

เอกสารนี้
ออกโดย

มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี



สัญญาเลขที่ R2558B023
R25614102

วันที่ออก ๒๖๐๙๒๕

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัยเรื่อง ประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิและกักเก็บคาร์บอนไดออกไซด์ของ สวนทางตั้งแบบมีพืชพันธุ์ผสมผสาน

Thermal and Carbon Sequestration Performance of Living walls with
mixed-plant species

คณะผู้วิจัย

สังกัด คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏ

- รองศาสตราจารย์สุทธิศักดิ์ เยี่ยมวัฒนา
- ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศศินาเรวิญกิจ

เอกสารนี้ออกโดย
มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

วันที่ออก ๒๖๐๙๒๕

รหัสเอกสาร 1098518

ผู้รับ 2 SB
463

จำนวน ๕
หน้า ๑๖
๒๕๖๐

สนับสนุนโดย

งบประมาณแผ่นดิน มหาวิทยาลัยราชภัฏ

ปีงบประมาณ 2560

บทคัดย่อ

สวนทางตั้งแบบ Living wall เป็นเทคโนโลยีสีเขียวสำหรับพื้นที่เมืองที่ต้องการเพิ่มพื้นที่สีเขียวในพื้นที่ดินจำกัด Living wall เป็นระบบที่ให้ประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อมด้วยการลดอุณหภูมิภายในของอาคารซึ่งทำให้อาคารต้องการพลังงานในการปรับอากาศน้อยลง นอกจากนี้ Living wall ยังสามารถกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นก๊าซที่สำคัญอย่างหนึ่งของก๊าซเรือนกระจกที่ก่อให้เกิดปรากฏการณ์เรือนกระจก งานวิจัยนี้ศึกษาประสิทธิภาพของ Living wall ในสภาพภูมิอากาศร้อนชื้นในด้านการลดอุณหภูมิและการกักเก็บก๊าซcarbon dioxide ที่มีการปลูกพืชแบบเดี่ยวและแบบผสมผสาน รวมทั้งการศึกษาบทบาทของพืชพันธุ์ต่อประสิทธิภาพทั้งสองด้าน งานวิจัยใช้วิธีการทดลองในครุภัณฑ์และดูดูหน้าระหว่างเดือนสิงหาคม-พฤษจิกายน 2561 เพื่อหาประสิทธิภาพดังกล่าว ด้วยการเปรียบเทียบ Living wall กับผนังเปล่า และเปรียบเทียบ Living wall ที่ปลูกพืช 3 ชนิด คือ แพรเชียงaise ทับทิมสยาม และกาบทอยเครงเครง ซึ่งมีขนาดใบและประเภทของลำต้นแตกต่างกัน แพรเชียงaise เป็นไม้เบ็ดและลำต้นอวนน้ำ ทับทิมสยามมีใบขนาดกลาง มีกิ่งก้าน และกาบทอยเครงเครงมีใบใหญ่ เป็นแห้งกอ ผลจากการศึกษาพบว่า Living wall มีประสิทธิภาพด้านการลดอุณหภูมิ เมื่อเทียบกับผนังเปล่าแล้ว Living wall สามารถลดอุณหภูมิสูงสุดที่พื้นผิวภายนอกได้มากกว่า 10.2°C ในช่วงเวลากลางวัน และที่ภายในอาคารได้สูงสุดประมาณ 10.8°C และเมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศแล้ว Living wall สามารถลดอุณหภูมิได้เป็นอย่างมาก โดยมีพื้นผิวที่เย็นกว่าอากาศสูงสุด 9.9°C และมีภายในที่เย็นกว่าอากาศภายนอกถึง 11.7°C โดยการปลูกพืชแบบผสมช่วยเพิ่มประสิทธิภาพด้านการลดอุณหภูมิจากการมีพื้นที่ปักคลุมของพืชมากกว่าแบบอื่นๆ สำหรับประสิทธิภาพด้านการกักเก็บก๊าซcarbon dioxide ในการกักเก็บcarbon dioxide ในสวนทางตั้งได้ร้อยละ 60-70 โดยเฉพาะพืชที่มีกิ่งก้านซึ่งมีปริมาณcarbon dioxide สูงที่สุดจากเชื้อมวลที่มีมากกว่าพืชชนิดอื่นๆ

คำสำคัญ: สวนทางตั้ง; คุณลักษณะด้านอุณหภูมิ; การลดอุณหภูมิ; การกักเก็บcarbon dioxide; พืชพันธุ์; สภาพภูมิอากาศร้อนชื้น

Abstract

Living wall is the greening system for buildings in urban environment where an increase of urban spaces is needed in the limited land. Living wall provides environmental benefits in term of reduced building energy requirement for space cooling or heating as a result of temperature reduction. Also, living wall can sequester carbon dioxide, one of greenhouse gases, causing global warming. This research investigated the performances of living walls in reducing temperature and sequestering carbon dioxide by comparing between living walls with individual plant species and living walls with mixed plant species. In addition, it examined the role of vegetation in thermal and carbon sequestration performances of living wall. The research was based on the experimental study conducted in the rainy and winter seasons during August-November 2018. The experiment was set up to compare the performances between bare wall and living wall grown three plant species including *Portulaca grandiflora*, *Alternanthera* sp., and *Tradescantia spathacea* Sw. The findings show that living wall had good performance in reducing temperature. Compared to bare wall, living wall was able to reduce higher temperature at the plant surface up to 10.2°C during the day and at indoor space up to 10.8°C. When compared to air temperature, living wall had lower temperature up to 9.9°C and 11.7°C at plant surface and indoor space respectively. Living walls with mixed plant species were more effective in cooling due to higher plant coverage. Regarding to carbon sequestration, the average amount of carbon sequestered in living walls was 188 g CO₂ m⁻², during 6 months and potentially up to 300-400 g CO₂ m⁻² for a year. Plants accounted for 60-70% of carbon sequestration in a living wall system especially woody plant species had the highest carbon content when compared with forbs and succulent plants.

Keywords: living wall; thermal performance; temperature reduction; carbon sequestration; vegetation; tropical climate

สารบัญ

บทคัดย่อ	ก
Abstract	ข
สารบัญ	ค
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ซ

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ	10
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	12
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	12
1.3.1 ระบบของ LW.....	12
1.3.2 ชนิดของพืชพันธุ์	12
1.3.3 ลักษณะของการทดลอง	13
1.3.4 ระยะเวลาในการทดลอง.....	13
1.3.5 สถานที่ในการทดลอง	13
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	13
1.5 ระเบียบวิธีวิจัย	13
1.5.1 การติดตั้งกล้องทดลองและระบบส่วนทางตั้ง.....	13
1.5.2 การศึกษาคุณลักษณะของพันธุ์ไม้	14
1.5.3 การประเมินประสิทธิภาพด้านการลดอุณหภูมิของ living wall	14
1.5.4 การประเมินประสิทธิภาพด้านการกักเก็บcarbon.....	14
1.6 ข้อจำกัดของงานวิจัย.....	14

บทที่ 2 การทบทวนวรรณกรรม

2.1 ชนิดและองค์ประกอบของสวนทางตั้งแบบ LW.....	15
2.2 พืชกับการถ่ายเทความร้อน.....	17
2.2.1 กระบวนการในการลดอุณหภูมิและกักเก็บcarbonของ LW.....	17

2.3	กระบวนการการกักเก็บคาร์บอน	19
2.4	คุณลักษณะด้านอุณหภูมิของ LW ในสภาพภูมิอากาศร้อนชื้น	19
2.5	ปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการลดอุณหภูมิของ LW.....	20
2.5.1	ชนิดของ LW.....	20
2.5.2	ลักษณะของพืชพันธุ์.....	20
2.5.3	วัสดุปลูก	21
2.5.4	ช่องว่างอากาศ	22
2.5.5	ปัจจัยอื่นๆ.....	22
2.6	ปัจจัยที่ส่งผลต่อการกักเก็บคาร์บอนของ LW	22
2.6.1	ลักษณะของพืชพันธุ์.....	22
2.6.2	ชนิดและความลึกของวัสดุปลูก.....	23
2.6.3	การดูแลรักษา	23
2.7	สรุป.....	23
บทที่ 3	ระเบียบวิธีวิจัย	
3.1	การออกแบบการทดลอง	24
3.1.1	สถานที่ทดลอง	24
3.1.2	การติดตั้งอุปกรณ์เพื่อวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์	24
3.1.3	การติดตั้งระบบผ้า	27
3.2	การเก็บข้อมูล.....	28
3.2.1	ด้านอุณหภูมิ	28
3.2.2	ด้านคาร์บอน.....	28
3.2.3	ด้านการเจริญเติบโตของพืช	30
3.3	การวิเคราะห์ข้อมูล.....	33
3.3.1	การวิเคราะห์ข้อมูลอุณหภูมิ	33
3.3.2	การวิเคราะห์ข้อมูลcarbon.....	34
3.3.3	การวิเคราะห์ข้อมูลลักษณะทางกายภาพพืชพันธุ์	34

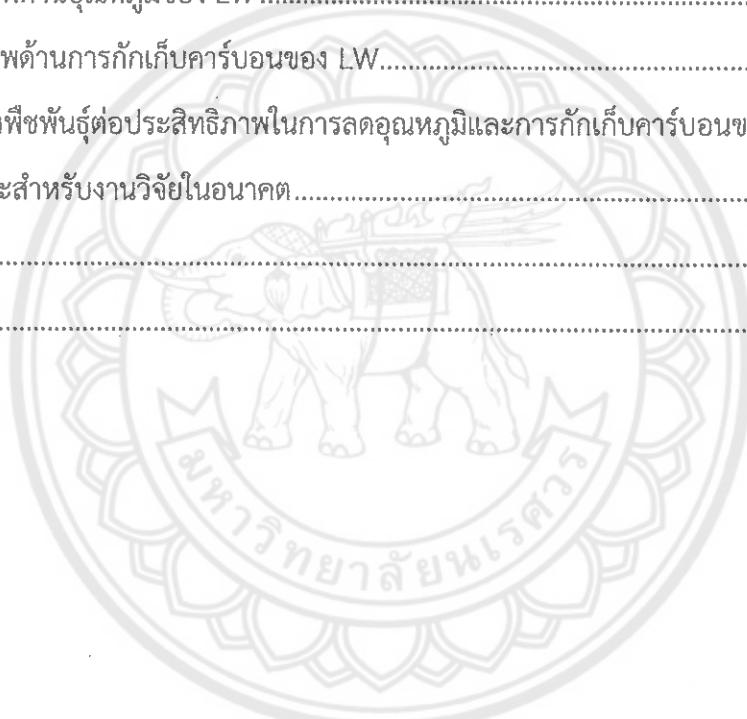
บทที่ 4 ผลการศึกษา

4.1	คุณลักษณะด้านอุณหภูมิของ Living wall	36
4.1.1	ลักษณะภูมิอากาศในช่วงทำการทดลอง	36
4.1.2	การเปรียบเทียบอุณหภูมิของ LW และ BW.....	38
4.1.3	การเปรียบเทียบ BW และ LW กับอุณหภูมิอากาศ.....	43
4.1.3	การเปรียบเทียบ LW แบบเดี่ยวกับแบบผสม.....	46
4.2	พืชพันธุ์กับคุณลักษณะอุณหภูมิของ LW.....	59
4.2.1	ค่า LAI ของพืชพันธุ์ 3 ชนิด	59
4.2.2	พื้นที่ปักคุณ LW	59
4.3	การกักเก็บ CO ₂ ของ LW.....	61
4.3.1	คุณลักษณะวัสดุปลูก	61
4.3.2	การกักเก็บคาร์บอน	61
4.4	สรุป.....	65

บทที่ 5 การอภิปรายผล

5.1	ประสิทธิภาพด้านการลดอุณหภูมิของ LW สำหรับสภาพภูมิอากาศร้อนชื้น.....	66
5.1.1	ประสิทธิภาพด้านอุณหภูมิของ LW เมื่อเทียบกับ BW	66
5.1.2	ประสิทธิภาพของ LW ในการลดอุณหภูมิอากาศ.....	68
5.1.3	ประสิทธิภาพของ LW แบบเดี่ยวและแบบผสม	68
5.2	ปัจจัยที่ส่งผลต่อความแตกต่างด้านประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิของ LW	70
5.2.1	ความแตกต่างด้านระยะเวลาและฤดูกาล.....	70
5.2.2	ความแตกต่างด้านลักษณะของ LW	70
5.2.3	ความแตกต่างด้านลักษณะพืชพันธุ์.....	71
5.2.4	ความแตกต่างอื่นๆที่เกี่ยวข้องกับสถานที่ทดลอง	72
5.3	บทบาทของพืชพันธุ์ต่อการลดอุณหภูมิของ LW	72
5.3.1	อิทธิพลของ LAI	72
5.3.2	พื้นที่ปักคุณ	72

5.3.3 อิทธิพลของขนาดใบและสีใบ.....	73
5.4 ประสิทธิภาพการกักเก็บคาร์บอนของ LW.....	73
5.4.1 ประสิทธิภาพของพืช 3 ชนิด.....	73
5.4.2 ประสิทธิภาพของวัสดุปููกในการกักเก็บคาร์บอน	73
5.4.3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับLW และสวนหลังคา	74
5.5 สรุป.....	75
บทที่ 6 บทสรุป.....	
6.1 ประสิทธิภาพด้านอุณหภูมิของ LW	76
6.2 ประสิทธิภาพด้านการกักเก็บคาร์บอนของ LW.....	77
6.3 บทบาทของพืชพันธุ์ต่อประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิและการกักเก็บคาร์บอนของ LW	77
6.4 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต	78
บรรณานุกรม	79
ภาคผนวก	86



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือเก็บข้อมูลสำหรับการทดลอง	26
ตารางที่ 4.1 อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยในช่วงทำการทดลอง	36
ตารางที่ 4.2 ความเร็วลมและความชื้นแสงอาทิตย์เฉลี่ยในช่วงทำการทดลอง	37
ตารางที่ 4.3 อุณหภูมิเฉลี่ยของ BW เดือนสิงหาคม-พฤษจิกายน 2561.....	38
ตารางที่ 4.4 อุณหภูมิเฉลี่ยของ LW แบบปกติ	40
ตารางที่ 4.5 ค่าสถิติการทดสอบความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิ BW และ LW แบบผสม.....	41
ตารางที่ 4.6 ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิ BW และ LW แบบพสม	41
ตารางที่ 4.7 ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศกับอุณหภูมิของ BW.....	43
ตารางที่ 4.8 ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศกับอุณหภูมิของ LW.....	44
ตารางที่ 4.9 One-Way ANOVA ระหว่างอุณหภูมิอากาศกับอุณหภูมิ LW แบบผสมและแบบเดียวในเวลากลางวัน	46
ตารางที่ 4.10 One-Way ANOVA ระหว่างอุณหภูมิอากาศกับอุณหภูมิ LW แบบผสมและแบบเดียวในเวลากลางคืน	48
ตารางที่ 4.11 One-Way ANOVA ความแตกต่างอุณหภูมิ BW กับ LW แบบผสมและแบบเดียวในเวลากลางวัน	52
ตารางที่ 4.12 One-Way ANOVA ความแตกต่างอุณหภูมิ BW กับ LW แบบผสมและแบบเดียวในเวลากลางคืน	55
ตารางที่ 4.13 ค่า LAI ของพืชตู้ม 3 ชนิด.....	60
ตารางที่ 4.14 พื้นที่ปักกลุ่ม LW.....	60
ตารางที่ 4.15 ลักษณะทางกายภาพของต้นก่อนปลูก	61
ตารางที่ 4.16 น้ำหนักและปริมาณคาร์บอนของพืช 3 ชนิดและแบบผสมในเดือนสิงหาคม 2561	62
ตารางที่ 4.17 น้ำหนักและปริมาณคาร์บอนของพืช 3 ชนิดและแบบผสมในเดือนธันวาคม 2561	62
ตารางที่ 4.18 ความแตกต่างปริมาณคาร์บอนของพืช 3 ชนิดและแบบผสมในระยะ 6 เดือน	63
ตารางที่ 4.19 ปริมาณคาร์บอนกักเก็บในระยะ 6 เดือนของ LW	64
ตารางที่ 5.1 ประสิทธิภาพด้านการลดอุณหภูมิของ LW ในสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้นจากการศึกษาในอดีตที่ศึกษาในฤดูร้อน	67

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
รูปที่ 1.1 แบบจำลองแสดงการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิสูงสุดรายวันเฉลี่ยในปี 2030-2080	10
รูปที่ 2.1 ระบบสวนทางตั้งแบบผืนผ้า.....	16
รูปที่ 2.2 ระบบสวนทางตั้งแบบไม้คุลาร์.....	16
รูปที่ 2.3 ระบบสวนทางตั้งแบบกระถางปลูก	17
รูปที่ 2.4 การถ่ายเทความร้อนของ LW.....	18
รูปที่ 2.5 การถ่ายเทความร้อนสำหรับรังสีอาทิตย์ช่วงต่างๆของใบไม้.....	18
รูปที่ 2.6 สมการเชิงตัดโดยระหว่างค่า LAI และค่า K.....	21
รูปที่ 2.7 สมการเชิงตัดโดยระหว่าง LAI และการกักเก็บcarbonรายปี.....	22
รูปที่ 3.1 ผังกล่องทดลอง LW กว้าง 1.00 ม. สูง 0.80 ม.	24
รูปที่ 3.2 พื้นที่ 3 ชนิดที่ปลูกแบบเดียวและแบบผสม	25
รูปที่ 3.3 กล่องทดลอง LW แบบปลูกเดียว (ซ้าย) และปลูกคละ (ขวา).....	25
รูปที่ 3.4 ตำแหน่งติดตั้งเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิกล่องทดลอง	26
รูปที่ 3.5 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิสวนทางตั้ง.....	27
รูปที่ 3.6 ระบบให้น้ำแบบหยดอัตโนมัติและมีเตอร์น้ำ.....	28
รูปที่ 3.7 ขั้นตอนการเก็บตัวอย่างพืชก่อนนำไปวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอน.....	30
รูปที่ 3.8 การใช้จากหลังเพื่อถ่ายภาพใบไม้.....	31
รูปที่ 3.9 การเตรียมตัวอย่างพืชเพื่อวัดพื้นที่ใบ	33
รูปที่ 4.1 ลักษณะอุณหภูมิของกล่องเปล่าตลอด 24 ชม.วันที่ 4 ส.ค. 2561	40
รูปที่ 4.2 การลดอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยของ LW ใน 3 ตำแหน่ง คือ ผิวนอก (บน) ผังกล่องด้านใน (กลาง) และกล่อง (ล่าง).....	51
รูปที่ 4.3 การลดอุณหภูมิเฉลี่ยของ LW จาก BW ใน 3 ตำแหน่ง คือ ผิวนอก (บน) ผังกล่องด้านใน (กลาง) และกล่องกล่อง (ล่าง).....	54
รูปที่ 4.4 การเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศกับอุณหภูมิของ BW และ LW แบบต่างๆ ตั้งแต่ 4-6 สิงหาคม 2561 บริเวณผิวนอก (บน) ผังภายใน (กลาง) และกล่องกล่อง (ล่าง).....	58
รูปที่ 4.5 สัดส่วนcarbonใน LW แบบเดียวและแบบผสมในระยะ 12 เดือน.....	64
รูปที่ 4.6 สัดส่วนcarbonที่เก็บสะสมใน LW แบบเดียวและแบบผสมในช่วงเวลา 6 เดือน	65
รูปที่ 5.1 อุณหภูมิของสวนทางตั้งในเชียงไย TsL2 คือ ผังภายใน Tin คือ กลางกล่อง	66
รูปที่ 5.2 พืชที่หลากหลายใน LW แบบผสม	69
รูปที่ 5.3 LW แบบปลูกเดียว	69
รูปที่ 5.4 งานทดลอง LW ของ Cheng et al. (ซ้าย) Chen et al. (กลาง) และ Wong et al. (ขวา)	71

รูปที่ 5.5 งานทดลอง LW ของ Jaafar et al. (ซ้าย) Saffikhani et al. (กลาง) และ Jim et al. (ขวา)	71
รูปที่ 5.6 การเปลี่ยนแปลงการบอนในองค์ประกอบต่างๆของส่วนหลังคาที่ปูลูกพีชawan คือ ส่วนบนดิน (ซ้าย) راك (กลาง) และวัสดุปูลูก (ขวา)	74

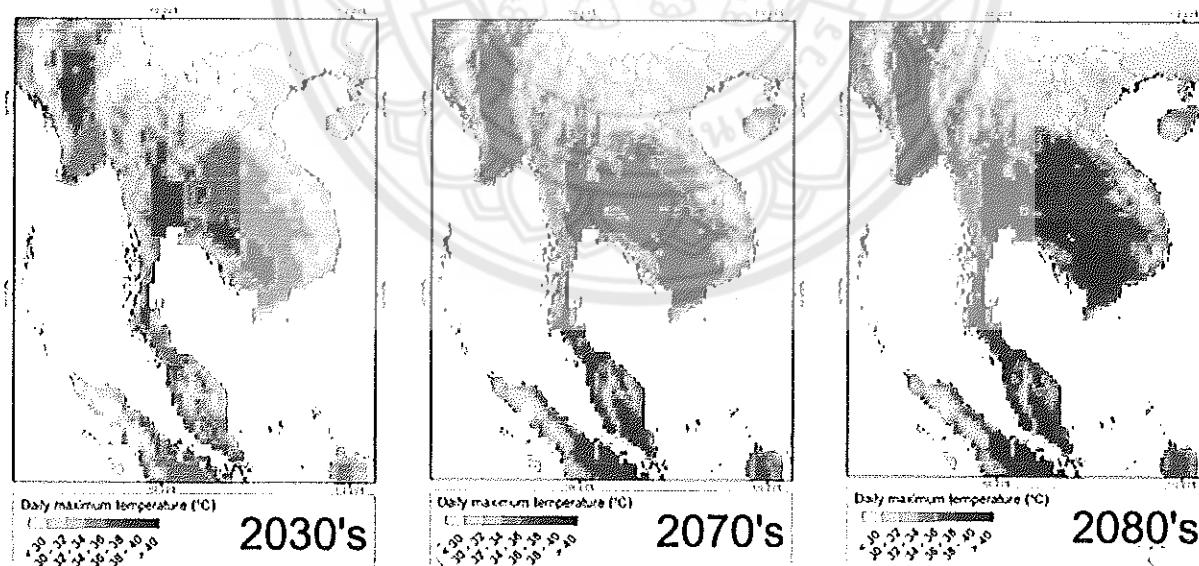


บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

พื้นที่เมืองในปัจจุบันกำลังประสบกับปัญหาด้านสภาพอากาศที่สำคัญ คือ ปัญหาอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้น และปัญหามลพิษด้านอากาศ อันเป็นผลพวงมาจากหลายปัจจัยทั้งปริมาณพื้นที่ก่อสร้างที่มากกว่าพื้นที่สีเขียว (Shishegar, 2014; Tsilini et al., 2015) ความหนาแน่นของสภาพแวดล้อมเมือง (Kaloustian & Diab, 2015) และสภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลง (Giguère, 2009) ทั้งนี้ปัจจัยสำคัญประการหนึ่งของปัญหาดังกล่าว คือ การขาดแคลนพื้นที่สีเขียวที่ช่วยลดปริมาณความร้อนและดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) จากอากาศและyanathan ส่งผลให้พื้นที่ภายในเมืองมีอุณหภูมิสูงกว่าพื้นที่โดยรอบที่มีพื้นที่สีเขียวมากกว่าและมีความหนาแน่นอย่างกว่า อุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้การใช้พลังงานเพื่อทำความเย็นในอาคารสูงขึ้นตามไปด้วย ข้อมูลจากการศึกษาของอัศมนและแสงจันทร์ (2554) แสดงให้เห็นว่าประเทศไทยมีอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ยปีละ 0.95°C นอกจากนี้ ภาพจำลองของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคตอีก 100 ปีระบุว่าอุณหภูมิของประเทศไทยจะเพิ่มขึ้นไปอีกโดยอยู่ในระหว่าง $0.8-4^\circ\text{C}$ (อ้างในสำนักงานนโยบายและแผนฯ, 2558) ดังแสดงในรูปที่ 1.1 จาสถิติของกระทรวงพลังงาน (2559) ระบุว่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นทุก 1 องศาจะมีปริมาณการใช้ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นประมาณ 350 เมกะวัตต์ ดังนั้นมีความเป็นไปได้อย่างมากว่าการใช้พลังงานอาคารในอนาคตของประเทศไทยจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างมาก ตามอุณหภูมิอากาศ เมืองที่มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นตามที่คาดการณ์ไว้อันเป็นผลมาจากการที่เปลี่ยนแปลง



รูปที่ 1.1 แบบจำลองแสดงการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิสูงสุดรายวันเฉลี่ยในปี 2030-2080
ที่มา: ศุภกร ชินวรรรณ (2551)

แนวทางตั้งสำหรับอาคารหรือที่เรียก กันโดยทั่วไปว่า green facade, living walls หรือ biowall เป็นแนวความคิดสำคัญอย่างหนึ่ง ที่ช่วยเพิ่มพื้นที่สีเขียวให้กับเมืองที่มีข้อจำกัดในด้านที่ดินสำหรับการสร้างพื้นที่สีเขียวขนาดใหญ่

เช่น สวนสาธารณะ โดยกระบวนการคายน้ำของพืชเป็นส่วนสำคัญที่ช่วยบรรเทาความร้อนที่เกิดขึ้นจากพื้นผิวแข็งต่างๆ ของเมือง ได้แก่ ถนน ทางเท้า และอาคาร (Sheweka and Mohamed, 2012) การศึกษาเปรียบเทียบอุณหภูมิของเมืองจำนวน 9 เมืองในสภาพภูมิอากาศแบบต่างๆ แสดงให้เห็นว่าการใช้สวนทางตั้งช่วยลดอุณหภูมิของพื้นที่เมืองลงได้สูงสุดถึง 5.1°C สำหรับสภาพภูมิอากาศแบบทรายของกรุงริยาด และลดลงประมาณ 4°C สำหรับสภาพอากาศแบบร้อนชื้นของอ่องกง (Alexandri and Jones, 2008) ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา นักวิจัยได้ให้ความสนใจเป็นพิเศษกับสวนทางตั้งแบบ Living walls- LW เพราะมีลักษณะโครงสร้างที่สามารถใช้ได้กับอาคารสูงในเมืองที่ขาดแคลนพื้นที่สีเขียว และไม่มีความต้องการใช้พื้นที่ดินชั้นล่าง เช่นเดียวกับสวนไม้เลื้อยแบบดั้งเดิม

การใช้พืชพันธุ์ในรูปแบบต่างๆ เช่น การปลูกต้นไม้ และสวนบนหลังคา เพื่อช่วยลดการใช้พลังงานในอาคารยังเป็นที่รับรู้และได้รับความสนใจจากนักวิจัยมาเป็นเวลานาน (เช่น Akbari et al., 1992, Mcpherson, 1994) โดยในปัจจุบันได้มีการศึกษาบทบาทของสวนทางตั้งในการเพิ่มประสิทธิภาพด้านอุณหภูมิของผนังอาคารในหลายประเทศ รวมทั้งประเทศไทย (พาสินีและชนิกานต์, 2551, วิชัยและอวรุธอธิ, 2550) องค์ประกอบของสวนแนวตั้ง ได้แก่ พื้นที่ใบของพื้นธุพืชชนิดต่างๆ วัสดุเพาะปลูก และการคายน้ำ เป็นตัวแปรสำคัญที่ช่วยลดปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่อาคารจากสภาพแวดล้อมภายนอก ปริมาณความร้อนที่ลดลงนี้อาจส่งผลให้ความต้องการพลังงานเพื่อทำความเย็นของอาคารมีปริมาณลดลง อย่างไรก็ตามงานวิจัยที่ผ่านมาในประเทศไทยศึกษาประสิทธิภาพด้านพลังงานของสวนแนวตั้งแบบไม้เลื้อยเท่านั้น และยังไม่มีงานการศึกษาประสิทธิภาพของสวนแนวตั้งแบบ living wall ในประเทศไทย

พืชพันธุ์ที่เป็นองค์ประกอบสำคัญสำหรับ LW มีบทบาทสำคัญในการลดอุณหภูมิและกักเก็บก๊าซ CO_2 โดยบทบาทของพืชพันธุ์ต่อการลดอุณหภูมิได้มีการศึกษาสำหรับสวนทางตั้ง (Cameron et al., 2014) และสวนหลังคา (Bevilacqua et al., 2015) รวมถึงการคัดเลือกพืชพันธุ์ที่เหมาะสมสำหรับปลูกบนสวนหลังคา (Rayner et al., 2016; Razzaghmanesh et al., 2014) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาพืชพันธุ์ที่เจริญเติบโตได้ดีในสภาพแวดล้อมที่มีปัจจัยจำกัดด้านอุณหภูมิ ลม และปริมาณน้ำ นอกจากนี้ยังมีการศึกษาถึงประสิทธิภาพการกักเก็บคาร์บอนของพืชพันธุ์สำหรับสวนหลังคาในสหรัฐอเมริกา โดยงานศึกษาที่ผ่านมาแสดงให้เห็นความแตกต่างของชนิดพืชพันธุ์ต่อความสามารถในการสะสมคาร์บอนที่ไม่เท่ากัน (Getter et al., 2009; Whitinghill et al., 2014) ถึงแม้ว่ามีงานศึกษาหลายชิ้นให้ความสำคัญกับพืชพันธุ์สำหรับสวนบนหลังคา แต่ยังไม่มีงานศึกษาชิ้นใดให้ความสำคัญกับพืชพันธุ์สำหรับสวนทางตั้งแบบ LW ซึ่งถือเป็นเทคโนโลยีสีเขียวที่สำคัญต่อพื้นที่เมืองในสภาวะอากาศที่เปลี่ยนแปลงในปัจจุบันได้เป็นอย่างดี ดังนั้นการศึกษาประสิทธิภาพของ LW ในการลดอุณหภูมิและกักเก็บคาร์บอนจึงเป็นเรื่องเร่งด่วน ที่ควรมีการทดลองเพื่อให้เกิดผลเชิงประจักษ์ที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ต่อไป งานวิจัยที่ผ่านมาในประเทศไทยศึกษาประสิทธิภาพด้านพลังงานของสวนแนวตั้งแบบไม้เลื้อยเท่านั้น โดยมีงานการศึกษาประสิทธิภาพของสวนแนวตั้งแบบ living wall เพียงชิ้นเดียวโดยศิริมาและสุทธศรี (2559) และระบุให้เห็นถึงบทบาทของพืชพันธุ์ที่มีต่อประสิทธิภาพการลดอุณหภูมิ จากการทดลองพบว่า living wall สามารถลดอุณหภูมิกายในได้โดยเฉลี่ย 1.26°C ในฤดูร้อนเมื่อเทียบกับผนังที่ไม่มี living wall โดย living wall ที่มีดัชนีพื้นที่ในมากขึ้นสามารถลดอุณหภูมิกายในได้มากขึ้นเช่นกัน โดยสามารถลดอุณหภูมิได้สูงถึง 12.8°C (ศิริมาและสุทธศรี,

2559) อาย่างไรก็ตาม งานศึกษาชิ้นดังกล่าวจำกัดชนิดของพืชพันธุ์แค่ 3 ชนิดเท่านั้น และเป็นการแยกการศึกษา living wall ที่ปลูกพืชชนิดหนึ่งชนิดใดเท่านั้น โดยไม่มีการผสมผสานพืชพันธุ์เข้าด้วยกันตามลักษณะของ living wall ที่ใช้แพร่หลายโดยทั่วไป เป็นที่น่าสังเกตว่างานศึกษา living wall ก่อนหน้านี้ทั้งในและต่างประเทศไม่เคยมีการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างพืชเดี่ยวและพืชผสม ในเชิงของประสิทธิภาพการลดอุณหภูมิและการกักเก็บคาร์บอนไดออกไซด์

ประโยชน์ที่สำคัญอีกประการหนึ่งของสวนแนวตั้ง คือ การดูดซับก๊าซ CO₂ ผ่านกระบวนการสั่งเคราะห์แสงของพืช ในพื้นที่เมืองก๊าซ CO₂ ส่วนใหญ่ถูกปลดปล่อยออกมายจากการเผาผลิตเชื้อเพลิงของยานพาหนะ ดังนั้นการดูดซับก๊าซ CO₂ ของสวนทางตั้งจึงเป็นการปรับปรุงคุณภาพอากาศภายในพื้นที่เมือง นอกจากนี้ ก๊าซ CO₂ ยังเป็นหนึ่งในก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญ สวนทางตั้งจึงไม่เพียงช่วยลดปัญหาภาวะความร้อนเท่านั้น ยังช่วยลดปัญหาภาวะโลกร้อนอีกด้วย จากการทบทวนวรรณกรรมด้าน living wall ในต่างประเทศพบว่า living wall สามารถกักเก็บก๊าซ CO₂ ได้ 0.14–0.98 kg C m⁻² (Sasima & Suthat, 2016) ในปัจจุบันมีวิธีการคำนวณความสามารถในการดูดซับก๊าซเรือนกระจกของต้นไม้ใหญ่ที่เผยแพร่โดยองค์กรก๊าซเรือนกระจก (อปก.) แต่ยังไม่มีวิธีการคำนวณปริมาณการดูดซับก๊าซ CO₂ ของพืชที่ไม่ใหญ่ที่สุดรวมทั้งสวนแนวตั้ง เนื่องจากขาดข้อมูลที่ฐานเกี่ยวกับความสามารถของพืชไม่ชัดต่างๆ ในการดูดซับก๊าซ CO₂ แม้ว่าสวนแนวตั้งจะถูกผลิตและมีการใช้กันอย่างแพร่หลายมากขึ้นในอาคารพักอาศัยและอาคารสาธารณะ อีกทั้งมีแนวโน้มที่การใช้งานของสวนประเภทนี้จะมีเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ในพื้นที่เมืองที่ขาดแคลนพื้นที่สีเขียว ดังนั้นการทดลองเพื่อศึกษาประสิทธิภาพด้านการถ่ายเทความร้อนและการดูดซับก๊าซ CO₂ ของ living wall แบบพืชผสมผสานจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง เพื่อนำผลการศึกษาไปใช้ประเมินศักยภาพของสวนทางตั้งในการลดการใช้พลังงานและการกัดก๊าซเรือนกระจกของเมือง

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- เพื่อประเมินประสิทธิภาพด้านการด้านการลดอุณหภูมิและการกักเก็บคาร์บอนของ living wall แบบใช้พืชผสมผสาน 3 ชนิดที่มีความแตกต่างกันของสัดส่วนพืชใน 3 ชนิดนั้น
- เพื่อประเมินประสิทธิภาพด้านการด้านการลดอุณหภูมิและการกักเก็บคาร์บอนของ living wall แบบใช้พืชผสมผสาน 3 ชนิดเปรียบเทียบกับแบบพืชเดี่ยว 3 ชนิดที่มีความแตกต่างกันทางด้านขนาดใบ

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

ขอบเขตของงานวิจัย มีดังต่อไปนี้

1.3.1 ระบบของ LW

LW มีหลายระบบและหลายโครงสร้าง สำหรับงานวิจัยนี้เลือกรอบที่มีผลิตและจำหน่ายในประเทศไทย คือ ระบบกระถางปลูกพลาสติก PVC

1.3.2 ชนิดของพืชพันธุ์

พืชพันธุ์ที่เลือกใช้สำหรับ LW เลือกเป็นพืชกลางแจ้งที่มีอายุหลายปี โดยเลือกใหม่ขนาดใบที่แตกต่างกัน 3 ขนาด คือ ขนาดเล็ก ปานกลาง และใหญ่ นอกจากราบีนี้ยังเลือกพืชที่มีจำนวนป่าอยู่ในพื้นที่ศึกษา คือ จังหวัด

พิษณุโลก เนื่องจากผู้วิจัยไม่ได้เพาะพิชพันธุ์เอง โดยงานวิจัยนี้ใช้พิชพันธุ์ 3 ชนิด ที่มีขนาดใบต่างกัน ได้แก่ ต้นแพร เชี่ยงไห้ ต้นหับทิมสยาม และต้นกาบทอยแคลงแคระ

1.3.3 ลักษณะของการทดลอง

การทดลอง LW ในงานวิจัยนี้เป็นการเปรียบเทียบระหว่างอาคารที่มี LW กับ อาคารที่ไม่มี LW โดยอาคารในที่นี้ หมายถึง กล่องทดลองที่สร้างขึ้นมาแทนอาคารจริง สำหรับ LW ใช้การปลูกพิชเพียงชนิดเดียวโดยแยกออกเป็นพิช 3 ชนิดดังที่กล่าวข้างต้น โดยที่ LW ที่ทำการทดลองไม่มีการปลูกพิชทั้ง 3 ชนิดผสมกัน

1.3.4 ระยะเวลาในการทดลอง

งานวิจัยของสวนทางตั้งส่วนใหญ่มีการเก็บข้อมูลอยู่ในระยะเวลาไม่ต่างกว่า 3 เดือน สำหรับงานวิจัยชิ้นนี้ ต้องการทดสอบประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิทั้งในฤดูฝนและในฤดูหนาวที่ยังไม่มีการเก็บข้อมูลของสวนทางตั้ง มาก่อน ดังนั้นจึงมีระยะเวลาการเก็บข้อมูลที่นานขึ้นให้ครบคุมทั้ง 2 ฤดูกาล นอกจากนี้งานวิจัยยังต้องการศึกษาประสิทธิภาพการกักเก็บคาร์บอน ทำให้ต้องการระยะเวลาอย่างน้อย 6 เดือนเพื่อระบุความแตกต่างระหว่างช่วงเริ่มปลูกพิชพันธุ์กับในระยะเวลาหลังจากที่ปลูกแล้ว

1.3.5 สถานที่ในการทดลอง

การเลือกสถานที่ในการทดลองใช้ความสะดวกในการเก็บข้อมูลเป็นสำคัญ ทำให้เลือกคณะวิศวกรรมศาสตร์ ม.นเรศวรเป็นสถานที่ในการทดลอง เพื่อให้สามารถเก็บข้อมูลได้ตลอดเวลา และตรวจสอบข้อมูลได้ทันท่วงที่หากมีปัญหา เช่น กระแทไฟฟ้าดับ เป็นต้น

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- ได้ข้อมูลเกี่ยวกับความสามารถด้านการลดอุณหภูมิของ LW ในประเทศไทยร้อนชื้นอย่างประเทศไทย อันจะเป็นประโยชน์ต่อการนำไปคำนวณหาค่าการประหยัดพลังงานของอาคารที่ใช้ LW ได้
- ได้ข้อมูลการกักเก็บคาร์บอนของ LW สำหรับประเทศไทยร้อนชื้นอย่างประเทศไทย อันจะเป็นประโยชน์ต่อการนำไปคำนวณการกักเก็บก๊าซเรือนกระจกสำหรับพื้นที่เมืองได้
- ได้เพิ่มเติมองค์ความรู้เกี่ยวกับบทบาทของพิชพันธุ์ในการลดอุณหภูมิและกักเก็บคาร์บอนสำหรับ LW อันจะเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยในวงกว้างท่อไป

1.5 ระเบียบวิธีวิจัย

วิธีการดำเนินการวิจัย การวิจัยแบ่งออกเป็นขั้นตอนตามลำดับดังนี้

1.5.1 การติดตั้งกล่องทดลองและระบบสวนทางตั้ง

กล่องทดลองและสวนทางตั้งถูกติดตั้งพร้อมอุปกรณ์การวัดอุณหภูมิในพื้นที่ศึกษา โดยสวนทางตั้งถูกติดตั้งพร้อมระบบการระดับน้ำอัตโนมัติ

1.5.2 การศึกษาคุณลักษณะของพื้นที่ไม้

คุณลักษณะพื้นที่ไม้ที่มีผลต่อประสิทธิภาพด้านอุณหภูมิ คือ ดัชนีพื้นที่ใบและพื้นที่ป่าคลุม โดยการศึกษาดัชนีพื้นที่ใบแบ่งออกเป็น 2 วิธี ได้แก่

- การวิเคราะห์จากภาพถ่ายระหว่างสัดส่วนของพื้นที่ทั้งหมดและพื้นที่ใบ
- การใช้เครื่องวัดพื้นที่ใบของพื้นที่ไม้โดยตรง

1.5.3 การประเมินประสิทธิภาพด้านการลดอุณหภูมิของ living wall

การประเมินประสิทธิภาพด้านการลดอุณหภูมิของ living wall แต่ละระบบและแต่ละพื้นที่ไม้

โดยระบุประสิทธิภาพด้านการลดอุณหภูมิที่มีลักษณะแตกต่างกันดังต่อไปนี้

- 1) ช่วงเวลากลางวันและกลางคืน
- 2) ฤดูกาลที่ต่างกัน คือ ฤดูฝนและฤดูหนาว
- 3) ระบบสวนทางตั้งระบบถุงผ้าและระบบกระถางปลูก
- 4) ขนาดใบที่แตกต่างกัน คือ ใบขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่

1.5.4 การประเมินประสิทธิภาพด้านการกักเก็บคาร์บอน

รายละเอียดของขั้นตอนมีดังนี้

1) การส่งตัวอย่างพืชจำนวน 3 สายพันธุ์และดินจากที่ปลูกแยกเดียวและที่ปลูกผสมผสาน สายพันธุ์ละ 3 ตัวอย่าง เพื่อนำไปวิเคราะห์ในห้องทดลองhabrimanการ์บอนในพืชและดิน ในช่วงเริ่มต้นการทดลอง

2) การส่งตัวอย่างพืชจำนวน 3 สายพันธุ์จากที่ปลูกแยกเดียวและที่ปลูกผสมผสาน สายพันธุ์ละ 3 ตัวอย่าง และดิน หลังจากปลูกใน living wall เป็นเวลา 6 เดือน เพื่อวิเคราะห์หาความแตกต่างของปริมาณการ์บอนช่วงเริ่มปลูกและหลังปลูก

1.6 ข้อจำกัดของงานวิจัย

- ข้อจำกัดด้านระยะเวลาของงานวิจัยที่ต้องสำเร็จภายใน 1 ปี ซึ่งทำให้เกิดข้อจำกัดต่อการเก็บข้อมูลด้านการกักเก็บcarbonที่ควรต้องเก็บอย่างน้อย 1 ปีขึ้นไป แต่อย่างไรก็ตามภายในระยะเวลา 6 เดือนที่ทำการเก็บข้อมูล ทำให้ผู้วิจัยสามารถวิเคราะห์ความแตกต่างของปริมาณcarbonใน 2 ฤดูกาลของพื้นที่

- ข้อจำกัดด้านพื้นที่พื้นที่ศึกษา งานวิจัยขึ้นนี้เลือกศึกษาเพียงพื้นที่ไม้ 3 ชนิดที่มีขนาดใบต่างกัน ทำให้ไม่สามารถหาข้อสรุปทางสถิติสำหรับพื้นที่ไม้ที่มีขนาดใบต่างกันได้ อย่างไรก็ตามถือว่าเป็นการเริ่มต้นการศึกษา ที่ควรมีการขยายผลต่อไป

บทที่ 2

การทบทวนวรรณกรรม

บทที่ 2 เป็นการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับพฤติกรรมด้านอุณหภูมิของสวนทางตั้ง และการกักเก็บคาร์บอนของสวนทางตั้ง โดยเน้นวรรณกรรมสวนทางตั้งในสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้นเป็นหลัก อย่างไรก็ตามสวนทางตั้งในสภาพภูมิอากาศอื่นๆ อาจถูกนำมาทบทวนด้วย หากต้องการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับสวนทางตั้งในสภาพภูมิอากาศร้อนชื้น

2.1 ชนิดและองค์ประกอบของสวนทางตั้งแบบ LW

สวนทางตั้งแบ่งออกเป็น 2 ระบบใหญ่ๆ คือ Green walls และ Living walls (Manso & Castro-Gomes, 2015) Green walls คือ สวนที่ใช้มีเดียหรือไม้แขวนเป็นหลัก เป็นสวนที่อยู่ติดกับพื้นดินชั้นล่างหรือต้องการกระถางปลูกที่มีดิน ส่วน LW เป็นสวนทางตั้งที่แตกต่างจากสวนไม้มีเดียและสวนไม้แขวน เนื่องจากมีส่วนโครงสร้างของตัวเองเพื่อไว้ยึดติดเข้ากับผนังอาคารทางตั้ง ทำให้ LW ไม่จำกัดอยู่กับพื้นชั้นหนึ่งที่ติดกับดิน หรือต้องมีกระถางปลูกเพื่อให้พืชเดือยขึ้นหรือแขวนลงมา องค์ประกอบหลักของสวนทางตั้ง ได้แก่

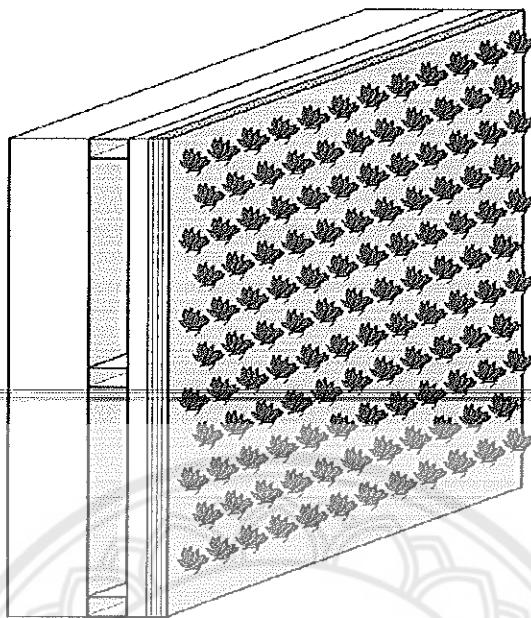
- พืชพันธุ์
- วัสดุปลูก
- โครงสร้างที่ยึดติดกับผนังอาคาร

ประเภทของสวนหลังคาสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทหลัก (Manso & Castro-Gomes, 2015; Surorova, 2015; Dover, 2015) คือ

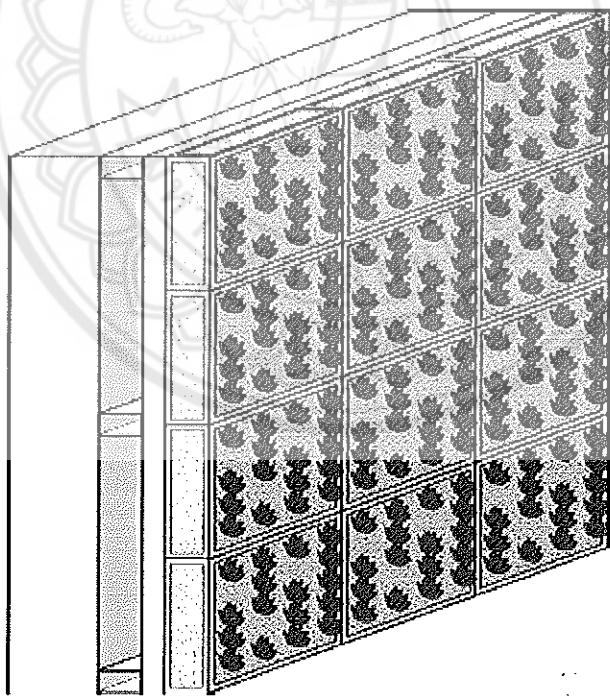
1) Continuous LW คือ ระบบ LW ที่ไม่มีวัสดุปลูกแต่ใช้ผืนผ้าขนาดใหญ่ที่มีความหนาซ้อนกัน 2-3 ชั้น สำหรับให้รากพืชยึดเกาะ โดยผืนผ้าเหล่านี้มักมีแผ่นกันชื้น เช่น Geotextile หรือแผ่น PVC อยู่ทางด้านหลังก่อนจะยึดติดเข้ากับโครงเหล็กที่ยึดเข้ากับผนัง (รูปที่ 2.1) ระบบนี้ให้อาหารพืชผ่านทางการให้น้ำที่หยดผ่านผืนผ้า

2) Modular LW คือ ระบบ LW ที่ประกอบด้วยแผงปลูกพืชหลายแผงเข้าด้วยกัน โดยส่วนของแผงปลูกพืชมีหลายแบบด้วยกัน (รูปที่ 2.2) เช่น

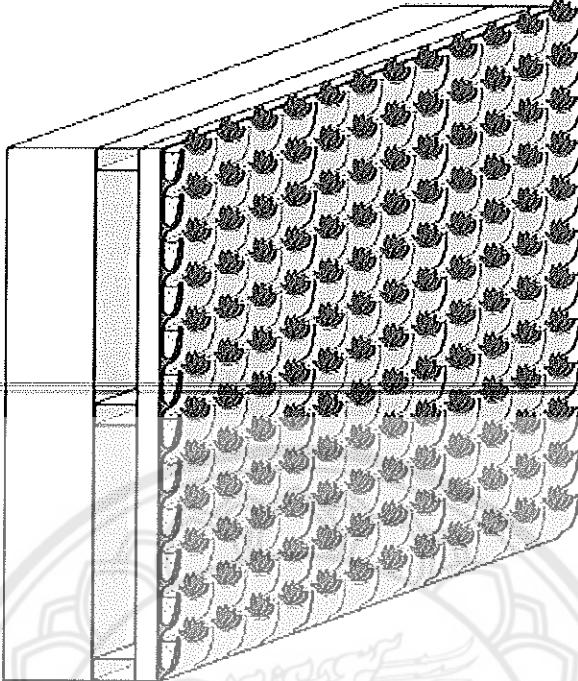
- แผงสี่เหลี่ยมแบบมีวัสดุปลูกติดมาด้วย วัสดุตัวแผงที่บรรจุวัสดุปลูกมีหลากหลายทั้งเป็นแผ่นโลหะ แผ่นเซรามิก PVC หรือ漉ดโลหะ
- แผงแบบเป็นกระถางปลูกวางแผนขนาดนาน กับพื้นหรือวางแผนแบบเอียง วัสดุที่เป็นกระถางอาจเป็นผ้าเย็บเป็นถุง หรือเป็น PVC หรือ โลหะ



รูปที่ 2.1 ระบบสวนทางตั้งแบบผืนผ้า
ที่มา: Susorova & Bahrami, n.d.



รูปที่ 2.2 ระบบสวนทางตั้งแบบโมดูลาร์
ที่มา: Susorova & Bahrami, n.d.



รูปที่ 2.3 ระบบสวนทางตั้งแบบกระถางปลูก
ที่มา: Susorova & Bahrami, n.d.

2.2 พืชกับการถ่ายเทความร้อน

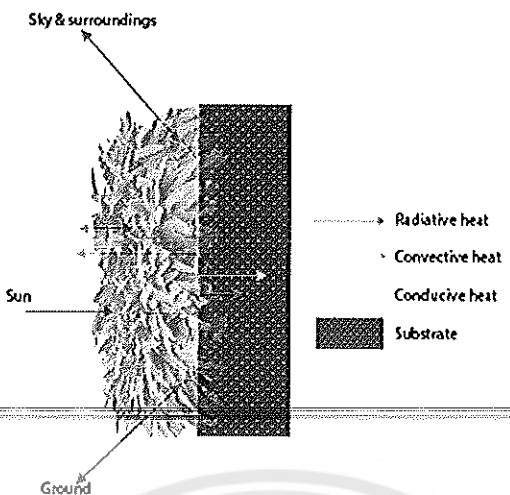
2.2.1 กระบวนการในการลดอุณหภูมิและกักเก็บการบอนของ LW

2.2.1.1 กระบวนการในการลดอุณหภูมิ

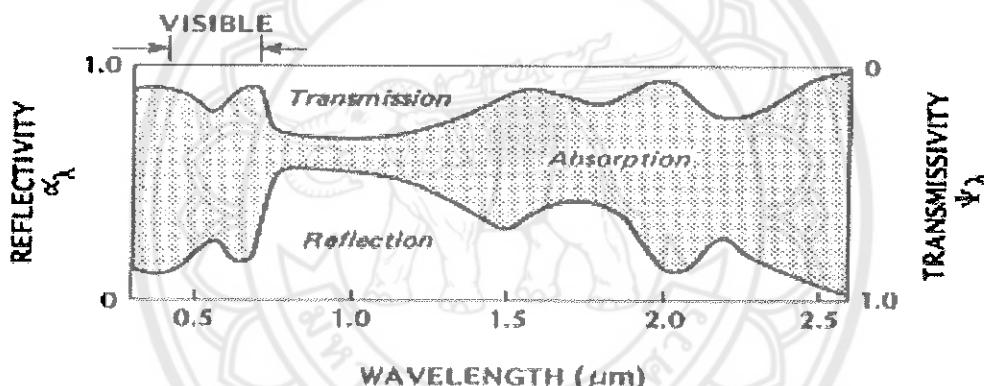
กระบวนการหลัก 2 กระบวนการที่ทำให้ LW ช่วยลดอุณหภูมิให้กับอาคาร คือ กระบวนการสร้างเจา และกระบวนการทำความเย็น (Pérez, et al., 2014; Tan, Wong, & Jusuf, 2014) แต่ละกระบวนการมีรายละเอียดดังนี้

2.2.1.2 กระบวนการสร้างเจา

เป็นการลดการถ่ายเทความร้อนด้วยการดูดซับความร้อน การพากความร้อนและการสะท้อนความร้อนที่เกิดขึ้นในพืชพันธุ์และวัสดุปลูกทำให้ความร้อนที่ผ่านไปสู่ตัวอาคารลดลง (รูปที่ 2.4) โดยพืชพันธุ์สามารถดูดซับรังสีอาทิตย์คลื่นสั้นในช่วง $0.35\text{-}3.0 \mu\text{m}$ ได้ 50% และรังสีคลื่นยาวในช่วง $3.0\text{-}100 \mu\text{m}$ ได้ถึง 95% สำหรับการสะท้อนรังสีอาทิตย์ พืชพันธุ์สามารถสะท้อน Near Infra Red (NIR) ในช่วง $0.71\text{-}4.0 \mu\text{m}$ ได้ประมาณ 50% และส่งผ่านได้ 34% (Oke, 2002) อย่างไรก็ตามคุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนเหล่านี้ขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพของพืช ทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนมีความแตกต่างระหว่างใบพืชที่มีรูปร่างใบ ขนาดใบ และสีใบที่ต่างกัน ค่าการสะท้อนแสงและส่งผ่านความร้อนของ LW อยู่ในช่วง 10-58% และ 6-38% ตามลำดับ (Jim & He, 2011; Scarpa, Mazzali, & Peron, 2014)



รูปที่ 2.4 การถ่ายเทคความร้อนของ LW
ที่มา: Sasima and Suthat, 2016 ตัดแปลงจาก Djedjig et al. (2015)



รูปที่ 2.5 การถ่ายเทคความร้อนสำหรับรังสีอาทิตย์ช่วงต่างๆของใบไม้
ที่มา: Oke, 2002

การพาราความร้อนเกิดขึ้นระหว่างพืช วัสดุปลูก และอากาศภายนอก โดยการพาราความร้อนที่สำคัญเกิดขึ้นระหว่างพืช กับอากาศภายนอก (Malys, Musy, & Inard, 2014) สำหรับการนำความร้อนที่สำคัญที่ช่วยลดความร้อนเข้าสู่ อาคารอยู่ที่วัสดุปลูกที่ทำหน้าที่เป็นฉนวนกันความร้อนให้กับเปลือกอาคาร (Maly et al., 2014)

2.2.1.3 กระบวนการทำความเย็น

เป็นกระบวนการดึงเอาความร้อนแฝง (latent heat) ที่มีอยู่ในพืชพันธุ์ออกมานอกรูปแบบของการรายน้ำผ่านทาง ปากใบ เพื่อลดอุณหภูมิให้กับพืชพันธุ์เมื่ออากาศภายนอกมีอุณหภูมิสูง เพื่อป้องกันไม่ให้พืชพันธุ์ได้รับความร้อน มากเกินไปจนในที่ยวเฉา (Forbes & Watson, 1992) โดยความร้อนที่สะสมอยู่ที่ใบประมาณ 60% จะถูกแปร เป็นความร้อนแฝงที่ถูกขับออกไปผ่านทางกระบวนการรายน้ำเพื่อลดอุณหภูมิให้กับใบไม้ (Stec, van Paassen, & Maziarz, 2005) นอกจากนี้อัตราการใช้ความร้อนแฝงของพืชเพื่อรายน้ำยังขึ้นอยู่กับความเร็วลม โดยพืชจะใช้ ความร้อนแฝง 60-75% สำหรับสภาพอากาศร้อนซึ่งมีลมแรง และใช้ความร้อนแฝงลดลงมา 45-65% สำหรับ สภาพอากาศที่ความเร็วลมลดลงและความชื้นในอากาศน้อยลง สำหรับในสภาพอากาศร้อนแห้งแบบทะเลทรายที่มี

ความเร็ว慢ต่ำมาก มีการใช้ความร้อนแผงเพียง 23-40% เท่านั้น (Flores Larsen, et al., 2015) ลักษณะทางกายภาพของพืชก็มีผลต่ออัตราการคายน้ำเช่นเดียวกัน โดยพืชที่มีใบขนาดเล็กสามารถคายน้ำได้เร็วมากกว่า เพราะมีพื้นที่สัมผัสกับอากาศมากกว่าพืชที่มีใบขนาดใหญ่ ทำให้พืชที่มีใบขนาดใหญ่มีโอกาสระบายความร้อนไม่ทันและเที่ยวเวลาได้มากกว่าหากมีเดดจัด

2.3 กระบวนการการกักเก็บคาร์บอน

การกักเก็บคาร์บอนของพืชพื้นธุรกิจจะถูกแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่

- ส่วนบนดิน ที่รวมเอาคาร์บอนที่กักเก็บอยู่ในพืชส่วนที่อยู่เหนือดินทั้งหมด ได้แก่ ใน กิ่งก้าน ลำต้น ดอก และผล
- ส่วนใต้ดิน โดยคิดจากการสะสมcarbonในส่วนของรากพืช
- ส่วนวัสดุปูฐาน คิดจากการสะสมcarbonในส่วนของวัสดุปูฐานในชั้นความลึกต่างๆ

สำหรับการกักเก็บคาร์บอนในส่วนบนดินและใต้ดินนั้น เป็นผลมาจากการวัดจัดของcarbonที่มีการนำเข้าผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสง และมีการนำออกผ่านกระบวนการหายใจ (Van Oijen, Schapendonk, & Hoglind, 2010) โดยcarbonที่สะสมในพืชจึงเป็นผลลัพธ์ของการแตกต่างระหว่างcarbonที่ได้จากการสังเคราะห์แสงและการสูญเสียcarbonผ่านทางการหายใจในเวลาอันสั้นของพืชซึ่งจะใช้carbonไปประมาณ 50% (Ryan, 1991 cited in Bonan, 2002, p. 21) แม้ว่าจะมีความแตกต่างกันตามชนิดพืชที่สูญเสียcarbonผ่านการหายใจอยู่ในช่วง 33-77% (Amthor & Baldocchi, 2001; Gifford, 2003; Thornley, 2011) ดังนั้น การบันจัดมักมีหลงเหลืออยู่ในพืชเสมอ แสดงให้เห็นว่าพืชมีบทบาทสำคัญในการเป็นแหล่งเก็บสะสมcarbonแทนที่จะเป็นแหล่งผลิตcarbon โดยcarbonที่ได้จากการสังเคราะห์แสงจะถูกนำไปใช้เพื่อสร้างชีมวล (biomass) คิดเป็นประมาณ 45-50% ของน้ำหนักแห้งของพืช (Houghton, 2011)

การสะสมcarbonยังขึ้นอยู่กับคุณภาพด้วย ในคุณภาพที่มีอักษรนาวจัดและคุณร้อนที่มีอักษรร้อนจัด ผลให้พืชมีอัตราการสังเคราะห์แสงที่น้อยลง ทำให้มีปริมาณcarbonน้อยลงตามไปด้วย (Oke, 2002) ดังนั้นมีพืชเจือภายนอกสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม เช่น ขาดเคลื่อนที่ หรือ สภาพภูมิอากาศที่ร้อนจัดหรือหนาวจัด จะส่งผลต่อการสังเคราะห์แสงและปริมาณcarbonในพืช

การสะสมcarbonในดินหรือวัสดุปูฐานเป็นผลพวงมาจากหลายกระบวนการ ทั้งการเน่าเปื่อยของอินทรีย์ตุ่นในดิน การหายใจของดินและจุลินทรีย์ในดิน โดยหากพืชขาดสัตว์ที่ถูกย่อยสลายในดินจะเป็นการเพิ่มเติมcarbonให้กับดินประมาณ 20% ของน้ำหนักแห้งของชาตพืชที่ร่วงหล่นลงบนดิน ขณะที่การหายใจของดินและจุลินทรีย์ทำให้เกิดการสูญเสียcarbonในดิน

2.4 คุณลักษณะด้านอุณหภูมิของ LW ในสภาพภูมิอากาศร้อนชื้น

จากองค์ประกอบของ LW ที่มีทั้งพืชพื้นธุ์และวัสดุปูฐาน ทำให้ LW สามารถลดอุณหภูมิหรือความร้อนที่เข้าสู่อาคารด้านจากการสร้างร่มเงาของพืชพื้นธุ์ ความเป็นอนุวนของช่องว่างอากาศและดิน รวมทั้งการคายความร้อนและการ

ระหว่างวันที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 20°C ตัวอย่างเช่น LW สามารถลดอุณหภูมิภายในอาคารได้ เนื่องจาก LW สามารถลดอุณหภูมิที่ผิวภายนอกของอาคารได้ 1.2-1.3°C เมื่อเทียบกับอุณหภูมิอากาศ (Cheng, et al., 2010) และยังคงลดอุณหภูมิของผนังเปล่าได้ถึง 0.3-6.7°C (Cheng, et al., 2010; Jaafar, Said, Reba, & Rasidi, 2015; Tan, et al., 2014) ทั้งนี้ความแตกต่างด้านอุณหภูมิยังเพิ่มขึ้นเมื่อติดตั้ง LW ต่อตัวอาคาร ทำให้อุณหภูมิภายในของ LW ลดลงถึง 20.8°C (Chen, Li, & Liu, 2013) นอกจากนี้ LW สามารถลดอุณหภูมิภายในห้องได้ประมาณ 2-6°C (Cheng, et al., 2010; Safikhani, Abdullah, Ossen, & Baharvand, 2014) ประสิทธิภาพของ LW ในการลดอุณหภูมิยังขึ้นอยู่กับช่องเปิดของผนังด้วย ในผนังทึบ LW สามารถลดอุณหภูมิภายในห้องได้ประมาณ 10°C แต่หากมีช่องเปิดจะทำให้อุณหภูมิที่ลดลงน้อยกว่า 10°C (Wong et al., 2009)

ความสามารถในการลดอุณหภูมิของ LW ส่งผลให้ความต้องการใช้พลังงานในการทำความเย็นของอาคารน้อยลง จากการทดลองแสดงให้เห็นว่า การใช้ LW ที่ผนังด้านทิศตะวันตกทำให้ใช้พลังงานสำหรับปรับอากาศน้อยลง 8-13% ในช่วงฤดูร้อน (Chen, et al., 2013; Hasan, et al., 2012; Stav & Lawson, 2012) อย่างไรก็ตามการใช้ LW ในทิศทางอื่นอาจทำให้การประหยัดพลังงานมีน้อยลง จากการศึกษาด้วยการจำลองการใช้พลังงานของอาคารในสภาพภูมิอากาศร้อน ประเทศอสเตรเลียพบว่า การใช้ LW ที่ผนังด้านทิศเหนือ (เทียบเท่ากับทิศใต้ในประเทศไทย) ทำให้ประหยัดพลังงานได้ 3% และถ้าใช้ที่ผนังด้านทิศตะวันตกทำให้ประหยัดพลังงานได้ 1% และถ้าหากใช้ LW กับผนังทุกด้านทำให้ประหยัดพลังงานได้ 9% (Stav & Lawson, 2012)

2.5 ปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการลดอุณหภูมิของ LW

Sasima & Suthat (2016) ได้สรุปปัจจัยที่มีผลต่อการลดอุณหภูมิของ LW ไว้ดังนี้

2.5.1 ชนิดของ LW

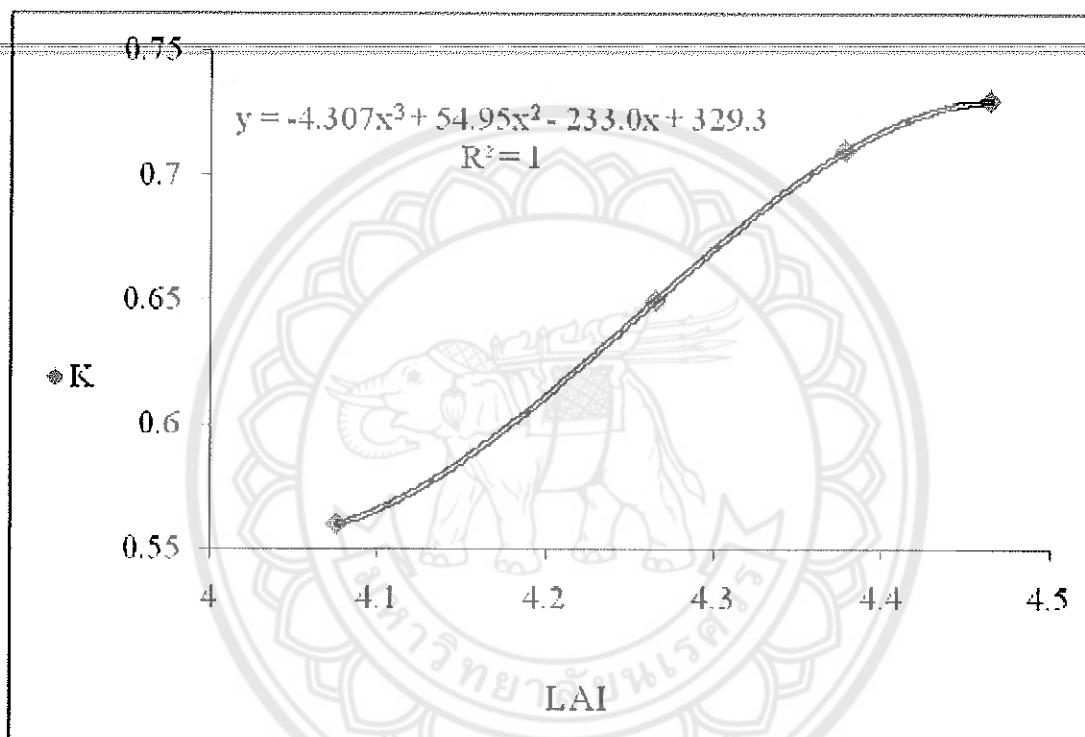
LW 7 ชนิดได้ถูกศึกษาเปรียบเทียบในสวนสาธารณะประเทศไทยสิงคโปร์ จากการศึกษาพบว่า LW ระบบโมดูลาร์แบบเป็นแผงสีเหลืองและแบบกระถางปลูกมีประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิใกล้เคียงกัน โดยสามารถลดอุณหภูมิที่ผิวใบได้ต่ำกว่าผนังเปล่าได้สูงถึง 10°C (Wong et al., 2009) ขณะที่ LW ระบบโมดูลาร์แบบถุงปลูกและระบบต่อเนื่องแบบผืนผ้ามีประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิที่ต่ำกว่า โดยมีอุณหภูมิที่ผิวใบต่ำกว่าผนังเปล่า 6-9°C (Wong et al., 2009)

2.5.2 ลักษณะของพืชพันธุ์

ลักษณะของพืชพันธุ์สำคัญที่มีผลต่อการลดอุณหภูมิของ LW คือ ต้นพื้นที่ใบ (Leaf Area Index- LAI) ซึ่งหมายถึง สัดส่วนของพื้นที่ใบที่ปกคลุมพื้นที่ดิน โดย LAI มีผลกับการสร้างเงาของพืชพันธุ์โดยตรง (Wong et al., 2009) ในงานศึกษาของ LW มักมีการกำหนดค่า LAI ของพืชอยู่ที่ 6.76 และ 5.8 สำหรับพืชขนาดปานกลาง (Scarpa, et al., 2014; Wong, et al., 2009) และ 3 สำหรับพืชขนาดเล็ก เช่น หญ้า (Scarpa, et al., 2014) ทั้งนี้ Stav & Lawson (2012) ได้แนะนำว่าพืชสำหรับ LW ควรมีค่า LAI อย่างน้อยเท่ากับ 4 เพื่อให้มีประสิทธิภาพ

ในการลดอุณหภูมิที่ดี หากค่า LAI ลดลงมาต่ำกว่า 3 สามารถส่งผลให้การประหยัดพลังงานลดลงจากเดิม 8.3% สำหรับอาคารในประเทศโปรตุเกสในช่วงฤดูหนาว (Carlos, 2014)

ค่า LAI ของพืชมีความสัมพันธ์กับความสามารถในการดูดซับแสง การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่า LAI กับค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับแสง (Light Extinction Coefficient-K) ของ Pot Marigold (*Calendula officinalis* L.) พบว่ามีความสัมพันธ์เชิงบวกต่อกัน หากค่า LAI เพิ่มขึ้นจะทำให้พืชมีประสิทธิภาพการดูดซับแสงเพิ่มมากขึ้น ตามไปด้วยดังแสดงในรูปที่ 2.6 และทำให้มีแสงตกกระทบไปที่พื้นดินน้อยลง



รูปที่ 2.6 สมการเชิงคณิตอย่างระหว่างค่า LAI และค่า K

ที่มา: Sedghi et al., 2011

2.5.3 วัสดุปูลูก

ความชื้นและความหนาของวัสดุปูลูกเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความสามารถในการลดอุณหภูมิของ LW โดยการมีความชื้นที่พอเพียงทำให้พืชมีการเจริญเติบโตที่ดีและช่วยสร้างความเย็นผ่านการระเหยของน้ำอีกด้วย (Cheng, et al., 2010) จากผลของแบบจำลองอาคารแสดงให้เห็นว่า หากความชื้นอิ่มตัวในดินลดลงจะส่งผลให้การใช้พลังงานสำหรับทำความร้อนให้กับอาคารเพิ่มขึ้น to 5.7-7.6% (Carlos, 2014) นอกจากนี้ ความหนาของวัสดุปูลูกยังมีผลต่อความเป็นชนวนของ LW อีกด้วย หากวัสดุปูลูกมีความหนาเพิ่มขึ้นจาก 6 เป็น 8 ซม. จะทำให้ประหยัดพลังงานในการทำความเย็นได้ 2-18% (Stav & Lawson, 2012)

2.5.4 ช่องว่างอากาศ

ช่องว่างอากาศทำให้ความเย็นที่ได้จากการคายน้ำและระเหยนำของพืชและวัสดุปลูกน้อยลงจากเดิม (Scarpa, et al., 2014) เนื่องจากช่องว่างอากาศเป็นแหล่งความร้อนที่เพิ่มอุณหภูมิให้กับ LW จากอากาศภายนอกที่เล็ดลอดเข้าไปในช่องว่างอากาศ จากการทดลองแสดงให้เห็นว่า LW ที่มีช่องว่างอากาศขนาดใหญ่ คือ กว้าง 200 มม. 400 มม. และ 600 มม. มีประสิทธิภาพต่ำกว่า LW ที่มีช่องว่างอากาศขนาดเล็กที่กว้าง 30 มม. (Chen, et al., 2013)

2.5.5 ปัจจัยอื่นๆ

ปัจจัยอื่นๆที่มีผลต่อประสิทธิภาพการลดอุณหภูมิของ LW ได้แก่ ลักษณะของสภาพแวดล้อมภายนอกที่มีผลต่อ การเจริญเติบโตของพืช การเลือกใช้พืชแบบผสมผสาน และการเลือกใช้วัสดุปลูกที่มีองค์ประกอบหลากหลาย

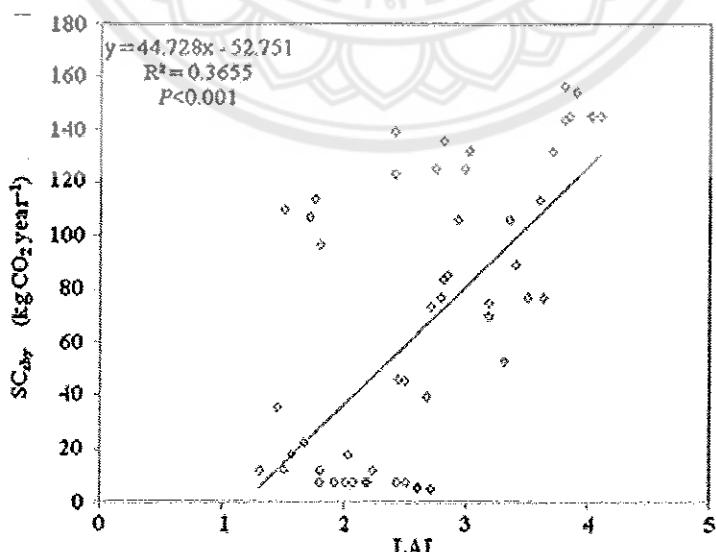
2.6 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการกักเก็บคาร์บอนของ LW

Sasima & Suthat (2016) ได้สรุปมา 3 ปัจจัยที่สำคัญ คือ

2.6.1 ลักษณะของพืชพันธุ์

การศึกษาการบอนของพืชในสวนหลังคา พบว่า พืชที่มีเนื้อไม้มากหรือมีกิ่งก้านมาก เช่น *L. vicaryi* มีปริมาณ คาร์บอนมากกว่าพืชที่เป็นไม้ดอกรและมีกิ่งก้านแบบอ่อนนุ่ม เช่น *N. auriculata* and *L. spicata* ถึง 2.35-2.5 เท่า (Luo, et al., 2015)

ลักษณะของ LAI ถูกพบว่ามีความสัมพันธ์กับความสามารถในการกักเก็บคาร์บอนของพืชด้วย จากการศึกษา ของ Gratani et al. (2018) ที่ทำการศึกษาไม้พุ่ม 3 ขนาดของเมดิเตอร์เรเนียนกับความสามารถในการกักเก็บ คาร์บอนรายปี พบว่ามีความสัมพันธ์เชิงบวกต่อกัน หากพืชมีค่า LAI มากจะมีการกักเก็บคาร์บอนมากเช่นกัน (รูป ที่ 2.7)



รูปที่ 2.7 สมการเชิงคณิตอย่างระหว่าง LAI และการกักเก็บคาร์บอนรายปี
ที่มา: Gratani et al., 2018

2.6.2 ชนิดและความลึกของวัสดุปูลูก

พื้นที่จะเจริญเติบโตได้ดีในพื้นที่มีความลึกของวัสดุปูลูกพอสมควร จากการศึกษาส่วนห้องค่าที่มีข้อจำกัดคล้ายกับ LW พบว่า พื้นที่ปูลูกในดินลึกเจริญเติบโตได้ดีกว่าพื้นที่ปูลูกในดินตื้น ในแง่ของขนาด พื้นที่ปูกลุม ความหลากหลาย และการอุดตอก (Dunnett, Nagase, & Hallam, 2008; Gabrych, Kotze, & Lehvävirta, 2016; Ondoño, Martínez-Sánchez, & Moreno, 2016) แต่ความลึกดินไม่มีผลกับพื้นที่มีระบบระบายน้ำ เช่น พื้นที่อุบล้ำ (Lu, Yuan, Yang, Chen, & Yang, 2015) โดยพื้นที่ปูลูกในดินลึกมีการเจริญเติบโตที่ดีกว่า เพราะว่า 4 สาเหตุหลัก คือ

- 1) ความสามารถในการอุบล้ำของดินที่ดีกว่า
- 2) ความอุดมสมบูรณ์ของดินที่เกิดจากจุลินทรีย์ในดินที่มีหลากหลายมากกว่า
- 3) การสูญเสียธาตุอาหารในดินจากการระบายน้ำน้อยกว่า
- 4) ความสามารถในการปักปูรากพืชจากการแข็งตัวในฤดูหนาวมีมากกว่า

2.6.3 การดูแลรักษา

การดูแล ใส่ปุ๋ย และกำจัดวัชพืชอย่างสม่ำเสมอ ช่วยให้พื้นที่เจริญเติบโตได้ดี และส่งผลต่อการเพิ่มปริมาณการบอนในพื้นที่และวัสดุปูลูกมากขึ้นในที่สุด โดยเฉพาะการดูแลที่มีความสำคัญอย่างมากต่อการอยู่รอดของสวนทางต้น (Dunnett, et al., 2008; Ondoño, et al., 2016)

2.7 สรุป

LW เป็นสวนทางต้นรูปแบบหนึ่งที่มีพืชพันธุ์และวัสดุปูลูกเป็นองค์ประกอบสำคัญ โดยทั้ง 2 องค์ประกอบล้วนเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิและกักเก็บการบอนของ LW ทั้งสิ้น จากการศึกษา LW ในสภาพภูมิอากาศร้อนชื้นที่ผ่านมา แสดงให้เห็นความสามารถของ LW ในการลดอุณหภูมิและประหยัดพลังงาน ให้กับอาคาร ส่วนความสามารถด้านการกักเก็บการบอนนั้นยังไม่มีการทดลอง ในบทต่อไปจะเป็นวิธีการในการทดลองสำหรับทดสอบประสิทธิภาพการลดอุณหภูมิและกักเก็บการบอนของ LW สำหรับงานวิจัยนี้

บทที่ 3

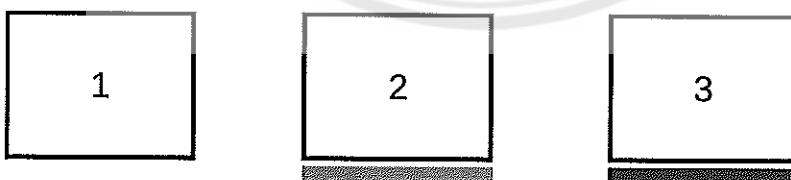
ระเบียบวิธีวิจัย

บทนี้กล่าวถึงวิธีการทำวิจัยโดยแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลัก คือ ส่วนการออกแบบการทดลอง ส่วนเก็บข้อมูล และส่วนวิเคราะห์ข้อมูล ส่วนการทดลองประกอบด้วยวิธีการทดลองสำหรับประสิทธิภาพด้านการลดอุณหภูมิของ LW และการกักเก็บคาร์บอนของ LW ส่วนเก็บข้อมูลแบ่งออกเป็น 2 ส่วนเช่นเดียวกัน สำหรับส่วนวิเคราะห์ข้อมูลนั้น จะกล่าวถึงวิธีการในการวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับประสิทธิภาพด้านการลดอุณหภูมิและการกักเก็บคาร์บอนของ LW เช่นกัน

3.1 การออกแบบการทดลอง

3.1.1 สถานที่ทดลอง

การทดลอง LW ใช้สถานที่ที่คณวิศวกรรมศาสตร์ ม.นครบริเวณสนามหญ้า เพราะเป็นสถานที่เปิดโล่ง ทำให้ปราศจากเงาของสิ่งก่อสร้างโดยรอบ 试验โดยแรกร่วมกับการทดลองจำนวน 3 กล่องถูกสร้างขึ้นมา มีขนาด $1.00 \times 1.50 \times 0.80$ ม. (รูปที่ 3.1) ตัวกล่องใช้โครงสร้างเหล็กกล่องขนาด 1 นิ้วหนา 2.3 มม. กรุด้วยแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์หนา 8 มม. ทาสีเทาภายนอกโดยรอบเพื่อใช้เป็นวัสดุผนัง ด้านหน้ากล่องติดตั้งแผง LW สำเร็จรูปแบบกระถางปลูกลาดเอียงจำนวน 4 แผง ระบบกระถางปลูกแบบเอียงนี้ทำมาจากพลาสติกที่มีน้ำหนักเบาแบ่งเป็นช่องๆ ทั้งหมด 4 แฉว แต่ละแฉวสามารถใส่ต้นไม้ได้ 4 ต้น ดังนั้นแผง 1 แผงสามารถใส่พันธุ์ไม้ได้ทั้งหมด 16 ต้น ขนาดของแผงกระถางปลูกสำเร็จรูป คือ $0.52 \times 0.53 \times 0.05$ ม. แผงสำเร็จรูปนี้ถูกยึดเข้ากับด้านหน้ากล่องทดลองด้วยเหล็กกล่องขนาดหนาตัด 1 นิ้วตามนอนและหนาตัด 2 นิ้วตามตั้งทำให้มีช่องว่างระหว่าง LW กับกล่องทดลองขนาด 0.05 ม. ด้านหลังกล่องทดลองถูกออกแบบให้เป็นประตูขนาด 0.5×0.5 ม. เพื่อให้สามารถติดตั้งสายวัดอุณหภูมิและความชื้นภายในกล่องได้ ภายในกล่องทั้งหมดกรุด้วยฉนวนไยแก้วกันความร้อนหนา 75 มม. ยกเว้นด้านหน้ากล่องที่ติดกับ LW เพื่อป้องกันความร้อนที่เข้ามายังด้านอื่น และให้ความร้อนเข้ามาด้าน LW เพียงด้านเดียว



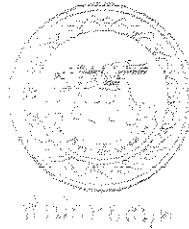
1 กล่องเปล่า 2 LW แบบปลูกเดี่ยว 3 LW แบบปลูกผสมผสาน

รูปที่ 3.1 ผังกล่องทดลอง LW กว้าง 1.00 ม. สูง 0.80 ม.

3.1.2 การติดตั้งอุปกรณ์เพื่อวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์

- กล่องทดลองทั้งหมดถูกตั้งให้หันไปทางทิศใต้ และมีระยะห่างระหว่างกล่อง 0.30 ม. (รูปที่ 3.2) โดยมีกล่องแรกเป็นกล่องเปล่าใช้เป็นกล่องควบคุม ส่วนกล่องที่ 2 และ 3 เป็นกล่องที่ติดตั้ง LW โดยกล่องที่สองปลูกพืชแยกกัน 3 ชนิด (รูปที่ 3.2) คือ

๓ SB
๖๖๙
๕
๘๙๙
๑๕๖๐
1098 518



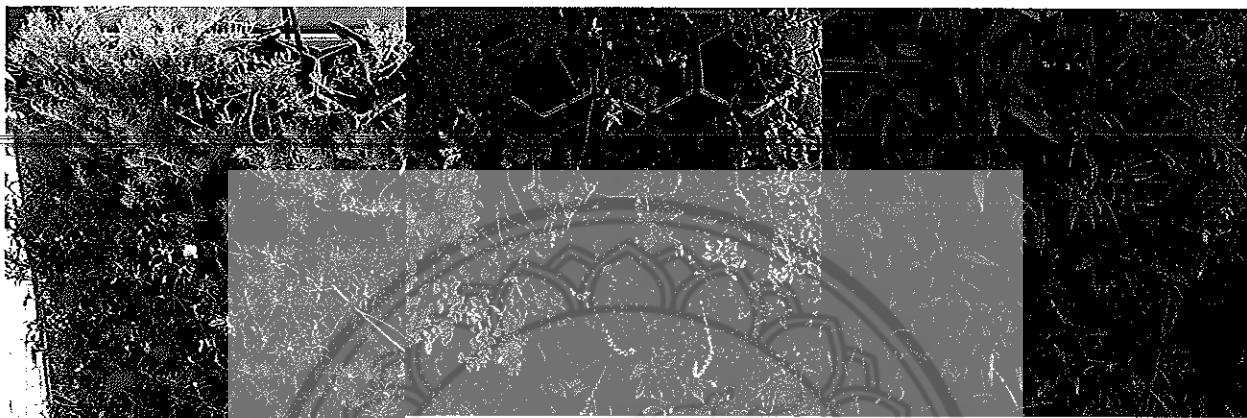
๑๑๒๔ ๗๖๖

1) ต้นแพรเชียงไห้ (*Portulaca grandiflora*-PA)

2) ต้นทับทิมสยาม (*Alternanthera* sp.-AS)

3) ต้นกากหอยแครงแคระ (*Tradescantia spathacea* Sw.-TS)

ส่วนกล่องที่สามปักลูกพิชทั้ง 3 ชนิดคละกัน (รูปที่ 3.3)



PA

AS

TS

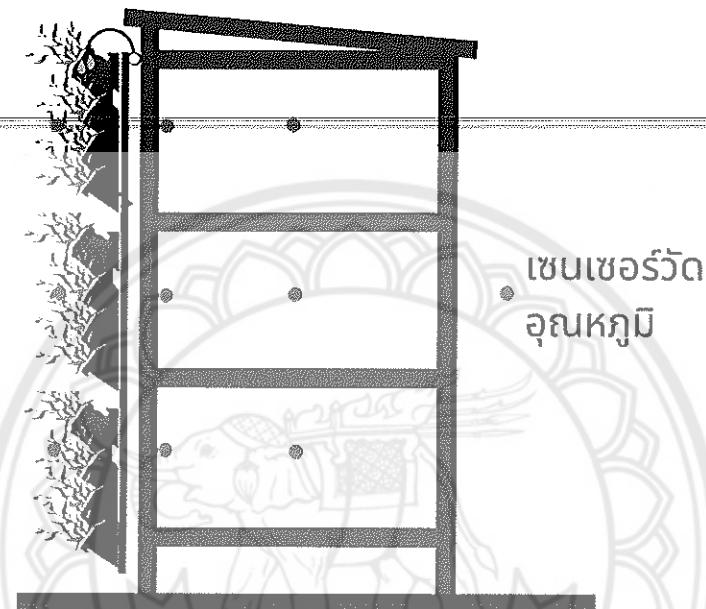
รูปที่ 3.2 พันธุ์ไม้ 3 ชนิดที่ปักลูกแบบเดี่ยวและแบบผสม



รูปที่ 3.3 กล่องทดลอง LW แบบปักลูกเดี่ยว (ซ้าย) และปักลูกคละ (ขวา)

กล่องทั้งหมดถูกติดตั้งสายวัดอุณหภูมิ Thermocouple Type K ความแม่นยำ $\pm 0.05\%$ of rdg +2.0°C เพื่อวัด อุณหภูมิในตำแหน่งที่กำหนด โดยสายวัดทั้งหมดถูกต่อเข้ากับ data logger รุ่น GL820 เพื่อกีบบันทึกข้อมูลทุก 30 นาที ทั้งนี้สายวัดอุณหภูมิถูกติดตั้งในตำแหน่งต่างๆ ของกล่องทดลองแต่ละกล่องดังแสดงในรูปที่ 3.3 ดังนี้

- ตำแหน่งที่ 1 คือ ผิวด้านหน้าแผง LW เพื่อวัดอุณหภูมิที่ผิวในสำหรับกล่อง LW และพื้นผิวภายนอกสำหรับกล่องเปล่า
- ตำแหน่งที่ 2 คือ ผิวด้านหน้ากล่องทดลอง
- ตำแหน่งที่ 3 คือ ผิวด้านในกล่องทดลอง
- ตำแหน่งที่ 4 คือ ภายในกล่องทดลอง โดยสายวัดอุณหภูมิถูกวางไว้ตรงกลางกล่องสูงจากพื้น 0.40 ม.



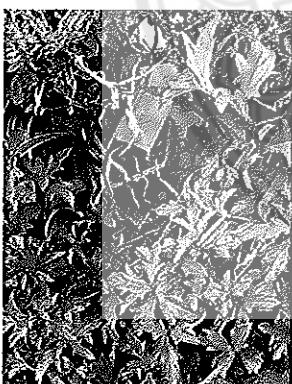
รูปที่ 3.4 ตำแหน่งติดตั้งเซนเซอร์วัดอุณหภูมิกล่องทดลอง

นอกจาก 4 ตำแหน่งข้างต้นแล้ว สายวัดอุณหภูมิอากาศภายนอกยังถูกติดตั้งบนกล่องทดลองที่ 2 โดยให้ยื่นออกมา 0.30 ม.

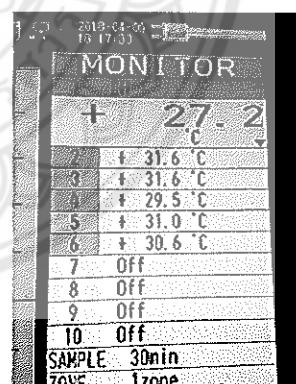
นอกจากสายวัดอุณหภูมิแล้ว ยังมีอุปกรณ์วัดข้อมูลอื่นๆ ที่ติดตั้งสำหรับการทดลองดังแสดงในตารางที่ 3.1 ตารางที่ 3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือเก็บข้อมูลสำหรับการทดลอง

อุปกรณ์	คุณสมบัติ
1. Thermocouple Type K (รูปที่ 3.5)	<ul style="list-style-type: none"> วัดอุณหภูมิได้ -100°C ถึง 1370°C ความแม่นยำ $\pm (0.05\% \text{ ของ } \text{ค่าที่อ่านได้} + 1.0^\circ\text{C})$
2. สายวัดความชื้น	<ul style="list-style-type: none"> ใช้วัดความชื้นสัมพัทธ์ได้ 0-100% มีความแม่นยำ $\pm 3\%$ ที่อุณหภูมิ 25°C
3. สายเซนเซอร์วัดการถ่ายเทความร้อน	<ul style="list-style-type: none"> ใช้ได้กับอุณหภูมิ -40°C ถึง 150°C มีค่า Sensitivity เท่ากับ 0.049 mV/W-m²

	<ul style="list-style-type: none"> มีค่า Thermal resistance เท่ากับ $1.4 \times 10^{-3} \text{ m}^2\text{K/W}$ มีค่าความแม่นยำ $\pm 2\%$
4. เครื่อง Datalogger ยี่ห้อ Graptec รุ่น GL820	<ul style="list-style-type: none"> มีค่า Sampling interval ระหว่าง 10 มิลลิวินาที ถึง 1 ชั่วโมง มีอัตรา Pulse input สูงสุดอยู่ 50k/ วินาที
5. เครื่องเก็บข้อมูลการถ่ายเทความร้อน	<ul style="list-style-type: none"> ใช้ได้กับอุณหภูมิ 0-40°C
6. เชนเซอร์วัดความเข้มข้นแสงอาทิตย์	<ul style="list-style-type: none"> วัดค่าความเข้มของรังสีแสงอาทิตย์ได้ 180° มีค่า Calibration uncertainty น้อยกว่า 1.8% ($k = 2$) มีค่า Spectral range อยู่ในช่วง $285-3000 \times 10^{-9}$ เมตร มีค่า Sensitivity เท่ากับ $15 \times 10^{-6} \text{ V}/(\text{W}/\text{m}^2)$ ใช้ได้กับอุณหภูมิ -40 ถึง +80°C มีการตอบสนองต่ออุณหภูมิ น้อยกว่า $\pm 3\%$



Thermal Couple

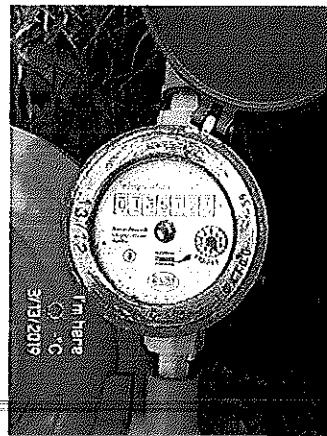


Datalogger

รูปที่ 3.5 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิส่วนทางต้น

3.1.3 การติดตั้งระบบบัน้ำ

สวนทางต้นทางทั้งหมดมีการติดตั้งระบบบัน้ำอัตโนมัติวันละ 2 ครั้ง (รูปที่ 3.6) คือ เวลาเช้าตอน 6.00 น. และเวลาเย็น 18.00 น. แต่ละครั้งจะทำการให้น้ำเป็นเวลา 20 นาที ระบบประปาจะมีเตอร์น้ำติดแยกโดยเฉพาะเพื่อวัดปริมาณน้ำที่ใช้ในการรดน้ำต้นไม้ โดยทำการจดบันทึกทุกๆเดือน



รูปที่ 3.6 ระบบให้น้ำแบบหยดอัตโนมัติและมีเตอร์น้ำ

3.2 การเก็บข้อมูล

การเก็บข้อมูลแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ การเก็บข้อมูลด้านอุณหภูมิและด้านการกักเก็บคาร์บอน รายละเอียดดังต่อไปนี้

3.2.1 ด้านอุณหภูมิ

การเก็บข้อมูลแบ่งเป็น 2 ช่วงเวลา คือ ในฤดูฝนตั้งแต่เดือนสิงหาคม-กันยายน 2561 และในฤดูหนาวระหว่างเดือนตุลาคม-พฤษจิกายน 2561 โดยเก็บข้อมูลตลอด 24 ชั่วโมงทุกวันแม้ว่าจะมีบางวันที่ไม่สามารถเก็บข้อมูลได้ เนื่องจากกระแสไฟฟ้าดับ ในแต่ละฤดูกาลแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ลักษณะ คือ

- 1) การเปรียบเทียบระหว่างกล่อง BW และกล่อง LW
- 2) การเปรียบเทียบระหว่างกล่อง LW แบบปลูกเดียวของพีช 3 ชนิดและแบบปลูกคละ

3.2.2 ด้านคาร์บอน

- 1) ช่วงเวลาการเก็บข้อมูลและจำนวนตัวอย่าง

การเก็บข้อมูลแบ่งเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงระยะเวลาในเดือนสิงหาคม และช่วง 6 เดือนให้หลัง คือ เดือนธันวาคม ในแต่ละช่วงได้ทำการเก็บตัวอย่างพีชของพีชแต่ละชนิดมาอย่างละ 3 ตัว สำหรับตัวอย่างดินได้เก็บตัวอย่างดินในช่วงแรกก่อนปลูกพีชจำนวน 3 ถุง และเก็บตัวอย่างดินในช่วง 6 เดือนหลังจากถุงที่ปลูกพีชที่ถูกใช้เป็นตัวอย่าง จำนวน 3 ถุงต่อพีช 1 ชนิด

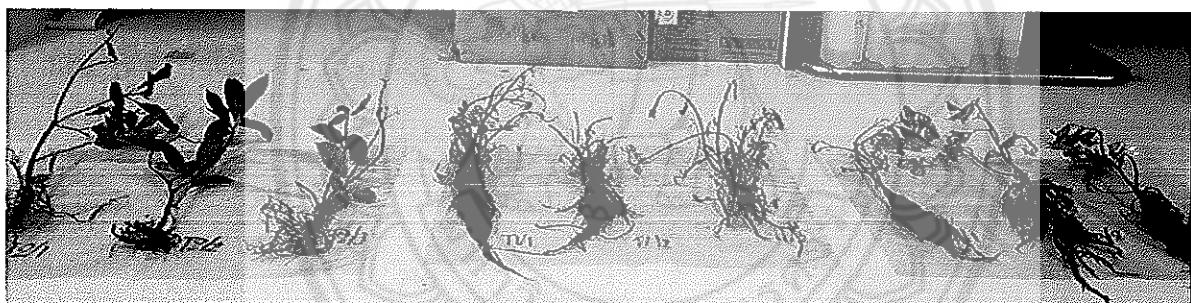
- 2) การเตรียมตัวอย่างพีช มีขั้นตอนดังนี้ (รูปที่ 3.7)

- นำตัวอย่างพีชแยกลำต้นและราก
- นำตัวอย่างพีชห่อใส่ในถุงกระดาษ ซึ่งน้ำหนักสัดก่อนอบ
- นำไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 48 ชั่วโมงจนน้ำหนักคงที่ ซึ่งน้ำหนักแห้งหลังอบ

- นำมวลซีวภาพไปบดด้วยเครื่องบดไฟฟ้าให้ละเอียดเป็นเนื้อเดียวกันร่อนผ่านตะแกรงขนาด 0.5 มม. เพื่อเตรียมวิเคราะห์หาปริมาณ Organic carbon
- นำตัวอย่างซีวมวล ที่ได้ไปหาปริมาณ Organic carbon หาปริมาณ Organic carbon โดยวิธี Dry combustion ด้วยเครื่อง PerkinElmer 2400 Series II CHNS/O Elemental Analyzer (2400 Series II)

3) การเตรียมตัวอย่างดิน มีขั้นตอน ดังนี้

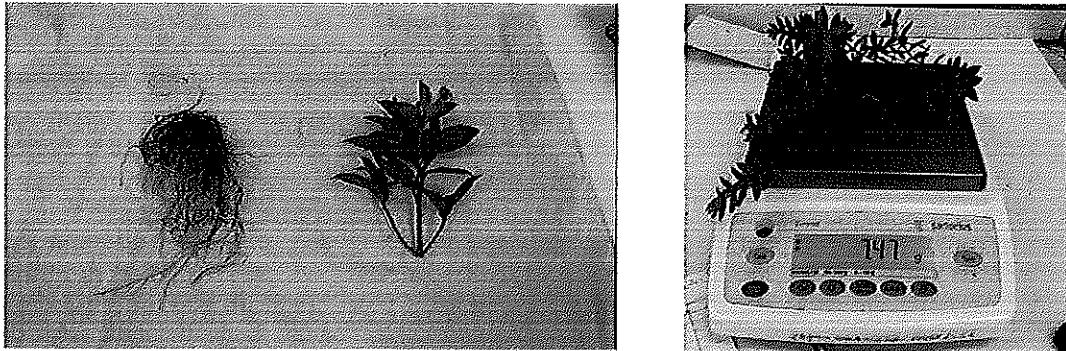
- นำตัวอย่างดิน ซึ่งน้ำหนักก่อนผึ่งแห้ง
- นำตัวอย่างดินมาฝังแห้งในอุณหภูมิห้องใช้เวลาประมาณ 2-3 วัน
- นำตัวอย่างดินไปบดให้ละเอียดเป็นเนื้อเดียวกันร่อนผ่านตะแกรงขนาด 0.5 มม. เพื่อเตรียมวิเคราะห์หาปริมาณ Organic carbon
- นำตัวอย่างดินบางส่วน ไปหาปริมาณ Organic carbon โดยวิธี Dry combustion ด้วยเครื่อง PerkinElmer 2400 Series II CHNS/O Elemental Analyzer (2400 Series II)
- นำตัวอย่างดินบางส่วนไปวิเคราะห์หาคุณลักษณะทางกายภาพ ด้านธาตุอาหารต่างๆ



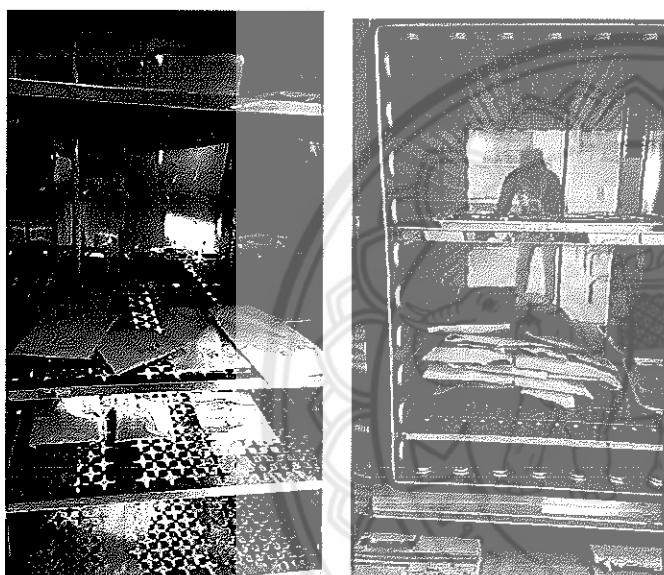
1) เก็บตัวอย่างพืชชนิดละ 3 ต้น



2) แยกดิน และล้างทำความสะอาดตัวอย่างพืช



3) แยกลำต้น ใบจากรากพืช จากนั้นนำไปสั่งน้ำหนักสด



4) นำตัวอย่างพืชใส่ถุงกระดาษและเข้าตู้อบ ก่อนนำไปบด

รูปที่ 3.7 ขั้นตอนการเก็บตัวอย่างพืชก่อนนำไปวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอน

3.2.3 ด้านการเจริญเติบโตของพืช

1) พื้นที่ปกคลุมใบ

การเก็บข้อมูลพื้นที่ปกคลุมใบใช้วิธีการวิเคราะห์จากภาพถ่าย โดยใช้การถ่ายภาพพืชกับกล้องหลังสีส้มเพื่อให้สีตัดกับสีของใบไม้ จากหลังที่ใช้ถ่ายภาพมีขนาด 0.25×0.25 เมตร (รูปที่ 3.4) จากนั้นจึงนำมาโปรแกรม Photoshop เพื่อวิเคราะห์หาพื้นที่ใบด้วยการใช้เครื่องมือ Color range เพื่อหาจำนวนพิกเซลของพื้นที่ใบที่สามารถได้จากสีที่ใกล้เคียงทึ้งหมด ตามสมการข้างล่าง

$$A_{pl} = \frac{A_b}{P_{l_b}} P_{l_{pl}}$$

โดย

A_{pl} คือ พื้นที่ใบ

A_b คือ พื้นที่จากหลัง

Pi_{pl} คือ จำนวนพิกเซลของใบทั้งหมดที่มีสีใกล้เคียงกัน

Pi_b คือ จำนวนพิกเซลของจากหลัง



รูปที่ 3.8 การใช้จากหลังเพื่อถ่ายภาพใบไม้

2) ดัชนีพื้นที่ใบ

การวัดดัชนีพื้นที่ใบใช้ 2 วิธี คือ วิธีการวิเคราะห์จากภาพถ่าย และวิธีการวัดด้วยเครื่อง เครื่อง LI-3100 Leaf Area Meter

- วิธีวิเคราะห์จากภาพถ่าย เมื่อได้พื้นที่ใบในแนวระนาบแล้ว จึงนำไปคำนวณหาดัชนีพื้นที่ใบโดยนำใบมา พื้นที่ใบทั้งหมดจากการซ้อนชั้นของใบ และเปรียบเทียบกับพื้นที่ดินที่ปลูกพืช ตามสมการด้านล่าง

$$LAI = \frac{A_{pl} \times H}{A_s}$$

โดย LAI คือ ดัชนีพื้นที่ใบ

A_{pl} คือ พื้นที่ใบ

A_s คือ พื้นที่ดิน

H คือ ลักษณะการซ้อนชั้นของใบ ทั้งนี้ กำหนดให้ H มีค่า 4 ระดับ

$H = 2$ หากไม่มีการซ้อนชั้นน้อย

$H = 3$ หากไม่มีการซ้อนชั้นปานกลาง

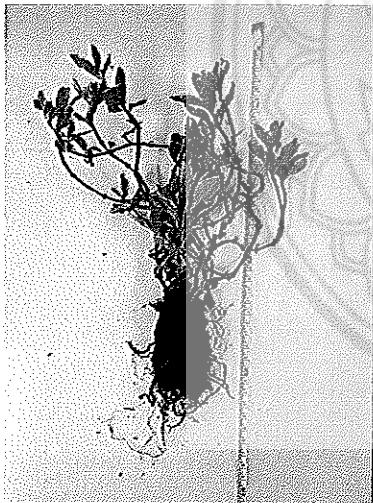
$H = 4$ หากไม่มีการซ้อนชั้นมาก

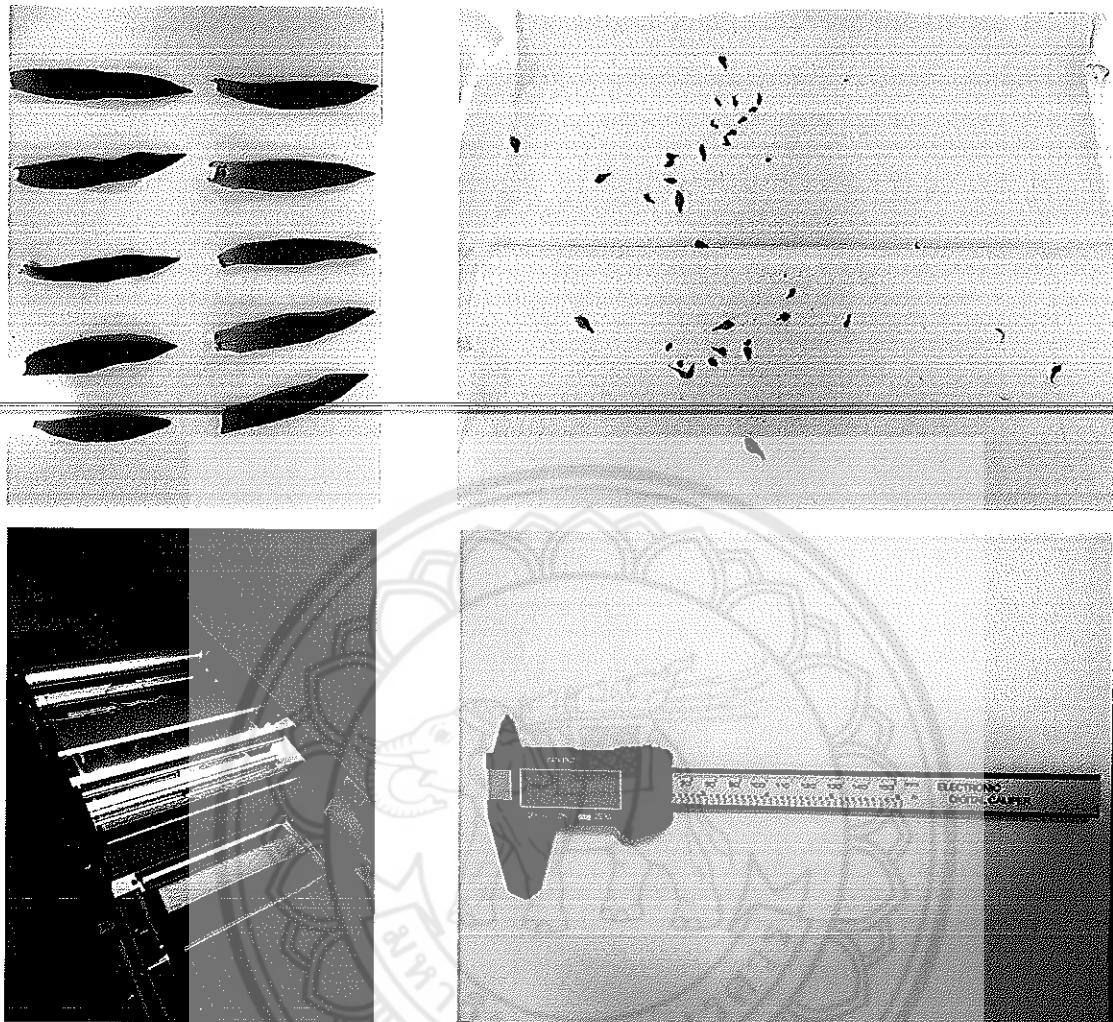
$H = 2$ หากไม่มีการซ้อนชั้นมากที่สุด

- วิธีวัดด้วยเครื่อง LI-3100 Leaf Area Meter

การใช้เครื่องวัดพื้นที่ใบ ใช้วิธีการสูบจากการเลือกพืช 1 กระถางสำหรับพืชแต่ละสายพันธุ์ และแยก การวัดออกเป็น 3 ส่วนของพืช คือ พื้นที่ใบ พื้นที่กิ่งก้านและพื้นที่ดอก จากนั้นจึงนำพื้นที่ทั้งหมดมารวมกันเพื่อหา ตัวชี้พื้นที่ใบต่อ 1 ตารางเมตร ทั้งนี้เปลี่ยนเป็นวิธีการวัดออกเป็น 2 แบบ คือ

1. การวัดจากเครื่องโดยตรง หากไม่มีขนาดใหญ่พอ
2. การใช้พลาสติกใสคลุมใบไม้ แล้วจึงวัดจากเครื่อง สำหรับใบไม้ที่มีขนาดเล็กเกินไปต้องทำการตัด ใบออกจากกิ่ง แล้วเรียงเข้าไปในกระดาษใส่ก่อนนำไปเข้าเครื่องวัด (รูปที่ 3.9)





รูปที่ 3.9 การเตรียมตัวอย่างพีชเพื่อวัดพื้นที่ใบ

4) ขนาดของพีช การบันทึกข้อมูลขนาดของพีชแบ่งออกเป็น 3 ข้อมูลหลัก คือ

- ขนาดใบ ทำการเก็บข้อมูลความกว้างและความยาวของใบ สุ่มจากใบของแต่ละสายพันธุ์จำนวน 10 ใบ
- เส้นผ่าศูนย์กลางของพุ่มใบ สุ่มจากพีชแต่ละสายพันธุ์จำนวน 5 ต้น
- ความลึกหรือความสูงของพุ่มใบจากระดับดิน สุ่มจากพีชแต่ละสายพันธุ์จำนวน 5 ต้น

3.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

3.3.1 การวิเคราะห์ข้อมูลอุณหภูมิ

การวิเคราะห์ความแตกต่างด้านอุณหภูมิระหว่างกล่อง BW และ LW รวมถึงระหว่างกล่อง LW ที่ปลูกพีชแบบแยกเดียวและแบบคละ คือ ฤดูฝนกับฤดูหนาว และ 2 ช่วงเวลา คือ กลางวันตั้งแต่ 6.00-18.00 น. กับกลางคืน ตั้งแต่ 18.01-5.59 น. สำหรับวิธีการทางสถิติที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์ด้านอุณหภูมิมีดังต่อไปนี้

- ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เพื่อวิเคราะห์อุณหภูมิเฉลี่ยทั้งอุณหภูมิเฉลี่ยเวลากลางวัน-กลางคืน ของกล่องเปล่าและสวนทางตั้งในบริเวณผิวใบ ผนังภายในและภายในกล่องทดลอง
- One Independent T-Test สำหรับวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิเฉลี่ยของ BW และ LW โดยใช้ช่วงความเชื่อมั่นเท่ากับ 95% และระหว่าง LW แบบแยกเดี่ยวและแบบคละ
- One-Way ANOVA สำหรับวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิเฉลี่ยของพืช 3 ชนิด

3.3.2 การวิเคราะห์ข้อมูลการบอน

ปริมาณการบอนของ LW แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่

1) ส่วนบนคือ ได้แก่ ส่วนของใบไม้ กิ่งไม้ และลำต้น

2) ส่วนใต้ดิน ได้แก่ ส่วนของรากไม้

3) ส่วนวัสดุปลูก

การวิเคราะห์ของทั้ง 3 ส่วนใช้การเปรียบเทียบระหว่างปริมาณการบอนในช่วงเริ่มปลูกกับปริมาณการบอน ในช่วง 6 เดือนหลัง ขึ้นตอนในการวิเคราะห์มีดังนี้

1) หากค่าเฉลี่ยของปริมาณการบอนที่สะสมในทั้ง 3 ส่วนที่ผ่านกระบวนการอบและป่นของพืช 3 ชนิดโดยใช้ การวิเคราะห์จาก 3 ตัวอย่าง ทั้งนี้ปริมาณการบอนของวัสดุปลูกใช้การวิเคราะห์จากวัสดุปลูกจำนวน 3 ตัวอย่าง ก่อนการปลูกพืชพันธุ์ ค่าร้อยละความเข้มข้นของการบอนที่ได้จากการวิเคราะห์ตัวอย่างแต่ละส่วน จะถูกนำไปคูณ กับน้ำหนักแห้งของส่วนนั้นๆ เพื่อหาค่าปริมาณการบอนที่มีอยู่ในแต่ละส่วนของพืชและวัสดุปลูก

2) นำค่าเฉลี่ยของปริมาณการบอนที่ได้จากข้อ 1) มาหาค่าเฉลี่ยของปริมาณการบอนต่อตารางเมตรสำหรับ พืชแต่ละชนิด ตามสมการข้างล่างนี้

$$\text{ค่าเฉลี่ยของปริมาณการบอนของพันธุ์ไม้ } 1 \text{ ตัน} = x \text{ g C/ตัน}$$

$$\text{LW พื้นที่ } 1 \text{ ตร.ม. ปลูกตันไม้} = 64 \text{ ตัน}$$

$$\text{ดังนั้น LW มีปริมาณการบอน} = x64 \text{ g C m}^{-2} \quad (1)$$

3) หาความแตกต่างระหว่างปริมาณการบอนต่อตารางเมตรช่วงเริ่มปลูกและ 6 เดือนหลัง

จากวิธีวิจัยทั้งหมดที่ได้กล่าวมา นำไปสู่ผลการทดลองทั้งทางด้านการลดอุณหภูมิ และการกักเก็บการบอน ดัง จะได้กล่าวถึงในบทถัดไป

3.3.3 การวิเคราะห์ข้อมูลลักษณะทางกายภาพพืชพันธุ์

1) พื้นที่ปักคุณ ใช้การหาค่าเฉลี่ยจากพื้นที่ปักคุณที่ได้จากการถ่ายของพืชในแต่ละเดือน ตั้งแต่เดือน สิงหาคม-พฤษจิกายน 2561

2) ค่า LAI ใช้ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการคำนวณพื้นที่ปักคุณในแต่ละเดือน

วิธีการที่ใช้สำหรับการทดลองสวนทางตั้งได้ถูกกล่าวถึงในบทนี้ รวมถึงวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้รับจากการทดลอง บทต่อไปจะกล่าวถึงผลการทดลองตลอดระยะเวลา 4 เดือนตั้งแต่เดือนสิงหาคม-พฤษจิกายน 2561



บทที่ 4

ผลการศึกษา

ผลการศึกษาของงานวิจัยนี้ถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรก คือ ผลการศึกษาด้านคุณลักษณะด้านอุณหภูมิของ living wall โดยแสดงผลการเปรียบเทียบระหว่าง living wall (LW) กับ กล่องที่ไม่มีต้นไม้ (Bare wall-BW) และผลการเปรียบเทียบระหว่าง LWแบบปลูกแยกเดียวและแบบปลูกคละ ส่วนที่สอง คือ ผลการศึกษาด้านคุณลักษณะ การกักเก็บ CO₂ ของ LW

4.1 คุณลักษณะด้านอุณหภูมิของ Living wall

การแสดงผลทางด้านอุณหภูมิของ LW มีการเปรียบเทียบกับห้อง BW และเปรียบเทียบกับพืชที่ปลูกแบบแยกเดียว และแบบคละ โดยการเปรียบเทียบทั้ง 2 แบบจะแบ่งออกเป็น 2 ฤดูกาล คือ ฤดูฝนและฤดูหนาว

4.1.1 ลักษณะภูมิอากาศในช่วงทำการทดลอง

1) อุณหภูมิอากาศ

สภาพอากาศในช่วงทำการทดลองมีความแตกต่างกันระหว่าง 2 ฤดูกาล ในช่วงฤดูฝนมีอุณหภูมิอากาศอยู่ระหว่าง 24.5°C – 31.3°C โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 27.5°C ส่วนอุณหภูมิในฤดูหนาวอยู่ระหว่าง 23.7°C – 41.8°C และมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 29.0°C ตารางที่ 4.1 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยของทั้ง 4 เดือนและอุณหภูมิต่ำสุด-สูงสุดของแต่ละเดือน ภาคผนวก ก.แสดงรายละเอียดของอุณหภูมิอากาศตั้งแต่เดือนสิงหาคม-พฤษจิกายน 2561

ตารางที่ 4.1 อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยในช่วงทำการทดลอง

Month	Mean	N	Std. Deviation	Minimum	Maximum
ส.ค.	28.3482	1200	1.63806	26.60	31.30
ก.ย.	26.5929	1200	1.81627	24.54	30.29
ต.ค.	29.3558	1200	5.16285	24.56	41.76
พ.ย.	28.6871	1200	5.80973	23.70	43.44
Total	28.2460	4800	4.19878	23.70	43.44

2) ความเร็วลม

ความเร็วลมเฉลี่ยคือ และ m/s ในฤดูฝนและฤดูหนาวตามลำดับ และมีความเร็วลมสูงสุดเท่ากับ 3.3 m/s ดังแสดงในตารางที่ 4.2

3) ความเข้มแสงอาทิตย์ (IR)

ความเข้มสูงสุดเท่ากับ 633.39 w/m² ในเดือนกันยายน และเดือนธันวาคมมีค่าความเข้มแสงอาทิตย์สูงสุดไม่เกิน 594.5 w/m²

ตารางที่ 4.2 ความเร็วลมและความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยในช่วงทำการทดลอง

	Month	IR	Wind
Aug	Mean	128.7606	.1437
	N	1200	1200
	Std. Deviation	209.66907	.46294
	Minimum	-6.51	.00
	Maximum	594.50	3.30
Sep	Mean	177.9340	.1129
	N	1200	1200
	Std. Deviation	224.50211	.07430
	Minimum	.06	.01
	Maximum	633.39	.27
Oct	Mean	157.3460	.1240
	N	1200	1200
	Std. Deviation	199.20183	.14765
	Minimum	.00	.00
	Maximum	578.75	.48
Nov	Mean	165.7677	.1381
	N	1200	1200
	Std. Deviation	213.45410	.14661
	Minimum	.00	.00
	Maximum	579.36	.47
Total	Mean	157.4521	.1297
	N	4800	4800
	Std. Deviation	212.60656	.25668
	Minimum	-6.51	.00
	Maximum	633.39	3.30

4.1.2 การเปรียบเทียบอุณหภูมิของ LW และ BW

ตารางที่ 4.3 แสดงให้เห็นอุณหภูมิเฉลี่ยของ BW ในช่วงกลางวันและกลางคืนของทั้ง 4 เดือนรวมทั้งในฤดูฝน และฤดูหนาว รายละเอียดของอุณหภูมิ BW 24 ชั่วโมงตลอด 4 เดือนถูกแสดงในภาคผนวก ข. โดยรวมแล้ว อุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงกลางวันมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงกลางคืนทั้ง 3 จุดที่ทำการวัดและทั้ง 2 ฤดูกาล อุณหภูมิเฉลี่ยทั้ง 4 เดือนมีค่าใกล้เคียงกันโดยมีอุณหภูมิต่ำสุดอยู่ที่เดือนสิงหาคม รูปที่ 4.1 แสดงลักษณะของ อุณหภูมิกล่องเปล่าเวลาตั้งแต่ 6.00-18.00 น. ที่มีอุณหภูมิต่ำสุดบริเวณผนังภายนอกที่ได้รับแสงแดด และสูงที่สุด บริเวณผนังกล่องภายในซึ่งมีค่าสูงสุดเวลา 15.00-18.00 น. ก่อนอุณหภูมิจะลดลงบริเวณภายในกล่อง ความ แตกต่างของอุณหภูมิต่ำสุดและสูงสุดบริเวณผนังกล่องเมื่อเทียบกับอีก 2 จุดมีค่าแตกต่างกันน้อยสุดคือ $14.5 - 16.1^{\circ}\text{C}$ และมีความแตกต่างกันมากที่สุดบริเวณผนังกล่องด้านในสูงถึง 23.9°C ส่วนบริเวณภายนอกล่องมีความ แตกต่างอยู่ในช่วง $15.6-16.4^{\circ}\text{C}$ อุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงกลางวันบริเวณพื้นผิวภายนอก คือ 32.3°C และ 32.1°C สำหรับฤดูฝนและฤดูหนาวตามลำดับ ส่วนอุณหภูมิเฉลี่ยภายในกล่องตอนกลางวันอยู่ที่ 34.2°C และ 34.5°C ใน ฤดูฝนและฤดูหนาว

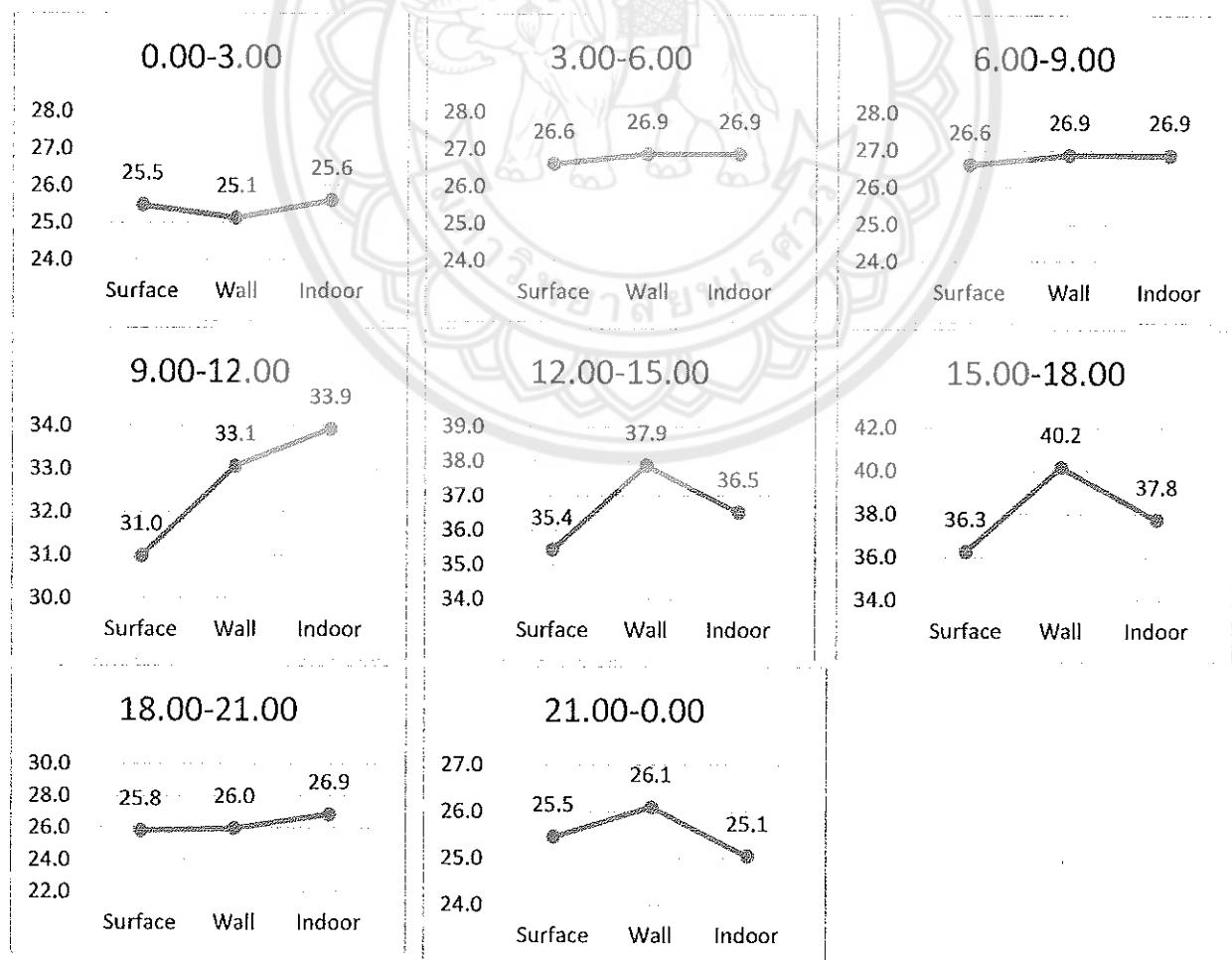
ในเวลากลางคืน อุณหภูมิของกล่องเปล่าต่ำกว่าในตอนกลางวัน และมีลักษณะของอุณหภูมิที่แตกต่าง จากใน ตอนกลางวันตั้งแต่เวลา 21.00 น. คือ มีอุณหภูมิสูงสุดอยู่ภายนอกล่องและต่ำลงมาบริเวณผนังกล่องด้านนอก ส่วน ที่ผนังภายในมีอุณหภูมิต่ำที่สุด (รูปที่ 4.1) อุณหภูมิเฉลี่ยภายในกล่องตอนกลางคืนอยู่ที่ 25.7°C และ 25.8°C สำหรับฤดูฝนและฤดูหนาว ขณะที่อุณหภูมิที่ผิวกล่องด้านนอกอยู่ที่ 25.3°C และ 25.4°C ในฤดูฝนและฤดูหนาว ตามลำดับ

ตารางที่ 4.3 อุณหภูมิเฉลี่ยของ BW เดือนสิงหาคม-พฤษจิกายน 2561

ช่วงเวลา	อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)								
	พื้นผิว			ผิวกล่องด้านใน			ภายนอกล่อง		
	เฉลี่ย	ต่ำสุด	สูงสุด	เฉลี่ย	ต่ำสุด	สูงสุด	เฉลี่ย	ต่ำสุด	สูงสุด
สิงหาคม	28.5	24.5	39.0	29.4	24.4	44.9	29.3	25.0	40.0
	31.8			33.7			33.0		
	(4.0)			(5.3)			(4.3)		
กลางวัน	25.1			25.0			25.6		
	(0.9)			(1.0)			(1.1)		
กลางคืน	29.1	24.8	40.9	30.0	24.6	47.2	29.6	25.2	41.6
	32.7			34.8			33.4		
	(4.6)			(5.9)			(4.5)		
กันยายน	25.5			25.3			25.9		
	(1.1)			(1.2)			(1.3)		
กันยายน	28.7	24.7	39.9	29.8	24.4	48.3	29.5	25.2	41.5
	31.9			34.5			33.1		
	(4.1)			(6.0)			(4.1)		
กลางคืน	25.5			25.2			25.8		
	(1.1)			(1.2)			(1.3)		

	(1.1)			(1.3)			(1.1)		
พฤษภาคม	28.8	24.4	41.4	29.8	24.4	48.3	29.8	25.1	42.9
กลางวัน	32.3			34.5			33.8		
	(4.5)			(6.0)			(4.8)		
กลางคืน	25.4			25.2			25.1		
	(1.2)			(1.2)			(1.4)		
ตุลาคม	28.8	24.5	40.9	29.7	24.4	44.2	29.5	25.0	40.6
กลางวัน	32.3			34.2			33.2		
	(4.3)			(6.0)			(4.4)		
กลางคืน	25.3			25.1			25.7		
	(1.0)			(1.2)			(1.2)		
ธันวาคม	28.8	29.8	29.6	29.8	24.4	48.3	29.6	25.1	42.9
กลางวัน	32.1			34.5			33.5		
	(4.3)			(6.0)			(4.6)		
กลางคืน	25.4			25.2			25.8		
	(1.1)			(1.3)			(1.3)		

หมายเหตุ () หมายถึง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน



รูปที่ 4.1 ลักษณะอุณหภูมิของกล่องเปล่าตลอด 24 ชม. วันที่ 4 ส.ค. 2561

สำหรับอุณหภูมิเฉลี่ยของ LW มีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของ BW ในทั้ง 2 ฤดูกาลและในทุกตำแหน่งการวัดดังแสดงในตารางที่ 4.4 โดยเฉพาะอุณหภูมิบริเวณผิวใบที่ต่ำกว่าอุณหภูมิพื้นผิวของ BW อย่างเห็นได้ชัด โดยอุณหภูมิเฉลี่ยที่ผิวใบในช่วงกลางวันอยู่ที่ 28.4°C และ 29.6°C สำหรับฤดูฝนและฤดูหนาวซึ่งต่ำกว่าพื้นผิวของ BW 2.6°C และ 1.6°C ตามลำดับ สำหรับอุณหภูมิเฉลี่ยภายในกล่องของ LW ในช่วงกลางวันมีค่าต่ำกว่า BW อยู่ที่ 2.6°C และ 1.4°C สำหรับในฤดูหนาวและในฤดูร้อน อย่างไรก็ตาม ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ภายในกล่อง LW สูงกว่า BW โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 54.75% ในช่วงกลางวันในฤดูหนาว และลดลงอยู่ที่ 40.75% ในช่วงกลางวันของฤดูร้อน เช่นเดียวกับ BW ช่วงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในแต่ละจุดของ LW ในตอนกลางวันมีช่วงกว้างมากกว่าในตอนกลางคืน แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของอุณหภูมิต่ำสุดและสูงสุดที่มากกว่าในเวลาที่อากาศร้อน

ตารางที่ 4.4 อุณหภูมิเฉลี่ยของ LW แบบปลูกผสม

ช่วงเวลา	อุณหภูมิ (°C)								
	พื้นผิว			ผิวกล่องด้านใน			ภายในกล่อง		
	เฉลี่ย	ต่ำสุด	สูงสุด	เฉลี่ย	ต่ำสุด	สูงสุด	เฉลี่ย	ต่ำสุด	สูงสุด
สิงหาคม	27.6	24.7	30.5	24.0	24.0	30.5	28.7	24.6	30.5
	26.3			27.3			27.0		
	(1.4)			(1.8)			(2.0)		
กลางวัน	27.2			28.8			28.5		
	(0.7)			(0.6)			(0.7)		
กลางคืน	27.0	24.8	30.9	28.0	25.4	32.9	27.5	24.6	31.6
	29.3			30.7			29.3		
	(2.1)			(2.1)			(2.3)		
กันยายน	25.7			27.1			25.7		
	(1.0)			(0.9)			(1.0)		
ตุลาคม	28.7	24.7	39.9	29.8	24.4	48.3	29.5	25.2	41.5
	31.9			34.5			33.1		
	(3.2)			(2.5)			(2.7)		
กลางวัน	25.5			25.2			25.8		
	(1.0)			(0.8)			(0.8)		
กลางคืน	28.8	24.4	41.4	29.8	24.4	48.3	29.8	25.1	42.9
	32.3			34.5			33.8		
	(3.2)			(2.5)			(2.7)		
พฤษภาคม	25.4			25.2			25.1		
	(1.0)			(0.8)			(0.8)		
กันยายน	28.8	24.5	40.9	29.7	24.4	44.2	29.5	25.0	40.6
	27.1			28.7			28.4		
	(1.4)			(1.8)			(2.0)		
กลางคืน	25.4			26.0			25.3		
	(0.7)			(0.6)			(0.7)		

ฤทธิหน้าวัน	28.8	29.8	25.4	29.8	24.4	48.3	29.6	25.1	42.9
กลางวัน	28.4			29.5			29.6		
กลางคืน	(1.4)			(1.8)			(2.0)		
	25.4			25.9			25.7		
	(1.0)			(0.8)			(0.8)		

หมายเหตุ () หมายถึง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

จากการวิเคราะห์ทางสถิติ Independent T-Test พบว่าอุณหภูมิของ BW และ LW แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทุกตำแหน่ง ดังแสดงในตารางที่ 4.5 โดยเฉลี่ยแล้วอุณหภูมิของ BW สูงกว่า LW ในช่วงเวลากลางวันตลอด 4 เดือนที่ทำการทดลองประมาณ 3.4-5.2°C (ตารางที่ 4.6) ในฤดูฝน BW มีอุณหภูมิสูงกว่าโดยเฉลี่ย 4.7°C และ 4.6°C ที่ผนังด้านนอกและภายใน ความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดพบที่ผนังภายในที่ต่างถึง 14.4°C และที่ภายในกล่อง 10.8°C ส่วนในฤทธิหน้าวัน BW มีอุณหภูมิสูงกว่าน้อยลงโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 3.4°C และ 3.5°C ที่ผนังและภายในกล่องตามลำดับ และมีความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดที่ผนังภายในและภายในกล่องเท่ากับ 17.6°C และ 10.5°C ตามลำดับ

ตารางที่ 4.5 ค่าสถิติการทดสอบความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิ BW และ LW แบบสมมูล

เดือน	ตำแหน่ง	t-test	P-Value
สิงหาคม	ผิวใบ/ผนังด้านนอก	4.676	.000***
	ผนังภายใน	3.414	.001**
	กลางกล่อง	5.964	.000***
กันยายน	ผิวใบ/ผนังด้านนอก	4.243	.000***
	ผนังภายใน	3.145	.003**
	กลางกล่อง	3.145	.000***
ตุลาคม	ผิวใบ/ผนังด้านนอก	5.300	.000***
	ผนังภายใน	3.390	.001**
	กลางกล่อง	4.478	.000***
พฤษจิกายน	ผิวใบ/ผนังด้านนอก	4.950	.000***
	ผนังภายใน	3.390	.001**
	กลางกล่อง	4.854	.000***

*** หมายถึง ระดับนัยสำคัญ 0.005

ตารางที่ 4.6 ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิ BW และ LW แบบสมมูล

เดือน	ตำแหน่ง	ต่ำสุด	สูงสุด	ค่าเฉลี่ย	Std.
(กลางวัน)	ผิวใบ/ผนังด้านนอก	-0.1	8.6	3.4	2.3
	ผนังภายใน	-1.0	14.4	5.1	3.8
	กลางกล่อง	0.2	10.2	4.6	2.5
สิงหาคม	ผิวใบ/ผนังด้านนอก	-2.1	1.8	-0.2	0.8

(กลางคืน)	ผนังภายใน	-2.2	2.0	-1.0	0.8
	กลางกล่อง	-1.0	2.8	0.3	0.7
กันยายน (กลางวัน)	ผิวใบ/ผนังด้านนอก	0.1	10.2	4.5	2.8
	ผนังภายใน	-0.8	16.3	5.2	4.4
	กลางกล่อง	0.5	10.8	4.0	2.8
กันยายน (กลางคืน)	ผิวใบ/ผนังด้านนอก	-2.5	2.2	-0.5	1.1
	ผนังภายใน	-2.8	2.2	-1.1	1.0
	กลางกล่อง	-1.3	3.1	0.2	0.9
ตุลาคม (กลางวัน)	ผิวใบ/ผนังด้านนอก	-0.9	7.8	3.4	2.0
	ผนังภายใน	-0.1	17.6	5.0	2.3
	กลางกล่อง	-0.3	10.5	3.5	4.6
ตุลาคม (กลางคืน)	ผิวใบ/ผนังด้านนอก	-2.1	2.8	0.1	1.2
	ผนังภายใน	-2.5	3.7	-0.7	1.2
	กลางกล่อง	-1.3	3.8	0.1	1.0
พฤษจิกายน (กลางวัน)	ผิวใบ/ผนังด้านนอก	-0.1	9.3	3.8	2.3
	ผนังภายใน	0.2	17.6	5.0	4.6
	กลางกล่อง	-0.1	11.9	4.1	2.9
พฤษจิกายน (กลางคืน)	ผิวใบ/ผนังด้านนอก	-2.4	3.2	-0.01	1.3
	ผนังภายใน	-2.5	3.7	-0.7	1.2
	กลางกล่อง	-1.6	4.2	0.1	1.2
ธันวาคม (กลางวัน)	ผิวใบ/ผนังด้านนอก	-0.1	9.9	4.7	2.8
	ผนังภายใน	-1.0	14.4	5.1	3.8
	กลางกล่อง	0.2	10.8	4.6	2.5
ธันวาคม (กลางคืน)	ผิวใบ/ผนังด้านนอก	-1.0	2.8	0.3	0.7
	ผนังภายใน	-2.3	2.0	-1.0	0.8
	กลางกล่อง	-1.9	2.1	-0.3	0.8
ธันวาคม (กลางวัน)	ผิวใบ/ผนังด้านนอก	-0.9	7.8	3.4	2.0
	ผนังภายใน	-0.1	17.6	5.0	4.6
	กลางกล่อง	-0.3	10.5	3.5	2.6
ธันวาคม (กลางคืน)	ผิวใบ/ผนังด้านนอก	-2.1	2.8	0.1	1.2
	ผนังภายใน	-2.5	3.7	-0.7	1.2
	กลางกล่อง	-1.3	3.8	-0.1	1.0

ในทางตรงกันข้าม BW มีอุณหภูมิต่ำกว่า LW ทุกตำแหน่งในเวลากลางคืนยกเว้นผนังกล่องด้านนอกเมื่อเทียบกับผิวใบ โดยในฤดูฝน BW มีอุณหภูมิต่ำกว่า LW โดยเฉลี่ย 1.0°C และ 0.3°C ที่ผนังกล่องด้านในและกลางกล่อง ส่วนในฤดูหนาวมีอุณหภูมิต่ำกว่าบ้านอยกว่า คือ 0.7°C และ 0.1°C ที่ผนังกล่องด้านในและกลางกล่อง

4.1.3 การเปรียบเทียบ BW และ LW กับอุณหภูมิอากาศ

เมื่อเทียบกับอุณหภูมิอากาศแล้ว BW มีอุณหภูมิเฉลี่ยในตอนกลางวันสูงกว่าอากาศและต่ำกว่าอากาศในตอนกลางคืน โดยอุณหภูมิที่สูงกว่านั้นสูงตั้งแต่ผนังภายนอกและเพิ่มมากขึ้นภายในกล่อง ทั้งนี้มีความแตกต่างของอุณหภูมิบริเวณผนังภายนอกมากที่สุด คือ 10.5°C ในเดือนกันยายน ส่วนที่กลางกล่องร้อนกว่าอากาศสูงถึง 11.2°C ในเดือนเดียวกัน (ตารางที่ 4.7) โดยรวมแล้วในฤดูฝน กล่องเปล่าร้อนกว่าอากาศในตอนกลางวันโดยเฉลี่ย 2.3°C ที่ผนังภายนอกและ 3.5°C ที่กลางกล่อง ในขณะที่เวลากลางคืนมีอุณหภูมิต่ำกว่าอากาศยกเว้นที่ผนังภายใน ส่วนในฤดูหนาว กล่องเปล่าเย็นกว่าอากาศในตอนกลางวันที่ผนังด้านนอกโดยเฉลี่ย 0.9°C แต่ร้อนกว่าอากาศเล็กน้อยที่ผนังภายใน 1.7°C และ 0.2°C ที่กลางกล่อง ในขณะที่เวลากลางคืนมีลักษณะเหมือนกับในฤดูฝนคือเย็นกว่าอุณหภูมิอากาศยกเว้นที่ผนังภายใน

ตารางที่ 4.7 ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศกับอุณหภูมิของ BW

เดือน	ตำแหน่ง	ต่ำสุด	สูงสุด	ค่าเฉลี่ย	Std.
สิงหาคม (กลางวัน)	ผนังด้านนอก	-8.2	2.0	-2.2	2.8
	ผนังภายใน	-14.1	2.2	-4.1	4.1
	กลางกล่อง	-9.8	1.7	-3.5	3.0
สิงหาคม (กลางคืน)	ผิวใบ/ผนังด้านนอก	-0.9	3.1	2.0	0.8
	ผนังภายใน	-1.4	3.1	2.1	0.8
	กลางกล่อง	-1.9	2.3	1.5	0.8
กันยายน (กลางวัน)	ผิวใบ/ผนังด้านนอก	-10.5	1.68	-2.8	3.4
	ผนังภายใน	-16.8	1.9	-4.9	4.8
	กลางกล่อง	-11.2	1.4	-3.5	3.3
กันยายน (กลางคืน)	ผิวใบ/ผนังด้านนอก	-1.4	3.3	1.8	1.0
	ผนังภายใน	0.6	1.9	1.5	0.3
	กลางกล่อง	-2.4	2.7	1.4	1.0
ตุลาคม (กลางวัน)	ผิวใบ/ผนังด้านนอก	-9.5	1.6	-2.1	3.1
	ผนังภายใน	-17.9	1.9	-4.7	5.0
	กลางกล่อง	-11.1	1.4	-3.3	3.2
ตุลาคม (กลางคืน)	ผิวใบ/ผนังด้านนอก	-1.4	3.5	1.8	1.0
	ผนังภายใน	-2.4	3.8	2.1	1.2
	กลางกล่อง	-2.4	2.8	1.4	1.0
พฤษจิกายน	ผิวใบ/ผนังด้านนอก	-8.5	10.5	0.04	4.0

(กลางวัน)	ผนังภายใน	-14.5	8.8	-2.1	4.5
	กลางกล่อง	-10.0	9.2	-1.4	4.2
พุศจิกายน (กลางคืน)	ผิวใบ/ผนังด้านนอก	-3.8	1.8	-0.4	1.2
	ผนังภายใน	-4.4	1.8	-0.2	1.2
	กลางกล่อง	-4.8	1.2	-0.8	1.2
ตุลาคม (กลางวัน)	ผิวใบ/ผนังด้านนอก	-9.11	1.8	-2.3	3.0
	ผนังภายใน	-14.1	2.2	-4.1	4.1
	กลางกล่อง	-9.8	1.7	-3.5	3.0
ตุลาคม (กลางคืน)	ผิวใบ/ผนังด้านนอก	-2.0	2.9	1.6	1.0
	ผนังภายใน	-1.4	-0.4	-0.9	0.2
	กลางกล่อง	-1.9	2.3	1.5	0.8
ตุลาคม (กลางวัน)	ผิวใบ/ผนังด้านนอก	-6.8	9.2	0.9	3.5
	ผนังภายใน	-15.2	7.2	-1.7	4.5
	กลางกล่อง	-7.5	7.3	-0.2	3.2
ตุลาคม (กลางคืน)	ผิวใบ/ผนังด้านนอก	-0.1	1.0	0.5	0.3
	ผนังภายใน	-0.3	0.5	-0.01	0.2
	กลางกล่อง	-0.1	0.5	0.2	0.2

หมายเหตุ – คือ อุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิอากาศ

เมื่อเปรียบเทียบกับ LW แบบผสมแล้วพบว่า LW มีอุณหภูมิต่ำกว่าอากาศในทุกตำแหน่งการวัดยกเว้นในเดือน พฤศจิกายนที่ LW มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงกว่าอากาศในตอนกลางคืนซึ่งหมายความว่า LW สามารถลดอุณหภูมิอากาศ ได้มากในตอนกลางวัน และกักเก็บความร้อนไว้จนไม่สามารถถ่ายความร้อนได้อย่างรวดเร็วในเวลากลางคืน ทำให้ LW ร้อนกว่าอากาศภายนอก ตารางที่ 4.8 แสดงให้เห็นว่าตำแหน่งที่เย็นกว่าอากาศมากที่สุด คือ ผิวใบที่มีอุณหภูมิ ต่ำกว่าอากาศอยู่ในช่วง 0.8-3.3°C รองลงมาคือภายในกล่อง และน้อยที่สุดคือผนังภายใน

ในเวลากลางคืน LW เย็นกว่าอากาศมากกว่าในตอนกลางวันที่ผนังกล่องภายในและกลางกล่อง เช่น ในเดือน กันยายน ภายในของ LW เย็นกว่าอากาศภายนอกในตอนกลางวันโดยเฉลี่ย 0.5°C ขณะที่ในตอนกลางคืนเย็นกว่า 1.5°C

ตารางที่ 4.8 ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศกับอุณหภูมิของ LW

เดือน	ตำแหน่ง	ต่ำสุด	สูงสุด	ค่าเฉลี่ย	Std.
สิงหาคม (กลางวัน)	ผิวใบ	1.1	3.3	2.5	0.7
	ผนังภายใน	0.3	1.6	0.9	0.4
	กลางกล่อง	0.3	2.3	1.2	0.7
สิงหาคม (กลางคืน)	ผิวใบ	1.1	1.9	1.7	0.3
	ผนังภายใน	0.6	1.4	1.1	0.2

	กลางกล่อง	0.9	2.1	1.8	0.3
กันยายน (กลางวัน)	ผิวใบ	-0.3	3.0	1.7	1.2
	ผนังภายใน	-0.4	1.4	0.3	0.6
	กลางกล่อง	-0.4	2.1	0.5	0.8
กันยายน (กลางคืน)	ผิวใบ	0.8	1.7	1.3	0.3
	ผนังภายใน	0.3	1.1	0.9	0.2
	กลางกล่อง	0.6	1.9	1.5	0.3
ตุลาคม (กลางวัน)	ผิวใบ	-2.0	3.5	1.4	2.0
	ผนังภายใน	-1.0	2.3	0.4	1.0
	กลางกล่อง	-1.2	2.4	0.4	1.2
ตุลาคม (กลางคืน)	ผิวใบ	1.4	2.6	1.9	0.4
	ผนังภายใน	1.1	1.8	1.4	0.2
	กลางกล่อง	1.4	2.0	1.5	0.2
พฤษจิกายน (กลางวัน)	ผิวใบ	-6.1	9.9	3.9	4.2
	ผนังภายใน	-5.6	12.4	2.9	4.6
	กลางกล่อง	-5.6	11.7	2.7	4.5
พฤษจิกายน (กลางคืน)	ผิวใบ	-0.8	0.1	-0.4	0.3
	ผนังภายใน	-1.4	-0.4	-0.7	0.2
	กลางกล่อง	-1.1	-0.4	-0.7	0.2
ธันวาคม (กลางวัน)	ผิวใบ	1.1	3.3	2.5	0.7
	ผนังภายใน	0.3	1.6	0.9	0.4
	กลางกล่อง	0.3	2.3	1.2	0.7
ธันวาคม (กลางคืน)	ผิวใบ	1.1	1.9	1.7	0.3
	ผนังภายใน	0.6	1.4	1.1	0.2
	กลางกล่อง	0.9	2.1	1.8	0.3
มกราคม (กลางวัน)	ผิวใบ	-4.6	9.6	4.4	3.6
	ผนังภายใน	-4.0	12.4	3.4	3.6
	กลางกล่อง	-4.1	10.1	3.2	3.5
มกราคม (กลางคืน)	ผิวใบ	-0.1	1.0	0.5	0.3
	ผนังภายใน	-0.3	0.5	-0.02	0.2
	กลางกล่อง	-0.06	0.5	0.2	0.2

หมายเหตุ – คือ อุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิอากาศ

4.1.3 การเปรียบเทียบ LW แบบเดี่ยวกับแบบผสม

อุณหภูมิ LW ที่ผู้วิน ผู้นั่งภายในและกลางก่อต่องแบบเดี่ยวกับแบบผสมใน 4 เดือนถูกแสดงไว้ในภาคผนวก ค. เมื่อเปรียบเทียบกับความแตกต่างกับอุณหภูมิอากาศแล้วพบว่า LW แบบผสมมีความแตกต่างกับอุณหภูมิอากาศมากที่สุด เมื่อเทียบกับ LW แบบเดี่ยวที่ปลูกพืช 3 สายพันธุ์ในทุกตำแหน่งการวัดและตลอด 4 เดือนในช่วงเวลากลางวัน หมายความว่า LW แบบผสมลดอุณหภูมิได้มากกว่า LW แบบเดี่ยว และ LW แบบเดี่ยวเองยังมีความแตกต่างกับอุณหภูมิอากาศไม่เท่ากันโดย TS สามารถลดอุณหภูมิอากาศได้มากกว่า PA และ AS ในหลายตำแหน่งอย่างไรก็ตามการทดสอบด้วย One-Way ANOVA แสดงให้เห็นว่า ความแตกต่างระหว่าง LW กับอุณหภูมิอากาศ มีค่าเฉลี่ยแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในทุกฝน คือ เดือนสิงหาคมและกันยายนเป็นหลักเท่านั้น (ตารางที่ 4.9)

ตารางที่ 4.9 One-Way ANOVA ระหว่างอุณหภูมิอากาศกับอุณหภูมิ LW แบบผสมและแบบเดี่ยวในเวลากลางวัน

LW	N	Mean	Std.	Min	Max	F	Sig.	
สิงหาคม 2561								
ภายใน	Mix	24	1.1855	.69797	.25	2.26	14.193	.000***
	PA	24	.0257	.57497	-.63	1.08		
	AS	24	-.2587	1.14732	-1.45	1.87		
	TS	24	.4157	.72214	-.43	1.72		
	Total	96	.3420	.96979	-1.45	2.26		
ผิวใน	Mix	24	2.4840	.70128	1.06	3.31	21.064	.000***
	PA	24	.4227	1.11965	-1.05	2.15		
	AS	24	1.4315	.76970	-.02	2.48		
	TS	24	.5017	1.38067	-2.06	2.27		
	Total	96	1.2100	1.31654	-2.06	3.31		
ผนังภายใน	Mix	24	.9092	.42255	.25	1.59	9.677	.000***
	PA	24	.9069	.58068	-.11	1.67		
	AS	24	.9734	.65339	-.07	1.93		
	TS	24	.0971	.88687	-1.29	1.68		
	Total	96	.7217	.74212	-1.29	1.93		

LW	N	Mean	Std.	Min	Max	F	Sig.	
กันยายน 2561								
ผิวใบ	Mix	24	1.6995	1.16897	-.25	3.00	9.751	.000***
	PA	24	-.3679	1.57164	-2.77	1.84		
	AS	24	.4618	1.50161	-2.54	2.23		
	TS	24	-.4911	1.98281	-3.93	1.81		
ผนังภายใน	Mix	24	.3299	.57484	-.46	1.37	2.381	.081*
	PA	24	.1185	.84650	-1.30	1.36		
	AS	24	-.1960	1.05561	-1.52	1.82		
	TS	24	.3569	.73621	-.80	1.67		
	Total	96	.1523	.83903	-1.52	1.82		
ภายใน	Mix	24	.5259	.80607	-.38	2.07	9.898	.000***
	PA	24	-.8563	.84275	-1.88	.89		
	AS	24	.0010	1.06745	-1.88	1.81		
	TS	24	-.3337	.87753	-1.24	1.48		
	Total	96	-.1658	1.02325	-1.88	2.07		
ตุลาคม 2561								
ผิวใบ	Mix	24	1.3766	2.00018	-2.02	3.52	4.453	.716
	PA	24	1.9729	2.33908	-4.38	6.17		
	AS	24	2.0479	2.71802	-4.56	6.35		
	TS	24	2.0177	2.18742	-3.80	5.63		
	Total	96	1.8538	2.30601	-4.56	6.35		
ผนังภายใน	Mix	24	0.3844	1.00688	-.95	2.34	4.675	.004**
	PA	24	2.7740	3.47949	-5.99	8.79		
	AS	24	2.4974	3.12512	-5.94	8.47		
	TS	24	3.3948	3.49347	-4.85	9.74		
	Total	96	2.2626	3.12904	-5.99	9.74		
ภายใน	Mix	24	0.2224	1.17667	-1.18	2.36	3.343	.023
	PA	24	2.0078	3.36305	-6.08	7.99		
	AS	24	1.6031	2.88484	-6.29	7.39		
	TS	24	2.7656	3.41373	-5.18	9.13		
	Total	96	1.6497	2.96174	-6.29	9.13		

พฤศจิกายน 2561									
ผิวใบ	Mix	24	3.8932	4.18064	-6.14	9.88	2.804	.044**	
	PA	24	1.5146	3.15799	-5.88	7.77			
	AS	24	1.5896	3.29519	-6.06	7.95			
	TS	24	1.5594	2.92319	-5.30	7.23			
	Total	96	2.1392	3.51862	-6.14	9.88			
ผนังภายใน	Mix	24	2.9010	4.61910	-5.44	12.04	.248	.862	
	PA	24	2.3156	4.33395	-7.49	10.39			
	AS	24	2.0391	4.04264	-7.44	10.07			
	TS	24	2.9365	4.40255	-6.35	11.34			
	Total	96	2.5480	4.30245	-7.49	12.04			
ภายใน	Mix	24	2.7391	4.51031	-5.60	11.74	.685	.564	
	PA	24	1.5495	4.29896	-7.58	9.59			
	AS	24	1.1448	3.86098	-7.79	8.99			
	TS	24	2.3073	4.37039	-6.68	10.73			
	Total	96	1.9352	4.24577	-7.79	11.74			

เมื่อพิจารณาผล One-Way ANOVA ของความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างอากาศและ LW แบบเดี่ยวและแบบผสม ในช่วงเวลากลางคืนแล้ว พบว่า ความแตกต่างของ LW แบบเดี่ยวและแบบผสมกับอุณหภูมิอากาศมีนัยสำคัญทางสถิติตลอด 4 เดือนในทุกตำแหน่งการวัด (ตารางที่ 4.10) ในช่วงฤดูฝน LW เย็นกว่าอากาศภายนอก และ LW แบบผสมมีอุณหภูมิสูงที่สุดเมื่อเทียบกับ LW แบบเดี่ยว แสดงให้เห็นว่า LW แบบผสมคายความร้อนได้ช้ากว่าแบบอื่นๆ รองลงมาคือ AS และ TS ส่วน ญA มีความแตกต่างกับอุณหภูมิมากที่สุด หรือมีความเย็นมากที่สุดนั่นเองเมื่อเทียบกับ LW แบบอื่นๆ สำหรับในฤดูหนาว LW มีอุณหภูมิสูงกว่าอากาศภายนอก

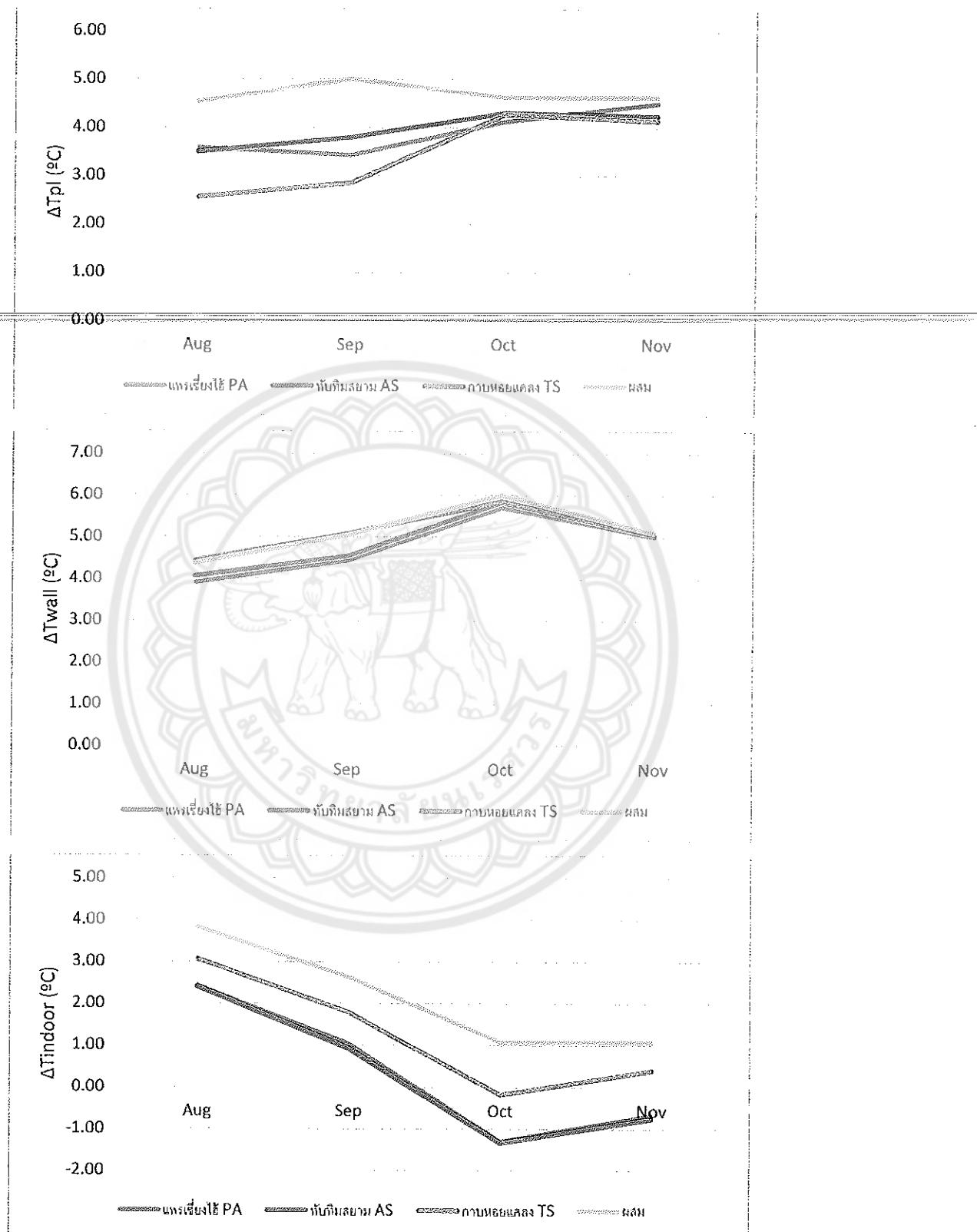
ตารางที่ 4.10 One-Way ANOVA ระหว่างอุณหภูมิอากาศกับอุณหภูมิ LW แบบผสมและแบบเดี่ยวในเวลากลางคืน

LW		N	Mean	Std.	Min	Max	F	Sig.
สิงหาคม 2561								
ผิวใบ	Mix	24	1.6564	.25833	1.10	1.94	40.744	.000***
	PA	24	1.8752	.23474	1.26	2.51		
	AS	24	1.9593	.14201	1.58	2.17		
	TS	24	1.8768	.15807	1.26	2.11		
	Total	96	1.8419	.23062	1.10	2.51		
ผนังภายใน	Mix	24	1.0959	.19020	.62	1.37	9.677	.000***
	PA	24	.9715	.29628	.13	1.29		
	AS	24	1.1625	.30149	.38	1.51		

	TS	24	.5595	.62689	-.88	1.25		
	Total	96	.9474	.45009	-.88	1.51		
กล่างกล่อง	Mix	24	1.7560	.29218	.94	2.05	11.548	.000***
	PA	24	.5902	.31419	-.25	.94		
	AS	24	1.3661	.51121	-.12	1.77		
	TS	24	1.0999	.34483	.14	1.44		
	Total	96	1.2031	.56405	-.25	2.05		
กันยายน 2561								
ผิวใน	Mix	24	1.3299	.31171	.77	1.74	8.172	.000***
	PA	24	1.5049	.19130	.89	1.93		
	AS	24	1.6457	.18925	1.08	1.91		
	TS	24	1.5449	.18485	.90	1.79		
	Total	96	1.5063	.24995	.77	1.93		
ผนังภายใน	Mix	24	.8670	.18885	.26	1.12	3.088	.031**
	PA	24	.5596	.42881	-.72	.98		
	AS	24	.8694	.56297	-.70	1.43		
	TS	24	.7322	.36058	-.27	1.13		
	Total	96	.7571	.42144	-.72	1.43		
กล่างกล่อง	Mix	24	1.5460	.28787	.63	1.87	86.826	.000***
	PA	24	.1893	.39088	-1.02	.57		
	AS	24	1.5388	.32585	.49	1.84		
	TS	24	.6792	.39371	-.47	1.07		
	Total	96	.9883	.67886	-1.02	1.87		
ตุลาคม 2561								
ผิวใน	Mix	24	1.8995	.35113	1.36	2.56	60.160	.000***
	PA	24	.8719	.54914	.30	2.34		
	AS	24	.5177	.18993	.09	.86		
	TS	24	1.1104	.29522	.77	1.78		
	Total	96	1.0999	.62690	.09	2.56		
ผนังภายใน	Mix	24	.8670	.18885	.26	1.12	175.047	.000***
	PA	24	.5596	.42881	-.72	.98		
	AS	24	.8694	.56297	-.70	1.43		
	TS	24	.7322	.36058	-.27	1.13		
	Total	96	.7571	.42144	-.72	1.43		
	PA	24	.5596	.42881	-.72	.98		
	AS	24	.8694	.56297	-.70	1.43		
	TS	24	.7322	.36058	-.27	1.13		
	Total	96	.7571	.42144	-.72	1.43		

LW		N	Mean	Std.	Min	Max	F	Sig.
กล่างกล่อง	Mix	24	.1016	1.03175	-1.31	3.78	258.665	.000***
	PA	24	-.9490	.92181	-2.58	2.03		
	AS	24	-.0906	.98062	-2.09	2.19		
	TS	24	-.5031	.92698	-2.04	2.65		
	Total	96	-.3603	1.03405	-2.58	3.78		
พฤศจิกายน 2561								
ผิวใบ	Mix	24	-.3672	.26395	-.84	.13	12.514	.000***
	PA	24	-.0198	.61962	-.80	1.74		
	AS	24	-.3740	.22779	-.74	.09		
	TS	24	.2188	.36378	-.32	1.18		
	Total	96	-.1355	.46630	-.84	1.74		
ผนังภายใน	Mix	24	-.9078	.21653	-1.40	-.40	13.012	.000**
	PA	24	-1.4474	.31247	-2.25	-.96		
	AS	24	-1.0938	.43550	-2.13	-.44		
	TS	24	-1.2193	.21046	-1.61	-.88		
	Total	96	-1.1671	.36126	-2.25	-.40		
กล่างกล่อง	Mix	24	-.7313	.19571	-1.14	-.36	59.795	.000***
	PA	24	-1.7818	.24095	-2.33	-1.40		
	AS	24	-.9234	.45547	-2.16	-.30		
	TS	24	-1.3359	.21361	-1.74	-.97		
	Total	96	-1.1931	.49956	-2.33	-.30		

รูปที่ 4.2 แสดงความสามารถในการลดอุณหภูมิอากาศของ LW แบบเดี่ยวและแบบผสมใน 3 ตำแหน่งการวัด ตลอดสี่เดือนในช่วงเวลากลางวัน โดย LW แบบผสมลดได้มากกว่าแบบอื่นๆ ในทุกตำแหน่ง ความแตกต่างการลด อุณหภูมิอากาศเห็นได้ชัดบริเวณผิวใบในฤดูฝนที่อุณหภูมิอากาศไม่สูงมากนัก แต่ใกล้เคียงกันในช่วงฤดูหนาวที่ อุณหภูมิอากาศสูงขึ้น ส่งผลให้ความสามารถในการลดอุณหภูมิที่กล่างกล่องลดลงมากจนทำให้ไม่สามารถลดได้ สำหรับ LW ที่ปูลูก ญA และ TS ในเดือนตุลาคมและเดือนพฤษจิกายน ถึงแม้ว่าจะลดอุณหภูมิได้สูงมากบริเวณ ผนังกล่องด้านในก็ตามที



รูปที่ 4.2 การลดอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยของ LW ใน 3 ตำแหน่ง คือ ผิวใน (บ) ผนังกล่องด้านใน (กลาง) และกล่อง (ล่าง)

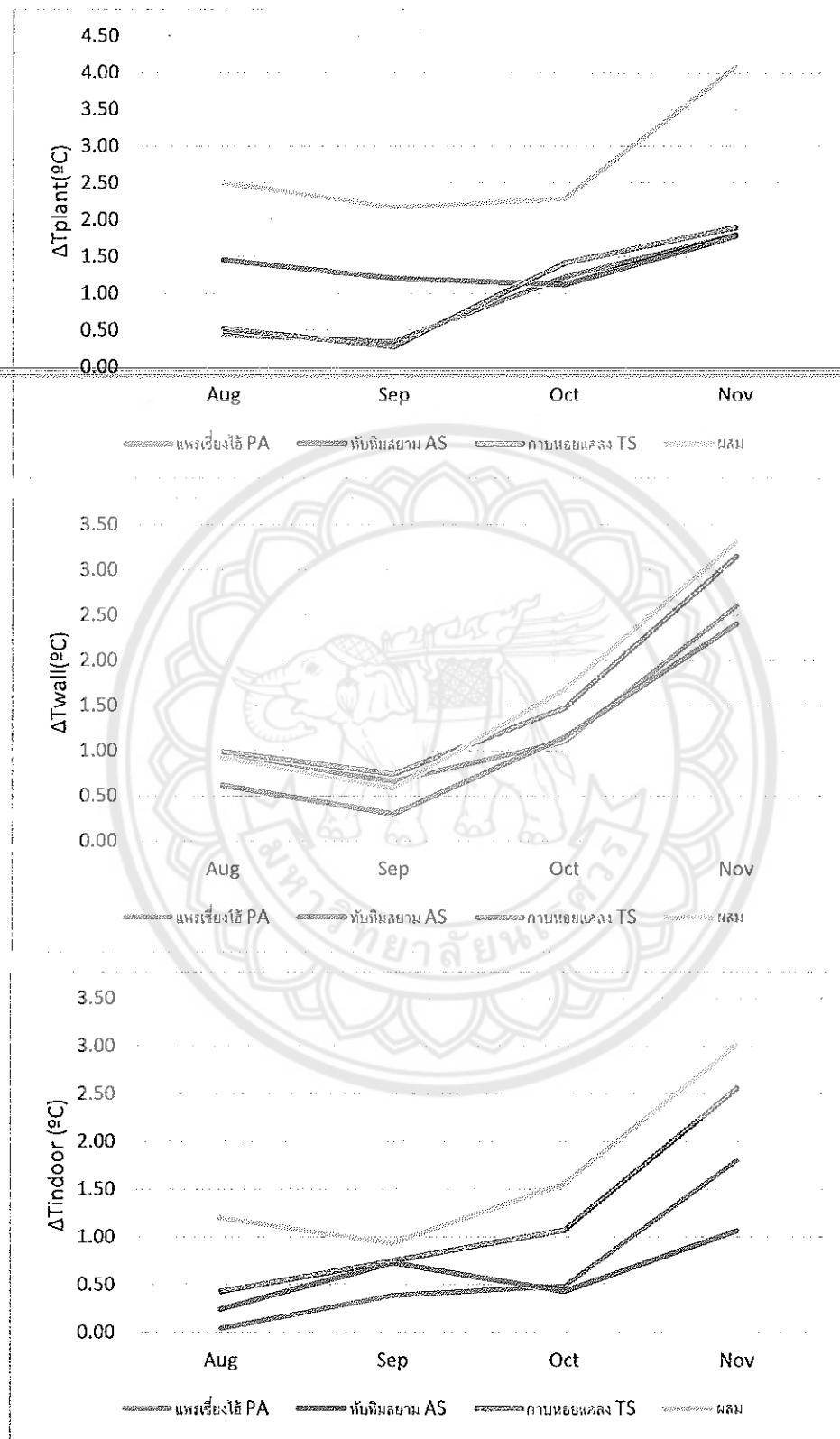
เมื่อพิจารณาดูความแตกต่างของอุณหภูมิ BW กับ LW แบบเดี่ยวและแบบผสมในช่วงกลางวันแล้ว มีลักษณะคล้ายคลึงกับอุณหภูมิอากาศ คือ LW แบบผสมมีอุณหภูมิต่ำสุดเมื่อเทียบกับ LW แบบอื่นๆ และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในเดือนสิงหาคม (ตารางที่ 4.11) สำหรับเดือนอื่นๆ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเฉพาะบริเวณพิวไปและกลางกล่อง ขณะที่ผนังกล่องภายในมีอุณหภูมิแตกต่างกันมากจนไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 4.11 One-Way ANOVA ความแตกต่างอุณหภูมิ BW กับ LW แบบผสมและแบบเดี่ยวในเวลากลางวัน

LW		N	Mean	Std.	Min	Max	F	Sig.
สิงหาคม 2561								
ผิวใบ	Mix	24	3.4085	2.25442	-.10	8.63	40.744	.000***
	PA	24	2.6457	1.82942	-.05	7.30		
	AS	24	5.5725	3.44697	-.25	14.08		
	TS	24	2.7247	1.62132	-.06	6.14		
	Total	96	3.5878	2.63997	-.25	14.08		
ผนังภายใน	Mix	24	5.0501	3.77100	-1.04	14.44	9.677	.000***
	PA	24	5.0479	3.69701	-1.05	14.18		
	AS	24	4.7378	3.37559	-.58	13.53		
	TS	24	5.1144	3.61988	-.87	14.18		
	Total	96	4.9876	3.56437	-1.05	14.44		
กลางกล่อง	Mix	24	4.6393	2.47597	.24	10.21	11.548	.000***
	PA	24	3.4795	2.54223	-.90	9.25		
	AS	24	3.1951	2.00781	.03	8.32		
	TS	24	3.8695	2.41922	-.34	9.45		
	Total	96	3.7958	2.39571	-.90	10.21		
กันยายน 2561								
ผิวใบ	Mix	24	4.5375	2.82506	.06	10.22	4.416	.006**
	PA	24	2.4701	2.27267	.15	8.56		
	AS	24	3.2998	2.19159	.10	8.45		
	TS	24	2.3469	2.04543	-.67	7.43		
	Total	96	3.1636	2.47589	-.67	10.22		
ผนังภายใน	Mix	24	5.2311	4.43164	-.81	16.32	.088	.966
	PA	24	5.0197	4.15433	-.92	15.48		
	AS	24	4.7052	4.02850	-.45	15.27		
	TS	24	5.2581	4.24590	-.78	15.98		
	Total	96	5.0535	4.15648	-.92	16.32		
กลางกล่อง	Mix	24	4.0236	2.65120	.54	10.84	2.079	.108
	PA	24	2.6414	2.63519	-.76	9.34		
	AS	24	2.2733	2.36751	-1.00	8.88		
	TS	24	3.1640	2.65304	-.29	9.98		
	Total	96	3.0256	2.62313	-1.00	10.84		

พฤษภาคม 2561								
ผิวใบ	Mix	24	3.4385	1.96462	-.91	7.81	8.188	.000***
	PA	24	1.0599	2.19870	-3.01	5.06		
	AS	24	1.1349	1.41682	-2.84	3.69		
	TS	24	1.1047	2.31135	-3.56	4.71		
	Total	96	1.6845	2.21841	-3.56	7.81		
ผนังภายใน	Mix	24	5.0344	4.55541	-.10	17.64	.285	.836
	PA	24	4.4490	3.80737	-.40	15.55		
	AS	24	4.1724	3.77265	.20	15.60		
	TS	24	5.0698	4.07833	-.27	16.74		
	Total	96	4.6814	4.01934	-.40	17.64		
กลางกล่อง	Mix	24	3.5068	2.62165	-.26	10.49	2.216	.092*
	PA	24	2.3172	2.28711	-1.05	8.68		
	AS	24	1.9125	2.15828	-1.13	8.26		
	TS	24	3.0750	2.39636	-.29	9.64		
	พฤศจิกายน 2561							
ผิวใบ	Mix	24	3.8474	2.29681	-.63	9.28	6.536	.000***
	PA	24	1.4688	2.43222	-2.73	6.53		
	AS	24	1.5438	1.63441	-2.55	4.69		
	TS	24	1.5135	2.49723	-3.28	5.98		
	Total	96	2.0934	2.42961	-3.28	9.28		
ผนังภายใน	Mix	24	5.0344	4.55541	-.10	17.64	.285	.836
	PA	24	4.4490	3.80737	-.40	15.55		
	AS	24	4.1724	3.77265	.20	15.60		
	TS	24	5.0698	4.07833	-.27	16.74		
	Total	96	4.6814	4.01934	-.40	17.64		
กลางกล่อง	Mix	24	4.1432	2.93163	.09	11.94	1.742	.164
	PA	24	2.9536	2.61261	-.70	10.13		
	AS	24	2.5490	2.40324	-.77	9.71		
	TS	24	3.7115	2.72498	.06	11.09		
	Total	96	3.3393	2.70610	-.77	11.94		

รูปที่ 4.3 แสดงความสามารถในการลดอุณหภูมิเฉลี่ยของ LW จาก BW ใน 3 ตำแหน่งการวัดตลอดสีเดือนในช่วงฤดูฝนและฤดูหนาวในช่วงกลางวัน จะเห็นได้ว่า LW แบบผสมลดอุณหภูมิได้อย่างชัดเจนบริเวณผิวใบและกลางกล่อง ขณะที่การลดอุณหภูมิบริเวณผิวกล่องด้านในใกล้เคียงกับ LW แบบเดี่ยว



รูปที่ 4.3 การลดอุณหภูมิเฉลี่ยของ LW จาก BW ใน 3 ตำแหน่ง คือ ผิวใน (บุ) ผนังก่อต่องด้านใน (กลาง) และ กลางก่อต่อง (ล่าง)

ตารางที่ 4.12 แสดงผลการวิเคราะห์ One-Way ANOVA ในช่วงกลางคืนของความแตกต่างระหว่าง BW กับ LW แบบเดียวและแบบผสม จากค่าเฉลี่ยของ LW ที่ติดลบแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิของ LW สูงกว่า BW ในทุกตำแหน่ง ตลอด 4 เดือน ยกเว้นเดือนตุลาคมบริเวณผิวใบที่ LW มีอุณหภูมิต่ำกว่า BW บริเวณที่ค่าเฉลี่ยความแตกต่างของ อุณหภูมนี้นัยสำคัญทางสถิติ คือ บริเวณกลางกล่อง ซึ่ง LW แบบผสมเย็นกว่ากลางกล่องของ BW ขณะที่ LW แบบเดียวมีอุณหภูมิสูงกว่า BW ระบุถึงความร้อนที่สะสมใน LW แบบผสมที่มีน้อยกว่า LW แบบเดียว

ตารางที่ 4.12 One-Way ANOVA ความแตกต่างอุณหภูมิ BW กับ LW แบบผสมและแบบเดียวในเวลากลางคืน

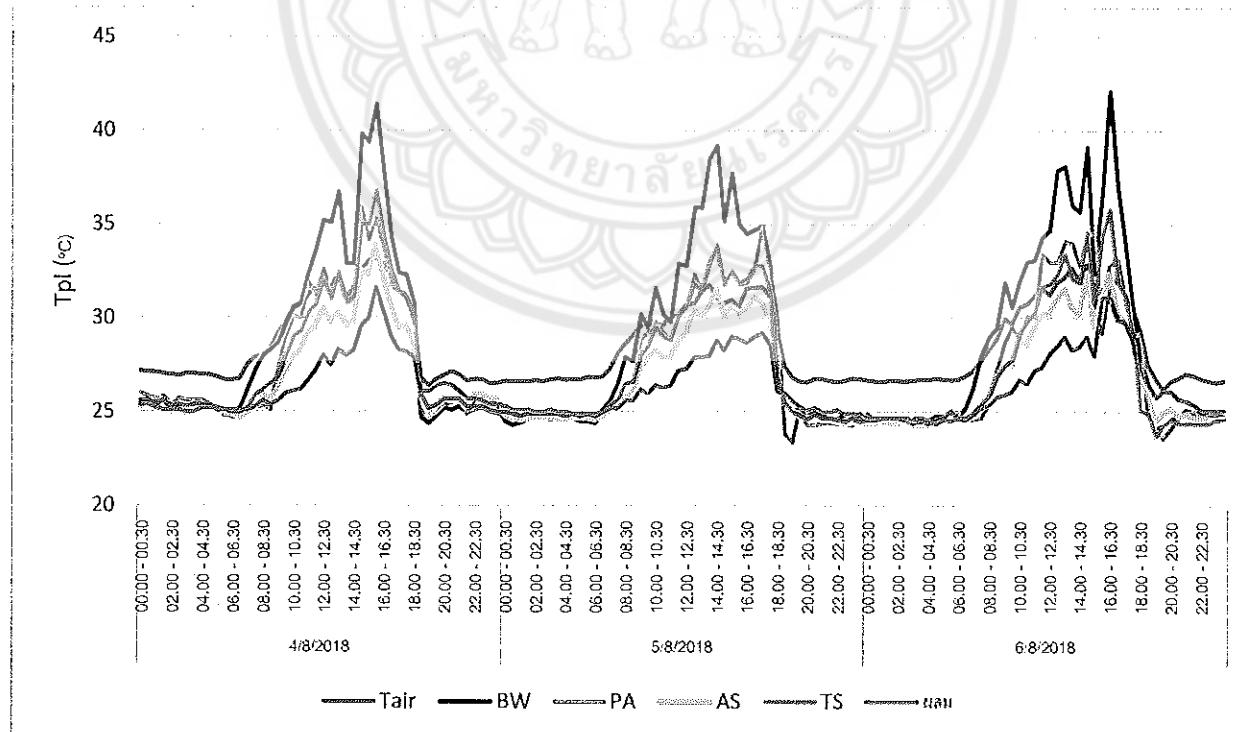
LW		N	Mean	Std.	Min	Max	F	Sig.
สิงหาคม 2561								
ผิวใบ	Mix	24	-.2121	.76702	-2.07	1.82	13.055	.000***
	PA	24	-.0929	.58227	-.72	2.15		
	AS	24	-.1631	.77147	-1.25	2.94		
	TS	24	-.0912	.66728	-1.29	2.15		
	Total	96	-.1398	.69211	-2.07	2.94		
ผนัง ภายใน	Mix	24	-1.0265	.75660	-2.27	1.98	.168	.918
	PA	24	-1.1509	.73884	-2.59	1.48		
	AS	24	-.7787	.76738	-2.41	1.53		
	TS	24	-.9598	.76552	-2.43	1.73		
	Total	96	-.9790	.75727	-2.59	1.98		
กลาง กล่อง	Mix	24	.2634	.66995	-1.01	2.78	1.009	.393
	PA	24	-.9024	.66686	-2.21	1.59		
	AS	24	-.1265	.65043	-1.75	1.73		
	TS	24	-.3927	.66680	-1.77	1.99		
	Total	96	-.2895	.77970	-2.21	2.78		
กันยายน 2561								
ผิวใบ	Mix	24	-.4854	1.10381	.06	10.22	.427	.734
	PA	24	-.3104	.88208	.15	8.56		
	AS	24	-.1696	.98905	.10	8.45		
	TS	24	-.2704	.96054	-.67	7.43		
	Total	96	-.3089	.97811	-.67	10.22		
ผนัง ภายใน	Mix	24	-1.1312	.95165	-2.54	2.20	.508	.678
	PA	24	-1.4387	.99828	-1.61	2.31		
	AS	24	-1.1289	1.06746	-1.92	2.51		
	TS	24	-1.2660	1.00349	-1.96	2.33		
	Total	96	-1.2412	.99822	-2.54	2.51		

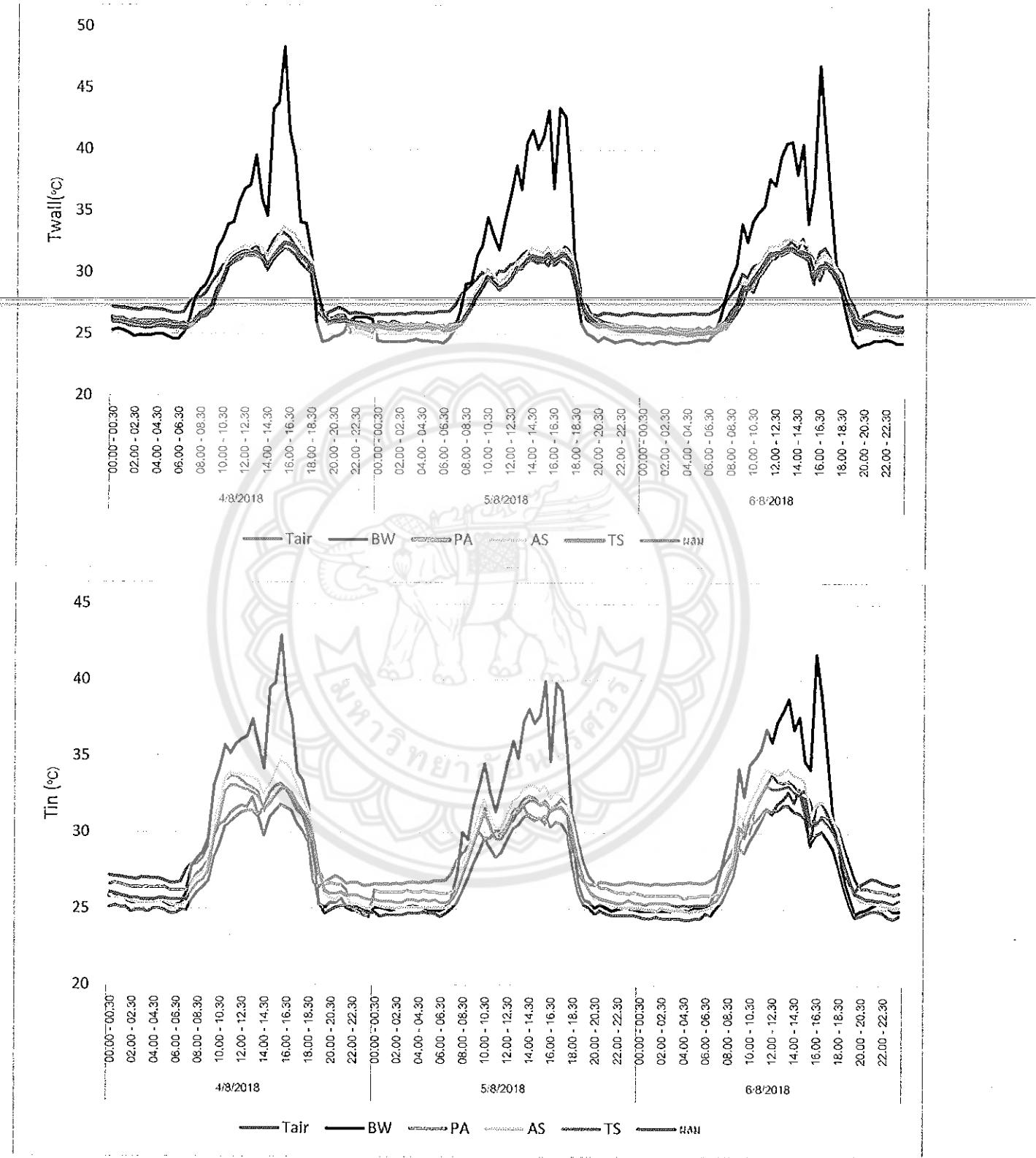
กล่าง กล่อง	Mix	24	.1662	.87998	-1.29	3.06	9.602	.000***
	PA	24	-1.1905	.86553	-2.88	1.40		
	AS	24	-.4840	.92636	-2.56	1.38		
	TS	24	-.7007	.88606	-2.41	1.95		
	Total	96	-.5523	1.00337	-2.88	3.06		
ตุลาคม 2561								
ผิวใบ	Mix	24	.1115	1.16911	-2.13	2.81	1.515	.216
	PA	24	.4589	1.17159	-.59	5.14		
	AS	24	.1047	1.17030	-2.03	3.21		
	TS	24	.6974	1.07648	-.74	4.58		
	Total	96	.3431	1.15689	-2.13	5.14		
ผนัง ภายใน	Mix	24	-.7328	1.17772	-2.50	3.69	.856	.467
	PA	24	-1.2724	1.17374	-3.56	2.15		
	AS	24	-.9188	1.27086	-3.40	2.28		
	TS	24	-1.0443	1.17326	-3.10	2.85		
	Total	96	-.9921	1.19688	-3.56	3.69		
กล่าง กล่อง	Mix	24	.1016	1.03175	-1.31	3.78	5.594	.001***
	PA	24	-.9490	.92181	-2.58	2.03		
	AS	24	-.0906	.98062	-2.09	2.19		
	TS	24	-.5031	.92698	-2.04	2.65		
	Total							
พฤษจิกายน 2561								
ผิวใบ	Mix	24	-.0130	1.29042	-2.44	3.21	1.226	.305
	PA	24	.3344	1.30311	-.89	5.54		
	AS	24	-.0198	1.29653	-2.34	3.61		
	TS	24	.5729	1.21113	-1.05	4.98		
	Total	96	.2186	1.28038	-2.44	5.54		
ผนัง ภายใน	Mix	24	-.7328	1.17772	-2.50	3.69	.856	.467
	PA	24	-1.2724	1.17374	-3.56	2.15		
	AS	24	-.9188	1.27086	-3.40	2.28		
	TS	24	-1.0443	1.17326	-3.10	2.85		
	Total	96	-.9921	1.19688	-3.56	3.69		
กล่าง กล่อง	Mix	24	.0812	1.17132	-1.56	4.23	4.278	.007**
	PA	24	-.9693	1.06257	-2.83	2.48		
	AS	24	-.1109	1.11485	-2.34	2.64		

	TS	24	- .5234	1.06791	- 2.29	3.10		
	Total	96	- .3806	1.16081	- 2.83	4.23		

จากผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศกับ BW ของ LW แบบผสมและแบบเดี่ยวทั้งเวลากลางวัน และกลางคืน สามารถสรุปได้ว่า LW แบบผสมลดอุณหภูมิได้มากกว่า LW แบบเดี่ยวในช่วงเวลากลางวัน โดย LW มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศและ BW ส่วนในเวลากลางคืน LW แบบผสมมีอุณหภูมิต่ำกว่าอากาศแต่สูงกว่า BW ในขณะที่ LW แบบเดี่ยวมีอุณหภูมิสูงกว่า BW เพราะมีความร้อนสะสมในช่วงเวลากลางวันมากกว่า อย่างไรก็ตามเมื่อเทียบกับอุณหภูมิอากาศแล้ว LW มีอุณหภูมิต่ำกว่าอากาศเฉพาะในฤดูฝนแต่สูงกว่าในฤดูหนาว

รูปที่ 4.4 เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศกับอุณหภูมิของ BW และ LW แบบต่างๆ โดยแสดงอุณหภูมิตลอดวันเป็นเวลา 3 วันตั้งแต่ 4-6 สิงหาคม 2561 จะเห็นได้ว่า BW มีอุณหภูมิสูงที่สุดในทุกตำแหน่งทั้งผิวใน ผนังภายใน และกลางกล่องในช่วงเวลากลางวันตั้งแต่ 6.00-18.00 น. โดยอุณหภูมิที่ผนังกล่องภายนอกของ BW มีค่าสูงมากเมื่อเทียบกับอุณหภูมิอากาศ โดยเฉพาะเวลา 14.00-17.00 น. ที่อุณหภูมิอากาศขึ้นอยู่ระดับสูงสุดที่ประมาณ 33°C อุณหภูมิของ BW สูงมากกว่า 40°C หลังจาก 18.00 น. BW จึงมีอุณหภูมิต่ำกว่า LW โดยมีอุณหภูมิต่ำกว่าชั้ดเจน บริเวณผนังกล่องภายใน สำหรับอุณหภูมิอากาศ LW แบบเดี่ยวมีอุณหภูมิใกล้เคียงกับอากาศในช่วงเวลากลางวัน และต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศในช่วงเวลากลางคืนหลัง 18.00 น. ดังนั้น LW จึงมีอุณหภูมิที่ไม่แตกต่างจากอากาศมากนักเมื่อเทียบกับ BW ที่ได้รับความร้อนจากพระอาทิตย์ในเวลากลางวัน และ LW แบบผสมช่วยลดอุณหภูมิได้มากกว่า LW แบบเดี่ยว





รูปที่ 4.4 การเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศกับอุณหภูมิของ BW และ LW แบบต่างๆ ตั้งแต่ 4-6 สิงหาคม 2561
บริเวณผิวใบ (bn) ผนังภายใน (กลาง) และกลางกล่อง (ล่าง)

4.2 พืชพันธุ์กับคุณลักษณะอุณหภูมิของ LW

4.2.1 ค่า LAI ของพืชพันธุ์ 3 ชนิด

การวิเคราะห์ LAI จากการวัดด้วยเครื่อง LI-3100 Leaf Area Meter ที่แยกพื้นที่ใบ ดอก และกิ่งก้านออกจากกัน โดยแยกการวัดออกเป็น 4-6 ตัวอย่างและหาค่าเฉลี่ยจาก 3 ตัวอย่างเพื่อให้ได้ค่า LAI ของพืช 3 ชนิดดังแสดงในตารางที่ 4.13 จากค่าเฉลี่ยของพื้นที่ทุกส่วนประกอบของพืชสามารถนำไปหาค่าตัวนี้พื้นที่ใบหรือ LAI ได้จากสัดส่วนของพื้นที่กระบวนการปลูกสร้างได้ดังนี้

- แพรเชียงไฮ้ PA

พื้นที่ใบเฉลี่ย	62.4	ตร.ซม.
พื้นที่ดอกเฉลี่ย	0.7	ตร.ซม.
พื้นที่กิ่งก้านเฉลี่ย	135.2	ตร.ซม.
ค่า LAI เท่ากับ	$198.3/156.25 = 1.27$	

- ทับทิมสยาม AS

พื้นที่ใบเฉลี่ย	351.3	ตร.ซม.
พื้นที่ดอกเฉลี่ย	-	ตร.ซม.
พื้นที่กิ่งก้านเฉลี่ย	60.9	ตร.ซม.
ค่า LAI เท่ากับ	$412.3/156.25 = 2.88$	

- กาก Hoyangcarang TS

พื้นที่ใบเฉลี่ย	459.1	ตร.ซม.
พื้นที่ดอกเฉลี่ย	-	ตร.ซม.
พื้นที่กิ่งก้านเฉลี่ย	49.6	ตร.ซม.
ค่า LAI เท่ากับ	$508.7/156.25 = 3.26$	

- LW แบบผสม ค่า LAI เท่ากับ $(1.27+2.88+3.26)/3 = 2.5$

4.2.2 พื้นที่ปกคลุมของ LW

พื้นที่ปกคลุมเฉลี่ยรายเดือนของ LW แบบเดี่ยวและแบบผสมแสดงอยู่ในตารางที่ 4.14 โดย PA และ AS มีพื้นที่ปกคลุมลดลงในช่วงเดือนที่ 4 ขณะที่ TS และ LW แบบผสมมีพื้นที่ปกคลุมเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตลอด 4 เดือน ดังนั้นสามารถสรุปพื้นที่ปกคลุมของ LW ตลอด 4 เดือนได้ดังต่อไปนี้

- พื้นที่ปกคลุม PA 0.96

- พื้นที่ป่าคลุม AS 1.17
- พื้นที่ป่าคลุม TS 1.23
- พื้นที่ป่าคลุม LW แบบผสม 1.26

ตารางที่ 4.13 ค่า LAI ของพื้นที่ไม้ 3 ชนิด

พื้นที่ไม้	ตัวอย่างที่	ส่วนประกอบ	พื้นที่ (ตร.ชม.)	ความกว้าง (ชม.)	ความกว้าง เฉลี่ย (ชม.)	ความยาว (ชม.)
แพรเชียงไช	1	ใบ	12.0	2.8	0.4	26.7
PA	2	ใบ	19.2	5.4	0.8	25.6
	3	ดอก	0.7	1.0	0.3	2.1
	4	กิ่งก้าน	135.2	6.5	0.5	247.5
	5					
ทับทิมสยาม AS	1	ใบ	62.3	3.8	1.3	24.3
	2	ใบ	75.6	6.4	1.3	31.4
	3	ใบ	44.4	6.4	1.5	29.2
	4	ใบ	64.5	3.6	1.0	25.5
	5	ใบ	55.1	3.2	1.2	21.2
	6	ใบ	49.4	9.2	1.9	25.4
	7	กิ่งก้าน	60.9	7.2	1.0	60.9
กาบทอยเคราะห์ TS	1	ใบ	206.1	18.4	7.6	31.4
	2	ใบ	253.0	15.7	6.3	26.3
	3	กิ่งก้าน	49.6	4.3	0.3	175.2

ตารางที่ 4.14 พื้นที่ป่าคลุม LW

LW	พื้นที่ป่าคลุม				
	ส.ค. 61	ก.ย. 61	ต.ค. 61	พ.ย. 61	เฉลี่ย
PA	0.93	0.94	0.96	1.00	0.96
AS	1.13	1.16	1.20	1.20	1.17
TS	1.20	1.22	1.23	1.26	1.26
ผสม	1.20	1.20	1.25	1.30	1.34

ดังนั้น LW แบบผสมมีสัดส่วนพื้นที่ป่าคลุมมากที่สุด รองลงมา คือ TS และ AS ส่วน PA มีพื้นที่ป่าคลุมน้อยที่สุด ซึ่งคล้ายคลึงกับ LAI โดย TS มีค่ามากที่สุด รองลงมา คือ แบบผสม และน้อยที่สุด คือ AS และ PA

4.3 การกักเก็บ CO₂ ของ LW

4.3.1 คุณลักษณะสัดปูลูก

ตารางที่ 4.15 แสดงคุณลักษณะของดินปูลูกที่ได้จากการทดสอบวิเคราะห์ดินดังแสดงในรูปที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่าดินปูลูกมีค่ากรด-ด่างเกือบเป็นกลาง มีค่าไนโตรเจน (N) ค่อนข้างต่ำ และโพแทสเซียม (K) อยู่ในระดับสูง ส่วนค่าโซเดียมและสังกะสีอยู่ในระดับต่ำ

ตารางที่ 4.15 ลักษณะทางกายภาพของดินก่อนปูลูก

ตัวอย่างดิน	pH	Total - N	K	Na	Zn
		%	ppm.	ppm.	ppm.
ก่อนเพาะปูลูก	6.54	0.3614	144.71	59.87	0.384
มาตรฐานดินปูลูกไม้ประดับ ¹	5.5-6.5	0.6-1.4	> 40	<500	1.1-3.0

ที่มา: ¹ สมเพียร (2522)

4.3.2 การกักเก็บคาร์บอน

4.3.2.1 ช่วงระยะเวลาเดือนที่ 6

ตารางที่ 4.16 แสดงปริมาณ CO₂ ช่วงเดือนสิงหาคมของพืช 3 พืชพันธุ์และแบบผสม โดยแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนบนดิน ส่วนใต้ดิน และวัสดุปูลูก สำหรับส่วนบนดินนั้นพืชทั้ง 3 ชนิดมีร้อยละของการบอนอยู่ในช่วง 33.08-45.41 ของน้ำหนักแห้ง โดย แบบผสม มีการบอนบนดินมากที่สุดรองลงมา คือ AS และ TS สัดส่วนการบอนบนดินนี้ใกล้เคียงกับปริมาณการบอนในส่วนใต้ดินที่มีอยู่ร้อยละ 40.23-48.29 โดย LW แบบผสม มีการบอนสูงที่สุด คือ 3.43 กรัม รองลงมา คือ TS และ AS ในส่วนวัสดุปูลูกมีปริมาณการบอนแตกต่างกันข้างมาก คือ ร้อยละ 4.19-48.86 แสดงถึงความหลากหลายของดินปูลูกที่มาจากการแยกแยะเหล่านี้ เมื่อพิจารณาดูเฉพาะการบอนของพืชที่รวมส่วนบนดินและใต้ดินแล้ว LW แบบผสม มีการบอนสูงสุด รองลงมา คือ AS และ TS ขณะที่ PA มีการบอนน้อยที่สุด

4.3.2.2 ช่วงระยะเวลาเดือนที่ 12

ตารางที่ 4.17 แสดงปริมาณ CO₂ ช่วง 6 เดือนต่อมาในตอนปลายของฤดูหนาวของเดือนธันวาคม โดยปริมาณการบอนในส่วนของพืชยังคงใกล้เคียงกับช่วงเดือนสิงหาคม ร้อยละของการบอนส่วนบนดินอยู่ในช่วงร้อยละ 40.71-50.05 โดย LW แบบผสมยังคงมีการบอนมากที่สุด รองลงมา คือ AS สำหรับส่วนใต้ดินอยู่ในช่วง 41.96-53.42 โดย TS มีการบอนใต้ดินของพืชมากที่สุด ขณะที่ร้อยละการบอนของวัสดุปูลูกยังคงแตกต่างกันอย่างมาก โดยอยู่ระหว่างร้อยละ 4.17-28.83 โดย PA มีการบอนในวัสดุปูลูกมากที่สุด

ตารางที่ 4.16 น้ำหนักและปริมาณคาร์บอนของพืช 3 ชนิดและแบบผสมในเดือนธันวาคม 2561

พืช	น้ำหนักเปรียกพืช (กร)	น้ำหนักแห้งพืช (กร)	น้ำหนักต้น (กร)	คาร์บอนบนต้น (%)	คาร์บอนบนต้น (%)	บันทึก (%)	คาร์บอนบนต้น (%)	ปริมาณ คาร์บอน พืช (กร)	%Cต้น	%Cพืช
	กิ่ง+ใบ	ราก	กิ่ง+ใบ	ราก	นน.เปรียก	นน.แห้ง				
PA	88.27	81.84	1.69	0.7	87.18	34.38	45.41	41.88	8.5	0.77
AS	9.63	5.46	5.86	4.03	58.17	6.63	43.84	48.29	48.86	2.57
TS	30.13	36.03	3.89	5.84	115.3	54.53	33.08	43.57	4.19	1.29
ผสม	63.89	47.31	9.94	8.52	57.93	17.22	42.96	40.23	22.76	4.27
									3.43	3.92
									7.70	7.70
									726.07	0.34
										0.66

ตารางที่ 4.17 น้ำหนักและปริมาณคาร์บอนของพืช 3 ชนิดและแบบผสมในเดือนธันวาคม 2561

พืช	น้ำหนักเปรียกพืช (กร)	น้ำหนักแห้งพืช (กร)	น้ำหนักต้น (กร)	คาร์บอนบนต้น (%)	คาร์บอนบนต้น (%)	บันทึก (%)	คาร์บอนบนต้น (%)	ปริมาณ คาร์บอน พืช (กร)	%Cต้น	%Cพืช
	กิ่ง+ใบ	ราก	กิ่ง+ใบ	ราก	นน.เปรียก	นน.แห้ง				
PA	67.95	12.31	6.77	3.67	85.33	13.99	48.04	41.96	28.83	3.25
AS	22.4	8.64	11.7	5.1	46.65	9.17	50.05	48.91	23.46	5.88
TS	98.55	77.96	7.12	11.46	71.62	31.11	40.71	53.42	4.17	2.90
ผสม	72.12	37.25	13.9	5.48	72.16	23.42	43.26	40.54	6.00	2.37
									2.47	8.37
									743.28	0.23
										0.77

ตารางที่ 4.18 คุณภาพต่างๆของพืช 3 ชนิดและแบบในระยะ 6 เต็อๆ

พืช	คาร์บอนเป็นดิน (%)			คาร์บอนให้ดิน (%)			ดิน (%)	คาร์บอนบนผืนดิน (ก)			ดิน (ก)	
	ส.ค.	บ.ค.	+/-	ส.ค.	บ.ค.	+/-	ส.ค.	บ.ค.	+/-	ส.ค.	บ.ค.	+/-
PA	45.41	48.04	0.06	41.88	41.96	0.00	8.5	28.83	23.9	0.77	3.25	3.22
AS	43.84	50.05	0.14	48.29	48.91	0.01	48.86	23.46	-0.52	2.57	5.88	1.29
TS	33.08	40.71	0.23	43.57	53.42	0.22	4.19	4.17	0.00	1.29	2.90	1.25
ผัสม	42.96	43.26	0.01	40.23	43.28	0.08	22.76	10.54	-0.54	4.27	6.00	0.41

พืช	คาร์บอนเพลช (ก)			คาร์บอนเพลช+ดิน(ก)			ปริมาณคาร์บอน (g-m-2)	%	ดิน			%Cดิน
	ส.ค.	บ.ค.	+/-	ส.ค.	บ.ค.	+/-	ส.ค.	บ.ค.	+/-	ส.ค.	บ.ค.	+/-
PA	1.06	4.79	3.52	3.98	8.83	1.22	248.9	367.7	0.48	0.73	0.46	-0.38
AS	4.19	4.51	0.08	5.26	7.75	0.47	328.8	484.5	0.47	0.20	0.42	1.04
TS	3.01	3.83	0.27	3.44	6.11	0.78	214.9	382.1	0.78	0.13	0.37	1.97
ผัสม	7.70	8.37	0.09	11.62	11.89	0.02	726.1	743.28	1.05	0.34	0.30	-0.12

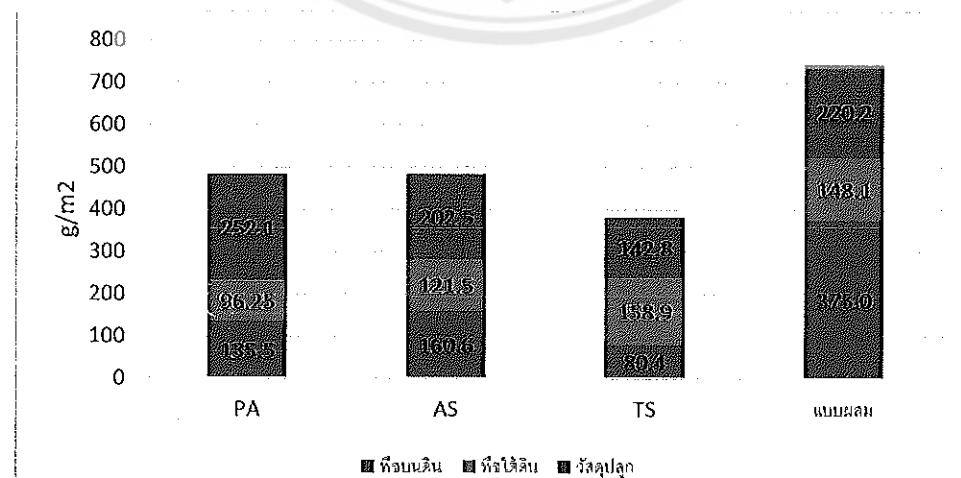
4.3.2.3 การเปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนในระยะ 6 เดือน

ตลอดช่วง 6 เดือนตั้งแต่ สิงหาคม - ธันวาคม 2561 บริมาณ CO_2 โดยรวมของ LW ทั้งแบบผสมและแบบเดี่ยวเพิ่มขึ้นร้อยละ 47-105 ดังแสดงในตารางที่ 4.18 จะเห็นว่า LW แบบผสมมีปริมาณคาร์บอนโดยรวมสูงที่สุดอยู่ที่ $743.28 \text{ g CO}_2 \text{ m}^{-2}$ รองลงมาคือ AS และ TS โดยพืชทั้ง 3 ชนิดมีลักษณะการเพิ่มขึ้นและลดลงใน 3 ส่วนเหมือนกัน คือ มีการเพิ่มขึ้นของปริมาณคาร์บอนในส่วนของพืชทั้งบนดินและใต้ดินร้อยละ 8-27 แต่มีปริมาณคาร์บอนในวัสดุปลูกลดลงร้อยละ 34-43 ตารางที่ 4.19 สรุปปริมาณคาร์บอนที่กักเก็บใน LW แบบเดี่ยวและแบบผสมในส่วนประกอบต่างๆ จะเห็นได้ว่า ปริมาณคาร์บอนที่กักเก็บในพืชบนดินของ LW มีเพิ่มขึ้น $1.61-3.31 \text{ กรัม}$ และพืชใต้ดินเพิ่มขึ้น $0.55-3.58 \text{ กรัม}/\text{ยกเว้น LW แบบผสมที่เป็นปริมาณคาร์บอนพืชใต้ดินลดลง แม้ว่าวัสดุปลูกในวัสดุปลูกจะลดลงแต่ปริมาณคาร์บอนที่กักเก็บทั้งระบบมีเพิ่มขึ้นมากที่สุดใน PA คือ } 302.67 \text{ กรัม/ตร.ม. และน้อยที่สุดใน LW แบบผสม คือ } 17.21 \text{ กรัม/ตร.ม.}$

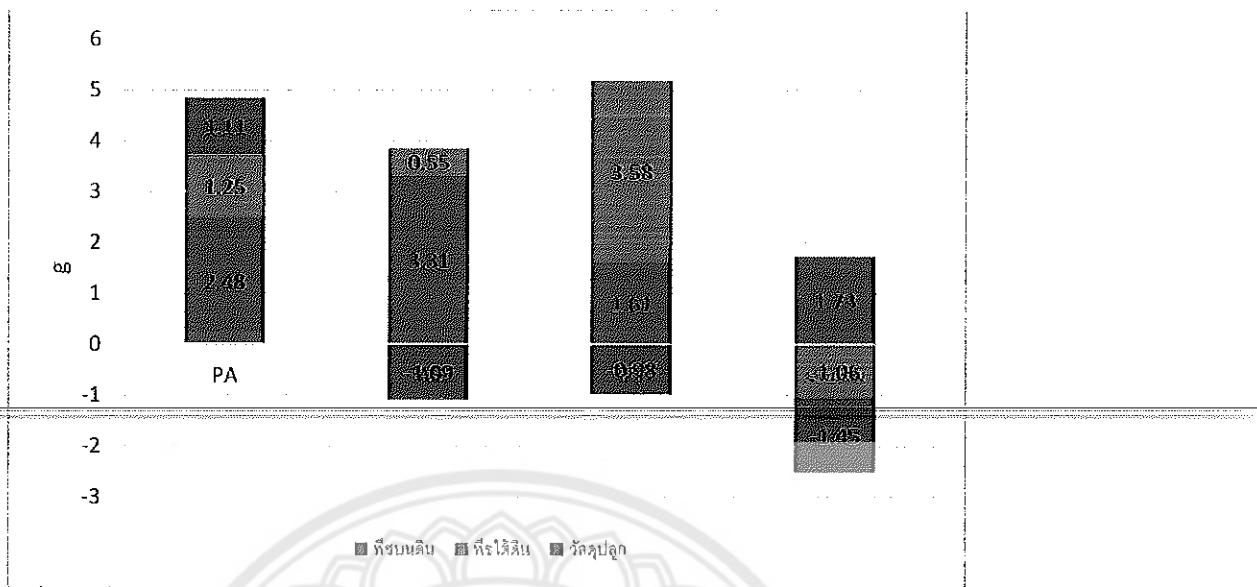
ตารางที่ 4.19 ปริมาณคาร์บอนกักเก็บในระยะ 6 เดือนของ LW

พืช	ปริมาณคาร์บอนที่กักเก็บ				
	พืชบนดิน (g)	พืชใต้ดิน (g)	พืช (g)	วัสดุปลูก (g)	ทั้งระบบ (g-m^2)
PA	2.48	1.25	3.73	1.11	302.67
AS	3.31	0.55	3.86	-1.09	173.09
TS	1.61	3.58	5.19	-0.98	262.74
แบบผสม	1.73	-1.06	0.67	-1.45	17.21

รูปที่ 4.5 แสดงปริมาณคาร์บอนของ LW ในระยะ 12 เดือนของ LW แบบเดี่ยวและแบบผสม โดยかるบอนในวัสดุปลูกคิดเป็นสัดส่วนมากที่สุดสำหรับ PA และ AS คิดเป็นร้อยละ 69 และ 42 ตามลำดับ ในขณะที่การบอนในพืชส่วนบนดินมีสัดส่วนสูงที่สุดสำหรับแบบผสมคิดเป็นร้อยละ 50 และかるบอนในพืชส่วนรากมีมากที่สุดในพืชแห้งแบบ TS คิดเป็นร้อยละ 42



รูปที่ 4.5 สัดส่วนคาร์บอนใน LW แบบเดี่ยวและแบบผสมในระยะ 12 เดือน



รูปที่ 4.6 สัดส่วนค่าร์บอนที่เก็บสะสมใน LW แบบเดี่ยวและแบบผสมในช่วงเวลา 6 เดือน

รูปที่ 4.6 แสดงปริมาณค่าร์บอนที่กักเก็บใน LW มีเฉพาะ AGA ที่มีค่าร์บอนสะสมในทุกองค์ประกอบทั้งในพืชและวัสดุปลูก ขณะที่ LW แบบอื่นมีค่าร์บอนเพิ่มขึ้นเฉพาะส่วนของพืชและมีค่าร์บอนลดลงในส่วนของวัสดุปลูก

4.4 สรุป

ผลการทดลองแสดงการเบรี่ยนเทียบระหว่างอุณหภูมิของ BW และ LW กับอากาศ และระหว่าง LW ที่ปลูกพืช 3 ชนิด รวมทั้งแสดงปริมาณค่าร์บอนของ LW ที่ปลูกพืชแต่ละชนิด จากผลการทดลองที่ได้เกี่ยวกับการลดอุณหภูมิและปริมาณค่าร์บอนของ LW จะนำไปสู่การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของ LW ทั้ง 2 ด้านในบทต่อไป

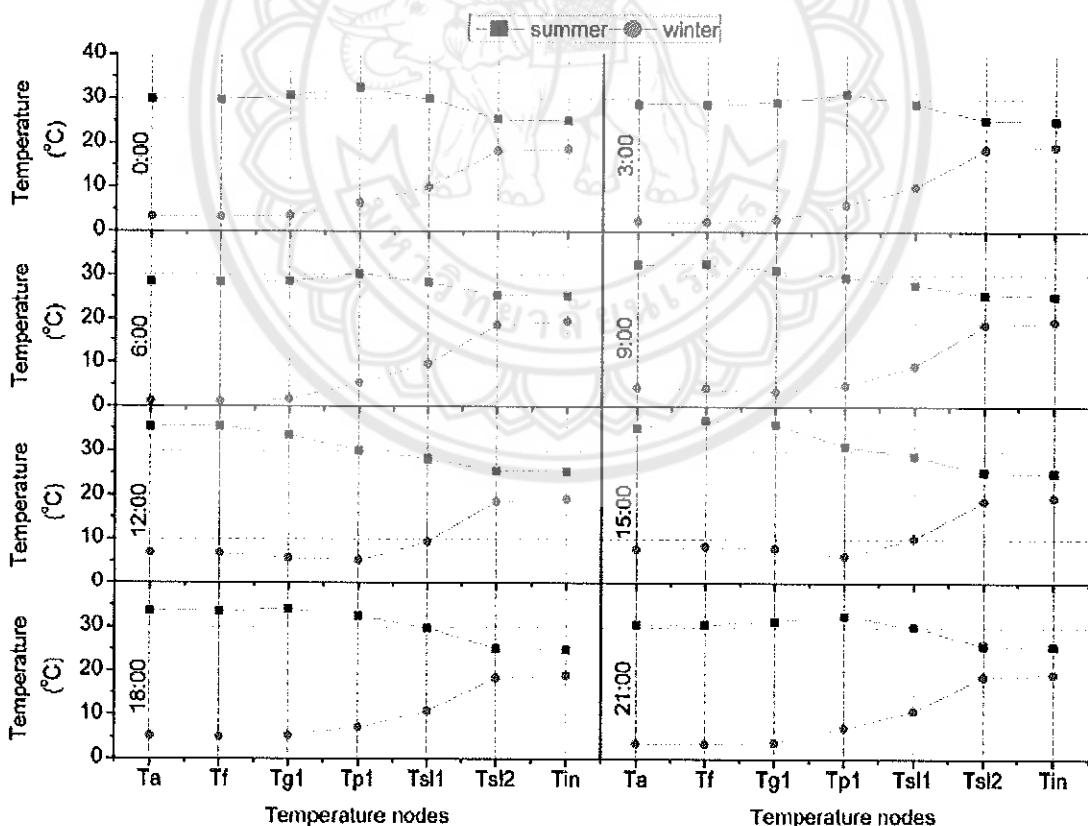
บทที่ 5

การอภิปรายผล

5.1 ประสิทธิภาพด้านการลดอุณหภูมิของ LW สำหรับสภาพภูมิอากาศร้อนชื้น

5.1.1 ประสิทธิภาพด้านอุณหภูมิของ LW เมื่อเทียบกับ BW

เมื่อเทียบกับ BW และ LW ที่ทำการศึกษามีอุณหภูมิสูงกว่าในบางครั้งประมาณ 0.1-2.5°C แต่ส่วนใหญ่แล้วมี อุณหภูมิต่ำกว่าและต่ำกว่ามากสุดในช่วง 15.00-18.00 น. ไปจนถึง 11.9°C บริเวณภายในกล่องเวลากลางวัน โดย ความแตกต่างอยุนหภูมิพยัญชุดบริเวณผนังกล่องภายใน เนื่องจากผนังกล่องของ LW ได้รับการลดการถ่ายเทความ ร้อนจากห้องส่วนทางตั้งและช่องว่างอากาศ ทำให้ได้รับความร้อนลดลงอย่างมาก แต่ความร้อนบริเวณกล่อง กลับมาเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจากการแผ่รังสีความร้อนของผนังโดยรอบเนื่องจากกล่องที่มีขนาดเล็ก ทำให้ได้รับ อิทธิพลจากความร้อนของเปลือกอาคาร เมื่อเทียบกับงานศึกษาอ่อนหนานี้ของสวนทางตั้งในเมืองเชียงใหม่ที่ทำการ ทดลองในกล่องขนาด 3x3x2.7 ม. แล้ว (He et al., 2017) แสดงให้เห็นว่า LW สามารถลดอุณหภูมิได้อย่างมาก บริเวณผนังภายใน และยังคงอุณหภูมิกล่องได้ใกล้เคียงกับผนังภายในตลอด 24 ชม. ดังแสดงในรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 อุณหภูมิของสวนทางตั้งในเชียงใหม่ TsL2 คือ ผนังภายใน Tin คือ กลางกล่อง

หากวิเคราะห์งานศึกษาอื่นๆ ก่อนหน้านี้ ผิวใบของ LW เย็นกว่า พื้นผิวของ BW ในตอนกลางวันเฉลี่ยที่ 3.4-4.5°C และสูงสุดที่ 9.3 °C ส่วนอุณหภูมิภายในของ LW เย็นกว่าภายในของ BW โดยเฉลี่ย 3.5-4.6°C เมื่อเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพของ LW ของงานศึกษา ก่อนหน้านี้ (ตารางที่ 5.1) พบว่า LW ในประเทศไทยมีค่าความแตกต่างที่พื้นผิวใกล้เคียงกับงานของ Cheng et al. (2010) ที่香港 แต่มีค่าสูงกว่างานศึกษาของ Jim et al. (2011) ที่香港 และ Jaafar (2014) ที่มาเลเซีย อย่างไรก็ตามค่าการลดอุณหภูมิที่ผิวใบยังคงต่ำกว่าค่าสูงสุดที่บันทึกไว้สำหรับ LW ใน Al-Ain ที่ลดได้สูงถึง 13°C (Haggag, 2014) และในสวนสาธารณะที่สิงคโปร์ที่ลดได้ 11°C (Wong et al., 2009)

ตารางที่ 5.1 ประสิทธิภาพด้านการลดอุณหภูมิของ LW ในสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้นจากการศึกษาในอดีตที่ศึกษาในฤดูร้อน

ประเทศ	ชนิดของ LW	ชนิดพืชพันธุ์	ความแตกต่างทางอุณหภูมิ (°C)	แหล่งข้อมูล
ความแตกต่างกับอุณหภูมิพื้นผิว				
ฮ่องกง	ระบบไมโครแลร์ ไม่มีช่องว่างอากาศ	หญ้า	ต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศ 1.2-1.3°C	Cheng et al., 2010
			ต่ำกว่าผนังเปล่า 0.3-6.7°C	
ฮ่องกง	ระบบกระดาษปลอก	ไม้ดอกสีแดง	ต่ำกว่าผนังเปล่า 4°C (สูงสุด) และ 0.3°C (ต่ำสุด)	Jim et al, 2011
จีน	ระบบไมโครแลร์ มีช่องว่างอากาศ	เฟิร์น	ต่ำกว่าผนังเปล่า 20.8°C (สูงสุด)	Chen et al., 2013
Al-Ain, UAE	ระบบไมโครแลร์ ไม่มีช่องว่างอากาศ	ไม้ใบ	ต่ำกว่าผนังเปล่า 13°C (สูงสุด), 5°C (ต่ำสุด) และ 6°C (เฉลี่ย)	Haggag et al., 2014
มาเลเซีย	ระบบถุงผ้า	หญ้า	ต่ำกว่าผนังเปล่า 0.8°C	Jaafar, 2014
สิงคโปร์	หลักหลาຍระบบ	หลักหลาຍทึ้งหญ้า ไม้อวบน้ำ และไม้ใบ	ต่ำกว่าผนังเปล่าช่วงกลางวัน 4-11°C ต่ำกว่าผนังเปล่าช่วงกลางคืน 2-3°C	Wong et al., 2009
ความแตกต่างกับอุณหภูมิผิวภายใน				
จีน	ระบบไมโครแลร์ มีช่องว่างอากาศ	เฟิร์น	ต่ำกว่าผนังเปล่า 7.7°C (สูงสุด)	Chen et al., 2013
มาเลเซีย	ระบบไมโครแลร์ มีช่องว่างอากาศ	ไม้ใบขนาดใหญ่	ต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศ 4°C (สูงสุด)	Safikhani et al., 2014

ความแตกต่างกับอุณหภูมิภายใน				
จีน	ระบบโมดูลาร์ มีช่องว่างอากาศ	เพิร์น	ต่ำกว่าผนังเปล่า 1.1°C (สูงสุด) และ 0.4°C (เฉลี่ย)	Chen et al., 2013
มาเลเซีย	ระบบโมดูลาร์ มีช่องว่างอากาศ	ไม่ใบขนาดใหญ่	ต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศ 4°C (สูงสุด)	Safikhani et al., 2014
บรasil	ระบบโมดูลาร์	คละชนิด	ต่ำกว่าผนังเปล่า 0.9°C (เฉลี่ย) และ 6.1°C (สูงสุด)	Feitosa & Wilkinson, 2018

สำหรับความแตกต่างของอุณหภูมิ LW และ BW ที่ผิวผนังด้านใน LW ของงานศึกษาขึ้นนี้เย็นกว่าผนังเปล่าเฉลี่ยที่ 5 °C และสูงสุดที่ 17.6°C ในเวลากลางวัน ซึ่งมากกว่า LW ที่ Chen et al. (2013) ทำการทดลองที่ Jinที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าผนังเปล่า 7.7°C

5.1.2 ประสิทธิภาพของ LW ในการลดอุณหภูมิอากาศ

จากตารางที่ 5.1 ระบุประสิทธิภาพของ LW ในการลดอุณหภูมิเฉลี่ยที่พื้นผิวตอนกลางวันได้ 1.4-3.9°C และลดอุณหภูมิผนังภายในได้สูงสุด 12.4°C และลดอุณหภูมิภายในได้โดยเฉลี่ย 0.4-2.7°C เมื่อเทียบกับงานศึกษา ก่อนหน้านี้ พบว่า LW ในประเทศไทยลดอุณหภูมิอากาศที่ผิวไปได้มากกว่า LW ที่ศึกษาโดย Cheng et al. (2013) ที่ย่องงง และสามารถลดอุณหภูมิผนังภายในและภายในได้มากกว่า LW ที่ปักคุณด้วยไม้ใบขนาดใหญ่ที่ศึกษาโดย Safikhani et al. (2014) ที่มาเลเซีย

5.1.3 ประสิทธิภาพของ LW แบบเดี่ยวและแบบผสม

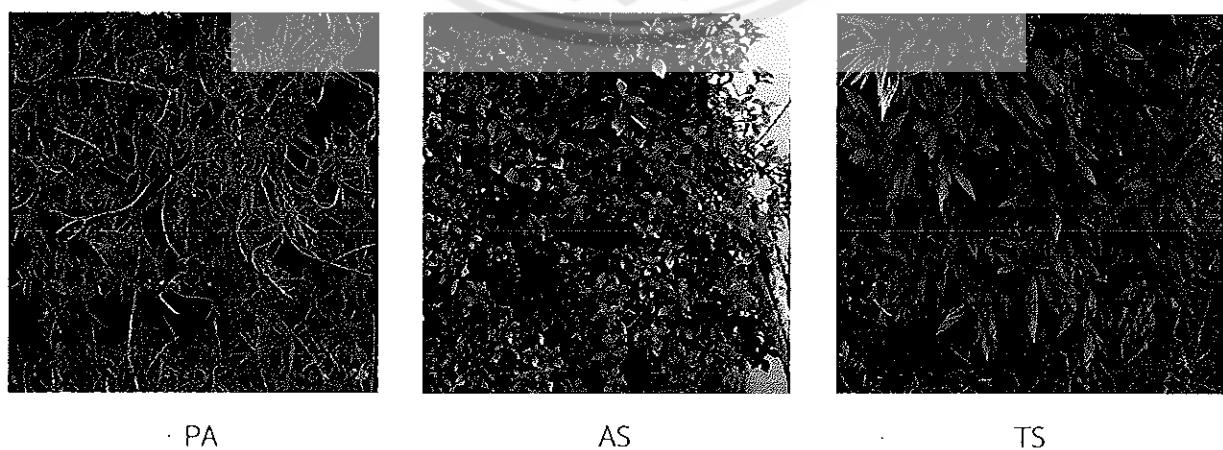
เมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิของ LW แบบเดี่ยวและแบบผสมแล้ว จะเห็นได้ว่า LW แบบผสมมีประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิได้ดีกว่า LW แบบเดี่ยวที่ปูกลพืชชนิดเดี่ยว เมื่อพิจารณา LW แบบเดี่ยวที่ปูกลพืชชนิดเดี่ยวแล้ว พบว่า SPH และ TSS มีประสิทธิภาพการลดอุณหภูมิมากกว่า AGA เพราะพืชทั้ง 2 ชนิดมี LAI และพื้นที่ปักคุณมากกว่า ลักษณะพืชพันธุ์ทั้ง 2 ด้านนี้เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อประสิทธิภาพด้านอุณหภูมิของสวนทางตั้งในสภาพภูมิอากาศต่างๆ (เช่น Perez et al., 2017; Dahanayake, 2017; Koyama et al., 2013) LW แบบผสมจึงได้รับคุณสมบัติข้อดีของการมี LAI และ พื้นที่ปักคุณสูง ทำให้มีพืชปักคุณบริเวณที่ PA มีความหนาแน่นใบทำและมีพื้นที่ปักคุณต่ำดังแสดงในรูปที่ 5.2 เนื่องจาก AS และ TS มีการแผ่กึ่งก้านห้อยย้อยได้มาก จึงลงมาปักคุณ PA ทำให้ลดช่องว่างของผนังสวนทางตั้งที่สัมผัสแสงอาทิตย์โดยตรง ทำให้มีพื้นที่ปักคุณมากกว่า LW ที่ปูกลแยกเดี่ยวในรูปที่ 5.3

นอกจากนี้การปูกลพืชแบบผสมยังทำให้อัตราการอุ่นลดของพืชและการเจริญเติบโตของพืชเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากสามารถกำหนดตำแหน่งการปูกลพืชให้เหมาะสมกับลักษณะนิสัย เช่น ปูกลพืชที่ทนแอดจัดและให้ร่มเงาด้านบน

เพื่อให้ร่มเงากับพืชทางด้านล่าง อันจะช่วยให้พืชที่ทนแดดและทนแล้งได้น้อยกว่ามีโอกาสเจริญเติบโตได้มากยิ่งขึ้น



รูปที่ 5.2 พืชที่หลักหลายใน LW แบบผสม



รูปที่ 5.3 LW แบบปลูกเดี่ยว

5.2 ปัจจัยที่ส่งผลต่อความแตกต่างด้านประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิของ LW

5.2.1 ความแตกต่างด้านระยะเวลาและถูกการ

จากการศึกษา เห็นได้ชัดว่าประสิทธิภาพของ LW ในช่วงเวลากลางวันดีกว่าในช่วงเวลากลางคืน โดย LW สามารถลดอุณหภูมิได้มากกว่าในช่วงกลางวันที่มีอุณหภูมิสูงและมีความเข้มของแสงอาทิตย์สูง โดยผลการศึกษานี้ สอดคล้องกับผลการศึกษา ก่อนหน้านี้ทั้งสิ้น (เช่น Cheng et al., 2010 และ Wong et al., 2009) เมื่อจากมวล อุณหภูมิ (Thermal mass) ที่มากกว่าของ LW อันประกอบด้วยพืชพันธุ์และวัสดุปลูกทำหน้าที่กักความร้อน เอาไว้ไม่ให้ถ่ายเทสู่อากาศภายในอย่างรวดเร็วเมื่อเทียบกับ BW ส่งผลให้ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของ LW และ BW น้อยลงในช่วงกลางคืน ในงานศึกษาของ Haggag et al., (2014) ค่าความแตกต่างของ LW และ BW มี ค่าติดลบในช่วงกลางคืน แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิภายในของ BW เย็นกว่า LW แสดงถึงคุณสมบัติความเป็นมวล อุณหภูมิ (Thermal mass) ของ LW ที่ทำหน้าที่เป็นผู้分散ความร้อนในเวลากลางวันในการชะลอการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในอาคาร และการกักความร้อนไม่ให้ถ่ายออกไปอย่างรวดเร็วในเวลากลางคืน ส่งผลให้ภายในของ BW เย็นกว่าภายในของ LW

สำหรับความแตกต่างระหว่างถูกการ ประสิทธิภาพของ LW ในการลดอุณหภูมิช่วงถูกหน้าดีกว่าในถูกฝน เนื่องจากอุณหภูมิอากาศในถูกหน้าที่สูงมากกว่า ซึ่งผลการศึกษาที่ได้สอดคล้องกับงานศึกษา ก่อนหน้านี้ที่ระบุว่า ความแตกต่างของอุณหภูมิในช่วงถูกหน้าที่มีอุณหภูมิสูงมากกว่า เช่นในฤดูร้อน (Jim et al., 2011) คือ อุณหภูมิ อากาศยิ่งสูงยิ่งส่งผลให้มีความแตกต่างของอุณหภูมินาก โดยความสัมพันธ์เชิงบวกระหว่างอุณหภูมิอากาศและ ความแตกต่างของอุณหภูมิยังถูกกล่าวถึงในงานทดลอง LW ที่ศึกษาตลอดทั้งปีในสภาพภูมิอากาศอื่นๆ ตัวอย่างเช่น ประสิทธิภาพของ LW ในการลดอุณหภูมิของกรีซที่มีสภาพภูมิอากาศแบบเมดิเตอร์เรเนียนสูงกว่า LW ในฝรั่งเศสที่มีภูมิอากาศแบบอบอุ่น โดย LW ในกรีซสามารถลดอุณหภูมิภายในได้ประมาณ 2°C มากกว่า LW ในฝรั่งเศสประมาณ 1°C (Djedjig et al., 2015)

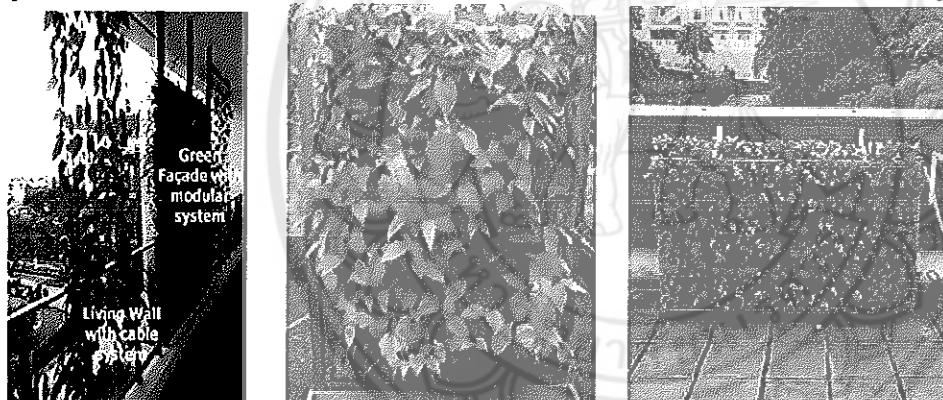
5.2.2 ความแตกต่างด้านลักษณะของ LW

จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ LW ในงานศึกษานี้ กับงานศึกษา ก่อนหน้านี้ พบว่ามีความใกล้เคียงกับงานศึกษาของ Cheng et al. (2010) แต่มีประสิทธิภาพต่ำกว่างานศึกษาของ Chen et al. (2013) และ Wong et al. (2009) และมีประสิทธิภาพสูงกว่างานศึกษาของ Jaafar et al. (2014) และ Saffikhani et al. (2014) หาก พิจารณาดูงานที่ใกล้เคียงแล้วจะเห็นได้ว่า LW ของ Cheng et al. ที่ยังคงเป็นระบบโมดูลาร์ซึ่งมีขนาดไม่ต่างจาก งานที่ศึกษามากนักโดยมีขนาดแพง $1.00 \times 1.50\text{--}2.50$ m. (รูปที่ 5.4) และยังปูกลูกหญ้าที่มีพื้นที่ใบน้อยกว่า ส่วนงาน ของ Chen et al. และ Wong et al. ที่มีประสิทธิภาพดีกว่านั้นมีขนาดของ LW ใหญ่กว่า คือ มีความสูงประมาณ 2.60 m. และมากกว่า 3.00 m. ตามลำดับ ตรงกันข้ามกับงานทดลองของ Jaafar et al., Saffikhani et al. และ Jim et al. (รูปที่ 5.5) ซึ่งมีประสิทธิภาพด้อยกว่า เป็น LW ชนิดถุงผ้าและกระถางปูกลูกที่มีพื้นที่ใบปกคลุมไม่มาก นัก ขนาดของ LW และพื้นที่ปกคลุมใบของ LW จึงน่าจะส่งผลต่อประสิทธิภาพการลดอุณหภูมิ งานศึกษา เปรียบเทียบระหว่าง Living wall 2 ระบบ คือ ระบบโมดูลาร์และระบบกระถางปูกลูก ในสภาพอากาศแบบร้อน แห้งของประเทศไทยแสดงให้เห็นว่าการลดอุณหภูมิแบบโมดูลาร์นั้นมีประสิทธิภาพมากกว่าระบบกระถางปูกลูก

เนื่องจากระบบกระถางปลูกมีพื้นที่บางส่วนที่ไม่ถูกพืชปกคลุม (Victorero et al., 2015) นอกจากนี้การศึกษาของ LW ก่อนหน้านี้ในสภาพภูมิอากาศต่างๆ พบว่า LW แบบโมดูลาร์มีแนวโน้มที่ช่วยลดอุณหภูมิได้ดีกว่าแบบผ้าปูทุก (Sasima and Suthat, 2016) ซึ่งมีความหมายของวัสดุปลูกค่อนข้างน้อยหรือไม่มีเลย ส่งผลให้มวลอุณหภูมิที่จะลดการถ่ายเทความร้อนน้อยกว่า LW แบบอื่นๆ



รูปที่ 5.4 งานทดลอง LW ของ Cheng et al. (ซ้าย) Chen et al. (กลาง) และ Wong et al. (ขวา)



รูปที่ 5.5 งานทดลอง LW ของ Jaafar et al. (ซ้าย) Saffikhani et al. (กลาง) และ Jim et al. (ขวา)

เมื่อพิจารณาองค์ประกอบของ LW แบบกระถางปลูกที่ไม่มีความต่อเนื่องของวัสดุปลูก เช่นเดียวกับแบบโมดูลาร์ ทำให้น่าจะเป็นเหตุผลสำคัญที่ส่งผลให้มีพื้นที่ในการปลูกพืชน้อยลง และมีมวลวัสดุปลูกในการลดการถ่ายเทความร้อนได้น้อยลงด้วย ดังนั้นการเพิ่มประสิทธิภาพของ LW แบบกระถางปลูกจึงควรให้ความสำคัญการคัดเลือกพืชพันธุ์ที่มีลักษณะการเจริญเติบโตแบบห้อยย้อย เพื่อสร้างพื้นที่ปักกลูมบริเวณซ่องว่างของกระถางปลูกได้มากยิ่งขึ้น

5.2.3 ความแตกต่างด้านลักษณะพืชพันธุ์

เนื่องจากพืชพันธุ์ที่ใช้ใน LW ของงานศึกษานี้ต่างจากก่อนหน้านี้ ในแง่ของขนาดใบ ดังนี้พื้นที่ใบ ซึ่งเป็นข้อจำกัดของการเลือกพืชพันธุ์ที่ต้องมีการเจริญเติบโตที่เหมาะสมกับแต่ละพื้นที่ศึกษาเท่านั้น ทำให้การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ LW ไม่สามารถเปรียบเทียบกันได้อย่างเต็มที่ อย่างไรก็ตาม การวิเคราะห์บทบาทของพืชพันธุ์จะปรากฏในส่วนต่อไป

5.2.4 ความแตกต่างอื่นๆที่เกี่ยวข้องกับสถานที่ทดลอง

จากรูปภาพที่ 5.4 และ 5.5 แสดงให้เห็นว่าสถานที่ทดลองของ LW มีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของแต่ละงานศึกษา มีทั้งสถานที่ดังในสวนสาธารณะ และสถานศึกษาซึ่งเป็นสถานที่ที่นิยมสำหรับงานศึกษาส่วนใหญ่ แต่ยังมีองค์ประกอบปลูกย้อยอื่นๆที่แตกต่างกัน เช่น บางการทดลองเป็นแผ่นลอย บางการทดลองมีห้องหรือทางเดินโล่งอยู่ด้านหลัง LW รวมทั้งทิศทางการติดตั้ง LW ที่หันไปทางทิศใต้บ้าง ทิศตะวันตกบ้าง ปัจจัยที่แตกต่างกันเหล่านี้ ล้วนสร้างความลำบากในการสรุปหาประสิทธิภาพของ LW ที่แน่นอนทั้งสิ้น

5.3 บทบาทของพืชพันธุ์ต่อการลดอุณหภูมิของ LW

5.3.1 อิทธิพลของ LAI

จากการทดลองนี้ แสดงให้เห็นว่าพืชพันธุ์มีผลต่อประสิทธิภาพด้านอุณหภูมิระหว่างพันธุ์ไม้ 3 ชนิดที่มีลักษณะต่างกัน ผลการทดลองซึ่งให้เห็นว่า LW แบบผสมมีประสิทธิภาพดีที่สุด รองลงมาคือ TS และ AS ส่วน PA มีประสิทธิภาพน้อยที่สุด เมื่อวัด One-Way ANOVA แสดงให้เห็นถึงค่าความแตกต่างทางอุณหภูมิของ LW แบบผสมและแบบเดียวอย่างมีนัยสำคัญแค่บางตำแหน่งเท่านั้น

เมื่อพิจารณาดูจากค่า LAI แล้วพบว่า TS มีค่า LAI สูงสุดรองลงมา คือ SPH และ LW แบบผสม ขณะที่พืชที่มีพื้นที่ปกคลุม คือ LW แบบผสมและ TS ที่มีพื้นที่ปกคลุมใกล้เคียงกัน ผลการทดลองนี้จึงสอดคล้องกับงานศึกษา ก่อนหน้านี้ที่ระบุว่า ค่า LAI เป็นปัจจัยสำคัญต่อการลดอุณหภูมิของพันธุ์ไม้ด้วยการสร้างร่มเงาและการทำความเย็นจากภาระน้ำ โดยค่า LAI สามารถอธิบายความสามารถของ LW แบบผสมและแบบเดียวที่ปูกตัน AS และ TS ที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยน้อยกว่า PA ที่มีค่า LAI น้อยที่สุด จากงานศึกษาของ Wong et al. (2009) ระบุให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างค่า LAI กับค่าสัมประสิทธิ์การบังเงา โดยยิ่งมีค่า LAI มากจะทำให้ความสามารถในการบังเงาเพิ่มมากขึ้น แต่เมื่อเทียบค่า LAI ของ TS และ LW แบบผสมแล้วพบว่าค่า LAI ของ TS มากกว่าแต่อุณหภูมิเฉลี่ยกลับสูงกว่า ซึ่งมีความเป็นไปได้จากพื้นที่ปกคลุมของ LW แบบผสมที่สูงมากกว่า นอกจากนั้นพืชพันธุ์ที่มีค่า LAI สูงอาจอาจไม่ส่งผลต่อการลดอุณหภูมิเสมอไป งานศึกษาเบรี่ยนเทียนพันธุ์ไม้ 7 ชนิดของ Cameron et al. (2014) พบว่า ต้นที่มีค่า LAI สูง เช่น *Hedera*, *Prunus* และ *Stachy* ไม่จำเป็นต้องมีความสามารถในการลดอุณหภูมิผนังต่อหน่วยได้ดีกว่าต้นที่มีค่า LAI ต่ำกว่า เช่น ต้น *Fuchisia*, *Jasminum* และ *Lonicera* ที่มีความหนาแน่นของใบน้อยกว่า โดย Cameron et al. (2014) อธิบายว่า พันธุ์ไม้ที่มีค่าความหนาแน่นสูงจะได้ประโยชน์จากการสร้างร่มเงาในระดับหนึ่ง แต่เมื่อสูงเกินกว่าค่าที่ต้องการก็ไม่ได้ประโยชน์จากการสร้างร่มเงาอีกต่อไป ในขณะที่พันธุ์ไม้บางชนิด ที่มีค่า LAI ต่ำกว่าแต่มีคุณสมบัติด้านการคายน้ำดีกว่าทำให้จัดความร้อนแห่งผ่านกระบวนการคายน้ำได้ดีกว่า

5.3.2 พื้นที่ปกคลุม

พื้นที่ปกคลุมเป็นอีกปัจจัยสำคัญอีกอย่างหนึ่งนอกเหนือจาก LAI ที่มีผลต่อประสิทธิภาพด้านอุณหภูมิของสวนทางตั้ง การใช้โมเดลจำลองสวนทางตั้งแสดงให้เห็นอิทธิพลของพื้นที่ปกคลุมต่อการลดอุณหภูมิภายในอาคาร (Wong, 2009; Kontoleon & Eumorifopoulou, 2009) ยิ่งพื้นที่ปกคลุมมากยิ่งส่งผลต่อความสามารถในการลดอุณหภูมิของสวนทางตั้งได้ดีขึ้น ดังนั้นพื้นที่ปกคลุมที่สูงที่สุดของ LW แบบผสม จึงมีผลสำคัญต่อการลดอุณหภูมิและอุณหภูมิเฉลี่ยที่ต่ำกว่า LW แบบอื่นๆ

5.3.3 อิทธิพลของขนาดใบและสีใบ

ขนาดใบเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อการลดอุณหภูมิของพืชพันธุ์ Cameron et al. (2014) ได้อธิบายไว้ว่า ขนาดใบเกี่ยวกับผลต่อความสามารถในการลดอุณหภูมิด้วย เนื่องจากใบไม้ที่ใหญ่มีอัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านการพากำเนิดมากกว่าใบไม้ที่มีขนาดเล็กทำให้ระบบทำความร้อนได้น้อยกว่า ถึงแม้ว่าใบที่ใหญ่จะช่วยสร้างร่มเงาจากการมีพื้นที่รับแดดน้ำมากกว่าก็ตาม ผลการทดลองของ Sasima & Suthat (2017) แสดงให้เห็นว่าพืชที่มีขนาดใบใหญ่อย่างต้นลินกระเบื้องลดอุณหภูมิได้น้อยกว่าต้นใบขนาดเล็กอย่างต้นม่วงคงที่มีค่า LAI ต่ำกว่าต้นลินกระเบื้องก็ตาม อีกทั้งห้องใบของลินกระเบื้องมีสีแดงแตกต่างจากใบกับต้นอื่นๆที่เป็นสีเขียว ทำให้ใบสามารถดูดซับความร้อนได้มากกว่าใบไม้ที่สีอ่อนกว่า ดังจะเห็นได้จากการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างกะหล่ำปลีสีต่างๆ ที่แสดงให้เห็นว่า กะหล่ำปลีสีแดงเข้มมีปอร์เซนต์การดูดซับความร้อนเท่ากับ 55 ซึ่งสูงกว่ากะหล่ำปลีสีเขียวอ่อนที่มีค่าเท่ากับ 51% และสีขาวที่มีค่าเท่ากับ 46% (Makarevsky cited in Kondratyev, 1969) ดังนั้น TSS ที่มีใบขนาดใหญ่ สีเขียวเข้ม ห้องใบสีม่วงเข้มจึงดูดซับความร้อนได้ดีกว่า LW แบบผสม และอาจจะเป็นเหตุผลที่ทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยสูงกว่า

5.4 ประสิทธิภาพการกักเก็บคาร์บอนของ LW

5.4.1 ประสิทธิภาพของพืช 3 ชนิด

หากพิจารณาดูเฉพาะส่วนของพืชบนดิน และส่วนใต้ดินหรือรากแล้ว SPH เป็นพืชที่มีคาร์บอนสูงสุดคือ 282 g CO₂ m⁻² เมื่อเทียบกับ TS และ PA ที่มีคาร์บอน 239.3 g CO₂ m⁻² และ 231.8 g CO₂ m⁻² ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม PA มีอัตราการเพิ่มขึ้นของปริมาณคาร์บอนในพืชสูงที่สุด โดยมีการเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 352 ในระยะเวลา 6 เดือน ขณะที่ TSS เพิ่มขึ้นร้อยละ 27 และ AS เพิ่มขึ้นร้อยละ 8 เท่านั้น ทั้งนี้ลักษณะของพืชพันธุ์เป็นองค์ประกอบสำคัญต่อปริมาณคาร์บอน โดยพืชที่มีเนื้อไม้แข็งในรูปแบบของกิงก้านอยู่มากจะมีปริมาณคาร์บอนอยู่สูงกว่าพืชที่มีลำต้นอ่อนหรือดอกไม้เป็นหลัก จากการเปรียบเทียบกลุ่มไม้ 4 ชนิดของสวนหลังคา พบร้า กลุ่มนี้มีพืชไม้พุ่มอายุหลายปีแบบที่มีกิงก้านอยู่มากสามารถกักเก็บคาร์บอนได้สูงที่สุด คือ 30.12 kg CO₂ m⁻² ส่วนกลุ่มพืชอื่นๆที่มีเนื้อไม้น้อยกว่ามีความสามารถลดน้อยลงมา คือ 2.15 kg CO₂ m⁻² สำหรับพืช周年น้ำ และ 2.60 kg CO₂ m⁻² สำหรับพืชแบบทุ่งหญ้า (Whittinghill et al., 2014) เมื่อเปรียบเทียบแล้ว SPH ที่มีปริมาณคาร์บอนสูงสุดมีกิงก้านมากกว่าพืชแห้งกอแบบ TS และไม่ต้องดันอวนน้ำอย่าง PA

เมื่อเทียบ LW แบบเดียวกับแบบผสมแล้ว LW แบบผสมมีคาร์บอนมากกว่า คือ 523.1 g CO₂ m⁻² แสดงให้เห็นว่า LW แบบผสมมีชีวมวลของพืชมากกว่า ซึ่งระบุได้จากพื้นที่ปุกคลุมที่มีมากกว่า LW แบบเดียว ถึงแม้ว่าการเพิ่มขึ้นของชีวมวลจะมีเพียงเล็กน้อยแค่ร้อยละ 9 เท่านั้นในระยะเวลา 6 เดือน

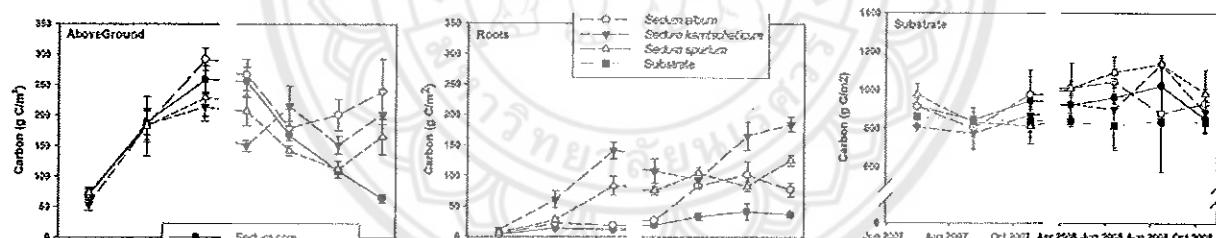
5.4.2 ประสิทธิภาพของวัสดุปลูกใน การกักเก็บคาร์บอน

ปริมาณคาร์บอนของ LW ส่วนใหญ่ที่วัสดุปลูกถึงร้อยละ 30-70 โดยมีปริมาณอยู่ที่ 142.8-743.3 g CO₂ m⁻² ซึ่งมีอัตราที่ลดลงจาก LW ในเดือนที่ 6 ร้อยละ 34-47 ยกเว้น PA ที่มีปริมาณคาร์บอนในวัสดุปลูกเพิ่มขึ้นร้อยละ 38 เมื่อเทียบกับเดือนของสวนหลังคาที่มีความลึกประมาณ 6 ซม. และ วัสดุปลูกมีปริมาณคาร์บอนมากกว่าอยู่ที่ 852-981 g CO₂ m⁻² (Getter et al., 2009) อย่างไรก็ตาม ความเข้มข้นของคาร์บอนในวัสดุปลูกของ LW ลด

ต่ำลงอย่างมากในระยะเวลา 6 เดือนหลังเพียงร้อยละ 6-7 เท่านั้น ส่งผลให้ปริมาณคาร์บอนของ LW ลดต่ำจนน้อยกว่าช่วงเริ่มปลูก Whittinghill et al. (2014) ได้อธิบายไว้ว่าความสามารถในการระบายน้ำที่ดีกว่าต้นธรรมชาติของระบบสวนสีเขียว ส่งผลต่อการลดลงของคาร์บอนที่สูญหายไปกับน้ำที่ระบายน้ำออกสู่ระบบระบายน้ำซึ่งแตกต่างจากต้นธรรมชาติที่น้ำค่อยๆ ซึมผ่านพื้นดินล่างออกไป นอกจากนี้ LW ยังมีข้อจำกัดอีกข้อที่สำคัญต่อการลดลงของปริมาณคาร์บอนที่แตกต่างจากต้นธรรมชาติ และสวนหลังคา คือ การมีอัตราการย่อยสลายของอินทรีย์วัตถุที่น้อยกว่า เมื่อเทียบกับต้นธรรมชาติหรือสวนหลังคาแล้วปริมาณคาร์บอนของดินสามารถเพิ่มขึ้นจาก การเน่าเปื่อยของพืชพันธุ์ที่แห้งเหี่ยวยและตกลงสู่พื้นดิน ขณะที่สวนทางตั้งมีพืชที่ตกลงมาบนวัสดุปลูกน้อยมาก เนื่องจากพืชพันธุ์ไม่ได้ตั้งจากกับวัสดุปลูก แต่ตั้งอยู่ในแนวขนาดกับวัสดุปลูก ทำให้ไม่ร่วงหล่นสู่พื้นด้านล่าง แทนที่จะหล่นลงวัสดุปลูก ดังนั้นการย่อยสลายชาကอินทรีย์วัตถุจึงมีบทบาทหนักอย่างมากในภาระการรับอนของวัสดุปลูก

5.4.3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับ LW และสวนหลังคา

Sasima & Suthat (2017) ได้ทำการทดลองสวนทางตั้งระบบกระถางปลูกในถุงร้อนและถุงหนาว และพบว่า LW ไม่มีประสิทธิภาพในการกักเก็บคาร์บอน เนื่องจากความเสียหายของพืชในถุงร้อนที่เหี่ยวยแห้งตายไปเป็นจำนวนมาก เมื่อเทียบกับงานศึกษาขั้นนี้แล้ว LW สามารถกักเก็บคาร์บอนได้ $17.20\text{-}302.67 \text{ g CO}_2 \text{ m}^{-2}$ หรือโดยเฉลี่ย $188 \text{ g CO}_2 \text{ m}^{-2}$ และหากคิดเป็นต่อปีแล้วจะทำให้ LW กักเก็บคาร์บอนได้ 2 เท่าหรือเท่ากับ $34.4\text{-}605.4 \text{ g CO}_2 \text{ m}^{-2}$ ซึ่งน้อยกว่าปริมาณคาร์บอนที่กักเก็บได้ต่อปีจากการคำนวณด้วยแบบจำลองที่คำนวณได้ $440\text{-}3,180 \text{ g CO}_2 \text{ m}^{-2}$



รูปที่ 5.6 การเปลี่ยนแปลงคาร์บอนในองค์ประกอบต่างๆ ของสวนหลังคาที่ปลูกพืช周年น้ำ คือ สวนบนดิน (ซ้าย) ราก (กลาง) และวัสดุปลูก (ขวา)

ที่มา : Getter et al., 2009

เนื่องจากจำนวนงานศึกษาการกักเก็บคาร์บอนในสวนทางตั้งมีอยู่อย่างจำกัด จึงจำเป็นต้องเปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนกับสวนหลังคา งานทดลองของสวนหลังคา 2 ขึ้นเพื่อทำการเปรียบเทียบกับการกักเก็บคาร์บอนของ LW ใน การทดลองครั้งนี้ จากรายงานศึกษาของ Getter et al. (2009) สวนหลังคาที่ปลูกพืช周年น้ำด้วยต้นลึก 6 ซม. สามารถกักเก็บคาร์บอนได้ต่อปี ได้ประมาณ $375 \text{ g CO}_2 \text{ m}^{-2}$ ขณะที่งานศึกษาของ ที่ปลูกพืช 4 ประเภทด้วยต้นที่ลึกมากกว่าตามประเภท สามารถกักเก็บคาร์บอนต่อปีได้มากกว่า คือ $2,150\text{-}3,012 \text{ g CO}_2 \text{ m}^{-2}$ (Whittinghill et al., 2014) ดังนั้นปริมาณคาร์บอนจากงานศึกษาขั้นนี้จึงใกล้เคียงกับปริมาณคาร์บอนของสวนหลังคาแบบต้นลึก 6 ซม. จากการศึกษาการรับอนตลอดทั้งปีของ Getter et al. (2009) ทำให้เห็นความเปลี่ยนแปลงของปริมาณ

การบอนตลดระยะเวลา 1 ปี (รูปที่ 5.6) ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม 2007- ตุลาคม 2008 จุดที่นำสังเกตคือ ช่วงฤดูร้อนระหว่างเดือนเมษายน-มิถุนายน ปี 2008 ที่ปริมาณการบอนมีแนวโน้มลดต่ำลงโดยเฉพาะในส่วนของพืชบนดิน และส่วนรากพืช หลังจากผ่านช่วงนี้ไปแล้ว ปริมาณการบอนจึงปรับตัวสูงขึ้น ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ว่า ปริมาณการบอนที่สะสมในอีก 6 เดือนข้างหน้าของ LW จะน้อยกว่า $188 \text{ g CO}_2 \text{ m}^{-2}$

5.5 สรุป

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองด้านอุณหภูมิและปริมาณการบอนของ LW แสดงให้เห็นว่า LW ที่ได้ทำการทดลองในประเทศไทย มีประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิเข่นเดียวกับในประเทศเขตต้อนซึ่นอื่นๆ ทั้งในฤดูฝนและฤดูหนาว โดยสามารถลดอุณหภูมิในฤดูหนาวได้มากกว่าเพราะอุณหภูมิอากาศที่สูงกว่าในฤดูหนาว อีกทั้งยังมีประสิทธิภาพในการอุณหภูมิช่วงกลางวันได้ดีกว่าในตอนกลางคืน นอกจากนี้ LW แบบผสมยังมีประสิทธิภาพการลดอุณหภูมิดีกว่า LW แบบเดียว เนื่องจากพื้นที่ประกอบด้วยกลุ่มและสุขภาพของพืชพันธุ์ที่ดีกว่าแบบเดียว อันเป็นผลมาจากการหลากหลายของพืชพันธุ์

LW แบบผสมยังมีปริมาณการบอนมากกว่า LW แบบเดียวในระยะเวลา 6 เดือน ถึงแม้ว่าจะกักเก็บการบอนได้น้อยกว่าก็ตาม อันเป็นผลมาจากการซึมwater ของพื้นที่มีมากกว่าแบบอื่นๆ โดยพืชที่มีกิ่งก้านแข็งมีปริมาณการบอนมากกว่าพืชที่เป็นเหง้ากอหรือไม้ดอกที่ลำต้นอวบอึ้ง ดังนั้น LW แบบผสมจึงมีลักษณะความหลากหลายของพืชพันธุ์ที่ช่วยส่งเสริมประสิทธิภาพทั้งทางด้านการลดอุณหภูมิและการมีปริมาณการบอนในองค์ประกอบพืชพันธุ์อยู่สูง

บทที่ 6

บทสรุป

6.1 ประสิทธิภาพด้านอุณหภูมิของ LW

ความสามารถในการลดอุณหภูมิของ LW แบบผสม แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพด้านการลดอุณหภูมิได้เป็นอย่างดี เมื่อเทียบกับ BW แล้ว LW ในงานวิจัยนี้สามารถลดอุณหภูมิสูงสุดที่พื้นผิวภายนอกได้มากกว่า 10.22°C ในช่วงเวลากลางวัน และที่ภายในอาคารได้สูงสุดประมาณ 10.84°C และเมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศแล้ว LW สามารถลดอุณหภูมิได้เป็นอย่างมาก โดยมีพื้นผิวที่เย็นกว่าอากาศสูงสุด 9.9°C และมีภายในที่เย็นกว่าอากาศภายนอกถึง 11.7°C ผลการทดลองเหล่านี้ยืนยันว่า LW แบบผสมเป็นเทคโนโลยีสีเขียวที่มีประสิทธิภาพในการนำไปใช้เพื่อการประหยัดพลังงานได้ดีกว่า LW แบบเดี่ยวซึ่งมีข้อจำกัดจากพื้นฐานไม่ชนิดเดียว ทำให้อัตราการอยู่รอดของพื้นฐานมีน้อยกว่า และหากเปลี่ยนพืชพันธุ์แบบผสมผสานเป็นพืชที่มีดัชนีพื้นที่ใบเพิ่มมากขึ้นน่าจะทำให้ประสิทธิภาพด้านอุณหภูมิสูงมากขึ้น อย่างไรก็ตามยังมีปัจจัยอื่นๆ ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพด้านการลดอุณหภูมิที่ควรคำนึงถึงซึ่งอาจส่งผลต่อการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิของ LW ในประเทศร้อนขึ้นอีก ได้แก่ ระบบหรือประเภทของ LW ที่แตกต่างกัน พืชพันธุ์ที่ใช้คุณลักษณะ รวมถึงวิธีการดูแลรักษาที่ไม่เหมือนกัน โดยผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะในการพัฒนาประสิทธิภาพของ LW ระบบกระดาษปูลิกให้ดียิ่งขึ้น หากมีการปรับปรุงปัจจัยต่างๆ เหล่านี้ ได้แก่

- พื้นที่ปักกลุ่มใบ สำหรับงานวิจัยขึ้นนี้มีชนิดพืชที่มีพื้นที่ปักกลุ่มใบไม่เต็มที่ ได้แก่ AGA หากเปลี่ยนเป็นพันธุ์อื่นที่มีพื้นที่ปักกลุ่มมากยิ่งขึ้นและมี LAI มากขึ้น น่าจะส่งผลต่อประสิทธิภาพด้านการลดอุณหภูมิได้ดีขึ้น
- การเลือกพันธุ์ไม้ที่เหมาะสม จากการวิจัยขึ้นนี้ที่ทำการเลือกพันธุ์ไม้ 3 ชนิด พบว่าดันที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดในการลดอุณหภูมิ ได้แก่ AS และ TS แต่การเจริญเติบโตของ AS มีแนวโน้มลดลงทำให้พื้นที่ปักกลุ่มและขนาดใบเล็กลงในระยะหลัง การเลือกพันธุ์ไม้จึงควรศึกษาในอัตราการอยู่รอดในระยะยาว รวมทั้งดูแลรักษาอย่างต่อเนื่องเพื่อให้พืชมีสุขภาพดีตลอดระยะเวลาการติดตั้งสวนทางตั้ง
- การใช้วัสดุปูลิกที่เหมาะสม จากการทดสอบคุณลักษณะทางกายภาพของวัสดุปูลิก พบว่าไม่มีการพัฒนาวัสดุปูลิกโดยเฉพาะสำหรับสวนทางตั้งที่ความน้ำหนักเบา การระบายน้ำดี และมีธาตุอาหารที่เหมาะสม ดังนั้นควรมีการพัฒนาวัสดุปูลิกในอนาคตนำจะทำให้พืชเจริญเติบโตได้ดีขึ้น และมีประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิที่สูงมากขึ้น
- การวางแผนพื้นที่ไม้ให้เหมาะสม เลือกวิธีการติดตั้งที่มีพื้นที่ปักกลุ่มมากและหนาแน่นจัดไว้ด้านบน เพื่อสร้างร่มเงาให้กับ LW ส่วนพืชที่ทนแสงได้น้อยกว่า เช่น พืชอวน้ำและพืชที่ต้องการความชื้นสูง ควรอยู่ด้านล่างเพื่อเพิ่มอัตราการอยู่รอดของพืชพันธุ์

6.2 ประสิทธิภาพด้านการกักเก็บคาร์บอนของ LW

ค่าการกักเก็บคาร์บอนของ LW ในงานวิจัยนี้มีความแตกต่างค่อนข้างสูง คือ อยู่ระหว่าง $17.2-302.7 \text{ g CO}_2/\text{m}^2$ และค่าเฉลี่ยอยู่ที่ $188 \text{ g CO}_2/\text{m}^2$ หากคิดการกักเก็บคาร์บอนใน 1 ปีอาจลดลงแล้ว LW สามารถกักเก็บcarbon ได้ $300-400 \text{ g CO}_2/\text{m}^2$ ปริมาณcarbon ที่ LW กักเก็บได้นี้ใกล้เคียงกับสวนหลังคาแบบดินตื้น สัดส่วนของ carbon ที่มีในพืชพันธุ์ทั้งหมดและให้คิดเป็นร้อยละ 60-70 ขณะที่วัสดุปูลูกมีcarbon คิดเป็นร้อยละ 30-40 หากต้องการเพิ่มประสิทธิภาพด้านการกักเก็บcarbon ของ LW ควรต้องมีการคำนึงถึงปัจจัยดังต่อไปนี้

- การเน้นพืชพันธุ์ที่มีกิ่งก้านเป็นหลัก เช่น SPH เนื่องจากพืชลักษณะดังกล่าวมีช่วงมากรกว่าพืชชนิดอื่นๆ จากเนื้อไม้ทึบในกิ่งก้าน และลดสัดส่วนพืชที่เป็นไม้อวนน้ำและเป็นแห้งลง

- การเพิ่มธาตุอาหารให้วัสดุปูลูกอย่างสม่ำเสมอ ในระยะเวลา 6 เดือนปริมาณcarbon ในวัสดุปูลูกได้ลดลงอย่างรวดเร็วอย่าง 34-43 แสดงให้เห็นถึงการสูญเสียcarbon ในวัสดุปูลูกให้กับพืชพันธุ์ เนื่องจากความลึกของวัสดุปูลูก LW มีเพียงแค่ 0.10 m. ทำให้มีธาตุอาหารสะสมน้อยและขาดการเติมธาตุอาหารจากใบไม้ที่ร่วงลงบนวัสดุปูลูกเช่นเดียวกับสวนหลังคาและดินทั่วไป ดังนั้นควรมีการเพิ่มธาตุอาหารให้กับวัสดุปูลูกอย่างน้อยทุกๆ 3 เดือนเพื่อสุขภาพที่ดีของพืชใน LW

6.3 บทบาทของพืชพันธุ์ต่อประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิและการกักเก็บcarbon ของ LW

ลักษณะพืชพันธุ์ที่มีผลต่อการลดอุณหภูมิของ LW ได้แก่

- LAI พืชที่มี LAI มากหรือพืชที่มีความหนาแน่นของพุ่มใบสูงมีความสามารถในการสร้างร่มเงาและลดอุณหภูมิให้กับ LW ได้มากกว่าพืชที่มี LAI น้อย พืชที่มีค่า LAI มากกว่า 3 เป็นพืชที่ถือว่ามีประสิทธิภาพด้านการลดอุณหภูมิ (Stav & Lawson, 2012) โดยพืชที่มีค่า LAI เท่ากับ 3.5-4 สามารถลดความต้องการใช้พลังงานได้เกือบร้อยละ 40 (Perez et al., 2017) นอกจากนี้พืชที่มีค่า LAI สูงยังส่งผลดีต่อการเพิ่มอัตราการสูญเสียความร้อนแห้งจากกระบวนการรายน้ำอีกด้วย

- พื้นที่ป่าคลุม พืชที่มีพื้นที่ป่าคลุมมากมีข้อดีเช่นเดียวกับ LAI ที่ช่วยลดเพิ่มเงาและลดอุณหภูมิให้กับ LW พืชที่มีอัตราการเจริญเติบโตเร็วจึงมีพื้นที่ป่าคลุมมาก

- ขนาดใบ พืชที่มีขนาดใบใหญ่มีแนวโน้มในการลดอุณหภูมิได้น้อยกว่าพืชใบขนาดกลางและเล็ก เพราะมีพื้นที่ในการรับความร้อนและเสียงต่อการรับความร้อนมากเกินไปจนระยะความร้อนไม่ทัน

- สีใบ พืชที่มีใบสีเข้มดูดซับความร้อนได้มากกว่าพืชที่มีสีอ่อน ทำให้มีประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิได้น้อยกว่า ดังนั้นพืชที่มีใบสีเขียวเข้ม สีม่วง หรือสีแดงจะมีประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิได้น้อยกว่าพืชที่มีใบสีเขียวอ่อนหรือสีขาว

ลักษณะพืชพันธุ์ที่มีผลต่อการกักเก็บcarbon ได้แก่

- พืชที่มีอายุยืนหลายปี สามารถกักเก็บคาร์บอนได้หลายปีแตกต่างจากพืชล้มลุกหรือพืชอายุสั้นที่กักเก็บคาร์บอนได้เพียง 1-2 ปีก่อนที่จะตาย และเน่าเปื่อยกล้ายเป็นอินทรีย์วัตถุให้กับดิน
- พืชที่ทนทานต่อสภาพอากาศที่มีเดждจัดและหนาวแล้ง เพื่อรักษาสุขภาพที่ดีของพืชและกักเก็บคาร์บอนได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- พืชที่มีกิ่งก้าน เพราะมีรากมากกว่าพืชชนิดอื่นๆ

ดังนั้น หากต้องการ LW ที่มีประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิและกักเก็บคาร์บอน จึงควรเลือกพืชพันธุ์หลักที่มีลักษณะดังต่อไปนี้ คือ มีพุ่มใบหนาแน่น อัตราการเจริญเติบโตรวดเร็ว ทนต่อสภาพอากาศรุนแรง มีใบขนาดกลาง-เล็ก และมีกิ่งก้าน

6.4 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต

จากการศึกษาของงานวิจัยขึ้นนี้ ทำให้มองเห็นช่องทางในการพัฒนางานวิจัย LW ในอนาคตได้ ดังต่อไปนี้

- การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ LW แบบผสมผสานที่มีสัดส่วนพืชพันธุ์ประเภทต่างๆแตกต่างกันทั้งพืชที่มีกิ่งก้าน พืชหนาแล้ง และพืชชอบน้ำ อีกทั้งความมีการศึกษาเปรียบเทียบการจัดวางตำแหน่งต่างๆที่แตกต่างกัน
- การศึกษาปัจจัยด้านอื่นๆที่เกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพการลดอุณหภูมิของ LW ได้แก่ ความชื้นในดิน และระยะช่วงว่างอากาศ
- การสร้างห้องทดลองขนาดใกล้เคียงกับห้องจริง อย่างน้อย $3 \times 3 \times 2.5$ เมตร เพื่อลดอิทธิพลที่ได้รับจากความร้อนผนังโดยรอบ
- การเพิ่มระยะเวลาในการศึกษาการกักเก็บคาร์บอนของ LW ให้มีระยะเวลาอย่างน้อย 1 ปี และควบคุมวัสดุปลูกให้เป็นประเภทเดียวกัน

บรรณานุกรม

กระทรวงพลังงาน (2559). กระทรวงพลังงาน เฝ้าระวังใช้ไฟหน้าร้อน ขอความร่วมมือทุกภาคส่วน รวมพลังคนไทยลดพื้นไฟฟ้า. http://www2.eppo.go.th/encon/cut-peak59/cutpeak59_info.pdf

ศูนย์ภูมิอากาศ สำนักพัฒนาอุตุนิยมวิทยา กรมอุตุนิยมวิทยา. 2556. ปรากฏการณ์ภาวะความร้อน (Urban Heat Island). จาก [weatherclimate%5CUrban_heat_Island.pdf](http://www.weatherclimate%5CUrban_heat_Island.pdf) (วันที่ 30 กรกฎาคม 2556).

พ.ส.นี สุนากร และ ชนิกานต์ อี้ม ประยูร. 2551. พนังสีเขียว. http://www.navy.mi.th/navedu/acd/data_docu/navy_university/4_institutes_no_12/ku_biofaca_de.pdf (วันที่ 30 กรกฎาคม 2556).

วิชัย เหลาพาณิชย์กุล และอวิรุทธิ์ ศรีสุชาพรรณ. 2550. ประสิทธิภาพของผนังไม้เลือยในการลดการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังอาคาร. *Journal of Architecture/Planning Research and Studies* 5 (1), 173-183. <http://www.ap.tu.ac.th/jars/download/jars/v51/10%20The%20Performance%20of%20ClimbingPlant%20Panel%20for%20Reducing%20Heat%20Transfer%20through%20Solid%20Wall.pdf> (วันที่ 30 กรกฎาคม 2556).

ศุภกรชินวรไณ, วิริยะ เหลืองอรุณ และ สุธาทิพย์ หาญพิชิตวณิชย์. 2551. รายงานความก้าวหน้าครั้งที่ 1 โครงการ “การจำลองสภาพภูมิอากาศศอนคตสำหรับประเทศไทยและพื้นที่ข้างเคียง” เสนอต่อ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย. กรุงเทพฯ: ศูนย์เครือข่ายงานวิเคราะห์วิจัยและฝึกอบรมการเปลี่ยนแปลงของโลกแห่งภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

องค์การบริหารกิจการเรื่องกระจก. 2554. คู่มือศักยภาพของพรรณไม้สำหรับส่งเสริมภายใต้โครงการกลไกการพัฒนาที่สะอาดภาคป่าไม้. http://www.conference.tgo.or.th/download/tgo_main/publication/publication/ARFR_Guideline/ARFR.pdf (วันที่ 1 สิงหาคม 2556)

อัศมน ลีมสกุล และแสงจันทร์ ลีมจิรากล (2554) รายงานสังเคราะห์และประเมินสถานภาพองค์ความรู้ด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของไทย ครั้งที่ 1: องค์ความรู้ด้านวิทยาศาสตร์ของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ. คณะทำงานกลุ่มที่ 1 สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกอ.)

Akbari, H., Davis, S., Dorsano, S., Huang, J. and Winnett, S. (1992). Cooling Our Communities: A Guidebook on Tree Planting Light-Colored Surfacing. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Policy Analysis, Climate Change Division.

Alexandri, E. and Jones, P. 2008. Temperature decreases in an urban canyon due to green walls and green roofs in diverse climates. *Building and Environment* 43 (4), 480-493.

- Amthor, J. S., & Baldocchi, D. D. (2001). Terrestrial higher plant respiration and net primary production. In J. Roy, B. Saugier & H. A. Mooney (Eds.), *Terrestrial Global Productivity* (pp. 33-59). San Diego, London: Academic Press.
- Bevilacqua, P., Coma, J., Pérez, G., Chocarro, C., Juárez, A., Solé, C., . . . Cabeza, L. F. (2015). Plant cover and floristic composition effect on thermal behaviour of extensive green roofs. *Building and Environment*, 92, 305-316. doi: 10.1016/j.buildenv.2015.04.026
- Bonan, G. (2002). *Leaves and plants Ecological Climatology* (pp. 21): Cambridge University Press.
- ~~Cameron, R. W. F., Taylor, J. E., & Emmett, M. R. (2014). What's 'cool' in the world of green façades? How plant choice influences the cooling properties of green walls. *Building and Environment*, 73, 198-207. doi: 10.1016/j.buildenv.2013.12.005~~
- Carlos, J. S. (2015, February). Simulation assessment of living wall thermal performance in winter in the climate of Portugal. In *Building Simulation* (Vol. 8, No. 1, pp. 3-11). Tsinghua University Press.
- Feitosa, R. C., & Wilkinson, S. J. (2018). Attenuating heat stress through green roof and green wall retrofit. *Building and Environment*, 140, 11-22.
- Charoenkit, S., & Yiemwattana, S. (2016). Living walls and their contribution to improved thermal comfort and carbon emission reduction: A review. *Building and Environment*, 105, 82-94.
- Chen, Q., Li, B., & Liu, X. (2013). An experimental evaluation of the living wall system in hot and humid climate. *Energy and Buildings*, 61, 298-307. doi: 10.1016/j.enbuild.2013.02.030
- Cheng, C. Y., Cheung, K. K., & Chu, L. M. (2010). Thermal performance of a vegetated cladding system on facade walls. *Building and environment*, 45(8), 1779-1787.
- Dahanayake, K. C., Chow, C. L., & Hou, G. L. (2017). Selection of suitable plant species for energy efficient Vertical Greenery Systems (VGS). *Energy Procedia*, 142, 2473-2478.
- Dover, J. W. (2015). Green walls Green Infrastructure: Incorporating Plants and Enhancing Biodiversity in Buildings and Urban Environments. Oxon and New York: Routledge.
- Dunnett, N., Nagase, A., & Hallam, A. (2008). The dynamics of planted and colonising species on a green roof over six growing seasons 2001–2006: influence of substrate depth. *Urban Ecosystems*, 11(4), 373-384. doi: 10.1007/s11252-007-0042-7

- Emilsson, T. T. (2014). Plant performance in living wall systems in the Scandinavian climate. *Ecological Engineering*, 71, 610-614.
- Flores Larsen, S., Filippín, C., & Lesino, G. (2015). Modeling double skin green façades with traditional thermal simulation software. *Solar Energy*, 121, 56-67. doi: 10.1016/j.solener.2015.08.033
- Forbes, J. C., & Watson, R. D. (1992). *Thermal injury and its avoidance Plants in Agriculture* (pp. 99-103). New York and Melbourne: Cambridge University Press.
- ~~Gabrych, M., Kotze, D.J., & Lehvavirta, S. (2016). Substrate depth and roof age strongly affect plant abundances on sedum-moss and meadow green roofs in Helsinki, Finland. *Ecological Engineering*, 86, 95-104. doi: 10.1016/j.ecoleng.2015.10.022~~
- Getter, K.L., Rowe, D.B., Robertson, G.P., Cregg, Bert M. and Andressen, J. A. 2009. Carbon sequestration potential of extensive green roofs. *Environ. Sci. Technol* 43, 7564-7570.
- Gifford, R. M. (2003). Plant respiration in productivity models: conceptualization, representation and issues for global terrestrial carbon-cycle research. *Functional Plant Biology*, 30, 171-186.
- Givoni, B. (1998). Climate consideration in building and urban design. New York: John Wiley & Sons.
- Giguère, M. (2009). Urban heat island mitigation strategies. *The Institut national de santé publique du Québec (INSPQ)*.
- Gratani, L., Varone, L., Ricotta, C., & Catoni, R. (2013). Mediterranean shrublands carbon sequestration: environmental and economic benefits. *Mitigation and adaptation strategies for global change*, 18(8), 1167-1182.
- Hasan, M., Mahmudul, K., Azharul, B., Richard, J., Perkins, M., & Joyce, D. (2012). Estimation of energy saving of commercial building by living wall and green facade in sub-tropical climate of Australia. Paper presented at the The 7th International Green Energy Conference & The 1st DNL Conference on clean energy, IGEC-DCCE, Dalian, China.
- Haggag, M., Hassan, A., & Elmasry, S. (2014). Experimental study on reduced heat gain through green façades in a high heat load climate. *Energy and Buildings*, 82, 668-674.
- He, Y., Yu, H., Ozaki, A., Dong, N., & Zheng, S. (2017). An investigation on the thermal and energy performance of living wall system in Shanghai area. *Energy and Buildings*, 140, 324-335.

- Hunter, A. M., Williams, N. S., Rayner, J. P., Aye, L., Hes, D., & Livesley, S. J. (2014). Quantifying the thermal performance of green façades: a critical review. *Ecological Engineering*, 63, 102-113.
- Houghton, R. A. (2011). The Contemporary Carbon Cycle. In H. D. Holland & K. K. Turekian (Eds.), *Geochemistry of Earth Surface Systems: from the Treatise on Geochemistry* (pp. 89). London, Amsterdam, Burlington, and San Diego: Academic Press.
- Ismail, A., Samad, M.H.A., Rahman, A.M. and Yeok, F.S. 2012. Cooking potentials and CO₂ uptake of Ipomoea Pes-caprae installed on the flat roof of a single storey residential building in Malaysia. *Procedia-Social and Behavioral Sciences* 35, 361-368.
- Jaafar, B., Said, I., Reba, M. N. M., & Rasidi, M. H. (2015). An Experimental Study on Bioclimatic Design of Vertical Greenery Systems in the Tropical Climate. In *The Malaysia-Japan Model on Technology Partnership* (pp. 369-376). Springer Japan.
- Jim, C. Y., & He, H. (2011). Estimating heat flux transmission of vertical greenery ecosystem. *Ecological Engineering*, 37(8), 1112-1122. doi: 10.1016/j.ecoleng.2011.02.005
- Jo, H. K., & McPherson, G. E. (1995). Carbon storage and flux in urban residential greenspace. *Journal of Environmental Management*, 45(2), 109-133.
- Jones, H. G. (2013). Plants and microclimate: a quantitative approach to environmental plant physiology. Cambridge university press.
- Kaloustian, N., and Diab, Y. (2015). Effects of urbanization on the urban heat island in Beirut. *Urban Climate* 14, 154-165.
- Kerdankaew, S., Luangjame, J. and Khummongkol, P. 2004. Daily and Annual CO₂ Uptake of Pterocarpus macrocarpus and Azadirachta siamensis under Field Condition. *Kasetsart J. (Nat.Sci)* 38, 419-424.
- Kondratyev, K. Y. (1969). *Global Radiation Radiation in the Atmosphere* (pp. 508). New York: Academic Press, Inc.
- Kontoleon, K. J., & Eumorfopoulou, E. A. (2010). The effect of the orientation and proportion of a plant-covered wall layer on the thermal performance of a building zone. *Building and environment*, 45(5), 1287-1303.

- Koyama, T., Yoshinaga, M., Hayashi, H., Maeda, K. and Yamauchi, A. 2013. Identification of key plant traits contributing to the cooling effects of green facades using freestanding walls. *Building and Environment* 66, 96-103.
- Larcher, F., Merlo, F., & Devecchi, M. (2012, July). The Use of Mediterranean Shrubs in Green Living Walls. Agronomic Evaluation of *Myrtus communis* L. In // *International Symposium on Woody Ornamentals of the Temperate Zone* 990 (pp. 495-500).
- Lu, J., Yuan, J.-g., Yang, J.-z., Chen, A.-k., & Yang, Z.-y. (2015). Effect of substrate depth on initial growth and drought tolerance of *Sedum lineare* in extensive green roof system. *Ecological Engineering*, 74, 408-414. doi: 10.1016/j.ecoleng.2014.11.018
- Luo, H., Liu, X., Anderson, B. C., Zhang, K., Li, X., Huang, B., . . . Jiang, M. (2015). Carbon sequestration potential of green roofs using mixed-sewage-sludge substrate in Chengdu World Modern Garden City. *Ecological Indicators*, 49, 247-259. doi: 10.1016/j.ecolind.2014.10.016
- McPherson E.G. (1994). ,in: E.G. McPherson, D.J. Nowak, R.A. Rowntree (Eds.), Energy-saving potential of trees in Chicago, Chicago's Urban Forest Ecosystem: Results of the Chicago Urban Forest Climate Project, Northeastern Forest Experiment StationU.S.D.A. Forest Service, Radnor (1994), pp. 95–113
- Malys, L., Musy, M., & Inard, C. (2014). A hydrothermal model to assess the impact of green walls on urban microclimate and building energy consumption. *Building and Environment*, 73, 187-197. doi: 10.1016/j.buildenv.2013.12.012
- Manso, M., & Castro-Gomes, J. (2015). Green wall systems: A review of their characteristics. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, 863-871. doi: 10.1016/j.rser.2014.07.203
- Marchi, M., Pulselli, R. M., Marchettini, N., Pulselli, F. M., & Bastianoni, S. (2015). Carbon dioxide sequestration model of a vertical greenery system. *Ecological Modelling*, 306, 46-56.
- Mazzali, U., Peron, F., Romagnoni, P., Pulselli, R.M. and Bastianoni, S. 2013. Experimental investigation on the energy performance of living walls in a temperate climate. *Building and Environment* 64, 57-66.
- Oke, T. R. (2002). *Boundary layer climates*. London: Routledge.
- Ondoño, S., Martínez-Sánchez, J. J., & Moreno, J. L. (2016). The composition and depth of green roof substrates affect the growth of *Silene vulgaris* and *Lagurus ovatus* species and the C and N

sequestration under two irrigation conditions. *Journal of Environmental Management*, 166, 330-340. doi: 10.1016/j.jenvman.2015.08.045

Othman, R., & Kasim, S. Z. A. (2016). Assessment of Plant Materials Carbon Sequestration Rate for Horizontal and Vertical Landscape Design. *International Journal of Environmental Science and Development*, 7(6), 410.

Pérez, G., Coma, J., Sol, S., & Cabeza, L. F. (2017). Green facade for energy savings in buildings: The influence of leaf area index and facade orientation on the shadow effect. *Applied energy*, 187, 424-437.

Pérez, G., Coma, J., Martorell, I., & Cabeza, L. F. (2014). Vertical Greenery Systems (VGS) for energy saving in buildings: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 39, 139-165.

Rayner, J. P., Farrell, C., Raynor, K. J., Murphy, S. M., & Williams, N. S. G. (2016). Plant establishment on a green roof under extreme hot and dry conditions: The importance of leaf succulence in plant selection. *Urban Forestry & Urban Greening*, 15, 6-14. doi: 10.1016/j.ufug.2015.11.004

Razzaghmanesh, M., Beecham, S., & Kazemi, F. (2014). The growth and survival of plants in urban green roofs in a dry climate. *Science of the Total Environment*, 476, 288-297.

Safikhani, T., Abdullah, A. M., Ossen, D. R., & Baharvand, M. (2014). Thermal Impacts of Vertical Greenery Systems. *Environmental and Climate Technologies*, 14(1). doi: 10.1515/rtect-2014-0007

Sailor, D. J. (2008). A green roof model for building energy simulation programs. *Energy and buildings*, 40(8), 1466-1478.

Scarpa, M., Mazzali, U., & Peron, F. (2014). Modeling the energy performance of living walls: Validation against field measurements in temperate climate. *Energy and Buildings*, 79, 155-163. doi: 10.1016/j.enbuild.2014.04.014

Sedghi, M., Pirzad, A., & Amanpour-Balaneji, B. (2011). Light absorption and carotenoid synthesis of pot marigold (*Calendula officinalis* L.) in response to phosphorous and potassium varying levels. *Notulae Scientia Biologicae*, 3(1), 46-50.

Shishegar, N. (2014). The impact of green areas on mitigating urban heat island effect: a review. *Int J Environ Sustain*, 9(1), 119-30.

Sheweka, S.M. and Mohamed, A. N. M. 2012. Green facades as a new sustainable approach towards climate change. *Energy Procedia* 18, 507-520.

- Stec, W. J., Van Paassen, A. H. C., & Maziarz, A. (2005). Modelling the double skin façade with plants. *Energy and Buildings*, 37(5), 419-427.
- Susorova, I. (2015). Green facades and living walls: vertical vegetation as construction material to reduce building cooling loads. In F.Pacheco-Torgal, J. A. Labrincha, L. F. Cabeza & C.G.Granqvist (Eds.), *Eco-Efficient Materials for Mitigating Building Cooling Needs: Design, Properties and Application* (pp. 127-153). Cambridge, Waltham, and Kidlington: Woodhead Publishing.
- Susorova, I., & Bahrami, P. Facade-integrated Vegetation as an Environmental Sustainable Solution for Energy-efficient Buildings. *MADE Research Journal of the Cardiff University*, 8.
- Tan, C. L., Wong, N. H., & Jusuf, S. K. (2014). Effects of vertical greenery on mean radiant temperature in the tropical urban environment. *Landscape and Urban Planning*, 127, 52-64.
- Thornley, J. H. M. (2011). Plant growth and respiration re-visited: maintenance respiration defined – it is an emergent property of, not a separate process within, the system – and why the respiration : photosynthesis ratio is conservative. *Annals of Botany*, 108(7), 1365-1380.
- Tsilini, V., Papantoniou, S., Kolokotsa, D. D., & Maria, E. A. (2015). Urban gardens as a solution to energy poverty and urban heat island. *Sustainable Cities and Society*, 14, 323-333.
- Van Oijen, M., Schapendonk, A., & Hoglind, M. (2010). On the relative magnitudes of photosynthesis, respiration, growth and carbon storage in vegetation. *Ann Bot*, 105(5), 793-797. doi: 10.1093/aob/mcq039
- Whittinghill, L. J., Rowe, D. B., Schutzki, R., & Cregg, B. M. (2014). Quantifying carbon sequestration of various green roof and ornamental landscape systems. *Landscape and Urban Planning*, 123, 41-48.
- Wong, N.H., Tan, A.Y.K., Tan, P.Y. and Wong, N.C. 2009 . Energy simulation of vertical greenery systems. *Energy and Buildings* 41, 1401-1408.
- Wong, N.H., Tan, A.Y.K., Chen, Y., Sekar, K., Tan, P.Y., Chan, D., Chiang, K. and Wong, N.C. 2010 . Thermal evaluation of vertical greenenergy systems for building walls. *Building and Environment* 45, 663-672.



ภาคผนวก ก

ตารางก.1 อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยสิงหาคม-พฤษจิกายน 2561

Time	Tair (°C)			
	Aug	Sep	Oct	Nov
00.00 - 00.30	26.9	27.1	26.0	24.9
00.30 - 01.00	26.8	26.9	25.7	24.6
01.00 - 01.30	26.8	26.8	25.4	24.5
01.30 - 02.00	26.8	26.7	25.6	24.5
02.00 - 02.30	26.7	26.7	25.2	24.1
02.30 - 03.00	26.7	26.6	25.1	24.2
03.00 - 03.30	26.7	26.7	25.4	24.5
03.30 - 04.00	26.7	26.6	25.2	24.5
04.00 - 04.30	26.7	26.6	25.1	24.3
04.30 - 05.00	26.7	26.6	24.8	23.9
05.00 - 05.30	26.6	26.5	24.7	23.9
05.30 - 06.00	26.6	26.5	24.7	23.9
06.00 - 06.30	26.7	26.5	24.6	23.7
06.30 - 07.00	26.8	26.7	25.0	24.1
07.00 - 07.30	27.2	27.1	25.4	24.4
07.30 - 08.00	27.6	27.6	26.3	25.2
08.00 - 08.30	28.1	28.1	27.6	25.8
08.30 - 09.00	28.5	28.9	30.4	28.6
09.00 - 09.30	29.0	29.4	30.7	29.3
09.30 - 10.00	29.5	29.8	30.6	29.1
10.00 - 10.30	29.9	30.2	31.8	30.4
10.30 - 11.00	30.0	30.3	33.8	32.1
11.00 - 11.30	30.3	30.7	34.5	33.7
11.30 - 12.00	30.5	30.8	36.4	35.3
12.00 - 12.30	30.8	31.1	38.6	37.3
12.30 - 13.00	31.0	31.4	39.4	39.0
13.00 - 13.30	31.0	31.7	40.1	40.5
13.30 - 14.00	31.0	31.6	36.6	38.2
14.00 - 14.30	31.0	31.5	41.8	43.4

14.30 - 15.00	31.2	31.3	38.9	42.2
15.00 - 15.30	31.3	30.8	38.4	40.7
15.30 - 16.00	30.8	30.4	33.1	33.8
16.00 - 16.30	30.4	30.5	38.3	38.4
16.30 - 17.00	29.8	30.5	32.2	30.7
17.00 - 17.30	29.2	30.1	25.4	23.9
17.30 - 18.00	28.7	29.5	28.0	27.1
18.00 - 18.30	28.4	29.0	27.6	27.0
18.30 - 19.00	27.9	28.5	27.0	26.3
19.00 - 19.30	27.5	28.2	27.1	26.2
19.30 - 20.00	27.4	28.1	27.2	26.3
20.00 - 20.30	27.4	27.9	26.7	25.7
20.30 - 21.00	27.4	27.8	26.7	25.6
21.00 - 21.30	27.4	27.7	26.3	25.3
21.30 - 22.00	27.3	27.6	26.1	25.3
22.00 - 22.30	27.3	27.5	26.1	25.3
22.30 - 23.00	27.3	27.4	26.1	25.2
23.00 - 23.30	27.2	27.3	25.9	25.1
23.30 - 00.00	27.2	27.2	25.8	25.0

ภาคผนวก ข.

ตารางที่ ข.1 อุณหภูมิเฉลี่ย BW เดือนสิงหาคม-พฤษจิกายน 2561

Time	Aug			Sep			Oct			Nov		
	box	surface	wall									
00.00 - 00.30	25.6	25.3	25.1	25.8	25.6	25.3	25.8	25.6	25.3	25.8	25.6	25.3
00.30 - 01.00	25.6	25.3	25.1	25.8	25.6	25.4	25.7	25.6	25.4	25.8	25.6	25.4
01.00 - 01.30	25.5	25.3	25.0	25.7	25.6	25.3	25.6	25.6	25.3	25.7	25.6	25.3
01.30 - 02.00	25.4	25.3	24.9	25.6	25.6	25.1	25.6	25.7	25.1	25.6	25.6	25.1
02.00 - 02.30	25.2	24.9	24.6	25.4	25.2	24.9	25.4	25.2	24.8	25.4	25.1	24.8
02.30 - 03.00	25.2	25.1	24.7	25.4	25.4	24.9	25.4	25.5	24.9	25.4	25.4	24.9
03.00 - 03.30	25.2	25.0	24.7	25.4	25.3	24.9	25.4	25.4	24.9	25.4	25.3	24.9
03.30 - 04.00	25.2	25.1	24.7	25.4	25.4	24.9	25.4	25.5	24.9	25.4	25.4	24.9
04.00 - 04.30	25.3	25.0	24.7	25.5	25.2	25.0	25.5	25.3	25	25.5	25.2	25
04.30 - 05.00	25.3	24.9	24.7	25.5	25.2	25.0	25.6	25.2	25	25.6	25.1	25
05.00 - 05.30	25.2	24.9	24.6	25.4	25.1	24.8	25.3	25.2	24.8	25.4	25.1	24.8
05.30 - 06.00	25.0	24.6	24.4	25.2	24.8	24.6	25.2	24.9	24.6	25.2	24.8	24.6
06.00 - 06.30	25.0	24.7	24.4	25.2	24.8	24.6	25.2	24.9	24.6	25.2	24.8	24.6
06.30 - 07.00	25.2	25.1	24.9	25.3	25.2	25.1	25.3	25.3	25.1	25.3	25.2	25.1
07.00 - 07.30	25.8	26.0	25.9	25.9	26.2	26.1	25.9	26.2	26.1	26	26.2	26.1
07.30 - 08.00	27.5	27.0	27.5	27.5	27.3	28.0	27.5	27.1	27.9	27.8	27.2	27.9
08.00 - 08.30	28.2	27.8	28.4	28.1	28.2	28.8	28.1	27.9	28.6	28.3	28	28.6
08.30 - 09.00	28.8	28.4	29.1	28.7	28.7	29.5	28.4	28.3	29	28.7	28.3	29
09.00 - 09.30	29.8	28.9	30.1	29.6	29.2	30.4	29.3	28.6	30	29.6	28.7	30
09.30 - 10.00	32.6	30.0	31.9	32.6	30.2	32.2	32.3	29.6	32	33.1	29.8	32

10.00 - 10.30	33.7	30.8	32.8	33.6	31.1	33.0	33.4	30.4	32.7	34.2	30.6	32.7
10.30 - 11.00	34.9	31.2	33.8	35.0	31.4	34.1	34.7	30.7	33.9	35.7	30.8	33.9
11.00 - 11.30	34.6	32.4	34.0	34.6	32.8	34.3	34.4	32.1	34.1	35.2	32.4	34.1
11.30 - 12.00	35.3	33.7	35.6	35.2	34.0	36.0	35.0	33.2	35.7	35.8	33.6	35.7
12.00 - 12.30	35.5	34.7	36.3	35.6	35.6	37.3	35.3	34.7	36.8	36.1	35.2	36.8
12.30 - 13.00	35.9	35.0	36.9	35.9	35.5	37.6	35.7	34.6	37.1	36.3	35.1	37.1
13.00 - 13.30	36.6	35.9	38.5	37.0	37.1	40.1	36.5	36.1	39.5	37.4	36.7	39.5
13.30 - 14.00	35.7	33.5	36.4	35.7	34.0	37.4	35.1	32.7	36	35.7	32.9	36
14.00 - 14.30	34.6	33.6	35.3	34.6	34.8	36.7	33.7	32.6	34.6	34.2	32.9	34.6
14.30 - 15.00	38.0	38.0	41.0	38.9	40.5	43.9	38.4	38.6	43.3	39.5	39.8	43.3
15.00 - 15.30	38.2	37.6	41.5	39.2	40.1	44.2	38.5	38.3	43.8	39.8	39.4	43.8
15.30 - 16.00	40.6	39.0	44.9	41.6	40.9	47.2	41.5	39.9	48.3	42.9	41.4	48.3
16.00 - 16.30	36.9	35.8	38.8	37.9	37.4	40.7	38.1	36.8	41.5	39	37.8	41.5
16.30 - 17.00	35.5	32.9	36.9	36.5	34.4	38.9	36.9	33.7	39.4	37.5	34.3	39.4
17.00 - 17.30	32.5	31.0	32.6	33.5	33.1	34.5	33.4	32.0	34.1	33.9	32.4	34.1
17.30 - 18.00	31.7	30.7	32.0	32.9	32.0	33.6	32.8	31.8	34	33.4	32.3	34
18.00 - 18.30	30.2	29.3	29.7	31.4	30.4	30.9	31.4	30.4	31.4	31.8	30.8	31.4
18.30 - 19.00	27.4	24.8	25.6	28.3	25.2	26.1	28.1	25.0	25.9	28.2	24.7	25.9
19.00 - 19.30	25.3	24.5	24.4	25.7	24.9	24.8	25.6	24.7	24.4	25.3	24.4	24.4
19.30 - 20.00	25.1	24.8	24.5	25.5	25.2	24.8	25.4	25.0	24.5	25.1	24.8	24.5
20.00 - 20.30	25.3	25.1	24.7	25.6	25.5	25.1	25.6	25.4	24.8	25.4	25.2	24.8
20.30 - 21.00	25.4	25.0	24.8	25.6	25.4	25.1	25.6	25.3	24.9	25.4	25.1	24.9
21.00 - 21.30	25.6	25.2	25.0	25.8	25.5	25.4	25.8	25.5	25.2	25.7	25.3	25.2

21.30 - 22.00	25.6	24.8	24.8	25.7	25.1	25.0	25.4	25.8	24.7	25.2	25.7	24.7
22.00 - 22.30	25.4	24.9	24.7	25.5	25.2	24.9	25.5	25.2	24.7	25.4	25	24.7
22.30 - 23.00	25.3	24.8	24.7	25.5	25.0	24.9	25.5	25.0	24.7	25.4	24.7	24.7
23.00 - 23.30	25.3	24.7	24.6	25.4	24.9	24.8	25.4	24.9	24.6	25.3	24.6	24.6
23.30 - 00.00	25.2	24.6	24.5	25.3	24.8	24.7	25.3	24.8	24.5	25.2	24.5	24.5
All	29.3	28.5	29.4	29.6	29.1	30.0	29.5	28.7	29.8	29.8	28.8	29.8
day	33.0	31.8	33.7	33.4	32.7	34.8	33.1	31.9	34.5	33.8	32.3	34.5
night	25.6	25.1	25.0	25.9	25.5	25.3	25.8	25.5	25.2	25.8	25.4	25.2
MaxΔT BW	25.0	24.5	24.4	25.2	24.8	24.6	25.2	24.7	24.4	25.1	24.4	24.4
MaxΔT LW	40.6	39.0	44.9	41.6	40.9	47.2	41.5	39.9	48.3	42.9	41.4	48.3



ภาคผนวก ๑.

ตารางที่ ๓.๑ อุณหภูมิ LW เตือนสึ่งหาด ๒๕๖๑

Time	MIX			แมร์เรนเจ้			พืชพิมายาณ			กบปอยแยก		
	box	plant	wall	box	plant	wall	box	plant	wall	box	plant	wall
00.00 - 00.30	25.1	25.2	25.8	26.3	25.2	25.9	25.4	24.9	25.4	25.7	25.0	25.6
00.30 - 01.00	25.0	25.1	25.7	26.2	25.0	25.8	25.3	24.9	25.4	25.7	25.0	25.6
01.00 - 01.30	25.0	25.1	25.7	26.2	25.0	25.8	25.3	24.9	25.3	25.6	24.9	25.6
01.30 - 02.00	24.9	25.0	25.7	26.1	25.0	25.7	25.2	24.8	25.3	25.6	25.0	25.5
02.00 - 02.30	24.9	25.0	25.6	26.1	25.0	25.7	25.2	24.8	25.2	25.5	24.9	25.5
02.30 - 03.00	24.9	24.9	25.6	26.1	25.0	25.7	25.1	24.8	25.2	25.5	24.9	25.5
03.00 - 03.30	24.8	24.9	25.6	26.1	24.9	25.7	25.1	24.7	25.2	25.5	24.8	25.4
03.30 - 04.00	24.8	24.8	25.5	26.0	24.9	25.6	25.1	24.7	25.1	25.4	24.8	25.4
04.00 - 04.30	24.8	24.8	25.6	26.0	24.9	25.6	25.1	24.7	25.1	25.4	24.8	25.4
04.30 - 05.00	24.8	24.8	25.6	26.0	24.8	25.6	25.0	24.6	25.1	25.5	24.8	25.4
05.00 - 05.30	24.8	24.8	25.5	26.0	24.9	25.5	25.0	24.6	25.0	25.4	24.7	25.3
05.30 - 06.00	24.8	24.7	25.5	25.9	24.8	25.5	25.0	24.6	25.0	25.4	24.7	25.3
06.00 - 06.30	24.8	24.7	25.5	25.9	24.6	25.5	25.0	24.7	25.0	25.4	24.7	25.3
06.30 - 07.00	24.8	24.8	25.6	26.0	24.7	25.5	25.0	24.7	25.1	25.4	24.8	25.3
07.00 - 07.30	25.0	25.7	26.1	25.0	25.6	25.5	25.3	25.0	25.3	25.5	25.1	25.4
07.30 - 08.00	25.4	25.2	26.1	26.5	25.5	25.9	26.0	25.3	25.7	25.9	25.6	25.7
08.00 - 08.30	25.8	25.4	26.5	27.1	26.1	26.4	26.8	25.7	26.2	26.5	25.9	26.2
08.30 - 09.00	26.4	25.7	27.0	27.8	26.8	26.9	27.7	26.1	26.9	27.3	26.3	26.7
09.00 - 09.30	27.1	26.0	27.6	28.4	27.7	27.4	28.5	26.7	27.5	28.0	26.9	27.3
09.30 - 10.00	27.8	26.3	28.2	29.3	28.6	28.1	29.5	27.3	28.3	28.8	27.7	27.9
10.00 - 10.30	28.3	26.5	28.7	29.9	29.2	28.5	30.3	27.8	28.9	29.4	28.4	28.4
10.30 - 11.00	28.8	26.8	29.1	30.3	29.7	28.9	30.7	28.2	29.4	29.8	29.0	28.9
11.00 - 11.30	29.1	27.1	29.4	30.5	30.1	29.2	31.0	28.5	29.7	30.1	29.5	29.2
11.30 - 12.00	29.5	27.3	29.7	30.8	30.6	29.5	31.4	29.0	30.1	30.4	30.1	29.5
12.00 - 12.30	29.8	27.7	29.9	31.1	31.0	29.8	31.6	29.4	30.4	30.7	30.6	29.8

12.30 - 13.00	30.1	27.9	30.2	31.3	31.3	30.1	31.9	29.7	30.7	30.9	31.0	30.1
13.00 - 13.30	30.3	28.1	30.3	31.4	31.5	30.3	32.1	29.9	30.9	31.1	31.3	30.3
13.30 - 14.00	30.4	28.3	30.4	31.4	31.5	30.3	32.3	30.2	31.1	31.2	31.8	30.5
14.00 - 14.30	30.5	28.6	30.4	31.4	32.0	30.5	32.2	30.5	31.1	31.1	32.4	30.5
14.30 - 15.00	30.5	28.6	30.5	31.4	32.1	30.6	32.3	30.7	31.3	31.2	32.6	30.6
15.00 - 15.30	30.5	28.9	30.5	31.4	32.2	30.7	32.3	30.7	31.4	31.2	32.7	30.7
15.30 - 16.00	30.4	29.1	30.5	31.4	31.7	30.7	32.3	30.9	31.4	31.1	32.9	30.7
16.00 - 16.30	30.1	28.6	30.0	30.8	31.0	30.2	31.7	30.0	30.8	30.7	31.3	30.3
16.30 - 17.00	29.6	28.4	29.6	30.4	30.1	29.9	31.0	29.1	30.4	30.2	30.2	29.9
17.00 - 17.30	28.9	28.1	28.9	29.8	29.4	29.3	30.2	28.5	29.6	29.6	29.4	29.3
17.30 - 18.00	28.1	27.6	28.2	29.1	27.9	28.7	29.3	27.6	28.8	28.9	28.1	28.5
18.00 - 18.30	27.5	27.1	27.8	28.6	27.1	28.3	28.5	26.8	28.2	28.2	27.1	28.0
18.30 - 19.00	26.8	26.7	27.2	28.0	25.4	27.6	27.8	26.2	27.6	27.6	26.1	27.5
19.00 - 19.30	26.3	26.4	26.7	27.5	25.2	27.0	27.0	25.7	26.9	27.0	25.7	26.9
19.30 - 20.00	25.9	26.2	26.4	27.1	25.5	26.7	26.5	25.6	26.5	26.6	25.5	26.5
20.00 - 20.30	25.7	26.1	26.3	26.9	25.5	26.5	26.2	25.6	26.3	26.4	25.5	26.4
20.30 - 21.00	25.6	25.9	26.2	26.7	25.4	26.4	26.0	25.4	26.1	26.3	25.4	26.2
21.00 - 21.30	25.5	25.8	26.2	26.6	25.4	26.3	25.9	25.4	26.0	26.2	25.4	26.2
21.30 - 22.00	25.4	25.7	26.1	26.5	25.3	26.2	25.8	25.2	25.9	26.1	25.3	26.1
22.00 - 22.30	25.3	25.5	26.0	26.4	25.3	26.1	25.7	25.3	25.7	26.0	25.3	25.9
22.30 - 23.00	25.3	25.5	26.0	26.4	25.4	26.0	25.6	25.2	25.7	25.9	25.3	25.9
23.00 - 23.30	25.2	25.4	25.9	26.3	25.3	26.0	25.5	25.1	25.6	25.8	25.2	25.8
23.30 - 00.00	25.2	25.3	25.8	26.3	25.2	25.9	25.4	25.0	25.5	25.8	25.1	25.7
All	28.7	27.6	24.0	28.0	27.2	27.4	27.8	26.7	27.4	27.6	27.2	27.3
day	27.0	26.3	27.3	28.1	27.2	27.4	27.8	26.7	27.4	27.6	27.2	27.3
night	28.5	27.2	28.8	29.7	29.3	28.8	30.0	28.3	29.1	29.3	29.2	28.7
$\text{Max} \Delta \text{TBW}$	25.4	25.4	25.8	26.5	25.2	26.1	25.7	25.1	25.7	26.0	25.2	25.9
$\text{Max} \Delta \text{TLW}$	24.8	24.7	24.0	25.9	24.6	25.5	25.0	24.6	25.0	25.4	24.7	25.3
	30.52857	29.14643	30.50357	31.43929	32.24286	30.74643	32.32857	30.85	31.39286	31.21429	32.88214	30.74286

ตารางที่ ค.2 อุณหภูมิ LW เดือนกันยายน 2561

Time	SEP						กับพืชสวยงาม		
	MIX			แมร์เชียร์สีเขียว			ทับทิมสีเขียว		กับพืชไม้เลื้อง
	box	plant	wall	box	plant	wall	box	plant	wall
00.00 - 00.30	25.5	25.7	26.2	26.8	25.5	26.4	26.0	25.4	26.3
00.30 - 01.00	25.3	25.5	26.1	26.6	25.4	26.2	25.8	25.2	26.2
01.00 - 01.30	25.2	25.4	26.0	26.5	25.3	26.1	25.7	25.1	26.0
01.30 - 02.00	25.1	25.3	25.9	26.4	25.3	26.0	25.5	25.0	25.9
02.00 - 02.30	25.0	25.2	25.8	26.3	25.2	25.9	25.5	25.0	25.8
02.30 - 03.00	24.9	25.1	25.7	26.3	25.1	25.8	25.4	24.9	25.8
03.00 - 03.30	24.9	25.0	25.6	26.2	25.1	25.8	25.3	24.8	25.3
03.30 - 04.00	24.8	24.9	25.6	26.1	24.9	25.7	25.2	24.7	25.3
04.00 - 04.30	24.7	24.9	25.5	26.1	24.9	25.6	25.1	24.7	25.2
04.30 - 05.00	24.7	24.9	25.5	26.0	24.9	25.6	25.1	24.7	25.5
05.00 - 05.30	24.7	24.8	25.5	26.0	24.9	25.6	25.0	24.7	25.6
05.30 - 06.00	24.7	24.8	25.4	26.0	24.8	25.6	25.0	24.6	25.6
06.00 - 06.30	24.6	24.8	25.4	25.9	24.7	25.5	25.0	24.7	25.5
06.30 - 07.00	24.7	24.8	25.5	26.0	24.9	25.5	25.0	24.8	25.5
07.00 - 07.30	25.0	25.1	25.7	26.2	25.3	25.7	25.3	25.1	25.4
07.30 - 08.00	25.6	25.4	26.2	26.9	25.9	26.3	26.5	25.7	26.0
08.00 - 08.30	26.6	25.8	26.9	27.8	26.5	26.9	27.8	26.1	26.9
08.30 - 09.00	27.6	26.1	27.8	29.1	27.3	27.7	29.2	26.7	27.9
09.00 - 09.30	28.6	26.4	28.7	30.2	28.4	28.5	30.6	27.3	28.9
09.30 - 10.00	29.4	26.8	29.6	31.0	29.2	29.3	31.5	27.9	29.7
10.00 - 10.30	30.0	27.2	30.2	31.5	29.8	29.7	32.3	28.6	30.6
10.30 - 11.00	30.5	27.4	30.6	31.8	30.5	30.1	32.9	28.9	31.0
11.00 - 11.30	30.7	27.8	30.8	32.0	31.0	30.4	33.2	29.4	31.4
11.30 - 12.00	31.0	28.1	31.0	32.2	31.6	30.7	33.4	29.9	31.8
12.00 - 12.30	31.2	28.5	31.2	32.5	32.1	31.1	33.5	30.4	32.0
12.30 - 13.00	31.4	28.9	31.3	32.7	32.6	31.5	33.5	31.2	32.1

		29.6	31.5	32.9	33.0	31.7	33.5	32.3	32.2	32.3	33.9	31.5
13.00 - 13.30	31.5											
13.30 - 14.00	31.6	29.8	31.5	32.9	33.8	31.8	33.4	31.7	32.3	32.3	34.4	31.6
14.00 - 14.30	31.4	30.6	31.4	32.7	34.3	31.8	33.3	32.5	32.2	32.1	35.4	31.5
14.30 - 15.00	31.3	30.8	31.3	32.6	33.7	31.9	33.2	32.6	32.2	32.0	34.5	31.5
15.00 - 15.30	31.1	30.9	31.1	32.5	33.5	31.9	33.0	33.3	32.1	31.9	34.1	31.4
15.30 - 16.00	30.8	30.6	30.9	32.3	32.3	31.7	32.7	32.4	31.9	31.6	33.4	31.2
16.00 - 16.30	30.3	30.4	30.4	31.8	32.1	31.3	32.3	31.8	31.5	31.2	32.9	30.3
16.30 - 17.00	30.0	30.4	30.3	31.6	32.2	31.3	32.0	31.9	31.5	31.0	32.9	30.7
17.00 - 17.30	29.8	30.2	30.0	31.3	31.2	31.1	31.7	31.1	31.2	30.8	31.7	30.5
17.30 - 18.00	29.2	29.0	29.5	30.8	29.5	30.5	31.0	29.0	30.5	30.2	29.5	30.0
18.00 - 18.30	28.4	28.2	28.7	30.0	28.1	29.7	30.0	27.9	29.7	29.5	28.1	29.3
18.30 - 19.00	27.6	27.7	28.0	29.2	26.6	28.9	29.1	27.1	28.9	28.7	27.1	28.6
19.00 - 19.30	27.0	27.4	27.5	28.6	26.5	28.3	28.3	26.8	28.2	28.1	26.8	28.0
19.30 - 20.00	26.7	27.1	27.3	28.2	26.6	27.9	27.8	26.6	27.8	27.7	26.7	27.7
20.00 - 20.30	26.5	26.9	27.1	27.9	26.5	27.6	27.4	26.4	27.4	27.4	26.5	27.4
20.30 - 21.00	26.3	26.8	26.9	27.7	26.3	27.4	27.1	26.3	27.2	27.2	26.3	27.2
21.00 - 21.30	26.1	26.5	26.8	27.5	26.3	27.2	26.9	26.1	26.9	27.0	26.2	27.0
21.30 - 22.00	26.0	26.4	26.7	27.3	26.2	27.0	26.7	26.0	26.7	26.9	26.1	26.8
22.00 - 22.30	25.9	26.2	26.6	27.2	26.1	26.9	26.5	25.9	26.6	26.7	26.0	26.7
22.30 - 23.00	25.8	26.1	26.5	27.1	26.0	26.7	26.4	25.8	26.4	26.6	25.9	26.6
23.00 - 23.30	25.7	26.0	26.4	27.0	25.9	26.6	26.2	25.7	26.3	26.5	25.8	26.5
23.30 - 00.00	25.7	25.8	26.4	26.9	25.8	26.5	26.1	25.6	26.2	26.4	25.7	26.4
All												
day	29.3	28.2	29.5	30.7	30.2	29.7	31.1	29.4	30.1	30.2	30.3	29.5
night	25.7	25.9	26.4	27.1	25.8	26.7	26.4	25.6	26.4	26.6	25.7	26.5
MaxΔTBW	24.6	24.8	25.4	25.9	24.7	25.5	25.0	24.6	25.0	25.4	24.7	25.4
MaxΔTLW	31.6	30.9	31.5	32.9	34.3	31.9	33.5	33.3	32.3	32.3	35.4	31.6

ตารางที่ ค.3 อุณหภูมิ LW เดือนตุลาคม 2561

Time	OCT												กับוחอยาลครก	
	Mix				แพรเซนต์				ทั่วทั้งประเทศ					
	box	plant	wall	box	plant	wall	box	plant	wall	box	plant	wall	plant	wall
00.00 - 00.30	25.7	25.3	26.0	26.7	25.3	26.3	25.7	25.3	25.9	26.2	24.9	24.9	26.2	26.2
00.30 - 01.00	25.6	25.2	25.8	26.5	25.0	26.1	25.6	25.1	25.7	26.1	24.7	24.7	26.0	26.0
01.00 - 01.30	25.5	25.0	25.7	26.4	24.9	26.0	25.4	25.0	25.6	26.0	24.6	24.6	25.9	25.9
01.30 - 02.00	25.3	24.8	25.6	26.3	24.9	25.9	25.3	24.9	25.5	25.9	24.6	24.6	25.8	25.8
02.00 - 02.30	25.2	24.7	25.5	26.3	24.9	25.8	25.2	24.8	25.3	25.8	24.4	24.4	25.7	25.7
02.30 - 03.00	25.1	24.5	25.3	26.1	24.6	25.7	25.0	24.6	25.2	25.7	24.2	24.2	25.6	25.6
03.00 - 03.30	25.0	24.4	25.2	26.0	24.6	25.6	24.9	24.5	25.0	25.6	24.2	24.2	25.4	25.4
03.30 - 04.00	24.9	24.4	25.2	25.9	24.4	25.5	24.8	24.4	24.9	25.5	24.1	24.1	25.4	25.4
04.00 - 04.30	24.8	24.3	25.1	25.8	24.3	25.4	24.6	24.3	24.8	25.4	24.0	24.0	25.2	25.2
04.30 - 05.00	24.7	24.2	25.0	25.7	24.3	25.2	24.6	24.3	24.7	25.3	23.9	23.9	25.1	25.1
05.00 - 05.30	24.6	24.0	24.8	25.6	24.2	25.2	24.5	24.1	24.6	25.3	23.8	23.8	25.0	25.0
05.30 - 06.00	24.5	23.9	24.7	25.6	24.1	25.1	24.3	24.1	24.5	25.1	23.7	23.7	24.9	24.9
06.00 - 06.30	24.4	23.9	24.7	25.4	23.4	25.0	24.3	24.0	24.4	25.0	23.6	23.6	24.9	24.9
06.30 - 07.00	24.6	24.1	24.9	25.5	23.9	25.0	24.3	24.3	24.4	25.1	23.8	23.8	24.8	24.8
07.00 - 07.30	25.0	24.3	25.2	25.7	24.0	25.2	24.6	24.7	24.6	25.2	24.1	24.1	25.0	25.0
07.30 - 08.00	25.4	24.5	25.5	25.9	24.2	25.4	25.0	25.0	25.0	25.5	24.5	24.5	25.2	25.2
08.00 - 08.30	25.7	24.8	25.8	26.6	24.9	25.9	25.8	25.8	25.5	25.9	25.2	25.2	25.5	25.5
08.30 - 09.00	28.1	25.4	27.7	29.0	26.2	27.4	28.6	27.0	27.4	28.1	26.5	26.5	27.0	27.0
09.00 - 09.30	29.5	25.9	29.3	30.3	28.3	28.6	30.4	27.9	28.8	29.5	27.5	27.5	28.2	28.2
09.30 - 10.00	30.3	26.4	30.2	31.0	30.1	29.3	31.5	28.9	29.8	30.4	28.4	28.4	29.0	29.0
10.00 - 10.30	31.0	26.8	30.8	31.6	31.4	29.9	32.2	29.7	30.5	30.8	29.4	29.4	29.5	29.5
10.30 - 11.00	31.5	27.2	31.3	31.8	32.2	30.4	32.7	30.7	31.1	31.0	30.6	30.6	29.9	29.9
11.00 - 11.30	31.7	27.7	31.4	31.9	33.1	30.7	33.3	31.4	31.9	31.2	31.9	31.9	30.2	30.2
11.30 - 12.00	31.8	28.3	31.5	32.1	33.8	31.1	33.9	32.4	32.6	31.4	35.9	35.9	30.7	30.7
12.00 - 12.30	32.2	29.0	31.8	32.6	34.3	31.8	34.9	33.1	33.2	32.0	36.4	36.4	31.4	31.4
12.30 - 13.00	31.9	30.2	31.6	32.9	35.3	32.0	35.0	33.5	33.3	32.3	35.2	35.2	31.6	31.6

13.00 - 13.30	32.2	31.2	31.9	33.6	36.1	32.8	35.4	34.3	33.8	33.1	36.5	32.2
13.30 - 14.00	32.0	32.0	31.7	34.0	35.4	33.0	35.0	34.4	33.6	33.1	36.0	32.2
14.00 - 14.30	31.7	33.5	31.4	33.8	35.6	33.0	34.4	35.5	33.3	32.7	36.2	32.1
14.30 - 15.00	31.5	32.7	31.3	33.4	34.6	32.9	34.0	35.9	33.2	32.4	35.4	32.0
15.00 - 15.30	31.2	32.5	31.0	33.1	34.0	32.9	33.7	36.0	33.0	32.2	33.6	31.8
15.30 - 16.00	31.0	32.1	30.7	32.8	34.9	32.8	33.2	36.7	32.7	31.8	35.4	31.6
16.00 - 16.30	30.7	31.9	30.4	32.6	34.4	32.6	32.9	35.6	32.5	31.6	34.1	31.3
16.30 - 17.00	30.2	31.1	30.0	32.3	32.8	32.3	32.4	33.9	32.1	31.2	32.7	30.9
17.00 - 17.30	29.5	30.0	29.3	31.5	29.8	31.4	31.7	30.0	31.3	30.6	29.2	30.3
17.30 - 18.00	28.4	28.2	28.5	30.3	28.1	30.3	30.4	28.1	30.1	29.6	27.4	29.3
18.00 - 18.30	27.6	27.6	27.7	29.3	25.3	29.3	29.2	27.2	29.1	28.7	25.8	28.6
18.30 - 19.00	27.1	27.1	27.2	28.6	24.8	28.5	28.3	26.9	28.3	28.0	25.4	27.9
19.00 - 19.30	26.8	26.8	26.9	28.1	25.3	28.0	27.6	26.7	27.8	27.6	25.5	27.5
19.30 - 20.00	26.7	26.6	26.7	27.8	25.6	27.6	27.2	26.6	27.5	27.3	25.6	27.2
20.00 - 20.30	26.5	26.4	26.6	27.6	25.7	27.4	26.9	26.4	27.2	27.1	25.5	27.0
20.30 - 21.00	26.4	26.2	26.5	27.4	25.8	27.1	26.7	26.2	27.0	26.9	25.4	26.9
21.00 - 21.30	26.3	26.1	26.4	27.2	25.7	27.0	26.6	26.0	26.8	26.8	25.4	26.7
21.30 - 22.00	26.1	25.8	26.2	27.1	25.5	26.8	26.3	25.8	26.5	26.6	25.2	26.6
22.00 - 22.30	26.0	25.7	26.1	26.9	25.6	26.6	26.1	25.7	26.4	26.5	25.2	26.4
22.30 - 23.00	25.9	25.5	26.1	26.8	25.5	26.5	26.0	25.7	26.2	26.4	25.3	26.3
23.00 - 23.30	25.8	25.3	26.0	26.7	25.4	26.4	25.8	25.4	26.0	26.3	25.0	26.2
23.30 - 00.00	25.6	25.2	25.8	26.6	25.1	26.2	25.7	25.2	25.9	26.2	24.7	26.0
All	27.7	26.9	27.7	28.8	27.9	28.3	28.6	28.1	28.2	27.8	27.8	
day	29.6	28.5	29.5	30.8	30.9	30.1	31.2	30.8	30.3	30.1	30.8	29.4
night	25.7	25.4	25.9	26.8	25.0	26.5	25.9	25.4	26.1	26.3	24.8	26.2
MaxΔTBW	24.4	23.9	24.7	25.4	23.4	25.0	24.3	24.0	24.4	25.0	23.6	24.8
MaxΔTLW	32.2	33.5	31.9	34.0	36.1	33.0	35.4	36.7	33.8	33.1	36.5	32.2

ตารางที่ ค.4 อุณหภูมิ LW เตือนพืชจิกายน 2561

Time	NOV								กากหอยแครง		
	แมลงศัตรูปests				ทับทิมสยาม						
	Mix		plant	wall	box	wall	plant	wall	box	plant	wall
00.00 - 00.30	25.7	25.3	26.0	26.7	25.3	26.3	25.7	25.3	25.9	26.2	24.9
00.30 - 01.00	25.6	25.2	25.8	26.5	25.0	26.1	25.6	25.1	25.7	26.1	24.7
01.00 - 01.30	25.5	25.0	25.7	26.4	24.9	26.0	25.4	25.0	25.6	26.0	24.6
01.30 - 02.00	25.3	24.8	25.6	26.3	24.9	25.9	25.3	24.9	25.5	25.9	24.6
02.00 - 02.30	25.2	24.7	25.5	26.3	24.9	25.8	25.2	24.8	25.3	25.8	24.4
02.30 - 03.00	25.1	24.5	25.3	26.1	24.6	25.7	25.0	24.6	25.2	25.7	24.2
03.00 - 03.30	25.0	24.4	25.2	26.0	24.6	25.6	24.9	24.5	25.0	25.6	24.2
03.30 - 04.00	24.9	24.4	25.2	25.9	24.4	25.5	24.8	24.4	24.9	25.5	24.1
04.00 - 04.30	24.8	24.3	25.1	25.8	24.3	25.4	24.6	24.3	24.8	25.4	24.0
04.30 - 05.00	24.7	24.2	25.0	25.7	24.3	25.2	24.6	24.3	24.7	25.3	23.9
05.00 - 05.30	24.6	24.0	24.8	25.6	24.2	25.2	24.5	24.1	24.6	25.3	23.8
05.30 - 06.00	24.5	23.9	24.7	25.6	24.1	25.1	24.3	24.1	24.5	25.1	23.7
06.00 - 06.30	24.4	23.9	24.7	25.4	23.4	25.0	24.3	24.0	24.4	25.0	23.6
06.30 - 07.00	24.6	24.1	24.9	25.5	23.9	25.0	24.3	24.3	24.4	25.1	23.8
07.00 - 07.30	25.0	24.3	25.2	25.7	24.0	25.2	24.6	24.7	24.6	25.2	24.1
07.30 - 08.00	25.4	24.5	25.5	25.9	24.2	25.4	25.0	25.0	25.0	25.5	24.5
08.00 - 08.30	25.7	24.8	25.8	26.6	24.9	25.9	25.8	25.8	25.5	25.9	25.2
08.30 - 09.00	28.1	25.4	27.7	29.0	26.2	27.4	28.6	27.0	27.4	28.1	26.5
09.00 - 09.30	29.5	25.9	29.3	30.3	28.3	28.6	30.4	27.9	28.8	29.5	27.5
09.30 - 10.00	30.3	26.4	30.2	31.0	30.1	29.3	31.5	28.9	29.8	30.4	28.4
10.00 - 10.30	31.0	26.8	30.8	31.6	31.4	29.9	32.2	29.7	30.5	30.8	29.4
10.30 - 11.00	31.5	27.2	31.3	31.8	32.2	30.4	32.7	30.7	31.1	31.0	30.6
11.00 - 11.30	31.7	27.7	31.4	31.9	33.1	30.7	33.3	31.4	31.9	31.2	31.9
11.30 - 12.00	31.8	28.3	31.5	32.1	33.8	31.1	33.9	32.4	32.6	31.4	35.9
12.00 - 12.30	32.2	29.0	31.8	32.6	34.3	31.8	34.9	33.1	33.2	32.0	36.4
12.30 - 13.00	31.9	30.2	31.6	32.9	35.3	32.0	35.0	33.5	33.3	32.3	35.2
											31.6

13.00 - 13.30	32.2	31.2	31.9	33.6	36.1	32.8	35.4	34.3	33.8	33.1	36.5	32.2
13.30 - 14.00	32.0	32.0	31.7	34.0	35.4	33.0	35.0	34.4	33.6	33.1	36.0	32.2
14.00 - 14.30	31.7	33.5	31.4	33.8	35.6	33.0	34.4	35.5	33.3	32.7	36.2	32.1
14.30 - 15.00	31.5	32.7	31.3	33.4	34.6	32.9	34.0	35.9	33.2	32.4	35.4	32.0
15.00 - 15.30	31.2	32.5	31.0	33.1	34.0	32.9	33.7	36.0	33.0	32.2	33.6	31.8
15.30 - 16.00	31.0	32.1	30.7	32.8	34.9	32.8	33.2	36.7	32.7	31.8	35.4	31.6
16.00 - 16.30	30.7	31.9	30.4	32.6	34.4	32.6	32.9	35.6	32.5	31.6	34.1	31.3
16.30 - 17.00	30.2	31.1	30.0	32.3	32.8	32.3	32.4	33.9	32.1	31.2	32.7	30.9
17.00 - 17.30	29.5	30.0	29.3	31.5	29.8	31.4	31.7	30.0	31.3	30.6	29.2	30.3
17.30 - 18.00	28.4	28.2	28.5	30.3	28.1	30.3	30.4	28.1	30.1	29.6	27.4	29.3
18.00 - 18.30	27.6	27.6	27.7	29.3	25.3	29.3	29.2	27.2	29.1	28.7	25.8	28.6
18.30 - 19.00	27.1	27.1	27.2	28.6	24.8	28.5	28.3	26.9	28.3	28.0	25.4	27.9
19.00 - 19.30	26.8	26.8	26.9	28.1	25.3	28.0	27.6	26.7	27.8	27.6	25.5	27.5
19.30 - 20.00	26.7	26.6	26.7	27.8	25.6	27.6	27.2	26.6	27.5	27.3	25.6	27.2
20.00 - 20.30	26.5	26.4	26.6	27.6	25.7	27.4	26.9	26.4	27.2	27.1	25.5	27.0
20.30 - 21.00	26.4	26.2	26.5	27.4	25.8	27.1	26.7	26.2	27.0	26.9	25.4	26.9
21.00 - 21.30	26.3	26.1	26.4	27.2	25.7	27.0	26.6	26.0	26.8	26.8	25.4	26.7
21.30 - 22.00	26.1	25.8	26.2	27.1	25.5	26.8	26.3	25.8	26.5	26.6	25.2	26.6
22.00 - 22.30	26.0	25.7	26.1	26.9	25.6	26.6	26.1	25.7	26.4	26.5	25.2	26.4
22.30 - 23.00	25.9	25.5	26.1	26.8	25.5	26.5	26.0	25.7	26.2	26.4	25.3	26.3
23.00 - 23.30	25.8	25.3	26.0	26.7	25.4	26.4	25.8	25.4	26.0	26.3	25.0	26.2
23.30 - 00.00	25.6	25.2	25.8	26.6	25.1	26.2	25.7	25.2	25.9	26.2	24.7	26.0
All	27.7	26.9	27.7	28.8	27.9	28.3	28.6	28.1	28.2	27.8	27.8	
day	29.6	28.5	29.5	30.8	30.9	30.1	31.2	30.8	30.3	30.1	30.8	29.4
night	25.7	25.4	25.9	26.8	25.0	26.5	25.9	25.4	26.1	26.3	24.8	26.2
Max Δ TBW	24.4	23.9	24.7	25.4	23.4	25.0	24.3	24.0	24.4	25.0	23.6	24.8
Max Δ TLW	32.2	33.5	31.9	34.0	36.1	33.0	35.4	36.7	33.8	33.1	36.5	32.2