บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในงานศึกษาวิจัย การลดการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคาคอนกรีตเสริมเหล็กโดยการปลูกหญ้าปกคลุมนี้ จำเป็นต้องมีการศึกษาทฤษฎีต่างๆ เพื่อใช้เป็นพื้นฐานในการเข้าใจถึงตัวแปรหรือปัจจัยที่สำคัญในงานวิจัย อีกทั้งยังทำการศึกษางานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องตามที่ได้มีผู้เคยทำวิจัยมาแล้วตามลำดับ ดังนี้

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การถ่ายเทรังสีความร้อนที่มีผลต่ออาคาร

2.2 คุณสมบัติของวัสดุที่มีผลต่อพลังงานในอาคาร

2.3 ลักษณะทางกายภาพของสวนหลังคา

2.4 มูลค่าของการทำสวนหลังคา

2.5 การประมาณการการใช้เครื่องปรับอากาศและการคิดค่าไฟฟ้า

2.6 การคิดค่าความคุ้มในการลงทุนในเชิงเศรษฐศาสตร์

2.7 สถิติที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.8 การเปรียบเทียบศักยภาพของการป้องกันความร้อนระหว่างการใช้สวนหลังคากับระบบหลังคาที่ใช้กันทั่วไป

2.9 การออกแบบสวนหลังคาในกรุงเทพมหานคร

2.10 การใช้สวนหลังคาเพื่อลดการถ่ายเทความร้อน

2.11 การศึกษาเปรียบเทียบการช่วยลดการสูญเสียความร้อน (Thermal losses) ของอาคารซึ่งหลังคาเป็นหลังคา คสล.โดยมีการใส่ฉนวนและใช้หลังคาเขียว (Green Roof) ประกอบกัน กับหลังคา คสล. เปลือย

2.12 การศึกษาเปรียบเทียบ อุณหภูมิระหว่างอุณหภูมิที่ผิวแผ่นวัสดุกันซึม (Membrane) ของหลังคาคสล. กับ อุณหภูมิที่ผิวแผ่นวัสดุกันซึม (Membrane) ของหลังคา คสล. ซึ่งเป็นหลังคาเขียว (Green Roof)

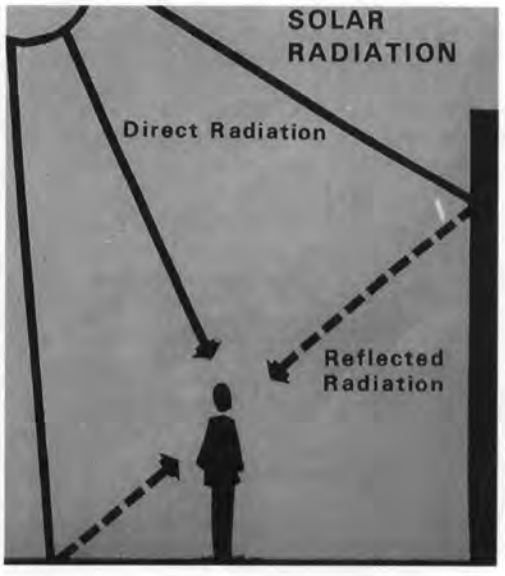
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การถ่ายเทรังสีความร้อนที่มีผลต่ออาคาร

จากการศึกษาของ ธนิต จินดาวณิค (2539) พบว่าการถ่ายเทรังสีความร้อนที่มีผลต่ออาคารสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท ดังนี้

1. รังสีคลื่นสั้นโดยตรงจากดวงอาทิตย์ (Direct Radiation)
2. รังสีคลื่นสั้นที่กระจายจากท้องฟ้า (Diffused Radiation)
3. รังสีคลื่นสั้นที่สะท้อนจากสภาพแวดล้อม (Reflected Radiation)

เมื่อวัสดุได้รับความร้อนจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ วัสดุนั้นๆ จะมีการสะสมความร้อนไว้จนถึงอุณหภูมิระดับหนึ่งก็จะถ่ายเทความร้อนสู่สภาพแวดล้อมโดยรอบที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า เช่นหลังคาเมื่อถูกแสงแดดและมีการเปลี่ยนจากรังสีคลื่นสั้นเป็นรังสีคลื่นยาวแล้วจะมีพลังงานความร้อนเกิดขึ้นที่ผิวหลังคาและมีการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารที่มีอุณหูมิต่ำกว่า



รูปที่ 2.1 แสดงแผ่รังสีของดวงอาทิตย์

ที่มา : Robinette, G., Plant/People/and Enironmental Quality.,U.S. Department of the Interior,National Park Service,Washington, D.C., 1972., pp 69.

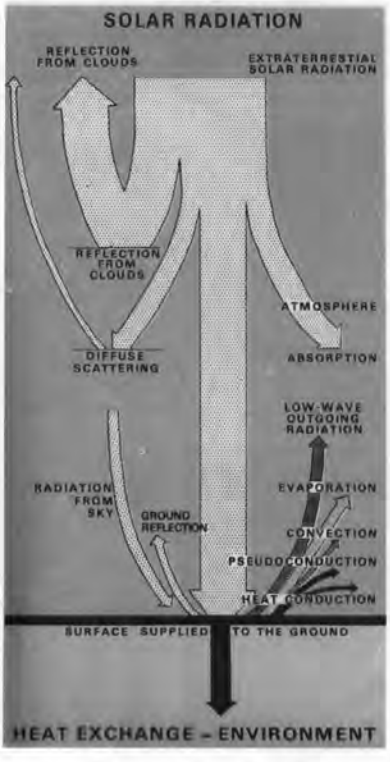
แต่ปริมาณความร้อนที่โลกได้รับจะต้องมีความสมดุลย์กับปริมาณความร้อนที่โลกสูญเสียไปเพื่อให้อุณหภูมิของโลกและชั้นบรรยากาศมีความเหมาะสมต่อสิ่งมีชีวิต ซึ่งการลดปริมาณความร้อนบนผิวโลก มี 3 วิธีดังนี้

1. Long Wave Radiation Heat Exchange คือ การส่งผ่านความร้อนจากผิวโลกที่มีอุณหภูมิสูงกว่าในรูปรังสีคลื่นยาวไปสู่ชั้นบรรยากาศที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า

2. Evaporation คือ การสูญเสียความร้อนเพื่อใช้ในกระบวนการกลายเป็นไอของน้ำ

3. Convection คือ การพาความร้อนเกิดจากการที่อากาศที่ได้รับความร้อนจากผิวโลกจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นและจะลอยตัวขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศและจะคายความร้อนสู่ชั้บรรยากาศที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า

ส่วนในเวลากลางคืน การส่งผ่านความร้อนจะเคลื่อนตัวกลับคืนสู่ท้องฟ้าที่มีอุณหภูมิลดต่ำกว่าพื้นผิวโลกจึงเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนโดยมีการส่งผ่านความร้อนที่สะสมอยู่จากพื้นดินออกสู่ท้องฟ้า โดยพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนนี้มีทั้งการนำความร้อน การพาความร้อน การแผ่รังสีความร้อนและการระเหยของน้ำของพืชคลุมดิน (Geiger, 1965)



รูปที่ 2.2 แสดงการส่งผ่านความร้อนของดวงอาทิตย์มายังผิวโลกในเวลากลางวัน

ที่มา : Robinette, G., Plant/People/and Enironmental Quality.,U.S. Department of the Interior,National Park Service,Washington, D.C., 1972., pp 69.

2.2 คุณสมบัติของวัสดุที่มีผลต่อพลังงานในอาคาร

คุณสมบัติต่างๆของวัสดุต่างๆที่มีผลต่อพลังงานในอาคารนั้นหลักๆ แล้วจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบดังต่อไปนี้ (ASHRAE Handbook Fundamental, 1997) คือ

ค่าการนำความร้อน (thermal conductivity, k) เป็นคุณสมบัติอย่างหนึ่งของวัสดุที่มีความสำคัญมากในการได้รับหรือสูญเสียความร้อนของผนังภายนอกอาคาร เป็นอัตราส่วนการถ่ายเทความร้อนของวัสดุของจำนวนความร้อน Btu/h ส่งผ่านวัสดุ 1 ตร.ฟุต หนา 1 นิ้ว ทำให้อุณหภูมิลดลง 1° F มีหน่วยเป็น Btu/hr ft^2 F หรือ W/m^2K

ความหนาแน่น (density) มีหน่วยเป็น Kg/m^2 โดยปกติวัสดุที่มีคุณสมบัติเป็นฉนวนจะเป็นวัสดุที่มีความหนาแน่นต่ำ วัสดุที่นำความร้อนได้ดีจะมีความหนาแน่นสูง

ค่าความจุความร้อน (specific heat / thermal capacity) มีหน่วยเป็น Joule/Kg คือ ความสามารถในการกักเก็บความร้อนของวัสดุ วัสดุที่มีความจุความร้อนมากเมื่อได้รับความร้อนจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นช้ากว่าวัสดุที่มีความจุความร้อนต่ำ คุณสมบัตินี้จะมีผลต่ออุณหภูมิผิว (surface temperature) และสภาวะน่าสบายของมนุษย์

คุณสมบัติในการหน่วงความร้อน (thermal inertia) คือ การยอมให้ความร้อนผ่านเข้ามาในตัววัตถุช่วงเวลาหนึ่งก่อนที่จะส่งผ่านไป เรียกช่วงเวลานี้ว่า ช่วงเวลาหน่วง(time lag) ซึ่งช่วงเวลานี้จะเพิ่มมากขึ้นตามความหนาของผนัง เช่น อาคารก่ออิฐในสมัยโบราณที่ผนังหนามาก มีมวลมาก สามารถช่วยหน่วงความร้อนได้ในช่วงเวลากลางวันที่อากาศร้อน และจะถ่ายเทความร้อนออกไปในบรรยากาศในช่วงเวลากลางคืน

คุณสมบัติต้านทานความร้อน (thermal resistance) วัสดุแต่ละชนิดมีคุณสมบัติในการต้านทานความร้อนที่แตกต่างกันออกไป โดยพิจารณาจาก

5.1 สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) คือ ความสามารถในการนำความร้อนของวัสดุใดๆ

ตารางที่ 2.1 แสดงตัวอย่างค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) และความหนาแน่นของวัสดุชนิดต่างๆ

วัสดุ	ความหนาแน่น (กก.ม.$^{-3}$)	ค่า k (วัตต์ ม.$^{-1}$ ซ$^{-1}$)
คอนกรีต	2,400	1.442
แผ่นยิบซั่ม	880	0.191
โลหะ		
(a) โลหะผสมของอลูมิเนียม แบบธรรมดา	2,672	211
(b) ทองแดง ที่มีขายเชิงพาณิชย์	8,784	385
(c) เหล็กกล้า	7,840	47.6
โพลีสไตรีน เบ่งขยายตัว	16	0.035
โพลียูลิเทน โฟม	24	0.024
ดินอัดหลวม (ร่วนซุย)	1,200	0.375
ไม้		
(a) ไม้เนื้ออ่อน	608	0.125
(b) ไม้เนื้อแข็ง	720	0.138
(c) ไม้อัด	528	0.138

ที่มา : ธนิต จินดาวณิค. เอกสารประกอบคำสอนวิชา การอนุรักษ์พลังงานในการออกแบบอาคาร 250-1673. หลักสูตรสถาปัตยกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2550.

ตารางที่ 2.2 แสดงตัวอย่างค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) และความหนาของวัสดุชนิดต่างๆ

วัสดุ	ความหนา (ม.)	ค่า k (วัตต์ ม.$^{-1}$ ซ$^{-1}$)
ชั้นระบายน้ำพลาสติกสำเร็จรูป	0.025	0.173
แผ่นใยกรองดิน	0.001	negligible
วัสดุปิดผิว	0.025	0.27
หญ้านวลน้อย	-	-
วัสดุกันน้ำซึมแบบเหลว	-	negligible
ฟิล์มโพลียูรีเทน	0.008	negligible

ที่มา : M.David Egan. Concepts in thermal comfort., PRENTICE-HALL, INC., Englewood Cliffs, New Jersey., 1975., 51-53.

ตารางที่ 2.3 แสดงตัวอย่างค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) และความหนาของขุยมะพร้าว

วัสดุ	ความหนา(ม.)	ค่า k (วัตต์ ม.$^{-1}$ ซ$^{-1}$)
ขุยมะพร้าว	0.20	0.141

ที่มา : ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2551

ตารางที่ 2.4 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) ของดินและขุยมะพร้าว

		Soil Thermal Conductivity ,k (W/mK)	Coconut Coir Thermal Conductivity ,k (W/mK)
WET	(100 - 70 % water content)	1.73 - 2.42	-
MOIST	(< 70 - 40 % water content)	1.29	-
DRY	(< 40 % water content)	0.34 - 0.86	0.14

ที่มา : Walter F.Wagner, Jr. and The Editors of Architectural Record Magazine. Energy – Efficient Building.(New York : Mcgraw-Hill Book Company. 1980)

5.2 ความนำความร้อน (C)คือ อัตราส่วนระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่อความหนาของวัสดุ , C= K / ความหนาของวัสดุ

ความต้านทานความร้อน (R) คือ ส่วนกลับของค่าความนำความร้อน, R= 1/ C จากสมการข้างต้น ค่าความต้านทานความร้อนของวัสดุแปรผันตรงกับความหนาของวัสดุ แต่แปรผกผันกับค่าคุณสมบัติในการเป็นตัวนำความร้อน (thermal conductivity) หากวัสดุใดมีค่าความต้านทานความร้อนสูงแสดงว่ามีคุณสมบัติเป็นฉนวนได้ดี

ตารางที่ 2.5 แสดงค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศที่ผิวผนังและหลังคา

ชนิดของผิววัสดุ	**ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศ (ม.^{2}ซ วัตต์ $^{-1}$)**
ก. กรณีของผนัง	
ก.1 ความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศที่ผิวผนังด้านใน (R_i)	
ก.1.1 กรณีที่ผิวมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง	0.120
ก.1.2 กรณีที่ผิวมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ	0.299
ก.2 ความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศที่ผิวผนังด้านนอก (R_o) (ผิวมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง)	0.044
ข. กรณีของหลังคา	
ข.1 ความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศที่ผิวด้านในของหลังคา (R_i)	
ข.1.1 กรณีที่ผิวมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง	
ข.1.1.1 หลังคาราบ	0.162
ข.1.1.2 หลังคาเอียงทำมุม 22.5° กับแนวระดับ	0.148
ข.1.1.3 หลังคาเอียงทำมุม 45° กับแนวระดับ	0.133
ข.1.2 กรณีที่ผิวมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ	
ข.1.2.1 หลังคาราบ	0.801
ข.1.2.2 หลังคาเอียงทำมุม 22.5° กับแนวระดับ	0.595
ข.1.2.3 หลังคาเอียงทำมุม 45° กับแนวระดับ	0.391
ข. 2 ความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศที่ผิวผนังด้านนอกของหลังคา (R_o) (ผิวมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูงและเอียงทำมุมใดๆ)	0.055

ที่มา : ธนิต จินดาวณิค. เอกสารประกอบคำสอนวิชา การอนุรักษ์พลังงานในการออกแบบอาคาร 250-1673. หลักสูตรสถาปัตยกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2550.

ตารางที่ 2.6 แสดงค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศในช่องว่างผนังหรือหลังคา

ชนิดของช่องว่างอากาศ	ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศ ($ม.^2ซ$ วัตต์ $^{-1}$)		
	5 มม.	20 มม.	100 มม.
ก. กรณีช่องว่างอากาศในผนัง			
ก.1 ช่องว่างอากาศที่มีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง	0.011	0.148	0.160
ก.2 ช่องว่างอากาศที่มีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ	0.250	0.578	0.606
ข. กรณีช่องว่างอากาศในหลังคา			
ข.1 ช่องว่างอากาศที่มีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง			
ข.1.1 ช่องว่างอากาศแนวราบ	0.110	0.148	0.174
ข.1.2 ช่องว่างอากาศเอียงทำมุม 22.5° กับแนวระดับ	0.110	0.148	0.165
ข.1.3 ช่องว่างอากาศเอียงทำมุม 45° กับแนวระดับ	0.110	0.148	0.158
ข.2 ช่องว่างอากาศที่มีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ			
ข.2.1 ช่องว่างอากาศแนวราบ	0.250	0.572	1.423
ข.2.2 ช่องว่างอากาศเอียงทำมุม 22.5° กับแนวระดับ	0.250	0.571	1.095
ข.2.3 ช่องว่างอากาศเอียงทำมุม 45° กับแนวระดับ	0.250	0.570	0.768
ค. กรณีช่องว่างอากาศในเพดาน			
ค.1 ช่องว่างอากาศที่มีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง		0.458	
ค.2 ช่องว่างอากาศที่มีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ		1.356	

ที่มา : ธนิต จินดาวณิค. เอกสารประกอบคำสอนวิชา การอนุรักษ์พลังงานในการออกแบบอาคาร 250-1673. หลักสูตรสถาปัตยกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2550.

5.4 วัสดุประเภทที่ทำหน้าที่เป็นฉนวน เป็นวัสดุที่มีน้ำหนักเบา มีความหนาแน่นน้อย ประกอบด้วยโพรงอากาศเล็กๆเป็นจำนวนมาก โดยโพรงอากาศเหล่านี้จะดักความร้อนให้อยู่ภายในโพรงอากาศทำให้ความร้อนถ่ายเทให้อาคารน้อยลง

5.5 วัสดุประเภทที่มีคุณสมบัติต้านการแผ่รังสีความร้อน หรือสะท้อนรังสีความร้อนกลับ เป็นวัสดุผิวมันวาวจากคุณสมบัติของวัสดุดังกล่าวข้างต้น เห็นได้ว่า แต่ละคุณสมบัติของวัสดุมีอิทธิพลต่อการถ่ายเทความร้อนของเปลือกอาคาร ทำให้เกิดภาระการทำความเย็นและส่งผลต่ออุณหภูมิอากาศภายในอาคารในช่วงเวลาต่างๆ

5.6 การประเมินหาค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการนำ (Conduction heat gain) ผ่านเปลือกอาคาร คำนวณหาได้จากสูตร $q = U \times A \times TD_{eq}$

เมื่อ q = ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการนำผ่านเปลือกอาคาร

U = 1 / R รวม ($W / m^2 {}^oC$)

A = พื้นที่ผิววัดเป็น (m^2) ตั้งฉากกับทิศทางที่ความร้อนเดินทาง

TD_{eq} = ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (temperature different equivalent) ระหว่างภายนอกและภายในอาคาร ซึ่งรวมถึงผลการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของหลังคาส่วนทึบ โดยมีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส ($^\circ C$)

ตารางที่ 2.7 แสดงความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่าของหลังคา

มวลของหลังคา (กก.ม.$^{-2}$)	ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่าของหลังคา ระดับค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ (α)			
	0.1 <0-0.2>	0.3 <0.2-0.4>	0.5 <0.4-0.6>	0.6 และมากกว่า <0.6-1.0>
0 - 50	20	24	28	32
50 - 200	16	20	24	28
เกินกว่า 200	12	16	20	24

ที่มา : ธนิต จินดาวณิค. เอกสารประกอบคำสอนวิชา การอนุรักษ์พลังงานในการออกแบบอาคาร 250-1673. หลักสูตรสถาปัตยกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2550.

ตารางที่ 2.8 แสดงรายการวัสดุแยกตามระดับค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์

ประเภทผิววัสดุที่ใช้	วัสดุ
1. วัสดุที่มีผิวสะท้อนแสง [0 < α < 0.2]	- ผิววัสดุที่ฉาบด้วยดีบุก - แผ่นอลูมิเนียม - แผ่นสะท้อนแสงทำด้วยอลูมิเนียมขัดมัน
2. วัสดุที่มีผิวอ่อน [0.2 < α < 0.4]	- อิฐเคลือบเป็นมันขาว - เหล็กชุบสังกะสีทาสีขาว
3. วัสดุที่มีผิวสีปานกลาง [0.4 < α < 0.6]	- วัสดุที่ทาอลูมิเนียม - หลังคาประกอบขึ้นรูปสีขาว - อิฐสีเหลืองอ่อน - หินอ่อนสีขาว - กรวดล้างสีขาว
4. วัสดุที่มีผิวสีค่อนข้างเข้ม [0.6 < α < 0.8]	- คอนกรีตไม่ทาสี - ไม้ผิวเรียบ - แผ่นซีเมนต์แอสเบสตอส - หินล้างสีเทา
5. วัสดุที่มีผิวสีค่อนข้างเข้ม [0.8 < α <1.0]	- วัสดุที่ลาดผิวด้วยยางมะตอย - คอนกรีตสีดำ

α หมายถึง ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์

ที่มา : ธนิต จินดาวณิค. เอกสารประกอบคำสอนวิชา การอนุรักษ์พลังงานในการออกแบบอาคาร 250-1673. หลักสูตรสถาปัตยกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2550.

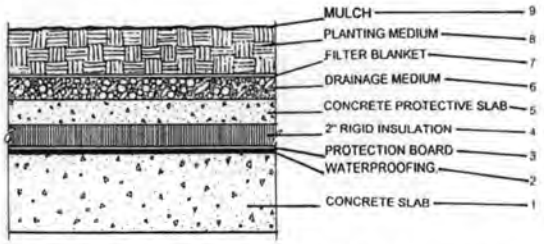
2.3 ลักษณะทางกายภาพของหลังคาเขียว

หลังคาเขียว หรือ green roof นั้นโดยทั่วไปแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ (Christopher G.Wark and Wendy W.Wark, 2003) คือ

1. สวนหลังคาแบบที่ใช้งาน(intensive green roof) คือ หลังคาเขียวที่มีความลึกของชั้นดินและวัสดุต่างๆรวม 30 ซม.ขึ้นไป โดยทั่วไปจะนิยมปลูกไม้ต้น(Tree)เพื่อให้ความร่มรื่นและสามารถเข้าไปใช้พักผ่อนได้ โดยทั่วไปจะนิยมเรียกว่าสวนหลังคา (roof garden) ซึ่งจะมีค่าก่อสร้างที่แพงและเสียค่าบำรุงรักษาตามขนาดของสวน น้ำหนักต่อ ตร.ม. มาก ขึ้นอยู่กับพืชพรรณและความหนาของชั้นวัสดุปลูกและอื่นๆ การก่อสร้างควรคำนวณการรับน้ำหนักโครงสร้างเผื่อเรื่องพวกนี้ไว้แล้วก่อนการทำ

2. สวนหลังคาแบบไม่ใช้งาน(extensive green roof) คือ หลังคาเขียวที่มีความลึกของชั้นดินและวัสดุต่างๆรวมไม่เกิน 20-30 ซม. ปกติจะนิยมปลูกพืชคลุมดิน หรือพืชลำต้นเตี้ยๆ (ขึ้นอยู่กับการเลือกใช้) บางที่นิยมปลูกพืชสวนครัวและพืชสมุนไพร สามารถนำไปใช้เป็นอาหารได้ ไม่จำเป็นต้องคำนวณเผื่อเรื่องของโครงสร้างเพราะโครงสร้างของหลังคาเขียวแบบนี้มีน้ำหนักเบา ก่อสร้างง่าย การบำรุงรักษาต่ำ หลังคาเขียวแบบนี้มีการเรียกหลายอย่าง เช่น อีโครูฟ(eco roof) เป็นแบบที่ทางอเมริกานิยมเรียก บราวน์รูฟ(brown roof) คือ สวนหลังคาชนิดหนึ่งที่ไม่มีการปลูกพืช แต่ว่ามีชั้นดินอยู่โดยที่ปล่อยให้พืชขึ้นเองตามธรรมชาติ

การก่อสร้างสวนหลังคานั้น Charles W.Harris, Nicholas T.Dine (1995) และ Theodore Osmundson (1999) ได้อธิบายสอดคล้องกันว่าหลักการเบื้องต้นของการก่อสร้างสวนหลังคา คือ ต้องมีความมั่นคงแข็งแรง (integrity) และต้องป้องกันน้ำซึม (waterproofing) ดังนั้นลักษณะการก่อสร้างสวนหลังคาจึงมีความแตกต่างกับสวนระดับพื้นดินทั่วไป คือ จะมีชั้น (layer) ขององค์ประกอบที่ทำหน้าที่แตกต่างกันหลายชั้นซึ่งสามารถแบ่งเป็น 9 ชั้นหลัก อันประกอบไปด้วย



รูปที่ 2.3 แสดงองค์ประกอบชั้นต่างๆ จำนวน 9 ชั้นของสวนหลังคา

ที่มา : Theodore Osmundson. Roof Garden History Design and Construction. New York: W.W. Norton & Company, 1999., pp 153.

1. พื้นหลังคาคอนกรีต (concrete slab) พื้นหลังคาคอนกรีตเป็นส่วนที่ใช้รองรับน้ำหนักทั้งหมดของสวนหลังคา ตามหลักการแล้วอาคารโดยปกติทั่วไปนั้น หลังคาคอนกรีต หรือ หลังคาดาดฟ้านั้นสามารถรองรับน้ำหนักได้ที่ 200 - 400 กิโลกรัม/ตารางเมตร (ยอดเยี่ยม เทพธรานนท์, 2521:144) แต่หากเป็นอาคารที่ต้องการมีสวนหลังคาในลักษณะต่างๆแล้วนั้น โครงสร้างของหลังคาควรออกแบบให้รับน้ำหนักอยู่ที่ 1,220 – 1,465 กิโลกรัม/ตารางเมตร หรือมากกว่านั้น (พชร เลิศปิติวัฒา, 2547:10)

2. วัสดุกันน้ำซึม (waterproof membranes) วัสดุกันน้ำซึมเป็นพื้นผิวชั้นที่มีความสำคัญที่มีหน้าที่ป้องกันน้ำจากสวนหลังคาซึมเข้าสู่ภายในอาคาร โดยมีข้อกำหนดสำคัญ คือ วัสดุกันน้ำซึมต้องมีความทนทาน สามารถต้านการกระแทกจากเครื่องมือหรืออุปกรณ์ต่างๆได้ดี ไม่เปื่อยหรือฉีกขาดง่าย ต้องมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน สามารถป้องกันรังสีอัลตร้าไวโอเลต ทนสภาพการแปรเปลี่ยนของอุณหภูมิ ยืดหยุ่น รวมทั้งต้องทนต่อการทำลายของแมลงและสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กด้วย (Theodore Osmundson , 1999:157) ทั้งนี้วัสดุกันซึมนั้นสามารถแบ่งเป็น 3 ประเภท (พชร เลิศปิติวัฒา, 2547:12) คือ

2.1 วัสดุกันน้ำซึมแบบบิลท์อัพ (built – up roofs) มีลักษณะเป็นแอสฟัลท์แผ่นบางซ้อนกันเหมือนแซนวิชแต่ปัจจุบันถูกปรับเปลี่ยนเป็นใยแก้ว (glass fiber) แทนซึ่งสามารถทนทานต่อการสึกกร่อนได้ดีกว่า ปัจจุบันยังคงมีการใช้งานอยู่แต่ไม่ค่อยเป็นที่นิยมนัก

2.2 วัสดุกันน้ำซึมแบบแผ่น (single-ply roof membranes) มีลักษณะเป็นแผ่นยางหรือแผ่นพลาสติกสังเคราะห์ โดยมีความสามารถในการป้องกันการทะลุทะลวงของรากพืชได้ มีความทนทานมากกว่าวัสดุกันน้ำซึม แบบบิลท์อัพ (built – up roofs) และนอกจากนี้นั้นยังสามารถป้องกันการเสื่อมสภาพจากรังสีอัลตราไวโอเลตได้อีกด้วย

2.3 วัสดุกันน้ำซึมแบบเหลว (fluid – applied membranes) ถูกพัฒนาขึ้นมาจากวัสดุกันน้ำซึมแบบแผ่น (single-ply roof membranes) ซึ่งวัสดุกันน้ำซึมแบบเหลวนี้นั้นจะใช้วิธีติดตั้งด้วยการพ่น (spray) หรือ ทา (paint) รูปแบบการติดตั้งวัสดุกันน้ำซึมแบบเหลวนี้จะขจัดปัญหาในเรื่องของรอยต่อ(joints) หรือพื้นที่ที่ยุ่งยาก และสามารถขจัดปัญหาการซึมของน้ำเข้าสู่รอยต่อระหว่างโครงสร้างแนวนอนกับแนวตั้งซึ่งปัจจุบันนิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย

3. แผ่นกันทะลุ (protection board) แผ่นกันทะลุเป็นวัสดุป้องกันน้ำซึมจากความเสียหายระหว่างการก่อสร้างจากเครื่องไม้เครื่องมือสวน อุปกรณ์ซ่อมแซมและป้องกันการแทรกทะลุของรากพืช (invasive roots) สู่ชั้นวัสดุกันน้ำซึม การติดตั้งแผ่นกันทะลุนั้นจะวางบนวัสดุกันน้ำซึม แผ่นกันทะลุนี้ทางยุโรปจะใช้เป็นฟิล์มโพลียูรีเทน (polyurethane film) หนา

ประมาณ 8 มิลลิเมตร โดยจะมีประสิทธิภาพกันทะลุเป็นอย่างดีพร้อมทั้งจะไม่ยึดติดแน่นกับเนื้อวัสดุกันน้ำซึมเพื่อสามารถถอดออกซ่อมแซมได้ (Theodore Osmundson , 1999:161)

4. ฉนวน (insulation) หลังคาเป็นส่วนแรกที่ได้รับความร้อน ซึ่งพลังงานความร้อนจะถูกนำและถ่ายเทจากที่ที่ร้อนกว่าไปสู่ที่ที่เย็นกว่า ดังนั้นฉนวนจึงเป็นวัสดุซึ่งช่วยทำหน้าที่กีดขวางการเคลื่อนตัวของความร้อนจากภายนอกหลังคาอาคารที่มีอุณหภูมิที่สูงกว่าเข้าสู่พื้นที่ภายในอาคารที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ซึ่งจะทำให้ประหยัดพลังงานของเครื่องทำความเย็นอีกด้วย ความหนาของฉนวนนั้นชั้นฉนวนที่ดีควรอยู่ที่ 5 เซนติเมตรขึ้นไป เป็นพวกโฟมโพลีสไตรีน (polystyrene foam) ซึ่งมีน้ำหนักเบา ขนาดของแผ่นประมาณ 1.20 – 2.50 เมตร ซึ่งเป็นขนาดที่ง่ายต่อการจัดการตัดได้ลงตัวรวมทั้งมีคุณสมบัติสามารถต่อต้านความชื้นและมีความแข็งแรงไม่บิดงอง่ายอีกด้วย (Theodore Osmundson , 1999:162)

5. แผ่นคอนกรีตกันทะลุ (concrete protective slab) แผ่นคอนกรีตกันทะลุมีหน้าที่เป็นตัวขวางกั้นป้องกันวัสดุชั้นระบายน้ำประเภท เศษหิน เศษอิฐ ไม่ให้เข้ามาปนกับวัสดุชั้นล่างๆ ซึ่งอาจมีผลทำให้วัสดุชั้นล่างๆ ฉีกขาดเสียหายได้ รวมทั้งช่วยป้องกันการแทรกทะลุของรากพืชสู่ชั้นล่างๆ อีกด้วย แผ่นคอนกรีตกันทะลุนี้มักหล่อจากคอนกรีตให้เป็นแผ่นผิวเรียบมีลักษณะหนาประมาณ 6.5 – 10 เซนติเมตร มีความลาดเอียง (slope) เล็กน้อยประมาณ 2 เซนติเมตร/เมตร เพื่อการระบายน้ำสามารถไหลไปยังจุดระบายน้ำ (drainage) แผ่นคอนกรีตกันทะลุนี้อาจมีการแตกร้าวได้ในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิมากๆ แต่อย่างไรก็ตาม แผ่นคอนกรีตกันทะลุนี้จะถูกปกคลุมด้วย ดินปลูก เศษพืช พืชพรรณ ซึ่งช่วยทำให้แผ่นคอนกรีตกันทะลุนี้ไม่ค่อยได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิมากหนัก (Theodore Osmundson , 1999:162)

6. ชั้นระบายน้ำ (drainage medium) ชั้นระบายน้ำเป็นชั้นของวัสดุที่ทำหน้าที่ช่วยระบายน้ำ ชั้นระบายน้ำนั้นประกอบด้วย ก้อนกรวด เศษหินแตก แต่ในปัจจุบันนี้เริ่มมีการผลิตวัสดุระบายน้ำสังเคราะห์ที่เรียกว่า กลาสเซลล์ (grass-cell) หรือ เซลล์ระบายน้ำ (drainage-cell) เข้ามาทดแทนชั้นระบายน้ำแบบเดิม (Charles W.Harris, Nicholas T.Dine, 1995) ซึ่งชั้นระบายน้ำที่ทำจากพลาสติกนั้นจะมีคุณสมบัติแข็งแรง ไม่เปราะแตกง่าย สามารถรับน้ำหนักจากด้านบน เช่น ดิน พืชพรรณ ได้ดี โดยชั้นระบายน้ำที่ทำจากพลาสติกนั้นมีลักษณะเป็นแผ่นขนาดประมาณ 30x30 เซนติเมตร หนาตั้งแต่ 2.5 เซนติเมตร ขึ้นไป เป็นต้น (http://www.waterrecyclesolutions.com)

7. แผ่นใยกรองดิน (filter fabric) แผ่นใยกรองดินนั้นเป็นผืนผ้าใยสังเคราะห์ซึ่งจะทับอยู่บนส่วนบนของชั้นระบายน้ำ โดยแผ่นใยกรองดินนี้ จะมีรูพรุนขนาดเล็กเป็นจำนวน

มากที่ทำหน้าที่ให้น้ำไหลผ่าน แต่สามารถป้องกันเศษผงเศษดินไม่ให้สามารถไหลผ่านไปได้ ดังนั้นแผ่นใยกรองดินนี้จึงมีส่วนช่วยที่ทำให้ท่อระบายน้ำของสวนหลังคาปราศจากการอุดตันจากเศษดินหรือเศษวัสดุต่างๆ คุณสมบัติที่ดีของแผ่นใยกรองดิน คือ มีน้ำหนักเบา ต้านทานรังสีอัลตราไวโอเลตได้ดี มีความแข็งแรงไม่ฉีกขาดง่าย รวมทั้งไม่เน่าเปื่อยอีกด้วย (Theodore Osmundson , 1999:165-166)

8. วัสดุปลูก (soil-planting media) วัสดุปลูกเป็นแหล่งให้พืชพรรณได้ยึดเกาะและเป็นแหล่งธาตุอาหารเพื่อการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งวัสดุปลูกที่เหมาะสมกับงานสวนหลังคานั้นควรมีคุณลักษณะคือ น้ำหนักไม่มากเกินไป มีความสามารถในการระบายน้ำได้ดี รักษาความชื้นได้ดี และสามารถยึดธาตุอาหารได้ดี (Theodore Osmundson , 1999:170-179)

ในการศึกษาครั้งนี้จะทดลองว่าการลดการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคาคอนกรีตเสริมเหล็กโดยการปลูกหญ้าปกคลุมสามารถที่จะช่วยลดอุณหภูมิของหลังคาและอุณหภูมิภายในห้องให้ลดลงได้ดีเพียงใดนั้นจะต้องทำการศึกษาด้วยว่าวัสดุปลูกมีชนิดใดและมีลักษณะเป็นอย่างไรบ้างเพื่อจะได้พิจารณาได้ว่า วัสดุปลูกชนิดใด ที่จะเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการศึกษา โดยชนิดของวัสดุปลูกพืชนั้นสามารถจำแนกออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ ดังต่อไปนี้ คือ 1. ดิน (Soil) 2. วัสดุปลูก (Substrate culture) (อิทธิสุนทร นันทกิจ, 2551)

1. ดิน(Soil) คือ วัตถุธรรมชาติที่เกิดจากการแปรสภาพทางกายภาพและทางเคมีของหิน และแร่ธาตุต่าง ๆ รวมตัวกับอินทรียวัตถุ ที่สลายตัวจากซากพืชและซากสัตว์ ทั้งนี้ประเภทของดินที่สามารถปลูกพืชได้นั้นอาจแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภท ได้แก่

1.1 ดินเหนียว (Clay) คือ ดินที่มีเนื้อละเอียดที่สุด ยึดหยุ่นเมื่อเปียกน้ำเหนียวติดมือ ปั้นเป็นก้อนหรือคลึงเป็นเส้นยาวได้ พังทลายได้ยาก การอุ้มน้ำดี จับยึดและแลกเปลี่ยนธาตุอาหารพืชได้ค่อนข้างสูงจึงมีธาตุอาหารพืชอยู่มาก เหมาะที่จะใช้ปลูกข้าวนาดำเพราะเก็บน้ำได้นาน

1.2 ดินทราย (Sand) เป็นดินที่เกาะตัวกันไม่แน่น ระบายน้ำและอากาศได้ดีมาก อุ้มน้ำได้น้อย พังทลายง่าย มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำเพราะความสามารถในการจับยึดธาตุอาหารมีน้อย พืชที่ขึ้นอยู่ในบริเวณดินทรายจึงขาดน้ำและธาตุอาหารได้ง่าย

1.3 ดินร่วน (Loam) คือ ดินที่มีเนื้อค่อนข้างละเอียด นุ่มมือ ยึดหยุ่นพอควร ระบายน้ำได้ดีปานกลาง มีแร่ธาตุอาหารพืชมากกว่าดินทราย เหมาะสำหรับใช้เพาะปลูก ดินร่วนที่แท้จริงมักไม่ค่อยพบในธรรมชาติ แต่จะพบพวกที่มีเนื้อดินใกล้เคียงเสียเป็นส่วนมาก

1.4 ดินปลูก (Planting media) คือ การที่ใช้ดินร่วนผสมเปลือกถั่ว ขุยมะพร้าว ทราย เพราะสามารถเป็นแหล่งธาตุอาหารและยึดเกาะของต้นพืชได้ ระบายน้ำได้ดี ราคาถูกสามารถหาได้ง่าย และนอกจากนี้แล้วดินปลูกนั้นเป็นดินที่นิยมใช้สำหรับสวนหลังคาในกรุงเทพมหานครด้วย(พชร เลิศปิติวัฒนา, 2547)

ตารางที่ 2.9 แสดงระดับความชื้นของดิน

ระดับความชื้นในดิน	ความหมาย
100%	ดินอิ่มตัวด้วยน้ำ
<100% - 75%	ความชื้นมากเหมาะกับการปลูกพืชที่ต้องการความชื้นสูง
<75% - 40 %	ความชื้นเหมาะสมกับการปลูกพืชโดยทั่วไป, เป็นระดับความชื้นที่เป็นประโยชน์ต่อพืช
<40% - 20%	ความชื้นต่ำแต่พืชประเภท วัชพืชหรือหญ้าบางชนิด ยังสามารถทนได้
<20%	ความชื้นต่ำมาก ควรให้น้ำแก่พืช ไม่ว่ากรณีใดๆ, ดินแห้ง

ที่มา : ดำริ ถาวรมาศ. นักวิชาการเกษตร 8(ปฐพีวิทยา). กรมวิชาการเกษตร. สัมภาษณ์, 7 ธันวาคม 2551.

ตารางที่ 2.10 แสดงความลึกของดินปลูกพืชแต่ละประเภทสำหรับงานสวนหลังคา

งานปลูก	ความลึกต่ำสุดของดินปลูก
สนามหญ้า	20 - 30 เซนติเมตร
ไม้ดอกและไม้คลุมดิน	25 - 30 เซนติเมตร
ไม้พุ่ม	60 - 75 เซนติเมตร
ไม้ยืนต้นขนาดเล็ก	75 - 120 เซนติเมตร
ไม้ยืนต้นขนาดใหญ่	150 - 180 เซนติเมตร

ที่มา : เดชา บุญค้ำ. งานภูมิทัศน์หลังคา. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540.

2. วัสดุปลูก (Substrate culture)

วัสดุปลูก(Substrate culture)แบ่งออกเป็น 4 ประเภท ดังต่อไปนี้ คือ

2.1 วัสดุปลูกที่พบในธรรมชาติซึ่งเป็นอนินทรีย์สาร ได้แก่ หินภูเขาไฟ, ทรายหยาบ

2.2 วัสดุปลูกที่ผ่านขบวนการทางความร้อน ได้แก่ เม็ดดินเผา (Expanded clay), ใยหิน (Rock wool), เพอไลท์ (Perlite), เวอมิคูไลท์ (Vermiculite), เศษอิฐมอญหัก และฟองน้ำอัดแท่ง

2.3 วัสดุปลูกซึ่งได้จากธรรมชาติที่เป็นอินทรีย์สาร คือ พีท (Peat), เปลือกถั่ว

2.4 วัสดุปลูกที่เป็นสารอินทรีย์ที่เป็นผลพลอยได้จากโรงงานอุตสาหกรรม ได้แก่ ขี้เลื่อย, แกลบสด, ขี้เถ้าแกลบ และขุยมะพร้าว

ตารางที่ 2.11 แสดงข้อดีของวัสดุปลูกแต่ละประเภท

วัสดุปลูก	ข้อดี
วัสดุปลูกที่พบในธรรมชาติซึ่งเป็นอนินทรีย์สาร	ราคาถูก
วัสดุปลูกที่ผ่านขบวนการทางความร้อน	มีการระบายอากาศดี
วัสดุปลูกซึ่งได้จากธรรมชาติที่เป็นอินทรีย์สาร	เหมาะกับการเพาะชำกล้าไม้
วัสดุปลูกที่เป็นสารอินทรีย์ที่เป็นผลพลอยได้จากโรงงานอุตสาหกรรม	ราคาถูก, น้ำหนักเบา, อุ้มน้ำดี

ที่มา : อิทธิสุนทร นันทกิจ. การปลูกพืชในวัสดุปลูก (Substrate culture)[Online]. 2551. แหล่งที่มา: http://www.kmitl.ac.th/hydro/Substratdoc.htm[2551, กันยายน 29]

ตารางที่ 2.12 แสดงข้อเสียของวัสดุปลูกแต่ละประเภท

วัสดุปลูก	ข้อเสีย
วัสดุปลูกที่พบในธรรมชาติซึ่งเป็นอนินทรีย์สาร	อุ้มน้ำได้น้อย, มีน้ำหนักมาก
วัสดุปลูกที่ผ่านขบวนการทางความร้อน	อุ้มน้ำได้น้อย, ราคาแพง
วัสดุปลูกซึ่งได้จากธรรมชาติที่เป็นอินทรีย์สาร	องค์ประกอบไม่แน่นอน
วัสดุปลูกที่เป็นสารอินทรีย์ที่เป็นผลพลอยได้จากโรงงานอุตสาหกรรม	การอุ้มน้ำดีมากจนอาจมากเกินไป

ที่มา : อิทธิสุนทร นันทกิจ. การปลูกพืชในวัสดุปลูก (Substrate culture)[Online]. 2551. แหล่งที่มา: http://www.kmitl.ac.th/hydro/Substratdoc.htm[2551, กันยายน 29]

9. วัสดุปิดผิว (top dressing or mulch) วัสดุปิดผิวนี้เป็นวัสดุชั้นบนสุดก่อนที่จะเป็นพืชพรรณ โดยปกติแล้ววัสดุปิดผิวมีความหนาโดยประมาณ 2.5 เซนติเมตร ซึ่งช่วยรักษาความชื้นไว้ในดิน ตลอดจนสามารถสร้างความรู้สึกเป็นธรรมชาติมากขึ้นให้กับสวนหลังคา วัสดุปิดผิวนี้มักจะเป็นพวกเปลือกไม้หรือเศษใบไม้ หากนานวันไปวัสดุปิดผิวนี้จะมีการเน่าเปื่อยลงซึ่งสามารถช่วยชดชยการสูญเสียของชั้นดินปลูกที่อยู่ชั้นล่างได้ (Theodore Osmundson , 1999:180)

ทั้งนี้ทั้งนั้นแล้วสวนหลังคา หากไม่มีพืชพรรณต่างๆมาประกอบอยู่ด้วยก็มิอาจเป็นสวนหลังคาได้ดังนั้นจึงต้องมีการแบ่งประเภทของพืชพรรณด้วยจึงจะสามารถจำแนกลักษณะของพืชพรรณที่จะนำมาใช้กับสวนหลังคาได้อย่างเหมาะสม การจำแนกประเภทของพืชพรรณที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางนั้น จะจำแนกตามลักษณะนิสัยในการเจริญเติบโตของพืช ในส่วนของลำต้นและทรงพุ่มซึ่งจะเป็นส่วนที่เห็นความแตกต่างได้ชัดเจนที่สุดของพืชพรรณ (อังสนา บุณโยภาส, 2545: 6) ซึ่งการจำแนกนี้แบ่งพืชพรรณออกได้เป็น 4 ประเภท คือ

ไม้ยืนต้น (tree) หมายถึง ไม้ยืนต้นที่มีลำต้นแข็งแรง แตกกิ่งก้านสาขาในระดับที่สูงจากพื้นดินค่อนข้างมาก โดยปกติแล้วจะมีลำต้น(trunk) เพียงต้นเดียว ไม้ยืนต้นจะช่วยให้ร่มเงาแก่พื้นที่นั้นๆ ช่วยบังสายตาและใช้ในการควบคุมหรือบังคับทิศทางลมได้

ไม้พุ่ม (shrub) หมายถึง ไม้ที่มีลำต้นแข็งแรง มักจะมีลำต้นขนาดเล็กหลายๆ ลำแตกกิ่งก้านสาขาในระดับที่ใกล้ผิวดินไม่สูงเหมือนไม้ยืนต้น ส่วนใหญ่เป็นพวกที่มีเนื้อไม้ ไม้พุ่มนั้นนิยมปลูกเพื่อเป็นแนวรั้วหรือเพื่อแสดงอาณาเขต

ไม้เลื้อย (climbers) หมายถึง พืชที่มีลำต้นไม่อาจตั้งตรงได้ด้วยตัวเอง ต้องอาศัยการพาดพื้นหรือเกาะเกี่ยวกับหลัก ไม้เลื้อยมีทั้งที่เป็นพวกไม่มีเนื้อไม้และพวกมีเนื้อไม้ ไม้เลื้อยนิยมปลูกเกาะกับระแนงหรือโครงไม้เพื่อใช้เป็นประโยชน์เป็นรั้วบังให้เกิดร่มเงาหรือแบ่งแยกพื้นที่ให้เกิดความเป็นส่วนตัว

ไม้คลุมดิน หรือ พืชปกคลุมดิน (ground cover) หมายถึง พืชที่มีลำต้นเตี้ยใกล้ดิน ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะสูงไม่เกิน 30 เซนติเมตรจากผิวดิน มีการเจริญเติบโตที่แผ่ไปทางด้านข้างมากกว่าการเจริญเติบโตในทางสูง ไม้คลุมดินนั้นมักจะใช้ปลูกเพื่อคลุมพื้นที่หรือตกแต่งพื้นที่ให้เกิดความสวยงาม ช่วยลดการกัดเซาะและพังทลายของหน้าดิน รวมถึงช่วยรักษาความอุดมสมบูรณ์ของหน้าดินไว้ด้วย

อย่างไรก็ดีในการศึกษาวิจัยครั้งนี้นั้นจะศึกษาถึงการลดการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคาคอนกรีตเสริมเหล็กโดยการปลูกหญ้าปกคลุม ดังนั้นจะขอกล่าวถึงรายละเอียดของหญ้าชนิดต่างๆซึ่งเป็นไม้คลุมดิน หรือ พืชปกคลุมดินที่มีความนิยมนำมาใช้กันแต่อย่างไรก็ตามโดยทั่วไปแล้วนั้นหญ้าที่นิยมปลูกในการจัดสวนนั้นหลักๆมีอยู่ 4 ชนิด (ปรีดี เอกะวิภาต, 2520: 5 และ พรรณเพ็ญ ฉายปรีชา, 2550: 60) ได้แก่

1. หญ้านวลน้อย (Manila Lawngrass) เป็นหญ้าพื้นเมืองของไทย เป็นหญ้าที่นิยมปลูกกันมากและนิยมปลูกกลางแจ้งมากที่สุด(คู่มือแบบประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2549:2 - 22) ตลอดจนทนต่ออุณภูมิสูงได้ดี สามารถขึ้นได้ดีในดินเกือบทุกชนิด และยังปรับตัวกับสภาพแวดล้อมได้ดีได้ง่าย นอกจากนี้ยังทนต่อร้อนและแห้งแล้ง หรือที่น้ำท่วมขังแฉะได้เป็นครั้งคราว จึงนิยมปลูกกันมาก เป็นหญ้าที่จัดอยู่ในประเภทใกล้เคียงกับหญ้าญี่ปุ่น แต่มีใบกว้างกว่า และการเจริญเติบโตเร็วกว่า ใบไม่แข็งกระด้างเหมือนหญ้าญี่ปุ่น หญ้านวลน้อยนี้ถ้าไม่ตัดหญ้านี้เลยจะสูงประมาณ 6 นิ้ว นอกจากนี้ทนต่อดินเค็มได้บ้างรวมทั้งยังต้านทานต่อโรงแมลงได้ดี หญ้านวลน้อยนั้นนิยมใช้ในการจัดสวนทั่ว ๆ ไป เพราะเป็นหญ้าที่ทนการเหยียบย่ำ รวมทั้งเป็นหญ้าที่ดูแลรักษาง่ายกว่าหญ้าชนิดอื่น ๆ ถึงแม้จะปล่อยปละละเลยไปบ้าง เมื่อกลับมาดูแลรักษาใหม่ ก็ยังจะได้สนามหญ้าที่มีคุณภาพดีเหมือนเดิม

2. หญ้าญี่ปุ่น (Japanese Lawngrass) เป็นหญ้าที่เจริญเติบโตได้ดีในเขตร้อน แต่ก็สามารถที่จะเจริญเติบโตได้ในเขตหนาวและแห้งแล้งได้ด้วย แต่หญ้าญี่ปุ่นนั้นหากปลูกในที่ชื้นหรือที่เฉาะจะไม่ดีนัก หญ้าญี่ปุ่นนั้นสามารถทนร่มได้ 50 % การปลูกหญ้าญี่ปุ่นในดินเค็มก็พอจะปลูกได้แต่ก็ไม่ดีนัก ดินที่เหมาะสมกับหญ้าญี่ปุ่นนั้นควรมีความเป็นกรดเป็นด่าง pH ประมาณ 6 - 7 และหญ้าก็ยังชอบขึ้นในดินเหนียวด้วย

3. หญ้าเบอร์มิวด้า (Bermua Lawngrass) เป็นหญ้าที่มีใบละเอียด ข้อปล้องสั้น ต้องปลูกในที่กลางแจ้ง เพราะไม่สามารถขึ้นในที่มีแสงน้อยหรือแดดรำไรได้ ถ้าปลูกหญ้านี้ในที่ร่มหญ้าจะเหลืองตายในที่สุด สามารถปลูกได้ในดินทั่ว ๆ ไป ตั้งแต่ดินเหนียวถึงดินทราย แต่ชอบดินร่วนที่มีการระบายน้ำดี โดยเฉพาะดินร่วนปนทราย ซึ่งมีความอุดมสมบูรณ์สูงและมีความชื้นค่อนข้างดี และดินควรมีความเป็นกรดเป็นด่างประมาณ 5.0 - 7.5 รวมทั้งยังทนต่อดินเค็มได้บ้างพอสมควร การดูแลรักษาหญ้าชนิดนี้นั้น ดูแลรักษายาก ต้องเสียเวลาและแรงงานมาก และยังต้องการปุ๋ยไนโตรเจนสูง รวมทั้งการรักษาความชื้นของดินอีกด้วย

4. หญ้ามาเลเซีย (Tropical Carpet Lawngrass) เป็นหญ้าที่ใช้ทำสนามหญ้าและจัดสวนหย่อม เช่นเดียวกับหญ้าชนิดอื่นๆ โดยเฉพาะในที่ร่มรำไร สามารถเจริญเติบโตได้ดีในที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ไม่ทนต่อดินเค็ม หญ้ามาเลเซียที่ใช้ปลูกโดยเมล็ดจะสามารถป้องกันการพังทลายของดินในที่มีความลาดชันสูงได้ดีเช่นกัน หญ้ามาเลเซียนั้นทนต่อดินเป็นกรดที่มี pH ประมาณ 4.5 - 5.5 และเป็นหญ้าที่ชอบความชื้นสูง สามารถปลูกได้ในดินแทบทุกชนิด

การทำสวนหลังคานั้น จำเป็นที่จะต้องมีการบำรุงรักษาให้สวนหลังคามีชีวิตชีวาอยู่เสมอ โดยการบำรุงรักษานั้นแบ่งออกเป็น 4 ลักษณะ (พชร เลิศปิติวัฒา, 2547:137-151) คือ

1. ระบบชลประทาน (irrigation system) โดยระบบชลประทานสำหรับงานสวนหลังคาในกรุงเทพมหานครนั้น มี 3 ประเภทหลัก คือ

1.1 การให้น้ำโดยฉีดน้ำด้วยสายยาง เป็นวิธีการง่ายๆ การรดน้ำแก่พืชมีความทั่วถึง

1.2 การให้น้ำด้วยระบบสเปรย์ (spraying water system) ซึ่งเป็นระบบพ่นน้ำเป็นละออง เช่น ระบบสปริงเกอร์ (sprinkler irrigation)

1.3 การให้น้ำด้วยระบบน้ำหยด (drip irrigation system) ซึ่งเป็นระบบที่ปล่อยปริมาณน้ำที่ละน้อยด้วยหัวหยดน้ำ (emitters หรือ spray heads) ที่มีปลายหัวขนาด 6.4 มิลลิเมตร มีลักษณะเป็นท่อพลาสติกที่ปรับได้ติดตั้งอยู่เหนือระดับราก การให้น้ำด้วยระบบน้ำหยดนี้มักจะเกิดปัญหาการอุดตันของหัวหยดน้ำจากดิน ทำให้น้ำไม่ไหลและพืชพรรณตายในที่สุด

2. การสร้างความสมบูรณ์แก่ดิน (fertilization) ดินควรได้รับการพรวนดินเพื่อการซอนไชของรากพืชให้เป็นไปได้ด้วยดี รวมทั้งใส่ปุ๋ยให้สม่ำเสมอ

3. งานบำรุงรักษาด้านอื่นๆ (other maintenance chors) เช่น การตัดแต่งสนามหญ้าเพื่อให้มีความเป็นระเบียบไม่รก การควบคุมวัชพืชและสัตว์รบกวน เป็นต้น

4. ศูนย์กลางงานบำรุงรักษา (maintenance center) สวนหลังคาควรเผื่อพื้นที่สำหรับงานบำรุงรักษา เช่น ที่เก็บสารอาหารและปุ๋ยของพืชพรรณ ที่จัดเก็บวัสดุปลูก เครื่องมืองานสวน เพื่ออำนวยความสะดวกให้กับงานสวนหลังคา ศูนย์กลางการบำรุงรักษานี้

สามารถใช้เป็นจุดรวมการควบคุมงานระบบทั้งหมดภายในพื้นที่สวนหลังคาเช่น การจ่ายน้ำของงานชลประทาน เป็นต้น

ทั้งนี้การศึกษาวิจัยครั้งนี้จะขอเลือกใช้วัสดุปลูกที่เป็นดินปลูกและขุยมะพร้าวมาทำการศึกษาเนื่องจากมีราคาไม่แพงและหาซื้อได้ง่าย ส่วนหญ้าที่จะใช้ปลูกเป็นพืชคลุมดินนั้นจะขอเลือกใช้หญ้านวลน้อย เนื่องจากสามารถปลูกกลางแจ้งได้และทนต่ออุณภูมิสูงได้ดี รวมทั้งเป็นหญ้าที่ดูแลรักษาง่าย กว่าหญ้าชนิดอื่น ๆ

2.4 มูลค่าของการทำหลังคาเขียว

มูลค่าของการทำหลังคาเขียวนั้นจะขึ้นอยู่กับประเภทของการทำสวนหลังคา ซึ่งราคานั้นจะแพงหรือถูกก็จะขึ้นอยู่กับประเภทของวัสดุต่างๆ และพืชพรรณต่างๆ เป็นต้นด้วย ทั้งนี้แล้วในการศึกษาวิจัยครั้งนี้นั้นจะศึกษาถึงการลดการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคาคอนกรีตเสริมเหล็กโดยการปลูกหญ้าปกคลุม ดังนั้นจะขอกล่าวถึงรายละเอียดของราคาค่าวัสดุและค่าแรงที่ใช้ทำสวนหลังคาแบบไม่ใช้งาน(extensive green roof) โดยทั่วไป

ตารางที่ 2.13 แสดงรายการราคาค่าวัสดุและค่าแรงที่ใช้ทำสวนหลังคาแบบไม่ใช้งาน (extensive green roof) สำหรับพื้นที่กรุงเทพมหานคร (พชร เลิศปิติวัฒนา, 2547)

ลำดับ	รายการวัสดุ	หน่วย (ตรม.)	ค่าวัสดุ (บาท)	ค่าแรง (บาท)	ราคารวม (บาท)
1	วัสดุกันน้ำซึมแบบเหลว	1	200	50	250
2	แผ่นคอนกรีตกันทะลุ (หนา 6.5 ซม.)	1	400	50	450
3	ชั้นระบายน้ำพลาสติกสำเร็จรูป (หนา 2.5 ซม.)	1	800	20	820
4	แผ่นใยกรองดิน	1	40	20	60
5	ดินปลูก (หนา 20 ซม.)	1	150	50	200
6	วัสดุปิดผิว (หนา 2.5 ซม.)	1	30	20	50
7	หญ้านวลน้อย	1	30	50	80
	รวม	1	1,650	260	1,910

หมายเหตุ ค่าการบำรุงรักษา เช่น ค่ารดน้ำ, ค่าใส่ปุ๋ย, ค่าตัดแต่ง , ค่ากำจัดวัชพืช และอื่นๆ โดยเฉลี่ยต่อเดือน ตารางเมตรละ 5 บาท

ที่มา : บริษัท แลนด์สเคป อาร์คิเต็ค 49 จำกัด, 2551

นอกจากการที่ใช้ดินปลูกในการทำสวนหลังคาแล้ว วัสดุปลูกที่เป็นสารอินทรีย์ที่เป็นผลพลอยได้จากโรงงานอุตสาหกรรมก็เป็นวัสดุปลูกที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ทดแทนดินปลูกได้ด้วย ดังนั้นจะขอกล่าวถึงรายละเอียดของราคาค่าวัสดุและค่าแรงที่ใช้ทำสวนหลังคาแบบไม่ใช้งาน(extensive green roof) ซึ่งใช้วัสดุปลูกที่เป็นสารอินทรีย์ที่เป็นผลพลอยได้จากโรงงานอุตสาหกรรมเป็นวัสดุปลูกและใช้หญ้านวลน้อยเป็นพืชคลุมดิน

ตารางที่ 2.14 แสดงรายการราคาค่าวัสดุและค่าแรงที่ใช้ทำสวนหลังคาแบบไม่ใช้งาน (extensive green roof) สำหรับพื้นที่กรุงเทพมหานคร (พชร เลิศปิติวัฒนา, 2547) แต่ใช้ขุยมะพร้าวมาประยุกต์ใช้ในการปลูกหญ้า

ลำดับ	รายการวัสดุ	หน่วย (ตรม.)	ค่าวัสดุ (บาท)	ค่าแรง (บาท)	ราคารวม (บาท)
1	วัสดุกันน้ำซึมแบบเหลว	1	200	50	250
2	แผ่นคอนกรีตกันทะลุ (หนา 6.5 ซม.)	1	400	50	450
3	ชั้นระบายน้ำพลาสติกสำเร็จรูป (หนา 2.5 ซม.)	1	800	20	820
4	แผ่นใยกรองดิน	1	40	20	60
5	ขุยมะพร้าว (หนา 20 ซม.)	1	50	50	100
6	วัสดุปิดผิว (หนา 2.5 ซม.)	1	30	20	50
7	หญ้านวลน้อย	1	30	50	80
	รวม	1	1,550	260	1,810

หมายเหตุ ค่าการบำรุงรักษา เช่น ค่ารดน้ำ, ค่าใส่ปุ๋ย, ค่าตัดแต่ง , ค่ากำจัดวัชพืช และอื่นๆ โดยเฉลี่ยต่อเดือน ตารางเมตรละ 5 บาท

ที่มา : บริษัท แลนด์สเคป อาร์คิเต็ค 49 จำกัด, 2551

ทั้งนี้การทำสวนหลังคากับอาคารกรณีศึกษานั้น จะนำเสนอราคาค่าวัสดุและค่าแรงที่ใช้ทำสวนหลังคาแบบไม่ใช้งาน(extensive green roof) ซึ่งใช้ดินเป็นวัสดุปลูก รวมทั้งขุยมะพร้าว ซึ่งเป็นวัสดุปลูกที่เป็นสารอินทรีย์ที่เป็นผลพลอยได้จากโรงงานอุตสาหกรรมมาเป็นวัสดุปลูก แต่จะไม่มีการติดตั้งแผ่นคอนกรีตกันทะลุ (หนา 6.5 ซม.) เนื่องจากมีน้ำหนักมากซึ่งอาจส่งผลต่อเรื่องการรับน้ำหนักของโครงสร้างเดิมของอาคารกรณีศึกษา

ตารางที่ 2.15 แสดงรายการราคาค่าวัสดุและค่าแรงที่ใช้ทำสวนหลังคาแบบไม่ใช้งาน (extensive green roof) ซึ่งเป็นแบบของ Theodore Osmundson, 1999

ลำดับ	รายการวัสดุ	หน่วย (ตรม.)	ค่าวัสดุ (บาท)	ค่าแรง (บาท)	ราคารวม (บาท)
1	วัสดุกันน้ำซึมแบบเหลว	1	200	50	250
2	แผ่นกันทะลุฟิล์มโพลียูรีเทน (หนา 8 มม.)	1	250	50	300
3	ฉนวนโฟมโพลีสไตรีน (หนา 5 ซม.)	1	150	50	200
4	แผ่นคอนกรีตกันทะลุ (หนา 6.5 ซม.)	1	400	50	450
5	ชั้นระบายน้ำพลาสติกสำเร็จรูป (หนา 2.5 ซม.)	1	800	20	820
6	แผ่นใยกรองดิน	1	40	20	60
7	ดินปลูก (หนา 20 ซม.)	1	150	50	200
8	วัสดุปิดผิว เช่น ใบไม้แห้ง (หนา 2.5 ซม.)	1	30	20	50
9	หญ้านวลน้อย	1	30	50	80
	รวม	1	2,050	360	2,410

หมายเหตุ ค่าการบำรุงรักษา เช่น ค่ารดน้ำ, ค่าใส่ปุ๋ย, ค่าตัดแต่ง , ค่ากำจัดวัชพืช และอื่นๆ โดยเฉลี่ยต่อเดือน ตารางเมตรละ 5 บาท

ที่มา : บริษัท แลนด์สเคป อาร์คิเต็ค 49 จำกัด, 2551

2.5 การประมาณการการใช้เครื่องปรับอากาศและการคิดค่าไฟฟ้า

การประเมินหาขนาดเครื่องปรับอากาศของห้องโดยทั่วไป

1 ตันความเย็น (Ton) = 12,000 บีทียู (Btu/hr)

การประเมินหาขนาดเครื่องปรับอากาศของห้องหรืออาคารนั้น มีสูตรเบื้องต้นในการคำนวณ ดังนี้ (นรมิตร ลิ่วธนมงคล, 2538) คือ ขนาดของห้องกว้าง x ยาว / 20 หน่วยที่ได้จะเป็น บีทียู (Btu/hr)

ทั้งนี้ หน่วยของพลังงานที่ใช้ในการวัดพลังงานความร้อนและหน่วยที่ใช้วัดพลังงานไฟฟ้ามีความสัมพันธ์กันคือ 3,413 บีทียู (Btu/hr) = 1 Kw-hr (ธนิต จินดาวณิค, 2550)

สำหรับการใช้ไฟฟ้าในบ้านเรือนที่อยู่อาศัย วัดและโบสถ์ของศาสนาต่าง ๆ ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้อง โดยต่อผ่านเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าเครื่องเดียวนั้น การไฟฟ้านครหลวงจะคิดค่าไฟฟ้า(การไฟฟ้านครหลวง, 2551) โดยจะมีรายละเอียดดังนี้

1. คิดจากอัตราค่าไฟฟ้า

2. คิดจากค่า F_t ทั้งนี้ ค่า F_t ล่าสุด ซึ่งเรียกเก็บในใบแจ้งหนี้ค่าไฟฟ้าเดือนตุลาคม ถึง เดือนธันวาคม 2551 มีค่าเท่ากับ 0.777 บาทต่อหน่วย

3. คิดจากค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม โดยภาษีมูลค่าเพิ่มนั้นจะคิด 7% จากอัตราค่าไฟฟ้าและจากค่า F_t

4. คิดจากค่าบริการของการไฟฟ้า ในกรณีที่ใช้ไฟฟ้าไม่เกินกว่า 150 หน่วย คิดค่าบริการ 8.19 บาทแต่ในกรณีที่ใช้ไฟฟ้าเกินกว่า 150 หน่วย คิดค่าบริการ 40.90 บาท

ตารางที่ 2.16 แสดงอัตราค่าไฟฟ้าสำหรับที่อยู่อาศัยที่ประกาศใช้ในปัจจุบัน ปี พ.ศ. 2551

5 หน่วย (กิโลวัตต์ชั่วโมง) แรก (หน่วยที่ 1 - 5)	เป็นเงิน	0	บาท
10 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 6 - 15)	หน่วยละ	1.3576	บาท
10 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 16 - 25)	หน่วยละ	1.5445	บาท
10 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 26 - 35)	หน่วยละ	1.7968	บาท
65 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 36 - 100)	หน่วยละ	2.18	บาท
50 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 101 - 150)	หน่วยละ	2.2734	บาท
250 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 151 - 400)	หน่วยละ	2.7781	บาท
เกินกว่า 400 หน่วย (หน่วยที่ 401 เป็นต้นไป)	หน่วยละ	2.978	บาท

ที่มา : การไฟฟ้านครหลวง(http://www.mea.or.th/internet/index_mea1.html), 2551

2.6 การคิดค่าความคุ้มในการลงทุนในเชิงเศรษฐศาสตร์

ระยะเวลาในการคืนทุน (Simple Payback Period)

ระยะเวลาในการคืนทุน (Simple Payback Period)เป็นการประเมินระยะเวลาในการคืนทุนหรือจุดคุ้มทุน(ปี) อย่างง่ายเพื่อช่วยประกอบการตัดสินใจในการเลือกทางเลือกของการออกแบบว่าเหมาะสมที่จะลงทุนหรือไม่ โดยวิธีการคำนวณทำได้ดังนี้

$$\text{Simple payback period} = \frac{\text{Initial capital investment (C)}}{\text{Annual saving (A)}}$$

ยกตัวอย่าง บ้านหลังหนึ่งจะลงทุนปูฉนวนใต้หลังคาซึ่งต้องใช้เงินลงทุน 15,000 บาท เมื่อคิดแล้วปีหนึ่งประหยัดเงินค่าไฟฟ้าสำหรับเครื่องปรับอากาศได้ปีละ 1,800 บาท ดังนั้นระยะเวลาคืนทุน (simple payback period) เท่ากับ 15,000 / 1,800 = 8.3 ปี

2.7 สถิติที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย

สถิติแบ่งออกเป็นสองประเภทใหญ่ คือ สถิติเชิงบรรยาย (descriptive statistics) และสถิติเชิงอ้างอิง (inferential statistics) โดยหน้าที่สถิติเชิงอ้างอิง จะทำหน้าที่สำคัญสองประการคือ การคาดประมาณประชากร (estimate) และการทดสอบความแตกต่างของค่าสถิติ (test) หรือการทดสอบสมมุติฐาน (ชูศรี วงศ์รัตนะ, 2550)

สำหรับในการศึกษาสถิติเชิงอ้างอิงนั้น มีคำที่ต้องทำความเข้าใจหลายคำ เช่น

ตัวแปร (variable) คือ คุณลักษณะใดๆ ที่มีความแตกต่างกันระหว่างบุคคล, ระหว่างสิ่งของ หรือระหว่างสภาพแวดล้อม (เช่น สภาพอุณหภูมิ เป็นต้น) ซึ่งชนิดของตัวแปรจะแบ่งออกเป็น 2 ชนิดหลักๆ คือ

1. ตัวแปรเชิงปริมาณ คือ ตัวแปรที่มีค่าต่างๆ ซึ่งอยู่ในรูปจำนวน หรือขนาด และคุณลักษณะอื่นๆที่อยู่ในรูปของตัวเลข
2. ตัวแปรเชิงคุณภาพ คือ ตัวแปรที่จะอยู่ในรูปของคุณภาพหรือชนิด เช่น เพศ เชื้อชาติ เป็นต้น

ข้อมูล (data) คือ ข้อเท็จจริงเกี่ยวกับตัวแปรที่สนใจจะศึกษา ซึ่งรวบรวมได้จากแต่ละหน่วยของกลุ่มที่ต้องการศึกษา อาจเป็นข้อมูลที่อยู่ในรูปของตัวเลข เช่น จำนวน ปริมาณ ระยะ เป็นต้น

ประชากร (population) หมายถึง กลุ่มทั้งหมดของคน สัตว์ สิ่งของ อื่นๆ ซึ่งมีคุณลักษณะร่วมตรงกันกับที่ผู้วิจัยสนใจจะศึกษา

กลุ่มตัวอย่าง (sample) หมายถึง บางส่วนของกลุ่มประชากร

ค่าพารามิเตอร์ (parameter) หมายถึง ค่าที่ใช้บอกคุณลักษณะใดๆของกลุ่มประชากร

ค่าสถิติ (statistic) หมายถึง ค่าที่คำนวณได้จากข้อมูลที่เก็บจากกลุ่มตัวอย่าง ค่าสถิตินี้จะใช้ประมาณค่าพารามิเตอร์

สเกลของการวัด (measurement) คือ การกำหนดตัวเลขหรือสัญลักษณ์อย่างมีระบบให้กับสิ่งของหรือเหตุการณ์เพื่อแทนปริมาณหรือคุณภาพของสิ่งที่ต้องการวัด ค่าที่วัดได้นั้น แบ่งได้เป็น 4 ชนิด ดังนี้

1. มาตรานามบัญญัติ (nominal scale) คือ การวัดที่ยึดเกณฑ์ หรือคุณสมบัติของกลุ่มเป็นสำคัญ ค่าที่วัดได้ไม่สามารถนำไปใช้คิดคำนวณทางคณิตศาสตร์

2. มาตราเรียงอันดับ (ordinal scale) คือการวัดที่สามารถบอกได้ว่าข้อมูลใดมากหรือน้อยกว่าข้อมูลใด แต่ไม่สามารถบอกได้ว่ามากกว่าหรือน้อยกว่ากันเท่าใด เพราะคิดคำนวณทางคณิตศาสตร์ไม่ได้ เช่น ความสวยของคนสวยหลายคน ลำดับที่ของการสอบได้ เป็นต้น

3. มาตราอันตรภาค (interval scale) คือ การวัดที่แต่ละช่วงมีขนาดเท่ากัน แต่ไม่มีศูนย์แท้ เช่น ค่าของอุณหภูมิที่วัดเป็นองศาต่างๆ คะแนนจากการสอบ เป็นต้น ค่าสถิติในมาตรานี้ บวก ลบ กันได้ แต่คูณ หาร กันไม่มีความหมาย

4. มาตราอัตราส่วน (ratio scale) เป็นการวัดที่มีคุณสมบัติรวมครบถ้วนของการวัดทุกมาตรา คือ มีจุดศูนย์แท้ สามารถบอกได้ว่ามากน้อยกว่ากันเท่าใด และสามารถนำไปคิดคำนวณทางคณิตศาสตร์ได้ เช่น น้ำหนัก ส่วนสูง ระยะทาง ความยาว เป็นต้น

ตารางที่ 2.17 แสดงตัวอย่างการวัดในมาตราต่างๆ

มาตราการวัด	ตัวอย่างการวัด
มาตรานามบัญญัติ (nominal scale)	เชื้อชาติ, สถานภาพสมรส, เลขทะเบียนรถยนต์ ฯลฯ
มาตราเรียงอันดับ (ordinal scale)	ยศทางทหาร, ผลการประกวดนางงาม ฯลฯ
มาตราอันตรภาค (interval scale)	วันในปฏิทิน, ค่าระดับอุณหภูมิ ฯลฯ
มาตราอัตราส่วน (ratio scale)	ความสูง, น้ำหนัก ฯลฯ

ที่มา : ชูศรี วงศ์รัตนะ. เทคนิคการใช้สถิติเพื่อการวิจัย, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, พิมพ์ครั้งที่ 10, 2550.

ตารางที่ 2.18 แสดงการทดสอบพาราเมตริก(Parametric statistical test) และ การทดสอบนอนพาราเมตริก (Nonparametric statistical test) ที่เป็นคู่กัน (ยกเว้นการทดสอบไค - สแควร์ที่ไม่มีคู่)

Parametric statistical test	Nonparametric statistical test
Pearson product-moment correlation coefficient	Spearman rank-order correlation coefficient (rho)
t-test correlated samples	Sign test Wilcoxon matched - pair signed - ranks test
t-test independent samples	median test Mann - Whitney U test
One - way ANOVA	Kruskal Wallis one - way ANOVA of ranks
One - way ANOVA with repeated measures	Friedman one - way ANOVA of ranks
	Chi - square test Chi - square one - variable case Chi - square two - variable case

ที่มา : ชูศรี วงศ์รัตนะ. เทคนิคการใช้สถิติเพื่อการวิจัย, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, พิมพ์ครั้งที่ 10, 2550.

ตารางที่ 2.19 แสดงระดับข้อมูลและสถิติที่เหมาะสมกับระดับข้อมูลนั้นๆ

Scale	Defining relations	Examples of appropriate statistics	Appropriate statistical tests
Nominal	(1) Equivalence	Mode Frequency Contingency coefficient	Nonparametric statistical tests
Ordinal	(1) Equivalence (2) Greater than	Median Percentile Spearman Kendall Kendall W	Nonparametric statistical tests
Interval	(1) Equivalence (2) Greater than (3) Known ratio of any two intervals	Mean Standard deviation Pearson product-moment correlation Multiple product-moment correlation	Nonparametric statistical tests and parametric statistical tests
Ratio	(1) Equivalence (2) Greater than (3) Known ratio of any two intervals (4) Known ratio of any two scale values	Geometric mean Coefficient of variation	Nonparametric statistical tests and parametric statistical tests

ที่มา : Sidney Siegel. Nonparametric Statistics for the behavioral sciences, International student edition. The McGraw - Hill, Inc., 1956.

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

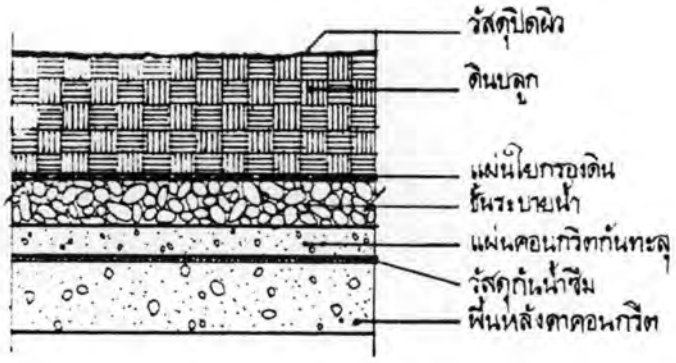
2.8 การเปรียบเทียบศักยภาพของการป้องกันความร้อนระหว่างการใช้สวนหลังคากับระบบหลังคาที่ใช้กันทั่วไป

จากการศึกษาวิจัยของ ณัฏฐินี นวลสกุล (2545) ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของสวนหลังคาเข้าสู่ภายในอาคาร ในกระบวนการวิจัยได้สร้างอาคารทดลองขึ้นมาโดยมีองค์ประกอบของหลังคาแบบต่างๆ 4 ชนิด ได้แก่ หลังคาคอนกรีต หลังคาที่ปกคลุมด้วยหญ้า หลังคาที่ปกคลุมด้วยพืชคลุมดินลำต้นเตี้ย และหลังคาที่ปกคลุมด้วยไม้พุ่มสูง เมื่อพืชบนหลังคาชนิดต่างๆ เจริญเติบโตและมีความสมบูรณ์แล้วได้ทำการเก็บข้อมูลอุณหภูมิผิวภายในของหลังคาทั้ง 4 ประเภท ในสภาพแวดล้อมและเวลาเดียวกัน ผลจากศึกษาพบว่า สวนหลังคาแบบปลูกไม้พุ่มสูงนั้น สามารถทำให้อุณหภูมิที่ผิวฝ้าเพดานภายในอาคารให้มีค่าต่ำกว่า อุณหภูมิที่ผิวฝ้าเพดานภายในอาคารซึ่งหลังคาเป็นสวนหลังคาแบบปลูกพืชคลุมดินลำต้นเตี้ย และสวนหลังคาหญ้า ตามลำดับ การใช้ระบบสวนหลังคานั้นสามารถช่วยลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในอาคารได้มากกว่า 15 % เมื่อเปรียบเทียบกับหลังคาคอนกรีต และสวนหลังคานั้นสามารถช่วยลดภาระการทำความเย็นได้อย่างน้อย 89% อีกด้วย

2.9 การออกแบบสวนหลังคาในกรุงเทพมหานคร

จากการศึกษาวิจัยของ พชร เลิศปิติวัฒา(2547) ได้ทำการศึกษาแนวทางการออกแบบสวนหลังคาจากวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องเปรียบเทียบกับการออกแบบสวนหลังคาที่เลือกมาศึกษา ซึ่งพบว่ามีทั้งประเด็นที่สอดคล้องและแตกต่างกัน ซึ่งส่วนมากสามารถนำมาพิจารณาเป็นแนวทางที่เหมาะสมต่อการออกแบบสวนสำหรับหลังคาพื้นที่กรุงเทพมหานคร ที่พบชัดเจนคือ ส่วนประกอบของชั้นต่างๆ ในการออกแบบก่อสร้างสวนหลังคาในต่างประเทศนั้นจะประกอบด้วยส่วนประกอบ 9 ชั้น แต่สวนหลังคาในกรุงเทพมหานครที่นิยมใช้นั้นมีเพียง 7 ชั้น อันได้แก่ 1) พื้นหลังคาคอนกรีต 2) วัสดุกันน้ำซึม 3) แผ่นคอนกรีตกันทะลุ 4) ชั้นระบายน้ำ 5) แผ่นใยกรองดิน 6) ดินปลูก และ 7) วัสดุปิดผิว จากล่างขึ้นบนตามลำดับ ซึ่งวัสดุต่างๆ ที่เป็นส่วนประกอบของสวนหลังคาจะลดลงไปจากสวนหลังคาต่างประเทศ 2 ชั้น คือ ชั้นฉนวนและแผ่นกันทะลุ และนอกจากนี้แล้วในการศึกษาวิจัยครั้งนี้พบว่าปัจจัยที่ต้อง

คำนึงในการออกแบบสวนหลังคาเสมอ คือ การใช้สอยสวนหลังคา ภูมิอากาศ สภาพแวดล้อม หลักเกณฑ์อาคาร ความปลอดภัย โครงสร้างที่รองรับสวนหลังคา การป้องกันการรั่วซึมของหลังคา การระบายน้ำของสวนหลังคา ดินปลูก ระบบชลประทาน ชนิดของพืชพรรณ กระบะต้นไม้ งานระบบไฟฟ้า การส่องสว่าง การบำรุงรักษา ซึ่งทั้งหมดนี้จะเป็นตัวกำหนดในการพิจารณาการออกแบบสวนหลังคานั้นๆ



รูปที่ 2.4 แสดงองค์ประกอบแต่ละชั้นของโครงสร้างสวนหลังคาสำหรับพื้นที่กรุงเทพมหานคร
ที่มา : พชร เลิศปิติวัฒนา. การออกแบบสวนหลังคาในกรุงเทพมหานคร. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547., หน้า 119.

2.10 การใช้สวนหลังคาเพื่อลดการถ่ายเทความร้อน

จากการศึกษาวิจัย ของศุภกิจ ยิ้มสรวล (2541) ได้ทำการศึกษาการใช้สวนหลังคาเพื่อลดการถ่ายเทความร้อน ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อ ศึกษาและวิเคราะห์ตัวแปรที่มีผลที่ทำให้อุณหภูมิผิวด้านล่างของหลังคาลดลง และเพื่อหาแนวทางที่จะทำให้อุณหภูมิผิวของหลังคาด้านล่างให้ต่ำที่สุด รวมทั้งเพื่อเสนอแนะแนวทางในการใช้สวนบนหลังคาเพื่อลดการถ่ายเทความร้อน โดยได้แบ่งกระบวนการในการวิจัยออกเป็นขั้นตอนต่างๆ เพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลของตัวแปรที่มีความสำคัญในการนำมาใช้ในการวิเคราะห์และพิจารณา ซึ่งกระบวนการวิจัยมีการศึกษาอิทธิพลของดิน สภาพความชื้นภายในดิน สภาพผิวดิน อิทธิพลจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์และสภาพแวดล้อมเหนือดิน จากการศึกษาพบว่า การใช้ดินปกคลุมหลังคาอาคารสามารถลดอุณหภูมิหลังคาลงได้ เนื่องจากอิทธิพลความเย็นจากดิน และการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างหลังคาอาคารกับดิน ดินที่มีความชื้นมากมีผลทำให้อุณหภูมิด้านล่างหลังคาอาคารลดต่ำลง เนื่องจากดินที่มีความชื้นมากจะมีอุณหภูมิคงที่และต่ำกว่า

อุณหภูมิของดินที่มีความชื้นน้อย การมีสิ่งปกคลุมผิวดินนั้นสามารถช่วยป้องกันความร้อนและรักษาความชุ่มชื้นให้แก่ดิน ส่งผลทำให้อุณหภูมิที่ผิวด้านล่างหลังคาอาคารลดต่ำลง การใช้ต้นไม้ใหญ่กรองแสงและป้องกันความร้อนจากดวงอาทิตย์นั้น สามารถลดความร้อนให้แก่ผิวดิน ทำให้ผิวดินมีความเย็นและเหนี่ยวนำความเย็นลงสู่ดิน ส่งผลต่อการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างหลังคากับดิน ซึ่งทำให้อุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาลดต่ำลง

2.11 การศึกษาเปรียบเทียบการช่วยลดการสูญเสียความร้อน (Thermal losses) ของอาคารซึ่งหลังคาเป็นหลังคา คสล.โดยมีการใส่ฉนวนและใช้หลังคาเขียว (Green Roof) ประกอบกัน กับหลังคา คสล. เปลือย

จากการศึกษาของ Ekaterini Eumorfopoulou (1998) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบการช่วยลดการสูญเสียความร้อน (Thermal losses) ของอาคารซึ่งหลังคาเป็นหลังคา คสล.โดยมีการใส่ฉนวนและใช้หลังคาเขียว (Green Roof) ประกอบกันกับหลังคา คสล. เปลือย จากการศึกษาพบว่า การทำหลังคาเขียว (Green Roof) ซึ่งใช้หญ้าและพืชคลุมดินที่มีความสูงประมาณ 30 ซม. จากผิวดิน, ดินมีหนาประมาณ 5-15 ซม. และชั้นที่เป็นฉนวนนั้นหนาประมาณ 5 ซม. สามารถช่วยลดการสูญเสียความร้อนได้ 54.9% เมื่อเปรียบเทียบกับหลังคา คสล.เปลือย

2.12 การศึกษาเปรียบเทียบ อุณหภูมิระหว่างอุณหภูมิที่ผิวแผ่นวัสดุกันซึม (Membrane)ของหลังคา คสล. กับ อุณหภูมิที่ผิวแผ่นวัสดุกันซึม (Membrane)ของหลังคา คสล. ซึ่งเป็นหลังคาเขียว (Green Roof)

จากการศึกษาของ Karen Liu (2000) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบ อุณหภูมิระหว่างอุณหภูมิที่ผิว membrane ของหลังคาคสล. กับ อุณหภูมิที่ผิวแผ่นวัสดุกันซึม (Membrane)ของหลังคา คสล. ซึ่งเป็น หลังคาเขียว (Green Roof) (ความลึกของชั้นดินและวัสดุต่างๆรวมไม่เกิน 20 ซม. และปลูกพืชคลุมดินเป็นประเภทหญ้า) พบว่า ในช่วงตอนบ่ายซึ่งอุณหภูมิสูงที่สุดนั้นหลังคาเขียว (Green Roof)สามารถช่วยลดอุณหภูมิที่ผิวแผ่นวัสดุกันซึม (Membrane)ในช่วงเวลาที่มีอุณหภูมิสูงสุดได้ถึง 35 °C (81°F) และในแง่ของการถ่ายเทความร้อนให้แก่อาคารนั้น หลังคาเขียว (Green Roof) จะสามารถช่วยลดการถ่ายเทความร้อนลงได้ประมาณ 95% อีกด้วย