

ประสิทธิภาพการลดความชื้นในห้องน้ำด้วยสมร้อนจากเทอร์โมอิเล็กทริก



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2563
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

The Efficiency of Relative Humidity Reduction in the Bathroom by Using Hot Air
Generated by Thermoelectric Modules



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Architecture
Department of Architecture
FACULTY OF ARCHITECTURE
Chulalongkorn University
Academic Year 2020
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ประสิทธิภาพการลดความชื้นในห้องน้ำด้วยลมร้อนจากเทอร์โมอิเล็กทริก
โดย	นายอนุสรณ์ เมืองแก้ว
สาขาวิชา	สถาปัตยกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.อรรถจน์ เศรษฐบุตุร

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

.....	คณบดีคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.ปิ่นรัชฎ์ กาญจนะจิตฺติ)	
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	
.....	ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์พรณชลัท สุริโยธิน)	
.....	อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.อรรถจน์ เศรษฐบุตุร)	
.....	กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรภัทร์ อิงคโรจน์ฤทธิ์)	
.....	กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.ชนิกานต์ ยิ้มประยูร)	

อนุสรณ์ เมืองแก้ว : ประสิทธิภาพการลดความชื้นในห้องน้ำด้วยลมร้อนจากเทอร์โมอิเล็กทริก.
(The Efficiency of Relative Humidity Reduction in the Bathroom by Using Hot Air Generated by Thermoelectric Modules) อ.ที่ปรึกษาหลัก : รศ. ดร.อรุณจัน เศรษฐ
บุตร

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินประสิทธิภาพ การลดความชื้นในห้องน้ำที่พักอาศัย โดยการหาค่าความคุ้มค่าและการประหยัดพลังงาน ของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกเทียบกับชุดทำความร้อนทั่วไป ที่มีอุณหภูมิลมร้อน 65 องศาเซลเซียส การวิจัยแบ่งเป็น 3 ส่วน การทดลองส่วนที่หนึ่ง เป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของลมร้อนที่ออกมา และอัตราการไล่ความชื้นภายในห้องน้ำ เพื่อนำมาคำนวณหาค่าการระบายของอากาศของระบบพัดลมระบายอากาศและอุณหภูมิภายในห้องน้ำ การทดลองส่วนที่สอง เป็นการศึกษาเปรียบเทียบค่าความชื้นสัมพัทธ์ของภายในและภายนอกห้องน้ำที่ไม่ใช้ลมร้อนเพื่อลดความชื้นกับห้องน้ำที่มีการลดความชื้นโดยการนำลมร้อนมาจากชุดอุปกรณ์ เทอร์โมอิเล็กทริก การทดลองส่วนที่สาม ตรวจสอบผลกระทบของอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ ต่ออัตราส่วนความชื้นภายในห้องน้ำ เมื่อเปรียบเทียบการใช้พลังงานกับชุดทดลองของฮีตเตอร์ พบว่า 440 วัตต์ ในขณะที่ชุดฮีตเตอร์ใช้พลังงาน 1,280 วัตต์ โดยที่ใส่ชุดอุปกรณ์ทดลอง จะทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ในห้องน้ำลดลงจาก 90.5 % เป็น 55% ซึ่งใช้พัดลมระบายอากาศขนาด 54 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที สามารถทำให้เกิดการระบายอากาศที่ 9.25 ACH (Air Changes per hour) โดยต้นทุนของชุดอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก เป็นจำนวนเงิน 15,000 บาท ซึ่งช่วยประหยัดค่าพลังงานไฟฟ้าคิดเป็นเงิน 6,057 บาทต่อปี เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องทำความร้อนทั่วไป (ฮีตเตอร์) พบว่าระยะเวลาคืนทุนของชุดอุปกรณ์ทดลองเทอร์โมอิเล็กทริกคือ 2.47 ปี ดังนั้นสรุปได้ว่า การใช้ชุดเทอร์โมอิเล็กทริก ร่วมกับพัดลมระบายอากาศ มีประสิทธิภาพเพียงพอในการลดความชื้นในห้องน้ำของอาคารที่พักอาศัย และยังส่งเสริมการประหยัดพลังงานให้กับอาคารได้อีกทางหนึ่ง เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ชุดทำความร้อนทั่วไป

สาขาวิชา สถาปัตยกรรม

ปีการศึกษา 2563

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

5973575825 : MAJOR ARCHITECTURE

KEYWORD: bathroom thermoelectric dehumidification independent heat transfer

Anusorn Muangkaew : The Efficiency of Relative Humidity Reduction in the Bathroom by Using Hot Air Generated by Thermoelectric Modules. Advisor: Assoc. Prof. ATCH SRESHTHAPUTRA, Ph.D.

The objective of this research is to evaluate the relative efficiency and cost-effectiveness of dehumidifying a residential bathroom comparing the use of a thermoelectric device and a conventional heater which generates hot air output at 65deg. C. The research is divided into 3 parts. Frist, to find the relationship between the temperature of the hot air output and the dehumidifying rate inside the bathroom. This is to derive the air ventilation rate and steady state temperature in the bathroom. Second, to compare the relative humidity between interior and exterior of the bathroom in the case of not using hot air to reduce humidity and the case of that has reduced humidity by using hot air from the thermoelectric kit. Third, to study the impact of air exchange rates on the humidity change in the bathroom. When comparing the energy consumption with the thermoelectric test kit (15,000 Baht investment). It was found that the 440 watts system can help reduce the relative humidity from 90.5% to 55%, using ventilation fan rated at 54 cubic metres per minute, equivalent to 9.25 ACH (Air Change per Hour), while the conventional heater set consumed 1,280 watts to achieve the same level of dehumidification. It is apparent that the thermoelectric device can save power consumption by 6.57 Baht per year and it can recover the initial investment in 2.47 years, leading to the conclusion that using the thermoelectric device in conjunction with a suitable ventilation rate has a potential to achieve efficient dehumidification of a residential bathroom while offering feasible investment compared with a conventional heater.

Field of Study: Architecture

Student's Signature

Academic Year: 2020

Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความสามารถจาก รองศาสตราจารย์ ดร.อรุณจิตร์ เศรษฐบุตร์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่คอยให้คำปรึกษา ให้ความรู้ ให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ ช่วยเหลือตรวจทาน และแก้ไขข้อบกพร่องในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จนทำให้ วิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรภัทร์ อิงค์โรจน์ฤทธิ์ รองศาสตราจารย์ พรรณชลัท สุริโยธิน และรองศาสตราจารย์ ดร.ชนิกานต์ ยิ้มประยูร ที่ให้ความรู้ และคำแนะนำและปรับปรุงเล่มวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณผู้ร่วมเรียนด้วยกันสำหรับความช่วยเหลือและคำแนะนำ และขอบคุณครอบครัวสำหรับกำลังใจ และความช่วยเหลือต่างๆ ที่ทำให้วิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

อนุสรณ์ เมืองแก้ว



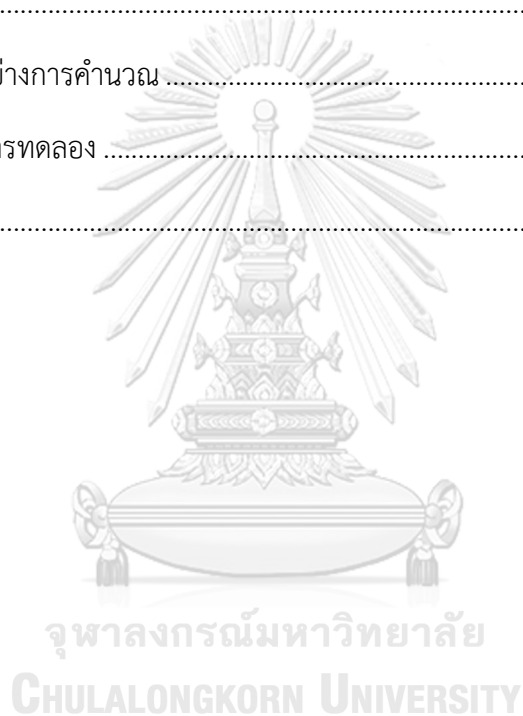
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ฎ
สารบัญแผนภูมิ.....	ฐ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
1.3 สมมุติฐานการวิจัย	2
1.4 ขอบเขตของการศึกษา.....	3
1.5 ระเบียบวิธีวิจัย.....	3
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 การศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับความชื้นสัมพัทธ์.....	6
2.1.1 คุณสมบัติของอากาศชื้น.....	7
2.1.2 ความสัมพันธ์ทางเทอร์โมไดนามิกส์ของอากาศชื้น (ที่มา: Boles and Cengel, 2014).....	8
2.2 ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับการระบายอากาศ และพัดลมระบายอากาศ.....	10
2.2.1 การระบายอากาศ	10
2.2.2 พัดลมระบายอากาศ.....	14

2.3 การศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับข้อมูลบังคับของอัตราการระเหยอากาศในห้องน้ำ	15
2.3.1 กฎกระทรวงฉบับที่ 39 (2537)	15
2.3.2 อัตราการระเหยอากาศ วสท. 3010 (2545).....	16
2.4 ศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับเทอร์โมอิเล็กทริก และเครื่องทำความร้อนทั่วไป (ฮีตเตอร์).....	19
2.4.1 การทำความเย็นโดยเทอร์โมอิเล็กทริก	27
2.4.2 ประเภทของเทอร์โมอิเล็กทริก	28
2.5 ศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับแผนภูมิไซโครเมทริก	29
2.5.1 อุณหภูมิ (Temperature)	30
2.5.2 ความชื้นในอากาศ (Humidity)	33
2.5.3 ปริมาตรจำเพาะของอากาศ (Specific Volume, Submit).....	34
2.5.4 เอนทัลปีของอากาศ (Enthalpy of air)	35
2.6 การศึกษาทฤษฎีการลดความชื้น.....	36
2.6.1 การใช้ฮีทปั๊มในการลดความชื้น	36
2.6.2 การลดความชื้นด้วยสารดูดความชื้นเหลว	38
2.7 ศึกษาทฤษฎีหลักการคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้า.....	39
2.8 ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	40
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	44
3.1 ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย.....	45
3.2 สมการในการคำนวณการทำความเย็นโดยเทอร์โมอิเล็กทริก	45
3.3 กำหนดลักษณะของห้องและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำวิจัย.....	49
3.4 อุปกรณ์เครื่องมือวัดทำการวิจัย	54
3.5 พฤติกรรมในการเข้าใช้ห้องน้ำ	58
3.6 วิธีการวิจัย	59
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการทดลอง	65

4.1 การประเมินด้านประสิทธิภาพในการลดความชื้น	65
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	73
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	74
5.2 แนวทางเพื่อการประยุกต์ใช้.....	75
5.3 ข้อเสนอแนะ	75
บรรณานุกรม.....	77
ภาคผนวก.....	80
ภาคผนวก ก ตัวอย่างการคำนวณ	81
ภาคผนวก ข ผลการทดลอง	84
ประวัติผู้เขียน.....	104



สารบัญตาราง

ตารางที่ 1	สถิติความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย (%) ของประเทศไทยในช่วงฤดูกาลต่างๆ	9
ตารางที่ 2	อัตราการระบายอากาศโดยวิธีกล (กฎกระทรวงฉบับที่ 39, 2537)	15
ตารางที่ 3	ความต้องการอากาศภายนอกสำหรับระบายอากาศ (วสท.3010, 2545)	16
ตารางที่ 4	อัตราการระบายอากาศขั้นต่ำ (ASHRAE 62.1, 2013)	17
ตารางที่ 5	สรุปข้อบังคับของของอัตราการระบายอากาศในห้องน้ำ	18
ตารางที่ 6	ตัวอย่างกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์เครื่องใช้ภายในบ้านเรือน	39
ตารางที่ 7	เปรียบเทียบค่าการใช้ค่าพลังงานของชุดเทอร์โมอิเล็กทริกกับชุดฮีตเตอร์	63
ตารางที่ 8	ค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์ในแต่ละเดือนของห้องน้ำที่เดิน-หยุดเครื่องชุดเทอร์โมอิเล็กทริก กับการเปิด-ปิดพัดลมระบายอากาศ (กรณีวัดค่าหลังจากอาบน้ำ)	70
ตารางที่ 9	ค่าเฉลี่ย Humidity Ratio ในแต่ละเดือนของห้องน้ำที่เดิน-หยุดเครื่องชุด เทอร์โมอิเล็ก ทริกกับการเปิด-ปิดพัดลมระบายอากาศ (ขณะอุณหภูมิห้อง 25 องศา)	71

สารบัญภาพ

ภาพที่ 1	การเจริญเติบโตของเชื้อรา แบคทีเรีย ไวรัส และไรฝุ่นกับความชื้นสัมพัทธ์	9
ภาพที่ 2	การระบายอากาศแบบธรรมชาติ (Natural ventilation)	10
ภาพที่ 3	บริเวณความกดอากาศสูงและบริเวณความกดอากาศต่ำ (บูรณสมภพ, 2539)	11
ภาพที่ 4	ผลของช่องเปิดกับไหลผ่านของอากาศภายในห้อง (บูรณสมภพ, 2539)	11
ภาพที่ 5	การระบายอากาศโดยวิธีกล (Mechanical ventilation)	12
ภาพที่ 6	ตำแหน่งช่องเปิดและอุปกรณ์ระบายอากาศที่มีผลต่อประสิทธิภาพการระบายอากาศ (วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย, 2540)	13
ภาพที่ 7	ชนิดของพัดลมระบายอากาศ แบบติดผนังแบบไม่มีหน้ากาก (ซ้าย) แบบติดผนังแบบมีหน้ากาก(กลาง) แบบติดกระจก (ขวา) (मितชูบิชิ, 2556)	14
ภาพที่ 8	ชนิดของพัดลมระบายอากาศ แบบฝังฝ้าไม่ต่อท่อระบายอากาศ (ซ้าย) แบบต่อท่อฝังฝ้า (ขวา) (मितชูบิชิ, 2556)	15
ภาพที่ 9	แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกและหลักการทำงาน	19
ภาพที่ 10	โครงสร้างและหลักการทำงานของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก	21
ภาพที่ 11	กระแสไหลผ่านตัวโมดูล (พิสิคส์ราชมงคล, 2554)	22
ภาพที่ 12	ส่วนประกอบของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล	24
ภาพที่ 13	กลไกการทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนอเรเตอร์	24
ภาพที่ 14	กลไกการทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริกคูลิ่ง	25
ภาพที่ 15	ปรากฏการณ์ซีเบ็ค	26
ภาพที่ 16	ปรากฏการณ์เพลเทียร์	26
ภาพที่ 17	Thermoelectric operations	27
ภาพที่ 18	Thermoelectric components	28
ภาพที่ 19	Semiconductor connection (ที่มา: เจรศักดิ์ เอกบุรณะวัฒน์, 2562)	29
ภาพที่ 20	แผนภูมิไซโครเมตริกของ ASHRAE 1996	30

ภาพที่ 21	เส้นอุณหภูมิกะเปาะแห้งบนแผนภูมิไซโครเมตริก (อาจหาญ ณ นรงค์, 2556)	31
ภาพที่ 22	เส้นอุณหภูมิกะเปาะเปียกบนแผนภูมิไซโครเมตริก	32
ภาพที่ 23	เส้นอุณหภูมิจุดน้ำค้างบนแผนภูมิไซโครเมตริก	32
ภาพที่ 24	เส้นความชื้นสัมพัทธ์บนแผนภูมิไซโครเมตริก (อาจหาญ ณ นรงค์, 2556).....	33
ภาพที่ 25	เส้นอัตราส่วนความชื้นบนแผนภูมิไซโครเมตริก (อาจหาญ ณ นรงค์, 2556).....	34
ภาพที่ 26	เส้นปริมาตรจำเพาะของอากาศบนแผนภูมิไซโครเมตริก.....	35
ภาพที่ 27	เส้นเอนทัลปีบนแผนภูมิไซโครเมตริก	36
ภาพที่ 28	ระบบลดความชื้นด้วยฮีทปั๊ม.....	37
ภาพที่ 29	ส่วนประกอบของระบบลดความชื้นด้วยสารดูดความชื้นเหลว.....	38
ภาพที่ 30	ฮีตเตอร์.....	47
ภาพที่ 31	ผังพื้นแสดงระยะและหน้าตาของห้องน้ำที่นำมาใช้ในการการทำวิจัย.....	50
ภาพที่ 32	แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก Model: TEC1-12706	50
ภาพที่ 33	แบบขนาดของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (http://datasheet.nisit.net/download/TEC1-12706.pdf)	51
ภาพที่ 34	แสดงส่วนประกอบของชุดเทอร์โมอิเล็กทริก	51
ภาพที่ 35	แบบวงจรการควบคุมแรงดันไฟฟ้าจากกระแส AC เปลี่ยนเป็นกระแส DC ซึ่งใช้แทนตัวสวิชชิงของชุดทดลองเทอร์โมอิเล็กทริก	52
ภาพที่ 36	ขนาดอุปกรณ์ทดลองสำหรับการลดความชื้นแบบเทอร์โมอิเล็กทริก	53
ภาพที่ 37	ชุดฮีตเตอร์ กับพัดลมระบายอากาศ	53
ภาพที่ 38	ชุดเทอร์โมอิเล็กทริก กับพัดลมระบายอากาศ.....	54
ภาพที่ 39	อุปกรณ์เครื่องมือวัดทำการวิจัย ประกอบไปด้วย ชุดวัดความชื้นสัมพัทธ์ 2 ตัว, วัดอุณหภูมิตัว, เครื่องวัดความเร็วลม, เครื่องวัดแรงดันไฟฟ้า	54
ภาพที่ 40	ตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์บันทึกค่าความชื้น และอุณหภูมิตั้ง 2 ตำแหน่ง	55
ภาพที่ 41	ตำแหน่งวางชุดอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก สูงจากพื้น 35 เซนติเมตรของฝั่งติดกับประตูห้องน้ำ.....	55

ภาพที่ 42 แผนภูมิไซโครเมตริก แสดงจุดตำแหน่ง กระบวนการของสถานะอุณหภูมิตั้งแต่ความชื้นสัมพัทธ์.....	56
ภาพที่ 43 แสดงจุดวัดหาค่าอุณหภูมิตั้งแต่ความชื้นสัมพัทธ์และค่าความเร็วลมของพัดลมระบายอากาศ.....	56
ภาพที่ 44 แสดงแผนผังตำแหน่งอาคารส่วนของโครงการบ้านเอื้ออาทรคูบอน.....	57
ภาพที่ 45 แสดงแผนผังโครงการบ้านเอื้ออาทรคูบอนบริเวณทางเข้า.....	57
ภาพที่ 46 อาคารสถานที่ใช้ในการทำการวิจัย.....	58
ภาพที่ 47 การวัดค่าอุณหภูมิตั้งแต่ความชื้นสัมพัทธ์ และค่าพลังงานของชุดลองฮีตเตอร์.....	61



สารบัญแผนภูมิ

แผนภูมิที่ 1	ขั้นตอนการศึกษา	5
แผนภูมิที่ 2	แสดงค่าความชื้นสัมพัทธ์กรณีใช้ลมร้อนจากชุดอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกกับ พัดลมดูดอากาศภายในห้องน้ำ.....	59
แผนภูมิที่ 3	เปรียบเทียบผลการทดลองแสดงให้เห็นค่า แนวน้อม ความสัมพันธ์กันระหว่างค่า ACH และค่าผลต่างของอัตราส่วนความชื้น (Humidity Ratio) ภายใน-ภายนอกห้องน้ำ Humidity ratio ช่วงของ indoor-outdoor ก่อนและหลังเดินเครื่องชุดเทอร์โมอิเล็กทริก โดยใช้พัดลมระบายอากาศเป็นตัวช่วยระบายอากาศร้อนและความชื้นออกจากห้องน้ำ.....	60
แผนภูมิที่ 4	แสดงค่าความชื้นสัมพัทธ์ของชุดทดลอง เครื่องให้ความร้อนทั่วไป ฮีตเตอร์	62
แผนภูมิที่ 5	แสดงค่าอุณหภูมิของชุดทดลอง เครื่องให้ความร้อนทั่วไป ฮีตเตอร์.....	62
แผนภูมิที่ 6	แสดงค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของชุดทดลอง เครื่องให้ความร้อนทั่วไป ฮีตเตอร์	63
แผนภูมิที่ 7	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Humidity ratio Out door แทนค่า Humidity ratio ของที่ไม่ได้ใช้พัดลมระบายอากาศกรณีด้านนอกห้องน้ำ (TDS) แทนค่า Humidity ratio ของชุดทดลองเทอร์โมอิเล็กทริกกรณีด้านนอกห้องน้ำ (Heater) แทนค่า Humidity ratio ของชุดทดลองเครื่องทำความร้อนทั่วไปกรณีด้านนอกห้องน้ำ.....	65
แผนภูมิที่ 8	ค่าอุณหภูมิอากาศภายในห้องน้ำ (Indoor) และภายนอกห้องน้ำ (Outdoor) ของห้องน้ำที่ไม่มีระบบพัดลมระบายอากาศ	66
แผนภูมิที่ 9	เทียบระหว่างภายในห้องน้ำ (Indoor) และภายนอกห้องน้ำ (Outdoor) ของห้องน้ำที่ไม่มีระบบพัดลมระบายอากาศ	67
แผนภูมิที่ 10	ค่าอุณหภูมิอากาศภายในห้องน้ำ (Indoor) และภายนอกห้องน้ำ (Outdoor) ของห้องน้ำ ที่ใช้ระบบพัดลมระบายอากาศใช้ร่วมกับชุดเทอร์โมอิเล็กทริก และ Comfort Zone.....	68
แผนภูมิที่ 11	ค่าแนวน้อมความสัมพันธ์ระหว่างผลต่าง Humidity ratio ของภายในและภายนอกห้องน้ำ และค่า ACH.....	69
แผนภูมิที่ 12	แสดงผลการทดลองขณะสถานะปิดเครื่องเทอร์โมอิเล็กทริกจำนวนความชื้นสัมพัทธ์เป็นเปอร์เซ็นต์ RH ที่วัดค่าได้ในกรณีที่ปิดเครื่องเทอร์โมอิเล็กทริกแล้วทำให้มีค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องน้ำสูงขึ้นถึง 85 %RH.....	72

แผนภูมิที่ 13 แสดงผลการทดลองขณะสถานะเปิดเครื่องเทอร์โมอิเล็กทริกจำนวนความชื้นสัมพัทธ์ เป็นเปอร์เซ็นต์ RH ที่วัดค่าได้ในกรณีที่เปิดเครื่องเทอร์โมอิเล็กทริกแล้วทำให้มีค่าความชื้นสัมพัทธ์ ภายในห้องน้ำลดลงถึง 55 % RH..... 72



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตภูมิอากาศแบบร้อนชื้นซึ่งมีอุณหภูมิและความชื้นค่อนข้างสูง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการปรับอากาศเพื่อให้เกิดความสบายแก่ผู้อยู่อาศัยภายในบ้านหรืออาคารพาณิชย์ หรือหากเป็นโรงงานอุตสาหกรรมก็ต้องลดความชื้นเพื่อให้ความชื้นในกระบวนการต่าง ๆ ให้ตรงตามกระบวนการทำงาน เช่น โรงงานทอผ้า โรงงานทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งในปัจจุบันร้อยละ 50-70 ของพลังงานไฟฟ้าที่ใช้สำหรับที่อยู่อาศัยและอาคารพาณิชย์ได้นำมาใช้สำหรับปรับอากาศ ซึ่งในระบบปรับอากาศว่ามีภาระการทำความเย็นมาจาก 2 ส่วน คือ ความร้อนสัมผัส (Sensible heat) และความร้อนแฝง (Latent heat) หากสามารถลดความชื้นของอากาศลงได้ก็จะสามารถลดภาระความร้อนแฝง และลดความต้องการการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศลงได้ (โจเซฟ เคตารี, 2005) การลดความชื้นของอากาศสามารถทำได้ด้วยการใช้สารดูดความชื้น (Desiccant) แต่ปัญหาของการใช้สารดูดความชื้นก็คือต้องมีการดึงเอาความชื้นออกจากสารดูดความชื้น (Regenerate) เมื่อใช้ไปได้ระยะหนึ่ง (สมชาย มณีวรรณ, 2005) หรือการใช้ล้อความร้อน (Heat Wheel) โดยการนำเอาอากาศร้อนมาดึงความชื้นออกจากอากาศก่อนเข้าระบบปรับอากาศ ดังนั้นในงานวิจัยชิ้นนี้จึงมีแนวคิดในการลดความชื้นโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริก มาใช้ลดความชื้นและปรับอากาศ ซึ่งระบบดังกล่าวนี้สามารถลดได้ทั้งอุณหภูมิและความชื้น ที่สำคัญคือเทอร์โมอิเล็กทริกนั้นยังมีข้อดีต่าง ๆ เช่น ไม่มีชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่ จึงสามารถลดค่าบำรุงรักษาและไม่มีเสียงในขณะทำงาน ควบคุมการทำงานง่าย ระบบเล็ก และมีอายุการใช้งานนานกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับระบบเครื่องทำความร้อนโดยทั่วไป ระบบดังกล่าวนี้จะช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในการปรับอากาศลงได้ (ณรงณ์ วัชรเกียรติ, 2005) จึงมีความเหมาะสมที่จะทำการวิจัยและออกแบบเพื่อให้สอดคล้องกับสภาวะภูมิอากาศในประเทศไทย

สำหรับประเทศไทยตั้งอยู่บนเขตร้อนชื้นมี 3 ฤดู คือ ฤดูร้อน ฤดูฝน และฤดูหนาว แต่ภาวะโลกร้อนทำให้ภูมิอากาศเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม พบว่าปัจจุบันอากาศของประเทศไทยร้อนมากและร้อนยาวนานขึ้น โดยมีอุณหภูมิอากาศในฤดูร้อนเฉลี่ย 35-36 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 60-65 เปอร์เซ็นต์ สภาวะอากาศร้อนชื้นแบบนี้จะก่อให้เกิดความรู้สึกอับอ้าว ร่างกายมีเหงื่อออกเกิดสภาวะแวดล้อมที่ไม่เหมาะกับการทำงาน ในงานอาชีวอนามัยส่วนใหญ่ไม่ต้องการให้ความชื้นสูง (ยูวดี สิมะโรจน์ และคณะ, 2554) จะเน้นไปในทางความชื้นต่ำเป็นส่วนมาก เพราะความชื้นสูงทำให้เชื้อโรคจับตัวกับฝุ่นแพร่กระจายได้ง่ายขึ้น ความชื้นที่สูงยังเป็นสาเหตุให้ผิวหนังที่เย็นเกิดไอน้ำกลั่นตัวเป็นหยดน้ำและเกิดสนิมในที่สุด ในท่อส่งลมเย็นของเครื่องปรับอากาศหากมีความชื้นสูงเกินไปยังเป็นสาเหตุให้เกิดเชื้อราขึ้นในท่อลมได้ และหากท่อลมนี้จ่ายไปยังห้องผ่าตัดก็จะทำให้มีโอกาสดูดเชื้อ

ได้ ในงานปรับอากาศที่ใช้ระบบปรับอากาศรวม (เครื่องจ่ายลมจ่ายมากกว่าหนึ่งห้อง) เชื้อโรคในท่อลมสามารถแพร่กระจายไปได้ ทั่วพื้นที่ ในอุตสาหกรรมอาหาร ต้องการความชื้นสัมพัทธ์ไม่เกิน 45 เปอร์เซ็นต์ ในอุตสาหกรรมผลิต ยาผง ต้องการอากาศภายในห้องมีความชื้นสัมพัทธ์ไม่เกิน 45 - 50 เปอร์เซ็นต์ตามประเภทของยา ดังนั้น การลดความชื้นจึงขึ้นกับความต้องการ และเลือกใช้ชนิดระบบลดความชื้นให้เหมาะสมกับระดับความชื้นที่ต้องการ

ความชื้นสัมพัทธ์ในห้องน้ำที่มีค่าสูงจะเกิดเป็นปัญหาที่มีผลต่อเชื้อโรค และกลิ่นรบกวน โดยจะต้องมีการควบคุมหรือลดความชื้นสัมพัทธ์ของห้องน้ำให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมตามเกณฑ์มาตรฐาน ASHRAE 62.1 โดยปกติในประเทศไทยความชื้นสัมพัทธ์ควรอยู่ในช่วงประมาณ 50-60 % RH ซึ่งผลจากความชื้นที่สูงเกินนั้นจะทำให้มีการเจริญเติบโตและที่อยู่อาศัยของเชื้อโรคหรือทำให้เกิดโรคมุมิแพ้ การเจริญเติบโตของแบคทีเรีย หรือไวรัสและเชื้อโรคต่าง ๆ หากค่าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำเกินไป จะทำให้มีการระคายเคืองต่อดวงตา ผิวแห้ง ทำให้เกิดอาการคัน วิธีแก้ปัญหาลดความชื้นสัมพัทธ์มีอยู่หลายวิธีการด้วยกัน โดยจะเลือกวิธีการลดความชื้นสัมพัทธ์โดยการนำพลังงานความร้อนจากชุดอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก ซึ่งเป็นลมร้อนประมาณ 60 °C ถึง 70 °C ขึ้นไป สามารถนำมาไล่ความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องน้ำ และนอกจากจะควบคุมความชื้นให้เหมาะสมแล้ว ยังสามารถทำให้คุณภาพของอากาศภายในห้องน้ำดีขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อประเมินประสิทธิภาพการลดความชื้น ภายในห้องน้ำของอาคารที่พักอาศัย โดยการนำพลังงานความร้อนจากชุดอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก และเปรียบเทียบกับชุดทดลองเครื่องทำความร้อนทั่วไป ภายในห้องน้ำของอาคารที่พักอาศัย

1.2.2 เพื่อประเมินประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานและความคุ้มค่าของการใช้ชุดอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก

1.3 สมมุติฐานการวิจัย

1.3.1 ระบบพัดลมระบายอากาศสามารถช่วยการถ่ายเทระบายความร้อนภายในห้องน้ำ

1.3.2 ห้องน้ำที่ใช้ระบบความร้อนจากชุดอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก สามารถประหยัดพลังงานได้มากกว่าห้องน้ำที่ใช้ระบบความร้อนจากชุดเครื่องทำความร้อนทั่วไป

1.3.3. การระบายอากาศที่มีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศต่อชั่วโมงยิ่งมากยิ่งสามารถลดความชื้นได้มาก

1.4 ขอบเขตของการศึกษา

1.4.1 ทำการทดลองจริงโดยศึกษาการระบายความร้อนจากชุดอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก เพื่อลดความชื้นสัมพัทธ์ ภายในห้องน้ำที่พักอาศัยจริง

1.4.2 ขนาดพัดลมระบายอากาศที่ใช้ในการวิจัยต้องมีอัตราการระบายอากาศขั้นต่ำเป็นไปตามกฎกระทรวงฉบับที่ 39 ซึ่งเมื่อเทียบกับขนาดห้องทดลอง พัดลมระบายอากาศต้องมีขนาด ไม่ต่ำกว่า 9.36 CFM

1.4.3 ทำการทดลองโดยใช้ห้องน้ำอาคารพักอาศัยที่มีการใช้งานจริงตามปกติ

1.5 ระเบียบวิธีวิจัย

1.5.1 ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.5.1.1 ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับการระบายอากาศ และพัดลมระบายอากาศ

1.5.1.2 ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับมาตรฐานบังคับขั้นต่ำของอัตราการระบายอากาศ ในห้องน้ำ

1.5.1.3 ศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับเทอร์โมอิเล็กทริก และ ชุดทำความร้อนทั่วไป ฮีตเตอร์

1.5.1.4 ศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับแผนภูมิไซโครเมทริก

1.5.1.5 ศึกษาทฤษฎีการลดความชื้น

1.5.1.6 ศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับหลักการลดความชื้นสัมพัทธ์ และอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ (Air Changes per hour)

1.5.1.7 ศึกษาทฤษฎีและหลักการคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้า

1.5.1.8 ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องอื่นๆ

1.5.2 ออกแบบชุดอุปกรณ์ทดลองเทอร์โมอิเล็กทริก

1.5.3 กำหนดตัวแปรและค่าต่างๆ ที่ใช้ในการวิจัย

1.5.3.1 ตัวแปรต้น ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และระบบพัดลมระบายอากาศ

1.5.3.2 ตัวแปรควบคุม ได้แก่ ลักษณะและขนาดของห้องน้ำที่ใช้ในการวิจัย พัดลมระบายอากาศ ช่วงเวลาการเข้าใช้งานห้องน้ำ และสภาพอากาศช่วงเวลาที่ใช้ในการวิจัย

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

1.5.4 การทำการวิจัยโดยเปรียบเทียบระหว่างห้องน้ำที่ใช้ระบบพัดลมระบายอากาศกับห้องน้ำที่ไม่ใช้พัดลมระบายอากาศช่วยในการแลกเปลี่ยนอากาศ

1.5.5 วิเคราะห์ผลการวิจัย

1.5.6 คำนวณหาค่า Humidity ratio ภายนอกห้องน้ำ และค่าอุณหภูมิภายใน-ภายนอกของห้องน้ำ

1.5.7 คำนวณหาค่าความชื้นที่ลดลง ค่าการประหยัดพลังงานและความคุ้มทุน

1.5.8 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

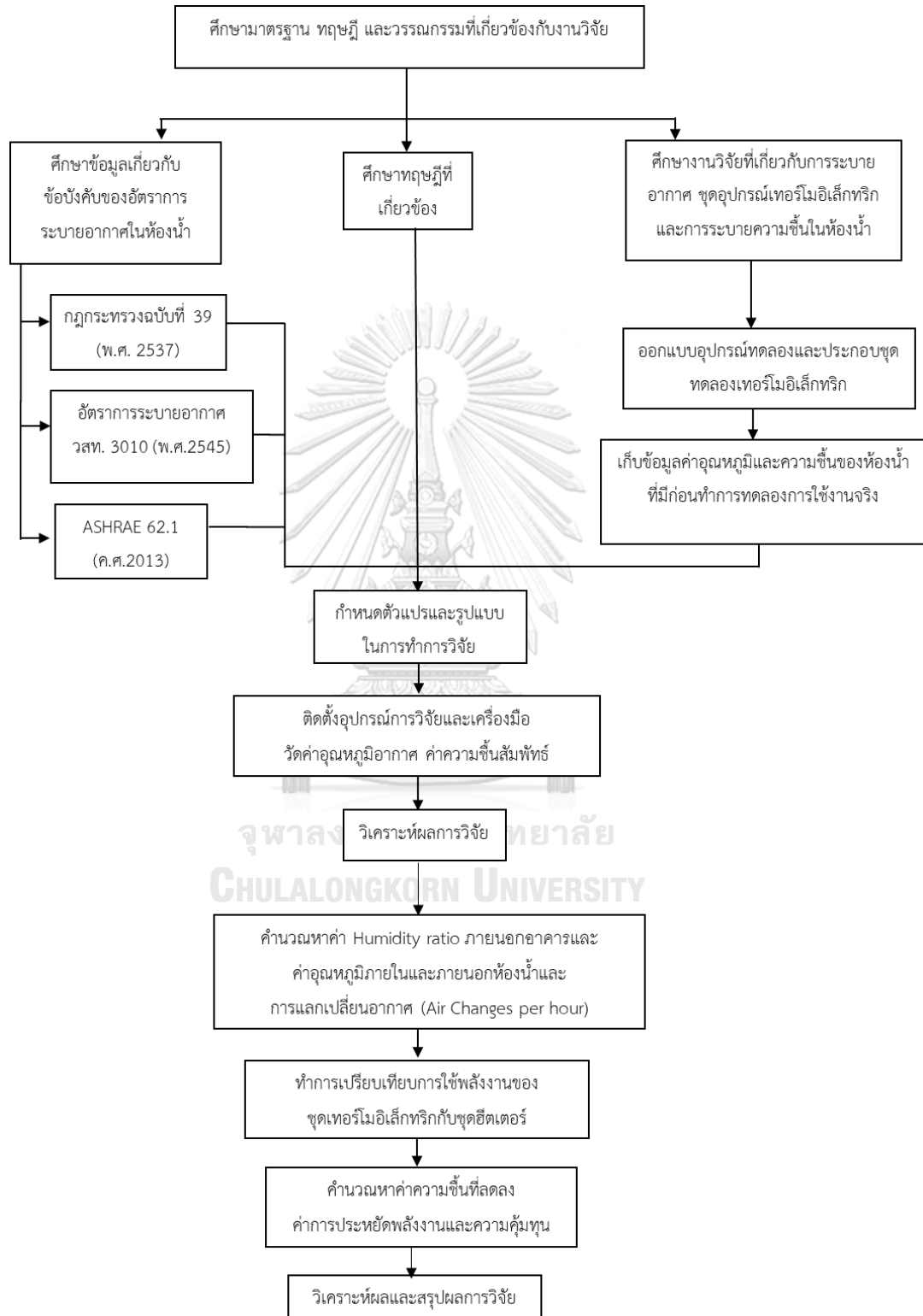
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 ได้ทราบผลของลมร้อนที่สร้างจากชุดอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกในงานวิจัยว่าสามารถช่วยลดความชื้นในห้องน้ำได้และจะมีผลกระทบต่ออุณหภูมิภายในห้องน้ำตามเกณฑ์มาตรฐาน ASHRAE 62.1

1.6.2 ได้ทราบถึงประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานและความคุ้มทุนของ การใช้ชุดอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกเมื่อเปรียบเทียบกับชุดทำความร้อนทั่วไป

1.6.3 ได้ทราบถึงแนวทางในการออกแบบระบบระบายอากาศของห้องน้ำ โดยใช้ชุดอุปกรณ์พัดลมดูดและระบายอากาศเพื่อลดความชื้นในห้องน้ำ

แผนภูมิที่ 1 ขั้นตอนการศึกษา



บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงทดลองเพื่อศึกษาประสิทธิภาพการลดความชื้นด้วยชุดอุปกรณ์ เทอร์โมอิเล็กทริก และการระบายอากาศในห้องน้ำของอาคารที่พักอาศัยโดยใช้พัดลมระบายอากาศ การศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยจึงได้ศึกษาในเรื่องดังต่อไปนี้

- 2.1 การศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับความชื้นสัมพัทธ์
- 2.2 การศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับการระบายอากาศ และพัดลมระบายอากาศ
- 2.3 การศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับข้อมูลบังคับของอัตราการระบายอากาศในห้องน้ำ
- 2.4 การศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับเทอร์โมอิเล็กทริก และเครื่องทำความร้อนทั่วไป (ฮีตเตอร์)
- 2.5 การศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับแผนภูมิไซโครเมตริก
- 2.6 การศึกษาทฤษฎีการลดความชื้น
- 2.7 การศึกษาทฤษฎีหลักการคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้า
- 2.8 การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับความชื้นสัมพัทธ์

อากาศที่ใช้ในการหายใจโดยทั่วไปไม่ใช่อากาศแห้ง แต่มีไอน้ำเป็นส่วนประกอบ ซึ่งไอน้ำก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญนอกจากอุณหภูมิ และความเร็วของอากาศ ซึ่งส่งผลต่อความรู้สึกสบายของมนุษย์ โดยทั่วไปมนุษย์จะมีความรู้สึกสบายที่อุณหภูมิระหว่าง 22-27 °C ความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 30-70 % และความเร็วของอากาศประมาณ 1.5 m/s โดยความชื้นสัมพัทธ์เป็นค่าการวัดความสามารถของอากาศในการดูดความชื้น ดังนั้นการลดความชื้นภายในอาคารลง จะช่วยให้ การถ่ายเทความร้อนโดยการระเหยของร่างกายมนุษย์เพิ่มขึ้น

การควบคุมความชื้นสามารถทำได้โดยใช้หลักการควบแน่นของอากาศ ให้มีอุณหภูมิต่ำกว่า อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (dewpoint temperature) มีผลทำให้ไอน้ำในอากาศกลั่นตัวเป็นหยดน้ำ เพราะฉะนั้นอัตราส่วนความชื้น (humidity ratio) ในอากาศก็จะลดลง

2.1.1 คุณสมบัติของอากาศชื้น

การหาคุณสมบัติของอากาศชื้น (ที่มา: Wikipedia, 2014) มักจะแสดงโดยแผนภูมิไซโครเมทริก ก่อนที่จะใช้แผนภูมิไซโครเมทริก อย่างถูกต้อง ควรทำความเข้าใจกับความหมาย และคำจำกัดความที่เกี่ยวข้องกับการใช้แผนภูมิไซโครเมทริก ก่อน

อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dry Bulb Temperature, T_{db}) คือ อุณหภูมิของอากาศที่อ่านจากเทอร์โมมิเตอร์กระเปาะแห้ง และได้รับการแก้ไขให้ถูกต้อง เนื่องจากผลของการแผ่รังสี ($^{\circ}\text{C}$)

อุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet Bulb Temperature, T_{wb}) คือ อุณหภูมิของอากาศที่อ่านจากเทอร์โมมิเตอร์ที่กระเปาะหุ้มด้วยสำลีเปียก ในขณะที่มีกระแสลมพัดผ่านกระเปาะด้วยความเร็วไม่น้อยกว่า 4.6 เมตรต่อวินาที ($^{\circ}\text{C}$)

อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dew Point Temperature, T_{dp}) คือ อุณหภูมิที่ไอน้ำในอากาศเริ่มควบแน่นเป็นหยดน้ำ เมื่ออากาศชื้นถูกทำให้เย็นลง ($^{\circ}\text{C}$)

ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity, ϕ) คือ อัตราส่วนระหว่างเศษส่วนโมล (mole fraction) ของไอน้ำในอากาศชื้น กับเศษส่วนโมลของไอน้ำในอากาศอิ่มตัว ที่อุณหภูมิและความดันเดียวกันหรืออัตราส่วนระหว่างความดันของไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศชื้นกับความดันของไอน้ำในอากาศอิ่มตัวที่อุณหภูมิและความดันเดียวกัน

อัตราส่วนความชื้น (humidity Ratio, W) คือ อัตราส่วนโดยน้ำหนักของไอน้ำกับอากาศแห้งที่มีอยู่ในอากาศ หรือน้ำหนักของไอน้ำในแต่ละหน่วยน้ำหนักของอากาศแห้งที่มีอยู่ในอากาศ ($\text{kg water /kg dry air}$)

ความดันไอ (Vapor Pressure, P) คือ ความดันที่กระทำโดยไอน้ำในอากาศ ถ้าอากาศอิ่มตัวด้วยไอน้ำเรียกความดันไอของอากาศที่อิ่มตัวนี้ว่าความดันไออิ่มตัว

ปริมาตรจำเพาะของอากาศชื้น (Humid Specific Volume, V) คือ ปริมาตรของอากาศชื้นต่อหน่วยน้ำหนักของอากาศ ($\text{m}^3/\text{kg dry air}$)

เอนทัลปี (Enthalpy, h) คือ สมบัติทางเทอร์โมไดนามิกของสสารที่อุณหภูมิกำหนดให้ ซึ่งอยู่ในรูปของพลังงานความร้อนที่อุณหภูมิอ้างอิง ถ้าให้อุณหภูมิอ้างอิงของอากาศอยู่ที่ 0°C ที่ความดัน 1 บรรยากาศ

2.1.2 ความสัมพันธ์ทางเทอร์โมไดนามิกส์ของอากาศชื้น (ที่มา: Boles and Cengel, 2014)

ที่ความดันบรรยากาศสามารถพิจารณาอากาศชื้นเป็นก๊าซอุดมคติ จากกฎของดาลตัน

$$P = P_A + P_V \quad (1)$$

เมื่อ	P	=	ความดันรวม (kPa)
	P_A	=	ความดันของอากาศแห้ง, (kPa)
	P_V	=	ความดันของไอน้ำ, (kPa)

ความสัมพันธ์ของ อุณหภูมิ ความดัน ปริมาตรของอากาศแห้ง และไอน้ำอากาศ สามารถแสดงได้โดยใช้กฎของก๊าซอุดมคติ

$$P_A V_A = \frac{W_A}{M_A} RT_{abs} \quad (2)$$

$$P_V V_V = \frac{W_V}{M_V} RT_{abs} \quad (3)$$

เมื่อ	V_A	=	ปริมาตรของอากาศแห้ง, (m^3)
	w_A	=	มวลของอากาศ, (kg)
	M_A	=	น้ำหนักโมเลกุลของอากาศแห้ง, (kgmol)
	V_V	=	ปริมาตรของไอน้ำ, (m^3)
	w_V	=	มวลของไอน้ำ, (kg)
	M_V	=	น้ำหนักโมเลกุลของไอน้ำ, (kgmol)
	R	=	Universal Gas Constant = 8.315 kJ / kg mole.K
	T_{ab}	=	Absolute Temperature, (K)

จากคำจำกัดความของสมบัติของอากาศชื้น จะได้ความสัมพันธ์ดังนี้

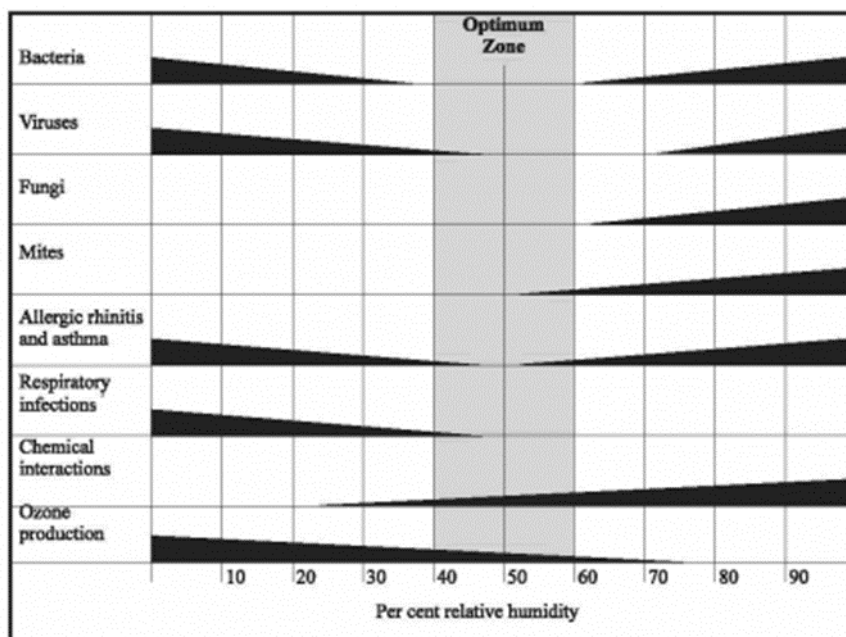
$$\text{ความชื้นสัมพัทธ์; } \phi = \frac{P_V}{P_{Vs}}$$

$$\text{อัตราส่วนความชื้น; } W = \frac{W_V}{M_V} = 0.622 \frac{P_V}{P - P_V}$$

$$\text{ปริมาตรจำเพาะของอากาศชื้น; } V = V_A = R \cdot T_{db}(1 + 1.6078)$$

$$\text{เอนทัลปี; } h = C_p + Wh_V = 0.240T_{db} + W(597.3 + 0.44T_{db})$$

เมื่อ	C_p	=	specific heat at constant pressure, (kJ/kg.K)
-------	-------	---	---



E.M. Sterling, Criteria for Human Exposure to Humidity in Occupied Buildings, 1985 ASHRAE

ภาพที่ 1 การเจริญเติบโตของเชื้อรา แบคทีเรีย ไวรัส และไรฝุ่นกับความชื้นสัมพัทธ์

จากภาพที่ 1 แสดงของการเจริญเติบโตของเชื้อรา แบคทีเรีย ไวรัส และไรฝุ่นกับความชื้นสัมพัทธ์ประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตร้อนใกล้เส้นศูนย์สูตร จึงมีอากาศร้อนชื้นปกคลุมเกือบตลอดปี เว้นแต่บริเวณที่อยู่ลึกเข้าไปในแผ่นดิน ตั้งแต่ภาคกลางขึ้นไปความชื้นสัมพัทธ์จะลดลงชัดเจน ในช่วงฤดูหนาวและฤดูร้อน โดยเฉพาะฤดูร้อน จะเป็นช่วงที่ความชื้นสัมพัทธ์ลดลงต่ำสุดในรอบปี ในบริเวณดังกล่าวมีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยตลอดปีในช่วง 72-74 เปอร์เซ็นต์ และจะลดลงเหลือ 62-69 เปอร์เซ็นต์ในช่วงฤดูร้อน (กรมอุตุนิยมวิทยา)

ตารางที่ 1 สถิติความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย (%) ของประเทศไทยในช่วงฤดูกาลต่างๆ

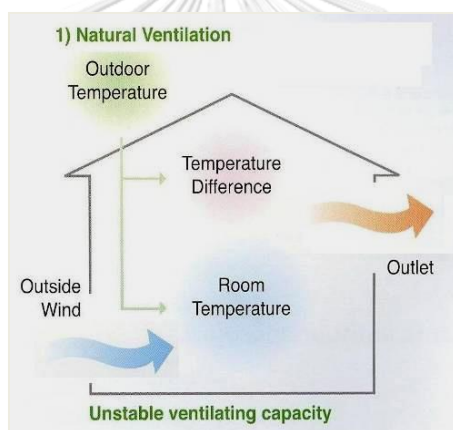
ภาค	ฤดูหนาว	ฤดูร้อน	ฤดูฝน	ตลอดปี
เหนือ	73	62	81	74
ตะวันออกเฉียงเหนือ	69	65	80	72
กลาง	71	69	79	73
ตะวันออก	71	74	81	76
ใต้ฝั่งตะวันออก	81	77	78	79
ใต้ฝั่งตะวันตก	77	76	84	80

2.2 ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับการระบายอากาศ และพัดลมระบายอากาศ

2.2.1 การระบายอากาศ

ระบบระบายอากาศ (Ventilation) คือ การจัดระบบการถ่ายเทอากาศจากภายนอกอาคาร เข้ามาภายในอาคาร ส่วนการระบายอากาศ (Ventilation Air) คือ ระบบการระบายอากาศที่ทำให้ อากาศอยู่ในระดับที่เป็นที่ยอมรับตามคุณภาพอากาศภายใน (Indoor Air Quality : IAQ) การระบาย อากาศ เป็นสิ่งจำเป็นที่จะต้องมีการออกแบบโดยมีวัตถุประสงค์ต่างๆ เช่น เพื่อให้มีการผลิตเปลี่ยน อากาศ ลดความชื้นของกลิ่นหรือขจัดให้หมดไป ทำให้ความชื้นที่พื้นผิวระเหยง่ายขึ้น ลดปริมาณ คาร์บอนไดออกไซด์ และลดมลสารพิษที่มากับอากาศ เป็นต้น (วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, 2559) โดยวิธีการระบายอากาศนั้น ทำได้ 2 วิธี คือ

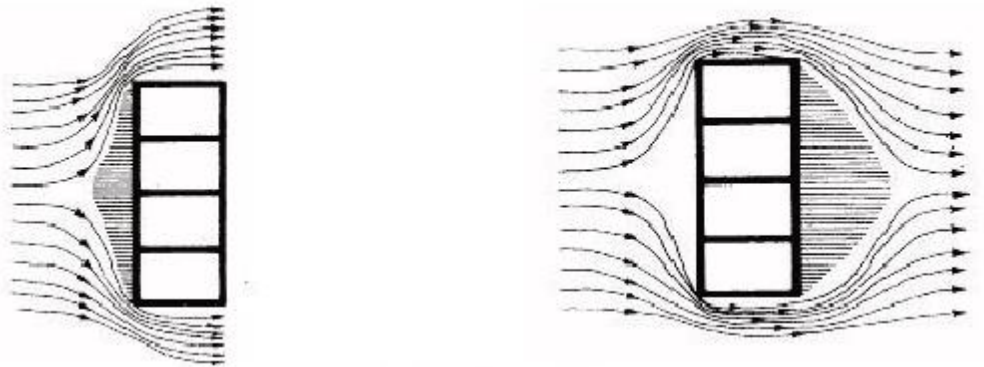
2.1.1.1 การระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติ



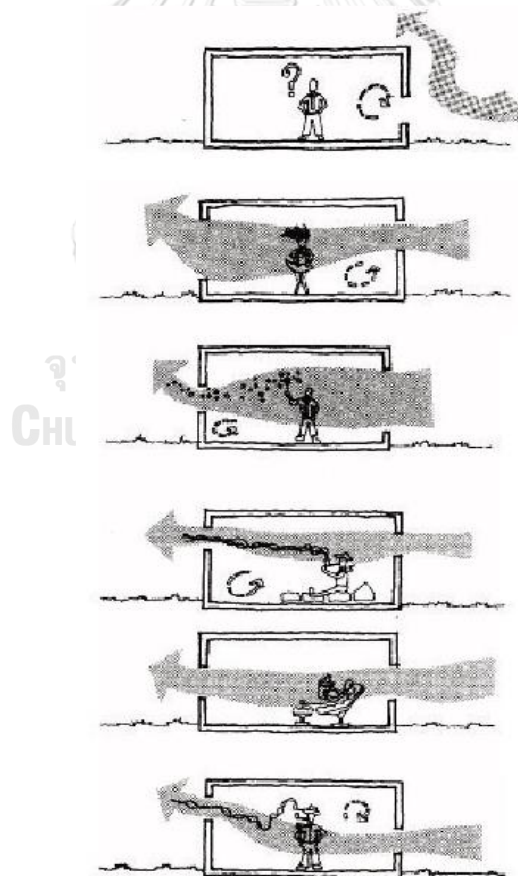
ภาพที่ 2 การระบายอากาศแบบธรรมชาติ (Natural ventilation)
(ที่มา: <http://www.rpci.co.th/15366434/ventilation-system>)

การที่จะสามารถใช้การระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติได้นั้น ห้องหรือบริเวณที่ต้องการระบาย อากาศจะต้องมีผนังอย่างน้อยหนึ่งด้านติดกับด้านนอกโดยตรง จึงจะทำให้มีช่องเปิดสู่ภายนอก ได้ เช่น ประตู หน้าต่าง ช่องบานเกล็ด และผนังอิฐโปร่ง เป็นต้น (กัลป์ จิตรมั่นคง, 2552) ซึ่งจะต้องเปิด ให้อากาศผ่านในขณะที่ใช้สอยพื้นที่นั้นๆ ต้องมีพื้นที่ลมผ่านสุทธิไม่น้อยกว่าร้อยละ 10 เมื่อเทียบกับ พื้นที่ของห้อง การระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติเกี่ยวข้องโดยตรงกับช่องเปิดของอาคาร และกระแส ลม เมื่อลมพัดผ่านอาคาร ผนังอาคารด้านที่มีการปะทะลมโดยตรงจะเกิดความกดอากาศสูง ส่วน ด้านหลังที่ลมพัดผ่านของอาคารจะเกิดความกดอากาศต่ำ การออกแบบจึงต้องคำนึงถึงการทำให้ บริเวณที่มีความกดอากาศสูง และความกดอากาศต่ำมีความต่อเนื่องกัน เพื่อให้เกิดการถ่ายเทของ

อากาศ และจะต้องมีช่องเปิดเข้าด้านทางความกดอากาศสูง และมีช่องเปิดออกทางด้านความกดอากาศต่ำ (ตริงใจ บุรณสมภพ, 2539)

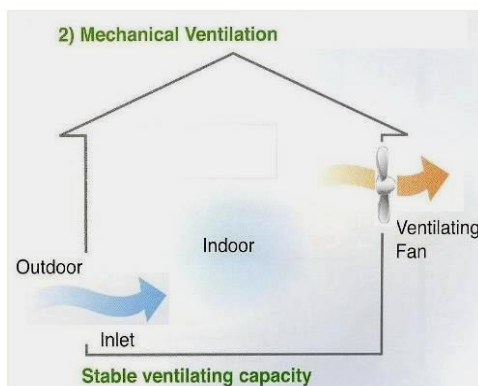


ภาพที่ 3 บริเวณความกดอากาศสูงและบริเวณความกดอากาศต่ำ (บุรณสมภพ, 2539)



ภาพที่ 4 ผลของช่องเปิดกับไหลผ่านของอากาศภายในห้อง (บุรณสมภพ, 2539)

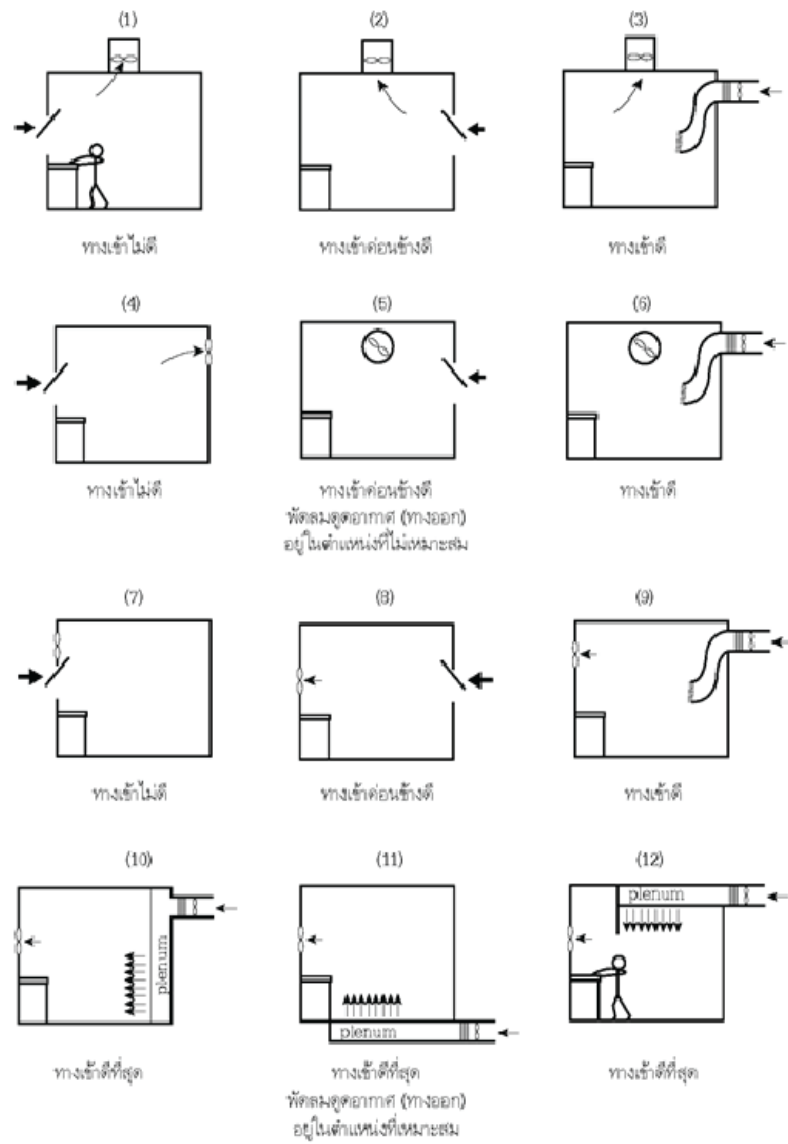
2.1.1.2 การระบายอากาศโดยวิธีกล



ภาพที่ 5 การระบายอากาศโดยวิธีกล (Mechanical ventilation)

(ที่มา: <http://www.rpci.co.th/15366434/ventilation-system>)

การระบายอากาศโดยวิธีกลสามารถใช้กับพื้นที่ใดก็ได้ โดยต้องมีอุปกรณ์ที่ช่วยในการขับเคลื่อน อากาศ เพื่อให้เกิดการนำอากาศจากภายนอกเข้าสู่ภายในห้อง หรือการนำอากาศ จากภายในห้องออกสู่ภายนอก และต้องมีอัตราการระบายอากาศไม่น้อยกว่าข้อกำหนดที่ระบุไว้ในกฎกระทรวงฯ ที่ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร โดยตำแหน่งของช่องเปิดหรือตำแหน่งที่ติดตั้งพัดลมที่ใช้ ในการระบายอากาศจะมีผลต่อประสิทธิภาพการระบายอากาศ โดยจากภาพที่ 3 จะเห็นได้ว่าห้องที่มีการติดตั้งพัดลมที่ช่องนำอากาศเข้าและนำอากาศออกจะมีประสิทธิภาพการระบายอากาศดีกว่าการติดตั้งพัดลมที่ช่องนำอากาศเข้าหรือออกเพียงอย่างเดียวอย่างใดอย่างหนึ่ง และตำแหน่งของช่องนำอากาศเข้าและออกไม่ควรอยู่ใกล้กันมากเกินไป เพราะจะทำให้อากาศถ่ายเทได้ไม่ทั่วถึงทั้งห้อง



ภาพที่ 6 ตำแหน่งช่องเปิดและอุปกรณ์ระบายอากาศที่มีผลต่อประสิทธิภาพการระบายอากาศ
(วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย, 2540)

2.2.2 พัดลมระบายอากาศ

พัดลมเป็นส่วนประกอบที่สำคัญอีกส่วนหนึ่งของระบบระบายอากาศโดยวิธีกล หากพัดลมที่ติดตั้งในระบบระบายอากาศมีขนาดเล็กเกินไปจะทำให้มีประสิทธิภาพในการระบายอากาศได้ไม่เพียงพอในขณะเดียวกัน หากใช้พัดลมที่มีขนาดใหญ่เกินความจำเป็นจะทำให้สิ้นเปลืองทั้งค่าพัดลมและค่าพลังงานในการทำงานของพัดลมโดยเปล่าประโยชน์ โดยทั่วไปพัดลมที่ถูกผลิตขึ้นเพื่อการค้าในปัจจุบันสามารถปรับความเร็วรอบเพื่อให้ได้อัตราการระบายอากาศที่เหมาะสมได้ เพื่อความสะดวกเมื่อต้องการเปลี่ยนแปลงอัตราการระบายอากาศ และช่วยลดความผิดพลาดในการเลือกพัดลม การปรับรอบความเร็วให้เหมาะสมย่อมทำได้ง่ายและสิ้นเปลืองน้อยกว่าการเปลี่ยนพัดลมใหม่ อย่างไรก็ตาม เนื่องจากความเร็วรอบของพัดลมสัมพันธ์กับอัตราการระบายอากาศ และสัมพันธ์กับพลังงานที่ใช้ ด้วย ดังนั้นเมื่อเพิ่มความเร็วรอบอัตราการระบายอากาศ และพลังงานที่ใช้ย่อมเพิ่มตามไปด้วย (วันทนี พันธุ์ประสิทธิ์, 2552) โดยที่แหล่งพลังงานไฟฟ้าของพัดลมระบายอากาศ ได้แก่ ไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating Current : AC) และไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current : DC)

ในปัจจุบันพัดลมระบายอากาศที่ใช้งานในอาคารพักอาศัยสามารถแบ่งได้เป็น 5 ประเภท ดังนี้

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



ภาพที่ 7 ชนิดของพัดลมระบายอากาศ แบบติดผนังแบบไม่มีหน้ากาก (ซ้าย) แบบติดผนังแบบมีหน้ากาก(กลาง) แบบติดกระจก (ขวา) (मितชูบิชิ, 2556)



ภาพที่ 8 ชนิดของพัดลมระบายอากาศ แบบฝังฝ้าไม่ต่อท่อระบายอากาศ (ซ้าย)
แบบต่อท่อฝังฝ้า (ขวา) (मितชุบิชิ,2556)

2.3 การศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับข้อมูลบังคับของอัตราการระบายอากาศในห้องน้ำ

2.3.1 กฎกระทรวงฉบับที่ 39 (2537)

ตารางที่ 2 อัตราการระบายอากาศโดยวิธีกล (กฎกระทรวงฉบับที่ 39, 2537)

ลำดับ	สถานที่ (ประเภทการใช้)	อัตราการระบายอากาศ ไม่น้อยกว่าจำนวน เท่าของปริมาตรของห้องใน 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	ห้องครัวของสถานที่จำหน่ายอาหารและ เครื่องดื่ม	24

กฎกระทรวงฉบับที่ 39 (2537) กำหนดให้ห้องน้ำในที่พักอาศัยต้องมีอัตราการระบายอากาศ
ไม่น้อยกว่า 2 ACH

2.3.2 อัตราการระบายอากาศ วสท. 3010 (2545)

ตารางที่ 3 ความต้องการอากาศภายนอกสำหรับระบายอากาศ (วสท.3010, 2545)

Occupancy	Exhaust Rate,cfm/unit	Exhaust Rate,cfm/ft ²	Notes	Exhaust Rate,L/s•unit	Exhaust Rate,L/s•m ²	Air Class
Arenas		0.50	B	-	-	1
Art classroom	-	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
Jannitor 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	-	0.05		-	2.5	2
Paint spray booths	-	-	F	-	-	4
Parking garages	-	0.75	C	-	3.7	2
Pet shops (animal arcas)	-	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	1.25/25	-	2
Toilets-public	50/70	-	D,H	25/35	-	2
Woodwork shop/classrooms	-	0.50		-	2.5	2

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 4 อัตราการระบายอากาศขั้นต่ำ (ASHRAE 62.1, 2013)

Occupancy Category	Exhaust Rate, cfm/unit	Exhaust Rate, cfm/ft ²	Notes	Exhaust Rate, L/s/unit	Exhaust Rate, L/s/m ²	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

และหากมีการเปิดใช้งานพัดลมระบายอากาศยาวนานเป็นเวลาดำเนินการอาจสามารถใช้อัตราระบายอากาศที่ต่ำลงได้

ตารางที่ 5 สรุปข้อบังคับของของอัตราการระบายอากาศในห้องน้ำ

standard	กำหนด	หน่วย	ACH	f ³ /m	m ³ /h
กฎกระทรวง39	2	ACH	2.00	9.36	15.90
วสท.3010	35	f ³ /m	7.48	35.00	59.47
วสท.3010	18	l/s	8.15	38.14	64.80
ASHRAE62.1	25	f ³ /m	5.34	25.00	42.48
ASHRAE62.1	50	f ³ /m	10.69	50.00	84.95

ในงานวิจัยนี้ใช้อัตราการระบายอากาศโดยวิธีกล ตามข้อกำหนดของกฎกระทรวงฉบับที่ 39 เป็นหลัก เนื่องจากเป็นข้อบังคับขั้นต่ำที่จำเป็นจะต้องทำตามสำหรับอาคารในประเทศไทย Air Change คือปริมาณอากาศที่ต้องการเติมเข้าไปในพื้นที่ เพื่อแทนที่อากาศในพื้นที่ของห้องน้ำ เป้าหมายในการติดตั้งระบบ Open Space Cooling มี 2 ส่วนด้วยกัน ส่วนแรกคือการลดอุณหภูมิลมที่ถ่ายให้กับพื้นที่ และส่วนที่สองคือการสร้าง Air Change ในพื้นที่ อัตราการเติมอากาศของ Air Change ขึ้นอยู่กับประเภทของกระบวนการ ทำงานในพื้นที่ตารางด้านซ้ายมือ แสดงค่า Air Change ที่แนะนำสำหรับพื้นที่การทำงานแบบต่าง ๆ อัตราการระบายอากาศ (Ventilation rate) เป็นการพิจารณาเชิงปริมาณของการแทนที่อากาศภายในอาคารด้วยอากาศใหม่ที่บริสุทธิ์กว่า อัตราการระบายอากาศที่เพียงพอส่งผลให้เกิดความสบายในการอยู่อาศัย ในปัจจุบันได้มีกฎหมายควบคุมอาคารที่ระบุให้มีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศใหม่กับภายนอกให้เพียงพอกับความต้องการโดย อัตราการระบายอากาศมีความสัมพันธ์กับประเภทกิจกรรม และจำนวนผู้ใช้อาคารภายในห้องและส่งผล โดยตรงต่อสุขภาพและสภาวะน่าสบายของผู้ใช้อาคารเนื่องจากกลิ่นอับและความรู้สึกรังค้ำของ อากาศเก่าภายในอาคาร จะทำให้รู้สึกอึดอัดและไม่สบาย ทั้งนี้ต้องพิจารณาทั้งกรณีที่เปิดและปิด ช่องเปิดอาคาร อีกทั้งกฎกระทรวงฉบับที่ 33 ได้ระบุว่า การระบายอากาศวิธีธรรมชาติจะต้องมีพื้นที่ ช่องเปิดที่เปิดได้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 10 ของพื้นที่ห้องนั้น

อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ (Ventilation rate)

ปริมาตรอากาศภายนอกที่ไหลเข้าสู่พื้นที่ หมายถึง ปริมาตรอากาศทั้งหมดภายในห้องที่ถูกแทนที่ด้วยอากาศที่เข้ามาใหม่ภายในเวลาหนึ่งชั่วโมง โดยจากมาตรฐานของห้องน้ำได้กำหนดให้มีอัตราแลกเปลี่ยนอากาศไม่ต่ำกว่า air change per hour ; ACH คือ 10 รอบใน 1 ชั่วโมง หรือ 60 นาที (ธัญจิรา เตชะสนธิชัย, 2560)

อัตราการเปลี่ยนอากาศ - หน่วย SI

อัตราการเปลี่ยนแปลงอากาศแสดงเป็นหน่วย SI

$$n = 3600 q / V$$

n = อากาศเปลี่ยนแปลงต่อชั่วโมง

q = อากาศบริสุทธิ์ ไหลผ่านห้อง (m^3/s)

V = ปริมาตรของห้อง (m^3)

ตัวอย่าง - หน่วย SI อัตราการเปลี่ยนแปลงของอากาศ

ด้วยการไหลของอากาศ $3 m^3/s$ ในห้อง $20,000 m^3$ อัตราการเปลี่ยนแปลงของอากาศสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\begin{aligned} n &= 3600 (3 m^3/s) / (20,000 m^3) \\ &= 0.54 (h^{-1}) \end{aligned}$$

2.4 ศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับเทอร์โมอิเล็กทริก และเครื่องทำความร้อนทั่วไป (ฮีตเตอร์)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



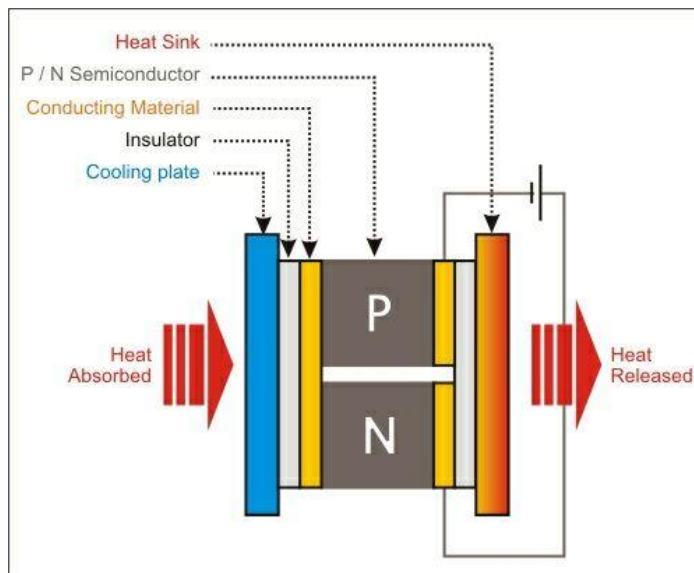
ภาพที่ 9 แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกและหลักการทำงาน

แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (บุญยภัทร ภูมิภาค, 2560) หรือเรียกกันอีกชื่อหนึ่งว่าเพลเทียร์ (Peltier) เป็นอุปกรณ์ทางเลือกหนึ่งสำหรับทำความเย็น หลักการทำงานของเพลเทียร์ คือ เมื่อป้อนไฟฟ้ากระแสตรงให้กับเพลเทียร์ ที่สารกึ่งตัวนำแบบ พี-เอ็น (P-N type) กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านวัสดุที่ทำจากสารกึ่งตัวนำต่างชนิดกัน ทำให้เกิดการดูดกลืนของของอิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่จากพลังงานระดับต่ำในสารกึ่งตัวนำแบบพี สู่วงพลังงานระดับสูงในสารกึ่งตัวนำแบบเอ็น ส่งผลให้เกิดการดูดกลืนความร้อนที่ด้านเย็น (Heat absorbed at cold side) และในขณะเดียวกันก็เกิดการดูดกลืนของอิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่จากพลังงานระดับสูงในสารกึ่งตัวนำแบบเอ็น สู่วงพลังงานระดับต่ำในสารกึ่งตัวนำแบบพี ส่งผลให้เกิดการคายความร้อนที่ด้านร้อนขึ้น คุณสมบัติของแผ่น เพลเทียร์ก็คือ เมื่อเราป้อนไฟแรงดันกระแสตรง DC เข้าไปจะทำให้เกิดการถ่ายเทพลังงานความร้อนอีกด้านหนึ่งและอีกด้านหนึ่งจะเป็นด้านเย็นอาจจะเย็นถึงติดลบ ขึ้นกับประสิทธิภาพการระบายความร้อนดีแค่ไหน เมื่อให้ความร้อนและเย็นจะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าออกมาเป็นแบบกระแสตรง นิยมนำมาใช้ผลิตไฟฟ้า โดยนำความร้อนที่ได้มาผลิตไฟฟ้า ไม่มีเสียง ไม่มีการเคลื่อนไหวในขณะที่ทำงาน มีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา

ประวัติความเป็นมาของการค้นพบปฏิกิริยา Peltier ปรากฏการณ์ที่เรียกว่า เพลเทียร์ เอฟเฟกต์ (Peltier effect) ได้ถูกค้นพบมากกว่า 176 ปีแล้ว โดยนักวิทยาศาสตร์ชาวฝรั่งเศส 2 คนที่ชื่อ เฟรนช์วอตช์เมคเกอร์ (French Watchmaker) และยีน ชาร์เลสเอธานเนสซี เพลเทียร์ (Jean Char Athanase Peltier) เมื่อปี ค.ศ. 1834 พบว่า เมื่อจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้กับสารกึ่งตัวนำ สารกึ่งตัวนำสองด้านจะกลายเป็นผิวร้อน (hot surface) และผิวเย็น (cold surface) ขึ้นกับทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้า ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า ปรากฏการณ์เพลเทียร์ (Peltier effect) ในทางกลับกัน ถ้าถ่ายเทความร้อนให้กับผิวด้านหนึ่งจะเกิดแรงดันไฟฟ้าที่เรียกว่า ซีเบ็คโวลต์เตจ (Seebeck Voltage) สารกึ่งตัวนำดังกล่าวเรียกว่า P-n junction โดยที่การผลิตกระแสไฟฟ้าจะต่อแบบอนุกรม การทำความเย็นจะต่อแบบขนาน เป็นแบบแซนวิช ระหว่างแผ่นฉนวนเซรามิกมีอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่อาศัยหลักการของปรากฏการณ์เพลเทียร์ซึ่งจัดเป็นปั๊มความร้อน (Heat Pump) เรียกว่า เทอร์โมอิเล็กทริกเพลเทียร์มีชีวิตอยู่ในช่วงปี ค.ศ.1785-1845 ความสำเร็จจากการค้นพบปรากฏการณ์เพลเทียร์การทดลองของโรมัส โจแฮน ซีเบ็ค (Thomas Johann Seebeck) ซึ่งเขาได้แสดงผลการทดลองค้นคว้าของเขาที่เรียกว่า ซีเบ็คเอฟเฟกต์ (Seebeck Effect) (ทศวรรษ สี่ตะวันออก, 2558)

หลักการของซีเบ็ค (บุญยภัทร ภูมิภาค, 2560) เป็นหลักการทางไฟฟ้า โดยซีเบ็ค นำเอาสายไฟ 3 ชิ้น ที่ทำมาจากโลหะที่ต่างกัน 2 ชนิด มาต่อเป็นวงจรโดยการทดลองเป็นไปตามรูปที่ 9 เมื่อนำเอาลวดต่างชนิด (ชนิด B) มาต่อเข้าระหว่างลวดชนิดเดียวกัน (ชนิด A) ทำให้เกิดขั้วระหว่างลวดทั้งคู่ขั้วที่วางนี้ คือ ขั้ว A และขั้ว B เมื่อเริ่มให้ความร้อนกับขั้วด้านหนึ่ง และพบว่ามีการไหลของกระแสไฟฟ้า เล็ก ๆ ไหล

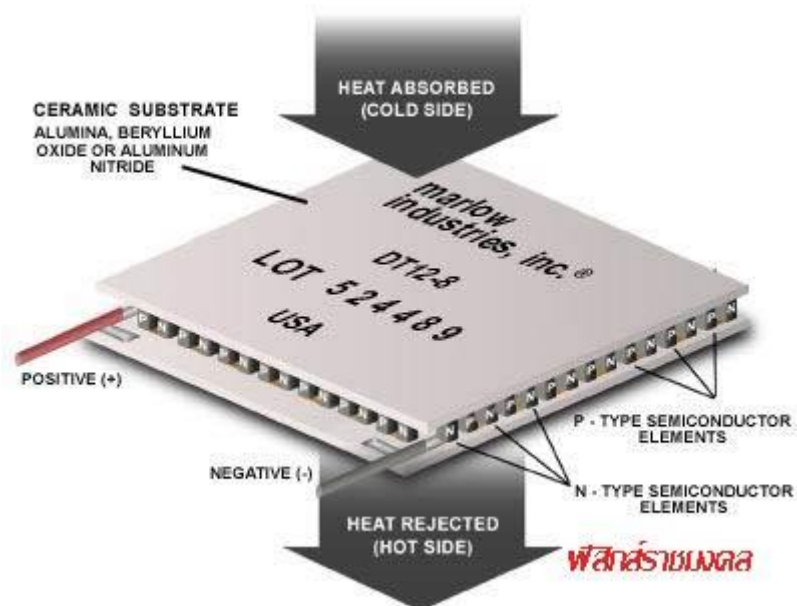
ได้เมื่อต่อครบวงจร ซึ่งในที่นี้ใช้การแสดงผล ของมิเตอร์วัดกระแสเป็นค่าหน่วยไมโครแอมป์ต่อเป็น โวลต์ในวงจร



ภาพที่ 10 โครงสร้างและหลักการทำงานของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก

(ที่มา : <https://www.activecool.com/technotes/thermoelectric.html>)

โครงสร้างและหลักการทำงานของเพลเทียร์ (Peltier) โครงสร้างเบื้องต้นของอุปกรณ์เพลเทียร์ (บุญภักดิ์ ภูมิภาค, 2560) ประกอบด้วยสารชนิดเอ็น (N-type) และ (P-type) ของบิสมัทเทลลูไรด์ (สร้างมาจากสารผสมบิสมัท (Bi) กับเทลลูเรียม (Te) วางลงบนฐานรองเซรามิก) ที่สร้างเป็นรูปลูกเต๋าเล็ก ๆ จำนวนมาก แล้วนำเอาแผ่นเซรามิกมาประกบไว้ทั้งสองด้านในขณะที่สารพีและเอ็นซึ่งทำเป็นเนื้ออัลลอยส์ ระหว่างบิสมัท (Bismuth) และเทลลูเรียม (Tellurium) ทั้งสองมีความต่างในความหนาแน่นของอิเล็กตรอนอิสระที่อุณหภูมิเท่ากัน ลูกเต๋าชินิตพี เป็นโลหะที่มีอิเล็กตรอนหนาแน่นพอเพียง (Deficiency of electrons) ในขณะที่ลูกเต๋าชินิตเอ็น เป็นโลหะที่มีอิเล็กตรอนหนาแน่นมากจนเหลือเฟือ (Excess of electrons)



ภาพที่ 11 กระแสไหลผ่านตัวโมดูล (ฟิสิกส์ราชมงคล, 2554)

เมื่อกระแสไหลผ่านตัวโมดูล ตัวโมดูลจะพยายามสร้างดุลภาพ (Attempts to establish) ขึ้นใหม่ภายในกระแสที่กระทำกับสารชนิด P ทำให้จั้งขึ้นเกิดความร้อนขึ้น ต้องการทำให้เกิด ความเย็น และสารชนิด N เกิดความร้อนขึ้น ต้องการทำให้เกิดความร้อน ทั้งนี้เพื่อดำรงดุลภาพตัวเองไว้ให้ได้ เมื่ออุปกรณ์นี้ทำงานในระดับอุณหภูมิเดียวกัน ทำให้ด้านที่เกิดความร้อนเพิ่มขึ้น และด้านที่เกิดความเย็น มีความเย็นมากขึ้น

โดยทั่วไป เพลเทียร์ทำงานด้วยกระแส 5-15 แอมป์ ที่แรงดันไฟฟ้า 12 โวลต์ แต่ในการผลิตเพื่องานอุตสาหกรรม ผลิตเพลเทียร์ให้ทำงานด้วยกระแส 100 แอมป์ หรือมากกว่านี้

อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก (จรัส บุญยธรรมา, 2558) (thermoelectric devices) เป็นอุปกรณ์ที่สามารถเปลี่ยนพลังงานความร้อนให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้ และในทางกลับกันก็ยังสามารถเป็นอุปกรณ์ที่สามารถเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานความร้อนได้เช่นเดียวกัน สำหรับคำว่า “เทอร์โมอิเล็กทริก” มาจากคำว่า “เทอร์โม (thermo)” ซึ่งมีความหมายว่าความร้อน และคำว่า “อิเล็กทริก (electric)” ซึ่งมีความหมายว่าไฟฟ้า เมื่อนำความหมายรวมกันจะเป็น “ความร้อนและไฟฟ้า” ดังนั้นเทอร์โมอิเล็กทริก เป็นปรากฏการณ์ในการเปลี่ยนรูปแบบพลังงานระหว่างพลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อน โดยผ่านวัสดุตัวกลางที่มีสมบัติ เทอร์โมอิเล็กทริก เรียกว่าวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก (thermoelectric materials) ซึ่งจะเปลี่ยนพลังงานความร้อนให้เป็นพลังงานไฟฟ้า หรือเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานความร้อน โดยอาศัยหลักการสั้นสะเทือน ของโครงสร้างภายในวัสดุเชิงฟิสิกส์ควอนตัม เมื่อวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกได้รับอุณหภูมิที่แตกต่างกันระหว่าง ปลายทั้งสอง

ข้างพบว่าจะมีการถ่ายเทอุณหภูมิจาก อุณหภูมิสูงไปยังอุณหภูมิต่ำกว่า นั่นคือมีการสั่นของ อนุภาคโฟนอน (phonon) และการเคลื่อนที่ของพาหะ มีทั้งอิเล็กตรอน (electron) และโฮล (hole) จะได้พลังงานไฟฟ้าและในทางตรงข้ามเมื่อวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกมีความต่างศักย์ไฟฟ้า จะมีการถ่ายเทความต่างศักย์ไฟฟ้า จากความต่างศักย์ ไฟฟ้าสูงไปยังความต่างศักย์ไฟฟ้าต่ำว่าจะได้พลังงานความร้อน

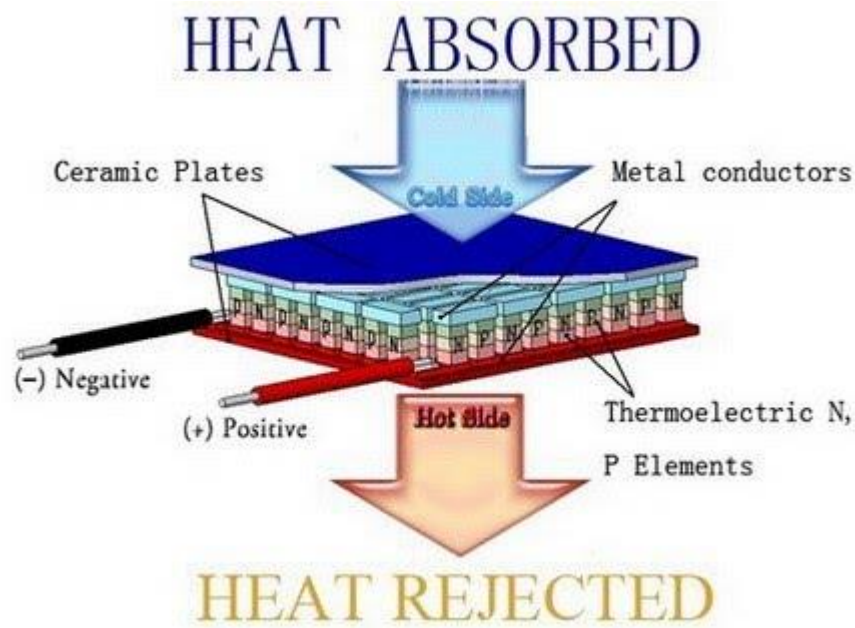
ปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กทริก (thermoelectric effect)

โดยทั่วไปปรากฏการณ์พื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนรูปพลังงานระหว่างพลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อน มี 3 ปรากฏการณ์ ได้แก่

1. ปรากฏการณ์ซีเบค (Seebeck effect) “เมื่อให้ความร้อนที่รอยต่อของตัวนำสองชนิด จะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลในวงจรปิด”
2. ปรากฏการณ์เพลทีเยอร์ (Peltier effect) “เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลจะมีความร้อนเกิดขึ้น ที่รอยต่อของตัวนำ ความร้อนจะเพิ่มขึ้น หรือลดลงขึ้นอยู่กับทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้า”
3. ปรากฏการณ์ทอมสัน (Thomson effect) “เมื่อมีกระแสไฟฟ้าผ่านตัวนำไฟฟ้าสองจุดที่มีอุณหภูมิแตกต่างกัน ทิศทางความร้อนขึ้นอยู่กับทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าจากจุดเย็นไปจุดร้อนหรือจากจุดร้อนไปจุดเย็น”

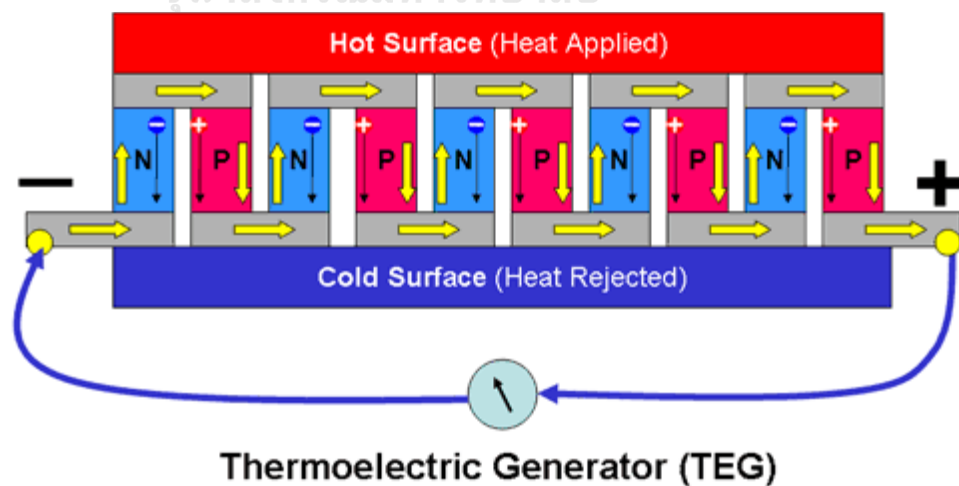
วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก

อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก เป็นการนำเอาวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก มาประกอบให้เป็นอุปกรณ์ที่สามารถนำไปใช้งานได้ เรียกว่า เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล โดยการนำวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกที่เป็นวัสดุประเภทสารกึ่งตัวนำ (semi-conductor) ชนิด N และชนิด P มาต่อกันเป็นคู่ๆ โดยวางสลับกัน และมีโลหะขนาดเล็กเชื่อมต่อทั้งคู่เข้าด้วยกัน ซึ่งแต่ละคู่ที่ต่อกันจะมีการเชื่อมต่อกันแบบอนุกรมทางไฟฟ้า ตั้งแต่ตัวแรกจนถึงตัวสุดท้าย และด้านบนกับด้านล่างถูกประกบด้วยแผ่นเซรามิก แสดงดังรูปที่ 12 “(Thermoelectric module)” (N type) (P type)



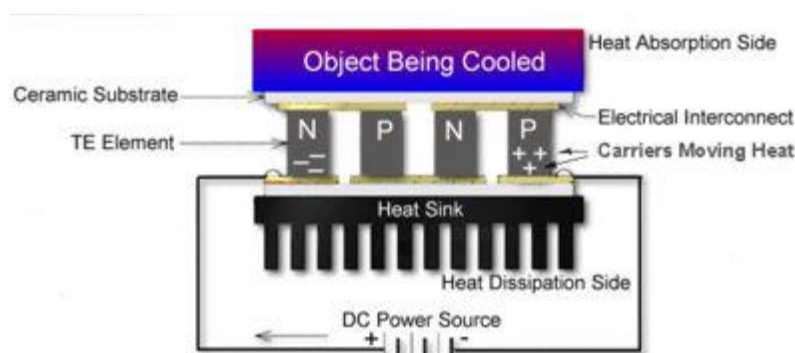
ภาพที่ 12 ส่วนประกอบของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล
(ที่มา : <https://sites.google.com/site/phy224pro/hlak-kar>)

เมื่อนำเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลมาทำให้อุณหภูมิแผ่นเซรามิกด้านบนและด้านล่างแตกต่างกัน ทำให้เกิดปริมาณความต่างศักย์ไฟฟ้าที่โมดูลผลิตได้ และเมื่อนำมาต่อเข้ากับโหลด หรือภาระไฟฟ้าจะทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหล ตามปรากฏการณ์ของซีเบค โดยทั่วไปเรียกเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลแบบนี้ว่า เทอร์โมอิเล็กทริกเจเนอเรเตอร์ (thermoelectric generator ; TEG) แสดงดังรูปที่ 10 (load)



ภาพที่ 13 กลไกการทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนอเรเตอร์
(ที่มา : <https://www.activecool.com/technotes/thermoelectric.html>)

ในทางกลับกัน เมื่อป้อนกระแสไฟฟ้าให้กับเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลจะทำให้เกิดความร้อนและความเย็นเกิดขึ้นที่ผิวด้านบนและด้านล่าง ตามปรากฏการณ์ของเพลทีเยอร์ โดยทั่วไปเรียก เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลแบบนี้ว่า เทอร์โมอิเล็กทริกคูลลิ่ง (thermoelectric cooling ; TEC) แสดงดังรูปที่ 13



ภาพที่ 14 กลไกการทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริกคูลลิ่ง

(ที่มา : <https://www.activecool.com/technotes/thermoelectric.html>)

การประยุกต์ใช้งาน

การประยุกต์ใช้งานอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก หรือเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล สามารถนำมาใช้งานได้ 2 ลักษณะได้แก่ การเปลี่ยนพลังงานความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้าหรือ เทอร์โมอิเล็กทริก เจนเนอเรเตอร์ และการเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อนหรือเทอร์โมอิเล็กทริกคูลลิ่ง

1.เทอร์โมอิเล็กทริกเจเนอเรเตอร์ เป็นการประยุกต์ใช้ปรากฏการณ์ซีเบค โดยสามารถใช้อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนได้ เป็นการใช้พลังงานความร้อนที่เหลือจากกระบวนการต่างๆ มาผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้า เช่น ความร้อนจากท่อไอเสียรถยนต์ ความร้อนจากหม้อต้มน้ำ ความร้อนสูง ความร้อนจากแสงแดด ความร้อนที่เกิดจากสภาวะโลกร้อน หรือความร้อนจากร่างกายมนุษย์ เป็นต้น

2.เทอร์โมอิเล็กทริกคูลลิ่ง เป็นการประยุกต์ใช้ปรากฏการณ์เพลทีเยอร์ โดยสามารถใช้อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกผลิตพลังงานความร้อนหรือทำความเย็นจากพลังงานไฟฟ้าได้ เป็นการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อทำความร้อนหรือความเย็นตามที่ต้องการ เช่น ตู้แช่เย็นในรถยนต์ ชุดระบายความร้อนของ CPU แก้วทำความร้อน USB หรือลูกประคบร้อน USB เป็นต้น

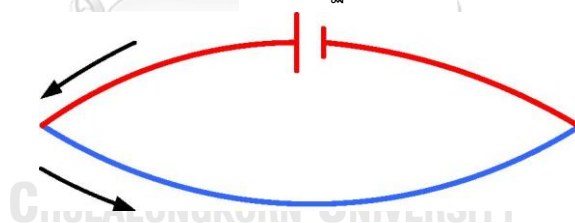
จากที่ได้กล่าวมานั้น อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย แต่เนื่องจากวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกเอง มีประสิทธิภาพประมาณ 4% ดังนั้นจึงเป็นข้อจำกัดในการนำมาประยุกต์ใช้งาน โดยส่วนใหญ่จะนิยมนำไปใช้งานกับพลังงานความร้อนที่เหลือจากกระบวนการต่างๆ หรือทำเป็นอุปกรณ์ขนาดเล็กที่สามารถพกพาได้ ง่าย และสะดวก

ประวัติการค้นพบเทอร์โมอิเล็กทริก

ช่วงต้นศตวรรษที่ 19 โธมัส ซีเบ็ค และ ฌอง ซี เอ เฟลเทียร์ เป็นนักวิทยาศาสตร์รุ่นแรกๆ ที่ค้นพบปรากฏการณ์ซึ่งเป็นพื้นฐานของเทอร์โมอิเล็กทริกที่ใช้ในอุตสาหกรรมทุกวันนี้ โดยที่โธมัส ซีเบ็ค พบว่าเมื่อนำลวดตัวนำสองชนิดมาเชื่อมปลายทั้งสองข้างเข้าด้วยกัน แสดงดังรูปที่ 15 ถ้าที่จุดปลายทั้งสองมีอุณหภูมิต่างกัน จะเกิดกระแสไฟฟ้าไหลในวงจรเส้นลวดทั้งสอง ต่อมา เฟลเทียร์พบว่าเมื่อผ่าน กระแสไฟฟ้าเข้าในวงจรมีลักษณะเดียวกับวงจรถูกซีเบ็คสร้างขึ้น ความร้อนจะดูดกลืนหรือปล่อยออกที่จุดเชื่อมต่อ แสดงดังรูปที่ 16



ภาพที่ 15 ปรากฏการณ์ซีเบ็ค

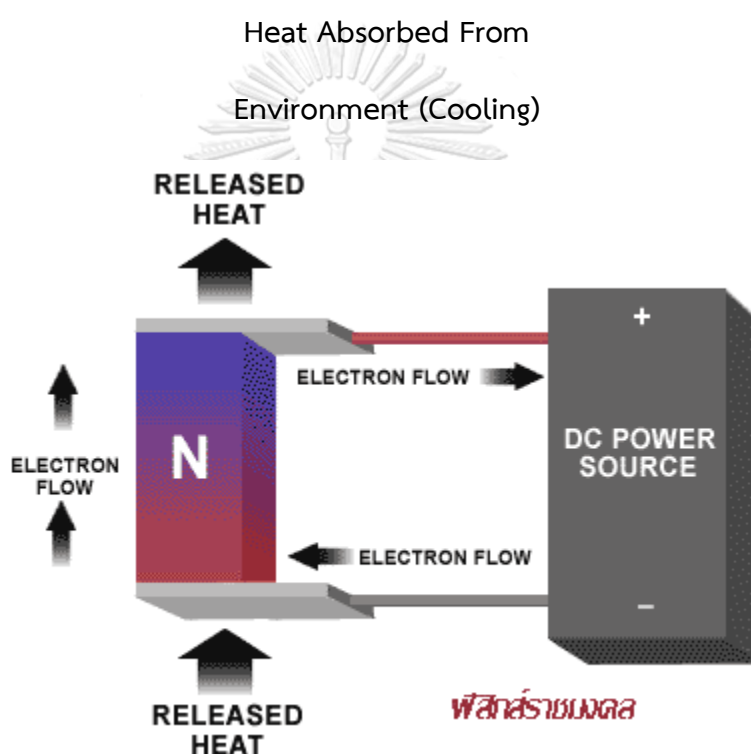


ภาพที่ 16 ปรากฏการณ์เฟลเทียร์

ต่อมาในช่วงกลางศตวรรษที่ 20 เทคโนโลยีเกี่ยวกับสารกึ่งตัวนำมีความก้าวหน้ามากขึ้น นักวิทยาศาสตร์สามารถผลิตเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลที่มีประสิทธิภาพสูง ซึ่งใช้ได้ทั้งทำความร้อนและความเย็นและยังสามารถเปลี่ยนพลังงานความร้อน เป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงได้ (ทศวรรษ สี ตะวัน, 2558)

2.4.1 การทำความเย็นโดยเทอร์โมอิเล็กทริก

การทำความเย็นด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกจะเกิดขึ้นเมื่อผ่านไฟฟ้ากระแสตรง เข้าไป ในสารกึ่งตัวนำชนิดพี และชนิดเอ็น 1 คู่หรือมากกว่า 1 คู่ แสดงดังรูปที่ 3.3 อุณหภูมิ Tc ที่จุดเชื่อมต่อจะลดลง และมีการ ดูดกลืนความร้อนจากสิ่งแวดล้อมที่ถูกล้อมรอบที่อุณหภูมิ Tc นี้เกิดจากการเคลื่อนที่ของ อิเล็กตรอนจากชั้นที่มีพลังงานต่ำในสารกึ่งตัวนำชนิดพี ไปสู่ชั้นที่มีพลังงานสูงในสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น ความร้อนที่ถูกล้อมรอบจะเคลื่อนที่ผ่านไปสู่อีกด้านหนึ่งของจุดเชื่อมต่อที่มีอุณหภูมิ Th ด้วยการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน และจะปล่อยความร้อน อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่กลับไปสู่ชั้นที่มีพลังงานต่ำในสารกึ่งตัวนำ ชนิดพี โดยที่ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า “เพลเทียร์เอฟเฟค”



ภาพที่ 17 Thermoelectric operations

(ที่มา :<http://www.rmutphysics.com/charud/howstuffwork/howstuff2/refrigerator/refrigeratorthai6.htm>)

การถ่ายเทความร้อนที่ด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกมีความสำคัญต่อการทำความเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกมาก เพราะถ้าไม่สามารถระบายความร้อนที่ด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกได้อย่างเพียงพอด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกก็จะไม่สามารถลดอุณหภูมิลงได้ โดยตัวแปรที่สำคัญในการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกด้านร้อนคือ อุณหภูมิแวดล้อมที่รองรับความร้อนที่ถ่ายเทจาก

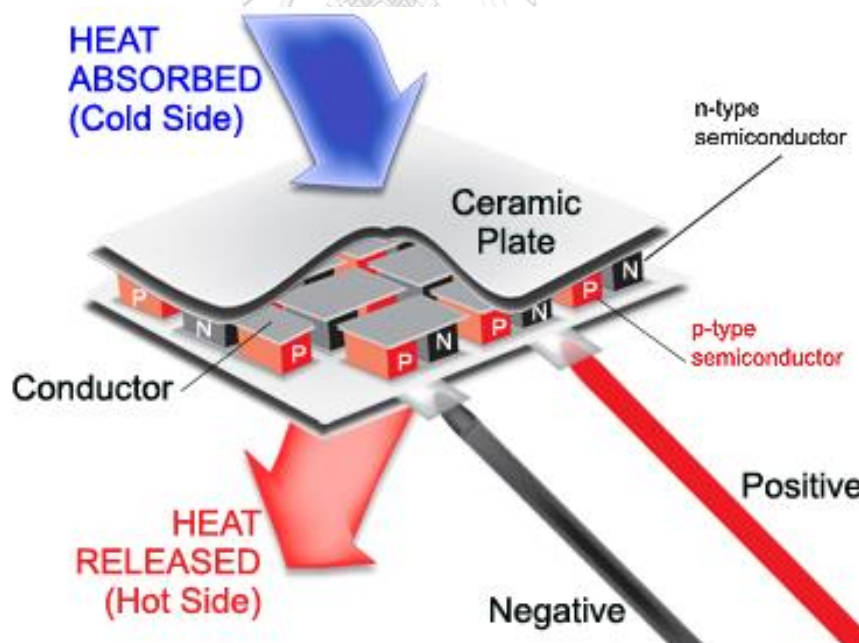
เทอร์โมอิเล็กทริกและประสิทธิภาพของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน จากการทดสอบได้แสดงค่าประมาณการถ่ายเทความร้อนไว้ดังนี้

1. การถ่ายเทความร้อนด้วยอากาศโดยการพาความร้อนแบบบังคับด้วยครีป มีค่าอุณหภูมิด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกสูงกว่าอุณหภูมิแวดล้อมประมาณ $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ถึง $15\text{ }^{\circ}\text{C}$
2. การถ่ายเทความร้อนด้วยอากาศโดยการพาความร้อนแบบธรรมชาติ มีค่าอุณหภูมิด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกสูงกว่าอุณหภูมิแวดล้อมประมาณ $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ถึง $20\text{ }^{\circ}\text{C}$
3. การถ่ายเทความร้อนด้วยของเหลวที่มีค่าอุณหภูมิด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกสูงกว่าอุณหภูมิของเหลวประมาณ $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ถึง $5\text{ }^{\circ}\text{C}$

2.4.2 ประเภทของเทอร์โมอิเล็กทริก

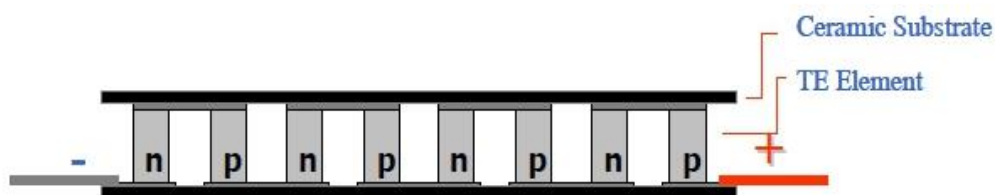
เทอร์โมอิเล็กทริกสามารถแบ่งตามลักษณะการใช้งานได้สองชนิดคือ

1. เทอร์โมอิเล็กทริกชนิดที่ใช้ทำความเย็น (Cooling Module)
2. เทอร์โมอิเล็กทริกชนิดที่ใช้ผลิตไฟฟ้า (Power Module)



ภาพที่ 18 Thermoelectric components

(ที่มา : <https://www.activecool.com/technotes/thermoelectric.html> /)



ภาพที่ 19 Semiconductor connection

(ที่มา: เจรศักดิ์ เอกบุรณะวัฒน์, 2562)

สารที่ใช้ทำเทอร์โมอิเล็กทริก

Cooling Module

1. Bismuth telluride (Bi_2Te_3)
2. Bismuth antimony (BiSb)
3. Lead telluride (PbTe)

Power Module

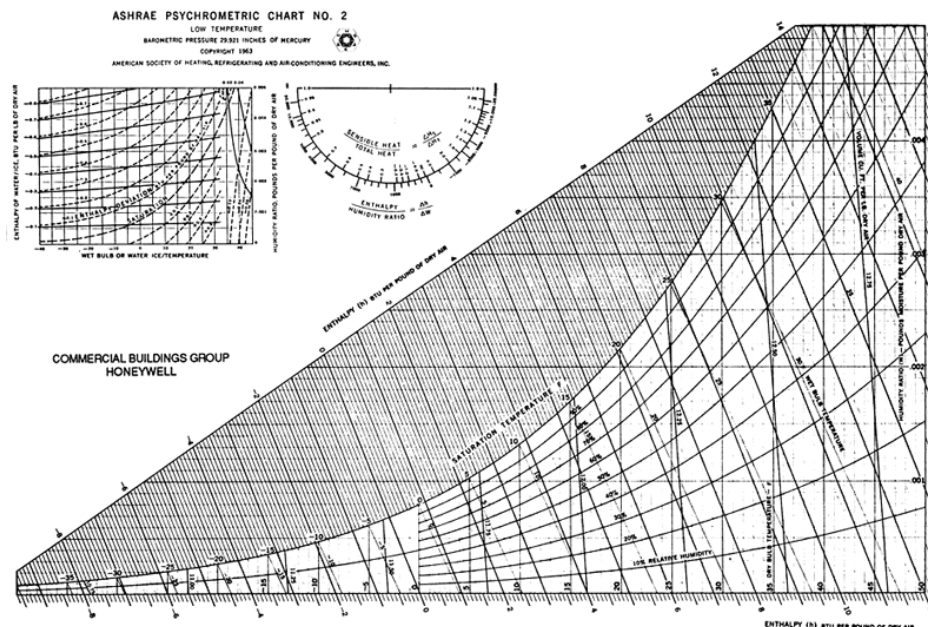
1. Silicon germanium (Si_xGe_x)

2.5 ศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับแผนภูมิไซโครเมตริก

ไซโครเมตริก (Psychrometric) คือ คุณสมบัติของผสมระหว่างอากาศและไอน้ำ ทั้งภายในและภายนอกห้องปรับอากาศ เนื่องจากอากาศในบรรยากาศจะมีไอน้ำปะปนอยู่ ดังนั้นการศึกษาไซโครเมตริก จึงมีความสำคัญเพื่อใช้ประโยชน์ในการกำหนดสภาพอากาศที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งได้มีการนำมาประยุกต์ใช้ในระบบปรับอากาศ หรือ ระบบระบายอากาศ

แผนภูมิไซโครเมตริก (Psychrometric Chart) คือ แผนภูมิที่บอกถึงรายละเอียดของอากาศที่สภาวะต่างๆ การศึกษาและทำความเข้าใจแผนภูมิไซโครเมตริกจะทำให้เข้าใจถึงกระบวนการเปลี่ยนแปลงของสภาวะอากาศ โดยที่ในแผนภูมิดังกล่าวจะรวบรวมความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ ของอากาศให้ง่ายต่อการเข้าใจในรายละเอียด (ปรเมธ ประเสริฐยิ่ง, 2547)

แผนภูมิไซโครเมตริก, แผนภูมิอากาศชื้น



ภาพที่ 20 แผนภูมิไซโครเมตริกของ ASHRAE 1996

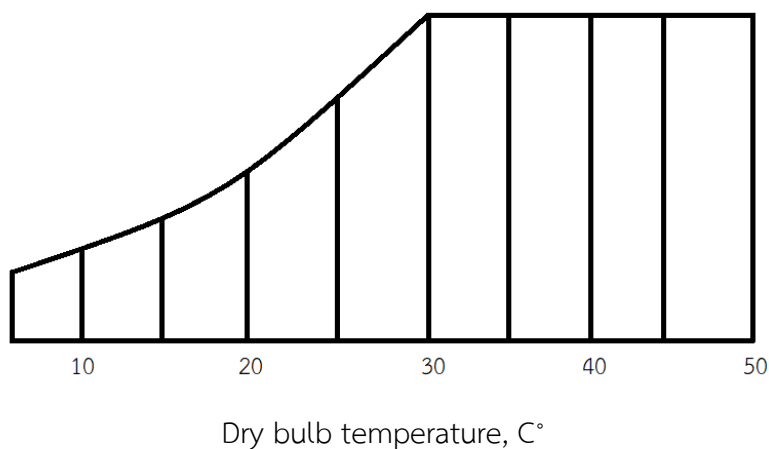
คุณสมบัติต่างๆ ของอากาศที่เกี่ยวข้องกับไซโครเมตริก มีดังนี้

2.5.1 อุณหภูมิ (Temperature)

อุณหภูมิที่เข้าใจได้โดยทั่วไปจะหมายถึงตัวที่บ่งบอกถึงความร้อนและความเย็น แต่นอกจากนี้ อุณหภูมิยังเป็นตัวที่บ่งบอกถึงระดับพลังงานที่มีอยู่ในอากาศ ซึ่งในอากาศที่ร้อนจะมีพลังงานอยู่ในตัวเองมากกว่าในอากาศที่เย็น อุณหภูมิของอากาศแบ่งออกเป็น 3 ชนิด ได้แก่

2.5.1.1 อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dry Bulb Temperature : DB)

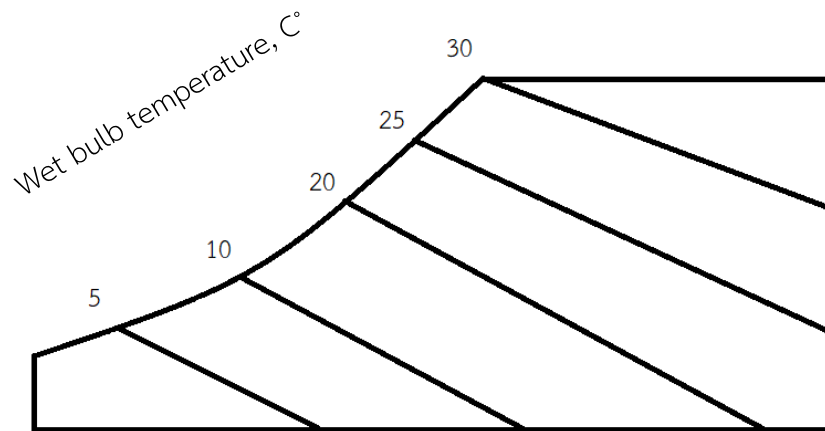
เป็นอุณหภูมิที่วัดจากเทอร์โมมิเตอร์ธรรมดา การอ่านค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งในแผนภูมิไซโครเมตริกจะเป็นเส้นตามแนวตั้งอยู่ในแผนภูมิโดยค่าจะเรียงตั้งแต่น้อยไปหามากจากซ้ายมือไปยังขวามือ โดยที่เส้นนี้ จะวาดตรงไม่ขนานไปกับเส้นอื่นและเอียงเล็กน้อย



ภาพที่ 21 เส้นอุณหภูมิกระเปาะแห้งบนแผนภูมิไซโครเมตริก (อาจหาญ ณ นครค์, 2556)

2.5.1.2 อุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet Bulb Temperature : WB)

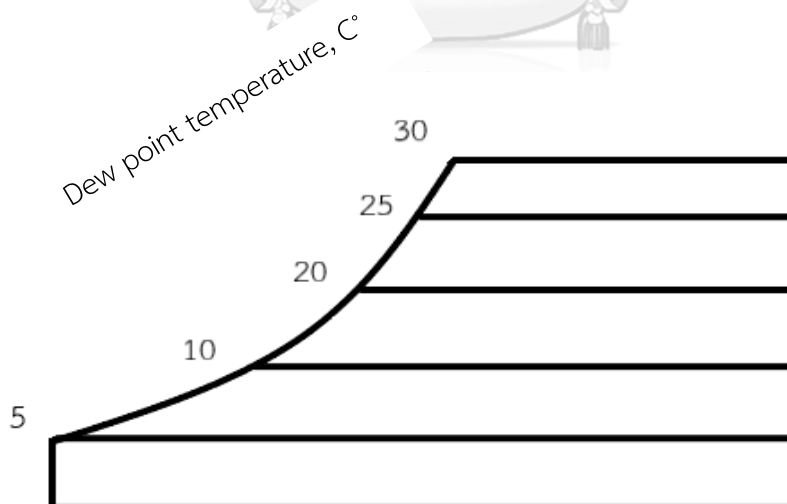
เป็นอุณหภูมิที่วัดโดยใช้เทอร์โมมิเตอร์เช่นเดียวกับที่วัดแบบกระเปาะแห้ง แต่ที่กระเปาะ ปลายเทอร์โมมิเตอร์จะนำผ้าชุบน้ำพันกระเปาะเอาไว้ และต้องทำให้ปลายกระเปาะเปียกดังกล่าว เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสัปดาห์แล้วจึงจะอ่านค่าอุณหภูมิ เพื่อดูค่าความชื้นในอากาศ ถ้าค่าความชื้นในอากาศมีน้อยผ้าชุบน้ำที่พันกระเปาะเอาไว้จะระเหยได้ง่าย และจะดูดความร้อนรอบๆ ตัวกระเปาะมา ทำให้ความชื้นเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอ ดังนั้นจึงทำให้อุณหภูมิที่วัดได้หรืออุณหภูมิกระเปาะเปียกจะต่ำกว่าอุณหภูมิกระเปาะแห้ง แต่หากในอากาศมีความชื้นอยู่มาก ผ้าชุบน้ำที่พันกระเปาะเอาไว้จะระเหยได้ยาก ความร้อนที่ใช้ในการระเหยตัวจะน้อยทำให้ค่าอุณหภูมิที่วัดจะใกล้เคียงกับอุณหภูมิกระเปาะแห้ง และอุณหภูมิกระเปาะแห้งกับกระเปาะเปียกจะเท่ากันที่จุดที่ความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 100% หรือที่เรียกว่า เส้นอากาศอิ่มตัว (Saturated Temperature) การอ่านค่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกในแผนภูมิไซโครเมตริก จะเป็นเส้นเอียงทแยง และค่าจะเพิ่มขึ้นจาก น้อยไปมากจากด้านซ้ายไปยังด้านขวา



ภาพที่ 22 เส้นอุณหภูมิกระเปาะเปียกบนแผนภูมิไซโครเมตริก

2.5.1.3 อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dew Point temperature : DP)

เป็นอุณหภูมิที่ไอน้ำในอากาศเริ่มกลั่นตัวเป็นหยดน้ำเมื่ออากาศถูกลดอุณหภูมิที่ความดันคงที่ หรืออุณหภูมิอิมตัวของไอน้ำเมื่อเปรียบเทียบกับความดันของน้ำ การอ่านค่าอุณหภูมิหยดน้ำค้างของอากาศในแผนภูมิไซโครเมตริกจะเป็นเส้นจากจุดนั้นขนานไปกับเส้นปริมาตรจำเพาะไปทางขวามือไปชนกับเส้นอากาศอิมตัว



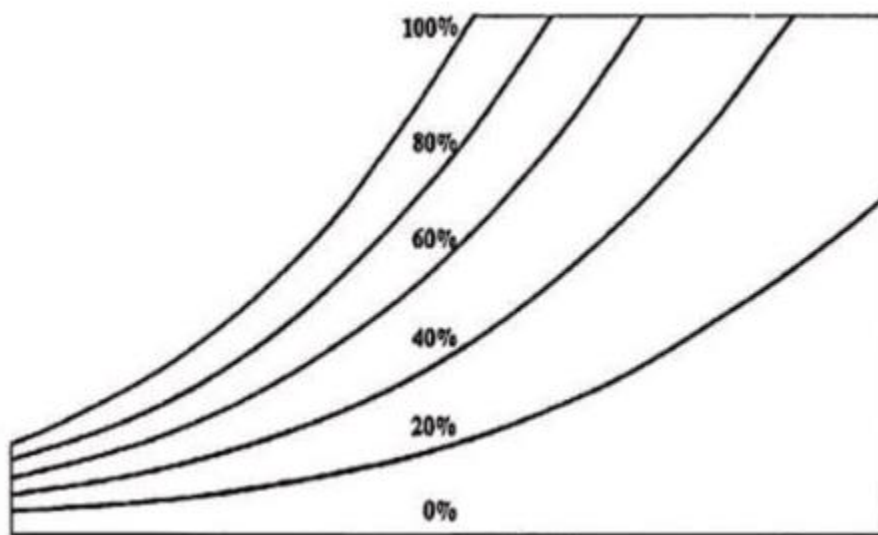
ภาพที่ 23 เส้นอุณหภูมิจุดน้ำค้างบนแผนภูมิไซโครเมตริก

2.5.2 ความชื้นในอากาศ (Humidity)

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

2.5.2.1 ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity : RH)

เป็นอัตราส่วนระหว่างปริมาณมวลของไอน้ำในอากาศต่อปริมาณมวลของไอน้ำในอากาศที่อยู่สถานะอิ่มตัวที่อุณหภูมิเท่ากัน โดยปริมาณมวลของไอน้ำสูงสุดที่อากาศจะสามารถรับไว้ได้จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิอากาศ ยิ่งอากาศมีอุณหภูมิสูงก็จะยังสามารถรับปริมาณมวลของไอน้ำไว้ได้มาก การอ่านค่าความชื้นสัมพัทธ์ในแผนภูมิไซโครเมตริก จะเป็นเส้นโค้งดังภาพที่ 24 โดยเส้นแรกทางซ้ายที่อยู่ด้านนอกสุดคือเส้นอากาศอิ่มตัว (Saturated Air Line) จะมีค่าความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 100% ถัดมาทางด้านขวาค่าความชื้นสัมพัทธ์จะลดลงเรื่อยๆ จากแผนภูมิไซโครเมตริก จะเห็นว่า อากาศที่มีปริมาณ ความชื้นอยู่เท่ากันแต่หากอุณหภูมิต่ำกว่าค่าความชื้นสัมพัทธ์จะสูงกว่า

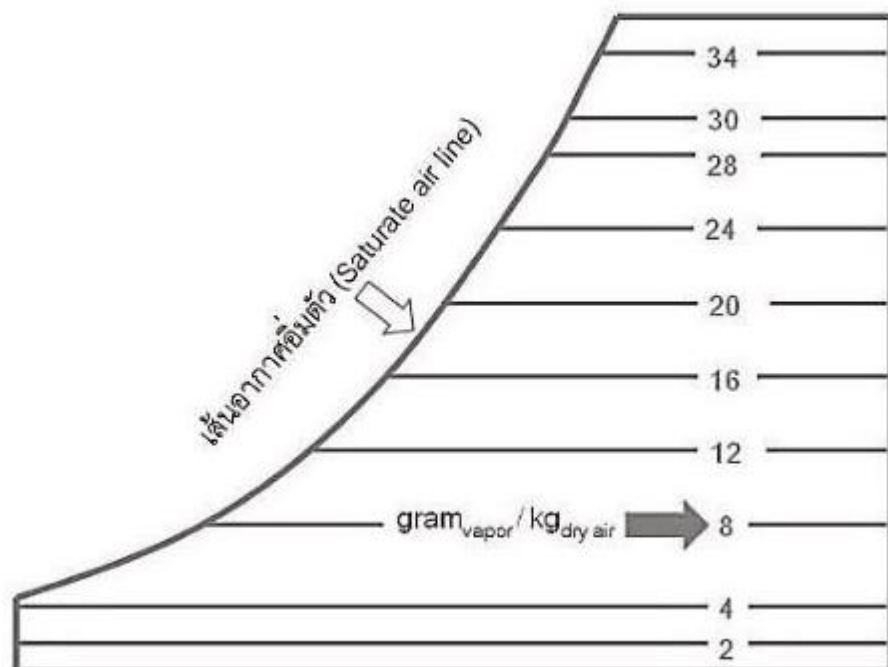


ภาพที่ 24 เส้นความชื้นสัมพัทธ์บนแผนภูมิไซโครเมตริก (จากหาญ ณ นครค์, 2556)

2.5.2.2 อัตราส่วนความชื้น (Humidity Ratio : W)

เป็นอัตราส่วนระหว่างมวลของไอน้ำในอากาศ กับมวลของอากาศแห้ง เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ค่าความชื้นจำเพาะ (Specific Humidity) การอ่านค่าความชื้นสัมพัทธ์ในแผนภูมิไซโครเมตริก จะ

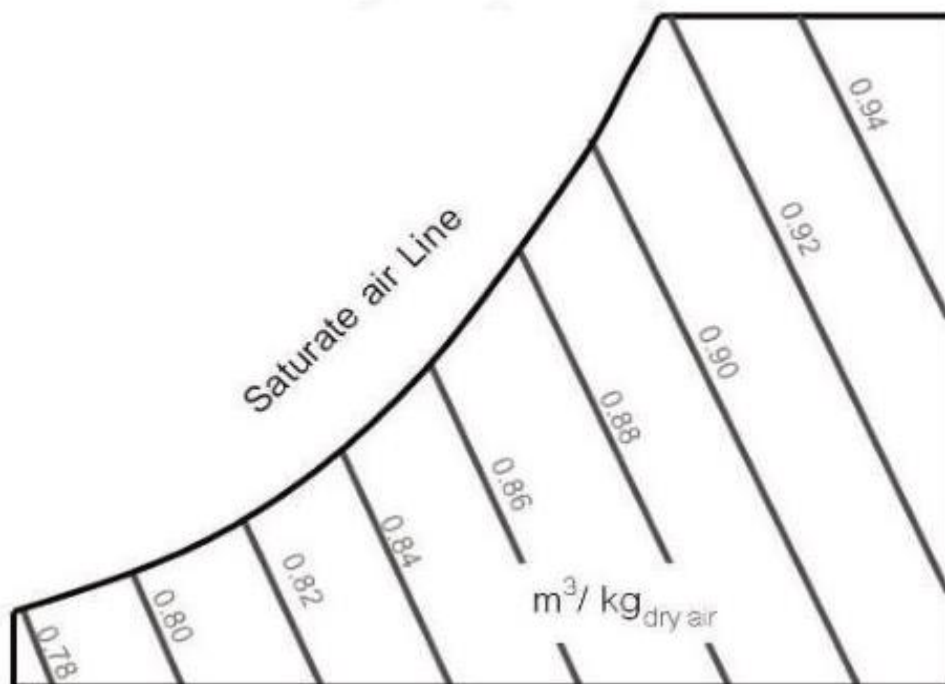
เป็น เส้นแนวนอนบนแผนภูมิ โดยเส้นที่ยิ่งอยู่ด้านล่างค่าอัตราส่วนความชื้นจะยิ่งต่ำเส้นที่ยิ่งอยู่ด้านบน ค่าอัตราส่วนความชื้นจะยิ่งสูง



ภาพที่ 25 เส้นอัตราส่วนความชื้นบนแผนภูมิไซโครเมตริก (อาจหาญ ณ นรงค์, 2556)

2.5.3 ปริมาตรจำเพาะของอากาศ (Specific Volume, Submit)

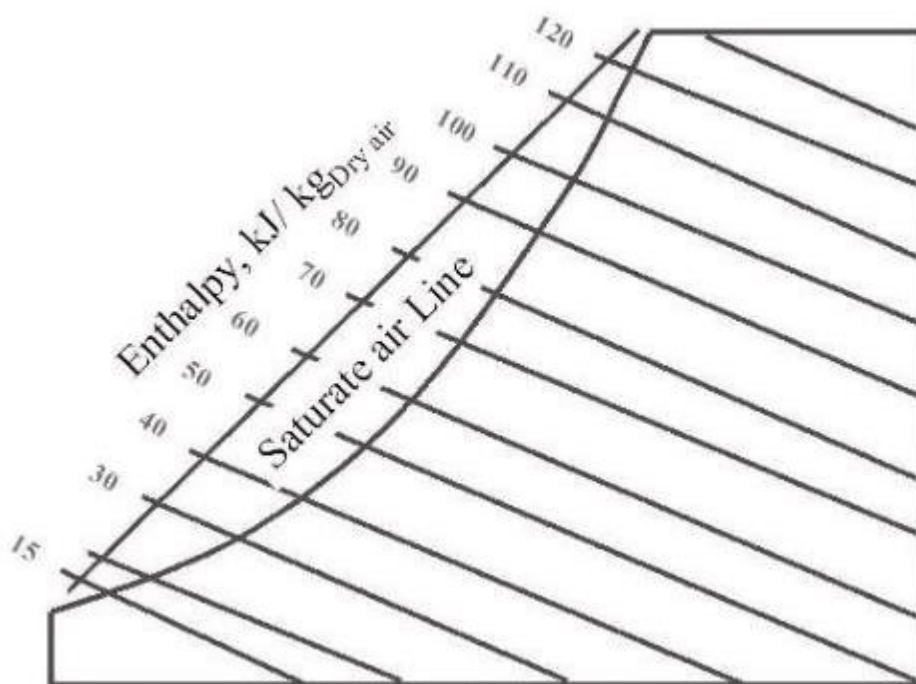
เป็นอัตราส่วนระหว่างปริมาตร (Volume) ต่อมวล (Mass) ของอากาศ มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัม (m^3/kg) ในระบบ SI ที่ความดันคงที่ อุณหภูมิอากาศต่ำอากาศจะมีปริมาตรจำเพาะน้อย น้ำหนักอากาศต่อหน่วยปริมาตรจะมาก อุณหภูมิอากาศสูงขึ้นอากาศจะขยายตัวทำให้ปริมาตรจำเพาะของอากาศของอากาศมากขึ้น น้ำหนักของอากาศต่อหน่วยปริมาตรจะลดลง การอ่านค่าปริมาตรจำเพาะของอากาศในแผนภูมิไซโครเมตริก จะเป็นเส้นทแยงดังภาพที่ 14 โดยเส้นที่อยู่ด้านซ้ายจะมีค่าปริมาตรจำเพาะน้อย และค่าปริมาตรจำเพาะจะเพิ่มขึ้นเมื่อเส้นถัดไปด้านขวา



ภาพที่ 26 เส้นปริมาตรจำเพาะของอากาศบนแผนภูมิไซโครเมตริก

2.5.4 เอนทัลปีของอากาศ (Enthalpy of air)

เป็นค่าที่บ่งบอกถึงระดับพลังงานภายในบวกกับพลังงานที่มาจากการเปลี่ยนแปลงของ ความดันและปริมาตรของของไหลรวมถึงอากาศ การอ่านค่าเอนทัลปีของอากาศในแผนภูมิไซโครเมตริก จะเป็นเส้นทแยงที่อยู่ด้านซ้ายมือหรือด้านหน้าของเส้นอากาศอิ่มตัว โดยที่เส้นนี้ จะไม่ขนานกับเส้น อุณหภูมิกระเปาะเปียก การหาค่าเอนทัลปีที่จุดต่างๆ หลังจากเขียนจุดลงบน Psychrometric chart ให้ทำการลากเส้นตรงในแนวระนาบมาตัดกับเส้นอากาศอิ่มตัวทางซ้ายมือและเอาค่าที่จุดตัดนั้นมาดู ว่าตรงกับค่าเอนทัลปีเท่าใด

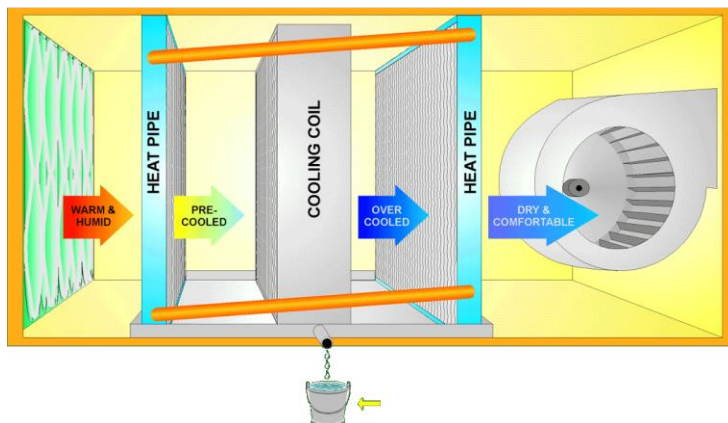


ภาพที่ 27 เส้นเอนทัลปีบนแผนภูมิไซโครเมตริก

2.6 การศึกษาทฤษฎีการลดความชื้น

2.6.1 การใช้ฮีทปั๊มในการลดความชื้น

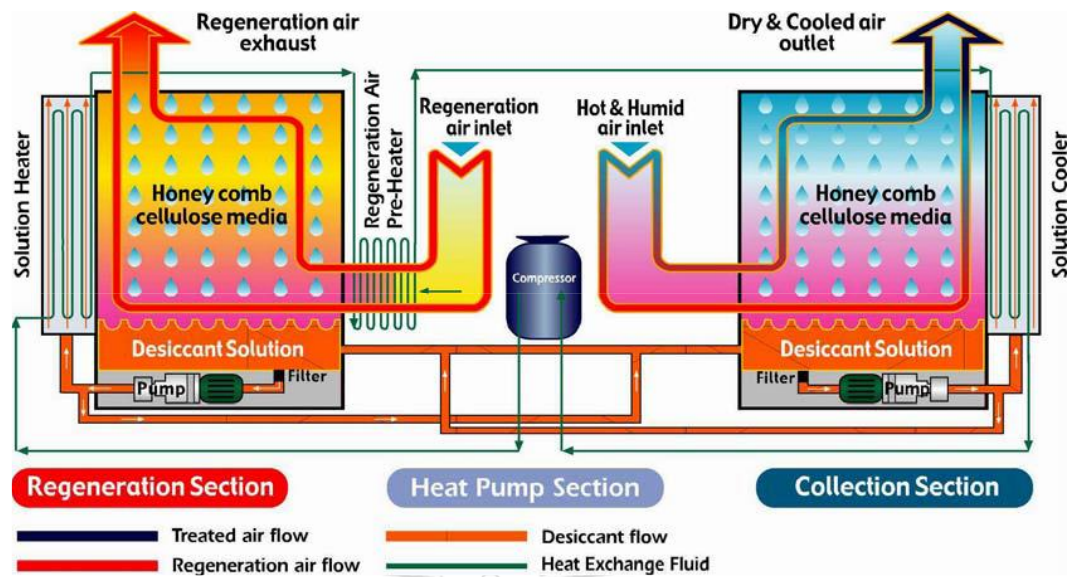
ฮีทปั๊มคืออุปกรณ์ที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนหรือส่งถ่ายความร้อนได้โดยไม่ต้องใช้พลังงานจากภายนอก ส่วนประกอบของฮีทปั๊มจะเป็นท่อโลหะที่ปิดท้วทำภายในเป็นสุญญากาศที่มีสารทำงาน (Working Fluid) บรรจุอยู่ภายใน ซึ่งมักจะเป็นสารทำความเย็น (Refrigerant) ฟรีออน 22 หรือ 134a การทำงานของฮีทปั๊มอาศัยหลักการเปลี่ยนสถานะจากการระเหยและควบแน่นร่วมกับแรงโน้มถ่วงของสารทำงานโดยไม่ใช้พลังงานจากภายนอก (Passive) กล่าวคือสารทำงานในท่อด้านที่ต่ำกว่าเมื่อได้รับความร้อนก็จะระเหยเป็นไอลอยขึ้นไปยังด้านที่สูงกว่าแล้วคายความร้อนออกทำให้ไอของสารทำงานมีอุณหภูมิลดลงถึงจุดควบแน่นกลายเป็นของเหลวตกลงสู่ด้านที่ต่ำกว่าอีกครั้ง และด้วยเหตุนี้จึงเรียกด้านที่อยู่ต่ำกว่าว่าด้านระเหย (Evaporation Section) และเรียกด้านที่อยู่สูงกว่าว่าด้านควบแน่น (Condensation Section) (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2560)



ภาพที่ 28 ระบบลดความชื้นด้วยฮีทไปป์

(ที่มา : www.2.dede.go.th)

ฮีทไปป์สามารถใช้ในการลดความชื้น ในระบบปรับอากาศโดยการติดตั้งฮีทไปป์คร่อมคอยล์เย็น (Cooling Coil) ของระบบปรับอากาศฮีทไปป์ที่ติดตั้งจะแบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกเรียกว่าส่วนให้ความเย็นเบื้องต้น (Precool Heat Pipe Section) ซึ่งอยู่ทางช่องลมเข้าก่อนที่จะผ่านคอยล์เย็นเมื่ออากาศร้อนผ่านฮีทไปป์ส่วนนี้ อากาศร้อนก็จะถ่ายเทความร้อนให้แก่ฮีทไปป์ อากาศที่ผ่านไปยังคอยล์เย็นจึงมีอุณหภูมิลดลงกว่าปกติ ทำให้คอยล์เย็นทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพเนื่องจากไอน้ำกลั่นตัวได้มากอุณหภูมิของอากาศที่ผ่านคอยล์เย็นจะเย็นกว่าเครื่องปรับอากาศทั่วไป (Overcooled Air) ในขณะที่ฮีทไปป์ส่วนแรกรับพลังงานจากลมร้อน สารทำความเย็น ภายในตัวฮีทไปป์จะระเหยและพาความร้อนที่ได้รับจากอากาศร้อนนั้นไปยังฮีทไปป์ส่วนที่สอง (Reheat Heat Pipe Section) เมื่ออากาศจากคอยล์เย็นผ่านฮีทไปป์ส่วนที่สอง ก็จะได้รับความร้อนจากฮีทไปป์ส่วนนี้ทำให้อากาศที่ผ่านระบบมีอุณหภูมิที่พอเหมาะ ขั้นตอนทั้งหมดเกิดขึ้นโดยไม่อาศัยพลังงานจากภายนอกและผลที่ได้คือเครื่องปรับอากาศสามารถดึงเอาความชื้นจากอากาศได้สูงกว่าปกติ



ภาพที่ 29 ส่วนประกอบของระบบลดความชื้นด้วยสารดูดความชื้นเหลว
(ที่มา : www.2.dede.go.th)

2.6.2 การลดความชื้นด้วยสารดูดความชื้นเหลว (Liquid Desiccant Dehumidification)

การลดความชื้นด้วยสารดูดความชื้นเหลวอาศัยการทำงานของสารละลายของสารดูดความชื้นในการดึงความชื้นออกจากอากาศโดยสามารถควบคุมความชื้นของอากาศได้ในระดับความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่า 40% RH ในช่วงอุณหภูมิประมาณ $22 + 1^{\circ}\text{C}$ โดยระบบลดความชื้นด้วยสารดูดความชื้นเหลวจะประกอบด้วย 3 ส่วนหลักคือ ส่วนดูดความชื้น (Collection Section), ส่วนคายความชื้น (Regeneration Section) และส่วนปั๊มความร้อน (Heat Pump Section) ส่วนดูดความชื้น (Collection Section) ทำหน้าที่ดูดความชื้นออกจากอากาศที่ต้องการใช้งานโดยจะดูดอากาศที่ต้องการลดความชื้นผ่านเข้ามาในส่วนดูดความชื้นที่มีสารละลายลิเทียมคลอไรด์ (LiCl) ซึ่งไหลผ่าน Heat Exchanger ฝั่งเย็นและได้รับการถ่ายเทความร้อนจาก Heat Exchanger จนมีอุณหภูมิต่ำพ่นกระจายเป็นละอองฝอยอยู่ในส่วนดูดความชื้น เมื่ออากาศที่ต้องการลดความชื้นสัมผัสกับสารละลายลิเทียมคลอไรด์ ตัวสารละลายลิเทียมคลอไรด์ก็จะดูดความชื้นในอากาศไว้พร้อม ๆ กับถ่ายเท ความร้อนจากสารละลายให้แก่อากาศจึงทำให้อากาศที่ผ่านส่วนดูดความชื้นมีคุณสมบัติแห้ง และเย็น สารละลายลิเทียมคลอไรด์ที่ดูดความชื้นไว้ก็จะไหลลงมายังถาดรองรับและไหลวนจากด้านดูดความชื้นไปยังส่วนคายความชื้น ส่วนคายความชื้นทำหน้าที่ในการไล่ความชื้นออกจากสารดูดความชื้นโดยจะมีปั๊มซึ่งทำหน้าที่ดูดสารละลายลิเทียมคลอไรด์ ไหลผ่าน Heat Exchanger ฝั่งร้อนและได้รับการถ่ายเทความร้อนให้สารละลายลิเทียมคลอไรด์ จนมีอุณหภูมิสูงขึ้นหลังจากนั้นจะพ่นเป็นละอองฝอยลงในด้านคายความชื้น ในขณะที่เดียวกันอากาศจากภายนอกจะถูกดูดเข้ามาผ่าน Pre-Heat Coil ของส่วนปั๊มความร้อนเพื่อทำให้อุณหภูมิของอากาศสูง ขึ้นเมื่ออากาศจากภายนอกที่มีอุณหภูมิสูงนี้

สัมผัสกับสารละลายลิเทียมคลอไรด์ ด้านกายภาพความชื้นอากาศจากภายนอกก็จะพาความชื้นที่เกาะอยู่ที่สารละลายลิเทียมคลอไรด์ ออกไปด้วยสารละลายลิเทียมคลอไรด์ ที่กายภาพความชื้นออกก็จะไหลวนกลับไปยังด้านดูดความชื้นเพื่อทำการดูดความชื้นต่อไป

2.7 ศึกษาทฤษฎีหลักการคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้า

พลังงานไฟฟ้า (Electrical Energy) คือพลังงานที่ใช้ไปหรือ สร้างขึ้นมาใหม่จากกำลังไฟฟ้าที่ส่งเข้ามาหรือส่งออกไป โดยมีความสัมพันธ์กับเวลา มีหน่วยวัดค่าพลังงานเป็นจูล (J) พลังงานไฟฟ้าใช้สัญลักษณ์ W สามารถเขียนสมการได้ดังนี้ $W = Pt$ เมื่อ W = พลังงานไฟฟ้า หน่วยจูล (J) P = กำลังไฟฟ้า หน่วยวัตต์ (W) t = เวลา หน่วยวินาที (s)

ไฟฟ้ากระแสสลับที่ถูกนำมาใช้งานในชีวิตประจำวัน ต้องซื้อมาจากหน่วยงานที่ผลิตกระแสไฟฟ้าออกจำหน่าย เช่น การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค และการไฟฟ้านครหลวง เป็นต้น พลังงานไฟฟ้าเหล่านี้มิได้ถูกคิดออกมาเป็นหน่วยจูล (J) แต่จะคิดออกมาเป็น หน่วยกิโลวัตต์-ชั่วโมง (Kilowatt-hour, kWh) หรือเรียกว่า หน่วยไฟฟ้า (UNIT, ยูนิต) โดยคิดค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้เป็นกิโลวัตต์ (kW) คิดในเวลาเป็นชั่วโมง (h) เขียนสมการออกมาได้ ดังนี้

$$W(\text{kWh}) = P(\text{kW}) \times t(\text{h})$$

เมื่อ W = พลังงานไฟฟ้า

P = กำลังไฟฟ้า

t = เวลา

ตารางที่ 6 ตัวอย่างกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์เครื่องใช้ภายในบ้านเรือน

เครื่องใช้ไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)
พัดลมตั้งพื้น	45 – 75
ตู้เย็น 2-12 คิว (ลบ.ฟุต)	53 – 194
พัดลมเพดาน	70 - 104
เครื่องปรับอากาศ	680 – 3,300
หม้อหุงข้าวไฟฟ้า	500 – 1,000
เครื่องดูดฝุ่น	625 – 1,000
เตารีดไฟฟ้า	430 – 1,600
เตาไฟฟ้า (เตี่ยว)	300 – 1,500
เครื่องทำน้ำร้อนในห้องน้ำ	900 – 4,800
โทรทัศน์ ขาว-ดำ	24 – 30

เครื่องปั๊มลม	600 – 1,000
โทรทัศน์สี	43 – 95
เครื่องเป่าผม	300 – 1,300
วีดีโอ	30 – 50
เครื่องซักผ้า	250 – 2,000
เครื่องอบผ้าแห้ง	650 – 2,500
เครื่องซักผ้าแบบมีเครื่องอบ หรือ เครื่องตั้งอุณหภูมิห้องน้ำ	250 – 2,000

(ที่มา : กองพัฒนาระบบไฟฟ้า, 2556)

เครื่องใช้ไฟฟ้าประเภทที่ให้ความร้อนและเครื่องปรับอากาศ จะใช้กำลังไฟฟ้ามากกว่าเครื่องใช้ไฟฟ้าประเภทอื่น เครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิดจะใช้กำลังไฟฟ้าต่างกัน และเครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดเดียวกัน ถ้ามีขนาดต่างกันก็จะใช้กำลังไฟฟ้าต่างกันด้วย เครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดที่ต้องใช้กำลังไฟฟ้ามาก เช่น เตาไรต์ไฟฟ้า เครื่องปรับอากาศ ถ้ายังใช้เป็นเวลานาน จะยังสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้ามาก ดังนั้น การเลือกใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิดจึงควรพิจารณาถึงความจำเป็นเปรียบเทียบกับประโยชน์ที่จะได้รับว่าคุ้มค่ากว่ากันหรือไม่

2.8 ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เกษญา รัตโนภาส (2559) ได้วิจัยประสิทธิภาพการระบายอากาศในห้องน้ำของอาคาร ที่พักอาศัยโดยการใช้พัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ วัตถุประสงค์เพื่อประเมินประสิทธิภาพการลดความชื้น การประหยัดพลังงานและหาค่าความคุ้มค่าของการใช้พัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ ในห้องน้ำของอาคารที่พักอาศัย การวิจัยแบ่งเป็น 3 ส่วน ส่วนแรก ทำการหาค่าแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีอาทิตย์ และอัตราการระบายอากาศ (CFM) ของระบบพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อนำมาคำนวณหาค่าอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศต่อชั่วโมงของระบบพัดลมระบายอากาศ (Air Changes per hour : ACH) ส่วนที่สองทำการหาค่าแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างค่า ACH และค่าผลต่างของอัตราส่วนความชื้น (Humidity ratio) ภายใน-ภายนอกห้องน้ำ ในส่วนที่สาม ใช้โปรแกรม Visual DOE เพื่อคำนวณหาค่าความชื้น และค่า การประหยัดพลังงานตลอดทั้งปีของระบบพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ (เกษญา รัตโนภาส, 2559)

สัมฤทธิ์ อินอุดม (2546) ได้วิจัยเรื่องการพัฒนาเครื่องลดความชื้นแบบเทอร์โมอิเล็กทริกซึ่งจะทำการสร้างเครื่องลดความชื้นต้นแบบที่ใช้เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล Type : MT2-1, 6-127 จำนวน 4

โมดูล ซึ่งในงานวิจัยนี้การถ่ายเทความร้อนที่ด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกมี 2 ลักษณะคือการถ่ายเทความร้อนแบบอิสระ และแบบบังคับ ที่ด้านความร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกเป็นการถ่ายเทความร้อนแบบบังคับโดยการติดตั้งพัดลม นอกจากนี้ น้ำที่ได้จากการควบแน่นยังถูกนำมาใช้ในการลดอุณหภูมิของอากาศ ที่ระบายความร้อนที่ด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกโดยการทำการทดลองจะทำในห้องพักอาศัย มีลักษณะห้องปิดปริมาตร 30 ลูกบาศก์เมตร ผลการทดลองที่เกิดจากการออกแบบดังกล่าวพบว่าประสิทธิภาพที่ดีที่สุดเกิดขึ้น เมื่อป้อนกระแสไฟฟ้าให้กับเทอร์โมอิเล็กทริก 4 A โดยที่ค่าประสิทธิภาพของการลดความชื้น (COP) เท่ากับ 0.27 และสามารถลดความชื้นภายในห้องได้ 0.544 kg/day โดยที่เสียค่าใช้จ่ายทางด้านไฟฟ้า 3.50 บาท/วัน จะเห็นได้ว่าเครื่องลดความชื้นแบบเทอร์โมอิเล็กทริกมีผลในเชิงพาณิชย์ที่ดีต่อไป (สัมฤทธิ์ อินอุดม, 2546)

สมชาย สาทมะเริง และประพัทธ์ สันติวารากร (2551) ได้วิจัย ลักษณะของการอบแห้งผ้าโดยใช้ความร้อนทั้งจากเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน บทความนี้นำเสนอผลการศึกษาลักษณะของการอบแห้งผ้าโดยใช้ความร้อนทั้งจากเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน โดยได้ทำการสร้างห้องอบขนาด 0.5x0.5x1.0 ลูกบาศก์เมตรซึ่งทำจากผ้าใบและหุ้มฉนวนด้านในเพื่อป้องกันการสูญเสีย ความร้อนโดยติดตั้งเข้ากับคอนเดนเซอร์คอยล์ของเครื่องปรับอากาศขนาดทำความเย็น 12,647.94 บีทียู/ชั่วโมง และทดลองอบผ้าฝ้ายปริมาณ 2.09 กิโลกรัม ที่ความชื้น 54.8 เปอร์เซ็นต์ ภายหลังจากการอบผ้า 18 นาที พบว่าความชื้นผ้าลดลงเหลือ 4.63 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการอบแห้ง 2.26 กิโลกรัมต่อชั่วโมง เมื่อเปรียบเทียบกับ การอบผ้าโดยใช้เครื่องอบไฟฟ้า และการตากผ้าในร่ม พบว่าการอบแห้งผ้าโดยใช้ความร้อนทั้งจากเครื่องปรับอากาศ มีอัตราการอบแห้งเร็วกว่าเครื่องอบไฟฟ้า และการตากผ้าในที่ร่ม ซึ่งมีอัตราการอบแห้งเท่ากับ 1.9 และ 0.17 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ตามลำดับ โดยที่การอบแห้งโดยใช้ความร้อนทั้งจากเครื่องปรับอากาศไม่ส่งผลกระทบต่อสัมประสิทธิ์สมรรถนะ การทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ (Sofrata, 1996)

บุษยา จูงาม (2555) ได้วิจัยองค์ประกอบการเกิดเชื้อราภายในห้องพักผู้ป่วย มี 4 องค์ประกอบคือ สปอร์ของเชื้อรา แหล่งอาหาร อุณหภูมิ และความชื้นที่เหมาะสม การตัดองค์ประกอบอย่างใดอย่างหนึ่งออก ทำให้สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราได้ ซึ่งงานวิจัยฉบับนี้เลือกศึกษาวิธีการควบคุมองค์ประกอบด้านความชื้นเป็นหลัก การควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องพักผู้ป่วยจะต้องพิจารณาเหมาะสมของขนาดการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ จะเห็นได้จากการเพิ่มโหลดความร้อน ขนาด 2000 วัตต์ สามารถลดค่าความชื้นสัมพัทธ์ลงได้ เฉลี่ยอยู่ระหว่าง 57.8 ถึง 63.2 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ควรพิจารณาถึงโหลดความร้อนแฝงอันเนื่องมาจากจำนวนคนในห้อง และการไหลเข้าของอากาศจากภายนอกที่มากเกินไปเกินความสามารถของเครื่องปรับอากาศ

ถิรายุ ปิ่นทอง (2558) ได้วิจัยการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ การนำความเย็นและ อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานของเครื่องปรับอากาศด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกพร้อมกับเซลล์แสงอาทิตย์ งานวิจัยนี้ได้ออกแบบ สร้างทดสอบ และวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการนำความเย็นและ อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน ร่วมถึงการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของ เครื่องปรับอากาศด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกพร้อมกับเซลล์แสงอาทิตย์

ตุลยวัต แสงวิเชียรกิจ (2560) ได้ศึกษาและพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของท่อลมที่ คำนึงถึงผลกระทบของการรั่วไหลของลมและการสูญเสียความร้อนโดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อวิเคราะห์ สมรรถนะในการส่งถ่ายพลังงานของท่อลม รูปแบบของท่อลม ที่ใช้วิเคราะห์ในงานวิจัยนี้มีลักษณะ เป็นท่อที่มีหน้าตัดเป็นวงกลมหรือท่อทรงกระบอก การวิเคราะห์ความร้อนสูญเสียผ่านผนังท่อจะใช้ หลักความต้านทานความร้อน (Thermal Resistance) โดยแบ่งความต้านทานเชิงความร้อนออกเป็น 4 ส่วน คือการพาความร้อนภายในท่อลม, การนำความร้อนผ่านผนังท่อลม, การนำความร้อนผ่าน ฉนวนและการพาความร้อนภายนอกท่อลม ในส่วนการรั่วไหลจะพิจารณาการรั่วไหลในสองบริเวณคือ การรั่วไหลผ่านบริเวณรอยต่อและการรั่วผ่านรูรั่วจากการสึกกร่อน ทั้งนี้ได้นิยามค่าพารามิเตอร์แสดง สมรรถนะด้านการส่งถ่ายพลังงานของท่อลมว่าเป็นค่าความร้อนภายในระบบท่อลมลบด้วยความร้อนที่ สูญเสียหารด้วยความร้อนภายในระบบท่อลม แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้ถูกสร้างขึ้นโดยใช้สมการ พลังงานและแบบจำลองการปั่นป่วน k-omega ผลลัพธ์จากแบบจำลองพบว่าความเร็วลมที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้การสูญเสียความร้อนผ่านผนังท่อมีค่ามากขึ้น แต่การสูญเสียความร้อนจากการรั่วไหลลดลง อุณหภูมิลมที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้การสูญเสียความร้อนผ่านผนังท่อและผ่านการรั่วไหลเพิ่มมากขึ้น ความดันสถิตที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้การสูญเสียความร้อนจากการรั่วไหลเพิ่มมากขึ้นผลลัพธ์ที่ได้จาก แบบจำลองได้ถูกนำไปเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้จากการใช้โปรแกรม Ansys Fluent V.13 พบว่า ผลลัพธ์ ทั้งสองมีความใกล้เคียงกัน (ตุลยวัต แสงวิเชียรกิจ, 2560)

มานพ พิพัฒน์ หัตถกุล (2557) ศึกษาการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ในเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนโดยใช้ก๊าซร้อนจากคอนเดนเซอร์โดยสร้างชุดอุณหอากาศเรียกว่า HRU (Hot Gas Recovery Unit) ระบบทดลองประกอบด้วยเครื่องปรับอากาศขนาด 35400 Btu/hr สารทำความเย็น R22 และ HRU ขนาด 28000 Btu/hr แบ่งการทำงานของ HRU ออกเป็น 3, 66 และ 100 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ สภาวะในการศึกษาอุณหภูมิของอากาศภายนอกที่ 28–30 °C ความชื้นสัมพัทธ์ที่ 68 – 76%RH ควบคุมอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลองที่ 22–27 °C ความชื้น สัมพัทธ์ที่ 35–45% RH โดย HRU นำความร้อนของ R22 ในคอนเดนเซอร์มาใช้เพื่อควบคุมความชื้น สัมพัทธ์การทดลองแบ่งออกเป็น 4 สภาวะ ประกอบด้วยระบบปรับอากาศปกติ, ระบบปรับอากาศ ปกติทำงานร่วมกับ HRU 33, 66 และ 100 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าระบบ

ปรับอากาศปกติสามารถควบคุมอุณหภูมิได้ตามที่ต้องการ แต่ไม่สามารถควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ตามที่กำหนดได้ เมื่อให้ระบบปรับอากาศทำงานร่วมกับ HRU สามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ได้ตามที่กำหนด เมื่อเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของเครื่องทำความเย็น (COPR) ค่า COPR ของระบบปรับอากาศปกติมีค่าเท่ากับ 2.67 และ COPR ของระบบปรับอากาศทำงานร่วมกับ HRU 33, 66 และ 100 เอร์เซ็นต์มีค่าเท่ากับ 2.63, 2.58 และ 2.57 ตามลำดับ

สมคิด ไชยรัตน์ (2542) ได้ศึกษาวิจัยการนำพลังงานความร้อนจากคอนเดนเซอร์ (Reheat Coil) มาลดความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องปรับอากาศที่ต้องการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์อย่างแม่นยำเพื่อการประหยัดพลังงาน ซึ่งจะทดลองกับเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนขนาด 30,000 Btu/hr และใช้ Reheat Coil ขนาดประมาณ 30 % ของคอนเดนเซอร์เดิม ติดตั้งอยู่ที่ Condensing Unit โดยนำไปติดตั้งไว้ที่ Fan Coil Unit เพื่อทำหน้าที่ลดความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องปรับอากาศ และจะทำการทดลองที่ Room Sensible Heat Ratio ต่ำสุดเท่ากับ 0.05 จากผลการวิจัยพบว่าพลังงานความร้อนจากคอนเดนเซอร์ (Reheat Coil) สามารถลดความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องปรับอากาศได้ประมาณ 10-15% RH โดยที่ค่า COP ขณะ Reheat เมื่อเทียบกับระบบเดิมจะเพิ่มขึ้นประมาณ 5 % และ ค่าลงทุนที่เพิ่มขึ้น สามารถชดเชยค่าพลังงานความร้อนของระบบเดิม ซึ่งใช้ความร้อนในการ Reheat จากฮีทเตอร์ (สมคิด ไชยรัตน์, 2542)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีเทอร์โมอิเล็กทริก หรือเรียกกันอีกชื่อหนึ่งว่าเพลเทียร์ (Peltier) เป็นอุปกรณ์ทางเลือกหนึ่งสำหรับทำความเย็น และความร้อน หลักการทำงานของเพลเทียร์คือ เมื่อป้อนไฟฟ้ากระแสตรงให้กับเพลเทียร์ ที่สารกึ่งตัวนำแบบ พี-เอ็น (P-N type) กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านวัสดุ ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำต่างชนิดกัน ทำให้เกิดการดูดกลืนของของอิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่จากพลังงานระดับต่ำในสารกึ่งตัวนำแบบพี สู่วงพลังงานระดับสูงในสารกึ่งตัวนำแบบเอ็น ส่งผลให้เกิดการดูดกลืนความร้อนที่ด้านเย็น (Heat absorbed at cold side) และในขณะเดียวกันก็เกิดการดูดกลืน ของอิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่จากพลังงานระดับสูงในสารกึ่งตัวนำแบบเอ็น สู่วงพลังงานระดับต่ำในสารกึ่งตัวนำแบบพี ส่งผลให้เกิดการคายความร้อนที่ด้านร้อนขึ้น ติดตั้งเครื่องทำความร้อน (heater) มีหลายชนิด เช่น electric heater, hot water heater, steam coil heater เป็นต้น หลักการทำงานคือ คิดเสมือนว่าความร้อนของห้องลดลง ห้องจึงขึ้นขึ้น การใช้เครื่องทำความร้อนเปรียบเสมือนทำความร้อนให้ห้องเพื่อให้ห้องกลับเข้าสู่สภาพที่ประเมินไว้แต่แรก สามารถควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ได้ในช่วง 45-50 เปอร์เซ็นต์ ต่ำกว่านี้ก็สามารถทำได้ แต่สิ้นเปลืองพลังงานมาก เพราะต้องทำความเย็นให้มากขึ้นเท่ากับที่เพิ่มความร้อนเข้าไป เป็นระบบควบคุมความชื้นที่ใช้มานานมากแล้ว ทุกวันนี้ยังมีใช้งานอยู่เพราะลงทุนขั้นต้นน้อย แต่สิ้นเปลืองค่าพลังงานมาก โรงงานที่ทันสมัยและมีมาตรการประหยัดพลังงานและสิ่งแวดล้อมพยายามหลีกเลี่ยงวิธีนี้ซึ่งเป็นสาเหตุหลักที่ทางผู้วิจัยสนใจเทคนิคการลดความชื้นแบบประหยัดพลังงาน เพื่อเป็นทางเลือกอีกทางหนึ่ง

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ เป็นงานวิจัยเชิงทดลอง เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการลดความชื้น และระบายอากาศในห้องน้ำของ อาคารที่พักอาศัยโดยการใช้ การทดลองใช้ห้องน้ำที่มีการใช้งานจริงอยู่ในโครงการบ้านเอื้ออาทรคืบบอนอาคารหลังที่ 29 ตำแหน่งของห้องอยู่บริเวณชั้นล่างสุดของอาคารติดกับสระน้ำของโครงการโดย ห้องน้ำที่ใช้ในการทดลองมีขนาด $1.70 \times 1.30 \times 2.70 \text{ m}^3$ มีพื้นที่ 2.80 m^2 และมีปริมาตร 5.967 m^3 และกำหนดให้มีผู้ใช้งานห้องน้ำเพียง 1 คนมีการอาบน้ำ 2 ครั้ง ใน 1 วัน คือช่วงเวลาประมาณ 7:00 น. - 7:40 น. และ 23:30 น. และหาค่าการประหยัดพลังงานที่ได้ใน 1 ปี และหาจุดคุ้มทุน เพื่อจะได้ศึกษาการทดลองใช้ห้องน้ำของอาคารที่พักอาศัยที่มีความชื้น เพื่อเปรียบเทียบห้องน้ำปกติที่ไม่ใช้ลมร้อนเป่าไล่ความชื้น กับห้องน้ำที่มีความชื้นโดยการนำลมร้อน จากชุดอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกมาเป่าเพื่อไล่ความชื้นออก และหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิของลมร้อนที่ออกมา และเวลาอัตราการระเหยความชื้นภายในห้องน้ำ เพื่อนำมาคำนวณหาค่า การถ่ายเทของอากาศ ของลมร้อนอุณหภูมิภายในห้องน้ำ (Air Flush) เพื่อนำมาคำนวณหาค่าอัตรา การแลกเปลี่ยนอากาศ (CFM) ของระบบพัดลมระบายอากาศ ส่วนที่สองทำการหาค่าแนวโน้ม ความสัมพันธ์ระหว่างค่า ACH และค่าผลต่างของอัตราส่วนความชื้น (Humidity ratio) ภายใน-ภายนอกห้องน้ำ

ขั้นตอนวิธีการทดลอง ขั้นตอนการทดลองแบ่งเป็น 3 ส่วนหลัก การทดลองส่วนที่ 1 ศึกษา เพื่อเปรียบเทียบหาค่าความชื้นสัมพัทธ์ของห้องน้ำปกติที่ ไม่ใช้ลมร้อนลดความชื้น กับห้องน้ำที่มีความชื้นโดยการนำลมร้อน จากชุดอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกเพื่อลดความชื้นสัมพัทธ์ และหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิของลมร้อนและค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ออก มาชุดอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกโดยกำหนดตามตัวแปรต้น

การทดลองส่วนที่ 2 ทดลองหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิของลมร้อนที่ออกมา และเวลาอัตราการระเหยความชื้นภายในห้องน้ำ เพื่อนำมาคำนวณหาค่าการถ่ายเทของอากาศ ของลมร้อนอุณหภูมิภายในห้องน้ำ เพื่อนำมาคำนวณหาค่าอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ ของระบบพัดลมระบายอากาศ ลดความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องน้ำ ที่เหมาะสมเพื่อส่งลมร้อนจากชุดอุปกรณ์ เทอร์โมอิเล็กทริก ที่เข้าไปในห้องน้ำในช่วงเวลาการผสมของอากาศและอุณหภูมิ

การทดลองส่วนที่ 3 เปรียบเทียบ ค่าการใช้พลังงานนั้น อุปกรณ์การทดลองชุดของฮีตเตอร์กับพัดลม 2 ตัว กับชุดของอุปกรณ์การทดลองเทอร์โมอิเล็กทริก กับพัดลม 2 ตัว จะสิ้นเปลืองค่าพลังงานเป็นหน่วย กิโลวัตต์ต่อปี

3.1 ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

3.1.1 ตัวแปรต้น

3.1.1.1 ระบบพัดลมระบายอากาศ ได้แก่ ระบบพัดลมระบายอากาศแบบใช้ไฟฟ้า
แบบที่ไม่มีระบบพัดลมระบายอากาศ

3.1.2 ตัวแปรควบคุม

3.1.2.1 ลักษณะและขนาดของห้องน้ำที่ใช้ในการวิจัย

3.1.2.2 พัดลมระบายอากาศ

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-ภายนอกของ
ห้องน้ำที่ใช้ในการทำวิจัย

3.1.3.3 ค่าอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลอง

3.1.3.4 ค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์ที่ลดลงใน 1 ปี

3.1.3.5 ค่าการประหยัดพลังงาน

3.2 สมการในการคำนวณการทำความเย็นโดยเทอร์โมอิเล็กทริก

3.2.1 การถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก

สมการพื้นฐานที่ใช้ในการออกแบบอุปกรณ์ทำความเย็นด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับคำนวณการถ่ายเทความร้อนสุทธิจากด้านจากผิวเย็น

$$Q_c = 2N \left[(\alpha I T_c) - \frac{(I^2 \rho)}{2G} - (kG \Delta T) \right]$$

โดยที่ Q_c คือ การถ่ายเทความร้อนที่ด้านเย็น, (W)

N คือ จำนวนรอยต่อ P-N ของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล

α	คือ	สัมประสิทธิ์ของซีเบ็ค, (V/K)
I	คือ	ไฟฟ้ากระแสตรง, (A)
ΔT	คือ	$T_h - T_c$, (K)
T_h	คือ	อุณหภูมิที่ด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก, (K)
T_c	คือ	อุณหภูมิที่ด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก, (K)
ρ	คือ	ความต้านทานไฟฟ้า, (Ohm-cm)
G	คือ	พื้นที่หน้าตัดต่อความยาวของเทอร์โมอิเล็กทริก, (cm)
k	คือ	ค่าการนำความร้อนของ Thermoelectric Element, W/cm.K

3.2.2 ความร้อนที่ถูกปลดปล่อยออกสู่อากาศแวดล้อมผ่านครีบบระบายความร้อน (ที่มา: Melcor Corporation)

$$Q_h = hA(T - T_0)$$

โดยที่	Q_h	คือ	การถ่ายเทความร้อนที่ด้านร้อน, (W)
	h	คือ	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของ heat sink, (w. m ⁻² . k ⁻¹)
	A	คือ	พื้นที่การถ่ายเทความร้อนของ heat sink, (m ²)
	T_a	คือ	อุณหภูมิของอากาศแวดล้อม (°C)
	T_0	คือ	อุณหภูมิของอากาศที่ผ่านด้านร้อน (°C)

3.2.4 แรงดันไฟฟ้า (Voltage, V)

$$V = 2N \left[\frac{I\rho}{G} + (\alpha\Delta T) \right]$$

โดยที่	V	คือ	ค่าแรงดันไฟฟ้าใช้งาน, (V)
--------	-----	-----	---------------------------

3.2.5 กระแสไฟฟ้าใช้งานสูงสุด (Maximum Current, I_{max})

โดยที่	I_{max}	คือ	ค่ากระแสไฟฟ้าใช้งานสูงสุด, (A)
	Z	คือ	Figure of Merit ($\alpha^2 / \rho K$), (K ⁻¹)

3.2.6 กระแสไฟฟ้าใช้งานที่เหมาะสม (Optimum Current, I_{opt})

$$I_{opt} = \frac{K\Delta TG(\sqrt{1+ZT_{ave}})}{\alpha T_{ave}}$$

โดยที่ I_{opt} คือ ค่ากระแสใช้งานที่เหมาะสม, (A)

T_{ave} คือ อุณหภูมิเฉลี่ย $\frac{T_h + T_c}{2}$, (K)

3.2.7 ผลต่างอุณหภูมิสูงสุด (Maximum Difference Temperature, ΔT)

$$\Delta T_{max} = T_h - \left[\frac{(1 + 2ZT_h)^{\frac{1}{2}}}{Z} \right]$$

3.2.8 สมรรถนะของระบบ (ที่มา: Mei, Chen et al., 1993)

ค่าสมรรถนะของการทำความเย็นด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกหาได้จาก

$$COP_c = \frac{\text{heat load}}{\text{input power}} = \frac{Q_c}{W_e}$$

โดยที่ W_e คือ กำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้กับเครื่องลดความชื้น

ค่าสมรรถนะของการลดความชื้นด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกหาได้จาก

โดยที่ m_w คือ อัตราการควบแน่นของน้ำ, (kg/s)

L_w คือ ความร้อนแฝงในการควบแน่นของไอน้ำในอากาศ,
(kJ/kg)



ภาพที่ 30 ฮีตเตอร์

(ที่มา : <http://xn---yxfb0d6bc3c8e5e.com/สาระความรู้-ฮีตเตอร์/ฮีตเตอร์มีกี่ประเภท>)

ฮีตเตอร์ (Heater): เป็นอุปกรณ์ให้ความร้อนแก่ชิ้นงานในโรงงานอุตสาหกรรม โดยใช้หลักการจ่าย กระแสไฟฟ้าไหลผ่านลวดตัวนำ (ตัวความต้านทาน R) ซึ่งส่งผลให้ลวดตัวนำมีความร้อนเกิดขึ้น โดยแหล่งจ่ายไฟสามารถใช้ได้กับแรงดัน 220VAC และ 380VAC ทำให้ผู้ใช้สามารถใช้งาน ฮีตเตอร์ ได้ง่ายและสะดวก เนื่องจากการใช้งานฮีตเตอร์ นั้นสามารถเข้าใจหลักการทำงาน ได้ง่าย ซึ่งในปัจจุบันโรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่นิยมหันมาใช้ฮีตเตอร์มากยิ่งขึ้น เนื่องจากราคาถูก และสิ่งขนาด รูปทรง และวัดได้ตามความต้องการ โดยส่วนประกอบส่วนใหญ่ของ ฮีตเตอร์ มีดังนี้

ฉนวนแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO): คุณสมบัติมีค่าความนำทางไฟฟ้าต่ำ แต่นำความร้อนได้ดีมาก ซึ่งทำหน้าที่กั้นกลางระหว่างลวดตัวนำ ฮีตเตอร์ กับปลอกโลหะ เพื่อป้องกันไม่ให้มีกระแสรั่ว (Leak Current) จากลวดฮีตเตอร์ออกไปยังผิวโลหะ จุดสำคัญคือห้ามมีความชื้นในฉนวน เด็ดขาด เนื่องจากจะทำให้ค่าความนำไฟฟ้าสูงขึ้น วิธีการแก้ไขคือการนำ ฮีตเตอร์ ไปอบใน เตาอบเพื่อไล่ความชื้น

สแตนเลส (Stainless): ที่นำมาใช้ในการผลิตฮีตเตอร์ มีอยู่หลายชนิด ซึ่งแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติแตกต่างกันไป ดังนี้

+Stainless 304: ใช้ในงานที่ต้องการขึ้นรูปเพื่อการตกแต่งให้สวยงาม สามารถป้องกัน สนิมได้เป็นอย่างดี +Stainless 316: ถูกออกแบบให้ป้องกันสนิมได้เป็นอย่างดี สามารถใช้ในงาน อุตสาหกรรมหนัก และสถานที่ใกล้ทะเลที่มีความเป็นกรด-ด่างสูง

+Stainless 430: เป็นสแตนเลสที่ใช้โครเมียมเป็นส่วนประกอบ 100% และมีโอกาสเกิดสนิม น้อยกว่าเบอร์ 300 ซึ่งสแตนเลสแบบนี้แนะนำให้มาตกแต่งภายใน 7

ลวดฮีตเตอร์ ซึ่งเรียกว่า ลวด Nikrothal 80 หรือ R80 โดยมีส่วนผสมของนิเกิล 80% และโครเมียม 20% ซึ่งสามารถทนอุณหภูมิสูงสุดได้ถึง 1400 องศาเซลเซียส โดยมีคุณสมบัติ เหนียว และทนความร้อนได้สูงถึง 1400 องศาเซลเซียส ฮีตเตอร์ถูกแบ่งออกเป็นชนิดต่างๆ ตามลักษณะการใช้งานที่แตกต่างกันดังนี้

- ฮีตเตอร์แท่ง (Cartridge Heater): ลักษณะของฮีตเตอร์ ชนิดนี้จะมีลักษณะเป็นแท่ง เหมาะสม สำหรับใช้ให้ความร้อนกับชิ้นงานที่เป็นของแข็ง หรือแม่พิมพ์, โมลต่างๆ เช่น เหล็ก, อลูมิเนียม, ทองเหลือง, หรือโลหะต่างๆ ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งาน เช่น งานบรรจุหีบห่อ, งานขึ้นรูป เซรามิกส์ พลาสติก เป็นต้น

- ฮีตเตอร์แผ่น (Strip Heater): ลักษณะของฮีตเตอร์ ชนิดนี้จะมีลักษณะเป็นแผ่น สามารถ ออกแบบให้เป็นรูปทรงต่างๆ ได้ เช่น ทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส, ทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า, ทรงกลม เป็นต้น เหมาะ สำหรับใช้ให้ความร้อนกับชิ้นงานโดยแนบกับชิ้นงานโดยตรง

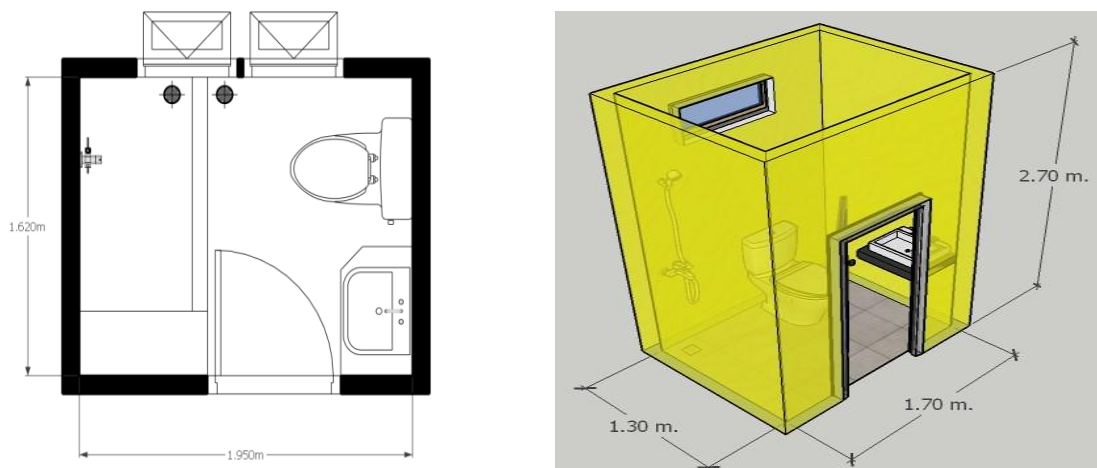
- ฮีตเตอร์รัดท่อ (Band Heater): ลักษณะของฮีตเตอร์ ชนิดนี้จะมีลักษณะเป็นวงแหวนเหมาะสม สำหรับใช้ให้ความร้อนกับของเหลวที่อยู่ในท่อ หรือถังรูปทรงกระบอก โดยทำการรัดท่อจาก ภายนอก

- ฮีตเตอร์อินฟราเรด (Infrared Heater): โดยฮีตเตอร์ แบบนี้จะมีอยู่ 2 ชนิดด้วยกันคือ ฮีตเตอร์อินฟราเรดแบบ Black มีลักษณะเป็นแท่งอินฟราเรดสีดำ สามารถติดตั้งได้ 360 องศา ภายในแท่งอินฟราเรดฮีตเตอร์สีดำนี้จะมีหลอดตัวนำอยู่ภายใน และมีการกรอกผงแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) ซึ่งคุณสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้าให้ความร้อนได้ดี แต่ไม่นำไฟฟ้า เมื่อมีการจ่ายกระแสไฟฟ้าผ่านหลอด ตัวนำ ตัวอินฟราเรดฮีตเตอร์ จะให้ความร้อนโดยการแผ่รังสี โดยจะติดตั้งคู่กับคอมสึงกะสี ซึ่งมีคุณสมบัติการสะท้อนทำให้ประสิทธิภาพในการให้ความร้อนแก่ชิ้นงานสูงขึ้น ฮีตเตอร์อินฟราเรดแบบ Quartz มีลักษณะเป็นแท่งอินฟราเรดสีขาว สามารถติดตั้งได้แนวนอนเท่านั้น เนื่องจากฮีตเตอร์อินฟราเรดแบบนี้จะไม่มีการกรอกผงแมกนีเซียมออกไซด์ ทำให้หลอดตัวนำที่อยู่ภายในตัวฮีตเตอร์นั้นเกิดการชำรุดและฉีกขาดได้ง่าย ซึ่งเมื่อมีการจ่ายกระแสไฟฟ้าผ่านหลอดตัวนำ ตัวอินฟราเรดฮีตเตอร์จะให้ความร้อนโดยการแผ่รังสี โดยสามารถติดตั้งคู่กับคอมสึงกะสีเพื่อทำให้การกระจายความร้อนมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยการประยุกต์ใช้งาน อินฟราเรดฮีตเตอร์แบบ Black เหมาะกับงานอบทั่วไป เช่น งานอบสี, อบเครื่องปั้นดินเผา, อบเซรามิกส์ เป็นต้น ส่วนอินฟราเรดฮีตเตอร์แบบ Quartz เหมาะกับงานอบอาหารและยาที่ต้องการความสะอาดในงานอบ เป็นต้น

3.3 กำหนดลักษณะของห้องและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำวิจัย

3.3.1 ลักษณะห้องน้ำที่ใช้ในการทำวิจัย

ห้องน้ำที่ใช้ในการวิจัยมีความกว้าง 1.30 เมตร ยาว 1.70 เมตร ความสูงจากพื้นถึงฝ้า 2.70 เมตร มีพื้นที่ 2.21 ตารางเมตรและมีปริมาตร 5.97 ลูกบาศก์เมตร ดังภาพที่ 31 โดยในระหว่าง การวิจัยจะทำการปิดหน้าต่าง โดยใช้ฟิวเจอร์บอร์ด ปิดแสงจากหน้าต่าง และปิดประตูห้องน้ำตลอดเวลา ในขณะที่ทำการทดลอง โดยที่ไม่มีช่องระบายอากาศออกสู่ภายนอกอาคาร การทดลองใช้ห้องน้ำที่มีการใช้งานจริงอยู่ในโครงการบ้านเอื้ออาทรคู่บอนอาคารหลังที่ 29 ตำแหน่งของห้องอยู่บริเวณ ชั้นล่างสุดของอาคารติดกับสระน้ำของโครงการ และกำหนดให้มีผู้ใช้งานห้องน้ำเพียง 1 คน มีการอาบน้ำ 2 ครั้งใน 1 วัน คือช่วงเวลาประมาณ 7:00 น-7:40 น และ 23:30 น.-24:00 น



ภาพที่ 31 ผังพื้นแสดงระยะและหน้าตาของห้องน้ำที่นำมาใช้ในการการทำวิจัย

วัสดุแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก ที่ใช้ทำการทดลองเป็นรุ่น TEC1-12706 โดยมีคุณสมบัติดังนี้



ภาพที่ 32 แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก Model: TEC1-12706

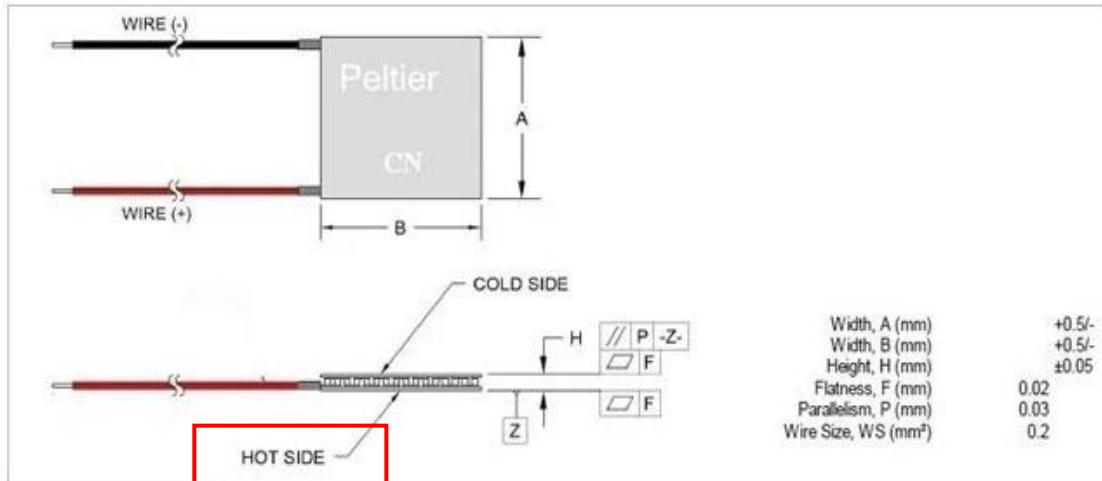
Specifications

Model: TEC1-12706, Voltage(V): 12V, Umax (V): 15.4V, Imax (A): 6A, QMax (W) : 92W

The maximum temperature: 67 degrees, Size: 40*40*3.6 mm

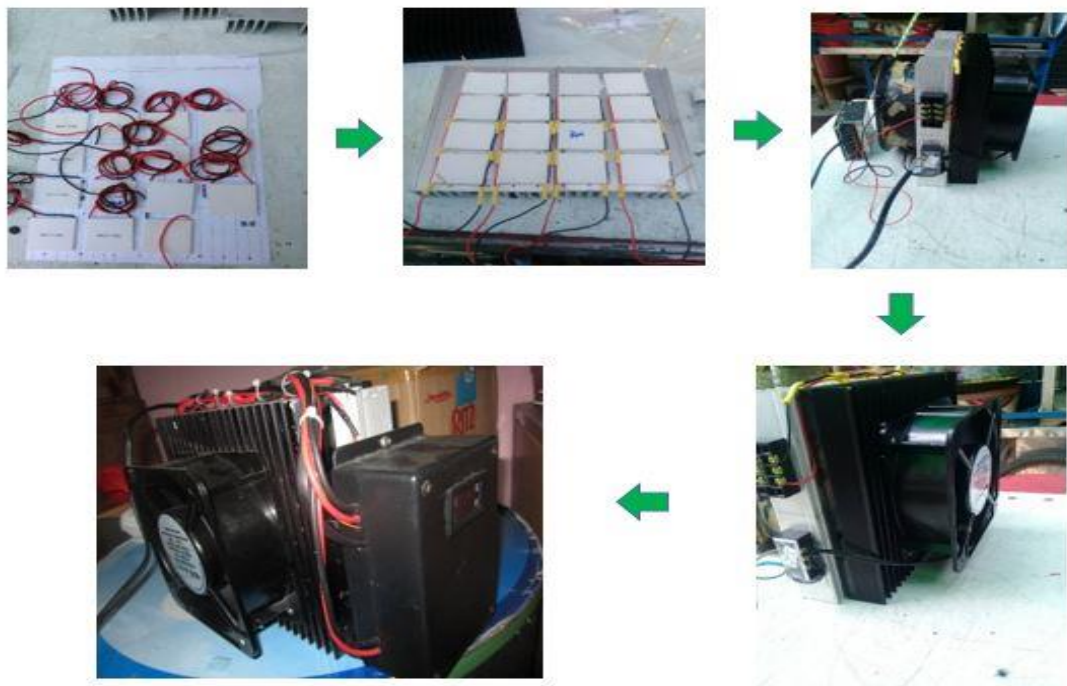
แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก เป็นอุปกรณ์ ทำความเย็น และความร้อน เมื่อป้อนไฟฟ้ากระแสตรง เข้าไปจะทำให้เกิดการถ่ายเทพลังงานเกิดขึ้น โดยอีกด้านจะร้อนและอีกด้านจะเย็น การทำความร้อน จะทำความร้อนได้ถึง 90 องศาเซลเซียส และอีกด้านสามารถทำความเย็นได้ถึงติดลบ 10°C แต่ข้อควรระวังของการใช้งานอุปกรณ์นี้คือด้านที่เกิดความร้อนต้องมีระบบระบายความร้อนที่ดีด้วย หากร้อนเกินไปจะเกิดความเสียหายในอุปกรณ์ หากระบายความร้อนได้ดี อุปกรณ์เพลทีย์ สามารถอยู่ได้นานถึง 10 ปี ในขณะที่ทำงานจะไม่มีเสียงรบกวนหรือการเคลื่อนไหว มีขนาดเล็กน้ำหนักเบา ทำความเย็นได้ง่าย ซึ่งแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก เป็นวัสดุที่สามารถเปลี่ยนแปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงาน ความร้อนโดยให้ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของจุด 2 จุด และแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก ก็สามารถนำมาใช้

ทำความเย็น เช่น ทำความเย็นให้น้ำในตู้ปลา ทำตู้เย็นขนาดเล็ก หล่อเย็นให้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ที่ความร้อนสูงเช่น CPU คอมพิวเตอร์ และการผลิตไฟฟ้าด้วยความร้อน เป็นต้น

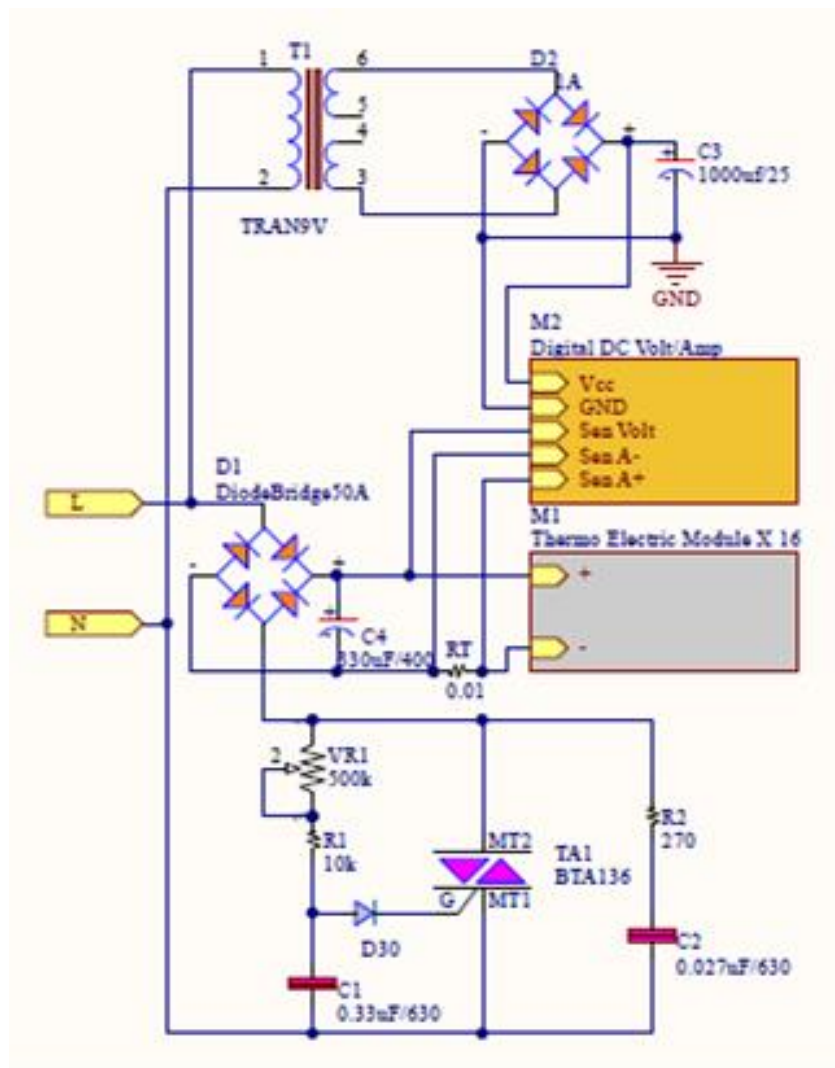


ภาพที่ 33 แบบขนาดของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (<http://datasheet.nisit.net/download/TEC1-12706.pdf>)

ขั้นตอนการประกอบชุดอุปกรณ์ทดลองเทอร์โมอิเล็กทริก

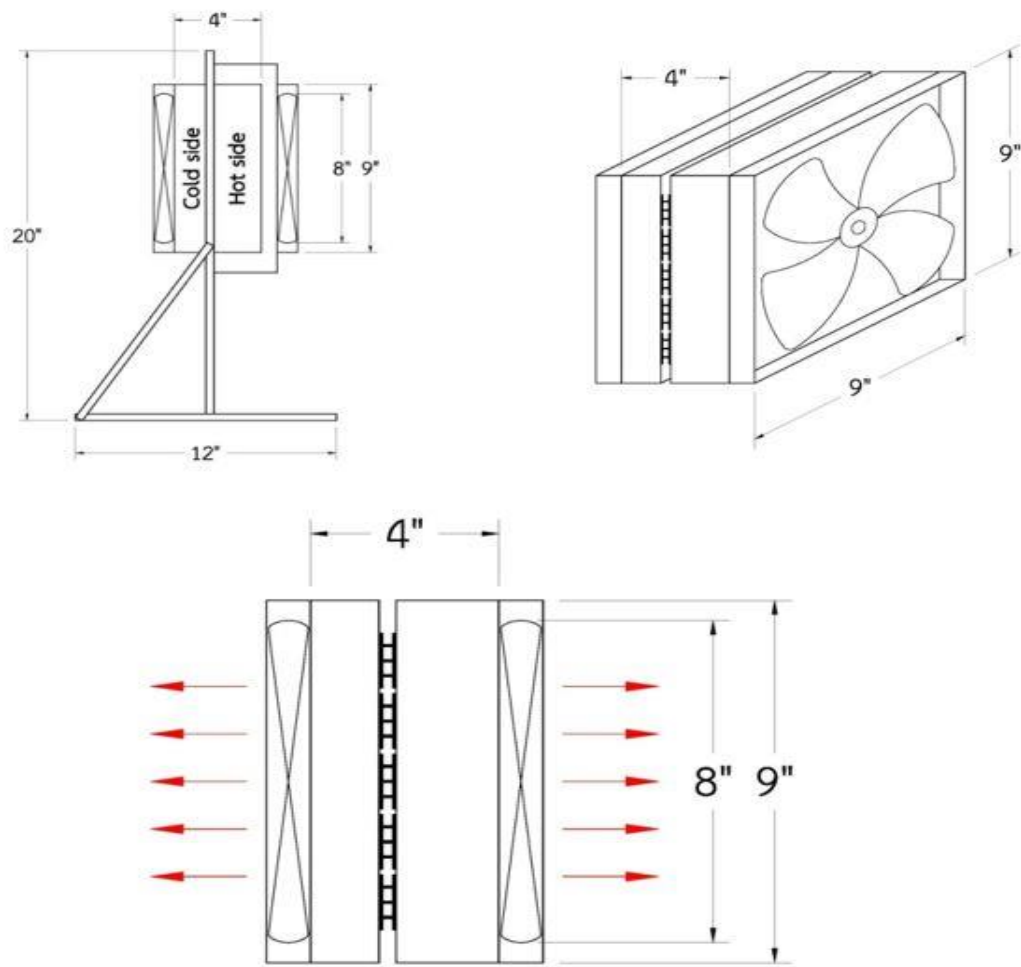


ภาพที่ 34 แสดงส่วนประกอบของชุดเทอร์โมอิเล็กทริก



CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาพที่ 35 แบบวงจรการควบคุมแรงดันไฟฟ้าจากกระแส AC เปลี่ยนเป็นกระแส DC
ซึ่งใช้แทนตัวสวิชชิงของชุดทดลองเทอร์โมอิเล็กทริก



ภาพที่ 36 ขนาดอุปกรณ์ทดลองสำหรับการลดความชื้นแบบเทอร์โมอิเล็กทริก



ภาพที่ 37 ชุดฮีตเตอร์ กับพัดลมระบายอากาศ

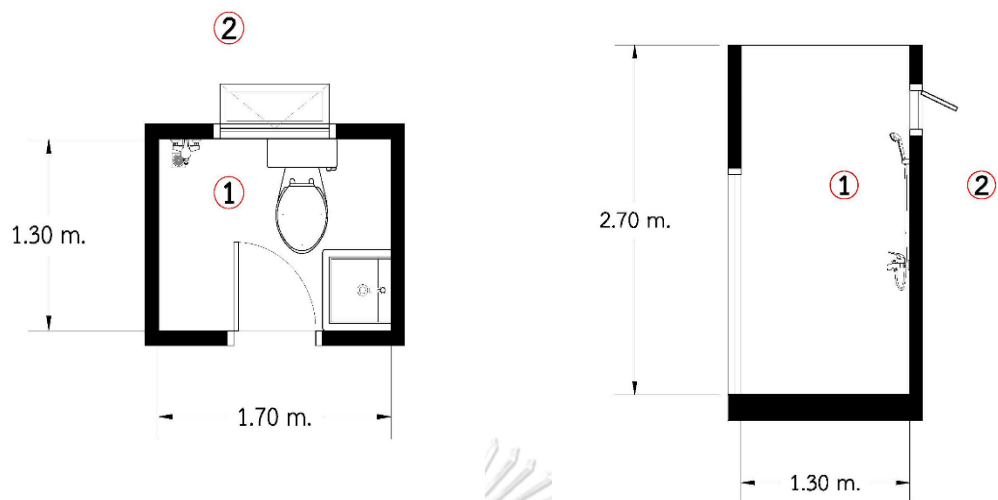


ภาพที่ 38 ชุดเทอร์โมอิเล็กทริก กับพัดลมระบายอากาศ

3.4 อุปกรณ์เครื่องมือวัดทำการวิจัย



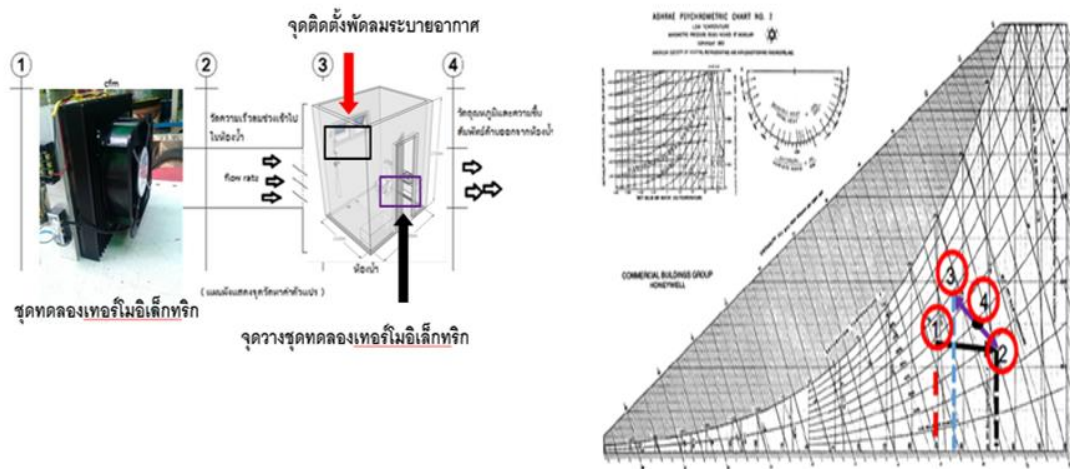
ภาพที่ 39 อุปกรณ์เครื่องมือวัดทำการวิจัย ประกอบไปด้วย ชุดวัดความชื้นสัมพัทธ์ 2 ตัว, วัดอุณหภูมิ 2 ตัว, เครื่องวัดความเร็วลม, เครื่องวัดแรงดันไฟฟ้า



ภาพที่ 40 ตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์บันทึกค่าความชื้น และอุณหภูมิ ทั้ง 2 ตำแหน่ง



ภาพที่ 41 ตำแหน่งวางชุดอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก สูงจากพื้น 35 เซนติเมตรของฝั่งติดกับประตูห้องน้ำ



ภาพที่ 42 แผนภูมิไซโครเมตริก แสดงจุดตำแหน่ง กระบวนการของสถานะอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์



ภาพที่ 43 แสดงจุดวัดหาค่าอุณหภูมิ, ค่าความชื้นสัมพัทธ์และค่าความเร็วลมของพัดลมระบายอากาศ



ภาพที่ 46 อาคารสถานที่ใช้ในการทำการวิจัย

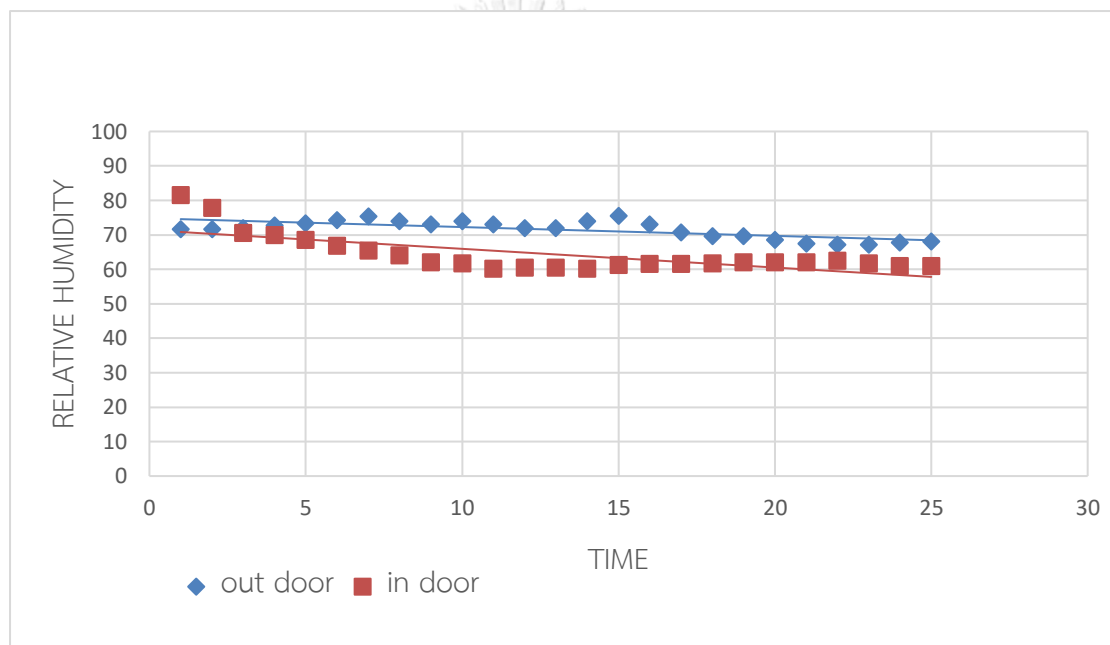
3.5 พฤติกรรมในการเข้าใช้ห้องน้ำ

งานวิจัยนี้ กำหนดให้มีผู้ใช้งานห้องน้ำ 1 คน จำลองลักษณะการเข้าใช้ห้องน้ำของอาคารพักอาศัยประเภทคอนโดมิเนียม โดยกำหนดให้มีช่วงเวลาอาบน้ำ 2 ครั้งใน 1 วัน คือช่วงเวลาประมาณ 7:40 – 8:00 น. และ 23:40 – 24:00 น.

3.6 วิธีการวิจัย

ในงานวิจัยประสิทธิภาพการลดความชื้นในห้องน้ำด้วยลมร้อนจากเทอร์โมอิเล็กทริก ได้มีการแบ่งวิธีการวิจัยออกเป็น 3 ส่วนดังนี้

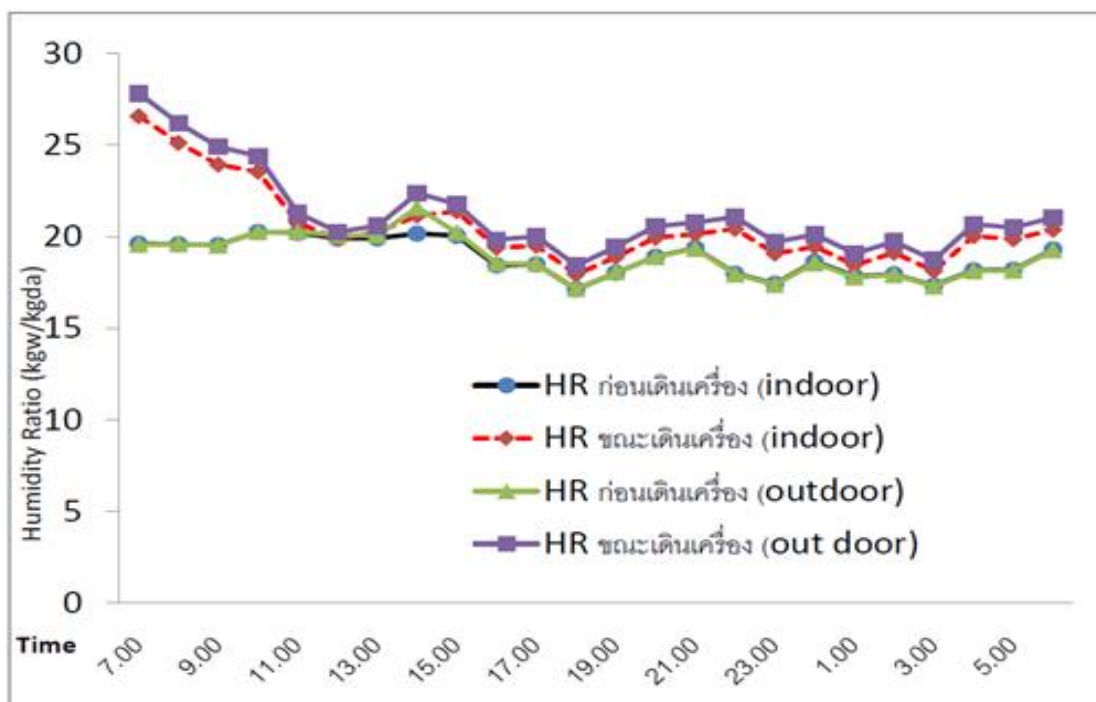
การทดลองส่วนที่ 1 ทดลองหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิของลมร้อนที่ออกมา และอัตราการระเหยความชื้นภายในห้องน้ำ เพื่อนำมาคำนวณหาค่าการถ่ายเทของอากาศ ลมร้อนอุณหภูมิภายในห้องน้ำ ของระบบพัดลมระบายอากาศ เพื่อลดความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องน้ำที่เหมาะสมโดยส่งลมร้อนของชุดอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก ออกไปจากห้องน้ำในช่วงเวลาการผสมของอากาศและอุณหภูมิที่เหมาะสม



CHULALONGKORN UNIVERSITY

แผนภูมิที่ 2 แสดงค่าความชื้นสัมพัทธ์กรณีใช้ลมร้อนจากชุดอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกกับพัดลมดูดอากาศภายในห้องน้ำ

การทดลองส่วนที่ 2 ศึกษาเพื่อเปรียบเทียบหาค่าความชื้นสัมพัทธ์ของภายในและภายนอกห้องน้ำปกติที่ไม่ใช้ลมร้อนลดความชื้น กับห้องน้ำที่มีความชื้นโดยการนำลมร้อนจากชุดอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกเพื่อลดความชื้นสัมพัทธ์



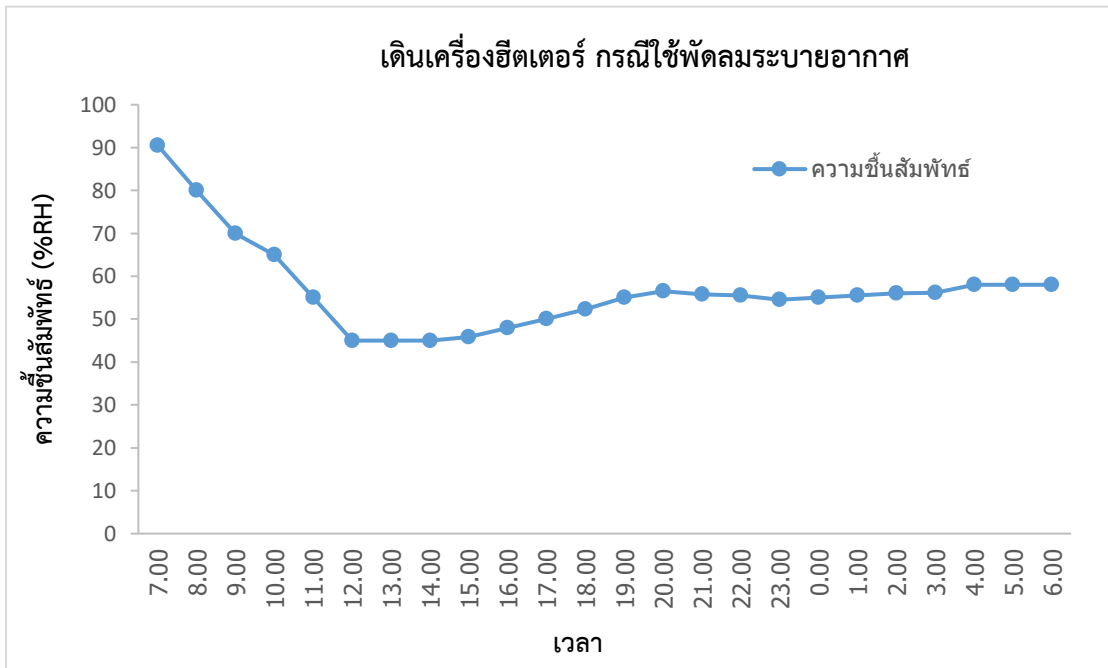
แผนภูมิที่ 3 เปรียบเทียบผลการทดลองแสดงให้เห็นค่า แนวนอน ความสัมพันธ์กันระหว่างค่า ACH และค่าผลต่างของอัตราส่วนความชื้น (Humidity Ratio) ภายใน-ภายนอกห้องน้ำ Humidity ratio ช่วงของ indoor-outdoor ก่อนและหลังเดินเครื่องชุดเทอร์โมอิเล็กทริก โดยใช้พัดลมระบายอากาศเป็นตัวช่วยระบายอากาศร้อนและความชื้นออกจากห้องน้ำ

การทดลองส่วนที่ 3 ตรวจสอบผลกระทบของอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ ต่ออัตราส่วนความชื้นภายในห้องน้ำ โดยใช้ชุดทดลองเทอร์โมอิเล็กทริก กับพัดลมระบายอากาศ 2 ตัว เปรียบเทียบ ค่าการใช้พลังงาน กับชุดทดลองของ ฮีตเตอร์ กับ พัดลมระบายอากาศ 2 ตัว ซึ่งจะสิ้นเปลืองค่าพลังงานเป็นหน่วย กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อเดือน

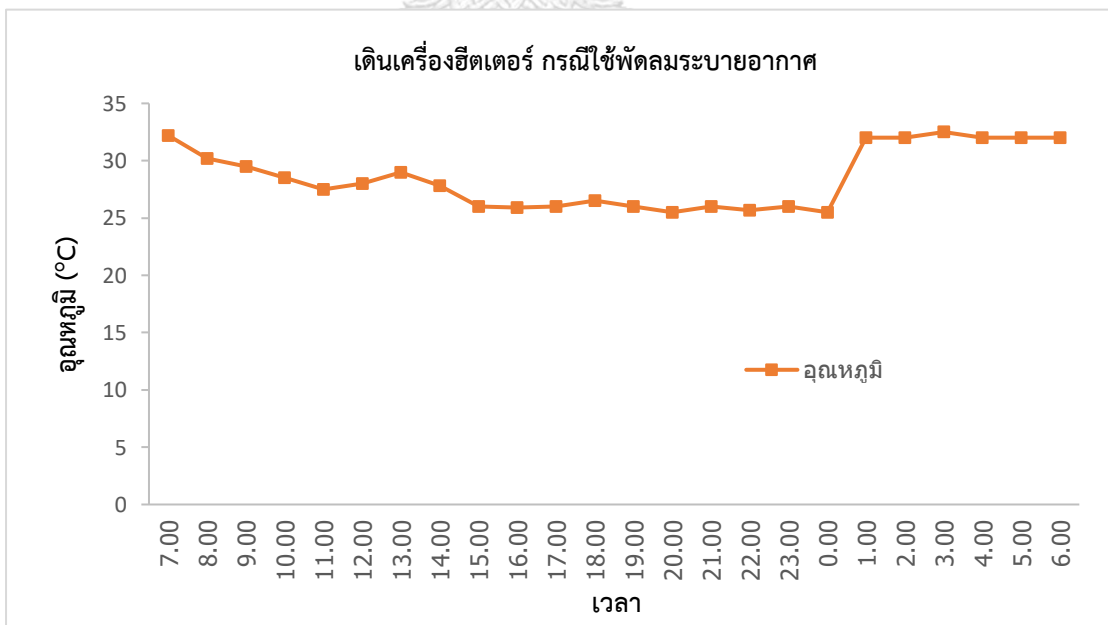


ภาพที่ 47 การวัดค่าอุณหภูมิ, ค่าความชื้นสัมพัทธ์ และค่าพลังงานของชุดเครื่องฮีตเตอร์

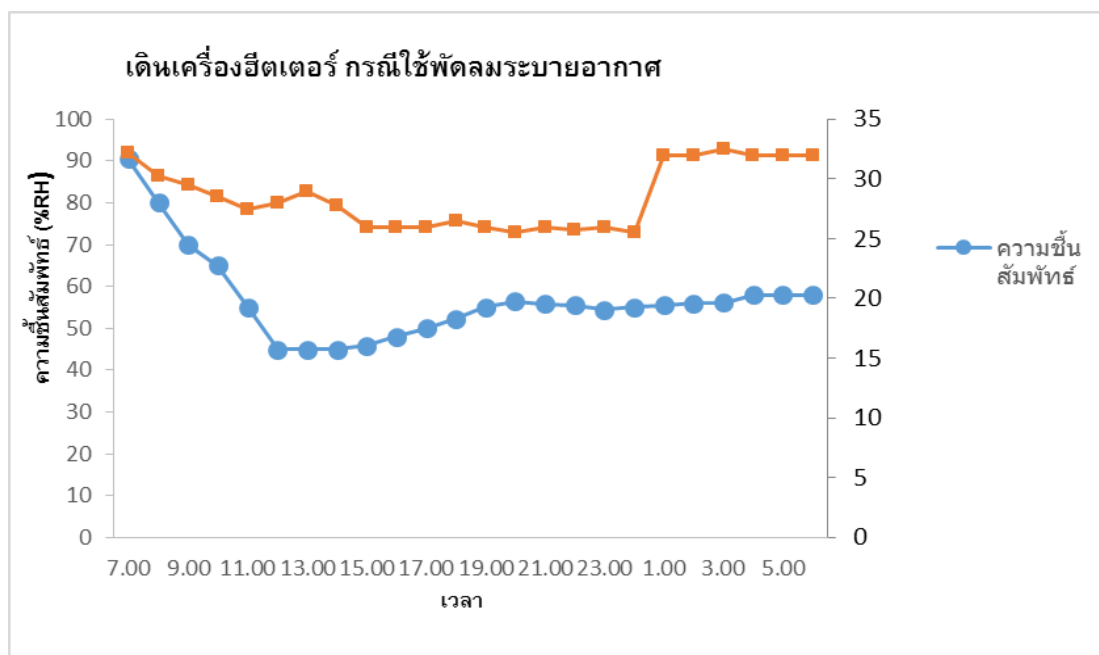
CHULALONGKORN UNIVERSITY



แผนภูมิที่ 4 แสดงค่าความชื้นสัมพัทธ์ของชุดทดลอง เครื่องให้ความร้อนทั่วไป ฮีตเตอร์



แผนภูมิที่ 5 แสดงค่าอุณหภูมิของชุดทดลอง เครื่องให้ความร้อนทั่วไป ฮีตเตอร์



แผนภูมิที่ 6 แสดงค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของชุดทดลอง เครื่องให้ความร้อนทั่วไป ฮีตเตอร์

จากแผนภูมิที่ 4 คือค่าความชื้นสัมพัทธ์ และแผนภูมิที่ 5 คือค่าอุณหภูมิที่วัดได้ ขณะในเวลาต่างๆซึ่งมารวมกันกลายเป็นแผนภูมิที่ 6 จากความชื้นเดิมในห้องน้ำจะสูงถึง 90.9 เปอร์เซ็นต์ แต่ถ้าเดินเครื่องลดความชื้นจากชุดอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกซึ่งเป็นลมร้อนกับพัดลมระบายอากาศ ค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยลดลงมา 55-66 เปอร์เซ็นต์ แต่จะทำให้อุณหภูมิในห้องน้ำสูงถึง 36.2 องศา เพราะมีความร้อนตกค้าง ซึ่งทางผู้ทดลองได้ใช้พัดลมระบายอากาศออก เพื่อช่วยในการถ่ายเทของอากาศ ของลมร้อนอุณหภูมิภายในห้องน้ำ จะทำให้อุณหภูมิลดลงมา 25.3-28.5 องศา ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐาน หลักทฤษฎีการแลกเปลี่ยนอากาศ

ตารางที่ 7 เปรียบเทียบค่าการใช้ค่าพลังงานของชุดเทอร์โมอิเล็กทริกกับชุดฮีตเตอร์

ตัวแปร	เทอร์โมอิเล็กทริก กับพัดลม 2 ตัว	ฮีตเตอร์ กับพัดลม 2 ตัว
กำลังไฟฟ้า (Watt)	440	1,280
ค่าพลังงานที่ใช้ (kwh/y)	660	1,920
ความชื้นสัมพัทธ์ (RH%)	66% - 55%	55% - 45%

คำนวณค่าจากการใช้พลังงานไฟฟ้าของ ชุดการทดลองเทอร์โมอิเล็กทริก เปรียบเทียบกับ ชุดทดลองฮีตเตอร์

เทอร์โมอิเล็กทริกร่วมกับพัดลมระบายอากาศ มีขนาด 440 วัตต์ เปรียบเทียบกับชุดทดลอง ฮีตเตอร์ร่วมกับพัดลมระบายอากาศ มีขนาด 1280 วัตต์ ระยะเวลาการทดสอบ เปิดใช้งานวันละ 5 ชั่วโมง โดยจากราคาค่าไฟฟ้าประเภทที่ 1 บ้านอยู่อาศัย ไม่เกิน 150 หน่วย

ซึ่งข้อมูลที่มา: การไฟฟ้า นครหลวง <https://www.mea.or.th/profile/109/111> (ข้อมูลวันที่ 12 /6/ 2562) ระบบชุดทดลอง ฮีตเตอร์ กับพัดลมระบายอากาศ ใช้พลังงานจำนวน 192 หน่วย และระบบชุดทดลองเทอร์โมอิเล็กทริก กับพัดลมระบายอากาศ ใช้พลังงาน 66 หน่วย (คำนวณค่าจากการใช้พลังงานไฟฟ้าของชุด การทดลอง) ระบบ Heater ใช้พลังงานคิดเป็นเงิน 729.9 บาทต่อเดือน ส่วนระบบ TDS ใช้พลังงานคิดเป็นเงิน 225.11 บาทต่อเดือน ดังนั้นค่าส่วนต่างเป็น 729.9-225.11 บาทต่อเดือน ดังนั้นระบบ TDS ประหยัด ไปเป็นจำนวนเงิน 504.79 บาทต่อเดือน คิดเป็นรายปี 504.79 X 12 เท่ากับ 6,057.48 บาทต่อปี ระบบ TDS ใช้ทุนสร้างเครื่อง 15,000 บาท และจะคืนทุน 15,000 บาท ผลประหยัดต่อปี 15,000/6,057.48 เท่ากับ 2.47 ปี

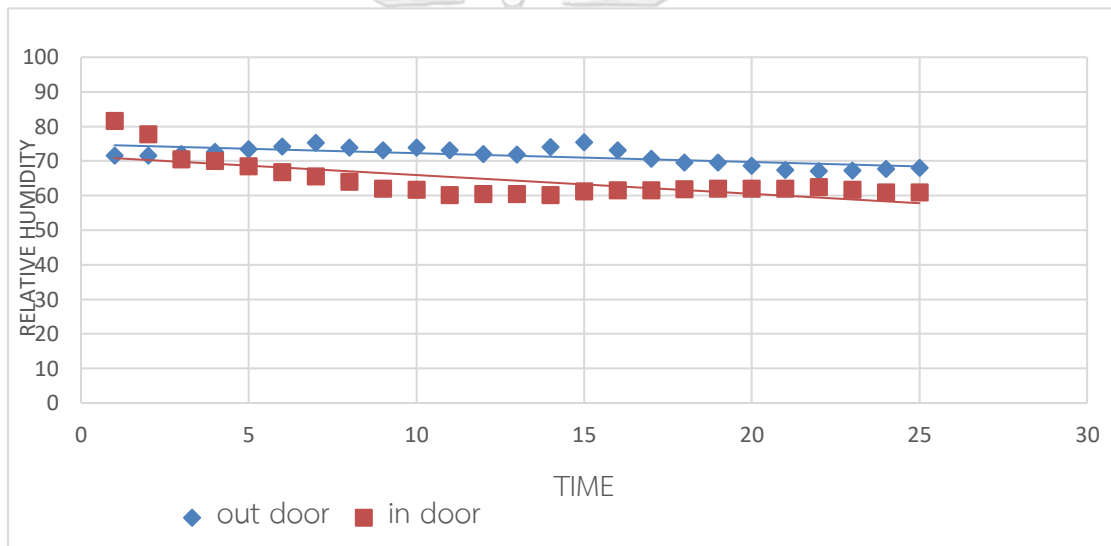
บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการทดลอง

ผลการวิจัยแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ การประเมินด้านประสิทธิภาพในการลดความชื้นกับการเปรียบเทียบการใช้ค่าพลังงานของชุดเทอร์โมอิเล็กทริกกับชุดฮีตเตอร์และการประเมินด้านการประหยัดพลังงานและค่าความคุ้มค่า

4.1 การประเมินด้านประสิทธิภาพในการลดความชื้น

จากการหาแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างการแลกเปลี่ยนอากาศ ACH กับพัดลมระบายอากาศเพื่อลดความชื้นสัมพัทธ์ในห้องน้ำที่พักอาศัย และการใช้ชุดเทอร์โมอิเล็กทริก

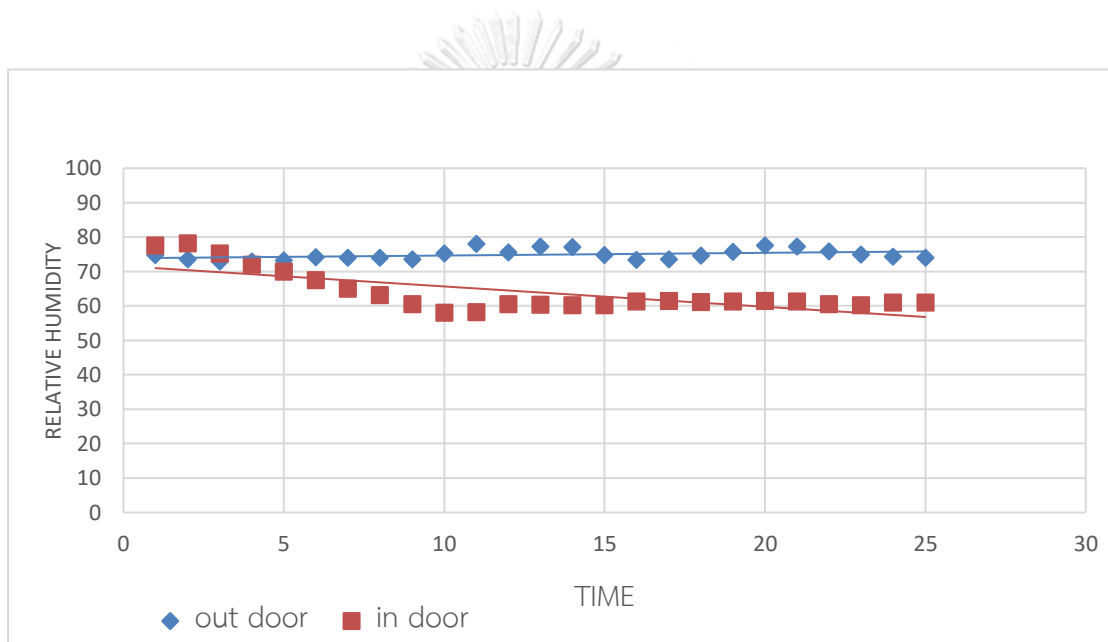


CHULALONGKORN UNIVERSITY

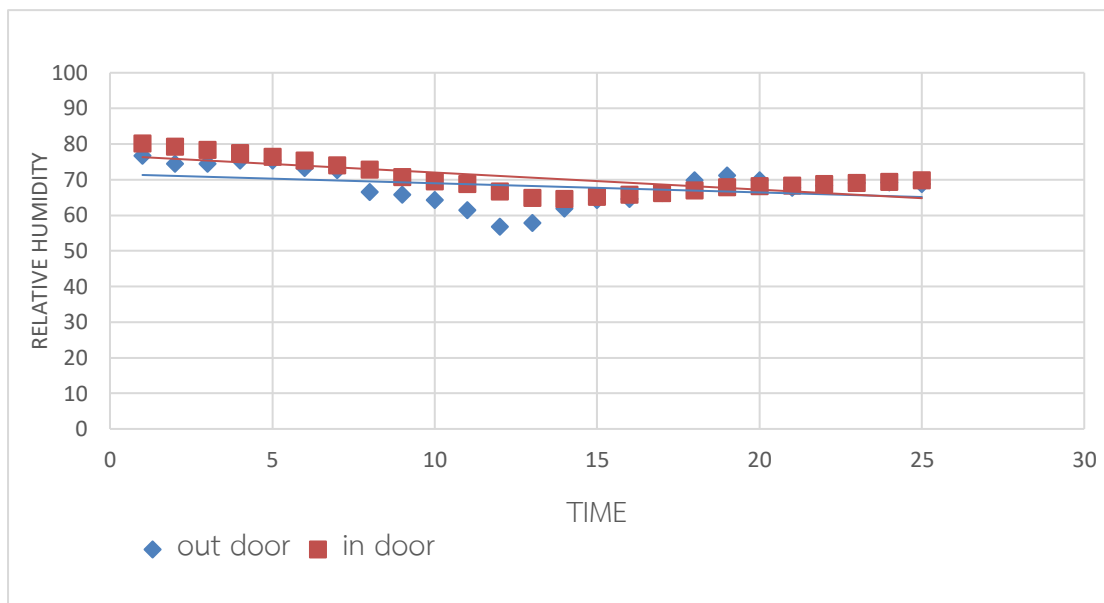
แผนภูมิที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Humidity ratio Out door แทนค่า Humidity ratio ของที่ไม่ได้ใช้พัดลมระบายอากาศกรณีด้านนอกห้องน้ำ (TDS) แทนค่า Humidity ratio ของชุดทดลองเทอร์โมอิเล็กทริกกรณีด้านนอกห้องน้ำ (Heater) แทนค่า Humidity ratio ของชุดทดลองเครื่องทำความร้อนทั่วไปกรณีด้านนอกห้องน้ำ

จากแผนภูมิที่ 7 จะเห็นว่าเส้นแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนความชื้นระหว่างภายในกับภายนอกห้องน้ำของระบบพัดลมระบายอากาศแบบใช้ร่วมกับชุดทดลองเครื่องทำความร้อนทั่วไป จะอยู่ต่ำที่สุด ซึ่งหมายความว่าสามารถลดค่า Humidity ratio ภายในห้องน้ำให้ใกล้เคียงกับภายนอกห้องน้ำได้มากที่สุด รองลงมาคือระบบพัดลมระบายอากาศใช้ร่วมกับชุดทดลอง เทอร์โมอิเล็กทริก ส่วนเส้นแนวโน้มความสัมพันธ์ ระหว่างค่าค่า Humidity ratio ระหว่างภายในกับภายนอกของห้องน้ำที่ไม่มีระบบพัดลมระบาย อากาศจะอยู่สูงที่สุด และจากแผนภูมิที่ 8 ค่าเฉลี่ยผลต่างของ

Humidity ratio ระหว่างภายในและภายนอกห้องน้ำผลที่ได้คือ ระบบพัดลมระบายอากาศใช้ร่วมกับ ชุดทดลองเครื่องทำความร้อนที่มีค่าเฉลี่ยผลต่างของ Humidity ratio น้อยที่สุด รองลงมาคือ ระบบ พัดลมระบายอากาศใช้ร่วมกับชุดทดลองเทอร์โมอิเล็กทริก และระบบที่มีค่าเฉลี่ยผลต่างของ Humidity ratio มากที่สุดคือ ห้องน้ำแบบที่ไม่มีระบบพัดลมระบายอากาศ ซึ่งมีค่า เท่ากับ 0.01897, 0.01907 และ 0.01915 kg/kg ตามลำดับ ดังนั้นระบบพัดลมระบายอากาศใช้ร่วมกับเครื่องทำ ความร้อนทั่วไปจะมีประสิทธิภาพในการลดความชื้นได้ดีที่สุด ซึ่งค่าผลต่าง Humidity ratio ที่ได้สามารถ นำมาคำนวณเพื่อหาค่าแนวโน้มความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างผลต่าง Humidity ratio ของภายในและ ภายนอกห้องน้ำ และค่า ACH ได้ตั้งแผนภูมิที่ 8



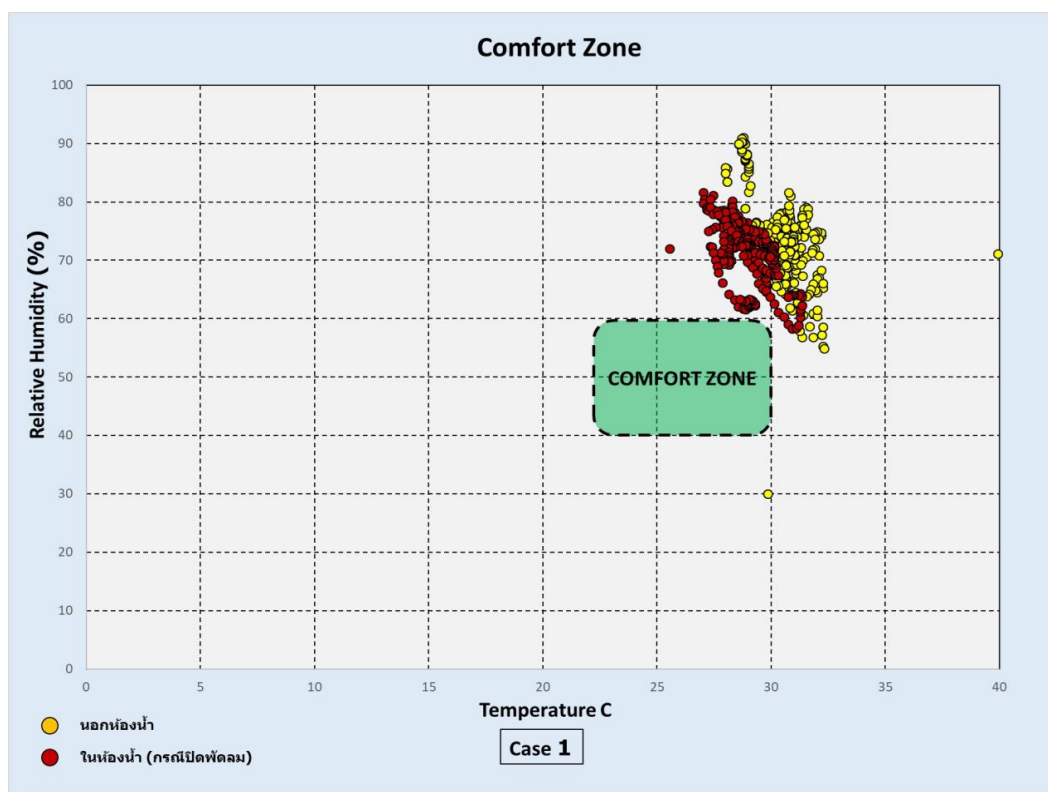
แผนภูมิที่ 8 ค่าอุณหภูมิอากาศภายในห้องน้ำ (Indoor) และภายนอกห้องน้ำ (Outdoor) ของ ห้องน้ำที่ไม่มีระบบ พัดลมระบายอากาศ



แผนภูมิที่ 9 เทียบระหว่างภายในห้องน้ำ (Indoor) และภายนอกห้องน้ำ (Outdoor) ของห้องน้ำที่ไม่มีระบบพัดลมระบายอากาศ

จากแผนภูมิที่ 8 และแผนภูมิที่ 9 จะเห็นได้ว่า ค่าความชื้นสัมพัทธ์ของทั้ง 3 ระบบ จะมี บางช่วงเวลาที่ขึ้นสูงถึงประมาณ 80% ซึ่งเป็นค่าความชื้นสัมพัทธ์ในช่วงเวลาที่มีการอาบน้ำ โดยที่ระบบพัดลมระบายอากาศที่ใช้ร่วมกับชุดทดลองเครื่องทำความร้อนทั่วไปจะมีช่วงเวลาที่ค่าความชื้นสัมพัทธ์จะสูงใกล้ 80% น้อยที่สุดเพราะมีการระบายอากาศตลอดเวลา ตรงข้ามกับห้องน้ำที่ไม่มีระบบพัดลมระบายอากาศที่จะมีช่วงเวลาที่ค่าความชื้นสัมพัทธ์จะสูงถึง 80% มากกว่า เพราะระบายความชื้นจากการอาบน้ำออกไปได้ยาก ส่วนระบบพัดลมระบายอากาศที่ใช้ร่วมกับชุดทดลองเทอร์โมอิเล็กทริกจะมีช่วงเวลาที่ค่าความชื้นสัมพัทธ์จะสูงถึง 80% มากกว่าระบบพัดลมระบายอากาศที่ใช้ร่วมกับชุดทดลองเครื่องทำความร้อน แต่น้อยกว่าห้องน้ำที่ไม่มีระบบพัดลมระบายอากาศ นอกจากนี้ ความชื้นภายนอกห้องน้ำของทั้ง 3 ระบบ จะกระจายตัวไม่เหมือนกัน เนื่องด้วยทำการบันทึกค่าความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิต่างช่วงเวลา เพื่อประเมินประสิทธิภาพการลดความชื้นจึงต้องคำนวณค่า Humidity ratio ของภายใน-ภายนอกห้องน้ำ เป็นการตัดปัจจัยด้านอุณหภูมิออกทำให้สามารถนำมาเปรียบเทียบได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น และทำการเปรียบเทียบผลต่าง Humidity ratio ระหว่างภายใน-ภายนอกห้องน้ำ ซึ่งระบบพัดลมระบายอากาศที่ทำให้ค่าผลต่าง Humidity ratio น้อย แสดงว่ามี

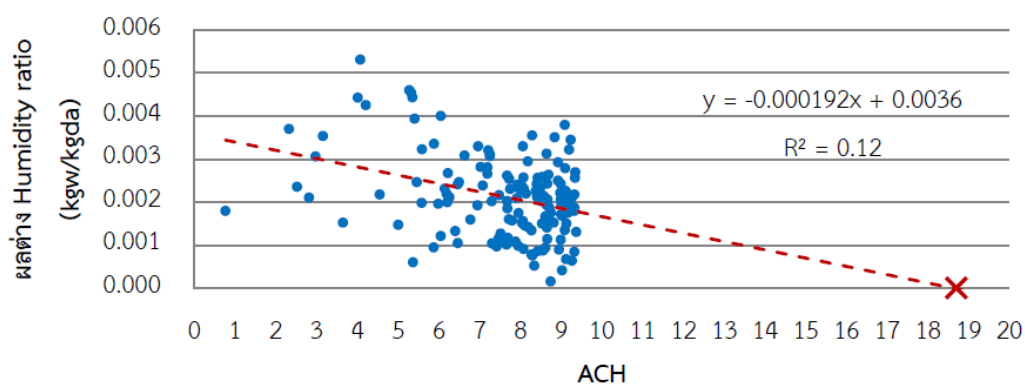
ประสิทธิภาพในการลดความชื้นมาก ส่วนระบบระบายอากาศที่ค่าผลต่าง Humidity ratio มาก แสดงว่ามีประสิทธิภาพในการลดความชื้นน้อย โดยจะได้ผลออกมาดังแผนภูมิที่ 10



แผนภูมิที่ 10 ค่าอุณหภูมิอากาศภายในห้องน้ำ (Indoor) และภายนอกห้องน้ำ (Outdoor) ของห้องน้ำ ที่ใช้ระบบพัดลมระบายอากาศใช้ร่วมกับชุดเทอร์โมอิเล็กทริก และ Comfort Zone

จากแผนภูมิและผลการทดลองจาก (ผนวก ข ตาราง ข.1) การศึกษาพฤติกรรมของค่า Humidity ratio ช่วงเวลาที่มีค่า Humidity ratio ในห้องน้ำสูงสุดคือ 03:00 น. ซึ่งเป็นช่วงเวลาหลังจากการอาบน้ำในตอนกลางคืน ค่า Humidity ratio ของทั้ง 3 ระบบ จะสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัด และห้องน้ำที่ใช้ระบบพัดลมระบายอากาศที่ใช้ร่วมกับชุดทดลองเครื่องทำความร้อนทั่วไป จะสามารถลดค่า Humidity ratio ลงได้อย่างรวดเร็วประมาณภายในระยะเวลา 2 ชั่วโมง เนื่องจากพัดลมเปิดใช้งานอยู่ ในขณะที่ห้องน้ำที่ใช้ระบบพัดลมระบายอากาศที่ใช้ร่วมกับชุดทดลองเทอร์โมอิเล็กทริก และห้องน้ำที่ไม่มีระบบพัดลมระบายอากาศ จะสามารถลดค่า Humidity ratio ได้ช้าและมีลักษณะใกล้เคียงกัน เนื่องมาจากระบบพัดลมระบายอากาศที่ใช้ร่วมกับชุดทดลองเทอร์โมอิเล็กทริกมีการจำลองสมมุติในกรณีไฟฟ้าดับหรือหยุดเครื่องการทำงานเพื่อไม่ให้เครื่องร้อนเกินไปซึ่งจะไม่ได้ทำงานในช่วงเวลากลางคืนประมาณ 45 นาทีถึง 1 ชั่วโมง ส่วนช่วงเวลา 07:30 น. เป็นช่วงเวลาอาบน้ำ ตอน

เข้า ห้องน้ำที่ใช้ระบบพัดลมระบายอากาศที่ใช้ร่วมกับเครื่องทำความร้อน และระบบพัดลมระบายอากาศแบบใช้ร่วมกับชุดทดลองเทอร์โมอิเล็กทริก จะสามารถลดค่า Humidity ratio ในระยะเวลาใกล้เคียงกัน โดยประมาณ 1 ชั่วโมง เนื่องจากระบบพัดลมระบายอากาศที่ใช้ร่วมกับชุดทดลอง เทอร์โมอิเล็กทริกมีการทำงานในเวลากลางวันหลังจากหยุดพักเครื่อง ในขณะที่ห้องน้ำที่ไม่มีระบบพัดลมระบายอากาศจะลดค่า Humidity ratio ได้ช้ากว่า โดยใช้ระยะเวลาประมาณ 5 ชั่วโมง ผลที่ได้นำมาเขียนเป็นความสัมพันธ์ ระหว่างค่า Humidity ratio ภายในและภายนอกของทั้ง 3 ระบบ ได้ดังแผนภูมิกราฟที่ 10



แผนภูมิที่ 11 ค่าแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างผลต่าง Humidity ratio ของภายในและภายนอก ห้องน้ำ และค่า ACH

จากแผนภูมิกราฟที่ 11 ผลต่าง Humidity ratio ของภายในและภายนอกห้องน้ำ จะแปรผกผันกับ ค่า ACH โดยที่สามารถคำนวณค่าแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างผลต่าง Humidity ratio ของภายใน และภายนอกห้องน้ำ และค่า ACH ออกมาเป็นสมการได้ดังนี้ คือ

$$W_{diff} = - 0.000192 (ACH) + 0.0036 \quad (1)$$

โดยที่ ACH คือ อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศต่อชั่วโมง

W_{diff} คือ ค่าผลต่าง Humidity ratio ของภายในและภายนอกห้องน้ำ (kg/kg)

โดยผลต่าง Humidity ratio ของภายในและภายนอกห้องน้ำ จะเท่ากับ 0 เมื่อค่าอัตราแลกเปลี่ยนอากาศอยู่ที่ประมาณ 18.70 ACH แต่เนื่องจากการวิจัยนี้ ยังไม่ได้มีการวัดค่า ACH ถึงช่วง 9.25 ACH เพื่อพิสูจน์สมมติฐานสมการนี้ การวิจัยในอนาคตจึงควรจึงควรมีวัดผลในส่วนนี้เพิ่มเติม

ตารางที่ 8 ค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์ในแต่ละเดือนของห้องน้ำที่เดิน-หยุดเครื่องชุดเทอร์โมอิเล็กทริกกับการเปิด-ปิดพัดลมระบายอากาศ (กรณีวัดค่าหลังจากอาบน้ำ)

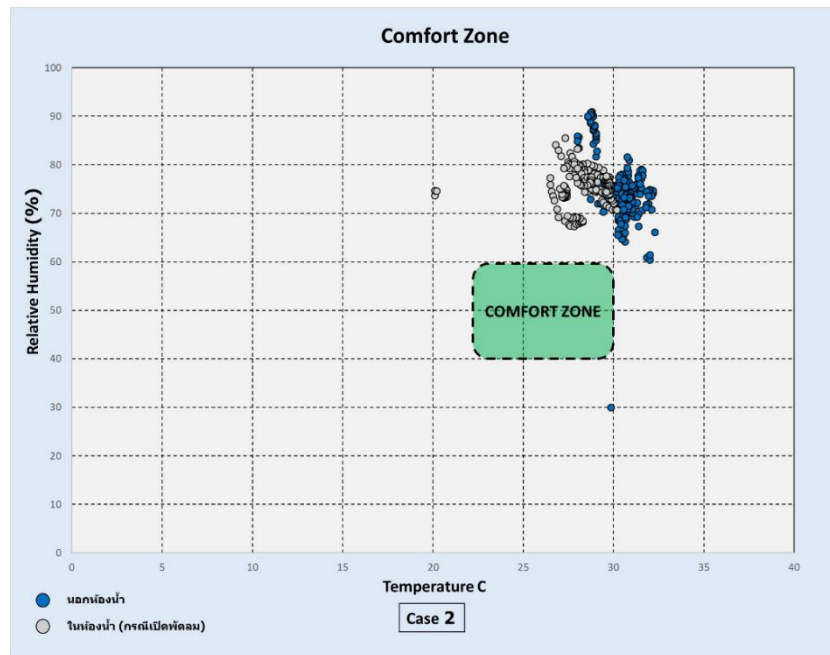
	Relative humidity					
	Outdoor	Indoor	Off Fan	On Fan	Off TDS	On TDS
JAN	70.10 %	71.50 %	72.80 %	61.50 %	72.80 %	60.00 %
FEB	74.35 %	75.50 %	77.10 %	66.50 %	77.10 %	65.40 %
MAR	68.20 %	67.50 %	70.30 %	60.50 %	70.30 %	59.50 %
APR	74.50 %	75.50 %	78.00 %	68.00 %	78.00 %	66.50 %
MAY	78.50 %	79.50 %	80.10 %	71.10 %	80.10 %	70.00 %
JUN	74.60 %	75.70 %	77.00 %	67.50 %	77.00 %	66.00 %
JUL	70.00 %	71.30 %	73.50 %	63.50 %	73.50 %	62.50 %
AUG	73.50 %	74.50 %	77.50 %	67.30 %	77.50 %	66.00 %
SEP	76.10 %	77.30 %	79.60 %	68.10 %	79.60 %	67.00 %
OCT	77.50 %	78.50 %	80.40 %	68.50 %	80.40 %	67.10 %
NOV	70.05 %	71.30 %	73.50 %	62.30 %	73.50 %	61.10 %
DEC	57.50 %	60.50 %	63.50 %	50.50 %	63.50 %	45.50 %
เฉลี่ย/ปี	72.08 %	73.21 %	75.27 %	64.60 %	75.27 %	63.05 %

จากตารางที่ 8 ห้องน้ำที่ใช้เครื่องเทอร์โมอิเล็กทริกกับชุดพัดลมระบายอากาศที่ใช้พัดลม 2 ตัวสามารถลดค่า Relative humidity เฉลี่ยตลอดทั้งปี เมื่อเปรียบเทียบกับห้องน้ำที่ไม่มีการใช้ระบบเครื่องเทอร์โมอิเล็กทริกกับชุดพัดลมระบายอากาศ

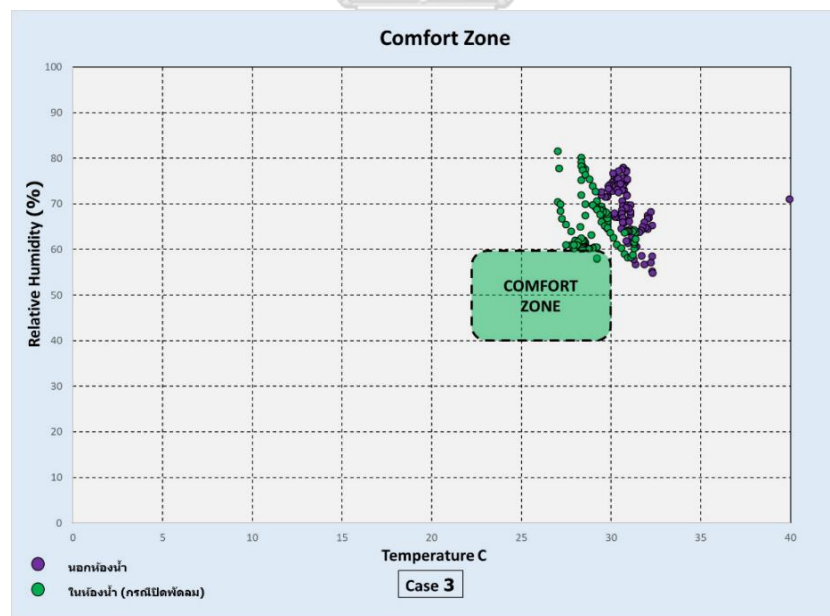
ตารางที่ 9 ค่าเฉลี่ย Humidity Ratio ในแต่ละเดือนของห้องน้ำที่เดิน-หยุดเครื่องชุด เทอร์โมอิเล็กทรอนิกส์
 ทรักกับการเปิด-ปิดพัดลมระบายอากาศ (ขณะอุณหภูมิห้อง 25 องศา)

	Humidity Ratio (Kg/Kg)					
	Outdoor	Indoor	Off Fan	On Fan	Off TDS	On TDS
JAN	0.01394	0.01422	0.01449	0.01449	0.01449	0.01189
FEB	0.01480	0.01504	0.01537	0.01537	0.01537	0.01298
MAR	0.01355	0.01341	0.01398	0.01398	0.01398	0.01179
APR	0.01483	0.01504	0.01555	0.01555	0.01555	0.01321
MAY	0.01565	0.01586	0.01598	0.01598	0.01598	0.01392
JUN	0.01485	0.01508	0.01534	0.01534	0.01534	0.01311
JUL	0.01392	0.01418	0.01463	0.01463	0.01463	0.01240
AUG	0.01463	0.01483	0.01545	0.01545	0.01545	0.01311
SEP	0.01139	0.01541	0.01588	0.01588	0.01588	0.01331
OCT	0.01545	0.01565	0.01604	0.01604	0.01604	0.01333
NOV	0.01393	0.01418	0.01463	0.01463	0.01463	0.01211
DEC	0.01139	0.01199	0.01260	0.01260	0.01260	0.00897
เฉลี่ย/ปี	0.01402	0.01457	0.01499	0.01499	0.01499	0.01140

จากตารางที่ 9 ห้องน้ำที่ใช้เครื่องเทอร์โมอิเล็กทรอนิกส์ทรักกับชุดพัดลมระบายอากาศที่ใช้พัดลม 2 ตัว
 สามารถลดค่า Humidity Ratio เฉลี่ยตลอดทั้งปี เมื่อเปรียบเทียบกับห้องน้ำที่ไม่มีการใช้ระบบเครื่อง
 เทอร์โมอิเล็กทรอนิกส์ทรักกับชุดพัดลมระบายอากาศ



แผนภูมิที่ 12 แสดงผลการทดลองขณะสถานะปิดเครื่องเทอร์โมอิเล็กทริกจำนวนความชื้นสัมพัทธ์ เป็นเปอร์เซ็นต์ RH ที่วัดค่าได้ในกรณีที่ปิดเครื่องเทอร์โมอิเล็กทริกแล้วทำให้มีค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องน้ำสูงขึ้นถึง 85 %RH



แผนภูมิที่ 13 แสดงผลการทดลองขณะสถานะเปิดเครื่องเทอร์โมอิเล็กทริกจำนวนความชื้นสัมพัทธ์ เป็นเปอร์เซ็นต์ RH ที่วัดค่าได้ในกรณีที่เปิดเครื่องเทอร์โมอิเล็กทริกแล้วทำให้มีค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องน้ำลดลงถึง 55 %RH

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตภูมิอากาศแบบร้อนชื้นซึ่งมีอุณหภูมิ และความชื้นค่อนข้างสูง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการปรับอากาศเพื่อให้เกิดความสบาย แก่ผู้อยู่อาศัยภายในบ้านหรืออาคารพาณิชย์ แต่ระบบปรับอากาศต้องใช้พลังงานไฟฟ้ามาก ซึ่งในปัจจุบันร้อยละ 50-70 ของพลังงานไฟฟ้าที่ใช้สำหรับที่อยู่อาศัยและอาคารพาณิชย์ได้นำมาใช้สำหรับการปรับอากาศ หรือใช้ระบบชุดทำความร้อนทั่วไป ดังนั้นเพื่อช่วยการลดความชื้นในห้องน้ำที่พักอาศัย โดยการหาค่าความคุ้มทุนและการประหยัดพลังงาน ของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกเทียบกับชุดทำความร้อนทั่วไป ที่มีอุณหภูมิความร้อนที่ 65 องศา การวิจัยนี้จึงได้แบ่งเป็น 3 ส่วน

1. ทดลองหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิของลมร้อนที่ได้ และอัตราการลดความชื้นภายในห้องน้ำ เพื่อนำมาคำนวณหาค่าการระบายอากาศ ลมร้อนอุณหภูมิภายในห้องน้ำ ของระบบพัดลมระบายอากาศ เพื่อลดความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องน้ำ ที่เหมาะสมโดยส่งลมร้อนของชุดอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก ออกไปจากห้องน้ำในช่วงเวลาการผสมของอากาศและอุณหภูมิที่เหมาะสม

2. ทดลองศึกษาเพื่อเปรียบเทียบหาค่าความชื้นสัมพัทธ์ของภายในและภายนอกห้องน้ำปกติที่ไม่ใช้ลมร้อนลดความชื้น กับห้องน้ำที่มีความชื้นโดยการนำลมร้อนจากชุดอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกเพื่อลดความชื้นสัมพัทธ์

3. ได้ทำการตรวจสอบผลกระทบของอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ ต่ออัตราส่วนความชื้นภายในห้องน้ำ โดยใช้ชุดทดลองเทอร์โมอิเล็กทริกเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงาน กับชุดทดลองของฮีตเตอร์ พบว่าเมื่อใช้พลังงาน 440 วัตต์ ในขณะที่ชุดฮีตเตอร์ใช้พลังงาน 1280 วัตต์ ชุดอุปกรณ์ทดลองเทอร์โมอิเล็กทริก จะช่วยทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ในห้องน้ำลดลงจาก 90.5 % เป็น 55% โดยมีอัตราการระบายอากาศที่ 54 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที ซึ่งสามารถทำให้เกิดการระบายอากาศที่ 9.25 ACH (Air Changes per hour)

งานวิจัยนี้ เป็นงานวิจัยเชิงทดลอง เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการลดความชื้น และระบายอากาศในห้องน้ำของอาคารที่พักอาศัย การทดลองนี้ใช้ห้องน้ำที่มีการใช้งานจริงในโครงการบ้านเอื้ออาทร คูบอน ห้องน้ำที่ใช้ในการทดลองมีขนาด $1.70 \times 1.30 \times 2.70 \text{ m}^2$ มีปริมาตร 5.967 m^3 มีผู้ใช้งานห้องน้ำเพียง 1 คน มีการอาบน้ำ 2 ครั้ง ใน 1 วัน คือช่วงเวลาประมาณ 7:00 น-7:40 น และ 23:30 น. เพื่อจะได้ศึกษาการทดลองใช้ห้องน้ำของอาคารที่พักอาศัยที่มีความชื้น มาทำการเปรียบเทียบห้องน้ำปกติที่ไม่ใช้ลมร้อนเป่าไล่ความชื้น กับห้องน้ำที่มีความชื้นโดยการนำลมร้อนจากชุดอุปกรณ์ เทอร์โมอิเล็ก

ทริกมาเป่าเพื่อไล่ความชื้นออก และหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิของลมร้อนที่ออกมา และเวลาอัตราการลดความชื้นภายในห้องน้ำ และเปรียบเทียบชุดทดลองเครื่องทำความร้อนทั่วไป ภายในห้องน้ำของอาคารที่พักอาศัย เพื่อประเมินประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานและความคุ้มค่าของการใช้ชุดอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากความชื้นเดิมในห้องน้ำจะสูงถึง 90.5 เปอร์เซ็นต์ แต่ถ้าเดินเครื่องลดความชื้นจากชุดอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกซึ่งเป็นลมร้อนกับพัดลมระบายอากาศ จะทำให้ค่าความชื้นจากเดิมที่ 90.5 เปอร์เซ็นต์ ลดลงมาถึง 55 – 66 เปอร์เซ็นต์ แต่จะทำให้อุณหภูมิในห้องน้ำสูงถึง 36.2 องศา เพราะมีความร้อนตกค้าง ซึ่งต้องใช้พัดลมระบายอากาศร้อนออก โดยใช้พัดลมแรงดันไฟฟ้า AC 220 V ความเร็วสูงสุดที่ 2800 R/min กำลัง 40 วัตต์ จำนวน 2 ตัววัดค่าความเร็วลม 1.5 เมตรต่อวินาที เพื่อช่วยในการถ่ายเทของอากาศร้อนภายในห้องน้ำ จนทำให้อุณหภูมิลดลงมาถึง 25.3 – 28.5 องศา เซลเซียส และค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยอยู่ช่วง 55 – 66 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นไปตามส่วนค่าประหยัดพลังงานในของตัวชุดอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก กับพัดลมระบายอากาศจำนวน 2 ตัว จะใช้แรงดันกระแสไฟฟ้าที่ 440 วัตต์ ใช้ค่าพลังงาน 66 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อเดือน ซึ่งจะประหยัดงานและคุ้ม ต่อการลงทุนเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้เครื่องทำความร้อน กับพัดลมระบายอากาศจำนวน 2 ตัว เพื่อใช้ลดความชื้นในห้องน้ำ ซึ่งจะใช้แรงดันกระแสไฟฟ้า 1280 วัตต์ โดยพลังงาน 192 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อเดือนขึ้นไป ผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของชุดเทอร์โมอิเล็กทริกร่วมกับพัดลมระบายอากาศ มีขนาด 440 วัตต์ เปรียบเทียบกับชุดทดลองฮีตเตอร์ ร่วมกับพัดลมระบายอากาศขนาด 1280 วัตต์ ระยะเวลาการใช้งานวันละ 5 ชั่วโมง โดยจากราคาค่าไฟฟ้าประเภทที่ 1 บ้านอยู่อาศัย ไม่เกิน 150 หน่วย ระบบชุดทดลองฮีตเตอร์ กับพัดลมระบายอากาศ ใช้พลังงาน จำนวน 192 หน่วย คิดเป็นจำนวนเงิน 729.9 บาทต่อเดือน และระบบชุดทดลองเทอร์โมอิเล็กทริกกับพัดลมระบายอากาศ ใช้พลังงาน 66 หน่วย คิดเป็นจำนวนเงิน 225.11 บาทต่อเดือน ซึ่งส่วนต่างของจำนวนเงินที่ประหยัดทั้ง 2 ระบบนั้น เท่ากับ 504.79 บาท/เดือน คิดเป็นรายปี เท่ากับ 6,057 บาทต่อปี คืนทุน 2.47 ปี

5.2 แนวทางเพื่อการประยุกต์ใช้

จากผลการวิจัยที่ได้ ลมร้อนที่ออกมาจากชุดเทอร์โมอิเล็กทริก กับพัดลมระบายอากาศ นอกจากจะช่วยระบายอากาศให้กับห้องน้ำแล้วยังสามารถช่วยระบายอากาศให้กับส่วนอื่นๆ ของอาคารได้อีกด้วย เป็นการช่วยเพิ่มคุณภาพอากาศภายในอาคาร ช่วยลดความเสี่ยงในการเกิดเชื้อรา ซึ่งเกิดจากสภาพแวดล้อมที่มีความอับชื้น คือมีความชื้นสัมพัทธ์มากกว่า 60% หรือมีน้ำขังเกินกว่า 24-48 ชั่วโมง และอากาศนี้ไม่มีการหมุนเวียนในห้องที่ปิดทึบ (สุพจน์ เตชะอำนวยวิทย์, 2551) โดยจากการวิจัยนี้ ช่วยให้สามารถลดค่าความชื้นให้ใกล้เคียงกับภายนอกอาคารมากที่สุด และช่วยให้มีการหมุนเวียนอากาศตลอดเวลา นอกจากนี้ชุดเทอร์โมอิเล็กทริกช่วยทางเลือกพัฒนาการออกแบบอาคาร และห้องประเภทต่าง ๆ เช่น ห้องเก็บยาและห้องเก็บวัตถุพิเศษในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ที่ต้องการความชื้นน้อย ส่วนอาคารชุด เช่น คอนโดมิเนียม อพาร์ทเมนท์ หอพัก และโรงแรม ซึ่งมักจะถูกออกแบบให้ห้องน้ำไม่มีหน้าต่างระบายอากาศ

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. การประกอบครีبد้านร้อน และด้านเย็นของชุดการทดลองเทอร์โมอิเล็กทริกควรประกบผิวสัมผัสของครีบกับเทอร์โมอิเล็กทริกของแผ่นระบายความร้อน ต้องสัมผัสกันทั้งหน้าและหลังให้สนิท เพื่อการถ่ายเทความร้อนที่ดี
2. ควรติดตั้งที่สามารถกันน้ำได้ดี และป้องกันอากาศรั่วซึมเข้าช่องว่างระหว่าง ครีบบระบายความร้อนและครีบบระบายด้านเย็น เนื่องจากจะเกิดหยดน้ำขึ้น ส่งผลให้เกิดการลัดวงจรของเทอร์โมอิเล็กทริกจนสร้างความเสียหายให้แก่อุปกรณ์ในการประกอบแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก
3. การต่อวงจรของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกที่ใช้จำนวนมากเพื่อที่จะได้อุณหภูมิความร้อนและความเย็นมากขึ้นนั้น ไม่ควรต่อแบบขนานเพราะจะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้ามากและจะสิ้นเปลืองพลังงาน แต่ในกรณีที่เป็น ควรต่อแบบอนุกรม แต่ต้องมีชุดควบคุมการจ่ายแรงดันไฟฟ้าเพื่อช่วยปรับกระแสแรงดันไฟฟ้าในการประหยัดพลังงาน
4. ควรมีตัวควบคุม inverter ของชุดพัดลมระบายอากาศเพื่อปรับแรงดันความถี่ไฟฟ้า ตามที่ต้องการเพื่อช่วยประหยัดพลังงาน ข้อควรระวังของชุดอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก คือ ถ้าเดินเครื่องนานเกิน 5 ชั่วโมง จะทำให้ด้านร้อนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกร้อนมากและแพร่ขยายไปยังด้านเย็นของแผ่น ซึ่งจะทำให้เครื่องอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกร้อนขึ้น โดยจะต้องหยุดเดินเครื่องประมาณ 30-45 นาที เพื่อลดความร้อนแล้วก็สามารถเดินเครื่องต่อไปได้
5. จะต้องมี Sensor Switch สั่งหยุดการทำงานของพัดลมระบายอากาศ เพื่อจะได้ทำงานสอดคล้องสัมพันธ์กัน ในการจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการประหยัดพลังงาน

6. ควรทำการทดลองชุดฮีตเตอร์ก่อนและลดกำลังวัตต์ลงไปเรื่อยๆ เพื่อหาความเหมาะสมแก่การใช้พลังงานและเพื่อหาจุดการลดอุณหภูมิที่เหมาะสมในการใช้ลดความชื้นสัมพัทธ์ แล้วต่อด้วยการใช้ชุดเทอร์โมอิเล็กทริกกว่าจะใช้ขนาดกี่วัตต์ต่อไป ซึ่งจะช่วยให้ประหยัดเวลาในการทดลอง
7. ควรออกแบบช่องเปิดทางเข้าของอากาศจากภายนอกไปยังในห้องน้ำ เพื่อช่วยลด การสูญเสียพลังงานของชุดเทอร์โมอิเล็กทริกในการแลกเปลี่ยนอากาศหรือฟลัทซ์อากาศภายในห้องน้ำ
8. ควรศึกษาการใช้พัดลมระบายอากาศขนาดแรงลม 45 CFM ขึ้นไปเป็นอย่างน้อยและควรเพิ่มแรงลมขึ้นไปตามขนาดของห้องน้ำแต่ละขนาด
9. วัสดุผนังภายในห้องน้ำควรใช้วัสดุผนังที่แห้งรวดเร็วที่ไม่ดูดซับพลังงานและความชื้นสัมพัทธ์ เพื่อไม่เพิ่มโหลดความชื้นในห้องน้ำ
10. การเปลี่ยนระบบแลกเปลี่ยนความร้อน ที่ด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกจากแบบอิสระเป็นแบบบังคับจะส่งผลให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนที่ดีขึ้น เกิดการควบแน่นของหยดน้ำมากขึ้น
11. อัตราการไหลของอากาศ (พัดลมระบายอากาศ) ที่ผ่านด้านเย็นของเครื่องลดความชื้นเทอร์โมอิเล็กทริกมีผลต่อการเกิดการควบแน่นของน้ำในอากาศ โดยที่อัตราการไหลของอากาศ มากเกินไปจะทำให้เกิดการควบแน่นของน้ำในอากาศลดน้อยลง
12. การระบายความร้อนที่ด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกมีความสำคัญกับการลดความชื้นอย่างมากจะเห็นได้จากการลดอัตราการไหลของอากาศที่ผ่านด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกจะทำให้ อุณหภูมิผิวด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลต่อการเกิดการควบแน่นของหยดน้ำอากาศน้อยลง
13. ปริมาณน้ำที่ควบแน่นจะมีค่ามากหรือน้อย จะขึ้นอยู่กับตัวแปรปริมาณความชื้น ในแต่ละวัน ในกรณีที่ปริมาณความชื้นระหว่างวันมีค่าน้อย การควบแน่นของน้ำก็จะน้อยกว่า ในกรณีที่ปริมาณความชื้นระหว่างวันมีค่ามาก เมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวครีبد้านเย็นที่เท่ากัน
14. อุณหภูมิของอากาศแวดล้อมในห้องน้ำมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการลดความชื้น กล่าวคือกรณีที่อุณหภูมิของอากาศแวดล้อมสูง การระบายความร้อนที่ผิวด้านร้อนทำได้น้อยลง ส่งผลให้ความร้อนถ่ายเทสู่ด้านเย็นของเครื่อง ส่งผลให้อุณหภูมิผิวครีبد้านเย็นเพิ่มสูงขึ้น
15. ต้องใช้วัสดุของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกที่มีคุณภาพสูงนั้น และอายุการใช้งานทนทานยาวนานกว่าวัสดุแผ่น โดยเฉพาะคุณสมบัติที่ต้องการ ให้อุณหภูมิความร้อนเสถียรคงที่ และอุณหภูมิความร้อนออกมาสูงจะต้องใช้ของผลิตภัณฑ์วัสดุแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก ที่ผลิตจากโซนทวีปยุโรป และประเทศอเมริกาซึ่งจะช่วยให้การทดลองครั้งนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น
16. เครื่องมือวัดหาค่าตัวแปรนั้น ก่อนการทดลองจะต้องมีการสอบเทียบวัด ค่าความแม่นยำตามมาตรฐานของเครื่องมือวัดเพื่อให้ค่าผลการทดลองสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

บรรณานุกรม

- Activecool. (2007). Understanding Thermoelectric Cooling. Retrieved from <https://www.activecool.com/technotes/thermoelectric.html>
- ASHRAE, A. J. A. S. o. H., Refrigerating, & Air-Conditioning Engineers, I., Atlanta, GA. (2013). Standard 62.1-2013 Ventilation for acceptable indoor air quality. 40.
- Boles, M., & Cengel, Y. (2014). An Engineering Approach. *New York: McGraw-Hill Education*, 691-719.
- Mei, V., Chen, F., Mathiprakasam, B., & Heenan, P. (1993). Study of solar-assisted thermoelectric technology for automobile air conditioning. *Journal of Solar Energy Engineering*, 115, 200-205.
- Melcor Corporation. Structure and Function. Retrieved from <http://www.melcor.com/structur.htm>
- Sofrata, H. (1996). Heat rejection alternatives for thermoelectric refrigerators. *Energy Conver.Mgmt.*, 37(3), 269-280.
- Wikipedia. (2014). Humidity. Retrieved from <https://en.wikipedia.org/wiki/Humidity>
- กฎกระทรวงฉบับที่ 39. (2537). อัตราการระบายอากาศ. Retrieved from <https://download.asa.or.th/03media/04law/cba/mr/mr37-39.pdf>
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2560). เทคโนโลยี การลดความชื้นด้วยฮีทปั๊ม. เอกสารคู่มืออบรม กระทรวงพลังงาน.
- กรมอุตุนิยมวิทยา. สถิติความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย (%) ของประเทศไทยในช่วงฤดูกาลต่างๆ. Retrieved from <https://www.tmd.go.th/info/info.php?FileID=56>
- กองพัฒนาระบบไฟฟ้า. (2556). กำลังไฟฟ้า. Retrieved from <https://www.pea.co.th/>
- กัลป์ จิตรมั่นคง. (2552). ประสิทธิภาพของพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์. (วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิตสาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา), มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ,
- เกษญา รัตโนภาส. (2559). ประสิทธิภาพการระบายอากาศในห้องน้ำของอาคารที่พักอาศัยโดยการใช้นำพัดลมระบายอากาศ พลังงาน แสงอาทิตย์. (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,
- จรัส บุญยธรรมมา. (2558). เทคโนโลยีเทอร์โมอิเล็กทริก. Retrieved from <http://www.rmutphysics.com/charud/howstuffwork/howstuff2/refrigerator/refrige>

[ratorthai6.htm](#)

เจรศักดิ์ เอกบุรณะวัฒน์. (2562). กะทะเทอร์โมอิเล็กทริกแบบปรับอุณหภูมิร้อน/เย็น. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์,

โจเซฟ เคตารี , สมชาย มณีวรรณ และ ณรงค์ วัชรเกียรติ. (2546). การลดความชื้นในโรงงานอุตสาหกรรมโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริก Retrieved from

<https://www.kmutt.ac.th/rippc/indthem.htm>

ตรึงใจ บุรณสมภพ. (2539). การออกแบบอาคารที่มีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงาน อมรินทร์พรี้นต์ติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง.

ตุลยวัต แสงวิเชียรภิจ. (2560). การพัฒนาแบบจำลองของท่อลมที่คำนึงถึงการรั่ว และการสูญเสีย ความร้อนของลมภายในท่อ. จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย,

ถิรายุ ปิ่นทอง. (2558). การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการนำความเย็นและอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานของเครื่องปรับอากาศด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก ร่วมกับเซลล์แสงอาทิตย์ วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา ปีที่ 20 (ฉบับที่ 2) 150-163.

ทศวรรษ สีตะวัน. (2558). เทคโนโลยีเทอร์โมอิเล็กทริก. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย.

ธัญจิรา เตชะสนธิชัย. (2560). ประสิทธิภาพการระบายอากาศเพื่อควบคุมการติดเชื้อในห้องตรวจทันตกรรม. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,

บุษยา จูงาม. (2555). การศึกษาปรับปรุงวิธีการควบคุมความชื้น เพื่อลดปัญหาการเกิดเชื้อราในหอพักผู้ป่วย. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ), มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,

ปรเมธ ประเสริฐยิ่ง. (2547). การควบคุมความชื้นในห้องพักโรงแรม (Vol. 16): สมาคมวิศวกรรมปรับอากาศแห่งประเทศไทย.

บุญยภัทร ภูมิภาค. (2560). เทอร์โมอิเล็กทริก. Retrieved from

<https://sites.google.com/site/powermut/phost-him/thexrmoxilekthrik>

พิสิทธ์ราชมงคล. (2554). พลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก. Retrieved from

http://www.electron.rmutphysics.com/scitech/pdf/c07_2554_energy.pdf

มานพ พิพัฒน์หัตถกุล. (2557). การประยุกต์ใช้ก๊าซร้อนจากคอนเดนเซอร์เพื่อควบคุมความชื้นในการปรับอากาศ. วารสารการประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 28, 1540-1554.

ยุวดี สิมะโรจน์ และคณะ. (2554). สุขศาสตร์อุตสาหกรรม: การควบคุม.

วันทนี พันธุ์ประสิทธิ์. (2552). แผนการสอนประจำหน่วยที่ 3 การระบายอากาศเฉพาะที่. มหาวิทยาลัยมหิดล,

- วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (วสท.). (2559). การระบายอากาศ Retrieved from <https://it-it.facebook.com/pg/EngineeringInstituteofThailand/photos/>
- สมคิด ไชยรัตน์. (2542). การควบคุมอุณหภูมิและความชื้นโดยใช้ความร้อนจาก คอนเดนเซอร์ของ เครื่องปรับอากาศเพื่อการประหยัดพลังงาน.
- สมชาย สาทมะเริง และประพันธ์ สันติวารากร. (2551). การศึกษาออกแบบห้องอบผ้า โดยใช้ความร้อน ที่ได้จากเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน. Paper presented at the การประชุมวิชาการ เครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 22, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- สัมฤทธิ์ อินอุดม. (2546). การพัฒนาเครื่องลดความชื้นแบบเทอร์โมอิเล็กทริก.
- หัตถยา มีสุข และคณะ. หลักการทำงานของแผ่นเพลเทียร์. Retrieved from <https://sites.google.com/site/phy224pro/hlak-kar>
- อาจารย์ ณ นรงค์. (2556). แผนภูมิไซโครเมตริก (Psychometric Chart). Retrieved from <http://suraphat2532.blogspot.com/2017/12/psychometric-chart.html>



ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



1. การคำนวณการทำความร้อนโดยเทอร์โมอิเล็กทริก

จากสมการ $Q_c = 2N[(\alpha IT_c) - \frac{(I^2\rho)}{2G} - (kG\Delta T)]$

กรณีการถ่ายเทความร้อนแบบอิสระที่ด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกและป้อนกระแสไฟฟ้า 2

A ให้กับเทอร์โมอิเล็กทริก

หาค่า α โดยที่ $\alpha = (\alpha_0 + \alpha_1 T_{ave} + \alpha_2 T_{ave}^2) \times 10^{-9}$

$$= \left\{ \begin{array}{l} 22224 + \left[930.6 \times \left(\frac{303.62+294.56}{2} \right) \right] + \\ \left[-0.9905 + \left(\frac{303.62+294.56}{2} \right)^2 \right] \end{array} \right\} \times$$

10^{-9}

$$= 2.11952 \times 10^{-4} \frac{V}{K}$$

หาค่า ρ โดยที่ $\rho = (\rho_0 + \rho_1 T_{ave} + \rho_2 T_{ave}^2) \times 10^{-8}$

$$= \left\{ \begin{array}{l} 5112 + \left[163.4 + \left(\frac{303.62+294.56}{2} \right) \right] + \\ \left[0.6279 + \left(\frac{303.62+294.56}{2} \right)^2 \right] \end{array} \right\} \times$$

10^{-8}

$$= 1.10152 \times 10^{-3} \text{ Ohm-cm}$$

หาค่า k โดยที่ $k = (k_0 + k_1 T_{ave} + k_2 T_{ave}^2) \times 10^{-6}$

$$= \left\{ \begin{array}{l} 62605 + \left[-277.7 + \left(\frac{303.62+294.56}{2} \right) \right] + \\ \left[0.4131 + \left(\frac{303.62+294.56}{2} \right)^2 \right] \end{array} \right\} \times$$

10^{-6}

$$= 1.65015 \times 10^{-2} \frac{W}{\text{cm-K}}$$

$$Q_c = 2N[(\alpha IT_c) - \frac{(I^2\rho)}{2G} - (kG\Delta T)]$$

$$Q_c = (2 \times$$

508) $\left\{ \begin{array}{l} [2.11952 \times 10^{-4} \times 2 \times 294.56] \left[\frac{2^2 \times 1.10152 \times 10^{-3}}{2 \times 0.171} \right] - \\ [1.65015 \times 10^{-2} \times 0.171 \times (303.62 - 294.56)] \end{array} \right\}$

$$= 31.95 \text{ W}$$

2. การคำนวณหาค่าสมรรถนะของระบบ

2.1 ค่าสมรรถนะของการทำความเย็นด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกหาได้จาก

$$\begin{aligned} \text{COD} &= \frac{\text{heat load}}{\text{input power}} = \frac{Q_c}{W_e} \\ \text{COD} &= \frac{21.95}{(2 \times 4) + (1.4 \times 12)} \\ &= 0.885 \end{aligned}$$

2.1 ค่าสมรรถนะของการลดความชื้นด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกหาได้จาก

$$\begin{aligned} \text{COD} &= \frac{m_w L_w}{W_e} \\ \text{COD} &= \frac{\left(\frac{0.152 \times 1000}{24 \times 3600}\right) \times 2450}{(2 \times 4) + (1.4 \times 12)} \\ &= 0.174 \end{aligned}$$

3. การคำนวณหาค่าไฟฟ้า

$$\begin{aligned} \text{Power cost} &= \text{unit} \times 2.75 \\ &= 24.8 \times 10^{-3} \times 2.75 \\ &= 1.65 \text{ Baht} \end{aligned}$$



ภาคผนวก ข
ผลการทดลอง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ข.1 ของฤดูฝนช่วงเดือนเริ่มต้นประมาณกลางเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคม

Time	ภายนอกห้องน้ำ			ภายในห้องน้ำ			อุณหภูมิขณะเปิดพัดลม °C	อุณหภูมิเริ่มร้อนของ TH °C
	Temp. °C	Relative Humidity %	Humidity Ratio Kg water/kg dry air	Temp. °C	Relative Humidity %	Humidity Ratio Kg water/kg dry air		
6:00:00AM	30.08	74.7	0.02019	28.55	77.6	0.01917	27.72	29.1
7:00:00AM	29.92	73.6	0.0197	28.4	78.2	0.01915	21.14	30.09
8:00:00AM	29.92	72.9	0.0195	28.31	78.3	0.01907	21.24	30.54
9:00:00AM	30.08	72.9	0.01969	28.31	77.9	0.01897	23.36	30.51
10:00:00AM	30.32	73.3	0.02008	28.55	76.9	0.01899	21.98	30.74
11:00:00AM	30.24	74.2	0.02024	28.55	76.8	0.01897	23.64	30.75
12:00:00AM	30.24	74	0.02019	28.27	76.4	0.01905	20.81	30.88
13:00:00AM	30.4	74	0.02038	28.88	75.6	0.01903	20.56	30.92
14:00:00AM	30.41	73.5	0.02025	29.03	74.6	0.01894	24	31.06
15:00:00AM	30.58	75.3	0.02097	29.2	74.8	0.01919	21.19	31.24
16:00:00AM	30.66	78	0.02185	29.2	74.8	0.01919	23.74	31.19
17:00:00AM	30.75	75.6	0.02127	29.2	75.3	0.01932	22.85	31.29
18:00:00AM	30.83	77.3	0.02187	28.96	76.5	0.01936	21.79	31.02
19:00:00AM	30.83	77.1	0.02181	28.79	76.4	0.01914	22.7	30.78
20:00:00AM	30.75	74.8	0.02104	28.71	76.8	0.01915	22.19	30.69
21:00:00AM	30.66	73.4	0.02052	28.55	76.7	0.01894	23.83	30.59
22:00:00AM	30.32	73.5	0.02014	28.55	76.5	0.01889	22.51	30.57
23:00:00AM	30.49	74.6	0.02066	28.47	76.5	0.0188	23.67	30.43
12:00:00AM	30.64	75.7	0.02116	28.4	76.7	0.01877	19.7	30.43
1:00:00AM	30.57	77.5	0.02159	28.31	76.9	0.01872	19.71	30.16

2:00:00AM	30.4	77.2	0.02129	28.24	77.6	0.01882	22.38	30.29
3:00:00AM	30.17	75.8	0.02161	28.15	78.1	0.01884	23.04	30.08
4:00:00AM	30.08	74.9	0.02025	27.92	78.6	0.01871	21.37	30.79
5:00:00AM	29.92	74.3	0.01989	27.77	78.5	0.01851	20.75	29.04
6:00:00AM	29.84	74	0.01971	27.47	78.7	0.01823	20.72	30.21

ตารางที่ ข.2 ของฤดูฝนช่วงเดือนเริ่มต้นประมามณกลางเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคม

Time	ภายนอกห้องน้ำ			ภายในห้องน้ำ			อุณหภูมิขณะเปิดพัดลม °C	อุณหภูมิเมื่อร้อนของ TH °C
	Temp °C	Relative Humidity %	Humidity Ratio Kg water/kg dry air	Temp °C	Relative Humidity %	Humidity Ratio Kg water/kg dry air		
6:00:00AM	29.75	71.6	0.01895	27.02	81.6	0.01842	27.44	26.8
7:00:00AM	29.67	71.6	0.01886	27.09	80.4	0.01821	15.69	31.1
8:00:00AM	29.44	72	0.01871	27.02	79.8	0.018	15.62	31.86
9:00:00AM	29.44	72.7	0.0189	27.17	79.1	0.018	16.29	31.29
10:00:00AM	29.83	73.4	0.01954	27.17	78.7	0.0179	16.11	31.45
11:00:00AM	30.14	74.2	0.02012	27.25	78.5	0.01794	15.84	30.43
12:00:00AM	30.31	75.3	0.02064	27.47	78.3	0.01813	16.07	32.11
13:00:00AM	30.31	73.9	0.02024	27.77	77.5	0.01827	16.38	32.67
14:00:00AM	30.46	73.1	0.02019	28	76.9	0.01838	16.45	32.74
15:00:00AM	30.22	73.9	0.02013	28.15	76.5	0.01844	16.78	31.79
16:00:00AM	30.71	73.1	0.02049	28.31	76.6	0.01865	16.63	33.15
17:00:00AM	30.87	72	0.02037	28.31	76.4	0.0186	17	31.49
18:00:00AM	30.87	71.9	0.02034	28.4	76.4	0.0187	16.98	33.14

19:00:00AM	30.63	74	0.02066	28.4	76.2	0.01865	16.6	32.63
20:00:00AM	30.39	75.5	0.02079	28.4	76	0.0186	16.97	33.49
21:00:00AM	30.6	73.1	0.02036	28.47	75.4	0.01852	16.89	31.65
22:00:00AM	30.6	70.7	0.01967	28.47	74.9	0.0184	17.28	32.04
23:00:00AM	30.69	69.6	0.01946	28.47	74.6	0.01832	16.62	33.07
12:00:00AM	30.63	69.6	0.01939	28.47	74.3	0.01824	17.17	33.22
1:00:00AM	30.69	68.6	0.01917	28.47	74.1	0.01819	15.48	32.13
2:00:00AM	30.45	67.5	0.01859	28.4	74.1	0.01812	16.75	31.45
3:00:00AM	30.35	67.1	0.01837	28.31	74.1	0.01802	17.11	31.99
4:00:00AM	30.19	67.2	0.01822	28.15	74	0.01782	16.28	32.23
5:00:00AM	30.11	67.7	0.01828	28.08	74	0.1775	16.62	31.8
6:00:00AM	30.18	68	0.01843	27.92	74.2	0.01763	16.08	31.76

ตารางที่ ข.3 ของฤดูร้อนช่วงเดือนเริ่มต้นประมาณกลางเดือนกุมภาพันธ์ถึงกลางเดือนพฤษภาคม

Time	ภายนอกห้องน้ำ			ภายในห้องน้ำ			อุณหภูมิขณะเปิดพัดลม °C	อุณหภูมิเมื่อร้อนของ TH °C
	Temp °C	Relative Humidity %	Humidity Ratio Kg water/kg dry air	Temp °C	Relative Humidity %	Humidity Ratio Kg water/kg dry air		
6:00:00AM	30.09	76.7	0.02076	28.31	80.2	0.01955	28.53	29.78
7:00:00AM	30.41	74.4	0.0205	28.31	79.2	0.0193	15.73	35.56
8:00:00AM	30.5	74.5	0.02064	28.31	78.3	0.01907	16.22	35.29
9:00:00AM	30.9	75.3	0.02037	28.4	77.4	0.01895	14.91	35.54
10:00:00AM	30.9	75.4	0.0204	28.55	76.4	0.01887	14.81	36.76
11:00:00AM	30.33	73.2	0.02007	28.79	75.4	0.01888	14.98	36.21
12:00:00AM	30.41	72.6	0.01999	28.96	74	0.01871	15.12	36.55
13:00:00AM	30.75	66.5	0.01863	29.12	72.8	0.01857	15.27	35.4
14:00:00AM	30.68	65.8	0.01835	29.2	70.7	0.01711	15	35.55
15:00:00AM	30.92	64.2	0.01815	29.45	69.5	0.01806	15.46	36.43
16:00:00AM	30.92	61.4	0.01734	29.53	68.7	0.01793	15.39	36.44
17:00:00AM	31.35	56.8	0.01641	29.7	66.6	0.01754	15.04	37.46
18:00:00AM	31.25	57.9	0.01664	29.78	64.8	0.01717	15.22	36.27
19:00:00AM	30.83	61.9	0.01739	29.78	64.6	0.01708	14.62	37.41
20:00:00AM	30.89	64.2	0.01812	29.78	65.1	0.01722	14.94	35.78
21:00:00AM	31.08	64.5	0.01841	29.78	65.7	0.01738	15.42	36.58
22:00:00AM	31	66.2	0.01882	29.78	66.2	0.01751	14.68	36.97
23:00:00AM	30.92	69.8	0.01978	29.78	66.9	0.0177	15.02	35.93
12:00:00AM	39.92	71.1	0.02016	29.78	67.8	0.01795	15.48	36.61
1:00:00AM	31.08	69.8	0.01997	29.7	68.2	0.01797	15.22	53.63
2:00:00AM	31.08	67.7	0.01935	29.53	68.3	0.01782	15.37	36.35

3:00:00AM	31.08	68.3	0.01953	29.37	68.7	0.01776	14.67	36.85
4:00:00AM	30.98	69.1	0.01965	29.2	69.1	0.01769	14.77	36.73
5:00:00AM	30.82	69.2	0.01949	29.12	69.3	0.01765	14.93	35.57
6:00:00AM	30.57	68.7	0.01906	28.96	69.8	0.01762	14.72	35.29

ตารางที่ ข.4 ของช่วงฤดูร้อนช่วงเดือนเริ่มต้นประมาณกลางเดือนกุมภาพันธ์ถึงกลางเดือนพฤษภาคม

Time	ภายนอกห้องน้ำ			ภายในห้องน้ำ			อุณหภูมิขณะเปิดพัดลม °C	อุณหภูมิความร้อนของ TH °C
	Temp °C	Relative Humidity %	Humidity Ratio Kg water/kg dry air	Temp °C	Relative Humidity %	Humidity Ratio Kg water/kg dry air		
6:00:00AM	30.57	67.9	0.01884	28.96	69.8	0.01762	29.55	28.46
7:00:00AM	30.64	67	0.01865	29.2	68.8	0.01761	14.03	40.91
8:00:00AM	30.64	66	0.01837	29.37	67.7	0.01749	14.09	39.32
9:00:00AM	30.56	64.6	0.01788	29.45	66.1	0.01715	13.76	39.36
10:00:00AM	31.31	62.2	0.01797	29.62	65.2	0.01708	13.99	41.44
11:00:00AM	31.23	62.6	0.01801	29.78	64.8	0.01713	14.08	41.44
12:00:00AM	31.14	62.9	0.018	29.95	63.7	0.017	14.18	41.82
13:00:00AM	31.4	60.6	0.01759	30.13	62.6	0.01688	14.39	39.98
14:00:00AM	31.68	58.7	0.0173	30.3	61.1	0.01663	14.55	40.83
15:00:00AM	31.84	56.8	0.01689	30.56	60.3	0.01666	14.67	40.38
16:00:00AM	32.28	55.3	0.01685	30.74	59.1	0.01649	14.29	41.33
17:00:00AM	32.31	54.9	0.01676	30.92	58.3	0.01644	15.08	41.44
18:00:00AM	32.21	57.2	0.01738	31.09	58.4	0.01663	15.05	40.65
19:00:00AM	32.28	58.6	0.01789	31.19	58.9	0.01687	15.08	42.22
20:00:00AM	32.28	65.3	0.02	31.28	60.2	0.01735	15.54	41.7

21:00:00AM	32.02	64.5	0.01945	31.28	61.2	0.01765	15.62	41.65
22:00:00AM	31.93	64.9	0.01947	31.28	61.6	0.01776	15.07	40.78
23:00:00AM	32.02	67.5	0.02038	31.36	62.3	0.01806	15.3	42.2
12:00:00AM	32.19	68.3	0.02084	31.36	63.8	0.0185	15.29	42.29
1:00:00AM	32.1	67	0.02032	31.28	64.3	0.01857	15.26	41.29
2:00:00AM	32.02	66.8	0.02016	31.19	64	0.01838	15.38	40.19
3:00:00AM	31.84	66	0.01971	31	64	0.01818	15.05	40.76
4:00:00AM	31.74	65	0.01929	30.92	64	0.01809	15.34	40.88
5:00:00AM	31.65	64.2	0.01894	30.82	63.9	0.01796	15.22	42.09
6:00:00AM	31.56	63.8	0.01872	30.74	63.7	0.01781	14.48	41.58

ตารางที่ ข.5 ของช่วงฤดูหนาวช่วงเดือนเริ่มต้นประมาณกลางเดือนตุลาคมถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์

Time	ภายนอกห้องน้ำ			กรณีเปิดพัดลม			กรณีไม่เปิดพัดลม			อุณหภูมิขณะเปิดพัดลม °C	อุณหภูมิร้อนของ TH °C
	Temp °C	Relative Humidity %	Humidity Ratio Kg water/kg dry air	Temp °C	Relative Humidity %	Humidity Ratio Kg water/kg dry air	Temp °C	Relative Humidity %	Humidity Ratio Kg water/kg dry air		
6:00:00AM	30.35	73.4	0.02015	28.64	74.8	0.01856	28.3	79.3	0.01931	27.26	28.85
7:00:00AM	30.52	75.3	0.0209	28.47	75.2	0.01847	28.07	79.6	0.01912	24.38	31.23
8:00:00AM	30.44	78.1	0.0216	28.4	75.5	0.01847	27.99	80	0.01913	22.65	31.11
9:00:00AM	30.35	75.7	0.0208	28.55	75.1	0.01854	28.23	78.9	0.01913	21.42	31.34
10:00:00AM	30.6	76.3	0.02128	28.71	74.4	0.01853	28.53	78.8	0.01945	21.04	31.31
11:00:00AM	30.85	76.5	0.02166	28.96	74.1	0.01873	28.77	78	0.01953	22.94	31.57
12:00:00AM	30.85	74.8	0.02116	29.12	73.8	0.01883	28.92	78.2	0.01976	22.93	31.67
13:00:00AM	30.76	75.1	0.02114	29.28	73.8	0.01901	29.09	78	0.01991	22.84	31.97
14:00:00AM	30.68	75	0.02101	29.45	73.3	0.01907	29.26	77.4	0.01995	23.41	32.01
15:00:00AM	31.1	75.4	0.02165	29.62	73.2	0.01924	29.42	77.4	0.02014	24.25	32.05
16:00:00AM	31.26	75.2	0.0218	29.78	72.9	0.01934	29.51	76.8	0.02009	21.85	32.45

17:00:00AM	31.19	75.5	0.0218	29.78	72.8	0.01931	29.59	76.7	0.02015	25.87	32.45
18:00:00AM	31.26	76	0.02204	29.78	72.9	0.01934	29.59	76.9	0.02021	21.87	32.41
19:00:00AM	31.19	75	0.02165	29.78	73	0.01937	29.59	77.2	0.02029	22.41	32.28
20:00:00AM	31.19	75.7	0.02186	29.78	72.9	0.01945	29.67	76.8	0.02028	25.7	32.7
21:00:00AM	31.26	75.4	0.02186	29.78	72.9	0.01945	29.67	76.9	0.0203	25.85	32.66
22:00:00AM	31.26	75.9	0.02201	29.78	73	0.01947	29.75	76.9	0.0204	23.91	32.51
23:00:00AM	31.44	78	0.02288	29.78	73.4	0.01968	29.75	77.5	0.02057	23.97	32.36
12:00:00AM	31.44	75.5	0.02212	29.78	73.3	0.01956	29.67	77.3	0.02041	21.99	32.58
1:00:00AM	31.44	75.8	0.02221	29.78	73.5	0.01951	29.59	77.7	0.02043	25.09	32.53
2:00:00AM	31.44	74	0.02167	29.7	74.5	0.01969	29.42	78.9	0.02054	26.08	32.38
3:00:00AM	31.26	72.2	0.0209	29.45	75	0.01953	29.17	79.5	0.0204	22.44	32.1
4:00:00AM	31.02	71.2	0.02031	29.28	74.9	0.01931	28.92	79.8	0.02017	25.63	32.01
5:00:00AM	30.93	70.5	0.02	29.03	75.3	0.01913	28.77	79.9	0.02002	21.6	31.63
6:00:00AM	30.76	70	0.01965	28.88	75.4	0.01898	28.53	80.3	0.01984	21.89	31.51

ตารางที่ ข.6 ตารางเปรียบเทียบก่อนและหลังการเปิดพัดลมช่วยส่วนฤดูหนาว

Time	ภายนอกห้องน้ำ			กรณีเปิดพัดลม			กรณีไม่เปิดพัดลม			อุณหภูมิขณะเปิดพัดลม °C	อุณหภูมิเมื่อร้อนของ TH °C
	Temp °C	Relative Humidity %	Humidity Ratio Kg water/kg dry air	Temp °C	Relative Humidity %	Humidity Ratio Kg water/kg dry air	Temp °C	Relative Humidity %	Humidity Ratio Kg water/kg dry air		
6:00:00AM	30.62	64.2	0.01783	28.24	76.4	0.01852	28.3	80.1	0.01951	30.71	29.41
7:00:00AM	30.53	65.3	0.01805	28.47	74.8	0.01837	28.23	78.1	0.01893	22.94	31.52
8:00:00AM	30.45	64.7	0.0178	28.79	73.4	0.01836	28.38	77.3	0.0189	23.35	31.51
9:00:00AM	30.62	66	0.01835	28.88	73.1	0.01839	28.38	76.7	0.01875	22.51	31.62
10:00:00AM	30.62	67.4	0.01875	29.12	72.2	0.01841	28.62	76.1	0.01887	26.12	31.77
11:00:00AM	30.7	68.8	0.01924	29.28	71.3	0.01835	28.78	75.1	0.01879	23.75	31.97
12:00:00AM	31.12	69.3	0.01987	29.53	71	0.01855	29.02	74.9	0.01901	24.7	32

13:00:00AM	31.38	67.3	0.01957	29.7	70.8	0.01868	29.19	74.6	0.01912	22.87	32.11
14:00:00AM	31.83	60.9	0.01813	29.87	70.4	0.01876	29.35	74.3	0.01923	24.89	32.23
15:00:00AM	32.01	60.4	0.01817	29.95	70	0.01874	29.52	74	0.01934	26.02	32.59
16:00:00AM	32.01	61.5	0.01851	30.13	70	0.01894	29.6	74	0.01943	25.56	32.68
17:00:00AM	32.27	66.1	0.02024	30.13	70.1	0.01897	29.69	73.9	0.01951	27.35	32.83
18:00:00AM	32.1	70.8	0.02151	30.13	70.6	0.0191	29.77	74.1	0.01966	23.72	32.88
19:00:00AM	31.92	72	0.02166	30.13	71.1	0.01924	29.77	74.7	0.01982	25.09	32.91
20:00:00AM	32.19	74.2	0.0227	30.13	72.1	0.01952	29.85	75.8	0.02022	27.68	32.83
21:00:00AM	32.19	74.7	0.02286	30.13	72.3	0.01958	29.77	75.8	0.02012	26.37	32.85
22:00:00AM	32.1	73.6	0.0224	30.04	72.5	0.01953	29.77	76.2	0.02023	26.07	33
23:00:00AM	32.01	74.9	0.02269	30.04	72.6	0.01966	29.77	76.3	0.02026	25.45	33.04
12:00:00AM	31.92	74.7	0.0225	30.04	72.4	0.01961	29.77	75.8	0.02012	23.96	32.95
1:00:00AM	31.83	74.5	0.02232	30.04	71.9	0.01936	29.69	75.6	0.01997	24.07	32.94
2:00:00AM	31.92	73.6	0.02216	30.04	71.5	0.01925	29.69	75.1	0.01984	25.98	32.85
3:00:00AM	31.8	71.8	0.02145	30.04	71.1	0.01914	29.69	74.7	0.01973	27.65	32.71
4:00:00AM	31.55	70.6	0.02077	30.04	71.1	0.01914	29.6	74.7	0.01962	27.49	32.54
5:00:00AM	31.38	69.9	0.02035	29.95	70.8	0.01896	29.52	74.6	0.0195	27.55	32.46
6:00:00AM	31.29	69.3	0.02007	29.95	70.6	0.0189	29.6	74.4	0.01954	25.99	32.38

ตารางที่ ข.7 ตารางเปรียบเทียบก่อนและหลังการเปิดพัดลมระบายอากาศช่วยส่วนฤดูร้อน

Time	ภายนอกห้องน้ำ			กรณีเปิดพัดลม			กรณีไม่ได้เปิดพัดลม			อุณหภูมิเฉลี่ย ของ TH °C	
	Temp °C	Relative Humidity %	Humidity Ratio Kg water/kg dry air	Temp °C	Relative Humidity %	Humidity Ratio Kg water/kg dry air	Temp °C	Relative Humidity %	Humidity Ratio Kg water/kg dry air		
6:00:00AM	30.44	71.8	0.0198	29.03	72.9	0.0185	29.09	76.5	0.01951	31	27.8
7:00:00AM	30.55	72.3	0.01984	29.03	72.1	0.01829	28.62	75.6	0.01874	19.27	32.46
8:00:00AM	30.44	73	0.02014	29.12	71.1	0.01813	28.92	74.5	0.01879	21.84	32.49
9:00:00AM	30.44	72.7	0.02006	29.28	70.3	0.01809	20.09	73.7	0.01877	20.88	32.53
10:00:00AM	30.52	71.4	0.01978	29.45	69.7	0.01811	29.34	72.8	0.01882	18.57	33.04
11:00:00AM	30.68	70.7	0.01976	29.62	68.7	0.01802	29.42	72.3	0.01877	17.92	32.94
12:00:00AM	31.02	70.1	0.01999	29.78	68.3	0.01809	29.59	71.6	0.01877	23.03	33.15
13:00:00AM	31.02	70.9	0.02022	29.95	67.8	0.01813	29.75	71.3	0.01887	20.29	33.44
14:00:00AM	31.1	71.2	0.02041	30.13	67.7	0.0183	29.92	70.8	0.01892	20.3	33.43
15:00:00AM	31.19	71.5	0.0206	30.21	67.4	0.0183	30.09	70.8	0.01912	18.42	33.57
16:00:00AM	31.78	71.3	0.02127	30.3	67.4	0.0184	30.18	70.7	0.01919	22.28	33.55
17:00:00AM	31.53	75.3	0.02218	30.21	68.7	0.01866	30	72.1	0.01937	23.39	33.6
18:00:00AM	31.53	77.1	0.02273	30.13	69.3	0.01874	29.92	72.7	0.01945	19.31	33.63
19:00:00AM	31.53	79.1	0.02334	30.04	69.6	0.01873	29.84	73	0.01944	18.53	33.69
20:00:00AM	31.44	78.8	0.02312	29.95	70	0.01874	29.75	73.7	0.01953	19.81	33.74
21:00:00AM	31.61	78.8	0.02336	29.95	70.5	0.01887	29.75	74	0.01961	22.83	33.68
22:00:00AM	31.61	77.8	0.02305	29.87	70.3	0.01873	29.67	73.9	0.01949	23.01	33.57
23:00:00AM	31.35	77.7	0.02267	29.78	71.1	0.01885	29.59	74.8	0.01964	23.18	33.6
12:00:00AM	31.35	77.3	0.02255	29.62	71.4	0.01875	29.51	74.8	0.01955	20.8	33.49
1:00:00AM	31.44	76.1	0.0223	29.53	71.5	0.01868	29.26	74.8	0.01926	20.44	33.48
2:00:00AM	30.93	74.6	0.0212	29.45	71.4	0.01856	29.26	74.9	0.01928	20.91	33.45
3:00:00AM	30.91	72.6	0.02059	29.28	71.3	0.01835	20.09	74.7	0.01904	20.13	33.32

4:00:00AM	30.75	71.2	0.01999	29.12	71.2	0.01815	28.85	74.8	0.01879	20.62	33.13
5:00:00AM	30.83	72.9	0.02058	28.96	70.9	0.0179	28.54	74.4	0.01835	20.39	33.08
6:00:00AM	30.83	73.1	0.02064	28.79	70.8	0.0177	28.38	74.4	0.01817	20.22	33.1

ตารางที่ ข.8 ตารางเปรียบเทียบก่อนและหลังการเปิดพัดลมระบายอากาศช่วยส่วนฤดูฝน

Time	ภายนอกห้องน้ำ			กรณีใช้พัดลมเปิด			กรณีไม่ได้เปิดพัดลม			อุณหภูมิขณะเปิดพัดลม °C	อุณหภูมิเมื่อร้อนของ TH °C
	Temp °C	Relative Humidity %	Humidity Ratio Kg water/kg dry air	Temp °C	Relative Humidity %	Humidity Ratio Kg water/kg dry air	Temp °C	Relative Humidity %	Humidity Ratio Kg water/kg dry air		
6:00:00AM	29.79	76.2	0.02026	28.24	76.4	0.01852	28.3	80.1	0.01951	28.12	29.02
7:00:00AM	30.04	75.7	0.02042	28.47	74.8	0.01837	28.23	78.1	0.01893	23.22	34.44
8:00:00AM	30.12	73.6	0.01993	28.79	73.4	0.01836	28.38	77.3	0.0189	23.41	34.18
9:00:00AM	30.27	73.8	0.02017	28.88	73.1	0.01839	28.38	76.7	0.01875	22.07	33.87
10:00:00AM	30.13	73.9	0.02003	29.12	72.2	0.01841	28.62	76.1	0.01887	22.79	33.56
11:00:00AM	30.13	73.2	0.01983	29.28	71.3	0.01835	28.78	75.1	0.01879	23.85	34.08
12:00:00AM	30.45	74.1	0.02047	29.53	71	0.01855	29.02	74.9	0.01901	24.04	33.43
13:00:00AM	30.7	73.9	0.02071	29.7	70.8	0.01868	20.19	74.6	0.01912	24.73	33.58
14:00:00AM	30.7	73.8	0.02068	29.87	70.4	0.01876	29.35	74.3	0.01923	24.61	34.67
15:00:00AM	30.7	73.1	0.02048	29.95	70	0.01874	29.52	74	0.01934	22.06	34.72
16:00:00AM	31.29	72.2	0.02094	30.13	70	0.01894	29.6	74	0.01943	20.79	34.63
17:00:00AM	31.03	72.4	0.02068	30.13	70.1	0.01897	29.69	73.9	0.09151	21	34.81
18:00:00AM	31.03	73.6	0.02103	30.13	70.6	0.0191	29.77	74.1	0.01966	25.56	34.78
19:00:00AM	31.03	75.1	0.02147	30.13	71.1	0.01924	29.77	74.7	0.01982	25.57	34.71
20:00:00AM	31.12	75.1	0.02159	30.13	72.1	0.01952	29.85	75.8	0.02022	25.28	34.76

21:00:00AM	31.03	74.8	0.02139	30.13	72.3	0.01958	29.77	75.8	0.02012	22.02	34.59
22:00:00AM	30.96	75.6	0.02153	30.04	72.5	0.01953	29.77	76.2	0.02023	21.06	34.52
23:00:00AM	31.03	75.7	0.02165	30.13	72.6	0.01966	29.77	76.3	0.02026	21.28	34.3
12:00:00AM	31.12	74	0.02126	30.13	72.4	0.01961	29.77	75.8	0.02012	23.6	34.13
1:00:00AM	30.96	74.1	0.02109	30.04	71.9	0.01936	29.69	75.6	0.01997	21.28	34.09
2:00:00AM	30.96	73.6	0.02094	30.04	71.5	0.01925	29.69	75.1	0.01984	20.81	33.74
3:00:00AM	30.96	73.3	0.02086	30.04	71.1	0.01914	29.69	74.7	0.01973	25.37	33.59
4:00:00AM	30.87	73.3	0.02075	30.04	71.1	0.01914	29.6	74.7	0.01962	25.07	32.99
5:00:00AM	30.87	73.1	0.02069	29.95	70.8	0.01896	29.52	74.6	0.0195	25.01	33.21
6:00:00AM	30.87	73.2	0.02072	29.95	70.6	0.0189	29.6	74.4	0.01954	20.93	33.45

ตารางที่ ข.9 ตารางเปรียบเทียบก่อนและหลังการเปิดพัดลมระบายอากาศช่วยส่วนฤดูฝน

Time	ภายนอกห้องน้ำ			กรณีใช้พัดลมเปิด			กรณีไม่ได้เปิดพัดลม			อุณหภูมิเฉลี่ย เปิดพัดลม °C	อุณหภูมิเฉลี่ย ของ TH °C
	Temp °C	Relative Humidity %	Humidity Ratio Kg water/kg dry air	Temp °C	Relative Humidity %	Humidity Ratio Kg water/kg dry air	Temp °C	Relative Humidity %	Humidity Ratio Kg water/kg dry air		
6:00:00AM	29.47	75.8	0.01977	27.47	81.1	0.0188	27.31	85.5	0.01966	29.02	29.28
7:00:00AM	29.39	75.5	0.01962	27.33	80.4	0.01848	26.79	84.1	0.01873	18	34.01
8:00:00AM	29.39	75.2	0.01959	27.33	79.1	0.01817	26.93	83	0.01864	21.54	34.29
9:00:00AM	29.39	74.9	0.01949	27.47	77.9	0.01804	27.08	81.8	0.01853	19.68	34.39
10:00:00AM	29.54	74.6	0.0195	27.92	76.7	0.01824	27.46	80.6	0.01867	20.67	34.52
11:00:00AM	29.47	74.3	0.01961	28	76.3	0.01823	27.53	80.2	0.01866	19.52	35.27
12:00:00AM	29.47	74	0.01953	28.24	75.3	0.01824	27.82	79.3	0.01876	21.06	35.14
13:00:00AM	29.54	73.7	0.01955	28.4	75	0.01834	28.06	78.8	0.01891	22.29	35.2
14:00:00AM	29.54	73.4	0.0195	28.47	74.4	0.01827	28.13	78.2	0.01884	21.53	35.62

15:00:00AM	29.62	73.1	0.01946	28.55	74.2	0.01831	28.22	77.9	0.01887	19.61	35.56
16:00:00AM	29.62	72.8	0.01959	28.64	74	0.01835	28.29	77.8	0.01893	21.8	35.98
17:00:00AM	29.78	72.5	0.01983	28.64	73.7	0.01828	28.29	77.6	0.01888	21.63	35.74
18:00:00AM	30.01	72.2	0.02047	28.64	73.5	0.01823	28.29	77.3	0.0188	21	35.05
19:00:00AM	30.18	71.9	0.02054	28.64	73.2	0.01815	28.29	76.8	0.01867	22.11	36.1
20:00:00AM	30.26	71.6	0.02052	28.64	73.1	0.01812	28.37	76.8	0.01876	20.55	35.79
21:00:00AM	30.34	71.3	0.02096	28.64	72.9	0.01807	28.37	76.5	0.01869	21.84	35.82
22:00:00AM	30.41	71	0.02107	28.64	72.6	0.018	28.37	76.2	0.01861	22.43	35.75
23:00:00AM	30.26	70.7	0.02128	28.64	72.6	0.018	28.37	76.5	0.01869	22.43	35.64
12:00:00AM	30.34	70.4	0.02113	28.64	72.6	0.018	28.37	76.4	0.01866	19.65	35.77
1:00:00AM	30.41	70.1	0.02099	28.64	72.6	0.018	28.37	76.7	0.01874	18.46	35.48
2:00:00AM	30.41	69.8	0.02133	28.64	73.7	0.01828	28.29	77.8	0.01893	19.35	35.39
3:00:00AM	30.58	69.5	0.02065	28.47	73.6	0.01807	28.13	77.4	0.01865	21.29	34.91
4:00:00AM	30.5	69.2	0.02027	28.31	73.5	0.01787	27.98	77.5	0.0185	21.26	35.19
5:00:00AM	30.41	68.9	0.01991	28.24	73.6	0.01782	27.82	77.9	0.01842	19.66	34.96
6:00:00AM	30.26	68.6	0.01979	28.15	73.4	0.01768	27.53	77.6	0.01803	19.75	35

ตารางที่ ข.10 ตารางเปรียบเทียบก่อนและหลังการเปิดพัดลมระบายอากาศช่วยส่วนฤดูฝน

Time	ภายนอกห้องน้ำ			กรณีใช้พัดลมเปิด			กรณีไม่ได้เปิดพัดลม			อุณหภูมิขณะเปิดพัดลม °C	อุณหภูมิขณะของ TH °C
	Temp. °C	Relative Humidity %	Humidity Ratio Kg water/kg dry air	Temp. °C	Relative Humidity %	Humidity Ratio Kg water/kg dry air	Temp. °C	Relative Humidity %	Humidity Ratio Kg water/kg dry air		
6:00:00AM	30.76	71.5	0.02009	28.64	74.8	0.01856	28.6	78.9	0.01956	30.23	28.61
7:00:00AM	31.02	70.8	0.02019	28.55	74.9	0.01848	28.37	79	0.01932	24.31	34.7
8:00:00AM	31.02	70.9	0.02022	28.47	74.5	0.0183	28.29	78.3	0.01905	20.7	34.79
9:00:00AM	30.85	71.5	0.0202	28.4	73.6	0.01799	28.29	77.4	0.01883	21.24	34.59
10:00:00AM	30.45	71.4	0.0197	28.31	73.3	0.01782	28.13	77.1	0.011857	21.99	34.66
11:00:00AM	30.6	71.7	0.01996	28.31	73.3	0.01782	28.13	77	0.01885	21.32	35.15
12:00:00AM	30.53	75.7	0.02102	28.31	73.6	0.0179	28.13	77.6	0.0187	20.34	35.61
13:00:00AM	30.62	76.2	0.02128	28.4	73.4	0.01794	28.22	77.4	0.01875	22.68	35.42
14:00:00AM	30.7	76.7	0.02152	28.47	73.8	0.01812	28.29	77.5	0.01885	23.13	35.82
15:00:00AM	30.7	78.4	0.02202	28.47	73.8	0.01812	28.37	77.7	0.01899	22.24	35.84
16:00:00AM	30.79	77.8	0.02196	28.55	73.8	0.01821	28.45	77.5	0.01903	23.56	35.98
17:00:00AM	30.79	78.6	0.02219	28.64	73.5	0.01823	28.45	77.5	0.01903	24.14	26.03
18:00:00AM	30.85	81	0.02298	28.71	73.7	0.01835	28.53	77.5	0.01912	23.19	36.02
19:00:00AM	30.76	81.6	0.02303	28.64	73.5	0.01823	28.53	77.2	0.01905	23.33	35.99
20:00:00AM	30.76	79.4	0.02239	28.71	73.8	0.01838	28.53	77.6	0.01915	21.33	36.26
21:00:00AM	30.6	77.1	0.02151	28.55	74.4	0.01836	28.37	78.5	0.01919	20.48	35.97
22:00:00AM	30.52	77.2	0.02144	28.4	75.2	0.0184	28.22	79.4	0.01925	24.33	36.12
23:00:00AM	30.35	77.9	0.02143	28.31	76	0.0185	28.13	79.9	0.01927	24.05	36.06
12:00:00AM	30.27	77.4	0.02118	28.15	75.9	0.0183	28.06	79.9	0.01919	23.18	36.01

1:00:00AM	30.27	76.3	0.02087	28.08	76.3	0.01832	27.91	80.4	0.01914	23.94	36.01
2:00:00AM	30.27	75.7	0.0207	27.92	76.3	0.01814	27.69	80.2	0.01884	21.39	35.97
3:00:00AM	30.19	75.3	0.02049	27.85	75.7	0.01792	27.53	79.3	0.01884	23.22	35.78
4:00:00AM	29.95	73.4	0.01968	27.55	75.7	0.0176	27.389	79.7	0.01837	22.29	35.7
5:00:00AM	29.93	72.3	0.01935	27.4	75.3	0.01735	27.23	79.3	0.01811	21.88	35.51
6:00:00AM	29.78	71.8	0.01904	27.25	75	0.01712	28.08	78.8	0.01783	21.56	35.67



ตารางที่ ข.11 ตารางเปรียบเทียบก่อนและหลังการเปิดพัดลมระบายอากาศช่วยส่วนฤดูฝน

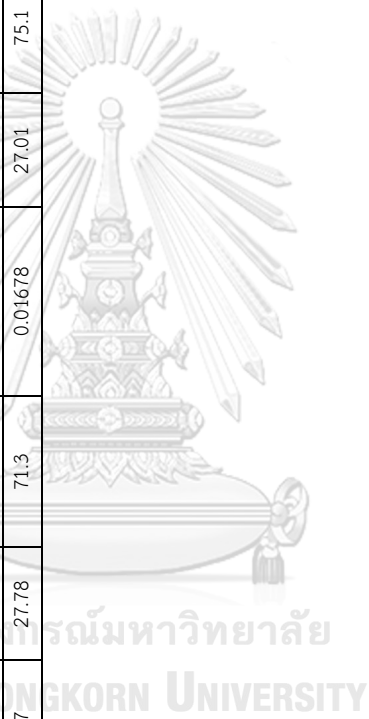
Time	ภายนอกห้องน้ำ			กรณีใช้พัดลมเปิด			กรณีไม่ได้เปิดพัดลม			อุณหภูมิขณะเปิดพัดลม °C	อุณหภูมิเมื่อร้อนของ TH °C
	Temp. °C	Relative Humidity %	Humidity Ratio Kg water/kg dry air	Temp. °C	Relative Humidity %	Humidity Ratio Kg water/kg dry air	Temp. °C	Relative Humidity %	Humidity Ratio Kg water/kg dry air		
6:00:00AM	29.84	74.7	0.01991	28	78.2	0.0187	27.98	83.3	0.01993	25.29	27.89
7:00:00AM	29.84	73.1	0.01947	27.63	78.4	0.01833	27.59	82.5	0.01928	21.59	31.16
8:00:00AM	29.77	71.9	0.01906	27.7	77.8	0.01827	27.68	81.7	0.01919	24.51	31.11
9:00:00AM	29.92	72.7	0.01945	28	76.9	0.01838	27.82	80.7	0.01911	21.56	31.43
10:00:00AM	29.84	30	0.01862	28.08	75.9	0.01822	27.82	80.1	0.01896	23.17	31.63
11:00:00AM	29.99	71.6	0.01922	28.24	75.1	0.01819	27.98	79.3	0.01895	22.42	31.59
12:00:00AM	30.24	69.3	0.01886	28.47	74.3	0.01824	28.22	78.2	0.01895	22.09	31.81
13:00:00AM	30.32	68.4	0.0187	28.55	73.3	0.01808	28.37	77.4	0.01892	23.82	31.96
14:00:00AM	30.39	68.7	0.01886	28.71	73	0.01817	28.45	76.9	0.01888	22.97	32.06
15:00:00AM	30.47	71.7	0.01981	28.79	73.3	0.01834	28.53	77.4	0.0191	24.88	31.21
16:00:00AM	30.57	73.3	0.02038	28.88	73.1	0.01839	28.69	77.1	0.0192	24.88	32.3
17:00:00AM	30.57	76.9	0.02142	28.96	73.4	0.01855	28.77	77.2	0.01932	22.16	32.45
18:00:00AM	30.65	75.5	0.02111	28.96	73.6	0.0186	28.77	77.5	0.0194	23.76	32.1
19:00:00AM	30.64	70.5	0.01996	28.96	73.1	0.01847	28.77	76.9	0.01924	22.92	32.22
20:00:00AM	30.56	69.6	0.01931	28.96	72.7	0.01837	28.77	76.4	0.01912	23.69	32.11
21:00:00AM	30.71	70.3	0.01968	28.96	72.4	0.01829	28.77	76.1	0.01904	25.33	32.34
22:00:00AM	30.65	69.4	0.01936	29.03	72.4	0.01837	28.77	76	0.01901	23.49	31.95
23:00:00AM	30.64	69.2	0.01929	28.96	72.4	0.01829	28.77	76	0.01901	21.77	32.34
12:00:00AM	30.8	71	0.01999	28.96	72.5	0.01832	28.77	76.2	0.01906	23.59	31.76
1:00:00AM	30.82	71.5	0.02016	28.88	72.6	0.01826	28.69	76.4	0.01902	23.92	32.03

2:00:00AM	30.56	70.8	0.01965	28.71	72.4	0.01802	28.53	75.8	0.01869	29.37	22.88	32.3
3:00:00AM	30.39	67.8	0.01861	25.55	72	0.01775	28.37	75.7	301849	29.52	23.89	31.82
4:00:00AM	30.24	66.6	0.01811	28.4	72.2	0.01764	28.22	75.7	301932	29.5	23.34	31.87
5:00:00AM	30.3	65.7	0.01792	28.31	72.2	0.01755	28.13	75.9	301827	29.28	24.07	31.76
6:00:00AM	30.22	65.6	0.01781	28.15	72.6	0.01748	27.98	76.3	301821	29.16	24.19	31.72

ตารางที่ ข.12 ตารางเปรียบเทียบก่อนและหลังการเปิดพัดลมระบายอากาศช่วยส่วนฤดูร้อน

Time	ภายนอกห้องน้ำ			กรณีใช้พัดลมเปิด			กรณีไม่ได้เปิดพัดลม			อุณหภูมิเฉลี่ย ของ TH °C	
	Temp. °C	Relative Humidity %	Humidity Ratio Kg water/kg dry air	Temp. °C	Relative Humidity %	Humidity Ratio Kg water/kg dry air	Temp. °C	Relative Humidity %	Humidity Ratio Kg water/kg dry air		
6:00:00AM	28.86	78.9	0.01987	27.93	73.3	0.01742	27.91	77.4	0.0184	27.9	28.2
7:00:00AM	29.01	81.7	0.02078	28.15	72.1	0.01735	27.23	75.6	0.01724	20.05	36.53
8:00:00AM	29.08	82.8	0.02116	28.15	71	0.01708	27.31	74.5	0.01707	19.65	36.2
9:00:00AM	28.86	84.3	0.02127	28.15	70.8	0.01703	27.31	74.4	0.01704	21	36.3
10:00:00AM	29.01	85.1	0.02168	27.93	70.9	0.01683	27.15	74.8	0.01697	19.9	36
11:00:00AM	29.01	85.7	0.02183	27.93	71.7	0.01703	27.23	75.4	0.01719	19.5	37.57
12:00:00AM	29.01	86.1	0.02194	27.93	71.9	0.01708	27.31	75.4	0.01728	19.8	36.07
13:00:00AM	29.01	86.6	0.02207	28.15	71.4	0.01718	27.38	74.8	0.01721	19.75	37.3
14:00:00AM	28.87	87.1	0.02202	28.15	70.9	0.01706	27.38	74.2	0.01707	20.9	36.57
15:00:00AM	28.87	87.3	0.02207	28.15	70.5	0.01696	27.38	73.8	0.01697	19.5	34.73
16:00:00AM	28.87	87.4	0.0221	28.24	69.9	0.0169	27.38	73.4	0.01688	19.35	36.1
17:00:00AM	28.87	88.1	0.02228	28.24	69.9	0.0169	27.31	73.5	0.01683	20.4	36.8
18:00:00AM	28.94	88.2	0.0224	28.24	69.9	0.0169	27.23	73.9	0.01684	17.9	36.23
19:00:00AM	28.94	87.9	0.02232	28.15	69.7	0.01676	27.31	73.5	0.01683	17.8	36

20:00:00AM	28.94	88.1	0.02237	28.15	69.3	0.01666	27.23	73.2	0.01668	18.05	35.9
21:00:00AM	28.71	88.6	0.02222	28.15	69.3	0.01666	27.23	73.2	0.01668	17.85	36.17
22:00:00AM	28.71	89	0.02223	28.15	69.3	0.01666	27.23	73.4	0.01673	17.85	36
23:00:00AM	28.87	90	0.02278	28.15	70	0.01683	27.31	73.9	0.01692	19.55	35.13
12:00:00AM	28.79	90.4	0.02277	28.15	70	0.01683	27.23	73.9	0.01684	19.35	35.93
1:00:00AM	28.79	91	0.02293	28.15	69.8	0.01679	27.23	73.7	0.0168	19.6	36.57
2:00:00AM	28.71	90.8	0.02277	27.93	69.6	0.01652	27.23	73.7	0.0168	19.15	35.3
3:00:00AM	28.71	90.2	0.02261	27.93	69.4	0.01647	27.15	73.4	0.01665	19.15	36.57
4:00:00AM	28.71	90.3	0.02264	27.93	69.9	0.01659	27.15	74	0.01679	20.75	36.53
5:00:00AM	28.57	89.9	0.02235	27.86	71.1	0.01681	27.08	75	0.01695	20.95	36.3
6:00:00AM	28.57	90	0.02237	27.78	71.3	0.01678	27.01	75.1	0.0169	18.6	35.37



ตารางที่ ข.13 ตารางเปรียบเทียบก่อนและหลังการเปิดพัดลมระบายอากาศช่วยส่วนฤดูร้อน

Time	ภายนอกอาคาร			กรณีใช้พัดลมเปิด			กรณีไม่ได้เปิดพัดลม			อุณหภูมิขณะเปิดพัดลม °C	อุณหภูมิเฉลี่ยของ TH °C
	Temp. °C	Relative Humidity %	Humidity Ratio Kg water/kg dry air	Temp. °C	Relative Humidity %	Humidity Ratio Kg water/kg dry air	Temp. °C	Relative Humidity %	Humidity Ratio Kg water/kg dry air		
6:00:00AM	28.06	83.5	0.02008	27.33	72.4	0.01659	27.23	75.7	0.01726	27.85	27.8
7:00:00AM	28.07	85.7	0.02064	27.4	72.3	0.01664	26.49	77.3	0.01687	18.4	36.8
8:00:00AM	27.99	85.9	0.02059	27.47	71.3	0.01647	26.49	75.9	0.01655	21.85	36.03
9:00:00AM	27.99	84.9	0.02034	27.55	70	0.01624	26.57	74.5	0.01632	22.65	35.5
10:00:00AM	28.07	83.5	0.02009	27.63	69	0.01608	26.64	73.6	0.01619	17.85	36.6
11:00:00AM	28.28	79.5	0.01934	27.7	67.9	0.01588	26.71	72.7	0.01605	20.5	36.07
12:00:00AM	28.72	72.9	0.01816	27.86	66.2	0.01562	26.86	70.9	0.01579	20.85	35.87
13:00:00AM	29.11	72	0.01835	28.15	64.2	0.01541	26.93	69.2	0.01546	20.05	35.27
14:00:00AM	29.26	72.1	0.01854	28.4	63.2	0.01539	27.3	68.5	0.1565	19.45	36.37
15:00:00AM	29.42	70.3	0.01824	28.55	62.1	0.01525	27.52	67.7	0.01567	22.1	36.97
16:00:00AM	29.42	71.7	0.01861	28.79	61.7	0.01537	27.59	67.4	0.01566	17.35	36.77
17:00:00AM	29.65	71.7	0.01887	28.88	61.6	0.01542	27.82	67.3	0.01585	16.3	37.83
18:00:00AM	29.57	73	0.01913	29.03	62	0.01566	27.91	67.8	0.01606	21.95	37.03
19:00:00AM	29.57	74.4	0.01951	29.03	62.2	0.01571	28.06	67.9	0.01623	22.1	37.23
20:00:00AM	29.34	74.8	0.01935	29.12	62.3	0.01583	28.13	68.2	0.01637	22.65	37.73
21:00:00AM	29.49	75.2	0.01963	29.2	62.4	0.01593	28.22	68.3	0.01648	18.95	38.13
22:00:00AM	29.49	76.1	0.01987	29.28	62.4	0.016	28.22	68.2	0.01646	16.95	38.07
23:00:00AM	29.34	76.6	0.01983	29.28	62.3	0.01598	28.29	68.3	0.01655	22.85	37.97
12:00:00AM	29.32	76.4	0.01975	29.28	62.6	0.01605	28.29	68.5	0.0166	22.9	38
1:00:00AM	29.17	76	0.01947	29.2	63	0.01608	28.13	69	0.01657	17.5	37.8
2:00:00AM	29.02	74.4	0.01888	29.12	63.2	0.01606	27.98	69.2	0.01647	17.6	37.6

3:00:00AM	28.94	74.9	0.01892	29.03	63.3	0.016	27.91	69.2	0.0164	16.55	37.9
4:00:00AM	28.87	74.8	0.01882	28.88	63	0.01578	27.75	69.1	0.01622	22.25	37.37
5:00:00AM	28.79	75.6	0.01893	28.71	63.1	0.01565	27.59	69.2	0.01609	17.35	36.93
6:00:00AM	28.87	78.9	0.01988	28.64	63.3	0.01563	27.45	69.5	0.01602	18.6	37.5



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	อนุสรณ์ เมืองแก้ว
วัน เดือน ปี เกิด	12 ธันวาคม 2521
สถานที่เกิด	รพ.พัทลุง
วุฒิการศึกษา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ที่อยู่ปัจจุบัน	148/657 บ้านรินน์ทอง ถนนรามคำแหง ซอยรามคำแหง 190 แขวงมีนบุรี เขตมีนบุรี กรุงเทพมหานคร 10510
ผลงานตีพิมพ์	BERAC 2019 Towards Future Environments of Well-being and Inclusiveness หัวข้อเรื่อง ประสิทธิภาพการลดความชื้นในห้องน้ำด้วยลมร้อนจาก เทอร์ โมอิเล็กทริก
รางวัลที่ได้รับ	-