

การลดอุณหภูมิของอากาศด้วยกระบวนการระเหย
ตามธรรมชาติของน้ำในภาชนะดินเผาไฟต่ำ

REDUCING AIR TEMPERATURE BY NATURAL EVAPORATIVE
COOLING SYSTEM IN EARTHENWARE

อภิชัย ประจงสาร
ARICHAI PRAJONGSAN

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา
สาขาวิชาสถาปัตยกรรมเขตร้อน

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

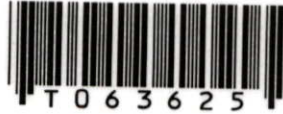
พ.ศ. 2549

ISBN 974-15-2715-2

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การลดอุณหภูมิของอากาศด้วยกระบวนการระเหย
ตามธรรมชาติของน้ำในภาชนะดินเผาไฟต่ำ

REDUCING AIR TEMPERATURE BY NATURAL EVAPORATIVE
COOLING SYSTEM IN EARTHENWARE



อภิชัย ประจงสาร

APICHAJ PRAJONGSAN

.b.....
.i.....

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 63625
วัน,เดือน,ปี 30 ส.ค. 2549

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาสถาปัตยกรรมเขตร้อน

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2549

ISBN 974-15-2715-2

**REDUCING AIR TEMPERATURE BY NATURAL EVAPORATIVE
COOLING SYSTEM IN EARTHENWARE**

APICHAI PRAJONGSAN

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ARCHITECTURE IN TROPICAL ARCHITECTURE
SCHOOL OF GRADUATE STUDY
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2006

ISBN 974-15-2715-2

COPYRIGHT 2006

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

| | |
|-----------------------------|---|
| หัวข้อวิทยานิพนธ์ | การลดอุณหภูมิอากาศด้วยกระบวนการระเหยตามธรรมชาติของน้ำในภาชนะดินเผาไฟต่ำ |
| นักศึกษา | นายอภิชัย ประจงสาร |
| รหัสประจำตัว | 45062106 |
| ปริญญา | สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต |
| สาขาวิชา | สถาปัตยกรรมเขตร้อน |
| พ.ศ. | 2549 |
| อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ | รศ.ธีรมน ไวโรจนกิจ |

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้มุ่งศึกษาแนวทางการลดอุณหภูมิอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ ที่ได้จากกระบวนการระเหยของน้ำในภาชนะดินเผาไฟต่ำ โดยศึกษาความเป็นไปได้ในการลดอุณหภูมิอากาศ และวิธีแก้ปัญหาที่เกิดจากความชื้นในกระบวนการระเหยของน้ำ เพื่อเป็นแนวทางในการนำภาชนะดินเผามาประยุกต์ใช้ลดอุณหภูมิอากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ในการศึกษานี้ เป็นการวิจัยเชิงทดลองซึ่งแบ่งรูปแบบการทดลองออกเป็น 3 ชุดหลัก โดยมีเครื่องปั้นดินเผาไฟต่ำซึ่งมีความพรุนสูง (มีค่าความพรุนร้อยละ 5) เป็นตัวแปรหลัก ใช้เวลา 48 ชั่วโมงต่อการทดลองและทำการทดลองในห้องทดลองขนาด 1.2 ม.×1.2 ม. ยาว 2.4 ม. จำนวน 2 ห้อง ซึ่งใช้เป็นห้องทดสอบและห้องควบคุม โดยมีรูปแบบการทดลองและผลการทดลอง ดังนี้

1. ชุดการทดลองที่ 1 ประกอบด้วย 3 การทดลองย่อย มีวัตถุประสงค์เพื่อการศึกษาความเป็นไปได้ในการลดอุณหภูมิอากาศและผลกระทบที่เกิดจากความชื้นที่ได้จากการระเหยของน้ำในภาชนะดินเผาไฟต่ำ โดยสามารถสรุปผลการทดลองได้คือ

1.1 อุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลองจะเปลี่ยนแปลงขึ้น-ลงตามอิทธิพลของสภาพแวดล้อมภายนอกเสมอ

1.2 ในเวลากลางวัน การระเหยของน้ำในภาชนะดินเผาไฟต่ำทำให้อุณหภูมิภายในห้องทดสอบต่ำกว่าอุณหภูมิภายในห้องควบคุม 1.71K และความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่า 2.89 %

1.3 ในเวลากลางคืน ความแตกต่างของอุณหภูมิและความชื้นภายในห้องทดลองทั้ง 2 ห้องมีน้อย ทั้งนี้เนื่องจากอิทธิพลของสภาพอากาศภายนอกมีสูงกว่าอิทธิพลจากการระเหยของน้ำในภาชนะดินเผาไฟต่ำ

1.4 ในห้องทดสอบที่ไม่มีการระบายอากาศ การระเหยที่เกิดจากน้ำในภาชนะดินเผาไฟต่ำ สามารถลดอุณหภูมิภายในห้องทดสอบให้ต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกและอุณหภูมิ

ในห้องควบคุม 14.39K และ 4.05K ตามลำดับโดยมีอุณหภูมิ 36.56°C ความชื้นสัมพัทธ์ 62.12% ซึ่งสูงเกินกว่าขีดความสบาย (ความชื้นสัมพัทธ์มากกว่า 50%RH)

2. ชุดการทดลองที่ 2 ประกอบด้วย 2 ชุดการทดลองย่อย มีวัตถุประสงค์เพื่อหาความสัมพันธ์ของปริมาณพื้นที่ผิวการระเหยและอุณหภูมิของอากาศที่ลดลง โดยสามารถสรุปผลการทดลองได้คือ

2.1 การระบายอากาศด้วยพัดลมดูดอากาศ ความเร็วลมประมาณ 0.4 เมตร/วินาที ด้วยอัตราการระเหย 0.1825 ลิตร/ชั่วโมง จากพื้นที่ผิวภาชนะ 4.616 ตารางเมตร สามารถทำให้อุณหภูมิกายในห้องทดสอบลดลง 1.9K โดยมีความชื้นสัมพัทธ์ 43.04%

2.2 ปริมาณพื้นที่ผิวการระเหยของภาชนะดินเผาไฟต่ำสัมพันธ์กับอุณหภูมิอากาศที่ลดลงโดยพื้นที่ผิวการระเหย 4.616, 3.258 และ 2.262 ตารางเมตรเมื่อวางกระจายทั่วห้องร่วมกับการเปิดพัดลมดูดอากาศ ความเร็วลมประมาณ 0.4 เมตร/วินาที สามารถลดอุณหภูมิในอากาศลงได้ 1.9, 1.59 และ 1.2 K ตามลำดับ โดยไม่ทำให้ความชื้นสัมพัทธ์สูงเกิน 50%RH

3. ชุดการทดลองที่ 3 มีวัตถุประสงค์เพื่อหาคำแนะนำติดตั้งภาชนะดินเผาไฟต่ำที่มีประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิอากาศ โดยสามารถสรุปผลการทดลองได้คือ

3.1 ในการวางภาชนะดินเผาไฟต่ำต่างกัน 2 ลักษณะ ได้แก่ วางกระจายทั่วห้อง และวางขวางลม สามารถลดอุณหภูมิอากาศในห้องได้ใกล้เคียงกัน คือ 2.79K และ 2.93K ตามลำดับ โดยในการวางแบบขวางทางลมทำให้อุณหภูมิลดลงได้มากในบริเวณติดตั้ง และอุณหภูมิจะค่อยๆเพิ่มขึ้นเมื่อระยะห่างจากภาชนะดินเผามีมากขึ้น ส่วนในการวางแบบกระจายทั่วห้องจะทำให้อุณหภูมิกายในห้องค่อยๆ ลดลงอย่างสม่ำเสมอ

ดังนั้น จากการศึกษาสามารถสรุปได้ว่า การระเหยของน้ำในภาชนะดินเผาไฟต่ำที่มีความพรุนสูง มีความสามารถในการลดอุณหภูมิอากาศในช่วงเวลากลางวัน โดยต้องใช้ร่วมกับพัดลมหรือติดตั้งในตำแหน่งที่มีลมพัด ซึ่งช่วยลดความชื้นและทำให้เกิดการระเหยและลดอุณหภูมิได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยควรวางภาชนะดินเผาในลักษณะกระจายใกล้ตำแหน่งใช้งานที่ต้องการลดอุณหภูมิ

| | |
|-----------------------|--|
| Thesis Title | REDUCING AIR TEMPERATURE BY NATURAL EVAPORATIVE COOLING SYSTEM IN EARTHENWARE |
| Student | Apichai Prajongsan |
| Student ID. | 45062106 |
| Degree | Master of Architecture |
| Program | Tropical Architecture |
| Year | 2006 |
| Thesis Adviser | Assoc. Prof. Teeramon Wairojanakich |

ABSTRACT

This research is the study of air temperature and humidity changed by the natural evaporative cooling process of the '*Earthenware*'. It is hypothesized that *Earthenware* can be used as the indirect evaporative coolers and they have the ability to diminish air temperature in some level. This is to find out significant factors influencing this ability with the intention of searching for the alternative method of reducing air temperature naturally.

In the process of investigation, the '*earthenware*' are used as the experimental evaporators. Two experimental units are set up with the dimension of 1.20 X 2.40 X 1.20 meters; one is the '*test unit*', and the other is the '*control unit*'. Three experimental sets are applied for the investigation as following:

1. Experimental Set # 1, which includes 3 sub-testing. It is intended to ensure the possibility of reducing indoor air temperature by using evaporative cooling system in earthenware, and its negative effects. From this experimental set, it can be concluded as following:

1.1 Indoor air temperature in both of test units always adjusts similarly as the air temperature outside test unit.

1.2 In the day time; the evaporative cooling system in earthenware can decrease air temperature by 1.71 K with the 2.89% RH higher (comparing between air temperature in the test unit and the control one).

1.3 In the night time; the difference of air temperature between 2 units are small. This is because the influence from outer environment is high.

1.4 In the test unit with no ventilation, the evaporative cooling system in earthenware can reduce indoor air temperature by 14.39 K when comparing to outdoor temperature, and 4.05 K when comparing to the control unit.

2. Experimental Set # 2, which includes 2 sub-testing. It is set to locate the relation between the earthenware perimeter and its ability to reduce indoor air temperature. After carrying out the experiment, it can be concluded as following:

2.1 When the ventilator (wind velocity approximately 0.4 meter per second) is used, the evaporative cooling system in earthenware with the perimeter of 4.616 m² and evaporative rate of 0.1825 liter per hour can reduce indoor temperature by 1.9 K and 43.04% RH comparing to the control unit.

2.2 Earthenware perimeter has some relation to its ability of decreasing indoor air temperature. From the experiment, the evaporative cooling system in earthenware with the perimeter of 4.616, 3.258, and 2.262 m² can cut indoor temperature by 1.9, 1.59, and 1.2 K consequently (with the humidity rate lower than 50% RH).

3. Experimental Set # 3 is created to find out the effective location of earthenware to lessen indoor air temperature. From this experimental set, it can be concluded as following:

3.1 With different way of locating earthenware; spreading throughout the unit, and grouping it, there is no significant effect of reducing the indoor air temperature (2.79K, and 2.93K respectively).

However, there are some differences of character in reducing indoor air temperature. When spread earthenware throughout the unit, indoor air temperature drops continually. On the other hand, indoor air temperature drops suddenly and gradually rise when the distance from the earthenware is higher.

From the investigation, it is found that earthenware can be accepted to be one of the indirect evaporative coolers. The performance in reducing indoor air temperature is also higher when the earthenware perimeter, its position and wind velocity are carefully controlled. By using this system, humidity rate has naturally risen. It is then recommended to use with ventilator or good ventilation condition.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ธีรมน ไวโรจนกิจ ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำชี้แนะช่วยแก้ปัญหาตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.สมชาย ศรีสมพงษ์ และผศ.ชัยยุทธ ศรีเผด็จ กรรมการสอบ วิทยานิพนธ์ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำตลอดจนข้อชี้แนะ จนทำให้วิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงลงได้

ขอขอบพระคุณ อ.พวงเพ็ญ วิบูลย์สวัสดิ์ ผศ.มณี พนิชการ คณบดีคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ผังเมืองและนฤมิตศิลป์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่ให้ข้อคิดและคำแนะนำที่ดีทั้งการ ดำเนินชีวิตและการทำงาน

ขอขอบคุณ พี่ๆ น้องๆ เพื่อนๆ ที่ให้กำลังใจด้วยดีเสมอมา

สุดท้ายต้องขอขอบคุณภรรยาของข้าพเจ้า คุณพิมพ์ศิริ ประจงสาร ที่เป็นค้ำคูณและเป็น กำลังใจที่ดีตลอดมา

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดา มารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้พร่ำสอนสั่ง ถ่ายทอด ความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า

อภิชัย ประจงสาร

สารบัญ

| | หน้า |
|--|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย..... | I |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... | III |
| กิตติกรรมประกาศ..... | V |
| สารบัญ..... | VI |
| สารบัญตาราง..... | VIII |
| สารบัญรูป..... | IX |
| บทที่ 1 บทนำ | |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... | 1 |
| 1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา..... | 2 |
| 1.3 สมมุติฐานของการศึกษา..... | 3 |
| 1.4 ขอบเขตและข้อจำกัดของการศึกษา..... | 3 |
| 1.5 ขั้นตอนการศึกษาวิจัย | 4 |
| 1.6 กรอบความคิดในการวิจัย | 7 |
| 1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ | 7 |
| 1.8 ระยะเวลาและแผนดำเนินการ..... | 7 |
| บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | |
| 2.1 การทำความเข้าใจเกี่ยวกับความร้อนและอุณหภูมิ..... | 9 |
| 2.2 การเคลื่อนที่ของความร้อน | 11 |
| 2.3 อากาศขึ้นกับแผนภูมิไซโครเมตริก..... | 15 |
| 2.4 ภาวะน่าสบาย..... | 18 |
| 2.5 ขอบเขตความสบาย..... | 21 |
| 2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | 23 |
| บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย | |
| 3.1 แนวความคิดในการออกแบบการทดลอง | 30 |
| 3.2 ห้องทดลอง อุปกรณ์และวัสดุที่ใช้ในการทดลอง | 30 |
| 3.3 สมมุติฐานการทดลอง | 36 |
| 3.4 วิธีทดลอง | 36 |

สารบัญ(ต่อ)

| | หน้า |
|--|------|
| 3.5 วิธีวิเคราะห์ข้อมูล | 37 |
| บทที่ 4 ผลการทดลองและการอภิปรายผลการทดลอง | |
| 4.1 ชุดการทดลองที่ 1.1 | 38 |
| 4.2 การทดลองที่ 1.2 | 42 |
| 4.3 การทดลองที่ 1.3 | 48 |
| 4.4สรุปผลการทดลองชุดที่ 1..... | 51 |
| 4.5 การทดลองที่ 2.1 | 52 |
| 4.6 การทดลองที่ 2.2..... | 58 |
| 4.7 สรุปผลการทดลองชุดที่ 2.2..... | 61 |
| 4.8 การทดลองชุดที่3..... | 62 |
| 4.9 สรุปผลการทดลองชุดที่ 3..... | 70 |
| บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ | |
| 5.1 ประสิทธิภาพและประสิทธิผลของระบบการลดอุณหภูมิอากาศด้วยการระเหย..... | 72 |
| 5.2 แนวทางการประยุกต์ใช้การลดอุณหภูมิด้วยการระเหยในอาคาร..... | 73 |
| 5.3 ข้อจำกัดและข้อเสนอแนะในการใช้งาน..... | 76 |
| 5.4 ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยต่อไป..... | 76 |

สารบัญตาราง

| ตารางที่ | หน้า |
|---|------|
| 1.1 แผนการดำเนินการวิจัย..... | 8 |
| 2.1 ค่าการนำความร้อนของแผ่นฉนวนใยซีเมนต์ในสภาพความชื้นที่แตกต่างกัน..... | 12 |
| 2.2 พลังงานที่เกิดจากกิจกรรมประเภทต่าง ๆ ที่เกิดจากมนุษย์ | 20 |
| 2.3 แสดงลักษณะการสวมเสื้อผ้าที่เหมาะสมกับสภาพอุณหภูมิอากาศที่เหมาะสม | 20 |
| 3.1 แสดงร้อยละความพรุนของเครื่องปั้นดินเผาที่ใช้ในการทดลอง จากการสุ่มตัวอย่าง | 34 |
| 3.2 แสดงพื้นที่ผิว ความจุน้ำของภาชนะดินเผาที่ใช้ในการทดลอง | 34 |
| 3.3 แสดงการตั้งค่าการบันทึกข้อมูลของ OPUS 200 | 35 |
| 4.1 แสดงจำนวนภาชนะดินเผาที่ติดตั้งในห้องทดสอบและห้องควบคุม | 38 |
| 4.2 แสดงอุณหภูมิสูงสุด ต่ำสุดอุณหภูมิเฉลี่ยและค่าเปรียบเทียบอุณหภูมิกับความชื้น | 40 |
| 4.3 แสดงจำนวนแจกันดินเผาที่ติดตั้งในห้องทดสอบและห้องควบคุม..... | 42 |
| 4.4 แสดงจำนวนแจกันดินเผาที่ติดตั้งในห้องทดสอบและห้องควบคุมการทดลองที่ 1.3..... | 48 |
| 4.5 ข้อมูลสภาพอากาศ ณ บริเวณทางลมออกของห้องทดลอง การทดลอง 1.3 | 51 |
| 4.6 แสดงชุดการทดลองและรายละเอียดการติดตั้งภาชนะดินเผา | 53 |
| 4.7 แสดงการตั้งค่าการบันทึกข้อมูลของ OPUS 200 การทดลองที่ 2.1..... | 54 |
| 4.8 แสดงอุณหภูมิและความชื้นภายนอกอาคารในระหว่างที่ทำการทดลอง | 54 |
| 4.9 แสดงผลอุณหภูมิในการทดลองที่ 2.1 | 56 |
| 4.10 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยของจุดตรวจวัดต่าง ๆ ในการทดลองที่ 2.2 | 60 |
| 4.11 สรุปผลเปรียบเทียบพื้นที่ผิวการระเหยและอุณหภูมิอากาศที่ลดลงจากระบบ | 61 |
| 4.12 ข้อมูลขนาดและจำนวนพื้นที่ผิวภาชนะดินเผากับการลดอุณหภูมิและอัตราการเสียน้ำ..... | 62 |
| 4.12 แสดงค่าอุณหภูมิสูงสุด ต่ำสุดและเฉลี่ยของจุดวัดต่างๆ การทดลองที่ 3..... | 69 |
| 5.1 ข้อมูลสภาพอากาศบริเวณทางลมออก ห้องทดลอง การทดลอง 1.1, 2.1 และ 2.2 | 72 |

สารบัญรูป

| รูปที่ | หน้า |
|--|------|
| 2.1 สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และความยาวคลื่นในช่วงต่างๆ ของแสงอาทิตย์..... | 11 |
| 2.2 ตัวอย่างหน้าตัดผนัง แสดงค่าการส่งผ่านความร้อนและการส่งผ่านความร้อนรวม..... | 13 |
| 2.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความชื้นของอากาศบนPsychrometric Chart..... | 15 |
| 2.4 สลิ่งไซโครมิเตอร์ | 16 |
| 2.5 กราฟแสดงค่า Enthalpy ที่ปรากฏบน Psychrometric Chart | 16 |
| 2.6 แสดง Heating และ Cooling | 17 |
| 2.7 แสดง Adiabatic heating และ Dehumidification..... | 18 |
| 2.8 แสดงขอบเขตความสบายของฤดูร้อนและหนาว..... | 21 |
| 2.9 การก่อสร้างห้องทดลองที่มีการฝังท่อไว้บนหลังคาคอนกรีต | 24 |
| 2.10 ฝังการทดลองของระบบ ซึ่งแสดงตำแหน่งต่าง ๆที่มีการตรวจสอบอุณหภูมิ | 24 |
| 2.11 ผลการทดลองแสดงอุณหภูมิเปรียบเทียบระหว่างตัวแปรต่าง ๆที่ทำการทดลอง | 24 |
| 2.12 รูปแบบการประยุกต์ใช้ท่อเซรามิกทำความเย็นแบบ แอร์หน้าค่างในอดีต | 26 |
| 2.13 แผนภาพแสดงการทำงานของระบบปรับอากาศแบบกึ่งทางอ้อม | 26 |
| 2.14 แผ่นรองท่อเซรามิกทำจากPVC และท่อเซรามิกทำความเย็น..... | 27 |
| 2.15 ชุดอุปกรณ์การทำความเย็นด้วยการระเหยแบบกึ่งทางอ้อม | 27 |
| 2.16 ชุดอุปกรณ์การทำความเย็นด้วยการระเหยแบบตรง | 28 |
| 2.17 รูปแบบการติดตั้งอุปกรณ์ทดลองการทำความเย็นด้วยการระเหยแบบตรง..... | 28 |
| 2.18 ผลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในกล่องทดลอง | 29 |
| 2.19 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำความเย็นของเซรามิกความพรุนสูงและปานกลาง | 29 |
| 3.1 แสดงห้องทดลองที่ใช้ในงานวิจัย | 31 |
| 3.2 แสดงภาพจำลองด้านหน้าและด้านหลังของห้องทดลอง | 31 |
| 3.3 แสดงเตาเผา | 33 |
| 3.4 แสดงแจกันดินเผาที่เตรียมใช้ในการทดลอง | 33 |
| 3.5 Thermo Gun, Anemometer, Pyranometer (เรียงจากซ้ายไปขวา)..... | 35 |
| 3.6 เครื่องบันทึกข้อมูล OPUS 200, HOBO onset data logger | 35 |
| 4.1 แสดงตำแหน่งที่ติดตั้งหัววัดต่าง ๆ ในห้องทดสอบ และห้องควบคุม | 38 |
| 4.2 แสดงตำแหน่งที่ติดตั้งภาชนะดินเผาภายในห้องทดสอบ | 39 |
| 4.3 แสดงการติดตั้งภาชนะดินเผาและตำแหน่งหัววัดภายในห้องทดสอบ | 39 |
| 4.4 แสดงค่าอุณหภูมิและความชื้นจากทุกจุดวัด การทดลองที่1.1 | 40 |

สารบัญญรูป(ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|---|------|
| 4.5 แสดงผลการวัดอุณหภูมิและความชื้นของห้องทดสอบและห้องควบคุม การทดลองที่1.1 ... | 40 |
| 4.6 ผลการวัดค่าอุณหภูมิลมเข้าและลมออกในห้องทดลอง | 41 |
| 4.7 ตำแหน่งหัววัดอุณหภูมิและความชื้นในห้องทดสอบ และห้องควบคุม | 42 |
| 4.8 แสดงการติดตั้งภาชนะดินเผาขนาดเล็กและขนาดใหญ่ในห้องทดลองทั้งสองห้อง | 42 |
| 4.9 กราฟ เปรียบเทียบความแตกต่างอุณหภูมิ/ความชื้น ขณะเปิดและปิดพัดลม | 43 |
| 4.10 แสดงค่าอุณหภูมิและความชื้นการทดลองที่ 1.2 ขณะเปิดพัดลม..... | 43 |
| 4.11 แสดงค่าอุณหภูมิและความชื้นการทดลองที่ 1.2 ขณะเปิดพัดลม..... | 44 |
| 4.12 แสดงค่าอุณหภูมิและความชื้นในห้องทดลอง ขณะเปิดพัดลม | 44 |
| 4.13 ความแตกต่างอุณหภูมิลมเข้าและออก ห้องทดลองและห้องควบคุม | 45 |
| 4.14 อุณหภูมิลมเข้าและลมออกภายในห้องทดลอง | 45 |
| 4.15 แสดงค่าอุณหภูมิและความชื้นเมื่อปิดพัดลมทั้งชุดการทดลอง..... | 46 |
| 4.16 แสดงค่าอุณหภูมิและความชื้นเมื่อปิดพัดลม..... | 46 |
| 4.17 ความแตกต่างอุณหภูมิลมเข้าและออกการทดลอง 1.2 ขณะปิดพัดลม..... | 47 |
| 4.18 เปรียบเทียบอุณหภูมิ ความชื้นขณะปิดพัดลม | 47 |
| 4.19 ลักษณะห้องทดลองที่ปิดทางเข้าลมด้วยฉนวนโฟม | 48 |
| 4.20 แสดงตำแหน่งการติดตั้งเครื่องปั่นดินเผาและหัววัดค่า ในห้องทดลองและห้องควบคุม | 49 |
| 4.21 แสดงอุณหภูมิและความชื้นในห้องทดลอง การทดลองที่1.3 | 49 |
| 4.22 เปรียบเทียบอุณหภูมิความชื้นจุดต่าง ๆ ภายในห้องทดลอง | 50 |
| 4.23 เปรียบเทียบอุณหภูมิ ความชื้นภายในห้องทดลอง | 50 |
| 4.24 แผนภูมิไซโครเมตริกแสดงอุณหภูมิลมออกและลมเข้า การทดลองที่ 1.3..... | 51 |
| 4.25 ตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์และเครื่องมือวัดค่า ในห้องทดลอง 2.1..... | 53 |
| 4.26 การติดตั้งเครื่องปั่นดินเผา ชุดBในห้องทดลอง และชุดA ในห้องควบคุม..... | 53 |
| 4.27 อุณหภูมิอากาศและความเร็วลมในวันที่ทำการทดลอง | 55 |
| 4.28 ค่าการส่งผ่านความร้อนของดวงอาทิตย์ วันที่ทำการทดลอง | 55 |
| 4.29 กราฟแสดงค่าการบันทึกอุณหภูมิช่วงเวลา 24 ชั่วโมงแรกภายในห้องทดสอบ | 56 |
| 4.30 กราฟแสดงค่าการบันทึกอุณหภูมิช่วงเวลา 48 ชั่วโมงแรกภายในห้องทดสอบ | 56 |
| 4.31 กราฟแสดงอุณหภูมิ ห้องควบคุม (Control Unit) | 57 |
| 4.32 ภาพตำแหน่งการติดตั้งเครื่องปั่นดินเผาและจุดตรวจวัดในการทดลองที่ 2.2 | 58 |
| 4.33 กราฟผลการทดลองที่2.2 เปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิในห้องควบคุมและห้องทดลอง | 59 |

สารบัญรูป(ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|--|------|
| 4.34 กราฟผลการทดลองที่ 2.2 ห้องควบคุม บรรจุภาชนะดินเผาชุด A..... | 59 |
| 4.35 กราฟผลการทดลองที่ 2.2 ห้องควบคุม บรรจุภาชนะดินเผาชุด E..... | 60 |
| 4.36 กราฟแนวโน้มการลดอุณหภูมิกับปริมาณพื้นที่ผิวการระเหยของน้ำในภาชนะดินเผา | 61 |
| 4.37 ภาพแสดงตำแหน่งติดตั้งเครื่องปั่นดินเผาและจุดตรวจวัดต่าง ๆ ภายในห้องทดลองและ ห้องควบคุมในการทดลองชุดที่ 3 | 63 |
| 4.38 ภาพแสดงการติดตั้งชุดเครื่องปั่นดินเผา ในแบบขนานลม และขวางทางลม..... | 63 |
| 4.39 กราฟผลการทดลองที่ 3 แสดงอุณหภูมิก๊าซ ความชื้นและความเร็วลม ณ จุดวัดต่าง ๆ ... | 64 |
| 4.40 กราฟผลการทดลองที่ 3 แสดงอุณหภูมิก๊าซ และความเร็วลม | 64 |
| 4.41 กราฟผลการทดลองที่ 3 ภายในห้องทดลองที่วางภาชนะขนานลม | 65 |
| 4.42 กราฟผลการทดลองที่ 3 ภายในห้องควบคุม ที่วางภาชนะตั้งฉากกับทิศทางลม | 65 |
| 4.43 กราฟผลการทดลองที่ 3 แสดงผลการทดลองในช่วง 7 วัน..... | 66 |
| 4.44 กราฟผลการทดลองที่ 3 ในห้องควบคุม..... | 66 |
| 4.45 ภาพจำลองลักษณะการไหลของอากาศและการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ วางขวางลม | 67 |
| 4.46 กราฟแสดงอุณหภูมิก๊าซความชื้นภายในห้องควบคุมที่วางภาชนะขนานลม | 67 |
| 4.47 กราฟแสดงห้องทดลอง Test Unit วันที่ 29 มีนาคม 2549 เวลา 08.30 น.-17.30 น. | 68 |
| 4.48 กราฟผลการทดลองที่ 3 ในห้องทดสอบ..... | 68 |
| 4.49 ภาพจำลองลักษณะการไหลของอากาศและการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ วางขนานลม | 69 |
| 5.1 แผนภูมิ Psychometric Chart แสดงอุณหภูมิก๊าซและค่า Enthalpy ที่ได้จากการทดลอง | 73 |
| 5.2 แผนภูมิชีวอากาศแสดงเขตความสบายสำหรับกรุงเทพมหานคร | 73 |
| 5.3 ภาพจำลองพื้นที่การระเหยเพื่อการลดอุณหภูมิภายในห้องทดลองและห้องขนาดปกติโดย เทียบมาตรฐาน 1: 2.5 คิดเป็น 15.625 เท่าโดยปริมาตร | 74 |
| 5.4 ภาพจำลองการติดตั้งกระถางในพื้นที่ใช้กังภายนอกอาคาร | 75 |
| 5.3 แท่งดินเผาที่ติดตั้งในส่วนพื้นที่กังภายนอกอาคาร..... | 75 |

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตภูมิอากาศแบบร้อนชื้น จากข้อมูลสภาพภูมิอากาศคาบ 10 ปี ตั้งแต่ พ.ศ. 2534-2543 พบว่าพื้นที่ส่วนใหญ่มีอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 27.1-30.0 °C [1] อาคารส่วนใหญ่จึงต้องการการทำความเย็นเพื่อลดอุณหภูมิอากาศที่สูงเกินขีดความสบาย โดยรูปแบบการทำความเย็นที่ใช้เทคโนโลยีและพลังงานในอาคารน้อย ไม่ก่อมลภาวะและการผลาญพลังงานโดยไม่จำเป็นคือการทำความเย็นด้วยวิธีธรรมชาติ ซึ่งGivoni [2] ได้สรุปไว้หลายวิธี มีทั้งข้อดีและข้อด้อยในการใช้งาน ได้แก่

การใช้ลมธรรมชาติระบายอากาศร้อนในช่วงเวลากลางวัน(Comfort daytime Ventilation) และระบบพัดลมดูดอากาศช่วยระบายความร้อนออกจากอาคารในเวลากลางคืน (Nocturnal Ventilation Cooling) มีความประหยัดและได้ผลดีในช่วงเวลาที่มีกระแสลมพอเหมาะ อุณหภูมิอากาศไม่สูงเกินไป หากอุณหภูมิอากาศภายนอกสูงเกินขีดความสบาย การนำลมร้อนเข้าสู่อาคารจะเป็นการเพิ่มภาระการทำความเย็นให้กับอาคาร

การทำความเย็นด้วยการแผ่รังสี (Radiant Cooling) โดยออกแบบระบบหลังคาเก็บความร้อนในเวลากลางวันผนวกกับระบบที่สามารถระบายความร้อนออกนอกอาคารในเวลากลางคืน เช่นระบบการทำความเย็นด้วย Roof pond ที่บรรจุน้ำไว้บนหลังคาเพื่อทำหน้าที่เป็นแหล่งเก็บกักความร้อนในเวลากลางวันและทำหน้าที่กระจายรังสีความร้อนออกสู่บรรยากาศที่เย็นกว่าในเวลากลางคืน ป้องกันการแผ่รังสีความร้อนเข้าอาคารจากทางคาบฟ้า แต่มีข้อจำกัดในการประยุกต์ใช้งานคือ หากมีการรั่วซึมของหลังคาเพียงเล็กน้อยอาจก่อให้เกิดความเสียหายให้กับโครงสร้างและการตรวจสอบรอยรั่วต่าง ๆ ทำได้ยาก อีกทั้งน้ำหนักบรรทุกที่มากขึ้นส่งผลต่อค่าก่อสร้างที่สูงขึ้น รวมถึงรูปแบบอาคารที่เหมาะสมกับอาคารเพียงชั้นเดียว

การนำความเย็นจากดินมาใช้ลดอุณหภูมิในอากาศ โดยให้อากาศร้อนไหลผ่านท่อใต้ดินที่เย็นกว่าซึ่งมีอุณหภูมิเฉลี่ยค่อนข้างคงที่ แต่ข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยาพบว่าพื้นที่ส่วนใหญ่ในประเทศไทย อุณหภูมิใต้ดินเฉลี่ยที่ระดับความลึกไม่เกิน 1 เมตร มีค่าประมาณ 30°C ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิอากาศภายนอก ทำให้ประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิอากาศมีน้อย ซึ่งต่างจากเมืองหนาวที่มีอุณหภูมิใต้ดินคงที่ สามารถประยุกต์ใช้ได้ทั้งฤดูร้อนและฤดูหนาว

การลดความร้อนในอาคารด้วยกระบวนการระเหยของน้ำทั้งทางตรง (Direct Evaporative Cooling) และทางอ้อม(Indirect Evaporative Cooling) โดย Direct Evaporative Cooling เป็นวิธีการทำความเย็นที่อาศัยวิธีการธรรมชาติมากที่สุดและไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม เนื่องจากใช้น้ำพ่น

เป็นละอองฝอย เพื่อดูดซับความร้อนจากอากาศโดยตรง [3] เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพมาก แต่มีข้อจำกัดคือไม่สามารถใช้ได้ภายในอาคารเพราะอาจทำให้เกิดโรคติดต่อทางเดินหายใจ (Legionnaire's disease) จากละอองน้ำที่ลอยมากับอากาศ ส่วนการทำความเย็นด้วยการระเหยแบบ Indirect Evaporative Cooling นั้นสามารถลดปัญหาเรื่องโรคติดต่อที่มากับอากาศได้ แต่ประสิทธิภาพการลดอุณหภูมิลดลงมาก [4]

เทคนิคต่าง ๆ ที่กล่าวมานี้ล้วนมีขั้นตอนในการนำมาประยุกต์ใช้ เพื่อให้เหมาะสมกับอาคารแต่ละประเภท ซึ่งมีความยากง่ายในการใช้งานแตกต่างกัน จึงกลายเป็นข้อจำกัดในการใช้งานและไม่เป็นที่นิยมแพร่หลาย

อีกหนึ่งรูปแบบที่สามารถลดอุณหภูมิอากาศได้คือ กระบวนการระเหยของน้ำใน “เครื่องปั้นดินเผาไฟต่ำ” (Earthenware) โดยน้ำที่บรรจุอยู่ภายในเกิดการซึมผ่านผิวภาชนะแล้วก่อให้เกิดการระเหยที่บริเวณผิวของภาชนะดินเผา การระเหยที่เกิดขึ้น เป็นการดึงเอาพลังงานความร้อนในอากาศและจากน้ำเอง มาใช้เปลี่ยนสถานะจากของเหลวให้กลายเป็นไอ ทำให้อุณหภูมิในอากาศลดลง หลักการนี้ถูกใช้อย่างแพร่หลายทั่วโลก จากอดีตถึงปัจจุบัน เช่นการใช้ “Botijos” ของสเปน “Zeer” ของอียิปต์และซูดาน[5] สำหรับในประเทศไทย ในอดีตนิยมใช้เครื่องปั้นดินเผาไฟต่ำเป็นภาชนะบรรจุน้ำดื่ม ทำให้ได้น้ำเย็นดื่มโดยไม่ต้องใช้พลังงานไฟฟ้า

กระบวนการระเหยตามธรรมชาติของน้ำในภาชนะดินเผาไฟต่ำ (Earthenware) จึงเป็นสมมุติฐานหลัก ที่คาดว่าจะสามารถช่วยลดอุณหภูมิอากาศลงได้ แต่ยังไม่มีการศึกษาอย่างจริงจังถึงความสามารถดังกล่าวรวมถึงผลกระทบจากความชื้นที่เพิ่มขึ้น ซึ่งทำให้ยากต่อการนำมาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ในอาคาร

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

กระบวนการระเหยของน้ำในเครื่องปั้นดินเผาไฟต่ำเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ ด้วยคุณสมบัติพิเศษของเนื้อดินซึ่งมีความพรุนสูง น้ำซึมผ่านได้ง่าย ก่อให้เกิดการระเหยและส่งผลต่อการลดอุณหภูมิอากาศ ซึ่งเป็นกระบวนการที่ไม่ต้องการพลังงานไฟฟ้าจากภายนอก ดังนั้นความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษาในครั้งนี้จึงมุ่งตอบคำถามว่า การระเหยของน้ำในภาชนะดินเผามีส่วนช่วยลดอุณหภูมิอากาศในห้องได้มากน้อยเพียงไร อย่างไร มีปัจจัยใดบ้างที่เอื้อให้เกิดการลดอุณหภูมิ และแนวทางการประยุกต์ใช้งานรวมถึงมีข้อจำกัดในการใช้งานอย่างไรบ้าง ทั้งนี้เพื่อเป็นการลดการใช้พลังงานในอาคาร ก่อให้เกิดความยั่งยืนในอนาคต

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

สมมุติฐานของการวิจัยเกี่ยวข้องกับทฤษฎีการระเหยหรือการเปลี่ยนสถานะของน้ำจากของเหลวกลายเป็นไอน้ำ กระบวนการดังกล่าวก่อให้เกิดผลหลายประการซึ่งมีผลกระทบต่อ

สภาพแวดล้อม เช่น อุณหภูมิอากาศลดลง ความชื้นในอากาศเพิ่มขึ้น ซึ่งมนุษย์เองก็ได้รับผลกระทบเช่นกัน ดังนั้นปัจจัยที่ก่อให้เกิดการระเหยจึงกลายเป็นคำถามหลักของการศึกษารุ่นนี้ โดยสามารถแบ่งสมมุติฐานการทดลองได้ดังนี้

สมมุติฐานแรกเกี่ยวข้องกับสภาพแวดล้อมที่ก่อหรือเอื้อให้เกิดการระเหยของน้ำในภาชนะดินเผา โดยในห้องที่มีลมพัดกับห้องที่ไม่มีลมน่าจะมีอัตราการระเหยที่แตกต่างกัน กระแสลมน่าจะมีประโยชน์ในการนำเอาอากาศชื้นที่มีอุณหภูมิสูงออกไปจากระบบ ทำให้อุณหภูมิก๊าซและความชื้นภายในห้องลดลงได้มากกว่าที่ไม่มีลม

ประการที่สองคือ หากเพิ่มพื้นที่ผิวการระเหยให้มากขึ้น น่าจะเป็นการเพิ่มขีดความสามารถในการลดอุณหภูมิอากาศได้มากขึ้น

ประการสุดท้ายเกี่ยวข้องกับตำแหน่งที่เหมาะสม ที่เอื้อต่อการระเหย การวางภาชนะดินเผาให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศให้มากที่สุดด้วยการวางขวางทางลม น่าจะทำให้อุณหภูมิก๊าซในห้องลดลงได้มากที่สุด

1.4 ขอบเขตและข้อจำกัดในการศึกษา

การวิจัยเกี่ยวกับการลดอุณหภูมิอากาศด้วยการระเหยของน้ำในภาชนะดินเผาเป็นการวิจัยเชิงทดลองโดยการเปรียบเทียบปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นภายในห้องทดลอง 2 ห้องที่มีสภาพแวดล้อมเหมือนกัน การวิเคราะห์ผลการทดลองจึงอ้างอิงจากสภาพแวดล้อมที่เกิดขึ้นจริงของห้องทดลอง ดังนั้นการนำผลการทดลองไปประยุกต์ใช้งานจึงต้องทำอย่างรอบคอบ

ภาชนะดินเผาไฟคำที่ใช้ในการทดลองได้จากการคัดเลือกคุณสมบัติของเครื่องปั้นดินเผาจากแหล่งผลิต กรรมวิธีการผลิต ที่มีรูปทรงและพื้นผิวที่เอื้อต่อการระเหยของน้ำเพื่อให้เกิดการระเหยได้ดีที่สุด เพื่อให้ได้อัตราการระเหยที่ดีซึ่งส่งผลต่อการลดอุณหภูมิของอากาศได้มาก

การทดลองกระทำต่อเนื่อง 48 ชั่วโมง โดยศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศที่เกิดจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ในช่วงกลางวัน และสังเกตการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิจากการเปล่งรังสีความร้อนของวัสดุในช่วงเวลากลางคืน

การทดลองทำขึ้นภายในช่วงเวลาที่กำหนด คือระหว่างเดือนมีนาคมถึงพฤษภาคม ซึ่งเป็นช่วงที่ประเทศไทยมีอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยสูงที่สุดในรอบปี เนื่องจากอิทธิพลของความชื้นและปริมาณแสงแดดมีความเหมาะสม เอื้อต่อการระเหยน้ำเพื่อการลดอุณหภูมิ

ด้วยข้อจำกัดเรื่องงบประมาณสำหรับการทำวิจัย จึงก่อสร้างห้องทดลองได้เพียง 2 ห้อง โดยแบ่งเป็นห้องทดสอบและห้องควบคุมอย่างละห้อง ไม่สามารถออกแบบการทดลองที่ทดลองและเก็บข้อมูลครั้งละหลายตัวอย่างในคราวเดียวกัน

1.5 ขั้นตอนการศึกษาวิจัย

การวิจัยแบ่งเป็นสองขั้นตอน คือขั้นตอนการศึกษางานวิจัยและขั้นตอนทำการทดลอง โดยเริ่มจากการศึกษา เอกสาร รวบรวมข้อมูล รายงานการศึกษาที่เกี่ยวกับสมมุติฐานที่ตั้งไว้ ส่วนแล้วจึงทำการทดลองและสรุปผล โดยการบันทึกผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลต่างๆ บนพื้นฐานที่มีตัวแปรเดียวกัน

1.5.1 สำรวจและการศึกษาปัญหาเบื้องต้น

1. ศึกษารายงานการวิจัย บทความทางวิชาการ และเอกสารที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยที่มีผลต่อการลดอุณหภูมิของอากาศด้วยกระบวนการระเหยและวิธีการแก้ปัญหาคำร้อนในอาคารด้วยวิธีธรรมชาติ โดยเน้นวิธีการระเหยเพื่อลดความร้อนในอาคารในเขตร้อนชื้น

2. ทำการสำรวจ และคัดเลือกแหล่งผลิตเครื่องปั้นดินเผาที่มีคุณสมบัติเหมาะสมเพื่อใช้ในการทดลอง โดยอาศัยรายงานการวิจัยที่เกี่ยวข้องเป็นเครื่องชี้นำ

1.5.2 การศึกษาทฤษฎีและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย ได้แก่

1. กระบวนการระเหยตามธรรมชาติ การถ่ายเทความร้อนของอากาศ
2. ปัจจัยหลักที่มีผลต่อการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างอากาศและกรอบอาคาร
3. กรณีศึกษาต่าง ๆ ที่นำเอาวิธีการลดความร้อนด้วยกระบวนการระเหยทั้งทางตรงและทางอ้อม รวมทั้งศึกษาผลกระทบที่อาจเกิดกับผู้ใช้ในอาคาร
4. ศึกษารายงานการวิจัยเกี่ยวกับเครื่องปั้นดินเผา ที่มาของตัวอย่างที่นำมาใช้ในการทดลอง

1.5.3 การวางแผนการดำเนินการวิจัย

มองภาพรวมของปัญหาและแนวทางในการแก้ปัญหาเบื้องต้น โดยกำหนดแผนการดำเนินการวิจัยเบื้องต้น เพื่อดูความเป็นไปได้ในการวิจัยดังต่อไปนี้

- การกำหนดสมมุติฐานในการวิจัย
- การวิเคราะห์เบื้องต้นเพื่อหาตัวแปร
- การกำหนดตัวแปรที่เกี่ยวข้องในงานวิจัย
- การศึกษาทฤษฎีและแนวทางในการแก้ปัญหาคำร้อน
- การศึกษาวิธีทดสอบเพื่อสรุปผลในขั้นสุดท้าย

เมื่อกำหนดแผนการดำเนินการวิจัยเบื้องต้น และได้ผลสรุปว่าสามารถดำเนินการวิจัยให้บรรลุวัตถุประสงค์ได้ จึงจัดทำแผนดำเนินการวิจัย และเริ่มทำการศึกษาต่อไป

1.5.3.1 การกำหนดสมมุติฐานในการวิจัย

สมมุติฐานในการวิจัยครั้งนี้เกี่ยวข้องกับปัจจัยที่มีผลต่อการระเหย ได้แก่ ความเร็วลม ปริมาณความร้อนในอากาศ ปริมาณพื้นที่ผิวสัมผัสที่ล้นเป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความสามารถในการระเหยของน้ำที่ผิวของภาชนะดินเผา ซึ่งย่อมส่งผลโดยตรงต่อการลดลงของอุณหภูมิอากาศ

1.5.3.2 การวิเคราะห์ตัวแปรที่เกี่ยวข้อง

ค้นหาปัจจัยและตัวแปรที่เกี่ยวข้องทั้งหมดในเรื่องการระเหยของน้ำในภาชนะดินเผาที่ส่งผลให้อุณหภูมิในอากาศลดลง ได้แก่ ความเร็วลม ความร้อนและอุณหภูมิในอากาศ ความชื้น ปริมาณพื้นที่ผิวการระเหยของน้ำในภาชนะดินเผา โดยแบ่งเป็นตัวแปร 3 ชนิด ได้แก่

– ตัวแปรอิสระ ได้แก่ ความเร็วลม ตำแหน่งการวางภาชนะดินเผาในห้องทดลอง รวมถึงปริมาณพื้นที่ผิวของภาชนะดินเผาที่มีผลต่ออุณหภูมิและความชื้นที่เหมาะสม

– ตัวแปรตาม ได้แก่ อุณหภูมิและความชื้นของอากาศที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงจากการเพิ่มและลดของรังสีความร้อนในแต่ละวัน รวมทั้งการลดอุณหภูมิจากการระเหยของน้ำที่เกิดขึ้นภายในห้องทดลอง

– ตัวแปรควบคุม ได้แก่ ห้องที่ใช้ทดลองเพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการลดอุณหภูมิในอากาศจากการระเหยของน้ำได้ โดยต้องมีค่าการส่งผ่านความร้อนรวมเท่ากันและตั้งอยู่ในสภาพแวดล้อมเดียวกัน

1.5.4 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

ในแต่ละชุดการทดลองได้ออกแบบให้มีห้องควบคุมและห้องทดสอบ เพื่อบันทึกผลการทดลองแล้วนำมาเปรียบเทียบโดยใช้เครื่องมือวัดและเครื่องบันทึกผลต่าง ๆ ดังนี้

1. เครื่องวัดอุณหภูมิอากาศ; Thermometer, Globe Thermometer, Thermo Gun
2. เครื่องวัดปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ ; TFF10, EE70 Humidity
3. เครื่องวัดความเร็วลม ; EE65 Wind Velocity
4. เครื่องวัดระยะ; Measurement Tape
5. เครื่องวัดค่าพลังงานแสงอาทิตย์ Pyranometer
6. เครื่องบันทึกสัญญาณอัตโนมัติ Data Locker; Opus 200 จำนวน 10 เครื่อง
7. เครื่องชั่งน้ำหนัก

1.5.5 วิธีทำการทดลอง

1. เตรียมห้องทดลองขนาดกว้าง 1.2 ม. ยาว 2.4 ม. และสูง 1.2 ม. ยกสูงจากพื้น 0.80 ม. จำนวน 2 ห้อง โดยจัดวางให้มีทิศทางและรูปแบบเหมือนกันที่สุด โดยไม่มีเงาของอาคารหรือสิ่งอื่นใดปกคลุม เพื่อใช้เป็นห้องทดสอบและห้องควบคุม

2. ติดตั้งอุปกรณ์บันทึกอุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วลม ทั้งสองห้องไว้ในลักษณะเดียวกัน รวมทั้งทำการบันทึกภายนอกอาคารในกล่องตรวจสอบอุณหภูมิอากาศที่ติดตั้งบริเวณใกล้เคียง
3. ทำการทดสอบประสิทธิภาพของอุปกรณ์ของทั้งสองห้องให้มีค่าความแม่นยำ ทัดเทียมกัน โดยการเปิดเครื่องมือบันทึกค่าอุณหภูมิ ความชื้นและความเร็วลม เป็นเวลา 48 ชั่วโมง และทำการอ่านค่าที่ได้เปรียบเทียบกับกัน เพื่อหาวิธีควบคุมตัวแปรทั้งห้องทดสอบและเครื่องมือ ทดลองให้เหมือนกัน
4. ดำเนินการทดลองสมมุติฐานต่าง ๆ ที่ได้เตรียมไว้ โดยการนำภาชนะดินเผาที่ ทำการแช่น้ำเพื่อให้เกิดการซึมน้ำอย่างดี มาใช้ในการทดลอง ลักษณะ จำนวนและรูปแบบตาม สมมุติฐานที่วางไว้
5. บันทึกค่าอุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วลมในแต่ละจุดที่ทำการทดลอง เป็น เวลา 48 ชั่วโมง ต่อสมมุติฐานการทดลอง
6. นำผลการทดลองที่ได้จากการบันทึกมาวิเคราะห์ ตรวจสอบค่าที่ได้ให้มีความ ถูกต้องแม่นยำก่อนทำการสรุปผลการทดลองต่อไป

1.5.6 การสรุปผลการทดลอง

เมื่อทำการทดลองด้วยวิธีการต่างๆ เรียบร้อยแล้ว นำผลที่ได้มาสรุปผลวิเคราะห์ เปรียบเทียบกับงานวิจัย ข้อมูลและทฤษฎีต่างๆ ที่ได้มาศึกษามาในเบื้องต้น เพื่อเป็นแนวทางใน การสรุปผลการทดลองเพื่อประยุกต์ใช้งาน

สรุปปัจจัยที่มีผลต่อการลดอุณหภูมิได้มากที่สุดจากผลของตัวแปรที่เปลี่ยนแปลงไป

สรุปผลอุณหภูมิของอากาศที่เปลี่ยนไปเปรียบเทียบกับความชื้น ความเร็วลมเพื่อนำมา พิจารณาเทียบกับสภาวะความสบาย โดย Psychometric Chart

วิเคราะห์ถึงความเหมาะสม จำนวน ที่เหมาะสำหรับการนำมาประยุกต์ใช้งานในอาคาร โดยพิจารณาถึงข้อจำกัดต่างๆ

1.5.7 คำจำกัดความที่ใช้ในการศึกษา

เครื่องปั้นดินเผาไฟต่ำ (Earthenware) หมายถึง ภาชนะดินเผาที่ในอุณหภูมิในการเผาให้ สูงด้วยอุณหภูมิประมาณ 800-1000 °C [6] เครื่องปั้นดินเผาประเภทนี้มีผลิตและแพร่หลายใน หลายพื้นที่ของประเทศ เช่น ชุมชนบ้านหม้อ จ.มหาสารคาม บ้านจอหอ จ.นครราชสีมา ชุมชน เกาะเกร็ด นนทบุรี บ้านโค้งสวรรค์ จ.หนองบัวลำภู และหลายจังหวัดในภาคกลางและภาคเหนือ ภาชนะที่ผลิตได้แก่ หม้อน้ำ แจกกัน กระจ่างดินไม้ ฯลฯ ที่มีสีส้มแดง หรือสีอิฐ ซึ่งขึ้นอยู่กับ อุณหภูมิที่ใช้เผาและแหล่งดิน

เครื่องปั้นดินเผาไฟปานกลางคือใช้อุณหภูมิในการเผาประมาณ 1200-1500 °C สีเข้มขึ้น มีส่วนผสมของดินและทรายที่สามารถทนความร้อนได้มากขึ้น มีความแกร่งปานกลาง ได้แก่กลุ่มภาชนะดินเผาจากแหล่งบ้านดินดำ จ.นครราชสีมา บริเวณชุมชนด่านเกวียนซึ่งผลิตภาชนะประเภทครก กระดาง อ่างน้ำ เป็นต้น ส่วนพื้นที่ในเขต จ.ราชบุรีผลิตภาชนะประเภทโอ่งบรรจุน้ำที่น้ำไม่สามารถซึมออกมาได้

เครื่องปั้นดินเผาไฟสูง ได้แก่ภาชนะดินเผาที่มีความแกร่ง ประเภทเซรามิก น้ำไม่ซึมและมักมีสีชาซึ่งเกิดจากเนื้อดินที่มีความสามารถในการทนความร้อนสูง มักมีการเคลือบด้วยน้ำเคลือบชนิดต่าง ๆ เพื่อให้เกิดสีสันที่หลากหลาย

ห้องทดลอง (Experimental Room) หมายถึง ห้องที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อใช้ทำการวิจัย จำนวน 2 ห้อง มีลักษณะเหมือนกันทุกประการ

ห้องทดสอบ (Test Room) หมายถึงหนึ่งในห้องทดลองที่ใช้ติดตั้งตัวแปรอิสระ สำหรับการทดลองแต่ละครั้ง

ห้องควบคุม (Control Room) หมายถึงห้องทดลองที่ใช้เปรียบเทียบกับห้องทดสอบ สำหรับการทดลองแต่ละครั้ง

1.6 กรอบความคิดในการวิจัย

เนื่องจากวิธีการลดอุณหภูมิของอากาศโดยอาศัยกระบวนการระเหยของน้ำมีอยู่หลายวิธี ซึ่งล้วนมีผลกระทบต่ออาคารและผู้ใช้อาคารทั้งทางตรงและทางอ้อม ในการวิจัยเรื่องการลดอุณหภูมิอากาศด้วยการระเหยของน้ำในภาชนะดินเผาไฟต่ำนี้จะมีผลกระทบต่อผู้ใช้น้อยที่สุด โดยในเบื้องต้นได้ทำการคัดเลือกรูปแบบ ภาชนะดินเผา ขั้นตอนการผลิต การใช้งานและการดูแลรักษาที่สะดวกมาใช้ในการทดลอง เพื่อใช้ผลการทดลองเป็นแนวทางในการพัฒนาระบบที่ซับซ้อนต่อไปในอนาคต

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

เป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้ในอาคารที่ได้รับผลกระทบจากภาวะความร้อนในอาคาร เป็นแนวทางในการพัฒนาองค์ความรู้ดังกล่าวในงานออกแบบอาคาร และระบบที่ซับซ้อนขึ้น โดยมีต้นทุนในการผลิต การดูแลรักษาต่ำ เพื่อไม่ให้เป็นปัญหาในการใช้งานสำหรับผู้ที่มีรายได้น้อย

1.8 ระยะเวลาและแผนการดำเนินการ

ช่วงที่ 1 ศึกษาปัญหาและข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

ช่วงที่ 2 กำหนดรูปแบบการทดลอง

ช่วงที่ 3 ก่อสร้างห้องทดลอง

ช่วงที่ 4 ทำการทดลอง โดยการควบคุมตัวแปรและทำการเปรียบเทียบและปรับเปลี่ยนตัวแปรตามสมมุติฐานที่ตั้งไว้

ช่วงที่ 5 วิเคราะห์ผลการทดลอง

ช่วงที่ 6 สรุปผลการทดลองและเสนอแนะแนวทางการประยุกต์ใช้งานในอาคาร

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินการวิจัย

| รายละเอียด | ต.ค.47 | พ.ย.47 | ธ.ค.47 | ม.ค.48 | ก.พ.48 | มี.ค.48 | เม.ย.48 | พ.ค.48 |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|--------|
| 1. รวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ปัญหา | ←————→ | | | | | | | |
| 2. กำหนดรูปแบบการทดลอง | | | ←→ | | | | | |
| 3. ก่อสร้างห้องทดลอง | | | ←————→ | | | | | |
| 4. ทำการทดสอบ บันทึกค่าการทดลอง | | | | | ←————→ | | | |
| 5. วิเคราะห์ผลการทดลอง | | | | | | ←————→ | | |
| 6. สรุปผลการวิจัย และเสนอแนะแนวทางการประยุกต์ใช้งาน | | | | | | | ←————→ | |

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การระเหยของน้ำเป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติที่เราคุ้นเคยเป็นอย่างดี เมื่อน้ำระเหย ความชื้นในอากาศจะเพิ่มขึ้น ในขณะที่อุณหภูมิอากาศจะลดลง เช่นเดียวกับแนวคิดในการลด อุณหภูมิอากาศด้วยกระบวนการระเหยของน้ำในภาชนะดินเผา ที่อาศัยหลักการดังกล่าวเพื่อให้ อุณหภูมิอากาศลดลงด้วยวิธีธรรมชาติ ซึ่งปรากฏการณ์เหล่านี้สามารถอธิบายได้ด้วยหลักเบื้องต้น ทางวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับอุณหภูมิ ความร้อนและการเปลี่ยนสถานะของน้ำ มีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

2.1 การทำความเข้าใจเกี่ยวกับความร้อนและอุณหภูมิ [7]

ความร้อน(Heat) คือพลังงานรูปหนึ่งที่สะสมในสสาร เช่นการเคลื่อนที่ของโมเลกุลใน สสาร หรือการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในอวกาศ พลังงาน (Energy) คือความสามารถในการทำงาน มีหน่วยวัดเดียวกัน คือ จูล (J) ที่มาจากหน่วยพื้นฐาน MKS (m, kg, s) ในระบบSI (สามารถดูที่มา ของหน่วยต่าง ๆ ด้านพลังงานจาก ตารางที่ ก.1 ในภาคผนวก)

อุณหภูมิ (Temperature, T) เป็นสิ่งแสดงถึงพลังงานความร้อนที่มีอยู่ในวัตถุ สเกลวัด อุณหภูมิที่นิยมใช้ได้แก่ สเกลเซลเซียสและสเกลเคลวิน ซึ่งมีความสัมพันธ์กับสถานะของน้ำใน สภาพความดันปกติ โดยแบ่งระยะห่างระหว่างจุดที่น้ำเริ่มเดือดกับจุดที่น้ำเริ่มกลายเป็นน้ำแข็ง เป็น100 ช่อง แต่ละช่องมีระยะห่างเท่ากัน เรียกว่าช่ององศา โดย 0°C เป็นอุณหภูมิที่น้ำกลายเป็น น้ำแข็ง และมีอุณหภูมิจุดเดือดที่ 100°C

ส่วนสเกลเคลวินมีค่าเริ่มต้นที่ 0 K เรียกว่า อุณหภูมิศูนย์องศาสมบูรณ์ (Absolute Zero) เป็นจุดที่ไม่มีความร้อนใดๆ อยู่เลย มีค่าเท่ากับ -273.15°C หรือ $0^{\circ}\text{C} = 273.15\text{ K}$ โดยสเกลทั้งสอง มีระยะห่างในสเกลเท่ากันโดยทั่วไปองศาเซลเซียสมักใช้ในการอ่านค่าของอุณหภูมิในเครื่องมือ วัด ส่วนความแตกต่างของอุณหภูมิมักใช้สเกลเคลวินโดยไม่ต้องมี“องศา” นำหน้าเช่น อุณหภูมิ ภายนอก 40°C อุณหภูมิภายใน 25°C จะมีค่าความแตกต่าง 15K และหากต้องการแปลงค่าองศา เซลเซียสเป็นองศาเคลวินสามารถบวกด้วยค่า 273.15 นั่นคือ 15°C มีค่าเท่ากับ $273.15+15^{\circ}\text{C} = 288.15\text{ K}$

ความร้อนจำเพาะ (Specific Heat) คือค่าที่แสดงความเกี่ยวข้องระหว่างอุณหภูมิและความ ร้อน โดยความร้อนจำเพาะคือปริมาณความร้อนที่ถูกใช้เพื่อให้สสารจำนวนหนึ่งมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1 องศา มีหน่วยเป็น จูล/กิโลกรัม เคลวิน (J/kg.K) ซึ่งสสารต่างชนิดกันจะมีค่าความร้อนจำเพาะ

แตกต่างกัน โดยทั่วไป น้ำมีค่าความร้อนจำเพาะมากที่สุดที่ 4176 J/kg.K (สามารถดูค่าความร้อนจำเพาะของวัสดุอื่นจากตาราง ก.2 ในภาคผนวก)

ความร้อนแฝงของสสาร (Latent Heat) คือพลังงานความร้อนที่ถูกดูดซับโดยสสารหนึ่งหน่วยปริมาตรเมื่อมีการเปลี่ยนสถานะของสสารนั้น โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ มีหน่วยเป็น จูล/กิโลกรัม (J/kg) ยกตัวอย่างการเปลี่ยนสถานะของน้ำ มีความต้องการพลังงานความร้อนดังนี้

- ความร้อนแฝงของการเปลี่ยนสถานะของน้ำแข็งเป็นน้ำ ที่อุณหภูมิ $0^{\circ}\text{C} = 335 \text{ kJ/kg}$
- ความร้อนแฝงของการระเหยของน้ำที่อุณหภูมิ $100^{\circ}\text{C} = 2261 \text{ kJ/kg}$
- ความร้อนแฝงของการระเหยของน้ำที่อุณหภูมิ $18^{\circ}\text{C} = 2400 \text{ kJ/kg}$

เมื่อมีการเปลี่ยนสถานะกลับคืนจากน้ำกลายเป็นน้ำแข็ง ก็มีการปลดปล่อยพลังงาน

คืนกลับมาในปริมาณเท่ากัน

เทอร์โมไดนามิกส์ (Thermodynamics) คือศาสตร์ที่ว่าด้วยการเคลื่อนที่ของความร้อน มีกฎหลักอยู่ 2 ข้อได้แก่ กฎการอนุรักษ์พลังงาน ซึ่งกล่าวไว้ว่า พลังงานไม่มีทางสูญหาย แต่มีการเปลี่ยนรูป และพลังงานที่ได้รับในระบบจะเท่ากับพลังงานที่ใส่เข้ามา ส่วนกฎข้อที่สองคือ การเคลื่อนที่ของความร้อนจะเกิดขึ้นในทิศทางเดียวเท่านั้น คือเคลื่อนจากที่ร้อนกว่าไปที่เย็นกว่าเสมอ เช่นเดียวกับน้ำที่เคลื่อนที่จากที่สูงสู่ที่ต่ำ ยกเว้นมีแรงภายนอกเข้ามาบังคับ จึงจะทำให้เกิดการกลับทิศทางการเคลื่อนที่ เช่นเดียวกับการปั้มน้ำขึ้นจากที่ต่ำไปสู่ที่สูง

ความร้อนเคลื่อนที่จากอุณหภูมิสูงไปที่ที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าด้วย 3 รูปแบบได้แก่ การนำ การพาและการแผ่รังสีความร้อน โดยสามารถวัดปริมาณการเคลื่อนที่ของความร้อนแต่ละแบบได้ 2 ทางคือ

อัตราการไหลของความร้อน (Heat flow rate, Q) คือการไหลของพลังงานทั้งหมดต่อหน่วยเวลาผ่านพื้นที่ที่กำหนดหรือในระบบที่กำหนด มีหน่วยเป็นจูลต่อวินาที หรือ วัตต์ (W)

ความหนาแน่นของอัตราการไหลของความร้อน (Heat flux density) คือ อัตราการไหลของความร้อนที่ไหลผ่านหน่วยพื้นที่ที่กำหนดหรือที่ว่างที่กำหนด มีหน่วยเป็น วัตต์ต่อตารางเมตร (W/m^2)

หน่วยวัดที่นิยมใช้ในการวัดการไหลของพลังงานอีกรูปหนึ่งคือ วัตต์-ชั่วโมง (W.h) ซึ่งเป็นหน่วยวัดพลังงานที่ถูกส่งออกมาในอัตรา 1 วัตต์ ตลอดระยะเวลา 1 ชั่วโมง ซึ่งถ้า 1 ชั่วโมง = 3600 วินาที, 1 วัตต์ = 1 จูล/วินาที แล้ว 1 วัตต์ ชั่วโมง เท่ากับ 3600 จูล หรือ 3.6 กิโลจูล และหน่วยกิโลวัตต์-ชั่วโมง นิยมใช้ในหน่วยวัดทางพลังงานไฟฟ้า $1 \text{ kWh} = 3\,600\,000 \text{ kJ}$ หรือ 3.6 MJ (megajoule)

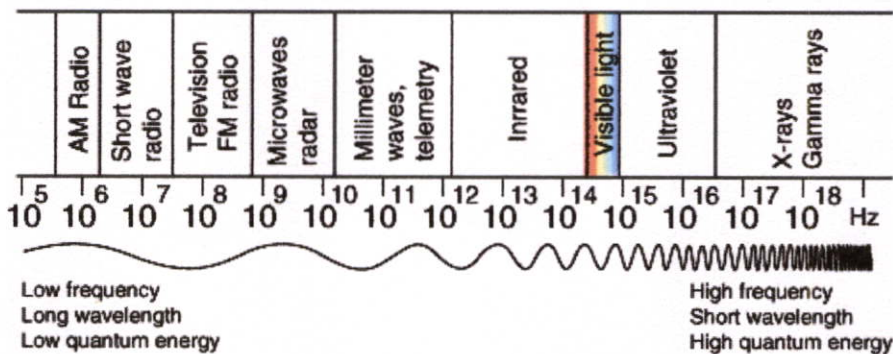
2.2 การเคลื่อนที่ของความร้อน (Heat flow)

เช่นเดียวกับการเคลื่อนที่จากที่สูงสู่ที่ต่ำของน้ำ ความร้อนก็มีลักษณะการเคลื่อนที่จากที่ร้อนกว่าไปยังที่เย็นกว่า โดยเกิดขึ้นได้ 3 รูปแบบ ได้แก่

การนำความร้อน (Conduction) เป็นการถ่ายเทความร้อนจากโมเลกุลหนึ่งไปสู่อีกโมเลกุลหนึ่งซึ่งอยู่ติดกัน ไปเรื่อยๆ จากอุณหภูมิสูงไปสู่อุณหภูมิต่ำ

การพาความร้อน (Convection) เป็นการถ่ายเทความร้อนจากของแข็งสู่ของไหล (น้ำหรือก๊าซ) หรือจากของไหลสู่ของแข็ง มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ พื้นที่ผิวสัมผัสที่สัมผัสกับของไหล ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างพื้นผิวสัมผัสกับของไหลและประการสุดท้ายคือสัมประสิทธิ์การพา (convection coefficient, h_c) มีหน่วยวัดเป็น W/m^2K ซึ่งขึ้นกับความหนืดและความเร็วของของไหล รวมทั้งลักษณะการไหลว่าเป็นไปแบบต่อเนื่องเป็นเส้นตรงหรือไหลแบบหมุนวน

การแผ่รังสีความร้อน เกิดขึ้นจากวัตถุที่ร้อนกว่าไปสู่วัตถุที่เย็นกว่า โดยเป็นการแผ่รังสีที่มีความยาวคลื่นตั้งแต่ 700 nm – 10,000 nm แบ่งเป็นคลื่นความร้อนช่วงสั้น (Short Infrared) มีความยาวระหว่าง 700nm- 2,300 nm และคลื่นความร้อนช่วงยาว (Long Infrared) มีความยาวระหว่าง 2.3-10 μm (จำกัดความยาวที่ 70 μm) โดยช่วงคลื่นที่ปล่อยมาจากวัตถุจะสั้นหรือยาวขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของวัตถุ ที่ผิวของดวงอาทิตย์ อุณหภูมิประมาณ 6000°C ปล่อยคลื่นรังสีความร้อนคลื่นสั้นออกมาเท่าๆ กับคลื่นแสงและรังสีอัลตราไวโอเล็ต ส่วนวัตถุในพื้นที่โลกที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า 100°C ปล่อยคลื่นรังสีความร้อนช่วงยาว รูปที่ 2.1 แสดงความสัมพันธ์ของช่วงคลื่นในช่วงความยาวต่าง ๆ



รูปที่ 2.1 สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และความยาวคลื่นในช่วงต่าง ๆ ของแสงอาทิตย์[8]

อัตราการเคลื่อนที่ของความร้อนใน 3 รูปแบบที่กล่าวมานั้น มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างวัตถุทั้งสอง ในขณะที่อัตราการไหลของความร้อน (heat flow rate) ที่เกิดจากการนำความร้อนขึ้นอยู่กับพื้นที่หน้าตัดที่เป็นทางผ่านของความร้อน

2.2.1 การนำความร้อน ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติการนำความร้อนของวัสดุ (Conductivity, λ) โดยวัดจากความหนาแน่นของการไหลของความร้อนผ่านวัสดุความหนา 1 เมตร (ระยะทางการเคลื่อนที่ของความร้อนยาว 1 เมตร) ที่มีความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิทั้งสองด้าน 1 เคลวิน มีหน่วยวัดเป็น $W/m^2 K$ หรือ W/mK

วัสดุที่นำความร้อนได้น้อยมักถูกนำมาใช้เป็นฉนวนกันความร้อน แต่เนื่องจากมีโครงสร้างเป็นลักษณะเส้นใย หรือมีรูพรุนซึ่งประกอบด้วยโพรงอากาศ จึงมีความไวต่อความชื้นในอากาศเป็นอย่างมาก หากช่องอากาศที่มีในวัสดุเปียกน้ำจะทำให้ค่าการนำความร้อนเพิ่มสูงขึ้น ตารางที่ 2.1 แสดงค่าการนำความร้อนของแผ่นฉนวนใยซีเมนต์ ซึ่งเปลี่ยนไปเมื่อวัสดุเปียกและแห้งต่างกัน ส่วนวัสดุที่ปิดผิวหน้าด้วยโฟม จะมีคุณสมบัติในการเป็นฉนวนที่ดีเช่นเดิม (โดยปกติค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุเป็นคุณสมบัติเฉพาะตัวของวัสดุนั้น ไม่ขึ้นกับขนาดและรูปร่าง ได้มาจากการทดลองในห้องปฏิบัติการ เมื่อนำมาใช้งานจริงจะต้องบวกค่าความผิดพลาด κ, κ ที่เกิดจากการผลิต การขนส่ง หรือการติดตั้งที่ลดความเป็นฉนวนของวัสดุเหล่านี้ด้วย)

ตารางที่ 2.1 ค่าการนำความร้อนของแผ่นฉนวนใยซีเมนต์ในสภาพความชื้นที่แตกต่างกัน

| ลักษณะทางกายภาพ | ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.) | การนำความร้อน (วัตต์/เมตร เคลวิน) |
|-----------------|-------------------------|-----------------------------------|
| แห้ง | 136 | 0.051 |
| เปียก | 272 | 0.144 |
| เปียกชุ่ม | 400 | 0.203 |

สำหรับค่าการนำความร้อนของผนัง (Conductance, C) สามารถคำนวณได้โดยเอาสัมประสิทธิ์การนำความร้อนหารด้วยความหนาของผนัง (ในกรณีที่วัสดุผนังมีชนิดเดียว) โดยมากมักไม่นิยมใช้ค่านี้ในการคำนวณทางด้านความร้อนในอาคาร แต่จะใช้สัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อน (Transmittance, U -value) ของวัสดุมากกว่า โดยค่าดังกล่าวเป็นการพิจารณาความหนาแน่นของการไหลของความร้อน (Heat flow density, W/m^2) ที่ไหลผ่านระหว่างผนังที่มีความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศภายนอกและภายใน 1 เคลวิน (ΔT) มีหน่วยเป็น $W/m^2 K$

$$Q = A \times U \times \Delta T \quad (2.1)$$

ตัวอย่างเพื่อความเข้าใจสำหรับการคำนวณการส่งผ่านความร้อนรวมของวัสดุ สมมุติหากอุณหภูมิอากาศภายนอกคือ $T_{out} = 10^\circ C$ และอุณหภูมิภายในคือ $T_{in} = 22^\circ C$

ดังนั้น $\Delta T = 10 - 22 = -12\text{K}$ (ค่าติดลบแสดงว่าเกิดการสูญเสียความร้อนให้กับภายนอกอาคาร) หากพื้นที่ผนังอิฐ 10 ตารางเมตร ($U = 1.5\text{ W/m}^2\text{K}$) ค่าการส่งผ่านความร้อน $Q = 10 \times 1.5 \times (-12) = -180\text{ W}$

ตรงข้ามกับค่าการส่งผ่านความร้อนของวัสดุ คือค่าความต้านทานรวม (Air-air resistance, R_{a-a}) มีหน่วย $\text{m}^2\text{K/W}$ นั่นคือการรวมความต้านทานที่มีทั้งหมดของวัสดุ ได้แก่จำนวนอากาศที่ผิวหน้าของวัสดุ ความต้านทานการส่งผ่านความร้อนของวัสดุเองและจำนวนอากาศด้านใน ยกตัวอย่างค่าความต้านทานของผนัง 2 ชั้น ดังนี้

$$R_{a-a} = R_{si} + R_1 + R_2 + R_{so} \quad (2.2)$$

สำหรับผนังชั้นเดียว การหาค่าความต้านทานความร้อนของวัสดุหาได้จากความหนาของวัสดุ (breadth; b) หน่วยเป็น เมตรหารด้วยสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุนั้น

$$R_{\text{body}} = b/\lambda \quad (2.3)$$

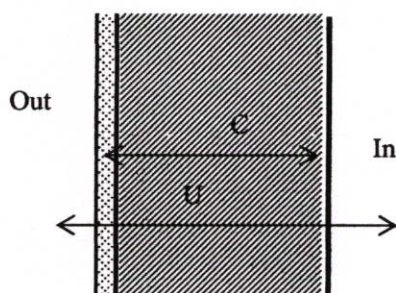
ในกรณีที่ผนังประกอบด้วยวัสดุหลายชั้น การหาค่าความต้านทานรวมสามารถคิดได้ดังตัวอย่างต่อไปนี้ ในรูปที่ 2.2 แสดงผนังอิฐความหนา 22 มิลลิเมตร ($\lambda = 0.84\text{ W/mK}$) ฉาบผิวหน้าด้วยซีเมนต์ ($\lambda = 0.6\text{ W/mK}$) ความต้านทานความร้อนของอากาศฟิล์มภายนอก $R_{so} = 0.06$ และความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศภายใน $R_{si} = 0.14\text{ m}^2\text{K/W}$

$$R_{\text{body}} = 0.220/0.84 + 0.015/0.6 = 0.287\text{ m}^2\text{K/W}$$

$$C = 1/R_{\text{body}} = 1/0.287 = 3.484\text{ W/m}^2\text{K}$$

$$R_{a-a} = 0.14 + 0.287 + 0.06 = 0.487 \text{ ดังนั้น}$$

$$U = 1/R_{a-a} = 1/0.487 = 2.054\text{ W/m}^2\text{K}$$



รูปที่ 2.2 ตัวอย่างหน้าตัดผนัง แสดงค่าการส่งผ่านความร้อนและการส่งผ่านความร้อนรวม

2.2.2 การพาความร้อน ขึ้นอยู่กับสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (Convection coefficient, h_c) มีหน่วยวัดเป็น W/m^2K

$$Q_v = A \times h_c \times \Delta T \quad (m^2 \times W/m^2K \times K = W) \quad (2.4)$$

ค่าของสัมประสิทธิ์การพาความร้อนมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับตำแหน่งของพื้นผิว ทิศทางการไหลของความร้อนและความเร็วของของไหล ยกตัวอย่างเช่น

- พื้นผิววางตั้ง (ทิศทางการเคลื่อนที่ของความร้อนในแนวนอน) สัมประสิทธิ์การพาความร้อน = $3 W/m^2K$
- พื้นผิววางนอน(ความร้อนเคลื่อนที่ขึ้น จากอากาศสู่ฝ้าเพดาน, พื้นสู่อากาศในห้อง) สัมประสิทธิ์การพาความร้อน = $4.3 W/m^2K$
- พื้นผิววางนอน(ความร้อนเคลื่อนที่ลง จากอากาศสู่พื้น, เพดานสู่อากาศในห้อง) สัมประสิทธิ์การพาความร้อน = $1.5 W/m^2K$

ซึ่งพบว่าทิศทางจากล่างขึ้นบนจะมีสัมประสิทธิ์การพาความร้อนมากกว่าจากบนลงล่าง เนื่องจากอากาศร้อนจะเคลื่อนที่ขึ้นบนเสมอ จากสมการข้างบนสมมุติว่าอยู่ในสภาพอากาศนิ่งซึ่งหมายถึงการเคลื่อนที่ของอากาศเกิดจากการส่งผ่านความร้อนเพียงอย่างเดียว แต่หากพื้นผิวปะทะกับกระแสลมแล้ว สัมประสิทธิ์การพาความร้อนจะมีมากกว่าปกติ คือ $h_c = 5.8 + 4.1 v$ เมื่อ v คือความเร็วลม หน่วยเป็น เมตร/วินาที

2.2.3 การแผ่รังสีความร้อน

การแผ่รังสีความร้อนขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัสดุ 3 ประการ ได้แก่

การสะท้อน (Reflectance, ρ) คือคุณสมบัติของวัสดุที่บอกถึงปริมาณรังสีที่ถูกสะท้อนออกมาเมื่อกระทบกับผิววัสดุ

การดูดซับ (Absorptance, α) คือคุณสมบัติในการดูดซับรังสีของวัสดุ โดยเปรียบเทียบกับ Black Body ซึ่งเป็นวัตถุที่มีคุณสมบัติในการดูดซับดีที่สุด ($\alpha = 1$) โดยปรกติวัตถุที่มีสีเข้มมักมีค่าการดูดซับสูง ตรงข้ามกับวัตถุสีอ่อนและมีความมันวาวที่มีค่าการดูดซับน้อย ปัจจุบันค่าการดูดซับของวัสดุมีตั้งแต่ 0.9 (Black asphalt) – 0.2 (อลูมิเนียมผิวมัน หรือวัสดุทาสีอ่อน)

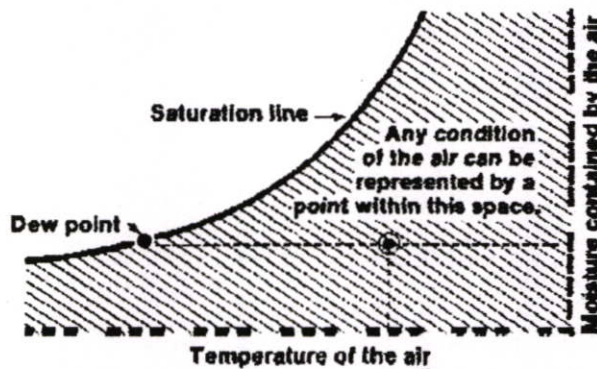
การเปล่งรังสี (Emittance; ϵ) คือค่าที่วัดความสามารถในการเปล่งรังสีของวัตถุโดยเทียบกับ Black Body ซึ่งเป็นวัตถุที่เปล่งรังสีได้ดีที่สุด สำหรับพื้นผิวปกติทั่วไปถ้าอุณหภูมิและความยาวคลื่นในช่วงเดียวกัน $\alpha = \epsilon$ แต่วัสดุหลายชนิดที่มีคุณสมบัติในการเลือกรับช่วงคลื่นที่แตกต่างกัน ทำให้เหมาะในการเลือกใช้เพื่อเป็นตัวควบคุมเก็บความร้อนในแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ หรือใช้เป็นแผ่นสะท้อนรังสีความร้อน

การคำนวณค่าการแผ่รังสีความร้อนของดวงอาทิตย์มีความซับซ้อนมาก แต่มีวิธีที่ง่ายและมีประสิทธิภาพที่มีส่วนสำคัญต่อการออกแบบอาคารคือ ถ้าทราบค่าการแผ่รังสีความร้อนรวมของดวงอาทิตย์ (Global irradiance, G) สามารถหาอัตราการแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ได้จากสมการ

$$Q_s = A \times G \times \alpha \quad (\text{m}^2 \times \text{W/m}^2 \times \text{non-dim.} = \text{W}) \quad (2.5)$$

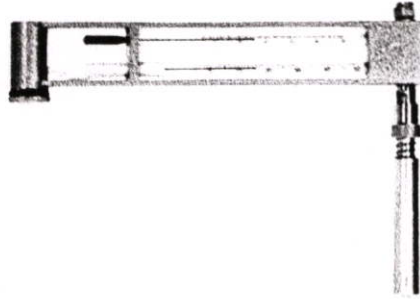
2.3 อากาศชื้นกับแผนภูมิไซโครเมตริก[9]

Psychrometric Chart เป็นกราฟที่แสดงถึงสภาพหรือสถานะของอากาศในขณะนั้น โดยแกนนอนหมายถึงอุณหภูมิกระเปาะแห้ง ส่วนแกนตั้งแสดงปริมาณไอน้ำทั้งหมด (absolute humidity, AH) ที่มีอยู่ในอากาศ มีหน่วยเป็นกรัมต่อกิโลกรัม (g/kg, กรัมของไอน้ำต่อกิโลกรัมของอากาศแห้ง) ที่อุณหภูมิหนึ่ง ๆ อากาศมีความสามารถในการรับเอาไอน้ำไว้ได้ในปริมาณจำกัด เราเรียกรวมที่อากาศไม่สามารถรับไอน้ำไว้ได้อีกว่า “อากาศอิ่มตัว” (Saturation) ส่วนบนของกราฟที่เป็นเส้นโค้งคือเส้นจุดอิ่มตัวของอากาศ บอกให้เราทราบปริมาณไอน้ำสูงสุดที่อากาศสามารถรับไว้ได้ในอุณหภูมิต่างๆ



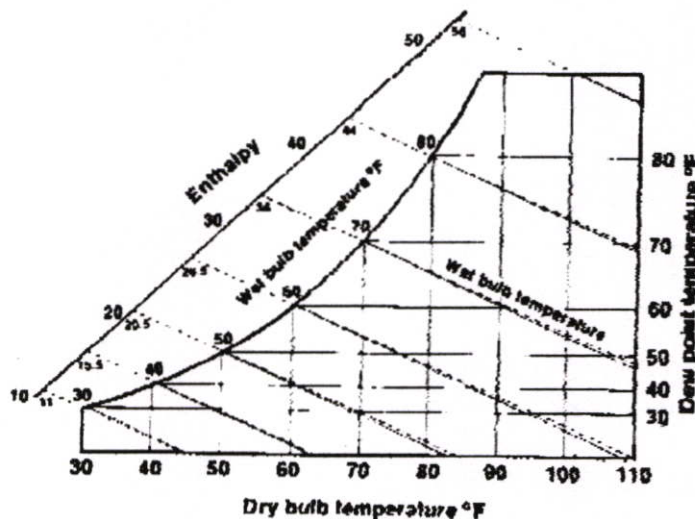
รูปที่ 2.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความชื้นของอากาศบน Psychrometric Chart

Relative Humidity หรือความชื้นสัมพัทธ์ หมายถึงอัตราส่วนของปริมาณไอน้ำที่มีอยู่จริงในอากาศ กับปริมาณไอน้ำที่จะทำให้อากาศอิ่มตัว ซึ่งบอกถึงปริมาณความชื้นที่อุณหภูมิกอากาศนั้นๆ ยังสามารถรับไว้ได้ เช่น ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส อากาศจะอิ่มตัวเมื่อมีความชื้นในอากาศ 20 กรัมต่อกิโลกรัมของอากาศแห้งคิดเป็นความชื้นสัมพัทธ์ 100 เปอร์เซ็นต์ หากลดปริมาณความชื้นในอากาศลงเหลือ 10 g/kg ในขณะที่อุณหภูมิเท่าเดิม เราสามารถอ่านค่าความชื้นสัมพัทธ์ได้เท่ากับ 50 %



รูปที่ 2.4 สลิ่งไซโครมิเตอร์ (Sling Psychrometer) [10]

อุปกรณ์ที่ใช้วัดความชื้นเรียกว่า Sling Psychrometer ซึ่งประกอบด้วยเทอร์โมมิเตอร์ 2 อัน มีอันหนึ่งที่หุ้มปลายกระเปาะด้วยผ้าเปียกซึ่งต่อเชื่อมกับกระเปาะบรรจุน้ำในอุปกรณ์ เมื่อแกว่งเครื่องมือ อากาศที่ไหลผ่านผ้าเปียกนี้จะทำให้เกิดการระเหยซึ่งค่าอุณหภูมิที่ได้จะแสดงอุณหภูมิกระเปาะเปียกที่เกิดจากการระเหยของน้ำ ส่วนเทอร์โมมิเตอร์อีกอันหนึ่งอันแสดงค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้ง ความแตกต่างของอุณหภูมิทั้งสองมีความหมายที่แสดงถึงสภาพความชื้นที่มีอยู่ในบรรยากาศ หากความแตกต่างมาก แสดงว่าเกิดการระเหยของน้ำที่ผ้าเปียกมาก ทำให้ลดอุณหภูมิลงได้มาก นั่นคือความชื้นในอากาศค่อนข้างน้อย จึงยังสามารถเกิดการระเหยต่อได้ หากอากาศอิ่มตัว จะไม่เกิดการระเหยและลดอุณหภูมิ นั่นคือ $WBT = DBT$

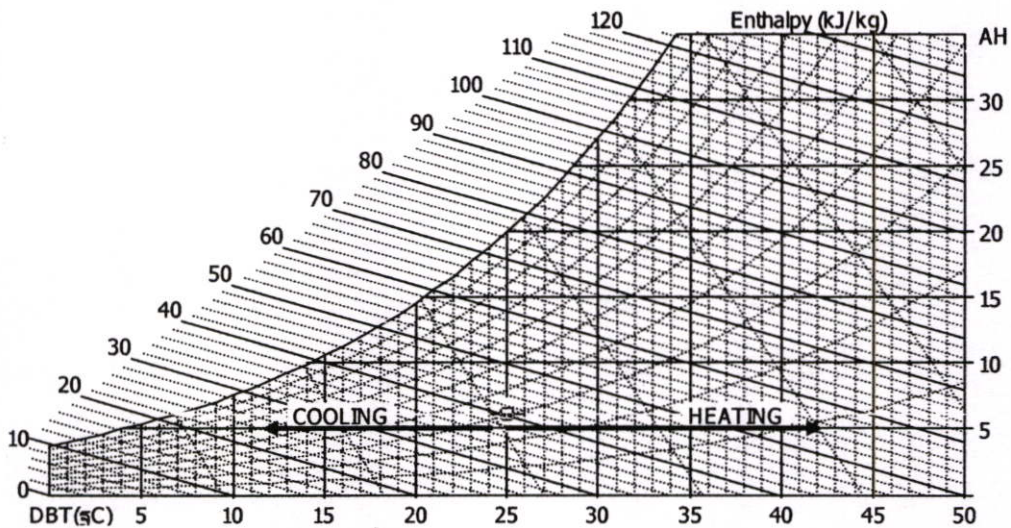


รูปที่ 2.5 กราฟแสดงค่า Enthalpy ที่ปรากฏบน Psychrometric Chart

Enthalpy คือค่าพลังงานความร้อนที่บรรจุในอากาศ มีหน่วยเป็น กิโลจูล/กิโลกรัม, kJ/kg ที่อุณหภูมิ 0°C ความชื้นสัมพัทธ์เป็นศูนย์ มีค่าพลังงานในอากาศเท่ากับ 0 ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นของกราฟ ปริมาณความร้อนที่มีในอากาศหนัก 1 กิโลกรัม ประกอบด้วยค่าความร้อนสัมผัส (sensible heat, H_s) ที่ทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้น ซึ่งมีค่าประมาณ 1.005 kJ/kg K และค่าความร้อนแฝง (Latent heat, H_L) ที่จำเป็นต้องใช้ในการทำให้น้ำระเหย และเนื่องจากเส้นบอกค่าenthalpy มีความ

ใกล้เคียงกับค่าอุณหภูมิกะเปาะเปียกมาก เพื่อป้องกันความสับสนทำให้ต้องวางค่าดังกล่าวอยู่
ด้านนอกกราฟ ดังแสดงในรูปที่ 2.5

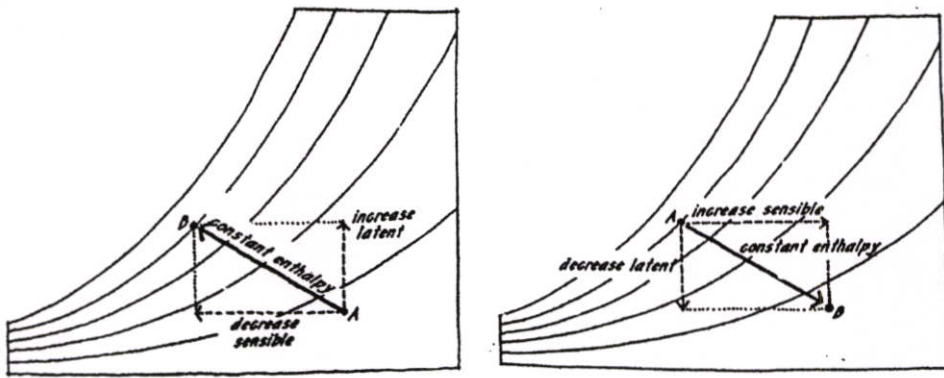
Specific volume คือปริมาตรของอากาศที่ความดันปกติ ที่มีน้ำหนัก 1 กิโลกรัม มีหน่วย
เป็น ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัม (m^3/kg) ซึ่งตรงกันข้ามกับความหนาแน่นของอากาศ (kg/m^3)



รูปที่ 2.6 แสดง heating และ cooling

การเปลี่ยนสถานะของอากาศในกรณีต่าง ๆ สามารถแสดงได้ด้วยกราฟไซโครเมตริก เมื่อ
พูดถึงการทำความร้อน(Heating) คือการเลื่อนตำแหน่งจุดในกราฟไปทางขวามือ นั่นคืออุณหภูมิ
กระเปาะแห้งจะเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความชื้นในอากาศ (AH) ยังคงเท่าเดิม การทำความเย็น
(Cooling) คือการเคลื่อนที่ของจุดในกราฟๆในทิศทางตรงกันข้าม มีผลทำให้อุณหภูมิกะเปาะ
แห้งลดลงแต่ไม่ได้ลดความชื้นในอากาศ เมื่อลดอุณหภูมิตั้งแต่ถึงเส้นโค้งที่จุดอิ่มตัวของน้ำ
ที่จุดนี้ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศเท่ากับ 100%

การทำความเย็นด้วยการระเหย (Evaporative cooling) คือกระบวนการที่ทำให้วัสดุหรือ
ระบบมีอุณหภูมิต่ำลงโดยไม่มีการถ่ายเทความร้อนเข้าหรือออกจากวัสดุหรือระบบนั้น อุณหภูมิที่
ต่ำลงเกิดจากการที่น้ำระเหยกลายเป็นไอน้ำในอากาศ ซึ่งความร้อนจะถูกดูดซับกลายเป็นความ
ร้อนแฝงไปอยู่ในไอน้ำ ทำให้อุณหภูมิจากของระบบต่ำลง ในขณะที่ความชื้นในอากาศจะเพิ่มขึ้นดัง
รูปที่ 2.7 (ซ้าย)



รูปที่ 2.7 แสดง Adiabatic heating และ Dehumidification

การทำความร้อนด้วยกระบวนการอะเดียเบติก (Adiabatic heating) คือกระบวนการที่ทำให้วัสดุหรือระบบมีอุณหภูมิสูงขึ้นโดยไม่มีการถ่ายเทความร้อนเข้าหรือออกจากวัสดุหรือระบบนั้น หรือการลดความชื้น (Dehumidification) โดยให้อากาศชื้นเคลื่อนที่ผ่านสารเคมีบางชนิด ได้แก่ ซิลิกาเจล หรือไกลคอล สเปรย์ (Glycol spray) ซึ่งทำหน้าที่ลดความชื้นในอากาศให้ลดลงและปลดปล่อยพลังงานความร้อนออกมา ทำให้อุณหภูมิกระเปาะแห้งเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความชื้นลดลงด้วย ดังรูปที่ 2.7 (ขวา)

2.4 ภาวะน่าสบาย [11]

ร่างกายมนุษย์ต้องการสภาวะที่เหมาะสมในระดับหนึ่ง เพื่อการใช้ชีวิตประจำวันอย่างมีประสิทธิภาพในการทำกิจกรรมต่าง ๆ เรียกสภาวะดังกล่าวว่า “สภาวะน่าสบาย” (Comfort) ซึ่งได้มีผู้ให้คำจำกัดความมากมายได้แก่

Longman ได้ให้คำจำกัดความไว้ว่า สภาวะน่าสบายคือสภาวะความรู้สึกที่ผ่อนคลายและมีความพอใจทางกายภาพโดยไม่มีภาวะเจ็บปวด

Givoni ได้ให้คำจำกัดความไว้ว่า สภาวะน่าสบายเป็นช่วงเวลาของสภาพอากาศที่มนุษย์พิจารณาเห็นว่าน่าสบายและยอมรับได้ โดยปราศจากความรู้สึกร้อนและความเปียกชื้นที่ผิวหนัง ซึ่งความเปียกชื้นที่ผิวหนังก็คือเหงื่อที่ตกค้างไม่อาจจะเหือดออกไปจากผิวหนังได้โดยเร็ว

ASHRAE ได้ให้คำจำกัดความไว้ว่า สภาวะน่าสบาย คือ สภาวะทางจิตใจที่แสดงถึงความพึงพอใจในสภาพแวดล้อมที่ร้อนหนาว โดยอาศัยการวิจัยสำรวจประเมินผลความคิดเห็นของกลุ่มตัวอย่างโดยเกณฑ์การประเมินผลจะอยู่ที่ว่าหาก 90% ของกลุ่มตัวอย่างลงความเห็นว่าน่าสบายก็จะถือว่าสภาพแวดล้อมนั้นอยู่ในขอบเขตน่าสบาย จากการศึกษาของ P.O.Fanger พบว่าตัวแปรที่มีผลต่อความรู้สึกร้อนหนาว (Thermal Comfort) มีอยู่ทั้งหมด 6 ตัวแปร ซึ่งสามารถจำแนกออกได้ 2 ด้านหลัก ๆ ดังนี้

2.4.1 ตัวแปรด้านสภาพแวดล้อม(เกี่ยวข้องกับงานสถาปัตยกรรม)

อุณหภูมิอากาศ (Air temperature) หมายถึง ผลที่ก่อให้เกิดความอบอุ่นขึ้น ซึ่งมาจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ อุณหภูมิอากาศจัดเป็นองค์ประกอบที่สำคัญที่สุดอย่างหนึ่ง ที่มีผลต่อสภาวะน่าสบาย ซึ่งกระทบถึงร่างกายและจิตใจของมนุษย์เป็นอย่างมาก ในห้องที่มีอุณหภูมิสูงมาก ๆ นอกจากร่างกายจะไม่มีความสะดวกแล้ว ยังทำให้จิตใจหงุดหงิด อารมณ์เสียได้ง่าย มีการวิจัยพบว่าห้องทำงานที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าปกติคนสามารถทำงานได้ดี และกระฉับกระเฉงมากกว่าคนที่ทำงานในห้องที่มีอุณหภูมิสูงกว่าปกติ

ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity) หมายถึงอัตราส่วนของจำนวนไอน้ำในอากาศกับจำนวนไอน้ำสูงสุดที่อากาศในอุณหภูมินั้นสามารถรับได้ เป็นองค์ประกอบที่สำคัญถัดมาจากอุณหภูมิอากาศ ปริมาณน้ำในอากาศไม่สามารถทำให้อุณหภูมิในร่างกายเราสูงขึ้นหรือต่ำลงโดยตรง แต่สามารถทำให้เราเกิดความรู้สึกร้อนหรือเย็นได้ หากอากาศมีปริมาณน้ำมากห้องก็จะไม่สามารถระเหยได้เร็ว ทำให้เรามีความรู้สึกอึดอัดรำคาญ

อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบ (Mean Radiant Temperature) เป็นความรู้สึทางด้านความร้อนที่ได้รับจากการแผ่รังสีจากผิววัสดุที่อยู่รอบข้าง โดยผลรวมของการแผ่รังสีความร้อนในลักษณะนี้คือ Mean radiant temperature, MRT โดยค่า MRT จะเป็นบวกเมื่อสิ่งที่อยู่รอบ ๆ มีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิจากร่างกายและค่าเป็นลบหากสิ่งที่อยู่รอบมีอุณหภูมิต่ำกว่าผิวของร่างกาย

ความเร็วลม (Air Velocity) กระแสลมเป็นปัจจัยหนึ่งของสภาวะความสบายทางด้านอุณหภูมิ เนื่องจาก

1. อากาศที่เคลื่อนไหวจะพัดพาความร้อนที่อยู่รอบ ๆ ตัวไป จากการศึกษพบว่ามนุษย์จะรู้สึกเย็นลงกว่าอุณหภูมิอากาศจริงประมาณ 0.4°C เมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้น 1km./Hr
2. อากาศที่เคลื่อนไหวจะพัดพาความชื้นและทำให้เกิดสภาวะที่เหมาะสมขึ้น สำหรับร่างกายที่จะระบายความร้อนในรูปของเหงื่อ
3. อากาศที่เคลื่อนไหวช่วยไม่ให้เกิดการสะสมของมลภาวะ ปริมาณของอากาศที่เคลื่อนที่ เพื่อสร้างสภาวะที่เหมาะสมต้องการความเร็วลมระหว่าง 0.051 ถึง 0.077 m/s กระแสลมที่มีความเร็ว 0.255 ถึง 1.02 m/s และพัดเข้ามาอย่างสม่ำเสมอก็สามารถทำให้รู้สึกสบายได้ อากาศที่เคลื่อนที่เร็วกว่า 1.02 m/s จะทำให้ผู้ใช้อาคารรู้สึกลมแรงรบกวนการทำงาน (ASHRAE)

2.4.2 ตัวแปรด้านบุคคล

อัตราการเผาผลาญพลังงานในร่างกาย (Metabolism) คือกระบวนการที่อาหารเผาผลาญกลายเป็นพลังงาน ร่างกายสามารถนำไปใช้เป็นพลังงาน 20% อีก 80% จะกลายเป็นส่วนเกินและถูกส่งออกจากร่างกายสู่บรรยากาศรอบข้าง ความร้อนมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับกิจกรรมแต่ละประเภทดังนี้

ตารางที่ 2.2 พลังงานที่เกิดจากกิจกรรมประเภทต่าง ๆ ที่เกิดจากมนุษย์

| ท่า (กิริยา) | วัตต์ |
|---|----------------|
| นอนหลับ | ต่ำสุด 70 |
| นั่ง หรือทำงานเบา ๆ เช่น ถักไหมพรม | 130-160 |
| ยืนหรือทำงานนิดหน่อย | 160-190 |
| เดิน ยกของเบา ๆ หรือผลักประตู | 290-410 |
| ทำงานแบกลาก ยกของหนัก | 580-700 |
| ทำงานอย่างต่อเนื่องติดต่อกัน ครึ่งชั่วโมง | อย่างมาก 1,100 |

2.4.3 การสวมเสื้อผ้า (Clo Value)

เสื้อผ้ามีอิทธิพลอย่างมากต่อความรู้สึกสบายหรือไม่สบายของมนุษย์ เป็นทั้งฉนวนกันความร้อนและช่วยรักษาอุณหภูมิที่สบายให้แก่ร่างกาย ผลในการเป็นฉนวนของเสื้อผ้าแสดงหน่วยเป็น clo โดย 1 clo หมายถึง ความต้านทานอุณหภูมิเฉลี่ย $0.155 \text{ m}^2\text{C/W}$ และมีค่าระหว่าง 0-4 clo ตารางที่ 2.3 แสดงความแตกต่างของเสื้อผ้าชนิดต่าง ๆ และอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำให้เกิดภาวะความสบายภายในห้อง

ตารางที่ 2.3 แสดงลักษณะการสวมเสื้อผ้าที่เหมาะสมกับสภาพอุณหภูมิอากาศที่เหมาะสม

| Clo Value | Clothing example | Typical comfort temperature when sitting (°C) |
|-----------|---|---|
| 0 clo | Naked: swimwear | 29 |
| 0.5 clo | Light trouser, shirt; light dress. Blouse | 25 |
| 1 clo | Business suit; dress, Jumper | 22 |
| 2.0 clo | Heavy suit. Overcoat, gloves, hat | 14 |

นอกจากนี้ยังมีตัวแปรด้านบุคคลที่อาจส่งผลกระทบต่อความรู้สึกร้อนหนาวได้บ้างเล็กน้อย ได้แก่ อายุและเพศ ผู้หญิงในทุก ๆ อายุต้องการอุณหภูมิ 1°C สูงกว่าผู้ชาย ในขณะที่ทั้งผู้ชายและผู้หญิงที่มีอายุมากกว่าต้องการอุณหภูมิ 1°C สูงกว่าผู้ที่มีอายุน้อยกว่า (ASHREA)

ขนาดและรูปร่าง สัดส่วนระหว่างพื้นที่ผิวต่อปริมาตรของร่างกายมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความร้อนของร่างกายกับสิ่งแวดล้อม คนผอมจะมีพื้นที่ผิวมากกว่าอ้วนแต่ซึ่งมีมวลร่างกายเท่ากัน และสามารถระบายความร้อนได้มากกว่าและอดทนต่ออุณหภูมิที่สูงกว่า

ไขมันที่อยู่ใต้ผิวหนัง เป็นฉนวนกันความร้อนได้อย่างดีเยี่ยม คนอ้วนจะต้องการอากาศเย็นกว่าเพื่อที่จะระบายความร้อนจำนวนที่เท่า ๆ กับคนทั่วไป

สภาวะของสุขภาพร่างกาย ในคนป่วยอัตราการเผาผลาญพลังงานของร่างกาย (Metabolism) จะเพิ่มขึ้นทำให้หน้าที่และกลไกการทำงานของร่างกายต่ำลง

อาหารและเครื่องดื่ม อาหารจำพวกโปรตีน (เนื้อสัตว์ ไข่) จะเกี่ยวข้องกับการเพิ่มการผลิตความร้อนอิสระโดยปราศจากพลังงานที่นำมาใช้งานได้ นอกจากนี้แอลกอฮอล์ก็เป็นเหตุให้เส้นเลือดขยาย ทำให้อาจมีเหงื่อเพื่อที่จะระบายความร้อนที่ผลิตขึ้นมา

สีผิว อาจจะมีผลต่อการเพิ่มความร้อนจากการแผ่รังสี ได้มีการสาธิตแสดงว่าผิวสีอ่อนกว่าจะสะท้อนรังสีความร้อนได้มากกว่าสีผิวที่ดำสนิทถึง 3 เท่า ผิวดำจะประกอบด้วย Melanin Pigment ซึ่งจะป้องกันการทำลายจากแสงอุลตราไวโอเลต ดังนั้น สีผิวจึงไม่มีผลต่อความต้องการสภาวะอุณหภูมิ แต่มีผลในด้านความต้านทานต่อการทำลายของแสงแดด

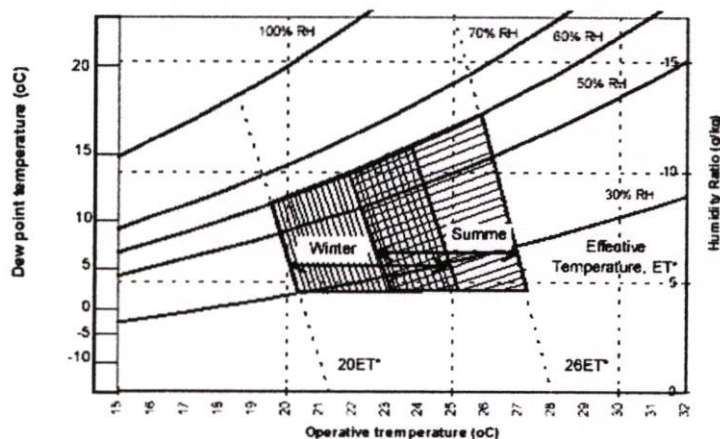
นอกจากตัวแปรทั้งสองด้าน ยังมีตัวแปรทางด้านจิตใจ (Psychology) ที่จะบ่งบอกออกมาได้เนื่องจากเป็นความรู้สึกคุ้นชินของแต่ละบุคคล

2.5 ขอบเขตความสบาย

จากหลักเกณฑ์ความสบาย ASHRAE กำหนดว่า เมื่อ

| | | | |
|-----------|---------------|-----------------------|---------|
| ฤดูร้อน : | ระดับเสื้อผ้า | 0.5 clo กิจกรรมาเบา ๆ | 1.2 met |
| | ความเร็วลม | <0.15 m/s | |
| ฤดูหนาว : | ระดับเสื้อผ้า | 0.9 clo กิจกรรมาเบา ๆ | 1.2 met |
| | ความเร็วลม | <0.15 m/s | |

แผนภูมิของขอบเขตความสบายจะมีลักษณะตามรูปที่ 2.8 โดยแนวนอนแสดง Operative Temperature



รูปที่ 2.8 แสดงขอบเขตความสบายของฤดูร้อนและหนาว

ช่วงฤดูหนาวและฤดูร้อนแผนภูมิจะแบ่งออกเป็น 2 ช่วง และมีบางช่วงซ้อนกันอยู่ แสดงให้เห็นความแตกต่างของฤดูร้อนและหนาว Effective Temperature (ET) จะแสดงในแนวเอียง ขอบเขตต่ำสุดในฤดูหนาวเท่ากับ 20°C เขตสูงสุดคือ 26°C ช่วงที่ซ้อนกันอยู่คือช่วง 23-24°C อุณหภูมิที่ทำให้รู้สึกสบายที่สุดจะอยู่ที่ 22°C สำหรับฤดูหนาวและ 24.5°C ในฤดูร้อน

Operative Temperature คืออุณหภูมิอากาศเฉลี่ยรอบตัวเรา โดยมีผลมาจาก Radiant Temperature กับ อุณหภูมิอากาศ

Effective Temperature คืออุณหภูมิ Operative Temperature ที่ความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 50% ที่ทำให้คนมีความรู้สึกเทียบเท่ากับ Operative Temperature ในขณะนั้น

นอกจากเกณฑ์ความสบายของ ASHREA ซึ่งศึกษาเน้นหนักไปในด้านสภาวะที่มีการปรับอากาศแล้ว ยังมีผู้เชี่ยวชาญอีกกลุ่มหนึ่งทำการศึกษาเกี่ยวกับความสบายในสภาวะที่ไม่มีการปรับอากาศ พบว่า ร่างกายคนเราสามารถปรับความรู้สึกสบายได้ตามสภาพอากาศแวดล้อม

ผลการศึกษาของ Auliciems (1981) โดยการเก็บข้อมูลจากการสอบถามข้อมูลจากคณะบุคคลและใช้อุปกรณ์วัดสภาพอากาศเป็นจำนวนมาก พบว่าอุณหภูมิในที่ร่มทำให้เรารู้สึกสบาย (Neutral Indoor Temperature) มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิภายนอกเฉลี่ยรายเดือน (Mean Monthly Outdoor Temperature) ดังสมการ

$$T_a = 17.6 + 0.31 T_m \quad (2.6)$$

และจากผลการศึกษาของ Szokolay (1980) พบว่าความเร็วลมที่พัดผ่านร่างกายมีผลทำให้ร่างกายมีความรู้สึกเย็นขึ้นจากอุณหภูมิเฉลี่ยโดยรอบ อุณหภูมิที่รู้สึกจะลดลงมีค่าดังสมการ

$$DT = 6v - v^2, 0 < v < 3 \text{ m/s.} \quad (2.7)$$

หากใช้ความเร็วลมสูงเกินไปอาจสร้างความรำคาญให้กับผู้ใช้งานในอาคารได้

จากรายงานผลการศึกษาสภาพอากาศในกรุงเทพมหานครโดย John Busch (1990) โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มหนึ่งศึกษาอุณหภูมิสบายในอาคารปรับอากาศ และอีกกลุ่มหนึ่งศึกษาสภาพความสบายในอาคารที่ไม่ปรับอากาศ พบว่าคนที่ทำงานในอาคารที่ปรับอากาศจะรู้สึกสบายในช่วงเดียวกับผลการศึกษาความสบายของ ASHREA ในช่วงฤดูร้อน ส่วนคนที่ทำงานในอาคารที่ไม่ปรับอากาศจะรู้สึกสบายที่อุณหภูมิประมาณ 28 °C ผลนี้สอดคล้องกับผลงานของ Auliciems

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้แบ่งประเภทได้ตามลักษณะความสำคัญและที่มาของปัญหา โดยเป็นเนื้อหาที่โยงถึงการออกแบบทำความเย็นให้กับอาคารด้วยวิธีธรรมชาติด้วยวิธีต่าง ๆ และเน้นการลดอุณหภูมิอากาศด้วยวิธีการระเหย ซึ่งงานวิจัยส่วนใหญ่มีวัตถุประสงค์เพื่อลดการใช้พลังงานในอาคาร

2.6.1 รูปแบบการลดอุณหภูมิด้วยวิธีธรรมชาติสำหรับอาคารในเขตร้อนชื้น

Passive Cooling Options in Hot-Humid Climates (Givoni, 1994, 1998) การลดความร้อนในอาคารด้วยวิธีธรรมชาติในอาคารเขตร้อนชื้น การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้เป็นการหาวิธีลดความร้อนในอาคารหลายวิธี โดยใช้ระบบการแลกเปลี่ยนความร้อนจากวัตถุที่เย็นกว่า โดยการใช้ความเย็นจากการระเหยของน้ำ ทั้งทางตรงและทางอ้อม ความเย็นจากดิน โดยท่อฝังดิน รวมถึงระบบขังน้ำบนหลังคาและการฝังท่อที่มีระบบน้ำเย็นหล่อบนหลังคา ซึ่งเป็นการลดความร้อนด้วยวิธีธรรมชาติโดยไม่มีระบบปรับอากาศมาใช้ เพื่อศึกษาถึงตัวแปรและปัจจัยที่สามารถนำมาใช้ในอาคารได้จริง

2.6.2 การทำความเย็นด้วยวิธีการระเหยทางอ้อม ผ่านเพดานคอนกรีต

Indirect Evaporative Cooling through a Concrete [12] เป็นการศึกษาถึงความเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในห้องที่ทำการทดสอบ โดยออกแบบการทดลองเปรียบเทียบระหว่างห้องที่ใช้ระบบการทำความเย็นด้วยการระเหยของน้ำผ่านท่อที่ฝังในเพดานคอนกรีต กับห้องทดลองที่ไม่ได้ใช้ระบบใด ๆ ในการทำความเย็น พบว่าอุณหภูมิอากาศภายในห้องลดลงได้นอกจากนี้ยังมีการกำหนดตัวแปรอื่น ๆ เพิ่มเติมเพื่อตรวจสอบสมมุติฐาน ต่าง ๆ ที่ตั้งไว้ได้แก่ การเพิ่มมวลของอาคารด้วยการเติมก้อนอิฐเข้าไปในห้องทดลอง เพื่อดูผลของการลดความร้อนสะสมที่เกิดจากระบบ รวมถึงการศึกษาผลที่เกิดจากการระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติที่อาจส่งผลกระทบต่ออุณหภูมิภายในห้อง ซึ่งจากการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มมวลของอาคาร โดยเรียงกำแพงอิฐเข้าไปภายในห้องทดสอบทั้งสองห้อง ทำให้อุณหภูมิห้องในเวลากลางวันเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากการสะสมความร้อนของวัสดุในเวลากลางวันและคายความร้อนออกมาในเวลากลางคืน แต่ผลระบบการทำความเย็นผ่านหลังคาคอนกรีตก็ทำให้อุณหภูมิภายในห้องทดสอบลดลงได้

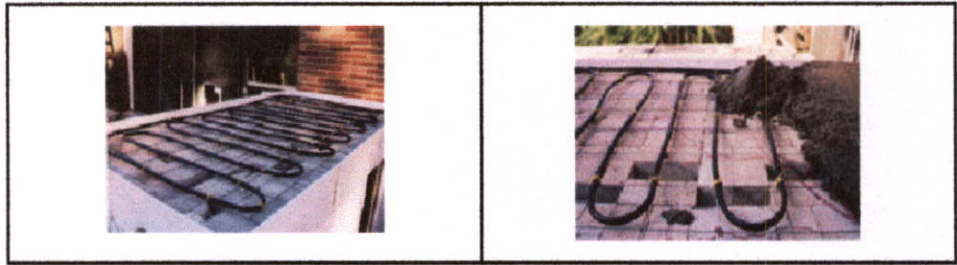


Figure 1: Embedded plastic tube circulating cooled water

Figure 2 shows the data acquisition system and the measuring points.

รูปที่ 2.9 การก่อสร้างห้องทดลองที่มีการฝังท่อไว้บนหลังคาคอนกรีต

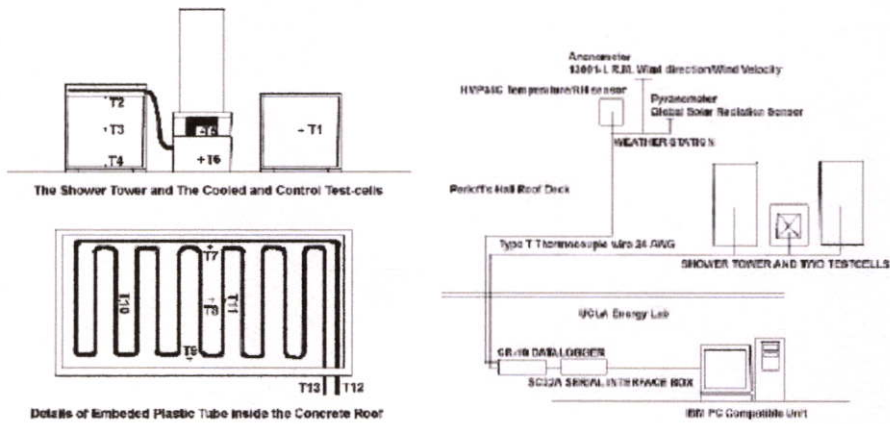


Figure 2: Data Acquisition System and Measuring Points

รูปที่ 2.10 ผังการทดลองของระบบ ซึ่งแสดงตำแหน่งต่าง ๆ ที่มีการตรวจสอบอุณหภูมิ

Figure 3 (A to C) shows samples of the diurnal temperature during the cooling in the original configuration (3a), with the added mass (3b) and with the night ventilation (3c).

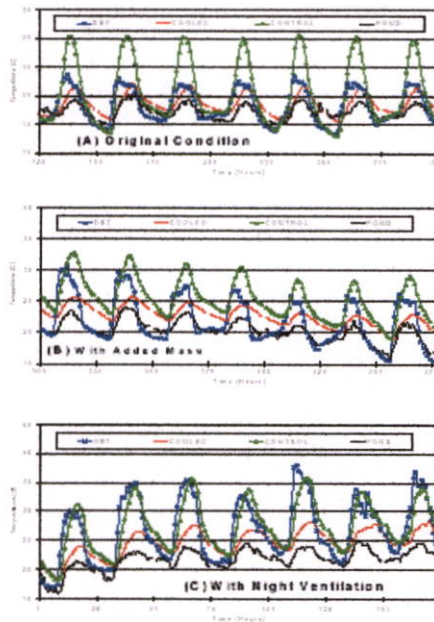


Figure 3: Diurnal Temperature Patterns

รูปที่ 2.11 ผลการทดลองแสดงอุณหภูมิเปรียบเทียบระหว่างตัวแปรต่าง ๆ ที่ทำการทดลอง

โดยในขั้นสุดท้าย ได้มีการสรุปสมการในการประมาณการค่าอุณหภูมิที่ลดลง โดยอาศัย ข้อมูลที่ได้จากการทดลองที่มีการพิจารณาค่าโดยวิธีการทางสถิติ

2.6.3 การศึกษาเกี่ยวกับการทำความเย็นในอาคารด้วยการใช้น้ำ [13]

ระบบปรับอากาศที่มีการนำไปใช้ในอาคารโรงงาน มีหลายรูปแบบได้แก่ ระบบปรับ อากาศแบบขยายตัวโดยตรง, แบบน้ำทั้งหมด, แบบอากาศทั้งหมด และแบบน้ำและอากาศ ซึ่งล้วน เป็นที่แพร่หลายสำหรับการปรับอากาศเพื่อผลิตงานอุตสาหกรรมในปัจจุบัน แต่เป็นระบบที่มีการ ลงทุนและเสียค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานค่อนข้างสูง จึงได้มีการนำระบบปรับอากาศอีกรูปแบบ มาใช้ โดยอาศัยวิธีการทำความเย็นด้วยการใช้น้ำ หรือที่เรียกว่า ระบบทำความเย็นแบบระเหย อย่างไรก็ตามวิธีใหม่นี้ไม่เป็นที่แพร่หลายยังคงอยู่ในขั้นตอนการศึกษา แต่มีข้อดีคือใช้เงินลงทุน ค่าและเสียค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานน้อย

ปริญญา ทราจารย์วัฒน์และอัมพร ดันโชติกุล ได้ทำการศึกษาระบบการทำความเย็นใน อาคารด้วยการใช้น้ำโดยศึกษาถึงผลของปริมาณอากาศที่ถ่ายเทออกจากอาคารและปริมาณน้ำที่ใช้ ในระบบที่มีต่อสถานะอากาศภายในอาคาร พร้อมทั้งศึกษาบทบาทของอุณหภูมิและความชื้น สัมพัทธ์ภายนอกอาคารที่มีต่อความสามารถในการทำความเย็นของระบบเพื่อพัฒนาการทำความ เย็นด้วยวิธีการดังกล่าวไปใช้ในงานอุตสาหกรรมต่อไป

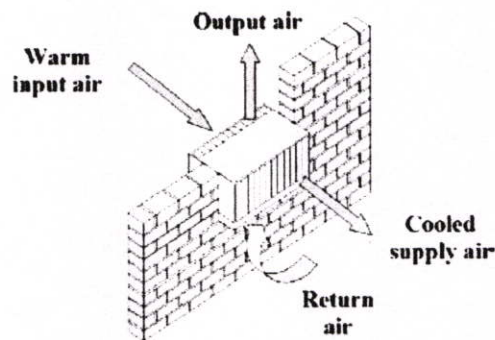
ผลการศึกษาพบว่าความสามารถในการทำความเย็นของระบบขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพ ของอุปกรณ์ทำความสะอาอากาศด้วยน้ำ, อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกอาคาร, ปริมาณ อากาศที่ถ่ายเทออกจากอาคารและปริมาณน้ำที่ใช้ในระบบทำความเย็น และในการศึกษาการทำ ความเย็นสามารถลดอุณหภูมิอากาศลงได้มากที่สุดเท่ากับ 7 เคลวิน ในขณะที่ความชื้นสัมพัทธ์ เพิ่มขึ้น 30 เปอร์เซ็นต์ ที่ค่าปริมาณอากาศที่ถ่ายเทและ ปริมาณน้ำที่ใช้เท่ากับ 11 ลูกบาศก์เมตรต่อ นาที และ 5 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที ตามลำดับ โดยพบว่าในวันที่อากาศร้อนจัดและมีค่าความชื้น สัมพัทธ์ในอากาศต่ำ ระบบทำความเย็นจะมีความ สามารถในการลดอุณหภูมิได้ดีกว่าในวันที่ อากาศมีอุณหภูมิต่ำและมีค่าชื้นสัมพัทธ์ในอากาศที่สูงกว่า

2.6.4 การทำความเย็นด้วยการระเหยแบบกึ่งทางอ้อม [4]

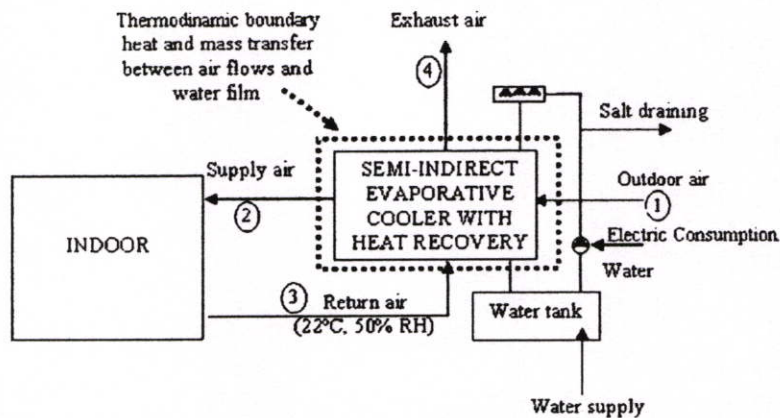
จากการทดลองของ E. Velasco Gomez และคณะ ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการทำความเย็น ด้วยการระเหยซึ่งใช้กันมานานทั้งในอุตสาหกรรมและระบบปรับอากาศ ในการลดพลังงานความ ร้อนที่มีในอากาศ ทำให้อุณหภูมิลดลง การระเหยแบบตรงมีประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิ แต่ อาจก่อให้เกิดโรคติดเชื้อทางเดินหายใจ ส่วนระบบการระเหยทางอ้อมเป็นระบบที่มีประสิทธิภาพ ในการใช้งานต่ำ

ในการทดลองนี้ได้ทำการทดสอบระบบการระเหยแบบกึ่งทางอ้อมด้วยการใช้น้ำเย็นจาก หอทำความเย็นและอากาศเวียนกลับจากห้องที่มีอุณหภูมิ 22 °C ความชื้น 50% RH ส่งผ่านท่อ

เซรามิก เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศภายนอก โดยไม่ต้องสัมผัสกับละอองไอน้ำซึ่งอาจก่อให้เกิดการติดเชื้อได้ เพราะเชื้อโรคเดินทางมากับอากาศเท่านั้น และจะเป็นอันตรายเมื่อหายใจเข้าไปในระบบทางเดินหายใจ โดยการระเหยที่เกิดจากเซรามิกไม่ก่อให้เกิดหยดน้ำ ไม่เกิดแผ่นฟิล์มน้ำและเนื่องจากวัสดุมีรูพรุนเป็นตัวกันเชื้อโรคที่มีขนาดใหญ่กว่าโมเลกุลของน้ำ จึงไม่สามารถเล็ดลอดออกมาสู่ภายนอกได้ แต่อย่างไรก็ตามการบำรุงรักษาที่ดีและสม่ำเสมอ ก็มีส่วนช่วยในการยับยั้งการติดเชื้อได้ ระบบนี้สามารถลดอุณหภูมิและความชื้นที่สูงสำหรับอาคารในเขตร้อนชื้น



รูปที่ 2.12 รูปแบบการประยุกต์ใช้ท่อเซรามิกทำความเย็นแบบ แอร์หน้าต่างในอดีต



(Numbers correspond to points in figures 9, 10 and 11.)

Fig. 2. Semi-indirect evaporative cooler.

รูปที่ 2.13 แผนภาพแสดงการทำงานของระบบปรับอากาศแบบกึ่งทางอ้อม



รูปที่ 2.14 แผ่นรองท่อเซรามิกทำจากPVC (ซ้าย) และท่อเซรามิกทำความเย็น (ขวา)

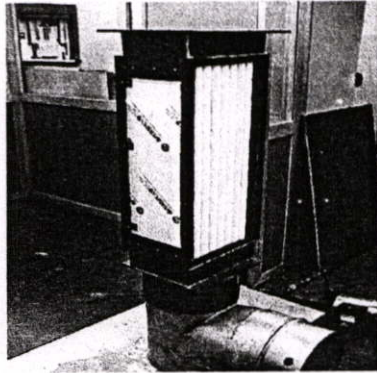


Fig. 8. The device over the tank.

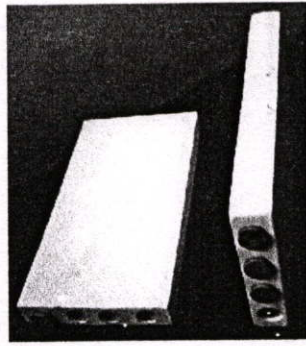
รูปที่ 2.15 ชุดอุปกรณ์การทำความร้อนด้วยการระเหยแบบกึ่งทางอ้อม

2.6.5 การทำความเย็นด้วยการระเหยแบบตรงผ่านท่อเซรามิกความพรุนสูง[5]

การทดลองเกี่ยวกับการลดอุณหภูมิอากาศด้วยการระเหยแบบตรงผ่านท่อเซรามิกความพรุนสูง โดย Elfatih Ibrahim และคณะ ด้วยการทดลองท่อที่มีความพรุนแตกต่างกัน 3 แบบ ตามอุณหภูมิที่ใช้ในการเผา เพื่อหาความพรุนที่เหมาะสมของเซรามิกที่สามารถลดอุณหภูมิอากาศที่ผ่านเข้ามาในห้องทดลองที่ได้ทำการเตรียมไว้ โดยมีรูปแบบและผลการทดลองดังนี้

แท่งเซรามิกขนาด 31.5×16.5×3.5 ซม. มีรูตรงกลางสำหรับใช้เป็นท่อน้ำที่นำมาทดลองได้จากการเผา 3 ระดับความร้อนคือ 1110, 1130, 1170 °C ทำให้มีความพรุนแตกต่างกันตั้งแต่ 17.4-18.3 %, 12.4-13.8% และ 8.0-8.8% ตามลำดับ โดยค่าความพรุน (Porosity: P) คือสัดส่วนของช่องว่างในอากาศต่อปริมาตรของเซรามิก ซึ่งหาได้จากการชั่งน้ำหนักก่อนแช่น้ำ (Dry: D) น้ำหนักหลังแช่น้ำ (Immense: I) และน้ำหนักหลังแช่หมาด (Wet: W) ตามสมการ

$$P = (W-D)/(W-I) \quad (2.5)$$



รูปที่ 2.16 ชุดอุปกรณ์การทำความเย็นด้วยการระเหยแบบตรง

การทดลองจัดทำขึ้นภายในกล่องทดลองสี่เหลี่ยมวัดขนาดภายใน 34.0×21.0 ซม. ความยาว 2.53 ม. หุ้มด้วยโฟมหนา 7 ซม. เพื่อสามารถวางท่อได้ 1-2 แถว จากนั้นอากาศที่ถูกควบคุมอุณหภูมิและความชื้นจะถูกปล่อยให้ไหลผ่านจากส่วนบนของท่อผ่านช่องรังผึ้งเพื่อลดแรงดันและให้อากาศที่ผ่านสม่ำเสมอ แล้วทำการติดตั้งอุปกรณ์วัดความเร็วลมเข้า ซึ่งจะไหลผ่านไปยังท่อเซรามิกและไหลออกสู่ปลายท่อ น้ำที่ส่งเข้ามาในท่อถูกเก็บไว้ในถังที่มีความสูง 1 เมตรและ 4 เมตร เพื่อให้เกิดความแตกต่างของแรงดันน้ำที่ถูกปล่อยมาแบบกาลักน้ำ

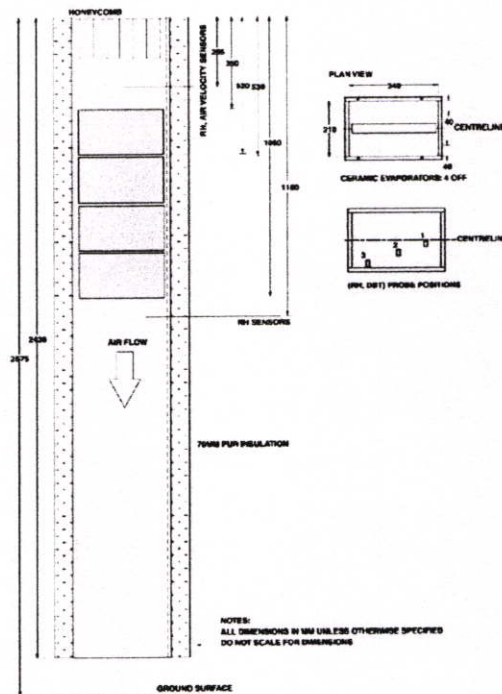


Fig. 2. Schematic of experimental setup and partial attachment.

รูปที่ 2.17 รูปแบบการติดตั้งอุปกรณ์ทดลองการทำความเย็นด้วยการระเหยแบบตรง

อุณหภูมิและความชื้นของอากาศที่นำมาใช้ในการทดลองได้มีการควบคุมให้มี 3 ช่วง ความชื้นตั้งแต่ 25, 40 และ 55% RH มีอุณหภูมิตั้งแต่ $27-37^{\circ}\text{C}$ ความเร็วลมที่ใช้ในการทดลองมีการควบคุมให้คงที่ แต่ละชุดการทดลองทำต่อเนื่องจนกระทั่งอุณหภูมิไต่ระดับคงที่ก่อนจะเปลี่ยน

อุณหภูมิและความชื้นในระดับถัดไป ข้อมูลอุณหภูมิ ความชื้น ความเร็วลมเข้าและอุณหภูมิน้ำถูกบันทึกไว้ โดยมีผลการทดลองคือ

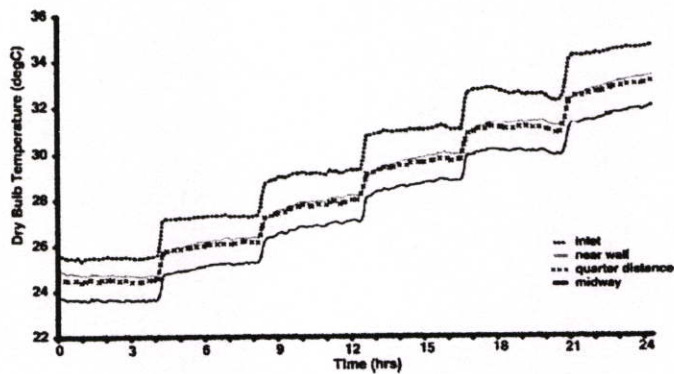


Fig. 4. Graph of typical data on dry bulb temperature trends during a test.

รูปที่ 2.18 ผลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในกล่องทดลอง

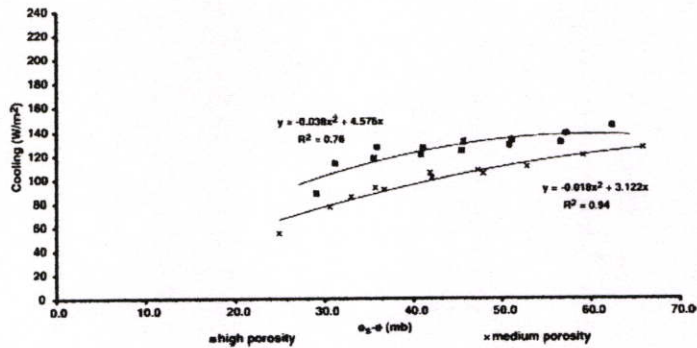


Fig. 7. Graph of effect of porosity on cooling performance: medium and high porosity ceramic capacitors.

รูปที่ 2.19 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำความเย็นของเซรามิกความพรุนสูงและปานกลาง

เซรามิกที่เผาที่อุณหภูมิต่ำ มีความพรุนสูง มีประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิดีกว่าเซรามิกความพรุนปานกลาง ส่วนเซรามิกที่มีความพรุนต่ำไม่พบประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิ

การวางตำแหน่งแผงเซรามิกแถวเดียวในท่อทดสอบให้ผลในการลดอุณหภูมิได้ดีกว่าการวางแบบเรียง Side by side ซึ่งทำให้กระแสลมภายในสูงกว่าที่มีการวางขวางลม 44%

การทำความเย็นขึ้นอยู่กับความพรุน และแรงดันน้ำภายในท่อ การติดตั้งที่สามารถให้ลมผ่านผิวเซรามิกได้มาก ล้วนมีส่วนช่วยให้เกิดความเย็นได้มากกว่า รวมถึงการติดตั้งอุปกรณ์แบบแถวเดียวกับสองแถวที่พบว่า แบบแถวเดียวสามารถก่อให้เกิดความเย็นได้มากกว่า

อุณหภูมิอากาศลดลง 6-8 K ในขณะที่ความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้น 30% ความเย็นสูงสุดที่สามารถทำได้จากระบบคือ 240 วัตต์ต่อตารางเมตร ซึ่งสามารถพิสูจน์ได้ว่าระบบการทำความเย็นด้วยการระเหยแบบตรงผ่านท่อเซรามิกความพรุนสูงนี้มีความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้ในอาคาร

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 แนวความคิดในการออกแบบการทดลอง

งานวิจัยนี้เกิดขึ้นจากความสงสัยปรากฏการณ์เกี่ยวกับอุณหภูมิของน้ำที่บรรจุในภาชนะดินเผา ที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าน้ำที่บรรจุด้วยภาชนะชนิดอื่น ซึ่งเมื่อทำการค้นคว้าก็พบว่า อุณหภูมิน้ำลดลงได้จากกระบวนการระเหยที่เกิดขึ้นที่ผิวของภาชนะ จากการที่โมเลกุลของดินเผา มีโพรงอากาศอยู่มาก ทำให้น้ำไหลซึมผ่านออกมาได้ และดึงพลังงานความร้อนส่วนหนึ่งจากน้ำและอากาศภายนอกมาช่วยให้เกิดการระเหย ทำให้อุณหภูมิน้ำลดลง ขณะเดียวกันอุณหภูมิอากาศก็ลดลงด้วย คำถามสำหรับการวิจัยนี้คือ ปัจจัยใดบ้างที่ก่อให้เกิดการลดอุณหภูมิของน้ำ ทั้งนี้เพื่อประยุกต์ใช้ลดอุณหภูมิอากาศในอาคาร

ดังนั้นวิธีการวิจัยเพื่อหาคำตอบของปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นและการศึกษาเพื่อประยุกต์ใช้งาน จึงถูกแบ่งออกเป็น 2 ช่วงคือ ศึกษาจากรายงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้ทราบถึงกระบวนการลดอุณหภูมิของน้ำในภาชนะดินเผา ตลอดจนกรณีศึกษาเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้ประโยชน์จากกระบวนการดังกล่าว หลังจากนั้นจึงทำการทดลองเพื่อวิเคราะห์และสรุปผลการทดลองต่อไป

ด้วยข้อจำกัดที่มีอยู่ทั้งในเรื่องเวลา เงินทุนและอุปกรณ์วัดค่าอุณหภูมิ ความชื้นต่าง ๆ จึงจำเป็นต้องทำการทดลองทีละหัวข้อ โดยอาศัยห้องทดลองและห้องควบคุมที่มีสภาพแวดล้อมเหมือนกันแตกต่างกันตามสมมุติฐานการทดลองที่ได้ตั้งไว้ ส่วนการทดลองที่ไม่ได้ทำพร้อมกันแต่มีความจำเป็นต้องนำมาเปรียบเทียบกัน ได้ใช้ค่าการแผ่รังสีความร้อนที่วัดได้จากการทดลองในแต่ละครั้งในการเปรียบเทียบสภาพแวดล้อม ซึ่งหากมีความใกล้เคียงกัน สามารถนำข้อมูลมาเปรียบเทียบกันได้

3.2 ห้องทดลอง อุปกรณ์และวัสดุที่ใช้ในการทดลอง

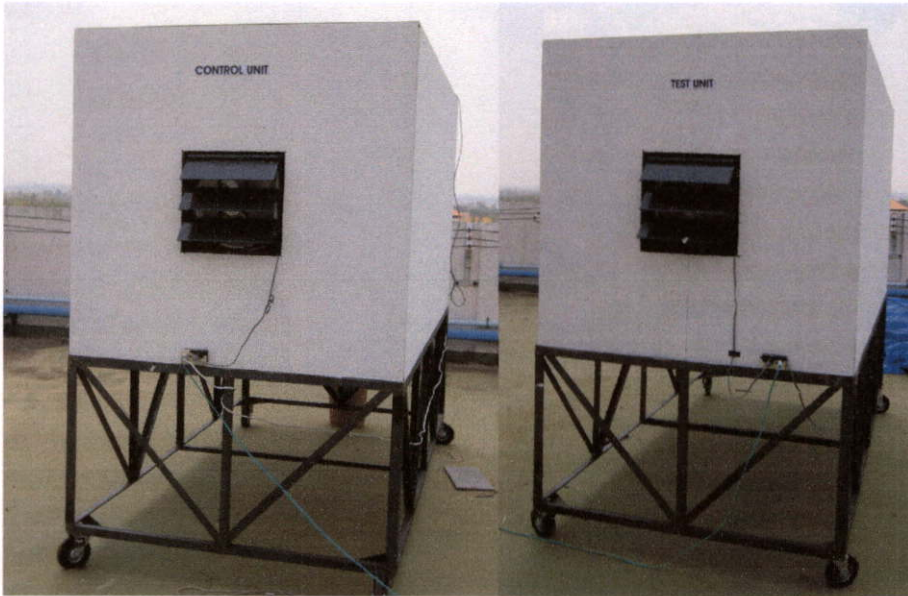
ห้องทดลอง วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองเป็นตัวแปรหนึ่งที่ทำให้ค่าการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นถูกต้องแม่นยำ เพื่อการสรุปผลการทดลองที่มีความน่าเชื่อถือ ในการวิจัยจึงได้ออกแบบห้องทดลองรวมทั้งทำการทดสอบวัสดุและอุปกรณ์การทดลอง โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.2.1 ห้องทดลอง

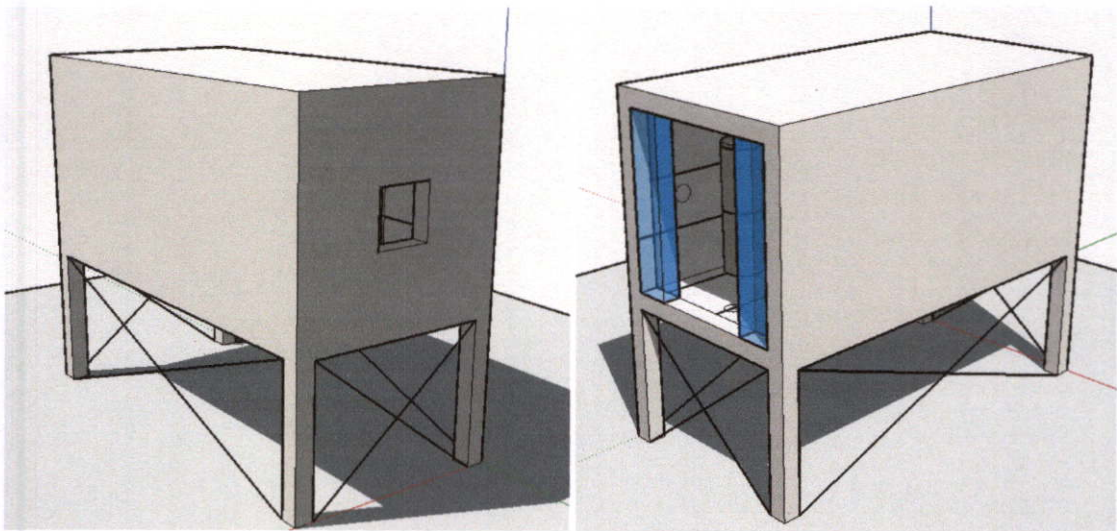
ตำแหน่งการวางห้องทดลองต้องปราศจากเงา ส่วนหนึ่งส่วนใดของอาคาร หรือต้นไม้ปกคลุม ดังนั้นจึงเลือกพื้นที่บริเวณคาบฟ้าของอาคารเป็นที่ติดตั้งห้องทดลอง โดยหันด้านหน้าทางลมเข้าไปทางทิศใต้ ทางลมออกอยู่ทางทิศเหนือ

ปัจจัยที่เป็นตัวกำหนดขนาดของห้องทดลองได้แก่ ราคาค่าก่อสร้าง ขนาดและสัดส่วนที่เหมาะสม โดยอ้างอิงถึงขนาดห้องปกติที่มีการใช้งานโดยทั่วไปและสามารถวางภาชนะดินเผาได้ และการเข้าไปติดตั้งอุปกรณ์ทดลอง โดยกำหนดให้มีห้องทดลอง 2 ห้อง ขนาดกว้าง 1.2 ม. ยาว 2.4 ม. และสูง 1.2 ม.

วัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างห้องทดลอง คือแผ่นไม้วีวบอร์ดหนา 9 มม. ติประกบหน้าหลังบนโครงคร่าวไม้ขนาด $1\frac{1}{2}'' \times 1\frac{1}{2}'' \times 3''$ ทุกระยะ 0.60 ม. พร้อมโฟมหนา 3 นิ้ว อุดตรงกลางแผ่นผนังด้านนอกและด้านใน เพื่อให้สามารถควบคุมตัวแปรเรื่องความร้อนที่เกิดจากการแผ่รังสีภายในห้องทดลอง และการใช้ระบบการติดตั้งแบบสกรูเพื่อสามารถถอดฉนวนที่ติดตั้งออกได้ในภายหลัง โดยห้องทดลองทั้งสองหลังติดตั้งบนโครงเหล็กสูง 0.80 ม. เพื่อป้องกันการแผ่รังสีความร้อนจากพื้น



รูปที่ 3.1 แสดงห้องทดลองที่ใช้ในงานวิจัย



รูปที่ 3.2 แสดงภาพจำลองด้านหน้าและด้านหลังของห้องทดลอง

3.2.2 ภาชนะดินเผา

เครื่องปั้นดินเผาไฟต่ำ (Earthenware) หมายถึง ภาชนะดินเผาที่อยู่ในอุณหภูมิในการเผาให้สุกด้วยอุณหภูมิประมาณ $800-1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ ที่พบในประเทศไทย มีความหลากหลาย ซึ่งเกิดจากการผลิต เช่น การ

ขึ้นรูปด้วยแป้นหมุน การตี การทุบด้วยไม้ การเทน้ำดินในแบบหล่อ ซึ่งลักษณะของภาชนะที่ได้จะมีความแตกต่างกัน ได้แก่

การขึ้นรูปภาชนะด้วยการทุบหรือตีด้วยไม้ ปัจจุบันพบในชุมชนบ้านหม้อ อ.เมือง จ.มหาสารคามและบ้านโค้งสวรรค์ อ.หนองวัวซอ จ.หนองบัวลำภู ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีทั้งผิวเรียบและหยาบ น้ำซึมผ่านได้ง่าย มักผลิตเป็นหม้อดินเผาบรรจุน้ำ กระจ่างปลุกต้นไม้ และแจกัน แต่ในปัจจุบันผลิตภัณฑ์กลุ่มนี้มีการผลิตน้อยลง เนื่องจากต้องอาศัยความชำนาญพิเศษของช่าง บวกกับระยะเวลาในการผลิตทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ในปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับการผลิตในรูปแบบอื่น

การขึ้นรูปภาชนะด้วยแป้นหมุน ได้รับความนิยมและแพร่หลายไปในหลายท้องที่ในประเทศไทย โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีความต้องการผลงานในปริมาณมาก เพราะสามารถผลิตได้ในเวลาอันรวดเร็ว ลักษณะของเนื้อดินเผาที่ได้ส่วนใหญ่จะมีรูปทรงกลม ผิวภายนอกเรียบ มีขนาดใกล้เคียงกัน แต่ไม่เท่ากันทุกชิ้น เนื้อดินมีความพรุน มากน้อยขึ้นอยู่กับส่วนผสมของดิน ซึ่งทำให้น้ำสามารถซึมผ่านได้ ผลิตภัณฑ์ที่นิยมผลิตด้วยวิธีนี้ได้แก่ กระจ่างปลุกต้นไม้ เป็นต้น

การขึ้นรูปภาชนะด้วยแบบหล่อ ได้รับความนิยมในการผลิตในรูปแบบอุตสาหกรรม เนื่องจากสามารถผลิตงานที่มีมาตรฐาน ขนาดและรูปทรงที่แน่นอน เนื่องจากการนำน้ำดินเทลงในแบบพิมพ์ที่ได้เตรียมไว้ ลักษณะผิวของภาชนะจึงมีความละเอียดเนียน มีความเป็นมันเงา น้ำซึมผ่านได้ยาก

เนื่องจากภาชนะดินเผาเป็นตัวแปรที่ต้องทำการควบคุม เกณฑ์ในการเลือกภาชนะดินเผามาใช้ในการทดลองจึงต้องคำนึงถึง ผิววัสดุมีความพรุนสูง น้ำสามารถซึมผ่านได้ดีและสามารถผลิตได้ในปริมาณมาก ต้นทุนต่ำ เพื่อสามารถประยุกต์ใช้ได้อย่างแพร่หลาย โดยเครื่องปั้นดินเผาต้องมาจากแหล่งผลิตเดียวกัน ดินชนิดเดียวกัน เผาพร้อมกัน และนำมาทดสอบความสามารถในการซึมน้ำเพื่อคัดเลือกเครื่องปั้นดินเผาที่มีประสิทธิภาพในการซึมน้ำเท่ากันหรือใกล้เคียงกัน ทั้งนี้เพื่อให้การทดลองมีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด

จากเงื่อนไขและรูปแบบการผลิตภาชนะดินเผาไฟต่ำที่สำรวจพบและคัดเลือกมานั้น การขึ้นรูปด้วยแป้นหมุน เป็นรูปแบบที่มีความแพร่หลาย สามารถผลิตได้ง่ายและมีต้นทุนต่ำ ดังนั้นจึงทำการออกแบบและผลิตภาชนะดินเผาเป็นแจกันทรงกระบอก 3 ขนาด พร้อมฝาปิดและฐานรองแจกันดังแสดงในรูปที่ 3.4 ในการเผาภาชนะดินเผาจะต้องมีเทคนิคในการให้ความร้อนแก่ภาชนะโดยค่อย ๆ เพิ่มความร้อน เพื่อไม่ให้เกิดความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอกและภายในเนื้อดิน ซึ่งจะเป็นสาเหตุให้เกิดการระเบิดได้ นอกจากนั้น การให้ความร้อนไม่เพียงพอและตำแหน่งการจัดวางภาชนะในเตาไม่เหมาะสมทำให้ภาชนะสุกไม่เท่ากัน เนื้อดินมีรอยดำ เมื่อโดนน้ำจะเปื้อนอยู่ ไม่เก็บน้ำ ในการทดลองครั้งนี้ใช้เชื้อเพลิงและเตาในการเผา 2 ประเภทคือเตาพื้นธรรมดาและเตาแก๊ส ซึ่งพบว่าในการเผาด้วยแก๊สเกิดความผิดพลาดทำให้ภาชนะดินเผาสุกไม่เท่ากัน ส่วนภาชนะที่เผาโดยใช้เตาพื้นบ้านมีความสมบูรณ์ทุกสม่ำเสมอ ไม่มีรอยแตกร้าว จึงเลือกใช้ชุดที่เผาโดยเตาพื้นบ้าน ใช้ฟืนเป็นเชื้อเพลิงในการเผา



รูปที่ 3.3 แสดงเตาเผา



รูปที่ 3.4 แสดงแจกันดินเผาที่เตรียมใช้ในการทดลอง

เมื่อนำภาชนะดินเผาตัวอย่างมาทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพในการซึมผ่านของน้ำโดยวางไว้กลางแจ้ง ในสภาพแวดล้อมเดียวกันพบว่าน้ำที่อยู่ในภาชนะแต่ละใบลดลงจนหมดในเวลาไล่เลี่ยกัน ทำให้สรุปได้ว่า คุณภาพของเนื้อดินมีความพรุนและการซึมน้ำในอัตราเท่ากัน

โดยทั่วไปเครื่องปั้นดินเผาไฟต่ำมักจะมีค่าความพรุนร้อยละ 4-6 ซึ่งสามารถหาค่าความพรุนของเนื้อดินได้โดยการนำเอาผลิตภัณฑ์ที่เผาดิบไปแช่น้ำประมาณหนึ่งคืน เช็ดเนื้อดินให้ปราศจากหยดน้ำแล้วนำไปชั่ง น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นถือว่าเป็นจำนวนร้อยละของความพรุนในเนื้อดิน

$$\text{ค่าร้อยละของการซึม} = (\text{น้ำหนักหลังแช่น้ำ} - \text{น้ำหนักก่อนแช่น้ำ}) / \text{น้ำหนักก่อนแช่น้ำ} \times 100$$

จากสมการดังกล่าวสามารถหาค่าร้อยละการซึมของภาชนะที่ใช้ในการทดสอบได้ค่าความพรุนประมาณร้อยละ 5

ตารางที่ 3.1 แสดงร้อยละความพรุนของเครื่องปั้นดินเผาที่ใช้ในการทดลอง จากการสุ่มตัวอย่าง

| ลำดับ | น้ำหนักก่อนแช่น้ำ (กก.) | น้ำหนักหลังแช่น้ำ (กก.) | ร้อยละของความพรุน |
|-------|-------------------------|-------------------------|-------------------|
| 1 | 5.5 | 5.8 | 5.45 |
| 2 | 5.2 | 5.5 | 5.76 |
| 3 | 5.1 | 5.4 | 5.88 |

ตารางที่ 3.2 แสดงพื้นที่ผิว ความจุน้ำของภาชนะดินเผาที่ใช้ในการทดลอง

| ลำดับ | เส้นผ่าศูนย์กลาง(ม.) | ความสูงภาชนะ(ม.) | ความจุน้ำ(ลบ.ม) | พื้นที่ผิว(ตร.ม.) |
|-------|----------------------|------------------|-----------------|-------------------|
| 1 | 0.20 | 0.30 | 0.009429 | 0.188571 |
| 2 | 0.20 | 0.36 | 0.011314 | 0.226286 |
| 3 | 0.24 | 0.36 | 0.016293 | 0.271543 |

3.2.3 อุปกรณ์เครื่องมือวัดและบันทึกค่าผลการทดลอง

3.2.3.1 Data logger : Opus 200 เป็นอุปกรณ์บันทึกข้อมูลอัตโนมัติ สามารถเชื่อมต่อกับ อุปกรณ์ตรวจวัดสัญญาณหลายชนิด เช่น สายวัดอุณหภูมิชนิด Thermo Couple หัววัดอุณหภูมิและความชื้น Temperature/Humidity Sensors 8160.TFF10

3.2.3.2 HOBO onset data logger เป็นอุปกรณ์บันทึกค่าอุณหภูมิและความชื้นของอากาศที่มีอุปกรณ์วัดสัญญาณติดอยู่ภายใน

3.2.3.3 Thermo gun อุปกรณ์วัดอุณหภูมิระยะไกล สามารถบันทึกค่าอุณหภูมิของพื้นผิววัสดุโดยการส่งสัญญาณแสงอินฟราเรดไปยังวัตถุและแสดงค่าเป็นระบบดิจิทัล

3.2.3.4 Pyranometer อุปกรณ์ตรวจวัดค่าการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์

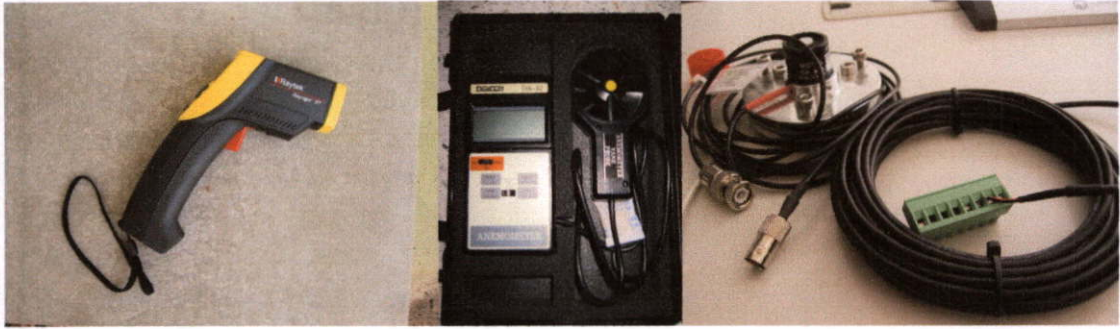
3.2.3.5 Temperature/Humidity Sensors 8160.TFF10 สัญญาณตรวจวัดค่าอุณหภูมิและความชื้นของอากาศ สามารถใช้งานภายในและภายนอกอาคารได้

3.2.3.6 Measurement Tape สายวัดระยะ

3.2.3.7 Anemometer อุปกรณ์วัดความเร็วลม/ EE65 Wind Velocity

3.2.3.8 EE70 Humidity and Thermal Sensor อุปกรณ์วัดความชื้นและอุณหภูมิอากาศ

3.2.3.9 เครื่องชั่งน้ำหนัก



รูปที่ 3.5 เรียงจากซ้ายไปขวา Thermo Gun, Anemometer, Pyranometer



รูปที่ 3.6 เครื่องบันทึกข้อมูล OPUS 200, HOBO onset data logger

3.2.4 การตั้งค่าเครื่องวัด OPUS 200

เนื่องจากการบันทึกข้อมูลโดยผ่านเครื่องบันทึกข้อมูลอัตโนมัติสามารถอ่านผลข้อมูลที่ได้ในภายหลัง ดังนั้นก่อนการติดตั้งเครื่องมือวัด จึงจำเป็นต้องมั่นใจถึงความถูกต้องของเครื่องมือโดยทำการเปรียบเทียบค่าที่ได้ให้มีค่าใกล้เคียงกัน ก่อนที่จะนำไปทดลองต่อไป

ตารางที่ 3.3 แสดงการตั้งค่าการบันทึกข้อมูลของ OPUS 200

| No. | ID | Offset A/B | Sensor type | Scan rate | Saving rate |
|-----|------|------------|----------------|-----------|-------------|
| 1 | 1313 | 2.13/2.49 | Thermocouple T | 10 s | 2 min |
| 2 | 1319 | 1.75/1.50 | Thermocouple T | 10 s | 2 min |
| 3 | 1320 | 1.76/2.02 | Thermocouple T | 10 s | 2 min |
| 4 | 1335 | 1.19/1.07 | Thermocouple T | 10 s | 2 min |
| 5 | 1419 | 0.90/0.94 | Thermocouple T | 10 s | 2 min |
| 6 | 1573 | 0.00/0.90 | Thermocouple T | 10 s | 2 min |
| 7 | 720 | 0.07/-0.73 | Thermal/humid | 10 s | 2 min |
| 8 | 1447 | 0.00/2.00 | Thermal/humid | 10 s | 2 min |
| 9 | 1576 | 0.00/0.72 | Photo/temp | 10 s | 2 min |

3.3 สมมุติฐานการทดลอง

3.3.1 เพื่อศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการลดอุณหภูมิอากาศด้วยกระบวนการระเหยของน้ำในภาชนะดินเผา ในการทดลองจึงตั้งสมมุติฐานเกี่ยวกับการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบด้วยปัจจัยที่เปลี่ยนแปลงไปดังนี้

- การเพิ่มความสามารถในการลดอุณหภูมิอากาศของระบบด้วยการเพิ่มความเร็วลม
- การเพิ่มความสามารถในการลดอุณหภูมิอากาศของระบบจากการเพิ่มปริมาณพื้นที่ผิวระเหยของภาชนะ
- ตำแหน่งในการติดตั้งเครื่องปั่นดินเผา ระหว่างการวางขวางลมและการวางขนานลม ถึงผลต่อการลดอุณหภูมิของอากาศ

3.3.2 เพื่อศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงด้านความชื้นของอากาศที่เกิดจากการลดอุณหภูมิด้วยกระบวนการเพื่อหาความเหมาะสมในการประยุกต์ใช้งานในอาคารต่อไป

3.4 วิธีทดลอง

ดังนั้นจึงแบ่งชุดการทดลองออกเป็น 3 ชุดการทดลองหลักได้แก่

3.4.1 ชุดการทดลองที่ 1 ทำการทดสอบทฤษฎีการระเหยของน้ำในภาชนะดินเผา คูผลเปรียบเทียบระหว่างห้องทดสอบและห้องควบคุม รวมถึงศึกษาผลของความชื้นที่เกิดขึ้น ระหว่างการมีลมพัดและไม่มีลม

3.4.2 ชุดการทดลองที่ 2 ทำการทดสอบประสิทธิภาพการลดของอุณหภูมิอากาศจากผลของพื้นที่ผิวการระเหยที่เพิ่มขึ้น

3.4.3 ชุดการทดลองที่ 3 ทดสอบตำแหน่งติดตั้งที่ให้ผลในการลดอุณหภูมิอากาศได้ดีที่สุด โดยมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

1. เตรียมห้องทดลองขนาด 1.2 ม. X 2.4 ม. สูง 1.2 ม. จำนวน 2 ห้อง โดยจัดวางให้มีทิศทางและรูปแบบเหมือนกันที่สุด โดยไม่มีเงาของอาคารหรือสิ่งอื่นใดปกคลุม เพื่อใช้เป็นห้องทดสอบและห้องควบคุม

2. ติดตั้งอุปกรณ์บันทึกอุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วลม ทั้งสองห้องให้ในลักษณะเดียวกัน รวมทั้งทำการบันทึกภายนอกอาคารในกล่องตรวจสอบอุณหภูมิอากาศที่ติดตั้งบริเวณใกล้เคียง

3. ทำการทดสอบประสิทธิภาพของอุปกรณ์ทั้งสองห้องโดยการเปิดเครื่องมือบันทึกค่าอุณหภูมิ ความชื้นและความเร็วลม เป็นเวลา 48 ชั่วโมง และทำการอ่านค่าที่ได้เปรียบเทียบกับเพื่อหาวิธีควบคุมตัวแปรทั้งห้องทดลองและเครื่องมือทดสอบให้เหมือนกัน

4. ดำเนินการทดลองตามสมมุติฐานต่าง ๆ ที่ได้เตรียมไว้ โดยการนำภาชนะดินเผาที่ทำการแช่น้ำเพื่อให้เกิดการซึมน้ำอย่างดี มาใช้ในการทดลอง ลักษณะ จำนวนและรูปแบบที่กำหนดไว้ในแต่ละชุดการทดลอง

5. บันทึกค่าอุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วลมในแต่ละจุดที่ทำการทดลอง เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ต่อการทดลองแต่ละชุดการทดลอง

6. นำผลการทดลองที่ได้จากการบันทึกมาวิเคราะห์ ตรวจสอบค่าที่ได้ให้มีความถูกต้องแม่นยำ ก่อนทำการสรุปผลการทดลองต่อไป

3.5 วิเคราะห์ข้อมูล

จากการกำหนดให้อุปกรณ์ที่ใช้บันทึกข้อมูล ทำการบันทึกค่าการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับจุดวัดแต่ละจุดทุก 2 นาที ดังนั้นตลอดระยะเวลา 48 ชั่วโมงของการทดลองจึงทำให้ได้ข้อมูลอย่างน้อย 1,440 ค่าต่อจุดวัด ซึ่งในการทดลองครั้งนี้ได้ใช้โปรแกรม Smart Control 1.2 ในการเรียกอ่านข้อมูล ซึ่งสามารถกำหนดให้แสดงเป็นกราฟเส้นและส่งข้อมูลเป็นตารางตัวเลขในโปรแกรม Microsoft Excel ได้

โดยภายในห้องทดลองและห้องควบคุม ได้ติดตั้งจุดวัดหลัก ๆ ได้แก่ อุณหภูมิลมเข้า อุณหภูมิกลางห้อง อุณหภูมิลมออกและความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้อง ความเร็วลม เป็นต้น ทำให้วิธีการอ่านข้อมูลโดยกราฟที่ได้จากโปรแกรมถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลของการทดลอง ที่สามารถพิจารณาความแตกต่างที่เกิดขึ้นระหว่างห้องทดสอบและห้องควบคุมได้ชัดเจน ส่วนการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณ หรือค่าเฉลี่ย ค่าสูงสุด ค่าต่ำสุดสามารถพิจารณาได้จากโปรแกรม Excel

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า การพิจารณาผลจากการลดอุณหภูมิอากาศนั้น ใช้ข้อมูลสูงสุดและต่ำสุด ซึ่งการลดอุณหภูมิของระบบที่ทดสอบมักจะเกิดขึ้นในช่วงเวลากลางวัน ที่อุณหภูมิอากาศสูงกว่าภาวะสบาย

ข้อมูลที่ได้จากการทดลองในแต่ละชุด สามารถนำมาเปรียบเทียบความเหมือนหรือแตกต่างกันได้โดยตรง เนื่องจากการเป็นการวิเคราะห์ผลเชิงความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นระหว่างห้องทดลองและห้องทดสอบที่มีการควบคุมตัวแปร ความแตกต่างกันเช่นอุณหภูมิ หรือความชื้นทั้งสองห้องสามารถบ่งชี้ถึงตัวแปรดังกล่าวได้เป็นอย่างดี

ส่วนข้อมูลที่ได้จากการทดลองคนละช่วงเวลา หากต้องนำมาเปรียบเทียบกันจะต้องพิจารณาค่าการแผ่รังสีความร้อนของดวงอาทิตย์ที่มีผลต่อสภาพแวดล้อมที่ห้องทดลองตั้งอยู่ ซึ่งส่งผลต่อภาวะอุณหภูมิในห้องทดลอง

ข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นที่ได้ ไม่สามารถบ่งบอกถึงภาวะความสบายและสถานการณ์เรื่องพลังงานที่อยู่ในห้องได้ จึงจำเป็นต้องทำการวิเคราะห์เกี่ยวกับปรากฏการณ์การเปลี่ยนแปลงพลังงานดังกล่าวด้วย Psychrometric Chart

บทที่ 4

ผลการทดลองและการอภิปรายผลการทดลอง

การทดลองมีทั้งสิ้น 3 ชุดการทดลอง โดยแยกตามสมมุติฐานการทดลองที่ตั้งไว้ ชุดการทดลองที่ 1 ทำการทดสอบทฤษฎีการระเหยของน้ำในภาชนะดินเผา คูผลเปรียบเทียบระหว่างห้องทดสอบและห้องควบคุม รวมถึงศึกษาผลของความชื้นที่เกิดขึ้น ระหว่างการมีลมพัดและไม่มีลม ชุดการทดลองที่ 2 ทำการทดสอบประสิทธิภาพการลดของอุณหภูมิอากาศจากผลของพื้นที่ผิวการระเหยที่เพิ่มขึ้นสำหรับ ชุดการทดลองที่ 3 ทดสอบตำแหน่งติดตั้งที่ให้ผลในการลดอุณหภูมิอากาศได้ดีที่สุด

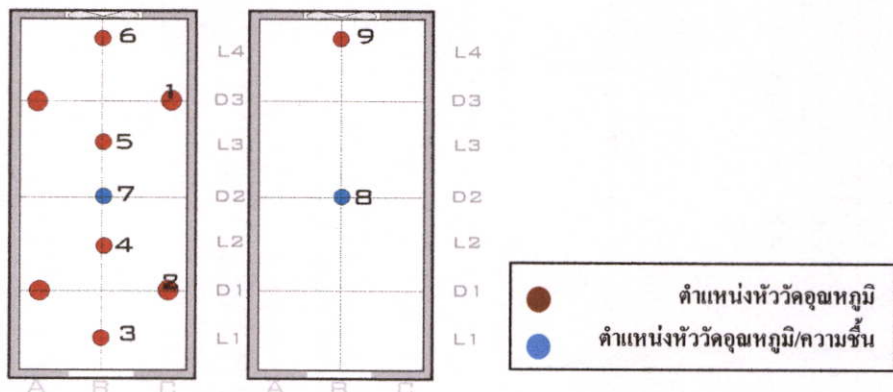
4.1 ชุดการทดลองที่ 1.1

4.1.1 เป้าหมายการทดลอง

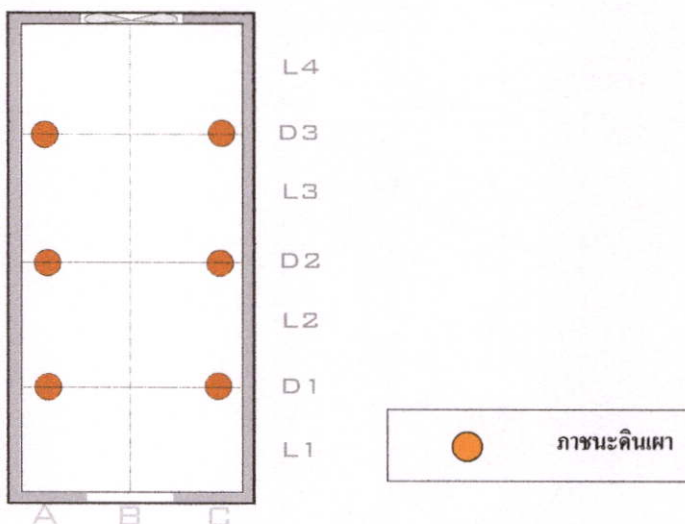
เพื่อศึกษาความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดสอบที่เกิดจากการระเหยกับห้องควบคุมที่ไม่มีการระเหย โดยมีรายละเอียดของจำนวนภาชนะดินเผาที่ติดตั้งภายในห้องทดลอง ดังนี้

ตารางที่ 4.1 แสดงจำนวนภาชนะดินเผาที่ติดตั้งในห้องทดสอบและห้องควบคุม การทดลอง 1.1

| รายการ | จำนวนภาชนะดินเผา(อัน) | ปริมาตรความจุน้ำ (ลบ.ม.) | พื้นที่ผิวของการระเหย (ตร.ม.) |
|------------|-----------------------|--------------------------|-------------------------------|
| ห้องทดสอบ | 12 | 0.1955 | 3.258 |
| ห้องควบคุม | 0 | 0 | 0 |



รูปที่ 4.1 แสดงตำแหน่งที่ติดตั้งหัววัดต่าง ๆ ในห้องทดสอบ (ซ้าย) และห้องควบคุม (ขวา)



รูปที่ 4.2 แสดงตำแหน่งที่ติดตั้งภาชนะดินเผาภายในห้องทดสอบ



รูปที่ 4.3 แสดงการติดตั้งภาชนะดินเผาและตำแหน่งหัววัดภายในห้องทดสอบ

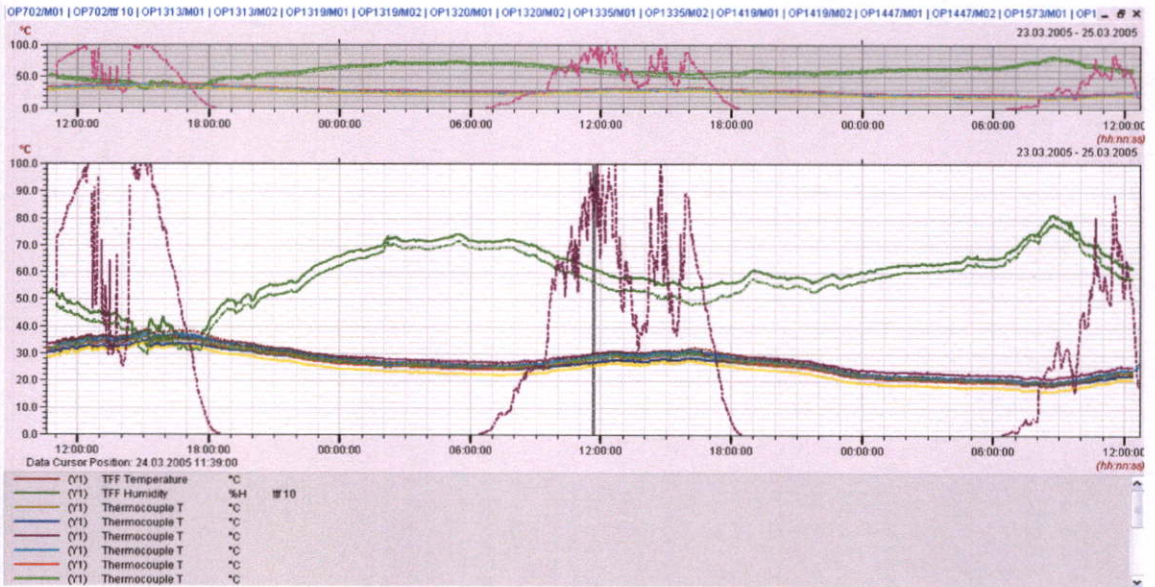
4.1.1 ผลการทดลองที่ 1.1

ตลอดระยะเวลา 48 ชั่วโมงของการทดลอง พบว่าห้องทดสอบมีอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำกว่าห้องควบคุมประมาณ 0.89 K มีความชื้นเฉลี่ยสูงกว่า 3.52 % โดยน้ำที่หายไปจากการระเหยทั้งสิ้น 19.008 ลิตร หรือประมาณ 0.396 ลิตรต่อชั่วโมง

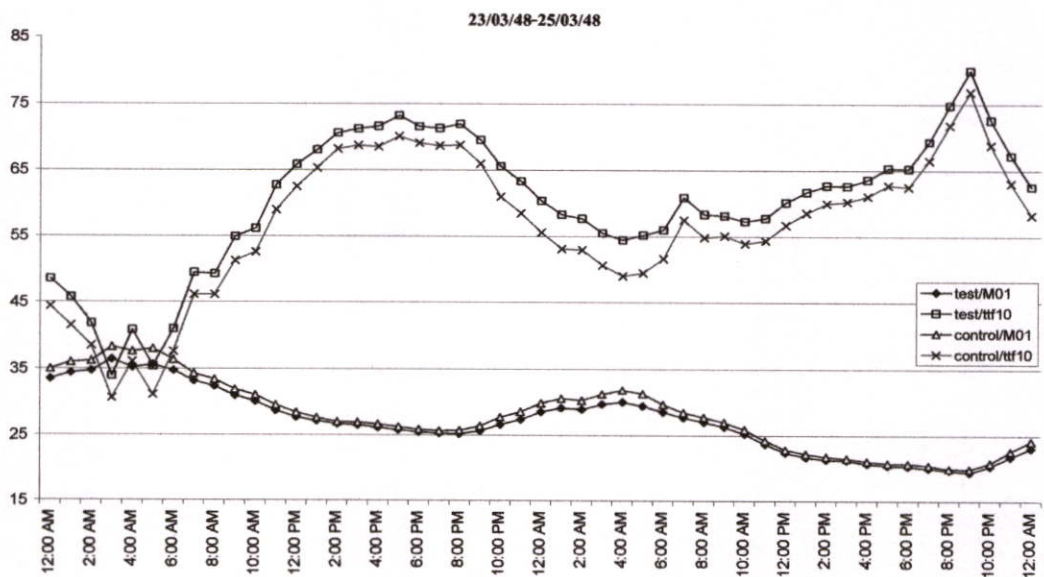
ในช่วงที่อากาศมีอุณหภูมิสูง คือเวลาประมาณ 15.00 น. การระเหยที่เกิดขึ้นมีผลทำให้อุณหภูมิในห้องทดสอบต่ำกว่าห้องควบคุมประมาณ 1.71 K โดยมีอุณหภูมิ 36.72°C และ 38.43°C ตามลำดับ ส่วนความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศห้องทดสอบสูงกว่าห้องควบคุม 2.89 % คือ 32.21 และ 29.32 % RH ตามลำดับ

ตารางที่ 4.2 แสดงอุณหภูมิสูงสุด ต่ำสุดอุณหภูมิเฉลี่ยและค่าเปรียบเทียบอุณหภูมิกับความชื้น

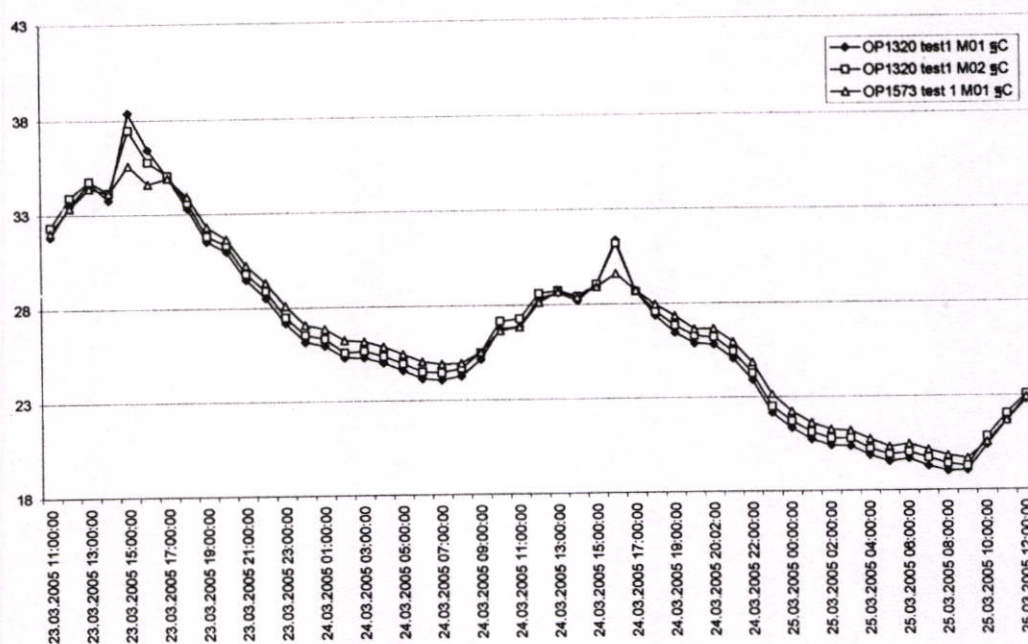
| Description: | OP702 Test 1 | OP702 Test 1 | OP 1447 Test 2 | OP 447 Test 2 | Diff Temp | Diff Rh% |
|--------------|-----------------|-----------------|-------------------|------------------|--------------|-------------|
| Unit | °C | Rh % | °C | Rh% | °C | % |
| Mean | 27.08 | 60.23 | 27.97 | 56.71 | 0.89 | 3.52 |
| Min | 19.11 | 32.21 | 19.62 | 29.32 | 0.51 | 2.89 |
| Max | 36.72 | 81.37 | 38.43 | 78.42 | 1.71 | 2.95 |



รูปที่ 4.4 แสดงค่าอุณหภูมิและความชื้นจากทุกจุดวัด การทดลองที่ 1.1



รูปที่ 4.5 แสดงผลการวัดอุณหภูมิและความชื้นของห้องทดสอบและห้องควบคุม การทดลองที่ 1.1



รูปที่ 4.6 ผลการวัดค่าอุณหภูมิลมเข้าและลมออกในห้องทดลอง

4.1.3 การอภิปรายผลการทดลอง

จากเป้าหมายการทดลองที่ต้องการพิสูจน์ว่า การระเหยที่เกิดขึ้นภายในห้องสามารถลดอุณหภูมิในอากาศได้หรือไม่ ในการทดลองนี้มีตัวแปรอิสระคือ การระเหยน้ำในภาชนะดินเผาภายในห้องทดสอบ และห้องควบคุมที่ปราศจากการระเหย จากการพิจารณาผลการทดลองอุณหภูมิภายในห้องทดลองทั้งสองห้องมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงตามสภาพอากาศคล้ายกัน นั่นคืออุณหภูมิอากาศในตอนกลางวันจะเพิ่มขึ้นสูงสุดในช่วง เวลา 14.00-15.00 น. หลังจากนั้นจะค่อยๆ ลดต่ำลงและต่ำสุดในช่วง 07.00 น. ของวันใหม่

แต่สิ่งที่สังเกตเห็นได้ชัดคือ ในตอนกลางวันอุณหภูมิอากาศของห้องทดลองและห้องควบคุมจะแตกต่างกัน ส่วนในตอนกลางคืนจะมีค่าใกล้เคียงกัน โดยห้องที่มีการระเหยของน้ำในภาชนะดินเผาจะมีอุณหภูมิอากาศในช่วงกลางวันต่ำกว่าห้องที่ไม่มี ซึ่งพิสูจน์ให้เห็นว่าการระเหยน้ำมีผลในการลดอุณหภูมิในอากาศภายในห้องทดสอบได้จริง

เมื่อพิจารณาค่าของความชื้นภายในห้องทดลองทั้งสองห้อง พบว่าในตอนกลางวันที่มีความชื้นภายนอกต่ำ ความชื้นภายในห้องทดสอบมีค่าสูงกว่าห้องควบคุมเฉลี่ยที่ 3.52% ซึ่งแน่นอนว่าเป็นความชื้นที่เพิ่มขึ้นจากการระเหยน้ำในภาชนะดินเผา

คำถามต่อมาสำหรับการทำความเข้าใจเกี่ยวกับการลดอุณหภูมิอากาศกับการระเหยของน้ำคือ กระบวนการระเหยและการระเหยอากาศมีความเกี่ยวข้องกันอย่างไร ถ้ามีลมพัดและไม่มีลมพัดมีผลต่อการลดอุณหภูมิอากาศเพียงใด ซึ่งได้ทำการทดลองที่ 1.2 เพื่อหาคำตอบจากคำถามดังกล่าว

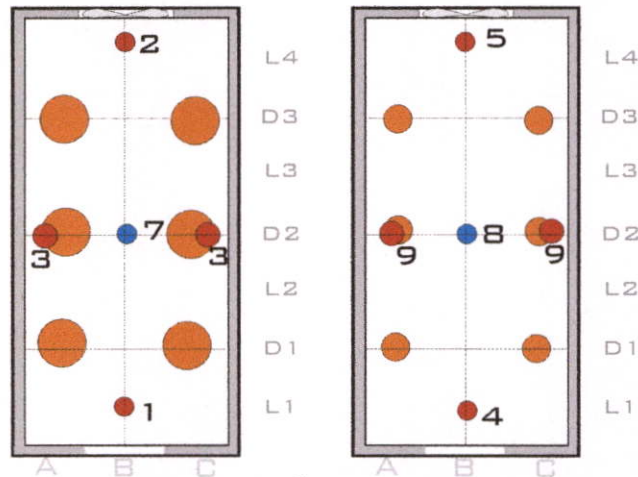
4.2 การทดลองที่ 1.2

4.2.1 เป้าหมายของการทดลอง

เพื่อเปรียบเทียบความสามารถลดอุณหภูมิอากาศด้วยการระเหยของน้ำในภาชนะดินเผา ระหว่างสถานะที่มีและไม่มีเคลื่อนที่ของอากาศ ด้วยการเปิดและปิดพัดลมดูดอากาศภายในห้องทดลอง โดยมีรายละเอียดของจำนวนภาชนะดินเผาที่ใช้ในการทดลองดังนี้

ตารางที่ 4.3 แสดงจำนวนแจกันดินเผาที่ติดตั้งในห้องทดสอบและห้องควบคุม

| รายการ | จำนวนภาชนะดินเผา(อัน) | ปริมาตรความจุ (ลบ.ม.) | พื้นที่ผิวของการระเหย (ตร.ม.) |
|------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------------|
| ห้องทดสอบ | ขนาดใหญ่ 12 | 0.1955 | 3.258 |
| ห้องควบคุม | ขนาดเล็ก 12 | 0.113143 | 2.262857 |



รูปที่ 4.7 ตำแหน่งหัววัดอุณหภูมิและความชื้นในห้องทดสอบ (ซ้าย) และห้องควบคุม (ขวา)

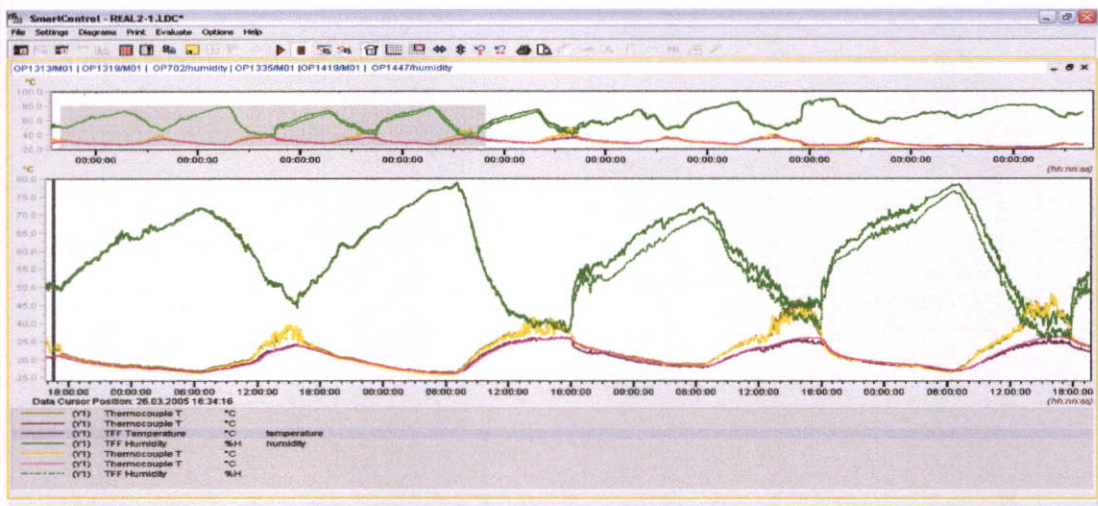


รูปที่ 4.8 แสดงการติดตั้งภาชนะดินเผาขนาดเล็กและขนาดใหญ่ในห้องทดลองทั้งสองห้อง

4.2.2 ผลการทดลองเมื่อเปิดพัดลม ความเร็วลมเข้า 0.4 เมตร/วินาที

จากผลการทดลอง อุณหภูมิเฉลี่ยภายในห้องทดสอบและห้องควบคุมมีค่าเฉลี่ย 29.61 °C และ 29.89 °C ตามลำดับ ซึ่งห้องทดสอบมีอุณหภูมิต่ำกว่าห้องควบคุม 0.28 K

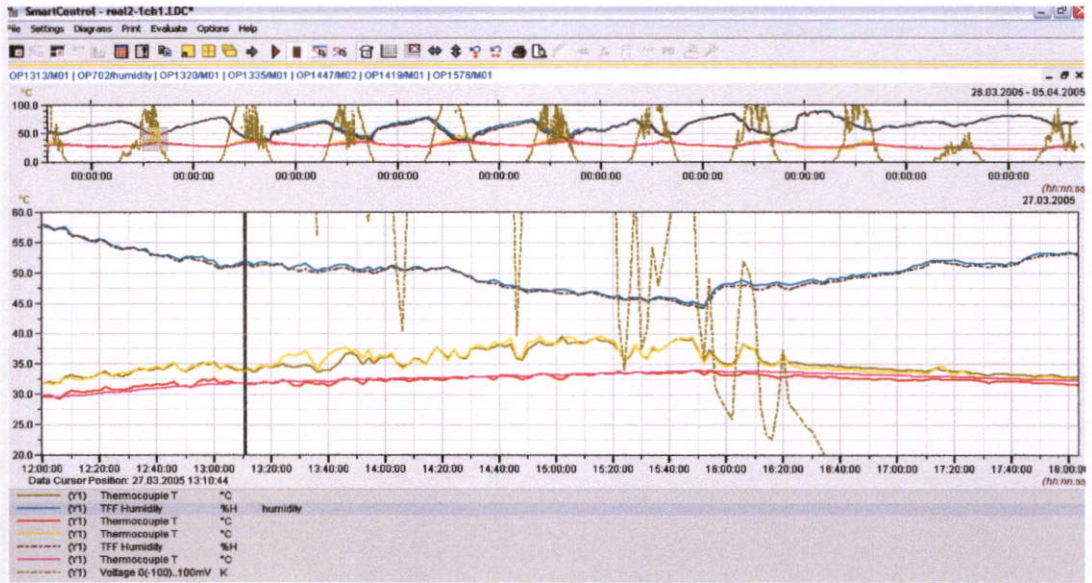
อุณหภูมิภายในห้องทดสอบมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงตามอิทธิพลของอุณหภูมิอากาศ แต่สิ่งที่สังเกตเห็นจากการเปรียบเทียบอุณหภูมิลมเข้าในห้องทดสอบและห้องควบคุม อุณหภูมิห้องควบคุมมีการแกว่งตัวมากกว่าห้องทดสอบ โดยในช่วงเวลากลางคืน มีค่าต่ำกว่าห้องทดสอบ และค่อยเพิ่มสูงขึ้นในเวลากลางวันจนสูงกว่าอุณหภูมิในห้องทดสอบ ส่วนอุณหภูมิในห้องทดสอบแกว่งตัวขึ้นลงตามอุณหภูมิอากาศแต่เนื่องจากได้รับอิทธิพลของการระเหยในช่วงเวลากลางวันทำให้อุณหภูมิลดต่ำลงได้ โดยทั้งสองห้องมีค่าความชื้นสัมพัทธ์ใกล้เคียงกัน เฉลี่ยที่ 60.12 และ 59.85 % โดยห้องทดสอบมีความชื้นสูงกว่าประมาณ 0.28 %



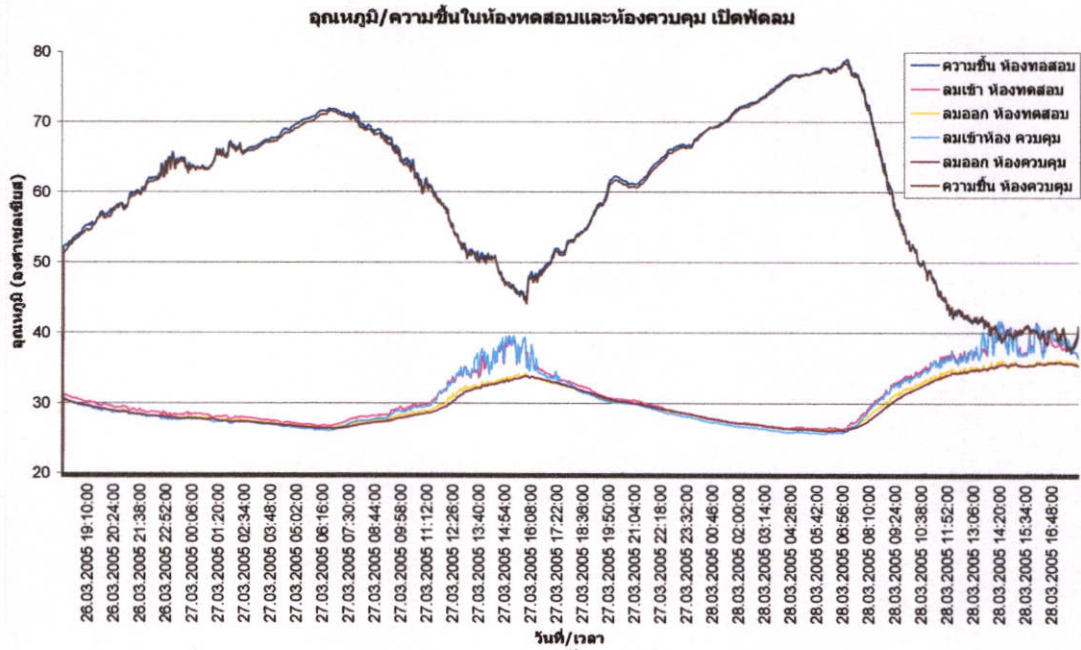
รูปที่ 4.9 กราฟ เปรียบเทียบความแตกต่างอุณหภูมิ/ความชื้น ขณะเปิดและปิดพัดลม



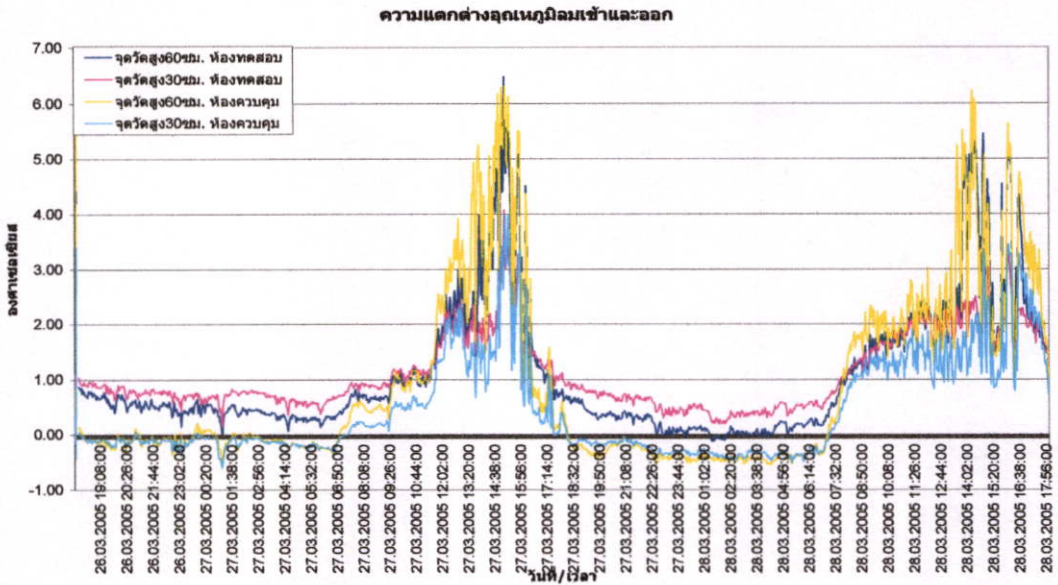
รูปที่ 4.10 แสดงค่าอุณหภูมิและความชื้นการทดลองที่ 1.2 ขณะเปิดพัดลม



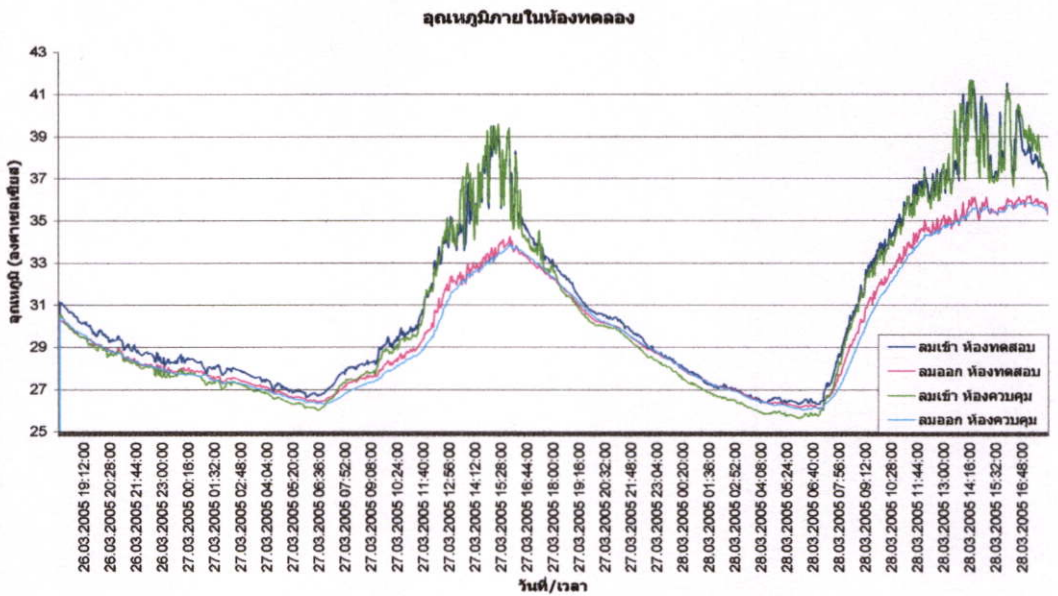
รูปที่ 4.11 แสดงค่าอุณหภูมิและความชื้นการทดลองที่ 1.2 ขณะเปิดพัดลม



รูปที่ 4.12 แสดงค่าอุณหภูมิและความชื้นในห้องทดลอง ขณะเปิดพัดลม



รูปที่ 4.13 ความแตกต่างอุณหภูมิลมเข้าและออก ห้องทดลองและห้องควบคุม



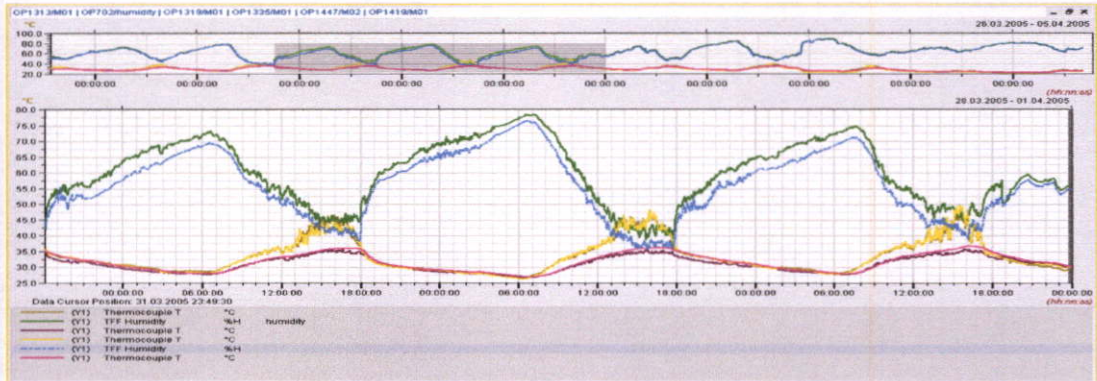
รูปที่ 4.14 อุณหภูมิลมเข้าและลมออกภายในห้องทดลอง

4.2.3 การอภิปรายผลการทดลอง เมื่อเปิดพัดลม

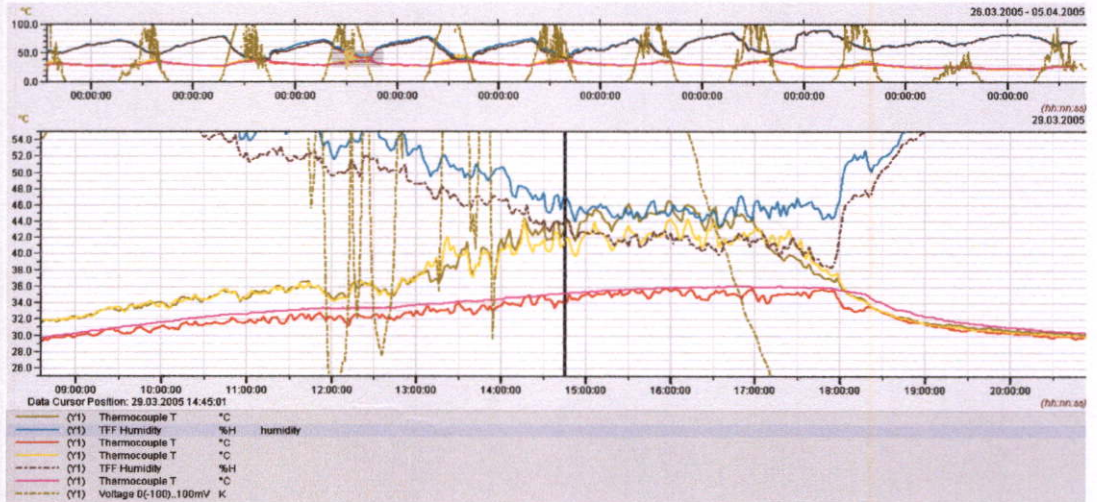
จากรูปที่ 4.9 แสดงค่าความชื้นที่แตกต่างอย่างชัดเจนระหว่างการเปิดและปิดพัดลม เมื่อมีการระบายอากาศด้วยพัดลมดูดอากาศ ความเร็วประมาณ 0.4 ม./วินาที ความแตกต่างของปริมาณพื้นที่ผิวการระเหยของเครื่องปั้นดินเผาประมาณ 0.9 ตร.ม. ไม่ทำให้ความชื้นภายในห้องแตกต่างกันมาก ส่วนอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดสอบที่มีการระเหยมากกว่า ก็ลดต่ำกว่าห้องควบคุมที่มีการระเหยน้อย โดยสัดส่วนเรื่องพื้นที่การระเหยกับการลดอุณหภูมิจะต้องทำการศึกษาในการทดลองลำดับถัดไป

4.2.4 ผลการทดลองเมื่อปิดพัดลม

จากผลการทดลองพบว่า ในช่วงเวลาที่อุณหภูมิอากาศภายนอกสูงสุด เวลาประมาณ 15.56 น. ของวันที่ 30 มีนาคม อุณหภูมิลมเข้าในห้องทดสอบ มีความแตกต่างกับอุณหภูมิลมออกมากถึง 13.09K โดยอุณหภูมิทางลมเข้าด้านหน้า 47.51°C ทางลมออกด้านหลังห้อง 34.42°C เช่นเดียวกับอุณหภูมิห้องควบคุม อุณหภูมิทางลมเข้า 48.32°C ลมออก 36.02°C แตกต่างกัน 12.30K โดยทำให้ความชื้นเพิ่มสูงขึ้น 3.99%

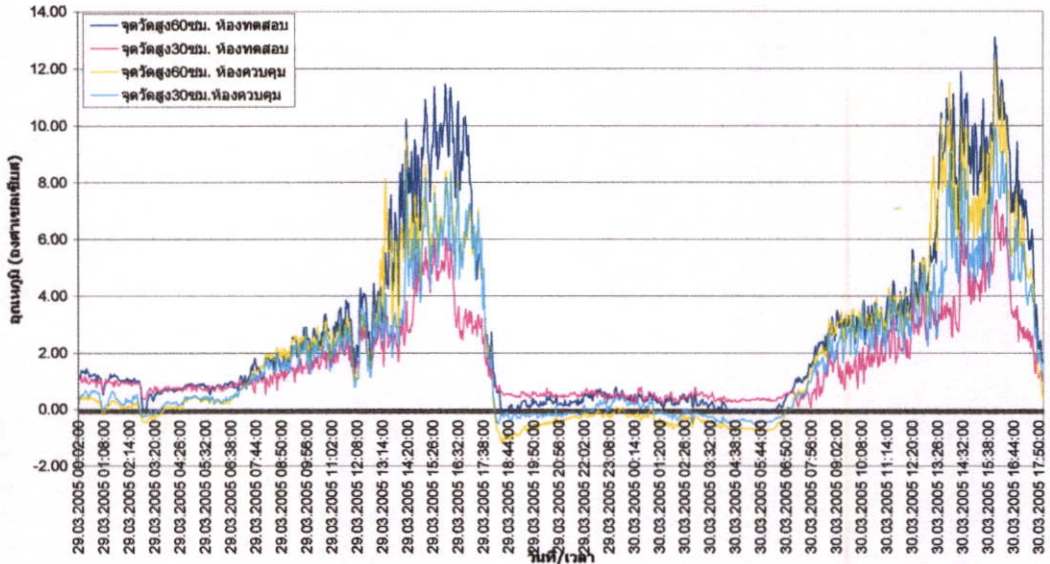


รูปที่ 4.15 แสดงค่าอุณหภูมิและความชื้นเมื่อปิดพัดลม



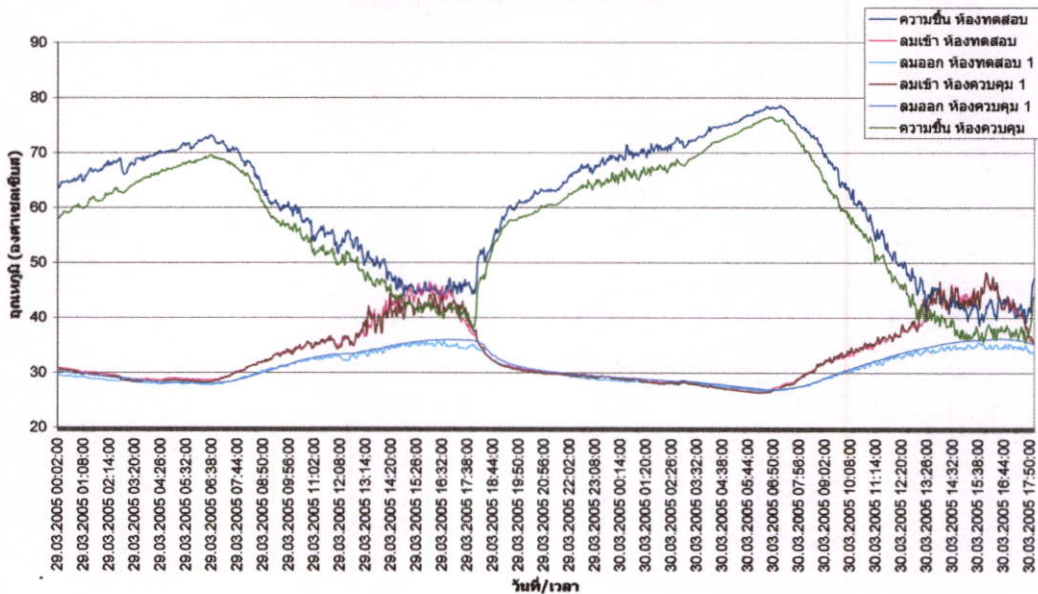
รูปที่ 4.16 แสดงค่าอุณหภูมิและความชื้นเมื่อปิดพัดลม

ความแตกต่างอุณหภูมิลมเข้าและลมออก



รูปที่ 4.17 ความแตกต่างอุณหภูมิลมเข้าและออก การทดลอง 1.2 ขณะปิดพัดลม

เปรียบเทียบอุณหภูมิ ความชื้น ขณะปิดพัดลม



รูปที่ 4.18 เปรียบเทียบอุณหภูมิ ความชื้นขณะปิดพัดลม

4.2.5 การอภิปรายผลการทดลองเมื่อปิดพัดลม

เมื่อปิดพัดลม สิ่งที่เห็นได้ชัดเจนคือความแตกต่างระหว่างความชื้นในห้องทดสอบและห้องควบคุม โดยในห้องทดสอบที่มีพื้นที่ผิวของภาชนะดินเผามากกว่า เท่ากับมีการระเหยของน้ำมากกว่า จึงมีความชื้นมากกว่า

สิ่งที่น่าสังเกตประการหนึ่งจากการทดลองนี้ นอกจากปริมาณพื้นที่ผิวการระเหย ที่มีผลต่อประมาณความชื้นในอากาศกับการลดอุณหภูมินั้น คือ หากไม่มีการระบายความชื้นออกจาก

ห้อง จะทำให้พื้นที่ส่วนที่มีความชื้นมากมีอุณหภูมิค่อนข้างต่ำ สังกัดจากบริเวณทางลมเข้าของห้องทดลองที่ไม่ได้ปิดไว้ ที่จุดนี้จะมีอุณหภูมิอากาศสูงกว่าอีกด้าน ซึ่งเป็นมุมอับ ไม่มีการระบายอากาศ

เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างการเปิดพัดลมและปิดพัดลมจะพบว่า การระบายอากาศจะทำให้ค่าความชื้นและอุณหภูมิอากาศในห้องทดลองไม่แตกต่างกันมาก ในทางตรงกันข้ามเมื่อไม่มีการระบายอากาศ ความแตกต่างของอุณหภูมิและความชื้นระหว่างห้องทดสอบและห้องควบคุมสามารถเห็นได้ชัดเจน นั่นคือยังมีการระเหยมาก จะมีความสามารถลดอุณหภูมิอากาศได้มาก และทำให้ความชื้นในอากาศสูงขึ้นมากด้วย

4.3 การทดลองที่ 1.3

4.3.1 เป้าหมายการทดลอง

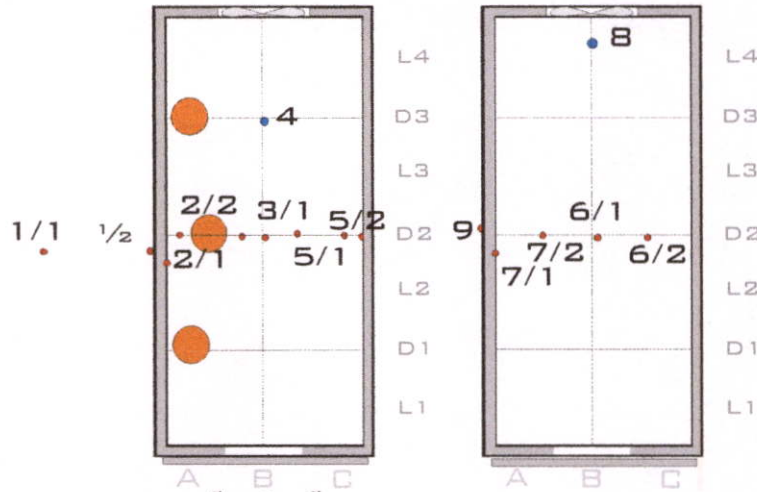
ต่อเนื่องจากการทดลองที่ 1.2 ที่มีการปิดและเปิดพัดลมดูดอากาศ ในการทดลองนี้ได้ทำการปิดทางลมเข้าด้วยแผ่นโฟมหนา 3 นิ้ว เพื่อป้องกันลมและไม่ให้ความร้อนผ่านเข้าไป เพื่อศึกษาผลกระทบที่เกิดจากการระเหยและไม่มีการเคลื่อนไหวของอากาศ

ตารางที่ 4.4 แสดงจำนวนแก็กกันดินเผาที่ติดตั้งในห้องทดสอบและห้องควบคุม การทดลอง 1.3

| รายการ | จำนวนภาชนะดินเผา(อัน) | ปริมาตรความจุ (ลบ.ม.) | พื้นที่ผิวของการระเหย (ตร.ม.) |
|------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------------|
| ห้องทดสอบ | ขนาดใหญ่ 6 | 0.0977 | 1.629 |
| ห้องควบคุม | ขนาดเล็ก 0 | 0 | 0 |



รูปที่ 4.19 ลักษณะห้องทดลองที่ปิดทางเข้าลมด้วยฉนวนโฟม

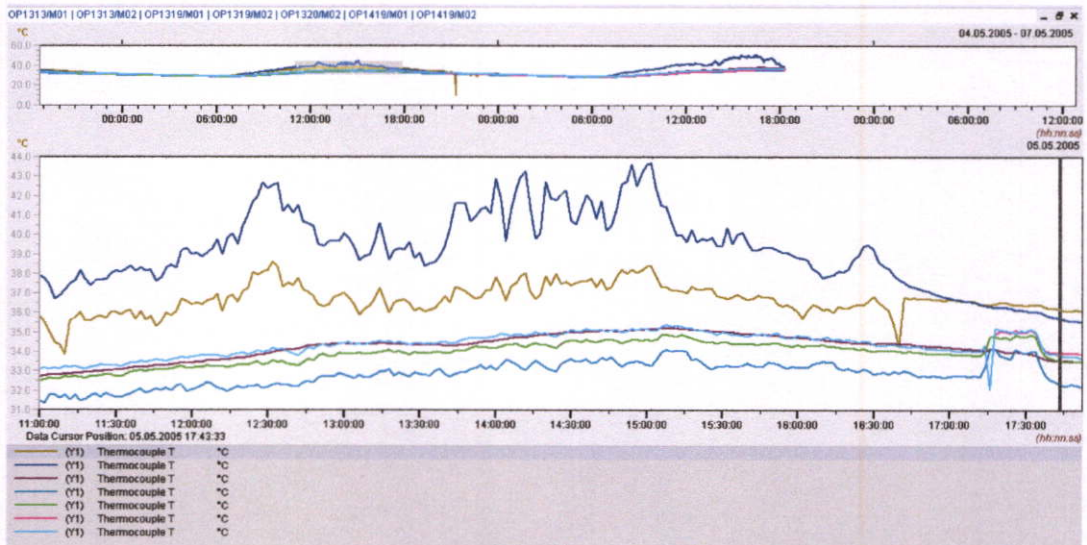


รูปที่ 4.20 แสดงตำแหน่งการติดตั้งเครื่องปั่นดินเผาและหัววัดค่า ในห้องทดลองและห้องควบคุม

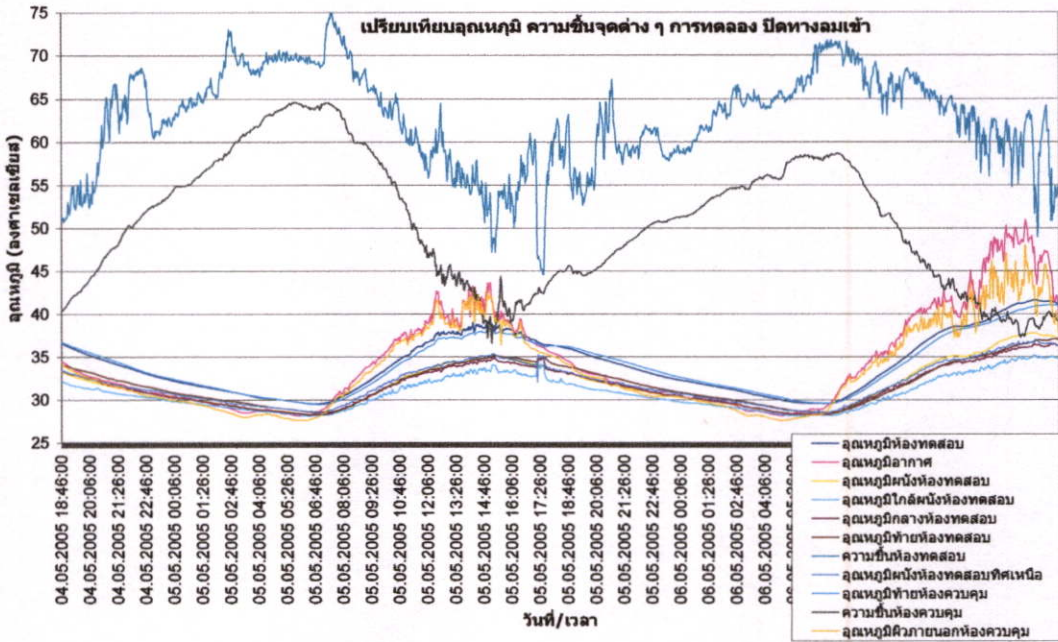
4.3.2 ผลการทดลองที่ 1.3

อุณหภูมิอากาศเริ่มมีค่าสูงขึ้นหลังจากได้รับความร้อนจากดวงอาทิตย์และมีค่าสูงสุดเมื่อเวลาประมาณ 15.00 น. ในขณะที่อุณหภูมิของผนังด้านทิศตะวันตกมีแนวโน้มสูงขึ้นในช่วงบ่ายและสูงกว่าอุณหภูมิอากาศในเวลาเดียวกัน อุณหภูมิภายในห้องต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกโดยในช่วงเวลาที่ร้อนที่สุดอุณหภูมิอากาศภายในห้องต่ำกว่าอากาศภายนอก 4.13K และอุณหภูมิผิวภายในห้องทดสอบต่ำกว่าอุณหภูมิผิวภายนอกเท่ากับ 8.49 K

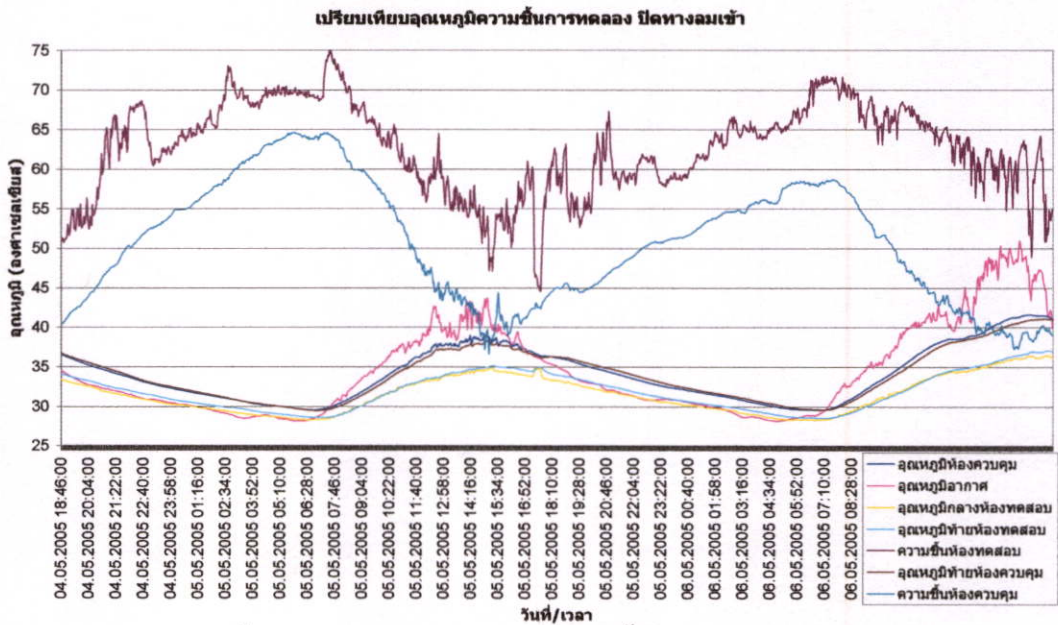
ในช่วงเวลา 16.26 น. เมื่ออุณหภูมิอากาศอยู่ในภาวะร้อนที่สุดของวัน โดยมีอุณหภูมิ 50.95°C อุณหภูมิภายในห้องทดสอบมีค่า 36.56°C ห้องควบคุมมีค่า 40.61°C แตกต่างกัน 4.05K ในขณะที่ความชื้นภายในห้องทดสอบมีค่าสูงที่ 62.12 % ส่วนความชื้นห้องควบคุมมีค่า 38.04% แตกต่างกัน 24.08 %



รูปที่ 4.21 แสดงอุณหภูมิและความชื้นในห้องทดลอง การทดลองที่ 1.3



รูปที่ 4.22 เปรียบเทียบอุณหภูมิความชื้นจุดต่าง ๆ ภายในห้องทดลอง



รูปที่ 4.23 เปรียบเทียบอุณหภูมิ ความชื้นภายในห้องทดลอง

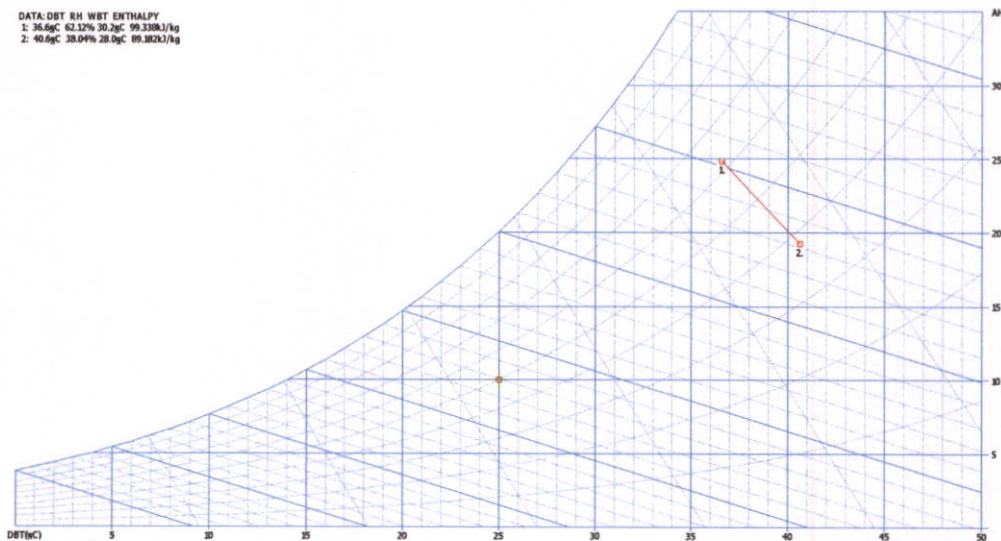
4.3.3 การอภิปรายผลการทดลองที่ 1.3

จากการวิเคราะห์ผลการทดลอง ภายในห้องทดสอบที่มีการระเหยของน้ำสามารถรักษาอุณหภูมิในห้องให้ต่ำกว่าห้องควบคุม โดยทำให้ความชื้นเพิ่มสูงขึ้นเกินขีดความสบาย ดังนั้นแม้ว่าการระเหยจะสามารถทำให้เกิดการลดอุณหภูมิในอากาศลงได้มาก แต่ระบบที่ไม่มีการระบายอากาศออกกลับทำให้สภาพอากาศเลวร้ายมากขึ้น ดังตารางที่ 4.5 แสดงค่าพลังงานในอากาศ ที่เกิดจากการลดอุณหภูมิและเพิ่มความชื้นจากการทดลอง

ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบปริมาณพื้นที่ผิวการระเหยของภาชนะดินเผา กับการทดลองที่ผ่านมา ทำให้ได้ประเด็นที่น่าสนใจคือ แม้ว่าพื้นที่ผิวการระเหยในห้องทดสอบของการทดลองที่ 1.3 จะน้อยกว่าห้องทดสอบของการทดลองที่ 1.2 แต่ความสามารถในการลดอุณหภูมิอากาศกลับมีมากกว่า แต่ทำให้มีความชื้นเพิ่มมากกว่าด้วย ทั้งนี้เป็นเพราะการระบายอากาศที่ต่างกัน ดังนั้นหากต้องการลดอุณหภูมิอากาศจากระบบการระเหยอย่างมีประสิทธิภาพแล้ว จำเป็นต้องพิจารณาเรื่องการระบายอากาศให้ดี ซึ่งต้องคำนึงถึงอุณหภูมิและความชื้นที่เหมาะสมกับภาวะสบายด้วย ในการทดลองต่อไป เราเน้นการลดอุณหภูมิอากาศที่ระบบมีการระบายอากาศที่ดี โดยตั้งคำถามว่าในระบบที่มีการระบายอากาศที่ดีนั้น พื้นที่ผิวการระเหยเท่าใดที่จะทำให้เกิดการลดอุณหภูมิได้มาก โดยมีสมมุติฐานว่าถ้าพื้นที่การระเหยมาก ย่อมจะสามารถลดอุณหภูมิได้มากเช่นกัน

ตารางที่ 4.5 ข้อมูลสภาพอากาศ ณ บริเวณทางลมออกของห้องทดลอง การทดลอง 1.3

| Temperature DATA | DBT (°C) | RH (%) | WBT (°C) | ENTHALPY kJ/kg |
|------------------|----------|--------|----------|----------------|
| 1.Test out@1.3 | 36.6 | 62.12 | 30.2 | 99.338 |
| 2.Control out1.3 | 40.6 | 38.04 | 28.0 | 89.182 |



รูปที่ 4.24 แผนภูมิไซโครเมตริกแสดงอุณหภูมิลมออกและลมเข้า การทดลองที่ 1.3

4.4 สรุปผลการทดลองชุดที่ 1

การทดลองชุดที่ 1 ประกอบด้วย 3 การทดลองย่อย เป็นการทดสอบเกี่ยวกับทฤษฎีการเปลี่ยนสถานะของน้ำและการระเหย ที่มีผลต่อความร้อน ความชื้นและอุณหภูมิในอากาศ ซึ่งผลที่ได้จากการทดลองมีความสอดคล้องกับทฤษฎีดังกล่าว โดยสรุปดังนี้

1. การระเหยของน้ำในภาชนะดินเผา เกิดขึ้นได้ตลอดเวลาที่ยังมีน้ำในภาชนะ ทั้งกลางวันและกลางคืน จากการทดลองในห้องปิดและห้องเปิดทำให้ทราบว่า แม้ไม่มีกระแสลม ก็สามารถเกิดการระเหยได้ แต่กระแสนลมมีความสำคัญในการระบายอากาศที่ร้อนและชื้นออกไปจากห้อง ทั้งยังทำให้ผิวภาชนะไม่เปียกชุ่ม

2. เมื่อเปิดพัดลมระบายอากาศ ความเร็วลมประมาณ 0.4 เมตร/วินาที ตลอด 48 ชั่วโมง จะทำให้ความชื้นที่เกิดจากการระเหยถูกระบายออกไป ควบคุมไม่ให้ความชื้นในเวลากลางวันสูงเกินขีดความสบาย ส่วนในเวลากลางคืน ความชื้นของอากาศภายนอกเพิ่มสูงขึ้นจนเท่ากับ ความชื้นภายในห้องทดสอบที่มีการระเหยของน้ำ นั่นแสดงว่าเราสามารถรับรู้ประสิทธิภาพการลดของอุณหภูมิได้ดีเฉพาะในเวลากลางวัน

3. หากต้องการลดอุณหภูมิอากาศ โดยไม่สนใจเรื่องความชื้น สามารถทำได้โดยการปิดกั้นทางลมเข้าออก เพื่อปล่อยให้เกิดการระเหยต่อไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งอากาศเกิดสภาวะการอึดตัวของไอน้ำ (ซึ่งถึงจุดนั้นจะเริ่มกระบวนการเปลี่ยนรูปจากไอน้ำเป็นของเหลวอีกครั้งด้วยกระบวนการควบแน่น) ซึ่งสภาวะการอึดตัวนี้อาจทำให้มนุษย์หายใจลำบากเนื่องจากความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศมีมากเกินไป

4. ดังนั้น การลดอุณหภูมิอากาศด้วยวิธีการระเหย จึงเหมาะกับสภาพแวดล้อมเปิด ที่มีการถ่ายเทอากาศที่ดี

คำถามต่อไปคือ ปริมาณพื้นที่ผิวการระเหยเท่าใดที่เพียงพอต่อการลดอุณหภูมิที่ต้องการ

4.5 การทดลองที่ 2.1

4.5.1 เป้าหมายการทดลอง

เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ผิวการระเหยกับการลดของอุณหภูมิในอากาศ โดยเมื่อพิจารณาความเหมาะสมในเรื่องจำนวนภาชนะที่เตรียมไว้สำหรับการทดลอง ประกอบกับสัดส่วนพื้นที่ว่างที่เหลือจากการวางภาชนะ ทำให้กำหนดชุดการทดลองได้ 4 ชุด ในแต่ละชุดการทดลอง กำหนดให้ห้องควบคุม มีพื้นที่การระเหยของภาชนะดินเผาทั้งสิ้นเท่ากับ A ตารางเมตร เพื่อใช้เปรียบเทียบกับห้องทดลองที่มีพื้นที่ผิวการระเหยของภาชนะดินเผาเท่ากับ B, C, D และ E ตามลำดับ โดยมีความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ผิวการระเหยคือ $E > B > A > C > D$ ดังรายละเอียดเกี่ยวกับปริมาณพื้นที่ผิวการระเหยที่ปรากฏในตารางที่ 4.6

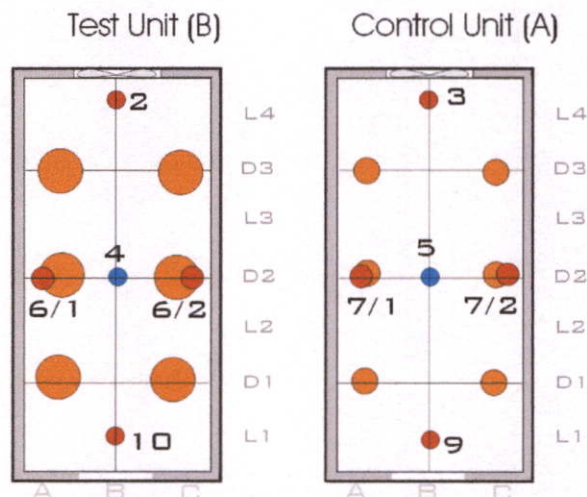
ด้วยข้อจำกัดในเรื่องจำนวนห้องทดลอง ทำให้ไม่สามารถทดลองได้พร้อม ๆ กันในทุกกรณี ดังนั้นเพื่อให้การเปรียบเทียบและวิเคราะห์ผลเป็นไปอย่างสมเหตุผล ผู้วิจัยจึงได้ใช้อุปกรณ์ Pyranometer เป็นตัวบ่งชี้ถึงปริมาณพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน ซึ่งเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้อุณหภูมิในอากาศเปลี่ยนแปลง

ตารางที่ 4.6 แสดงชุดการทดลองและรายละเอียดการติดตั้งภาชนะดินเผา

| ชุดภาชนะดินเผา | ขนาดและจำนวน | ปริมาณน้ำรวม | พื้นที่ผิวรวม | อัตราการระเหย* |
|------------------|-------------------|----------------|---------------|----------------|
| | | (ลูกบาศก์เมตร) | (ตร.ม.) | (ลิตร/ชม.) |
| A (control unit) | ใบเล็ก 12 ชั้น | 0.113142857 | 2.262857 | 0.398 |
| B | ใหญ่ 12 ชั้น | 0.195510857 | 3.258514 | 0.587 |
| C | เล็ก 6 ชั้น | 0.056571429 | 1.131429 | ไม่มีการทดสอบ |
| D | ไม่มีภาชนะ | 0 | 0.000000 | 0.0000 |
| E | ใหญ่ 12 ชั้นกลาง6 | 0.067885714 | 4.616229 | 0.8125 |

(*อัตราการระเหยเป็นข้อมูลที่ได้จากการทดลอง)

4.5.2 รูปแบบการทดลองที่ 2.1 เปรียบเทียบชุดภาชนะดินเผา B (Test Unit) กับชุดภาชนะดินเผา A (Control Unit)



รูปที่ 4.25 ตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์และเครื่องมือวัดค่า ในห้องทดลอง 2.1



รูปที่ 4.26 การติดตั้งเครื่องปั้นดินเผา ชุด B ในห้องทดลอง (ซ้าย) และชุด A ในห้องควบคุม (ขวา)

วิธีทดลอง

1. ชั่งน้ำหนักภาชนะดินเผา ก่อนแช่น้ำ บันทึกลงผล
2. นำภาชนะดินเผาแช่น้ำทิ้งไว้ 1 คืน ก่อนนำมาใช้ในการทดลอง
3. เติมน้ำและชั่งน้ำหนักภาชนะดินเผาที่มีน้ำบรรจุอยู่ภายใน บันทึกลงผล
4. วางภาชนะดินเผาตามตำแหน่งและจำนวนที่กำหนดไว้ในตารางที่ 4.6
5. ติดตั้งหัววัดอุณหภูมิและเครื่องมือวัดความเร็วลม ความชื้นและค่าการแผ่รังสีความร้อนของดวงอาทิตย์ตามรูปแบบที่ได้เตรียมไว้
6. เริ่มทดลองและบันทึกผล แล้วจึงอ่านผลการทดลองเมื่อเสร็จสิ้นการทดลอง

ตารางที่ 4.7 แสดงการตั้งค่าการบันทึกข้อมูลของ OPUS 200 การทดลองที่ 2.1

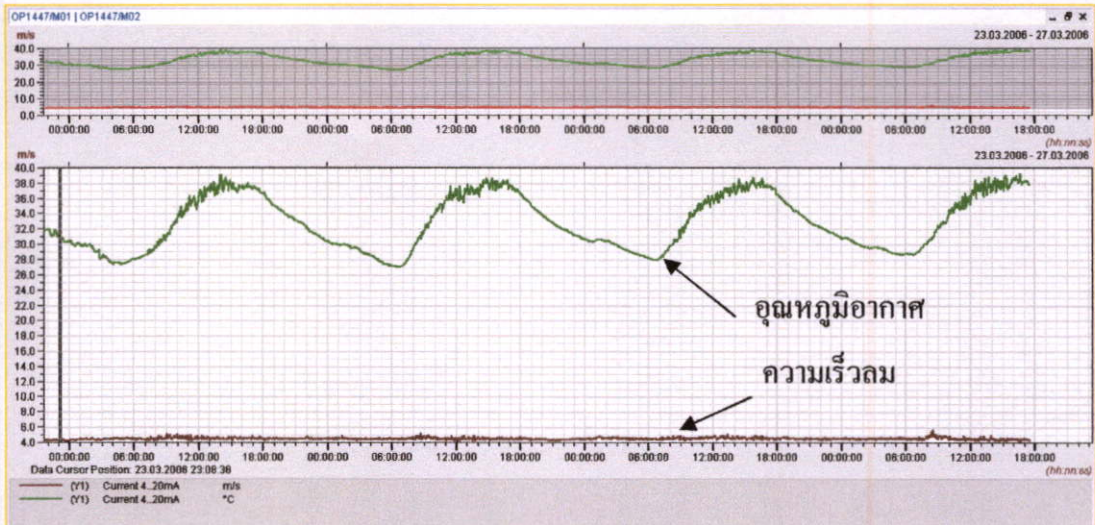
| No. | ID | Offset A/B | Sensor type | Scan rate | Saving rate | note |
|-----|------|-------------|------------------------|-----------|-------------|--------------------|
| 1 | 1313 | -1.73 | Psychrometric/T | 10 s | 2 min | |
| 2 | 1319 | -1.02 | (EE65) wind velocity/T | 10 s | 2 min | |
| 3 | 1320 | -1.00 | (EE65) wind velocity/T | 10 s | 2 min | |
| 4 | 1335 | -0.15/0.85 | (TTF10)Thermal/humid | 10 s | 2 min | C12 =1569/C76=1898 |
| 5 | 1419 | -0.05/-0.85 | (TTF10)Thermal/humid | 10 s | 2 min | C12=1570/C76=1906 |
| 6 | 1573 | 0.35/0.04 | T/T | 10 s | 2 min | |
| 7 | 720 | -1.06/-1.47 | T/T | 10 s | 2 min | |
| 8 | 1447 | -1.06/-1.47 | T/T | 10 s | 2 min | |
| 9 | 1576 | -0.32/-0.02 | T/T | 10 s | 2 min | |
| 10 | 1571 | -0.55/0.35 | T/T | 10 s | 2 min | |

ตารางที่ 4.8 แสดงอุณหภูมิและความชื้นภายนอกอาคารในระหว่างที่ทำการทดลอง

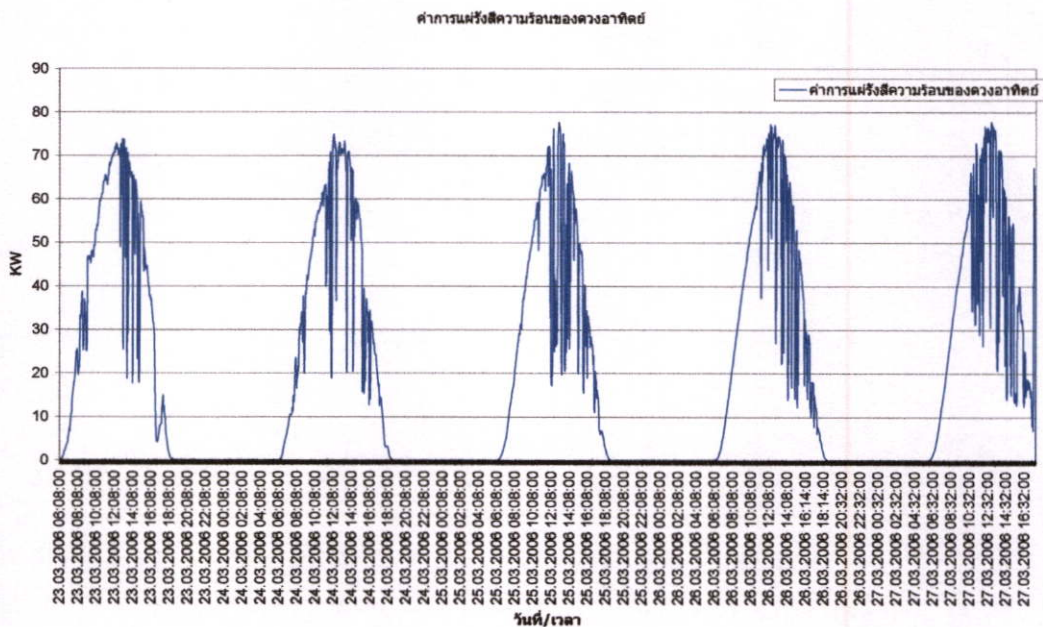
| | | |
|-----------------|-----------------|-----------------|
| Device Address: | OP1447 | OP1447 |
| Channel Number: | M01 | M02 |
| Unit: | m/s | °C |
| Comment: | Current 4..20mA | Current 4..20mA |
| Description: | Wind velocity | Temperature |
| Mean | 4.51 | 32.79 |
| Min | 4.11 | 26.99 |
| Max | 5.67 | 39.19 |

4.5.3 ผลการทดลองที่ 2.1

รูปที่ 4.27-28 แสดงอุณหภูมิและความเร็วลมภายนอกอาคารและค่าการแผ่รังสีความร้อนของดวงอาทิตย์ในช่วงที่ทำการทดลองชุดต่อเนื่อง ในระหว่างวันที่ 23-27 มีนาคม 2549 แสดงให้เห็นว่าสภาพอากาศแจ่มใส ท้องฟ้าโปร่งมีเมฆจืด อุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 26.99 °C ดังสรุปในตารางที่ 4.8



รูปที่ 4.27 อุณหภูมิอากาศและความเร็วลมในวันที่ทำการทดลอง



รูปที่ 4.28 ค่าการส่งผ่านความร้อนของดวงอาทิตย์ วันที่ทำการทดลอง

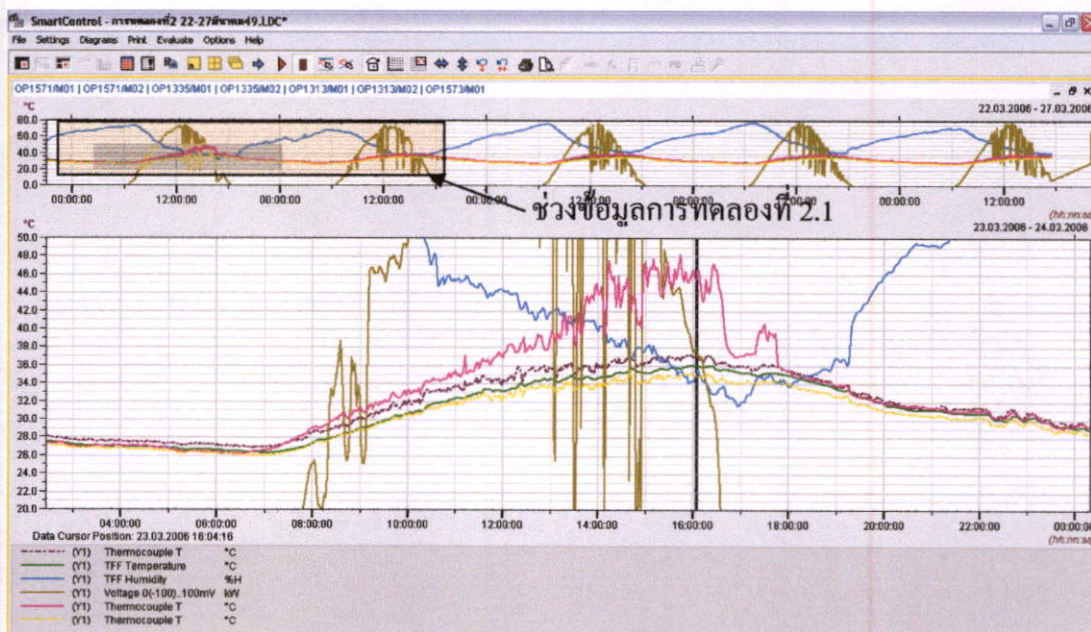
4.5.3.1 ผลการทดลองภายในห้องทดสอบที่บรรจุก๊าซอะดินเผาชุด B

เริ่มบันทึกผลการทดลองเมื่อ 12.00 น. ของวันที่ 22 มีนาคม 49 ถึง 12.00 น. วันที่ 24 มีนาคม 49

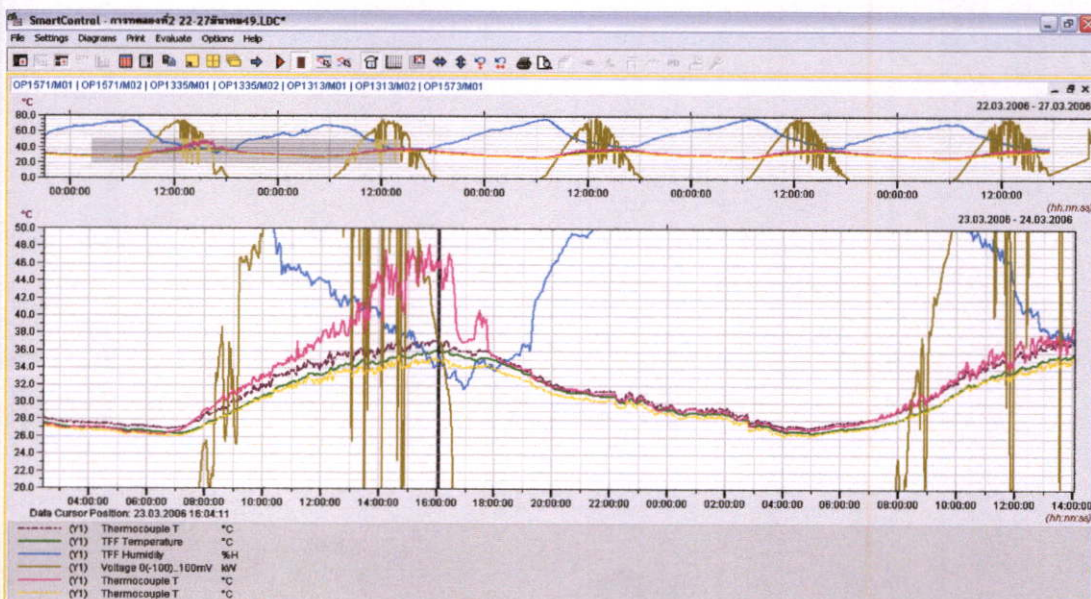
พบว่าในช่วงเวลาที่ร้อนที่สุดที่วัดได้จากการทดลอง บริเวณที่มีอุณหภูมิสูงในห้องทดลองคือตำแหน่งทางลมเข้า ส่วนที่มีอุณหภูมิต่ำสุดในห้องคือตำแหน่งใกล้ผิวก๊าซอะดินเผา ส่วนบริเวณทางลมออกพบว่า มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิมลเข้าถึง 1.59 K ดังแสดงในตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 แสดงผลอุณหภูมิในการทดลองที่ 2.1

| การทดลองที่ 2.1 | ห้องทดสอบ (B) | ห้องควบคุม (A) |
|-------------------------------|---------------|----------------|
| อุณหภูมิภายนอก (°C) | 47.43 | 47.43 |
| อุณหภูมิลมเข้า (°C) | 36.29 | 36.09 |
| อุณหภูมิลมออก (°C) | 34.7 | 34.99 |
| ความชื้นสัมพัทธ์ (%) | 37.92 | 33.97 |
| ความแตกต่าง(ลมเข้า-ลมออก) (K) | 1.59 | 1.20 |



รูปที่ 4.29 กราฟแสดงค่าอุณหภูมิในช่วง 24 ชั่วโมงแรกภายในห้องทดสอบ



รูปที่ 4.30 กราฟแสดงค่าอุณหภูมิช่วงเวลา 48 ชั่วโมงภายในห้องทดสอบ

กราฟที่ 4.29-30 แสดงความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศตามช่วงเวลาของห้องทดสอบ (Test Unit) โดยทำการวัดอุณหภูมิอากาศภายนอก 1 ตำแหน่ง (สีชมพู) บริเวณปากทางลมเข้าห้องทดสอบ 1 จุด (สีม่วง) บริเวณลมออก 1 จุด (สีเขียว) และที่ข้างผิวภาชนะดินเผา 1 จุด (สีเหลือง)

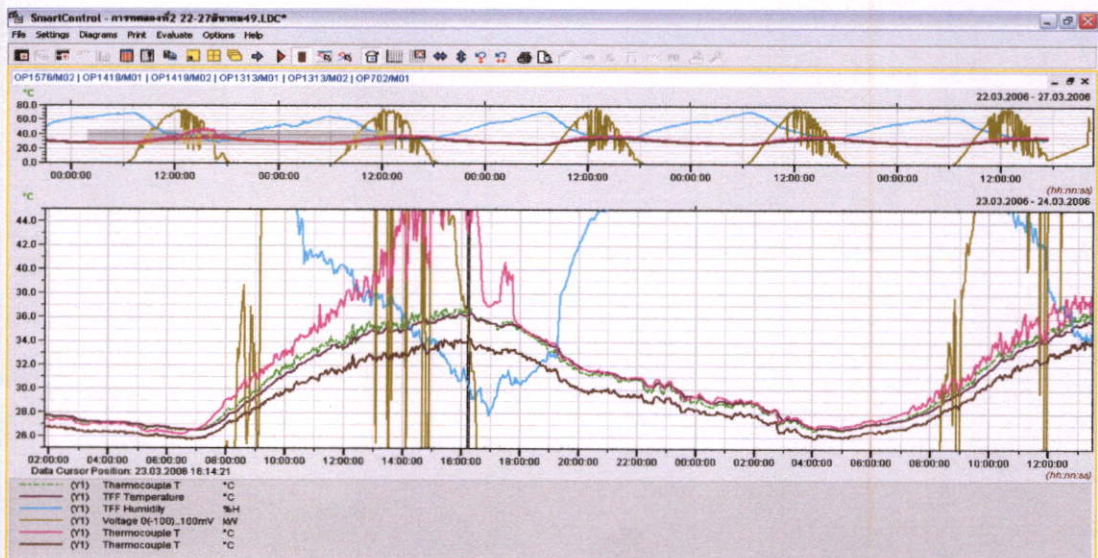
จากการศึกษากราฟที่ได้พบว่า เมื่อเวลากลางคืน ที่ไม่มีอิทธิพลของรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ อุณหภูมิอากาศภายนอกห้องและภายในจุดวัดแต่ละจุดมีค่าใกล้เคียงกัน ประมาณ 27°C ส่วนในตอนกลางวันอุณหภูมิอากาศภายนอกเริ่มสูงขึ้นเมื่อได้รับผลกระทบจากดวงอาทิตย์ โดยสังเกตได้ชัดเจนตั้งแต่ช่วงเวลา 8.00 น. เป็นต้นไป โดยอุณหภูมิลมพัดเข้ามาในห้องทดลองเริ่มสูงขึ้นและลดลงเมื่อลมพัดออกจากห้องไป ด้วยความเร็วลมเฉลี่ยประมาณ 0.452 เมตร/วินาที จากการหาค่าเฉลี่ยความแตกต่างของอุณหภูมิลมที่พัดเข้ามาในห้องกับอุณหภูมิลมที่พัดออกจากห้องพบว่ามีความเฉลี่ยที่ 0.78 K โดยมีค่าอุณหภูมิที่แตกต่างที่สุดที่ 1.59 K ตามตารางที่ 4.9

หลังเวลา 16.30 น. เมื่อค่าพลังงานแสงอาทิตย์ลดลงจนไม่สามารถตรวจวัดค่าได้ อุณหภูมิอากาศภายนอกยังคงสูงกว่าภายในห้อง ระยะเวลาประมาณ 20.00 น. อุณหภูมิจึงลดระดับลงมาเท่ากัน และเป็นวงจรเช่นนี้ไปจนวันรุ่งขึ้นที่มีอิทธิพลของรังสีความร้อนจากแสงอาทิตย์อีกครั้ง

จากการทดลองพบว่าอุณหภูมิอากาศที่มีค่าต่ำสุดในการทดลองคือบริเวณใกล้กับผิวภาชนะดินเผา พบว่ามีค่าเฉลี่ยความแตกต่างกับอุณหภูมิลมเข้าประมาณ 2.5 K

4.5.3.2 ผลการทดลองภายในห้องควบคุม บรรจุภาชนะดินเผา ชุด A(Control Unit)

เนื่องจากจำนวนพื้นที่ผิวการระเหยของห้องควบคุมน้อยกว่า ทำให้ค่าความสามารถในการลดอุณหภูมิอากาศลดลงน้อยกว่าในห้องทดลอง (กราฟสีเขียวคืออุณหภูมิลมเข้า สีน้ำตาลใกล้กันคืออุณหภูมิลมออก ส่วนสีแดงด้านล่างคืออุณหภูมิใกล้ผิวภาชนะ ซึ่งมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกมาก



รูปที่ 4.31 กราฟแสดงอุณหภูมิ ห้องควบคุม (Control Unit)

4.5.4 การอภิปรายผลการทดลองที่ 2.1

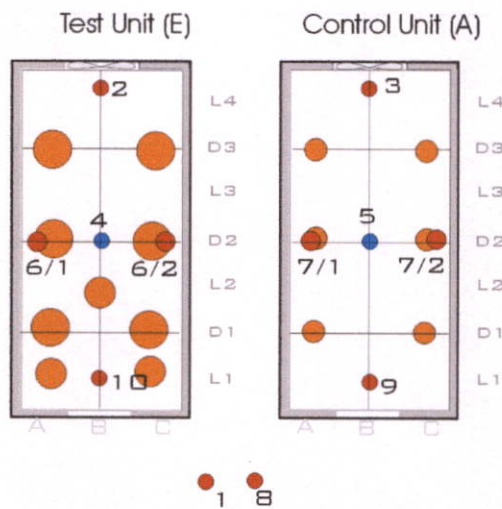
ปริมาณพื้นที่ผิวการระเหย มีผลต่อการลดอุณหภูมิอากาศภายในห้องที่ทำการทดสอบ เมื่อเปรียบเทียบการลดของอุณหภูมิในห้องทดสอบและห้องควบคุมที่มีพื้นที่ผิวการระเหย ประมาณ 3.25 และ 2.26 ตารางเมตร ทำให้อุณหภูมิอากาศลดลง 1.59 K และ 1.20 K ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างของปริมาณพื้นที่ผิวการระเหยประมาณ 0.99 ตารางเมตร พื้นที่ผิวการระเหยมาก สามารถลดอุณหภูมิอากาศได้มากกว่าประมาณ 0.3 K

4.6 การทดลองที่ 2.2

4.6.1 เป้าหมายการทดลอง

ทำการทดลองต่อเนื่องจากการทดลองที่ 2.1 โดยเปลี่ยนพื้นที่ผิวการระเหยของภาชนะดินเผาให้เป็นชุด E ทั้งนี้เพื่อพิจารณาผลการลดอุณหภูมิอากาศว่ามีมากขึ้นหรือลดลงอย่างไร

4.6.2 รูปแบบการทดลองที่ 2.2 เปรียบเทียบชุดภาชนะดินเผา E (Test Unit) กับชุดภาชนะดินเผา A (Control Unit)

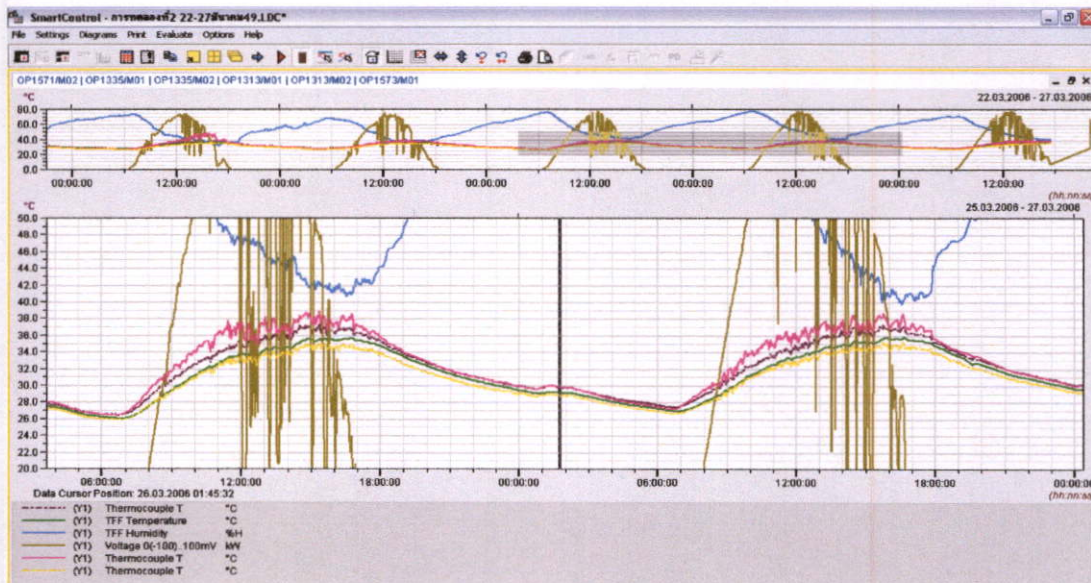


รูปที่ 4.32 ภาพตำแหน่งการติดตั้งเครื่องปั่นดินเผาและจุดตรวจวัดในการทดลองที่ 2.2

4.6.3 ผลการทดลองที่ 2.2

4.6.3.1 ผลการทดลองภายในห้องควบคุม บรรจุภาชนะดินเผา ชุด A

จากการศึกษารูปที่ 4.34 ที่ได้จากการทดลองพบว่ามีความคล้ายคลึงกับการทดลองที่ 2.1 ทั้งนี้เป็นเพราะอิทธิพลของดวงอาทิตย์และพื้นที่ผิวการระเหยเท่าเดิม ทำให้อุณหภูมิลมออกมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิอากาศที่เข้ามา และอุณหภูมิที่ผิวภาชนะยังมีค่าต่ำเช่นเดิม โดยกราฟสีชมพูคืออุณหภูมิอากาศ สีเขียวอ่อนคืออุณหภูมิลมเข้าและสีแดงใกล้เคียงกันคืออุณหภูมิลมออก ส่วนกราฟสีน้ำตาลล่างสุดคืออุณหภูมิบริเวณผิวภาชนะดินเผา



รูปที่ 4.35 กราฟผลการทดลองที่ 2.2 อุณหภูมิภายในห้องทดสอบบรรจุภาชนะดินเผาชุด E

4.6.3.2 ผลการทดลองภายในห้องทดสอบที่บรรจุภาชนะดินเผาชุด E

จากการผลการทดลอง เมื่อพื้นที่ผิวการระเหยของภาชนะดินเผาเพิ่มขึ้น สามารถลดอุณหภูมิอากาศได้มากขึ้น ดังเห็นได้ชัดจากความห่างของกราฟสีม่วงเข้ม (อุณหภูมิลมเข้า) ที่ห่างจากสีเขียว (อุณหภูมิลมออก) อย่างเห็นได้ชัด ส่วนบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำที่สุดยังคงเป็นบริเวณผิวภาชนะดินเผา (กราฟสีเหลือง) ดังตารางที่ 4.10 สรุปค่าอุณหภูมิและความชื้นของการทดลองที่ 2.2

ตารางที่ 4.10 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยของจุดตรวจวัดต่าง ๆ ในการทดลองที่ 2.2

| การทดลองที่ 2.2 | ห้องทดสอบ | ห้องควบคุม |
|-------------------------------|-------------|-------------|
| อุณหภูมิภายนอก (°C) | 38.32 | 38.32 |
| อุณหภูมิลมเข้า (°C) | 36.52 | 37.23 |
| อุณหภูมิลมออก (°C) | 34.62 | 36.24 |
| ความชื้นสัมพัทธ์(%) | 43.04 | 36.37 |
| ความแตกต่าง(ลมเข้า-ลมออก) (K) | 1.90 | 0.99 |

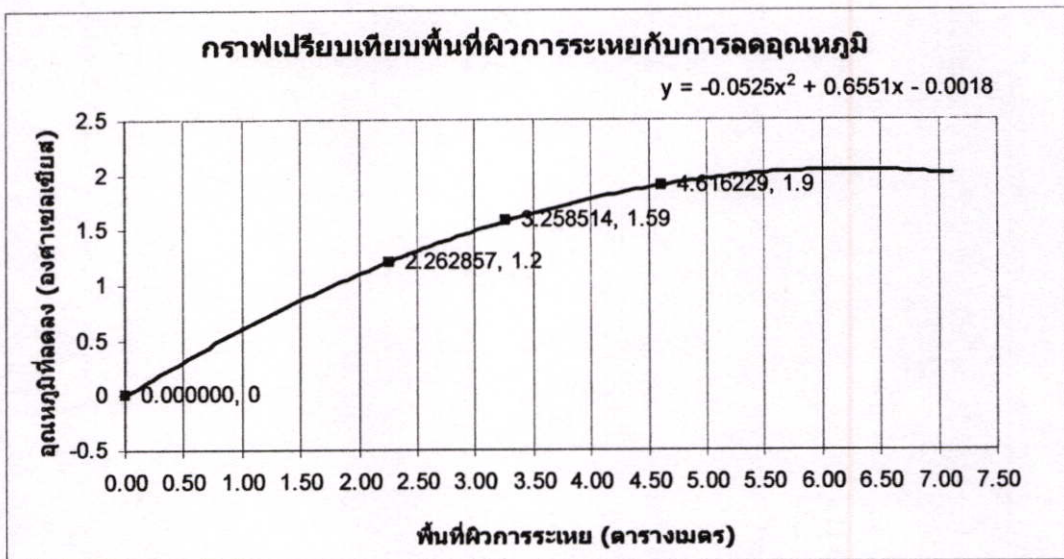
4.6.4 การอภิปรายผลการทดลอง

กระแสดม หรืออากาศที่ผ่านเข้ามาภายในห้องจะเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนกับภาชนะดินเผาบรรจุน้ำ ซึ่งผลที่ได้คือ การระเหยที่ผิวภาชนะ และอุณหภูมิห้องที่ลดลง โดยอุณหภูมิที่ลดลงมีส่วนที่แปรผันกับปริมาณพื้นที่ผิวการระเหยของภาชนะดินเผา ยังมีพื้นที่การระเหยมากก็สามารถลดอุณหภูมิลงได้มากขึ้น ดังตารางที่ 4.11 เปรียบเทียบพื้นที่ผิวการระเหยกับอุณหภูมิอากาศที่ลดลงจากระบบ

ตารางที่ 4.11 สรุปผลเปรียบเทียบพื้นที่ผิวการระเหยและอุณหภูมิอากาศที่ลดลงจากระบบ

| ชุดการทดลอง | ขนาดและจำนวน | ปริมาตรน้ำ รวม | พื้นที่ผิว รวม | อุณหภูมิที่ลด |
|-------------|-------------------|----------------|----------------|---------------|
| | | (ลูกบาศก์เมตร) | (ตร.ม.) | เคลวิน |
| A | ใบเล็ก 12 ชิ้น | 0.113142857 | 2.262857 | 1.2 |
| B | ใหญ่ 12 ชิ้น | 0.195510857 | 3.258514 | 1.59 |
| D | ไม่มีภาชนะ | 0 | 0.000000 | 0 |
| E | ใหญ่ 12 ชิ้นกลาง6 | 0.067885714 | 4.616229 | 1.9 |

จากการพิจารณาผลการทดลอง 2.1 และ 2.2 (ซึ่งมีสภาพอากาศ ค่าการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ของทั้งสองการทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน) เมื่อนำมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการลดลงของอุณหภูมิอากาศที่เกิดจากอิทธิพลของพื้นที่ผิวการระเหย พบว่าการลดลงของอุณหภูมิอากาศมีความสัมพันธ์กับพื้นที่ผิวการระเหยของภาชนะดินเผา โดยสามารถเขียนเป็นกราฟและแสดงค่าแนวโน้มการลดลงของอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลองได้ดังนี้



รูปที่ 4.36 กราฟแนวโน้มการลดอุณหภูมิกับปริมาณพื้นที่ผิวการระเหยของน้ำในภาชนะดินเผา

4.7 สรุปผลการทดลองชุดที่ 2

พื้นที่ผิวการระเหยมีผลต่อการลดอุณหภูมิอย่างไร เป็นคำถามหลักของการทดลองชุดนี้ จากการทดลองในสภาพที่จัดเตรียมขึ้น การสรุปผลจึงเป็นการเปรียบเทียบสิ่งที่เกิดขึ้นในสภาวะการณ์จริงในวันที่ทำการทดลอง มีข้อสรุปดังนี้

เมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการลดอุณหภูมิอากาศของห้องทดลองที่บรรจุภาชนะดินเผาจำนวนและขนาดต่างกันไว้ภายใน โดยพิจารณาความแตกต่างของอุณหภูมิในช่วงเวลาที่ร้อนที่สุด ในบริเวณลมเข้าและบริเวณลมออก พบว่าเป็นไปตามสมมุติฐานของการทดลอง นั่นคือ

ปริมาณพื้นที่ผิวการระเหยมาก สามารถทำให้อุณหภูมิก๊าซลดลงได้มาก ดังแสดงในตารางที่ 5.1 และจากกราฟแนวโน้มการลดของอุณหภูมิต่อพื้นที่ผิวการระเหย (รูปที่ 4.36) ทำให้เราทราบว่า ลักษณะการลดลงของอุณหภูมิต่อพื้นที่ผิวการระเหยไม่ได้เป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณพื้นที่ผิวการระเหย โดยพิจารณาจากกราฟ หากต้องการลดอุณหภูมิ 2 K จะต้องใช้พื้นที่ผิวการระเหยเท่ากับ 5.4 ตารางเมตร ในขณะที่การลดอุณหภูมิ 1K ใช้พื้นที่ผิวการระเหยเพียง 1.8 ตารางเมตร

ตารางที่ 4.12 ข้อมูลขนาดและจำนวนพื้นที่ผิวของภาชนะดินเผากับการลดอุณหภูมิและอัตราการสูญเสียน้ำของระบบ

| ชุดการทดลอง | ขนาดและจำนวน | ปริมาตรน้ำรวม | พื้นที่ผิวรวม | อัตราการระเหย* | อุณหภูมิต่ำสุด |
|-------------|-------------------|----------------|---------------|----------------|----------------|
| | | (ลูกบาศก์เมตร) | (ตร.ม.) | (ลิตร/ชม.) | เคลวิน |
| A | ใบเล็ก 12 ชิ้น | 0.113142857 | 2.262857 | 0.398 | 1.2 |
| B | ใหญ่ 12 ชิ้น | 0.195510857 | 3.258514 | 0.587 | 1.59 |
| D | ไม่มีภาชนะ | 0 | 0.000000 | 0.0000 | 0 |
| E | ใหญ่ 12 ชิ้นกลาง6 | 0.067885714 | 4.616229 | 0.8125 | 1.9 |

สัดส่วนการระเหยจึงเป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อการลดอุณหภูมิในช่วงเวลาที่มีอากาศร้อนของวัน คือระหว่างเวลา 13.00 – 16.00 น. สามารถเขียนเป็นสมการความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิก๊าซที่ลดลงกับพื้นที่ผิวการระเหยได้ดังนี้

$$y = -0.0525x^2 + 0.6551x - 0.0018 \quad (4.1)$$

เมื่อ y คือ อุณหภูมิก๊าซที่ลดลง

x คือ พื้นที่ผิวการระเหยของน้ำในภาชนะดินเผา โดย $6 \geq x > 0.003$

ส่วนสาเหตุที่ทำให้แนวโน้มประสิทธิภาพการลดอุณหภูมิลดลง เมื่อพื้นที่ผิวการระเหยมีค่าเกิน 6 ตารางเมตร คือการระบายอากาศที่เกิดขึ้นตลอดเวลาจากพัดลมดูดอากาศที่ติดตั้งไว้ด้านหลังห้องทดลอง ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิของระบบลดลง ทั้งนี้เพื่อไม่ให้เกิดสภาพการอึดตัวของไอน้ำในอากาศ จึงต้องมีการระบายความชื้นออกไป ในอนาคตหากมีการศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับจังหวะเวลาในการระบายอากาศ น่าจะเป็นส่วนช่วยให้เกิดการดำเนินงานมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

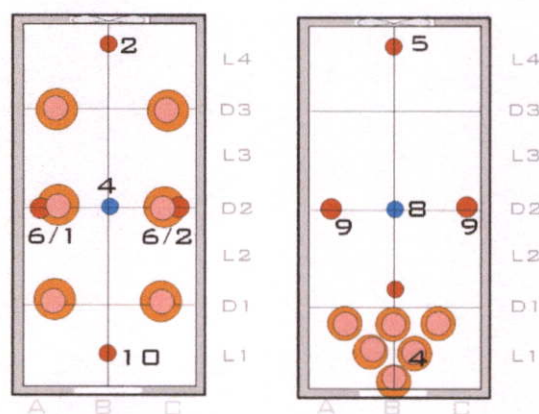
4.8 การทดลองชุดที่ 3

4.8.1 เป้าหมายการทดลอง

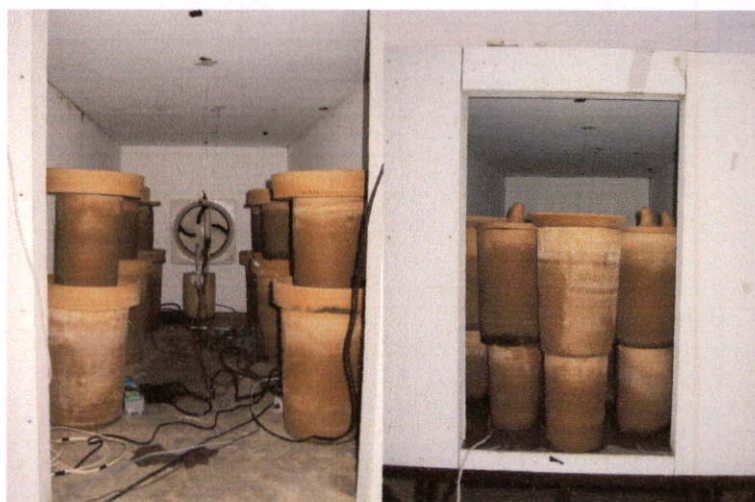
สำหรับค่าตามสุดท้ายของการวิจัยในครั้งนี้คือ การหาตำแหน่งติดตั้งภาชนะดินเผาที่มีประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิอากาศได้มากที่สุด

4.8.2 รูปแบบการทดลอง

จากกรณีศึกษาที่ได้ทำการค้นคว้าพบว่าตำแหน่งที่มีความเหมาะสมสำหรับการใช้วิธีการลดอุณหภูมิด้วยผิวนการระเหยแบบไม่สัมผัสความชื้นโดยตรง (Semi indirect evaporative cooling) คือการนำมาติดตั้งขวางทางลมเข้า ดังนั้นในชุดการทดลองที่ 3 จึงทำการติดตั้งภาชนะดินเผาในตำแหน่งทางลมเข้าและการวางขนานลมแบบกระจายทั่วห้อง เพื่อเปรียบเทียบผลของการลดอุณหภูมิและพิจารณาผลกระทบอื่น ๆ ที่เกิดจากการวางภาชนะทั้งสองแบบโดยทำการทดลองเป็นเวลาประมาณ 1 สัปดาห์ แล้วดูประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิอากาศและผลกระทบอื่น ๆ โดยมีรูปแบบการติดตั้งภาชนะดินเผาดังรูปที่ 4.37-38



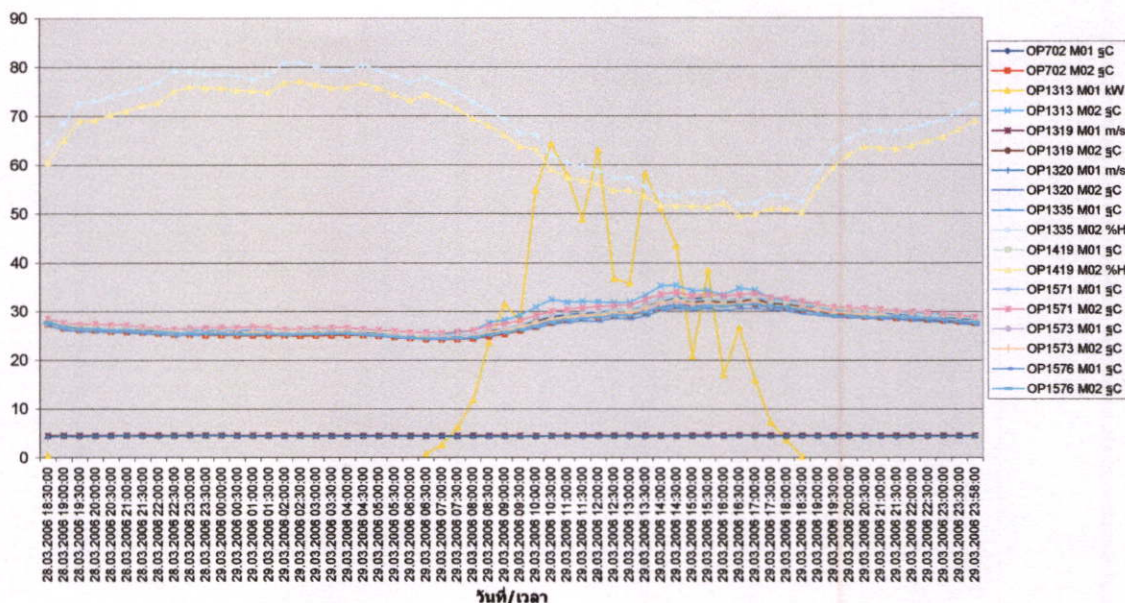
รูปที่ 4.37 ภาพแสดงตำแหน่งติดตั้งเครื่องปั่นดินเผาและจุดตรวจวัดต่าง ๆ ภายในห้องทดลองและห้องควบคุมในการทดลองชุดที่ 3



รูปที่ 4.38 ภาพแสดงการติดตั้งชุดเครื่องปั่นดินเผา ในแบบขนานลม (ซ้าย) และขวางทางลม (ขวา)

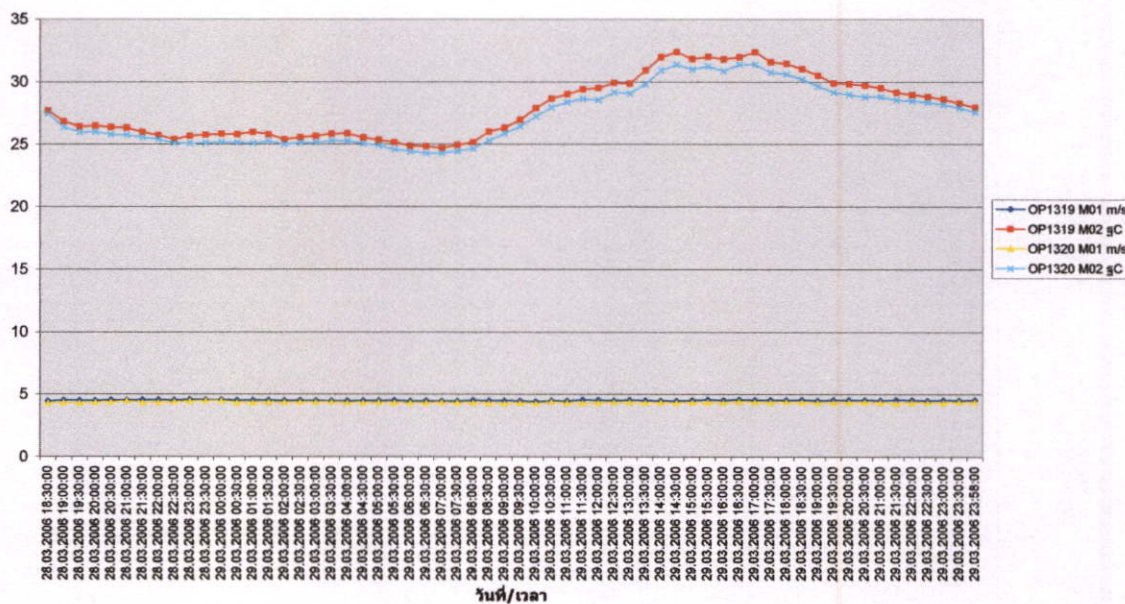
4.8.3 ผลการทดลองชุดที่ 3

การทดลอง3 (28-29 มีค.49)



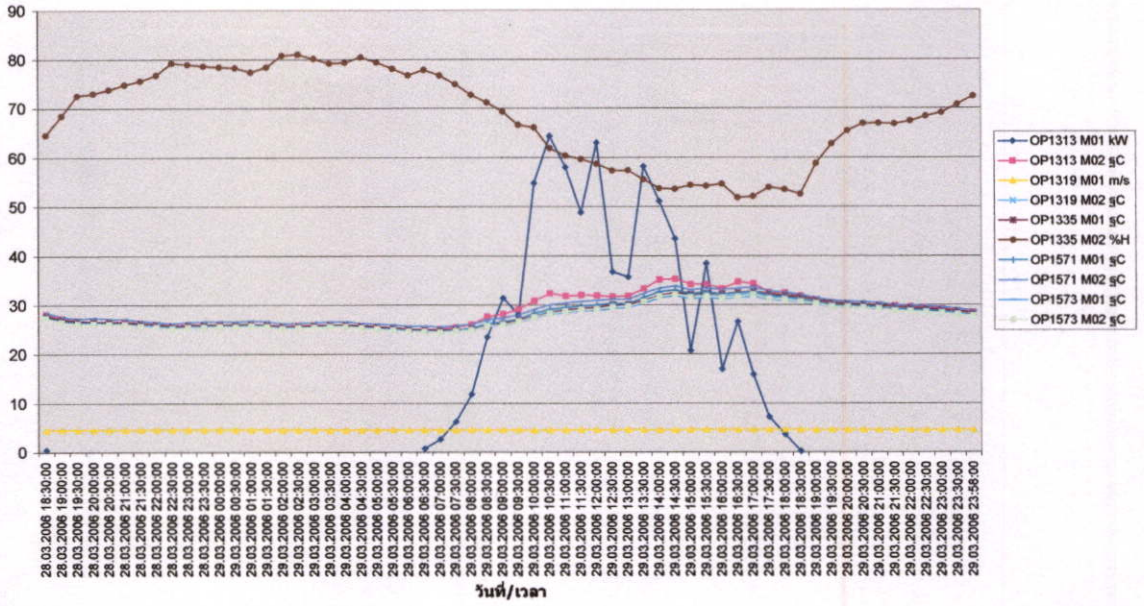
รูปที่ 4.39 กราฟผลการทดลองที่ 3 แสดงอุณหภูมิอากาศ ความชื้นและความเร็วลม ณ จุดวัดต่าง ๆ ระหว่างวันที่ 28 – 29 มีนาคม 49

การทดลอง3 (28-29 มีค.49) อุณหภูมิ/ความเร็วลม



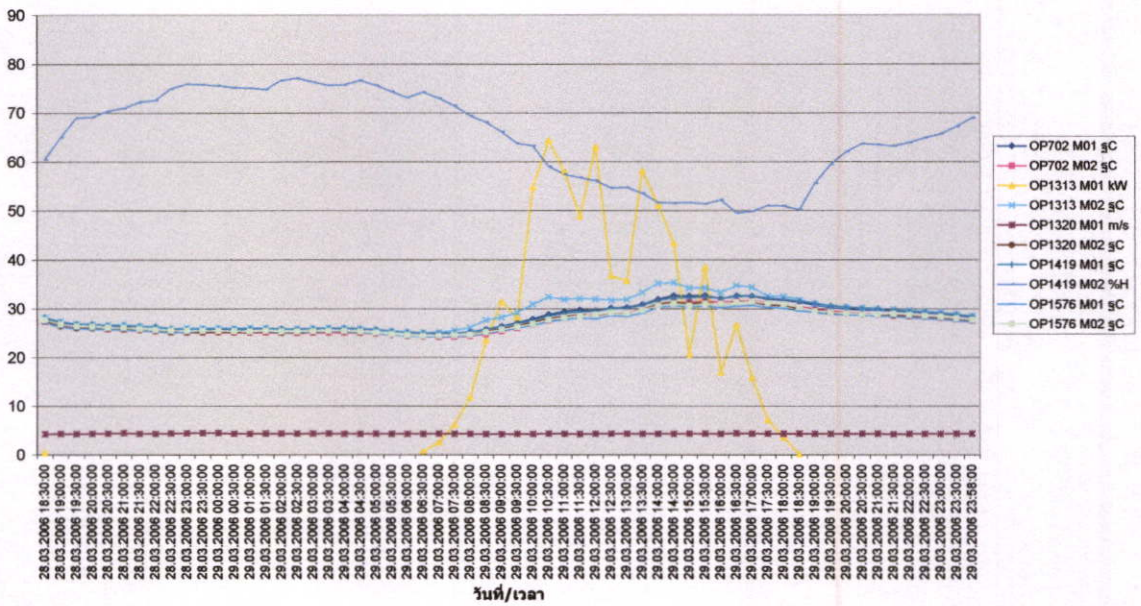
รูปที่ 4.40 กราฟผลการทดลองที่ 3 แสดงอุณหภูมิอากาศ และความเร็วลม ระหว่างวันที่ 28 – 29 มีนาคม 49

การทดลอง3 /Test unit/ (28-29 มี.ค.49)



รูปที่ 4.41 กราฟผลการทดลองที่ 3 ภายในห้องทดลองที่วางภาชนะขนานลม แสดงอุณหภูมิอากาศ ความชื้นและความเร็วลม ณ จุดวัดต่าง ๆ ระหว่างวันที่ 28 – 29 มีนาคม 49

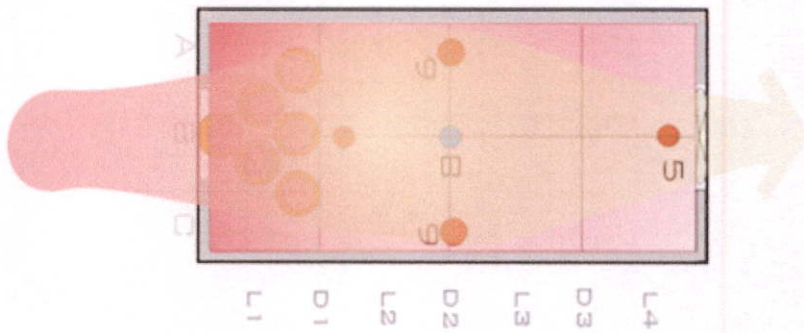
การทดลอง3 /Control unit/ (28-29 มี.ค.49)



รูปที่ 4.42 กราฟผลการทดลองที่ 3 ภายในห้องควบคุม ที่วางภาชนะตั้งฉากกับทิศทางลม แสดง อุณหภูมิอากาศ ความชื้น ความเร็วลม ณ จุดวัดต่าง ๆ ระหว่างวันที่ 28 – 29 มีนาคม 49

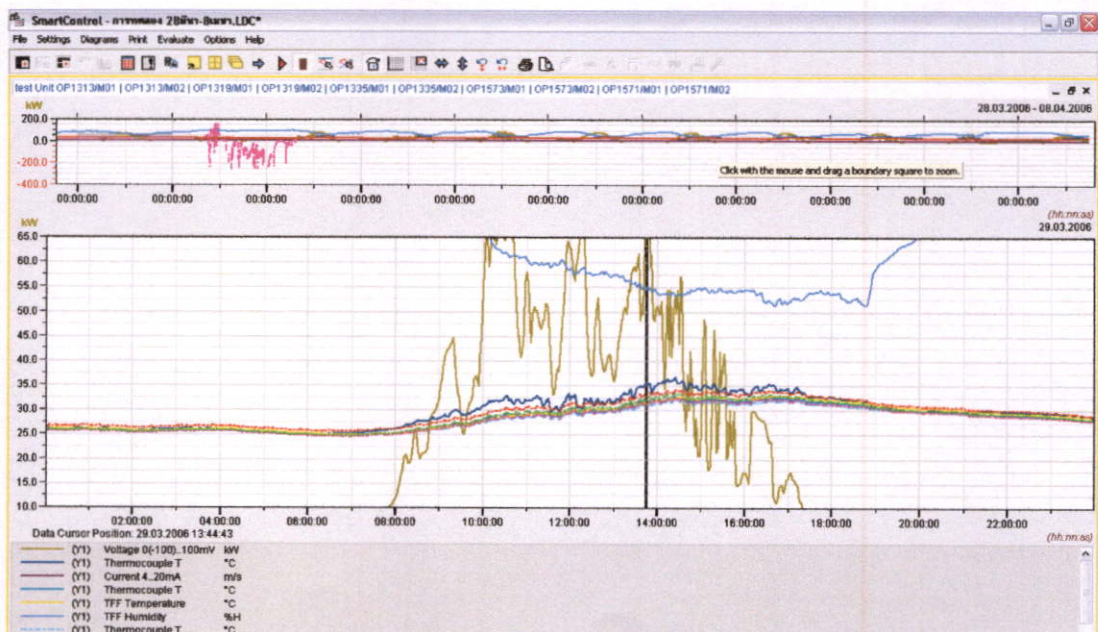
4.8.3.1 ผลการทดลอง กรณีที่ 3.1 วางภาชนะขวางทางลมเข้า (ห้องควบคุม)

ผลการทดลองแสดงว่า การวางตำแหน่งภาชนะขวางทางลม มีผลทำให้อุณหภูมิอากาศที่พัดเข้ามาลดลงโดยเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิอากาศภายนอก(28.92°C)และอุณหภูมิอากาศที่อยู่ใกล้ผิวภาชนะ(27.0°C)มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันเท่ากับ 0.92 K ค่าเฉลี่ยการลดอุณหภูมิอากาศได้สูงสุดเท่ากับ $35.29-30.61=4.68\text{K}$ และเมื่อพิจารณาการลดอุณหภูมิอากาศทั้งระบบภายในห้องควบคุมพบว่า อุณหภูมิอากาศที่พัดออกจากห้อง (28.153°C)ที่ความเร็วลมเฉลี่ย 0.436 m/s มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น จากอุณหภูมิกกลางห้อง(27.273°C) 0.88 K แต่ยังคงต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกประมาณ 0.767 K ดังรูปที่ 4.45 จำลองลักษณะการลดลงของอุณหภูมิอากาศภายในห้องควบคุม

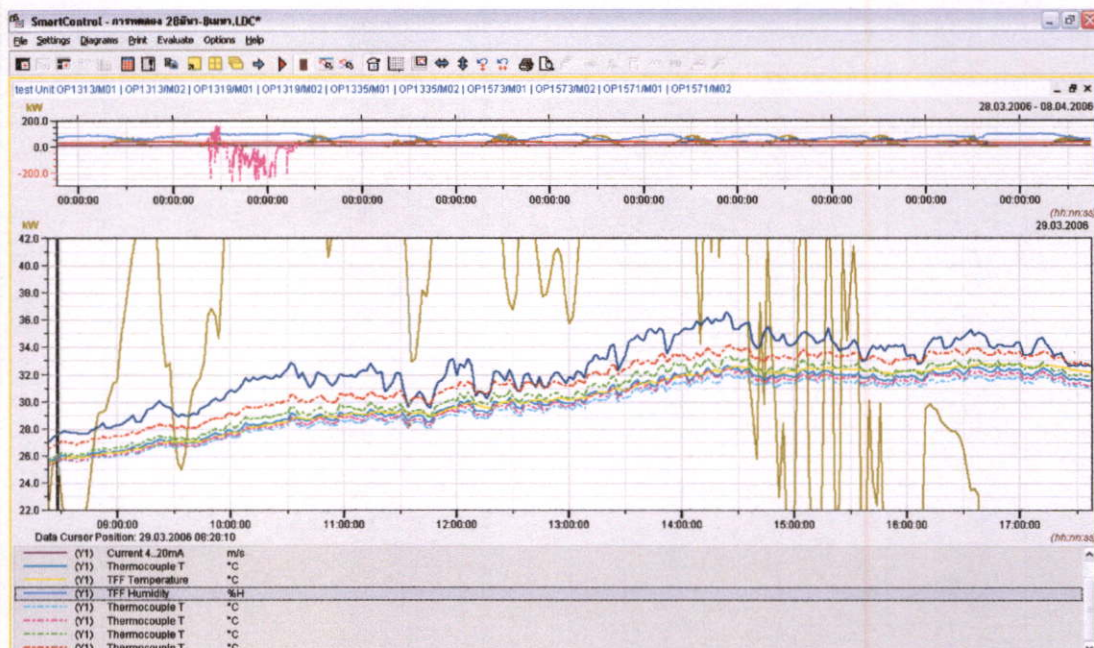


รูปที่ 4.45 ภาพจำลองลักษณะการไหลของอากาศและการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (วางขวางลม)

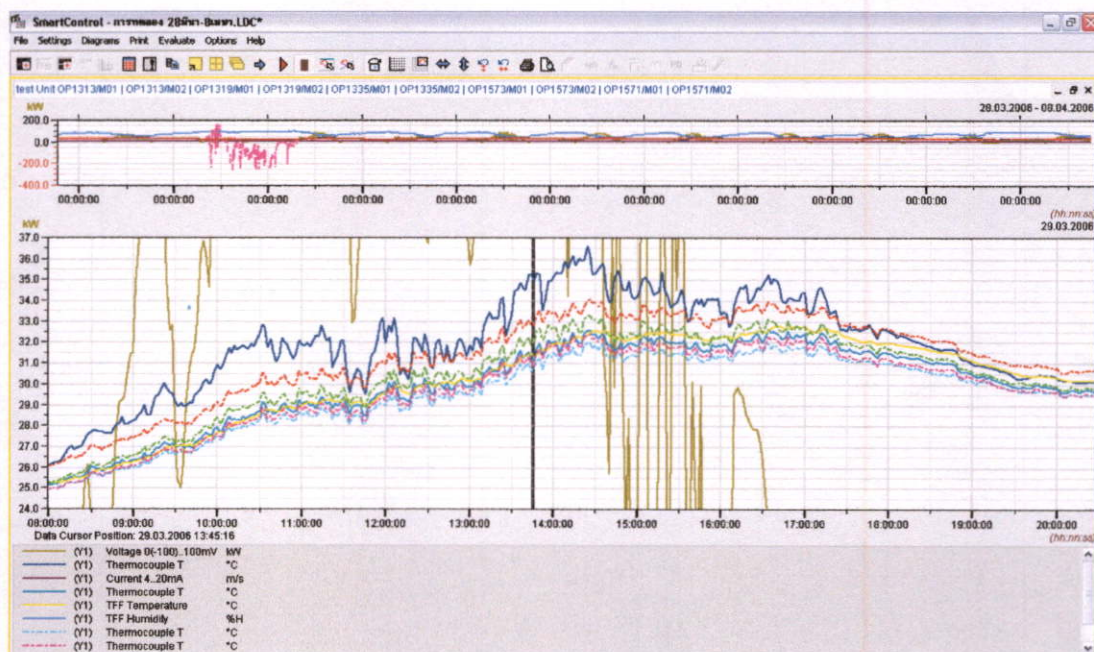
4.8.3.2 ผลการทดลอง กรณีที่ 3.1 วางภาชนะขนานลมเข้า (ห้องทดสอบ)



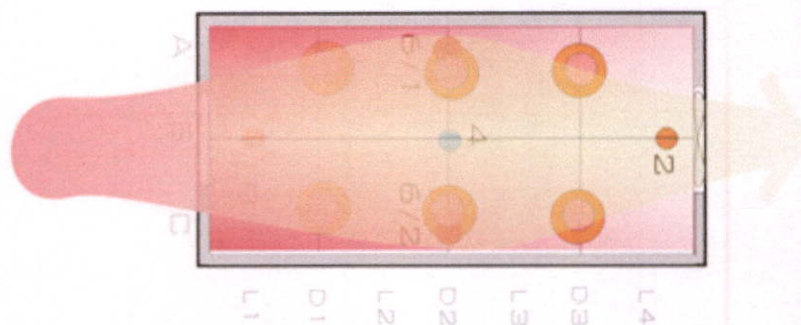
รูปที่ 4.46 กราฟแสดงอุณหภูมิความชื้นภายในห้องควบคุมที่วางภาชนะขนานลม



รูปที่ 4.47 กราฟแสดงห้องทดลอง Test Unit วันที่ 29 มีนาคม 2549 เวลา 08.30 น.-17.30 น.



รูปที่ 4.48 อุณหภูมิห้องทดลอง Test Unit ข้อมูลวันที่ 29 มีนาคม 2549 เวลา 08.30 น.-17.30 น. สีน้เงิน: อุณหภูมิอากาศภายนอก, สีเขียวอ่อน (เส้นประ): อุณหภูมิด้านหลังผิวภาชนะดินเผา Channel 1 ติดตั้งหัววัดที่ความสูง 30 เซนติเมตรเหนือพื้นห้องทดลอง, สีแดง (เส้นประ): อุณหภูมิอากาศด้านหลังผิวภาชนะดินเผา Channel 2 ติดตั้งหัววัดที่ความสูง 60 เซนติเมตรเหนือพื้นห้องทดลองสีฟ้า (เส้นประ): อุณหภูมิอากาศข้างผิวภาชนะดินเผา ด้านซ้าย, สีม่วงอ่อน (เส้นประ) หมายถึงอุณหภูมิอากาศข้างผิวภาชนะดินเผา ด้านขวา, สีเหลือง หมายถึงอุณหภูมิลมออก, สีเขียวเข้ม หมายถึงอุณหภูมิอากาศที่ตำแหน่งกลางห้อง



รูปที่ 4.49 ภาพจำลองลักษณะการไหลของอากาศและการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ วางขนานลม

เนื่องจากรูปแบบการทดลองคล้ายกับการทดลองที่ 2.1 ผลที่ได้คือค่าเฉลี่ยสูงสุดอุณหภูมิ ลมออก(32.50 °C) ต่ำกว่าค่าเฉลี่ยสูงสุดอุณหภูมิลมเข้า (33.86°C) เท่ากับ 1.36Kและมีค่าต่ำกว่า อุณหภูมิอากาศ (35.29°C) เท่ากับ2.79K

ตารางที่ 4.13 แสดงค่าอุณหภูมิสูงสุด ต่ำสุดและเฉลี่ยของจุดวัดต่าง ๆ การทดลองที่ 3

| การทดลองที่ 3* | ห้องทดสอบวางขนาน | ห้องควบคุมวางขวางลม |
|-------------------------------|------------------|-------------------------|
| อุณหภูมิภายนอก (°C) | 35.29 | 35.29 |
| อุณหภูมิลมเข้า(°C) | 33.86 | 30.56(ตำแหน่งหลังภาชนะ) |
| อุณหภูมิลมออก(°C) | 32.5 | 32.26 |
| ความชื้นสัมพัทธ์ | 53.58 | 51.57 |
| ความแตกต่าง(อากาศ-ลมออก) (K) | 2.79 | 2.93 |
| ความแตกต่าง(ลมเข้า-ลมออก) (K) | 1.36 | -1.70 |

*ใช้ค่าอุณหภูมิขณะที่อากาศภายนอกมีค่าสูงสุด เพื่อผลการลดอุณหภูมิที่มากที่สุด

4.8.4 การอภิปรายผลการทดลอง

เมื่อพิจารณาความแตกต่างของอุณหภูมิลมออกของทั้งสองห้องมีความแตกต่างกันเพียง 0.2K ถือว่ามีความสามารถในการลดอุณหภูมิอากาศได้ใกล้เคียงกัน คือการวางภาชนะขนานลม และขวางทางลมให้อุณหภูมิลมออกลดลง 2.79K และ 2.93K ตามลำดับ

และสิ่งที่ได้พบจากการศึกษาผลการทดลองคือ อุณหภูมิอากาศที่ผ่านภาชนะดินเผาที่วาง ขวางทางลมไว้จะมีค่าต่ำลงมากและค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเมื่อมีระยะห่างมากขึ้น ซึ่งทำให้ค่าความ แตกต่างระหว่างจุดวัดลมเข้าและลมออกในตารางมีค่าเป็นลบ ส่วนค่าอุณหภูมิอากาศภายในห้อง ที่วางภาชนะขนานกับลม มีผลการลดอุณหภูมิในลักษณะเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1และ2 คือ

อุณหภูมิอากาศที่ร้อนจะค่อย ๆ ลดลงเมื่อเข้ามาภายในห้องทดลองและค่อย ๆ ลดเรื่อย ๆ จนกระทั่งพัดออกไปนอกห้อง ซึ่งทุกการทดลองที่ผ่านมาพบว่าอุณหภูมิลมออกของห้องที่ติดตั้งเครื่องปั่นดินเผาบรรจุน้ำ มีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศทั้งสิ้น จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิวการระเหย ดังที่ได้สรุปมาแล้วในการทดลองที่ 2

4.9 สรุปผลการทดลองชุดที่ 3

ในการทดลองชุดที่ 3 เป็นการเปรียบเทียบตำแหน่งการวางภาชนะดินเผาระหว่างการวางวางทางลมกับขนานลมแบบกระจายไปทั่วห้อง ว่าแบบใดที่สามารถทำให้เกิดการลดอุณหภูมิได้ดีที่สุด ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า

1. เนื่องจากเป็นการทดลองในช่วงใกล้เคียงกันกับการทดลองที่ 2 อุณหภูมิอากาศในห้องทดลองลดลง 1.36°C จากพื้นที่ผิวการระเหยประมาณ 2.7606 ตารางเมตร ซึ่งใกล้เคียงกับสมการ 5.1
2. การวางภาชนะดินเผาวางลม คือวางไว้ตำแหน่งปากทางลมเข้า ทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนอุณหภูมิกับการระเหยที่เกิดขึ้น ส่งผลให้อุณหภูมิในพื้นที่ด้านหลังภาชนะดินเผาลดลง และค่อย ๆ เพิ่มสูงขึ้นเมื่อมีระยะห่างจากภาชนะดินเผามากขึ้น แต่ยังมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก
3. การวางภาชนะดินเผากวางแบบกระจายทั่วห้อง ทำให้อุณหภูมิในบริเวณลมเข้ายังมีค่าสูงและค่อย ๆ ลดต่ำลงและต่ำสุดที่บริเวณลมออก ซึ่งการวางแบบกระจายนี้ ทำให้อุณหภูมิทั่วห้องลดลงได้น้อยกว่าวางแบบวางลมเพียง 0.14K ซึ่งถือว่ามีความแตกต่างกันน้อย
4. จุดที่มีอุณหภูมิอากาศต่ำที่สุดในห้องทดสอบและห้องควบคุมคือที่บริเวณผิวของภาชนะดินเผา โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยที่ 27.4°C ในขณะที่อุณหภูมิอากาศมีค่าเฉลี่ยที่ 28.9°C
5. การใช้ระบบการลดอุณหภูมิด้วยการระเหยจะได้ผลดีก็ต่อเมื่อภาชนะดินเผาอยู่ใกล้กับพื้นที่เป้าหมายลดอุณหภูมิ ระยะทางไม่ควรเกิน 1.8 เมตรจากภาชนะดินเผา โดยความเย็นสูงสุดคือที่บริเวณผิวภาชนะ

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

เมื่อนำระเหยความร้อนแฝงในอากาศจะถูกดึงไปใช้ ทำให้อุณหภูมิในอากาศลดลงในขณะที่ความชื้นในอากาศเพิ่มขึ้น ปรากฏการณ์ธรรมชาตินี้เกิดขึ้นและดำเนินไปเพื่อสร้างสมดุลให้เกิดขึ้นในระบบ (ที่อุณหภูมิ 18°C เมื่อเกิดการระเหยใช้ความร้อน 2400 kJ/kg) ปัจจุบันรูปแบบการลดอุณหภูมิอากาศด้วยการระเหยของน้ำมีการประยุกต์ใช้งาน โดยการระเหยแบบตรง ที่เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนในอากาศโดยตรงกับละอองน้ำที่พ่นลอยมาในอากาศ ซึ่งเป็นวิธีลดอุณหภูมิที่มีประสิทธิภาพแต่อาจเป็นสาเหตุของโรคติดเชื้อทางเดินหายใจ ที่เชื้อโรคมียอกาสปะปนมากับละอองน้ำ

ด้วยคุณสมบัติการยอมให้น้ำซึมผ่านได้ของภาชนะดินเผาไฟดำ เมื่อใช้บรรจุน้ำ ผิวภาชนะจะกลายเป็นพื้นผิวเพื่อการระเหย ซึ่งเกิดการระเหยอย่างต่อเนื่อง ตลอดเวลาที่มีน้ำบรรจุในภาชนะ จากการทดลองในห้องทดลองกว้าง 1.2 ม.ยาว 2.4 ม.สูง 1.2 ม.มีการระบายอากาศด้วยพัดลมดูดอากาศ ความเร็วลมประมาณ 0.4 เมตร /วินาที พื้นที่ผิวการระเหยของภาชนะดินเผาประมาณ 4.616 ตารางเมตร อัตราการระเหย 0.1825 ลิตร/ชั่วโมง ทำให้อุณหภูมิอากาศเวลากลางวัน ลดลง 1.9 เคลวิน โดยมีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยที่ 43.04% RH ซึ่งแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของภาชนะดินเผาไฟดำ ที่ช่วยลดอุณหภูมิในอากาศได้โดยไม่ก่อให้เกิดความชื้นมากเกินไปเมื่อมีการระบายอากาศที่เหมาะสม นอกจากนี้ยังลดปัญหาการกระจายของละอองน้ำในอากาศซึ่งเป็นสาเหตุของโรคติดเชื้อทางเดินหายใจได้อีกด้วย

จากการทดลองสามารถสรุปความสัมพันธ์ของพื้นที่ผิวระเหยกับการลดลงของอุณหภูมิได้เป็นสมการคือ $y = -0.0525x^2 + 0.6551x - 0.0018$ เมื่อ y คือ อุณหภูมิอากาศที่ลดลง (K) และ x คือ พื้นที่ผิวการระเหยของน้ำในภาชนะดินเผา (ตร.ม.) โดย $6 \geq x > 0.003$ ซึ่งทำให้ทราบว่า อุณหภูมิลดลงได้สูงสุดประมาณ 2K ด้วยพื้นที่ผิวการระเหยประมาณ 5.4 ตารางเมตร ในขณะที่ลดอุณหภูมิอากาศ 1K ด้วยพื้นที่ผิวการระเหย 1.8 ตารางเมตร

เช่นเดียวกับตำแหน่งการวางภาชนะดินเผาภายในห้อง ก็มีความสัมพันธ์กับการลดอุณหภูมิภายในห้องด้วยเช่นกัน การวางภาชนะดินเผาแบบกระจายทั่วห้องทำให้อุณหภูมิภายในห้องลดลงอย่างทั่วถึง เนื่องจากเมื่อเกิดการระเหย ความร้อนในอากาศบริเวณใกล้ผิวภาชนะจะถูกดึงไปใช้ ทำให้อุณหภูมิที่ผิวภาชนะลดต่ำลงมาก และค่อยๆ เพิ่มสูงขึ้นเมื่อมีระยะห่างเพิ่มขึ้น ดังนั้นการวางภาชนะดินเผาในลักษณะกระจายทั่วห้อง จึงเป็นเสมือนการกระจายความเย็นให้ทั่วถึง แต่ก็ย่อมทำให้ประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิต่ำกว่าการวางรวมไว้ในที่เดียวกัน

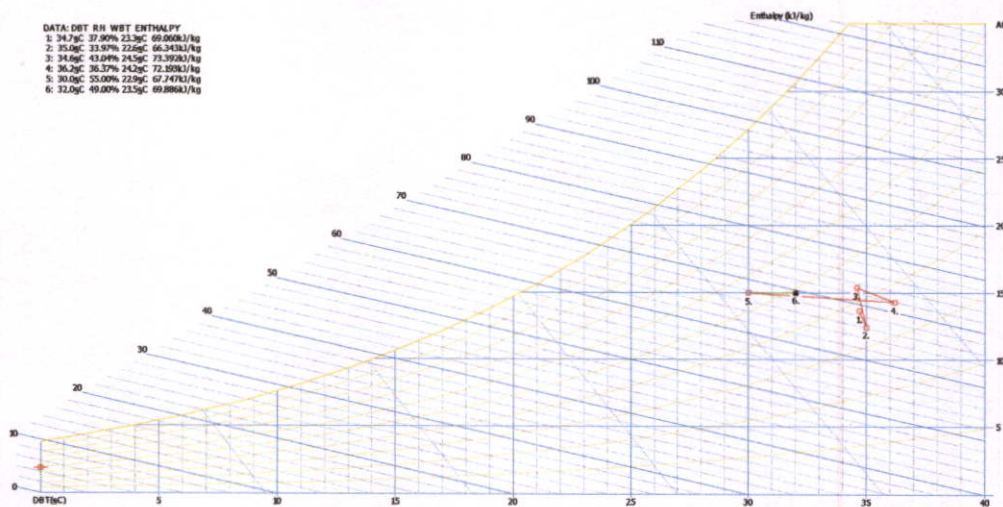
5.1 ประสิทธิภาพและประสิทธิผลของระบบการลดอุณหภูมิอากาศด้วยการระเหย

ตามทฤษฎีเกี่ยวกับการเปลี่ยนสถานะของน้ำ เมื่อเกิดการระเหย ความร้อนในอากาศจะถูกนำมาใช้ ทำให้อุณหภูมิลดลงและความชื้นเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าEnthalpy ยังคงเท่าเดิม ซึ่งในระบบปรับอากาศจำเป็นต้องมีระบบบริดความชื้นออก เพื่อให้การลดอุณหภูมิเกิดขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อพิจารณาหลักการดังกล่าวกับการลดอุณหภูมิอากาศด้วยการระเหยทำให้พบว่าระบบการระเหยที่ทำการทดลองมีส่วนทำให้ในอากาศมีความชื้นสูงขึ้น ซึ่งเท่ากับว่าประสิทธิภาพในการก่อให้เกิดภาวะความสบายด้วยวิธีนี้ต่ำ แต่กระนั้น เมื่อพิจารณาจากรูปภาพแผนภูมิชีวอากาศแสดงเขตความสบาย ทำให้ทราบว่า ผลดีจากการระเหยที่เกิดขึ้นบวกกับการเพิ่มความเร็วม จะช่วยให้อากาศเข้าใกล้ภาวะความสบายได้ โดยสามารถพิจารณาจากตารางและแผนภาพที่แสดงด้านล่างนี้

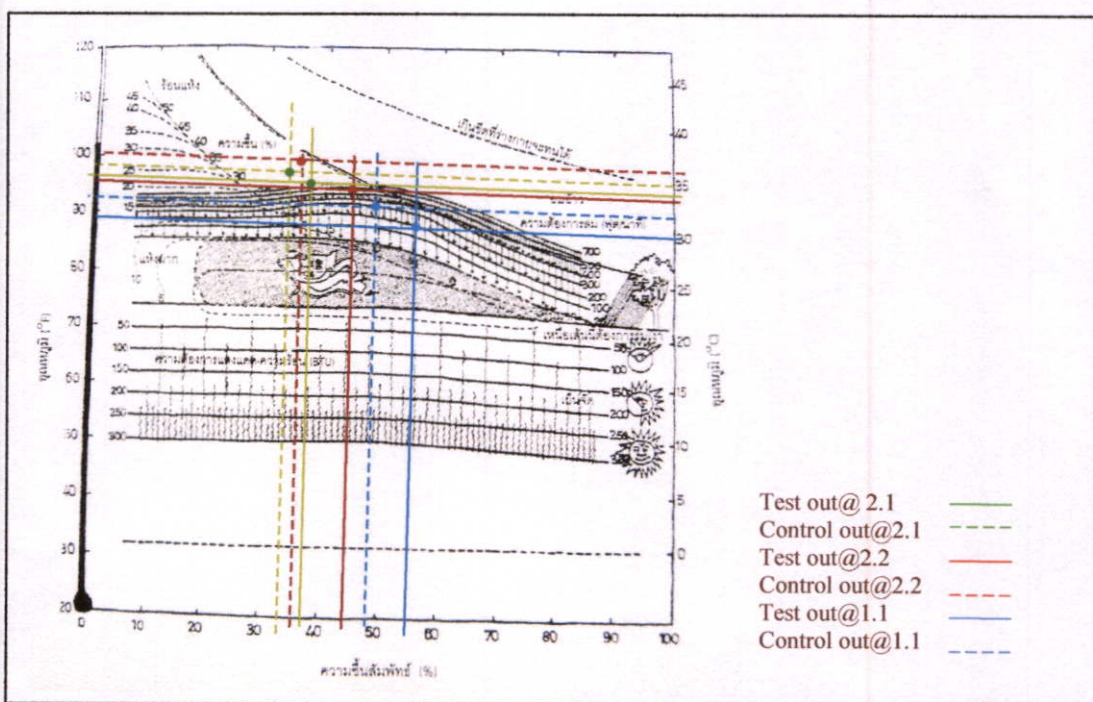
ตารางที่ 5.1 ข้อมูลสภาพอากาศบริเวณทางลมออก ห้องทดลอง การทดลอง 1.1, 2.1 และ 2.2

| Temperature DATA | DBT (°C) | RH (%) | WBT (°C) | ENTHALPY kJ/kg |
|-------------------|----------|--------|----------|----------------|
| 1.Test out@2.1 | 34.7 | 37.92 | 23.3 | 69.078 |
| 2.Control out@2.1 | 35.0 | 33.97 | 22.6 | 66.315 |
| 3.Test out@2.2 | 34.6 | 43.04 | 24.5 | 73.457 |
| 4.control out@2.2 | 36.2 | 36.37 | 24.2 | 72.317 |
| 5.Test out@1.1 | 30 | 55 | 22.9 | 67.747 |
| 6.Control out@1.1 | 32 | 49 | 23.5 | 69.886 |

แม้ว่าอุณหภูมิลมออกในแต่ละการทดลองจะลดลงแต่การเพิ่มขึ้นของความชื้นในอากาศกลับเป็นตัวการทำให้ค่าพลังงานรวมในอากาศมีค่าสูงขึ้น การระบายอากาศจึงเข้ามามีส่วนเป็นอย่างมากในการลดความอบอ้าวที่อาจเกิดขึ้นจากการระเหย ทำให้เกิดความรู้สึกสบายแม้อากาศมีอุณหภูมิก่อนข้างสูง ดังแสดงในรูปที่ 5.5



รูปที่ 5.1 แผนภูมิ Psychrometric Chart แสดงอุณหภูมิและค่า Enthalpy ที่ได้จากการทดลอง



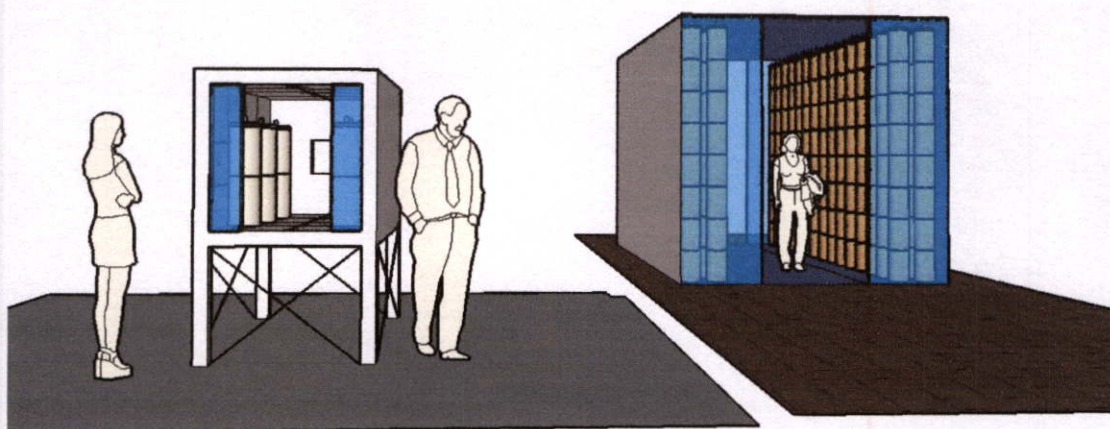
รูปที่ 5.2 แผนภูมิชีวอากาศแสดงเขตความสบายสำหรับกรุงเทพมหานคร แสดงค่าอุณหภูมิและความชื้นที่ได้จากการทดลอง

5.2 แนวทางการประยุกต์ใช้การลดอุณหภูมิอากาศด้วยการระเหยในอาคาร

จากการทดลองในห้องทดลองที่มีขนาด 1.2x1.2x2.4 ม. มีปริมาตรห้อง (Vr1) เท่ากับ 2.2 ลูกบาศก์เมตร ใช้พื้นที่ผิวการระเหยของภาชนะดินเผา (A_v) เท่ากับ 3.26 ตารางเมตร ตั้งวางแบบขนานลม สามารถลดอุณหภูมิห้องลงได้ประมาณ 1.59°C จากสมการที่ 4.1 หากต้องการลดอุณหภูมิลง 2 K ภายในห้องทดลองจะต้องมีพื้นที่ผิวภาชนะเท่ากับ 5.4 ตารางเมตร

ดังนั้น ถ้านำมาประยุกต์ใช้กับห้องพักอาศัยทั่วไปขนาดกว้าง 3 เมตร ยาว 6 เมตร สูง 3 เมตร คิดเป็น 54 ลูกบาศก์เมตร หรือ 15.625 เท่าของห้องทดลอง จำเป็นต้องใช้พื้นที่ผิวการระเหยจำนวน 127.44 ตารางเมตร หากต้องการลดอุณหภูมิอากาศในห้องดังกล่าว 2 K เท่ากับการใช้ภาชนะดินเผาใบใหญ่ (ขนาดสูง 0.36 เมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.24 เมตร) ที่ใช้ในการทดลองจำนวน 472 ใบ โดยทำการจัดวางให้สูงต่อกันเป็นท่อนขนาดยาวจำนวน 8 ชั้นต่อ 1 ท่อเพื่อให้ได้เสาท่อดินเผาเพื่อการระเหยจำนวน 59 แท่ง สามารถวางในห้องดังกล่าวได้ดังภาพจำลองด้านล่าง (รูปที่ 5.3)

การประมาณพื้นที่การระเหยเพื่อการลดอุณหภูมิดังกล่าวเป็นเพียงแนวทางคร่าว ๆ ที่ทำให้ทราบข้อจำกัดในการนำมาประยุกต์ใช้งานในอาคาร (เพราะในความเป็นจริง ห้องทดลองและห้องที่มีการใช้งานจริงนั้น มีปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการลดอุณหภูมิที่ไม่เหมือนกัน จึงไม่สามารถนำมาใช้เปรียบเทียบในลักษณะเช่นนี้ได้)



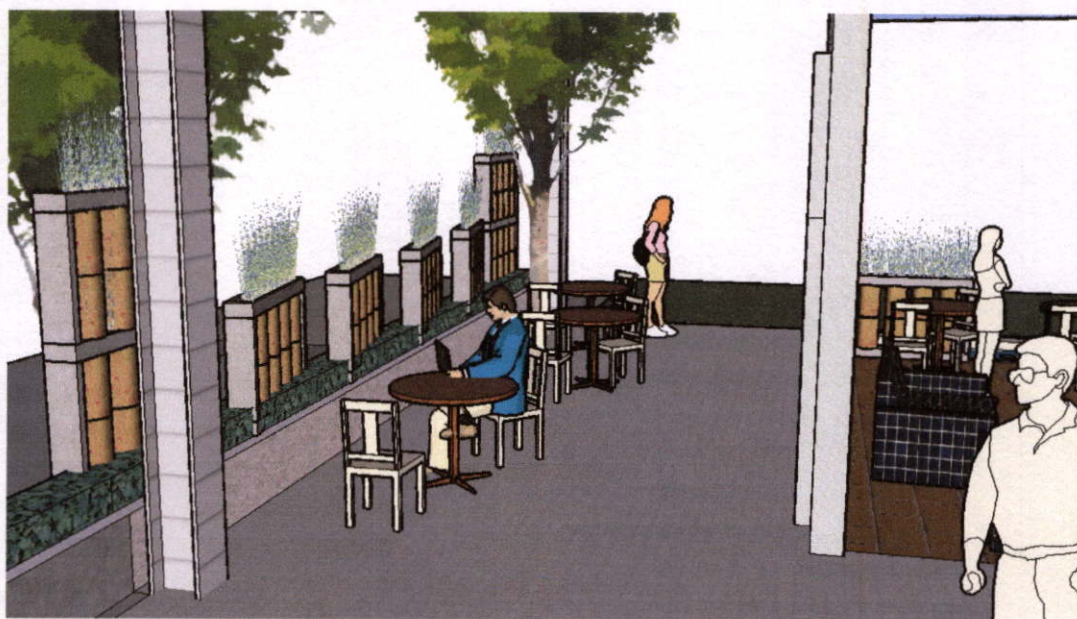
รูปที่ 5.3 ภาพจำลองพื้นที่การระเหยเพื่อการลดอุณหภูมิภายในห้องทดลองและห้องขนาดปกติ โดยเทียบมาตรฐาน 1: 2.5 คิดเป็น 15.625 เท่าโดยปริมาตร

และจากผลการทดลองที่ 3 ทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิจะสูงสุดเมื่อวางภาชนะขวงกลม แต่ผลของความเย็นที่ได้จะอยู่ในวงแคบ ดังนั้นเมื่อพิจารณาถึงความเหมาะสมและข้อจำกัดของระบบการลดอุณหภูมิด้วยการระเหยนี้ จึงไม่เหมาะที่ใช้เพื่อลดอุณหภูมิทั้งห้อง แต่จะได้ผลดีเมื่อให้ความเย็นที่ได้จากการระเหยสัมผัสกับผู้ใช้โดยตรง (Semi direct Evaporative Cooling) ด้วยวิธีการกระจายแหล่งความเย็นไปในพื้นที่ส่วนใช้งานที่ใกล้กับผู้ใช้ จากนั้นปล่อยให้กลไกการลดอุณหภูมิเกิดขึ้นตามธรรมชาติ ด้วยการแผ่ความเย็นให้กับผู้ใช้ที่อยู่วัดใกล้เคียงกับแหล่งกระจายความเย็นที่ติดตั้งไว้ เช่นพื้นที่กึ่งภายนอกอาคาร (Semi-Out Door) โถงทางเข้าอาคาร ตัวอย่างเช่น งานออกแบบสถานบริการล้างรถ ที่สามารถประยุกต์แนวคิดการลด

อุณหภูมิอากาศด้วยการระเหยของน้ำในภาชนะดินเผามาใช้ในพื้นที่ส่วนรับรองลูกค้า ส่วนพัก
รับประทานอาหารว่างและเครื่องดื่มสำหรับลูกค้า ดังรูปที่ 5.4-5.5



รูปที่ 5.4 การติดตั้งกระถางในพื้นที่ใช้กึ่งภายนอกอาคาร



รูปที่ 5.5 แท่งดินเผาที่ติดตั้งในส่วนพื้นที่กึ่งภายนอกอาคาร ควรวางไว้ในที่อากาศถ่ายเทสะดวก

นอกจากนี้การประยุกต์ใช้งานร่วมกับงานภูมิทัศน์ ก็เป็นแนวทางที่มีความเหมาะสม
เนื่องจากหาคำปัญหาเรื่องความชื้นสะสมได้เป็นอย่างดี แม้ว่าจะมีการระเหยตลอดเวลา การใช้พืช
พรรณที่ชอบอยู่ในที่ชื้น เช่น ไม้ในร่มพวก เฟิร์นต่าง ๆ จะช่วยให้เกิดผลบวกทางด้านอุณหภูมิ
และจินตภาพแก่บริเวณที่ใช้งาน ซึ่งควรมีการศึกษาและออกแบบเพื่อการใช้งานต่อไป

5.3 ข้อจำกัดและข้อเสนอแนะในการใช้งาน

การดูแลรักษาและการติดตั้ง รวมทั้งข้อควรระวังในการใช้งาน

ภาชนะดินเผาเป็นสิ่งที่ใช้กันมานานตั้งแต่ในอดีต โดยใช้บรรจุน้ำดื่ม ทำให้น้ำมีความเย็น ตำแหน่งการวางมักอยู่ในพื้นที่ที่มีหลังคาคลุม เพื่อป้องกันแสงแดด น้ำที่บรรจุภายใน เครื่องปั้นดินเผามีความพิเศษคือ ไม่เป็นตะไคร่ ส่วนพื้นผิวภายนอกที่มีความเปียกชื้นอยู่เสมอ มักจะมีคราบตะไคร่ขึ้น และจากการที่มีน้ำซึมตลอดเวลา เมื่อน้ำลดระดับลง ที่ผิวภาชนะดินเผามักจะเกิดคราบฝุ่นผงสีขาวที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างน้ำกับแร่ธาตุในภาชนะ เกิดการสึกกร่อนได้ง่าย ดังนั้นควรมีระบบเติมน้ำให้มีระดับที่เหมาะสม เพื่อให้ผิวมีความชุ่มชื้นและลดปัญหาการเกิดฝุ่นขาวที่ผิวภาชนะได้ อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการลดอุณหภูมิได้อีกด้วย

โดยปกติแล้ว ควรมีการทำความสะอาดที่ผิวเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดตะไคร่ ซึ่งหากปล่อยทิ้งไว้นาน ๆ อุณหภูมิและความชื้นที่บริเวณผิวภาชนะ สามารถทำให้พืชชั้นต่ำเช่น ไกลเคนและมอส สามารถเจริญเติบโตได้ดี ยกเว้นมีความตั้งใจให้เกิดบรรยากาศของความชุ่มชื้น การปล่อยให้มอสเจริญเติบโตก็เป็นสิ่งที่มีความงดงามได้เช่นกัน

ด้วยกรรมวิธีในการผลิตที่เผาไฟในอุณหภูมิตั้งแต่ระหว่าง 800-1,000 °C ทำให้เนื้อดินเผาไม่แกร่งคงภาชนะที่เผาในอุณหภูมิสูง ข้อจำกัดหนึ่งที่ได้จากการศึกษาคือการขึ้นรูปและการรับน้ำหนักของภาชนะดินเผาที่ไม่สามารถทำผิวให้บางเกินไปได้ ทำให้ภาชนะดินเผาไฟด้ามมีน้ำหนักมาก เมื่อเทียบกับภาชนะชนิดอื่นที่มีขนาดเดียวกัน ดังนั้นการนำมาซ้อนชั้น ดังที่แสดงในรูปที่ 5.4 และ 5.5 จึงจำเป็นต้องมีการออกแบบคานรับน้ำหนักให้ดี ก่อนนำไปติดตั้ง

5.4 ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยต่อไป

ข้อบกพร่องและอุปสรรคในการดำเนินการวิจัยที่เกี่ยวกับการวิจัยในครั้งนี้มีหลายประการ ด้วยข้อจำกัดด้านอุปกรณ์การวัดผล งบประมาณ และเงื่อนไขของเวลาในการทำวิจัย ทำให้การทดลองในครั้งนี้มุ่งหาคำตอบเบื้องต้นเกี่ยวกับประสิทธิภาพของเครื่องปั้นดินเผา ส่วนการปรับปรุงเทคนิคขั้นสูง เช่นรูปร่างที่เหมาะสมสำหรับการติดตั้ง ระยะห่างที่เหมาะสม รวมถึงจังหวะเวลาในการเปิดพัดลมระบายอากาศเพื่อประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิและระบายความชื้นที่ดี ล้วนเป็นคำถามที่ยังคงต้องมีการค้นคว้าต่อไป ทั้งนี้เพื่อการประยุกต์ใช้ได้จริงในชีวิตประจำวัน สำหรับคนที่พอใจในความสบายแบบพอเพียง

เอกสารอ้างอิง

- [1] วิเชษฎ รัชชันทชัย. “**Thai Climate Analysis for Design.**” [CD-ROM]. มหาวิทยาลัย
มหาสารคาม. 2547.
- [2] Givoni, B. **Man, Climate and Architecture** 2nd Ed. London : Applied Science Publishers,
Ltd. 1976.
- [3] สายัณห์ ลุนคำพื้ และคณะ “เครื่องต้นแบบการทำความเย็นด้วยวิธีระเหย” วิทยานิพนธ์
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีเครื่องต้นกำลัง, สถาบันเทคโนโลยีพระ
จอมเกล้าพระนครเหนือ.
- [4] E. Velasco Gomez., F.J. Rey Martinez., F. Varela Diez. “**Description and experimental
results of a semi-indirect ceramic evaporative cooler**” [Online]. Available :
www.sciencedirect.com. 2005.
- [5] Elfatih Ibrahim., Li Shao., Saffa B. Riffat. “**Performance of porous ceramic
evaporators for building cooling application**” [Online]. Available :
www.sciencedirect.com. 2003.
- [6] ปุณณรัตน์ พิษณุไพบูลย์. เครื่องเคลือบดินเผา เทคนิคและวิธีการสร้างสรรค์. กรุงเทพฯ :
โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2538.
- [7] Szokolay, Steven V. “**Introduction to Architectural Science : The Basis of Sustainable
Design**” Chennai. Newgen Imaging System (P) Ltd. 2004
- [8] NASA. “**Heat and Temperature.**” [Online]. Available : [http://hyperphysics.phy-
astr.gsu.edu/hbase/ems1.html](http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/ems1.html)
- [9] P.W.Fairey. “**Passive cooling and human comfort**” [Online]. Available :
<http://edis.ufl.edu/index.html>. 1994.
- [10] Kirdkao Observatory. “ความชื้นและเสถียรภาพของอากาศ.” [Online]. [http://
www.lesaproject.com/lesa//index.html](http://www.lesaproject.com/lesa//index.html).
- [11] ภาควิชาพลังงาน สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย
เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี และคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. “คำแนะนำการออกแบบบ้านที่ประหยัดพลังงานและให้ความ
สบาย.” [CD-ROM]. ฝ่ายปฏิบัติการด้านการใช้ไฟฟ้า การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย.
ไทย. 2547

[12] Givoni, B. *Climate Consideration in Building and Urban Design*. New York : Van Nostrand Reinhold, 1998.

[13] ปริญญา ทราจารวัฒน์ และอัมพร ตัน โชติกุล. “การศึกษาเกี่ยวกับการทำความเย็นในอาคารด้วยการใช้น้ำ” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

ภาคผนวก ก.

ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับความร้อนและพลังงานของวัสดุ

ตารางที่ ก.1 หน่วยวัดทางด้านพลังงานสำหรับปริมาณความร้อนในระบบ SI [7]

| | | |
|-------------------------|---|---|
| Length | m | (metre) |
| Mass | kg | (kilogram) |
| Time | s | (second) |
| Velocity, speed | m/s | i.e. unit length movement in unit time; the everyday unit is km/h, which is $1000\text{m}/3600\text{s} = 0.278 \text{ m/s}$ or conversely: $1 \text{ m/s} = 3.6\text{km/h}$ |
| Acceleration, force | m/s² kg.m/s² | i.e. unit velocity increase in unit time: (m/s)/s that which give unit acceleration to unit mass named Newton (N) |
| Work, energy | Kg.m²/s² | unit work is done when unit force is acting over unit length i.e. $\text{N} \times \text{m}$ named joule(J) |
| Power, energy flow rate | Kg.m²/s³ | unit energy flow in unit time or unit work done in unit time i.e. J/s named watt (W) |
| Pressure, stress | Kg.m²/s² | unit force acting in unit area $(\text{Kg.m/s}^2)/\text{m}^2$ i.e. N/m^2 named pascal (Pa) |

หน่วยวัดระบบ SI ได้มาจากชื่อของคน จำเป็นต้องเขียนด้วยอักษรตัวพิมพ์ใหญ่

ตารางที่ ก.2 คุณสมบัติทางด้านความร้อนของวัสดุ [7]

| Materials | Conductivity (W/m K) | Density (kg/m ³) | Specific heat (J/kg K) |
|-----------------------------------|-------------------------|---------------------------------|---------------------------|
| <i>Wall Materials</i> | | | |
| Adobe Blocks | 1.250 | 2050 | 1000 |
| Brickwork, outer leaf | 0.840 | 1700 | 800 |
| Brickwork, inner leaf | 0.620 | 1700 | 800 |
| Brick, sand-lime | 1.080 | 1840 | 840 |
| <i>Concrete</i> | | | |
| Cast, dense | 1.400 | 2100 | 840 |
| lightweight | 0.384 | 1200 | 1000 |
| Concrete block, heavy | 1.630 | 2300 | 1000 |
| Concrete block , medium | 0.510 | 1400 | 1000 |
| Fiberboard (soft board) | 0.600 | 300 | 1000 |
| Fibrous cement sheet | 0.360 | 700 | 1050 |
| Glass | 1.100 | 2500 | 840 |
| Plywood | 0.138 | 620 | 1300 |
| Sand (dry) | 0.300 | 1500 | 800 |
| Plasterboard | 0.160 | 950 | 840 |
| <i>Timber</i> | | | |
| softwood | 0.130 | 610 | 1420 |
| hardwood | 0.150 | 680 | 1200 |
| <i>Surfacing</i> | | | |
| External rendering | 0.500 | 1300 | 1000 |
| <i>Plastering</i> | | | |
| dense | 0.500 | 1300 | 1000 |
| lightweight | 0.160 | 600 | 1000 |
| <i>Roof & floor materials</i> | | | |
| Asphalt, bitum. felt | 0.500 | 1700 | 1000 |
| Concrete slab, dense | 1.130 | 2000 | 1000 |
| Concrete slab, aerated | 0.160 | 500 | 840 |
| <i>Insulating materials</i> | | | |
| Cork | 0.038 | 144 | 1800 |
| EPS (exp.polystyrene) | 0.035 | 25 | 1400 |
| <i>Glass fiber</i> | | | |
| quitt | 0.040 | 12 | 840 |
| batt | 0.035 | 25 | 1000 |

ประวัติผู้เขียน

| | |
|------------------|---|
| ชื่อ-นามสกุล | นายอภิชัย ประจงสาร |
| วัน เดือน ปีเกิด | 20 สิงหาคม 2517 ที่อุครธานี |
| ที่อยู่ | 119/1 หมู่ที่ 7 ถ.อุคร-หนองคาย ต.หนองบัว อ.เมือง จ.อุครธานี 41000 โทร 0-4224-1787 |
| ประวัติการศึกษา | |
| 2529-2534 | มัธยมศึกษาตอนต้นและตอนปลาย โรงเรียนอุครพิทยานุกูล จ.อุครธานี |
| 2535-2540 | สถาปัตยกรรมศาสตรบัณฑิต คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น |
| 2545-2549 | กำลังศึกษาในระดับปริญญาโท คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สาขาสถาปัตยกรรมเขตร้อน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง |
| ประวัติการทำงาน | |
| 2540-2542 | สถาปนิก บ.แลนค์แอนด์เฮ้าส์ นอร์ทอีสต์ จำกัด |
| 2544-ปัจจุบัน | อาจารย์ประจำ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ ห้างเมืองและนฤมิตรศิลป์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม |