บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยชิ้นนี้ โดยแบ่งเนื้อหาออกเป็น 4 ส่วนหลัก ๆ ได้แก่ ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย หลังคาเขียว การปลูกพืชโดยใช้วัสดุปลูกทดแทนดิน และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับหลังคาเขียว ซึ่งจะกล่าวถึงรายละเอียดในแต่ละส่วนดังต่อไปนี้

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

2.1.1 ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน

กลไกที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของความร้อน เกิดจากการถ่ายเทความร้อนจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปสู่บริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำ ทำให้เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิ โดยที่ความร้อนสามารถเคลื่อนที่จากบริเวณหนึ่งไปอีกบริเวณหนึ่งได้ 3 วิธี คือ การนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อน โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) การนำความร้อน (conduction) เป็นการถ่ายเทความร้อนผ่านตัวกลางที่มีอุณหภูมิสูงไปสู่ตัวกลางที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ดังภาพที่ 2.1 และการนำความร้อนจะเกิดขึ้นได้ดี โดยขึ้นอยู่กับโครงสร้างของโมเลกุลวัสดุที่มีความหนาแน่นมาก จะมีการนำความร้อนได้มาก เช่น เหล็ก ทองแดง เป็นต้น ความสัมพันธ์ของการนำความร้อนกับความหนาแน่นของวัสดุ แสดงดังภาพที่ 2.2

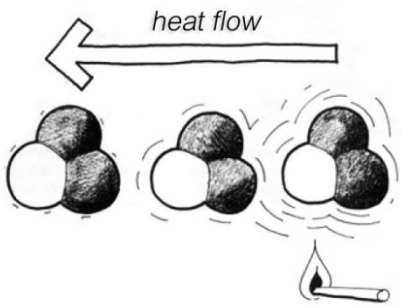
2) การพาความร้อน (convection) เป็นการถ่ายเทความร้อนผ่านตัวกลางที่เป็นของไหลหรือก๊าซ ดังภาพที่ 2.3 เมื่อให้ความร้อนที่จุด A จะเกิดการนำความร้อนโดยการถ่ายเทไปที่อากาศและพาความร้อนไปยังจุด B โดยการพาความร้อนสามารถเกิดได้ 2 แบบ คือ การพาโดยกลไกภายนอก และการพาโดยธรรมชาติ

3) การแผ่รังสีความร้อน (radiation) เป็นการถ่ายเทความร้อนโดยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากการเคลื่อนที่หรือสั่นของโมเลกุลพื้นผิวของสสาร ซึ่งจะเคลื่อนที่จากวัตถุที่ร้อนกว่าไปสู่วัตถุที่เย็นกว่าเช่นเดียวกับการนำความร้อน ยกตัวอย่างเช่น การแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ (solar radiation) ผ่านท้องฟ้าลงมาสู่พื้นผิวโลก และการสะท้อนกลับสู่ชั้นบรรยากาศ ดังภาพที่ 2.4 เป็น

การถ่ายเทความร้อนที่ไม่ต้องอาศัยตัวกลางใด ๆ เมื่อรังสีความร้อนกระทบวัสดุต่าง ๆ จะเกิดการส่งผ่านรังสี (transmission) บางส่วนถูกดูดกลืน เรียกว่า การดูดซับรังสี (absorption) และบางส่วนสะท้อนออกมา เรียกว่า การสะท้อนรังสี (reflection) ส่วนที่ถูกดูดกลืนจะทำให้วัตถุมีอุณหภูมิสูงขึ้น และเมื่อสิ่งแวดล้อมมีอุณหภูมิต่ำกว่าวัสดุ จะเกิดการคายรังสี (emittion) ดังภาพที่ 2.5

ภาพที่ 2.1

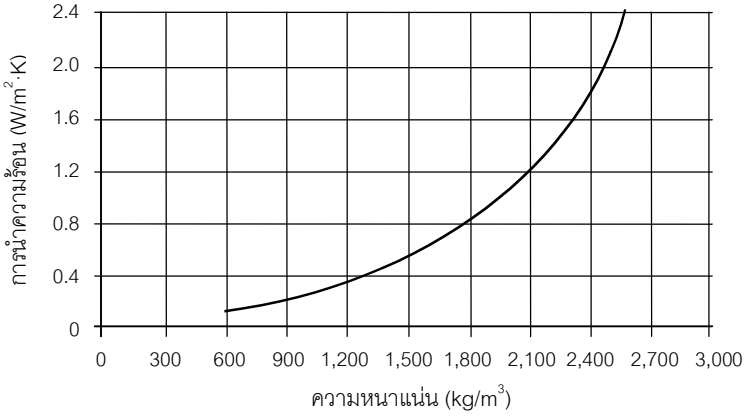
การถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อน (conduction)



ที่มา: Moore, 1993, p. 8.

ภาพที่ 2.2

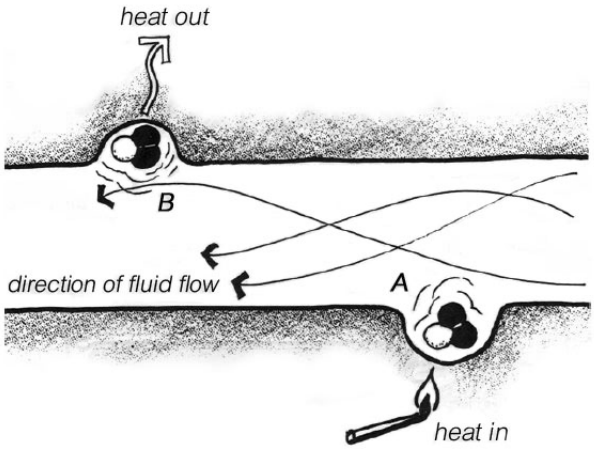
ความสัมพันธ์ของการนำความร้อนกับความหนาแน่นของวัสดุ



ที่มา: Givoni, 1998, p. 120.

ภาพที่ 2.3

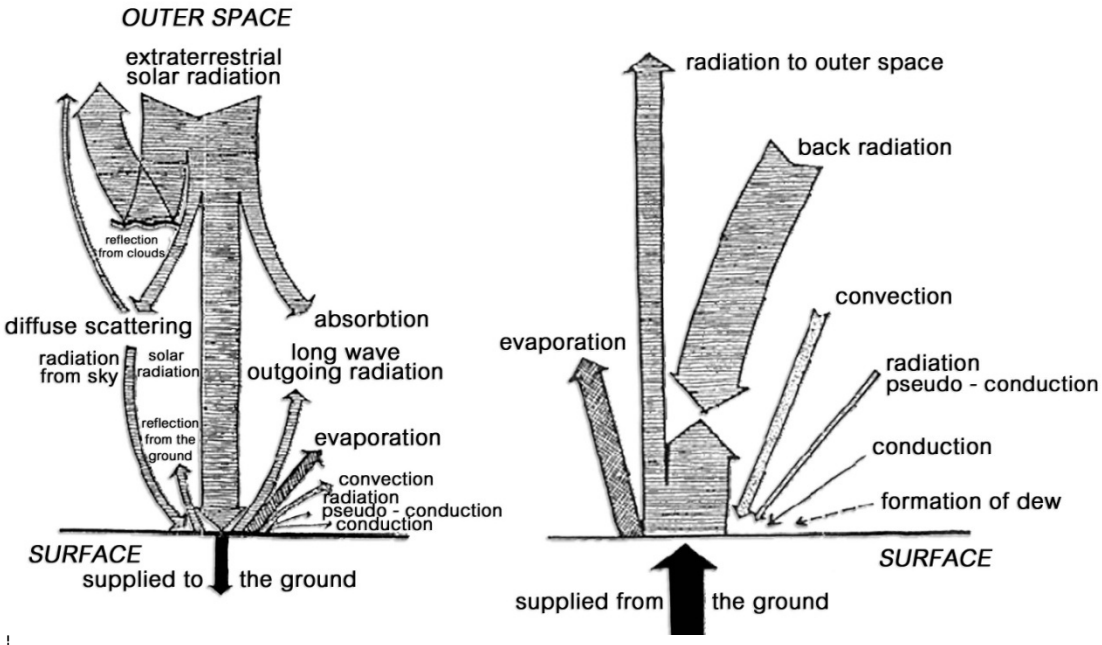
การถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อน (convection)



ที่มา: Moore, 1993, p. 17.

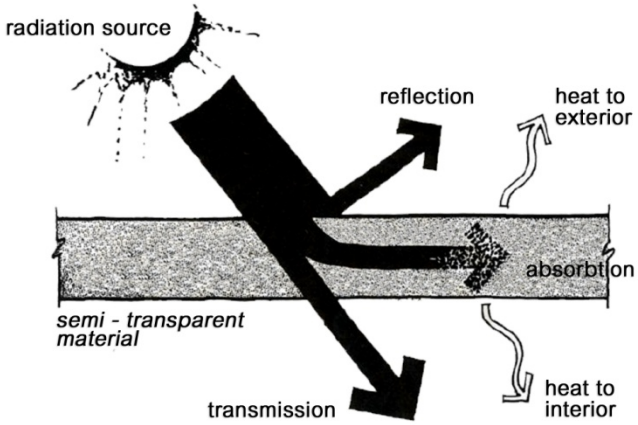
ภาพที่ 2.4

ลักษณะการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ผ่านท้องฟ้าลงมาสู่พื้นผิวโลกและการสะท้อน
กลับสู่ชั้นบรรยากาศ ตามหลักทฤษฎีการถ่ายเทความร้อนในรูปแบบต่าง ๆ
ในช่วงเวลากลางวัน (ภาพซ้าย) และกลางคืน (ภาพขวา)



ที่มา: Moore, 1993, pp. 61-62.

ภาพที่ 2.5
พฤติกรรมรังสีความร้อนที่กระทบวัสดุ



ที่มา: Moore, 1993, p. 15.

คุณสมบัติในการช่วยการลดปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคารของวัสดุอีกอย่างหนึ่ง คือ การใช้อิทธิพลมวลสารวัสดุ (material thermal mass) ถึงแม้จะลดปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคารได้ไม่มากนัก แต่จะช่วยหน่วงเหนี่ยวความร้อนไม่ให้เข้าสู่อาคารเร็วเกินไป การหน่วงความร้อนจะขึ้นอยู่กับ ความหนาแน่นของวัสดุ และความจุความร้อนจำเพาะของวัสดุ ถ้าวัสดุที่มีคุณสมบัติเหล่านี้ต่ำ จะมีความสามารถในการกักเก็บความร้อนต่ำ ดังนั้น การเพิ่มความหนาให้มากขึ้นจะทำให้สามารถกักเก็บความร้อนได้มากขึ้น และนอกจากนี้ในการลดปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคาร พืชสีเขียวสามารถช่วยลดปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่อาคารและลดปรากฏการณ์เกาะความร้อนของเมืองได้ เนื่องจากการคายระเหยน้ำของพืช

2.1.2 <u>ทฤษฎีการคายระเหยน้ำของพืช</u>

การคายระเหยน้ำ (evapotranspiration: ET) คือ เป็นกระบวนการที่เกิดจากการระเหย (evaporation: E) และการคายน้ำ (transpiration: T) ซึ่งการระเหย เป็นกระบวนการที่น้ำที่อยู่ในสถานะของเหลว (liquid water) เปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอน้ำ (vapor) จากน้ำที่อยู่บนใบพืชและผิวดินบริเวณต้นพืชสู่บรรยากาศในเวลากลางวัน ส่วนการคายน้ำ (evaporation process) เป็นกระบวนการที่พืชใช้ในการเจริญเติบโต โดยน้ำที่อยู่ในสถานะของเหลวที่อยู่ในต้นพืช ผ่านออกทางปากใบ (stomata) หรือส่วนอื่น ๆ ของพืชออกสู่บรรยากาศ

ปริมาณการคายระเหยน้ำ สามารถหาได้จากปริมาณการใช้น้ำของพืช ซึ่งมีหน่วยที่ใช้วัดเป็น มิลลิเมตรต่อวัน กระบวนการนี้ช่วยลดปริมาณแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบอาคารแล้วยังช่วยลดความร้อนในอากาศ ทำให้การถ่ายเทความร้อนที่เข้าสู่อาคารลดลงตามไปด้วย ดังภาพที่ 2.6 สามารถหาได้โดย 2 วิธีหลัก ๆ คือ การหาปริมาณการคายระเหยน้ำของพืชโดยการวัดโดยตรง และการหาปริมาณการคายระเหยน้ำของพืชจากการคำนวณโดยใช้ข้อมูลจากภูมิอากาศ ซึ่งประกอบไปด้วย 3 วิธีย่อย ดังตารางที่ 2.1 (ดิเรก ทองอร่าม, วิทยา ตั้งก่อสกุล, นาวี จิระชีวี, และ อิทธิสุนทรนันทกิจ, 2545, น. 55-90)

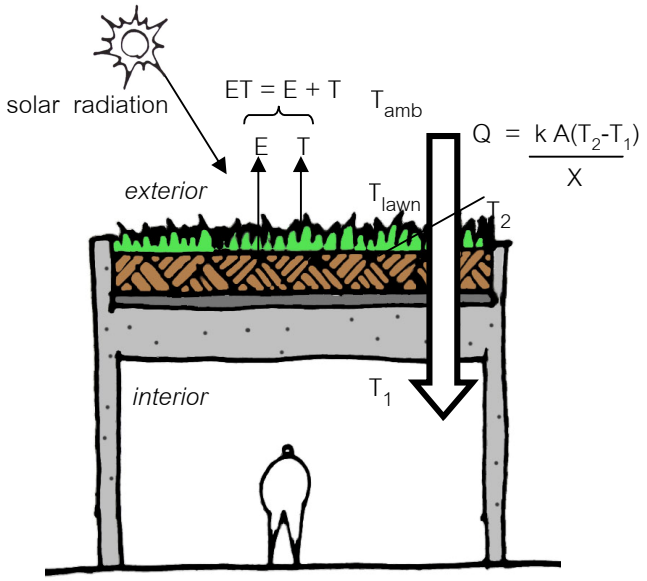
การหาปริมาณการคายระเหยน้ำของพืชวิธีที่ 2.1 มีหลักการในการดำเนินการคือ การใช้หญ้า ซึ่งเป็นพืชที่มีการเจริญงอกงามดี มีอัตราการใช้น้ำที่ไม่ขึ้นอยู่กับอายุ ได้รับน้ำหรือความชื้นสูงอยู่ตลอดเวลาแต่ผลของการใช้น้ำของพืชจะไม่มีผลกระทบต่อการจัดการเพาะปลูกหรือองค์ประกอบอื่น ๆ ทำให้การคายระเหยน้ำของพืชที่เลือกมาศึกษานั้นขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศเพียงอย่างเดียว สำหรับประเทศไทยนั้น ค่าการคายระเหยน้ำหรือการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ETp) จะนิยมใช้ข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยาในคาบ 25 ปี รวม 49 แห่ง ส่วนค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช (Kc) ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของพืช ช่วงเวลาที่ทำการเพาะปลูก หรือช่วงต่าง ๆ ของการพัฒนาการ เช่น การออกดอก การออกผล

การหาปริมาณการคายระเหยน้ำของพืชวิธีที่ 2.2 จะใช้ค่าปริมาณการระเหยน้ำจากถาดวัดการระเหยแบบเอ (Epan) ซึ่งมีลักษณะเหมือนกับปริมาณการคายระเหยน้ำของพืชอ้างอิง (ETp) เพียงแต่จะใช้การระเหยจากถาดวัดการระเหยแทน ซึ่งมักใช้ถาดที่เรียกว่า Class-A pan ของกรมอุตุนิยมวิทยาสหรัฐอเมริกา ส่วนค่าสัมประสิทธิ์ถาดวัดการระเหยสำหรับถาดวัดแบบเอ (Kp) ซึ่งเป็นค่าที่ขึ้นอยู่กับตำแหน่งที่วางถาด ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม และระยะด้านเหนือลมที่ปลูกพืช และใช้ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช (Kc) ซึ่งเป็นค่าเดียวกันกับวิธีที่ 2.1

การหาปริมาณการคายระเหยน้ำของพืชวิธีที่ 2.3 จะใช้ค่าปริมาณการระเหยน้ำจากถาดวัด การระเหยแบบเอ (Epan) ซึ่งเป็นค่าเดียวกันกับวิธีที่ 2.2 และใช้ค่าสัมประสิทธิ์ถาดวัดการระเหยแบบเบ็ดเสร็จ สำหรับถาดวัดแบบเอ (K'p) วิธีนี้เป็นวิธีที่มีความถูกต้องต่ำ

งานวิจัยนี้จะใช้การหาปริมาณการคายระเหยน้ำของพืชวิธีที่ 1 คือ การหาปริมาณการคายระเหยน้ำของพืชโดยการวัดโดยตรง (Lysimeter) ซึ่งเป็นวิธีที่ให้ค่าปริมาณการคายระเหยน้ำของพืช (ETc) ที่มีความถูกต้องสูง ดังนั้นผลการทดลองที่ได้จะสอดคล้องกับสภาพภูมิอากาศในช่วงเวลาที่ทำการทดลอง

ภาพที่ 2.6
กระบวนการคายระเหยน้ำ ช่วยลดความร้อนในอากาศ
และลดการถ่ายเทความร้อนที่เข้าสู่อาคาร



ตารางที่ 2.1
วิธีการหาปริมาณการคายระเหยน้ำของพืช

วิธีการหาปริมาณการคายระเหยน้ำของพืช (ETc)	สมการที่ใช้ในการหาปริมาณการคายระเหยน้ำของพืช
1) การหาปริมาณการคายระเหยน้ำของพืชโดยการวัดโดยตรง (Lysimeter)	
2) การคำนวณโดยใช้ข้อมูลจากสภาพภูมิอากาศ สามารถทำการคำนวณจากการเลือกใช้สมการใดสมการหนึ่งที่เหมาะสมกับข้อมูลที่มีอยู่ต่อไปนี้	
(2.1) ใช้ค่าศักย์การคายระเหยน้ำของพืช หรือปริมาณการคายระเหยน้ำของพืชอ้างอิง (ETp) และค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช (Kc)	ETc = (ETp) (Kc)
(2.2) ใช้ค่าปริมาณการระเหยน้ำจากถาดวัดการระเหยแบบเอ (Epan) ค่าสัมประสิทธิ์ถาดวัดการระเหยสำหรับถาดวัดแบบเอ (Kp) และค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช (Kc)	ETc = (Epan) (Kp) (Kc)
(2.3) ใช้ค่าปริมาณการระเหยน้ำจากถาดวัดการระเหยแบบเอ (Epan) และค่าสัมประสิทธิ์ถาดวัดการระเหยแบบเบ็ดเสร็จสำหรับถาดวัดแบบเอ (K'p)	ETc = (Epan) (K'p)

2.2 หลังคาเขียว

ในปัจจุบันเทคโนโลยีต่าง ๆ เจริญก้าวหน้าไปมาก ทำให้เกิดปัญหาของอาคารที่เพิ่มขึ้นอย่างหนาแน่น และพื้นที่สีเขียวลดลงตามไปด้วย ดังนั้น การเพิ่มพื้นที่สีเขียวให้กับสภาพแวดล้อมภายนอกอาคาร จึงนำไปสู่การเพิ่มขึ้นของพื้นที่สีเขียวบนหลังคาอาคาร เรียกว่า หลังคาเขียว (green roof) งานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าการเพิ่มพื้นที่สีเขียวร้อยละ 10 สามารถลดอุณหภูมิของเมืองลงได้ถึง 4 องศาเซลเซียส (Gill et al., 2007) ซึ่งจะช่วยลดภาวะการเกิดเกาะแห่งความร้อน (urban heat island) กนกวลี สุธีธร (ม.ป.ป.) กล่าวถึง หลังคาเขียว (green roof) ว่าหลังคาเขียวเป็นหลังคาที่เป็นสีเขียวจากการมีพืชคลุมดิน ไม้เลื้อย หรือลักษณะใด ๆ ก็ตามปกคลุมอยู่ข้างบนหลังคาเขียวแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ หลังคาเขียวแบบใช้สอย (intensive green roof) ใช้เป็นพื้นที่นันทนาการของอาคาร มีการใช้ต้นไม้ทั้งขนาดใหญ่ ขนาดกลาง ขนาดเล็ก พืชคลุมดิน และหญ้า รวมทั้งมีความหนาของวัสดุปลูกและวัสดุต่าง ๆ ตั้งแต่ 15 เซนติเมตรขึ้นไป ทำให้พื้นหลังคาคอนกรีตเดิมที่สามารถรองรับน้ำหนักที่ 200-400 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ต้องเพิ่มการรับน้ำหนักสวนหลังคาเป็น 300-1,000 กิโลกรัมต่อตารางเมตร หรือมากกว่า ดังนั้นในขั้นตอนการก่อสร้างต้องออกแบบเผื่อการรับน้ำหนักไว้ อีกทั้งหลังคาเขียวแบบใช้สอยต้องการการดูแลรักษามากกว่า หลังคาเขียวแบบไม่ใช้สอย (extensive green roof) ที่มีการใช้ต้นไม้ขนาดเล็ก พืชคลุมดิน และหญ้า มีความหนาของวัสดุปลูกน้อยมากประมาณ 2.5-12.5 เซนติเมตร โดยสามารถลดภาระการรับน้ำหนักของโครงสร้างได้ (Scholz-Barth, 2001)

องค์ประกอบแต่ละชั้นของโครงสร้างหลังคาเขียว ประกอบไปด้วย พื้นหลังคาคอนกรีต วัสดุกันซึม แผ่นคอนกรีตสำเร็จรูป ชั้นระบายน้ำ แผ่นใยกรองดิน วัสดุปลูก และพืชพันธุ์ ดังภาพที่ 2.7 โดยมีรายละเอียดในแต่ละชั้นดังต่อไปนี้ (พชร เลิศปิติวัฒนา, 2547, น. 119-129)

1) พื้นหลังคาคอนกรีต (concrete slab) หลังคาเขียวส่วนใหญ่นิยมใช้พื้นดาดฟ้าเป็นสวนหลังคา โดยปกติพื้นอาคารทั่วไปที่ไม่มีหลังคาเขียวหรือน้ำหนักพิเศษ สามารถรองรับน้ำหนักที่ 200- 400 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

2) วัสดุกันซึม (waterproof membranes) ปัญหาของหลังคาเขียวที่สำคัญ คือ การรั่วซึม โดยเฉพาะอย่างยิ่งภูมิอากาศร้อนชื้นและมีฤดูฝนนานหลายเดือนของประเทศไทย ทำให้ต้องมีการใช้วัสดุกันซึมเพื่อป้องกันน้ำรั่วซึมเข้ามาภายในอาคาร วัสดุกันซึมมีทั้งแบบแผ่น แบบเหลว และแบบพ่น

3) แผ่นคอนกรีตกันทะลุ (concrete protective slab) เป็นคอนกรีตที่มีความหนาประมาณ 6-10 เซนติเมตร เพื่อป้องกันไม่ให้รากของพืชทำลายโครงสร้างของพื้นหลังคาคอนกรีต

4) ชั้นระบายน้ำ (drainage medium) เป็นชั้นที่ป้องกันการขังของน้ำ ช่วยในการระบายน้ำให้ไหลไปยังท่อระบายน้ำ ส่วนใหญ่ใช้หินกรวดหรือเศษอิฐแตก หรือกล๊าสเซลล์ (Grass-cell) เป็นชั้นระบายน้ำพลาสติกแบบรวงผึ้ง มีน้ำหนักเบา ทนทาน มีราคาสูงและหาซื้อยากในประเทศไทย

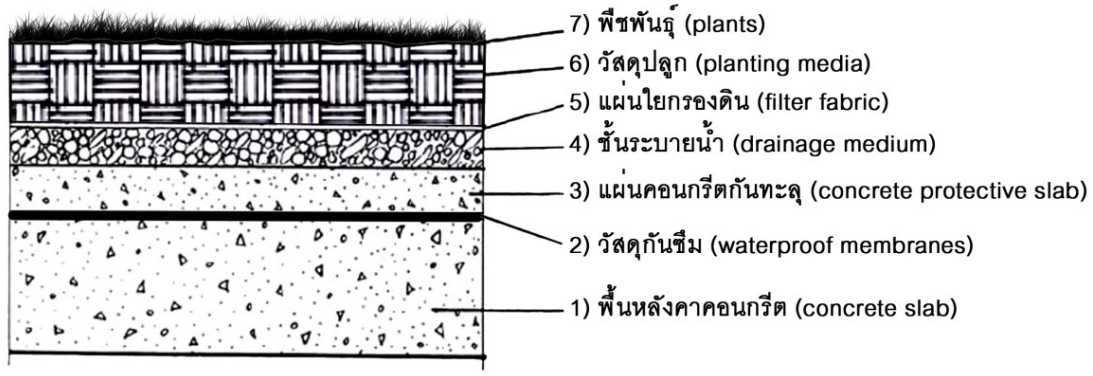
5) แผ่นใยกรองดิน (filter fabric) มีหน้าที่ป้องกันการชะล้างของวัสดุปลูก นิยมใช้แผ่นใยกรองดินแบบตาข่ายมุ้งลวดพลาสติกซ้อนกันสองชั้น มีราคาถูก

6) วัสดุปลูก (planting media) สำหรับงานวิจัยนี้ การปลูกหญ้าเป็นหลังคาเขียว มีการคำนึงถึงน้ำหนักของหลังคาเขียว ดังนั้น ผู้วิจัยจะใช้ความลึกของวัสดุปลูกที่เป็นดิน ที่มีความลึกต่ำที่สุด ที่หญ้าสามารถเจริญเติบโตได้ดี และไม่กระทบกระเทือนต่อโครงสร้าง คือ 0.125 เมตร

7) พืชพันธุ์ (plants) พืชที่จะนำมาปลูกควรมีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา เช่น หญ้า ไม้ดอกและไม้คลุมดิน ไม้พุ่ม และทนทานต่อสภาพอากาศและน้ำท่วมขัง

ภาพที่ 2.7

องค์ประกอบแต่ละชั้นของโครงสร้างหลังคาเขียวสำหรับพื้นที่กรุงเทพมหานคร



ที่มา: พชร เลิศปิติวัฒนา, 2547, น. 119.

2.3 การปลูกพืชโดยใช้วัสดุปลูกทดแทนดิน

การปลูกพืชโดยใช้วัสดุปลูกทดแทนดิน (substrate culture) เป็นการปลูกพืชโดยการใช้วัสดุปลูกชนิดต่าง ๆ ที่เป็นอนินทรียสาร อนินทรียสาร และวัสดุสังเคราะห์ โดยพืชสามารถเจริญเติบโตบนวัสดุปลูกจากการได้รับสารอาหารพืช โดยใช้น้ำผสมกับสารเคมีที่มีธาตุต่าง ๆ ที่พืชต้องการ เปรียบเสมือนกับการให้ปุ๋ยที่ผสมกับน้ำแก่พืชที่ปลูกโดยใช้ดิน วัสดุปลูกทดแทนดินแบ่งเป็น 3 ประเภท มีรายละเอียดดังนี้ (ดิเรก ทองอร่าม, 2546, น. 3-5)

1) วัสดุปลูกที่เป็นอนินทรียสาร สามารถแบ่งได้เป็น

(1.1) วัสดุที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เช่น ทราย กรวด หินภูเขาไฟ (Pumice)

(1.2) วัสดุที่ผ่านขบวนการโดยใช้ความร้อน เช่น ดินเผา ใยหิน (Rock wool) เพอไลท์ (Perlite) เวอมิคูไลท์ (Vermiculite)

(1.3) วัสดุเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรม เช่น เศษอิฐจากการทำอิฐมอญ

2) วัสดุปลูกที่เป็นอินทรียสาร สามารถแบ่งได้เป็น

(2.1) วัสดุที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เช่น ฟางข้าว ขุยและเส้นใยมะพร้าว แกลบและขี้เถ้า เปลือกถั่ว พีท

(2.2) วัสดุเหลือใช้หรือผลพลอยได้จากโรงงานอุตสาหกรรม เช่น ชานอ้อย กากตะกอน จากโรงงานน้ำตาล วัสดุเหลือใช้จากโรงงานกระดาษ

3) วัสดุปลูกที่เป็นวัสดุสังเคราะห์ เช่น เม็ดโฟม แผ่นฟองน้ำ สารดูดความชื้น

การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน (Substrate culture) เป็นการปลูกพืชโดยใช้วัสดุปลูก ซึ่งต่างจากคำว่า ไฮโดรโพนิกส์ (hydroponics) ที่เป็นการปลูกพืชโดยใช้สารละลายธาตุอาหารพืช โดยให้รากพืชสัมผัสกับสารละลายธาตุอาหารโดยตรง ซึ่งไม่จำเป็นต้องใช้วัสดุปลูก

จตุพร ตั้งศิริสกุล (2550) ได้ศึกษาผลกระทบของวัสดุทางการเกษตร อันได้แก่ แกลบและขุยมะพร้าว ที่มีต่อคุณสมบัติต่าง ๆ ของก้อนอิฐดินดิบ ได้แก่ กำลังรับแรงอัด การหดตัว และค่าการนำความร้อน ซึ่งพบว่าแกลบและขุยมะพร้าว มีความสามารถในการเป็นฉนวนกันความร้อน โดยก้อนอิฐที่ผสมแกลบร้อยละ 3 มีค่าการนำความร้อน เท่ากับ 0.7 วัตต์ต่อตารางเมตรเคลวิน และก้อนอิฐที่ผสมขุยมะพร้าว ร้อยละ 9 มีค่าการนำความร้อน เท่ากับ 0.9 วัตต์ต่อตารางเมตรเคลวิน งานวิจัยนี้จึงเน้นถึงวัสดุธรรมชาติ ได้แก่ แกลบสด ขุยมะพร้าว และขี้เถ้าแกลบ และงานวิจัยนี้พิจารณาถึงความคงทนของโครงสร้างของวัสดุปลูกด้วย จึงมีการนำหินภูเขาไฟมาใช้ในงานวิจัย

ซึ่งหินภูเขาไฟไม่มีการยุบตัว ผุพังหรือบุบสลาย นอกจากนี้ยังมีแร่ธาตุตามธรรมชาติ ช่วยทำให้ต้นไม้แข็งแรง ออกดอกสวยงาม อีกทั้งยังมีคุณสมบัติในการเก็บความชื้นได้ดี

สำหรับประเทศไทย การปลูกพืชโดยใช้วัสดุปลูกทดแทนดิน จะนิยมใช้วัสดุปลูกที่เป็นอินทรียสาร เช่น แกลบสด ขี้เถ้าแกลบ ขุยมะพร้าว ทราย ซึ่งเป็นวัสดุปลูกที่สามารถหาได้ในประเทศไทย โดยนำวัสดุมาผสมกัน ในอัตราส่วน 1:1 งานวิจัยนี้ต้องการใช้วัสดุปลูกที่มีคุณสมบัติในการใช้ปลูกพืชทดแทนดินแล้ว ยังมีคุณสมบัติการอุ้มน้ำ ความเป็นฉนวนกันความร้อน ความหนาแน่นต่ำ และน้ำหนักเบา ช่วยลดภาระการรับน้ำหนักของโครงสร้าง อีกทั้งเป็นวัสดุที่หาได้ง่ายในประเทศไทย ดังนั้นวัสดุปลูกที่ใช้ในงานวิจัย ได้แก่ แกลบสด ขี้เถ้าแกลบ ขุยมะพร้าว ทราย และหินภูเขาไฟ โดยมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

2.3.1 <u>แกลบสด</u>

แกลบสด เป็นวัสดุธรรมชาติที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งจากการสีข้าว แกลบที่ได้จากการสีข้าวนั้นมีประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของข้าวเปลือก ประเทศไทยสามารถผลิตข้าวได้เฉลี่ย 20 ล้านตันต่อปี ฉะนั้น จะมีแกลบประมาณ 4 ล้านตันต่อปี แกลบสดมีค่า pH ประมาณ 6-7 ความหนาแน่นรวมเมื่อแห้งต่ำ มีการแลกเปลี่ยนประจุต่ำความพรุนสูง ราคาถูก แต่มีการอุ้มน้ำต่ำ (อิทธิสุนทรนันทกิจ, ม.ป.ป.) ดังภาพที่ 2.8 ส่วนองค์ประกอบทางเคมีของแกลบสด จะแสดงดังตารางที่ 2.2 (Hunt, Dismukes, & Amick, 1984, pp. 1683-1686)

ภาพที่ 2.8

แกลบสด

ตารางที่ 2.2
องค์ประกอบทางเคมีของแกลบสด

องค์ประกอบทางเคมี	เปอร์เซ็นต์ (%)
เถ้า (Ash)	13 - 29
เซลลูโลส (Cellulose)	34 - 44
ลิกนิน (Lignin)	19 - 47
น้ำตาล (Glucose)	17 - 26

ที่มา: Hunt, Dismukes, & Amick, 1984, pp. 1683-1686.

2.3.2 ขี้เถ้าแกลบ

ขี้เถ้าแกลบ เป็นวัสดุปลูกที่ได้จากการนำแกลบไปเผาจะได้ขี้เถ้าแกลบประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ขี้เถ้าแกลบมีค่า pH ประมาณ 7.0-8.5 ซึ่งจะมีความแปรปรวนมากขึ้นอยู่กับอายุของกองขี้เถ้าแกลบ การแลกเปลี่ยนประจุต่ำ ความหนาแน่นรวมเมื่อแห้งต่ำ ความพรุนสูง ความคงทนของโครงสร้างดี มีการสลายตัวน้อยแต่จะมีการอัดตัวบ้างหลังปลูก การอุ้มน้ำสูง ราคาถูก (อิทธิสุนทร นันทกิจ, ม.ป.ป.) ดังภาพที่ 2.9 ส่วนองค์ประกอบทางเคมีของขี้เถ้าแกลบ จะแสดงดังตารางที่ 2.3 (บุรฉัตร ฉัตรวีระ และ พิชัย นิมิตยงสกุล, 2537)

ภาพที่ 2.9
ขี้เถ้าแกลบ

ตารางที่ 2.3
องค์ประกอบทางเคมีของขี้เถ้าแกลบ

องค์ประกอบทางเคมี	เปอร์เซ็นต์ (%)
SiO_2	89.9
Fe_2O_3	1.9
K_2O	1.5
CaO	0.5
Al_2O_3	0.5
MgO	0.2
Na_2O	0.1
Loss on Ignition	4.7

ที่มา: บุรฉัตร ฉัตรวีระ และ พิชัย นิมิตยงสกุล, 2537.

2.3.3 ขุยมะพร้าว

ขุยมะพร้าว มีค่า pH ประมาณ 6-7 และมีการแลกเปลี่ยนประจุสูงเมื่อขุยมะพร้าวผ่านขบวนการสลายตัว ความหนาแน่นรวมเมื่อแห้งต่ำ ความพรุนสูง การอุ้มน้ำสูง ราคาถูก (อิทธิสุนทรนันทกิจ, ม.ป.ป.) ดังภาพที่ 2.10 ส่วนองค์ประกอบทางเคมีของขุยมะพร้าว จะแสดงดังตารางที่ 2.4 (Rehsi, 1988)

ภาพที่ 2.10
ขุยมะพร้าว

ตารางที่ 2.4

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.

2.3.4 หินภูเขาไฟ (Pumice)

หินภูเขาไฟ เป็นหินที่เกิดขึ้นจากการเย็นตัวของหินหลอมเหลวใต้พื้นโลก มีลักษณะคล้ายฟองน้ำ มีฟองก๊าซเล็กๆ อยู่ในเนื้อมากมาย มีน้ำหนักเบา ลอยน้ำได้ หินภูเขาไฟมีคุณสมบัติในการใช้เป็นวัสดุปลูก สามารถอุ้มน้ำและปุ๋ยต่าง ๆ ได้ดี เก็บความชื้นได้ดีและไม่มีปัญหาเกี่ยวกับเชื้อรา มีความคงทนของโครงสร้างดีมาก ดังภาพที่ 2.11

หินภูเขาไฟมีค่า pH ประมาณ 6.5 ไม่มีการแลกเปลี่ยนประจุ ความหนาแน่นรวมเมื่อแห้งต่ำ มีความพรุนสูง สามารถอุ้มน้ำได้ 19 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (อิทธิสุนทร นันทกิจ, ม.ป.ป.) ส่วนองค์ประกอบทางเคมีของหินภูเขาไฟ จะแสดงดังตารางที่ 2.5 (ห้างหุ้นส่วนจำกัด ศรีลาวา, 2551)

ภาพที่ 2.11

หินภูเขาไฟ

ตารางที่ 2.5
องค์ประกอบทางเคมีของหินภูเขาไฟ

องค์ประกอบทางเคมี	เปอร์เซ็นต์ (%)
SiO_2	62.53
Al_2O_3	24.57
CaO	3.88
Fe_2O_3	3.51
Na_2O	1.14
K_2O	0.58
MgO	0.43
MnO_2	0.12
TiO_2	Less than 0.05
Loss on Ignition	2.92

ที่มา: ห้างหุ้นส่วนจำกัด ศรีลาวา, 2551.

2.3.5 ทราย

ทราย เป็นวัสดุที่นำมาใช้เป็นส่วนประกอบในวัสดุปลูก มีความคงทนของโครงสร้างที่ดี มีความพรุนต่ำ ไม่มีการแลกเปลี่ยนประจุ เส้นผ่านศูนย์กลางที่นำมาใช้ประมาณ 0.5-2.0 มิลลิเมตร (อิทธิสุนทร นันทกิจ, ม.ป.ป.) ทรายมีค่าการนำความร้อน 0.33 วัตต์ต่อตารางเมตรเคลวิน ความจุความร้อนจำเพาะ 800 จูลต่อกิโลกรัมเคลวิน และความหนาแน่นประมาณ 1,520 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (ASHRAE, 2005)

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับหลังคาเขียว

2.4.1 Surface heat budget on green roof and high reflection roof for mitigation of urban heat island

ฮิเดกิ ทาเคบายาชิ และมาซากาสึ โมริยามา (Takebayashi & Moriyama, 2007) ได้ศึกษาถึงอุณหภูมิผิว ปริมาณความร้อน อัตราของน้ำในดิน ของหลังคาที่มีหญ้าปกคลุม เปรียบเทียบกับหลังคาที่มีดินเปล่า หลังคาคอนกรีต และหลังคาที่มีค่าการสะท้อนสูงสีขาวและสีเทา เพื่อที่จะลดปัญหาของเกาะแห่งความร้อน จากผลการวิจัย พบว่า

1) อุณหภูมิผิวของหลังคาที่มีหญ้าปกคลุม มีค่าต่ำกว่าหลังคาแบบอื่นเนื่องจากการระเหยของน้ำจากพืช

2) ในเวลากลางวัน ปริมาณการระเหยของน้ำในดินเปล่าจะสูงกว่าหลังคาที่มีหญ้าปกคลุมมาก ส่วนในเวลากลางคืน ปริมาณการระเหยของน้ำในดินเปล่าจะต่ำกว่าหลังคาที่มีหญ้าปกคลุมมากเพียงเล็กน้อย

3) อัตราของน้ำในดิน จะแปรผันตรงกับความลึกของดิน และหลังคาที่มีหญ้าปกคลุมจะมีอัตราของน้ำในดินมากกว่าดินเปล่า

2.4.2 การใช้สวนหลังคาดาดฟ้าเพื่อลดการถ่ายเทความร้อน

ศุภกิจ ยิ้มศรวล (2541) ได้ศึกษาและวิเคราะห์ตัวแปรที่มีผลทำให้อุณหภูมิด้านล่างของหลังคาอาคารลดลง โดยมีการศึกษาอิทธิพลของดิน สภาพความชื้นภายในดิน สภาพผิวดินที่มีหญ้าปกคลุม อิทธิพลจากการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ และสภาพแวดล้อมเหนือพื้นดิน จากผลการวิจัย พบว่า หลังคาที่มีดินปกคลุมมีอุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาอาคาร ต่ำกว่าหลังคาที่ไม่มีดินปกคลุม 0.97 องศาเซลเซียส และอาคารที่ปกคลุมด้วยดินเปียกมีอุณหภูมิที่ผิวด้านล่างหลังคาอาคารต่ำกว่าหลังคาที่มีดินแห้งปกคลุมอยู่ 0.88 องศาเซลเซียส

สรุปผลการวิจัยได้ว่า การใช้ดินปกคลุมหลังคาดาดฟ้าสามารถลดอุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาอาคารได้เนื่องจากอิทธิพลความเย็นจากดินและการเปลี่ยนความร้อนระหว่างหลังคาอาคารกับดิน ดินที่มีความชื้นมากจะมีอุณหภูมิดินคงที่และมีอุณหภูมิต่ำกว่าดินที่มีความชื้นน้อย การมี

สิ่งปกคลุมผิวดิน ทำให้ผิวดินมีความเย็นและมีการเหนี่ยวนำความเย็นลงสู่ดิน ฉะนั้นควรมีสิ่งปกคลุมดินเพื่อทำให้ดินมีความชื้นตลอดเวลา

2.4.3 การเปรียบเทียบศักยภาพของการป้องกันความร้อนระหว่างการใช้สวนหลังคากับระบบหลังคาที่ใช้กันทั่วไป

ณัฏฐิณี นวลสกุล (2545) ได้ศึกษาพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของสวนหลังคาเข้าสู่ภายในอาคาร ทั้งที่ใช้ระบบปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ จากการศึกษา พบว่า ในกรณีปรับอากาศ อุณหภูมิผิวภายในสูงสุดของหลังคาคอนกรีตมีอุณหภูมิ 40.13 องศาเซลเซียส สวนหลังคาหญ้ามีอุณหภูมิ 26.73 องศาเซลเซียส สวนหลังคาพืชคลุมดินลำต้นเตี้ยมีอุณหภูมิ 25.74 องศาเซลเซียส และสวนหลังคาไม้พุ่มสูงมีอุณหภูมิ 25.17 องศาเซลเซียส ส่วนในกรณีไม่ปรับอากาศ อุณหภูมิผิวภายในสูงสุดของหลังคาคอนกรีตมีอุณหภูมิ 39.36 องศาเซลเซียส สวนหลังคาหญ้ามีอุณหภูมิ 30.12 องศาเซลเซียส สวนหลังคาพืชคลุมดินลำต้นเตี้ยมีอุณหภูมิ 29.11 องศาเซลเซียส และสวนหลังคาไม้พุ่มสูงมีอุณหภูมิ 28.11 องศาเซลเซียส

สรุปผลการวิจัยได้ว่า การใช้สวนหลังคาสามารถลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในอาคารได้มากกว่า 15 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบกับหลังคาคอนกรีตเปล่า และลดภาระการทำความเย็นได้อย่างน้อย 89 เปอร์เซ็นต์

2.4.4 การประเมินศักยภาพของต้นไม้ในการลดความร้อนอากาศแวดล้อม

ณัฐวุฒิ ดุษฎี, ชูรัตน์ ธารารักษ์, ศิริชัย หงส์วิทยากร, และ ญาณากร สุทัศนมาลี (ม.ป.ป.) ได้ประเมินศักยภาพของต้นไม้ในการลดความร้อนอากาศแวดล้อม โดยศึกษาการใช้น้ำและร่มเงาของต้นไม้ การใช้น้ำของต้นไม้สามารถประเมินได้จากการทำสมดุลน้ำ ขณะที่น้ำกลายเป็นไอจะดึงความร้อนจากอากาศแวดล้อม และร่มเงาจะช่วยในการดูดซับรังสีดวงอาทิตย์ งานวิจัยนี้ศึกษากับต้นไม้ 3 ประเภทคือ ไม้ยืนต้น ไม้พุ่มและไม้คลุมดิน และไม้ยืนต้นที่แบ่งออกเป็นชนิดใบโปร่ง ชนิดใบทึบ และไม้ผล งานวิจัยนี้ศึกษาหาปริมาณการคายระเหยน้ำของพืชโดยการวัดโดยตรง (Lysimeter) ซึ่งใช้ดินเป็นวัสดุปลูกเท่านั้น

จากผลการศึกษาปริมาณการคายระเหยน้ำของพืชพบว่า ไม้ยืนต้น มีความสามารถในการลดความร้อนเฉลี่ยมากที่สุด (ไม้ยืนต้นชนิดใบทึบ เท่ากับ 131.67 วัตต์ต่อตารางเมตร ไม้ผล

เท่ากับ 130.98 วัตต์ต่อตารางเมตร ไม้ยืนต้นชนิดใบโปร่ง เท่ากับ 109.39 วัตต์ต่อตารางเมตร) มากกว่า ไม้คลุมดินและไม้พุ่ม ซึ่งมีความสามารถในการลดความร้อนเฉลี่ย เท่ากับ 72.72 และ 50.75 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ

2.4.5 <u>การทดลองหาวัสดุปลูกพืชที่เหมาะสมในประเทศไทย</u>

อิทธิสุนทร นันทกิจ (ม.ป.ป.) ได้ศึกษาถึงการทดลองเปรียบเทียบวัสดุชนิดต่าง ๆ โดยใช้วัสดุปลูกที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในต่างประเทศ คือ แท่งฟองน้ำจากประเทศเบลเยียม และใยหิน (Rock wool) จากประเทศเนเธอร์แลนด์ และเปรียบเทียบกับวัสดุปลูกที่สามารถหาได้ในประเทศไทย คือ แกลบสด ขี้เถ้าแกลบ ขุยมะพร้าว ทราย วัสดุผสมระหว่างแกลบสดกับทราย ในอัตราส่วน 1:1 วัสดุผสมระหว่างขี้เถ้าแกลบกับทราย ในอัตราส่วน 1:1 และวัสดุผสมระหว่างขุยมะพร้าวกับทราย ในอัตราส่วน 1:1

ผลการทดลองสรุปว่า วัสดุปลูกผสมและวัสดุปลูกเดี่ยว มีผลทำให้อัตราการเจริญเติบโตของพืชใกล้เคียงกัน ยกเว้นการนำขุยมะพร้าวเดี่ยว ๆ มาปลูก จะทำให้รากพืชแฉะ และทำให้มีการเจริญเติบโตไม่ดี รวมทั้งการใช้ใยหิน จะมีการสลายตัวเร็วอย่างมากเมื่อปลูกเป็นระยะเวลานานประมาณ 1 ปี ซึ่งจะเหลืออยู่ในถุงเพียง 60 เปอร์เซ็นต์

วัสดุปลูกเดี่ยว เช่น แกลบสด จะมีปัญหาการระบายน้ำที่ดีเกินไปในช่วงแรก ๆ การแพร่กระจายน้ำไปยังด้านข้างน้อย การเจริญเติบโตพืชไม่ดี แต่เมื่อเกิดการสลายตัวแล้ว ความสามารถในการอุ้มน้ำจะเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับขุยมะพร้าวที่มีการอุ้มน้ำดีเกินไป ส่วนขี้เถ้าแกลบเป็นวัสดุที่ดีมากชนิดหนึ่ง แต่ก่อนใช้ต้องนำมาแช่ด้วยกรดก่อนเพื่อลด pH ให้เท่ากับ 6

ดังนั้น สำหรับภูมิอากาศสำหรับประเทศไทย ควรใช้วัสดุปลูกที่จำพวกวัสดุที่เป็นอินทรียสารต่าง ๆ ที่สามารถหาได้ในท้องถิ่น เช่น ขี้เถ้าแกลบ ขุยมะพร้าว แกลบสด และทราย