



การออกแบบอุปกรณ์ยึดพืชอากาศ *Tillandsia* (cotton candy) เพื่อเป็นหลังคาสีเขียว
Designing of the Air Plant Holding Equipment for *Tillandsia* (cotton candy) as
Green Roof

กนกกาญจน์ น้อยสุข

Kanokkan Noisuk

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the

Degree of Master of Science in Environmental Management

Prince of Songkla University

2560

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์



การออกแบบอุปกรณ์ยึดพืชอากาศ *Tillandsia* (cotton candy) เพื่อเป็นหลังคาสีเขียว
Designing of the Air Plant Holding Equipment for *Tillandsia* (cotton candy) as
Green Roof

กนกกาญจน์ น้อยสุข
Kanokkan Noisuk

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Master of Science in Environmental Management
Prince of Songkla University

2560

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้มาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และได้แสดงความขอบคุณ
บุคคลที่มีส่วนช่วยเหลือแล้ว

ลงชื่อ.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เกื้ออนันต์ เตชะโต)
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ลงชื่อ.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จันทกานต์ ทวีกุล)
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

ลงชื่อ.....
(นางสาวกนกกาญจน์ น้อยสุข)
นักศึกษา

(4)

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อนและ
ไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ.....

(นางสาวกนกกาญจน์ น้อยสุข)

นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์	การออกแบบอุปกรณ์ยึดพืชอากาศ <i>Tillandsia</i> (cotton candy) เพื่อเป็น หลังคาสีเขียว
ผู้เขียน	นางสาวกนกกาญจน์ น้อยสุข
สาขาวิชา	การจัดการสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา	2559

บทคัดย่อ

ประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตร้อนชื้นที่มีฤดูร้อนยาวนานกว่าฤดูฝน หลังคาเป็นส่วนประกอบสำคัญของอาคารได้รับความร้อนจากดวงอาทิตย์มากที่สุดในตอนกลางวัน กระเบื้องที่ใช้มุงหลังคามีคุณสมบัติดูดซับความร้อนและถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารทำให้เกิดความร้อน หลังคาเขียวช่วยลดความร้อนจากดวงอาทิตย์ไปไม่จะเป็นร่มเงาปกป้องกระเบื้องจากความร้อนทำให้อุณหภูมิภายในอาคารอยู่ในภาวะน่าสบาย (Thermal Comfort) และประหยัดพลังงาน การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบอุปกรณ์ยึดพืชอากาศต้น *Tillandsia* (cotton candy) เป็นหลังคาสีเขียวที่มีความทนทานต่อสภาพอากาศ พืชเจริญเติบโตได้ และใช้ต้นทุนน้อย โดยจำลองหลังคากระเบื้องลอนคู่ขนาด 1 x 1 x 1 เมตร มีความลาดเอียง 30 องศา สำหรับใช้ติดตั้งอุปกรณ์ยึดพืชอากาศที่ได้ออกแบบ หลังที่ 1 ติดตั้งอุปกรณ์ยึดพืชแบบลวดอลูมิเนียมหุ้ม หลังที่ 2 ติดตั้งอุปกรณ์ยึดพืชแบบที่ 2 ขวดน้ำพลาสติก และหลังที่ 3 ติดตั้งอุปกรณ์ยึดพืชแบบที่ 3 ลวดอลูมิเนียมกลม เพื่อทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของอุปกรณ์ร่วมกับพืชทดลอง ตั้งแต่ 1 พฤษภาคม 2558 ถึง 30 เมษายน 2559 เป็นเวลา 12 เดือน ครอบคลุมทั้งฤดูร้อนและฤดูฝน ผลการทดลอง พบว่า พื้นที่ใบรวมของพืชบนแผงอุปกรณ์ยึดพืชอากาศเพิ่มขึ้น 69-81 % ซึ่งแสดงให้เห็นว่าวัสดุที่ได้คัดเลือกทั้ง 3 ชนิด ไม่ส่งผลกระทบต่อการใช้เจริญเติบโตของต้น *Tillandsia* (cotton candy) ซึ่งพืชจะหลุดจากอุปกรณ์มากที่สุดในช่วงฤดูฝน เพราะมีลมแรง โดยพืชหลุด 2-10 ต้น จากนั้น ทำการออกแบบใหม่ต่อจากแบบลวดอลูมิเนียมกลมให้มีลวดคาคกลางเพื่อให้การหลุดลดลงมีความเหมาะสมในการผลิตเป็นต้นแบบอุปกรณ์สำหรับหลังคาเขียวแบบ Air Plant

Thesis Title	Designing of the Air Plant Holding Equipment for <i>Tillandsia</i> (coton candy) as Green Roof
Author	Miss Kanokkan Noisuk
Major Program	Environmental Management
Academic Year	2016

ABSTRACT

Thailand is located in the tropical zone with longer summers than the rainy season. The roof is therefore an important part of a building receiving the most heat from the sun in the daytime. Normally the tiled roofs absorb the heat and transfer to the building. Green roofs can reduce heat from the sun by the shading from leaves. It protects the tile from heat leading to the thermal comfort of in the building and saving energy. The objective of this study was to design the air plant holding equipment for *Tillandsia* (cotton candy) as green roof. The holding equipment must be weather resistant, normal plant growing, and the low cost. The selection of materials is based on the properties which must have no effect to the growth of plants and environment friendly. In experiment, the mock-up of 1x1 m² have been built with slope of 30 degrees. It is used for the installation of air plant holding equipment i.e. plastic cladding aluminum rod, modified plastic bottle, and aluminum rod. The experiment of air plant holding equipment was done with plants for 12 months (from May 2015 to April 2016) covering both summer and rainy season. The results showed that the total leaf area of the plant panel was increased from 69 to 81%, indicating that the three selected species did not have problem in growth. The plants had fallen around 2-10 points from the equipment mostly in the rainy season because of the wind. The redesigned from aluminum rod by adding rod is a must in order to hold the plant tight to be suitable for the production of prototype equipment for green roofs.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เกื้ออนันต์ เตชะโต อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ซึ่งจุดประกายความคิดให้กับผู้วิจัยในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ซึ่งท่านได้สละเวลาให้คำปรึกษาให้คำแนะนำให้ข้อคิด มาปรับปรุงแก้ไขในส่วนที่บกพร่อง ทั้งยังคอยติดตามการทำวิทยานิพนธ์โดยตลอด ทั้งยังให้ความอนุเคราะห์ในเรื่องต่างๆ ผู้วิจัยทราบซึ่งในความกรุณาของอาจารย์และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย และผู้วิจัยขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จันทรกานต์ ทวีกุล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบทุกท่าน รองศาสตราจารย์ ดร. อรรถนัย เศรษฐบุญตร คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ระวี เจียรวิภา คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และ ดร. ไชยวัฒน์ รงค์สยามานนท์ คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ซึ่งได้กรุณาสละเวลาในการสอบ พร้อมให้คำแนะนำให้ข้อเสนอแนะต่างๆ เพื่อให้งานวิจัยฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณครอบครัวซึ่งคอยเป็นกำลังใจสำคัญทำให้งานวิจัยนี้ขึ้นสำเร็จลุล่วง นอกจากนี้ยังได้รับความช่วยเหลือจากเพื่อนร่วมการศึกษาในการทำวิจัยและคอยให้กำลังใจที่ดีต่อกันเสมอมา

กนกกาญจน์ น้อยสุข

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(5)
Abstract	(6)
กิตติกรรมประกาศ	(7)
สารบัญ	(8)
รายการตาราง	(10)
รายการภาพ	(13)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
1.3 สมมติฐานของการวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.5 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.6 กรอบแนวคิดในการวิจัย	4
1.7 การตรวจเอกสาร	5
1.7.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับหลังคาเขียว (Green Roofs)	5
1.7.2 รูปแบบของหลังคาเขียว	9
1.7.3 ประโยชน์ของหลังคาเขียว	12
1.7.4 ข้อควรคำนึงในการทำหลังคาเขียว	13
1.7.5 การออกแบบที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม	13
1.7.6 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย	17
การถ่ายเทความร้อน	17
คุณสมบัติของพืชพรรณที่มีผลต่ออุณหภูมิของสภาพแวดล้อม	19
ภูมิอากาศ และที่ตั้งอาคาร	20
1.7.7 การเลือกพืชที่จะนำมาปลูก	23
1.7.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	25

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 2 วิธีการดำเนินการวิจัย	29
2.1 การเตรียมสถานที่	28
2.2 การเตรียมอุปกรณ์และเครื่องมือในการเก็บข้อมูล	30
2.3 การเตรียมการทดลอง	31
2.4 การทดลองและการเก็บข้อมูล	48
บทที่ 3 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการวิจัย	60
3.1 ผลการเก็บข้อมูลสภาพอากาศจากเครื่อง Data Logger Davis 6250 Vantage V	60
3.2 ผลการทดลองการเจริญเติบโตของต้น Tillandsia cotton candy	62
3.3 ผลการทดลองการใช้แผงอุปกรณ์ยึดพืชอากาศร่วมกับพีช	70
บทที่ 4 สรุปผลการทดลอง อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	72
บรรณานุกรม	76
ภาคผนวก ก	79
ภาคผนวก ข	101
ประวัติผู้วิจัย	105

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
ตารางที่ 2-1	ลักษณะของวัสดุ 10 ชนิด ที่เลือกมาใช้ในการทดลอง	33
ตารางที่ 2-1	ลักษณะของวัสดุ 10 ชนิด ที่เลือกมาใช้ในการทดลอง (ต่อ)	34
ตารางที่ 2-2	การให้คะแนนวัสดุ 10 ชนิด ที่เลือกมาใช้ในการทดลอง	37
ตารางที่ 2-2	การให้คะแนนวัสดุ 10 ชนิด ที่เลือกมาใช้ในการทดลอง (ต่อ)	38
ตารางที่ 2-3	การคัดเลือกวัสดุโดยการให้คะแนน	39
ตารางที่ 3-1	สภาพอากาศบริเวณที่ทำการทดลอง ตั้งแต่เดือน พ.ค. 2558 –เม.ย 2559	61
ตารางที่ 3-2	ขนาดพุ่มใบพืชบนชุดปลูกธรรมดาและบนแผงอุปกรณ์ทั้ง 3 แบบก่อน และหลังทดลอง	65
ตารางที่ 3-3	น้ำหนักพืชบนชุดปลูกธรรมดาและบนแผงอุปกรณ์ทั้ง 3 แบบก่อน และหลังทดลอง	66
ตารางที่ 3-4	ขนาดพุ่มใบและน้ำหนักต่อพื้นที่ทดลอง	67
ตารางที่ 3-5	เปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพของพืชในแต่ละอุปกรณ์และชุดควบคุม	69
ตารางที่ 3-6	ข้อจำกัดของอุปกรณ์ยึดพืชอากาศ	71

สารบัญตารางภาคผนวก

ตารางภาคผนวก		หน้า
ตารางผนวก ก -1	สภาพภูมิอากาศเดือนพฤษภาคม 2558	81
ตารางผนวก ก -2	สภาพภูมิอากาศเดือนมิถุนายน 2558	82
ตารางผนวก ก -3	สภาพภูมิอากาศเดือนกรกฎาคม 2558	83
ตารางผนวก ก -4	สภาพภูมิอากาศเดือนสิงหาคม 2558	84
ตารางผนวก ก -5	สภาพภูมิอากาศเดือนกันยายน 2558	85
ตารางผนวก ก -6	สภาพภูมิอากาศเดือนตุลาคม 2558	86
ตารางผนวก ก -7	สภาพภูมิอากาศเดือนพฤศจิกายน 2558	87
ตารางผนวก ก -8	สภาพภูมิอากาศเดือนธันวาคม 2558	88
ตารางผนวก ก -9	สภาพภูมิอากาศเดือนมกราคม 2559	89
ตารางผนวก ก -10	สภาพภูมิอากาศเดือนกุมภาพันธ์ 2559	90
ตารางผนวก ก -11	สภาพภูมิอากาศเดือนมีนาคม 2559	91
ตารางผนวก ก -12	สภาพภูมิอากาศเดือนเมษายน 2559	92
ตารางผนวก ก -13	บันทึกการเจริญเติบโตของพืช	93
ตารางผนวก ข -1	บันทึกการทดสอบอุปกรณ์	104

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
ภาพที่ 1-1	กรอบแนวคิดในงานวิจัย	4
ภาพที่ 1-2	สวนลอยฟ้าแห่งกรุงบาบิโลน (Hanging Gardens of Babylon)	5
ภาพที่ 1-3	ลักษณะโรงเรือนแบบ Viking ยุคคริสต์ศตวรรษที่ 11	6
ภาพที่ 1-4	กระท่อมหญ้า (Sod Hut) แบบ Viking ยุคคริสต์ศตวรรษที่ 11	6
ภาพที่ 1-5	บ้านหลังคาหญ้าแถบสแกนดิเนเวีย	7
ภาพที่ 1-6	องค์ประกอบแต่ละชั้นของโครงสร้างหลังคาเขียว	9
ภาพที่ 1-7	การใช้พืชพรรณลดความร้อนผ่านทางหลังคาและผนังอาคาร	10
ภาพที่ 1-8	การใช้พืชพรรณในแง่ของการออกแบบสถาปัตยกรรม	10
ภาพที่ 1-9	รูปแบบการใช้งานหลังคาเขียว	11
ภาพที่ 1-10	การแผ่รังสีความร้อน (radiation) จากดวงอาทิตย์ไปยังสิ่งต่างๆบนโลก	18
ภาพที่ 1-11	ภาพ Trichome ของต้น <i>Tillandsia</i> (Cotton Candy)	23
ภาพที่ 1-12	ลักษณะของใบเรียงจากซ้ายไปขวาของต้น <i>Tillandsia</i> (Cotton Candy)	24
ภาพที่ 1-13	การขยายพันธุ์โดยการแยกหน่อของต้น <i>Tillandsia</i> (Cotton Candy)	24
ภาพที่ 2-14	ลักษณะดอกของต้น <i>Tillandsia</i> (Cotton Candy) บริเวณปลายยอด	25
ภาพที่ 2-1	สถานที่ทำการทดลอง	28
ภาพที่ 2-2	เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูล	29
ภาพที่ 2-3	ลักษณะหลังคาจำลอง	30
ภาพที่ 2-4	ชุดปลูกธรรมชาติแบบไม่มีอุปกรณ์ยึดพืชอากาศ	31
ภาพที่ 2-5	ตำแหน่งการวางหลังคาจำลองและชุดควบคุม	31
ภาพที่ 2-6	การเตรียมต้นพืชที่ใช้ในการทดลองต้น <i>Tillandsia</i> (Cotton Candy)	35
ภาพที่ 2-7	ลักษณะวัสดุปลูกพืชอากาศโดยวิธีการแขวน	41
ภาพที่ 2-8	ลักษณะของต้น <i>Tillandsia</i> (Cotton Candy)	41
ภาพที่ 2-9	วัสดุที่ได้จากการคัดเลือก	42
ภาพที่ 2-10	วิธีการจับยึดแบบที่ 1 ลวดลุ่มิเนียมกลมหุ้มพลาสติก	43
ภาพที่ 2-11	วัสดุและเครื่องมือผลิตต้นแบบอุปกรณ์ยึดพืชอากาศแบบที่ 1	43

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
ภาพที่ 2-12	การทำอุปกรณ์ยึดพีชอากาศแบบที่ 1	44
ภาพที่ 2-13	วิธีการจับยึดแบบที่ 2 ขวดน้ำพลาสติก โดยใช้วิธีคิดจากลายเส้นซิกแซก	45
ภาพที่ 2-14	วัสดุและเครื่องมือผลิตต้นแบบอุปกรณ์ยึดพีชอากาศแบบที่ 2	45
ภาพที่ 2-15	การทำอุปกรณ์ยึดพีชอากาศแบบที่ 2	46
ภาพที่ 2-16	การทำอุปกรณ์ยึดพีชอากาศแบบที่ 2 (ต่อ)	46
ภาพที่ 2-17	วิธีการจับยึดแบบที่สาม โดยใช้วิธีคิดจากลายเส้นอิสระ	47
ภาพที่ 2-18	วัสดุและเครื่องมือผลิตต้นแบบอุปกรณ์ยึดพีชอากาศแบบที่ 3	47
ภาพที่ 2-19	การทำอุปกรณ์ยึดพีชอากาศแบบที่ 3	48
ภาพที่ 2-20	อุปกรณ์ยึดพีชอากาศ	48
ภาพที่ 2-21	แผนผังโครงสร้างหลักอุปกรณ์ยึดพีชอากาศด้าน TOP VIEW และ SIDE VIEW	49
ภาพที่ 2-22	แผนผังโครงสร้างหลักอุปกรณ์ยึดพีชอากาศ	49
ภาพที่ 2-23	แสดงภาพการขึ้นรูปอุปกรณ์ยึดพีชอากาศแบบที่ 1 ลวดอลูมิเนียมหุ้มพลาสติก	50
ภาพที่ 2-24	แสดงภาพการขึ้นรูปอุปกรณ์ยึดพีชอากาศแบบที่ 2 ขวดน้ำพลาสติก	51
ภาพที่ 2-25	แสดงภาพการขึ้นรูปอุปกรณ์ยึดพีชอากาศแบบที่ 3 ลวดอลูมิเนียมกลม	51
ภาพที่ 2-26	ลักษณะคลิปล็อกกระเบื้องที่ได้ดัดแปลงขึ้นมาใหม่	52
ภาพที่ 2-27	การติดตั้งแผงอุปกรณ์ปลุกพีชอากาศแบบที่ 1 ลวดอลูมิเนียมหุ้มพลาสติก	52
ภาพที่ 2-28	การติดตั้งแผงอุปกรณ์ปลุกพีชอากาศแบบที่ 2 ขวดน้ำพลาสติก	53
ภาพที่ 2-29	การติดตั้งแผงอุปกรณ์ปลุกพีชอากาศแบบที่ 3 ลวดอลูมิเนียมกลม	53
ภาพที่ 2-30	การติดตั้งแผงอุปกรณ์ปลุกพีชอากาศบนหลังคากระเบื้องลอนคู่	54
ภาพที่ 2-31	พีชบนชุดปลุกธรรมชาติแบบไม่มีอุปกรณ์ยึดพีชอากาศ	54
ภาพที่ 2-32	จุดเก็บตัวอย่างหาค่าความหนาแน่นของไบบรอนแผงอุปกรณ์ยึดพีชแบบที่ 1	56
ภาพที่ 2-33	จุดเก็บตัวอย่างน้ำหนักพีชบนแผงอุปกรณ์แบบที่ 1	56
ภาพที่ 2-34	จุดเก็บตัวอย่างหาค่าความหนาแน่นของไบบรอนแผงอุปกรณ์ยึดพีชแบบที่ 2	57
ภาพที่ 2-35	จุดเก็บตัวอย่างน้ำหนักพีชบนแผงอุปกรณ์แบบที่ 2	57

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
ภาพที่ 2-34	จุดเก็บตัวอย่างหาค่าความหนาแน่นของใบบนแผงอุปกรณ์ยึดพีชแบบที่ 2	58
ภาพที่ 2-35	จุดเก็บตัวอย่างน้ำนักพีชบนแผงอุปกรณ์แบบที่ 2	58
ภาพที่ 2-36	การสุ่มจุดเก็บตัวอย่างขนาดพุ่มใบและน้ำนักพีชบนชุดปลูกธรรมชาติ	59
ภาพที่ 3-1	ขนาดใบก่อนและหลังการทดลองของพีชบนชุดปลูกธรรมชาติและบนแผง อุปกรณ์	63
ภาพที่ 3-2	พื้นที่ใบเพิ่มขึ้นบนแผงอุปกรณ์ทั้ง 3 แบบ หลังการทดลอง 366 วัน	64
ภาพที่ 3-3	ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของสีใบ	69
ภาพที่ 4-1	อุปกรณ์แบบที่ 3 ที่ได้ออกแบบใหม่ให้ตรงกลางมีลวดมากขึ้น	74

สารบัญภาพภาคผนวก

ภาพผนวก		หน้า
ภาพผนวก ก-1	การเจริญเติบโตของพืชบนแผงอุปกรณ์ยึดพืชอากาศแบบที่ 1	94
ภาพผนวก ก-2	การเจริญเติบโตของพืชบนแผงอุปกรณ์ยึดพืชอากาศแบบที่ 2	95
ภาพผนวก ก-3	การเจริญเติบโตของพืชบนแผงอุปกรณ์ยึดพืชอากาศแบบที่ 3	96
ภาพผนวก ก-4	การเจริญเติบโตของพืชบนชุดปลูกธรรมดาที่ไม่มีอุปกรณ์ยึดพืช	97
ภาพผนวก ก-5	ขนาดพุ่มใบบนชุดปลูกธรรมดา	97
ภาพผนวก ก-6	ขนาดพุ่มใบบนแผงอุปกรณ์ยึดพืชแบบที่ 1	98
ภาพผนวก ก-7	ขนาดพุ่มใบบนแผงอุปกรณ์ยึดพืชแบบที่ 2	98
ภาพผนวก ก-8	ขนาดพุ่มใบบนแผงอุปกรณ์ยึดพืชแบบที่ 3	98
ภาพผนวก ก-9	การชั่งน้ำหนักพืชบนชุดปลูกธรรมดาไม่มีอุปกรณ์	99
ภาพผนวก ก-10	การสุ่มชั่งน้ำหนักพืชบนแผงอุปกรณ์ยึดพืชแบบที่ 1	99
ภาพผนวก ก-11	การสุ่มชั่งน้ำหนักพืชบนแผงอุปกรณ์ยึดพืชแบบที่ 2	99
ภาพผนวก ก-12	การสุ่มชั่งน้ำหนักพืชบนแผงอุปกรณ์ยึดพืชแบบที่ 3	100

บทที่ 1

บทนำ

1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

ภาวะโลกร้อน (Global Warming) ที่กำลังเกิดขึ้นในปัจจุบัน เป็นผลจากกิจกรรมของมนุษย์ที่ทำให้ปริมาณก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gas) เพิ่มสูงขึ้น ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ (Climate Change) องค์การบริหารด้านบรรยากาศและสมุทรศาสตร์แห่งชาติ หรือ NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) สหรัฐอเมริกา ได้รายงานสภาพอากาศเกี่ยวกับอุณหภูมิของโลกในปี 2015 ว่า มีการทำลายสถิติใหม่ของการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศหลายประการ ซึ่งตอกย้ำให้รู้ว่าอุณหภูมิของโลกยังคงเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง เพิ่มขึ้นเฉลี่ย 0.8 องศาเซลเซียส ในขณะที่เดียวกัน ระดับของก๊าซเรือนกระจกซึ่งเป็นตัวการของภาวะโลกร้อน ก็พุ่งข้ามเขตอันตรายที่ 400 พีพีเอ็ม (400 ส่วนใน 1 ล้านส่วน) ไปแล้วเมื่อเดือนเมษายน 2016 สหรัฐอเมริกา จีน และอินเดีย ตามลำดับ เป็นชาติที่ปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศมากที่สุด 3 ลำดับแรกของโลก (สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, 2559) ปรากฏการณ์เกาะความร้อน หรือ UHI (Urban Heat Island) ก็เป็นอีกหนึ่งผลกระทบจากภาวะโลกร้อน การที่อุณหภูมิในเขตเมืองสูงกว่าพื้นที่ป่าไม้ที่อยู่ติดออกไป เนื่องจากสิ่งก่อสร้างสะสมความร้อน (Joachim et al., 2016) และการโค่นต้นไม้ซึ่งเคยทำหน้าที่ดูดซับรังสีจากดวงอาทิตย์และแผ่กิ่งก้านร่มเงาปกป้องมนุษย์จากความร้อนเพื่อสร้างเมืองทำให้ความสมดุลตามธรรมชาติหายไป เมื่อการดูดซับพลังงานมาใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงมีน้อยลง โลกจึงต้องเผชิญกับคลื่นความร้อน (Heat Wave) อย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ (Lemonsu et al., 2015) คนจึงหันมาใช้เครื่องปรับอากาศในการเพิ่มความเย็น การติดตั้งเครื่องปรับอากาศเพื่อลดความร้อนเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมสูงสุดแต่ก็เป็นวิธีที่สูญเสียพลังงานมากที่สุด (ภูษิต เลิศวัฒนารักษ์ และอัญชิสา สันติจิตโต, 2555) เป็นเพียงแค่การย้ายความร้อนออกไปภายนอกเท่านั้นไม่ได้เป็นการลดความร้อนอย่างแท้จริง อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มความร้อนและมลพิษให้สิ่งแวดล้อม

ในประเทศพัฒนาแล้วมีการออกกฎหมายควบคุมอาคารเพื่อบังคับให้ประหยัดพลังงานมานานแล้ว โดยเฉพาะประเทศในยุโรปที่มีความเข้มงวดออกกฎหมายวางกฎเกณฑ์เกี่ยวกับหลังคาเขียว มีการบังคับให้อาคารใหม่จะต้องใช้พื้นที่บนหลังคาบางส่วนปลูกต้นไม้หรือติดตั้งแผงพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อลดปัญหาภาวะโลกร้อนด้วยการลดการปลดปล่อย CO₂ (สำนักสิ่งแวดล้อม กรุงเทพมหานคร, 2011) จนกลายเป็นปัจจัยผลักดันให้แนวคิดปลูกต้นไม้คลุมหลังคา (Green Roof)

และผนัง (Green Wall) เพื่อลดการปลดปล่อย CO₂ จึงได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย อย่างไรก็ตามที่ทราบกันดีว่าต้นไม้เป็นวัสดุที่เมื่อหมดอายุการใช้งานก็ไม่ใช่พืชต่อสิ่งแวดล้อม คุณสมบัติการสังเคราะห์แสงของพืชจะดูดซับความร้อนมาเป็นพลังงาน แล้วคายน้ำออกมาทำให้อุณหภูมิบริเวณโดยรอบลดลง ยิ่งเป็นพืชที่มีใบหนาก็ยิ่งเพิ่มร่มเงาลดความร้อนได้มาก (วรวิภา ธีนาวุฒิวัดนา, 2552) จึงเป็นที่มาของแนวคิดนำพืชมาใช้เพื่อลดความร้อนที่จะช่วยลดผลกระทบจากปรากฏการณ์เกาะความร้อนของเมืองที่มีพื้นที่พื้นดินจำกัด (Umberto Beradi, 2016) ร่วมกับการใช้ฉนวนกันความร้อนทำให้เกิดสภาวะน่าสบาย (Thermal Comfort) ทั้งภายในและภายนอกอาคาร

การใช้พืชพรรณตกแต่งอาคารในสมัยก่อนจะเน้นเพื่อความสวยงามเพียงอย่างเดียว แม้การทำสวนบนหลังคามิมีมานานตั้งแต่สมัยบาบิโลน แต่สำหรับประเทศไทยเพิ่งเริ่มเป็นที่รู้จักกันเมื่อราว 25-30 ปี ที่ผ่านมา จัดเป็นสวนหลังคาเต็มพื้นที่บนอาคารแบบใช้สอย (Intensive Roof Garden) ซึ่งหลังคาเขียวแบบกึ่งมีประโยชน์ใช้สอย (Semi-Extensive Green Roof) และแบบไม่ใช้สอย (Extensive Roof Garden) ยังไม่เป็นที่นิยม เนื่องจากยังไม่มีผู้ทำการศึกษาในเชิงวิชาการอย่างรอบด้าน ทั้งยังขาดความรู้เรื่องของวัสดุสำหรับการทำหลังคาเขียวที่เหมาะสมกับภูมิอากาศของประเทศไทย การทำหลังคาเขียวตามแบบที่เคยมีมามักประสบปัญหาเรื่องของน้ำหนักวัสดุปลูกและการบำรุงรักษาพืช โดยเฉพาะการปลูกพืชบนหลังคาลาดเอียง ดังนั้น ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาและหาแนวทางการนำต้น *Tillandsia* (cotton candy) เป็นพืชในวงศ์สับปะรดสี (Bromeliad) ซึ่งเป็นมีน้ำหนักเบา ทนทานต่อสภาพอากาศร้อนชื้นได้เป็นอย่างดี การดูแลรักษาง่ายไม่ต้องรดน้ำใส่ปุ๋ยก็สามารถเติบโตได้ด้วยการดูดซับธาตุอาหารในอากาศ มาเป็นหลังคาเขียวแบบ Air plant โดยได้พัฒนาอุปกรณ์ยึดพืชสำหรับปลูกพืชอากาศบนหลังคาลาดเอียง มีลักษณะการใช้งานง่าย ต้นทุนต่ำ วัสดุที่ใช้ไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม หาซื้อได้ในประเทศไทย ใช้ต้นทุนน้อย

2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อออกแบบอุปกรณ์ยึดพืชอากาศ *Tillandsia* (cotton candy) เพื่อทำเป็นหลังคาเขียวแบบ Air Plant มีคุณสมบัติทนทานต่อสภาพอากาศ พืชเติบโตได้ตามปกติ และใช้ต้นทุนน้อยที่สุด

3 สมมุติฐานของการวิจัย

- 3.1 พืชอากาศที่ปลูกแบบมีอุปกรณ์ยึดสามารถเติบโตได้เหมือนการปลูกแบบปกติ
- 3.2 อุปกรณ์ยึดพืชอากาศที่ได้ออกแบบ ลวดอลูมิเนียมหุ้มพลาสติก ขวดน้ำพลาสติก ลวดอลูมิเนียมกลมธรรมดา สามารถเป็นหลังคาเขียวแบบ Air Plant ได้

4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ต้นแบบอุปกรณ์ยึดพืชอากาศ *Tillandsia* (cotton candy) เพื่อเป็นหลังคาสีเขียวแบบ Air Plant ที่เหมาะสมกับโครงสร้างหลังคากระเบื้องลอนคู่ที่มีอยู่แล้ว เพื่อนำไปสู่ทางเลือกในการลดใช้พลังงานของอาคารบ้านเรือนในอนาคต

1.5 ขอบเขตของการศึกษา

1.5.1 ศึกษาคุณสมบัติและข้อจำกัดของวัสดุที่มีคุณสมบัติเป็นฉนวนไม่ส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืช

1.5.2 ศึกษาความเป็นไปได้ในการยึดกับหลังคากระเบื้องลอนคู่ เนื่องจากเป็นกระเบื้องที่มียอดขายสูงสุดในประเทศ

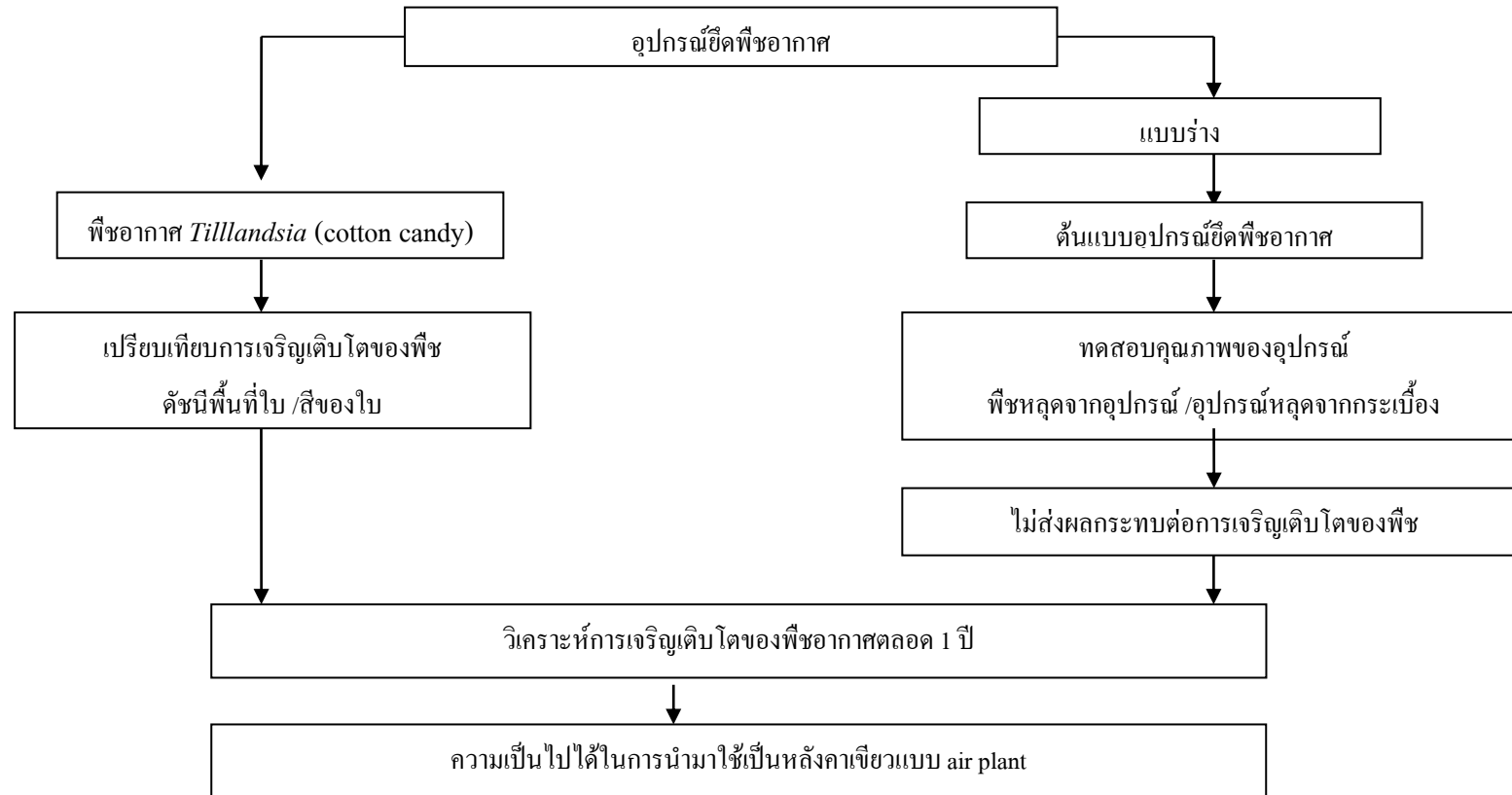
1.5.3 พืชที่ใช้ทดลอง เป็นพืชอากาศแท้ ทนต่อสภาพอากาศ คือ *Tillandsia* (cotton candy)

1.5.4 ทำการเก็บข้อมูลเดือนละครั้ง เพื่อดูการเจริญเติบโตของพืช

1.5.5 ระยะเวลาในการศึกษา 1 ปี ตั้งแต่เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2558 ถึงเดือนเมษายน พ.ศ. 2559

1.5.6 กำหนดสถานที่ทำการศึกษาและเก็บข้อมูลการทดลอง ดาดฟ้าคณะการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่

1.6 กรอบแนวคิดในการวิจัย



ภาพที่ 1-1 กรอบแนวคิดในงานวิจัย

1.7 การตรวจเอกสาร

ในงานวิจัย หลังคาเขียว (Green Roofs) สำหรับลดความร้อนที่ผ่านเข้าสู่อาคารทางหลังคา จำเป็นต้องศึกษาแนวคิดและทฤษฎีต่างๆ รวมถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อเข้าใจถึงปัจจัยสำคัญที่เกี่ยวข้องในงานวิจัย

1.7.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับหลังคาเขียว (Green Roofs)

Green Roof หรือการปลูกพืชพรรณบนอาคาร เป็นเรื่องที่มีมานานหลายสหัสวรรษไม่ใช่เรื่องแปลกใหม่ที่เพิ่งเกิดขึ้นบนโลก ในบันทึกทางประวัติศาสตร์เมื่อ 600 - 700 ปี ก่อนคริสตกาล ได้กล่าวถึงพระเจ้าเนบูคัดเนสซาร์ ที่ 2 แห่งกรุงบาบิโลเนีย ทรงโปรดให้สร้างสวนพฤกษศาสตร์ขนาดใหญ่กลางทะเลทรายร้อนระอุเพื่อเป็นสถานที่พักผ่อนของพระมเหสีและเหล่านางสนมของพระองค์ ที่เรียกว่า สวนลอยฟ้าแห่งกรุงบาบิโลน (Hanging Gardens of Babylon) ภายหลังได้ถูกจัดให้เป็น 1 ใน 7 สิ่งมหัศจรรย์ของโลกที่สร้างขึ้นโดยมนุษย์ (ยุคโบราณ)

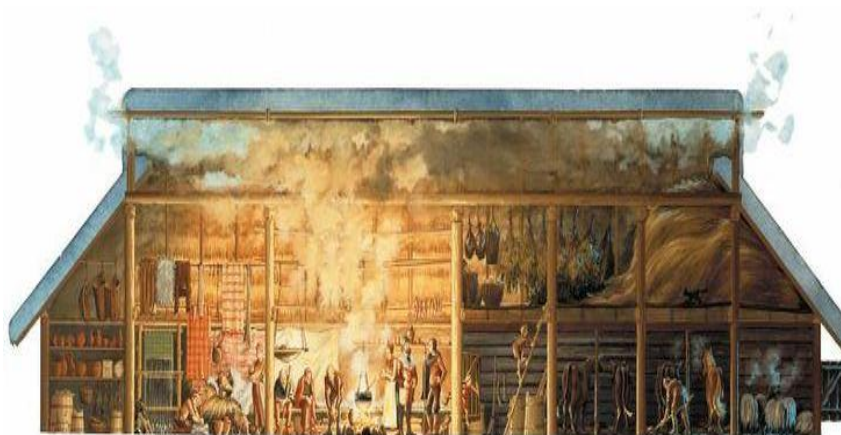


ภาพที่ 1-2 สวนลอยฟ้าแห่งกรุงบาบิโลน (Hanging Gardens of Babylon)

ที่มา : <https://www.bankumka.com/content/3155515a1e2c770>

ในราวคริสต์ศักราช 800 – 1050 ยุคไวกิง (Viking) ซึ่งเป็นคำเรียกชนเผ่าหนึ่งที่เชี่ยวชาญการเดินทางทะเล ชาวไวกิงจะต่อเรือไม้ขนาดใหญ่แล่นเรือจากแผ่นดินเกิดออกสำรวจชายฝั่งอเมริกาเหนือเพื่อหาที่ทำกินใหม่ ในระหว่าง คริสต์ศักราช 989 ถึง 1020 ชาวไวกิงบนเรือทั้งชาย

หญิงมากกว่า 90 คน ได้ขึ้นฝั่งที่เกาะนิวฟันด์แลนด์ สร้างชุมชนเกษตรกรรม โดยจะสร้างโรงเรียนขนาดใหญ่ไว้ใช้ทอผ้า ทำงาน โลหะ ซ่อมแซมเรือ และสร้างกระท่อมหลังคาหญ้า (Sod Hut) สำหรับพักอาศัย



ภาพที่ 1-3 ลักษณะ โรงเรียนแบบ Viking ยุคคริสต์ศตวรรษที่ 11

ที่มา : <https://www.pinterest.com/adalulf/construction>



ภาพที่ 1-4 กระท่อมหญ้า (Sod Hut) แบบ Viking ยุคคริสต์ศตวรรษที่ 11

ที่มา : <http://www.bianoti.com/gallery-viking-village-model.h>

ภายหลังในปีคริสต์ศักราช 1960 (พ.ศ. 2503) เฮลเก อิงสตัด นักสำรวจชาวนอร์เวย์ และ แอน สไตน์ อิงสตัด ภรรยา นักโบราณคดี ได้พบหมู่บ้านร้างของชาวไวกิงยุคคริสต์ศตวรรษที่ 11 ที่ทุ่งลงโซส์เมโดวส์ (L'Anseaux) บนเกาะนิวฟันด์แลนด์ เกาะขนาดใหญ่เกาะหนึ่งในประเทศ

แคนาดา การขุดค้นทางโบราณคดีพบซากอาคาร โครงสร้างไม้ 8 หลัง สามารถบรรจุคนได้ตั้งแต่ 70 - 90 คน ก่อผนังด้วย Peat-Turf

บ้านหลังคาหญ้า (Sod Roof, Turf Roof, Grass Roof) ปัจจุบันยังสามารถพบเห็นได้ทั่วไปที่หมู่บ้านแถบสแกนดิเนเวีย เช่น ประเทศสวีเดน นอร์เวย์ เดนมาร์ก ไอซ์แลนด์ และฟินแลนด์ ซึ่งบ้านจำนวนมากนิยมปลูกดอกไม้แซมไว้กับต้นหญ้า บางหลังอาจปลูกคลุมไปด้วยแผ่นไม้ของต้นเบิร์ช (Birch) เพื่อรักษาอุณหภูมิช่วยลดความร้อนในบ้าน คล้ายเป็นธรรมเนียมท้องถิ่นสืบทอดกันมา เช่นเดียวกับบ้านที่มุงด้วยใบจากในแถบเอเชียใต้ จนกระทั่งถึงศตวรรษที่ 18 กระเบื้องได้เข้ามามีบทบาทแทนการใช้หญ้าเกิดการเปลี่ยนแปลงจนเกือบจะหายสาบสูญในยุคอุตสาหกรรม แต่ต่อมารัฐบาลเห็นถึงความสำคัญออกประกาศให้มีการฟื้นฟูสถาปัตยกรรมดั้งเดิมกลับมาอีกครั้ง ทำให้บ้านหลังคาหญ้างดงามแบบไวคิงยังคงมีอยู่ให้เห็นจนถึงปัจจุบัน



ภาพที่ 1-5 บ้านหลังคาหญ้าแถบสแกนดิเนเวีย

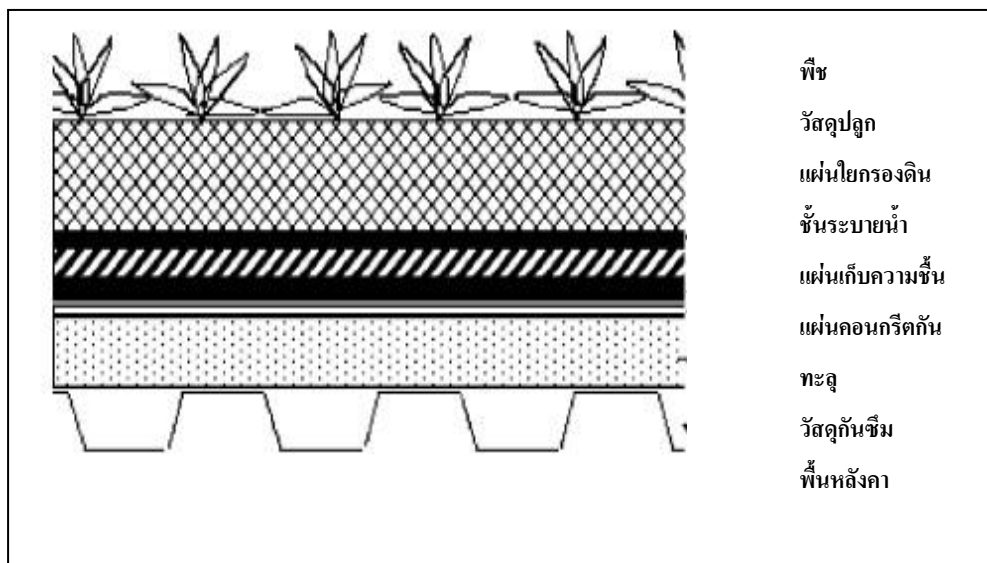
ที่มา : <http://www.havinghome.com/boards/set?id=737>

ถึงแม้ว่าหลังคาหญ้าจะเป็นเรื่องที่มีมาอย่างยาวนาน แต่การสร้างหลังคาเขียวที่มุ่งเพื่อประโยชน์ด้านการประหยัดพลังงานเพิ่งเกิดขึ้นอย่างจริงจังประมาณปี พ.ศ. 2508 โดยเกิดขึ้นเริ่มแรกในประเทศเยอรมนีก่อนจะได้รับความนิยมแพร่หลายไปทั่วโลก ต่อมาภายหลังพิธีสารเกียวโต (Kyoto Protocol) ที่ว่าด้วยเรื่องการลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมีผลบังคับใช้เป็นกฎหมายเมื่อวันที่ 16 กุมภาพันธ์ 2548 ทำให้มหานครใหญ่ทั่วโลกหันสนใจเรื่องการเพิ่ม

พื้นที่สีเขียว มีการปรับปรุงอาคารเก่ารวมถึงออกแบบอาคารใหม่ให้เป็นอาคารหลังคาเขียวเพิ่มมากขึ้นจนกลายเป็นเรื่องปกติในประเทศพัฒนา

สำหรับหลังคาเขียวในประเทศไทยเพิ่งเกิดขึ้นมาประมาณ 25-30 ปี ด้วยการนำดินไม้มาปลูกในภาชนะหรือกระถางบนคาน้ำเพื่อความสะดวกเป็นหลัก ไม่ได้มีวัตถุประสงค์เพื่อการลดค่าการส่งผ่านความร้อน หลังคาเขียวในประเทศไทยยังไม่เป็นที่นิยมอย่างแพร่หลาย เนื่องจากข้อจำกัดของอุปกรณ์ที่ต้องนำเข้าอุปกรณ์สำหรับรองรับวัสดุปลูกจากต่างประเทศมีราคาค่อนข้างสูง การขาดความรู้เรื่องวัสดุที่เหมาะสม การศึกษาหลังคาเขียวที่เหมาะสมกับการใช้งานในประเทศไทยยังมีน้อย หลังคาเขียวในประเทศไทยยังถือว่าเป็นเรื่องที่มีความยุ่งยากพอสมควร องค์ประกอบแต่ละชั้นของโครงสร้างหลังคาเขียว ประกอบด้วย พื้นหลังคา วัสดุกันซึม แผ่นคอนกรีตสำเร็จรูป ชั้นระบายน้ำ แผ่นใยกรองดิน วัสดุปลูก และพืชพันธุ์ (พุทธิพันธุ์ เจริญเวชยางกูร, 2552) ดังภาพที่ 5 โดยมีรายละเอียดในแต่ละชั้นดังต่อไปนี้

- 1) พื้นหลังคา (Concrete Slap)
- 2) วัสดุกันซึม (Waterproof Membranes) ปัญหาของหลังคาเขียวที่สำคัญ คือ การรั่วซึม โดยเฉพาะอย่างยิ่งภูมิอากาศร้อนชื้นและมีฤดูฝนนานหลายเดือนของประเทศไทย
- 3) แผ่นคอนกรีตกันทะลุ (Concrete Protective Slab) เป็นคอนกรีตที่มีความหนาประมาณ 6-10 เซนติเมตร เพื่อป้องกันไม่ให้อายุการใช้งานของพื้นหลังคา
- 4) แผ่นเก็บความชื้น (Moisture Retention Mat)
- 5) ชั้นระบายน้ำ (Drainage Medium) เป็นชั้นที่ป้องกันการขังของน้ำ ช่วยในการระบายน้ำให้ไหลไปยังท่อระบายน้ำ ส่วนใหญ่ใช้หินกรวดหรือหินแตก หรือกล๊าสเซลล์ (Grass-Cell) เป็นชั้นระบายน้ำพลาสติกแบบรวงผึ้ง มีน้ำหนักเบา ทนทาน มีราคาสูงและหาซื้อยากในประเทศไทย
- 6) แผ่นใยกรองดิน (Filter Fabric) มีหน้าที่ป้องกันการชะล้างของวัสดุปลูก นิยมใช้แผ่นใยกรองดินแบบตาข่ายมุ้งลวดพลาสติกซ้อนกันสองชั้น
- 7) วัสดุปลูก (Planting Media)
- 8) พืชพันธุ์ (Plants) ควรมีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา และทนทานต่อสภาพอากาศ



ภาพที่ 1-6 องค์ประกอบแต่ละชั้นของโครงสร้างหลังคาเขียว
 ที่มา : Kosareo and Ries (2007)

1.7.2. รูปแบบของหลังคาเขียว

หลังคาเขียวได้ถูกนำมาแยกความหมายได้ 2 แง่ คือ

1.7.2.1 Green Roof ในแง่การใช้พืชพรรณทางธรรมชาติปกป้องอาคาร ครอบคลุมตั้งแต่ระเบียงบ้านที่มีการประดับด้วยกระถางต้นไม้ หลังคาที่เป็นสีเขียวจากการมีพืชพันธุ์ปกคลุมอยู่ข้างบน ไปจนถึงการจัดสวนบนหลังคาอาคารขนาดใหญ่ (กนกวลี สุธีธรรม, 2548) โดยคำนึงการสร้างสภาวะน่าสบายให้แก่อาคาร แบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะ ดังนี้

- 1) ใช้ลดความร้อนผ่านทางหลังคา (Green Roof) ได้ผลดีกับด้านทิศตะวันตกซึ่งรับความร้อนเต็มที่ในตอนบ่ายถึงเย็น การใช้พืชควรใช้ที่มีชั้นใบปกคลุมหนา
- 2) ใช้ลดความร้อนผ่านทางผนังอาคาร (Green Wall) อาจใช้เป็นลักษณะแผงแนวตั้งหรือซุ้มไม้เลื้อยรอบหน้าต่างที่เปิดสู่ทิศใต้หรือตะวันตก เพื่อให้ได้รับลมธรรมชาติผ่านใบไม้เข้ามาสู่อาคารและปรับให้เป็นลมเย็น



ภาพที่ 1-7 การใช้พืชพรรณลดความร้อนผ่านทางหลังคาและผนังอาคาร

ที่มา : Green roof <http://www.oknation.net/blog/tripbyjumbojiw/2010/06/04/entry-1>

ที่มา : Green wall http://www.greenistasociety.com/variety_detail.php?varietyid=177

1.7.2.2 Green Roof ในแง่ของการออกแบบสถาปัตยกรรมเพื่อการประหยัดพลังงาน โดยเน้นที่วัสดุก่อสร้างและเทคโนโลยีสมัยใหม่ที่ช่วยลดอุณหภูมิ ลดการใช้พลังงาน สร้างสภาวะน่าสบาย ในรูปแบบของสถาปัตยกรรมสีเขียว



ภาพที่ 1-8 การใช้พืชพรรณในแง่ของการออกแบบสถาปัตยกรรม

ที่มา : <http://www.tnews.co.th/html/contents/56461/>

หลังคาเขียวและหลังคาเชิงนิเวศ (Eco - Roof) อาจถูกนำมาใช้ในความหมายเดียวกัน เมื่อกล่าวถึงหลังคาเขียว นอกจากหลังคาที่มีการใช้พืชพรรณปกคลุมแล้ว หลังคาที่ไม่มีพืชพันธุ์แต่ใช้วัสดุธรรมชาติ เช่น ปีกไม้ หรือวัสดุหมุนเวียนมาใช้ใหม่ เช่น แผง Solar Cell ก็จัดเป็นหลังคาธรรมชาติ ประเภทของหลังคาเขียวหากแบ่งตามลักษณะการใช้งาน (กนกวลี สุธีธร, 2548) จะแบ่งได้ 3 แบบ คือ

1) หลังคาเขียวแบบใช้สอย (Intensive Green Roof) หรือหลังคาเขียวแบบดูแล คือ หลังคาเขียวที่มุ่งประโยชน์ใช้สอย เช่น ใช้เป็นสวนหลังคา หรือ พื้นที่นันทนาการของอาคาร สามารถปลูกได้ทั้งพืชชนิดเล็กและชนิดใหญ่ ต้องมีความหนาของชั้นดินมากพอราวๆ 30 เซนติเมตรขึ้นไป หลังคาเขียวรูปแบบนี้จะมีน้ำหนักประมาณ 1,500 – 3,000 กิโลกรัม/ตารางเมตร ซึ่งต้องการการดูแลรักษามากและมีค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาค่อนข้างสูง

2) หลังคาเขียวแบบกึ่งมีประโยชน์ใช้สอย (Semi- Extensive Green Roof) หรือแบบกึ่งดูแล คือ เป็นหลังคาเขียวที่มีความลึกดิน 1-5 นิ้ว หลังคาเขียวรูปแบบนี้จะมีน้ำหนักประมาณ 300-1,000 กิโลกรัม/ตารางเมตร ใช้พืชพันธุ์ขนาดเล็ก เช่น หญ้าหรือพืชคลุมดินที่ไม่โตและไม่ต้องการดินมากนัก ซึ่งต้องดูแลบ้างแต่ไม่มากเท่าแบบแรก

3) หลังคาเขียวแบบไม่ใช้สอย (Extensive Green Roof) หรือ แบบปล่อย คือ หลังคาเขียวที่เน้นประโยชน์ทางด้านสิ่งแวดล้อม พืชที่ปลูกจะเป็นพืชชนิดที่ไม่ต้องการการดูแลรักษามาก มีความคงทน เลี้ยงง่าย ดูแลเพียงนานๆครั้ง โดยพืชที่นิยมปลูก คือ พืชอวบน้ำ (Succulent Plants) คือ พืชที่สามารถเก็บน้ำไว้ในทุกส่วนเพื่อให้สามารถอยู่รอดได้ในสถานที่แห้งแล้งได้



(1) Intensive



(2) Semi- Extensive



(3) Extensive

ภาพที่ 1-9 รูปแบบการใช้งานหลังคาเขียว

ที่มา : (1) Intensive <http://www.homeidea.in.th>

ที่มา : (2) Semi- Extensive <http://www.orderlamp.com/index.php?lite=article&qid=445073>

ที่มา : (3) Extensive <http://www.comeongreen.com/Green-Living/19/GreenRoof>

1.7.3 ประโยชน์ของหลังคาเขียว

การทำหลังคาเขียวมีประโยชน์ตั้งแต่ระดับหลังคาไปจนถึงระดับสาธารณะ (วิไลศักดิ์ สุริยาศรี, 2555) ดังนี้

1.7.3.1 ลดปริมาณและปรับสภาพน้ำฝนที่ไหลจากหลังคา หลังคาเขียวเป็นการแก้ปัญหาการจัดการน้ำฝนที่ได้ผลดีที่สุดวิธีหนึ่ง เพราะหลังคาเขียวมีพืชพันธุ์ปกคลุมสามารถดูดซับไม่ให้น้ำไหลผ่านลงไปในพื้นที่ ทั้งยังช่วยกรองฝุ่นและมลพิษที่ปนเปื้อนจากอากาศ ทำให้คุณภาพของน้ำที่ไหลผ่านหลังคาเขียวได้รับการปรับปรุงให้ดีขึ้น

1.7.3.2 การกรองเสียงรบกวน (Sound Filter) ปัญหามลภาวะทางเสียงนับเป็นอีกหนึ่งปัญหาใหญ่ในเมือง การสร้างหลังคาเขียวนอกจากจะช่วยในการจัดการน้ำฝนแล้ว พืชพันธุ์บนหลังคาจะทำหน้าที่เป็นเหมือนฉนวนกันเสียงรบกวนให้กับอาคาร ความหนาของหลังคาที่เพิ่มขึ้นจากดินปลูกและวัสดุพืชพันธุ์ทำหน้าที่ดูดซับเสียงรบกวนจกภายนอกได้เป็นอย่างดี

1.7.3.3 การเพิ่มพื้นที่สีเขียวในเมืองและช่วยลดมลภาวะ สร้างอากาศบริสุทธิ์ เช่นเดียวกับประโยชน์จากต้นไม้ทั่วไป พืชพันธุ์บนหลังคาเขียวช่วยเพิ่มออกซิเจนและลดคาร์บอนไดออกไซด์ให้กับเมือง พืชพันธุ์ที่มีชีวิตที่อยู่บนหลังคาสร้างอากาศบริสุทธิ์ช่วยกรองฝุ่นละอองในอากาศและลดมลภาวะในเมืองได้

1.7.3.4 การควบคุมอุณหภูมิภายในอาคารให้อยู่ในภาวะที่สบาย หลังคาเขียวช่วยควบคุมการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในอาคาร พืชพันธุ์ที่อยู่บนหลังคาทำหน้าที่เป็นเหมือนฉนวนกันความร้อนจากภายนอก และควบคุมอุณหภูมิภายในอาคารให้อยู่ในระดับที่คงที่ และยังช่วยลดแสงสะท้อนจากหลังคาที่มีผลกระทบต่ออาคารข้างเคียงได้อีกด้วย

1.7.3.5 การปรับสภาพของระบบนิเวศเมือง (Urban Ecology) โดยรวมให้ดีขึ้น ความแปรปรวนของสภาพอากาศและความขาดแคลนพื้นที่ธรรมชาติที่ส่งเสริมสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมให้กับสิ่งมีชีวิต หลังคาเขียวช่วยควบคุมอุณหภูมิของเมือง ลดมลภาวะ กรองฝุ่น ช่วยสร้างอากาศบริสุทธิ์ สร้างสภาพแวดล้อมที่เป็นธรรมชาติและเป็นที่อยู่ของสิ่งมีชีวิต

1.7.3.6 ช่วยลดปรากฏการณ์เกาะความร้อน ในปัจจุบันมีการนำหลังคาเขียวไปใช้อย่างแพร่หลายในต่างประเทศซึ่ง แนวคิดนี้สามารถทดแทนพื้นที่สีเขียวซึ่งเสียไปกับการสร้างอาคารบนพื้นดินได้ และช่วยปรับปรุงคุณภาพอากาศของเมือง ลดความร้อนที่ถ่ายเทที่ระดับหลังคาเข้าสู่อาคาร และออกจากอาคารกลับสู่บรรยากาศของเมืองได้เป็นอย่างดี

1.7.4 ข้อควรคำนึงในการทำหลังคาเขียว

หลังคาเขียวเป็นชั้นที่ถูกรับเพิ่มเติมโดยวัสดุต่างๆ ดังนั้นหากต้องการทำหลังคาเขียวควรจะต้องคำนึงถึงหลักการต่างๆ (ยิ่งยศ เงินมาก, 2550) ดังต่อไปนี้

1.7.4.1 ความสามารถในการรับน้ำหนักของโครงสร้างหลังคา ในแต่ละประเทศมีมาตรฐานการก่อสร้างหลังคาที่แตกต่างกันเนื่องมาจากวัสดุ การออกแบบ ภูมิอากาศ และวัฒนธรรมในพื้นที่นั้น

1.7.4.2 ความลาดชันของหลังคา โดยปกติการทำหลังคาเขียวสามารถทำได้ทุกรูปแบบ แต่การทาก็ควรคำนึงในเรื่องความลาดชันและการลื่นไหลของวัสดุต่างๆ โดยปกติแล้วนิยมใช้ความลาดชันของหลังคาไม่เกิน 30 องศา หากหลังคาที่มีความลาดชันมากกว่า 30 องศาขึ้นไป ต้องพิจารณาในเรื่องการนำวัสดุมาใช้ไม่ให้ลื่นไหลตามน้ำฝนลงมา

1.7.4.3 ลม สามารถทำให้เกิดปัญหาบริเวณขอบและมุมของวัสดุที่ใช้ทำหลังคาเขียว ปกติจะพบว่าหลังคาเขียวที่ไม่มีการออกแบบหรือยึดกับตัวหลังคาให้ดี ทำให้บริเวณมุมของวัสดุเกิดการหลุดร่อน หรือเปิดออกเมื่อมีลมแรงมากระทบ สร้างความเสียหายต่อหลังคาเขียว

1.7.5 การออกแบบที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

กระแสสิ่งแวดล้อมได้กลายเป็นหนึ่งในกระแสหลักของโลก เนื่องมาจากปัญหาการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ ในปัจจุบันค่อนข้างชัดเจนว่าการออกแบบที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เป็นวิธีที่สามารถลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้มากกว่าการบังคับแบบในอดีต การออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจ (Eco - Design) มาจากสองคำรวมกัน คือ Economic (เศรษฐศาสตร์) และ Ecological (นิเวศวิทยา) เป็นการผนวกแนวคิดด้านเศรษฐกิจและด้านสิ่งแวดล้อมเข้าไปในขั้นตอนการออกแบบผลิตภัณฑ์ เป็นการเชื่อมโยงช่องว่างระหว่างการพัฒนาผลิตภัณฑ์กับการจัดการด้านสิ่งแวดล้อม โดยพิจารณาผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ตลอดวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Product Life Cycle) เริ่มตั้งแต่ การหาวัตถุดิบ การผลิต การขนส่ง การใช้ ไปจนถึง การทิ้งซากผลิตภัณฑ์ ซึ่งผลกระทบเหล่านี้รวมถึงการปลดปล่อยสารเคมีที่เป็นพิษ การใช้ทรัพยากรที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ และการใช้พลังงานที่เกินความจำเป็น (มูลนิธิสิ่งแวดล้อมไทย, 2551) สำหรับกลุ่มผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่สำคัญของโลก ประกอบด้วยกลุ่มผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมหลัก (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2551) ดังนี้

1. ภาวะโลกร้อน (Global Warming)

เกิดจากปรากฏการณ์ก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Effect) ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่พลังงานแสงอาทิตย์ไม่สามารถสะท้อนออกไปนอกโลกได้ ก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญมี 6 ชนิด ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ก๊าซมีเทน (CH₄) ก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N₂O) ก๊าซไฮโดรฟลูออโร

คาร์บอน (HFC) ก๊าซเพอร์ฟลูออโรคาร์บอน (PFC) และก๊าซซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ (SF₆) โดยเฉพาะการคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ซึ่งส่วนใหญ่เกิดจากโรงงานอุตสาหกรรมและยานยนต์

2. การลดลงชั้นโอโซน (Ozone Depletion)

เกิดจากปรากฏการณ์การลดลงของชั้นบรรยากาศระดับชั้นสตราโตสเฟียร์ โอโซน (O₃) มีความสำคัญอย่างยิ่งเนื่องจากเป็นเกาะป้องกันรังสีอัลตราไวโอเล็ต (UV) ซึ่งเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตบนโลก สาเหตุหลักของการสูญเสียโอโซนคือการเข้าทำลายของก๊าซเรือนกระจก (สาร CFC เป็นหลักและแฮโลคาร์บอนที่เกี่ยวข้อง) เมื่อมีการลดลงของโอโซนทำให้ปริมาณรังสี UV-B มีมากขึ้น ซึ่งนำไปสู่ความเสียหายและยังเป็นสาเหตุของการเกิดโรคมะเร็งผิวหนัง (Skin cancer)

3. ภาวะความเป็นกรด (Acidification)

เกิดความเป็นกรดในดินและแหล่งน้ำ ส่วนหนึ่งเกิดจากฝนกรดเป็นผลมาจากก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) และไนตริกออกไซด์ (NO) โดยก๊าซทั้งสองชนิดนี้มักจะเกิดจากการเผาผลาญเชื้อเพลิงฟอสซิล ซึ่งส่วนใหญ่เกิดมาจากการกระบวนการผลิตไฟฟ้าและอุตสาหกรรมทั่วไปของมนุษย์ ทำปฏิกิริยากับน้ำ ออกซิเจน ในชั้นบรรยากาศ เมื่อฝนกรดตกลงมาและถูกดูดซึมลงสู่ดิน จะไปกัดกร่อนธาตุอาหารส่งผลกระทบต่อพืช ตกลงลงแหล่งน้ำ ทำให้ค่า pH ลดลง ออกซิเจนในน้ำถูกละลาย เมื่อน้ำไม่มีออกซิเจนสิ่งมีชีวิตใต้น้ำก็ไม่สามารถหายใจได้

4. ภาวะเพิ่มขึ้นของธาตุอาหารในแหล่งน้ำ (Eutrophication)

เกิดจากการเพิ่มขึ้นของธาตุอาหารในแหล่งน้ำที่มาจากปุ๋ยในภาคการเกษตร น้ำเสียสารซักฟอกของบ้านเรือน น้ำมันเครื่องจากเครื่องยนต์และโรงงานถูกชะล้างลงในแหล่งน้ำจืดก่อนจะไหลลงสู่ เมื่อธาตุอาหารในน้ำมีมากทำให้เกิดการเพิ่มจำนวนอย่างมหาศาลของสิ่งมีชีวิตจำพวกแพลงตอนพืช (Phytoplankton) เกิดการแย่งออกซิเจนจนลดลงสุดท้ายเกิดภาวะขาดอากาศทำให้พื้นที่นั้นกลายเป็น Dead Zone

1.7.5.1 กลยุทธ์ Eco - Design เพื่อลดผลกระทบที่เกิดจากผลิตภัณฑ์ตลอดวงจรชีวิต ตามแนวคิดของ UNEP ประกอบด้วย ช่วงในการพัฒนาทั้งหมด 7 ช่วง โดยคำนึงถึงรายละเอียดปลีกย่อย ดังนี้

(1) ลดการเลือกใช้วัสดุที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อย (Reduction of Low-Impact Materials) กลยุทธ์นี้เน้นที่ชนิดของวัสดุและการใช้สารตกแต่งหน้าของวัสดุ มีวัตถุประสงค์เพื่อ เลือกวัสดุที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุดในการผลิต ได้แก่

- เลือกใช้วัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม
- เลือกใช้วัสดุหมุนเวียนที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้

- เลือกวัสดุที่ใช้พลังงานในการผลิตน้อย
- เลือกใช้วัสดุรีไซเคิล

(2) ลดปริมาณและชนิดของวัสดุที่ใช้ (Reduction of Materials Used) กลยุทธ์นี้เน้นการใช้ปริมาณวัสดุให้น้อยที่สุดด้วยแนวคิดในการพัฒนาพัฒนา Lean Technology ซึ่งเป็นแนวคิดในการออกแบบชิ้นงานให้มีความสามารถแข็งแรงมากขึ้น แต่ใช้วัสดุน้อย ทั้งนี้เพื่อให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีขนาดเล็กที่สุด เช่น

- การลดน้ำหนัก การใช้วัสดุน้อยในการผลิต เช่น การทำให้วัสดุแข็งแรงโดยใช้เทคนิคด้านการออกแบบโครงสร้าง แบบ Reinforcement Ribs แทนการทำผลิตภัณฑ์ขนาดใหญ่เกินไป

- การลดปริมาตร (ผลิตภัณฑ์และบรรจุภัณฑ์) การลดขนาดและปริมาตรทำให้ขนส่งผลิตภัณฑ์ได้มากขึ้น ลดพื้นที่ในการขนส่งและจัดเก็บ

(3) ปรับปรุงกระบวนการผลิต (Optimization of Production Techniques) การเลือกกระบวนการผลิตที่เหมาะสมจะช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม การใช้วัสดุและพลังงานน้อยทำให้สูญเสียวัตถุดิบน้อย คือ พยายามใช้เทคโนโลยีสะอาด (Cleaner Technology) โดยปรับปรุงกระบวนการผลิตดังนี้

- เลือกใช้เทคนิคการผลิตที่สะอาดเพื่อช่วยลดการใช้สารช่วยหรือสารปรุงแต่งต่างๆ รวมถึงช่วยก่อให้เกิดมลพิษน้อยลง เช่น ใช้ข้อต่อแทนการเชื่อม การเลือกใช้กระบวนการ Powder Coating แทน Spray Painting การเลือกใช้ Hydro Forming แทนการใช้กระบวนการผลิตหลายๆ ขั้นตอน เป็นต้น

- การใช้ขั้นตอนการผลิตน้อยลง เช่น การเลือกใช้วัสดุที่ไม่ต้องผ่านกระบวนการตกแต่งผิวหน้า

- การใช้พลังงานสะอาดหรือพยายามให้มีการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตให้น้อยที่สุด เช่น การใช้พลังงานหมุนเวียนในกระบวนการผลิต เช่น พลังงานจากน้ำ แสงอาทิตย์ ลม ฯลฯ และลดปริมาณการใช้พลังงานจากน้ำมัน และฟอสซิลให้มากที่สุด เป็นต้น

- ลดใช้ของเสียจากกระบวนการผลิต โดยการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้วัสดุ เพื่อลดของเสียและมลพิษ

(4) ปรับปรุงระบบการขนส่งผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสม (Optimization of Distribution System)

- หลีกเลี่ยงการขนส่งทางอากาศ เพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และเพิ่มการใช้การขนส่งปริมาณมากๆทางทะเล

- ใช้บรรจุภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม/บรรจุภัณฑ์ใช้ซ้ำ

- ใช้พลังงานมีประสิทธิภาพในกระบวนการโลจิสติกส์

(5) ปรับปรุงขั้นตอนการใช้ผลิตภัณฑ์ (Optimization of Impact During Use) ลดการใช้พลังงาน วัสดุใช้สอยหรือสารเคมีที่เกิดขึ้นระหว่างช่วงการใช้งานของผลิตภัณฑ์ เช่น พลังงาน น้ำ ผงซักฟอก โดยแนวทางการออกแบบสำหรับกลยุทธ์นี้ได้แก่

- ออกแบบให้ผลิตภัณฑ์มีการใช้พลังงานน้อย และมีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพเพื่อลดการปล่อยก๊าซมลพิษ เช่น CO₂, SO_x, และ NO_x เป็นต้น

- ใช้แหล่งพลังงานสะอาด เช่น การใช้ถ่านหินและก๊าซธรรมชาติ ที่มีซัลเฟอร์ต่ำ การใช้พลังงานแสงอาทิตย์ การใช้พลังงานความร้อนจากใต้พิภพ การใช้พลังงานลม เป็นต้น

(6) ปรับปรุงอายุผลิตภัณฑ์ (Optimization of Initial Lifetime)

- ออกแบบให้ผลิตภัณฑ์มีความน่าเชื่อถือและทนทาน

- การออกแบบผลิตภัณฑ์ให้ง่ายต่อการดูแลรักษาและบำรุง

- ออกแบบโครงสร้างผลิตภัณฑ์ประกอบด้วยหน่วยแยกต่างๆ ที่สามารถนำมารวมกันได้ในลักษณะ Modular Design ซึ่งจะช่วยให้ง่ายต่อการ Upgrade เช่น การออกแบบ Ram, Hard disk VGA Card ใน Computer

- ออกแบบผลิตภัณฑ์ที่เป็นรูปแบบ Classic เพื่อหลีกเลี่ยงการออกแบบที่เปลี่ยนตามแนวโน้มตามหลัก Teddy Bear Factor

(7) ปรับปรุงขั้นตอนการทิ้งและทำลายผลิตภัณฑ์ (Optimization of end-of-life)

- การใช้ซ้ำผลิตภัณฑ์ เช่น ออกแบบผลิตภัณฑ์ให้ Classic เพื่อดึงดูดผู้ใช้ในตลาดสินค้ามือสอง เช่น รถ Folk , Jaguar เป็นต้น

- การนำมาผลิตใหม่ เช่น ออกแบบผลิตภัณฑ์ให้สามารถถอดประกอบได้ง่ายเพื่อให้สะดวกในการนำกลับมาใช้ใหม่ได้ (Reuse)

- การรีไซเคิลวัสดุ เช่น ออกแบบผลิตภัณฑ์ให้ถอดประกอบง่าย เพื่อให้สามารถนำวัสดุกลับมารีไซเคิลได้ (Recycle)

1.7.6 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

1.7.6.1 การถ่ายเทความร้อน

แสงแดดเป็นปัจจัยทางธรรมชาติ ที่มีอิทธิพลอย่างมากต่อการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร กลไกที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของความร้อน เกิดจากการถ่ายเทความร้อนจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปสู่บริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำ ทำให้เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิ โดยที่ความร้อนสามารถเคลื่อนที่จากบริเวณหนึ่งไปอีกบริเวณหนึ่งได้ 3 วิธี คือ การนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อน (พุทธิพันธ์ เจริญเวชยางกูร, 2552) ซึ่งวิธีการถ่ายเทเหล่านั้นต่างกันตรงตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนตามทฤษฎี Thermal Dynamics ดังภาพที่ 10 โดยมีรายละเอียดดังนี้

(1) การนำความร้อน (Conduction) เป็นการถ่ายเทความร้อนผ่านตัวกลางที่มีอุณหภูมิสูงไปสู่ตัวกลางที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า และการนำความร้อนจะเกิดขึ้นได้ดี โดยขึ้นอยู่กับโครงสร้างของโมเลกุลวัสดุที่มีความหนาแน่นมาก จะนำพาความร้อนได้มาก เช่น เหล็ก ทองแดง เป็นต้น ความสัมพันธ์ของการนำความร้อนกับความหนาแน่นของวัสดุ

(2) การพาความร้อน (Convection) การถ่ายเทความร้อนโดยอาศัยการพาความร้อนเกิดขึ้นระหว่างผิวของแข็งและของไหลในบริเวณใกล้เคียงกันที่มีอุณหภูมิต่างกัน ทั้งนี้ของไหลที่กล่าวถึง ได้แก่ ก๊าซ หรือของเหลว เป็นต้น ของไหลนี้เปรียบเสมือนตัวพาความร้อนเกิดขึ้นได้ 2 แบบ คือ

- การพาความร้อนแบบบังคับ (Forced convection) เกิดขึ้นในกรณีของไหลพาความร้อนผ่านผิวของแข็งด้วยแรงภายนอก เช่น พัดลม เป็นต้น

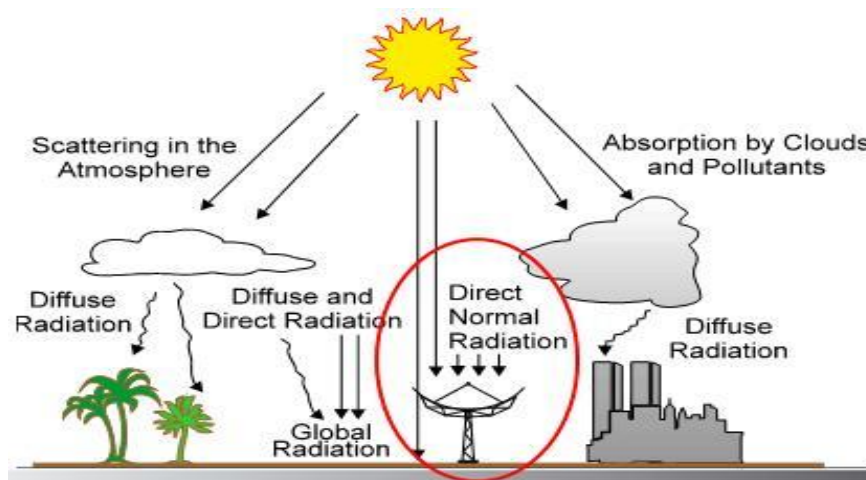
- การพาความร้อนแบบอิสระ (Free convection) เกิดขึ้นในกรณีของไหลพาความร้อนไหลผ่านผิวของแข็งด้วยแรงลอยตัวที่เกิดขึ้นจากความแตกต่างของความหนาแน่นในของไหล เพราะมีอุณหภูมิต่างกัน

(3) การแผ่รังสีความร้อน (Radiation) เป็นการถ่ายเทความร้อนโดยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากการเคลื่อนที่หรือสั่นของโมเลกุลพื้นผิวของสสาร ซึ่งจะเคลื่อนที่จากวัตถุที่ร้อนกว่าไปสู่วัตถุที่เย็นกว่าเช่นเดียวกับการนำความร้อน เช่น การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ (Solar radiation) ผ่านท้องฟ้าลงมาสู่ผิวโลก และการสะท้อนกลับสู่ชั้นบรรยากาศ เป็นการถ่ายเทความร้อนที่ไม่ต้องอาศัยตัวกลางใดๆ เมื่อรังสีความร้อนกระทบกับวัตถุต่างๆ จะเกิดการส่งผ่านรังสี (Transmission) บางส่วนถูกกลืน เรียกว่า การดูดซับรังสี (Absorption) และบางส่วนสะท้อนออกมา

เรียกว่าการสะท้อนรังสี (Reflection) ส่วนที่ถูกดูดกลืนจะทำให้วัตถุมีอุณหภูมิสูงขึ้นและเมื่อสิ่งแวดล้อมมีอุณหภูมิต่ำกว่าวัตถุจะเกิดการคายรังสี (Emission) รังสีของดวงอาทิตย์สามารถแบ่งได้ 2 รูปแบบ ดังนี้

- รังสีตรง (Direct Solar Radiation) คือ การแผ่รังสีโดยตรงจากดวงอาทิตย์ ในทิศทางของพลังงานที่มาจากดวงอาทิตย์ถึงพื้นโลกโดยไม่เปลี่ยนแปลง เมื่อมาถึงบรรยากาศของโลก มีค่าประมาณ 1350 วัตต์ต่อตารางเมตร เมื่อรังสีดวงอาทิตย์อยู่ในแนวตั้งฉากกับผิวโลก โดยผ่านบรรยากาศที่บางที่สุด ถ้าแนวรังสีเบี่ยงออกจากแนว 90 องศา ค่าความเข้มข้นของพลังงานจะลดลง

- รังสีกระจาย (Diffuse Radiation) คือ การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ที่ลงมาถึงชั้นบรรยากาศและถูกตกกระทบโดยเมฆ ไอน้ำ และฝุ่นละอองที่มีอยู่ในอากาศ ที่อยู่ในแนวทางเดินของแสงก่อนตกกระทบพื้นผิวรับแสง รังสีกระจายนี้มาจากทุกทิศทางของท้องฟ้า รังสีกระจายจะมีค่าประมาณ 10 – 90% ของปริมาณการแผ่รังสีดวงอาทิตย์โดยรวม



ภาพที่ 1-10 การแผ่รังสีความร้อน (radiation) จากดวงอาทิตย์ไปยังสิ่งต่างๆบนโลก

ที่มา : http://www.soda-is.com/eng/education/bni_basics.html

1.7.6.2 คุณสมบัติของพืชพรรณที่มีผลต่ออุณหภูมิของสภาพแวดล้อม

พืชมีความสำคัญในการปรับอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมให้เหมาะสมกับการอยู่อาศัยของมนุษย์ และลดปริมาณความร้อนเข้าสู่อาคารเนื่องจากคุณสมบัติดังต่อไปนี้

(1) การดูดซับแสงอาทิตย์ (Solar Absorption)

คุณสมบัติโดยทั่วไปของพืช คือ ส่วนของใบนอกจากจะช่วยในการบดบังแสงแดดจากดวงอาทิตย์ ใบไม้ยังมีคุณสมบัติในการสะท้อนรังสีและดูดซับแสงอาทิตย์ได้อีกด้วย โดยใบไม้มีค่าการสะท้อนรังสีจากดวงอาทิตย์ (Solar Reflection) 10-20 % จึงช่วยลดอุณหภูมิบริเวณโดยรอบให้ต่ำลง และมีค่าการดูดซับแสงจากดวงอาทิตย์ 40-80 % ซึ่งแสงอาทิตย์ที่ใบไม้ดูดซับไปนั้น บางส่วนที่ถูกนำไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสง (Photosynthesis) และความร้อนที่เป็นส่วนเกินจะถูกระบายออกมาพร้อมกับการคายน้ำ (Evapotranspiration) ซึ่งผลจากการคายน้ำออกมานั้นจะช่วยลดปริมาณความร้อนให้กับสภาพแวดล้อมได้ ระดับของการดูดซับแสงอาทิตย์ขึ้นอยู่กับขนาดของพืชและความหนาของพุ่มใบ (กวีวัชร เสถียร, 2557)

(2) การถ่ายเทความร้อน (Thermal Dynamics)

พืชจะดูดซับรังสีจากดวงอาทิตย์ในเวลากลางวัน และแผ่รังสีความร้อนออกจากใบในเวลากลางคืน จึงทำให้อุณหภูมิของพืชลดต่ำกว่าอุณหภูมิโดยรอบในเวลากลางวัน ในบริเวณที่มีต้นไม้จะมีอุณหภูมิต่ำกว่าบริเวณที่ไม่มีต้นไม้ เพราะพืชสามารถลดอุณหภูมิโดยการสะท้อนรังสีจากดวงอาทิตย์ และดูดซับรังสีจากดวงอาทิตย์ รวมทั้งเพิ่มปริมาณไอน้ำ และความชื้นผ่านทางปากใบ (อภินันท์ เกียรติวาทีรัตนะ, 2554) กระบวนการที่พืชสูญเสียน้ำออกไปในรูปไอน้ำเรียกว่าการคายน้ำของพืช การสูญเสียน้ำส่วนใหญ่เกิดที่ปากใบ โดยปัจจัยที่มีผลต่อการคายน้ำแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับสภาพแวดล้อม เช่น ความชื้นในอากาศ ลม แสงแดด อุณหภูมิ และปัจจัยที่เกี่ยวกับตัวพืช เช่น ชนิดของใบไม้ อายุของใบไม้ ระดับความสูงต่ำของใบไม้ ตำแหน่งที่ได้รับแสงแดด

จากคุณลักษณะของพืชทำให้การนำความร้อนน้อยกว่าวัสดุอื่นๆ ที่มนุษย์ได้สังเคราะห์ขึ้น เช่น คอนกรีต อิฐ เหล็ก เป็นต้น ซึ่งถือว่าพืชเป็นฉนวนความร้อนที่ดี การลดการถ่ายเทความร้อนจากอากาศภายนอกเข้าสู่อาคารของห้องต้นไม้เป็นไปตามการขึ้นลงของอากาศภายนอก โดยอากาศภายนอกมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นตั้งแต่เวลา 9.00 น. สูงขึ้นเรื่อยๆ จนมากที่สุดเมื่ออุณหภูมิถึงจุดสูงสุดในเวลา 16.00-19.00 น. แล้วค่อยปรับลดลง ในช่วงกลางคืนถึงรุ่งเช้า อากาศภายนอกมีอุณหภูมิลดต่ำลงจนถึงจุดต่ำสุดที่ประมาณ 6.00-9.00 น. (ชนิกานต์ ยิ้มประยูร และ พาสินี สุนากร, 2554)

(3) ความหนาแน่นของพุ่มใบ

ใบ คือ พื้นที่สำคัญสำหรับดูดรังสีจากดวงอาทิตย์ ความหนาแน่นของพุ่มใบมีผลต่อการลดปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคาร ยังมีความหนาแน่นของใบมาก ยิ่งสามารถลดการถ่ายเทความร้อนได้ดี โดยความหนาแน่นของใบสามารถคำนวณได้ 2 วิธี คือ

- ค่าดัชนีพื้นที่ใบ (Leaf Area Index : LAI) หมายถึง สัดส่วนของพื้นที่ใบต่อพื้นที่ปลูก ดัชนีนี้สามารถแสดงถึงศักยภาพในการสร้างน้ำหนักแห้งของพื้นที่นั้นๆ โดยกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงเป็นหลัก

$$LAI = \frac{\text{พื้นที่ใบ(ตร.ม)} \times \text{จำนวนใบ}}{\text{พื้นที่ปลูก (ตร.ม)}}$$

- พื้นที่ปกคลุมใบ (Shade Area) หมายถึง สัดส่วนของพื้นที่ใบต่อพื้นที่โครงสร้าง โดยค่าที่ออกมาจะเป็นร้อยละหรือเปอร์เซ็นต์ ซึ่งเกิดจากการคิดพื้นที่ใบที่ปกคลุมโครงสร้างยึดต้นพืชในลักษณะ 2 มิติ โดยไม่คำนึงถึงจำนวนชั้นของพุ่มใบเข้ามาเกี่ยวข้อง จะต่างกับการคิดค่า LAI ซึ่งจะเป็นลักษณะ 3 มิติ โดยคำนวณได้จาก

$$\text{Shade Area} = \frac{\text{พื้นที่ใบ}}{\text{พื้นที่โครงสร้างยึดพืช}}$$

นอกจากพืชสามารถช่วยลดความร้อนเข้าสู่อาคารแล้ว พืชยังช่วยดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ทำให้คุณภาพอากาศบริเวณที่มีพืชดีขึ้น โดยพืชแต่ละชนิดมาความสามารถในการลดความร้อนและดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ที่แตกต่างกันออกไปตามลักษณะ สายพันธุ์ และตามปัจจัยสภาพแวดล้อมของถิ่นที่อาศัย

(4) ภูมิอากาศ และที่ตั้งอาคาร

ความสัมพันธ์ระหว่างสภาพภูมิอากาศและที่ตั้งอาคาร เป็นตัวแปรสำคัญที่ทำให้สภาพอากาศแต่ละที่แตกต่างกัน ตัวแปรด้านสภาพอากาศประกอบด้วย 5 ตัวแปรหลัก คือ

- ดวงอาทิตย์ (Sun)

เป็นแหล่งกำเนิดพลังงานขนาดใหญ่ พลังงานที่ส่งมายังโลกอยู่ในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวของคลื่นต่างกัน การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์มายังพื้นโลก จะแผ่รังสีผ่านชั้นบรรยากาศของโลกก่อนตกลงสู่พื้นโลก การแผ่รังสีเป็นวิธีเดียวที่ความร้อนจะถ่ายเทข้ามสุญญากาศได้ (ณัฐพล แซ่ห่าน, 2553) ทำให้เกิดฤดูกาล (Season) เกิดจากการที่โลกโคจรรอบดวงอาทิตย์ในลักษณะเอียง 23.5 องศา โดยจะหันขั้วโลกเหนือและใต้เข้าหาดวงอาทิตย์สลับกัน ส่วนที่ได้รับแสงอาทิตย์น้อยก็จะเป็นฤดูหนาว ส่วนที่ได้รับแสงอาทิตย์มากก็เป็นฤดูร้อน ฤดูกาลของโลกแบ่งออกตามโซนอากาศเป็น 2 เขตหลัก คือ โซนเขตอบอุ่น มี 4 ฤดูกาล ได้แก่ ฤดูใบไม้ผลิ ฤดูร้อน ฤดูใบไม้ร่วง ฤดูหนาว และโซนเขตร้อนหรือบริเวณที่อยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตร มี 3 ฤดูกาล ได้แก่ ฤดูร้อน ฤดูฝน ฤดูหนาว สำหรับประเทศไทยมี 3 ฤดู คือ

ฤดูร้อน เริ่มตั้งแต่กลางเดือนกุมภาพันธ์ถึงประมาณกลางเดือนพฤษภาคม เป็นช่วงที่มีท้องฟ้าแจ่มใสที่สุดแต่มีอุณหภูมิสูง และจะร้อนมากที่สุดในเดือนเมษายน

อุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 28-32 องศาเซลเซียส แต่ในภาคใต้อุณหภูมิเฉลี่ยจะอยู่ระหว่าง 26-30 องศาเซลเซียส

ฤดูฝน เริ่มตั้งแต่กลางเดือนพฤษภาคมถึงประมาณกลางเดือนตุลาคม (ประมาณ 5 เดือน) ฤดูนี้จะเริ่มเมื่อมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ซึ่งเป็นลมชื้นพัดปกคลุมประเทศไทย ทำให้มีฝนตกชุก ส่วนในภาคใต้จะมีฝนตกชุกต่อไปจนถึงเดือนธันวาคม และอาจตกหนักมากจนถึงขั้นเกิดอุทกภัย

ฤดูหนาว เริ่มตั้งแต่กลางเดือนตุลาคมถึงประมาณกลางเดือนกุมภาพันธ์ เว้นแต่ในภาคใต้จะไม่ค่อยหนาวแต่จะมีฝนตกชุกในช่วงนี้

อย่างไรก็ตาม ฤดูกาลในแต่ละภูมิภาคของประเทศนั้นจะแตกต่างกันเล็กน้อย เกิดจากปัจจัยด้านอุณหภูมิ ปริมาณน้ำฝน และความห่างไกลจากทะเล

- อุณหภูมิ (Temperature)

อุณหภูมิ คือ ระดับความร้อนและความเย็นของอากาศในสิ่งแวดล้อมที่อยู่รอบตัวเรา เป็นปัจจัยพื้นฐานในการศึกษาสภาพอากาศ (Weather) อุณหภูมิอากาศมีเปลี่ยนแปลงในแต่ละช่วงเวลา เช่น วัน เดือน ฤดูกาล ปี หรือเป็นรายชั่วโมง เรียกว่าอุณหภูมิสามารถเปลี่ยนแปลงได้ทุกนาที ปัจจัยสำคัญที่ทำให้อุณหภูมิอากาศเกิดการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน คือ การหมุนรอบตัวเองของโลก การวัดอุณหภูมิของอากาศและสิ่งแวดล้อมรอบตัวเรากระทำได้ 2 วิธี คือ 1) ใช้ประสาทสัมผัสของร่างกาย แต่การวัดอุณหภูมิโดยใช้ประสาทสัมผัสนั้นไม่แน่นอน เพราะความรู้สึกของแต่ละคนอาจไม่เหมือนกัน โดยทั่วไปอุณหภูมิร่างกายของคนเราจะอยู่ประมาณ 37 องศาเซลเซียส 2) การใช้เครื่องมือในการวัดอุณหภูมิ เครื่องมือที่ใช้วัดอุณหภูมิเรียกว่าเทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer) ซึ่งทำมาจากหลอดแก้วสุญญากาศภายในบรรจุของเหลวที่ขยายตัวได้ ซึ่งได้แก่ปรอท แอลกอฮอล์ กลีเซอริน เป็นต้น

สำหรับประเทศไทยในปีพ.ศ. 2557 มีอุณหภูมิเฉลี่ยรายปีและรายเดือนสูงกว่าค่าปกติ (ค่าเฉลี่ยในคาบ 30 ปี พ.ศ. 2524-2553) โดยเฉพาะในช่วงฤดูร้อนหลายพื้นที่มีอุณหภูมิสูงสุดสูงกว่าสถิติเดิมที่วัดได้

- ความชื้น (Humidity)

ความชื้นของอากาศ คือ ปริมาณไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศ ซึ่งเกิดจากการระเหยของน้ำจากแหล่งน้ำต่างๆ ความชื้นของอากาศมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความดันและอุณหภูมิ

ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity) หมายถึง อัตราส่วนของปริมาณไอน้ำที่มีอยู่จริงในอากาศ ต่อปริมาณไอน้ำที่จะทำให้อากาศอิ่มตัว ณ อุณหภูมิเดียวกัน

ปริมาณของไอน้ำในอากาศขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของอากาศ หากอุณหภูมิของอากาศลดลงจนถึงจุดๆ หนึ่งที่ทำให้เกิดอากาศอิ่มตัว (Saturated air) ไอน้ำจะเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลว และหาก อุณหภูมิยังคงลดต่ำลงอีก อุณหภูมิที่ทำให้เกิดการควบแน่นนี้เรียกว่า จุดน้ำค้าง (Dew point) ก็จะ กลั่นตัวเป็นหยดน้ำตกลงมาเป็นฝน

- ลม (Wind)

การเคลื่อนที่ของกระแสอากาศในแนวราบขนานกับพื้นผิวโลก เรียกว่า ลม (Wind) อุณหภูมิของอากาศสองบริเวณแตกต่างกันทำให้กระแสอากาศเกิดการเคลื่อนที่ (เกิดลม) ซึ่งเคลื่อนที่จากห่อความกดอากาศสูง (H) ไปยังห่อความกดอากาศต่ำ (L) ตามทฤษฎีการพา ความร้อน ในสภาพอากาศร้อนลมจะเป็นตัวช่วยการระเหยของน้ำทำให้ความชื้นในอากาศเพิ่มขึ้น

อุปกรณ์วัดความเร็วลม (Anemometer) มีรูปร่างเหมือนใบพัด เครื่องบินหรือกรวยดักลม มีหลักการทำงานเหมือนเช่นเดียวกับเครื่องวัดความเร็วในรถยนต์ เมื่อ กระแสลมพัดมาปะทะใบพัดซึ่งเป็นกรวยดักลม จะทำให้แกนหมุนและส่งสัญญาณจำนวนรอบมา ให้เครื่องคำนวณเป็นค่าความเร็วลมอีก โดยมีหน่วยวัดเป็นเมตรต่อวินาที

ลมที่พัดผ่านประเทศไทย เกิดจากความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของพื้นดินและ พื้นน้ำ ลมมรสุมที่กำลั้งแรงที่สุดเกิดในภาคใต้ คือ ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ซึ่งพัดปกคลุมประเทศไทยในช่วงกลางเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคม โดยมีแหล่งกำเนิดจากบริเวณความกดอากาศ สูง ในซีกโลกใต้บริเวณมหาสมุทรอินเดีย และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ จะพัดปกคลุม ประเทศไทยกลางเดือนตุลาคมจนถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์ มรสุมนี้มีแหล่งกำเนิดจากบริเวณความ กดอากาศสูงบนซีกโลกเหนือ แถบประเทศมองโกเลียและจีน ทำให้ภาคใต้มีฝนชุกโดยเฉพาะ ภาคใต้ฝั่งตะวันออก

- ปริมาณน้ำฝน

ฝน (Rain) เป็นส่วนหนึ่งของวัฏจักรของน้ำ เป็นปรากฏการณ์ ทางธรรมชาติที่เกิดจากน้ำโดนความร้อนจากแสงอาทิตย์ ระเหยกลายเป็นไอลอยขึ้นไปในอากาศ รวมตัวกันเป็นหยดน้ำขนาดใหญ่ขึ้นก่อตัวเป็นเมฆฝน ลอยตัวไปเรื่อยๆ จนกระทั่งมีขนาดและ น้ำหนักมากเกินกว่าอากาศจะพยุงไหว เมื่ออยู่ในสภาวะที่เหมาะสมจึงตกลงมาเป็นฝน น้ำฟ้าที่ตกลง สู่พื้นดินในแต่ละท้องถิ่นมีปริมาณมากน้อยเพียงใด ตกในช่วงใดของปี ตกลงมาเป็นฝนหรือหิมะ ปัจจัยเหล่านี้จะเป็นตัวกำหนดสภาพภูมิอากาศของท้องถิ่นนั้นๆ ฝนจึงเป็นสิ่งสำคัญยิ่งสิ่งหนึ่งใน อุดุนิยมวิทยา

1.7.7 การเลือกพืชที่จะนำมาปลูก

การทำหลังคาเขียวตามแบบเดิมมักประสบปัญหาเรื่องน้ำหนักของวัสดุปลูกและการบำรุงรักษาพืช โดยเฉพาะการปลูกพืชบนหลังคาที่มีความลาดเอียง ประกอบกับสภาพอากาศร้อนชื้นของประเทศไทย การเลือกพืชที่เหมาะสมกับการใช้งานจึงเป็นสิ่งจำเป็น โดยเลือกพืชที่มีน้ำหนักเบา ดูแลรักษาง่ายเติบโตได้แม้ไม่รดน้ำได้บ่อย ทนทานต่อแสงแดดและสภาพอากาศร้อนชื้นได้เป็นอย่างดี ซึ่งในการทดลองได้เลือกพืชในวงศ์สับปะรดสี (Bromeliad) ประเภทพืชอากาศสกุล (*Tillandsia*) อย่างต้น *Tillandsia* (Coton Candy) มาเป็นพืชทดลองร่วมกับอุปกรณ์ยึดพืชที่ได้ออกแบบสำหรับใช้งานอย่างง่าย

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ต้น *Tillandsia* (Coton Candy) เป็นพืชทนแล้ง มีถิ่นกำเนิดแถบอเมริกาใต้ พบมากสุดใน เม็กซิโก บราซิล เปรู โคลัมเบีย ชิลี ในประเทศไทยมีการนำเข้ามาปลูกเป็นเวลานานแล้ว เป็นไม้เลี้ยงง่ายใช้เวลาดูแลน้อย มีขนาด รูปทรง สีต้นที่สวยงาม ลำต้นสั้น ใบเดี่ยวออกเรียงสลับรอบลำต้นจากซ้ายไปขวา ใบเป็นใบถาวรจะคงอยู่กับลำต้นจนกว่าจะตายไม่ผลัดใบ โคนใบเป็นกาบแผ่กว้างเพื่อใช้เป็นที่กักเก็บน้ำ ตามใบและลำต้นมีขนขาวขึ้นปกคลุมหนาแน่น ซึ่งเป็นลักษณะพิเศษของพืชทนแล้ง เรียกว่า ไทรโคม (Trichome) ทำหน้าที่ดูดซับความชื้นและธาตุอาหารที่ลอยมาตามลมไปเลี้ยงลำต้น นอกจากทำหน้าที่หาอาหารแล้ว ไทรโคมยังมีหน้าที่สะท้อนแสงและระบายความร้อนในตอนกลางวันทำให้ต้นไม่ร้อนมากเกินไป มีการสร้างอาหารแตกต่างจากพืชทั่วไป เนื่องจากเป็นพืช CAM (Crassulacean Acid Metabolism) ที่มีรูปแบบพิเศษจะเปิดปากใบเพื่อรับคาร์บอนไดออกไซด์ในตอนกลางคืน และจะปิดปากใบเพื่อลดการสูญเสียน้ำในตอนกลางวัน (Cushman, 2001)



Trichome

ของต้น *Tillandsia* (Coton

ภาพที่ 1-11 ภาพ Trichome ของต้น *Tillandsia* (Coton Candy)

ที่มา : <https://wholesale.bromelien-westermann.eu/en/tillandsia-cotton-candy.html>

ลักษณะของใบที่เรียงวน



ภาพที่ 1-12 ลักษณะของใบเรียงจากซ้ายไปขวาของต้น *Tillandsia* (Cotton Candy)

ที่มา : <https://tillandsiaaffair.wordpress.com/2013/08/26/>

การขยายพันธุ์ (เศรษฐมนตร์ กาญจนกุล, 2553) ทำได้โดยการตัดหน่อ เพาะเมล็ด เพาะเนื้อเยื่อ แต่วิธีการที่เป็นที่นิยม สะดวก และรวดเร็ว คือ การแยกหน่อ

การแยกหน่อ ทำได้กับหน่อที่มีความสมบูรณ์คู่ได้จากราก ถ้ามีรากงอก ออกจากหน่อนั้นแล้วสามารถนำไปขยายพันธุ์ได้มีโอกาสดิดสูง การขยายพันธุ์ของสกุลทิลแลนเซีย (*Tillandsia*) จะมีไหลหรือแตกหน่อออกจากต้นแม่

1. เตรียมดินที่จะแยกกอคู่ต้นที่ขนาดโตเท่าครึ่งหนึ่งของต้นแม่
2. ใช้มือบิดให้ส่วนโคนแยกออกจากกัน นำไปวางฝั่งลม ให้แผลแห้งและ ทาปูนแดงที่แผลป้องกันเชื้อรา
3. วางเรียงให้อากาศถ่ายเทได้สะดวก



ภาพที่ 1-13 การขยายพันธุ์โดยการแยกหน่อของต้น *Tillandsia* (Cotton Candy)

ดอกจะออกจากยอด 1 ดอกต่อ 1 ต้น และจะออกดอกอีกครั้งต้องรอหน่อต่อไป
เติบโตขึ้นมาแล้วจึงจะออกดอกอีกครั้ง เมื่อออกดอกแล้วจะบานอยู่ได้ 1 – 2 เดือน



ภาพที่ 1-14 ลักษณะดอกของต้น *Tillandsia* (Cotton Candy) บริเวณปลายยอด

ที่มา : ภาพที่ 15 https://www.birdrocktropicals.com/tilli_hybrids.asp

พืชแต่ละชนิดต้องการปัจจัยในการเจริญเติบโตที่แตกต่างกัน การเลือกพืชโดย
คำนึงถึงสภาพแวดล้อมพื้นถิ่นจึงเป็นเรื่องสำคัญ เนื่องจากสภาพภูมิอากาศใน
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ตั้งอยู่ในเขตอิทธิพลของลมมรสุมเมืองร้อน การ
นำต้น *Tillandsia* (Cotton Candy) ซึ่งเป็นพืชทนแล้ง ต้องการน้ำน้อย ดูแลง่าย มาเป็นพืชทดลองที่
น่าจะมีความเหมาะสมกับสภาพอากาศร้อนชื้นบริเวณมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขต
หาดใหญ่

1.7.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยของ Dominique et al., (2003) ได้ศึกษาพฤติกรรมทางความร้อนของหลังคาสีเขียว
พบว่า หลังคาเขียวช่วยลดอุณหภูมิระหว่างพื้นผิวหลังคา กับหลังคาอาคารลง 5 ถึง 7 องศาเซลเซียส
นอกจากจะกันความร้อนได้ดีแล้ว พืชยังช่วยให้สภาพแวดล้อมรอบๆ สะอาด ด้วยการดูด CO₂ ใน
อากาศไปใช้ในการสังเคราะห์แสง (Wonga et al., 2003) หลังคาเขียวทำหน้าที่เป็นฉนวนกันความ
ร้อนและระบายความร้อนได้ดีกว่าฉนวนกันความร้อนที่ใช้ทั่วไปในอาคาร (พุทธิพันธ์ เจริญ
เวศยางกูร, 2009) การลดร้อนเข้าทางหลังคาจะไม่ขึ้นอยู่กับความหนาของวัสดุปลูก (Mert
and Bradley, 2016) แต่ขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้ การใช้พืชลดความร้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพอยู่ที่การ

เลือกพืชให้เหมาะสมสภาพอากาศของพื้นที่ (Lin et al., 2013) อุณหภูมิจะเป็นตัวแปรสภาพอากาศที่สำคัญต่อประสิทธิภาพการลดความร้อนของหลังคาสีเขียว การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิจะเกี่ยวข้องกับสภาพภูมิอากาศและภูมิศาสตร์ที่ตั้ง (ยิ่งยศ เงินมาก, 2550) เนื่องจากหลังคาเขียวเป็นชั้นที่ถูกเพิ่มเติมโดยวัสดุต่างๆ จึงต้องออกแบบให้รัดกุมถึงความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นจากธรรมชาติ ในแต่ละประเทศมีมาตรฐานการก่อสร้างหลังคาที่แตกต่างกัน สิ่งที่ต้องนำมาพิจารณาในการออกแบบหลังคาเขียว คือ ความสามารถในการรับน้ำหนักของโครงสร้างหลังคา ความลาดชันของหลังคา โดยปกติแล้วนิยมใช้ความลาดชันของหลังคาไม่เกิน 30 องศา (กมลภัทร์ โรจนประดิษฐ์, 2552) และทิศทางลม เมื่อมีลมแรงสามารถทำให้บริเวณขอบและมุมของวัสดุที่ใช้ทำหลังคาเขียวเกิดปัญหา (Edwin et al., 2014) จากประโยชน์ที่ผ่านมาส่งผลให้การปลูกต้นไม้บนหลังคาได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย แต่สาเหตุส่วนใหญ่ที่ทำให้หลังคาเขียวประมาณ 70-90 เปอร์เซ็นต์ ไม่ค่อยประสบผลสำเร็จมาจากการเลือกใช้พืชไม่ถูกต้อง (ณธรัตน์พัชร เขียววิชัย, 2557) พืชที่เหมาะสมเป็นหลังคาเขียวในเขตภูมิอากาศร้อนชื้นควรเป็นพืชที่ปรับตัวเข้ากับสภาพขาดน้ำได้ดี ใช้น้ำน้อย เก็บกักน้ำได้มาก ทนแล้งได้นาน รวมถึงสภาพเลวร้ายต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้นบนหลังคา (วรวิภา ธานีวิวัฒนา, 2552) การปลูกหญ้าซึ่งปรับตัวได้ดีในทุกสภาพแวดล้อมบนหลังคาอาคารช่วยลดอุณหภูมิในตอนกลางวันได้ถึง 7.3 องศาเซลเซียส หรือประมาณ 23.7 เปอร์เซ็นต์ ส่วนอุณหภูมิกายนอกลดลงไป 2.4 องศาเซลเซียส หรือประมาณ 8.5 เปอร์เซ็นต์

ดังนั้น การมีพืชปกคลุมหลังคาเปรียบเสมือนเป็นฉนวนป้องกันความร้อนในแก่หลังคา ยิ่งใบมากเท่าไรยิ่งดี เนื่องจากใบที่หนาจะช่วยเพิ่มร่มเงาให้กับอาคารได้มาก เหมาะกับอาคารประเภทที่มีการใช้งานเครื่องปรับอากาศมาก เช่น อาคารสำนักงาน อาคารเรียนในมหาวิทยาลัย เป็นต้น

การสร้างหลังคาเขียวจึงต้องคำนึงถึงลักษณะเฉพาะของพืชกับสภาพภูมิอากาศในพื้นที่นั้น จึงเป็นสิ่งสำคัญอันดับต้นๆ Green Roof ที่เหมาะสมกับอาคารที่ตั้งอยู่ในภูมิอากาศแบบร้อนชื้น ควรปลูกพืชที่มีใบหนา (ดัชนีพื้นที่ใบมาก) การออกแบบหลังคาเขียวต้องคำนึงถึงการรับน้ำหนักของโครงสร้าง ความลาดเอียง และลม เป็นสำคัญ

บทที่ 2

วิธีการดำเนินการวิจัย

การศึกษานี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง เป็นการศึกษาเกี่ยวกับหลังคา Green Roof แบบใช้พืชอากาศ *Tillandsia* (Cotton Candy) ซึ่งทนร้อนได้ดีเหมาะสมกับสภาพอากาศร้อนชื้นของประเทศไทย โดยออกแบบอุปกรณ์ยึดต้นพืชอากาศอย่างง่าย นำหนักเบา เพื่อเป็นหลังคาเขียวแบบใช้พืชอากาศในการป้องกันความร้อนเข้าสู่อาคารผ่านทางหลังคากระเบื้องหลังคา โดยแบ่งขั้นตอนการเตรียมการ ดังนี้

1. การเตรียมสถานที่
2. การเตรียมอุปกรณ์และเครื่องมือในการเก็บข้อมูล
3. การเตรียมการทดลอง
4. การทดลองและการเก็บข้อมูล

1 การเตรียมสถานที่

เนื่องจากการวิจัยครั้งนี้มีทั้งการศึกษาจากการทดลองจากหลังคาจำลอง และการเก็บข้อมูลจากเครื่อง Data Logger Davis 6250 Vantage Vue ซึ่งเป็นเครื่องสำหรับวัดสภาพอากาศ ดังนั้นสถานที่ตั้งหลังคาจำลองจึงควรอยู่ในบริเวณใกล้เคียงที่ติดตั้งเครื่อง Data Logger เพื่อควบคุมตัวแปรเรื่องสถานที่และสภาพอากาศ ดังนั้นจึงเลือกอาคารพักคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ เนื่องจากบนอาคารพักคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมมีการติดตั้งเครื่อง Data Logger สำหรับวัดสภาพอากาศ จึงเป็นสถานที่ที่มีความพร้อมเหมาะสมในการเป็นสถานที่ทำการทดลองการใช้งานหลังคาเขียวแบบใช้พืชอากาศ *Tillandsia* (Cotton Candy) ภายใต้สภาพแวดล้อมจริง เป็นระยะเวลา 1 ปี (ภาพที่ 2-1)



ภาพที่ 2-1 สถานที่ทำการทดลองบริเวณด้านบนของอาคารฝ่ายจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่

2 การเตรียมอุปกรณ์และเครื่องมือในการเก็บข้อมูล

2.1 เครื่องคอมพิวเตอร์พกพาี่ห้อ ASUS K45D Series ใช้ในการเก็บบันทึกข้อมูล

2.2 เครื่องวัดสภาพอากาศ Davis 6250 Vantage Vue มีชุดคอนโซลแสดงค่า อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลมและทิศทางลม ปริมาณน้ำฝน บันทึกข้อมูลเป็นรายชั่วโมง แสดงข้อมูลสภาพอากาศย้อนหลังได้ 25 วัน เพื่อใช้เก็บข้อมูลสภาพอากาศที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืชทดลอง จำนวน 1 เครื่อง

2.3 เครื่องชั่งน้ำหนัก เครื่องชั่งแบบตั้งโต๊ะ ยี่ห้อ SUNFORD รุ่น KAH 5000 Digital Scale ชั่งได้ในหน่วย กรัม กิโลกรัม สูงสุดได้ 5 กิโลกรัม แสดงผลเป็นตัวเลขดิจิทัล มีทศนิยม 4 หลัก เพื่อชั่งน้ำหนักต้น *Tillandsia* (Cotton Candy) ในการดูการเจริญเติบโต จำนวน 1 เครื่อง

2.4 กล้องดิจิทัล sony cybershot รุ่น DSC-W800 ใช้ในการเก็บข้อมูล

2.5 ตลับเมตร ใช้เก็บข้อมูลการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของพืช



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)



(จ)

ภาพที่ 2-2 เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูล (ก) เครื่องคอมพิวเตอร์ (ข) เครื่องวัดสภาพอากาศ Davis 6250 Vantage Vue (ค) เครื่องชั่งน้ำหนัก ยี่ห้อ SUNFORD รุ่น KAH 5000 Digital Scale (ง) กล้องดิจิทัล sony cybershot รุ่น DSC-W800 (จ) ตลับเมตร

3. การเตรียมการทดลอง

3.1 สร้างหลังกาจำลอง จำนวน 3 หลังก และ 1 ชุดปลูก ดังนี้

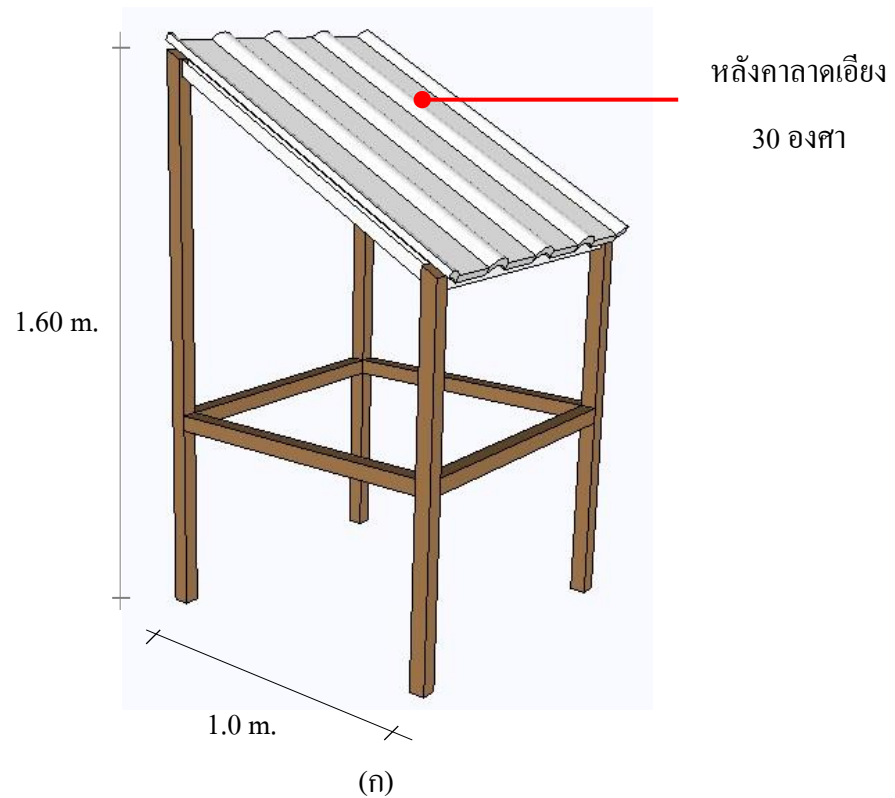
หลังกที่ 1 ชุดปลูกธรรมดาแบบไม่มีอุปกรณ์จับยึด

หลังกที่ 2 หลังกกระบี่องลอนคู่ที่มีอุปกรณ์ยึดพืชชั้นที่ 1

หลังกที่ 3 หลังกกระบี่องลอนคู่ที่มีอุปกรณ์ยึดพืชชั้นที่ 2

หลังกที่ 4 หลังกกระบี่องลอนคู่ที่มีอุปกรณ์ยึดพืชชั้นที่ 3

ซึ่งในการทดลองใช้งานหลังกาเขียวแบบใช้พืชอากาศภายใต้สภาพแวดล้อมจริง ครั้งนี้ เนื่องจากข้อจำกัดเรื่องความสูงของหลังกาบ้านจริงทำให้เป็นอุปสรรคในการเก็บข้อมูล จึงได้ทำการจำลองหลังกากระบี่องลอนคู่ จำนวน 3 หลังก ที่มีความลาดเอียงของหลังกา 30 องศา ใช้สำหรับติดตั้งอุปกรณ์ยึดพืชอากาศทั้ง 3 แบบ เพื่อใช้ทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของอุปกรณ์ร่วมกับพืชเป็นเวลา 12 เดือน (ภาพที่ 2-3) และชุดปลูกธรรมดาแบบไม่มีอุปกรณ์ยึดพืชอากาศ (ภาพที่ 2-4) เพื่อเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของพืชอากาศ *Tillandsia* (Cotton Candy)



(ข)

ภาพที่ 2-3 ลักษณะหลังคาจำลอง (ก) โครงสร้างหลังคาขนาด 1.0 x 1.6 m. ความลาดเอียงของ กระเบื้อง 30 องศา (ข) หลังคาจำลองสำหรับติดตั้งแผงอุปกรณ์ยึดพืชอากาศ จำนวน 3 หลัง



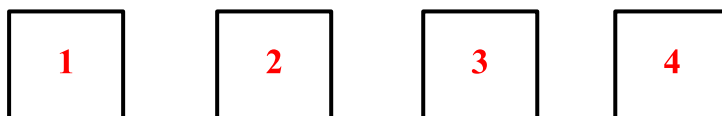
ภาพที่ 2-4 ชุดปลูกธรรมดาแบบไม่มีอุปกรณ์ยึดพีชอากาศ ปลูกแบบปกติไม่ติดตั้งบนหลังคา
กระเบื้องลอนคู่ โครงสร้างขนาด 1.0 x 1.0 m (ข) สำหรับปลูกพืชแบบปกติไม่มีอุปกรณ์จับยึด

โดยตำแหน่งในการวางหลังคาจำลองบนดาดฟ้า เรียงตามลำดับ จากซ้ายไปขวา มีระยะห่าง
ระหว่างหลังคา 1.20 เมตร (ภาพที่ 2-5)

ตำแหน่งติดตั้งเครื่อง Data Logger

สำหรับวัดสภาพอากาศ

ตำแหน่งการวางหลังคาจำลองและชุดปลูกธรรมดา



หลังที่ 1 เป็นชุดควบคุมปลูกธรรมดาแบบไม่มีอุปกรณ์จับยึด

หลังที่ 2 หลังคากระเบื้องลอนคู่ที่มีอุปกรณ์ยึดพีชชั้นที่ 1

หลังที่ 3 หลังคากระเบื้องลอนคู่ที่มีอุปกรณ์ยึดพีชชั้นที่ 2

หลังที่ 4 หลังคากระเบื้องลอนคู่ที่มีอุปกรณ์ยึดพีชชั้นที่ 3

ภาพที่ 2-5 ตำแหน่งการวางหลังคาจำลองและปลูกธรรมดา

3.2 การเตรียมพืชสำหรับทดลอง

พืชที่ใช้ในการทดลอง คือ ต้น *Tillandsia* (Cotton Candy) ซึ่งเป็นพืชอากาศแท้ที่ไม่ใช้รากในการหาอาหาร แต่ใช้ยึดเกาะสิ่งอื่นเพื่อพยุงลำต้นให้รับแสงแดดได้ ใบมีลักษณะเป็นพุ่ม เป็นพืชโตช้า มีไทรโคม (Trichom) ขนสีขาวปกคลุมทั่วทั้งลำต้นทำหน้าที่ดูดซับความชื้นในอากาศมาเป็นอาหาร ชอบแสงแดด และทนทานต่อสภาพอากาศร้อนชื้น โดยเตรียมพืชที่จะใช้สำหรับทดลองจำนวน 400 ต้น


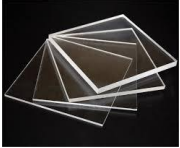





ภาพที่ 2-6 การเตรียมต้นพืชที่ใช้ในการทดลองต้น *Tillandsia* (Coton Candy)




3.3 การคัดเลือกวัสดุ

คัดเลือกวัสดุที่มีความเหมาะสมสำหรับทำต้นแบบอุปกรณ์ยึดพืชอากาศติดตั้งบนหลังคาตลาดเอียง มีการคำนึงถึงต้นทุนการผลิต หาซื้อได้ง่ายตามท้องตลาดเพราะหากเป็นวัสดุที่หายากจะทำให้ต้นทุนการผลิตต้นแบบสูงขึ้น จากวัสดุทั้งหมด 10 ชนิด มีลักษณะและคุณสมบัติ ดังแสดงในตารางที่ 2-1 ดังนี้

ตารางที่ 2-1 ลักษณะของวัสดุ 10 ชนิด ที่เลือกมาใช้ในการทดลอง

ชนิด	ลักษณะ	รายละเอียด	อ้างอิง
เชือกไนล่อน		ไนลอน (nylon) คือ พลาสติกที่ได้จากการกระบวนการพอลิเมอไรเซชัน (polymerization) ของเอไมด์ (amide, CHONH) เพื่อใช้ทดแทนเส้นใยจากธรรมชาติ เช่น ไช้ไหม โดยการนำเอาเส้นด้ายที่ผ่านการตีเกลียวจำนวนอย่างน้อย 3 เส้น (Stand) หรือมากกว่า มาบิดเข้าเกลียว (Twisted) รวมกัน หรือนำมาถักเปีย (Braided) เข้าด้วยกัน ใช้ประโยชน์สำหรับการลากจูง รั้วลิ่งของ ในระหว่างการขนส่งสิ่งต่างๆ หรือแม้กระทั่งการปีนเขา	http://www.boonthavorn.com
แผ่นอะคริลิก		อะคริลิก เป็นพลาสติกที่มีความทนทานแข็งแรง สามารถทนต่อแรงกระแทกได้ดีกว่ากระจก น้ำหนักเบา จึงทำการเคลื่อนย้ายและติดตั้งได้ง่ายกว่า สามารถใช้เป็นฉนวนความร้อนได้ดีกว่าแก้ว มีความหนาตั้งแต่ 2 มิลลิเมตร-100 มิลลิเมตร ขึ้นไป จึงสามารถนำมาใช้งานได้อย่างหลากหลาย	http://www.sedtheesathaporn.com
ท่อสแตนเลส		สแตนเลส หรือชื่ออย่างเป็นทางการ คือ เหล็กกล้าไร้สนิม ใช้เรียกเหล็กในกลุ่มที่มีความต้านทานการกัดกร่อนสูง สแตนเลสเป็นโลหะผสมระหว่างเหล็กและคาร์บอน ทำความสะอาดได้ง่าย ปัจจุบันมีให้เลือกมากมายด้วย สีทอง บรอนซ์ เขียว เงิน และสี ด้วยรูปร่าง สมบัติ และลักษณะต่างๆ ช่วยให้ผู้ใช้ผลิตสามารถนำไปประกอบกับวัสดุอื่นๆ ได้ง่าย และยังเป็นวัสดุที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่เกือบ 100 เปอร์เซ็นต์	http://www.vrfitings.com
ลวดอลูมิเนียม		อลูมิเนียม เป็นโลหะที่มีสีเงิน น้ำหนักเบาแต่มีความแข็งแรง นอกจากนี้ยังมีความยืดหยุ่นทำให้สามารถนำไปรีดเป็นแผ่นบางๆ ได้ อลูมิเนียมถูกนำไปใช้ได้มากมาย ทั้งในครัวเรือนและในอุตสาหกรรม ข้อดีบางประการของอลูมิเนียมคือ ดูดี ง่ายต่อการผลิต ต่อต้านการกัดกร่อนได้ดี ความหนาแน่นต่ำ ด้านการแตกหักสูง ด้วยคุณสมบัติเหล่านี้ อลูมิเนียมจึงเป็นหนึ่งในวัสดุที่มีผลต่อเศรษฐกิจ และการทำโครงสร้าง ที่ใช้ในการค้าขาย และอุปกรณ์ทางการทหาร	http://www.brastechcompany.com
ท่ออลูมิเนียม		เมื่อสัมผัสกับอากาศ จะทำให้เกิดชั้นฟิล์มบางๆ เรียกว่า อลูมิเนียมออกไซด์ อยู่ที่ชั้นผิวของอลูมิเนียม ซึ่งชั้นผิวนี้จะสามารถป้องกันการกัดกร่อน และกรดต่างๆ ได้	http://www.nakornaluminium.com

ตารางที่ 2-1 ลักษณะของวัสดุ (ต่อ)

ชนิด	ลักษณะ	รายละเอียด	อ้างอิง
ลวดลวดมียวมหุ้มพลาสติก		ลวดลวดมียวมหุ้มด้วยพลาสติก PE มีทั้งแบบใบเห็นลวดด้านใน โดยทั่วไปลวดลวดมียวมหุ้มพลาสติกนิยมนำมาใช้สำหรับทำงานฝีมือ งานประดิษฐ์ รั้วเก็บสายไฟในโรงงานอุตสาหกรรม โดยเฉพาะอย่างยิ่งอุตสาหกรรมอาหารที่เน้นเรื่องความสะอาด ปลอดภัยเป็นสำคัญ สามารถผลิตเป็นขนาดและความยาวที่เหมาะสมกับการใช้งานได้	http://www.thaicoatedwire.com
ท่อ PVC		ท่อ PVC หรือ Polyvinyl Chloride ที่ประกอบด้วย คลอรีน 57% ซึ่งเป็นผลผลิตจากเกลืออุตสาหกรรม และ 43% มาจากคาร์บอนซึ่งสกัดมาจากน้ำมันและก๊าซ เป็นท่อขนาดแข็ง สามารถนำไปใช้ในกิจการหลากหลายประเภท โดยจะจำแนกประเภท ตามสีต่างๆ คุณสมบัติที่เด่นชัด คือ มีความเหนียว ชืดหยุ่น ทนต่อสภาพอากาศ ทนความร้อน มีอายุการใช้งานเฉลี่ยยาวนานถึง 50 ปี พีวีซีเป็นพลาสติกที่ใช้ทรัพยากรธรรมชาติน้อยกว่าพลาสติกประเภท PE, PP, PET และ PS	http://www.pvcpepipethailand.com/
ลวดขาว		ลวดขาว หรือ ลวดเหล็กชุบสังกะสี (Galvanized Wire) ผลิตโดยการนำเหล็กลวดมาชุบด้วยกระบวนการรีดเย็น จากนั้นนำลวดเหล็กมาผ่านกระบวนการชุบแร่สังกะสี นิยมนำมาใช้ในงานผลิต ตะแกรงบั้งปลา, กรงสัตว์เลี้ยง, ลวดรองจอกขางพารา, หูถัง, งานหัตถกรรมประดิษฐ์, งานประมง, ชั้นวางของ ลวดแขวนกระถางต้นไม้	http://www.btcwiremesh.com
สายยางอ่อน		สายยางใส ทำมาจาก Polyethylene (PE) เป็นพลาสติกที่มีคุณสมบัติ เป็นฉนวนที่ดี มีความเหนียว และทนทานต่อแรงดึงปานกลาง ปกติจะไม่ละลาย แต่จะเริ่มละลาย ถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 70 องศา ลักษณะเป็นท่อใส นิ่ม โค้งงอได้	http://www.globalhouse.co.th/
ขวดน้ำพลาสติก		เป็นวัสดุสังเคราะห์ที่มนุษย์นำมาใช้ประโยชน์แทนวัสดุธรรมชาติ ขวดน้ำดื่มจัดอยู่ในกลุ่มพลาสติกกรีไซเคิลสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ อยู่ในกลุ่ม โพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลต (Polyethylene Terephthalate) เรียกย่อๆว่า (PET หรือ PETE) เป็นพลาสติกใส ทนแรงกระแทก ไม่เปราะแตกง่าย หาซื้อได้ตามท้องตลาดทั่วไป	http://krittapob.exteen.com/20110325/entry-1

จากตารางที่ 2-1 หลังจากได้วัสดุที่เหมาะสมสำหรับทำต้นแบบอุปกรณ์ยึดพืชอากาศ จากนั้นนำไปทำการคัดเลือก โดยการให้คะแนนลักษณะต่างๆ จากเกณฑ์ ดังนี้

วัสดุแต่ละชนิดมีคุณสมบัติที่ไม่เหมือนกัน บางชนิดใช้งานได้ดีในที่ร่ม บางชนิดใช้งานได้ดีทั้งกลางแจ้งและกลางแจ้ง บางชนิดขึ้นรูปผลิตง่ายแต่ราคาสูง บางชนิดค่า Emission Factor น้อยแต่ขึ้นรูปผลิตเป็นชิ้นงานยาก บางชนิดค่าการนำความร้อนต่ำแต่น้ำหนักมาก ฉะนั้น ในการพิจารณาในเกณฑ์นี้ต้องเป็นวัสดุที่สามารถทนได้ทุกสภาพอากาศ (ไม่เป็นสนิม) น้ำหนักเบา ค่าการนำความร้อนต่ำ ราคาถูก ขึ้นรูปง่าย และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เพื่อให้ตรงกับวัตถุประสงค์ที่ต้องการอุปกรณ์ยึดพืชอากาศเพื่อป้องกันและลดความร้อนผ่านทางหลังคา เพราะหากเลือกวัสดุที่ไม่เป็นไปตามที่กล่าวมาอาจจะมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช และส่งผลกับการทดลองนี้

3.3.1 ทนต่อสภาพอากาศ

วัสดุที่ไม่เป็นสนิมมีความสำคัญเนื่องจากสนิมที่มาจากวัสดุอาจจะมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยเกณฑ์การให้คะแนนเป็น ดังนี้

- | | | | |
|-----------------|---|---|-------|
| (1) ไม่เป็นสนิม | = | 1 | คะแนน |
| (2) เป็นสนิม | = | 0 | คะแนน |

3.3.2 น้ำหนักเบา

น้ำหนักเป็นเรื่องสำคัญสำหรับการออกแบบหลังคาเขียว การปลูกพืชบนหลังคาทำให้โครงสร้างหลังคาต้องรับน้ำหนักมากขึ้นกว่าปกติ อุปกรณ์ยึดพืชอากาศที่ใช้ต้องมีน้ำหนักเบาเพื่อที่จะสามารถลดภาระของโครงสร้างมาตรฐานของอาคารแบบเดิม เพราะอาคารเดิมบางหลังไม่สามารถรับน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นได้ เนื่องจากโครงสร้างหลังคาไม่แข็งแรงพอที่จะรับน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น โดยเกณฑ์การให้คะแนนเป็น ดังนี้

- | | | | |
|---|---|---|-------|
| (1) น้ำหนักไม่เกิน 10 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร | = | 1 | คะแนน |
| (2) น้ำหนักเกิน 10 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร | = | 0 | คะแนน |

หมายเหตุ

- แผ่นปลูกพืชบนหลังคา (ม.เกษตร) มีน้ำหนักสุทธิรวมดินไม้ปลูกคลุมเต็มที่จะช้ชุ่มน้ำ 78.2 กิโลกรัม ขณะแห้งไม่เกิน 50 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

3.3.3 นำความร้อนต่ำ

วัสดุแต่ละชนิดมีการนำความร้อนที่แตกต่างกัน วัสดุที่นำความร้อนมากเกินไปเมื่อนำมาใช้เป็นอุปกรณ์ยึดพีชจะส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพีช โดยเกณฑ์การให้คะแนนเป็น ดังนี้

- | | | | |
|--------------------------------|---|---|-------|
| (1) นำความร้อนไม่เกิน 1.0 W/mK | = | 1 | คะแนน |
| (2) นำหนักเกิน 1.0 W/mK | = | 0 | คะแนน |

หมายเหตุ - ค่าการนำความร้อนยิ่งน้อยยิ่งดี เลขเลือกที่ 1.0 W/mK

3.3.4 ราคาถูก

วัสดุที่ใช้ควรเป็นวัสดุที่หาซื้อง่าย มีราคาถูกกว่าฉนวนกันความร้อน เพื่อเป็นทางเลือกสำหรับคนที่สนใจให้อยากใช้หลังคาพีชลดความร้อนแทนฉนวนที่ โดยเกณฑ์การให้คะแนนเป็น ดังนี้

- | | | | |
|------------------------|---|---|-------|
| (1) ราคาไม่เกิน 30 บาท | = | 1 | คะแนน |
| (2) ราคาเกิน 30 บาท | = | 0 | คะแนน |

หมายเหตุ - ราคาฉนวนกันความร้อน หน้า 150 มิลลิเมตร ขนาด 0.6 x 4 เมตร ราคา 428 บาท

- แผ่นปลูกพีชบนหลังคา (ม.เกษตร) ขนาด 30 x30 เซนติเมตร ราคาแผ่นละ 110 บาท พื้นที่ 1 ตารางเมตร ใช้แผ่นปลูก 9 แผ่น ตกราคา 1 ตารางเมตร 990 บาท

3.3.5 ขึ้นรูปง่าย

วัสดุที่ขึ้นรูปยากทำให้มีต้นทุนในการผลิตที่เพิ่มขึ้น ฉะนั้นวัสดุที่เลือกต้องเป็นวัสดุที่ไม่ใช้เครื่องมือโรงงานในการขึ้นรูป โดยเกณฑ์การให้คะแนนเป็น ดังนี้

- | | | | |
|--------------------------------------|---|---|-------|
| (1) ขึ้นรูปโดยไม่ใช้เครื่องมือโรงงาน | = | 1 | คะแนน |
| (2) ขึ้นรูปโดยใช้เครื่องมือโรงงาน | = | 0 | คะแนน |

3.3.6 เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม


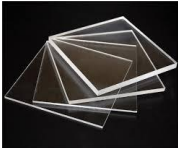



วัสดุที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมเป็นเกณฑ์ที่สำคัญ เพราะนอกจากพีชที่ใช้จะช่วยลดความร้อน วัสดุที่ใช้ต้องไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยเกณฑ์การให้คะแนนเป็น ดังนี้

- | | | | |
|---|---|---|-------|
| (1.1) ค่า Emission Factor ไม่เกิน 1.6 kgCO ₂ eq และ Recyclable ได้ | = | 1 | คะแนน |
| (1.2) ค่า Emission Factor เกิน 1.6 kgCO ₂ eq และ Recyclable ไม่ได้ | = | 0 | คะแนน |






หมายเหตุ - คิดจาก ค่าเฉลี่ยของวัสดุทั้ง 10 ชนิด $16.66 / 10 = 1.662$

จากเกณฑ์ 6 ข้อที่ได้กล่าวมา จึงทำการให้คะแนนวัสดุทั้ง 10 ชนิด แล้วเลือกวัสดุที่มีคะแนนสูงสุด 3 ชนิด มาใช้ในการออกแบบอุปกรณ์ยึดพีชอากาศ โดยแสดงตารางการให้คะแนน ดังนี้

ตารางที่ 2-2 การให้คะแนนวัสดุ 10 ชนิด ที่เลือกมาใช้ในการทดลอง

ชนิด	ลักษณะ	สนิม	น้ำหนัก เบา (kg/m ³)	นำความร้อนต่ำ (W/mK)	ราคาถูก Baht/m ²	ขึ้นรูป ง่าย	เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม		อ้างอิง
							Emission Factor (kgCO ₂ eq)	Recyclable	
เชือกไนล่อน		ไม่เป็น	เบา	0.15	85	ยาก	1.91	ได้	http://www.boonthavorn.com
แผ่นอคริลิก		ไม่เป็น	เบา	20	150	ยาก	1.94	ได้	http://www.sedtheesathaporn.com
ท่อสแตนเลส		ไม่เป็น	หนัก	300	201	ยาก	1.63	ได้	http://www.vrfitings.com
ลวดอลูมิเนียม		ไม่เป็น	เบา	0.023	12	ง่าย	0.43	ได้	http://www.brastechcompany.com
ท่ออลูมิเนียม		ไม่เป็น	เบา	237	237	ยาก	1.4	ได้	http://www.nakormaluminium.com

ตารางผนวกที่ 2 -2 การให้คะแนนวัสดุ (ต่อ)

ชนิด	ลักษณะ	สนิม	น้ำหนัก (kg/m ³)	การนำความร้อนต่ำ (W/mK)	ราคาถูก Baht/m ²	การขึ้นรูป	เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม		อ้างอิง
							Emission Factor (kgCO ₂ eq)	Recyclable	
ลวดอลูมิเนียมหุ้มพลาสติก		ไม่เป็น	เบา	0.023	15	ง่าย	0.43	ได้	http://www.thaicoatedwire.com
ท่อ PVC		ไม่เป็น	หนัก	20	87	ง่าย	2.47	ได้	http://www.pvcpepipethailand.com/
ลวดขาว		เป็น	เบา	300	2	ง่าย	4.54	ได้	http://www.btcwiremesh.com
สายยางอ่อน		ไม่เป็น	เบา	0.023	15	ยาก	0.35	ได้	http://www.globalhouse.co.th/
ขวดน้ำพลาสติก		ไม่เป็น	เบา	0.15	1.5	ง่าย	1.52	ได้	http://krittapob.exteen.com/20110325/entry-1

ตารางที่ 2-3 การคัดเลือกวัสดุโดยการให้คะแนน

วัสดุ	เกณฑ์ในการคัดเลือก							รวม
	ไม่เป็น สนิม	น้ำหนัก เบา (kg/m ³)	การนำความร้อน ต่ำ (W/mK)	ราคาถูก บาท/ตร.ม.	ขึ้นรูป ง่าย	เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม		
						Emission Factor (kgCO ₂ eq)	Recyclable	
เชือกไนลอน	1	1	1	1	0	1	1	6
แผ่นอคริลิก	1	1	0	0	0	1	1	4
ท่อสแตนเลส	1	0	0	0	0	1	1	3
ลวดอลูมิเนียมกลม	1	1	1	1	1	1	1	7
ท่ออลูมิเนียม	1	1	0	0	0	1	1	4
ลวดอลูมิเนียมหุ้มพลาสติก	1	1	1	1	1	1	1	7
ท่อ PVC	1	0	1	0	1	0	1	4
ลวดขาว	0	1	0	0	1	0	1	3
สายยางอ่อน	1	1	1	1	0	1	1	6
ขวดพลาสติก	1	1	1	1	1	1	1	7

ซึ่งผลจากการให้คะแนนคุณสมบัติวัสดุแต่ละชนิด (ภาคผนวก ก) ทำให้ได้วัสดุที่มีคะแนนสูงสุด 7 คะแนน ซึ่งมี 3 ชนิด คือ ลวดอลูมิเนียมกลมหุ้มพลาสติก ขวดน้ำพลาสติก ลวดอลูมิเนียมกลม โดยมีลักษณะและคุณสมบัติที่แตกต่างกัน ดังต่อไปนี้

ลวดอลูมิเนียมกลมหุ้มพลาสติก (Plastic cladding aluminum rod) ซึ่งเป็นลวดอลูมิเนียมหุ้มด้วยพลาสติก PE มีทั้งแบบใสเห็นลวดด้านใน โดยทั่วไปลวดอลูมิเนียมหุ้มพลาสติกนิยมใช้สำหรับรัดเก็บสายไฟในโรงงานอุตสาหกรรม คุณสมบัติและข้อจำกัดของวัสดุที่นำมาผลิตต้นแบบอุปกรณ์ยึดพีชอากาศ คือ ลวดอลูมิเนียมหุ้มพลาสติกเป็นวัสดุที่ไม่เป็นสนิม มีน้ำหนักเบา ประมาณ 2.22 kg/m³ มีค่าการนำความร้อนต่ำ อยู่ที่ 0.023 W/mK ราคา 12 บาท/ตร.ม. ขึ้นรูปได้ง่าย มีค่า Emission Factor (EF) 0.78 kgCO₂eq สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ เป็นวัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

ขวดน้ำพลาสติก (Plastic bottle) เป็นวัสดุสังเคราะห์ที่มนุษย์นำมาใช้ประโยชน์แทนวัสดุธรรมชาติ ขวดน้ำดื่มจัดอยู่ในกลุ่มพลาสติกรีไซเคิลสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ อยู่ในกลุ่ม โพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลต (Polyethylne Terephthalate) เรียกย่อๆว่า (PET หรือ PETE) เป็นพลาสติกใส ทนแรงกระแทก ไม่เปราะแตกง่าย หาซื้อได้ตามท้องตลาดทั่วไป คุณสมบัติและข้อจำกัดของวัสดุที่

นำมาผลิตต้นแบบอุปกรณ์ยึดพีชอากาศ คือ ขวดน้ำพลาสติกเป็นวัสดุที่ไม่เป็นสนิม มีน้ำหนักเบา ประมาณ 1.22 kg/m^3 มีค่าการนำความร้อนต่ำ อยู่ที่ 0.15 W/mK ราคา 7 บาท/ตร.ม. ขึ้นรูปได้ง่าย มีค่า Emission Factor (EF) $1.91 \text{ kgCO}_2\text{eq}$ เป็นวัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

ลวดอลูมิเนียมกลม (Aluminum rod) เป็นโลหะที่มีน้ำหนักเบา มีความแข็งแรง ทนทานต่อสภาพอากาศ สามารถสะท้อนแสงและความร้อนได้ดี ขึ้นรูปง่าย หาซื้อได้ตามร้านจำหน่ายอุปกรณ์ไฟฟ้าทั่วไป มีขนาด ตั้งแต่ 1.0 – 4.0 มิลลิเมตร ลวดไม่แข็งจนเกินไปสามารถตัดได้ด้วยมือ อยู่ตัว ไม่คลายหลุด คุณสมบัติและข้อจำกัดของวัสดุที่นำมาผลิตต้นแบบอุปกรณ์ยึดพีชอากาศ คือ ลวดอลูมิเนียมเป็นวัสดุที่ไม่เป็นสนิม มีน้ำหนักเบา ประมาณ 2.00 kg/m^3 มีค่าการนำความร้อนต่ำ อยู่ที่ 0.023 W/mK ราคา 9 บาท/ตร.ม. ขึ้นรูปได้ง่าย มีค่า Emission Factor (EF) $0.43 \text{ kgCO}_2\text{eq}$ สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ เป็นวัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

สรุปผลการคัดเลือกวัสดุที่นำมาผลิตต้นแบบอุปกรณ์ยึดพีชอากาศ

ซึ่งทำการคัดเลือกวัสดุที่มีคุณสมบัติตามเกณฑ์การคัดเลือกวัสดุ คือ วัสดุต้องไม่เป็นสนิม มีน้ำหนัก ไม่เกิน 3 kg/m^3 มีค่าการนำความร้อน ไม่เกิน 1.0 W/mK ราคาถูก ไม่เกิน 30 บาท ขึ้นรูปง่าย ค่า Emission Factor (EF) ต่ำ ไม่เกิน $3 \text{ kgCO}_2\text{eq}$ สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ทำให้ได้วัสดุที่ไม่เป็นสนิม มีน้ำหนักเบา โดยลวดอลูมิเนียมหุ้มพลาสติกมีน้ำหนักมากที่สุด (2.22 kg/m^3) รองลงมาคือ ลวดอลูมิเนียม (2.00 kg/m^3) และขวดน้ำพลาสติก (1.22 kg/m^3) ตามลำดับ มีค่าการนำความร้อน $0.023 - 0.15 \text{ W/mK}$ โดยขวดน้ำพลาสติกมีค่าการนำความร้อนต่ำที่สุด (0.15 W/mK) รองลงมาคือ ลวดอลูมิเนียมหุ้มพลาสติก และลวดอลูมิเนียมกลม (0.023 W/mK) เท่ากัน ราคาถูก 7 - 12 บาท/ตร.ม. โดยขวดน้ำพลาสติกมีราคาถูกที่สุด (7 บาท/ตร.ม.) รองลงมาคือ ลวดอลูมิเนียม (บาท/ตร.ม.) และลวดอลูมิเนียมหุ้มพลาสติก (บาท/ตร.ม.) มีค่า Emission Factor (EF) $0.43 - 1.91 \text{ kgCO}_2\text{eq}$ โดยลวดอลูมิเนียมกลมมีค่า Emission Factor น้อยที่สุด ($0.43 \text{ kgCO}_2\text{eq}$) รองลงมาคือ ลวดอลูมิเนียมหุ้มพลาสติก ($0.78 \text{ kgCO}_2\text{eq}$) และขวดน้ำพลาสติก ($1.91 \text{ kgCO}_2\text{eq}$) วัสดุทั้ง 3 ชนิดสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม โดยคุณสมบัติของลวดอลูมิเนียมหุ้มพลาสติก ขวดน้ำพลาสติก และลวดอลูมิเนียมกลม มีความแตกต่างกันแต่ไม่แตกต่างกันมาก สามารถนำมาผลิตเป็นต้นแบบอุปกรณ์ยึดพีชอากาศในการทดลองต่อไป

3.4 การออกแบบและขึ้นรูปอุปกรณ์ยึดพืชอากาศสำหรับการทดลอง

3.4.1 การออกแบบอุปกรณ์ยึดพืชอากาศ

ในขั้นตอนการออกแบบอุปกรณ์ยึดพืชอากาศ ผู้วิจัยได้กำหนดขั้นตอนการออกแบบไว้ 2 ขั้นตอน คือ

3.4.1.1 ขั้นตอนการศึกษาข้อมูล

ศึกษารูปแบบวัสดุปลูกพืชอากาศ โดยได้ลงพื้นที่สำรวจร้านขายต้นไม้ในพื้นที่ที่ทำการศึกษา และศึกษาข้อมูลวัสดุปลูกพืชอากาศทางอินเทอร์เน็ต (ภาพที่ 2-7)



ภาพที่ 2-7 ลักษณะวัสดุปลูกพืชอากาศโดยวิธีการแขวน

ข้อมูลที่ได้จากการลงพื้นที่ในการสำรวจร้านขายต้นไม้และจากการสัมภาษณ์ข้อมูล นำข้อมูลที่มีทั้งหมดมากำหนดแนวทางในการออกแบบ รูปแบบ และโครงสร้าง โดยผู้ออกแบบต้องพิจารณาข้อเท็จจริงทั่วไปที่จะมีผลกระทบท่อการออกแบบ ดังต่อไปนี้

(1) รูปร่างและลักษณะทั้งหมดของพืช



ภาพที่ 2-8 ลักษณะของต้น *Tillandsia* (Cotton Candy)

ทำการวัดขนาดฟุ่มไบ โดยวัดความสูงจากโคนถึงปลายยอดทำให้ทราบว่าพืชทดลองมีขนาดฟุ่มไบตั้งแต่ 7 - 9 เซนติเมตร เฉลี่ย 7 เซนติเมตร ชั่งน้ำหนักได้ 0.014 – 0.016 กรัม เฉลี่ย 0.014 กรัม จากการศึกษาข้อมูลรูปร่างและลักษณะของต้น *Tillandsia* (Cotton Candy) ลำต้นมีลักษณะตั้งตรง ใบขยายแผ่กว้างรอบทิศทาง ขนาดแตกต่างกันไปตั้งแต่ขนาดเล็กกว้างไม่ถึงเซนติเมตร ไปจนถึงขนาดใหญ่หลายสิบเซนติเมตร ทำให้สามารถระบุลักษณะพื้นฐานของอุปกรณ์จับยึดพืชอากาศ ได้ดังนี้

1.1 มีลักษณะด้านบนกว้างกว่าด้านล่าง

1.2 ขนาดด้านบน 5 เซนติเมตร ขนาดด้านล่าง 3 เซนติเมตร

ความสูง 5 เซนติเมตร

1.3 ด้านล่างโปร่งไม่ทึบ เพื่อให้รากได้สัมผัสอากาศ

1.4 ทรงกลม (ลักษณะใบวนเป็นวงรอบลำต้น)

(2) ชนิดของวัสดุที่จะนำมาใช้ทำชิ้นงาน



(ก)

ลวดอลูมิเนียมกลมหุ้มพลาสติก



(ข)

ลวดอลูมิเนียมกลม



(ค)

ขวดน้ำพลาสติก

ภาพที่ 2-9 วัสดุที่ได้จากการคัดเลือก (ก) ลวดอลูมิเนียมกลมหุ้มพลาสติก (ข) ลวดอลูมิเนียม และ (ค) ขวดน้ำพลาสติก

ที่มา (ก) (ข) <http://www.thaicoatedwire.com>

ที่มา (ค) <http://www.overclockzone.com>

3.4.1.2 ขั้นตอนการออกแบบ

หลังจากได้ลักษณะพื้นฐานของอุปกรณ์จับยึดพืชอากาศตรงตามความต้องการใช้งาน ต่อมาก็เริ่มทำการเขียนแบบอุปกรณ์ยึดพืชอากาศอย่างง่าย ใช้งานสะดวก ยึดแน่น โดยพิจารณาวิธีการจับยึดแบบที่ไม่ซับซ้อน ผลิตเป็นชิ้นงานง่ายใช้ต้นทุนน้อย ไม่ใช้อุปกรณ์โรงงานในการขึ้นรูป วางแผนการผลิตชิ้นงาน 1 วิธีการต่อ 1 วัสดุ

แผนอุปกรณ์ยึดพืชอากาศแบบที่ 1

วัสดุที่ใช้ ลวดอลูมิเนียมกลมหุ้มพลาสติก

แนวคิด ลายก้นหอย

ลักษณะทั่วไปของต้น *Tillandsia* (Cotton Candy) มีใบเป็นชั้นๆ เป็นพุ่มทรงกลม เรียงวนจากซ้ายไปขวา เมื่อพิจารณาจากลักษณะของใบให้ความรู้สึกเหมือนก้นหอย ลวดอลูมิเนียมกลมหุ้มพลาสติกเป็นเส้นตรงสามารถดัดโค้งจนเกิดเป็นแนวคิดลายก้นหอย



ภาพที่ 2-10 วิธีการจับยึดแบบที่ 1 ลวดอลูมิเนียมกลมหุ้มพลาสติก โดยใช้วิธีคิดจากลายก้นหอย

วัสดุและเครื่องมือ



ลวดอลูมิเนียมหุ้มพลาสติก



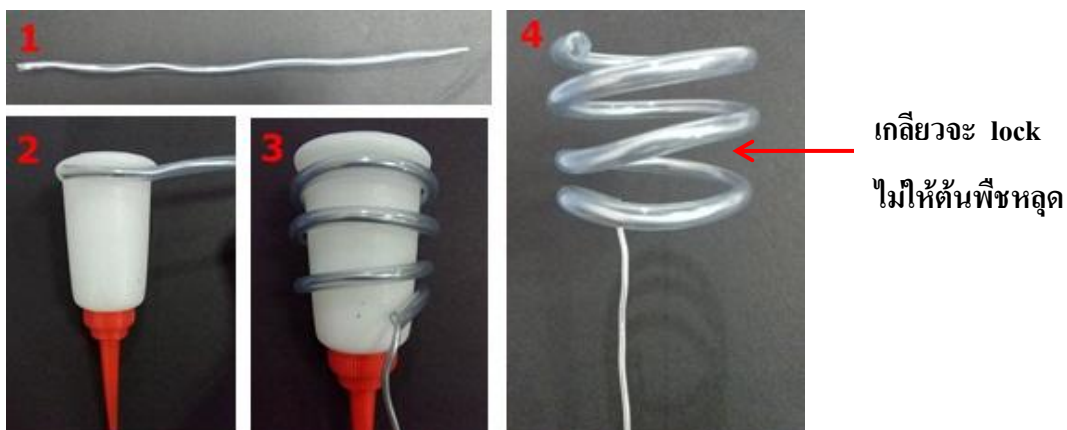
คีม กรรไกร สายวัด

ภาพที่ 2-11 วัสดุและเครื่องมือผลิตต้นแบบอุปกรณ์ยึดพืชอากาศแบบที่ 1

วิธีการทำอุปกรณ์ยึดพืชอากาศแบบที่ 1 ลวดอลูมิเนียมหุ้มพลาสติก

1. ตัดลวดอลูมิเนียมหุ้มพลาสติก ความยาว 80 เซนติเมตร หาอุปกรณ์ช่วยในการตัด ใช้นิ้วโป้งกดปลายลวดไว้ด้านหนึ่ง มืออีกข้างค่อยๆ หมุนลวดอลูมิเนียมหุ้มพลาสติกไปตามความโค้งของอุปกรณ์ช่วยตัดจนได้ตามขนาดบรอกกว้างแฉกแคบเท่าที่ต้องการค่อยดึงลวดออก จะได้ อุปกรณ์ยึดพืชอากาศแบบที่ 1

2. วางต้นพืชบนอุปกรณ์ หมุนเบาๆ ไปตามทางลวด เกลียวที่เราทำไว้จะทำให้หน้าที่เป็นตัว lock ไม่ให้พืชหลุดออกจากอุปกรณ์



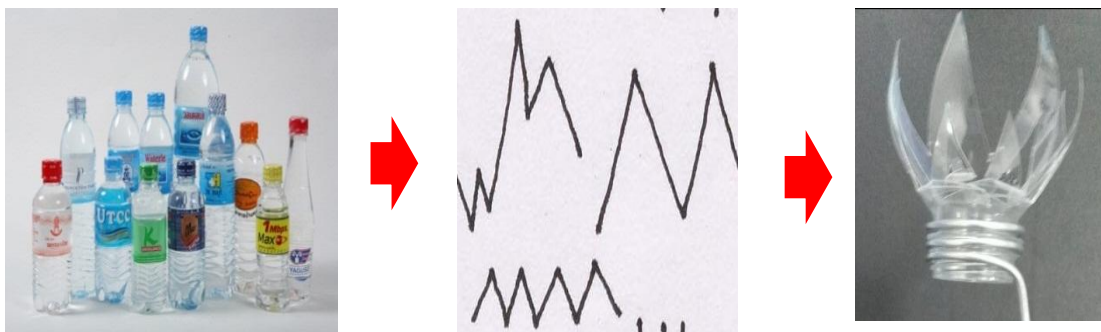
ภาพที่ 2-12 การทำอุปกรณ์ยึดพืชอากาศแบบที่ 1

แผงอุปกรณ์ยึดพืชอากาศแบบที่ 2

วัสดุที่ใช้ ขวดน้ำพลาสติก

แนวคิด เส้นซิกแซก

ลักษณะทั่วไปของต้น *Tillandsia* (Cotton Candy) ใบจะแทงยอดใหม่ขึ้นมาจากตรงกลางลำต้น ใบที่ขึ้นมาใหม่จะเติบโตแทนที่ชั้นใบเก่าเป็นแบบนี้เรื่อยไปตลอดอายุพืช ชั้นใบที่เพิ่มมากขึ้นใบก็จะแผ่ออกไปในแนวราบ ทำให้ต้น *Tillandsia* (Cotton Candy) มีใบเป็นชั้นๆ ทรงพุ่มกลม เมื่อพิจารณาจากลักษณะของใบที่ขึ้นมาใหม่ในเวลาที่แตกต่างกัน ทำให้ใบสั้นยาวไม่เท่ากันให้ความรู้สึกเหมือนเส้นซิกแซก ขวดน้ำพลาสติกคอขวดมีลักษณะเป็นทรงกรวยบนกว้างล่างแคบ เมื่อนำลักษณะของเส้นซิกแซกมาใช้จนเกิดเป็นแนวคิดของอุปกรณ์ยึดพืชอากาศแบบที่ 2



ภาพที่ 2-13 วิธีการจับยึดแบบที่ 2 ขวดน้ำพลาสติก โดยใช้วิธีคิดจากลายเส้นซิกแซก

วัสดุและเครื่องมือ



ลวดอลูมิเนียม



ขวดน้ำพลาสติก



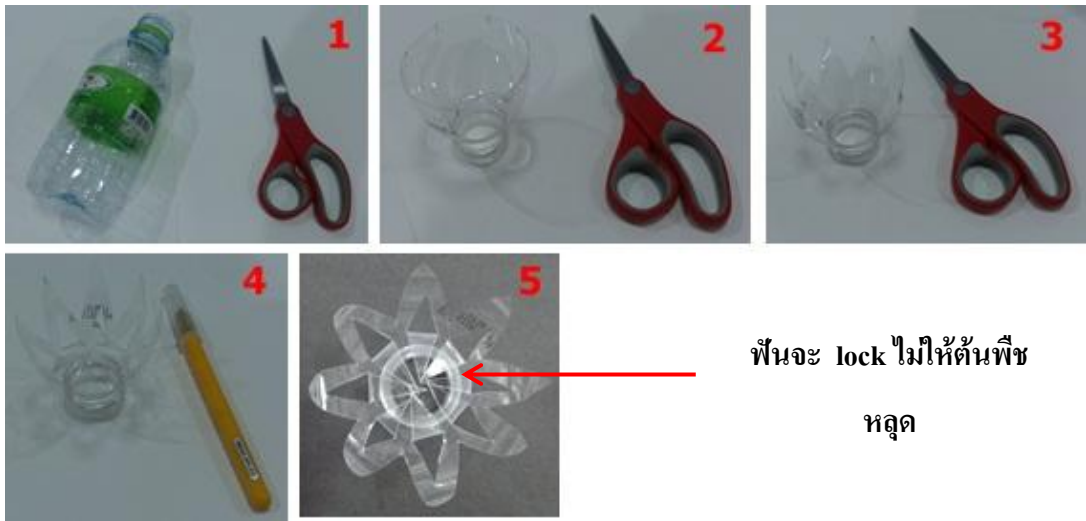
คีม กรรไกร สายวัด

ภาพที่ 2-14 วัสดุและเครื่องมือผลิตต้นแบบอุปกรณ์ยึดฟิชอากาศแบบที่ 2

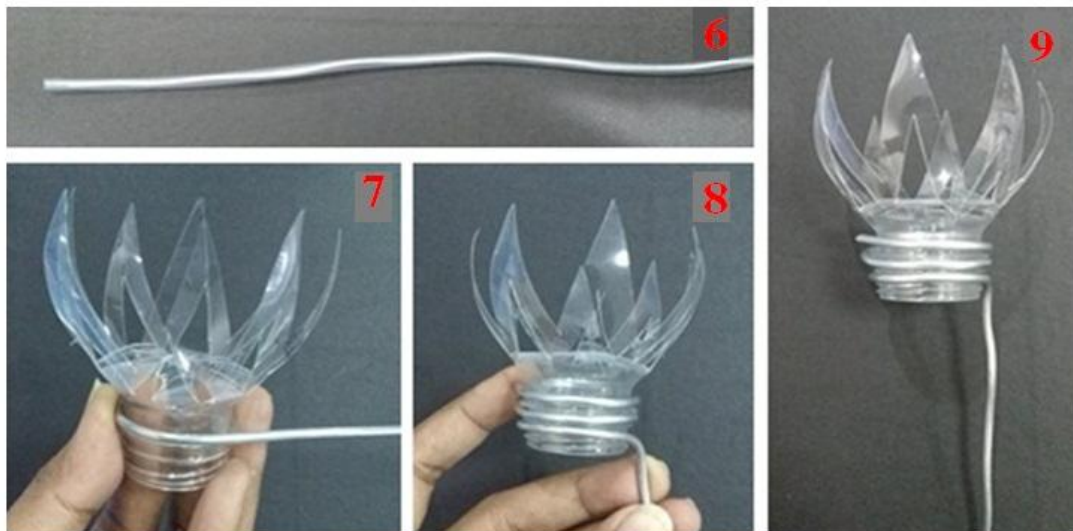
วิธีการทำอุปกรณ์ยึดฟิชอากาศแบบที่ 2 ขวดน้ำพลาสติก

1. ตัดขวดน้ำพลาสติกเอาเฉพาะคอขวด แบ่งเป็น 8 ช่อง ตัดเฉียงๆ เป็นกลีบดอกไม้ ใช้มีดคัตเตอร์กรีดด้านในกลีบเป็นตัว V กว่า พับส่วนที่ขาดเข้าด้านในกดลงไปตรงกลาง ทำแบบเดิมจนครบทุกกลีบจะได้อุปกรณ์ยึดฟิชแบบที่ 2 จากนั้นตัดลวดอลูมิเนียมกลม ความยาว 50 เซนติเมตร กดปลายด้านหนึ่งไว้หมุนส่วนที่เหลือไปตามเกลียวปากขวด

2. วางต้นฟิชกลางอุปกรณ์ ค่อยกดลงไปจนเห็นรากโผล่ออกทางปากขวดค่อยปล่อยมือ ฟันที่เราทำไว้จะทำหน้าที่เป็นตัว lock ไม่ให้ฟิชหลุดออกจากอุปกรณ์



ภาพที่ 2-15 การทำอุปกรณ์ยึดพีชอากาศแบบที่ 2



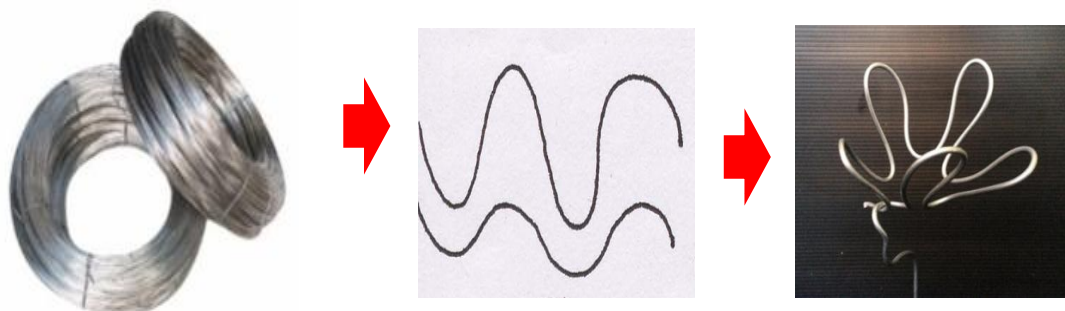
ภาพที่ 2-16 ภาพการทำอุปกรณ์ยึดพีชอากาศแบบที่ 2 (ต่อ)

แผนภูมิขั้นตอนยัดฟืชอากาศแบบที่ 3

วัสดุที่ใช้ แบบที่ 3 ลวดอลูมิเนียมกลม

แนวคิด ลายเส้นอิสระ

พิจารณาลักษณะทั่วไปของต้น *Tillandsia* (Cotton Candy) ที่ใบแผ่ขยายได้อย่างอิสระรอบทิศทาง ทำให้เกิดเป็นแนวคิดลายเส้นอิสระของอุปกรณ์ยัดฟืชอากาศแบบที่ 3



ภาพที่ 2-17 วิธีการยัดแบบที่สาม โดยใช้วิธีคิดจากลายเส้นอิสระ

วัสดุและเครื่องมือ



ลวดอลูมิเนียมกลม



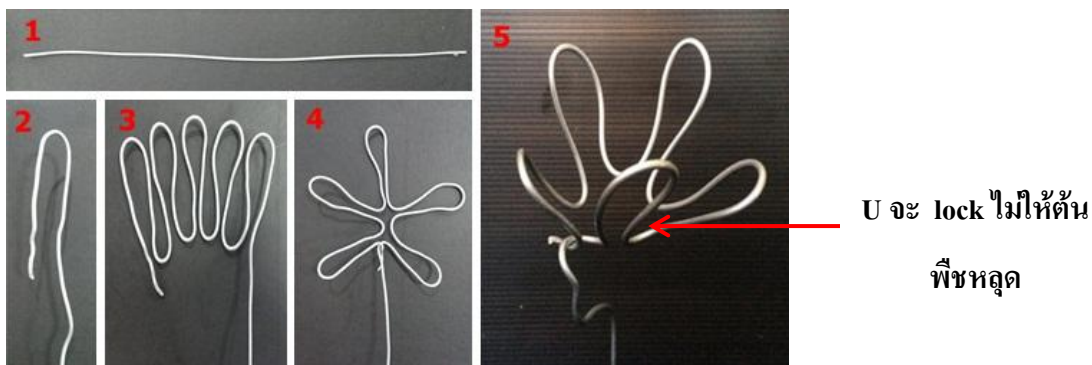
คีม กรรไกร สายวัด

ภาพที่ 2-18 วัสดุและเครื่องมือผลิตต้นแบบอุปกรณ์ยัดฟืชอากาศแบบที่ 3

วิธีการทำอุปกรณ์ยัดฟืชอากาศแบบที่ 3 ลวดอลูมิเนียมกลม

1. ตัดลวดอลูมิเนียม ความยาว 80 เซนติเมตร เหลือปลายลวดไว้พอประมาณ วัดความยาวลวด 10 เซนติเมตร พับครึ่งลวดที่ตัดจะเป็นรูปตัวยูคว่ำ บีบลวดให้ได้ความกว้าง ประมาณ 1 เซนติเมตร ทำซ้ำแบบเดิมอีกจะได้รูปตัว U คว่ำ ตัว U หางย สลับกัน 5 อัน จากนั้นให้แยกแต่ละอันออกจากกันจนอันที่หนึ่งชนกับอันที่ห้า ใช้คีมคล้องปลายลวดที่เหลือไว้แต่แรกกับลวดเส้นหลัก แล้วค่อยพับแต่ละแฉกขึ้นจนมีลักษณะเหมือนถ้วยจะได้อุปกรณ์ยัดฟืชแบบที่ 3

2. วางต้นพืชลงในช่องว่างตรงกลางบนอุปกรณ์ ใส่อีกลงไปครึ่งต้นแล้วบีบปลายรูปตัว U หายให้แน่น ลวดตัว U ที่เราทำไว้จะทำหน้าที่เป็นตัว lock ไม่ให้พืชหลุดออกจากอุปกรณ์



ภาพที่ 2-19 การทำอุปกรณ์ยึดพืชอากาศแบบที่ 3

การออกแบบอุปกรณ์ยึดพืชอากาศอย่างง่าย ใช้งานสะดวก ยึดแน่น และต้นทุนน้อย 1 วัสดุ ต่อ 1 ชิ้นงาน (ภาคผนวก ข) ดังนี้



แบบที่ 1
ลวดอลูมิเนียมหุ้มพลาสติก

แบบที่ 2
ขวดน้ำพลาสติก

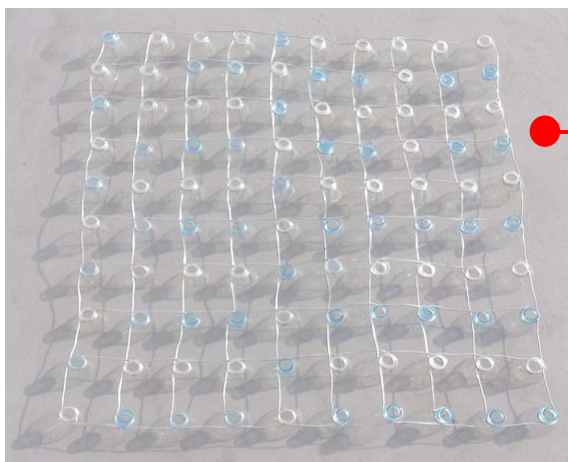
แบบที่ 3
ลวดอลูมิเนียมกลม

ภาพที่ 2-20 อุปกรณ์ยึดพืชอากาศโดยใช้ (แบบที่ 1) ลวดอลูมิเนียมหุ้มพลาสติก (แบบที่ 2) ขวดน้ำพลาสติก และลวดอลูมิเนียมกลม (แบบที่ 3)

3.4.2 การขึ้นรูปต้นแบบอุปกรณ์ยึดพืชอากาศ

การขึ้นรูปอุปกรณ์ยึดพืชอากาศ เป็นการขึ้นรูปอุปกรณ์จับยึดพืชกับแผง โครงสร้าง เพื่อเป็นแผงอุปกรณ์ปลูกพืชอากาศ ประกอบด้วย แผง โครงสร้างหลัก ขนาด 1 x 1 เมตร วัสดุใช้คือ ขวดน้ำพลาสติกและลวดอลูมิเนียมสร้างแผง โครงสร้าง และอุปกรณ์จับยึดพืชอากาศอย่างง่าย ทั้ง 3 รูปแบบ ดังนี้

TOP VIEW



แผง โครงสร้างหลัก
ขนาด 1 x 1 เมตร

ระยะห่างระหว่างช่อง
10 เซนติเมตร

SIDE VIEW



ภาพที่ 2-21 แผง โครงสร้างหลักอุปกรณ์ยึดพืชอากาศด้าน TOP VIEW และ SIDE VIEW



แบบที่ 1
ลวดอลูมิเนียมหุ้มพลาสติก



แบบที่ 2
ขวดน้ำพลาสติก



แบบที่ 3
ลวดอลูมิเนียม

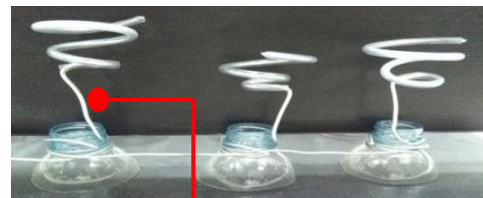
ภาพที่ 2-22 แผงโครงสร้างหลักอุปกรณ์ยึดพีชอากาศโดยใช้ลวดอลูมิเนียมหุ้มพลาสติก (แบบที่ 1) ขวดน้ำพลาสติก (แบบที่ 2) และลวดอลูมิเนียม (แบบที่ 3)

แผงอุปกรณ์ยึดพีชแบบที่ 1 ลวดอลูมิเนียมหุ้มพลาสติก

TOP VIEW



SIDE VIEW



ระยะห่างระหว่างแผง โครงสร้าง
และอุปกรณ์ยึด 10 เซนติเมตร

ภาพที่ 2-23 แสดงภาพการขึ้นรูปอุปกรณ์ยึดพีชอากาศแบบที่ 1 ลวดอลูมิเนียมหุ้มพลาสติก โดยแสดงด้าน TOP VIEW และ SIDE VIEW

อุปกรณ์ยึดพืชแบบที่ 2 ขวดน้ำพลาสติก

TOP VIEW



SIDE VIEW

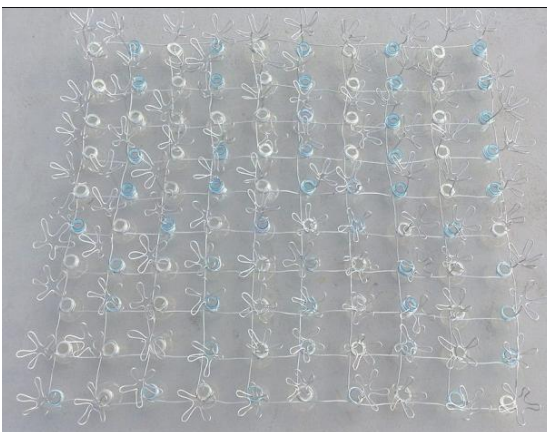


ระยะห่างระหว่างแผง โครงสร้าง
และอุปกรณ์ยึด 15 เซนติเมตร

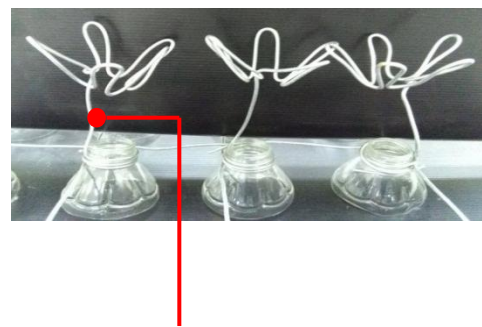
ภาพที่ 2-24 แสดงภาพการขึ้นรูปอุปกรณ์ยึดพืชอากาศแบบที่ 2 ขวดน้ำพลาสติก โดยแสดงด้าน
TOP VIEW และ SIDE VIEW

อุปกรณ์ยึดพืชชนิดที่ 3 ลวดอลูมิเนียมกลม

TOP VIEW



SIDE VIEW



ระยะห่างระหว่างแผง โครงสร้าง
และอุปกรณ์ยึด 15 เซนติเมตร

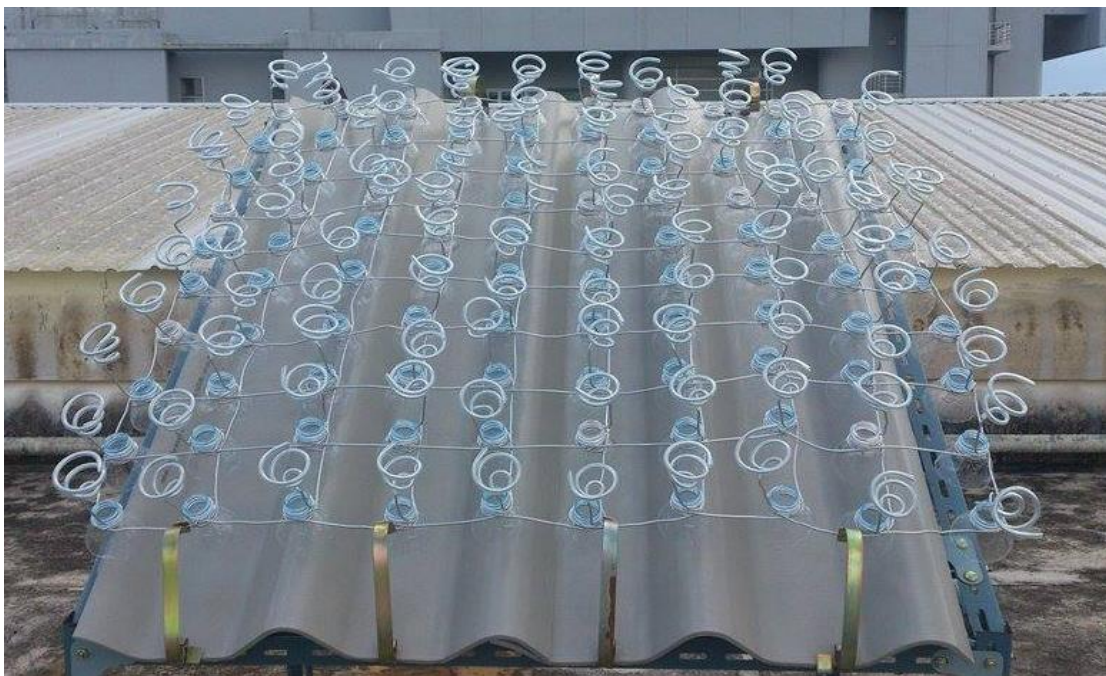
ภาพที่ 2-25 แสดงภาพการขึ้นรูปอุปกรณ์ยึดพืชอากาศแบบที่ 3 ลวดอลูมิเนียมกลม โดยแสดงด้าน
TOP VIEW และ SIDE VIEW

3.4.3 การติดตั้งแผงอุปกรณ์ปลูกพืชอากาศบนหลังคากระเบื้องหลังคาลอนคู่

ทำการออกแบบแบบคลิปล็อกกระเบื้องขึ้นมาใหม่ เว้นระยะห่างระหว่างแผงกับหลังคากระเบื้องลอนคู่ ความสูง 15 เซนติเมตร เพื่อให้อากาศถ่ายเทได้สะดวกป้องกันการเกิดเชื้อราบนกระเบื้องหลังคาและต้นพืช โดยพัฒนาจากตะขอเกี่ยวกระเบื้องทั่วไปที่หาซื้อได้ตามท้องตลาด (ภาพที่ 2-19) ซึ่งดัดแปลงวิธีของสรยุทธ (2553) ดังนี้



ภาพที่ 2-26 ลักษณะคลิปล็อกกระเบื้องที่ได้ดัดแปลงขึ้นมาใหม่



ภาพที่ 2-27 การติดตั้งแผงอุปกรณ์ปลูกพืชอากาศแบบที่ 1 ลวดอลูมิเนียมหุ้มพลาสติก บนหลังคากระเบื้องลอนคู่



ภาพที่ 2-28 การติดตั้งแผงอุปกรณ์ปลูกพืชอากาศแบบที่ 2 ขวดน้ำพลาสติก บนหลังคากระเบื้องลอนคู่



ภาพที่ 2-29 การติดตั้งแผงอุปกรณ์ปลูกพืชอากาศแบบที่ 3 ลวดอลูมิเนียมกลม บนหลังคากระเบื้องลอนคู่

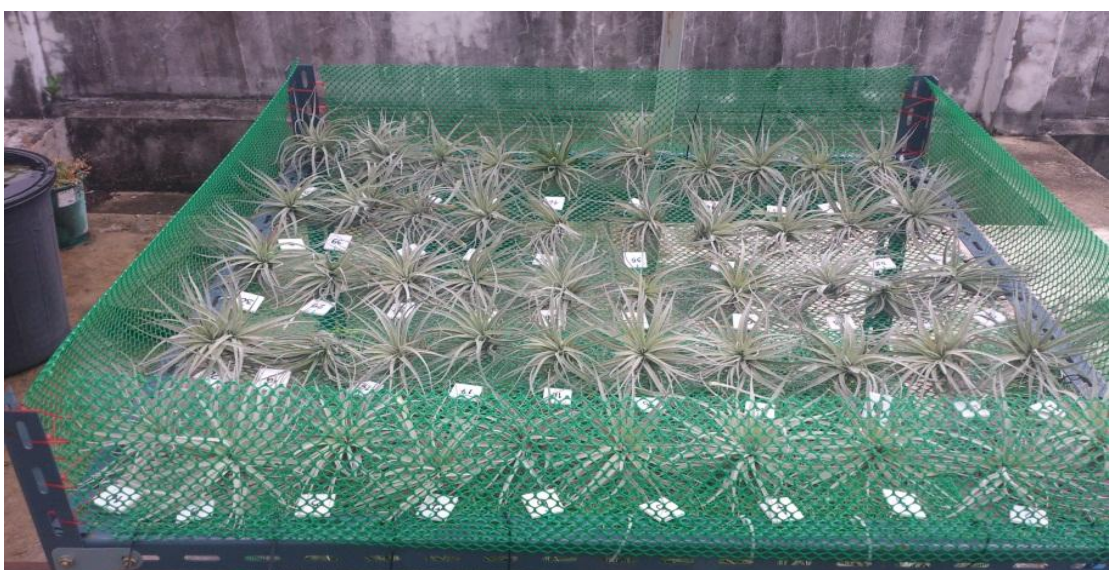
4. การทดลองและการเก็บข้อมูล

4.1 การทดลอง

โดยนำพืชอากาศที่ได้เลือกไว้ข้างต้น คือ คั้น *Tillandsia* (cotton candy) มาทดลองปลูกบนแผงอุปกรณ์จับยึดพืชเพื่อดูการเจริญเติบโตของพืชต่อการจับยึดทั้ง 3 แบบ โดยทำการติดตั้งอุปกรณ์ขนาด 1 x 1 เมตร บนหลังคากระเบื้องลอนคู่จำลองที่มีความลาดเอียง 30 องศา ความสูงจากหลังคา 15 เซนติเมตร และชุดควบคุมปลูกธรรมชาติแบบไม่มีอุปกรณ์จับยึด (ภาพที่ 2-23 และ 2-24)



ภาพที่ 2-30 การติดตั้งแผงอุปกรณ์ปลูกพืชอากาศบนหลังคากระเบื้องลอนคู่



ภาพที่ 2-31 พืชบนชุดปลูกธรรมชาติแบบไม่มีอุปกรณ์ยึดพืชอากาศ

4.2 การเก็บข้อมูล

ทำการเก็บข้อมูลเพื่อบันทึกการเจริญเติบโตของพืช (ภาคผนวก ก) โดยจะทำการเก็บข้อมูลดังต่อไปนี้

4.2.1 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโต โดยบันทึกอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม และปริมาณน้ำฝน จากเครื่องวัดสภาพอากาศ Davis 6250 Vantage Vue ที่ติดตั้งไว้สำหรับบันทึกข้อมูลสภาพอากาศในพื้นที่การทดลอง ทุกเดือนเป็นเวลา 12 เดือน ตั้งแต่เดือนพฤษภาคม 2558 ถึงเดือนเมษายน 2559 เปรียบเทียบระหว่างชุดควบคุมที่ไม่มีอุปกรณ์จับยึดและแบบที่มีอุปกรณ์จับยึดพืชอากาศ ทั้ง 3 แบบ

4.2.2 การบันทึกภาพแสดงการเจริญเติบโตและการปกคลุมของพืชทดลอง *Tillandsia* (Cotton Candy) บนแผงอุปกรณ์ปลูกพืชอากาศ ซึ่งติดตั้งบนหลังคาจำลอง พื้นที่ 1 ตารางเมตร ตั้งแต่วันที่ 1 พฤษภาคม 2558 (เริ่มการทดลอง) ถึง วันที่ 30 เมษายน 2559 (สิ้นสุดการทดลอง) เพื่อนำมาวิเคราะห์การเจริญเติบโตของพืช การเก็บข้อมูลใช้วิธีหาพื้นที่ปกคลุมใบ (Shade Area) ซึ่งเป็นวิธีศึกษาสัดส่วนของพื้นที่ใบต่อพื้นที่โครงสร้าง โดยค่าที่ออกมาจะเป็นร้อยละหรือเปอร์เซ็นต์ ซึ่งเกิดจากการคิดพื้นที่ใบที่ปกคลุมโครงสร้างยึดต้นพืชในลักษณะ 2 มิติ โดยไม่คำนึงถึงจำนวนชั้นของพุ่มใบเข้ามาเกี่ยวข้อง จะต่างกับการคิดค่า LAI ซึ่งจะเป็นลักษณะ 3 มิติ โดยวัดความสูงของพืชจากโคนถึงปลายยอดของพืชบนชุดควบคุมและบนแผงอุปกรณ์ยึดพืชอากาศทั้ง 3 แบบ วัดครั้งแรกในวันที่ 1 พฤษภาคม 2558 (เริ่มการทดลอง) และวัดอีกครั้งในวันที่ 30 เมษายน 2559 (สิ้นสุดการทดลอง) ครอบคลุมทั้งฤดูร้อนและฤดูฝน คำนวณขนาดเป็นเปอร์เซ็นต์เทียบกับพื้นที่ของแผงอุปกรณ์ยึดพืชอากาศ และเทียบอัตราการเจริญเติบโต สัมพัทธ์ (Relative Growth Rate : RGR) ของต้น *Tillandsia* (cotton candy) บนชุดควบคุมและบนแผงอุปกรณ์ปลูกพืชแต่ละแบบ มาคำนวณหา ค่า RGR (Baumann, 2006) ดังสมการ

$$RGR = \frac{\left[\begin{array}{l} \text{เปอร์เซ็นต์การครอบคลุมพื้นที่เมื่อสิ้นสุดการทดลอง} - \text{เมื่อเริ่มการทดลอง} \\ \text{เปอร์เซ็นต์การครอบคลุมพื้นที่เมื่อเริ่มการทดลอง} \end{array} \right]}{\text{จำนวนวัน}}$$

จุดเก็บตัวอย่างของพีชบนแผงอุปกรณ์ปลูกพืชอากาศแบบที่ 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
91	92	93	94	95	96	97	98	99	100

จุดเก็บตัวอย่างขนาดพุ่มใบ

ภาพที่ 2-32 การสุ่มจุดเก็บตัวอย่างหาค่าความหนาแน่นของใบบนแผงอุปกรณ์ยึดพืชแบบที่ 1
จุดที่ 5, 21, 47, 70, 83

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
91	92	93	94	95	96	97	98	99	100

จุดเก็บตัวอย่างนำหนักพืช

ภาพที่ 2-33 การสุ่มจุดเก็บตัวอย่างนำหนักพืชบนแผงอุปกรณ์แบบที่ 1 จุดที่ 14, 40, 56, 71, 98

จุดเก็บตัวอย่างของพืชบนแผงอุปกรณ์ปลูกพืชอากาศแบบที่ 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
91	92	93	94	95	96	97	98	99	100

จุดเก็บตัวอย่างขนาดพุ่มใบ

ภาพที่ 2-34 การสุ่มจุดเก็บตัวอย่างหาค่าความหนาแน่นของใบบนแผงอุปกรณ์ยึดพืชแบบที่ 2
จุดที่ 3 , 26 , 49 , 61 , 84

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
91	92	93	94	95	96	97	98	99	100

จุดเก็บตัวอย่างนำหนักพืช

ภาพที่ 2-35 การสุ่มจุดเก็บตัวอย่างนำหนักพืชบนแผงอุปกรณ์แบบที่ 2 จุดที่ 16 , 31 , 60 , 73 , 97

จุดเก็บตัวอย่างของพืชบนแผงอุปกรณ์ปลูกพืชอากาศแบบที่ 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
91	92	93	94	95	96	97	98	99	100

จุดเก็บตัวอย่างขนาดพุ่มใบ

ภาพที่ 2-36 การสุ่มจุดเก็บตัวอย่างหาค่าความหนาแน่นของใบบนแผงอุปกรณ์ยึดพืชแบบที่ 3 จุดที่ 1, 30, 43, 66, 85

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
91	92	93	94	95	96	97	98	99	100

จุดเก็บตัวอย่างนำหนักพืช

บนอุปกรณ์แบบที่ 3

20, 35, 51, 78, 94

ภาพที่ 2-37 การสุ่มจุดเก็บตัวอย่างนำหนักพืชบนแผงอุปกรณ์แบบที่ 3 จุดที่ 20, 35, 51, 78, 94

การเก็บข้อมูลบนชุดควบคุมแบบไม่มีอุปกรณ์ ได้ทำสัญลักษณ์ไว้บนพืชเพื่อจำแนกพืช
ทั่วไปกับพืชที่เป็นตัวอย่าง



สัญลักษณ์สีน้ำเงินเก็บ
ข้อมูลขนาดพุ่มใบ



สัญลักษณ์สีแดงเก็บ
ข้อมูลน้ำหนัก

ภาพที่ 2-38 การสุ่มจุดเก็บตัวอย่างขนาดพุ่มใบและน้ำหนักพืชบนชุดปลูกธรรมดา

4.2.3 คุณสมบัติทางกายภาพของอุปกรณ์ยึดพืชอากาศ บันทึกการใช้อุปกรณ์ยึดพืชอากาศ
ร่วมกับต้น *Tillandsia cotton candy* โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ การหลุดของพืชออกจากอุปกรณ์
การหลุดของอุปกรณ์จากหลังคากระเบื้อง และลักษณะสีของใบ ทุกเดือน เป็นเวลา 12 เดือน ตั้งแต่
เดือนพฤษภาคม 2558 (เริ่มการทดลอง) ถึงเดือนเมษายน 2559 (สิ้นสุดการทดลอง)

4.2.4 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

การวิเคราะห์ผลการทดสอบ โดยนำผลการทดสอบมาสร้างกราฟ ตาราง เปรียบเทียบ
สรุปผลของแต่ละการทดลอง แล้วนำมาวิเคราะห์กับสมมติฐานที่ได้ตั้งไว้ เพื่อหาการออกแบบ
อุปกรณ์ยึดพืชอากาศสำหรับเป็นหลังคาเขียวแบบ Air Plant

บทที่ 3

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการวิจัย

ในบทนี้เป็นผลของการศึกษาการออกแบบอุปกรณ์จับยึดพืชประเภทรากอากาศ โดยทำการเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตของพืชที่ปลูกโดยมีอุปกรณ์ยึดพืชอากาศ 3 รูปแบบ จับยึดเป็นระยะเวลา 12 เดือน ดังต่อไปนี้

3.1 ผลการเก็บข้อมูลสภาพอากาศ

จากตารางที่ 3-1 ได้แสดงข้อมูลสภาพอากาศบริเวณที่ทำการทดลองบนคาบฟ้าคณะกรรมการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ อธิบายได้ดังนี้

3.1.1 อุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิมีผลโดยตรงต่อการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งในตารางที่ 3-1 พบว่า ค่าอุณหภูมิสูงสุดในเดือนเมษายน 2559 อยู่ที่ 29.1 องศาเซลเซียส ต่ำสุดในเดือนกุมภาพันธ์ 2559 อยู่ที่ 26.0 องศาเซลเซียส โดยค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของการทดลองอยู่ที่ 27.75 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 3-1)

3.1.2 ความชื้นสัมพัทธ์ คือ ปริมาณไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศบริเวณใดบริเวณหนึ่ง มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาจะมีปริมาณมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับอุณหภูมิอากาศ ในตารางที่ 3-1 แสดงพบว่าปริมาณไอน้ำในอากาศมากสุดในเดือนพฤศจิกายน 2558 มีค่าความชื้น 86.9 เปอร์เซ็นต์ น้อยสุดในเดือนเมษายน 2559 มีค่าความชื้น 71.07 เปอร์เซ็นต์ โดยค่าความชื้นเฉลี่ยตลอดการทดลอง อยู่ที่ 79.84 เปอร์เซ็นต์ (ภาพที่ 3-2)

3.1.3 ความเร็วลม ลมเป็นตัวกลางพัดพาความร้อนและความชื้นกระจายไปในอากาศ ในตารางที่ 3-1 พบว่าความเร็วลมสูงสุดมีความเร็ว 5.58 เมตรต่อวินาที ในเดือนกุมภาพันธ์ 2559 ความเร็วลมต่ำสุดอยู่ในเดือนพฤษภาคม 2558 มีความเร็ว 1.30 เมตรต่อวินาที ความเร็วลมเฉลี่ยตลอดการทดลองอยู่ที่ 2.79 เมตรต่อวินาที (ภาพที่ 3-3)

3.1.4 ปริมาณน้ำฝน ในตารางที่ 3-1 พบว่า ค่าปริมาณน้ำฝนสูงสุดในเดือนพฤศจิกายน 2558 มีปริมาณฝน 331.2 มิลลิเมตร น้อยสุดในเดือนมีนาคม 2559 มีปริมาณฝน 0.6 มิลลิเมตร ในส่วนของปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยตลอดการทดลอง อยู่ที่ 146.7 มิลลิเมตร (ภาพที่ 3-4)

ตารางที่ 3-1 สภาพอากาศบริเวณที่ทำการทดลอง ตั้งแต่เดือนพฤษภาคม 2558 ถึงเดือนเมษายน 2559

เดือน	อุณหภูมิ (°C)			ความชื้นสัมพัทธ์ (%)			ความเร็วลม (เมตร/วินาที)	ปริมาณฝน (มิลลิเมตร/วัน)
	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย		
พฤษภาคม 2558	34.8	24.3	28.4	96	47.77	79.31	1.30	226.0
มิถุนายน 2558	33.9	23.9	28.2	96.6	48.5	80.2	1.9	7.2
กรกฎาคม 2558	33.4	23.9	27.8	97.06	50.81	80.90	2.25	142.3
สิงหาคม 2558	33.3	23.7	27.1	97.77	50.61	83.51	1.75	267.2
กันยายน 2558	32.6	23.8	27.5	97.6	52.9	81.9	2.3	195.5
ตุลาคม 2558	32.5	23.6	27.5	97.52	56.55	81.68	1.58	154.8
พฤศจิกายน 2558	31.4	23.6	27.0	97.7	61.2	86.9	2.5	331.2
ธันวาคม 2558	31.4	23.9	27.4	96.52	60.29	82.41	3.54	86.9
มกราคม 2559	32.0	24.0	27.8	92.65	54.19	81.59	3.76	307.7
กุมภาพันธ์ 2559	29.4	22.9	26.0	87.65	52.97	72.24	5.58	39.4
มีนาคม 2559	34.0	24.0	28.7	95.29	46.29	75.79	4.25	0.6
เมษายน 2559	35.5	23.7	29.1	93.2	35.84	71.07	2.80	2.6
รวม	394.2	285.3	333.1	1,145.56	617.92	958.13	33.51	1761.4
เฉลี่ย	32.85	23.7	27.75	95.46	51.49	79.84	2.79	146.7

สรุปผลการเก็บข้อมูลสภาพอากาศบริเวณที่ทำการทดลอง

ช่วงการทดลอง ตั้งแต่เดือนพฤษภาคม 2558 ถึงเดือนเมษายน 2559 สภาพภูมิอากาศบริเวณ คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ย 27.75 องศาเซลเซียส ค่าความชื้นสัมพัทธ์ 79.84 เปอร์เซ็นต์ ค่าความเร็วลม 2.79 เมตรต่อวินาที ค่าปริมาณน้ำฝน 146.7 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นสภาพอากาศที่ต้น *Tillandsia* (cotton candy) สามารถเจริญเติบโตได้ภายใต้ภูมิอากาศแบบมรสุมเขตร้อนภาคใต้ของประเทศไทย

3.2 ผลการทดลองปลูกพืชร่วมกับอุปกรณ์ยึดพืชอากาศ แบบที่ 1 ลวดอลูมิเนียมหุ้มพลาสติก แบบที่ 2 ขวดน้ำพลาสติก และแบบที่ 3 ลวดอลูมิเนียมกลม ตั้งแต่เดือนพฤษภาคม 2558 ถึงเดือนเมษายน 2559 ครอบคลุมทั้งฤดูร้อนและฤดูฝน

3.2.1 การเติบโตของต้น *Tillandsia* (cotton candy) บนแผงอุปกรณ์ยึดพืชอากาศ

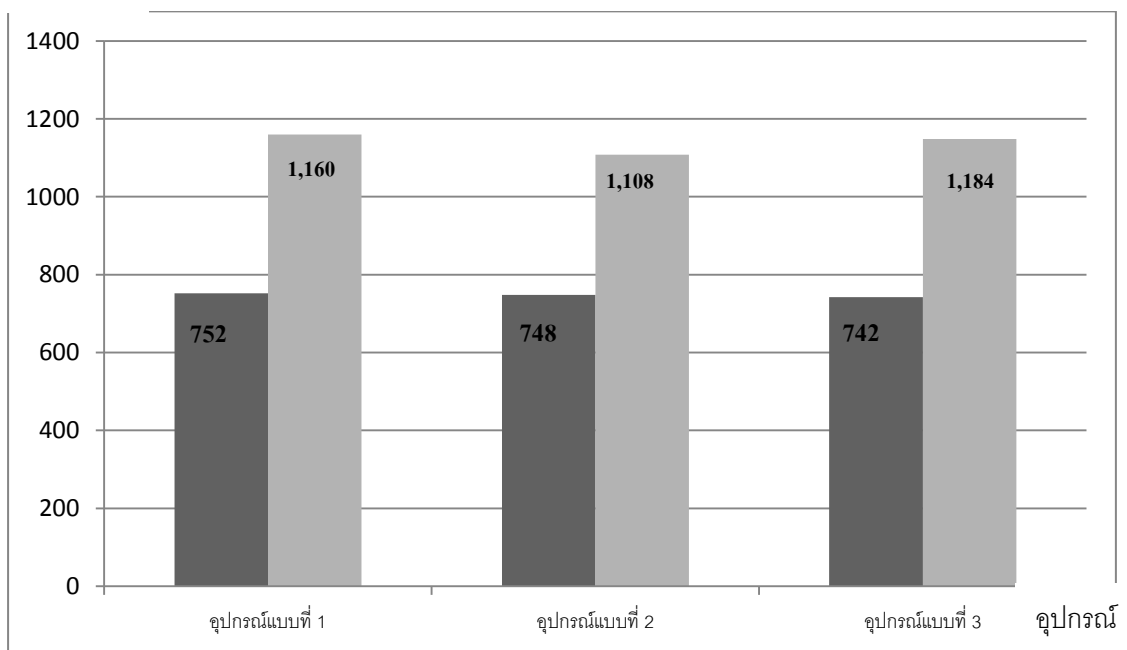
การวัดขนาดพุ่มใบของต้น *Tillandsia* (cotton candy) หลังติดตั้งบนแผงอุปกรณ์ยึดพืชอากาศ เป็นเวลา 366 วัน จากตารางที่ 3-2 ก่อนการทดลองพืชบนชุดควบคุมมีขนาดพุ่มใบเฉลี่ย 7.46 เซนติเมตร หลังการทดลองมีขนาดพุ่มใบเฉลี่ย 11.64 เซนติเมตร พืชบนแผงอุปกรณ์ยึดพืชอากาศแบบที่ 1 ลวดอลูมิเนียมหุ้มพลาสติก มีขนาดพุ่มใบเฉลี่ย 7.52 เซนติเมตร หลังทดลองมีขนาดเฉลี่ย 11.60 เซนติเมตร พืชบนแผงอุปกรณ์ยึดพืชแบบที่ 2 ขวดน้ำพลาสติก มีขนาดพุ่มใบเฉลี่ย 7.48 เซนติเมตร หลังการทดลองมีขนาดเฉลี่ย 11.08 เซนติเมตร และพืชบนแผงอุปกรณ์ยึดพืชอากาศแบบที่ 3 ลวดอลูมิเนียมกลม ก่อนการทดลองมีขนาด 7.42 เซนติเมตร หลังการทดลองมีขนาดเฉลี่ย 11.48 เซนติเมตร

การชั่งน้ำหนักของต้น *Tillandsia* (cotton candy) หลังติดตั้งบนแผงอุปกรณ์ยึดพืชอากาศ เป็นเวลา 366 วัน จากตารางที่ 3-3 ก่อนการทดลองพืชบนชุดควบคุมมีน้ำหนักเฉลี่ย 0.014 กรัม หลังการทดลองมีน้ำหนักเฉลี่ย 0.026 กรัม พืชบนแผงอุปกรณ์ยึดพืชลวดอลูมิเนียมหุ้มพลาสติก ขวดน้ำพลาสติก และลวดอลูมิเนียมกลม มีน้ำหนักเฉลี่ย 0.014 กรัม หลังการทดลองพืชบนแผงอุปกรณ์แบบที่ 1 มีน้ำหนักเฉลี่ย 0.024 กรัม พืชบนแผงอุปกรณ์แบบที่ 2 มีน้ำหนักเฉลี่ย 0.022 กรัม และพืชบนแผงอุปกรณ์แบบที่ 3 มีน้ำหนักเฉลี่ย 0.023 กรัม

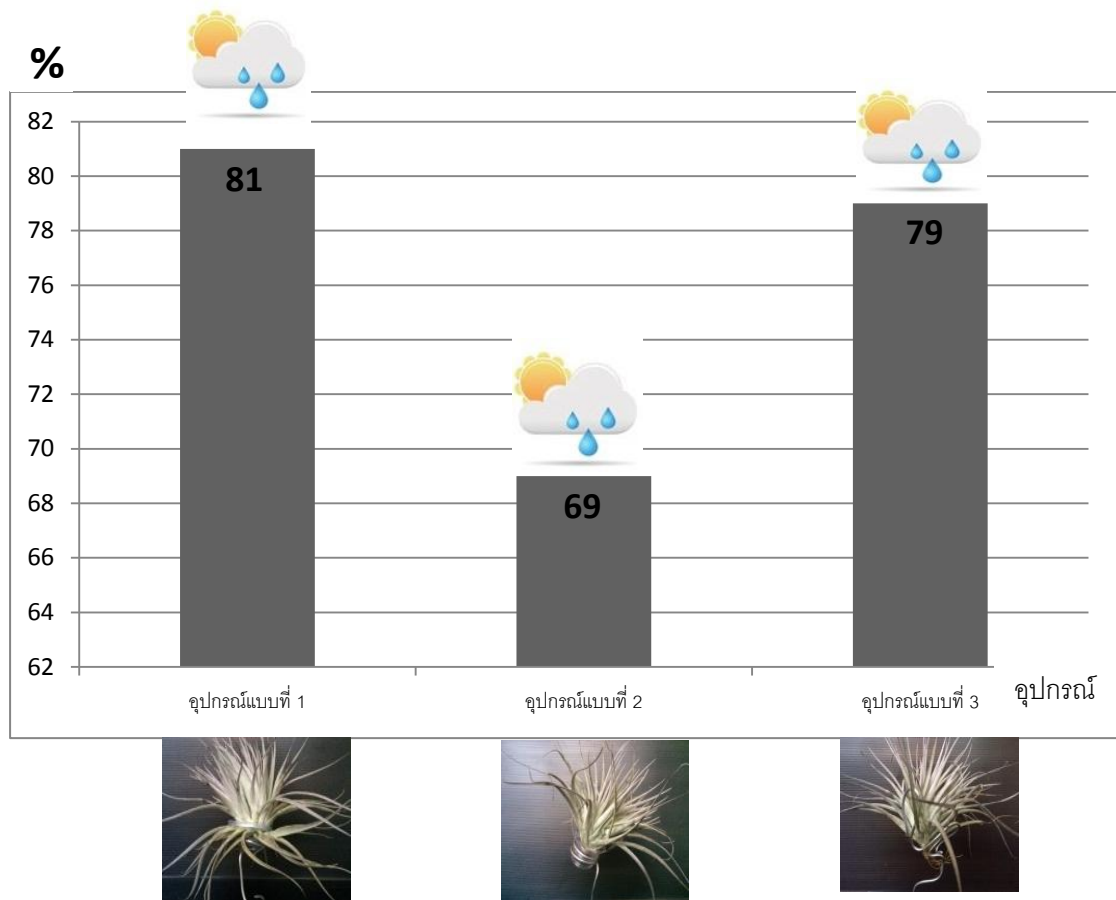
การเปรียบเทียบขนาดพุ่มใบของพืชทดลองบนชุดปลูกธรรมดาที่เป็นอิสระไม่มีอุปกรณ์ยึดจับพืชปลูกแบบปกติและพืชที่ปลูกบนแผงอุปกรณ์ที่มีอุปกรณ์ยึดจับทั้ง 3 แบบ ตั้งแต่เดือนพฤษภาคม 2558 ถึงเดือนเมษายน 2559 มีขนาดของต้นที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % จากการทดลองตารางที่ 3-4 พบว่า ภายหลังจากทดลองสิ้นสุดในเดือนเมษายน 2559 พืชที่ปลูกบนชุดปลูกธรรมดาและพืชที่ปลูกบนแผงอุปกรณ์ยึดพืชอากาศทั้ง 3 แบบ จะให้ขนาดใบมากกว่า 2 เซนติเมตรขึ้นไป โดยพืชที่ปลูกบนชุดปลูกธรรมดาให้ขนาดพุ่มใบสูงสุด 5.18 เซนติเมตร รองลงมาคือ แบบที่ 1 ลวดอลูมิเนียมหุ้มพลาสติก 4.2 เซนติเมตร พื้นที่ปกคลุมใบเพิ่มขึ้น 3.16 เซนติเมตรต่อตารางเมตร คิดเป็น 81 เปอร์เซ็นต์ แบบที่ 3 ลวดอลูมิเนียม 4.1 เซนติเมตร พื้นที่ปกคลุมใบเพิ่มขึ้น 3.13 เซนติเมตรต่อตารางเมตร คิดเป็น 77 เปอร์เซ็นต์ และแบบที่ 2 ขวดน้ำพลาสติก มีขนาดพุ่มใบน้อยที่สุด 3.6 เซนติเมตร พื้นที่ปกคลุมใบเพิ่มขึ้น 3.02 เซนติเมตรต่อตารางเมตร คิดเป็น 69 เปอร์เซ็นต์ (ภาพที่ 3-1)

การเปรียบเทียบน้ำหนักของพืชทดลองบนชุดปลูกธรรมดาที่เป็นอิสระไม่มีอุปกรณ์ยึดจับปลูกแบบปกติและพืชที่ปลูกบนแผงอุปกรณ์ที่มีอุปกรณ์ยึดจับทั้ง 3 แบบ ตั้งแต่เดือน พฤษภาคม 2558 ถึงเดือนเมษายน 2559 มีขนาดของต้นที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % จากตารางที่ 3-4 การทดลอง พบว่า ภายหลังจากทดลองสิ้นสุดในเดือนเมษายน 2559 พืชที่ปลูกบนชุดปลูกธรรมดาและพืชที่ปลูกบนแผงอุปกรณ์ยึดพืชอากาศทั้ง 3 แบบ มีโดยพืชที่ปลูกบนชุดปลูกธรรมดาให้น้ำหนักสูงสุด 1.2 กรัมต่อตารางเมตร รองลงมาคือ แบบที่ 1 ลวดอลูมิเนียมหุ้มพลาสติก 0.9 กรัมต่อตารางเมตร คิดเป็น 83 เปอร์เซ็นต์ แบบที่ 3 ลวดอลูมิเนียม 0.9 กรัมต่อตารางเมตร คิดเป็น 75 เปอร์เซ็นต์ และแบบที่ 2 ขวดน้ำพลาสติก มีน้ำหนักน้อยที่สุด 0.8 กรัมต่อตารางเมตร คิดเป็น 69 เปอร์เซ็นต์

ชม./ตร.ม



ภาพที่ 3-1 ขนาดใบก่อนและหลังการทดลองของพืชบนชุดปลูกธรรมดาและบนแผงอุปกรณ์



ภาพที่ 3-2 พื้นที่ใบเพิ่มขึ้นบนบนแผงอุปกรณ์ทั้ง 3 แบบ หลังการทดลอง 366 วัน

ตารางที่ 3-2 ขนาดพุ่มใบพืชบนชุดปลูกธรรมดาและบนแผงอุปกรณ์ทั้ง 3 แบบก่อนและหลังทดลอง

ขนาดพุ่มใบบนชุดปลูกธรรมดาแบบไม่มีอุปกรณ์							
เดือน	ต้นที่ 1	ต้นที่ 2	ต้นที่ 3	ต้นที่ 4	ต้นที่ 5	รวม	เฉลี่ย (ซม.)
1	7.5	8.0	7.2	7.6	7.0	37.3	7.46
2	7.9	8.4	7.6	8.0	7.4	39.3	7.86
3	8.3	8.8	8.0	8.4	7.8	41.3	8.26
4	8.7	9.2	8.4	8.8	8.2	43.3	8.66
5	9.2	9.7	8.9	9.3	8.7	45.8	9.16
6	9.7	10.2	9.4	9.8	9.2	48.3	9.66
7	10.4	10.9	10.1	9.9	9.9	51.2	10.24
8	11.0	11.5	10.7	10.5	10.5	54.2	10.84
9	11.5	12.0	11.2	11.0	11.0	56.7	11.34
10	12.0	12.5	11.7	11.5	11.5	59.2	11.84
11	12.4	12.9	11.1	11.9	11.9	60.2	12.04
12	12.8	13.3	12.5	12.3	12.3	63.2	12.64
รวม	121.4	127.4	116.8	119	115.4	600	120
เฉลี่ยเพิ่มขึ้น	10.11	10.61	9.73	9.91	9.61	50	10
	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3	25.9	5.18
น้ำหนักของพืชบนแผงอุปกรณ์ยึดพืชอากาศแบบที่ 1							
ก่อน	7.4	7.6	7.8	7.3	7.5	37.6	7.52
หลัง	11.5	11.3	12.2	11.4	11.7	58.1	11.6
ต่าง	4.1	3.7	4.4	4.1	4.7	21.0	4.2
น้ำหนักของพืชบนแผงอุปกรณ์ยึดพืชอากาศแบบที่ 2							
ก่อน	7.5	7.0	7.8	7.6	7.5	37.4	7.48
หลัง	10.8	11.3	11.0	11.4	10.9	55.4	11.08
ต่าง	3.3	3.8	3.5	3.9	3.4	17.9	3.6
น้ำหนักของพืชบนแผงอุปกรณ์ยึดพืชอากาศแบบที่ 3							
ก่อน	7.7	7.4	7.3	7.2	7.5	37.1	7.42
หลัง	11.7	11.3	11.8	11.5	11.1	57.4	11.48
ต่าง	4	3.9	4.5	4.3	3.9	20.6	4.1

หมายเหตุ

- การทดลองตั้งแต่ เดือนพฤษภาคม 2558 ถึง เดือนเมษายน 2559 (366 วัน)
- การเก็บข้อมูลโดยการสุ่มตัวอย่างพืชจำนวน 5 ต้น บนชุดปลูกธรรมดา โดยเก็บข้อมูลทุกเดือน (12 เดือน)
- การเก็บข้อมูลโดยการสุ่มตัวอย่างพืชจำนวน 5 ต้น บนแผงอุปกรณ์ทั้ง 3 แบบ โดยเก็บข้อมูลก่อนและหลังการทดลอง ระหว่างการทดลองไม่มีการเก็บข้อมูล เนื่องจาก การถอดพืชออกทุกเดือนอาจสร้างความเสียหายต่อพืช

ตารางที่ 3-3 น้ำหนักพืชบนชุดปลูกธรรมดาและบนแผงอุปกรณ์ทั้ง 3 แบบก่อนและหลังทดลอง

น้ำหนักพืชบนชุดปลูกธรรมดาแบบไม่มีอุปกรณ์							
เดือน	ต้นที่ 1	ต้นที่ 2	ต้นที่ 3	ต้นที่ 4	ต้นที่ 5	รวม	เฉลี่ย (กรัม)
1	0.014	0.016	0.014	0.015	0.014	0.118	0.014

2	0.015	0.017	0.015	0.016	0.015	0.078	0.015
3	0.016	0.018	0.016	0.017	0.016	0.083	0.016
4	0.017	0.019	0.017	0.018	0.017	0.088	0.017
5	0.018	0.020	0.018	0.019	0.018	0.093	0.018
6	0.019	0.021	0.019	0.020	0.019	0.098	0.019
7	0.021	0.023	0.021	0.022	0.021	0.108	0.021
8	0.022	0.024	0.022	0.023	0.022	0.113	0.022
9	0.023	0.025	0.023	0.024	0.023	0.118	0.023
10	0.024	0.026	0.024	0.025	0.024	0.123	0.024
11	0.025	0.027	0.025	0.026	0.025	0.128	0.025
12	0.026	0.028	0.026	0.027	0.026	0.133	0.026
รวม	0.24	0.26	0.24	0.25	0.24	1.28	0.24
เฉลี่ย	0.02	0.022	0.02	0.021	0.02	0.197	0.038
ผลต่าง	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.015	0.012
น้ำหนักของพืชบนแผงอุปกรณ์ยึดพืชอากาศแบบที่ 1							
ก่อน	0.014	0.015	0.014	0.015	0.014	0.072	0.014
หลัง	0.024	0.024	0.025	0.025	0.024	0.121	0.024
ต่าง	0.010	0.009	0.010	0.010	0.010	0.049	0.010
น้ำหนักของพืชบนแผงอุปกรณ์ยึดพืชอากาศแบบที่ 2							
ก่อน	0.014	0.015	0.015	0.016	0.014	0.074	0.014
หลัง	0.022	0.023	0.023	0.024	0.022	0.114	0.022
ต่าง	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.040	0.008
น้ำหนักของพืชบนแผงอุปกรณ์ยึดพืชอากาศแบบที่ 3							
ก่อน	0.015	0.014	0.014	0.016	0.014	0.073	0.014
หลัง	0.023	0.024	0.023	0.025	0.023	0.118	0.023
ต่าง	0.008	0.010	0.009	0.009	0.009	0.045	0.009

หมายเหตุ

- การทดลองตั้งแต่ เดือนพฤษภาคม 2558 ถึง เดือนเมษายน 2559 (366 วัน)
- การเก็บข้อมูลโดยการสุ่มตัวอย่างพืชจำนวน 5 ต้น บนชุดปลูกธรรมดา โดยเก็บข้อมูลทุกเดือน (12 เดือน)
- การเก็บข้อมูลโดยการสุ่มตัวอย่างพืชจำนวน 5 ต้น บนแผงอุปกรณ์ทั้ง 3 แบบ โดยเก็บข้อมูลก่อนและหลังการทดลอง ระหว่างการทดลองไม่มีการเก็บข้อมูล เนื่องจาก การถอดพืชออกทุกเดือนอาจสร้างความเสียหายต่อพืช

ตารางที่ 3-4 ขนาดพุ่มและน้ำหนักใบต่อพื้นที่ทดลอง

แบบที่	ขนาดพุ่มใบ (เซนติเมตร)					
	ก่อน (ซม.)	หลัง (ซม.)	เพิ่มขึ้น (ซม.)	พื้นที่ทดลอง (ตร.ซม.)	พื้นที่ปกคลุมใบต่อพื้นที่ทดลอง (ซม./ตร.ม)	ผลต่าง (%)
0	7.46	11.64	5.18	100	3.18	-
1	7.52	11.60	4.2	100	3.16	81
2	7.48	11.08	3.6	100	3.02	69
3	7.42	11.48	4.1	100	3.13	79

F-test	*	*	*	*	*	*
CV%	0.5	2.18	15.45	-	2.24	8.41
น้ำหนัก (กรัม)						
แบบที่	ก่อน (กรัม)	หลัง (กรัม)	เพิ่มขึ้น (กรัม)	พื้นที่ทดลอง (ตร.ซม.)	น้ำหนักต่อพื้นที่ทดลอง (กรัม/ตร.ม)	ผลต่าง (%)
0	0.014	0.026	0.012	100	1.2	-
1	0.014	0.024	0.010	100	1.0	83
2	0.014	0.022	0.008	100	0.8	67
3	0.014	0.023	0.009	100	0.9	75
F-test	ns	ns	ns	*	*	*
CV%	0.0	0.0	0.0	-	17.8	6.37

หมายเหตุ

- * มีความต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %
- ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ
- ผลต่างเป็น % คิดได้จากสูตร ค่าผลต่าง x100หารด้วยค่าขนาดพุ่มใบที่ได้จากชุดปลูกธรรมดาแบบไม่มีอุปกรณ์จับยึด

มีอุปกรณ์จับยึด

- การคำนวณหาพื้นที่ปกคลุมใบใช้สูตร (Relative Growth Rate) เปอร์เซ็นต์การครอบคลุมพื้นที่เมื่อสิ้นสุดการทดลอง ลบด้วยเมื่อเริ่มการทดลอง หารด้วยเปอร์เซ็นต์การครอบคลุมพื้นที่เมื่อเริ่มการทดลอง หารด้วยจำนวนวัน

สรุปผลการทดลองปลูกพืชร่วมกับอุปกรณ์ยึดพืช 3 รูปแบบ

จากผลการทดลองปลูกพืชร่วมกับอุปกรณ์ยึดพืชอากาศทั้ง 3 รูปแบบ สามารถสรุปได้ว่า

1) หลังคาพืชอากาศ ที่ปลูกในสภาพแวดล้อมเดียวกัน ใช้วัสดุต่างกัน ได้แก่ ลวดอลูมิเนียมหุ้มพลาสติก ขวดน้ำพลาสติก และลวดอลูมิเนียมกลม ไม่ส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืช ต้น *Tillandsia* (cotton candy) สามารถเติบโตต่อไปได้บนหลังคาที่มีอุปกรณ์ยึดพืชทั้ง 3 แบบ

2) หลังคาพืชอากาศแบบที่ 1 ลวดอลูมิเนียมหุ้มพลาสติก และแบบที่ 3 ลวดอลูมิเนียมกลม มีเปอร์เซ็นต์การเติบโตมากกว่า แบบที่ 2 ขวดน้ำพลาสติก คิดเป็น 81 เปอร์เซ็นต์ 79 เปอร์เซ็นต์ และ 69 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

3) หลังคาพืชอากาศในแต่ละวัสดุมีค่าพื้นที่ปกคลุมใบแตกต่างกันเล็กน้อย 3.16 3.13 และ 3.02 ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างกันมาก โดยจะผันแปรไปวิธีการจับยึดของอุปกรณ์

3.2.2 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของใบ

ผลจากการปลูกพืชในแต่ละอุปกรณ์และบนชุดปลูกธรรมดาแบบไม่มีอุปกรณ์ยึดพืชในสภาพแวดล้อมเดียวกัน (ตารางที่ 3-4) ตั้งแต่เดือนพฤษภาคม 2558 ถึงเดือนเมษายน 2559 จะเห็นได้ว่า การปลูกพืชอากาศบนอุปกรณ์ยึดพืชชั้นที่ 1 ลวดลวดมึนนิยมนุ่มพลาสติก อุปกรณ์ยึดพืชชั้นที่ 2 ขวดน้ำพลาสติก อุปกรณ์ยึดพืชชั้นที่ 3 ลวดลวดมึนนิยมนุ่ม พืชทดลองสามารถเจริญเติบโตได้ดี โดยพื้นที่ปกคลุมใบเพิ่มขึ้นคิดเป็น 81 เปอร์เซ็นต์ 79 เปอร์เซ็นต์ และ 69 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 3-4) ตลอดการทดลองระยะเวลา 12 เดือน ลักษณะของใบมีการเปลี่ยนสีที่แตกต่างกันไปตามปัจจัยสภาพแวดล้อมในแต่ละช่วงเวลาเปลี่ยนเป็น โดยในช่วงเริ่มต้นการทดลองลักษณะของใบเป็นสีเขียวเข้ม ผ่านไปสักระยะสีของใบเริ่มอ่อนลงเป็นสีเขียวย่อนในเดือนมิถุนายน 2558 ค่อยๆ เปลี่ยนเป็นสีเขียวอมเหลืองในเดือนกรกฎาคมถึงกันยายน 2558 พอเข้าเดือนตุลาคม 2558 เริ่มเปลี่ยนกลับมาเป็นสีเขียวสดขึ้นจนถึงเขียวเข้มในช่วงเดือนในพฤศจิกายน พอเดือนธันวาคม 2558 กลายเป็นสีเขียวจนเข้ากลางเดือนมกราคม 2559 สีของใบอ่อนลงอีกครั้งเปลี่ยนเป็นสีเขียวอมเหลืองเมื่อเข้าสู่เดือนกุมภาพันธ์ มีนาคม 2559 และเปลี่ยนเป็นเขียวซีดเกือบขาวในเดือนเมษายน 2559 ซึ่งมีอุณหภูมิเฉลี่ย 29.1 องศาเซลเซียส สูงที่สุดในช่วงการทดลอง ลักษณะของใบเปลี่ยนแปลงเหมือนกันในทุกอุปกรณ์ยึดพืชอากาศ

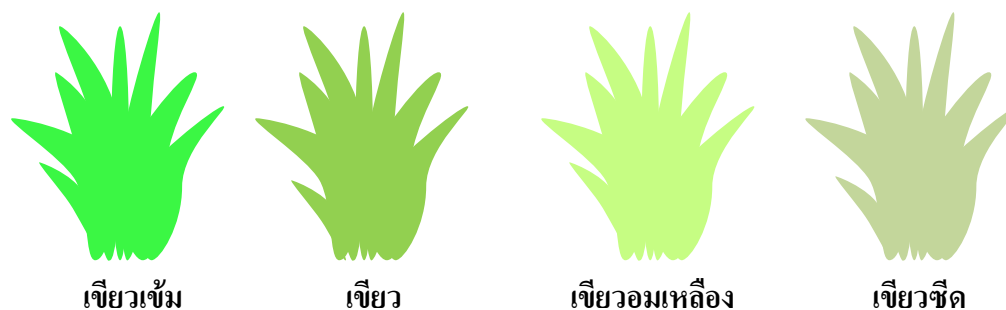
ตารางที่ 3-5 เปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพของพืชในแต่ละอุปกรณ์และชุดควบคุม

เดือน	ลักษณะทางกายภาพของพืชในแต่ละอุปกรณ์และชุดควบคุม			
	ชุดควบคุม	แบบที่ 2	แบบที่ 3	แบบที่ 4
	สีของใบ			
1	เขียวเข้ม	เขียวเข้ม	เขียวเข้ม	เขียวเข้ม
2	เขียว	เขียว	เขียว	เขียว
3	สีเขียวยอมเหลือง	สีเขียวยอมเหลือง	สีเขียวยอมเหลือง	สีเขียวยอมเหลือง
4	สีเขียวยอมเหลือง	สีเขียวยอมเหลือง	สีเขียวยอมเหลือง	สีเขียวยอมเหลือง
5	สีเขียวยอมเหลือง	สีเขียวยอมเหลือง	สีเขียวยอมเหลือง	สีเขียวยอมเหลือง
6	เขียว	เขียว	เขียว	เขียว
7	เขียว	เขียว	เขียว	เขียว

8	เขียวเข้ม	เขียวเข้ม	เขียวเข้ม	เขียวเข้ม
9	เขียว	เขียว	เขียว	เขียว
10	สีเขียวมเหลือง	สีเขียวมเหลือง	สีเขียวมเหลือง	สีเขียวมเหลือง
11	สีเขียวมเหลือง	สีเขียวมเหลือง	สีเขียวมเหลือง	สีเขียวมเหลือง
12	เขียวซีด	เขียวซีด	เขียวซีด	เขียวซีด

หมายเหตุ

* สีของใบยังใช้สังเกตเพื่อบอกสาเหตุการตายว่ามาจากสภาพแวดล้อม หรือจากอุปกรณ์ที่ออกแบบ



ภาพที่ 3-3 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของสีใบ

สรุปผลการทดลองปลูกพืชร่วมกับอุปกรณ์ยึดพืช 3 รูปแบบ

จากผลการทดลองปลูกพืชอากาศร่วมกับอุปกรณ์ยึดพืช สรุปได้ว่า พื้นที่ปกคลุมใบของพืชเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับการเจริญโตของพืชบนชุดควบคุมแบบไม่มีอุปกรณ์จับยึดพืชอากาศ ค่าพื้นที่ปกคลุมใบมีความใกล้เคียงกันมาก มากสุดบนอุปกรณ์ยึดพืชชั้นที่ 1 ลวดอลูมิเนียมหุ้มพลาสติก รองลงมา คือ อุปกรณ์ยึดพืชชั้นที่ 3 ลวดอลูมิเนียมกลม และอุปกรณ์ยึดพืชชั้นที่ 2 ขวดน้ำพลาสติก ตามลำดับ การเปลี่ยนแปลงลักษณะสีของใบที่เกิดขึ้นตลอดการทดลองสัมพันธ์กับปัจจัยแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม ปริมาณน้ำฝน โดยเฉพาะการเปลี่ยนแปลงของฤดูกาล กล่าวคือ ฤดูกาลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกลางวันและกลางคืน ฤดูร้อนจะมีช่วงเวลากลางวันยาวนานกว่ากลางคืน เมื่อฤดูกาลเปลี่ยนใบไม้ที่เคยเขียวก็จะเปลี่ยนเป็นอ่อนลง เมื่อเข้าสู่ฤดูกาลใหม่สีที่เคยอ่อนลงไปก็จะกลับมาสดอีกครั้ง ดังนั้น สีเขียวเข้ม สีเขียว สีเขียวมเหลือง และสีเขียวซีด ที่เกิดขึ้นกับพืชทดลองจึงเป็นกลไกการเปลี่ยนแปลงตามธรรมชาติของพืชที่เรียกว่าการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล

3.3 การทดสอบคุณภาพของวัสดุและข้อจำกัดของอุปกรณ์ยึดพืชอากาศทั้ง 3 รูปแบบ

การทดสอบนี้ได้ทำการทดสอบแผงอุปกรณ์ยึดพืชอากาศที่ใช้ลวดอลูมิเนียมหุ้มพลาสติก ขวดน้ำพลาสติก ลวดอลูมิเนียมกลม เป็นตัวจับยึดต้น *Tillandsia* (cotton candy) การทดสอบได้ผล ดังนี้

การหลุดของพืชออกจากอุปกรณ์ จากตารางที่ 3-6 แสดงให้เห็นว่า หลังการทดสอบอุปกรณ์พืชอากาศ ได้แก่ อุปกรณ์ยึดพืชชั้นที่ 1 ลวดอลูมิเนียมหุ้มพลาสติก อุปกรณ์ยึดพืชชั้นที่ 2 ขวดน้ำพลาสติก อุปกรณ์ยึดพืชชั้นที่ 3 ลวดอลูมิเนียมกลม ในสภาพแวดล้อมเดียวกัน พบว่า อุปกรณ์ยึดพืชชั้นที่ 1 ลวดอลูมิเนียมหุ้มพลาสติก พืชไม่หลุดในเดือนพฤษภาคม มิถุนายน กรกฎาคม สิงหาคม กันยายน ตุลาคม ธันวาคม 2558 กุมภาพันธ์ มีนาคม และเมษายน 2559 แต่จะพืชหลุดในเดือนพฤศจิกายน จำนวน 1 ต้น และมกราคม 2559 จำนวน 1 ต้น รวมเป็น 2 ต้น อุปกรณ์ยึดพืชชั้นที่ 2 ขวดน้ำพลาสติก พืชไม่หลุดในเดือนพฤษภาคม มิถุนายน กรกฎาคม สิงหาคม กันยายน ตุลาคม 2558 กุมภาพันธ์ มีนาคม และเมษายน 2559 แต่จะพืชหลุดในเดือนพฤศจิกายน จำนวน 1 ต้น ธันวาคม 2558 จำนวน 1 ต้น และมกราคม 2559 จำนวน 2 ต้น รวมเป็น 4 ต้น อุปกรณ์ยึดพืชชั้นที่ 3 ลวดอลูมิเนียมกลม พืชไม่หลุดในเดือนพฤษภาคม มิถุนายน กรกฎาคม สิงหาคม กันยายน ตุลาคม 2558 และเมษายน 2559 แต่จะพืชหลุดในเดือนพฤศจิกายนจำนวน 3 ต้น ธันวาคม 2558 จำนวน 1 ต้น มกราคม จำนวน 4 ต้น กุมภาพันธ์ จำนวน 1 ต้น และ มีนาคม 2559 จำนวน 1 ต้น รวมเป็น 10 ต้น

การหลุดของอุปกรณ์ออกจากกระเบื้องหลังคา จากการทดสอบการใช้งานอุปกรณ์ ตารางที่ 3-6 ตั้งแต่เดือน พฤษภาคม 2558 – เมษายน 2559 นาน 12 เดือน พบว่า ตลอดการทดลองไม่มีอุปกรณ์แบบใดหลุดออกจากกระเบื้อง

ตารางที่ 3-6 ข้อจำกัดของอุปกรณ์ยึดพืชอากาศ

เดือน	ต้นพืชหลุดออกจากอุปกรณ์						อุปกรณ์หลุดออกจากกระเบื้อง		
	ชั้นที่ 1		ชั้นที่ 2		ชั้นที่ 3		ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3
	หลุด	จำนวน	หลุด	จำนวน	หลุด	จำนวน	หลุด	หลุด	หลุด
1	ไม่	0	ไม่	0	ไม่	0	0	0	0
2	ไม่	0	ไม่	0	ไม่	0	0	0	0
3	ไม่	0	ไม่	0	ไม่	0	0	0	0
4	ไม่	0	ไม่	0	ไม่	0	0	0	0
5	ไม่	0	ไม่	0	ไม่	0	0	0	0

6	ไม่	0	ไม่	0	ไม่	0	0	0	0
7	หลุด	1	หลุด	1	หลุด	3	0	0	0
8	ไม่	0	หลุด	1	หลุด	1	0	0	0
9	หลุด	1	หลุด	2	หลุด	4	0	0	0
10	ไม่	0	ไม่	0	หลุด	1	0	0	0
11	ไม่	0	ไม่	0	หลุด	1	0	0	0
12	ไม่	0	ไม่	0	ไม่	0	0	0	0

สรุปได้ว่า มีการหลุดของพืชเหมือนกันในทุกอุปกรณ์ พืชหลุดน้อยที่สุด คือ อุปกรณ์ยึดพืชแบบที่ 1 ลวดอลูมิเนียมหุ้มพลาสติก จำนวน 2 ต้น รองลงมา คือ อุปกรณ์ยึดพืชแบบที่ 2 ขวดน้ำพลาสติก จำนวน 4 ต้น และอุปกรณ์ยึดพืชแบบที่ 3 ลวดอลูมิเนียม จำนวน 10 ต้น ตามลำดับ แต่ไม่มีอุปกรณ์ยึดพืชหลุดออกจากหลังคากระเบื้อง เมื่อเปรียบเทียบการหลุดออกของพืชในแต่ละอุปกรณ์ จะเห็นได้ว่า พืชจะหลุดในช่วงฤดูฝน มากกว่าฤดูร้อน เดือนที่มีพืชหลุดเหมือนกัน คือ เดือนพฤศจิกายน 2558 และเดือนมกราคม 2559 ซึ่งอยู่ในช่วงฤดูฝนของภาคใต้

บทที่ 4

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อออกแบบอุปกรณ์ยึดพืชอากาศ *Tillandsia* (cotton candy) เพื่อทำเป็นหลังคาสีเขียวแบบ Air Plant มีคุณสมบัติทนทานต่อสภาพอากาศ พืชเติบโตได้ตามปกติ และใช้ต้นทุนน้อยที่สุด

สรุปผลการวิจัย

จากผลการทดลองปลูกพืชบนแผงอุปกรณ์ยึดพืชอากาศแบบที่ 1 ลวดอลูมิเนียมหุ้มพลาสติก แบบที่ 2 ขวดน้ำพลาสติก และแบบที่ 3 ลวดอลูมิเนียมหุ้ม และปลูกพืชบนชุดปลูกธรรมชาติแบบปกติ ในสภาพแวดล้อมเดียวกัน ซึ่งนอกจากปัจจัยสภาพแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม ปริมาณน้ำฝน ที่ควบคุมการอยู่รอดของพืชบนคาดฟ้าอาคารแล้ว วัสดุที่ใช้จับยึดเป็นอีกปัจจัยสำคัญที่อาจส่งผลกระทบต่อพืช ผลการศึกษา พบว่า วัสดุที่ใช้ทดลองได้แก่ ลวดอลูมิเนียมหุ้มพลาสติก ขวดน้ำพลาสติก และลวดอลูมิเนียมกลม ไม่ทำให้พืชตาย พืชยังเติบโตได้บนหลังคาที่มีอุปกรณ์ยึดพืชทั้ง 3 แบบ ซึ่งไม่ได้มีความแตกต่างกันมากกับพืชบนชุดปลูกปกติที่มีขนาดใบเพิ่มขึ้น 5.18 เซนติเมตร รองลงมาคือ แบบที่ 1 ลวดอลูมิเนียมหุ้มพลาสติก 4.2 เซนติเมตร แบบที่ 3 ลวดอลูมิเนียม 4.1 เซนติเมตร และแบบที่ 2 ขวดน้ำพลาสติก มีขนาดพุ่มใบน้อยที่สุด 3.6 เซนติเมตร จะเห็นได้ว่า พืชบนแผงอุปกรณ์ยึดพืชอากาศแบบที่ 2 ขวดน้ำพลาสติกเติบโตได้น้อย เนื่องจาก การออกแบบการจับยึดที่เป็นแบบซิกแซกฟันปลาจากขวดพลาสติกมีลักษณะการจับยึดที่บีบรัดต้นพืชแน่นเกินไป พุ่มใบไม่สามารถแผ่ขยายออกได้ ใบชั้นล่างติดกันจนไทรโคมซึ่งทำหน้าที่ดักจับความชื้นและธาตุอาหารในอากาศมาเลี้ยงลำต้นไม่สามารถได้หน้าที่ได้อย่างปกติ ส่งผลทำให้พืชโตได้น้อยกว่าแบบ 1 และแบบที่ 3 ที่ใบสามารถขยายได้อย่างอิสระทุกทิศทาง มีช่องว่างให้ทุกใบได้สัมผัสอากาศ ดังนั้นพื้นที่ระหว่างใบจึงเป็นสิ่งสำคัญมากสำหรับพืชอากาศ ถ้าหากใบไม่สามารถหาอาหารได้ จะส่งผลถึงการเจริญเติบโตของต้น *Tillandsia* (cotton candy)

นอกจากวัสดุแล้วการเลือกพืชให้เหมาะสมกับคาดฟ้าอาคารที่กลางวันอุณหภูมิสูง กลางคืนอุณหภูมิต่ำ ลมพัดแรง จึงเป็นสิ่งสำคัญของการออกแบบหลังคาพืช (ณเรชต์พัชร เขียววิชัย, 2557) ลักษณะเฉพาะของพืชเป็นสิ่งสำคัญอันดับต้นๆ ของการสร้างหลังคาเขียว พืชที่เหมาะสมจึง

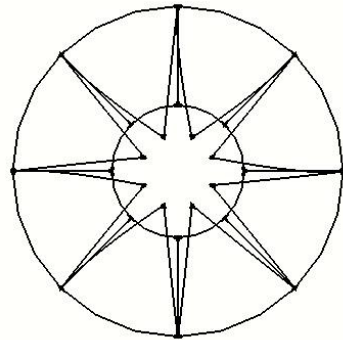
เป็นพืชที่มีความสามารถในการทนแล้ง อยู่รอดได้โดยอาศัยน้ำค้างน้ำฝน ต้องการน้ำน้อยสามารถตั้งตัวได้เร็ว ต้น *Tillandsia* (cotton candy) สามารถปรับตัวเข้ากับสภาพขาดน้ำได้ดี ทนแล้งได้นาน โดยเฉพาะบนอาคารฟ้าที่มีสภาพอากาศแปรปรวน มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดปี 27.75 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 79.84 เปอร์เซ็นต์ ความเร็วลม 2.79 เมตรต่อวินาที ปริมาณน้ำฝน 146.7 มิลลิเมตร เห็นได้จาก การเปลี่ยนแปลงของสีใบที่ค่อยปรับเปลี่ยนไปตามสภาพแวดล้อมในเวลานั้น จากการศึกษาพบว่า ใบของต้น *Tillandsia* (cotton candy) เปลี่ยนแปลงไป 4 ระดับ คือ เขียวเข้ม เขียว เขียวอมเหลือง และเขียวซีด ลักษณะใบที่เปลี่ยนไปเป็นการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงของฤดูกาล

ผลการทดสอบแผงคุณสมบัติและข้อจำกัดของอุปกรณ์ยึดพืชอากาศในสภาพแวดล้อมที่เป็นอาคารฟ้าอาคารมีหลายปัจจัยที่ส่งผลต่อการหลุดของพืช ซึ่งนอกจากวิธีการจับยึดของตัวอุปกรณ์เองแล้ว สภาพอากาศพื้นดินบริเวณที่ทำการทดลองก็เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดการหลุดของพืช ยิ่งบนอาคารสูงสภาพอากาศจะมีความแปรปรวนกว่าบนพื้นดิน จะเห็นได้ว่า พืชจะหลุดในช่วงฤดูฝนที่มีลมพัดแรงมากกว่าฤดูร้อน เมื่อเปรียบเทียบการหลุดออกของพืชในแต่ละอุปกรณ์ พบว่า พืชหลุดมากที่สุดใ้ในอุปกรณ์แบบที่ 3 จำนวน 10 ต้น รองลงมาคือแบบที่ 2 ขวดน้ำพลาสติก จำนวน 4 ต้น และหลุดน้อยที่สุดในแบบที่ 1 ลวดดอูมิเนียมหุ้มพลาสติก จำนวน 2 ต้น

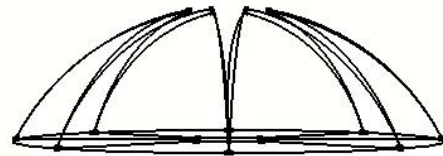
จากผลการการศึกษาเกี่ยวกับหลังคา Green Roof แบบใช้พืชอากาศ *Tillandsia* (cotton candy) เพื่อเป็นหลังคาเขียวแบบใช้พืชอากาศในการป้องกันความร้อนเข้าสู่อาคารผ่านทางหลังคากระเบื้องหลังคา สรุปได้ว่า

1. ต้น *Tillandsia* (cotton candy) ที่ปลูกบนชุดปลูกธรรมดาและพืชที่ปลูกบนแผงอุปกรณ์ยึดพืชอากาศทั้ง 3 แบบ มีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ย 3-5 เซนติเมตร ต่อปี
2. วัสดุที่ได้จากการคัดเลือกทั้ง 3 ชนิด ไม่เป็นอันตรายต่อต้น *Tillandsia* (cotton candy) พืชไม่ตาย สามารถเจริญเติบโตได้ภายใต้ภูมิอากาศแบบมรสุมเขตร้อนภาคใต้ของประเทศไทย
3. การเปลี่ยนแปลงของใบที่เกิดจากการปรับตัวตามฤดูกาล
4. หลังคาเขียวแบบใช้พืชอากาศมีศักยภาพในการนำไปพัฒนาต่อไปเป็นผลิตภัณฑ์ที่สามารถใช้งานได้จริง
5. อุปกรณ์ที่ออกแบบยังมีข้อบกพร่องที่มาจากหลายสาเหตุ แต่ที่เห็นชัดเจนคือความเสียหายที่มาจากแรงลม ซึ่งลมเป็นปัญหาสำคัญของการออกแบบหลังคาเขียว โดยเฉพาะหลังคาเขียวที่มีความลาดเอียงบนอาคารสูงที่สภาพแวดล้อมแปรปรวนอยู่ตลอดเวลา เป็นเรื่องสำคัญที่ต้องนำปรับปรุงแก้ไขในการพัฒนาชิ้นงานต่อไปให้รัดกุมยิ่งขึ้นมีการจับยึดที่แน่นขึ้น

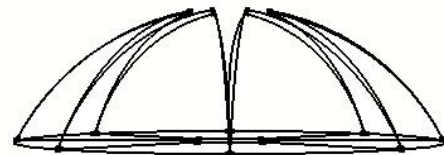
การปรับปรุงแก้ไขออกแบบใหม่ต่อจากแบบสวดอคูมินิยมกลมให้มีวดคาดกลาง เพื่อให้การหลดลดลง มีความเหมาะสมในการผลิตเป็นต้นแบบอุปกรณ์สำหรับหลังคาเขียวแบบ Air Plant



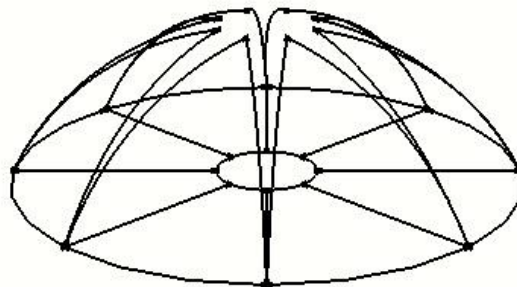
Top



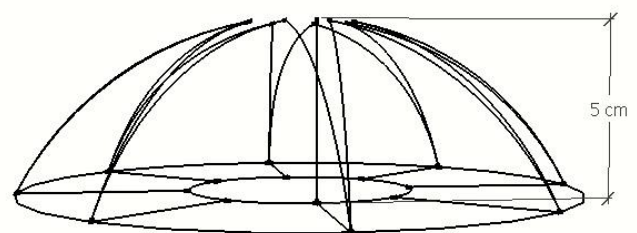
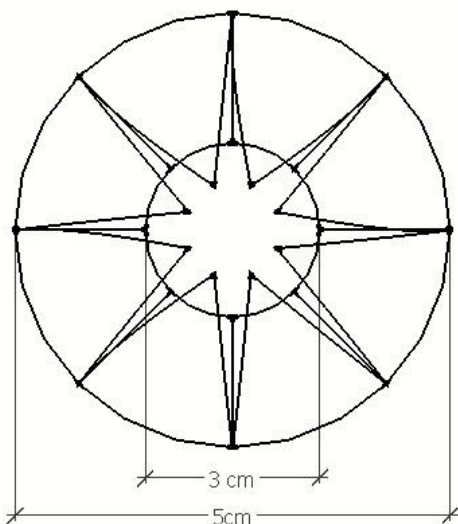
Front / Back



Right / Left



Iso



ภาพที่ 4-1 อุปกรณ์แบบที่ 3 ที่ได้ออกแบบใหม่ให้ตรงกลางมีหลอดมากขึ้น

ข้อเสนอแนะในการนำไปศึกษาต่อ

ควรมีการศึกษาและพัฒนาหลังคาเขียวแบบ Air Plant ในกรณีต่อไปนี้

1. ศึกษาเพิ่มเติมเรื่องของวัสดุที่จะนำมาใช้ผลิตหลังคาเขียวให้มีความหลากหลายมากขึ้น
2. ศึกษาเรื่องการออกแบบหลังคาเขียวแบบใช้พืชอากาศบนพื้นที่ลาดชันมากกว่า 30 องศา
3. ศึกษาเรื่องการเจริญเติบโตของต้น *Tillandsia* (cotton candy) สามารถเติบโตบนแผง

อุปกรณ์ปลูกต่อไปได้ก็ปี

4. ศึกษาเรื่องการลดความร้อนของหลังคาเขียวแบบ Air Plant

บรรณานุกรม

- กนกวลี สุชีธร. (2548). หลังคาเขียว : ทางเลือกเพื่อการจัดการน้ำฝน. วารสารวิชาการคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, ฉบับที่ 1/2548
- กวีวัชร เสถียร. (2557). การประเมินค่าการนำความร้อนของพืชผ่านผนังอาคาร กรณีศึกษาพืชสายพันธุ์ ม่านบาห์ลี. ปรินญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- กมลภัทร์ โรจนประดิษฐ์. (2552). การออกแบบสวนหลังคาโดยใช้หลักการออกแบบภูมิทัศน์เพื่อการบำบัดจิตใจ. ปรินญาภูมิสถาปัตยกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- กรมโรงงานอุตสาหกรรม. (2551). การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment). กรม โรงงานอุตสาหกรรม.
- ชนิกานต์ ยิ้มประยูร และ พาสินี สุนากร. (2554). การเพิ่มสมรรถนะในการลดการถ่ายเทความร้อนของ แฉกกันแดดไม้เลื้อยด้วยการระบายอากาศ. วารสารพลังงาน, ปีที่ 8, ฉบับที่ 2/2554, 38-53
- เฉอรัชต์พัชร เขียววิชัย. (2557). สวนบนหลังคา : พันธุ์พืช วัสดุปลูก และผลต่ออุณหภูมิและความชื้น สัมพัทธ์ในห้อง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาการพืชสวน), มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- ณัฐพล แซ่ห่าน. (2553). การศึกษาประสิทธิภาพของกระเบื้องระบายความร้อนด้วยอากาศ กรณีศึกษาอาคาร ที่ทำการกรมสรรพากร. วิทยานิพนธ์สถาปัตยกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- พุทธิพันธ์ เจริญเวศยางกูร. (2552). ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของหลังคาเขียวที่ใช้วัสดุธรรมชาติเป็น วัสดุปลูกแทนดิน. วิทยานิพนธ์สถาปัตยกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- ภูษิต เลิศพัฒนารักษ์ และอัญชิตา สันติจิตโต. (2555). คุณสมบัติของวัสดุไฟเบอร์ซีเมนต์ผสมเส้นใย ธรรมชาติจากเส้นใยมะพร้าวและเส้นใยปาล์มเพื่อผลิตวัสดุก่อสร้าง . วารสารวิจัยและสาระสถาปัตยกรรม/การผังเมือง ปีที่ 9 ฉบับที่ 1/2555
- มูลนิธิสิ่งแวดล้อมไทย. (2551). LCA เครื่องมือสู่การพัฒนาผลิตภัณฑ์สีเขียว. กรม โรงงานอุตสาหกรรม.
- ยิ่งยศ เงินมาก. (2550). การเลือกใช้วัสดุเหลือใช้เพื่อชะลอการไหลของน้ำสำหรับ หลังคาเขียว. วิทยานิพนธ์ปรินญาภูมิสถาปัตยกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- รวุฒิ ธนาวุฒิวัฒนา. (2552). ประสิทธิภาพในการใช้หลังคาปลูกต้นไม้เพื่อลดความร้อนสำหรับสภาพ ภูมิอากาศร้อนชื้น. วิทยานิพนธ์สถาปัตยกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยศิลปากร.

วิไลศักดิ์ สุริยาศรี. (2555). ความคุ้มทุนของหลังคาเขียวต่อการประหยัดค่าพลังงานไฟฟ้า สำหรับการ ปรับอากาศในอาคารพาณิชย์ในจังหวัดเชียงใหม่. วิทยานิพนธ์สถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

เศรษฐมนตร์ กาญจนกุล. (2553). ร้อยพรรณพฤกษา สับปะรดสี. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์เศรษฐศิลป์.
 อภินันท์ เกียรติวาทิรัตน์. (2554). ศึกษาประสิทธิผลในการลดความร้อนให้กับผนังอาคาร โดยการใช้ แผงกันแดดไม้เลื้อย. วิทยานิพนธ์ปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัย เชียงใหม่. ศิลปากร.

Cardoso, T. G., Neto, C. S., & Vecchiaa, F. (2012). Rigid foam polyurethane (PU) derived from castor

oil (*Ricinus communis*) for thermal insulation in roof systems. *Frontiers of Architectural Research*, 1, 348–356.

Cushman, J.C., (2001). Crassulacean acid metabolism. A plastic photosynthesis to arid environments. *Plant Physiology*, 127, 1439-1488

Dominiquea, M., Tianab, R., Fanomezanab, R., & Ludovicb, A. (2014). *Thermal Behavior of Green Roof in Reunion Island: Contribution Towards a Net Zero*. *Building Energy Procedia*, 57, 1908– 1921.

Edwin, I.J., AnÍbal, F. C. & Manuel, G. S. (2014). Criteria for Selection of Plant Species for its Deployment in Thermally Efficient Architectural Green Roofs in the Metropolitan Area of Mexico City: Methodological Guidelines. *Energy Procedia*, 57, 1798– 1807

Joachim, F., Renate, F. & Stefan, E. (2016). Secondary effects of urban heat island mitigation measures on air quality. *Atmospheric Environment*, 125, 199–211

Kosareo, L., & Ries, R. (2007). *Comparative environmental life cycle assessment of green roofs*. *Building and Environment*, 42, 2606–2613.

Lemonsu, A., ViguiÉ, V., Daniel, M. & Masson, V. (2015). Vulnerability to heat waves: Impact of urban expansion scenarios on urban heat island and heat stress in Paris (France). *Urban Climate*, 14, 586–605

Lin, S., Yu, C., Su, T., & Lin, J. (2013). Impact of climatic conditions on the thermal effectiveness of anextensive green roof. *Building and Environment*, 67, 26-33.

Mert Eksi and D.Bradley Rowe. (2016). Green roof substrates: Effect of recycled crushed Porcelain and foamed glass on plant growth and water retention. *Urban Forestry & Urban Greening*, 20, 81-88.

Umberto Beradi. (2016). The outdoor microclimate benefits and energy saving resulting from green roofs retrofits. *Energy and Buildings*, 121, 217-229

Wonga, N., Chena, Y., Ongb, C., & Siab, A. (2003). Investigation of thermal benefits of rooftop garden in the tropical environment. *Building and Environment*, 38, 261 – 270

สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. (2559). การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate Change) ใน ประเทศไทย. ศูนย์ยุทธศาสตร์การวิจัยด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (สืบค้นเมื่อวันที่ 16 พฤษภาคม 2559)

URL: <http://ccrc.nrct.go.th>

สำนักสิ่งแวดล้อมกรุงเทพมหานคร. (2011). หลังคาเขียวกับภาวะโลกร้อน. สำนักสิ่งแวดล้อม กรุงเทพมหานคร. (สืบค้นเมื่อวันที่ 16 พฤษภาคม 2559)

URL:

<http://bangkokgreencity.bangkok.go.th/KnowledgeBased/Article/InterestingArticles>

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
ข้อมูลสภาพอากาศ

...

วันที่	อุณหภูมิ (°C)			ความชื้นสัมพัทธ์ (%)			ลม ความเร็ว (กม./ชม.)	ปริมาณฝน (มม.)
	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย		
1	34.7	23.4	28.6	98.0	40.0	74.8	2.00	0.0
2	35.5	23.9	28.8	96.0	41.0	73.0	1.50	0.0
3	35.5	25.4	28.1	95.0	45.0	81.8	1.50	7.2
4	35.5	23.7	28.6	96.0	39.0	75.6	1.50	0.0
5	34.9	24.0	28.6	95.0	37.0	74.4	1.60	0.0
6	35.4	24.3	28.7	96.0	44.0	78.4	0.80	0.0
7	35.5	25.4	28.3	96.0	48.0	82.6	0.80	2.2
8	35.5	24.9	29.3	63.0	41.0	74.8	0.90	0.0
9	35.0	24.7	28.5	93.0	52.0	78.2	1.90	0.0
10	35.6	24.7	28.9	96.0	46.0	77.4	1.80	0.0
11	34.0	24.8	28.7	97.0	53.0	79.3	2.30	3.6
12	35.0	25.1	27.8	97.0	43.0	83.5	0.80	10.8
13	35.5	24.7	29.1	96.0	43.0	76.5	1.50	0.0
14	34.5	24.3	27.7	96.0	50.0	83.6	0.90	9.6
15	35.5	24.5	28.4	96.0	50.0	81.9	1.50	9.4
16	35.5	24.5	28.6	96.0	55.0	79.6	1.10	76.6
17	34.5	23.4	28.5	98.0	48.0	77.7	1.50	0.0
18	35.2	24.3	28.8	98.0	48.0	79.1	0.80	0.0
19	35.2	23.7	28.3	97.0	48.0	80.9	1.50	0.0
20	35.3	24.8	29.2	96.0	45.0	79.0	1.60	0.0
21	35.2	25.4	30.3	96.0	49.0	75.1	0.80	0.0
22	35.0	25.7	28.8	97.0	47.0	81.7	0.00	3.6
23	33.0	24.3	28.7	96.0	57.0	79.3	0.80	0.0
24	34.3	24.1	28.3	96.0	49.0	81.1	1.00	4.0
25	34.3	24.9	28.9	93.0	52.0	75.1	2.10	0.0
26	32.6	25.4	28.4	91.0	56.0	76.6	2.00	0.0
27	34.0	23.0	27.0	99.0	52.0	84.4	1.50	65.2
28	35.8	22.5	27.9	96.0	45.0	77.3	1.30	0.0
29	34.5	22.5	27.1	97.0	45.0	86.4	0.80	1.4
30	33.9	23.5	28.0	97.0	56.0	83.1	1.40	0.0
31	33.0	22.8	26.9	97.0	57.0	86.3	0.80	32.4
รวม	1079.3	752.6	881.8	2976.0	1481.0	2458.50	40.30	226.0
เฉลี่ย	34.8	24.3	28.4	96	47.77	79.31	1.30	7.3

ตารางภาคผนวก ก-2 สภาพภูมิอากาศเดือนมิถุนายน 2558

วันที่	อุณหภูมิ (° C)			ความชื้นสัมพัทธ์ (%)			ลม ความเร็ว (กม./ชม.)	ปริมาณฝน (มม.)
	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย		
1	34.0	22.2	27.0	98.0	44.0	80.0	0.80	0.0
2	33.5	33.5	23.6	27.7	96.0	47.0	1.50	0.0
3	33.9	33.9	22.9	28.5	97.0	51.0	1.60	0.0
4	34.5	34.5	23.0	29.0	96.0	41.0	1.30	0.0
5	34.1	34.1	24.0	28.4	96.0	52.0	3.00	0.0
6	34.0	34.0	24.2	28.4	96.0	53.0	1.40	0.0
7	35.3	35.3	25.1	27.8	98.0	43.0	0.00	0.0
8	33.4	33.4	24.0	27.5	98.0	52.0	1.60	0.0
9	34.9	34.9	24.3	27.6	96.0	43.0	0.40	0.0
10	34.5	34.5	24.0	28.5	96.0	48.0	1.10	0.0
11	33.5	25.3	28.4	98.0	54.0	80.6	4.40	12.0
12	33.0	23.7	27.1	96.0	56.0	87.2	3.00	0.4
13	33.2	24.1	27.4	96.0	52.0	82.1	1.90	5.6
14	31.8	23.6	27.7	96.0	54.0	81.1	2.00	3.2
15	32.3	24.7	27.5	97.0	58.0	81.2	3.10	0.0
16	32.3	23.0	26.1	99.0	57.0	87.9	0.90	0.0
17	31.0	22.7	26.4	97.0	55.0	83.8	1.50	14.2
18	34.2	22.5	28.1	96.0	44.0	76.7	1.00	0.0
19	34.5	23.5	28.1	96.0	44.0	81.6	1.60	0.0
20	28.9	24.4	26.6	98.0	71.0	89.2	3.40	38.8
21	35.3	22.4	28.5	96.0	41.0	76.9	1.30	T
22	34.1	24.0	29.1	96.0	49.0	77.4	1.90	0.0
23	33.9	25.6	29.1	97.0	46.0	76.2	3.80	0.0
24	35.0	24.6	29.4	96.0	41.0	74.8	3.50	0.0
25	35.7	24.7	29.1	97.0	41.0	76.6	2.10	0.0
26	35.7	24.2	29.6	96.0	44.0	77.0	1.50	0.0
27	36.0	24.5	29.9	96.0	39.0	74.5	1.60	0.0
28	34.2	25.6	29.3	96.0	49.0	77.7	1.60	0.0
29	34.7	24.2	27.7	96.0	49.0	81.6	0.90	0.0
30	36.1	23.0	29.1	97.0	37.0	74.7	1.90	0.0
รวม	1017.5	717.6	844.6	2899.0	1455.0	2405.40	55.60	74.2
เฉลี่ย	33.9	23.9	28.2	96.6	48.5	80.2	1.9	2.4

ตารางภาคผนวก ก -3 สภาพภูมิอากาศเดือนกรกฎาคม 2558

วันที่	อุณหภูมิ (°C)			ความชื้นสัมพัทธ์ (%)			ลม ความเร็ว (กม./ชม.)	ปริมาณฝน (มม.)
	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย		
1	35.8	23.3	29.4	96.0	40.0	73.1	3.30	0.0
2	35.2	24.4	29.3	96.0	46.0	74.8	1.10	0.0
3	33.8	24.6	27.7	98.0	51.0	81.9	4.00	5.2
4	34.2	23.0	28.2	97.0	48.0	78.6	5.30	0.0
5	34.3	23.7	28.5	96.0	55.0	79.4	1.50	0.0
6	33.3	25.2	28.6	96.0	52.0	80.2	2.00	25.0
7	28.2	23.9	25.2	98.0	85.0	93.4	1.30	29.8
8	32.1	23.1	26.8	98.0	59.0	87.8	1.60	0.6
9	33.5	23.5	28.5	96.0	47.0	74.5	3.60	0.0
10	33.1	24.2	28.7	96.0	49.0	74.2	3.80	0.0
11	35.0	24.5	28.8	97.0	42.0	76.1	3.90	1.4
12	33.0	23.7	27.9	97.0	55.0	82.0	3.50	2.4
13	32.9	23.4	26.8	97.0	60.0	85.3	3.00	27.5
14	31.5	23.5	26.5	97.0	51.0	88.0	1.80	0.8
15	33.0	23.5	27.9	98.0	51.0	81.5	1.10	0.0
16	33.8	22.5	28.2	98.0	48.0	80.9	0.80	0.0
17	35.3	23.3	29.0	97.0	44.0	77.9	1.60	0.0
18	34.7	25.4	28.0	97.0	49.0	85.6	1.50	6.2
19	31.8	25.0	26.2	98.0	59.0	88.3	1.60	12.6
20	34.8	23.5	28.9	97.0	43.0	74.2	5.90	0.0
21	30.4	24.7	26.7	97.0	62.0	81.9	1.80	0.0
22	32.7	23.7	28.0	97.0	56.0	80.2	2.60	4.0
23	33.5	24.4	27.3	97.0	52.0	84.8	0.80	4.2
24	34.0	24.1	28.3	97.0	48.0	79.1	2.50	0.0
25	34.6	23.5	28.3	97.0	40.0	74.5	1.60	0.0
26	33.7	24.2	28.2	97.0	48.0	77.2	2.30	0.0
27	35.2	23.9	27.4	97.0	36.0	79.3	1.60	7.0
28	32.8	23.5	27.5	98.0	53.0	80.8	0.80	0.0
29	33.4	23.9	26.6	97.0	54.0	85.7	1.90	15.0
30	34.2	23.0	27.0	97.0	47.0	83.6	0.80	0.0
31	32.7	23.6	27.4	98.0	45.0	83.1	0.80	0.6
รวม	33.4	23.9	27.8	97.06	50.81	80.90	2.25	142.3
เฉลี่ย	1036.5	739.7	861.8	3009.0	1575.0	2507.90	69.70	4.6

ตารางภาคผนวก ก-4 สภาพภูมิอากาศเดือนสิงหาคม 2558

วันที่	อุณหภูมิ (°C)			ความชื้นสัมพัทธ์ (%)			ลม ความเร็ว (กม./ชม.)	ปริมาณฝน (มม.)
	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย		
1	32.7	23.4	26.6	98.0	46.0	84.4	2.30	0.8
2	34.4	23.4	26.8	97.0	44.0	83.8	1.80	2.4
3	31.7	24.3	26.7	97.0	57.0	83.6	1.40	1.6
4	33.4	22.6	26.5	98.0	45.0	84.6	2.60	20.6
5	33.1	23.3	25.9	99.0	47.0	85.3	3.00	29.6
6	31.0	23.0	25.5	97.0	54.0	89.0	1.30	3.8
7	28.2	23.0	24.6	98.0	75.0	95.8	1.30	31.6
8	31.7	23.2	25.7	99.0	59.0	90.2	0.90	13.6
9	34.3	24.0	27.8	98.0	48.0	79.6	3.00	2.4
10	33.5	24.3	28.2	98.0	47.0	78.2	2.30	2.6
11	31.8	23.3	27.4	97.0	59.0	85.5	1.80	4.4
12	32.8	24.7	27.7	98.0	54.0	80.5	1.80	0.0
13	33.8	23.8	27.3	97.0	49.0	83.5	2.40	0.6
14	34.5	24.1	27.8	98.0	44.0	82.0	1.60	0.0
15	33.2	24.3	28.0	97.0	49.0	81.3	1.30	0.0
16	33.0	24.4	27.5	98.0	54.0	82.4	0.40	0.0
17	34.6	23.5	27.7	98.0	47.0	79.9	1.90	34.4
18	34.4	24.1	28.3	98.0	45.0	80.3	2.00	3.2
19	34.8	24.6	27.3	98.0	49.0	85.7	2.50	9.2
20	33.4	24.2	27.6	98.0	58.0	82.5	1.60	17.2
21	32.6	23.4	27.1	98.0	55.0	83.2	1.40	0.6
22	33.6	24.2	27.0	98.0	55.0	85.8	2.50	14.0
23	34.7	23.7	27.7	98.0	41.0	77.7	2.30	0.0
24	34.1	24.1	27.2	98.0	53.0	85.1	2.30	18.6
25	32.7	24.2	26.7	97.0	52.0	83.7	1.90	0.0
26	32.9	23.7	25.7	98.0	47.0	86.6	0.80	27.0
27	34.0	22.5	27.3	97.0	43.0	80.9	1.40	0.0
28	34.2	23.4	28.2	97.0	48.0	78.2	1.50	0.0
29	34.7	23.8	27.2	98.0	46.0	83.5	1.00	17.2
30	34.4	23.4	27.2	98.0	51.0	84.6	1.00	11.8
31	33.5	23.0	28.0	98.0	48.0	81.4	1.10	0.0
เฉลี่ย	33.3	23.7	27.1	97.77	50.61	83.51	1.75	8.6
รวม	1031.7	734.9	840.2	3031.0	1569.0	2588.80	54.40	267.2

ตารางภาคผนวก ก-5 สภาพภูมิอากาศเดือนกันยายน 2558

วันที่	อุณหภูมิ (°C)			ความชื้นสัมพัทธ์ (%)			ลม ความเร็ว (กม./ชม.)	ปริมาณฝน (มม.)
	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย		
1	33.5	23.8	28.4	97.0	50.0	81.3	2.30	0.0
2	32.8	24.1	28.4	97.0	48.0	79.6	0.40	0.0
3	32.0	25.0	26.8	99.0	62.0	90.1	0.50	46.6
4	34.0	23.0	28.0	98.0	54.0	82.3	0.80	0.0
5	33.8	23.7	26.7	98.0	45.0	85.6	0.00	17.0
6	33.5	23.5	27.6	98.0	45.0	82.3	1.10	0.0
7	33.8	23.2	27.8	98.0	48.0	82.7	1.50	2.0
8	33.9	23.0	28.5	96.0	43.0	76.9	2.50	0.0
9	30.6	24.2	26.8	97.0	66.0	83.9	0.90	0.0
10	29.2	24.4	26.3	98.0	70.0	86.1	1.90	0.0
11	34.1	23.2	27.0	98.0	45.0	83.8	2.30	10.4
12	33.5	23.3	27.2	98.0	50.0	83.0	1.10	38.6
13	34.3	23.3	27.9	98.0	47.0	81.9	1.10	2.6
14	32.0	24.2	27.8	95.0	57.0	80.6	4.00	0.2
15	32.3	23.8	26.1	98.0	56.0	85.8	6.90	21.5
16	27.8	22.6	25.1	99.0	85.0	84.0	1.60	23.0
17	21.0	23.1	26.2	98.0	62.0	87.9	3.30	5.2
18	33.3	23.9	28.1	97.0	59.0	84.4	4.60	0.0
19	33.4	24.9	28.9	98.0	52.0	82.0	2.40	0.0
20	33.8	25.4	28.7	98.0	50.0	78.9	1.30	0.0
21	34.5	24.2	28.9	96.0	45.0	74.4	2.00	0.0
22	34.1	24.5	28.3	98.0	52.0	78.3	3.40	13.6
23	33.9	23.4	28.2	98.0	52.0	77.7	2.60	0.0
24	33.4	24.3	28.2	97.0	47.0	75.1	4.50	0.0
25	32.9	23.5	27.5	97.0	52.0	80.0	5.00	0.0
26	33.4	23.0	28.1	98.0	46.0	76.0	1.00	0.0
27	32.6	24.5	26.9	98.0	56.0	84.1	4.00	5.0
28	33.5	23.2	27.6	97.0	45.0	78.1	3.30	0.0
29	33.1	23.5	26.9	98.0	50.0	88.2	2.40	2.6
30	34.2	23.3	27.1	98.0	49.0	81.0	0.90	7.2
เฉลี่ย	32.6	23.8	27.5	97.6	52.9	81.9	2.3	6.3
รวม	978.2	713.0	826.0	2928.0	1588.0	2456.00	69.60	195.5

ตารางภาคผนวก ก-6 สภาพภูมิอากาศเดือนตุลาคม 2558

วันที่	อุณหภูมิ (°C)			ความชื้นสัมพัทธ์ (%)			ลม ความเร็ว (กม./ชม.)	ปริมาณฝน (มม.)
	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย		
1	32.2	24.1	27.5	96.0	55.0	81.0	3.50	0.0
2	33.8	23.6	28.1	98.0	53.0	81.6	1.60	8.8
3	33.3	23.8	28.4	98.0	50.0	80.1	1.10	0.0
4	32.3	24.5	27.8	98.0	57.0	83.5	0.80	0.0
5	31.5	24.7	27.7	97.0	56.0	78.9	2.10	0.0
6	32.2	23.6	27.6	97.0	57.0	81.0	1.60	0.0
7	34.0	22.7	28.1	98.0	49.0	80.7	0.40	0.0
8	33.2	24.5	28.0	97.0	54.0	81.5	1.60	9.2
9	33.0	23.1	26.6	97.0	54.0	87.8	2.00	15.2
10	34.2	22.9	27.1	98.0	46.0	84.1	0.80	1.0
11	33.9	23.5	26.6	98.0	48.0	86.3	1.10	16.6
12	33.5	23.0	27.6	97.0	53.0	79.0	0.80	0.0
13	33.1	23.0	27.3	97.0	53.0	85.1	1.40	6.6
14	31.0	23.3	27.3	98.0	71.0	87.9	1.10	0.8
15	33.2	24.0	27.8	97.0	54.0	81.9	2.50	3.4
16	31.5	24.0	27.3	98.0	63.0	84.4	2.10	0.0
17	32.5	23.3	26.8	98.0	59.0	87.6	1.00	0.0
18	33.9	24.5	27.6	98.0	51.0	84.5	1.60	14.4
19	33.8	24.6	27.7	98.0	52.0	84.0	0.80	24.4
20	33.7	24.0	28.5	96.0	47.0	78.2	2.30	0.0
21	32.4	23.8	28.2	98.0	56.0	82.2	0.80	0.0
22	33.3	23.9	28.7	96.0	54.0	80.7	0.00	0.0
23	32.0	25.0	27.5	97.0	60.0	27.5	1.50	3.2
24	31.2	23.5	27.3	98.0	66.0	85.9	2.10	0.6
25	32.2	23.9	27.8	98.0	57.0	84.3	2.30	2.6
26	31.8	24.4	27.7	98.0	70.0	86.2	2.50	4.6
27	28.0	23.8	25.8	98.0	80.0	91.7	0.80	15.6
28	32.2	22.6	27.1	98.0	49.0	81.5	2.80	6.2
29	31.7	23.5	27.5	98.0	55.0	81.9	2.50	13.2
30	31.5	21.6	26.9	97.0	61.0	84.9	2.10	0.6
31	31.4	22.3	26.7	98.0	63.0	86.1	1.50	7.8
เฉลี่ย	32.5	23.6	27.5	97.52	56.55	81.68	1.58	5.0
รวม	1007.5	733.0	852.6	3023.0	1753.0	2532.00	49.10	154.8

ตารางภาคผนวก ก-7 สภาพภูมิอากาศเดือนพฤศจิกายน 2558

วันที่	อุณหภูมิ (°C)			ความชื้นสัมพัทธ์ (%)			ลม ความเร็ว (กม./ชม.)	ปริมาณฝน (มม.)
	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย		
1	31.9	23.9	27.5	98.0	58.0	83.2	3.10	3.0
2	31.0	24.0	26.4	97.0	70.0	90.3	3.10	2.8
3	30.5	23.4	26.6	98.0	58.0	88.5	1.80	11.4
4	30.6	23.3	26.3	98.0	58.0	91.4	2.00	12.2
5	30.7	24.0	26.4	98.0	55.0	89.1	1.00	53.4
6	30.0	22.6	25.9	98.0	55.0	90.3	1.50	1.8
7	31.7	22.6	26.3	98.0	45.0	88.5	1.90	1.8
8	32.8	23.4	27.2	98.0	52.0	84.3	2.10	6.0
9	31.8	23.6	27.2	98.0	50.0	84.8	1.40	10.0
10	32.6	23.8	27.5	98.0	45.0	83.4	1.90	5.2
11	31.0	22.9	27.0	98.0	60.0	86.2	2.40	3.0
12	32.0	22.9	27.6	97.0	68.0	83.8	2.50	0.0
13	32.6	23.1	26.3	99.0	58.0	88.2	2.00	57.8
14	32.4	21.9	27.1	98.0	60.0	85.6	2.40	1.8
15	31.5	23.6	27.2	98.0	63.0	87.1	2.10	2.8
16	32.3	24.0	27.6	98.0	50.0	82.5	2.30	0.4
17	33.0	22.7	27.9	96.0	54.0	78.7	1.90	0.8
18	31.2	24.0	27.5	98.0	68.0	86.6	2.50	10.6
19	32.8	24.7	28.0	98.0	58.0	84.0	5.60	14.8
20	30.1	23.0	26.7	97.0	72.0	88.0	1.30	4.2
21	31.0	23.4	27.5	98.0	67.0	85.5	1.80	14.4
22	29.8	23.9	26.0	98.0	78.0	93.5	3.00	33.0
23	30.2	23.6	26.8	97.0	75.0	89.7	4.10	7.4
24	28.9	24.0	26.2	98.0	84.0	92.1	1.50	15.4
25	31.6	23.2	27.2	98.0	62.0	87.6	2.00	1.4
26	31.9	24.5	26.9	97.0	60.0	86.8	3.80	29.4
27	31.4	23.7	26.9	96.0	63.0	85.0	2.80	1.2
28	31.4	24.4	26.8	98.0	59.0	86.4	4.90	8.4
29	32.9	25.1	28.0	98.0	56.0	83.4	4.60	14.2
30	30.4	23.7	26.2	98.0	74.0	91.6	1.80	2.6
เฉลี่ย	31.4	23.6	27.0	97.7	61.2	2606.10	2.5	10.7
รวม	942.0	706.9	808.7	2932.0	1835.0	86.9	75.10	331.2

ตารางภาคผนวก ก-8 สภาพภูมิอากาศเดือนธันวาคม 2558

วันที่	อุณหภูมิ (°C)			ความชื้นสัมพัทธ์ (%)			ลม ความเร็ว (กม./ชม.)	ปริมาณฝน (มม.)
	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย		
1	32.0	23.2	26.6	98.0	55.0	87.5	0.90	2.0
2	32.9	23.2	28.1	98.0	54.0	81.3	3.10	0.0
3	32.4	24.5	28.0	98.0	57.0	82.0	3.50	3.0
4	31.9	23.1	27.2	96.0	62.0	85.8	4.60	5.4
5	32.6	24.7	27.8	98.0	62.0	83.0	2.80	16.4
6	32.0	24.1	27.7	98.0	63.0	85.2	1.90	9.8
7	31.6	24.6	28.0	95.0	63.0	82.6	4.60	1.2
8	31.1	26.0	27.6	98.0	70.0	87.1	6.10	21.2
9	30.2	23.3	27.1	98.0	73.0	88.2	2.00	0.0
10	31.8	24.9	27.6	97.0	66.0	85.5	2.30	0.0
11	32.7	23.8	28.3	97.0	59.0	82.5	3.10	0.0
12	33.0	23.3	28.4	98.0	55.0	81.0	2.50	1.5
13	32.5	24.8	28.4	98.0	58.0	81.7	2.40	0.0
14	32.7	24.4	28.0	97.0	55.0	80.8	3.90	0.0
15	32.1	23.1	27.7	97.0	57.0	80.0	2.00	0.0
16	32.5	22.5	27.7	98.0	51.0	77.4	2.50	1.2
17	31.0	23.8	26.1	97.0	58.0	88.2	4.50	12.2
18	30.1	22.2	25.4	97.0	66.0	90.2	4.10	4.2
19	30.1	23.9	26.4	98.0	59.0	81.8	1.80	0.4
20	29.7	22.6	26.2	98.0	59.0	82.8	1.30	0.0
21	30.8	22.8	26.2	98.0	58.0	85.3	3.00	0.0
22	30.5	22.0	26.6	98.0	68.0	86.8	2.50	0.0
23	27.6	23.8	25.7	98.0	80.0	91.0	1.60	0.0
24	33.0	23.6	27.5	97.0	52.0	81.7	2.30	0.0
25	31.4	23.5	27.9	96.0	62.0	82.2	5.00	0.0
26	31.5	25.0	28.4	88.0	54.0	74.7	3.80	0.0
27	30.6	24.5	28.0	90.0	60.0	76.4	5.50	0.0
28	30.9	25.9	28.0	92.0	63.0	79.3	7.40	1.8
29	31.0	25.6	27.8	97.0	58.0	75.1	8.00	2.0
30	30.8	22.9	27.6	92.0	52.0	72.3	6.30	0.0
31	30.5	24.3	27.4	97.0	60.0	75.3	4.30	4.6
เฉลี่ย	31.4	23.9	27.4	96.52	60.29	2554.70	3.54	2.8
รวม	973.5	739.9	849.4	2992.0	1869.0	82.41	109.60	86.9

ตารางภาคผนวก ก-9 สภาพภูมิอากาศเดือนมกราคม 2559

วันที่	อุณหภูมิ (°C)			ความชื้นสัมพัทธ์ (%)			ลม ความเร็ว (กม./ชม.)	ปริมาณฝน (มม.)
	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย		
1	30.9	24.5	28.3	75.0	55.0	73.2	5.10	0.4
2	31.5	25.9	28.1	80.0	45.0	74.8	4.90	0.0
3	31.4	22.5	27.4	90.0	45.0	82.2	2.90	0.0
4	31.8	24.5	27.6	95.0	48.0	82.3	3.30	0.0
5	32.2	23.1	27.7	90.0	45.0	81.6	3.00	0.0
6	32.6	23.1	28.0	89.0	45.0	82.6	3.00	0.0
7	32.6	24.7	28.0	90.0	50.0	81.7	3.00	0.0
8	32.0	22.5	27.7	90.0	45.0	81.0	1.50	0.0
9	32.4	23.3	28.0	88.0	45.0	78.4	2.00	0.0
10	32.3	25.4	28.3	90.0	45.0	76.9	5.00	0.0
11	32.4	23.9	27.6	90.0	50.0	81.1	4.10	0.0
12	32.0	22.6	27.8	90.0	45.0	80.3	2.50	0.0
13	32.3	24.1	27.9	94.0	45.0	78.4	3.50	28.2
14	32.3	24.4	27.5	90.0	50.0	85.5	3.10	0.6
15	33.8	24.1	27.6	95.0	45.0	85.1	2.40	87.6
16	32.4	22.8	26.6	98.0	63.0	89.7	1.40	71.0
17	34.0	24.5	27.5	98.0	56.0	86.3	1.90	4.2
18	31.9	24.0	27.8	94.0	67.0	85.0	2.10	0.0
19	33.2	25.2	28.7	94.0	53.0	79.6	5.40	0.0
20	32.9	24.0	28.6	89.0	55.0	76.6	2.00	0.0
21	32.6	26.2	28.6	96.0	57.0	76.1	3.90	1.4
22	31.7	24.0	27.5	97.0	63.0	85.0	3.60	0.0
23	31.9	23.2	27.8	98.0	58.0	79.6	3.00	0.0
24	32.0	24.0	28.3	94.0	55.0	77.1	7.00	0.4
25	30.6	25.0	27.9	96.0	62.0	78.6	9.40	27.8
26	28.6	23.1	26.3	96.0	71.0	85.2	8.00	17.6
27	30.2	24.0	27.0	98.0	72.0	87.9	5.60	22.2
28	31.3	25.0	27.8	98.0	68.0	87.2	5.80	33.5
29	32.1	24.8	27.8	98.0	61.0	85.7	3.00	12.8
30	31.6	24.1	27.5	97.0	61.0	83.7	2.80	0.0
31	32.3	22.6	27.8	95.0	55.0	81.0	2.30	0.0
เฉลี่ย	32.0	24.0	27.8	92.65	54.19	81.59	3.76	9.9
รวม	991.8	745.1	861.0	2872.0	1680.0	2529.40	116.50	307.7

ตารางภาคผนวก ก -10 สภาพภูมิอากาศเดือนกุมภาพันธ์ 2559

วันที่	อุณหภูมิ (°C)			ความชื้นสัมพัทธ์ (%)			ลม ความเร็ว (กม./ชม.)	ปริมาณฝน (มม.)
	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย		
1	31.5	23.7	28.1	98.0	57.0	77.1	5.80	0.0
2	31.8	22.2	27.7	95.0	53.0	78.2	3.80	1.8
3	31.3	25.0	28.2	86.0	61.0	75.8	5.30	0.0
4	30.1	26.6	28.0	92.0	69.0	78.1	8.10	2.6
5	31.4	25.0	27.9	94.0	67.0	82.5	6.80	3.4
6	30.8	25.0	27.7	94.0	70.0	83.0	5.10	1.4
7	29.7	26.5	27.5	97.0	67.0	77.1	7.80	1.0
8	29.6	25.1	27.1	94.0	57.0	69.0	5.30	1.2
9	30.5	23.2	27.0	94.0	45.0	70.7	3.90	0.0
10	30.8	23.1	27.2	94.0	59.0	78.2	5.40	0.0
11	31.7	25.8	27.8	94.0	62.0	80.9	5.60	0.0
12	32.5	24.6	28.3	94.0	57.0	79.4	7.90	0.0
13	32.5	24.4	28.6	88.0	50.0	79.9	3.90	0.0
14	32.7	24.5	28.3	94.0	57.0	81.0	5.30	0.0
15	32.1	26.3	28.7	94.0	62.0	79.7	4.50	0.0
16	32.3	25.0	28.4	91.0	58.0	75.2	6.00	0.0
17	31.7	24.0	28.1	91.0	51.0	72.5	6.80	0.0
18	32.5	25.1	27.5	97.0	55.0	78.1	7.00	24.6
19	31.3	24.1	27.7	96.0	64.0	82.5	6.10	0.0
20	31.0	22.8	27.1	98.0	60.0	81.6	4.30	0.0
21	31.4	23.4	27.4	97.0	40.0	73.6	6.80	0.0
22	31.3	23.3	27.4	96.0	49.0	72.3	5.90	0.0
23	32.2	22.6	27.7	94.0	52.0	76.8	5.10	0.0
24	31.5	24.0	27.7	92.0	45.0	75.5	5.30	0.0
25	30.9	25.4	27.9	87.0	57.0	73.9	9.90	0.0
26	31.2	24.4	28.1	92.0	58.0	72.3	9.90	3.4
27	31.5	24.0	27.8	95.0	55.0	79.8	3.80	0.0
28	31.5	24.8	28.0	96.0	52.0	77.6	3.80	0.0
29	32.4	25.9	28.3	93.0	53.0	77.1	7.80	0.0
เฉลี่ย	29.4	22.9	26.0	87.65	52.97	72.24	5.58	1.3
รวม	911.7	709.8	807.2	2717.0	1642.0	2239.40	173.00	39.4

ตารางภาคผนวก ก -11 สภาพภูมิอากาศเดือนมีนาคม 2559

วันที่	อุณหภูมิ (°C)			ความชื้นสัมพัทธ์ (%)			ลม ความเร็ว (กม./ชม.)	ปริมาณฝน (มม.)
	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย		
1	32.0	24.0	27.9	95.0	52.0	76.5	6.40	0.0
2	31.7	23.8	27.8	94.0	50.0	76.3	3.80	0.0
3	32.5	25.5	28.2	94.0	52.0	75.3	9.60	0.0
4	32.4	24.0	28.4	94.0	50.0	74.8	8.30	0.0
5	32.5	22.7	28.1	98.0	55.0	80.0	3.30	0.0
6	32.6	24.2	28.7	98.0	57.0	80.1	6.10	0.0
7	33.6	25.9	28.8	96.0	51.0	76.7	8.40	0.0
8	34.0	23.0	28.6	96.0	48.0	74.9	4.60	0.0
9	33.7	22.7	28.2	98.0	46.0	77.0	2.80	0.0
10	34.3	23.1	28.0	98.0	47.0	78.7	1.40	0.0
11	34.0	21.5	28.0	94.0	41.0	77.4	5.50	0.0
12	34.2	24.1	29.1	98.0	50.0	72.2	5.40	0.6
13	33.3	24.8	29.1	98.0	57.0	80.0	3.40	0.0
14	34.7	25.0	28.8	96.0	47.0	79.4	2.00	0.0
15	33.5	23.2	28.4	95.0	46.0	76.3	2.60	0.0
16	35.4	22.0	28.9	96.0	35.0	73.3	3.60	0.0
17	34.8	22.7	28.6	98.0	41.0	74.1	4.10	0.0
18	34.5	22.1	28.8	98.0	40.0	74.6	1.50	0.0
19	34.0	24.0	28.6	98.0	44.0	78.5	1.40	0.0
20	34.8	23.5	28.2	98.0	51.0	78.2	1.10	0.0
21	35.0	23.5	28.5	98.0	41.0	75.4	2.60	0.0
22	35.5	23.5	28.6	97.0	47.0	77.3	4.10	0.0
23	37.0	23.4	30.2	98.0	28.0	75.1	0.80	0.0
24	34.5	25.2	29.0	97.0	52.0	78.3	3.80	0.0
25	34.2	22.8	29.0	91.0	43.0	73.2	2.40	0.0
26	34.0	25.0	29.3	83.0	52.0	74.7	5.10	0.0
27	34.0	26.5	29.5	89.0	47.0	70.5	6.40	0.0
28	33.8	26.9	29.2	93.0	40.0	75.0	6.40	0.0
29	33.7	25.0	29.0	86.0	48.0	73.8	6.30	0.0
30	34.4	24.6	29.5	99.0	42.0	70.0	4.60	0.0
31	34.5	24.5	28.8	93.0	35.0	71.9	4.10	0.0
เฉลี่ย	34.0	24.0	28.7	95.29	46.29	75.79	4.25	0.0
รวม	1053.1	742.7	889.8	2954.0	1435.0	2349.50	131.90	0.6

ตารางภาคผนวก ก -12 สภาพภูมิอากาศเดือนเมษายน 2559

วันที่	อุณหภูมิ (°C)			ความชื้นสัมพัทธ์ (%)			ลม ความเร็ว (กม./ชม.)	ปริมาณฝน (มม.)
	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย		
1	34.2	22.6	28.6	94.0	41.0	73.9	2.50	0.0
2	34.2	23.9	29.3	98.0	54.0	77.6	4.50	0.0
3	34.7	25.9	29.6	98.0	49.0	76.9	5.10	2.6
4	34.8	26.0	29.1	97.0	55.0	82.3	4.40	0.0
5	35.0	23.4	28.9	98.0	46.0	79.7	2.40	0.0
6	35.0	24.4	28.7	98.0	41.0	77.3	4.50	0.0
7	36.1	22.0	28.9	98.0	27.0	72.9	2.80	0.0
8	35.6	21.8	28.9	97.0	32.0	73.0	3.40	0.0
9	35.8	23.5	29.7	98.0	47.0	77.1	2.30	0.0
10	36.0	25.9	30.2	98.0	52.0	78.0	2.80	0.0
11	39.9	25.2	30.5	93.0	27.0	73.1	2.10	0.0
12	38.2	24.7	31.3	95.0	33.0	67.6	2.60	0.0
13	37.7	22.7	30.4	96.0	28.0	67.7	3.10	0.0
14	38.4	23.7	30.5	98.0	26.0	67.5	2.60	0.0
15	38.8	25.2	30.9	94.0	22.0	70.0	1.50	0.0
16	38.0	25.8	30.9	98.0	35.0	72.8	2.10	0.0
17	36.7	26.0	29.5	96.0	44.0	77.0	1.90	0.0
18	36.5	23.1	29.8	92.0	39.0	75.2	4.00	0.0
19	36.3	25.5	30.5	90.0	37.0	70.9	4.10	0.0
20	36.3	25.8	30.8	98.0	38.0	70.3	2.40	0.0
21	36.8	25.3	30.5	95.0	34.0	72.8	5.30	0.0
22	35.7	24.6	30.1	96.0	41.0	73.1	2.60	0.0
23	36.6	22.8	29.3	98.0	36.0	73.6	2.00	0.0
24	37.0	23.9	30.1	96.0	37.0	71.1	1.00	0.0
25	37.4	25.0	30.4	95.0	38.0	72.0	3.30	0.0
26	38.3	23.5	30.8	98.0	23.0	71.0	4.10	0.0
27	38.1	25.3	30.5	98.0	32.0	70.2	1.40	0.0
28	39.3	25.8	31.3	93.0	31.0	71.0	1.80	0.0
29	37.3	25.9	30.5	97.0	30.0	74.8	2.30	0.0
30	36.2	26.5	30.2	95.0	36.0	72.9	1.90	0.0
เฉลี่ย	35.5	23.7	29.1	93.065	35.84	71.07	2.80	0.1
รวม	1100.9	735.7	900.7	2885.0	1111.0	2203.30	86.80	2.6

ตารางภาคผนวกที่ ก -13 บันทึกการเจริญเติบโตของพืช

เดือน แบบที่	ใบเป็นสีน้ำตาล ทั้งหมด			ใบเป็นสีเขียว 50% สีน้ำตาล 50%			ใบเป็นสีเขียว 100%			ดัชนีพื้นที่ใบ LAI				น้ำหนักทั้งหมด (kg)				อุณหภูมิ (^o)	ความเร็ว ลม (m/s)	ความชื้น (%)	ปริมาณ น้ำฝน (mm)
	ค่าคะแนน 0			ค่าคะแนน 1			ค่าคะแนน 2			0				1							
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3				
พฤษภาคม 2558	0	0	0	0	0	0	2	2	2	746	752	748	742	1.4	1.4	1.4	1.4	28.4	79.31	1.30	7.3
มิถุนายน 2558	0	0	0	0	0	0	2	2	2	786	-	-	-	1.5	-	-	-	28.2	80.2	1.9	2.4
กรกฎาคม 2558	0	0	0	0	0	0	2	2	2	826	-	-	-	1.6	-	-	-	27.8	80.90	2.25	4.6
สิงหาคม 2558	0	0	0	0	0	0	2	2	2	866	-	-	-	1.7	-	-	-	27.1	83.51	1.75	8.6
กันยายน 2558	0	0	0	0	0	0	2	2	2	916	-	-	-	1.8	-	-	-	27.5	81.9	2.3	6.3
ตุลาคม 2558	0	0	0	0	0	0	2	2	2	966	-	-	-	1.9	-	-	-	27.5	81.68	1.58	5.0
พฤศจิกายน 2558	0	0	0	0	0	0	2	2	2	1,024	-	-	-	2.1	-	-	-	27.0	86.9	2.5	10.7
ธันวาคม 2558	0	0	0	0	0	0	2	2	2	1,084	-	-	-	2.2	-	-	-	27.4	82.41	3.54	2.8
มกราคม 2559	0	0	0	0	0	0	2	2	2	1,134	-	-	-	2.3	-	-	-	27.8	81.59	3.76	9.9
กุมภาพันธ์ 2558	0	0	0	0	0	0	2	2	2	1,184	-	-	-	2.4	-	-	-	26.0	72.24	5.58	1.3
มีนาคม 2558	0	0	0	0	0	0	2	2	2	1,204	-	-	-	2.5	-	-	-	28.7	75.79	4.25	0.6
เมษายน 2558	0	0	0	0	0	0	2	2	2	1,264	1,160	1,108	1,148	2.6	2.4	2.2	2.3	29.1	71.07	2.80	0.1
รวม	0	0	0	0	0	0	24	24	24	12,000	1,912	1,856	1,890	24	3.8	3.6	3.7	333.1	958.13	33.51	59.6
เฉลี่ย	0			0			24			1000	+408	+360	+406	2	+1.0	+0.8	+0.9	27.75	79.84	2.79	4.96

หมายเหตุ * สีของใบสังเกตเพื่อบอกสาเหตุการตายว่ามาจากสภาพแวดล้อม หรือจากอุปกรณ์ที่ออกแบบ

* น้ำหนัก (ทั้งหมด) เนื่องจากติดตั้งพืชบนแผงอุปกรณ์แล้วไม่สามารถถอดพืชออกมาชั่งได้ทุกเดือน เลยเลือกใช้น้ำหนักก่อนและหลังทดลอง

เปรียบเทียบแทนสถิติรายเดือน

การเจริญเติบโตของพืชบนแผงอุปกรณ์ยึดพืชอากาศแบบที่ 1



พ.ค.58



มี.ย.58



ก.ค.58



ส.ค.58



ก.ย.58



ต.ค.58



พ.ย.58



ธ.ค.58



ม.ค.59



ก.พ.59



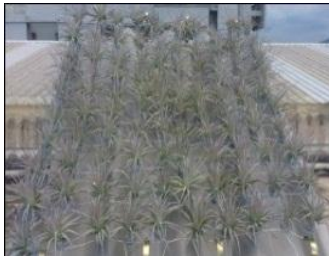
มี.ค.59



เม.ย.59

ภาพภาคผนวกที่ ก-1 การเจริญเติบโตของพืชบนแผงอุปกรณ์ยึดพืชอากาศแบบที่ 1

การเจริญเติบโตของพืชบนแผงอุปกรณ์ยึดพืชอากาศแบบที่ 2



พ.ค.58



มิ.ย.58



ก.ค.58



ส.ค.58



ก.ย.58



ต.ค.58



พ.ย.58



ธ.ค.58



ม.ค.59



ก.พ.59



มิ.ค.59



เม.ย.59

ภาพภาคผนวกที่ ก-2 แสดงภาพการเจริญเติบโตของพืชบนแผงอุปกรณ์ยึดพืชอากาศแบบที่ 2

การเจริญเติบโตของพืชบนแผงอุปกรณ์ยึดพืชอากาศแบบที่ 3



พ.ค.58



มี.ย.58



ก.ค.58



ศ.ค.58



ก.ย.58



ต.ค.58



พ.ย.58



ธ.ค.58



ม.ค.59



ก.พ.59

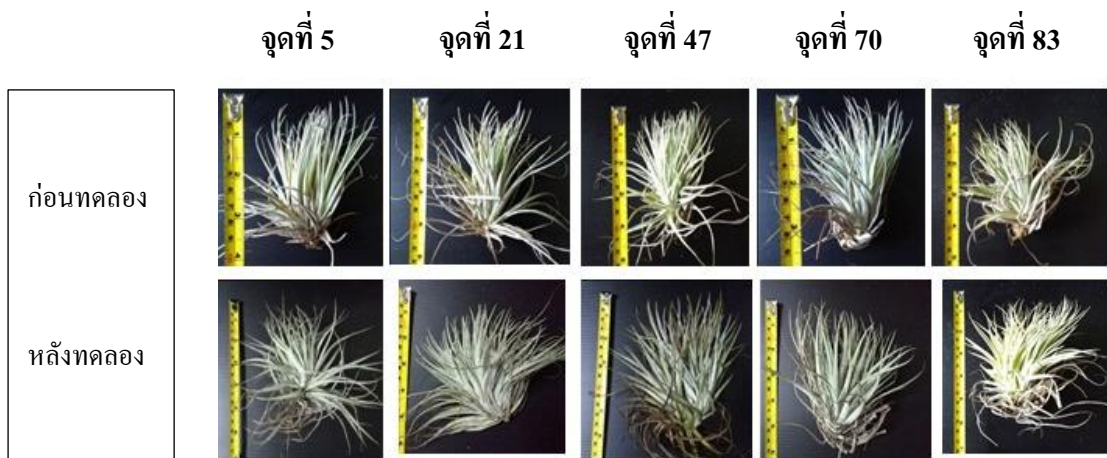


มี.ค.59

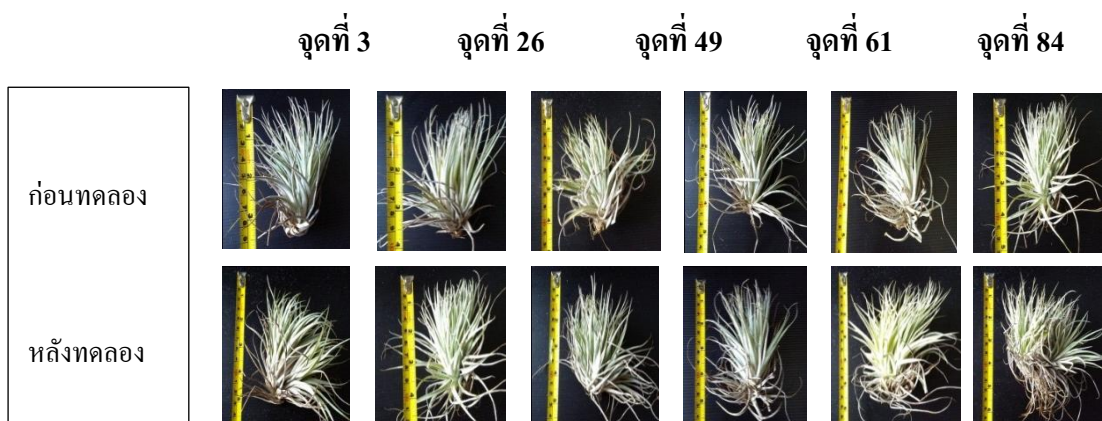


เม.ย.59

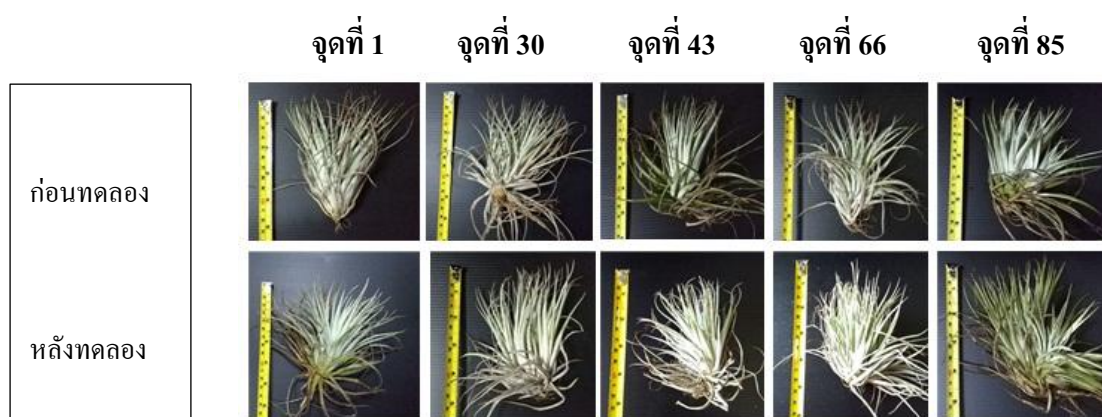
ภาพภาคผนวกที่ ก-3 แสดงภาพการเจริญเติบโตของพืชบนแผงอุปกรณ์ยึดพืชอากาศแบบที่ 3



ภาพภาคผนวกที่ ค-6 ขนาดพุ่มไบบนแผงอุปกรณ์ยึดพืชแบบที่ 1

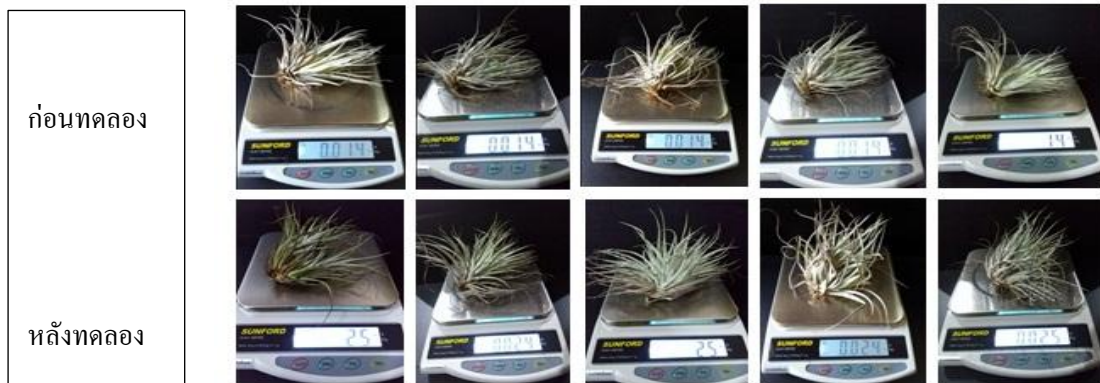


ภาพภาคผนวกที่ ค-7 แสดงขนาดพุ่มไบบนแผงอุปกรณ์ยึดพืชแบบที่ 2



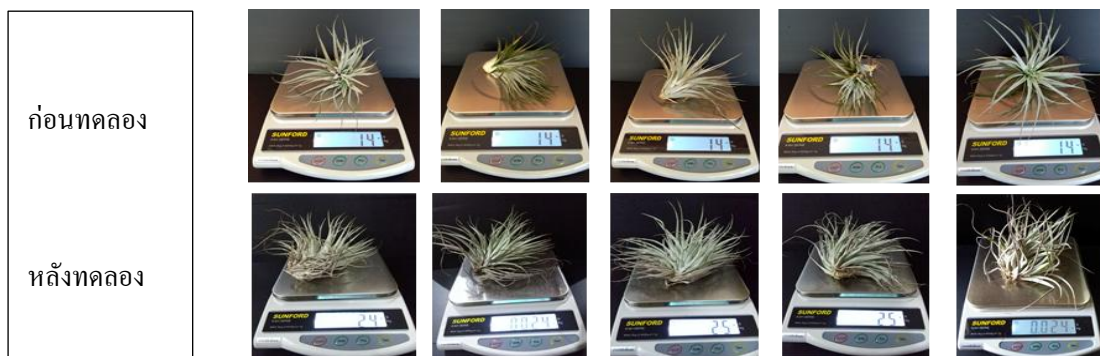
ภาพภาคผนวกที่ ค-8 แสดงขนาดพุ่มไบบนแผงอุปกรณ์ยึดพืชแบบที่ 3

การเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักรากพืชก่อนและหลังการทดลอง



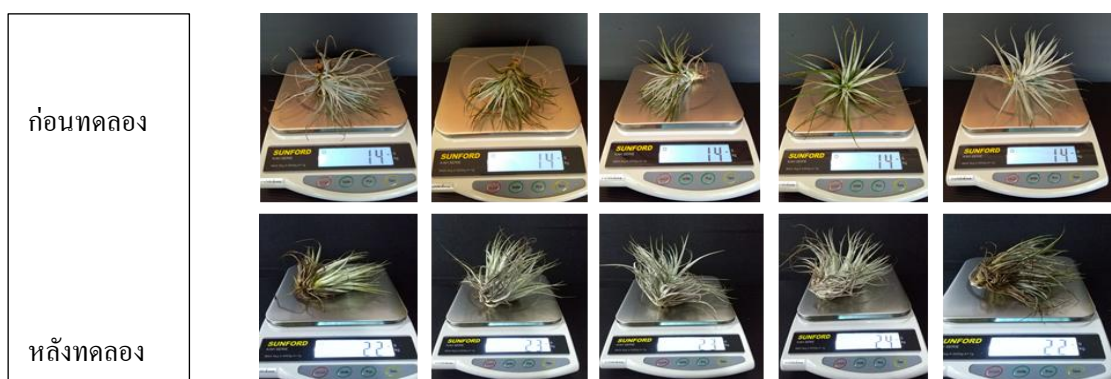
ภาพภาคผนวกที่ ค-9 การชั่งน้ำหนักพืชบนชุดปลูกธรรมดาไม่มีอุปกรณ์

จุดที่ 14 จุดที่ 40 จุดที่ 56 จุดที่ 71 จุดที่ 94



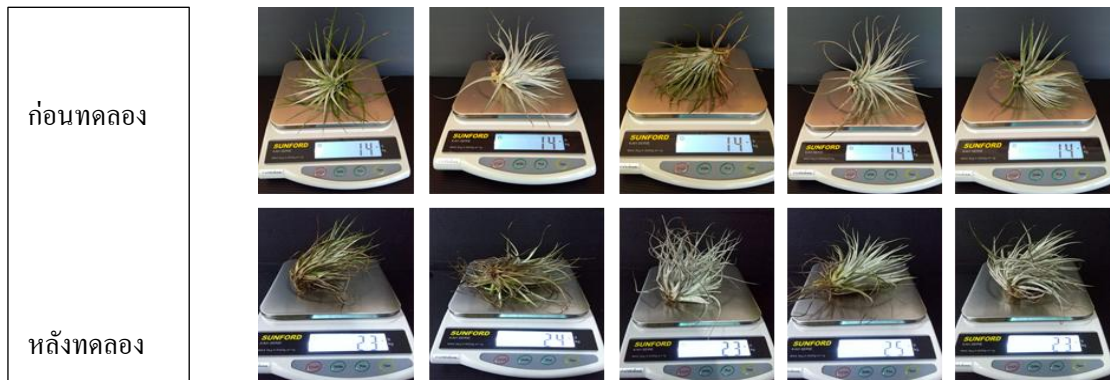
ภาพภาคผนวกที่ ค-10 การสุ่มชั่งน้ำหนักพืชบนแผงอุปกรณ์ยึดพืชแบบที่ 1

จุดที่ 16 จุดที่ 31 จุดที่ 60 จุดที่ 73 จุดที่ 97



ภาพภาคผนวกที่ ค-11 การสุ่มชั่งน้ำหนักพืชบนแผงอุปกรณ์ยึดพืชแบบที่ 2

จุดที่ 20 จุดที่ 35 จุดที่ 51 จุดที่ 78 จุดที่ 94



ภาพภาคผนวกที่ ก-12 การสุ่มชั่งน้ำหนักพืชบนแผงอุปกรณ์ยึดพืชแบบที่ 3

ภาคผนวก ข

การทดสอบคุณสมบัติของอุปกรณ์ร่วมกับพีช

แสดงตำแหน่งการหลุดของพีช

A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	← ม.ค.59
A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17	A18	A19	A20	
A21	A22	A23	A24	A25	A26	A27	A28	A29	A30	
A31	A32	A33	A34	A35	A36	A37	A38	A39	A40	
A41	A42	A43	A44	A45	A46	A47	A48	A49	A50	
A51	A52	A53	A54	A55	A56	A57	A58	A59	A60	
A61	A62	A63	A64	A65	A66	A67	A68	A69	A70	
A71	A72	A73	A74	A75	A76	A77	A78	A79	A80	
A81	A82	A83	A84	A85	A86	A87	A88	A89	A90	
A91	A92	A93	A94	A95	A96	A97	A98	A99	A100	← พ.ย.58

ภาพภาคผนวกที่ ข-1 ตำแหน่งการหลุดของพีชบนแผงอุปกรณ์ยึดพีชแบบที่ 1

B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	← ม.ค.58
B11	B12	B13	B14	B15	B16	B17	B18	B19	B20	
B21	B22	B23	B24	B25	B26	B27	B28	B29	B30	
B31	B32	B33	B34	B35	B36	B37	B38	B39	B40	
B41	B42	B43	B44	B45	B46	B47	B48	B49	B50	
B51	B52	B53	B54	B55	B56	B57	B58	B59	B60	
B61	B62	B63	B64	B65	B66	B67	B68	B69	B70	
B71	B72	B73	B74	B75	B76	B77	B78	B79	B80	← ม.ค.59
B81	B82	B83	B84	B85	B86	B87	B88	B89	B90	
B91	B92	B93	B94	B95	B96	B97	B98	B99	B100	

↑
พ.ย.58

ภาพภาคผนวกที่ ข-2 ตำแหน่งการหลุดของพีชบนแผงอุปกรณ์ยึดพีชแบบที่ 2

		พ.ย.58	มี.ค.59		ม.ค.59		พ.ย.58		
		↓	↓		↓		↓		
C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20
C21	C22	C23	C24	C25	C26	C27	C28	C29	C30
C31	C32	C33	C34	C35	C36	C37	C38	C39	C40
C41	C42	C43	C44	C45	C46	C47	C48	C49	C50
C51	C52	C53	C54	C55	C56	C57	C58	C59	C60
C61	C62	C63	C64	C65	C66	C67	C68	C69	C70
C71	C72	C73	C74	C75	C76	C77	C78	C79	C80
C81	C82	C83	C84	C85	C86	C87	C88	C89	C90
C91	C92	C93	C94	C95	C96	C97	C98	C99	C100

← ม.ค.59

← พ.ย.58

← ก.พ.59

ภาพที่ภาคผนวกที่ ข-3 ตำแหน่งการหลุดของพีชบนแผงอุปกรณ์ยึดพีชแบบที่ 3

ตารางภาคผนวกที่ ข-1 บันทึกการทดสอบอุปกรณ์

เดือน แบบที่	ต้นพีชหลุดออกจากอุปกรณ์			อุปกรณ์หลุดออกจากกระเบื้อง			เดือนที่หลุด			จำนวนต้นที่หลุดจาก อุปกรณ์			อุณหภูมิ (^o)	ความเร็วลม (km/h)	ความเร็วลม (km/h)	ปริมาณน้ำฝน (mm)
	หลุด 0	ไม่หลุด 1		หลุด 0	ไม่หลุด 1											
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3				
พฤษภาคม 2558	1	1	1	1	1	1	-	-	-	0	0	0	28.4	79.31	1.30	7.3
มิถุนายน 2558	1	1	1	1	1	1	-	-	-	0	0	0	28.2	80.2	1.9	2.4
กรกฎาคม 2558	1	1	1	1	1	1	-	-	-	0	0	0	27.8	80.90	2.25	4.6
สิงหาคม 2558	1	1	1	1	1	1	-	-	-	0	0	0	27.1	83.51	1.75	8.6
กันยายน 2558	1	1	1	1	1	1	-	-	-	0	0	0	27.5	81.9	2.3	6.3
ตุลาคม 2558	1	1	1	1	1	1	-	-	-	0	0	0	27.5	81.68	1.58	5.0
พฤศจิกายน 2558	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	3	27.0	86.9	2.5	10.7
ธันวาคม 2558	1	0	0	1	1	1	-	0	0	0	1	1	27.4	82.41	3.54	2.8
มกราคม 2559	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	2	4	27.8	81.59	3.76	9.9
กุมภาพันธ์ 2559	1	1	0	1	1	1	-	-	0	0	0	1	26.0	72.24	5.58	1.3
มีนาคม 2559	1	1	0	1	1	1	-	-	0	0	0	1	28.7	75.79	4.25	0.6
เมษายน 2559	1	1	1	1	1	1	-	-	-	0	0	0	29.1	71.07	2.80	0.1
รวม	10	9	7	12	12	12	2	3	5	98	96	90	333.1	958.13	33.51	59.6
ค่าเฉลี่ย	0.8	0.75	0.58	1.0	1.0	1.0	0.16	0.25	0.41	8.16	8.0	7.5	27.75	79.84	2.79	4.96

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ สกุล นางสาวกนกกาญจน์ น้อยสุข
รหัสประจำตัวนักศึกษา 5510920004
วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
ศิลปศาสตรบัณฑิต (สาขาศิลปกรรม) (ออกแบบประยุกต์ศิลป์)	มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม	2554

ทุนการศึกษา

ทุนอุดหนุนการวิจัยแก่นักศึกษาระดับอุดมศึกษา ประจำปีงบประมาณ 2558 กองทุนเพื่อส่งเสริม
การอนุรักษ์พลังงาน