



ประสิทธิผลในการใช้หลังคาปลูกต้นไม้เพื่อลดความร้อนสำหรับสภาพภูมิอากาศร้อนชื้น

โดย

นายวรุฒิ ธนาวุฒินา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาสถาปัตยกรรม

ภาควิชาสถาปัตยกรรม

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2552

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ประสิทธิภาพในการใช้หลังคาปลูกต้นไม้เพื่อลดความร้อนสำหรับสภาพภูมิอากาศร้อนชื้น

โดย

นายวรุฒิ ธนาวุฒินา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาสถาปัตยกรรม

ภาควิชาสถาปัตยกรรม

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2552

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

**THE EFFICIENCY IN REDUCING HEAT GAIN BY USING GREEN ROOF
FOR HOT - HUMID CLIMATE**

By

Worawut Tanawutwattana

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree

MASTER OF ARCHITECTURE

Department of Architecture

Graduate School

SILPAKORN UNIVERSITY

2009

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร อนุมัติให้วิทยานิพนธ์เรื่อง “ ประสิทธิผลในการใช้หลังคาปลูกต้นไม้เพื่อลดความร้อนสำหรับสภาพภูมิอากาศร้อนชื้น ” เสนอโดย นายวรวิดิ ธนาวุฒิวัฒนา เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริชัย ชินะตั้งกูร)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่.....เดือน..... พ.ศ.....

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

รองศาสตราจารย์ มาลินี ศรีสุวรรณ

คณะกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พันธดา พุฒิปาโรจน์)

...../...../.....

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร. ทศพล เขตเจนการ)

...../...../.....

..... กรรมการ

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปรัชญา มัทธนทวี)

(รองศาสตราจารย์ มาลินี ศรีสุวรรณ)

...../...../.....

...../...../.....

9

49054212 : MAJOR : (ARCHITECTURE)

KEY WORD : GREEN ROOF / GRASS/ENERGYPLUS

WORAWUT TANAWUTWATTANA : THE EFFICIENCY IN REDUCING HEAT GAIN
BY USING GREEN ROOF FOR HOT - HUMID CLIMATE. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF.
MALINEE SRISUWAN. 202 pp.

The roof is part of the building where obtains the most of direct heat from the sun. Heat transfer inside the building could affect energy consumption and also thermal comfort of building user. Consequently, there is a method to cover the roof by plant called Green roof.

The objective of this research is to study the efficiency of Green roof to reduce building temperature and to decrease electricity consumption from air conditioner; and to analyze factors of Green roof which could protect heat gain from the roof into the building. The experiment consists of four model boxes of 1.20 x 1.20 x 1.20 meter each, representing four different roof types as follows: Concrete roof, Malaysia grass roof with 10 centimeter soil depth, Nuannoi grass roof with 10 centimeter soil depth and Malaysia grass roof with 20 centimeter soil depth. Temperature data has been collected to compare with the EnergyPlus program model and to find energy consumption of stimulated workshop room of 4.00 x 6.00 x 3.20 meter.

The result of this experiment is that Nuannoi grass roof with 10 centimeter soil depth has the lowest temperature under roof surface during daytime. The temperature is 7.3 degree Celsius less than Concrete roof or 23.7% decrease while the inside building temperature decrease at 2.4 degree Celsius or at 8.5%. In case of no air conditioning system, Nuannoi grass which has the leaf area index more than Malaysia grass can better reduce temperature under the roof surface at the similar depth of soil, as well as the temperature inside the building. The stimulation of workshop room by EnergyPlus Program shows that Nuannoi grass roof with 20 centimeter soil depth will consume the minimum of electricity energy by decreasing 21.5% of the consumption per year compare to Concrete roof. In case of building with air conditioning system, the same plant with more depth of soil will consume less electrical energy.

As a result, Green roof which is appropriate to buildings in tropical climate zone should have dense leaf (High Leaf area index) and should be the buildings which use air conditioning system during the day than during the night, for example, office building, classroom in university, etc.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับคำแนะนำที่เป็นประโยชน์และความช่วยเหลือจากบุคคลเหล่านี้

ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์มาลินี ศรีสุวรรณ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรีชญา มัทธนทวี ที่ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ในงานวิจัยมาโดยตลอด

ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พันธุ์ดา พุฒิปาโรจน์ ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือในการทำวิจัย อีกทั้งให้คำแนะนำ คำปรึกษา ที่เป็นประโยชน์มาตลอดระยะเวลาที่ทำการศึกษา

ขอขอบคุณ อาจารย์ ดร. ทศพล เขตเจนการ ที่ให้คำแนะนำและข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ ทำให้งานวิจัยครั้งนี้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ คุณพ่อ-คุณแม่ ที่ให้การสนับสนุนในทุกๆด้าน และให้กำลังใจเสมอมา

ขอขอบคุณ คุณไพศาล ปัญจพรผล ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ในการทดลอง และคอยช่วยเหลือตลอดระยะเวลาที่ทำการเก็บข้อมูล

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ฝ่ายข้อมูล กรมอุตุนิยมวิทยา สถานีบางนา สำหรับข้อมูลอันเป็นประโยชน์ในงานวิจัย

ขอขอบคุณ เพื่อนร่วมหลักสูตรทุกคน สำหรับความช่วยเหลือที่มีให้กันมาตลอดระยะเวลาที่ทำการศึกษา

ขอขอบคุณ คุณตรีณัฐ เจริญ สำหรับความช่วยเหลือด้านภาษาต่างประเทศ

ขอขอบคุณ คุณจงลักษณ์ โฉมเฉลา สำหรับความช่วยเหลือด้านงานเอกสาร

ขอขอบคุณ อ.กฤตพร ลาภพิมล คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต ที่คอยเป็นกำลังใจ และคอยช่วยเหลือตลอดมา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญภาพ	ฌ
สารบัญแผนภูมิ.....	ฎ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของการศึกษา.....	1
ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา	3
สมมติฐานของการศึกษา	3
ขอบเขตของการศึกษา	3
วิธีการศึกษา	4
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
คำจำกัดความของ Green roof	6
ประโยชน์ของ Green roof	11
ส่วนประกอบของ Green roof.....	13
ข้อควรคำนึงถึง ปัญหาและข้อจำกัดของการใช้ Green roof.....	17
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	19
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	30
ตัวอย่างอาคารกรณีศึกษา (Case Study)	38
การศึกษาการใช้พลังงานในอาคารที่ใช้ Green roof ด้วยโปรแกรม EnergyPlus	44
3 สมมติฐานและวิธีการวิจัย	48
สมมติฐานการวิจัย.....	48
ตัวแปรในการวิจัย	48
การแบ่งชุดการทดลอง	50

บทที่	หน้า
ชุดการทดลองที่ 1	51
ชุดการทดลองที่ 2	61
ชุดการทดลองที่ 3	68
ชุดการทดลองที่ 4	76
ชุดการทดลองที่ 5	78
4 ผลการวิจัยและการวิเคราะห์ข้อมูล	81
ผลการทดลองที่ 1	82
ผลการทดลองที่ 2	91
ผลการทดลองที่ 3	106
ผลการทดลองที่ 4	125
ผลการทดลองที่ 5	129
5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	134
สรุปผลการวิจัย	134
การนำผลการวิจัยไปประยุกต์ใช้ในงานออกแบบ	139
ข้อจำกัดในการวิจัย	139
ข้อเสนอแนะ	140
บรรณานุกรม	141
ภาคผนวก	143
ประวัติผู้วิจัย	202

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	แสดงการสรุปเปรียบเทียบ Intensive green roof และ Extensive green roof ..	8
2	สรุปรายละเอียดในงานวิจัยต่างๆที่เกี่ยวข้อง.....	37
3	แสดงความลึกของดินปลูกและวัสดุพืชพันธุ์ที่ใช้ในตัวอย่างอาคารกรณีศึกษา	43
4	แสดงรายการวัสดุที่ใช้ในชุดการทดลองที่ 2	65
5	แสดงรายการวัสดุที่ใช้ในชุดการทดลองที่ 3	73
6	แสดงรายละเอียดคำนวณหุ้มรอบด้านด้วยอลูมิเนียมพอยล์ ที่นำมาใช้จำลอง	78
7	เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวหลังคาภายนอก วันที่ 15-17 มกราคม 2552.....	83
8	เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวหลังคาภายใน วันที่ 15-17 มกราคม 2552	85
9	เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในกล่อง วันที่ 15-17 มกราคม 2552	87
10	เปรียบเทียบผลการทดลอง หลังคา ค.ส.ล. ระหว่างกล่องทดลองจริง กับโปรแกรม EnergyPlus วันที่ 15-17 มกราคม 2552	93
11	เปรียบเทียบผลการทดลอง หลังคาหญ้ามาเลเซีย (ดิน 10 ซม.) ระหว่างกล่อง ทดลองจริงกับโปรแกรม EnergyPlus วันที่ 15-17 มกราคม 2552	96
12	เปรียบเทียบผลการทดลอง หลังคาหญ้าฉนวนน้อย (ดิน 10 ซม.) ระหว่างกล่อง ทดลองจริงกับโปรแกรม EnergyPlus วันที่ 15-17 มกราคม 2552	99
13	เปรียบเทียบผลการทดลอง หลังคาหญ้ามาเลเซีย (ดิน 20 ซม.) ระหว่างกล่อง ทดลองจริงกับโปรแกรม EnergyPlus วันที่ 15-17 มกราคม 2552	102
14	เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวหลังคาภายนอก วันที่ 15-17 เมษายน.....	109
15	เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวหลังคาภายนอก วันที่ 15-17 สิงหาคม.....	109
16	เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวหลังคาภายนอก วันที่ 15-17 ธันวาคม.....	110
17	เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวใต้หลังคา วันที่ 15-17 เมษายน	115
18	เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวใต้หลังคา วันที่ 15-17 สิงหาคม	115
19	เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวใต้หลังคา วันที่ 15-17 ธันวาคม	116
20	เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายใน วันที่ 15-17 เมษายน.....	121
21	เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายใน วันที่ 15-17 สิงหาคม	121
22	เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายใน วันที่ 15-17 ธันวาคม.....	122
23	แสดงรายละเอียดค่าไฟฟ้าต่อเดือนของอาคารสำนักงานแห่งหนึ่ง.....	126

ตารางที่		หน้า
24	เปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องปรับอากาศ ของหลังคาชนิดต่างๆ.....	127
25	เปรียบเทียบราคาค่าวัสดุและค่าแรงติดตั้งต่อตร.ม. ระหว่างการใช้ฉนวน กับการใช้หลังคาปลูกหญ้า (ดิน 20 ซม.).....	130
26	เปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องปรับอากาศ ของหลังคาที่ใช้ฉนวน ชนิดต่างๆกับหลังคาหญ้าฉนวนน้อย ดิน 20 ซม.....	132

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ภาพเมืองที่มีความเจริญเติบโตมากและเต็มไปด้วยสิ่งก่อสร้าง	1
2	ภาพจำลองเมือง New York ที่อาคารทุกหลังใช้ Green roof	2
3	ภาพแสดงตัวอย่าง Intensive green roof	6
4	ภาพแสดงตัวอย่าง Extensive green roof	7
5	ภาพแสดงหลังคาปลูกหญ้าของบ้านหลายหลังที่เห็นในหมู่บ้าน Bøur และเกาะฟาโร(Faroe Islands)	9
6	ภาพ Green roof บนหลังคาอาคาร Chicago City Hall	10
7	แสดงรูปตัดของ Extensive green roof	11
8	รูปตัดแสดงส่วนประกอบของ Green roof	13
9	แสดงขั้นตอนการติดตั้งวัสดุกันน้ำซึม (Water Proof Membrane).....	14
10	Glass cell ทำจากพลาสติก โครงสร้างเหมือนรวงผึ้ง (Honeycomb)	15
11	แผ่นใยกรองดิน Enkadrane (ซ้าย) และแผ่น Geotech (ขวา)	16
12	แสดงการติดตั้งวัสดุปลูกและพืชพันธุ์	17
13	Solar Radiation Control.....	23
14	หญ้าแพรก	26
15	หญ้าญี่ปุ่นและหญ้านวลน้อย	27
16	หญ้าเซนต์ออกัสติน	27
17	หญ้าเซนต์ปีด	28
18	หญ้าม้าเลเชีย	28
19	หญ้าบาเฮีย	29
20	หญ้านวลจันทร์.....	29
21	แสดงกล่องทดลองในงานวิจัย	32
22	แสดงอาคารจอดรถที่ใช้เป็นสถานที่ในงานวิจัย	34
23	แสดง Graphic ของหลังคาในการทดลอง	35
24	อาคาร Osaka Municipal Central Gymnasium	38
25	อาคาร ACROS Fukuoka	39
26	แสดงรูปตัด ACROS Fukuoka	40

ภาพที่		หน้า
27	แสดงทัศนียภาพภายนอกอาคาร ACROS Fukuoka	40
28	อาคาร Chicago City Hall	41
29	อาคาร Vastra Hamnen.....	42
30	ภาพแสดงหลังคาเขียวบนอาคารชุดพักผ่อนการเดินคลิฟ 2 พัทยา.....	44
31	แสดงหน้าต่างในการ Input ข้อมูล ของโปรแกรม EnergyPlus	46
32	แสดงตัวอย่างค่า Leaf Area Index	47
33	หญ้านวลน้อยและหญ้าม้าลาย.....	49
34	แสดงอาคารที่ตั้งกล่องทดลอง.....	52
35	แสดงบริเวณพื้นดาดฟ้าของอาคารที่จะใช้ในการทดสอบ	52
36	แสดงเครื่องมือ Data Logger รุ่น Testo 177 (สีดำ) และ Testo 175 (สีขาว).....	53
37	แสดงรูปตัดขยายของกล่องทดลองแบบต่างๆ	54
38	แสดงตำแหน่งที่วัดอุณหภูมิของกล่องทดลอง	55
39	แสดงตำแหน่งการวางกล่องทดลองบนดาดฟ้าอาคาร.....	56
40	แสดงตำแหน่งการวางกล่องทดลองและจำลองทิศทางแสงแดดที่เกิดขึ้น.....	57
41	แสดงกล่องทดลองที่สร้างจริง.....	58
42	แสดงกล่องทดลองที่ 1 (หลังคา ค.ส.ล.)	58
43	แสดงกล่องทดลองที่ 2 (หลังคาหญ้าม้าลาย ความลึกดิน 10 ซม.).....	59
44	แสดงกล่องทดลองที่ 3 (หลังคาหญ้านวลน้อย ความลึกดิน 10 ซม.).....	59
45	แสดงกล่องทดลองที่ 4 (หลังคาหญ้าม้าลาย ความลึกดิน 20 ซม.).....	60
46	แสดงเส้นรอบรูปของใบ และค่าพื้นที่ใบที่วัดได้จากโปรแกรม Autocad.....	62
47	แสดงรูปตัดขยายของกล่องทดลอง ที่จำลองด้วยโปรแกรม Energyplus	63
48	แสดงการแบ่ง Surface ของกล่องทดลอง แสดงผลเป็น 3D ด้วยโปรแกรม Sketch up	66
49	แสดงภาพจำลองอาคารสำนักงานสูง 5 ชั้น ที่จะนำมาใช้ทดสอบ ด้วยโปรแกรม EnergyPlus.....	69
50	แสดงแบบแปลนห้องทำงานของอาคารสำนักงานสูง 5 ชั้น ที่จะนำมาใช้ทดสอบ ด้วยโปรแกรม EnergyPlus	70
51	แสดงแบบขยายห้องทำงานที่จะนำมาใช้ทดสอบด้วยโปรแกรม EnergyPlus	71

ภาพที่		หน้า
52	แสดงการแบ่ง Surface ของห้องทำงาน แสดงผลเป็น 3D ด้วยโปรแกรม Sketch up.....	74
53	ฉนวนหุ้มรอบด้านด้วยแผ่นฉนวนใยหิน.....	79

สารบัญแผนภูมิ

แผนภูมิที่		หน้า
1	เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวหลังคาภายนอก ระหว่างวันที่ 15-17 มกราคม 2552	82
2	เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวหลังคาภายนอก วันที่ 16 มกราคม 2552.....	82
3	เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวหลังคาภายใน ระหว่างวันที่ 15-17 มกราคม 2552	84
4	เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวหลังคาภายใน วันที่ 16 มกราคม 2552.....	84
5	เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในกล่อง ระหว่างวันที่ 15-17 มกราคม 2552 ...	86
6	เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในกล่อง วันที่ 16 มกราคม 2552.....	86
7	เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศจากแหล่งข้อมูลต่างๆ	89
8	เปรียบเทียบผลการทดลองของหลังคา ค.ส.ล. ระหว่างกล่องทดลองจริง กับโปรแกรม EnergyPlus วันที่ 15-17 มกราคม 2552	91
9	เปรียบเทียบค่าอุณหภูมิเฉลี่ยเวลากลางวัน (9.00-18.00 น.) ของหลังคา ค.ส.ล. ระหว่างกล่องทดลองจริงกับโปรแกรม EnergyPlus วันที่ 15-17 มกราคม 2552.....	92
10	เปรียบเทียบผลการทดลองของหลังคาหญ้ามาเลเซีย (ดิน 10 ซม.)ระหว่าง กล่องทดลองจริงกับโปรแกรม EnergyPlus วันที่ 15-17 มกราคม 2552	94
11	เปรียบเทียบค่าอุณหภูมิเฉลี่ยเวลากลางวัน (9.00-18.00 น.) ของหลังคาหญ้า มาเลเซีย (ดิน 10 ซม.)ระหว่างกล่องทดลองจริงกับโปรแกรม EnergyPlus วันที่ 15-17 มกราคม 2552.....	95
12	เปรียบเทียบผลการทดลองของหลังคาหญ้าฉนวนน้อย (ดิน 10 ซม.) ระหว่าง กล่องทดลองจริงกับโปรแกรม EnergyPlus วันที่ 15-17 มกราคม 2552	97
13	เปรียบเทียบค่าอุณหภูมิเฉลี่ยเวลากลางวัน (9.00-18.00 น.) ของหลังคาหญ้า ฉนวนน้อย (ดิน 10 ซม.)ระหว่างกล่องทดลองจริงกับโปรแกรม EnergyPlus วันที่ 15-17 มกราคม 2552.....	98
14	เปรียบเทียบผลการทดลองของหลังคาหญ้ามาเลเซีย (ดิน 20 ซม.)ระหว่าง กล่องทดลองจริงกับโปรแกรม EnergyPlus วันที่ 15-17 มกราคม 2552	100
15	เปรียบเทียบค่าอุณหภูมิเฉลี่ยเวลากลางวัน (9.00-18.00 น.) ของหลังคาหญ้า มาเลเซีย (ดิน 20 ซม.)ระหว่างกล่องทดลองจริงกับโปรแกรม EnergyPlus วันที่ 15-17 มกราคม 2552.....	101

แผนภูมิที่		หน้า
16	เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวหลังคาภายนอก ระหว่างวันที่ 15-17	106
17	เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวหลังคาภายนอก วันที่ 16	107
18	เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวหลังคาภายนอก เฉลี่ยเวลากลางวัน (9.00-18.00 น.) ระหว่างวันที่ 15-17	108
19	เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวใต้หลังคา ระหว่างวันที่ 15-17	112
20	เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวใต้หลังคา วันที่ 16	113
21	เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวใต้หลังคา เฉลี่ยเวลากลางวัน (9.00-18.00 น.) ระหว่างวันที่ 15-17	114
22	เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายใน ระหว่างวันที่ 15-17	118
23	เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายใน วันที่ 16	119
24	เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ยเวลากลางวัน (9.00-18.00 น.) ระหว่างวันที่ 15-17	120
25	เปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องปรับอากาศ ของหลังคาชนิดต่างๆ.....	125
26	เปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องปรับอากาศ ของหลังคาที่ใช้ฉนวน ชนิดต่างๆ กับหลังคาหนาฉนวนน้อย ดิน 20 ซม.....	129

บทที่ 1

บทนำ

1. ความเป็นมาและความสำคัญของการศึกษา

ในอดีต ผู้คนเห็นความสำคัญและเคารพธรรมชาติ เรียนรู้ที่จะอยู่ร่วมกับธรรมชาติและรู้จักรักษาธรรมชาติได้อย่างเหมาะสม แต่เมื่อมีการพัฒนาเทคโนโลยี ความสะดวกสบายเริ่มมีมากขึ้นความสัมพันธ์ของมนุษย์กับธรรมชาติก็เริ่มลดลง การเจริญเติบโตของเมืองและการก่อสร้างเพื่อรองรับการขยายตัวของประชากร มีผลทำให้พื้นที่เปิดโล่งและพื้นที่สีเขียวลดน้อยลง สิ่งก่อสร้างที่มีมากขึ้น ซึ่งส่งผลกระทบโดยตรงต่อสภาพแวดล้อมทางธรรมชาติ



ภาพที่ 1 ภาพเมืองที่มีความเจริญเติบโตมากและเต็มไปด้วยสิ่งก่อสร้าง

ที่มา : New York City [online], Accessed 20 February 2007.

Available from management.journaldunet.com/.../new_york/1.shtml

ในด้านของสถาปัตยกรรมเพื่อการอนุรักษ์พลังงานนั้น นอกเหนือจากการออกแบบเพื่อให้อาคารใช้พลังงานน้อยที่สุดหรือมีประสิทธิภาพมากที่สุด ต้องคำนึงถึงสภาวะน่าสบายของผู้ใช้อาคารและวิธีการป้องกันความร้อนจากภายนอกอาคารเข้าสู่ภายในอาคาร

หลังคาเป็นส่วนหนึ่งของเปลือกอาคารที่ได้รับความร้อนโดยตรงจากดวงอาทิตย์มากที่สุด เมื่อหลังคาสะสมความร้อนไว้จนมีอุณหภูมิสูงระดับหนึ่งก็จะถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในอาคาร และสภาพแวดล้อมโดยรอบที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ทำให้มีผลต่อการใช้พลังงานภายในอาคารตลอดจนสภาวะน่าสบายทางอุณหภูมิของผู้ใช้อาคาร ดังนั้นหากมีการป้องกันความร้อนให้กับ

หลังคาอาคารที่ดี ไม่ว่าจะเป็นการเลือกใช้วัสดุหลังคาที่มีความเหมาะสม หรือใช้วัสดุคลุมหลังคาอาคาร ก็จะช่วยลดภาระการใช้พลังงานในการปรับอากาศภายในอาคารลงได้

ดังนั้นเพื่อแก้ปัญหาการใช้พลังงานสิ้นเปลืองของอาคาร ภายใต้แนวคิดที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม จึงได้มีการคิดที่จะนำวัสดุพืชพันธุ์มาใช้ปกคลุมหลังคาอาคาร ซึ่งเรียกกันว่า Green Roof

สารานุกรมเสรีทางอินเทอร์เน็ต "Wikipedia" ได้ให้ความหมายของ Green roof เป็นภาษาไทยว่า "หลังคาเขียว" หมายถึง หลังคาของอาคารที่ปิดทับบางส่วนหรือทั้งหมดด้วยพืชพันธุ์และดิน หรือเครื่องปลูกอย่างอื่นบนชั้นแผ่นกันน้ำ ในที่นี้ไม่ได้หมายถึงหลังคาที่ทาสีเขียว หรือวัสดุเมงสีเขียวใดๆ หลังคาเขียวอาจรวมส่วนประกอบอื่น เช่น แผ่นชั้นกันราก ระบบระบายน้ำ และระบบรดน้ำต้นไม้

Green Roof ไม่ใช่มีประโยชน์เพียงการป้องกันหลังคา ไม่ให้ได้รับอิทธิพลจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์โดยตรงเท่านั้น แต่เป็นการป้องกันความร้อนที่จะเข้าสู่อาคารผ่านทางหลังคา เนื่องจากพืชพันธุ์ที่ปกคลุมหลังคานั้น จะทำหน้าที่ดูดซับแสงอาทิตย์ เพื่อนำไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสง นอกจากนี้หากมองในแง่ของเมืองแล้ว การที่หลังคาของอาคารต่างๆ มีพืชสีเขียวปกคลุมทั้งหมดนั้น ก็จะเป็นการช่วยลดอุณหภูมิของเมืองลงอีกด้วย



ภาพที่ 2 ภาพจำลองเมือง New York ที่อาคารทุกหลังใช้ Green roof

ที่มา : [Green Roof](#) [online], Accessed 23 November 2006.

Available from www.greenroofs.com

แม้ว่า Green roof จะไม่ใช่เรื่องใหม่ แต่ข้อมูลทางการศึกษาและการทดลองเรื่อง Green roof ในแง่ของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในประเทศไทยยังมีจำกัด และมีปัญหาที่ไม่อาจคาดเดาได้ ดังนั้นหากมีการทำการศึกษาวิจัยถึงประสิทธิผลในการนำ Green Roof มาใช้กับ

อาคารในประเทศไทยมากขึ้น ก็น่าจะช่วยให้ สถาปนิก วิศวกร และผู้ที่เกี่ยวข้อง สามารถมีแนวทางในการนำ Green roof ไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพและเกิดประโยชน์สูงสุดต่อไป

2. ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาประสิทธิผลของการใช้ Green roof ในการป้องกันความร้อนเข้าสู่อาคารที่ตั้งอยู่ในสภาพภูมิอากาศร้อนชื้น
2. เพื่อศึกษาตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับ Green roof ซึ่งมีผลต่อการป้องกันความร้อนเข้าสู่อาคารผ่านทางหลังคา เช่น ความหนาของดินปลูก ชนิดของพืชพันธุ์ เป็นต้น
3. เพื่อศึกษาประสิทธิผลของการใช้ Green roof ในการลดการใช้พลังงานจากเครื่องปรับอากาศ

3. สมมติฐานของการศึกษา

1. หลังคาตาดฟ้าอาคารที่มีการใช้พืชพันธุ์และดินปลูกคลุม จะมีค่าอุณหภูมิที่ผิววัสดุทั้งภายนอกและภายใน ต่ำกว่าหลังคาตาดฟ้า ค.ส.ล.
2. หลังคาตาดฟ้าอาคารที่มีการใช้พืชพันธุ์และดินปลูกคลุม จะมีค่าอุณหภูมิอากาศภายในอาคารต่ำกว่า หลังคาตาดฟ้าอาคาร ค.ส.ล.
3. หลังคาที่ปลูกพืชชนิดเดียวกัน แต่มีความลึกดินปลูกต่างกัน หลังคาที่มีความลึกดินปลูกมากกว่า จะมีค่าอุณหภูมิผิวใต้หลังคาและอุณหภูมิอากาศภายในอาคารต่ำกว่าหลังคาที่มีชั้นความลึกดินปลูกน้อยกว่า
4. หลังคาที่ปลูกพืชต่างชนิดกัน ในดินที่มีความลึกเท่ากัน พืชที่มีความหนาแน่นของใบมากที่สุด จะสร้างร่มเงาให้กับผิวดินมากที่สุด มีผลทำให้อุณหภูมิผิวใต้หลังคาต่ำที่สุด

4. ขอบเขตของการศึกษา

1. ศึกษาเปรียบเทียบความแตกต่างของอุณหภูมิผิวหลังคา อุณหภูมิอากาศภายในอาคาร ระหว่างการใช้หลังคา ค.ส.ล. กับการใช้หลังคาปลูกพืชคลุมดินชนิดต่างๆ
2. ศึกษาเปรียบเทียบผลของการใช้ Green roof กับอาคารสำนักงาน ในด้านอุณหภูมิและการใช้พลังงาน โดยทำการศึกษา 2 กรณี คือ
 - 2.1 กรณีไม่ปรับอากาศ
 - 2.2 กรณีปรับอากาศ ในช่วงเวลา 9.00 – 18.00 น. (กำหนดตามช่วงเวลาการใช้งานของอาคารสำนักงานทั่วไป)

3. กำหนดสถานที่ทำการศึกษาและเก็บข้อมูลทดลอง ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร

5. วิธีการศึกษา

1. การเก็บรวบรวมข้อมูลจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง เพื่อใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้น

1.1 ศึกษาค้นคว้าทฤษฎี งานวิจัย ที่เกี่ยวข้องกับ Green roof ทั้งในประเทศและต่างประเทศ

1.2 ศึกษาข้อมูลตัวอย่าง จากอาคารกรณีศึกษา

2. กำหนดตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา ดังนี้

2.1 ตัวแปรอิสระ

รูปแบบของหลังคา ได้แก่ หลังคา Green roof และ หลังคา ค.ส.ล. ความลึกของดินปลูก ชนิดและความหนาแน่นของใบพืชที่ปลูก

2.2 ตัวแปรตาม

อุณหภูมิผิวเหนือหลังคา อุณหภูมิผิวใต้หลังคา อุณหภูมิอากาศภายในอาคาร และค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าจากเครื่องปรับอากาศ

2.3 ตัวแปรควบคุม

สถานที่ตั้ง สภาพแวดล้อม ระยะเวลาการใช้งานอาคาร ค่าความชื้นในดิน

3. ศึกษาวิธีการที่จะนำมาใช้ในการทดลอง

4. การทดลอง

4.1 ทำการสร้างหุ่นจำลอง Green roof เพื่อทำการเก็บข้อมูล

4.2 ทำการจำลอง Green Roof ด้วยโปรแกรม EnergyPlus

5. การวิเคราะห์ข้อมูล

5.1 ประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิผิวหลังคา และอุณหภูมิอากาศภายใน กรณีไม่ปรับอากาศ

5.2 ประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิผิวหลังคา และอุณหภูมิอากาศภายใน กรณีปรับอากาศ

5.3 ประสิทธิภาพในการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าจากเครื่องปรับอากาศ

6. สรุปผลการศึกษา

6. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบอิทธิพลของตัวแปร เช่น ความหนาแน่นใบ ความลึกดินปลูก มีผลต่ออุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาอาคารอย่างไร
2. ทราบแนวทางในการใช้ Green roof เพื่อลดการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคาอาคารที่ทำให้อุณหภูมิผิวใต้หลังคาต่ำที่สุด
3. ทราบถึงประสิทธิภาพการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าจากเครื่องปรับอากาศในอาคารที่ใช้ Green roof
4. นำผลที่ได้ไปขยายผลเพื่อหารูปแบบของ Green roof ที่เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศร้อนชื้นของประเทศไทยต่อไป

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. คำจำกัดความของ Green roof ¹

ความหมายของ Green roof หรือ “หลังคาเขียว” อาจแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ

1.1 Green roof ในแง่ของเทคโนโลยีอาคาร เน้นที่การทดลองวัสดุก่อสร้างและเทคโนโลยีสมัยใหม่ที่จะช่วยลดอุณหภูมิ ลดการใช้พลังงาน สร้างภะวะน่าสบาย ส่งเสริมแนวความคิดของการพัฒนาอย่างยั่งยืนในรูปแบบของสถาปัตยกรรมสีเขียว (Green architecture) เน้นที่เทคโนโลยีในการออกแบบก่อสร้างงานสถาปัตยกรรม ที่คำนึงถึงการลดผลกระทบต่อสภาพแวดล้อม

1.2 Green roof ที่หมายถึง หลังคาที่เป็นสีเขียวจากการมีพืชพันธุ์ปกคลุมอยู่ข้างบน ไม่ว่าจะเป็นพืชพันธุ์ในลักษณะพืชคลุมดิน ไม้เลื้อยหรือลักษณะใดๆ ก็ตาม โดยเน้นที่การคำนึงถึงผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมโดยตรง นอกเหนือไปจากการสร้างสภะวะน่าสบาย และการลดการใช้พลังงานของอาคาร ซึ่งอาจแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

1.2.1 Intensive green roof คือ Green roof ที่มุ่งเน้นประโยชน์ใช้สอย เช่น ใช้เป็นส่วนหลังคา (Roof garden) หรือ พื้นที่นันทนาการของอาคาร หลังคาที่จัดอยู่ในรูปแบบนี้จะมีน้ำหนัก 1,500-3,000 กิโลกรัม/ตารางเมตร และต้องการการดูแลรักษามากกว่า (ภาพที่ 3)



ภาพที่ 3 ภาพแสดงตัวอย่าง Intensive green roof

ที่มา : [Green Roof](#) [online], Accessed 16 November 2007.

Available from www.greenroofs.com

¹ กนกวลี สุธีธร, หลังคาเขียว ทางเลือกเพื่อการก้ำจัดน้ำฝน (กรุงเทพมหานคร : คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548) , 3-5

1.2.2 Extensive green roof คือ Green roof ที่เน้นประโยชน์ทางด้านสิ่งแวดล้อม เป็น Green roof ที่มีความลึกดิน 1-5 นิ้ว และมีน้ำหนักประมาณ 300-1,000 กิโลกรัม/ตารางเมตร ใช้พืชพันธุ์ขนาดเล็ก เช่น หญ้า หรือพืชคลุมดินที่ไม่โตและไม่ต้องการดินมากนัก (ภาพที่ 4)



ภาพที่ 4 ภาพแสดงตัวอย่าง Extensive green roof

ที่มา : Green Roof [online], Accessed 16 November 2007.

Available from www.greenroofs.com

หลังคาเขียวในยุคแรกหรือหลังคาเขียวในรูปแบบที่เรียบง่ายที่สุด อาจเป็นการวางไม้กระถางบนพื้นที่ดาดฟ้า ทั้งเพื่อความสวยงาม ช่วยลดความร้อนและลดแสงสะท้อนจากพื้นดาดแข็งบนหลังคา หากแต่ว่าเป็นหลังคาเขียวที่มีขนาดเล็กหรือมีพืชพันธุ์ในปริมาณจำกัดและอาจไม่ให้เกิดผลในการลดอุณหภูมิที่เด่นชัดนัก

ส่วนหลังคาเขียวสมัยใหม่นั้น สร้างขึ้นตามระบบแผ่นชั้นที่ทำขึ้นจำหน่ายโดยบริษัทผู้ผลิตที่จงใจทำขึ้นเฉพาะเพื่อใช้วางบนหลังคาสำหรับรองรับวัสดุปลูกพืชและตัวพืชที่จะปลูก นับเป็นปรากฏการณ์ใหม่ เทคโนโลยีนี้พัฒนาขึ้นในประเทศเยอรมันเมื่อประมาณ พ.ศ. 2508 และได้แพร่หลายไปทั่วประเทศนับแต่นั้นมา ปัจจุบัน ประมาณว่าร้อยละ 10 ของหลังคาอาคารในประเทศเยอรมันเป็น “หลังคาเขียว” หลังคาเขียวกำลังได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในสหรัฐฯ แม้จะยังไม่มากเท่าในยุโรป

ตารางที่ 1 แสดงการสรุปเปรียบเทียบ Intensive green roof และ Extensive green roof

Intensive Green roof	Extensive Green roof
ข้อดี ▪ ปลุกพืชพันธุ์ได้ หลากหลาย ▪ มีคุณสมบัติการเป็นฉนวนที่ดี ▪ มีความสวยงาม ▪ ปรับเปลี่ยนรูปแบบการใช้สอยได้ หลากหลาย	ข้อดี ▪ โครงสร้างมีน้ำหนักเบา ▪ รองรับ slope หลังคาตั้งแต่ 0-30° ▪ ดูกลมกลืนกับธรรมชาติ ▪ สามารถปล่อยพืชพันธุ์เติบโตเองได้ ▪ ค่าบำรุงรักษาต่ำ
ข้อด้อย ▪ น้ำหนักมาก ▪ ต้องการระบบการระบายน้ำที่ดี ▪ ราคาสูง ▪ ระบบมีความซับซ้อน ต้องใช้ผู้ชำนาญ	ข้อด้อย ▪ พืชพันธุ์ที่ปลูกมีจำกัด ▪ ไม่สามารถใช้สอยพื้นที่หลังคาได้

ที่มา : Jacklyn Johnston and John Newton, Building Green a guide to using plants on roofs walls and pavements, (London: Ecology Unit, 1993), 54.

สารานุกรมเสรีทางอินเทอร์เน็ต “Wikipedia” ได้อธิบายเพิ่มเติมไว้ว่า หลังคาเขียวส่วนใหญ่ ถูกสร้างให้เป็นไปตามข้อบัญญัติท้องถิ่นซึ่งให้ความสำคัญแก่การจัดการการระบายน้ำฝนในพื้นที่ที่ใช้ระบบระบายน้ำรวม (รวมน้ำโสโครกและน้ำฝนไว้ในท่อเดียวกัน - Combined sewer-stormwater systems) ซึ่งน้ำฝนที่มากผิดปกติจะทำให้เกิดน้ำล้นท่อพาของเสียไหลท่วมพื้นที่แล้วไหลลงสู่ทางน้ำสาธารณะได้ หลังคาเขียวจะช่วยลดปริมาณน้ำฝนที่ไหลตามผิวโดยรวม ทำให้อัตราการไหลจากหลังคาช้าลง ซึ่งพบว่าหลังคาเขียวช่วยรับและหน่วงน้ำได้มากถึง 75% ของปริมาณน้ำฝนปกติที่ตกลงบนหลังคาแล้วจึงค่อยๆ ปล่อยน้ำกลับคืนสู่บรรยากาศอย่างช้าๆ โดยการระเหย ในขณะที่เดียวกันดินปลูกก็จะช่วยจับมลพิษที่ดูดซับมาโดยฝนไว้ในดิน โครงการอสังหาริมทรัพย์ใหม่ชื่อ “เอเลเวชัน 314” ในกรุงวอชิงตัน ดี.ซี. ได้ใช้หลังคาเขียวสำหรับกรองและเก็บกักน้ำฝนบางส่วนไว้ในบริเวณโครงการเพื่อหลีกเลี่ยงการใช้ระบบกรองใต้ดินที่ใช้ทรายที่มีราคาแพงเพื่อให้เป็นไปตามข้อบัญญัติว่าด้วยการระบายน้ำฝนของหน่วยงานควบคุมด้านสาธารณสุขของวอชิงตัน ดี.ซี.



ภาพที่ 5 ภาพแสดงหลังคาปลูกหญ้าของบ้านหลายหลังที่เห็นในหมู่บ้าน Bøur และเกาะฟาโร (Faroe Islands)

ที่มา : [Green Roof](#) [online], Accessed 1 February 2008.

Available from th.wikipedia.org/wiki/หลังคาเขียว

การต่อสู้กับปรากฏการณ์เกาะความร้อนในเมือง เป็นเหตุผลสำคัญอีกประการหนึ่งที่ทำให้ Green roof ได้รับการยอมรับ วัสดุก่อสร้างอาคารทั่วไปเมื่อดูดซับความร้อนไว้เต็มที่แล้วก็จะไม่ดูดซับได้ไว้อีกและจะแผ่ความร้อนสู่อากาศที่เย็นกว่า ทำให้เมืองที่มีอาคารตั้งอยู่หนาแน่นมีความร้อนสูงกว่าพื้นที่ชานเมืองโดยรอบที่มีพื้นที่สีเขียวถึง 4 องศาเซลเซียส ตัวอย่างเช่น หลังคาเขียวของ Chicago City Hall (ภาพที่ 6) จะมีอุณหภูมิต่ำกว่าหลังคาธรรมดาอื่นๆ ทั่วไปที่อยู่ใกล้เคียงประมาณ 14-44 องศาเซลเซียส

หลังคาเขียว เริ่มมีมากและกลายเป็นเรื่องธรรมดามากขึ้นในชิคาโก รวมทั้งแอตแลนตา พอร์ตแลนด์และเมืองอื่นๆ การใช้ที่มากขึ้นนี้เกิดจากข้อบัญญัติท้องถิ่นที่ให้การสนับสนุนเพื่อต่อสู้กับปรากฏการณ์เกาะความร้อน และเป็นตัวอย่างที่โดดเด่นตัวอย่างหนึ่งของประเทศ ที่ได้จัดสร้างขึ้นเพื่อทดลองหาข้อมูลว่า หลังคาเขียวจะมีผลต่อลมฟ้าอากาศจุลภาคบนหลังคาอย่างไร จากตัวอย่างนี้และจากการศึกษาหลังคาเขียวแห่งอื่นๆ ทำให้ประมาณการได้แล้วว่า หากหลังคาของ

อาคารทุกหลังในเมืองใหญ่เป็นหลังคาเขียว ในวันที่ร้อนจัด อุณหภูมิในเมืองจะลดลงได้มากถึง 7 องศาเซลเซียส

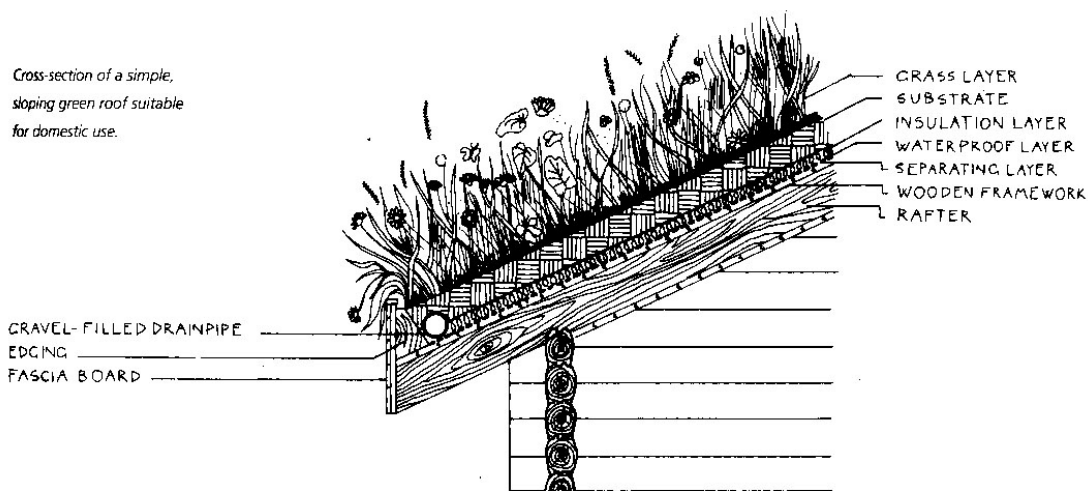


ภาพที่ 6 ภาพ Green roof บนหลังคาอาคาร Chicago City Hall

ที่มา : Earth Pledge, Green Roof Ecological Design and Construction, (U S A: A Shiffer Publishing Ltd & Design, 2005), 58.

นอกจากนี้ยังพบว่าหลังคาเขียวสามารถเพิ่มค่าความเป็นฉนวนของหลังคาได้มากอีกด้วย การศึกษาของหน่วยงานสิ่งแวดล้อมของแคนาดา (Environment Canada) พบว่าหลังคาเขียวสามารถลดความต้องการในการทำความอบอุ่นในฤดูหนาวได้ 26 องศาเซลเซียส และลดความต้องการในการทำความเย็นในฤดูร้อนได้ 26 องศาเซลเซียสเช่นกัน และการศึกษาของศูนย์วิจัยหลังคาเขียวของมหาวิทยาลัยเพนซิลเวเนียพบว่า หลังคาเขียวสามารถยืดอายุการใช้งานของหลังคาอาคารให้ยืนยาวไปได้อีก 2-3 เท่าทีเดียว

หลังคาเขียวในยุคแรกมักสร้างโดยใช้รูปแบบที่เรียบง่ายที่สุด อาจเป็นการวางไม้กระถางบนพื้นที่ดาดฟ้า ทั้งเพื่อความสวยงาม ช่วยลดความร้อนและลดแสงสะท้อนจากพื้นดาดแข็งบนหลังคา หากแต่ Green roof ที่มีขนาดเล็กหรือมีพืชพันธุ์ในปริมาณจำกัด อาจไม่ส่งผลในการลดอุณหภูมิที่เด่นชัดนัก อีกทั้งยังมีข้อจำกัดทั้งในเรื่องของน้ำหนัก การขนย้าย การดูแลรักษา รวมทั้งรูปแบบที่อาจจะเป็นข้อจำกัด คือ หลังคาที่ไม่ได้เป็นดาดฟ้ามักจะไม่สามารถปลูกพืชพันธุ์ปกคลุมด้านบนเพื่อสร้างหลังคาเขียวได้



ภาพที่ 7 แสดงรูปตัดของ Extensive green roof

ที่มา : Jacklyn Johnston and John Newton, Building Green a guide to using plants on roofs walls and pavements, (London: Ecology Unit, 1993), 57.

2. ประโยชน์ของ Green roof²

ประโยชน์ของ Green roof อาจสรุปได้ดังนี้

2.1 ลดปริมาณและปรับสภาพน้ำฝนที่ไหลจากหลังคา

Green roof เป็นการแก้ปัญหการจัดการน้ำฝนที่ได้ผลดีที่สุดวิธีหนึ่ง เพราะหลังคาที่มีพืชพันธุ์ปกคลุมอยู่ จะสามารถเก็บน้ำไว้ได้มากกว่าหลังคาที่ไม่มีการปลูกต้นไม้ด้านบน กิ่ง ก้าน ใบ และดินปลูก สามารถดูดซับน้ำไว้ไม่ให้ไหลผ่านลงไปในทันที แต่จะเก็บน้ำฝนเอาไว้และค่อยๆ ไหลออกไปช้าๆ ในขณะที่เดียวกันน้ำฝนที่ไหลผ่านหลังคาที่มีพืชพันธุ์ ก็ได้ผ่านการกรองเอาฝุ่นและมลพิษที่ปนเปื้อนจากอากาศ ทำให้คุณภาพของน้ำที่ไหลผ่านหลังคาเขียว ได้รับการปรับปรุงให้ดีขึ้น เป็นการช่วยลดผลกระทบต่อสภาพแวดล้อม

2.2. การกรองเสียงรบกวน (Sound filter)

² กนกวลี สุธีธร, หลังคาเขียว ทางเลือกเพื่อกำจัดน้ำฝน (กรุงเทพมหานคร : คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548), 8.

ปัญหามลภาวะทางเสียง นับเป็นอีกหนึ่งปัญหาใหญ่ในเมืองที่มีความหนาแน่นสูง การสร้างหลังคาเขียว นอกจากจะช่วยในการจัดการน้ำฝนแล้ว พืชพันธุ์บนหลังคายังทำหน้าที่เป็นเหมือนฉนวนกันเสียงรบกวนให้กับอาคาร ความหนาของหลังคาที่เพิ่มขึ้นจากดินปลูกและวัสดุพืชพันธุ์ทำหน้าที่ดูดซับเสียงรบกวนจากภายนอกได้เป็นอย่างดี

2.3 การเพิ่มพื้นที่สีเขียวในเมืองและช่วยลดมลภาวะสร้างอากาศบริสุทธิ์

เช่นเดียวกับประโยชน์จากต้นไม้ทั่วไป พืชพันธุ์บนหลังคาเขียวช่วยเพิ่มออกซิเจนและลดคาร์บอนไดออกไซด์ให้กับเมือง พืชพันธุ์ที่มีชีวิตที่อยู่บนหลังคาสร้างอากาศบริสุทธิ์ช่วยกรองฝุ่นละอองในอากาศ และลดมลภาวะในเมืองได้

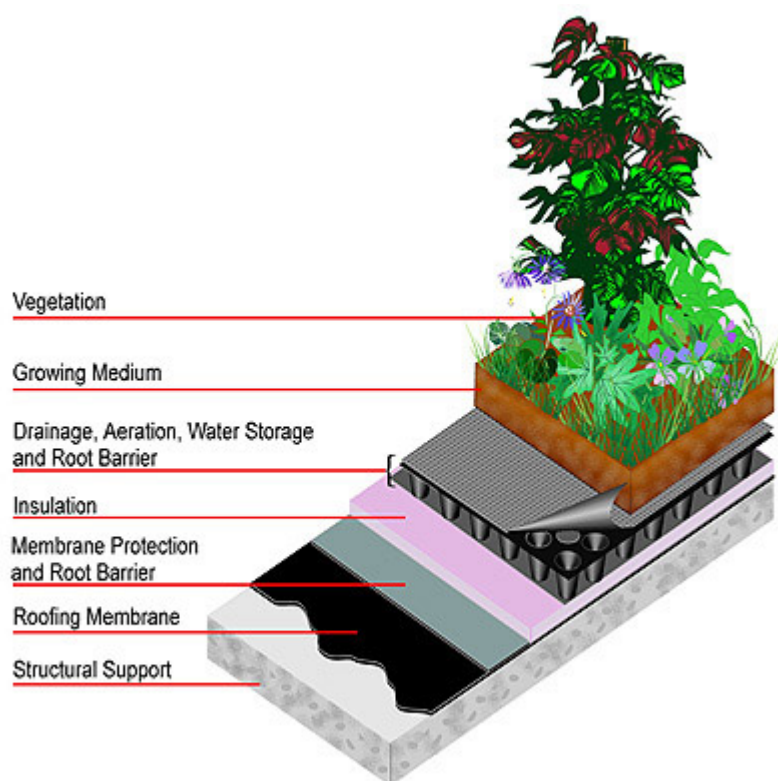
2.4 การควบคุมอุณหภูมิภายในอาคารให้อยู่ในสภาวะที่สบาย

หลังคาเขียวช่วยควบคุมการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในอาคาร พืชพันธุ์ที่อยู่บนหลังคาทำหน้าที่เป็นเหมือนฉนวนกันความร้อนจากภายนอก และควบคุมอุณหภูมิภายในอาคารให้อยู่ในระดับที่คงที่ และยังสามารถลดแสงสะท้อนจากหลังคาที่มีผลกระทบต่ออาคารข้างเคียงได้อีกด้วย

2.5 การปรับปรุงสภาพของระบบนิเวศเมือง (Urban ecology) โดยรวมให้ดีขึ้น

ปัญหาที่สำคัญของระบบนิเวศเมือง คือ อุณหภูมิและมลภาวะ ความแปรปรวนของสภาพอากาศและความขาดแคลนพื้นที่ธรรมชาติที่ส่งเสริมสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมให้กับสิ่งมีชีวิตหลังคาเขียวช่วยควบคุมอุณหภูมิของเมือง ลดมลภาวะ กรองฝุ่น ช่วยสร้างอากาศบริสุทธิ์ สร้างสภาพแวดล้อมที่เป็นธรรมชาติและเป็นที่อยู่ของสิ่งมีชีวิต

3. ส่วนประกอบของ Green roof ³



ภาพที่ 8 รูปตัดแสดงส่วนประกอบของ Green roof

ที่มา : Green Roof [online], Accessed 16 November 2007.

Available from www.greenroof.com

3.1 โครงสร้างรับน้ำหนัก (Structural Support)

เป็นส่วนที่ใช้รับน้ำหนักทั้งหมดของหลังคา Green roof ตามหลักการ อาคารควรมีการคำนวณทางวิศวกรรมโครงสร้างเพื่อรองรับน้ำหนักไว้ตั้งแต่ก่อนการก่อสร้าง โดยปกติอาคารทั่วไปที่ไม่ต้องรับน้ำหนักอะไรมากเป็นพิเศษ มักสามารถรองรับน้ำหนักที่ 200 -400 กิโลกรัม/ตารางเมตร แต่หากเป็นอาคารที่ต้องการมีส่วนหลังคา การรับน้ำหนักต้องอยู่ที่ 1,220 – 1,465 กิโลกรัม/ตารางเมตร หรือมากกว่านั้น

³ พชร เลิศปิติวัฒนา, “การออกแบบสวนหลังคาในกรุงเทพมหานคร” (วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547).

3.2 วัสดุกันซึม (Roofing Membrane)

วัสดุกันน้ำซึมเป็นพื้นผิวชั้นที่สำคัญที่สุดที่มีหน้าที่ป้องกันน้ำจากหลังคาซึมเข้าสู่ภายในอาคาร โดยมีข้อกำหนดที่สำคัญคือ ต้องมีความทนทาน สามารถต้านการกระแทกจากอุปกรณ์ต่างๆ ได้ดี ป้องกันการแทรกซึมของรากพืชและน้ำได้เป็นอย่างดี มีอายุการใช้งานยาวนาน ป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลต ทนต่อการแปรเปลี่ยนของอุณหภูมิและชั้นบรรยากาศ ทนต่อการทำลายของแมลงและสิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก



ภาพที่ 9 แสดงขั้นตอนการติดตั้งวัสดุกันน้ำซึม (Water Proof Membrane)

ที่มา : Earth Pledge, Green Roof Ecological Design and Construction (U S A: A Shiffer Publishing Ltd & Design, 2005), 134.

3.3 วัสดุป้องกันชั้นวัสดุกันซึม (Membrane Protection and Roof Barrier)

เป็นชั้นวัสดุป้องกันชั้นวัสดุกันซึมจากความเสียหายระหว่างการก่อสร้าง และป้องกันการแทรกทะลุของรากพืชชั้นวัสดุกันซึม ซึ่งจะมีผลทำให้เกิดการรั่วซึมของน้ำสู่ชั้นล่างของอาคารได้ วัสดุที่ใช้ในชั้นนี้ควรมีความแข็งแรงทนทาน ในสมัยก่อนนิยมใช้แผ่นใยหิน แต่เนื่องจากมีผลกระทบต่อสุขภาพ ในทวีปยุโรปจึงมีการเปลี่ยนมาใช้เป็นวัสดุฟิล์มโพลียูรีเทน (Polyurethane Film) มีความหนาประมาณ 8 มิลลิเมตร ซึ่งพบว่ามีประสิทธิภาพดีกว่า

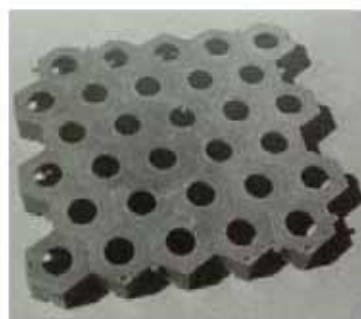
3.4 ฉนวนกันความร้อน (Insulation)

ฉนวนเป็นตัวทำหน้าที่ป้องกันความร้อนภายนอกอาคารที่มีอุณหภูมิสูงกว่า เข้าสู่พื้นที่ภายในอาคารที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ทำให้สามารถช่วยประหยัดพลังงานของเครื่องทำความเย็น ขณะเดียวกันในฤดูหนาวก็จะเป็นฉนวนป้องกันความร้อนจากภายในอาคารออกสู่ภายนอกอาคาร ซึ่งความหนาของชั้นฉนวนที่ดีควรอยู่ที่ 5.0 เซนติเมตรขึ้นไป ตัวอย่างเช่น โฟมโพลีสไตรีน

(Polystyrene Foam) ซึ่งมีน้ำหนักเบา มีคุณสมบัติต่อต้านความชื้นและมีความแข็งแรงไม่บดงอ
ง่าย

3.5 วัสดุกรองและระบายน้ำ (Drainage, Aeration, Water Storage and Roof Barrier)

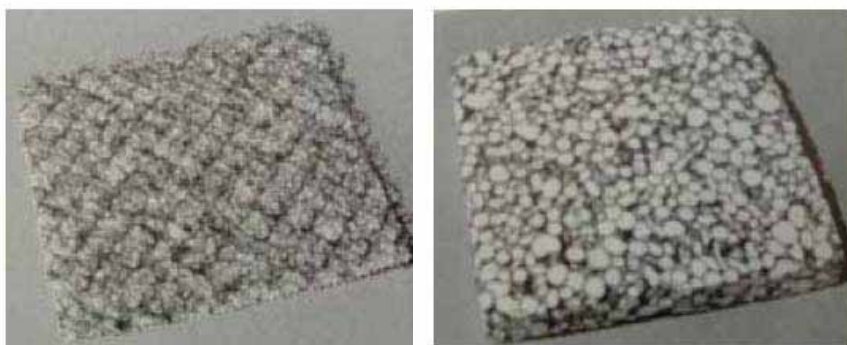
เป็นชั้นของวัสดุที่ทำหน้าที่ระบายน้ำ ประกอบด้วย ก้อนกรวด เศษหินแตก แต่ในปัจจุบันเริ่มมีการผลิตวัสดุระบายน้ำสังเคราะห์ที่เรียกว่า Glass cell ทำจากพลาสติก โครงสร้างเหมือนรวงผึ้ง (Honeycomb) เป็นตารางหลุม หกมุมหกเหลี่ยมเชื่อมกันเป็นแผ่นสี่เหลี่ยม (ภาพที่ 10) มีคุณสมบัติที่ดีคือ แข็งแรง ไม่เปราะแตกง่าย สามารถรับน้ำหนักได้ดี มีประสิทธิภาพในการระบายน้ำได้ดี มีน้ำหนักเบา ติดตั้งง่าย



ภาพที่ 10 Glass cell ทำจากพลาสติก โครงสร้างเหมือนรวงผึ้ง (Honeycomb)

ที่มา : Theodore Osmundson, The Changing Technique of Roof Garden Design (New York : W.W. Norton&Company,1999), 165.

วัสดุกรองหรือแผ่นใยกรองดิน เป็นผืนผ้าใยสังเคราะห์ที่บดอยู่บนส่วนชั้นระบายน้ำ โดยแผ่นใยกรองนี้จะมีรูพรุนขนาดเล็กมาก ทำหน้าที่ให้น้ำไหลผ่าน แต่สามารถป้องกันเศษผงเศษดินที่จะไหลผ่านเข้าไปในชั้นระบายน้ำได้ ทำให้ปราศจากการอุดตันของชั้นระบายน้ำและท่อระบายน้ำจากเศษดิน คุณสมบัติที่ดีของแผ่นใยกรองดินคือ น้ำหนักเบา ต่อด้านรังสีอัลตราไวโอเลตได้ดี มีความคงทนแข็งแรงไม่ฉีกขาดง่ายจากการรับน้ำหนักของดินปลูก ติดตั้งง่าย แผ่นใยกรองที่นิยมนำมาใช้ เช่น แผ่น Enkadrain ทำจากเส้นด้ายพลาสติกสังเคราะห์หยาบๆ ที่เป็นฝอยเส้นเล็ก หรือแผ่น Geotech มีลักษณะเป็นแผ่นคล้ายขนมกระยาสารท ประกอบด้วยเม็ดโพลีสไตรีนแผ่นกว้างเชื่อมเป็นแผ่นด้วยกาวแอสฟัลท์ (ภาพที่ 11)



ภาพที่ 11 แผ่นใยกรองดิน Enkadrane (ซ้าย) และแผ่น Geotech (ขวา)

ที่มา : Theodore Osmundson, The Changing Technique of Roof Garden Design (New York : W.W. Norton&Company, 1999), 165.

3.6 วัสดุปลูก (Growing Medium)

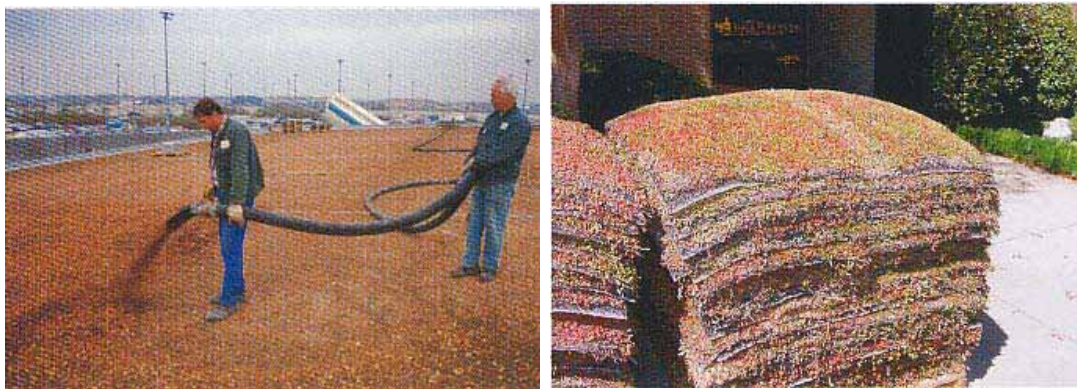
ดินปลูกเป็นแผ่นให้พืชได้ยึดเกาะและเป็นแหล่งธาตุอาหารเพื่อการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งดินปลูกที่มีลักษณะเหมาะกับการใช้งาน Green roof คือ แข็งแรงทนทาน น้ำหนักไม่มาก มีความสามารถในการระบายน้ำได้ดี มีความชื้นแต่ไม่เปียก ยึดธาตุอาหารได้ดี วัสดุปลูกมีหลายชนิด ทั้งที่นำมาจากธรรมชาติ เช่น ดินร่วน ดินเหนียว และวัสดุปลูกที่มาจากการสังเคราะห์ซึ่งมีราคาค่อนข้างสูง แต่มีคุณสมบัติที่ดี เช่น หินชนวนไลก้า (Leca) ดินเม็ดไดอะทอมแซ เอิร์ธ (Diatomaceous Earth) ดินไอโซไลท์ (Isolite) นอกจากดินปลูกแบบเม็ดแล้ว ดินปลูกสังเคราะห์ยังได้พัฒนาเป็นแผ่นหรือก้อนโฟมชนิดพิเศษ ซึ่งบางครั้งถูกนำมาใช้เป็นฉนวนกันความร้อน ทำหน้าที่คล้ายเป็นแผ่นโฟมซับน้ำ และยังมีคุณสมบัติเก็บธาตุอาหารได้เหมือนดินธรรมชาติอีกด้วย

ดินปลูกเป็นวัสดุหนึ่งที่ก่อให้เกิดปัญหาการเพิ่มน้ำหนักต่อโครงสร้างหลังคา การแก้ไขที่เป็นที่นิยมคือ การแทนที่เนื้อดินปลูกด้วยแผ่นสไตรโฟม (Styrofoam Slab) ซึ่งมีน้ำหนักเบากว่ามาก แต่จะไม่สามารถดูดซับธาตุอาหารหรือน้ำได้ จึงมักวางอยู่ในส่วนล่างสุดของดินปลูก วิธีนี้เหมาะสำหรับใช้ในกรณีที่บริเวณที่จะปลูกมีความลึกมาก

3.7 พืชพันธุ์ (Vegetation)

พืชพันธุ์เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของงาน Green roof ซึ่งจะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับการใช้งาน โดยข้อพิจารณาในการเลือกพืชพันธุ์มาปลูกคือ พืชที่นำมาปลูกควรมีลักษณะสอดคล้องกับการรับน้ำหนักโครงสร้างของพื้นหลังคา ความสูงของต้นไม้ที่สูงสุด จุดสูงสุดของการแผ่ขยายของใบไม้ กิ่งไม้ ขนาดรากพืช ความลึกของรากพืชในการชอนไชต้องไม่กระทบต่อ

โครงสร้างอาคาร มีความทนทานต่อภาวะแห้งแล้งและน้ำท่วมขัง สภาพแวดล้อมและภูมิอากาศ สัมพันธ์กับความต้องการของพืช



ภาพที่ 12 แสดงการติดตั้งวัสดุปลูกและพืชพันธุ์

ที่มา : Earth Pledge, Green Roof Ecological Design and Construction (U S A: A Shiffer Publishing Ltd & Design, 2005), 135.

4. ข้อควรคำนึงถึง ปัญหาและข้อจำกัดของการใช้ Green roof

4.1 ชนิดของพืชพันธุ์

พืชพันธุ์ที่ใช้ควรเป็นพืชพันธุ์ที่ดูแลรักษาง่าย ไม่มีรากชอนไชทำลายโครงสร้างของอาคาร หรือกิ่งก้านที่เปราะหักง่ายซึ่งอาจเป็นอันตราย และมีน้ำหนักไม่มากนัก ควรเลือกพืชพันธุ์โดยดูจากขนาดเมื่อโตเต็มที่ด้วย เพื่อไม่ให้เกิดปัญหาพืชพันธุ์มีขนาดใหญ่เกินไปในภายหลัง พืชพันธุ์ที่ใช้ อาจเป็นพวกไม้อวบน้ำที่ไม่ต้องรดน้ำบ่อยและทนต่อการสูญเสียน้ำหรือพืชพันธุ์ประเภทที่ใช้ในสวนหิน พืชพันธุ์ที่ไม่ต้องการดินปลูกมาก และควรเป็นพันธุ์ไม้ที่ทนแดด เพราะพืชพันธุ์ที่ปลูกบนหลังคา มักจะต้องโดนแดดเต็มที่

4.2 สภาพแวดล้อม

แดด ลม ฝน ความชื้นและอุณหภูมิ ในบางพื้นที่ที่มีลมแรง อาจมีผลต่อพืชพันธุ์ที่มีใบขนาดใหญ่ เพราะใบอาจฉีกขาด กิ่งเปราะหัก หรืออาจมีการสูญเสียน้ำมากกว่าการปลูกข้างล่าง ปริมาณแสงแดดที่มีมากกว่า ทั้งความเข้มของแสงและช่วงเวลาที่ได้รับแสง ทำให้ต้องคำนึงถึงการเลือกใช้พืชพันธุ์ที่เหมาะสมด้วย ความชื้นและความแตกต่างของอุณหภูมิเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่สำคัญ แสงแดดที่รุนแรงส่งผลให้อุณหภูมิสูงขึ้นในตอนกลางวัน ความชื้นและอุณหภูมิที่ลดต่ำลงในตอนกลางคืนทำให้เกิดการควบแน่น และการกลั่นตัวเป็นหยดน้ำ ดังนั้น ในการสร้าง

หลังคา Green roof ในประเทศไทย ต้องมีการคำนึงถึงความชื้นและอุณหภูมิที่แตกต่างเนื่องจากประเทศไทยอยู่ในเขตอากาศแบบร้อนชื้น พืชพันธุ์ที่ปกคลุมหลังคา อาจส่งผลให้เกิดความชื้นที่สูงเกินไป และมีผลกระทบต่อโครงสร้างอาคาร

4.3 โครงสร้าง การรั่วซึมและการรับน้ำหนัก

เช่นเดียวกับที่อื่นๆ การคำนึงถึงการรั่วซึมของหลังคาเป็นปัญหาสำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในประเทศไทย ที่มีภูมิอากาศแบบร้อนชื้นและมีฤดูฝนนานหลายเดือน หรือเกือบจะทั้งปี ในหลายๆ พื้นที่ แม้ว่าจะมีการยืนยันว่า Green roof ไม่ได้เป็นสาเหตุของการรั่ว หรือการสร้างหลังคา Green roof จะทำให้เกิดการรั่วซึมในอาคาร มากไปกว่าหลังคาธรรมดาที่ไม่ได้มีการออกแบบป้องกันการรั่วซึมที่เหมาะสม อย่างไรก็ดี การเตรียมการ เพื่อป้องกันการรั่วซึมนับเป็นเรื่องที่จำเป็นในแง่ของโครงสร้างและการรับน้ำหนัก ควรเลือกใช้พืชพันธุ์ที่ไม่มีรากขนไช ทำลายโครงสร้างอาคาร หรือมีน้ำหนักมากเกินไป ที่อาจส่งผลกระทบต่อโครงสร้าง เมื่อพืชพันธุ์มีขนาดที่ใหญ่มากขึ้น

4.4 การดูแลรักษา

มีทั้งเรื่องการรดน้ำ การเก็บกวาด ตัดแต่งและการใส่ปุ๋ยหรือเปลี่ยนดินที่อาจเสื่อมคุณภาพเนื่องจากข้อจำกัดทางด้านโครงสร้าง ดินที่ใช้บน Green roof จึงมักมีปริมาณและความลึกที่น้อยที่สุดที่จะยังคงทำให้พืชสามารถมีชีวิตรอดอยู่ได้ ดังนั้นจึงต้องมีการบำรุงรักษาดินให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสม การตัดแต่งพืชพันธุ์บน Green roof ไม่ได้เป็นเรื่องที่ย่งยากมากนัก เนื่องจากปริมาณดินที่มีอยู่จำกัด และความลาดเอียงของหลังคา พืชพันธุ์ที่ปลูกบน Green roof จึงมักจะโตในแนวระนาบ ซึ่งทำให้ไม่ต้องการตัดแต่งมาก

4.5 ค่าใช้จ่าย

ในการสร้าง Green roof อาจต้องใช้ค่าใช้จ่ายมากกว่าหลังคาปกติถึง 2 เท่าทั้งค่าใช้จ่ายของโครงสร้างที่มากขึ้น ค่าใช้จ่ายในการปลูกและบำรุงรักษาพืชพันธุ์บนหลังคา หากแต่ผลประโยชน์ที่จะได้รับตามมา นับว่าคุ้มค่า และอาจใช้เป็นการสร้างรายได้ช่องทางหนึ่งได้ เช่น ที่โรงแรม แฟร์มอนท์ วอเตอร์ฟร้อนท์ ในแวนคูเวอร์ สามารถปลูกพืชและสมุนไพรบนหลังคาได้เป็นมูลค่าถึงกว่า \$30,000 ต่อปี

อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีการทดลองและมีสรุปผลที่ชัดเจน เกี่ยวกับการประเมินคุณค่าทั้งในทางบวกและลบของการใช้ Green roof ในประเทศไทย ความแตกต่างทางสภาพแวดล้อม ทั้งสภาพอากาศ ความชื้น ความลาดชันของหลังคา สภาพภูมิประเทศและลักษณะทางกายภาพ

อื่นๆของประเทศไทย ดังนั้น ในการที่จะนำ Green roof มาใช้ในประเทศไทยจะต้องมีการทดลองทดสอบ และประเมินผลต่อไป

5. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

5.1 พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของหลังคา⁴

เมื่อหลังคาได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์จะมีการส่งผ่านความร้อนแล้วสะสมไว้ในตัววัสดุหลังคา โดยการนำความร้อนผ่านมวลสารของวัสดุหลังคาและการพาความร้อนเข้าสู่ภายในอาคารที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ซึ่งปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคารจะมากหรือน้อยนั้น ขึ้นอยู่กับมวลสาร คุณสมบัติในการต้านทานความร้อน ตลอดจนคุณสมบัติในด้านต่างๆ ของวัสดุ เช่น คุณสมบัติในการดูดกลืนความร้อน การสะท้อนความร้อน เป็นต้น คุณสมบัติดังกล่าวมีผลต่อภาวะการปรับอากาศของอาคาร ทำให้สามารถช่วยเพิ่มหรือลดการใช้พลังงานในการปรับอากาศของอาคารได้

ในช่วงกลางวัน หลังคาจะเป็นส่วนที่ได้รับแสงแดดมากที่สุดเกือบตลอดทั้งวัน วัสดุมุงหลังคาจะดูดกลืนรังสีความร้อนที่มากับแสงอาทิตย์ จึงทำให้อุณหภูมิของวัสดุมุงหลังคามีค่าสูงขึ้น ความร้อนที่สะสมในวัสดุมุงหลังคาจะถูกถ่ายเทไปยังช่องว่างอากาศใต้หลังคา เมื่อช่องอากาศใต้หลังคามีอุณหภูมิสูงขึ้นก็จะถ่ายเทความร้อนไปสู่ฝ้าเพดานที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า และเมื่อฝ้าเพดานมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิในห้อง ก็จะทำให้เกิดการแผ่รังสีความร้อนให้กับห้อง ส่งผลให้ห้องมีอุณหภูมิสูงขึ้น

ในช่วงกลางคืน จะเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนกับท้องฟ้า (Night Sky Radiation) ทำให้อุณหภูมิของวัสดุมุงหลังคาภายนอกอาคารเย็นลงกว่าอุณหภูมิของอากาศภายนอกในส่วนช่องว่างใต้หลังคาที่มีอุณหภูมิสูงกว่าก็จะสูญเสียความร้อนให้กับผิววัสดุมุงหลังคาภายนอก ทำให้ช่องอากาศมีอุณหภูมิลดลง

⁴ สราวุธ จิตต์เจริญ, “แนวทางการสร้างแบบประเมินประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานของหลังคาอาคารในภูมิอากาศเขตร้อนชื้น” (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ สาขาวิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548).

5.2 คุณสมบัติของวัสดุ ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน⁵

5.2.1 ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal Conductivity - K)

หมายถึงความสามารถในการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อนของวัสดุใดๆ หรือปริมาณความร้อนภายใต้สภาวะคงที่ ที่ถ่ายเทผ่าน 1 หน่วยพื้นที่ของวัสดุที่มีความหนา 1 หน่วย ใน 1 หน่วยเวลา โดยมีความแตกต่างของอุณหภูมิผิววัสดุทั้ง 2 ด้าน 1 หน่วย มีหน่วยเป็น (Btu-in/hr.ft².°F) และมีหน่วย SI เป็น (W/m².K)

5.2.2 ค่าความนำความร้อน (Thermal Conductance - C)

หมายถึงค่าความนำความร้อนของวัสดุใดๆ หรือ อัตราส่วนระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่อความหนาของวัสดุ ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังสมการต่อไปนี้

$$C = K / \Delta x$$

C คือ ค่าความนำความร้อน (W/m².°C)

Δx คือ ความหนาของวัสดุ (m.)

K คือ ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุ (W/m.°C)

5.2.3 ค่าความต้านทานความร้อน (Thermal Resistance – R-Value)

คือค่าที่แสดงประสิทธิภาพความเป็นฉนวนของวัสดุนั้นๆ ถ้าค่า R มาก แสดงถึงความเป็นฉนวนที่ดี สามารถต้านทานความร้อนที่จะถ่ายเทผ่านวัสดุได้มาก ค่านี้จะเป็นส่วนกลับของค่าความนำความร้อนสามารถคำนวณได้ดังสมการต่อไปนี้

$$R = 1 / C \text{ หรือ } \Delta x / k$$

R คือ ค่าความต้านทานความร้อน (m².°C/W)

C คือ ค่าความนำความร้อน (W/m².°C)

Δx คือ ความหนาของวัสดุ (m.)

k คือ ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุ (W/m.°C)

⁵ ศุภกิจ ยิ้มสรวล, “การใช้สวณหลังคาเพื่อลดการถ่ายเทความร้อน” (วิทยานิพนธ์ปริญญาโท ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541).

5.2.4 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (Coefficient of Transmission / U-Value)

หมายถึงการคำนวณหาปริมาณความร้อนเข้าสู่ตัวอาคารหรือออกจากตัวอาคาร เนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิ โดยจะใช้ U-Value เป็นหลัก สามารถหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$U = 1/\sum R$$

$\sum R$ คือผลรวมของ R-Value ของเปลือกอาคาร

5.2.5 ค่าความจุความร้อน (Specific Heat)

หมายถึงค่าคุณสมบัติในการจุความร้อนของวัสดุ หรือปริมาณความร้อนที่ทำให้วัสดุหนัก 1 หน่วย มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1 องศาเซลเซียส วัสดุที่มีค่าความจุความร้อนสูงจะสามารถกักเก็บความร้อนไว้ได้มาก สามารถคำนวณหาค่าความจุความร้อน (Heat Capacity) ของวัสดุต่างๆ ดังสมการต่อไปนี้

$$C = pc \text{ โดยที่ } p = m / v$$

C คือ ค่าความจุความร้อนของวัสดุ ($\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$)

p คือ ความหนาแน่นของวัสดุ (kg/m^3)

c คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของวัสดุ ($\text{kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}$)

m คือ มวลของวัสดุ (kg)

v คือ ปริมาตรของวัสดุ (m^3)

ค่าความจุความร้อนจำเพาะ ยังสามารถใช้คำนวณหาปริมาณความร้อนที่วัสดุต้องการในการเปลี่ยนอุณหภูมิ มีสมการดังต่อไปนี้

$$Q = mc \Delta T$$

Q คือ ปริมาณความร้อน (kJ)

m คือ มวลสารของวัสดุ (kg)

c คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของวัสดุ ($\text{kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}$)

ΔT คือ ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิที่ต้องการ ($^\circ\text{C}$)

5.3 พืชพันธุ์ไม้กับการปรับอุณหภูมิและลดการแผ่รังสีความร้อน⁶

พืชพันธุ์ไม้มีความสำคัญในการปรับอุณหภูมิสภาพแวดล้อมให้เหมาะสมกับการอยู่อาศัยของมนุษย์ให้อยู่ในภาวะน่าสบาย นอกจากนี้ยังสามารถช่วยลดการสะท้อนแสง และปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคาร ช่วยลดปริมาณการใช้พลังงานภายในอาคาร ปัจจัยในการปรับอุณหภูมิโดยการปรับสภาพของสิ่งที่เกี่ยวข้องกับความร้อนและพืชพันธุ์ไม้ ได้แก่

5.3.1 การดูดซับความร้อน (Absorption)

ต้นไม้ต้องใช้แสงแดดเพื่อใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสง โดยการดูดซับพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ เงาของต้นไม้เกิดขึ้นเนื่องจากกลุ่มใบที่หนาแน่นปกคลุมพื้นที่ที่สูงกว่า โดยใบไม้จะทำการดูดซับพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ และทำให้เกิดร่มเงากับพื้นผิวใต้ต้นไม้ ระดับของการดูดซับขึ้นอยู่กับขนาดของต้นไม้

5.3.2 การสะท้อนความร้อน (Reflection)

ใบไม้สามารถสะท้อนแสงแดด ช่วยลดอุณหภูมิบริเวณโดยรอบให้ต่ำลง การสะท้อนแสงอาทิตย์โดยพืชพันธุ์ไม้ขึ้นอยู่กับ

1. ความยาวของคลื่นแสง
2. ชนิดของใบไม้
3. อายุของใบไม้
4. ระดับความสูงต่ำของใบไม้
5. ตำแหน่งที่ได้รับแสงแดด
6. ตำแหน่งของใบไม้ในกลุ่มใบ
7. ความแห้งแล้งของสถานที่ตั้ง
8. ความสมบูรณ์ของที่ตั้ง
9. ฤดูกาล
10. ระดับดินทั่วไป

⁶ สุดสวาสดี ศรีสถาปัตย์, การออกแบบวัสดุพืชพันธุ์และการประหยัดพลังงาน (กรุงเทพมหานคร : ภาควิชาภูมิสถาปัตยกรรม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2530).

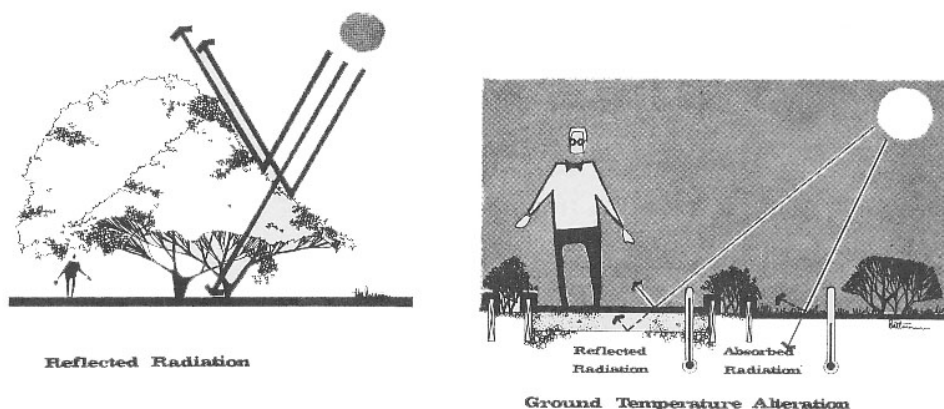
จากการศึกษาพบว่า พืชพันธุ์ไม้สามารถสะท้อนแสงแดด รวมทั้งดูดซับแสงและความร้อนที่มากับแสงอาทิตย์ได้ดีกว่าวัสดุที่มนุษย์ได้สังเคราะห์ขึ้น เช่น ยางมะตอย หญ้าเทียม คอนกรีต ดังนั้นหากเราใช้พืชพันธุ์ไม้ปกคลุมในบริเวณที่ได้รับแสงแดดก็จะช่วยให้สามารถลดอุณหภูมิบริเวณนั้นได้

5.3.3 การแผ่รังสีความร้อน (Radiation)

ต้นไม้จะดูดซับความร้อนในเวลากลางวัน และแผ่รังสีความร้อน(คายความร้อน) ในเวลากลางคืน โดยคายออกจากใบไม้โดยเฉพาะส่วนบนของกลุ่มใบ จึงทำให้อุณหภูมิของต้นไม้ลดลงต่ำกว่าอุณหภูมิโดยรอบ (ภาพที่ 13)

ในบริเวณที่มีพืชพันธุ์ไม้จะมีอุณหภูมิต่ำกว่าพื้นที่ที่ไม่มีต้นไม้เสมอ ไม่ว่าต้นไม้จะมีขนาดเท่าไรก็ตาม เพราะต้นไม้และหญ้าสามารถลดอุณหภูมิโดยการกระจายการแผ่รังสีความร้อน ดูดซับแสงอาทิตย์รวมทั้งเพิ่มปริมาณไอน้ำและความชื้นผ่านรูใบ

อุณหภูมิที่วัดได้ต้นไม้จะแตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับชนิดของพืชพันธุ์เนื่องจาก ความหนาแน่นของกลุ่มใบ ลักษณะใบและลักษณะกิ่งก้านสาขาที่ต่างกัน



ภาพที่ 13 Solar Radiation Control

ที่มา : Gary O. Robinette, Landscape Planning for Energy Conservation (Virginia : Mclean, 1976), 12.

5.3.4 การส่งผ่านความร้อน (Transmission)

พืชพันธุ์ไม้มีอัตราการส่งผ่านความร้อนที่น้อยกว่าวัสดุอื่นๆ ที่มนุษย์ได้สังเคราะห์ขึ้น ถือได้ว่าเป็นฉนวนความร้อนที่ดี เนื่องจากความสามารถในการดูดซับความร้อน

และการสะท้อนแสงที่ดี โดยปริมาณการส่งผ่านความร้อนขึ้นอยู่กับ การดูดซับความร้อน การสะท้อนความร้อน และการแผ่รังสีความร้อน

นอกจากปัจจัยของการดูดซับความร้อน การสะท้อนความร้อน การแผ่รังสีความร้อน และการส่งผ่านความร้อนดังกล่าวแล้ว ยังมีปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลต่อการปรับอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมอีก เช่น ปริมาณน้ำฝน สภาพภูมิประเทศ และสภาพของวัสดุพืชพันธุ์ เป็นต้น

5.4 นิเวศวิทยาของพืช (Plant Ecology)

วัสดุพืชพันธุ์ทั่วไป มีความแตกต่างกันออกไปตามลักษณะภูมิประเทศของถิ่นกำเนิด ซึ่งสามารถประมวลลักษณะต่างๆ ได้ดังต่อไปนี้ คือ

1. สภาพชุ่มชื้นบนที่สูง
2. สภาพแห้งแล้งบนที่สูง
3. สภาพแบบที่ราบลุ่ม
4. สภาพแบบที่ราบกันดาร
5. สภาพใกล้แถบทะเล
6. สภาพบริเวณน้ำกร่อย
7. สภาพแถบริมแม่น้ำ

การจำแนกวัสดุพืชพันธุ์ออกตามลักษณะภูมิอากาศ เพื่อความเหมาะสมกับสภาพที่ตั้ง จัดแบ่งออกได้ตามกลุ่ม ดังต่อไปนี้

1. แถบอากาศหนาว
2. แถบอากาศอบอุ่น
3. แถบอากาศร้อนแห้ง
4. แถบอากาศร้อนชื้น

การจำแนกวัสดุพืชพันธุ์ออกตามลักษณะสภาพแวดล้อมที่มักมีการเปลี่ยนแปลงในระยะเวลาช่วงหนึ่ง สามารถจัดแบ่งออกได้ตามกลุ่ม ดังต่อไปนี้

1. ความต้องการแสงแดด (มาก – ไร้อ – น้อย)
2. ความสามารถต้านทานลม (มาก – น้อย – ไม่ชอบลม)
3. ความต้องการปริมาณน้ำ (มาก – น้อย – ไม่ชอบน้ำ)

การจัดแบ่งชนิดของวัสดุพืชพันธุ์ออกเป็นหมวดหมู่ดังกล่าว จะช่วยให้สามารถประหยัดเวลาในการนำข้อมูลไปใช้ในการวิจัยหรือออกแบบได้สะดวกยิ่งขึ้น

5.5 ชนิดของพืช (Plant Category)

การจัดแบ่งชนิดของพืช สามารถจัดแบ่งเป็นกลุ่มใหญ่ได้ดังต่อไปนี้

1. ไม้ยืนต้น (Tree)
2. ไม้พุ่ม (Shrub)
3. ไม้คลุมดิน (Groundcover)
4. ไม้เลื้อย (Vine)
5. หญ้า (grass)
6. วัชพืช (Weed)

นอกจากนี้ ชนิดของพืชยังสามารถจัดแบ่งออกได้ตามลักษณะของการดำรงชีวิตดังต่อไปนี้

1. พืชเขียวตลอดปี เช่น วงศ์สน เป็นต้น
2. พืชผลัดใบ
3. พืชลักษณะพิเศษ เช่น วงศ์ปาล์ม วงศ์หมาก วงศ์ไผ่ วงศ์กล้วย และวงศ์ขิง ฯลฯ
4. พืชที่มีอายุการดำรงชีวิตจำกัด เช่น Annual, Biennial, Triennial และ Perennial
5. พืชที่ให้ดอกต่างฤดูกัน หรือพืชที่ให้ดอกตลอดปี
6. พืชที่เจริญเติบโตในน้ำ เช่น บัว กก พุทธรักษา เป็นต้น

ในการศึกษาครั้งนี้มุ่งเน้นไปที่พืชที่สามารถปลูกบนหลังคาได้ ซึ่งพืชประเภทหญ้าเป็นพืชที่สามารถปลูกบนหลังคาได้ง่าย เพราะไม่ต้องกังวลเรื่องน้ำหนักและการดูแลรักษามากนัก ดังนั้นจึงทำการศึกษาถึงชนิดของพันธุ์หญ้าเขตร้อน ที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการวิจัย ดังนี้

พันธุ์หญ้าเขตร้อน⁷

หญ้าเขตร้อนหรือเรียกอีกอย่างว่า หญ้าเขตอบอุ่น จะเจริญเติบโตได้ดี ในภูมิประเทศที่มีอากาศอบอุ่นหรืออากาศร้อน อุณหภูมิระหว่าง 26–32 °C ประเทศไทยก็เป็นประเทศในเขตร้อนจึงสามารถปลูกหญ้าเขตร้อนได้ดี หญ้าเขตร้อนที่นิยมปลูกมีอยู่ 7 สกุล คือ

1. หญ้าแพรก
2. หญ้าญี่ปุ่น
3. หญ้าเซนต์ออกัสติน
4. หญ้าเซนต์ปีด
5. หญ้ามาเลเซีย
6. หญ้ามาเลเซีย
7. หญ้านวลจันทร์

หญ้าแพรก

หญ้าแพรกเป็นหญ้าสนามที่มีคุณสมบัติการเจริญเติบโตเหมาะกับสภาพดินฟ้าอากาศของประเทศไทยมาก มีใบสีเขียวตลอดปี มีความแน่น ทนต่ออากาศร้อนและแห้งแล้ง สามารถปลูกได้ในที่ดินเค็ม ดินแน่น ข้อเสียคือ ไม่เจริญงอกงามในที่ร่ม ต้องการปุ๋ยไนโตรเจนมาก (ภาพที่ 14)



ภาพที่ 14 หญ้าแพรก

ที่มา: หญ้าแพรก [ออนไลน์], เข้าถึงเมื่อ 17 มิถุนายน 2551. เข้าถึงจาก www.mst.ac.th

⁷ สีน พันธุ์พินิจ. การจัดการสนามหญ้า, (กรุงเทพมหานคร : รวมสาส์น, 2535), 44.

หญ้าญี่ปุ่น

กลุ่มหญ้าญี่ปุ่น ที่นิยมปลูกในประเทศไทยมี 2 ชนิด คือ

1. หญ้าญี่ปุ่น มีขนาดใบกว้างประมาณ 4 มม. ยาว 1-2 นิ้ว มีใบละเอียด และแข็ง
2. หญ้านวลน้อย เหมาะสำหรับปลูกในเขตร้อนโดยเฉพาะ ลักษณะต่างๆเหมือนหญ้าญี่ปุ่น แต่ลำต้นสูงกว่า ใบใหญ่ มีผิวสัมผัสหยาบกว่า ดูแลรักษาง่าย แต่ต้องการน้ำมาก (ภาพที่ 15)



ภาพที่ 15 หญ้าญี่ปุ่น(ซ้าย) และหญ้านวลน้อย(ขวา)

ที่มา: หญ้าญี่ปุ่น [ออนไลน์], เข้าถึงเมื่อ 17 มิถุนายน 2551. เข้าถึงจาก www.grassyland.com

หญ้าเซนต์ออกัสติน

มีถิ่นกำเนิดอยู่ในเม็กซิโก แอฟริกา และออสเตรเลีย เป็นหญ้าประเภทยืนต้นที่มีใบใหญ่กว้าง 4-10 มิลลิเมตร ยาว 3-5 นิ้ว ผิวสัมผัสหยาบ เจริญเติบโตเร็ว คลุมดินแน่น แต่ต้องการน้ำมาก ถ้าหากขาดน้ำในฤดูแล้งจะเหลืองทันที (ภาพที่ 16)



ภาพที่ 16 หญ้าเซนต์ออกัสติน

ที่มา: หญ้าเซนต์ออกัสติน [ออนไลน์], เข้าถึงเมื่อ 17 มิถุนายน 2551. เข้าถึงจาก

www.baanlaesuan.com

หญ้าเซนต์ปีด

มีถิ่นกำเนิดในประเทศจีน เป็นหญ้าที่มีการเจริญเติบโตช้า ใบปานกลาง กว้าง 3-5 มิลลิเมตร ลำต้นสูง 3-4 นิ้ว เจริญได้ในดินที่ไม่ค่อยสมบูรณ์ ต้องการปุ๋ยน้อย ตั้งตัวช้ากว่าหญ้าเซตร่อนชนิดอื่นๆ (ภาพที่ 17)



ภาพที่ 17 หญ้าเซนต์ปีด

ที่มา: Centiped [ออนไลน์], เข้าถึงเมื่อ 17 มิถุนายน 2551. เข้าถึงจาก www.american-lawns.com

หญ้ามะเลเชีย

หญ้ามะเลเชียหรือเรียกอีกชื่อว่า หญ้าพรม ไม่ทนต่ออากาศหนาวเย็น เพราะกำเนิดในเขตร้อน มีใบใหญ่เขียวเข้ม ยาว 2-4 นิ้ว ผิวสัมผัสหยาบ ชอบขึ้นในที่ที่มีอินทรีย์วัตถุและดินมีความชื้นสูง ถ้าหากปลูกกลางแจ้งต้องให้น้ำอย่างพอเพียง มิเช่นนั้นหญ้าจะแดง (ภาพที่ 18)



ภาพที่ 18 หญ้ามะเลเชีย

ที่มา: หญ้ามะเลเชีย [ออนไลน์], เข้าถึงเมื่อ 17 มิถุนายน 2551. เข้าถึงจาก www.iecm.co.th

หญ้าบาเฮีย

หญ้าบาเฮียมีลำต้นสูง แข็งแรง ใบหยาบ สีเขียวปานกลาง ใบกว้าง 4-8 มิลลิเมตร ช่อดอกยาว 1-2 ฟุต มีความทนทานต่อการเหยียบย่ำได้ดี ต้องการปุ๋ยน้อย ดูแลรักษาง่าย ทนทานต่อความแห้งแล้ง เจริญเติบโตได้ดีกับสภาพดินหลายชนิด (ภาพที่ 19)



ภาพที่ 19 หญ้าบาเฮีย

ที่มา: [Bahia](#) [ออนไลน์], เข้าถึงเมื่อ 17 มิถุนายน 2551. เข้าถึงจาก www.gardenet.com.au

หญ้านวลจันทร์

หญ้านวลจันทร์มีถิ่นกำเนิดและเป็นหญ้าพื้นเมืองของประเทศไทย ลักษณะลำต้นแบบเลื้อย ถ้าปลูกกลางแจ้งจะเรียบชิดติดดินได้ดีกว่าหญ้านวลน้อย ใบสีเขียวอ่อน หยาบปานกลาง ใบบางเรียบอ่อนนุ่ม ดูแลรักษาง่าย ต้องการปุ๋ยน้อย แต่ต้องให้น้ำอย่างพอเพียงในฤดูร้อน มิฉะนั้นหญ้าจะไม่เขียวชอุ่ม (ภาพที่ 20)



ภาพที่ 20 หญ้านวลจันทร์

ที่มา: [หญ้านวลจันทร์](#) [ออนไลน์], เข้าถึงเมื่อ 17 มิถุนายน 2551. เข้าถึงจาก http://www.dld.go.th/ncna_nak/polytriasindica.html

6. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยและการทดลองเกี่ยวกับหลังคาเขียว Green roof หรือหลังคาที่เกี่ยวข้องกับสภาพแวดล้อมส่วนมากจะเน้นเกี่ยวกับเทคโนโลยีอาคารและวัสดุก่อสร้างสำหรับหลังคาที่มีความหลากหลายทั้งวัสดุสังเคราะห์ และวัสดุธรรมชาติ โดยมักจะเน้นการวัดผลที่อุณหภูมิภายในอาคารและความสามารถในการช่วยลดการใช้พลังงานภายในอาคาร

6.1 การใช้สวนหลังคาเพื่อลดการถ่ายเทความร้อน⁸

เป็นงานวิจัยเพื่อศึกษาและวิเคราะห์ตัวแปรที่มีผลทำให้อุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาลดลง เพื่อหาแนวทางทำให้อุณหภูมิผิวด้านล่างของหลังคาต่ำที่สุดและเพื่อเสนอแนวทางการใช้สวนบนหลังคาเพื่อลดการถ่ายเทความร้อน โดยเลือกอาคารกรณีศึกษา คือ โรงพยาบาลราชธานี

ตัวแปรที่ศึกษา

อิทธิพลของดิน สภาพความชื้นภายในดิน สภาพผิวดิน อิทธิพลจากการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ และสภาพแวดล้อมเหนือดิน

วิธีการ

ทำการวิจัยโดยแบ่งเป็น 5 ขั้นตอน คือ 1) ศึกษาอิทธิพลของดิน โดยเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาอาคารที่มีดินปกคลุมและไม่มีดินปกคลุม 2) ศึกษาสภาพความชื้นภายในดิน โดยเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาอาคารที่ปกคลุมด้วยดินที่มีความชื้นมากและดินที่มีความชื้นน้อย 3) ศึกษาสภาพผิวดิน โดยเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาอาคารที่ผิวดินปกคลุมด้วยหญ้า พืชคลุมดิน และไม่มีสิ่งปกคลุม 4) ศึกษาอิทธิพลจากการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ โดยเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาอาคารที่ผิวดินปกคลุมด้วยหญ้าในร่ม และหญ้าโดนแดด 5) ศึกษาสภาพแวดล้อมเหนือดิน โดยเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาอาคารที่ผิวดินปกคลุมด้วยหญ้าในที่โล่ง หญ้าใต้ไม้พุ่ม และหญ้าใต้ต้นไม้

ผลการวิจัย

จากการวิจัยสามารถสรุปได้ว่า การใช้ดินปกคลุมหลังคาอาคารสามารถลดอุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาอาคารลงได้ เนื่องจากอิทธิพลความเย็นจากดินและการแลกเปลี่ยนความร้อน

⁸ ศุภกิจ ยิ้มสรวล, “การใช้สวนหลังคาเพื่อลดการถ่ายเทความร้อน” (วิทยานิพนธ์ปริญญาโท ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541).

ระหว่างหลังคาอาคารกับดิน ดินที่มีความชื้นมากทำให้อุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาอาคารลดต่ำลง การมีสิ่งปกคลุมผิวดินช่วยป้องกันความร้อนและรักษาความชุ่มชื้นให้กับดิน การประยุกต์ใช้สวบนหลังคาเพื่อลดการถ่ายเทความร้อน ควรทำให้ดินมีความชุ่มชื้นตลอดเวลาและมีสิ่งปกคลุมผิวดินเพื่อรักษาความชื้นภายในดิน ควรใช้ต้นไม้ใหญ่ เพื่อปรับสภาพแวดล้อมและป้องกันความร้อนจากดวงอาทิตย์ ซึ่งจะช่วยลดการถ่ายเทความร้อนได้

6.2 การเปรียบเทียบศักยภาพของการป้องกันความร้อนระหว่างการใช้สวบนหลังคา กับระบบหลังคาที่ใช้กันทั่วไป⁹

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายหลักเพื่อศึกษาอิทธิพลในการป้องกันความร้อนเข้าสู่ภายในอาคารโดยการใช้สวบนหลังคา ทั้งในอาคารที่ใช้ระบบปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ และศึกษาอิทธิพลของมวลสารของหลังคา ในการหน่วงเหนี่ยวความร้อนที่เข้ามาภายในอาคาร

ตัวแปรที่ศึกษา

ตัวแปรอิสระ - รูปแบบของหลังคา ได้แก่ สวบนหลังคาหญ้า สวบนหลังคาพืชคลุมดิน สวบนหลังคาไม้พุ่ม และ หลังคาคอนกรีต

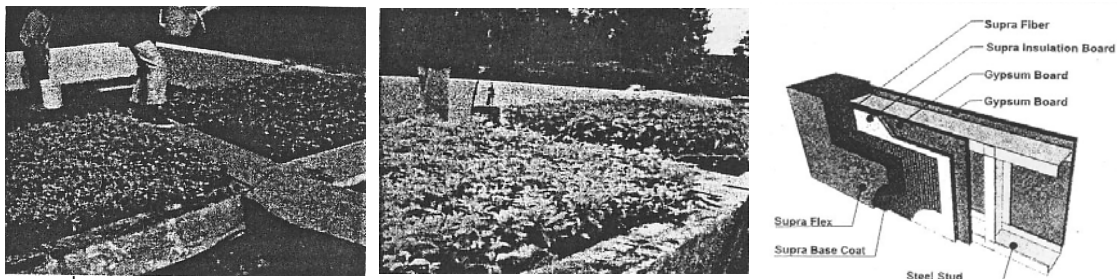
ตัวแปรตาม - อุณหภูมิผิวด้านในของสวบนหลังคาหญ้า สวบนหลังคาพืชคลุมดิน สวบนหลังคาไม้พุ่ม และ หลังคาคอนกรีต

ตัวแปรควบคุม - ทำการเก็บข้อมูลในสภาพแวดล้อมเดียวกัน ความเร็วลมเท่ากัน ส่วนประกอบของดินเท่ากัน และน้ำในปริมาณเท่ากัน

วิธีการ

ในกระบวนการวิจัยได้สร้างกล่องทดลองขนาดกว้าง 4.40 เมตร ยาว 7.90 เมตร สูง 3.00 เมตร แล้วแบ่งเป็นหลังคาแบบต่างๆ 4 ชนิดในกล่องเดียวกัน ได้แก่ หลังคาคอนกรีต หลังคาที่ปกคลุมด้วยหญ้า หลังคาที่ปกคลุมด้วยพืชคลุมดินลำต้นเตี้ย และหลังคาที่ปกคลุมด้วยไม้พุ่ม (ภาพที่ 21) ทำการทดลองที่บริเวณหมู่บ้านเมืองเอก รังสิต ทำการเก็บข้อมูลอุณหภูมิผิวด้านในด้วยเครื่องมือ Data Logger โดยเก็บข้อมูลตั้งแต่เดือนมีนาคมถึงเมษายนซึ่งเป็นช่วงที่ร้อนที่สุดของปี

⁹ ญัฐริณี นวลสกุล, “การเปรียบเทียบศักยภาพของการป้องกันความร้อนระหว่างการใช้สวบนหลังคา กับระบบหลังคาที่ใช้กันทั่วไป” (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545).



ภาพที่ 21 แสดงกล่องทดลองในงานวิจัย

ที่มา : ญัฐฐิณี นวลสกุล, “การเปรียบเทียบศักยภาพของการป้องกันความร้อนระหว่างการใช้ฉนวนหลังคาทั้งระบบหลังคาที่ใช้กันทั่วไป” (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545), 98.

ผลการวิจัย

ผลการเก็บข้อมูลพบว่า ในกรณีปรับอากาศ อุณหภูมิผิวภายในสูงสุดของหลังคาคอนกรีต มีอุณหภูมิ 40.13°C ส่วนหลังคาหน้ามีอุณหภูมิ 26.73°C ส่วนหลังคาพีชคลุมดินลำต้นเตี้ยมีอุณหภูมิ 25.74°C และส่วนหลังคาไม้พุ่มสูงมีอุณหภูมิ 25.17°C ในกรณีไม่ปรับอากาศ อุณหภูมิผิวภายในสูงสุดของหลังคาคอนกรีต มีอุณหภูมิ 39.36°C ส่วนหลังคาหน้ามีอุณหภูมิ 30.12°C ส่วนหลังคาพีชคลุมดินลำต้นเตี้ยมีอุณหภูมิ 29.11°C และส่วนหลังคาไม้พุ่มสูงมีอุณหภูมิ 28.11°C

การวิจัยสรุปได้ว่า ส่วนหลังคาไม้พุ่มสูงสามารถทำให้อุณหภูมิผิวภายในอาคารมีค่าน้อยที่สุด ต่ำกว่าส่วนหลังคาพีชคลุมดินลำต้นเตี้ยและส่วนหลังคาหน้า การใช้ส่วนหลังคาสามารถลดอุณหภูมิผิวใต้หลังคาอาคารได้มากกว่า 15 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบกับหลังคาคอนกรีต และลดภาระการทำความเย็นได้น้อย 89 %

6.3 Study of thermal performance of extensive rooftop greenery systems in the tropical climate¹⁰

เป็นงานวิจัยเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของการใช้สวนหลังคา ในประเทศสิงคโปร์ โดยใช้ดาดฟ้าของอาคารจอดรถ 4 ชั้น แห่งหนึ่ง ซึ่งไม่ระบุชื่ออาคารแน่ชัด (ภาพที่ 22) เป็นสถานที่ทำการทดลอง โดยเริ่มทำการวัดค่าอุณหภูมิผิวหลังคาดาดฟ้าและอุณหภูมิอากาศใต้หลังคา เป็นระยะเวลาประมาณ 22 วัน จากนั้นจึงทำการสร้างสวนหลังคาขึ้นบนดาดฟ้า โดยแบ่งพื้นที่ออกเป็น 4 ส่วน แยกตามชนิดของพืชพันธุ์ แล้วทำการวัดค่าอุณหภูมิผิวดินและอุณหภูมิอากาศใต้หลังคา ด้วยเครื่องมือ Data Logger จากนั้นนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกัน

ตัวแปรที่ศึกษา

ตัวแปรอิสระ - รูปแบบของหลังคา ได้แก่ สวนหลังคาที่ปลูกพืชชนิดต่างๆ และ
หลังคาคอนกรีต

ตัวแปรตาม - อุณหภูมิผิวดินและอุณหภูมิอากาศใต้หลังคา

ตัวแปรควบคุม - ทำการเก็บข้อมูลในสภาพแวดล้อมเดียวกัน ความเร็วลมเท่ากัน
ส่วนประกอบของดินเท่ากัน

¹⁰ Wong Nyuk Hiena, Tan Puay Yokb, Chen Yu. Study of thermal performance of extensive rooftop greenery systems in the tropical climate [online], Accessed 15 December 2006.
Available from www.sciencedirect.com



ภาพที่ 22 แสดงอาคารจอดรถที่ใช้เป็นสถานที่ในงานวิจัย

ที่มา : Wong Nyuk Hien, Tan Puay Yokb, Chen Yu. Study of thermal performance of extensive rooftop greenery systems in the tropical climate [online], Accessed 15

December 2006. Available from www.sciencedirect.com

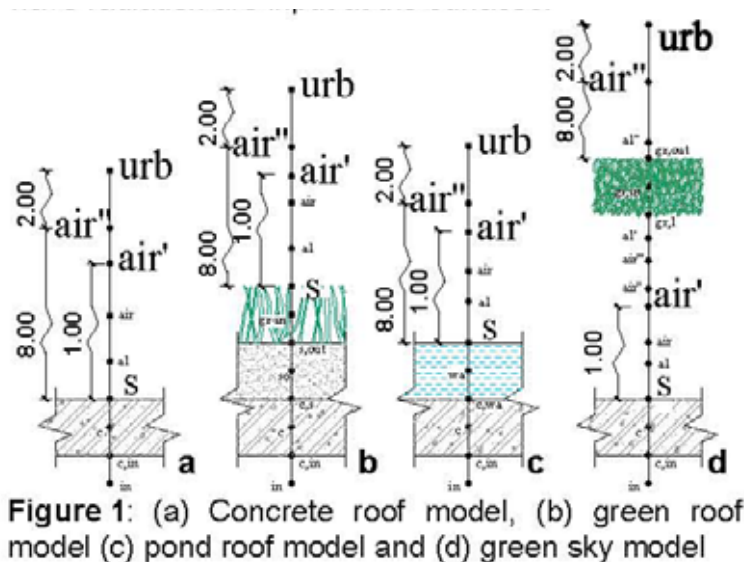
ผลการวิจัย

ผลการวิจัยพบว่า การสร้างสวนหลังคาบนดาดฟ้าของอาคาร สามารถช่วยลดอุณหภูมิที่ผิวหลังคาคอนกรีตลงได้มากที่สุดถึง 18 องศาเซลเซียส แต่มีจุดที่น่าสังเกตคือ เมื่อปล่อยให้สวนหลังคาแห้งโดยไม่ไดรดน้ำให้เกิดความชุ่มชื้นพบว่า อุณหภูมิที่ระดับ 30 ซม. เหนือพื้นผิว มีอุณหภูมิสูงถึง 40 องศาเซลเซียส ในขณะที่หากรดน้ำปกติจะมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 36 องศาเซลเซียส ดังนั้นความชุ่มชื้นจึงเป็นสิ่งที่สำคัญสำหรับการนำสวนหลังคามาใช้ประโยชน์ในการลดความร้อนเข้าสู่อาคาร

6.4 Ponds, Green Roofs, Pergolas and High Albedo Materials; Which Cooling Technique for Urban Spaces? (Eleftheria Alexandri and Phil Jones, 2006)¹¹

เป็นงานวิจัยเพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการป้องกันความร้อนของวัสดุหลังคาชนิดต่างๆ โดยเลือกวัสดุมาทำการทดสอบมา 6 ชนิดคือ

1. หลังคาคอนกรีต
2. หลังคาคอนกรีตทาสีขาว
3. หลังคาคอนกรีตทาสีขาว with 25% smaller albedo
4. หลังคา green roof
5. หลังคา pond roof
6. หลังคาคลุมด้วยระแนงไม้เลื้อย



ภาพที่ 23 แสดง Graphic ของหลังคาในการทดลอง

ที่มา : Eleftheria Alexandri and Phil Jones. Ponds, Green Roofs, Pergolas and High Albedo Materials; Which Cooling Technique for Urban Spaces? [CD-ROM].2006.

Abstract from paper 501 :PLEA2006 - The 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture

¹¹ Eleftheria Alexandri and Phil Jones. Ponds, Green Roofs, Pergolas and High Albedo

Materials; Which Cooling Technique for Urban Spaces? [CD-ROM].2006. Abstract from paper 501 :PLEA2006 - The 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture,

สรุปผลการทดลอง

ผลการทดลองพบว่า จากการวัดอุณหภูมิเฉลี่ยที่ระดับ 1 เมตรเหนือผิวหลังคา ในเวลากลางวัน (7.00 - 10.00 น.) หลังคากระเบื้องไม้เลื้อยมีค่าอุณหภูมิต่ำที่สุดอยู่ที่ 18 องศาเซลเซียส ส่วนในเวลากลางคืน (23.00 - 6.00 น.) หลังคา Green roof จะมีอุณหภูมิต่ำที่สุดอยู่ที่ 18 องศาเซลเซียส ส่วนอุณหภูมิผิวหลังคาในเวลากลางวัน อุณหภูมิเฉลี่ยของหลังคากระเบื้องไม้เลื้อยและหลังคา Pond roof มีค่าต่ำที่สุดอยู่ที่ 24 องศาเซลเซียส ในเวลา 12.00 น. ในเวลากลางคืนหลังคา Green roof จะมีอุณหภูมิต่ำที่สุดอยู่ที่ 9 องศาเซลเซียส ในเวลา 1.00 - 5.00 น.

ผลการทดลองสรุปว่า สระน้ำ, green roof และกระเบื้องไม้เลื้อย สามารถช่วยลดอุณหภูมิให้กับหลังคาได้ดีกว่าหลังคาประเภทอื่น ซึ่งการเลือกจะใช้รูปแบบใดขึ้นอยู่กับประเภทของอาคาร เช่น หลังคาที่มีสระน้ำ อาจเหมาะสมกับอาคารประเภทสำนักงานหรือโรงเรียน ที่มีการใช้งานในเวลากลางวัน ส่วนหลังคา green roof และกระเบื้องไม้เลื้อย มีอุณหภูมิผิวหลังคาต่ำที่สุดเหมาะกับอาคารที่มีการใช้งาน 24 ชั่วโมง เช่น บ้านพักอาศัยหรือป้อมยาม

จากตัวอย่างงานวิจัยที่เกี่ยวข้องจึงพอสรุปรูปแบบของหลังคา Green roof เป็นตาราง เพื่อนำไปใช้เป็นข้อมูลในการทดลองต่อไป (ดูตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 สรุปรายละเอียดในงานวิจัยต่างๆที่เกี่ยวข้อง

No.	งานวิจัย	ผู้วิจัย	รายละเอียด	ตัวแปรที่ศึกษา	ความ ลึกดิน ปลูก (ซม.)	วัสดุพืช พันธุ์
6.1	การใช้สวนหลังคาเพื่อลดการถ่ายเทความร้อน	ศุภกิจ ยิ้ม ศรวล	เป็นงานวิจัยเพื่อศึกษาและวิเคราะห์ตัวแปรที่มีผลทำให้อุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาลดลงโดยเลือกอาคารกรณีศึกษา คือ โรงพยาบาลราชธานี	อิทธิพลของดิน , สภาพ ความ ชื้น ภายในดิน, สภาพผิวดิน, อิทธิพลจากการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ และสภาพแวดล้อมเหนือดิน	60	หญ้า, ไม้พุ่ม และ ต้นไม้ใหญ่
6.2	การเปรียบเทียบศักยภาพของการป้องกันความร้อนระหว่างการใช้สวนหลังคา กับ ระบบหลังคาที่ใช้งานทั่วไป	ณัฐฐิณี นวล สกุล	เพื่อศึกษาอิทธิพลในการป้องกันความร้อนเข้าสู่ภายในอาคารโดยการใช้สวนหลังคาในอาคารที่ใช้ระบบปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ โดยสร้างกล่องทดลองขึ้น ขนาด กว้าง 4.40 เมตร ยาว 7.90 เมตร สูง 3.00 เมตร แบ่งการทดลองชนิดหลังคา 4 ชนิด	รูปแบบของหลังคา 4 ชนิด ได้แก่ หลังคาคอนกรีต หลังคาที่ปกคลุมด้วยหญ้า หลังคาที่ปกคลุมด้วยพืชคลุมดินลำต้นเดี่ยว และหลังคาที่ปกคลุมด้วยไม้พุ่ม, อุณหภูมิผิวใต้หลังคา	30	หญ้า มาเลเซีย, นาคชมพู
6.3	Study of thermal performance of extensive rooftop greenery systems in the tropical climate	Wong Nyuk Hiena , Tan Puay Yokb , Chen Yu	เป็นงานวิจัยเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของการใช้สวนหลังคา ในประเทศสิงคโปร์ โดยใช้ดาตฟ้าของอาคารจอดรถ 4 ชั้น แห่งหนึ่ง โดยแบ่งพื้นที่ออกเป็น 4 ส่วน แยกตามชนิดของพืชพันธุ์	สวนหลังคาที่ปลูกพืชชนิดต่างๆ และ หลังคาคอนกรีต, อุณหภูมิผิวดินและอุณหภูมิอากาศใต้หลังคา	10	หญ้าหลากหลายชนิด
6.4	Ponds, Green Roofs, Pergolas and High Albedo Materials; Which Cooling Technique for Urban Spaces?	Eleftheria Alexandri, Phil Jones	เป็นงานวิจัยเพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการป้องกันความร้อนของวัสดุหลังคาชนิดต่างๆ โดยเลือกวัสดุมาทำการทดสอบมา 6 ชนิด	วัสดุหลังคา 6 ชนิด, อุณหภูมิผิวเหนือหลังคา, อุณหภูมิผิวใต้หลังคา	20	หญ้าหลากหลายชนิด

7. ตัวอย่างอาคารกรณีศึกษา (Case Study)

ในการศึกษาค้างนี้จึงได้นำอาคารที่มีการใช้หลังคาเขียวที่น่าสนใจ มาทำการศึกษา รูปแบบและลักษณะการใช้งาน ดังนี้

7.1 Osaka Municipal Central Gymnasium

ตั้งอยู่ที่เมืองโอซาก้า ประเทศญี่ปุ่น สร้างเสร็จเมื่อปี ค.ศ.1996 มีพื้นที่ทั้งหมด 1,101,089 ตารางฟุต ความลึกดินปลูก 40 นิ้ว ปกคลุมด้วยหญ้า ไม้พุ่มเตี้ย และไม้ยืนต้น หลากชนิด

Osaka Municipal Central Gymnasium ถูกสร้างขึ้นที่บริเวณสวนสาธารณะ Yahataya เพื่อรองรับการแข่งขันกีฬาโอลิมปิก ในปี 2008 ด้วยความจุที่นั่งถึง 10,000 ที่นั่ง โดยตัวอาคารถูกออกแบบให้ฝังลงไปได้ดินลึก 30 ฟุต โครงสร้างผนังอาคารสามารถรับน้ำหนักของหลังคา Green roof ได้ถึง 70,000 ตัน ในส่วนของหลังคา Green roof จะช่วยป้องกันความร้อนให้กับสนามกีฬาซึ่งอยู่ด้านล่าง และจะช่วยรักษาความร้อนภายในไว้ในฤดูหนาว นอกจากนี้ส่วนยอดแหลมของโดมนั้นสามารถเปิดรับแสงธรรมชาติและลมธรรมชาติได้อีกด้วย (ภาพที่ 24)



ภาพที่ 24 อาคาร Osaka Municipal Central Gymnasium

ที่มา : Earth Pledge, Green Roof Ecological Design and Construction (U S A: A Shiffer Publishing Ltd & Design, 2005), 65.

Green roof ของอาคารหลังนี้ถือเป็นหัวใจสำคัญของโครงข่ายสวนสาธารณะของเมืองเลยทีเดียวน ซึ่งอาคารแห่งนี้สามารถเป็นได้ทั้งสนามกีฬาและสวนสาธารณะ เนื่องจากตัว

อาคารถูกออกแบบให้ดูกลมกลืน เข้ากับสวนสาธารณะ Yahataya เป็นอย่างมาก ทำให้เมืองมีพื้นที่สีเขียวเพิ่มมากขึ้น

7.2 ACROS Fukuoka

ตั้งอยู่ที่เมืองฟูกูโอกะ ประเทศญี่ปุ่น สร้างเสร็จเมื่อปี ค.ศ.1995 มีพื้นที่ทั้งหมด 100,000 ตารางฟุต ความลึกดินปลูก 12-24 นิ้ว ปกคลุมด้วย ไม้พุ่มเตี้ยพื้นเมืองของประเทศญี่ปุ่น

The Asian Crossroads over the Sea (ACROS) เป็นอาคารซึ่งอยู่ในย่านธุรกิจของเมือง Fukuoka ตั้งอยู่ติดกับสวนสาธารณะ Tenjin โดย green roof ของอาคารถูกออกแบบให้เป็นขั้นบันไดขึ้นไปตามผนังอาคาร มีลักษณะคล้ายภูเขา (ภาพที่ 25) เป็นการผสมผสานระหว่าง Public space และ Private space ได้อย่างลงตัว ซึ่งขนาดของ Green roof ที่สร้างขั้นนั้นมีขนาดเป็น 2 เท่าของสวนสาธารณะ โดยส่วนภายในอาคารซึ่งมีพื้นที่มากถึง 1,000,000 ตารางฟุต ประกอบไปด้วย พิพิธภัณฑ์ โรงภาพยนตร์ ร้านค้า และส่วนสำนักงาน



ภาพที่ 25 อาคาร ACROS Fukuoka

ที่มา : Earth Pledge, Green Roof Ecological Design and Construction (U.S.A.: A Shiffer Publishing Ltd & Design, 2005), 61.

ในอดีตพื้นที่แห่งนี้เคยเป็นพื้นที่ซึ่งใหญ่ที่สุดแห่งสุดท้ายในใจกลางเมือง Fukuoka ซึ่งยังไม่ได้ถูกพัฒนา ภายหลังจึงได้ถูกสร้างให้เป็นสวนสาธารณะ โดยใช้แนวคิดในการสร้างพื้นที่สีเขียวขึ้นมาทดแทน ให้เท่ากับพื้นที่ที่เสียไปในการก่อสร้าง ทางเข้าของอาคารถูกออกแบบให้อยู่

ทางทิศเหนือ ส่วนทางด้านทิศใต้ซึ่งอยู่ติดกับสวนสาธารณะ Tenjin ถูกออกแบบให้เป็นเหมือนระเบียงปลูกต้นไม้เป็นชั้นๆขึ้นไปตามความสูงของอาคาร (ภาพที่ 26) ทำให้ทุกชั้นของอาคารมีพื้นที่สีเขียว ช่วยสร้างความรู้สึกละมุนคลายและหลีกเลี่ยงจากความแออัดของเมืองซึ่งอยู่ด้านล่าง ส่วนยอดสุดของอาคารถูกใช้เป็นหอชมวิวซึ่งสามารถมองเห็นอ่าว Fukuoka และภูเขาซึ่งอยู่รอบๆ ได้



ภาพที่ 26 แสดงรูปตัด ACROS Fukuoka

ที่มา : Earth Pledge, Green Roof Ecological Design and Construction (U.S.A.: A Shiffer Publishing Ltd & Design, 2005), 61.



ภาพที่ 27 แสดงทัศนียภาพภายนอกอาคาร ACROS Fukuoka

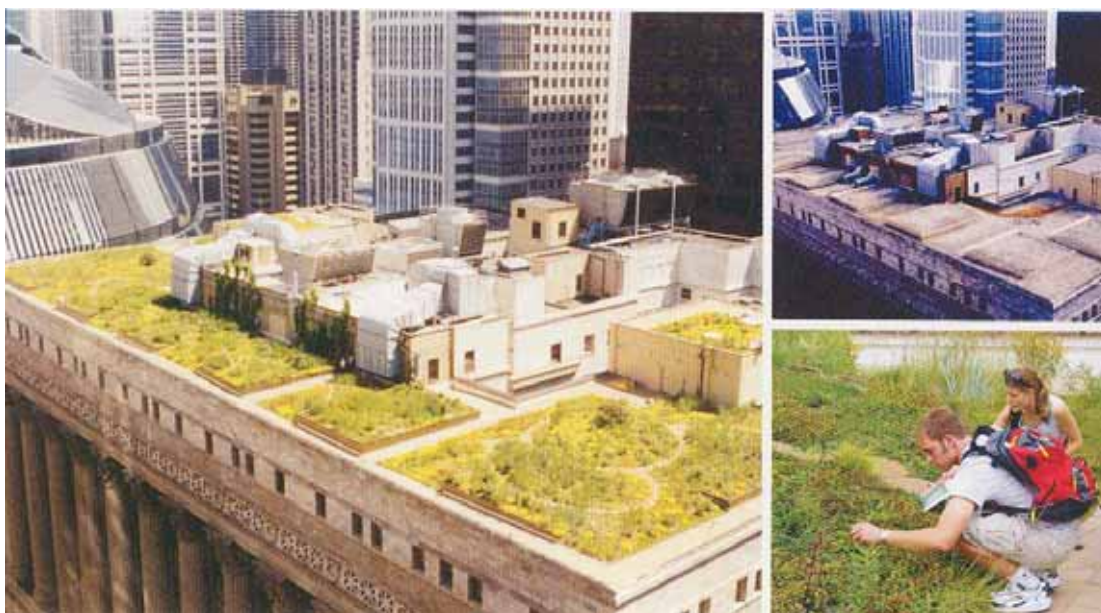
ที่มา : Earth Pledge, Green Roof Ecological Design and Construction (U.S.A.: A Shiffer Publishing Ltd & Design, 2005), 61.

7.3 Chicago City Hall

ตั้งอยู่ที่เมืองชิคาโก ประเทศสหรัฐอเมริกา สร้างเสร็จเมื่อปี ค.ศ.2001 มีพื้นที่ทั้งหมด 22,000 ตารางฟุต ความลึกดินปลูก 4, 8 และ 16 นิ้ว ปกคลุมด้วยพืชพันธุ์กว่า 150 ชนิด

ด้วยความพยายามที่จะทำให้เมือง Chicago เป็นเมืองที่มีพื้นที่สีเขียวมากที่สุดในสหรัฐอเมริกา ทำให้ Chicago มีอาคารที่ใช้หลังคา Green roof มากกว่าเมืองอื่นๆ ในประเทศ อาคาร City hall (ศาลากลางจังหวัด) ซึ่งมีอายุถึง 100 ปี ได้ถูกปรับปรุงให้มีหลังคา Green roof เป็นแห่งแรกของเมือง และเป็นสถานที่ซึ่งมีความน่าสนใจ เหมาะที่จะทำการศึกษาวิจัย ทดลอง เพื่อศึกษาผลของการใช้ Green roof เป็นอย่างมาก

พืชพันธุ์ที่ใช้กับ Green roof บนอาคารแห่งนี้มีมากมายถึง 150 กว่าชนิด ซึ่งกำลังอยู่ในระหว่างการทดลอง โดยการจำแนกชนิดของพืชพันธุ์ออกเป็นกลุ่มๆ ตามกระเบื้องปลูก นอกจากนี้ยังทำการทดลองเรื่องขนาดความลึกของดินปลูก ความลาดเอียง และระบบการระบายน้ำ เพื่อหาว่าดีที่สุด (ภาพที่ 28)



ภาพที่ 28 อาคาร Chicago City Hall

ที่มา : Earth Pledge, Green Roof Ecological Design and Construction (U.S.A.: A Shiffer Publishing Ltd & Design, 2005), 58.

7.4 Vastra Hamnen

ตั้งอยู่ที่เมืองมัลโม ประเทศสวีเดน สร้างเสร็จเมื่อปี ค.ศ.2001 มีพื้นที่ทั้งหมด 48,000 ตารางฟุต ความลึกดินปลูก 1.4 นิ้ว ปกคลุมด้วยเซตัม (พันธุ์ไม้อวบน้ำชนิดหนึ่ง)

Vastra Hamnen เป็นโครงการพัฒนาเคหการที่อยู่ใกล้สวนพฤกษศาสตร์ GISR โดยใช้รูปแบบ Extensive Green roof ที่ผนวกลำธาร สระน้ำและที่รับน้ำแบบซึมทิ้ง (soakaways) ที่สร้างสรรค์อย่างสวยงามไว้ระหว่างอาคารเพื่อรองรับน้ำฝนจากหลังคาอาคาร โครงการที่พักอาศัยในเมืองที่สร้างบนพื้นที่อุตสาหกรรมเก่าชื่อโครงการ Bo01 ในวาสตราแฮมเนน อ่าวตะวันตกใกล้กับอาคารอพาร์ทเมนต์-สำนักงาน “Turning Torso” ในเมืองมัลโม นี่เป็นโครงการที่พักอาศัย ที่ได้ใช้หลังคาเขียวเป็นจำนวนมากถึง 16 หลัง จึงทำให้มีลักษณะเป็น Eco-Village หรือ หมู่บ้านเชิงนิเวศ (ภาพที่ 29)



ภาพที่ 29 อาคาร Vastra Hamnen

ที่มา : Earth Pledge, Green Roof Ecological Design and Construction (U.S.A.: A Shiffer Publishing Ltd & Design, 2005), 70.

จากตัวอย่างอาคารกรณีศึกษาจึงพอสรุปรูปแบบของหลังคา Green roof เป็นตาราง
ดังนี้

ตารางที่ 3 แสดงความลึกของดินปลูกและวัสดุพืชพันธุ์ที่ใช้ในตัวอย่างอาคารกรณีศึกษา

No.	ชื่ออาคาร	ประเภทอาคาร	ประเภท หลังคา	ความลึกดิน ปลูก(นิ้ว)	วัสดุพืชพันธุ์
1	Osaka Municipal Central Gymnasium	Institutional	Intensive	40	Varieties
2	ACROS Fukuoka	Office	Intensive	12-24	Varieties
3	Chicago City Hall	Institutional	Intensive	4, 8, 16	Varieties
4	Vastra Hamnen	Residential	Extensive	1.4	Sedum

เมื่อศึกษาข้อมูลจากตัวอย่างอาคารกรณีศึกษาและตารางเปรียบเทียบจะพบว่า ส่วนใหญ่แล้วอาคารแต่ละแห่งจะสร้าง Green roof โดยการใช้พืชพันธุ์พื้นเมืองที่มีอยู่ในภูมิประเทศของตน โดยในส่วนของอาคารที่มีการปลูกพืชพันธุ์หลากหลายชนิดหลายขนาด ซึ่งเป็น Intensive Green roof เช่น Osaka Municipal Central Gymnasium, ACROS Fukuoka และ Chicago City Hall จะมีความลึกของดินปลูกมาก ส่วนแบบ Extensive Green roof คือ Vastra Hamnen ซึ่งปลูกเพียงแคพืชคลุมดิน จะใช้ความลึกของดินปลูกน้อย จากข้อมูลเบื้องต้นดังกล่าวนี้จะนำไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการศึกษาต่อไป

หลังคา Green roof ในประเทศไทย

สารานุกรมเสรีทางอินเทอร์เน็ต “Wikipedia” ได้กล่าวถึงหลังคา Green roof ในประเทศไทยว่า “ประเทศไทยมีส่วนหลังคามานานมากแล้ว โดยเฉพาะในย่านในเมืองหนาแน่น ด้วยการนำต้นไม้มาปลูกในภาชนะหรือกระถางบนดาดฟ้า แต่ส่วนหลังคาที่จูงใจออกแบบให้เป็นส่วนหลังคา มาตั้งแต่แรกและมีการจัดเพื่อการรับน้ำหนัก การกันซึมและอื่นๆ ไว้ก่อน เพิ่งเกิดขึ้นประมาณ 25-30 ปีที่ผ่านมาแต่มีวัตถุประสงค์เพียงเพื่อความสวยงามและเพื่อการใช้ประโยชน์พื้นที่ดาดฟ้า การใช้ในเชิงของหลังคาเขียว หรือเชิงการช่วยลดค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (RTTV) โดยเฉพาะยังไม่ปรากฏชัดเจน

สวนหลังคาที่อาจตรงเกณฑ์มากที่สุด และจัดเป็นหลังคาเขียวได้แห่งหนึ่งได้แก่ หลังคาอาคารชุดพักผ่อนโครงการการ์เดนคิลฟ 2 ที่พญา ชลบุรี ซึ่งสร้างเมื่อ พ.ศ. 2524 (ภาพที่ 30) แม้

จะไม่ได้ออกแบบตั้งแต่แรกเพื่อบรรเทาปรากฏการณ์โลกร้อนแต่เป็นการเปิดวิหะเลและลดความไม่น่าดูของผืนหลังคาคอนกรีต เมื่อมองจากตัวอาคารหลักที่เป็นอาคารสูงในโครงการเดียวกัน หลังคาเขียวแห่งนี้หากจัดประเภทตามเกณฑ์ อาจจัดให้อยู่ในหลังคาเขียวแบบ "กึ่งปล่อย" (Semi-intensive) ได้เพราะการดูแลรักษามีเพียงแค่การตัดหญ้าและให้น้ำ



ภาพที่ 30 ภาพแสดงหลังคาเขียวบนอาคารชุดพักผ่อนการ์เดนคลิฟ 2 พัทยา

ที่มา : [Green Roof](#) [online], Accessed 1 February 2008.

Available from th.wikipedia.org/wiki/หลังคาเขียว

8. การศึกษาการใช้พลังงานในอาคารที่ใช้ Green roof ด้วยโปรแกรม EnergyPlus

หลังคา Green roof เริ่มเป็นที่นิยมนำไปใช้กันมากขึ้น ทั้งการนำไปใช้กับอาคารที่สร้างใหม่และการปรับปรุงอาคารเดิม นอกจากนี้ยังมีการวิจัยเกี่ยวกับประสิทธิภาพของ Green roof เพื่อการประหยัดพลังงานอย่างแพร่หลาย อย่างไรก็ตามยังไม่มีเครื่องมือที่ช่วยให้นักลงทุนหรือสถาปนิกประเมินประสิทธิภาพในการออกแบบ Green roof ในด้านต่างๆ เช่น ชนิดของดินปลูก ความลึกของดิน ชนิดของพืชพันธุ์ ระบบระบายน้ำ เป็นต้น นั่นจึงเป็นเหตุผลที่สำคัญซึ่งควรจะมีเครื่องมือที่สามารถจำลองอาคารซึ่งสามารถแสดงผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจากการออกแบบ Green roof ได้

EnergyPlus คือโปรแกรมที่ใช้ในการวิเคราะห์พลังงานที่ใช้ของอาคาร โดยการจำลองอาคารเสมือนจริงขึ้นตามข้อมูลที่เรากำหนดในโปรแกรม จากนั้นโปรแกรมจะคำนวณหาค่าภาระ

การทำความร้อน ความเย็น ของระบบอุปกรณ์อาคาร ค่าอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในอาคาร เพื่อให้เราสามารถวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานของอาคารที่เราออกแบบได้ในเบื้องต้น ก่อนที่จะลงมือก่อสร้าง โดยโปรแกรม EnergyPlus มีข้อดีดังนี้

1. เป็นโปรแกรมที่สามารถดาวน์โหลดมาใช้ได้โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย
2. ใช้วิธีการคำนวณแบบ Heat Balance คือมีสมดุลพลังงานที่เข้าและออกจากระบบ ทำให้ได้ข้อมูลที่ค่อนข้างถูกต้อง
3. สามารถคำนวณทุกช่วงระยะเวลาที่ต่ำกว่า 1 ชั่วโมง (Sub Hourly) ตามที่ผู้ใช้ระบุ ซึ่งช่วยให้ผลการคำนวณใกล้เคียงความเป็นจริง
4. สามารถคำนวณค่าพลังงานที่ใช้ภายในอาคาร อุณหภูมิภายในห้อง อุณหภูมิผิว เปลือกอาคาร ฯลฯ
5. เป็นโปรแกรมที่มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง

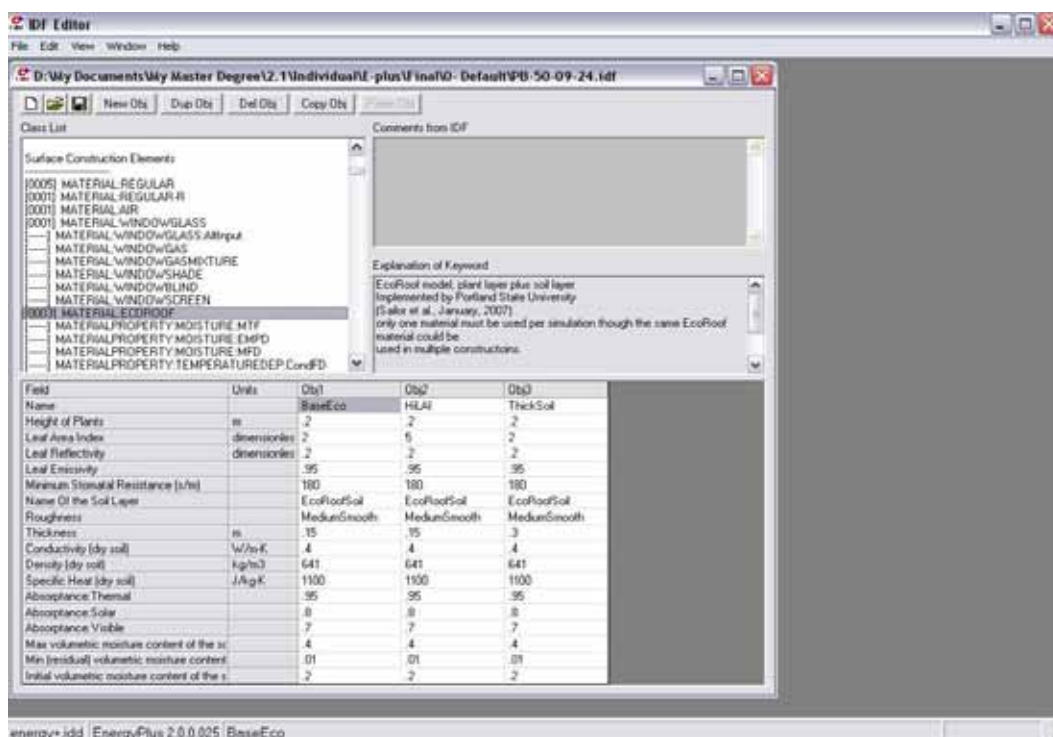
ในส่วนของการจำลอง Green roof เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการนำพืชมาใช้ในการป้องกันความร้อน ด้วยโปรแกรม EnergyPlus นั้น ในโปรแกรมนี้นี้จะเรียก Green roof ว่า “Eco roof” โดยจะจำลองในส่วนชั้นโครงสร้างภายนอกของหลังคา โดยผู้ใช้โปรแกรมสามารถกำหนดค่าต่างๆ เช่น ความลึกดิน ความหนาแน่นของใบพืช ความสูงของพืช และความชื้นภายในดิน เป็นต้น

ในการวิจัยครั้งนี้ เนื่องด้วยข้อจำกัดในด้านเวลา ค่าใช้จ่าย ฯลฯ จึงได้นำโปรแกรม EnergyPlus มาเป็นเครื่องมือช่วยในการวิจัย โดยใช้ Version 2.20 ซึ่งเป็น Version ล่าสุด ณ ขณะที่ทำการวิจัย ออกเมื่อวันที่ 22 เมษายน 2551

สามารถดาวน์โหลดได้ที่ <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>

ข้อมูลเบื้องต้นที่จำเป็นต้องใส่ในโปรแกรม EnergyPlus มีดังนี้

1. ที่ตั้งอาคารและข้อมูลสภาพอากาศ
 2. ขนาดของอาคาร (กว้าง x ยาว x สูง)
 3. วัสดุที่ใช้ในอาคาร และคุณสมบัติของวัสดุ
 4. ข้อมูลการใช้งานอาคาร เช่น จำนวนผู้ใช้ กิจกรรม
 5. ปริมาณการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้า แสงสว่าง
 6. ข้อมูลปริมาณการรั่วซึมของอากาศ และการระบายอากาศ
 7. ข้อมูลการควบคุมอุณหภูมิของอาคาร
- ซึ่งรายละเอียดจะอธิบายในบทต่อไป



ภาพที่ 31 แสดงหน้าต่างในการ Input ข้อมูล ของโปรแกรม EnergyPlus

สิ่งที่โปรแกรม EnergyPlus คำนึงถึงในการคำนวณประสิทธิภาพของ Green roof

1. การเปลี่ยนแปลงจากรังสีคลื่นสั้นเป็นรังสีคลื่นยาวภายใน Green roof
2. ผลของการนำความร้อนผ่าน Green roof เข้าสู่อาคาร
3. การระเหยของน้ำจากผิวดินและใบพืช
4. ค่าการนำความร้อนและความจุความร้อนของดิน

ข้อมูลที่ใช้สำหรับการใส่ค่า Material ใน Eco Roof

1. Field: Name = ชื่อหลังคา
2. Field: Height of Plant = ความสูงของพืช
3. Field: Leaf Area Index = ดัชนีพื้นที่ใบ
4. Field: Leaf Reflectivity = ค่าการสะท้อนแสงของใบ
5. Field: Leaf Emissivity = ค่าการแผ่รังสีของใบ
6. Field: Minimum Stomatal Resistance = ค่าการทนต่อความแห้งแล้งของปากใบ
7. Field: Name of the Soil Layer = ชื่อดิน
8. Field: Roughness = ความหยาบของดิน
9. Field: Thickness = ความลึกของดิน

10. Field: Conductivity = ค่าการนำความร้อน
11. Field: Density = ค่าความหนาแน่นของดิน
12. Field: Specific Heat = ค่าความถ่วงความร้อนจำเพาะของดิน
13. Field: Absorptance:Thermal = ค่าการดูดซับความร้อน
14. Field: Absorptance:Solar = ค่าการดูดซับรังสีดวงอาทิตย์
15. Field: Absorptance:Visible = ค่าการดูดซับรังสีที่มองเห็นได้

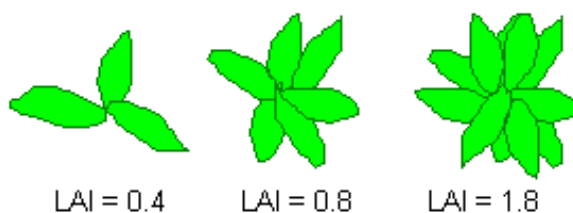
ดัชนีพื้นที่ใบ (Leaf Area Index)¹²

Leaf Area Index หมายถึงสัดส่วนของพื้นที่ใบต่อพื้นที่ซึ่งพืชนั้นขึ้นอยู่ (LAI = Leaf area / Land area) โดยทั่วไปคำนวณได้จากสูตร

$$LAI = \frac{\text{ค่าของพื้นที่ใบ} \times \text{จำนวนใบ}}{\text{พื้นที่ปลูก}}$$

นอกจากนี้อาจใช้เครื่องมือหาดัชนีพื้นที่ใบ เช่นเครื่อง Licor LAI 2000 ซึ่งใช้หลักการการส่องผ่านของแสงจากยอดทรงพุ่มเข้าสู่ sensor ที่มีลักษณะคล้าย fisheyes สามารถปรับมุมของการรับแสงได้หลาย ๆ มุม เพื่อคำนวณค่า LAI ได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ

เนื่องจากการวิจัยครั้งนี้มีงบประมาณจำกัด และไม่สามารถหาเครื่องมือวัดค่าดัชนีพื้นที่ใบได้ จึงจำเป็นต้องใช้วิธีการทำการวัดขนาดใบและนับจำนวนใบ จากนั้นนำไปคำนวณด้วยสูตรดังกล่าวข้างต้น เพื่อนำค่าไปใช้ในโปรแกรม EnergyPlus ต่อไป



ภาพที่ 32 แสดงตัวอย่างค่า Leaf Area Index

ที่มา: Leaf area index [online], Accessed 26 September 2007.

Available from <http://www.gardenwithinsight.com/help100/00000424.htm>

¹² อรพิน เกิดชูชื่น และ ผ่องพรรณ พุทธาโร, “อิทธิพลของปุ๋ยยูเรียและแอมโมเนียมซัลเฟต ต่อ growth rate, leaf area index และ net assimilation rate ของข้าวเจ้าหอมพันธุ์ปทุมธานี 1” วารสารวิจัยและพัฒนา มจร. 5, 3 (กรกฎาคม-กันยายน , 2545).

บทที่ 3

สมมติฐานและวิธีการวิจัย

การศึกษานี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับรูปแบบของหลังคา Green roof ซึ่งเหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศในประเทศไทย โดยศึกษาความหนาของดินปลูกและชนิดของพืชพันธุ์ที่อยู่บนหลังคา ที่มีผลต่ออุณหภูมิภายในห้อง อุณหภูมิผิวใต้เพดาน และการใช้พลังงานปรับอากาศภายในอาคาร เพื่อเสนอแนะแนวทางในการออกแบบหลังคา Green roof ให้มีความเหมาะสม

1. สมมติฐานการวิจัย

จากทฤษฎีและงานวิจัยที่ได้ศึกษาจึงได้นำมาตั้งเป็นสมมติฐานในการศึกษานี้ ดังนี้

1. หลังคาตาดฟ้าอาคารที่มีการใช้พืชพันธุ์และดินปลูกคลุม จะมีค่าอุณหภูมิที่ผิววัสดุทั้งภายนอกและภายใน ต่ำกว่าหลังคาตาดฟ้า ค.ส.ล.
2. หลังคาตาดฟ้าอาคารที่มีการใช้พืชพันธุ์และดินปลูกคลุม จะมีค่าอุณหภูมิอากาศภายในอาคารต่ำกว่า หลังคาตาดฟ้าอาคาร ค.ส.ล.
3. หลังคาที่ปลูกพืชชนิดเดียวกัน แต่มีความลึกดินปลูกต่างกัน หลังคาที่มีความลึกดินปลูกมากกว่า จะมีค่าอุณหภูมิผิวใต้หลังคาและอุณหภูมิอากาศภายในอาคารต่ำกว่าหลังคาที่มีชั้นความลึกดินปลูกน้อยกว่า
4. พืชที่ปลูกในดินที่มีความลึกเท่ากัน พืชที่มีความหนาแน่นของใบมากที่สุด จะสร้างร่มเงาให้กับผิวดินมากที่สุด มีผลทำให้อุณหภูมิผิวใต้หลังคาต่ำที่สุด

2. ตัวแปรในการวิจัย

ในขั้นตอนของการวิจัยจึงได้กำหนดตัวแปรในการวิจัย ดังนี้

2.1 ตัวแปรอิสระ

- 2.1.1 ชนิดของหลังคา ได้แก่ หลังคาคอนกรีต หลังคาปลูกพืชคลุมดินชนิดต่างๆ ที่มีค่าดัชนีพื้นที่ใบ (Leaf Area Index) ต่างกัน
- 2.1.2 ความลึกของดินปลูก กำหนดให้มีความลึกดินปลูกที่เพียงพอสำหรับการปลูกหญ้า คือ 10 ซม. และ 20 ซม.
- 2.1.3 ชนิดของพืชพันธุ์ที่นำมาปลูก ซึ่งนอกจากต้องคำนึงถึงความลึกของดินที่

เหมาะสำหรับการเจริญเติบโตของพืช และน้ำหนักของดินที่กระทำต่อโครงสร้างแล้ว ยังต้องคำนึงถึงปัจจัยอื่นๆ อีกด้วย เช่น ใบต้องมีความหนาแน่น ขอบแสงแดด และทนต่อสภาพอากาศร้อนชื้น

ซึ่งจากหัวข้อ พันธุ์หญ้าเขตร้อน ในบทที่ 2 จึงได้เลือกตัวอย่างพืชประเภทหญ้าที่จะนำมาใช้ในการทดลอง มา 2 ชนิด คือ หญ้านวลน้อยและหญ้าม้าเลเซีย เนื่องจากทั้ง 2 ชนิด เป็นหญ้าที่นิยมปลูกในประเทศไทย ดูแลรักษาง่าย อีกทั้งมีขนาดของใบที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน ซึ่งเหมาะที่จะนำมาใช้ในการทดสอบเปรียบเทียบ



ภาพที่ 33 หญ้านวลน้อย และหญ้าม้าเลเซีย

2.2 ตัวแปรตาม

2.2.1 อุณหภูมิผิวเหนือหลังคา

2.2.2 อุณหภูมิผิวใต้หลังคา

2.2.3 อุณหภูมิอากาศภายในอาคาร

2.2.4 ค่าพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องปรับอากาศภายในอาคาร

2.3 ตัวแปรควบคุม

2.3.1 สถานที่ทำการทดลอง

2.3.2 ระยะเวลาในการทดลอง

2.3.3 ชนิดของดินปลูก

2.3.4 ค่าความชื้นในดิน

2.3.2 สภาวะปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ

3. การแบ่งชุดการทดลอง

ในการทดลองครั้งนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับประสิทธิผลของหลังคา Green roof รูปแบบต่างๆในการป้องกันความร้อนเข้าสู่อาคารผ่านทางหลังคา ทั้งในกรณีปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ แต่ด้วยงบประมาณที่จำกัด จึงนำโปรแกรม EnergyPlus มาใช้ในการวิจัย ซึ่งจำเป็นต้องมีการสร้างกล่องทดลองจริงขึ้นมาให้ทดสอบก่อน เพื่อนำผลที่ได้จากกล่องทดลองมาเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากโปรแกรม ว่ามีความสอดคล้องกันหรือไม่

โดยในการวิจัยครั้งนี้ แบ่งเป็น 5 ชุดการทดลอง ได้แก่

ชุดการทดลองที่ 1

การศึกษาประสิทธิผลในการใช้ Green roof ในการป้องกันความร้อนเข้าสู่อาคารผ่านทางหลังคา โดยการสร้างกล่องทดลองจริง

ชุดการทดลองที่ 2

การศึกษาประสิทธิผลจากการใช้โปรแกรม EnergyPlus ในการจำลอง Green roof เพื่อเปรียบเทียบกับการใช้กล่องทดลองจริง

ชุดการทดลองที่ 3

การศึกษาประสิทธิผลในการใช้ Green roof ในการป้องกันความร้อนเข้าสู่อาคารผ่านทางหลังคา โดยการใช้โปรแกรม EnergyPlus

ชุดการทดลองที่ 4

การศึกษาประสิทธิผลในการนำ Green roof มาใช้ เพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าจากเครื่องปรับอากาศ โดยการใช้โปรแกรม EnergyPlus

ชุดการทดลองที่ 5

การศึกษาระยะเวลาในการคืนทุนในการใช้ Green roof เปรียบเทียบกับการใช้ฉนวนหลังคาทั่วไป

ชุดการทดลองที่ 1 การศึกษาประสิทธิภาพในการใช้ Green roof ในการป้องกันความร้อนเข้าสู่อาคารผ่านทางหลังคา กรณีไม่ปรับอากาศ ทดลองโดยการสร้างกล่องทดลองจริง

ในชุดการทดลองที่ 1 เป็นการทดสอบด้วยกล่องทดลองจริง มีวัตถุประสงค์เพื่อนำผลที่ได้จากการทดลองมาเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากโปรแกรม ว่ามีความสอดคล้องกันหรือไม่ โดยแบ่งขั้นตอนการเตรียมการดังนี้

1. การเตรียมสถานที่
2. การเตรียมอุปกรณ์และเครื่องมือในการเก็บข้อมูล
3. การเตรียมกล่องทดลอง
4. การทดลองและเก็บข้อมูล

1. การเตรียมสถานที่

เนื่องจากการวิจัยครั้งนี้มีทั้งการศึกษาจากการทดลองจากกล่องทดลอง และจากการใช้โปรแกรม EnergyPlus ดังนั้นเพื่อให้สามารถนำผลของการทดลองทั้ง 2 อย่างมาเปรียบเทียบกันได้ จึงจำเป็นที่จะต้องกำหนดตัวแปรควบคุมของการทดลองทั้ง 2 ให้ตรงกัน และเนื่องจากข้อมูล weather data ที่นำมาใส่ในโปรแกรม EnergyPlus ครั้งนี้ เป็นข้อมูลที่ทางเว็บไซต์ของผู้ผลิตโปรแกรมได้นำมาจากสถานีวัดสภาพอากาศดอนเมือง ดังนั้นสถานที่ตั้งกล่องทดลองจึงควรตั้งอยู่ในบริเวณใกล้เคียงดอนเมืองเช่นกัน เพื่อให้ค่าข้อมูลสภาพอากาศของสถานที่ในการทดลองครั้งนี้มีค่าใกล้เคียงกัน เพื่อควบคุมตัวแปรเรื่องสถานที่และสภาพอากาศ

ดังนั้นจึงได้เลือกสถานที่ทำการทดลองเป็นดาดฟ้าของอาคารหอพักสูง 7 ชั้น (อยู่ระหว่างการก่อสร้าง) ตั้งอยู่บริเวณหลักสี่ ถนนแจ้งวัฒนะ ซึ่งอยู่ในบริเวณใกล้เคียงกับสนามบินดอนเมือง (ภาพที่ 34)



ภาพที่ 34 แสดงอาคารที่ตั้งกล่องทดลอง

สภาพบนดาดฟ้านั้น เป็นพื้นที่โล่ง ไม่มีขอบกั้นตก และไม่มีอาคารสูงในบริเวณใกล้เคียง จึงไม่ต้องกังวลเรื่องผลการทดลองคลาดเคลื่อนเนื่องจากเงาของอาคารข้างเคียงมาบัง



ภาพที่ 35 แสดงบริเวณพื้นดาดฟ้าของอาคารที่จะใช้ในการทดสอบ

2. การเตรียมอุปกรณ์และเครื่องมือในการเก็บข้อมูล

เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูลประกอบไปด้วย

2.1 เครื่องวัดและบันทึกค่าอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ (Data Logger) รุ่น Testo 177 (4 ช่องสัญญาณ) และ Testo 175

2.2 สายส่งสัญญาณ (Thermocouple)



ภาพที่ 36 แสดงเครื่องมือ Data Logger รุ่น Testo 177 (สีดำ) และ Testo 175 (สีขาว)

3. การเตรียมกล่องทดลอง

ทำการสร้างกล่องทดลอง จำนวน 4 กล่อง โดยแบ่งเป็นลังคา 4 ประเภท (ภาพที่ 37)

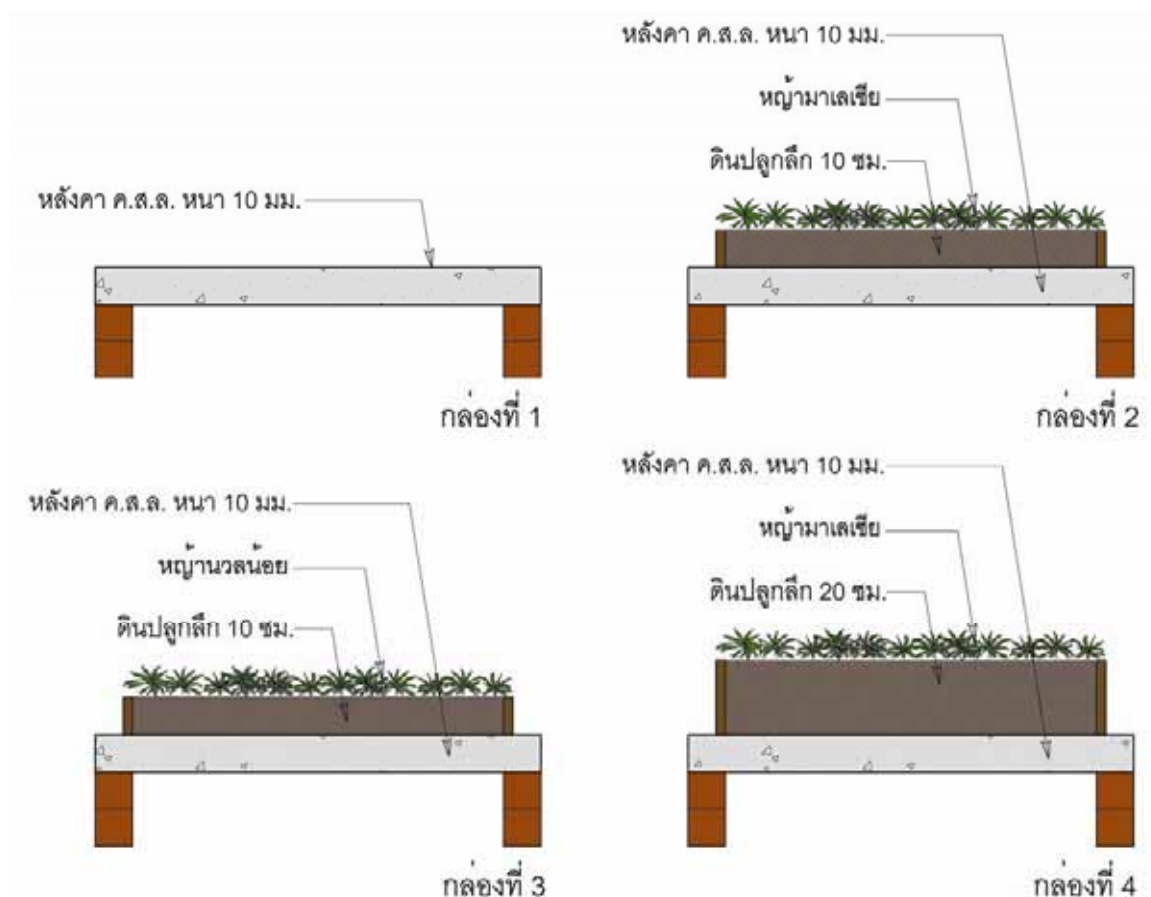
ดังนี้

กล่องที่ 1 ลังคา ค.ส.ล.

กล่องที่ 2 ลังคาหญ้ามาเลเซีย ความลึกดิน 10 ซม.

กล่องที่ 3 ลังคาหญ้าขนน้อย ความลึกดิน 10 ซม.

กล่องที่ 4 ลังคาหญ้ามาเลเซีย ความลึกดิน 20 ซม.



ภาพที่ 37 แสดงรูปตัดขยายช่วงบนของกล่องทดลองแบบต่างๆ

ซึ่งในการทดสอบครั้งนี้ เนื่องด้วยงบประมาณที่จำกัดและเรื่องขนาดของวัสดุที่จะนำมาใช้ในการทดลอง จึงทำการกำหนดขนาดกล่องทดลองที่ขนาด 1.20x1.20x1.20 ม. โดยที่ได้ทำการทดลองจำลองกล่องทั้ง 4 ด้วยโปรแกรม EnergyPlus เพื่อทดสอบเรื่องขนาดของกล่องทดลอง ว่ามีผลกับค่าอุณหภูมิที่เกิดขึ้นหรือไม่ ก่อนที่จะทำการสร้างกล่องทดลองจริง โดยทำการสร้างโมเดลเปรียบเทียบกล่อง 6 ขนาด คือ

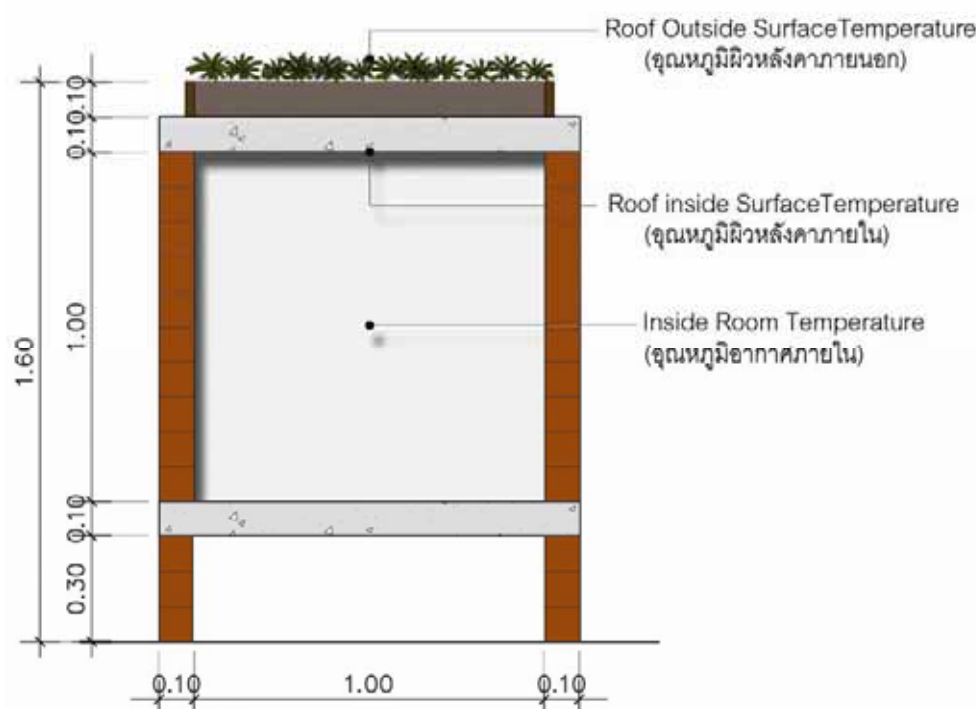
1. กล่องขนาด 0.8x0.8x0.8 ม.
2. กล่องขนาด 1x1x1 ม.
3. กล่องขนาด 1.5x1.5x1.5 ม.
4. กล่องขนาด 2x2x2 ม.
5. กล่องขนาด 2.5x2.5x2.5 ม.
6. กล่องขนาด 3x3x3 ม.

กำหนดวัสดุผนังทั้งหมดเป็น ค.ส.ล. จากการทดลองพบว่า ค่าอุณหภูมิผิวหลังคาภายนอก-ภายใน และค่าอุณหภูมิอากาศภายใน ของกล่องแต่ละขนาดมีค่าไม่ต่างกันมากนัก ซึ่งกล่องขนาดใหญ่จะมีค่าอุณหภูมิสูงกว่ากล่องขนาดเล็ก โดยมีช่วงต่างกันอยู่ระหว่าง 0.01-0.1 องศาเซลเซียส ซึ่งถือว่าไม่ต่างกันมากนัก ดังนั้นจึงน่าจะสามารถใช้กล่องขนาด 1.20x1.20x1.20 ม. ในการทดลองได้ (รายละเอียดผลการทดสอบเรื่องขนาดของกล่องกับผลของอุณหภูมิ ดูในภาคผนวก)

4. การทดลองและเก็บข้อมูล

ทำการเก็บข้อมูล โดยการติดตั้งอุปกรณ์ Data Logger และสายสัญญาณ เข้ากับตำแหน่งที่จะทำการวัดที่กล่องทดลอง คือ บริเวณผิวหลังคาภายนอก ผิวหลังคาภายใน และบริเวณตรงกลางภายในกล่องทดลอง (ภาพที่ 38) และทำการควบคุมความชื้นโดยการรดน้ำทุกเช้า – เย็น ให้กับหลังคาปลูกหญ้าในสัดส่วนที่เท่าๆกันทุกกล่อง โดยหญ้าที่ปลูกในดิน 10 ซม. รดน้ำ 1 ลิตร และหญ้าที่ปลูกในดิน 20 ซม. รดน้ำ 2 ลิตร

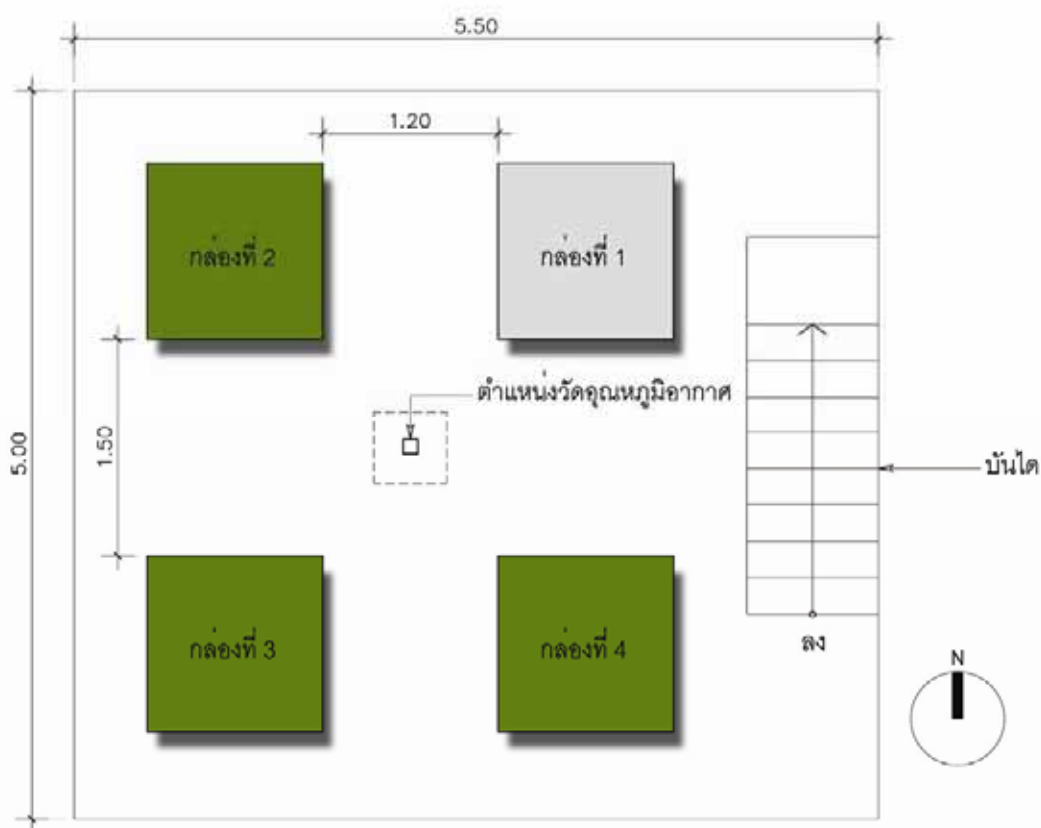
ทำการทดลองระหว่างวันที่ 15-17 มกราคม 2552 รวมระยะเวลาทำการทดลอง 3 วัน จากนั้นนำผลที่ได้มาทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบ



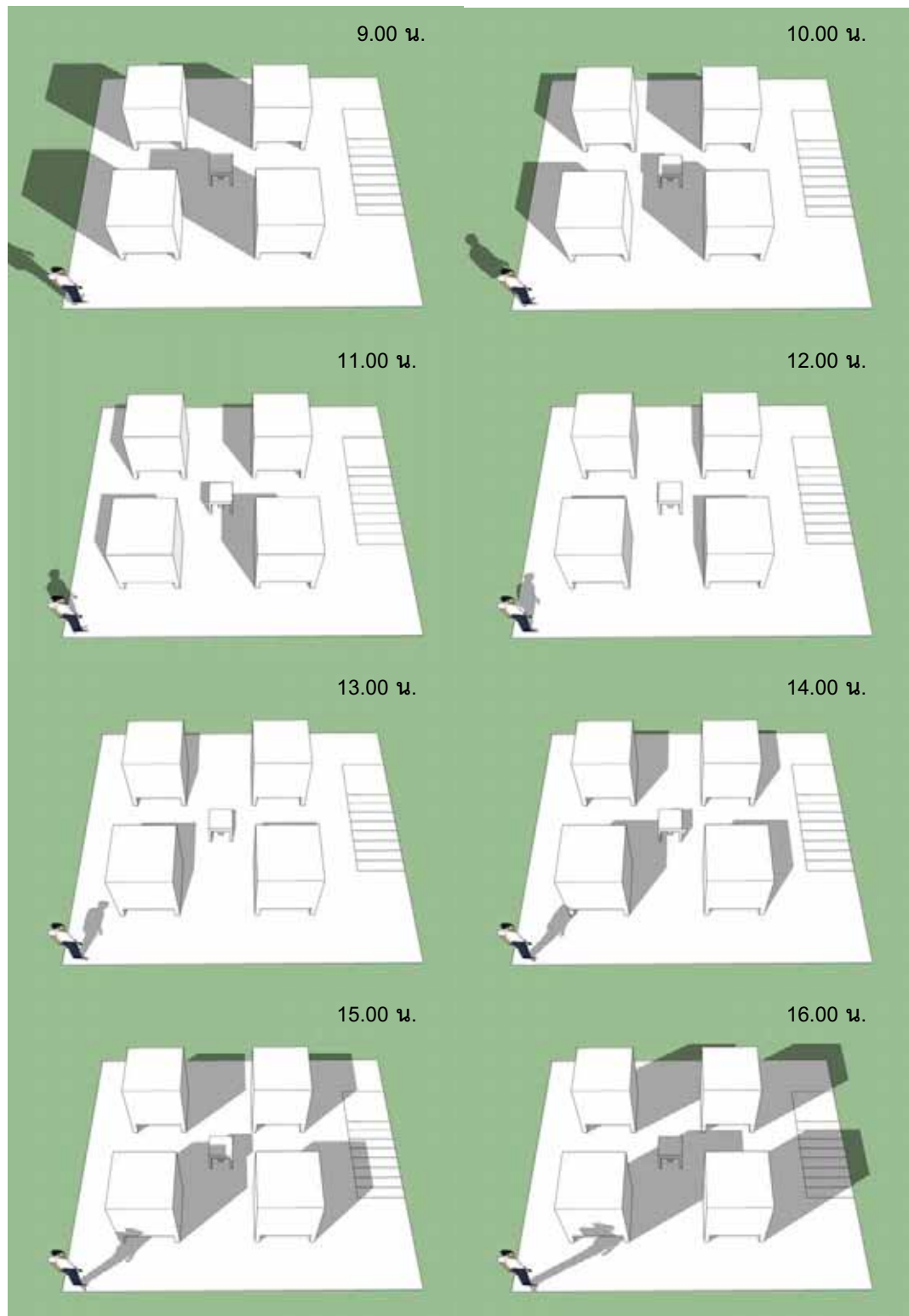
ภาพที่ 38 แสดงตำแหน่งที่วัดอุณหภูมิของกล่องทดลอง

ในส่วนด้านบนของกล่องซึ่งเป็นกระเบื้องต้นไม้ เนื่องจากในการทดลองครั้งนี้ จำเป็นต้องนำไปจำลองในโปรแกรม EnergyPlus ต่อ ซึ่งในโปรแกรม จะคำนวณเฉพาะระยะภายในของกล่องเท่านั้น ดังนั้นเพื่อให้ขอบของกระเบื้องตรงกับระยะภายในของกล่อง เพื่อให้ผลการทดสอบเปรียบเทียบคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด จึงใช้เพียงแค่มัธ หนา $\frac{1}{2}$ นิ้ว กันเป็นขอบกระเบื้อง เพื่อกันไม่ให้ดินล้นเท่านั้น โดยมีขนาดความสูงตามความลึกดินของแต่ละกล่อง และร่นระยะเข้ามาจากขอบผนังกล่อง 10 ซม.ให้อยู่ในระยะเคลียร์ในของกล่อง เพื่อไม่ให้ดินไปอยู่ด้านบนของแนวมผนัง

โดยตำแหน่งในการวางกล่องทดลองบนดาดฟ้าอาคาร เรียงตามลำดับ วนทวนเข็มนาฬิกา มีระยะห่างระหว่างกล่องประมาณ 1.20-1.50 ม.(ภาพที่ 39) เนื่องจากพื้นที่ดาดฟ้าของอาคารมีจำกัด ซึ่งอาจทำให้เกิดเงาของกล่องบังกันได้ จึงได้ลองทำการจำลองสภาพแสงและเงาที่เกิดขึ้น เพื่อดูว่าเงาที่เกิดขึ้นมากน้อยเพียงใด ซึ่งพบว่าเงาของกล่องที่ 1 และ 4 จะบังกล่องที่ 2 และ 3 เล็กน้อย บริเวณด้านล่างของกล่อง ซึ่งจะเกิดขึ้นในช่วงเวลาประมาณ 9.00 น. และ 16.00 น. (ภาพที่ 40)



ภาพที่ 39 แสดงตำแหน่งการวางกล่องทดลองบนดาดฟ้าอาคาร



ภาพที่ 40 แสดงตำแหน่งการวางกล่องทดลองและจำลองทิศทางแสงแดดที่เกิดขึ้น



ภาพที่ 41 แสดงกล่องทดลองที่สร้างจริง



ภาพที่ 42 แสดงกล่องทดลองที่ 1 (หลังคา ค.ส.ล.)



ภาพที่ 43 แสดงกล่องทดลองที่ 2 (หลังคาหญ้ามาเลเซีย ความลึกดิน 10 ซม.)



ภาพที่ 44 แสดงกล่องทดลองที่ 3 (หลังคาหญ้านวลน้อย ความลึกดิน 10 ซม.)



ภาพที่ 45 แสดงกล่องทดลองที่ 4 (หลังคาหญ้ามาเลเซีย ความลึกดิน 20 ซม.)

ชุดการทดลองที่ 2 การศึกษาประสิทธิภาพจากการใช้โปรแกรม EnergyPlus ในการจำลอง Green roof เพื่อเปรียบเทียบกับการใช้กล่องทดลองจริง

ในชุดการทดลองที่ 2 นี้เป็นการทดลองเพื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์ ระหว่างการทดลอง ด้วยกล่องทดลองจริงในชุดการทดลองที่ 1 กับการจำลองด้วยโปรแกรม EnergyPlus เพื่อทดสอบ ความแม่นยำของโปรแกรม ในการที่จะนำไปใช้ในการศึกษาต่อไป โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. การเตรียมการทดลอง

ทำการจำลองกล่องทดลอง 4 กล่อง ขนาด 1.00 x 1.00 x 1.00 ม. (เป็นขนาดระยะ Clear ภายในของกล่องทดลองจริง ขนาด 1.20 x 1.20 x 1.20 ม.) ด้วยโปรแกรม EnergyPlus ประกอบด้วยหลังคา 4 ประเภท ดังนี้

กล่องที่ 1 หลังคา Slab

กล่องที่ 2 หลังคา Green roof ความลึกดิน 10 ซม. ค่า Leaf area index = 2.5
ตั้งชื่อกล่องว่า Base Eco

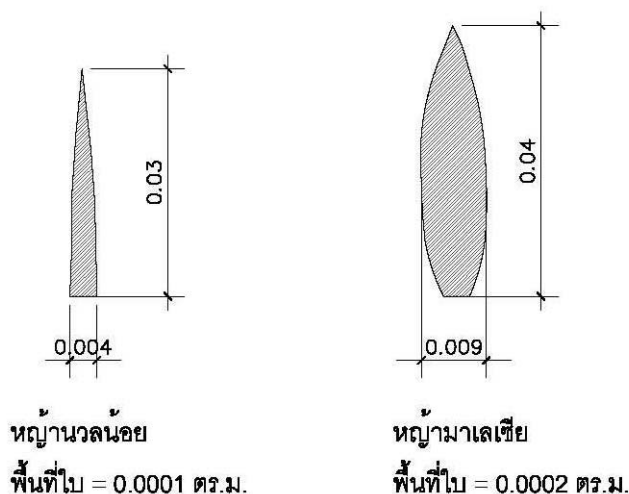
กล่องที่ 3 หลังคา Green roof ความลึกดิน 10 ซม. ค่า Leaf area index = 4.2
ตั้งชื่อกล่องว่า Hi LAI

กล่องที่ 4 หลังคา Green roof ความลึกดิน 20 ซม. ค่า Leaf area index = 2.5
ตั้งชื่อกล่องว่า Thick Soil

ในส่วนของค่า Leaf area index หรือ ดัชนีพื้นที่ใบ ที่กำหนดให้กับแต่ละกล่องนั้น คำนวณจากค่าของพืชที่นำมาใช้ทดลองในชุดการทดลองที่ 1 เนื่องจากในโปรแกรมไม่สามารถระบุ ชนิดของพืชได้ สามารถระบุได้เพียงแค่ ความสูงของพืช และดัชนีพื้นที่ใบเท่านั้น โดยกล่องที่ 2 และ 4 เป็นค่า Leaf area index ของหญ้ามาเลเซีย ส่วนกล่องที่ 3 เป็นค่า Leaf area index ของ หญ้าขนน้อย ซึ่งคำนวณจากสูตร

$$\text{Leaf area index} = \frac{\text{พื้นที่ใบ} \times \text{จำนวนใบ}}{\text{พื้นที่ปลูก}}$$

ซึ่งจากการเก็บตัวอย่างใบหญ้าในชุดการทดลองที่ 1 นำมาเขียนเส้นรอบรูป เพื่อนำไปหาค่าพื้นที่ใบด้วยโปรแกรม Autocad ได้ผลดังนี้ (ภาพที่ 46)



ภาพที่ 46 แสดงเส้นรอบรูปของใบ และค่าพื้นที่ใบที่วัดได้จากโปรแกรม Autocad

และจากการเก็บตัวอย่างใบหญ้า เพื่อนำมานับจำนวนใบในพื้นที่ปลูก โดยการนำหญ้า 100 ตร.ซม. (0.01 ตร.ม.) มานับว่ามีหญ้ากี่ใบ จากนั้นจึงนำไปเทียบบัญญัติไตรยางศ์ เพื่อหาจำนวนใบหญ้าในพื้นที่ 1 ตร.ม.

จากการนับจำนวนหญ้าในพื้นที่เก็บตัวอย่าง 100 ตร.ซม. (0.01 ตร.ม.) ได้ผลดังนี้

หญ้าม้าเลเชีย 125 ใบ ดังนั้น ในพื้นที่ 1 ตร.ม. จะมีจำนวนใบประมาณ

$$125 \times 1/0.01 = 12,500 \text{ ใบ}$$

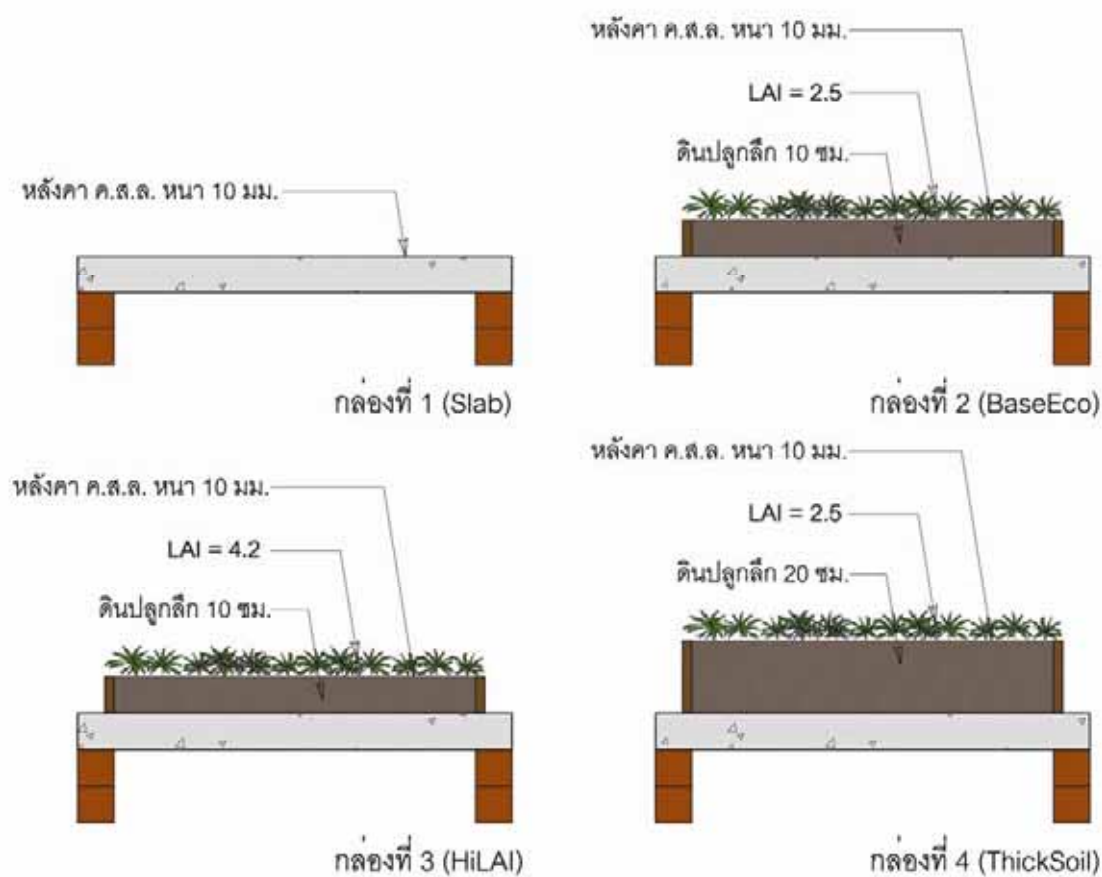
หญ้านวลน้อย 420 ใบ ดังนั้น ในพื้นที่ 1 ตร.ม. จะมีจำนวนใบประมาณ

$$420 \times 1/0.01 = 42,000 \text{ ใบ}$$

ดังนั้น

$$\text{LAI ของหญ้าม้าเลเชีย} = \frac{0.0002 \text{ ตร.ม.} \times 12,500 \text{ ใบ}}{1.00 \text{ ตร.ม.}} = 2.5$$

$$\text{LAI ของหญ้านวลน้อย} = \frac{0.0001 \text{ ตร.ม.} \times 42,000 \text{ ใบ}}{1.0 \text{ ตร.ม.}} = 4.2$$



ภาพที่ 47 แสดงรูปตัดขยายของกล่องทดลองแบบต่างๆ ที่จำลองด้วยโปรแกรม EnergyPlus

2. การทดลองและเก็บข้อมูล

มีขั้นตอนในการทดลอง ดังนี้

1. ทำการป้อนข้อมูลต่างๆที่จำเป็นในโปรแกรม EnergyPlus
2. กำหนดให้ใช้ข้อมูลวัสดุทุกชนิดเหมือนกล่องทดลองจริง และข้อมูล Weather data ตรงกับวันที่ทดลองจริง เพื่อให้ข้อมูลเสมือนจริงมากที่สุด
3. นำผลที่ได้จากโปรแกรมมาทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับผลจากการทดลองของจริง ในชุดการทดลองที่ 1

3. การป้อนข้อมูลใน EnergyPlus สำหรับชุดการทดลองที่ 2

ในชุดการศึกษาที่ 2 กำหนดรายละเอียดข้อมูลที่ต้องใส่ในโปรแกรม EnergyPlus ดังนี้

3.1 ข้อมูลทั่วไป (Simulation Parameters)

Version - เป็นการบอกถึงรุ่นของโปรแกรม ซึ่งในการประมวลผลนี้ ใช้ Version

2.20

Building - เป็นการบอกถึงลักษณะเบื้องต้นของอาคาร เช่น ที่ตั้งและสภาพแวดล้อม เป็นต้น โดยในการทดลองนี้ กำหนดชื่ออาคารว่า Cell Test (CT) กำหนดที่ตั้งให้อยู่ในเมือง (City)

3.2 ที่ตั้งอาคารและข้อมูลสภาพอากาศ (Location-Climate-Weather File Access)

Location - กำหนดให้กล่องทำมุมกับทิศเหนือที่ 0° ตั้งอยู่ในเขตกรุงเทพฯ จึงใช้ค่าพิกัดของกรุงเทพมหานครในการจำลอง Bangkok = Latitude 13.92 Longitude 100.6

ในชุดการทดลองที่ 2 นี้ เป็นการเปรียบเทียบระหว่างกล่องทดลองของจริงกับกล่องจำลองในโปรแกรม EnergyPlus ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้ข้อมูล Weather data ที่ตรงกับวันที่ทำการทดลองจริง จึงต้องใช้เป็นข้อมูล Real time weather data (ข้อมูลเสมือนจริง ณ ปัจจุบัน) ซึ่งผู้ใช้สามารถเลือกตำแหน่งสถานีวัดอากาศที่ต้องการได้ โดยในการทดลองนี้ใช้สถานีวัดอากาศ ดอนเมือง โดยสามารถดาวน์โหลดได้จาก website

http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weatherdata/weather_request.cfm

3.3 วัสดุที่ใช้ในอาคาร (Surface Construction Elements)

Material - วัสดุที่ต้องใส่ในชุดการทดลองที่ 2 มี 2 ประเภทคือ

1. MATERIAL REGULAR
2. MATERIAL ECO ROOF

ตารางที่ 4 แสดงรายการวัสดุที่ใช้ในชุดการทดลองที่ 2

รายการ	วัสดุจริง	ชื่อวัสดุในโปรแกรม
Material Regular	อิฐมอญ หน้า 10 ซม.	TH05-A-Brick-dry-plaster-cement-tile
	พื้น ค.ส.ล. หน้า 10 ซม.	TH06-Concrete
	หลังคา ค.ส.ล. หน้า 10 ซม.	TH06-Concrete
Material Eco Roof	หลังคาหญ้า ความลึกดิน 10 ซม. Leaf area index = 2.5	Base Eco
	หลังคาหญ้า ความลึกดิน 10 ซม. Leaf area index = 4.2	Hi LAI
	หลังคาหญ้า ความลึกดิน 20 ซม. Leaf area index = 2.5	Thick Soil

โดยรายละเอียดค่าคุณสมบัติของวัสดุนำมาจากข้อมูล Material ของ ASHRAE ที่มาพร้อมกับโปรแกรม EnergyPlus และข้อมูลจาก พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 (แก้ไขเพิ่มเติม พ.ศ. 2550) มาประกอบกัน

Construction - เป็นการประกอบวัสดุข้างต้น ขึ้นเป็นโครงสร้างส่วนต่างๆ โดยเรียงลำดับชั้นวัสดุจากภายนอกเข้าสู่ภายใน ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. Name: Floor 01

Layer #1: TH06-Concrete

2. Name: Wall 01

Layer #1: TH05-A-Brick-dry-plaster-cement-tile

3. Name: Roof 01

Layer #1: TH06-Concrete

4. Name: Roof 02

Layer #1: BaseEco

Layer #2: TH06-Concrete

5. Name: Roof 03

Layer #1: Hi LAI

Layer #2: TH06-Concrete

6. Name: Roof 04

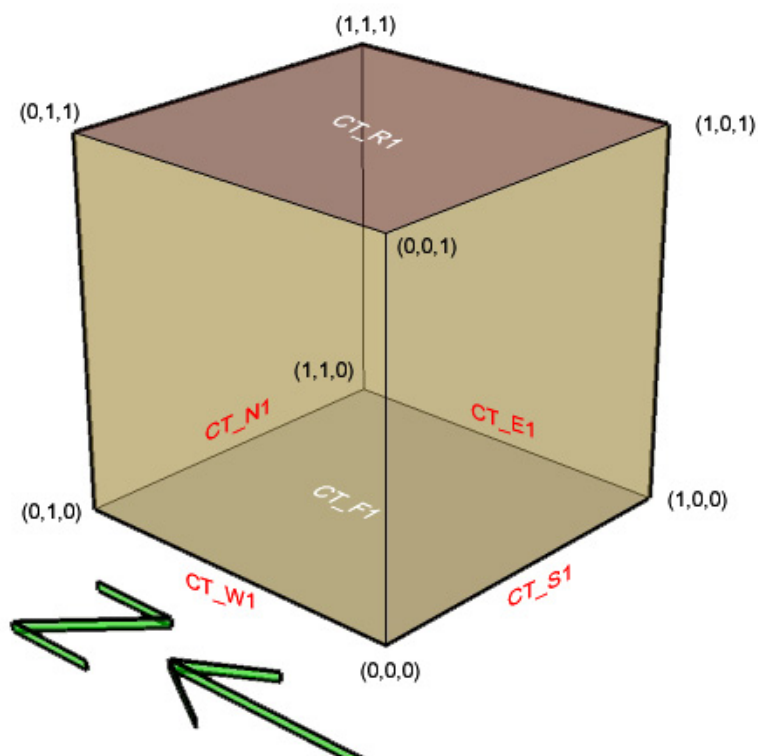
Layer #1: Thick Soil

Layer #2: TH06-Concrete

3.4 การแบ่งพื้นที่ส่วนต่างๆของอาคาร (Thermal Zone Description/Geometry)

Zone - กำหนดชื่อ Zone ไว้เพียง Zone เดียว คือ CT (Cell Test)

Surface - แบ่ง Surface ของแต่ละ Zone ดังนี้



ภาพที่ 48 แสดงการแบ่ง surface ของกล่องทดลอง แสดงผลเป็น 3D ด้วยโปรแกรม Sketch up

3.5 ตารางการใช้งานอาคาร (Schedules)

เนื่องจากการจำลองกล่องเสมือนการทดลองที่ 1 จึงไม่มีการกำหนดตารางผู้ใช้ อาคาร กิจกรรม และ เครื่องใช้ไฟฟ้า ดังนั้นจึงมีเพียง Infiltration Schedules (ตารางการรั่วซึมของอากาศ) เท่านั้น เนื่องจากกล่องทดลองที่สร้างนั้นไม่ได้ฉาบปูนปิดรอยต่อระหว่างแผ่นหลังคา กับผนัง แต่ใช้เพียงเทปการปิดเท่านั้น จึงอาจมีอากาศรั่วซึมได้บ้าง รายละเอียดดังนี้

Schedule

Any Number, Fraction (Range 0:1)

Dayschedule

CT_INF_WDAY_SCH, CT_INF_SDAY_SCH, CT_INF_HDAY_SCH

Weekschedule

CT_INF_WEEK_SCH, CT_INF_HDAY_SCH, CT_INF_SDAY_SCH

Schedule

CT_INF_YEAR_SCH

กำหนดให้ Schedule เริ่มต้นวันที่ 1 มกราคม สิ้นสุดวันที่ 31 มกราคม

3.6 การรั่วซึมของอากาศ (Infiltration)

Infiltration - ระบุตารางการรั่วซึมของอากาศในแต่ละ Zone และปริมาณสูงสุดของอากาศที่รั่วซึมเข้ามา สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$\text{ปริมาณการรั่วซึมของอากาศ} = \frac{\text{ACH} \times \text{Zone Volume}}{3,600}$$

กำหนดให้มีค่า ACH = 0.5 ปริมาตรกล่องทดลอง = 1.00 m³

เมื่อนำมาคำนวณหาค่า Design Volume Flow Rate ได้ = 0.000138 m³/s

3.7 การป้อนข้อมูลเพื่อการรายงานผล (Input for Reports)

Report - กำหนดให้โปรแกรมรายงานผลในหัวข้อต่างๆ ดังนี้

1. Outdoor dry bulb temperature
2. Zone mean air temperature
3. Surface inside temperature
4. Surface outside temperature

ชุดการทดลองที่ 3 การศึกษาประสิทธิภาพในการใช้ Green roof ในการป้องกันความร้อนเข้าสู่อาคารผ่านทางหลังคา โดยการใช้โปรแกรม EnergyPlus

ในชุดการทดลองที่ 3 นี้เป็นการทดลองด้วยโปรแกรม EnergyPlus เช่นเดียวกับการทดลองที่ 2 แต่จะเป็นการจำลองโดยการนำแบบห้องทำงานของอาคารสำนักงานสูง 5 ชั้นแห่งหนึ่ง (ภาพที่ 49) มาใช้ทดสอบแทนกล่องขนาดเล็ก เพื่อให้มีความเสมือนจริงมากยิ่งขึ้น โดยจะเป็นการศึกษาในกรณีอาคารไม่ปรับอากาศ มีขั้นตอนดังนี้

1. การเตรียมการทดลอง

ทำการจำลองห้องทำงาน ขนาด 4.00x6.00x3.20 ของอาคารสำนักงานสูง 5 ชั้นแห่งหนึ่งประกอบด้วยหลังคา 5 ประเภท ดังนี้

ห้องที่ 1 หลังคา Slab

ห้องที่ 2 หลังคา Green roof ความลึกดิน 10 ซม. ค่า Leaf area index = 2.5

ตั้งชื่อว่า Base Eco

ห้องที่ 3 หลังคา Green roof ความลึกดิน 10 ซม. ค่า Leaf area index = 4.2

ตั้งชื่อ Hi LAI

ห้องที่ 4 หลังคา Green roof ความลึกดิน 20 ซม. ค่า Leaf area index = 2.5

ตั้งชื่อว่า Thick Soil

ห้องที่ 5 หลังคา Green roof ความลึกดิน 20 ซม. ค่า Leaf area index = 4.2

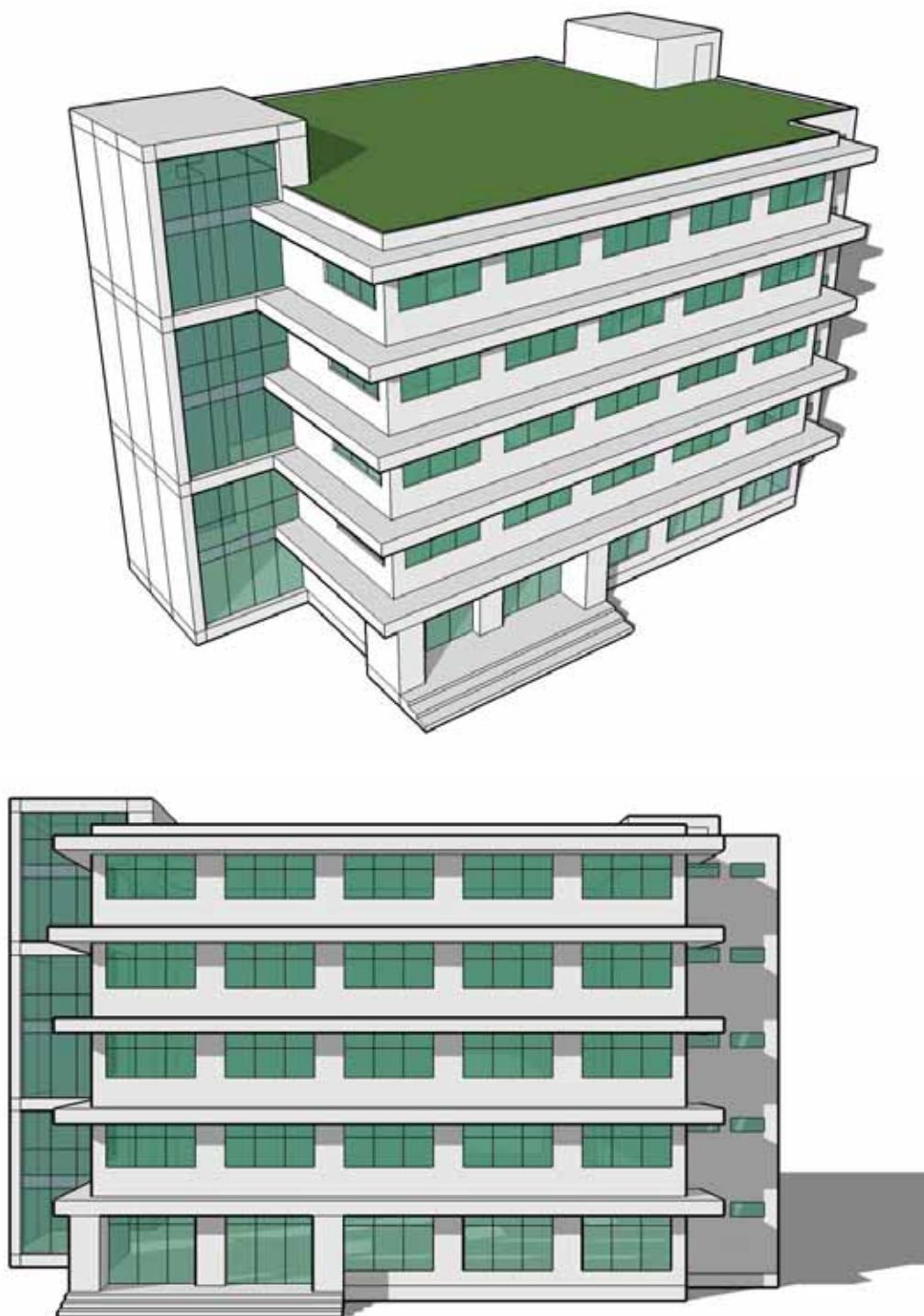
ตั้งชื่อว่า HL+TS

ในส่วนของคุณค่า Leaf area index นั้น ให้ใช้ค่าเดียวกับในชุดการทดลองที่ 2 (รายละเอียดรูปตัดขยายดูภาพที่ 3.8)

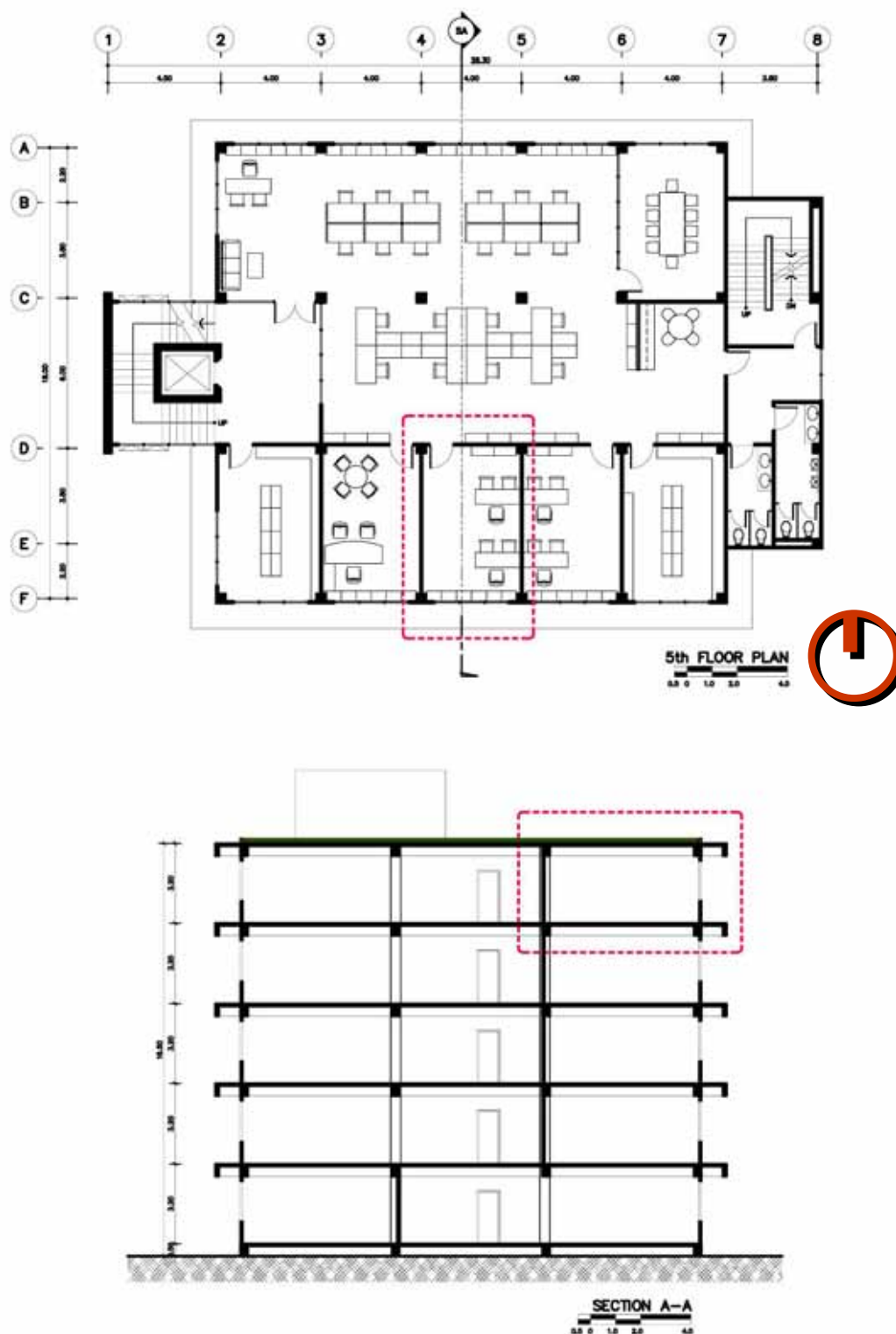
2. การทดลองและเก็บข้อมูล

ขั้นตอนในการทดลอง มีดังนี้

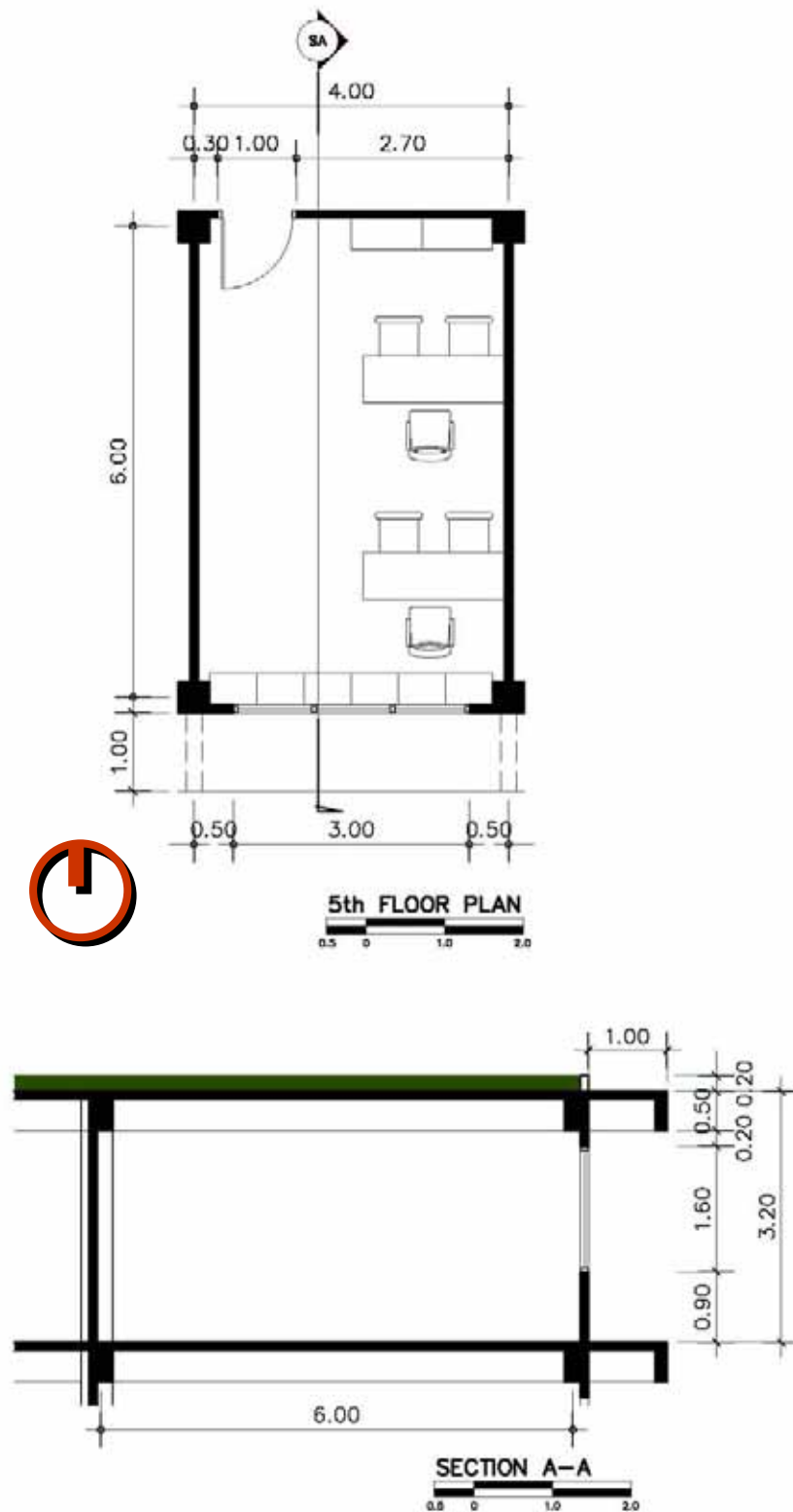
1. ทำการป้อนข้อมูลต่างๆที่จำเป็นในโปรแกรม EnergyPlus
2. กำหนดให้ใช้ข้อมูลวัสดุทุกชนิดเหมือนอาคารจริง
3. จากนั้นนำผลที่ได้จากโปรแกรมมาทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบ



ภาพที่ 49 แสดงภาพจำลองอาคารสำนักงานสูง 5 ชั้น ที่จะนำมาใช้ทดสอบใน EnergyPlus



ภาพที่ 50 แสดงแบบแปลนห้องทำงานของอาคารสำนักงานสูง 5 ชั้น ที่จะนำมาใช้ทดสอบด้วยโปรแกรม EnergyPlus



ภาพที่ 51 แสดงแบบขยายห้องทำงานที่จะนำมาใช้ทดสอบด้วยโปรแกรม EnergyPlus

3. การป้อนข้อมูลใน EnergyPlus สำหรับชุดการทดลองที่ 3

ในชุดการทดลองที่ 3 กำหนดรายละเอียดข้อมูลที่ต้องใส่ในโปรแกรม EnergyPlus ดังนี้

3.1 ข้อมูลทั่วไป (Simulation Parameters)

Version - ใช้ Version 2.20

Building - กำหนดชื่ออาคารว่า Office (OF) กำหนดที่ตั้งให้อยู่ในเมือง (City)

3.2 ที่ตั้งอาคารและข้อมูลสภาพอากาศ (Location-Climate-Weather File Access)

Location - กำหนดให้กล่องทำมุมกับทิศเหนือที่ 0° ตั้งอยู่ในเขตกรุงเทพฯ จึงใช้ค่าพิกัดของกรุงเทพมหานครในการจำลอง Bangkok = Latitude 13.92 Longitude 100.6

ในส่วนข้อมูล Weather data ในชุดการทดลองที่ 3 จะไม่ใช่แบบ Real time แต่จะใช้ข้อมูล Bangkok weather data เดิมที่มีมากับโปรแกรม ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ย 10 ปี เนื่องจากการดูค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้จำเป็นต้องใช้ข้อมูลของทั้งปี สามารถดาวน์โหลดได้จาก Website http://www.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather_data.cfm

3.3 วัสดุที่ใช้ในอาคาร (Surface Construction Elements)

Material - วัสดุที่ต้องใส่ในชุดการทดลองที่ 3 มี 4 ประเภทคือ

1. MATERIAL REGULAR
2. MATERIAL REGULAR-R
3. MATERIAL WINDOW GLASS
4. MATERIAL ECO ROOF

ตารางที่ 5 แสดงรายการวัสดุที่ใช้ในชุดการทดลองที่ 3

รายการ	วัสดุจริง	ชื่อวัสดุในโปรแกรม
Material Regular	อิฐมอญ หน้า 10 ซม.	TH05-A-Brick-dry-plaster-cement-tile
	พื้น ค.ส.ล. หน้า 10 ซม.	TH06-Concrete
	หลังคา ค.ส.ล. หน้า 10 ซม.	TH06-Concrete
	บานประตูไม้เนื้อแข็ง หน้า 50 มม.	TH24-B-Hardwood
Material Regular-R	กระเบื้องยาง	Tile: asphalt - linoleum - vinyl - rubber
Material Window Glass	กระจกใส หน้า 6 มม.	CLEAR 6 MM
Material Eco Roof	หลังคาหญ้า ความลึกดิน 10 ซม. Leaf area index = 2.5	Base Eco
	หลังคาหญ้า ความลึกดิน 10 ซม. Leaf area index = 4.2	Hi LAI
	หลังคาหญ้า ความลึกดิน 20 ซม. Leaf area index = 2.5	Thick Soil
	หลังคาหญ้า ความลึกดิน 20 ซม. Leaf area index = 4.2	HL+TS

Construction - เป็นการประกอบวัสดุข้างต้น ขึ้นเป็นโครงสร้างส่วนต่างๆ โดยเรียงลำดับชั้นวัสดุจากภายนอกเข้าสู่ภายใน ซึ่งมีดังนี้

1. Name: Floor 02

Layer #1: TH06-Concrete

Layer #2: Tile: asphalt - linoleum - vinyl – rubber

2. Name: Wall 01

Layer #1: TH05-A-Brick-dry-plaster-cement-tile

3. Name: Roof 01

Layer #1: TH06-Concrete

4. Name: Roof 02

Layer #1: BaseEco

Layer #2: TH06-Concrete

5. Name: Roof 03

Layer #1: Hi LAI

Layer #2: TH06-Concrete

6. Name: Roof 04

Layer #1: Thick Soil

Layer #2: TH06-Concrete

7. Name: Roof 05

Layer #1: HL+TS

Layer #2: TH06-Concrete

8. Name: Window 01

Layer #1: CLEAR 6MM

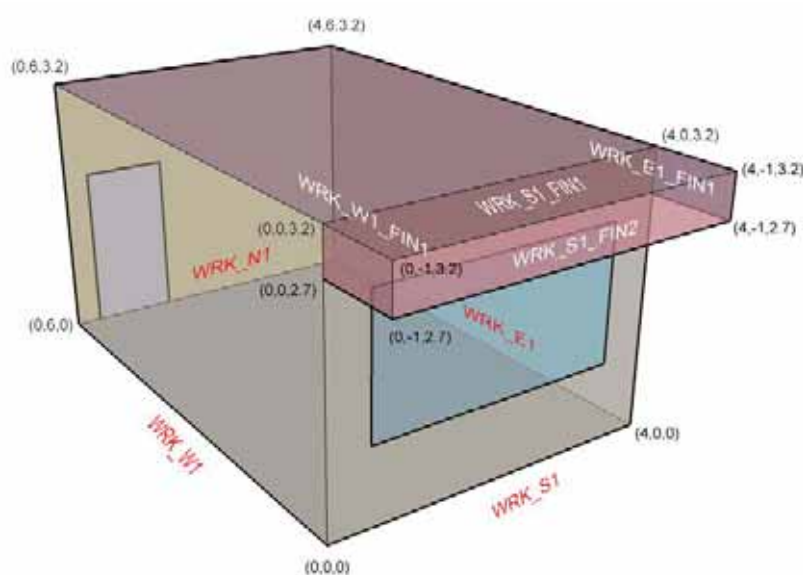
9. Name: Door 01

Layer #1: G06 50mm wood

3.4 การแบ่งพื้นที่ส่วนต่างๆของอาคาร (Thermal Zone Description/Geometry)

Zone - ในชุดการทดลองที่ 3 เป็นการจำลองห้องทำงาน 1 ห้อง ดังนั้นจึงกำหนดชื่อ Zone ไว้เพียง Zone เดียว คือ WRK (Working Room)

Surface - แบ่ง Surface ของแต่ละ Zone ดังนี้



ภาพที่ 52 แสดงการแบ่ง Surface ของห้องทำงาน แสดงผลเป็น 3D ด้วยโปรแกรม Sketch up

เนื่องจากในการจำลองห้องทำงานนี้ เป็นการจำลองห้องเพียงห้องเดียว จากอาคารทั้งหลัง ซึ่งผนังห้องด้านที่ไม่มีหน้าต่าง (WRK_W1, WRK_N1, WRK_E1) เป็นผนังภายในอาคาร ดังนั้นในการระบุค่า Outside face environment ของผนังทั้ง 3 ด้านที่อยู่ภายในอาคาร จึงต้องระบุเป็น Other zone surface โดยใส่ค่า Outside face environment เป็นชื่อ Surface ของตัวเอง ส่วนผนังที่มีหน้าต่าง (WRK_S1) ให้ระบุเป็น Exterior environment ตามปกติ

3.5 ตารางการใช้งานอาคาร (Schedules)

ในชุดการทดลองที่ 3 นี้ เป็นการจำลองห้องทำงานของสำนักงาน จึงต้องกำหนดผู้ใช้ อาคาร กิจกรรม และ เครื่องใช้ไฟฟ้า ด้วย ดังนี้

ผู้ใช้งาน 2 คน

กิจกรรมคือ นั่งทำงาน

เครื่องคอมพิวเตอร์ 2 เครื่อง

โคมไฟฟลูออเรสเซนต์ 2 ดวง

3.6 การรั่วซึมของอากาศ (Infiltration)

สามารถหาได้จากสูตร

$$\text{ปริมาณการรั่วซึมของอากาศ} = \frac{\text{ACH} \times \text{Zone Volume} \times \text{m}^3/\text{s}}{3,600}$$

* ACH (Air Change per Hour) คือปริมาณการแลกเปลี่ยนหรือแทนที่ของอากาศภายนอกและภายใน อาคาร ใน 1 ชั่วโมง

กำหนดให้มีค่า ACH = 0.5 ปริมาตรห้องทำงาน = 76.80 m³

เมื่อนำมาคำนวณหาค่า Design Volume Flow Rate ได้ = 0.01 m³/s

3.7 การป้อนข้อมูลเพื่อการรายงานผล (Input for Reports)

ในชุดการทดลองที่ 3 กำหนดให้โปรแกรมรายงานผลในหัวข้อต่างๆ ดังนี้

1. Outdoor dry bulb temperature
2. Zone mean air temperature
3. Surface inside temperature
4. Surface outside temperature

ชุดการทดลองที่ 4 การศึกษาแนวทางการนำ Green roof มาใช้ในการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าจากเครื่องปรับอากาศ โดยการจำลองด้วยโปรแกรม EnergyPlus

ในชุดการทดลองที่ 4 นี้เป็นการทดลองด้วยโปรแกรม EnergyPlus เช่นเดียวกับการทดลองที่ 2 และ 3 แต่จะเป็นการศึกษาในกรณีอาคารมีการใช้เครื่องปรับอากาศ เพื่อดูประสิทธิภาพของหลังคาแต่ละชนิดในการลดภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. การเตรียมการทดลอง

ทำการจำลองห้องทำงาน ขนาด 4.00x6.00x3.20 ประกอบด้วยหลังคา 5 ประเภท เหมือนชุดการทดลองที่ 3 ดังนี้

ห้องที่ 1 หลังคา Slab

ห้องที่ 2 หลังคา Green roof ความลึกดิน 10 ซม. ค่า Leaf area index = 2.5
ตั้งชื่อว่า Base Eco

ห้องที่ 3 หลังคา Green roof ความลึกดิน 10 ซม. ค่า Leaf area index = 4.2
ตั้งชื่อว่า Hi LAI

ห้องที่ 4 หลังคา Green roof ความลึกดิน 20 ซม. ค่า Leaf area index = 2.5
ตั้งชื่อว่า Thick Soil

ห้องที่ 5 หลังคา Green roof ความลึกดิน 20 ซม. ค่า Leaf area index = 4.2
ตั้งชื่อว่า HL+TS

ในส่วนของคุณค่า Leaf area index นั้น ให้ใช้ค่าเดียวกับในชุดการทดลองที่ 2 และ 3 (รายละเอียดรูปตัดขยายดูภาพที่ 3.8)

2. การทดลองและเก็บข้อมูล

ขั้นตอนในการทดลอง มีดังนี้

1. ทำการป้อนข้อมูลต่างๆที่จำเป็นในโปรแกรม EnergyPlus
2. กำหนดให้ใช้ข้อมูลวัสดุทุกชนิดเหมือนอาคารจริง
3. จากนั้นนำผลที่ได้จากโปรแกรมมาทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบ

3. การป้อนข้อมูลใน EnergyPlus สำหรับชุดการทดลองที่ 4

ในชุดการทดลองที่ 4 นี้ มีรายละเอียดข้อมูลที่ต้องใส่ในโปรแกรม EnergyPlus เหมือนกับในชุดการทดลองที่ 3 แต่จะมีส่วนที่เพิ่มเติมมา โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.1 ตารางการใช้งานอาคาร (Schedules)

กำหนดเวลาในการใช้เครื่องปรับอากาศ อยู่ในช่วงเวลา 09.00 น.-18.00 น.
กำหนดค่าอุณหภูมิในการปรับอากาศอยู่ที่ 25 องศาเซลเซียส

3.2 การปรับอากาศของพื้นที่ (Zone Forced Air Units)

Purchased Air - เป็นการบอกถึงข้อมูลของตัวอุปกรณ์ที่ใช้ในการจำลองเครื่องปรับอากาศ ใช้สำหรับหาค่าพลังงานที่ใช้ในการปรับอากาศเบื้องต้น โดยการจำลองลักษณะนี้จะเป็นการควบคุมอุณหภูมิภายในห้องให้ได้ตามระดับที่ต้องการ แต่ไม่มีการควบคุมระดับความชื้น

3.3 อุปกรณ์ภายในพื้นที่ควบคุม (Zone Equipment)

Controlled Zone Equip Configuration - เป็นการกำหนดวิธีควบคุมอุปกรณ์ต่างๆที่จะใช้ในพื้นที่ควบคุม ต้องระบุอุปกรณ์ที่ใช้ (Zone Equipment)

Zone Equipment List - เป็นการบอกถึงรายการของอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมอุณหภูมิ ในการศึกษารั้งนี้อุปกรณ์ที่ใช้การควบคุมมีเพียงอย่างเดียวคือ Purchase Air

3.4 การควบคุมอุณหภูมิ (Zone Controls and Thermostats)

Zone Control : Thermostatic - เป็นการบอกถึงการควบคุมอุณหภูมิใน Zone โดยต้องระบุ Zone ที่ต้องการควบคุมอุณหภูมิ ตารางการควบคุม และรูปแบบการควบคุม ในที่นี้กำหนดให้ควบคุมโซนตามที่ตั้งไว้คือ WRK

Thermostats Control Type - กำหนดให้ใช้รูปแบบ 2 คือ Single Cooling Setpoint เนื่องจากเป็นการควบคุมความเย็นเท่านั้น

3.5 การป้อนข้อมูลเพื่อการรายงานผล (Input for Reports)

ในชุดการทดลองที่ 4 กำหนดให้โปรแกรมรายงานผลในหัวข้อต่างๆ ดังนี้

1. Outdoor dry bulb temperature
2. Zone mean air temperature
3. Surface inside temperature
4. Surface outside temperature
5. Purchased air total cooling energy

ชุดการทดลองที่ 5 การศึกษาระยะเวลาในการคืนทุนในการใช้ Green roof เปรียบเทียบกับการใช้ฉนวนหลังคาทั่วไป

ในชุดการทดลองที่ 5 นี้เป็นการทดลองด้วยโปรแกรม EnergyPlus เช่นเดียวกับการทดลองที่ผ่านมา แบ่งเป็น 2 ขั้นตอน คือ

1. เปรียบเทียบประสิทธิภาพของ Green roof กับ ฉนวนกันความร้อน

เป็นการศึกษาประสิทธิภาพของการใช้ Green roof เปรียบเทียบกับการใช้ฉนวนกันความร้อน ในกรณีอาคารมีการใช้เครื่องปรับอากาศ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าจากเครื่องปรับอากาศของ Green roof ว่าเทียบได้ใกล้เคียงกับฉนวนชนิดใด

โดยในการทดลองนี้ได้เลือกใช้ฉนวนหุ้มรอบด้านด้วยอลูมิเนียมฟอยล์ ในการจำลอง โดยเลือกรุ่นความหนา 1" และ 2" มา 4 รุ่น มีรายละเอียดดังตาราง

ตารางที่ 6 รายละเอียดฉนวนหุ้มรอบด้านด้วยอลูมิเนียมฟอยล์ ที่นำมาใช้จำลอง

รุ่น	ราคา/ ตร.ม.	Density (Kg/m ³)	Thickness (mm.)	K-Value		R-Value	
				w/m.K	Btu-in/ Hr.ft ² .F	m ² .K/w	Hr.ft ² .F/Btu
1625	140	16	25	0.038	0.264	0.658	3.735
1650	175	16	50	0.038	0.264	1.316	7.470
2425	210	24	25	0.035	0.243	0.714	4.055
2450	309	24	50	0.035	0.243	1.429	8.110

ที่มา : [Supercool](#) [online], Accessed 19 November 2009.

Available from www.siamfiberglass.com



ภาพที่ 53 ฉนวนหุ้มรอบด้านด้วยแผ่นลูมินีเยมพอยล์

ที่มา : [Supercool](#) [online], Accessed 19 November 2009.

Available from www.siamfiberglass.com

2. ศึกษาระยะเวลาคืนทุน

เมื่อได้ผลสรุปจาก ข้อ 5.1 แล้ว จึงนำต้นทุนราคาของหลังคาแต่ละชนิดมาคำนวณหา ระยะเวลาคืนทุน โดยจะต้องแปลงค่าพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการจำลองด้วย EnergyPlus ให้อยู่ใน รูปของค่าไฟฟ้าจริงก่อน จึงจะนำไปหาระยะเวลาคืนทุนได้

ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ สามารถหาได้จากสูตร

$$\text{ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (kWh)} = E_n / \text{COP}$$

E_n = Purchased Cooling ที่ได้จากโปรแกรม EnergyPlus (kWh)

COP = ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของเครื่องปรับอากาศ

$$\text{COP} = \text{EER} / 3.412$$

โดยกำหนดให้อาคารที่จำลอง ใช้เครื่องปรับอากาศเบอร์ 5 ซึ่งมีค่า EER = 10.6¹²

ดังนั้น $\text{COP} = 10.6 / 3.412 = 3.106$

¹² พระราชบัญญัติส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร, 2535

การคิดระยะเวลาคืนทุน

การคิดระยะเวลาคืนทุนของ Green roof สามารถคิดได้จากสูตร

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน (ปี)} = Ca / (Cb - Cc)$$

เมื่อ Ca = ต้นทุนของหลังคา Green roof (บาท)

Cb = ค่าไฟฟ้าของอาคารหลังคา ค.ส.ล. ใน 1 ปี (บาท)

Cc = ค่าไฟฟ้าของอาคารที่ใช้ Green roof ใน 1 ปี (บาท)

การคิดระยะเวลาคืนทุนของอาคารที่ใช้ฉนวนหลังคา สามารถคิดได้จากสูตร

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน (ปี)} = Ca / (Cb - Cc)$$

เมื่อ Ca = ต้นทุนของฉนวนหลังคา (บาท)

Cb = ค่าไฟฟ้าของอาคารหลังคา ค.ส.ล. ใน 1 ปี (บาท)

Cc = ค่าไฟฟ้าของอาคารที่ใช้ฉนวนหลังคาใน 1 ปี (บาท)

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการวิเคราะห์ข้อมูล

จากวัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของการใช้ Green roof ในการป้องกันความร้อนเข้าสู่อาคารที่ตั้งอยู่ในสภาพภูมิอากาศร้อนชื้น
2. เพื่อศึกษาตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับ Green roof ซึ่งมีผลต่อการป้องกันความร้อนเข้าสู่อาคารผ่านทางหลังคา เช่น ความหนาของดินปลูก ชนิดของพืชพันธุ์ เป็นต้น
3. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของการใช้ Green roof ในการลดการใช้พลังงานจากเครื่องปรับอากาศ

จากวัตถุประสงค์ดังกล่าว นำมาจำแนกเป็นชุดการทดลอง ได้ดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1

การศึกษาดูประสิทธิภาพในการใช้ Green roof ในการป้องกันความร้อนเข้าสู่อาคารผ่านทางหลังคา โดยการสร้างกล่องทดลองจริง

ชุดการทดลองที่ 2

การศึกษาดูประสิทธิภาพจากการใช้โปรแกรม EnergyPlus ในการจำลอง Green roof เพื่อเปรียบเทียบกับการใช้กล่องทดลองจริง

ชุดการทดลองที่ 3

การศึกษาดูประสิทธิภาพในการใช้ Green roof ในการป้องกันความร้อนเข้าสู่อาคารผ่านทางหลังคา โดยใช้โปรแกรม EnergyPlus

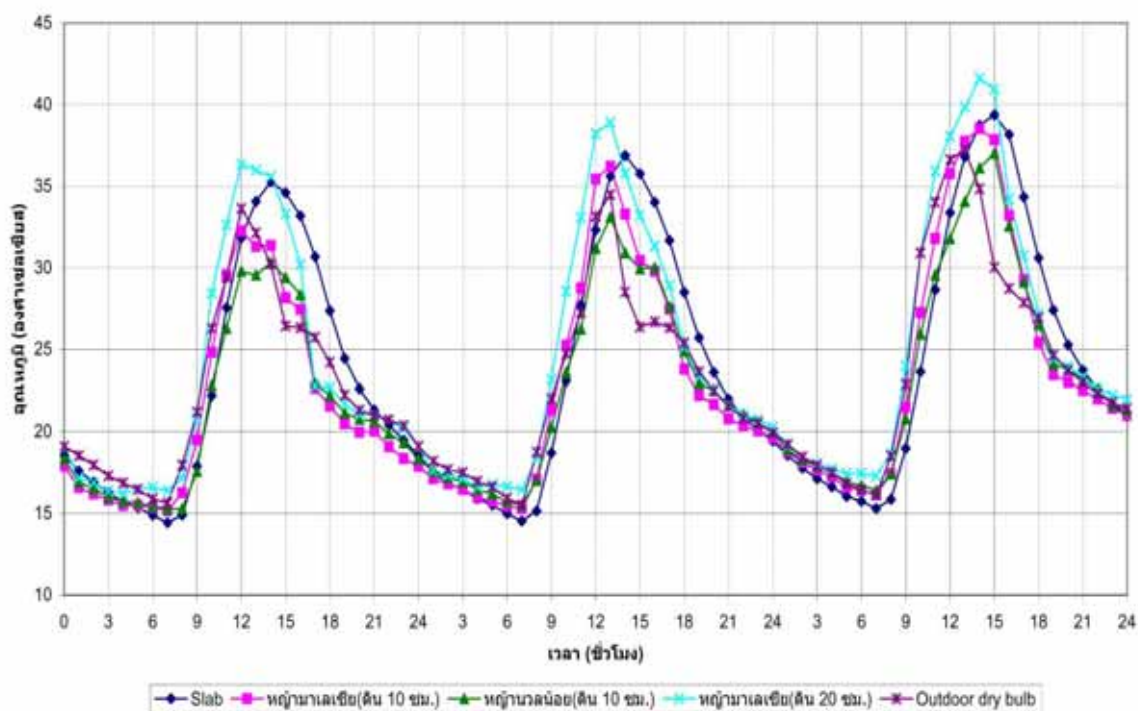
ชุดการทดลองที่ 4

การศึกษาดูประสิทธิภาพในการนำ Green roof มาใช้ เพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าจากเครื่องปรับอากาศ โดยใช้โปรแกรม EnergyPlus

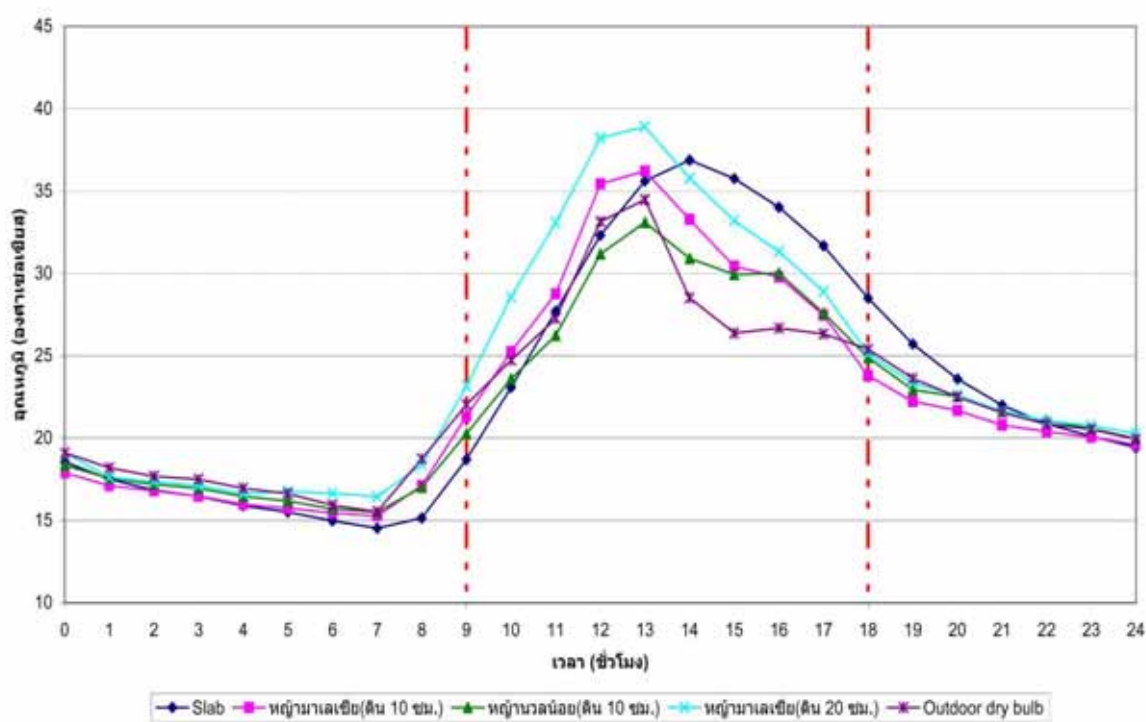
ชุดการทดลองที่ 5

การศึกษาระยะเวลาในการคืนทุนในการใช้ Green roof เปรียบเทียบกับการใช้ฉนวนหลังคาทั่วไป

1. ผลการทดลองที่ 1 การศึกษาประสิทธิภาพในการใช้ Green roof ในการป้องกันความร้อนเข้าสู่อาคารผ่านทางหลังคา โดยการสร้างกล่องทดลองจริง



แผนภูมิที่ 1 เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวหลังคาภายนอก ระหว่างวันที่ 15-17 มกราคม 2552



แผนภูมิที่ 2 เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวหลังคาภายนอก วันที่ 16 มกราคม 2552

ตารางที่ 7 เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวหลังคาภายนอก วันที่ 15-17 มกราคม 2552

ค่า วันที่ หลังคา	อุณหภูมิสูงสุด (°C)				อุณหภูมิต่ำสุด (°C)				อุณหภูมิเฉลี่ย 9.00-18.00 น.			
	15	16	17	เฉลี่ย 3 วัน	15	16	17	เฉลี่ย 3 วัน	15	16	17	เฉลี่ย 3 วัน
ค.ส.ล.	35.2	36.8	39.3	37.1	14.4	14.5	15.3	14.7	29.4	30.4	32.2	30.7
มาเลเซีย 10	32.2	36.2	38.5	35.6	15.1	15.2	16.1	15.5	26.8	29.1	31.8	29.2
ผลต่าง	3	0.6	0.8	1.5	-0.7	-0.7	-0.8	-0.8	2.6	1.3	0.4	1.5
ผลต่างเป็น %	8.5	1.6	2.0	4.0	-4.8	-4.8	-5.2	-5.4	8.8	4.2	1.2	4.8
นวนน้อย 10	30.3	33.1	37.0	33.4	15.2	15.5	16.4	15.7	25.9	27.7	30.3	28.0
ผลต่าง	4.9	3.7	2.3	3.7	-0.8	-1	-1.1	-1	3.5	2.7	1.9	2.7
ผลต่างเป็น %	13.9	10.0	5.8	9.9	-5.5	-6.8	-7.1	-6.8	11.9	8.8	5.9	8.7
มาเลเซีย 20	36.3	38.9	41.6	38.9	16.2	16.4	17.2	16.6	29.8	31.6	34.3	31.9
ผลต่าง	-1.1	-2.1	-2.3	-1.8	-1.8	-1.9	-1.9	-1.9	-0.4	-1.2	-2.1	-1.2
ผลต่างเป็น %	-3.1	-5.7	-5.8	-4.8	-12.5	-13.1	-12.4	-12.9	-1.3	-3.9	-6.5	-3.9

* หมายเหตุ

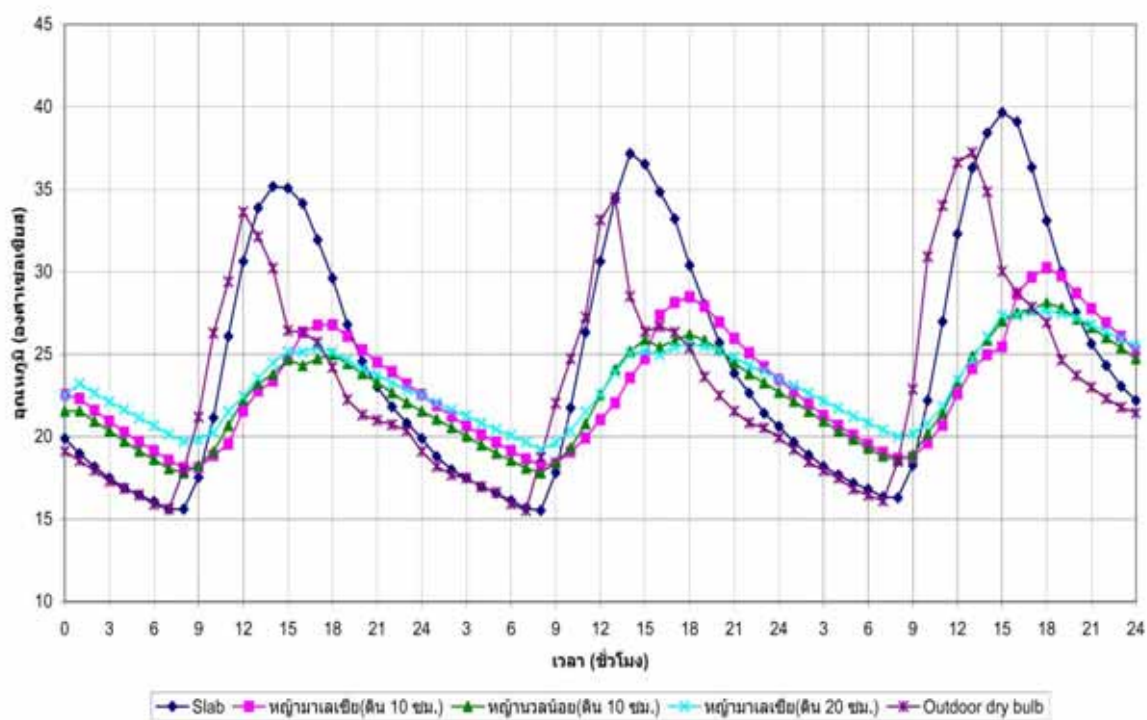
- ค่าอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุด คิดจากช่วงเวลาตลอด 24 ชม.
- ค่าผลต่าง คิดจากค่าที่ได้จากหลังคา ค.ส.ล. ลบด้วยค่าจากหลังคาชนิดอื่นๆ เพื่อดูว่าอุณหภูมิลดลงจากหลังคา ค.ส.ล. เท่าไร ในกรณีนี้ที่ค่าติดลบแสดงว่า ค่าที่ได้จากหลังคาชนิดนั้นสูงกว่าหลังคา ค.ส.ล.
- ผลต่างเป็น % คิดจากสูตร ค่าผลต่าง x100หารด้วยค่าต้นจากหลังคา ค.ส.ล.

จากการทดลองพบว่า

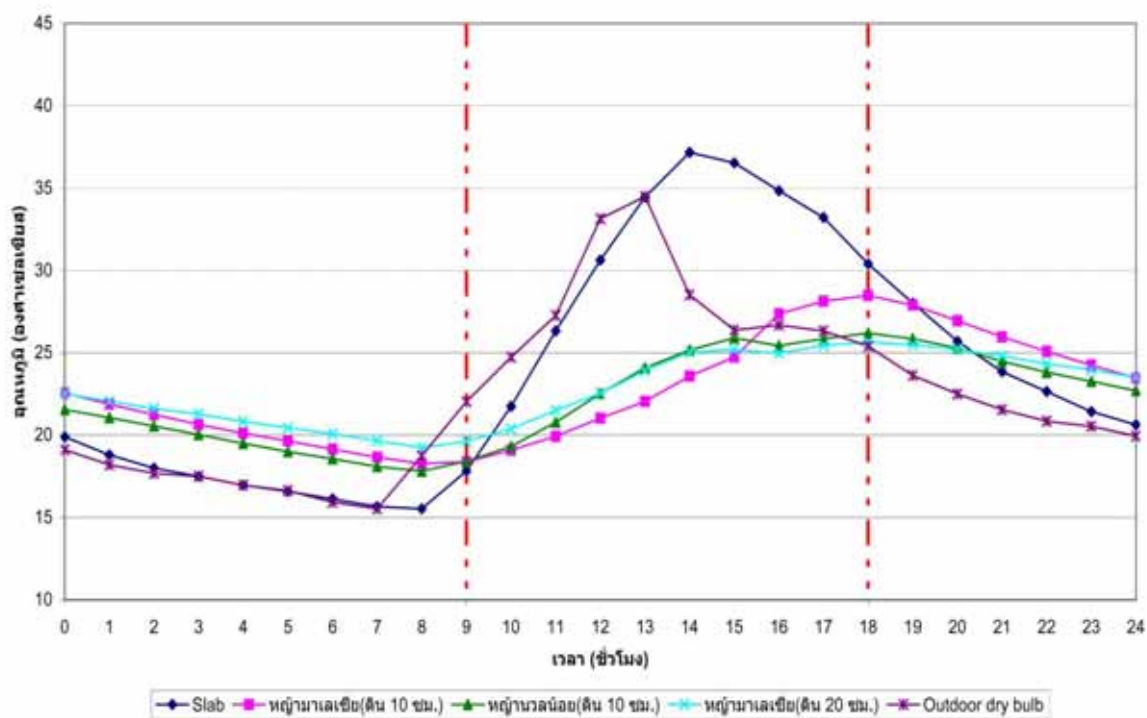
เมื่อดูค่าอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย 3 วัน พบว่า หลังคาหน้ามาเลเซีย ดินปลูก 20 ซม. จะมีค่าอุณหภูมิผิวภายนอกสูงสุดเฉลี่ยมากที่สุด คือ 38.9°C รองลงมาคือหลังคา ค.ส.ล. อยู่ที่ 37.1°C โดยหลังคาหน้านวนน้อย ดินปลูก 10 ซม. จะมีค่าอุณหภูมิผิวภายนอกสูงสุดเฉลี่ยน้อยที่สุด คือ 33.4°C น้อยกว่าหลังคา ค.ส.ล. ประมาณ 3.7°C หรือลดลงประมาณ 9.9%

เมื่อดูค่าอุณหภูมิผิวภายนอกต่ำสุดเฉลี่ย 3 วัน พบว่า หลังคา ค.ส.ล. จะมีค่าอุณหภูมิผิวภายนอกต่ำสุดเฉลี่ยน้อยที่สุด คือ 14.7°C โดยน้อยกว่าหลังคาชนิดอื่นๆ ประมาณ 0.8-1.9 °C

เมื่อดูค่าอุณหภูมิผิวภายนอกเฉลี่ยเวลากลางวัน (9.00-18.00 น.) พบว่า หลังคาหน้ามาเลเซีย ดินปลูก 20 ซม. จะมีค่าอุณหภูมิผิวภายนอกเฉลี่ยเวลากลางวันมากที่สุด คือ 31.9 °C รองลงมาคือหลังคา ค.ส.ล. อยู่ที่ 30.7°C โดยหลังคาหน้านวนน้อย ดินปลูก 10 ซม. จะมีค่าอุณหภูมิผิวภายนอกเฉลี่ยเวลากลางวันน้อยที่สุด คือ 28.0°C น้อยกว่าหลังคา ค.ส.ล. ประมาณ 2.7°C หรือลดลงประมาณ 8.7%



แผนภูมิที่ 3 เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวหลังคาภายใน ระหว่างวันที่ 15-17 มกราคม 2552



แผนภูมิที่ 4 เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวหลังคาภายใน วันที่ 16 มกราคม 2552

ตารางที่ 8 เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวหลังคาภายใน วันที่ 15-17 มกราคม 2552

ค่า วันที่ หลังคา	อุณหภูมิสูงสุด (°C)				อุณหภูมิต่ำสุด (°C)				อุณหภูมิเฉลี่ย 9.00-18.00			
	15	16	17	เฉลี่ย 3 วัน	15	16	17	เฉลี่ย 3 วัน	15	16	17	เฉลี่ย 3 วัน
ค.ส.ล.	35.1	37.1	39.6	37.3	15.6	15.5	16.3	15.8	29.5	30.3	32.2	30.7
มาเลเซีย 10	26.7	28.4	30.2	28.5	18.1	18.2	18.6	18.3	22.8	23.2	24.4	23.5
ผลต่าง	8.4	8.7	9.4	8.8	-2.5	-2.7	-2.3	-2.5	6.7	7.1	7.8	7.2
ผลต่างเป็น %	23.9	23.4	23.7	23.5	-16.0	-17.4	-14.1	-15.8	22.7	23.4	24.2	23.4
นวนน้อย 10	24.9	26.2	28.1	26.4	17.8	17.8	18.6	18.0	22.6	23.3	24.5	23.4
ผลต่าง	10.2	10.9	11.5	10.9	-2.2	-2.3	-2.3	-2.2	6.9	7	7.7	7.3
ผลต่างเป็น %	29.0	29.3	29.0	29.2	-14.1	-14.8	-14.1	-13.9	23.3	23.1	23.9	23.7
มาเลเซีย 20	25.4	25.6	27.6	26.2	19.7	19.2	20.0	19.6	23.2	23.4	24.7	23.8
ผลต่าง	9.7	11.5	12	11.1	-4.1	-3.7	-3.7	-3.8	6.3	6.9	7.5	6.9
ผลต่างเป็น %	27.6	30.9	30.3	29.7	-26.2	-23.8	-22.6	-24.0	21.3	22.7	23.2	22.4

* หมายเหตุ

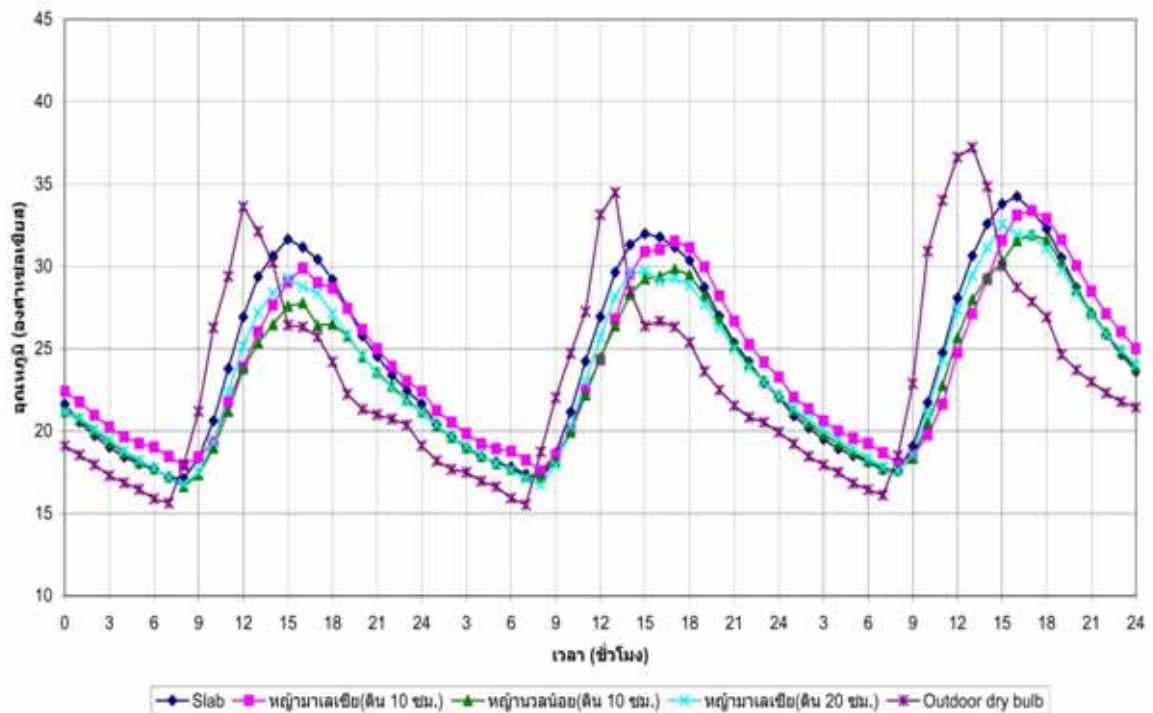
- ค่าอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุด คิดจากช่วงเวลาตลอด 24 ชม.
- ค่าผลต่าง คิดจากค่าที่ได้จากหลังคา ค.ส.ล. ลบด้วยค่าจากหลังคาชนิดอื่นๆ เพื่อดูว่าอุณหภูมิลดลงจากหลังคา ค.ส.ล. เท่าไร ในกรณีที่ค่าติดลบแสดงว่า ค่าที่ได้จากหลังคาชนิดนั้นสูงกว่าหลังคา ค.ส.ล.
- ผลต่างเป็น % คิดจากสูตร ค่าผลต่าง x100หารด้วยค่าต้นจากหลังคา ค.ส.ล.

จากการทดลองพบว่า

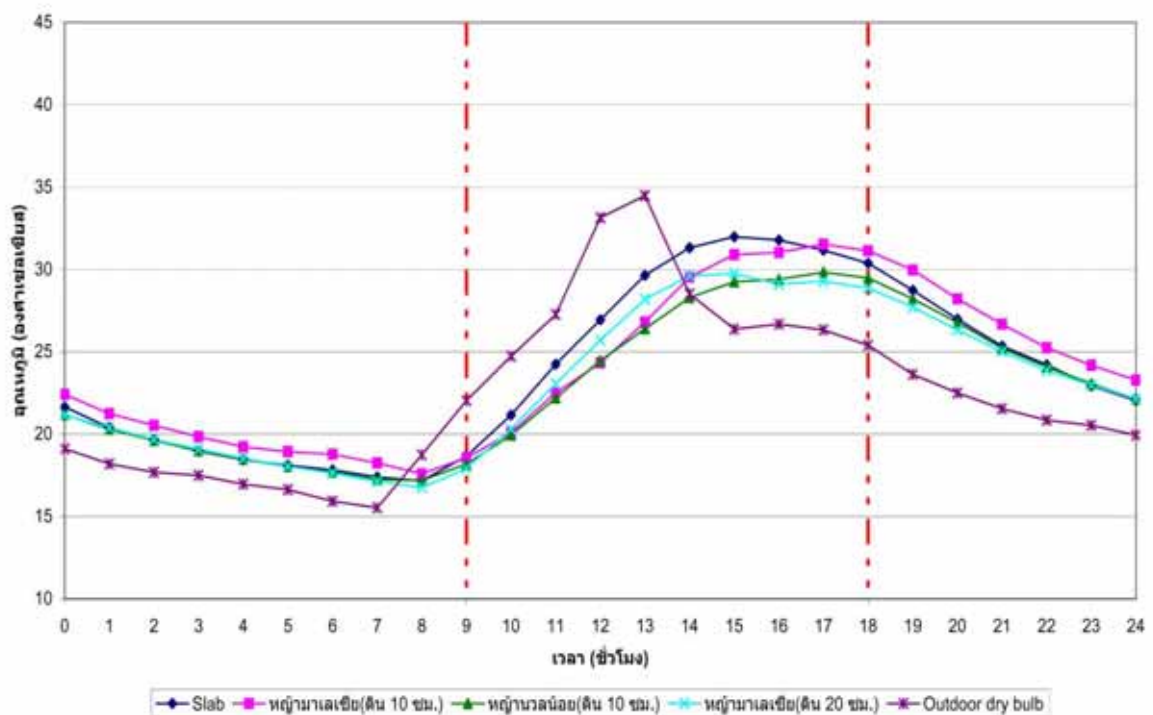
เมื่อดูค่าอุณหภูมิผิวภายในสูงสุดเฉลี่ย 3 วัน พบว่า หลังคา ค.ส.ล. จะมีค่าอุณหภูมิผิวภายในสูงสุดเฉลี่ยมากที่สุด คือ 37.3°C โดยหลังคาหน้ามาเลเซีย ดินปลูก 20 ซม. จะมีค่าอุณหภูมิผิวภายในสูงสุดเฉลี่ยน้อยที่สุด คือ 26.2°C น้อยกว่าหลังคา ค.ส.ล. ประมาณ 11.1°C หรือลดลงประมาณ 29.7%

เมื่อดูค่าอุณหภูมิผิวภายในต่ำสุดเฉลี่ย 3 วัน พบว่า หลังคา ค.ส.ล. จะมีค่าอุณหภูมิผิวภายในต่ำสุดเฉลี่ยน้อยที่สุด คือ 15.8°C โดยน้อยกว่าหลังคาชนิดอื่นๆ ประมาณ 2.2-3.8 °C

เมื่อดูค่าอุณหภูมิผิวภายในเฉลี่ยเวลากลางวัน (9.00-18.00 น.) พบว่า หลังคา ค.ส.ล. จะมีค่าอุณหภูมิผิวภายในเฉลี่ยกลางวันมากที่สุด คือ 30.7°C โดยหลังคาหน้านวนน้อย ดินปลูก 10 ซม. จะมีค่าอุณหภูมิผิวภายในเฉลี่ยกลางวันน้อยที่สุด คือ 23.4°C โดยน้อยกว่าหลังคา ค.ส.ล. ประมาณ 7.3°C หรือลดลงประมาณ 23.7%



แผนภูมิที่ 5 เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในกล่อง ระหว่างวันที่ 15-17 มกราคม 2552



แผนภูมิที่ 6 เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในกล่อง วันที่ 16 มกราคม 2552

ตารางที่ 9 เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในกล่อง วันที่ 15-17 มกราคม 2552

ค่า	อุณหภูมิสูงสุด (°C)				อุณหภูมิต่ำสุด (°C)				อุณหภูมิเฉลี่ย 9.00-18.00 น.			
วันที่ หลังคา	15	16	17	เฉลี่ย 3 วัน	15	16	17	เฉลี่ย 3 วัน	15	16	17	เฉลี่ย 3 วัน
ค.ส.ล.	31.6	31.9	34.2	32.6	17.1	17.1	17.6	17.2	27.2	27.7	29.0	28.0
มาเลเซีย 10	29.9	31.5	33.3	31.6	17.9	17.6	18.0	17.8	25.3	26.6	27.1	26.4
ผลต่าง	1.7	0.4	0.9	1.0	-0.8	-0.5	-0.4	-0.6	1.9	1.1	1.9	1.6
ผลต่างเป็น %	5.3	1.2	2.6	3.0	-4.6	-2.9	-2.2	-3.4	6.9	3.9	6.5	5.7
นวนน้อย 10	27.7	29.8	31.9	29.8	16.6	17.2	17.6	17.1	24.1	25.7	27.0	25.6
ผลต่าง	3.9	2.1	2.3	2.8	0.5	-0.1	0	0.1	3.1	2	2	2.4
ผลต่างเป็น %	12.3	6.5	6.7	8.5	2.9	-0.5	0	0.5	11.3	7.2	6.8	8.5
มาเลเซีย 20	29.2	29.7	32.5	27.9	16.7	16.7	17.5	17.0	25.3	26.1	27.9	26.4
ผลต่าง	2.4	2.2	1.7	4.7	0.4	0.4	0.1	0.2	1.9	1.6	1.1	1.6
ผลต่างเป็น %	7.5	6.8	4.9	14.4	2.3	2.3	0.5	1.1	6.9	5.7	3.7	5.7

* หมายเหตุ

- ค่าอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุด คิดจากช่วงเวลาตลอด 24 ชม.
- ค่าผลต่าง คิดจากค่าที่ได้จากหลังคา ค.ส.ล. ลบด้วยค่าจากหลังคาชนิดอื่นๆ เพื่อดูว่าอุณหภูมิลดลงจากหลังคา ค.ส.ล. เท่าไร ในกรณีนี้ที่ค่าติดลบแสดงว่า ค่าที่ได้จากหลังคาชนิดนั้นสูงกว่าหลังคา ค.ส.ล.
- ผลต่างเป็น % คิดจากสูตร ค่าผลต่าง x100 หารด้วยค่าต้นจากหลังคา ค.ส.ล.

จากการทดลองพบว่า

เมื่อดูค่าอุณหภูมิอากาศภายในสูงสุดเฉลี่ย 3 วัน พบว่า หลังคา ค.ส.ล. จะมีค่าอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยมากที่สุด คือ 32.6°C โดยหลังคาหญ้ามาเลเซีย ดินปลูก 20 ซม. จะมีค่าอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยน้อยที่สุด คือ 27.9°C น้อยกว่าหลังคา ค.ส.ล. ประมาณ 4.7°C หรือลดลงประมาณ 14.4%

เมื่อดูค่าอุณหภูมิอากาศภายในต่ำสุดเฉลี่ย 3 วัน พบว่า หลังคาหญ้ามาเลเซีย ดินปลูก 20 ซม. จะมีค่าอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยน้อยที่สุด คือ 17.0°C โดยน้อยกว่าหลังคาชนิดอื่นๆ ประมาณ 0.1-0.8 °C

เมื่อดูค่าอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ยเวลากลางวัน (9.00-18.00 น.) พบว่า หลังคา ค.ส.ล. จะมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยกลางวันมากที่สุด คือ 28.0°C โดยหลังคาหญ้านวน้อย ดินปลูก 10 ซม. จะมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยกลางวันน้อยที่สุด คือ 25.6°C โดยน้อยกว่าหลังคา ค.ส.ล. ประมาณ 2.4°C หรือลดลงประมาณ 8.5%

สรุปผลการทดลองที่ 1

จากการทดลองเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิที่เกิดขึ้นของหลังคาทั้ง 4 ชนิด สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. อุณหภูมิผิวหลังคาภายนอก

จากตารางที่ 7 สรุปได้ว่าในช่วงเวลากลางวันตั้งแต่ 9.00-18.00 น. หลังคาหญ้ามาเลเซีย ดินปลูก 20 ซม. จะมีอุณหภูมิผิวหลังคาภายนอกเฉลี่ยสูงที่สุด คือ 31.9°C รองลงมาคือหลังคา ค.ส.ล. อยู่ที่ 30.7°C โดยหลังคาหญ้าฉนวนน้อย ดินปลูก 10 ซม. จะมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยกลางวันน้อยที่สุด คือ 28.0°C น้อยกว่าหลังคา ค.ส.ล. ประมาณ 2.7°C หรือลดลงประมาณ 8.7%

ในช่วงเวลากลางคืน (ตั้งแต่ 19.00-08.00 น. ของวันรุ่งขึ้น) หลังคา ค.ส.ล. จะมีอุณหภูมิผิวหลังคาภายนอกเฉลี่ยต่ำที่สุด ซึ่งน่าจะเกิดจากการคายความร้อนคืนสู่อากาศภายนอกได้เร็วกว่าหลังคาชนิดอื่น เนื่องจากมีมวลสารน้อยกว่า

2. อุณหภูมิผิวใต้หลังคา

จากตารางที่ 8 สรุปได้ว่าในช่วงเวลากลางวันตั้งแต่ 9.00-18.00 น. หลังคา ค.ส.ล. จะมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยกลางวันมากที่สุด คือ 30.7°C โดยหลังคาหญ้าฉนวนน้อย ดินปลูก 10 ซม. จะมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยกลางวันน้อยที่สุด คือ 23.4°C โดยน้อยกว่าหลังคา ค.ส.ล. ประมาณ 7.3°C หรือลดลงมากถึง 23.7%

ในช่วงเวลากลางคืน (ตั้งแต่ 19.00-08.00 น. ของวันรุ่งขึ้น) หลังคา ค.ส.ล. จะมีอุณหภูมิผิวหลังคาภายนอกเฉลี่ยต่ำที่สุด เช่นเดียวกับค่าอุณหภูมิผิวเหนือหลังคา ซึ่งน่าจะเกิดจากการคายความร้อนคืนสู่อากาศภายนอกได้เร็วกว่าหลังคาชนิดอื่น เนื่องจากมีมวลสารน้อยกว่า

3. อุณหภูมิอากาศภายใน

จากตารางที่ 9 สรุปได้ว่าในช่วงเวลากลางวันตั้งแต่ 9.00-18.00 น. หลังคา ค.ส.ล. จะมีค่าอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ยกลางวันมากที่สุด คือ 28.0°C โดยหลังคาหญ้าฉนวนน้อย ดินปลูก 10 ซม. จะมีค่าอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ยกลางวันน้อยที่สุด คือ 25.6°C โดยน้อยกว่าหลังคา ค.ส.ล. ประมาณ 2.4°C หรือลดลงประมาณ 8.5%

ในช่วงเวลากลางคืน (ตั้งแต่ 19.00-08.00 น. ของวันรุ่งขึ้น) หลังคาทั้ง 4 ชนิดมีค่าอุณหภูมิอากาศภายในต่ำสุดเฉลี่ยใกล้เคียงกัน โดยมีค่าต่างกันแค่ประมาณ $0.1-0.8^{\circ}\text{C}$ เท่านั้น

ดังนั้นจึงพอสรุปได้ว่า การปลูกพืชบนหลังคานั้นสามารถช่วยลดอุณหภูมิที่ผิวด้านนอกและด้านในของหลังคาได้ดี โดยพบว่าหญ้าฉนวนน้อยซึ่งมีค่าดัชนีพื้นที่ใบกว่าหญ้ามาเลเซีย

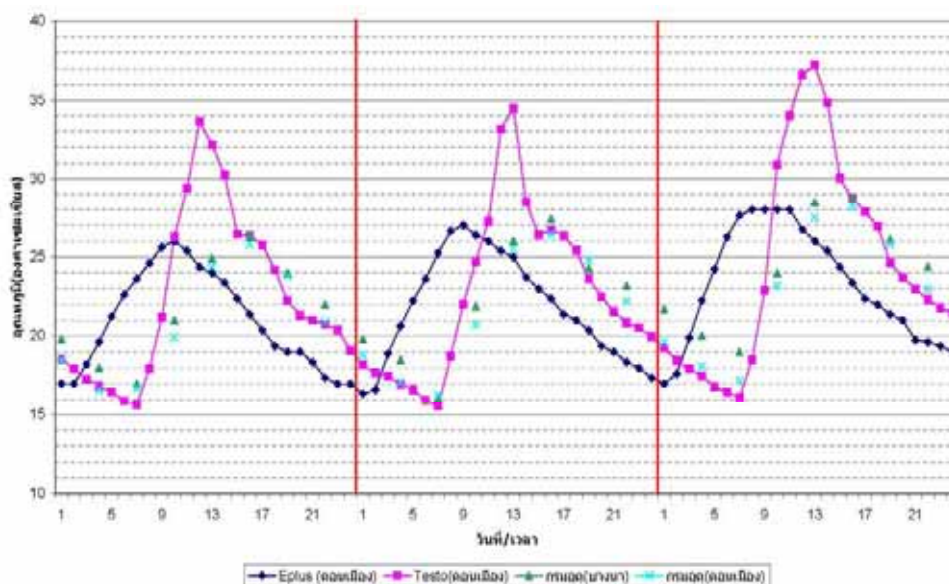
สามารถลดอุณหภูมิผิวใต้หลังคาและอุณหภูมิอากาศภายในของหลังคาในเวลากลางวันได้ดีกว่า ซึ่งน่าจะเป็นเพราะความหนาแน่นของใบที่มากกว่าทำให้เกิดร่มเงาปกคลุมบนผิวหลังคามากกว่า

ส่วนกล่องหลังคาหญ้ามาเลเซียที่ความลึกดินปลูก 20 ซม. จะมีอุณหภูมิผิวใต้หลังคาสูงกว่าหลังคาชนิดอื่นในช่วงเวลากลางคืน ซึ่งน่าจะเป็นผลมาจากความหนาของดินทำให้เกิดการหน่วงเหนี่ยวในการคายความร้อนออกสู่ภายนอกได้ช้ากว่ากล่องหลังคาที่มีดินหนาน้อยกว่า

ซึ่งเมื่อดูจากประสิทธิภาพในการป้องกันความร้อนที่ได้จากผลการทดลอง จึงสรุปได้ว่าการปลูกพืชบนหลังคาอาจไม่เหมาะกับอาคารบางประเภทที่มีการใช้งานในเวลากลางคืนมากกว่าเวลากลางวัน เช่น ห้องนอนของบ้านพักอาศัย สถานบันเทิง เป็นต้น แต่น่าจะเหมาะกับอาคารที่มีการใช้งานในเวลากลางวันมากกว่า เช่น สำนักงาน โรงเรียน

จากผลการทดลองที่ 1 นี้ จะนำไปทำการศึกษาเปรียบเทียบ โดยการจำลองด้วยโปรแกรม EnergyPlus เพื่อทดสอบความแม่นยำของผลการทดลอง ในชุดการทดลองต่อไป

ซึ่งก่อนที่จะทำการจำลองด้วยโปรแกรม EnergyPlus ในชุดการทดลองที่ 2 ได้นำข้อมูลอุณหภูมิอากาศจาก Website ผู้ผลิตโปรแกรม (ข้อมูลตรงกับวันที่ทำการทดลองจริง คือวันที่ 15-17 มกราคม 2552) มาเปรียบเทียบกับข้อมูลที่วัดได้จากเครื่องมือ Data Logger ณ สถานที่ทดลอง และข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยาสถานีดอนเมืองและบางนา ก่อนที่จะทำการจำลอง ซึ่งได้ผลดังนี้



แผนภูมิที่ 7 เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศจากแหล่งข้อมูลต่างๆ

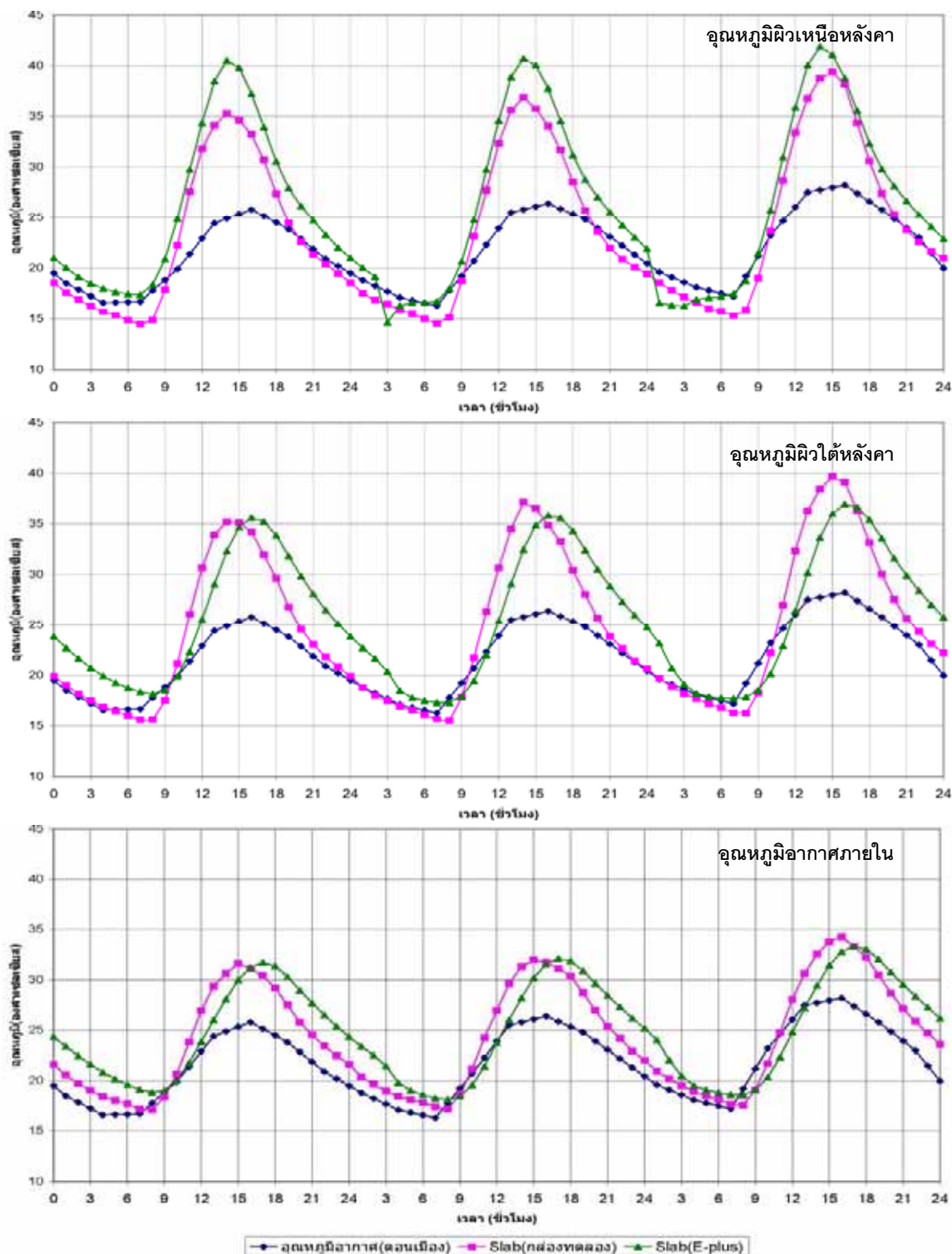
จากแผนภูมิที่ 7 พบว่ากราฟอุณหภูมิที่ได้ข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยา และจาก website ของผู้ผลิตโปรแกรม EnergyPlus มีลักษณะใกล้เคียงกัน โดยกราฟข้อมูลจาก Website จะมีช่วงระยะเวลาหน่วงช้ากว่ากราฟอื่นๆ ประมาณ 3 ชั่วโมง ส่วนกราฟข้อมูลจากกรมอุตุนิยมฯ และกราฟข้อมูลที่วัดจากเครื่องมือ Data Logger ที่สถานที่ทดลองจริง มีช่วงของกราฟใกล้เคียงกัน แต่กราฟอุณหภูมิอากาศที่วัดจากเครื่องมือ Data Logger มีค่าอุณหภูมิสูงโดดเด่นกว่าค่าอุณหภูมิที่ได้มาจากแหล่งอื่นๆ

ดังนั้นจึงได้พยายามหาสาเหตุที่เกิดขึ้น จึงได้ย้อนกลับไปดู ภาพที่ 40 ในบทที่ 3 ซึ่งแสดงตำแหน่งที่วางเครื่องมือ Data Logger เพื่อวัดค่าอุณหภูมิอากาศนั้น ตั้งอยู่ตรงกลางระหว่างกล่องทดลองทั้ง 4 กล่อง โดยมีเก้าอี้ไม้ครอบไว้เพื่อบังแดด และเมื่อดูจากทิศทางแสงแดดที่เกิดขึ้นพบว่า ตำแหน่งที่วางเครื่องมือ Data Logger นั้น จะได้รับแสงแดดโดยตรงในช่วงเวลาตั้งแต่ 11.00-14.00 น. ซึ่งเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับกราฟใน แผนภูมิที่ 7 พบว่าช่วงเวลาที่กราฟอุณหภูมิอากาศที่วัดจากเครื่องมือ Data Logger สูงโดดเด่นมานั้น ตรงกับช่วงเวลาดังกล่าวที่เครื่องมือได้รับแสงแดดพอดี จึงสันนิษฐานว่า ข้อมูลอุณหภูมิอากาศที่วัดจากเครื่องมือ Data Logger อาจเกิดความคลาดเคลื่อนเนื่องจากสาเหตุดังกล่าว

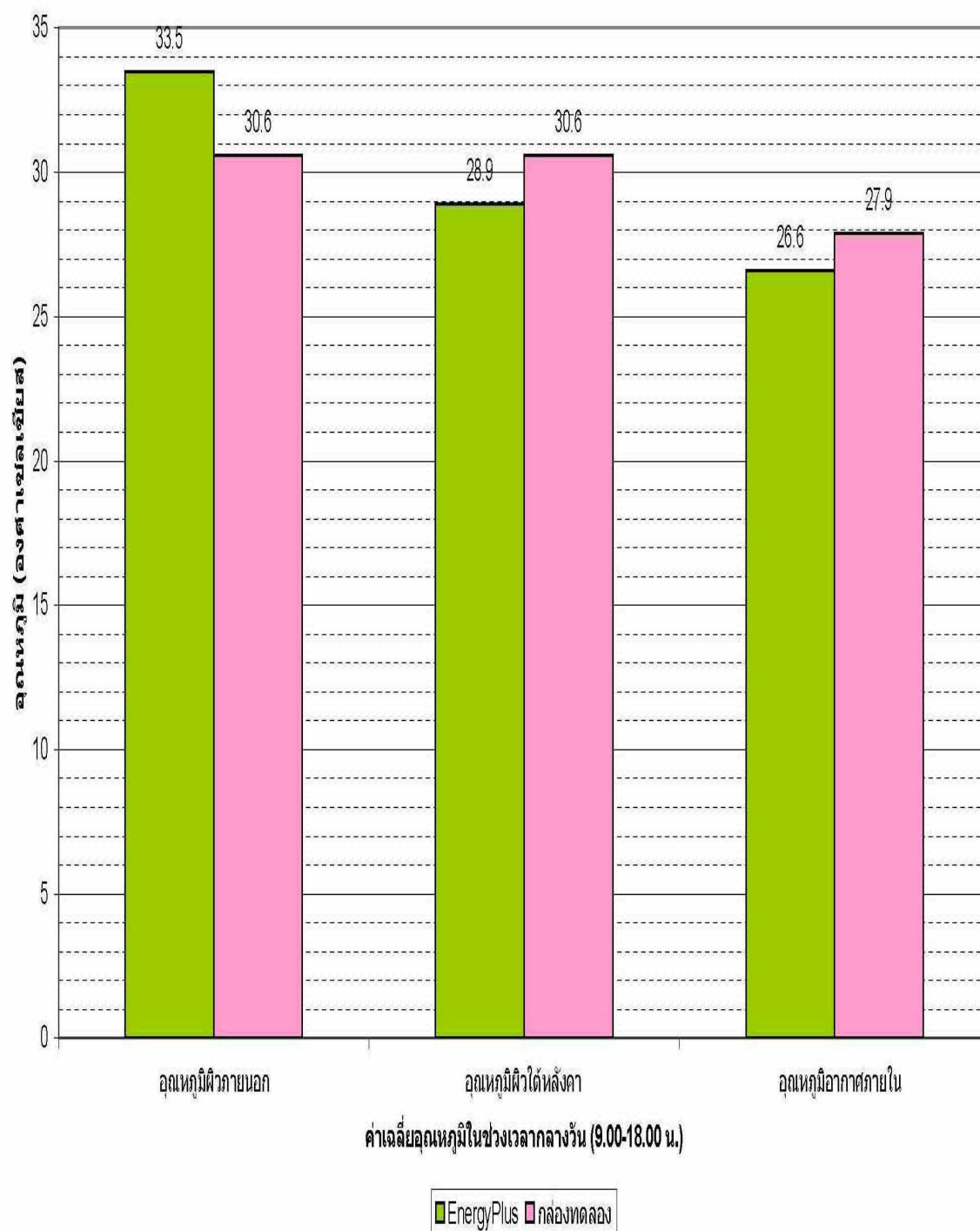
ในส่วน of ข้อมูลอุณหภูมิอากาศที่ได้จาก Website ผู้ผลิตโปรแกรมนั้น ก็มีระยะเวลาที่หน่วงไม่เท่ากันกับข้อมูลที่ได้จากแหล่งอื่นๆ หากนำไปใช้จำลองในโปรแกรมก็อาจคลาดเคลื่อนได้

ดังนั้นเมื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบข้อมูลอุณหภูมิอากาศทั้ง 4 แหล่งข้อมูลแล้ว เห็นว่าข้อมูลที่ได้จากกรมอุตุนิยมฯ มีความเหมาะสมที่สุดที่จะนำไปใช้ในการจำลองด้วยโปรแกรม EnergyPlus ในชุดการทดลองที่ 2 ต่อไป

2. ผลการทดลองที่ 2 การศึกษาประสิทธิภาพจากการใช้โปรแกรม EnergyPlus ในการจำลอง Green roof เพื่อเปรียบเทียบกับการใช้กล่องทดลองจริง



แผนภูมิที่ 8 เปรียบเทียบผลการทดลองของหลังคา ค.ส.ล. ระหว่างกล่องทดลองจริงกับโปรแกรม EnergyPlus วันที่ 15-17 มกราคม 2552



แผนภูมิที่ 9 เปรียบเทียบค่าอุณหภูมิเฉลี่ยเวลากลางวัน (9.00-18.00 น.) ของหลังคา ค.ส.ล. ระหว่างกล่องทดลองจริงกับโปรแกรม EnergyPlus วันที่ 15-17 มกราคม 2552

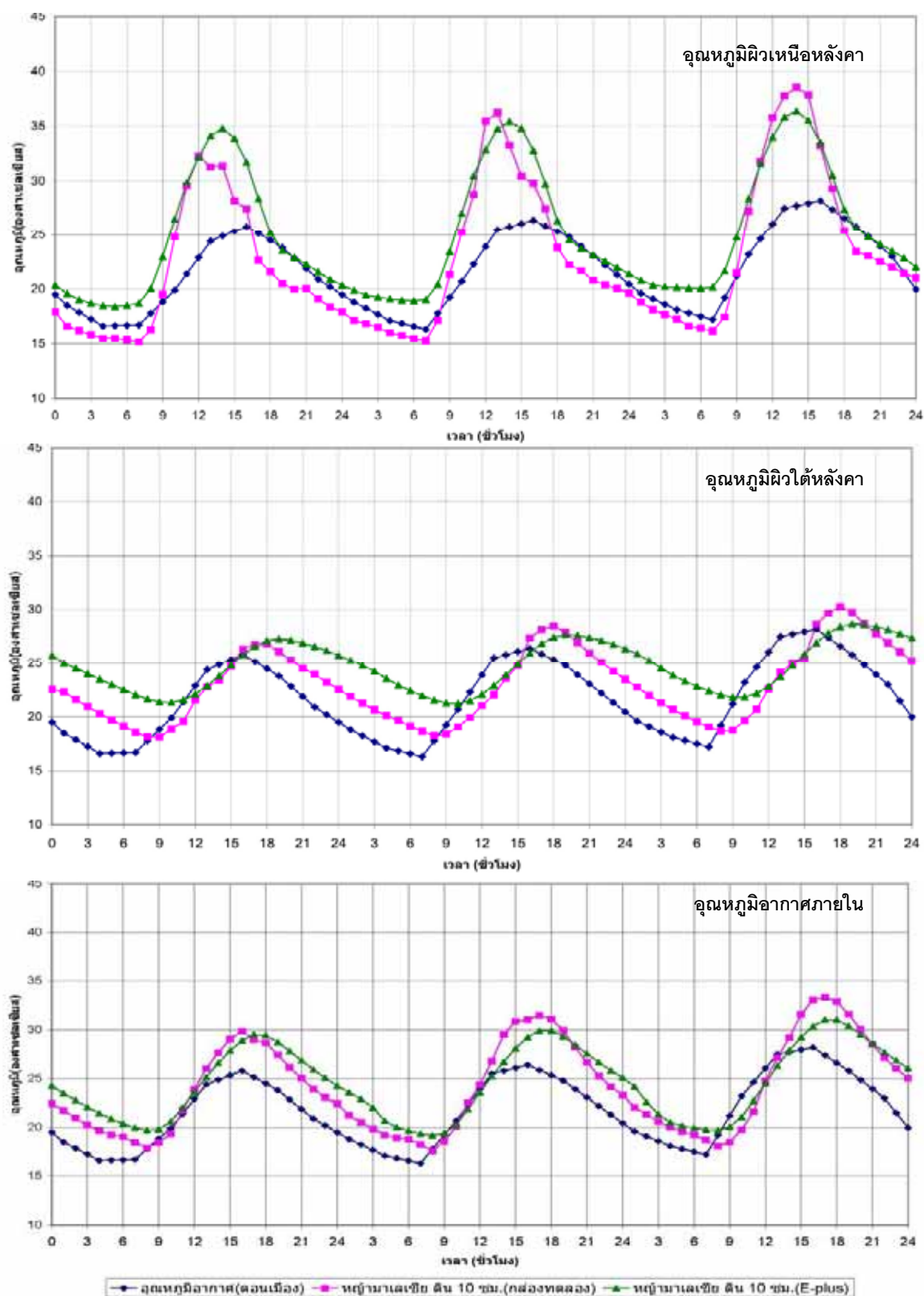
ตารางที่ 10 เปรียบเทียบผลการทดลอง หลังคา ค.ส.ล. ระหว่างกล่องทดลองจริงกับโปรแกรม

EnergyPlus วันที่ 15-17 มกราคม 2552

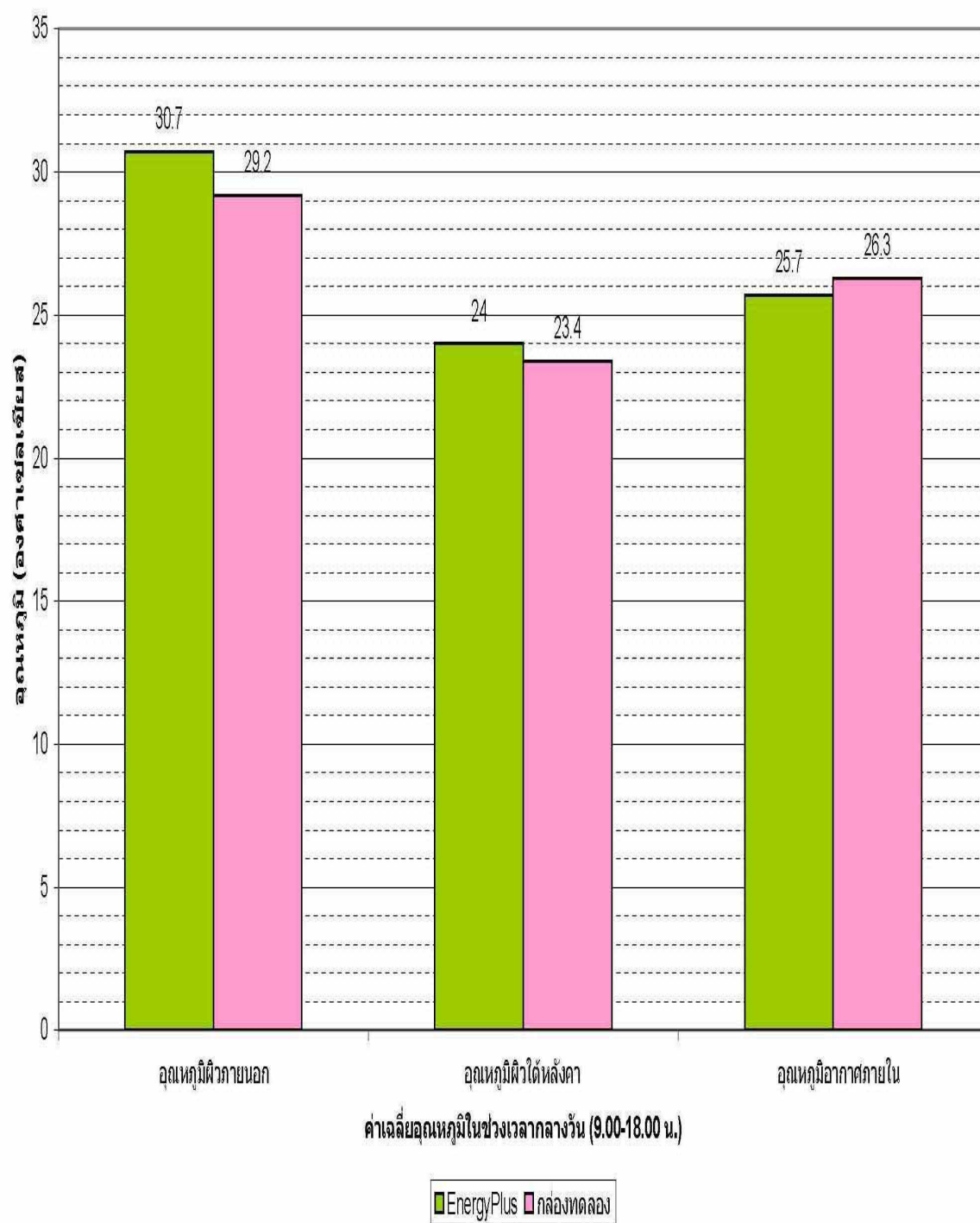
ผลจาก	ค่า	อุณหภูมิผิวเหนือหลังคา (°C)			อุณหภูมิผิวใต้หลังคา (°C)			อุณหภูมิอากาศภายใน (°C)		
	วันที่	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย กลางวัน	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย กลางวัน	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย กลางวัน
EnergyPlus	15	40.5	17.3	33.0	35.6	18.1	28.6	31.7	18.8	26.3
	16	40.7	14.6	33.2	35.8	17.3	28.6	32.1	18.1	26.3
	17	41.9	16.2	34.3	36.9	17.7	29.6	33.3	19.0	27.3
	เฉลี่ย 3 วัน	41.0	16.0	33.5	36.1	17.7	28.9	32.3	18.6	26.6
กล่องทดลองจริง	15	35.2	14.4	29.4	35.1	15.6	29.5	31.1	17.1	27.2
	16	36.8	14.5	30.4	37.1	15.5	30.3	31.9	17.1	27.7
	17	39.3	15.3	32.2	39.6	16.3	32.2	34.2	17.6	29.0
	เฉลี่ย 3 วัน	37.1	14.7	30.6	37.2	15.8	30.6	32.4	17.2	27.9
ผลต่าง	15	5.3	2.9	3.6	0.5	2.5	-0.9	0.6	1.7	-0.9
	16	3.9	0.1	2.8	-1.3	1.8	-1.7	0.3	1.0	-1.4
	17	2.6	0.9	1.3	-2.7	1.4	-2.6	-0.9	1.4	-1.7
	เฉลี่ย 3 วัน	3.9	1.3	2.5	-1.1	1.9	-1.7	0.0	1.3	-1.3
ผลต่างคิดเป็น %	15	15.0%	20.1%	12.2%	1.4%	16.0%	-3.0%	1.9%	9.9%	-3.3%
	16	10.5%	0.6%	9.2%	-3.5%	11.6%	-5.6%	0.9%	5.8%	-5.0%
	17	6.6%	5.8%	4.0%	-6.8%	8.5%	-8.0%	-2.7%	7.9%	-5.8%
	เฉลี่ย 3 วัน	10.7%	8.8%	8.4%	-2.9%	12.0%	-5.5%	0.03%	7.8%	-4.7%

* หมายเหตุ

1. ค่าอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุด คิดจากช่วงเวลาตลอด 24 ชม.
2. ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยกลางวันคิดจากช่วงเวลา 9.00-18.00 น.
3. ค่าผลต่าง คิดจากค่าที่ได้จาก EnergyPlus ลบด้วยค่าจากกล่องทดลองจริง เพื่อดูว่าผลจาก EnergyPlus มากกว่าเท่าไร ในกรณีที่ค่าติดลบแสดงว่า ค่าที่ได้จาก EnergyPlus น้อยกว่ากล่องทดลองจริง
4. ผลต่างเป็น % คิดจากสูตร ค่าผลต่าง x100 หารด้วยค่าที่ได้จากกล่องทดลองจริง



แผนภูมิที่ 10 เปรียบเทียบผลการทดลองของหลังคาหั่วมาเลเซีย (ดิน 10 ซม.)ระหว่างกล่องทดลองจริงกับโปรแกรม EnergyPlus วันที่ 15-17 มกราคม 2552



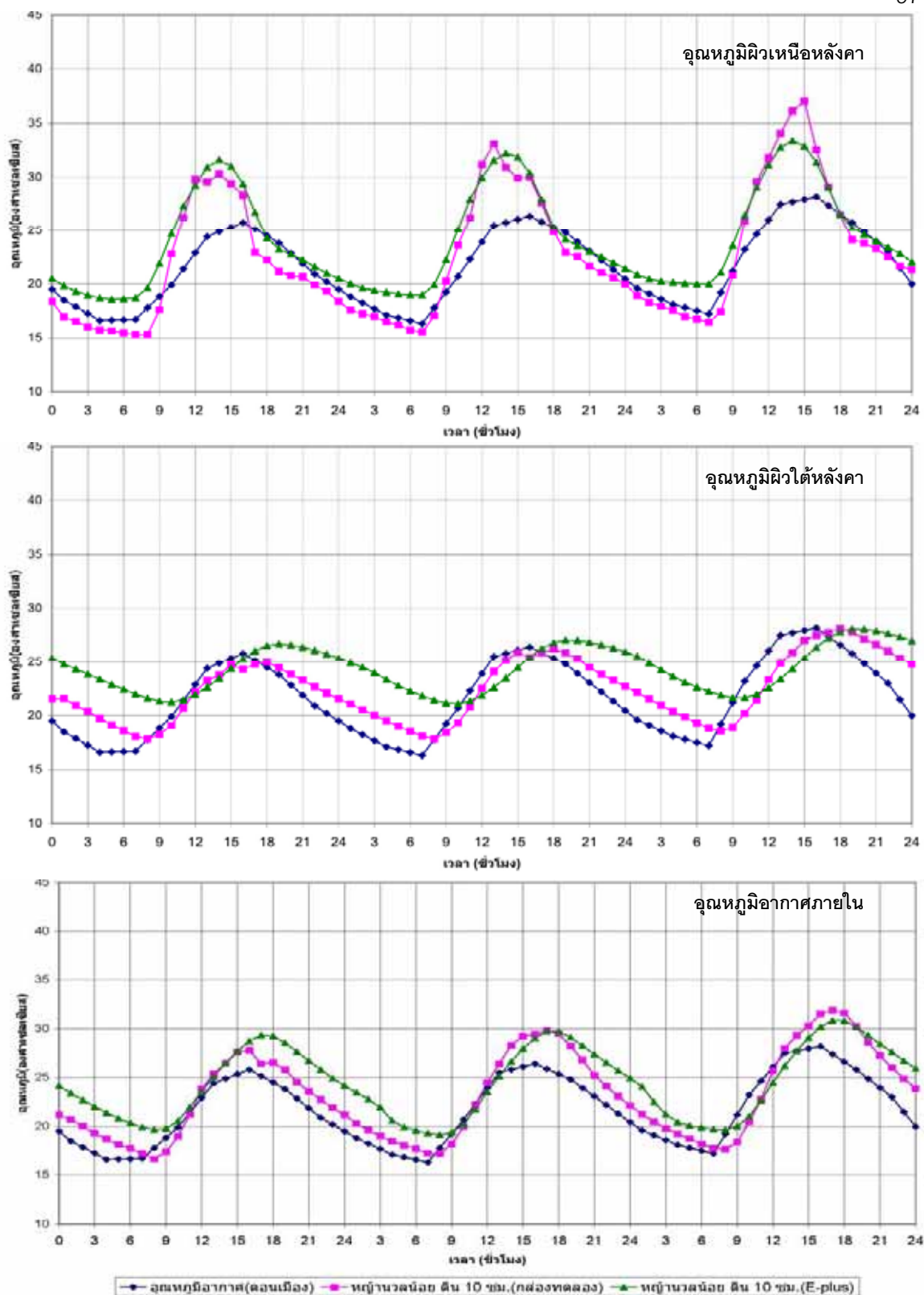
แผนภูมิที่ 11 เปรียบเทียบค่าอุณหภูมิเฉลี่ยเวลากลางวัน (9.00-18.00 น.) ของหลังคาหญ้า
มาเลเซีย (ดิน 10 ซม.) ระหว่างก่อสร้างทดลองจริงกับโปรแกรม EnergyPlus
วันที่ 15-17 มกราคม 2552

ตารางที่ 11 เปรียบเทียบผลการทดลอง หลังคาหญ้ามาเลเซีย (ดิน 10 ซม.) ระหว่างกล่องทดลอง
จริงกับโปรแกรม EnergyPlus วันที่ 15-17 มกราคม 2552

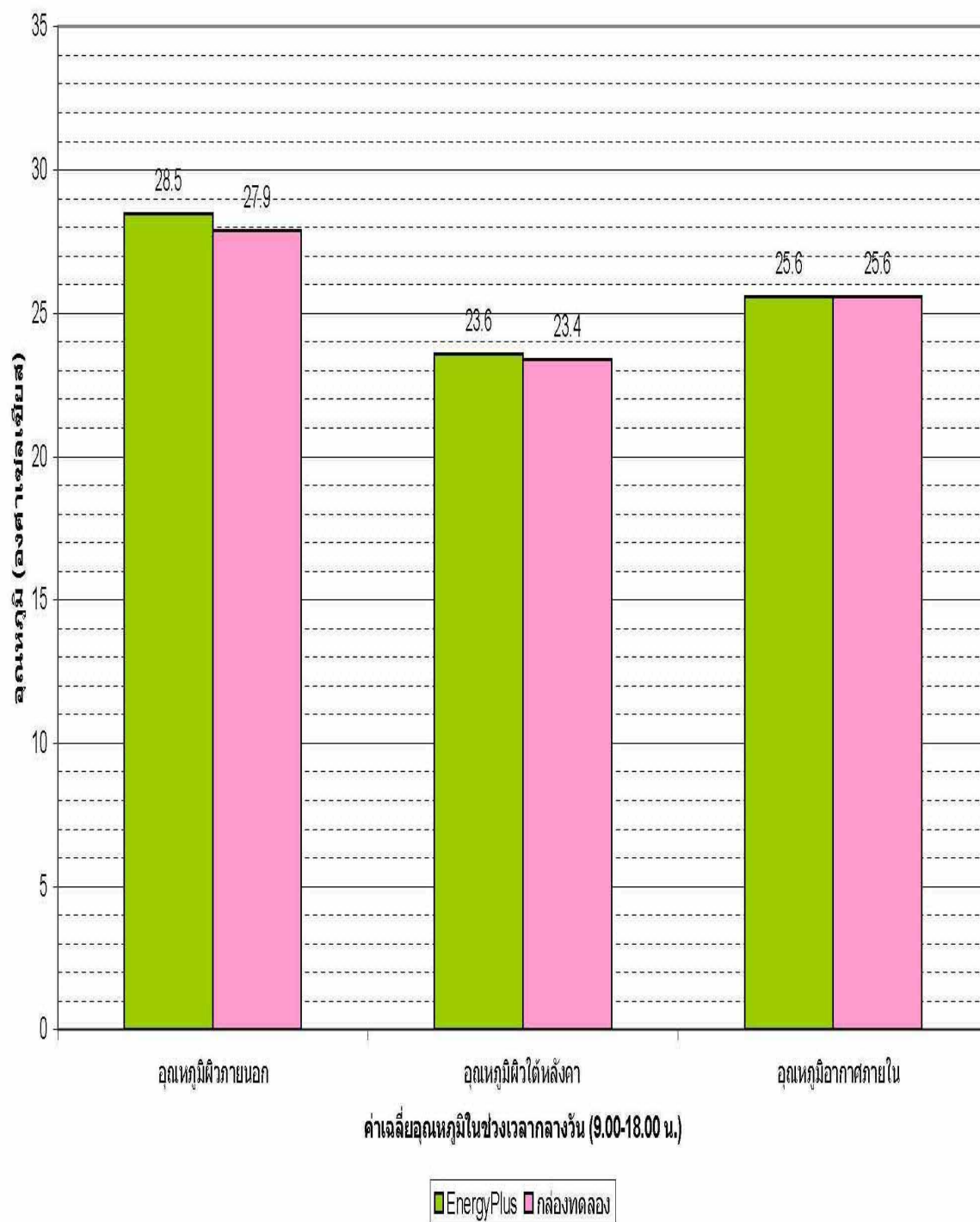
ผลจาก	ค่า	อุณหภูมิผิวเหนือหลังคา (°C)			อุณหภูมิผิวใต้หลังคา (°C)			อุณหภูมิอากาศภายใน (°C)		
	วันที่	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย กลางวัน	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย กลางวัน	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย กลางวัน
EnergyPlus	15	34.8	18.3	29.9	27.2	21.3	23.7	29.5	19.6	25.3
	16	35.4	18.9	30.7	27.6	21.2	23.8	29.9	19.1	25.4
	17	36.3	20.0	31.7	28.6	21.8	24.6	31.0	20.0	26.4
	เฉลี่ย 3 วัน	35.5	19.0	30.7	27.8	21.4	24.0	30.1	19.5	25.7
กล่องทดลองจริง	15	32.2	15.1	26.8	26.7	18.1	22.8	29.9	17.9	25.3
	16	36.2	15.2	29.1	28.4	18.2	23.2	31.5	17.6	26.6
	17	38.5	16.1	31.8	30.2	18.6	24.4	33.3	18.0	27.1
	เฉลี่ย 3 วัน	35.6	15.4	29.2	28.4	18.3	23.4	31.5	17.8	26.3
ผลต่าง	15	2.6	3.2	3.1	0.5	3.2	0.9	-0.4	1.7	0.0
	16	-0.8	3.7	1.6	-0.8	3.0	0.6	-1.6	1.5	-1.2
	17	-2.2	3.9	-0.1	-1.6	3.2	0.2	-2.3	2.0	-0.7
	เฉลี่ย 3 วัน	-0.4	3.6	1.5	-0.6	3.1	0.5	-1.4	1.7	-0.6
ผลต่างคิดเป็น %	15	8.0%	21.1%	11.5%	1.8%	17.6%	3.9%	-1.3%	9.4%	0.0%
	16	-2.2%	24.3%	5.4%	-2.8%	16.4%	2.5%	-5.0%	8.5%	-4.5%
	17	-5.7%	24.2%	-0.3%	-5.2%	17.2%	0.8%	-7.0%	11.1%	-2.5%
	เฉลี่ย 3 วัน	0.03%	23.2%	5.5%	-2.0%	17.0%	2.4%	-4.4%	9.6%	-2.3%

* หมายเหตุ

1. ค่าอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุด คิดจากช่วงเวลาตลอด 24 ชม.
2. ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยกลางวันคิดจากช่วงเวลา 9.00-18.00 น.
3. ค่าผลต่าง คิดจากค่าที่ได้จาก EnergyPlus ลบด้วยค่าจากกล่องทดลองจริง เพื่อดูว่าผลจาก EnergyPlus มากกว่าเท่าไร ในกรณีที่ค่าติดลบแสดงว่า ค่าที่ได้จาก EnergyPlus น้อยกว่ากล่องทดลองจริง
4. ผลต่างเป็น % คิดจากสูตร ค่าผลต่าง x100 หารด้วยค่าที่ได้จากกล่องทดลองจริง



แผนภูมิที่ 12 เปรียบเทียบผลการทดลองของหลังคาบ้านขนาดเล็ก (ตึก 10 ชั้น) ระหว่างกล่องทดลองจริงกับโปรแกรม EnergyPlus วันที่ 15-17 มกราคม 2552



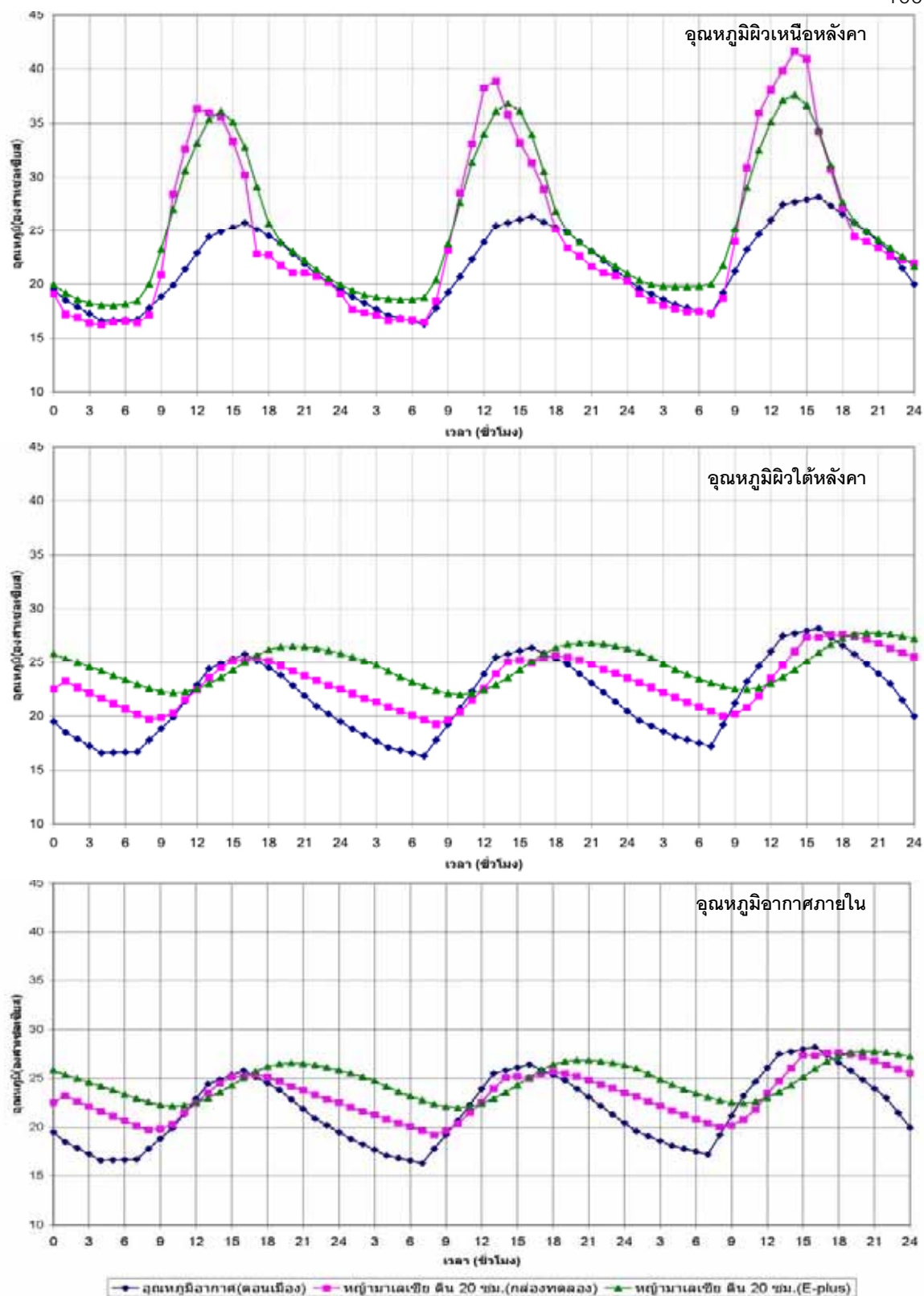
แผนภูมิที่ 13 เปรียบเทียบค่าอุณหภูมิเฉลี่ยเวลากลางวัน (9.00-18.00 น.) ของหลังคาห้วย
นวนน้อย (ดิน 10 ซม.) ระหว่างกล่องทดลองจริงกับโปรแกรม EnergyPlus
วันที่ 15-17 มกราคม 2552

ตารางที่ 12 เปรียบเทียบผลการทดลอง หลังคาหั่วานวลน้อย (ดิน 10 ซม.) ระหว่างกล่องทดลอง
จริงกับโปรแกรม EnergyPlus วันที่ 15-17 มกราคม

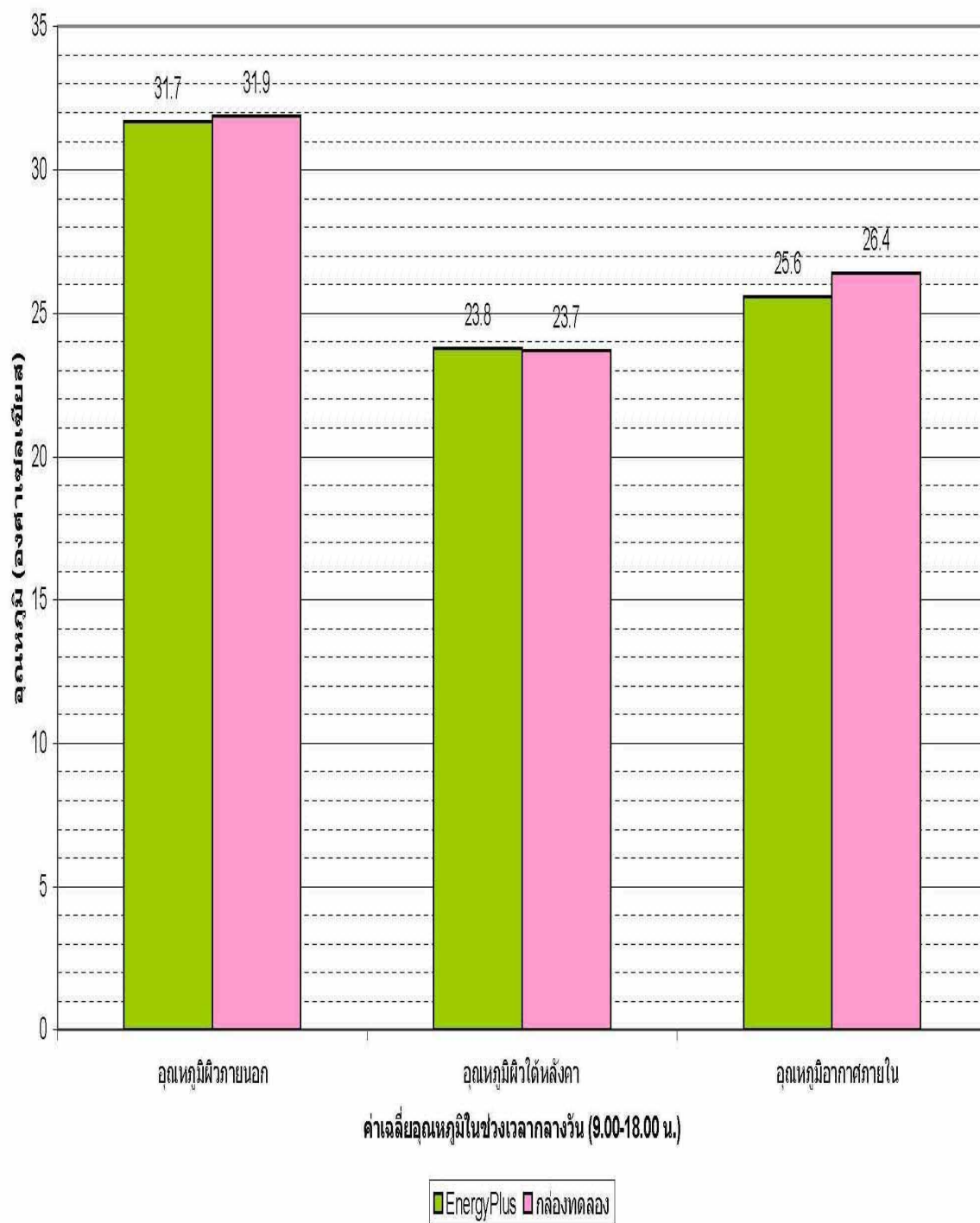
ผลจาก	ค่า	อุณหภูมิผิวเหนือหลังคา (°C)			อุณหภูมิผิวใต้หลังคา (°C)			อุณหภูมิอากาศภายใน (°C)		
	วันที่	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย กลางวัน	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย กลางวัน	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย กลางวัน
EnergyPlus	15	31.6	18.5	27.7	26.6	21.2	23.4	29.3	19.6	25.2
	16	32.2	18.9	28.4	27.0	21.1	23.4	29.7	19.1	25.3
	17	33.3	19.9	29.6	28.0	21.6	24.2	30.8	19.9	26.3
	เฉลี่ย 3 วัน	32.3	19.1	28.5	27.2	21.3	23.6	29.9	19.5	25.6
กล่องทดลองจริง	15	30.3	15.2	25.9	24.9	17.8	22.6	27.7	16.6	24.1
	16	33.1	15.5	27.7	26.2	17.8	23.3	29.8	17.2	25.7
	17	37.0	16.4	30.3	28.1	18.6	24.5	31.9	17.6	27.0
	เฉลี่ย 3 วัน	33.4	15.7	27.9	26.4	18.0	23.4	29.8	17.1	25.6
ผลต่าง	15	1.3	3.3	1.8	1.7	3.4	0.8	1.6	3.0	1.1
	16	-0.9	3.4	0.7	0.8	3.3	0.1	-0.1	1.9	-0.4
	17	-3.7	3.5	-0.7	-0.1	3.0	-0.3	0.1	2.3	-0.7
	เฉลี่ย 3 วัน	-1.1	3.4	0.6	0.8	3.3	0.2	0.5	2.4	0.0
ผลต่างคิดเป็น %	15	4.2%	21.7%	6.9%	6.8%	19.1%	3.5%	5.7%	18.0%	4.5%
	16	-2.7%	21.9%	2.5%	3.0%	18.5%	0.4%	-0.3%	11.0%	-1.5%
	17	-10%	21.3%	-2.3%	-0.3%	16.1%	-1.2%	0.3%	13.0%	-2.5%
	เฉลี่ย 3 วัน	-2.8%	21.6%	2.3%	3.1%	17.9%	0.9%	1.9%	14.0%	0.1%

* หมายเหตุ

1. ค่าอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุด คิดจากช่วงเวลาตลอด 24 ชม.
2. ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยกลางวันคิดจากช่วงเวลา 9.00-18.00 น.
3. ค่าผลต่าง คิดจากค่าที่ได้จาก EnergyPlus ลบด้วยค่าจากกล่องทดลองจริง เพื่อดูว่าผลจาก EnergyPlus มากกว่าเท่าไร ในกรณีที่ค่าติดลบแสดงว่า ค่าที่ได้จาก EnergyPlus น้อยกว่ากล่องทดลองจริง
4. ผลต่างเป็น % คิดจากสูตร ค่าผลต่าง x100 หารด้วยค่าที่ได้จากกล่องทดลองจริง



แผนภูมิที่ 14 เปรียบเทียบผลการทดลองของหลังคาหญ้ามาเลเซีย (ดิน 20 ซม.) ระหว่างกล่องทดลองจริงกับโปรแกรม EnergyPlus วันที่ 15-17 มกราคม 2552



แผนภูมิที่ 15 เปรียบเทียบค่าอุณหภูมิเฉลี่ยเวลากลางวัน (9.00-18.00 น.) ของหลังคาหูกำ
มาเลเซีย (ดิน 20 ซม.) ระหว่างกล่องทดลองจริงกับโปรแกรม EnergyPlus
วันที่ 15-17 มกราคม 2552

ตารางที่ 13 เปรียบเทียบผลการทดลอง หลังคาหญ้ามาเลเซีย (ดิน 20 ซม.) ระหว่างกล่องทดลอง
จริงกับโปรแกรม EnergyPlus วันที่ 15-17 มกราคม 2552

ผลจาก	ค่า	อุณหภูมิผิวเหนือหลังคา (°C)			อุณหภูมิผิวใต้หลังคา (°C)			อุณหภูมิอากาศภายใน (°C)		
	วันที่	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย กลางวัน	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย กลางวัน	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย กลางวัน
EnergyPlus	15	36.0	17.9	30.8	26.5	22.1	23.6	29.2	19.9	25.3
	16	36.8	18.5	31.7	26.8	21.9	23.6	29.6	19.3	25.4
	17	37.6	19.7	32.6	27.7	22.4	24.3	30.7	20.2	26.3
	เฉลี่ย 3 วัน	36.8	18.7	31.7	27.0	22.1	23.8	29.8	19.8	25.6
กล่องทดลองจริง	15	35.9	16.4	29.8	25.4	19.7	23.2	28.7	16.7	25.3
	16	38.9	16.4	31.6	25.6	19.2	23.4	29.7	16.7	26.1
	17	41.6	17.2	34.3	27.6	20.0	24.7	32.5	17.5	27.9
	เฉลี่ย 3 วัน	38.8	16.6	31.9	26.2	19.6	23.7	30.3	16.9	26.4
ผลต่าง	15	0.1	1.5	1.0	1.1	2.4	0.4	0.5	2.2	0.0
	16	-2.1	2.1	0.1	1.2	2.7	0.2	-0.1	2.6	-0.7
	17	-4.0	2.5	-1.7	0.1	2.4	-0.4	-1.8	2.7	-1.6
	เฉลี่ย 3 วัน	-2.0	2.0	-0.2	0.8	2.5	0.06	-0.4	2.5	-0.7
ผลต่างคิดเป็น %	15	0.2%	9.1%	3.3%	4.3%	12.1%	1.7%	1.7%	13.1%	0.0%
	16	-5.3%	12.8%	0.3%	4.6%	14.0%	0.8%	-0.3%	15.5%	-2.6%
	17	-9.6%	14.5%	-4.9%	0.3%	12.0%	-1.6%	-5.5%	15.4%	-5.7%
	เฉลี่ย 3 วัน	-4.9%	12.1%	-0.4%	3.0%	12.7%	0.3%	-1.3%	14.6%	-2.7%

* หมายเหตุ

1. ค่าอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุด คิดจากช่วงเวลาตลอด 24 ชม.
2. ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยกลางวันคิดจากช่วงเวลา 9.00-18.00 น.
3. ค่าผลต่าง คิดจากค่าที่ได้จาก EnergyPlus ลบด้วยค่าจากกล่องทดลองจริง เพื่อดูว่าผลจาก EnergyPlus มากกว่าเท่าไร ในกรณีที่ค่าติดลบแสดงว่า ค่าที่ได้จาก EnergyPlus น้อยกว่ากล่องทดลองจริง
4. ผลต่างเป็น % คิดจากสูตร ค่าผลต่าง x100 หารด้วยค่าที่ได้จากกล่องทดลองจริง

สรุปผลการทดลองที่ 2

จากการทดลองเปรียบเทียบหลังคาทั้ง 4 ชนิด ที่จำลองด้วยโปรแกรม EnergyPlus เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลการทดลองจากกล่องทดลองจริง ในชุดการทดลองที่ 1 สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. กล่องหลังคา ค.ส.ล.

จากแผนภูมิที่ 8 และตารางที่ 10 สรุปได้ว่า

ค่าเฉลี่ย 3 วัน ของอุณหภูมิผิวเหนือหลังคา ค.ส.ล. ในช่วงเวลากลางวัน ที่ได้จากโปรแกรม EnergyPlus จะสูงกว่ากล่องทดลองจริงประมาณ 2.5°C หรือสูงกว่า 8.4 %

ค่าเฉลี่ย 3 วัน ของอุณหภูมิผิวใต้หลังคา ค.ส.ล. ในช่วงเวลากลางวัน ที่ได้จากโปรแกรม EnergyPlus จะต่ำกว่ากล่องทดลองจริงประมาณ 1.7°C หรือต่ำกว่า 5.5 %

ค่าเฉลี่ย 3 วัน ของอุณหภูมิอากาศภายในกล่องหลังคา ค.ส.ล. ในช่วงเวลากลางวัน ที่ได้จากโปรแกรม EnergyPlus จะต่ำกว่ากล่องทดลองจริงประมาณ 1.3°C หรือต่ำกว่า 4.7 %

โดยค่าอุณหภูมิผิวนอกนั้น มีช่วงเวลาที่อุณหภูมิขึ้นสูงสุดเท่ากัน คือประมาณ 15.00 น. ส่วนค่าอุณหภูมิผิวใต้หลังคาและอุณหภูมิอากาศภายใน จะมีช่วงหนึ่งเวลาช้ากว่ากล่องทดลองจริงประมาณ 1 ชม.

2. กล่องหลังคาหญ้ามาเลเซีย (ดิน 10 ซม.)

จากแผนภูมิที่ 10 และตารางที่ 11 สรุปได้ว่า

ค่าเฉลี่ย 3 วัน ของอุณหภูมิผิวเหนือหลังคาหญ้ามาเลเซีย (ดิน 10 ซม.) ในช่วงเวลากลางวัน ที่ได้จากโปรแกรม EnergyPlus จะสูงกว่ากล่องทดลองจริงประมาณ 1.5°C หรือสูงกว่า 5.5 %

ค่าเฉลี่ย 3 วัน ของอุณหภูมิผิวใต้หลังคาหญ้ามาเลเซีย (ดิน 10 ซม.) ในช่วงเวลากลางวัน ที่ได้จากโปรแกรม EnergyPlus จะสูงกว่ากล่องทดลองจริงประมาณ 0.5°C หรือสูงกว่า 2.4 %

ค่าเฉลี่ย 3 วัน ของอุณหภูมิอากาศภายในกล่องหลังคาหญ้ามาเลเซีย (ดิน 10 ซม.) ในช่วงเวลากลางวัน ที่ได้จากโปรแกรม EnergyPlus จะต่ำกว่ากล่องทดลองจริงประมาณ 0.6°C หรือต่ำกว่า 2.3 %

โดยค่าอุณหภูมิผิวภายนอกและอุณหภูมิอากาศภายในนั้น มีช่วงเวลาที่อุณหภูมิขึ้นสูงสุดเท่ากับกล่องทดลองจริง ส่วนค่าอุณหภูมิผิวใต้หลังคานั้น จะมีช่วงหน่วงเวลาช้ากว่ากล่องทดลองจริงประมาณ 1 ชม.

3. กล่องหลังคาห้วยฉนวนน้อย (ดิน 10 ซม.)

จากแผนภูมิที่ 12 และตารางที่ 12 สรุปได้ว่า

ค่าเฉลี่ย 3 วัน ของอุณหภูมิผิวเหนือหลังคาห้วยฉนวนน้อย (ดิน 10 ซม.) ในช่วงเวลากลางวัน ที่ได้จากโปรแกรม EnergyPlus จะสูงกว่ากล่องทดลองจริงประมาณ 0.6°C หรือสูงกว่า 2.3 %

ค่าเฉลี่ย 3 วัน ของอุณหภูมิผิวใต้หลังคาห้วยฉนวนน้อย (ดิน 10 ซม.) ในช่วงเวลากลางวัน ที่ได้จากโปรแกรม EnergyPlus จะสูงกว่ากล่องทดลองจริงประมาณ 0.2°C หรือสูงกว่า 0.9 %

ค่าเฉลี่ย 3 วัน ของอุณหภูมิอากาศภายในกล่องหลังคาห้วยฉนวนน้อย (ดิน 10 ซม.) ในช่วงเวลากลางวัน ที่ได้จากโปรแกรม EnergyPlus จะมีค่าเฉลี่ยเท่ากับค่าที่ได้จากกล่องทดลองจริง

โดยค่าอุณหภูมิผิวภายนอกและอุณหภูมิอากาศภายในนั้น มีช่วงเวลาที่อุณหภูมิขึ้นสูงสุดเท่ากับกล่องทดลองจริง ส่วนค่าอุณหภูมิผิวใต้หลังคานั้น จะมีช่วงหน่วงเวลาช้ากว่ากล่องทดลองจริงประมาณ 1 ชม. เช่นเดียวกับกล่องหลังคาห้วยฉนวนมาเลเซีย (ดิน 10 ซม.)

4. กล่องหลังคาห้วยมาเลเซีย (ดิน 20 ซม.)

จากแผนภูมิที่ 14 และตารางที่ 13 สรุปได้ว่า

ค่าเฉลี่ย 3 วัน ของอุณหภูมิผิวเหนือหลังคาห้วยมาเลเซีย (ดิน 20 ซม.) ในช่วงเวลากลางวัน ที่ได้จากโปรแกรม EnergyPlus จะต่ำกว่ากล่องทดลองจริงประมาณ 0.2°C หรือต่ำกว่า 0.4 %

ค่าเฉลี่ย 3 วัน ของอุณหภูมิผิวใต้หลังคาห้วยมาเลเซีย (ดิน 20 ซม.) ในช่วงเวลากลางวัน ที่ได้จากโปรแกรม EnergyPlus จะสูงกว่ากล่องทดลองจริงประมาณ 0.06°C หรือสูงกว่า 0.3 %

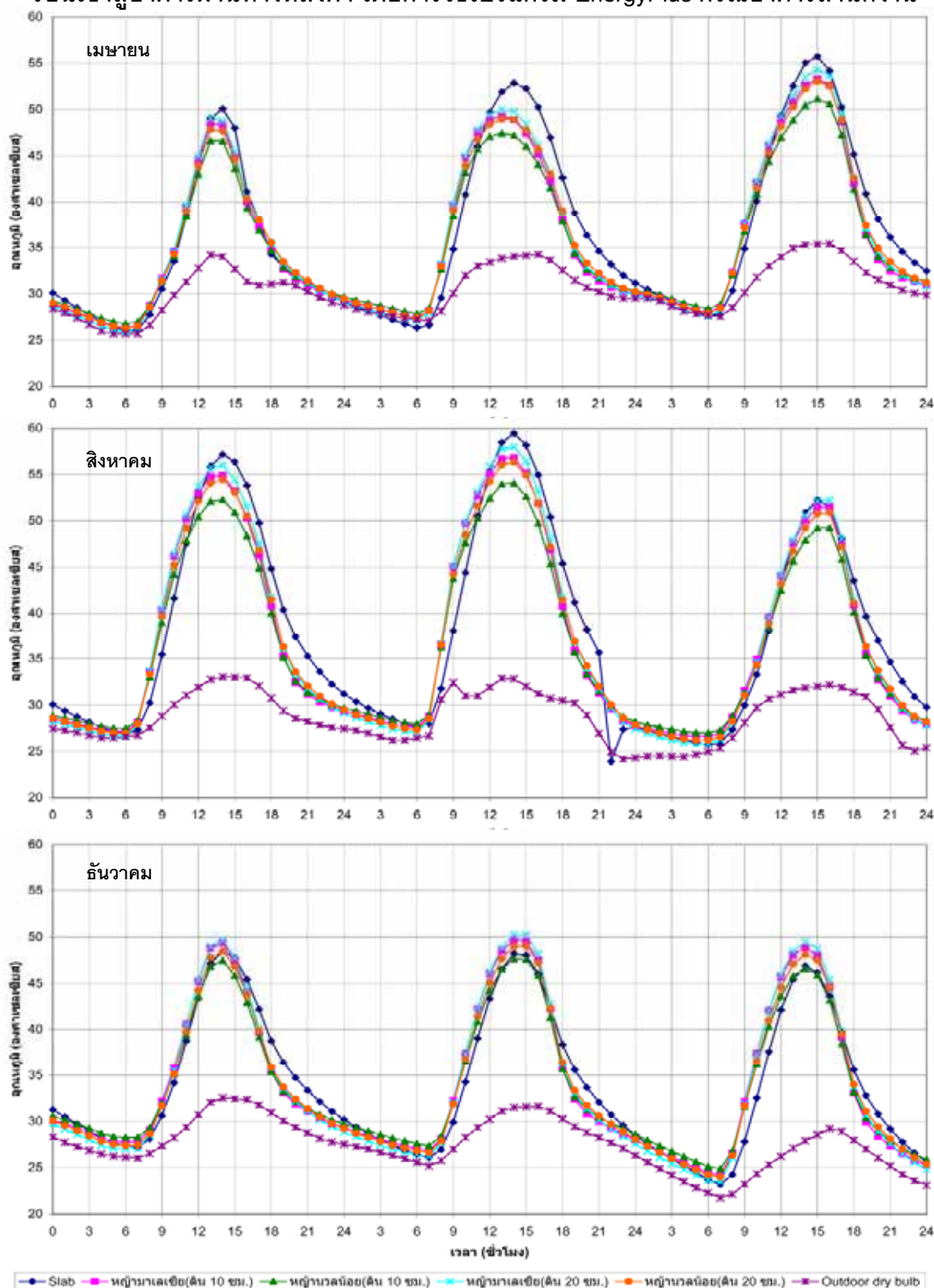
ค่าเฉลี่ย 3 วัน ของอุณหภูมิอากาศภายในกล่องหลังคาห้วยมาเลเซีย (ดิน 20 ซม.) ในช่วงเวลากลางวัน ที่ได้จากโปรแกรม EnergyPlus จะต่ำกว่ากล่องทดลองจริงประมาณ 0.7 °C หรือต่ำกว่า 2.7 %

โดยค่าอุณหภูมิผิวภายนอกนั้น มีช่วงเวลาที่อุณหภูมิขึ้นสูงสุดเท่ากันกับกล่องทดลองจริง ส่วนค่าอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิผิวใต้หลังคานั้น จะมีช่วงหนึ่งเวลาช้ากว่ากล่องทดลองจริงประมาณ 1-2 ชม.

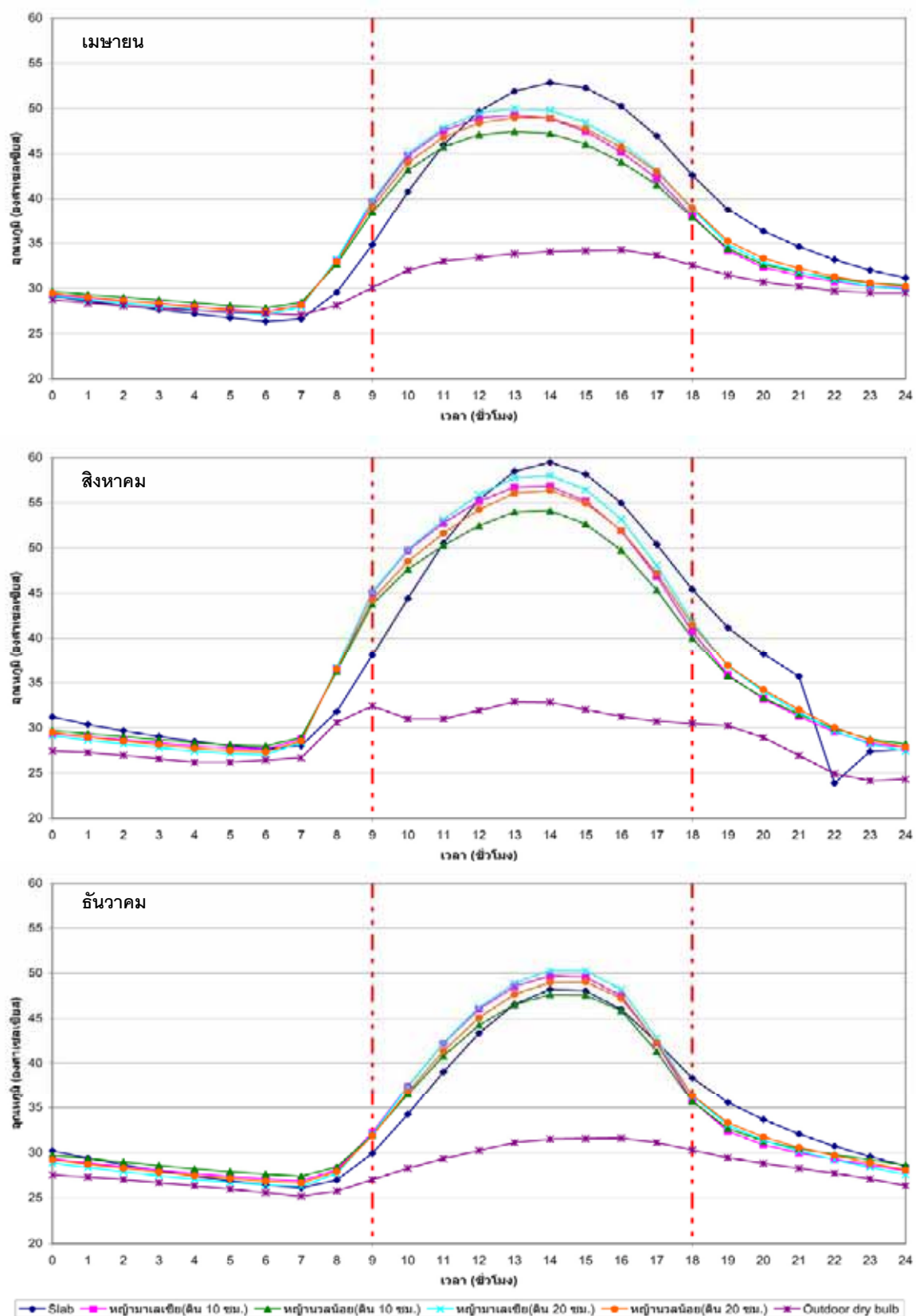
ดังนั้นจึงพอสรุปได้ว่า การใช้โปรแกรม EnergyPlus ในการจำลอง ได้ผลใกล้เคียงกับการใช้กล่องทดลองจริงพอสมควร โดยเฉพาะค่าอุณหภูมิในช่วงเวลากลางวัน (9.00-18.00 น.) แต่ในส่วนของค่าอุณหภูมิผิวภายนอกของกล่องหลังคาทั้ง 4 ชนิด ที่มีค่าอุณหภูมิต่างกันมากกว่าค่าอุณหภูมิผิวใต้หลังคาและค่าอุณหภูมิอากาศภายในกล่องนั้น อาจเป็นสาเหตุมาจาก ในกล่องทดลองจริงนั้นได้ทำการวัดอุณหภูมิผิวภายนอกที่บริเวณผิวหน้า ซึ่งปลายสายที่วัดอาจได้รับรบกวนจากใบหญ้า ซึ่งไม่สามารถระบุได้ว่าโปรแกรม EnergyPlus นั้นได้มีการคำนวณในส่วนนี้หรือไม่ และเนื่องจากในการศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพของการใช้ Green roof เพื่อลดความร้อนและการใช้พลังงานภายในอาคาร ดังนั้นจึงน่าจะมุ่งเน้นไปที่ค่าอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในเป็นหลัก ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิผิวใต้หลังคา กับอากาศภายใน ระหว่างกล่องทดลองจริงกับการจำลองด้วยโปรแกรม EnergyPlus แล้ว มีค่าใกล้เคียงกันมาก คือ มีค่าความแตกต่างกันไม่เกิน 5.5% ดังนั้นจึงจะสามารถนำโปรแกรมไปใช้ในการศึกษาต่อได้

ซึ่งจากผลการทดลองที่ 1 และ 2 นี้ จะนำไปทำการศึกษาโดยการจำลองด้วยโปรแกรม Energyplus โดยเปลี่ยนรูปแบบการจำลองจากกล่องปิดทึบเป็นห้องเสมือนจริง ในชุดการทดลองที่ 3 ต่อไป

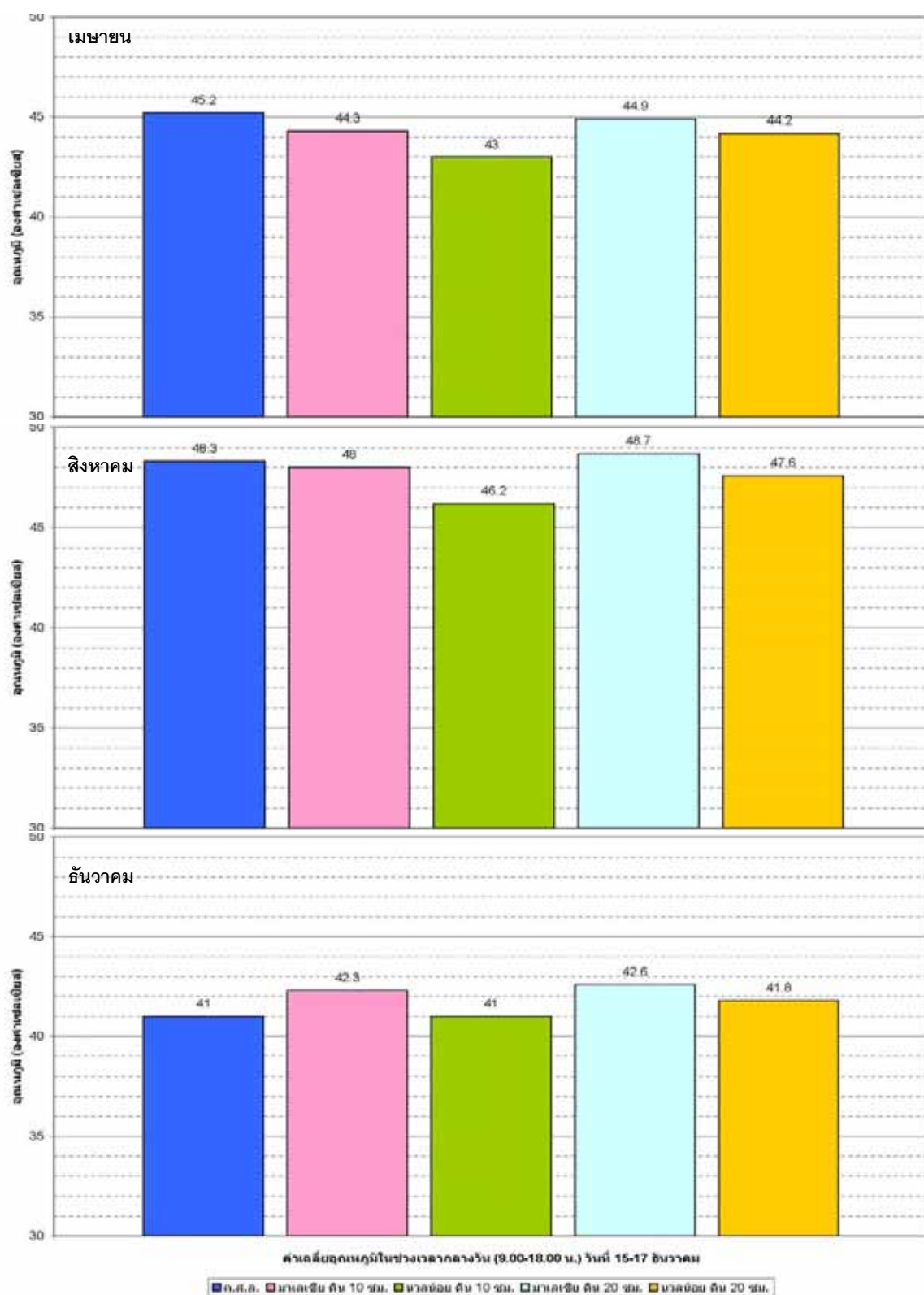
3. ผลการทดลองที่ 3 การศึกษาประสิทธิภาพในการใช้ Green roof ในการป้องกันความร้อนเข้าสู่อาคารผ่านทางหลังคา โดยการใช้โปรแกรม EnergyPlus กรณีอาคารสำนักงาน



แผนภูมิที่ 16 เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวหลังคาภายนอก ระหว่างวันที่ 15-17



แผนภูมิที่ 17 เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวหลังคาภายนอก วันที่ 16



แผนภูมิที่ 18 เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวหลังคาภายนอก เฉลี่ยเวลากลางวัน (9.00-18.00 น.)
ระหว่างวันที่ 15-17

ตารางที่ 14 เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวหลังคาภายนอก วันที่ 15-17 เมษายน

ค่า วันที่ หลังคา	อุณหภูมิสูงสุด (°C)				อุณหภูมิต่ำสุด (°C)				อุณหภูมิเฉลี่ย 9.00-18.00 น.			
	15	16	17	เฉลี่ย 3 วัน	15	16	17	เฉลี่ย 3 วัน	15	16	17	เฉลี่ย 3 วัน
ค.ส.ล.	50.0	52.8	55.7	52.8	26.0	26.3	27.6	26.6	40.7	46.8	48.2	45.2
มาเลเซีย 10	48.5	49.2	53.2	50.3	26.3	27.4	27.9	27.2	40.4	45.1	47.4	44.3
ผลต่าง	1.5	3.6	2.5	2.5	-0.3	-1.1	-0.3	-0.6	0.3	1.7	0.8	0.9
ผลต่างเป็น %	3	6.8	4.5	4.7	-1.2	-4.2	-1.1	-2.3	0.7	3.6	1.7	2.0
นวนน้อย 10	46.6	47.4	51.1	45.8	26.7	27.8	28.4	27.6	39.4	43.8	45.8	43.0
ผลต่าง	3.4	5.4	4.6	7	-0.7	-1.5	-0.8	-1	1.3	3	2.4	2.2
ผลต่างเป็น %	6.8	10.2	8.3	13.3	-2.7	-5.7	-2.9	-3.8	3.2	6.4	5.0	4.9
มาเลเซีย 20	49.0	49.9	54.3	48.0	25.9	27.0	27.5	26.8	40.8	45.8	48.0	44.9
ผลต่าง	1	2.9	1.4	1.7	0.1	-0.7	0.1	-0.2	-0.1	1	0.2	0.3
ผลต่างเป็น %	2	5.5	2.5	3.2	0.4	-2.7	0.4	-0.8	-0.2	2.1	0.4	0.7
นวนน้อย 20	47.8	49.0	53.1	50.0	26.3	27.4	27.9	27.2	40.3	45.2	47.2	44.2
ผลต่าง	2.2	3.8	2.6	2.8	-0.3	-1.1	-0.3	-0.6	0.4	1.6	1	1
ผลต่างเป็น %	4.4	7.2	4.7	5.3	-1.2	-4.2	-1.1	-2.3	1.0	3.4	2.1	2.2

ตารางที่ 15 เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวหลังคาภายนอก วันที่ 15-17 สิงหาคม

ค่า วันที่ หลังคา	อุณหภูมิสูงสุด (°C)				อุณหภูมิต่ำสุด (°C)				อุณหภูมิเฉลี่ย 9.00-18.00 น.			
	15	16	17	เฉลี่ย 3 วัน	15	16	17	เฉลี่ย 3 วัน	15	16	17	เฉลี่ย 3 วัน
ค.ส.ล.	57.2	59.5	52.3	56.3	26.9	23.9	25.7	25.5	49.5	51.5	43.8	48.3
มาเลเซีย 10	54.9	56.8	51.5	54.4	27.1	27.6	26.6	27.1	49.0	51.1	43.9	48.0
ผลต่าง	2.3	2.7	0.8	1.9	-0.2	-3.7	-0.9	-1.6	0.5	0.4	-0.1	0.3
ผลต่างเป็น %	4.0	4.5	1.5	3.4	-0.7	-15.5	-3.5	-6.3	1.0	0.8	-0.2	0.6
นวนน้อย 10	52.3	54.1	49.2	51.9	27.5	28.0	27.0	27.5	47.0	49.0	42.5	46.2
ผลต่าง	4.9	5.4	3.1	4.4	-0.6	-4.1	-1.3	-2	2.5	2.5	1.3	2.1
ผลต่างเป็น %	8.6	9.1	5.9	7.8	-2.2	-17.2	-5.1	-7.8	5.1	4.9	3.0	4.3
มาเลเซีย 20	56.0	58.0	52.2	55.4	26.7	27.0	25.8	26.5	49.8	51.9	44.2	48.7
ผลต่าง	1.2	1.5	0.1	0.9	0.2	-3.1	-0.1	-1	-0.3	-0.4	-0.4	-0.4
ผลต่างเป็น %	2.1	2.5	0.2	1.6	0.7	-13.0	-0.4	-3.9	-0.6	-0.8	-0.9	-0.8
นวนน้อย 20	54.5	56.4	50.9	53.9	27.0	27.3	26.2	26.8	48.7	50.7	43.3	47.6
ผลต่าง	2.7	3.1	1.4	2.4	-0.1	-3.4	-0.5	-1.3	0.8	0.8	0.5	0.7
ผลต่างเป็น %	4.7	5.2	2.7	4.3	-0.4	-14.2	-1.9	-5.1	1.6	1.6	1.1	1.4

ตารางที่ 16 เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวหลังคาภายนอก วันที่ 15-17 ธันวาคม

ค่า วันที่ หลังคา	อุณหภูมิสูงสุด (°C)				อุณหภูมิต่ำสุด (°C)				อุณหภูมิเฉลี่ย 9.00-18.00 น.			
	15	16	17	เฉลี่ย 3 วัน	15	16	17	เฉลี่ย 3 วัน	15	16	17	เฉลี่ย 3 วัน
ค.ส.ล.	48.5	48.2	46.9	47.9	27.2	26.1	23.2	25.5	41.7	41.6	39.7	41.0
มาเลเซีย 10	49.4	49.7	48.9	49.3	27.8	26.9	24.2	26.3	41.9	43.1	41.9	42.3
ผลต่าง	-0.9	-1.5	-2	-1.4	-0.6	-0.8	-1	-0.8	-0.2	-1.5	-2.2	-1.3
ผลต่างเป็น %	-1.9	-3.1	-4.3	-2.9	-2.2	-3.1	-4.3	-3.1	-0.5	-3.6	-5.5	-3.2
นวนน้อย 10	47.5	47.7	46.6	47.3	28.3	27.4	24.9	26.8	40.8	41.8	40.5	41.0
ผลต่าง	1	0.5	0.3	0.6	-1.1	-1.3	-1.7	-1.3	0.9	-0.2	-0.8	0
ผลต่างเป็น %	2.1	1.0	0.6	1.3	-4.0	-5.0	-7.3	-5.1	2.2	-0.5	-2.0	0.0
มาเลเซีย 20	49.6	50.2	49.5	49.8	27.0	26.3	23.5	25.6	42.0	43.5	42.3	42.6
ผลต่าง	-1.1	-2	-2.6	-1.9	0.2	-0.2	-0.3	-0.1	-0.3	-1.9	-2.6	-1.6
ผลต่างเป็น %	-2.3	-4.1	-5.5	-4.0	0.7	-0.8	-1.3	-0.4	-0.7	-4.6	-6.5	-3.9
นวนน้อย 20	48.5	49.0	48.1	48.5	27.4	26.6	24.0	26.0	41.3	42.7	41.4	41.8
ผลต่าง	0	-0.8	-1.2	-0.6	-0.2	-0.5	-0.8	-0.5	0.4	-1.1	-1.7	-0.8
ผลต่างเป็น %	0.0	-1.7	-2.6	-1.3	-0.7	-1.9	-3.4	-2.0	1.0	-2.6	-4.3	-2.0

* หมายเหตุ

1. ค่าอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุด คัดจากช่วงเวลาตลอด 24 ชม.
2. ค่าผลต่าง คัดจากค่าที่ได้จากหลังคา ค.ส.ล. ลบด้วยค่าจากหลังคาชนิดอื่นๆ เพื่อดูว่าอุณหภูมิ ลดลงจากหลังคา ค.ส.ล. เท่าไร ในกรณีที่ค่าติดลบแสดงว่า ค่าที่ได้จากหลังคาชนิดนั้นสูงกว่า หลังคา ค.ส.ล.
3. ผลต่างเป็น % คัดจากสูตร ค่าผลต่าง x100 หารด้วยค่าต้นจากหลังคา ค.ส.ล.

ผลการทดลองเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวหลังคาภายนอก

เดือนเมษายน

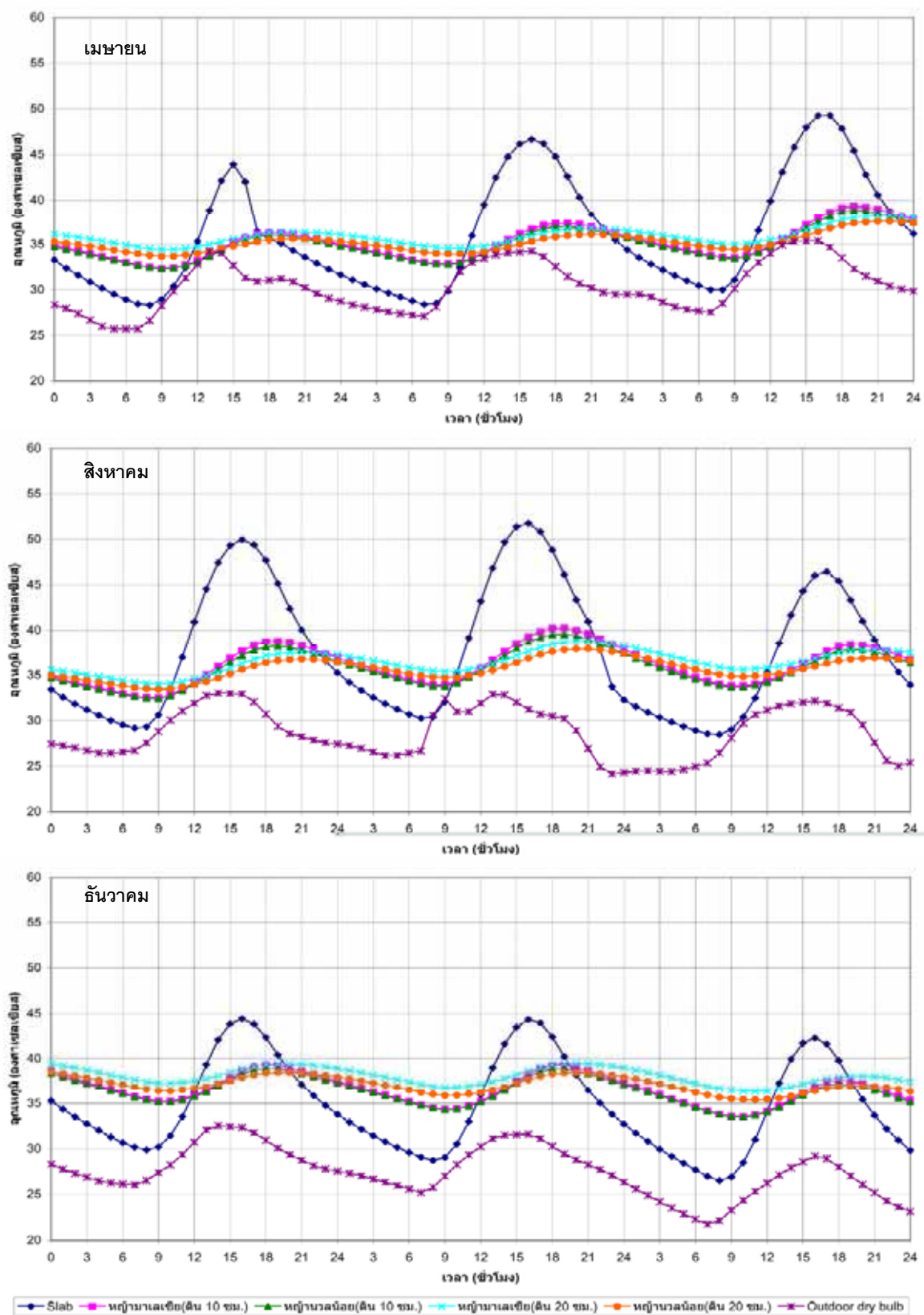
เมื่อเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิผิวหลังคาภายนอกในเดือนเมษายนพบว่า ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงเวลากลางวัน (9.00-18.00 น.) ของหลังคาหญ้าฉนวนน้อยดิน 10 ซม. จะต่ำกว่าหลังคา ค.ส.ล. ประมาณ 2.2°C หรือลดลง 4.9 % รองลงมาคือ หลังคาหญ้าฉนวนน้อยดิน 20 ซม. มีค่าต่ำกว่าหลังคา ค.ส.ล. ประมาณ 1°C หรือลดลง 2.2 %

เดือนสิงหาคม

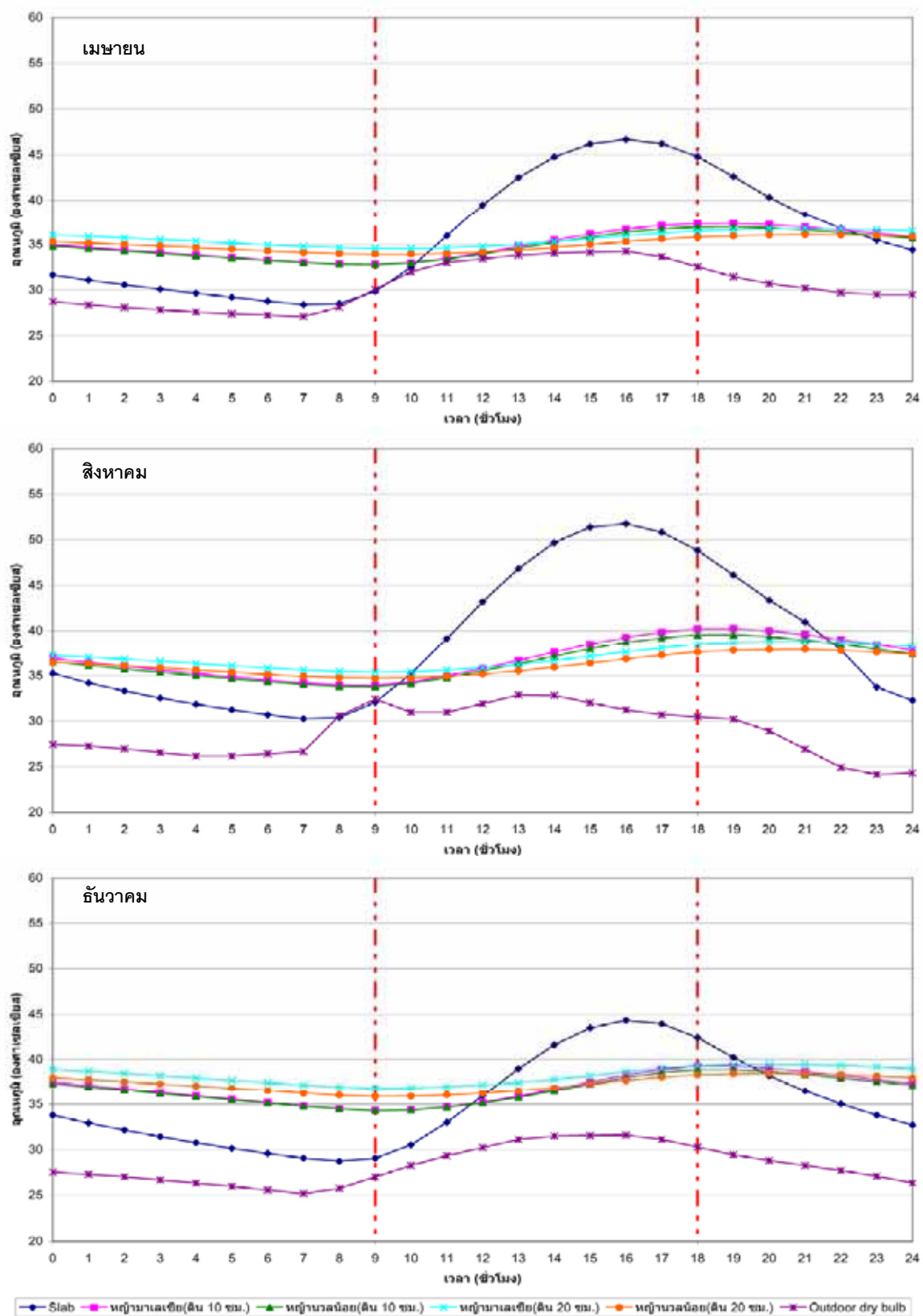
เมื่อเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิผิวหลังคาภายนอกในเดือนสิงหาคมพบว่า ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงเวลากลางวัน (9.00-18.00 น.) ของหลังคาหญ้าฉนวนน้อยดิน 10 ซม. จะมีค่าผลต่างเฉลี่ย 3 วัน มากที่สุด คือต่ำกว่าหลังคา ค.ส.ล. ประมาณ 2.1°C หรือลดลง 4.3 % รองลงมาคือ หลังคาหญ้าฉนวนน้อยดิน 20 ซม. มีค่าต่ำกว่าหลังคา ค.ส.ล. ประมาณ 0.7°C หรือลดลง 1.4 %

เดือนธันวาคม

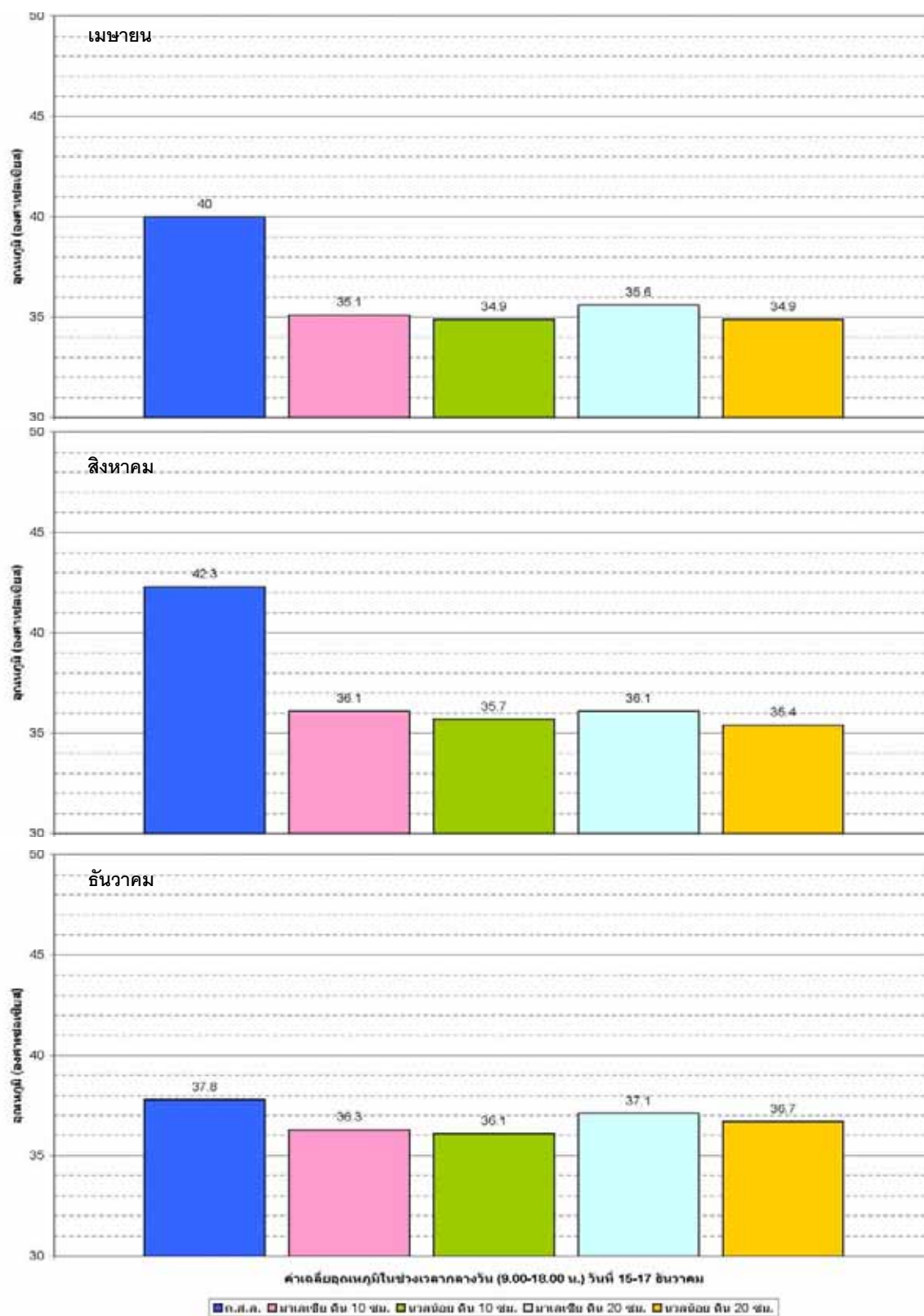
เมื่อเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิผิวหลังคาภายนอกในเดือนธันวาคมพบว่า ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงเวลากลางวัน (9.00-18.00 น.) ของหลังคาหญ้าฉนวนน้อยดิน 10 ซม. จะมีค่าผลต่างเฉลี่ย 3 วัน มากที่สุด คือเท่ากับหลังคา ค.ส.ล. รองลงมาคือ หลังคาหญ้าฉนวนน้อยดิน 20 ซม. มีค่าสูงกว่าหลังคา ค.ส.ล. 0.8°C หรือเพิ่มขึ้น 2.0 %



แผนภูมิที่ 19 เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวใต้หลังคา ระหว่างวันที่ 15-17



แผนภูมิที่ 20 เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวใต้หลังคา วันที่ 16



แผนภูมิที่ 21 เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวใต้หลังคา เฉลี่ยเวลากลางวัน (9.00-18.00 น.) ระหว่างวันที่ 15-17

ตารางที่ 17 เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวใต้หลังคา วันที่ 15-17 เมษายน

ค่า วันที่ หลังคา	อุณหภูมิสูงสุด (°C)				อุณหภูมิต่ำสุด (°C)				อุณหภูมิเฉลี่ย 9.00-18.00 น.			
	15	16	17	เฉลี่ย 3 วัน	15	16	17	เฉลี่ย 3 วัน	15	16	17	เฉลี่ย 3 วัน
ค.ส.ล.	43.9	46.6	49.2	46.6	28.3	28.4	30.0	28.9	36.6	40.9	42.4	40.0
มาเลเซีย 10	36.3	37.3	39.3	37.7	32.3	32.8	33.5	32.9	34.2	35.1	36.1	35.1
ผลต่าง	7.6	9.3	9.9	8.9	-4	-4.4	-3.5	-4	2.4	5.8	6.3	4.9
ผลต่างเป็น %	17.3	20.0	20.1	19.1	-14.1	-15.5	-11.7	-13.8	6.6	14.2	14.9	12.3
นวนน้อย 10	36.0	37.0	38.8	37.3	32.3	32.8	33.5	32.9	34.1	34.9	35.9	34.9
ผลต่าง	7.9	9.6	10.4	9.3	-4	-4.4	-3.5	-4	2.5	6	6.5	5.1
ผลต่างเป็น %	18.0	20.6	21.1	20.0	-14.1	-15.5	-11.7	-13.8	6.8	14.7	15.3	12.8
มาเลเซีย 20	36.4	36.8	38.2	37.1	34.4	34.6	35.0	34.7	35.2	35.3	36.2	35.6
ผลต่าง	7.5	9.8	11	9.5	-6.1	-6.2	-5	-5.8	1.4	5.6	6.2	4.4
ผลต่างเป็น %	17.1	21.0	22.4	20.4	-21.6	-21.8	-16.7	-20.1	3.8	13.7	14.6	11.0
นวนน้อย 20	35.6	36.1	37.6	36.4	33.7	33.9	34.4	34.0	34.5	34.7	35.6	34.9
ผลต่าง	8.3	10.5	11.6	10.2	-5.4	-5.5	-4.4	-5.1	2.1	6.2	6.8	5.1
ผลต่างเป็น %	18.9	22.5	23.6	21.9	-19.1	-19.4	-14.7	-17.6	5.7	15.2	16.0	12.8

ตารางที่ 18 เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวใต้หลังคา วันที่ 15-17 สิงหาคม

ค่า วันที่ หลังคา	อุณหภูมิสูงสุด (°C)				อุณหภูมิต่ำสุด (°C)				อุณหภูมิเฉลี่ย 9.00-18.00 น.			
	15	16	17	เฉลี่ย 3 วัน	15	16	17	เฉลี่ย 3 วัน	15	16	17	เฉลี่ย 3 วัน
ค.ส.ล.	50.0	51.8	46.4	49.4	29.2	30.3	28.5	29.3	43.0	44.9	39.0	42.3
มาเลเซีย 10	38.8	40.2	38.4	39.1	32.5	33.9	33.8	33.4	35.5	37.1	35.6	36.1
ผลต่าง	11.2	11.6	8	10.3	-3.3	-3.6	-5.3	-4.1	7.5	7.8	3.4	6.2
ผลต่างเป็น %	22.4	22.4	17.2	20.9	-11.3	-11.9	-18.6	-14.0	17.4	17.4	8.7	14.7
นวนน้อย 10	38.2	39.6	37.9	38.6	32.4	33.8	33.7	33.3	35.2	36.7	35.3	35.7
ผลต่าง	11.8	12.2	8.5	10.8	-3.2	-3.5	-5.2	-4	7.8	8.2	3.7	6.6
ผลต่างเป็น %	23.6	23.6	18.3	21.9	-11.0	-11.6	-18.2	-13.7	18.1	18.3	9.5	15.6
มาเลเซีย 20	37.5	38.8	38.0	38.1	34.0	35.4	35.6	35.0	35.3	36.6	36.3	36.1
ผลต่าง	12.5	13	8.4	11.3	-4.8	-5.1	-7.1	-5.7	7.7	8.3	2.7	6.2
ผลต่างเป็น %	25.0	25.1	18.1	22.9	-16.4	-16.8	-24.9	-19.5	17.9	18.5	6.9	14.7
นวนน้อย 20	36.8	37.9	37.1	37.3	33.4	34.7	34.8	34.3	34.7	35.9	35.5	35.4
ผลต่าง	13.2	13.9	9.3	12.1	-4.2	-4.4	-6.3	-5	8.3	9	3.5	6.9
ผลต่างเป็น %	26.4	26.8	20.0	24.5	-14.4	-14.5	-22.1	-17.1	19.3	20.0	9.0	16.3

ตารางที่ 19 เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวใต้หลังคา วันที่ 15-17 ธันวาคม

ค่า วันที่ หลังคา	อุณหภูมิสูงสุด (°C)				อุณหภูมิต่ำสุด (°C)				อุณหภูมิเฉลี่ย 9.00-18.00 น.			
	15	16	17	เฉลี่ย 3 วัน	15	16	17	เฉลี่ย 3 วัน	15	16	17	เฉลี่ย 3 วัน
ค.ส.ล.	44.4	44.3	42.3	43.7	29.9	28.7	26.5	28.4	38.7	38.3	36.3	37.8
มาเลเซีย 10	39.3	39.3	37.6	38.7	35.2	34.3	33.5	34.3	37.0	36.5	35.3	36.3
ผลต่าง	5.1	5	4.7	5	-5.3	-5.6	-7	-5.9	1.7	1.8	1	1.5
ผลต่างเป็น %	11.5	11.3	11.1	11.4	-17.7	-19.5	-26.4	-20.8	4.4	4.7	2.8	4.0
นวน้อย 10	39.0	38.9	37.2	38.3	35.2	34.3	33.5	34.3	36.9	36.3	35.1	36.1
ผลต่าง	5.4	5.4	5.1	5.4	-5.3	-5.6	-7	-5.9	1.8	2	1.2	1.7
ผลต่างเป็น %	12.2	12.2	12.1	12.4	-17.7	-19.5	-26.4	-20.8	4.7	5.2	3.3	4.5
มาเลเซีย 20	39.4	39.5	38.7	39.2	37.2	36.8	36.4	36.8	38.1	37.8	36.9	37.1
ผลต่าง	5	4.8	3.6	4.5	-7.3	-8.1	-9.9	-8.4	0.6	0.5	-0.6	0.7
ผลต่างเป็น %	11.3	10.8	8.5	10.3	-24.4	-28.2	-37.4	-29.6	1.6	1.3	-1.7	1.9
นวน้อย 20	38.5	38.4	37.7	38.2	36.4	35.9	35.4	35.9	37.2	36.9	35.9	36.7
ผลต่าง	5.9	5.9	4.6	5.5	-6.5	-7.2	-8.9	-7.5	1.5	1.4	0.4	1.1
ผลต่างเป็น %	13.3	13.3	10.9	12.6	-21.7	-25.1	-33.6	-26.4	3.9	3.7	1.1	2.9

* หมายเหตุ

1. ค่าอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุด คัดจากช่วงเวลาตลอด 24 ชม.
2. ค่าผลต่าง คัดจากค่าที่ได้จากหลังคา ค.ส.ล. ลบด้วยค่าจากหลังคาชนิดอื่นๆ เพื่อดูว่าอุณหภูมิ ลดลงจากหลังคา ค.ส.ล. เท่าไร ในกรณีที่ค่าติดลบแสดงว่า ค่าที่ได้จากหลังคาชนิดนั้นสูงกว่า หลังคา ค.ส.ล.
3. ผลต่างเป็น % คัดจากสูตร ค่าผลต่าง x100 หารด้วยค่าต้นจากหลังคา ค.ส.ล.

ผลการทดลองเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวใต้หลังคา

เดือนเมษายน

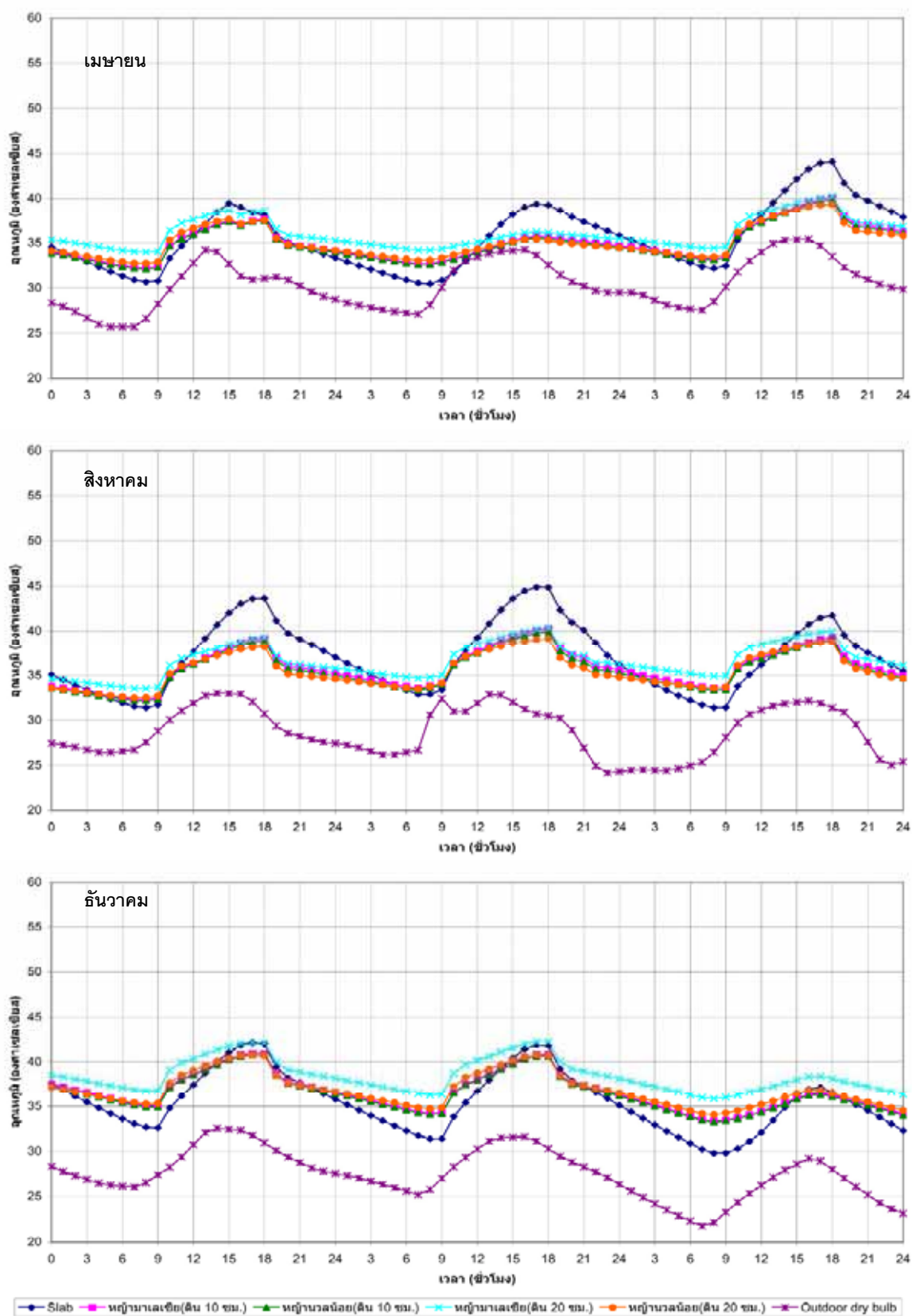
เมื่อเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิผิวใต้หลังคาในเดือนเมษายนพบว่า ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงเวลากลางวัน (9.00-18.00 น.) ของหลังคาห้วยน้ำน้อยดิน 10 ซม. และหลังคาห้วยน้ำน้อยดิน 20 ซม. จะมีค่าผลต่างเฉลี่ย 3 วัน มากที่สุดเท่ากัน คือต่ำกว่าหลังคา ค.ส.ล. ประมาณ 5.1°C หรือลดลง 12.8 %

เดือนสิงหาคม

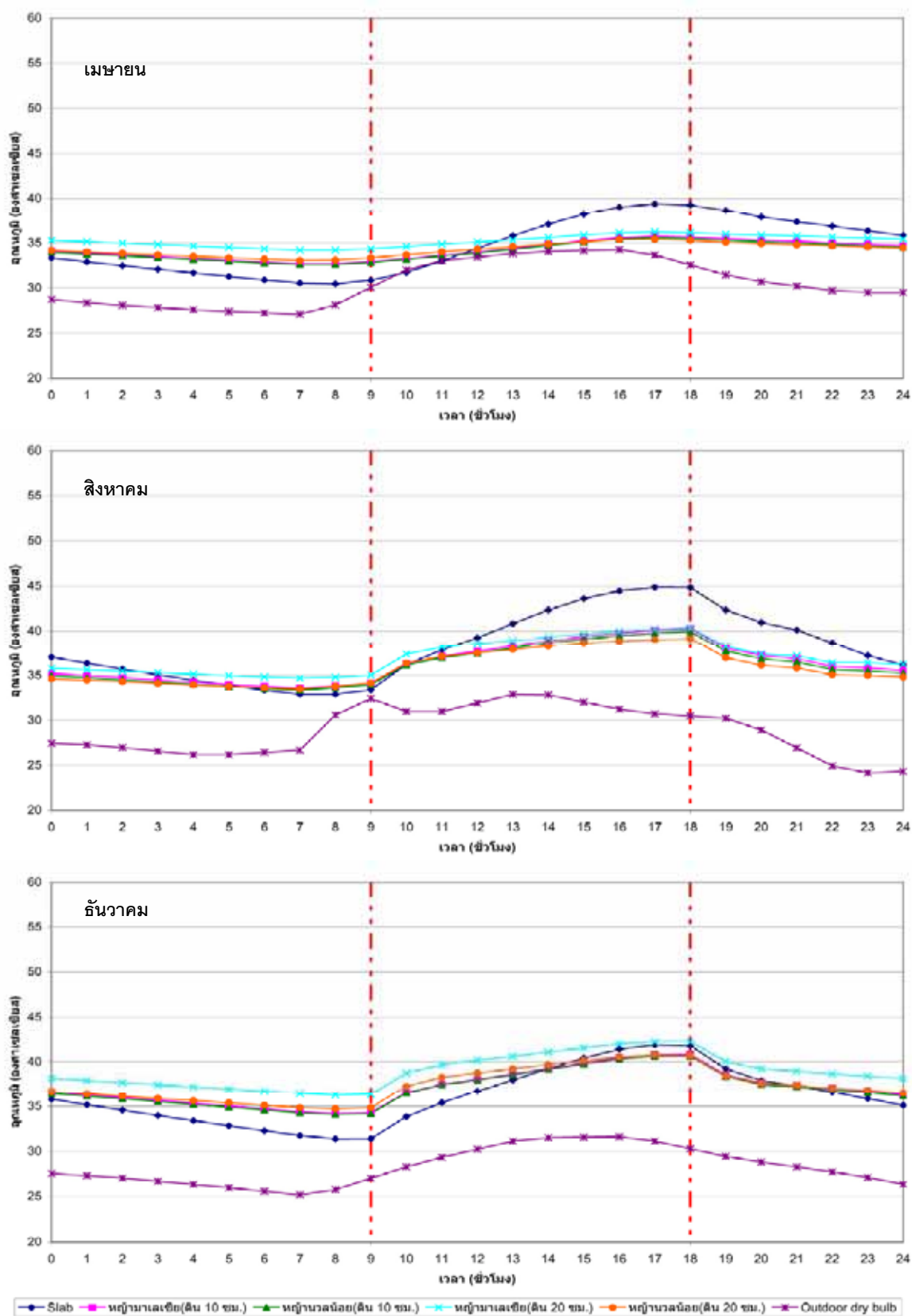
เมื่อเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิผิวใต้หลังคาในเดือนสิงหาคมพบว่า ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงเวลากลางวัน (9.00-18.00 น.) ของหลังคาห้วยน้ำน้อยดิน 20 ซม. จะมีค่าผลต่างเฉลี่ย 3 วัน มากที่สุด คือต่ำกว่าหลังคา ค.ส.ล. ประมาณ 6.9°C หรือลดลง 16.3 % รองลงมาคือ หลังคาห้วยน้ำน้อยดิน 10 ซม. มีค่าต่ำกว่าหลังคา ค.ส.ล. ประมาณ 6.6°C หรือลดลง 15.6 %

เดือนธันวาคม

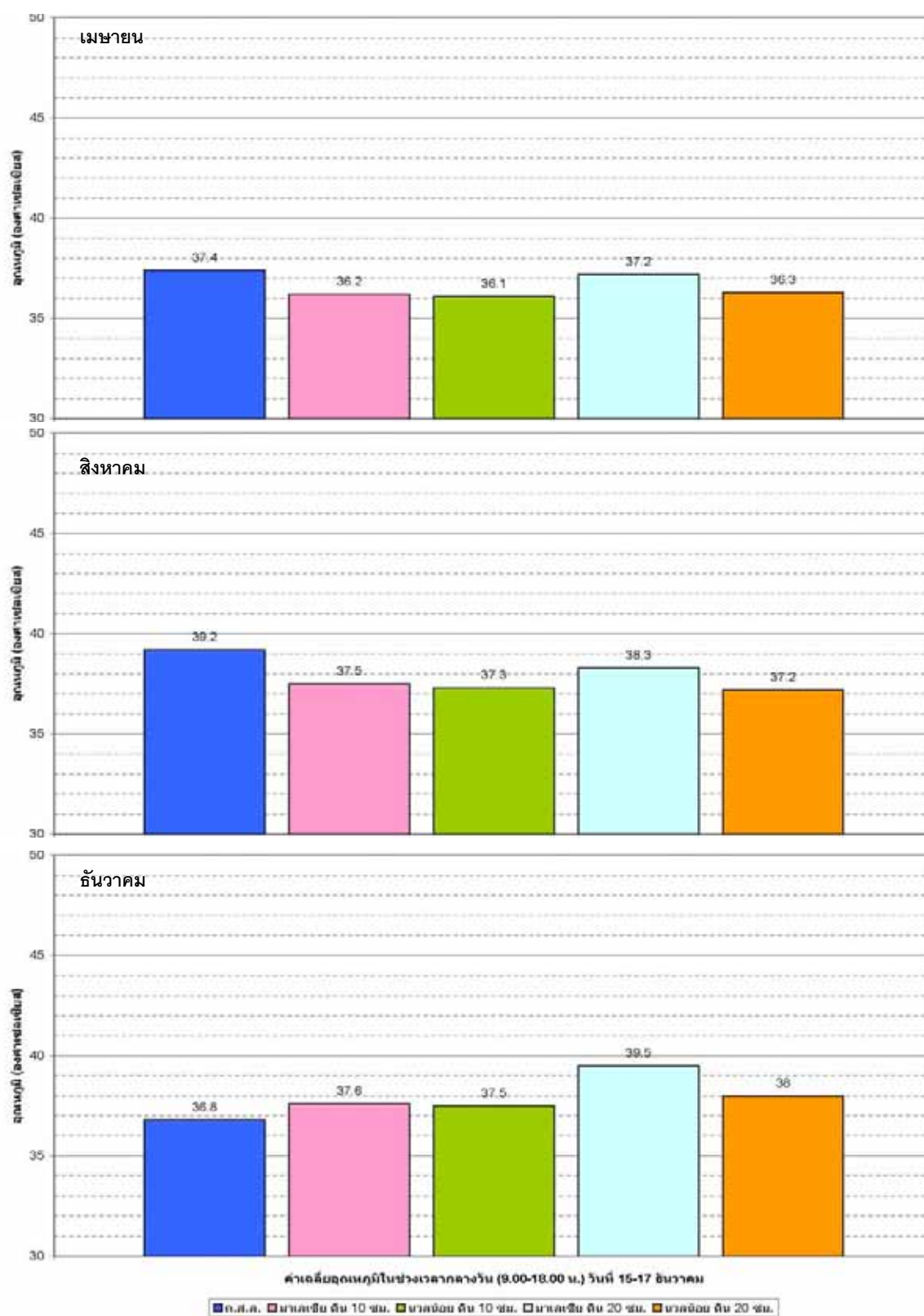
เมื่อเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิผิวใต้หลังคาในเดือนธันวาคมพบว่า ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงเวลากลางวัน (9.00-18.00 น.) ของหลังคาห้วยน้ำน้อยดิน 10 ซม. จะมีค่าผลต่างเฉลี่ย 3 วัน มากที่สุด คือต่ำกว่าหลังคา ค.ส.ล. ประมาณ 1.7°C หรือลดลง 4.5 % รองลงมาคือ หลังคาห้วยน้ำน้อยดิน 20 ซม. มีค่าต่ำกว่าหลังคา ค.ส.ล. 1.1°C หรือลดลง 2.9 %



แผนภูมิที่ 22 เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายใน ระหว่างวันที่ 15-17



แผนภูมิที่ 23 เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายใน วันที่ 16



แผนภูมิที่ 24 เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ยเวลากลางวัน (9.00-18.00 น.) ระหว่างวันที่ 15-17

ตารางที่ 20 เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายใน วันที่ 15-17 เมษายน

ค่า วันที่ หลังคา	อุณหภูมิสูงสุด (°C)				อุณหภูมิต่ำสุด (°C)				อุณหภูมิเฉลี่ย 9.00-18.00 น.			
	15	16	17	เฉลี่ย 3 วัน	15	16	17	เฉลี่ย 3 วัน	15	16	17	เฉลี่ย 3 วัน
ค.ส.ล.	39.5	39.4	44.1	41.0	30.7	30.5	32.2	31.1	36.5	35.9	39.7	37.4
มาเลเซีย 10	37.6	35.8	40.1	37.8	32.2	32.7	33.3	32.7	36.2	34.5	37.8	36.2
ผลต่าง	1.9	3.6	4	3.2	-1.5	-2.2	-1.1	-1.6	0.3	1.4	1.9	1.2
ผลต่างเป็น %	4.8	9.1	9.1	7.8	-4.9	-7.2	-3.4	-5.1	0.8	3.9	4.8	3.2
นวนน้อย 10	37.5	35.6	39.8	37.6	32.2	32.6	33.2	32.6	36.1	34.4	37.7	36.1
ผลต่าง	2	3.8	4.3	3.4	-1.5	-2.1	-1	-1.5	0.4	1.5	2	1.3
ผลต่างเป็น %	5.1	9.6	9.8	8.3	-4.9	-6.9	-3.1	-4.8	1.1	4.2	5.0	3.5
มาเลเซีย 20	38.6	36.2	40.2	38.4	34.0	34.2	34.4	34.2	37.6	35.4	38.5	37.2
ผลต่าง	0.9	3.2	3.9	2.6	-3.3	-3.7	-2.2	-3.1	-1.1	0.5	1.2	0.2
ผลต่างเป็น %	2.3	8.1	8.8	6.3	-10.7	-12.1	-6.8	-10.0	-3.0	1.4	3.0	0.5
นวนน้อย 20	37.6	35.4	39.3	37.5	32.7	33.1	33.4	33.1	36.5	34.6	37.7	36.3
ผลต่าง	1.9	4	4.8	3.5	-2	-2.6	-1.2	-2	0	1.3	2	1.1
ผลต่างเป็น %	4.8	10.2	10.9	8.5	-6.5	-8.5	-3.7	-6.4	0.0	3.6	5.0	2.9

ตารางที่ 21 เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายใน วันที่ 15-17 สิงหาคม

ค่า วันที่ หลังคา	อุณหภูมิสูงสุด (°C)				อุณหภูมิต่ำสุด (°C)				อุณหภูมิเฉลี่ย 9.00-18.00 น.			
	15	16	17	เฉลี่ย 3 วัน	15	16	17	เฉลี่ย 3 วัน	15	16	17	เฉลี่ย 3 วัน
ค.ส.ล.	43.6	44.9	41.7	43.4	31.4	32.9	31.4	31.9	39.2	40.8	37.6	39.2
มาเลเซีย 10	39.1	40.2	39.3	39.6	32.3	33.6	33.6	33.2	36.9	38.2	37.4	37.5
ผลต่าง	4.5	4.7	2.4	3.8	-0.9	-0.7	-2.2	-1.3	2.3	2.6	0.2	1.7
ผลต่างเป็น %	10.3	10.5	5.8	8.8	-2.9	-2.1	-7.0	-4.1	5.9	6.4	0.5	4.3
นวนน้อย 10	38.9	39.9	39.0	39.3	32.2	33.4	33.4	33.0	36.7	37.9	37.2	37.3
ผลต่าง	4.7	5	2.7	4.1	-0.8	-0.5	-2	-1.1	2.5	2.9	0.4	1.9
ผลต่างเป็น %	10.8	11.1	6.5	9.4	-2.5	-1.5	-6.4	-3.4	6.4	7.1	1.1	4.8
มาเลเซีย 20	39.3	40.4	40.0	39.9	33.6	34.7	34.9	34.4	37.6	38.7	38.6	38.3
ผลต่าง	4.3	4.5	1.7	3.5	-2.2	-1.8	-3.5	-2.5	1.6	2.1	-1	0.9
ผลต่างเป็น %	9.9	10.0	4.1	8.1	-7.0	-5.5	-11.1	-7.8	4.1	5.1	-2.7	2.3
นวนน้อย 20	38.2	39.1	38.7	38.7	32.5	33.5	33.6	33.2	36.6	37.7	37.4	37.2
ผลต่าง	5.4	5.8	3	4.7	-1.1	-0.6	-2.2	-1.3	2.6	3.1	0.2	2
ผลต่างเป็น %	12.4	12.9	7.2	10.8	-3.5	-1.8	-7.0	-4.1	6.6	7.6	0.5	5.1

ตารางที่ 22 เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายใน วันที่ 15-17 ธันวาคม

ค่า วันที่ หลังคา	อุณหภูมิสูงสุด (°C)				อุณหภูมิต่ำสุด (°C)				อุณหภูมิเฉลี่ย 9.00-18.00 น.			
	15	16	17	เฉลี่ย 3 วัน	15	16	17	เฉลี่ย 3 วัน	15	16	17	เฉลี่ย 3 วัน
ค.ส.ล.	42.1	41.9	37.1	40.4	32.6	31.4	29.8	31.2	38.7	38.0	33.8	36.8
มาเลเซีย 10	41.0	40.9	36.5	39.4	35.1	34.2	33.3	34.2	39.1	38.6	35.1	37.6
ผลต่าง	1.1	1	0.6	1	-2.5	-2.8	-3.5	-3	-0.4	-0.6	-1.3	-0.8
ผลต่างเป็น %	2.6	2.4	1.6	2.5	-7.7	-8.9	-11.7	-9.6	-1.0	-1.6	-3.8	-2.2
นวนน้อย 10	40.8	40.7	36.3	39.3	34.9	34.1	33.3	34.1	39.0	38.5	35.0	37.5
ผลต่าง	1.3	1.2	0.8	1.1	-2.3	-2.7	-3.5	-2.9	-0.3	-0.5	-1.2	-0.7
ผลต่างเป็น %	3.1	2.9	2.2	2.7	-7.1	-8.6	-11.7	-9.3	-0.8	-1.3	-3.6	-1.9
มาเลเซีย 20	42.2	42.3	38.4	40.9	36.7	36.3	35.9	36.3	40.7	40.5	37.4	39.5
ผลต่าง	-0.1	-0.4	-1.3	-0.5	-4.1	-4.9	-6.1	-5.1	-2	-2.5	-3.6	-2.7
ผลต่างเป็น %	-0.2	-1.0	-3.5	-1.2	-12.6	-15.6	-20.5	-16.3	-5.2	-6.6	-10.7	-7.3
นวนน้อย 20	40.8	40.8	36.8	39.5	35.3	34.7	34.1	34.7	39.3	39.0	35.7	38.0
ผลต่าง	1.3	1.1	0.3	0.9	-2.7	-3.3	-4.3	-3.5	-0.6	-1	-1.9	-1.2
ผลต่างเป็น %	3.1	2.6	0.8	2.2	-8.3	-10.5	-14.4	-11.2	-1.6	-2.6	-5.6	-3.3

* หมายเหตุ

1. ค่าอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุด คัดจากช่วงเวลาตลอด 24 ชม.
2. ค่าผลต่าง คัดจากค่าที่ได้จากหลังคา ค.ส.ล. ลบด้วยค่าจากหลังคาชนิดอื่นๆ เพื่อดูว่าอุณหภูมิ ลดลงจากหลังคา ค.ส.ล. เท่าไร ในกรณีที่ค่าติดลบแสดงว่า ค่าที่ได้จากหลังคาชนิดนั้นสูงกว่า หลังคา ค.ส.ล.
3. ผลต่างเป็น % คัดจากสูตร ค่าผลต่าง x100 หารด้วยค่าต้นจากหลังคา ค.ส.ล.

ผลการทดลองเปรียบเทียบอุณหภูมิอุณหภูมิกาศภายใน

เดือนเมษายน

เมื่อเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิกาศภายในของเดือนเมษายนพบว่า ค่าอุณหภูมิจนเฉลี่ยในช่วงเวลากลางวัน (9.00-18.00 น.) ของหลังคาหญ้าฉนวนน้อยดิน 10 ซม. จะมีค่าผลต่างเฉลี่ย 3 วัน มากที่สุด คือต่ำกว่าหลังคา ค.ส.ล. ประมาณ 1.3°C หรือลดลง 3.5 % รองลงมาคือ หลังคาหญ้ามาเลเซียดิน 10 ซม. มีค่าต่ำกว่าหลังคา ค.ส.ล. ประมาณ 1.2°C หรือลดลง 3.2 %

เดือนสิงหาคม

เมื่อเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิกาศภายในของเดือนสิงหาคมพบว่า ค่าอุณหภูมิจนเฉลี่ยในช่วงเวลากลางวัน (9.00-18.00 น.) ของหลังคาหญ้าฉนวนน้อยดิน 20 ซม. จะมีค่าผลต่างเฉลี่ย 3 วัน มากที่สุด คือต่ำกว่าหลังคา ค.ส.ล. ประมาณ 2.0°C หรือลดลง 5.1 % รองลงมาคือ หลังคาหญ้าฉนวนน้อยดิน 10 ซม. มีค่าต่ำกว่าหลังคา ค.ส.ล. ประมาณ 1.9°C หรือลดลง 4.8 %

เดือนธันวาคม

เมื่อเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิกาศภายในของเดือนธันวาคมพบว่า ค่าอุณหภูมิจนเฉลี่ยในช่วงเวลากลางวัน (9.00-18.00 น.) ของหลังคาหญ้าฉนวนน้อยดิน 10 ซม. จะมีค่าผลต่างเฉลี่ย 3 วัน มากที่สุด คือสูงกว่าหลังคา ค.ส.ล. 0.7°C หรือเพิ่มขึ้น 1.9 % รองลงมาคือ หลังคาหญ้ามาเลเซียดิน 10 ซม. มีค่าสูงกว่าหลังคา ค.ส.ล. 0.8°C หรือเพิ่มขึ้น 2.2 %

สรุปผลการทดลองที่ 3

จากการทดลองเปรียบเทียบหลังคาทั้ง 5 ชนิด ที่จำลองด้วยโปรแกรม EnergyPlus ในกรณีไม่ปรับอากาศ สามารถสรุปผลได้ดังนี้

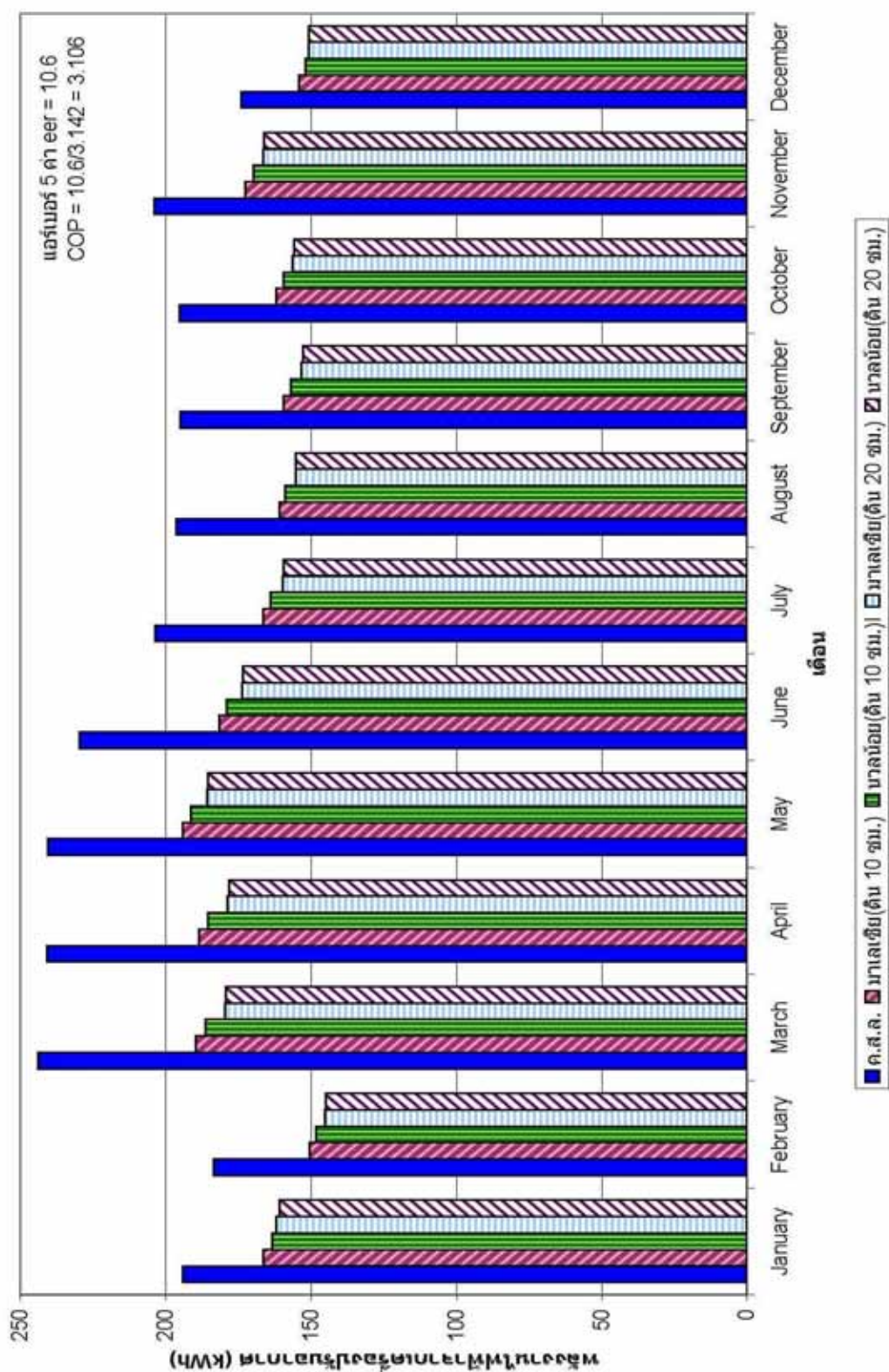
หลังคาห้านวลน้อยซึ่งมีค่าดัชนีพื้นที่ใบมากกว่าหลังคาหญ้ามาเลเซีย สามารถลดอุณหภูมิที่ผิวหลังคาภายนอกได้ดีที่สุดในช่วงเวลากลางวัน (9.00-18.00 น.) ของทั้ง 3 เดือน ซึ่งอาจเป็นเพราะการมีร่มเงาของใบมากกว่า ทำให้สามารถสร้างร่มเงาให้กับผิวหลังคาด้านนอก ทำให้มีค่าอุณหภูมิผิวด้านนอกต่ำกว่าหลังคาชนิดอื่นๆ ดังนั้นปริมาณและขนาดของใบจึงเป็นตัวแปรที่สำคัญสำหรับการลดอุณหภูมิผิวด้านนอกของหลังคา

ส่วนของค่าอุณหภูมิผิวใต้หลังคานั้นพบว่า หลังคาห้านวลน้อยซึ่งมีค่าดัชนีพื้นที่ใบมากกว่าหลังคาหญ้ามาเลเซีย สามารถลดอุณหภูมิที่ผิวใต้หลังคาได้ดีที่สุดในช่วงเวลากลางวัน (9.00-18.00 น.) ของทั้ง 3 เดือน แต่จะมีตัวแปรในเรื่องความลึกของดินปลูกเข้ามาเกี่ยวข้อง คือในเดือนเมษายน ซึ่งเป็นฤดูร้อน และเดือนสิงหาคม ซึ่งเป็นฤดูฝน หลังคาห้านวลน้อยที่มีความลึกดินปลูก 20 ซม. จะมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ย 3 วัน ต่ำกว่าความลึกดินปลูก 10 ซม. ส่วนในเดือนธันวาคมซึ่งเป็นฤดูหนาว หลังคาห้านวลน้อยที่มีความลึกดินปลูก 10 ซม. จะมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ย 3 วัน ต่ำกว่าความลึกดินปลูก 20 ซม. ซึ่งหมายความว่าดินปลูกที่หนากว่า สามารถหน่วงความร้อนเข้าสู่ภายในอาคารได้ดีในฤดูร้อน

ในส่วนค่าอุณหภูมิอากาศภายในนั้นก็เช่นกัน หลังคาห้านวลน้อยซึ่งมีค่าดัชนีพื้นที่ใบมากกว่าหลังคาหญ้ามาเลเซีย สามารถลดอุณหภูมิอากาศภายในห้องได้ดีที่สุดเช่นเดียวกัน

ดังนั้นจึงพอสรุปได้ว่าในกรณีอาคารไม่ปรับอากาศนั้น หลังคาห้านวลน้อย ซึ่งมีค่าดัชนีพื้นที่ใบ (Leaf area index) มากกว่าหญ้ามาเลเซีย สามารถลดอุณหภูมิภายในอาคารในช่วงเวลากลางวัน (9.00-18.00 น.) ได้ดีกว่า

4. ผลการทดลองที่ 4 การศึกษาประสิทธิภาพในการนำ Green roof มาใช้ เพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าจากเครื่องปรับอากาศ โดยการใช้โปรแกรม Energyplus



แผนภูมิที่ 25 เปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องปรับอากาศ ของหลังคาชนิดต่างๆ

จากแผนภูมิที่ 25 จะเห็นได้ว่าค่าพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องปรับอากาศของห้องที่ใช้หลังคาหญ้ามาเลเซีย และห้ฐานวล์น้อย ดินปลูก 20 ซม. จะมีค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำกว่าหลังคาที่ใช้ดินปลูก 10 ซม. ซึ่งจากแผนภูมิที่ 25 นี้ จึงได้นำไปคำนวณหาค่าไฟฟ้าต่อปี ซึ่งการหาอัตราค่าไฟฟ้าต่อหน่วยของอาคารประเภทสำนักงาน ได้นำข้อมูลมาจากค่าไฟฟ้าที่ใช้จริงจากสำนักงานแห่งหนึ่งในกรุงเทพมหานคร (ขออนุญาตสงวนนาม) ในระยะเวลา 3 เดือน โดยนำข้อมูลจำนวนหน่วยที่ใช้ต่อเดือน และจำนวนเงินต่อเดือน มาหาเป็นค่าไฟต่อหน่วย มีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 23 แสดงค่าไฟฟ้าต่อเดือนของอาคารสำนักงานแห่งหนึ่งใน กทม. (ไม่ประสงค์ออกนาม)

เดือน	หน่วย (Units)	ค่าไฟฟ้า (บาท)	ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย/หน่วย (บาท)
มิถุนายน 2552	38,000	136,887.21	3.60
กรกฎาคม 2552	49,000	174,354.65	3.55
สิงหาคม 2552	57,000	193,514.92	3.39
เฉลี่ย 3 เดือน	48,000	168,252.26	3.51

ดังนั้นจากตารางที่ 23 ค่าไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหน่วยของอาคารสำนักงาน = 3.51 บาท/หน่วย โดยประมาณ

และเมื่อนำไปคำนวณหาค่าไฟต่อปี ได้ผลดังนี้ (ดูตารางที่ 24)

ตารางที่ 24 เปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องปรับอากาศ ของหลังคาชนิดต่างๆ

หลังคา เดือน	ค.ส.ล.	มาเลเซีย ดินปลูก 10 ซม.			นวน้อย ดินปลูก 10 ซม.			มาเลเซีย ดินปลูก 20 ซม.			นวน้อย ดินปลูก 20 ซม.		
		หน่วย	ผลต่าง	(%)	หน่วย	ผลต่าง	(%)	หน่วย	ผลต่าง	(%)	หน่วย	ผลต่าง	(%)
มกราคม	194.3	166.6	27.7	14.3	163.3	31.0	16.0	162.1	32.2	16.6	160.8	33.5	17.2
กุมภาพันธ์	183.5	150.6	32.9	17.9	148.2	35.3	19.2	145.2	38.3	20.9	145.1	38.5	21.0
มีนาคม	243.9	189.7	54.2	22.2	186.2	57.7	23.7	179.8	64.2	26.3	179.3	64.6	26.5
เมษายน	240.8	188.5	52.3	21.7	185.5	55.3	23.0	178.8	62.0	25.7	178.4	62.4	25.9
พฤษภาคม	240.7	194.3	46.4	19.3	191.4	49.4	20.5	185.9	54.9	22.8	185.5	55.3	23.0
มิถุนายน	229.7	181.6	48.1	20.9	179.1	50.7	22.1	173.7	56.0	24.4	173.4	56.3	24.5
กรกฎาคม	203.6	166.4	37.2	18.3	163.9	39.7	19.5	159.8	43.8	21.5	159.5	44.2	21.7
สิงหาคม	196.4	161.0	35.4	18.0	159.0	37.4	19.1	155.4	41.0	20.9	155.2	41.2	21.0
กันยายน	194.9	159.4	35.5	18.2	157.0	38.0	19.5	153.2	41.7	21.4	152.9	42.1	21.6
ตุลาคม	195.5	162.1	33.4	17.1	159.5	35.9	18.4	156.4	39.1	20.0	156.0	39.5	20.2
พฤศจิกายน	204.1	172.5	31.5	15.5	169.8	34.3	16.8	166.6	37.4	18.3	166.4	37.7	18.5
ธันวาคม	174.2	154.2	19.9	11.4	152.0	22.2	12.7	150.7	23.4	13.5	150.8	23.4	13.4
รวม	2501.7	2047.0	454.7	18.2	2014.8	486.9	19.5	1967.7	534.1	21.3	1963.0	538.7	21.5
เฉลี่ย/เดือน (kWh)	208.5	170.6	37.9	1.5	167.9	40.6	1.6	164.0	44.5	1.8	163.6	44.9	1.8
ค่าไฟฟ้า (บาท)	8,780.9	7,184.9	1596.0	18.2	7,071.9	1709.0	19.5	6,906.6	1874.3	21.3	6,890.1	1890.8	21.5

ผลการทดลอง

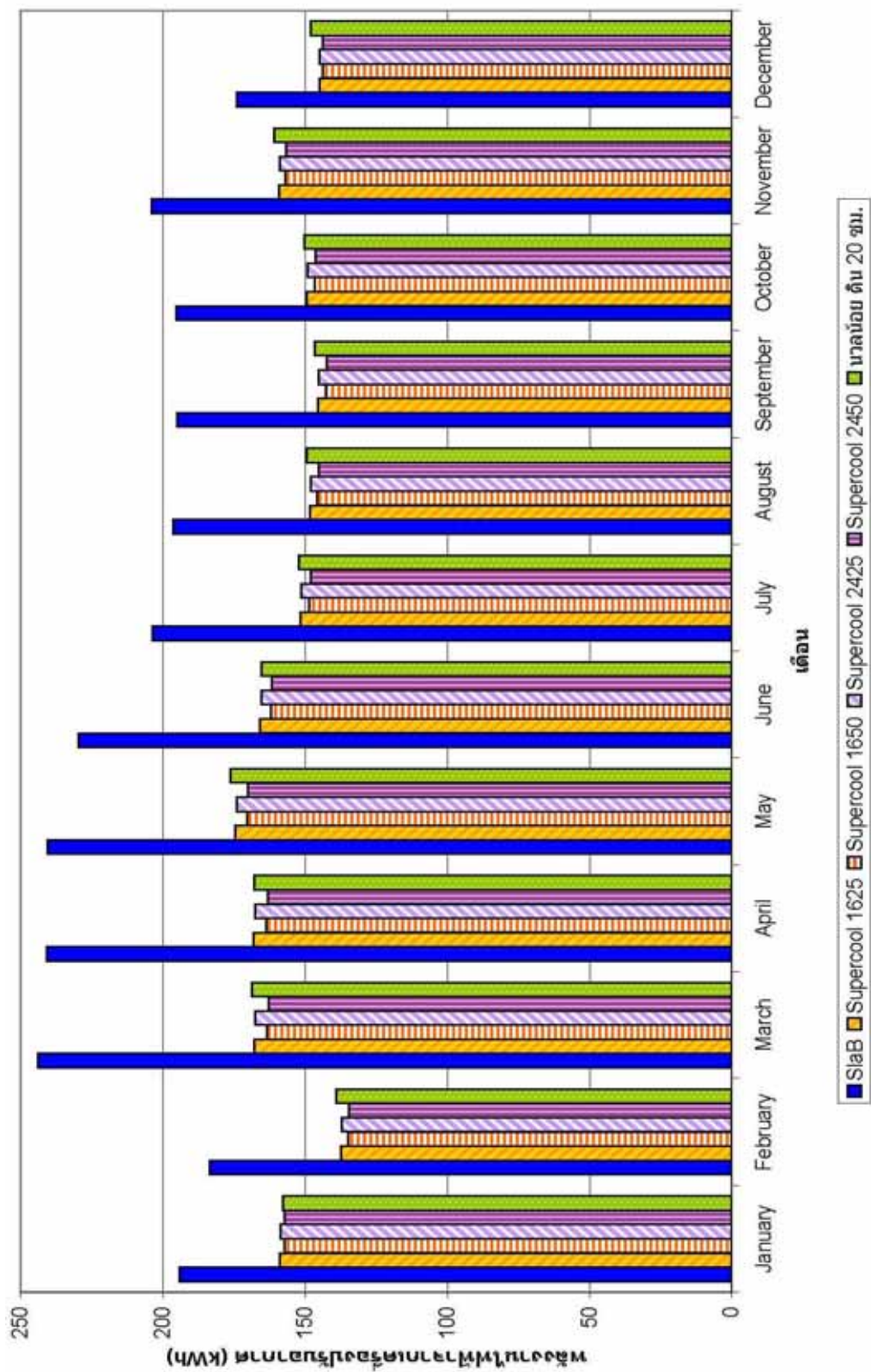
จากแผนภูมิที่ 25 พบว่า ค่าพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องปรับอากาศของห้องที่ใช้หลังคา ฐานวอลน้อย ดินปลูก 20 ซม. จะมีค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยที่สุด รองลงมาคือหลังคาฐาน มาเลเซียดิน 20 ซม. หลังคาฐานวอลน้อยดิน 10 ซม. และหลังคาฐานมาเลเซียดิน 10 ซม. ตามลำดับ จากนั้นจึงนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาค่าไฟต่อปีต่อ ดังแสดงในตารางที่ 24 (รายละเอียด วิธีคิดค่าไฟ แสดงรายละเอียดในบทที่ 3)

ซึ่งจากผลการคิดค่าไฟในตารางที่ 24 พบว่า ค่าพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องปรับอากาศ ของห้องที่ใช้หลังคาฐานวอลน้อย ดินปลูก 20 ซม. จะมีค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยที่สุด คือ ลดลงจากหลังคา ค.ส.ล. 21.5 % ต่อปี รองลงมาคือหลังคาฐานมาเลเซียดิน 20 ซม. ลดลงจาก หลังคา ค.ส.ล. 21.3 % หลังคาฐานวอลน้อยดิน 10 ซม. ลดลงจากหลังคา ค.ส.ล. 19.5 % และ หลังคาฐานมาเลเซียดิน 10 ซม. ลดลงจากหลังคา ค.ส.ล. 18.2 % ตามลำดับ

สรุปผลการทดลองที่ 4

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ความลึกของดินปลูกเป็นตัวแปรที่สำคัญ เมื่อ อาคารมีการใช้เครื่องปรับอากาศ โดยสังเกตได้ว่า หลังคาที่มีความลึกดินปลูกมากกว่า จะมีค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำกว่า ในขณะที่ ในการทดลองที่ 3 (กรณีไม่ปรับอากาศ) ค่าดัชนีพื้นที่ใบจะเป็น ตัวแปรที่ส่งผลต่อค่าอุณหภูมิในอาคารมากกว่า

5. ผลการทดลองที่ 5 การศึกษาระยะเวลาในการคืนทุนในการใช้ Green roof
เปรียบเทียบกับการใช้ฉนวนหลังคาทั่วไป



แผนภูมิที่ 26 เปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องปรับอากาศ ของหลังคาที่ใช้ฉนวนชนิดต่างๆ กับหลังคาหุ้มฉนวนน้อย ดิน

จากแผนภูมิที่ 26 จะเห็นได้ว่าค่าพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องปรับอากาศของห้องที่ใช้หลังคาห้วยนวน้อย ดินปลูก 20 ซม. จะมีค่าใกล้เคียงกับ ห้องที่ใช้ฉนวนที่มีความหนา 1" ดังนั้น เพื่อศึกษาความเหมาะสมในการนำมาใช้ จึงต้องทำการศึกษาเปรียบเทียบความคุ้มค่าต่อไป โดยใช้ข้อมูล ราคา/ตร.ม. จากตารางที่ 25

ตารางที่ 25 เปรียบเทียบราคาค่าวัสดุและค่าแรงติดตั้งต่อตร.ม. ระหว่างการใช้ฉนวนกับการใช้หลังคาปลูกหญ้า (ดิน 20 ซม.)

ประเภท	ราคา (บาท)/ตร.ม.	รายละเอียด
ฉนวนหนา 1" Density 16 (Kg/m ³)	390	ราคารวมงานฝ้าเพดาน
ฉนวนหนา 1" Density 24 (Kg/m ³)	425	ราคารวมงานฝ้าเพดาน
ฉนวนหนา 2" Density 16 (Kg/m ³)	460	ราคารวมงานฝ้าเพดาน
ฉนวนหนา 2" Density 24 (Kg/m ³)	559	ราคารวมงานฝ้าเพดาน
Green roof	5,000	ราคาประมาณการทั้งระบบ

* หมายเหตุ

1. ราคาลังคา green roof เป็น rate มาตรฐานของประเทศสหรัฐอเมริกา
2. ราคาลังคาปูฉนวน คัดรวมงานฝ้าเพดานด้วย
3. ราคาสวัสดุทุกประเภท เป็นราคา ณ วันที่ 28 กันยายน 2552

จากตารางที่ 25 จึงได้นำค่าวัสดุและค่าแรงต่อตร.ม. ของหลังคาแต่ละชนิดมาคำนวณหาความคุ้มค่า ดังนี้

การคิดระยะเวลาคืนทุนของ Green roof สามารถคิดได้จากสูตร

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน (ปี)} = Ca / (Cb - Cc)$$

เมื่อ Ca = ต้นทุนของหลังคา Green roof (บาท)

Cb = ค่าไฟฟ้าของอาคารหลังคา ค.ส.ล. ใน 1 ปี (บาท)

Cc = ค่าไฟฟ้าของอาคารที่ใช้ Green roof ใน 1 ปี (บาท)

การคิดระยะเวลาคืนทุนของอาคารที่ใช้ฉนวนหลังคา สามารถคิดได้จากสูตร

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน (ปี)} = Ca / (Cb - Cc)$$

เมื่อ Ca = ต้นทุนของฉนวนหลังคา (บาท)

Cb = ค่าไฟฟ้าของอาคารหลังคา ค.ส.ล. ใน 1 ปี (บาท)

Cc = ค่าไฟฟ้าของอาคารที่ใช้ฉนวนหลังคาใน 1 ปี (บาท)

โดยต้นทุนของหลังคา คิดจากพื้นที่ของห้องทำงานที่ทำการจำลองด้วย EnergyPlus คือ 4.00x6.00 ม. = 24 ตร.ม. คูณด้วยราคาต่อ ตร.ม. ของหลังคา แสดงผลดังตารางที่ 25

ตารางที่ 26 เปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องปรับอากาศ ของหลังคาที่ใช้ฉนวนชนิดต่างๆ กับหลังคา Green roof

หลังคา เดือน	ค.ส.ล.	ฉนวน 1" Density 16			ฉนวน 1" Density 24			ฉนวน 2" Density 16			ฉนวน 2" Density 24			ฉนวนน้อย ดิน 20 ซม.		
		หน่วย	ผลต่าง	ผลต่าง (%)	หน่วย	ผลต่าง	ผลต่าง (%)	หน่วย	ผลต่าง	ผลต่าง (%)	หน่วย	ผลต่าง	ผลต่าง (%)	หน่วย	ผลต่าง	ผลต่าง (%)
มกราคม	194.3	158.9	35.4	18.2	158.8	35.5	18.3	157.4	36.9	19.0	157.2	37.1	19.1	157.9	36.4	18.7
กุมภาพันธ์	183.5	137.5	46.0	25.1	137.2	46.3	26.2	134.9	48.6	26.5	134.6	49.0	26.7	139.1	44.5	24.2
มีนาคม	243.9	168.0	75.9	31.1	167.5	76.4	31.3	163.4	80.5	33.0	162.9	81.1	33.2	168.7	75.2	30.8
เมษายน	240.8	168.2	72.6	30.1	167.7	73.1	30.3	163.7	77.1	32.0	163.1	77.7	32.3	168.0	72.8	30.2
พฤษภาคม	240.7	174.6	66.1	27.5	174.2	66.6	27.6	170.5	70.2	29.2	170.0	70.7	29.4	176.2	64.5	26.8
มิถุนายน	229.7	165.9	63.8	27.8	165.4	64.3	28.0	162.1	67.6	29.4	161.6	68.1	29.6	165.5	64.2	27.9
กรกฎาคม	203.6	151.8	51.9	25.5	151.4	52.2	25.7	148.5	55.2	27.1	148.1	55.6	27.3	152.3	51.3	25.2
สิงหาคม	196.4	148.4	48.0	24.4	148.1	48.3	24.6	145.7	50.8	25.8	145.3	51.1	26.0	149.4	47.1	24.0
กันยายน	194.9	145.5	49.5	25.4	145.2	49.8	25.5	142.7	52.3	26.8	142.3	52.6	27.0	146.6	48.4	24.8
ตุลาคม	195.5	149.5	45.9	23.5	149.2	46.3	23.7	146.7	48.7	24.9	146.4	49.1	25.1	150.3	45.2	23.1
พฤศจิกายน	204.1	159.3	44.8	22.0	159.0	45.1	22.1	156.9	47.2	23.1	156.6	47.5	23.3	160.8	43.2	21.2
ธันวาคม	174.2	145.1	29.1	16.7	144.9	29.2	16.8	144.0	30.2	17.3	143.8	30.3	17.4	148.1	26.1	15.0
รวม (kWh)	2,501.7	1,872.6	629.1	25.1	1,868.6	633.1	25.3	1836.4	665.3	26.6	1832.0	669.8	26.8	1,882.9	618.8	24.7
ค่าไฟ/ปี (3.51บาท/ หน่วย)	8,781.0	6,573.0	2,208.0		6,558.8	2,222.2		6445.7	2335.3		6430.1	2350.9		6,609.1	2,171.9	
ต้นทุน หลังคา (บาท / 24 ตร.ม.)		9,360			10,200			11,040			13,416			120,000		
ระยะเวลา คืนทุน(ปี)		4.2			4.5			4.7			5.7			55.2		

สรุปผลการทดลองที่ 5

จากตารางที่ 26 จะเห็นว่า หลังคาที่ใช้ฉนวนหนา 1" Density 16 kg/m³ จะมีระยะเวลาในการคืนทุนสั้นที่สุด คือ 4.2 ปี ส่วนหลังคา Green roof แบบเต็มระบบนั้น มีระยะเวลาคืนทุนถึง 55.2 ปี ซึ่งถือว่านานมาก ซึ่งหากทำ Green roof แบบไม่เต็มระบบมากนัก โดยตัดชั้นที่มีราคาสูงออกบางส่วน และใช้แผ่นหลังคา Solar slab ปูเพื่อนระบายน้ำก่อน ตามด้วยระบบกันซึม และชั้นวัสดุปลูก ก็อาจช่วยลดต้นทุนหลังคาลงและทำให้ระยะเวลาคืนทุนสั้นลงได้บ้าง แต่ก็ยังไม่น่าจะคุ้มค่า หากพิจารณาถึงประสิทธิผลในแง่ของการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าซึ่งได้ผลใกล้เคียงกับการใช้ฉนวน แต่ก่อสร้างยากกว่า และมีค่าใช้จ่ายสูงกว่ามาก

แต่สิ่งที่ได้รับกลับมาจากการใช้ Green roof นั้น มีค่ามากกว่าเพียงแค่การดูที่ความคุ้มทุนเท่านั้น หากแต่ยังเป็นการเพิ่มพื้นที่สีเขียวให้กับเมืองและสิ่งแวดล้อม อีกทั้งยังเป็นการเริ่มต้นสร้างจิตสำนึกและเสนอทางเลือกสำหรับการออกแบบที่ช่วยประหยัดพลังงานและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งเป็นสิ่งที่สำคัญที่ต้องคำนึงถึงสำหรับนักออกแบบ สถาปนิก ภูมิสถาปนิก และทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้อง นอกเหนือไปจากการออกแบบเพื่อความงามและประโยชน์ใช้สอยเท่านั้น

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

1. สรุปผลการวิจัย

จากวัตถุประสงค์ในการศึกษา เกี่ยวกับรูปแบบของหลังคา Green roof ซึ่งเหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศในประเทศไทย โดยศึกษาความหนาของดินปลูกและชนิดของพืชพันธุ์ที่อยู่บนหลังคา ที่มีผลต่ออุณหภูมิภายในห้อง อุณหภูมิผิวใต้เพดาน และการใช้พลังงานปรับอากาศภายในอาคาร เพื่อเสนอแนะแนวทางในการออกแบบหลังคา Green roof ให้มีความเหมาะสม

วิธีการวิจัยเริ่มจาก การเก็บรวบรวมข้อมูลจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง เพื่อใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้น เช่น ทฤษฎีหรืองานวิจัย ที่เกี่ยวข้องกับ Green roof ทั้งในประเทศและต่างประเทศ และศึกษาข้อมูลตัวอย่าง จากอาคารกรณีศึกษา จากนั้นจึงกำหนดตัวแปรที่ใช้ในการวิจัย และกำหนดวิธีการทดลอง คือ ทำการสร้างหุ่นจำลอง Green roof เพื่อทำการเก็บข้อมูลจริง และทำการจำลอง Green Roof ด้วยโปรแกรม EnergyPlus

ซึ่งจากผลการทดลองในบทที่ 4 สามารถสรุปผลได้ดังนี้

การทดลองที่ 1 การศึกษาประสิทธิภาพในการใช้หลังคาปลูกต้นไม้ในการป้องกันความร้อนเข้าสู่อาคารผ่านทางหลังคา กรณีไม่ปรับอากาศ ทดลองโดยการสร้างกล่องทดลองจริง

จากการศึกษาพบว่า การใช้หลังคาปลูกต้นไม้กับอาคารที่ไม่มีการใช้เครื่องปรับอากาศ สามารถช่วยลดอุณหภูมิผิวใต้หลังคาและอุณหภูมิอากาศภายในอาคารในช่วงเวลากลางวันได้ดีกว่าหลังคา ค.ส.ล. ซึ่งหลังคาที่มีค่าอุณหภูมิต่ำที่สุดคือ หลังคาห้วยฉลวยน้อย ดินปลูก 10 ซม. มีค่าอุณหภูมิผิวใต้หลังคาเฉลี่ยในช่วงเวลากลางวัน ลดลงไปถึง 7.3°C หรือประมาณ 23.7% ส่วนค่าอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ยลดลงไป 2.4°C หรือประมาณ 8.5%

ส่วนในเวลากลางคืนนั้นหลังคา ค.ส.ล. จะมีอุณหภูมิผิวใต้หลังคา และอุณหภูมิอากาศภายในอาคารต่ำกว่าหลังคาปลูกต้นไม้ทุกชนิด

และเมื่อนำหลังคาปลูกหญ้าทั้ง 3 ชนิด คือ หลังคาหญ้ามาเลเซีย ดินปลูก 10 ซม. หลังคาหญ้าฉลวยน้อย ดินปลูก 10 ซม. และหลังคาหญ้ามาเลเซีย ดินปลูก 20 ซม. มาเปรียบเทียบ

กัน พบว่า หลังคาห้วยน้ำน้อย ดินปลูก 10 ซม. มีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิผิวใต้หลังคาและอุณหภูมิอากาศภายใน ต่ำที่สุด

ดังนั้นจากผลการทดลอง สรุปได้ว่า การใช้สิ่งปกคลุมดิน เช่น หญ้า จะช่วยป้องกันความร้อนให้กับผิวดินได้ดี หญ้าหรือพืชคลุมดินจะเป็นเสมือนฉนวนป้องกันความร้อนให้กับผิวดิน และส่งผลให้อุณหภูมิผิวใต้หลังคาอาคาร และอุณหภูมิอากาศภายในอาคารลดต่ำลง

นอกจากนี้เมื่อดูจากผลการทดลอง พบว่า ค่าดัชนีพื้นที่ใบใบพืช (Leaf Area Index) เป็นตัวแปรที่มีความสำคัญต่อการลดความร้อนที่จะเข้าสู่อาคาร เนื่องจากใบพืชที่มีความหนาแน่นมากกว่า สามารถให้ร่มเงากับอาคารได้ดีกว่า เป็นการช่วยลดความร้อนจากแสงอาทิตย์ ส่วนค่าความลึกของดินปลูกมีส่วนในการป้องกันความร้อนที่จะเข้าสู่อาคารได้ดีเช่นกัน แต่เมื่อดูจากผลการทดลองแล้ว พบว่า ประสิทธิภาพของหลังคาห้วยน้ำที่มีค่า LAI มากกว่า สามารถลดอุณหภูมิผิวภายในได้มากกว่าหลังคาห้วยน้ำที่มีค่า LAI เท่ากัน แต่มีดินปลูกหนากว่า

การทดลองที่ 2 การศึกษาประสิทธิภาพจากการใช้โปรแกรม EnergyPlus ในการจำลองหลังคาปลูกต้นไม้ เพื่อเปรียบเทียบกับการใช้กล่องทดลองจริง

จากการทดลองที่ 1 เมื่อนำมาศึกษาต่อโดยทำการจำลองด้วยโปรแกรม EnergyPlus เพื่อเปรียบเทียบผลการทดลอง พบว่า

จากการใช้โปรแกรม EnergyPlus ในการจำลอง ได้ผลใกล้เคียงกับการใช้กล่องทดลองจริงพอสมควร โดยเฉพาะค่าอุณหภูมิผิวใต้หลังคาและค่าอุณหภูมิอากาศภายใน ในช่วงเวลากลางวัน (9.00-18.00 น.) จะมีค่าใกล้เคียงกับกล่องทดลองจริงมาก โดย หลังคา ค.ส.ล. จะมีค่าความแตกต่างกันมากที่สุดเฉลี่ยในช่วงเวลากลางวัน ไม่เกิน 1.7 °C หรือ 5.5% เท่านั้น

ในส่วน of ค่าอุณหภูมิผิวภายนอกเฉลี่ย ของกล่องหลังคาทั้ง 4 ชนิด จะมีค่าอุณหภูมิที่ได้จากกล่องทดลองจริงและ EnergyPlus ต่างกันมากกว่าค่าอุณหภูมิผิวใต้หลังคาและค่าอุณหภูมิอากาศภายในกล่อง โดยจะมีค่าความแตกต่างกันมากที่สุด เฉลี่ยในช่วงเวลากลางวัน ไม่เกิน 2.5 °C หรือ 8.4%

ซึ่งสาเหตุที่ค่าอุณหภูมิผิวภายนอกของหลังคาเมื่อเปรียบเทียบกับระหว่างกล่องทดลองจริงกับ EnergyPlus มีความแตกต่างกันมากกว่าค่าอุณหภูมิผิวใต้หลังคาและค่าอุณหภูมิอากาศภายใน อาจเป็นเพราะในกล่องทดลองจริงนั้นได้ทำการวัดอุณหภูมิผิวภายนอกที่บริเวณผิวหญ้า

ซึ่งปลายสายที่วัดอาจได้รับร่วมน้ำจากใบหญ้า ซึ่งไม่สามารถระบุได้ว่าโปรแกรม EnergyPlus นั้นได้มีการคำนวณในส่วนนี้หรือไม่

แต่เนื่องจากในการศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพของการใช้ Green roof เพื่อลดความร้อนและการใช้พลังงานภายในอาคาร ดังนั้นจึงน่าจะมุ่งเน้นไปที่ค่าอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในห้องเป็นหลัก ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิผิวใต้หลังคา กับอุณหภูมิอากาศภายในระหว่างกล่องทดลองจริงกับการจำลองด้วยโปรแกรม EnergyPlus แล้ว มีค่าใกล้เคียงกันมาก คือมีความแตกต่างกันไม่เกิน 5.5% เท่านั้น

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า การใช้โปรแกรม EnergyPlus ในการจำลอง Green roof ได้ผลใกล้เคียงกับการใช้กล่องทดลองจริงมากพอสมควร จึงจะสามารถนำโปรแกรม EnergyPlus ไปใช้ในการศึกษาประสิทธิภาพของ Green roof ต่อไปได้

การทดลองที่ 3 การศึกษาประสิทธิภาพในการใช้หลังคาปลูกต้นไม้ในการป้องกันความร้อนเข้าสู่อาคารผ่านทางหลังคา โดยการใช้โปรแกรม EnergyPlus

จากการจำลองห้องทำงานในอาคารสำนักงาน ด้วยโปรแกรม EnergyPlus เพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปรในการป้องกันความร้อนเข้าสู่อาคารผ่านทางหลังคา ในกรณีอาคารไม่ปรับอากาศ พบว่า

หลังคาหนาแน่นน้อยซึ่งมีค่าดัชนีพื้นที่ใบมากกว่าหลังคาหญ้ามาเลเซีย สามารถลดอุณหภูมิที่ผิวหลังคาภายนอกได้ดีที่สุดในช่วงเวลากลางวัน (9.00-18.00 น.) ของทั้ง 3 เดือน ซึ่งอาจเป็นเพราะการมีร่วมน้ำของใบมากกว่า ทำให้สามารถสร้างร่วมน้ำให้กับผิวหลังคาด้านนอก ทำให้มีค่าอุณหภูมิผิวด้านนอกต่ำกว่าหลังคาชนิดอื่นๆ ดังนั้นปริมาณและขนาดของใบจึงเป็นตัวแปรที่สำคัญสำหรับการลดอุณหภูมิผิวด้านนอกของหลังคา

ส่วนของค่าอุณหภูมิผิวใต้หลังคานั้นพบว่า หลังคาหนาแน่นน้อยซึ่งมีค่าดัชนีพื้นที่ใบมากกว่าหลังคาหญ้ามาเลเซีย สามารถลดอุณหภูมิที่ผิวใต้หลังคาได้ดีที่สุดในช่วงเวลากลางวัน (9.00-18.00 น.) ของทั้ง 3 เดือน แต่จะมีตัวแปรในเรื่องความลึกของดินปลูกเข้ามาเกี่ยวข้อง คือ ในเดือนเมษายน ซึ่งเป็นฤดูร้อน และเดือนสิงหาคม ซึ่งเป็นฤดูฝน หลังคาหนาแน่นน้อยที่มีความลึกดินปลูก 20 ซม. จะมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ย 3 วัน ต่ำกว่าความลึกดินปลูก 10 ซม. ส่วนในเดือนธันวาคม ซึ่งเป็นฤดูหนาว หลังคาหนาแน่นน้อยที่มีความลึกดินปลูก 10 ซม. จะมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ย 3 วัน ต่ำกว่าหลังคาหนาแน่นน้อยที่มีความลึกดินปลูก 20 ซม.

ในส่วนค่าอุณหภูมิอากาศภายในนั้นก็เช่นกัน หลังคาห้วยฉนวนน้อยซึ่งมีค่าดัชนีพื้นที่ใบมากกว่าหลังคาห้วยมาเลเซีย สามารถลดอุณหภูมิอากาศภายในห้องได้ดีที่สุดเช่นเดียวกัน

ดังนั้นจึงพอสรุปได้ว่า สำหรับอาคารที่ไม่ปรับอากาศ ในกรณีที่ดินปลูกลึกเท่ากัน หลังคาห้วยฉนวนน้อย ซึ่งมีค่าดัชนีพื้นที่ใบ (Leaf area index) มากกว่าห้วยมาเลเซีย ในกรณีที่ดินปลูกลึกเท่ากัน สามารถลดอุณหภูมิภายในอาคารได้ดีกว่า ส่วนความลึกของดินปลูกที่เพิ่มขึ้นในกรณีห้วยฉนวนน้อยเป็นต้น เป็นตัวแปรที่ช่วยเสริมการลดอุณหภูมิภายในอาคารให้ดียิ่งขึ้น

การทดลองที่ 4 การศึกษาประสิทธิภาพในการนำหลังคาปลูกต้นไม้มาใช้ในการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าจากเครื่องปรับอากาศ โดยการจำลองด้วยโปรแกรม Energyplus

จากการจำลองห้องทำงานในอาคารสำนักงาน ด้วยโปรแกรม EnergyPlus เพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปรในการป้องกันความร้อนเข้าสู่อาคารผ่านทางหลังคา ในกรณีอาคารปรับอากาศพบว่า

ค่าพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องปรับอากาศของห้องที่ใช้หลังคาห้วยฉนวนน้อย ดินปลูก 20 ซม. จะมีค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยที่สุด รองลงมาคือหลังคาห้วยมาเลเซียดิน 20 ซม. หลังคาห้วยฉนวนน้อยดิน 10 ซม. และหลังคาห้วยมาเลเซียดิน 10 ซม. ตามลำดับ

ซึ่งจากผลการคิดค่าไฟ พบว่าค่าพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องปรับอากาศของห้องที่ใช้หลังคาห้วยฉนวนน้อย ดินปลูก 20 ซม. จะมีค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยที่สุด คือลดลงจากหลังคา ค.ส.ล. 21.5 % ต่อปี รองลงมาคือหลังคาห้วยมาเลเซียดิน 20 ซม. ลดลงจากหลังคา ค.ส.ล. 21.3 % หลังคาห้วยฉนวนน้อยดิน 10 ซม. ลดลงจากหลังคา ค.ส.ล. 19.5 % และหลังคาห้วยมาเลเซียดิน 10 ซม. ลดลงจากหลังคา ค.ส.ล. 18.2 % ตามลำดับ

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ความลึกของดินปลูกเป็นตัวแปรที่สำคัญ เมื่ออาคารมีการใช้เครื่องปรับอากาศ โดยสังเกตได้ว่า กรณีที่ปลูกพืชชนิดเดียวกัน หลังคาที่มีความลึกดินปลูกมากกว่า จะมีค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำกว่า ในขณะที่หากเป็นอาคารที่ไม่มีการปรับอากาศ ค่าดัชนีพื้นที่ใบจะเป็นตัวแปรที่ส่งผลต่อค่าอุณหภูมิในอาคารมากกว่า (ดังผลการทดลองที่ 3)

การทดลองที่ 5 การศึกษาระยะเวลาในการคืนทุนในการใช้หลังคาปลูกต้นไม้เปรียบเทียบกับการใช้ฉนวนหลังคาทั่วไป

จากผลการศึกษาเปรียบเทียบหลังคาหนาแน่นน้อย ดินปลูก 20 ซม. กับการใช้ฉนวนหุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ หนา 1" ค่า Density 16 Kg/m³ และ 24 Kg/m³ และ ฉนวนหนา 2" ค่า Density 16 Kg/m³ และ 24 Kg/m³ พบว่าหลังคาที่ใช้ฉนวนหนา 1" ค่า Density 16 Kg/m³ จะมีระยะเวลาในการคืนทุนสั้นที่สุด คือ 4.2 ปี ส่วนหลังคา Green roof นั้น มีระยะเวลาคืนทุนถึง 55.2 ปี ซึ่งถือว่านานมาก และไม่น่าจะคุ้มค่า หากพิจารณาถึงประสิทธิผลในแง่ของการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าซึ่งได้ผลใกล้เคียงกับการใช้ฉนวน หนา 1" แต่มีค่าใช้จ่ายสูงกว่ามาก

แต่จากที่ได้กล่าวไปแล้วว่า สิ่งที่ได้รับกลับมาจากการใช้ Green roof นั้น มีค่ามากกว่าเพียงแค่การดูที่ความคุ้มทุนเท่านั้น แต่ยังเป็นการเพิ่มพื้นที่สีเขียวให้กับเมืองและสิ่งแวดล้อม อีกทั้งยังเป็นการเริ่มต้นสร้างจิตสำนึกและเสนอทางเลือกสำหรับการออกแบบที่ช่วยประหยัดพลังงาน และลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งเป็นสิ่งที่สำคัญที่ต้องคำนึงถึงสำหรับนักออกแบบ สถาปนิก ภูมิสถาปนิก และทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้อง

สรุป

จากสมมุติฐานในการวิจัย ที่ตั้งไว้ว่า หลังคาตาดฟ้าอาคารที่มีการใช้พืชพันธุ์และดินปกคลุม จะมีค่าอุณหภูมิที่ผิววัสดุทั้งภายนอกและภายใน และค่าอุณหภูมิอากาศภายในอาคารต่ำกว่าหลังคาตาดฟ้า ค.ส.ล. นั้น พบว่าได้ผลการวิจัยสอดคล้องกับสมมุติฐานข้างต้น

โดยในกล่องทดลองที่ปลูกหญ้าชนิดเดียวกัน หลังคาที่มีความลึกดินปลูกมากกว่า จะมีค่าอุณหภูมิผิวใต้หลังคาและอุณหภูมิอากาศภายในอาคารต่ำกว่าหลังคาที่มีชั้นความลึกดินปลูกน้อยกว่า แต่หากเป็นการปลูกหญ้าต่างชนิดกัน แต่ปลูกในดินที่มีความลึกเท่ากัน หญ้าที่มีความหนาแน่นของใบมากกว่า จะมีผลทำให้อุณหภูมิผิวใต้หลังคาต่ำกว่า

ซึ่งจากผลการทดลองพบว่า ความหนาแน่นใบพืช และความลึกของดินปลูก นอกจากจะมีผลสำคัญต่อการลดความร้อนที่จะเข้าสู่อาคารแล้ว ยังมีผลต่อการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในการปรับอากาศอีกด้วย

ดังนั้น การมีวัสดุปกคลุมหลังคาอาคาร ซึ่งเปรียบเสมือนเป็นการเพิ่มมวลสารและเป็นฉนวนป้องกันความร้อนให้แก่หลังคา ส่งผลให้อุณหภูมิผิวด้านใต้หลังคาต่ำกว่าอาคารที่ปราศจากสิ่งปกคลุม ซึ่งการใช้สิ่งปกคลุมดิน เช่น หญ้า จะช่วยป้องกันความร้อนให้กับผิวดิน เมื่อผิวดินมี

ความเย็นจะมีการเหนี่ยวนำความเย็นลงสู่ดิน หญ้าหรือพืชคลุมดินจะเป็นเสมือนฉนวนป้องกันความร้อนให้กับผิวดิน และส่งผลให้อุณหภูมิผิวดินด้านล่างหลังคาอาคารลดต่ำลง

จึงสรุปได้ว่า หลังคาหญ้าที่มีค่าดัชนีพื้นที่ใบมาก สามารถลดอุณหภูมิภายในอาคารได้ดีกว่าในช่วงเวลากลางวัน ดังนั้น Green roof ที่เหมาะสมกับอาคารที่มีการใช้งานในช่วงเวลานี้ และตั้งอยู่ในภูมิอากาศแบบร้อนชื้น เช่น ประเทศไทย น่าจะปลูกพืชคลุมดินที่มีใบหนาแน่น และประเภทอาคารที่เหมาะสมที่จะใช้งาน Green roof น่าจะเป็นอาคารที่มีการใช้เครื่องปรับอากาศ ที่มีการใช้งานในช่วงเวลากลางวันมากกว่ากลางคืน เช่น อาคารสำนักงาน อาคารเรียนในมหาวิทยาลัย เป็นต้น

2. การนำผลการวิจัยไปประยุกต์ใช้ในงานออกแบบ

1. การใช้พืชที่มีค่าดัชนีพื้นที่ใบ (Leaf Area Index) สูงสามารถช่วยป้องกันความร้อนเข้าสู่อาคารได้ดีกว่าพืชที่มีค่าดัชนีพื้นที่ใบต่ำ ดังนั้นในการออกแบบ Green roof จึงควรเลือกใช้พืชคลุมดิน ที่มีพุ่มใบหนาแน่น

2. การออกแบบ Green roof ให้มีความลึกดินปลูกสูง สามารถช่วยลดอุณหภูมิอากาศภายในอาคารได้ดี เนื่องจากการหน่วงเหนี่ยวนำความร้อนให้เข้าสู่อาคารได้ช้าลง แต่ในทางกลับกันดินปลูกที่หนา ทำให้ความร้อนคายออกสู่ภายนอกอาคารได้ช้าในเวลากลางคืน ดังนั้นการนำไปใช้กับอาคารประเภทที่มีการใช้งานในช่วงเวลากลางคืนจึงอาจไม่เหมาะสม

3. อาคารที่มีการใช้งานเครื่องปรับอากาศในเวลากลางวัน เหมาะสมที่จะใช้ หลังคา Green roof ที่มีความลึกดินปลูกสูง เพื่อช่วงหน่วงความร้อนที่จะเข้ามาในอาคารผ่านทางหลังคา เป็นการช่วยลดภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศได้อีกทางหนึ่ง

3. ข้อจำกัดในการวิจัย

1. การทดลองกับกล่องทดลองจริง มีข้อจำกัดในเรื่องสถานที่ตั้งกล่องทดลอง ซึ่งมีพื้นที่จำกัด ทำให้ไม่สามารถตั้งกล่องให้ห่างกันในระยะที่ไม่เกิดการบังเงากันได้ 100%

2. อุปกรณ์ Data Logger และสายสัญญาณ มีจำนวนจำกัด ทำให้ไม่สามารถเพิ่มจำนวนกล่องเพื่อเปรียบเทียบตัวแปรอื่นๆให้มากขึ้น

3. ระยะเวลาที่ทำการทดลองกล่องทดลองจริง อยู่ในช่วงเดือน มกราคม พ.ศ. 2552 ดังนั้นผลที่ได้จึงเป็นข้อมูลในช่วงเวลาดังกล่าว

4. ข้อเสนอแนะ

1. ในการศึกษาครั้งนี้เป็นการจำลองอาคารด้วยกล่องทดลองขนาด 1.20x1.20x1.20 ม. และห้องขนาด 4.00x6.00x3.00 ม. ด้วยโปรแกรม EnergyPlus เท่านั้น ซึ่งในการศึกษาครั้งต่อไปอาจทำการทดสอบกับอาคารจริง หรือจำลองอาคารทั้งหลัง เพื่อเปรียบเทียบผลที่ได้ว่ามีความแตกต่างกันมากน้อยเพียงใด

2. ในการวิจัยครั้งนี้ กำหนดค่าความลึกดินปลูก ที่ 0.10 ม. และ 0.20 ม. เท่านั้น ในการศึกษาต่อไป อาจทำการทดลองกับความลึกดินปลูกที่แตกต่างกันมากขึ้น เพื่อศึกษาอิทธิพลของความลึกดินปลูกกับการป้องกันความร้อนเข้าสู่อาคาร

3. ในการศึกษาต่อไป อาจทำการศึกษาเรื่อง ดัชนีพื้นที่ใบ ที่แตกต่างกันมากขึ้น

4. ในการศึกษาครั้งต่อไปอาจทดสอบเรื่อง อิทธิพลของความชื้นจากดิน

5. ควรทำการทดสอบกับอาคารที่อยู่ในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน

6. ควรทำการทดลองในช่วงระยะเวลาที่เป็นฤดูอื่นๆ

บรรณานุกรม

ภาษาไทย

- กนกวลี สุธีธร. หลังคาเขียว ทางเลือกเพื่อการกักน้ำฝน, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548.
- กัตติกา กิตติประสาร. การจัดวางและออกแบบองค์ประกอบในภูมิทัศน์เพื่อการประหยัดพลังงานในอาคาร. กรุงเทพมหานคร: กองอนุรักษ์พลังงานทดแทน สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ, 2545.
- พชร เลิศปิวิวัฒนา. “การออกแบบสวนหลังคาในกรุงเทพมหานคร.” วิทยานิพนธ์ ปริญญา มหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.
- ณัฐจิณี นวลสกุล. “การเปรียบเทียบศักยภาพของการป้องกันความร้อนระหว่างการใช้สวนหลังคา กับระบบหลังคาที่ใช้กันทั่วไป.” วิทยานิพนธ์ ปริญญามหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.
- ศุภกิจ ยิ้มศรวล. “การใช้สวนหลังคาเพื่อลดการถ่ายเทความร้อน.” วิทยานิพนธ์ ปริญญา มหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.
- สิน พันธุ์พินิจ. การจัดการสนามหญ้า. กรุงเทพมหานคร: รวมสาสน์, 2535.
- สุดสวาสดี ศรีสถาปัตย์. การออกแบบวัสดุพืชพันธุ์และการประหยัดพลังงาน. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาภูมิสถาปัตยกรรม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2530.
- อรพิน เกิดชูชื่น และ ผ่องพรรณ พุทธาโร, “อิทธิพลของปุ๋ยยูเรียและแอมโมเนียมซัลเฟต ต่อ growth rate, leaf area index และ net assimilation rate ของข้าวเจ้าหอมพันธุ์ ปทุมธานี 1” วารสารวิจัยและพัฒนา มจร. 5, 3 (กรกฎาคม-กันยายน , 2545).

ภาษาอังกฤษ

American Society of Heating. ASHRAE Applications Handbook. Atlanta
Georgia: I-P ed. (n.p.), 1995.

Earth Pledge. Green Roof Ecological Design and Construction, USA : A Shiffer
Publishing Ltd & Design, 2005.

O. Robinette, Gary. Landscape planning for Energy Conservation, New York: Van
Nostrand Reinhold Company, 1983.

Johnston, Jacklyn, and Newton, John. Building Green a guide to using plants on roofs
walls and pavements, London: Ecology Unit, 1993.

Theodore Osmundson. The Changing Technique of Roof Garden Design. New York:
W.W. Norton & Company, 1999.

Website

Green Roof [online], Accessed 16 November 2007.

Available from www.greenroof.com

Green Roof [online], Accessed 1 February 2008.

Available from th.wikipedia.org/wiki/หลังคาเขียว

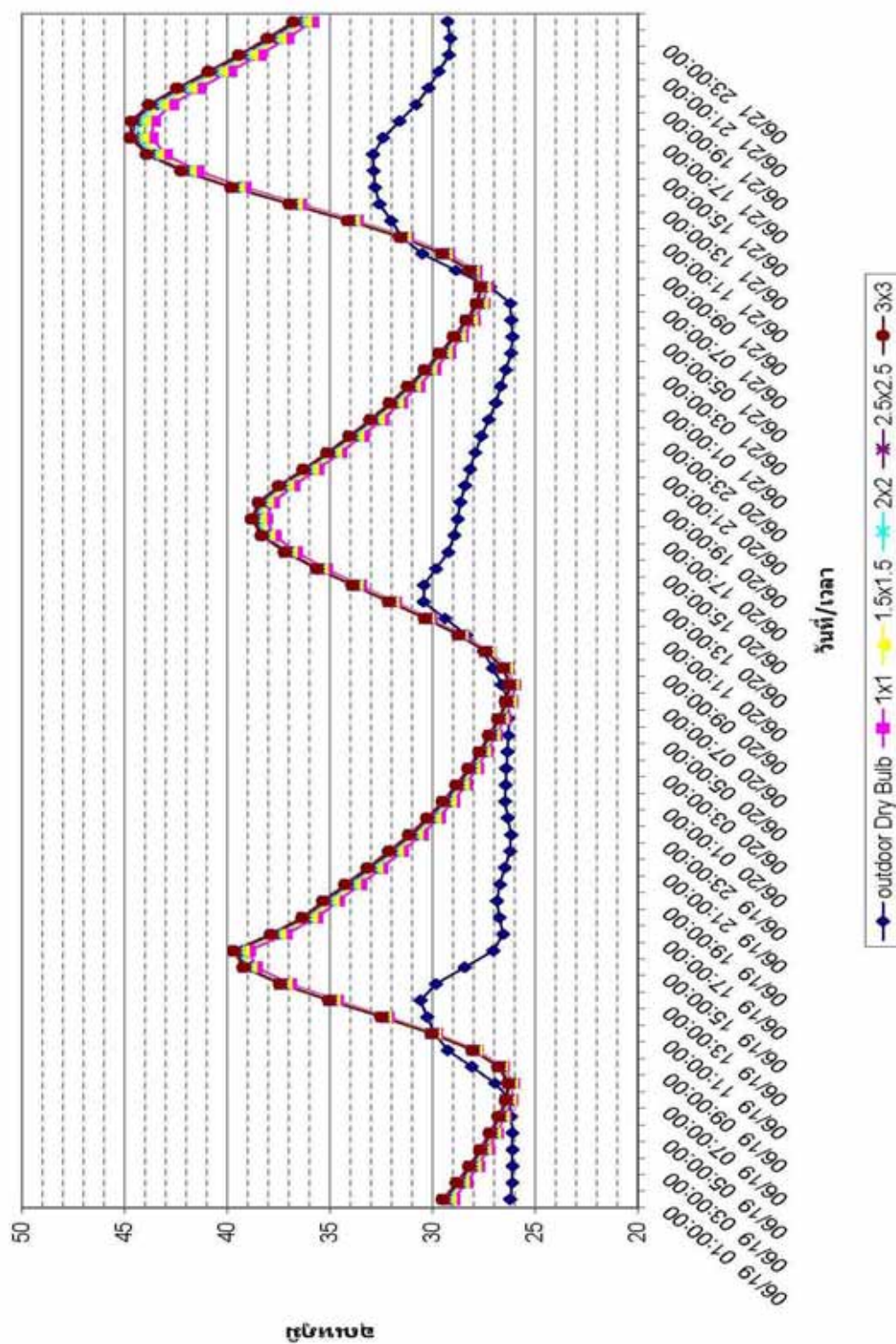
Leaf area index [online], Accessed 26 September 2007.

Available from <http://www.gardenwithinsight.com/help100/00000424.htm>

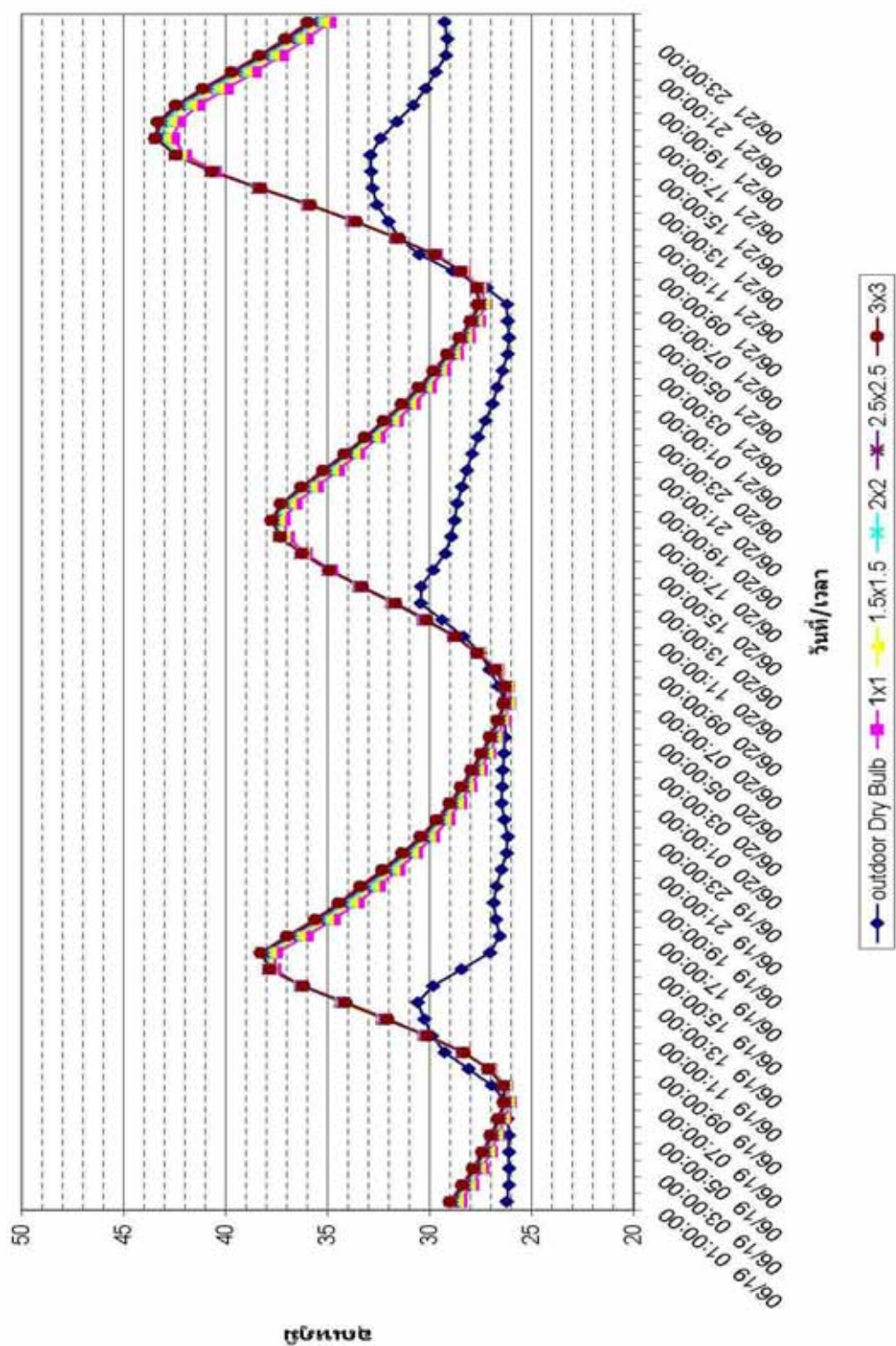
ภาคผนวก

ผลการทดสอบเรื่องขนาดของกล่องทดลองมีผลต่ออุณหภูมิภายในกล่องหรือไม่
(ทดสอบด้วยตัวโปรแกรม EnergyPlus)

แผนภูมิเปรียบเทียบอนุภูมิภาคใต้หลังคา ค.ส.ล. ของกล่องทดลองขนาดต่างๆ



แผนภูมิเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในกล่องหลังคา ค.ส.ล. ของกล่องทดลองขนาดต่างๆ



ตัวอย่างรายละเอียดการป้อนข้อมูลในโปรแกรม EnergyPlus (ชุดการทดลองที่ 3)

!- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: VERSION =====

VERSION,

2.2; !- Version Identifier

!- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: BUILDING =====

BUILDING,

Cell Test, !- Building Name

0, !- North Axis {deg}

City, !- Terrain

0.04, !- Loads Convergence Tolerance Value

0.4, !- Temperature Convergence Tolerance Value {deltaC}

FullExterior, !- Solar Distribution

25; !- Maximum Number of Warmup Days

!- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: TIMESTEP IN HOUR =====

TIMESTEP IN HOUR,

6; !- Time Step in Hour

!- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: INSIDE CONVECTION ALGORITHM
=====

INSIDE CONVECTION ALGORITHM,

Detailed; !- Algorithm

!- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: OUTSIDE CONVECTION ALGORITHM
=====

OUTSIDE CONVECTION ALGORITHM,

Detailed; !- Algorithm

!- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: SOLUTION ALGORITHM =====

SOLUTION ALGORITHM,

CTF; !- SolutionAlgo

!- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: RUN CONTROL =====

RUN CONTROL,

No, !- Do the zone sizing calculation

No, !- Do the system sizing calculation

No, !- Do the plant sizing calculation

No, !- Do the design day simulations

Yes; !- Do the weather file simulation

!- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: RUNPERIOD =====

RunPeriod,

1, !- Begin Month

1, !- Begin Day Of Month

12, !- End Month

31, !- End Day Of Month

UseWeatherFile, !- Day Of Week For Start Day

Yes, !- Use WeatherFile Holidays/Special Days

Yes, !- Use WeatherFile DaylightSavingPeriod

No, !- Apply Weekend Holiday Rule

Yes, !- Use WeatherFile Rain Indicators

Yes, !- Use WeatherFile Snow Indicators

1; !- Number of times runperiod to be done

!- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: LOCATION =====

Location,

Bangkok, !- LocationName

13.92, !- Latitude {deg}

100.6, !- Longitude {deg}

7, !- TimeZone {hr}

12; !- Elevation {m}

!- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: MATERIAL:REGULAR =====

MATERIAL:REGULAR,

F07 25mm stucco, !- Name

Smooth , !- Roughness

0.0254, !- Thickness {m}

0.72, !- Conductivity {W/m-K}

1856, !- Density {kg/m3}

840, !- Specific Heat {J/kg-K}

0.9, !- Absorptance:Thermal

0.8, !- Absorptance:Solar

0.7; !- Absorptance:Visible

MATERIAL:REGULAR,

M14a 100mm heavyweight concrete, !- Name

MediumRough, !- Roughness

0.1016, !- Thickness {m}

1.95, !- Conductivity {W/m-K}

2240, !- Density {kg/m3}

900, !- Specific Heat {J/kg-K}

0.9, !- Absorptance:Thermal
 0.7, !- Absorptance:Solar
 0.7; !- Absorptance:Visible

MATERIAL:REGULAR,

TH05-A-Brick-dry-plaster-cement-tile, !- Name
 Smooth, !- Roughness
 0.1, !- Thickness {m}
 0.807, !- Conductivity {W/m-K}
 1760, !- Density {kg/m3}
 837, !- Specific Heat {J/kg-K}
 0.9, !- Absorptance:Thermal
 0.7, !- Absorptance:Solar
 0.5; !- Absorptance:Visible

MATERIAL:REGULAR,

TH06-Concrete, !- Name
 Smooth, !- Roughness
 0.1, !- Thickness {m}
 1.442, !- Conductivity {W/m-K}
 2400, !- Density {kg/m3}
 920, !- Specific Heat {J/kg-K}
 0.9, !- Absorptance:Thermal
 0.7, !- Absorptance:Solar
 0.5; !- Absorptance:Visible

MATERIAL:REGULAR,

G06 50mm wood, !- Name
 MediumSmooth, !- Roughness

0.0508, !- Thickness {m}
 0.15, !- Conductivity {W/m-K}
 608, !- Density {kg/m3}
 1630; !- Specific Heat {J/kg-K}

!- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: MATERIAL:REGULAR-R =====

MATERIAL:REGULAR-R,

Tile: asphalt - linoleum - vinyl - rubber, !- Name
 MediumSmooth, !- Roughness
 0.009; !- Thermal Resistance {m2-K/W}

!- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: MATERIAL:WINDOWGLASS

=====

MATERIAL:WINDOWGLASS,

CLEAR 6MM, !- Name
 SpectralAverage, !- Optical Data Type
 , !- Name of Window Glass Spectral Data Set
 0.006, !- Thickness {m}
 0.775, !- Solar Transmittance at Normal Incidence
 0.071, !- Solar Reflectance at Normal Incidence: Front Side
 0.071, !- Solar Reflectance at Normal Incidence: Back Side
 0.881, !- Visible Transmittance at Normal Incidence
 0.080, !- Visible Reflectance at Normal Incidence: Front Side
 0.080, !- Visible Reflectance at Normal Incidence: Back Side
 0.0, !- IR Transmittance at Normal Incidence
 0.84, !- IR Hemispherical Emissivity: Front Side
 0.84, !- IR Hemispherical Emissivity: Back Side
 0.9; !- Conductivity {W/m-K}

!- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: MATERIAL:ECOROOF =====

MATERIAL:ECOROOF,

BaseEco,	!- Name
0.1,	!- Height of Plants {m}
2.5,	!- Leaf Area Index {dimensionless}
0.2,	!- Leaf Reflectivity {dimensionless}
0.95,	!- Leaf Emissivity
180,	!- Minimum Stomatal Resistance (s/m)
EcoRoofSoil,	!- Name Of the Soil Layer
MediumSmooth,	!- Roughness
0.1,	!- Thickness {m}
0.4,	!- Conductivity (dry soil) {W/m-K}
641,	!- Density (dry soil) {kg/m ³ }
1100,	!- Specific Heat (dry soil) {J/kg-K}
0.95,	!- Absorptance:Thermal
0.6,	!- Absorptance:Solar
0.7,	!- Absorptance:Visible
0.4,	!- Max volumetric moisture content of the soil layer (saturation)
0.01,	!- Min (residual) volumetric moisture content of the soil layer
0.2;	!- Initial volumetric moisture content of the soil layer

MATERIAL:ECOROOF,

HiLAI,	!- Name
0.1,	!- Height of Plants {m}
4.2,	!- Leaf Area Index {dimensionless}
0.2,	!- Leaf Reflectivity {dimensionless}
0.95,	!- Leaf Emissivity
180,	!- Minimum Stomatal Resistance (s/m)
EcoRoofSoil,	!- Name Of the Soil Layer

MediumSmooth, !- Roughness

0.1, !- Thickness {m}

0.4, !- Conductivity (dry soil) {W/m-K}

641, !- Density (dry soil) {kg/m³}

1100, !- Specific Heat (dry soil) {J/kg-K}

0.95, !- Absorptance:Thermal

0.6, !- Absorptance:Solar

0.7, !- Absorptance:Visible

0.4, !- Max volumetric moisture content of the soil layer (saturation)

0.01, !- Min (residual) volumetric moisture content of the soil layer

0.2; !- Initial volumetric moisture content of the soil layer

MATERIAL:ECOROOF,

ThickSoil, !- Name

0.1, !- Height of Plants {m}

2.5, !- Leaf Area Index {dimensionless}

0.2, !- Leaf Reflectivity {dimensionless}

0.95, !- Leaf Emissivity

180, !- Minimum Stomatal Resistance (s/m)

EcoRoofSoil, !- Name Of the Soil Layer

MediumSmooth, !- Roughness

0.2, !- Thickness {m}

0.4, !- Conductivity (dry soil) {W/m-K}

641, !- Density (dry soil) {kg/m³}

1100, !- Specific Heat (dry soil) {J/kg-K}

0.95, !- Absorptance:Thermal

0.6, !- Absorptance:Solar

0.7, !- Absorptance:Visible

0.4, !- Max volumetric moisture content of the soil layer (saturation)

0.01, !- Min (residual) volumetric moisture content of the soil layer
 0.2; !- Initial volumetric moisture content of the soil layer

MATERIAL:ECOROOF,

HL+TS, !- Name
 0.1, !- Height of Plants {m}
 4.2, !- Leaf Area Index {dimensionless}
 0.2, !- Leaf Reflectivity {dimensionless}
 0.95, !- Leaf Emissivity
 180, !- Minimum Stomatal Resistance (s/m)
 Ecoroof Soil, !- Name Of the Soil Layer
 MediumRough, !- Roughness
 0.2, !- Thickness {m}
 0.4, !- Conductivity (dry soil) {W/m-K}
 641, !- Density (dry soil) {kg/m3}
 1100, !- Specific Heat (dry soil) {J/kg-K}
 0.95, !- Absorptance:Thermal
 0.7, !- Absorptance:Solar
 0.7, !- Absorptance:Visible
 0.4, !- Max volumetric moisture content of the soil layer (saturation)
 0.01, !- Min (residual) volumetric moisture content of the soil layer
 0.2; !- Initial volumetric moisture content of the soil layer

!- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: CONSTRUCTION =====

CONSTRUCTION,

Wall01, !- Name
 TH05-A-Brick-dry-plaster-cement-tile; !- Outside Layer

CONSTRUCTION,

Roof01_Slab, !- Name
TH06-Concrete; !- Outside Layer

CONSTRUCTION,

Roof02_Base Eco, !- Name
BaseEco, !- Outside Layer
TH06-Concrete; !- Layer #2

CONSTRUCTION,

Roof03_HiLAI, !- Name
HiLAI, !- Outside Layer
TH06-Concrete; !- Layer #2

CONSTRUCTION,

Roof04_ThickSoil, !- Name
ThickSoil, !- Outside Layer
TH06-Concrete; !- Layer #2

CONSTRUCTION,

Window01, !- Name
CLEAR 6MM; !- Outside Layer

CONSTRUCTION,

Door01, !- Name
G06 50mm wood; !- Outside Layer

CONSTRUCTION,

Floor01, !- Name

TH06-Concrete, !- Outside Layer

Tile: asphalt - linoleum - vinyl - rubber; !- Layer #2

!- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: ZONE =====

ZONE,

WRK, !- Zone Name

0, !- Relative North (to building) {deg}

0, !- X Origin {m}

0, !- Y Origin {m}

14, !- Z Origin {m}

1, !- Type

1, !- Multiplier

-100, !- Ceiling Height {m}

-100, !- Volume {m3}

Detailed, !- Zone Inside Convection Algorithm

, !- Zone Outside Convection Algorithm

Yes; !- Part of Total Floor Area

!- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: SURFACEGEOMETRY =====

SurfaceGeometry,

LowerLeftCorner, !- SurfaceStartingPosition

CounterClockWise, !- VertexEntry

relative; !- CoordinateSystem

!- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: SURFACE:HEATTRANSFER

=====

Surface:HeatTransfer,

WRK_S1, !- User Supplied Surface Name

WALL, !- Surface Type

```

Wall01,          !- Construction Name of the Surface
WRK,             !- Zone Name
ExteriorEnvironment,  !- OutsideFaceEnvironment
,               !- OutsideFaceEnvironment Object
SunExposed,      !- Sun Exposure
WindExposed,     !- Wind Exposure
autocalculate,   !- View Factor to Ground
autocalculate,   !- Number of Surface Vertex Groups -- Number of (X,Y,Z) groups
in this surface
0,              !- Vertex 1 X-coordinate {m}
0,              !- Vertex 1 Y-coordinate {m}
0,              !- Vertex 1 Z-coordinate {m}
4,              !- Vertex 2 X-coordinate {m}
0,              !- Vertex 2 Y-coordinate {m}
0,              !- Vertex 2 Z-coordinate {m}
4,              !- Vertex 3 X-coordinate {m}
0,              !- Vertex 3 Y-coordinate {m}
3.2,           !- Vertex 3 Z-coordinate {m}
0,              !- Vertex 4 X-coordinate {m}
0,              !- Vertex 4 Y-coordinate {m}
3.2;           !- Vertex 4 Z-coordinate {m}
Surface:HeatTransfer,
WRK_E1,         !- User Supplied Surface Name
WALL,           !- Surface Type
Wall01,        !- Construction Name of the Surface
WRK,           !- Zone Name
OtherZoneSurface,  !- OutsideFaceEnvironment
WRK_E1,        !- OutsideFaceEnvironment Object
NoSun,         !- Sun Exposure

```

NoWind, !- Wind Exposure
 autocalculate, !- View Factor to Ground
 autocalculate, !- Number of Surface Vertex Groups -- Number of (X,Y,Z) groups
 in this surface
 4, !- Vertex 1 X-coordinate {m}
 0, !- Vertex 1 Y-coordinate {m}
 0, !- Vertex 1 Z-coordinate {m}
 4, !- Vertex 2 X-coordinate {m}
 6, !- Vertex 2 Y-coordinate {m}
 0, !- Vertex 2 Z-coordinate {m}
 4, !- Vertex 3 X-coordinate {m}
 6, !- Vertex 3 Y-coordinate {m}
 3.2, !- Vertex 3 Z-coordinate {m}
 4, !- Vertex 4 X-coordinate {m}
 0, !- Vertex 4 Y-coordinate {m}
 3.2; !- Vertex 4 Z-coordinate {m}

Surface:HeatTransfer,
 WRK_N1, !- User Supplied Surface Name
 WALL, !- Surface Type
 Wall01, !- Construction Name of the Surface
 WRK, !- Zone Name
 OtherZoneSurface, !- OutsideFaceEnvironment
 WRK_N1, !- OutsideFaceEnvironment Object
 NoSun, !- Sun Exposure
 NoWind, !- Wind Exposure
 autocalculate, !- View Factor to Ground
 autocalculate, !- Number of Surface Vertex Groups -- Number of (X,Y,Z) groups
 in this surface

4, !- Vertex 1 X-coordinate {m}
 6, !- Vertex 1 Y-coordinate {m}
 0, !- Vertex 1 Z-coordinate {m}
 0, !- Vertex 2 X-coordinate {m}
 6, !- Vertex 2 Y-coordinate {m}
 0, !- Vertex 2 Z-coordinate {m}
 0, !- Vertex 3 X-coordinate {m}
 6, !- Vertex 3 Y-coordinate {m}
 3.2, !- Vertex 3 Z-coordinate {m}
 4, !- Vertex 4 X-coordinate {m}
 6, !- Vertex 4 Y-coordinate {m}
 3.2; !- Vertex 4 Z-coordinate {m}

Surface:HeatTransfer,

WRK_W1, !- User Supplied Surface Name
 WALL, !- Surface Type
 Wall01, !- Construction Name of the Surface
 WRK, !- Zone Name
 OtherZoneSurface, !- OutsideFaceEnvironment
 WRK_W1, !- OutsideFaceEnvironment Object
 NoSun, !- Sun Exposure
 NoWind, !- Wind Exposure
 autocalculate, !- View Factor to Ground
 autocalculate, !- Number of Surface Vertex Groups -- Number of (X,Y,Z) groups

in this surface

0, !- Vertex 1 X-coordinate {m}
 6, !- Vertex 1 Y-coordinate {m}
 0, !- Vertex 1 Z-coordinate {m}
 0, !- Vertex 2 X-coordinate {m}

0, !- Vertex 2 Y-coordinate {m}
 0, !- Vertex 2 Z-coordinate {m}
 0, !- Vertex 3 X-coordinate {m}
 0, !- Vertex 3 Y-coordinate {m}
 3.2, !- Vertex 3 Z-coordinate {m}
 0, !- Vertex 4 X-coordinate {m}
 6, !- Vertex 4 Y-coordinate {m}
 3.2; !- Vertex 4 Z-coordinate {m}

Surface:HeatTransfer,

WRK_F1, !- User Supplied Surface Name
 FLOOR, !- Surface Type
 Floor01, !- Construction Name of the Surface
 WRK, !- Zone Name
 OtherZoneSurface, !- OutsideFaceEnvironment
 WRK_F1, !- OutsideFaceEnvironment Object
 NoSun, !- Sun Exposure
 NoWind, !- Wind Exposure
 autocalculate, !- View Factor to Ground
 autocalculate, !- Number of Surface Vertex Groups -- Number of (X,Y,Z) groups

in this surface

0, !- Vertex 1 X-coordinate {m}
 6, !- Vertex 1 Y-coordinate {m}
 0, !- Vertex 1 Z-coordinate {m}
 4, !- Vertex 2 X-coordinate {m}
 6, !- Vertex 2 Y-coordinate {m}
 0, !- Vertex 2 Z-coordinate {m}
 4, !- Vertex 3 X-coordinate {m}
 0, !- Vertex 3 Y-coordinate {m}

0, !- Vertex 3 Z-coordinate {m}
 0, !- Vertex 4 X-coordinate {m}
 0, !- Vertex 4 Y-coordinate {m}
 0; !- Vertex 4 Z-coordinate {m}

Surface:HeatTransfer,

WRK_R1, !- User Supplied Surface Name
 ROOF, !- Surface Type
 Roof01_Slab, !- Construction Name of the Surface
 WRK, !- Zone Name
 ExteriorEnvironment, !- OutsideFaceEnvironment
 , !- OutsideFaceEnvironment Object
 SunExposed, !- Sun Exposure
 WindExposed, !- Wind Exposure
 autocalculate, !- View Factor to Ground
 autocalculate, !- Number of Surface Vertex Groups -- Number of (X,Y,Z) groups

in this surface

0, !- Vertex 1 X-coordinate {m}
 0, !- Vertex 1 Y-coordinate {m}
 3.2, !- Vertex 1 Z-coordinate {m}
 4, !- Vertex 2 X-coordinate {m}
 0, !- Vertex 2 Y-coordinate {m}
 3.2, !- Vertex 2 Z-coordinate {m}
 4, !- Vertex 3 X-coordinate {m}
 6, !- Vertex 3 Y-coordinate {m}
 3.2, !- Vertex 3 Z-coordinate {m}
 0, !- Vertex 4 X-coordinate {m}
 6, !- Vertex 4 Y-coordinate {m}
 3.2; !- Vertex 4 Z-coordinate {m}

!- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: SURFACE:HEATTRANSFER:SUB
=====

Surface:HeatTransfer:Sub,

WRK_S1_W1, !- User Supplied Surface Name
WINDOW, !- Surface Type
Window01, !- Construction Name of the Surface
WRK_S1, !- Base Surface Name
, !- OutsideFaceEnvironment Object
autocalculate, !- View Factor to Ground
, !- Name of shading control
, !- WindowFrameAndDivider Name
1, !- Multiplier
4, !- Number of Surface Vertex Groups -- Number of (X,Y,Z) groups in

this surface

0.5, !- Vertex 1 X-coordinate {m}
0, !- Vertex 1 Y-coordinate {m}
0.9, !- Vertex 1 Z-coordinate {m}
3.5, !- Vertex 2 X-coordinate {m}
0, !- Vertex 2 Y-coordinate {m}
0.9, !- Vertex 2 Z-coordinate {m}
3.5, !- Vertex 3 X-coordinate {m}
0, !- Vertex 3 Y-coordinate {m}
2.5, !- Vertex 3 Z-coordinate {m}
0.5, !- Vertex 4 X-coordinate {m}
0, !- Vertex 4 Y-coordinate {m}
2.5; !- Vertex 4 Z-coordinate {m}

Surface:HeatTransfer:Sub,

WRK_N1_D1, !- User Supplied Surface Name

```

DOOR,          !- Surface Type
Door01,        !- Construction Name of the Surface
WRK_N1,        !- Base Surface Name
WRK_N1_D1,     !- OutsideFaceEnvironment Object
autocalculate, !- View Factor to Ground
,              !- Name of shading control
,              !- WindowFrameAndDivider Name
1,             !- Multiplier
4,             !- Number of Surface Vertex Groups -- Number of (X,Y,Z) groups in
this surface
1.3,           !- Vertex 1 X-coordinate {m}
6,             !- Vertex 1 Y-coordinate {m}
0,             !- Vertex 1 Z-coordinate {m}
0.3,           !- Vertex 2 X-coordinate {m}
6,             !- Vertex 2 Y-coordinate {m}
0,             !- Vertex 2 Z-coordinate {m}
0.3,           !- Vertex 3 X-coordinate {m}
6,             !- Vertex 3 Y-coordinate {m}
2,             !- Vertex 3 Z-coordinate {m}
1.3,           !- Vertex 4 X-coordinate {m}
6,             !- Vertex 4 Y-coordinate {m}
2;            !- Vertex 4 Z-coordinate {m}

```

```

!- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: SURFACE:SHADING:ATTACHED
=====

```

```

Surface:Shading:Attached,
  WRK_S1_FIN1,      !- User Supplied Surface Name
  WRK_S1,           !- Base Surface Name
  ,                 !- TransSchedShadowSurf

```

4, !- Number of Surface Vertex Groups -- Number of (X,Y,Z) groups in
this surface

0, !- Vertex 1 X-coordinate {m}

0, !- Vertex 1 Y-coordinate {m}

3.2, !- Vertex 1 Z-coordinate {m}

4, !- Vertex 2 X-coordinate {m}

0, !- Vertex 2 Y-coordinate {m}

3.2, !- Vertex 2 Z-coordinate {m}

4, !- Vertex 3 X-coordinate {m}

-1, !- Vertex 3 Y-coordinate {m}

3.2, !- Vertex 3 Z-coordinate {m}

0, !- Vertex 4 X-coordinate {m}

-1, !- Vertex 4 Y-coordinate {m}

3.2; !- Vertex 4 Z-coordinate {m}

Surface:Shading:Attached,

WRK_S1_FIN2, !- User Supplied Surface Name

WRK_S1, !- Base Surface Name

, !- TransSchedShadowSurf

4, !- Number of Surface Vertex Groups -- Number of (X,Y,Z) groups in
this surface

0, !- Vertex 1 X-coordinate {m}

-1, !- Vertex 1 Y-coordinate {m}

3.2, !- Vertex 1 Z-coordinate {m}

4, !- Vertex 2 X-coordinate {m}

-1, !- Vertex 2 Y-coordinate {m}

3.2, !- Vertex 2 Z-coordinate {m}

4, !- Vertex 3 X-coordinate {m}

-1, !- Vertex 3 Y-coordinate {m}

2.7, !- Vertex 3 Z-coordinate {m}
 0, !- Vertex 4 X-coordinate {m}
 -1, !- Vertex 4 Y-coordinate {m}
 2.7; !- Vertex 4 Z-coordinate {m}

Surface:Shading:Attached,

WRK_W1_FIN3, !- User Supplied Surface Name

WRK_W1, !- Base Surface Name

, !- TransSchedShadowSurf

4, !- Number of Surface Vertex Groups -- Number of (X,Y,Z) groups in

this surface

0, !- Vertex 1 X-coordinate {m}
 0, !- Vertex 1 Y-coordinate {m}
 3.2, !- Vertex 1 Z-coordinate {m}
 0, !- Vertex 2 X-coordinate {m}
 -1, !- Vertex 2 Y-coordinate {m}
 3.2, !- Vertex 2 Z-coordinate {m}
 0, !- Vertex 3 X-coordinate {m}
 -1, !- Vertex 3 Y-coordinate {m}
 2.7, !- Vertex 3 Z-coordinate {m}
 0, !- Vertex 4 X-coordinate {m}
 0, !- Vertex 4 Y-coordinate {m}
 2.7; !- Vertex 4 Z-coordinate {m}

Surface:Shading:Attached,

WRK_E1_FIN4, !- User Supplied Surface Name

WRK_E1, !- Base Surface Name

, !- TransSchedShadowSurf

4, !- Number of Surface Vertex Groups -- Number of (X,Y,Z) groups in
this surface

4, !- Vertex 1 X-coordinate {m}
-1, !- Vertex 1 Y-coordinate {m}
3.2, !- Vertex 1 Z-coordinate {m}
4, !- Vertex 2 X-coordinate {m}
0, !- Vertex 2 Y-coordinate {m}
3.2, !- Vertex 2 Z-coordinate {m}
4, !- Vertex 3 X-coordinate {m}
0, !- Vertex 3 Y-coordinate {m}
2.7, !- Vertex 3 Z-coordinate {m}
4, !- Vertex 4 X-coordinate {m}
-1, !- Vertex 4 Y-coordinate {m}
2.7; !- Vertex 4 Z-coordinate {m}

!- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: SCHEDULETYPE =====

ScheduleType,

AnyNumber; !- ScheduleType Name

ScheduleType,

Fraction, !- ScheduleType Name

0:1, !- range

CONTINUOUS; !- Numeric Type

ScheduleType,

Temperature, !- ScheduleType Name

0:50, !- range

CONTINUOUS; !- Numeric Type

```

ScheduleType,
    TempControl,      !- ScheduleType Name
    0:4,              !- range
    DISCRETE;         !- Numeric Type

```

```

ScheduleType,
    OnOff,            !- ScheduleType Name
    0:1,              !- range
    DISCRETE;         !- Numeric Type

```

```

ScheduleType,
    Activity,         !- ScheduleType Name
    0:250,            !- range
    CONTINUOUS;       !- Numeric Type

```

```

!- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: DAYSCHEDULE =====

```

```

DAYSCHEDULE,
    WRK_INF_WDAY_SCH, !- Name
    Fraction,         !- ScheduleType
    1,                 !- Hour 1
    1,                 !- Hour 2
    1,                 !- Hour 3
    1,                 !- Hour 4
    1,                 !- Hour 5
    1,                 !- Hour 6
    1,                 !- Hour 7
    1,                 !- Hour 8
    1,                 !- Hour 9

```

1,	!- Hour 10
1,	!- Hour 11
1,	!- Hour 12
1,	!- Hour 13
1,	!- Hour 14
1,	!- Hour 15
1,	!- Hour 16
1,	!- Hour 17
1,	!- Hour 18
1,	!- Hour 19
1,	!- Hour 20
1,	!- Hour 21
1,	!- Hour 22
1,	!- Hour 23
1;	!- Hour 24

DAYSCHEDULE,

WRK_INF_SDAY_SCH,	!- Name
-------------------	---------

Fraction,	!- ScheduleType
-----------	-----------------

1,	!- Hour 1
1,	!- Hour 2
1,	!- Hour 3
1,	!- Hour 4
1,	!- Hour 5
1,	!- Hour 6
1,	!- Hour 7
1,	!- Hour 8
1,	!- Hour 9
1,	!- Hour 10

```

1,          !- Hour 11
1,          !- Hour 12
1,          !- Hour 13
1,          !- Hour 14
1,          !- Hour 15
1,          !- Hour 16
1,          !- Hour 17
1,          !- Hour 18
1,          !- Hour 19
1,          !- Hour 20
1,          !- Hour 21
1,          !- Hour 22
1,          !- Hour 23
1;          !- Hour 24

```

DAYSCHEDULE,

```

WRK_INF_HDAY_SCH,    !- Name
Fraction,            !- ScheduleType
1,          !- Hour 1
1,          !- Hour 2
1,          !- Hour 3
1,          !- Hour 4
1,          !- Hour 5
1,          !- Hour 6
1,          !- Hour 7
1,          !- Hour 8
1,          !- Hour 9
1,          !- Hour 10
1,          !- Hour 11

```

1,	!- Hour 12
1,	!- Hour 13
1,	!- Hour 14
1,	!- Hour 15
1,	!- Hour 16
1,	!- Hour 17
1,	!- Hour 18
1,	!- Hour 19
1,	!- Hour 20
1,	!- Hour 21
1,	!- Hour 22
1,	!- Hour 23
1;	!- Hour 24

DAYSCHEDULE,

WRK_PPL_WDAY_SCH,	!- Name
-------------------	---------

Fraction,	!- ScheduleType
-----------	-----------------

0,	!- Hour 1
0,	!- Hour 2
0,	!- Hour 3
0,	!- Hour 4
0,	!- Hour 5
0,	!- Hour 6
0,	!- Hour 7
0,	!- Hour 8
0,	!- Hour 9
1,	!- Hour 10
1,	!- Hour 11
1,	!- Hour 12

1,	!- Hour 13
1,	!- Hour 14
1,	!- Hour 15
1,	!- Hour 16
1,	!- Hour 17
1,	!- Hour 18
0,	!- Hour 19
0,	!- Hour 20
0,	!- Hour 21
0,	!- Hour 22
0,	!- Hour 23
0;	!- Hour 24

DAYSCHEDULE,

WRK_PPL_SDAY_SCH, !- Name

Fraction, !- ScheduleType

0,	!- Hour 1
0,	!- Hour 2
0,	!- Hour 3
0,	!- Hour 4
0,	!- Hour 5
0,	!- Hour 6
0,	!- Hour 7
0,	!- Hour 8
0,	!- Hour 9
1,	!- Hour 10
1,	!- Hour 11
1,	!- Hour 12
1,	!- Hour 13

1,	!- Hour 14
1,	!- Hour 15
1,	!- Hour 16
1,	!- Hour 17
1,	!- Hour 18
0,	!- Hour 19
0,	!- Hour 20
0,	!- Hour 21
0,	!- Hour 22
0,	!- Hour 23
0;	!- Hour 24

DAYSCHEDULE,

WRK_PPL_HDAY_SCH, !- Name

Fraction, !- ScheduleType

0,	!- Hour 1
0,	!- Hour 2
0,	!- Hour 3
0,	!- Hour 4
0,	!- Hour 5
0,	!- Hour 6
0,	!- Hour 7
0,	!- Hour 8
0,	!- Hour 9
0,	!- Hour 10
0,	!- Hour 11
0,	!- Hour 12
0,	!- Hour 13
0,	!- Hour 14

0,	!- Hour 15
0,	!- Hour 16
0,	!- Hour 17
0,	!- Hour 18
0,	!- Hour 19
0,	!- Hour 20
0,	!- Hour 21
0,	!- Hour 22
0,	!- Hour 23
0;	!- Hour 24

DAYSCHEDULE,

WRK_ATV_WDAY_SCH,	!- Name
-------------------	---------

Activity,	!- ScheduleType
-----------	-----------------

0,	!- Hour 1
0,	!- Hour 2
0,	!- Hour 3
0,	!- Hour 4
0,	!- Hour 5
0,	!- Hour 6
0,	!- Hour 7
0,	!- Hour 8
0,	!- Hour 9
108,	!- Hour 10
108,	!- Hour 11
108,	!- Hour 12
108,	!- Hour 13
108,	!- Hour 14
108,	!- Hour 15

108,	!- Hour 16
108,	!- Hour 17
108,	!- Hour 18
0,	!- Hour 19
0,	!- Hour 20
0,	!- Hour 21
0,	!- Hour 22
0,	!- Hour 23
0;	!- Hour 24

DAYSCHEDULE,

WRK_ATV_SDAY_SCH,	!- Name
-------------------	---------

Activity,	!- ScheduleType
-----------	-----------------

0,	!- Hour 1
0,	!- Hour 2
0,	!- Hour 3
0,	!- Hour 4
0,	!- Hour 5
0,	!- Hour 6
0,	!- Hour 7
0,	!- Hour 8
0,	!- Hour 9
108,	!- Hour 10
108,	!- Hour 11
108,	!- Hour 12
108,	!- Hour 13
108,	!- Hour 14
108,	!- Hour 15
108,	!- Hour 16

108,	!- Hour 17
108,	!- Hour 18
0,	!- Hour 19
0,	!- Hour 20
0,	!- Hour 21
0,	!- Hour 22
0,	!- Hour 23
0;	!- Hour 24

DAYSCHEDULE,

WRK_ATV_HDAY_SCH,	!- Name
-------------------	---------

Activity,	!- ScheduleType
-----------	-----------------

0,	!- Hour 1
0,	!- Hour 2
0,	!- Hour 3
0,	!- Hour 4
0,	!- Hour 5
0,	!- Hour 6
0,	!- Hour 7
0,	!- Hour 8
0,	!- Hour 9
0,	!- Hour 10
0,	!- Hour 11
0,	!- Hour 12
0,	!- Hour 13
0,	!- Hour 14
0,	!- Hour 15
0,	!- Hour 16
0,	!- Hour 17

0,	!- Hour 18
0,	!- Hour 19
0,	!- Hour 20
0,	!- Hour 21
0,	!- Hour 22
0,	!- Hour 23
0;	!- Hour 24

DAYSCHEDULE,

WRK_LTG_WDAY_SCH,	!- Name
-------------------	---------

Fraction,	!- ScheduleType
-----------	-----------------

0,	!- Hour 1
0,	!- Hour 2
0,	!- Hour 3
0,	!- Hour 4
0,	!- Hour 5
0,	!- Hour 6
0,	!- Hour 7
0,	!- Hour 8
0,	!- Hour 9
1,	!- Hour 10
1,	!- Hour 11
1,	!- Hour 12
1,	!- Hour 13
1,	!- Hour 14
1,	!- Hour 15
1,	!- Hour 16
1,	!- Hour 17
1,	!- Hour 18

```

0,          !- Hour 19
0,          !- Hour 20
0,          !- Hour 21
0,          !- Hour 22
0,          !- Hour 23
0;          !- Hour 24

```

DAYSCHEDULE,

```

WRK_LTG_SDAY_SCH,    !- Name

```

```

Fraction,          !- ScheduleType

```

```

0,          !- Hour 1
0,          !- Hour 2
0,          !- Hour 3
0,          !- Hour 4
0,          !- Hour 5
0,          !- Hour 6
0,          !- Hour 7
0,          !- Hour 8
0,          !- Hour 9
1,          !- Hour 10
1,          !- Hour 11
1,          !- Hour 12
1,          !- Hour 13
1,          !- Hour 14
1,          !- Hour 15
1,          !- Hour 16
1,          !- Hour 17
1,          !- Hour 18
0,          !- Hour 19

```

```

0,          !- Hour 20
0,          !- Hour 21
0,          !- Hour 22
0,          !- Hour 23
0;          !- Hour 24

```

DAYSCHEDULE,

```

WRK_LTG_HDAY_SCH,    !- Name

```

```

Fraction,          !- ScheduleType

```

```

0,          !- Hour 1
0,          !- Hour 2
0,          !- Hour 3
0,          !- Hour 4
0,          !- Hour 5
0,          !- Hour 6
0,          !- Hour 7
0,          !- Hour 8
0,          !- Hour 9
0,          !- Hour 10
0,          !- Hour 11
0,          !- Hour 12
0,          !- Hour 13
0,          !- Hour 14
0,          !- Hour 15
0,          !- Hour 16
0,          !- Hour 17
0,          !- Hour 18
0,          !- Hour 19
0,          !- Hour 20

```

```

0,          !- Hour 21
0,          !- Hour 22
0,          !- Hour 23
0;          !- Hour 24

```

DAYSCHEDULE,

```

WRK_ETC_WDAY_SCH,    !- Name

```

```

Fraction,          !- ScheduleType

```

```

0,          !- Hour 1
0,          !- Hour 2
0,          !- Hour 3
0,          !- Hour 4
0,          !- Hour 5
0,          !- Hour 6
0,          !- Hour 7
0,          !- Hour 8
0,          !- Hour 9
1,          !- Hour 10
1,          !- Hour 11
1,          !- Hour 12
1,          !- Hour 13
1,          !- Hour 14
1,          !- Hour 15
1,          !- Hour 16
1,          !- Hour 17
1,          !- Hour 18
0,          !- Hour 19
0,          !- Hour 20
0,          !- Hour 21

```

0, !- Hour 22
 0, !- Hour 23
 0; !- Hour 24

DAYSCHEDULE,

WRK_ETC_SDAY_SCH, !- Name

Fraction, !- ScheduleType

0, !- Hour 1
 0, !- Hour 2
 0, !- Hour 3
 0, !- Hour 4
 0, !- Hour 5
 0, !- Hour 6
 0, !- Hour 7
 0, !- Hour 8
 0, !- Hour 9
 1, !- Hour 10
 1, !- Hour 11
 1, !- Hour 12
 1, !- Hour 13
 1, !- Hour 14
 1, !- Hour 15
 1, !- Hour 16
 1, !- Hour 17
 1, !- Hour 18
 0, !- Hour 19
 0, !- Hour 20
 0, !- Hour 21
 0, !- Hour 22

0, !- Hour 23
0; !- Hour 24

DAYSCHEDULE,

WRK_ETC_HDAY_SCH, !- Name

Fraction, !- ScheduleType

0, !- Hour 1
0, !- Hour 2
0, !- Hour 3
0, !- Hour 4
0, !- Hour 5
0, !- Hour 6
0, !- Hour 7
0, !- Hour 8
0, !- Hour 9
0, !- Hour 10
0, !- Hour 11
0, !- Hour 12
0, !- Hour 13
0, !- Hour 14
0, !- Hour 15
0, !- Hour 16
0, !- Hour 17
0, !- Hour 18
0, !- Hour 19
0, !- Hour 20
0, !- Hour 21
0, !- Hour 22
0, !- Hour 23

0; !- Hour 24

DAYSCHEDULE,

WRK_CTMP_WDAY_SCH, !- Name

Temperature, !- ScheduleType

50, !- Hour 1

50, !- Hour 2

50, !- Hour 3

50, !- Hour 4

50, !- Hour 5

50, !- Hour 6

50, !- Hour 7

50, !- Hour 8

50, !- Hour 9

25, !- Hour 10

25, !- Hour 11

25, !- Hour 12

25, !- Hour 13

25, !- Hour 14

25, !- Hour 15

25, !- Hour 16

25, !- Hour 17

25, !- Hour 18

50, !- Hour 19

50, !- Hour 20

50, !- Hour 21

50, !- Hour 22

50, !- Hour 23

50; !- Hour 24

DAYSCHEDULE,

WRK_CTMP_SDAY_SCH, !- Name

Temperature, !- ScheduleType

50, !- Hour 1

50, !- Hour 2

50, !- Hour 3

50, !- Hour 4

50, !- Hour 5

50, !- Hour 6

50, !- Hour 7

50, !- Hour 8

25, !- Hour 9

25, !- Hour 10

25, !- Hour 11

25, !- Hour 12

25, !- Hour 13

25, !- Hour 14

25, !- Hour 15

25, !- Hour 16

25, !- Hour 17

25, !- Hour 18

50, !- Hour 19

50, !- Hour 20

50, !- Hour 21

50, !- Hour 22

50, !- Hour 23

50; !- Hour 24

```
DAYSCHEDULE,
  WRK_CTMP_HDAY_SCH,    !- Name
  Temperature,          !- ScheduleType
  50,                    !- Hour 1
  50,                    !- Hour 2
  50,                    !- Hour 3
  50,                    !- Hour 4
  50,                    !- Hour 5
  50,                    !- Hour 6
  50,                    !- Hour 7
  50,                    !- Hour 8
  50,                    !- Hour 9
  50,                    !- Hour 10
  50,                    !- Hour 11
  50,                    !- Hour 12
  50,                    !- Hour 13
  50,                    !- Hour 14
  50,                    !- Hour 15
  50,                    !- Hour 16
  50,                    !- Hour 17
  50,                    !- Hour 18
  50,                    !- Hour 19
  50,                    !- Hour 20
  50,                    !- Hour 21
  50,                    !- Hour 22
  50,                    !- Hour 23
  50;                    !- Hour 24
```

```
DAYSCHEDULE,  
    WRK_CTL_WDAY_SCH,    !- Name  
    TempControl,         !- ScheduleType  
    0,                   !- Hour 1  
    0,                   !- Hour 2  
    0,                   !- Hour 3  
    0,                   !- Hour 4  
    0,                   !- Hour 5  
    0,                   !- Hour 6  
    0,                   !- Hour 7  
    0,                   !- Hour 8  
    0,                   !- Hour 9  
    2,                   !- Hour 10  
    2,                   !- Hour 11  
    2,                   !- Hour 12  
    2,                   !- Hour 13  
    2,                   !- Hour 14  
    2,                   !- Hour 15  
    2,                   !- Hour 16  
    2,                   !- Hour 17  
    2,                   !- Hour 18  
    0,                   !- Hour 19  
    0,                   !- Hour 20  
    0,                   !- Hour 21  
    0,                   !- Hour 22  
    0,                   !- Hour 23  
    0;                   !- Hour 24
```

```
DAYSCHEDULE,  
    WRK_CTL_SDAY_SCH,    !- Name  
    TempControl,         !- ScheduleType  
    0,                   !- Hour 1  
    0,                   !- Hour 2  
    0,                   !- Hour 3  
    0,                   !- Hour 4  
    0,                   !- Hour 5  
    0,                   !- Hour 6  
    0,                   !- Hour 7  
    0,                   !- Hour 8  
    0,                   !- Hour 9  
    2,                   !- Hour 10  
    2,                   !- Hour 11  
    2,                   !- Hour 12  
    2,                   !- Hour 13  
    2,                   !- Hour 14  
    2,                   !- Hour 15  
    2,                   !- Hour 16  
    2,                   !- Hour 17  
    2,                   !- Hour 18  
    0,                   !- Hour 19  
    0,                   !- Hour 20  
    0,                   !- Hour 21  
    0,                   !- Hour 22  
    0,                   !- Hour 23  
    0;                   !- Hour 24
```

```
DAYSCHEDULE,  
  WRK_CTL_HDAY_SCH,    !- Name  
  TempControl,          !- ScheduleType  
  0,                    !- Hour 1  
  0,                    !- Hour 2  
  0,                    !- Hour 3  
  0,                    !- Hour 4  
  0,                    !- Hour 5  
  0,                    !- Hour 6  
  0,                    !- Hour 7  
  0,                    !- Hour 8  
  0,                    !- Hour 9  
  0,                    !- Hour 10  
  0,                    !- Hour 11  
  0,                    !- Hour 12  
  0,                    !- Hour 13  
  0,                    !- Hour 14  
  0,                    !- Hour 15  
  0,                    !- Hour 16  
  0,                    !- Hour 17  
  0,                    !- Hour 18  
  0,                    !- Hour 19  
  0,                    !- Hour 20  
  0,                    !- Hour 21  
  0,                    !- Hour 22  
  0,                    !- Hour 23  
  0;                   !- Hour 24
```

!- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: WEEKSCHEDULE =====

WEEKSCHEDULE,

WRK_INF_WEEK_SCH,	!- Name
WRK_INF_HDAY_SCH,	!- Sunday DAYSCHEDULE Name
WRK_INF_WDAY_SCH,	!- Monday DAYSCHEDULE Name
WRK_INF_WDAY_SCH,	!- Tuesday DAYSCHEDULE Name
WRK_INF_WDAY_SCH,	!- Wednesday DAYSCHEDULE Name
WRK_INF_WDAY_SCH,	!- Thursday DAYSCHEDULE Name
WRK_INF_WDAY_SCH,	!- Friday DAYSCHEDULE Name
WRK_INF_SDAY_SCH,	!- Saturday DAYSCHEDULE Name
WRK_INF_HDAY_SCH,	!- Holiday DAYSCHEDULE Name
WRK_INF_WDAY_SCH,	!- SummerDesignDay DAYSCHEDULE Name
WRK_INF_WDAY_SCH,	!- WinterDesignDay DAYSCHEDULE Name
WRK_INF_WDAY_SCH,	!- CustomDay1 DAYSCHEDULE Name
WRK_INF_WDAY_SCH;	!- CustomDay2 DAYSCHEDULE Name

WEEKSCHEDULE,

WRK_PPL_WEEK_SCH,	!- Name
WRK_PPL_HDAY_SCH,	!- Sunday DAYSCHEDULE Name
WRK_PPL_WDAY_SCH,	!- Monday DAYSCHEDULE Name
WRK_PPL_WDAY_SCH,	!- Tuesday DAYSCHEDULE Name
WRK_PPL_WDAY_SCH,	!- Wednesday DAYSCHEDULE Name
WRK_PPL_WDAY_SCH,	!- Thursday DAYSCHEDULE Name
WRK_PPL_WDAY_SCH,	!- Friday DAYSCHEDULE Name
WRK_PPL_SDAY_SCH,	!- Saturday DAYSCHEDULE Name
WRK_PPL_HDAY_SCH,	!- Holiday DAYSCHEDULE Name
WRK_PPL_WDAY_SCH,	!- SummerDesignDay DAYSCHEDULE Name
WRK_PPL_WDAY_SCH,	!- WinterDesignDay DAYSCHEDULE Name
WRK_PPL_WDAY_SCH,	!- CustomDay1 DAYSCHEDULE Name

WRK_PPL_WDAY_SCH; !- CustomDay2 DAYSCHEDULE Name

WEEKSCHEDULE,

WRK_ATV_WEEK_SCH, !- Name
 WRK_ATV_HDAY_SCH, !- Sunday DAYSCHEDULE Name
 WRK_ATV_WDAY_SCH, !- Monday DAYSCHEDULE Name
 WRK_ATV_WDAY_SCH, !- Tuesday DAYSCHEDULE Name
 WRK_ATV_WDAY_SCH, !- Wednesday DAYSCHEDULE Name
 WRK_ATV_WDAY_SCH, !- Thursday DAYSCHEDULE Name
 WRK_ATV_WDAY_SCH, !- Friday DAYSCHEDULE Name
 WRK_ATV_SDAY_SCH, !- Saturday DAYSCHEDULE Name
 WRK_ATV_HDAY_SCH, !- Holiday DAYSCHEDULE Name
 WRK_ATV_WDAY_SCH, !- SummerDesignDay DAYSCHEDULE Name
 WRK_ATV_WDAY_SCH, !- WinterDesignDay DAYSCHEDULE Name
 WRK_ATV_WDAY_SCH, !- CustomDay1 DAYSCHEDULE Name
 WRK_ATV_WDAY_SCH; !- CustomDay2 DAYSCHEDULE Name

WEEKSCHEDULE,

WRK_LTG_WEEK_SCH, !- Name
 WRK_LTG_HDAY_SCH, !- Sunday DAYSCHEDULE Name
 WRK_LTG_WDAY_SCH, !- Monday DAYSCHEDULE Name
 WRK_LTG_WDAY_SCH, !- Tuesday DAYSCHEDULE Name
 WRK_LTG_WDAY_SCH, !- Wednesday DAYSCHEDULE Name
 WRK_LTG_WDAY_SCH, !- Thursday DAYSCHEDULE Name
 WRK_LTG_WDAY_SCH, !- Friday DAYSCHEDULE Name
 WRK_LTG_SDAY_SCH, !- Saturday DAYSCHEDULE Name
 WRK_LTG_HDAY_SCH, !- Holiday DAYSCHEDULE Name
 WRK_LTG_WDAY_SCH, !- SummerDesignDay DAYSCHEDULE Name
 WRK_LTG_WDAY_SCH, !- WinterDesignDay DAYSCHEDULE Name

WRK_LTG_WDAY_SCH, !- CustomDay1 DAYSCHEDULE Name
 WRK_LTG_WDAY_SCH; !- CustomDay2 DAYSCHEDULE Name

WEEKSCHEDULE,

WRK_ETC_WEEK_SCH, !- Name
 WRK_ETC_HDAY_SCH, !- Sunday DAYSCHEDULE Name
 WRK_ETC_WDAY_SCH, !- Monday DAYSCHEDULE Name
 WRK_ETC_WDAY_SCH, !- Tuesday DAYSCHEDULE Name
 WRK_ETC_WDAY_SCH, !- Wednesday DAYSCHEDULE Name
 WRK_ETC_WDAY_SCH, !- Thursday DAYSCHEDULE Name
 WRK_ETC_WDAY_SCH, !- Friday DAYSCHEDULE Name
 WRK_ETC_SDAY_SCH, !- Saturday DAYSCHEDULE Name
 WRK_ETC_HDAY_SCH, !- Holiday DAYSCHEDULE Name
 WRK_ETC_WDAY_SCH, !- SummerDesignDay DAYSCHEDULE Name
 WRK_ETC_WDAY_SCH, !- WinterDesignDay DAYSCHEDULE Name
 WRK_ETC_WDAY_SCH, !- CustomDay1 DAYSCHEDULE Name
 WRK_ETC_WDAY_SCH; !- CustomDay2 DAYSCHEDULE Name

WEEKSCHEDULE,

WRK_CTMP_WEEK_SCH, !- Name
 WRK_CTMP_HDAY_SCH, !- Sunday DAYSCHEDULE Name
 WRK_CTMP_WDAY_SCH, !- Monday DAYSCHEDULE Name
 WRK_CTMP_WDAY_SCH, !- Tuesday DAYSCHEDULE Name
 WRK_CTMP_WDAY_SCH, !- Wednesday DAYSCHEDULE Name
 WRK_CTMP_WDAY_SCH, !- Thursday DAYSCHEDULE Name
 WRK_CTMP_WDAY_SCH, !- Friday DAYSCHEDULE Name
 WRK_CTMP_SDAY_SCH, !- Saturday DAYSCHEDULE Name
 WRK_CTMP_HDAY_SCH, !- Holiday DAYSCHEDULE Name
 WRK_CTMP_WDAY_SCH, !- SummerDesignDay DAYSCHEDULE Name

WRK_CTMP_WDAY_SCH, !- WinterDesignDay DAYSCHEDULE Name
 WRK_CTMP_WDAY_SCH, !- CustomDay1 DAYSCHEDULE Name
 WRK_CTMP_WDAY_SCH; !- CustomDay2 DAYSCHEDULE Name

WEEKSCHEDULE,

WRK_CTL_WEEK_SCH, !- Name
 WRK_CTL_HDAY_SCH, !- Sunday DAYSCHEDULE Name
 WRK_CTL_WDAY_SCH, !- Monday DAYSCHEDULE Name
 WRK_CTL_WDAY_SCH, !- Tuesday DAYSCHEDULE Name
 WRK_CTL_WDAY_SCH, !- Wednesday DAYSCHEDULE Name
 WRK_CTL_WDAY_SCH, !- Thursday DAYSCHEDULE Name
 WRK_CTL_WDAY_SCH, !- Friday DAYSCHEDULE Name
 WRK_CTL_SDAY_SCH, !- Saturday DAYSCHEDULE Name
 WRK_CTL_HDAY_SCH, !- Holiday DAYSCHEDULE Name
 WRK_CTL_WDAY_SCH, !- SummerDesignDay DAYSCHEDULE Name
 WRK_CTL_WDAY_SCH, !- WinterDesignDay DAYSCHEDULE Name
 WRK_CTL_WDAY_SCH, !- CustomDay1 DAYSCHEDULE Name
 WRK_CTL_WDAY_SCH; !- CustomDay2 DAYSCHEDULE Name

!- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: SCHEDULE =====

SCHEDULE,

WRK_INF_YEAR_SCH, !- Name
 Fraction, !- ScheduleType
 WRK_INF_WEEK_SCH, !- Name of WEEKSCHEDULE 1
 1, !- Start Month 1
 1, !- Start Day 1
 12, !- End Month 1
 31; !- End Day 1

SCHEDULE,

```

    WRK_PPL_YEAR_SCH,    !- Name
    Fraction,            !- ScheduleType
    WRK_PPL_WEEK_SCH,    !- Name of WEEKSCHEDULE 1
    1,                   !- Start Month 1
    1,                   !- Start Day 1
    12,                  !- End Month 1
    31;                  !- End Day 1

```

SCHEDULE,

```

    WRK_ATV_YEAR_SCH,    !- Name
    Activity,            !- ScheduleType
    WRK_ATV_WEEK_SCH,    !- Name of WEEKSCHEDULE 1
    1,                   !- Start Month 1
    1,                   !- Start Day 1
    12,                  !- End Month 1
    31;                  !- End Day 1

```

SCHEDULE,

```

    WRK_LTG_YEAR_SCH,    !- Name
    Fraction,            !- ScheduleType
    WRK_LTG_WEEK_SCH,    !- Name of WEEKSCHEDULE 1
    1,                   !- Start Month 1
    1,                   !- Start Day 1
    12,                  !- End Month 1
    31;                  !- End Day 1

```

SCHEDULE,

```

    WRK_ETC_YEAR_SCH,    !- Name

```

```

Fraction,          !- ScheduleType
WRK_ETC_WEEK_SCH,   !- Name of WEEKSCHEDULE 1
1,                 !- Start Month 1
1,                 !- Start Day 1
12,                !- End Month 1
31;                !- End Day 1

```

```

SCHEDULE,
  WRK_CTMP_YEAR_SCH,   !- Name
  Temperature,         !- ScheduleType
  WRK_CTMP_WEEK_SCH,   !- Name of WEEKSCHEDULE 1
  1,                   !- Start Month 1
  1,                   !- Start Day 1
  12,                  !- End Month 1
  31;                  !- End Day 1

```

```

SCHEDULE,
  WRK_CTL_YEAR_SCH,    !- Name
  TempControl,         !- ScheduleType
  WRK_CTL_WEEK_SCH,    !- Name of WEEKSCHEDULE 1
  1,                   !- Start Month 1
  1,                   !- Start Day 1
  12,                  !- End Month 1
  31;                  !- End Day 1

```

```

!- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: PEOPLE =====

```

```

PEOPLE,
  PEOPLE_WRK,          !- Name
  WRK,                 !- Zone Name

```

WRK_PPL_YEAR_SCH, !- Number of People SCHEDULE Name
 people, !- Number of People calculation method
 2, !- Number of People
 0, !- People per Zone Area {person/m2}
 0, !- Zone area per person {m2/person}
 0.3, !- Fraction Radiant
 , !- user specified sensible fraction
 WRK_ATV_YEAR_SCH; !- Activity level SCHEDULE Name

!- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: LIGHTS =====

LIGHTS,
 LIGHTS_WRK, !- Name
 WRK, !- Zone Name
 WRK_LTG_YEAR_SCH, !- SCHEDULE Name
 Lighting Level, !- Design Level calculation method
 64, !- Lighting Level {W}
 0, !- Watts per Zone Area {W/m2}
 0, !- Watts per Person {W/person}
 0, !- Return Air Fraction
 0.72, !- Fraction Radiant
 0.18, !- Fraction Visible
 0, !- Fraction Replaceable
 GeneralLights; !- End-Use Subcategory

!- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: ELECTRIC EQUIPMENT =====

ELECTRIC EQUIPMENT,
 ELEC_WRK, !- Name
 WRK, !- Zone Name
 WRK_ETC_YEAR_SCH, !- SCHEDULE Name

```

Equipment Level,      !- Design Level calculation method
460,                  !- Design Level {W}
19.1,                 !- Watts per Zone Area {W/m2}
230,                  !- Watts per Person {W/person}
,                     !- Fraction Latent
,                     !- Fraction Radiant
,                     !- Fraction Lost
Computer;             !- End-Use Subcategory

```

!- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: INFILTRATION =====

INFILTRATION,

```

INFIL01,              !- Name
WRK,                  !- Zone Name
WRK_INF_YEAR_SCH,     !- SCHEDULE Name
ACH,                  !- Design Volume Flow Rate calculation method
0,                    !- Design Volume Flow Rate {m3/s}
0,                    !- Flow per Zone Area {m3/s-m2}
0,                    !- Flow per Exterior Surface Area {m3/s-m2}
0.5,                  !- Air Changes Per Hour
,                     !- Constant Term Coefficient
,                     !- Temperature Term Coefficient
,                     !- Velocity Term Coefficient
;                     !- Velocity Squared Term Coefficient

```

!- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: NODE LIST =====

NODE LIST,

```

WRK_InletNodes,       !- Node List Name
WRK_Node_1;           !- Node_ID_1

```

!- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: CONTROLLED ZONE EQUIP
CONFIGURATION =====

CONTROLLED ZONE EQUIP CONFIGURATION,

WRK, !- Zone Name
WRK_Equipment, !- List Name: Zone Equipment
WRK_InletNodes, !- Node List or Node Name: Zone Air Inlet Node(s)
, !- Node List or Node Name: Zone Air Exhaust Node(s)
WRK_AirNode, !- Zone Air Node Name
WRK_ReturnAirNode; !- Zone Return Air Node Name

!- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: ZONE EQUIPMENT LIST
=====

ZONE EQUIPMENT LIST,

WRK_Equipment, !- Name
PURCHASED AIR, !- KEY--Zone Equipment Type 1
WRK_PurchasedAir, !- Type Name 1
1, !- Cooling Priority 1
1; !- Heating Priority 1

!- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: PURCHASED AIR =====

PURCHASED AIR,

WRK_PurchasedAir, !- Purchased Air Name
WRK_Node_1, !- Zone Supply Air Node Name
43.33, !- Heating Supply Air Temp {C}
13, !- Cooling Supply Air Temp {C}
0.015, !- Heating Supply Air Humidity Ratio {kg-H2O/kg-air}
0.01, !- Cooling Supply Air Humidity Ratio {kg-H2O/kg-air}
NO LIMIT, !- heating limit

```

autosize,          !- Maximum heating air flow rate {m3/s}
NO LIMIT,          !- cooling limit
autosize,          !- Maximum cooling air flow rate {m3/s}
NO OUTSIDE AIR,    !- outside air
autosize;          !- Outside air flow rate {m3/s}

```

```

!- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: ZONE CONTROL:THERMOSTATIC
=====

```

```

ZONE CONTROL:THERMOSTATIC,
  WRK_Thermostat,    !- Thermostat Name
  WRK,               !- Zone Name
  WRK_CTL_YEAR_SCH,  !- Control Type SCHEDULE Name
  Single Cooling SetPoint, !- Control Type #1
  WRK_CoolingSetpoints; !- Control Type Name #1

```

```

!- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: SINGLE COOLING SETPOINT
=====

```

```

SINGLE COOLING SETPOINT,
  WRK_CoolingSetpoints, !- Name
  WRK_CTMP_YEAR_SCH;    !- Setpoint Temperature SCHEDULE Name

```

```

!- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: REPORT VARIABLE =====

```

```

Report Variable,
  *,          !- Key_Value
  Outdoor Dry Bulb ,    !- Variable_Name
  hourly;        !- Reporting_Frequency

```

```

Report Variable,
  *,          !- Key_Value

```

Zone Mean Air Temperature , !- Variable_Name
 hourly; !- Reporting_Frequency

Report Variable,

*, !- Key_Value

Surface Inside Temperature, !- Variable_Name
 hourly; !- Reporting_Frequency

Report Variable,

*, !- Key_Value

Surface Outside Temperature, !- Variable_Name
 hourly; !- Reporting_Frequency

Report Variable,

*, !- Key_Value

Zone Lights Electric Consumption, !- Variable_Name
 hourly; !- Reporting_Frequency

Report Variable,

*, !- Key_Value

Zone Electric Equipment Electric Consumption, !- Variable_Name
 hourly; !- Reporting_Frequency

Report Variable,

*, !- Key_Value

Zone Infiltration Air Change Rate, !- Variable_Name
 hourly; !- Reporting_Frequency

Report Variable,

*, !- Key_Value

Purchased Air Total Cooling Energy, !- Variable_Name

hourly; !- Reporting_Frequency

!- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: REPORT =====

Report,

variable dictionary; !- Type_of_Report

Report,

surfaces, !- Type_of_Report

dxs, !- Name_of_Report

Triangulate 3Dface; !- Specifications1_for_Report

Report,

construction; !- Type_of_Report

Report,

Surfaces, !- Type_of_Report

details; !- Name_of_Report

!- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: REPORT:TABLE:STYLE =====

Report:Table:Style,

comma, !- ColumnSeparator

JtoKWH; !- UnitConversion

!- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: REPORT:TABLE:MONTHLY
=====

Report:Table:Monthly,

Building Monthly Energy Consumption Report, !- Name

2, !- DigitsAfterDecimal

PurchasedCooling:Facility, !- VariableOrMeterName01

SumOrAverage, !- AggregationType01

InteriorLights:Electricity, !- VariableOrMeterName02

SumOrAverage, !- AggregationType02

InteriorEquipment:Electricity, !- VariableOrMeterName03

SumOrAverage; !- AggregationType03

Report:Table:Monthly,

Lighting Energy Consumption Report, !- Name

2, !- DigitsAfterDecimal

InteriorLights:Electricity:Zone:WRK , !- VariableOrMeterName01

SumOrAverage, !- AggregationType01

InteriorLights:Electricity, !- VariableOrMeterName02

SumOrAverage; !- AggregationType02

Report:Table:Monthly,

Electrical Equipment, !- Name

2, !- DigitsAfterDecimal

InteriorEquipment:Electricity:Zone:WRK , !- VariableOrMeterName01

SumOrAverage, !- AggregationType01

InteriorEquipment:Electricity, !- VariableOrMeterName02

SumOrAverage; !- AggregationType02

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ นายวรวุฒิ ธนาวุฒินา

ที่อยู่ 26/4 สุขุมวิท 65 แขวงพระโขนงเหนือ เขตวัฒนา กทม. 10110

เบอร์โทรศัพท์ 081-8709209

E-mail wutt_77@yahoo.com

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2544 สำเร็จการศึกษาจาก คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต

พ.ศ. 2549 ศึกษาต่อระดับปริญญาโท สาขาวิชาสถาปัตยกรรม

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ประวัติการทำงาน

พ.ศ. 2544 สถาปนิก บริษัท อาร์ค ซีโร่ ตรี จำกัด

พ.ศ. 2545-2547 สถาปนิก บริษัท คัลเลอร์ ปาร์ตี้ จำกัด

พ.ศ. 2547-2549 สถาปนิก บริษัท เอ-เซเวน คอร์เปอร์เรชั่น จำกัด