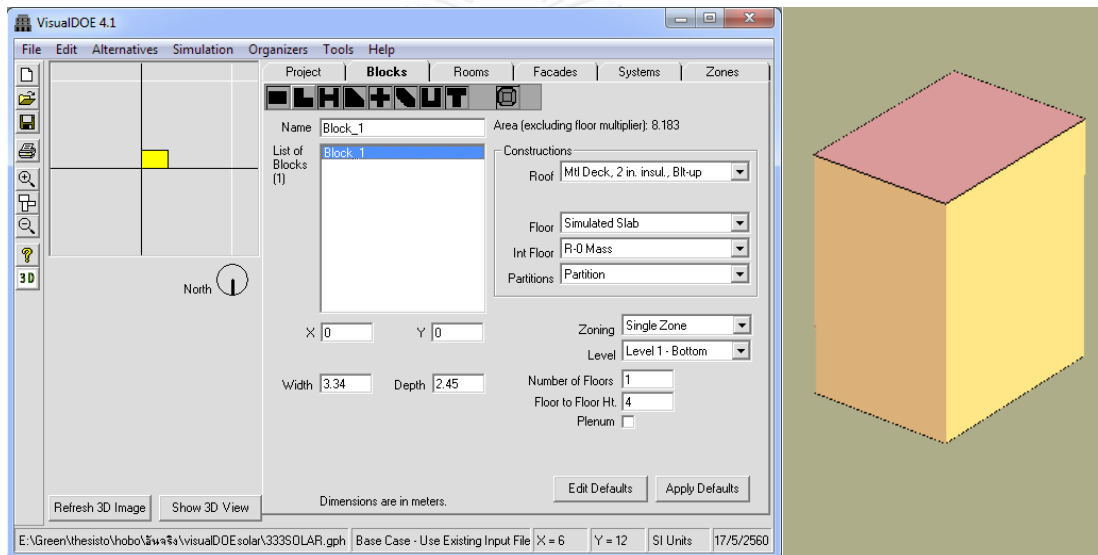
ภาพที่ 29 การติดตั้งอุปกรณ์บันทึกผล



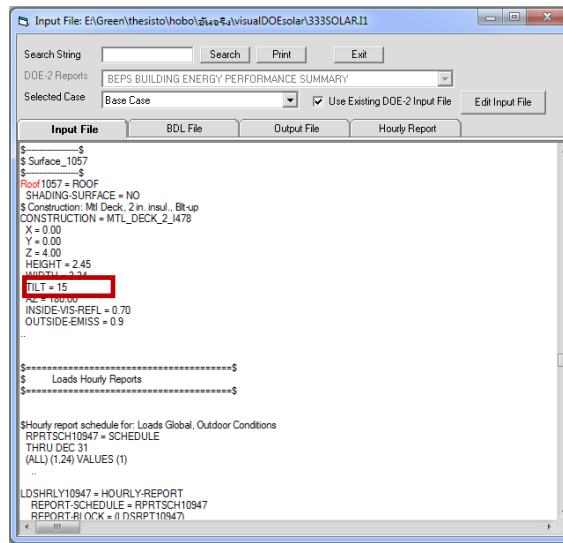
ภาพที่ 30 การติดตั้งอุปกรณ์บันทึกค่าความชื้น และอุณหภูมิ ทั้ง 2 ตำแหน่ง

### 3.4.3 คำนวณค่าจากการจำลองโปรแกรม Visual DOE 4.1

คำนวณหาค่ารังสีอาทิตย์ของกรุงเทพฯ บนพื้นที่รับแสงของเซลล์แสงอาทิตย์ในแต่ละชั่วโมงตลอดทั้งปี จากโปรแกรม Visual DOE 4.1 โดยการสร้างห้องจำลองที่มีขนาดเท่ากับเซลล์แสงอาทิตย์ และมีความสูงเท่ากับตำแหน่งที่ตั้งของเซลล์แสงอาทิตย์ และสร้างหลังคาให้มีความลาดชันเท่ากับเซลล์แสงอาทิตย์ คือ 15 องศา (TILT = 15) ตั้งค่าให้โปรแกรมคำนวณค่ารังสีอาทิตย์บนพื้นที่ผิวหลังคา ในแต่ละชั่วโมงตลอดทั้งปี เพื่อจำลองแทนค่ารังสีอาทิตย์ที่เซลล์แสงอาทิตย์ได้รับ โดยค่ารังสีอาทิตย์ที่ได้จะรวมถึง ค่ารังสีตรง (Direct solar radiation) และค่ารังสีกระจาย (Diffuse solar radiation) นำผลที่ได้มาคำนวณหาค่าอัตราการระบายอากาศ และค่า ACH ของพัดลมที่ใช้ในการวิจัยที่ได้ตลอดทั้งปี



ภาพที่ 31 แบบจำลองพื้นที่รับแสงของเซลล์แสงอาทิตย์ในโปรแกรม Visual DOE 4.1



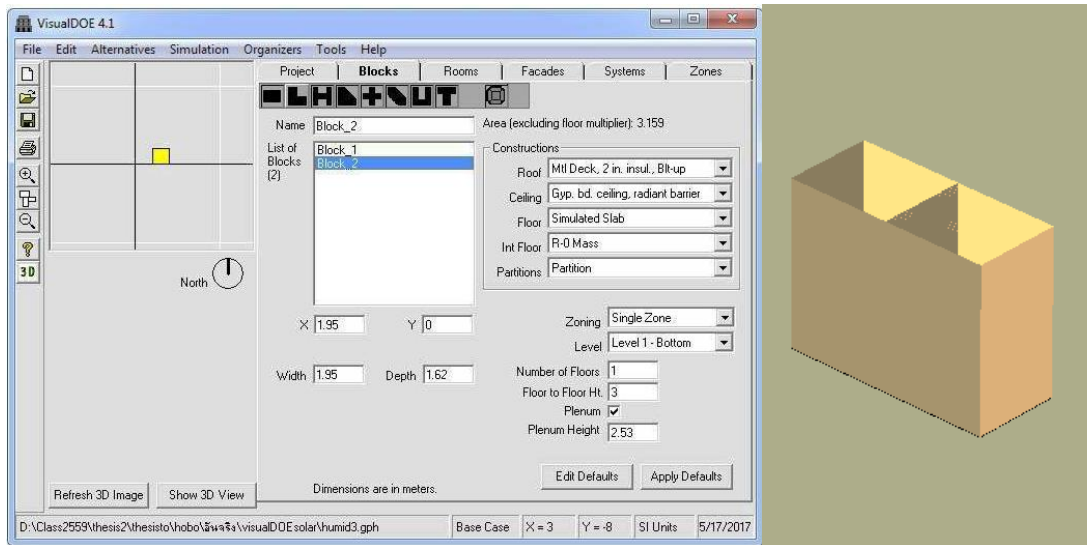
ภาพที่ 32 ข้อมูลการตั้งค่าความลาดชันของหลังคา ในโปรแกรม Visual DOE 4.1

The screenshot shows the 'Hourly Report' window in Visual DOE 4.1. The report displays a table of hourly data for 365 days, starting from 1/1/2538 and ending on 31/12/2538. The table includes columns for 'Day', 'Humidity Ratio', and other parameters. The data shows a significant increase in Humidity Ratio starting around day 11, peaking at 3.25 on day 17, and then fluctuating between 0.00 and 0.40 for the remainder of the year.

Day	Humidity Ratio	Other Param 1	Other Param 2	Other Param 3
1	1	0.00	0.0	0.0
1	2	0.00	0.0	0.0
1	3	0.00	0.0	0.0
1	4	0.00	0.0	0.0
1	5	0.00	0.0	0.0
1	6	0.00	0.0	0.0
1	7	3.25	0.0	3.2
1	8	39.57	0.0	39.6
1	9	162.03	3.1	159.0
1	10	369.56	89.7	279.9
1	11	579.66	381.3	198.3
1	12	666.01	517.6	148.4
1	13	705.61	597.3	108.3
1	14	526.75	379.9	146.8
1	15	415.20	305.2	110.0
1	16	371.01	369.2	1.8
1	17	95.66	38.1	57.6
1	18	9.26	2.9	0.4
1	19	0.00	0.0	0.0
1	20	0.00	0.0	0.0
1	21	0.00	0.0	0.0
1	22	0.00	0.0	0.0
1	23	0.00	0.0	0.0
1	24	0.00	0.0	0.0
1	25	0.00	0.0	0.0
1	26	0.00	0.0	0.0
1	27	0.00	0.0	0.0
1	28	0.00	0.0	0.0
1	29	0.00	0.0	0.0
1	30	0.00	0.0	0.0
1	31	0.00	0.0	0.0

ภาพที่ 33 ตัวอย่างผลการคำนวณค่ารังสีดวงอาทิตย์บนพื้นผิวหลังคา ในโปรแกรม Visual DOE 4.1

คำนวณหาค่า Humidity ratio และค่าอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารตลอดทั้งปีจากโปรแกรม Visual DOE 4.1 โดยการจำลองห้องน้ำที่ใช้ในการวิจัย ซึ่งมีขนาดกว้าง 1.62 เมตร ยาว 1.95 เมตร ความสูงจากพื้นถึงฝ้า 2.53 เมตร และไม่มีการปรับอากาศ แต่เนื่องจากโปรแกรม Visual DOE 4.1 มีข้อจำกัดที่จะสามารถจำลองผลออกมาได้ต้องมีห้องที่มีการปรับอากาศอยู่ด้วย จึงจำเป็นต้องสร้างห้องจำลองที่มีการปรับอากาศไว้ด้านข้างห้องน้ำที่ต้องการจำลองผลดังภาพที่ 34 และผลที่ได้จากการจำลองเป็นภาพที่ 35



ภาพที่ 34 แบบจำลองของห้องน้ำที่ใช้ในการวิจัยในโปรแกรม Visual DOE 4.1

The screenshot shows the 'Hourly Reports' window in VisualDOE 4.1. The report is titled 'BEPS BUILDING ENERGY PERFORMANCE SUMMARY'. The selected case is 'Base Case'. The report shows the following data:

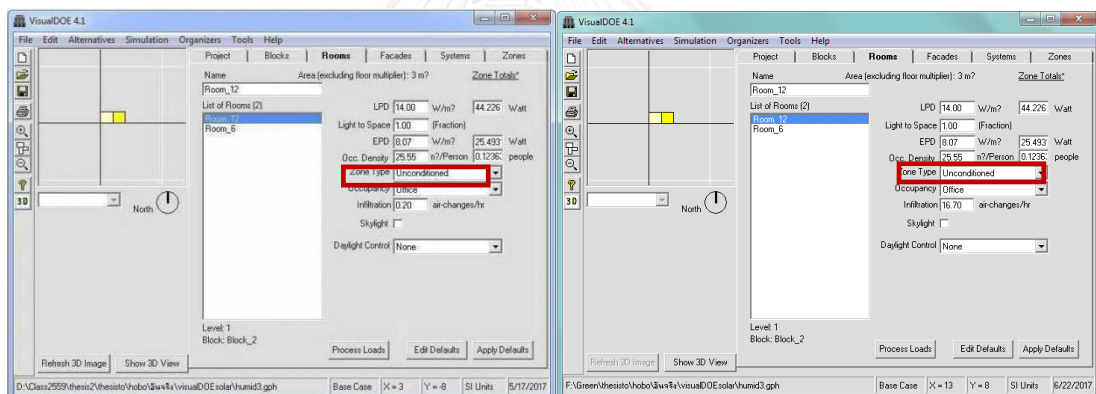
Day	Humidity ratio	Humidity ratio
1	28.3	0.0151
2	26.7	0.0150
3	25.6	0.0131
4	26.1	0.0144
5	25.6	0.0139
6	25.6	0.0131
7	25.0	0.0133
8	25.0	0.0126
9	25.0	0.0126
10	26.7	0.0134
11	28.3	0.0149
12	30.6	0.0150
13	31.7	0.0154
14	32.8	0.0159
15	32.2	0.0161
16	33.3	0.0165
17	32.8	0.0168
18	31.7	0.0172
19	30.6	0.0169
20	30.0	0.0170
21	28.3	0.0154
22	27.8	0.0162
23	27.8	0.0180

ภาพที่ 35 ตัวอย่างผลการคำนวณค่าอุณหภูมิอากาศ และค่า Humidity ratio ภายนอกอาคารในโปรแกรม Visual DOE 4.1

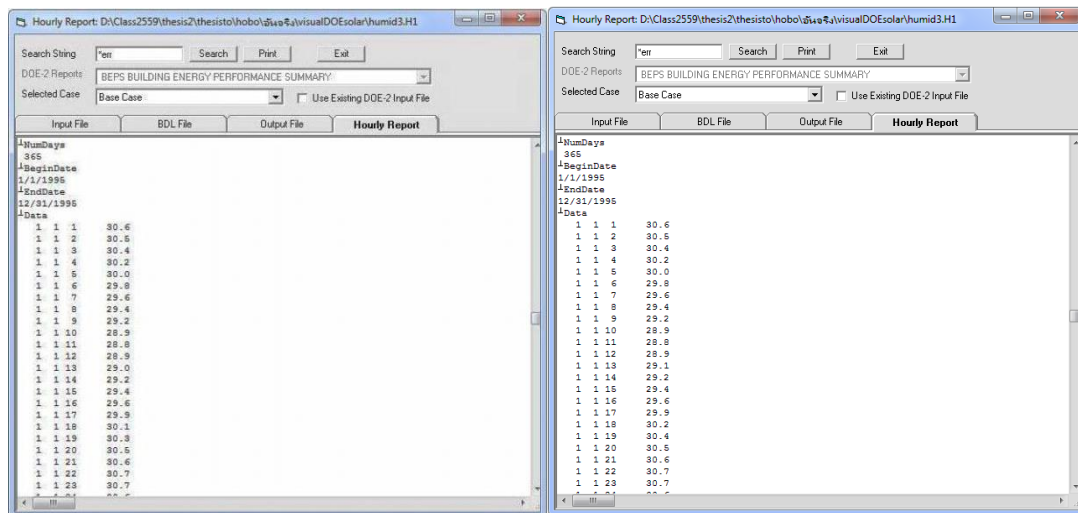
ทำการเปรียบเทียบค่าการลดความชื้นของห้องน้ำที่ไม่มีระบบพัดลมระบายอากาศ และห้องน้ำที่ใช้ระบบพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ โดยทำการคำนวณค่าอุณหภูมิอากาศภายในห้องน้ำที่ใช้ในการวิจัยตลอดทั้งปีจากโปรแกรม Visual DOE 4.1 ด้วยแบบจำลองเดิม ระบบพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ที่นำมาคำนวณจะมีการเพิ่มประสิทธิภาพในการระบายอากาศโดยการเพิ่มพัดลมเป็น 2 ตัว ทำการกำหนดค่าการรั่วซึมของอากาศ (Infiltration) ของห้องน้ำ

ที่ไม่มีระบบพัดลมระบายอากาศเท่ากับ 0.2 ACH ซึ่งเป็นความความรั่วซึมของห้องที่ไม่มีช่องเปิดหรือการระบายอากาศตามมาตรฐานของโปรแกรม Visual DOE 4.1 และห้องน้ำที่ใช้ระบบพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้พัดลม 2 ตัว เท่ากับ 16.70 ACH ซึ่งได้มาจากค่าเฉลี่ย ACH ที่ได้ตลอดทั้งปีจากการคำนวณค่ารังสีอาทิตย์ตลอดทั้งปี นำข้อมูลที่ได้มาเปรียบเทียบ โดยเขียนเป็น Psychrometric chart

ค่าที่ได้ทั้งหมด ได้แก่ ค่ารังสีอาทิตย์ ค่า Humidity ratio ภายนอกอาคาร และค่าอุณหภูมิภายนอกและภายในห้องเป็นรายชั่วโมงตลอดทั้งปี จากค่าที่ได้สามารถนำมาเพื่อคำนวณหาค่าความชื้นที่ลดลงภายในห้องน้ำ และค่าการประหยัดพลังงานที่ได้ตลอดทั้งปีของการระบายอากาศในแต่ละระบบ รวมถึงคำนวณค่าความคุ้มทุน โดยระบบพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์จะมีการคำนวณร่วมกับระบบพัดลมระบายอากาศแบบต่อเข้ากับไฟบ้านในช่วงเวลาที่ค่ารังสีอาทิตย์ไม่เพียงพอต่อการขับเคลื่อนพัดลมระบายอากาศ เพื่อให้ระบบนี้สามารถทำงานได้ตลอดทั้งวัน



ภาพที่ 36 รายละเอียดของห้องน้ำที่ไม่มีระบบพัดลมระบายอากาศ (ซ้าย) และห้องน้ำที่ใช้ระบบพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้พัดลม 2 ตัว (ขวา) ในโปรแกรม Visual DOE 4.1



ภาพที่ 37 ตัวอย่างผลการคำนวณค่าอุณหภูมิอากาศภายในห้องน้ำที่ไม่มีระบบพัดลมระบายอากาศ (ซ้าย) และห้องน้ำที่ใช้ระบบพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้พัดลม 2 ตัว (ขวา) ในโปรแกรม Visual DOE 4.1

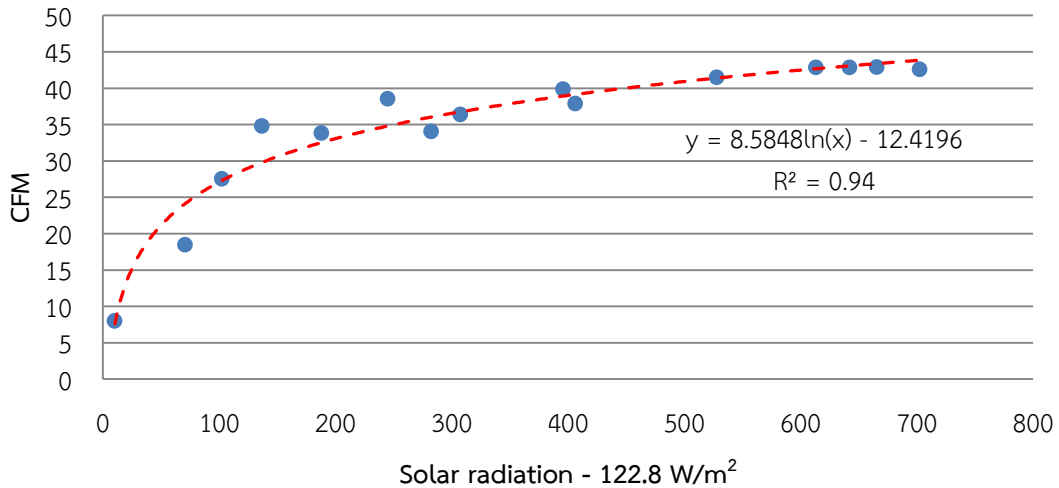
จากที่กล่าวในข้างต้นสามารถสรุปได้ว่าวิธีการวิจัยแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ส่วนแรกคือ การหาแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีอาทิตย์ และอัตราการระบายอากาศของพัดลม โดยวัดค่าความเร็วลมที่ได้ในแต่ละช่วงของค่ารังสีอาทิตย์ แล้วนำมาเฉลี่ยเพื่อคำนวณหาความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีอาทิตย์ และอัตราการระบายอากาศ เพื่อนำมาคำนวณค่าอัตราการระบายอากาศ และค่า ACH ที่ได้ในระหว่างการทดลอง ส่วนที่สองคือ การหาแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างผลต่าง Humidity ratio และค่า ACH โดยการทำการวิจัยเปรียบเทียบระบบพัดลมระบายอากาศในห้องน้ำ 3 ระบบ ได้แก่ระบบพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ ระบบพัดลมระบายอากาศแบบใช้ไฟฟ้า และแบบที่ไม่มีระบบพัดลมระบายอากาศ คำนวณค่าเฉลี่ยผลต่าง Humidity ratio ระหว่างภายในและภายนอกของห้องน้ำในแต่ละระบบเพื่อประเมินประสิทธิภาพในการลดความชื้นในห้องน้ำ และทำการคำนวณหาสมการแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างผลต่าง Humidity ratio และค่า ACH ส่วนสุดท้ายคือ การคำนวณค่ารังสีอาทิตย์ ค่า Humidity ratio ค่าอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร และค่าอุณหภูมิภายในห้องน้ำตลอดทั้งปีจากโปรแกรม Visual DOE 4.1 เพื่อนำมาคำนวณค่าความชื้นที่ลดลงภายในห้องน้ำ และค่าการประหยัดพลังงานที่ได้ตลอดทั้งปีของการระบายอากาศในแต่ละระบบ รวมถึงคำนวณค่าความคุ้มทุน

## บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ผลการวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ การประเมินด้านประสิทธิภาพในการลดความชื้น และการประเมินด้านการประหยัดพลังงานและค่าความคุ้มทุน

### 4.1 การประเมินด้านประสิทธิภาพในการลดความชื้น

จากการหาแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีอาทิตย์ และอัตราการระเหยอากาศของระบบพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์พบว่า พัดลมจะเริ่มขับเคลื่อนเมื่อรังสีอาทิตย์มีค่าเฉลี่ยประมาณ  $216.5 \text{ W/m}^2$  และจะหยุดหมุนเมื่อรังสีอาทิตย์มีค่าเฉลี่ยประมาณ  $122.8 \text{ W/m}^2$  ทั้งนี้เนื่องมาจากการที่จะทำให้พัดลมเริ่มหมุนจะต้องใช้กำลังไฟฟ้ามากกว่าเพื่อเป็นตัวขับเคลื่อนให้พัดลมเริ่มทำงาน และจากการวัดค่าความเร็วลมที่ได้ในค่ารังสีอาทิตย์ที่แตกต่างกัน 15 ช่วงค่าแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีดวงอาทิตย์ และอัตราการระเหยอากาศได้ผลเฉลี่ยออกมาดังแผนภูมิที่ 2



แผนภูมิที่ 2 ค่าแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยรังสีดวงอาทิตย์ ( $\text{W/m}^2$ ) และอัตราการระเหยอากาศ (CFM)

แนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีดวงอาทิตย์ และอัตราการระเหยอากาศจะมีแนวโน้มเป็นกราฟ Logarithmic สามารถคำนวณเป็นสมการได้ดังนี้คือ



$$CFM = 8.5848 \ln(SR - 122.8) - 12.4196$$

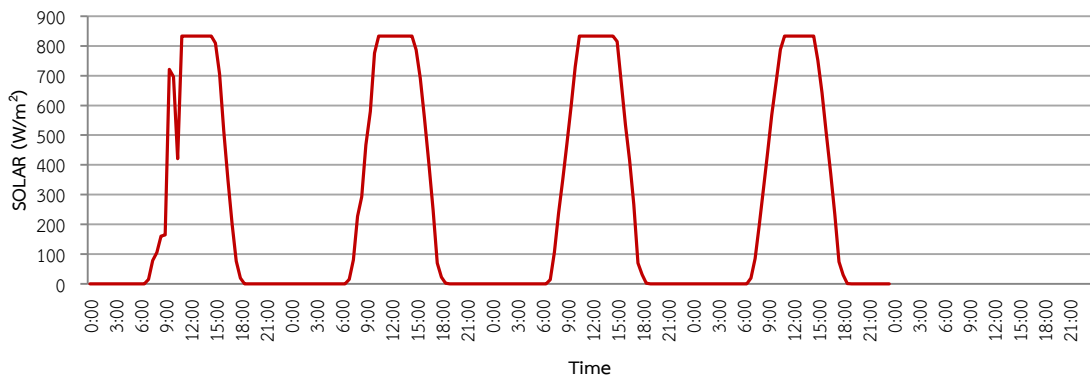
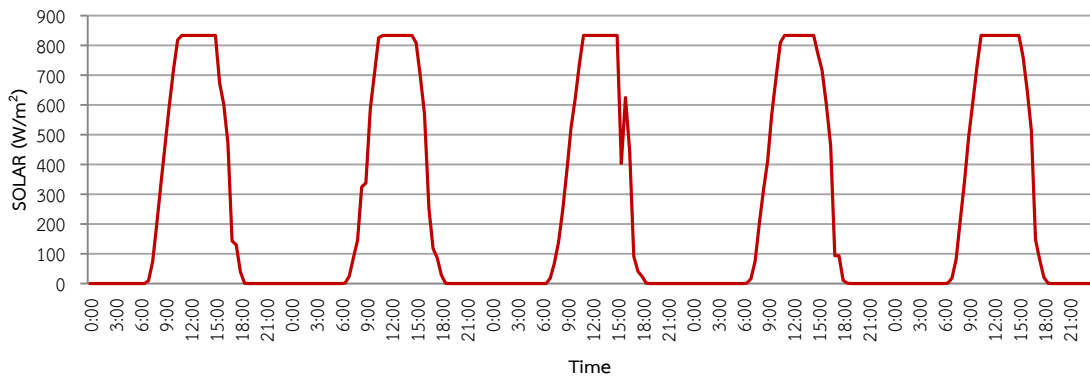
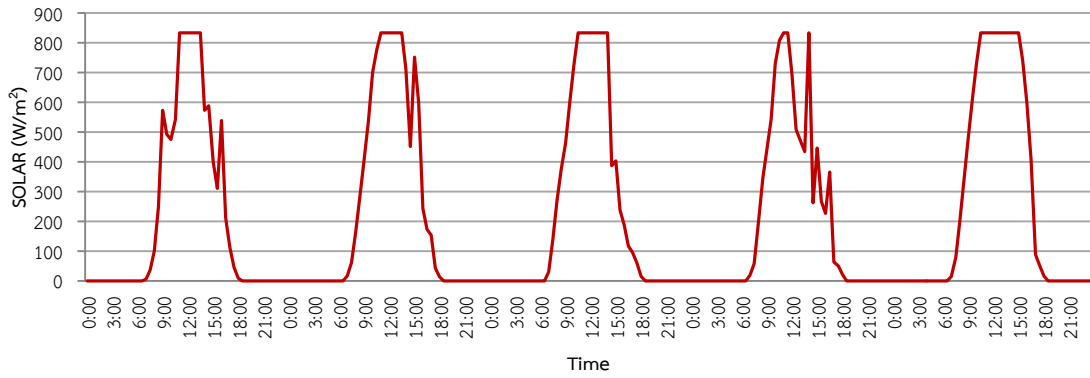
สมการ (1)

โดยที่ SR คือ ค่ารังสีอาทิตย์ ( $W/m^2$ )  
CFM คือ ค่าอัตราการระบายอากาศ (ลบ.ฟ./นาท)

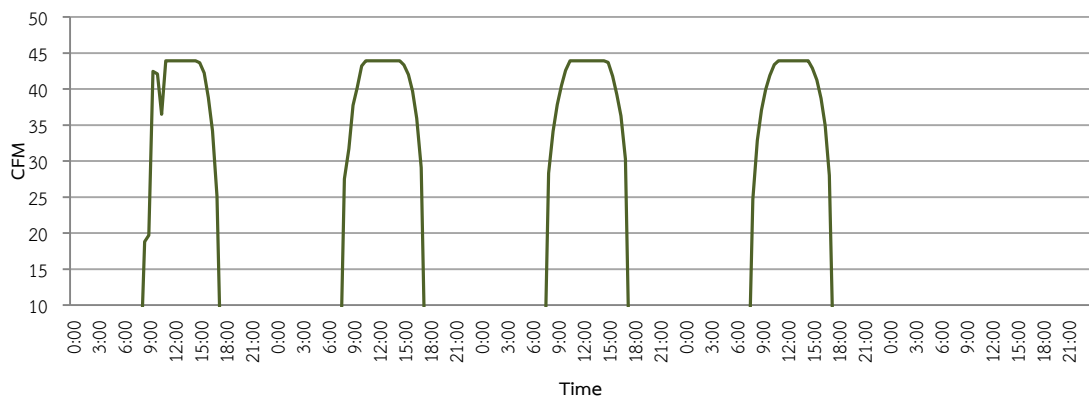
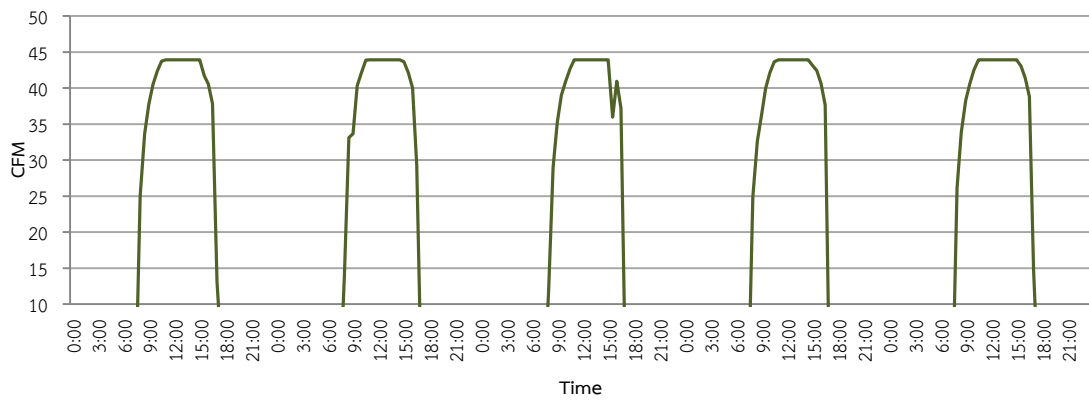
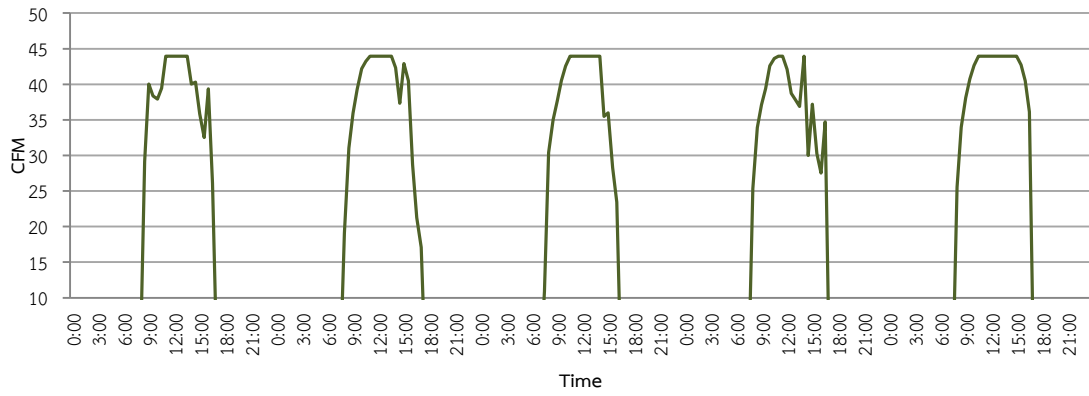
จากสมการที่ได้นำมาเพื่อคำนวณค่าอัตราการระบายอากาศ และค่า ACH ที่ได้จากการวัดค่ารังสีอาทิตย์ในแต่ละครึ่งชั่วโมงตลอดระยะเวลาในการทำการวิจัยของห้องน้ำที่ใช้ระบบพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ โดยค่ารังสีอาทิตย์ที่วัดได้ในระหว่างระยะเวลาการทดลองระบบพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นดังแผนภูมิที่ 3 และค่าอัตราการระบายอากาศที่คำนวณได้เป็นดังแผนภูมิที่ 4

โดยที่เครื่องวัดค่ารังสีอาทิตย์มีข้อจำกัดที่สามารถวัดค่ารังสีอาทิตย์ได้ไม่เกิน  $833.33 W/m^2$  เมื่อคำนวณค่าอัตราการระบายอากาศของค่ารังสีอาทิตย์ที่  $833.33 W/m^2$  โดยแทนค่าตามสมการแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีอาทิตย์ และอัตราการระบายอากาศ จะได้เท่ากับ 43.95 CFM ดังที่ปรากฏในแผนภูมิที่ 4 ซึ่งถือการวัดผลในช่วงเวลาดังกล่าวเป็นข้อมูลที่หายไป ไม่นำมารวมในการคำนวณหาแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างของค่าอัตราส่วนความชื้น และค่า ACH

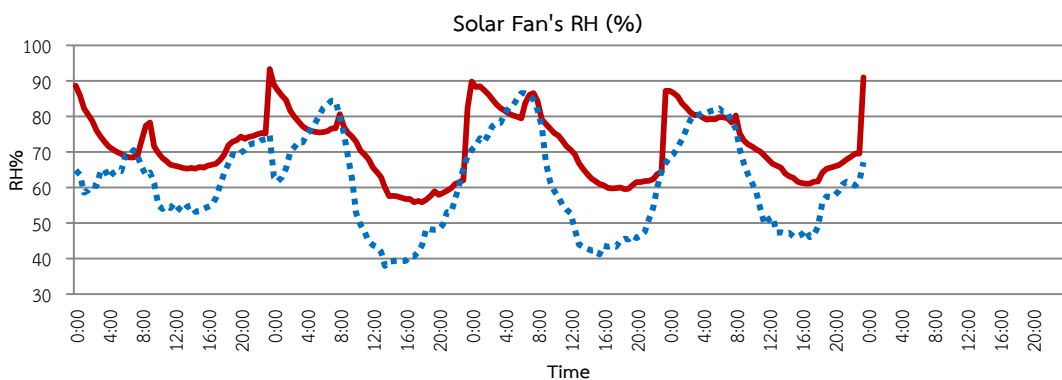
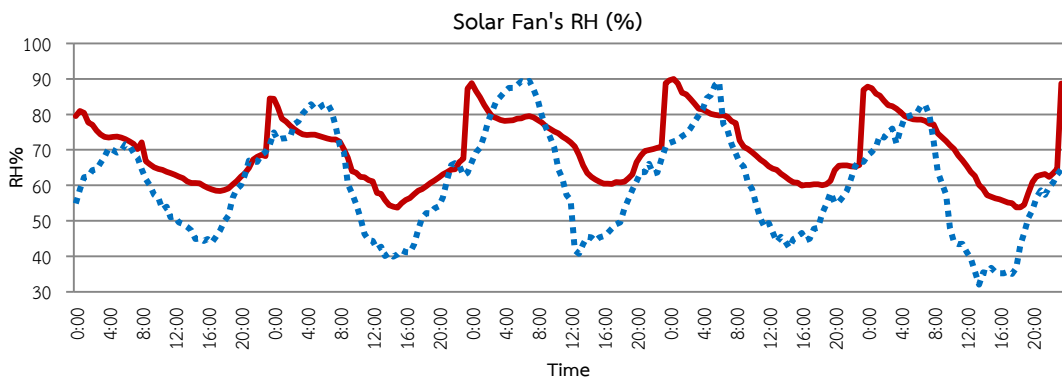
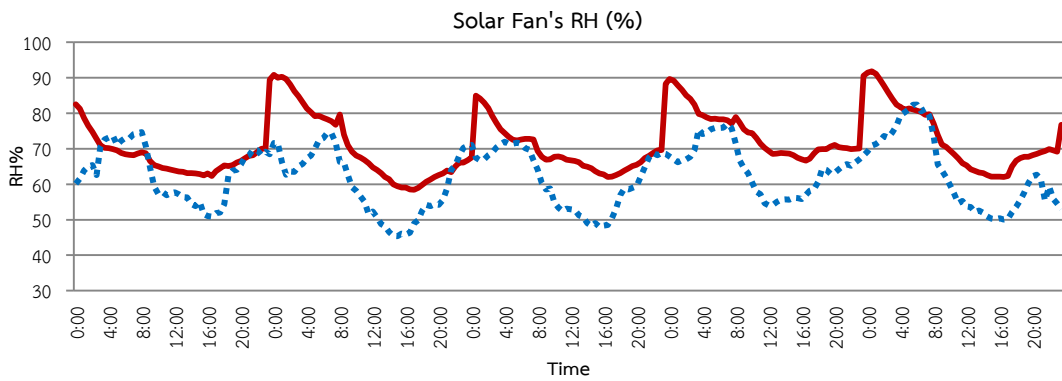
จากแผนภูมิที่ 4 เป็นการคำนวณค่าอัตราการระบายอากาศที่ได้จากการวัดค่ารังสีอาทิตย์ โดยแทนค่าตามสมการแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีอาทิตย์ และอัตราการระบายอากาศ พบว่าช่วงเวลาเฉลี่ยที่พัดลมเริ่มหมุนเฉลี่ยจะอยู่ที่เวลา 8.00 น. และพัดลมจะหยุดหมุนที่เวลา 17.00 น. ดังนั้นพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์จะมีช่วงระยะเวลาทำงานอยู่ที่ประมาณ 9 ชั่วโมงต่อวัน โดยจะทำงานเฉพาะในช่วงเวลากลางวันที่มีแสงอาทิตย์เท่านั้น และจากการบันทึกค่าความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิอากาศภายใน-ภายนอกอาคารของห้องน้ำ ของห้องน้ำที่ใช้ระบบพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ ระบบพัดลมระบายอากาศแบบใช้ไฟฟ้า และห้องน้ำแบบที่ไม่มีระบบพัดลมระบายอากาศ ผลที่ได้เป็นดังแผนภูมิที่ 5 - แผนภูมิที่ 10



แผนภูมิที่ 3 ค่ารังสีอาทิตย์ (W/m<sup>2</sup>) ที่วัดได้ตั้งแต่วันที่ 23 มกราคม – 2 กุมภาพันธ์ 2560 และ 7-9 กุมภาพันธ์ 2560 รวมทั้งหมด 14 วัน



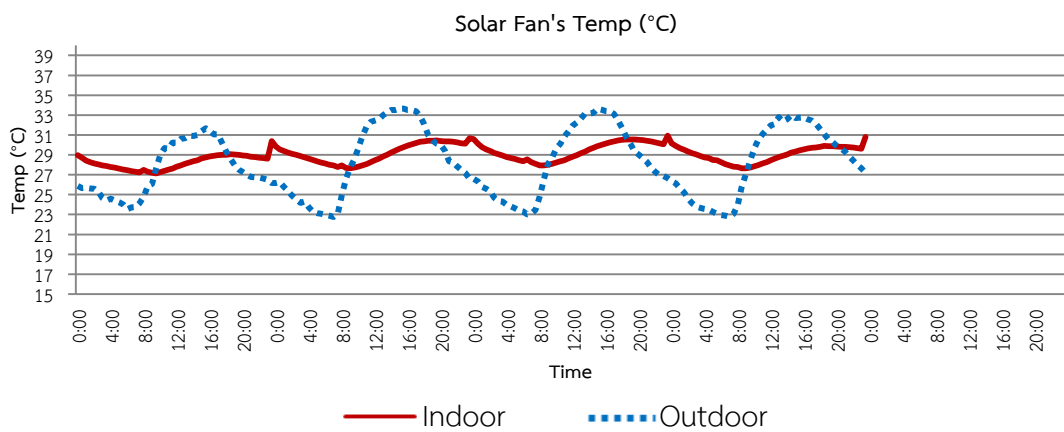
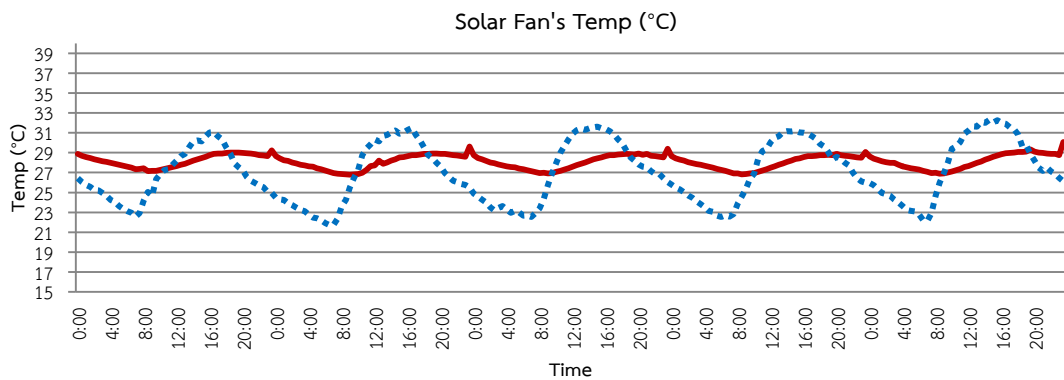
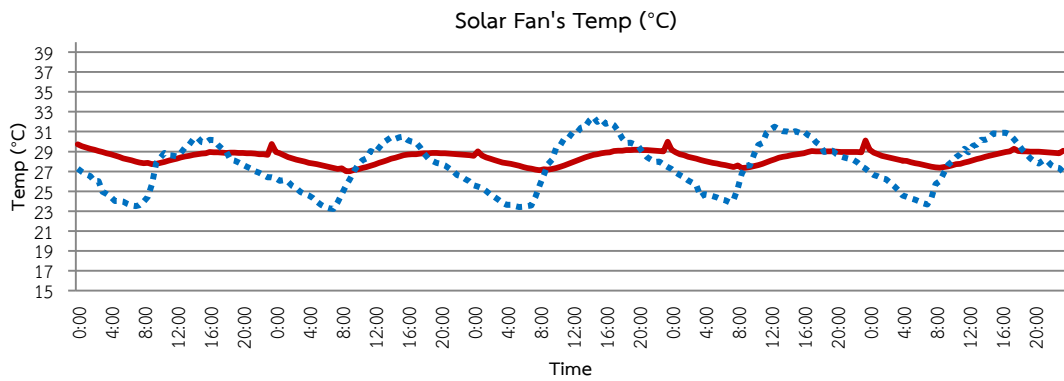
แผนภูมิที่ 4 ค่าอัตราการระบายอากาศ (CFM) ที่ได้ตั้งแต่วันที่ 23 มกราคม - 2 กุมภาพันธ์ 2560  
และ 7 - 9 กุมภาพันธ์ 2560 รวมทั้งหมด 14 วัน



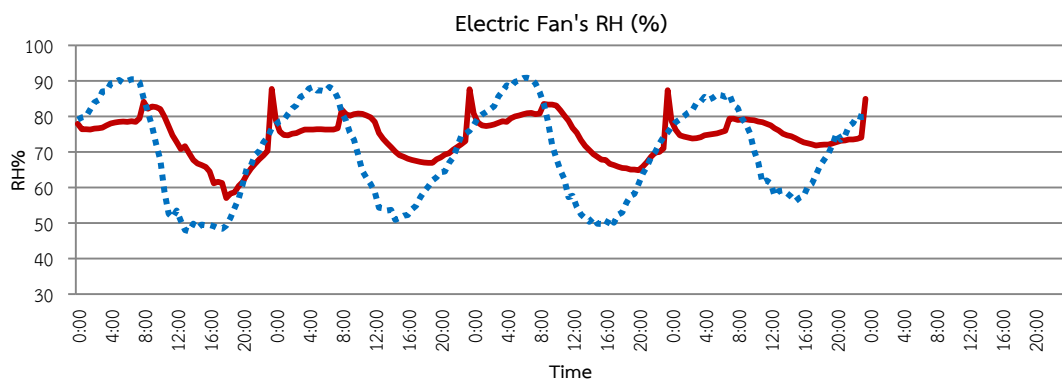
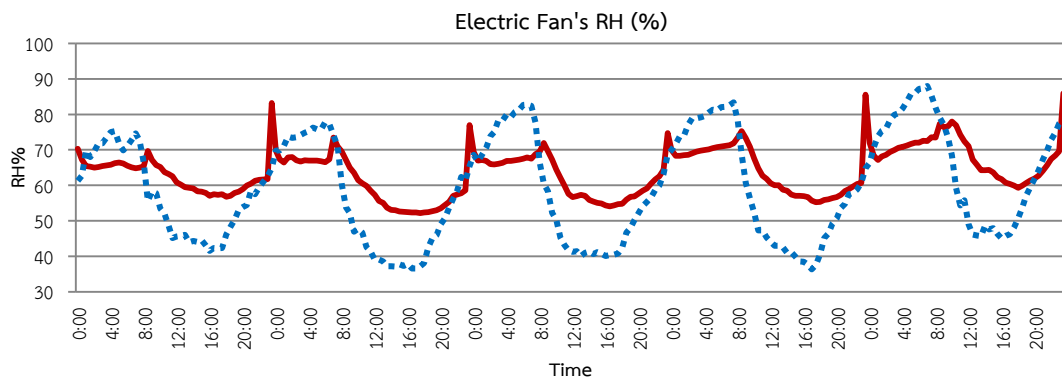
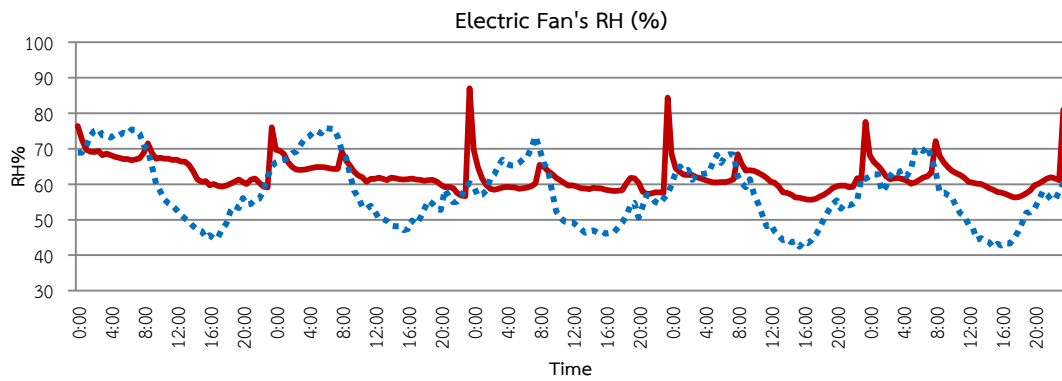
— Indoor      ····· Outdoor

แผนภูมิที่ 5 ค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องน้ำ (Indoor) และภายนอกห้องน้ำ (Outdoor) ของห้องน้ำที่ใช้ระบบพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ ตั้งแต่วันที่ 23 มกราคม - 2 กุมภาพันธ์ 2560

และ 7 - 9 กุมภาพันธ์ 2560 รวมทั้งหมด 14 วัน

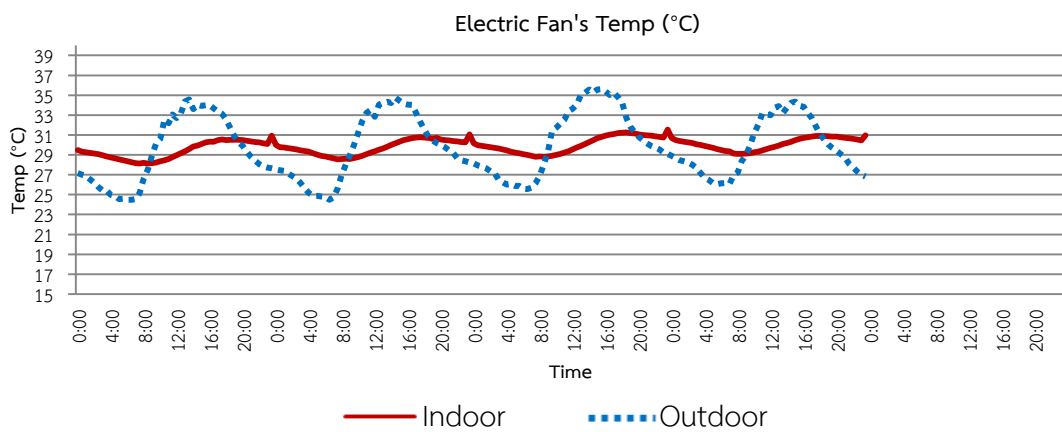
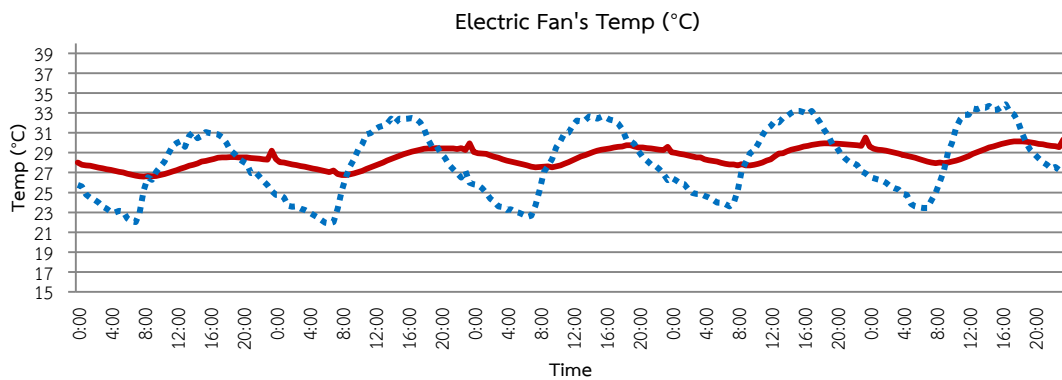
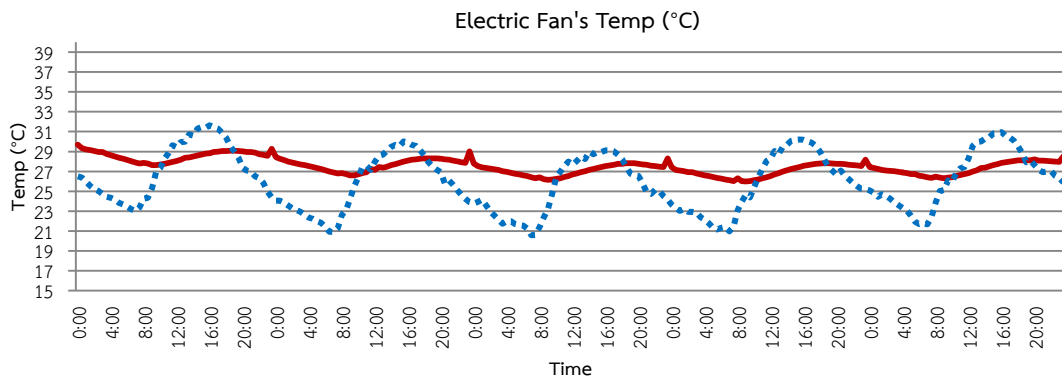


แผนภูมิที่ 6 ค่าอุณหภูมิอากาศภายในห้องน้ำ (Indoor) และภายนอกห้องน้ำ (Outdoor) ของห้องน้ำ  
ที่ใช้ระบบพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ ตั้งแต่วันที่ 23 มกราคม - 2 กุมภาพันธ์ 2560  
และ 7 - 9 กุมภาพันธ์ 2560 รวมทั้งหมด 14 วัน

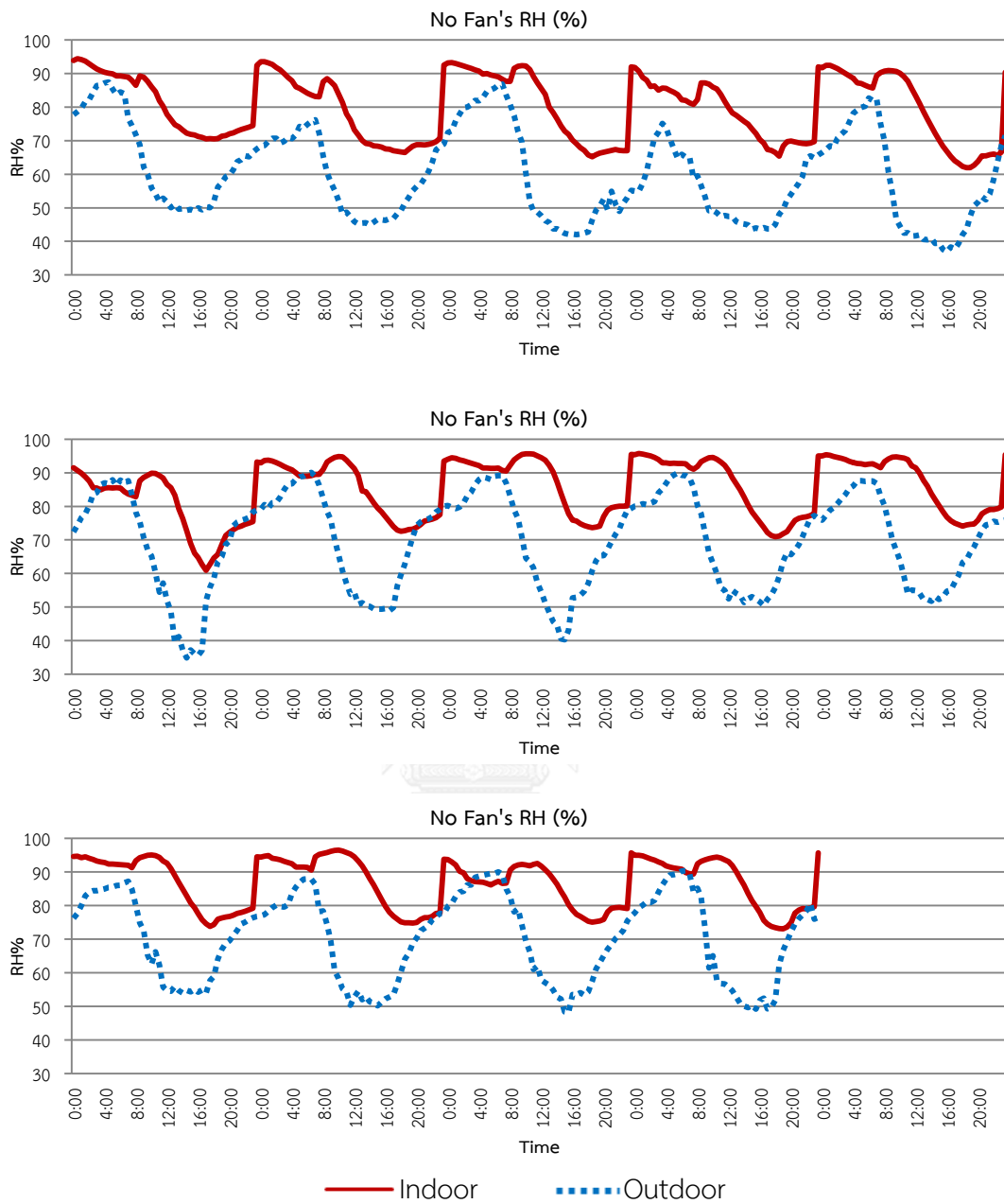


— Indoor      ····· Outdoor

แผนภูมิที่ 7 ค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องน้ำ (Indoor) และภายนอกห้องน้ำ (Outdoor) ของห้องน้ำที่ใช้ระบบพัดลมระบายอากาศแบบใช้ไฟบ้าน ตั้งแต่วันที่ 11 - 24 กุมภาพันธ์ 2560 รวมทั้งหมด 14 วัน

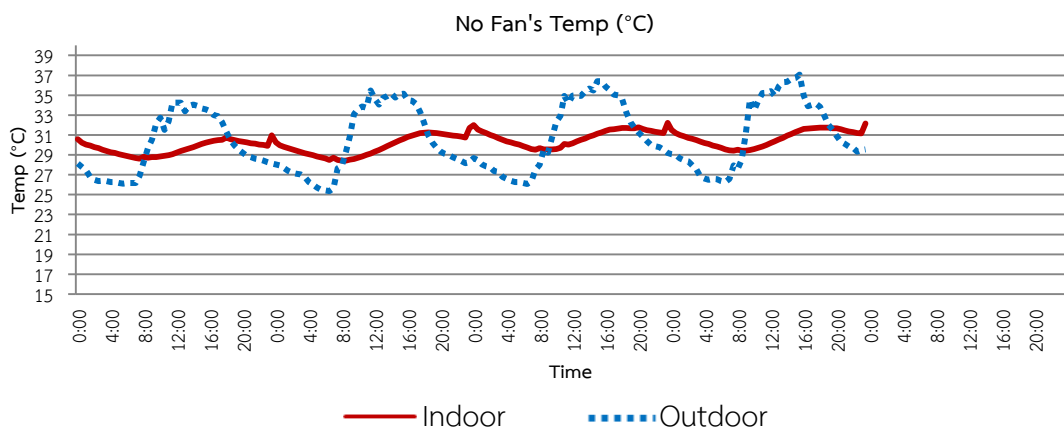
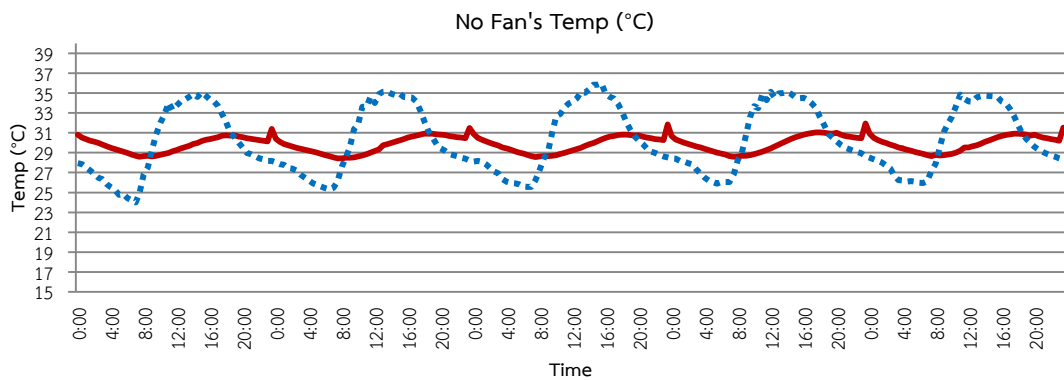
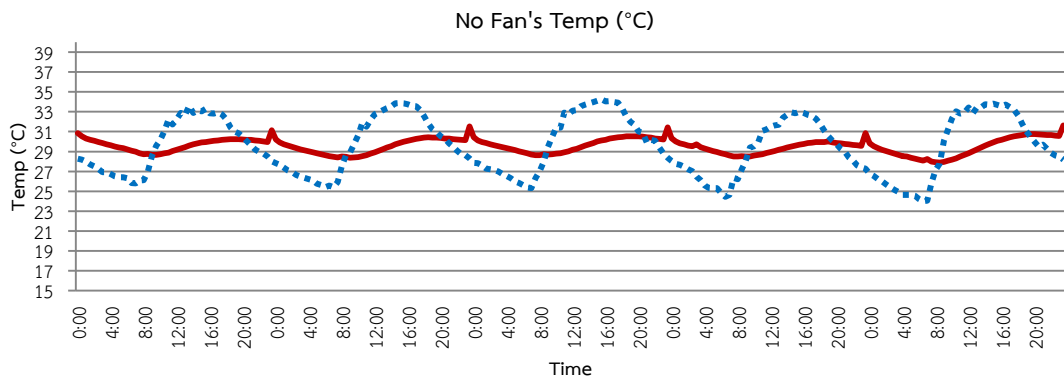


แผนภูมิที่ 8 ค่าอุณหภูมิอากาศภายในห้องน้ำ (Indoor) และภายนอกห้องน้ำ (Outdoor) ของห้องน้ำ  
ที่ใช้ระบบพัดลมระบายอากาศแบบใช้ไฟฟ้า ตั้งแต่วันที่ 11 - 24 กุมภาพันธ์ 2560 รวมทั้งหมด 14  
วัน



แผนภูมิที่ 9 ค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องน้ำ (Indoor) และภายนอกห้องน้ำ (Outdoor) ของห้องน้ำที่ไม่มีระบบพัดลมระบายอากาศ ตั้งแต่วันที่ 27 กุมภาพันธ์ - 10 มีนาคม 2560 และ 13 - 14 มีนาคม 2560 รวมทั้งหมด 14 วัน



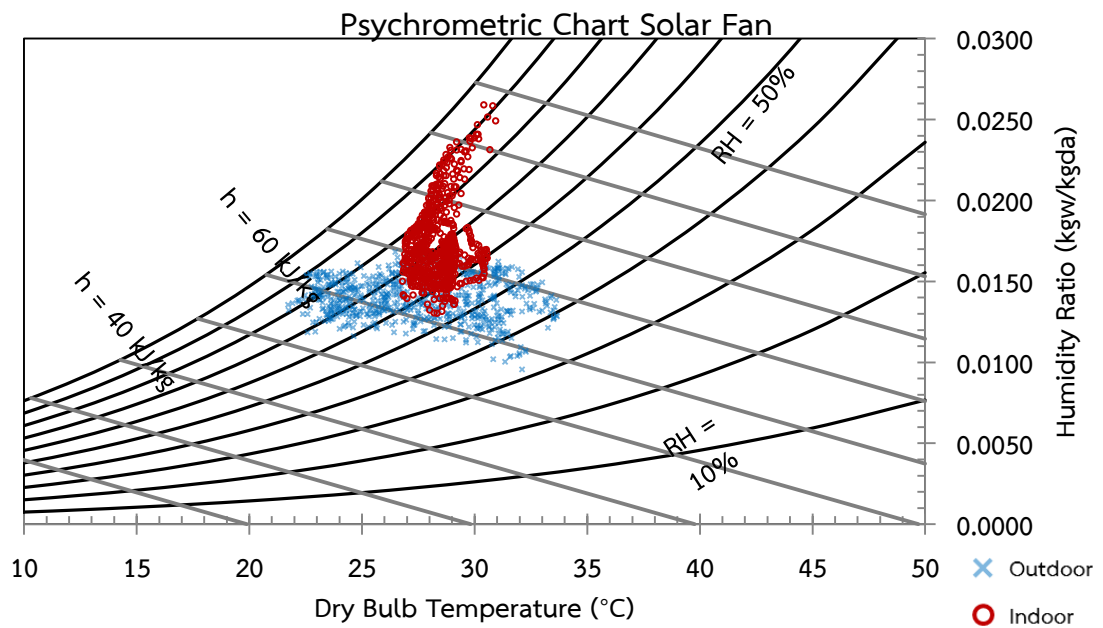


แผนภูมิที่ 10 ค่าอุณหภูมิอากาศภายในห้องน้ำ (Indoor) และภายนอกห้องน้ำ (Outdoor) ของห้องน้ำที่ไม่มีระบบพัดลมระบายอากาศ ตั้งแต่วันที่ 27 กุมภาพันธ์ - 10 มีนาคม 2560 และ 13 - 14 มีนาคม 2560 รวมทั้งหมด 14 วัน

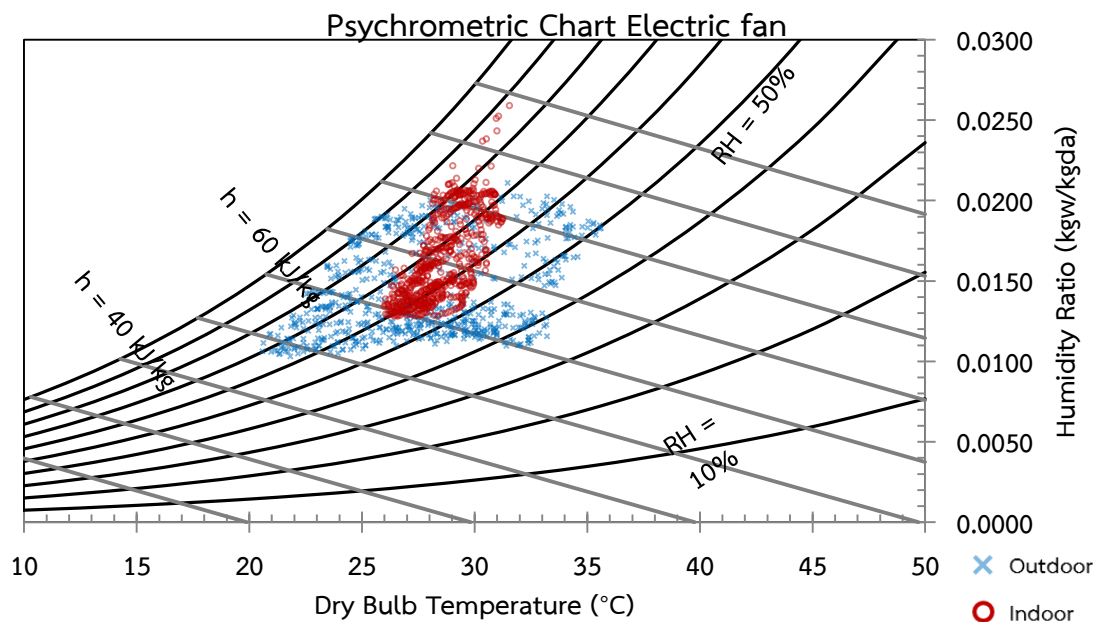
ตารางที่ 6 ช่วงเวลาส่วนใหญ่ที่อุณหภูมิและความชื้นมีค่าต่ำที่สุด-สูงที่สุด และค่าเฉลี่ยอุณหภูมิและความชื้นที่ต่ำที่สุด-สูงที่สุดใน 1 วัน ของภายในและภายนอกห้องน้ำในแต่ละระบบ

ค่าเฉลี่ยของ T และ RH		Solar Fan	Electric Fan	No Fan
Indoor Temp	เวลาที่ Tต่ำสุด	8:30	9:00	7:30
	ค่าTต่ำสุด	27.42	28.63	27.54
	เวลาที่ Tสูงที่สุด	23:30	23:30	23:30
	ค่า Tสูงที่สุด	29.85	31.56	30.31
Indoor RH	เวลาที่ RHต่ำสุด	16:30	17:30	18:30
	ค่า RHต่ำสุด	58.80	69.88	62.97
	เวลาที่ RHสูงที่สุด	23:30	23:30	23:30
	ค่า RHสูงที่สุด	82.90	94.53	83.93
Outdoor Temp	เวลาที่ Tต่ำสุด	7:00	7:00	6:30
	ค่า Tต่ำสุด	22.94	25.39	23.74
	เวลาที่ Tสูงที่สุด	14:30	16:00	15:00
	ค่า Tสูงที่สุด	32.46	34.85	32.42
Outdoor RH	เวลาที่ RHต่ำสุด	16:30	16:00	15:30
	ค่า RHต่ำสุด	44.73	46.04	46.38
	เวลาที่ RHสูงที่สุด	7:00	7:00	7:00
	ค่า RHสูงที่สุด	80.49	86.32	77.36

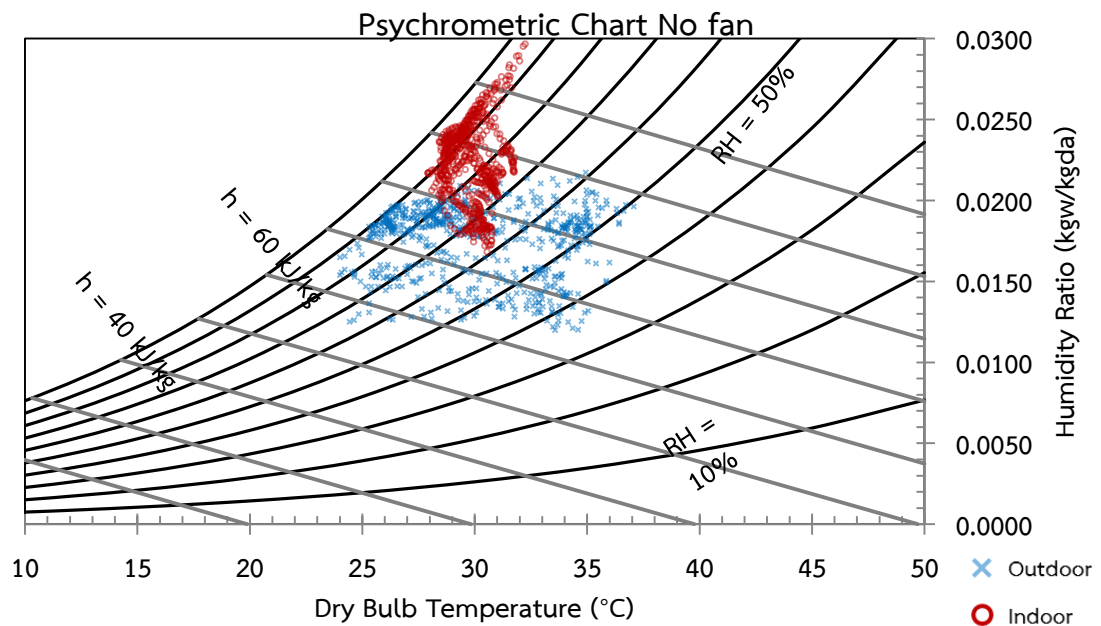
จากแผนภูมิที่ 5 - แผนภูมิที่ 10 จะเห็นว่าช่วงเวลาหลังจากที่มีการเข้าใช้ห้องน้ำคือช่วงประมาณเวลาหลัง 7.40 - 8.00 น. และ 23.00 - 23.30 น. ของในแต่ละวันจะเป็นช่วงที่มีค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องน้ำสูงกว่าในช่วงเวลาอื่น คือมีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 88.34% โดยที่ห้องน้ำที่ใช้ระบบพัดลมระบายอากาศแบบใช้ไฟฟ้าบ้านจะสามารถลดความชื้นได้ในระยะเวลาเร็วที่สุดคือใช้เวลาประมาณ 1 - 2 ชั่วโมง และจากตารางที่ 6 พบว่าช่วงเวลาที่ค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายใน และภายนอกห้องน้ำสูงที่สุดของทั้ง 3 ระบบ คือเวลา 23:30 และ 7:00 น. ตามลำดับ จากผลที่ได้เขียนลงบน Psychrometric chart โดยใช้ Psychrometric Functions ใน Microsoft Office Excel ของ kW Engineering (2017) เพื่อนำมาเปรียบเทียบให้เห็นภาพได้ชัดเจนมากขึ้น ได้ผลดังนี้



แผนภูมิที่ 11 Psychrometric chart ของภายในห้องน้ำ (Indoor) และภายนอกห้องน้ำ (Outdoor) ของห้องน้ำที่ใช้ระบบพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ ตั้งแต่วันที่ 23 มกราคม - 2 กุมภาพันธ์ 2560 และ 7 - 9 กุมภาพันธ์ 2560 รวมทั้งหมด 14 วัน



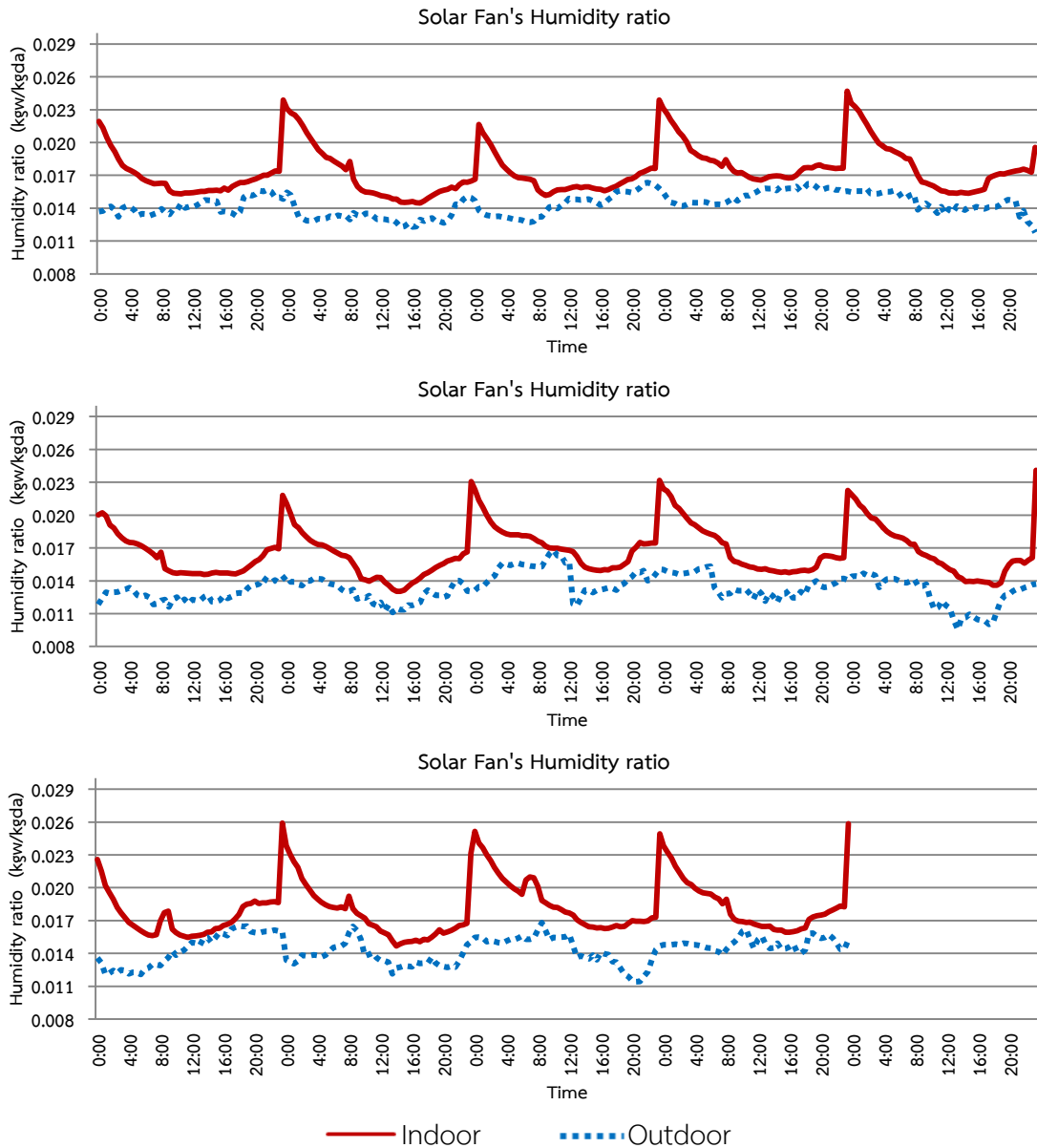
แผนภูมิที่ 12 Psychrometric chart ของภายในห้องน้ำ (Indoor) และภายนอกห้องน้ำ (Outdoor) ของห้องน้ำที่ใช้ระบบพัดลมระบายอากาศแบบใช้ไฟฟ้า ตั้งแต่วันที่ 11 - 24 กุมภาพันธ์ 2560 รวมทั้งหมด 14 วัน



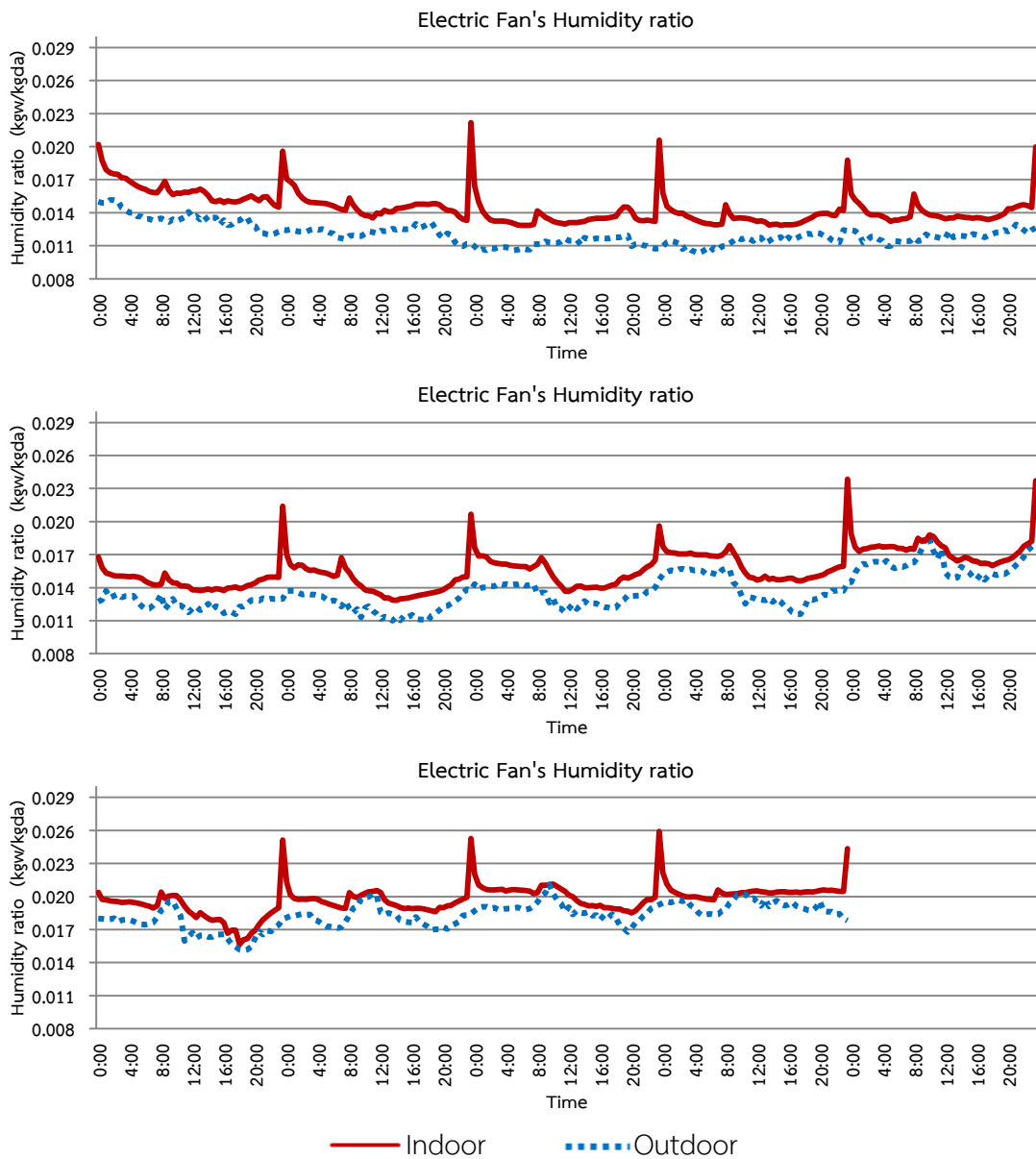
แผนภูมิที่ 13 Psychrometric chart ของภายในห้องน้ำ (Indoor) และภายนอกห้องน้ำ (Outdoor) ของห้องน้ำที่ไม่มีระบบพัดลมระบายอากาศ ตั้งแต่วันที่ 27 กุมภาพันธ์ - 10 มีนาคม 2560 และ 13 - 14 มีนาคม 2560 รวมทั้งหมด 14 วัน

จากแผนภูมิที่ 11 - แผนภูมิที่ 13 จะเห็นได้ว่า ค่าความชื้นสัมพัทธ์ของทั้ง 3 ระบบ จะมีบางช่วงเวลาที่ขึ้นสูงถึงประมาณ 90% ซึ่งเป็นค่าความชื้นสัมพัทธ์ในช่วงเวลาที่มีการอาบน้ำ โดยที่ระบบพัดลมระบายอากาศแบบใช้ไฟฟ้าบ้านจะมีช่วงเวลาที่ค่าความชื้นสัมพัทธ์จะสูงใกล้ 90% น้อยที่สุดเพราะมีการระบายอากาศตลอดเวลา ตรงข้ามกับห้องน้ำที่ไม่มีระบบพัดลมระบายอากาศที่จะมีช่วงเวลาที่ค่าความชื้นสัมพัทธ์จะสูงถึง 90% มากกว่า เพราะระบายความชื้นจากการอาบน้ำออกไปได้ยาก ส่วนระบบพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์จะมีช่วงเวลาที่ค่าความชื้นสัมพัทธ์จะสูงถึง 90% มากกว่าระบบพัดลมระบายอากาศแบบใช้ไฟฟ้าบ้าน แต่น้อยกว่าห้องน้ำที่ไม่มีระบบพัดลมระบายอากาศ นอกจากนี้ความชื้นภายนอกห้องน้ำของทั้ง 3 ระบบ จะกระจายตัวไม่เหมือนกัน เนื่องด้วยทำการบันทึกค่าความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิต่างช่วงเวลา เพื่อประเมินประสิทธิภาพการลดความชื้นจึงต้องคำนวณค่า Humidity ratio ของภายใน-ภายนอกห้องน้ำ เป็นการตัดปัจจัยด้านอุณหภูมิออกทำให้สามารถนำมาเปรียบเทียบได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น และทำการเปรียบเทียบผลต่าง Humidity ratio ระหว่างภายใน-ภายนอกห้องน้ำ ซึ่งระบบพัดลมระบายอากาศที่ทำให้ค่าผลต่าง Humidity ratio น้อย แสดงว่ามีประสิทธิภาพในการลดความชื้นมาก ส่วนระบบระบายอากาศที่ค่าผลต่าง Humidity

ratio มาก แสดงว่ามีประสิทธิภาพในการลดความชื้นน้อย โดยจะได้ผลออกมาดังแผนภูมิที่ 14 - แผนภูมิที่ 16

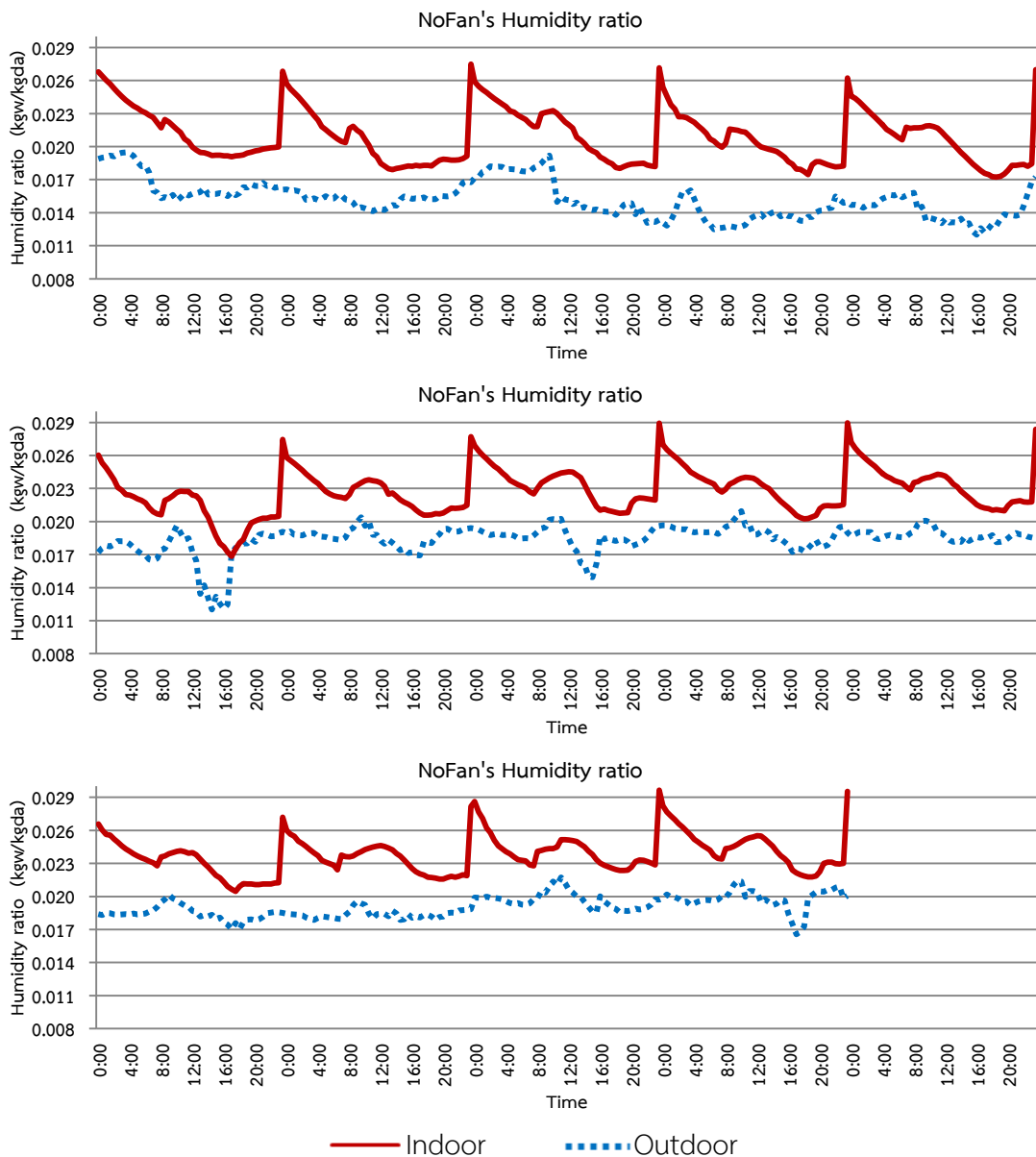


แผนภูมิที่ 14 ค่า Humidity ratio เปรียบเทียบระหว่างภายในห้องน้ำ (Indoor) และภายนอกห้องน้ำ (Outdoor) ของห้องน้ำที่ใช้ระบบพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ ตั้งแต่วันที่ 23 มกราคม - 2 กุมภาพันธ์ 2560 และ 7 - 9 กุมภาพันธ์ 2560 รวมทั้งหมด 14 วัน



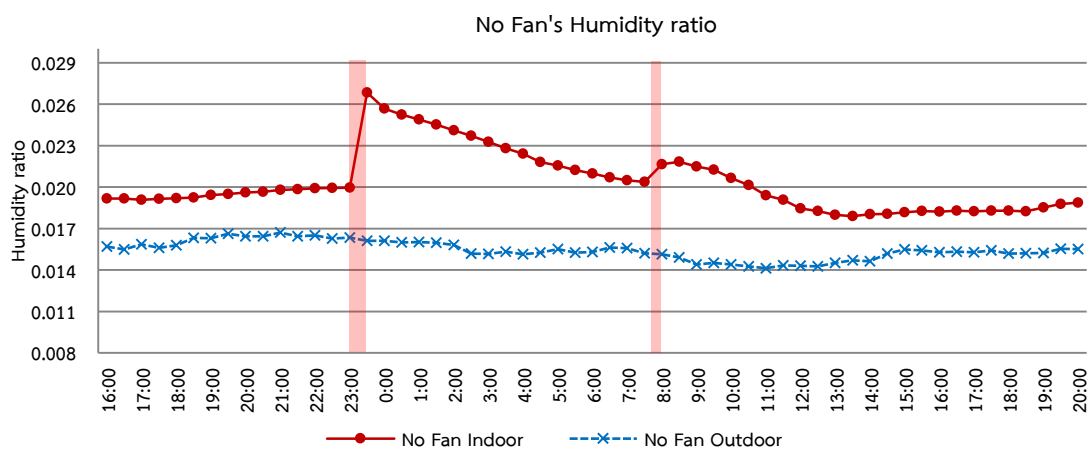
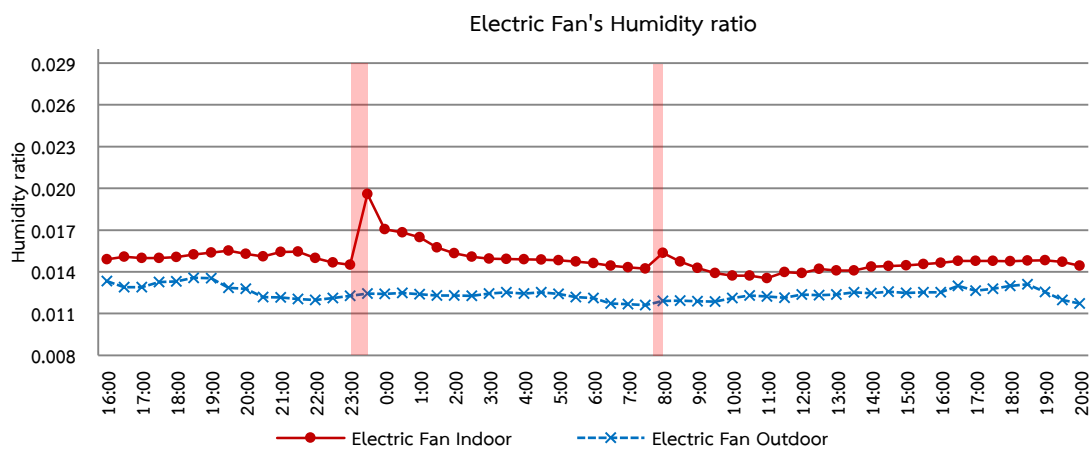
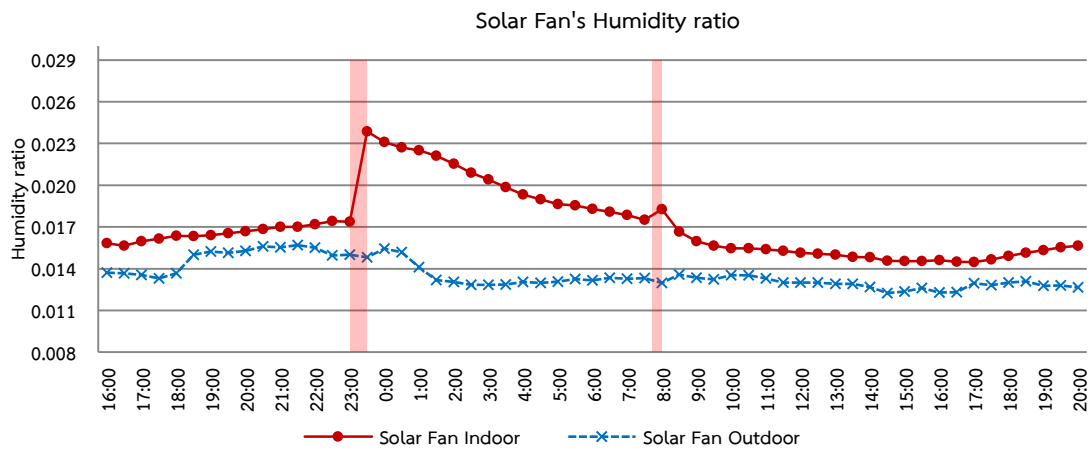
แผนภูมิที่ 15 ค่า Humidity ratio เปรียบเทียบระหว่างภายในห้องน้ำ (Indoor) และภายนอกห้องน้ำ (Outdoor) ของห้องน้ำที่ใช้ระบบพัดลมระบายอากาศแบบใช้ไฟบ้าน ตั้งแต่วันที่ 11 - 24 กุมภาพันธ์

2560 รวมทั้งหมด 14 วัน



แผนภูมิที่ 16 ค่า Humidity ratio เปรียบเทียบระหว่างภายในห้องน้ำ (Indoor) และภายนอกห้องน้ำ (Outdoor) ของห้องน้ำที่ไม่มีระบบพัดลมระบายอากาศ ตั้งแต่วันที่ 27 กุมภาพันธ์ - 10 มีนาคม 2560 และ 13 - 14 มีนาคม 2560 รวมทั้งหมด 14 วัน

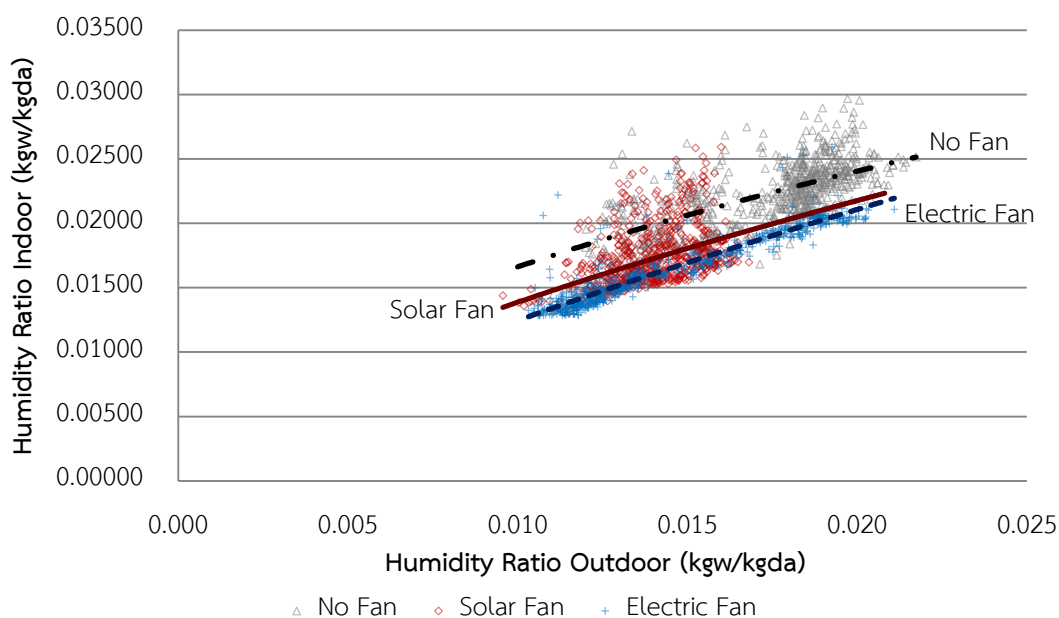
จากผลที่ได้นำมาคัดเลือกวันที่ค่า Humidity ratio ของทั้ง 3 ระบบ มีค่าใกล้เคียงกันเพื่อศึกษาพฤติกรรมของค่า Humidity ratio ที่เกิดในแต่ละช่วงของเวลาของวัน ผลเป็นดังแผนภูมิที่ 17



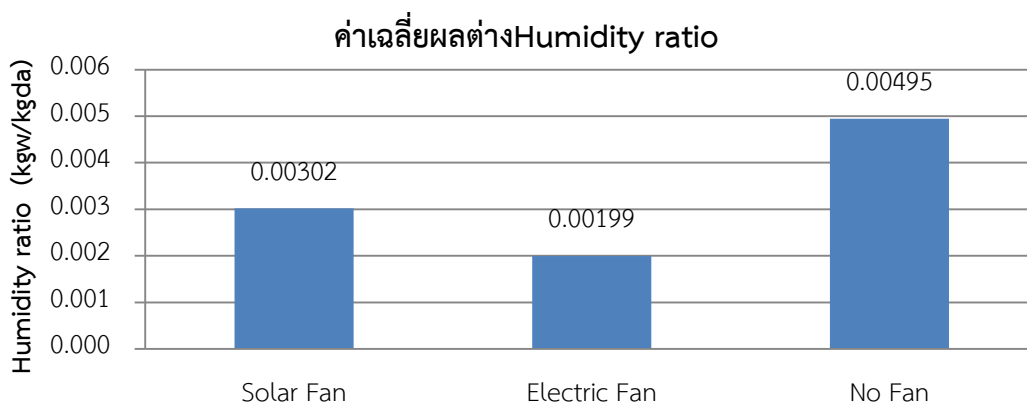
แผนภูมิที่ 17 ช่วงเวลาอาบน้ำและค่า Humidity ภายในห้องน้ำ (Indoor) และภายนอกห้องน้ำ (Outdoor) ของห้องน้ำที่ใช้ระบบพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Fan) วันที่ 23 - 24 มกราคม ระบบพัดลมระบายอากาศแบบใช้ไฟฟ้า (Electric Fan) วันที่ 11 - 12 กุมภาพันธ์ และห้องน้ำที่ไม่มีระบบพัดลมระบายอากาศ (No Fan) วันที่ 27 - 28 กุมภาพันธ์



จากแผนภูมิการศึกษาพฤติกรรมของค่า Humidity ratio ช่วงเวลาที่มีค่า Humidity ratio สูงสุดคือ 23:30 น. ซึ่งเป็นช่วงเวลาหลังจากการอาบน้ำในตอนกลางคืน ค่า Humidity ratio ของทั้ง 3 ระบบ จะสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัด และห้องน้ำที่ใช้ระบบพัดลมระบายอากาศแบบใช้ไฟฟ้า จะสามารถลดค่า Humidity ratio ลงได้อย่างรวดเร็วประมาณภายในระยะเวลา 2 ชั่วโมง เนื่องจากพัดลมเปิดใช้งานอยู่ ในขณะที่ห้องน้ำที่ใช้ระบบพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ และห้องน้ำที่ไม่มีระบบพัดลมระบายอากาศ จะสามารถลดค่า Humidity ratio ได้ช้าและมีลักษณะใกล้เคียงกัน เนื่องมาจากระบบพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ไม่ได้ทำงานในช่วงเวลากลางคืน ส่วนช่วงเวลา 8.00 น. เป็นช่วงเวลาหลังอาบน้ำเช้า ห้องน้ำที่ใช้ระบบพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ และระบบพัดลมระบายอากาศแบบใช้ไฟฟ้า จะสามารถลดค่า Humidity ratio ในระยะเวลาใกล้เคียงกัน โดยประมาณ 1 ชั่วโมง เนื่องจากระบบพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์มีการทำงานในเวลากลางวัน ในขณะที่ห้องน้ำที่ไม่มีระบบพัดลมระบายอากาศจะลดค่า Humidity ratio ได้ช้ากว่า โดยใช้ระยะเวลาประมาณ 5 ชั่วโมง ผลที่ได้นำมาเขียนเป็นความสัมพันธ์ระหว่างค่า Humidity ratio ภายในและภายนอกของทั้ง 3 ระบบ ได้ดังแผนภูมิที่ 18 และนำมาคำนวณหาค่าเฉลี่ยผลต่าง Humidity ratio ระหว่างภายในกับภายนอกห้องน้ำของทั้ง 3 ระบบ ได้ดังแผนภูมิที่ 19

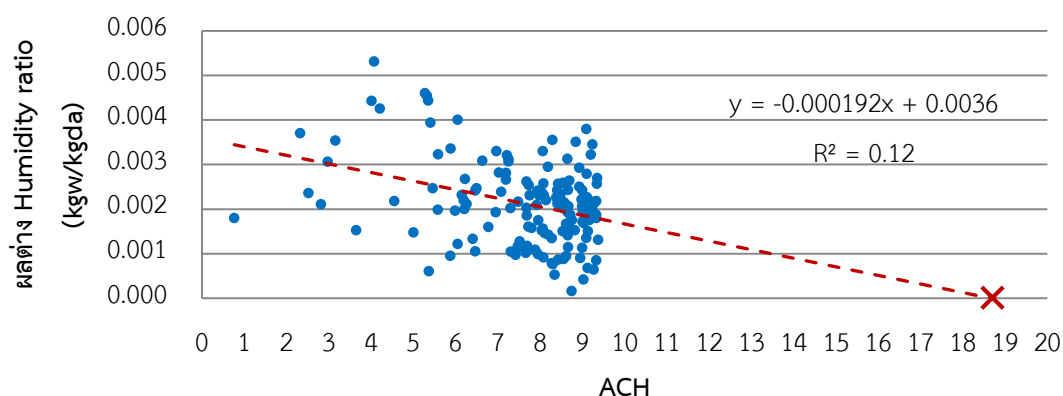


แผนภูมิที่ 18 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Humidity ratio ระหว่างภายในกับภายนอกห้องน้ำของห้องน้ำที่ใช้ระบบพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Fan) ระบบพัดลมระบายอากาศแบบใช้ไฟฟ้า (Electric Fan) และห้องน้ำที่ไม่มีระบบพัดลมระบายอากาศ (No Fan)



แผนภูมิที่ 19 ค่าเฉลี่ยผลต่าง Humidity ratio ระหว่างภายในกับภายนอกห้องน้ำของห้องน้ำที่ใช้ระบบพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Fan) ระบบพัดลมระบายอากาศแบบใช้ไฟฟ้า (Electric Fan) และห้องน้ำที่ไม่มีระบบพัดลมระบายอากาศ (No Fan)

จากแผนภูมิที่ 18 จะเห็นว่าเส้นแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างค่าค่า Humidity ratio ระหว่างภายในกับภายนอกห้องน้ำของระบบพัดลมระบายอากาศแบบใช้ไฟฟ้าจะอยู่ต่ำที่สุด ซึ่งหมายความว่าสามารถลดค่า Humidity ratio ภายในห้องน้ำให้ใกล้เคียงกับภายนอกห้องน้ำได้มากที่สุด รองลงมาคือระบบพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ ส่วนเส้นแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างค่าค่า Humidity ratio ระหว่างภายในกับภายนอกของห้องน้ำที่ไม่มีระบบพัดลมระบายอากาศจะอยู่สูงที่สุด และจากแผนภูมิที่ 19 ค่าเฉลี่ยผลต่างของ Humidity ratio ระหว่างภายในและภายนอกห้องน้ำผลที่ได้คือ ระบบพัดลมระบายอากาศแบบใช้ไฟฟ้ามีค่าเฉลี่ยผลต่าง ของ Humidity ratio น้อยที่สุด รองลงมาคือ ระบบพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ และระบบที่มีค่าเฉลี่ยผลต่าง ของ Humidity ratio มากที่สุดคือ ห้องน้ำแบบที่ไม่มีระบบพัดลมระบายอากาศ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.00199, 0.00302 และ 0.00495 kg/kg ตามลำดับ ดังนั้นระบบพัดลมระบายอากาศแบบใช้ไฟฟ้าจะมีประสิทธิภาพในการลดความชื้นได้ดีที่สุด ซึ่งค่าผลต่าง Humidity ratio ที่ได้สามารถนำมาคำนวณเพื่อหาค่าแนวโน้มความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างผลต่าง Humidity ratio ของภายในและภายนอกห้องน้ำ และค่า ACH ได้ดังแผนภูมิที่ 20



แผนภูมิที่ 20 ค่าแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างผลต่าง Humidity ratio ของภายในและภายนอกห้องน้ำ และค่า ACH

จากแผนภูมิที่ 20 ผลต่าง Humidity ratio ของภายในและภายนอกห้องน้ำ จะแปรผกผันกับค่า ACH โดยที่สามารถคำนวณค่าแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างผลต่าง Humidity ratio ของภายในและภายนอกห้องน้ำ และค่า ACH ออกมาเป็นสมการได้ดังนี้คือ

$$W_{\text{diff}} = -0.000192 (\text{ACH}) + 0.0036 \quad \text{สมการ (2)}$$

โดยที่ ACH คือ อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศต่อชั่วโมง  
 $W_{\text{diff}}$  คือ ค่าผลต่าง Humidity ratio ของภายในและภายนอกห้องน้ำ (kg/kg)

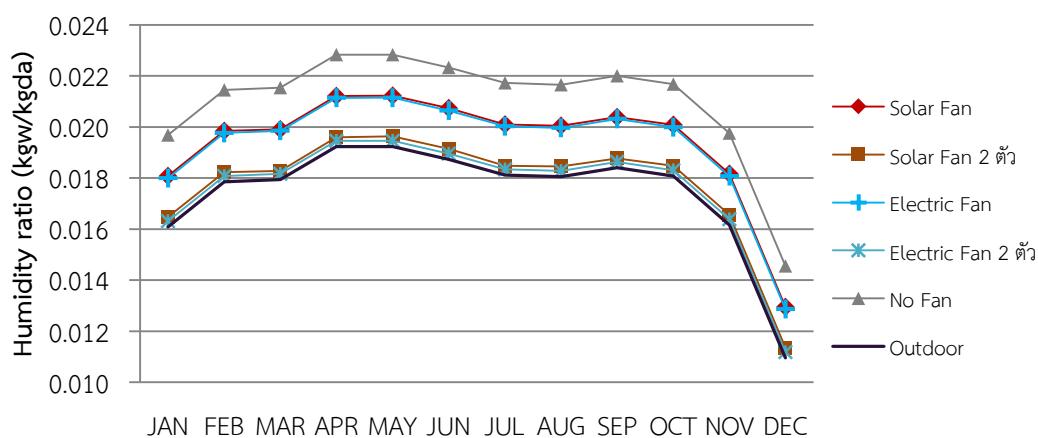
โดยผลต่าง Humidity ratio ของภายในและภายนอกห้องน้ำ จะเท่ากับ 0 เมื่อค่าอัตราแลกเปลี่ยนอากาศอยู่ที่ประมาณ 18.70 ACH แต่เนื่องจากงานวิจัยนี้ยังไม่ได้มีการวัดค่า ACH ถึงช่วง 18.70 ACH เพื่อพิสูจน์สมมติฐานสมการนี้ การวิจัยในอนาคตจึงควรจึงควรมีวัดผลในส่วนนี้เพิ่มเติม

จากผลที่ได้นำมาคำนวณหาค่า Humidity ratio ของตลอดทั้งปีของห้องน้ำทั้ง 3 ระบบ ซึ่งได้มาจากการหาค่ารังสีอาทิตย์ และค่า Humidity ratio ภายนอกอาคาร รายชั่วโมงใน 1 ปีของกรุงเทพฯ จากโปรแกรม Visual DOE 4.1 แล้วนำมาคำนวณหาค่า CFM ด้วยสมการที่ 1 (หน้า 42) เพื่อหาค่า ACH ที่ได้เป็นรายชั่วโมงตลอดทั้งปี และนำค่า ACH ที่ได้มาคำนวณหาค่าผลต่าง Humidity ratio ด้วยสมการที่ 2 (หน้าที่ 60) เพื่อนำมาคำนวณหาค่า Humidity ratio ของตลอดทั้งปี โดยระบบพัฒนาระบายอากาศพลังแสงอาทิตย์จะมีการคำนวณร่วมกับระบบพัฒนาระบายอากาศแบบต่อเข้ากับบ้านในช่วงเวลาที่ค่ารังสีอาทิตย์ไม่เพียงพอต่อการขับเคลื่อนพัฒนาระบายอากาศ เพื่อให้ระบบนี้สามารถทำงานได้ตลอดทั้งวัน รวมถึงเพิ่มการคำนวณระบบที่ใช้พัดลม 2 ตัว เพื่อช่วยเพิ่ม

ประสิทธิภาพในการระบายอากาศ ทำให้พัดลมมีขนาดเท่ากับ 82 CFM ทำให้เกิดการระบายอากาศเท่ากับ 17.53 ACH เมื่อเทียบกับห้องน้ำที่ใช้ในการวิจัย คือ ระบบพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้พัดลม 2 ตัว (Solar Fan\*2) และระบบพัดลมระบายอากาศแบบต่อเข้ากับไฟบ้านที่ใช้พัดลม 2 ตัว (Electric Fan\*2)

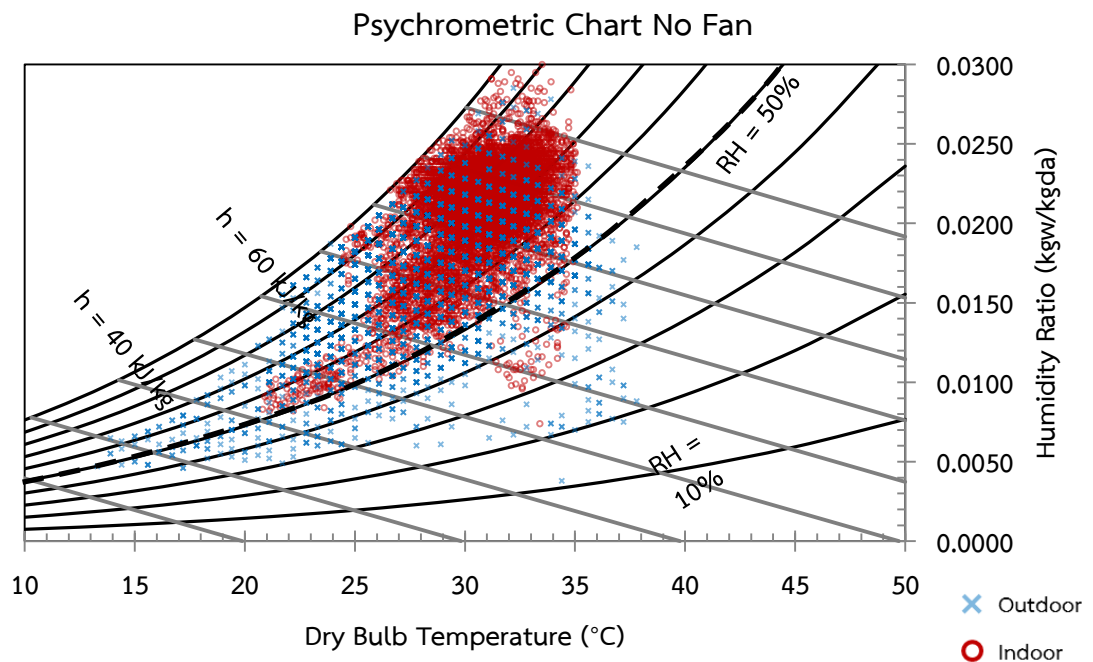
ตารางที่ 7 ค่า Humidity ratio เฉลี่ยในแต่ละเดือนภายในห้องน้ำในแต่ละระบบ

	Humidity ratio (kg/kg)					
	Outdoor	Solar Fan	Solar Fan*2	Electric Fan	Electric Fan*2	No Fan
JAN	0.0161	0.0181	0.0165	0.0180	0.0163	0.0197
FEB	0.0179	0.0198	0.0182	0.0198	0.0181	0.0215
MAR	0.0179	0.0199	0.0183	0.0198	0.0182	0.0215
APR	0.0192	0.0212	0.0196	0.0211	0.0195	0.0228
MAY	0.0192	0.0212	0.0196	0.0211	0.0195	0.0228
JUN	0.0187	0.0207	0.0191	0.0206	0.0190	0.0223
JUL	0.0181	0.0201	0.0185	0.0200	0.0183	0.0217
AUG	0.0180	0.0201	0.0185	0.0200	0.0183	0.0216
SEP	0.0184	0.0204	0.0188	0.0203	0.0186	0.0220
OCT	0.0181	0.0201	0.0185	0.0200	0.0183	0.0217
NOV	0.0162	0.0182	0.0166	0.0181	0.0164	0.0198
DEC	0.0110	0.0130	0.0114	0.0129	0.0112	0.0146
ค่าเฉลี่ยต่อปี	0.0174	0.0194	0.0178	0.0193	0.0176	0.0210
ลด Humidity ratio เฉลี่ย/ปี		7.76%	15.51%	8.15%	16.29%	0.00%

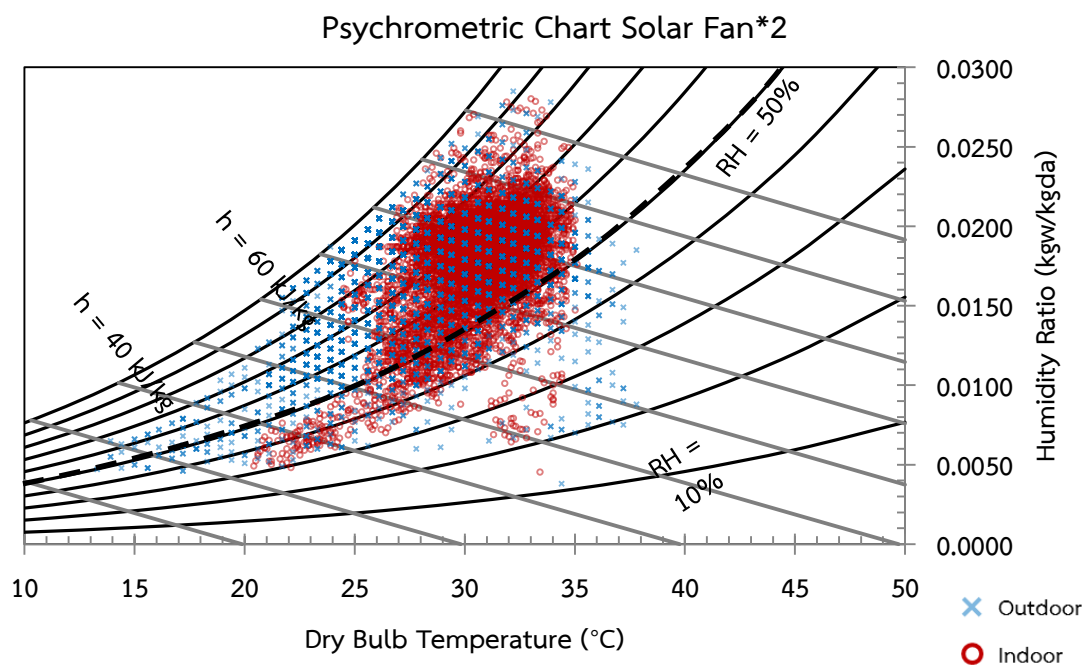


แผนภูมิที่ 21 ค่าเฉลี่ย Humidity ratio ของภายในห้องน้ำทั้ง 5 ระบบเปรียบเทียบกับ ค่า Humidity ratio ภายนอกอาคาร (Outdoor) ในแต่ละเดือน

จากตารางที่ 7 ห้องน้ำที่ใช้ระบบพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ ระบบพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้พัดลม 2 ตัว ระบบพัดลมระบายอากาศแบบต่อเข้ากับไฟบ้าน และระบบพัดลมระบายอากาศแบบต่อเข้ากับไฟบ้านที่ใช้พัดลม 2 ตัว สามารถลดค่า Humidity ratio เฉลี่ยต่อตลอดทั้งปีเหมือนเทียบกับห้องน้ำที่ไม่มีระบบพัดลมระบายอากาศได้เท่ากับ 7.76%, 15.51%, 8.15% และ 16.29% ตามลำดับ และจากแผนภูมิที่ 21 จะเห็นได้ว่าคุณค่า Humidity ratio ของระบบพัดลมระบายอากาศแบบต่อเข้ากับไฟบ้านที่ใช้พัดลม 2 ตัว และระบบพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้พัดลม 2 ตัว มีค่าใกล้เคียงกับค่า Humidity ratio ของภายนอกอาคาร แต่ระบบพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้พัดลม 2 ตัว จะมีค่ามากกว่าอยู่เพียงเล็กน้อย ทั้ง 2 ระบบนี้จึงมีประสิทธิภาพในการลดค่า Humidity ratio มากที่สุด ดังนั้นจึงได้นำระบบพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้พัดลม 2 ตัว มาเขียนลงบน Psychrometric chart เปรียบเทียบกับห้องน้ำที่ไม่มีระบบพัดลมระบายอากาศ คำนวณโดยใช้ค่าอุณหภูมิภายนอกและภายในห้องน้ำรายชั่วโมงตลอดทั้งปีที่ได้จากโปรแกรม Visual DOE 4.1 ได้ตั้งแผนภูมิที่ 22 - แผนภูมิที่ 23 เพื่อนำมาคำนวณหา ค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้ตลอดทั้งปี



แผนภูมิที่ 22 Psychrometric chart เทียบระหว่างภายในห้องน้ำ (Indoor) และภายนอกห้องน้ำ (Outdoor) ของห้องน้ำที่ไม่มีระบบพัดลมระบายอากาศ

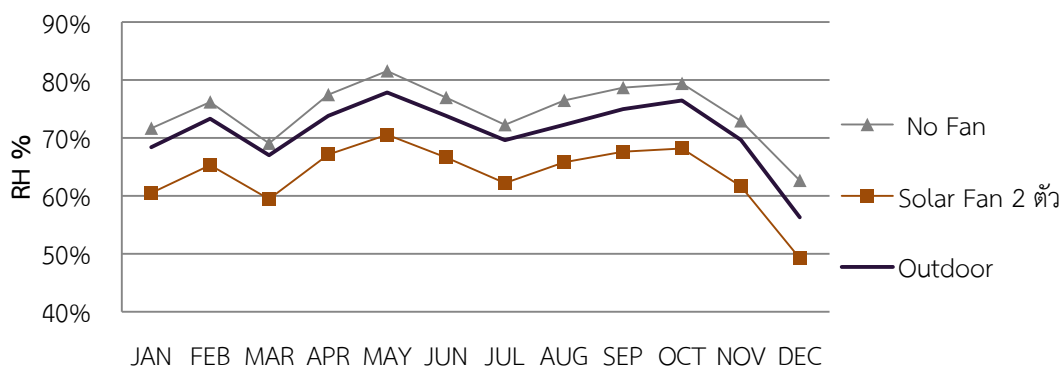


แผนภูมิที่ 23 Psychrometric chart เทียบระหว่างภายในห้องน้ำ (Indoor) และภายนอกห้องน้ำ (Outdoor) ของห้องน้ำที่ใช้ระบบพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้พัดลม 2 ตัว

ตารางที่ 8 ค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์ในแต่ละเดือนของห้องน้ำที่ไม่มีระบบพัดลมระบายอากาศ (RH No Fan) ห้องน้ำที่ใช้ระบบพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้พัดลม 2 ตัว (RH Solar Fan\*2) และภายนอกอาคาร (RH Outdoor)

	Relative humidity		
	RH Outdoor	RH Solar Fan*2	RH No Fan
JAN	68.43%	60.50%	71.70%
FEB	73.35%	65.30%	76.24%
MAR	67.06%	59.47%	69.10%
APR	73.82%	67.15%	77.48%
MAY	77.87%	70.60%	81.58%
JUN	73.82%	66.65%	76.98%
JUL	69.61%	62.25%	72.27%
AUG	72.29%	65.82%	76.50%
SEP	75.02%	67.64%	78.70%
OCT	76.46%	68.22%	79.40%
NOV	69.68%	61.67%	72.94%
DEC	56.33%	49.24%	62.64%
เฉลี่ย/ปี	71.15%	63.71%	74.63%

จากผลที่ได้สามารถเขียนกราฟได้ดังแผนภูมิที่ 24




แผนภูมิที่ 24 ค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์ในแต่ละเดือนของห้องน้ำที่ไม่มีระบบพัดลมระบายอากาศ (RH No Fan) ห้องน้ำที่ใช้ระบบพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้พัดลม 2 ตัว (RH Solar Fan\*2) และภายนอกอาคาร (RH Outdoor)

จากแผนภูมิที่ 24 ค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์ใน 1 ปี ของห้องน้ำที่ไม่มีระบบพัดลมระบายอากาศ ห้องน้ำที่ใช้ระบบพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้พัดลม 2 ตัว และค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกอาคาร เท่ากับ 74.63%, 63.71% และ 71.15% ตามลำดับ ดังนั้นการติดตั้งระบบพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้พัดลม 2 ตัว สามารถลดค่าความชื้นสัมพัทธ์ลงได้ 10.92% เมื่อเทียบกับห้องน้ำที่ไม่มีระบบพัดลมระบายอากาศ ดังนั้นระบบพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้พัดลม 2 ตัว จึงมีประสิทธิภาพในการลดความชื้นให้กับห้องน้ำ

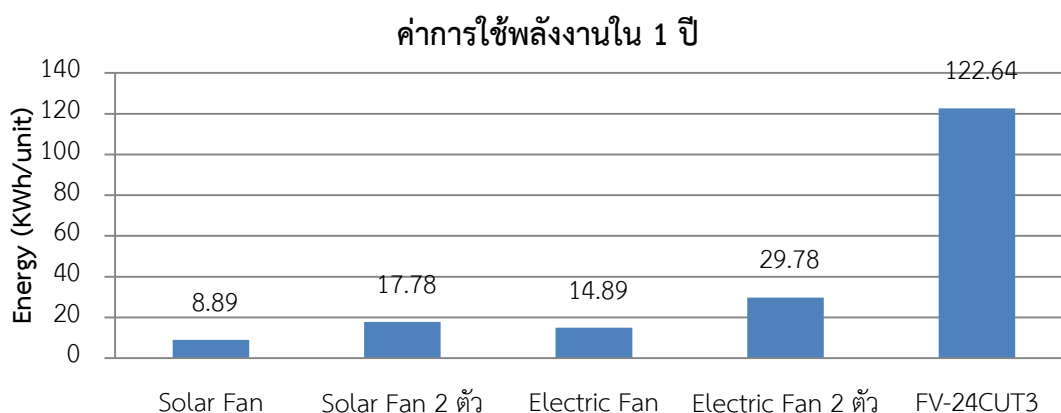
#### 4.2 การประเมินด้านการประหยัดพลังงานและค่าความคุ้มค่า

จากผลที่ได้นำมาคำนวณหาค่าการประหยัดพลังงานและค่าความคุ้มค่า โดยคำนวณให้ระบบพัดลมระบายอากาศมีการเปิดใช้งานทุกวันตลอด 24 ชั่วโมง โดยที่ระบบพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์จะคำนวณโดยการคิดค่าการใช้ไฟฟ้าเมื่อค่ารังสีอาทิตย์ไม่เพียงพอต่อการขับเคลื่อนพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ จะถือเป็นการใช้งานระบบพัดลมระบายอากาศแบบใช้ไฟฟ้าแทน และทำการเปรียบเทียบค่าการใช้ไฟฟ้ากับพัดลมระบายอากาศแบบฝังฝ้าต่อท่อระบายอากาศที่มีจำหน่ายในปัจจุบัน (FV-24CUT3) ที่มีอัตราการระบายอากาศ 82 CFM ซึ่งเท่ากับค่าอัตราการระบายอากาศของพัดลมที่ใช้ในการวิจัยนี้ 2 ตัว ในที่นี้ได้เลือกพัดลมระบายอากาศติดฝ้าเพดานขนาด 6 นิ้ว ของ Panasonic รุ่น FV-24CUT3 ใช้ไฟฟ้ากระแสสลับ 14 W 220 V และมีการเปิดใช้งานตลอด 24 ชั่วโมง ค่าการใช้ไฟฟ้าที่ได้เป็นดังแผนภูมิที่ 25

ตารางที่ 9 ข้อมูลจำเพาะของพัดลมระบายอากาศแบบฝังฝ้าต่อท่อระบายอากาศที่มีจำหน่ายในปัจจุบัน (panasonic.com)

 <p>FV-24CUT3</p>	ความถี่ (เฮิร์ตซ์)	50
	กำลังไฟฟ้า (W)	14
	รอบ/นาที	690
	ปริมาตรลม (ลบ.ฟุต/นาที)	82
	ระดับเสียง (เดซิเบล)	28
	น้ำหนัก (กก.)	2.9
	ราคา (บาท)	2,740





แผนภูมิที่ 25 ผลการคำนวณค่าการใช้ไฟฟ้า (kWh) ต่อหนึ่งยูนิต ของระบบพัดลมระบายอากาศทั้ง 5 ระบบตลอดทั้งปี

จากแผนภูมิที่ 25 ใน 1 ปี ห้องน้ำที่ใช้ระบบพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ และระบบพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้พัดลม 2 ตัว สามารถประหยัดพลังงานมากกว่าห้องน้ำที่ใช้ระบบพัดลมระบายอากาศแบบต่อเข้ากับบ้าน และระบบพัดลมระบายอากาศแบบต่อเข้ากับบ้านที่ใช้พัดลม 2 ตัว ได้ 6.00 และ 12.00 kWh/unit หรือคิดเป็น 40.29% และระบบพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้พัดลม 2 ตัว สามารถประหยัดพลังงานได้มากกว่าระบบพัดลมระบายอากาศ FV-24CUT3 ได้ 104.86 kWh/unit หรือคิดเป็น 85.50% นำผลที่ได้มาคำนวณหาระยะเวลาคู่มือเมื่อเปรียบเทียบในแต่ละระบบ โดยกำหนดให้ราคาค่าไฟอยู่ที่ 4 บาทต่อ 1 หน่วยพัดลมที่ใช้ในการวิจัยราคา 130 บาท อะแดปเตอร์แปลงไฟฟ้าราคา 150 บาท และราคาเซลล์แสงอาทิตย์เป็นดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ราคาเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาด 12 V ที่มีจำหน่ายในปัจจุบัน (Solarshop, 2015)

จำนวนแผ่นที่ สั่งซื้อ	ราคาเซลล์แสงอาทิตย์ Poly-crystalline 12V ในแต่ละขนาดกำลังไฟฟ้า (บาท)						
	10 W	20 W	50 W	80 W	100 W	120 W	140 W
1-10 แผ่น	500	800	1,700	2,240	2,700	3,240	3,780
10 แผ่นขึ้นไป	440	720	1,600	2,160	2,600	3,120	3,640
50 แผ่นขึ้นไป	400	640	1,550	2,080	2,500	2,880	3,360
100 แผ่นขึ้นไป	400	620	1,450	2,080	2,400	2,900	3,400

ตารางที่ 11 ระยะเวลาคุ้มทุนต่อ 1 ยูนิต เมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างระบบพัดลมระบายอากาศทั้ง 5 ระบบ

ระบบ	ต้นทุน (บาท)/unit	ค่าไฟ(บาท)/ ปี/unit	จุดคุ้มทุน (ปี)		
			Electric Fan	Electric Fan*2	FV-24CUT3
Solar Fan	780.00	35.56	20.83	2.63	-
Solar Fan*2	1,360.00	71.13	-	16.66	-
Electric Fan	280.00	59.57	-	-	-
Electric Fan*2	560.00	119.14	-	-	-
FV-24CUT3	2,740.00	490.56	-	-	-

ตารางที่ 12 ระยะเวลาคุ้มทุนต่อ 352 ยูนิต เมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างระบบพัดลมระบายอากาศทั้ง 5 ระบบ

ระบบ	ต้นทุน (บาท)/ 352 unit	ค่าไฟ(บาท)/ ปี/352 unit	จุดคุ้มทุน (ปี)		
			Electric Fan	Electric Fan*2	FV-24CUT3
Solar Fan	176,560.00	12,518.53	9.23	-	-
Solar Fan*2	341,120.00	25,037.06	-	8.52	-
Electric Fan	98,560.00	20,967.94	-	-	-
Electric Fan*2	197,120.00	41,935.87	-	-	-
FV-24CUT3	964,480.00	172,677.12	-	-	-

จากตารางที่ 11 ค่าต้นทุนเรียงจากน้อยไปมากคือ Electric Fan, Electric Fan\*2, Solar Fan, Solar Fan\*2 และ FV-24CUT3 และค่าไฟในแต่ละปีเรียงจากน้อยไปมากคือ Solar Fan, Electric Fan, Solar Fan\*2, Electric Fan\*2 และ FV-24CUT3 จะเห็นได้ว่าพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์จะมีค่าไฟต่อปีต่ำกว่าพัดลมระบายอากาศแบบต่อเข้ากับไฟฟ้า แต่จะมีค่าต้นทุนสูงกว่า เนื่องด้วยค่าต้นทุนของเซลล์แสงอาทิตย์ จากตารางที่ 10 ราคาต้นทุนของเซลล์แสงอาทิตย์ต่อ 1 W จะสามารถลดลงได้หากเพิ่มจำนวนยูนิตของอาคารชุดพักอาศัยเพื่อเพิ่มค่าการใช้กำลังไฟฟ้า โดยที่ราคาของเซลล์แสงอาทิตย์จะมีราคาต่ำที่สุดเมื่อสั่งซื้อเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 120 W หรือ 140 W มากกว่า 50 แผ่นขึ้นไป จะทำให้เซลล์แสงอาทิตย์มีราคา 24 บาทต่อ 1 W ดังนั้นจึงควรเพิ่มจำนวนยูนิตเพื่อให้มีการใช้กำลังไฟฟ้าอย่างน้อย 6,000 W จึงจะประหยัดได้มากที่สุด ผลการคำนวณ

กำลังไฟฟ้า 6,000 W จะสามารถใช้ต่อกับพัดลมได้ 705 ตัว (คิดกำลังไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ เป็น 20%) หรือเทียบกับจำนวนยูนิตของระบบพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้พัดลม 2 ตัวจะได้เท่ากับ 352 ยูนิต สามารถคำนวณจุดคุ้มทุนได้ดังตารางที่ 12 ทำให้ระบบพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้พัดลม 2 ตัว ถึงจุดคุ้มทุนได้ภายใน 9 ปี เมื่อเทียบกับระบบพัดลมระบายอากาศแบบต่อเข้ากับบ้านที่ใช้พัดลม 2 ตัว ดังนั้นระบบพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์จึงเหมาะสมสำหรับใช้กับอาคารชุดพักอาศัยที่มีจำนวนยูนิตมาก

เมื่อเปรียบเทียบกับระบบพัดลมระบายอากาศแบบฝังฝ้าต่อท่อระบายอากาศที่มีจำหน่ายในปัจจุบัน ระบบพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์มีทั้งค่าต้นทุนและค่าไฟต่ำกว่า เนื่องจากพัดลมระบายอากาศที่ใช้ในการวิจัยใช้ไฟฟ้าโวลต์ต่ำ (12 V) จึงใช้กำลังไฟฟ้าเพียง 1.7 W แต่พัดลมระบายอากาศแบบฝังฝ้าต่อท่อระบายอากาศที่มีจำหน่ายในปัจจุบัน ใช้ไฟฟ้าโวลต์สูง (220 V) เพื่อให้ต่อเข้ากับบ้านได้โดยตรงจึงใช้กำลังไฟฟ้า 14 W ซึ่งมากเกินไปจนทำให้สูญเสียพลังงานมากกว่า และยังมีราคาแพงกว่า ดังนั้นพัดลมระบายอากาศที่ใช้ไฟฟ้าโวลต์ต่ำจึงสามารถประหยัดพลังงานได้ดีกว่าพัดลมระบายอากาศที่ใช้ไฟฟ้าโวลต์สูง และจากข้อกำหนดของกฎหมาย อาคารที่ไม่มีช่องเปิดระบายอากาศออกสู่ภายนอกโดยตรงก็มีความจำเป็นต้องติดตั้งพัดลมระบายอากาศตามข้อบังคับ ซึ่งถือว่าเป็นสิ่งจำเป็นที่ต้องมี รวมทั้งการเปิดใช้พัดลมระบายอากาศของห้องน้ำในเวลา กลางคืนด้วย การใช้ระบบพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งร่วมกับระบบพัดลมระบายอากาศแบบใช้ไฟบ้านจึงเป็นแนวทางหนึ่งในการทำตามข้อบังคับ และช่วยประหยัดพลังงานให้กับการใช้งานระบบระบายอากาศ

จากที่กล่าวในข้างต้นสามารถสรุปได้ว่าผลการวิเคราะห์ข้อมูลแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ การประเมินด้านประสิทธิภาพในการลดความชื้น และการประเมินด้านการประหยัดพลังงานและค่าความคุ้มทุน ในการประเมินด้านประสิทธิภาพในการลดความชื้น ใช้การประเมินโดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยผลต่าง Humidity ratio ระหว่างภายในและภายนอกห้องน้ำที่ใช้ระบบพัดลมระบายอากาศทั้ง 3 ระบบพบว่า ระบบพัดลมระบายอากาศแบบใช้ไฟบ้านมีประสิทธิภาพในการระบายอากาศมากที่สุด เนื่องด้วยพัดลมระบายอากาศมีการทำงานสม่ำเสมอตลอดทั้งวัน และรองลงมาคือ ระบบพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ จากผลการคำนวณค่า Humidity ratio ที่ได้ตลอดทั้งปี พบว่า การเพิ่มพัดลมระบายอากาศเป็น 2 ตัว สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการระบายอากาศได้ และระบบพัดลมระบายอากาศที่มีประสิทธิภาพในการระบายอากาศมากที่สุด ได้แก่ ระบบพัดลมระบายอากาศแบบใช้ไฟบ้านที่ใช้พัดลม 2 ตัว รองลงมาคือ ระบบพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้ง

ร่วมกับระบบพัดลมระบายอากาศแบบใช้ไฟฟ้าบ้านโดยใช้พัดลม 2 ตัว ซึ่งมีค่าเฉลี่ย Humidity ratio ใน 1 ปีต่างกันเพียงเล็กน้อย คือ 0.0002 kg/kg และระบบพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งร่วมกับระบบพัดลมระบายอากาศแบบใช้ไฟฟ้าบ้านที่ใช้พัดลม 2 ตัว สามารถลดค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์ตลอดทั้งปีลงได้ 10.92% เมื่อเทียบกับห้องน้ำที่ไม่มีระบบพัดลมระบายอากาศ ส่วนในการประเมินด้านการประหยัดพลังงานและค่าความคุ้มทุน จากผลการวิจัยพบว่า ระบบพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งร่วมกับระบบพัดลมระบายอากาศแบบใช้ไฟฟ้าบ้าน สามารถประหยัดพลังงานมากกว่าระบบพัดลมระบายอากาศแบบต่อเข้ากับไฟฟ้าบ้านได้ 40.29% และประหยัดพลังงานมากกว่าระบบพัดลมระบายอากาศแบบฝังฝ้าต่อท่อระบายอากาศที่มีจำหน่ายในปัจจุบันในอัตราการระบายอากาศเท่ากัน ได้ถึง 85.50% ต่อปี อีกทั้งค่าต้นทุนยังถูกกว่า และสามารถถึงจุดคุ้มทุนได้ภายใน 9 ปี เมื่อเทียบกับระบบพัดลมระบายอากาศแบบต่อเข้ากับไฟฟ้าบ้านที่ใช้พัดลม 2 ตัว หากมีจำนวนยูนิตของอาคารชุดพักอาศัยมากพอที่จะใช้กำลังไฟฟ้าถึง 6,000 W เพื่อลดค่าต้นทุนของเซลล์แสงอาทิตย์ ดังนั้นระบบพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์จึงเหมาะสำหรับการใช้งานที่มีจำนวนยูนิตอาคารชุดพักอาศัยมาก

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การใช้พัดลมระบายอากาศติดฝ้าเพดานในห้องน้ำของอาคารที่พักอาศัยประเภท คอนโดมิเนียม อพาร์ทเมนท์ หอพัก และโรงแรม เป็นวิธีหนึ่งในการช่วยลดความชื้นให้กับห้องน้ำที่ไม่มีช่องเปิดระบายอากาศติดกับภายนอกอาคาร โดยมีข้อกำหนดของกฎกระทรวงฉบับที่ 39 (2537) กำหนดให้ห้องน้ำในที่พักอาศัยมีอัตราการระบายอากาศไม่น้อยกว่า 2 ACH งานวิจัยโดยส่วนใหญ่ที่มีการวิจัยเกี่ยวกับพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ มักจะมุ่งเน้นที่การลดความร้อนให้กับอาคาร ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินประสิทธิภาพการลดความชื้น และการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของพัดลมระบายอากาศในห้องน้ำของอาคารที่พักอาศัย โดยการใช้พัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์

ในการวิจัยใช้ห้องน้ำขนาด  $1.62 \times 1.95 \times 2.53$  เมตร มีพื้นที่ 3.16 ตร.ม. และมีปริมาตร 7.95 ลบ.ม. ติดตั้งพัดลมระบายอากาศขนาด 41 CFM 1.7 W และเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 10 W โดยวิธีการวิจัยแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ส่วนแรกคือ การหาแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีอาทิตย์ และอัตราการระบายอากาศของพัดลม เพื่อนำมาคำนวณหาค่าอัตราการระบายอากาศ และค่า ACH ที่ได้ ในระหว่างการทดลอง ส่วนที่สองคือ การหาแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างผลต่าง Humidity ratio และ ค่า ACH เพื่อประเมินประสิทธิภาพในการลดความชื้นในห้องน้ำ และส่วนสุดท้ายคือ การคำนวณหาค่าความชื้นที่ลดลงภายในห้องน้ำ และค่าการประหยัดพลังงานที่ได้ตลอดทั้งปีของการระบายอากาศในแต่ละระบบด้วยโปรแกรม Visual DOE 4.1 รวมถึงคำนวณค่าความคุ้มทุน และผลจากการวิเคราะห์ข้อมูลจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ การประเมินด้านประสิทธิภาพในการลดความชื้น และการประเมินด้านการประหยัดพลังงานและค่าความคุ้มทุน

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

จากสมมุติฐานการวิจัยที่ตั้งไว้ว่า ห้องน้ำที่ใช้ระบบพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ สามารถลดความชื้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถประหยัดพลังงานได้มากกว่าห้องน้ำที่ใช้ระบบพัดลมระบายอากาศแบบใช้ไฟบ้าน โดยที่การระบายอากาศที่มีค่า ACH ยิ่งมากยิ่งสามารถลดความชื้นได้มากผลการวิจัยที่ได้สอดคล้องกับสมมุติฐานข้างต้น โดยมีรายละเอียดดังนี้

### 5.1.1 ประสิทธิภาพในการลดความชื้น

เนื่องจากในเวลากลางวันเป็นเวลาที่พักอาศัยมักไม่อยู่ในบ้าน จึงทำให้อาจไม่ยอมเปิดการทำงานของพัดลมระบายอากาศทิ้งไว้ เพราะเป็นการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า และกังวลหากจะต้องเปิดสวิตช์ไฟฟ้าทิ้งไว้ทั้งวันโดยไม่มีคนอยู่บ้าน การใช้วิธีระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติในเวลากลางวันจึงสามารถช่วยแก้ไขปัญหานี้ได้ และทำให้ความชื้นสะสมจากการอาบน้ำในเวลาเช้าของผู้พักอาศัยจะถูกแทนที่ด้วยอากาศภายนอกที่มีความชื้นต่ำกว่า และส่งผลให้ความชื้นในห้องน้ำมีค่าใกล้เคียงหรือเท่ากับค่าความชื้นของอากาศภายนอก แต่อย่างไรก็ดี การเปิดหน้าต่างของอาคารประเภทคอนโดมิเนียมทิ้งไว้ทั้งวันโดยไม่มีคนอยู่ก็เป็นไปได้ยาก ทั้งด้านการป้องกันฝนสาด ฝุ่นละออง และความปลอดภัย จากผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าห้องน้ำที่ใช้ระบบพัดลมระบายอากาศแบบต่อเข้ากับไฟบ้านจะมีค่าเฉลี่ยผลต่างของ Humidity ratio ระหว่างภายในและภายนอกของห้องน้ำที่ใช้ในการวิจัยน้อยที่สุด รองลงมาคือ ระบบพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ และห้องน้ำที่มีค่าเฉลี่ยผลต่างของ Humidity ratio สูงสุดคือ ห้องน้ำที่ไม่มีระบบพัดลมระบายอากาศ ซึ่งหมายความว่ามีความชื้นสะสมจากการอาบน้ำในห้องน้ำสูงที่สุด โดยที่ค่าผลต่างของ Humidity ratio ระหว่างภายในและภายนอกของห้องน้ำจะขึ้นอยู่กับค่าอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศต่อชั่วโมง (Air changes per hour : ACH) ยิ่งค่า ACH มีค่ามาก ค่าผลต่าง Humidity ratio ระหว่างภายในและภายนอกของห้องน้ำจะยิ่งน้อยลง (แผนภูมิที่ 20) แสดงว่ายิ่งค่า ACH มากยิ่งสามารถลดค่า Humidity ratio ในห้องน้ำให้ใกล้เคียงกับค่า Humidity ratio ภายนอกอาคารได้มาก จากผลการวิจัยค่า ACH ที่ทำให้ค่าผลต่าง Humidity ratio ระหว่างภายในและภายนอกของห้องน้ำเป็น 0 เท่ากับ 18.70 ACH หมายถึงอัตราการระบายที่สามารถเอาความชื้นสะสมออกจากห้องได้ทั้งหมด ซึ่งมากกว่าข้อกำหนดของกฎกระทรวงฉบับที่ 39 (2537) ที่กำหนดให้ห้องน้ำในที่พักอาศัยมีอัตราการระบายอากาศขั้นต่ำที่ 2 ACH เนื่องจากข้อกำหนดของกฎกระทรวงฉบับที่ 39 (2537) เป็นเพียงข้อกำหนดในการระบายอากาศขั้นต่ำที่เน้นปริมาณอากาศบริสุทธิ์ให้เพียงพอต่อการหายใจของมนุษย์ จึงอาจยังไม่มีประสิทธิภาพในการระบายความชื้นสะสมมากเพียงพอ

ในการวิจัยพัดลมระบายอากาศที่ใช้มีอัตราการระบายอากาศอยู่ที่ 41 CFM ทำให้เกิดการระบายอากาศเท่ากับ 8.76 ACH ซึ่งสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการเพิ่มอัตราการระบายอากาศได้ โดยการเพิ่มจำนวนพัดลมระบายอากาศเป็น 2 ตัว ทำให้มีค่าการระบายอากาศเท่ากับ 17.53 ACH เพื่อให้ใกล้เคียงกับค่า ACH ที่ทำให้ค่าผลต่าง Humidity ratio ระหว่างภายในและภายนอกของห้องน้ำเป็น 0 โดยที่ค่า ACH จะแปรผันตรงกับค่าอัตราการระบายอากาศ ซึ่งในระบบพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ ค่าอัตราการระบายอากาศของพัดลมระบายอากาศจะขึ้นอยู่กับค่ารังสีอาทิตย์ที่เซลล์แสงอาทิตย์ได้รับ โดยค่ารังสีอาทิตย์ยิ่งมากค่าอัตราการระบายอากาศของพัดลมระบาย

อากาศก็จะยิ่งมากตาม (แผนภูมิที่ 2) ระบบพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์จึงทำงานได้เฉพาะเวลากลางวันที่มีแสงแดดเท่านั้น หากต้องการให้ระบบพัดลมระบายอากาศมีการทำงานในช่วงเวลาที่ไม่มีแสงแดดจะต้องติดตั้งร่วมกับระบบพัดลมระบายอากาศแบบต่อเข้ากับไฟบ้านให้ทำงานในช่วงดังกล่าวแทนจึงจะทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด แต่พัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์จะใช้ไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current : DC) ส่วนพัดลมระบายอากาศแบบต่อเข้ากับไฟบ้านจะใช้ไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating Current : AC) จากการคำนวณหาค่า Humidity ratio ภายในห้องน้ำที่ได้ตลอดทั้งปี โดยใช้โปรแกรม Visual DOE 4.1 พบว่า ระบบพัดลมระบายอากาศแบบใช้ไฟบ้านที่ใช้พัดลม 2 ตัว และระบบพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีการติดตั้งร่วมกันกับระบบพัดลมระบายอากาศแบบใช้ไฟบ้านที่ใช้พัดลม 2 ตัว มีประสิทธิภาพในการลดค่า Humidity ratio ภายในห้องน้ำให้ใกล้เคียงกับค่า Humidity ratio ภายนอกห้องอาคารมากที่สุด สามารถลดค่า Humidity ratio ภายในห้องน้ำเปรียบเทียบกับห้องน้ำที่ไม่มีระบบพัดลมระบายอากาศจาก 0.0210 Kg/Kg เป็น 0.0176 และ 0.0178 Kg/Kg ตามลำดับ หรือคิดเป็น 16.29% และ 15.51% ตามลำดับ เมื่อนำมาคำนวณเป็นค่าความชื้นสัมพัทธ์พบว่า ระบบพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีการติดตั้งร่วมกันกับระบบพัดลมระบายอากาศแบบใช้ไฟบ้านที่ใช้พัดลม 2 ตัวจะสามารถลดค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์ใน 1 ปี ลงได้ 10.92% เมื่อเทียบกับห้องน้ำที่ไม่มีระบบพัดลมระบายอากาศ

ความชื้นเป็นปัจจัยสำคัญที่อาจทำให้เกิดเชื้อราได้ เพราะเชื้อราจะเจริญเติบโตได้ดีที่ความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่า 60% (สุพจน์ เตชะอำนวยวิทย์, 2551) แต่เนื่องด้วยห้องน้ำเป็นห้องที่ไม่มีระบบปรับอากาศ ค่าความชื้นในห้องน้ำจึงขึ้นอยู่กับค่าความชื้นภายนอกอาคาร โดยหากค่า Humidity ratio ภายนอกอาคารมีค่าสูง ค่า Humidity ratio ภายในห้องน้ำก็จะมีค่าสูงตามไปด้วย และไม่สามารถมีค่าต่ำกว่าภายนอกอาคารได้ สำหรับงานวิจัยนี้ได้ใช้พัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ลดค่า Humidity ratio ในห้องน้ำให้ใกล้เคียงกับภายนอกอาคารมากที่สุด เมื่อนำค่า Humidity ratio มาคำนวณกลับเป็นค่าความชื้นสัมพัทธ์จึงไม่สามารถควบคุมให้มีค่าต่ำกว่า 60% ได้อย่างสมบูรณ์ เนื่องจากสภาพอากาศในแต่ละวันซึ่งเป็นสิ่งที่ไม่สามารถควบคุมได้ นอกจากนี้ ผลจากงานวิจัยที่ยังไม่สามารถลดค่า Humidity ratio ภายในห้องน้ำให้เท่ากับภายนอกอาคารได้ อาจเนื่องมาจากอากาศที่ใช้เข้าไปแทนที่อากาศที่ระบายออกจากห้องน้ำไม่ได้เป็นอากาศจากภายนอกอาคารโดยตรง แต่เป็นอากาศจากภายในอาคารซึ่งอาจมีความชื้นสะสมอยู่ ทำให้ไม่สามารถลดค่า Humidity ratio ภายในห้องน้ำได้เท่ากับภายนอกอาคารได้

### 5.1.2 ประสิทธิภาพในด้านการประหยัดพลังงานและความคุ้มค่า

ในการคำนวณค่าการประหยัดพลังงานของการใช้ระบบดังกล่าวพบว่า ระบบพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งร่วมกับระบบพัดลมระบายอากาศแบบต่อเข้ากับไฟบ้านที่ใช้พัดลม 2 ตัว สามารถช่วยลดค่าการใช้ไฟฟ้าได้มากกว่าระบบพัดลมระบายอากาศแบบต่อเข้ากับไฟบ้านอย่างเดียว 12.00 kWh/ปี/unit หรือประมาณเท่ากับ 48 บาท/ปี/unit ในด้านการคำนวณความคุ้มค่า ระบบพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งร่วมกับระบบพัดลมระบายอากาศแบบต่อเข้ากับไฟบ้านที่ใช้พัดลม 2 ตัว เหมาะสมสำหรับใช้งานกับอาคารชุดพักอาศัยที่มีจำนวนยูนิตของห้องน้ำมาก เนื่องจากยังมีจำนวนยูนิตมากยิ่งขึ้นถึงจุดคุ้มทุนได้เร็วขึ้น โดยสามารถถึงจุดคุ้มทุนได้ภายใน 9 ปี หากมีจำนวนยูนิตของห้องน้ำในอาคารชุดพักอาศัยมากเพียงพอที่ระบบจะใช้กำลังไฟฟ้ามากกว่า 6,000 W หรือ 6 kW นอกจากนี้พัดลมระบายอากาศแบบต่อเข้ากับไฟบ้านมักจะถูกใช้งานเมื่อมีผู้พักอาศัยอยู่ในบ้านเท่านั้น เนื่องจากผู้พักอาศัยอาจไม่ต้องการเปิดพัดลมไฟฟ้าทิ้งเอาไว้แล้วออกจากบ้านไปทำงานในช่วงเวลากลางวัน การใช้ระบบพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์จึงเป็นตัวช่วยในการเปิดใช้งานพัดลมระบายอากาศในเวลากลางวัน

เมื่อเปรียบเทียบกับพัดลมระบายอากาศแบบฝังฝ้าต่อท่อระบายอากาศที่มีจำหน่ายในปัจจุบัน เนื่องจากการใช้ไฟฟ้าในบ้านจะใช้ไฟฟ้ากระแสสลับ 220 V พัดลมระบายอากาศที่ผลิตมาเพื่อให้สามารถต่อเข้ากับไฟบ้านได้โดยตรงจึงต้องมีค่าโวลต์สูง ทำให้มีค่าการใช้กำลังไฟฟ้ามากเกินความจำเป็น การเปลี่ยนไปใช้พัดลมที่ใช้ไฟฟ้ากระแสตรง ทำให้มีค่าโวลต์ต่ำ จะสามารถช่วยลดค่าการใช้กำลังไฟฟ้าและต้นทุนลงได้ แต่การแปลงไฟบ้านให้เป็นไฟโวลต์ต่ำจะต้องใช้อินเวอร์เตอร์ซึ่งจะทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานบางส่วนไป (Alter, 2007) การใช้พลังงานทดแทน เช่น พลังงานแสงอาทิตย์มาเป็นแหล่งพลังงานที่สามารถต่อเข้ากับพัดลมระบายอากาศแบบกระแสตรงได้จึงเป็นแนวทางหนึ่งในการแก้ปัญหา

จากการวิจัยสามารถสรุปได้ว่า การใช้ระบบพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพในการลดความชื้นในห้องน้ำของอาคารที่พักอาศัย และสามารถลดความชื้นได้มีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อมีการติดตั้งร่วมกับระบบพัดลมระบายอากาศแบบต่อเข้ากับไฟบ้าน เพื่อให้มีการใช้งานได้ตลอดทั้งวัน และควรเลือกพัดลมให้มีอัตราการระบายอากาศเพียงพอ โดยจากผลการวิจัยนี้เสนอให้เลือกพัดลมที่มีอัตราการระบายอากาศเมื่อคำนวณร่วมกับปริมาตรของห้องน้ำที่ต้องการใช้งาน ควรให้มีค่าการระบายอากาศมากกว่า 18.70 ACH ขึ้นไป เหมาะสมกับการใช้งานในอาคารชุดพักอาศัย ที่มีจำนวนยูนิตห้องน้ำมาก ซึ่งสามารถช่วยประหยัดพลังงานได้มากกว่าการใช้ระบบพัดลมระบายอากาศแบบต่อเข้ากับไฟบ้านเพียงระบบเดียว และช่วยลดการสูญเสียพลังงาน จึงถือเป็นแนวทางที่สามารถช่วยส่งเสริมการประหยัดพลังงานให้กับอาคารได้อีกทางหนึ่ง



## 5.2 แนวทางเพื่อการประยุกต์ใช้

จากผลการวิจัยที่ได้ ระบบพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์นอกจากจะช่วยระบายอากาศให้กับห้องน้ำแล้วยังสามารถช่วยระบายอากาศให้กับส่วนอื่นๆของอาคารได้อีกด้วย เป็นการช่วยเพิ่มคุณภาพอากาศภายในอาคาร ช่วยลดความเสี่ยงในการเกิดเชื้อรา ซึ่งเกิดจากสภาพแวดล้อมที่มีความอับชื้น คือมีความชื้นสัมพัทธ์มากกว่า 60% หรือมีน้ำขังน้ำขังเกินกว่า 24 - 48 ชั่วโมง และอากาศนี้ไม่มีการหมุนเวียนในห้องที่ปิดทึบ (สุพจน์ เตชะอำนวยวิทย์, 2551) โดยจากการวิจัยนี้ได้หาค่าอัตราการระบายอากาศของพัดลมที่จะช่วยให้สามารถลดค่าความชื้นใกล้เคียงกับภายนอกอาคารมากที่สุด และช่วยให้มีการหมุนเวียนอากาศตลอดเวลา นอกจากนี้การใช้ระบบพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์เหมาะสมกับอาคารชุดที่มีการใช้งานห้องน้ำเป็นจำนวนมาก จึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการนำระบบพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ในการพัฒนาออกแบบอาคารประเภทอาคารชุด เช่น คอนโดมิเนียม อพาร์ทเมนท์ หอพัก และโรงแรม ซึ่งมักจะถูกออกแบบให้ห้องน้ำไม่มีหน้าต่างระบายอากาศ

## 5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 เนื่องจากการวิจัยนี้ใช้ขนาดของพัดลมระบายอากาศเท่ากับ 41 CFM และใช้ขนาดของเซลล์แสงอาทิตย์ 10 W ซึ่งหากมีการเปลี่ยนแปลงขนาดของตัวแปรดังกล่าว อาจส่งผลกระทบต่อสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีอาทิตย์และอัตราการระบายอากาศ จึงควรมีการศึกษาผลกระทบจากตัวแปรดังกล่าว

5.3.2 ในการวิจัยนี้ได้ทำการเพิ่มประสิทธิภาพการระบายอากาศ โดยการคำนวณเพิ่มพัดลมขนาด 41 CFM เป็น 2 ตัว เพื่อให้มีค่าอัตราการระบายอากาศเท่ากับ 82 CFM เพื่อให้ค่าผลต่าง Humidity ratio ใกล้เคียงกับ 0 ซึ่งเป็นแค่การเทียบค่าจากสมการเชิงเส้นตามสมการที่ 2 (หน้า 60) จึงควรมีการศึกษาติดตั้งพัดลมระบายอากาศขนาด 82 CFM จริงเพิ่มเติมเพื่อตรวจสอบสมการที่ได้

5.3.3 ในการวิจัยนี้ได้ทำการบันทึกค่าอุณหภูมิ และความชื้นของภายในและภายนอกห้องน้ำ ในแต่ละระบบต่างช่วงเวลากัน ด้วยข้อจำกัดที่ห้องน้ำที่ใช้ในการวิจัยมีเพียงห้องเดียว จึงควรมีการศึกษางานวิจัยที่สามารถบันทึกผลในช่วงเวลาเดียวกันได้

5.3.4 การคำนวณค่ารังสีอาทิตย์ ค่าอุณหภูมิ และค่า Humidity ratio ตลอดทั้งปีที่ได้จากโปรแกรม Visual DOE 4.1 ยังเป็นข้อมูลอากาศเฉลี่ยที่ไม่นำสมัย หากสามารถปรับปรุงข้อมูลให้ใกล้เคียงกับปัจจุบัน หรือมีแนวโน้มในอนาคตของสภาพอากาศของกรุงเทพฯ เช่น งานวิจัยผลกระทบ

จากภาวะอากาศเปลี่ยนแปลงต่อการใช้พลังงานอาคารในเขตร้อนชื้น (ฉันทนา ตระกูลไท, 2558) จะได้ผลที่เป็นปัจจุบันยิ่งขึ้น

5.3.5 กฎกระทรวงฉบับที่ 39 (2537) กำหนดให้ห้องน้ำในที่พักอาศัยต้องมีอัตราการระบายอากาศไม่น้อยกว่า 2 ACH บังคับกับอาคารที่ไม่มีหน้าต่างติดภายนอกสร้างปัญหาต่อการใช้งานอาคาร เพราะผู้พักอาศัยไม่ได้เปิดพัดลมระบายความชื้นในเวลากลางวันหลังจากอาบน้ำ และหากติดตั้งพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ ก็ใช้งานในช่วงเวลากลางคืนไม่ได้ ต้องใช้พัดลมระบายอากาศแบบต่อเข้ากับไฟบ้านช่วย ทำให้กลายเป็นการติดตั้งซ้ำซ้อน ดังนั้นจึงควรจะต้องมีการพัฒนาระบบให้ในพัดลมระบายอากาศตัวเดียว สามารถทำงานได้ตลอดทั้งกลางวัน และกลางคืน เช่น มีแบตเตอรี่ เป็นต้น

5.3.6 การเปรียบเทียบกับพัดลมระบายอากาศแบบฝังฝ้าต่อท่อระบายอากาศที่มีจำหน่ายในปัจจุบัน ระบบพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์อาจมีค่าต้นทุนเพิ่มเติม เช่น ค่าหน้าากกตะแกรงป้องกันฝุ่น และค่ากล่องที่เชื่อมกับท่อระบายอากาศ เป็นต้น และในด้านประสิทธิภาพการใช้งานควรมีการศึกษาเพิ่มเติม เช่น อายุการใช้งาน และความคงทนแข็งแรง เป็นต้น

## รายการอ้างอิง

### ภาษาไทย

- กัลป์ จิตรมั่นคง (2552). ประสิทธิภาพของพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. (2550). "เทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์." Retrieved 3 พฤษภาคม, 2559, from <http://www3.egat.co.th/re/solarcell/solarcell.htm>.
- โซลาร์สไมล์โนวเลจ. (2556). "การทำงานของโซลาร์เซลล์." Retrieved 6 พฤศจิกายน, 2560, from <https://solarsmileknowledge.com/solar-cell/การทำงานของโซลาร์เซลล์/>.
- ณัฐภา ตระกูลไท (2558). ผลกระทบจากภาวะอากาศเปลี่ยนแปลงต่อการใช้พลังงานอาคารในเขตร้อนชื้น. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, สาขาวิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ตรึงใจ บุณสมภพ (2539). การออกแบบอาคารที่มีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงาน. กรุงเทพมหานคร, อมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง.
- ปรเมธ ประเสริฐยิ่ง (2547). "การควบคุมความชื้นในห้องพักโรงแรม." สมาคมวิศวกรรมปรับอากาศแห่งประเทศไทย 16: 33-38.
- ปรีดา จันทวงษ์ (2556). "การศึกษาเปรียบเทียบทดสอบระหว่างหลังคาทั่วไปกับปล่องหลังคาโซลาร์เซลล์ระบายอากาศแบบธรรมชาติร่วมกับพัดลมไฟฟ้ากระแสตรงและวิเคราะห์ต้นทุนวงจรชีวิต." วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ 23: 104-114.
- ปรีดา จันทวงษ์, โจเซฟ เคตารี และ จงจิตร หิรัญลาภ (2555). "การศึกษาการระบายอากาศในห้องใต้หลังคาโดยใช้ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ของบ้านจำลองภายใต้สภาวะอากาศของกรุงเทพมหานคร." วิศวกรรมลาดกระบัง 29: 66-71.
- ปรีดา จันทวงษ์ และ บุญชอบ โสตประวัตติ (2556). "การศึกษาทดสอบการลดภาระความร้อนและเปรียบเทียบสมรรถนะเชิงความร้อนระหว่างหลังคาคอนกรีตทั่วไปกับหลังคาเซลล์แสงอาทิตย์ระบายอากาศห้องใต้หลังคาร่วมกับพัดลมไฟฟ้ากระแสตรงทั้งสองแบบ." วารสารวิทยาศาสตร์ลาดกระบัง 22: 66-71.
- พิสิทส์ราชมงคล. (2554). "พลังงานทางเลือก." Retrieved 5 พฤษภาคม, 2560, from [http://www.electron.rmutphysics.com/sciTech/pdf/c07\\_2554\\_energy.pdf](http://www.electron.rmutphysics.com/sciTech/pdf/c07_2554_energy.pdf).

- วันทนี พันธุ์ประสิทธิ์ (2552). แผนการสอนประจำหน่วยที่ 3 การระบายอากาศเฉพาะที่.  
กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยมหิดล. (เอกสารไม่ตีพิมพ์)
- วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. (2559). "พลังงานทดแทน." Retrieved 21 พฤศจิกายน, 2559, from <https://th.wikipedia.org/wiki/พลังงานทดแทน>.
- วิทยา พวงสมบัติ, โจเซฟ เคตารี และ จงจิตร หิรัญลาภ (2545). "การระบายอากาศในห้องใต้หลังคา โดยใช้ระบบเซลล์แสงอาทิตย์." รายงานการประชุมทางวิชาการของ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 40: 233-240.
- สทรรัฐ อิงคะวนิช, จงจิตร หิรัญลาภ และ โจเซฟ เคตารี (2543). "การออกแบบระบบเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อเพิ่มสมรรถนะของหลังคารับรังสีอาทิตย์." รายงานการประชุมทางวิชาการของ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 38: 230-237.
- สามเอ็ม. (2557). "เคลือบ..กำจัดความชื้นในห้อง." Retrieved 9 ธันวาคม, 2559, from [http://www.3mbuildingfilm.com/มุมมองรักบ้าน/เคลือบ\\_\\_กำจัดความชื้นในห้อง/520](http://www.3mbuildingfilm.com/มุมมองรักบ้าน/เคลือบ__กำจัดความชื้นในห้อง/520).
- สุพจน์ เตชะอำนวยวิทย์ (2551). "การศึกษาการแก้ไขปัญหาเชื้อราในระบบปรับอากาศ." สมาคมวิศวกรรมปรับอากาศแห่งประเทศไทย 16: 63-81.
- อาจหาญ ณ นรงค์. (2556). "ระบายทำความเข้าใจแผนภูมิไซโครเมตริก (Psychometric Chart)." Retrieved 26 พฤษภาคม, 2560, from [http://www.thailandindustry.com/indust\\_newweb/articles\\_preview.php?cid=19123](http://www.thailandindustry.com/indust_newweb/articles_preview.php?cid=19123).
- เอสซีจี. (2559). "ระบายอากาศในห้องน้ำที่ไม่มีหน้าต่างอย่างไร." Retrieved 29 ตุลาคม, 2559, from <http://www.scgbuildingmaterials.com/th/LivingIdea/Maintenance/How-to-Ventilate-the-Bathroom-without-Windows.aspx>.

### ภาษาอังกฤษ

- Alter, L. (2007). "Big Steps In Building: Change Our Wiring to 12 Volt DC." Retrieved 19 April, 2017, from <http://www.treehugger.com/sustainable-product-design/big-steps-in-building-change-our-wiring-to-12-volt-dc.html>.
- Janjai, S., C. Chaichoet and P. Intawee (2005). "Performance of a pv-ventilated greenhouse dryer for dryingbananas." Journal onEnergy and Environment 6: 133-138.
- Jie, J., Y. Hua, P. Gang, J. Bin and H. Wei (2006). "Study of PV-Trombe wall assisted with DC fan." Building and Environment 42(10): 3529-3539.

- kW Engineering. (2017). "Psychrometric." Retrieved 15 May, 2017, from <https://www.kw-engineering.com/psychrometrics/>.
- Parker, D. S. and J. R. Sherwin (2000). "Performance Assessment of Photovoltaic Attic Ventilator Fans." Florida Solar Energy Center: 1-7.
- Solarshop. (2015). Retrieved 20 April, 2017, from <https://www.solarshop-th.com/original-price>.
- Tung, Y. C., S. C. Hu and T. Y. Tsai (2009). "Influence of bathroom ventilation rates and toilet location on odor removal." Building and Environment 44(9): 1810-1817.





ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ก

ค่าอัตราการระบายอากาศที่ได้ในค่ารังสีอาทิตย์ที่แตกต่างกัน 15 ช่วง

ช่วงที่	ค่ารังสีอาทิตย์ (W/m <sup>2</sup> )	ค่าความเร็วลม (m/s)	CFM	ACH
1	133.21	0.87	1.80	8.41
	133.25	0.76	1.57	7.34
	132.63	0.73	1.51	7.05
	132.46	0.76	1.57	7.34
	134.38	0.79	1.63	7.63
	133.17	0.74	1.53	7.15
	132.13	0.77	1.59	7.44
	133.25	0.83	1.71	8.02
	132.75	0.98	2.02	9.47
	133.96	1.00	2.07	9.66
2	188.58	1.16	2.40	11.21
	176.42	1.73	3.57	16.72
	176.33	1.27	2.62	12.27
	179.83	1.22	2.52	11.79
	187.63	1.53	3.16	14.78
	193.29	1.25	2.58	12.08
	205.92	2.41	4.98	23.29
	209.17	2.69	5.55	25.99
	210.21	2.82	5.82	27.25
	207.13	3.02	6.24	29.18

ช่วงที่	ค่ารังสีอาทิตย์ (W/m <sup>2</sup> )	ค่าความเร็วลม (m/s)	CFM	ACH
3	227.21	2.84	5.86	27.44
	226.46	3.14	6.48	30.34
	225.71	2.99	6.17	28.89
	225.33	3.09	6.38	29.86
	225.63	3.01	6.22	29.08
	225.58	2.65	5.47	25.61
	224.75	2.62	5.41	25.32
	224.29	2.70	5.58	26.09
	223.75	2.71	5.60	26.19
	223.38	2.72	5.62	26.28
4	272.50	3.65	7.54	35.27
	251.13	3.61	7.45	34.88
	248.88	3.63	7.50	35.08
	243.00	3.53	7.29	34.11
	247.50	3.63	7.50	35.08
	257.79	3.74	7.72	36.14
	261.25	3.82	7.89	36.91
	268.75	3.94	8.14	38.07
	283.83	2.92	6.03	28.21
	262.58	3.50	7.23	33.82



ช่วงที่	ค่ารังสีอาทิตย์ (W/m <sup>2</sup> )	ค่าความเร็วลม (m/s)	CFM	ACH
5	312.63	3.46	7.14	33.43
	311.79	3.48	7.19	33.63
	310.13	3.47	7.17	33.53
	309.71	3.52	7.27	34.01
	309.63	3.59	7.41	34.69
	310.00	3.54	7.31	34.21
	310.50	3.55	7.33	34.30
	311.00	3.49	7.21	33.72
	311.67	3.43	7.08	33.14
	312.71	3.45	7.12	33.34
6	376.13	4.19	8.65	40.49
	372.00	4.20	8.67	40.58
	370.42	4.05	8.36	39.13
	369.79	4.23	8.73	40.87
	368.58	3.93	8.12	37.97
	367.33	3.94	8.14	38.07
	365.63	3.75	7.74	36.23
	364.75	3.78	7.81	36.52
	362.54	3.93	8.12	37.97
	361.79	3.87	7.99	37.39

ช่วงที่	ค่ารังสีอาทิตย์ (W/m <sup>2</sup> )	ค่าความเร็วลม (m/s)	CFM	ACH
7	421.67	3.56	7.35	34.40
	418.33	3.78	7.81	36.52
	411.50	3.47	7.17	33.53
	408.38	3.32	6.86	32.08
	407.29	3.28	6.77	31.69
	404.17	3.30	6.81	31.89
	400.46	3.38	6.98	32.66
	398.04	3.40	7.02	32.85
	390.63	3.76	7.76	36.33
	392.04	3.94	8.14	38.07
8	442.92	3.67	7.58	35.46
	433.33	3.71	7.66	35.85
	432.50	3.71	7.66	35.85
	439.58	3.82	7.89	36.91
	442.08	3.95	8.16	38.17
	443.33	3.95	8.16	38.17
	445.83	3.94	8.14	38.07
	441.67	3.86	7.97	37.30
	408.33	3.59	7.41	34.69
	372.92	3.42	7.06	33.05

ช่วงที่	ค่ารังสีอาทิตย์ (W/m <sup>2</sup> )	ค่าความเร็วลม (m/s)	CFM	ACH
9	521.67	3.94	8.14	38.07
	520.42	4.07	8.40	39.33
	520.83	4.28	8.84	41.36
	521.67	4.65	9.60	44.93
	520.42	4.44	9.17	42.90
	519.58	3.83	7.91	37.01
	516.67	3.79	7.83	36.62
	515.83	4.03	8.32	38.94
	515.42	4.04	8.34	39.04
	513.75	4.16	8.59	40.20
10	540.00	3.57	7.37	34.50
	538.75	3.64	7.52	35.17
	537.92	3.77	7.79	36.43
	535.00	3.90	8.05	37.68
	532.92	4.04	8.34	39.04
	522.08	3.95	8.16	38.17
	522.08	3.97	8.20	38.36
	520.83	4.04	8.34	39.04
	520.00	4.11	8.49	39.71
	522.08	4.16	8.59	40.20

ช่วงที่	ค่ารังสีอาทิตย์ (W/m <sup>2</sup> )	ค่าความเร็วลม (m/s)	CFM	ACH
11	645.42	4.09	8.45	39.52
	646.67	4.44	9.17	42.90
	648.33	4.67	9.64	45.12
	649.17	3.84	7.93	37.10
	646.67	4.14	8.55	40.00
	647.50	4.21	8.69	40.68
	650.00	4.24	8.76	40.97
	656.25	4.33	8.94	41.84
	661.25	4.41	9.11	42.61
	658.33	4.52	9.33	43.67
12	713.75	4.11	8.49	39.71
	723.75	4.29	8.86	41.45
	732.92	4.32	8.92	41.74
	739.17	4.43	9.15	42.81
	742.92	4.53	9.35	43.77
	743.75	4.49	9.27	43.39
	745.00	4.50	9.29	43.48
	743.33	4.82	9.95	46.57
	742.08	3.87	7.99	37.39
	737.50	4.96	10.24	47.93

ช่วงที่	ค่ารังสีอาทิตย์ (W/m <sup>2</sup> )	ค่าความเร็วลม (m/s)	CFM	ACH
13	767.50	4.36	9.00	42.13
	775.42	4.46	9.21	43.10
	776.25	4.46	9.21	43.10
	774.17	4.35	8.98	42.03
	768.33	4.32	8.92	41.74
	761.25	4.33	8.94	41.84
	755.42	4.38	9.04	42.32
	754.58	4.54	9.38	43.87
	757.08	4.54	9.38	43.87
	760.83	4.56	9.42	44.06
14	792.92	4.26	8.80	41.16
	799.58	3.88	8.01	37.49
	809.17	4.09	8.45	39.52
	799.17	4.61	9.52	44.54
	778.75	4.78	9.87	46.19
	768.75	4.57	9.44	44.16
	767.50	4.50	9.29	43.48
	773.75	4.49	9.27	43.39
	790.00	4.57	9.44	44.16
	806.67	4.61	9.52	44.54

ช่วงที่	ค่ารังสีอาทิตย์ (W/m <sup>2</sup> )	ค่าความเร็วลม (m/s)	CFM	ACH
15	825.83	5.06	10.45	48.89
	822.50	4.97	10.26	48.02
	823.33	5.10	10.53	49.28
	822.92	4.10	8.47	39.62
	825.00	4.39	9.07	42.42
	827.08	3.96	8.18	38.26
	825.83	3.87	7.99	37.39
	827.50	4.15	8.57	40.10
	828.33	4.24	8.76	40.97
	827.50	4.20	8.67	40.58

ช่วงเวลาที่อุณหภูมิและความชื้นมีค่าต่ำที่สุด-สูงที่สุด และค่าอุณหภูมิและความชื้นที่ต่ำที่สุด-สูงที่สุดของภายในและภายนอกห้องน้ำ ในแต่ละวันของระบบพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ ตั้งแต่ วันที่ 23 มกราคม - 23 มกราคม 2560

Solar Fan		วันที่						
		23-Jan	24-Jan	25-Jan	26-Jan	27-Jan	28-Jan	29-Jan
Indoor Temp	เวลาที่ Tต่ำสุด	9:00	8:30	8:00	8:30	8:30	9:30	9:00
	ค่า Tต่ำสุด	27.73	27.04	27.11	27.36	27.38	27.14	26.79
	เวลาที่ Tสูงสุด	23:30	0:00	23:30	23:30	17:30	23:30	23:30
	ค่า Tสูงสุด	29.77	28.94	29.99	30.12	29.29	29.24	29.62
Indoor RH	เวลาที่ RHต่ำสุด	16:30	17:00	16:30	16:30	17:30	18:30	15:00
	ค่า RHต่ำสุด	62.34	58.45	62.06	66.62	62.07	58.38	53.75
	เวลาที่ RHสูงสุด	16:30	0:00	23:30	23:30	0:30	23:30	23:30
	ค่า RHสูงสุด	62.34	90.83	88.27	90.50	91.77	84.49	87.28
Outdoor Temp	เวลาที่ Tต่ำสุด	7:00	7:00	5:30	7:00	8:00	7:00	6:30
	ค่า Tต่ำสุด	23.52	23.23	23.42	23.91	23.67	22.59	21.72
	เวลาที่ Tสูงสุด	14:30	15:30	14:30	12:30	16:00	16:30	16:30
	ค่า Tสูงสุด	30.39	30.50	32.48	31.51	30.87	31.08	31.48
Outdoor RH	เวลาที่ RHต่ำสุด	16:30	15:00	15:30	12:00	16:30	16:30	14:30
	ค่า RHต่ำสุด	50.89	45.36	48.01	54.06	50.05	43.86	39.92
	เวลาที่ RHสูงสุด	16:30	6:30	4:00	7:00	5:30	6:00	6:30
	ค่า RHสูงสุด	50.89	74.44	71.93	77.03	82.37	71.59	83.11

ช่วงเวลาที่อุณหภูมิและความชื้นมีค่าต่ำที่สุด-สูงที่สุด และค่าอุณหภูมิและความชื้นที่ต่ำที่สุด-สูงที่สุดของภายในและภายนอกห้องน้ำ ในแต่ละวันของระบบพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ ตั้งแต่ วันที่ 30 มกราคม - 2 กุมภาพันธ์ 2560 และ 7 - 9 กุมภาพันธ์ 2560

Solar Fan		วันที่						
		30-Jan	31-Jan	1-Feb	2-Feb	7-Feb	8-Feb	9-Feb
Indoor Temp	เวลาที่ Tต่ำสุด	9:00	8:30	8:30	9:30	9:00	8:30	8:30
	ค่าTต่ำสุด	26.92	26.82	26.89	27.14	27.65	27.92	27.65
	เวลาที่ Tสูงสุด	23:30	23:30	23:30	23:30	23:30	23:30	23:30
	ค่า Tสูงสุด	29.39	29.09	30.07	30.39	30.67	30.93	30.80
Indoor RH	เวลาที่ RHต่ำสุด	17:00	16:00	18:30	14:30	18:00	18:30	17:00
	ค่า RHต่ำสุด	60.36	59.99	53.82	65.29	55.85	59.57	61.07
	เวลาที่ RHสูงสุด	0:00	0:30	23:30	23:30	0:00	0:00	23:30
	ค่า RHสูงสุด	88.83	89.99	88.66	93.33	88.91	89.82	91.00
Outdoor Temp	เวลาที่ Tต่ำสุด	7:00	6:00	7:00	6:00	7:00	6:30	7:00
	ค่า Tต่ำสุด	22.54	22.54	22.13	23.52	22.75	23.02	22.80
	เวลาที่ Tสูงสุด	15:00	15:00	14:30	15:30	15:30	15:00	14:30
	ค่า Tสูงสุด	31.61	31.20	32.28	31.66	33.65	33.63	33.00
Outdoor RH	เวลาที่ RHต่ำสุด	13:00	14:30	13:30	14:30	13:30	15:30	17:00
	ค่า RHต่ำสุด	40.78	42.44	32.06	53.16	37.95	41.21	46.00
	เวลาที่ RHสูงสุด	7:00	6:00	7:00	3:30	7:00	6:00	6:00
	ค่า RHสูงสุด	89.41	89.14	82.55	74.71	84.43	86.59	82.28



ช่วงเวลาที่อุณหภูมิและความชื้นมีค่าต่ำที่สุด-สูงที่สุด และค่าอุณหภูมิและความชื้นที่ต่ำที่สุด-สูงที่สุดของภายในและภายนอกห้องน้ำ ในแต่ละวันของระบบพัดลมระบายอากาศแบบใช้ไฟฟ้าบ้าน ตั้งแต่วันที่ 11 - 17 กุมภาพันธ์ 2560

Electric Fan		วันที่						
		11-Feb	12-Feb	13-Feb	14-Feb	15-Feb	16-Feb	17-Feb
Indoor Temp	เวลาที่ Tต่ำสุด	9:00	9:00	9:00	9:00	9:00	8:00	8:00
	ค่า Tต่ำสุด	27.63	26.60	26.16	25.99	26.33	26.60	26.74
	เวลาที่ Tสูงสุด	0:00	23:30	23:30	23:30	23:30	23:30	23:30
	ค่า Tสูงสุด	29.69	29.02	28.30	28.20	28.49	29.19	29.94
Indoor RH	เวลาที่ RHต่ำสุด	23:00	23:00	21:00	17:00	17:30	18:00	17:30
	ค่า RHต่ำสุด	59.08	56.59	57.25	55.62	56.27	56.79	52.23
	เวลาที่ RHสูงสุด	0:00	23:30	23:30	23:30	23:30	23:30	23:30
	ค่า RHสูงสุด	76.40	86.97	84.42	77.58	80.96	83.19	76.96
Outdoor Temp	เวลาที่ Tต่ำสุด	7:00	7:00	7:00	7:00	7:00	7:00	6:30
	ค่า Tต่ำสุด	23.04	20.89	20.58	20.96	21.68	22.03	21.89
	เวลาที่ Tสูงสุด	16:00	15:30	16:00	15:30	16:00	14:00	16:30
	ค่า Tสูงสุด	31.64	30.02	29.12	30.22	30.95	31.08	32.48
Outdoor RH	เวลาที่ RHต่ำสุด	16:30	15:30	16:00	15:30	15:00	16:00	17:00
	ค่า RHต่ำสุด	44.66	47.08	46.12	42.41	42.27	41.59	36.58
	เวลาที่ RHสูงสุด	2:30	6:00	7:30	7:00	7:00	4:30	6:00
	ค่า RHสูงสุด	75.45	75.80	73.45	68.45	70.56	75.25	77.75

ช่วงเวลาที่อุณหภูมิและความชื้นมีค่าต่ำที่สุด-สูงที่สุด และค่าอุณหภูมิและความชื้นที่ต่ำที่สุด-สูงที่สุดของภายในและภายนอกห้องน้ำ ในแต่ละวันของระบบพัดลมระบายอากาศแบบใช้ไฟฟ้าบ้าน ตั้งแต่วันที่ 18 - 24 กุมภาพันธ์ 2560

Electric Fan		วันที่						
		18-Feb	19-Feb	20-Feb	21-Feb	22-Feb	23-Feb	24-Feb
Indoor Temp	เวลาที่ Tต่ำสุด	7:30	8:00	8:00	7:30	7:30	7:30	8:00
	ค่า Tต่ำสุด	27.53	27.73	27.95	28.12	28.54	28.82	29.09
	เวลาที่ Tสูงสุด	19:00	23:30	23:30	23:30	23:30	23:30	23:30
	ค่า Tสูงสุด	29.77	30.52	30.34	30.95	31.05	31.54	30.98
Indoor RH	เวลาที่ RHต่ำสุด	16:30	17:30	18:00	18:00	19:00	20:00	17:30
	ค่า RHต่ำสุด	54.13	55.23	59.35	57.07	66.91	64.89	71.86
	เวลาที่ RHสูงสุด	23:30	23:30	23:30	23:30	23:30	23:30	23:30
	ค่า RHสูงสุด	74.69	85.57	85.93	87.78	87.72	87.43	84.99
Outdoor Temp	เวลาที่ Tต่ำสุด	6:30	7:00	7:00	6:00	6:30	6:30	5:30
	ค่า Tต่ำสุด	22.54	23.62	23.45	24.48	24.48	25.55	26.04
	เวลาที่ Tสูงสุด	14:00	17:00	16:30	13:30	14:30	15:30	15:00
	ค่า Tสูงสุด	32.64	33.21	33.86	34.57	34.76	35.61	34.36
Outdoor RH	เวลาที่ RHต่ำสุด	16:00	17:00	16:00	13:30	14:30	16:00	15:00
	ค่า RHต่ำสุด	40.10	36.35	45.04	47.67	50.88	49.32	56.17
	เวลาที่ RHสูงสุด	6:30	7:30	7:00	7:00	6:30	6:30	5:30
	ค่า RHสูงสุด	82.76	83.40	87.98	90.50	88.36	90.91	86.18

ช่วงเวลาที่อุณหภูมิและความชื้นมีค่าต่ำที่สุด-สูงที่สุด และค่าอุณหภูมิและความชื้นที่ต่ำที่สุด-สูงที่สุดของภายในและภายนอกห้องน้ำ ในแต่ละวันของแบบที่ไม่มีระบบพัดลมระบายอากาศ ตั้งแต่วันที่ 27 กุมภาพันธ์ - 5 มีนาคม 2560

No Fan		วันที่						
		27-Feb	28-Feb	1-Mar	2-Mar	3-Mar	4-Mar	5-Mar
Indoor Temp	เวลาที่ Tต่ำสุด	9:00	9:00	7:30	8:00	8:30	7:30	7:30
	ค่า Tต่ำสุด	28.67	28.37	28.62	28.49	27.90	28.59	28.44
	เวลาที่ Tสูงสุด	23:30	23:30	23:30	23:30	23:30	23:30	23:30
	ค่า Tสูงสุด	31.15	31.54	31.43	30.85	31.64	31.38	31.48
Indoor RH	เวลาที่ RHต่ำสุด	18:00	18:30	18:30	18:30	19:00	17:00	18:00
	ค่า RHต่ำสุด	70.52	66.42	65.17	65.38	61.92	60.95	72.58
	เวลาที่ RHสูงสุด	0:30	0:30	0:30	23:30	0:30	23:30	10:00
	ค่า RHสูงสุด	94.38	93.52	93.23	91.96	92.43	93.21	94.87
Outdoor Temp	เวลาที่ Tต่ำสุด	7:00	6:00	7:00	6:30	6:30	7:00	6:30
	ค่า Tต่ำสุด	25.79	25.40	25.33	24.44	24.00	24.00	25.31
	เวลาที่ Tสูงสุด	13:30	15:00	15:30	15:30	15:00	15:00	13:30
	ค่า Tสูงสุด	33.60	33.89	34.26	33.00	33.81	35.05	35.16
Outdoor RH	เวลาที่ RHต่ำสุด	15:30	14:00	16:30	15:00	16:00	14:30	16:30
	ค่า RHต่ำสุด	49.05	44.93	42.07	43.66	36.89	34.88	48.95
	เวลาที่ RHสูงสุด	4:30	7:00	7:00	3:30	6:00	5:00	6:30
	ค่า RHสูงสุด	87.44	76.17	86.86	75.08	82.67	87.93	90.08

ช่วงเวลาที่อุณหภูมิและความชื้นมีค่าต่ำที่สุด-สูงที่สุด และค่าอุณหภูมิและความชื้นที่ต่ำที่สุด-สูงที่สุดของภายในและภายนอกห้องน้ำ ในแต่ละวันของแบบที่ไม่มีระบบพัดลมระบายอากาศ ตั้งแต่วันที่ 6 - 5 มีนาคม 2560 และ 13 - 14 มีนาคม 2560

No Fan		วันที่						
		6-Mar	7-Mar	8-Mar	9-Mar	10-Mar	13-Mar	14-Mar
Indoor Temp	เวลาที่ Tต่ำสุด	7:30	7:30	7:30	7:30	8:00	7:30	7:30
	ค่า Tต่ำสุด	28.57	28.59	28.64	28.62	28.42	29.52	29.41
	เวลาที่ Tสูงสุด	23:30	23:30	23:30	23:30	23:30	23:30	23:30
	ค่า Tสูงสุด	31.84	31.94	31.54	30.98	31.71	32.23	32.15
Indoor RH	เวลาที่ RHต่ำสุด	18:30	18:00	18:00	17:30	19:30	18:30	19:00
	ค่า RHต่ำสุด	73.61	70.97	74.14	73.77	74.79	75.08	73.07
	เวลาที่ RHสูงสุด	10:00	0:30	23:30	10:00	10:00	23:30	23:30
	ค่า RHสูงสุด	95.68	95.75	95.41	95.12	96.51	95.69	95.73
Outdoor Temp	เวลาที่ Tต่ำสุด	7:00	5:30	6:30	5:30	6:30	6:30	6:30
	ค่า Tต่ำสุด	25.55	25.89	25.96	26.11	25.36	26.06	26.28
	เวลาที่ Tสูงสุด	15:30	12:00	11:00	11:30	11:30	15:00	15:30
	ค่า Tสูงสุด	35.99	35.13	34.84	34.26	35.48	36.42	37.07
Outdoor RH	เวลาที่ RHต่ำสุด	15:00	16:30	14:00	14:00	15:00	15:30	15:30
	ค่า RHต่ำสุด	40.31	50.49	51.76	53.97	50.17	48.20	49.17
	เวลาที่ RHสูงสุด	7:00	5:30	4:30	7:00	6:00	6:30	6:30
	ค่า RHสูงสุด	89.19	89.94	87.59	87.22	87.94	90.04	90.36

### ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวเกษญา รัตโนภาส เกิดเมื่อวันที่ 29 ตุลาคม พ.ศ.2535 จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สาขาสถาปัตยกรรม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2558 และเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท สาขาวิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2559

