



การประเมินค่าการนำความร้อนของพืชผ่านผนังอาคาร

กรณีศึกษาพืชสายพันธุ์ม่านบาหลี่

**Thermal Conductivity Estimation of Plants through Building Envelope**

**A Case Study *Cissus nodosa* Blume**

กวีวัชรุ์ เสถียร

**Kaweewat Sathien**

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of**

**Master of Science in Environmental Management**

**Prince of Songkla University**

**2557**

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์    การประเมินค่าการนำความร้อนของพืชผ่านผนังอาคาร กรณีศึกษาพืชสายพันธุ์  
 ม่านบาห์ลี

ผู้เขียน            กวีวัชร เสถียร

สาขาวิชา          การจัดการสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

คณะกรรมการสอบ

.....

.....ประธานกรรมการ

(ดร.เกื้ออนันต์ เตชะโต)

(ดร.ไชยวัฒน์ รงค์สยามานนท์)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จันทกานต์ ทวีกุล)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์.ดร.อรรจน์ เศรษฐบุตร)

.....กรรมการ

(ดร.เกื้ออนันต์ เตชะโต)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้นำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
 ของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระพล ศรีชนะ)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้มาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และได้แสดงความขอบคุณบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลือแล้ว

ลงชื่อ.....

(ดร.เกื้ออนันต์ เตชะโต)

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

ลงชื่อ.....

(นายทวีวัชร เสถียร)

นักศึกษา

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และ  
ไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ.....

(นายทวีวัชร เสถียร)

นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์ การประเมินค่าการนำความร้อนของพืชผ่านผนังอาคาร กรณีศึกษาพืชสายพันธุ์ม่าน  
 บาหลี  
 ชื่อผู้เขียน นายกวีวัชร เสดียร  
 สาขาวิชา การจัดการสิ่งแวดล้อม  
 ปีการศึกษา 2556

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาคุณสมบัติการนำความร้อน (k-value) ของพืชสายพันธุ์ม่านบาหลี เพื่อนำมาลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารด้วยวิธีการใช้หลักเกณฑ์การประเมินความร้อนรวมของผนังอาคาร ซึ่งใช้ห้องทดลองด้านทิศตะวันตก อาคารเรียน คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม จำนวน 2 ห้องที่มีขนาดพื้นที่และลักษณะการใช้ประโยชน์ที่คล้ายคลึงกัน โดยกำหนดให้ห้องหนึ่งเป็นห้องควบคุมอ้างอิงเพื่อพิจารณาค่าที่เกี่ยวข้องหรือแตกต่างกัน โดยจะพิจารณาถึงแนวทางการลดอุณหภูมิที่ผิวผนังจากอัตราปริมาณความร้อนไหลต่อหน่วยเวลา ณ จุดหนึ่งถึงอีกจุดหนึ่ง ที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันต่อหน่วยพื้นที่หน้าตัดที่ไหลผ่าน หรือที่เรียกว่าสภาวะสมำเสมอแบบคงที่ ซึ่งหมายความว่า อุณหภูมิที่จุดๆหนึ่งในวัตถุไม่เปลี่ยนแปลงกับเวลา ซึ่งผลจากงานวิจัยในส่วนแรก ได้จากการเก็บข้อมูลลักษณะทางกายภาพของผนังอาคารห้องทดลอง และนำมาศึกษาด้วยโปรแกรม OTTVEE version 1.0 a พบว่าผนังอาคารของห้องทดลองด้านทิศตะวันตกมีค่าการถ่ายเทความร้อนที่สูงกว่าข้อกำหนดของกฎกระทรวง พ.ศ. 2535 โดยมีค่าอยู่ที่  $59.87 \text{ W/m}^2$  ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณพื้นที่ที่เป็นผนังโปร่งแสง มีค่าสัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทความร้อน (U) ที่สูงกว่าผนังก่ออิฐ รวมทั้งค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด (SC) ของกระจก ไม่สามารถรับภาระการถ่ายเทของพลังงานความร้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ และผลการศึกษาส่วนที่สอง มาจากการคำนวณหาดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) ของต้นม่านบาหลีด้วยวิธีการประยุกต์ใช้ภาพถ่ายดิจิทัล บริเวณที่ทำการปลูกต้นม่านบาหลีหน้าผนังห้องทดลองจะมีค่าเท่ากับ 89 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้ว่าใบของพืชจะมีประสิทธิภาพดีที่สุดในการป้องกันความร้อนเข้าสู่อาคาร จากนั้นจึงทำการหาค่าอุณหภูมิเฉลี่ยในรอบ 7 วัน ณ ตำแหน่งต่างๆที่กำหนด จากห้องทดลองด้วยเครื่องเทอร์โมคัปเปิล แบบ K แล้วนำตัวเลขที่ได้แทนค่าในสมการหาค่าการนำความร้อนแบบมิติเดียวสมำเสมอ ซึ่งค่าการนำความร้อนของต้นม่านบาหลี จะมีค่าที่  $2.50 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$  และมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนังทึบ ( $U_w$ ) ด้านที่พิจารณาเท่ากับ  $7 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$  และเมื่อนำมาหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ

( $OTTV_i$ ) ก็จะได้เท่ากับ  $53.90 \text{ W/m}^2$  ทั้งนี้เมื่อนำผลการทดลองจากวิธีการคำนวณด้วยโปรแกรม OTTVEE version 1.0a กับผลการทดลองด้วยการวัดอุณหภูมิแล้วนำมาคำนวณสมการการถ่ายเทความร้อนแบบมิติเดียวสม่ำเสมอจะมีความแตกต่างกันที่  $5.97 \text{ W/m}^2$  แสดงให้เห็นว่าค่า  $k$  ของต้นม่านบาห์ลี ที่ได้จากการทดลองนั้น มีส่วนสำคัญในการทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในกระบวนการคิดคำนวณค่า  $OTTV_i$  เนื่องจาก เมื่อค่าการนำความร้อนของวัสดุมีค่าที่ต่ำลงจากการเพิ่มจำนวนชั้นของวัสดุที่เป็นพีชเข้าไปจะทำให้ค่าประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของวัสดุ ( $U_w$ ) ด้านที่พิจารณานั้นๆจะมีค่าน้อยลง และเมื่อพิจารณาตามรายละเอียดข้อกำหนดในกฎกระทรวง พ.ศ.2535 นั้น ค่า OTTV สำหรับอาคารเก่าจะต้องมีไม่เกินกว่า  $55 \text{ W/m}^2$  ผนังด้านที่ผู้วิจัยทำการทดลองก็จะสามารถผ่านเกณฑ์ข้อกำหนดดังกล่าวได้ ทั้งนี้หากมีการเก็บข้อมูลหรือขยายขอบเขตงานวิจัยเพิ่มเติมในเชิงลึกมากขึ้นก็อาจจะสามารถลดค่า OTTV ได้มากยิ่งขึ้น

**คำสำคัญ** การนำความร้อนของพีช สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง และดัชนีพื้นที่ใบ

<b>Thesis Title</b>	Thermal Conductivity Estimation of Plants through Building Envelope A Case Study <i>Cissus nodosa</i> Blume
<b>Author</b>	Mr.Kaweewat Sathien
<b>Major Program</b>	Environmental Management
<b>Academic Year</b>	2013

### ABSTRACT

This research was carried out in order to determine the thermal conductivity (k- value) associated with the reduction of heat transfer into the building of *Cissus nodosa* Blume. Urban using the criteria to evaluate the heat of the building envelope. The experiment was performed using 2 rooms with similar spaces and utility in the building of environmental management faculty. One room was designed for a control study. Approach to lower the temperature on the surface was considered by evaluating the heat flow per unit time from a distance of one point to another point where the temperature difference per unit of flow cross-sectional area. In other words, the principle of one dimensional steady state conduction in which no temperature change within an object at given time was used in this study. In the first part of the research, the physical characteristic of the laboratory walls was studied using OTTVEE version 1.0 a. programs. The result revealed that the west side of the laboratory walls has overall thermal transfer value (OTTV) of 59.87 W/m<sup>2</sup> higher than the criteria of the ministerial regulations B.E. 2535. Because of this area has more translucent walls in which the heat transfer coefficient (U) was higher compared with that of normal wall. Furthermore, the shading coefficient (SC) of the glass is not suitable for the heat transfer needed. In the second part of the study, the leaf area index (LAI) of the *C. nodosa* Urban. Bali was evaluated by the application of digital photos. The LAI of this plant species was 89%. This can be established that the leaves of this plant are best effective in preventing heat from entering the building. The average temperature within 7 days as defined positions in the laboratory was assessed using a thermocouple K apparatus from which the value obtained was calculated by the equation of one-dimensional steady state conduction. The thermal conductivity of *C. nodosa* Urban was 2.50 W / m<sup>2</sup> °C and a heat transfer coefficient of the considered solid wall was 7 W / m<sup>2</sup> °C. Both of these

values were subsequently used to calculate the heat transfer coefficient of a solid wall ( $OTTV_i$ ) which was  $51 \text{ W / m}^2$ . The difference between OTTV obtained from the OTTVEE version 1.0a program and the thermocouple K apparatus was  $5.97 \text{ W/m}^2$ . The result showed that the k value of *C. nodosa* Urban was an important factor affected the  $OTTV_i$ . The lower values of thermal conductivity (k) and coefficients of heat transfer ( $U_w$ ) of the material were caused by increasing the number of layers of plant material onto the walls. According to the criteria of the ministerial regulations B.E. 2535, the OTTV of the walls conducted in this research can meet the requirements for the old building of which the OTTV must have no more than  $55 \text{ W / m}^2$ . To improve the OTTV, the more in-depth research will be required in the future.

**Keywords**      Conductivity of Plant, Overall Thermal Transfer Value, and Leaf Area Index.



## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(5)
Abstract	(7)
กิตติกรรมประกาศ	(9)
สารบัญ	(10)
รายการตาราง	(14)
รายการภาพ	(15)
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	<b>1</b>
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย	1
1.2 ขอบเขตการวิจัย	3
1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
<b>บทที่ 2 วิธีวิจัย</b>	<b>3</b>
2.1 ข้อมูลเกี่ยวกับภูมิอากาศและที่ตั้งอาคาร	4
2.1.1 รังสีดวงอาทิตย์	4
2.1.2 อุณหภูมิของอากาศ	4
2.1.3 ความชื้นและฝน	6
2.1.4 การเคลื่อนไหวของอากาศหรือลม	6
2.1.5 การระเหย	7
2.1.6 ที่ตั้งอาคาร	7
2.2 การถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร	8
2.2.1 การถ่ายเทความร้อนโดยการนำ	9
2.2.2 การถ่ายเทความร้อนโดยการพา	11
2.2.3 การถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสี	11
2.3 การถ่ายเทความร้อนรวม	12
2.3.1 ความหมาย	12
2.3.2 การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของอาคาร	13
2.3.3 ค่าสัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทความร้อนและช่วงเวลาหน่วง	14
ความร้อนไหลผ่าน	

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3.4 ค่าการต้านทานความร้อน	14
2.3.5 ค่าการนำความร้อน	15
2.3.6 ความจุความร้อน	16
2.3.7 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวม	17
2.3.8 ค่าผลต่างอุณหภูมิเทียบเท่า	17
2.3.9 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์	18
2.3.10 ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด	19
2.3.11 ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน	20
2.4 ข้อมูลเกี่ยวกับปัจจัยการเจริญเติบโตของพืช	21
2.4.1 ผลของแสงที่มีต่อพืช	21
2.4.2 ความเข้มของแสง	21
2.4.3 คุณภาพของแสง	22
2.4.4 ช่วงเวลาที่ได้รับแสง	22
2.4.5 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อพืช	22
2.4.6 การคายน้ำของพืช	23
2.4.7 ผลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อพืช	24
2.4.8 ผลของลมที่มีต่อต้นไม้	24
2.5 พื้นที่ใบของพืช	25
2.5.1 ความหมายของใบ	25
2.5.2 การวัดพื้นที่ใบ	25
2.5.3 ปัญหาการวัดพื้นที่ใบ	25
2.5.4 คำนวณพื้นที่ใบ	26
2.6 พรรณไม้ในงานภูมิสถาปัตยกรรม	27
2.7 ต้นม่านบาหลี่	28
2.8 อุปกรณ์สำหรับการวัดค่าอุณหภูมิและความชื้น	28
2.8.1 เทอร์โมคัปเปิล	28
2.8.2 แนวทางการเลือกใช้	31

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	31
<b>บทที่ 3 วิธีวิจัย</b>	<b>32</b>
3.1 การวิเคราะห์สถานที่ในการดำเนินการวิจัย	32
3.1.1 ทิศทางแสงจากดวงอาทิตย์	36
3.1.2 วิเคราะห์การใช้พื้นที่	36
3.2 เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์	38
3.2.1 เครื่องมือ	38
3.2.2 วัสดุอุปกรณ์	39
3.3 วิธีการดำเนินการวิจัย	40
3.3.1 การสำรวจและเก็บข้อมูลด้านพื้นที่ของห้องทดลอง	41
3.3.2 คำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้วยโปรแกรม OTTVEE version 1.0a	45
3.3.3 การคัดเลือกพันธุ์ต้นมันบาหลีและติดตั้งอุปกรณ์ยึดเกาะ	47
3.3.4 การหาค่าดัชนีพื้นที่ใบพืช (LAI) ของต้นมันบาหลี	49
3.3.5 ติดตั้งเครื่องมือและอุปกรณ์พร้อมบันทึกผล	50
3.3.6 คำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังอาคาร จากสมการการถ่ายเทความร้อนแบบมิติเดียวสม่ำเสมอ	52
3.4 การเปรียบเทียบและวิเคราะห์เพื่อสรุปผลการทดลอง	54
<b>บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการวิจัย</b>	<b>55</b>
4.1 ผลจากการเก็บข้อมูลและศึกษาด้วยโปรแกรม OTTVEE version 1.0a	55
4.2 ผลการศึกษาการคำนวณหาดัชนีพื้นที่ใบต้นมันบาหลีด้วยวิธีการ ประยุกต์ใช้ภาพถ่ายดิจิทัล	57
4.3 ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับช่วงเวลา ณ ตำแหน่งต่างๆ	60
4.4 ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับช่วงเวลา ณ ตำแหน่งต่างๆ	64
4.5 ผลการคำนวณสมการการถ่ายเทความร้อนแบบมิติเดียวสม่ำเสมอ	67

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
<b>บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ</b>	68
5.1 สรุปผลการวิจัย	68
5.1.1 ผลจากการเก็บข้อมูลลักษณะทางกายภาพของอาคารเรียน คณะกรรมการสิ่งแวดล้อม และนำมาศึกษาด้วยโปรแกรม OTTVEE version 1.0a	68
5.1.2 ผลการศึกษาการคำนวณหาดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) ต้นม่านบาหลี่ ด้วยวิธีการประยุกต์ใช้ภาพถ่ายดิจิทัล	68
5.1.3 ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับช่วงเวลา ณ ตำแหน่งต่างๆ	68
5.1.4 เปรียบเทียบผลการคำนวณด้วยโปรแกรม OTTVEE version 1.0a กับวิธีการคำนวณ	69
5.2 ข้อเสนอแนะ	69
<b>เอกสารอ้างอิง</b>	71

### รายการตาราง

ตารางที่		หน้า
2-1	ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุก่อสร้างอาคาร	15
2-2	ค่าผลต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TDeq) ของผนังทึบอาคารด้านทิศตะวันตก	17
2-3	ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ ( $\alpha$ )	18
2-4	ค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายนอกและภายในอาคาร สำหรับผนังโปร่งแสง	18
2-5	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (SHGC)	18
2-6	ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด (SC)	20
2-7	ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน (ESR) สำหรับอาคารสถานศึกษา	20
4-1	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับช่วงเวลา ณ ตำแหน่งต่างๆ	60
4-2	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์กับช่วงเวลา ณ ตำแหน่งต่างๆ	65

## รายการรูปภาพ

รูปที่		หน้า
2-1	ต้นม่านบาหลี่	28
3-1	อาคารเรียนคณะกรรมการจัดการสิ่งแวดล้อม	35
3-2	ตำแหน่งที่ตั้ง อาคารเรียน คณะกรรมการจัดการสิ่งแวดล้อม	36
3-3	การใช้สอยพื้นที่ในแต่ละชั้น ของอาคารเรียน คณะกรรมการจัดการสิ่งแวดล้อม	37
3-4	แสดงตำแหน่งที่ตั้งห้องพัก ชั้น 4 อาคารเรียน คณะกรรมการจัดการสิ่งแวดล้อม	38
3-5	แผนผังขั้นตอนการวิจัย	40
3-6	แปลนพื้นที่ห้องทดลองชั้น 4 อาคารเรียน คณะกรรมการจัดการสิ่งแวดล้อม	41
3-7	แปลนพื้นที่ห้องทดลองชั้น 4 อาคารเรียน คณะกรรมการจัดการสิ่งแวดล้อม	41
3-8	รูปตัดห้องทดลองชั้น 4 อาคารเรียน คณะกรรมการจัดการสิ่งแวดล้อม	44
3-9	รูปด้านห้องทดลองชั้น 4 อาคารเรียน คณะกรรมการจัดการสิ่งแวดล้อม	44
3-10	ขั้นตอนการคำนวณค่า OTTV โดยการป้อนข้อมูลในโปรแกรม ในแต่ละส่วนพื้นที่	45
3-11	ขั้นตอนการป้อนข้อมูลรายละเอียดของผนังก่ออิฐฉาบปูน หมายเลข 1	45
3-12	ขั้นตอนการป้อนข้อมูลรายละเอียดของผนังก่ออิฐฉาบปูน หมายเลข 2	46
3-13	ขั้นตอนป้อนข้อมูลรายละเอียดของผนังกระจก หมายเลข 3	46
3-14	ต้นม่านบาหลี่อายุ 2 เดือนที่คัดเลือกนำมาทดลอง	47
3-15	ขุยมะพร้าวและแกลบ	47
3-16	ดินร่วนปนทรายละเอียด	47
3-17	ตำแหน่งวางระบบท่อน้ำเย็นใหม่	48
3-18	การติดตั้งโครงเหล็ก Plate ด้วยน็อตยึด	48
3-19	ลวดสลิงพร้อมเกลียวปล่อย	48
3-20	ตำแหน่งต้นม่านบาหลี่หลังผนังทดลอง	49
3-21	ลำดับขั้นตอนการหาค่า LAI ต้นม่านบาหลี่ด้วยการประยุกต์ใช้โปรแกรม Photoshop	50
3-22	ตำแหน่งอุปกรณ์และจุดวัดอุณหภูมิ	51
3-23	ตำแหน่ง เครื่องวัดอุณหภูมิ	51
3-24	ตำแหน่งจุดวัดอุณหภูมิในห้องทดลอง A	51

**รายการรูปภาพ (ต่อ)**

<b>รูปที่</b>		<b>หน้า</b>
4-1	สรุปรายการคำนวณค่า OTTV <sub>i</sub> ของผนังอาคารด้านทิศตะวันตก ห้องทดลอง A	55
4-2	ต้นม่านบาหลี่ที่ปกคลุมผนังอาคารที่บหลังจากทดลองปลูก เป็นระยะเวลา 2 เดือน	57
4-3	ผลจากการใช้โปรแกรม Photoshop เพื่อหาค่าดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) ของต้นม่านบาหลี่	58
4-4	แสดงดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) ของต้นม่านบาหลี่จากการประยุกต์ใช้ ภาพถ่ายดิจิทัล	59
4-5	แสดงจุดวัดอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ	62
4-6	แสดงจุดวัดความชื้นสัมพัทธ์ ณ ตำแหน่งต่างๆ	64

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

ในงานออกแบบด้านสถาปัตยกรรมด้วยวิถีธรรมชาติ คือ การใช้ประโยชน์จากสภาพแวดล้อมภายนอกและภูมิอากาศพื้นถิ่น (Microclimate) มาปรับสภาพอากาศภายในอาคารให้เกิดความสบายได้อย่างสูงสุด ซึ่งหากจะพิจารณาขั้นตอนหรือแนวทางการออกแบบสำหรับพื้นที่เขตร้อน-ชื้น ในประเทศไทยส่วนใหญ่จะมุ่งเน้นไปที่การทำความเย็นหรือลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร ซึ่งจุดประสงค์ของการทำความเย็นโดยวิถีธรรมชาติ (Passive cooling) นั้นมีหลายประการ ที่สำคัญคือ การประหยัดพลังงาน และการสร้างภาวะความสบายให้กับผู้ใช้อาคาร นอกจากนี้ยังส่งผลในเรื่องของคุณภาพอากาศภายใน (Indoor air quality) และผลทางด้านจิตวิทยาให้แก่ผู้ใช้อาคารอีกด้วย โดยสังคมปัจจุบันนี้ ความนิยมในธรรมชาติด้วยการเพิ่มพื้นที่สีเขียวให้กับอาคาร เริ่มมีการขยายตัวเพิ่มมากขึ้น ทำให้เกิดแนวคิดใหม่ทางด้านงานสถาปัตยกรรมที่พยายามสร้างจุดขายในประเด็นความใกล้ชิดธรรมชาติ ใช้ความหลากหลาย (Variation) และความแตกต่าง (Contrast) ของความร้อน - หนาว จากสภาพภูมิอากาศแวดล้อมช่วยให้ผู้ใช้อาคารสัมผัสกับธรรมชาติได้อย่างกลมกลืน และส่งผลด้านบวกในเชิงจิตวิทยามากกว่าการลดการถ่ายเทความร้อนด้วยระบบเครื่องกล (Heschong, 1997)

นอกจากนี้การเพิ่มพื้นที่สีเขียวโดยการปลูกพืชให้กับสภาพแวดล้อมภายนอกอาคารก็จัดได้ว่าเป็นการประยุกต์การทำความเย็นโดยวิถีธรรมชาติอีกวิธีหนึ่ง ที่นอกจากสามารถสร้างภาวะความสบายให้กับผู้ใช้อาคารแล้ว ยังสามารถลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารได้อีกด้วย ซึ่งคุณสมบัติที่พบได้โดยทั่วไปของพืช คือ ส่วนของใบซึ่งนอกจากจะช่วยในการบดบังแสงแดดจากดวงอาทิตย์ และให้ร่มเงากับผนังอาคารแล้ว ยังมีคุณสมบัติในการสะท้อนรังสีและดูดซับรังสีดวงอาทิตย์ได้อีกด้วย โดยที่ใบไม้จะมีคุณสมบัติของค่าการสะท้อนรังสี 10-20 เปอร์เซ็นต์ (สุดสวาท ศรีสถาปิตย์, 2545) และมีค่าการดูดซับรังสี 40-80 เปอร์เซ็นต์ (Givoni, 1998) ซึ่งแสงจากดวงอาทิตย์ที่ใบไม้ดูดซับนั้น บางส่วนจะถูกนำไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงเพื่อสร้างอาหารในพืช และความร้อนที่เป็นส่วนเกินจะถูกระบายออกมาพร้อมกับการคายน้ำ ซึ่งผลจากการที่พืชคายน้ำออกมานั้น ทำให้ความร้อนจากสภาพแวดล้อมภายนอกโดยรอบถูกนำมาใช้ในการทำให้น้ำเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอ (Dunnnett, 2004) ดังนั้น หากนำคุณสมบัติของใบไม้มาประยุกต์ใช้กับการป้องกันความร้อนให้กับผนังอาคารแล้ว นอกจากจะลดปริมาณแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบผนัง



อาคารแล้ว ยังช่วยให้อากาศบริเวณผิวหน้าของผนังอาคารมีอุณหภูมิที่ต่ำลง ลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร (พาสินี สุนากร และคณะ, 2551)

ทั้งนี้การนำคุณสมบัติของพืชหรือพันธุ์ไม้ เพื่อลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร ดังข้างต้นนั้น ยังไม่ได้รับการค้นคว้าเพิ่มเติมอย่างเป็นรูปธรรมมากนักในการนำมาใช้จริง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากปัจจัยด้านต่างๆ ที่ไม่ได้ถูกกำหนดนำมาเพื่อรองรับค่าของคุณสมบัติดังกล่าวนี้ แม้ว่าในปัจจุบันนี้ พระราชบัญญัติส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 พิจารณาการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง (Overall thermal transfer value) ไม่ได้กล่าวถึงผลของการลดอุณหภูมิที่ผิวผนังจากอัตราปริมาณความร้อนไหลต่อหน่วยเวลาจากจุดระยะทางหนึ่งถึงอีกจุดหนึ่งที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันต่อหน่วยพื้นที่หน้าตัดที่ไหลผ่าน โดยที่ค่าการนำความร้อน (k-value) ของวัสดุแต่ละชนิดจะแตกต่างกันมาก แต่ในการศึกษาการถ่ายเทความร้อนของเปลือกอาคารจริง การคิดค่าการนำความร้อนของเปลือกอาคารย่อมแตกต่างกันไปตามความหนา และกลุ่มวัสดุที่ประกอบเข้ามาเป็นผนังแต่ละชั้น ดังนั้น ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาและหาแนวทางการนำค่าการนำความร้อน(k-value) ของพืช โดยวิธีการทดลองทางวิทยาศาสตร์เพื่อใช้เป็นค่าสมมติอ้างอิงในการประเมินประสิทธิภาพการลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร และจากการศึกษา งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่า ต้นมันบาหลี เป็นพืชไม้เลื้อยที่มีใบขนาดเล็ก มีความคงทนต่อสภาพภูมิอากาศเขตร้อนได้ดี เจริญเติบโตได้เร็ว และมีประสิทธิภาพในการลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารได้ดี (วิชัย เหล่าพณิชย์กุล, 2550) โดยสถานที่ทำการทดลองผู้วิจัยได้ทำการเลือก อาคารเรียนคณะการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ เนื่องจากการเก็บข้อมูลตัวอย่างและสภาพปัจจัยแวดล้อม เอื้อประโยชน์ต่อการดำเนินการวิจัย รวมทั้งต้องการให้คณะกรรมการจัดการสิ่งแวดล้อม ซึ่งเป็นแหล่งให้การศึกษาศึกษาและผลิตรายงานวิจัยที่ครอบคลุมงานด้านสิ่งแวดล้อม สามารถใช้ผลการดำเนินการวิจัยดังกล่าวเป็นแนวทางหรือเป็นข้อเสนอแนะแก่ผู้ที่สนใจต่อไป

## 1.2 ขอบเขตการวิจัย

### 1.2.1 ขอบเขตด้านพื้นที่

กำหนดขอบเขตอยู่ที่การศึกษาเฉพาะอาคารเรียนคณะกรรมการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ โดยการพิจารณาเลือกห้องทดลองจำนวน 2 ห้อง ที่มีขนาดพื้นที่และลักษณะการใช้ประโยชน์ที่คล้ายคลึงกัน โดยกำหนดให้ห้องหนึ่งเป็นห้องควบคุมอ้างอิงเพื่อพิจารณาค่าที่เกี่ยวข้องต่างๆ

### 1.2.2 ขอบเขตด้านเนื้อหาในการวิจัย

ศึกษาค่าการนำความร้อนของพีช (k-value) เฉพาะพีชไม้เลื้อยสายพันธุ์ม่านบาติ ที่ส่งผลกระทบต่อผนังทึบและนำค่าการนำความร้อนของพีชคำนวณค่า OTTV<sub>i</sub> ของอาคารเรียนคณะกรรมการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ เฉพาะด้านที่พิจารณา เพื่อประเมินและสรุปผลการทดลอง

## 1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.3.1 เพื่อศึกษาวิธีการหาค่าการนำความร้อนของพีช

1.3.2 เพื่อศึกษาการนำค่าการนำความร้อนของพีชไปใช้ในการประเมินประสิทธิภาพการลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทราบถึงแนวทางการหาค่าการนำความร้อนของพีช

1.4.2 ทราบถึงแนวทางการนำค่าการนำความร้อนของพีชมาประยุกต์ใช้ ประกอบการพิจารณาสำหรับการประเมินประสิทธิภาพการลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร

1.4.3 แนวทางและข้อมูลที่ได้จากการทดลอง สามารถนำไปพัฒนาหรือปรับปรุง และประยุกต์ใช้ในการประหยัดพลังงานแก่อาคาร, การจัดการด้านสิ่งแวดล้อมในเรื่องปรับปรุงคุณภาพอากาศ และกินพื้นที่สีเขียวให้แก่สภาพแวดล้อมในเมืองได้ในอนาคต

## บทที่ 2

### การตรวจเอกสาร

#### 2.1 ข้อมูลเกี่ยวกับภูมิอากาศและที่ตั้งอาคาร

ภูมิอากาศโดยทั่วไปแบ่งออกตามสภาพอากาศได้หลายองค์ประกอบด้วยกัน ซึ่งมีส่วนที่เกี่ยวข้องดังนี้

##### 2.1.1 รังสีดวงอาทิตย์ (Solar radiation)

ดวงอาทิตย์อยู่ห่างจากโลกเป็นระยะทาง 150 ล้านตารางกิโลเมตร แต่สามารถส่งพลังงานลงมายังพื้นโลกได้ 420 บีทียู/ตารางฟุต/ชั่วโมง (Olgyay, 1967) แม้ว่าพลังงานจะไม่สามารถส่งลงมาถึงพื้นผิวโลกได้ทั้งหมดเพราะการสูญเสียระหว่างการเดินทางและจากการสะท้อนในบรรยากาศก็ตาม แต่พลังงานที่ส่งมายังผิวโลกก็จะมีอยู่มาก ซึ่งปริมาณรังสีจากดวงอาทิตย์ที่พื้นผิวโลกได้รับจะมากหรือน้อยต่างกัน ในแต่ละแห่ง ในแต่ละเวลานั้น ขึ้นอยู่กับระยะทางของความใกล้และไกลจากผิวโลกถึงดวงอาทิตย์ สภาพความแจ่มใสของท้องฟ้า มุมของแสงอาทิตย์ที่ตกลงยังผิวโลก ระยะเวลาที่แสงแดดตกลงบนผิวโลก รวมถึงกำลังของพลังงานจากดวงอาทิตย์ที่ส่งลงมา (Critchfield, 1979)

สำหรับปริมาณรังสีของดวงอาทิตย์ที่เกิดขึ้นบริเวณภายนอกและภายในอาคาร จะขึ้นอยู่กับสภาพพื้นที่, ความร่มรื่นของต้นไม้ใบหญ้าที่บริเวณอาคารและบริเวณใกล้เคียง, ขนาดรูปร่างลักษณะอาคาร และตำแหน่งอาคารใกล้เคียงโดยรอบ ซึ่งสิ่งต่างๆ ดังกล่าวจะช่วยให้ร่มเงากับอาคาร ทำให้ลดปริมาณรังสีความร้อนลงได้ โดยต้นไม้จะแตกต่างกับสิ่งก่อสร้างในการบดบังแสงจากดวงอาทิตย์เพราะจะเป็นตัวกรองรังสีตกกระทบบางส่วนไว้และไม่แผ่กระจายรังสีความร้อนออกมา ส่วนอาคารข้างเคียงจะบดบังรังสีตกกระทบไว้ได้เต็มที่ แต่จะดูดซับรังสีความร้อนไว้และแผ่รังสีความร้อนออกมาในบริเวณที่ตั้งอาคารด้วย

##### 2.1.2 อุณหภูมิของอากาศ (Air temperature)

ผลที่ทำให้สภาพภูมิอากาศของโลกอบอุ่นนั้นมาจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ โดยอุณหภูมิที่ตั้งของอาคาร โดยรอบๆ จะขึ้นอยู่กับลักษณะ ลม ฟ้า อากาศ ซึ่งปัจจัยพื้นฐานในการศึกษาสภาพอากาศ (Weather) คืออุณหภูมิอากาศที่แปรเปลี่ยนไปในแต่ละช่วงเวลา เช่น ปี ฤดูกาล เดือน วัน และแม้กระทั่งรายชั่วโมง ดังนั้นค่าอุณหภูมิเฉลี่ยในแต่ละวัน (Daily mean temperature) จึงใช้ค่าอุณหภูมิสูงสุดและอุณหภูมิต่ำสุดนำมารวมกันแล้วหารสอง

ส่วนอุณหภูมิเฉลี่ยของเดือน (Monthly mean temperature) จะใช้ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของแต่ละวันรวมกันแล้วหารด้วยจำนวนวัน ส่วนอุณหภูมิเฉลี่ยของปี (Yearly mean temperature) จะใช้ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของแต่ละเดือนรวมกันแล้วหารด้วยสิบสอง

โดยสิ่งที่เป็นสาเหตุสำคัญที่สุดในการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในรอบวันก็คือ การหมุนรอบตัวเองของโลก ทำให้มุมที่แสงอาทิตย์ตกกระทบพื้นผิวโลกเปลี่ยนแปลงไป ทั้งนี้ ในช่วงเวลาที่เที่ยงวันดวงอาทิตย์จะอยู่สูงเหนือขอบฟ้ามากที่สุด แสงอาทิตย์จะตกกระทบพื้นผิวโลกเป็นมุมฉาก ลำแสงจึงมีความเข้มข้นสูงในช่วงเวลาเช้าและเมื่อเข้าสู่ช่วงเวลาเย็นดวงอาทิตย์จะเคลื่อนที่ อยู่ในตำแหน่งด้านข้าง แสงก็จะตกกระทบพื้นโลกเป็นมุมเฉียง ลำแสงครอบคลุมพื้นที่ได้กว้าง ความเข้มของแสงจึงมีน้อยกว่า อีกประการหนึ่งในช่วงเวลาเที่ยง ลำแสงส่องผ่านบรรยากาศเป็นระยะทางไม่มาก แต่ในช่วงเวลาเช้าและเย็น ลำแสงอาทิตย์ทำมุมลาด ต้องเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศเป็นระยะทางไกล ความเข้มของแสงจึงถูกบรรยากาศกรองให้ลดน้อยลง ส่งผลให้อุณหภูมิลดต่ำลงไปอีกด้วย

ในการวัดอุณหภูมิของอากาศ จะใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า “เทอร์มอมิเตอร์” (Thermometer) ซึ่งเทอร์มอมิเตอร์ที่ใช้ในการศึกษาสภาพอากาศ คือ “เทอร์มอมิเตอร์ชนิดสูงสุดถึงต่ำสุด” (Max-min thermometer) ซึ่งสามารถวัดค่าอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดในรอบวันได้ จากการศึกษากราฟอุณหภูมิในรอบวัน พบว่า อุณหภูมิสูงสุดมักเกิดขึ้นตอนบ่าย เนื่องจากพื้นดินและบรรยากาศต้องการอาศัยเวลาในดูดกลืนและคายความร้อน (จรัส บุญยธรรมา, 2545) สภาพที่ตั้งอาคารมีผลกับอุณหภูมิมาก ในกรณีถ้าบริเวณที่ตั้งอาคาร มีลมอ่อน เช่น ความร้อนจากในดินจะแผ่ออกมาสู่อากาศ แต่ถ้ากรณีมีลมพัดแรง อุณหภูมิของอากาศจะขึ้นกับสภาพที่ตั้งน้อยลง สภาพพื้นดินในบริเวณที่ตั้งอาคารจะร้อนขึ้นเพราะได้รับรังสีจากดวงอาทิตย์ทั้งรังสีตรงและรังสีกระจาย ส่วนหนึ่งของความร้อนจะสะท้อนออกไป ส่วนหนึ่งพื้นดินจะดูดกลืนไว้ แต่ลมจะช่วยพัดพาเอาความร้อนบริเวณผิวดินออกไป รวมทั้งการระเหยจากความชื้นในดินและต้นไม้ในบริเวณที่ตั้งจะลดอุณหภูมิของอากาศใกล้เคียงบริเวณผิวดินได้

อุณหภูมิอากาศขึ้นอยู่กับภูมิสถาปัตยกรรม พืชพันธุ์ไม้และธรรมชาติใกล้เคียง ทิศทางความลาดเอียงของพื้นดิน เมื่อพื้นผิวดินมีสีเข้มหรือผิวแห้งแข็ง (Dry surfaces, Hard surfaces) ผิวที่แห้งจะดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์ไว้สูงมากและสูญเสียความร้อนด้วยการระเหยของน้ำได้น้อย ทำให้ผิวพื้นมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิในอากาศ ดังนั้นแล้วการปกคลุมผิวดินด้วยต้นไม้รวมทั้งการใช้ผิวสีอ่อนและนำหลักการระเหยของน้ำมาช่วยก็จะสามารถลดอุณหภูมิลงได้

### 2.1.3 ความชื้นและฝน (Humidity and precipitation)

ความชื้นคือ ละอองไอน้ำในอากาศ สามารถกล่าวได้หลายทาง แต่ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบในที่นี้ คือความชื้นสัมพัทธ์และจุดที่กลั่นตัวเป็นหยดน้ำ ความชื้นสัมพัทธ์สามารถวัดได้จากอัตราส่วนของจำนวนไอน้ำในอากาศกับจำนวนของไอน้ำสูงสุดที่อากาศในอุณหภูมินั้นสามารถอุ้มอยู่ได้ โดยความชื้นสัมพัทธ์ที่ 0 เปอร์เซ็นต์ หมายถึงอากาศจะมีความแห้งสนิท ถ้าความชื้นสัมพัทธ์ 100 เปอร์เซ็นต์ นั้นหมายถึงอากาศอยู่ที่จุดอิ่มตัว นั่นคือ ณ อุณหภูมินั้นๆอากาศ จะไม่สามารถอุ้มไอน้ำอีกต่อไปได้ จึงกลั่นตัวเป็นฝน หมอก หรือน้ำค้าง

ความชื้นสัมพัทธ์จะแตกต่างกันไปในแต่ละเวลาและสถานที่ โดยความชื้นสัมพัทธ์จะมีค่าที่สูงในเวลาใกล้รุ่งเพราะอุณหภูมิต่ำในชั้นบรรยากาศจะลดลงต่ำสุด และความชื้นสัมพัทธ์จะลดต่ำเมื่ออุณหภูมิมีแนวโน้มที่สูงขึ้น และหากว่ามีความชื้นสัมพัทธ์สูงและอุณหภูมิต่ำด้วยจะทำให้ร่างกายมนุษย์รู้สึกไม่สบาย อึดอัด เหนื่อยตัว การแก้ปัญหาดังกล่าวด้วยเครื่องปรับอากาศอย่างเดียวจะทำให้สิ้นเปลืองพลังงานเป็นอย่างมาก

องค์ประกอบสำคัญอย่างหนึ่งในการศึกษาเกี่ยวกับความชื้นในอากาศ คือ ลักษณะที่สำคัญของไอน้ำ นั่นก็คือปริมาณที่ไม่คงที่และจะผันแปร ไปตั้งแต่เกือบ 0 เปอร์เซ็นต์ ไปจนถึงค่าสูงสุดคือประมาณ 3 เปอร์เซ็นต์ (สุภาภรณ์ ศิริโสภณา และคณะ, 2552) โดยในแถบเขตร้อน การผันแปรของปริมาณไอน้ำในบรรยากาศขึ้นอยู่กับเวลาและสถานที่ ความชื้นในบรรยากาศเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งในการบ่งชี้ถึงอัตราการระเหยน้ำ ซึ่งกระบวนการระเหยน้ำนี้จะมีอิทธิพลต่อการดำรงชีพของพืชและสัตว์ รวมทั้งมนุษย์เป็นอย่างมาก

### 2.1.4 การเคลื่อนไหวของอากาศหรือลม (Air movement or wind)

การเคลื่อนไหวของอากาศ ที่เกิดจากความแตกต่างของความกดอากาศและความแตกต่างของอุณหภูมิ เรียกว่า ลม ซึ่งลมหรืออากาศจะเคลื่อนที่ที่ต่อเมื่ออากาศที่มีอุณหภูมิสูงลอยตัวขึ้นแล้วอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าไหลเข้าไปแทนที่ เช่นเดียวกับอากาศที่มีความกดสูง จะไหลไปหาอากาศที่มีความกดอากาศต่ำที่มีน้ำหนักเบาว่า ทั้งนี้ในบริเวณที่มีความสูง ความหนาแน่นของอากาศจะลดลง ทำให้กระแสลมมีความแรงเพิ่มขึ้นตามลำดับ (Barry, 1978) ตามหลักการของการวางอาคารให้ตั้งฉากทิศทางลมจะทำให้ได้รับลมเต็มที่ แต่ลมประจำถิ่นของไทยมาทางเดียวกับแดดคือทางทิศใต้ การหลีกเลี่ยงแสงแดด โดยเฉพาะแดดตอนบ่าย อาจวางอาคารทำมุมกับทิศทางลมได้ถึง 45 องศา

### 2.1.5 การระเหย (Evaporation)

เป็นกระบวนการที่น้ำในสถานะที่เป็นของเหลว แปรเปลี่ยนสภาพกลายเป็นไอน้ำหรือก๊าซ เรียกว่า การระเหย (Evaporation) กระบวนการระเหยน้ำเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อ มีพลังงานถ่ายเทเข้าสู่พื้นผิวและความดันไอน้ำในอากาศจะต้องอยู่ต่ำกว่าค่าที่อิ่มตัว ( $e_s$ ) การที่น้ำเปลี่ยนสถานะจากของเหลวไปเป็นไอน้ำนั้น จำเป็นต้องการพลังงานที่มากพอ เพื่อเอาชนะแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของน้ำ ซึ่งพลังงานจำนวนนี้โดยทั่ว ๆ ไปจะได้รับจากความร้อนจากบริเวณรอบ ๆ ซึ่งเป็นสาเหตุให้อากาศรอบ ๆ นั้นสูญเสียความร้อน (ความร้อนแฝง) และทำให้อุณหภูมิลดลงที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส ซึ่งความร้อนแฝงของการระเหยของน้ำที่ต้องการให้น้ำ 1 กรัมระเหยกลายเป็นไอจะมีค่าเท่ากับ 600 แคลอรี และในทางกลับกันกระบวนการกลั่นตัวของน้ำทำให้เกิดการปลดปล่อยความร้อนออกสู่อากาศรอบ ๆ จึงทำให้อุณหภูมิอากาศสูงขึ้น ทั้งนี้อัตราการระเหยน้ำจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างด้วยกัน ที่สำคัญจะมีอยู่สองปัจจัยคือ ความแตกต่างระหว่างความดันไอน้ำอิ่มตัวที่พื้นผิวระเหย (เช่น ผิวหน้า) กับความดันไอน้ำในอากาศและพลังงานที่ถ่ายเทมาสู่พื้นผิวระเหย (สุภาภรณ์ ศิริโสภณา และคณะ, 2552)

นอกจากนี้ ความเร็วลมก็เป็นตัวการสำคัญในการเพิ่มอัตราการระเหย เพราะวาลมเป็นตัวพัดพาเอาอากาศที่ยังไม่อิ่มตัวเข้ามาแทนที่ ในขณะที่เดียวกันก็พัดเอาอากาศที่อิ่มตัวออกไปจากพื้นผิว โดยไอน้ำที่ระเหยเข้าสู่บรรยากาศส่วนใหญ่จะมาจากแหล่งน้ำในทะเล มหาสมุทร และมีเพียงส่วนน้อยเท่านั้นที่มาจากพื้นดินเช่น แม่น้ำ ลำธาร หรือจากพืชพรรณ (Transpiration) ซึ่งทั้งนี้อัตราการระเหยน้ำโดยเฉลี่ยทั้งโลกจะลดลงอย่างเห็นได้ชัด ตามละติจูดที่อยู่สูงขึ้นไป อัตราการระเหยน้ำจะสูงในบริเวณทะเลและมหาสมุทรของเขตร้อน ทั้งนี้ก็เพราะว่า น้ำมีปริมาณไม่จำกัดและพลังงานสุริยะก็มีรังสีมากพอ

### 2.1.6 ที่ตั้งอาคาร (Site)

การพิจารณาถึงสภาพแวดล้อมของที่ตั้งอาคาร มีความสำคัญในการปรับสภาพความเย็นภายในอาคารเป็นอย่างมาก โดยสภาพภูมิอากาศบริเวณอาคาร (Micro climate) และลักษณะที่ตั่งอาคารจะส่งผลโดยตรงต่อการวางแผนผังอาคารและกลุ่มอาคาร ส่วนภูมิประเทศและพืชพันธุ์รอบอาคารก็จะส่งผลกระทบต่อโดยตรงกับความสบายแบบธรรมชาติภายในอาคาร ทั้งการเพิ่มและลดความร้อนให้กับอากาศในบริเวณส่วนประกอบของที่ตั้ง (Site element) ที่เป็นส่วนช่วยปรับแต่งสภาวะแวดล้อมบริเวณอาคารที่เกี่ยวข้องกับความร้อน-เย็น (Thermal environment) ส่วนต้นไม้และพืชพันธุ์ต่างๆจะช่วยเปลี่ยนพลังงานความร้อนจากแสงแดดเป็นไอน้ำและก๊าซอื่น ๆ การหายใจพร้อมกับการคายความชื้นให้อากาศของต้นไม้ มีผลทำให้อากาศเย็นลง กลุ่มพืชที่หนาแน่นสามารถทำให้อุณหภูมิของอากาศในร่มลดต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศทั่วไป ใบที่หนาแน่นของต้นไม้จะ

ช่วยบังแดดให้อาคารและบริเวณอาคารได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ต้นไม้ยังช่วยปรับทิศทาง การเคลื่อนไหวของลมได้อีกด้วย ในบริเวณที่โล่ง ลักษณะไม้ที่ไม่ทิ้งใบสามารถเป็นแนวปะทะลมที่ดี ได้ และในที่อากาศหนาวเย็นต้นไม้ผลัดใบเป็นสิ่งที่ช่วยเพิ่มความแรงของแสงแดดในฤดูหนาว นอกจากนี้ ต้นไม้ยังช่วยในการกรองฝุ่นและจับเสียง สีของดอกไม้และใบไม้จะให้ความรู้สึกที่สดชื่นร่มเย็น

## 2.2 การถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร

แหล่งกำเนิดความร้อนจากภายนอกอาคารที่สำคัญที่สุดคือ ดวงอาทิตย์ ซึ่งถ่ายเทพลังงานความร้อนมายังโลกโดยการแผ่รังสี (Radiation) โดยรังสีจากดวงอาทิตย์ที่ผ่านชั้นบรรยากาศลงมายังผิวโลก แบ่งเป็นส่วนต่างๆ ได้แก่ รังสีตรง (Direct radiation) เป็นรังสีดวงอาทิตย์ (Solar radiation) คลื่นสั้น โดยมีช่วงความยาวคลื่นประมาณ 0.3 – 4 ไมครอน (Micron) ซึ่งเคลื่อนที่ผ่านชั้นบรรยากาศพุ่งตรงมายังพื้นผิวโลก ส่วนใหญ่เป็นแสงสว่าง รังสีกระจาย (Diffuse radiation) เป็นรังสีคลื่นสั้นที่ถูกกระเจิง (Scatter) โดยโมเลกุลของอากาศ ไอน้ำ และฝุ่นละอองในบรรยากาศ มีทิศทางที่ไม่แน่นอน ผลรวมของรังสีตรงและรังสีกระจาย เรียกกันโดยทั่วไปว่า รังสีรวม (Global radiation) เมื่อรังสีของดวงอาทิตย์ตกกระทบกับวัตถุต่างๆบนพื้นผิวโลกก็จะทำให้วัตถุเหล่านั้นมีอุณหภูมิที่สูงขึ้นและแผ่รังสีออกมาในรูปของรังสีความร้อน หรือ รังสีอินฟราเรด (Infrared) ซึ่งเป็นรังสีคลื่นยาว โดยมีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 4 – 50 ไมครอน(ตรีงใจ บูรณสมภพ, 2539)

ในช่วงเวลากลางวันเมื่อรังสีดวงอาทิตย์นอกชั้นบรรยากาศโลก (Extraterrestrial solar radiation) ตกมากระทบกับบรรยากาศของโลก ส่วนหนึ่งจะถูกสะท้อนกลับออกไปนอกบรรยากาศโลกโดยเมฆหมอก ส่วนที่เหลือจะเคลื่อนที่เข้ามาในชั้นบรรยากาศและบางส่วนจะถูกกระเจิง (Scatter) และดูดกลืน (Absorption) โดยโมเลกุลของอากาศ น้ำ และฝุ่นละออง สำหรับส่วนที่มาถึงพื้นผิวโลก บ้างก็ถูกผิวโลกสะท้อนกลับขึ้นไป บ้างก็ถูกพื้นผิวโลกดูดกลืน เหล่านี้จะทำให้พื้นผิวโลกมีอุณหภูมิสูงขึ้น และจะถ่ายเทความร้อนให้กับสิ่งแวดล้อมโดยการพาและการแผ่รังสี และก็ยังคงมีบางส่วนถ่ายเทความร้อนลงสู่ใต้พื้นผิวโลกโดยการนำ นอกจากนี้แล้วความร้อนที่ยังหลงเหลืออยู่จะถูกใช้ในการระเหยน้ำที่พื้นผิวโลกด้วย

ในช่วงเวลากลางคืน ความร้อนจากพื้นผิวโลกจะถ่ายเทสู่ท้องฟ้า โดยการแผ่รังสี และการถ่ายเทความร้อนให้กับอากาศแวดล้อมโดยรอบ โดยการพาความร้อน ส่วนความร้อนจากใต้พื้นผิวจะถ่ายเทขึ้นมายังผิวโลกโดยการนำความร้อน ซึ่งความร้อนบางส่วนจะถูกใช้ไปในการระเหยน้ำ ความร้อนที่สูญเสียไปนี้จะทำให้อุณหภูมิจากพื้นผิวโลกลดลง เกิดการกลั่นตัวของไอน้ำในบรรยากาศและเกิดเป็นน้ำค้าง หากพิจารณาถึงความร้อนที่เกี่ยวข้องในกระบวนการออกแบบอาคาร

โดยวิธีธรรมชาติจะมีได้ 3 แบบ คือ การนำ (Conduction) การพา (Convection) และการแผ่รังสี (Radiation)

### 2.2.1 การถ่ายเทความร้อนโดยการนำ (Heat transfer by conduction)

เป็นการถ่ายเทความร้อนจากโมเลกุลสู่โมเลกุล หรือการถ่ายเทความร้อนที่ผ่านตัวกลางหรือมวลของวัตถุ เช่น การถ่ายเทความร้อนที่ผ่านผนังหรือกำแพง เป็นต้น โดยปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านวัสดุจะขึ้นอยู่กับสภาพการนำความร้อน (Thermal conductivity) ของวัสดุ โดยวัสดุที่นำความร้อนได้ดีจะมีค่าสภาพการนำความร้อนสูง เช่น โลหะ, หิน และคอนกรีต เป็นต้น วัสดุที่ช่วยลดการนำความร้อนต้องมีสภาพการนำความร้อนที่ต่ำ เช่น ใยแก้ว และฉนวนความร้อน เป็นต้น นอกจากนี้การนำความร้อนยังขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของวัสดุ ความชื้นของวัสดุ และความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างผิวทั้ง 2 ด้านของวัสดุที่ความร้อนถ่ายเทด้วย

สมการที่ใช้คำนวณเกี่ยวกับการนำความร้อน (The equation of heat conduction) มีอยู่หลายวิธีซึ่งจะขึ้นอยู่กับลักษณะการเคลื่อนที่ของโมเลกุล (นักสิทธิ์ คูวัฒนาชัย, 2526) เช่น

#### 1) สมการของฟูเรียร์ (Fourier rate equation)

สมการนี้ตั้งอยู่บนแนวคิดที่ว่า อัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการนำ แปรผันตรงกับค่าการนำความร้อน พื้นที่ตั้งฉากกับการไหลและอัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิกับระยะทาง (Temperature gradient) ในกรณีที่ค่าการนำความร้อนมีค่าคงที่ (ไม่เปลี่ยนแปลงกับอุณหภูมิ) เขียนได้ดังนี้

$$Q_x = -kA (dT / dx) \quad (2.1)$$

โดยที่  $Q_x$  คืออัตราการเคลื่อนที่ของความร้อนในทิศทางของ x

k คือค่าการนำความร้อน

A คือพื้นที่ที่ความร้อนเคลื่อนที่ผ่านและตั้งฉากกับทิศทางของ x

$dT/dx$  คือการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิกับระยะทาง

เครื่องหมายลบ (-) แสดงว่า ความร้อนจะเคลื่อนที่ไปทิศทางที่อุณหภูมิลดลงเสมอ สมการของโฟริเออร์อาจเขียนให้อยู่ในรูปของอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ได้ดังนี้คือ

$$q_x = Q_x / A = -kA (dT / dx) \quad (2.2)$$

สมการ  $Q_x = -kA (dT / dx)$  แสดงว่าความร้อนเคลื่อนที่ในทิศทางของ x โดยที่อุณหภูมิเปลี่ยนแปลงในทิศทาง x เท่านั้น ซึ่งโดยทั่วไปแล้วอุณหภูมิจะมีการเปลี่ยนแปลงทั้งสามทิศทาง คือ เปลี่ยนแปลงในทิศทาง x, y และ z ดังนั้นการเคลื่อนที่ของความร้อนจึงเกิดขึ้นได้ทั้งสามทิศทางในกรณีปกติ ซึ่งการหาอัตราการถ่ายเทความร้อน โดยการนำความร้อนในทิศทางเหล่านี้ เราอาจสมมติได้ว่า ตัวกลางที่ความร้อนเคลื่อนที่ผ่าน มีการนำความร้อน (k) คงที่



จุดมุ่งหมายสำคัญในการวิเคราะห์เกี่ยวกับการนำความร้อนคือ การหาอุณหภูมิที่จุดต่างๆในวัตถุ หรือการกระจายของอุณหภูมิของวัตถุ เมื่อเรารู้ค่าอุณหภูมิผิวด้านนอกของวัตถุแล้วก็จะสามารถหาค่าของอัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อนที่ตำแหน่งใดๆได้

2) สมการการนำความร้อนแบบสภาวะสม่ำเสมอและไม่สม่ำเสมอ (Steady state and unsteady state)

2.1) สภาวะสม่ำเสมอ หมายความว่า อุณหภูมิที่จุดๆหนึ่งในวัตถุไม่เปลี่ยนแปลงกับเวลา ซึ่งอาจจะเขียนให้อยู่ในรูปของสมการได้ว่า  $\frac{At}{At} = 0$  โดยสภาวะสม่ำเสมอจะเกิดขึ้นในกรณีที่วัตถุได้รับการถ่ายเทความร้อนมาเป็นระยะเวลาที่นานพอสมควร จนอุณหภูมิในวัตถุนั้นๆไม่มีการเปลี่ยนแปลง ไม่ว่าจะมีการถ่ายเทความร้อนไปอีกนานเท่าใด ซึ่งมีความหมายว่าอุณหภูมิที่จุดหนึ่งจุดใดในตัวกลางที่ความร้อนเคลื่อนที่ผ่านไม่เปลี่ยนแปลงกับเวลา เมื่อพิจารณาก็จะเห็นว่า หากเกิดสภาวะสม่ำเสมอแล้ว อัตราการเคลื่อนที่ของความร้อนที่จุดใดๆในทิศทางของการเคลื่อนที่จะมีค่าเท่ากัน นั่นก็คือ ถ้าความร้อนเคลื่อนที่ในทิศทางของ  $x$  อัตราการเคลื่อนที่ของความร้อนจะไม่เปลี่ยนแปลงกับ  $x$  ปรากฏการณ์นี้จะอธิบายได้ โดยพิจารณาปริมาตรควบคุม (Control volume) ที่บางมาก ที่มีพื้นที่หน้าตัดเท่ากับพื้นที่หน้าตัดที่ความร้อนเคลื่อนที่ผ่าน สมมติว่าจุดที่พิจารณาอยู่ในปริมาตรควบคุมนี้ หากจุดๆนี้มีอุณหภูมิต่ำก็ หมายความว่า ปริมาตรควบคุมไม่ได้รับความร้อนเพิ่มขึ้น นั่นก็คือ ความร้อนที่เคลื่อนที่เข้าปริมาตรควบคุมจะเท่ากับความร้อนที่ออกจากปริมาตรควบคุม หากพิจารณาอย่างเดียวกันนี้กับปริมาตรควบคุมอื่นที่วางเรียงต่อเนื่องกันในทิศทางของ  $x$  ก็จะสรุปได้ว่าอัตราการถ่ายเทความร้อนนี้ไม่เปลี่ยนแปลงกับ  $x$  ใดๆเลย

2.2) สภาวะไม่สม่ำเสมอ หมายความว่า อุณหภูมิที่จุดๆหนึ่งในวัตถุยังเปลี่ยนแปลงอยู่ เมื่อเวลาเปลี่ยนไป หรืออาจเขียนในรูปสมการได้ว่า  $\frac{AT}{at}$  ไม่เท่ากับ 0 ซึ่งสภาวะไม่สม่ำเสมอเกิดเมื่อตอนที่เราริเริ่มถ่ายเทความร้อนให้แก่วัตถุ อุณหภูมิของวัตถุจะยังไม่คงที่ และยังคงมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อเวลาเปลี่ยนไป

ทั้งนี้แล้วการนำความร้อนที่เกิดขึ้นในงานทางวิศวกรรมส่วนใหญ่จะเป็นการนำความร้อนแบบมีติดเดียวในสถานะสม่ำเสมอ ซึ่งหลักการในข้างต้นนี้เองจะนำมาใช้พิจารณาในการคำนวณเกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อนดังนี้

- หากเป็นการนำความร้อนผ่านผนังราบแบบผนังชั้นเดียว ซึ่งเป็นกรณีที่พบบ่อยมากในการเคลื่อนที่ของความร้อนผ่านผนังตึกหรืออาคาร โดยทั่วไป เนื่องจากอุณหภูมิทั้งภายนอกและภายในมีค่าเกือบคงที่ เราจะพิจารณาการเคลื่อนที่ของ  $x$  หรืออาจกล่าวได้ว่า อุณหภูมิเปลี่ยนแปลงเฉพาะในทิศทาง  $x$  เท่านั้น อุณหภูมิมีค่าคงที่ในทิศทาง  $y$  และ  $z$  และในผนังก็ไม่มีแหล่งพลังงานอย่างอื่น ซึ่งจากเงื่อนไขดังกล่าวและจากสถานะสม่ำเสมอ(Steady State) สามารถเขียนเป็นสมการได้

$$Q = (kA/l) (T_1 - T_2) \quad (2.3)$$

- หากเป็นการนำความร้อนผ่านผนังราบแบบผนังหลายชั้น เขียนเป็นสมการได้

สำหรับผนังชั้นแรก  $Q_1 = (k_1 A / L_1) / (T_1 - T_2)$

สำหรับผนังชั้นที่สอง  $Q_2 = (k_2 A / L_2) / (T_2 - T_3)$

สำหรับผนังชั้นที่สาม  $Q_3 = (k_3 A / L_3) / (T_3 - T_4)$

เนื่องจากสถานะสม่ำเสมอ ความร้อนจำนวนเดียวกันเคลื่อนที่ผ่านผนังทั้งสามชั้นจึงได้ว่า

$$Q_1 = Q_2 = Q_3 \quad (2.4)$$

### 2.2.2 การถ่ายเทความร้อนโดยการพา (Heat transfer by convection)

เป็นการถ่ายเทความร้อนโดยอาศัยการเคลื่อนตัวของอากาศเป็นตัวกลาง เช่น กรณีภายในอาคาร ความร้อนจะผ่านผนังเข้ามาโดยการนำความร้อน (Conduction) จากนั้นผิวของผนังอาคารด้านในจะมีอุณหภูมิที่สูงและร้อนขึ้น อากาศที่ร้อนจะมีความหนาแน่นต่ำ มีน้ำหนักเบา ก็จะลอยตัวสูงขึ้น อากาศภายในห้องที่อุณหภูมิต่ำกว่าจะหมุนเวียนไปแทนที่ เกิดการถ่ายเทความร้อนแบบการพา

### 2.2.3 การถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสี (Heat transfer by radiation)

เป็นการแผ่ความร้อนโดยผ่านอากาศหรือสุญญากาศ ในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic waves) เช่น ความร้อนจากดวงอาทิตย์ถ่ายเทผ่านสุญญากาศมายังโลก เป็นต้น อาคารต่างๆ จะได้รับความร้อนโดยการแผ่รังสี ทั้งจากรังสีตรงและรังสีกระจาย ซึ่งเป็นรังสีคลื่นสั้นจากดวงอาทิตย์ และจากรังสีความร้อนคลื่นยาวที่แผ่ออกมาจากวัตถุ หรืออาคารอื่น โดยรอบ เมื่อรังสีดวงอาทิตย์ (Solar radiation) กระทบผิววัตถุที่บดแสง บางส่วนจะถูกดูดกลืนและบางส่วนจะสะท้อนออกมา ส่วนที่ถูกดูดกลืนจะทำให้วัตถุมีอุณหภูมิที่สูงขึ้น และจะถ่ายเทความร้อนให้กับสิ่งแวดล้อมโดยการแผ่รังสี การพาความร้อน และการถ่ายเทเข้าไปภายในตัวของมันเองโดยการนำความร้อน

และการดูดกลืนรังสีของวัสดุต่างๆ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของผิววัสดุในการดูดกลืนรังสี หรือเรียกกันทั่วไปว่า สภาพการกลืน (Absorptivity) ซึ่งมีค่าระหว่าง 0 - 1 วัสดุที่ดูดกลืนรังสีที่ตกกระทบผิวได้ทั้งหมด จะมีสภาพดูดกลืนเท่ากับ 1 วัสดุโดยทั่วไปจะไม่สามารถดูดกลืนรังสีที่ตกกระทบได้ทั้งหมด แต่ก็จะมีบางส่วนที่สะท้อนออกไปเรียกว่าสภาพสะท้อน(Reflectivity)ซึ่งวัสดุที่สะท้อนรังสีตกกระทบได้ทั้งหมดจะมีค่าสภาพสะท้อนเท่ากับ 1 วัสดุ ทั้งนี้ทั่วไปแล้วจะมีการแผ่รังสีในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยมีสเปกตรัม (Spectrum) และความเข้มของรังสี ที่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิเป็นองค์ประกอบ ส่วนความสามารถในการแผ่รังสีของวัสดุ จะบอกในรูปของสภาพการเปล่งรังสี (Emissivity) ซึ่งค่าของสภาพการเปล่งรังสีของวัตถุธรรมดาจะเทียบกับสภาพการเปล่งรังสีของวัตถุดำ (Black body) ซึ่งสามารถดูดกลืนรังสีที่ตกกระทบได้ทั้งหมด และจะแผ่รังสีออกมาที่ความยาวคลื่นต่างๆ ตามอุณหภูมิ โดยจะกำหนดให้วัตถุดำมีสภาพการเปล่งรังสี เท่ากับ 1 หรือ 100 เปอร์เซ็นต์ วัตถุอย่างอื่นจะมีค่าสภาพการเปล่งรังสีน้อยกว่าของวัตถุดำที่อุณหภูมิเดียวกัน รังสีความร้อนที่ตกกระทบผิวหน้าวัตถุ บางส่วนจะถูกดูดกลืนและส่วนที่เหลือจะถูกสะท้อนออกมา ผลรวมของรังสีความร้อนที่ถูกดูดกลืนและรังสีที่ถูกสะท้อน จะเท่ากับรังสีความร้อนที่ตกกระทบผิวหน้าวัตถุนั้น ถ้าวัตถุมีการดูดกลืนรังสีความร้อนได้ดีก็จะแผ่รังสีความร้อนได้ดีด้วย โดยทั่วไปการแผ่รังสีของวัตถุจะแปรตามอุณหภูมิและสภาพการเปล่งรังสี (Emissivity) ของผิววัตถุนั้นๆ

## 2.3 การถ่ายเทความร้อนรวม

### 2.3.1 ความหมาย (กระทรวงพลังงาน, 2535)

OTTV (Overall thermal transfer value) คือค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง ด้านนอกอาคาร หรือส่วนของอาคารที่มีการปรับอากาศ

RTTV (Roof thermal transfer value) คือค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร

สำหรับค่าที่ใช้เป็นค่ามาตรฐานตามหลักเกณฑ์ของอาคารควบคุม โดยการอ้างอิงตามรายละเอียดข้อกำหนดในกฎกระทรวง พ.ศ.2535 ค่า OTTV สำหรับอาคารเก่า ไม่เกินกว่า 55 วัตต์ต่อตารางเมตร และ 45 วัตต์ต่อตารางเมตร สำหรับอาคารใหม่

โดยการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของอาคารจะประกอบด้วยค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร (OTTV) และค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (RTTV) โดยค่าการถ่ายเทความร้อนรวมเป็นค่าที่แสดงถึงปริมาณความร้อน ซึ่งเกิดจากอิทธิพลของบรรยากาศภายนอกและปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่ถ่ายเทเข้าสู่ภายในอาคาร หลักการในการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมนี้ อาศัยทฤษฎีพื้นฐานของการถ่ายเทความร้อน ซึ่ง

พิจารณาถึงความร้อนที่ผ่านกรอบอาคารเข้าสู่ภายในบริเวณอาคารนั้น ประกอบด้วยความร้อน 3 ส่วนคือ

- ความร้อนจากการนำความร้อนผ่านผนังทึบ
- ความร้อนจากการนำความร้อนผ่านกระจก
- ความร้อนจากการแผ่รังสีอาทิตย์ผ่านกระจก

ดังนั้นเมื่อนำความร้อนทั้ง 3 ส่วน มาเฉลี่ยค่าตามพื้นที่ก็จะได้ค่าการถ่ายเทความร้อนรวม

### 2.3.2 การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของอาคาร (สำนักกำกับการ

อนุรักษ์พลังงาน, 2543) โดยค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกแต่ละด้าน (OTTV<sub>i</sub>) สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$OTTV = [\sum(OTTV_i \times A_i)] / \sum A_i \quad (2.5)$$

และจากสมการที่ (2.5) สามารถเขียนอยู่ในรูปของอัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสงต่อพื้นที่ทั้งหมดของผนังด้านที่พิจารณา (WWR) ได้ดังนี้

$$OTTV_i = (U_w)(1-WWR)(TD_{eq}) + (U_f)(WWR)(\Delta T) + (WWR)(SHGC)(SC)(ESR) \quad (2.6)$$

ส่วนค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (RTTV) คำนวณได้จากสมการ

$$RTTV = (U_r)(1-RSR)(TD_{eq}) + (U_{rf})(RSR)(\Delta T) + (SC)(RSR)(SF) \quad (2.7)$$

โดยที่  $U_w$  = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ หน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตรองศาเซลเซียส ( $W/m^2 \text{ } ^\circ C$ )

WWR = อัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสง ต่อพื้นที่ทั้งหมดของผนังด้านที่พิจารณา

$TD_{eq}$  = ค่าผลต่างอุณหภูมิเทียบเท่าระหว่างภายนอกและภายในอาคาร ซึ่งรวมถึงผลการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของผนังทึบ หน่วยเป็นองศาเซลเซียส( $^\circ C$ )

$U_f$  = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของกระจก หน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตรองศาเซลเซียส( $W/m^2 \text{ } ^\circ C$ )

$\Delta T$  = ค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกอาคาร ( $^\circ C$ )

SC = สัมประสิทธิ์การบังแดดของหน้าต่าง

SF = ค่าตัวประกอบรังสีอาทิตย์ (Solar Factor) ที่ผ่านหน้าต่างโปร่งแสง

RSR = อัตราส่วนพื้นที่ของส่วน โปร่งแสงที่ช่องรับแสงบริเวณหลังคา ต่อพื้นที่ทั้งหมดของหลังคาส่วนที่พิจารณา

ESR = ปริมาณรังสีอาทิตย์ตกกระทบที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านผนัง  
ไปรุ่งแสง

### 2.3.3 ค่าสัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทความร้อน และช่วงเวลาหน่วงความร้อนไหล

#### ผ่าน (U and time lag values)

วัสดุที่มีค่าสัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทความร้อนต่ำจะเป็นฉนวนกันความร้อน โดยมากมักจะมึ้น้ำหนักเบา แต่วัสดุที่มีค่าของช่วงเวลาหน่วงความร้อนไหลผ่านจากผิวด้านนอกสู่ผิวด้านใน (Time lag) สูง จะเป็นวัสดุที่มีความหนาแน่นและมีน้ำหนักมาก ดังนั้นหากต้องการให้ความร้อนไหลผ่านเข้าอาคารได้ช้าจะต้องใช้ผนังหรือหลังคาที่มีความหนา แต่ต้องระวังความร้อนที่เก็บสะสมไว้ในวัสดุ ถ้าเลือกวัสดุที่มีมวลและความจุความร้อนสูง วัสดุก็จะเก็บความร้อนไว้ในช่วงเวลากลางวันในบริเวณพื้นที่ที่โดนแสงแดดและจะแผ่รังสีความร้อนอยู่ภายในอาคารในเวลากลางคืนที่อากาศเริ่มเย็นลง ทำให้อุณหภูมิในอาคารสูงกว่าภายนอกอาคาร จำเป็นต้องมีลมภายนอกอาคารและมีการระบายอากาศภายในอาคารที่เพียงพอ เพื่อพาความร้อนออกไปจากวัสดุและภายในห้อง (สำนักส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน, 2547) สามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$U_w = 1/R = 1/[(X_1/k_1) + (X_2/k_2) + (X_3/k_3)] \quad (2.8)$$

โดยที่  $U_w$  = ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนังทึบ ( $W/m^2\text{ }^\circ\text{C}$ )

$k$  = ค่าการนำความร้อนของฉนวนบางชนิด ( $W/m \text{ }^\circ\text{C}$ )

$X$  = ความหนาของวัสดุในชั้นที่  $n$  (m)

$R$  = ค่าการต้านทานความร้อน (Resistivity –  $m^2 \text{ }^\circ\text{C/Watt}$ )

#### 2.3.4 ค่าการต้านทานความร้อน (Resistivity)

หรือค่า R – value เป็นค่าที่บอกถึงอัตราส่วนระหว่างความหนาของวัสดุตามแนวที่ความร้อนไหลผ่านกับความสามารถในการนำความร้อนของวัสดุ กรณีที่วัสดุซ้อนทับกันหลายๆชั้น โดยที่ค่าการต้านทานความร้อนรวมจะเท่ากับผลบวกของค่าการต้านทานความร้อนของวัสดุที่กำหนดแต่ละชั้นรวมกัน และค่าการต้านทานความร้อนจะมีความสัมพันธ์กับค่าการนำความร้อนแบบเป็นส่วนกลับกัน กล่าวคือ ถ้าค่าการต้านทานความร้อนสูง วัสดุจะมีค่าการนำความร้อนต่ำ (สำนักส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน, 2547) โดยค่าการต้านทานความร้อนหรือค่า R – value สามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$R = 1/C = \Delta X / k \quad (2.9)$$

โดยที่  $R$  = ค่าการต้านทานความร้อน (Resistivity –  $m^2 \text{ }^\circ\text{C} / \text{Watt}$ )

$C$  = ค่าความจุความร้อน (Thermal capacity –  $W / m^2 \text{ }^\circ\text{C}$ )

$$\Delta X = \text{ความหนาของชั้นวัสดุที่นำมาพิจารณา}$$

$$K = \text{ค่าการนำความร้อน (Conductivity – W / m °C)}$$

### 2.3.5 ค่าการนำความร้อน (Conductivity)

หรือค่า k – Value สามารถบอกถึงความสามารถในการนำความร้อนของวัสดุเพียงชนิดเดียว โดยวัดค่าในรูปของอัตราปริมาณความร้อนไหลต่อหน่วยเวลา จากจุดระยะทางหนึ่งถึงอีกจุดหนึ่งที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันต่อหน่วยพื้นที่หน้าตัดที่ไหลผ่าน และหน่วยวัดอุณหภูมิเป็นวัตต์ต่อตารางเมตรองศาเซลเซียส (W / m °C) (สำนักส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน, 2547) ส่วนค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนรวมสามารถคำนวณย้อนกลับจากค่า k ในสมการ

$$U = 1 / [(1/h_0) + (x_1/k_1) + (x_2/k_2) + (x_3/k_3) + \dots + (x_n/k_n) + (1/h_1)] \quad (2.10)$$

เมื่อ  $U$  = ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนรวม (W / m<sup>2</sup> °C)

$h_0$  = ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของอากาศภายนอก (W / m<sup>2</sup> °C)

$h_1$  = ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของอากาศภายใน (W / m<sup>2</sup> °C)

$x_n$  = ความหนาของวัสดุในชั้นที่ n

$k_n$  = ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุในชั้นที่ n (W / m °C)

ตารางที่ 2-1 ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุก่อสร้างอาคาร

ลำดับ	วัสดุ	ค่าความหนาแน่น	ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน
1.	ลีโอเนียม	1,200	0.227
2.	กระเบื้องยางปูพื้น	1,900	0.573
3.	กระเบื้องเซรามิก	2,100	0.338
4.	โซลอสแลบ	900	0.382
5.	หินอ่อน	2,700	1.734
6.	หินแกรนิต	2,600	1.507
7.	หินทราย	2,400	0.721
8.	หินกาบ	2,600	0.290
9.	Superblock	600	0.567

ตารางที่ 2-1 ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุก่อสร้างอาคาร (ต่อ)

ลำดับ	วัสดุ	ค่าความหนาแน่น	ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน
10.	Finewall	800	0.519
11.	EIFS	400	0.082
12.	อิฐมอญ	1,600	0.473
13.	อิฐมอญฉาบปูน2ด้าน	1,700	1.069
14.	ปูนฉาบชนิดมวลเบา	1,200	0.326
15.	ทราย	1,600	0.210
16.	ไม้เนื้อแข็ง	800	0.217
17.	ไม้เนื้อแข็งปานกลาง	600	0.176
18.	ไม้เนื้ออ่อน	500	0.131
19.	ไม้อัด	900	0.213
20.	กระเบื้องซีเมนต์ใยหินแผ่นเรียบ	1,700	0.397
21.	เซโลกริตชนิดธรรมดา	500	0.106
22.	เซโลกริตชนิดโฟม	300	0.068
23.	ยิปซัมบอร์ด	800	0.282

ที่มา : คู่มือการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร, 2538

### 2.3.6 ความจุความร้อน (Thermal capacity)

ความจุความร้อนของสสารจะมีค่าเท่ากับผลคูณของมวลสารกับความจุความร้อนจำเพาะ ซึ่งความจุความร้อนของสสาร (Specific heat capacity) จะเป็นค่าที่บอกความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนและอุณหภูมิ เนื่องจากความจุความร้อนจำเพาะของสสารเป็นปริมาณพลังงานร้อนที่ทำให้สสารที่มีมวล 1 หน่วย มีอุณหภูมิที่สูงขึ้น 1 องศา โดยมีหน่วยเป็นกิโลแคลอรีองศาเซลเซียส (Cal/g °C) ค่าความจุความร้อนของวัสดุ จะไม่สามารถบอกโดยตรงว่าควรมีค่ามากหรือน้อยจึงจะดี เพราะถ้าความจุความร้อนมีค่าน้อย การส่งผ่านความร้อนเข้าสู่ภายในอาคารก็จะมีมาก และส่งผ่านความร้อนได้เร็วขึ้น ซึ่งจะเหมาะสมสำหรับพื้นที่ส่วนที่มีการใช้งานกลางคืน แต่ในทางกลับกัน การที่สามารถเก็บความร้อนไว้ในตัวเองได้มาก ความร้อนที่ถูกส่งผ่านต่อมายังในอาคารก็จะน้อยลงหรือส่งผ่านได้ช้าลง (Time lag) ซึ่งเหมาะกับบริเวณที่ใช้งานเฉพาะเวลากลางวัน

### 2.3.7 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวม (Thermal transfer)

เป็นค่าที่ใช้แสดงความร้อนทั้งหมดที่ผ่านเข้ามาภายในอาคาร อาจเรียกอีกอย่างว่าค่า Q สามารถคำนวณได้จากความสัมพันธ์ระหว่าง สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน, พื้นที่ทั้งหมดที่มีการรับแสงแดด และค่าอุณหภูมิเทียบเท่าระหว่างภายนอกและภายในอาคาร (สำนักส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน, 2547) ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$Q = U \times A \times \Delta T \text{ (W/ m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C)} \quad (2.11)$$

เมื่อ Q = ค่าการถ่ายเทความร้อนรวม (W)

U = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน

A = พื้นที่ทั้งหมดที่มีการรับแสงแดด (m<sup>2</sup>)

$\Delta T$  = ค่าความต่างอุณหภูมิระหว่างภายนอกและภายในอาคาร

### 2.3.8 ค่าผลต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TDeq)

ผลต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TDeq) คือผลต่างของอุณหภูมิระหว่างผนังภายนอกและภายในอาคารที่ก่อให้เกิดการถ่ายเทความร้อนผ่านผนัง ผลต่างของอุณหภูมินี้แปรผันตาม

- 1) สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของผนัง ( $\alpha$ )
- 2) มวลสารของวัสดุที่ใช้ทำผนัง (DSH)
- 3) ทิศทางและมุมเอียงของผนัง
- 4) ผลคูณของความหนาแน่น – ความร้อนจำเพาะ – ความหนาของผนัง

ตารางที่ 2-2 ค่าผลต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TDeq) ของผนังที่อาคารด้านทิศตะวันตก

ค่า Tdeq ของผนังทึบ สำหรับอาคาร			สำนักงานและสถานศึกษา			
มุมเอียงผนัง	ทิศทาง	DSH	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์			
			$\alpha$ 0.3	$\alpha$ 0.5	$\alpha$ 0.7	$\alpha$ 0.9
90 องศา	ทิศตะวันตก	15	12.3	16.7	21.1	25.5
90 องศา	ทิศตะวันตก	30	11.9	16.2	20.4	24.7
90 องศา	ทิศตะวันตก	50	11.3	15.5	19.6	23.7
90 องศา	ทิศตะวันตก	100	10.2	14.0	17.8	21.6
90 องศา	ทิศตะวันตก	200	8.7	12.1	15.5	18.9
90 องศา	ทิศตะวันตก	300	8.1	11.2	14.4	17.6
90 องศา	ทิศตะวันตก	400	7.9	11.0	14.1	17.2

ที่มา : คู่มือการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร, 2538



ตารางที่ 2-3 ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ ( $\alpha$ )

สีผิววัสดุ	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์
วัสดุที่มีผิวสะท้อนแสงและวัสดุที่มีผิวสีขาว	0.3
วัสดุที่มีผิวสีอ่อน	0.5
วัสดุที่มีผิวสีค่อนข้างเข้ม	0.7
วัสดุที่มีผิวสีเข้ม	0.9

ที่มา : คู่มือการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร, 2538

ตารางที่ 2-4 ค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายนอกและภายในอาคาร สำหรับผนังโปร่งแสง

ประเภทอาคาร	สำนักงาน/สถานศึกษา	โรงพยาบาล/โรงแรม	ห้างสรรพสินค้า
$\Delta T$ (°C)	5	3	5

ที่มา : คู่มือการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร, 2538

### 2.3.9 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (SHGC)

เป็นค่าที่แสดงถึงอัตราส่วนของรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านวัสดุโปร่งแสงหรือโปร่งใสของช่องแสงและก่อให้เกิดการถ่ายเทความร้อนเข้าไปภายในอาคาร ซึ่งค่า SHGC นี้จะเป็นผลรวมความร้อนจาก

- 1) รังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านกระจกหรือวัสดุโปร่งแสงโดยตรง
- 2) การถ่ายเทความร้อนที่เกิดจากรังสีอาทิตย์ที่ถูกดูดกลืนไว้ในตัวกระจกหรือวัสดุ

โปร่งแสงเข้ามายังภายในอาคาร

ตารางที่ 2-5 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (SHGC)

ความหนาของกระจก (มิลลิเมตร)	ชนิดของกระจก	Visible transmittance	SHGC
กระจกสองชั้นเคลือบผิว			
6	กระจกใสเคลือบโลหะสแตนเลส 20%	0.20	0.28
6	กระจกใสเคลือบไทเทเนียม 20%	0.20	0.27
6	กระจกใสเคลือบไทเทเนียม 30%	0.30	0.35
กระจกชั้นเดียว ไม่เคลือบผิว			
6	กระจกใส	0.88	0.60
6	กระจกสีบรอนซ์	0.54	0.41

ที่มา : คู่มือการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร, 2538

ตารางที่ 2-5 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (SHGC) (ต่อ)

ความหนาของกระจก (มิลลิเมตร)	ชนิดของกระจก	Visible t ransmittance	SHGC
กระจกชั้นเดียว ไม่เคลือบผิว			
6	กระจกสีเขียว	0.76	0.41
6	กระจกสีเทา	0.46	0.39
6	กระจกสีฟ้าอมเขียว	0.75	0.43

ที่มา : คู่มือการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร, 2538

### 2.3.10 ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด (SC)

สัมประสิทธิ์การบังแดด เป็นอัตราส่วนระหว่างค่าความร้อนจากดวงอาทิตย์ที่ผ่านเข้าสู่ภายในอาคารทางหน้าต่างต่อค่าความร้อนจากดวงอาทิตย์ที่ผ่านกระจกใสหนา 3 มม. ที่ไม่มีการบังแดด โดยปกติหน้าต่างของอาคารทั่วไปจะประกอบด้วยส่วนที่เป็นกระจกและส่วนที่เป็นอุปกรณ์บังแดด ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดจึงประกอบด้วย 2 ส่วน คือ สัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจก และของอุปกรณ์บังแดดซึ่งเขียนเป็นสมการได้ว่า

$$SC = SC_1 \times SC_2 \quad (2.12)$$

เมื่อ  $SC_1$  = เป็นค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจก

$SC_2$  = เป็นค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด

ซึ่งค่า  $SC_1$  เป็นค่าที่ถูกกำหนดโดยบริษัทผู้ผลิตกระจก ซึ่งทำการประเมินที่แสงอาทิตย์กระทบทำมุม  $45^\circ$  จากแนวตั้งฉาก สำหรับค่า  $SC_2$  เป็นค่าที่ขึ้นอยู่กับชนิดและลักษณะของอุปกรณ์ อย่างไรก็ตามจะสามารถคำนวณได้โดยอาศัยนิยามพื้นฐานของสัมประสิทธิ์การบังแดด ซึ่งสมการการคำนวณเขียนได้ดังนี้

$$SC_2 = [(A_e \times ID) + (A \times Id)] / (A \times It) \quad (2.13)$$

เมื่อ  $G$  =  $A_e/A$

$A_e$  = พื้นที่ของกระจกส่วนที่ไม่เกิดเงา ( $m^2$ )

$A$  = พื้นที่รวมของกระจก ( $m^2$ )

$ID$  = ฟลักซ์ของรังสีตรงดวงอาทิตย์ ( $W/m^2$ )

$Id$  = ฟลักซ์ของรังสีกระจายดวงอาทิตย์ ( $W/m^2$ )

$It$  = ฟลักซ์ของรังสีรวมดวงอาทิตย์ ( $W/m^2$ )

ตารางที่ 2-6 ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด (SC)

	Grass type	ความหนา(มม.)	ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด (SC)
	กระจกใส สีบรอนซ์	6	0.65
	กระจกใส สีชา สะท้อนแสง	6	0.30
	Insulating glass	6+12+6	0.83
	Low E Insulating glass	6+12+6	0.78
	กระจกใส	6	0.96

ที่มา : คู่มือการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร, 2538

### 2.3.11 ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน (ESR)

คือปริมาณรังสีอาทิตย์ตกกระทบที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านผนัง โปร่งแสง และ/หรือ ผนังทึบแสง มีหน่วยเป็น ( $W/m^2$ )

ตารางที่ 2-7 ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน (ESR) สำหรับอาคารสถานศึกษา

ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน (ESR)								
สำหรับอาคารสถานศึกษา หรือ สำนักงาน								
มุม	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
0 องศา	437.38	437.38	437.38	437.38	437.38	437.38	437.38	437.38
15 องศา	405.00	421.74	433.61	440.00	441.62	438.90	431.51	419.53
30 องศา	358.99	390.20	412.96	425.48	428.59	422.98	408.39	385.65
45 องศา	306.68	348.31	379.58	397.17	401.47	393.20	372.57	341.61
60 องศา	255.37	301.60	337.61	358.44	363.45	353.18	328.62	293.33
75 องศา	212.39	255.60	291.21	312.65	317.70	306.52	281.11	246.70
90 องศา	185.06	215.84	244.53	263.14	267.41	256.82	234.58	207.62

ที่มา : คู่มือการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร, 2538

## 2.4 ข้อมูลเกี่ยวกับปัจจัยการเจริญเติบโตของพืช

### 2.4.1 ผลของแสงที่มีต่อพืช

แสงเป็นปัจจัยแวดล้อมที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยพืชจะมีการตอบสนองต่อแสงที่แตกต่างกันทั้งในด้านปริมาณ คุณภาพ ทิศทาง และระยะเวลา

### 2.4.2 ความเข้มของแสง (นิรันดร์ จันทวงศ์, 2536)

กระบวนการทางสรีรวิทยาของพืชที่ได้รับผลกระทบจากความเข้มของแสง จะมีอยู่หลายกระบวนการดังต่อไปนี้

- 1) การสังเคราะห์แสง (Photosynthesis) การสังเคราะห์แสงของใบจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อปริมาณแสงเพิ่มมากขึ้น
- 2) การหายใจ (Respiration) พืชที่เติบโตอยู่ในสภาพที่มีแสงน้อย มักจะมีอัตราการหายใจที่ต่ำ ซึ่งความเข้มของแสงที่ทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงมีค่าเท่ากับอัตราการหายใจ เรียกว่า Compensation point
- 3) การสืบพันธุ์ (Reproduction) พืชหลายชนิดจะไม่มีดอกออกดอก หากอยู่ในสภาพที่มีความเข้มแสงต่ำ
- 4) การผลิตฮอร์โมน (Production of growth hormone) แสงมีผลทำให้ออกซินที่สร้างขึ้นในพืชเสื่อมสภาพ เรียกกระบวนการที่เกิดขึ้นนี้ว่า โฟโตออกซิเดชัน (Photo oxidation) โดยพบว่า พืชที่ขึ้นในที่มืดจะมีการยืดยาวของลำต้นผิดปกติ ส่วนกระบวนการที่เรียกว่า โฟโตโทรปิซึม (Phototropism) คือการที่พืชเบนเข้าหาแสง
- 5) การเปิดและปิดของปากใบ (Opening and closing of stomata) โดยปกติปากใบพืช จะเปิดในช่วงเวลากลางวันเมื่อมีแสง และมักปิดในช่วงกลางคืนเมื่อไม่มีแสง
- 6) การผลิตคลอโรฟิลล์ (Production of chlorophyll) การสร้างคลอโรฟิลล์ของพวกไม้ดอก (Angiosperm) ต้องอาศัยแสง จัดเป็นพวก Photo chemical reaction ในขณะที่การสร้างคลอโรฟิลล์ของพวกไม้เมล็ดเปลือย (Gymnosperm) ไม่จำเป็นต้องอาศัยแสงจัดเป็นพวก Chemical reaction
- 7) การงอกของเมล็ด (Germination of seed) โดยปกติความเข้มแสงจะมีผลต่อการงอกของเมล็ดค่อนข้างน้อย และเกิดกับพันธุ์ไม้บางชนิดเท่านั้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมล็ดที่มีเนื้อนุ่มสด ซึ่งผลของแสงต่อการงอกของเมล็ดนั้นจะเกี่ยวข้องกับคุณภาพของแสงมากกว่าความเข้มของแสงโดยมาก

### 2.4.3 คุณภาพของแสง (ลดาวัลย์ พวงจิตรและมณฑล จำริญพฤกษ์, 2547)

เนื่องจากแสงมีความยาวของช่วงคลื่นที่แตกต่างกัน แสงจึงมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน รังควัตถุต่างๆ ที่อยู่ใบบพืชก็จะมีความสามารถในการดูดคลื่นแสงสีต่างๆ แตกต่างกัน โดยคุณภาพของแสงมีผลอย่างมากต่อการชักนำการออกดอก เนื่องจากการออกดอกของพืชที่ไวต่อแสงจะถูกควบคุมโดยรงควัตถุที่เป็นโปรตีนที่เรียกว่าไฟโทโครม (Phytochrome) ซึ่งมีอยู่ 2 ประเภท คือประเภทที่ดูดแสงที่มีความยาวคลื่น 500-700 นาโนเมตร โดยจะดูดแสงสีแดงได้ดีที่สุดเรียกว่า P<sub>660</sub> หรือ P<sub>r</sub> เป็นไฟโทโครมที่เฉื่อยและไม่มีความสามารถในการกระตุ้นให้เปลี่ยนแปลงการเจริญเติบโตได้ อีกประเภทหนึ่งจะดูดแสงที่มีความยาวคลื่น 520-800 นาโนเมตร โดยสามารถดูดแสงที่มีความยาวช่วงคลื่น 730 นาโนเมตรหรือแสงอินฟราเรดได้ดีที่สุด เรียกว่า P<sub>730</sub> หรือ P<sub>fr</sub> เป็นไฟโทโครมที่ไว มีความสามารถในการกระตุ้นให้มีการเปลี่ยนแปลงการเจริญเติบโตได้ ไฟโทโครมทั้งสองประเภทนี้สามารถเปลี่ยนรูปกลับไปมาได้

### 2.4.4 ช่วงเวลาที่ได้รับแสง (Photoperiod) (ลดาวัลย์ พวงจิตรและมณฑล จำริญพฤกษ์, 2547)

หมายถึง จำนวนชั่วโมงที่พืชได้รับแสงในรอบวัน การตอบสนองของพืชตลอดช่วงเวลาที่พืชได้รับแสงนี้เรียกว่า โฟโตเพอริโอดิซึม (Photoperiodism) กระบวนการทางสรีรวิทยาของพืช พบว่าอยู่ภายใต้อิทธิพลของช่วงเวลาที่ได้รับแสง ที่สำคัญได้แก่ การออกดอก การเติบโต และการแตกของตาจากสภาวะงัน (Dormancy) พืชสามารถแบ่งออกได้ตามลักษณะการตอบสนองต่อช่วงเวลาที่ได้รับแสงเป็น 3 ประเภท ได้แก่ พืชวันสั้น (Short day plant) หมายถึงพืชที่ออกดอกเมื่อช่วงวันสั้นกว่าช่วงวันวิกฤต (Critical day length) พืชวันยาว (Long day plant) หมายถึงพืชที่ออกดอกเมื่อช่วงวันยาวกว่าช่วงวันวิกฤต และพืชไม่ตอบสนองต่อช่วงวัน (Day neutral plant)

### 2.4.5 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อพืช (ลดาวัลย์ พวงจิตรและมณฑล จำริญพฤกษ์, 2547)

พืชจัดเป็นสิ่งมีชีวิตที่มีการปรับอุณหภูมิไปตามสภาพแวดล้อม (Poikilotherm) โดยมีอุณหภูมิเป็นตัวปัจจัยที่สำคัญส่งผลต่อกระบวนการทางสรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตและพัฒนาของพืช อุณหภูมิที่เหมาะสม (Optimum temperature) สำหรับการเจริญเติบโตและพัฒนาของพืชแต่ละชนิดจะมีเท่ากัน ช่วงระหว่างอุณหภูมิต่ำสุดจนถึงอุณหภูมิสูงสุดที่พืชยังคงดำรงกระบวนการทางสรีรวิทยาอยู่ได้ เรียกว่า Cardinal temperature ส่วนอุณหภูมิกวิกฤต (Critical temperature) จะมีอุณหภูมิต่ำกว่าหรือสูงกว่าที่ ส่งผลทำให้กิจกรรมต่างๆ ในการดำรงชีวิตของพืชหยุดลงและตายในที่สุด อุณหภูมิจึงมีผลต่อการจำกัดการแพร่กระจายของพืช ซึ่งพืชบางชนิดจะมีการตอบสนองต่อความผันแปรของอุณหภูมิในช่วงวัน เรียกการตอบสนองนี้ว่า Thermoperiodism verbalizations เป็นการตอบสนองของพืชต่ออุณหภูมิที่เย็นจัดขณะดำรงอยู่ในสภาพอากาศที่มี

ความชื้นสูง เพื่อกระตุ้นให้พืชเกิดการผลิติดอก โดยพืชจะสร้างสารที่เรียกว่า เวอร์นาลิน (Vernalin) ซึ่งเชื่อว่าเป็นสารเริ่มต้นของการสร้างสารกระตุ้นการออกดอกหรือฟลอริเจน (Florigen) พืชที่มีการตอบสนองต่อกระบวนการเวอร์นาลินจะตอบสนองได้ดีเมื่อนำเมล็ดไปผ่านการเวอร์นาลินเซชันก่อนนำไปปลูก ส่วนเรื่องความเสียหายของพืชอันเนื่องมาจากอุณหภูมิไม่เหมาะสมสามารถแบ่งออกได้เป็น

- 1) ความเสียหายที่เกิด เนื่องจากอุณหภูมิต่ำ แบ่งออกได้เป็นความเสียหายที่เกิดขึ้นจากการเย็นจัด (Chilling) และการเย็นจัดจนกลายเป็นน้ำแข็ง (Freezing) ซึ่งพืชจะมีกลไกป้องกันอันตรายที่เกิดขึ้นได้ โดยการทำให้แกร่ง (Hardening) และการปรับตัว (Adaptation) ต่อการดำรงอยู่
- 2) ความเสียหายที่เกิดเนื่องจากอุณหภูมิสูง แบ่งออกได้เป็นความเสียหายทางตรง ได้แก่ เซลล์เสียหาย โปรตีนผิดปกติ และความเสียหายทางอ้อม ได้แก่ การถูกยับยั้งการเจริญเติบโต เกิดลักษณะความเป็นพิษขึ้น เป็นต้น การปรับตัวของพืชต่ออุณหภูมิที่สูง อาจโดยการหลีกเลี่ยง หรือการปรับตัวให้สามารถอยู่ได้ในสภาพอุณหภูมิสูง เช่น ลดการคายปริมาณน้ำ หรือการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมี เป็นต้น

#### 2.4.6 การคายน้ำของพืช (ลิลลี่ กาวีตะและคณะ, 2544)

คือ กระบวนการที่พืชสูญเสียน้ำออกไปในรูปของไอ การสูญเสียน้ำส่วนใหญ่จะเกิดที่ปากใบ นอกจากนี้ น้ำยังอาจสูญเสียนอกจากพืชโดยทางอื่น เช่น ทาง Lenticels ซึ่งเป็นรอยแยกหรือรูเปิดเล็กๆ ที่ลำต้น ทำให้เกิดการลำเลียงธาตุอาหารที่ละลายอยู่ในน้ำและดิน ทั้งยังช่วยลดอุณหภูมิของใบ โดยปัจจัยที่มีผลต่อการคายน้ำ สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับสภาพแวดล้อม เช่น ความชื้นในบรรยากาศ ลม แสง อุณหภูมิ ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และความชื้นในดิน รวมถึงปัจจัยที่เกี่ยวกับตัวพืช เช่น ชนิดของพืช โครงสร้างของใบและลักษณะของปากใบ เป็นต้น ความเครียดของพืชที่เกิดจากน้ำ (Stress) สามารถแบ่งออกได้เป็น

- 1) ความเครียดของพืชเนื่องจากการขาดน้ำ (Water deficit) ส่วนใหญ่มักมีสาเหตุเนื่องมาจาก พืชมีการคายน้ำที่มากเกินไป หรือปริมาณน้ำในดินและการดูดซึมน้ำจากรากพืชน้อย หรืออาจจะเกิดจากกระบวนการหมุนเวียนของน้ำภายในเนื้อเยื่อมีปัญหา ทำให้มีการปรับตัวเพื่อตอบสนองต่อความแล้ง คือ การปรับตัวด้านสัณฐานวิทยา เช่น ลดขนาดของต้น ผนังเซลล์หนาขึ้น ใบมีขนมากขึ้น ใบหนาขึ้น เป็นต้น ส่วนการปรับตัวด้านสรีรวิทยา เช่น มีช่องเก็บน้ำภายในเซลล์เล็ก มีการคายน้ำ มีอัตราส่วนระหว่างแป้งกับน้ำตาลต่ำ เป็นต้น
- 2) ความเครียดของพืช หากว่าพืชได้รับน้ำหรือมีน้ำมากเกินไป (Water excess) อาการของพืชอาจจะคล้ายคลึงกับพืชที่อยู่ในสภาพขาดน้ำ อันตรายที่เกิดขึ้นอันเนื่องมาจากมีน้ำมาก

เกินไป มีสาเหตุมาจากรากขาดออกซิเจน รากไม่มีการพัฒนา เกิดสารพิษ ซึ่งการปรับตัวของพืชที่อยู่ในสภาพที่มีน้ำมากเกินไป คือ การปรับตัวทางสัณฐานวิทยา เช่น เพิ่มความสามารถในการดูดน้ำของราก การเพิ่มขนาดของช่องว่างภายในเซลล์ การพัฒนารากหายใจ การปรับตัวทางชีวเคมี เพื่อให้สามารถอยู่ได้ในสภาพขาดออกซิเจน เช่นมีการสร้างเอนไซม์ Alcohol dehydrogenase เป็นต้น

#### 2.4.7 ผลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อพืช (นิรันดร์ จันทวงศ์, 2536)

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จัดได้ว่าเป็นก๊าซที่มีบทบาทสำคัญในกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช โดยใบของพืชจะดูดซับเอาก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากชั้นบรรยากาศผ่านกระบวนการทางเคมีต่างๆ ภายในพืชจนได้อินทรีย์สารที่สลับซับซ้อน เช่น โมเลกุลของน้ำตาล เป็นต้น แล้วเคลื่อนย้ายไปยังส่วนต่างๆ ของลำต้นพืช และจะมีการสะสมอยู่ในรูปของอินทรีย์คาร์บอน ซึ่งจะถูกปลดปล่อยออกมาเมื่อต้นไม้ตาย หรือเมื่อมีการตัดหรือฟันต้นไม้เพื่อนำมาใช้ประโยชน์ ดังนั้นแล้วต้นไม้ใหญ่จึงมีศักยภาพในการเก็บกักก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ดีว่าต้นไม้ประเภทล้มลุก เนื่องจากมีช่วงวงจรชีวิตที่ยาวนานกว่า โดยปกติต้นไม้จะมีความสามารถในการสังเคราะห์แสงได้เพิ่มมากขึ้น เมื่อมีความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มมากขึ้น

#### 2.4.8 ผลของลมที่มีต่อต้นไม้ (ลดาวัลย์ พวงจิตรและมณฑล จำริญญพฤกษ์, 2547)

ลม เป็นตัวขัดขวางการรวมตัวของไอน้ำบริเวณใกล้ผิวของใบไม้ ขณะที่มีการคายน้ำ ทำให้การเคลื่อนที่ของโมเลกุลของไอน้ำ ในรูปของการแพร่เพิ่มสูงขึ้น ลมมีผลกระทบต่อกระบวนการสังเคราะห์แสง ได้ 2 ทาง คือ มีผลกระทบต่อปริมาณของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ใบจะนำไปใช้ประโยชน์ และมีผลกระทบต่อความสัมพันธ์ของน้ำในพืช ลม อาจจะมีผลกระทบต่ออัตราการหายใจ ของส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของต้นไม้ได้ ลมยังช่วยในการแพร่กระจายของพืช และสัณฐานวิทยาของต้นไม้ ลมร่วมกับปัจจัยอื่น ๆ สามารถก่อให้เกิดผลกระทบอย่างรุนแรงแก่ต้นไม้ทั้งในรูปแบบชีวิต (Life form) และ รูปแบบลำต้น (Stem form) ในกรณีของรูปแบบชีวิตนั้น จะมีผลกระทบอย่างรุนแรงแก่ต้นไม้ในบริเวณที่อยู่ใกล้กับเส้นขอบป่า (Timber line) ส่วนรูปแบบลำต้นที่ได้รับผลกระทบจากลมนั้นโดยทั่ว ๆ ไปแล้ว มักเนื่องมาจากการแห้ง (Desiccation) ของเนื้อเยื่อของลำต้นหรือเรือนยอดส่วนที่อยู่หน้าลม ความเสียหายทางด้านกายภาพที่เกิดแก่ต้นไม้โดยลมนั้นโดยทั่ว ๆ ไปแล้วก็คือ การแตกหัก หรือการล้มแบบถอนรากถอนโคน (Uprooting) ความรุนแรงของความเสียหายนั้นขึ้นอยู่กับความเร็วและความแรงของลม และคุณลักษณะของต้นไม้ หรือหมู่ไม้ (Stand)

## 2.5 พื้นที่ใบของพืช (Leaf area)

### 2.5.1 ความหมายของใบ

ใบ คือ พื้นที่สำหรับการดูดซับพลังงานจากรังสีดวงอาทิตย์ เพื่อนำมาใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ในสภาพที่ไม่มีปัจจัยอื่นใดจำกัด อาทิเช่น Water, Temperature และ Nutrient stress พื้นที่ใบจัดว่าเป็น Limiting factor ตามกฎ Law of minimum ที่สำคัญที่สุดต่อการเจริญเติบโตของพืช เขียนสมการได้ดังนี้

การเจริญเติบโตของพืช เท่ากับ อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง คูณ พื้นที่ใบ

### 2.5.2 การวัดพื้นที่ใบ

พื้นที่ใบในทางสรีรวิทยาของพืชปลูก หมายถึง พื้นที่เพียงด้านเดียวของดวใบหรือแผ่นในพืชและหมายถึงเฉพาะใบที่ยังมีสีเขียว ซึ่งแสดงถึงความสามารถในการสังเคราะห์ด้วยแสง ยังคงมีอยู่การวัดพื้นที่ใบอาจทำได้โดยวิธีการต่าง ๆ ดังนี้

- 1) หาค่าจากความสัมพันธ์ของการวัดเส้นตรงความยาวหรือความกว้างของใบ ซึ่งความสัมพันธ์นี้แล้วแต่ชนิดและรูปร่างของใบพืช
- 2) Leaf outline เป็นการวาดรูปของใบตามเส้นรอบใบลงบนกระดาษ แล้วนำไปหาพื้นที่ด้วยอุปกรณ์ดังนี้
  - กระดาษกราฟ
  - Hand plan meter
- 3) Gravimetric method คือ วัดบนกระดาษ ตัดแล้วชั่งน้ำหนัก โดยใช้กระดาษมาตรฐานที่ทราบสัดส่วนของน้ำหนักต่อพื้นที่
- 4) Leaf weight method โดยการเจาะรูหรือตัดตัวอย่างใบพืชที่ทราบขนาดพื้นที่แล้วชั่งน้ำหนักสดหรือแห้ง เพื่อนำสัดส่วนของน้ำหนักต่อพื้นที่ไปคำนวณหาพื้นที่ทั้งหมดจากตัวอย่างน้ำหนักทั้งหมด
- 5) Electro area meter แบบต่าง ๆ ที่มีจำหน่ายทางการค้าเช่นของบริษัท Licor, Delta T, หรือ Digitizer
- 6) รูปถ่ายแบบ Fisheyes lens หรือ Image processor ชนิดต่าง ๆ
- 7) Inclined point quadrat (Warren Wilson, 1962)

### 2.5.3 ปัญหาการวัดพื้นที่ใบ

1) จำนวนตัวอย่างมีขนาดใหญ่มากเกินไป เช่นเดียวกับปัญหาในการหาน้ำหนักแห้ง ซึ่งสามารถแก้ไขได้ด้วยวิธีการ Sub sample แต่จะต้องคำนึงถึงความแปรปรวนของขนาดและน้ำหนักอันเนื่องมาจากอายุ และชนิดของพืช



2) การเหี่ยวของใบพืชและการหายใจของเซลล์ที่มีชีวิต ระหว่างรอการวัดพื้นที่ใบ

#### 2.5.4 ดัชนีพื้นที่ใบ (LAI)

หมายถึง สัดส่วนของพื้นที่ใบต่อพื้นที่ซึ่งพืชนั้นขึ้นอยู่โดยทั่วไปจึงคำนวณจากค่าของพื้นที่ใบหารด้วยพื้นที่ปลูกหรือพื้นที่เก็บเกี่ยวตัวอย่าง ดัชนีนี้สามารถแสดงถึงศักยภาพในการสร้างน้ำหนักแห้งของพื้นที่นั้น ๆ โดยกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงเป็นหลัก

LAI เท่ากับ Leaf area / Land area

การใช้เครื่องมือหาดัชนีพื้นที่ใบ เช่น เครื่อง Licor LAI 2000 ใช้หลักการการส่องผ่านของแสงจากยอดทรงพุ่มเข้าสู่ Sensor ที่มีลักษณะคล้าย Fisheyes สามารถปรับมุมของการรับแสงได้หลาย ๆ มุมเพื่อคำนวณค่า LAI ได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เรื่องการประยุกต์ใช้ภาพถ่ายดิจิทัลเพื่อประเมินดัชนีพื้นที่ใบของถั่วเหลืองของรักศักดิ์ เสริมศักดิ์ และหัตถชัย บุญจุง พบว่า การวัดพื้นที่ใบด้วยวิธีวัดด้วยเครื่องมือ นั้น ข้อดี คือ มีความแม่นยำสูง แต่ต้องทำด้วยความรวดเร็วและมีค่าใช้จ่ายที่สูง จึงได้มีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการสำรวจระยะไกล ซึ่งข้อมูลวัตถุและพื้นที่ที่ทำการสำรวจนั้น จะเป็นการวิเคราะห์โดยใช้เครื่องมือที่ไม่ต้องสัมผัสโดยตรงกับวัตถุเป้าหมาย แต่จะใช้ข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียม ซึ่งมีการรับภาพจากการสะท้อนแสงหลายช่วงคลื่นของพืช และมีความสัมพันธ์กับดัชนีพื้นที่ใบของพืช โดยช่วงคลื่นแสงที่นำมาใช้ในการประเมินดัชนีพื้นที่ใบ คือ ช่วงของคลื่นแสงที่มองเห็นด้วยตาเปล่า (Visible wave length) ซึ่งมีความยาวคลื่นประมาณ 400 ถึง 700 นาโนเมตร และช่วงคลื่นของแสงอินฟราเรดใกล้ (Near infrared wave length) ที่มีความยาวคลื่นประมาณ 700 ถึง 1,500 นาโนเมตร (Sabins, 1987) ซึ่งลักษณะทางชีวเคมีภายในพืช ที่เรียกว่า คลอโรฟิลล์ (Chlorophyll content)จะเป็นตัวควบคุมการสะท้อนแสงในช่วงคลื่นที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ช่วงคลื่นประมาณ 550 นาโนเมตร (Sims and Gamon ,2002) และการสะท้อนพลังงานแสงในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ เป็นการสะท้อนของเซลล์มีโซฟิลล์ (Mesophyll) ของใบ (Taiz and Zeiger ,2002) สูงถึงประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ ส่วนพลังงานที่เหลือจะถูกส่งผ่านและถูกดูดกลืน (ชรัตน์ มงคลสวัสดิ์ ,2540) ดังนั้นการสะท้อนพลังงานแสงสูงสุดของเซลล์ดังกล่าวที่ช่วงอินฟราเรดใกล้ ช่วงคลื่นประมาณ 800 และ 900 นาโนเมตร (Dawson and Curran ,1998) จากนั้นจึงนำข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมที่แสดงถึงค่าสะท้อนพลังงานแสงของพืชจากช่วงคลื่นดังกล่าว มาทำดัชนีพืชพรรณ โดยใช้ความยาวคลื่นในช่วงคลื่นสีแดง หรือช่วงคลื่นที่มองเห็นด้วยตาเปล่า และ เมื่อแปลงค่าช่วงคลื่นที่มองเห็นด้วยตาเปล่าจะมีค่าต่ำกว่าช่วงคลื่นสีแดง (Richie ,2003) จากนั้นใช้สมการมาตรฐานที่แปลงค่าที่ได้จากข้อมูลภาพไปเป็นดัชนีพื้นที่ใบ ข้อมูลดัชนีพื้นที่ใบที่ได้สามารถประเมินการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช

ปัญหาของการประเมินดัชนีพื้นที่ใบ คือ ช่วงระยะเวลาของการได้มาของข้อมูล ซึ่งจะขึ้นอยู่กับวงโคจรของดาวเทียม (Temporal resolution) เช่น ดาวเทียม Landsat ที่ใช้ระยะเวลา 16 วัน จึงจะกลับมาบันทึกภาพที่ตำแหน่งเดิม ปัญหาอีกประการหนึ่งคือ ปริมาณเมฆที่ปรากฏขึ้นในขณะบันทึกภาพ โดยเฉพาะฤดูฝน รวมทั้งความชัดเชิงพื้นที่ (Spatial resolution) ของภาพถ่ายดาวเทียมที่ยังมีขนาดไม่เหมาะสมกับการประเมิน อีกทั้งภาพถ่ายดาวเทียมยังมีราคาที่สูง

ดังนั้นจึงได้มีการประยุกต์กระบวนการประมวลผลภาพถ่าย โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากภาพถ่ายของกล้องดิจิทัลที่ช่วงคลื่นที่มองเห็นด้วยตาเปล่า และช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ แล้วจึงใช้ฟิลเตอร์ที่ยอมให้แสงในความยาวคลื่นช่วงที่มองเห็นด้วยตาเปล่า และช่วงอินฟราเรดใกล้ส่องผ่าน ทำให้สามารถกำหนดความแยกชัดของภาพและสามารถกำหนดช่วงระยะเวลาในการถ่ายภาพได้ตลอดเวลา รวมถึงสามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงของดัชนีพื้นที่ใบตลอดช่วงการเจริญเติบโตโดยไม่ต้องทำลายต้นพืช

## 2.6 พรรณไม้ในงานภูมิสถาปัตยกรรม (Plants for landscape architect in Thailand)

(เอื้อมพร วิสมหมายและคณะ, 2540)

สำหรับพรรณไม้ในงานภูมิสถาปัตยกรรมของประเทศไทย ที่เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศและมีความสวยงามจำแนกและจัดแบ่งตามความเหมาะสมตามสภาพการใช้งานมีดังนี้

ประเภทที่ 1 ไม้ระดับสูง หมายถึง ไม้ยืนต้นหรือไม้พุ่มระดับสูง มีความสูงมากกว่า 4.00 เมตร

ประเภทที่ 2 ไม้ระดับกลาง แบ่งย่อยได้เป็น 2 ขนาด ได้แก่ ไม้ระดับกลาง-ใหญ่ หมายถึง ไม้พุ่มขนาดใหญ่ มีความสูงประมาณ 2.00 - 4.00 เมตร และ ไม้ระดับกลาง-เล็ก หมายถึง ไม้พุ่มขนาดกลาง-เล็ก มีความสูงประมาณ 1.00-2.00 เมตร

ประเภทที่ 3 ไม้ระดับต่ำ แบ่งย่อยได้เป็น 2 ขนาด โดยไม้ระดับต่ำ-ใหญ่ หมายถึง ไม้พุ่มขนาดเล็ก มีความสูงประมาณ 0.30 – 0.50 เมตร ไม้ระดับต่ำ-เล็ก หมายถึง ไม้คลุมดิน มีความสูงประมาณ 0.30 เมตร

ประเภทที่ 4 ไม้เลื้อย หมายถึง ไม้ที่ต้องอาศัยสิ่งค้ำจุนเพื่อตั้งขึ้นในแนวสูง

## 2.7 ต้นม่านบาหลี่ (*Cissus nadosa* Blume)

มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Cissus nadosa* Blume เป็นไม้เลื้อย (ไม้เถา) เจริญเติบโตเร็ว ชอบแดดจัด เหมาะที่จะปลูกเป็นไม้คลุมระแนง มีรากอากาศสวยงาม ถ้ารากงอกออกใหม่จะเป็นสีแดง แต่นานไป ๆ จะกลายเป็นสีเหลืองทอง ใบเป็นรูปหัวใจ ออกดอกเป็นช่อ แต่ละช่อมีดอกย่อยเป็นกลุ่มราว 30 - 60 ดอก เวลาบาน ดอกจะมีสีขาวอมเหลือง (สีขาวนวล) มีกลิ่นหอมอ่อน ๆ พอกลิบดอกร่วงจะมีผลติด ผลเป็นรูปทรงกลม เวลาสุกผลจะออกมีสีดำขนาดเท่าปลายนิ้วก็อช ขยายพันธุ์โดยการปักชำ (เต็ม สมิตินันท์, 2544)



รูปที่ 2-1 ต้นม่านบาหลี่

ที่มา : <http://www.suansavarese.com>

## 2.8 อุปกรณ์สำหรับการวัดค่าอุณหภูมิและความชื้น

### 2.8.1 เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple)

คือ อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ โดยใช้หลักการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิหรือความร้อนเป็นแรงเคลื่อนทางไฟฟ้า วัสดุที่นำมาประกอบเทอร์โมคัปเปิลจะเป็นโลหะตัวนำที่ต่างชนิดกัน 2 ตัว หมายถึง แตกต่างกันทางโครงสร้างของอะตอม นำมาเชื่อมต่อปลายทั้งสองเข้าด้วยกัน โดยที่ปลายด้านหนึ่ง เรียกว่า จุดวัดอุณหภูมิ ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งปล่อยให้เปิดไว้ เรียกว่า จุดอ้างอิง หากจุดวัดอุณหภูมิและจุดอ้างอิงมีอุณหภูมิที่แตกต่างกันก็จะทำให้มีการนำกระแสไฟฟ้าในวงจรเทอร์โมคัปเปิลทั้งสองข้าง ปรากฏการณ์ดังกล่าวนี้ค้นพบโดย Thomus Seebeck นักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมันในปี ค.ศ.1821 และในปัจจุบันพบว่าเทอร์โมคัปเปิลมาตรฐานอยู่ 7 ชนิดตามมาตรฐานของ ANSI และ ASTM โดยการจำแนกตามประเภทของวัสดุที่ใช้ทำได้แก่

### 1) เทอร์โมคัปเปิลแบบ S ประดิษฐ์โดยนาย Le Chatelier ในปี 1886

ข้อดีของแบบ S

- ข้อดี คือเหมาะกับการใช้งานในสภาวะที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงปฏิกิริยาใด ๆ ง่าย ๆ, งานวัดตัวแปรที่มีอุณหภูมิสูง เช่น เตาหลอมเหล็ก, งานวัดอุณหภูมิต่อเนื่องได้จากช่วง 0 องศาเซลเซียส ถึง 1,550 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิช่วงสั้นได้จากช่วงประมาณ 50 องศาเซลเซียสถึงประมาณ 1,700 องศาเซลเซียสหรือใช้ในการสอบเทียบ ตั้งแต่จุดแข็งตัวของแอนติโมนี (630.740 องศาเซลเซียส) จนถึงจุดแข็งตัวของทองแดง 1,064.43 องศาเซลเซียส ตามมาตรฐาน IPTS 68

- ข้อเสียของแบบ S คือ ต้องใช้ท่อป้องกันในทุกสภาวะบรรยากาศ, ไม่เหมาะกับการที่มีปฏิกิริยาแบบรีดิวซิง (Reducing), ไม่เหมาะกับการที่เป็นสุญญากาศ (Vacuum), ไม่เหมาะกับการที่มีไอโลหะ เช่น สังกะสี ตะกั่ว, ไม่เหมาะกับการที่มีไอของโลหะ เช่น จำพวก อาเซนิก ซัลเฟอร์ ฟอสฟอรัส เพราะจะมีอายุการใช้งานสั้นลง

### 2) เทอร์โมคัปเปิลแบบ R เป็นแบบที่เหมาะสมกับการวัดอุณหภูมิสูง ๆ

- ข้อดีของแบบ R คือ วัดอุณหภูมิต่อเนื่องได้จากช่วง 0 องศาเซลเซียสถึง 1,600 องศาเซลเซียส, วัดอุณหภูมิช่วงสั้นได้จากช่วง 50 องศาเซลเซียส ถึงประมาณ 1,700 องศาเซลเซียส, เหมาะกับการวัดอุณหภูมิสูง ๆ เช่น ในเตาหลอมเหล็ก อุตสาหกรรมแก้วและทนทานต่อการกัดกร่อน และให้เสถียรภาพของอุณหภูมิที่ดี

- ข้อเสียเช่นเดียวกับแบบ S

### 3) เทอร์โมคัปเปิลแบบ B ผลิตครั้งแรกเมื่อปี 1954 ในประเทศเยอรมัน

- ข้อดีของแบบ B คือ วัดอุณหภูมิต่อเนื่องได้ที่ช่วงประมาณ 100 องศาเซลเซียสถึงประมาณ 1,600 องศาเซลเซียส, วัดอุณหภูมิช่วงสั้นได้จากช่วงประมาณ 50 ถึงประมาณ 1,750 องศาเซลเซียส, แข็งแรงกว่าแบบ S และแบบ R และเหมาะกับการใช้งานในสภาวะที่มีปฏิกิริยาแบบออกซิไดซิงและสภาวะเฉื่อย ให้ความเป็นเชิงเส้นของสัญญาณได้ (Linearity) ดี

- ข้อเสียของแบบ B คือ ไม่เหมาะกับการที่เป็นสุญญากาศและไม่เหมาะกับการที่มีไอของโลหะและไอโลหะเช่นเดียวกับแบบ R และ S รวมทั้งให้ค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าสองค่า (Double value region) จากอุณหภูมิในช่วง 0 ถึง 42 องศาเซลเซียสทำให้ไม่สามารถทราบได้ว่าที่แรงเคลื่อนไฟฟ้านั้นมีอุณหภูมิเป็นเท่าใด เช่นที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียสจะแรงเคลื่อนไฟฟ้าเท่ากับ 42 องศาเซลเซียสให้ความชัน (การเปลี่ยนแปลงแรงเคลื่อนต่ออุณหภูมิ) ของสัญญาณต่ำกว่าแบบอื่น

4) เทอร์โมคับเปิลแบบ J พบว่า หากใช้แพลทินัมมาทำเป็นเทอร์โมคับเปิลความ  
 คุ่มทุนก็ลดลงไป ดังนั้นเพื่อที่จะทำให้เทอร์โมคับเปิลราคาถูกลง จึงใช้วัสดุราคาถูกที่มีราคาถูกลงกว่า  
 มาทดแทนแพลทินัม

- ข้อดีของแบบ J คือ ให้อัตราการเปลี่ยนแปลงแรงเคลื่อนไฟฟ้าต่ออุณหภูมิได้ดี, มี  
 ราคาถูกลงกว่าแบบที่ทำจากธาตุบริสุทธิ์, ตามมาตรฐาน BS 7937 Part 30 สามารถวัดอุณหภูมิได้  
 ต่อเนื่องจากช่วงประมาณลบ 210 องศาเซลเซียสถึง 1,200 องศาเซลเซียส เหมาะกับสภาพงานที่เป็น  
 สูญญากาศ, นิยมใช้ในอุตสาหกรรมพลาสติกและเป็นแบบที่นิยมใช้ ราคาไม่แพง

- ข้อเสียของแบบ J คือ ไม่เหมาะสมมากนักกับงานที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า 0 องศา  
 เซลเซียส, กรณีวัดที่อุณหภูมิสูงกว่า 538 องศาเซลเซียสจะเกิดปฏิกิริยาออกซิไดซิงที่สายซึ่งทำจาก  
 เหล็กด้วยอัตราสูง, อีกทั้งหากใช้งานนานเกินช่วง 20 ปี ส่วนผสมทางเคมี คือ แมงกานีสในเหล็กจะ  
 เพิ่มขึ้น 0.5 เปอร์เซ็นต์ ทำให้คุณสมบัติของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย

5) เทอร์โมคับเปิลแบบ K ซึ่งธาตุหนึ่งที่เป็นฐานสำหรับการสร้างชนิดนี้คือ นิกเกิล  
 เทอร์โมคับเปิลชนิดนี้เริ่มผลิตให้เป็นมาตรฐานตั้งแต่ปี ค.ศ. 1916 โดยพื้นฐานการผลิต ขั้วหนึ่งจะ  
 เป็นนิกเกิลที่เจือปนด้วยอะลูมิเนียมส่วนอีกด้านที่เจือปนด้วยโครเมียม เพราะว่าในปี ค.ศ. 1916 ยัง  
 ไม่สามารถสร้างนิกเกิลบริสุทธิ์ได้จึงได้เติมสารไม่บริสุทธิ์ต่าง ๆ ในส่วนผสมของวัสดุชนิด K  
 แต่ในปัจจุบันได้มีการระมัดระวังส่วนผสมที่จะทำให้เกิดความไม่บริสุทธิ์ดังกล่าวเพื่อเหตุผลในการ  
 บำรุงรักษา ด้วยเหตุนี้เทอร์โมคับเปิลชนิด K ที่กำหนดเป็นค่ามาตรฐานจะไม่ใช้โลหะผสม แต่  
 โดยทั่วไปจะผสมธาตุพิเศษเข้าไปเพื่อปรับปรุงคุณภาพของแรงเคลื่อน/อุณหภูมิของจุดหลอม  
 ละลายที่กำหนดไว้

- ข้อดีของแบบ K เป็นแบบที่นิยมใช้แพร่หลายมากที่สุด เหมาะสำหรับการวัด  
 อุณหภูมิช่วงสั้น ๆ จะวัดได้จากลบ 180 องศาเซลเซียสถึงประมาณ 1,350 องศาเซลเซียส, สามารถ  
 ใช้วัดในงานที่มีปฏิกิริยาออกซิไดซิง หรือสถานะแบบเฉื่อย (Inert) ได้ดีกว่าแบบอื่น ๆ, สามารถใช้  
 กับสภาพงานที่มีการแผ่รังสีความร้อนได้ดี, ให้อัตราการเปลี่ยนแปลงแรงเคลื่อนไฟฟ้าต่ออุณหภูมิดีกว่า  
 แบบอื่น ๆ (ความชันเกือบเป็น 1) และมีความเป็นเชิงเส้นมากที่สุดในบรรดาเทอร์โมคับเปิลด้วยกัน

- ข้อเสียของแบบ K คือ ไม่เหมาะกับการวัดที่ต้องสัมผัสกับปฏิกิริยารีดิวซิงและ  
 ออกซิไดซิงโดยตรง, ไม่เหมาะกับงานที่มีไอของซัลเฟอร์, ไม่เหมาะกับสภาพงานที่เป็นสูญญากาศ  
 (ยกเว้นจะใช้ในช่วงเวลาสั้นๆ) และหลังการใช้งานไป 30 ปี ทำให้ส่วนผสมทางเคมีเปลี่ยนไป เป็น  
 ผลทำให้คุณสมบัติของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเปลี่ยนไป

## 2.8.2 แนวทางการเลือกใช้

การวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์โมคัปเปิลต้องปฏิบัติดังนี้

- 1) ใช้สายเทอร์โมคัปเปิลขนาดใหญ่ที่สุดที่จะเป็นไปได้ เพราะมันจะไม่พวงเอาความร้อนออกจากพื้นที่การวัดเข้ามา
- 2) ถ้าต้องการใช้สายขนาดเล็ก ๆ ให้ใช้เฉพาะในขอบเขตที่ทำการวัด และใช้สายขยาย (Extention wire) ในขอบเขตที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิกลางสาย
- 3) หลีกเลี่ยงความเค้นทางกลและการสั่นสะเทือนที่มีผลให้เกิดความเครียดในสาย
- 4) เมื่อใช้สายเทอร์โมคัปเปิลยาว ๆ ให้ต่อซัลด์ที่สายไปยังขั้วต่อสายของดิจิตอลโวลต์มิเตอร์ และใช้สายขยายสัญญาณแบบบิดเกลียว
- 5) หลีกเลี่ยงบริเวณที่เต็มไปด้วยการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิกลางสาย
- 6) พยายามเลือกสายเทอร์โมคัปเปิลในพิกัดอุณหภูมิของมันป้องกันวงจร Integrate A/D จากการรบกวน
- 7) ใช้สายขยายเฉพาะที่อุณหภูมิต่ำ ๆ และการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิกลางสายน้อย
- 8) ทดสอบและเก็บค่าความต้านทานของเทอร์โมคัปเปิลเก่า ๆ ไว้ พร้อมกับวัดค่าความต้านทานของเทอร์โมคัปเปิลเก็บไว้เป็นช่วง ๆ

## 2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาและรวบรวมข้อมูลงานวิจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องพบว่า รูปแบบของการทดลอง เพื่อประเมินผลกระทบของความร้อนที่มีต่อประสิทธิภาพของกรอบอาคารนั้น จะมีความแตกต่างกันไม่มาก จะแตกต่างกันก็เพียงระยะเวลาและพื้นที่ไม้เท่านั้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากปัจจัยการเจริญเติบโตของพืชและลักษณะภูมิอากาศของ ณ ที่ทำการทดลองแห่งนั้นๆ โดยมีรายละเอียดงานที่ได้ทำการศึกษาดังต่อไปนี้

ภูมิทัศน์สวนแนวตั้ง (Vertical greenery systems) จากงานวิจัยของ Nyuk hien wong และคณะ (2009) สถานที่วิจัยตั้งอยู่ในบริเวณ HortPark ประเทศสิงคโปร์ เป็นการศึกษาเพื่อประเมินผลกระทบของความร้อนที่มีต่อประสิทธิภาพของกรอบอาคารและสภาพแวดล้อมโดยตรงพิจารณาจากพื้นผิวและอุณหภูมิโดยรอบ โดยทำการจำลองรูปแบบผนังอาคาร 8 รูปแบบซึ่งติดตั้งโครงสร้างสำหรับยึดเกาะผนังอาคารและพันธุ์พืชที่มีความหลากหลายทั้ง 8 ชนิด ที่ความสูงเฉลี่ยเหนือกว่าพื้นดิน 1 เมตร ความหนาของฐานและต้นไม้ในแต่ละรูปแบบจะมีความแตกต่างกัน แล้วใช้ข้อมูลที่วัดค่าได้จากเครื่องเทอร์โมคัปเปิล วัดอุณหภูมิพื้นผิวของผนังอาคาร และผนังควบคุมการวัดอุณหภูมิพื้นผิว จะทำการวัด 2 ชั้น คืออุณหภูมิของผนัง และอุณหภูมิของพื้นผิวของฐาน

สำหรับผนังควบคุม วัดเฉพาะอุณหภูมิพื้นผิวผนัง อุณหภูมิโดยรอบได้มีการเก็บข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิ โดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า Hobo H8 Pro จำนวน 16 ชุด วางไว้ด้านหน้าผนังควบคุมที่ต่างชนิดกัน โดยวางห่างจากพื้นผิวของฐาน 0.15 เมตร, 0.30 เมตร, 0.60 เมตรและ 1.00 เมตร ตามลำดับ

จากผลการวิจัย พบว่า รูปแบบการปลูกพืชจำพวกมอสยึดติดกับโครงสแตนเลส และพืชไม้เลื้อยที่มีใบขนาดเล็ก ใช้ตะแกรงและเส้นใยสังเคราะห์พันโดยรอบ มีประสิทธิภาพดีที่สุดในการลดความร้อน และหากมองในแง่ของช่วงระหว่างวัน (ความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุด) พบว่า รูปแบบเดียวกันนี้เองก็มีศักยภาพสูงสุดเช่นเดียวกัน เหตุผลความแตกต่างในประสิทธิภาพของระบบเหล่านี้ อาจเป็นการรวมปัจจัยต่าง ๆ เข้าด้วยกัน เช่น รูปแบบของฐานคำนวณกันความร้อนจากโครงสร้างระบบ ปริมาณความชื้นของฐาน ร่มเงา และการกันความร้อนจากพื้นที่สีเขียว ในขณะที่ความสัมพัทธ์ระหว่างพื้นที่สีเขียวและพารามิเตอร์ด้านสภาพอากาศอื่น ๆ เช่นการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ มีความซับซ้อนและอาจส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำความเย็นในช่วงเวลากลางวันและกลางคืน ผลสรุปเหล่านี้ชี้ให้เห็นถึงผลดีของระบบภูมิทัศน์สวยงามแนวตั้งในแง่ของการช่วยลดอุณหภูมิพื้นผิวส่วนหน้าของผนังอาคารในสภาพอากาศเขตร้อน ซึ่งอุณหภูมิสามารถลดลงได้สูงสุดถึง 11.58 องศาเซลเซียส ในวันที่อากาศสดใส สิ่งเหล่านี้นำไปสู่การลดการใช้พลังงานจากเครื่องปรับอากาศหรือเครื่องทำความเย็น และยังช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายที่จะตามมาได้

อีกงานวิจัยเป็นตัวอย่างของการศึกษา ประสิทธิภาพของผนังไม้เลื้อยในการลดการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังอาคาร (The performance of climbing-plant panel for reducing heat transfer through solid wall) จากงานวิจัยของ วิชัย เหล่าพาณิชย์กุล และ อวิรุทธิ์ ศรีสุธาพรธม (2550) ทำการทดลองและนำเสนอแนวทางการใช้ผนังไม้เลื้อย เพื่อลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารผ่านผนังอาคาร โดยการสร้างแผงไม้เลื้อยร่วมกับการใช้กล่องทดลอง ทำการทดลองในสภาพแวดล้อมจริง และใช้เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ในการบันทึกข้อมูล

ผลการวิจัย พบว่า ผนังไม้เลื้อยมีศักยภาพในการลดการถ่ายเทความร้อนได้ดี โดยผนังไม้เลื้อยที่มีพื้นที่ใบปกคลุมมาก ทำให้ความร้อนถ่ายเทเข้าสู่อาคารน้อยลง และผนังไม้เลื้อยที่มีระยะห่างจากผนังอาคารน้อยลงนี้เอง ทำให้การถ่ายเทความร้อนน้อยลงตามไปอีกด้วย ลักษณะของผนังไม้เลื้อยที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้งานควรมีพื้นที่ใบปกคลุมมากกว่า 85 เปอร์เซ็นต์ มีจำนวนชั้นใบมากกว่า 2 ชั้น ซึ่งในงานวิจัยชิ้นนี้ ต้นมันบาหาลี มีศักยภาพดีที่สุด จากการทำการทดลองปลูกและวัดค่าด้วยพารามิเตอร์ในด้านต่างๆ อีกส่วนหนึ่งที่น่าสนใจคือ ความหนาของพุ่มใบต้องไม่น้อย

กว่า 15 เซนติเมตร และระยะห่างระหว่างผนังไม้เดียวกับผนังอาคารที่ 15 เซนติเมตร จะทำให้เกิดประสิทธิภาพในการลดการถ่ายเทความร้อนและลดการสะสมความร้อนมากที่สุด

จากงานวิจัยทั้งสองในข้างต้น จะเห็นได้ว่า ปัจจัยที่สำคัญอย่างหนึ่งที่ส่งผลกระทบเป็นอย่างมากในการลดอุณหภูมิ คือ พื้นที่ว่างสำหรับการถ่ายเทอากาศ ระหว่างพืชกับอาคาร ข้อสังเกตอีกประการคือการดำเนินการทดลองไม่ได้ทดลองกับผนังอาคารจริง ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการค้นคว้าเพิ่มเติมและได้พบว่างานวิจัยเรื่อง ผนังสีเขียว (The Biofacade) ของพาสินี สุนากร และคณะ (2550) ได้ทำการทดลองและศึกษาการใช้ไม้สีเขียวเป็นแผงกันแดดในแนวตั้งให้กับอาคารที่ระบายอากาศแบบธรรมชาติในประเทศไทยเพื่อระบุคุณสมบัติในการป้องกันความร้อนจากดวงอาทิตย์อันทำให้อุณหภูมิภายในอาคารลดลง โดยทำการสร้างแบบทดลองกับผนังสีเขียวขนาด 1 ตารางเมตรในกรอบพลาสติกใส กำหนดไม้สีเขียว 3 ชนิดคัดเลือกมาใช้งาน โดยใช้เกณฑ์เบื้องต้นในการคัดเลือกคือ

- ต้องการการดูแลรักษาน้อย และอายุยืน
- ความสูงไม่ต่ำกว่าอาคาร 1 ชั้น (3 เมตร)
- โตเร็วและใบปกคลุมทั่วถึงในแนวตั้ง
- ใบมีความหนาแน่นปานกลาง
- ใบเขียวตลอดปีและใบร่วงน้อย

ซึ่งผลจากการทดลองปลูกพิสูจน์ว่า สร้อยอินทนิล ตรงตามเกณฑ์มากที่สุด โดยนำมาปลูกในกระบะต้นไม้มีโครงเหล็กขึงเอ็นโพร่งใสเพื่อให้ต้นไม้สีเขียวปกคลุมในแนวตั้ง กระบะปลูกวางห่าง 70 เซนติเมตร จากหน้าต่างห้องซึ่งเปิดระบายอากาศ ห้องพักอีกห้องหนึ่งใช้เป็นห้องเปรียบเทียบ มีลักษณะเหมือนกันทุกประการ แต่มีกันสาดเหล็กเคลือบสีสำเร็จรูปยื่น 1.50 เมตร การทดสอบนี้มีการวัดอุณหภูมิในจุดต่าง ๆ จากภายนอกห้องถึงภายในห้องรวมทั้งรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์และความชื้นสัมพัทธ์ ซึ่งเครื่องมือที่ใช้ได้แก่

- Pyranometer และ Photometer
- เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ NTC
- เซ็นเซอร์วัดความชื้นสัมพัทธ์
- Testo 454 – 20 Channel data logger และ Hobo data logger

จากการทดลองและวิเคราะห์ผลพบว่า อุณหภูมิที่ผิวใบไม้ ของห้องที่ใช้แผงกันแดดไม้สีเขียว ต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก 2.2 องศาเซลเซียส แสดงถึงความสามารถในการลดความร้อนของใบไม้ เป็นผลให้อุณหภูมิหลังใบไม้ไปจนถึงกลางห้องต่ำลงตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิกกลางห้องที่ใช้แผงกันแดดไม้สีเขียวและห้องที่ใช้กันสาดสำเร็จรูปพบว่าในช่วงเช้าถึง



กลางวัน (ประมาณ เวลา 6.00 น. - 12.00 น.) ห้องที่ใช้แผงกันแดดไม้เลื้อย มีอุณหภูมิต่ำกว่าห้องที่ใช้แผงกันแดดสำเร็จรูปสูงสุดที่ 2.92 องศาเซลเซียส และต่ำกว่าอากาศภายนอกสูงสุดที่ 6.84 องศาเซลเซียส ส่วนในช่วงบ่ายถึงกลางคืน ห้องทั้งสองมีอุณหภูมิใกล้เคียงกัน และสูงกว่าอากาศภายนอกประมาณ 1.96 องศาเซลเซียส เนื่องจากมีความร้อนสะสมจากตอนกลางวัน มีข้อสังเกตว่าการคายความร้อนของห้องที่มีแผงกันแดดไม้เลื้อย ซ้ำกว่าห้องที่ใช้แผงกันแดดสำเร็จรูปเล็กน้อย เนื่องมาจากการที่ตัวแผงกันแดดไม้เลื้อยอาจเป็นอุปสรรคในการระบายอากาศ ความชื้นจำเพาะในช่วงเวลากลางวัน (ประมาณ เวลา 10.00 น. - 18.00 น.) ซึ่งความชื้นจำเพาะอากาศภายนอกอยู่ในระดับต่ำ ห้องที่ใช้แผงกันแดดไม้เลื้อยมีระดับความชื้นจำเพาะสูงกว่าอากาศภายนอก และสูงกว่าห้องที่ใช้กันสาดสำเร็จรูป เนื่องจากต้นไม้มีการคายน้ำในเวลาดังกล่าว ส่วนในช่วงกลางคืน (เวลา 20.00 น. - 24.00 น.) เมื่อความชื้นจำเพาะในอากาศภายนอกอยู่ในระดับสูง และต้นไม้ไม่มีการคายน้ำ พบว่าห้องที่ใช้แผงกันแดดไม้เลื้อยมีระดับความชื้นจำเพาะต่ำกว่าความชื้นจำเพาะของอากาศภายนอกและใกล้เคียงกับห้องที่ใช้กันสาดสำเร็จรูป

## บทที่ 3

### วิธีวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาแนวทางการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนของผนังอาคารในรูปแบบใหม่จากการนำค่าการนำความร้อนของต้นม่านบาหลี่ ซึ่งได้มาโดยวิธีการวัดอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆของผนังอาคารที่บที่มีใบต้นม่านบาหลี่ปกคลุมไว้ แล้วจึงนำผลลัพธ์ที่ได้มาเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ของค่าการนำความร้อนจากการใช้โปรแกรม OTTVEE version 1.0a ในรูปแบบเดิม ทั้งนี้ในงานวิจัยจะแบ่งการดำเนินการเป็น 5 ส่วน

#### 3.1 การวิเคราะห์สถานที่ในการดำเนินการวิจัย

เนื่องจากคณะกรรมการจัดการสิ่งแวดล้อมมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ (ภาพที่ 2-1) ในฐานะที่เป็นผู้นำด้านการศึกษา วิจัย การบริการวิชาการด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมในเชิงบูรณาการของภาคใต้ พร้อมทั้งยังมีอาคารสถานที่ ที่ให้บริการทางด้านการทดลองทางวิทยาศาสตร์ที่เอื้ออำนวยต่อการทำโครงการวิจัยที่หลากหลาย จึงมีความพร้อมสำหรับการจัดห้องทดลองต้นแบบของงานวิจัยนี้ ซึ่งการพิจารณาเลือกตำแหน่งห้องทดลองเพื่อดำเนินการวิจัย กำหนดแนวทางไว้ดังนี้



รูปที่ 3-1 อาคารเรียนคณะกรรมการจัดการสิ่งแวดล้อม

ที่มา : ถ่ายจากสถานที่จริงของอาคารเรียนคณะกรรมการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์  
(เมื่อวันที่ 23 ธันวาคม 2553)

### 3.1.1 ทิศทางแสงจากดวงอาทิตย์

เป็นทิศทางที่ได้รับแสงจากดวงอาทิตย์โดยตรงและส่งผลกระทบต่อการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารมากที่สุด ซึ่งห้องที่อยู่ด้านทิศตะวันตกของอาคารเป็นทางเลือกที่นำมาพิจารณาเป็นลำดับแรก



รูปที่ 3-2 ตำแหน่งที่ตั้ง อาคารเรียน คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม  
ที่มา : <http://www.googlemap.com>

### 3.1.2 วิเคราะห์การใช้พื้นที่

โดยพื้นที่ในแนวตั้งของอาคารด้านทิศตะวันตกพบว่า

- ชั้น G เป็นพื้นที่จอดรถ ไม่มีแนวผนัง จึงไม่สามารถนำมาเป็นทางเลือกในการ

พิจารณา

- ชั้น 1, 2 และชั้น 3 เป็นพื้นที่ห้องอเนกประสงค์ไม่มีระบบปรับอากาศ จึงไม่สามารถนำมาเป็นทางเลือกในการพิจารณา

- ชั้น 4 เป็นพื้นที่ห้องประชุมและห้องทำงานบุคลากร มีระบบปรับอากาศแบบแยก

ส่วน สามารถควบคุมทั้งในเรื่องการใช้พื้นที่และระยะเวลาการเปิด-ปิดการใช้พลังงานได้ เหมาะสม สำหรับการนำมาพิจารณาเลือก

- ชั้น 6 ถึงชั้น 8 เป็นห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ มีระบบปรับอากาศแบบแยก

ส่วน สามารถควบคุมในเรื่องการใช้พื้นที่ได้ แต่ระยะเวลาเปิด-ปิดการใช้พลังงานไม่สามารถ ควบคุมได้เนื่องจากมีการใช้งานที่หลากหลาย

ชั้น 7-8 ห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์

ชั้น 6 ห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์

ชั้น 5 ห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์

ชั้น 4 ห้องทำงาน

ชั้น 3 ห้องทำงาน

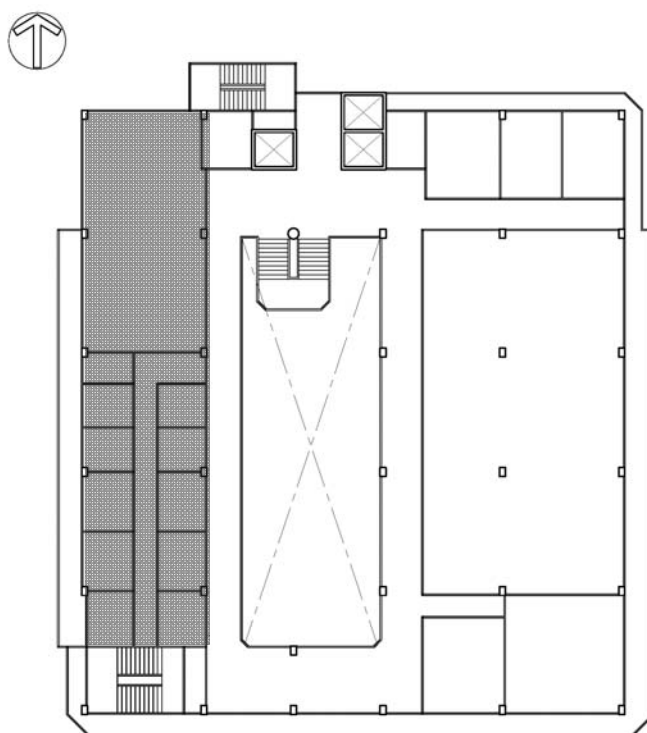
ชั้น 2 ห้องอเนกประสงค์

ชั้น 1 ห้องอเนกประสงค์

ชั้น G พื้นที่จอดรถ



รูปที่ 3-3 การใช้สอยพื้นที่ในแต่ละชั้น ของอาคารเรียน คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม



รูปที่ 3-4 แสดงตำแหน่งที่ตั้งห้องพัก ชั้น 4 อาคารเรียน คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม

จากข้อมูลข้างต้น สรุปว่าพื้นที่ที่เลือกอำนวยความสะดวกการดำเนินการวิจัยทั้งในเรื่องของการติดตั้งเครื่องมือและอุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์ต่างๆ รวมทั้งการนำดินไม้มาปลูกโดยใช้กระถางได้ คือพื้นที่ห้องทำงานบุคลากร ชั้น 4 ทางด้านทิศตะวันตกมีความเหมาะสมที่สุดในการดำเนินการทดลองนี้

### 3.2 เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์

#### 3.2.1 เครื่องมือ

- 1) เครื่องวัดอุณหภูมิ จำนวน 2 เครื่อง
- 2) เทอร์โมคัปเปิลชนิด K 6 คู่สาย
- 3) เครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์ แบบต่อเนื่องและบันทึกข้อมูลได้
- 4) โปรแกรม OTTVEE version 1.0a ของสถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์

มหาวิทยาลัย สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ

### 3.2.2 วัสดุอุปกรณ์

- 1) ตันม่านบาห์ลีพร้อมกระถางปลูก จำนวน 20 กระถาง
- 2) วัสดุสิ่งพร้อมเกลียวปล่อย
- 3) เหล็กกล่องขนาดกว้าง 1 นิ้ว ลึก 1 นิ้ว ความหนา 5 มิลลิเมตร ยาว 3 เมตร

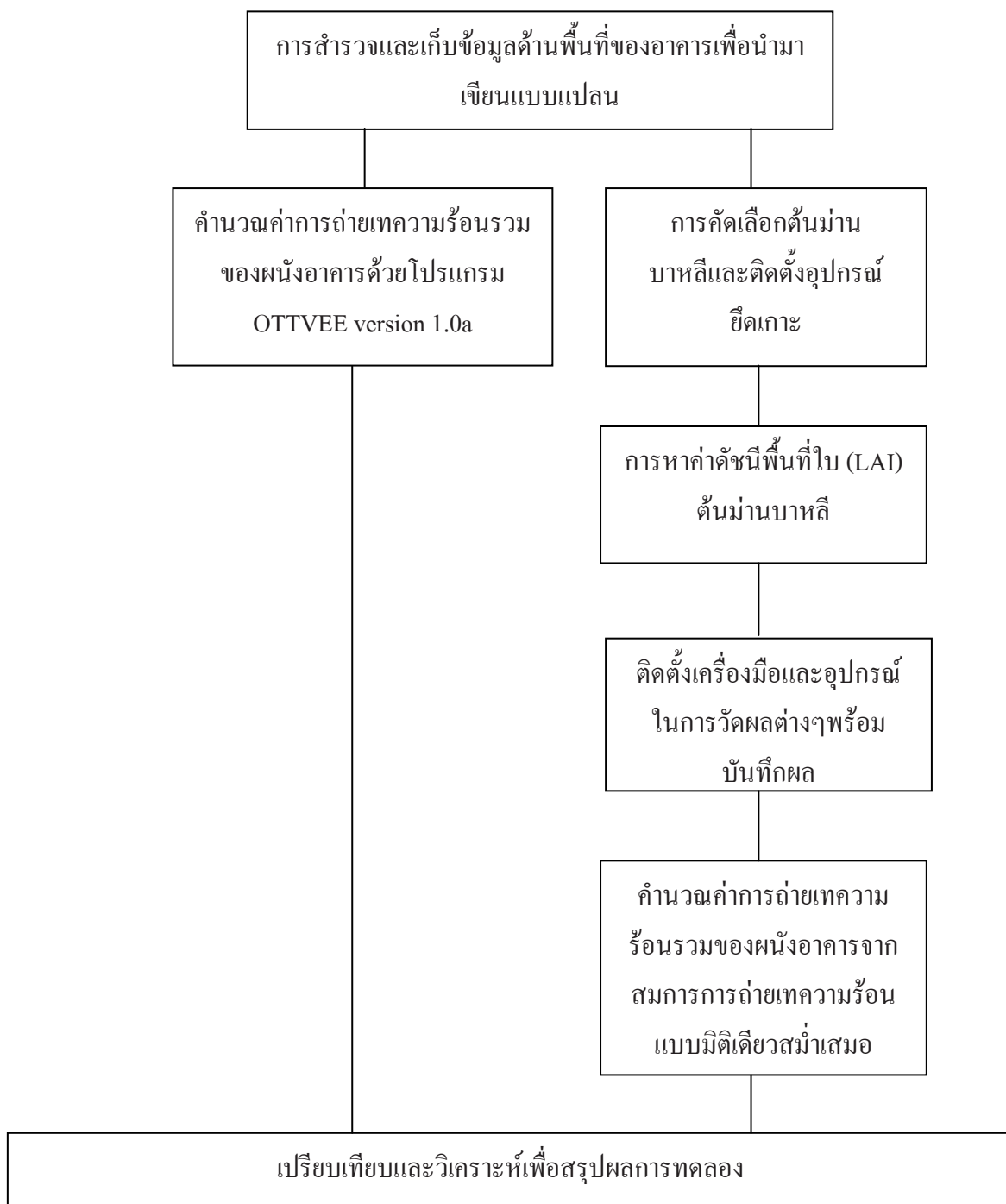
จำนวน 2 ท่อน พร้อมกับ Plate และน๊อตยึด

#### 4) วัสดุปลูกชนิดต่างๆ

- ดินร่วน
- วัสดุ
- แกลบ
- ขุยมะพร้าว

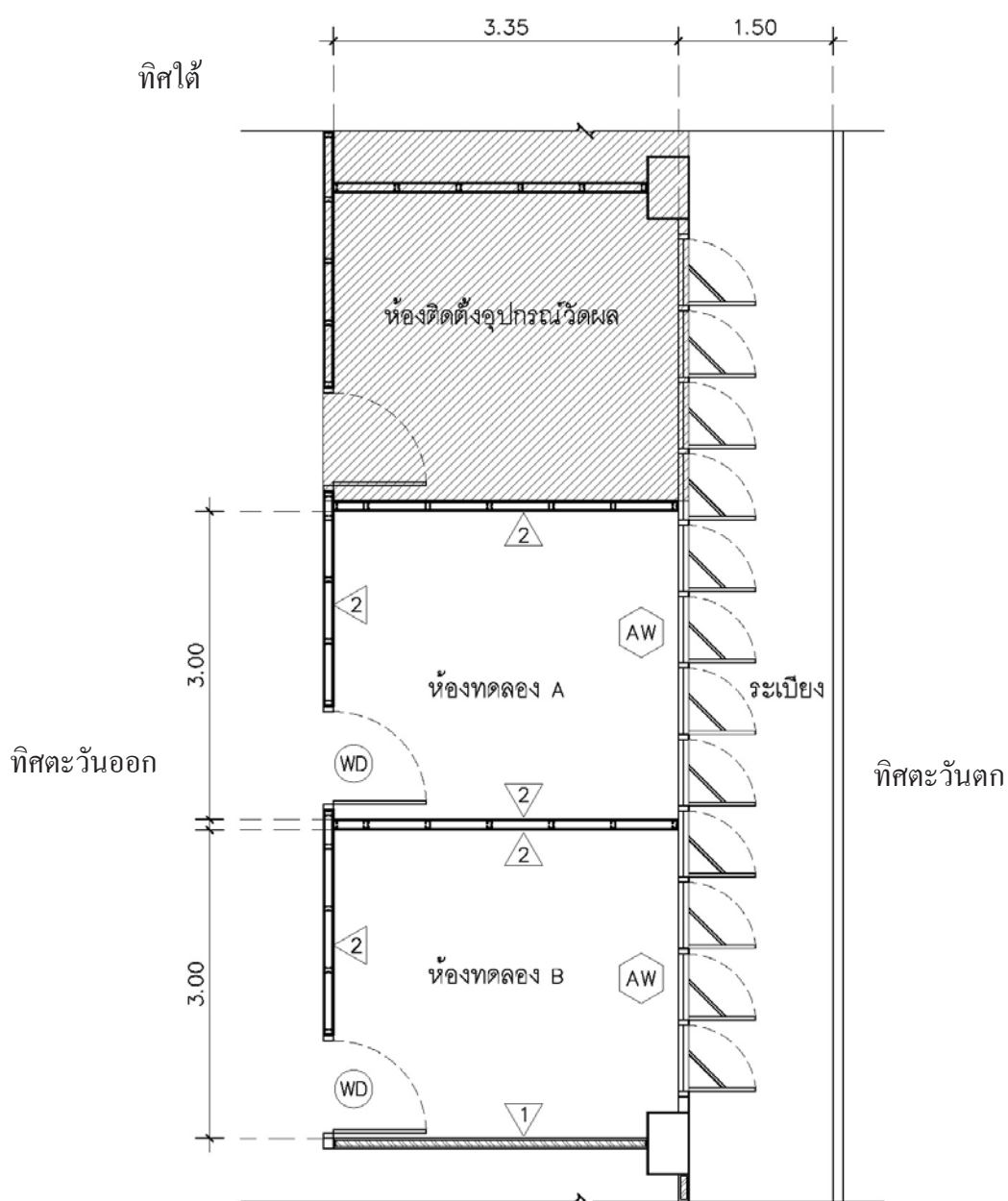
### 3.3 วิธีการดำเนินการวิจัย

#### ขั้นตอนการวิจัย



รูปที่ 3-5 แผนผังขั้นตอนการวิจัย

### 3.3.1 การสำรวจและเก็บข้อมูลด้านพื้นที่ของห้องทดลอง



ทิศเหนือ

สัญลักษณ์ประกอบแบบ

- △ 1 ผนังก่ออิฐอมฤตครึ่งแผ่น ฉาบผิวเรียบ ทาสีขาว
  - △ 2 ผนังเบา กรุแผ่นไม้กระดานอัดยาง โครงคร่าไม้ ทาสี
  - WD ประตูบานเปิดเดี่ยว วงกบไม้เนื้อแข็ง บานไม้อัดย้อมสี
  - ⬡ AW หน้าต่างบานเปิดเดี่ยว วงกบอลูมิเนียม 2'x4'
- กรอบบานอลูมิเนียม กระจกใสสีชาหนา 6 มม

รูปที่ 3-6 แปลนพื้นที่ห้องทดลองชั้น 4 อาคารเรียน คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม



จากการสำรวจและเก็บข้อมูลด้านพื้นที่พบว่า

1) ห้องติดตั้งอุปกรณ์วัดผล

- ผนังภายในด้านทิศเหนือและทิศใต้ มีลักษณะเป็น โครงสร้างผนังเบา ไม้กระดานอัด ทาสี โดยมีความสูงจากพื้นถึงระดับฝ้าเพดาน 2.90 เมตร

- ผนังภายในด้านทิศตะวันออก ที่ระดับความสูงจากพื้นถึงขอบวงกบหน้าต่างล่าง 1.00 เมตร มีลักษณะเป็น โครงสร้างผนังเบา ไม้กระดานอัด ทาสี ส่วนที่ระดับความสูงจากวงกบหน้าต่างล่างถึงระดับฝ้าเพดาน 1.90 เมตร เป็นหน้าต่างกระจกบานเกล็ดระบายอากาศ

- ผนังภายในด้านทิศตะวันตก ที่ระดับความสูงจากพื้นถึงขอบวงกบหน้าต่างล่าง 1.00 เมตร มีลักษณะเป็น โครงสร้างผนังก่ออิฐมวลยวี่ครึ่งแผ่น ฉาบผิวเรียบ ทาสีขาว ส่วนที่ระดับความสูงจากวงกบหน้าต่างล่างถึงระดับฝ้าเพดาน 1.90 เมตร เป็นหน้าต่างบานเปิด กรอบบานอลูมิเนียม กระจกใสสีชา หนา 6 มิลลิเมตร

- ฝ้าเพดานแต่งผิว ฉาบเรียบ ทาสี

2) ห้องทดลอง A

- ผนังภายในด้านทิศเหนือและทิศใต้ มีลักษณะเป็น โครงสร้างผนังเบา ไม้กระดานอัด ทาสี โดยมีความสูงจากพื้นถึงระดับฝ้าเพดาน 2.90 เมตร

- ผนังภายในด้านทิศตะวันออก ที่ระดับความสูงจากพื้นถึงขอบวงกบหน้าต่างล่าง 1.00 เมตร มีลักษณะเป็น โครงสร้างผนังเบา ไม้กระดานอัด ทาสี ส่วนที่ระดับความสูงจากวงกบหน้าต่างล่างถึงระดับฝ้าเพดาน 1.90 เมตร เป็นหน้าต่างกระจกบานเกล็ดระบายอากาศ

- ผนังภายในด้านทิศตะวันตก ที่ระดับความสูงจากพื้นถึงขอบวงกบหน้าต่างล่าง 1.00 เมตร มีลักษณะเป็น โครงสร้างผนังก่ออิฐมวลยวี่ครึ่งแผ่น ฉาบผิวเรียบ ทาสีขาว ส่วนที่ระดับความสูงจากวงกบหน้าต่างล่างถึงระดับฝ้าเพดาน 1.90 เมตร เป็นหน้าต่างบานเปิด กรอบบานอลูมิเนียม กระจกใสสีชา หนา 6 มิลลิเมตร

- ฝ้าเพดานแต่งผิว ฉาบเรียบ ทาสี

3) ห้องทดลอง B

- ผนังภายในด้านทิศเหนือมีลักษณะเป็น โครงสร้างผนังก่ออิฐมวลยวี่ครึ่งแผ่น ฉาบผิวเรียบ ทาสีขาว โดยมีความสูงจากพื้นถึงระดับฝ้าเพดาน 2.90 เมตร

- ผนังภายในด้านทิศใต้ มีลักษณะเป็น โครงสร้างผนังเบา ไม้กระดานอัด ทาสี โดยมีความสูงจากพื้นถึงระดับฝ้าเพดาน 2.90 เมตร

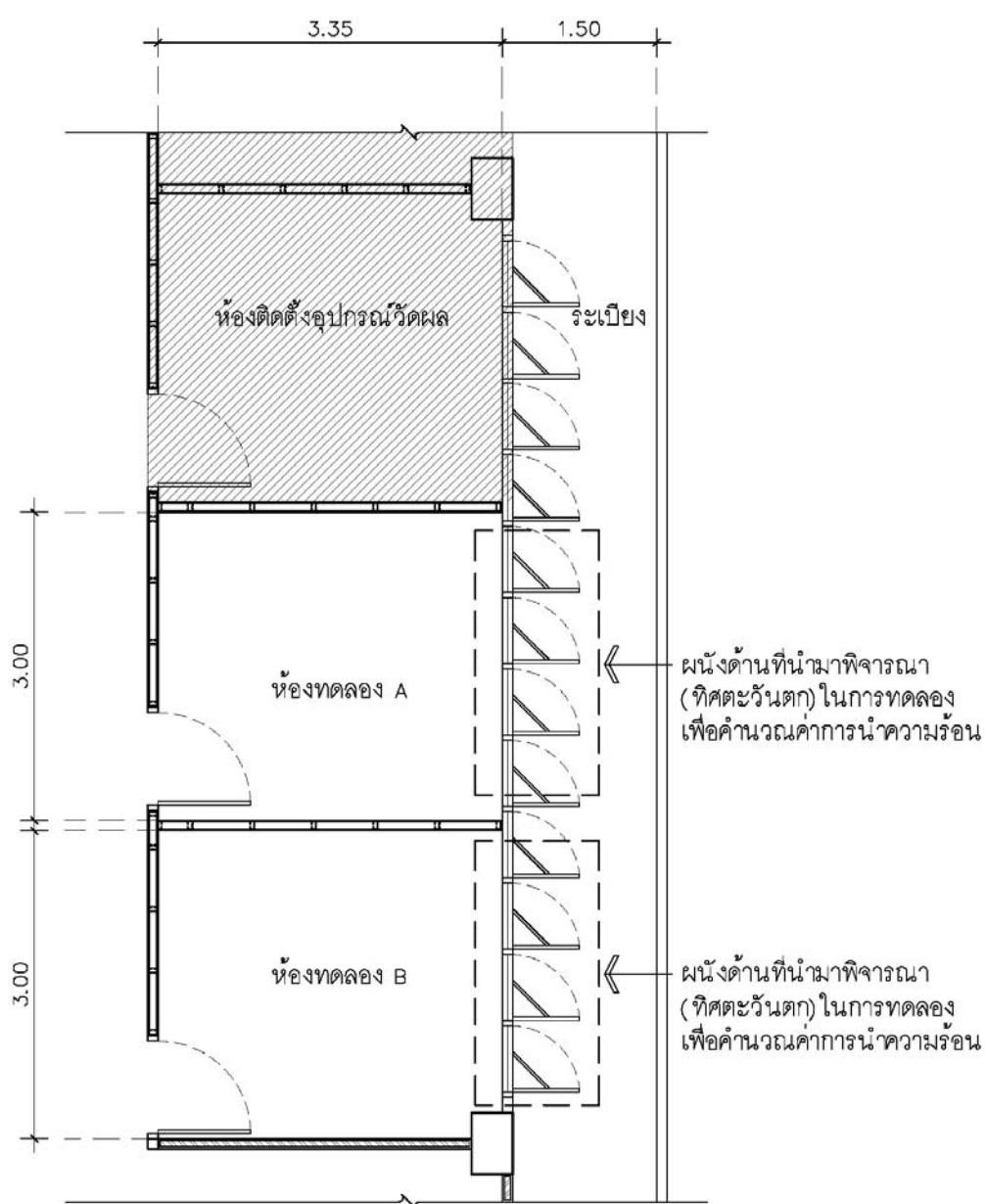
- ผนังภายในด้านทิศตะวันออก ที่ระดับความสูงจากพื้นถึงขอบวงกบหน้าต่างล่าง

1.00 เมตร มีลักษณะเป็น โครงสร้างผนังเบา ไม้กระดานอัด ทาสี ส่วนที่ระดับความสูงจากวงกบ หน้าต่างล่างถึงระดับฝ้าเพดาน 1.90 เมตร เป็นหน้าต่างกระจกบานเกล็ดระบายอากาศ

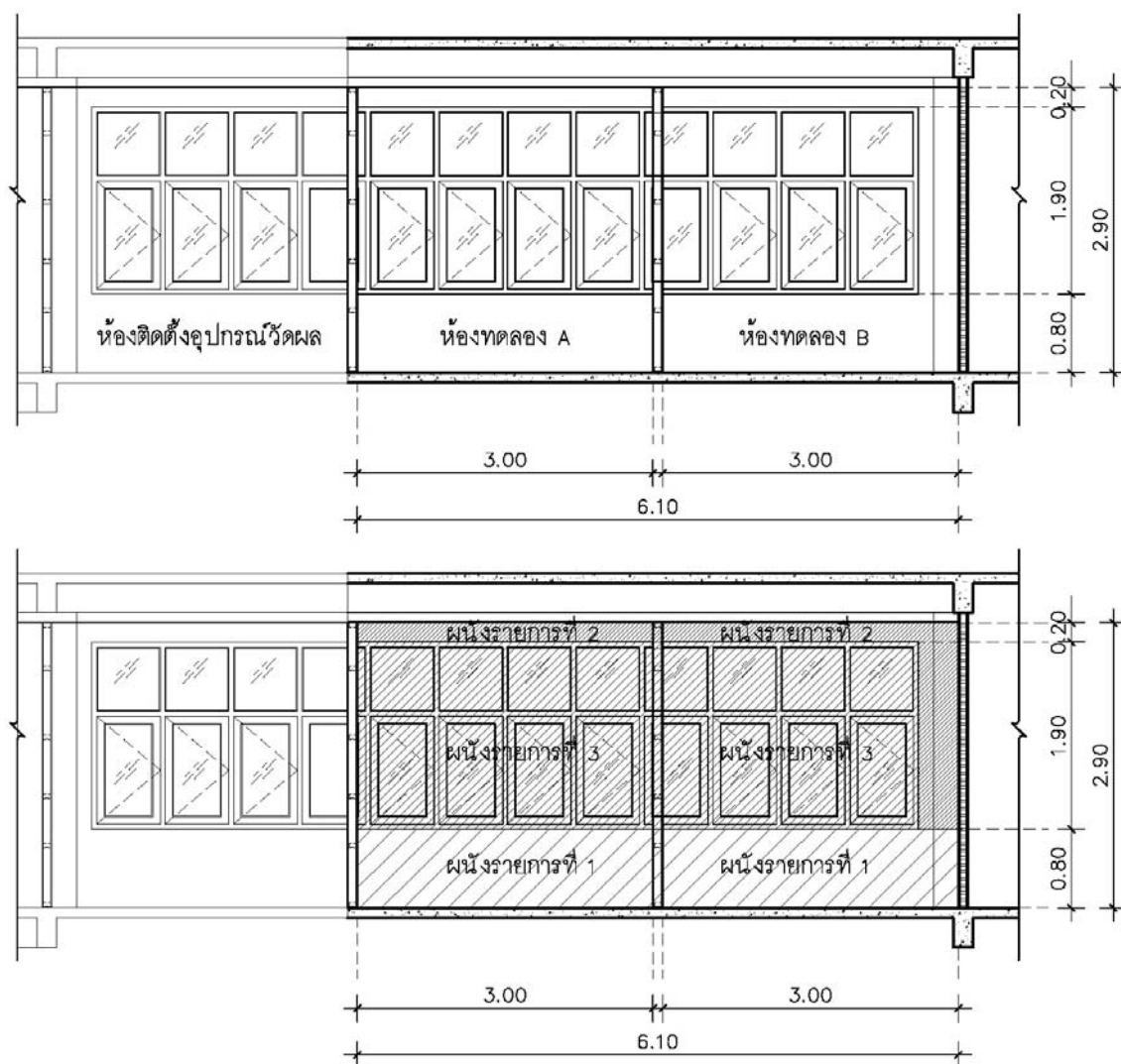
- ผนังภายในด้านทิศตะวันตก ที่ระดับความสูงจากพื้นถึงขอบวงกบหน้าต่างล่าง

1.00 เมตร มีลักษณะเป็น โครงสร้างผนังก่ออิฐมวลเบารឹងแผ่น ฉาบผิวเรียบ ทาสีขาว ส่วนที่ระดับ ความสูงจากวงกบหน้าต่างล่างถึงระดับฝ้าเพดาน 1.90 เมตร เป็นหน้าต่างบานเปิด กรอบบาน อลูมิเนียม กระจกใสสีชา หนา 6 มิลลิเมตร

- ฝ้าเพดานแต่งผิว ฉาบเรียบ ทาสี



รูปที่ 3-7 แปลนพื้นที่ห้องทดลองชั้น 4 อาคารเรียน คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม



รูปที่ 3-8 รูปตัดห้องทดลองชั้น 4 อาคารเรียน คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม



รูปที่ 3-9 รูปด้านห้องทดลองชั้น 4 อาคารเรียน คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม

รายการที่ 1 หมายถึงผนังที่ด้านล่างจากพื้นถึงขอบวงกบล่างหน้าต่าง

รายการที่ 2 หมายถึงผนังที่ด้านบนจากขอบวงกบบนสุดของหน้าต่างถึงฝ้าเพดานภายนอกอาคาร

รายการที่ 3 หมายถึงกระจกใสสีชา กรอบบานอลูมิเนียม

### 3.3.2 คำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้วยโปรแกรม OTTVEE version 1.0a

รายการที่	ทิศ	ชนิดผนัง	ชื่อ	U	พื้นที่
1	W	ผนังทึบ	ผนังอิฐฉาบปูน 4"	3.1	4.0
2	W	ผนังทึบ	ผนังอิฐฉาบปูน 4"	3.1	2.0
3	W	ผนังโปร่งแสง	กระจกใสสีชา	5.9	6.0

รูปที่ 3-10 ขั้นตอนการคำนวณค่า OTTV โดยการป้อนข้อมูลในโปรแกรมในแต่ละส่วนพื้นที่

รายการที่	ทิศ	ชนิดผนัง	U	พื้นที่
1	W	ผนังทึบ	10.0	124.00

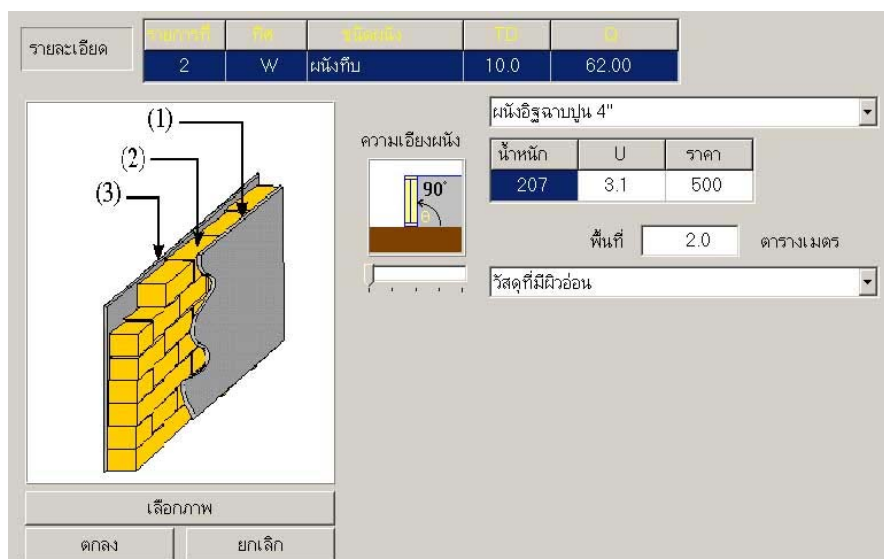
ผนังอิฐฉาบปูน 4"

น้ำหนัก	U	ราคา
207	3.1	500

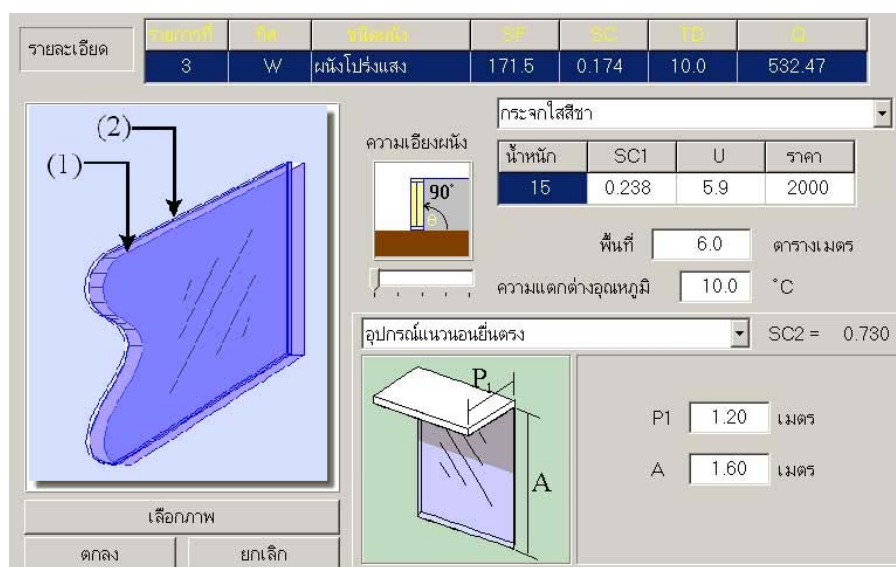
พื้นที่: 4.0 ตารางเมตร

วัสดุที่มีผิวอ่อน

รูปที่ 3-11 ขั้นตอนการป้อนข้อมูลรายละเอียดของผนังก่ออิฐฉาบปูน หมายเลข 1



รูปที่ 3-12 ขั้นตอนการป้อนข้อมูลรายละเอียดของผนังก่ออิฐฉาบปูน หมายเลข 2



รูปที่ 3-13 ขั้นตอนป้อนข้อมูลรายละเอียดของผนังกระจก หมายเลข 3



### 3.3.3 การคัดเลือกพันธุ์ต้นมันบาหลีและติดตั้งอุปกรณ์ยึดเกาะ

1) เลือกต้นมันบาหลีที่มีการเจริญเติบโตสมบูรณ์ อายุประมาณ 18 สัปดาห์ ซึ่งจะเริ่มมีรากอากาศงอกออกมาให้เห็น เตรียมนำลงสู่พื้นที่ปลูกเพื่อทำการทดลอง



รูปที่ 3-14 ต้นมันบาหลีอายุ 2 เดือนที่  
คัดเลือกนำมาทดลอง



รูปที่ 3-15 ขุยมะพร้าวและแกลบ      รูปที่ 3-16 ดินร่วนปนทรายละเอียด

2) พื้นที่สำหรับการทดลองปลูกต้นไม้เป็นลักษณะกันสาด ซึ่งเป็น โครงสร้าง พื้นคอนกรีตเสริมเหล็กที่ใช้สำหรับป้องกันแดด-ฝน (รูปที่ 3-17) รวมทั้งใช้เป็นพื้นที่ในการวาง เครื่องระบายความร้อนของระบบปรับอากาศภายในอาคาร (ห้องทดลอง A และห้องทดลอง B) จึง ต้องทำการย้ายตำแหน่งเพื่อวางระบบท่อน้ำเย็นใหม่ เพื่อให้มีพื้นที่ในการติดตั้ง โครงยึดเกาะของ ต้นไม้และอุปกรณ์สำหรับการวัดผลอุณหภูมิ



รูปที่ 3-17 ตำแหน่งวางระบบท่อน้ำเย็นใหม่

3) ติดตั้งโครงสำหรับให้กิ่งก้านของต้นม่านบาทลีซีดเกาะ โดยใช้เหล็กกล่อง ขนาดกว้าง 1 นิ้ว ลึก 1 นิ้ว ความหนา 5 มิลลิเมตร ยาว 3 เมตร จำนวน 2 ท่อน (รูปที่ 3-18) พร้อมกับ Plate และน็อตยึดขันติดกับพื้นคอนกรีต (รูปที่ 3-19) จากนั้นจึงนำลวดสลิงพร้อมเกลียวปล่อยผูกติดไว้กับท่อนเหล็กกล่องดังกล่าว โดยเว้นระยะห่างระหว่างแนวลวดสลิงตามแกนนอน 40 เซนติเมตร เพื่อป้องกันการแกว่งตัวและเพื่อให้กิ่งก้านของต้นม่านบาทลีสามารถยึดติดได้โดยง่าย



รูปที่ 3-18 การติดตั้งโครงเหล็ก Plate ด้วยน็อตยึด



รูปที่ 3-19 ลวดสลิงพร้อมเกลียวปล่อย

### 3.3.4 การหาค่าดัชนีพื้นที่ใบพืช (LAI) ของต้นมันบาหลี

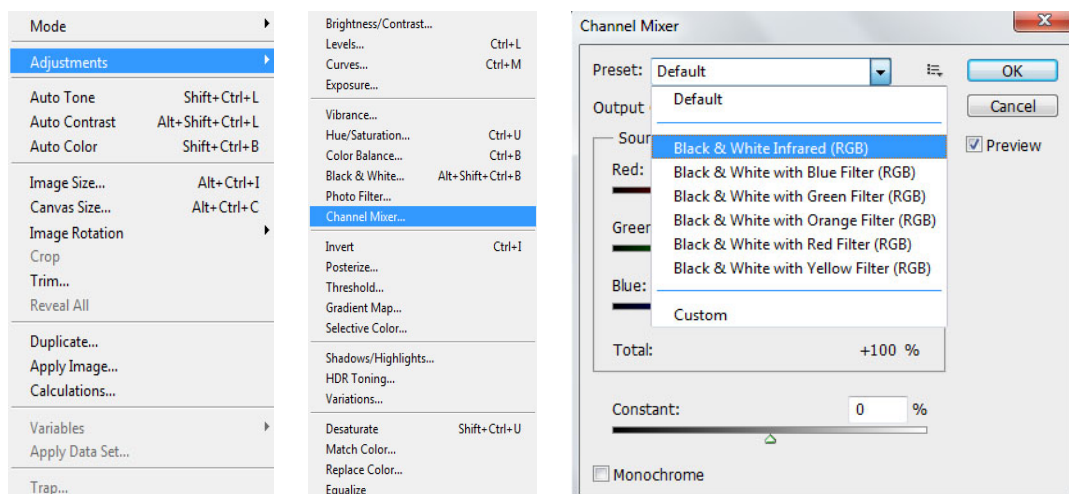
1) นำต้นมันบาหลีที่ย้ายลงกระถางปลูกจำนวน 20 ต้น แบ่งเป็น 2 แถว วางซ้อนกันในแนวตั้ง มีระยะห่างจากผนังอาคารถึงแนวกระถางต้นไม้ 15 เซนติเมตร (รูปที่ 3-20) เพื่อประสิทธิภาพในการลดการถ่ายเทความร้อนและลดการสะสมความชื้นมากที่สุด



รูปที่ 3-20 ตำแหน่งต้นมันบาหลีหลังผนังทดลอง

2) เมื่อทำการจัดวางตำแหน่งของต้นไม้ให้ได้ระยะต่างๆตามที่กำหนดไว้แล้ว ระยะเวลา 2 เดือนจะเป็นกระบวนการเจริญเติบโตของต้นมันบาหลี เพื่อให้ได้ความหนาของพุ่มใบที่มีพื้นที่ใบปกคลุมมากกว่า 85 เปอร์เซ็นต์และมีจำนวนชั้นใบมากกว่า 2 ชั้น ทั้งนี้การประเมินเพื่อหาค่าการปกคลุมของใบต้นมันบาหลีจะใช้วิธีการเทียบเคียงงานวิจัยที่ใช้การประยุกต์ภาพถ่ายดิจิทัลเพื่อนำมาประเมินดัชนีพื้นที่ใบ (รักศักดิ์ เสริมศักดิ์ และหัตถชัย บุญจูง, 2550) ด้วยโปรแกรม Photoshop (รูปที่ 3-21) ที่มีคำสั่งประมวลผลด้วยภาพที่มีช่วงคลื่นของแสงอินฟราเรดใกล้ (Near infrared wave length) ซึ่งผลที่ได้จากกระบวนการดังกล่าว คือบริเวณที่พื้นที่ใบต้นมันบาหลีที่มีความหนาแน่นมาก โดยปกติจะแสดงเป็นสีเขียวเข้มเนื่องจากการสะท้อนแสงของใบในช่วงคลื่นที่มองเห็นด้วยตาเปล่าเพราะปริมาณของคลอโรฟิลล์ (Chlorophyll content) ภายในใบจะมีการสะท้อนพลังงานแสงสูงสุดในช่วงคลื่นประมาณ 550 นาโนเมตร (Sims and Gamon, 2002) นั้น จะไม่สามารถแสดงผลออกมาได้ เนื่องจากถูกกำหนดด้วยการประยุกต์ใช้โปรแกรม Photoshop ให้แสดงเฉพาะสีที่คลื่นของแสงอินฟราเรดใกล้ (Near infrared wave length) ที่มีความยาวคลื่นประมาณ 700 – 1,500 นาโนเมตร (Sabins, 1987) ซึ่งจะแสดงเป็นสีเทา





รูปที่ 3-21 ลำดับขั้นตอนการหาค่า LAI ต้นมันนาบาหลีด้วยการประยุกต์ใช้โปรแกรม Photoshop  
3.3.5 ติดตั้งเครื่องมือและอุปกรณ์พร้อมบันทึกผล

#### ชื่อห้อง

ห้องติดตั้งอุปกรณ์วัดผล

ห้องทดลอง A ภายในห้อง

ห้องทดลอง A ภายนอกห้อง (กันสาดอาคาร)

ห้องทดลอง B ภายในห้อง

ห้องทดลอง B ภายนอกห้อง (กันสาดอาคาร)

#### เครื่องมือและอุปกรณ์วัดผล

เครื่องวัดอุณหภูมิ จำนวน 2 เครื่อง

เทอร์โมคัปเปิลชนิด K ( $T_3$ )

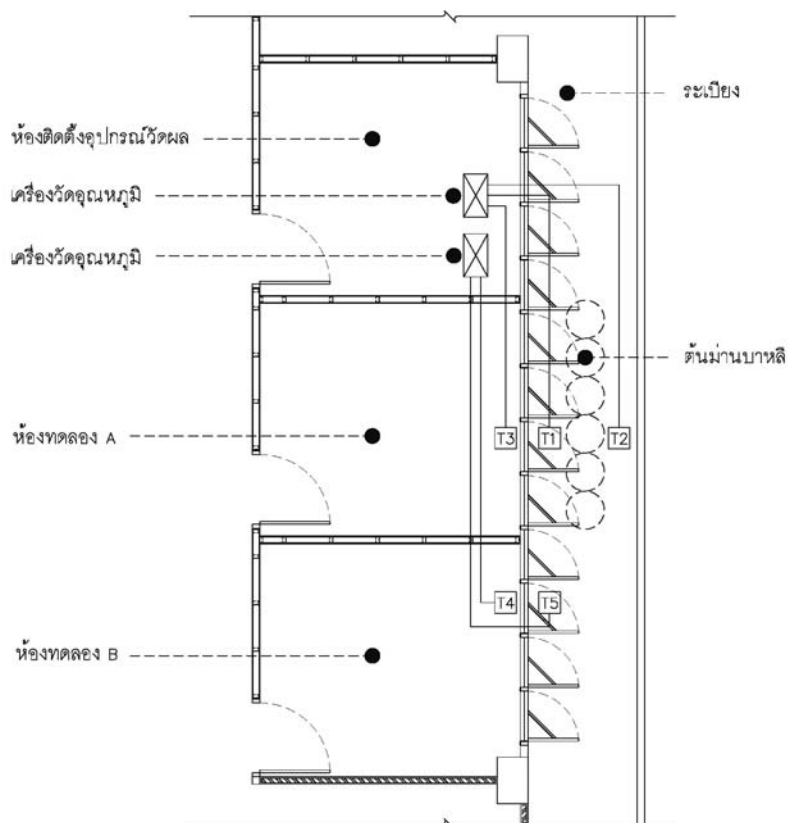
เทอร์โมคัปเปิลชนิด K ( $T_1$ ), ( $T_2$ ) และเครื่องวัด

ความชื้นสัมพัทธ์ แบบต่อเนื่องและบันทึก

ข้อมูลได้

เทอร์โมคัปเปิลชนิด K ( $T_4$ )

เทอร์โมคัปเปิลชนิด K ( $T_5$ )



- T1 ปลายสาย Cable Line วัดอุณหภูมิ ภายนอกห้องทดลอง A หลังต้นม่านบาหลิ
- T2 ปลายสาย Cable Line วัดอุณหภูมิ ภายนอกห้องทดลอง A หน้าต้นม่านบาหลิ
- T3 ปลายสาย Cable Line วัดอุณหภูมิ ภายในห้องทดลอง A
- T4 ปลายสาย Cable Line วัดอุณหภูมิ ภายในห้องทดลอง B
- T5 ปลายสาย Cable Line วัดอุณหภูมิ ภายนอกห้องทดลอง B
- แนวต้นม่านบาหลิที่ปลุกตลอดแนวของห้องทดลอง A
- ⊗ เครื่องวัดอุณหภูมิ Thermocouple Typ k

รูปที่ 3-22 ตำแหน่งอุปกรณ์และจุดวัดอุณหภูมิ



รูปที่ 3-23 ตำแหน่ง เครื่องวัดอุณหภูมิ



รูปที่ 3-24 ตำแหน่งจุดวัดอุณหภูมิในห้องทดลอง A

โดยรูปแบบการติดตั้งและตำแหน่งของจุดวัดอุณหภูมิได้ประยุกต์จากงานวิจัยของ Nyuk hien Wong และคณะ (2009) ที่พิจารณาอุณหภูมิจากพื้นผิวและอุณหภูมิโดยรอบ ไม้ 2 ชั้น คือ อุณหภูมิของผนังและอุณหภูมิของพื้นผิววัสดุ (รูปที่ 3-24) รวมถึงข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์เพื่อประเมินความสัมพันธ์ ซึ่งระยะเวลาในการดำเนินการทดลองคือ ตั้งแต่วันที่ 3 ธันวาคม 2555 เวลา 0.00 น. ถึงวันที่ 10 ธันวาคม 2555 รวมระยะเวลาการทดลอง 7 วัน ทั้งนี้ได้ทำการเปิดระบบเครื่องปรับอากาศ ตลอดช่วงระยะเวลาทำการทดลอง ทั้งห้องทดลอง A และห้องทดลอง B โดยผู้วิจัยได้กำหนดอุณหภูมิไว้ที่ 25 องศาเซลเซียส

### 3.3.6 คำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังอาคารจากสมการการถ่ายเทความร้อนแบบมิติเดียวสม่ำเสมอ

#### 1) คำนวณค่า k ของฉนวนเบาหลิ

โดยนำค่าเฉลี่ยที่ได้จากการบันทึกข้อมูลอุณหภูมิทั้ง 7 วัน มาคำนวณในสูตรการหาค่าถ่ายเทความร้อนรวมของผนังอาคารด้วยสมการการถ่ายเทความร้อนแบบมิติเดียวสม่ำเสมอ

$$Q = (kA/1) (T_1 - T_2) \quad (3.1)$$

$$Q_2 = k_{ผนัง} \times A \times (T_1 - T_3) \quad (3.2)$$

เมื่อ  $Q_1 = Q_2$  เป็นการนำความร้อนแบบมิติเดียวในภาวะสม่ำเสมอ

$$k_{ฉนวนเบาหลิ} \times A \times (T_2 - T_1) = k_{ผนัง} \times A \times (T_1 - T_3)$$

$$k_{ฉนวนเบาหลิ} \times (T_2 - T_1) = k_{ผนัง} \times (T_1 - T_3)$$

$$k_{ฉนวนเบาหลิ} = k_{ผนัง} \times (T_1 - T_3) / (T_2 - T_1) \quad (3.3)$$

โดยที่  $Q =$  ค่าการถ่ายเทความร้อนรวม (หน่วยวัดเป็น  $W/m^2 \text{ } ^\circ C$ )

$k =$  ค่าการนำความร้อนของวัสดุ (หน่วยวัดเป็น  $W/m \text{ } ^\circ C$ )

$A =$  พื้นที่ที่มีการรับแสงแดด ( $m^2$ )

$\Delta T =$  ค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอก

#### 2) คำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนังทึบ

โดยการแทนค่า  $X/k$  ของฉนวนเบาหลิ ดังนี้

$$U_w = 1/R = 1/[(X_1/k_1) + (X_2/k_2) + (X_3/k_3)] \quad (3.4)$$

โดยที่  $U_w =$  ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนังทึบ ( $W/m^2 \text{ } ^\circ C$ )

$k =$  ค่าการนำความร้อนของฉนวนเบาหลิ ( $W/m \text{ } ^\circ C$ )

$X =$  ความหนาของวัสดุในชั้นที่  $n$  (m)

$R =$  ค่าการต้านทานความร้อน (Resistivity –  $m^2 \text{ } ^\circ C/Watt$ )

## 3) คำนวณค่าคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวม

โดยการแทน ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนังทึบ

$$OTTV_i = (U_w)(1-WWR)(TD_{eq}) + (U_f)(WWR)(\Delta T) + (WWR)(SHGC)(SC)(ESR) \quad (3.5)$$

โดยที่	$U_w$	=	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ หน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตรองศาเซลเซียส ( $W/m^2 \text{ } ^\circ C$ )
	$WWR$	=	อัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสง ต่อพื้นที่ทั้งหมดของผนังด้านที่พิจารณา
	$TD_{eq}$	=	ค่าผลต่างอุณหภูมิเทียบเท่าระหว่างภายนอกและภายในอาคาร ซึ่งรวมถึงผลการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของผนังทึบ หน่วยเป็นองศาเซลเซียส( $^\circ C$ )
	$U_f$	=	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของกระจก หน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตรองศาเซลเซียส( $W/m^2 \text{ } ^\circ C$ )
	$\Delta T$	=	ค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกอาคาร ( $^\circ C$ )
	$SC$	=	สัมประสิทธิ์การบังแดดของหน้าต่าง
	$RSR$	=	อัตราส่วนพื้นที่ของส่วนโปร่งแสงที่ช่องรับแสงบริเวณหลังคา ต่อพื้นที่ทั้งหมดของหลังคาส่วนที่พิจารณา
	$ESR$	=	ปริมาณรังสีอาทิตย์ตกกระทบที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังโปร่งแสง

ในงานวิจัยชิ้นนี้ ผู้วิจัยได้ตั้งสมมติฐาน ผลคูณของความหนาแน่น, ความร้อนจำเพาะและความหนาของผนังด้านที่พิจารณาที่มีใบของต้นไม้หนาเปลือกคลุมไว้ โดยคิดในอัตราส่วน 50% ของผนังห้องทดลองเพื่อให้สามารถหาค่าผลต่างอุณหภูมิเทียบเท่าระหว่างภายนอกและภายในอาคาร ( $TD_{eq}$ ) ของผนังด้านที่พิจารณาได้ เนื่องจากในปัจจุบันยังไม่ได้มีการทดสอบหาค่าความหนาแน่นและความจุความร้อนจำเพาะของต้นไม้อย่างเป็นรูปธรรม ผู้วิจัยจึงแต่ได้นำเสนอรูปแบบวิธีคิดเทียบเคียงดังกล่าว มาปรับใช้ในการคำนวณเพื่อให้สามารถหาค่าผลต่างอุณหภูมิเทียบเท่าระหว่างภายนอกและภายในอาคาร ( $TD_{eq}$ ) ได้

### 3.4 การเปรียบเทียบและวิเคราะห์เพื่อสรุปผลการทดลอง

#### 3.4.1 พิจารณาค่า OTTVi ด้วยโปรแกรม

จากการคำนวณด้วยโปรแกรม OTTVEE version 1.0a โดยผนังอาคารด้านที่นำมาทดลองในงานวิจัยมีค่าการถ่ายเทความร้อนมากกว่าหรือน้อยกว่า ข้อกำหนดกฎกระทรวง (พ.ศ. 2535)

#### 3.4.2 พิจารณาค่า OTTVi ด้วยการคำนวณ

จากการคำนวณด้วยสมการการถ่ายเทความร้อนแบบมิติเดียว สมมติเสมอที่แทนค่าการนำความร้อนของผนังต้นม่านบาหลี่ที่ได้จากการทดลอง เปรียบเทียบกับค่า OTTVi จากการคำนวณด้วยโปรแกรม OTTVEE version 1.0 a ที่ไม่ได้นำค่าการนำความร้อนของต้นม่านบาหลี่มาแทนค่า ว่ามีความแตกต่างและผ่านข้อกำหนดของกฎกระทรวง (พ.ศ. 2535) หรือไม่

#### 3.4.3 พิจารณาค่าความแตกต่าง

โดยการเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิและความชื้นของห้องทดลอง A และห้องทดลอง B โดยมีการเปิดระบบปรับอากาศตลอดช่วงระยะเวลาดำเนินการวิจัย

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการวิจัย

ผลของการศึกษาแนวทางการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนของผนังอาคารด้วย ต้นม่านบาห์ลี โดยวิธีนำค่าการนำความร้อนของต้นม่านบาห์ลี มาประยุกต์ใช้ จะแบ่งเป็น 3 ส่วน โดยส่วนแรก ผู้วิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลทางด้านกายภาพของอาคาร เฉพาะขนาดของพื้นที่ ห้องทดลองและวัสดุประกอบผิวอาคารที่เป็นตัวแปรในการการศึกษา จากนั้นจึงนำมาคำนวณด้วย โปรแกรม OTTVEE version 1.0a และเปรียบเทียบกับข้อกำหนดกฎกระทรวง (พ.ศ. 2535) ส่วนที่ 2 จะเป็นผลของการแทนค่าสมการการถ่ายเทความร้อนแบบมิติเดียวสม่ำเสมอ ที่ได้มาจากการ คำนวณหาดัชนีพื้นที่ใบต้นม่านบาห์ลีด้วยวิธีเทียบเคียงจากงานวิจัยที่ใช้การประยุกต์ภาพถ่าย ดิจิตอลเพื่อนำมาประเมินดัชนีพื้นที่ใบ ด้วยโปรแกรม Photoshop รวมทั้งการนำค่าเฉลี่ยที่ได้จาก การเก็บบันทึกข้อมูลอุณหภูมิในรอบ 1 สัปดาห์ ณ ตำแหน่งต่างๆ มาคำนวณค่า  $k$  ของวัสดุ และ ส่วนที่ 3 จะเป็นการวิเคราะห์เพื่อสรุปผลการทดลอง โดยผลการศึกษาเป็นดังนี้

#### 4.1 ผลจากการเก็บข้อมูลและศึกษาด้วยโปรแกรม OTTVEE version 1.0a

สรุปรายการคำนวณ OTTV และ RTTV		รายงาน	กลับไปป้อนข้อมูลกรอบอาคาร				
ค่า OTTV ของอาคาร	59.87	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร					
ค่า RTTV ของอาคาร	0.00	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร					
รายละเอียดการคำนวณค่า OTTV และ RTTV							
รหัสรายการ	ชนิดผนัง	พื้นที่	U	TD	SF	SC	Q, วัตต์
[ ผนังทิศ W ]							
รายการที่-1	ผนังทึบ	4.0	3.100	10.0	-	-	124.00
รายการที่-2	ผนังทึบ	2.0	3.100	10.0	-	-	62.00
รายการที่-3	ผนังโปร่งแสง	6.0	5.890	10.0	171.5	0.174	532.47
รวม		12.0					718.47
ค่า OTTV =							59.87 วัตต์ ต่อ ตารางเมตร

รูปที่ 4-1 สรุปรายการคำนวณค่า OTTV<sub>i</sub> ของผนังอาคารด้านทิศตะวันตกห้องทดลอง A

จากรูปที่ 4-1 ที่ได้แสดงรายการคำนวณค่า OTTV<sub>i</sub> ของผนังอาคารด้านทิศตะวันตกของห้องทดลอง A อธิบายได้ดังนี้

4.1.1 พื้นที่ของผนังในรายการที่ 1 ซึ่งเป็นผนังทึบก่ออิฐฉาบปูนเรียบทาสีขาว ความหนารวมปูนฉาบและทาสี 10 เซนติเมตร ที่อยู่ด้านทิศตะวันตกของอาคาร 4 ตารางเมตร มีค่าสัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทความร้อน (U) เท่ากับ  $3.10 \text{ W/m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}$  และมีค่าผลต่างอุณหภูมิเทียบเท่าระหว่างภายนอกและภายในอาคาร (TD) เท่ากับ 10 ทำให้ผนังอาคารส่วนนี้มีค่าการถ่ายเทความร้อนของผนัง (Q) เท่ากับ 124.00 Watt

4.1.2 พื้นที่ของผนังในรายการที่ 2 ซึ่งเป็นผนังทึบก่ออิฐฉาบปูนเรียบทาสีขาว ความหนารวมปูนฉาบและทาสี 10 เซนติเมตร ที่อยู่ด้านทิศตะวันตกของอาคาร 2 ตารางเมตร มีค่าสัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทความร้อน (U) เท่ากับ  $3.10 \text{ W/m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}$  และมีค่าผลต่างอุณหภูมิเทียบเท่าระหว่างภายนอกและภายในอาคาร (TD) เท่ากับ 10 ทำให้ผนังอาคารส่วนนี้มีค่าการถ่ายเทความร้อนของผนัง (Q) เท่ากับ 62.00 Watt

4.1.3 พื้นที่ของผนังในรายการที่ 3 ซึ่งเป็นผนังโปร่งแสงลักษณะกระจกใสสีชา ความหนา 6 มิลลิเมตร ที่อยู่ด้านทิศตะวันตกของอาคาร 6 ตารางเมตร มีค่าสัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทความร้อน (U) เท่ากับ  $5.89 \text{ W/m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}$  ค่าผลต่างอุณหภูมิเทียบเท่าระหว่างภายนอกและภายในอาคาร (TD) เท่ากับ 10 ค่าตัวประกอบรังสีอาทิตย์ (SF) เท่ากับ 171.50 และค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของหน้าต่าง (SC) เท่ากับ 0.174 ทำให้ผนังอาคารส่วนนี้มีค่าการถ่ายเทความร้อนรวม (Q) เท่ากับ 532.47 Watt

ดังนั้นเมื่อรวมพื้นที่ทั้งหมดของผนังอาคารด้านทิศตะวันตกของห้องทดลอง A จะเท่ากับ  $12 \text{ m}^2$  และนำค่าการถ่ายเทความร้อนรวม (Q) ของผนังทั้งหมดมาหารจะเท่ากับ 718.47 Watt และเมื่อทำการคำนวณด้วยโปรแกรม OTTV VERSION 1.0a แล้วพบว่า ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านทิศตะวันตกของห้องทดลอง A มีค่า  $59.87 \text{ W/m}^2$  ซึ่งเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2535 ที่กำหนดไว้สำหรับอาคารเก่า ต้องมีค่าไม่เกินกว่า  $55 \text{ W/m}^2$  จะมีค่าที่สูงกว่า

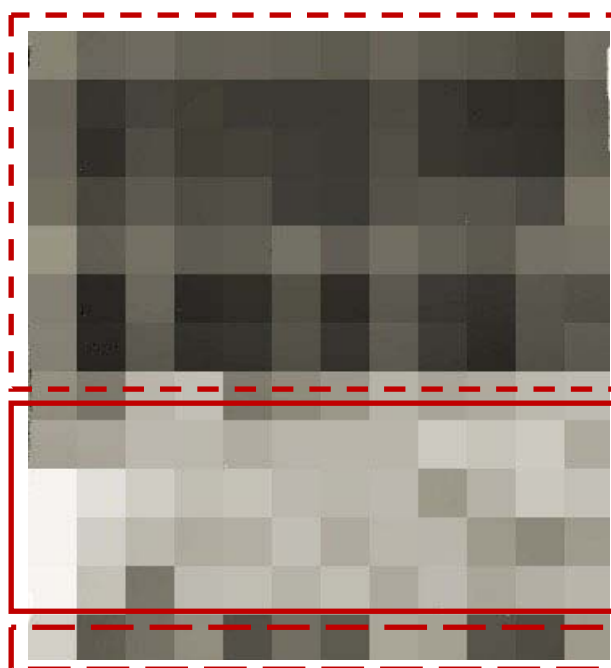
#### 4.2 ผลการศึกษาการคำนวณหาดัชนีพื้นที่ใบต้นมันบาดลิด้วยวิธีการประยุกต์ใช้ภาพถ่ายดิจิทัล



รูปที่ 4-2 ต้นมันบาดลิที่ปกคลุมผนังอาคารที่บหลังจากทดลองปลูกเป็นระยะเวลา 2 เดือน

4.2.1 จากรูปที่ 4-2 ที่บันทึกได้จากกล้องดิจิทัล ระยะห่างจากผนังต้นมันบาดลิ 20 เมตร ซึ่งพื้นที่วางจุดตั้งกล้องเพื่อบันทึกภาพคืออาคารปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ ชั้น 4 ที่อยู่ตรงกันข้ามกับพื้นที่ห้องทดลอง A และ ห้องทดลอง B จากข้อจำกัดในเรื่องของพื้นที่ในการตั้งกล้องไม่สามารถทำได้ในระยะที่ใกล้กว่านี้ เห็นได้ชัดเจนว่าต้นมันบาดลิที่ทดลองปลูกเป็นระยะเวลา 2 เดือนใบของต้นมันบาดลิปกคลุมพื้นที่ผนังอาคารค่อนข้างหนาแน่น จึงสามารถเก็บข้อมูลภาพที่ได้เพื่อเข้าสู่กระบวนการทดลองในขั้นตอนต่อไป





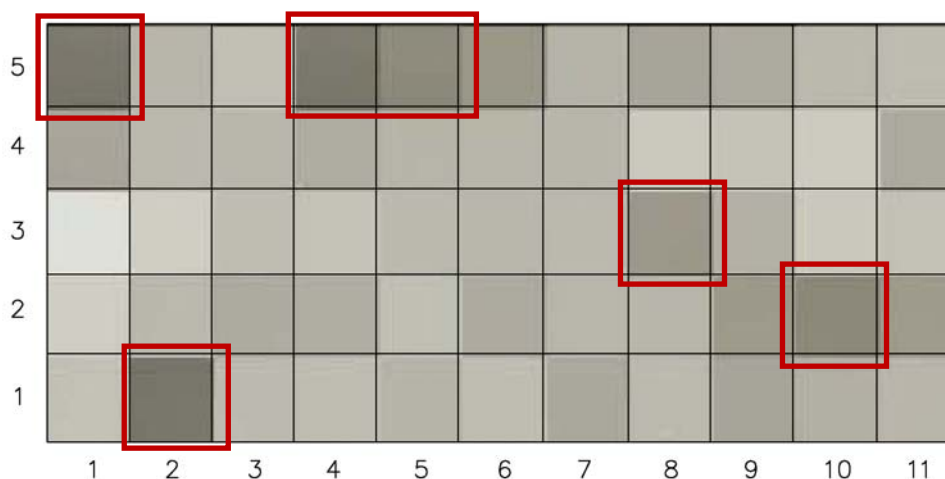
- โดยที่
- - - - - แสดงพื้นที่วัสดุกระจกหน้าต่าง ความสูง 1.90 เมตร
  - แสดงพื้นที่ผนังที่มีต้นมันบาหลิปกคลุมอยู่ ความสูง 0.80 เมตร (ส่วนที่นำมาวิจัย)
  - - - - - แสดงพื้นที่กระถางต้นมันบาหลิ ความสูง 0.30 เมตร

รูปที่ 4-3 ผลจากการใช้โปรแกรม Photoshop เพื่อหาค่าดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) ของต้นมันบาหลิ

4.2.2 นำภาพที่บันทึกด้วยกล้องดิจิทัล เข้าสู่การทดลองด้วยกระบวนการใช้ Feature ของโปรแกรม Photoshop สามารถอธิบายได้ดังนี้

- 1) พื้นที่ที่เป็นวัสดุกระจกหรือหน้าต่าง แสดงโทนสีเข้มอย่างชัดเจน เนื่องจากเป็นไม่สามารถสะท้อนพลังงานแสงสูงสุดที่ช่วงคลื่นสูงกว่า 550 นาโนเมตร ได้ (Sims and Gamon, 2002)
- 2) พื้นที่ผนังที่มีต้นมันบาหลิปกคลุมอยู่ แสดงโทนสีเทาอ่อนอย่างชัดเจน เนื่องจากการปกคลุมอย่างหนาแน่นของใบต้นมันบาหลิ ที่มีปริมาณของคลอโรฟิลล์ (Chlorophyll content) ภายในใบจะมีการสะท้อนและแสดงผลคลื่นแสงอินฟราเรดใกล้ที่มีระดับ (Near infrared wave length) ความยาวคลื่นประมาณ 700 – 1,500 นาโนเมตร (Sabins, 1987)

3) พื้นที่กระถางต้นมันบาหลี ที่มีระดับความสูงจากพื้นที่ระเบียง 0.30 เมตร เนื่องจากเป็นวัตถุที่มีลักษณะทึบแสง ผู้วิจัยจึงไม่นำมาประกอบการพิจารณาในงานวิจัย



รูปที่ 4-4 แสดงดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) ของต้นมันบาหลีจากการประยุกต์ใช้ภาพถ่ายดิจิทัล

#### 4.2.3 วิเคราะห์แถบสีแสดงระดับปริมาณความเข้มของคลอโรฟิลในใบพืชโดย

ช่องที่มีสีอ่อนแสดงถึงการสะท้อนแสงที่มีปริมาณความเข้มของคลอโรฟิลสูง เรียงลำดับตามความเข้มจนถึงช่องที่สีเข้มมากซึ่งหมายถึงการสะท้อนแสงที่มีปริมาณความเข้มของคลอโรฟิลน้อย ทั้งนี้ ในภาพที่ 3-4 มีจำนวนช่องแสดงดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) ทั้งหมด 55 ช่อง มีช่องสีเข้มที่สามารถนำมาพิจารณา 6 ช่อง ซึ่งคิดเป็น 11 เปอร์เซ็นต์จากพื้นที่ทั้งหมด จึงสรุปได้ว่าการประเมินดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) ของต้นมันบาหลีจากการประยุกต์ใช้ภาพถ่ายดิจิทัลมีค่าเท่ากับ 89 %

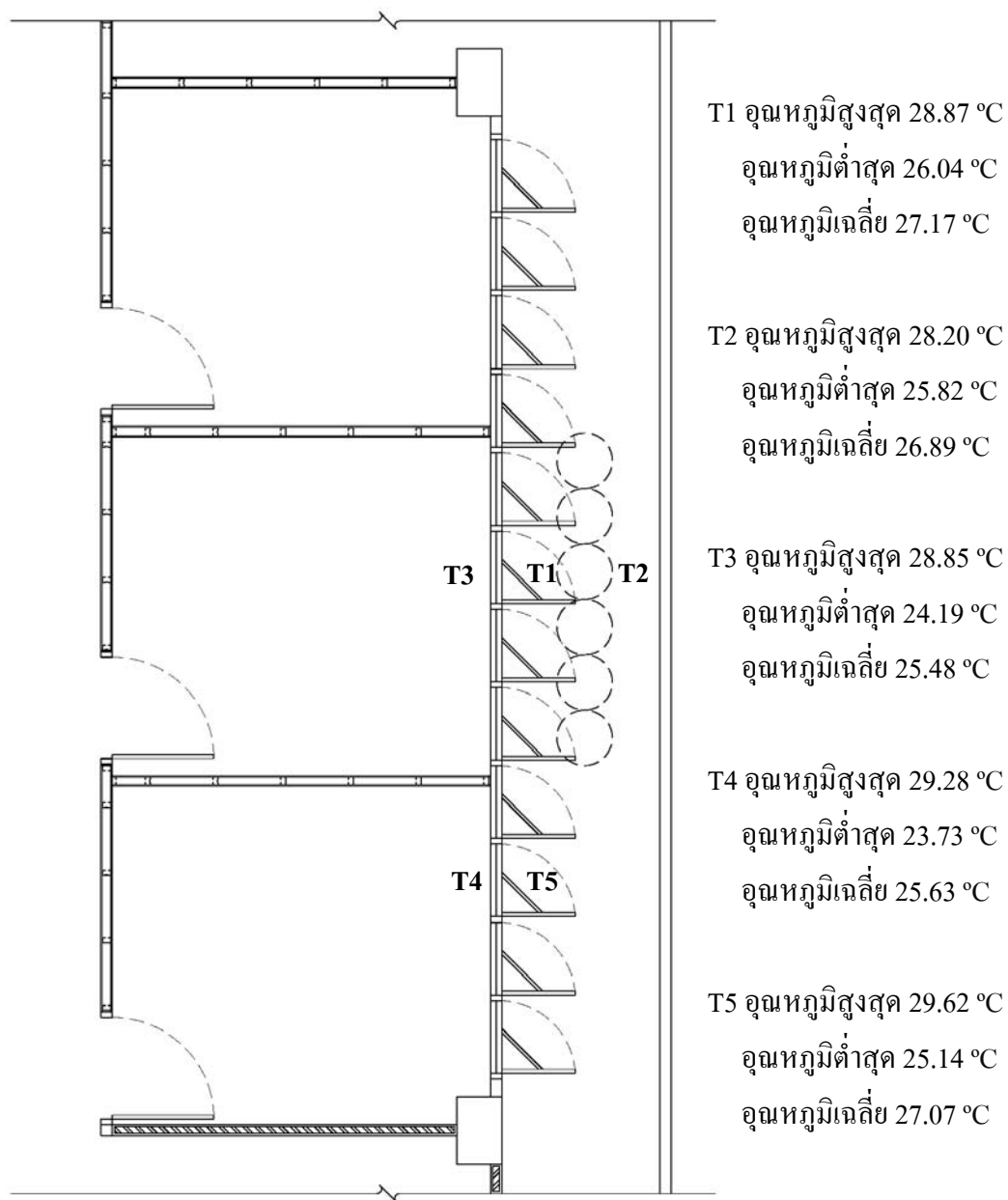
#### 4.3 ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับช่วงเวลา ณ ตำแหน่งต่างๆ

ตารางที่ 4-1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับช่วงเวลา ณ ตำแหน่งต่างๆ

วัน/เดือน/ปี	เวลา	ห้องทดลอง A (T1)	ห้องทดลอง A (T2)	ห้องทดลอง A (T3)	ห้องทดลอง B (T4)	ห้องทดลอง B (T5)
3/12/2012	0.00-6.00	26.04	25.86	26.17	26.05	25.85
	6.00-12.00	26.51	25.82	26.73	26.88	26.83
	12.00-18.00	28.37	27.72	28.85	29.28	29.40
	18.00-24.00	27.06	26.85	25.89	25.71	26.74
4/12/2012	0.00-6.00	26.97	26.00	24.19	23.79	25.14
	6.00-12.00	26.60	26.05	24.79	24.60	26.29
	12.00-18.00	28.23	27.40	27.03	27.05	28.71
	18.00-24.00	27.30	27.18	25.36	25.04	26.71
5/12/2012	0.00-6.00	26.68	26.75	24.51	24.10	25.78
	6.00-12.00	27.02	26.57	25.10	24.94	26.73
	12.00-18.00	28.87	28.20	27.63	27.76	29.62
	18.00-24.00	27.50	27.40	25.53	25.22	27.96
6/12/2012	0.00-6.00	26.42	26.55	24.35	23.94	25.58
	6.00-12.00	26.91	26.30	25.11	24.93	26.75
	12.00-18.00	28.34	27.67	27.38	27.48	29.23
	18.00-24.00	27.05	27.97	25.26	24.89	26.54
7/12/2012	0.00-6.00	26.21	26.30	24.28	23.88	25.53
	6.00-12.00	26.73	26.97	25.08	24.91	26.70
	12.00-18.00	28.36	27.77	27.33	27.42	29.15
	18.00-24.00	27.16	26.92	25.33	25.00	26.68

ตารางที่ 4-1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับช่วงเวลา ณ ตำแหน่งต่างๆ (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	เวลา	ห้องทดลอง A (T1)	ห้องทดลอง A (T2)	ห้องทดลอง A (T3)	ห้องทดลอง B (T4)	ห้องทดลอง B (T5)
8/12/2012	0.00-6.00	26.06	26.20	24.16	23.73	25.32
	6.00-12.00	26.68	26.07	24.89	24.76	26.55
	12.00-18.00	28.48	27.80	27.26	27.35	29.14
	18.00-24.00	27.37	27.32	25.27	25.23	27.98
9/12/2012	0.00-6.00	26.35	26.67	24.16	24.05	25.64
	6.00-12.00	26.91	26.35	24.93	25.99	26.81
	12.00-18.00	28.51	28.00	27.18	27.14	28.89
	18.00-24.00	27.17	27.38	25.19	24.85	26.51
10/12/2012	0.00-6.00	26.13	26.43	24.10	23.73	25.35
	6.00-12.00	26.83	26.47	25.98	24.84	26.68
	12.00-18.00	28.43	27.82	26.83	26.80	28.74
	18.00-24.00	27.34	27.38	25.29	25.95	26.74



รูปที่ 4-5 แสดงจุดวัดอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ

4.3.1 การบันทึกผลการวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์โมคัปเปิล TYPE K ในห้องทดลอง A และห้องทดลอง B จำนวน 5 จุดทดสอบ ในระหว่างช่วงวันที่ 3 ธันวาคม 2555 จนถึงวันที่ 10 ธันวาคม 2555 เป็นระยะเวลารวมทั้งหมด 7 วัน มีผลสรุปดังนี้

1) คิดตามช่วงเวลา

- ช่วงเวลา 0.00 - 6.00 น. ในรอบทั้ง 7 วัน ห้องทดลอง A ณ จุด T2 มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุด 26.30 °C และห้องทดลอง B ณ จุด T4 มีอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุด 24.16 °C

- ช่วงเวลา 6.00 - 12.00 น. ในรอบทั้ง 7 วัน ห้องทดลอง A ณ จุด T1 มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุด 26.68 °C และห้องทดลอง B ณ จุด T4 มีอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุด 25.11 °C

- ช่วงเวลา 12.00 - 18.00 น. ในรอบทั้ง 7 วัน ห้องทดลอง B ณ จุด T5 มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุด 29.11 °C และห้องทดลอง A ณ จุด T3 มีอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุด 27.42 °C

- ช่วงเวลา 18.00 - 24.00 น. ในรอบทั้ง 7 วัน ห้องทดลอง A ณ จุด T2 มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุด 27.17 °C และห้องทดลอง B ณ จุด T4 มีอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุด 25.11 °C

จากการหาอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดและต่ำสุดในรอบ 7 วัน คิดตามช่วงเวลา แสดงให้เห็นว่า ช่วงเวลา 12.00 - 18.00 น. ห้องทดลอง B ณ จุด T5 มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุด 29.11 °C เนื่องจากในช่วงเวลาเที่ยงวันดวงอาทิตย์จะอยู่สูงเหนือขอบฟ้ามากที่สุด แสงอาทิตย์ตกกระทบพื้นโลกเป็นมุมฉาก ลำแสงส่องผ่านบรรยากาศเป็นระยะทางไม่มาก จึงมีความเข้มสูง ประกอบกับวัสดุผนังอาคารที่เป็นอิฐมอญ มีคุณสมบัติการนำความร้อนที่ดี ทำให้มีการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารได้ง่าย และช่วงเวลา 0.00 - 6.00 น. ห้องทดลอง B ณ จุด T4 มีอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุด 24.16 °C เนื่องจากผนังอาคารจุด T4 เป็นผนังส่วนที่รับความร้อนจากดวงอาทิตย์โดยตรงในช่วงเวลากลางวัน ซึ่งการหน่วงเหนี่ยวความร้อนมีค่าที่ต่ำกว่าผนังที่มีฉนวนกันความร้อนปกคลุม ทำให้การคายความร้อนในช่วงเวลากลางคืนทำได้เร็ว อุณหภูมิผิวด้านนอกอาคารในช่วงเวลานี้จึงมีค่าต่ำ

2) คิดตามตำแหน่งตัววัดอุณหภูมิ

- ห้องทดลอง A ณ จุด T1 มีอุณหภูมิเฉลี่ยทั้งวัน ตลอดระยะเวลาทำการทดลอง 7 วันที่ 27.17 °C

- ห้องทดลอง A ณ จุด T2 มีอุณหภูมิเฉลี่ยทั้งวัน ตลอดระยะเวลาทำการทดลอง 7 วันที่ 26.88 °C

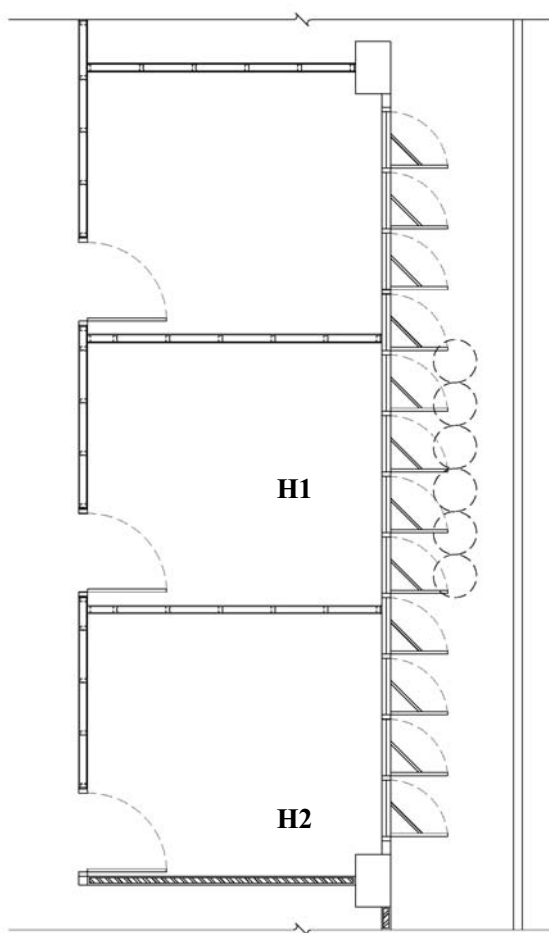
- ห้องทดลอง A ณ จุด T3 มีอุณหภูมิเฉลี่ยทั้งวัน ตลอดระยะเวลาทำการทดลอง 7 วันที่ 25.48 °C

- ห้องทดลอง B ณ จุด T4 มีอุณหภูมิเฉลี่ยทั้งวัน ตลอดระยะเวลาทำการทดลอง 7 วันที่ 25.63 °C

- ห้องทดลอง B ณ จุด T5 มีอุณหภูมิเฉลี่ยทั้งวัน ตลอดระยะเวลาทำการทดลอง 7 วันที่ 27.07 °C

จากการหาอุณหภูมิเฉลี่ย ณ ตำแหน่งต่างๆที่ดำเนินการทดลอง แสดงให้เห็นว่าห้องทดลอง A ณ จุด T3 มีอุณหภูมิเฉลี่ยทั้งวันต่ำที่สุด ตลอดระยะเวลาทำการทดลอง 7 วันที่ 25.48 °C เนื่องจากการลดปริมาณรังสีความร้อนจากการดูดซับและการบดบังทิศทางของแสงอาทิตย์ที่ผ่านเข้ามายังภายในอาคารห้องทดลอง ณ จุดนี้

#### 4.4 ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์กับช่วงเวลา ณ ตำแหน่งต่างๆ



รูปที่ 4-6 แสดงจุดวัดความชื้นสัมพัทธ์ ณ ตำแหน่งต่างๆ

ตารางที่ 4-2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์กับช่วงเวลา ณ ตำแหน่งต่างๆ

วัน/เดือน/ปี	เวลา	ห้องทดลอง A (H1)	ห้องทดลอง B (H2)
3/12/2012	0.00-6.00	70	70
	6.00-12.00	70	70
	12.00-18.00	70	65
	18.00-24.00	70	80
4/12/2012	0.00-6.00	70	70
	6.00-12.00	78	70
	12.00-18.00	70	65
	18.00-24.00	78	80
5/12/2012	0.00-6.00	84	84
	6.00-12.00	76	71
	12.00-18.00	68	61
	18.00-24.00	77	74
6/12/2012	0.00-6.00	84	84
	6.00-12.00	77	74
	12.00-18.00	64	63
	18.00-24.00	76	74
7/12/2012	0.00-6.00	85	86
	6.00-12.00	76	74
	12.00-18.00	68	64
	18.00-24.00	78	75
8/12/2012	0.00-6.00	86	86
	6.00-12.00	76	78
	12.00-18.00	69	68
	18.00-24.00	80	77



ตารางที่ 4-2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์กับช่วงเวลา ณ ตำแหน่งต่างๆ (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	เวลา	ห้องทดลอง A (H1)	ห้องทดลอง B (H2)
9/12/2012	0.00-6.00	87	87
	6.00-12.00	78	74
	12.00-18.00	70	67
	18.00-24.00	81	80
10/12/2012	0.00-6.00	87	88
	6.00-12.00	79	83
	12.00-18.00	71	77
	18.00-24.00	71	71

จากการศึกษาพบว่า

- ช่วงเวลา 0.00 - 6.00 น. ในรอบทั้ง 7 วัน ห้องทดลอง A ณ จุด H1 มีค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 83% และห้องทดลอง B ณ จุด H2 มีค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 83%
- ช่วงเวลา 6.00 - 12.00 น. ในรอบทั้ง 7 วัน ห้องทดลอง A ณ จุด H1 มีค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 77% และห้องทดลอง B ณ จุด H2 มีค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 75%
- ช่วงเวลา 12.00 - 18.00 น. ในรอบทั้ง 7 วัน ห้องทดลอง ห้องทดลอง A ณ จุด H1 มีค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 68% และห้องทดลอง B ณ จุด H2 มีค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 66%
- ช่วงเวลา 18.00 - 24.00 น. ในรอบทั้ง 7 วัน ห้องทดลอง A ณ จุด H1 มีค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 77% และห้องทดลอง B ณ จุด H2 มีค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 75%

โดยสรุปจากผลที่ได้ทำการทดลองแสดงว่าค่าความชื้นสัมพัทธ์ระหว่างห้องทดลอง A ณ จุด H1 กับห้องทดลอง B ณ จุด H2 มีความแตกต่างกันประมาณ 2% ซึ่งมีความแตกต่างกันน้อยมาก ทั้งนี้เนื่องมาจากช่วงระยะเวลาที่ทำการทดลองเป็นช่วงที่มีสภาพภูมิอากาศอุณหภูมิไม่สูงมากโดยเฉลี่ยที่ 27 องศาเซลเซียส จึงทำให้ในสภาพแวดล้อมมีปริมาณไอน้ำในอากาศอยู่มาก

#### 4.5 ผลการคำนวณสมการการถ่ายเทความร้อนแบบมิติเดียวสม่ำเสมอ

4.5.1 ค่าการนำความร้อนของฉนวนบานบาทลี จากสมการที่ (3.3) แทนค่าได้ดังนี้

$$\begin{aligned} k_{\text{ฉนวนบาทลี}} &= k_{\text{ผนัง}} \times (T_1 - T_3) / (T_2 - T_1) \\ &= 1.069 \times (27.17 - 25.48) / (27.89 - 27.17) \\ &= 2.50 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

4.5.2 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน จากสมการที่ (3.4) แทนค่าได้ดังนี้

$$\begin{aligned} U_w &= 1/R = 1/[(X_1/k_1) + (X_2/k_2) + (X_3/k_3)] \\ &= 1/[(0.10/1.069) + (0.10/2.50)] \\ &= 7 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

4.5.3 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ จากสมการที่ (3.5) สามารถแทนค่าได้ดังนี้

$$\begin{aligned} OTTV_i &= (U_w) (1-WWR) (TD_{eq}) + (U_f (WWR) (\Delta T) + (WWR) (SHGC) (SC) (ESR) \\ &= (7) (1-0.50) (6.52) + (0.54) (0.50) (5) + (0.50) (0.39) (0.65) (234.58) \\ &= 22.82 + 1.35 + 29.73 \\ &= 53.90 \text{ W/m}^2 \end{aligned}$$

ผลการศึกษาพบว่าเมื่อนำค่า k ของฉนวนบาทลีที่หาได้จากการวัดอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆที่กำหนดไว้แล้วแทนค่าในสมการจะทำให้ค่าประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนหรือ  $U_w$  มีค่าต่ำ เนื่องจากมีการลดพลังงานความร้อนเข้าสู่อาคาร และเมื่อนำมาเป็นตัวคูณในสมการการหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบทั้งหมดของด้านที่พิจารณาจึงทำให้มีค่าลดน้อยลง

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 ผลจากการเก็บข้อมูลลักษณะทางกายภาพของอาคารเรียน คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม และนำมาศึกษาด้วยโปรแกรม OTTVEE version 1.0a ผนังอาคารของห้องทดลองด้านทิศตะวันตกมีการถ่ายเทความร้อนที่สูงกว่าข้อกำหนดของกฎกระทรวง พ.ศ. 2535 โดยมีค่า  $59.87 \text{ W/m}^2$  เนื่องจากปริมาณพื้นที่ที่เป็นผนังโปร่งแสง มีค่าสัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทความร้อน (U) ที่สูงกว่าผนังก่ออิฐ รวมทั้งพลังงานความร้อนที่ผ่านเข้าสู่อาคารบางส่วนจะขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด (SF) ของกระจก อุปกรณ์บังแดดภายนอกอาคารและค่ารังสีอาทิตย์ในทิศทางที่กระจกบังแสงอาทิตย์ ซึ่งอาคารเรียน คณะการจัดการสิ่งแวดล้อมหลังนี้ไม่สามารถรับภาระการถ่ายเทของพลังงานความร้อน ได้อย่างครบถ้วนสมบูรณ์ตามข้อกำหนดของกฎกระทรวง พ.ศ. 2535

5.1.2 ผลการศึกษาการคำนวณหาดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) ต้นม่านบาหลีด้วยวิธีการประยุกต์ใช้ภาพถ่ายดิจิทัลมีค่าเท่ากับ 89 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจากการวิจัยพบว่าตัวเลขดังกล่าวจะมีการคลาดเคลื่อนได้ตามสภาพแวดล้อมที่มีองค์ประกอบร่วมหลายๆปัจจัยด้วยกัน ทั้งเรื่องสภาพภูมิประเทศ ภูมิอากาศ ที่จะส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของใบพืช โดยหากพื้นที่ทำการทดลองมีความชื้นในอากาศอยู่มากหรืออยู่ใกล้แหล่งน้ำหรืออยู่ใกล้กับแหล่งที่มีศัตรูพืชที่อาจก่อให้เกิดโรคชนิดต่างๆเกี่ยวกับใบพืช ค่าดัชนีพื้นที่ใบของพืชจะใช้ระยะเวลาและมีการเปลี่ยนแปลงแตกต่างกันตลอดช่วงอายุของพืชนั้นๆ รวมทั้งเรื่องของการเก็บข้อมูลด้วยวิธีการถ่ายภาพซึ่งจำเป็นต้องใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ที่มีความเที่ยงตรงแม่นยำและสถานที่ที่เอื้ออำนวยต่อการบันทึกภาพในระยะต่างๆจึงจะสามารถได้ผลการทดลองสอดคล้องกับความเป็นจริง

5.1.3 ผลการศึกษาค่าความสัมพัทธ์ระหว่างอุณหภูมิกับช่วงเวลา ณ ตำแหน่งต่างๆ พบว่า ผนังนอกอาคารของห้องทดลอง B ที่ไม่ได้ปลูกต้นม่านบาหลีไว้มีอุณหภูมิเฉลี่ยทั้งวันสูงกว่าผนังนอกอาคารของห้องทดลอง A แต่ในช่วงเวลา 0.00 - 6.00 น. และช่วงเวลา 18.00 - 24.00 น. ผนังของห้องทดลอง A กลับมีอุณหภูมิที่สูงกว่าโดยเฉลี่ยทั้ง 7 วัน ทั้งนี้พิจารณาได้ว่าช่วงเวลาเที่ยงคืนจนถึงเวลารุ่งเช้าเป็นช่วงที่ปากใบของพืชมีการคายความร้อนบางส่วนออกมาและในช่วงเวลาเย็นเป็นต้นไปผนังอาคารด้านที่ได้รับพลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์จะคายความร้อนออกมาเช่นกัน โดยจะใช้เวลาการคายความร้อนที่ยาวนานกว่าผนังอาคารของห้องทดลอง B ที่ไม่ได้ปลูกต้นม่านบาหลีบังไว้

#### 5.1.4 เมื่อนำผลการทดลองจากวิธีการคำนวณด้วยโปรแกรม OTTVEE version

1.0a ที่มีค่า OTTV<sub>i</sub> ของผนังด้านที่พิจารณาเท่ากับ 59.87 W/m<sup>2</sup> กับผลการทดลองด้วยการวัดอุณหภูมิแล้วนำมาคำนวณสมการการถ่ายเทความร้อนแบบมิติเดียวสม่ำเสมอ ที่มีค่า OTTV<sub>i</sub> ของผนังด้านที่พิจารณาเท่ากับ 53.90 W/m<sup>2</sup> พบว่า มีความแตกต่างกันที่ 5.97 W/m<sup>2</sup> แสดงให้เห็นว่าค่า k ของฉนวนเบาหลิที่ไ้จากการทดลองนั้น มีส่วนสำคัญในการทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในกระบวนการคิดคำนวณค่า OTTV<sub>i</sub> เนื่องจากเมื่อค่าการนำความร้อนของวัสดุมีค่าที่ต่ำลงจากการเพิ่มจำนวนชั้นของวัสดุที่เป็นพีชเข้าไปด้วยจะทำให้ค่าประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของวัสดุ (U<sub>w</sub>) ด้านที่พิจารณานั้นจะมีค่าน้อยลง และเมื่อพิจารณาตามรายละเอียดข้อกำหนดในกฎกระทรวง พ.ศ. 2535 ค่า OTTV<sub>i</sub> สำหรับอาคารเก่าจะต้องมีไม่เกินกว่า 55 วัตต์ต่อตารางเมตร ผนังด้านที่ผู้วิจัยทำการทดลองก็จะสามารถผ่านเกณฑ์ข้อกำหนดดังกล่าวได้ ทั้งนี้หากมีการเก็บข้อมูลหรือขยายขอบเขตงานวิจัยเพิ่มเติมในเชิงลึกมากขึ้นก็อาจจะสามารถลดค่า OTTV<sub>i</sub> ได้มากยิ่งขึ้น

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 หากมีการศึกษาเรื่องของพันธุ์พืชท้องถิ่นในเชิงลึกกว่านี้ ทั้งในเรื่องของประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซที่ก่อให้เกิดมลพิษในอากาศหรือมีความคงทนต่อสภาพแวดล้อมที่เป็นพิษได้ หรือแม้กระทั่งความสามารถในการเจริญเติบโตในกรณีที่ขาดธาตุอาหาร ก็จะเอื้อประโยชน์ต่อการตัดสินใจในการเลือกแนวทางการนำต้นไม้มาประยุกต์ใช้ในการประหยัดพลังงานภายในอาคารได้ไม่ยาก

5.2.2 การคิดคำนวณค่าดัชนีพื้นที่ใบของพืช (LAI) สำหรับกรณีพืชที่ไม่ใช่พืชผลทางการเกษตร เช่น ยางพารา หรือปาล์มน้ำมันนั้น ยังไม่ได้ถูกนำมาใช้ในหลักการคิดคำนวณเพื่อประโยชน์ในด้านอื่นๆอย่างจริงจัง ผู้วิจัยเพียงนำเอาหลักการของงานวิจัยการประยุกต์ภาพถ่ายดิจิทัลเพื่อนำมาประเมินดัชนีพื้นที่ใบ มาพิจารณาด้วยโปรแกรม Photoshop ซึ่งอาจยังไม่ครบถ้วนสมบูรณ์ แต่สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการวิจัยเพื่อมุ่งสู่กระบวนการหาค่าดัชนีพื้นที่ใบของพืช (LAI) สำหรับพืชในงานภูมิสถาปัตยกรรมได้

5.2.3 ปัจจัยที่ก่อให้เกิดการระการทำความเย็นในอาคารมากที่สุดคือ ขนาดและวัสดุกระจกหน้าต่าง ซึ่งพบว่าพื้นที่ผนังอาคารด้านทิศที่มีช่องเปิดหน้าต่างมาก จะมีการใช้พลังงานเพื่อทำความเย็นมาก เนื่องจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ทะลุผ่านกระจกเวลากลางวันจะเข้ามาสะสมในตัวอาคารและก่อให้เกิดการระการทำความเย็นในเวลากลางคืนต่อมา ดังนั้นประสิทธิภาพการกันความร้อนของวัสดุกระจกหน้าต่างจะมีผลต่อการใช้พลังงานในอาคารที่สูง (อรรัตน์ เศรษฐบุตร, 2007)

ซึ่งการปรับลดขนาดขนาดของผนังอาคารที่มีขนาดช่องเปิดมากสำหรับอาคารเก่า อาจทำได้ยาก ในทางปฏิบัติทั้งข้อจำกัดเรื่องความต้องการของผู้ใช้อาคารเองและเรื่องงบประมาณการปรับปรุง ใน การศึกษานี้จึงเน้นแนวทางการประหยัดพลังงานในอาคารเฉพาะผนังทึบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการ ป้องกันความร้อนซึ่งการปรับลดค่าสัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทความร้อน (U) ของผนังโดยการเพิ่ม จำนวนชั้นของฉนวนด้วยต้นไม้ซึ่งสามารถทำได้ง่ายและตอบ โจทย์เรื่องงบประมาณการปรับปรุง อาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงานได้อย่างแท้จริง

5.2.4 ผลสรุปของงานวิจัยชิ้นนี้ อาจไม่แน่ชัดเรื่องประโยชน์ของการใช้ม่านบาหลิ ต่อการลดลงของค่า  $k$  ของผนังทึบหรือการลดค่า  $TD_{eq}$  ของผนังทึบ เนื่องจากค่า  $TD_{eq}$  ตาม ข้อกำหนดคือค่าของผลลัพท์ที่ผนังทึบได้รับแสงแดดโดยตรง แต่กรณีงานวิจัยนี้คือผนังอาคารทึบ ด้านที่พิจารณาไม่ได้รับแสงแดดจากดวงอาทิตย์โดยตรง ในอนาคตอาจมีการนำเสนอให้ลดค่า  $TD_{eq}$  ของสมการ OTTV<sub>i</sub> ลง เพื่อให้สอดคล้อง หรืออาจใช้เป็นแนวทางในการนำเสนอเป็น Factor ตัวคูณ ในสูตร OTTV<sub>i</sub> ได้ในอนาคต

## เอกสารอ้างอิง

- จรัส บุญยธรรมมา. 2545. ฟิสิกส์ระดับมหาวิทยาลัย ภาคกลศาสตร์. กรุงเทพฯ. สำนักพิมพ์สุวิริยา  
 ศาสตร์.
- ตรึงใจ บุรณสมภพ. 2539. การออกแบบอาคารที่มีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงาน. บริษัท  
 อมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง จำกัด(มหาชน).
- เต็ม สมิตินันท์. 2544. ชื่อพันธุ์ไม้แห่งประเทศไทย. กรุงเทพฯ.บริษัท ประชาชน จำกัด  
 นักสิทธิ์ คุ้มฒนาชัย. 2526. การถ่ายเทความร้อน. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ. สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็น  
 เตอร์.
- นิรันดร์ จันทวงศ์. 2536. การเจริญและการเติบโตของพืช. กรุงเทพฯ.
- พาสินี สุนากรและคณะ. 2551. ผนังสีเขียว. ผลงานจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 8(2): 38-53
- รักศักดิ์ เสริมศักดิ์ และ หัสชัย บุญจูง. 2550. การประยุกต์ใช้ภาพถ่ายดิจิทัลเพื่อประเมินดัชนีพื้นที่  
 ใบของถั่วเหลือง. คณะเทคโนโลยีการผลิตพืช. สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร.  
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
- ลิลลี่ กาวีตะ, มาลี ณ นคร, ศรีสม สุวรรณวงศ์ และสุริยา ตันติวิวัฒน์. 2549. สรีรวิทยาของพืช.  
 พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วิชัย เหล่าพาณิชย์กุล และ อวิรุทธ์ ศรีสุชาพรรณ. 2550. ประสิทธิภาพของผนังไม้เลื้อยในการลด  
 การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังอาคาร. สถาปัตยกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต. คณะ  
 สถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
- สำนักกำกับและอนุรักษ์พลังงาน กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี  
 และสิ่งแวดล้อม. 2543. การใช้วัสดุและอุปกรณ์เพื่อการอนุรักษ์พลังงาน. กรุงเทพฯ.  
 โรงพิมพ์คอมฟอร์ม.
- สำนักส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวง  
 พลังงาน. 2547. แนวทางการเลือกใช้วัสดุก่อสร้างและฉนวนเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน.  
 กรุงเทพฯ. บริษัท แกรนด์ เพรส แอนด์ แพคกิ้ง จำกัด.
- สุดสวาท ศรีสถาปัตยกรรม. 2545. การออกแบบวัสดุพืชพันธุ์และการประหยัดพลังงาน. กรุงเทพฯ.  
 สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สุภาภรณ์ ศิริโสภณา, ณัฐริกา ชื่อมาก และบุหงา รongไชย. 2552. โลกป่วยใครช่วยรักษา. กรุงเทพฯ.  
 บริษัท สำนักพิมพ์แม็ค จำกัด.

- เอี่ยมพร วิสมหมายและคณะ. 2540. พรรณไม้ในงานภูมิสถาปัตยกรรม. กรุงเทพฯ. โรงพิมพ์พิมพ์ดี.
- Barry, R.G., and Chorley, R.J. 1978. Atmosphere Weather and Climate. Fletcher&Son Co.,Ltd :  
147
- Critchfird, H.J. 1979. General Climatology. Prentice Hall of India Private Limited, New Delhi,  
Third Edition: 16
- Dunnett. N. 2004. Planting green roofs and living walls. Portland. OR: Timber Press.
- Givoni. B. 1998. Climate consideration in building and urban design. New York. John  
Wiley & Sons
- Wong, N. H., Tan, A.Y.H., Chen, U., Sekar, K., Tan, P.Y., Chan, D.,Chiang, K., Wong, N.C.  
2009. Thermal evaluation of vertical greenery systems for building walls. Building  
and Environment. 45: 663-672
- Olgyay, V. 1967. Design with Climate. Princeton University: 32

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล	นายกีวีวัชร เสถียร		
รหัสประจำตัวนักศึกษา	5210920002		
วุฒิการศึกษา			
	วุฒิ	สถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
	สถาปัตยกรรมศาสตรบัณฑิต	สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตภาคใต้ สงขลา	2545

## การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

Kaweewat Sathien and Kuaanan Techato. Decision Making on Implementing of Vertical Green without Business Plan. ICBIFE 2011 Conferences, December 12-13, 2011. Hong Kong.

Kaweewat Sathien and Kuaanan Techato. Using Vertical Green as Material for Complying Building Energy Code. SCIENCE and Engineering Institute (SCIEI) Conferences, September 1-2, 2012. Phuket Island, Thailand.