

การวิเคราะห์สมบัติวัสดุธรรมชาติทดแทนดินสำหรับเทคโนโลยีหลังคาเขียว



นางสาววรินทร์ กิตอนันต์ภักดิ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต

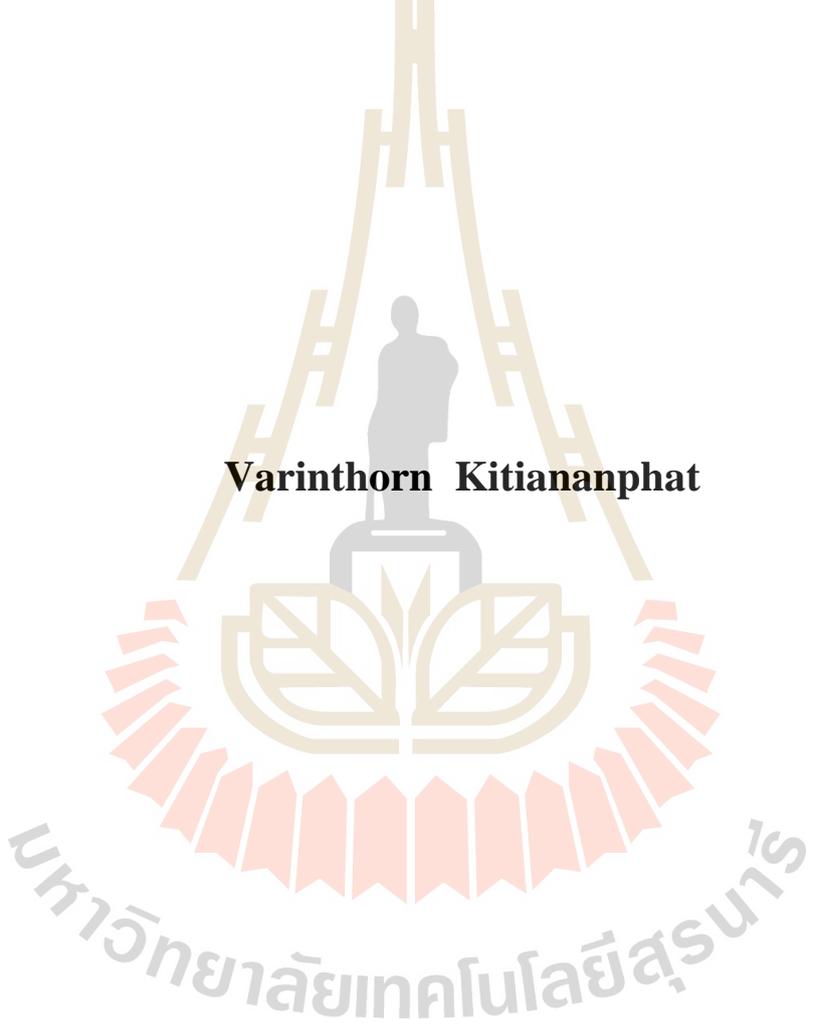
สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการพลังงาน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ปีการศึกษา 2562

**ANALYSIS OF PROPERTIES ON SUBSTRATE
CULTURE MADE FROM NATURAL MATERIALS
FOR GREEN ROOF TECHNOLOGY**

Varinthorn Kitiananphat



**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Doctor of Philosophy in Energy Management Engineering**

Suranaree University of Technology

Academic Year 2019

การวิเคราะห์สมบัติวัสดุธรรมชาติทดแทนดินสำหรับเทคโนโลยีหลังคาเขียว

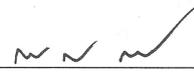
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาคุณวุฒิปบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



(รศ. ดร.บัณฑิต กฤตาคม)

ประธานกรรมการ



(อ. ดร.สมศักดิ์ ศิวดารังพงษ์)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)



(ผศ. ดร.กิริติ สุลักษณ์)

กรรมการ



(ผศ. ดร.กัญชลา สุตตาชาติ)

กรรมการ



(อ. ดร.ชิตัต ดลวิชัย)

กรรมการ



(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและพัฒนาความเป็นสากล



(รศ. ดร.พรศิริ จงกล)

รักษาการแทนคณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

วรินทร์ กิตอนันต์ภักดิ์ : การวิเคราะห์สมบัติวัสดุธรรมชาติทดแทนดินสำหรับเทคโนโลยี
หลังคาเขียว (ANALYSIS OF PROPERTIES ON SUBSTRATE CULTURE MADE
FROM NATURAL MATERIALS FOR GREEN ROOF TECHNOLOGY) อาจารย์ที่
ปรึกษา : อาจารย์ ดร.สมศักดิ์ ศิวดำรงพงศ์, 154 หน้า.

ปัญหาสภาพอากาศแปรปรวนในปัจจุบัน ซึ่งเกิดจากก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse gas) และความเจริญเติบโตของเมืองที่เพิ่มขึ้น พื้นที่สีเขียวลดลง ส่งผลให้ความร้อนสะสมในพื้นที่เมืองสูง ดังนั้นเพื่อลดความร้อนที่เกิดขึ้น พื้นที่ดูดซับความร้อนจึงมีบทบาทสำคัญในการลดภาวะโลกร้อน (Greenhouse effect) โดยการเพิ่มพื้นที่สีเขียว ซึ่งการปลูกพืชบนหลังคาเป็นทางเลือกที่สามารถเพิ่มพื้นที่สีเขียวได้ในบริเวณกว้าง แต่การปลูกพืชบนหลังคาโดยใช้ดินที่มีน้ำหนักสูงอาจส่งผลกระทบต่อโครงสร้างหลังคาหรือส่งผลต่อต้นทุน โครงสร้างหลังคา ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอัตราส่วน และวิเคราะห์ประสิทธิภาพการนำความร้อนของวัสดุปลูกท้องถิ่น ได้แก่ ขุย และใยมะพร้าว กากกาแฟ ขี้เถ้าแกลบ และใช้แบริ่งมันสำปะหลังเป็นวัสดุผสม เพิ่มพื้นที่สีเขียว โดยพิจารณา หลังคาแบบไม่ใช้สอย (Extensive green roof) ใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง แบบแฟกทอเรียล 2 ระดับ ใช้หญ้าฉนวนน้อยต้นอ่อน ปลูกในภาชนะประเภทเมทัลชีต ขนาด 50 x 50 x 10 เซนติเมตร ชั้นวัสดุปลูกหนา 5 เซนติเมตร และศึกษาวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารหลักที่เหมาะสมสำหรับการปลูก ผลการศึกษาพบว่าส่วนผสมที่ให้ผลการเติบโตสูงที่สุด คือ ขุย และใยมะพร้าว : กากกาแฟ : ขี้เถ้าแกลบ 60 : 30 : 100 และแบริ่งมันสำปะหลัง 20 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งการเติบโตใกล้เคียงกับดิน ให้ปริมาณธาตุ N, P และ K ที่เพียงพอ แต่มีน้ำหนักเบากว่าประมาณ 7 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับดินปลูกทั่วไป ซึ่งเมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการนำความร้อนของการปลูกหญ้าฉนวนน้อย โดยใช้วัสดุปลูกทดแทนดิน พบว่า มีคุณสมบัติความเป็นฉนวน และจากกระบวนการคายระเหย ที่ช่วยส่งผลให้อุณหภูมิโดยรอบเย็นลง ลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่หลังคาอาคารได้ ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุปลูกทดแทนดินเท่ากับ $0.317 \text{ W/m}^\circ\text{C}$

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล
ปีการศึกษา 2562

ลายมือชื่อนักศึกษา 
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา 

VARINTHORN KITIANANPHAT : ANALYSIS OF PROPERTIES ON
SUBSTRATE CULTURE MADE FROM NATURAL MATERIALS FOR GREEN
ROOF TECHNOLOGY. THESIS ADVISOR : SOMSAK SIWADAMRONGPONG,
Ph. D., 154 PP.

GREEN ROOF/SUBSTRATE CULTURE/DESIGN OF EXPERIMENT

Currently, Climate Change caused by greenhouse gas which generated with rate of city's growth and decrease of green area. These led to heat absorbs area as a result is urban heat island. Therefore reducing global warming (Greenhouse effect) is the first priority to deal with the problem. One potential solution was to increase green area by planting the green roof. This study was proposed the analysis of performance and thermal conductivity on substrate culture made from natural materials for green roof due to lighter weight of natural material than soil which impact to roof structure and its cost. This research was focused on extensive green roof and 3 kinds of materials, coconut fiber - dust, coffee residue and paddy husk charcoals with using starch as binder. Manila grass was selected to plant into the 5 cm thick substrate culture in metal sheet tray size 50 x 50 x 10 cm. 2k factorial design technique was employed to analyze the substrate culture performance. The main nutrients of the substrate, N, P and K, were measured to describe the results. It was found that the most appropriate substrate was coconut fiber - dust : coffee residue : paddy husk charcoals 60 : 30 : 10 with starch 20 percent which yield the growth of grass in the same level as soil with lower weight than soil by 7 times. From thermal conductivity test, the heat conductivity

coefficient of green roof using substrate culture was $0.317 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$ which could be considered as insulator.



School of Mechanical Engineering

Academic Year 2019

Student's Signature

Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยครั้งนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้วิจัยต้องขอกราบขอบพระคุณบิดา - มารดา ผู้ให้กำเนิด ที่ให้การอุปการะเลี้ยงดูส่งเสริมให้ได้รับการศึกษาตลอดมา พร้อมทั้งได้อบรมสั่งสอน แนวความคิด และการปฏิบัติตน ส่งผลให้ผู้วิจัยมีความอดทนผ่านอุปสรรคต่าง ๆ ได้ รวมถึงขอขอบคุณ เพื่อนพี่น้อง และครอบครัวสำหรับกำลังใจที่ดียิ่ง อีกทั้งผู้ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยทุก ๆ ท่าน ที่มีได้เอื้อ นาม ทำให้งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบคุณ อาจารย์ ดร.สมศักดิ์ ศิวดำรงพงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้โอกาส ทางการศึกษาให้ความรู้ คำแนะนำ ปรึกษา ช่วยแก้ปัญหาในการทำงานวิจัย และให้กำลังใจแก่ผู้วิจัย มาโดยตลอด พร้อมทั้งขอขอบคุณคณะกรรมการสอบทุกท่าน ที่ได้เสียสละเวลาอันมีค่าในการให้ คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ผู้วิจัยตลอดมา

ขอขอบคุณ สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการพลังงาน สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ซึ่งเป็นสถาบันการศึกษา ทำให้ผู้วิจัยได้มีโอกาสเข้ามาศึกษา รวมถึง บุคลากรประจำศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการใช้อุปกรณ์ และเครื่องมือต่าง ๆ ในการทำวิจัย จนสำเร็จได้ในวันนี้

วรินทร์ กิตอนันต์ภักดิ์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย)	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)	ข
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูปภาพ	ฎ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ต
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์	3
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	3
1.4 วิธีดำเนินการศึกษาวิจัย	4
1.5 สถานที่ทำงานวิจัย.....	4
1.6 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย	5
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
2 ปรัชมนวัตกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 ภาวะโลกร้อน (Global warming).....	7
2.2 การถ่ายเทความร้อน	9
2.2.1 ความร้อนที่เกิดขึ้นจากภายในอาคาร (Internal Heat Gain : Qi)	9
2.2.2 ความร้อนที่เกิดขึ้นจากภายนอกอาคาร (External Heat Gain)	9
2.2.3 หลักการถ่ายเทความร้อน (Principle of Heat Transfer).....	10
2.2.4 การป้องกันความร้อนให้กับเปลือกอาคาร	16
2.2.5 การถ่ายเทความร้อนของหลังคาเขียว	19
2.3 หลังคาเขียว (Green Roof).....	20

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.3.1	Green roofs ในแง่ของเทคโนโลยีอาคารความร้อนที่เกิดขึ้นจากภายในอาคาร (Internal Heat Gain : Qi)	20
2.3.2	Green roofs ในแง่ของการมีพืชพันธุ์ปกคลุมอยู่ด้านบน	21
2.3.3	ปัจจัยที่ส่งผลต่อการปลูกพืชบนหลังคา (Factor of Green roof).....	24
2.3.4	ส่วนประกอบทั่วไปของหลังคาเขียว (Component of Green Roof)	25
2.3.5	การดูแลรักษา.....	27
2.3.6	คุณประโยชน์ของหลังคาเขียว (Green Roof).....	27
2.3.7	ข้อจำกัดของหลังคาเขียว (Limit of Green Roof)	34
2.4	หญ้านวลน้อย (Manila Grass).....	35
2.4.1	ลักษณะทางพฤกษศาสตร์	36
2.4.2	ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของหญ้า	38
2.4.3	ประโยชน์ของหญ้านวลน้อยสำหรับปกคลุมดิน	38
2.4.4	กระบวนการคายระเหยของพืช (Evapotranspiration)	39
2.5	วัสดุปลูกทดแทนดิน	40
2.5.1	ลักษณะดิน	41
2.5.2	ประเภทวัสดุปลูกทดแทนดิน	43
2.5.3	คุณสมบัติของวัสดุปลูกทดแทนดิน	45
2.6	ปริศน์วรรณกรรม	57
2.6.1	หลังคาเขียว	57
2.6.2	วัสดุปลูก	60
2.6.3	หลังคาเขียวสำหรับการลดอุณหภูมิภายในอาคาร	64
2.7	การออกแบบการทดลอง	66
2.7.1	รูปแบบการทดลอง	67
2.7.2	การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2 ^k แฟกทอเรียล	68
3	วิธีการดำเนินการวิจัย	71
3.1	วัสดุ	72

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.1.1	ขุยและใยมะพร้าว	72
3.1.2	กากกาแฟ	72
3.1.3	ขี้เถ้าแกลบ	73
3.1.4	แป้งมันสำปะหลัง	73
3.1.5	เมทัลชีท	74
3.1.6	Fiber Cement Board	74
3.2	เครื่องมือและอุปกรณ์	75
3.2.1	ภาชนะและเครื่องชั่งน้ำหนักวัสดุปลูก	75
3.2.2	แม่พิมพ์	76
3.2.3	เครื่องอัดไฮโดรลิก	76
3.2.4	เครื่องย่อยวัสดุปลูก	77
3.2.5	เครื่อง Inductively Couple Plasma – Option Emission Spectrometer	77
3.2.6	เครื่องทดสอบวิธีเจลดาค์ (Kjeldahl method)	78
3.2.7	เครื่องบันทึกอุณหภูมิ (Data logger KIMO)	79
3.2.8	เครื่องบันทึกอุณหภูมิ (EC850 Data logger front panel)	79
3.3	การทดสอบคุณสมบัติทางเคมี	80
3.3.1	การวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจน	80
3.3.2	การวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม	82
3.4	การทดสอบหาอัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับปลูกหญ้าในถาดจากการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k	85
3.5	การศึกษาหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของ Green Roof	96
3.5.1	การทดสอบประสิทธิภาพการนำความร้อนของหลังคาเขียว	97
4	ผลการวิจัยและการอภิปรายผล	101
4.1	ผลวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของวัสดุปลูกทดแทนดิน	101
4.2	ผลวิเคราะห์อัตราส่วนของวัสดุปลูกจากการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^3	103
4.3	ผลการศึกษาหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุปลูกทดแทนดิน	112

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.3.1	ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal Conductivity)	112
4.3.2	การคำนวณการถ่ายเทความร้อนที่เกิดจากภายนอกอาคาร	120
5	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	128
5.1	คุณสมบัติทางเคมี	128
5.2	อัตราส่วนวัสดุปลูกทดแทนดินที่เหมาะสมสำหรับการปลูกหญ้าเนเปื๋นบนหลังคา	129
5.3	ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุปลูก	131
5.4	ข้อเสนอแนะ	132
	รายการอ้างอิง	133
	ภาคผนวก	
	ภาคผนวก ก. บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างการศึกษา	140
	ประวัติผู้เขียน	155

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1	ประเภทของหลังคาเขียวในแง่ของการมีพืชพันธุ์ปกคลุมอยู่ด้านบน2
2.1	แสดงตัวอย่างค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) ของวัสดุชนิดต่างๆ 17
2.2	ประเภทของหลังคาเขียว (Green Roof).....22
2.3	แสดงธาตุอาหาร45
2.4	องค์ประกอบทางเคมีของจีเอ็มแอลบ48
2.5	องค์ประกอบทางเคมีของขุยมะพร้าว51
2.6	องค์ประกอบทางเคมีของขุยมะพร้าว 51
2.7	องค์ประกอบทางเคมีของกากกาแฟ.....56
2.8	ปริมาณธาตุ (Ultimate Analysis) ของกากกาแฟ และกากชา 57
2.9	แสดงอุณหภูมิระหว่างการติดตั้งและไม่ติดตั้งหลังคาเขียว (Green Roof).....66
2.10	รูปแบบการออกแบบการทดลอง68
3.1	ปัจจัยและระดับของแต่ละปัจจัย 85
3.2	อัตราส่วนผสมคิดเป็นร้อยละสำหรับวัสดุปลูกทดแทนดิน86
3.3	อัตราส่วนผสมคิดเป็นน้ำหนักสำหรับภาชนะปลูกขนาด 15 x 15 x 5 เซนติเมตร.....92
3.4	อัตราส่วนผสมคิดเป็นน้ำหนักสำหรับภาชนะปลูกขนาด 50 x 50 x 5 เซนติเมตร.....93
3.5	ข้อมูลของต้นหญ้านวลน้อยอายุ 30 – 45 วัน.....95
3.6	การรดน้ำต้นหญ้า.....96
4.1	ผลการวิเคราะห์ปริมาณ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในตัวอย่างวัสดุปลูก102
4.2	แสดงสัดส่วนการออกแบบการทดลอง..... 102
4.3	อัตราส่วนผสมคิดเป็นร้อยละสำหรับภาชนะปลูกขนาด 50 x 50 x 5 เซนติเมตร 104
4.4	แสดงธาตุอาหารหลักของวัสดุปลูกทดแทนดินทั้ง 8 การทดลอง104
4.5	แสดงอัตราส่วนของ N, P และ K ของวัสดุปลูกทดแทนดินเปรียบเทียบกับดิน..... 105
4.6	อัตราส่วนผสมคิดเป็นน้ำหนักสำหรับภาชนะปลูกขนาด 50 x 50 x 5 เซนติเมตร..... 106
4.7	ผลการปลูกหญ้านวลน้อยโดยวัดการความสูงของใบ 107
4.8	ผลการวิเคราะห์อัตราส่วนของวัสดุปลูกโดยใช้โปรแกรม Minitab (14) 108

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.9 ความหนาของวัสดุปลูก	111
4.10 ความชื้น	111
4.11 แสดงพฤติกรรมของอุณหภูมิใต้หลังคาระหว่างดินปลูก และวัสดุทดแทนดินปลูกหญ้า นวนน้อย ของวันที่ 8 สิงหาคม 2562	114
4.12 แสดงพฤติกรรมของอุณหภูมิใต้หลังคาระหว่างเมทัลชีท และวัสดุปลูกหญ้านวนน้อย ของ วันที่ 9 สิงหาคม 2562	116
4.13 แสดงพฤติกรรมของอุณหภูมิใต้หลังคาระหว่างเมทัลชีท และวัสดุปลูกหญ้านวนน้อย ของ วันที่ 10 สิงหาคม 2562	118
4.14 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (K, W/m °C).....	121
4.15 แสดงความหนาของวัสดุ	121
4.16 แสดงค่าอ้างอิงค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของดิน	123
4.17 ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของดินประเภทต่าง ๆ	123
4.18 ช่วงของค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของดิน	124
4.19 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและความต้านทานความร้อน (K, W/m ² °C)	125
4.20 แสดงรายละเอียดค่าวัสดุอุปกรณ์สำหรับการติดตั้งหลังคาเขียว.....	127

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
2.1	การคาดการณ์สภาพภูมิอากาศอนาคตสำหรับประเทศไทย และภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ โดยแบบจำลองสภาพภูมิอากาศ PRECIS และ ECHAM48
2.2	แสดงความร้อนที่เข้าสู่อาคาร 10
2.3	การนำความร้อน 11
2.4	การพาความร้อน 14
2.5	การแผ่รังสีความร้อน 15
2.6	วัสดุผนังหลังคาชนิดแผ่นเมทัลชีท หรือเมทัลทอลชีท 18
2.7	ภาพแสดงพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของหลังคาเขียว 19
2.8	ลักษณะการปลูกพืชบนหลังคาบ้าน 20
2.9	ศูนย์การค้าัญญาพาร์คศรีนครินทร์ 21
2.10	หลังคาเขียวอาคารชุดพักผ่อนการ์เด็นคิลิฟ 2 พัทยา..... 23
2.11	หลังคาเขียว Nanyang Technology Umiversity 23
2.12	หลังคาเขียวที่ปลูกพืชพื้นถิ่นที่ L’Historial de la Vendée พิพิธภัณฑ์ใหม่ในฝรั่งเศส 24
2.13	ส่วนประกอบของหลังคาเขียว (Green Roof)..... 25
2.14	หญ้าคลุมน้อย..... 35
2.15	แสดงส่วนของลำต้นที่เรียกว่าไหล (Stolan)..... 37
2.16	การคายน้ำรวมการระเหย (Evapotranspiration)..... 40
2.17	จี้เถ้าแกลบขาว 46
2.18	จี้เถ้าแกลบเทา 47
2.19	จี้เถ้าแกลบดำ 48
2.20	โครงสร้างของใยมะพร้าว (structure of coir fiber) 49
2.21	ขุยมะพร้าว 50
2.22	กากกาแฟ 54
2.23	ขั้นตอนการออกแบบการทดลอง 67
2.24	Cube Plot สำหรับการทดลองเชิง แฟกทอเรียลแบบ 2 ^k 69

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.25 อิทธิพลของปัจจัยร่วมที่ไม่มีผล และมีผล.....	69
2.26 หลังคาเขียวอาคารชุดพักผ่อนการ์เด็นคิลิฟ 2 พัทยา.....	23
3.1 ขุยมะพร้าว.....	72
3.2 กากกาแฟ.....	72
3.3 จี๊ถั่วแกลบ.....	73
3.4 กาวแป้งเปียก.....	73
3.5 ถาดแม่ทาลซีทหนา 0.3 มิลลิเมตร ขนาด 50 x 50 x 10 เซนติเมตร.....	74
3.6 แสดงตำแหน่งของการเจาะรูระบายน้ำ.....	74
3.7 ก่อตั้งจำลองขนาด 50 x 50 x 50 cm.....	75
3.8 เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอล.....	75
3.9 แม่พิมพ์.....	76
3.10 เครื่องอัดไฮดรอลิก.....	76
3.11 เครื่องย่อยสารระบบไมโครเวฟ (Microwave digester).....	77
3.12 เครื่อง Inductively Couple Plasma-Optical Emission Spectromete.....	78
3.13 เครื่อง Kjeldahl method.....	78
3.14 Data logger KIMO.....	79
3.15 EC850 data logger front panel.....	79
3.16 ชั่งตวงวัสดุก่อนการย่อย.....	80
3.17 การตวงกรดซัลฟูริก.....	80
3.18 การปรับสภาพสารละลายด้วยกรดซัลฟูริก.....	81
3.19 เครื่องย่อยสารระบบไมโครเวฟ (Microwave digester).....	81
3.20 กรองสารละลาย.....	81
3.21 ชั่งตวงวัสดุก่อนการย่อย.....	82
3.22 การตวงกรดไนตริก.....	82
3.23 การปรับสภาพสารละลายด้วยกรดไนตริก.....	83
3.24 เครื่องย่อยสารระบบไมโครเวฟ.....	83

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.25 กรองสารละลาย.....	83
3.26 ชั่งตวงวัสดุก่อนการย่อย	84
3.27 ชั่งตวงวัสดุก่อนการย่อย	84
3.28 ส่วนผสมที่ 1 - ขุยและใยมะพร้าว + กากกาแฟ + จี๊เจ้าแกลบ (50 : 20 : 30) : FCA1	87
3.29 ส่วนผสมที่ 2 - ขุยและใยมะพร้าว + กากกาแฟ + จี๊เจ้าแกลบ (60 : 20 : 20) : FCA2	87
3.30 ส่วนผสมที่ 3 - ขุยและใยมะพร้าว + กากกาแฟ + จี๊เจ้าแกลบ (50 : 30 : 20) : FCA3	88
3.31 ส่วนผสมที่ 4 - ขุยและใยมะพร้าว + กากกาแฟ + จี๊เจ้าแกลบ (60 : 30 : 10) : FCA4	88
3.32 ส่วนผสมที่ 5 - ขุยและใยมะพร้าว + กากกาแฟ + จี๊เจ้าแกลบ (50 : 20 : 30) : FCA5	89
3.33 ส่วนผสมที่ 6 - ขุยและใยมะพร้าว + กากกาแฟ + จี๊เจ้าแกลบ (60 : 20 : 20) : FCA6	89
3.34 ส่วนผสมที่ 7 - ขุยและใยมะพร้าว + กากกาแฟ + จี๊เจ้าแกลบ (50 : 30 : 20) : FCA7	90
3.35 ส่วนผสมที่ 8 - ขุยและใยมะพร้าว + กากกาแฟ + จี๊เจ้าแกลบ (60 : 30 : 10) : FCA8	90
3.36 ส่วนผสมที่ 9 - ดินปลูก : SOIL.....	91
3.37 ลักษณะของวัสดุปลูกเพื่อผ่านการอัด	92
3.38 ลักษณะของหลั้วนวนน้อยแบบแผ่น	93
3.39 ต้นอ่อนหลั้วนวนน้อยอายุ 45 วัน ความสูง 4.5 เซนติเมตร	94
3.40 ต้นอ่อนหลั้วนวนน้อยอายุ 45 วัน ความสูง 4.5 เซนติเมตร	94
3.41 ลักษณะการปลูกหลั้วในภาชนะสำหรับปลูก.....	95
3.42 การวัดอุณหภูมิตัวอย่างแบบจำลองของภาชนะปลูกสำหรับการทดลอง.....	98
3.43 Thermocouple Type K พร้อมสายเซนเซอร์	98
3.44 รูปแบบการวัดอุณหภูมิ	100
4.1 การเปรียบเทียบปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และ โพแทสเซียม	102
4.2 แสดงค่าความเป็นกรด - ด่าง ของวัสดุปลูกทดแทนดิน	105
4.3 น้ำหนักของวัสดุปลูกเปรียบเทียบกับดิน	106
4.4 ความสูงเฉลี่ยหลั้วนวนน้อยระยะเวลา 30 วัน	107
4.5 Cube Plot สำหรับการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2 ^k	109
4.6 แสดงอันตรกิริยา.....	110

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.7	การเปลี่ยนแปลงความชื้นเมื่อปลูกหญ้าหลังคา.....112
4.8	ตำแหน่งการวัดอุณหภูมิ เพื่อคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุปลูก112
4.9	แสดงพฤติกรรมของอุณหภูมิระหว่างวัสดุปลูกหญ้าานวลน้อย และดินปลูกหญ้าานวลน้อย..114
4.10	แนวโน้มผลต่างระหว่างผิวบน และผิวล่างของหญ้าานวลน้อย 115
4.11	แนวโน้มผลต่างระหว่างผิวบน และผิวล่างของวัสดุปลูกหญ้าานวลน้อย 115
4.12	พฤติกรรมของอุณหภูมิระหว่างเมทัลชีท และวัสดุปลูกหญ้าานวลน้อย 116
4.13	แนวโน้มผลต่างระหว่างผิวบน และผิวล่างของเมทัลชีท..... 117
4.14	แนวโน้มผลต่างระหว่างผิวบน และผิวล่างของวัสดุปลูกหญ้าานวลน้อย 117
4.15	แสดงพฤติกรรมของอุณหภูมิระหว่างเมทัลชีท และดินปลูกหญ้าานวลน้อย 118
4.16	แนวโน้มผลต่างระหว่างผิวบน และผิวล่างของเมทัลชีท..... 119
4.17	ผลต่างระหว่างผิวบน และผิวล่างของดินที่ปลูกหญ้าานวลน้อย 119

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

A	=	พื้นที่ในการถ่ายโอนความร้อน (m^2)
B	=	โบรอน
Ca	=	แคลเซียม
CH ₄	=	ก๊าซมีเทน
Cl	=	คลอรีน
CO ₂	=	คาร์บอนไดออกไซด์
Cu	=	ทองแดง
DOE	=	design of experiment
Fe	=	เหล็ก
h_c	=	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ($W/m^2\text{°C}$)
ICP	=	Inductively Couple Plasma-Optical Emission Spectrometer
k	=	ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน ($W/m^2\text{°C}$)
K	=	โพแทสเซียม
LAI	=	Leaf area Index
LA	=	พื้นที่ผิวใบ (ตร.ม)
Mn	=	แมงกานีส
Mo	=	โมลิบดีนัม
Mg	=	แมกนีเซียม
N	=	ไนโตรเจน
N ₂ O	=	ก๊าซไนตรัสออกไซด์
O ₃	=	ก๊าซโอโซน
O ₂	=	ก๊าซออกซิเจน
O	=	ออกซิเจนอะตอมเดี่ยว
P	=	ฟอสฟอรัส
P	=	พื้นที่ปลูก (ตร.ม)

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันประเทศไทยต้องพบกับปัญหาสภาพอากาศที่แปรปรวน ซึ่งเกิดจากภาวะโลกร้อน (Global Warming) สาเหตุหลักเกิดจากวิถีชีวิตของมนุษย์ในชีวิตปัจจุบัน การถูกทำลายพื้นที่ธรรมชาติ เทคโนโลยีและความเจริญเติบโตของเมืองที่เพิ่มขึ้น พื้นที่สีเขียวที่ลดลง ซึ่งตรงกันข้ามอาคารสำนักงาน หรือโครงการบ้านจัดสรรที่มีอัตราการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้พื้นที่สีเขียวค่อย ๆ หายไปเพื่อให้ประเทศพัฒนาไปพร้อมกับเทคโนโลยี และการเจริญเติบโตที่ไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ทางรัฐบาลพยายามผลักดันให้ประชาชนเล็งเห็นถึงความสำคัญของการประหยัดพลังงาน เพราะฉะนั้นงานวิจัยนี้จึงเล็งเห็นถึงความสำคัญของการเพิ่มพื้นที่สีเขียวจากที่อยู่อาศัย หรือโครงการบ้านจัดสรร และการประหยัดพลังงานที่สร้างความสวยงาม โดยการปลูกพืชบนหลังคาจากการนำหลักรูปลูกบนหลังคาอาคาร หรือที่พักอาศัย และเลือกใช้วัสดุปลูกทดแทนดินในปัจจุบันการปลูกพืชบนหลังคา ยังไม่เป็นที่นิยมนักในประเทศไทย ด้วยข้อจำกัดทางด้านสภาพอากาศ ต้นทุน โครงสร้างอาคาร และที่พักอาศัยที่ไม่สามารถรับน้ำหนักดินปลูกบนหลังคาที่เพิ่มขึ้นได้ ซึ่งราคาในท้องตลาดปัจจุบันมีราคาที่สูง เนื่องจากต้องสั่งซื้อดินค่านำเข้าจากต่างประเทศ ดังนั้นเพื่อให้การปลูกพืชบนหลังคาเป็นไปได้ในประเทศไทย คุณสมบัติที่กำหนด คือ น้ำหนักเบา ต้นทุนต่ำ และไม่ส่งผลกระทบต่อโครงสร้างหลังคาอาคาร หรือที่พักอาศัยทั่วไปสามารถรับน้ำหนักได้ ดังนั้นผู้วิจัยเลือก ขุยมะพร้าว กากกาแฟ ถั่วแกลบ และกาบแปงเปียก มาใช้เป็นวัสดุปลูกทดแทนดิน ซึ่งวัสดุที่เลือกใช้ให้คุณสมบัติใกล้เคียงกับดิน และให้สารอาหารเพียงพอสำหรับหลักรูปลูกบนหลังคา จากนั้นกำหนดอัตราส่วนของวัสดุปลูกในรูปแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k แฟกทอเรียล ประกอบด้วย 3 ปัจจัย แต่ละปัจจัยประกอบด้วย 2 ระดับ จากนั้นนำวัสดุปลูกทดแทนดินผสมกันในภาชนะสำหรับปลูกที่ทำจากเมทัลชีท ขนาด 50 x 50 x 10 เซนติเมตร หนา 0.3 มิลลิเมตร ความหนาของของวัสดุปลูกมีความหนา 5 เซนติเมตร ทำการทดลองบนหลังคาปลูกโดยใช้หลักรูปลูกแบบต้นอ่อนอายุ 30 - 45 วัน

Green Roof, Living Roof หรือหลังคาสีเขียว มิได้เป็นเรื่องใหม่ในปัจจุบัน แต่ถูกทำขึ้นมากว่าศตวรรษ โดยริเริ่มทำในประเทศแถบสแกนดิเนเวีย ซึ่งเป็นลักษณะของการปลูกหญ้าบนหลังคาจุดประสงค์เพื่อควบคุมอุณหภูมิภายใน ป้องกันความหนาวเย็นเข้าสู่ตัวที่พักอาศัย

ในปัจจุบัน จากปัญหาภาวะโลกร้อนที่สูงขึ้น อุณหภูมิสูงขึ้นในทุก ๆ ปี ส่งผลให้เริ่มมีการตระหนักถึงภัยธรรมชาติ เห็นความสำคัญของสิ่งแวดล้อมมากขึ้น อีกทั้งปัญหาเศรษฐกิจในปัจจุบัน ประชาชนส่วนใหญ่มุ่งหน้าเข้าไปทำงานในเมืองใหญ่ เกิดความแออัด พื้นที่สีเขียวจึงกลายเป็นที่พักอาศัยในด้านของธุรกิจ เพื่อรองรับกับจำนวนประชากรในเมืองใหญ่ที่เพิ่มขึ้น เป็นผลให้ราคาของอสังหาริมทรัพย์พุ่งสูงขึ้น เกิดภาวะขาดแคลนพื้นที่สีเขียว การใช้พลังงานสูงขึ้นจากโลกที่ร้อนขึ้น เช่น การใช้เครื่องปรับอากาศเพื่อให้อยู่ในสภาวะสบาย ดังนั้น Green Roof (หลังคาเขียว) จึงเป็นทางเลือกสำหรับการลดพลังงานภายในที่พักอาศัยและเพิ่มพื้นที่สีเขียวให้กับสิ่งแวดล้อม

หลังคาเขียวในอดีตมีลักษณะที่เรียบง่ายที่สุด คือ การวางไม้กระถางบนพื้นที่ลาดฟ้า เพื่อความสวยงาม ลดความร้อนและช่วยลดแสงสะท้อนจากแสงแดด ปัจจุบัน Green Roof (หลังคาเขียว) สามารถแยกความหมายได้ 2 แนว คือ Green roofs ในแง่ของเทคโนโลยีอาคาร และ Green roofs ในแง่ของการมีพืชพันธุ์ปกคลุมอยู่ด้านบน

สำหรับงานวิจัยนี้ พิจารณาในแง่หลังคาเขียวจากการมีพืชพันธุ์ปกคลุมอยู่ข้างบน โดยให้หญ้านวลน้อยเป็นพืชคลุมดิน ซึ่งจะเน้นถึงการลดผลกระทบต่อสภาพแวดล้อม และลดการใช้พลังงานภายในอาคารที่พักอาศัย หลังคาเขียวในแง่การมีพืชพันธุ์ปกคลุมอยู่ด้านบนสามารถแบ่งตามการใช้สอยได้อีก 3 ประเภท ดังแสดงในตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 ประเภทของหลังคาเขียวในแง่ของการมีพืชพันธุ์ปกคลุมอยู่ด้านบน

Type of Green roof	Intensive	Semi-Intensive	Extensive
การดูแลรักษา	แบบต้องการดูแลมาก	แบบกึ่งดูแล	แบบต้องการดูแลน้อย
ความหนา	ชั้นปลูกหนา > 30 cm.	ชั้นปลูกหนา > 15 cm.	ชั้นปลูกหนา < 15 cm.
ลักษณะพืช	พืชพันธุ์หลากหลาย	พืชพันธุ์หลากหลาย	พืชพันธุ์จำกัด
ทัศนียภาพ	มีความสวยงาม	มีความสวยงาม	กลิ่นธรรมชาติ
การออกแบบ	ซับซ้อนต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญ	ซับซ้อนต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญ	ปล่อยพืชพันธุ์เติบโต
พื้นที่ใช้สอย	ใช้สอยหลากหลาย	ปรับเปลี่ยนได้	ใช้สอยพื้นที่ไม่ได้
น้ำหนัก	น้ำหนักมาก	น้ำหนักปานกลาง	น้ำหนักน้อย
ต้นทุน	ต้นทุนสูง	ต้นทุนสูง	ต้นทุนน้อย
การบำรุงรักษา	บำรุงรักษาสูง	บำรุงรักษาสูง	บำรุงรักษาต่ำ

1.2. วัตถุประสงค์งานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนางานวิจัยของ (วรวิษ พวงพรศรี) ซึ่งศึกษาการปลูกหญ้าขนาดเล็กโดยใช้ดินหนา 3 เซนติเมตร เป็นวัสดุปลูก จากการใช้ดินเป็นวัสดุปลูกส่งผลเรื่องของน้ำหนักที่สูงทำให้เกิดการพัฒนาศึกษาวัสดุปลูกทดแทนดิน งานวิจัยนี้พิจารณาหลังคาเขียวในแง่ของการมีพืชพรรณปกคลุมอยู่ด้านบน ประเภท Extensive Green Roof หรือ การปลูกพืชแบบต้องการการดูแลน้อยมาก ซึ่งกำหนดวัตถุประสงค์การปลูกพืชโดยใช้วัสดุปลูกทดแทนดิน เพื่อต้องการลดภาระการรับน้ำหนักของหลังคา และช่วยลดอุณหภูมิภายในอาคาร หรือที่อยู่อาศัยได้ สำหรับงานวิจัยนี้ไม่มุ่งเน้นประโยชน์ใช้สอยบนหลังคา ทำการทดลองให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมของประเทศไทย โดยมีการศึกษาทดลองดังนี้

- เพื่อศึกษาปริมาณธาตุอาหารหลักบนวัสดุปลูก ได้แก่ ขุยมะพร้าว กากกาแฟ ชีวถ่าน และแยมันสำปะหลัง
- เพื่อศึกษาหาอัตราส่วนของวัสดุปลูกทดแทนดินที่เหมาะสม ซึ่งออกแบบการทดลองโดยใช้หลักการ Factorial Design 2^k
- เพื่อศึกษาความสามารถในการนำความร้อนของวัสดุปลูกทดแทนดิน

1.3 ขอบเขตการวิจัย

ศึกษาวัสดุปลูกทดแทนดินจากวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง โดยเลือกวัสดุปลูกจากคุณสมบัติที่ใกล้เคียงดิน ได้แก่ ขุยมะพร้าว ชีวถ่าน กากกาแฟ และใช้กาวแปงเปียกเป็นวัสดุผสม พืชทดสอบ ได้แก่ หญ้าขนาดเล็ก โดยคัดเลือกจากพันธุ์หญ้าสนามเขตร้อนเท่านั้น กำหนดอัตราส่วนวัสดุปลูกจากการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ ปลูกแบบแยกต้น กำหนดความสูงของหญ้าขนาดเล็ก 4 - 5 เซนติเมตร เพื่อเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของหญ้าขนาดเล็กในรูปแบบการใช้ดิน และวัสดุปลูกทดแทนดิน จากนั้นเลือกอัตราส่วนของวัสดุปลูกที่ให้การเจริญเติบโตหญ้าขนาดเล็กที่สุดมาทำการวัดอุณหภูมิ เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนจากการสร้างกล่องจำลองขนาด 50 x 50 x 70 เซนติเมตร เก็บผลอุณหภูมิระหว่างผิววัสดุปลูก และได้ภาพขณะปลูก

1.4 วิธีดำเนินการศึกษาวิจัย

- 1.4.1 สืบค้นปริทัศน์วรรณกรรม และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 1.4.2 กำหนดวัสดุปลูก และพืชทดสอบสำหรับงานวิจัย
- 1.4.3 ทดสอบคุณสมบัติทางเคมี โดยอ้างอิงธาตุอาหารหลักของดิน ได้แก่ N, P และ K
- 1.4.4 ศึกษาอัตราส่วนวัสดุปลูกจากการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสอง

ระดับ (2^k factorial design)

- 1.4.5 การเตรียมภาชนะสำหรับปลูก
 - เลือกใช้ แผ่นเมทัลชีทหนา 0.3 มิลลิเมตร นำมาพับ ขนาด 50 x 50 x 10

เซนติเมตร

- 1.4.6 การเตรียมวัสดุปลูกทดแทนดิน
 - แยกขุยและใยมะพร้าว ในอัตราส่วน 50 : 50 กำจัดความชื้นโดยการตากแดด 1 วัน
 - กากกาแฟ นำมากำจัดความชื้น โดยการตากแดด 1 วัน
 - ชี้เถ้าแกลบ นำมากำจัดความชื้น โดยการตากแดด 1 วัน
 - แป้งมันสำปะหลัง นำมาให้ความร้อนในน้ำเดือด $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ เพื่อใช้เป็นวัสดุผสม

- 1.4.7 การทดลองที่ 1 ศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของวัสดุปลูก

1.4.8 การทดลองที่ 2 ศึกษาหาอัตราส่วนของวัสดุปลูกทดแทนดินที่เหมาะสมสำหรับปลูกหญ้าฉนวนน้อย โดยออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2^3

- 1.4.9 การทดลองที่ 3 การศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุปลูกทดแทนดิน

- 1.4.10 การวิเคราะห์ผลของการทดลอง

- วิเคราะห์ผลทดสอบคุณสมบัติทางเคมี
- วิเคราะห์ผลการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2^3
- วิเคราะห์อัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับปลูกหญ้าฉนวนน้อย
- วิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุปลูกทดแทนดิน

- 1.4.11 วิจัยและสรุปผลการวิจัย

- 1.4.12 เผยแพร่ตีพิมพ์งานวิจัย

1.5 สถานที่ทำงานวิจัย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1.6 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

- 1.6.1 เครื่องมือสำหรับเตรียมวัสดุปลูก
- เครื่องชั่งดิจิตอล (Digital Scale)
 - กะละมังสำหรับผสมวัสดุ (Mixer Basin)
 - เมทัลชีทสำหรับปลูก (Metal Sheet)
 - เครื่องอัดไฮดรอลิก (Hydraulic Press)
 - แม่พิมพ์ (Mold)
- 1.6.2 เครื่องมือสำหรับการทดสอบคุณสมบัติทางเคมี
- เครื่องย่อยสารระบบไมโครเวฟ (Microwave digester)
 - เครื่อง Inductively Couple Plasma-Optical Emission Spectrometer
 - เครื่องทดสอบวิธีเจลดาคท์ (Kjeldahl method)
- 1.6.3 เครื่องมือสำหรับทดสอบคุณสมบัติการนำความร้อน
- สมาร์ทบอร์ด (Fiber Cement Board)
 - เหล็กฉาก
 - ปูนฉาบ
 - Thermocouple Type K
 - เครื่องบันทึกอุณหภูมิ (Data logger KIMO)
 - เครื่องบันทึกอุณหภูมิ (EC850 data logger front panel)

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.7.1 ทราบถึงอัตราส่วนการแทนที่ดินด้วยวัสดุปลูกที่เป็นอินทรีย์ ที่สามารถทำให้หญ้า
 นวลน้อยเจริญเติบโตได้ดี
- 1.7.2 สามารถหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุปลูกทดแทนดิน
- 1.7.3 ช่วยเพิ่มพื้นที่สีเขียวและลดมลพิษของสังคมเมืองในปัจจุบัน
- 1.7.4 สร้างแนวทางในการลดภาวะโลกร้อน ที่ต้นทุนต่ำ และง่ายต่อการปฏิบัติจริง
- 1.7.5 สร้างความเป็นไปได้สำหรับการปลูกพืชบนหลังคาในปัจจุบัน ที่น้ำหนักเบากว่าดิน

บทที่ 2

ปริทัศน์วรรณกรรมและทฤษฎีเบื้องต้น

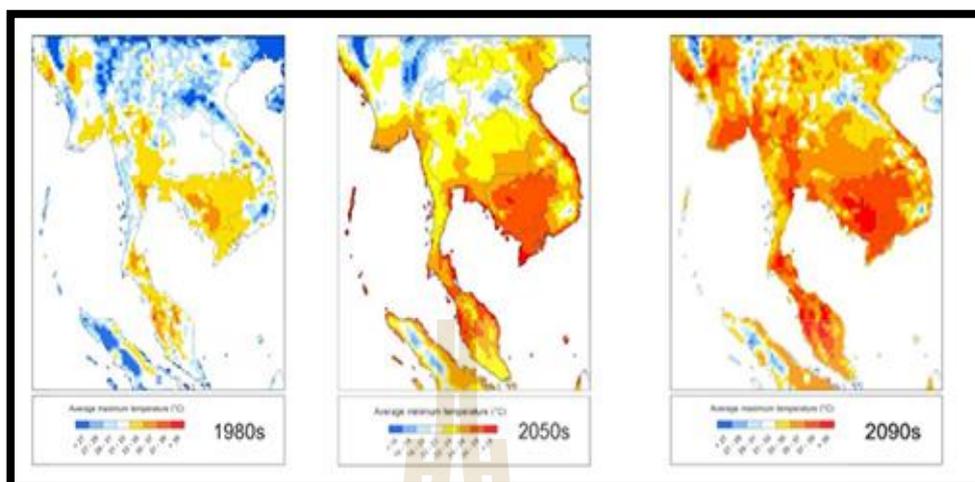
ในบทนี้จะกล่าวถึงปริทัศน์วรรณกรรม และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องของการปลูกพืชบนหลังคา ซึ่งงานวิจัยนี้ศึกษาการใช้วัสดุปลูกทดแทนดินจากธรรมชาติ สำหรับบทนี้จะแบ่งออกเป็นเจ็ดส่วนหลัก ดังนี้ ส่วนแรกจะเป็นการกล่าวถึงสาเหตุของภาวะโลกร้อนซึ่งมีผลกระทบต่ออุณหภูมิที่สูงขึ้น ส่วนที่สองอธิบายคุณลักษณะของการถ่ายเทความร้อน โดยมุ่งเน้นที่การนำความร้อนเป็นหลัก ส่วนที่สามเป็นการกล่าวถึงลักษณะ และคุณสมบัติของหลังคาเขียว (Green Roof) ส่วนที่สี่ และห้าเป็นการอธิบายเกี่ยวกับวัสดุปลูกทดแทนดิน และหญ้านวลน้อย ส่วนประกอบต่างๆ รวมทั้งหน้าที่และชนิด ส่วนที่หกเป็นการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องของการปลูกพืชบนหลังคา และในส่วนสุดท้ายอธิบายถึงทฤษฎีการออกแบบการทดลองสำหรับอัตราส่วนที่เหมาะสมในการปลูกพืชบนหลังคา โดยใช้วัสดุปลูก 3 ชนิด คือ ขุยมะพร้าว จี๊เส้าแกลบ และกากกาแฟ โดยใช้กาบแปงเปียกเป็นวัสดุผสม ซึ่งสามารถเขียนเป็นหัวข้อได้ดังนี้

- 2.1 ภาวะโลกร้อน (Global warming)
- 2.2 การถ่ายเทความร้อน
- 2.3 หลังคาเขียว (Green Roof)
- 2.4 หญ้านวลน้อย (Manila Grass)
- 2.5 วัสดุปลูกทดแทนดิน
- 2.6 ปริทัศน์วรรณกรรม
- 2.7 การออกแบบการทดลอง

งานวิจัยในอดีตข้างต้นได้กล่าวถึงการใช้วัสดุทดแทน การลดอุณหภูมิภายในอาคารจากหลังคาเขียว (Green roof) ผู้วิจัยจึงสนใจศึกษา และนำมาประยุกต์ใช้กับงานวิจัยนี้ โดยออกแบบการทดลองและวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารหลักของวัสดุปลูก ได้แก่ ขุยมะพร้าว จี๊เส้าแกลบ คากาแฟ และใช้แปงมันสำปะหลังเป็นวัสดุผสม เพื่อช่วยลดภาวะโลกร้อนและเพิ่มพื้นที่สีเขียวในปัจจุบัน

2.1 ภาวะโลกร้อน (Global warming)

ภาวะโลกร้อน (Global Warming) หรืออาจเรียกได้ว่า อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นของอากาศบนโลก ไม่ว่าจะเป็นอากาศบริเวณใกล้ผิวโลก น้ำในมหาสมุทร เป็นต้น ซึ่งจากแบบจำลองการคาดคะเนภูมิอากาศพบว่าในปี พ.ศ. 2558 – 2598 อุณหภูมิเฉลี่ยของโลกจะเพิ่มขึ้น 1.1 ถึง 6.4 องศาเซลเซียส นี่คือนิวทอนที่ทำให้ภูมิอากาศเปลี่ยนแปลง ภาวะโลกร้อนส่งผลไปสู่การเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝน ระดับน้ำทะเล และส่งผลกระทบต่อพืช สัตว์ และมนุษย์ สาเหตุของภาวะโลกร้อนเกิดขึ้นจากก๊าซเรือนกระจกที่เพิ่มขึ้นจากกิจกรรมของมนุษย์ รวมไปถึงสารเคมีที่มีส่วนผสมของก๊าซเรือนกระจก และอื่น ๆ ส่งผลให้ก๊าซเรือนกระจกเหล่านี้ลอยขึ้นไปรวมตัวอยู่บนชั้นบรรยากาศของโลก ทำให้รังสีของดวงอาทิตย์ที่ควรสะท้อนกลับออกไปในปริมาณที่เหมาะสม กลับถูกก๊าซเรือนกระจกเหล่านี้กักเก็บไว้ ทำให้อุณหภูมิของโลกค่อยๆ สูงขึ้นจากเดิม (<http://www.dmc.tv/pages>) สภาพภูมิอากาศของโลกกำลังร้อนขึ้น (IPCC, 2014) และเหตุการณ์ความรุนแรงคาดว่าจะเพิ่มความถี่ระยะเวลา และความรุนแรง (Meehl และ Tebaldi, 2004) ในขณะเดียวกันการพัฒนาเมืองอย่างรวดเร็วกำลังดำเนินไปทั่วโลก และคาดว่าจะดำเนินการต่อไป (Bierwagen และคณะ, 2010) เพิ่มความร้อนในเมือง (Oke, 1982; Argüeso และคณะ, 2014; Georgescu และคณะ, 2014; Krayenhoff และคณะ, 2018) การรวมตัวกันของภาวะโลกร้อน (เช่นการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และการกลายเป็นเมือง) คาดว่าจะส่งผลให้มีความร้อนสูงมากขึ้น การปล่อยก๊าซเรือนกระจก และการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินของมนุษย์ และการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินที่เกี่ยวข้องกับการกลายเป็นเมืองมีผลกระทบอย่างสำคัญในท้องถิ่น (Georgescu และคณะ, 2014; Kalnay และ Cai, 2003) มีการสังเกตการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนในแง่ของคุณสมบัติของพื้นผิวเมือง (เช่น ความร้อนการแผ่รังสี และคุณสมบัติอากาศพลศาสตร์) ซึ่งจะปรับเปลี่ยนสภาพบรรยากาศเช่นอุณหภูมิ และรูปแบบการตกตะกอน (เช่น Oke, 1982; Oke, 1987; Yow, 2007) เขตเมืองเป็นที่ทราบกันดีว่าความร้อนสูงกว่าพื้นที่ชนบทโดยรอบเนื่องจากผลของ UHI (Chapman และคณะ, 2017) ขนาดของความแตกต่างของอุณหภูมิในเขตเมือง – ชนบทแตกต่างกันไป ตามหน้าที่ของตำแหน่งทางภูมิศาสตร์พื้นที่ภูมิอากาศที่สอดคล้องกันภูมิประเทศในท้องถิ่น รวมถึงลักษณะเฉพาะของสภาพแวดล้อมที่สร้างขึ้น



รูปที่ 2.1 การคาดการณ์สภาพภูมิอากาศอนาคตสำหรับประเทศไทยและภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้โดยแบบจำลองสภาพภูมิอากาศ PRECIS และ ECHAM4

สถานการณ์ภาวะโลกร้อนในปัจจุบัน ส่งผลให้สภาพอากาศเปลี่ยนแปลง ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ซึ่งมีแนวโน้มรุนแรงมากขึ้นในอนาคต ด้วยเหตุผลการลดการเกิดก๊าซเรือนกระจกจึงจำเป็นในปัจจุบัน เพื่อหลีกเลี่ยงภัยธรรมชาติที่รุนแรง พายุน้ำท่วม แผ่นดินไหว อุณหภูมิสูงขึ้น

การเพิ่มพื้นที่สีเขียวจากการปลูกพืชเป็นอีกทางเลือกที่สามารถช่วยลดภาวะโลกร้อน โดยทั่วไปช่วงเวลากลางวัน พืชช่วยหายใจเอาก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เข้าไป และหายใจออกมาเป็นก๊าซออกซิเจน แต่ในปัจจุบันพื้นที่สีเขียวถูกทำลาย และมีจำนวนลดลงอย่างต่อเนื่อง เพราะฉะนั้นการเพิ่มพื้นที่สีเขียว เปรียบเหมือนช่วยเพิ่มเครื่องฟอกอากาศให้กับโลก

การเพิ่มขึ้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เกิดจากการเผาไหม้ในรูปแบบต่าง ๆ เช่น การเผาไหม้เชื้อเพลิง โรงงานอุตสาหกรรม การเผาป่าเพื่อใช้พื้นที่สำหรับอยู่อาศัย เป็นต้น การเผาป่าเป็นการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศได้โดยเร็วที่สุด ก๊าซมีเทน(CH_4) เกิดขึ้นจากการย่อยสลายของซากสิ่งมีชีวิต ถึงแม้ว่าก๊าซมีเทนอยู่ในอากาศเพียง 1.7 ppm แต่ก๊าซมีเทนมีคุณสมบัติของก๊าซเรือนกระจกสูงกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ กล่าวคือ ด้วยปริมาณที่เท่ากัน ก๊าซมีเทนสามารถดูดกลืนรังสีอินฟราเรดได้ดีกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซไนตรัสออกไซด์(N_2O) ปกติก๊าซชนิดนี้ในธรรมชาติเกิดจากการย่อยสลายซากสิ่งมีชีวิตโดยแบคทีเรีย แต่อัตราที่สูงขึ้นในปัจจุบัน เนื่องจากอุตสาหกรรมที่ใช้กรดไนตริกในกระบวนการผลิต เช่น อุตสาหกรรมผลิตเส้นใยไนลอน อุตสาหกรรมเคมีและพลาสติกบางชนิด เป็นต้น ก๊าซไนตรัสออกไซด์ส่งผลกระทบต่อตรงต่อการเพิ่มพลังงานความร้อนสะสมบนพื้นผิวโลกประมาณ 0.14 วัตต์/ตารางเมตร นอกจากนี้เมื่อก๊าซไนตรัสออกไซด์ลอยขึ้นสู่บรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ จะทำปฏิกิริยากับก๊าซ

โอโซน ส่งผลให้เกราะป้องกันรังสีอัลตราไวโอเล็ตของโลกลดลง ก๊าซโอโซน (O_3) เป็นก๊าซที่ประกอบด้วยธาตุออกซิเจนจำนวน 3 โมเลกุล มีเพียง 0.0008% ในบรรยากาศ โอโซนไม่ใช่ก๊าซที่มีเสถียรภาพสูง ซึ่งมีอายุอยู่ในอากาศได้เพียง 20 - 30 สัปดาห์ แล้วสลายตัว โอโซนเกิดจากก๊าซออกซิเจน (O_2) ถูกคลื่นรังสีอัลตราไวโอเล็ตแล้วแตกตัวเป็นออกซิเจนอะตอมเดี่ยว (O) จากนั้นออกซิเจนอะตอมเดี่ยวยรวมตัวกับก๊าซออกซิเจน และโมเลกุลชนิดอื่น (M) ที่ทำหน้าที่เป็นตัวกลางผลิตเป็นก๊าซโอโซนออกมา (www.dmc.tv/pages/scoop) เพราะฉะนั้น (Srivanit, M., & Auttarat, S., 2015). การออกแบบทางภูมิทัศน์เมืองเป็นหนทางหนึ่งที่จะช่วยปรับปรุงสภาพแวดล้อมเชิงความร้อนให้เหมาะสม ต่อการอยู่อาศัยในพื้นที่สาธารณะเมือง แต่ต้องดำเนินการ ควบคู่ไปกับการลดผลกระทบความร้อนที่เกิดขึ้นจากเนื้อที่มนุษย์ (Anthropogenic heat) จากกิจกรรมต่าง ๆ ในพื้นที่เมือง เช่น การใช้พลังงานเพื่อระบบปรับอากาศ มลพิษจากเครื่องยนต์ของยานพาหนะ ฯลฯ ซึ่งเป็นอีกหนึ่ง ในสาเหตุที่ทำให้อุณหภูมิในพื้นที่เขตเมืองสูงกว่าพื้นที่โดยรอบ

2.2 การถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคา

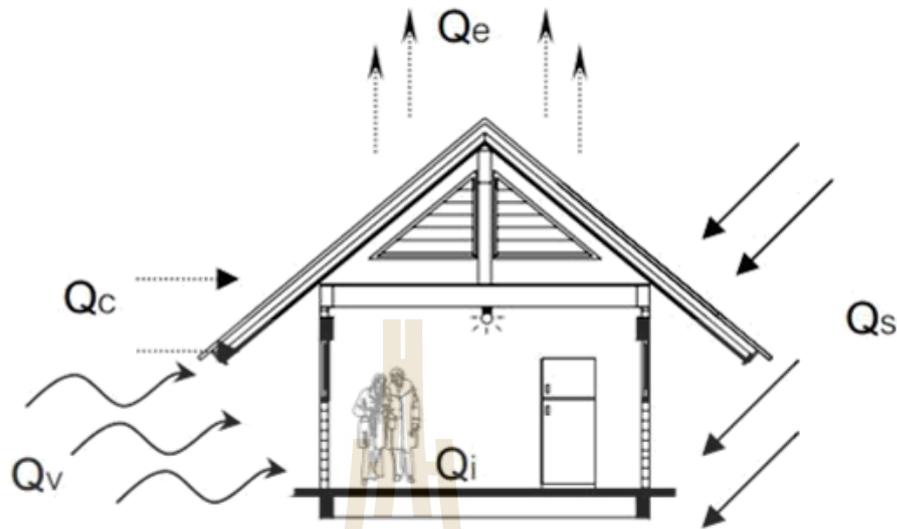
หลังคา คือ ส่วนประกอบของอาคารที่ปกอาศัยที่ได้รับความร้อนมากที่สุดของวัน โดยเกิดจากการถ่ายเทความร้อนของอากาศภายนอกสู่ภายในอาคาร ซึ่งเริ่มจากรังสีดวงอาทิตย์แผ่รังสีความร้อนผ่านชั้นอวกาศมายังโลก และเมื่อหลังคาได้รับการแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ หลังคาจะดูดซับความร้อน และถ่ายเทความร้อนผ่านผิวหลังคาด้านนอกสู่ผิวหลังคาด้านใน จากนั้นความร้อนจะถูกถ่ายเทไปยังช่องว่างระหว่างหลังคา และถ่ายเทต่อไปยังฝ้าเพดาน (Celling) สุดท้ายรังสีความร้อนจะถ่ายเทสู่ภายในห้องเกิดการสะสมความร้อน กระจายบนพื้นที่ภายในห้อง เป็นผลให้ห้องมีอุณหภูมิสูงขึ้น แหล่งกำเนิดความร้อนภายในอาคาร แบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลัก คือ ความร้อนภายนอก และความร้อนภายในอาคาร โดยส่วนใหญ่ความร้อนรวมในอาคาร มาจากภายนอกมากกว่า ซึ่งเป็นความร้อนที่ได้รับอิทธิพลจากรังสีดวงอาทิตย์ ที่มาของความร้อนที่เกิดขึ้นภายในและภายนอกอาคาร ประกอบด้วย

2.2.1 ความร้อนที่เกิดขึ้นจากภายในอาคาร (Internal Heat Gain : Qi)

ความร้อนที่เกิดขึ้นภายในอาคาร เป็นความร้อนที่อาจเกิดได้ทั้งจากคน หรืออุปกรณ์ไฟฟ้าภายในอาคาร เช่น ความร้อนจากหลอดไฟฟ้า ตู้เย็น เป็นต้น

2.2.2 ความร้อนที่เกิดขึ้นจากภายนอกอาคาร (External Heat Gain)

ความร้อนที่เกิดขึ้นภายนอกอาคารเป็นความร้อนที่เกิดจากอิทธิพลของรังสีดวงอาทิตย์ ดังแสดงในรูปที่ 2.2 ดังนี้



รูปที่ 2.2 แสดงความร้อนที่เข้าสู่อาคาร

2.2.2.1 Conduction Heat Gain / Loss (Q_c) การนำความร้อน ซึ่งอาจเกิดได้ทั้งการนำความร้อนเข้ามาภายในอาคาร หรือการสูญเสียความร้อนสู่ภายนอกโดยตัวนำความร้อน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระดับของอุณหภูมิระหว่างภายนอก และภายในอาคาร โดยความร้อนจะถ่ายเทจากที่มีอุณหภูมิสูงกว่าเสมอ

2.2.2.2 Solar Radiation (Q_s) การแผ่รังสีดวงอาทิตย์ ในกรณีของประเทศไทยที่ตั้งอยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตรจะได้รับผลกระทบจากรังสีดวงอาทิตย์เป็นอย่างมาก

2.2.2.3 Ventilation Heat Gain / Loss (Q_v) ความร้อนที่มาจากกระบวนการระบายอากาศ จะมีลักษณะคล้ายกับการนำความร้อน แต่จะมีตัวกลางในการพาความร้อนมาโดยอากาศ ซึ่งจะมีความเกี่ยวข้องกับทิศทาง และความเร็วของกระแสลมด้วย

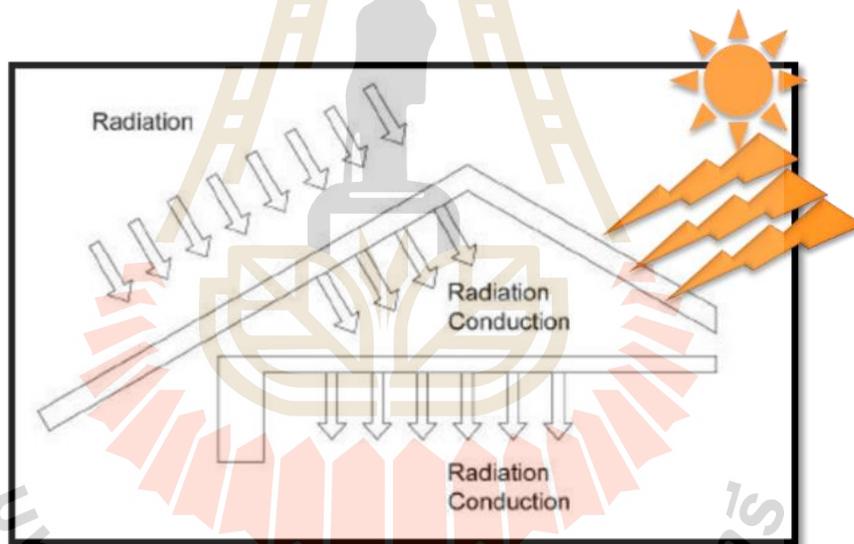
2.2.2.4 Evaporative Heat Loss (Q_e) การระเหย หรือความร้อนที่กลายเป็นไอ ในขณะที่เกิดการระเหยจำเป็นจะต้องใช้พลังงาน (ความร้อน) ในการเปลี่ยนสถานะ ทำให้สามารถช่วยลดความร้อนในบริเวณนั้นได้

2.2.3 หลักการถ่ายเทความร้อน (Principle of Heat Transfer)

การถ่ายเทความร้อน คือ การส่งผ่านพลังงานความร้อนซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิ ดังนั้น เมื่อใดก็ตามที่มีความแตกต่างของอุณหภูมิเกิดขึ้นในตัวกลาง หรือระหว่างตัวกลาง การถ่ายเทความร้อนมักจะเกิดขึ้นได้ เมื่อมีเกรเดียนต์อุณหภูมิ (Temperature Gradient) เกิดขึ้นในตัวกลางที่อยู่หนึ่ง เช่น ของแข็ง หรือของไหล เทอมของการนำความร้อน (Conduction) จะเป็น การถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นผ่านตัวกลาง ในขณะที่การพาความร้อน

(Convection) จะเป็นการถ่ายเทความร้อน ที่เกิดขึ้นระหว่างพื้นผิว และของไหลที่เคลื่อนที่ เมื่อมี อุณหภูมิแตกต่างกัน ส่วนการแผ่รังสีความร้อน (Thermal Radiation) จะเป็นการที่ทุกพื้นที่ผิวที่มี อุณหภูมิหนึ่งจะปล่อยพลังงานในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมา ดังนั้นในสถานะที่ปราศจาก ตัวกลางใด ๆ จะมีการถ่ายเทความร้อนสุทธิที่เกิดขึ้นเนื่องจากการแผ่รังสีระหว่าง พื้นผิวสองพื้นผิว ที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันได้ การถ่ายเทความร้อนออกเป็น 3 ประเภท ดังนี้

2.2.3.1 การนำความร้อน (Conduction) เป็นการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นผ่าน ตัวกลาง กลไกของการนำความร้อน ขึ้นอยู่กับ โครงสร้างของโมเลกุลวัสดุที่มีความหนาแน่นมาก (Puraprom W., 2016) เกิดการถ่ายเทพลังงานความร้อนจากโมเลกุลที่มีอุณหภูมิสูงไปยังโมเลกุลที่มี อุณหภูมิต่ำ แสดงในรูปที่ 2.3 เกิดขึ้นในสสารที่มีสภาพเป็นของแข็งที่มีการสัมผัสกัน ซึ่งวัสดุแต่ละ ชนิดจะมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของแต่ละวัสดุแตกต่างกัน สามารถหาค่าการถ่ายเท ความร้อนแบบนำความร้อนได้ จากสมการที่ 2.1



รูปที่ 2.3 การนำความร้อน

การนำ (Conduction) การถ่ายเทความร้อน โดยการนำความร้อน เป็นการ ถ่ายเทความร้อนเพียงวิธีเดียวที่เกิดขึ้นในวัตถุที่เป็น ตัวกลางทึบแสง เมื่อมีความลาดชันของอุณหภูมิ สามารถเกิดได้ทั้งในของแข็ง ของเหลว และแก๊ส แต่เนื่องจากการไหลหมุนเวียนเกิดขึ้นในของเหลว และแก๊ส แต่สำหรับในของแข็งทึบแสง จะไม่มีการเคลื่อนไหวยภายในวัสดุ จะมีแต่การถ่ายเทความร้อน ด้วยการนำเพียงอย่างเดียว อัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อนจะเป็นสัดส่วนกับค่าความ ลาดชันของอุณหภูมิ (Temperature gradient) คูณกับพื้นที่ (A) ที่ความร้อนไหลผ่าน ดังสมการ (2.1)

$$\text{Rate of Conduction} \propto \frac{\text{Area Temperature different}}{\text{Thickness}} \quad (2.1)$$

$$q_{\text{cond}} \propto A \frac{dT}{dx}$$

- เมื่อ q_{cond} = อัตราการถ่ายเทความร้อน โดยการนำความร้อน (W)
 A = พื้นที่ที่ความร้อนไหลผ่าน (m²)
 T = อุณหภูมิ (K)
 X = ระยะทางการเคลื่อนที่ของความร้อน (m)

ความสามารถในการนำความร้อนของสาร วัดด้วยปริมาณที่เรียกว่า ค่าการนำความร้อน (Thermal Conductivity) หรือใช้ตัวอักษรย่อว่า k ซึ่งเป็นคุณสมบัติทางกายภาพของตัวกลางที่มีความร้อนเคลื่อนที่ผ่าน อัตราการนำความร้อนจึงมีค่าเป็น

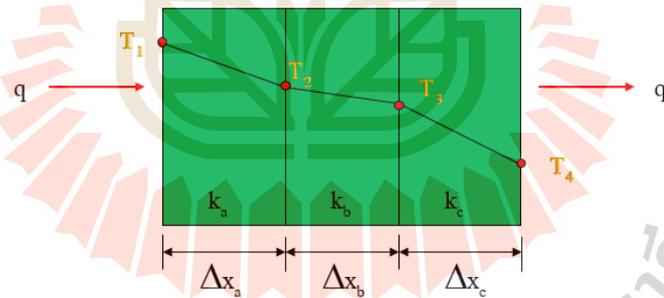
$$q_{\text{cond}} = -kA \frac{dT}{dx} \quad (2.2)$$

- เมื่อ q = อัตราการไหลของความร้อนในทิศทางตั้งฉากกับพื้นที่ (W, J/s)
 A = พื้นที่การถ่ายเทความร้อน (m²)
 T = อุณหภูมิ (C)
 X = ระยะทางที่ตั้งฉากกับพื้นที่การถ่ายเทความร้อน
 K = สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (W/m C)

สมการที่ (2.2) คือ กฎการนำความร้อนของฟูรีเยร์ (Fourier's law of conduction) เครื่องหมายลบที่อยู่ทางขวามือ ของสมการเป็นผลเนื่องจากกฎข้อที่สองทางเทอร์โมไดนามิกส์ ซึ่งกำหนดว่า ความร้อนจะต้องไหลจากจุดที่มี อุณหภูมิสูงไปยังจุดที่มีอุณหภูมิต่ำ แต่เนื่องจากความลาดชันของอุณหภูมิจะต้องลดลงเมื่อระยะทาง X เพิ่มมากขึ้น จึงมีเครื่องหมายเป็นลบ ดังนั้นหากต้องการให้อัตราการถ่ายเทความร้อนไหลในทิศทางที่เป็นบวก หรือมีค่าเป็นบวก จะต้องเติมเครื่องหมายลบไว้ด้านขวาของสมการ (2.2) อัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านตัวกลางนั้นขึ้นกับหลายปัจจัย เช่น รูปทรง ความหนา และวัสดุที่ใช้ รวมทั้งความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างตัวกลาง ค่าการนำความร้อน k เป็นคุณสมบัติอย่างหนึ่งของวัตถุ การนำความร้อนเป็นการถ่ายเทพลังงานจาก

อนุภาคที่มีพลังงานสูงไปยังอนุภาคที่มีพลังงานต่ำกว่า สามารถเกิดขึ้นได้ทั้งในของเหลว ของแข็ง และแก๊ส ค่าการนำความร้อนที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของแก๊ส ไม่สามารถหา ได้จากการวิเคราะห์ ดังนั้น ข้อมูลเกี่ยวกับการนำความร้อนส่วนใหญ่ของวัสดุ จึงได้มาจากการวัด และการทดสอบ โดยทั่วไป แล้วค่าการนำความร้อนของวัสดุจะแปรตามอุณหภูมิ แต่การนำไปใช้งานในด้านการปฏิบัติในส่วน ใหญ่แล้วจะใช้ค่าการนำความร้อนคงที่ที่หามาจากอุณหภูมิจลี่ย สารที่มีความสามารถในการนำความร้อนสูง เช่น โลหะ จะมีค่า k สูง ส่วนสารที่มีความสามารถในการนำความร้อนต่ำ เช่น สารอโลหะ ก็จะมีค่า k ต่ำ ค่า k จึง เป็นคุณสมบัติประจำตัวของสารที่สำคัญมากในการศึกษาถึงการเคลื่อนที่ของ ความร้อนในสารนั้น สามารถเปรียบเทียบความสามารถในการนำความร้อนของสารต่าง ๆ โดยการ เปรียบเทียบจากค่า k ของสารเหล่านั้น โดยสารที่มีค่า k สูง จะเรียกว่า สารตัวนำ (conductor) และ สารที่มีค่า k ต่ำ จะเรียกว่า ฉนวน (insulator)

การถ่ายเทความร้อนแบบอนุกรม คือ ความร้อนไหลผ่านผนังที่ซ้อน อนุกรมกันหลายชั้น โดยการนำความร้อน ดังสมการที่ (2.3) เช่น ผนังของอาคารบ้านเรือนในกรณีที สภาพต่าง ๆ คงที่อัตราความร้อนที่ผ่านแต่ละ ชั้นของผนังที่มีค่าเท่า ๆ กัน โดยที่ค่าความลาดชัน ของอุณหภูมิในผนังแต่ละชั้นมีความแตกต่างกัน ในกรณีนี้ อัตราความร้อนที่ไหลผ่านผนังที่ซ้อน กันแบบอนุกรมในแต่ละชั้น



$$q = \frac{-k_a A (T_2 - T_1)}{\Delta x_a} = \frac{-k_b A (T_3 - T_2)}{\Delta x_b} = \frac{-k_c A (T_4 - T_3)}{\Delta x_c} \quad (2.3)$$

$$-q \frac{\Delta x_a}{k_a A} = T_2 - T_1$$

$$-q \frac{\Delta x_b}{k_b A} = T_3 - T_2$$

$$-q \frac{\Delta x_c}{k_c A} = T_4 - T_3$$

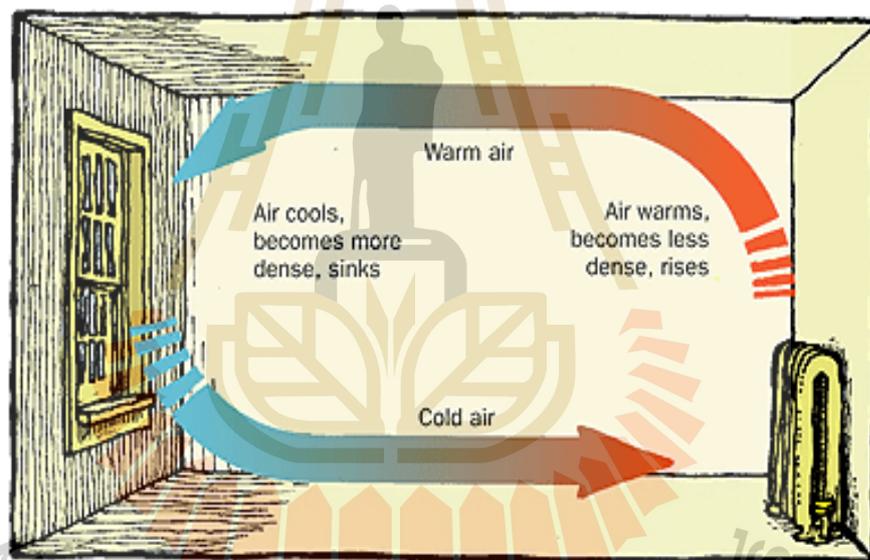


$$q = \frac{T_1 - T_4}{\frac{\Delta x_a}{k_a A} + \frac{\Delta x_b}{k_b A} + \frac{\Delta x_c}{k_c A}}$$

$$\frac{q}{A} = \frac{T_1 - T_4}{\frac{\Delta x_a}{k_a} + \frac{\Delta x_b}{k_b} + \frac{\Delta x_c}{k_c}}$$

2.2.3.2 การพาความร้อน (Convection) เป็นการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นระหว่างการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของสาร ซึ่งมีสถานะเป็นของเหลว และของไหล ในบริเวณใกล้เคียงกันที่มีอุณหภูมิต่างกัน ทั้งนี้ของไหลที่กล่าวถึง ได้แก่ แก๊ส หรือของเหลว เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 2.4 การพาความร้อนส่วนมากเกิดขึ้นในบรรยากาศ และมหาสมุทร และแก๊สร้อนในดวงอาทิตย์ ของไหลนี้ เปรียบเสมือนตัวพาความร้อน เกิดขึ้นได้ 2 แบบ คือ

1. การพาความร้อนแบบบังคับ (Forced Convection) เกิดขึ้นในกรณีที่มีของไหลพาความร้อนผ่านผิวของแข็งด้วยแรงภายนอก เช่น พัดลม เป็นต้น
2. การพาความร้อนแบบอิสระ (Free Convection) เกิดขึ้นในกรณีที่ของไหลพาความร้อนไหลผ่านผิวของของแข็งด้วยแรงลอยตัวที่เกิดขึ้น จากความแตกต่างของความหนาแน่นในของไหล เพราะมีอุณหภูมิต่างกัน ดังสมการที่ 2.4 ซึ่งอธิบายการถ่ายเทความร้อนแบบพาความร้อน

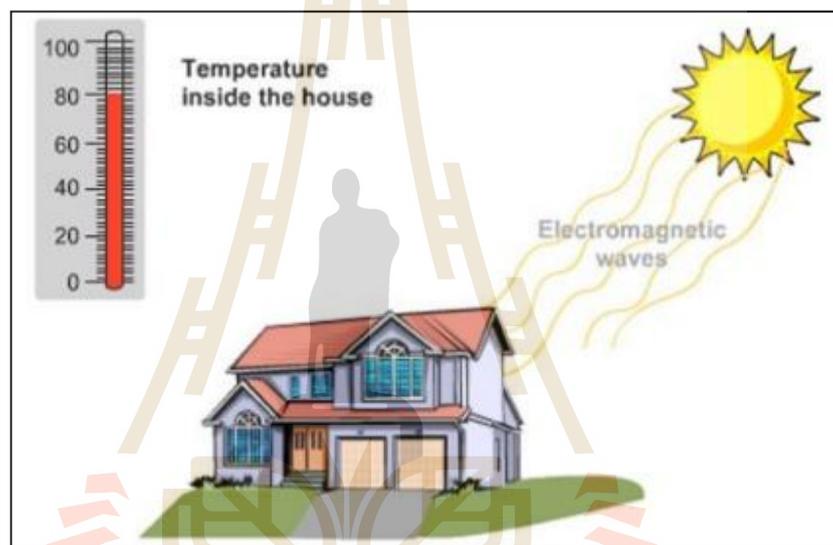


รูปที่ 2.4 การพาความร้อน

$$Q = h_c A (T_s - T_r) \quad (2.4)$$

โดยที่	Q	=	พลังงานจากการพาความร้อน (W)
	h_c	=	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)
	A	=	พื้นที่หน้าตัด (m^2)
	T_s	=	อุณหภูมิผิววัสดุ ($^\circ C$)
	T_r	=	อุณหภูมิอากาศในอาคาร ($^\circ C$)

2.2.3.3 การแผ่รังสี (Radiation) กลไกการถ่ายเทความร้อนด้วยการแผ่รังสีเป็นการถ่ายเทความร้อนออกรอบตัวทุกทิศทาง โดยไม่ต้องอาศัยตัวกลางในการส่งถ่ายพลังงาน ดังแสดงในรูปที่ 2.5 ดังนั้นการถ่ายเทความร้อนในรูปของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า การแผ่รังสีจึงสามารถถ่ายเทความร้อนผ่านอวกาศได้ วัตถุทุกชนิดที่มีอุณหภูมิสูงกว่า $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$ หรือ 0 K (เคลวิน) จะมีการแผ่รังสีวัตถุที่มีอุณหภูมิสูงแผ่รังสีคลื่นสั้นวัตถุที่มีอุณหภูมิต่ำแผ่รังสีคลื่นยาว ตามกฎของวิน การแผ่รังสีที่เกิดขึ้นในช่วงความยาวช่วงคลื่น $0.1 - 100$ ไมโครเมตร จัดเป็นรังสีความร้อน (Thermal Radiation) ดังสมการที่ 2.5



รูปที่ 2.5 การแผ่รังสีความร้อน

$$q = \sigma \varepsilon A T_A^4$$

(2.5)

- โดยที่ q = อัตราการแผ่รังสีของวัตถุหรือพลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ($\Delta Q/\Delta t$) ที่แผ่ออกมาจากผิวที่วัตถุในหนึ่งหน่วยเวลา (W)
- σ = ค่าคงที่ของสเตฟาน-โบลซ์มาน (Stefan-Boltzmann Constant) มีค่าเท่ากับ $5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$
- A = พื้นที่ผิวทั้งหมดของวัตถุที่แผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมา (m^2)
- T_A = อุณหภูมิของวัตถุ (K)
- ε = สภาพส่งรังสี (Emissivity) ของผิววัตถุ ซึ่งขึ้นกับชนิดของผิววัตถุ โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1

สำหรับงานวิจัยนี้ ศึกษาเฉพาะการนำความร้อนของหลังคาเขียว (Green Roof) โดยศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Conductivity) ของวัสดุปลูก (Substrate culture) ในคุณลักษณะของการเป็นฉนวนกันความร้อนที่มีส่วนประกอบของ ขุยมะพร้าว กากกาแฟ ขี้เถ้าแกลบ และกาวแป้งเปียกสำหรับเป็นวัสดุผสม

2.2.4 การป้องกันความร้อนให้กับเปลือกอาคาร

2.2.4.1 การป้องกันความร้อนทางหลังคาหลังคาเป็นพื้นที่ที่มีระดับใกล้เคียงแนวนอนจึงมีผลให้มีปริมาณการดูดซับรังสีดวงอาทิตย์สูงกว่าพื้นที่ในแนวระนาบตั้ง เช่น ผนังอาคาร นอกจากนี้หลังคายังเป็นส่วนบนสุดของอาคาร ซึ่งทำหน้าที่ป้องกันแสงอาทิตย์ให้กับอาคารทั้งหลาย หลังคาจึงเป็นส่วนที่มีความร้อนสูงสุดในองค์ประกอบทั้งหมดของอาคาร หลังคาที่มีสีเขียว เช่น สีนํ้าตาลแดง หรือสีน้ำเงินเข้ม อาจมีอุณหภูมิผิวภายนอกสูงถึง 60 องศาเซลเซียสในช่วงที่มีแดดจัด การป้องกันความร้อนจากหลังคาจึงเป็นจุดวิกฤตสำหรับการป้องกันความร้อนที่จะแพร่ผ่านเข้าสู่ภายในอาคาร การป้องกันความร้อนจากหลังคาที่เหมาะสมอาจทำได้โดย การตัดแบ่งพื้นที่ใต้หลังคาและส่วนภายในอาคารด้วยฉนวนกันความร้อน การตัดแบ่งพื้นที่ระหว่างพื้นที่ใต้หลังคาที่มีความร้อนสูง และส่วนภายในอาคารที่ต้องการให้มีความร้อนแพร่ผ่านเข้ามาให้น้อยที่สุด จำเป็นจะต้องใช้วัสดุฉนวนที่มีความสามารถในการกันความร้อนสูงมากสำหรับประเทศไทย ซึ่งระดับความเป็นฉนวนกับค่าความต้านทานความร้อน และต้องมีการเลือกใช้ระบบฝ้าเพดานที่มีรอยรั่วน้อยที่สุด เพื่อป้องกันการรั่วซึมจากอากาศร้อนในส่วนพื้นที่ใต้หลังคาที่อาจรั่วซึมเข้ามาภายในอาคาร ฉนวนจะทำหน้าที่ลดความร้อนจากพื้นที่ใต้หลังคาให้แพร่เข้าสู่ภายในอาคารน้อยที่สุด

คุณสมบัติต่างๆของวัสดุที่มีผลต่อพลังงานในอาคาร ส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบดังต่อไปนี้ (ASHRAE Handbook Fundamental, 1997) คือ

- ค่าการนำความร้อน (thermal conductivity, k) เป็นคุณสมบัติของวัสดุที่สำคัญในการได้รับหรือสูญเสียความร้อนของผนังภายนอกอาคาร เป็นอัตราส่วนการถ่ายเทความร้อนของวัสดุของจำนวนความร้อน Btu/h ส่งผ่านวัสดุ 1 ตร.ฟุต หนา 1 นิ้ว ทำให้อุณหภูมิลดลง 1 °F มีหน่วยเป็น Btu/hr ft² F หรือ W/m²K

- ความหนาแน่น (density) มีหน่วยเป็น Kg/m³ โดยปกติวัสดุที่มีคุณสมบัติเป็นฉนวนจะเป็นวัสดุที่มีความหนาแน่นต่ำ วัสดุที่นำความร้อนได้ดีจะมีความหนาแน่นสูง

- ค่าความจุความร้อน (specific heat / thermal capacity) มีหน่วยเป็น Joule/Kg คือความสามารถในการกักเก็บความร้อนของวัสดุ วัสดุที่มีความจุความร้อนมากเมื่อได้รับความร้อนจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นช้ากว่าวัสดุที่มีความร้อนต่ำ คุณสมบัตินี้จะมีผลต่ออุณหภูมิผิว (surface temperature) และสภาวะน่าสบายของมนุษย์

- คุณสมบัติในการหน่วงความร้อน (thermal inertia) คือ การยอมให้ความร้อนผ่านเข้ามาในตัววัตถุช่วงเวลาหนึ่งก่อนที่จะส่งผ่านไป เรียกช่วงเวลานี้ว่า ช่วงเวลาหน่วง (time lap) ซึ่งช่วงเวลานี้จะเพิ่มมากขึ้นตามความหนาของผนัง

- คุณสมบัติต้านทานความร้อน (thermal resistance) วัสดุแต่ละชนิดมีคุณสมบัติในการต้านทานความร้อนที่แตกต่างกันออกไป โดยพิจารณาจาก ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัตถุ วัสดุสำหรับการก่อสร้างใดๆในการก่อสร้างจะมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนเสมอ มีหน่วยเป็น W/mk โดยจะแสดงถึงอัตราการไหลของความร้อนที่จุดใด ๆ คงที่ผ่านมวลวัตถุ และอุณหภูมิที่แตกต่างระหว่างพื้นผิวของวัตถุยังค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัตถุน้อย จะแสดงถึงคุณสมบัติการเป็นฉนวนกันความร้อนที่ดี ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน หรือ ค่า “K – Value” สามารถบ่งบอกถึงความสามารถในการนำความร้อนของวัสดุเพียงชนิดเดียว โดยวัดค่าในรูปของอัตราปริมาณความร้อนไหลต่อหน่วยเวลาจากจุดระยะทางหนึ่งถึงอีกจุดหนึ่ง ที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันต่อหน่วยพื้นที่หน้าตัดที่ไหลผ่าน และหน่วยวัดอุณหภูมิวัดเป็น $Wm/m^2 \cdot K = W/m-K$ (หรือ $W/m \cdot ^\circ C$)

ตารางที่ 2.1 แสดงตัวอย่างค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) ของวัสดุชนิดต่างๆ

วัสดุ	ค่า k ($W/m \cdot ^\circ C$)
คอนกรีต	1.442
แผ่นยิปซั่ม	0.191
โลหะ	
(a) โลหะผสมของอลูมิเนียม แบบธรรมดา	211
(b) ทองแดง ที่มีขายเชิงพาณิชย์	385
โพลีสไตรีน เบ่งขยายตัว	0.035
โพลียูรีเทน โฟม	0.024
ดินอัดหลวม (ร่วนซุย)	0.375
ไม้	
(a) ไม้เนื้ออ่อน	0.125
(b) ไม้เนื้อแข็ง	0.138
(c) ไม้อัด	0.138

ที่มา : (ชนิด จินดาวณิก เอกสารประกอบคำสอนวิชา การอนุรักษ์พลังงานในการออกแบบอาคาร

250 – 1673 สถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2550)

ความต้านทานความร้อน (R) คือ ค่าความต้านทานความร้อนของวัสดุแปรผันตรงกับความหนาของวัสดุ แต่แปรผกผันกับค่าคุณสมบัติในการเป็นตัวนำความร้อน (thermal conductivity) หากวัสดุใดมีค่าความต้านทานความร้อนสูง หมายถึง มีคุณสมบัติความเป็นฉนวนที่ดี วัสดุประเภทที่ทำหน้าที่เป็นฉนวน เป็นวัสดุที่มีน้ำหนักเบา มีความหนาแน่นน้อย ประกอบด้วย โพรงอากาศเล็ก ๆ เป็นจำนวนมาก โดยโพรงอากาศเหล่านี้จะดักความร้อนให้อยู่ภายในโพรงอากาศ ทำให้ความร้อนถ่ายเทให้อาคารน้อยลง

2.2.4.2 วัสดุผนังหลังคา (Roofing) หมายถึง วัสดุที่ใช้มุงหลังคาของอาคาร เป็นส่วนที่รองรับการแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์โดยตรงประเภทวัสดุผนังหลังคาที่ใช้กันอยู่ทั่วไป ได้แก่ กระเบื้องซีเมนต์ไยหิน กระเบื้องคอนกรีต กระเบื้องเซรามิก กระเบื้องดินเผาแผ่นหลังคาเอสฟัลท์และหลังคาแผ่นโลหะ

ในงานวิจัยนี้เลือกใช้วัสดุผนังหลังคาเมทัลชีท (Metal Sheet) มาเป็นภาชนะสำหรับปลูก เนื่องจากหลังคาโลหะหรือหลังคาเหล็กกรีด ทำจากแผ่นเหล็กอบสังกะสีตัดเป็นลอนเคลือบสี เพื่อป้องกันความกัดกร่อน หากมีการเคลือบแผ่นเมทัลชีทด้วย ทั้งสังกะสีและอลูมิเนียม แผ่นเมทัลชีทนั้นก็จะถูกเรียกว่า "แผ่นเหล็กกรีดลอนอลูซิงค์" คำว่า อลูซิงค์เป็นคำผสม ที่เกิดจากการผสมคำสองคำ ที่ใช้ เรียก โลหะผสมระหว่างอลูมิเนียมและสังกะสี อลูมิเนียมช่วยป้องกันการกัดกร่อนที่เกิดจากการทำปฏิกิริยา ระหว่างอากาศและตัวเนื้อเหล็ก ส่วนสังกะสี ช่วยป้องกันการกัดกร่อนบริเวณขอบตัด และรอยขีดข่วน โดยสารประกอบ สังกะสีจะสละตัวเอง เพื่อป้องกันการกัดกร่อนที่เนื้อเหล็ก สำหรับแผ่นเมทัลชีทเคลือบกัลวาไนท์ เป็นการเคลือบสังกะสีเพียงอย่างเดียวจะมีรอยต่อรอยต่อ สามารถรีดเป็นแผ่นยาว ลดปัญหาการรั่วซึม นิยมใช้ในการมุงหลังคาขนาดใหญ่เพิ่มสีสันให้กับอาคารสมัยใหม่ ดังแสดงในรูปที่ 2.6 เพราะให้ความรู้สึกบางเรียบ และสามารถพับทำเป็นภาชนะสำหรับปลูกได้ง่าย แต่วัสดุชนิดนี้มีปัญหาเรื่องความร้อน เนื่องจากหลังคาโลหะกันความร้อนได้น้อย และมีปัญหาเรื่องเสียงในเวลาฝนตก โดยปกติแผ่นเมทัลชีท หรือเมทัลทอลชีท นั้นจะถูกรีดลอน (Corrugated) สำหรับเป็นร่องน้ำ รวมทั้งเพื่อความสวยงาม และความแข็งแรง



รูปที่ 2.6 วัสดุผนังหลังคาชนิดแผ่นเมทัลชีท หรือเมทัลทอลชีท

2.2.5 การถ่ายเทความร้อนของหลังคาเขียว

ในช่วงระหว่างวันความร้อนภายนอกสูงกว่าภายในอาคาร ผลมาจากอิทธิพลของรังสีดวงอาทิตย์ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนระหว่างภายในกับภายนอกอาคารขึ้น โดยหญ้าถือเป็นส่วนแรกที่ได้รับอิทธิพลจากรังสีดวงอาทิตย์เนื่องจากเป็นส่วนที่อยู่นอกสุด ปริมาณรังสีจากดวงอาทิตย์จะถูกส่งผ่านใบ บางส่วนเกิดการสะท้อน และบางส่วนเกิดการแผ่รังสีกลับสู่สภาพแวดล้อม ยิ่งไปกว่านั้นด้วยความแตกต่างของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นยังทำให้หญ้าเกิดการคายระเหย ทั้งนี้เพื่อลดอุณหภูมิในหญ้าให้เย็นลงเป็นผลให้อุณหภูมิในอากาศที่เกิดขึ้นทำให้อุณหภูมิอากาศบริเวณพุ่มใบนั้นเย็นลงตามไปด้วย ในขณะที่ปริมาณรังสีส่วนหนึ่งที่ทะลุเรือนยอดไปลงมาจะถ่ายเทไปสู่ผิววัสดุปลูกด้วยการแผ่รังสี และการพาความร้อนของอากาศบริเวณพุ่มใบ โดยที่ปริมาณรังสีที่ทะลุลงมานั้นขึ้นกลับความหนาแน่นของพุ่มใบ และดัชนีพื้นที่ใบเป็นหลัก ซึ่งเมื่อผิววัสดุปลูกเกิดความร้อนขึ้นแล้วนั้นความร้อนจะค่อย ๆ ถูกถ่ายเทเข้าสู่อาคารโดยการนำความร้อนผ่านวัสดุปลูก ทั้งนี้การนำความร้อนที่เกิดขึ้นนั้นขึ้นกับอิทธิพลของมวลสารด้วย (thermal Mass) ไม่ว่าจะเป็นความหนาของวัสดุปลูกและความหนาของหลังคา จากรูปที่ 2.7 แสดงส่วนประกอบของหลังคาเขียว



รูปที่ 2.7 ภาพแสดงพฤติกรรมถ่ายเทความร้อนของหลังคาเขียว

2.3 หลังคาสีเขียว หรือ Green Roof

Green Roof, Living Roof หรือหลังคาสีเขียว ดังแสดงในรูปที่ 2.8 ถูกทำขึ้นมากกว่าศตวรรษ โดยเริ่มทำในประเทศแถบสแกนดิเนเวีย ในลักษณะปลูกพืชบนหลังคาบ้าน จุดประสงค์เพื่อควบคุม อุณหภูมิภายในอาคารที่พักอาศัย และลดปริมาณคาร์บอนจากการปลูกพืชโดยพืชพรรณซึ่งจะคงอยู่ อย่างถาวร Jo, H. and McPherson, E. G., 1995 (ไม่ปล่อยคาร์บอนกลับสู่บรรยากาศ)



รูปที่ 2.8 ลักษณะการปลูกพืชบนหลังคาบ้าน

ปัจจุบันภัยธรรมชาติเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องตระหนัก ซึ่งเกิดจากภาวะโลกร้อน ส่งผลให้การแก้ปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมเป็นประเด็นที่ต้องมีการจัดการแก้ปัญหาเพื่อเข้าหาธรรมชาติได้มากขึ้น อีกทั้งการเพิ่มของจำนวนประชากรในชุมชนเมือง เป็นผลทำให้ราคาของอสังหาริมทรัพย์พุ่งสูงขึ้น ขาดแคลนพื้นที่สีเขียว

หลังคาเขียวในอดีต (Green Roof) เป็นรูปแบบที่เรียบง่าย ลักษณะเป็นการวางไม้กระดานบนพื้นที่ลาดฟ้า เพื่อความสวยงาม ช่วยลดความร้อนและช่วยลดแสงสะท้อนจากแสงแดด ปัจจุบัน หลังคาเขียว (Green Roof) จำแนกความหมายได้ 2 แห่ง คือ

2.3.1 Green roofs ในแง่ของเทคโนโลยีอาคาร

หลังคาเขียว (Green Roof) ในแง่ของเทคโนโลยีอาคาร เป็นการออกแบบ สถาปัตยกรรมเพื่อการประหยัดพลังงาน โดยเน้นที่วัสดุก่อสร้างและเทคโนโลยีสมัยใหม่ที่จะช่วยลด อุณหภูมิ ที่คำนึงถึงผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมและการใช้พลังงาน สร้างสถานะน่าสบาย ส่งเสริม แนวคิดการพัฒนาอย่างยั่งยืนในรูปแบบของสถาปัตยกรรมสีเขียว เช่น แผง Solar Cell เป็นต้น (รุ่ง

ทิพย์ แสงกลาง, 2557) ตัวอย่างของการทำกรีนรูพในแง่ของเทคโนโลยีอาคารในประเทศไทย ได้แก่ ศูนย์การค้า รัชญาพาร์ค ศรีนครินทร์ ดังแสดงในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 ศูนย์การค้ารัชญาพาร์ค ศรีนครินทร์

2.3.2 Green roofs ในแง่ของการมีพืชพันธุ์ปกคลุมอยู่ด้านบน

หลังคาเขียว (Green Roof) ในแง่ของการมีพืชพันธุ์ปกคลุมอยู่ด้านบน คือการนำพืชพันธุ์มาปลูกบนหลังคาบ้านหรืออาคาร เพื่อลดอุณหภูมิ เช่น หญ้า พืชพรรณคลุมดิน ไม้เลื้อย หรือลักษณะใดก็ตามที่สามารถปลูกบนหลังคาได้ ซึ่งเน้นถึงการลดผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมโดยตรง นอกเหนือไปจากการสร้างสภาวะสบายและลดการใช้พลังงานของอาคาร สามารถแบ่งตามการใช้สอยได้ 3 ประเภท ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ประเภทของหลังคาเขียว (Green Roof)

	Extensive Green Roof	Semi-intensive Green Roof	Intensive Green Roof
Maintenance	Low	Periodically	High
Irrigation	No	Periodically	Regularly
Plant Communities	Moss-Sedum- Herbs and Grasses	Grass-Herbs and Shrubs	Lawn or Perennials, Shrubs and Trees
System build- up height	60-200 mm	120-250 mm	150-400 mm on underground garages >1000 mm
Weight	60-150 kg/m ² 13-30 lb/sqft	120-200 kg/m ² 25-40 lb/sqft	180-500 kg/m ² 35-100 lb/sqft
Costs	Low	Middle	High
Use	Ecological Protection layer	Designed Green Roof	Park like garden

ที่มา : (International Green Roof Association, 2011)

2.3.2.1 Intensive green roofs หลังคาเขียวที่ต้องการประโยชน์ใช้สอยเปรียบเหมือนการทำสวนบนหลังคาที่มีการใช้สอยพื้นที่ เช่น สวนดาดฟ้าโรงแรม ที่สามารถปลูกพืชทั้งชนิดเล็ก และชนิดใหญ่ได้จริง และทำกิจกรรมต่าง ๆ ได้ มีพื้นที่นันทนาการของอาคาร จึงจำเป็นต้องมีชั้นดินที่หนามากกว่า 30 เซนติเมตรขึ้นไป ส่งผลให้การดูแลสูง ค่าใช้จ่ายในการดูแลรักษาสูงตามไปด้วย ตัวอย่างของการทำหลังคาเขียวแบบมีพื้นที่นันทนาการ มีพื้นที่ใช้สอยในประเทศไทย ได้แก่ อาคารชุดพักผ่อนการ์เดนคลิฟ ก่อตั้งในปี พ.ศ. 2524 ดังแสดงในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 หลังคาเขียวอาคารชุดพักผ่อนการ์เดนคิลฟ 2 พัทยา

2.3.2.2 Semi-intensive green roofs หลังคาเขียวแบบกึ่งดูแลมีลักษณะคล้ายประเภท Extensive Green Roof ซึ่งใช้ประโยชน์ได้บางส่วน มีการใช้ไม้ดอกที่มีสีสดต้องการดูแลรักษาปานกลาง ต้องการชั้นดินที่หนามากกว่า 15 เซนติเมตร (Elena K., & Natalia S., 2016) ส่งผลให้ต้องคำนึงถึงน้ำหนักที่มีผลต่อโครงสร้างอาคาร ในประเทศไทยไม่เป็นที่นิยม ตัวอย่างของการทำหลังคาเขียวลักษณะนี้ ได้แก่ Nanyang Technological University ดังแสดงในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 หลังคาเขียว Nanyang Technological University

2.3.2.3 Extensive green roofs หลังคาเขียวที่ไม่ต้องการประโยชน์ใช้สอย คือ เน้นประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อม ความหนาชั้นดินเพียง 1 - 5 นิ้ว ใช้พืชพันธุ์ขนาดเล็ก เช่น หญ้า หรือพืชคลุมดินที่ไม่โต (กนกวลี สุธีธร, 2548) พืชพรรณทนแล้ง เช่น ไม้อวบน้ำขนาดเล็กที่แผ่คลุมดิน ส่งผลให้การออกแบบการก่อสร้าง หรือต่อเติมอาคารเกิดขึ้นได้โดยง่าย การดูแลรักษาน้อย ราคาต่ำ ลักษณะของพืชปลูก มีความทนทาน เลี้ยงง่าย โดยพืชที่นิยม คือ พืชในตระกูลซีดัม (Sedum sp.) หรือ ประเภทอวบน้ำ และมอส สามารถขึ้นได้ดี ตัวอย่างของการทำหลังคาเขียวแบบนี้ ได้แก่ การปลูกพืชพื้นดินที่ L'Historial de la Vendée พิพิธภัณฑ์ใหม่ในฝรั่งเศส ดังแสดงในรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 หลังคาเขียวที่ปลูกพืชพื้นดินที่ L'Historial de la Vendée พิพิธภัณฑ์ใหม่ในฝรั่งเศส

2.3.3 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการปลูกพืชบนหลังคา (Factor of Green roof)

1. น้ำหนัก ดินปลูกสำหรับหลังคาเขียว (Green Roof) ควรมีน้ำหนักเบา อุ่มน้ำแต่ระบายน้ำได้ดี และไม่ย่อยสลายง่าย มิฉะนั้นต้องมีโครงสร้างที่รับน้ำหนักได้ อย่างน้อย 1-2 ตัน/ตรม. ดินปลูกน้ำหนักเบาจำเป็นสำหรับคานฟ้า หรือหลังคาอาคารเดิมที่ไม่ได้เผื่อน้ำหนักใช้สอยไว้ เช่น หลังคาเอียงที่เห็น โดยทั่วไป รวมทั้งคานฟ้าที่ไม่ได้ออกแบบไว้สำหรับการใช้สอย เช่น หลังคาตึกแถวส่วนใหญ่ในประเทศไทย โดยทั่วไปลักษณะหลังคาอาคารเดิมหลังคาเป็นคอนกรีต สามารถทำหลังคาเขียว (Green Roof) แบบปล่อย หรือกึ่งปล่อยได้ โดยไม่ส่งผลเรื่องน้ำหนัก แต่หากเป็นหลังคาเขียว (Green Roof) ที่ทำเพื่อใช้สอย และเพื่อความสวยงาม จะต้องออกแบบโดยวิศวกรเพื่อความปลอดภัย

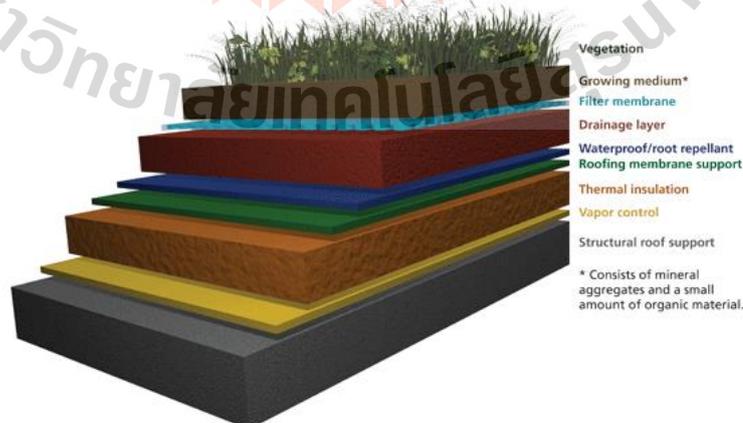
2. การป้องกันการรั่วซึม และการระบายน้ำ การก่อสร้างเพื่อป้องกันการรั่วซึมในประเทศไทย มีความซับซ้อนส่งผลให้ราคาสูง ซึ่งหากต้องการทำหลังคาเขียว (Green Roof) แบบประโยชน์ใช้สอยต้องมีการระบายน้ำที่ดี

3. การให้น้ำ และการดูแล การให้น้ำหลังคาเขียว (Green Roof) ขึ้นอยู่กับประเภทซึ่งประเภทปล่อยบางแห่ง ไม่มีการให้น้ำเลย ดังนั้น แม้จะเป็นหลังคาเขียว (Green Roof) แบบปล่อยก็มักมีระบบน้ำหยดขนาดเล็กคอยเสริมในช่วงที่แห้งแล้งผิดปกติ ส่วนหลังคาเขียว (Green Roof) ประเภทกึ่งปล่อย หรือประเภทต้องดูแลจะใช้ระบบการให้น้ำเหมือนงานภูมิทัศน์หลังคาทั่วไป (Building and Construction Authority, 2007, Code on Envelope Thermal Performance for Buildings, Singapore²)

4. ชนิดของพืชพันธุ์ พืชพันธุ์ที่ใช้บนหลังคา ควรเป็นชนิดที่ดูแลรักษาง่าย รากของพืชไม่ทำลายโครงสร้างหลังคาอาคาร น้ำหนักไม่มากนัก ดังนั้นควรเลือกพืชพันธุ์ประเภทไม้ อวบน้ำ ไม้โตเร็วเกินไป และมักมีขนาดไม่ใหญ่โตเมื่อโตเต็มที่ เพื่อป้องกันไม่ให้พืชพันธุ์เจริญเติบโตมากเกินไป และอาจจะส่งผลต่อโครงสร้างหลังคา เช่น พืชสกุล Sedum ซึ่งมีหลายชนิดพันธุ์ หรือที่ปลูกในภาชนะสำเร็จรูปที่ยกไปติดตั้งได้ทันที เรียกกันว่าแบบ Modular หรือแบบ Grid เป็นต้น ไม่จำเป็นต้องรดน้ำบ่อย และทนต่อการสูญเสียน้ำ โดยที่ภูมิทัศน์ "หลังคาเขียว (Green Roof)" อยู่บนที่สูง หรืออยู่บนหลังคา จึงทำให้การดูแลรักษายากกว่าภูมิทัศน์บนพื้นดิน (กนกวลี สุธีธร, 2548)

2.3.4 ส่วนประกอบทั่วไปของหลังคาเขียว (Component of Green Roof)

หลังคาเขียว (Green Roof) ประกอบไปด้วยชั้นของวัสดุ 9 ชั้นด้วยกัน นับจากล่างขึ้นบน ได้แก่



รูปที่ 2.13 ส่วนประกอบของหลังคาเขียว (Green Roof)

ชั้นที่ 1 : โครงสร้างรับน้ำหนัก (Structural roof support)

เป็นส่วนที่ใช้รับน้ำหนักทั้งหมดของหลังคาเขียว (Green Roof) ซึ่งตามหลักการควรมีการคำนวณทางวิศวกรรมโครงสร้าง ตั้งแต่ก่อนติดตั้งหลังคาเขียว (Green Roof) เพื่อป้องกันปัญหาการรองรับน้ำหนักของอาคาร ซึ่งโดยปกติอาคารทั่วไปจะมีความสามารถในการรองรับน้ำหนักที่ 200 - 400 กิโลกรัม/ตารางเมตร แต่หากติดตั้งหลังคาเขียว (Green Roof) อาจมีความต้องการรับน้ำหนักอยู่ที่ 1,220 - 1,465 กิโลกรัม/ตารางเมตร หรือมากกว่านั้น (วรุฒิ ธนาวุฒิวัดนา, 2552) ดังนั้นหลังคาอาคารคอนกรีตทั่วไปหากต้องการติดตั้งหลังคาเขียว (Green Roof) จึงควรมีน้ำหนักไม่เกิน 150 กิโลกรัม/ตารางเมตรเท่านั้น

ชั้นที่ 2 : ชั้นควบคุมไอน้ำ (Vapor control)

เป็นชั้นที่วางอยู่เหนือโครงสร้างหลังคาโดยตรง

ชั้นที่ 3 : ฉนวนกันความร้อน (Thermal insulation)

ทำหน้าที่เป็นตัวกีดขวางการเคลื่อนตัวของความร้อนจากภายนอกที่มีอุณหภูมิสูงกว่าที่จะเข้าสู่ภายในตัวอาคารที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ซึ่งถือเป็นส่วนแรกที่ได้รับความร้อน ทำให้สามารถช่วยประหยัดพลังงานของเครื่องปรับอากาศลงได้ ในขณะเดียวกัน หากเป็นฤดูหนาว ฉนวนกันความร้อนก็จะช่วยป้องกันความร้อนจากภายในอาคารออกสู่ภายนอกอาคารได้เช่นกัน ซึ่งความหนาของฉนวนที่ดี ควรมีความหนา 5 เซนติเมตรขึ้นไป มีน้ำหนักเบา มีคุณสมบัติต่อต้านความชื้น และไม่บดบังได้ง่าย ยกตัวอย่างเช่น โฟมโพลีสไตรีน (Polystyrene foam) เป็นต้น

ชั้นที่ 4 : วัสดุกันซึม (Roofing membrane support)

เป็นชั้นที่อยู่ของวัสดุกันซึมต่าง ๆ เช่น วัสดุป้องกันน้ำซึม หรือแผ่นกันทะลุ ซึ่งมีหน้าที่ป้องกันน้ำจากหลังคาซึมเข้าสู่ภายในอาคาร ซึ่งต้องมีความทนทาน สามารถต้านแรงกระแทกจากอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้ดี มีอายุการใช้งานยาวนาน มีความสามารถในการป้องกันรังสีอัลตราไวโอเล็ต ทนต่อสภาพการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ และชั้นบรรยากาศ และที่สำคัญควรป้องกันการแทรกซึมของรากพืชและน้ำได้เป็นอย่างดี และยึดหยุ่นต่อการเคลื่อนตัวของรอยจุดต่อของโครงสร้างอาคาร

ชั้นที่ 5 : ชั้นป้องกันน้ำ (Waterproof / Root repellent)

เป็นวัสดุป้องกันน้ำซึมจากความเสียหายต่าง ๆ และป้องกันการแทรกทะลุของรากพืชสู่ชั้นวัสดุกันซึม ที่อาจส่งผลกระทบต่อให้น้ำซึมลงด้านล่างได้มากขึ้นจนเกิดการรั่วลงพื้นชั้นล่าง

ชั้นที่ 6 : ระบบระบายน้ำ (Drainage layer)

มีหน้าที่รองรับการระบายน้ำของพื้นที่ส่วนที่เป็นชั้นอยู่เหนือระดับแผ่นคอนกรีตกันทะลุ ซึ่งมีคุณสมบัติสำคัญคือควรมีลักษณะเป็นรูพรุนจำนวนมากเป็นช่องว่างที่สามารถให้น้ำไหลผ่านถึงกันได้ และสามารถรองรับน้ำหนักของวัสดุด้านบนได้ดี คือชั้นดินปลูก หรือวัสดุทดแทนดินที่ใช้ในการปลูกพืช

ชั้นที่ 7 : ชั้นกรองดิน (Filter membrane)

มีลักษณะเป็นผ้าใยสังเคราะห์ ทับอยู่บนส่วนชั้นระบายน้ำ โคนแผ่นใยกรองนี้จะมีรูพรุนขนาดเล็กมาก ทำหน้าที่ให้น้ำไหลผ่าน แต่สามารถกรองเศษดินต่าง ๆ ที่จะไหลผ่านเข้าไปในชั้นระบายน้ำได้ ทำให้ปราศจากการอุดตันของชั้นระบายน้ำ และท่อระบายน้ำของเศษดิน

ชั้นที่ 8 : ชั้นวัสดุปลูก (Growing medium)

เป็นแหล่งยึดเกาะของพืช และเป็นแหล่งอาหารเพื่อการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งในชั้นนี้อาจเป็นได้ทั้งดินธรรมชาติ ดินสังเคราะห์ หรือวัสดุปลูกทดแทนดินที่มีความเหมาะสมกับงานหลังคาเขียว (Green Roof) ซึ่งควรมีลักษณะสำคัญ คือ มีความแข็งแรงทนทาน น้ำหนักไม่มากจนเกินไป มีความสามารถในการระบายน้ำได้ดี มีความชื้นที่พอเหมาะแต่ไม่เปียก ยึดธาตุน้ำได้ดี โดยส่วนมากนิยมใช้ดินในการปลูก มีข้อดี คือ พืชสามารถเจริญเติบโตได้ดี แต่มีข้อเสียคือมีน้ำหนักมาก และมีการอุ้มน้ำสูงซึ่งอาจส่งผลต่อการรับน้ำหนักของโครงสร้างที่มากขึ้น ส่วนดินสังเคราะห์มักมีราคาสูง แต่มีข้อดีคือสามารถพัฒนาให้มีคุณสมบัติตรงตามความต้องการได้ ซึ่งการเลือกใช้วัสดุปลูกทดแทนดินอาจแก้ปัญหาเรื่องการรับน้ำหนักของโครงสร้างได้ และมีราคาถูก เป็นวัสดุธรรมชาติที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม แต่ก็ต้องศึกษาเพื่อหาวัสดุปลูกที่มีความเหมาะสมกับประเภทของพืชและหลังคาเขียว (Green Roof) ต่อไป

ชั้นที่ 9 : พืชพันธุ์ (Vegetation)

เป็นส่วนประกอบที่สำคัญต่อหลังคาเขียว (Green Roof) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะการนำไปใช้งาน มีความสอดคล้องกับพื้นที่ และโครงสร้างของหลังคา หรืออาคาร รวมถึงประเภทของหลังคาเขียว (Green Roof) ซึ่งต้องคำนึงถึงความสูงของพืชพันธุ์เมื่อโตเต็มที่ จุดสูงสุดของการแผ่ขยายทางด้านลำต้น กิ่ง ก้าน และใบ ขนาด และความลึกของรากพืชที่ชอนไช แล้วจะไม่ส่งผลกระทบต่ออาคาร รวมทั้งการบำรุงรักษา และควรเป็นพืชที่เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศของพื้นที่ที่จะปลูกด้วย

2.3.5 การดูแลรักษา

เนื่องจากมีข้อจำกัดในด้านโครงสร้าง ดินที่ใช้ในการทำ Green Roof จึงมักมีปริมาณ และความลึกน้อย ดังนั้น ต้องมีการบำรุงดินให้อยู่ในสภาพเหมาะสม การทำ Green Roof ในประเทศไทยนั้นอาจเป็นเรื่องยุ่งยากพอสมควร เพราะประเทศไทยเป็นเขตร้อนชื้น ความร้อนสูง ฝนตกหนัก เพราะฉะนั้นควรเลือกใช้วัสดุที่เหมาะสมกับคุณลักษณะของอาคารที่พักอาศัยในปัจจุบัน

2.3.6 คุณประโยชน์ของหลังคาเขียว (Green Roof)

คุณประโยชน์หลักของหลังคาเขียว (Green Roof) นอกจากเป็นการอนุรักษ์พลังงานที่โยงไปถึงการบรรเทาภาวะโลกร้อนจากการลดการปลดปล่อย CO₂ แล้วยังช่วยประหยัดงบประมาณค่าใช้จ่ายการทำความเย็น และความอุ่นได้ดี ที่ทำการนครชिकाโก สามารถประหยัดเงินได้มากถึง 25,000 เหรียญ ภายในเวลา 5 ปี จากการสร้างหลังคาเขียว (Green Roof) เนื้อที่ 2,000

ตารางเมตร บนหลังคาอาคารที่ทำการนครโตเกียว มีอาคารใหม่เป็นหลังคาเขียว (Green Roof) ร้อยละ 20 ประเทศเยอรมนี มีหลังคาเขียว (Green Roof) รวมกันทั้งประเทศร้อยละ 12 ซึ่งช่วยลดการปล่อย CO₂ และช่วยประหยัดเงินเฉพาะค่าพลังงานที่ใช้กับเครื่องปรับอากาศในฤดูร้อนได้มหาศาล ประโยชน์สำคัญอีกประการหนึ่งสำหรับหลังคาเขียว (Green Roof) ในเมืองหนาแน่น คือ การช่วยลดปริมาณน้ำฝนที่ไหลลงจากหลังคา ซึ่งสร้างปัญหาน้ำฝนท่วมฉับพลัน หลังคาเขียว (Green Roof) ที่มีดินปลูก และชั้นรองรับหนา 20 ซม. สามารถอุ้มน้ำฝนช่วง 15 นาทีแรกได้ร้อยละ 93.2 – 76.6 – 64.4 และ 54.4 ของปริมาณฝน 25 – 50 - 75 และ 100 มม. ตามลำดับ นอกจากนี้ ยังมีคุณประโยชน์อื่นหลายประการ ดังนี้ (Building and Construction Authority, 2007, Code on Envelope Thermal Performance for Buildings, Singapore2.)

2.3.6.1. ด้านเศรษฐกิจ ยืดอายุใช้งานของหลังคาหลังคาเขียว (Green Roof) สามารถป้องกันความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ทำให้อาคารไม่ได้รับแสงอาทิตย์โดยตรง พืชจะป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลตจากแสงแดดที่ส่องลงมายังหลังคา ซึ่งพื้นผิวของหลังคาคอนกรีตทั่วไปมักประสบปัญหาการแตกร้าวซึมจากการรับแสงแดดเป็นเวลานาน วัสดุพืชพันธุ์จะช่วยลดผลกระทบของการเสื่อมสภาพของหลังคาอาคารจากความร้อน โดยช่วยป้องกันรังสียูวีและลดความเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นระหว่างวัน (Liu, 2004) มีการพบความแตกต่างของอุณหภูมิพื้นผิวหลังคาคอนกรีตสูงถึง 50 องศาเซลเซียส ในระหว่างวัน ขณะที่ความแตกต่างของอุณหภูมิพื้นผิวสวนบนหลังคามิเพียง 3 องศาเซลเซียส (Connolly and Liu, 2005) อุณหภูมิที่สูงมากในตอนกลางวันจะลดลงอย่างรวดเร็วในตอนกลางคืนเมื่ออากาศภายนอกเย็นลง คอนกรีตเริ่มคายความร้อนกลับสู่อากาศ โดยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ขึ้น และลงระหว่างวันทำให้พื้นผิวอาคารเกิดการแตกร้าว และเสียหายในระยะยาว มีการทดลองของ Liu and Baskaran (2003) ทดสอบการป้องกันความร้อนของสวนบนหลังคาที่โตรอนโต ประเทศแคนาดา พบว่า อุณหภูมิพื้นผิวหลังคาคอนกรีตในเวลากลางวันสูงถึง 70 องศาเซลเซียส ในขณะที่พื้นผิวหลังคาที่มีสวนมีอุณหภูมิประมาณ 25 องศาเซลเซียส และความแตกต่างของอุณหภูมิพื้นผิวหลังคาคอนกรีตสูงถึง 50 องศาเซลเซียส ในระหว่างวัน ขณะที่ความแตกต่างของอุณหภูมิพื้นผิวสวนบนหลังคามิเพียง 3 องศาเซลเซียส (Peck และคณะ, 1999) สวนบนหลังคาที่มีพืชปกคลุมช่วยลดความแตกต่างของอุณหภูมิ และรักษาพื้นผิวหลังคาให้มีอายุการใช้งานนานขึ้น 2 - 3 เท่าจากปกติ

ประหยัดพลังงานและค่าไฟในการใช้งานเครื่องปรับอากาศ หลังคาเขียว (Green Roof) ช่วยควบคุม การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในอาคาร พืชพันธุ์ที่อยู่บนหลังคาทำหน้าที่เป็นเหมือนฉนวนกันความร้อนจากภายนอก และควบคุมอุณหภูมิภายในอาคารให้อยู่ในระดับที่คงที่ และยังสามารถลดแสงสะท้อนจากหลังคาที่มีผลกระทบต่ออาคารข้างเคียงได้อีกด้วย ลดพลังงานในการเปิดเครื่องปรับอากาศในอาคารได้ถึง 20 - 40 % แม้ในระยะแรก โครงสร้างของ

หลังคาเขียว (Green Roof) จะมีต้นทุนสูงขึ้นจากแบบทั่วไป แต่ในระยะยาว การประหยัดจากการลดการใช้พลังงานก็จะเกิดความคุ้มค่า โดยคุณสมบัติในการป้องกันความร้อนของสวนบนหลังคาเกิดจากองค์ประกอบต่าง ๆ ทั้งการให้ร่มเงา การคายน้ำ ของพืช และการเป็นฉนวนกันความร้อนของวัสดุพืชพันธุ์ และชั้นรองรับต่าง ๆ สามารถลดรังสีจากดวงอาทิตย์ได้มากถึง 90 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับหลังคาคอนกรีตที่ไม่มีสวน ส่งผลให้อุณหภูมิของอากาศภายในห้องที่อยู่ใต้สวนบนหลังคาลดลงจากปกติ 3 - 4 องศาเซลเซียส ขณะที่อุณหภูมิอากาศภายนอกอยู่ระหว่าง 25 - 40 องศาเซลเซียส (Peck และคณะ 1999) โดยการลดอุณหภูมิภายในอาคารทุก 5 องศาเซลเซียส อาจลดการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศได้มากถึง 8 เปอร์เซ็นต์ (Dunnett and Kingsbury, 2004 และ Wong และคณะ 2003) การวิจัยเรื่องการศึกษาสภาพความร้อนจากระบบปลูกพืชสีเขียวที่ปกคลุมหลังคาในภูมิภาคเขตร้อน พบว่า อุณหภูมิพื้นผิวของสวนบนหลังคาต่ำกว่า 30 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่าน้อยกว่าเมื่อเทียบกับอุณหภูมิหลังคาคอนกรีต ซึ่งอุณหภูมิแตกต่างกันวัดได้สูงสุดถึง 18 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ลดการใช้ไฟฟ้าได้มากถึง 15 เปอร์เซ็นต์/ปี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของพืชที่เลือกใช้ ความหนาของชั้นวัสดุปลูก และการทดลองของ Liu (2004) และ Liu and Minor (2005) ที่ทำการเปรียบเทียบหลังคาที่มีสวนกับหลังคาแบบธรรมดา พบว่า หลังคาที่มีสวนมีปริมาณความร้อนน้อยกว่าหลังคาแบบธรรมดา ส่งผลถึงค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับพลังงานในการทำความเย็นที่ลดลง จากการวัดปริมาณความร้อนที่ถูกส่งผ่านเข้าสู่อาคารทางหลังคา ระหว่างหลังคาที่มีสวนกับหลังคาธรรมดา จะช่วยลดความต้องการใช้พลังงานในชีวิตประจำวัน วันสำหรับห้องที่มีเครื่องปรับอากาศได้มากถึง 75 เปอร์เซ็นต์ ในระหว่างฤดูร้อน นอกจากนี้ ฌญูญิ (2545) ทำการศึกษาการเปรียบเทียบศักยภาพของการป้องกันความร้อนระหว่างการใช้สวนหลังคา กับระบบหลังคาชั้นดีทั่วไป ทั้งที่ใช้ระบบปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ โดยสร้างอาคารทดลองที่มีหลังคาแบบต่าง ๆ 4 ชนิด คือ หลังคาคอนกรีต หลังคาที่ปกคลุมด้วยหญ้า ปกคลุมด้วยพืชคลุมดินลำต้นเตี้ย และปกคลุมด้วยไม้พุ่มสูง พบว่า สวนหลังคาไม้พุ่มสูงสามารถทำให้อุณหภูมิผิวฝ้าภายในอาคารมีค่าน้อยที่สุด ต่ำกว่าสวนหลังคาพืชคลุมดินลำต้นเตี้ยและสวนหลังคาหญ้า การใช้ระบบสวนหลังคาสามารถลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในอาคารได้มากกว่า 15 องศาเซลเซียส และได้คำนวณพลังงานความร้อนที่ต้องการในการเปลี่ยนอุณหภูมิของเพดาน ซึ่งห้องที่มีสวนบนหลังคามีอุณหภูมิต่ำกว่า จึงใช้พลังงานน้อยกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับห้องที่ไม่มีสวนบนหลังคาแล้ว สามารถลดภาระการทำความเย็นจากเครื่องปรับอากาศได้อย่างน้อย 89 เปอร์เซ็นต์

2.3.6.2 ด้านสภาพแวดล้อม ลดอุณหภูมิภายในอาคาร สวนบนหลังคาเขียว (Green Roof) ช่วยควบคุมการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในอาคาร พืชพันธุ์ที่อยู่บนหลังคาทำหน้าที่เป็นเหมือนฉนวนกันความร้อนจากภายนอก และควบคุมอุณหภูมิภายในอาคารให้อยู่ในระดับที่คงที่ และยังสามารถลดแสงสะท้อนจากหลังคาที่มีผลกระทบต่ออาคารข้างเคียงได้อีกด้วย เอนก (2539)

ทำการวิจัยการทำความเย็นแก่อาคารโดยใช้ผิวหลังคาสัมผัสกับดิน พบว่า สภาพดินที่ถูกปกคลุมด้วยพืชจะมีอุณหภูมิต่ำกว่าสภาพผิวดินที่ปราศจากสิ่งปกคลุมถึง 2 องศาเซลเซียส และดินที่มีพืชปกคลุมบนหลังคาทำให้อุณหภูมิภายในอาคารลดลง ทำนองเดียวกับ ศุภกิจ (2541) ที่ศึกษาสภาพแวดล้อมเหนือดินของสวนบนหลังคา โดยเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาอาคารที่ผิวดินปกคลุมด้วยหญ้าในที่โล่ง หญ้าใต้ไม้พุ่มและหญ้าใต้พืช เพื่อหาแนวทางทำให้อุณหภูมิผิวด้านล่างของหลังคาต่ำที่สุด ผลการวิจัย พบว่า การมีสิ่งปกคลุมผิวดินช่วยป้องกันความร้อน และรักษาความชุ่มชื้นให้กับดิน ทำให้มีอุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาอาคารลดต่ำลง การใช้พืชใหญ่กรองแสง และป้องกันความร้อนจากดวงอาทิตย์สามารถลดความร้อนให้แก่ผิวดินทำให้ผิวดินมีความเย็น และมีการเหนี่ยวนำความเย็นลงสู่ดิน ส่งผลต่อการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างหลังคาอาคารกับดิน โดยผิวดินจะส่งถ่ายอุณหภูมิจากหลังคาอาคาร ทำให้อุณหภูมิผิวด้านล่างในอาคารลดต่ำลง การประยุกต์ใช้สวนบนหลังคาเพื่อลดการถ่ายเทความร้อน ควรทำให้มีสิ่งปกคลุมผิวดินเพื่อรักษาความชื้นภายในดิน ควรใช้พืชใหญ่เพื่อปรับสภาพแวดล้อม และป้องกันความร้อนจากดวงอาทิตย์ ซึ่งจะช่วยลดการถ่ายเทความร้อนได้ และสุมนา (2551) ที่ทำการวิจัยแผ่นปลูกพืชบนคานฟ้าอาคารเพื่อช่วยลดความร้อน ผลการทดลอง พบว่า ในช่วงที่สภาพอากาศร้อนที่สุดระบบปลูกที่มีพืชคลุมดินสามารถช่วยลดความร้อนที่เข้าสู่ตัวอาคารได้ดีกว่าระบบปลูกที่ไม่ปลูกพืชคลุมดิน เช่นเดียวกับผลจากงานวิจัยของ สรยุทธ (2553) ที่ศึกษาประสิทธิภาพการกันความร้อนจากดวงอาทิตย์ ของแผ่นปลูกพืชรั้งใหม่ที่ตั้งไว้บนหลังคากระเบื้องลอนคู่ พบว่า ในช่วงที่สภาพอากาศร้อนที่สุด หลังคาที่มีแผ่นรั้งใหม่พร้อมปลูกพืชคลุมดิน สามารถช่วยลดความร้อนที่เข้าสู่ตัวอาคารได้ดีกว่ากระเบื้องลอนคู่ที่ไม่มีสิ่งใดปกคลุม โดยสามารถลดอุณหภูมิได้มากกว่า 12 องศาเซลเซียส และสามารถลดอุณหภูมิได้มากกว่าจำนวนใบแก้วที่ตั้งตั้งอยู่ภายในถึง 6 องศาเซลเซียส และสามารถลดอุณหภูมิได้มากกว่าแผ่นรั้งใหม่ที่ไม่ปลูกพืชได้ 1 องศาเซลเซียส ส่วนการทดลองของ Wong และคณะ (2003) ทำการวิจัยเรื่องการศึกษาสภาพความร้อนจากระบบปลูกพืชสีเขียวที่ปกคลุมหลังคาในภูมิอากาศเขตร้อน พบว่า หลังคาที่มีการปลูกพืช มีอุณหภูมิที่ต่ำกว่าหลังคาที่เปิดโล่งซึ่งอุณหภูมิแตกต่างกันวัดได้สูงสุดถึง 18 องศาเซลเซียส เช่นเดียวกับ Wong และคณะ (2007) ได้ทำการวิจัยการใช้ระบบการปลูกพืชบนหลังคาแบบ extensive ในภูมิอากาศแบบร้อนชื้นในสิงคโปร์ พบว่า สามารถลดความร้อนที่ถ่ายเทสู่อาคารทางหลังคาได้มากถึง 60 เปอร์เซ็นต์ และยังลดการแผ่รังสีความร้อนของหลังคากลับสู่อากาศเหนือหลังคาได้อีกด้วย

ลดภาวะเกาะความร้อน ลดปรากฏการณ์เกาะความร้อน (urban heat island effect) พืชบนหลังคาจะคอยดูดซับความร้อนในตอนกลางวันซึ่งอุณหภูมิอากาศภายในเมืองส่วนใหญ่สูงกว่าชนบทประมาณ 4 องศาเซลเซียส (Peck และคณะ 1999) เนื่องจากพื้นผิววัสดุก่อสร้างต่าง ๆ แผ่ และสะท้อนรังสีความร้อนสู่บรรยากาศภายนอก สวนบนหลังคาทำหน้าที่ทดแทนพื้นผิว

ธรรมชาติ โดยนำความร้อนไปใช้ในการสังเคราะห์แสง และคายน้ำลดการระเหย และแผ่รังสีมีผลให้อุณหภูมิอากาศเหนือหลังคาเย็นลง และอาจส่งผลไปสู่อุณหภูมิของเมือง เมื่อมีการนำไปใช้จำนวนมาก โดยสวนบนหลังคาขนาดใหญ่อาจช่วยบรรเทาภาวะเกาะความร้อนในฤดูร้อน โดยลดการไหลเวียนของคลื่นความร้อนในขณะที่พืชเกิดการคายระเหยน้ำ ขึ้นสู่อากาศ (Liu, 2004; Denardo และคณะ, 2005; Van Woert และคณะ, 2005; Getter and Rowe, 2006)

ลดเสียงรบกวนจากภายนอก ปัญหาลมภาวะทางเสียง นับเป็นอีกหนึ่งปัญหาใหญ่ ในเมืองที่มีความหนาแน่นสูง การสร้างหลังคาเขียว (Green Roof) นอกจากจะช่วยในการจัดการน้ำฝนแล้ว พืชพันธุ์บนหลังคาจะทำหน้าที่เป็นเหมือนฉนวนกันเสียงรบกวน ให้กับอาคาร ความหนาของหลังคาที่เพิ่มขึ้นจากดินปลูกและวัสดุพืชพันธุ์ทำหน้าที่ ดูดซับเสียงรบกวนจากภายนอกได้เป็นอย่างดี โดยมีงานวิจัย Peck and Kuhn (2001) กล่าวว่า ความหนาของชั้นดิน 12 เซนติเมตร สามารถลดความดังของเสียงได้ 40 เดซิเบล พื้นผิวของอาคารในเมืองมักจะสะท้อนเสียงมากกว่าดูดซับ พืชและวัสดุปลูกบนหลังคาช่วยดูดซับเสียงได้ดี หลังคาปลูกหญ้าที่สนามบินแฟรงก์เฟิร์ตมีความหนา 10 เซนติเมตร ลดการส่งผ่านของเสียงสู่อาคารได้อย่างต่ำ 5 เดซิเบล (Dunnett and Kingsbury, 2004) ยิ่งความหนาของชั้นวัสดุปลูกมากและมีพืชปกคลุมหนาแน่นขึ้น ก็ยิ่งลดเสียงได้ดีขึ้น

การป้องกันไฟ สวนบนหลังคาทำให้การลามของไฟบนหลังคาช้าลง โดยเฉพาะเมื่อวัสดุปลูกอึดน้ำในการออกแบบหลังคาเขียว (Green Roof) บนตึกแถวที่มีหลังคาติดต่อกัน จึงควรมีการติดตั้งระบบพ่นน้ำ และปลูกพืชที่ไม่ติดไฟ เช่น พืชอวบน้ำ สกุล Sedum ชนิดต่าง ๆ รวมทั้งทำแนวกรวด และทางเดินเป็นระยะๆ เพื่อป้องกันการลามของไฟ (พาสินี และทิพาพรณ, 2554)

ลดมลพิษทางอากาศ กรองมลพิษ (pollutants) และคาร์บอนไดออกไซด์ CO₂ ออกจากอากาศ ด้วยกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช จับกรองฝุ่นที่จะตกลงสู่อาคาร กรองฝุ่นที่จะตกสู่ตัวอาคาร พืชพันธุ์บนหลังคาเขียว (Green Roof) ช่วยเพิ่มออกซิเจนและลดคาร์บอนไดออกไซด์ให้กับเมือง พืชพันธุ์ที่มีชีวิตที่อยู่บนหลังคาสร้างอากาศบริสุทธิ์ ช่วยกรองฝุ่นละอองในอากาศ และลดมลภาวะในเมืองได้ อากาศในเมืองมักมีมลพิษ ฝุ่นละออง ก๊าซพิษจากยานพาหนะและโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งเป็นอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจ พืชพันธุ์ในเมืองสามารถกรองสารที่แพร่กระจายในอากาศผ่านทางใบ ลำต้น และถูกชะล้างสู่ผิวดินโดยน้ำฝน หลังคาที่มีพืชขนาดเล็กปกคลุม อาจให้ผลน้อยกว่าพืชขนาดใหญ่ที่มีใบจำนวนมาก มีการศึกษาในประเทศเยอรมนี พิสูจน์ให้เห็นว่าสวนบนหลังคาสามารถลดมลพิษจากเครื่องยนต์ดีเซลได้อย่างมีนัยสำคัญ (Liesecke and Borgwardt, 1997) Yok and Sia (2005) พบการลดลงของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 37 เปอร์เซ็นต์ และกรดไนตริก 21 เปอร์เซ็นต์ ทันทีที่มีการสร้างสวนบนหลังคาขึ้น นอกจากนี้ยังช่วยดักจับฝุ่นละอองได้มากถึง 0.2 กิโลกรัม/ปี/ตารางเมตร ส่วน Peck and Kuhn (2001) พบว่าสวนบนหลังคาช่วยดักจับฝุ่นละอองได้มากถึง 0.2 กิโลกรัม/ปี/ตารางเมตร เช่นเดียวกับ Wong

และคณะ (2007) พบการสะสมฝุ่นละอองซึ่งมีน้ำหนักแห้งถึง 1,675 กิโลกรัม ที่ถูกดักจับโดยพื้นที่ของสวนบนหลังคาขนาด 19.8 เอเคอร์ ในระยะเวลา 1 ปี และพบปริมาณการสะสมของโอโซนถึง 52 เปอร์เซ็นต์ ในไตรด 27 เปอร์เซ็นต์ และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 7 เปอร์เซ็นต์ สอดคล้องกับ Jun Yang *et al.* (2008) ที่กล่าวไว้ว่า การทำสวนบนหลังคามีสวนช่วยควบคุมมลภาวะทางอากาศในเมืองที่มีปริมาณของพืชเหลือน้อยได้ และนอกจากนั้น Li, W. C., & Yeung, K. K. A. (2014). กล่าวว่าหลังคาเขียวยังสามารถลดผลกระทบของฝนกรดด้วยการเพิ่มค่าพีเอชจาก 5 เป็น 6 ในน้ำฝนเป็นมากกว่า 7 ถึง 8 ในน้ำไหลบ่า พืชสามารถดูดซับมลพิษทางอากาศเช่นคาร์บอนไดออกไซด์และสร้างออกซิเจน นอกจากนี้ Yang *et al.* (2008) แสดงให้เห็นว่าหลังคาสีเขียวในซีกาโกลดมลพิษทางอากาศผ่านการดูดซับโอโซนจากพืช นอกจากนี้การดูดซึมของ NO₂, PM10 และ SO₂ โดยพืชคือ 27 %, 14 % และ 7 % ตามลำดับ การดูดซึมเฉลี่ยสูงสุด คือ เดือนพฤษภาคม ในขณะที่การดูดซึมเฉลี่ยขั้นต่ำคือ ในเดือนกุมภาพันธ์

ช่วยลด และชะลอการไหลบ่าของน้ำ ลดปริมาณน้ำฝน (stormwater) ที่ไหลลงระบบสาธารณะ ซึ่งสร้างปัญหาน้ำท่วมฉับพลัน หลังคาเขียว (Green Roof) เปรียบเสมือนเป็นทุ่งหญ้าที่คอยดูดซับ ชะลอสายฝนที่ตกลงมา รวมทั้งสามารถกรองโลหะหนักที่ปนเปื้อนมากับน้ำฝน ซึ่งสวนบนหลังคายังเป็นทางเลือกที่ดี สำหรับระบบการจัดการน้ำฝน ด้วยคุณสมบัติของวัสดุปลูก และพืชพันธุ์ ที่สามารถกักเก็บ และชะลอน้ำที่ไหลบ่าลงมา และป้องกัน ให้น้ำ สันออกจากท่อน้ำทิ้ง (Graham and Kim, 2003, Moran และคณะ, 2004) และนำน้ำกลับสู่บรรยากาศโดยการระเหย หรือกระบวนการคายน้ำของพืช ซึ่ง Kolb (2004) รายงานว่า สวนบนหลังคาสามารถนำน้ำกลับสู่บรรยากาศด้วยการคายน้ำ ได้ถึง 45 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณน้ำฝนทั้งหมดที่ตกลงมา นอกจากนี้ สวนบนหลังคาอาจช่วยลดการไหลบ่าของน้ำ ได้ 60 - 100 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นอยู่กับประเภทของสวนบนหลังคา (DeNardo และคณะ, 2005; Moran และคณะ, 2004; Rowe และคณะ, 2003; VanWoert และคณะ, 2005) โดยมีปัจจัยต่าง ๆ เป็นตัวกำหนด เช่น ความลึกของวัสดุปลูก ชนิดของวัสดุปลูก และชนิดของพืช ตลอดจนปริมาณ และระยะเวลาของฝนที่ตก Carter, T. L., & Rasmussen, T. C. (2006) เป็นวิธีหนึ่งในการลดสตีมวอเตอร์ คือ การใช้หลังคาผัก (สีเขียว) ซึ่งมีประสิทธิภาพในการกักเก็บสตีมวอเตอร์เมื่อเปรียบเทียบกับหลังคาแบบธรรมดา มีประสิทธิภาพในการลดการไหลบ่าของการจากพายุ

เพิ่มความหลากหลายทางชีวภาพ เนื่องจากสวนแบบ extensive green roof ไม่สามารถเข้าไปใช้งานได้ ทำให้ไม่มีการรบกวนหรือการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น ส่งผลให้สิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก เช่น แมลง และนก มาอาศัยอยู่ และเพิ่มจำนวนขึ้นเรื่อย ๆ จากการศึกษาความหลากหลายของสิ่งมีชีวิตในสวนบนหลังคาทั้ง 17 แห่งของประเทศสวีเดนแลนด์ ในช่วง 3 ปี แรก พบแมงมุม 78 สายพันธุ์ และแมลงปีกแข็ง 254 สายพันธุ์ โดย 18 เปอร์เซ็นต์ ของแมงมุม และ 11 เปอร์เซ็นต์

ของแมลงปีกแข็งที่พบ เป็นพันธุ์ที่หายาก และใกล้สูญพันธุ์ (Brenneisen, 2003) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพืชพันธุ์ที่เลือกใช้ และสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในธรรมชาติ ยิ่งพืชพันธุ์มีความหลากหลายมาก สัตว์ที่มาอยู่อาศัยก็จะมีหลากหลายไปด้วย ยิ่งเวลาผ่านไปปริมาณของสัตว์ที่อาศัยก็จะยิ่งเพิ่มขึ้น Darius and Drepper (1984) รายงานการศึกษาสิ่งมีชีวิตในสวนบนหลังคาที่มีอายุ 50 ปี ทางเบอร์ลิน ตะวันตกของประเทศเยอรมนี มีด้กแตน หนอนผีเสื้อสีขาว แมลงปีกแข็ง และแมลงจำนวนมากอาศัยอยู่ เช่นเดียวกับรายงานของ Brenneisen (2003) และ Gedge (2003) ที่กล่าวว่าได้พบการอยู่อาศัยของนกจำนวนมากในสวนบนหลังคาหลาย ๆ แห่งของประเทศเยอรมนี สวิตเซอร์แลนด์ และอังกฤษ ซึ่งนอกจากนก และแมลงหลายชนิดที่ถูกพบในสวนบนหลังคาแล้ว Brenneisen (2004) ยังมีการพบกล้วยไม้จำนวน 9 สายพันธุ์ รวมถึงพันธุ์ไม้ชนิดอื่น ๆ ที่หายาก และใกล้สูญพันธุ์ จากสวนบนหลังคาทางตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศสวิตเซอร์แลนด์

การปรับสภาพของระบบนิเวศเมือง (Urban ecology) ปัญหาสภาพเมืองในปัจจุบัน ส่วนใหญ่เกิดจาก อุณหภูมิ และมลภาวะ ความแปรปรวนของสภาพอากาศ และความขาดแคลนพื้นที่สีเขียว ให้กับสิ่งมีชีวิต หลังคาเขียว (Green Roof) จึงเป็นตัวช่วยควบคุมอุณหภูมิ ลดมลภาวะ กรองฝุ่น สร้างอากาศบริสุทธิ์ และเป็นที่อยู่ของสิ่งมีชีวิต (รุ่งทิพย์ แสงกลาง, 2557) และเป็นการพัฒนาอาคารอย่างยั่งยืน และสิ่งแวดล้อมเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพอาคาร และประสิทธิภาพการใช้พลังงานซึ่งในทางกลับกันจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพอากาศภายในอาคารสร้างบรรยากาศสบาย Elborombaly, H., & Molina - Prieto, L. F. (2014)

2.3.6.3 ประโยชน์ทางสังคมชุมชนเป็นแหล่งอาหารของชุมชน ลดระยะทางการขนส่งจากไร่ในชนบทไกลๆ โดยใช้พื้นที่บนดาดฟ้าอาคารปลูกพืชเพื่อใช้ในการบริโภค ในประเทศสิงคโปร์ซึ่งมีพื้นที่เพาะปลูกไม่เพียงพอ มีการใช้หลังคาปลูกผักแบบไฮโดรโปนิคเพื่อเลี้ยงประชาชนจำนวนมาก (พาสินี และทิพาพรธม, 2554)

ความสวยงามและการพักผ่อน เพิ่มมุมพักผ่อน เป็นพื้นที่สันทนาการ สร้างอากาศบริสุทธิ์ กรองมลพิษ เป็นที่พักอาศัยของสัตว์ต่าง ๆ (urban wilderness) เช่น นก แมลงต่าง ๆ เกิดเป็นระบบนิเวศน์เล็ก ๆ พืชพันธุ์จากสวนบนหลังคาสามารถเพิ่มความงามทางภูมิทัศน์สุนทรียภาพ และการพักผ่อนของเมืองที่มีแต่ตึกสูง (Dunnett and Kingsbury, 2010, Getter and Rowe, 2006, Spronken-Smith and Oke, 1998, Takebayashi and Moriyama, 2009) extensive green roof แม้จะไม่สามารถเข้าไปใช้งานได้ แต่การมองเห็นพืชพันธุ์ก็สามารถบำบัดความเครียด ช่วยลดความดันโลหิต การเกร็งตัวของกล้ามเนื้อ และเพิ่มความรู้สึกเชิงบวกแก่ประชาชนในเมือง ได้เป็นอย่างดี (Ulrich and Simmons, 1986) และนำมาซึ่งสุขภาพ และประสิทธิภาพของการทำงานที่ดีด้วย โดย Kanplan and Colleagues (1988) ได้รายงานว่า คนงานที่สามารถมองเห็นธรรมชาติ เช่น พืช ดอกไม้ จะปราศจากความเครียด หรือทำให้อาการตึงเครียดลดลงได้ เกิดความรู้สึกพึงพอใจกับงานที่

ท่ามากขึ้น รวมถึงโอกาสในการป่วยเป็นไข้ ปวดหัว หรือการเจ็บป่วยจากสาเหตุอื่น ๆ น้อยกว่าคนที่ไม่ได้เห็นธรรมชาติ เช่นเดียวกับ Ulrich (1984) ที่ทดสอบอิทธิพลของธรรมชาติที่มีผลต่อการฟื้นตัวของผู้ป่วยหลังจากการผ่าตัดลดน้ำหนักในโรงพยาบาลแถบชานเมืองของรัฐเพนซิลวาเนีย ระหว่างปี 1972 - 1981 พบว่า ผู้ป่วยที่อยู่ระหว่างการรักษาอาการเจ็บป่วย หากได้เห็น หรือสัมผัสกับธรรมชาติ จะสามารถฟื้นตัวได้เร็วกว่าผู้ป่วยที่ไม่เห็น หรือสัมผัสธรรมชาติจากประโยชน์มากมายของสวนบนหลังคาที่ที่กล่าวมาข้างต้น ส่งผลให้การสร้างสวนบนหลังคาเป็นที่นิยมมากขึ้น

2.3.7 ข้อจำกัดของหลังคาเขียว (Limit of Green Roof)

ภูมิทัศน์ “หลังคาเขียว (Green Roof)” อยู่บนที่สูงหรืออยู่บนหลังคา จึงทำให้การดูแลรักษายากกว่าภูมิทัศน์บนพื้นดิน การเลือกพรรณไม้สำหรับหลังคาเขียว (Green Roof) จึงต้องเป็นพรรณไม้ที่ทนทาน ทนแล้ง ไม่โตเร็วเกินไป และมักมีขนาดไม่ใหญ่โตเมื่อโตเต็มที่ โดยเฉพาะหลังคาเขียว (Green Roof) “ประเภทปล่อย” (Extensive) ประเทศหนาวเย็นที่พัฒนาหลังคาเขียว (Green Roof) มานานแล้ว จะมีการค้นคว้าวิจัยทดลอง และเลือกพรรณไม้ที่มีคุณสมบัติดังกล่าวจำนวนมาก และหลากหลายพันธุ์ จึงเอื้อให้เล่นสีสันต่าง ๆ ได้สวยงามแม้จะเป็นหลังคาเขียว (Green Roof) ประเภท “แบบปล่อย” ก็ตาม พรรณไม้ที่ใช้ได้ผล และแพร่หลาย ได้แก่ พรรณไม้อวบน้ำที่ขึ้นในที่สูง และที่แห้งแล้ง โดยเฉพาะพืชสกุล Sedum ซึ่งมีหลายพันธุ์ รวมทั้งพรรณไม้ทนทานที่สวยงามหลายชนิดเป็นที่นิยมใช้กันมาก พรรณไม้เหล่านี้มีเรือนเพาะชำเพาะจำหน่ายทั่วไป บางแห่งปลูกในถาดสำเร็จรูปที่ยกไปติดตั้งได้ทันที เรียกกันว่าแบบ Modular หรือแบบ Grid ประเทศไทยมีพรรณไม้หลายชนิดประเภทอวบน้ำที่เข้าข่ายทนแล้ง และทนทาน สามารถทำหลังคาเขียว (Green Roof) ได้ แต่ยังไม่พบว่ามีนักวิจัยผู้ใดค้นคว้าพรรณไม้เหล่านี้เพื่อหลังคาเขียว (Green Roof) ขึ้นจริงจึงเป็นการเฉพาะ (แสงทิพย์ นิรุตติรักษ์ ,2556)

งานวิจัยนี้ พิจารณาหลังคาเขียว (Green Roof) ที่ไม่ต้องการประโยชน์ใช้สอย หรือประเภทปล่อย (Extensive green roofs) ไม่ต้องการความสวยงามใช้พืชพรรณที่ทนทานต่อสภาพขาดน้ำ ซึ่งส่วนใหญ่มักเป็นพืชพื้นถิ่น ประเภทอวบน้ำหรือพืชคลุมดินที่ขึ้นได้ในที่แล้ง ซึ่งจะเน้นในด้านการลดความร้อนเข้าสู่ภายในอาคารมากกว่าการใช้สอย และความสวยงาม ซึ่งพืชประเภทหญ้าเป็นพืชที่สามารถปลูกบนหลังคาได้ง่าย น้ำหนักเบา และดูแลรักษาง่าย ดังนั้น พันธุ์หญ้าเขตร้อนที่เหมาะสมจะนำมาใช้ในการวิจัย ได้แก่ หญ้าขนาดเล็ก

2.4 หญ้าวลน้อย (Manila Grass)

หญ้าสนามที่นิยมปลูกกันทั่วโลกมีทั้งหมด 122 ชนิด และที่นิยมปลูกกันในประเทศไทย เป็นหญ้าสนามเขตร้อน พันธุ์หญ้าเขตร้อน หรือเรียกอีกอย่างว่า หญ้าเขตอบอุ่น จะเจริญเติบโตได้ดี ในภูมิประเทศที่มีอากาศอบอุ่น หรืออากาศร้อน อุณหภูมิระหว่าง 26 - 32 °C ซึ่งมีทั้งหญ้าพันธุ์พื้นเมือง และหญ้าลูกผสมที่คัดเลือกพันธุ์ขึ้นมาใหม่ มีเพียง 2 ตระกูลย่อยเท่านั้น ได้แก่ Panicoidea และ Festucoidea และใน 2 ตระกูลย่อยนี้ มีหญ้าที่นิยมปลูกในประเทศไทย มีทั้งหมด 7 สกุล ได้แก่ หญ้าแพรก (*Cynodon* spp. L.C. Rich) หญ้าญี่ปุ่น (*Zoysia japonica* Steud.) หญ้าเซนต้ออกัสติน (*Stenotaphrum secundatum* (Walt.) Kuntze) หญ้าเซนติปีด (*Eremochloa ophiuroides* (Munro) Hack.) หญ้าปาเฮีย (*Paspalum notatum* Flugge) หญ้ามาเลเซีย (*Axonopus compressus* (Swartz) Beauv.) และหญ้านวลจันทร์ (*Polytrias amaura*) (สิน พันธุ์พินิจ.2535) งานวิจัยนี้เลือกหญ้า 1 สกุล 1 สายพันธุ์ ได้แก่ หญ้าวลน้อย ดังแสดงในรูปที่ 2.14 เนื่องจากเป็นหญ้าที่นิยมปลูกมากที่สุดในประเทศไทย และสามารถหาได้ง่ายในท้องตลาด



รูปที่ 2.14 หญ้าวลน้อย

หญ้านวลน้อยจัดอยู่ในกลุ่ม หญ้าญี่ปุ่น ซึ่งในประเทศไทยจะแบ่งกลุ่มของหญ้าญี่ปุ่นเป็น 2 ชนิด คือ

- หญ้าญี่ปุ่น มีขนาดใบกว้างประมาณ 4 มิลลิเมตร. ยาว 1 - 2 นิ้ว มีใบละเอียด และแข็ง
- หญ้าวลน้อย เหมาะสำหรับปลูกในเขตร้อนโดยเฉพาะ ลักษณะต่าง ๆ เหมือนหญ้าญี่ปุ่น แต่ลำต้นสูงกว่า ใบใหญ่ มีผิวสัมผัสหยาบกว่า ดูแลรักษาง่าย

สิน พันธุ์พินิจ (2535: 47 - 48) กล่าวว่า ชื่อทางสากลของหญ้านวลน้อย คือ Bangkok Grass ซึ่งมีการยืนยันโดยนักวิทยาศาสตร์ว่าหญ้าสกุลนี้ ได้รับการตั้งชื่อโดยนักพฤกษศาสตร์ชาวออสเตรเลีย ในศตวรรษที่ 18 Karl Von Zois แต่พบว่ามีถิ่นกำเนิดอยู่ที่ประเทศฟิลิปปินส์ ในปัจจุบัน

จึงสามารถสืบค้น หรือค้นหาได้ในชื่อ Manila grass หรือ Temple grass ตามเมืองหลวงของฟิลิปปินส์ ในปัจจุบันหญ้านวลน้อยสามารถหาได้ง่ายในประเทศไทย เพราะหากเปรียบเทียบกับหญ้านิคอื่น ๆ แล้วนั้น หญ้านวลน้อยมีราคาต่ำกว่า แต่คุณภาพใกล้เคียงกัน ซึ่งหญ้านวลน้อยสามารถปลูกได้ดีทั้งปี ในประเทศเขตร้อน เพราะทนต่อสภาพอากาศร้อน และทนต่อสภาพแห้งแล้งได้เล็กน้อย ทนต่อสภาพน้ำขังได้บ้าง เติบโตได้ดีเกือบทุกสภาพดิน ทั้งดินเหนียว ดินทราย ทนต่อดินเปรี้ยวได้ดี ทนต่อดินเค็มได้ดี เพราะใบมีต่อม salt gland ที่สามารถกักเก็บ และขับโซเดียม และคลอรีนได้ ไม่มีโรค และแมลงกัดกิน

หญ้านวลน้อยเป็นพันธุ์หญ้าในเขตร้อน หรือบางครั้งเรียกว่า “หญ้าเมืองร้อน” และบางครั้งเรียกว่า “หญ้าในเขตอบอุ่น” หญ้าประเภทนี้สามารถเจริญเติบโตได้ดีในภูมิประเทศที่มีอากาศอบอุ่นหรืออากาศร้อน อุณหภูมิระหว่าง 80 - 90 °F มีอัตราการเจริญเติบโตช้า (กัลยาณี เจริญสุวรรณ 2543) เนื่องจากหญ้านวลน้อยไม่สามารถทนอากาศหนาวเย็นได้ ลักษณะทั่วไปของหญ้านวลน้อย มีความคล้ายกับหญ้าญี่ปุ่น เพียงแต่ลำต้นสูงกว่า ใบใหญ่ มีผิวสัมผัสที่หยาบกว่า และใบอ่อนนุ่มกว่าหญ้าญี่ปุ่น

2.4.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

เอกชัย พฤษย์อำไพและสำเริง คำทอง (2535: 14 - 15) กล่าวถึงพฤกษศาสตร์ของหญ้านวลน้อย ดังนี้

1. ลำต้น หญ้านวลน้อย เป็นหญ้าอายุหลายปี ลำต้นเติบโตเป็นเถา และแตกหน่อเป็นเหง้ารวดเร็ว ลำต้นมีลักษณะตั้งตรง และแข็งแรง ลำต้นแตกหน่อออกด้านข้างจำนวนมาก แต่ละต้นแตกกิ่งได้ 2 - 3 กิ่ง กิ่งมีขนาดเล็ก และสั้นกว่าลำต้นหลัก แต่ลำต้นมีลักษณะเป็นข้อปล้อง ขนาดลำต้นประมาณ 1.5 - 2 มิลลิเมตร ความสูงจากโคนต้นถึงปลายสุดของใบประมาณ 10 - 25 เซนติเมตร และมีข้อปล้องประมาณ 2 - 3 ปล้อง แต่ละข้อยาวประมาณ 4 - 8 เซนติเมตร ปล้องช่วงแรกที่มีกาบใบหุ้มมีสีเขียวอ่อน ส่วนที่เหลือไม่มีกาบใบหุ้มจะมีสีม่วงอ่อน เมื่อลำต้นค่อนข้างเหนียว

2. ใบ หญ้านวลน้อย เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว แตกใบออกหุ้มลำต้น โดยปล้องแรกของลำต้นมีใบ 1 ใบ ปล้องที่ 2 มีใบประมาณ 2 - 4 ใบ ใบประกอบด้วยกาบใบสีเขียวห่อหุ้มลำต้น ขนาดความยาวของกาบใบประมาณ 2.5 - 4 เซนติเมตร ด้านบนของช่วงต่อระหว่างกาบใบกับแผ่นใบมีขนสีขาวสั้นปกคลุม ถัดมาเป็นแผ่นใบสีเขียวสด มีลักษณะเรียวยาว ปลายใบแหลม แผ่นใบและขอบใบเรียบ กว้างประมาณ 2 - 5 มิลลิเมตร ยาวประมาณ 5 - 20 เซนติเมตร ขอบใบมีลักษณะโค้งพับเข้ากลางแผ่นใบ

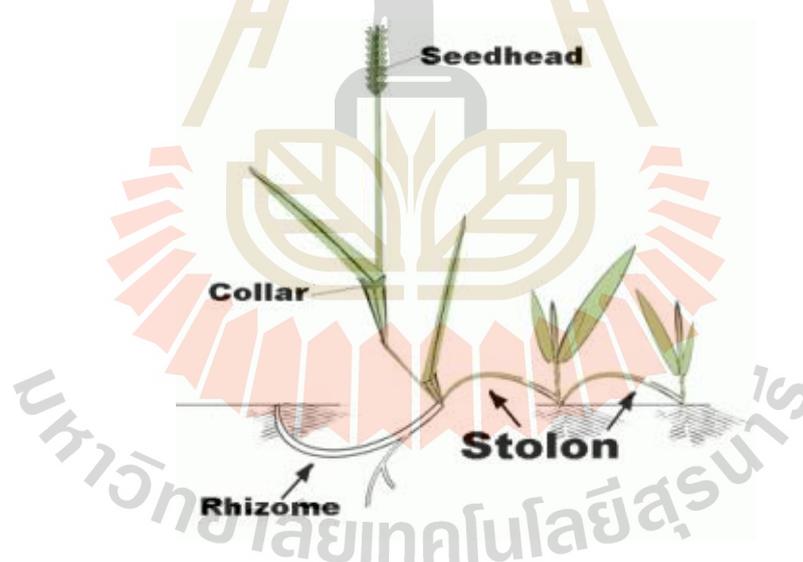
3. ดอก หญ้านวลน้อย เป็นดอกสมบูรณ์เพศที่ผสมเกสรได้ในตัวเอง ดอกออกเป็นช่อจากกลางลำต้น ประกอบด้วยก้านช่อดอกสีเขียวอ่อน ขนาดประมาณ 1 - 1.5 มิลลิเมตร ยาวประมาณ 5 - 7 เซนติเมตร ปลายสุดของก้านเป็นช่อดอก ยาวประมาณ 2 - 2.5 เซนติเมตร แต่ละช่อมีดอกเรียง

สลักกันหุ้มก้านช่อไว้ จำนวนดอกต่อช่อประมาณ 24 - 30 ดอก ดอกแต่ละดอกมีสีน้ำตาลอมม่วงอ่อน ฐานดอกกว้าง ปลายดอกเรียวแหลม ขนาดดอกประมาณ 1 มิลลิเมตร ยาวประมาณ 3 มิลลิเมตร ปลายดอกประกอบด้วยเกสรตัวผู้ขนาดเล็ก

กัลยาณี เห่งยมสุวรรณ (2543) กล่าวถึงวิธีการปลูกหญ้า ประเทศไทยนิยมปลูกหญ้าโดยใช้ลำต้น (Turf) สาเหตุเพราะสามารถหาพันธุ์ได้ง่ายกว่าเมล็ด ทำให้สะดวกและรวดเร็ว ค่าใช้จ่ายในการดูแลรักษาน้อย ไม่สิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย วิธีการปลูกหญ้าโดยทั่วไป 5 วิธี ดังนี้

1. การปลูกหญ้าเป็นแผ่น ๆ การปลูกหญ้าเป็นแผ่น (Sodding) เป็นวิธีที่นิยม เพราะเป็นวิธีที่ง่าย ใช้เวลาน้อย แต่สิ้นเปลืองค่าพันธุ์หญ้าสูง เหมาะกับพื้นที่ลาดชัน เพราะจะช่วยป้องกันการพังทลายของดินในฤดูฝนได้ดี

2. การปลูกหญ้าแบบแยกต้น หรือการปักชำเป็นแถว วิธีนี้ใช้ส่วนของลำต้นที่เรียกว่า ไหล (Stolon) ดังแสดงในรูปที่ 2.15 ปลูก วิธีนี้สิ้นเปลืองน้อยในกรณีที่ได้หญ้ามามากจำนวนจำกัด แต่จะเสียเวลาในการปลูกนานกว่าจะขึ้นเต็มสนาม เหมาะสำหรับการปลูกหญ้าหญ้านวลน้อย หญ้านวลจันทร์ หญ้าแพรง ซึ่งเป็นหญ้าที่เจริญเติบโตเร็ว ใช้สำหรับปลูกหญ้าในสนามใหญ่



รูปที่ 2.15 แสดงส่วนของลำต้นที่เรียกว่า ไหล (Stolon)

3. การปลูกโดยใช้เมล็ด การปลูกหญ้าโดยใช้เมล็ด ง่ายและสะดวกกว่าวิธีอื่น แต่จำเป็นต้องอาศัยความปราณีต ในการเตรียมดิน ต้องปราบวัชพืชและศัตรูพืชในดิน โดยการใส่สารเคมี หรือรมควัน ทำลายศัตรูที่อยู่ในดิน รวมทั้งวัชพืช มิฉะนั้นหญ้าที่ปลูกด้วยเมล็ดจะขึ้นสู้วัชพืชไม่ได้ ส่งผลให้ลำบากต่อการบำรุงรักษาให้สวยงาม ในเมืองไทยไม่นิยมเมล็ดหญ้าเนื่องจากไม่มีจำหน่าย ต้องสั่งซื้อจากต่างประเทศ ซึ่งการเจริญเติบโตช้า เพราะมีอายุ และความงอกสั้น

4. วิธีการปลูกหญ้าแบบแผ่นเล็ก การปลูกหญ้าวิธีนี้ เหมาะสำหรับการปลูกในสนามใหญ่เพราะการปูพรมลงทุนสูงมาก ควรใช้กับหญ้าที่เจริญเติบโตในแวนอน หากใช้กับหญ้าที่เจริญเติบโตในแวนดั่ง ต้องใช้เวลานานมากกว่าจะเต็มสนาม และต้องใช้กับหญ้าที่มีการเจริญเติบโตเร็ว

5. การปลูกแบบหว่าน การปลูกแบบหว่าน หลังจากเตรียมดินรดน้ำให้ดินชุ่มชื้น ใช้ดินเลน หรือ โคลน ไล่ลงไปในพื้นที่ ที่ต้องการปลูก จากนั้นใช้ไหล (Stolon) ลำต้นของหญ้าที่ปล่อยให้ยาว ตัดส่วนยอดที่มีข้อแช่น้ำ แยกออกเป็นต้นจากนั้นหว่านลงในเลน หรือ โคลน ทิ้งไว้ 15 – 20 วัน วิธีนี้สิ้นเปลืองน้อย ใช้เวลานาน และต้องรดน้ำให้ชุ่มชื้นเสมอ

2.4.2 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของหญ้า

การปลูกหญ้าให้เจริญเติบโต ได้ดีนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายด้าน (เอกชัย พุกษ์อำไพ และ สำริง คำทอง, 2545) ดังนี้

1. แสงแดด แสงแดดจากดวงอาทิตย์เป็นแสงแดดที่หญ้าควรได้รับอย่างน้อยประมาณ 4 - 6 ชั่วโมงต่อวัน สังเกตได้ว่าหากหญ้าได้รับแสงน้อยจะทำให้หญ้าเจริญเติบโตช้า และตายได้ หญ้าบางชนิดปลูกในที่ร้อน แสงแดดจัด เมื่อปลูกในที่ร่มจะทำให้ลำต้น และใบยาว สีของใบจะอ่อน และอาจจะทำให้ไม่สามารถทนโรครากแมลงได้

2. ดินปลูก สำหรับดินปลูกต้องสามารถอุ้มความชื้นได้พอสมควร ได้แก่ ทราย ดินร่วน ในส่วนลักษณะของดินที่ไม่ขังน้ำ หรือไม่ใช่ดินที่แห้งเก็บความชื้นได้ไม่ดี ได้แก่ ดินทราย ส่วนดินที่แฉะเกินไปจะส่งผลให้ระบบรากเสีย ลำต้นอ่อนแอ และตายได้ ควรปรับปรุงดินเพื่อให้สามารถระบายน้ำทั้งผิวหน้าดิน และส่วนใต้ดิน

3. ความเป็นกรดด่างที่เหมาะสม ดินควรมีความเป็นกรดด่างที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของหญ้า เพราะฉะนั้นดินควรมีความเป็นกรดด่าง ประมาณ 6 – 7

4. การให้ปุ๋ยแก่สนามหญ้าโดยสม่ำเสมอ โดยทั่วไป ปุ๋ยที่หญ้าต้องการ คือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม ไม่ควรใส่ปุ๋ยยูเรีย ซึ่งเป็นปุ๋ยที่มีเพียง ไนโตรเจนเท่านั้น ผลที่ได้จากการใส่ยูเรีย คือ หญ้ามีสีเขียวอย่างรวดเร็ว หากใส่มากเกินไป หญ้าแสดงการอวบน้ำ เมื่อถูกเหยียบย่ำหญ้าจะเหลือง เพราะอ่อนแอการฟื้นตัวยากและตายได้ง่าย

5. ชนิดของหญ้า หญ้าสนามที่ปลูกในเมืองไทยมีอยู่หลายชนิด ซึ่งชนิดที่นิยมปลูกในประเทศไทย ได้แก่ หญ้าฉนวนน้อย หญ้าญี่ปุ่น และหญ้ามอลเตเซีย

2.4.3 ประโยชน์ของหญ้าฉนวนน้อยสำหรับปกคลุมดิน

สามารถแบ่งได้ 3 ประการ

1. รักษาสมดุลรังสี พืชคลุมดินมีหน้าที่เป็นร่มเงาให้กับผิวดิน ซึ่งมีค่าการนำความร้อนต่ำกว่ามวลสารดิน ส่งผลให้สามารถลดค่ารังสีดวงอาทิตย์ ซึ่งผลจากรังสีดวงอาทิตย์จะแตกต่างกันตามฤดูกาล กล่าวคือในฤดูร้อนดินที่มีพืชปกคลุมจะมีอุณหภูมิต่ำกว่า ดินที่ปราศจากพืช

ปกคลุมอย่างชัดเจน ซึ่งจะแตกต่างจากฤดูหนาวเพียงเล็กน้อย เนื่องจากในฤดูหนาวจะมีการแผ่รังสีความเข้มข้นน้อยกว่าในฤดูร้อน

2. ลดการพาความร้อน สิ่งปกคลุมบางชนิด เช่น ทรายหรือหิน สามารถช่วยลดการพาความร้อนระหว่างอุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิดินได้ เนื่องจากกระแสลมไม่สามารถพัดผ่านได้โดยเฉพาะในช่วงฤดูร้อน

3. การระเหยของน้ำในดิน การระเหยน้ำจากผิวดิน จะส่งผลให้ความร้อนลดลง เนื่องจากอากาศเหนือดินมีอุณหภูมิต่ำกว่าบริเวณโดยรอบ ซึ่งหากฝนตกดินจะมีความชื้นสูงการระเหยจากดินที่ไม่มีการปกคลุมจะมีอุณหภูมิสูงกว่าและได้รับอิทธิพลจากกระแสลมบริเวณหน้าดินมากกว่า

2.4.4 กระบวนการคายระเหยของพืช (Evapotranspiration)

กระบวนการคายระเหยของพืช (Evapotranspiration) ซึ่งมาจากการกลายเป็นไอ (Evaporation) ของความชื้นในดิน และการคายน้ำ (Transpiration) ของพืชสู่อากาศ เพราะฉะนั้น Evapotranspiration หมายถึง ปริมาณการสูญเสียน้ำไปในอากาศของพืช น้ำจะระเหยจากพื้นผิวที่มีความชื้นไปในอากาศจนกระทั่งอากาศอิ่มตัว ผิวน้ำที่สัมผัสกับอากาศ เช่น ใบไม้ และความชื้นจากดินทั้งหมดล้วนมีการระเหยกลายเป็นไอ ซึ่งใบไม้จะสูญเสียน้ำผ่านช่องเปิดที่เรียกว่าปากใบ (Stomata) ซึ่งพบที่ผิวใบของพืช น้ำจะเคลื่อนที่จากดินที่ชื้น ๆ ไปยังรากของต้นพืชจากนั้นขึ้นไปยังลำต้น และใบผ่านปากใบ ซึ่ง เกลิมพล ถนอมกลาง (2556) กล่าวว่า โดยปกติหลักการทั่วไปของการคายน้ำของพืชนั้น คือ ในเวลากลางวันนั้นปากใบจะเปิดซึ่งมีสาเหตุมาจากเซลล์คุมที่อยู่ข้างใบ ทำให้เกิดการคายน้ำ ซึ่งสูญเสียน้ำออกมาในรูปของการคายน้ำออกมาเป็นไอ และปากใบปิดในเวลากลางคืน ซึ่งการคายน้ำนั้น เป็นการสูญเสียน้ำที่คิดเป็นร้อยละ 80 – 90 % ของการสูญเสียน้ำทั้งหมดของพืชแต่ละต้น และการคายน้ำนั้นจะเกิดขึ้นที่บริเวณใต้ใบมากที่สุด เช่นเดียวกับ ซึ่งปัจจัยต่างที่มีผลต่อการคายน้ำมีดังนี้

ปัจจัยทางสภาพแวดล้อม

1. รังสีของดวงอาทิตย์ ซึ่งส่งผลต่อประสิทธิภาพในการระเหยของน้ำ และความสามารถในการสังเคราะห์แสงของพืช

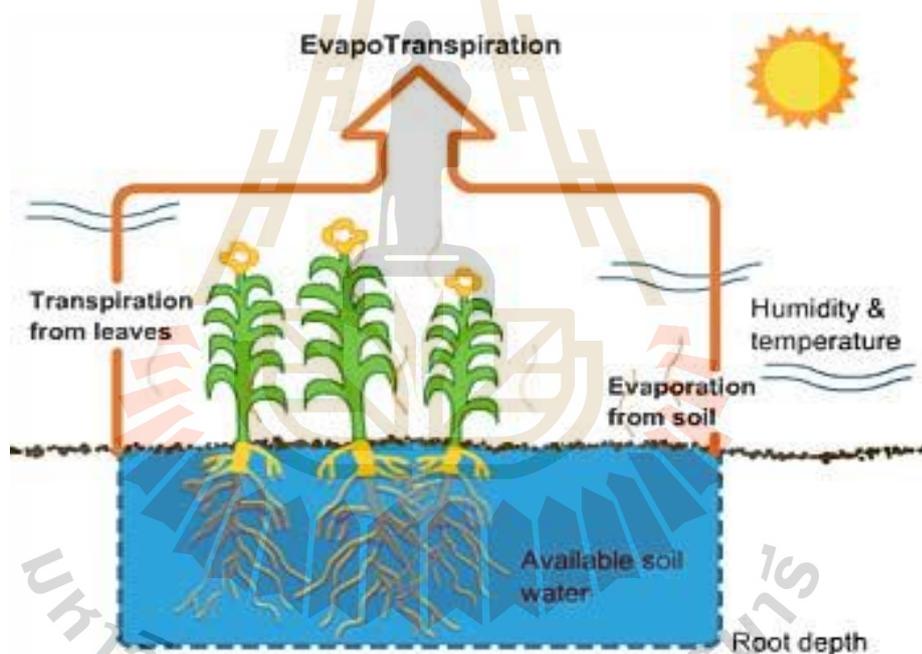
2. อุณหภูมิ อัตราการคายน้ำแปรผันตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น อุณหภูมิสูงทำให้ปากใบเปิดส่งผลให้เกิดการคายน้ำสู่อากาศ ซึ่งในทางตรงกันข้ามทำให้สภาพแวดล้อมเย็นลง

3. ความชื้นสัมพัทธ์ ค่าความชื้นสัมพัทธ์ ของอากาศรอบ ๆ ใบโดยพืชจะคายระเหยในอากาศแห้งได้ดีกว่าอากาศที่มีความชื้นสูง

4. ลม และการเคลื่อนที่ของอากาศ การเพิ่มความเร็วลมบริเวณรอบ ๆ พืช ช่วยเพิ่มอัตราการคายไอรระเหยโดยมีความสัมพันธ์กับปริมาณความชื้นในอากาศ ใอน้ำที่ออกจากปากใบจะส่งผลให้อากาศรอบๆอ้อมตัว แต่หากไม่มีลม อากาศบริเวณผิวใบจะมีการเคลื่อนที่ไม่มากความชื้นที่เกิดจะเกิดบริเวณรอบ ๆ ใบ ซึ่งการที่มีลมพัดช่วยให้เอาอากาศแห้งเข้ามาแทนอากาศที่อ้อมตัวบริเวณรอบ ๆ ใบซึ่งช่วยให้พืชเกิดการระเหยมากขึ้น

5. ปริมาณความชื้นในดิน การคายน้ำจะเริ่มลดลงเมื่อดินขาดน้ำหรือความชื้นส่งผลให้พืชเริ่มเหี่ยวเฉา

6. ชนิดของพืช พืชแต่ละชนิดมีอัตราการคายน้ำที่แตกต่างกัน พืชในเขตร้อน เช่น พืชในทะเลทรายจะมีการเปลี่ยนรูปใบเพื่อลดการคายน้ำ



รูปที่ 2.16 การคายน้ำรวมการระเหย (Evapotranspiration)

2.5 วัสดุปลูกทดแทนดิน

การปลูกพืชในวัสดุปลูก เป็นการปลูกพืชในวัสดุที่ไม่ใช่ดิน ซึ่งใช้วัสดุปลูกประเภทอินทรีย์สาร อนินทรีย์สาร หรือวัสดุสังเคราะห์ โดยวัสดุปลูกมีหน้าที่เป็นที่อยู่ของรากพืช ช่วยพยุงลำต้น เป็นแหล่งอาหารที่ให้สารละลายธาตุอาหาร และอากาศแก่พืช ซึ่งพืชสามารถเจริญเติบโตบนวัสดุปลูกจากการได้รับสารอาหารพืช โดยใช้น้ำผสมกับสารเคมีที่มีธาตุต่าง ๆ ที่พืชต้องการ

เปรียบเสมือนกับการให้ปุ๋ยที่ผสมกับน้ำแก่พืชที่ปลูกโดยใช้ดิน ซึ่งวัสดุปลูกที่ดีควรมีความสามารถในการรักษาอัตราส่วนของน้ำ และอากาศ ตลอดการปลูกได้อย่างเหมาะสม มีคุณสมบัติที่ไม่อัดตัว และยุบตัวเมื่อใช้งานในระยะยาว เป็นวัสดุที่ไม่สลายตัวทั้งทางเคมี และชีวภาพ รากพืชสามารถกระจายได้สะดวกทั่วทุกส่วนของวัสดุปลูกควรมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุต่ำ หรือไม่มีเลย เพื่อลดหรือป้องกันการมีอิทธิพลต่อองค์ประกอบของสารละลายธาตุอาหารพืช ไม่ควรมีสารที่เป็นพิษต่อพืชเจือปนอยู่ไม่ทำปฏิกิริยากับสารละลาย และภาชนะที่ใช้บรรจุ ไม่เป็นแหล่งสะสมของโรค และแมลง รวมไปถึงควรย่อยสลายได้ง่าย (เมธิ จักรवालเรืองศรี, 2553)

การปลูกพันธุ์พืชโดยทั่วไปในปัจจุบัน มีดินพร้อมปลูกมากมาย สามารถหาได้ง่ายตามท้องตลาดทั่วไป แต่ด้วยส่วนผสมที่ไม่เฉพาะเจาะจง กล่าวคือ ในปัจจุบันมีการนำวัสดุปลูกผสมกับดินในสัดส่วนที่แตกต่างกัน ตามความเหมาะสมของผู้ขาย ซึ่งงานวิจัยมีความประสงค์ศึกษาการปลูกพืชบนหลังคา โดยการเลือกปลูกหญ้านวลน้อยบนหลังคา เพราะฉะนั้นคุณสมบัติของวัสดุปลูกต้องมีน้ำหนักเบาและให้ธาตุอาหารที่เพียงพอกับหญ้านวลน้อย

2.5.1 ลักษณะดิน

จำแนกตามลักษณะของเนื้อดิน แบ่งได้ 3 ชนิด

1. ดินทราย ประกอบด้วยทรายตั้งแต่ ร้อยละ 70 ขึ้นไป โดยน้ำหนักมีสมบัติเหมือนทราย น้ำซึมผ่านได้ง่ายมาก ดินทรายเป็นแหล่งที่อาหารพืชน้อย จึงไม่เหมาะแก่การปลูกพืชทั่วไปแต่มีพืชบางชนิดที่เจริญเติบโตได้ดีในดินทราย เช่น กระจับปี่ เป็นดินร่วน เกาะตัวกันไม่แน่น จึงทำให้ระบายทั้งน้ำและอากาศได้อย่างดีเยี่ยม แต่อุ้มน้ำได้น้อย พังทลายได้ง่าย มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ เนื่องจากความสามารถในการจับธาตุอาหารมีน้อย ทำให้พืชที่ขึ้นอยู่ในบริเวณดินทรายขาดน้ำ และธาตุอาหารได้ง่าย

2. ดินร่วน เป็นดินที่ประกอบด้วย ทราย โคลนตม และดินเหนียว โดยมีปริมาณดินทราย และดินเหนียวไม่มากนัก ดังนั้นน้ำ และอากาศจึงไหลผ่านดินร่วนได้ดีกว่าดินเหนียว พืชสามารถตรึงอาหารได้มากพอสมควร มีซากพืชซากสัตว์ปนอยู่มาก เป็นแหล่งอาหารที่ดีของพืช ดินร่วนจึงเป็นดินที่เหมาะสมแก่การเพาะปลูก เป็นดินค่อนข้างละเอียด จับแล้วนุ่ม มีความยืดหยุ่นพอสมควร ระบายน้ำได้ดีปานกลาง มีแร่ธาตุอาหารของพืชมากกว่าดินทราย เหมาะสำหรับใช้เพาะปลูกเป็นอย่างมาก แต่ดินร่วนแบบของแท้ก็ไม่ค่อยพบในธรรมชาติ แต่ก็จะมีดินซึ่งมีเนื้อดินใกล้เคียงกันเสียมากกว่า

3. ดินเหนียว เป็นดินที่มีเนื้อละเอียดแน่น อุ้มน้ำได้ดี และไม่ยอมให้น้ำซึมผ่านได้ง่าย ไม่เหมาะสมในการเพาะปลูกพืช และเมื่อให้น้ำในปริมาณที่เหมาะสมจะสามารถนำมาปั้นเป็นรูปทรงต่าง ๆ ได้ เช่น หม้อ ไห โอ่ง ถ้วย ชาม เป็นต้น เมื่อนำไปเผาจะแปรรูปเป็นวัตถุแข็ง ไม่เปลี่ยนแปลงรูป

ประเภทของดิน โดยทั่วไปแบ่งดินออกเป็น 2 ประเภท คือ ดินชั้นบน และดินชั้นล่าง

1. ดินชั้นบน หรือ ชั้นไถพรวน เป็นดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ มีแร่ธาตุหลายชนิด และมีซากพืชซากสัตว์เน่าเปื่อย (ฮิวมัส) ที่พืชต้องการทับถมกันอยู่มาก ลักษณะของเนื้อดินเป็นสีดำนวล ละเอียดดินหยาบ หรือเม็ดดินมีขนาดใหญ่ร่วนซุย เป็นดินที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชเน่าเปื่อย มีความสำคัญต่อการเพาะปลูกพืชมาก เนื่องจากรากของพืชส่วนมากจะชอนไชหาอาหาร ณ ดินชั้นนี้ ดินชั้นบน เป็นชั้นที่มีอินทรีย์วัตถุสูงกว่าชั้นอื่น ปกติดินชั้นบนจะมีสีเข้ม หรือคล้ำกว่าชั้นอื่นๆ ใช้สำหรับการทำการเพาะปลูกพืชทั่ว ๆ ไป จะต้องมีความหนาตั้งแต่ 0 – 15 ซม.

2. ดินชั้นล่าง อยู่ถัดจากดินชั้นบนลงไป มีความอุดมสมบูรณ์น้อยมาก เนื้อดินแน่น เม็ดละเอียด สีจาง เป็นดินที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช รากพืชของต้นไม้ยืนต้น จะมีรากชอนไชลงไปถึงชั้นนี้ได้ และมีอินทรีย์วัตถุน้อยกว่าชั้นบน

ประเภทของดิน โดยแบ่งตามความพรุน ซึ่งความพรุนของดิน คือ ส่วนที่เป็นช่องว่างระหว่างเม็ดดินช่องว่างในเม็ดดินจะเป็นที่อยู่ของน้ำ และอากาศภายในดิน ซึ่งการถ่ายเทอากาศและการระบายน้ำจะขึ้นอยู่กับความพรุนของดิน แบ่งได้ 3 ประเภท ดังนี้

1. ดินที่มีความพรุนมาก หรือมีช่องว่างระหว่างเม็ดใหญ่ จะระบายน้ำ และอากาศได้ดี ทำให้พืชสามารถเจริญเติบโตได้ดี

2. ดินที่มีความพรุนน้อย หรือช่องว่างระหว่างเม็ดดินมีขนาดเล็กเนื้อดินจะติดกันแน่น ไม่มีออกซิเจนแทรกอยู่ ทำให้เกิดความเป็นพิษเนื่องจากมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงเกินไป และการระบายน้ำจะไม่ดีทำให้พืชไม่เจริญเติบโต ดินที่เหมาะสมสำหรับปลูกพืชควรมีที่ว่างระหว่างเม็ดดินประมาณ 50 % ซึ่งเป็นช่องว่างสำหรับน้ำ และอากาศอย่างละ 25 %

3. ดินที่มีขนาดของเม็ดดินใหญ่ จะมีขนาดของช่องว่างระหว่างเม็ดดินใหญ่ ส่วนดินที่มีขนาดเม็ดดินเล็ก จะมีขนาดของช่องว่าง

ชนิดของหน้าดินที่เหมาะสมสำหรับการเพาะปลูก ดินที่ดีที่เหมาะสมกับการทำเกษตรกรรม เกษตรกรประเมินว่าดินที่เหมาะสมกับการเพาะปลูกพืชของเราหรือไม่นั้น จะต้องดูที่ลักษณะและคุณสมบัติที่สำคัญของดินทางการเกษตร ประกอบด้วย สภาพของดินในแต่ละพื้นที่นั้นมีความแตกต่างกันไปตามปัจจัยในการสร้างตัวของดิน เราต้องเรียนรู้และรู้จักดินเบื้องต้น ลักษณะและสมบัติของดิน สีของดิน เนื้อดิน โครงสร้างของดิน ความเป็นกรดเป็นด่างของดิน และความลึกของดิน สิ่งเหล่านี้ เป็นเกณฑ์การประเมินว่าดินมีความเหมาะสมกับการเกษตรหรือไม่

ดินดีที่เหมาะสมในทางการเกษตร เป็นดินที่มีความเหมาะสมต่อการปลูกพืช มีปริมาณน้ำและแร่ธาตุอาหารเพียงพอ และให้ผลผลิตได้ดี มักมีหน้าดินสีคล้ำหนา มีอินทรีย์วัตถุสูง ไม่มีสารที่เป็นพิษต่อพืช เนื้อดินร่วนซุย มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินใกล้ความเป็นกลาง คือมีค่าพีเอช ประมาณ 5.5 ถึง 7.0 และไม่มีชั้นดาน หรือชั้นหินที่ขัดขวางการเจริญเติบโตของรากพืช ดิน

ในกลุ่มดินร่วนนี้ เป็นดินที่มีอนุภาคขนาดทราย ทรายแป้ง และดินเหนียวในปริมาณใกล้เคียงกัน เนื้อดินละเอียดนุ่มมือ จับกันเป็นก้อนแข็งพอประมาณ สภาพดินชื้น มีความยืดหยุ่น แต่เมื่อกำดินให้แน่นในฝ่ามือแล้วคลายออก ดินจะจับกันเป็นก้อน และไม่แตกออกจากกัน ไถพรวนง่าย ระบายน้ำได้ดี อากาศถ่ายเทได้ดี และมีความอุดมสมบูรณ์สูง อย่างไรก็ตาม การปลูกพืชต้องคำนึงถึงชนิดของพืชที่ต้องการปลูกในบริเวณนั้นด้วย เพราะพืชแต่ละชนิดมีความต้องการสภาพแวดล้อมที่ต่างกัน เช่น ข้าว เป็นพืชชอบน้ำ ดินจะต้องเป็นที่ลุ่ม เนื้อดินไม่เหนียวหรือร่วนเกินไป สามารถขังน้ำได้ มีความง่ายในการไถเตรียมดินพอกควร ดินที่ดีจะไม่มียากหินของกำมะถัน หรือกลืนหินอย่างอื่น ๆ ถ้าเป็นพืชไร่ และไม้ผล ควรปลูกบนที่ดอน มีหน้าดินหนา เนื้อดินร่วน ความสามารถในการอุ้มน้ำดี ระบายน้ำได้ดี ความเป็นกรดเป็นด่างของดิน 6.5 - 7.0 มีความอุดมสมบูรณ์ของดิน พวกไม้ยืนต้นจะมีระบบรากลึก ต้องการดินที่มีความลึกมากกว่าพืชไร่ และควรมีแหล่งน้ำใกล้พอที่จะนำมาใช้ได้เมื่อจำเป็น ไม่เป็นที่ลุ่ม เพราะจะเสี่ยงกับน้ำแช่ขัง และน้ำท่วม (naewna)

ดินที่ไม่เหมาะแก่การปลูกพืช คือ ดินแบบมีน้ำขัง หรือดินลักษณะแน่นทึบ พืชจะไม่สามารถเติบโตได้ดีเท่าที่ควร เนื่องจากรากพืชขาดอากาศสำหรับใช้หายใจ ทำให้ไม่อาจดูดธาตุอาหารไปใช้ได้ พืชกินอาหารแบบสารละลาย ดังนั้นถ้าปราศจากความชื้นในดิน ถึงแม้จะมีธาตุอาหารอยู่มากแค่ไหน แต่พืชก็ไม่สามารถดูดขึ้นไปใช้ได้ จำเป็นต้องมีน้ำไปหล่อเลี้ยงนั่นเอง(Anusawari)

2.5.2 ประเภทวัสดุปลูกทดแทนดิน

โดยทั่วไปอาจแบ่งประเภทของวัสดุปลูกออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่

1. วัสดุปลูกที่เป็นอินทรีย์วัตถุ (Organic matter) วัสดุที่ได้มาจากสิ่งมีชีวิต ซึ่งมีข้อดีคือ มักเป็นวัสดุที่อุ้มน้ำ และระบายอากาศได้ดี มีความสามารถในการดูดซับน้ำได้ดีกว่า มีคุณสมบัติเป็น pH - buffering และยังมีราคาถูกหาซื้อได้ง่าย แต่ก็มีข้อเสีย คือ อาจมีโรค และแมลงติดมา (ธีระพงษ์ ทาห์ล่า, 2554) โดยที่อินทรีย์วัตถุจะได้รับการย่อยสลาย หรือการทับถมกัน ซึ่งอินทรีย์วัตถุจะช่วยส่งเสริมยึดเหนี่ยวรากพืช และเป็นที่เก็บความชื้นให้พืชตลอดจนธาตุอาหารจากสารละลายธาตุอาหาร และช่วยแลกเปลี่ยนอากาศให้รากพืช ส่งเสริมความอุดมสมบูรณ์ของจุลินทรีย์ในดินที่ทำหน้าที่ในการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุนั้นแล้วปลดปล่อยธาตุอาหารต่าง ๆ ทำให้วัสดุปลูกมีความพรุน และร่วนซุย (วิทยา, 2528) และวัสดุไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ วัสดุปลูกที่เป็นอินทรีย์สาร สามารถแบ่งได้เป็น

- วัสดุที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เช่น ฟางข้าว ขุยมะพร้าว และเส้นใยมะพร้าว แกลบ และขี้เถ้า ขี้เลื่อย เปลือกถั่ว ฟिट เป็นต้น
- วัสดุเหลือใช้หรือผลพลอยได้จากโรงงานอุตสาหกรรม เช่น กากมันสำปะหลัง ขานอ้อย กากตะกอนจากโรงงานน้ำตาล วัสดุเหลือใช้จากโรงงานกระดาษ

2. วัสดุปลูกที่เป็นวัสดุอนินทรีย์วัตถุ (Inorganic material) วัสดุที่อาจเกิดขึ้นได้เองตามธรรมชาติจากการผุพังสลายตัวของหิน และแร่ ซึ่งมีขนาดแตกต่างกันไป ข้อดี คือ ไม่มีปัญหาในเรื่องการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรค มีความคงทนสูง ข้อเสีย คือ มีน้ำหนักมาก ช่องว่างน้อย ดูดซับได้น้อย หรือไม่สามารถดูดซับได้เลย อนินทรีย์วัตถุเป็นสิ่งที่ไม่มีชีวิต ทำหน้าที่แบบเดียวกับอินทรีย์วัตถุ (วรกฤษณ์ บุญทวีโรจน์) เป็นส่วนที่มีแหล่งกำเนิดมาจากการสลายตัวของหินและแร่ ต้นกำเนิดต่าง ๆ ส่งผลต่อความอุดมสมบูรณ์ โดยการปลดปล่อยธาตุอาหารต่าง ๆ ที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช และจุลินทรีย์ที่อยู่ในดินทั้งที่เป็นประโยชน์ และไม่เป็นประโยชน์ต่อพืช โดยสัดส่วนของอนินทรีย์วัตถุที่เหมาะสมอยู่ที่ 50 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณวัสดุปลูกทั้งหมด วัสดุปลูกที่เป็นอนินทรีย์สาร สามารถแบ่งได้เป็น

- วัสดุที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เช่น ทราย กรวด หินภูเขาไฟ เป็นต้น
- วัสดุที่ผ่านกระบวนการโดยใช้ความร้อน เช่น ดินเผา ใยหิน เพอไลต์ เวมิคูไลต์
- วัสดุเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรม เช่น เศษอิฐจากการทำอิฐมอญ
- วัสดุสังเคราะห์ วัสดุปลูกที่นำมาประยุกต์ใช้ในการปลูกพืชไม่ใช้ดิน เช่น แผ่นฟองน้ำ สารดูดความชื้น พลาสติกโฟมทั้งแบบ Polyurethane และ Polysterene ซึ่งเป็นที่นิยมเนื่องจากมีน้ำหนักเบา ปลอดภัย ไวรัสและเชื้อโรคอื่นๆ

สำหรับประเทศไทย การปลูกพืชโดยใช้วัสดุปลูกทดแทนดินจะนิยมใช้อินทรีย์สาร เช่น แกลบสด ขี้เถ้าแกลบ ขุยมะพร้าว ทราย ซึ่งเป็นวัสดุที่สามารถหาได้ง่ายตามท้องถิ่น ต้นทุนค่าน้ำหนักเบา ซึ่งงานวิจัยฉบับนี้เลือกวัสดุปลูกในการศึกษา 3 ชนิด ได้แก่ ขุยมะพร้าว ขี้เถ้าแกลบ และกากกาแฟ วัสดุแต่ละชนิดมีคุณสมบัติแตกต่างกัน ซึ่งเลือกวัสดุจากธาตุอาหารที่เหมาะสมสำหรับการแทนที่ดิน ตารางที่ 2.3 แสดงธาตุอาหาร

ตารางที่ 2.3 แสดงธาตุอาหาร

ธาตุอาหารหลัก	ธาตุอาหารรอง	ธาตุอาหารเสริม
ไนโตรเจน (N)	แคลเซียม (Ca)	เหล็ก (Fe)
ฟอสฟอรัส (P)	แมกนีเซียม (Mg)	สังกะสี (Zn)
โปแตสเซียม (K)	กำมะถัน (S)	ทองแดง (Cu)
		แมงกานีส (Mn)
		โมลิบดีนัม (Mo)
		คลอรีน (Cl)
		โบรอน (B)

2.5.3 คุณสมบัติของวัสดุปลูกทดแทนดิน

2.5.3.1 จี้เถ้าแกลบ (paddy husk charcoals) จี้เถ้าแกลบเป็นวัสดุปลูกประเภทอินทรีย์สาร ซึ่งเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ ได้มาจากเปลือกข้าว หรือแกลบถูกเผาไหม้เป็นถ่านในลักษณะต่าง ๆ เช่น เผาเป็นเชื้อเพลิงในโรงสีข้าว จี้เถ้าส่วนใหญ่เป็นสีดำ แต่ถ้าเป็นการเผาไหม้ที่อยู่ในการควบคุมหรือใช้อุณหภูมิ และระยะเวลาในการเผาไหม้มากขึ้น จี้เถ้าแกลบที่ได้ มีสีขาว นอกจากนี้จี้เถ้าแกลบยังเป็นผลพลอยได้จากโรงไฟฟ้าชีวมวล ซึ่งใช้เถ้าแกลบเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้าในแต่ละปีมีปริมาณมาก ประเทศไทยมีการผลิตข้าวปีละประมาณ 25 ล้านตัน และได้แกลบจากการสีข้าวประมาณ 5 ล้านตัน ในแต่ละตัน (1,000

กิโลกรัม) ของข้าวเปลือกเมื่อสีแล้วจะมีแกลบอยู่ประมาณร้อยละ 20 ของน้ำหนักแกลบ หรือประมาณ 40 กิโลกรัม

จี้เถ้าแกลบเป็นวัสดุที่มีความพรุน (porosity) มาก น้ำหนักเบา พื้นที่ผิวมาก ความหนาแน่นรวมต่ำ การแลกเปลี่ยนประจุต่ำ มีสมบัติดูดซับ (absorbent) อุ้มน้ำได้ดี ซึ่งจี้เถ้าแกลบมีความสามารถในการอุ้มน้ำได้สูงถึง 295 % ของน้ำหนัก (กรมป่าไม้, 2539) ความคงตัวของโครงสร้างดี การสลายตัวน้อย และการอัดตัวน้อย กล่าวคือ มีการอัดตัวบ้างหลังปลูก สมบัติเป็นฉนวน เนื่องจากมีซิลิกา (silica, SiO₂) สูงถึงร้อยละ 70 – 90

สำหรับงานอุตสาหกรรมจี้เถ้าแกลบถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในหลายลักษณะ ตั้งแต่งานอุตสาหกรรมโลหะ ผลิตเหล็กกล้า หรือใช้ผสมในงานผลิตซีเมนต์ และคอนกรีต หรือเป็นส่วนประกอบของวัสดุก่อสร้างน้ำหนักเบาในงานฝ้าฉนวนกันความร้อน ในภาคการเกษตร จี้เถ้าแกลบเป็นวัสดุปลูกที่มีความสะอาด มีความสามารถในการดูดซับธาตุอาหาร อุ้มน้ำ และระบายน้ำได้ดี ราคาถูก หาได้ง่ายตามท้องถิ่น สำหรับค่าความเป็นกรด - ด่าง จี้เถ้าแกลบมีความเป็นด่างสูง

โดยมีค่าความเป็นกรด - ด่างอยู่ที่ 7.0 – 8.5 ซึ่งความแปรปรวนมาก หรือน้อยขึ้นอยู่กับอายุของกอง จี้เถ้าแกลบด้วย (อิทธิสุนทร นันทกิจ, ม.ป.ป.) ถ้าอายุมากจะมีการชะล้างโดยฝนมาก ค่า pH จะลดลง ซึ่งโดยทั่วไปนั้น ISTA (1985) ได้กำหนดค่าความเป็นกรด - ด่างของวัสดุปลูกว่าควรอยู่ระหว่าง 5.5 – 6.5 ซึ่งหากวัสดุปลูกมีส่วนผสมของจี้เถ้าแกลบมากเกินไปจะก็มีผลทำให้การเติบโตของต้นกล้าต่ำ

จี้เถ้าแกลบเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเผาไหม้มีลักษณะหลายสีขึ้นอยู่กับกระบวนการเผา แบ่งเป็น 3 ชนิด คือ (กัญญารัตน์ ตั้งก่อสกุล, 2559)

1. จี้เถ้าแกลบขาว ลักษณะสีขาว เนื้อจี้เถ้าแกลบแตกหักเป็นผงขนาดเล็ก ดังแสดงในรูปที่ 2.17 เป็นแกลบที่ได้จากการเผาอย่างต่อเนื่องที่อุณหภูมิสูง ภายใต้สภาวะออกซิเจนที่มีเกินพอทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ แกลบชนิดนี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์มากในอุตสาหกรรม เนื่องจากองค์ประกอบส่วนมากจะเป็นซิลิกา ประโยชน์ของจี้เถ้าแกลบขาว ได้แก่ วัสดุเคมีการผลิตซิลิกา วัสดุเคมีการผลิตแก้ว ผลิตภัณฑ์จากแก้ว ใช้เป็นส่วนผสมของอิฐก่อสร้าง เนื่องจากสามารถทนต่อความร้อนได้ดีมากกว่า 100 องศาเซลเซียส เป็นส่วนผสมของการผลิตปูนซีเมนต์ และเป็นวัสดุปรับปรุงดิน หรือผสมดินเป็นวัสดุปลูกพืชหรือเพาะชำ ทั้งนี้ไม่ควรใส่แกลบขาวเป็นส่วนผสมมาก เพราะแกลบขาวส่วนมากจะเป็นจี้เถ้า หรือเถ้าแร่ธาตุ เมื่อได้รับความชื้น หรือมีน้ำจะทำให้โดยรอบมีความเป็นกรดเพิ่มขึ้น การใส่จี้เถ้าแกลบขาวในระยะกล้าไม้จำนวนมาก มักทำให้ต้นกล้าเหี่ยวตายทันที



รูปที่ 2.17 จี้เถ้าแกลบขาว

2. จี๊เถ้าแกลบเทา ลักษณะสีเทา เนื้อจี๊เถ้าแกลบแข็งคงรูปมากกว่าแกลบชนิดอื่น แสดงในรูปที่ 2.18 แดกละเอียดหากได้รับแรงกดบีบ ได้จากการเผาที่อุณหภูมิไม่เกิน 600 องศาเซลเซียส ในสถานะที่มีออกซิเจนไม่เพียงพอทำให้การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ขณะเผาไหม้จะไม่เกิดเปลวไฟ ประโยชน์ของจี๊เถ้าแกลบเทา นิยมนำมาเป็นวัสดุปรับปรุงดิน และผสมดินเป็นวัสดุปลูกสำหรับการปลูกพืชในกระถาง



รูปที่ 2.18 จี๊เถ้าแกลบเทา

3. จี๊เถ้าแกลบดำ ลักษณะสีดำ เนื้อจี๊เถ้ามีการคงรูปของแกลบบางส่วน แสดงในรูปที่ 2.19 เนื้อแกลบแข็ง และเปราะง่ายกว่าแกลบสีเทา แดกละเอียดหากได้รับแรงกดบีบ เป็นแกลบที่ได้จากการเผาอย่างต่อเนื่องที่อุณหภูมิไม่เกิน 1200 องศาเซลเซียส ในสถานะที่มีออกซิเจนไม่เพียงพอ ทำให้การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ โดยไม่เกิดเปลวไฟขณะเผาไหม้ มีปริมาณซิลิกาสูง ซึ่งแสดงองค์ประกอบทางเคมีของจี๊เถ้าแกลบ ไว้ดังในตารางที่ 2.4 ประโยชน์ของจี๊เถ้าแกลบดำ ได้แก่ ปรับปรุงดินเพื่อช่วยเพิ่มความร่วนซุย เพิ่มแร่ธาตุ ดินอุ้มน้ำได้ดี รวมถึงนิยมนำมาเป็นวัสดุปลูกผสมกับดินสำหรับการปลูกพืชในกระถาง คุชชันในกระบวนการบำบัดน้ำเสีย บำบัดก๊าซพิษ สำหรับคุชชันสารมลพิษต่างๆ หรือที่เรียกว่า ถ่านกัมมันต์ ซึ่งข้อเสียของจี๊เถ้าแกลบดำ ก่อนนำมาใช้ ต้องแช่ด้วยกรดอ่อน หรือชะด้วยน้ำก่อนเพื่อลดค่า pH ให้ต่ำกว่า 6.5 เพื่อป้องกันการไม่เป็น

ประโยชน์ของธาตุอาหารพืช ถ้าไม่มีการปรับค่า pH พืชที่ปลูกในช่วงแรกจะแสดงใบอ่อนเหลือง เนื่องจากขาดธาตุเหล็ก(อิทธิสุนทร นันทกิจ, ม.ป.ป.)



รูปที่ 2.19 จี๊ถั่วแกลบดำ

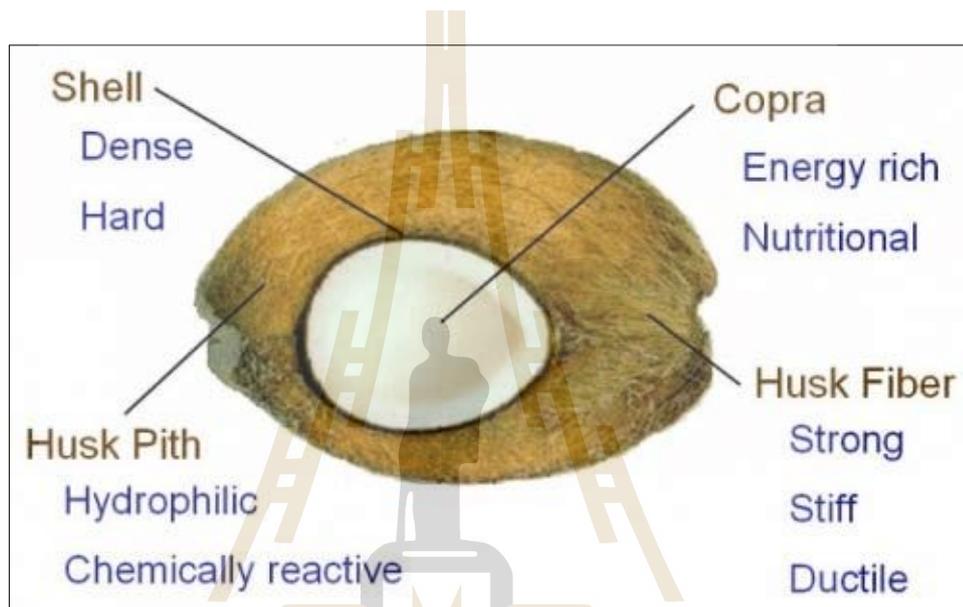
องค์ประกอบทางเคมีของจี๊ถั่วแกลบ

ตารางที่ 2.4 องค์ประกอบทางเคมีของจี๊ถั่วแกลบ

องค์ประกอบทางเคมี	ร้อยละ (%)
SiO ₂	89.9
Fe ₂ O ₃	1.9
K ₂ O	1.5
CaO	0.5
Al ₂ O ₃	0.5
MgO	0.2
Na ₂ O	0.1
Loss on Ignition	4.7

ที่มา : (บุรฉัตร นัตรีวิระ และ พิชัย นิमितยงสกุล, 2537)

2.5.3.2 ขุยมะพร้าว (Coconut Dust or Coconut coir pith) ส่วนประกอบทางกายภาพของมะพร้าวประกอบด้วย เปลือก (Skin) เส้นใย (Husk) กะลามะพร้าว (Shell) ขุยมะพร้าว (Coir pith) เนื้อมะพร้าว (Copra) และน้ำมะพร้าว (Water coconut) ดังแสดงในรูปที่ 2.20 ซึ่งขุยมะพร้าวเป็นส่วนหนึ่งของเปลือกและเส้นใยมะพร้าว ซึ่งมะพร้าวแต่ละผลจะมีส่วนที่เป็นขุยมะพร้าวประมาณ 18 % ของผลมะพร้าว



รูปที่ 2.20 โครงสร้างของใยมะพร้าว (structure of coir fiber)

ขุยมะพร้าว เป็นส่วนของ (Pith or Binding Material) ลักษณะเป็นผง นุ่มเบา และมีสีน้ำตาล เป็นวัสดุสะอาดที่มีความสามารถในการอุ้มน้ำได้ดี สามารถอุ้มน้ำได้สูงถึง 603 % ของน้ำหนัก (ประพาย แก่นนาค และสุขสันต์ สายวา, 2539) เนื่องจากลักษณะเป็นเส้นใย มีอนุภาคขนาดใหญ่จึงช่วยให้วัสดุเพาะโปร่ง และร่วนซุย มีช่องว่างมากกว่าวัสดุปลูกอื่น ๆ โดยขนาดอนุภาคส่วนใหญ่อยู่ระหว่าง 0.5 – 2.0 มิลลิเมตร มีความยืดหยุ่นตัวดีไม่อัดแน่นง่าย ความหนาแน่นรวมเมื่อแห้งต่ำ 0.06 kg/m³ ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุสูงเมื่อขุยมะพร้าวผ่านการสลายตัว มีคุณสมบัติเป็นกรด โดยมีค่าความเป็นกรด - ด่างอยู่ที่ 5.45 - 7 ซึ่งถือว่ามีค่าความเป็นกรดเล็กน้อย (เมธี จักรवालเรืองศรี, 2553)

อุมาวดี ลิ้มเสถียรกุล, 2546 กล่าวว่าขุยมะพร้าวมีประโยชน์ในการปรับปรุงคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของวัสดุปลูกให้ดีขึ้น โดยเพิ่มความสามารถในการดูดซับน้ำ อาหาร การระบายน้ำ และอากาศในดิน จึงนิยมนำขุยมะพร้าวมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตร เช่น นำมาชำ หรือตอนกิ่ง ผสมดินปลูก หรือเพาะเมล็ด ทำปุ๋ยหมัก คลุมหน้ากระถางดินปลูก และทำเป็นวัสดุปลูก เนื่องจาก ขุยมะพร้าวมีปริมาณธาตุโพแทสเซียม (K) สูง ในขณะที่ธาตุไนโตรเจน (N) และ ฟอสฟอรัส (P) ต่ำเมื่อเทียบกับวัสดุอื่น ๆ ซึ่งองค์ประกอบทางเคมีของขุยมะพร้าวแสดงในตารางที่ 2.5 ถึงแม้ว่าขุยมะพร้าวจะมีประโยชน์ในการปรับปรุงคุณภาพทางกายภาพของวัสดุเพาะกล้าให้ดีขึ้น จากการเพิ่มความสามารถอุ้มน้ำและการดูดซับธาตุอาหารของวัสดุ แต่สมบัติของขุยมะพร้าว จะมีปัญหาการอุ้มน้ำมากเกินไป ช่องว่างอากาศน้อยเกินไป และเกิดการยุบตัวแน่นเมื่อได้รับน้ำ ดังนั้นควรผสมกับวัสดุชนิดอื่นก่อนนำไปใช้งาน หรือหากต้องการใช้เป็นวัสดุเพาะเพียงอย่างเดียวก็ ควรมีการปรับปรุงสมบัติบางประการของขุยมะพร้าวเสียก่อน (สุเมธ รอดหิรัญ, 2558) ซึ่งสอดคล้อง กับงานของ (คริสจัสพล หนูพรหม, 2559) ซึ่งได้กล่าวว่า ถ้าผสมขุยมะพร้าวในวัสดุปลูกมากเกินไป จะทำให้ความชื้นในดินสูง เป็นผลให้การหาอาหาร และการหายใจของรากถูกจำกัด และทำให้การ เจริญเติบโตของต้นกล้าลดลง ข้อเสียของขุยมะพร้าวอาจมีปัญหการระบายอากาศที่ราก การ สลายตัวหลังจากนำมาใช้เกิดการอัดตัวแน่นน้ำหนักเบาเสียค่าใช้จ่ายในการขนย้ายสูง ยกในการ กำจัดโรคและแมลง (อิทธิสุนทรนันท์ทกิจ, ม.ป.ป.) ลักษณะทางกายภาพของขุยมะพร้าว ดังแสดงใน รูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 ขุยมะพร้าว

องค์ประกอบทางเคมีของขุยมะพร้าว

ตารางที่ 2.5 องค์ประกอบทางเคมีของขุยมะพร้าว

องค์ประกอบทางเคมี	เปอร์เซ็นต์ (%)
เถ้า (Ash)	1.44
เซลลูโลส (Cellulose)	32 – 43
เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose)	0.15 – 0.25
ลิกนิน (Lignin)	40 - 45
เพคติน (Pectin)	2.75 – 4.00

ที่มา: (Rehsi, 1988)

ตารางที่ 2.6 องค์ประกอบทางเคมีของใยมะพร้าว

องค์ประกอบทางเคมี	ร้อยละ
Water soluble	5.25
Pectin and related compounds	3.00
Hemi-cellulose	0.25
Lignin	45.84
Cellulose	43.44
Ash	2.22

ที่มา : (Pakanita Muensri 2009 อ้างจาก Rombout, I., Lambert, L., Celus, I. Largrain, B., Brijs, K., and Delcour, J., 2009)

ใยมะพร้าวมะพร้าวเป็นพืชตระกูลปาล์ม ซึ่งมีส่วนของเส้นใยแข็งที่ได้จากเปลือกของผลมะพร้าวหรือที่เรียกว่ากาบมะพร้าว ซึ่งมีองค์ประกอบทางเคมีของใยมะพร้าวดังแสดงในตารางที่ 2.6 ผลมะพร้าวเป็นเปลือกชั้นในที่อยู่ระหว่างผล และเปลือกชั้นนอก ถือเป็นเส้นใยที่ได้จากเมล็ด (Seed fiber) เส้นใยมะพร้าวเมื่อนำมาแยกออกจะได้เส้นใยยาวร้อยละ 10 เส้นใยสั้นร้อยละ 20 และเศษสูญเสียร้อยละ 70 โดยประมาณ (วิวัฒน์ คลังวิจิตร, 2535) เส้นใยมะพร้าวทั่วไปมีความยาวประมาณ 150 - 350 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 – 1.5 มิลลิเมตร ความหนาแน่นเส้นใยเท่ากับ 1,250 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

2.5.3.3 กากกาแฟ (Coffee Grounds or Coffee Residue) คนทั่วโลกดื่มกาแฟ 2.25 พันล้านถ้วยต่อวัน! สร้างปริมาณขยะฝึงคลบมากกว่า 6 ล้านตัน ถ้าไม่นับน้ำเปล่า สองเครื่องดื่มยอดนิยมที่คนทั่วโลกดื่มมากที่สุด คือ ชา และกาแฟ ซึ่งปัจจุบันปริมาณการดื่มกาแฟทั่วโลก อยู่ที่ 2.25 พันล้านถ้วยต่อวัน และผลจากการชงกาแฟ ก็นำมาซึ่ง “กากกาแฟ” มหาศาลเช่นกัน เช่น เฉพาะในสหราชอาณาจักร มีขยะกากกาแฟ มากกว่า 500,000 ตันต่อปี และถ้านับทั่วโลก พบว่าปัจจุบันขยะกากกาแฟที่นำไปทำลายด้วยวิธีฝึงคลบมีปริมาณมากกว่า 6 ล้านตัน “Fergus Moore” กล่าวว่า “ประมาณ 60 % ของขยะในร้านกาแฟ คือ กากกาแฟ และถ้านับปริมาณกากกาแฟเหลือทิ้งในสกอตแลนด์ มีมากกว่า 40,000 ตันต่อปี” (K Research Center)

ชนิดของเมล็ดกาแฟ

ต้นกาแฟอาราบิก้า - บราซิลกาแฟมีมากกว่า 6,000 พันธุ์ แต่พันธุ์หลัก ๆ ที่ได้รับความนิยมมี 2 พันธุ์ ได้แก่ อาราบิก้า (Arabica) ซึ่งเป็นกาแฟแบบดั้งเดิม และมีรสชาติดี และโรบัสต้า (Robusta) ซึ่งมีปริมาณคาเฟอีนสูง และสามารถปลูกในที่ที่ปลูกอาราบิก้าไม่ได้ (คำว่า robust ในภาษาอังกฤษ แปลว่า ทนทาน) ด้วยความที่มีความทนทานมากกว่านี้เอง จึงทำให้กาแฟโรบัสต้ามีราคาถูกกว่า แต่ผู้คนนิยมดื่มไม่มากนักเนื่องจากมีรสขม และเปรี้ยว ส่วนโรบัสต้าที่มีคุณภาพดีมักถูกนำไปใช้เป็นส่วนผสมของเอสเพรสโซ่ แบบผสม (เอสเพรสโซ่มีสองแบบใหญ่ ๆ คือแบบที่เป็นอาราบิก้าแท้ ๆ กับแบบที่ผสมกาแฟชนิดอื่น ๆ)

กาแฟอาราบิก้ามักจะมีชื่อเรียกแตกต่างกันไปตามชื่อท่าเรือที่ใช้ส่งออก ท่าเรือที่เก่าแก่ที่สุดสองที่ ได้แก่ ม็อคคา (Mocha) และ จาว่า (Java) กาแฟในปัจจุบันยังมีความเจาะจงในที่ปลูกมากขึ้นเรื่อย ๆ ต้องมีการระบุถึงประเทศ ภูมิภาค และบางครั้งต้องบอกว่าปลูกที่พื้นที่บริเวณไหนเลยทีเดียว ผู้เชี่ยวชาญเรื่องกาแฟอาจจะถึงกับต้องประหลาดกาแฟกัน โดยคุณว่าเป็นลีดหมายเลขเท่าใด กาแฟชนิดโรบัสต้าที่มีมูลค่าสูงที่สุดชนิดหนึ่ง ได้แก่ โกปี ลูวัก (Kopi Luwak) ของอินโดนีเซีย เมล็ดของกาแฟชนิดนี้ถูกเก็บขึ้นมาจากมูลของชะมด (Common Palm Civet) (ตระกูล Paradoxirus) ซึ่งกระบวนการย่อยภายในร่างกายชะมดทำให้ได้รสชาติที่ดีเป็นพิเศษ เรียกเป็นภาษาไทยว่า กาแฟจี้ชะมด

ซึ่งจากแหล่งผลิตกาแฟที่มีชื่อเสียง เช่น จาไมกา เป็นแหล่งผลิตกาแฟที่มีชื่อเสียงที่สุดของโลก บลูแมนเทน ซึ่งปลูกบนยอดเขาสูง ผลผลิตเกือบทั้งหมดถูกส่งออกไปประเทศญี่ปุ่น และที่เหลืออีกเล็กน้อยถูกส่งไป สหรัฐอเมริกา สหราชอาณาจักร และเยอรมนี ยี่ห้อที่มีชื่อเสียงคือ ไฮแมนเทนซูพรีม (High Mountain Supreme) และ ไพรม์วอชท์จาไมกัน (Prime Washed Jamaican) บราซิล ผลิตกาแฟเป็นอันดับ 1 ของโลก ยี่ห้อที่มีชื่อเสียงคือ บราซิลเลียน ซานโตส (Brazilian Santos) โคลัมเบีย ผลิตกาแฟเป็นอันดับ 2 ของโลก กาแฟที่มีชื่อเสียงคือ ซูริโม (Suremo) ฮาวาย กาแฟขึ้นชื่อคือ โคน่า (Kona) อินโดนีเซีย จาว่า วิธีการเฉพาะของที่นี่คือ การบ่มในโกดังพิเศษ

เพื่อให้เมล็ดกาแฟเปลี่ยนสี และมีรสชาติที่ดี สุมาตรา ผู้เชี่ยวชาญบางคนกล่าวว่า กาแฟแมนเฮลิ่งและอันโกลาของชาว มีรสชาติดีกว่าบลูมานันเทน และโคน่าเสียวอีก อินเดีย มีกาแฟรสชาติเฉพาะตัว ชื่อ มอนซูน มาลาบาร์ (Monsooned Malabar) เอธิโอเปีย ประชากร 1 ใน 4 ของประเทศมีรายได้จากอุตสาหกรรมกาแฟ กาแฟที่นี่มีลักษณะเฉพาะเนื่องจากมีกาแฟป่าปะปนอยู่ แต่นี่ก็เป็นสาเหตุให้รสชาติมีความไม่แน่นอนสูงด้วยเช่นกัน กาแฟที่มีชื่อเสียงคือ ฮารา ลองเบอร์รี่ (Harrar Longberry) ซิดาโม (Sidamo) และคาฟฟา (Kaffa) เคนยา พิถีพิถันเรื่องคุณภาพมาก กาแฟที่มีคุณภาพที่สุดคือ "เคนยา AA" เวียดนาม ส่งออกกาแฟได้เป็นอันดับ 3 ของโลก สำหรับประเทศไทยปลูกกาแฟโรบัสต้า ร้อยละ 98 โดยมากปลูกทางภาคใต้ เช่น กระบี่ และชุมพร อีกประมาณร้อยละ 2 เป็นกาแฟอาราบิก้าซึ่งปลูกมากตามคอกต่าง ๆ ทางภาคเหนือ กาแฟที่มีชื่อเสียงของไทย ได้แก่ กาแฟคอกช้าง ซึ่งปลูกบนคอกช้าง จังหวัดเชียงราย ถือว่าเป็นกาแฟได้จากกระบวนการผลิตที่ได้มาตรฐานระดับสากล และรสชาติดีเทียบเคียงกับกาแฟที่มีชื่อเสียงของโลก (คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)

เมล็ดกาแฟที่ผ่านกระบวนการขง คั่วหรืออบค ดังแสดงในรูปที่ 2.22 จัดเป็นชีวมวลที่เหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมผลิตกาแฟสำเร็จรูป หรือจากร้านขายกาแฟสดทั่วไป ซึ่งมักจะเหลือกากทิ้งเป็นจำนวนมาก โดยกากกาแฟที่เหลือทิ้งนี้ยังคงมีสารสำคัญหลายชนิดเหลืออยู่ (รพีพรรณ กองตุม, 2560) อาทิ เช่น โพลีแซคคาไรด์ กรดไขมัน โปรตีน คาเฟอีน สารประกอบฟีนอล และแร่ธาตุต่าง ๆ ซึ่งสารเหล่านี้ได้มาโดยใช้เทคนิค และวิธีการสกัดที่แตกต่างกันออกไปตามคุณสมบัติของสาร และถูกนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ มากมาย ทั้งด้านอาหาร ยา และสุขภาพ เช่น ใช้เป็นวัสดุผสมในการหมักไข่เค็ม ใช้ดับกลิ่น ขัดผิว พอกหน้า เป็นส่วนผสมในแชมพู สบู่ เป็นต้น (อนุชา เสนานอก, 2561) หรือเมื่อนำไปปรับปรุงเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทั้งทางเคมี และกายภาพ สามารถนำไปใช้ประโยชน์เพื่อเป็นเชื้อเพลิง เช่น การทำเชื้อเพลิงอัดแท่ง การขึ้นรูปถ่านชีวภาพจากกากกาแฟ การผลิตน้ำมันชีวมวลจากกากกาแฟ การผลิตไบโอดีเซล เป็นต้น ใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดินสำหรับการเพาะปลูก เช่น การใช้กากกาแฟแทนขี้เลื่อยในการเพาะเห็ด ใช้ทำปุ๋ยพืชสด อีกทั้งยังสามารถใช้เป็นวัสดุดูดซับเพื่อกำจัดสารอินทรีย์และสิ่งเจือปนต่างๆที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ดี



รูปที่ 2.22 กากกาแฟ

ปัจจุบันการศึกษาถึงองค์ประกอบต่าง ๆ ในกากกาแฟ และการนำกากกาแฟไปใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น องค์ประกอบต่าง ๆ ของกากกาแฟ แสดงในตารางที่ 2.7 โดยเน้นการพัฒนากระบวนการ และการใช้เทคโนโลยีที่ทันสมัย เพื่อให้กากกาแฟที่เหลือทิ้งมีมูลค่าเพิ่ม และเกิดการนำไปใช้ประโยชน์ในทุกส่วนของกระบวนการผลิตกาแฟ ซึ่งงานวิจัยฉบับนี้ได้สังเกตเห็นถึงความสำคัญของการนำวัสดุเหลือใช้ของกากกาแฟมาเป็นหนึ่งในวัสดุทดแทนดิน โดยทำหน้าที่แทนปุ๋ยเพื่อเพิ่มธาตุอาหารให้แก่พืช เนื่องจากกากกาแฟมีแร่ธาตุหลายชนิดที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช เช่น ธาตุไนโตรเจน โพแทสเซียม และฟอสฟอรัส เป็นต้น

ประโยชน์ของกากกาแฟ

1. การใช้เป็นธาตุอาหารสำหรับปลูกพืช กากกาแฟสามารถนำไปใช้ทำปุ๋ยเพื่อเป็นธาตุอาหารในการปลูกพืชได้เป็นอย่างดี เนื่องจากในกากกาแฟมีธาตุอาหารที่พืชต้องการอยู่หลายชนิด เช่น ธาตุไนโตรเจนที่มีอยู่ในปริมาณสูง ซึ่งพืชโดยทั่วไปมีความต้องการธาตุไนโตรเจนเป็นจำนวนมาก เป็นธาตุอาหารที่สำคัญในการส่งเสริมการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วของพืช อีกทั้งยังมีโพแทสเซียม ที่มีความสำคัญในการสร้างและการเคลื่อนย้ายอาหารพวกแป้งและน้ำตาลไปเลี้ยงส่วนที่กำลังเติบโต และส่งไปเก็บไว้เป็นเสบียงที่หัวหรือลำต้น รวมไปถึงฟอสฟอรัส ซึ่งเป็นธาตุอาหารที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของรากพืช โดยธาตุฟอสฟอรัสจะช่วยให้รากของพืชแข็งแรง และแผ่กระจายได้รวดเร็วขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้ลำต้นแข็งแรงตามไปด้วย นอกจากนี้เมื่อนำกากกาแฟผสมกับดิน จะเกิดการปล่อยสารอาหารให้ดินแล้วทำให้ดินมีสภาพเป็นกรด ซึ่งดินที่มีสภาพเป็นกรดจะส่งผลให้พืชเจริญเติบโตได้ดี

2. กากกาแฟกับส่วนประกอบสำคัญในการทำปุ๋ยหมักชีวภาพ ปุ๋ยหมักชีวภาพ คือ การสร้างสรรค์อาหารสำหรับพืชพันธุ์ด้วยระบบที่ปลอดภัยจากสารเคมี เป็นแนวทางเกษตรอินทรีย์ที่ใช้สำหรับการปลูกผักออร์แกนิก ส่วนในการทำปุ๋ยชนิดนี้ยังเป็นการนำเอาวัตถุดิบเหลือใช้จากธรรมชาติ ไม่ว่าจะเป็นเศษผลไม้ เศษอาหาร หรือเศษใบไม้มาใช้เป็นส่วนผสม การนำกากกาแฟมาใช้เป็นอีกหนึ่งองค์ประกอบ จะช่วยกระตุ้นคุณสมบัติของปุ๋ยหมักให้มีคุณค่าทางอาหารสำหรับพืชได้มากขึ้น โดยเฉพาะการเพิ่มแร่ธาตุบางชนิดที่หาได้ยาก ช่วยทำให้พืชพันธุ์เจริญเติบโตได้อย่างสมบูรณ์แข็งแรง

3. กากกาแฟกับการบำรุงดิน และป้องกันศัตรูพืช เนื่องจากรสชาติของกาแฟที่มีความขมอ่อน ๆ ทำให้แมลงศัตรูพืชบางชนิดที่เดินผ่านเข้ามาในเขตแดนของแปลงปลูกไม่กล้าเข้าใกล้ เนื่องจากจะสัมผัสได้ถึงกลิ่น และความขมของกาแฟที่ไม่น่าภิรมย์สำหรับมัน การนำกากกาแฟมาใช้เพียงแค่วัสดุโรยรอบ ๆ พื้นที่เพาะปลูกบนหน้าดินรอบ ๆ โคนต้นไม้ และดอกไม้ที่ต้องการ ซึ่งนอกจากความขมของมันแล้ว ความหยาบของกากยังช่วยป้องกันเหล่าหอยทากไม่ให้สามารถเลื้อยเข้ามาในแปลงปลูกได้อีกด้วย

4. การใช้ประโยชน์ด้านอาหาร และสุขภาพ (รพีพรรณ กองตุม, 2560) ในอุตสาหกรรมการผลิตอาหารปัจจุบัน โดยเฉพาะอาหารแข็ง เช่น ขนมปัง ได้เล็งเห็นประโยชน์จากกากกาแฟ จึงได้มีการศึกษาการใช้กากกาแฟเป็นส่วนผสมในขนมปัง และพบว่าขนมปังที่ได้ยังคงลักษณะ และรสชาติเป็นปกติ แต่สามารถเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการได้จากสารต้านอนุมูลอิสระ ใยอาหาร โปรตีน และกรดอะมิโนที่มีอยู่ในกากกาแฟได้

5. การใช้ประโยชน์ทางด้านพลังงาน และสิ่งแวดล้อม (Kasetmodern, ม.ป.ป.) กากกาแฟใช้แล้วมีสัดส่วนน้ำมันถึง 20 % ของน้ำหนักกาแฟ โดยน้ำมันที่ได้มานี้ มีส่วนประกอบคล้ายคลึงกับน้ำมันที่นำมาผลิตเป็นไบโอดีเซล ทำให้การนำกากกาแฟที่ใช้แล้วมาผลิตน้ำมัน ถือเป็นการผลิตพลังงานที่ยั่งยืน

องค์ประกอบทางเคมีของกากกาแฟ

ตารางที่ 2.7 องค์ประกอบทางเคมีของกากกาแฟ

องค์ประกอบทางเคมี	น้ำหนักแห้ง (กรัม/100 กรัม)
Cellulose (Glucan)	8.6
Hemicellulose	36.7
Arabinan	1.7
Galactan	13.8
Mannan	21.2
Proteins	13.6
Acetyl Group	2.2
Ashes	1.6
Minerals	(mg/kg)
Potassium	3549
Phosphorus	1475.1
Magnesium	1293.3
Calcium	777.4
Aluminum	279.3
Iron	118.7
Manganese	40.1
Copper	32.3
Zinc	15.1
Sulfur	Nd
Chromium	Nd

ที่มา : (Mussatto et al, 2011)

ตารางที่ 2.8 ปริมาณธาตุ (Ultimate Analysis) ของกากกาแฟ และกากชา

ปริมาณธาตุ	กากกาแฟ	กากชา
Ultimate Analysis		
คาร์บอน (C)	49.24	47.17
ไฮโดรเจน (H)	6.98	6.05
ออกซิเจน (O)	41.38	43.8
ไนโตรเจน (N)	2.39	2.98
ซัลเฟอร์ (S)	0.01	0.16

ที่มา : (นฤภัทร ตั้งมันคงวรกุล)

2.6 ปรัชญ์นัรณกรรรม

งานวิจัยนี้กล่าวถึง การเพิ่มพื้นที่สีเขียวจากการปลูกพืชบนหลังคาโดยใช้วัสดุจากธรรมชาติทดแทนดินเพื่อลดน้ำหนัก ลดการรับภาระของหลังคาบ้านทั่วไป ที่ไม่ได้ออกแบบมาเพื่อรองรับการมีพืชปลูกอยู่บนหลังคา ซึ่งต้องการหาอัตราส่วนที่เหมาะสมกับการปลูกหญ้านวลน้อย รวมถึงการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุอาหารหลักที่เหมาะสมสำหรับการใช้วัสดุปลูกปลูกทดแทนดิน ซึ่งมีปรัชญ์นัรณกรรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับหัวข้อนี้ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.6.1 หลังคาเขียว

เดชา บุญค้ำ (2552).หลังคาเขียว (Green Roof) กับภาวะโลกร้อน จากบทความนี้ได้อธิบายเกี่ยวกับ ประโยชน์ ประเภท การก่อสร้าง และการดูแลรักษา พรรณไม้ การปฏิบัติ และการบังคับใช้เป็นกฎหมาย โดยนิยามไว้ดังนี้หลังคาเขียว (Green Roof) มีวัตถุประสงค์หลัก เพื่อลดการใช้พลังงาน และหลังคาเขียว (Green Roof) ยังทำหน้าที่เป็นฉนวนกักเก็บความร้อนไว้ไม่ให้หนีออกทางหลังคาด้วย โดยค่าความร้อนผ่านหลังคา (RTTV – Roof Thermal Transfer Value) อาคารปรับอากาศทั่วไปใช้พลังงานไฟฟ้า (รวมเครื่องทำความอบอุ่นในประเทศหนาว) ประมาณร้อยละ 60, แสงสว่างประมาณร้อยละ 20 ส่วนที่เหลือเป็นเครื่องใช้ไฟฟ้าทั่วไป ดังนั้นการตัดความร้อนทางหลังคา จึงช่วยประหยัดพลังงานในอาคารปรับอากาศผันแปรอยู่ประมาณระหว่างร้อยละ 30 - 40 ซึ่งนับว่าประหยัดได้มาก มีรายงานวิจัยระบุว่า การลดอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศลง 1 องศาเซลเซียส จะทำให้สิ้นเปลืองกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 10 และว่าหากคาดฟ้า และหลังคาอาคารต่าง ๆ ในกรุงโตเกียว เป็นหลังคาเขียว (Green Roof) ร้อยละ 50 จะประหยัดค่าไฟฟ้าได้ประมาณวันละ 1 ล้านเหรียญสหรัฐฯ ประโยชน์ของหลังคาเขียว (Green Roof) นอกจากจะเป็นการอนุรักษ์พลังงานที่โยงไปถึงการบรรเทาภาวะโลกร้อนจากการลดการปลดปล่อย CO₂ ประโยชน์สำคัญอีกประการหนึ่งสำหรับหลังคาเขียว (Green Roof) ในเมืองที่หนาแน่น คือ การช่วยลดปริมาณน้ำฝนที่ไหลลงจาก

หลังคาซึ่งสร้างปัญหาน้ำท่วมฉับพลัน นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติอื่นอีก ได้แก่ ใช้เป็นสวนพักผ่อนหรือจัดงานเลี้ยงขนาดเล็ก ใช้ปลูกผัก ผลไม้และไม้ดอก ช่วยกรองมลพิษ และโลหะหนักที่ติดเมล็ด ผ่นขณะตกผ่านอากาศ ช่วยปลดปล่อย CO₂ ในขณะที่เก็บกัก CO₂ ให้ที่อยู่อาศัยพักพิงของนก และสัตว์เป็นการส่งเสริมระบบนิเวศในชุมชนเมือง ช่วยทำให้พื้นที่โครงสร้างคาบฟ้า และระบบกันซึมมีอายุใช้งานนานขึ้น

ยุพเยาว์ โตศิริ (2554) ชนิดพืชในท้องถิ่นที่เหมาะสมในการพัฒนาเป็นหลังคาเขียว (Green Roof) เพื่อการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม ศึกษาหาชนิดพืชในท้องถิ่นที่มีศักยภาพในการนำมาพัฒนาเป็นหลังคาเขียว (Green Roof) ได้ ศึกษาระยะเวลาการให้น้ำที่แตกต่างกันที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและอัตราการรอดตายของพืช ปัจจัยด้านอุณหภูมิดิน ความชื้นของดิน และความชื้นในบรรยากาศที่มีผลต่อความทนทานของพืช โดยทำการสำรวจพืชในท้องถิ่น และพืชต่างถิ่นที่มีการนำเข้ามาปลูกเป็นเวลานาน เลือกพืชมาทดลองปลูกจำนวน 5 ชนิด โดยทดลองผันแปรระยะห่างของการให้น้ำแก่พืช 4 ระดับ ได้แก่ รดน้ำทุก 1 วัน 2 วัน 4 วัน และ 7 วัน เก็บข้อมูลการเจริญเติบโต อัตราการรอดตาย อุณหภูมิดิน ความชื้นดิน อุณหภูมิอากาศ และความชื้นอากาศ ผลการศึกษาพบว่า ในท้องถิ่นมีพืช 20 ชนิด 8 วงศ์ ที่สามารถนำมาพัฒนาเป็นหลังคาเขียว (Green Roof) ได้ ซึ่งได้เลือกพืชเพื่อนำมาทดลองปลูก 5 ชนิด ได้แก่ กระจับปี่ (Wedelia trilobata (L) Hitch) arunsawat.com (Portulaca grandiflora Hock.f.) หญ้าฉัตรน้อย (Zoysia matrella Merrill) ผักเป็ด (Alternanthera bettzickiana (Regel) Nichols.) และบานไม่รู้โรยป่า (Gomphrena celosoides Mart.) เมื่อศึกษาอุณหภูมิดิน พบว่าในพืชทุกชนิด และทุกระยะการรดน้ำมีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิดินในช่วง 29.23 (± 1.08) – 32.00 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิดินมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศ ด้านความชื้นในดินของกระเบื้องปลูกพืชทุกชนิดมีค่าลดลงเรื่อย ๆ ตามระยะห่างของเวลาการให้น้ำที่นานขึ้น ส่วนอัตราการเจริญเติบโตนั้น พืชแต่ละชนิดมีอัตราการเจริญเติบโตลดลงเมื่อระยะห่างของเวลาการรดน้ำนานขึ้น และพืชทนทานต่อการขาดน้ำได้ที่ระยะห่างของการรดน้ำ 4 วัน ส่วนในการทดลองรดน้ำทุก 7 วัน พืชตายทั้งหมด เนื่องจากไม่สามารถทนทานต่อการขาดน้ำได้

รุ่งทิพย์ แสงกลาง และสิริลักษณ์ เจียรการ (2557) การกักเก็บคาร์บอนของหญ้าในหลังคาเขียว โดยงานวิจัยนี้ศึกษาการกักเก็บคาร์บอนของหญ้าในหลังคาเขียว 3 ชนิด ได้แก่ หญ้าญี่ปุ่น (Zoysia japonica steud) หญ้ามาเลเซีย (Axonopus compressus) และ หญ้าฉัตรน้อย (Zoysia matrella Merr) มีแปลงทดลองขนาด 2 x 2 x 0.6 เมตร จำนวน 3 แปลง โดยปลูกหญ้า 1 ชนิดต่อ 1 แปลงทดลอง เป็นระยะเวลา 180 วัน และมีการรดน้ำปริมาตร 20 ลิตรต่อแปลงต่อวัน และใส่ปุ๋ยจำนวน 20 กรัมต่อแปลงต่อสัปดาห์ จากนั้นสุ่มเก็บตัวอย่างหญ้าชนิดละ 100 กรัม เพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอน ของหญ้าแต่ละชนิดด้วยเครื่อง CHN analyzer และทำการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการรดน้ำ และใส่ปุ๋ยของ หญ้าแต่ละชนิด ด้วยวิธีการตามคู่มือการคำนวณ

การปล่อยก๊าซเรือนกระจก ผลการศึกษา พบว่า หญ้าญี่ปุ่น หญ้าขนน้อย และหญ้ามาเลเซีย สามารถกักเก็บคาร์บอนได้เท่ากับ 10.26, 10.12 และ 8.78 kg CO₂/m²/year ตามลำดับ การรดน้ำ และใส่ปุ๋ยสามารถปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 0.04 และ 0.48 kg CO₂/m²/year ตามลำดับและถ้ามีการปลูกหญ้าญี่ปุ่นบนดาดฟ้าตึก คณะพลังงานสิ่งแวดล้อม และวัสดุ จะสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้เท่ากับ 6.3 CO₂/year

ชลทิพย์ ชลานุเคราะห์ และ ณัชวิษญ์ ตีกุล.(2559).ปัจจัยที่ส่งผลต่อการออกแบบและก่อสร้างสวนหลังคา งานวิจัยนี้ได้นำเอาเอกสารและวรรณกรรมต่างๆมาวิเคราะห์และสรุปปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับสวนหลังคา ซึ่งพบว่า สวนหลังคาแบ่งได้หลายประเภท ตามลักษณะการใช้งานของอาคาร ประโยชน์ที่ได้รับ ลักษณะของสวนหลังคาตามถิ่นกำเนิด แต่สำหรับการออกแบบสวนหลังคา ควรแบ่งตามการใช้งาน ซึ่งจะครอบคลุมปัจจัยในการออกแบบมากที่สุด โดยสวนหลังคาแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ แบบใช้สอย (Intensive Green Roof) และแบบปล่อยหรือไม่ใช้สอย (Extensive Green Roof) โดยปัจจัยที่ส่งผลต่อศักยภาพของอาคารที่สามารถจัดทำสวนหลังคา คือ โครงสร้างอาคาร โครงสร้างหลังคา พื้นที่หลังคาและดาดฟ้า การเข้าถึงพื้นที่หลังคา พืชพรรณและการดูแลและบำรุงรักษาหลังการออกแบบก่อสร้าง สรุป คือ การออกแบบสวนหลังคา ควรให้ความสำคัญที่ความปลอดภัย ในเรื่องของการรับน้ำหนักของอาคารเป็นปัจจัยแรก และพิจารณาที่พื้นที่หลังคาและการเข้าถึง และในส่วนของพืชพรรณ

ศุภกิจ ยิ้มสรวล (2559) ศึกษาแนวทางการใช้สวนหลังคาเพื่อลดการถ่ายเทความร้อนผ่านทางหลังคาดาดฟ้าอาคาร โดยศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลทำให้อุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาดาดฟ้าอาคารต่ำที่สุดโดยกำหนดรูปแบบการทดลองทั้งสิ้น 5 รูปแบบ ดังนี้

การทดลองที่ 1 การศึกษาอิทธิพลของดินปลูกในการป้องกันความร้อนของสวนหลังคา

การทดลองที่ 2 ศึกษาอิทธิพลของความชื้นภายในดินปลูกที่มีผลต่อการป้องกันความร้อนของสวนหลังคา

การทดลองที่ 3 การศึกษาอิทธิพลของวัสดุคลุมดินที่มีผลต่อการป้องกันความร้อนของสวนหลังคา

การทดลองที่ 4 การศึกษาอิทธิพลของสภาพแวดล้อมเหนือสวนหลังคา

และการทดลองที่ 5 การศึกษาอิทธิพลของการแผ่รังสีความร้อนของดวงอาทิตย์

ผลการวิจัยสรุปได้ว่า การใช้สวนหลังคาสามารถลดการถ่ายเทความร้อนและลดอุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาดาดฟ้าลงได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งเป็นผลมาจากอิทธิพลจากดิน ความชื้นภายในดิน และการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างหลังคาดาดฟ้าอาคารกับดินซึ่งในการใช้สวนหลังคาเพื่อลดการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคาดาดฟ้าอาคารนั้น ควรใช้วัสดุปกคลุมผิวดิน อาทิ หญ้า พืชคลุมดิน เพื่อรักษาความชุ่มชื้นในดินและช่วยลดอุณหภูมิที่ผิวดิน อีกทั้งควรใช้ประดษชน์จากพุ่มไม้ของไม้พุ่มและไม้ยืนต้นเพื่อปรับสภาพแวดล้อมเหนือดินและช่วยป้องกันรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ ซึ่งการ

ใช้ประโยชน์จากดิน วัสดุคลุมดิน ความชื้นภายในดินและการปรับสภาพแวดล้อมโดยการบังเงา ให้แก่สวนหลังคาจะช่วยลดการถ่ายเทความร้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.6.2 วัสดุปลูก

กระบวน วัฒนปรีชานนท์ และ เอกสิทธิ์ วัฒนปรีชานนท์ (2534) ได้ศึกษาการนำวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรได้แก่ทราศ แกลบ ขุยมะพร้าว จี๊เถ้าแกลบ จี๊เถ้าชานอ้อย และฟางข้าว มาใช้เป็นวัสดุปลูกมะเขือเทศนอกฤดูโดยไม่ใช้ดิน ผลการทดลองโดยพิจารณาในเรื่องของวัสดุปลูก พบว่าการใช้ขุยมะพร้าว หรือวัสดุปลูกที่มีขุยมะพร้าวผสมอยู่ด้วย มักให้ผลดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุปลูกอื่น ๆ ทั้งในแง่ของการเจริญเติบโตทางลำต้นไปจนกระทั่งเก็บเกี่ยว ตลอดระยะเวลาทำการทดลอง ซึ่งให้จำนวนผล และผลผลิตต่อต้นจำนวนมากที่สุด และพิจารณาด้านความสมบูรณ์ของต้น จะพบว่าต้นมะเขือเทศที่ปลูกในวัสดุที่ผสมด้วยขุยมะพร้าว จี๊เถ้าแกลบ หรือทราศเป็นส่วนใหญ่นสามารถใช้เป็นวัสดุปลูกที่ให้การเจริญเติบโตทางลำต้นดีมาก และยังเป็นต้นที่มีลักษณะสมบูรณ์ดีที่สุดอีกด้วย ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองจากงานวิจัยอื่นที่เคยมีผู้ทดลองปลูกผักบางชนิดและพบว่าได้ผลดีเช่นกัน และจากการศึกษานี้สามารถสรุปผลได้ว่า มีความเป็นไปได้ที่จะนำจี๊เถ้าแกลบ และขุยมะพร้าวมาใช้เป็นวัสดุปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน ซึ่งให้ผลดีและหาได้ง่ายภายในประเทศ

Nidal H. Abu – Hamdeh and Randall C. Reederb ศึกษาผลกระทบการนำความร้อนของดินจากความหนาแน่นความชื้น ความเข้มข้นของเกลือ และสสารอินทรีย์ ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของดินภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดเป็นสิ่งสำคัญที่สุดที่เกี่ยวข้องกับสภาพแวดล้อมขนาดเล็กของดิน การเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว และการพัฒนาต้นพืชอาจถูกกำหนดให้ขยายสภาพแวดล้อมขนาดเล็ก ผลของความหนาแน่น ความชื้น ความเข้มข้นของเกลือ และอินทรีย์วัตถุที่มีต่อการนำความร้อน ดินในจอร์แดนที่ผ่านการร่อนตรวจสอบผ่านการปฏิบัติการ การทดลองในห้องปฏิบัติการเหล่านี้ใช้วิธีการ โพรบ เพื่อกำหนดค่าการนำความร้อนดิน จำแนกเป็นทราย ดินร่วนปนทราย ดินร่วน และดินร่วนปนดินเหนียว เกลือสองตัวชนิดที่ใช้ คือ NaCl และ CaCl₂ ในขณะที่มีการใช้พีทมอสเพื่อเพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุ สำหรับดินที่ศึกษานั้นค่าการนำความร้อนเพิ่มขึ้นเมื่อความหนาแน่นของดิน และความชื้นเพิ่มขึ้น ค่าการนำความร้อนของทรายอยู่ในช่วง 0.58 – 1.94 ดินร่วนปนทราย 0.19 – 1.12 ดินร่วน 0.29 – 0.76 และดินร่วนปนดินเหนียว 0.36 – 0.69 W/mK สำหรับดินเหนียวที่ความหนาแน่น 1.23 – 1.59 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และปริมาณน้ำจาก 1.4 เป็น 21.2 % ผลการศึกษายังแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มปริมาณเกลือที่เพิ่มขึ้นที่ปริมาณความชื้นที่กำหนด (สารละลายปริมาตรอยู่ในช่วง 0.03 – 0.12 m (3) m (-3) m (-3) สำหรับทราย และจาก 0.09 – 0.30 m(3) m(-3) สำหรับดินเหนียว) ซึ่งการนำความร้อนลดลง เมื่อเพิ่มเปอร์เซ็นต์ของอินทรีย์วัตถุในดิน

รศ.พาสินี สุนากร และ รศ.ทรงกลด จารุสมสมบัติ (2555). แผ่นปลูกพืชบนหลังคา จากงานวิจัยแผ่นปลูกพืชบนหลังคา เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำหนักเบา สามารถลดภาระของโครงสร้าง หลังคาในการรับน้ำหนักดินในการปลูกพืชบนหลังคาซึ่งมีน้ำหนักเฉลี่ยถึง 900 กก./ตร.ม. เป็นแผ่น วัสดุปลูกขนาด 30 x 30 ซม.หนา 5 ซม. ทำด้วยวัสดุใยและขุยมะพร้าว กากกาแฟที่แห้งสนิท มา ผสมกันที่สัดส่วน 60 : 40 ประสานเข้าด้วยกันโดยกาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ สามารถอยู่ได้ด้วยตัวเอง โดยไม่ต้องมีลาด หรือกระเบื้องรองรับ ในตัวแผ่นมีสารอาหารทำให้ไม่ต้องใส่ปุ๋ยใน 6 เดือนแรก มี น้ำหนักเบา กว่าระบบอื่น ๆ แผ่นปลูกพืชบนหลังคาผลิตจากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร มี ส่วนประกอบหลัก คือ ใยมะพร้าว และกากกาแฟสด ซึ่งใยมะพร้าวเป็นวัสดุคงรูป สามารถถ่ายเท อากาศได้สะดวก รากพืชสามารถยึดเกาะได้ ส่วนกากกาแฟมีธาตุไนโตรเจนใช้ทดแทนปุ๋ยได้ดี สัดส่วนของใยมะพร้าวต่อกากกาแฟ เท่ากับ 60 : 40 นำวัสดุที่ผสมแล้วไปบดอัดขึ้นรูปเป็นแผ่นวัสดุ ปลูกพืช มีความหนาแน่น 300 กก./ลบ.ม. มีความโปร่งพรุนพอเหมาะ และดูดซับน้ำได้ 177.61 เปอร์เซ็นต์ จากการแช่น้ำ 1 ชั่วโมง น้ำหนักรวมพืชปกคลุมเต็มที่ขณะชมน้ำ 78.2 กก./ตร.ม. มีค่าไนโตรเจนต่อฟอฟอรัสต่อ โปรตัสเซียม เท่ากับ 4.61 : 0.2 : 1.28 มีค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 5.6 สามารถปลูกพืชเจริญเติบโตได้ดี ในด้านคุณสมบัติการป้องกันความร้อน แผ่นปลูกพืชที่มีพืชปกคลุม 100 เปอร์เซ็นต์ สามารถป้องกันความร้อนได้ดีกว่าฉนวนใยแก้วหนา 2 นิ้ว ความหนาแน่น 32 กก./ลบ.ม. โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำกว่ากล่องเปล่า 8.21 องศาเซลเซียสในตอนกลางวัน ขณะที่ฉนวนใยแก้วมีอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำกว่ากล่องเปล่า 2.76 องศาเซลเซียส และคลายความร้อนได้ดีกว่าฉนวนใยแก้วในตอนกลางคืน โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำกว่ากล่องเปล่า 1.48 องศาเซลเซียสในตอนกลางคืน ขณะที่ฉนวนใยแก้วมีอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำกว่ากล่องเปล่า 0.90 องศาเซลเซียส สามารถปลูกพืชเจริญเติบโตได้ดีในระยะเวลาของการทดลอง 6 เดือน จากพืชคลุมดิน 5 ชนิด ได้แก่ ฟ้าประดิษฐ์ คาดตะกั่ว ผักเป็ดแดง เบบี๋ชัน โรส ลีนมั่งกรแคระ พบว่าคาดตะกั่ว มีอัตราการเติบโตสูงสุด

สัจจา ก้อนพรหม และจอมยศ กิจนุกูล (2556) ได้ศึกษาการปลูกหญ้านวลน้อยบน แผ่นใยมะพร้าว โดยแบ่งแผ่นใยมะพร้าวออกเป็น 4 เกรด A, B, C และ D ซึ่งมีความหนาของแผ่นใย มะพร้าวแต่ละเกรดอยู่ที่ 2, 1.5, 1 และ 0.5 ซม.ตามลำดับ และการทดลองสุดท้ายไม่ได้ใช้แผ่นใย มะพร้าว รวมทั้งสิ้น 5 การทดลอง พบว่า ความยาวของรากหญ้านวลน้อยในแต่ละช่วงที่เก็บผลการ ทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หญ้านวลน้อยที่ปลูกด้วยแผ่นใยมะพร้าวที่บาง ที่สุดมีความยาวรากมากที่สุดแต่ไม่แตกต่างกับการปลูกแบบไม่ใช้ใยมะพร้าว ส่วนการวัดผลในด้าน ระยะเวลาพบว่าหญ้านวลน้อยที่ปลูกบนแผ่นใยมะพร้าวมีอายุอยู่ได้นานกว่าไม่ใช้แผ่นใยมะพร้าว โดยหญ้าที่อยู่บนแผ่นใยมะพร้าวที่มีความหนามากกว่าจะสามารถอยู่ได้นานกว่า สำหรับการวัดผล ในด้านการงอกของต้นหญ้า น้ำหนักของต้นหญ้าและน้ำหนักของแผ่นใยมะพร้าว รวมถึงอัตราการ

เจริญเติบโตของต้นหญ้า โดยการชั่งน้ำหนักสดและแห้ง พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติแต่อย่างใด

ฮันนาห์ เกรย์ และอับราม เจ บิคส์เลอร์ (2556) ได้ศึกษาการเพาะ และเลี้ยงดูต้นกล้าด้วยวัสดุเหลือใช้จากอุตสาหกรรม ได้แก่ เศษไม้ ขยะย่อยสลาย แกลบ และขุยมะพร้าว โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาส่วนผสมของวัสดุที่เหมาะสมที่สุด และพิจารณาว่าส่วนผสมที่ทำจากวัสดุท้องถิ่นสามารถผลิตพืชที่มีคุณภาพได้คล้ายกัน หรือดีกว่าส่วนผสมที่มีขายอยู่ในท้องตลาด ซึ่งพบว่า แกลบรวมไปถึงแกลบเผา หรือจี้เข้าแกลบ และขุยมะพร้าว สามารถใช้เป็นส่วนประกอบเพิ่ม หรือส่วนประกอบทดแทนที่เหมาะสมต่อส่วนผสมของวัสดุปลูก มีศักยภาพในการลดความเสี่ยงในการเกิดน้ำขังได้อย่างมีประสิทธิภาพเมื่อใช้แทนวัสดุราคาแพง ซึ่งมีผลต่อการเพาะกล้าเนื่องจากวัสดุเพาะที่ระบายน้ำได้ไม่ดีจะส่งผลกระทบต่อรากที่ลดลง เพิ่มโอกาสในการเน่าเสียของเมล็ด และเป็นอุปสรรคในการสร้างสมดุลของน้ำในต้นกล้า ขุยมะพร้าวมีความสามารถในการอุ้มน้ำสูง และสามารถระบายน้ำได้ดีจากช่องว่างที่เป็นรูพรุน ส่วนแกลบช่วยให้ดินมีช่องว่างเช่นเดียวกันกับขุยมะพร้าว จึงทำให้มีการระบายน้ำที่ดี และไม่ย่อยสลายเร็วเกินไป ซึ่งการใช้วัสดุทั้งสองอย่างนี้ถือเป็นทางเลือกที่ราคาถูก และมีประสิทธิภาพในการใช้เป็นส่วนผสมสำหรับเพาะต้นกล้า นอกจากนี้ การใช้แกลบเผา หรือจี้เข้าแกลบ ยังถือเป็นวัสดุช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการเพาะปลูก และช่วยเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้กับ ส่วนผสมตั้งต้นของวัสดุเพาะอีกด้วย

ปริยานุช จุลกะ พิจิตราแก้วสอน และ ปณัดดา จินประสม (2557) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการนำกากกาแฟมาใช้เป็นส่วนผสมของวัสดุปลูก โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 การทดลอง โดยการทดลองที่ 1 จะศึกษาเกี่ยวกับวัสดุเพาะเมล็ด ที่มีส่วนผสมแตกต่างกัน พบว่า การเพาะเมล็ดมะเขือเทศในพีทมอส และขุยมะพร้าว กากกาแฟ ปุ๋ยหมัก อัตราส่วน 75 : 20 : 5 มีความงอกสูงที่สุด และใช้เวลาเฉลี่ยในการงอกน้อยที่สุดในขณะที่การใช้ขุยมะพร้าว และกากกาแฟ อัตราส่วน 75 : 25 มีการเจริญเติบโตทั้งความสูงของต้น จำนวนใบ เส้นผ่านศูนย์กลาง น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งของลำต้น และรากน้อยที่สุด ซึ่งอาจเป็นเพราะในกากกาแฟมีสารแทนนินที่มีความเป็นพิษต่อราก ส่งผลให้การเจริญเติบโตลดลง ส่วนการทดลองที่ 2 เป็นการศึกษาการเจริญเติบโตของต้นกล้าในวัสดุปลูกต่างชนิดกัน ซึ่งพบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ทางสถิติโดยการใช้กากกาแฟทดแทนปุ๋ยหมัก หากใช้ในปริมาณน้อยจะไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของต้นมะเขือเทศ แต่ทั้งนี้หากเพิ่มสัดส่วนของกากกาแฟในวัสดุปลูกจะมีผลทำให้การเจริญเติบโตของต้นกล้าลดลง แสดงให้เห็นว่า การใช้กากกาแฟเป็นส่วนผสมของวัสดุปลูกควรใช้ในปริมาณที่เหมาะสมจึงจะมีประสิทธิภาพในการใช้ทดแทนปุ๋ยหมักได้

ณอรัชต์พัชร เกียววิชัย และ ปิยะณัฐ ฝกามาศ.(2557) ศึกษาการคัดเลือกชนิดพืช และวัสดุปลูกที่เหมาะสมสำหรับสวนบนหลังคาคอนกรีต โดยทดสอบพืช 8 ชนิด ได้แก่ หลิวไต้หวัน

กาบหอยแครงแคะ เศรษฐีเรือนนอก ผักเป็ดแดง ถิ่นมังกรแคะ เทียนทอง ว่านหางจระเข้ และซีดัม ปลูกในกระบะขนาด 21 x 39 เซนติเมตร ที่มีดินเป็นวัสดุปลูก ความลึก 10 เซนติเมตร รดน้ำวันละครั้ง นาน 3 เดือน พบว่า เทียนทอง มีอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์เฉลี่ยสูงสุด รองลงมา คือ เศรษฐีเรือนนอก หลิวไต้หวัน ว่านหางจระเข้ และซีดัม ตามลำดับ จากนั้นนำพืชดังกล่าวปลูกทดสอบกับวัสดุปลูก ได้แก่ ขุยมะพร้าว มะพร้าวสับ ถ่านแกลบ และวัสดุผสม (ขุยมะพร้าว : มะพร้าวสับ : ถ่านแกลบ 1 : 1 : 1) ความลึก 10 เซนติเมตร ในกระบะขนาด 21 x 39 เซนติเมตร นาน 5 เดือน บนหลังคา รดน้ำ สัปดาห์ละ 2 ครั้ง พบว่า หลิวไต้หวัน ว่านหางจระเข้ และซีดัม มีดัชนีการเจริญเติบโต และการครอบคลุมพื้นที่เฉลี่ยสูงขึ้นในวัสดุปลูกทุกชนิด โดยสูงสุดในวัสดุปลูกที่เป็นมะพร้าวสับ จากการทดลอง สรุปได้ว่า หลิวไต้หวัน ว่านหางจระเข้ และซีดัม ที่ปลูกในมะพร้าวสับ มีความเหมาะสม สำหรับการปลูกในสวนบนหลังคา จากนั้นเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านการลดความร้อนเข้าสู่ห้อง ที่มีสวน และไม่มีสวน บนหลังคา ห้องที่มีสวนบนหลังคามีอุณหภูมิต่ำกว่า และความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่าห้องที่ไม่มีสวนบนหลังคา และห้องที่มีสวนบนหลังคาสามารถช่วยลดภาระการทำความเย็นจากเครื่องปรับอากาศได้ มากถึง 73.81 เปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับห้องที่ไม่มีสวนบนหลังคา

คริสรัฐพล หนูพรหม (2559) ได้ศึกษาผลของวัสดุเพาะกล้าจากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรต่อความงอก และการเจริญเติบโตของต้นกล้าบรอกโคลี โดยต้นกล้าบรอกโคลีที่เพาะในวัสดุเพาะกล้าที่เป็นขี้เถ้าแกลบล้วนมีความงอกใกล้เคียงกับการเพาะในดินผสมมากที่สุด เนื่องจากขี้เถ้าแกลบเป็นวัสดุอินทรีย์ที่มีน้ำหนักเบา ไม่แฉะ และระบายน้ำได้ดี ซึ่งเหมาะสมกับการงอกของต้นกล้า แต่แม้ว่าต้นกล้าบรอกโคลีจะมีความงอกดีใกล้เคียงกับดิน แต่กลับมีการเจริญเติบโตทางด้านความกว้างใบ ความยาวใบ น้ำหนักสดลำต้น และใบ น้ำหนักสดราก น้ำหนักแห้งลำต้น และใบ และน้ำหนักแห้งรากต่ำ เนื่องจากขี้เถ้าแกลบมีค่าความเป็นกรด - ด่างสูง ซึ่งไม่เหมาะต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้าพืชโดยทั่วไปที่ควรมีค่าความเป็นกรด - ด่างอยู่ที่ 5.5 - 6.5 ดังนั้นหากต้องการใช้ขี้เถ้าแกลบเป็นส่วนผสมของวัสดุปลูก ควรใช้ขี้เถ้าแกลบร่วมกับวัสดุเพาะกล้าชนิดอื่น ๆ ตามสัดส่วนที่กำหนดจึงจะทำให้ต้นกล้ามีการเจริญเติบโตที่ดีได้

เจนจิรา ชุมภูคำ สิริกาญจนา ตาแก้ว และณัฐพงศ์ จันจุฬา (2559) ที่ได้ศึกษาผลของวัสดุปลูกต่อการงอกของเมล็ด การรอดชีวิต และการเจริญเติบโตของต้นกล้ามันเบอร์รี่พันธุ์เวียดนาม GQ2 พบว่า หากใช้ขี้เถ้าแกลบเพียงอย่างเดียวอาจยังไม่เหมาะต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้า เนื่องจากขี้เถ้าแกลบมีความเป็นด่างสูง โดยมีค่าความเป็นกรด - ด่างอยู่ที่ 8.25 ซึ่งค่าความเป็นกรด - ด่างที่เหมาะสมต่อการเติบโตต่อต้นกล้าของพืชโดยทั่วไปนั้น ISTA (1985) ได้กำหนดค่าความเป็นกรด - ด่างของวัสดุปลูกว่าควรอยู่ระหว่าง 5.5 - 6.5 ซึ่งหากวัสดุปลูกมีส่วนผสมของขี้เถ้าแกลบมากเกินไปจะก็มีผลทำให้การเติบโตของต้นกล้าต่ำ

2.6.3 หลังคาเขียวสำหรับการลดอุณหภูมิภายในอาคาร

วารุณี ธนาวุฒิวัดนา (2552) ได้ศึกษาเรื่องประสิทธิภาพในการใช้หลังคาปลูกพืชเพื่อลดความร้อนสำหรับสภาพภูมิอากาศร้อนชื้น รวมถึงการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าจากเครื่องปรับอากาศ ในการศึกษาประกอบด้วยหลังคา 4 ชนิด ได้แก่ หลังคา ค.ส.ล. หลังคาหญ้ามาเลเซีย (ดินปลูก 10 ซม.) หลังคาหญ้าฉนวนน้อย (ดินปลูก 10 ซม.) และหลังคาหญ้ามาเลเซีย (ดินปลูก 20 ซม.) ทำการเก็บข้อมูลอุณหภูมิของทั้ง 4 กล่อ่ง แล้วนำไปเปรียบเทียบ และหาค่าการใช้พลังงานของห้องทำงาน ทั้งนี้ได้ศึกษาเกี่ยวกับความหนาของดินปลูก และชนิดของพืชพันธุ์ที่อยู่บนหลังคาที่มีผลต่ออุณหภูมิภายในห้อง อุณหภูมิใต้ผิวเพดาน และการใช้พลังงานปรับอากาศภายในอาคาร ผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า ในกรณีที่อาคารนั้นไม่ปรับอากาศ พบว่าหลังคาหญ้าฉนวนน้อย (ดินปลูก 10 ซม.) มีค่าอุณหภูมิใต้หลังคาในช่วงกลางวันต่ำที่สุด ซึ่งค่าดัชนีพื้นที่ในใบพืชเป็นตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อการลดความร้อนเข้าสู่อาคาร โดยหลังคาหญ้าที่มีดัชนีพื้นที่ในใบพืชมากกว่าจะลดอุณหภูมิผิวภายในได้มากกว่า แม้ว่าค่าความลึกของดินปลูกจะหนากว่า แต่ในกรณีที่ปรับอากาศ พบว่า หลังคาหญ้าฉนวนน้อย (ดินปลูก 20 ซม.) จะมีค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยที่สุด ซึ่งในกรณีนี้ หลังคาที่มีความลึกดินปลูกมากกว่าจะมีค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำกว่า แม้ว่าจะปลูกพืชชนิดเดียวกัน และจากผลการทดลองทั้งหมดสามารถสรุปผลได้ว่า หลังคาเขียว (Green Roof) ที่เหมาะกับอาคารที่ตั้งอยู่ในภูมิอากาศแบบร้อนชื้น ควรปลูกด้วยพืชที่มีดัชนีพื้นที่ในใบมาก และควรเป็นอาคารที่มีการใช้เครื่องปรับอากาศในช่วงกลางวันมากกว่ากลางคืน เช่น อาคารสำนักงาน อาคารเรียนในมหาวิทยาลัย เป็นต้น

พุทธิพันธ์ เจริญเวชขางกูร (2552) ศึกษาเรื่องประสิทธิภาพเชิงความร้อนของหลังคาเขียว (Green Roof) ที่ใช้วัสดุธรรมชาติเป็นวัสดุปลูกทดแทนดิน ประกอบไปด้วย ขุยมะพร้าว แกลบสด ขี้เถ้าแกลบ ทราช และหินภูเขาไฟ ในอัตราส่วน และความหนาแน่น 9 รูปแบบ รวมถึงการเจริญเติบโตของหญ้าในวัสดุปลูกต่าง ๆ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับการปลูกในดิน พบว่า ในด้านของวัสดุปลูก แกลบสดไม่เหมาะสำหรับนำมาใช้เป็นวัสดุปลูก เนื่องจากมีความสามารถในการอุ้มน้ำต่ำ ทำให้ต้นหญ้าเจริญเติบโตได้ไม่ดี ความหนาแน่นของใบต่ำลง และรากยึดเกาะกับวัสดุปลูกได้ไม่ดี ซึ่งสรุปได้ว่าหญ้าที่ปลูกในวัสดุปลูกที่มีความสามารถในการอุ้มน้ำสูงจะเจริญเติบโตได้ดีกว่าวัสดุที่มีความสามารถในการอุ้มน้ำต่ำ ส่วนในด้านการทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อนของหลังคาเขียว พบว่า หลังคาเขียวสามารถลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร และหน่วงความร้อนได้ดีกว่าหลังคาคอนกรีตเปล่า ซึ่งในกรณีที่น้ำหนักของวัสดุปลูกเท่ากัน และชนิดเดียวกัน การลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารจะขึ้นอยู่กับความหนา และคุณสมบัติของวัสดุปลูกชนิดนั้น โดยหินภูเขาไฟเป็นส่วนประกอบของวัสดุปลูกที่ลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่หลังคาได้ดีที่สุด และดีกว่าการใช้ดินเป็นวัสดุปลูก แต่ในกรณีที่ความลึกของวัสดุปลูกเท่ากัน การลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารจะขึ้นอยู่กับ

กับคุณสมบัติของวัสดุปลูกชนิดนั้น ๆ ผลการทดสอบเปรียบเทียบหลังคาเขียวกับหลังคาคอนกรีตเปล่า พบว่า หลังคาเขียวที่มีความลึกของวัสดุปลูก 0.125 เมตร จะมีประสิทธิภาพในการลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารได้ดีกว่า พื้นหลังคาคอนกรีตเปล่า โดยมีอุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองต่ำกว่าประมาณ 5.0 - 7.2 องศาเซลเซียสในช่วงอุณหภูมิสูงสุด และหน่วงความร้อนได้นานกว่า 2 - 4 ชั่วโมง แต่การคายความร้อนจะน้อยกว่าประมาณ 1.2 - 2.4 องศาเซลเซียส สรุปได้ว่า หลังคาเขียวที่ใช้วัสดุธรรมชาติเป็นวัสดุปลูกทดแทนดินนั้น จะมีประสิทธิภาพดีกว่าวัสดุปลูกที่เป็นดิน ในแง่น้ำหนักวัสดุปลูกและการลดความร้อน

แสวงทิพย์ นิรุติรักษ์ และ อรรถนัย เศรษฐบุตร (2556) การศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม และความเป็นไปได้ทางการเงินของหลังคาเขียว โดยวิธีการระเหยของน้ำ โดยเป็นการศึกษาค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาเขียวชนิดต่าง ๆ กัน ได้แก่

1. หลังคาคอนกรีตที่มีความหนา 0.10 เมตร
2. หลังคาดิน 0.15 เมตร
3. หลังคาหญ้าหนวดน้อย (*Zoysiamatrella Merrill.*) ปลูกบนชั้นดิน หนา 0.15 เมตร
- และ 4. หลังคาไม้เลื้อยวานแสนห้จันทร์เขียว (*Homalomena sp.*) ปลูกบนชั้นดิน หนา 0.15 เมตร

หลังคาคอนกรีตซึ่งเป็นกรณีศึกษาเปรียบเทียบ ซึ่งศึกษาประสิทธิภาพในการลดการถ่ายเทความร้อนจากหลังคาเขียวที่มีการรดน้ำในรูปแบบที่แตกต่างกัน โดยแบ่งเป็น 2 รูปแบบ คือ รดน้ำหลังคา 3 ช่วงเวลาต่อวัน และ 2 ช่วงเวลาต่อวัน โดยทำการวัดและบันทึกค่าอุณหภูมิจากกล่องทดลองในตำแหน่งที่กำหนด เพื่อนำมาคำนวณหาค่าประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนจากหลังคา (U - Value) จากผลการทดลอง หลังคาคอนกรีต เป็นหลังคาที่มีค่า U - Value มากที่สุดแสดงถึงความสามารถในการถ่ายเทความร้อนที่มีค่ามากที่สุด แต่เมื่อพิจารณาค่า U - Value ของหลังคาอีก 3 ประเภทที่เหลือ พบว่า แตกต่างจากหลังคาคอนกรีตมาก เนื่องจากหลังคาทั้ง 3 มีการรดน้ำหลังคา ซึ่งสามารถพาความร้อนจากหลังคากระเหยออกกลายเป็นไอ (Evaporation) ส่งผลให้ค่า U - Value ต่ำกว่าหลังคาคอนกรีต และจำนวนครั้งในการรดน้ำ 2 ครั้งต่อวันจะมีค่า U - Value น้อยกว่าการรดน้ำ 3 ครั้งต่อวันเพียงเล็กน้อย ทั้งนี้สาเหตุเป็น เพราะปริมาณน้ำที่รดนั้น 3 ครั้ง อาจจะมีปริมาณน้ำที่มากเกินไปจนความจำเป็น จึงทำให้เกิดน้ำขังในดิน ส่งผลให้ค่าการนำความร้อนดีกว่าหลังคาที่รดน้ำ 2 ครั้ง ทำให้ประสิทธิภาพในการระเหยน้ำของน้ำในช่องว่างภายในดินต่ำกว่าการรดน้ำ 2 ครั้งต่อวัน และยังแสดงให้เห็นว่า หลังคาหญ้าเป็นหลังคาที่มีค่า U - Value ต่ำที่สุด เนื่องจากหลังคาหญ้านั้น ถึงแม้ว่าวางบนดินที่มีความหนาเท่ากับหลังคาดิน (0.15) เมตร แต่หญ้ามียาวัชพืช และจำนวนต้นมากกว่าหลังคาไม้เลื้อย จึงทำให้มีการคายน้ำมากกว่าหลังคาไม้เลื้อย ดังนั้นจึงทำให้ประสิทธิภาพในการพาความร้อนออกจากหลังคาด้วยการระเหยเป็นไอน้ำมากกว่า

รววิช พวงพรศรี (2560) ได้ทดลองพัฒนาและติดตั้งหลังคาเขียว (Green Roof) (Green Roof) เพื่อลดการถ่ายเทความร้อนจากหลังคาสู่ภายในอาคารจำลอง โดยพิจารณาปลูกหญ้า นวลน้อย ความหนาดินของชั้นปลูก 3 และ 5 เซนติเมตร ปลูกบนหลังคา A ขนาด 2 x 2 เมตร ประเภท Metal sheet จำนวน 2 ห้องพบว่า ช่วงเวลา 12:00 - 16:00 น. เป็นช่วงที่อุณหภูมิสูงที่สุดของ วันจะมีอุณหภูมิภายในลดลงห้องที่ติดตั้งหลังคาเขียว (Green Roof) เฉลี่ย 4.3 องศาเซลเซียส นอกจากนี้สามารถลดอุณหภูมิผิวด้านล่างของหลังคา ณ เวลา 14:00 ได้ 14.2 องศาเซลเซียส ดัง แสดงในตารางที่ 2.9

ตารางที่ 2.9 แสดงอุณหภูมิระหว่างการติดตั้งและไม่ติดตั้งหลังคาเขียว (Green Roof)

เวลา	ติดตั้ง Green Roof (°C)						ไม่ติดตั้ง Green Roof (°C)					
	o	i	w	n	t	s	o	i	w	n	t	s
6:00	24	24	23.5	23.5	24	24	24	23.5	23.5	23.8	24.5	24
8:00	26	25	24.5	24.7	25	24	26	25	24.8	24.9	29.6	24
10:00	29	27.5	26.3	26.6	27	26	29	28.1	26.6	26.7	32.3	26.8
12:00	35	30	25	26.6	30	28	35	32.5	28.6	29.3	37.7	32.4
14:00	36	31	21.9	23.7	27	25	36	33.5	27.1	27.3	41.2	31.4
16:00	35	32	34	35.3	33	32	35	35	37.6	34.4	34.2	33.6
18:00	28	30.5	29	31.6	29	29	28	32	33.7	30.8	27.3	30.3

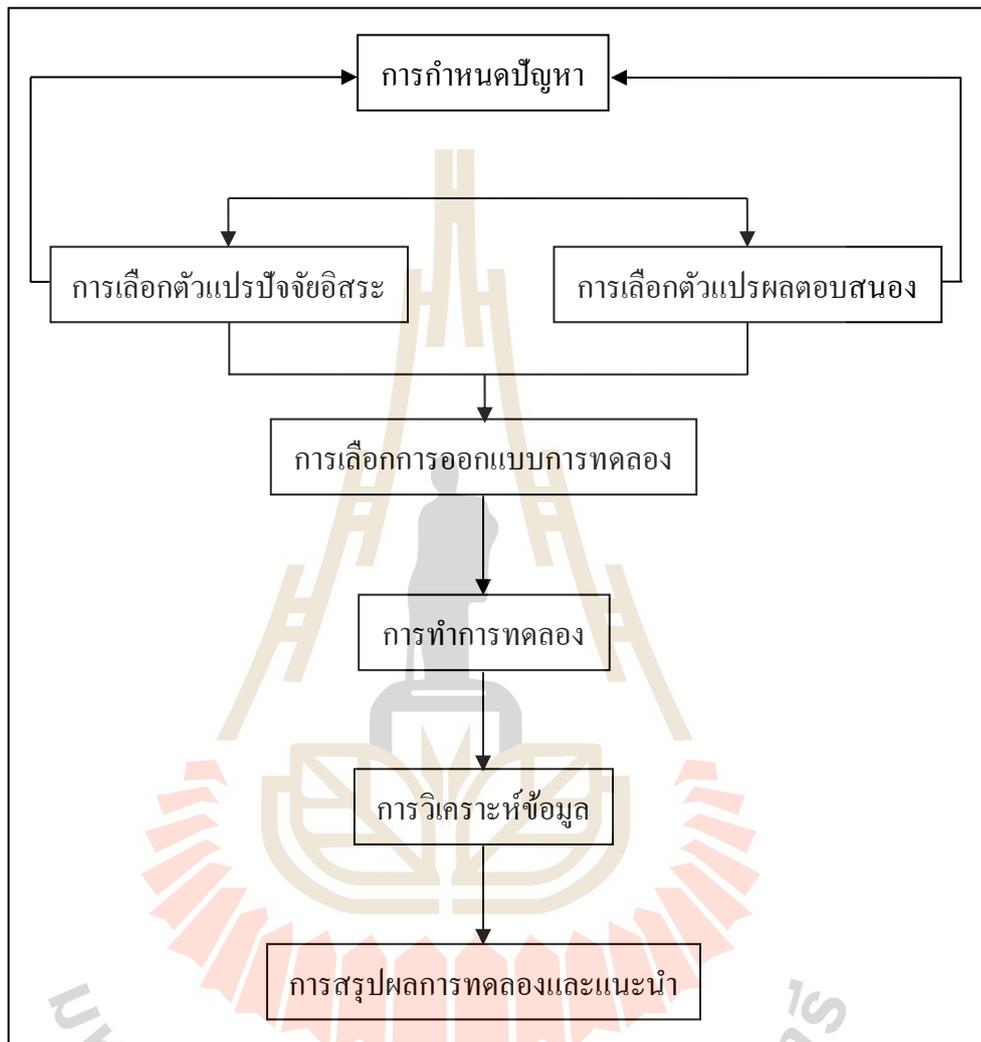
หมายเหตุ o = ภายนอก, i = ภายใน, w = ผิวผนังทิศตะวันตก, n = ผิวผนังทิศเหนือ, t = ผิวใต้หลังคา ภายใน, s = ผิวผนังทิศใต้

2.7 การออกแบบการทดลอง

Montgomery (2005) กล่าวว่า เพื่อให้การวิเคราะห์ผลการทดลองอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด วิธีการทางวิทยาศาสตร์จะช่วยให้แผนการทดลอง หาข้อสรุปที่สมเหตุสมผลได้

ในปัจจุบัน การรวบรวมข้อมูลหรือวิเคราะห์กระบวนการหรือหาอัตราส่วนที่เหมาะสม ต่างๆ การออกแบบการทดลอง (design of experiment; DOE) เป็นการออกแบบเพื่อหาตัวแปรอิสระ หรือปัจจัย (independent variables or factors, X) ที่มีผลต่อตัวแปรตาม หรือผลตอบสนอง (responses or outputs, Y) โดยลดความแปรปรวนของผลตอบสนอง และให้ผลตอบสนองอยู่ใน เป้าหมาย (target) ของการออกแบบการทดลองมากที่สุด อีกทั้งสามารถศึกษาผลของหลาย ๆ ปัจจัย พร้อมกัน ด้วยจำนวนการทดลองที่น้อยกว่าการศึกษาทีละปัจจัย การออกแบบการทดลองจึงเป็น

วิธีการเก็บข้อมูลที่มีประสิทธิภาพโดยการเปลี่ยนแปลง หรือปรับค่าของปัจจัยอย่างมีจุดมุ่งหมายที่จะสังเกตการเปลี่ยนแปลงของผลตอบสนองที่เกิดขึ้น (ชาตุนรงค์ สายแก้ว, 2557)



รูปที่ 2.23 ขั้นตอนการออกแบบการทดลอง

2.7.1 รูปแบบการทดลอง

Montgomery (2012) เสนอแนวทางการออกแบบการทดลองประกอบด้วย 6 ขั้นตอนคือ การกำหนดปัญหา การกำหนดตัวแปร การเลือกการออกแบบการทดลอง การทำการทดลอง การวิเคราะห์ข้อมูล การสรุปผลการทดลอง และแนะนำ ดังแสดงในตารางที่ 2.10

ตารางที่ 2.10 รูปแบบการออกแบบการทดลอง

รูปแบบการทดลอง	ลักษณะการทดลอง	เวลาในการวิเคราะห์	ความถูกต้อง	งบประมาณ
Single Factor	การทดลองสำหรับหนึ่งปัจจัยโดยปัจจัยดังกล่าวเป็นปัจจัยสำคัญที่คาดว่าจะมีผลกระทบสูงสุดต่อปัญหา	รวดเร็ว	ปานกลาง	น้อย
Factorial Design	การทดลองที่มีมากกว่าหนึ่งปัจจัยและเป็นการทดลองเต็มรูปแบบ	ใช้เวลานาน	มากที่สุด	มาก
^k 2 Design	การทดลองที่มีมากกว่าหนึ่งปัจจัยและเป็นการปัจจัยอยู่ที่ปัจจัยละ 2 ระดับ	ปานกลาง	ปานกลาง	ปานกลาง

2.7.2 การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k แฟกทอเรียล

การออกแบบการทดลองมีรูปแบบที่หลากหลาย ดังแสดงในตารางที่ 2.10 ซึ่งการใช้งานขึ้นอยู่กับข้อมูลที่ต้องการศึกษา สำหรับงานวิจัยนี้เลือกใช้การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล (experiments of factorial design) คือ การทดลองที่นิยมใช้อย่างกว้างขวางในการออกแบบแผนการทดลองเนื่องจากสามารถศึกษาปัจจัยได้หลายปัจจัยพร้อมกัน ซึ่งหมายถึงการทดลองที่ศึกษาอิทธิพลของปัจจัยตั้งแต่สองปัจจัยขึ้นไป การทดลองแบบแฟกทอเรียลเป็นแผนการทดลองที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดในการตรวจสอบอิทธิพลของหลาย ๆ ปัจจัย (Factor) พร้อมกัน และการออกแบบเชิงแฟกทอเรียลมีประโยชน์หลายประการ เช่น สามารถหลีกเลี่ยงปัญหาที่เกิดจากอันตรกิริยาของปัจจัยที่ก่อให้เกิดข้อสรุปที่ผิดพลาดได้ เนื่องจากการออกแบบการทดลองที่มีประสิทธิภาพเหนือกว่าการทดลองทีละปัจจัย และทำให้เราสามารถประมาณผลของปัจจัยหนึ่งที่ระดับต่าง ๆ ของปัจจัยอื่นได้ สำหรับงานวิจัยนี้ศึกษาการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k แฟกทอเรียล

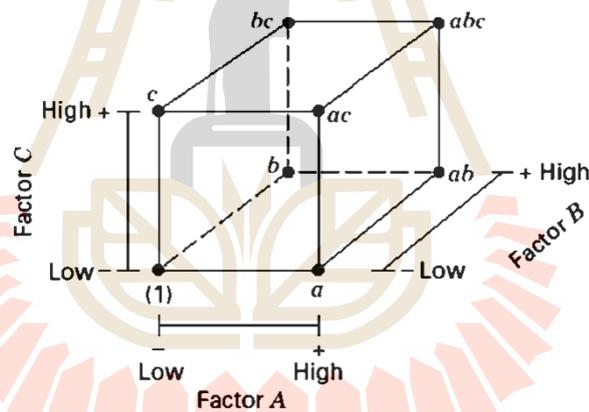
การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k แฟกทอเรียล มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบตั้งแต่สองปัจจัยขึ้นไป กรณีศึกษา 3 ปัจจัยคือปัจจัย A,B และ C ผลกระทบที่เกิดขึ้นสามารถจำแนกได้เป็น 3 ประเภทคือ

1. ผลกระทบหลัก หรือผลกระทบปัจจัยเดี่ยว (Main effect) คือ ผลกระทบกรณีที่สนใจพิจารณาปัจจัยเดี่ยวได้แก่ ผลกระทบปัจจัย A, B และ C
2. ผลกระทบร่วมระหว่าง 2 ปัจจัย (Two-Factor or 2 - ways Interaction) คือ ผลกระทบที่เกิดจากใช้ปัจจัยพร้อมกันเป็นคู่ ได้แก่ ผลกระทบของปัจจัยร่วม (อันตรกิริยา) AC, DC และ AC

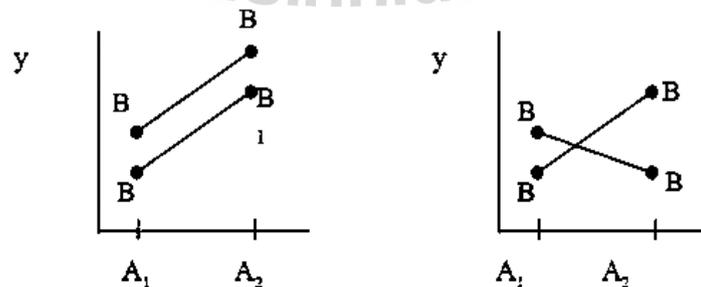
3. ผลกระทบร่วม 3 ปัจจัย (Three-Factor or 3 - ways interaction) คือผลกระทบที่เกิดจากการพิจารณาปัจจัย 3 ปัจจัยพร้อมกัน ในที่นี้ ได้แก่ ผลกระทบของปัจจัยร่วม ABC

โดยทั่วไปผู้ทดลองจะให้ความสำคัญแก่การศึกษา ผลกระทบหลัก และผลกระทบร่วมของสองปัจจัย (Two Factor or 2 - ways interaction) เท่านั้น Montgomery (2005) เนื่องจากผลกระทบร่วมตั้งแต่ 3 ปัจจัยขึ้นไป โดยทั่วไปจะมีค่าน้อยมากจึงไม่นิยมนำมาพิจารณา จะเห็นว่าการทดลองแบบแฟคทอเรียลนั้นมีความแตกต่างจากกรณีศึกษา CRD และ RBD ทั้งในด้านจำนวนปัจจัยที่มีได้ไม่จำกัด และยังสามารถศึกษาผลกระทบร่วมในกรณีที่ 2 ปัจจัยใด ๆ อาจไม่เป็นอิสระต่อกันด้วย แต่ต้องพึงระวังเสมอว่าจำนวนทดลองที่ทำมีค่าน้อยเท่ากับ ผลคูณระหว่างค่าระดับปัจจัยของทุกปัจจัย

การวิเคราะห์ผลนั้นจะใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนเช่นเดียวกับการทดลองแบบแฟคทอเรียล สำหรับการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2^k จะแสดงค่าที่ได้จากการทดลองในรูปของ Cube Plot ดังรูปที่ 2.24



รูปที่ 2.24 Cube Plot สำหรับการทดลองเชิง แฟคทอเรียลแบบ 2^k



รูปที่ 2.25 อิทธิพลของปัจจัยร่วมที่ไม่มีผล และมีผล

การทดลองชนิดแฟกทอเรียลมีข้อดีและข้อเสีย ดังนี้

ข้อดี

1. เป็นการใช้น้อยทดลองทั้งหมด เพื่อตรวจสอบอิทธิพลของทรีทเมนต์หลายทรีทเมนต์พร้อมกัน ส่งผลให้ประหยัดและเสียเวลาน้อยกว่าการทดลองครั้งละ 1 ปัจจัย
2. สามารถตรวจสอบอิทธิพลของปฏิกริยาร่วมระหว่างปัจจัยได้ ช่วยสรุปผลได้ดีกว่าการทดลองครั้งละ 1 ปัจจัย

ข้อเสีย

1. เนื่องจากมีรูปแบบการทดลอง (Treatment Combination) จึงต้องใช้หน่วยทดลองมากขึ้น ซึ่งอาจมีข้อจำกัดเกี่ยวกับจำนวนหน่วยทดลอง
2. กรณีที่มีปฏิกริยาร่วมเกิดขึ้น ส่งผลให้ยากต่อการสรุปผลให้ชัดเจน
3. ถ้าจำนวนปัจจัยมีมากส่งผลให้ขนาดของการทดลองใหญ่ขึ้น ซึ่งทำให้เสียค่าใช้จ่ายสูง และการค้นหาวัตถุทดลองที่มีความสม่ำเสมอจำนวนมากก็เป็นไปได้ยาก

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

จากปรีทศวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ดังที่ได้ศึกษาในบทที่ 2 นำมาสู่วิธี การดำเนินงาน เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ ในการปลูกเห็ดนางรมบนหลังคาโดยใช้วัสดุปลูกทดแทนดิน ศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของวัสดุปลูก เพื่อตรวจสอบธาตุอาหารหลักสำหรับการใช้เป็นวัสดุปลูกทดแทนดิน จากนั้นออกแบบการทดลองเพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับการปลูกบนหลังคา สุดท้ายทำการหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (K) ของวัสดุปลูก จากการคำนวณทางคณิตศาสตร์ โดยมีรายละเอียดวิธี การดำเนินงานวิจัยแสดงดังต่อไปนี้

- 3.1 วัสดุ
- 3.2 เครื่องมือ และอุปกรณ์
- 3.3 การทดสอบคุณสมบัติทางเคมี
- 3.4 การทดสอบหาอัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับปลูกเห็ดนางรมบนหลังคาจากการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^3
- 3.5 การศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุปลูก (Substrate culture)

3.1 วัสดุ

3.1.1 ขุย และใยมะพร้าว

ขุยและใยมะพร้าวที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้คือ ขุยและใยมะพร้าวที่ได้จากการทำกะทิ ซึ่งใยและขุยมะพร้าว ในสัดส่วนที่เท่ากัน ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ขุยและใยมะพร้าว

3.1.2 กากกาแฟ

กากกาแฟที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้คือ ผ่านกระบวนการความร้อนจากการคั่ว และบดให้ละเอียด และกระบวนการชงโดยการผ่านน้ำร้อน 100 องศาเซลเซียส เหลือเป็นกากที่ยังคงมีสารต่าง ๆ เหลืออยู่ ซึ่งกากกาแฟที่ใช้สำหรับงานวิจัยนี้ได้รับมาจากร้านกาแฟสตาร์บัคในห้างสรรพสินค้าเซ็นทรัลนครราชสีมา ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 กากกาแฟ

3.1.3 จี้ถ้ำเกลบ

จี้ถ้ำเกลบที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้คือ จี้ถ้ำเกลบดำ หาได้จากร้านขายวัสดุปลูกหรือร้านขายพืช ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 จี้ถ้ำเกลบ

3.1.4 แป้งมันสำปะหลัง

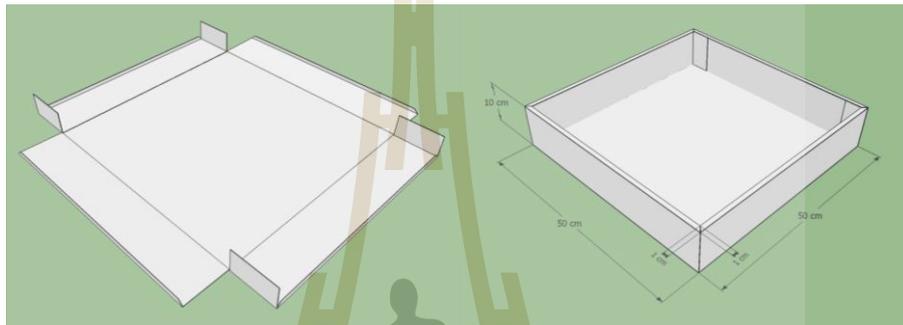
แป้งมันสำปะหลังที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ใช้สำหรับเป็นตัวประสานวัสดุปลูกทั้ง 3 ชนิด ซึ่งต้องเปลี่ยนรูปแป้งมันสำปะหลังเป็นกาวแป้งเปียกโดยนำแป้งมัน 100 กรัม ผสมน้ำ 900 กรัม ให้ความร้อนที่ 100 องศาเซลเซียส ในน้ำเดือด จากนั้นกวนให้เข้ากันจนได้ลักษณะ ดังแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 กาวแป้งเปียก

3.1.5 เมทัลชีท

เมทัลชีทที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ หนา 0.3 มิลลิเมตร นำมาพับให้ได้ขนาด 50 x 50 x 10 เซนติเมตร. จำนวน 18 ถาด ดังรูปที่ 3.5 เจาะรูด้วยสว่านขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร. ในตำแหน่งซ้ายล่าง กลางล่าง และขวาล่างของแต่ละด้านของถาด รวมทั้งสิ้น 12 รูต่อถาด สำหรับเป็นรูระบายน้ำ ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.5 ถาดเมทัลชีท หนา 0.3 มิลลิเมตร ขนาด 50 x 50 x 10 เซนติเมตร



รูปที่ 3.6 แสดงตำแหน่งของการเจาะรูระบายน้ำ

3.1.6 Fiber Cement Board

สมาร์ทบอร์ด เป็นวัสดุผนังเบา ลักษณะของสมาร์ทบอร์ด คล้าย กระเบื้องใยหินที่ปัจจุบันไม่มีใยหิน ส่วนผสมของสมาร์ทบอร์ด คือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เส้นใยเซลลูโลส ทราชิลิก้า และน้ำ ผิดผ่านเครื่องอบไอน้ำแรงดันสูง จนได้สมาร์ทบอร์ด แบบต่าง ๆ งานวิจัยนี้ใช้สำหรับการทดลองเพื่อวัดอุณหภูมิ ซึ่งใช้ความหนาของแผ่น 10 มิลลิเมตร ทนต่อสภาพอากาศ ทนแดด ทนฝน ทนน้ำ สามารถใช้เป็นงานภายนอกได้ ไม่บวมน้ำ ไม่บิดตัว ผุกร่อนไม่โก่งตัว ปลอดภัยไม่กิน

ป้องกันไฟ ทนต่อการลามไฟ รับแรงกระแทกได้ สามารถติดตั้งได้ ป้องกันความร้อน มีค่านำความร้อนต่ำ ค่าการนำความร้อน (ค่า K) $0.134 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ตามมาตรฐาน ASTM C518



รูปที่ 3.7 กล่องจำลอง ขนาด 50 x 50 x 50 cm

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

3.2.1 ภาชนะและเครื่องชั่งน้ำหนักวัสดุปลูก

การทดลองหาอัตราส่วนของวัสดุปลูก ทำได้โดยใช้เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล สำหรับชั่งตวงวัสดุปลูก ในภาชนะ (container) ที่ทราบปริมาตร ขนาดภาชนะที่ใช้มี ปริมาตร 2 กรัม สามารถชั่งน้ำหนัก ได้สูงสุด 7 กิโลกรัม เพื่อชั่งน้ำหนักวัสดุปลูกก่อนนำไปผสมและอัด ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอล

3.2.2 แม่พิมพ์

แม่พิมพ์สำหรับงานวิจัยนี้ เป็นเหล็กที่มีลักษณะเป็นกล่องสี่เหลี่ยมจัตุรัส มีสองส่วน ส่วนแรกเป็นตัวแบบ ทำจากเหล็ก ขนาด 15 x 15 เซนติเมตร สูง 20 เซนติเมตร ใช้สำหรับเป็นแม่พิมพ์ตัวเมีย และส่วนที่สองเป็นตัวผู้ทำจากเหล็กขนาด ขนาด 14.5 x 14.5 เซนติเมตร สูง 18 เซนติเมตร ใช้สำหรับกดอัดวัสดุปลูกตามขนาดที่ต้องการ ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 แม่พิมพ์

3.2.3 เครื่องอัดไฮดรอลิก

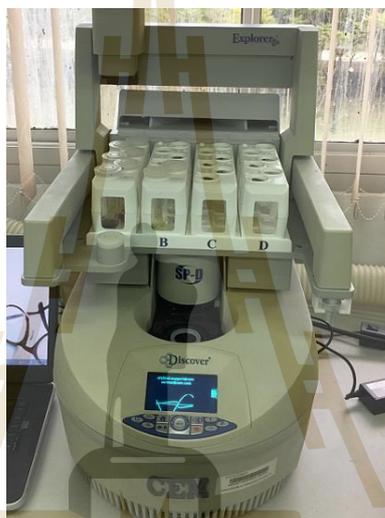
เครื่องอัดไฮดรอลิกเป็นเครื่องมืออัดไฮดรอลิกชนิดหนึ่ง หรือจะเรียกว่าเครื่องจักรกลไฮดรอลิก ลักษณะการใช้งาน ใช้ประโยชน์จากแรงกด แรงอัด เพื่ออัดเข้า คั่นออก หรือจะใช้บีบให้แบน ดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 เครื่องอัดไฮดรอลิก

3.2.4 เครื่องย่อยวัสดุปลูก

เครื่องย่อยวัสดุปลูกสารระบบไมโครเวฟ เป็นขั้นตอนการย่อย โดย (Microwave digester) เป็นการเปลี่ยนสารประกอบอินทรีย์ เพื่อให้โลหะอยู่ในรูปสารละลายไอออน การทำงานของเครื่องไมโครเวฟระบบการย่อยสลาย อาศัยหลักการให้พลังงานในช่วงคลื่น ไมโครเวฟ (ความยาวคลื่น $10^2 - 10^4$ เมตร) ย่อยสลายโดยใช้กรดไนตริกเข้มข้น 6 mL และ กรดไฮโดรเจนคลอไรด์เข้มข้น 1 mL กรัม ดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 เครื่องย่อยสารระบบไมโครเวฟ (Microwave digester)

3.2.5 เครื่อง Inductively Couple Plasma-Optical Emission Spectrometer

เครื่องทดสอบปริมาณฟอสฟอรัส และ โพแทสเซียม โดยใช้วิธี Inductively Couple Plasma - Optical Emission Spectrometer (ICP – OES) ตามมาตรฐาน AOAC 935.13A (2000) (กรมทรัพยากรธรณี, 2551) เป็นเครื่องมือสำหรับวิเคราะห์ทดสอบเชิงปริมาณ และเชิงคุณภาพ ของธาตุต่าง ๆ เทคนิคนี้แยกเป็น 2 ส่วนหลัก ๆ คือ Inductively Couple Plasma (ICP) เป็นเทคนิคที่ใช้ผลิตพลาสมาที่ให้อุณหภูมิสูง ด้วยการปล่อยแก๊สอาร์กอนผ่านเข้าไปในคบ (torch) ที่ปลายคบจะมีท่อกลางทำด้วยทองแดงล้อมรอบคบซึ่งต่อกับเครื่องส่งความถี่วิทยุ เมื่อให้ความถี่วิทยุ (RF generator) ปล่อยเข้าไปจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กที่ปลายคบแล้วชักนำให้มีกระแสไฟฟ้า จากนั้นทำให้เกิดการสปาร์คด้วยเทสตา เพื่อให้เกิดอิเล็กตรอนจากอาร์กอนที่มีพลังงานสูง และอิเล็กตรอนที่มีพลังงานสูงนี้จะชนกับอิเล็กตรอนอื่นต่อไปอีกกลายเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ กลายเป็นพลาสมา Optical Emission Spectrometer เป็นวิธีการวิเคราะห์โดยอาศัยหลักการทำให้สารเปลี่ยนสถานะจากสถานะพื้น ไปยัง

สถานะกระตุ้นเพื่อให้สารที่จะวิเคราะห์นั้นเปล่งแสง หรือสเปกตรัมออกมา ซึ่งจะอยู่ในช่วงของยูวีวิสิเบิล และมีลักษณะเฉพาะตัว และวัดความเข้มของแสง ดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 เครื่อง Inductively Couple Plasma-Optical Emission Spectromete

3.2.6 เครื่องทดสอบวิธีเจลดาคห์ (Kjeldahl method)

เครื่องวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจน โดยวิธีเจลดาคห์ (Kjeldahl) ตามมาตรฐาน AOAC, ISO, EPA, DIN (พิมเพ็ญ, 2545) เป็นเครื่องมือสำหรับหาค่าปริมาณไนโตรเจน เครื่องมือทั้งหมดประกอบด้วย เครื่องย่อยสารแบบอัตโนมัติ เครื่องดูดกำจัดไอกรดและเครื่องกลั่นไนโตรเจนแบบอัตโนมัติ ดังแสดงรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 เครื่อง Kjeldahl method

3.2.7 เครื่องบันทึกอุณหภูมิ (Data logger KIMO)

โปรแกรม KILOG สำหรับเครื่องบันทึกค่า (Datalogger) KTT320 บันทึกอุณหภูมิหัววัดภายใน ช่วงการวัดอุณหภูมิ -40 ถึง +70 °C หัววัดภายนอก ประเภท K -200 ถึง +1300 °C ดังแสดงรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 Data logger KIMO

3.2.8 เครื่องบันทึกอุณหภูมิ (EC850 data logger front panel)

MicroLogPRO II เครื่องเก็บบันทึกอุณหภูมิ Data Logger รุ่น MICROLOGPROII รุ่น EC - 850A เครื่องเก็บข้อมูลบันทึกอุณหภูมิ Datalogger MicroLogPRO II Temp มีเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิภายใน และอินพุตภายนอกสำหรับการวัดอุณหภูมิ ข้อดีของเครื่องเก็บบันทึกอุณหภูมิ EC850 มีเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิภายในที่มีความละเอียดสูง แสดงผลข้อมูล 4 หลักรวมถึงเก็บข้อมูล การอ่านค่าทันที / สูงสุดแบตเตอรี่ และสัญญาณเตือน Datalogger มีอินพุต 0 ถึง 20 mA ภายนอกและ 0 ถึง 10 V เชื่อมต่อกับเซ็นเซอร์มาตรฐานอุตสาหกรรม ทนต่อน้ำและฝุ่น (IP54/NEMA4) Datalogger ใช้ซอฟต์แวร์ DataSuite สำหรับการตรวจสอบวิเคราะห์และสอบเทียบข้อมูล ดังแสดงรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 EC850 data logger front panel

3.3 การทดสอบคุณสมบัติทางเคมี

การทดลองที่ 1 ทดสอบหาปริมาณธาตุอาหารหลัก N, P และ K จากวัสดุปลูกธรรมชาติที่มีคุณสมบัติเหมาะสมในการปลูกหนุ่ยจำนวนน้อย เพื่อเป็น ข้อมูลในการตรวจสอบคุณสมบัติที่ใช้สำหรับทดแทนดิน

3.3.1 การวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจน

นำวัสดุปลูกแต่ละชนิดย่อยโดยเครื่องย่อยสารระบบไมโครเวฟ (Microwave digester) ซึ่งเป็นการเปลี่ยนสารประกอบอินทรีย์ให้อยู่ในรูปสารละลายไอออน (digestion) การทำงานของเครื่องไมโครเวฟระบบการย่อยสลาย อาศัยหลักการให้พลังงานในช่วงคลื่นไมโครเวฟ (ความยาวคลื่น $10^2 - 10^4$ เมตร) โดยใช้วัสดุปลูก 1 กรัมละลายในสารละลายผสมระหว่างกรดซัลฟูริกเข้มข้น 65 % 30 มิลลิลิตร เพื่อให้ได้ $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ปริมาณไนโตรเจนจะถูกวัดโดยวิธีเจลดาล์ (Kjeldahl method) ด้วยการเปลี่ยน $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ไปเป็นแก๊ส NH_3 ด้วย NaOH และจับ NH_3 ด้วยสารละลายบอริก จากนั้นนำไปไทเทรต ด้วยสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริก แล้วนำไปคำนวณปริมาณของธาตุไนโตรเจน (พิมเพ็ญ, 2545)

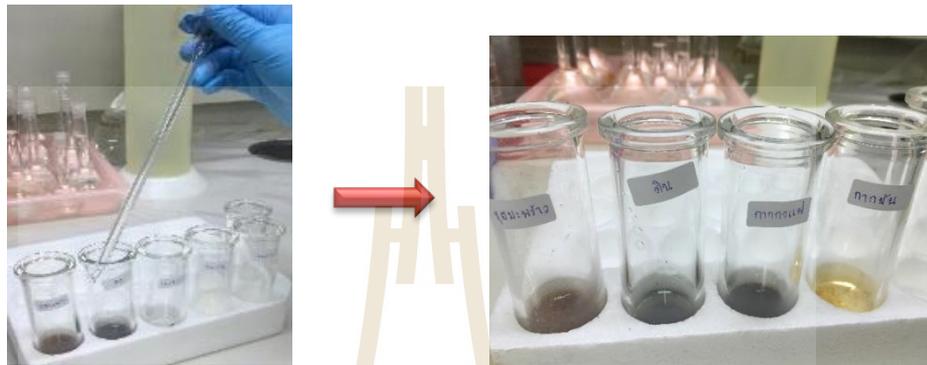
ขั้นตอนที่ 1 ชั่งตวงวัสดุปลูกทั้งหมด ได้แก่ ขุยมะพร้าว, กากกาแฟ, ไม้เถาเคลือบ, แป้งมันสำปะหลังและดินปลูกอย่างละ 1 กรัม จากนั้นตวงกรดซัลฟูริกเข้มข้น 65% 30 มิลลิลิตร ดังแสดงในรูปที่ 3.16 – 3.17



รูปที่ 3.16 ชั่งตวงวัสดุก่อนการย่อย

รูปที่ 3.17 การตวงกรดซัลฟูริก

ขั้นตอนที่ 2 นำกรดซัลฟูริกเข้มข้น 65 % 30 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลองในวัสดุปลูกแต่ละชนิด หลังจากนั้นทิ้งไว้ประมาณ 2 ชั่วโมง เพื่อให้กรดทำปฏิกิริยากับวัสดุปลูก ดังแสดงในรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 การปรับสภาพสารละลายด้วยกรดซัลฟูริก

ขั้นตอนที่ 3 นำหลอดทดลองที่ผ่านการทำปฏิกิริยาระหว่างกรดซัลฟูริก และวัสดุปลูก มาย่อยโดยเครื่องย่อยสารระบบไมโครเวฟ (Microwave digester) ดังแสดงในรูปที่ 3.19 การทำงานของเครื่องไมโครเวฟระบบการย่อยสลาย อาศัยหลักการให้พลังงานในช่วงคลื่นไมโครเวฟ (ความยาวคลื่น $10^{-2} - 10^{-4}$ เมตร) .จากนั้นกรองสารละลายอีกครั้งก่อนที่จะนำสารละลายดังกล่าวไปวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจน ดังแสดงในรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.19 เครื่องย่อยสารระบบไมโครเวฟ
(Microwave digester)



รูปที่ 3.20 กรองสารละลาย

จากขั้นตอนที่ 3 ปริมาณไนโตรเจนจะถูกวัดโดยวิธีเจลดดาห์ (Kjeldahl method) ตามมาตรฐาน AOAC, ISO, EPA, DIN หลักการ คือ การย่อยสลายซึ่งประกอบด้วยกรดอะมิโนที่มีไนโตรเจนเป็นส่วนประกอบ เพื่อปลดปล่อย ไนโตรเจนออกมา และถูกเปลี่ยนให้เป็นแอมโมเนีย

1. การกลั่นแอมโมเนีย (distillation) โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ NaOH มาทำปฏิกิริยากับเกลือแอมโมเนียมซัลเฟต $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ที่ได้จากการย่อยตัวอย่างแล้ว จะได้ก๊าซแอมโมเนีย NH_3 ซึ่งจับก๊าซนี้ได้ด้วยสารละลายบอริก

2. การไทเทรตเพื่อหาปริมาณไนโตรเจน (titration) เป็นการนำสารละลายกรดบอริก ซึ่งจับก๊าซแอมโมเนีย NH_3 ไว้ มาไทเทรต กับสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริก แล้วนำไปคำนวณปริมาณของธาตุไนโตรเจน (พิมเพ็ญ, 2545)

3.3.2 การวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัส และ โปแทสเซียม

นำวัสดุปลูกแต่ละชนิดมาย่อยโดยเครื่องย่อยสารระบบไมโครเวฟ (Microwave digester) เป็นการเปลี่ยนสารประกอบอินทรีย์ให้อยู่ในรูปสารละลายไอออน (digestion) การทำงานของเครื่องไมโครเวฟระบบการย่อยสลาย อาศัยหลักการให้พลังงานในช่วงคลื่นไมโครเวฟ (ความยาวคลื่น $10^2 - 10^4$ เมตร) . โดยใช้วัสดุปลูก 1 กรัมละลายในสารละลายผสมระหว่างกรดไนตริกเข้มข้น 68 % 30 มิลลิลิตร และ กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 37 % 5 มิลลิลิตร

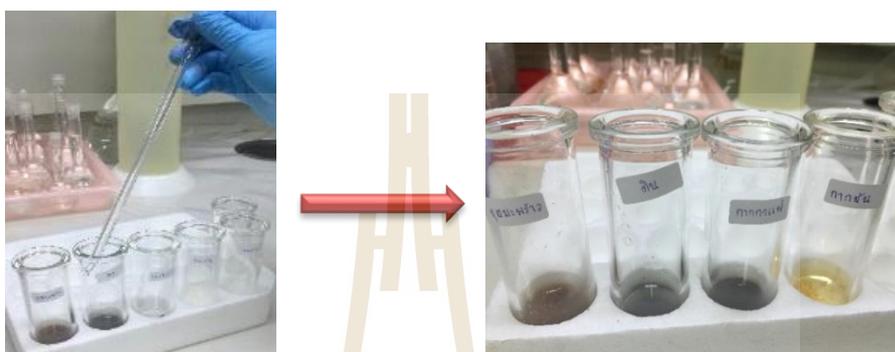
ขั้นตอนที่ 1 ชั่งตวงวัสดุปลูกทั้งหมด ได้แก่ ขุยมะพร้าว กากกาแฟ ขี้เถ้าแกลบ แยมันสำปะหลัง และดินปลูกทั่วไปอย่างละ 1 กรัม จากนั้นตวงกรดไนตริกเข้มข้น 68 % 30 มิลลิลิตร และกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 37 % 5 มิลลิลิตร ดังแสดงในรูปที่ 3.21 – 3.22



รูปที่ 3.21 ชั่งตวงวัสดุปลูกก่อนการย่อย

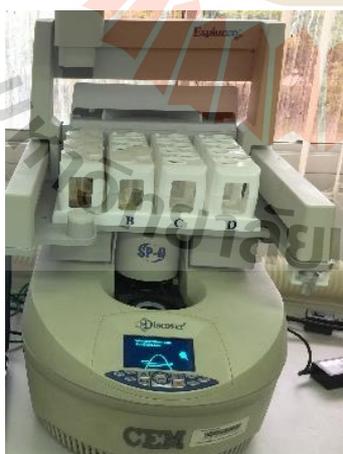
รูปที่ 3.22 การตวงกรดไนตริก

ขั้นตอนที่ 2 นำกรดไนตริกเข้มข้น 68 % 30 มิลลิลิตร และกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 37 % 5 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลองวัสดุปลูกแต่ละชนิด หลังจากนั้นทิ้งไว้ประมาณ 2 ชั่วโมง เพื่อให้กรดทำปฏิกิริยากับวัสดุปลูก ดังแสดงในรูปที่ 3.23



รูปที่ 3.23 การปรับสภาพสารละลายด้วยกรดไนตริก

ขั้นตอนที่ 3 นำหลอดทดลองที่ผ่านการทำปฏิกิริยาระหว่างกรดไนตริกและวัสดุปลูกมาย่อยโดยเครื่องย่อยสารระบบไมโครเวฟ (Microwave digester) ดังแสดงในรูปที่ 3.24 การทำงานของเครื่องไมโครเวฟระบบการย่อยสลาย อาศัยหลักการให้พลังงานในช่วงคลื่นไมโครเวฟ (ความยาวคลื่น $10^2 - 10^4$ เมตร) .จากนั้นกรองสารละลายอีกครั้งก่อนนำไปทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 3.25

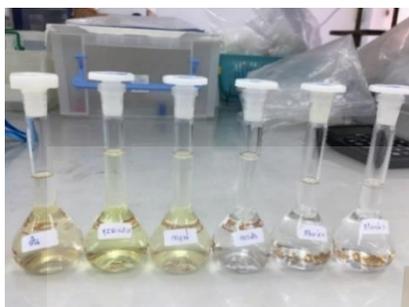


รูปที่ 3.24 เครื่องย่อยสารระบบไมโครเวฟ

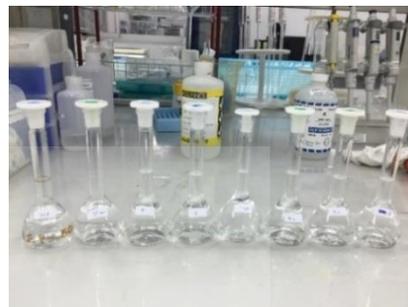


รูปที่ 3.25 กรองสารละลาย

ขั้นตอนที่ 4 เจือจางสารละลายด้วยน้ำกลั่นในอัตราส่วน 1 : 5 ก่อนนำสารละลายดังรูปที่ 3.26 ไปวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมเจือจางด้วยน้ำกลั่น ดังแสดงในรูปที่ 3.27



รูปที่ 3.26 ขั้วตวงวัสดุก่อนการย่อย



รูปที่ 3.27 ขั้วตวงวัสดุก่อนการย่อย

จากนั้นนำเข้าทดสอบโดยใช้วิธี Inductively Couple Plasma - Optical Emission Spectrometer (ICP – OES) เป็นเครื่องมือสำหรับวิเคราะห์ ทดสอบ เชิงปริมาณ และเชิงคุณภาพ ของธาตุต่าง ๆ เทคนิคนี้แยกเป็น 2 ส่วนหลัก ๆ คือ

1. Inductively Couple Plasma (ICP) เป็นเทคนิคที่ใช้ผลิตพลาสมาที่ให้อุณหภูมิสูง ด้วยการปล่อยแก๊สอาร์กอนผ่านเข้าไปในคอบ (torch) ที่ปลายคอบจะมีท่อกลางทำด้วยทองแดงล้อมรอบคอบซึ่งต่อกับเครื่องส่งความถี่วิทยุ เมื่อให้ความถี่วิทยุ (RF generator) ปล่อยเข้าไปจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กที่ปลายคอบแล้วชักนำให้มีกระแสไฟฟ้า จากนั้นทำให้เกิดการสปาร์คด้วยเตสลา เพื่อให้เกิดอิเล็กตรอนจากอาร์กอนที่มีพลังงานสูง และอิเล็กตรอนที่มีพลังงานสูงนี้จะชนกับอิเล็กตรอนอื่นต่อไปอีกกลายเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ กลายเป็นพลาสมา

2. Optical Emission Spectrometer เป็นวิธีการวิเคราะห์โดยอาศัยหลักการทำให้สารเปลี่ยนสถานะจากสถานะพื้นไปยังสถานะกระตุ้นเพื่อให้สารที่จะวิเคราะห์นั้นเปล่งแสง หรือสเปกตรัมออกมา ซึ่งจะอยู่ในช่วงของยูวีวิสิเบิล และมีลักษณะเฉพาะตัว และวัดความเข้มของแสงสารละลายจะถูกเปลี่ยนสถานะเป็นพลาสมา เพื่อให้สารที่จะวิเคราะห์นั้นเปล่งแสงออกมา เพื่อแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้าแล้วจึงคำนวณเป็นปริมาณธาตุที่ต้องการ (กรมทรัพยากรธรณี, 2551) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 1 และ 2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัส และ โพแทสเซียมดังแสดงในสมการที่ 3.1 และ 3.2

$$\text{ปริมาณธาตุ.P...} = \frac{((r-b) \times \text{filtrate} \times d.f)}{s \text{ mg/kg}} \quad (3.1)$$

$$\text{ปริมาณธาตุ.K...} = \frac{((r-b) \times \text{filtrate} \times d.f)}{s \text{ mg/kg}} \quad (3.2)$$

นิยาม

r-b = ค่าที่อ่านได้ (mg/l)-blank

s = นำหนักแห้งของตัวอย่าง (g)

d.f = dilution factor คือค่าการเจือจางสารละลาย

3.4 การทดสอบหาอัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับการปลูกหน่วน้อยจากการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^3

การทดลองที่ 2 จากการออกแบบการทดลอง โดยใช้ 2^k Factorial Design ซึ่งมี 2 ระดับ 3 ปัจจัย ทั้งหมด 8 การทดลอง จะได้อัตราส่วนในการทดลองดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ปัจจัยและระดับของแต่ละปัจจัย

วัสดุปลูก	ระดับการทดลอง	
	(-)	(+)
ขุยและโยมะพร้าว (A)	50	60
กากกาแฟ (B)	20	30
แป้งมันสำปะหลัง (C)	20	25
จี้ถ้ำแกลบ	100-A-B	

การออกแบบการทดลองโดยใช้ โปรแกรม Minitab 14 ใช้สมการ regression สำหรับการหาอัตราส่วนของวัสดุปลูกทดแทนดิน จากโปรแกรมแสดงผลการออกแบบการทดลอง ตามตารางที่ 3.2

ผู้วิจัยเลือกลักษณะของหน่วน้อยแบบต้นอ่อนอายุ 30 - 45 วัน ที่มีความสูงของลำต้นอยู่ที่ 4 - 5 เซนติเมตร ปลูกในอัตราส่วน ตามตารางที่ 3.1 เพื่อศึกษาอัตราส่วนที่สามารถส่งผลให้หน่วน้อยเจริญเติบโตได้ดีในการปลูกบนหลังคา โดยมีขั้นตอนการเตรียมปลูก ดังนี้

ตารางที่ 3.2 อัตราส่วนผสมคิดเป็นร้อยละสำหรับวัสดุปลูกทดแทนดิน

สูตรที่	อัตราส่วนผสม (ร้อยละ)			
	ขุยและใยมะพร้าว	กากกาแฟ	ขี้เถ้าแกลบ	แบริ่งมันสำปะหลัง
FCA1	50	20	30	20% ของน้ำหนักวัสดุปลูก
FCA2	60	20	20	20% ของน้ำหนักวัสดุปลูก
FCA3	50	30	20	20% ของน้ำหนักวัสดุปลูก
FCA4	60	30	10	20% ของน้ำหนักวัสดุปลูก
FCA5	50	20	30	25% ของน้ำหนักวัสดุปลูก
FCA6	60	20	20	25% ของน้ำหนักวัสดุปลูก
FCA7	50	30	20	25% ของน้ำหนักวัสดุปลูก
FCA8	60	30	10	25% ของน้ำหนักวัสดุปลูก
SOIL	100			

ขั้นตอนการเตรียมส่วนผสม

ขั้นตอนที่ 1 การเตรียมวัสดุปลูก วัสดุปลูกที่ใช้สำหรับการทดลองจะต้องกำจัดความชื้นของวัสดุปลูกโดยการตากแดด ตามรายละเอียดต่อไปนี้

- ขุยและใยมะพร้าว ได้มาจากการเหลือทิ้งจากการคั้นกะทิ จากนั้นนำมาร่อนผ่านตะแกรง เพื่อแยกใยและขุยออกจากกัน ตากแดดเป็นเวลา 1 วัน ให้ได้ความชื้น 10 - 15% (Dry basis)
- ขี้เถ้าแกลบ ตากแดดเป็นเวลา 1 วัน ให้ได้ความชื้น 10 - 15% (Dry basis)
- กากกาแฟ จากร้านกาแฟสตาร์บัคส์ ตากแดดเป็นเวลา 1 วัน ให้ได้ความชื้น 10 - 15% (Dry basis)
- แบริ่งมันสำปะหลัง สำหรับเป็นวัสดุประสาน ผสมแบริ่งมันสำปะหลัง 100 กรัม ต่อน้ำ 900 กรัม ให้ความร้อน 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที จนเป็นเนื้อเดียวกัน
- ภาชนะสำหรับปลูก ทำจากเมทัลชีทหนา 0.3 มิลลิเมตร, พับเป็นกล่องสี่เหลี่ยมขนาด 50 x 50 x 10 เซนติเมตร เจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร, ในตำแหน่งซ้ายล่าง กลางล่าง และขวาล่างของแต่ละด้านของถาด รวมทั้งสิ้น 12 รูต่อถาด เพื่อเป็นรูระบายน้ำ
- พีชทดสอบ ใช้หญ้านวลน้อยต้นอ่อนอายุ 30 - 45 วัน ล้างทำความสะอาดดินที่ติดมากับรากด้วยการแช่น้ำ คัดดินหญ้าที่มีความสูงไม่เกิน 4 - 5 เซนติเมตร สำหรับการปลูก



รูปที่ 3.28 ส่วนผสมที่ 1 - ชูยและใยมะพร้าว + กากกาแฟ + ขี้เถ้าแกลบ (50 : 20 : 30) : FCA1



รูปที่ 3.29 ส่วนผสมที่ 2 - ชูยและใยมะพร้าว + กากกาแฟ + ขี้เถ้าแกลบ (60 : 20 : 20) : FCA2

ขุยมะพร้าว	กากกาแฟ	ขี้เถ้าแกลบ	กาวแป้งเปียก
			
78 กรัม	39 กรัม	26 กรัม	26 กรัม

รูปที่ 3.30 ส่วนผสมที่ 3 - ขุยมะพร้าว + กากกาแฟ + ขี้เถ้าแกลบ (50 : 30 : 20) : FCA3

ขุยมะพร้าว	กากกาแฟ	ขี้เถ้าแกลบ	กาวแป้งเปียก
			
78 กรัม	39 กรัม	13 กรัม	26 กรัม

รูปที่ 3.31 ส่วนผสมที่ 4 - ขุยมะพร้าว + กากกาแฟ + ขี้เถ้าแกลบ (60 : 30 : 10) : FCA4

ขุยมะพร้าว	กากกาแฟ	ขี้เถ้าแกลบ	กาบแห้งเปียก
			
65 กรัม	39 กรัม	26 กรัม	33 กรัม

รูปที่ 3.34 ส่วนผสมที่ 7 - ขุยมะพร้าว + กากกาแฟ + ขี้เถ้าแกลบ (50 : 30 : 20) : FCA7

ขุยมะพร้าว	กากกาแฟ	ขี้เถ้าแกลบ	กาบแห้งเปียก
			
78 กรัม	39 กรัม	13 กรัม	33 กรัม

รูปที่ 3.35 ส่วนผสมที่ 8 - ขุยมะพร้าว + กากกาแฟ + ขี้เถ้าแกลบ (60 : 30 : 10) : FCA8



รูปที่ 3.36 ส่วนผสมที่ 9 – ดินปลูก : SOIL

ขั้นตอนที่ 2 : การอัดวัสดุปลูก การทดลองนี้ใช้ความหนาของแผ่นปลูก สูง 5 ซม. จำนวน 9 ถาด (แบ่งเป็นวัสดุทดแทนดิน 8 ภาชนะสำหรับปลูก และดิน 1 ภาชนะ) โดยเริ่มการทดลองวันที่ 18 เม.ย. - 6 พ.ค. 2561

ขั้นตอนการอัดเริ่มจากนำกาวแป้งเปียก กากกาแฟ ขุยมะพร้าว และขี้เถ้าแกลบผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นผสมกับขุยมะพร้าว เนื่องจากหากผสมทุกอย่างพร้อมกันทั้งหมด จะทำให้เกิดปัญหาการจับตัวเป็นก้อน ในระหว่างผสมขุยมะพร้าวกับวัสดุอื่น จะใส่น้ำลงไป 100 กรัมต่อการอัด 1 ครั้ง เพื่อหลีกเลี่ยงการแยกตัวของขุยมะพร้าวจากวัสดุอื่น และสามารถคงตัวเป็นก้อนได้หลังการอัด อัดวัสดุปลูกด้วยเครื่องไฮดรอลิก ด้วยแรง 3.55 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เวลา 5 วินาที ความหนา 5 เซนติเมตร จากนั้นเทใส่บล็อกขนาด 15 x 15 x 20 ซม. อัดเป็นก้อนสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาด 15 x 15 x 5 ซม. นำก้อนวัสดุจัดเรียงในภาชนะสำหรับปลูกเมทัลชีท หนา 0.3 มิลลิเมตร ขนาด 50 x 50 x 10 เซนติเมตร ดังรูปที่ 3.37 และแสดงน้ำหนักของวัสดุปลูกขนาด 15 x 15 x 5 เซนติเมตร ดังตารางที่ 3.3



รูปที่ 3.37 ลักษณะของวัสดุปลูกเมื่อผ่านการอัด

ตารางที่ 3.3 อัตราส่วนผสมคิดเป็นน้ำหนักสำหรับภาชนะปลูกขนาด 15 x 15 x 5 เซนติเมตร

สูตรที่	อัตราส่วนผสมขนาด 15 x 15 x 5 เซนติเมตร ในภาชนะปลูก (กรัม)				รวม
	ขุยและโยมะพร้าว	กากกาแฟ	ขี้เถ้าแกลบ	แยมัน ตำปะหลัง	
FCA1	65	26	39	26	156 กรัม
FCA2	78	26	26	26	156 กรัม
FCA3	65	39	26	26	156 กรัม
FCA4	78	39	13	26	156 กรัม
FCA5	65	26	39	32.5	162.5 กรัม
FCA6	78	26	26	32.5	162.5 กรัม
FCA7	65	39	26	32.5	162.5 กรัม
FCA8	78	39	13	32.5	162.5 กรัม
SOIL					720 กรัม

ตารางที่ 3.4 อัตราส่วนผสมคิดเป็นน้ำหนักสำหรับภาชนะปลูกขนาด 50 x 50 x 5 เซนติเมตร

สูตรที่	อัตราส่วนผสม (กรัม)				รวม
	ขุยและใบมะพร้าว	กากกาแฟ	ขี้เถ้าแกลบ	แป้งมันสำปะหลัง	
FCA1	715	286	429	286	1,716 กรัม
FCA2	858	286	286	286	1,716 กรัม
FCA3	715	429	286	286	1,716 กรัม
FCA4	858	429	143	286	1,716 กรัม
FCA5	715	286	429	357.5	1,787.5 กรัม
FCA6	858	286	286	357.5	1,787.5 กรัม
FCA7	715	429	286	357.5	1,787.5 กรัม
FCA8	858	429	143	357.5	1,787.5 กรัม
SOIL					7,920 กรัม

จากตารางที่ 3.4 สามารถสรุปได้ว่า วัสดุปลูกทดแทนดินมีน้ำหนักเบากว่าดินถึง 78 % เมื่อเปรียบเทียบน้ำหนักเฉลี่ยของ อัตราส่วนผสมทั้ง 8 การทดลอง ซึ่งน้ำหนักเฉลี่ยของวัสดุทดแทนดินเท่ากับ 1,751.75 กรัม เมื่อเปรียบเทียบกับดินปลูกทั่วไปน้ำหนักถึง 7,920 กรัม

ขั้นตอนที่ 3 : การปลูกหญ้า

หญ้านวลน้อยทั่วไปจะอยู่ในลักษณะแบบแผง ดังแสดงในรูปที่ 3.38 ก่อนการนำปลูก จำเป็นต้องล้างดินที่ติดมากับต้นหญ้าออกให้หมด และคัดความสูงของหญ้านวลน้อย 4 - 5 เซนติเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.41 ปลูกลงในถาดทดลองที่เตรียมไว้



รูปที่ 3.38 ลักษณะของหญ้านวลน้อยแบบแผ่น

การปลูกใช้วิธีการแบบแยกต้น นำควบคุมความสูงของต้นหญ้าไม่เกิน 4 - 5 เซนติเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.41 เพื่อเป็นตัวแปรควบคุมในการวิเคราะห์ผลการทดลอง เลือกต้นหญ้าส่วนที่เป็นรากใหญ่ออกมา เพื่อตัดลำต้นที่มีปลายของรากแขนงติดอยู่ ดังรูปที่ 3.42 แล้วนำไปปลูกลงในภาชนะสำหรับปลูกที่เตรียมไว้โดยใช้แผ่นฟิวเจอร์บอร์ดเจาะรูเป็นแม่แบบ ดังแสดงในรูปที่ 3.39 วางลงบนถาดปลูกและใช้ไม้เจาะรูลงไปตามตำแหน่งที่กำหนดไว้ ระยะห่างเท่ากันที่ 3 เซนติเมตร ซึ่งการปลูกจะเว้นจากขอบถาดทั้ง 4 ด้านๆละ 2.5 เซนติเมตร.รวมต้นหญ้าทั้งหมด 225 ต้นต่อภาชนะสำหรับปลูก ดังแสดงในตารางที่ 3.4



รูปที่ 3.39 ต้นอ่อนหญ้านวลน้อย อายุ 45 วัน ความสูง 4.5 เซนติเมตร



รูปที่ 3.40 ต้นอ่อนหญ้านวลน้อย อายุ 45 วัน ความสูง 4.5 เซนติเมตร



รูปที่ 3.41 ลักษณะการปลูกหญ้าในภาชนะสำหรับปลูก

ตารางที่ 3.5 ข้อมูลของต้นหญ้านวลน้อยอายุ 30 - 45 วัน

ถาดที่	จำนวนต้นหญ้า	จำนวนใบ	ความสูงเฉลี่ย	อายุของหญ้า (วัน)
FCA1	225	905	4.5 ซม.	30-45
FCA2	225	884	4.5 ซม.	30-45
FCA3	225	898	4.5 ซม.	30-45
FCA4	225	920	4.5 ซม.	30-45
FCA5	225	875	4.5 ซม.	30-45
FCA6	225	863	4.5 ซม.	30-45
FCA7	225	886	4.5 ซม.	30-45
FCA8	225	860	4.5 ซม.	30-45
SOIL	225	860	4.5 ซม.	30-45

เนื่องจากการปลูกหญ้าโดยทั่วไป ต้องใช้ดินโคลนในการปลูกดังนั้น เพื่อเป็นการเตรียมความพร้อมของวัสดุปลูก จำเป็นต้องรดน้ำเพื่อให้วัสดุปลูกมีความชุ่มชื้นพร้อมปลูก

ตารางที่ 3.6 การรดน้ำต้นหญ้า

วันที่	วัน/เดือน/ปี	เวลา			รวม (ลิตร)	หมายเหตุ
		เช้า	กลางวัน	เย็น		
1-7	26 ก.พ.- 4 มี.ค 61	6	6	6	18	รดน้ำเตรียมปลูก รอรากยึดติด
8-14	5 มี.ค - 11 มี.ค 61	3	-	3	6	เก็บผลครั้งที่ 1
15-21	12 มี.ค - 18 มี.ค 61	3	-	3	6	เก็บผลครั้งที่ 2
22-28	19 มี.ค - 25 มี.ค 61	3	-	3	6	เก็บผลครั้งที่ 3
29-35	26 มี.ค - 1 เม.ย 61	3	-	3	6	เก็บผลครั้งที่ 4

จากตารางที่ 3.6 อนุบาลต้นอ่อนหญ้าขนาดเล็กโดยการรดน้ำจำนวน 18 ลิตรต่อวันในช่วงสัปดาห์แรก ช่วงเวลาของการรดน้ำ คือ ช่วงเช้า กลางวัน และช่วงเย็น จนรากยึดติด จากนั้นรดน้ำวันละ 6 ลิตร แบ่งเป็น เช้า 3 ลิตร และเย็น 3 ลิตร จนถึงสิ้นสุดระยะเวลาในการทดลอง

3.5 การศึกษาหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของ Green Roof

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับประสิทธิภาพในการป้องกันความร้อนหรือทดสอบความเป็นฉนวนของหลังคาเขียว โดยศึกษาจากการหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k)

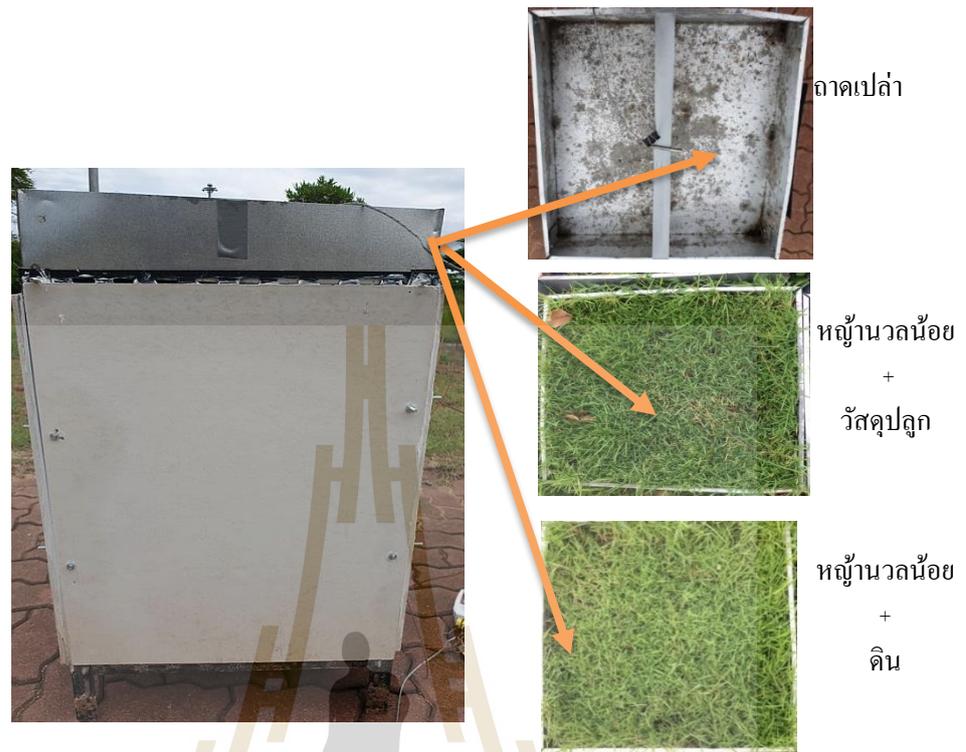
การนำความร้อน (conduction) เกิดจากการเคลื่อนที่ของพลังงานระหว่างโมเลกุลที่อยู่ติดกัน ซึ่งลักษณะของการนำความร้อนเป็นการถ่ายเทความร้อนโดยตรงจากวัตถุหนึ่งไปยังอีกวัตถุหนึ่งโดยวัสดุหรือมีตัวกลางในการส่งผ่านความร้อนสัมผัสกัน โดยหลักการทั่วไปการถ่ายเทความร้อนจะเกิดบริเวณที่มีความร้อนสูงไปยังบริเวณที่มีความร้อนต่ำ วัสดุจะมีการนำความร้อนมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับโครงสร้างของโมเลกุล เมื่อเปรียบเทียบวัสดุที่มีความหนาแน่นสูงจะส่งผลให้วัสดุนั้นมีความเป็นตัวนำความร้อนที่ดีกว่าวัสดุที่มีความหนาแน่นต่ำ ซึ่งการนำความร้อนของวัสดุขึ้นอยู่กับ ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (thermal conductivity ใช้สัญลักษณ์ k) โดยวัดค่าในรูปของอัตราปริมาณความร้อนไหลต่อหน่วยเวลาจากจุดระยะทางหนึ่งถึงอีกจุดหนึ่งที่มีอุณหภูมิแตกต่างกัน ต่อหน่วยพื้นที่หน้าตัดที่ไหลผ่านและหน่วยวัดอุณหภูมิวัดเป็น W/m.K หรือ W/m.°C

งานวิจัยนี้ทดสอบประสิทธิภาพการนำความร้อนของวัสดุปลูกทดแทนดินสำหรับปลูกหญ้าขนาดเล็ก โดยเปรียบเทียบการปลูกหญ้าขนาดเล็กโดยใช้ดินและใช้วัสดุปลูก ซึ่งเลือกใช้วัสดุปลูกทดแทนดินที่สามารถหาได้ง่ายในท้องถิ่น ปลูกหญ้าขนาดเล็ก ซึ่งเป็นหญ้าพันธุ์เขตร้อนหรือเรียกอีกอย่างว่า หญ้าเขตอบอุ่น จะเจริญเติบโตได้ดี ในภูมิประเทศที่มีอากาศอบอุ่นหรืออากาศ

ร้อน อุณหภูมิระหว่าง 26 - 32 °C ประเทศไทยเป็นประเทศในเขตร้อนจึงสามารถปลูกหญ้าเขตร้อนได้ดี (สิน พันธุ์พินิจ, 2535) จากผลการทดลองข้างต้นวัสดุปลูกมีคุณสมบัติเพียงพอสำหรับปลูกหญ้านวลน้อยในภูมิอากาศของประเทศไทย ซึ่งหากเปรียบเทียบ ปัจจัยที่มีอิทธิพลของแต่ละภูมิภาคคือพืชสำหรับปลูก เพราะการเลือกพืชปลูกก็จะสัมพันธ์กับความหนาดิน ควรเลือกให้เหมาะสมกับภูมิภาคนั้น ๆ โดยทั่วไป ดินที่ดี ที่เหมาะสมในทางการเกษตร ความเหมาะสมต่อการปลูกพืช ควรปริมาณน้ำและแร่ธาตุอาหารเพียงพอ มักมีหน้าดินสีคล้ำหนา มีอินทรีย์วัตถุมาก ไม่มีสารที่เป็นพิษต่อพืช เนื้อดินร่วนซุย มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินใกล้ความเป็นกลาง คือมีค่าพีเอช ประมาณ 5.5 ถึง 7.0 และไม่มีชั้นดาน หรือชั้นหินที่ขัดขวางการเจริญเติบโตของรากพืช ภาชนะปลูกมีขนาด 50 x 50 x 10 เซนติเมตร ความหนาของชั้นวัสดุปลูก 5 เซนติเมตร อายุการทดลองก่อนการวัดอุณหภูมิ 6 เดือน หลังจากนั้นทำการวัดอุณหภูมิที่จุดสนใจ นำค่าอุณหภูมิที่ได้หาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน

3.5.1 การทดสอบประสิทธิภาพการนำความร้อนของหลังคาเขียว

สำหรับงานวิจัยนี้ทำการทดลอง โดยสร้างกล่องทดลองเป็นกล่องสี่เหลี่ยมขนาด 50 x 50 x 70 เซนติเมตร ผนังของกล่องทำด้วยแผ่นสมาร์ทบอร์ด ปิดครอบกล่องทดลองยกเว้นด้านบนกล่องซึ่งจะใช้ถาดปลูกเป็นวัสดุหลังคาประเภทเมทัลชีทหนา 0.3 มิลลิเมตร เป็นภาชนะสำหรับปลูกวางบนกล่องทดลอง และวัดอุณหภูมิ บริเวณผิววัสดุปลูก และผิวใต้ถาดปลูกเมทัลชีท ทำการเก็บข้อมูล โดยการติดตั้งอุปกรณ์ Data logger และสายสัญญาณ Thermocouple Type K เข้ากับตำแหน่งที่จะทำการวัดที่กล่องทดลอง เก็บอุณหภูมิเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุปลูก โดยวัสดุปลูกมีความหนา 5 เซนติเมตร ทำการทดลองระหว่างวันที่ 8 - 11 สิงหาคม 2562 ซึ่งอุณหภูมิเฉลี่ยช่วงเดือนสิงหาคม ของจังหวัดนครราชสีมา ในช่วงที่ทำการทดลอง มีอุณหภูมิเฉลี่ย ประมาณ 34 - 37 °C ความชื้นสัมพัทธ์อยู่ระหว่าง 50 - 60 % และปริมาณฝนรวม ประมาณ 250 - 330 มิลลิเมตร อ้างอิงจาก กระทรวงดิจิทัล เพื่อเศรษฐกิจและสังคม กรมอุตุนิยมวิทยา กำหนดให้กล่องทำมุมกับทิศเหนือที่ 0° ตั้งอยู่ในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี บริเวณอาคารเครื่องมือ F3 เก็บข้อมูลการทดลองภายใต้สภาพเปิด ไม่มีโรงเรือนหรือการควบคุมอุณหภูมิภายนอก รับความร้อนโดยตรงจากแสงอาทิตย์ และไม่มีการใส่ปุ๋ยหรือยาฆ่าแมลงระหว่างทำการทดลอง ซึ่งโดยทั่วไปพืชสามารถเจริญเติบโตได้ดีในอุณหภูมิระหว่าง 10 - 35 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง เพราะเป็นช่วงที่เอนไซม์ทำงานได้ดี โดยที่ทำการวัดอุณหภูมิ เปรียบเทียบระหว่าง ถาดเปล่า ถาดปลูกหญ้านวลน้อยโดยใช้ดิน และถาดปลูกหญ้านวลน้อยโดยใช้วัสดุปลูกดังแสดงในรูปที่ 3.42



รูปที่ 3.42 การวัดอุณหภูมิตัวอย่างแบบจำลองของภาชนะปลูกสำหรับการทดลอง

เก็บค่าอุณหภูมิในรูปแบบ องศาเซลเซียส โดยใช้เครื่องมือวัดอุณหภูมิ (Thermocouple Type K) พร้อมสายเซนเซอร์เก็บค่าอุณหภูมิ



รูปที่ 3.43 Thermocouple Type K พร้อมสายเซนเซอร์

เก็บค่าอุณหภูมิ ณ บริเวณตำแหน่งที่กำหนด เพื่อนำมาคำนวณด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ สำหรับการหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Conductivity Efficiency) ใช้สมการการถ่ายเทความร้อนของ Fourier's Law

$$q_x = \frac{q}{A} \quad (3.3)$$

$$\text{Heat flux (w/m}^2\text{)} = \frac{\text{Heat rate (w)}}{\text{Heat transfer surface}} \quad (3.4)$$

เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิสูงขึ้น อัตราการถ่ายเทความร้อนจะมีอัตราที่สูงขึ้นด้วย หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าอัตราการถ่ายเทความร้อนแปรผันตามอุณหภูมิ แต่จะแปรผกผันกับความหนาของวัสดุ ซึ่งสามารถจัดรูปของสมการดังสมการที่ 3.8

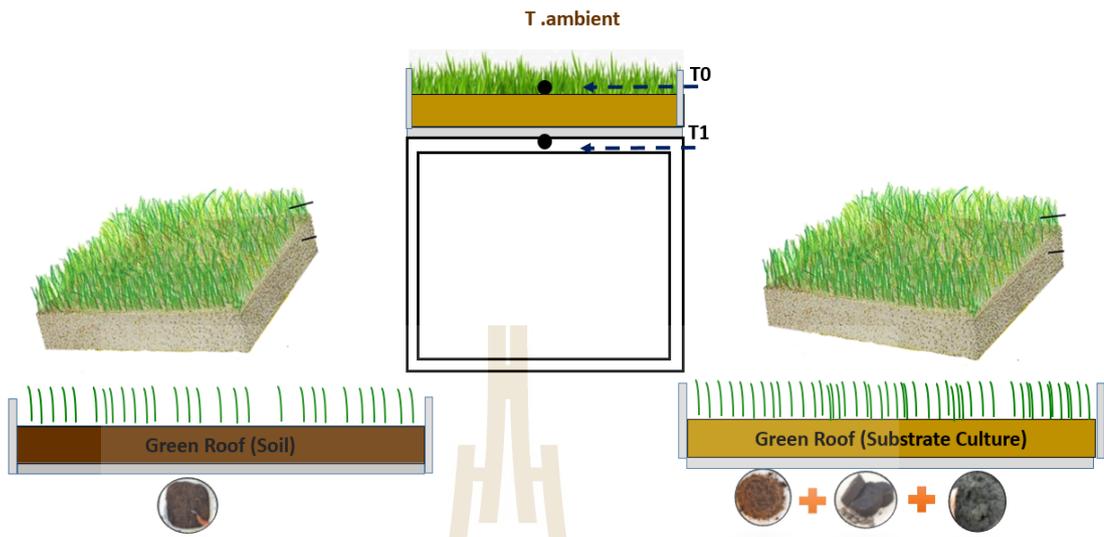
$$q_x = k \frac{T1-T2}{L} = k \frac{\Delta T}{L} \quad (3.5)$$

เมื่อ

- k = Thermal conductivity (W/m.K หรือ W/m.°C)
- q_x = ปริมาณความร้อนที่ไหลผ่านตัวอย่างทดสอบ (Watt หรือ W)
- L = ความหนาของตัวอย่างทดสอบ (m)
- ΔT = ผลต่างระหว่างจุดที่วัดอุณหภูมิ (K หรือ °C)

งานวิจัยนี้ทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุปลูก โดยการอ้างอิงปริมาณความร้อนที่ไหลผ่านจากการปลูกหญ้าหนวดน้อยโดยใช้ดิน ดังนี้

กรณีศึกษาที่ 3 เป็นการวัดอุณหภูมิเปรียบเทียบระหว่าง ภาชนะปลูกหญ้าหนวดน้อยบนดินเทียบกับ ภาชนะที่ปลูกหญ้าหนวดน้อยบนวัสดุปลูกทดแทนดิน ซึ่งใช้อัตราส่วน 60 : 30 : 10 จากสูตรที่ให้การเจริญเติบโตที่ดีที่สุดจากการทดลองที่ 3 โดยให้วัสดุปลูกมีความหนา 5 มิลลิเมตร เท่ากับดินปลูก และใช้หญ้าหนวดน้อยแบบต้น ควบคุมความสูงของต้นหญ้าไม่เกิน 4 - 5 เซนติเมตร และให้การรดน้ำวันละ 2 ครั้ง เช้า - เย็น ครั้งละ 3 ลิตร



รูปที่ 3.44 รูปแบบการวัดอุณหภูมิ

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

จากวิธีการดำเนินงานวิจัยที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 ซึ่งได้แสดงรายละเอียดเกี่ยวกับวิธีการดำเนินงานวิจัยในขั้นตอนต่าง ๆ เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการปลูกพืชบนหลังคา โดยใช้วัสดุปลูกทดแทนดิน ซึ่งผลลัพธ์จากการดำเนินงานวิจัยสามารถแสดงรายละเอียดได้ดังต่อไปนี้

- 4.1 ผลวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของวัสดุปลูกทดแทนดิน
- 4.2 ผลวิเคราะห์อัตราส่วนของวัสดุปลูกจากการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^3
- 4.3 ผลการศึกษาหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุปลูกทดแทนดิน

4.1 ผลวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของวัสดุปลูกทดแทนดิน

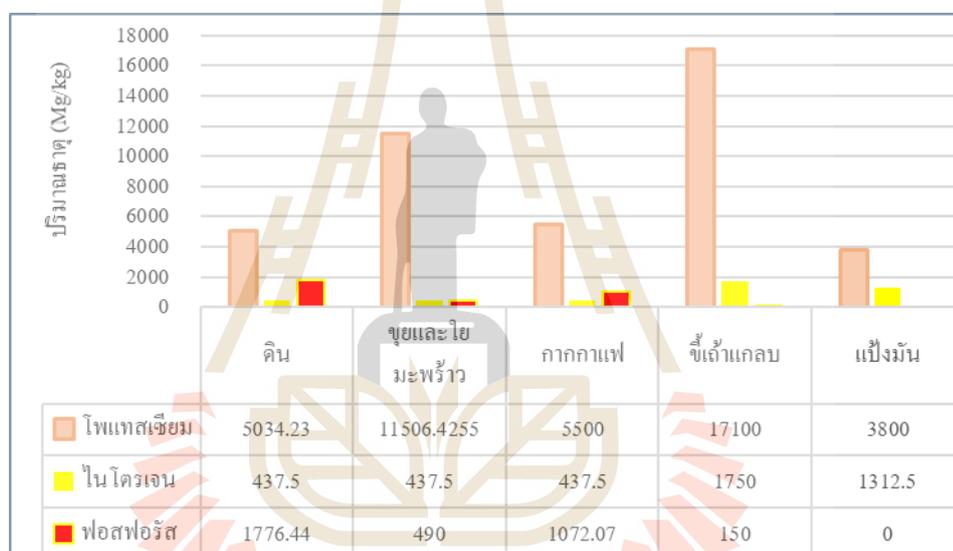
จากการวิเคราะห์วัสดุปลูกจากธรรมชาติที่มีคุณสมบัติเหมาะสมในการปลูกหญ้านวลน้อย โดยวิเคราะห์จากธาตุอาหารที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตเพื่อเป็น ข้อมูลในการตรวจสอบคุณภาพของวัสดุปลูก โดยทำการ วิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม จากวัสดุปลูกทดแทนดิน ดังนี้

1. ดิน
2. ขุยมะพร้าว
3. ถากกาแฟ
4. ขี้เถ้าแกลบ
5. กาวแป้งเปียก

ปริมาณไนโตรเจนจะถูกวัดโดยวิธีเจลดาล์ (Kjeldahl method) ด้วยการเปลี่ยน $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ไปเป็นแก๊ส NH_3 ด้วย NaOH และจับ NH_3 ด้วยสารละลายบอริก จากนั้นนำไปไทเทรต ด้วยสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริก แล้วนำไปคำนวณปริมาณของธาตุไนโตรเจน (พิมพ์ใหญ่, 2545) และปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมถูกนำเข้ามาทดสอบ โดยใช้วิธี Inductively Couple Plasma-Optical Emission Spectrometer (ICP – OES) จากนั้นนำผลการทดสอบมาคำนวณ แสดงผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในตัวอย่างวัสดุปลูก

วัสดุปลูกทดแทนดิน (Mg/kg)	ปริมาณธาตุอาหารของวัสดุปลูกสำหรับปลูกทดแทนดิน		
	ไนโตรเจน	ฟอสฟอรัส	โพแทสเซียม
ดิน	437.50	1776.44	5034.23
ขุยและใยมะพร้าว	437.50	490.00	11506.43
กากกาแฟ	437.50	1072.07	5500.00
ขี้เถ้าแกลบ	1750.00	150.00	17100.00
กาวแป้งเปียก	1312.50	nd	3800.00



รูปที่ 4.1 การเปรียบเทียบปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม

จากตารางที่ 4.1 วิเคราะห์ผลการทดลองพบว่าปริมาณของธาตุอาหารสูงสุดคือ ธาตุโพแทสเซียม รองลงมาคือ ฟอสฟอรัส และ ไนโตรเจน ซึ่งเป็นการสุมตัวอย่างทดลองในปริมาณ 5 กรัม ปริมาณธาตุโพแทสเซียม (K) มีผลต่อการเจริญเติบโตทางด้านความสูงของพืชและการเจริญเติบโตในปริมาณสูง รองลงมาคือปริมาณธาตุไนโตรเจน (N) ทำหน้าที่เสริมสร้างการเจริญเติบโตทางด้านลำต้นและใบ และปริมาณฟอสฟอรัส (P) ทำหน้าที่เสริมสร้างการออกดอก จากผลการวิเคราะห์ดังกล่าว สำหรับการทดลองในสัดส่วนของวัสดุปลูกอัตราส่วน 60 : 30 : 10

4.2 ผลวิเคราะห์อัตราส่วนของวัสดุปลูกจากการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^3

งานวิจัยนี้ใช้เทคนิคออกแบบการทดลองแบบ 2^3 Factorial Design โดยศึกษาปัจจัยสัดส่วนวัสดุปลูก ได้แก่ ขุยมะพร้าว กากกาแฟ และแบริ่งมันสำปะหลัง ส่วนปริมาณขี้เถ้าแกลบสามารถคำนวณได้จากการสมมูลปริมาณวัสดุปลูก ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงสัดส่วนการออกแบบการทดลอง

วัสดุปลูก	ระดับการทดลอง	
	(-)	(+)
ขุยมะพร้าว (A)	50	60
กากกาแฟ (B)	20	30
แบริ่งมันสำปะหลัง (C)	20	25
ขี้เถ้าแกลบ	100 - A - B	

จากการออกแบบการทดลอง เพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสมสำหรับการปลูกหญ้าขนาดเล็ก โดยออกแบบการทดลอง ด้วยวิธี 2^3 Factorial Design ซึ่งแบ่งเป็น 2 ระดับ 3 ปัจจัย ทั้งหมด 8 การทดลอง จะได้อัตราส่วนในการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.3

จากตารางที่ 4.3 เป็นอัตราส่วนคิดเป็นร้อยละ สำหรับภาชนะปลูกขนาด 50 x 50 x 10 เซนติเมตร ซึ่งการออกแบบการทดลองใช้ การกำหนดสัดส่วนจากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับวัสดุปลูก เพื่อเป็นการกำหนดอัตราที่เหมาะสมสำหรับวัสดุปลูกแต่ละชนิด จากนั้นทำการออกแบบการทดลองโดยใช้ factorial design เพื่อออกแบบอัตราส่วนการทดลอง เพื่อลดจำนวนการทดลอง งานวิจัยนี้จึงกำหนด ปัจจัยทั้งหมด 3 ปัจจัย คือ ขุยมะพร้าว กากกาแฟ แบริ่งมันสำปะหลัง และกำหนดให้ ขี้เถ้าแกลบเป็นสัดส่วนสมมูลของปริมาณรวม

ตารางที่ 4.3 อัตราส่วนผสมคิดเป็นร้อยละสำหรับภาชนะปลูกขนาด 50 x 50 x 10 เซนติเมตร

สูตรที่	อัตราส่วนผสม (ร้อยละ)			
	ขุยมะพร้าว	กากกาแฟ	ขี้เถ้าแกลบ	แป้งมันสำปะหลัง
FCA1	50	20	30	20% ของน้ำหนักวัสดุปลูก
FCA2	60	20	20	20% ของน้ำหนักวัสดุปลูก
FCA3	50	30	20	20% ของน้ำหนักวัสดุปลูก
FCA4	60	30	10	20% ของน้ำหนักวัสดุปลูก
FCA5	50	20	30	25% ของน้ำหนักวัสดุปลูก
FCA6	60	20	20	25% ของน้ำหนักวัสดุปลูก
FCA7	50	30	20	25% ของน้ำหนักวัสดุปลูก
FCA8	60	30	10	25% ของน้ำหนักวัสดุปลูก
SOIL	100			

ธาตุอาหารหลัก N, P และ K สำหรับวัสดุปลูกทดแทนดินทั้ง 8 การทดลอง เปรียบเทียบกับดิน

ตารางที่ 4.4 แสดงธาตุอาหารหลักของวัสดุปลูกทดแทนดินทั้ง 8 การทดลอง

สูตรที่	ไนโตรเจน (N)	ฟอสฟอรัส (P)	โพแทสเซียม (K)
FCA1	0.076	0.035	0.889
FCA2	0.070	0.039	0.890
FCA3	0.073	0.045	0.881
FCA4	0.071	0.051	0.883
FCA5	0.079	0.035	0.886
FCA6	0.074	0.039	0.888
FCA7	0.077	0.045	0.879
FCA8	0.070	0.049	0.880
SOIL	0.060	0.245	0.695

จากตารางที่ 4.4 แสดงปริมาณอัตราส่วนสำหรับแต่ละอัตราส่วนการทดลอง ซึ่งปริมาณธาตุอาหารของวัสดุปลูกทดแทนดินอัตราส่วน 60 : 30 : 10 วัสดุประสาน 20 % ดังแสดงในตารางที่ 4.5 มีการเจริญเติบโตดีที่สุดมีอัตราส่วนดังนี้

ตารางที่ 4.5 แสดงอัตราส่วนของ N,P และ K ของวัสดุปลูกทดแทนดินเปรียบเทียบกับดิน

	วัสดุปลูก mg/kg	ดิน mg/kg	% วัสดุปลูก	% ดิน
N	692.71	437	0.07	0.06
P	525.53	1776.4	0.05	0.25
K	9186.53	5034.2	0.88	0.69

ความเป็นกรดต่างของวัสดุปลูก

การวัดค่าความเป็นกรดต่างของวัสดุปลูกทดแทนดินสำหรับงานวิจัยนี้ แสดงค่าความเป็นกรดต่าง เท่ากับ 6.2 โดยใช้เครื่องวัดค่า PH ความเป็นกรด-ด่าง แบรินด์HOMECE รุ่น 3 - way แสดงดังรูปที่ 4.2 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าวัสดุมีค่าความเป็นกรดต่างที่เหมาะสมสำหรับใช้ทดแทนดินและการเจริญเติบโตของหญ้า โดยดินนั้นควรมีความเป็นกรดเป็นด่างประมาณ 5.5 - 7



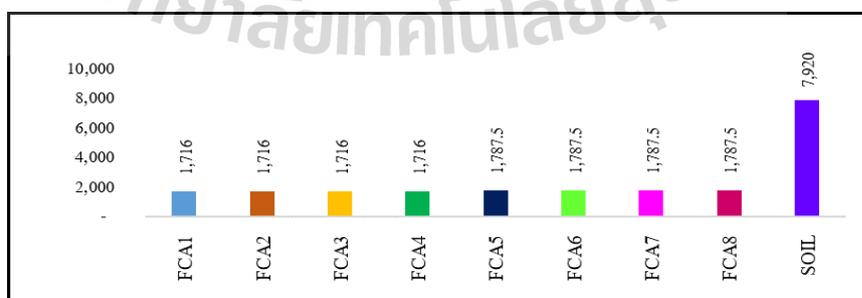
รูปที่ 4.2 แสดงค่าความเป็นกรดต่างของวัสดุปลูกทดแทนดิน

เมื่อได้อัตราส่วนการทดลอง ทำการผสมวัสดุปลูกแต่ละชนิดตามอัตราส่วนดังตารางที่ 4.3 จะได้น้ำหนักของสัดส่วนแต่ละการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.6 ซึ่งจากตารางแสดงให้เห็นว่า เมื่อเปรียบเทียบน้ำหนักของวัสดุปลูกทดแทนดิน มีน้ำหนักต่างกันถึง 7 เท่า

ตารางที่ 4.6 อัตราส่วนผสมคิดเป็นน้ำหนักสำหรับภาชนะปลูกขนาด 50 x 50 x 5 เซนติเมตร

สูตรที่	อัตราส่วนผสม (กรัม)				รวม
	ขุยและใยมะพร้าว	กากกาแฟ	ขี้เถ้าแกลบ	แยมันสำปะหลัง	
FCA1	715	286	429	286	1,716 กรัม
FCA2	858	286	286	286	1,716 กรัม
FCA3	715	429	286	286	1,716 กรัม
FCA4	858	429	143	286	1,716 กรัม
FCA5	715	286	429	357.5	1,787.5 กรัม
FCA6	858	286	286	357.5	1,787.5 กรัม
FCA7	715	429	286	357.5	1,787.5 กรัม
FCA8	858	429	143	357.5	1,787.5 กรัม
SOIL					7,920 กรัม

จากนั้นทำการปลูกหญ้าฉนวนน้อยตามสัดส่วนน้ำหนัkdังตารางที่ 4.6 ปลูกเป็นระยะเวลา 1 เดือน โดยกำหนดความสูงของหญ้าฉนวนน้อยไม่เกิน 4 - 5 เซนติเมตร เป็นหญ้าฉนวนน้อยแบบแยกต้น เก็บข้อมูลความสูงของหญ้าทุก 1 อาทิตย์ จนครบ 1 เดือน ความสูงเฉลี่ยของหญ้าฉนวนน้อยในแต่ละการทดลอง แสดงในตารางที่ 4.7



รูปที่ 4.3 น้ำหนักของวัสดุปลูกเปรียบเทียบกับดิน

จากตารางที่ 4.6 นำมาแสดงในรูปของกราฟข้อมูล ในรูปที่ 4.3 จะแสดงให้เห็นว่า การปลูกหญ้านวลน้อยด้วยวัสดุปลูกท้องถิ่น มีน้ำหนักเบาว่าดินถึง 7 เท่า ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การใช้วัสดุมีผลกระทบต่อโครงสร้างหลังคาน้อยมาก

ตารางที่ 4.7 ผลการปลูกหญ้านวลน้อยโดยวัดจากความสูงของใบ

ภาษา ปลูก	ความสูงก่อนปลูก เฉลี่ย (เซนติเมตร)	ความสูงสูงสุด (เซนติเมตร)	ความสูงเฉลี่ย (เซนติเมตร)	หญ้าเจริญเติบโต (เซนติเมตร)
FCA1	4.5	13	10	5.5
FCA2	4.5	13	10	5.5
FCA3	4.5	14	11	6.5
FCA4	4.5	17	11	6.5
FCA5	4.5	11	8	3.5
FCA6	4.5	9	6.5	2
FCA7	4.5	7	5.5	1
FCA8	4.5	8	6	1.5
SOIL	4.5	17	12	7



รูปที่ 4.4 ความสูงเฉลี่ยหญ้านวลน้อยระยะเวลา 30 วัน

จากผลการปลูกหนุ่ยขนาดเล็ก ดังตารางที่ 4.7 วิเคราะห์จากความสูงของหนุ่ยขนาดเล็ก พบว่า ภาชนะปลูกที่ 4 มีการเจริญเติบโตใกล้เคียงกับดินดีที่สุด ได้แก่ อัตราส่วน ขุยและใบมะพร้าว : กากกาแฟ : ขี้เถ้าแกลบ (60 : 30 : 10) และแยมันสำปะหลัง 20 %: ชั้นปลูกหนา 5 เซนติเมตร ให้การเติบโตใกล้เคียงกับดิน ดังแสดงในรูปที่ 4.4 โดยมีน้ำหนักน้อยกว่าดินถึงประมาณ 7 เท่า

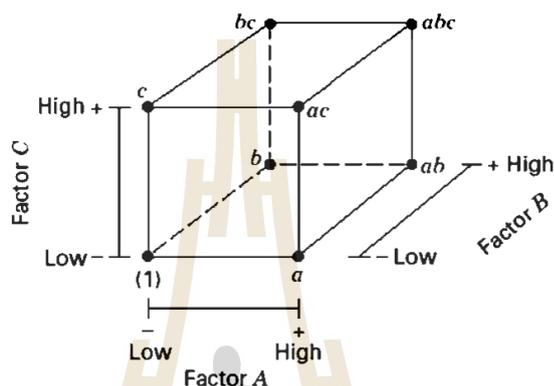
สำหรับภาชนะปลูกที่ 7 ซึ่งมีความสูงเฉลี่ยน้อยที่สุด พบว่ามีส่วนผสมของขี้เถ้าแกลบสูง ซึ่งถึงแม้ว่าขี้เถ้าแกลบจะมีคุณสมบัติที่เหมาะสมกับการใช้เป็นวัสดุปลูกทดแทนดิน และมีผลดีกับการงอกของลำต้น แต่ก็มีค่าความเป็นด่างสูง ไม่เหมาะต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้าพืช จึงควรใช้ขี้เถ้าแกลบร่วมกับวัสดุเพาะกล้าชนิดอื่น ๆ ตามสัดส่วนที่กำหนดจึงจะทำให้ต้นกล้ามีการเจริญเติบโตที่ดี จากนั้นนำผลความสูงเฉลี่ยของหนุ่ยขนาดเล็กมาวิเคราะห์ปัจจัยที่มีนัยสำคัญ โดยใช้โปรแกรม Minitab ดังแสดงในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์อัตราส่วนของวัสดุปลูกโดยใช้ โปรแกรม Minitab (14)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	3	297.87	99.29	99.29	36.5	0.000
ขุยและใบมะพร้าว	1	0.23	0.23	0.23	0.08	0.775
กากกาแฟ	1	0.63	0.63	0.63	0.23	0.635
แยมันสำปะหลัง	1	297.02	297.03	297.03	109.24	0.000
2-Way Interactions	3	60.80	20.27	20.27	7.45	0.001
ขุยและใบมะพร้าว*กากกาแฟ	1	6.40	6.40	6.40	2.35	0.135
ขุยและใบมะพร้าว*แยมันสำปะหลัง	1	14.40	14.40	14.40	5.3	0.028
กากกาแฟ*แยมันสำปะหลัง	1	40.00	40.00	40.00	14.71	0.001
Residual Error	33	89.73	89.73	2.72		
Lack of Fit	1	3.03	3.03	3.03	1.12	0.299
Pure Error	32	86.70	86.70	2.71		
Total	39	448.40				

ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลอง จากตารางที่ 4.8 โดยโปรแกรม Minitab (14) ซึ่งพิจารณาปัจจัยทั้งหมดสามปัจจัย พบว่าปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของหนุ่ยขนาดเล็กอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ที่ความเชื่อมั่น 95 % โดยมีค่า R - sq (adj) = 76.35 % คือ แยมัน

ลำปะหลัง เป็นปัจจัยที่มีผลในเชิงลบ สอดคล้องกับการวิเคราะห์ปริมาณธาตุ ดังแสดง รูปที่ 4.5 และ Club Plot สำหรับการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k (Montgomery,2005) ในรูปที่ 4.5 และผลของแป้งมันลำปะหลังไม่พบปริมาณธาตุฟอสฟอรัสที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของราก ซึ่งเป็นส่วนสำคัญสำหรับการเจริญเติบโตของลำต้น

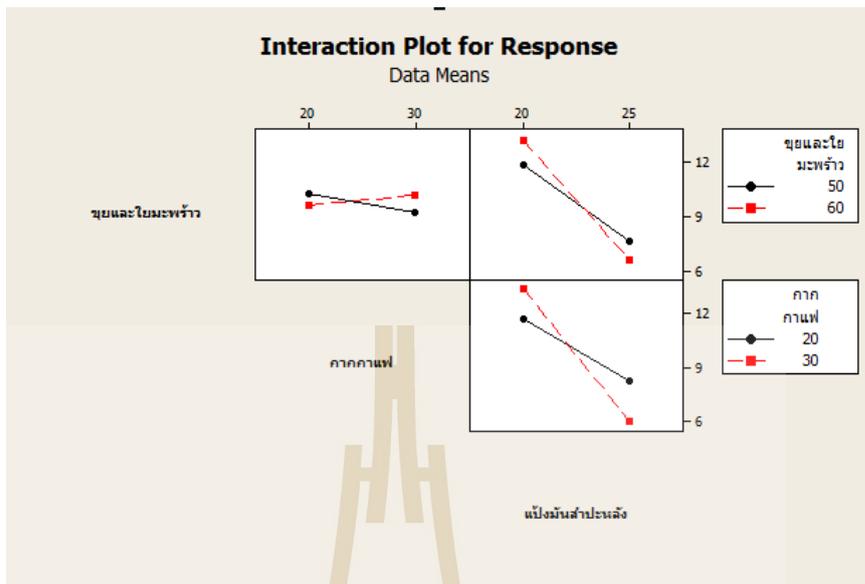


รูปที่ 4.5 Cube Plot สำหรับการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k (Montgomery,2005)

นอกจากนี้ ปัจจัยร่วม (อันตรกิริยา) ส่งผลต่อการเจริญเติบโตอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) เมื่อพิจารณารูปของอันตรกิริยา ดังแสดงในรูปที่ 4.6 จะพบว่า มีสองอันตรกิริยาที่มีผลในเชิงบวก คือ อันตรกิริยาระหว่างกากกาแฟกับแป้งมันลำปะหลัง และอันตรกิริยาระหว่างขุย และใยมะพร้าว กับแป้งมันลำปะหลัง

อันตรกิริยาระหว่างกากกาแฟกับแป้งมันลำปะหลัง โดยที่กากกาแฟมีปริมาณฟอสฟอรัสสูง เทียบเท่ากับดิน เป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของราก และมีปริมาณไนโตรเจนช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วของลำต้น อีกทั้งยังมีโพแทสเซียมที่มีความสำคัญสำหรับการสร้างและเคลื่อนย้ายอาหารพวกแป้งและน้ำตาลไปเลี้ยงส่วนที่กำลังเติบโต และส่งไปเก็บไว้เป็นเสบียงที่หัวหรือที่ลำต้น แต่อย่างไรก็ตามอัตราส่วนของกากกาแฟควรใส่ในปริมาณที่เหมาะสม เพราะกากกาแฟไม่มีคุณสมบัติในการดูดซับน้ำ

อันตรกิริยาระหว่างขุย และใยมะพร้าวกับแป้งมันลำปะหลัง ซึ่งขุย และใยมะพร้าวมีคุณสมบัติในการดูดซับน้ำและปริมาณธาตุโพแทสเซียม (K) สูง ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของหน่วนวลน้อยในปริมาณสูง เพิ่มความสามารถในการดูดซับอาหาร การระบายน้ำและอากาศในดินอย่างมาก ทำให้รากสามารถชอนไชหาอาหารและหายใจได้ดี นอกจากนั้นยังมีปริมาณไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ที่ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโต เพราะฉะนั้นการใส่ขุย และใยมะพร้าวในปริมาณมากจะส่งผลดีสำหรับการปลูก



รูปที่ 4.6 แสดงผลอันตรกิริยา

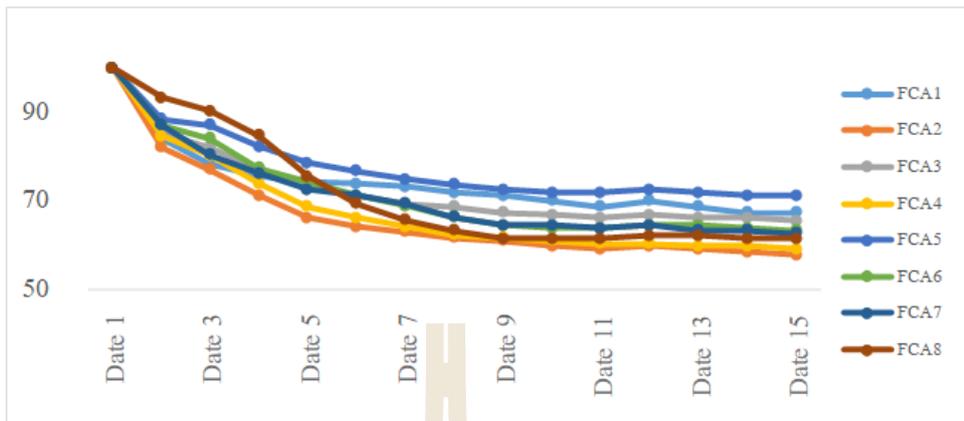
พิจารณาขี้เถ้าแกลบ ซึ่งเป็นอัตราส่วนสมดุลของปริมาณวัสดุปลูก ถึงแม้ว่าขี้เถ้าแกลบจะมีคุณสมบัติที่เหมาะสมกับการใช้เป็นวัสดุปลูกทดแทนดินและมีผลดีกับการเติบโตของลำต้น เนื่องจากมีปริมาณธาตุไนโตรเจน และโพแทสเซียมสูง แต่องค์ประกอบทางเคมีของขี้เถ้าแกลบ ร้อยละ 89.9 % เป็นซิลิกา (บอร์นัตร นัตรวีระ และพิชัย นิमितยงสกุล, 2537) ซึ่งจะไม่มีประโยชน์ต่อพืช หากพืชสามารถเจริญเติบโตเป็นปกติ และมีค่าความเป็นด่างสูง ซึ่งหากวัสดุปลูกมีส่วนผสมของขี้เถ้าแกลบมากเกินไปมีผลทำให้การเติบโตของต้นกล้าต่ำ จึงควรใช้ขี้เถ้าแกลบร่วมกับวัสดุชนิดอื่น ๆ ตามสัดส่วนที่กำหนดจึงจะทำให้พืชมีการเจริญเติบโตที่ดี ผลการทดลองในด้านของอายุการใช้งานด้านกายภาพ เมื่อทำการทดลองเป็นระยะเวลา 1 เดือน ความหนาของวัสดุปลูกเฉลี่ยหายไปเพียง 0.5 เซนติเมตร ดังแสดงรายละเอียดดังตารางที่ 4.9 – 4.10

ตารางที่ 4.9 ความหนาของวัสดุปลูก

ถาดที่	ความหนาก่อนปลูก	ความหนาหลังปลูก 1 เดือน	ความหนาที่ลดลง 1 เดือน	ความหนาที่ลดลง 2 เดือน
FCA1	5.0 เซนติเมตร	5.0 เซนติเมตร	-	-
FCA2	5.0 เซนติเมตร	5.5 เซนติเมตร	-	-
FCA3	5.0 เซนติเมตร	4.0 เซนติเมตร	1.0 เซนติเมตร	1.0 เซนติเมตร
FCA4	5.0 เซนติเมตร	4.5 เซนติเมตร	0.5 เซนติเมตร	0.5 เซนติเมตร
FCA5	5.0 เซนติเมตร	4.0 เซนติเมตร	1.0 เซนติเมตร	0.5 เซนติเมตร
FCA6	5.0 เซนติเมตร	3.5 เซนติเมตร	1.5 เซนติเมตร	0.5 เซนติเมตร
FCA7	5.0 เซนติเมตร	6.5 เซนติเมตร	-	-
FCA8	5.0 เซนติเมตร	4.5 เซนติเมตร	0.5 เซนติเมตร	0.5 เซนติเมตร
SOIL	5.0 เซนติเมตร	4.5 เซนติเมตร	0.5 เซนติเมตร	0.5 เซนติเมตร

ตารางที่ 4.10 ความชื้น

ถาดที่	น้ำหนักหลังอัด (กรัม)	น้ำหนักปลูก 1 เดือน	น้ำหนักที่หายไป (กรัม)	% ที่หายไป หลังปลูก 1 เดือน
FCA1	1,716	1,155	561	32.69
FCA2	1,716	990	726	42.31
FCA3	1,716	1,122	594	34.62
FCA4	1,716	1,012	704	41.03
FCA5	1,793	1,276	517	28.83
FCA6	1,793	1,133	660	36.81
FCA7	1,793	1,122	671	37.42
FCA8	1,793	1,100	693	38.65
SOIL		1,155		



รูปที่ 4.7 การเปลี่ยนแปลงความชื้น เมื่อปลูกบนหลังคา

4.3 ผลการศึกษาหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุปลูกทดแทนดิน



รูปที่ 4.8 ตำแหน่งการวัดอุณหภูมิเพื่อคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุปลูก

4.3.1 ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal Conductivity)

ผลการวัดอุณหภูมิ พิจารณาที่ความหนา 5 เซนติเมตร ซึ่งจุดวัดอุณหภูมิพิจารณาทั้งหมด 3 จุด ดังนี้ 1.อากาศภายนอก 2.ผิวผนังใต้ถาดทดลอง และ 3.ผิวใต้หลังคา ทดลอง และเก็บค่าอุณหภูมิ ณ บริเวณตำแหน่งที่กำหนด เพื่อนำมาคำนวณด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ สำหรับการหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุปลูกทดแทนดิน (Conductivity Efficiency) ใช้สมการการถ่ายเทความร้อนของ Fourier's Law ดังแสดงในสมการที่ 4.1 โดยแบ่งตามชนิดของหลังคาค้างนี้

1. หลังคาเมทัลชีท หนา 0.3 มิลลิเมตร ซึ่งไม่มีการรดน้ำ
2. หลังคาดินปลูกหญ้าเนวลน้อย ความหนาชั้นดิน 5 เซนติเมตร และหญ้าเนวลน้อยแบบแยกต้นความสูงระหว่าง 4 - 5 เซนติเมตร รดน้ำ ครั้งละ 3 ลิตร ในช่วงเวลา 07.00 น. และ 17.00 น.
3. หลังคาวัสดุปลูกทดแทนดินปลูกหญ้าเนวลน้อย ความหนาของชั้นดิน 5 เซนติเมตร และหญ้าเนวลน้อยแบบแยกต้นความสูงระหว่าง 4 - 5 เซนติเมตร รดน้ำ ครั้งละ 3 ลิตร ในช่วงเวลา 07.00 น. และ 17.00 น.

$$q_x = k \frac{T1-T2}{L} = k \frac{\Delta T}{L} \quad (4.1)$$

เมื่อ

k = Thermal conductivity (W/m.K หรือ W/m.°C)

q_x = ปริมาณความร้อนที่ไหลผ่านตัวอย่างทดสอบ (Watt หรือ W)

L = ความหนาของตัวอย่างทดสอบ (m)

ΔT = ผลต่างระหว่างจุดที่วัดอุณหภูมิ (K หรือ °C)

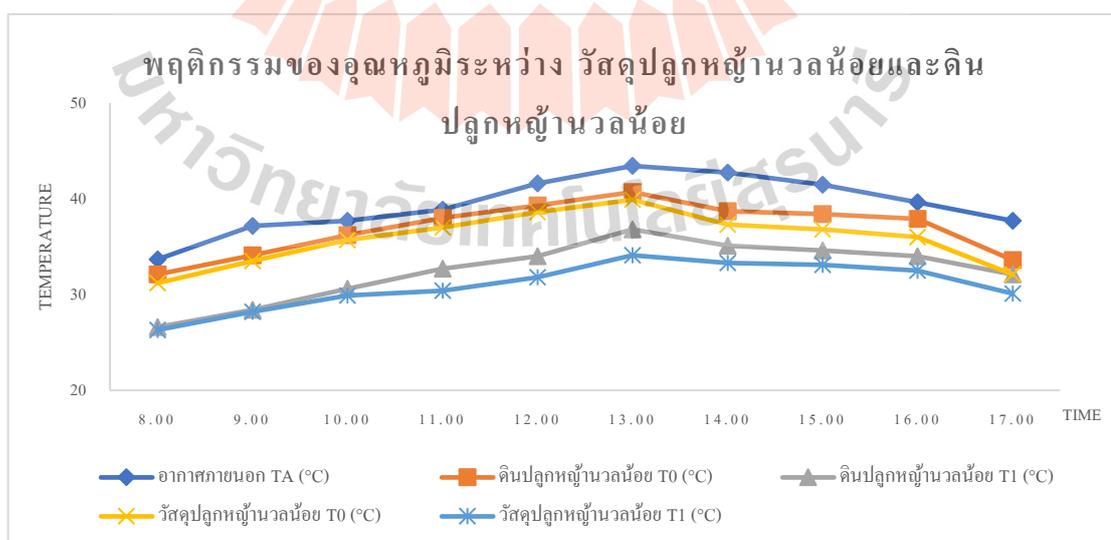
ซึ่งหลังจากการเก็บค่าอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งที่กำหนด โดยทำการวัดอุณหภูมิหลังคาเมทัลชีท หนา 0.3 มิลลิเมตร ซึ่งไม่มีการรดน้ำ เปรียบเทียบกับหลังคาดินปลูกหญ้าเนวลน้อย ความหนาของชั้นดิน 5 เซนติเมตร และหญ้าเนวลน้อยแบบแยกต้นความสูงระหว่าง 4 - 5 เซนติเมตร รดน้ำ ครั้งละ 3 ลิตร ในช่วงเวลา 07.00 น. และ 17.00 น. ซึ่งแบ่งการทดสอบตามรายละเอียด ดังนี้

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

กรณีที่ 1 เปรียบเทียบระหว่างการใช้ดินปลูกและวัสดุทดแทนดิน ปลูกหญ้าขนาดเล็กแสดงผลการวัด อุณหภูมิดังตารางที่ 4.10

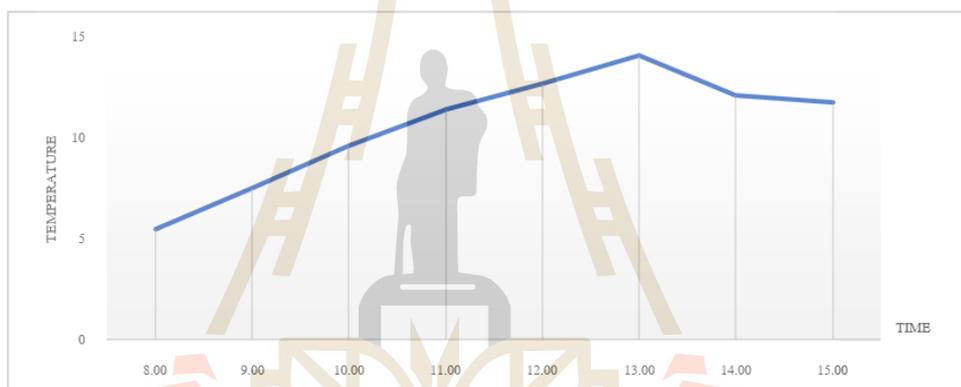
ตารางที่ 4.11 แสดงพฤติกรรมของอุณหภูมิใต้หลังคา ระหว่าง ดินปลูกและวัสดุทดแทนดิน ปลูก หญ้าขนาดเล็ก ของวันที่ 8 สิงหาคม 2562

เวลา	อากาศภายนอก	ดินปลูกหญ้าขนาดเล็ก		วัสดุปลูกหญ้าขนาดเล็ก	
	T_A (°C)	T_0 (°C)	T_1 (°C)	T_0 (°C)	T_1 (°C)
8.00	33.67	32.10	26.60	31.20	26.30
9.00	37.18	34.10	28.40	33.50	28.20
10.00	37.70	36.20	30.60	35.70	29.90
11.00	38.86	38.00	32.70	37.00	30.40
12.00	41.61	39.30	34.00	38.60	31.80
13.00	43.43	40.70	36.80	39.90	34.10
14.00	42.72	38.70	35.10	37.30	33.30
15.00	41.48	38.40	34.60	36.80	33.10
16.00	39.63	37.90	34.00	36.00	32.50
17.00	37.71	33.60	32.10	32.10	30.10

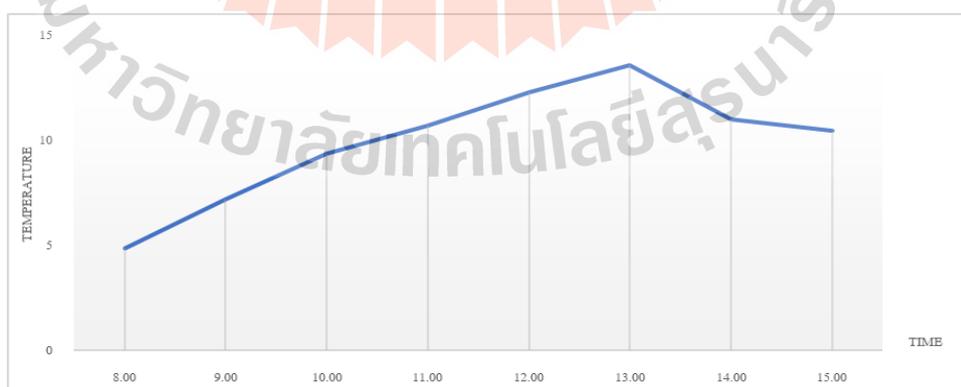


รูปที่ 4.9 แสดงพฤติกรรมของอุณหภูมิตะหว่าง วัสดุปลูกหญ้าขนาดเล็ก และดินปลูกหญ้าขนาดเล็ก

จากการทดลองพบว่า พฤติกรรมของอุณหภูมิผิวบนดิน (T_p) ปลูกหญ้าฉนวนน้อย มีค่าอุณหภูมิสูงสุด คือ $40.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ ซึ่งผิวบน (T_p) วัสดุปลูกหญ้าฉนวนน้อย มีค่าอุณหภูมิสูงสุด คือ $38.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ อุณหภูมิผิวล่าง (T_f) ดินปลูกหญ้าฉนวนน้อย จะมีค่าอุณหภูมิสูงสุด คือ $36.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ และผิวล่าง (T_f) วัสดุปลูกหญ้าฉนวนน้อย มีค่าอุณหภูมิสูงสุด คือ $34.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ดังแสดงในรูปที่ 4.9 ซึ่งระหว่างผิวบนของทั้งสองวัสดุนี้ บ่งบอกว่า ความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ที่เข้ามา ไม่มีความแตกต่างกัน แต่ในส่วนของดินปลูกหญ้าฉนวนน้อยพบว่าอุณหภูมิสูงกว่าเพราะ ความหนาแน่นของดินมีมากกว่าวัสดุปลูก ส่งผลให้เกิดสะสมความร้อนไว้มากกว่าวัสดุปลูกซึ่งมีช่องว่างและความพรุนของอากาศมากกว่า แต่คุณสมบัติของวัสดุไม่แตกต่างกันมาก เพราะองค์ประกอบ ไปด้วย ชั้นของวัสดุปลูกและหญ้าฉนวนน้อยมีทั้งการคายระเหยน้ำ ช่วยลดความร้อนที่เข้าสู่หลังคาได้ดี ซึ่งเปรียบเสมือนกันเพิ่มฉนวนบนหลังคา



รูปที่ 4.10 แนวโน้มผลต่างระหว่างผิวบน และผิวล่างของดินปลูกหญ้าฉนวนน้อย

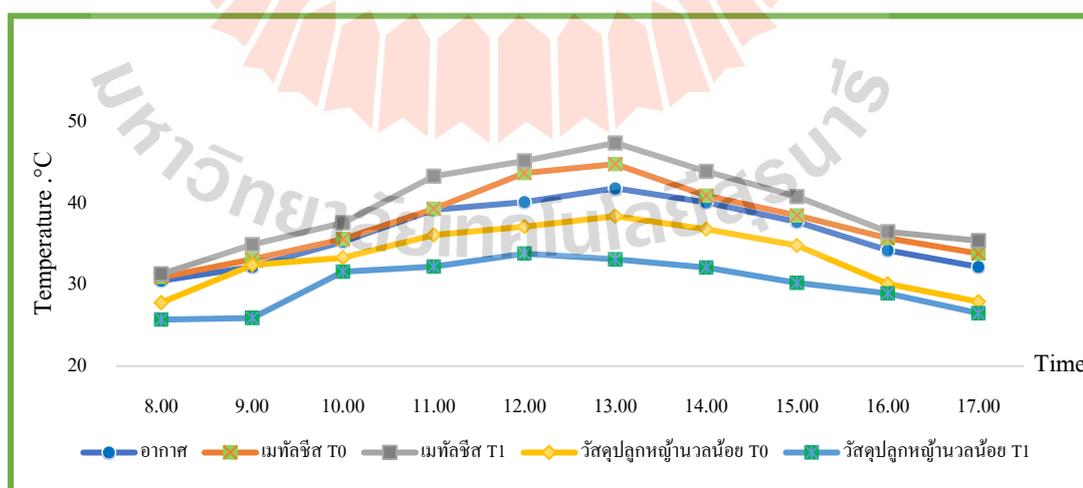


รูปที่ 4.11 แนวโน้มผลต่างระหว่างผิวบน และผิวล่างของวัสดุปลูกหญ้าฉนวนน้อย

กรณีที่ 2 เปรียบเทียบระหว่างการใช้เมทัลชีทเป็นวัสดุหลังคาและวัสดุปลูกทดแทนดิน แสดงผลการวัดอุณหภูมิดังตารางที่ 4.11

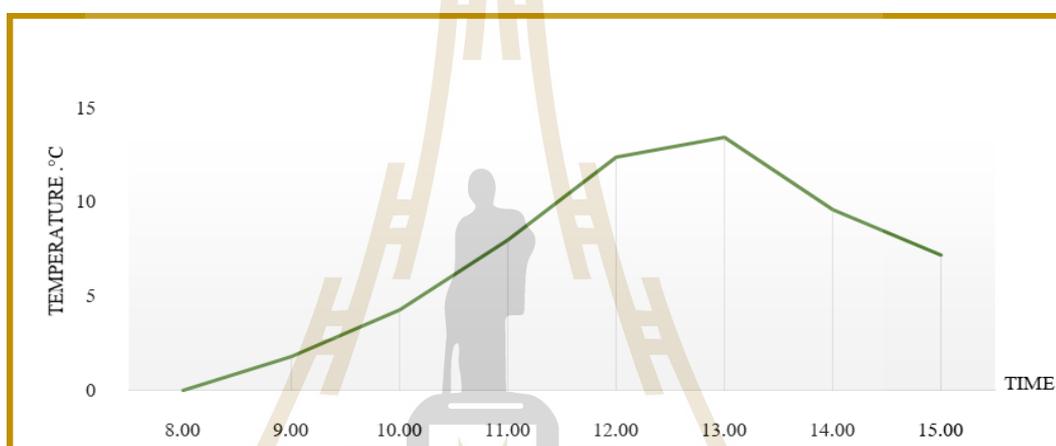
ตารางที่ 4.12 แสดงพฤติกรรมของอุณหภูมิใต้หลังคาระหว่าง เมทัลชีท และวัสดุปลูกหุ้ำนวลน้อย ของวันที่ 9 สิงหาคม 2562

เวลา	อากาศภายนอก T_A (°C)	เมทัลชีท		วัสดุปลูกหุ้ำนวลน้อย	
		T_0 (°C)	T_1 (°C)	T_0 (°C)	T_1 (°C)
08.00	30.49	30.90	31.30	27.80	25.70
09.00	32.19	33.10	34.90	32.40	25.90
10.00	35.26	35.60	37.60	33.30	31.60
11.00	39.19	39.30	43.30	36.10	32.20
12.00	40.14	43.70	45.20	37.10	33.80
13.00	41.83	44.80	47.40	38.40	33.10
14.00	40.10	40.90	43.90	36.80	32.10
15.00	37.70	38.50	40.80	34.80	30.20
16.00	34.20	35.72	36.50	30.10	28.90
17.00	32.16	33.80	35.40	27.90	26.50

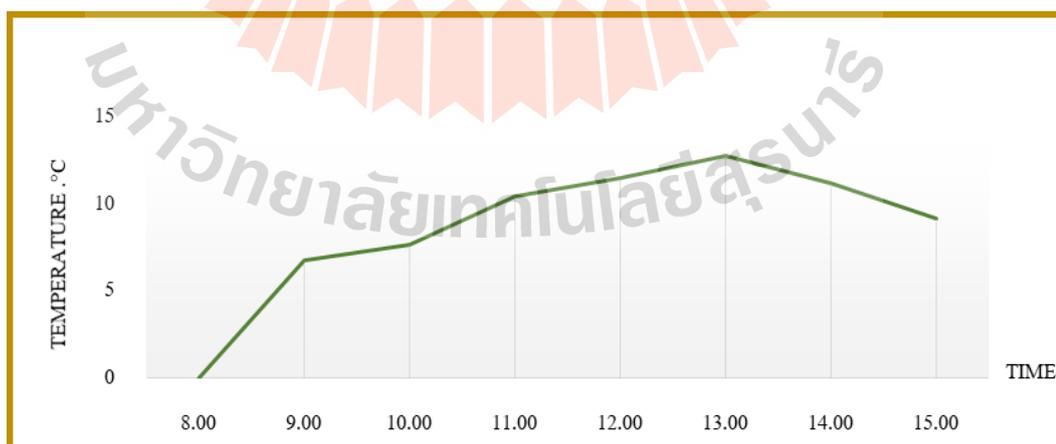


รูปที่ 4.12 พฤติกรรมของอุณหภูมิระหว่างเมทัลชีท และวัสดุปลูกหุ้ำนวลน้อย

จากรูปที่ 4.11 พบว่าพฤติกรรมของอุณหภูมิผิวบน (T_0) เมทัลชีท มีค่าอุณหภูมิสูงสุด คือ 44.8°C ซึ่งผิวบน (T_0) ของวัสดุปลูกหญ้าฉนวนน้อย มีค่าอุณหภูมิสูงสุด คือ 38.4°C และอุณหภูมิผิวล่าง (T_1) เมทัลชีท มีค่าอุณหภูมิสูงสุด คือ 47.4°C ผิวล่าง (T_1) วัสดุปลูกหญ้าฉนวนน้อย มีค่าอุณหภูมิสูงสุด คือ 33.1°C จากผลอุณหภูมิระหว่างผิวบนของทั้งสองวัสดุ ดังแสดงในรูปที่ 4.12 บ่งบอกว่า ความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์สามารถส่งผ่านไปยังเมทัลชีทได้ดีกว่ากว่า วัสดุปลูกหญ้าฉนวนน้อย เนื่องจาก วัสดุปลูกหญ้าฉนวนน้อยมีหญ้าปกคลุมอยู่ช่วยสร้างร่มเงาให้กับหลังคาทดลอง และยังมีส่วนประกอบของวัสดุปลูกที่ช่วยให้เกิดการระเหยน้ำ ช่วยลดความร้อนที่เข้าสู่หลังคาได้



รูปที่ 4.13 แนวโน้มผลต่างระหว่างผิวบน และผิวล่างของเมทัลชีท

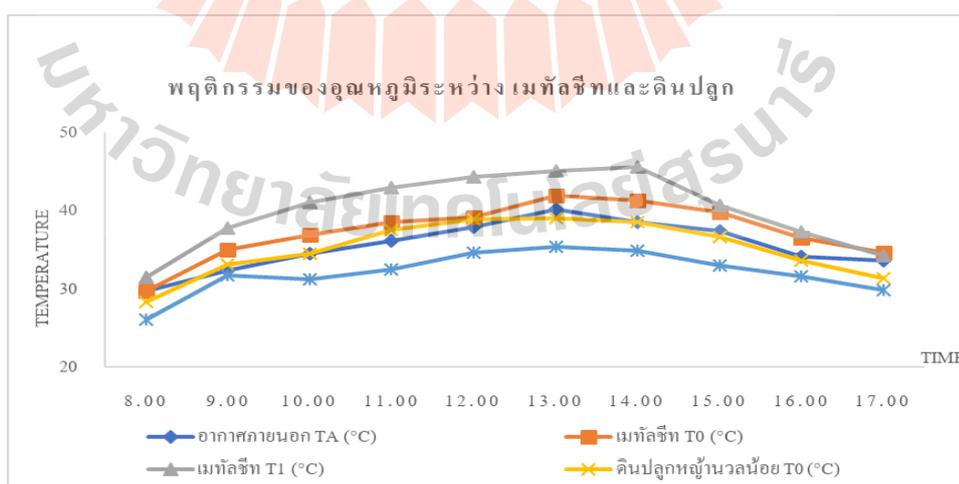


รูปที่ 4.14 แนวโน้มผลต่างระหว่างผิวบน และผิวล่างของวัสดุปลูกหญ้าฉนวนน้อย

กรณีศึกษาที่ 3 เปรียบเทียบระหว่างการใช้เมทัลชีทเป็นวัสดุหลังคา และดินปลูก แสดงผลการวัดอุณหภูมิ ดังตารางที่ 4.12

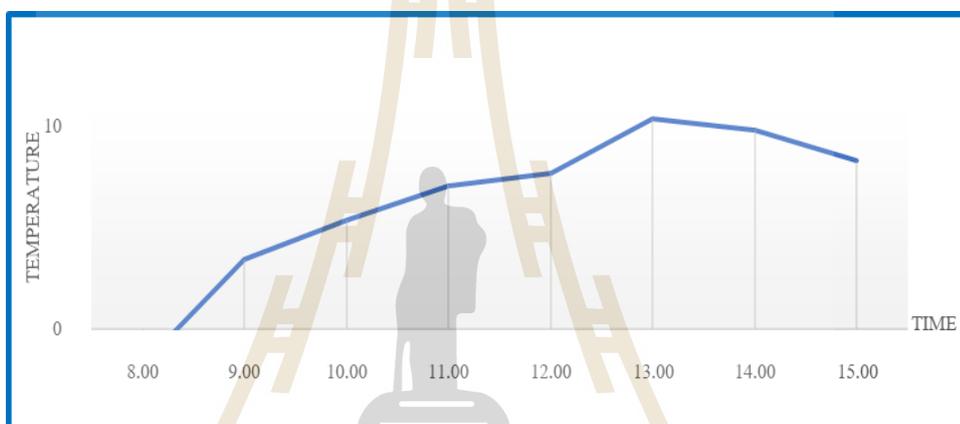
ตารางที่ 4.13 แสดงพฤติกรรมของอุณหภูมิใต้หลังคา ระหว่าง เมทัลชีท และดินปลูกหน้าวนน้อย ของวันที่ 10 สิงหาคม 2562

เวลา	อากาศภายนอก T_A (°C)	เมทัลชีท		ดินปลูกหน้าวนน้อย	
		T_0 (°C)	T_1 (°C)	T_0 (°C)	T_1 (°C)
8.00	29.72	29.71	31.50	28.31	26.12
9.00	32.36	34.96	37.80	33.16	31.80
10.00	34.53	36.90	41.10	34.50	31.20
11.00	36.13	38.60	42.90	37.60	32.50
12.00	37.91	39.20	44.30	38.90	34.70
13.00	40.21	41.90	45.10	39.10	35.40
14.00	38.60	41.30	45.60	38.50	34.90
15.00	37.45	39.80	40.70	36.70	33.00
16.00	34.13	36.50	37.30	33.60	31.60
17.00	33.66	34.60	34.30	31.30	29.80

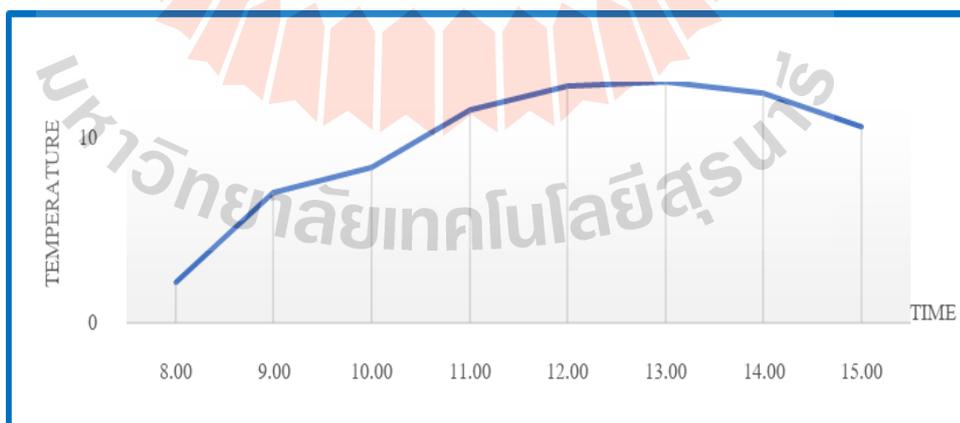


รูปที่ 4.15 แสดงพฤติกรรมของอุณหภูมิระหว่างเมทัลชีท และดินปลูกหน้าวนน้อย

จากรูปที่ 4.10 พบว่า พฤติกรรมของอุณหภูมิผิวบน (T_0) เมทัลชีท จะมีค่าอุณหภูมิสูงสุด คือ 41.9°C ซึ่งผิวบน (T_0) ดินปลูกหญ้าเนวลน้อย มีค่าอุณหภูมิสูงสุด คือ 39.1°C อุณหภูมิผิวล่าง (T_1) เมทัลชีทมีค่าอุณหภูมิสูงสุด คือ 45.1°C และ ผิวล่าง (T_1) ดินปลูกหญ้าเนวลน้อย มีค่าอุณหภูมิสูงสุด คือ 35.4°C เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างผิวบนของทั้งสองวัสดุนี้ ดังแสดงในรูปที่ 4.15 บ่งบอกว่า ความร้อนที่เข้ามาสามารถส่งผ่านไปยังเมทัลชีทได้ดีกว่า ดินปลูกหญ้าเนวลน้อย เนื่องจาก ดินปลูกหญ้าเนวลน้อยมีหญ้าปกคลุมอยู่ช่วยสร้างร่มเงาให้กับหลังคาทดลอง และยังมีส่วนประกอบของวัสดุปลูกที่ช่วยให้เกิดการระเหยน้ำ ช่วยลดความร้อนที่เข้าสู่หลังคาได้



รูปที่ 4.16 แนวโน้มผลต่างระหว่างผิวบน และผิวล่างของเมทัลชีท



รูปที่ 4.17 ผลต่างระหว่างผิวบน และผิวล่างของดินปลูกหญ้าเนวลน้อย

4.3.2 การคำนวณการถ่ายเทความร้อนที่เกิดจากภายนอกอาคาร

การนำความร้อน เป็นการถ่ายเทความร้อนของสาร จากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูง ไปยัง บริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า โดยจะอาศัยคุณสมบัติของสารตัวกลางคือ ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของสารนั้นๆ เป็นตัวกลางที่ความร้อนจะเคลื่อนที่ผ่านไป ซึ่งถ้าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนมีค่าสูง ผลต่างของอุณหภูมิระหว่างอุณหภูมิสูงกับอุณหภูมิต่ำ ก็จะมีค่าน้อยกว่าความร้อนเคลื่อนที่ผ่านสารที่มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนต่ำ รวมถึงความหนา หรือระยะทางที่ความร้อนเคลื่อนที่ผ่านสารตัวกลาง ยังมีระยะทางที่กว้างผลต่างของอุณหภูมิ ก็จะมีมาก

การปลูกพืชบนหลังคาส่งผลให้อุณหภูมิภายในอาคารลดลง ซึ่งเกิดจากการมีพืชพันธุ์ปกคลุมอยู่บนหลังคา สามารถช่วยลดอัตราการถ่ายเทความร้อน โดยสามารถคำนวณ ได้ดัง สมการ 4.4 และ 4.5

$$Q_{\text{cond}} = U \cdot A \cdot (\Delta T) \quad (4.4)$$

$$Q_{\text{cond}} = kA(\Delta T / \Delta x) \quad (4.5)$$

เมื่อ

- Q = ปริมาณพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทผ่านวัสดุ (Watt หรือ W)
- U = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U-Value), $W/m^2 \cdot ^\circ C$
- k = ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal conductivity), $(W/m \cdot ^\circ C)$
- Δx = ความหนาของวัสดุ (m)
- ΔT = ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างสองด้านของวัสดุ ($^\circ C$)
- A = พื้นที่ในการถ่ายโอนความร้อน, (m^2)

จากนั้นสามารถนำค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน มาคำนวณหาค่าความสามารถในการต้านทานความร้อน ซึ่งค่าการต้านทานความร้อน หรือ ค่า R - Value จะเป็นค่าที่บอกถึงอัตราส่วนระหว่างความหนาของวัสดุตามแนวที่ความร้อนไหลผ่านกับค่าความสามารถในการนำความร้อน

$$R = \frac{\text{Insulation Thickness}}{\text{Thermal Conductivity}} \quad (4.6)$$

ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทด้วยการนำความร้อน = $\frac{\text{ความแตกต่างของอุณหภูมิ}}{\text{ความต้านทานการนำความร้อน}}$

$$Q = \frac{(T_1 - T_2)}{R_c}, \quad R_c = \frac{L}{kA} \quad (4.7)$$

ตารางที่ 4.14 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (K, W/m °C)

Material	K-Value	Unit	Reference
Metal sheet	47.6	W/m °C	บัญญัติ พงษ์พิริยะ และอ.ดร.ศักดิ์การ ราชีสุทธิ
Soil	0.52	W/m °C	Incropera, Dewitt, Bergman and Lavine.(2007)
Manila grass	1.1	W/m °C	Campbell and Norman. (1988)

อ้างอิงค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุดังตารางที่ 4.13 ข ดังนั้นสามารถหาค่าปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านหลังคาวัสดุ

$$Q = \frac{(T_1 - T_2)}{L/kA} \quad (4.8)$$

- ความต้านทานความร้อนสำหรับเมทัลชีท $R_{\text{metal}} = L/KA = 0.000025 \quad \text{m}^2/\text{W}$
- ความต้านทานความร้อนสำหรับดิน $R_{\text{soil}} = L/KA = 0.384 \quad \text{m}^2/\text{W}$

ตารางที่ 4.15 แสดงความหนาของวัสดุ

Material	ความหนาวัสดุ หลังคา (m)	ความหนาชั้นปลุก (m)	ความหนาพีช (m)	รวม (m)
Metal sheet	0.0003	-	-	0.0003
หลังคาดิน	0.0003	0.05	-	0.0503
หลังคาดินปลุก หญ้านวลน้อย	0.0003	0.05	0.05	0.1003
หลังคาวัสดุปลุก หญ้านวลน้อย	0.0003	0.05	0.05	0.1003

ซึ่งค่าความต้านทานอากาศฟิล์มอากาศภายนอกและภายใน (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน , 2550) กำหนดให้

- $R_{\text{ฟิล์มอากาศภายนอกหลังคา}} = 0.055 \text{ (m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W)}$
- $R_{\text{ฟิล์มอากาศภายในหลังคา}} = 0.162 \text{ (m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W)}$

$$\text{ดังนั้น } R_{\text{total}} = R_{\text{metal}} + R_{\text{soil}} + R_i + R_o = 0.601 \text{ m}^2/\text{W}$$

ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านหลังคาดินปลูกหญ้านวลน้อย

$$Q = \frac{(T_2 - T_1)}{R_{\text{total}}} = 6.489 \text{ Watt}$$

ดังนั้นปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านหลังคาดินปลูกหญ้านวลน้อย คือ 6.489 W.

คำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุปลูกหญ้านวลน้อย

$$6.489 \text{ W} = \frac{(T_2 - T_1)}{R_{\text{metal}} + R_{\text{substrate cul}} + R_{\text{Manila grass}} + R_i + R_o}$$

$$6.489 \text{ W} = \frac{(T_2 - T_1)}{R_{\text{metal}} + \left(\frac{L}{kA}\right) + R_{\text{Manila grass}} + R_i + R_o}$$

$$K_{\text{วัสดุปลูกทดแทนดิน}} = 0.317 \text{ W/m }^\circ\text{C}$$

ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุปลูก คือ 0.317 W/m $^\circ\text{C}$.

ตารางที่ 4.16 แสดงค่าอ้างอิงค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของดิน

Material	Density, ρ (kg/m ³)	Thermal Conductivity, k (W/m °C)	Reference
ดินอัดแน่น	2050	0.52	Incropera, Dewitt, Bergman and Lavine.(2007) และรุ่งทิพย์ แสงกลาง 2558
ดินร่วน (อัดหลวม)	1200	0.375	ชินิต จินดาวณิก

ตารางที่ 4.17 ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของดินประเภทต่าง ๆ

Material/Substance	Thermal conductivity [W/(m K)]
Clay, dry to moist	0.15 - 1.8
Clay, saturated	0.6 - 2.5
Concrete, lightweight	0.1 - 0.3
Ground or soil, very moist area	1.4
Ground or soil, moist area	1.0
Ground or soil, dry area	0.5
Ground or soil, very dry area	0.33
Peat	0.08
Sand, dry	0.15 - 0.25
Sand, moist	0.25 - 2
Sand, saturated	2 - 4
Sandstone	1.7
Sawdust	0.08
Soil, clay	1.1
Soil, with organic matter	0.15 - 2
Soil, saturated	0.6 - 4

ที่มา : (Engineering ToolBox, (2003). Thermal Conductivity of selected Materials and Gases. [online] Available at: https://www.engineeringtoolbox.com/thermal-conductivity-d_429.html [Accessed Day Mo. Year])

ตารางที่ 4.18 ช่วงของค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของดิน

Type of soil	Thermal Conductivity (W/m K)
Sand (ทราย)	0.58 to 1.94
sandy loam (ดินร่วนปนทราย)	0.19 to 1.12
Loam (ดินร่วน)	0.29 to 0.76
clay loam (ดินร่วนปนดินเหนียว)	0.36 to 0.69

ที่มา : (Nidal H. Abu-Hamdeh and Randall C. Reederb)

จากงานวิจัย อ้างอิงค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของดินเท่ากับ $0.52 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ (Incropera, Dewitt, Bergman and Lavine.(2007) และ รุ่งทิพย์ แสงกลาง 2558) ซึ่งระหว่างการทดลองวัดอุณหภูมิไม่มีการรดน้ำและใส่ปุ๋ยใด ๆ ทั้งสิ้น เพราะฉะนั้นค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของดินที่อ้างอิงคือ ดินแห้ง (soil, dry area) มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนเท่ากับ $0.5 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ดังแสดงในตารางที่ 3 ซึ่งลักษณะของดินคือ เป็นดินแห้งที่มีช่องว่างระหว่างเม็ดดินเต็มไปด้วยอากาศ ซึ่งเมื่อนำค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของดินมาใช้อ้างอิงในการหาอัตราการถ่ายเทความร้อนของการใช้ดินปลูกหญ้าขนาดเล็ก สามารถคำนวณผลของค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุปลูกทดแทนดินเท่ากับ $0.317 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ซึ่งหากเปรียบเทียบกับในแหล่งอ้างอิงเดียวกับดินปลูก ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุปลูกมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนใกล้เคียงกับ soil, very dry area มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนเท่ากับ $0.3 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ดังแสดงในตารางที่ 3 ซึ่งลักษณะของดินประเภทนี้ คือ เป็นดินแห้งมาก ที่มีช่องว่างอากาศระหว่างเม็ดดินมากกว่าดินประเภทดินแห้ง

และจากงานวิจัยของ Nidal H. Abu-Hamdeh and Randall C. Reederb ได้ศึกษาผลกระทบการนำความร้อนของดินจากความหนาแน่นความชื้น ความเข้มข้นของเกลือ และสสารอินทรีย์ กล่าวว่า การนำความร้อนเพิ่มขึ้นเมื่อความหนาแน่นของดินและความชื้นเพิ่มขึ้น ซึ่งค่าการนำความร้อนของทรายอยู่ในช่วง 0.58 ถึง 1.94 ดินร่วนปนทราย 0.19 ถึง 1.12 ดินร่วน 0.29 ถึง 0.76 และดินร่วนปนดินเหนียว 0.36 ถึง 0.69 $\text{W/m}^\circ\text{C}$ และการเพิ่มเปอร์เซ็นต์ของอินทรีย์วัตถุในดินสามารถลดการนำความร้อนได้ ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบกับผลของค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของดิน และวัสดุปลูก สำหรับงานวิจัยนี้ ซึ่งดินที่ใช้อ้างอิง มีค่าความหนาแน่นเท่ากับ $2,050 \text{ kg/m}^3$ และผลลัพท์ของวัสดุปลูกทดแทนดินมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนเท่ากับ $0.317 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ มีคุณสมบัติคล้ายกับดินร่วน (อัดหลวม) มีค่าเท่ากับ $0.375 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ซึ่งดินร่วน เป็นดินที่ประกอบด้วยทราย โคลนตม และดินเหนียว โดยมีปริมาณดินทราย และดินเหนียวไม่มากนัก และมีค่าความหนาแน่น $1,200 \text{ kg/m}^3$ จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า วัสดุปลูกมีช่องว่างของอากาศมากกว่า

ดิน มีคุณสมบัติความเป็นฉนวนมากกว่าดิน โดยมีปริมาณดินทรายและดินเหนียวไม่มากนัก ดังนั้น น้ำ และอากาศ จึงไหลผ่านวัสดุปลูกทดแทนดินได้ดีกว่า เป็นแหล่งอาหารที่ดีของพืช วัสดุมีความสามารถในการถ่ายเทความร้อนต่ำ ซึ่งหากอ้างอิงตาม Nidal H. Abu - Hamdeh and Randall C. Reederb ดินปลูกและวัสดุปลูกทดแทนดินที่ใช้สำหรับงานวิจัย มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนอยู่ในช่วงของดินร่วนปนดินเหนียว ที่มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนระหว่าง 0.36 – 0.69

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (Heat transfer coefficient ; U - Value) ซึ่งหมายถึง ปริมาณความร้อนที่ไหลผ่านเข้ามาในส่วนของอาคารคงที่ โดยที่อุณหภูมิแตกต่างกัน ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเป็นส่วนกลับของค่าความต้านทานความร้อน ขึ้นกับความหนาและความสามารถในการนำความร้อน

$$U = \frac{1}{R} \quad (4.9)$$

- โดยที่ $(R_{\text{หลังคา}})$ = ค่าความต้านทานความร้อนของหลังคา ($\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/W}$)

ตารางที่ 4.19 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและความต้านทานความร้อน ($\text{K, W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$)

	เวลา	หลังคาเมทัลชีท	หลังคาดิน	หลังคาดินปลูกหญ้า นวลน้อย	หลังคาวัสดุปลูกหญ้านวลน้อย
ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างอุณหภูมิบนหลังคาและอุณหภูมิใต้หลังคา ($T_0 - T_i$) ($^\circ\text{C}$)	13.00	2.6	3.2	3.9	5.8
ค่าความต้านทานความร้อนของหลังคา ($R_{\text{หลังคา}}$) $\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/W}$	13.00	0.127	0.601	0.7828	1.029
ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (Heat transfer – U-Value) $\text{W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$	13.00	7.874	1.663	1.277	0.971

จากตารางที่ 4.18 เมื่อพิจารณาผลต่างอุณหภูมิเฉลี่ยบริเวณบนหลังคา และบริเวณใต้หลังคา ($T_o - T_i$) ($^{\circ}\text{C}$) พบว่าในช่วงเวลากลางวันเวลา 13.00 น. เป็นช่วงที่อุณหภูมิสูงสุดของวัน หลังคาเมทัลชีทมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิน้อยที่สุด เนื่องจากคุณสมบัติของเมทัลชีทเป็นวัสดุนำความร้อน และมีความหนาเพียง 0.3 มิลลิเมตร ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของหลังคาเขียว ระหว่าง การใช้ดินปลูก และใช้วัสดุปลูกหนาแน่นน้อย ผลต่างอุณหภูมิของการปลูกหนาแน่นน้อย ด้วยวัสดุปลูกสูงที่สุด ซึ่งผลต่างของอุณหภูมิสามารถบอกได้ว่า ผลต่างของอุณหภูมิน้อยหมายถึง วัสดุมีการถ่ายเทความร้อนที่ดี ผลต่างอุณหภูมิสูงหมายถึงวัสดุมีความสามารถในการถ่ายเทความร้อนต่ำ มีคุณสมบัติในการเป็นฉนวนมากกว่าตัวนำ มากไปกว่านั้น หลังคาเขียวมีการระเหยน้ำจากดิน การคายน้ำจากใบหญ้า มีร่มเงาจากใบเปรียบเสมือนการเพิ่มฉนวน ซึ่งช่วยสามารถลดการถ่ายเทความร้อนสู่ภายในอาคารได้ เปรียบเสมือนฉนวนในการป้องกันความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบหลังคาเขียวกับหลังคาดินที่ไม่มีหญ้าปกคลุม จะมีอุณหภูมิสูงกว่า

เมื่อวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นระหว่างอุณหภูมิภายใน และภายนอก ซึ่งค่า U - Value สำหรับงานวิจัยนี้ คือความสามารถในการถ่ายเทความร้อนของหลังคาแต่ละชนิด ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนต่ำที่สุด คือหลังคาที่ปลูกหญ้าหนาแน่นน้อย โดยใช้วัสดุปลูกทดแทนดิน มีค่าเท่ากับ $0.917 \text{ W/m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ เนื่องจากหลังคาที่มีหญ้าหนาแน่นน้อยเป็นวัสดุปกคลุมนั้นมีความสามารถในการคายน้ำ หากเปรียบเทียบกับการวางบนดิน หนา (0.05 เมตร) จะส่งผลให้ความร้อนเข้ามาสู่หลังคาได้น้อยกว่าการไม่มีหญ้าปกคลุมดิน เมื่อเทียบกับชนิดอื่นหลังคาเมทัลชีท เป็นหลังคาที่มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูงที่สุด มีค่าเท่ากับ $7.874 \text{ W/m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}$

ราคาวัสดุปลูกต่อลูกบาศก์เมตร

เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายสำหรับหลังคาเขียว แบบไม่เน้นประโยชน์ใช้สอยและไม่ส่งผลกระทบต่อโครงสร้างหลังคาเดิม จากการเลือกวัสดุปลูกในท้องถิ่นเหมาะสมสำหรับการปลูกหญ้าหนาแน่นบนหลังคาและทนทานต่อสภาพอากาศประเทศไทย ดังนั้นในการคำนวณค่าใช้จ่ายของวัสดุ และอุปกรณ์ ดังตารางที่ 4.19

ตารางที่ 4.20 แสดงรายละเอียดค่าวัสดุอุปกรณ์สำหรับการติดตั้งหลังคาเขียว

ค่าวัสดุและอุปกรณ์	ค่าใช้จ่ายต่อหน่วย	ราคาต่อ 1 ภาชนะปลูก (50x50x10) cm
ใยมะพร้าว (บาท/กิโลกรัม)	1	0.75
จี้เถ้าแกลบ (บาท/กิโลกรัม)	4	1.8
กากกาแฟ (บาท/กิโลกรัม)	1	0.28
แป้งมัน (บาท/กิโลกรัม)	10	2.5
รวมต่อ 1 ภาชนะปลูก (50x50x10) cm		5.33
รวมต่อตารางเมตร		20

ค่าวัสดุและอุปกรณ์	ค่าใช้จ่าย	ราคาต่อ 1 ภาชนะปลูก (50x50x10) cm
ดิน (บาท/กิโลกรัม)	4	32
รวมต่อ 1 ภาชนะปลูก (50x50x10) cm		32
รวมต่อตารางเมตร		128

สำหรับภาชนะปลูก ประเภทวัสดุหลังคา เมทัลชีท หนา 0.3 มิลลิเมตร มีอายุการใช้งาน 3 ปี ราคาต่อตารางเมตรเท่ากับ 200 บาทต่อตารางเมตร เพราะฉะนั้นเมื่อคำนวณค่าวัสดุปลูกเปรียบเทียบกับดินแล้วพบว่า วัสดุปลูกทดแทนดินมีต้นทุนเพียง 20 บาท/ตารางเมตร ซึ่งน้อยกว่าดินถึง 6 เท่า ที่มีต้นทุน 128 บาท/ต่อตารางเมตร เพราะฉะนั้นจากข้อมูลดังกล่าวมา การติดตั้งหลังคาเขียวโดยใช้วัสดุปลูกทดแทนดิน สำหรับงานวิจัยนี้ สามารถลดน้ำหนัก และต้นทุนค่าติดตั้งเมื่อเทียบกับการใช้ดินปลูก

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ ศึกษาการปลูกหนุ่ยขนาดเล็กโดยใช้วัสดุปลูกทดแทนดิน ที่เป็นวัสดุเหลือใช้จากท้องถิ่น หลังคาเขียวเปรียบเสมือนฉนวนป้องกันความร้อนให้กับหลังคา และสามารถลดอิทธิพลการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ เพื่อช่วยลดการถ่ายเทความร้อนจากหลังคาสู่ภายในอาคาร ซึ่งผลการศึกษสามารถสรุปได้ดังนี้

- 5.1 คุณสมบัติทางเคมี
- 5.2 อัตราส่วนวัสดุปลูกทดแทนดินที่เหมาะสมสำหรับการปลูกหนุ่ยขนาดเล็กบนหลังคา
- 5.3 ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุปลูก
- 5.4 ข้อเสนอแนะ

5.1 คุณสมบัติทางเคมี

วิเคราะห์ผลการศึกษาคู่คุณสมบัติทางเคมี พบว่าปริมาณของธาตุอาหารสูงสุดคือ ธาตุโพแทสเซียม รองลงมาคือ ฟอสฟอรัส และไนโตรเจน ซึ่งเป็นการผสมตัวอย่างทดสอบในปริมาณ 5 กรัม ปริมาณธาตุโพแทสเซียม (K) เป็นธาตุอาหารหลักที่มีผลต่อการเจริญเติบโตในปริมาณสูง และจำเป็นต่อการสร้างและเคลื่อนย้ายอาหารพวกแป้งและน้ำตาลไปเลี้ยงส่วนที่กำลังเติบโต และส่งไปเก็บไว้เป็นเสบียงที่หัวหรือที่ลำต้น กระบวนการต่าง ๆ ของเซลล์พืช ช่วยในการสังเคราะห์ น้ำตาลและแป้ง การเคลื่อนย้ายแป้ง และน้ำตาล จากใบไปยังผล กระบวนการสังเคราะห์แสง และการหายใจ ทำให้พืชแข็งแรงสามารถต้านทานโรค (ศิริพร กาทอง และดร.เฉลิม เรื่องวิริยะชัย, 2557) รองลงมาคือปริมาณธาตุไนโตรเจน (N) ทำหน้าที่ เป็นธาตุอาหารหลักที่จำเป็นต่อการส่งเสริมให้พืชตั้งได้รวดเร็วในระยะแรกของการเจริญเติบโตทำให้ลำต้น กิ่งก้าน และใบเจริญเติบโตได้ดี (ศิริพร กาทอง และดร.เฉลิม เรื่องวิริยะชัย, 2557) และปริมาณฟอสฟอรัส (P) เป็นธาตุอาหารหลักที่จำเป็นต่อการแพร่กระจายของรากในระยะแรก และส่งเสริมการเจริญเติบโตของต้น การออกดอกออกผล และสร้างเมล็ดของพืช ช่วยในการสังเคราะห์โปรตีน และสารอินทรีย์ที่สำคัญในพืช เป็นองค์ประกอบของสารที่ทำหน้าที่ถ่ายทอดพลังงานในกระบวนการต่าง ๆ (ศิริพร กาทอง และดร.เฉลิม เรื่องวิริยะชัย, 2557) ซึ่งสามารถสรุปคุณสมบัติของวัสดุปลูกสำหรับงานวิจัยดังนี้

1. ขุยมะพร้าว

ขุยมะพร้าวมีประโยชน์ในการปรับปรุงสมบัติทางฟิสิกส์ของวัสดุปลูกให้ดีขึ้น โดยเพิ่มความสามารถในการดูดซับน้ำ อาหาร การระบายน้ำ และอากาศในดิน จึงนิยมนำขุยมะพร้าวมาใช้ทำเป็นวัสดุปลูก เนื่องจากในขุยมะพร้าวมีปริมาณธาตุโพแทสเซียม (K) สูง ในขณะที่ไนโตรเจน (N) และฟอสฟอรัส (P) ต่ำ เมื่อเทียบกับวัสดุอื่น ๆ (อุมาวดี ลีเมธียรกุล, 2546) จากอัตราการดูดซับน้ำสูง จึงไม่ควรใส่เป็นวัสดุปลูกเพาะเพียงชนิดเดียว อาจส่งผลให้อุ้มน้ำมากเกินไป ดังนั้นควรผสมกับวัสดุชนิดอื่นก่อนนำไปใช้งาน

2. จี๊เถ่าเกลบดำ

ประโยชน์ของจี๊เถ่าเกลบดำ ช่วยปรับปรุงดินเพื่อเพิ่มความร่วนซุย เพิ่มแร่ธาตุดิน อุ้มน้ำได้ดี รวมถึงนิยมนำมาเป็นวัสดุปลูกผสมกับดินสำหรับการปลูกพืชในกระถาง (อิทธิสุนทร นันทกิจ, ม.ป.ป.) ซึ่งถึงแม้ว่าจี๊เถ่าเกลบจะมีสมบัติที่เหมาะสมกับการใช้เป็นวัสดุปลูกทดแทนดิน และมีผลดีกับการงอกของลำต้น แต่จี๊เถ่าเกลบมีองค์ประกอบทางเคมีร้อยละ 89.9% เป็นซิลิกา (บุรฉัตรฉัตรวีระ และ พิชัย นิมิตรยงสกุล, 2537) และมีค่าความเป็นด่างสูง (ศรีฐัฐสพล หนูพรหม, 2559) ซึ่งไม่เหมาะต่อการเจริญเติบโตของพืช จึงควรใช้จี๊เถ่าเกลบร่วมกับวัสดุเพาะกล้าชนิดอื่นๆจึงจะทำให้ต้นกล้ามีการเจริญเติบโตที่ดี

3. กากกาแฟ

กากกาแฟสำหรับงานวิจัย คือ เมล็ดกาแฟที่ผ่านกระบวนการขง คั่ว หรือบด จัดเป็นชีวมวลที่เหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมผลิตกาแฟสำเร็จรูป หรือจากร้านขายกาแฟสดทั่วไป ซึ่งมักจะเหลือกากทิ้งเป็นจำนวนมาก โดยกากกาแฟที่เหลือทิ้งนี้ยังคงมีสารประกอบสำคัญหลายชนิดเหลืออยู่ (รพีพรรณ กองตุม, 2560) อาทิ เช่น ไนโตรเจน เป็นธาตุอาหารที่สำคัญในการส่งเสริมการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วของพืช อีกทั้งยังมีโพแทสเซียม รวมไปถึงฟอสฟอรัส ซึ่งเป็นธาตุอาหารที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของรากพืช อีกทั้งยังสามารถใช้เป็นวัสดุดูดซับเพื่อกำจัดสารอินทรีย์ และสิ่งเจือปนต่างๆ ที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ดี

5.2 อัตราส่วนวัสดุปลูกทดแทนดินที่เหมาะสมสำหรับการปลูกเห็ดนางรมน้อยบนหลังคา

จากผลการทดลองศึกษาอัตราส่วนวัสดุปลูก ได้แก่ ขุยมะพร้าว กากกาแฟ จี๊เถ่าเกลบ และแป้งมันสำปะหลัง จากการออกแบบการทดลองรูปแบบ 2^3 Factorial สามารถสรุปโดยการวิเคราะห์จากความสูงของเห็ด ซึ่งภาชนะปลูกที่ 4 (FCA4) มีการเจริญเติบโตดีที่สุดอัตราส่วนของวัสดุปลูกที่เหมาะสม ได้แก่ ขุยมะพร้าว : กากกาแฟ : จี๊เถ่าเกลบ (60 : 30 : 10) และแป้งมันสำปะหลัง 20 % ชั้นปลูกหนา 5 เซนติเมตร ให้การเติบโตที่ใกล้เคียงกับดิน และมีน้ำหนักเห็ดมากกว่า

ประมาณ 7 เท่า เหมาะสมสำหรับการปลูกหญ้าขนาดเล็กบนหลังคา หญ้าขนาดเล็กสามารถเจริญเติบโตได้ดีในระยะเวลาของการทดลอง 6 เดือน

จากผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลอง โดยใช้โปรแกรม Minitab (14) ซึ่งพิจารณาปัจจัยทั้งหมดสามปัจจัย พบว่าปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของหญ้าขนาดเล็ก อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ที่ความเชื่อมั่น 95 % โดยมีค่า R - sq (adj) = 76.35 % คือ แบริ่งมันสำปะหลัง เป็นปัจจัยที่มีผลในเชิงลบ สอดคล้องกับการวิเคราะห์ปริมาณธาตุ แบริ่งมันสำปะหลังไม่พบปริมาณธาตุฟอสฟอรัส ที่เหมาะสำหรับการเจริญเติบโตของราก ซึ่งเป็นส่วนสำคัญสำหรับการเจริญเติบโตของลำต้น นอกจากนี้ ปัจจัยร่วม (อันตรกิริยา) ส่งผลต่อการเจริญเติบโตอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) อันตรกิริยาที่มีผลในเชิงบวก คือ อันตรกิริยาระหว่างกากกาแฟกับแบริ่งมันสำปะหลัง และอันตรกิริยาระหว่างขุย และโยมะพร้าว กับแบริ่งมันสำปะหลัง

อันตรกิริยาระหว่างกากกาแฟกับแบริ่งมันสำปะหลัง โดยที่กากกาแฟมีปริมาณฟอสฟอรัสสูง เทียบเท่ากับดิน เป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของราก และมีปริมาณไนโตรเจนช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วของลำต้น อีกทั้งยังมีโพแทสเซียม ที่มีความสำคัญสำหรับการสร้าง และเคลื่อนย้ายอาหารพวกแป้ง และน้ำตาล ไปเลี้ยงส่วนที่กำลังเติบโต และส่งไปเก็บไว้เป็นเสบียงที่หัว หรือที่ลำต้น แต่อย่างไรก็ตามอัตราส่วนของกากกาแฟควรใส่ในปริมาณที่เหมาะสม เพราะกากกาแฟไม่มีคุณสมบัติในการดูดซับน้ำ

อันตรกิริยาระหว่างขุย และโยมะพร้าวกับแบริ่งมันสำปะหลัง ซึ่งขุย และโยมะพร้าว มีคุณสมบัติในการดูดซับน้ำ และปริมาณธาตุโพแทสเซียม (K) สูง ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของหญ้าน้อยในปริมาณสูง เพิ่มความสามารถในการดูดซับอาหาร การระบายน้ำและอากาศในดินอย่างมาก ทำให้รากสามารถชอนไชหาอาหาร และหายใจได้ดี นอกจากนี้ยังมีปริมาณไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ที่ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโต เพราะฉะนั้นการใส่ขุย และโยมะพร้าวในปริมาณมากจะส่งผลดีสำหรับการปลูก

ขี้เถ้าแกลบ ซึ่งเป็นอัตราส่วนสมดุลของปริมาณวัสดุปลูก ถึงแม้ว่าขี้เถ้าแกลบจะมีคุณสมบัติที่เหมาะสมกับการใช้เป็นวัสดุปลูกทดแทนดิน และมีผลดีกับการเติบโตของลำต้น เนื่องจากมีปริมาณธาตุไนโตรเจน และโพแทสเซียมสูง แต่องค์ประกอบทางเคมีของขี้เถ้าแกลบ ร้อยละ 89.9 % เป็นซิลิกา (บุรฉัตร ฉัตรวีระ และพิชัย นิमितยงสกุล, 2537) ซึ่งจะไม่มีประโยชน์ต่อพืช หากพืชสามารถเจริญเติบโตเป็นปกติ และมีค่าความเป็นด่างสูง ซึ่งหากวัสดุปลูกมีส่วนผสมของขี้เถ้าแกลบมากเกินไปมีผลทำให้การเติบโตของต้นกล้าต่ำ จึงควรใช้ขี้เถ้าแกลบร่วมกับวัสดุชนิดอื่น ๆ ตามสัดส่วนที่กำหนดจึงจะทำให้พืชมีการเจริญเติบโตที่ดี

จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า วัสดุปลูก ขุย และโยมะพร้าว : กากกาแฟ : ขี้เถ้าแกลบ (60 : 30 : 10) และแบริ่งมันสำปะหลัง 20 % ชั้นปลูกหนา 5 เซนติเมตร มีความเหมาะสมสำหรับการ

ปลูกหญ้าขนาดเล็กบนหลังคา จากการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุอาหารหลัก ไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัส ต่อโพแทสเซียม เท่ากับ $0.07 : 0.05 : 0.88$ สามารถปลูกพืชเจริญเติบโตได้ดี วัสดุมีค่าความเป็นกรดต่างที่เหมาะสมสำหรับใช้ทดแทนดิน และการเจริญเติบโตของหญ้า การวัดค่าความเป็นกรดต่างของ วัสดุปลูกทดแทนดินสำหรับงานวิจัยนี้ แสดงค่าความเป็นกรดต่าง เท่ากับ 6.2 โดยดินนั้นควรมีความเป็นกรดเป็นด่างประมาณ 5.5 - 7 โดยต้นทุนของวัสดุปลูก มีต้นทุนเพียง 20 บาทต่อตารางเมตร

5.3 ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุปลูก (thermal conductivity – K)

ผลการศึกษาคัดลองวัสดุอนุหภูมิ วัสดุหลังคาประเภทเมทัลชีทโดยปราศจากการปลูกหญ้านวลน้อยและใช้ดิน ปลูกหญ้านวลน้อย ผลการทดสอบค่าอนุหภูมิได้ถาด มีความแตกต่างกันถึง 10°C และความแตกต่างระหว่าง เมทัลชีท และวัสดุปลูกทดแทนดิน มีความแตกต่างกันถึง 14.3°C ทั้งนี้การที่เมทัลชีทที่ปราศจากการปลูกหญ้ามืดอุณหภูมิสูงกว่าการปลูกหญ้านวลน้อยโดยใช้วัสดุปลูก หรือการใช้ดินปลูกนั้น มาจากการรับความร้อนจากแสงอาทิตย์โดยตรง ดังนั้นจึงเกิดการสะสมความร้อนสูง หากเปรียบเทียบกับปลูกหญ้านวลน้อยโดยใช้วัสดุปลูก และใช้ดิน ซึ่งมีการระเหยน้ำผ่านผิวดิน และกลายเป็นไอน้ำ ช่วยส่งผลให้อากาศบริเวณโดยรอบเย็นลง และยังเสริมด้วยหญ้านวลน้อยช่วยป้องกันความร้อนเข้าสู่ภายในอาคาร โดยใช้การคายน้ำผ่านปากใบ จากข้อมูลอุณหภูมิ พบว่า ช่วงเวลา 12:00 - 16:00 น. เป็นช่วงเวลาที่อุณหภูมิสูงที่สุดของวัน จากการทดสอบวัดอุณหภูมิ สามารถคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุปลูก จากปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่าน หลังคาดินปลูกหญ้านวลน้อย 6.489 W ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุปลูกทดแทนดินเท่ากับ $0.317\text{ W/m}^{\circ}\text{C}$ ซึ่งผลที่ได้สำหรับการทดลองมีคุณสมบัติคล้ายกับดินร่วน (อัดหลวม) มีค่าเท่ากับ $0.375\text{ W/m}^{\circ}\text{C}$ และใกล้เคียงกับ soil, very dry area มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนเท่ากับ $0.3\text{ W/m}^{\circ}\text{C}$ ซึ่งลักษณะของดินประเภทนี้ คือ เป็นดินแห้งมาก ที่มีช่องว่างอากาศระหว่างเม็ดดินมาก ซึ่งหมายถึง วัสดุปลูกมีความสามารถในการถ่ายเทความร้อนต่ำ มีคุณสมบัติในการเป็นฉนวนมากกว่าดิน

จากนั้นสามารถคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและความต้านทานความร้อน ดังนี้ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่ดีที่สุด (U - Value) คือ วัสดุปลูกทดแทนดิน U - Value เท่ากับ $0.971\text{ W/m}^2\text{ }^{\circ}\text{C}$ และหลังคาเมทัลชีท เป็นหลังคาที่มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูงที่สุด U - Value เท่ากับ $7.874\text{ W/m}^2\text{ }^{\circ}\text{C}$ สอดคล้องกับความสามารถความต้านทานความร้อน วัสดุปลูกทดแทนดิน R เท่ากับ $1.029\text{ W/m}^2\text{ }^{\circ}\text{C}$ และหลังคาเมทัลชีท R เท่ากับ $0.127\text{ W/m}^2\text{ }^{\circ}\text{C}$ เนื่องจากหลังคาที่มีหญ้านวลน้อย และวัสดุปลูกเป็นวัสดุปกคลุมนั้นมีคุณสมบัติการเป็นฉนวนมากกว่าตัวนำความร้อน จะส่งผลให้ความร้อนเข้ามาสู่หลังคาได้น้อยกว่าการไม่มีหญ้า และวัสดุปลูกปกคลุม

จากผลการทดลองวัดอุณหภูมิ ปัจจัยที่ส่งผลต่อ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน มีดังนี้

5.3.1 ความหนาแน่นของชั้นปลูก (Density)

ความหนาแน่นของวัสดุปลูกแต่ละชนิดมีค่าแตกต่างกัน และเป็นค่าที่เปลี่ยนแปลงได้ หากเปรียบเทียบระหว่างการปลูกหญ้าขนาดเล็กโดยใช้ดิน และวัสดุปลูก ดินเป็นวัสดุที่มีอินทรีย์วัตถุมากกว่าความหนาแน่นสูงกว่าวัสดุปลูกทดแทนดิน ดังนั้นวัสดุปลูกทดแทนจึงมีสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำกว่าดิน

5.3.2 ความชื้น (Moisture)

เนื่องจากน้ำมีความร้อนจำเพาะสูง และนำความร้อนได้ดีกว่าอากาศ ระดับความชื้นจึงมีความสำคัญในการควบคุมอุณหภูมิ จากการทดลองควบคุมการรดน้ำ วันละ 6 ลิตร แบ่งเป็น เช้า 3 ลิตร และเย็น 3 ลิตร จนสิ้นสุดระยะเวลาในการทดลอง สามารถสรุปได้ว่า การปลูกหญ้าขนาดเล็กโดยใช้ดิน มีความชื้นสูงกว่าการใช้วัสดุปลูกทดแทนดิน เพราะดินมีความหนาแน่นสูงกว่าทำให้น้ำยังไม่สามารถระบายได้ดีเท่ากับวัสดุปลูกที่มีความพรุน มีการระบายน้ำได้ดีกว่า

5.3.3 หญ้าขนาดเล็ก (Manila grass)

หญ้าขนาดเล็กเป็นปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน เนื่องจากเป็นสิ่งมีชีวิตที่ช่วยป้องกันความร้อนให้กับผิววัสดุจากการคายน้ำของหญ้า เมื่อผิววัสดุมีอุณหภูมิต่ำลงส่งผลให้เกิดการเหนียวนำความชื้นได้ดี ซึ่งหญ้าขนาดเล็กช่วยในการระเหยน้ำของดิน ส่งผลให้มีการคายความร้อนจากวัสดุสู่บรรยากาศมากขึ้น

ดังนั้นการปลูกหญ้าขนาดเล็กโดยใช้วัสดุปลูกทดแทนดินบนหลังคา สามารถลดความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่หลังคาภายในอาคาร หรือที่พักอาศัยได้ดี เปรียบเสมือนเพิ่มฉนวนบนหลังคาเพิ่มพื้นที่ดูดซับความร้อน ปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม จากการเลือกใช้วัสดุธรรมชาติที่หาได้ในท้องถิ่น สามารถเพิ่มพื้นที่สีเขียวในชุมชนเมือง โดยไม่ส่งผลกระทบต่อโครงสร้างเดิม เนื่องจากน้ำหนักเบา สะดวกต่อการปฏิบัติและลงทุน ส่งผลให้การปลูกพืชบนหลังคามีความเป็นไปได้มากขึ้น โดยต้นทุนของวัสดุปลูกและภาชนะปลูก มีต้นทุนเพียง 20 บาทต่อตารางเมตร

5.4 ข้อเสนอแนะ

ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า องค์ความรู้ที่ได้ในการทดลองการปลูกหญ้าขนาดเล็กบนหลังคา จากวัสดุปลูกทดแทนดินจะสามารถเป็นส่วนช่วยลดภาวะ โลกร้อนจากการเพิ่มพื้นที่สีเขียว โดยผู้วิจัยแนะนำให้เลือกใช้อัตราส่วน ขุยมะพร้าว ต่อ กากกาแฟ ต่อ ขี้เถ้าแกลบ ในอัตราส่วน 60 : 30 : 10 และใช้กาวแป้งเปียกจากแป้งมันสำปะหลังในปริมาณ 20 % เพื่อช่วยให้หญ้าขนาดเล็กสามารถเจริญเติบโตได้ดี บนหลังคา

รายการอ้างอิง

- Nidal H. Abu – Hamdeh and Randall C. Reederb. (2000). **Soil Thermal Conductivity Effects of Density, Moisture, Salt Concentration, and Organic Matter**. Alliance of Crop, Soil and Environmental Science Societies (ACSESS) Vol. 64, No. 4, 1285 – 1290.
- Elborombaly, H., Molina-Prieto and L. F. (2014). **Sustainable development and eco-roof**. International. Journal of Science and Research, 2014, 2319 - 7064.
- Li, W. C., Yeung, and K. K. A. (2014). **A comprehensive study of green roof performance from environmental perspective**. International. Journal of Sustainable Built Environment, 3(1), 127 - 134.
- Oke, TR. (1982). **The energetic basis of the urban heat island**. Journal of the Royal Meteorological Society 108: 1 - 24.
- Puraprom, W. (2016). **The impact of site elements to micro-climate air temperature**. Journal of Architectural/ Planning Research and Studies, 13(1), 23 - 34.
- Srivanit, M. and Auttarat, S. (2015). **The summer thermal environment and human comfort of shaded outdoor and semi - outdoor spaces to living in the urban area of Chiang Mai City**. Journal of Architectural/Planning Research and Studies, 12 (2), 53 - 72.
- Jo H. and McPherson E. G. (1995). **Carbon storage and Flux in Urban Residential Greenspace**, Journal of Environmental Management, Vol. 45, 109 - 133.
- Elena K. and Natalia S. (2016). **Benefit of A Modular Green Roof Technology**. Journal of World Multidisciplinary Civil Engineering-Architecture-Urban Planning Symposium 2016, 161, 1820 - 1826.
- Carter T. L. and Rasmussen T. C. (2006). **Hydrologic behavior of vegetated roofs**. Journal of the American Water Resources Association, 42, 1261 - 1274.
- Spronken – Smith R.A. and T. R. Oke. (1998) **The thermal regime of urban parks in two cities with different summer climates**. International Journal of Remote Sensing. 19 : 2085 - 2104.
- กนกวลี สุธีธร. (2548). **หลังคาเขียว : ทางเลือกเพื่อการจัดการน้ำฝน**. วารสารวิชาการคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ (ฉบับงานบริการ วิชาการสู่สังคม ภาควิชาภูมิสถาปัตยกรรม) 1 : 125 - 137.

- บุรฉัตร นัตร์วีระ และพิชัย นิมิตยงสกุล. (2537). **คอนกรีตผสมแกลบ**. วิศวกรรมสาร, 47 (6).
- สุเมธ รอดหิรัญ.และธรรมศักดิ์ ทองเกตุ. (2557). **การพัฒนาขุมมะพร้าวหมักเป็นวัสดุเพาะต้นกล้า แดงกวาง**. วารสารแก่นเกษตร. 42 ฉบับพิเศษ 3, 835 – 839.
- Garbutt S. (2005). **The Garden: Gardens in the sky**. Journal of the Royal Horticultural Society. 130 : 792 - 797.
- ศิรัชต์สพล หนูพรหม. (2559). **ผลของน้ำส้มควันไม้ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของบรอกโคลี**. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 4 ฉบับที่ 23 , 469 - 478.
- Liu, K. (2 0 0 4). **Engineering performance of rooftop gardens through field evaluation**. Journal of the Roofing Consultants Institute. 22 : 4 - 12.
- Oke, T. R. (1982). **The energetic basis of the urban heat island**. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society. 108: 1 - 24.
- อนุชา เสลานอก ผศ.ดร.ธีระยุทธ เฟื่องชัย และมาริญา ทรงปัญญา. (2561). **Study of Applying Coffee Grounds as Raw Material for Spa Product Design** วารสารวิจัยการออกแบบ แห่งเอเชีย ปีที่ 1 ฉบับที่ 1, 45 – 53.
- The international. (2017). **greenroof & greenwall** industry’s resource and online information portal.
- The International. (2019). **Green Roof Association**. Retrieved Jan 30 2019, form comeongreen.com
- Linda Velazquez. (2012, March 7). **Greenroofs & Walls of the World™** Virtual Summit 2011. Retrieved Jan 31, 2019, from International Green Roof Association, 2011.
- Connelly and Liu. (2005). **Green roof research in British Columbia** An overview, 416 - 432. In Proceedings of 3rd North American Green Roof Conference: Greening rooftops for sustainable communities, Washington, DC. 4-6 May 2005. The Cardinal Group, Toronto.
- Liu and Baskaran. (2003). **Thermal performance of green roofs through field evaluation**, 273 – 282. In Proceedings of 1st North American Green Roof Conference: Greening Rooftops for Sustainable Communities, Chicago 29 - 30 May 20033. The Cardinal Group, Toronto.
- Peck et al. (1999). **Greenbacks from green roofs: Forging a new industry in Canada**. Canada Mortgage and Housing Corporation. Ottawa. 78 pp.
- Liesecke and Borgwardt. (1997). Yok and Sia (2005). **A pilot green roof research project in Singapore**, 399 - 415. In Proceedings of 3rd North American Green Roof Conference : Greening rooftops for sustainable communities, Washington, DC. 4 - 6 May 2005. The Cardinal Group, Toronto.

- Jun Yang et al. (2008). **Quantifying air pollution removal by green roofs in Chicago**, Atmospheric Environment. 42 : 7266 – 7273.
- Graham and Kim. (2003). Moran et al (2004). **Evaluating the storm water management benefits of Green Roofs through water balance modeling**, In Proceedings of the 1st International 151 - 206.
- Greening Rooftops for Sustainable** (2003). Communities Conference, May 29-30, Chicago, Illinois.
- Kolb w. (2004). **Good Reasons for Roof Planting**, Green Roofs and Rainwater, Acta Horticulture, 643, 295 - 300.
- Brenneisen S. (2003). **The benefits of biodiversity from green roofs**. Key design consequences, 323 - 329. In Proceeding of 1st North American Roof Conference: Greening roofs for sustainable communities, Chicago. 29 - 30 May 2003. The Cardinal Group, Toronto.
- Gedge D. (2003). **Green Roof Conference: Greening rooftops for sustainable communities**. From rubble to redstarts. In Proceeding of 1st North American Chicago. 29 - 30 May 2003. The Cardinal Group, Toronto, 233 - 241.
- Brenneisen. (2004). **Green roofs How nature returns to the city**. Acta Horticulture, 643, 289 - 293.
- Dunnett and Kingsbury. (2010). **Planting green roofs and living walls**. 2nd Ed. Timber Press, Cambridge.
- Getter and Rowe. (2006). **The role of green roofs in sustainable development**. Hort Science, 41, 1276-1285.
- Takebayashi and Moriyama. (2009). **Study on the urban heat island mitigation effect achieved by converting to grass-covered parking**. Solar Energy, 83, 1211 - 1223.
- Ulrich and Simmons. (1986). **Recovery from stress during expose to everyday outdoor environments**.
- Kaplan and Colleagues. (1988). **The impact or the nearby natural environment**. Coping with daily hassles : (Project report number 23 – 85 - 08) USDA Forest Service, North Central Forest Experiment Station, Urban Forestry Unit Cooperative Agreement.
- Wong et al. (2003). **Investigation of thermal benefits of rooftop garden in the tropical environment**. Building and Environment, 38, 261 - 270.
- Liu (2004) Denardo et al. (2005) Van Woert et al. (2005) Getter and Rowe. (2006). **Thermal performance of green roofs through field evaluation**. In Proceedings of 1st North American, 273 – 282.
- Green Roof Conference, **Greening Rooftops for Sustainable**. Chicago 29 - 30 May 2003. The Cardinal Group, Toronto.

- Peck and Kuhn. (2001). **Design Guidelines for Green Roofs**. National Research Council Canada, Toronto. 22 pp.
- Dunnett and Kingsbury. (2004). **Planting green roofs and living walls**. Timber Press. Portland, Oregon, 254 pp.
- รุ่งทิพย์ แสงกลาง. (2557). การกักเก็บคาร์บอนของหญ้าในหลังคาเขียว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- กัลยาณี เจริญสุวรรณ. (2543). ประสิทธิภาพในการกรองตะกอนดินของหญ้านวลน้อยบริเวณลาดดินของถนนบนภูเขา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- เฉลิมพล ถนอมกลาง. (2556). การจำลองประสิทธิภาพของสวนหลังคาโมดูลาร์สำหรับอาคารในเขตร้อนชื้น. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- สัจจา ก้อนพรหม และ และจอยยศ กิจนุกุล. (2556). รายงานการวิจัยการศึกษาการปลูกหญ้านวลน้อยบนแผ่นใยมะพร้าว. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- แสงทิพย์ นิรุติศรีรักษ์. (2556). การศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมและความเป็นไปได้ทางการเงินของหลังคาเขียวโดยวิธีการระเหยของน้ำ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วรวุฒิ ธนาวุฒิวัฒนา. (2552). ประสิทธิภาพในการใช้หลังคาปลูกพืชเพื่อลดความร้อนสำหรับสภาพภูมิอากาศร้อนชื้น. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- สิน พันธุ์พินิจ. (2535). การจัดการสนามหญ้า. กรุงเทพฯ: รวมสาส์น.
- เอกชัย พุกภัยอำไพ และสำเร็จ คำทอง. (2548). สนามหญ้า. ครั้งที่3. กรุงเทพฯ: ฐานเกษตรกรรม.
- คณาจารย์ปฐพีวิทยา. (2541). ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. ครั้งที่7. ภาควิชาปฐพีวิทยา: คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ.
- Jacklyn Johnston and John newton. (1993). **Building Green a guide to using a plant on roofs walls and Pavements**. London: Ecology Unit.
- ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ. (2559). ศูนย์ความรู้เฉพาะด้าน ศูนย์จัดการความรู้ด้านการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ. สืบค้นเมื่อ 31 มกราคม 2562, จาก <https://www.nectec.or.th/research/research-support/cckm.html>.
- วรวุฒิ ธนาวุฒิวัฒนา. (2552). ประสิทธิภาพในการใช้หลังคาปลูกพืชเพื่อลดความร้อนสำหรับสภาพภูมิอากาศร้อนชื้น. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยศิลปากร.

- กิตติคุณเดชา บุญค้ำ. (2552). **หลังคาเขียวกับภาวะโลกร้อน**. สืบค้นเมื่อ 1 กุมภาพันธ์ 2562, จาก <http://bangkokgreencity.bangkok.go.th/Knowledge-Based/Article/InterestingArticles/หลังคาเขียวกับภาวะโลกร้อน.aspx>.
- ณเรชต์พัชร เขียววิชัย. (2557). **สวนบนหลังคา**. ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- Dunnett and Kingsbury (2004). **Planting green roofs and living walls**. Timber Press. Portland, Oregon. 254 p.
- ณัฐฉิณี นวลสกุล. (2545). **สวนบนหลังคา : พันธุ์พืช วัสดุปลูก และผลต่ออุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในห้อง**. วิทยานิพนธ์บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- เอนก ชีระวิวัฒน์ชัย. (2539). **การทำความเย็นอาคารโดยการใช้ผิวสัมผัสพื้นดิน**. วิทยานิพนธ์บัณฑิตวิทยาลัย, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ศุภกิจ ยิ้มสรวล. (2541). **การใช้สวนหลังคาเพื่อลดการถ่ายเทความร้อน**. บัณฑิตวิทยาลัย, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สุมนา โรจนวิภาต. (2551). **แผ่นปลูกพืชบนคานฝ้าอาคารเพื่อช่วยลดความร้อน**. การศึกษาค้นคว้าอิสระ, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ, 83 หน้า.
- สรยุทธ รัษฎะระกุล. (2553). **แผ่นปลูกพืชจากรังไหมเพื่อเป็นฉนวนกันความร้อนบนหลังคาลาดเอียง**. การศึกษาค้นคว้าอิสระ, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ. 83 หน้า.
- พาสินี สุนากร และทิพาพรรณ ศิริเวชฎารักษ์. (2554). **Vertical & roof garden จัดสวนสวยบนผนังและหลังคา**. สำนักพิมพ์บ้านและสวน กรุงเทพฯ. 157 หน้า.
- แสงทิพย์ นีรุตติรักษ์. (2556). **การศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมและความเป็นไปได้ทางการเงินของหลังคาเขียว โดยวิธีการระเหยของน้ำ**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบัณฑิตวิทยาลัย, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สิน พันธุ์พินิจ. (2535). **การจัดการสนามหญ้า**. (พิมพ์ครั้งที่ 1) กรุงเทพฯ อักษรพิทยา.
- กัลยาณี เจริญสุวรรณ. (2543). **ประสิทธิภาพในการกรองตะกอนดินของหญ้านวลน้อยบริเวณลาดดินตัดของถนนบนภูเขา**. วิทยานิพนธ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- เอกชัย พุกภัยอำไพ และสำเร็จ คำทอง. (2535). **สนามหญ้า**. 14 – 15.
- เอกชัย พุกภัยอำไพ และสำเร็จ คำทอง. (2545). **สนามหญ้า**. ครั้งที่4. กรุงเทพฯ ฐานเกษตรกรรม.
- สัจจา ก้อนพรหม และ จอมยศ กิจนุกุล. (2556). **การศึกษาการใช้สีของดินธรรมชาติในการผลิตหินเทียม**. งานวิจัย, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก.
- วรวิภา ชนาวุฒิวัฒนา. (2552). **ประสิทธิผลในการใช้หลังคาปลูกพืชเพื่อลดความร้อนสำหรับสภาพภูมิอากาศร้อนชื้น**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบัณฑิต, มหาวิทยาลัยศิลปากร.

- มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. (2535). **ปฐพีวิทยาเบื้องต้น (Introduction to soil Science)**. ครั้งที่ 7 หน้า 236.
- เฉลิมพล ถนอมกลาง. (2546). **การจำลองประสิทธิภาพสวนหลังคาโมดูลาร์ในพื้นที่เขตร้อน**. วิทยานิพนธ์สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- ธีระพงศ์ ทาห้ำ. (2554). **ผลของระดับแคลเซียมต่อการเจริญเติบโตของมะเขือเทศที่ปลูกในวัสดุปลูกไม่ใช้ดิน**. บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- วรกฤษณ์ บุญทวีโรจน์. (2551). **การปลูกในวัสดุปลูก**. สืบค้นเมื่อ 1 กุมภาพันธ์ 2562 จาก http://www.thaigoodview.com/library/teachershow/nakhonsithamrat/warakirt_b/pehlidin/sec02p03.html.
- อิทธิสุนทร นันทกิจ. ม.ป.ป. **การศึกษาเปรียบเทียบสถานภาพด้านการผลิต การแปรรูป การค้า การวิจัย และการพัฒนาผักและผลไม้ของไทยกับต่างประเทศ**. งานวิจัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ชาญณรงค์ เทียนอร่าม. (2557). **แกลบ**. สืบค้นเมื่อ 1 กุมภาพันธ์ 2562 จาก coachnong.com.
- ประไพ แก่นนาค. (2539). **ลักษณะทางกายภาพ การงอก และการเก็บรักษาเมล็ดไม้เตื่อ**. เอกสารเผยแพร่ ส่วนวนวัฒนวิจัย สำนักวิชาการป่าไม้ กรมป่าไม้.
- สุขสันต์ สายวา. (2539). **การขยายพันธุ์ และการปลูกไม้ตะกู่**. เอกสารเผยแพร่. ส่วนวนวัฒนวิจัย สำนักวิชาการป่าไม้ กรมป่าไม้.
- NanaGarden.com (2557). **ขุย มะพร้าว**. สืบค้นเมื่อ 1 กุมภาพันธ์ 2562 จาก <https://www.nanagarden.com/search/ขุยมะพร้าว>.
- อิทธิสุนทร นันทกิจ, ม.ป.ป. **การปลูกพืชในวัสดุปลูก (Substrate Culture)**. สืบค้นเมื่อ 31 มกราคม 2562 จาก <http://www.kmutl.ac.th/hydro/substratdoc.html>.
- วิวัฒน์ คลังจิตร. (2535). **การทดลองหาสัดส่วนที่เหมาะสมในการทำวัสดุแผ่นทดแทนไม้ จากวัสดุปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ แกลบ ปูนขาว และใยมะพร้าว หรือใยผักตบชวา**. วิทยานิพนธ์, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร/กรุงเทพฯ.
- ดีใจจะชาญ พริตมะลิ และคณะ. (2552). **การใช้ดินขาวผสมเส้นใยมะพร้าว ฟางข้าวและแกลบ เพิ่มประสิทธิภาพการป้องกันความร้อนในผนังคอนกรีตบล็อก**. รายงานวิจัย, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.
- รพีพรรณ กองตุม. (2560). **กากกาแฟ : มูลค่าเพิ่มและการใช้ประโยชน์**. รายงานสืบเนื่องจากการประชุม วิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 5. ราชบุรี : ราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง.

พิชัย เอี้ยวเล็ก. (2559). การสกัดน้ำมันจากกากกาแฟด้วยวิธีการสกัดของแข็งด้วยของเหลว. วิทยานิพนธ์, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

Mussatto, S. I., Carneiro, L. M., Silva, J. P. A., Roberto, I. C., & Teixeira, J. A. (2011). **A study on chemical constituents and sugars extraction from spent coffee grounds.** Carbohydrate Polymers, 83, 368–374.

เฉลิมพล ถนอมกลาง. (2556). การจำลองประสิทธิภาพของสวนหลังคาโมดูลาร์สำหรับอาคารในเขตร้อนชื้น. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.





ภาคผนวก ก

บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

รายชื่อบทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

วรินทร์ กิตอนันต์ภักดิ์, สมศักดิ์ ศิวคำรังพงษ์, อารักษ์ ชีรอำพน. (2562). การวิเคราะห์ประสิทธิภาพ
วัสดุธรรมชาติทดแทนดินสำหรับเทคโนโลยีหลังคาเขียว. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี Vol 9, No 1 January - June 2019 หน้า
155 – 166





Science and Technology

Vol.9 No.1 (2019): 155-166

www.sci.rmUTT.ac.th/stj

RMUTT Journal

Online ISSN2229-1547

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพวัสดุธรรมชาติทดแทนดินสำหรับเทคโนโลยีหลังคาเขียว

Analysis of Performance on Substrate Culture

Made from Natural Materials for Green Roof Technology

วรินทร์ กิถอนันต์ภักดิ์^{1*} สมศักดิ์ ศิวดำรงพงศ์¹ และ อารักษ์ ชีร์อำพน¹

¹สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการพลังงาน¹สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000

*Email: somsaksi@sut.ac.th

บทคัดย่อ

ปัญหาสภาพอากาศแปรปรวนในปัจจุบัน ซึ่งเกิดจากก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse gas) และความเจริญเติบโตของเมืองที่เพิ่มขึ้น พื้นที่สีเขียวลดลง ส่งผลให้ความร้อนสะสมในพื้นที่เมืองสูง ดังนั้นเพื่อลดความร้อนที่เกิดขึ้น พื้นที่ดูดซับความร้อนจึงมีบทบาทสำคัญในการลดภาวะโลกร้อน (Greenhouse effect) โดยการเพิ่มพื้นที่สีเขียว ซึ่งการปลูกพืชบนหลังคาเป็นทางเลือกที่สามารถเพิ่มพื้นที่สีเขียวได้ในบริเวณกว้าง แต่การปลูกพืชบนหลังคาโดยใช้ดินที่มีน้ำหนักสูงอาจส่งผลกระทบต่อโครงสร้างหลังคาหรือส่งผลกระทบต่อต้นทุนโครงสร้างหลังคา ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอัตราส่วนของวัสดุปลูกท้องถิ่น ได้แก่ ขุยมะพร้าว กากกาแฟ ขี้เถ้าแกลบ และใช้แบริ่งสำหรับหลังเป็นวัสดุผสมเพิ่มพื้นที่สีเขียวโดยพิจารณา หลังคาแบบไม่ใช้สอย (Extensive green roof) ใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง แบบแฟกทอเรียล 2 ระดับ ใช้หุ้มนวลน้อยต้นอ่อนปลูกในภาชนะประเภทเมทัลลิก ขนาด 50x50x10 เซนติเมตร ชั้นวัสดุปลูกหนา 5 เซนติเมตร และศึกษาวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารหลักที่เหมาะสมสำหรับการปลูก ผลการศึกษาพบว่าส่วนผสมที่ให้ผลการเติบโตสูงสุดคือ ขุยมะพร้าว:กากกาแฟ:ขี้เถ้าแกลบ 60:30:10 และแบริ่งสำหรับหลัง 20 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งการเติบโตใกล้เคียงกับดิน ให้ปริมาณธาตุ N P K ที่เพียงพอ แต่มีน้ำหนักเบากว่าประมาณ 7 เท่าเมื่อเปรียบเทียบกับดินปลูกทั่วไป

คำสำคัญ: หลังคาเขียว วัสดุปลูกทดแทนดิน การออกแบบการทดลอง

Received: March 04, 2019

Revised: May 15, 2019

Accepted: June 08, 2019

Abstract

Currently, Climate Change caused by greenhouse gas which generated with rate of city's growth and decrease of green area. These led to heat absorbs area as a result is urban heat island. Therefore reducing global warming (Greenhouse effect) is the first priority to deal with the problem. One potential solution was to increase green area by planting the green roof. This study was proposed the analysis of performance on substrate culture made from natural materials for green roof due to lighter weight of natural material than soil which impact to roof structure and its cost. This research was focused on extensive green roof and 3 kinds of materials, coconut fiber-dust, coffee residue and paddy husk charcoals with using starch as binder. Manila grass was selected to plant into the 5 cm thick substrate culture in metal sheet tray size 50x50x10 cm. 2^k factorial design technique was employed to analyze the substrate culture performance. The main nutrients of the substrate, N P K, were measured to describe the results. It was found that the most appropriate substrate was coconut fiber-dust : coffee residue : paddy husk charcoals 60 : 30 : 10 with starch 20 percent which yield the growth of grass in the same level as soil with lower weight than soil by 7 times.

Keywords: Green Roof, Substrate culture, Design of Experiment.

1. บทนำ

Green Roof หรือหลังคาเขียวเป็นลักษณะของการปลูกพืชบนหลังคา เพื่อป้องกันความร้อนหรือความหนาวเย็นเข้าสู่อาคาร ซึ่งปัจจุบันความก้าวหน้าของเทคโนโลยี สิ่งอำนวยความสะดวกที่มีอัตราเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้อุณหภูมิโลกเปลี่ยนแปลงสูงขึ้นทุก ๆ ปี ดังนั้นการตระหนักถึงกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เป็นสิ่งที่จะต้องให้ความสำคัญเพื่อลดการใช้พลังงานและดูแลสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ความแออัดและหนาแน่นในชุมชนเมือง ส่งผลให้พื้นที่สีลดลงเขียวกลายเป็นที่ปกอาศัยและราคาอสังหาริมทรัพย์พุ่งสูงขึ้น เกิดภาวะขาดแคลนพื้นที่สีเขียว ดังนั้น Green Roof (หลังคาเขียว) จึงเป็น

ทางเลือกหนึ่งสำหรับการลดพลังงาน การลดปัญหาภาวะโลกร้อนและเพิ่มพื้นที่สีเขียว ปัจจุบันแยกความหมายได้ 2 แนว คือ

1.1 Green roofs ในแง่ของเทคโนโลยีอาคาร

1.2 Green roofs ในแง่ของการมีพืชปกคลุมอยู่ด้านบนอาคาร ดังแสดงในตารางที่ 1

จากงานวิจัยของ (วรวีช พวงพรศรี, 2560) ได้ทดลองพัฒนาและติดตั้งหลังคาเขียว (Green Roof) เพื่อลดการถ่ายเทความร้อนจากหลังคาสู่ภายในอาคารจำลอง โดยพิจารณาปลูกหญ้าในวถนน้อย ความหนาดินของชั้นปลูก 3 และ 5 เซนติเมตร ปลูกบนหลังคา A ขนาด 2x2 เมตร ประเภท Metal sheet จำนวน 2 ห้อง

ตารางที่ 1 ประเภทของหลังคาเขียวในแง่ของการมีพืชพันธุ์ปกคลุมอยู่ด้านบน

Type of Green roof	Intensive Green roof	Semi-Intensive Green roof	Extensive Green roof
การดูแลรักษา	แบบต้องการการดูแลมาก	แบบกึ่งดูแล	แบบต้องการการดูแลน้อย
ความหนา	ชั้นปลูกหนา > 30 cm.	ชั้นปลูกหนา > 15 cm.	ชั้นปลูกหนา < 15 cm.
ลักษณะพืช	พืชพันธุ์หลากหลาย	พืชพันธุ์ได้หลากหลาย	พืชพันธุ์จำกัด
ทัศนียภาพ	มีความสวยงาม	มีความสวยงาม	กลิ่นธรรมชาติ
การออกแบบ	ซับซ้อนต้องใช้ผู้ชำนาญ	ซับซ้อนต้องใช้ผู้ชำนาญ	ปล่อยพืชพันธุ์เติบโต
พื้นที่ใช้สอย	ใช้สอยได้หลากหลาย	ปรับเปลี่ยนใช้สอยได้	ใช้สอยพื้นที่หลังคาไม่ได้
น้ำหนัก	น้ำหนักมาก	น้ำหนักปานกลาง	น้ำหนักน้อย
ต้นทุน	ต้นทุนสูง	ต้นทุนสูง	ต้นทุนน้อย
การบำรุงรักษา	บำรุงรักษาสูง	บำรุงรักษาสูง	บำรุงรักษาต่ำ

ตารางที่ 2 แสดงอุณหภูมิเปรียบเทียบระหว่างอาคารที่ติดตั้งและไม่ติดตั้งหลังคาเขียว (Green Roof)

เวลา	ติดตั้ง Green roof (องศาเซลเซียส)						ไม่ติดตั้ง Green roof (องศาเซลเซียส)					
	o	i	w	n	t	s	o	i	w	n	t	s
6:00	24	24	23.5	23.5	24	24	24	23.5	23.5	23.8	24.5	24
8:00	26	25	24.5	24.7	25	24	26	25	24.8	24.9	29.6	24
10:00	29	27.5	26.3	26.6	27	26	29	28.1	26.6	26.7	32.3	26.8
12:00	35	30	25	26.6	30	28	35	32.5	28.6	29.3	37.7	32.4
14:00	36	31	21.9	23.7	27	25	36	33.5	27.1	27.3	41.2	31.4
16:00	35	32	34	35.3	33	32	35	35	37.6	34.4	34.2	33.6
18:00	28	30.5	29	31.6	29	29	28	32	33.7	30.8	27.3	30.3

หมายเหตุ o = ภายนอก,
 i = ภายใน,
 w = ผิวผนังทิศตะวันตก,
 n = ผิวผนังทิศเหนือ,
 t = ผิวใต้หลังคาภายใน,
 s = ผิวผนังทิศใต้
 A = ประเภท Metal Sheet

พบว่า ช่วงเวลา 12:00-16:00 น. เป็นช่วงที่อุณหภูมิสูงที่สุดของวันจะมีอุณหภูมิภายในลดลงห้องที่ติดตั้งหลังคาเขียว (Green Roof) เฉลี่ย 4.3 องศาเซลเซียส นอกจากนี้สามารถลดอุณหภูมิผิวด้านล่างของหลังคา ณ เวลา 14:00 ได้ 14.2 องศาเซลเซียส ดังแสดงในตารางที่ 2

อย่างไรก็ตาม การใช้ดินปลูกมีน้ำหนักสูงอาจส่งผลต่อโครงสร้างหลังคาในระยะยาวและมีผลต่อต้นทุนการก่อสร้างอาคาร เพราะฉะนั้นเพื่อการเข้าถึงของหลังคาเขียวในประชากรกลุ่มใหญ่ในการ

เพิ่มพื้นที่สีเขียว งานวิจัยนี้จึงเลือกพัฒนาการปลูกพืชบนหลังคาประเภท Extensive Green Roof แบบไม่มุ่งเน้นประโยชน์ใช้สอย ดังแสดงในตารางที่ 1 และใช้วัสดุปลูกจากท้องถิ่นทดแทนดินที่มีน้ำหนักสูง เพื่อลดภาระการรับน้ำหนักของโครงสร้างหลังคา ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ศึกษาอัตราส่วนของวัสดุปลูกและการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารที่เหมาะสมสำหรับการใช้ปลูกหญ้าฉนวนน้อยทดแทนการใช้ดิน

โดยทั่วไปแล้วธาตุอาหารหลักในดินจะแบ่งออกเป็น 3 ชนิด ได้แก่

1. ไนโตรเจน (N) เป็นธาตุอาหารหลักที่จำเป็นต่อการส่งเสริมให้พืชตั้งได้รวดเร็วในระยะแรกของการเจริญเติบโตทำให้ลำต้น กิ่งก้านและใบเจริญเติบโตได้ดี (ศิริพร กาทอง และ ดร.เฉลิม เรื่องวิริยะชัย, 2557)

2. ฟอสฟอรัส (P) เป็นธาตุอาหารหลักที่จำเป็นต่อการแพร่กระจายของรากในระยะแรกและส่งเสริมการเจริญเติบโตของดิน การออกดอกออกผลและสร้างเมล็ดของพืช ช่วยในการสังเคราะห์โปรตีนและสารอินทรีย์ที่สำคัญในพืช เป็นองค์ประกอบของสารที่ทำหน้าที่ถ่ายทอดพลังงานในกระบวนการต่าง ๆ (ศิริพร กาทอง และ ดร.เฉลิม เรื่องวิริยะชัย, 2557)

3. โพแทสเซียม (K) เป็นธาตุอาหารหลักที่จำเป็นต่อการสร้างและเคลื่อนย้ายอาหารพวกแป้งและน้ำตาลไปเลี้ยงส่วนที่กำลังเติบโต และส่งไปเก็บไว้เป็นเสบียงที่หัวหรือที่ลำต้น กระบวนการต่างๆของเซลล์พืช ช่วยในการสังเคราะห์ น้ำตาลและแป้ง การเคลื่อนย้ายแป้งและน้ำตาลจากใบไปยังผล กระบวนการสังเคราะห์แสงและการหายใจทำให้พืชแข็งแรงสามารถต้านทานโรค (ศิริพร กาทอง และ ดร.เฉลิม เรื่องวิริยะชัย, 2557)

จากธาตุอาหารดังกล่าว การเลือกวัสดุปลูกทดแทนดินให้เหมาะสมสำหรับการปลูกหนุ่ย นวลน้อย จะพิจารณาวัสดุทดแทนจากธรรมชาติ โดยคำนึงถึงต้นทุนและธาตุอาหาร วัสดุปลูกธรรมชาติที่นำมาศึกษา มีทั้งหมด 3 ชนิด ได้แก่

1. ขุยมะพร้าว

ขุยมะพร้าวมีประโยชน์ในการปรับปรุงสมบัติทางฟิสิกส์ของวัสดุปลูกให้ดีขึ้น โดยเพิ่มความสามารถในการดูดซับน้ำ อาหาร การ

ระบายน้ำและอากาศในดิน จึงนิยมนำขุยมะพร้าวมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตร เช่น ผสมดินปลูกหรือเพาะเมล็ด ทำปุ๋ยหมักคลุมหน้ากระถางดินปลูกและทำเป็นวัสดุปลูก เนื่องจากในขุยมะพร้าวมีปริมาณธาตุโพแทสเซียม(K) สูง ในขณะที่ไนโตรเจน (N) และฟอสฟอรัส (P) ต่ำ เมื่อเทียบกับวัสดุอื่น ๆ (อุมาวดี สัมเสถียรกุล, 2546) จากอัตราการดูดซับน้ำสูง จึงไม่ควรใช้เป็นวัสดุปลูกเพาะเพียงชนิดเดียว อาจส่งผลให้อุ้มน้ำมากเกินไป ดังนั้นควรผสมกับวัสดุชนิดอื่นก่อนนำไปใช้งาน หรือหากต้องการใช้เป็นวัสดุเพาะเพียงอย่างเดียวก็ควรมีการปรับปรุงสมบัติบางประการของขุยมะพร้าวเสียก่อน (สุเมธ รอดหิรัญ, 2558)

2. ขี้เถ้าแกลบดำ

ขี้เถ้าแกลบดำ เป็นแกลบที่ได้จากการเผาอย่างต่อเนื่องที่อุณหภูมิไม่เกิน 1200 องศาเซลเซียส ในสภาวะที่มีออกซิเจนไม่เพียงพอ ทำให้การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ โดยไม่เกิดเปลวไฟขณะเผาไหม้เมื่อขี้เถ้ามีการคงรูปของแกลบบางส่วน เนื้อแกลบแข็งและประกว่าแกลบสีเทา แดกละเอียดหากได้รับแรงกดดัน ประโยชน์ของขี้เถ้าแกลบดำ ช่วยปรับปรุงดินเพื่อเพิ่มความร่วนซุย เพิ่มแร่ธาตุดิน อุ้มน้ำได้ดี รวมถึงนิยมนำมาเป็นวัสดุปลูกผสมกับดินสำหรับการปลูกพืชในกระถาง (อิทธิสุนทร นันทกิจ, ม.ป.ป.) ซึ่งถึงแม้ว่าขี้เถ้าแกลบจะมีสมบัติที่เหมาะสมกับการใช้เป็นวัสดุปลูกทดแทนดิน และมีผลดีกับการงอกของลำต้น แต่ขี้เถ้าแกลบมีองค์ประกอบทางเคมีร้อยละ 89.9%เป็นซิลิกา (บุรฉัตร ฉัตรวีระ และ พิชัย นิमितยงสกุล, 2537) และมีค่าความเป็นด่างสูง (ศรีฐัฐพล หนูพรหม, 2559) ซึ่งไม่เหมาะต่อการเจริญเติบโตของพืช จึงควรใช้ขี้เถ้าแกลบร่วมกับวัสดุเพาะกล้าชนิดอื่น ๆ จึงจะทำให้ต้นกล้ามีการเจริญเติบโตที่ดี

3. กากกาแฟ

กากกาแฟคือเมล็ดกาแฟที่ผ่านกระบวนการขง กั่วหรือบด จัดเป็นชีวมวลที่เหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมผลิตกาแฟสำเร็จรูปหรือจากร้านขายกาแฟสดทั่วไป ซึ่งมักจะเหลือกากทิ้งเป็นจำนวนมาก โดยกากกาแฟที่เหลือทิ้งนี้ยังลยังมีสารประกอบสำคัญหลายชนิดเหลืออยู่ (รพีพรรณ กองตุม, 2560) อาทิเช่น ไนโตรเจน เป็นธาตุอาหารที่สำคัญในการส่งเสริมการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วของพืช อีกทั้งยังมีโพแทสเซียม ที่มีความสำคัญในการสร้างและเคลื่อนย้ายอาหารพวกแป้งและน้ำตาลไปเลี้ยงส่วนที่กำลังเติบโต และส่งไปเก็บไว้เป็นเสบียงที่หัวหรือที่ลำต้น รวมไปถึงฟอสฟอรัส ซึ่งเป็นธาตุอาหารที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของรากพืช อีกทั้งยังสามารถใช้เป็นวัสดุคลุมทับเพื่อกำจัดสารอินทรีย์และสิ่งเจือปนต่าง ๆ ที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้

2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย

2.1 วัสดุ อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

2.1.1. ถาดปลูก ทำจาก Metal sheet พับเป็นกล่องสี่เหลี่ยมขนาด 50x50x10 เซนติเมตร ดังรูปที่ 1

2.1.2. วัสดุปลูก วัสดุปลูกในงานวิจัยนี้ประกอบด้วย ขุยมะพร้าว กากกาแฟ ขี้เถ้าแกลบ โดยวัสดุปลูกทั้ง 3 ชนิดนี้นำไปผ่านการตากแดดให้ได้ความชื้น 10-15% (Dry basis) และใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นวัสดุประสาน โดยใช้อัตราส่วนน้ำ:แป้งมันสำปะหลัง (1:5) ผ่านความร้อน 100 องศาเซลเซียส เปรียบเทียบการเจริญเติบโตของหนุ่กับการปลูกในดินปลูก (วัสดุปลูกอ้างอิง) ที่หาซื้อได้ทั่วไปตามท้องตลาด

2.1.3 หนุ่ ใช้หนุ่บ้านวลงน้อยต้นอ่อนความสูง 4-5 เซนติเมตร ล้างทำความสะอาดดินออกจากรากด้วยการแช่น้ำ ดังรูปที่ 2

2.2 การเตรียมวัสดุปลูก

วัสดุปลูกจะถูกกำจัดความชื้น โดยการตากแดด จนได้ความชื้นที่ต้องการ จากนั้นชั่งน้ำหนักวัสดุปลูกตามสัดส่วนดังแสดงในตารางที่ 4 และกดอัดให้ได้ความหนา 5 เซนติเมตร ดังแสดงในรูปที่ 1 จากนั้นนำดินอ่อนลงปลูกและอนุบาลในถาด รดน้ำครั้งละ 6 ลิตร (เช้า, กลางวันและเย็น) ในช่วง 7 วันแรก จากนั้นนำขึ้นปลูกบนหลังคา ควบคุมการรดน้ำครั้งละ 1.5 ลิตร (เช้าและเย็น) และเก็บข้อมูลการเติบโตของหนุ่บ้านวลงน้อย

2.3 วิธีการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้ใช้เทคนิคออกแบบการทดลองแบบ 2³ Factorial Design ซึ่งเป็นการทดลองเพื่อศึกษาสัดส่วนของวัสดุปลูกที่คาดว่าจะมีผลต่อการเจริญเติบโตของหนุ่บ้านวลงน้อย โดยใช้สถิติในการวิเคราะห์ผลการทดลอง และใช้หลักการวิเคราะห์ข้อมูลในการเลือกตัวแปรตอบสนอง ซึ่งมีปัจจัย 3 ปัจจัย 2 ระดับ ได้แก่ ขุยมะพร้าว กากกาแฟ และแป้งมันสำปะหลัง ส่วนปริมาณขี้เถ้าแกลบสามารถคำนวณได้จากการสมดุลปริมาณวัสดุปลูก ดังแสดงในตารางที่ 3



รูปที่ 1 วัสดุปลูก หนา 5 เซนติเมตร



รูปที่ 2 ต้นหนุ่บ้านวลงน้อย อายุ 30-45 วัน

ตารางที่ 3 ปัจจัยในการออกแบบการทดลอง

วัสดุปลูก	ระดับการทดลอง	
	(-)	(+)
ขุยและโยมะพร้าว (A)	50	60
กากกาแฟ (B)	20	30
แป้งมันสำปะหลัง (C)	20	25
ซีเมนต์กลบ	100-A-B	

หน่วย : ร้อยละของวัสดุปลูกรวม

2.4 การวิเคราะห์ธาตุอาหารในวัสดุปลูก

2.4.1 การวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจน

ตารางที่ 4 น้ำหนักวัสดุปลูกสำหรับ 1 ภาชนะสำหรับปลูกขนาด 50x50x5 เซนติเมตร

สูตรที่	อัตราส่วนผสม (กรัม)				รวม (กรัม)
	ขุยและโยมะพร้าว	กากกาแฟ	ซีเมนต์กลบ	แป้งมันสำปะหลัง	
FCA1	715	286	429	286	1,716
FCA2	858	286	286	286	1,716
FCA3	715	429	286	286	1,716
FCA4	858	429	143	286	1,716
FCA5	715	286	429	357.5	1,787.5
FCA6	858	286	286	357.5	1,787.5
FCA7	715	429	286	357.5	1,787.5
FCA8	858	429	143	357.5	1,787.5
SOIL					7,920

นำวัสดุปลูกแต่ละชนิดมาย่อยโดยเครื่องย่อยสารระบบไมโครเวฟ (Microwave digester) ให้อยู่ในรูปสารละลายไอออน โดยใช้วัสดุปลูก 1 กรัม ละลายในสารละลายผสมระหว่างกรดซัลฟูริกเข้มข้น 65% 30 มิลลิลิตร เพื่อให้ได้ $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$

ปริมาณไนโตรเจนจะถูกวัดโดยวิธีเจลดาล์ (Kjeldahl method) ตามมาตรฐาน AOAC, ISO, EPA, DIN ด้วยการเปลี่ยน $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ไปเป็นแก๊ส NH_3 ด้วย NaOH และจับ NH_3 ด้วยสารละลายบอริก จากนั้นนำไปไทเทรต ด้วยสารละลายมาตรฐาน

กรดซัลฟูริก แล้วนำไปคำนวณปริมาณของธาตุไนโตรเจน (พินพีญ, 2545)

2.4.2 การวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม

นำวัสดุปลูกแต่ละชนิดย่อยโดยเครื่องย่อยสารระบบไมโครเวฟ (Microwave digester) ให้อยู่ในรูปสารละลายไอออน โดยใช้วัสดุปลูก 1 กรัม ละลายในสารละลายผสมระหว่างกรดไนตริกเข้มข้น 68% 30 มิลลิลิตร และ กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 37% 5 มิลลิลิตร

ปริมาณฟอสฟอรัส และ โพแทสเซียมจะถูกวัด โดยเครื่องวิเคราะห์ Inductively Couple Plasma-Optical Emission Spectrometer (ICP – OES) โดยสารละลายของวัสดุปลูกที่ผ่านการย่อย จะถูกเจือจางด้วยน้ำกลั่นในอัตราส่วน 1:5 แล้วนำเข้า

ทดสอบ สารละลายจะถูกเปลี่ยนสถานะเป็นพลาสมา เพื่อให้สารที่วิเคราะห์นั้นเปล่งแสงออกมา เพื่อแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้าจากนั้นคำนวณเป็นปริมาณธาตุที่ต้องการ (กรมทรัพยากรธรณี, 2551)

3. ผลการวิจัยและวิจารณ์ผลการวิจัย

จากผลการทดลอง โดยวิเคราะห์จากความสูงของหลัานวลน้อยพบว่า ภาชนะปลูกที่ 4 มีการเจริญเติบโตดีที่สุด ได้แก่ อัตราส่วน ขุยมะพร้าว:กากกาแฟ:ขี้เถ้าแกลบ (60:30:10) และแบ่งเป็นส้าปะหลัง 20%: ชั้นปลูกหนา 5 เซนติเมตร ใ้การเติบโตใกล้เคียงกับดิน ดังแสดงในรูปที่ 3 โดยมีน้ำหนักน้อยกว่าดินถึงประมาณ 7 เท่า ดังแสดงในตารางที่ 4



รูปที่ 3 ความสูงเฉลี่ยหลัานวลน้อยระยะเวลา 30 วัน

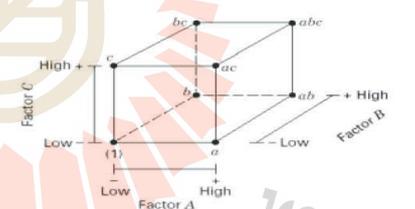
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์อัตราส่วนของวัสดุปลูกโดยใช้ โปรแกรม Minitab (14)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	3	297.87	99.29	99.29	36.5	0.000
ขุยและใยมะพร้าว	1	0.23	0.23	0.23	0.08	0.775
กากกาแฟ	1	0.63	0.63	0.63	0.23	0.635
แบริ่งมันสำปะหลัง	1	297.02	297.03	297.03	109.24	0.000
2-Way Interactions	3	60.80	20.27	20.27	7.45	0.001
ขุยและใยมะพร้าว*กากกาแฟ	1	6.40	6.40	6.40	2.35	0.135
ขุยและใยมะพร้าว*แบริ่งมันสำปะหลัง	1	14.40	14.40	14.40	5.3	0.028
กากกาแฟ*แบริ่งมันสำปะหลัง	1	40.00	40.00	40.00	14.71	0.001
Residual Error	33	89.73	89.73	2.72		
Lack of Fit	1	3.03	3.03	3.03	1.12	0.299
Pure Error	32	86.70	86.70	2.71		
Total	39	448.40				

จากผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลอง โดยใช้โปรแกรม Minitab (14) ดังแสดงในตารางที่ 5 ซึ่งพิจารณาปัจจัยทั้งหมดสามปัจจัยพบว่าปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของหนุ่ขนาดเล็กอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ที่ความเชื่อมั่น 95% โดยมีค่า R-sq (adj) = 76.35% คือ แบริ่งมันสำปะหลัง เป็นปัจจัยที่มีผลในเชิงลบ ดังแสดงในรูปที่ 4 สอดคล้องกับการวิเคราะห์ปริมาณธาตุ

ในรูปที่ 5 แบริ่งมัน สำปะหลังไม่พบปริมาณธาตุฟอสฟอรัส ที่เหมาะสำหรับการเจริญเติบโตของราก ซึ่งเป็นส่วนสำคัญสำหรับการเจริญเติบโตของลำต้น



รูปที่ 4 Club Plot สำหรับการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k (Montgomery, 2005)

นอกจากนี้ ปัจจัยร่วม (อันตรกิริยา) ส่งผลต่อการเจริญเติบโตอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) เมื่อพิจารณากราฟของอันตรกิริยา ดังแสดงในรูปที่ 6 จะพบว่ามีสองอันตรกิริยาที่มีผลในเชิงบวก คือ อันตรกิริยาระหว่างกากกาแฟกับแบริ่งมันสำปะหลัง

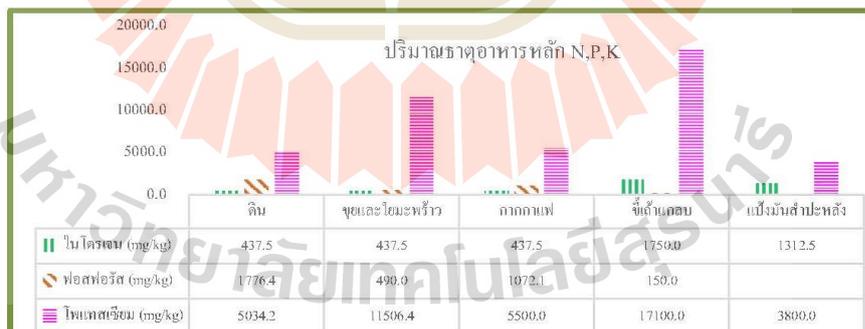
และอันตรกิริยาระหว่างขุยมะพร้าวกับแป้งมันสำปะหลัง ดังแสดงในตารางที่ 5

อันตรกิริยาระหว่างกากกาแฟกับแป้งมันสำปะหลัง โดยที่กากกาแฟมีปริมาณฟอสฟอรัสสูงเทียบเท่ากับดิน เป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของราก และมีปริมาณไนโตรเจนช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วของลำต้น อีกทั้งยังมีโพแทสเซียม ที่มีความสำคัญสำหรับการสร้างและเคลื่อนย้ายอาหารพวกแป้งและน้ำตาลไปเลี้ยงส่วนที่กำลังเติบโต และส่งไปเก็บไว้เป็นเสบียงที่หัวหรือที่ลำต้น แต่อย่างไรก็ตามอัตราส่วนของกากกาแฟควรใส่ในปริมาณที่เหมาะสม เพราะกากกาแฟไม่มีคุณสมบัติในการดูดซับน้ำ

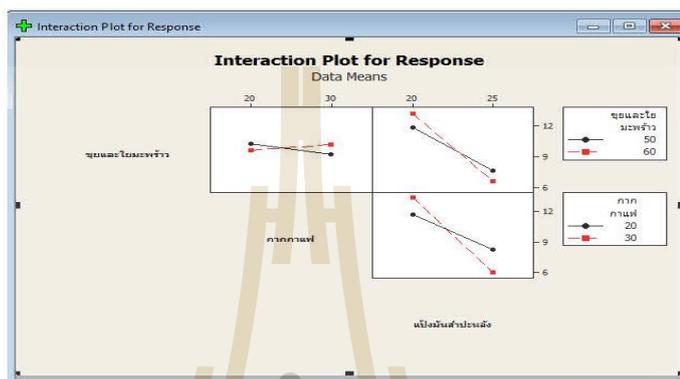
อันตรกิริยาระหว่างขุยมะพร้าวกับแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งขุยมะพร้าวมีคุณสมบัติในการดูดซับน้ำและปริมาณธาตุโพแทสเซียม (K) สูง ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของหน่วนวลน้อยในปริมาณสูง เพิ่มความสามารถในการดูดซับอาหารการระคายน้ำและอากาศในดินอย่างมาก ทำให้ราก

สามารถชอนไชหาอาหารและหายใจได้ดี นอกจากนั้นยังมีปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโต เพราะฉะนั้นการใส่ขุยมะพร้าวในปริมาณมากจะส่งผลดีสำหรับการปลูก

ซีเดิ้ลกลบ ซึ่งเป็นอัตราส่วนผสมของปริมาณวัสดุปลูก ถึงแม้ว่าซีเดิ้ลกลบจะมีคุณสมบัติที่เหมาะสมกับการใช้เป็นวัสดุปลูกทดแทนดินและมีผลดีกับการเติบโตของลำต้น เนื่องจากมีปริมาณธาตุไนโตรเจนและโพแทสเซียมสูง แต่องค์ประกอบทางเคมีของซีเดิ้ลกลบ ร้อยละ 89.9% เป็นซิลิกา (บุรฉัตร จัตราวีระ และ พิชญ์ นิมิตยสกุล, 2537) ซึ่งจะไม่เป็นประโยชน์ต่อพืช หากพืชสามารถเจริญเติบโตเป็นปกติ และมีค่าความเป็นค่าสูง ซึ่งหากวัสดุปลูกมีส่วนผสมของซีเดิ้ลกลบมากเกินไปผลทำให้การเติบโตของต้นกล้าต่ำ จึงควรใช้ซีเดิ้ลกลบร่วมกับวัสดุชนิดอื่นๆ ตามสัดส่วนที่กำหนดจึงจะทำให้พืชมีการเจริญเติบโตที่ดี



รูปที่ 5 ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม



รูปที่ 6 แสดงผลอันตรกิริยา

4. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทดลองหาอัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับการปลูกพืชนานวณน้อย โดยใช้วิธีการของหลังคาเขียวที่ไม่ต้องการประโยชน์ใช้สอยเน้นประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อม (Extensive green roofs) คือการกรรกรดูแลน้อยมาก ชั้นปลูกที่หนาเพียง 1-5 นิ้ว ซึ่งวัสดุปลูกสำหรับงานวิจัยเป็นวัสดุปลูกจากธรรมชาติไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม สามารถหาได้ง่ายในท้องถิ่น ซึ่งอยู่ในเกณฑ์การประเมิน green building ในการออกแบบและสร้างอาคาร เชี่ยวชาญเกณฑ์มาตรฐาน LEED อีกทั้งยังช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรและอุตสาหกรรม รวมทั้งยังมีธาตุอาหารหลัก N, P, K ที่พืชต้องการ คุณสมบัติทางกายภาพที่ช่วยในการดูดซึม แต่การนำไปใช้จำเป็นต้องมีการเปลี่ยนคุณสมบัติทางกายภาพ เช่น ดาดแคคเพื่อไล่ความชื้นก่อนนำไปใช้แล้วจึงผสมในอัตราส่วนที่เหมาะสม ซึ่งคิดว่าผลิตภัณฑ์ที่มีขายในท้องตลาดทั่วไปที่มีน้ำหนักเบาและนำไปใช้ได้เลยแต่ราคาสูงไม่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า วัสดุปลูก ขุยมะพร้าว

มะพร้าว:กากกาแฟ:ขี้เถ้าแกลบ (60:30:10) และแยมันสำปะหลัง 20%: ชั้นปลูกหนา 5 เซนติเมตร มีความเหมาะสมสำหรับการปลูกพืชนานวณน้อยบนหลังคา โดยพิจารณาจากปัจจัยหลักและอันตรกิริยา พบว่าเป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อเจริญเติบโตของพืชนานวณน้อย โดยปัจจัยหลักคือแยมันสำปะหลัง เป็นปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ในเชิงลบ และปัจจัยร่วม (อันตรกิริยา) เมื่อพิจารณาผลของอันตรกิริยา จะพบว่า มีสองอันตรกิริยาที่มีผลในเชิงบวก อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) คืออันตรกิริยาระหว่างกากกาแฟกับแยมันสำปะหลัง และอันตรกิริยาระหว่างขุยมะพร้าวกับแยมันสำปะหลัง จากการวิเคราะห์หาค่าปริมาณธาตุอาหารหลัก ไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัสคือ โปแตสเซียมเท่ากับ 4.38:5.70:110 สามารถปลูกพืชเจริญเติบโตได้ดี ปริมาณเพียงพอเทียบเท่ากับดิน ดังนั้นจึงส่งผลให้การปลูกพืชบนหลังคาที่มีความเป็นไปได้มากขึ้น โดยต้นทุนของวัสดุปลูกและค่าเคมีภัณฑ์มีต้นทุนเพียง 400 บาทต่อตารางเมตร สามารถเพิ่มพื้นที่สีเขียว ให้กับอาคารหรือที่พอกอภัยช่วยควบคุมการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในอาคาร

มีความปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม สร้างความเป็นไปได้ในการเพิ่มพื้นที่ดูดซับความร้อนในปัจจุบัน เนื่องจากน้ำหนักเบา สามารถลดภาระของโครงสร้างหลังคาในการรับน้ำหนักดินในการปลูกพืชบนหลังคาซึ่งมีน้ำหนักเฉลี่ยถึง 7 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร หลังคาเขียวไม่เพียงแต่เพิ่มพื้นที่สีเขียวยังช่วยยืดอายุหลังคาจากรังสีดวงอาทิตย์ที่มีอายุการใช้งานนานขึ้น 2-3 เท่าจากปกติ (เมธธีรัชต์ พันธ์ เขียววิชัย, 2557) ประหยัดพลังงานและค่าใช้จ่ายในการใช้งานเครื่องปรับอากาศ ลดเสียงรบกวนจากภายนอก ลดมลพิษทางอากาศ ลดปริมาณน้ำฝน (stormwater) ที่ไหลลงระบบสาธารณะ ซึ่งสร้างปัญหาน้ำท่วมฉับพลัน หลังคาเขียวเปรียบเป็นพื้นที่ดูดซับ ชะลอสายฝนที่ตกลงมา รวมทั้งสามารถกรองโลหะหนักที่ปนเปื้อนมากับน้ำฝน ซึ่งเป็นทางเลือกที่ดี สำหรับระบบการจัดการน้ำฝนเป็นต้น



รูปที่ 7 ตัวอย่างการปลูกหญ้าบนหลังคา

5. เอกสารอ้างอิง

[1] รุ่งทิพย์ แสงกลาง และ ดร.ศิริลักษณ์ เจียรกร, “การกักเก็บคาร์บอนของหญ้าในหลังคาเขียว” ในการประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 34, นำเสนอที่ อาคารเรียนรวม คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, จังหวัดขอนแก่น 27 มีนาคม 2558.

[2] วรวัช พวงพรศรี และ ดร.สมศักดิ์ ศิวดำรงพงศ์, “การพัฒนา และติดตั้งกรีนรูฟเพื่อลดการถ่ายเทความร้อนจากหลังคาสู่ภายในบ้าน” ในการประชุมสัมมนาวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 10, นำเสนอที่ หอประชุมเฉลิมพระเกียรติ มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง, จังหวัดพัทลุง 30 พฤศจิกายน 2560.

[3] นายวรวิทย์ ธนาวิวัฒน์นา. (2552). ประสิทธิภาพในการใช้หลังคาปลูกต้นไม้เพื่อลดความร้อนสำหรับสภาพภูมิอากาศร้อนชื้น. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขา บัณฑิต, มหาวิทยาลัยศิลปากร).

[4] ศิริพร กาทอง และ ดร.เฉลิม เรืองวิริยะชัย. การหาปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในปุ๋ยอินทรีย์น้ำ. KKU Res J (GS). วารสารวิจัยฯ. 2557. 4(14): 57-68.

[5] รศ.พาสินี สุนากร และ รศ.ทรงกลด จารุสมสมบัติ. (2555). แผ่นปลูกพืชบนหลังคา. เกษตรนวัตกรรม รวบรวมผลงานนวัตกรรมทางการค้นคว้าวิจัยในวาระครบรอบ 72 ปี แห่งมหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์, 221-222.

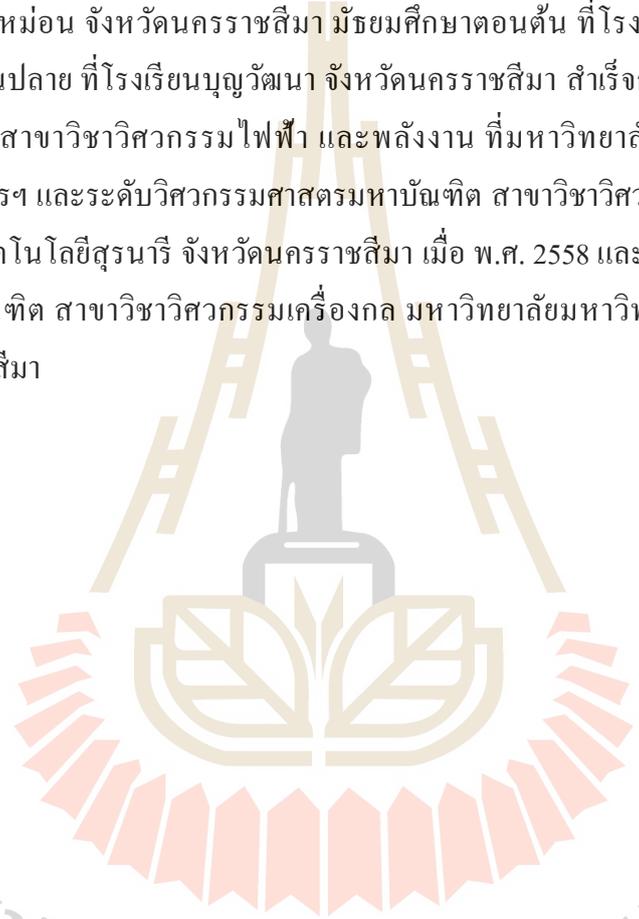
[6] คริชรัฐสพล หนูพรหม (2559). ผลของวัสดุเพาะกล้าจากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรต่อความงอกและการเจริญเติบโตของต้นกล้าบรอกโคลี.ประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต ครั้งที่ 6.

[7] อุมาวดี ลีเมสตีเยรกุล. (2546). การเจริญเติบโตของผักกาดหอมพันธุ์ red oak ที่ปลูกในวัสดุขุยมะพร้าวผสมทราย เมื่อได้รับธาตุอาหารไนโตรเจน แคลเซียม และโพแทสเซียม ในระดับความเข้มข้นแตกต่างกัน.

- (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์).
- [8] สุเมธ รอดศิริชู. (2558). การพัฒนาขุมมะพร้าวหมักเป็นวัสดุเพาะกล้า. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์).
- [9] รพีพรรณ กองตุม. “ตากกาแฟ : มูลค่าเพิ่มและการใช้ประโยชน์” การประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 5, นำเสนอที่ มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง, 1 มีนาคม 2560. อธิวิสุนทร นันทกิจ. (2535). เครื่องมือควบคุมการให้น้ำโดยอัตโนมัติ ในการปลูกพืชในภาชนะปลูก. รายงานการประชุมทางวิชาการ ครั้งที่ 30 สาขาพืช 29 มกราคม - 1 กุมภาพันธ์ 2535. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา, หน้า 35-41 (752 หน้า).
- [10] Jun Yang et al. (2008). Quantifying air pollution removal by green roofs in Chicago., *Atmospheric Environment*. 42:7266-7273.
- [11] Dunnett and Kingsbury. 2004. *Planting green roofs and living walls*. Timber Press. Portland, Oregon 254 p.
- [12] Peck and Kuhn. (2001). *Design Guidelines for Green Roofs*, National Research Council Canada, Toronto. 22 p.

ประวัติผู้เขียน

นางสาววรินทร์ กิตอนันต์ภักดิ์ เกิดเมื่อวันที่ 29 ตุลาคม 2531 ที่อำเภอทับปุด จังหวัดพังงา ปัจจุบันมีภูมิลำเนาอยู่ที่อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา เริ่มการศึกษาระดับประถมศึกษาปีที่ 1 – 6 ที่โรงเรียนสวนหม่อน จังหวัดนครราชสีมา มัธยมศึกษาตอนต้น ที่โรงเรียนสุนารีวิทยา 2 และมัธยมศึกษาตอนปลาย ที่โรงเรียนบุญวัฒนา จังหวัดนครราชสีมา สำเร็จการศึกษาระดับวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า และพลังงาน ที่มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย จังหวัดกรุงเทพมหานครฯ และระดับวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการพลังงาน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา เมื่อ พ.ศ. 2558 และศึกษาต่อระดับวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยมหาวิทาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี