การเปรียบเทียบศักยภาพของการป้องกันความร้อน
ระหว่างการใช้สวนหลังคากับระบบหลังคาชั้นดีทั่วไป

นางสาวณัฏฐิณี นวลสกุล

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2545

ISBN 974 – 17 – 2198 - 6

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A COMPARATIVE STUDY OF THERMAL BENEFIT BETWEEN ROOF GARDEN AND CONVENTIONAL ROOF SYSTEMS.

Miss.Nattinee Nualsakul

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Architecture in Architecture
Department of Architecture
Faculty of Architecture
Chulalongkorn University
Academic Year 2002

ISBN 974 – 17 – 2198 – 6

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเปรียบเทียบศักยภาพของการป้องกันความร้อน ระหว่างการใช้สวนหลังคากับระบบหลังคาชั้นดีทั่วไป
โดย	นางสาวณัฏฐิณี นวลสกุล
สาขาวิชา	สถาปัตยกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษา	ศาสตราจารย์.ดร.สุนทร บุญญาธิการ

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.วีระ สัจกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์เลอสม สถาปิตานนท์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ศาสตราจารย์.ดร.สุนทร บุญญาธิการ)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์.ดร.วรสัณฑ์ บูรณากาญจน์)

.....กรรมการ
(อาจารย์พรรณชลัท สุริโยธิน)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นางสาวณัฏฐิณี นวลสกุล: การเปรียบเทียบศักยภาพของการป้องกันความร้อนระหว่างการใช้สวนหลังคากับระ บบหลังคาที่ใช้กันทั่วไป. (A COMPARATIVE STUDY OF THERMAL BENEFIT BETWEEN ROOF GARDEN AND CONVENTIONAL ROOF SYSTEMS) อาจารย์ที่ปรึกษา: ศาสตราจารย์ ดร.สุนทร บุญญาธิการ, 245 หน้า. ISBN 974 – 17 – 2198 – 6

หลังคาเมื่อได้รับอิทธิพลจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์จะส่งผลให้อุณหภูมิของหลังคาเพิ่มสูงขึ้น จากการวิจัยพบว่าหลังคาคอนกรีตมีอุณหภูมิผิวสูงกว่าอุณหภูมิอากาศมากกว่า 10 องศาเซลเซียส (^{o}C) ความร้อนของหลังคานี้เป็นเหตุให้เกิดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในอาคาร ซึ่งมีอิทธิพลต่อความรู้สึกร้อนหนาวของผู้ใช้อาคาร

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายหลักเพื่อศึกษาพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของสวนหลังคาเข้าสู่ภายในอาคาร ทั้งที่ใช้ระบบปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ ในกระบวนการวิจัยได้สร้างอาคารทดลองขึ้นโดยมีองค์ประกอบของหลังคาแบบต่างๆ 4 ชนิด ได้แก่ หลังคาคอนกรีต หลังคาที่ปกคลุมด้วยหญ้า ปกคลุมด้วยพืชคลุมดินลำต้นเตี้ย และปกคลุมด้วยไม้พุ่มสูง เมื่อพืชบนหลังคาชนิดต่างๆ เจริญเติบโตและมีความสมบูรณ์แล้วได้ทำการเก็บข้อมูลอุณหภูมิผิวภายในของหลังคาทั้ง 4 ประเภท ในสภาพแวดล้อมและเวลาเดียวกัน

ผลจากการเก็บข้อมูล ตั้งแต่เดือนมีนาคมถึงเมษายนซึ่งเป็นช่วงร้อนสุดของปี มีอุณหภูมิอากาศเฉลี่ย 37 ^{o}C พบว่า ในกรณีปรับอากาศ อุณหภูมิผิวภายในสูงสุดของหลังคาคอนกรีตมีอุณหภูมิ 40.13 ^{o}C สวนหลังคาหญ้ามีอุณหภูมิ 26.73 ^{o}C สวนหลังคาพืชคลุมดินลำต้นเตี้ยมีอุณหภูมิ 25.74^{o}C และสวนหลังคาไม้พุ่มสูงมีอุณหภูมิ 25.17 ^{o}C ในกรณีไม่ปรับอากาศ อุณหภูมิผิวภายในสูงสุดของหลังคาคอนกรีตมีอุณหภูมิ 39.36 ^{o}C สวนหลังคาหญ้ามีอุณหภูมิ 30.12 ^{o}C สวนหลังคาพืชคลุมดินลำต้นเตี้ยมีอุณหภูมิ 29.11 ^{o}C และสวนหลังคาไม้พุ่มสูงมีอุณหภูมิ 28.11 ^{o}C

การวิจัยสรุปได้ว่า สวนหลังคาไม้พุ่มสูงสามารถทำให้อุณหภูมิผิวฝ้าภายในอาคารมีค่าน้อยที่สุด ต่ำกว่าสวนหลังคาพืชคลุมดินลำต้นเตี้ย และสวนหลังคาหญ้า การใช้ระบบสวนหลังคาสามารถลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในอาคารได้มากกว่า 15 ^{o}C เมื่อเปรียบเทียบกับหลังคาคอนกรีต และลดภาระการทำความเย็นได้อย่างน้อย 89% การวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบสถาปัตยกรรมเพื่อลดอัตราการใช้พลังงานได้ต่อไป

ภาควิชา สถาปัตยกรรมศาสตร์ ลายมือชื่อนิสิต ณัฏฐิณี นวลสกุล

สาขาวิชา สถาปัตยกรรม ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2545 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

447 41421 25 : MAJOR ARCHITECTURE

KEY WORDS : ROOF GARDEN / TIME LAG / HEAT CAPACITY

NATTINEE NUALSAKUL: A COMPARATIVE STUDY OF THERMAL BENEFIT BETWEEN ROOF GARDEN AND CONVENTIONAL ROOF SYSTEMS. THESIS ADVISOR: PROFESSOR SOONTORN BOONYATIKARN, Ph.D. 245 pp. ISBN 974–17–2198-6

Roofs absorb solar radiation and this causes its temperature to rise. Research on the concrete roofs have found temperatures to be 10 °C higher than the air temperature. The high roof's temperature causes the heat to be transfered into the building. The transfer affects the comfort of residents inside the building.

This research focuses on the effect of heat transfer into such buildings with or without air-condition. Experiments were made on a model building divided into 4 roof types: concrete roof, grass, ground cover crops, and bush. Data of the interior surface temperatures are collected at key intervals.

Research findings collected in March and April are as follows: for an air-conditioned environment, the interior-surface temperature of the concrete roof was 40.13 °C, the grass covered roof was 26.73 °C, the ground cover crops was 25.74 °C, and bush was 25.17 °C. For the non air-conditioned environment the interior-surface temperature of concrete roof was 39.36 °C, grass covered roof was 30.12 °C, ground cover crops was 29.11 °C, and bush was 28.91 °C, respectively.

It can be concluded that the bush-covered roof is the best way to provide the lowest interior-surface temperature in the building. The radiation from the sun is reflect and very little is absorbed. Roof garden systems can reduce the heat transfer into buildings more than 15 °C compared to a concrete roof. This in turn reduce the cooling load at least 89%. Research results can be applied in architectural design to reduce energy consumption.

Department	Architecture	Student's signature	ณัฐนี นวลสกุล
Field of study	Architecture	Advisor's signature	Soont Boonyat
Academic year	2002	Co-advisor's signatur	

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สามารถสำเร็จลุล่วงได้ดี เนื่องจากได้รับการช่วยเหลือและความอนุเคราะห์จากบุคคล และสถาบันดังต่อไปนี้

ขอขอบคุณ ศาสตราจารย์ ดร.สุนทร บุญญาธิการ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำ คำปรึกษา ตลอดจนเทคนิคต่างๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำงานวิจัย

ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรสัณฑ์ บูรณากาญจน์ อาจารย์ผู้ประศาสน์วิชา ที่กรุณาให้คำแนะนำ คำปรึกษา ที่เป็นประโยชน์ตลอดหลักสูตรการศึกษา โดยเฉพาะในช่วงเวลาที่ทำการวิจัย

ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ธนิต จินดาวณิค อาจารย์พรรณชลัท สุริโยธิน อาจารย์พิรัส พัชรเศวต ที่ให้คำแนะนำช่วยเหลืออย่างดีระหว่างการศึกษา

ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยสิงห์ ภู่รักษ์เกียรติ ที่ให้คำแนะนำในการเขียนบทคัดย่อวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณ คณาจารย์ และเจ้าหน้าที่คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ทุกๆ ท่าน ที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการติดต่อประสานงานด้านเอกสาร และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ขอขอบคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และน้ำหวาน ที่ให้การสนับสนุน และให้กำลังใจมาโดยตลอด ตั้งแต่เข้าศึกษาจนกระทั่งเสร็จวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณ คุณวันชัย เลิศเทวศิริ ที่ให้คำแนะนำในการเขียนบทคัดย่อวิทยานิพนธ์

ขอบคุณเพื่อนร่วมรุ่นทุกคน เพชร มอส ทราย พี่เศรษฐ์ พี่จั้ม พี่หลิน พี่โอ พี่ชด พี่เอ พี่สร้อย ที่คอยให้ความช่วยเหลือตลอดระยะเวลาที่ทำการศึกษา

ขอบคุณพี่ตาลและอ๋ำ สำหรับ Printer ดีๆ

ขอขอบคุณพี่อ๊อดที่คอยเป็นกำลังใจ ให้ความช่วยเหลือในทุกๆ เรื่องจริงๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ญ

สารบัญภาพ..... ฎ

สารบัญแผนภูมิ..... ฑ

บทที่

บทที่ 1 บทนำ..... 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 3

1.3 ขอบเขตของการศึกษา..... 3

1.4 วิธีดำเนินงานวิจัย..... 4

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 6

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 7

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง..... 8

2.1 สภาวะน่าสบายทางอุณหภูมิ..... 8

2.2 สภาพแวดล้อมที่มีอิทธิพลต่อสภาพอากาศ..... 14

2.3 ปัจจัยภายนอกที่มีอิทธิพลต่อการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร..... 15

2.4 คุณสมบัติของวัตถุ ที่มีต่อการถ่ายเทความร้อน..... 25

2.5 คุณสมบัติของผิววัตถุซึ่งตอบสนองต่อการแผ่รังสีความร้อน..... 28

2.6 คุณสมบัติในการแผ่รังสีของพื้นผิววัตถุ..... 30

2.7 อิทธิพลของมวลสารและการหน่วงเหนี่ยวความร้อน..... 31

2.8 พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านเปลือกอาคาร..... 32

2.9 อุณหภูมิพื้นผิว..... 40

2.10 ลักษณะทางกายภาพของดิน..... 41

2.11 อุณหภูมิดิน..... 49

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ หน้า

2.12 แนวทางการใช้ประโยชน์จากอุณหภูมิดินเพื่อปรุงแต่งสภาวะน่าสบายในอาคาร..... 60
2.13 ความสำคัญของต้นไม้ต่อการปรุงแต่งสภาพภูมิอากาศ..... 68
2.14 การเปรียบเทียบมูลค่าพลังงานที่ต้องใช้ในแต่ละปี
และการคำนวณระยะเวลาการคืนทุน..... 71
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2.15 อิทธิพลของสภาพแวดล้อมทางธรรมชาติที่มีต่ออุณหภูมิบริเวณอาคาร..... 73
2.16 การวิจัยประยุกต์เพื่อการออกแบบประหยัดพลังงาน..... 76
2.17 การทำความเย็นแก่อาคารโดยการใช้ผิวสัมผัสดิน..... 79
2.18 การเปรียบเทียบอุณหภูมิดินที่ระดับความลึกต่างๆ
ภายใต้สิ่งปกคลุมที่แตกต่างกัน 5 ชนิด..... 80
2.19 การควบคุมอุณหภูมิโดยการปรับสภาพแวดล้อม..... 82
2.20 การใช้สวนหลังคาเพื่อลดการถ่ายเทความร้อน..... 83
2.21 การวิจัยเปรียบเทียบคุณสมบัติของวัสดุธรรมชาติและวัสดุสังเคราะห์..... 85
2.22 Cooling Effect of Greenery Cover Over a Building..... 86
2.23 Ecological Roof..... 89

บทที่ 3 สมมติฐานและระเบียบวิธีการวิจัย..... 90
3.1 สมมติฐานการวิจัย..... 90
3.2 ระเบียบวิธีการวิจัย..... 91
3.2.1 ขั้นตอนการเลือกพืชที่ปลูกบนสวนหลังคา..... 92
3.2.2 ขั้นตอนการเตรียมการวิจัย..... 95
3.2.3 ขั้นตอนการเก็บข้อมูลเพื่อนำมาวิจัย..... 101

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ หน้า

บทที่ 4 ผลการวิจัยและการวิเคราะห์ข้อมูล..... 118
4.1 ชุดการทดลองที่ 1 การศึกษาอิทธิพลในการป้องกันความร้อนเข้าสู่ภายในอาคาร โดยการใช้สวนหลังคา..... 119
4.1.1 การทดลองที่ 1.1 การศึกษาชนิดของต้นไม้ที่ปกคลุมดิน..... 119
4.1.2 การทดลองที่ 1.2 การศึกษาปริมาณความชื้นในดิน..... 134
4.2 ชุดการทดลองที่ 2 การศึกษาแนวทางในการนำประโยชน์ของสวนหลังคามาใช้ในอาคารปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ..... 138
4.2.1 การทดลองที่ 2.1 ศึกษาสวนหลังคากับอาคารในระบบปรับอากาศ..... 138
4.2.2 การทดลองที่ 2.2 ศึกษาสวนหลังคากับอาคารในระบบไม่ปรับอากาศ.. 156
ชุดการทดลองเพิ่มเติมที่ 1 การเปรียบเทียบสวนหลังคากับหลังคาฉนวน 6 นิ้ว ในระบบปรับอากาศ..... 173
ชุดการทดลองเพิ่มเติมที่ 2 การเปรียบเทียบสวนหลังคากับหลังคาฉนวน 6 นิ้ว ในระบบไม่ปรับอากาศ..... 179
4.3 ชุดการทดลองที่ 3 การศึกษาอิทธิพลของมวลสารของหลังคา ในการหน่วงเหนี่ยวความร้อนที่เข้ามาภายในอาคาร..... 184
4.3.1 การทดลองที่ 3.1 การศึกษาระยะเวลาในการหน่วงเหนี่ยวความร้อน..... 184
4.3.2 การทดลองที่ 3.2 การศึกษาความสามารถในการเก็บกักความเย็นของสวนหลังคา..... 195

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ..... 200
5.1 สรุปผลการวิจัย..... 201
5.2 ข้อเสนอแนะ..... 207

รายการอ้างอิง..... 210
ภาคผนวก..... 212
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 245

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 2 – 1 แสดงค่าการสะท้อนของวัสดุ..... 29

ตาราง 2 – 2 แสดงการเปรียบเทียบมวลสารประเภท Low, Medium และ High Mass..... 36

ตาราง 2 – 3 แสดงการจำแนกกลุ่มขนาด (soil Separates) ตามระบบสหรัฐอเมริกา (USDA) เปรียบเทียบกับระบบสากล (ISSS)..... 47

ตาราง 2 – 4 แสดงความร้อนจำเพาะของส่วนต่างๆ ของดิน..... 54

ตาราง 2 – 5 แสดงความหนาแน่น, ค่าการนำความร้อน และค่าการต้านทานความร้อนของดินชนิดต่างๆ..... 55

ตาราง 2 – 6 แสดงอุณหภูมิของดินที่ระดับความลึกต่างๆ ใต้สิ่งปกคลุมที่ต่างกัน..... 80

ตาราง 4 – 1 แสดงอุณหภูมิสูงสุดของดินที่ระดับความลึก 5 และ 30 ซม. ใต้หญ้า พืชคลุมดิน และไม้พุ่ม..... 132

ตาราง 4 – 2 การเปรียบเทียบปริมาณความชื้นของดินที่ระดับความลึก 5 และ 30 ซม. ใต้หญ้า พืชคลุมดินและไม้พุ่ม..... 134

ตาราง 4 – 3 แสดงภาระในการปรับอากาศของหลังคาคอนกรีต สวนหลังคาหญ้า พืชคลุมดิน และไม้พุ่ม..... 155

ตาราง 4 – 4 แสดงอุณหภูมิผิวภายในของหลังคาคอนกรีต สวนหลังคาหญ้า พืชคลุมดิน และไม้พุ่ม ในระบบไม่ปรับอากาศ..... 172

ตาราง 4 – 5 แสดงภาระในการปรับอากาศของหลังคาคอนกรีต สวนหลังคาหญ้า พืชคลุมดิน ไม้พุ่ม และหลังคาฉนวน 6 นิ้ว..... 178

ตาราง 4 – 6 แสดงอุณหภูมิผิวภายในของหลังคาคอนกรีต สวนหลังคาหญ้า พืชคลุมดิน ไม้พุ่ม และหลังคาฉนวน 6 นิ้วในระบบไม่ปรับอากาศ..... 183

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 2 – 1 แสดงการเปรียบเทียบผลที่ได้รับจากการออกแบบทั่วไปที่ไม่เน้นประหยัดพลังงาน กับการใช้แนวความคิดใหม่ของการออกแบบที่เน้นประหยัดพลังงาน..... 14
ภาพที่ 2 – 2 Heat Exchange Environment..... 21
ภาพที่ 2 – 3 แสดงการส่งผ่านความร้อนกลับสู่ท้องฟ้าในเวลากลางคืน..... 21
ภาพที่ 2 – 4 อุณหภูมิของพื้นดินที่มีลักษณะรูปร่างต่างกัน..... 22
ภาพที่ 2 – 5 แสดงคุณสมบัติของพืชคลุมดินในการลดปริมาณความร้อน..... 23
ภาพที่ 2 – 6 Plant Control Solar Radiation..... 23
ภาพที่ 2 – 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสะท้อนรังสี ค่าการดูดซับรังสี และค่าการส่งผ่านรังสี..... 27
ภาพที่ 2 – 8 แสดงส่วนประกอบของดินโดยปริมาตร ที่เหมาะสมต่อการเพาะปลูก..... 42
ภาพที่ 2 – 9 อิทธิพลของขนาดอนุภาคต่อเนื้อที่ผิวในมวลสารดิน..... 44
ภาพที่ 2 –10 อิทธิพลของขนาดอนุภาคต่อขนาดของช่องในมวลสารดิน..... 45
ภาพที่ 2 – 11 แสดงการใช้ประโยชน์จากวัสดุคลุมดิน เพื่อลดอุณหภูมิบริเวณผิวดิน 52
ภาพที่ 2 – 12 แสดงวัสดุคลุมดิน เพื่อลดปริมาณรังสีดวงอาทิตย์บริเวณผิวหน้าดิน..... 52
ภาพที่ 2 – 13 แสดงการระเหยของน้ำบริเวณผิวดิน ในเวลากลางวันและกลางคืน..... 53
ภาพที่ 2 – 14 แสดงความแปรปรวนของอุณหภูมิดินสัมพันธ์กับระดับความลึก..... 61
ภาพที่ 2 – 15 แสดงแนวคิดกี่ขุดดินเพื่อฝังอาคาร (Subgrade)..... 63
ภาพที่ 2 – 16 แสดงการออกแบบอาคารที่สัมผัสดินโดยการฝังกลบ (Berm)..... 63
ภาพที่ 2 – 17 แสดงการสัมผัสดินของพื้นผิวภายนอกอาคารในรูปแบบต่างๆ..... 64
ภาพที่ 2 – 18 แสดงการใช้ระบบหมุนเวียนอากาศผ่านท่อใต้ดิน ในรูปแบบต่างๆ..... 66
ภาพที่ 2 – 19 แสดงแนวคิดการบังคับทิศทางลมให้ผ่านถ้ำ..... 67
ภาพที่ 2 – 20 Vegetation and Temperature Control..... 69
ภาพที่ 2 – 21 Solar Radiation Control..... 70
ภาพที่ 2 – 22 แสดงการนำผลการวิจัยอุณหภูมิดินมาประยุกต์ใช้..... 74
ภาพที่ 2 – 23 คุณสมบัติด้านการกันความร้อนของต้นไม้..... 75
ภาพที่ 2 – 24 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศในบริเวณที่มีสภาพแวดล้อมต่างกัน..... 77
ภาพที่ 2 – 25 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวพื้นคอนกรีตและพื้นหญ้ากลางแจ้ง..... 78

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพที่ 2 – 26 หุ่นจำลองในการเก็บข้อมูลของ T.Takakura..... 86
ภาพที่ 2 – 27 กราฟแสดงผลการทดลองของ T.Takakura..... 87
ภาพที่ 2 – 28 ภาพแสดงการเกิด Heat Flow ทดลองของ T.Takakura..... 87
ภาพที่ 2 – 29 กราฟแสดงผลการทดลองของ T.Takakura..... 88
ภาพที่ 2 – 30 ภาพแสดงการเกิด Heat Flow ทดลองของ T.Takakura..... 88
ภาพที่ 2 – 31 แสดงพื้นที่ๆ ใช้วิจัย Ecological Roof ในประเทศสเปน..... 89
ภาพที่ 3 – 1 พืชประเภทไม้พุ่มซึ่งเป็นกลุ่มตัวอย่างในการทดลอง..... 92
ภาพที่ 3 – 2 พืชคลุมดินซึ่งเป็นกลุ่มตัวอย่างในการทดลอง..... 93
ภาพที่ 3 – 3 พืชประเภทหญ้าซึ่งเป็นกลุ่มตัวอย่างในการทดลอง..... 94
ภาพที่ 3 – 4 แสดงพื้นที่ทดลองก่อนการก่อสร้างกล่องทดลอง..... 95
ภาพที่ 3 – 5 เครื่องมือไซเมตริกดาต้าลอคเกอร์..... 96
ภาพที่ 3 – 6 เครื่องฟลูคไฮดร้าลอคเกอร์..... 96
ภาพที่ 3 – 7 เครื่องโฮโบ..... 97
ภาพที่ 3 – 8 กล่องทดลองที่ใช้เก็บข้อมูล..... 98
ภาพที่ 3 – 9 โครงสร้างระบบผนัง Suprawall..... 98
ภาพที่ 3 – 10 Sun Chart ที่ 14 องศาเหนือ..... 99
ภาพที่ 3 – 11 ลักษณะการโคจรของดวงอาทิตย์ในเดือนกุมภาพันธ์..... 99
ภาพที่ 3 – 12 ทิศทางของลมในเดือนกุมภาพันธ์..... 100
ภาพที่ 3 – 13 ลักษณะการวางกล่องทดลอง..... 100
ภาพที่ 3 – 14 การแบ่งกลุ่มของต้นไม้ที่ทำการทดสอบที่ 1.1..... 102
ภาพที่ 3 – 15 ลักษณะและตำแหน่งของการเก็บข้อมูลการทดลอง 1.1..... 103
ภาพที่ 3 – 16 การแบ่งกลุ่มของต้นไม้ที่ทำการทดสอบที่ 1.2..... 104
ภาพที่ 3 – 17 ลักษณะและตำแหน่งของการเก็บข้อมูลการทดลอง 1.2..... 105
ภาพที่ 3 – 18 การแบ่งกลุ่มของต้นไม้ที่ทำการทดสอบที่ 2.1..... 106
ภาพที่ 3 – 19 ลักษณะและตำแหน่งของการเก็บข้อมูลการทดลอง 2.1..... 107
ภาพที่ 3 – 20 การแบ่งกลุ่มของต้นไม้ที่ทำการทดสอบที่ 2.2..... 108
ภาพที่ 3 – 21 ลักษณะและตำแหน่งของการเก็บข้อมูลการทดลอง 2.2..... 109
ภาพที่ 3 – 22 การแบ่งประเภทหลังคาของการทดลองเพิ่มเติมที่ 1..... 110
ภาพที่ 3 – 23 ลักษณะและตำแหน่งของการเก็บข้อมูลการทดลองเพิ่มเติมที่ 1..... 111

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพที่ 3 – 24 การแบ่งประเภทหลังคาของการทดลองเพิ่มเติมที่ 2..... 112
ภาพที่ 3 – 25 ลักษณะและตำแหน่งของการเก็บข้อมูลการทดลองเพิ่มเติมที่ 2..... 113
ภาพที่ 3 – 26 การแบ่งกลุ่มของต้นไม้ที่ทำการทดสอบที่ 3.1..... 114
ภาพที่ 3 – 27 ลักษณะและตำแหน่งของการเก็บข้อมูลการทดลอง 3.1..... 115
ภาพที่ 3 – 28 การแบ่งกลุ่มของต้นไม้ที่ทำการทดสอบที่ 3.2..... 116
ภาพที่ 3 – 29 ลักษณะและตำแหน่งของการเก็บข้อมูลการทดลอง 3.2..... 117

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญแผนภูมิ

หน้า

กราฟที่ 4 – 1 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิดินใต้พืชต่างชนิดกันที่ระดับความลึก 5 ซม..... 120
กราฟที่ 4 – 2 แผนภูมิแท่งแสดงอุณหภูมิสูงสุด ต่ำสุด เฉลี่ยของอุณหภูมิดินที่ระดับความลึก 5 ซม. ของหญ้า พืชคลุมดิน ไม้พุ่ม..... 122
กราฟที่ 4 – 3 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิดินใต้พืชต่างชนิดกันที่ระดับความลึก 30 ซม..... 124
กราฟที่ 4 – 4 แผนภูมิแท่งแสดงอุณหภูมิสูงสุด ต่ำสุด เฉลี่ยของอุณหภูมิดินที่ระดับความลึก 30 ซม. ของหญ้า พืชคลุมดิน ไม้พุ่ม..... 126
กราฟที่ 4 – 5 แผนภูมิแท่งแสดงอุณหภูมิสูงสุด ต่ำสุด เฉลี่ยของอุณหภูมิดินที่ระดับความลึก 5 และ 30 ซม. ของหญ้า พืชคลุมดิน ไม้พุ่ม..... 128
กราฟที่ 4 – 6 แผนภูมิแท่งแสดงปริมาณความชื้นในดินที่ระดับความลึก 5 และ 30 ซม. ของหญ้า พืชคลุมดิน ไม้พุ่ม..... 130
กราฟที่ 4 – 7 แผนภูมิแสดงปริมาณความชื้นของดินที่ระดับ 5 และ 30 ซม. ใต้หญ้า พืชคลุมดิน ไม้พุ่ม... 135
กราฟที่ 4 – 8 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิและปริมาณความชื้นของดินที่ระดับ 5 และ 30 ซม. ใต้หญ้า พืชคลุมดิน ไม้พุ่ม..... 137
กราฟที่ 4 – 9 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิแต่ละระดับของหลังคาคอนกรีตในระบบปรับอากาศ 139
กราฟที่ 4 – 10 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิแต่ละระดับของหลังคาหญ้าในระบบปรับอากาศ..... 141
กราฟที่ 4 –11กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิแต่ละระดับของหลังคาพืชคลุมดินในระบบปรับอากาศ 143
กราฟที่ 4 –12 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิแต่ละระดับของหลังคาไม้พุ่มในระบบปรับอากาศ... 145
กราฟที่ 4 –13 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิดินใต้ร่มไม้ของหญ้า พืชคลุมดิน ไม้พุ่มในระบบปรับอากาศ.. 147
กราฟที่ 4 – 14 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิดินที่ระดับความลึก 30 ซม. ของสวนหลังคาหญ้า พืชคลุมดิน ไม้พุ่มในระบบปรับอากาศ..... 149
กราฟที่ 4 – 15 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวภายในของสวนหลังคาหญ้า พืชคลุมดิน ไม้พุ่ม และหลังคาคอนกรีต ในระบบปรับอากาศ..... 151
กราฟที่ 4 – 16 แผนภูมิแท่งแสดงอุณหภูมิสูงสุด ต่ำสุด เฉลี่ย ของหลังคาคอนกรีต สวนหลังคาหญ้า พืชคลุมดิน ไม้พุ่ม และหลังคาคอนกรีต ในระบบปรับอากาศ..... 153
กราฟที่ 4 – 17 กราฟแสดงปริมาณความร้อนผ่านหลังคาคอนกรีต สวนหลังคาหญ้า พืชคลุมดิน ไม้พุ่ม 154
กราฟที่ 4 –18 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิแต่ละระดับของหลังคาคอนกรีตในระบบไม่ปรับอากาศ157
กราฟที่ 4 – 19 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิแต่ละระดับของสวนหลังคาหญ้าในระบบไม่ปรับอากาศ..... 159
กราฟที่ 4 – 20 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิแต่ละระดับของสวนหลังคาพืชคลุมดินในระบบไม่ปรับอากาศ 161
กราฟที่ 4 – 21 กราฟการเปรียบเทียบอุณหภูมิแต่ละระดับสวนหลังคาไม้พุ่มในระบบไม่ปรับอากาศ..... 163

สารบัญแผนภูมิ (ต่อ)

หน้า

กราฟที่ 4 – 22 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิดินใต้ร่มไม้ของหญ้า พืชคลุมดิน ไม้พุ่มในระบบไม่ปรับอากาศ165
กราฟที่ 4 – 23 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิดินที่ระดับความลึก 30 ซม. ของสวนหลังคาหญ้า พืชคลุมดิน ไม้พุ่มในระบบไม่ปรับอากาศ..... 167
กราฟที่ 4 – 24 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวภายในของสวนหลังคาหญ้า พืชคลุมดิน ไม้พุ่ม และหลังคาคอนกรีต ในระบบปรับไม่อากาศ..... 169
กราฟที่ 4 – 25 แผนภูมิแท่งแสดงอุณหภูมิสูงสุด ต่ำสุด เฉลี่ย ของหลังคาคอนกรีต สวนหลังคาหญ้า พืชคลุมดิน ไม้พุ่ม และหลังคาคอนกรีต ในระบบไม่ปรับอากาศ..... 171
กราฟที่ 4 – 26 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวภายในของสวนหลังคาหญ้า พืชคลุมดิน ไม้พุ่ม หลังคาคอนกรีต และหลังคาฉนวน 6 นิ้ว ในระบบปรับอากาศ..... 174
กราฟที่ 4 – 27 แผนภูมิแท่งแสดงอุณหภูมิผิวในสูงสุด ต่ำสุด เฉลี่ย ของหลังคาคอนกรีต สวนหลังคาหญ้า พืชคลุมดิน ไม้พุ่ม หลังคาคอนกรีต และหลังคาฉนวน 6 นิ้ว ในระบบปรับอากาศ..... 176
กราฟที่ 4 – 28 กราฟแสดงปริมาณความร้อนผ่านหลังคาคอนกรีต สวนหลังคาหญ้า พืชคลุมดิน ไม้พุ่ม และหลังคาฉนวน 6 นิ้ว 177
กราฟที่ 4 – 29 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวภายในของสวนหลังคาหญ้า พืชคลุมดิน ไม้พุ่ม หลังคาคอนกรีต และหลังคาฉนวน 6 นิ้ว ในระบบไม่ปรับอากาศ..... 180
กราฟที่ 4 – 30 แผนภูมิแท่งแสดงอุณหภูมิผิวในสูงสุด ต่ำสุด เฉลี่ย ของหลังคาคอนกรีต สวนหลังคาหญ้า พืชคลุมดิน ไม้พุ่ม หลังคาคอนกรีต และหลังคาฉนวน 6 นิ้ว ในระบบไม่ปรับอากาศ..... 182
กราฟที่ 4 – 31 กราฟแสดงอิทธิพลของมวลสารหลังคาคอนกรีต..... 185
กราฟที่ 4 – 32 กราฟแสดงอิทธิพลของมวลสารของสวนหลังคาหญ้า..... 187
กราฟที่ 4 – 33 กราฟแสดงอิทธิพลของมวลสารของสวนหลังคาพืชคลุมดิน..... 189
กราฟที่ 4 – 34 กราฟแสดงอิทธิพลของมวลสารของสวนหลังคาไม้พุ่ม 191
กราฟที่ 4 – 35 แผนภูมิแสดงระยะเวลาในการหน่วงเหนี่ยวความร้อนของสวนหลังคาหญ้า พืชคลุมดิน ไม้พุ่ม และหลังคาคอนกรีต..... 193
กราฟที่ 4 – 36 กราฟแสดงระยะเวลาในการเก็บกักความเย็นของสวนหลังคาหญ้า พืชคลุมดิน ไม้พุ่ม และหลังคาคอนกรีต..... 196
กราฟที่ 4 –37 กราฟขยายแสดงระยะเวลาในการเก็บกักความเย็นของสวนหลังคาหญ้า พืชคลุมดิน ไม้พุ่ม และหลังคาคอนกรีต..... 197
กราฟที่ 4 –38 แผนภูมิแท่งแสดงระยะเวลาในการเก็บกักความเย็นของสวนหลังคาหญ้า พืชคลุมดิน ไม้พุ่ม และหลังคาคอนกรีต..... 198

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ประเทศไทยเป็นประเทศที่ตั้งอยู่ในเขตร้อนชื้น (Hot Humid Climate) ดังนั้นสภาพภูมิอากาศจึงมีลักษณะของอุณหภูมิและความชื้นที่สูงเกือบตลอดทั้งปี[1] ซึ่งอยู่นอกขอบเขตของสภาวะน่าสบาย[2] (Comfort Zone) เป็นผลให้อัตราการใช้พลังงาน โดยเฉพาะพลังงานไฟฟ้าในการปรับอากาศเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะในเมืองใหญ่ซึ่งเป็นศูนย์กลางทางด้านเศรษฐกิจ เช่นกรุงเทพมหานครนั้น ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในการปรับอากาศคิดเป็นร้อยละ 50 – 60 ของปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในอาคารพาณิชย์ทั้งหมด ซึ่งเป็นวิกฤตที่น่าเป็นห่วงอย่างยิ่ง เนื่องจากพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานที่มีอยู่อย่างจำกัด และกำลังจะหมดไปในที่สุด

ในเมืองซึ่งเต็มไปด้วยอาคารพาณิชย์และอาคารสำนักงานขนาดใหญ่ อีกทั้งถนนหนทางมากมาย ที่ล้วนแล้วแต่เป็นคอนกรีต ซึ่งเป็นวัสดุที่มีการดูดซับ (Absorb) ความร้อนได้เป็นอย่างดี เมื่อได้รับอิทธิพลจากแสงของดวงอาทิตย์จะถูกเปลี่ยนเป็นความร้อนสะสมอยู่ในวัสดุนั้นๆ เป็นผลให้อุณหภูมิของหลังคาหรือดาดฟ้าของอาคารรวมทั้งถนนหนทางเหล่านี้ มีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารเกือบ 10 องศาเซลเซียส[3] (ประมาณ 14 องศาฟาเรนไฮต์) และความร้อนดังกล่าวก็จะค่อยๆ ส่งผ่าน (Heat Transfer) เข้ามาสู่ภายในอาคารด้วยการนำ (Conduction) ทำให้อุณหภูมิที่ผิวของหลังคาด้านในสูงขึ้น เป็นผลให้อุณหภูมิเฉลี่ยของผิวหลังคาด้านใน (Mean Radiant Temperature) นี้สูงขึ้นด้วย และอุณหภูมิเฉลี่ยของผิวหลังคาด้านใน (Mean Radiant Temperature) นี้เอง ที่มีอิทธิพลต่อความรู้สึกร้อน – หนาว ของผู้อยู่อาศัยภายในอาคาร

ในด้านของสถาปัตยกรรมเพื่อการอนุรักษ์พลังงานนั้น นอกจากการผสมผสานการออกแบบเพื่อให้อาคารใช้พลังงานน้อยที่สุด หรือมีประสิทธิภาพมากที่สุดแล้ว ยังต้องคำนึงถึงสภาวะน่าสบายของผู้ใช้อาคาร ซึ่งวิธีป้องกันความร้อนจากภายนอกอาคาร วิธีหนึ่งที่สามารถช่วยได้ คือ

---

[1] ประเสริฐ วิทยารัฐ, ภูมิศาสตร์กายภาพประเทศไทย, (กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์อักษรบัณฑิต, 2531), หน้า 31-57

[2] สภาวะที่ผู้ใช้อาคารไม่รู้สึกร้อนหนาวเนื่องจากสภาพอากาศมีอุณหภูมิและความชื้นที่เหมาะสม (สุนทร บุญญาธิการ 2542: 3)

[3] สุนทร บุญญาธิการ, เทคนิกการออกแบบบ้านประหยัดพลังงาน, (กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542), หน้า 77

การลดความร้อนจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ที่ผ่านเข้ามาทางหลังคา เนื่องจากหลังคาเป็นส่วนที่ได้รับความร้อนโดยตรงจากดวงอาทิตย์มากที่สุด หากไม่มีการป้องกันความร้อนในส่วนนี้แล้ว ความร้อนดังกล่าวย่อมส่งผลต่อสภาวะน่าสบายของผู้ใช้อาคาร และมีผลต่อการเพิ่มภาระการทำความเย็น (Cooling Load) ของเครื่องปรับอากาศเป็นแน่

ดังนั้นในการลดปริมาณความร้อนที่จะเข้าสู่ภายในอาคารทางหลังคา จึงเป็นวิธีหนึ่งในการลดอุณหภูมิที่ผิวของหลังคาภายนอกให้ได้มากที่สุด โดยการเลือกใช้วัสดุปกคลุมหลังคา เช่นการสร้างหลังคาสองชั้น เพื่อไม่ให้หลังคาของอาคารได้รับแสงโดยตรงจากดวงอาทิตย์ หรือการติดตั้งฉนวนเพื่อป้องกันความร้อน ซึ่งเป็นการลดอุณหภูมิผิวของหลังคาภายในให้ได้มากที่สุด แต่วิธีการเหล่านี้เป็นเพียงการป้องกัน อย่างไรก็ตามความร้อนยังคงเข้าสู่ภายในอาคาร อาจจะมากหรือน้อยนั้น ขึ้นอยู่กับศักยภาพของสิ่งที่นำมาใช้ในการป้องกันความร้อน

การใช้สวนบนหลังคา (Roof Garden) ในการปกคลุมหลังคาของอาคาร เป็นทางเลือกหนึ่งซึ่งไม่ใช่เป็นเพียงการป้องกันหลังคา ไม่ให้ได้รับอิทธิพลจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์โดยตรงเท่านั้น แต่เป็นการขจัดความร้อนออกจากหลังคา เนื่องจากพืชพันธุ์ต่างๆ ที่ปลูกเป็นสวนบนหลังคานั้น จะทำหน้าที่ดูดซับแสงจากดวงอาทิตย์ เพื่อนำไปใช้ในการปรุงอาหารตามกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช ประกอบกับการให้น้ำแก่พืชด้วยระบบน้ำหยด ทำให้ดินชุ่มชื้นตลอดเวลา เมื่อพืชเจริญงอกงามใบของพืชจะสร้างร่มเงาให้แก่ผิวดิน ซึ่งผิวดินที่เปียกในที่ร่มและมีลมพัดผ่านนี้เอง จะมีอุณหภูมิใกล้เคียงอุณหภูมิกระเปาะเปียก (ในเวลา 7.00 – 17.00น. วันที่ 3 มีนาคม 2540 อุณหภูมิดินเปียกใต้ร่มไม้ 25 – 29องศาเซลเซียส)[4] เมื่อสิ่งปกคลุมหลังคา (Roof Garden) นี้มีอุณหภูมิต่ำใกล้เคียงอุณหภูมิกระเปาะเปียก เป็นผลให้หลังคาของอาคารมีอุณหภูมิต่ำไปด้วย ทำให้ผู้อยู่อาศัยภายในอาคารซึ่งมีอุณหภูมิผิวของร่างกายสูงกว่าอุณหภูมิของผิวหลังคาด้านใน แผ่รังสีความร้อน (Radiate) ให้แก่หลังคาด้านบน ซึ่งเมื่อร่างกายสูญเสียความร้อนผู้อยู่อาศัยจึงรู้สึกเสมือนเย็นลงและรู้สึกสบาย

นอกจากนี้หากมองในภาพรวมของเมืองแล้วนั้น การที่หลังคาของอาคารต่างๆ มีพืชสีเขียวปกคลุมนั้น พืชจะดูดซับแสงจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ไว้เพื่อการสังเคราะห์แสง และอุณหภูมิของผิวดินที่ปกคลุมหลังคาอาคารอยู่นั้น มีอุณหภูมิต่ำใกล้เคียงอุณหภูมิกระเปาะเปียก เนื่องจากการให้น้ำแก่ดิน ทำให้ดินมีความชุ่มชื่นตลอดเวลา เป็นผลให้อุณหภูมิอากาศเหนือหลังคาอาคารนั้นๆ ลดต่ำลงกว่าอุณหภูมิของหลังคาอาคารที่ไม่มีสิ่งปกคลุม เป็นหลังคาคอนกรีต และหากหลังคา

---

[4] สุนทร บุญญาธิการ, เทคนิกการออกแบบบ้านประหยัดพลังงาน, หน้า 75

ของอาคารทั่วทั้งเมืองเป็นสีเขียวเนื่องจากการมีสวนบนหลังคา (Roof Garden) ทั้งหมด ก็จะเป็นการช่วยลดอุณหภูมิของเมืองลงอีกด้วย เพราะฉะนั้นการวิจัยนี้จึงมีประโยชน์อย่างยิ่งทั้งเพื่อตอบสนองความสบายของผู้ใช้อาคาร และต่ออุณหภูมิโดยรวมของเมืองและประเทศ เพื่อการอนุรักษ์พลังงานและสภาพแวดล้อมที่ดี

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

ในการศึกษาเปรียบเทียบศักยภาพของการป้องกันความร้อนระหว่างการใช้สวนหลังคากับระบบหลังคาที่ใช้กันทั่วไป มีวัตถุประสงค์ดังนี้

1. เพื่อศึกษาตัวแปรสำคัญที่มีอิทธิพล ในการป้องกันความร้อนที่เข้าสู่ภายในอาคารทางหลังคา
2. เพื่อศึกษาแนวทางในการนำประโยชน์ของสวนบนหลังคา (Roof Garden) มาใช้ในการออกแบบและปรับปรุงอาคารในระบบปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ
3. เพื่อศึกษาอิทธิพลของมวลสาร ของสวนหลังคาในการหน่วงเหนี่ยวความร้อนที่เข้ามาภายในอาคาร เพื่อใช้เป็นแนวทางในการออกแบบเพื่อการประหยัดพลังงานต่อไป

ขอบเขตของการศึกษา

1. ทำการศึกษาโดยการสร้างหุ่นจำลองเปรียบเทียบระหว่างหลังคาไม่มีความชัน (Slab) ที่มีสวนบนหลังคา (Roof Garden) กับ ที่ไม่มีสวนบนหลังคา และทำการบันทึกข้อมูล เป็นตัวแทนของสวนหลังคาจริง
2. ทำการเก็บข้อมูลที่หมู่บ้านเมืองเอก ในเขตกรุงเทพมหานคร ซึ่งเป็นตัวแทนของภาคกลาง ประเทศไทย
3. ทำการเก็บข้อมูลเฉพาะในเดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม ซึ่งเป็นช่วงฤดูร้อนเท่านั้น
4. ใช้ต้นไม้ในการทดสอบ 3 ประเภท โดยเลือกต้นไม้ที่เป็นตัวแทนแต่ละประเภท คือ
   - หญ้า เลือกใช้ หญ้ามาเลเซีย
   - พืชคลุมดิน เลือกใช้ ต้นเทียนทองเล็ก
   - ไม้พุ่ม เลือกใช้ ต้นนาคชมพู

วิธีดำเนินงานวิจัย

1. <u>ศึกษาค้นคว้าทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย</u>

1.1 ทฤษฎีและตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับสภาวะน่าสบาย

- สภาวะน่าสบายทางอุณหภูมิ
- สภาพแวดล้อมที่มีอิทธิพลต่อสภาพอากาศ
- ปัจจัยภายนอกที่มีอิทธิพลต่อการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร

1.2 การถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารและคุณสมบัติของวัสดุที่เกี่ยวข้อง

- คุณสมบัติของวัตถุ ที่มีต่อการถ่ายเทความร้อน
- คุณสมบัติของผิววัตถุซึ่งตอบสนองต่อการแผ่รังสีความร้อน
- คุณสมบัติในการแผ่รังสีของพื้นผิววัตถุ
- อิทธิพลของมวลสารและการหน่วงเหนี่ยวความร้อน
- พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านกรอบอาคาร
- อุณหภูมิพื้นผิว

1.3 ลักษณะทางกายภาพของดิน และตัวแปรที่ส่งผลต่ออุณหภูมิดินรวมทั้งสภาพภูมิอากาศ

- ลักษณะทางกายภาพของดิน
- อุณหภูมิดิน
- แนวทางการใช้ประโยชน์จากอุณหภูมิดิน เพื่อปรุงแต่งสภาวะน่าสบายภายในอาคาร
- ความสำคัญของต้นไม้ต่อการปรุงแต่งสภาพภูมิอากาศ

1.4 มูลค่าพลังงานและการคำนวณระยะเวลาการคืนทุน

- การเปรียบเทียบมูลค่าพลังงานที่ต้องใช้ในแต่ละปี และการคำนวณระยะ เวลาการคืนทุนอย่างง่าย

2. <u>ศึกษาเชิงปฏิบัติการ</u>

ในขั้นตอนการปฏิบัติการได้แบ่งชุดการทดลองออกเป็น 3 ชุดการทดลอง เพื่อตอบสนองวัตถุประสงค์ในการวิจัย ได้แก่

- ชุดการทดลองที่ 1 การศึกษาอิทธิพลในการป้องกันความร้อนที่เข้าสู่ภายในอาคาร โดยการใช้สวนหลังคา

- ชุดการทดลองที่ 2 การศึกษาแนวทางในการนำประโยชน์ของสวนหลังคามาใช้ในการออกแบบเพื่อปรับปรุงอาคารในระบบปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ
- ชุดการทดลองที่ 3 การศึกษาอิทธิพลของมวลสาร ของหลังคาในการหน่วงเหนี่ยวความร้อนที่เข้ามาภายในอาคาร

โดยในทั้ง 3 ชุดการทดลองดังกล่าว ได้ทำการแบ่งออกเป็นชุดการย่อยๆ ทำการศึกษาตัวแปร และความสัมพันธ์ของตัวแปรที่แตกต่างกันออกไป เพื่อตอบสนองวัตถุประสงค์ในการทดลองดังนี้

2.1 ชุดการทดลองที่ 1 การศึกษาอิทธิพลในการป้องกันความร้อน ที่เข้าสู่ภายในอาคาร โดยการใช้สวนหลังคา
- การทดลองที่ 1.1 การศึกษาชนิดของต้นไม้ที่ปกคลุมดิน
  ตัวแปรที่ทำการศึกษา คือ อุณหภูมิดินของต้นไม้แต่ละประเภท
- การทดลองที่ 1.2 การศึกษาปริมาณความชื้นในดิน
  ตัวแปรที่ทำการศึกษา คือ ปริมาณความชื้นในดินที่ได้จาก สัดส่วนระหว่างน้ำหนักน้ำในดินต่อน้ำหนักดินแห้งคูณด้วยหนึ่งร้อย (หน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์)

2.2 ชุดการทดลองที่ 2 การศึกษาแนวทางในการนำประโยชน์ของสวนหลังคามา ใช้ในการออกแบบเพื่อปรับปรุงอาคารในระบบปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ
- การทดลองที่ 2.1 สวนหลังคากับอาคารในระบบปรับอากาศ
  ตัวแปรที่ทำการศึกษา คือ อุณหภูมิผิวภายในของหลังคา
  หลังคาคอนกรีต สวนหลังคาหญ้า พืชคลุมดิน และไม้พุ่ม
- การทดลองที่ 2.2 สวนหลังคากับอาคารในระบบไม่ปรับอากาศ
  ตัวแปรที่ทำการศึกษา คือ อุณหภูมิผิวภายในของหลังคา
  หลังคาคอนกรีต สวนหลังคาหญ้า พืชคลุมดิน และไม้พุ่ม

2.3 ชุดการทดลองที่ 3 การศึกษาอิทธิพลของมวลสาร ของหลังคาในการหน่วงเหนี่ยวความร้อนที่เข้ามาภายในอาคาร
- การทดลองที่ 3.1 ระยะเวลาความต่างของอุณหภูมิอากาศภายนอกสูงสุดกับอุณหภูมิผิวภายใน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตัวแปรที่ทำการศึกษา คือ อุณหภูมิดินที่ระดับความลึก 30 ซม. และอุณหภูมิผิวหลังคาภายใน

- การทดลองที่ 3.2 ความสามารถในการเก็บกักความความเย็นของสวนหลังคา

ตัวแปรที่ทำการศึกษา คือ อุณหภูมิผิวหลังคาภายใน

3. <u>สรุปและวิเคราะห์ผลการวิจัย</u>

การนำข้อมูลต่างๆ ที่ได้จากการศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการป้องกันความร้อนที่เข้าสู่อาคารทางหลังคามาวิเคราะห์ เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่างๆ เหล่านั้น และนำมาใช้ช่วยในการออกแบบต่อไป

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

จากการวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาวิธีการในการลดการถ่ายเทความร้อนที่ผ่านเข้ามาภายในอาคารทางหลังคา โดยการใช้สวนหลังคานำไปสู่ประโยชน์ดังนี้

1. ทำให้ทราบถึงตัวแปรสำคัญ ที่มีอิทธิพลในการขจัดปริมาณความร้อนความร้อนที่เข้าสู่ภายในอาคารทางหลังคา
2. เพื่อทราบถึงแนวทางในการนำประโยชน์ของสวนบนหลังคา (Roof Garden) มาใช้ในการออกแบบและปรับปรุงอาคารในระบบปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ
3. เพื่อนำผลการวิจัยที่ได้จากการศึกษาความสามารถในการเก็บกักความเย็น มาเป็นแนวทางในการออกแบบ และวางแผนการจัดการระบบการเปิด – ปิดเครื่องปรับอากาศ เพื่อการประหยัดพลังงาน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในงานวิจัย การเปรียบเทียบศักยภาพของการป้องกันความร้อนระหว่างการใช้สวนหลังคากับระบบหลังคาที่ใช้กันทั่วไปนั้น จำเป็นต้องมีการศึกษาทฤษฎีต่างๆ ทั้งภาควิชาเทคโนโลยีอาคารและภูมิสถาปัตยกรรมประกอบกัน เพื่อเป็นพื้นฐานในการเข้าใจถึงตัวแปร หรือปัจจัยที่สำคัญในงานวิจัย อีกทั้งทำการศึกษางานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องที่ได้มีผู้เคยทำวิจัยมาแล้ว ตามลำดับดังนี้

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีและตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับสภาวะน่าสบาย

1. สภาวะน่าสบายทางอุณหภูมิ
2. สภาพแวดล้อมที่มีอิทธิพลต่อสภาพอากาศ
3. ปัจจัยภายนอกที่มีอิทธิพลต่อการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร

การถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารและคุณสมบัติของวัสดุที่เกี่ยวข้อง

4. คุณสมบัติของวัตถุ ที่มีต่อการถ่ายเทความร้อน
5. คุณสมบัติของผิววัตถุซึ่งตอบสนองต่อการแผ่รังสีความร้อน
6. คุณสมบัติในการแผ่รังสีของพื้นผิววัตถุ
7. อิทธิพลของมวลสารและการหน่วงเหนี่ยวความร้อน
8. พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านกรอบอาคาร
9. อุณหภูมิพื้นผิว

ลักษณะทางกายภาพของดินและตัวแปรที่ส่งผลต่ออุณหภูมิดินรวมทั้งสภาพภูมิอากาศ

10. ลักษณะทางกายภาพของดิน
11. อุณหภูมิดิน
12. แนวทางการใช้ประโยชน์จากอุณหภูมิดินเพื่อปรุงแต่งสภาวะน่าสบายภายในอาคาร
13. ความสำคัญของต้นไม้ต่อการปรุงแต่งสภาพภูมิอากาศ

มูลค่าพลังงานและการคำนวณระยะเวลาการคืนทุน

14. การเปรียบเทียบมูลค่าพลังงานที่ต้องใช้ในแต่ละปี และการคำนวณระยะ เวลาการคืนทุนอย่างง่าย

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. อิทธิพลของสภาพแวดล้อมทางธรรมชาติที่มีต่ออุณหภูมิบริเวณอาคาร
2. การวิจัยประยุกต์เพื่อการออกแบบอาคารประหยัดพลังงาน
3. การทำความเย็นแก่อาคารโดยการใช้ผิวสัมผัสพื้นดิน
4. การเปรียบเทียบอุณหภูมิดินที่ระดับความลึกต่างๆ ภายใต้สิ่งปกคลุมที่แตกต่างกัน 5 ชนิด
5. การควบคุมอุณหภูมิโดยการปรับสภาพแวดล้อม
6. การใช้สวนหลังคาเพื่อลดการถ่ายเทความร้อน
7. การวิจัยเปรียบเทียบคุณสมบัติของวัสดุธรรมชาติและวัสดุสังเคราะห์
7. Cooling Effect of Greenery Cover Over a Building
8. Ecological Roof

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีและตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับสภาวะน่าสบาย

1. สภาวะน่าสบายทางอุณหภูมิ

เปลือกอาคารทำหน้าที่เป็นตัวกลาง (Transition Space) ระหว่างสภาพแวดล้อมภายนอกและภายในตัวอาคาร[1] ดังนั้นเปลือกอาคารจึงมีอิทธิพลในการสร้างสภาพแวดล้อมภายในอาคารให้อยู่ในสภาวะน่าสบายทางอุณหภูมิ (Thermal Comfort) โดยที่สภาวะน่าสบาย คือ สภาพที่ไม่รู้สึกว่าไม่สบาย ไม่รู้สึกว่าสูญเสียความร้อน หรือได้รับความร้อนจากสภาพแวดล้อม เป็นสภาวะที่สมดุลทางอุณหภูมิ หรือสมดุลระหว่างความร้อนของร่างกายกับสภาพแวดล้อม[2]

จากการศึกษาเกี่ยวกับความรู้สึกสบายของคนเราโดยละเอียดพบว่า มีตัวแปรหรือปัจจัยที่มีอิทธิพล ต่อความรู้สึกสบายของคนเราในสภาวะที่ร่างกายปกติอยู่ 6 ตัวแปรด้วยกัน โดยแบ่งออกเป็นตัวแปรด้านสภาพแวดล้อม 4 ตัวแปร และตัวแปรทางด้านบุคคล 2 ตัวแปร[3] ดังนี้

---

[1] สุนทร บุญญาธิการ และ ธนิต จินดาวนิค, "รายงานการวิจัยการวิเคราะห์สภาวะน่าสบายและสภาพแวดล้อม ที่เกี่ยวข้องกับอาคารสถาปัตยกรรมไทย," 2536.

[2] Stein,B.,and Reynolds, J.S., Mechanical and Electrical Equipment for Building, (New York: John Wiley, 1992), p.97.

[3] Fanger, O.P., Thermal Comfort, (New York: McGraw-Hill, 1967), p.27.

1.1 ตัวแปรด้านสภาพแวดล้อม

- อุณหภูมิอากาศ (Ambient Air Temperature)
- อุณหภูมิพื้นผิวโดยรอบ (Mean Radiant Temperature)
- ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity)
- ความเร็วลม (Wind Speed)

1.2 ตัวแปรทางด้านบุคคล

- อัตราการเผาผลาญพลังงาน (Metabolism)
- เสื้อผ้าที่สวมใส่ (Clo Value)

1.1 ตัวแปรด้านสภาพแวดล้อม

1.1.1 อุณหภูมิอากาศ (Ambient Air Temperature)

เป็นตัวแปรหลักในการบ่งบอกถึง สภาวะน่าสบาย (Thermal Comfort) โดยช่วงอุณหภูมิอากาศที่มนุษย์รู้สึกสบาย อยู่ที่ประมาณ 22 – 27 องศาเซลเซียส ถ้าอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ต่ำกว่าหรือสูงกว่าช่วงนี้ จำเป็นต้องทำความร้อนหรือทำความเย็น เพื่อช่วยปรับให้เข้าสู่เขตความสบาย ทั้งจากอุณหภูมิผิวโดยรอบ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลม

1.1.2 อุณหภูมิพื้นผิวโดยรอบ (Mean Radiant Temperature)

อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบ หรือ MRT เป็นการวัดค่าเฉลี่ยของรังสีความร้อนที่มีอิทธิพลต่อสภาพแวดล้อมนั้น ๆ ซึ่งรวมถึงแสงแดดโดยตรงด้วย MRT นั้นสามารถคำนวณจากอุณหภูมิพื้นผิวของด้านต่าง ๆ ในห้อง และตำแหน่งที่วัด MRT นั้น โดยใช้มุมกระทำ (Solid Angle) ที่เกิดขึ้นระหว่างตำแหน่งที่วัดและขอบเขตของแต่ละพื้นผิวโดยหาค่าเฉลี่ยออกมา

MRT มีอิทธิพลต่อ Thermal Comfort มากกว่าอุณหภูมิอากาศถึง 40 เปอร์เซ็นต์ กล่าวคือ ถ้าอุณหภูมิอากาศสูงขึ้น 1.4 องศาเซลเซียส และ MRT ลดลง 1 องศาเซลเซียส ความรู้สึกร้อนหนาวยังคงเหมือนเดิม และเช่นเดียวกันในทางกลับกัน ในห้องที่มีอุณหภูมิอากาศ 26 องศาเซลเซียส แต่ MRT สูง 32 องศาเซลเซียส ผู้ที่อยู่ในห้องนั้นก็ยังรู้สึกร้อนอยู่

การคำนวณหา MRT (Mean Radiant Temperature)

1. การคำนวณ MRT จากอุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิ Globe

มีเครื่องมือหลายชนิดที่สามารถวัด MRT ได้ ซึ่ง Globe Temperature เป็นเครื่องมือที่นิยมใช้ในการวัดชนิดหนึ่ง โดย MRT ที่ได้จาก Globe Thermometer จะต้อง

นำมาคำนวณหา MRT โดยใช้ร่วมกับ อุณหภูมิอากาศ และความเร็วลม เพื่อการคำนวณอุณหภูมิการแผ่รังสีความร้อน (MRT หรือ Mean Radian Temperature) โดยปกติ Globe มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 150 มิลลิเมตร แต่ในทางทฤษฎี ยิ่งเส้นผ่าศูนย์กลางมากเท่าไร อุณหภูมิที่วัดได้ก็จะมีความแม่นยำขึ้น เพราะ Convective Heat Transfer Coefficient จะต่ำกว่า

$$t_r = \sqrt[4]{(t_g + 273)4 + \frac{h_{cg}}{h_r}(t_g - t_a) - 273}$$

โดยที่ $H_r = \in\sigma = 0.95*5.67 * 10^{-8} = 5.83*10^{-8}$

$$Hcg = \max_of \begin{cases} \dfrac{6.3 * (V_a)^{0.6}}{D^{0.4}} & \text{Force convection} \\ 1.4 * \left\{\dfrac{|t_g - t_a|}{D}\right\}^{0.25} & \text{Free convection} \end{cases}$$

2. การคำนวณMRTจากการประมาณค่าจาก Plane Radiant Temperature

สำหรับคนนั่ง มีสมการคือ

$$t_r = \frac{0.18[t_{pr}(up) + t_{pr}(dn.)] + 0.22[t_{pr}(right) + t_{pr}(left)] + 0.30[t_{pr}(front) + t_{pr}(back)]}{2(0.18 + 0.22 + 0.30)}$$

สำหรับคนยืน มีสมการคือ

$$t_r = \frac{0.08[t_{pr}(up) + t_{pr}(dn.)] + 0.23[t_{pr}(right) + t_{pr}(left)] + 0.35[t_{pr}(front) + t_{pr}(back)]}{2(0.08 + 0.23 + 0.35)}$$

3. **คำนวณ MRT จากการประมาณค่าจากพื้นที่ผิว และ อุณหภูมิผิว**

$$t_r = \frac{t_{s1}A_1 + t_{s2}A_2 + t_{s3}A_3 + \ldots + t_{sn}A_n}{A_1 + A_2 + A_3 + \ldots + A_n}$$

1.1.3 **ความชื้นสัมพัทธ์** (Relative Humidity)

ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity) หมายถึง สัดส่วนของความชื้นในอากาศเมื่อเทียบกับปริมาณสูงสุดที่อากาศสามารถมีความชื้นได้ โดยปราศจากการกลั่นตัวเองเป็นหยดน้ำ (Condensation) ความชื้นเมื่อเทียบแล้วมีความสำคัญน้อยในสภาพอากาศที่เย็น เนื่องจากการสูญเสียความร้อนโดยการนำ การพา และการแผ่รังสีจะมีผลมาก แต่ความชื้นจะมีผลมากในสภาพอากาศที่ร้อน โดยการสูญเสียความร้อนโดยการระเหยของเหงื่อ ความชื้นสัมพัทธ์ที่อยู่ในช่วงที่เหมาะสมใน Thermal Comfort คือระหว่าง 20-80 เปอร์เซ็นต์

1.1.4 **ความเร็วลม** (Wind Speed)

ลมเป็นตัวแปรหนึ่งที่ช่วยในการขยายเขตความสบาย เนื่องจากเมื่อความเร็วลมพัดผ่านผิวกายมนุษย์ จะช่วยพัดพาความร้อนรอบตัวออกไปทำให้รู้สึกเย็นขึ้น นอกจากนั้นยังพัดเอาความชื้นบริเวณผิวกายช่วยให้เพิ่มการระเหยของเหงื่อ เป็นผลให้ร่างกายสูญเสียความร้อนได้ดีขึ้น ดังนั้นความเร็วลมที่เหมาะสมเป็นสิ่งสำคัญ หากความเร็วลมน้อยเกินไปผู้ที่อยู่อาศัยจะรู้สึกร้อน อึดอัด แต่หากความเร็วลมมากเกินไปก็จะทำให้รู้สึกรำคาญหรือรบกวนการทำงาน หรือการประกอบกิจกรรมต่าง ๆ ได้

1.2 **ตัวแปรทางด้านบุคคล**

1.2.1 **อัตราการเผาผลาญพลังงาน** (Metabolism)

ร่างกายของมนุษย์นั้น จะผลิตความร้อนออกมาตลอดและต่อเนื่อง ในกิจกรรมประจำวันของมนุษย์ เช่น การนอน การนั่ง การเดิน หรือการออกกำลังกาย ความต้องการพลังงานของร่างกายมนุษย์นั้น ได้มาจากการย่อยอาหาร เครื่องดื่ม ที่เราได้รับประทานเข้าไป ขบวนการในการเปลี่ยนแปลงอาหารและเครื่องดื่ม ที่บริโภคเข้าไปให้เป็นพลังงานสำหรับร่างการเรานั้น เรียกว่า Metabolism

อัตราความร้อนที่มนุษย์ผลิตออกมานั้นส่วนมาก ขึ้นอยู่กับระดับของกิจกรรมของร่างกาย และชนิดของอาหารที่บริโภค และบางส่วนก็ขึ้นอยู่กับสถานที่ที่มนุษย์อยู่ ความร้อนที่มนุษย์ผลิตออกมามีหน่วยวัดเป็น Metabolic หรือ หน่วย Met ซึ่ง 1 Met จะเท่ากับ 58.2 w/m^2 หรือ 18.4 Btu/h.ft^2 ในลักษณะที่คนเรานั่งพัก พลังงานที่ผลิตขึ้นมาต่อหน่วยพื้นที่ โดยเฉลี่ยสำหรับผู้ใหญ่ทั่วไปประมาณ 117 W หรือ 400 Btu/h

1.2.2 **เสื้อผ้าที่สวมใส่** (Clo Value)

เสื้อผ้าที่สวมใส่นั้น ทำหน้าที่เสมือนชั้นของฉนวน และมีผลอย่างมากในการถ่ายเทความร้อนของร่างกายไปสู่สภาพแวดล้อมโดยรอบ ทั้งจากการแผ่ (Radiation) ,การพา (Convection), การนำ (Conduction) และ การระเหยของน้ำ (Evaporation) ในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิพื้นผิวรอบตัวสูง ผู้ที่สวมใส่เสื้อผ้าที่หนาหลายชั้นจะรู้สึกร้อน เนื่องจากการแผ่ความร้อนส่วนเกินออกจากร่างกายช้าและลำบาก คนไทยโบราณนั้นสวมเสื้อผ้าที่บางและไม่หุ้มทั้งตัว ทั้งนี้เพื่อการปรับตัวให้เข้ากับสภาพอากาศที่ร้อน ร่างกายจะได้แผ่ความร้อนออกสู่สภาพแวดล้อมได้ดี

โดยที่ตัวแปรด้านสภาพแวดล้อมเป็นตัวแปรที่สามารถวัดได้[4] โดยอุณหภูมิอากาศจะเป็นตัวบ่งบอกถึงสภาวะน่าสบาย ซึ่งอยู่ในช่วงระหว่าง 20 – 26 องศาเซลเซียส (20 – 26 ฟาเรนไฮต์)ถ้าอุณหภูมิอยู่สูงหรือต่ำกว่าในช่วงนี้ จะต้องมีการปรับให้อยู่ในสภาวะน่าสบาย โดยการทำความร้อน หรือลดความร้อน ซึ่งอุณหภูมิพื้นผิวโดยรอบ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม ก็เป็นตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อสภาวะน่าสบายเช่นกัน

จากการศึกษาตัวแปรที่จะช่วยให้มนุษย์เกิดความรู้สึกเย็นลงกว่า อุณหภูมิอากาศ ที่สามารถวัดได้จริงในสภาพอากาศร้อนชื้น มีดังนี้

1. การมีความเร็วลมที่เพียงพอ จากการวิเคราะห์ความเร็วลมที่มีผลต่อความรู้สึกมนุษย์เมื่อใช้ความเร็วลมเป็นตัวแปรตัวเดียว ในสภาพความชื้นสัมพัทธ์สูงพบว่า ทุกๆ 100 fpm. ของความเร็วลมที่เพิ่มขึ้น มนุษย์จะมีความรู้สึกว่าเย็นลงประมาณ 0.4 องศาเซลเซียส[5] ซึ่งหมายความว่าแม้อุณหภูมิอากาศจะร้อนกว่าปกติ แต่ถ้ามีความเร็วของลมที่เพียงพอมาช่วย จะทำให้เสมือนอยู่ในสภาวะน่าสบายได้

---

[4] สุนทร บุญญาธิการ และ ธนิต จินดาวนิค, “รายงานการวิจัยการวิเคราะห์สภาวะน่าสบายและสภาพแวดล้อม ที่เกี่ยวข้องกับอาคารสถาปัตยกรรมไทย,” 2536.

[5] จากผลของการ Regression Analysis โดยใช้ข้อมูล Bio Climatic Chart

2. การที่มีอุณหภูมิที่ผิวเฉลี่ยของวัตถุรอบๆ ตัว (Mean Radiant Temperature) แตกต่างไปจากอุณหภูมิอากาศปกติ โดยที่ 1 องศาของ MRT จะเท่ากับ 1.4 องศาของอุณหภูมิอากาศ (Dry Bulb Temperature) เช่น ถ้าอุณหภูมิเฉลี่ยของผิววัตถุที่อยู่รอบๆ ตัวต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศ 1 องศาเซลเซียส จะมีความรู้สึกเสมือนว่าเย็นลง 1.4 องศาเซลเซียส เป็นต้น

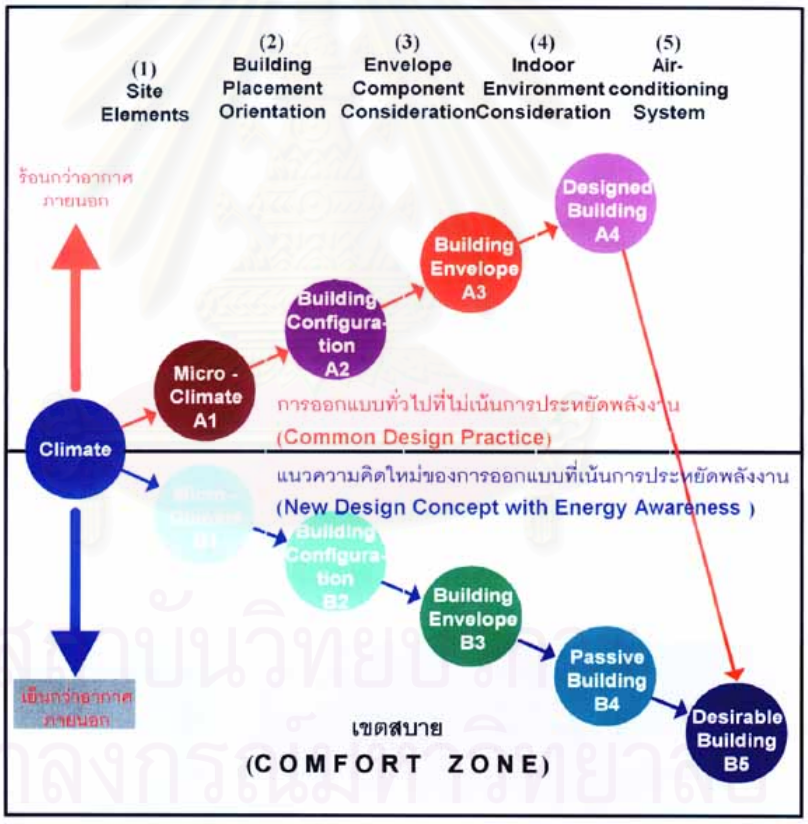
3. การระเหยของน้ำ (Evaporative) เนื่องจากขบวนการที่น้ำระเหยกลายเป็นไอน้ำ (Vapor) มีการใช้ความร้อนเพื่อช่วยในการเปลี่ยนสถานะ โดยการระเหยของน้ำ 1 ปอนด์ ต้องใช้ความร้อนประมาณ 1,000 BTU.[6] ซึ่งหมายความว่าถ้าน้ำสามารถระเหยกลายเป็นไอน้ำได้ในอากาศ จะมีการดึงความร้อนในอากาศมาช่วยในการเปลี่ยนสถานะ อากาศก็จะเย็นลงกว่าปกติ แต่จะเย็นลงมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับปริมาณของน้ำที่ระเหยไป จากการศึกษาพบว่าในสภาพอากาศแบบร้อนชื้น ที่มีค่าความชื้นสัมพัทธ์สูง (ประมาณ 55% ขึ้นไป) การระเหยของน้ำจะระเหยได้ในอัตราที่ช้า

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

[6] American Society of Heating, ASHRAE Applications Handbook, (Atlanta Georgia,1995), p.83.

2. สภาพแวดล้อมที่มีอิทธิพลต่อสภาพอากาศ

จากที่ได้มีการศึกษาเกี่ยวกับอุณหภูมิของสภาพแวดล้อม ระหว่างอุณหภูมิในบริเวณใจกลางเมืองกับอุณหภูมิในพื้นที่ชนบท[7] พบว่าในเขตเมืองมีอุณหภูมิเฉลี่ย 34 – 36 องศาเซลเซียส ในขณะที่กลางทุ่งมีอุณหภูมิ 31 องศาเซลเซียส เท่านั้น และเมื่อได้ทำการวัดอุณหภูมิในป่าไม้พบว่าอุณหภูมิต่ำกว่าในทุ่งโล่ง 4 – 5 องศาเซลเซียส ซึ่งเย็นกว่าในเมืองประมาณ 8 – 10 องศาเซลเซียส จากข้อมูลนี้เห็นได้ว่า ถ้าอุณหภูมิอากาศภายนอก มีอุณหภูมิที่เหมาะสม ภายใต้สภาพแวดล้อมที่ดีแล้ว เราก็สามารถจะลดการใช้พลังงาน ที่จะปรับสภาวะอากาศภายในอาคารได้น้อยลง จะเห็นได้ชัดจากการศึกษาของ ศ.ดร.สุนทร บุญญาธิการ ดังแผนภูมิเทคโนโลยีอินทิเกรชั่น (Technology Integration) โดยเมื่อมีการปรับภูมิอากาศส่วนย่อย (Micro Climate) ให้มีอุณหภูมิที่ต่ำที่สุดและใกล้เคียงสภาวะน่าสบายที่ดีแล้ว ก็ย่อมมีการใช้พลังงานในการปรับอากาศน้อยลงด้วย



ภาพที่ 2 – 1 แสดงการเปรียบเทียบผลที่ได้รับจากการออกแบบทั่วไปที่ไม่เน้นประหยัดพลังงานกับการใช้แนวความคิดใหม่ของการออกแบบที่เน้นประหยัดพลังงาน (สุนทร บุญญาธิการ,2542)

[7] พิสิษฐ์ โรจนวานิช อ้างอิงจาก ดร.ชาม ชานิ มหาวิทยาลัยมาลาบา, 2539.

3. ปัจจัยภายนอกที่มีอิทธิพลต่อการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร

จากการศึกษาของ ศ.ดร.สุนทร บุญญาธิการ ในปี 2537 พบว่า ปัจจัยภายนอก ที่มีอิทธิพลต่อการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ปัจจัยหลัก ดังต่อไปนี้

3.1 สภาพภูมิอากาศ (Climate) ประกอบด้วย

- 3.1.1 อุณหภูมิอากาศ (Air Temperature)
- 3.1.2 ความชื้น (Humidity)
- 3.1.3 ดวงอาทิตย์ (Sun)
- 3.1.4 ลม (Wind)
- 3.1.5 ลักษณะอากาศ (Precipitation)

3.2 สภาพภูมิประเทศ (Site Element)

- 3.2.1 ลักษณะพื้นดิน (Landform & Topography)
- 3.2.2 พืชคลุมดิน (Ground Covering)
- 3.2.3 ต้นไม้ (Vegetation)
- 3.2.4 แหล่งน้ำ (Water Bodies)
- 3.2.5 ลมและสิ่งกีดขวางทิศทางลม (Wind & Wind Barrier)
- 3.2.6 การใช้ความเย็นจากดิน (Thermal Capacity of Soil)

3.1 สภาพภูมิอากาศ (Climate) ประกอบด้วย

3.1.1 อุณหภูมิอากาศ (Air Temperature)

อุณหภูมิเป็นตัวแสดงถึงสถานะความร้อนหรือปริมาณความร้อนของอากาศ ซึ่งสามารถทำการตรวจวัดได้ อีกทั้งเป็นมาตรฐานวัดพื้นฐานต่อสภาวะน่าสบายของมนุษย์ โดยอุณหภูมิอากาศที่อยู่ในช่วงสภาวะน่าสบาย คือ ประมาณ 20 – 26.6 องศาเซลเซียส[8]

3.1.2 ความชื้น (Humidity)

ความชื้นนั้นแสดงถึงปริมาณไอน้ำในอากาศ สามารถแบ่งออกเป็นประเภทต่างๆ ตามลักษณะและวิธีการเกิดขึ้น ได้หลายวิธีการดังที่จะได้อธิบายต่อไปนี้

[8] Watson, FAIA and Kenneth Labs, 1983 : สุนทร บุญญาธิการ และ ธนิต จินดาวณิคม 2536.

1. **ความกดไอน้ำ** (Vapor Pressure)

อากาศประกอบด้วยก๊าซต่างๆ รวมถึงไอน้ำ ที่อุณหภูมิใดๆ อากาศที่มีไอน้ำที่เป็นก๊าซอิสระผสมอยู่จะมีความกดอากาศที่เกิดจากความกดของก๊าซ และไอน้ำ (Vapor Pressure)[9] มีหน่วยเป็น กิโลปาสคาล (kPa) การคำนวณหาค่าความกดไอน้ำใช้วิธีเดียวกับกรมอุตุนิยมวิทยา โดยมีสูตรการคำนวณดังนี้

$$es(T) = 0.611 * EXP * \frac{(17.27 * T)}{T + 237.3} \quad \text{(กิโลปาสคาล)}$$

$$e = \frac{Rh}{100} * es(T)$$

โดยกำหนดให้

es(T)	=	ความกดไอน้ำอิ่มตัวในขณะที่อุณหภูมิขณะนั้นในบรรยากาศมีความชื้นสูงสุด	(กิโลปาสคาล)
e	=	ความดันไอน้ำ	(กิโลปาสคาล)
T	=	อุณหภูมิ	(องศาเซลเซียส)
Rh	=	ความชื้นสัมพัทธ์	(เปอร์เซ็นต์)

ความกดไอน้ำจะสูงเมื่ออากาศเกิดการอิ่มตัว (Saturated) ความกดไอน้ำมีความแตกต่างกันในแต่ละช่วงเวลาภายในหนึ่งวัน และแตกต่างตามสภาพที่ตั้งอาคาร ความกดไอน้ำจะมีสูงสุดที่บริเวณเส้นศูนย์สูตรและลดลงน้อยที่สุดบริเวณขั้วโลก เนื่องจากการเกิดไอน้ำมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิ และด้วยเหตุผลเดียวกันในฤดูร้อนก็จะมีความกดไอน้ำในอากาศมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับความกดไอน้ำในอากาศในช่วงฤดูหนาว

2. **ความชื้นแท้** (Absolute Humidity)

ความชื้นแท้ คือ ความหนาแน่น หรือน้ำหนักของไอน้ำ ซึ่งตามปกติใช้วัดเป็นกรัมต่อ 1 ลูกบาศก์เมตร หรือ เกรนต่อ 1 ลูกบาศก์ฟุต[10] ซึ่งมีสูตรในการคำนวณดังต่อไปนี้

---

[9] Lstiburek and Carmody, Moisture Control Handbook: Principles and Practices for Residential and Small Commercial Building, (New York: Van Nosland Reinhold, 1993), p1.

[10] สุวพันธ์ นิลายน, อุตุนิยมวิทยา, (กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539), หน้า 42.

$$a = \frac{10^6 e}{R \text{ water vapour}} * T \text{ gm } m^{-3}$$

โดยกำหนดให้

a = ความชื้นแท้

e = ความกดไอน้ำ

R = ค่าก๊าซคงที่ของไอน้ำ

T = อุณหภูมิ

3. ปริมาณความชื้น (Moisture Content or Humidity Ratio)

คืออัตราส่วนระหว่างความหนาแน่น หรือน้ำหนักของไอน้ำต่อน้ำหนักอากาศแห้ง[11] หรืออาจจะเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าอัตราส่วนความชื้น (Humidity Ratio) มีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อกิโลกรัม หรือกรัมต่อกิโลกรัม แล้วแต่ความละเอียดในการใช้งาน

$$\text{อัตราส่วนความชื้น} = \frac{\text{ความหนาแน่นของไอน้ำ}}{\text{ความหนาแน่นของอากาศแห้ง}}$$

คำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$R = \frac{623e \text{ (in gram of water vapour)}}{Pd \text{ (Kilogram of dry air)}}^{12}$$

โดยกำหนดให้

R = อัตราส่วนความชื้น
(กิโลกรัมของไอน้ำต่อกิโลกรัมของอากาศแห้ง)

e = ความกดไอน้ำ

Pd = ความกดของอากาศแห้ง (Pd = P – e)

P = ความกดดันของบรรยากาศมาตรฐานที่ระดับน้ำทะเล
(บาร์ (bar) มีค่าเท่ากับ 1.01325บาร์)
โดยที่ 1 บาร์ เท่ากับ 100 กิโลปาสคาล

[11] สุวพันธ์ นิลายน, อุตุนิยมวิทยา, หน้า 43.

[12] เรื่องเดียวกัน, หน้า 44.

4. **ความชื้นจำเพาะ** (Specific Humidity)

ความชื้นจำเพาะ คือ อัตราส่วนระหว่างความหนาแน่น หรือ น้ำหนักของไอน้ำที่มีอยู่จริงในอากาศขณะนั้น เทียบกับน้ำหนักของอากาศชื้น (น้ำหนักอากาศแห้งรวมกับน้ำหนักไอน้ำในอากาศ) มักใช้เป็นกรัมของไอน้ำต่อ 1 กิโลกรัมของอากาศชื้น หรือ เกรนของไอน้ำต่อ 1 ปอนด์ของอากาศ ถ้าไอน้ำในอากาศมีมากขึ้นค่าความชื้นจำเพาะก็จะมากขึ้น และถ้าไอน้ำในอากาศน้อยลง ค่าความชื้นจำเพาะก็จะลดลง

5. **ความชื้นสัมพัทธ์** (Relative Humidity)

ความชื้นสัมพัทธ์ คือ อัตราส่วนระหว่างความชื้นที่มีอยู่ในอากาศขณะนั้นกับ ปริมาณความชื้นมากที่สุดที่อากาศสามารถรับเอาไว้ได้ หรือเป็นอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของไอน้ำในอากาศ เทียบกับน้ำหนักของไอน้ำที่ควรจะมีได้เต็มที่ในขณะนั้นเมื่อมีปริมาตรและอุณหภูมิเดียวกัน ตัวอย่างเช่น อากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์ 50 เปอร์เซ็นต์ จะมีปริมาณความชื้นเป็นครึ่งหนึ่งของปริมาณไอน้ำที่สูงที่สุดที่อุณหภูมิอากาศในขณะนั้นสามารถรับเอาไว้ได้ หรืออากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์ 100 เปอร์เซ็นต์ จะมีปริมาณไอน้ำสูงสุดที่อากาศในขณะนั้นสามารถรับเอาไว้ได้ และเรียกกรณีหลังนี้ว่า **การอิ่มตัว**[13] (Saturation)

ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศจะมีค่าสูงสุดในช่วงเช้ามืดที่ดวงอาทิตย์เริ่มขึ้น ซึ่งเป็นช่วงที่มีอุณหภูมิอากาศต่ำ ในบางครั้งขณะที่ความชื้นสัมพัทธ์มีค่าสูงสุดนั้นอาจถึงจุดอิ่มตัว และกลั่นตัวเกิดเป็นหมอกขึ้น เมื่ออุณหภูมิอากาศเริ่มสูงขึ้น ความชื้นสัมพัทธ์จะลดลง และหมอกก็จะสลายไป ปริมาณไอน้ำในอากาศไม่มีผลกระทบต่ออุณหภูมิมากนัก จึงมีปริมาณใกล้เคียงเท่ากันตลอดวัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

[13] Lstiburek and Carmody, Moisture Control Handbook: Principles and Practices for Residential and Small Commercial Building, (New York: Van Nosland Reinhold, 1993), p1.

6. **อุณหภูมิจุดน้ำค้าง** (Dew Point Temperature)

เป็นอุณหภูมิที่ไอน้ำเกิดการควบแน่นของอากาศ ในขณะที่อุณหภูมิลดลง[14] ณ จุดที่ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ เป็นจุดที่อากาศอิ่มตัว อากาศในขณะนั้นไม่สามารถรับปริมาณไอน้ำได้เพิ่มขึ้นอีก หากมีปริมาณไอน้ำเพิ่มขึ้น หรืออุณหภูมิอากาศลดลงในขณะที่ยังมีปริมาณไอน้ำในอากาศเท่าเดิม จะทำให้ไอน้ำในอากาศเกิดการกลั่นตัวเป็นหยดน้ำ ซึ่ง ณ จุดที่ไอน้ำในอากาศกลั่นตัวเป็นหยดน้ำนี้ เรียกว่า จุดอุณหภูมิน้ำค้าง ซึ่งสามารถเกิดได้ในกรณีที่ อุณหภูมิของพื้นผิวใดๆ มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้างของอากาศที่อยู่โดยรอบ ก็จะทำให้เกิดการกลั่นตัวเป็นหยดน้ำบนพื้นผิวนั้น[15]

3.1.3 ดวงอาทิตย์ (Sun)

โดยปกติแล้วกรอบอาคารจะได้รับอิทธิพลจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ ซึ่งผ่านเข้ามายังโลก โดยการเคลื่อนผ่านชั้นบรรยากาศของโลกก่อนที่จะสัมผัสวัตถุต่างๆ บางส่วนถูกสะท้อนกลับออกไปโดยก้อนเมฆ บางส่วนถูกดูดซับโดยชั้นบรรยากาศ และบางส่วนผ่านชั้นบรรยากาศเข้ามาสู่พื้นผิวของโลก และถูกดูดกลืนไว้ประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ ของรังสีทั้งหมด โดยอยู่ในรูปของรังสีที่ถูกโมเลกุลในชั้นบรรยากาศทำให้กระจายออก (Diffuse Radiation) ซึ่งจากปรากฏการณ์นี้ประกอบไปด้วยรังสี 2 ประเภท คือ

1. **รังสีคลื่นสั้น** (Short Wave Radiation)

เป็นรังสีที่ส่งมาจากดวงอาทิตย์ ผ่านชั้นบรรยากาศต่างๆ ของโลก และเข้าสู่สภาพแวดล้อมโดยมีคุณสมบัติสามารถทะลุผ่านวัสดุโปร่งแสงและโปร่งใสได้

2. **รังสีคลื่นยาว** (Long Wave Radiation)

เกิดจากการที่รังสีคลื่นสั้นกระทบกับวัตถุที่มีมวลสาร คลื่นสั้นจึงถูกเปลี่ยนเป็นคลื่นยาวหรือความร้อน ส่วนหนึ่งสะสมอยู่ในวัตถุนั้น และอีกส่วนหนึ่งจะแผ่รังสี (Radiation) ความร้อนนั้นไปสู่ที่ๆ มีอุณหภูมิต่ำกว่า เพื่อให้เกิดสมดุลของอุณหภูมิ

---

[14] สุนทร บุญญาธิการ, ศ.ดร., เทคนิคการออกแบบบ้านประหยัดพลังงาน, หน้า 220.

[15] Lstiburek and Carmody, Moisture Control Handbook: Principles and Practices for Residential and Small Commercial Building, p6.

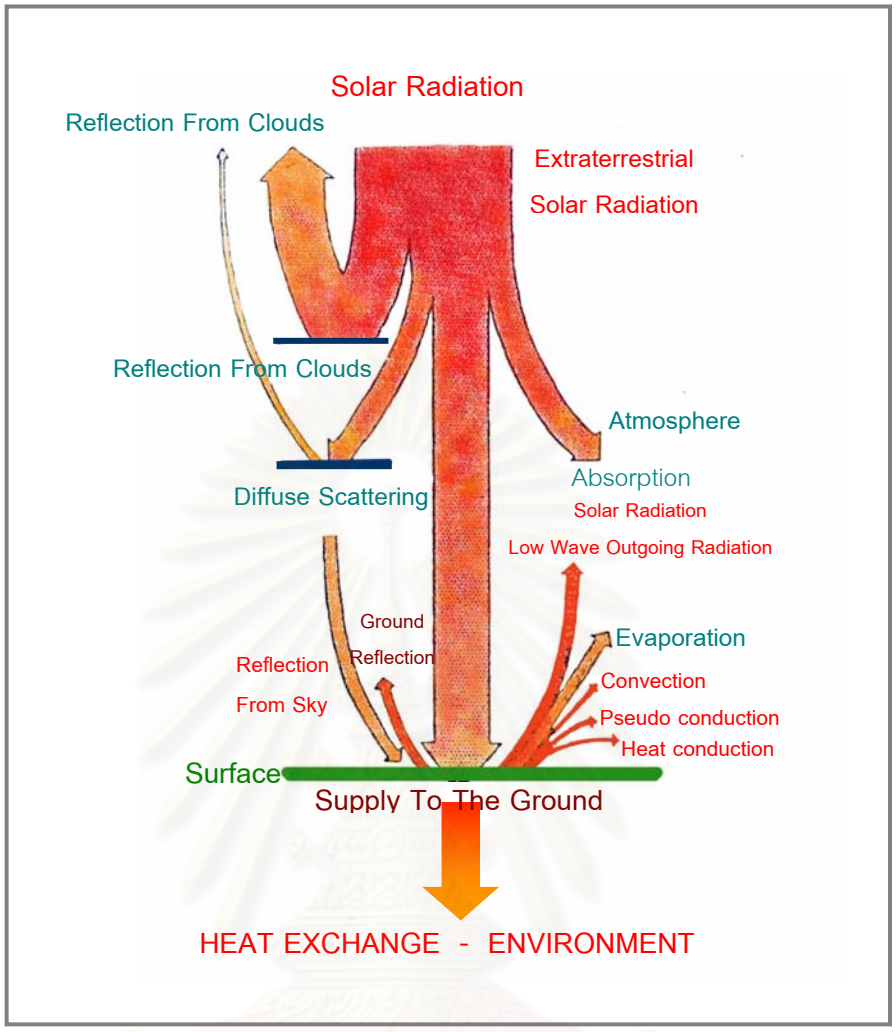
เมื่อรังสีจากดวงอาทิตย์ซึ่งเป็นคลื่นสั้น ทั้งที่เป็นรังสีโดยตรง (Radiation) และที่กระจายอยู่ในชั้นบรรยากาศ (Diffuse Radiation) ซึ่งถูกดูดกลืนและสะท้อนกลับโดยสภาพแวดล้อม เมื่อกระทบกับวัตถุที่มีมวลสารรังสีคลื่นสั้นจะถูกเปลี่ยนเป็นรังสีคลื่นยาวในรูปของพลังงานความร้อน ซึ่งความร้อนดังกล่าวจะถูกถ่ายเทไปในรูปของ การนำความร้อน (Conduction) การพาความร้อน (Convection) การแผ่รังสีความร้อน (Radiation) ไปสู่สภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ทำให้บริเวณโดยรอบมีอุณหภูมิสูงขึ้น

แต่ปริมาณความร้อนที่โลกได้รับจะต้องมีความสมดุล กับปริมาณความร้อนที่โลกสูญเสีย เพื่อให้อุณหภูมิของโลกและชั้นบรรยากาศมีความเหมาะสมต่อการดำรงค์อยู่ของสิ่งมีชีวิตบนโลก ซึ่งการลดปริมาณความร้อนมีอยู่ 3 วิธีดังนี้

1. Long Wave Radiation Heat Exchange คือ การส่งผ่านความร้อนจากผิวโลกที่มีอุณหภูมิสูงกว่าในรูปของความร้อน (รังสีคลื่นยาว) ไปสู่ชั้นบรรยากาศที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า
2. Evaporative คือ การสูญเสียความร้อนเพื่อใช้ในกระบวนการกลายเป็นไอของน้ำ
3. Convection คือ การพาความร้อนเกิดจากการที่อากาศได้รับความร้อนจากการแผ่รังสีความร้อนของผิวโลกที่มีอุณหภูมิสูงกว่า จึงลอยตัวขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า

ส่วนในเวลากลางคืน การส่งผ่านความร้อนจะเคลื่อนตัวกลับคืนสู่ท้องฟ้า เนื่องจากท้องฟ้ามีอุณหภูมิลดต่ำกว่าพื้นผิวโลก จึงเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนโดยมีการส่งผ่านความร้อนที่สะสมอยู่ในพื้นผิวโลก ออกสู่ท้องฟ้า โดยพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนนี้มีทั้งการนำความร้อน (Conduction) การพาความร้อน (Convection) การแผ่ความร้อน (Radiation) และการระเหยของน้ำจากพืชคลุมดิน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 2 – 2 Heat Exchange Environment (Robinette, Gray O., 1993)

ภาพที่ 2 – 3 แสดงการส่งผ่านความร้อนกลับสู่ท้องฟ้าในเวลากลางคืน

(Watson, D., FAIA; and Kenneth Labs. Climatic Design. McGraw – hill, 1983. P.62)

3.1.4 **ลม** (Wind)

ลมมีอิทธิพลต่อความรู้สึกร้อนหนาวของมนุษย์ เช่น ในสภาพอากาศแบบร้อนชื้นลมจะช่วยทำให้ อัตราการระเหยของเหงื่อที่ผิวหนังเร็วขึ้น ทำให้เรารู้สึกเสมือนว่าเย็นลง ทั้งที่อุณหภูมิอากาศยังคงที่ก็ตาม โดยที่ความเร็วลมที่เพิ่มขึ้นทุกๆ 1 กม./ชม. จะมีความรู้สึกเย็นลง 0.2 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ลมยังมีผลต่ออุณหภูมิอากาศ

จากการวิจัยพบว่าอุณหภูมิอากาศบริเวณใต้ลมของสนามหญ้ามีค่าต่ำกว่าบริเวณเหนือลม เนื่องจากลมเป็นตัวกลางในการพัดพาความร้อนออกไป ประกอบกับการได้รับอิทธิพลอุณหภูมิที่ลดต่ำลงจากการระเหยของน้ำจากพืชและสนามหญ้าในขบวนการสังเคราะห์แสงจึงทำให้อุณหภูมิบริเวณใต้ลมมีค่าลดลง[16] และการที่กระแสลมพัดผ่านผิวอาคารจะช่วยพาความร้อนที่สะสมออกไป ส่งผลให้อุณหภูมิผิวภายนอกหรือเปลือกอาคาร (Surface Temperature) ลดลง[17]

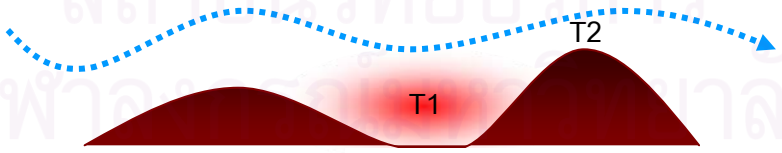
3.1.5 **ลักษณะอากาศ** (Precipitation)

ลักษณะอากาศในแต่ละฤดูกาล แต่ละสถานที่มีความแตกต่างกัน เช่น ฝนตก แดดออก หิมะตก เป็นต้น ซึ่งเหล่านี้มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร เป็นผลให้ปริมาณความร้อนที่เข้ามาภายในอาคารมีความแตกต่างกันออกไป

3.2 **สภาพภูมิประเทศ** (Site Element)

3.2.1 **ลักษณะพื้นดิน** (Landform & Topography)

ลักษณะรูปร่างของพื้นดินมีผลต่ออุณหภูมิอากาศ การเคลื่อนตัวของมวลอากาศและทิศทางของกระแสลม นอกจากนี้ยังมีผลต่อการรับแสงแดด การสะท้อนแสง เป็นต้น



ภาพที่ 2 – 4 อุณหภูมิบริเวณ T1 > T2

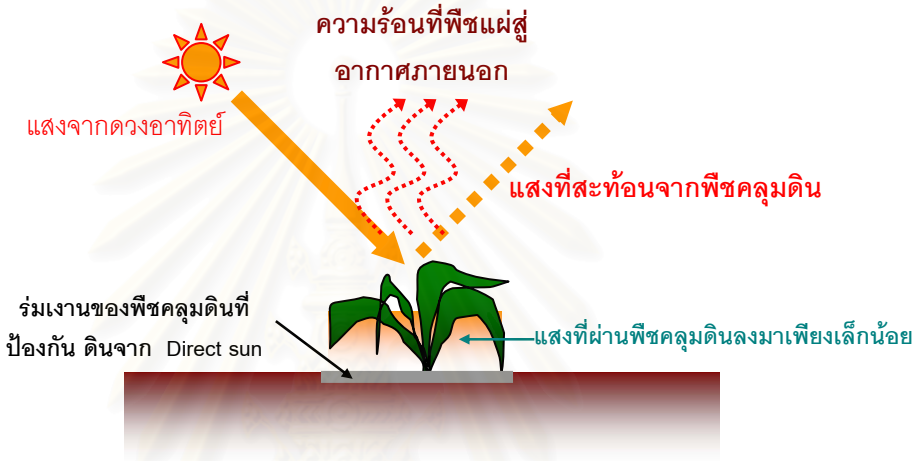
---

[16] วิชัย อิทธิวิศวกุล. “อิทธิพลของสภาพแวดล้อมทางธรรมชาติที่มีผลต่ออุณหภูมิบริเวณอาคาร,” (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,2539), หน้า 189

[17] สุนทร บุญญาธิการ และ ธนิต จินดาวนิค, “รายงานการวิจัยการวิเคราะห์สภาวะน่าสบายและสภาพแวดล้อม ที่เกี่ยวข้องกับอาคารสถาปัตยกรรมไทย,” 2536.

3.2.2 **พืชคลุมดิน** (Ground Covering)

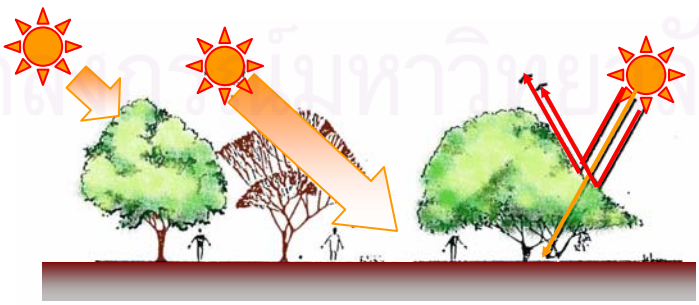
พืชคลุมดินช่วยควบคุมอุณหภูมิที่ผิวดินโดยเปลี่ยนแสง (คลื่นสั้น) โดยการนำมาใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสง ส่วนแสงในส่วนที่นอกเหนือจากการนำมาสังเคราะห์แสงจะถูกเปลี่ยนเป็นความร้อน (คลื่นยาว) และยังช่วยลดความร้อนของดินเนื่องจากร่มเงาของต้นไม้ป้องกันไม่ให้ผิวดินโดนแสงโดยตรงจากดวงอาทิตย์ (Direct Sun) และลดการสะท้อนของรังสีของดวงอาทิตย์ที่กระทบผิวดินออกสู่สภาพแวดล้อม



ภาพที่ 2 – 5 แสดงคุณสมบัติของพืชคลุมดินในการลดปริมาณความร้อน

3.2.3 **ต้นไม้** (Vegetation)

ต้นไม้ขนาดต่างๆ สามารถควบคุมทิศทางและปริมาณของกระแสลม อีกทั้งช่วยลดผลกระทบจากการแผ่รังสีความร้อนของดวงอาทิตย์ โดยการป้องกันแสงโดยตรงจากดวงอาทิตย์ (Direct Sun) ไม่ให้ถูกพื้นผิวโลกโดยตรง จึงช่วยควบคุมอุณหภูมิของผิวดินและลดปริมาณความร้อนที่สะสมในผิวดิน[18]



ภาพที่ 2 – 6 Plants Control Solar Radiation (Robinette, Gray O., 1976)

[18] Robinette, Gray O. Landscape Planning for Energy Conservation. , (1976), p.93.

3.2.4 **แหล่งน้ำ** (Water Bodies)

การที่มีแหล่งน้ำขนาดใหญ่จะช่วยลดการเปลี่ยนแปลง และความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศที่สูงที่สุดและต่ำที่สุด (Δt) และการทำความเย็นจากการระเหยกลายเป็นไอของน้ำ (Evaporation) ทำให้อุณหภูมิเข้าใกล้สภาวะน่าสบายมากยิ่งขึ้น

3.2.5 **ลมและสิ่งกีดขวางทิศทางลม** (Wind & Wind Barrier)

กระแสลมนั้นเป็นตัวนำอากาศร้อนและอากาศเย็นเข้ามา การที่มีสิ่งกีดขวางทิศทางลมถ้าทำอย่างถูกต้องจะสามารถควบคุมปริมาณและทิศทางของลมได้ แต่ในทางกลับกันกรณีที่ไม่สามารถนำอากาศภายนอกเข้ามาในอาคารได้เนื่องจากมีความร้อนสูงกว่า เช่น ภูมิอากาศแบบร้อนแห้ง การกีดขวางทิศทางลมจะช่วยลดปริมาณอากาศร้อนที่เข้าสู่ในอาคารได้[19]

3.2.6 **การใช้ความเย็นจากดิน** (Thermal Capacity of Soil)

อุณหภูมิดินในระดับความลึกต่างๆ มีค่าค่อนข้างคงที่และมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศในช่วงเวลากลางวัน โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 26 – 27 องศาเซลเซียส ซึ่งอยู่ในช่วงของสภาวะน่าสบาย จึงสามารถใช้ดินเป็นแหล่งสะสมความเย็นได้ นอกจากนี้ดินยังช่วยในการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างมนุษย์กับสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าได้อีกด้วย[20]

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

---

[19] Robinette, Gray O. Landscape Planning for Energy Conservation. , (1976), p.93.

[20] สุนทร บุญญาธิการ และ ธนิต จินดาวนิค, “รายงานการวิจัยการวิเคราะห์สภาวะน่าสบายและสภาพแวดล้อม ที่เกี่ยวข้องกับอาคารสถาปัตยกรรมไทย,” 2536.

การถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารและคุณสมบัติของวัสดุที่เกี่ยวข้อง

4. คุณสมบัติของวัตถุ ที่มีต่อการถ่ายเทความร้อน

ความสามารถในการถ่ายเทความร้อนของวัตถุนั้น นอกจากจะได้รับอิทธิพลจากสภาพแวดล้อมภายนอกแล้ว ยังขึ้นอยู่กับคุณสมบัติต่างๆ ของแต่ละวัตถุด้วย

คุณสมบัติที่มีอิทธิพลต่อการถ่ายเทความร้อน ได้แก่

4.1 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (Thermal Conductivity – K)

4.2 ค่าการนำความร้อน (Thermal Conductance – C)

4.3 ค่าการต้านทานความร้อน (Thermal Resistance – R Value)

4.4 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (Coefficient of Transmission – U Value)

4.5 ค่าการถ่ายเทความร้อนจากฟิล์มอากาศที่ผิววัสดุ (Surface Air Film Conductance)

4.6 ค่าความจุความร้อน (Heat Capacity)

4.7 ค่าการส่งผ่านความร้อน (Heat Transmissivity)

4.1 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (Thermal Conductivity – K)

หมายถึง ความสามารถในการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อนของวัตถุใดๆ หรือปริมาณความร้อนภายใต้สภาวะคงที่ ที่ถ่ายเทผ่าน 1 หน่วยพื้นที่ของวัตถุที่มีความหนา 1 หน่วย ใน 1 หน่วยเวลา โดยมีความแตกต่างของอุณหภูมิที่ผิววัสดุทั้ง 2 ด้าน 1 หน่วย มีหน่วยเป็น Btu.-in/hr.ft^2.°F. และมีหน่วย SI คือ W/m^2.K [21]

4.2 ค่าการนำความร้อน (Thermal Conductance – C)

หมายถึง ค่าการนำความร้อนของวัตถุใดๆ หรืออัตราส่วนระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของวัตถุใดๆ ต่อความหนาของวัตถุหรือวัสดุ ที่มีความหนาตามมาตรฐานในพื้นที่ 1 หน่วย มีหน่วยเป็น Btu./hr. ft^2.°F. และมีหน่วย SI คือ W/m^2.K ซึ่งมีสมการดังต่อไปนี้

---

[21] Benjamin Stain, John S,Reynolds, Mechanical and Electrical Equipment for Buildings, (1992), p.230.

$$C = \frac{K}{dX}$$

กำหนดให้

C คือ ค่าการนำความร้อนของวัตถุหรือวัสดุ (Conductance)

K คือ ค่าสัมประสิทธิ์การนำ (Conductivity)

dX คือ ความหนาของวัตถุหรือวัสดุ

4.3 ค่าการต้านทานความร้อน (Thermal Resistance – R Value)

เป็นค่าที่แสดงถึงประสิทธิภาพในการเป็นฉนวนกันความร้อนของวัตถุ และเป็นส่วนกลับของค่าการนำความร้อน หมายถึง จำนวนชั่วโมงสำหรับงานความร้อนที่ถ่ายเทผ่านความหนาของวัตถุหนึ่งในพื้นที่ 1 หน่วย เมื่อมีอุณหภูมิที่ผิววัตถุทั้งสองด้าน แตกต่างกัน 1 หน่วย มีหน่วย คือ hr. ft^2.°F. /Btu. และมีหน่วย SI คือ m^2.K /W[22] ซึ่งมีสมการดังต่อไปนี้

$$R = \frac{1}{C} = \frac{dX}{K}$$

กำหนดให้

R คือ ค่าการต้านทานความร้อนของวัตถุหรือวัสดุ

4.4 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (Coefficient of Transmission – U Value)

หมายถึง การคำนวณหาปริมาณความร้อนที่เข้าสู่ตัวอาคาร หรือออกจากตัวอาคาร เนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิ โดยจะใช้ U Value เป็นหลัก มีหน่วยเป็น Btu./hr.sqft. (Watson, FAIA, และ Kenneth Labs, 1983) โดยมีสูตรดังนี้

$$U = \frac{1}{\Sigma R}$$

กำหนดให้

ΣR คือ ผลรวมค่าการต้านทานความร้อนของวัตถุหรือเปลือกอาคาร

[22] Benjamin Stain, John S,Reynolds, Mechanical and Electrical Equipment for Buildings, (1992), p.230.

4.5 **ค่าการถ่ายเทความร้อนจากฟิล์มอากาศที่ผิววัสดุ** (Surface Air Film Conductance)

หมายถึง ค่าการถ่ายเทความร้อนจากฟิล์มอากาศที่ผิวของวัตถุ โดยที่อัตราการถ่ายเทความร้อนขึ้นอยู่กับความเร็วลม ที่พัดผ่านผิววัตถุและลักษณะพื้นผิววัตถุ[23]

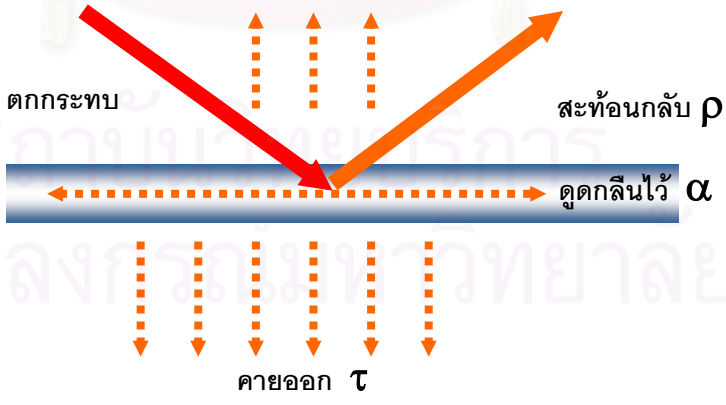
4.6 **ค่าความจุความร้อน** (Heat Capacity)

หมายถึง ค่าคุณสมบัติในการจุความร้อนของวัตถุ หรือ ปริมาณความร้อนที่ทำให้วัตถุ 1 หน่วยปริมาตร หรือ พื้นที่ผิว 1 หน่วยพื้นที่ มีอุณหภูมิสูงขึ้น 1 หน่วย มีหน่วยเป็น $Kcal/m^3$ หรือ $Kcal/m^2$ วัสดุที่มีค่าความจุความร้อนสูงจะมีความสามารถกักเก็บความร้อนไว้ได้มาก ทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนจากด้านหนึ่งของวัสดุไปสู่อีกด้านหนึ่งช้าลง ซึ่งมีผลให้อุณหภูมิผิวของวัตถุ ที่มีค่าความจุความร้อนแตกต่างกัน มีค่าต่างกัน

4.7 **ค่าการส่งผ่านความร้อน** (Heat Transmissivity)

มีความสัมพันธ์กับค่าต่างๆ ดังนี้

- ความสามารถในการดูดกลืนรังสี (Absorptivity - α)
- ความสามารถในการสะท้อนรังสี (Reflectivity - ρ)
- ความสามารถในการคายรังสี (Emissivity - τ)



ภาพที่ 2 – 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสะท้อนรังสี ค่าการดูดซับรังสี และค่าการส่งผ่านรังสี

---

[23] จญาดา บุญยเกียรติ. การลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารทางหลังคา. (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,2537), หน้า 21.

5. คุณสมบัติของผิววัตถุซึ่งตอบสนองต่อการแผ่รังสีความร้อน

วัตถุแต่ละประเภทต่างมีคุณสมบัติในด้านการการตอบสนองต่อการแผ่รังสีที่แตกต่างกันออกไป โดยคุณสมบัติดังกล่าวประกอบด้วย

1. ความสามารถในการดูดกลืนรังสี (Absorptivity - α) จะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัตถุในด้านของสี มวลสาร ลักษณะพื้นผิว เป็นต้น
2. ความสามารถในการสะท้อนรังสี (Reflectivity - ρ) วัตถุที่มีผิวเรียบและมัน จะมีความสามารถในการสะท้อนแสงและความร้อนได้ดีกว่าวัตถุที่มีผิวหยาบ
3. ความสามารถในการคายรังสี (Emissivity - τ) คือ ความสามารถในการกระจายความร้อนของวัตถุ โดยการแผ่รังสีความร้อนหรือ Surface Emission ซึ่งขึ้นอยู่กับผิวของวัตถุ

ซึ่งความสามารถในการดูดกลืนรังสี (Absorptivity - α) การสะท้อนรังสี (Reflectivity - ρ) และการคายรังสี (Emissivity - τ) สามารถแสดงเป็นสมการความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

$$\alpha + \rho + \tau = 1$$

ความสามารถในการดูดซึมรังสี(Absorptivity - α) การสะท้อนรังสี (Reflectivity - ρ) และการคายรังสี (Emissivity - τ) เป็นคุณสมบัติของวัตถุในช่วงอุณหภูมิหนึ่งๆ และสำหรับช่วง Spectrum คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าหนึ่งๆ ผลรวมของความสามารถในการดูดกลืนรังสี ความสามารถในการสะท้อนรังสี และความสามารถในการคายรังสีจะเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ ของพลังงานที่ตกกระทบลงมา สำหรับวัตถุทึบตัน (Opaque) พลังงานที่ถูกส่งผ่านจะเท่ากับศูนย์ ดังนั้นผลรวมของความสามารถในการดูดซึมรังสี จะเท่ากับ พลังงานของรังสีเมื่อถูกดูดซึมโดยวัตถุ โดยจะเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานความร้อน และพลังงานความร้อนนี้จะแผ่หรือนำออกมาจากวัตถุ ในรูปของรังสีคลื่นยาว[24]

[24]Watson, FAIA, และ Kenneth Labs, 1983; โชติวิทย์ พงษ์เสริมผล, 2539.

ตารางที่ 2 – 1 แสดงค่าการสะท้อนของวัสดุ

วัสดุ	ค่า%การสะท้อน
Bare ground, dry	10 - 25
Bare ground, wet	8 - 9
Sand, dry	18 - 30
Sand, wet	9 - 18
Rock	12 - 15
Mold, black, wet	14
Dry grass	32
Green field	3 - 15
Green leaves	25 - 32
Dark forest	5
Desert	24 - 28
Brick, depend on color	23 - 48
Asphalt	15

ที่มา : Design With Climate, 1973. P 33

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6. คุณสมบัติในการแผ่รังสีของพื้นผิววัตถุ

รังสีความร้อนเป็นคลื่นยาว และมีพลังงานต่ำ เมื่อรังสีตกกระทบวัตถุใดๆ จะมีการสะท้อน ส่งผ่าน และดูดซึมไว้ในวัตถุนั้นๆ ซึ่งวัตถุแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติในการสะท้อน ส่งผ่าน และดูดซึมรังสีที่ตกกระทบลงบนพื้นผิวของวัตถุแตกต่างกันออกไป โดยขึ้นอยู่กับปัจจัยดังต่อไปนี้

1. **ทิศทาง (มุม) ของการแผ่รังสี** ซึ่งการแผ่รังสีจะมีค่าสูงสุดในทิศทางที่ตั้งฉากกับแนวระนาบกับผิววัตถุ
2. **ความยาวคลื่นของการแผ่รังสี** โดยการคายรังสีในเชิงสเปกตรัมในทิศทางตั้งฉากของโลหะจะลดลงเมื่อ ความยาวคลื่นเพิ่มขึ้น
3. **อุณหภูมิของพื้นผิว** การคายรังสีของโลหะจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีอุณหภูมิสูงขึ้น ส่วนการคายรังสีของอโลหะ จะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น
4. **ความขรุขระของพื้นผิว** กรณีที่มีความไม่ขรุขระและความไม่สม่ำเสมอของพื้นผิวจะทำให้เกิดการสะท้อนของรังสีหลายครั้ง ซึ่งมีผลให้การดูดซึมรังสีมีค่าสูงขึ้น และส่งผลให้ค่าการคายรังสีมีค่าสูงขึ้น
5. **การเจือปนของพื้นผิว** สารปนเปื้อนบนพื้นผิวทำให้คุณสมบัติการแผ่รังสีของวัตถุเปลี่ยนไป โดยทำให้ค่าการแผ่รังสีสูงขึ้น[25]

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

[25] โชติวิทย์ พงษ์เสริมผล. การปรับปรุงหลังคาอาคารเพื่อลดภาระการทำความเย็น : กรณีศึกษาอาคารของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,2539), หน้า 38.

7. อิทธิพลของมวลสารและการหน่วงเหนี่ยวความร้อน

มวลสารของวัตถุมีอิทธิพลต่อสภาวะน่าสบายและการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิตลอดจนการแลกเปลี่ยนความร้อนกับสภาพแวดล้อม การที่วัตถุมีมวลสารแตกต่างกันจะมีความสามารถในการเก็บกักความร้อนต่างกัน วัสดุที่มีมวลสารมากและมีค่าความจุความร้อนสูง (Thermal Capacity) จะทำให้มีความสามารถในการเก็บกักความร้อนสูง ก่อให้เกิดการหน่วงเหนี่ยวความร้อน (Thermal Time Lag) ที่มากกว่าวัตถุที่มีมวลสารน้อยกว่า และทำให้การคายความร้อนของวัตถุอยู่ในอัตราที่ช้ากว่าวัตถุที่มีมวลน้อยกว่าเช่นกัน

ในช่วงเวลากลางวัน วัตถุที่มีมวลสารมากจะมีอุณหภูมิที่ผิวภายในต่ำกว่าอุณหภูมิผิวด้านนอกมาก และใกล้เคียงอุณหภูมิอากาศ ทำให้ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศของภายในกับอุณหภูมิผิวภายในมีความแตกต่างกันน้อยมาก และน้อยกว่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศภายนอกกับอุณหภูมิผิวภายนอก ส่งผลให้ภายในอาคารมีค่าอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยโดยรอบ (Mean Radiant Temperature : MRT) ต่ำกว่าอุณหภูมิผิวภายนอก ซึ่งส่งผลต่อสภาวะน่าสบายของผู้ใช้ภายในอาคาร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

8. พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านกรอบอาคาร

จากกฎข้อที่ 2 ของหลักเทอร์โมไดนามิกส์ (Thermodynamics) กล่าวว่า “ความร้อนจะไม่สามารถผ่านจากที่เย็นไปสู่ที่ร้อนได้ โดยปราศจากแรงกระทำภายนอก”[26] ดังนั้นในการถ่ายเทความร้อนจากจุดหนึ่งไปสู่อีกจุดหนึ่ง อาจต้องอาศัยตัวกลางหรือไม่อาศัยตัวกลาง และจะต้องอยู่ในที่ๆ มีความแตกต่างกันระหว่างอุณหภูมิ

8.1 การถ่ายเทความร้อนผ่านกรอบอาคารสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 วิธี ดังต่อไปนี้

8.1.1 **การนำความร้อน** (Conduction)

คือการถ่ายเทความร้อนระหว่างโมเลกุล อาจเป็นโมเลกุลที่อยู่ในสสารเดียวกันหรือระหว่างสสาร 2 ชนิด การนำความร้อนจะเกิดขึ้น เมื่อโมเลกุลที่มีอุณหภูมิสูงกว่าเกิดการสั่นสะเทือน และถ่ายเทพลังงานไปสู่โมเลกุลที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า โดยตัวกลางไม่มีการเคลื่อนที่ สิ่งที่มีผลต่อการนำความร้อนมีดังนี้

- สสารที่เป็นตัวนำความร้อน
- ความหนาแน่นของตัวนำความร้อน(Density)
- ความชื้นที่มีอยู่ในสสาร(Moisture Content)
- ระดับความแตกต่างของอุณหภูมิ

8.1.2 **การพาความร้อน** (Convection)

คือ การถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นในของเหลวหรือก๊าซ ซึ่งเรียกโดยรวมว่าของไหล เมื่อของไหลถูกทำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น จะเกิดการเคลื่อนที่จากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งด้วยแรงธรรมชาติ หรือแรงจากเครื่องกลซึ่งโมเลกุลที่หนักและมีอุณหภูมิต่ำกว่าจะตกลงสู่ที่ต่ำ ส่วนโมเลกุลที่เบาและมีอุณหภูมิสูงกว่าจะลอยตัวสูงขึ้น ปรากฏการณ์เช่นนี้ทำให้เกิดการไหลเวียนของความร้อน

8.1.3 **การแผ่รังสีความร้อน** (Radiation)

คือ การถ่ายเทรังสีความร้อนโดยไม่อาศัยตัวกลาง โดยรังสีจะเดินทางผ่านบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงกว่าในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Waves) ไปยังที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า รังสีความ

---

[26] American Society of Heating. ASHRAE Applications Handbook, (1989), p.38.

ร้อนสามารถถูกสกัดกั้นโดยการใช้วัสดุที่มีผิวมันเงา วัสดุต่างชนิดกันจะมีค่าการดูดซับและการสะท้อนรังสีแตกต่างกัน เมื่อวัสดุหนึ่งมีค่าการดูดซับมากจะมีค่าการสะท้อนรังสีต่ำ

ซึ่งลักษณะการถ่ายเทความร้อนทั้ง 3 รูปแบบนี้ ต่างเป็นอิสระต่อกัน (Vary Independent) การถ่ายเทความร้อนจากสภาพแวดล้อมสู่กรอบอาคารโดยการแผ่รังสีความร้อนนั้นขึ้นอยู่กับคุณสมบัติในด้านต่างๆ ได้แก่ ความสามารถในการสะท้อนรังสี (Reflex) ความสามารถในการคายรังสี (Emissivity) และความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิผิววัสดุกับสภาพแวดล้อม นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับค่าของมุมในการแผ่รังสี (Solid Angle) ระหว่างผิววัสดุกับสภาพแวดล้อม ส่วนการถ่ายเทความร้อนจากสภาพแวดล้อมสู่กรอบอาคารโดยการนำความร้อน และการพาความร้อนนั้นขึ้นอยู่กับลักษณะความหยาบของผิววัสดุ (Surface Roughness) และความเร็วลมที่พัดผ่านผิววัสดุ[27]

8.2 การคำนวณปริมาณการถ่ายเทความร้อนผ่านเปลือกอาคารทางหลังคา

อัตราความร้อนที่ผ่านเปลือกอาคาร สามารถแสดงถึงอัตราความร้อนที่เคลื่อนผ่านส่วนประกอบทั้งหมดของผิวอาคาร ได้แก่ พื้น ผนัง หลังคา ฯลฯ ค่านี้จะถูกกำหนดด้วยค่า U – Value คือค่า Thermal Transmittance มีหน่วยเป็น BTU/Hr.ft^2.°F. ค่า U – Value ของผิวอาคารแต่ละชนิด สามารถคำนวณหาค่า U จากการหาส่วนกลับของค่า Resistance (R) ดังสมการต่อไปนี้

$$U = \frac{1}{\Sigma R}$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

[27] ธนิต จินดาวนิค, พลังงานกับการออกแบบสถาปัตยกรรม, (2539), หน้า 23.

ค่า U – Value ที่ได้สามารถนำมาคำนวณค่าปริมาณการถ่ายเทความร้อนผ่านเปลือกอาคารได้ โดยทั่วไปมี 2 สมการ คือ

$$Q = U * A * \Delta T \quad \text{----------} \ 1$$

$$Q = U * A * CLTD \quad \text{----------} \ 2$$

กำหนดให้

U = $1/\Sigma R$ = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของหลังคา (BTU/Hr.ft^2.°F.)

A = พื้นที่ของผนังที่ถ่ายเทความร้อน (sft.)

ΔT = ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศภายนอกและภายใน (°F.)

CLTD = ภาระความแตกต่างของความร้อนเทียบเท่า หรือ Cooling Load Temperature Difference (°F.)

สมการที่ 1 ใช้ในกรณีที่ไม่มีอิทธิพลของแสงแดดมาเกี่ยวข้อง ซึ่งทำให้ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศภายนอกและภายในคงที่ (Steady State Condition)

สมการที่ 2 ใช้ในกรณีที่มีแสงแดดเข้ามาเกี่ยวข้อง ทั้งนี้ CLTD เกิดขึ้นเพราะความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศภายนอกกับภายในไม่คงที่ ซึ่งในความเป็นจริงค่า CLTD ต่างจากค่า ΔT เพราะมีการปรับเปลี่ยนค่าอุณหภูมิ เพื่อรวมเอาอิทธิพลจากหลายองค์ประกอบเข้าไว้ด้วยกัน เช่น วัน เวลา เดือน และเขตละติจูดที่เกิด Peak Load มวลสารและสีของวัตถุ การหน่วงของเวลา ผลกระทบของแสงแดด อุณหภูมิ และสภาพแวดล้อม ในการคำนวณค่าภาระในการทำความเย็นสูงสุดของเครื่องปรับอากาศ (Peak Load) จึงใช้ค่า CLTD แทนค่า ΔT

8.3 การคำนวณหาปริมาณความร้อนที่ต้องการในการเปลี่ยนอุณหภูมิวัตถุ

ในการถ่ายเทความร้อนผ่านจากภายนอกอาคารเข้าสู่ภายในอาคาร พลังงานความร้อนที่ผิวผนังภายนอกได้รับไม่ได้ทำให้อุณหภูมิของผนังสูงขึ้นในทันที ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากวัตถุแต่ละชนิดต้องการปริมาณความร้อนจำเพาะที่แตกต่างกันจำนวนหนึ่งในการเพิ่มอุณหภูมิของวัสดุขึ้นไปทุกๆ 1 องศา

ค่าความจุความร้อนจำเพาะของวัตถุ (Specific Heat) เป็นปริมาณความร้อนที่วัตถุต้องการในการทำให้วัสดุหนัก 1 หน่วย มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1 องศา จากความรู้เกี่ยวกับความจุความร้อนจำเพาะ ทำให้สามารถคำนวณค่าความจุความร้อน (Heat Capacity) ของวัตถุต่างๆได้

ในการคำนวณค่าความจุความร้อน (Heat Capacity) ของวัตถุต่างๆ เพื่อทราบค่าปริมาณความร้อนที่วัตถุชนิดหนึ่งต้องการในการเพิ่มอุณหภูมิขึ้นไป 1 องศา ในทุกๆ 1 หน่วยปริมาตร สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$C = \rho * c$$

โดยที่

$$\rho = m / v$$

กำหนดให้

C	=	ค่าความจุความร้อนของวัตถุ	(Btu. / Cft.$^{\circ}$F)
ρ	=	ค่าความหนาแน่นของวัตถุ	(lb. / Cft.)
c	=	ค่าความจุความร้อนจำเพาะของวัตถุ	(Btu. / lb.$^{\circ}$F)
m	=	มวลของวัตถุ	(lb.)
v	=	ปริมาตรของวัสดุ	(Cft.)

ค่าความจุความร้อนจำเพาะยังสามารถใช้คำนวณหาปริมาณความร้อนที่วัสดุต้องการในการเปลี่ยนอุณหภูมิ ซึ่งจะทำให้ทราบถึงปริมาณความร้อนที่ต้องใช้ในการเพิ่มหรือลดอุณหภูมิวัสดุให้เท่ากับอุณหภูมิที่ต้องการ โดยมีสมการดังนี้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$Q = mc * \Delta T$$

กำหนดให้	Q	=	ปริมาณความร้อน	(Btu.)
	m	=	มวลของวัตถุ	(lb.)
	c	=	ค่าความจุความร้อนจำเพาะของวัตถุ	(Btu./lb.^{o}F)
	ΔT	=	ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิที่ต้องการ	(^{o}F)

ตารางที่ 2 - 2 แสดงการเปรียบเทียบมวลสารประเภท Low, Medium และ High Mass

Material		Specific Heat หน่วย Btu/lb. ^{o}F	Density หน่วย lb/ft^3
Low Mass	เหล็ก (Steel)	0.12	450
	อลูมิเนียม (aluminum)	0.21	171
	ไม้	0.39	35.6 - 41.2
Medium Mass	อิฐ (brick)	0.19	120
High Mass	คอนกรีต	0.19 – 0.24	144
	หิน (Limestone)	0.19	180

ที่มา : ASHRAE, 1997 : 24.4 – 24.7

8.4 การคำนวณความสามารถในการกักเก็บความร้อนของวัสดุ (Thermal Storage Conductivity)[28]

เป็นค่าที่ใช้ในการคำนวณความสามารถในการกักเก็บหรือสะสมความร้อนของวัสดุ ค่าความร้อนจำเพาะ (Specific Heat) เป็นค่าพลังงานของวัสดุ 1 ลิตร ที่ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิทุก ๆ 1 องศาฟาเรนไฮต์ มีหน่วยเป็น Btu/lb.^{o}F โดยน้ำจะใช้พลังงาน 1 Btu/lb ในการทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1 ฟาเรนไฮต์ ทำให้น้ำมีค่าความร้อนจำเพาะเท่ากับ 1 และทำให้อุณหภูมิคงที่ อาคารที่ตั้งอยู่ใกล้กับแหล่งน้ำจะมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายใน 1 วันน้อยกว่าที่อื่น

[28] เรียบเรียงจาก Moore, Fuller. Environmental Control System : Heating Cooling Lighting. (Singapore: McGraw-Hill, 1993). p.11-13.

โดยทั่วไปถ้าอากาศภายนอกมีอุณหภูมิคงที่ ค่าการกักเก็บความร้อนของวัสดุ (Thermal Storage) จะมีผลเพียงเล็กน้อยกับอุณหภูมิภายในอาคาร อย่างไรก็ตามอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารจะมีการเปลี่ยนแปลงตลอดทั้งวัน ค่าความร้อนจำเพาะ (Specific Heat) ที่ใช้ไม่สามารถครอบคลุมถึงปริมาณความร้อนที่กักเก็บไว้ได้ จึงใช้ค่าความจุความร้อน (Heat Capacity) ที่สามารถวัดปริมาณความร้อนที่กักเก็บต่อ 1 หน่วยปริมาตรของวัสดุได้ โดยใช้ค่าความหนาแน่น (Density) มีหน่วยคือ lb/ft^3 มาเทียบเป็นหน่วยปริมาตรวัสดุ โดยค่าความจุความร้อนมีหน่วยเป็น $Btu/ft^3 .^{\circ}F$ และนำค่าการนำความร้อน (Conductance) มาใช้เพียงให้สามารถวัดค่าการถ่ายเทความร้อนจากผิววัสดุไปภายในมวลสารได้ เรียกค่าทั้งหมดว่า Thermal Storage Capacity

การคำนวณค่า Thermal Storage Capacity สามารถหาได้ดังนี้

$$\text{Thermal Storage Capacity} = \rho \,.\, S \,.\, C \quad (\text{หน่วย } Btu^2 / h.ft^4.{}^{\circ}F^2$$

กำหนดให้ C = ค่าการนำความร้อน (Thermal Conductivity) $(Btu/h.ft.^{\circ}F^2)$

S = ค่าความร้อนจำเพาะ (Specific Heat) =c $(Btu/lb.^{\circ}F)$

ρ = ความหนาแน่น (Density) (lb/ft^3)

นอกจากนั้น การกักเก็บความร้อนของวัสดุมีค่าที่ใช้วัดได้อีก คือ

สภาพการแพร่กระจายความร้อน (Thermal Diffusivity)

(ASHRAE , 1997: 39.12)

$$\alpha = C / (\rho . S)$$

กำหนดให้ α = Thermal Diffusivity

C = ค่าการนำความร้อน (Thermal Conductivity) $(Btu/h.ft.^{\circ}F^2)$

ρ = ความหนาแน่น (Density) (lb/ft^3)

S = ค่าความร้อนจำเพาะ (Specific Heat) = c $(Btu/lb.^{\circ}F)$

The Stored Thermal Energy (Bansal, Gerd and Grenot, 1994: 42)

$$Q = \rho . V. S. \Delta t$$

กำหนดให้ Q = The Store Thermal Energy (Btu.)

ρ = ความหนาแน่น (Density) (lb/ft^3)

V = ปริมาตร (ft^3)

S = ค่าความร้อนจำเพาะ (Specific Heat) = c (Btu/lb.$^\circ$F)

Δt = ความแตกต่างของอุณหภูมิ ($^\circ$F)

8.5 การคำนวณหา Sol – Air Temperature

แสงแดดเป็นปัจจัยทางธรรมชาติ ที่มีอิทธิพลอย่างมากต่อการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร เมื่อวัสดุเปลือกอาคารถูกแสงแดดก็จะร้อนขึ้น เนื่องจากการแผ่รังสีคลื่นสั้นของดวงอาทิตย์กลายเป็นคลื่นยาว ก็จะเกิดพลังงานความร้อนขึ้นที่ผิวหลังคา และความร้อนนี้ก็จะแผ่ออกสู่อากาศภายใน และการที่ผิวของหลังคาร้อนขึ้นนี้เอง ทำให้การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารต้องเปลี่ยนไป และไม่สามารถใช้ค่าความแตกต่างความร้อนระหว่างอุณหภูมิภายนอกและภายใน ΔT ได้อีกต่อไป เพราะ ΔT จะต่ำกว่าความเป็นจริงมาก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายประการ

จาก ASHRAE (1989) Sol – Air Temperature มีองค์ประกอบอยู่ 3 ประการ คือ

1. อุณหภูมิอากาศภายนอก
2. รังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบผิววัสดุที่ถูกดูดกลืนไว้
3. การแลกเปลี่ยนรังสีความร้อนกับสภาพแวดล้อม (The Long – Wave Radiation Heat Exchange With The Environment)

Sol – Air Temperature ในคำจำกัดความ หมายถึง อุณหภูมิสมมุติของอากาศที่ติดกับผิววัสดุช่วงที่ไม่มีอิทธิพลจากแสงแดดและการเปลี่ยนแปลงรังสี ที่จะทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารเทียบเท่ากับสภาวะที่มีอิทธิพลจริงจากรังสีของดวงอาทิตย์ จากการแลกเปลี่ยนรังสีความร้อนกับท้องฟ้าจากสภาพแวดล้อมรอบตัว และจากการถ่ายเทความร้อนกับอากาศ

Sol – Air temperature is the outdoor air that, in the absence of all radiatio change, give the same rate of heat entry into the surface as would the combination of incident solar radiation, radient energy exchange with the sky and other outdoor surrings, and convective exchange with the outdoor air.

Sol – Air Temperature สามารถแสดงได้ในสมการต่อไปนี้

$$\text{Sol – Air Temperature } (T_e) = T_{out} + \frac{I * \alpha}{h_o} - \frac{\varepsilon \Delta R}{h_o}$$

กำหนดให้

T_e = Sol – Air Temperature

T_{out} = อุณหภูมิอากาศภายนอก (°F)

I = รังสีความร้อนที่ตกกระทบทั้งหมด (Total Solar Radiation Incident on the Surface) (BTU./hr.sft..)

α = สัมประสิทธิ์การดูดความร้อนของผิววัสดุ (ไม่มีหน่วย)

h_o = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผิว ซึ่งรวมถึง Long Wave Radiation และ Convection (BTU./hr.sft.)

ε = สัมประสิทธิ์การกระจายความร้อนออกจากผิว (Hemispherical Emittance of the Surface)

ΔR = อัตราการแลกเปลี่ยนความร้อนของผิววัสดุกับสภาพแวดล้อมและท้องฟ้า (BTU./hr.sft.)

8.6 การคำนวณ Heat Flow จากผนังภายในสู่อากาศภายในห้อง

Heat Flow จากผนังภายในห้อง สู่อากาศภายในห้อง สามารถหาได้ดังนี้

$$Q = C * A * \Delta t$$

กำหนดให้

Q = ปริมาณความร้อน (Btu.)

C = ค่าการนำของวัตถุ = $1/R_{air\text{-}film(ภายใน)}$ (lb.)

A = พื้นที่ (sq.ft.)

ΔT = ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิ

= $(s_{urface\text{-}in} - t_{air\text{-}inside})$ (°F)

9. อุณหภูมิพื้นผิว

อุณหภูมิพื้นผิว เป็นอุณหภูมิที่เกิดจากกระบวนการที่ความร้อนถูกส่งผ่านไปสู่พื้นผิว โดยการนำความร้อน (Conduction) การพาความร้อน (Convection) และการแผ่รังสีความร้อน (Radiation) โดยผสมผสานกัน

การแผ่รังสีความร้อนของผนังจะมีปัจจัยของ Emittance และ Reflectivity และค่าความต่างของอุณหภูมิพื้นผิวของวัสดุกับสภาพแวดล้อม และค่าของมุม Angle Factor ระหว่างผิวสัมผัสนั้นกับสภาพแวดล้อม

การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิผิววัสดุ

ความร้อนจากสภาพแวดล้อมทั่วไปทั้งภายนอก และภายในอาคารมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิพื้นผิววัสดุ แต่อุณหภูมิผิววัสดุจะไม่เปลี่ยนแปลงในทันที เนื่องจากรังสีความร้อนที่กระทบจะถูกดูดกลืนเข้าไปในมวลสาร ก่อนที่จะแผ่รังสีกลับมาสู่ด้านที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า

เมื่อความร้อนถูกดูดกลืนเข้าไปในมวลสาร จะทำให้อุณหภูมิผิวภายนอกสูงขึ้นกว่าภายในเป็นผลให้อุณหภูมิอากาศที่อยู่ใกล้ผิววัสดุสูงตามไปด้วย จากความแตกต่างของอุณหภูมินี้ ทำให้ความร้อนถูกส่งผ่านเข้าไปในตัววัสดุโดยการนำความร้อน และสู่อากาศโดยการพาความร้อน จนกระทั่งอุณหภูมิภายนอกและภายในเท่ากัน

จะเห็นได้ว่า นอกจากอุณหภูมิผิวจะเพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากการแผ่รังสีแล้ว อุณหภูมิยังเพิ่มได้จากการพาความร้อนจากอากาศโดยรอบที่มีอุณหภูมิสูงกว่า แต่อย่างไรก็ตาม การแผ่รังสีมีผลกระทบต่ออุณหภูมิผิววัสดุมากกว่าการพาความร้อน เนื่องจากมีค่าความต้านทานความร้อนของอากาศบริเวณผิว (Air Film)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ลักษณะทางกายภาพของดินและตัวแปรที่ส่งผลต่ออุณหภูมิดินรวมทั้งสภาพภูมิอากาศ

10. ลักษณะทางกายภาพของดิน

ลักษณะทางกายภาพของดิน อาจพิจารณาจากเนื้อดิน ซึ่งแตกต่างกันตามปริมาณอนุภาคมวลสารแต่ละชนิด ประกอบด้วยอนุภาค เม็ดทราย เม็ดซิลท์ และเม็ดดินเหนียว โดยทั่วไปดินในสภาพพื้นระดับต่ำประกอบด้วยอนุภาคเม็ดดินเหนียวมากกว่าดินในสภาพพื้นที่ระดับสูงกว่า ดินในสภาพพื้นที่ระดับต่ำมีเนื้อดินเป็นจำพวก Clay Loam ในขณะที่ดินในพื้นที่ระดับสูงกว่ามีเนื้อดินเป็นพวก Sandy Loam หรืออาจกล่าวได้ว่า ดินมีเนื้อหยาบขึ้นเมื่อระดับสภาพพื้นที่สูงขึ้น ซึ่งสามารถแบ่งได้ดังนี้

- ส่วนประกอบของดิน (Soil Component)
- เนื้อดิน (Soil Texture)
- ลักษณะจำเพาะของอนุภาคดินแต่ละกลุ่มขนาด

10.1 ส่วนประกอบของดิน (Soil Component)[29]

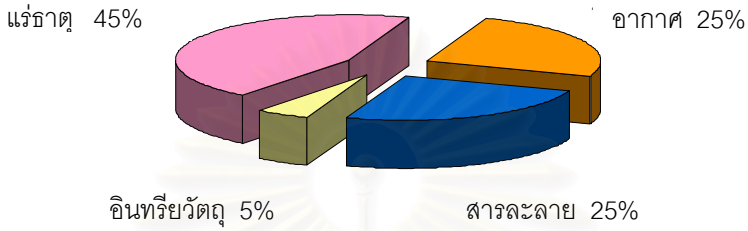
ส่วนประกอบของดินอาจแบ่งได้เป็น 4 ส่วนใหญ่ ๆ คือ

1. อนินทรียวัตถุ (Mineral Matter) เป็นส่วนที่เกิดจากชิ้นเล็กชิ้นน้อยของแร่และหินต่าง ๆ ที่สลายตัวโดยทางเคมี ทางฟิสิกส์ และทางชีวเคมี
2. อินทรียวัตถุ (Organic Matter) ได้แก่ส่วนที่เกิดจากการเน่าเปื่อยผุพังหรือการสลายตัวของเศษเหลือของพืชและสัตว์ที่ทับถมกันอยู่บนดิน
3. น้ำ น้ำที่อยู่ในดินนั้น พบอยู่ในช่องระหว่างเม็ดดิน (Aggregate) หรืออนุภาคดิน (Particle) ที่เรียกช่องหรือที่ว่างนี้ว่า Pore Space
4. อากาศ ที่ว่างในดินระหว่างก้อนดินหรืออนุภาคดินนั้นมีอากาศอยู่ แก๊สที่พบโดยทั่วไปในอากาศในดินนั้นมีไนโตรเจน ออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

[29] คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. คณะเกษตรศาสตร์, ปฐพีวิทยาเบื้องต้น (Introduction to Soil Science), (กรุงเทพมหานคร : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,2541), หน้า 4 –5.

ปริมาตรของแต่ละส่วนของดินที่เหมาะสมแก่การเพาะปลูก โดยทั่วไปแล้วจะมีส่วนประกอบที่เป็นของแข็งประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ (อนินทรียวัตถุหรือแร่ธาตุ ประมาณ 45 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตรและอินทรียวัตถุประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร) และส่วนประกอบที่เป็นช่องว่างและน้ำ 50 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร (อากาศ 25 เปอร์เซ็นต์ และน้ำ 25 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร) ดังภาพ 2 - 8



ภาพที่ 2 – 8 แสดงส่วนประกอบของดินโดยปริมาตร ที่เหมาะสมต่อการเพาะปลูก

ดินบน (Surface Soil) มีเนื้อดินประเภท silt loam มักจะมีส่วนประกอบโดยปริมาตรดังกล่าว ดังนั้นดินชนิดนี้จึงนับได้ว่าเป็นตัวแทนของดินทั่วไป

ดินทราย (Sandy Soil) มักจะมีส่วนเป็นช่องน้อย แต่กลับมีส่วนที่เป็นของแข็งมากกว่าดินทั่วไป

ดินเหนียว (Clayey Soil) มักจะมีส่วนที่เป็นช่องมาก แต่มีส่วนที่เป็นของแข็งน้อยกว่าดินทั่วไป

10.2 **เนื้อดิน** (Soil Texture)[30]

เนื้อดินเป็นสมบัติทางฟิสิกส์ขั้นมูลฐาน ซึ่งจะมีผลควบคุมคุณสมบัติทางฟิสิกส์อื่น ๆ ของดิน เนื้อดินสื่อความหมายด้านขนาดหรือความหยาบ – ละเอียด ของอนุภาคอนินทรีย์ (Inorganic Particles) ที่เป็นองค์ประกอบของดินนั้น

[30] คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. คณะเกษตรศาสตร์, ปฐพีวิทยาเบื้องต้น (Introduction to Soil Science), (กรุงเทพมหานคร : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,2541), หน้า 56 – 58.

ในด้านปฐพีวิทยา เนื้อดินถูกจำแนกเป็นหลายประเภท สิ่งที่กำหนดประเภทของเนื้อดิน คือ สัดส่วนโดยมวลของอนุภาคอนินทรีย์ 3 กลุ่มขนาด (Soil Separates) คือ

1. Sand หรืออนุภาคทราย จัดเป็นกลุ่มขนาดโตที่สุดในดิน
2. Silt หรืออนุภาคทรายตะกอนหรืออนุภาคทรายแป้ง จัดเป็นกลุ่มขนาดปานกลาง
3. Clay หรืออนุภาคดินเหนียว จัดเป็นกลุ่มขนาดเล็กที่สุดในดิน

เหตุที่เรียกว่ากลุ่มขนาด (Separate) เป็นเพราะแต่ละกลุ่มจะประกอบด้วยอนุภาคหลายขนาดจัดไว้เป็นช่องซึ่งกำหนดโดยพิกัดของขนาด พิกัดของขนาดนี้มีทั้งพิกัดบน (Upper Limit) และพิกัดล่าง (Lower Limit) อนุภาคทราย ทรายแป้ง และดินเหนียว มีพิกัดของขนาดที่แตกต่างกัน ซึ่งจะกล่าวถึงต่อไป

สัดส่วนผสมของอนุภาคหลายกลุ่มขนาดนี้มีผลต่อสมบัติทางฟิสิกส์หลายประการ เช่น

1. ความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water Holding Capacity) ซึ่งหมายถึงสมบัติของดินในการบรรจุน้ำไว้ได้มากหรือน้อย
2. ความสามารถในการถ่ายเทอากาศ (Aeration) ซึ่งหมายถึงความสามารถของดินในการบรรจุน้ำไว้ได้มากหรือน้อย
3. ความแข็งของดิน (Soil Strength) หมายถึง ความหนาแน่นของการเกาะตัวกันของอนุภาคดินเป็นก้อนดิน หรือเป็นหน้าตัดดิน

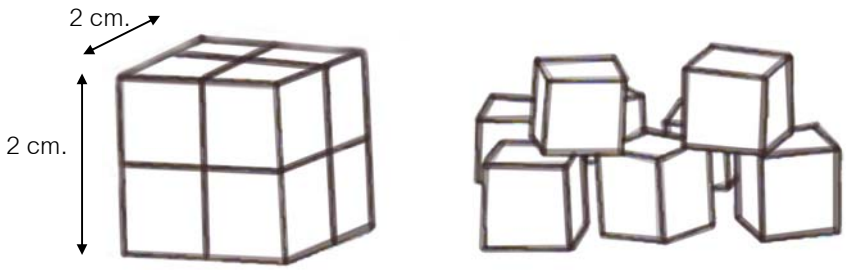
ความสามารถของดินในการอุ้มน้ำและถ่ายเทอากาศมีความผูกพันกับจำนวนและขนาดของช่องในดิน ซึ่งได้รับผลโดยตรงจากขนาดของอนุภาค ส่วนความแข็งของดินผูกพันกับความแข็งแรงของการเชื่อมยึดระหว่างอนุภาคเดี่ยวโดยอิทธิพลของสารเชื่อม ความแข็งของดินได้รับผลโดยอ้อมจากขนาดของอนุภาค โดยที่ว่าถ้าอนุภาคมีขนาดเล็ก พื้นที่ผิวสัมผัสรวมทั้งจุดสัมผัสระหว่างอนุภาคจะมีค่าเพิ่มขึ้น

10.2.1 อิทธิพลของขนาดอนุภาค (Effect of Size of Particles)

ขนาดของอนุภาคดินมีผลต่อสมบัติของดินดังต่อไปนี้

1. อิทธิพลต่อพื้นที่ของอนุภาคดิน

พื้นที่ผิวของอนุภาคดิน หมายถึง ผลรวมของพื้นที่ผิวของแต่ละอนุภาคที่ประกอบกันเป็นมวลดินนั้น ๆ ดังภาพที่ 2 – 9



(ก) **(ข)**

ภาพที่ 2 – 9 อิทธิพลของขนาดอนุภาคต่อเนื้อที่ผิวในมวลสารดิน

ที่มา : คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา . ปฐพีวิทยาเบื้องต้น (Introduction to Soil Science(กรุงเทพมหานคร : คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ . พิมพ์ครั้งที่ 8 , 2541.) หน้า 57.

จากภาพแสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของขนาดอนุภาคต่อเนื้อที่ผิว (ก) เมื่อกล่องขนาดเล็ก 8 กล่อง จัดเรียงกันเป็นลูกบาศก์ขนาด 2 * 2 * 2 และ (ข) เมื่อกล่องขนาดเล็กกระจายตัวกันอยู่ เห็นได้ว่าเนื้อที่ผิวภายในกรณี (ก) มีค่าน้อยกว่ากรณี (ข) มาก เนื่องจากกรณี (ก) ไม่มีเนื้อที่ผิวภายใน

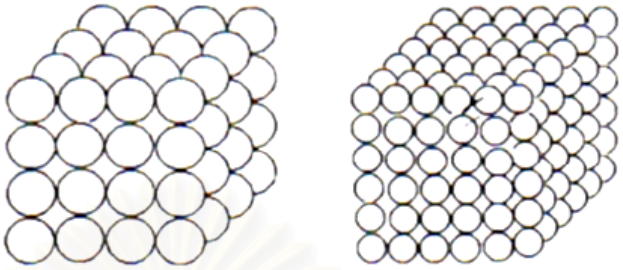
ด้วยเหตุนี้จึงอนุมานได้ว่า หากตวงอนุภาคดินแต่ละกลุ่มขนาดมาให้มีจำนวน (มวลหรือปริมาตร) เท่ากัน อนุภาคดินเหนียว (Clay) จะมีพื้นที่ผิวของอนุภาคมากกว่าทรายแป้ง (Silt) และทราย (Sand) ตามลำดับ

พื้นที่ผิวภายในของดินมีผลต่อสมบัติการดูดซับน้ำ ดินที่มีพื้นที่ผิวรวมของอนุภาคมากกว่าจะดูดซับน้ำไว้ได้มาก (การดูดซับน้ำยังขึ้นอยู่กับขนาดและจำนวนรวมของช่องในดินด้วย)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. อิทธิพลต่อขนาดช่องภายในดิน

เพื่อให้เกิดแนวคิดเกี่ยวกับขนาดของช่องในดิน ซึ่งได้รับอิทธิพลจากขนาดของอนุภาค จากภาพที่ 2 – 10



(ก) (ข)

ภาพที่ 2 – 10 อิทธิพลของขนาดอนุภาคต่อขนาดของช่องในมวลสารดิน

ที่มา : คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา . ปฐพีวิทยาเบื้องต้น (Introduction to Soil Science) . (กรุงเทพมหานคร : คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ . พิมพ์ครั้งที่ 8 , 2541.) หน้า 58.

จากภาพ สามารถอธิบายได้ว่า อิทธิพลของขนาดอนุภาคต่อขนาดของช่อง (ก) ซึ่งเป็นอนุภาคขนาดใหญ่ เมื่อเรียงตัวกันย่อมเกิดช่องระหว่างอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ แต่จะมีปริมาณรวมของช่องน้อย ในขณะที่ (ข) อนุภาคขนาดเล็กเมื่อเรียงตัวกันย่อมเกิดช่องระหว่างอนุภาคที่มีขนาดเล็ก แต่จะมีปริมาตรรวมของช่องมาก ช่องขนาดใหญ่ (Macropores) มักเป็นที่อยู่ของอากาศ ส่วนช่องขนาดเล็ก (Micropores) มักเป็นที่อยู่ของน้ำ

ในทางฟิสิกส์ ขนาดของช่องมีผลกระทบต่อแรงดึงน้ำ ถ้ามีน้ำเข้าไปขังในช่องเหล่านั้น แรงดังน้ำในช่องเรียกว่าแรงดึงแคพิลลารี (Capillarity) แรงดึงน้ำในช่องจะผันแปรโดยกลับกับขนาดของช่อง จากปรากฏการณ์ดังกล่าว หากพิจารณาเปรียบเทียบกับอนุภาคของดิน พบว่า

2.1 อนุภาคของดินที่มีขนาดใหญ่ เช่น ทรายและทรายแป้ง

- พื้นที่ผิวภายในของดินมีค่าน้อย ดูดซับน้ำได้น้อย
- ช่องระหว่างอนุภาคมีขนาดใหญ่ ดูดน้ำด้วยแรงต่ำ

เป็นผลให้

- ดินระบายน้ำ (Drainage) ได้ดี ส่วนมากช่องในดินจะมีอากาศบรรจุอยู่
- ดินจะมีการระบายอากาศ (Aeration) ดี เนื่องจากในดินมีช่องอากาศมาก และมีความต่อเนื่องถึงกัน

2.2 อนุภาคของดินมีขนาดเล็ก เช่น ดินเหนียว

- พื้นที่ผิวภายในของดินมีค่ามาก ดูดซับน้ำได้มาก
- ช่องระหว่างอนุภาคมีขนาดเล็ก ดูดน้ำด้วยแรงสูง

เป็นผลให้

- ดินจะระบายน้ำไม่ดี ส่วนมากช่องในดินจะมีน้ำขังอยู่

10.2.2 **กลุ่มของขนาดอนุภาค** (Soil Separates)

นักวิทยาศาสตร์ทางดิน แบ่งอนุภาคดินออกเป็น 3 กลุ่มขนาด (Size Class) ระบบจำแนกขนาดหลายระบบ ที่นิยมใช้มี 2 ระบบ คือ ระบบแบบสหรัฐอเมริกา (United States Department of Agriculture : USDA) และระบบสากล (International Society of Soil Science : ISSS)
ดังตารางที่ 2 – 3

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2 - 3 แสดงการจำแนกกลุ่มขนาด (Soil Separates) ตามระบบสหรัฐอเมริกา(USDA) เปรียบเทียบกับระบบสากล (ISSS)

กลุ่มขนาด	เส้นผ่าศูนย์กลาง (มม.)	
	USDA	ISSS
ทราย (Very Coarse Sand)	2.00 – 1.00	-
ทรายหยาบ (Coarse Sand)	1.00 – 0.50	2.00 – 0.20
ทรายขนาดปานกลาง (Medium Sand)	0.50 – 0.25	-
ทรายละเอียด (Fine Sand)	0.25 – 0.10	0.20 – 0.02
ทรายละเอียดมาก (Very fine Sand)	0.10 – 0.05	-
ทรายแป้ง (Silt)	0.05 – 0.002	0.02 – 0.002
ดินเหนียว (Clay)	< 0.002	< 0.002

ที่มา : คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา . ปฐพีวิทยาเบื้องต้น (Introduction to Soil Science) . (กรุงเทพมหานคร : คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. พิมพ์ครั้งที่ 8 , 2541.) หน้า60.

สองระบบนี้แตกต่างกันเล็กน้อย คือระบบ USDA จำแนกชั้นย่อยในกลุ่มทรายออกเป็น 4 กลุ่มและกำหนดพิกัดบนของขนาดทรายแป้งไว้ที่ 0.05 มม. ในขณะที่ระบบ ISSS จำแนกชั้นย่อยในกลุ่มทรายเป็น 2 กลุ่มและกำหนดพิกัดบนของขนาดทรายแป้งไว้ที่ 0.02 มม.

10.3 ลักษณะจำเพาะของอนุภาคดินแต่ละกลุ่มขนาด

10.3.1 ทราย (Sand) มีลักษณะดังนี้

- เป็นเม็ดเล็ก ๆ ของแร่ Quartz และ Feldspar ที่สลายตัวผุพังจากหินต้นกำเนิด
- ขนาดโต มองเห็นด้วยตาเปล่า (ยกเว้นกลุ่มทรายละเอียดมาก หรือ Very Find Sand) สัมผัสระคายมือ
- ร่วน ไม่เกาะกันเป็นเม็ดดิน (Aggregate) ถ้าไม่มีอนุภาคกลุ่มขนาดอื่นๆ อยู่ด้วย จะปรากฏตัวเป็นอนุภาคเดี่ยว (Single Grain)
- เม็ดทรายเมื่อเรียงตัวกันจะเกิดช่อง (Pore) ขนาดใหญ่ ระบายน้ำและราบายอากาศได้ดี แต่มีความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water Retention) ต่ำ
- กลุ่มอนุภาคทรายมีเนื้อที่ผิวจำเพาะน้อย จึงมีพื้นที่ผิวสำหรับดูดซับ (Absorb) สารต่าง ๆ เช่น น้ำและธาตุอาหารน้อย

10.3.2 **ทรายแป้ง** (Silt) **มีลักษณะดังนี้**

- เป็นกลุ่มอนุภาคขนาดปานกลาง มีองค์ประกอบทางแร่เหมือนกลุ่มขนาดทราย
- อนุภาคมีขนาดเล็กมองไม่เห็นด้วยตาเปล่า เหลี่ยมมุมของอนุภาคมีน้อย สัมผัสลื่นมือคล้ายแป้ง
- ร่วนไม่เกาะกันเป็นเม็ดดิน
- ทรายแป้งเมื่อเรียงตัวกันเป็นก้องดิน จะเกิดช่องขนาดเหมาะสมที่จะอุ้มน้ำไว้ และพืชสามารถใช้ประโยชน์จากน้ำในช่องนี้ได้เป็นส่วนใหญ่

10.3.3 **ดินเหนียว** (Clay) **มีลักษณะดังนี้**

- กลุ่มอนุภาค Clay มักหมายถึง Secondary Minerals ที่สังเคราะห์ขึ้นจากแร่ดั้งเดิม ที่สลายตัวผุพังและทับถมอยู่ในดิน
- เป็นกลุ่มอนุภาคขนาดเล็กที่สุด มองไม่เห็นด้วยกล้องจุลทัศน์ชนิดธรรมดา อนุภาคมีลักษณะเป็นแผ่นของสารประกอบ Aluminosilicates ที่เรียงซ้อนกันเป็นชั้น ๆ สัมผัสเมื่อแห้งจะแข็งกระด้าง สากมือคล้ายเม็ดทราย แต่ถ้าเปียกจะเหนียวลื่นและเกาะติดนิ้ว
- อนุภาคดินเหนียวเกาะยึดกันเองหรือมีความเชื่อมแน่น (Cohesion) ได้ดีเมื่อแห้ง เกาะยึดสารอื่น (Adhesion) ได้ดีเมื่อเปียก เนื่องจากมีเนื้อที่ผิวจำเพาะสูง เมื่อแห้งจึงเกาะกันเป็นก้องแข็ง เมื่อชื้นพอเหมาะสามารถปั้นเป็นรูปทรงต่าง ๆ ได้ ดินเหนียวไม่ปรากฏตัวเป็นอนุภาคเดี่ยว แต่จะเกาะกันเป็นกลุ่มก้อน ดินเหนียวบางชนิดสามารถพองตัว (Swelling) เมื่อได้รับน้ำและหดตัว (Shrinking) เมื่อสูญเสียน้ำ
- อนุภาคดินเหนียวเมื่อเรียงตัวกันเป็นก้องดิน จะเกิดช่องระหว่างอนุภาคที่มีขนาดเล็กและมีปริมาตรรวมของช่องมาก มีความพรุนสูง จึงอุ้มน้ำได้มาก แต่รากพืชดูดน้ำจากช่องเหล่านั้นได้น้อย เนื่องจากมีแรงดึงน้ำสูง ดินเหนียวมีการระบายน้ำและการระบายอากาศเลว
- เนื่องจากดินเหนียวมีเนื้อที่ผิวมาก และอนุภาคไม่เป็นกลาง อนุภาคดินเหนียวจึงดูดซับสารต่าง ๆ ได้ดี เช่น น้ำ และธาตุอาหารพืช ดินเหนียวส่วนมากจึงเป็นดินอุดมสมบูรณ์

11. อุณหภูมิดิน

อุณหภูมิเป็นดรรชนี (Index) ของระดับความร้อน ดังนั้น อุณหภูมิดินจึงเป็นสมบัติที่บ่งถึงระดับความร้อนของดิน ความร้อนที่เกิดขึ้นในดินมาจากแสงอาทิตย์เป็นส่วนใหญ่ ความร้อนที่ได้จากแหล่งอื่น ๆ เช่น จากใจกลางโลก , จากขบวนการต่าง ๆ ทางเคมีและชีวเคมีที่เกิดขึ้นในดิน โดยปกติเกิดขึ้นในอัตราที่ช้ามาก จึงไม่มีผลกระทบที่สำคัญแต่อย่างใดต่ออุณหภูมิของดิน

แสงอาทิตย์ที่ส่องมายังโลกจะต้องผ่านบรรยากาศที่อยู่เหนือผิวโลกก่อนที่จะกระทบผิวโลก ในขณะที่แสงอาทิตย์ผ่านบรรยากาศนี้ บางส่วนจะถูกสะท้อนขึ้นสู่ท้องฟ้าและบางส่วนถูกบรรยากาศดูดไว้ ปริมาณแสงอาทิตย์ที่สะท้อนขึ้นสู่ท้องฟ้า และที่ถูกบรรยากาศดูดไว้นี้ขึ้นอยู่กับสิ่งต่าง ๆ หลายอย่าง เช่น ความมากน้อยของเมฆ ความชื้นของบรรยากาศ และฤดูกาล เป็นต้น อย่างไรก็ตาม ค่าเฉลี่ยของแสงอาทิตย์ที่สะท้อนกลับขึ้นไป ประมาณ 53 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณแสงอาทิตย์ทั้งหมด ดังนั้น ปริมาณของแสงอาทิตย์เฉลี่ยที่กระทบผิวโลกจึงประมาณ 47 เปอร์เซ็นต์ แต่ในวันที่มีเมฆมาก ปริมาณแสงที่กระทบผิวโลกอาจมีเพียง 25 เปอร์เซ็นต์

ในส่วนของอุณหภูมิดินนั้น สิ่งสำคัญที่ต้องศึกษาถึงคุณสมบัติของดินนั้น ได้แบ่งออกเป็นหัวข้อหลักๆ ดังนี้

- ตัวแปรที่มีผลต่ออุณหภูมิดิน
- ความผันแปรของอุณหภูมิดิน
- แนวทางการควบคุมอุณหภูมิดิน

11.1 ตัวแปรที่มีผลต่ออุณหภูมิดิน

11.1.1 ตำแหน่งและความลาดเอียงของพื้นผิวโลกระดับเส้นรุ่ง (Latitude)

โดยปกติอุณหภูมิเฉลี่ยของดินและอากาศมักสูงที่สุดที่บริเวณเส้นศูนย์สูตร และลดลงเมื่อระยะห่างจากเส้นศูนย์สูตรเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เป็นเพราะว่า โดยปกติแสงอาทิตย์จะตั้งฉากกับผิวดินมากที่สุดที่บริเวณเส้นศูนย์สูตร จึงทำให้ความเข้มของแสงอาทิตย์ที่กระทบผิวดินสูงที่สุดที่บริเวณนี้

ความสูงจากระดับน้ำทะเล (Altitude)

โดยปกติอุณหภูมิเฉลี่ยของดินและอากาศที่ระดับเส้นรุ้งหนึ่ง ๆ มักลดลงเมื่อความสูงจากระดับน้ำทะเลมากขึ้น ที่เป็นเช่นนี้เพราะว่า อากาศในบรรยากาศบางลงเมื่อความสูงจากระดับน้ำทะเลมากขึ้น ความร้อนที่สะท้อนจากผิวดินจึงเคลื่อนที่ขึ้นสู่อากาศได้ง่ายขึ้นเมื่อผิวดินอยู่สูงจากระดับน้ำทะเลมากขึ้น

ความลาดเทของผิวดิน (Degree of Slope)

อุณหภูมิของผิวดินในบริเวณหนึ่ง ๆ โดยปกติสูงที่สุดเมื่อผิวดินราบและลดลงเมื่อผิวดินลาดเทมากขึ้น เพราะว่า เมื่อผิวดินลาดเทมากขึ้นทำให้เนื้อที่รับแสงอาทิตย์ลดลง เป็นผลให้ความเข้มของแสงอาทิตย์ที่ผิวดินได้รับลดลง

ทิศทางลาดเทของผิวดิน (Aspect of Slope)

สำหรับซีกโลกเหนือเช่นในประเทศไทย ผิวดินที่ลาดเทไปทางทิศใต้มีอุณหภูมิที่สูงกว่าผิวดินที่ลาดเทไปทางทิศเหนือ เพราะแกนที่เชื่อมขั้วโลกใต้กับขึ้นโลกเหนือของโลกมิได้ตั้งตรง แต่เอียงไปทางซ้ายประมาณ 22.5 องศา ดังนั้น เมื่อมุมที่แสงอาทิตย์กระทบผิวดินที่ลาดเทไปทางทิศใต้จึงใกล้เคียงกับมุมฉากมากกว่ามุมที่แสงอาทิตย์กระทบกับผิวดินที่ลาดเทไปทางทิศเหนือ จึงทำให้ความเข้มของแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบผิวที่ลาดเทไปทางใต้สูงกว่าทางทิศเหนือ

11.1.2 สิ่งปกคลุมผิวดิน

สิ่งมีชีวิตที่ปกคลุมดิน (Living Cover of the Soil)

พืชพรรณที่ขึ้นอยู่บนดิน มีแนวโน้มที่จะช่วยลดความแปรปรวนของอุณหภูมิดินได้ โดยการลดปริมาณความร้อนที่กระทบผิวดินและลดปริมาณความร้อนที่สะท้อนจากผิวดิน ดังนั้น อุณหภูมิของดินที่มีพืชพรรณปกคลุมจึงมีความแปรปรวนน้อยกว่าอุณหภูมิของดินที่ว่างเปล่า (Bare Soil) และในบริเวณหนึ่ง ๆ อุณหภูมิในเวลากลางวันของดินที่ว่างเปล่า โดยปกติสูงกว่าอุณหภูมิดินที่ปกคลุมด้วยพืชพรรณต่าง ๆ แต่ในเวลากลางคืนอุณหภูมิของผิวดินที่ว่างเปล่า หรือปราศจากพืชคลุมดินนี้ จะมีอุณหภูมิต่ำกว่าผิวดินที่มีพืชคลุมดิน เนื่องจากสูญเสียความร้อนให้กับอากาศได้ง่ายกว่า จึงอาจกล่าวได้ว่า การปลูกพืชคลุมดินช่วยลดความแปรปรวนของอุณหภูมิดิน ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

สิ่งไม่มีชีวิตที่ปกคลุมดิน (Non – Living Cover of the Soil)

สิ่งปกคลุมดินต่าง ๆ ดูดและสะท้อนแสงอาทิตย์ได้ต่างกัน และนำความร้อนได้ดีต่างกันด้วย ดังนั้น อุณหภูมิในขณะหนึ่ง ๆ ของดินที่มีสิ่งที่ไม่มีชีวิตปกคลุมจะเป็นเท่าใดจึงขึ้นอยู่กับ ชนิดสิ่งปกคลุมดิน ความสามารถในการดูดความร้อนจากแสงอาทิตย์ และสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของสิ่งปกคลุมบางชนิด

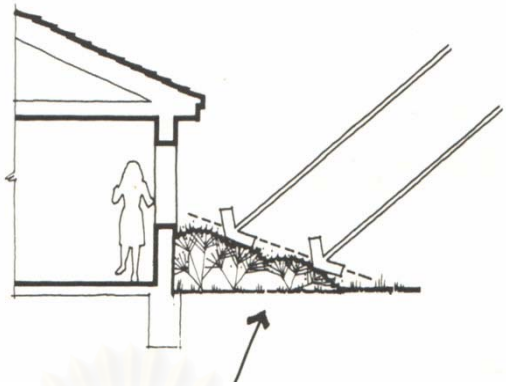
อิทธิพลเรือนกระจก (Greenhouse Effect) เป็นปรากฏการณ์ ที่เกิดขึ้นกับบริเวณที่มีการปกคลุมด้วยวัตถุโปร่งแสง เช่น กระจก หรือพลาสติก ปรากฏการณ์นี้หมายถึงการที่อุณหภูมิภายในบริเวณที่ปกคลุมด้วยวัตถุโปร่งแสงสูงกว่าอุณหภูมิภายนอก เกิดจากรังสีจากดวงอาทิตย์ซึ่งเป็นรังสีคลื่นสั้น (Shot Wave Radiation) สามารถผ่านวัสดุโปร่งแสงได้ เมื่อผ่านเข้าไปในบริเวณที่ปกคลุมด้วยวัสดุโปร่งแสงนั้นแล้วไปกระทบกับสิ่งต่าง ๆ ที่อยู่ภายใน บางส่วนจะถูกสะท้อนกลับและเปลี่ยนเป็นรังสีคลื่นยาว (Long Wave Radiation) ซึ่งไม่สามารถผ่านสิ่งปกคลุมซึ่งเป็นวัตถุโปร่งแสงออกมาภายนอกได้ รังสีคลื่นยาวนี้จึงสะสมอยู่ภายในบริเวณที่ปกคลุมนั้น ทำให้บริเวณนั้นมีอุณหภูมิสูงกว่าภายนอก

อิทธิพลเรือนกระจก (Greenhouse Effect) จึงมีความสำคัญในการพิจารณาเลือกวัตถุคลุมดิน เพื่อลดการระเหยน้ำจากดิน รักษาระดับอุณหภูมิของดินให้คงที่เพื่อให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม กล่าวคือ ถ้าใช้วัตถุโปร่งแสงคลุมดิน แทนที่จะช่วยให้การระเหยน้ำจากดินลดลง กลับจะมีแนวโน้มที่จะทำให้น้ำในดินระเหยมากขึ้น เพราะอุณหภูมิของดินที่ปกคลุมด้วยวัตถุโปร่งแสงย่อมสูงขึ้น

11.1.3 ประโยชน์ของวัสดุปกคลุมดิน โดยทั่วไปมี 3 ประการ คือ

Radiant Balance

ดังที่กล่าวข้างต้น รังสีโดยตรงจากดวงอาทิตย์จะถูกลดทอนโดยพืชคลุมดิน ซึ่งมีค่าการนำความร้อนต่ำกว่ามวลสารดิน รวมถึงเป็น Shading Device ให้กับผิวดิน วิธีนี้จะให้ผลที่ไม่เท่ากันเมื่อเปรียบเทียบระหว่างฤดูร้อนและฤดูหนาว กล่าวคือ ในฤดูร้อนดินที่มีสิ่งปกคลุมจะมีอุณหภูมิต่ำกว่าดินที่ปราศจากสิ่งปกคลุมอย่างชัดเจน ส่วนในฤดูหนาวมีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย เนื่องจากฤดูร้อนการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์มีความเข้มสูง ในขณะที่ฤดูหนาวมีความเข้มน้อยกว่า

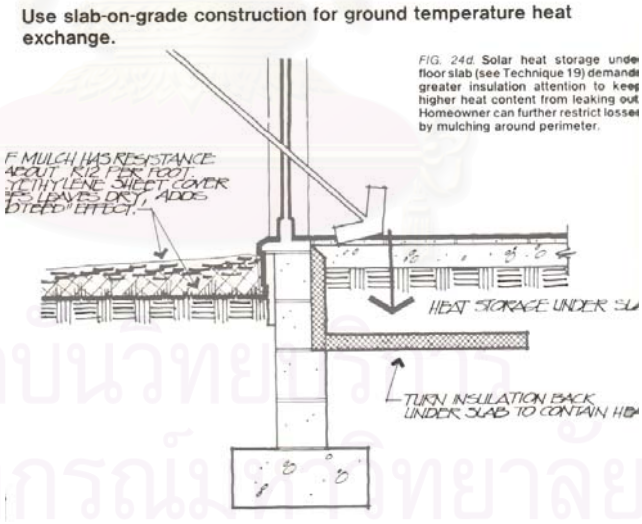


ภาพที่ 2 – 11 แสดงการใช้ประโยชน์จากวัสดุคลุมดิน เพื่อลดอุณหภูมิบริเวณผิวดิน และลดปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ บริเวณผิวหน้าดิน

ที่มา : Donald Watson , Fair and Kenneth Labs . Climate Design : Energy-Efficient Building Principles and Practices . (New York : Mcgraw-Hill Book Company , 1983) , P.87.

Convection Exchange

สิ่งปกคลุมบางชนิด เช่นกรวดหรือหิน ถึงแม้กระแสลมจะพัดผ่านไม่ได้ แต่ก็ช่วยลด การพาความร้อนระหว่างอุณหภูมิอากาศกับอุณหภูมิของดินได้ โดยเฉพาะในฤดูร้อน



ภาพที่ 2 – 12 แสดงวัสดุคลุมดิน เพื่อลดปริมาณรังสีดวงอาทิตย์บริเวณผิวหน้าดิน

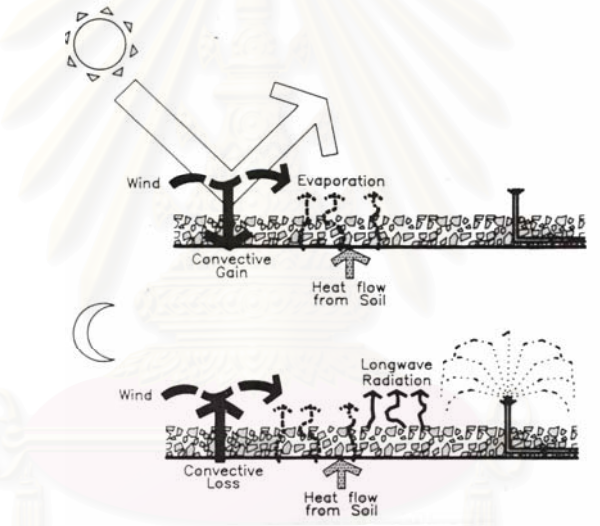
ที่มา : Donald Watson , Fair and Kenneth Labs . Climate Design : Energy-Efficient Building Principles and Practices . (New York : Mcgraw-Hill Book Company , 1983) , P.138.

p

Evaporative Cooling of Soil

การใช้การระเหยของน้ำจากผิวดินช่วยลดความร้อนวิธีนี้จะช่วยให้อากาศเหนือผิวดินมีอุณหภูมิต่ำกว่าบริเวณโดยรอบ เมื่อลมพัดผ่านผิวดินหรือยอดหญ้าที่คลุมดิน จะช่วยนำความเย็นเข้าสู่อาคาร แนวทางนี้จัดเป็น Surface Cooling รูปแบบหนึ่ง

ในกรณีของภูมิภาคที่มีฝนตก ดินมีความชื้นสูง การระเหยจากดินโล่งมีมากกว่าดินที่ถูกปกคลุม เนื่องจากดินที่ปราศจากสิ่งปกคลุมจะมีอุณหภูมิสูงกว่า และได้รับอิทธิพลจากกระแสลมบริเวณหน้าดินมากกว่า แต่ผิวดินที่มีสิ่งปกคลุมซึ่งมีการระเหยต่ำกว่ากลับมีอุณหภูมิใต้ดิน ต่ำกว่าดินที่ปราศจากสิ่งปกคลุมที่มีการระเหยสูง เนื่องจากอิทธิพลจากตัวแปรอื่น ๆ



ภาพที่ 2 – 13 ภาพแสดงการระเหยของน้ำบริเวณผิวดิน ในเวลากลางวันและกลางคืน

ที่มา : Baruch Givoni . Passive and Low Energy Cooling of Buildings . (United State of America : Van Nostrand Reinhold , 1994),P. 199.

11.1.4 อิทธิพลของอนุภาคมวลสารดินต่ออุณหภูมิดิน

เนื้อดินเมื่อมีอนุภาคมวลสารแตกต่างกัน ย่อมส่งผลต่อตัวแปรที่มีผลต่ออุณหภูมิของดิน เช่น ความร้อนจำเพาะ , สัมประสิทธิ์การนำความร้อน , สีของดิน รวมถึงความสามารถในการระบายน้ำซึ่งส่งผลต่อระดับความชื้นในดิน แตกต่างกัน

ความร้อนจำเพาะของดิน (Specific Heat)

ความร้อนจำเพาะของวัตถุใด ๆ หมายถึงปริมาณความร้อนที่จะต้องเปลี่ยนแปลงต่อหนึ่งหน่วยมวลของวัตถุนั้น ๆ เพื่อทำให้อุณหภูมิของวัตถุนั้น ๆ เปลี่ยนไป 1 องศา ดังนั้น เมื่อดินดูดหรือสูญเสียความร้อนปริมาณหนึ่ง อุณหภูมิดินจะเปลี่ยนเป็นเท่าใดย่อมขึ้นอยู่กับความร้อนจำเพาะของดินนั้น ๆ ความร้อนจำเพาะของส่วนประกอบที่สำคัญของดินแสดงในตารางดังนี้

ตาราง 2 - 4 แสดงความร้อนจำเพาะของส่วนประกอบต่าง ๆ ของดิน

ส่วนประกอบของดิน	**ความร้อนจำเพาะ แคลอรี / กรัม / °C**
อนินทรียวัตถุ	0.18
อินทรียวัตถุ	0.46
น้ำ	1.00
อากาศ	0.24
อนุภาคทราย	0.19
อนุภาคดินเหนียว	0.22

ที่มา : คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น (Introduction to Soil Science). (กรุงเทพมหานคร : คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ . พิมพ์ครั้งที่ 6 , 2530.), หน้า 197.

เนื่องจากดินชนิดหนึ่ง ๆ มีส่วนประกอบต่าง ๆ ในสัดส่วนที่แตกต่างกัน จึงเป็นการยากที่จะบอกได้ว่า ความร้อนจำเพาะของดินจะเป็นเท่าใด อย่างไรก็ตามความร้อนจำเพาะของดินที่แห้งสนิท มีค่าประมาณ 0.2 แคลอรี / กรัม / °C (ประมาณ 1/5 เท่าของความร้อนจำเพาะของน้ำ) ถ้าดินไม่แห้งสนิท ความร้อนจำเพาะของดินจะขึ้นอยู่กับระดับความชื้นของดินนั้นเป็นอย่างมาก

สัมประสิทธิ์การนำความร้อน

(Heat Conductivity หรือ Thermal Conductivity)

สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัตถุหนึ่ง ๆ เป็นสิ่งที่บ่งถึงความสามารถของวัตถุนั้น ในการให้ความร้อนเคลื่อนที่ผ่าน ดังนั้น เมื่อสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของดินสูง หากเกิดความร้อนที่ส่วนหนึ่งส่วนใดของหน้าตัดดิน ย่อมทำให้ความร้อนกระจายไปยังพื้นที่ต่าง ๆ ได้ดี ในทำนองเดียวกัน เมื่อส่วนหนึ่งส่วนใดของหน้าตัดดิน

สูญเสียความร้อน ความร้อนจากส่วนอื่น ๆ ในดิน ที่มีอุณหภูมิสูงกว่าย่อมเคลื่อนที่ไปยังส่วนที่สูญเสียความร้อนนั้นได้ง่าย อุณหภูมิของทุก ๆ ส่วนของหน้าตัดดินที่นำความร้อนได้ดีจึงมีแนวโน้มที่จะไม่แตกต่างกันมาก และการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิก็มักน้อยกว่าดินที่นำความร้อนได้ไม่ดีด้วย

สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของอนุภาคอินทรีย์ของดินแห้ง โดยปกติสูงกว่าของน้ำ , อากาศ และอนุภาคอนินทรีย์ของดิน ดังนั้น ดินที่มีอินทรียวัตถุมากและดินที่โปร่ง (ความหนาแน่นรวมต่ำ) จึงมักมีสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ต่ำ อย่างไรก็ตาม สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของดิมักจะสูงขึ้นเมื่อความชื้นของดินสูงขึ้น เพราะน้ำนำความร้อนได้ดีกว่าอากาศ ความร้อนจึงเคลื่อนจากอนุภาคหนึ่งไปยังอีกอนุภาคหนึ่งได้ง่ายขึ้น เมื่อความชื้นของดินสูงขึ้น

ตาราง 2 - 5 แสดงความหนาแน่น , ค่าการนำความร้อน และค่าความต้านทานความร้อนของดินชนิดต่าง ๆ

Material Description	Density (lb/ft ^{3})	Thermal Conductivity , K (BTU / h.ft.F)	Unit Resistance, R (1" thickness)
Dense Rock	200	2	0.5
Wet Soil	117	1.4	0.70
Average Rock	175		
Dense Concrete	150	1.0	1.0
Solid Masonry	143	0.75	1.33
Heavy Soil, Damp	131		
Heavy Soil, Dry	125	0.50	2.0
Light Soil, Damp	100		
Light Soil Dry	90	0.20	5.0

ที่มา : Walter F. Wagner , Jr. and The Editors of Architectural Record Magazine . Energy – Efficient Building .(New York : Mcgraw-Hill Book Company , 1980). P. 85.

สีของดิน (Soil Color)

สีของดิน มีอิทธิพลต่อทั้งการดูดและการแผ่รังสีความร้อนของดิน โดยทั่วไปดินที่มีสีคล้ำดูดและแผ่รังสีความร้อนได้ดีกว่าดินที่มีสีจาง ดังนั้น ดินที่มีสีคล้ำโดยปกติจึงร้อนกว่าดินที่มีสีจาง

สีของดินเป็นตัวแปรหนึ่งซึ่งทำให้อุณหภูมิในเนื้อดินมีความต่างกัน หากไม่มีวัสดุปกคลุมดินแล้ว เมื่อระดับความชื้นของดินทั้งสองเท่ากัน ดินที่มีสีเข้มจะมีความสามารถในการดูดซับรังสีความร้อนได้ดี ดินสีอ่อนจะมีความสามารถในการดูดซับน้อยลงและจะมีค่าการสะท้อนรังสีความร้อนเพิ่มขึ้นตามลำดับ หน่วยวัดความเข้มสีของดินใช้ค่า Hue ในเกณฑ์ อิทธิพลที่สีมีต่ออุณหภูมิดินมีมากที่สุดเมื่อดินแห้ง และจะลดลงเมื่อความชื้นของดินเพิ่มขึ้น ดังนั้น ดินที่มีสีคล้ำถึงแม้จะมีความชื้นสูง ปกติจะเย็นกว่าดินที่มีสีจางและแห้ง

ดินในประเทศไทย สีของดินชั้นบนส่วนใหญ่คล้ายกัน คือ เป็นสีน้ำตาล น้ำตาลเข้ม สีเทา และน้ำตาลปนเทา สำหรับดินชั้นล่างขึ้นอยู่กับประเภทและชนิดของดิน แต่โดยมากพบตั้งแต่สีเทาหรือสีน้ำตาลอมเทาจนถึงน้ำตาลในบริเวณที่ลุ่ม ส่วนในที่ดอนดินในระดับล่างมักเป็นสีน้ำตาลแกมแดง สีแดง หรือสีปะปนระหว่างแดงและเหลือง

อย่างไรก็ตาม ในการพิจารณาสีซึ่งส่งมีผลต่ออุณหภูมิของดิน ควรเลือกพิจารณาดินชั้นบนเป็นเกณฑ์ เนื่องจากอยู่ในตำแหน่งที่ได้รับรังสีจากดวงอาทิตย์ ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักในการเพิ่มอุณหภูมิให้กับมวลสาร

ระดับความชื้นของดิน (Soil Moisture)

เนื่องจากน้ำมีความร้อนจำเพาะที่สูง และนำความร้อนได้ดีกว่าอากาศ ต้องการความร้อนในการเปลี่ยนสถานะจากของเหลว (น้ำเหลว) เป็นก๊าซ (ไอน้ำ) และคายความร้อนเมื่อเปลี่ยนสถานะจากก๊าซเป็นของเหลว ระดับความชื้นของดินจึงมีความสำคัญมากในการควบคุมอุณหภูมิของดิน เมื่อระดับความชื้นของดินสูงขึ้น ความร้อนจำเพาะของดินย่อมสูงขึ้น นอกจากนี้ ความชื้นยังช่วยส่งเสริมให้ดินนำความร้อนได้ดีขึ้นอีกด้วย อีกประการหนึ่งคือ เมื่อดินมีความชื้นมาก ย่อมมีแนวโน้มที่จะมีการระเหยน้ำจากดินนั้นมาก การสูญเสียความร้อนของดินเพื่อที่จะใช้ในการระเหยน้ำจึง

ย่อมมากขึ้นตาม เป็นเหตุให้อุณหภูมิดินต่ำลง นอกจากนี้ เหตุดังกล่าว ยังชี้ให้เห็นว่า เมื่อระดับความชื้นของดินสูงขึ้น ดินย่อมเปลี่ยนอุณหภูมิยากขึ้น และดินที่ชุ่มหรือเปียก มีแนวโน้มที่จะเย็นกว่าดินที่แห้ง และ ไอน้ำที่ได้จากการระเหยของน้ำในดินยังมีส่วนช่วยในการทำให้ความร้อนจากส่วนหนึ่งไปยังอีกส่วนหนึ่งของหน้าตัดดินได้ดีขึ้นอีกด้วย เพราะเมื่ออุณหภูมิของส่วนต่าง ๆ ของหน้าตัดดินไม่เท่ากัน ส่วนที่ร้อนกว่าย่อมมีไอน้ำมากกว่าส่วนที่เย็นกว่า ไอน้ำจึงเคลื่อนที่จากส่วนที่ร้อนกว่าไปยังส่วนที่เย็นกว่า และเมื่อเคลื่อนที่ไปถึงส่วนที่เย็นกว่าอย่างน้อยบางส่วนของไอน้ำนั้นจะกลั่นตัวเป็นของเหลว จึงย่อยคายความร้อนออกมาและย่อมทำให้อุณหภูมิของส่วนนั้นสูงขึ้น ไอน้ำจึงเป็นสิ่งหนึ่งที่ช่วยให้ความร้อนจากส่วนที่ร้อนกว่ากระจายไปยังส่วนที่เย็นกว่าของหน้าตัดดินได้ดีขึ้น

11.2 ความผันแปรของอุณหภูมิดิน

11.2.1 ความผันแปรของอุณหภูมิดินในรอบวัน (Diurnal Variation)

อุณหภูมิของทุก ๆ ส่วนของหน้าตัดดินมีความแปรปรวนในช่วง 24 ชั่วโมง โดยปกติเกิดขึ้นที่ความลึกไม่เกิน 1 เมตร จากผิวดิน ส่วนที่อยู่ลึกเกินกว่า 1 เมตร การแปรปรวนของอุณหภูมิจะมีน้อยมาก ทั้งนี้เป็นเพราะ ปกติความร้อนโดยส่วนใหญ่ที่ได้รับจากรังสีดวงอาทิตย์เคลื่อนที่ผ่านลงมายังดินที่ลึกได้ช้ามาก

ในเวลากลางวัน ผิวดินเริ่มได้รับความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์นับตั้งแต่ย่ำรุ่งเป็นต้นไป ความเข้มของความร้อนที่ผิวดินได้รับนี้จะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ โดยปกติจะสูงสุดที่ประมาณเที่ยงวัน ต่อไปจากนั้นความเข้มของความร้อนจะค่อย ๆ ลดลง การที่ผิวดินได้รับความร้อนทำให้ ดินส่วนบนสุดของหน้าตัดดินร้อนกว่าส่วนอื่น ๆ จึงเกิดการถ่ายเทความร้อนจากส่วนบนลงส่วนล่างของหน้าตัดดิน ส่วนที่อยู่ลึกลงไปในหน้าตัดดินจึงมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นในทำนองเดียวกับส่วนบน แต่การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในดินส่วนล่างจะเกิดขึ้นหลังจากการเพิ่มขึ้นของผิวดินส่วนบน เพราะต้องใช้เวลาในการถ่ายเทความร้อน

ในเวลากลางวัน รังสีจากดวงอาทิตย์บางส่วนเมื่อกระทบผิวดิน จะสะท้อนและเปลี่ยนสภาพจากรังสีคลื่นสั้น (Shot Wave Radiation) เป็นรังสีคลื่นยาว (Long Wave Radiation) ซึ่งอากาศดูดไว้ได้ดี การแผ่รังสีความร้อนของผิวดินนี้เกิดขึ้นอยู่เสมอ แต่ในเวลากลางวัน ดินที่ไม่มีสิ่งปกคลุมปริมาณความร้อนที่ผิวดินจะแผ่ขึ้นสู่อากาศน้อยกว่าปริมาณความร้อนที่ผิวดินดูดไว้ เพราะรังสีจากดวงอาทิตย์กระทบผิวดินตลอดเวลา อย่างไรก็ตาม ในเวลากลางคืน ถึงแม้จะไม่มีรังสีจากดวง

อาทิตย์ แต่ผิวดินยังมีการแผ่รังสีความร้อนขึ้นสู่อากาศอยู่เรื่อย ๆ เนื่องจาก มีการเก็บสะสมความร้อนไว้ในเวลากลางวัน เมื่ออุณหภูมิอากาศต่ำกว่า จึงเกิดการถ่ายเทความร้อนกลับคืนสู่อากาศ อุณหภูมิของผิวดินจึงลดลงและเมื่อลดต่ำกว่าอุณหภูมิส่วนที่อยู่ลึกลงไปในหน้าตัดดิน ความร้อนจะถ่ายเทจากส่วนล่างขึ้นส่วนบน

การแปรผันในรอบวันของอุณหภูมิดิน จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับสิ่งปกคลุมผิวดิน สภาพภูมิอากาศ และฤดูกาลเป็นอย่างมาก ดินที่มีสิ่งปกคลุม โดยปกติจะมีความแปรปรวนของอุณหภูมิน้อยกว่าดินที่ไม่มีสิ่งปกคลุม เมื่อท้องฟ้าแจ่มใส (Clear Sky) อุณหภูมิของดินจะมีความแปรปรวนมากกว่าในวันที่ท้องฟ้าครึ้ม (Overcast Sky) และในฤดูร้อน อุณหภูมิของดินจะมีความแปรปรวนมากกว่าในฤดูหนาว

11.2.2 **ความผันแปรของอุณหภูมิดินตามฤดูกาล** (Seasonal Variation)

การผันแปรตามฤดูกาลของอุณหภูมิดิน เป็นไปในทำนองเดียวกับการผันแปรในรอบวัน โดยที่ฤดูร้อนเปรียบเสมือนกลางวัน และฤดูหนาวเปรียบเหมือนเวลากลางคืน อย่างไรก็ตาม โดยปกติความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิดินในฤดูร้อนกับในฤดูหนาว มีมากกว่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิในเวลากลางวันและกลางคืน นอกจากนี้ช่วงความลึกของดินที่แสดงการผันแปรอุณหภูมิก็มากกว่าอีกด้วย แม้ว่าการผันแปรจะน้อยลงเมื่อความลึกเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกันกับการผันแปรในรอบวันก็ตาม กล่าวคืออิทธิพลของวันอาจมีผลกับอุณหภูมิที่ผิวดินและดินที่ระดับไม่ลึกมาก แต่อิทธิพลของฤดูกาลจะมีผลต่ออุณหภูมิดินที่ระดับลึกกว่า

11.3 **แนวทางการควบคุมอุณหภูมิดิน**

อุณหภูมิดินอาจควบคุมหรือดัดแปลงให้อยู่ในระดับที่ต้องการได้ โดยวิธีการดังนี้

11.3.1 **การดัดแปลงความสามารถในการดูดซับความร้อนของผิวดิน** (Heat Absorptivity of Soil Surface)

การดัดแปลงความสามารถในการดูดซับความร้อนของผิวดิน อาจทำได้โดยทำให้ผิวดินมีสีคล้ำหรือจางกว่าเดิมแล้วแต่กรณี การทำให้ผิวดินคล้ำกว่าเดิม ทำให้ผิวดินดูดรังสีความร้อนได้มากขึ้น ซึ่งย่อมทำให้อุณหภูมิของดินสูงขึ้น การทำให้ผิวดินมีสีอ่อนกว่าเดิม ทำให้ผิวดินดูดรังสีความร้อนได้น้อยลง และสะท้อนรังสีความร้อนได้มากขึ้น ซึ่งย่อมทำให้อุณหภูมิของดินต่ำลง ตัวอย่างของวัตถุสีคล้ำที่อาจนำมาใช้ปกคลุมผิวดิน เพื่อให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น ได้แก่ ผงลิกไนท์ , ยางมะตอย และตัว

อย่างของวัตถุสีอ่อนที่อาจนำมาใช้ปกคลุมผิวดิน เพื่อให้ดินมีอุณหภูมิต่ำลง ได้แก่ ผลซอล์กสีขาว , ทรายขาว หรือปูนขาว เป็นต้น

11.3.2 **การดัดแปลงประสิทธิภาพในการนำความร้อนของดิน** (Heat Conductivity of Soil)

การดัดแปลงประสิทธิภาพในการนำความร้อนของดิน อาจทำได้โดยวิธีต่าง ๆ เช่น ทำให้ดินโปร่งมากขึ้นหรือลดระดับความชื้นของดิน เพื่อลดสัมประสิทธิ์การนำความร้อน หรือทำให้ดินแน่นขึ้นหรือเพิ่มความชื้นให้แก่ดินเพื่อเพิ่มสัมประสิทธิ์การนำความร้อน

11.3.3 **การดัดแปลงความร้อนจำเพาะของดิน** (Specific Heat of Soil)

การดัดแปลงความร้อนจำเพาะของดิน อาจทำได้โดยการลดหรือเพิ่มระดับความชื้นของดินเช่นเดียวกับการดัดแปลงประสิทธิภาพการนำความร้อน เช่น เมื่อดินมีอุณหภูมิต่ำเกินไป การระบายน้ำออกจากดินเป็นวิธีหนึ่งที่จะทำให้อุณหภูมิดินเพิ่มขึ้น และเมื่อดินมีอุณหภูมิสูงเกินไป การทดน้ำให้แก่ดินเป็นวิธีที่จะทำให้ดินมีอุณหภูมิลดลง ทั้งนี้เป็นเพราะว่า น้ำมีความร้อนจำเพาะสูงกว่าดินมาก จึงสามารถรับหรือสูญเสียความร้อนมาก โดยที่ระดับอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก นอกจากนี้การระเหยของน้ำจำเป็นต้องใช้ความร้อนเพื่อการเปลี่ยนสถานะจากของเหลวไปเป็นก๊าซ ทำให้อุณหภูมิของดินลดลง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

12. แนวทางการใช้ประโยชน์จากอุณหภูมิดินเพื่อปรุงแต่งสภาวะน่าสบายภายในอาคาร

การใช้ประโยชน์จากอุณหภูมิดินเพื่อสร้างอุณหภูมิภายในอาคาร ให้ใกล้เคียงกับสภาวะน่าสบาย โดยทั่วไปมี 2 ลักษณะ คือ

- การใช้ประโยชน์จากอุณหภูมิบริเวณผิวดิน (Surface Cooling)
- การใช้ประโยชน์จากอุณหภูมิมวลสารดิน (Direct Cooling)

12.1 การใช้ประโยชน์จากอุณหภูมิบริเวณผิวดิน (Surface Cooling)

หมายถึง การใช้ประโยชน์จากอุณหภูมิบริเวณผิวดิน โดยทั่วไปดินที่มีวัสดุปกคลุมผิวดินไม่ว่าจะเป็นพืชคลุมดินหรือหญ้า จะช่วยให้อุณหภูมิอากาศเหนือผิวดินเย็นกว่าอุณหภูมิทั่วไป จากการระเหยของน้ำผิวดิน (Evaporative Heat Loss from Soil) เมื่อกระแสลมพัดผ่านบริเวณนี้เข้าสู่อาคาร จึงเป็นแนวทางหนึ่งซึ่งช่วยลดอุณหภูมิภายในอาคาร

12.2 การใช้ประโยชน์จากอุณหภูมิมวลสารดิน (Direct Cooling)

คือการใช้ประโยชน์โดยตรงจากอุณหภูมิมวลสารใต้ดิน ที่ความลึกระดับหนึ่ง ในประเทศไทยที่ระดับความลึกประมาณ 60 เซนติเมตร[31] เป็นต้นไป ดินจะมีอุณหภูมิค่อนข้างคงที่แปรปรวนตามสภาพภูมิอากาศในแต่ละวันน้อยมาก และอยู่ใกล้สภาวะน่าสบาย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

[31] สุนทร บุญญาธิการ, เทคนิคการออกแบบบ้านประหยัดพลังงาน, หน้า 78.

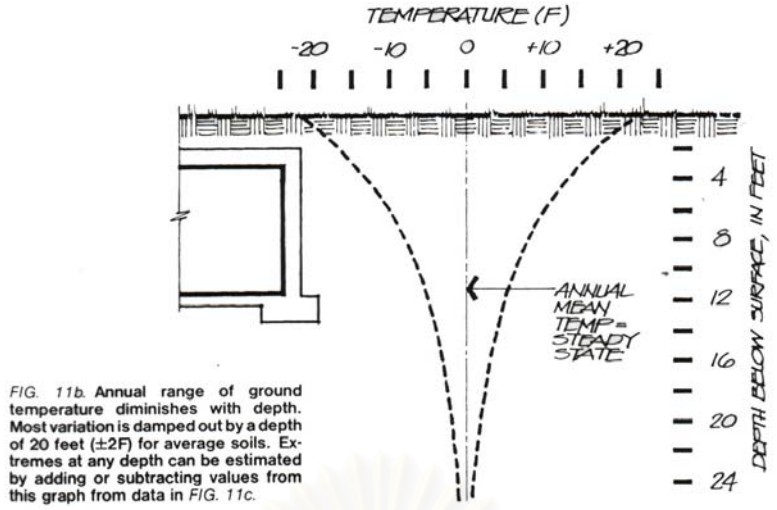


FIG. 11b. Annual range of ground temperature diminishes with depth. Most variation is damped out by a depth of 20 feet (±2F) for average soils. Extremes at any depth can be estimated by adding or subtracting values from this graph from data in FIG. 11c.

ภาพที่ 2 – 14 แสดงความแปรปรวนของอุณหภูมิดินสัมพันธ์กับระดับความลึก

ที่มา : Donald Watson , Fair and Kenneth Labs . Climate Design : Energy-Efficient Building Principles and Practices . (New York : Mcgraw-Hill Book Company , 1983) , P.105.

จากงานวิจัยที่ผ่านมาเป็นการศึกษาการทำความเย็นจากผิวสัมผัสพื้นดิน โดยดินที่มีความชื้นสูงจะมีอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิกระเปาะเปียก จะมีผลทำให้ผิวของอาคารที่สัมผัสเย็นลง อิทธิพลของความเย็นที่ผิวสัมผัสดินที่เย็นกว่าปกติเป็นการลดอุณหภูมิที่ผิวผนังภายในของอาคาร (MRT) ทำให้ผู้ใช้อาคารสามารถปรับอุณหภูมิห้องให้สูงกว่าปกติได้ เป็นการขยายช่วงของอุณหภูมิน่าสบายให้กว้างขึ้น[32]

โดยการวิจัยเป็นลักษณะการทดลอง (Experiment Research) โดยทำการศึกษาเกี่ยวกับอิทธิพลของดินที่มีผลทำให้ผิวสัมผัสดินมีอุณหภูมิลดลง โดยทำการศึกษาตัวแปรที่มีผลต่ออุณหภูมิดิน ที่สามารถพบเห็นได้โดยทั่วไป รวมถึงการศึกษาในเรื่องอิทธิพลของ ความลึกของดิน , ลักษณะดิน ฒ สภาพผิวดินที่ปกคลุมด้วยพืช และอิทธิพลของทิศที่แตกต่างกันของอาคาร

ผลการวิจัยพบว่า อุณหภูมิดินที่ระดับความลึก 1.00 ม. จากผิวดิน มีอุณหภูมิค่อนข้างจะคงที่ จะมีความแตกต่างจากอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดอยู่ระหว่าง 2 – 3 องศาเซลเซียส พบว่าทิศใต้เป็นทิศที่มีความแตกต่างของค่าอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดมากกว่าทิศอื่น และมีค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิดินสูงกว่าทิศอื่น ในขณะที่ทิศเหนือ เป็นทิศที่มีความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดน้อยกว่าทิศอื่น

[32] เอนก ธีระวิวัฒน์ชัย . การทำความเย็นอาคารโดยการใช้ผิวสัมผัสพื้นดิน, (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,2539), หน้า 205.

และมีค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิดินต่ำกว่าทิศอื่น ในการเปรียบเทียบของดิน ระหว่างดินและทรายพบว่า ดินมี Time Lag ประมาณ 10 – 12 ชั่วโมง และทรายมี Time Lag ประมาณ 6 ชั่วโมง จากการวิจัยพบว่าอิทธิพลของอุณหภูมิดิน ทำให้อุณหภูมิที่ผิวสัมผัสดินภายในอาคาร (MRT) มีอุณหภูมิลดลง สภาพของผิวดินที่ถูกปกคลุมด้วยพืชจะมีอุณหภูมิต่ำกว่าดินที่ปราศจากสิ่งปกคลุมถึง 2 องศาเซลเซียส อุณหภูมิภายในอาคารที่ระดับ 1.50 ม. จะมีอุณหภูมิค่อนข้างคงที่และมีทิศทางการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในทิศทางตรงกันข้ามกับอุณหภูมิอากาศ ในขณะที่อุณหภูมิอากาศสูงขึ้น อุณหภูมิภายในอาคารลดลง และในขณะที่อุณหภูมิอากาศเย็นลง อุณหภูมิภายในอาคารจะอบอุ่นขึ้น โดยอุณหภูมิภายในอาคารจะอยู่ที่ 24 – 26.5 องศาเซลเซียส ซึ่งอยู่ในช่วงของสภาวะน่าสบาย (Comfort Zone) ซึ่งเกิดจากอิทธิพลของ Time Lag ของดิน

จากงานวิจัยดังกล่าว สามารถสรุปได้ว่า ดินที่ระดับความลึกหนึ่ง อุณหภูมิของดินจะไม่แปรผันตามอุณหภูมิอากาศในรอบวัน อิทธิพลที่มีผลต่ออุณหภูมิดินที่ระดับความลึกดังกล่าวคือฤดูกาล จึงมีความเป็นไปได้ที่จะใช้ประโยชน์จากอุณหภูมิดินทั้งในฤดูร้อนและฤดูหนาว เทคนิคและวิธีการใช้ประโยชน์จาก Direct Cooling โดยทั่วไปมี 2 รูปแบบ คือ

12.1.1 **การใช้ผิวอาคารสัมผัสดิน** (Earth Contact)

เป็นวิธีการออกแบบเพื่อให้พื้นผิวภายนอกอาคารสัมผัสดินโดยตรง โดยเลือกวัสดุที่มาค่าการนำความร้อนสูง เพื่อให้อุณหภูมิมวลสารดินผ่านเข้ามาภายใน เพื่อให้อุณหภูมิภายในอาคารเข้าใกล้สภาวะน่าสบาย และผู้ใช้อาคารรู้สึกสบายขึ้น อันเนื่องมาจากอิทธิพลของ Mean Radiant Temperature : MRT จากผิวอาคาร วิธีการนี้เป็นแนวทางในการใช้ประโยชน์จากดินที่มีอิทธิพลมากกว่าวิธีการอื่น ๆ โดยรูปแบบการสัมผัสดิน โดยทั่วไปแบ่งได้ 2 ลักษณะคือ

1. **แบ่งตามตำแหน่งอาคาร**

แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

Subgrade ไม่มีการปรับระดับดิน ในการใช้งานจะขุดดินลงไปแล้วสร้างอาคารที่ระดับดินเดิม การเลือกใช้รูปแบบนี้ มักใช้กับบริเวณที่ไม่มีปัญหาเรื่องระดับน้ำใต้ดินอยู่สูง และไม่ต้องการมุมมองออกสู่ภายนอก โดยทั่วไปรูปแบบนี้จะไม่ได้รับแสงธรรมชาติ แต่หากมีการออกแบบที่เหมาะสมดังตัวอย่างข้างล่าง สามารถนำแสงธรรมชาติเข้ามาภายในอาคารได้ดี แต่เป็นจำเป็นต้องมีระบบการระบายน้ำที่เหมาะสมเพื่อป้องกันปัญหาน้ำขังหรือไหลไม่ทันเวลาฝนตก

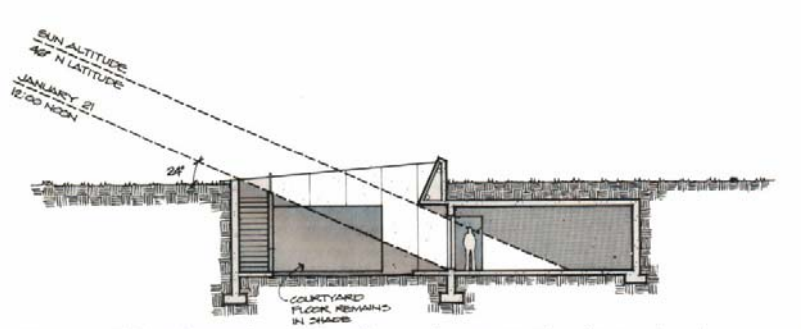
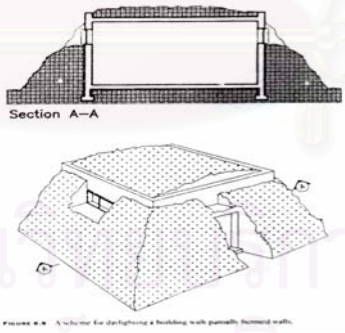


Figure 11. While underground construction offers great heat conservation advantages in northern zones, recessed courtyard designs may limit valuable solar gain. Even when a glazed facade is fully exposed to noonday sun in the middle of winter, the floors of sunken courtyards are likely to be shadowed and cold, a place where snow is slow to melt.

ภาพที่ 2 - 15 แสดงแนวคิดการขุดดินเพื่อฝังอาคาร (Subgrade) ซึ่งยังคงได้รับแสงจากธรรมชาติ

ที่มา : Walter F. Wagner , Jr. and The Editors of Architectural Record Magazine . Energy – Efficient Building .(New York : Mcgraw-Hill Book Company , 1980 .) P.90.

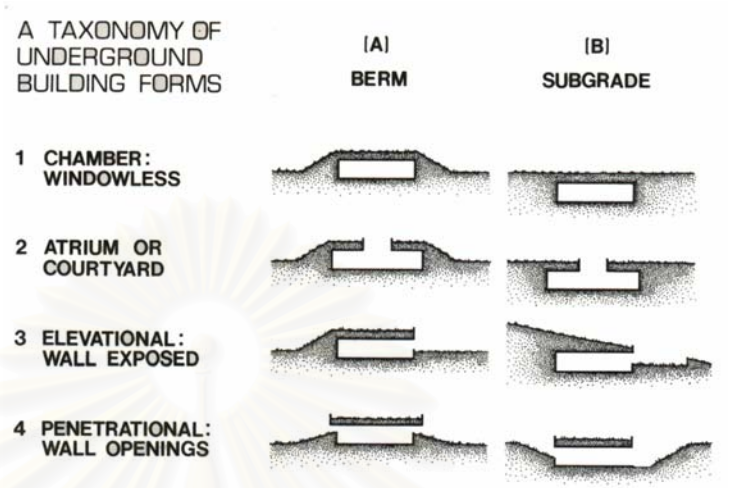
Berm เป็นรูปแบบที่วางอาคารบนระดับดินปรกติ และใช้การถมดิน (Berm) รอบอาคารให้สูงขึ้นกว่าปกติ เพื่อให้ปกคลุมอาคารในด้านที่ต้องการ ซึ่งสามารถกำหนดช่องเปิดเพื่อเป็นทางเข้าออก รวมทั้งให้ได้แสงธรรมชาติและมุมมองที่ต้องการได้ อีกทั้งยังไม่มีปัญหาเรื่องระดับน้ำใต้ดิน



ภาพที่ 2 – 16 แสดงการออกแบบอาคารที่สัมผัสดินโดยการฝังกลบ (Berm) โดยยังคงได้รับแสงธรรมชาติ

ที่มา : Baruch Givoni . Passive and Low Energy Cooling of Buildings . (United State of America : Van Nostrand Reinhold , 1994),P. 211.

2. **แบ่งตามรูปแบบการสัมผัสดินของพื้นผิวภายนอกอาคาร**
โดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 4 รูปแบบ



ภาพที่ 2 - 17 แสดงการสัมผัสดินของพื้นผิวภายนอกอาคารในรูปแบบต่างๆ
ที่มา : Walter F. Wagner , Jr. and The Editors of Architectural Record Magazine . Energy –Efficient Building . (New York : Mcgraw-Hill Book Company , 1980) ., P.88.

แบบที่ 1 Chamber : Windowless

เป็นรูปแบบซึ่งพื้นผิวภายนอกอาคารทั้ง 6 ด้าน สัมผัสดินทั้งหมด ทำให้สามารถใช้ประโยชน์จากอุณหภูมิดินได้มากกว่ารูปแบบอื่น แต่มีข้อเสียคือไม่มีช่องเปิดสำหรับมองออกสู่ภายนอกและไม่ได้รับแสงธรรมชาติ ทำให้ต้องสิ้นเปลืองพลังงานจากแสงประดิษฐ์ ตัวอย่างของห้องที่ใช้ลักษณะการสัมผัสดินแบบนี้โดยทั่วไปได้แก่ห้องใต้ดิน

แบบที่ 2 Atrium or Courtyard

โดยทั่วไปคล้ายกับแบบ Chamber : Windowless แต่ส่วนหลังคาเปิดให้แสงธรรมชาติเข้าสู่อาคารได้ อย่างไรก็ตาม ในสภาพภูมิอากาศร้อนชื้นแบบประเทศไทย ควรระวังแสงโดยตรงจากรังสีดวงอาทิตย์ (Direct Radiation) ซึ่งเป็นแสงที่มีผลเสียมากกว่าดี และโดยทั่วไปไม่สามารถใช้ประโยชน์ใด ๆ ได้

แบบที่ 3 Elevational : Wall Exposed

รูปแบบนี้ การสัมผัสระหว่างผนังกับดินมีความหลากหลาย คืออาจไม่สัมผัสเลย คลุมทั้งหมดหรืออาจสัมผัสเพียงบางส่วน เพื่อเปิดให้เห็นวิวทิวทัศน์ภายนอก และเป็นทางเข้า-ออกของอาคารได้ ส่วนพื้นผิวภายนอกอาคารส่วนอื่น คือพื้นและหลังคา สัมผัสดินหมด หากที่ตั้งอาคารอยู่ใกล้บริเวณเชิงเขา การเลือก Elevational : Wall Exposed จะเหมาะสมกว่ารูปแบบอื่น แต่อย่างไรก็ตาม ในการพิจารณาถึงผนังด้านที่เป็นช่องเปิด นอกจากมุมมองหรือข้อกำหนดทางภูมิศาสตร์แล้ว ควรคำนึงถึงทิศทางของกระแสลม และด้านที่ได้รับความร้อนน้อยที่สุด ซึ่งโดยทั่วไปได้แก่ผนังทิศเหนือ

แบบที่ 4 Penetrational : Wall Openings

เป็นรูปแบบที่พบเห็นมากที่สุด ผนังอาคารสัมผัสดินไม่เต็มผืน มีข้อเสียคือใช้ประโยชน์จากอุณหภูมิดินได้น้อยกว่ารูปแบบอื่น แต่ที่เป็นที่นิยมเนื่องจากดูโปร่ง ได้มุมมองจากทุกทิศทาง รวมถึงสามารถระบายอากาศได้ดีที่สุดเช่นกัน ดังนั้นการเลือกวัสดุคลุมดินที่เหมาะสม เช่นใช้พืชคลุมดินจะช่วยให้อาคารได้รับลมเย็นอันเนื่องมาจาก การระเหยของน้ำบริเวณผิวดินได้ (Evaporative Cooling) เมื่อกระแสลมพัดความเย็นเข้าสู่อาคาร

การออกแบบอาคารที่มีพื้นผิวภายนอกอาคารสัมผัสมวลสารดิน จำเป็นต้องพิจารณาถึงตำแหน่งของช่องเปิดทั้งประตูและหน้าต่าง เนื่องจากมีความสัมพันธ์กับภาวะน่าสบายภายในอาคารและแนวโน้มการประหยัดพลังงาน ซึ่งโดยทั่วไปตำแหน่งของช่องเปิดมักถูกกำหนดด้วย ลักษณะภูมิประเทศ มุมมอง และอิทธิพลอื่น ๆ

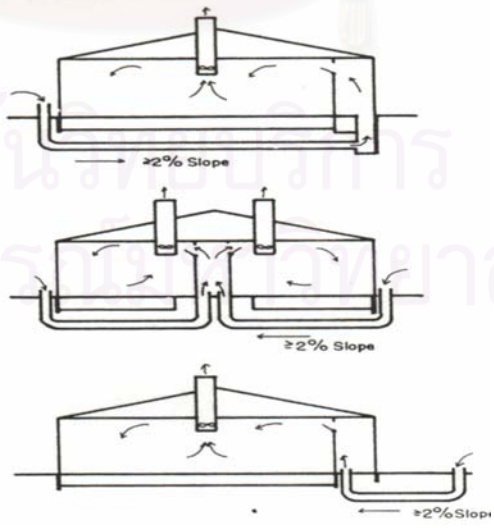
สำหรับอาคารที่ใช้ระบบ Passive ในภูมิภาคที่มีอากาศร้อนชื้น ทิศทางของรังสีดวงอาทิตย์และกระแสลมเป็นสิ่งสำคัญที่มิอาจมองข้ามได้ โดยทั่วไป ตำแหน่งและทิศทางของช่องเปิดที่เหมาะสม ควรอยู่ทางทิศใต้และทิศเหนือ เนื่องจากเป็นทิศลมประจำปี ดินที่สัมผัสกับผนังด้านนี้โดยทั่วไปมีความสูงไม่เกิดครึ่งหนึ่งของความสูงทั้งหมด สำหรับผนังในทิศตะวันออกและตะวันตกควรถมให้มิด ทั้งนี้เพราะมีอิทธิพลจากรังสีดวงอาทิตย์สูง อีกทั้งยังมุม Profile Angle ทอดต่ำ ยากต่อการควบคุม Direct Radiation จากดวงอาทิตย์

12.2.2 **การใช้ท่อใต้ดิน** (Earth Tube)

คือการนำความเย็นโดยใช้ท่อใต้ดิน วิธีการคือใช้ท่อฝังใต้ดินแล้วทำให้เกิดการหมุนเวียนอากาศภายในท่อ เพื่อให้อุณหภูมิของดิน ช่วยลดอุณหภูมิของอากาศภายในท่อ แล้วจึงปล่อยเข้าสู่อาคาร ซึ่งโดยทั่วไปใช้ท่อพลาสติกหรือ ท่อ พี วี ซี โดยดูดอากาศจากภายนอกที่มีอุณหภูมิสูงผ่านท่อที่ฝังใต้ดิน ความเย็นของดินจะซึมผ่านผิวท่อช่วยลดอุณหภูมิอากาศดังกล่าว ดังนั้นอากาศที่เข้ามาในอาคารจึงมีอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิดิน แต่ในภูมิภาคซึ่งมีความชื้นสูงอย่างในประเทศไทย ควรมีการป้องกันความชื้นที่มากับอากาศ การนำมาใช้หากไม่สามารถป้องกันความชื้นได้จะทำให้ผ็ใช้อาคารรู้สึกไม่สบายตัว หากเป็นอาคารปรับอากาศจะสิ้นเปลืองพลังงานในการรีดความชื้นสูง

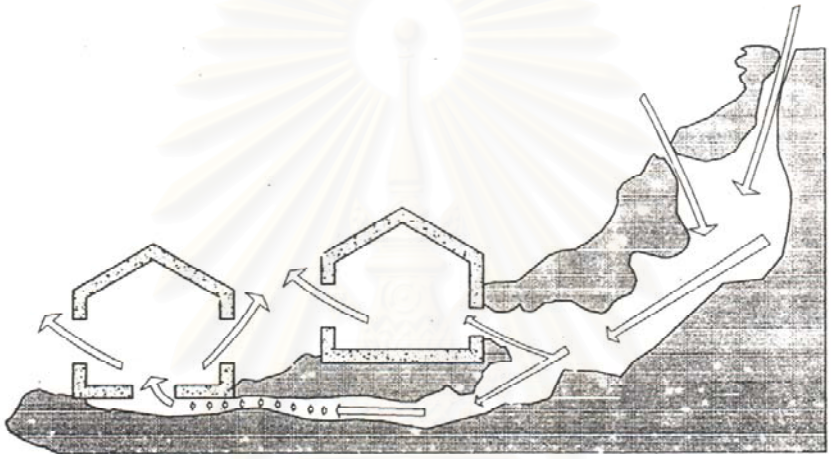
สาเหตุของความชื้น โดยทั่วไปเกิดจาก การนำอากาศภายนอกซึ่งปกติมีความชื้นสูงอยู่แล้วเข้าสู่อาคารโดยยังไม่ได้ผ่านขั้นตอนการรีดความชื้น และอีกสาเหตุหนึ่งคือ การรั่วซึมของท่อทำให้ความชื้นภายในดินซึมผ่านผิวท่อ ทำให้อากาศภายในท่อเกิดความชื้นมากขึ้น

วิธีการแก้ปัญหาเรื่องความชื้นที่มากับอากาศในท่อนำความเย็นคือ ใช้การไหลเวียนของอากาศในระบบปิด กล่าวคือนำอากาศภายในอาคารซึ่งควบคุมความชื้นในปริมาณที่เหมาะสมมาไหลเวียนผ่านท่อใต้ดินเพื่อลดอุณหภูมิแล้วย้อนกลับมาปล่อยเข้าสู่อาคารอีกครั้งหนึ่ง โดยทั่วไปเหมาะสมกับระบบ Active หรืออาคารที่ใช้ระบบปรับอากาศ



ภาพที่ 2 – 18 แสดงการใช้ระบบหมุนเวียนอากาศผ่านท่อใต้ดิน ในรูปแบบต่าง ๆ

กลยุทธ์ในการลดอุณหภูมิภายในอาคารโดยให้อากาศไหลผ่านท่อใต้ดิน เป็นวิธีการซึ่งดัดแปลงมาจากแนวคิดในอดีตที่ The Villa Acolia ซึ่งสร้างขึ้นในปี ค.ศ. 1550 โดย Coung Farncesco Trento.[33]ซึ่งทำอากาศให้เย็นลง โดยผ่านเข้าไปในถ้ำทางด้านข้างของภูเขาที่เปิดอยู่เหนือถ้ำ และเชื่อมต่อด้วยท่อ ผ่านไปทางใต้ดินของหมู่บ้าน การเคลื่อนที่ของอากาศทำให้อากาศเย็นและมีการควบแน่นของอากาศมากกว่าภายนอก วิธีการนี้สามารถทำให้อากาศที่ได้อุณหภูมิอยู่ที่ 52 ฟาเรนไฮต์ (11.5 องศาเซนติเกรด) ตลอดทั้งปี ในขณะที่ในช่วงฤดูร้อน อากาศภายนอกอาจสูงถึง 90 ฟาเรนไฮต์ (32 องศาเซนติเกรด) อุณหภูมิภายในระบบอยู่ที่ 55 – 57 ฟาเรนไฮต์ เท่านั้น



ภาพ 2 - 19 แสดงแนวคิดการบังคับทิศทางลมให้ผ่านถ้ำ เพื่อลดอุณหภูมิก่อนระบายออกที่หมู่บ้าน The Villa Acolia

ที่มา : Fuller Moore, Environmental Control System, 1993, P.215.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

[33] Fuller Moore, Environment Control System, (1993), p.36.

13. ความสำคัญของต้นไม้ต่อการปรุงแต่งสภาพภูมิอากาศ

ต้นไม้เป็นส่วนสำคัญมากต่อการปรับแต่งภูมิอากาศส่วนย่อย โดยที่ต้นไม้สามารถควบคุมสภาพแวดล้อมทั้ง 4 ประการ ดังนี้

- ควบคุมอุณหภูมิ
- ควบคุมกระแสลม
- ควบคุมน้ำและความชื้น
- ควบคุมการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์

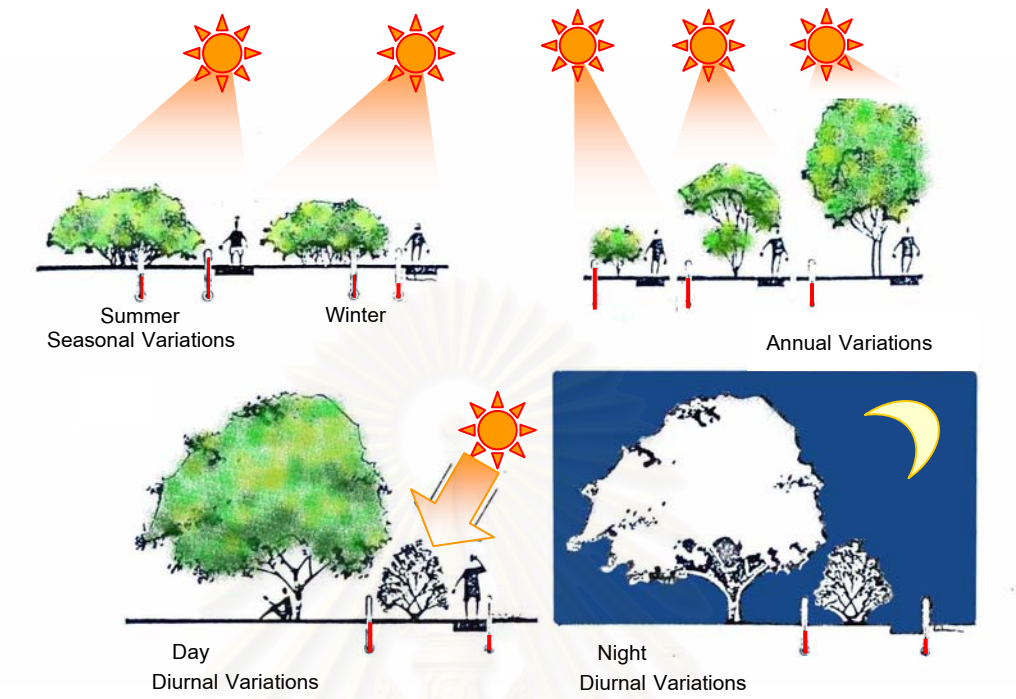
13.1 ควบคุมอุณหภูมิ (Temperature Control)

จากการวิจัยพบว่ากลุ่มต้นไม้และพืชคลุมดิน สามารถช่วยลดอุณหภูมิอากาศในช่วงร้อนจัดได้ 3 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่ผิวหญ้าคลุมดินในวันที่ร้อนมีอุณหภูมิต่ำกว่าผิวดิน 5 – 8 องศาเซลเซียส เนื่องจากต้นไม้ช่วยกันแสงอาทิตย์ สกัดปริมาณลม และลดการระเหยของน้ำจากดิน ทำให้บริเวณภายใต้ต้นไม้มีความชื้นสูง และมีอุณหภูมิที่เย็นกว่าบริเวณโดยรอบในเวลากลางวัน และในเวลากลางคืนต้นไม้จะแผ่รังสีความร้อนด้านบนออกสู่ท้องฟ้า ทำให้อุณหภูมิของต้นไม้ลดต่ำลง ทั้งนี้ก็จะขึ้นอยู่กับรูปทรงลักษณะของต้นไม้ด้วย[34]

สำหรับเมืองที่มีลักษณะผังเป็นสถานที่ๆ มีอาคารต่างๆ มากมาย มีปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นสูง ก็สามารถใช้ความเย็นจากแหล่งต้นไม้ไปช่วยลดอุณหภูมิได้โดย การจัดผังให้มีสวนสาธารณะปลูกต้นไม้โดยทั่วไป เพื่อให้ความเย็นจากต้นไม้เข้าไปแทนที่ความร้อนที่ลอยตัวสูงขึ้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

[34] กาญจนา สิริภัทรวณิช. การใช้ต้นไม้ยืนต้นในการปรับแต่งสภาพแวดล้อมเพื่อลดการใช้พลังงานภายในอาคาร, (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,2541), หน้า 62.



ภาพที่ 2 – 20 Vegetation and Temperature Control

(Robinette, Gray O., Mc Clenon, Charies, 1993)

13.2 **ควบคุมกระแสลม** (Wind Control)

ต้นไม้สามารถเปลี่ยนทิศทางของกระแสลมให้เป็นไปในลักษณะต่างๆ ได้ รวมทั้งลดและเพิ่มความเร็วของกระแสลมได้ แต่ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับลักษณะของต้นไม้และกลุ่มต้นไม้ ความสามารถในการกันลมยังขึ้นอยู่กับความเร็วของลมที่มาปะทะด้วย จึงจะต้องพิจารณาลักษณะของลมที่เกิดขึ้น ณ บริเวณนั้นๆ ความเร็วของลมขึ้นอยู่กับระดับความสูง บริเวณที่อยู่ใกล้พื้นดินจะมีความเร็วช้าลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณที่มีลักษณะไม่ราบเรียบนัก[35]

[35] กาญจนา สิริภัทรวณิช. การใช้ต้นไม้ยืนต้นในการปรับแต่งสภาพแวดล้อมเพื่อลดการใช้พลังงานภายในอาคาร, (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,2541), หน้า 48.

สำหรับลักษณะการกั้นลมของแนวต้นไม้นั้น จะสามารถกั้นลมที่พัดมาให้ผ่านไปด้านหลังได้ ทำให้เกิดพื้นที่กันลมได้มาก โดยที่ยังมีลมที่มีความเร็วต่ำพัดผ่านต้นไม้ไปในบริเวณดังกล่าวได้ เนื่องจากความโปร่งของต้นไม้

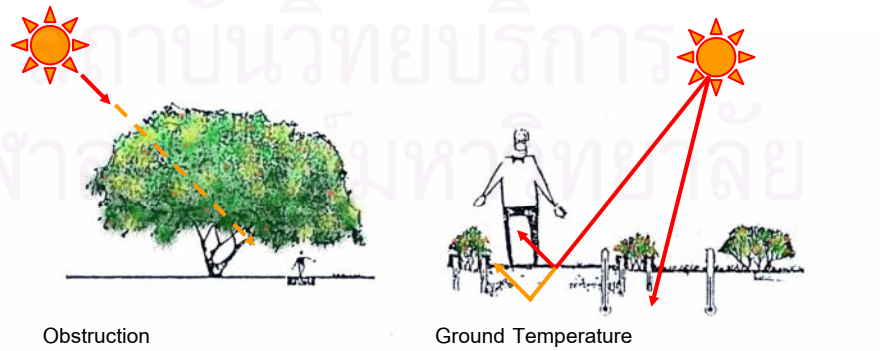
13.3 **ควบคุมน้ำและความชื้น** (Precipitation and Humidity Control)

ต้นไม้ช่วยควบคุมความชื้นและน้ำในดินและในอากาศ รวมทั้งช่วยลดการระเหยของน้ำจากดินและต้นไม้เองได้ เพราะต้นไม้กันและกรองแสงทำให้ความร้อนที่ผ่านลงมาน้อยลงการระเหยจึงน้อยลง อีกทั้งต้นไม้ยังมีการหายใจปล่อยไอน้ำออกมาเอง ทำให้ความชื้นโดยรอบสูงขึ้น ในพื้นที่ๆ เป็นป่าจะมีฝนตก จากลักษณะทางกายภาพของต้นไม้ได้ช่วยให้น้ำไหลผ่านดินได้ช้าลง ทำให้มีการดูดซึมของน้ำลงดินได้มากขึ้นอีกด้วย

ต้นไม้ช่วยหน่วงเหนี่ยวฝนที่ตกลงมาได้ประมาณ 20 – 40 เปอร์เซ็นต์ แล้วแต่ลักษณะของใบไม้และความหนาแน่นของพุ่มใบ

13.4 **ควบคุมการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์** (Solar Radiation Control)

ต้นไม้สามารถช่วยกรองรังสีของดวงอาทิตย์ และช่วยควบคุมอุณหภูมิที่ผิวดินและปริมาณความร้อนที่สะสม สะท้อนหรือแผ่รังสีจากพื้นผิวต่างๆ ร่มเงาของต้นไม้ใหญ่ที่พาดลงบนผิวอาคารสามารถชาวยลดอุณหภูมิผิวอาคารได้เนื่องจากโซล – แอร์ เอฟเฟคท์ (Sol – Air Effect) ช่วยลดความร้อนเข้าสู่อาคาร ต้นไม้ที่มีใบหนาแน่น แสงอาจจะถูกดูดซึมได้ถึง 80 เปอร์เซ็นต์ สะท้อนออก 10% แต่ก็ต้องขึ้นอยู่กับชนิดลักษณะของต้นไม้และความหนาแน่นของพุ่มใบ



ภาพที่ 2 – 21 Solar Radiation Control

(Robinette, Gray O., Mc Clenon, Charies, 1993)

มูลค่าพลังงานและการคำนวณระยะเวลาการคืนทุน

14. การเปรียบเทียบมูลค่าพลังงานที่ต้องใช้ในแต่ละปี และการคำนวณระยะ เวลาการคืนทุนอย่างง่าย

หลักเกณฑ์การคิดคำนวณระยะเวลาคืนทุนควรใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการคำนวณ จะได้ค่าที่ละเอียด แต่ทั้งนี้เราสามารถศึกษาการคำนวณระยะเวลาการคืนทุนอย่างง่าย โดยพิจารณาจากการคำนวณเปรียบเทียบหามูลค่า พลังงานไฟฟ้าที่ได้เพื่อหาการคืนทุนตามขั้นตอน ดังนี้

- หาค่าปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นในช่วงที่ใช้งานของหลังคาอาคารแต่ละประเภท นำมาคิดมูลค่าพลังงานไฟฟ้าที่ต้องใช้ในการขจัดปริมาณความร้อน ในหน่วย Btu/hr.sq.ft. หรือ W/sq.m.
- นำค่าพลังงานไฟฟ้าที่เกิดขึ้นมาแปลงค่าเป็น [จาก COP = 2.51 = out put (Q) / in put]

$$\text{พลังงานที่ใช้ในการปรับอากาศ} = \frac{\text{ปริมาณความร้อนที่ต้องการขจัดออก}}{2.51}$$

โดยต้องนำปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นทุกๆ 1 ชั่วโมงในช่วงการใช้งาน มาคิดคำนวณหน่วยที่ได้ Whr./sq.m./Day

- หาอัตราพลังงานที่ลดลง โดยการหักลบจากปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ต้องใช้กับผนังก่ออิฐฉาบปูน ในหน่วย 1000 Watt จะได้ KWhr./sq.m./Day
- หาปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ใน 1 ปี (30 วัน * 12 เดือน) หน่วย KWhr./Year
- หาค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดลง (หน่วย Bath / KWhr. / Year) โดยคิดจากอัตราค่าไฟต่อหนึ่งหน่วย (1 หน่วย = 1 Kw.hr หรือ 3.412 Btu.hr)

ดังนั้นมูลค่าของพลังงาน $= \frac{\text{Energy (Btu/hr.sq.ft.) * อัตราค่าไฟต่อหน่วย}}{3.412}$ หรือ

$=$ Energy (W/sq.m.) * อัตราค่าไฟต่อหน่วย

อัตราค่าไฟฟ้าที่ประกาศใช้ในปัจจุบัน (ปี พ.ศ.2546) คือ

ช่วงเวลา 9.00 - 22.00น.	=	1.80	บาท/KW.hr.
Demand Charge	=	200	บาท/KW.hr.
ช่วงเวลา 22.00 - 9.00น.	=	0.68	บาท/KW.hr.

- คิดระยะเวลาในการคืนทุนจาก

$$\text{Payback Period / ปี} = \frac{\text{ราคาก่อสร้างสวนหลังคา + ค่าดูแลรักษาต่อปี}}{\text{ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงต่อปี}}$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

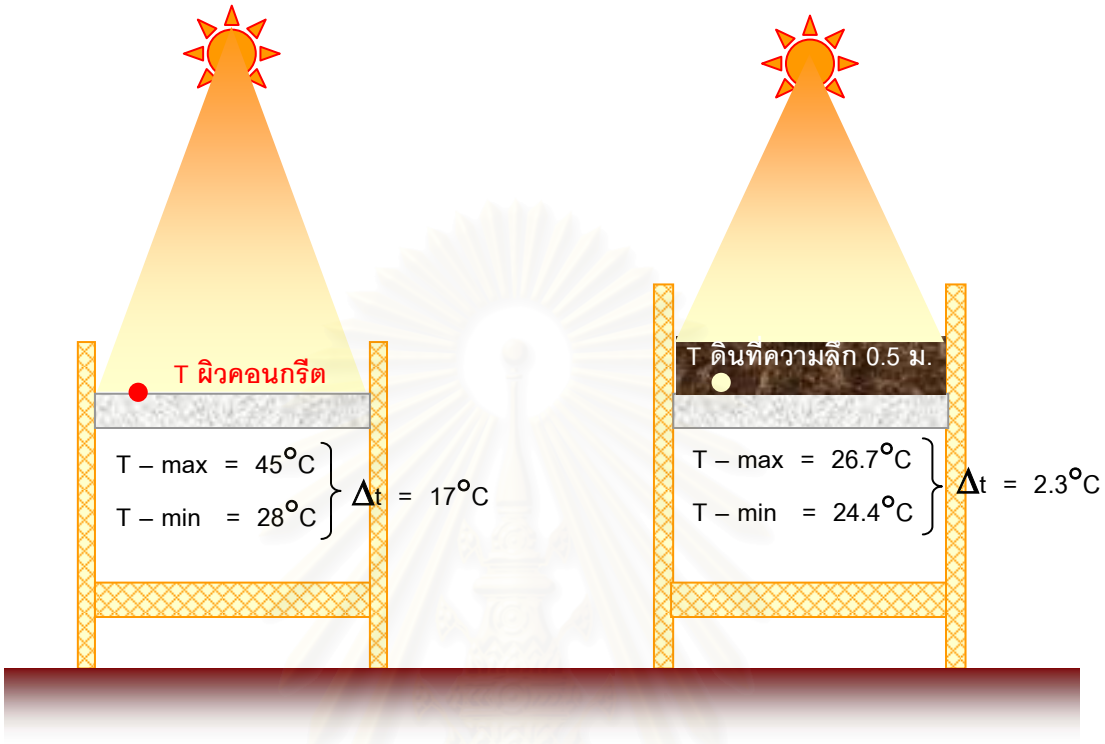
1. อิทธิพลของสภาพแวดล้อมทางธรรมชาติที่มีต่ออุณหภูมิบริเวณอาคาร

จากการศึกษาวิจัย “อิทธิพลของสภาพแวดล้อมทางธรรมชาติที่มีต่ออุณหภูมิบริเวณอาคาร” ของ วิชัย อิทธิวิศวกุล (2539) พบว่า อุณหภูมิบริเวณลานจอดรถคอนกรีต มีค่าสูงที่สุดทั้งในเวลากลางวันและกลางคืน ซึ่งเช่นเดียวกับหลังคาหรือดาดฟ้าอาคารทั่วไปที่วัสดุหลังคาเป็นพื้นคอนกรีตหรือวัสดุที่มีมวลมาก จึงส่งผลให้อุณหภูมิอากาศบริเวณหลังคาสูงตามไปด้วย

ในช่วงเวลากลางวัน อุณหภูมิอากาศใต้ต้นไม้มีค่าสูงที่สุดในช่วงเวลา 14.00 –16.00น. ซึ่งต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศที่บริเวณกลางแจ้งในช่วงเวลาที่ร้อนที่สุด สูงสุดถึง 2.8 องศาเซลเซียส เนื่องจากความเย็นจากการคายน้ำของใบไม้ รวมทั้งพุ่มใบของต้นไม้ จะช่วยบังเงาให้กับพื้นที่ด้านล่าง และช่วยในการลดการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ โดยการดูดซับความร้อนจากการแผ่รังสี การสะท้อนรังสี การแผ่รังสีที่เก็บสะสมโดยต้นไม้และการส่งผ่าน ซึ่งส่งผลให้ปริมาณการส่งผ่านรังสีของดวงอาทิตย์ ผ่านลงมายังพื้นดินน้อยลง ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้ต้นไม้เพื่อช่วยบังเงาให้แก่เปลือกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิผิวของอาคาร (Surface Temperature) นอกจากนี้ต้นไม้ยังช่วยสกัดกั้นความร้อน ที่เกิดจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ โดยการเปลี่ยนพลังงานความร้อนด้วยการสังเคราะห์แสง ซึ่งมีการดูดน้ำจากดินและเปลี่ยนรูปโดยการกลายเป็นไอ

นอกจากนี้จะเห็นได้ว่าในเวลากลางวันอุณหภูมิผิวของลานจอดรถคอนกรีตสูงถึง 45 องศาเซลเซียส (เวลา 14.00น.) ส่วนอุณหภูมิต่ำสุดในเวลากลางคืนที่ 28 องศาเซลเซียส (เวลา 5.00น.) จะเห็นได้ว่า ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิ (Δt) สูงถึง 17 องศาเซลเซียส แต่อุณหภูมิของดินที่ระดับความลึก 0.50 เมตร บริเวณสนามหญ้า มีอุณหภูมิสูงสุดในเวลากลางคืนเพียง 26.3 องศาเซลเซียส (เวลา 2.00น) และต่ำสุดในเวลากลางวันเพียง 24.0 องศาเซลเซียส (เวลา 15.00น.) ซึ่งมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิ (Δt) เพียง 2.1 องศาเซลเซียส

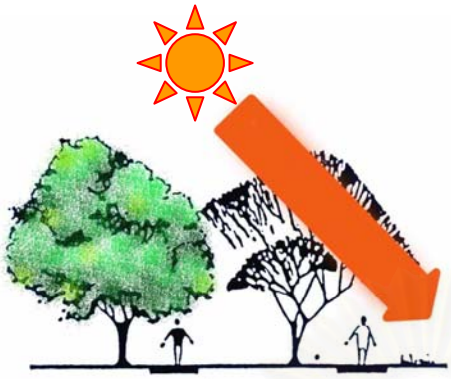
ซึ่งหากนำมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัย "การเปรียบเทียบศักยภาพของการป้องกันความร้อนระหว่างการใช้สวนหลังคากับระบบหลังคาที่ใช้กันทั่วไป" จะได้แนวคิดดังภาพต่อไปนี้



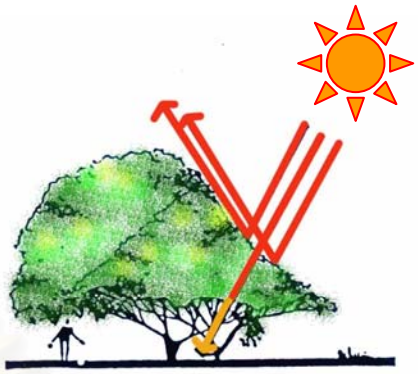
ภาพที่ 2 – 22 แสดงการนำผลการวิจัยอุณหภูมิดินมาประยุกต์ใช้

จะเห็นว่าความแตกต่างของอุณหภูมิ (Δt) ของดินมีน้อยกว่าของคอนกรีต โดยอุณหภูมิดินจะมีค่าค่อนข้างคงที่ (Stable) กว่าคอนกรีต และค่าอุณหภูมิสูงสุดของดินลึก 0.50 เมตร บริเวณสนามหญ้านั้นอยู่ ณ เวลา 2.00น. ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่อุณหภูมิอากาศมีค่าเกือบต่ำที่สุด ส่วนค่าอุณหภูมิต่ำที่สุดของดินลึก 0.50 เมตร บริเวณสนามหญ้านั้น อยู่ ณ. เวลา 15.00น. ซึ่งเป็นเวลาที่อุณหภูมิอากาศมีค่าสูงที่สุด

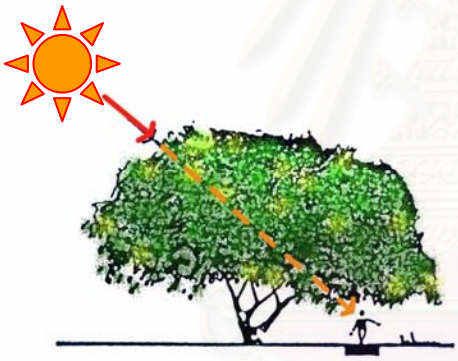
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



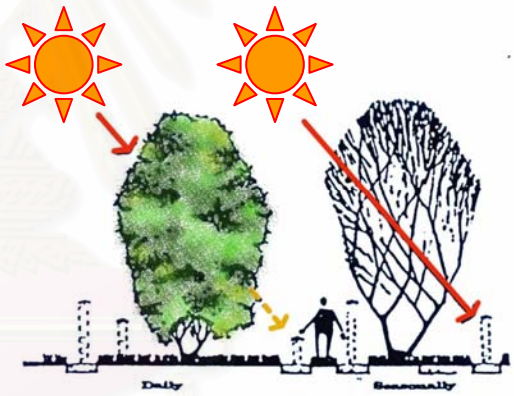
การกรองและดูดซับรังสีความร้อน



การสะท้อนรังสีความร้อน



การให้ร่มเงา



การคายน้ำ

ภาพที่ 2 – 23 คุณสมบัติในด้านการกันความร้อนของต้นไม้

(Robinette, G., 1976)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. การวิจัยประยุกต์เพื่อการออกแบบอาคารประหยัดพลังงาน

จากบทความ “การวิจัยประยุกต์เพื่อการออกแบบอาคารประหยัดพลังงาน” โดย ศ.ดร. สุนทร บุญญาธิการ (2539) พบว่า การใช้ตัวแปรทางธรรมชาติ ซึ่งส่งผลให้อุณหภูมิของดินมีค่าค่อนข้างคงที่ และต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศในเวลากลางวัน ส่งผลให้ผู้ใช้อาคารอยู่ในสภาวะน่าสบายได้นั้นประกอบไปด้วยต้นไม้ และ พืชคลุมดิน

ต้นไม้

ต้นไม้เป็นตัวแปรสำคัญ ที่ช่วยในการปรับปรุงสภาพแวดล้อม บริเวณโดยรอบอาคาร ดังต่อไปนี้

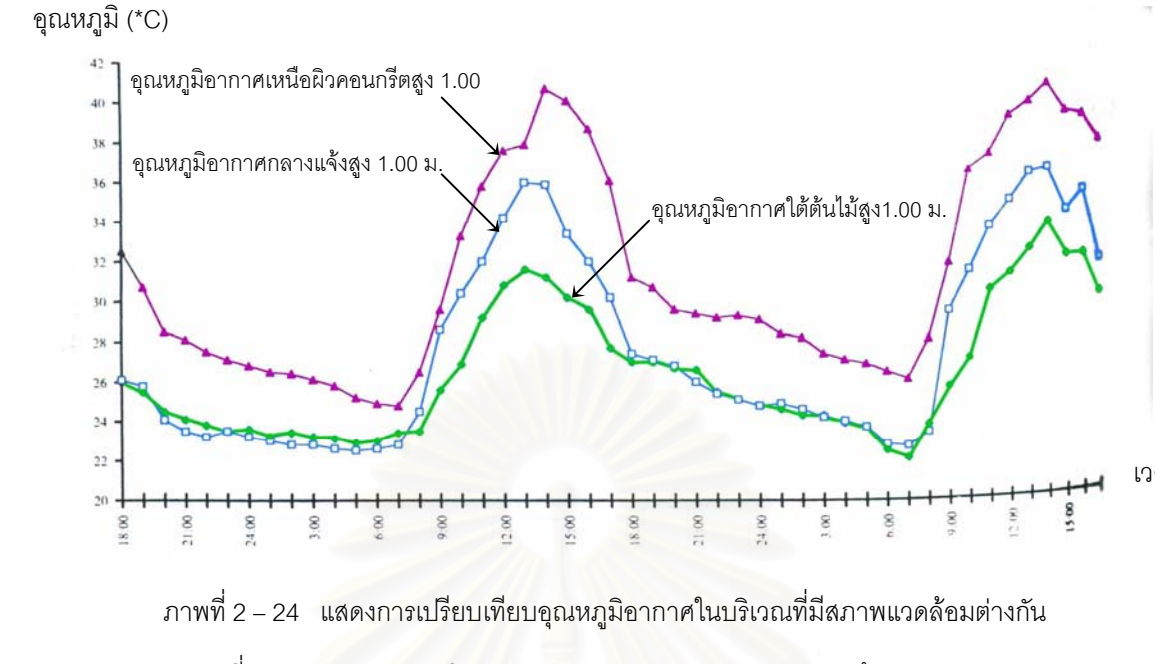
1. ต้นไม้จะสกัดกั้นความร้อนจากดวงอาทิตย์ แล้วแปลงพลังงานความร้อนเหล่านั้นด้วยกระบวนการสังเคราะห์แสง โดยการดูดน้ำจากดิน แล้วถ่ายเทออกจากใบในรูปของไอน้ำ เนื่องจากการแปลงสถานะของน้ำให้เป็นไอน้ำต้องใช้ความร้อนประมาณ 1,000 Btu. ต่อน้ำ 0.45 ลิตร หากต้นไม้มีขนาดใหญ่พอที่สามารถดูดน้ำได้ 5.5 ลิตร ต่อชั่วโมง ก็จะสามารถปรับสภาพแวดล้อมให้เย็นลงประมาณ 12,000 Btu. ต่อชั่วโมง หรือเทียบเท่าเครื่องปรับอากาศขนาด 1 ตัน

2. ต้นไม้เปรียบเสมือนร่มบังแดด ช่วยลดอิทธิพลจากรังสีของดวงอาทิตย์โดยตรง คือได้ร่มเงาทำให้ผิวดินและพื้นดินเย็นลง ลมที่พัดผ่านโคนต้นหรือใต้ร่มใบก็จะเป็นลมเย็น ทั้งนี้เนื่องจากใบไม้ที่หนาทึบสามารถสกัดกั้นแสงแดดโดยตรงจากดวงอาทิตย์ได้เกือบทั้งหมด พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์โดยตรงจึงผ่านลงมาได้น้อย

3. ช่วยปรับแต่งทิศทางการเคลื่อนที่ของกระแสลมไปในทิศทางที่ต้องการ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เมื่อวางแผนการจัดภูมิสถาปัตยกรรมและสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม

4. ช่วยทำให้อุณหภูมิของพื้นดินภายใต้ร่มเงาไม่เปลี่ยนแปลงมากในช่วงบ่าย ดังจะเห็นได้ชัดเมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมต่างๆ กัน จะพบว่า อุณหภูมิใต้ต้นไม้เย็นกว่าอุณหภูมิเหนือลานคอนกรีตมากกว่า 10 องศาเซลเซียสในช่วงแดดจัด

5. นอกเหนือจากการประหยัดพลังงานโดยตรงแล้ว ยังทำให้สภาพแวดล้อมโดยรอบอาคารร่มรื่นและเย็นสบายขึ้นด้วย เนื่องจากเมื่อดินภายใต้ต้นไม้ไม่ถูกแดด อุณหภูมิของผิวดินจะต่ำกว่าอุณหภูมิของผิวกาย (ปกติ 32 – 35 องศาเซลเซียส) ซึ่งจะทำให้ผู้ที่ใช้สภาพแวดล้อมรอบอาคารรู้สึกเย็นลง เนื่องจากร่างการสูญเสียความเย็นให้กับดิน ด้วยการแผ่รังสีจากผิวกายให้สู่ดิน ทำให้รู้สึกเย็นลงกว่าอุณหภูมิอากาศ



ภาพที่ 2 – 24 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศในบริเวณที่มีสภาพแวดล้อมต่างกัน

ที่มา : สุนทร บุญญาธิการ, วารสารอาสา(กรกฎาคม 2539), หน้า102-103

พืชคลุมดิน

นอกจากการปลูกต้นไม้สูงเพื่อสร้างร่มเงาและช่วยให้อาคารภายนอกเย็นลงแล้ว การปลูกพืชคลุมดิน เช่น หญ้า หรือสวนหย่อมคลุมดินก็จะช่วยให้บริเวณรอบอาคารเย็นลงได้เช่นกัน

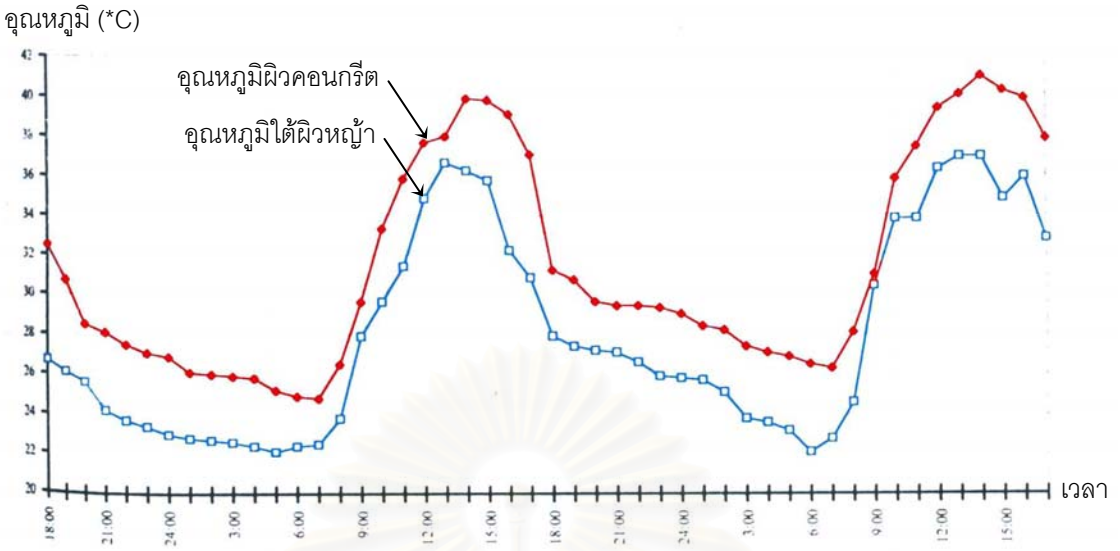
เมื่อแสงแดดจัดส่องมากระทบพืชคลุมดิน ต้นพืชเหล่านั้นจะดึงความร้อนจากแสงแดดมาเผาผลาญอาหารแล้วปล่อยไอออกมา ก่อให้เกิดความชุ่มชื้นเหนือพุ่มใบ เมื่อมีลมพัดผ่าน ความร้อนที่มากับลมก็จะลดลงเรื่อยๆ ทำให้บริเวณพืชคลุมดินมีอุณหภูมิต่ำลงไปด้วย

อิทธิพลของพืชคลุมดินจึงพอสรุปได้ดังนี้

1. ทำให้สภาพแวดล้อมเย็นลงเนื่องจาก อุณหภูมิผิวหญ้าเย็นกว่าอุณหภูมิอากาศที่พัดผ่านดินแห้ง ลานจอดรถ หรือที่ๆ ปราศจากพืชคลุมดิน

2. ช่วยลดความรุนแรงของอากาศร้อนในช่วงบ่าย ซึ่งเป็นการลดความแตกต่างความร้อนระหว่างภายนอกกับภายในอาคาร

3. ทำให้ความร้อนจากแสงอาทิตย์ไม่ถูกกักเก็บไว้ในพื้นดิน แต่ความร้อนเหล่านี้จะถูกพืชคลุมดินแปรสภาพเป็นไอน้ำ และลอยขึ้นสู่เบื้องบน



ภาพที่ 2 – 25 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวพื้นคอนกรีตและพื้นหญ้ากลางแจ้ง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3. การทำความเย็นแก่อาคารโดยการใช้ผิวสัมผัสพื้นดิน

จากการวิจัย “การทำความเย็นแก่อาคารโดยการใช้ผิวสัมผัสพื้นดิน” ของ เอนก ธีระวิวัฒน์ชัย (2539) พบว่า อุณหภูมิดินที่ระดับความลึก 1.00 เมตร มีค่าอุณหภูมิค่อนข้างจะคงที่ คือมีความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดประมาณ 2 – 3 องศาเซลเซียส

อีกทั้งได้ทำการเปรียบเทียบระหว่างดินกับทรายพบว่า ดินมีคุณสมบัติในการหน่วงเหนี่ยวความร้อน (Time Lag) 10 – 12 ชั่โมง ส่วนทรายมีคุณสมบัติในการหน่วงเหนี่ยวความร้อน (Time Lag) 6 ชั่วโมง

อิทธิพลของอุณหภูมิดิน ทำให้อุณหภูมิที่ผิวสัมผัสดินภายในอาคาร (MRT) มีอุณหภูมิลดลง สภาพของดินที่ถูกปกคลุมด้วยพืชจะมีค่าอุณหภูมิต่ำกว่าสภาพผิวดินที่ปราศจากสิ่งปกคลุม โดยเฉพาะดินที่ปกคลุมด้วยพืชคลุมดิน จะมีอุณหภูมิที่ผิวสัมผัสดินต่ำกว่าดินที่ปราศจากสิ่งปกคลุมถึง 2 องศาเซลเซียส

นอกจากนี้การใช้หญ้าเปียกและดินเปียกสามารถรักษาความเย็นให้กับผิวดินได้ดี เนื่องจากจะเป็นสิ่งปกคลุมดิน และลดอิทธิพลจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ โดยเฉพาะกรณีที่มีกระแสลมแรง อุณหภูมิที่ผิวดินเปียกและหญ้าเปียกจะมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิกระเปาะเปียก และการที่มีต้นไม้หรือพุ่มไม้ขนาดเล็กคลุมหน้าดิน ความเย็นที่ผิวดินจากหญ้าเปียกและดินเปียกสามารถเหนี่ยวนำให้ดินที่ระดับความลึก 0.60 เมตร มีความเย็นเพียงพอที่จะนำมาประยุกต์ใช้ เป็นแหล่งความเย็นให้แก่อาคาร และลดภาระการปรับอากาศได้อีกด้วย

ทำให้อุณหภูมิภายในอาคารที่ 1.50 เมตร มีอุณหภูมิค่อนข้างจะคงที่และมีทิศทางการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในทิศทางตรงกันข้ามกับอุณหภูมิอากาศ ในขณะที่อุณหภูมิอากาศสูงขึ้น อุณหภูมิภายในอาคารจะลดลง และในขณะที่อุณหภูมิอากาศลดลง อุณหภูมิภายในอาคารจะอบอุ่นขึ้น โดยอุณหภูมิภายในอาคารจะอยู่ที่ 24 – 26.5 องศาเซลเซียส ซึ่งอยู่ในช่วงของสภาวะน่าสบาย (Comfort Zone) อันเกิดจากอิทธิพลของการหน่วงเหนี่ยวความร้อน (Time Lag) ของดิน

4. การเปรียบเทียบอุณหภูมิดินที่ระดับความลึกต่างๆ ภายใต้สิ่งปกคลุมที่แตกต่างกัน 5 ชนิด

จากการทดลองของ KUSUDA[36] เพื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิที่ระดับความลึกต่าง ๆ ของดินภายใต้สิ่งปกคลุมที่แตกต่างกัน 5 ชนิด อันได้แก่

1. ยางมะตอยสีดำหนา 12.5 เซนติเมตร
2. ยางมะตอยทาสีขาว
3. ดินไม่มีสิ่งปกคลุม
4. หญ้าเสมอกัน ยาว10 เซนติเมตร
5. หญ้ายาว

ได้ผลการเก็บข้อมูลดังนี้

ตาราง 2 - 6 แสดงอุณหภูมิของดินที่ระดับความลึกต่าง ๆ ใต้สิ่งปกคลุมที่ต่างกัน

TABLE 6-1. MAXIMUM AND MINIMUM SOIL TEMPERATURES (F) WITH DIFFERENT SURFACE TREATMENTS (AFTER KUSUDA).

		Depth Level (meters) of Soil				
Treatment		*0*	*0.3*	*1.2*	*3.0*	*9.0*
Black Asphalt	Max	91	87	79	68	56
	Min	29	33	37	48	52
	Mean	60	60	58	58	54
White Asphalt	Max	77	74	67	60	55
	Min	27	28	37	45	51
	Mean	52	51	52	52.5	53
Bare Soil	Max	77	74	72	63	56
	Min	28	32	34	43	51
	Mean	52.5	53	53	53	53
Short Grass	Max	75	69	64	61	56
	Min	31	35	39	47	52
	Mean	53	52	51.5	54	54
Long Grass	Max	70	65	62	61	54
	Min	28	34	38	46	51
	Mean	49	49.5	50	53.5	52.5

ที่มา : Baruch Givoni . Passive and Low Energy Cooling of Buildings . (United State of America : Van Nostrand Reinhold , 1994),P. 198.

[36] Baruch Givoni, Passive and Low Energy Cooling of Buildings, (New York, 1994), p.198.

จากการวิเคราะห์พบว่า ที่ระดับความลึก 0 เซนติเมตร สิ่งปกคลุมที่ต่างกันมีผลต่ออุณหภูมิของดินมาก กล่าวคือ ยางมะตอยสีดำมีอุณหภูมิสูงถึง 91 องศาฟาเรนไฮต์ ในขณะที่หญ้ายาวมีอุณหภูมิอยู่ที่ 70 องศาฟาเรนไฮต์ ซึ่งต่ำที่สุด

หากพิจารณาที่ระดับความลึกมากขึ้น พบว่าอุณหภูมิดินซึ่งมีวัสดุปกคลุมต่างกันเริ่มมีอุณหภูมิใกล้เคียงกันมากขึ้น เช่นที่ระดับความลึก 9 เมตร อุณหภูมิมีความแตกต่างกันระหว่างต่ำสุดกับสูงสุดเพียง 2 องศาฟาเรนไฮต์ เท่านั้น ต่างกับที่ระดับ 30 เซนติเมตร ซึ่งต่างกันถึง 21 องศาฟาเรนไฮต์ แสดงว่าอุณหภูมิที่เกิดจากอิทธิพลของสิ่งปกคลุมหน้าดินแปรผกผันกับระดับความลึกของดิน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5. การควบคุมอุณหภูมิโดยการปรับสภาพแวดล้อม

จากการรวบรวมข้อมูลต่างๆ เกี่ยวกับการวิจัยของ Robinette, 1976 พบว่าได้มีการทำการทดลองที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมอุณหภูมิด้วยการปรับสภาพแวดล้อมทางธรรมชาติ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

การปรับสภาพแวดล้อมธรรมชาติของพื้นที่ขนาดเล็ก มีจุดประสงค์เพื่อให้สภาพอากาศในบริเวณนั้น ใกล้เคียงกับสภาวะน่าสบายมากที่สุด สามารถจำแนกได้ดังนี้

1. การปรับสภาพพื้นผิว (Topographical) การปรับสภาพพื้นผิวมีผลต่ออุณหภูมิอากาศ และการเคลื่อนตัวของมวลอากาศและทิศทางของกระแสลม

2. การใช้ต้นไม้ (Vegetation) โดยการใช้ต้นไม้ที่มีขนาดต่างกัน วางในตำแหน่งที่ต่างกันเพื่อควบคุมสภาพอากาศทิศทางและความเร็วลม

3. การใช้พืชคลุมดิน (Ground Covering) เพื่อช่วยลดอุณหภูมิที่พื้นผิว และสร้างความเย็น (Cool Air Pocket) ที่บริเวณผิวดิน

4. การใช้ความเร็วลม (Wind Speed) เพื่อช่วยในการพัดพาความร้อนออกไป และพัดพาอากาศเย็นเข้ามาแทนที่อากาศร้อน

5. การใช้น้ำ (Water Bodies) โดยอาศัยความเย็นจากผิวดินที่เกิดจากการระเหยกลายเป็นไอ (Evaporation)

โดยในการทำวิจัย "การเปรียบเทียบศักยภาพของการป้องกันความร้อนระหว่างการใช้รูฟการ์เด้นกับระบบหลังคาชั้นดีทั่วไป" สามารถนำเอาปัจจัย 5 ประการ ในการปรับสภาพแวดล้อม มาประยุกต์ใช้เพื่อการออกแบบ และปรุงแต่งอาคาร โดยอาศัยระบบ Active และ Passive ร่วมกันให้เอื้ออำนวยต่อการประหยัดพลังงาน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6. การใช้สวนหลังคาเพื่อลดการถ่ายเทความร้อน

จากงานวิจัย “การใช้สวนหลังคาเพื่อลดการถ่ายเทความร้อน” ของศุภกิจ ยิ้มสรวล (2541) ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อ

1. ศึกษาและวิเคราะห์ตัวแปรที่มีผลทำให้อุณหภูมิผิวด้านข้างของหลังคาลดลง
2. หาแนวทางทำให้อุณหภูมิผิวของหลังคาด้านล่างต่ำที่สุด
3. เสนอแนะแนวทางในการใช้สวนบนหลังคาเพื่อลดการถ่ายเทความร้อน

โดยได้แบ่งกระบวนการในการวิจัยออกเป็นขั้นตอนต่างๆ เพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลของตัวแปร ที่มีความสำคัญในการนำมาใช้ในการวิเคราะห์และพิจารณา กระบวนการวิจัยมีดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 **ศึกษาอิทธิพลของดิน** โดยเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาอาคารที่มีดินปกคลุม และไม่มีดินปกคลุม

ขั้นตอนที่ 2 **ศึกษาสภาพความชื้นภายในดิน** โดยเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาอาคาร ที่ปกคลุมด้วยดินที่มีความชื้นมาก (ดินเปียก) และดินที่มีความชื้นน้อย (ดินแห้ง)

ขั้นตอนที่ 3 **ศึกษาสภาพผิวดิน** โดยเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาอาคารที่ผิวดินปกคลุมด้วยหญ้า พืชคลุมดิน และไม่มีสิ่งปกคลุม

ขั้นตอนที่ 4 **ศึกษาอิทธิพลจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์** โดยเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาอาคาร ที่ผิวดินปกคลุมด้วยหญ้าในร่มและหญ้าโดนแดด

ขั้นตอนที่ 5 **ศึกษาสภาพแวดล้อมเหนือดิน** โดยเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาอาคาร ที่ผิวดินปกคลุมด้วยหญ้าในที่โล่ง หญ้าใต้ไม้พุ่ม และหญ้าใต้ต้นไม้

ผลจากการวิจัยพบว่า

- หลังคาอาคารที่มีดินปกคลุมมีอุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาอาคารต่ำกว่าหลังคาอาคารที่ไม่มีดินปกคลุม 0.97 องศาเซลเซียส
- การศึกษาความชื้นภายในดินพบว่า อุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาอาคาร ที่ปกคลุมด้วยดินเปียกต่ำกว่าดินแห้ง 0.88 องศาเซลเซียส

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- การศึกษาสภาพผิวดินพบว่า อุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาอาคารที่ผิวดินปกคลุมด้วยหญ้าและพืชคลุมดิน มีอุณหภูมิต่ำกว่าผิวดินที่ไม่มีสิ่งปกคลุม 0.11 และ 0.15 องศาเซลเซียส ตามลำดับ
- การศึกษาอิทธิพลจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์พบว่า อุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาอาคารที่ผิวดินปกคลุมด้วยหญ้าในร่มมีอุณหภูมิต่ำกว่าหญ้าโดนแดด 1.14 องศาเซลเซียส
- การศึกษาสภาพแวดล้อมเหนือดินพบว่า อุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาอาคารที่มีผิวดินปกคลุมด้วยหญ้าใต้ไม้พุ่ม และหญ้าใต้ต้นไม้มีอุณหภูมิต่ำกว่าหญ้าในที่โล่ง 0.02 และ 0.59 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

ผลการวิจัยสรุปว่า การใช้ดินปกคลุมหลังคาอาคารสามารถลดอุณหภูมิหลังคาอาคารลงได้ เนื่องจากอิทธิพลความเย็นจากดิน และการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างหลังคาอาคารกับดิน ดินที่มีความชื้นทากมีผลให้อุณหภูมิด้านล่างของหลังคาอาคารลดต่ำลง เนื่องจากดินที่มีความชื้นมาก จะมีอุณหภูมิคงที่และต่ำกว่าอุณหภูมิของดินที่มีความชื้นน้อย การมีสิ่งปกคลุมผิวดินช่วยป้องกันความร้อนและรักษาความชุ่มชื้นในห้แก่ดิน ทำให้มีอุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาอาคารลดต่ำลง การใช้ต้นไม้ใหญ่กรองแสงและป้องกันความร้อนจากดวงอาทิตย์ สามารถลดความร้อนให้แก่ผิวดิน ทำให้ผิวดินมีความเย็นและเหนี่ยวนำความเย็นลงสู่ดิน ส่งผลต่อการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างหลังคากับดิน ทำให้อุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาอาคารลดต่ำลง

การประยุกต์ใช้สวนบนหลังคาเพื่อลดการถ่ายเทความร้อน ควรทำให้ดินมีความชุ่มชื้นตลอดเวลา และมีสิ่งปกคลุมผิวดิน เพื่อรักษาความชื้นภายในดิน ควรใช้ต้นไม้ใหญ่เพื่อปรับสภาพแวดล้อมและป้องกันความร้อนจากดวงอาทิตย์ ซึ่งจะช่วยลดการถ่ายเทความร้อนได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

7. การวิจัยเปรียบเทียบคุณสมบัติของวัสดุธรรมชาติและวัสดุสังเคราะห์

การวิจัย “**การเปรียบเทียบอุณหภูมิที่ผิวของหญ้าเทียม** (Artificial Turf) **หญ้า** (Living Grass) **และดินเหนียว** (Clay)” ของ Mecklenberg พบว่า หญ้าเทียมซึ่งเป็นวัสดุปกคลุมดินที่มีมวลสารน้อย และไม่มีน้ำเป็นองค์ประกอบจึงสามารถเก็บความร้อนไว้ได้น้อย มีระยะเวลาในการหน่วงเหนี่ยวความร้อนน้อย และมีอุณหภูมิสูงขึ้นอย่างรวดเร็วและสูงกว่าหญ้าธรรมชาติ ซึ่งเป็นวัสดุที่มีมวลสารน้อยเช่นเดียวกัน แต่มีกระบวนการลดความร้อนจากการระเหยของน้ำ และหญ้าเทียมยังมีอุณหภูมิที่ผิววัสดุในเวลากลางวันสูงกว่าดินเหนียวซึ่งเป็นวัสดุที่มีมวลสารมากกว่าและมีความสามารถในการเก็บความร้อนได้มากกว่า แต่ดินเหนียวมีกระบวนการลดความร้อนโดยการระเหยของน้ำ จึงทำให้อุณหภูมิไม่สูงเหมือนหญ้าเทียม

การวิจัย “**การเปรียบเทียบอุณหภูมิที่ผิววัสดุของหญ้าชุ่มน้ำ แอสฟัลต์ หญ้าแห้ง และหญ้าเทียม**” พบว่า หญ้าชุ่มน้ำจะมีอุณหภูมิต่ำที่สุดตลอดเวลาและอุณหภูมิไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก หญ้าเทียมจะมีอุณหภูมิสูงกว่าวัสดุอื่นในช่วงเช้าถึงบ่าย หญ้าแห้งเป็นวัสดุที่มีอัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอย่างรวดเร็ว แต่มีอุณหภูมิต่ำกว่าหญ้าเทียม แต่ในช่วงเย็นจะมีอุณหภูมิที่สูงกว่า ส่วยแอสฟัลต์เป็นวัสดุที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิช้า แต่มีอัตราเร็วกว่าหญ้าชุ่มน้ำ และในช่วงบ่ายจนถึงกลางคืนจะมีอุณหภูมิสูงที่สุด สรุปได้ว่า มวลสารของวัสดุและการบวนการถ่ายเทความร้อนโดยการระเหยของน้ำของวัสดุธรรมชาติมีผลตออุณหภูมิที่ผิววัสดุ

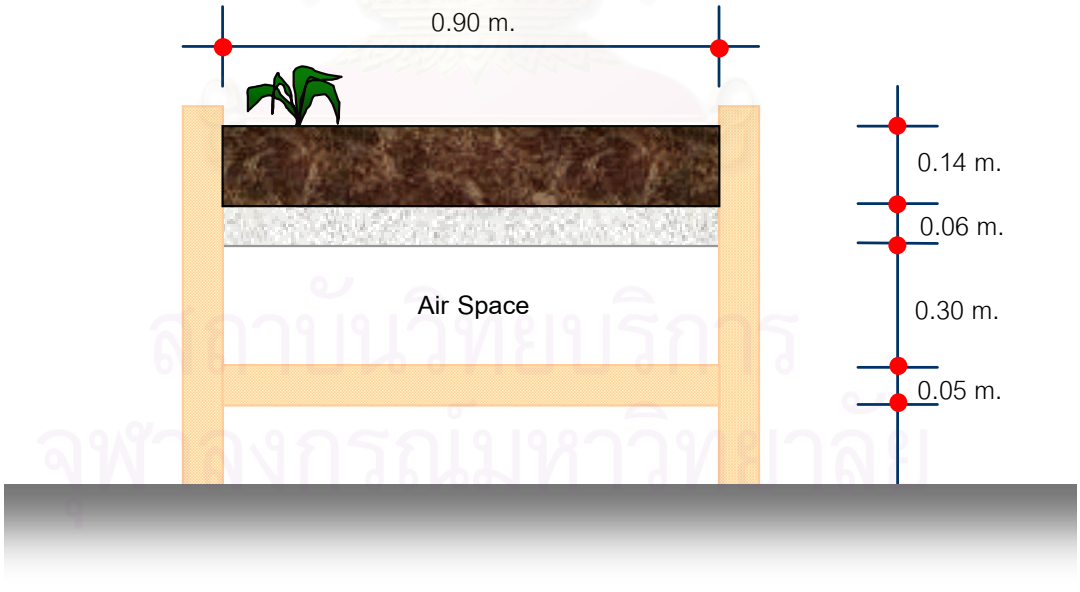
การวิจัย “**การเปรียบเทียบอุณหภูมิที่ผิวดินในบริเวณที่เป็นหญ้าจริงและบริเวณที่เป็นหญ้าเทียม**” ของ Taylor and Pingel (1951) พบว่า อุณหภูมิผิวดินในบริเวณที่มีหญ้าจริงจะเย็นกว่าบริเวณที่เป็นหญ้าเทียม เนื่องจากกระบวนการลดความร้อนโดยการระเหยกลายเป็นไอ การที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันเป็นผลมาจากการดูดซับความร้อนของดวงอาทิตย์ การวัดการสะท้อนแสงพบว่าหญ้าสะท้อนแสง 2.94 เท่า หญ้าเทียมและแอสฟัลต์สะท้อน 1.78 เท่า ส่วนการดูดซับความร้อน หญ้าดูดซับ 78.4 เปอร์เซ็นต์ แอสฟัลต์ 87 เปอร์เซ็นต์ และหญ้าเทียม 92.7 เปอร์เซ็นต์

8. Cooling Effect of Greenery Cover Over a Building

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยของนักศึกษาระดับปริญญาโท มหาวิทยาลัยนากาซากิ ประเทศญี่ปุ่น โดย โดยทีมวิจัยได้ทำการสร้างหุ่นจำลองขึ้นเพื่อทำการเก็บข้อมูล ประกอบกับการใช้คอมพิวเตอร์เพื่อช่วยในการคำนวณปริมาณความร้อนที่เข้ามาภายในหุ่นจำลองแล้วจึงนำเอามาเปรียบเทียบกัน

โดยในการทดลองนั้นได้ทำการสร้างหุ่นจำลองขึ้นจำนวน 4 กล่องด้วยกัน โดยแต่ละกล่องมีขนาดเท่ากันและมีฉนวนกันความร้อนในด้านข้างทั้ง 4 ด้าน และด้านล่างของกล่องทดลอง ส่วนด้านบนเป็นคอนกรีตหล่อ มีส่วนที่เป็นที่ว่างในกล่องสูง 0.30 เมตร (ดังภาพ 2 – 26)ด้านบนของกล่องทดลองมีรูปแบบของวัสดุปกคลุมที่แตกต่างกันดังนี้

กล่องที่ 1 เป็นคอนกรีตเปลือย ไม่มีสิ่งปกคลุม (Bare Concrete)
กล่องที่ 2 ใส่ดินด้านบนหนา 0.14 เมตร (Soil Layer)
กล่องที่ 3 ใส่ดินหนา 0.14 เมตรและปลูกหญ้าด้านบน (Soil Layer and Turf)
กล่องที่ 4 ใส่ดินหนา 0.14 เมตรและปลูกไม้เลื้อยด้านบน
(Soil Layer and Ivy)



ภาพที่ 2 – 26 หุ่นจำลองเพื่อใช้ในการเก็บข้อมูล

ซึ่งจากการเก็บข้อมูลตัวแปรที่มีอิทธิพล เพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลเป็นเวลา 3 วัน นั้นพบว่า ในกล่องทดลองที่ 1 ซึ่งเป็นคอนกรีตเปลือย (Bare Concrete) มีอุณหภูมิที่ผิวคอนกรีตภายนอก สูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายในหุ่นจำลองและสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกดังภาพที่ 2 – 14

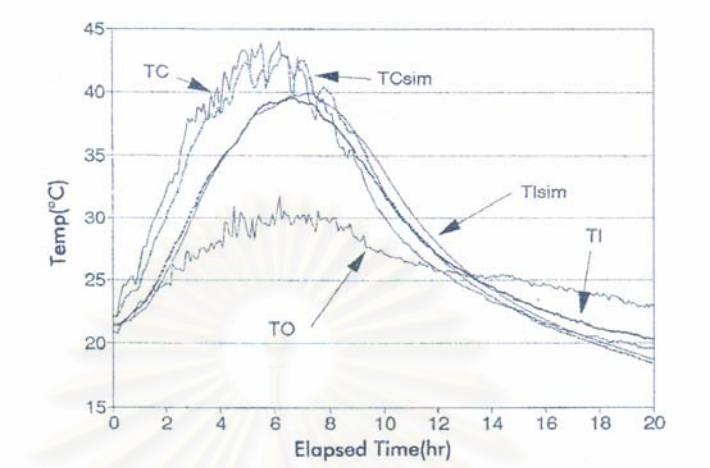
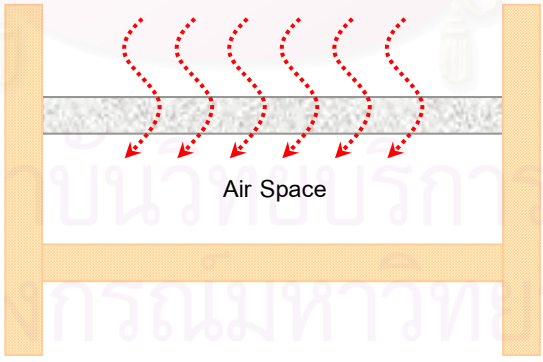


Fig. 3. Measured and simulated temperatures for bare concrete roof and inside air. TO is the measured outside air temperature, TI is the measured inside air temperature, TIsim is the simulated inside air temperature, TC is the measured concrete surface temperature and TCsim is the simulated concrete surface temperature.

ภาพที่ 2 – 27 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของอุณหภูมิผิวภายนอกคอนกรีต อุณหภูมิอากาศภายในและภายนอกกล่องทดลองที่ 1 ที่มา : T.Takakura, S.Kitade, and E.Goto (1998)

จึงทำให้เกิด Heat Flow จากภายนอกเข้ามาภายในอาคาร ทำให้อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองที่ 1 สูงขึ้น ดังรูปที่ 2 – 28



ภาพที่ 2 – 28 แสดงการเกิด Heat Flow ในกล่องทดลองที่ 1

ส่วนในกล่องทดลองที่ 2 , 3 และ 4 เมื่อมีดินปกคลุมหลังคาของกล่องทดลอง จึงส่งผลให้อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลอง และอุณหภูมิผิวคอนกรีตด้านนอกเย็นกว่าอุณหภูมิอากาศ ดังภาพที่ 2 – 29

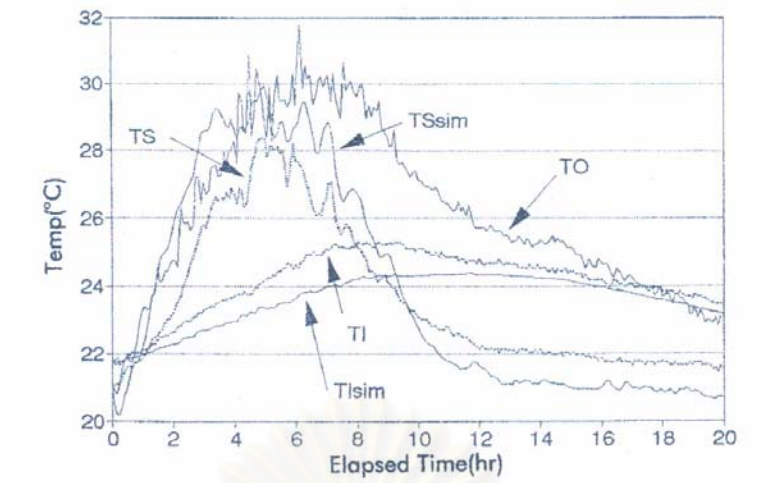
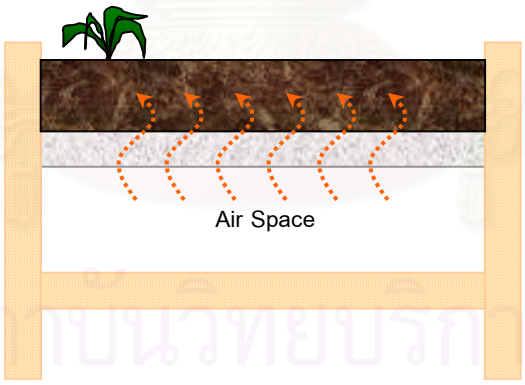


Fig. 4. Measured and simulated temperatures for ivy covered roof and inside air. TO is the measured outside air temperature, TI is the measured inside air temperature, TIsim is the simulated inside air temperature, TS is the measured soil surface temperature, and TSsim is the simulated soil surface temperature.

ภาพที่ 2 – 29 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของอุณหภูมิผิวภายนอกคอนกรีต อุณหภูมิอากาศภายใน และภายนอกกล่องทดลองที่ 2, 3 และ 4 ที่มา : T.Takakura, S.Kitade, and E.Goto (1998)

จึงทำให้เกิด Heat Flow จากภายในอาคารออกสู่บริเวณหลังคาของกล่องทดลอง ดังภาพที่ 2 – 30



ภาพที่ 2 – 30 แสดงการเกิด Heat Flow ในกล่องทดลองที่ 1

จากการวิจัย “Cooling Effect of Greenery Cover Over a Building” พบว่า การระเหยเปลี่ยนรูปกลายเป็นไอที่พื้นผิว (Evapotranpiration from surface) มีอิทธิพลมากในการเกิด Heat Flow จากภายในกล่องทดลองไปสู่ด้านบนหลังคา ซึ่งตัวแปรทั้ง 3 อันได้แก่ ดิน, ดิน + หญ้า, และ ดิน + ไม้เลื้อย นับว่ามีอิทธิพลอย่างมากในการก่อให้เกิดความเย็นภายในกล่องทดลอง

9. Ecological Roof

เป็นงานวิจัยของ Agronomist Technical School , Madrid's City, Spain.(1996) โดยมีรายละเอียดที่เกี่ยวกับงานวิจัยดังนี้

วัตถุประสงค์ในการทำวิจัยนี้ เพื่อสร้างอาคารที่มีความกลมกลืนกับธรรมชาติ โดยการนำเอาประโยชน์จากธรรมชาติเข้ามามีบทบาท กับอาคารทั้งในรูปด้าน (Elevation) และหลังคา (Roof)

โดยประโยชน์จากการทำ Ecological Roof นั้นสามารถสรุปประโยชน์ที่ได้รับทั้งในเชิงของการใช้อาคาร และสภาพแวดล้อมของเมืองดังต่อไปนี้

อาคาร

1. ช่วยในการแก้ไขพฤติกรรมของอุณหภูมิอากาศ ในการสูญเสียพลังงานของระบบ
2. เป็นเหมือนฉนวนป้องกันเสียงจากภายนอก และภายใน
3. ขยายอายุการใช้งานของหลังคาอาคารออกไป
4. ทำให้อาคารดูสวยงาม
5. ช่วยลดปริมาณการไหลของน้ำบนหลังคา

สภาพแวดล้อม

1. สร้างสภาพแวดล้อมที่ดีให้แก่เมือง และเพิ่มความชุ่มชื้นให้แก่เมือง
2. อากาศที่พัดผ่านเย็นและชุ่มชื้น
3. ลดเสียงของเมือง Sound Spectrum of City
4. ลดน้ำหนักอัตราการไหลของน้ำ ซึ่งจะเสี่ยงต่อการเกิดน้ำท่วม

ภาพที่ 2 – 31 แสดงพื้นที่ๆ ใช้ในการวิจัยที่ประเทศสเปน

ที่มา : Agronomist Technical School , Madrid's City, Spain.(1996)

บทที่ 3

สมมติฐานและระเบียบวิธีการวิจัย

การเปรียบเทียบศักยภาพของการป้องกันความร้อน ระหว่างการใช้สวนหลังคากับระบบหลังคาที่ใช้กันทั่วไป (A Comparative Study of Thermal Benefit Between Roof Garden And Conventional Roof) มีขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย และเพื่อพิสูจน์สมมติฐานดังนี้

สมมติฐานการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงความแตกต่างของอุณหภูมิผิวหลังคาภายในอาคาร ซึ่งเกิดจากอิทธิพลของต้นไม้ต่างประเภทกัน มีความหนาแน่นของพุ่มใบที่แตกต่างกัน และต้องการความลึกของดินปลูกที่แตกต่างกัน จึงมีอิทธิพลของการหน่วงเหนี่ยวความร้อน (Time Lag) ของดินปลูกที่แตกต่างกันด้วย รวมทั้งการทำให้ใต้พุ่มใบมีน้ำระเหยตลอดเวลา เป็นผลให้อุณหภูมิใต้พุ่มใบใกล้เคียงอุณหภูมิกระเปาะเปียก(Wet Bulb) จึงนำข้อมูลที่ได้นี้มาวิเคราะห์ เสนอแนะแนวทางการออกแบบหลังคา เพื่อลดปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคารทางหลังคาด้วยวิธีธรรมชาติ โดยกำหนดสมมติฐานการวิจัยไว้ดังนี้

1. พืชแตกต่างกันปลูกบนดินที่มีการให้น้ำที่เท่าๆกัน ในสภาพแวดล้อมเดียวกัน พืชที่มีความหนาแน่นของใบมากที่สุด จะสร้างร่มเงาให้กับผิวดินมากที่สุด และเป็นผลให้มีปริมาณความชื้นในดินมากที่สุด ในขณะที่อุณหภูมิของดินต่ำที่สุด
2. สวนหลังคาสามารถลดปริมาณความร้อนที่จะเข้ามาภายในอาคาร ได้ทั้งในระบบปรับอากาศและระบบไม่ปรับอากาศ
3. สวนหลังคาสามารถเป็นได้ทั้งบ่อเก็บกักความร้อนได้ในเวลากลางวัน และบ่อเก็บกักความเย็นได้ในเวลากลางคืน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ระเบียบวิธีการวิจัย

ในขั้นตอนของระเบียบวิธีการวิจัย แบ่งขั้นตอนในการวิจัยออกเป็น 3 ส่วนด้วยกัน คือ

1. ขั้นตอนในการเลือกพืชที่จะนำมาปลูกเป็นสวนหลังคา ได้แก่
    - เลือกตัวอย่างพืชประเภทไม้พุ่ม (กลุ่มพืชที่มีความสูง 35-50 ซม.) ปลูกในดินที่มีความลึก 30 ซม.
    - ตัวอย่างพืชคลุมดิน (กลุ่มพืชที่มีความสูง 15-30 ซม.) ปลูกในดินที่มีความลึก 30 ซม.
    - ตัวอย่างพืชประเภทหญ้า ปลูกในดินที่มีความลึก 30 ซม.
2. ขั้นตอนในการเตรียมการวิจัย ได้แก่
    - การเตรียมสถานที่
    - การเตรียมอุปกรณ์และเครื่องมือในการเก็บข้อมูล
    - การเตรียมกล่องทดลอง
3. ขั้นตอนในการเก็บข้อมูลเพื่อนำมาวิจัยซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ชุดการทดลอง ได้แก่
    - ชุดการทดลองที่ 1 การศึกษาอิทธิพลในการป้องกันความร้อนที่เข้าสู่ภายในอาคาร โดยการใช้สวนหลังคา
    - ชุดการทดลองที่ 2 การศึกษาแนวทางในการนำประโยชน์ของสวนหลังคามาใช้ในการออกแบบเพื่อปรับปรุงอาคารในระบบปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ
    - ชุดการทดลองที่ 3 การศึกษาอิทธิพลอิทธิพลของมวลสารของหลังคาในการหน่วงเหนี่ยวความร้อนที่เข้ามาภายในอาคาร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1. ขั้นตอนในการเลือกพืชที่จะนำมาปลูกเป็นสวนหลังคา

ขั้นตอนในการเลือกพืชประเภทต่างๆ นอกจากจะต้องคำนึงถึงความลึกของดินแล้ว ยังต้องคำนึงถึงปัจจัยอื่นๆ ได้แก่ ต้นไม้ต้องมีพุ่มใบหนาแน่น ชอบแสงแดดจัด และสามารถทนต่อสภาวะลมแรงได้ เนื่องจากต้องอยู่บนหลังคาอาคาร

1.1 พืชประเภทไม้พุ่ม

ตัวอย่างไม้พุ่มที่สามารถนำมาปลูกบนสวนหลังคาได้ เช่น

ต้นเล็บครุฑ

โกสน

นาคชมพู

พุดซ้อน

โดยในการวิจัยนี้เลือกต้นนาคชมพูมาใช้เป็นตัวแทนของไม้พุ่ม

ภาพที่ 3 – 1 พืชประเภทไม้พุ่มซึ่งเป็นกลุ่มตัวอย่างในการทดลอง

ที่มา : มณีรัตน์ บุนนาค. พรรณไม้ในสวนหลวง ร.9, 2539

1.2 **พืชคลุมดิน**

ตัวอย่างพืชคลุมดินที่สามารถนำมาปลูกบนสวนหลังคาได้ เช่น

กระดุมทองเลื้อย

เทียนทองเล็ก

ชะพลู

ขาไก่ด่าง

โดยในการวิจัยนี้เลือกต้นเทียนทองเล็กมาใช้เป็นตัวแทนของพืชคลุมดิน

ภาพที่ 3 – 2 พืชคลุมดินซึ่งเป็นกลุ่มตัวอย่างในการทดลอง

ที่มา : มณีรัตน์ บุนนาค. พรรณไม้ในสวนหลวง ร.9, 2539

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.3 **พืชประเภทหญ้า**

ตัวอย่างพืชคลุมดินที่สามารถนำมาปลูกบนสวนหลังคาได้ เช่น

หญ้าญี่ปุ่น

หญ้ามาเลเซีย

โดยในการวิจัยนี้เลือกหญ้ามาเลเซียมาใช้เป็นตัวแทนของพืชประเภทหญ้า

ภาพที่ 3 – 3 พืชประเภทหญ้าซึ่งเป็นกลุ่มตัวอย่างในการทดลอง

ที่มา : มณีรัตน์ บุนนาค. พรรณไม้ในสวนหลวง ร.9, 2539

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. ขั้นตอนในการเตรียมการวิจัย

ขั้นตอนในการเตรียมการวิจัยประกอบไปด้วย

- การเตรียมสถานที่
- การเตรียมอุปกรณ์และเครื่องมือในการเก็บข้อมูล
- การเตรียมกล่องทดลอง

2.1 การเตรียมสถานที่

สถานที่ทำการทดลองตั้งอยู่ในบริเวณหมู่บ้านเมืองเอกโครงการ 2 เป็นพื้นที่โล่งกว้าง ติดริมน้ำ ไม่มีอาคารขนาดใหญ่และต้นไม้ใหญ่โดยรอบ ซึ่งสามารถต่อน้ำและไฟฟ้ามาใช้ได้ จึงถือว่าเป็นพื้นที่ซึ่งเหมาะสมต่อการทำงานวิจัยเป็นอย่างดี

ภาพที่ 3 – 4 แสดงพื้นที่ทดลองก่อนการก่อสร้างกล่องทดลอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2 การเตรียมอุปกรณ์และเครื่องมือในการเก็บข้อมูล

เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูลประกอบด้วย

2.2.1 เครื่องมือไซเมตริกดาต้าลอคเกอร์ (Scienmetric Data Logger)

ขนาด 64 ช่องสัญญาณ โดยต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์ทำการส่งสัญญาณไป (Out Put) ผ่านที่เซ็นเซอร์ (Sensor) ที่ใช้คือ เทอร์มิสเตอร์ (Thermister) ณ ตำแหน่งที่วัดแล้วส่งสัญญาณกลับ (In Put) เข้าเครื่องไซเมตริกดาต้าลอคเกอร์ (Scienmetric Data Logger) ทำการแปลงสัญญาณที่ส่งกลับ

ผ่านเข้าโปรแกรม Gen200 ที่ติดตั้งแล้วลงในคอมพิวเตอร์ ประมวลผลข้อมูลได้หน่วยวัดที่ต้องการ และนำเสนอเปรียบเทียบข้อมูล[1]

ภาพที่ 3 – 5 เครื่องมือไซเมตริกดาต้าลอคเกอร์ (Scienmetric Data Logger)

2.2.2 เครื่องมือฟลูคไฮดร้าลอคเกอร์ (Fluke Hydra Logger)

ขนาด 20 ช่องสัญญาณ โดยต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์ทำการส่งสัญญาณไป (Out Put) ผ่านสายสัญญาณเทอร์โมคอปโป (Thermocouple) Type T ณ ตำแหน่งที่วัดแล้วส่งสัญญาณกลับ (In Put) เข้าเครื่องฟลูคไฮดร้าลอคเกอร์ (Fluke Hydra Logger) ทำการแปลงสัญญาณที่ส่งกลับผ่านเข้าโปรแกรม Fluke Hydra Logger ที่ติดตั้งแล้วลงในคอมพิวเตอร์ ประมวลผลข้อมูลได้หน่วยวัดที่ต้องการ

ภาพที่ 3 – 6 เครื่องมือฟลูคไฮดร้าลอคเกอร์ (Fluke Hydra Logger)

[1] สุริยน ศิริธรรมปิติ ปัจจัยที่มีผลต่อการควบแน่นในโบราณสถาน หน้า4-5

2.2.3 เครื่องโฮโบ (Hobo)

ประกอบไปด้วยช่องสัญญาณในการเก็บอุณหภูมิ 3 ช่องสัญญาณ และช่องสัญญาณในการเก็บข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ 1 ช่องสัญญาณ ทำการเขียนคำสั่งในการทำงานโดยใช้โปรแกรม Boxcarpro

ภาพที่ 3 – 7 เครื่องมือโฮโบ (Hobo)

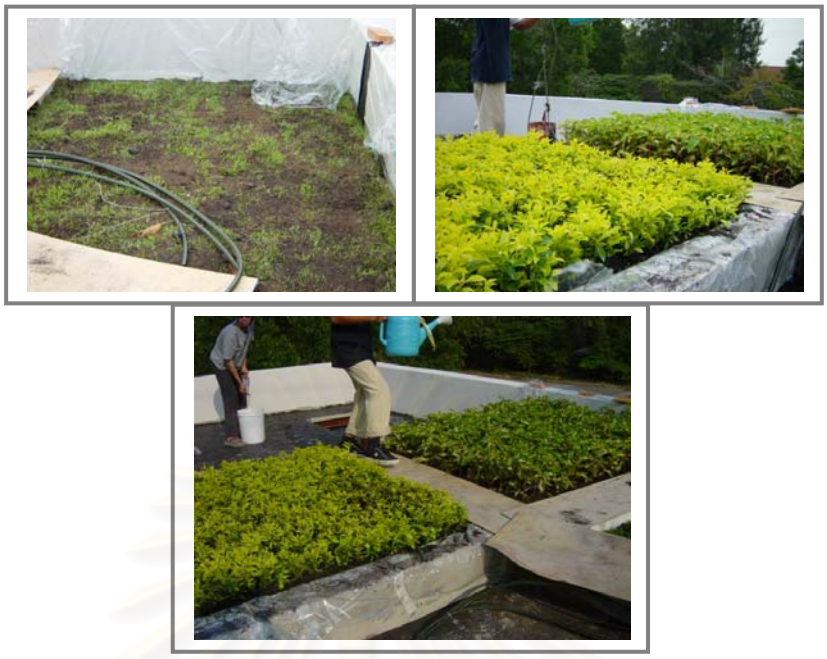
2.3 การเตรียมกล่องทดลอง

ในการเตรียมกล่องทดลองเปรียบเทียบศักยภาพของการป้องกันความร้อน ระหว่างการใช้สวนหลังคากับระบบหลังคาที่ใช้กันทั่วไป แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

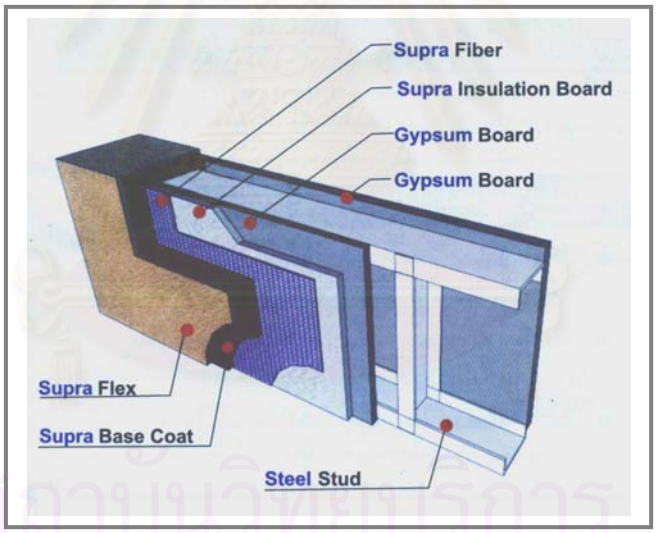
- รูปแบบของกล่องทดลอง
- ทิศทางและตำแหน่งการวางกล่องทดลอง

2.3.1 รูปแบบของกล่องทดลอง

กล่องทดลอง (ภาพที่ 3 – 8) มีขนาดความกว้าง 4.40 เมตร ยาว 7.90 เมตร สูง 3.00 เมตร ใช้ระบบผนัง Suprawall (ภาพที่ 3 – 9) ซึ่งเป็นระบบผนังที่สามารถป้องกันอิทธิพลจากภายนอกได้ 100% ทำให้ข้อมูลที่ได้ไม่มีค่าผิดเพี้ยน น่าเชื่อถือ และก่อสร้างง่าย รวดเร็ว จึงเป็นระบบผนังที่มีความเหมาะสมในการเลือกมาใช้สร้างกล่องทดลอง (แบบกล่องทดลองดูที่ภาคผนวกท้ายเล่ม)



ภาพที่ 3 – 8 กล่องทดลองที่ใช้เก็บข้อมูลจริง



ภาพที่ 3 – 9 โครงสร้างระบบผนัง Suprawall

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

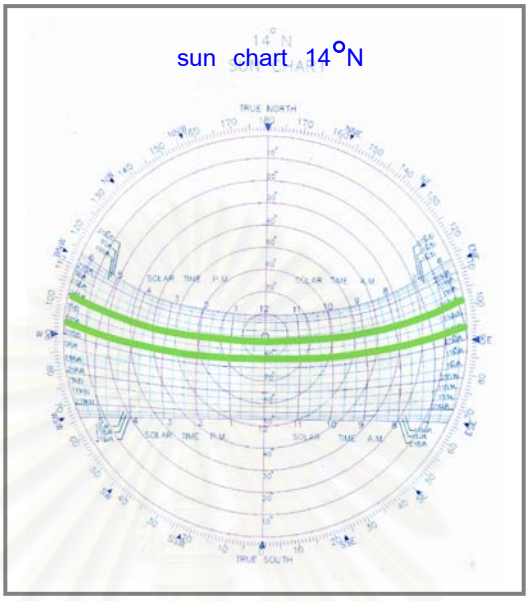
2.3.2 ทิศทางและตำแหน่งการวางกล่องทดลอง

เนื่องจากในการเก็บข้อมูลการจัดวางตำแหน่งของกล่องทดลองมีความสำคัญยิ่ง ซึ่งสิ่งที่ต้องคำนึงถึงได้แก่

- ทิศทางการโคจรของดวงอาทิตย์
- ทิศทางของกระแสลม

1. **ทิศทางของดวงอาทิตย์**

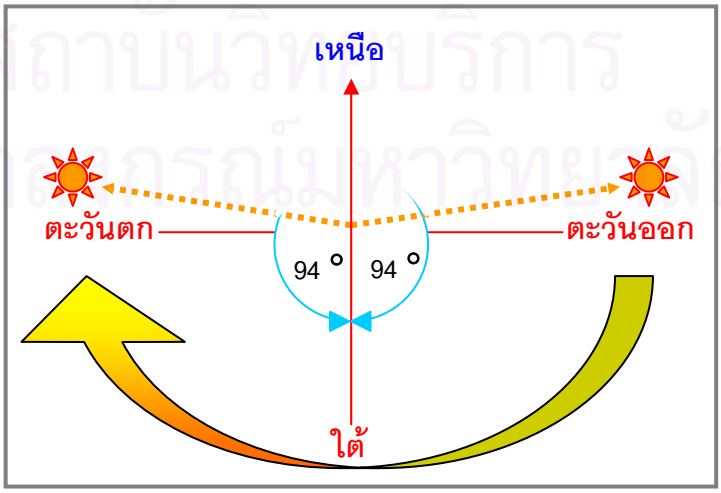
เนื่องจากช่วงเวลาในการเก็บข้อมูลเป็นช่วงเดือนเมษายน ซึ่งเมื่อดูจากซันชาทต์ (Sun Chart) ดูภาพที่ 3 - 10 แล้วพบว่า



ภาพที่ 3 – 10 Sun Chart ที่ 14 องศาเหนือ แสดงแนวการโคจรของดวงอาทิตย์ในเดือนเมษายน

ที่มา : สุนทร บุญญาธิการ. บ้านประหยัดพลังงาน. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.

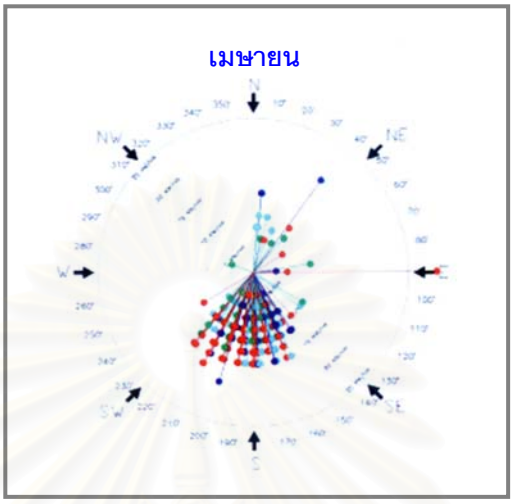
ในเดือนเมษายน ดวงอาทิตย์ขึ้นทางทิศตะวันออกทำมุม 94-98 องศา กับทิศใต้ และโคจรอ้อมทางทิศใต้ทำมุมยก 80 องศากับพื้นระดับดินในเวลาเที่ยงวัน ตกทางทิศตะวันตกทำมุม 94-98 องศา กับทิศใต้เช่นกัน (ดูภาพ 3 – 11)



ภาพที่ 3 – 11 ลักษณะการโคจรของดวงอาทิตย์ในเดือนเมษายน

2. **ทิศทางของกระแสลม**

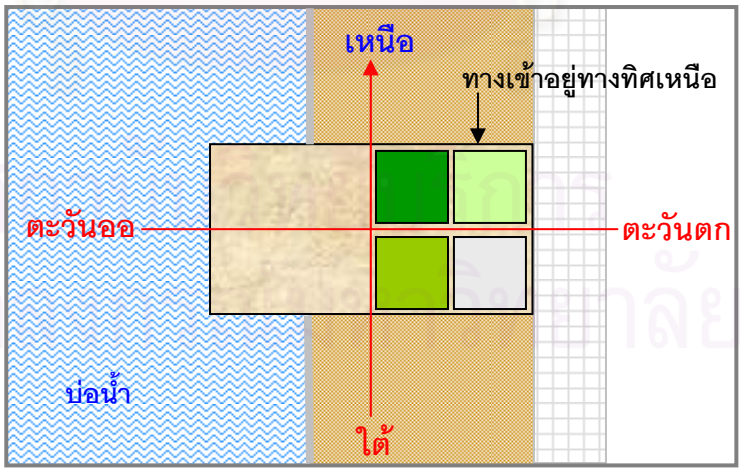
ช่วงเวลาที่ทำการเก็บข้อมูลในเดือนเมษายนทิศทางของกระแสลมจะมาทางทิศตะวันตกเฉียงใต้และทิศใต้เป็นส่วนใหญ่ ดังภาพที่ 3 – 12



ภาพที่ 3 – 12 ทิศทางของลมในเดือนเมษายน

ที่มา : สุนทร บุญญาธิการ. บ้านประหยัดพลังงาน. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.

ดังนั้น จากทิศทางการโคจรของดวงอาทิตย์ และทิศทางของกระแสลมในเดือนเมษายน จึงสามารถสรุปตำแหน่งในการวางกล่องทดลอง ได้ดังนี้



ภาพที่ 3 – 13 ลักษณะการวางกล่องทดลอง

3. ขั้นตอนในการเก็บข้อมูลเพื่อนำมาวิจัย

ในขั้นตอนของระเบียบวิธีการวิจัย แบ่งขั้นตอนในการวิจัยออกเป็น 3 ชุดการทดลองหลัก เพื่อตอบสนองต่อวัตถุประสงค์ในการวิจัย และพิสูจน์สมมติฐานในการวิจัยดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1

การศึกษาอิทธิพลในการป้องกันความร้อนที่เข้าสู่ภายในอาคาร โดยการใช้สวนหลังคา

ชุดการทดลองที่ 1.1 การศึกษาชนิดของต้นไม้ที่ปกคลุมดิน

ชุดการทดลองที่ 1.2 การศึกษาปริมาณความชื้นในดิน

ชุดการทดลองที่ 2

การศึกษาแนวทางในการนำประโยชน์ของสวนหลังคามาใช้ในการออกแบบเพื่อปรับปรุงอาคารในระบบปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ

ชุดการทดลองที่ 2.1 การศึกษาสวนหลังคากับอาคารในระบบปรับอากาศ

ชุดการทดลองที่ 2.2 การศึกษาสวนหลังคากับอาคารในระบบไม่ปรับอากาศ

ชุดการทดลองเพิ่มเติม

การทดลองเพิ่มเติมที่ 1 การเปรียบเทียบสวนหลังคากับหลังคาฉนวน 6 นิ้ว ในระบบปรับอากาศ

การทดลองเพิ่มเติมที่ 1 การเปรียบเทียบสวนหลังคากับหลังคาฉนวน 6 นิ้ว ในระบบไม่ปรับอากาศ

ชุดการทดลองที่ 3

การศึกษาอิทธิพลของมวลสารของหลังคาในการหน่วงเหนี่ยวความร้อนที่เข้ามาภายในอาคาร

ชุดการทดลองที่ 3.1 การศึกษาระยะเวลาในการหน่วงเหนี่ยวความร้อน

ชุดการทดลองที่ 3.2 การศึกษาความสามารถในการเก็บกักความเย็นของสวนหลังคา

<u>ชุดการทดลองที่ 1</u> การศึกษาอิทธิพลในการป้องกันความร้อนที่เข้าสู่ภายในอาคาร โดยการใช้สวนหลังคา

<u>การทดลองที่ 1.1</u> การศึกษาชนิดของต้นไม้ที่ปกคลุมดิน

- แบ่งกลุ่มชนิดของต้นไม้ที่จะนำมาทดสอบ
- กำหนดขอบเขตของตัวแปรที่ต้องการศึกษา
- ขั้นตอนในการทดลอง

1) **แบ่งกลุ่มชนิดของต้นไม้ที่จะนำมาทดสอบ**

ต้นไม้ที่เลือกเป็นตัวแทนในการนำมาทดสอบแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มคือ

	หญ้ามาเลเซีย เป็นหญ้าที่มีลักษณะใบหนา ผิวใบเป็นมัน มีความสูงประมาณ 5 – 10 เซนติเมตร
	ต้นเทียนทองเล็ก เป็นตัวแทนของพืชคลุมดิน มีพุ่มใบหนาแน่น ใบมีสีเขียวเป็นมัน ลำต้นสูงประมาณ 15 – 20 เซนติเมตร
	ต้นนาคชมพู เป็นตัวแทนของไม้พุ่ม มีพุ่มใบหนาแน่น ใบมีลักษณะใหญ่ซ้อนกันเป็นชั้น ลำต้นสูงประมาณ 40 – 50 เซนติเมตร

ภาพที่ 3 – 14 การแบ่งกลุ่มของต้นไม้ที่ทำการทดสอบ

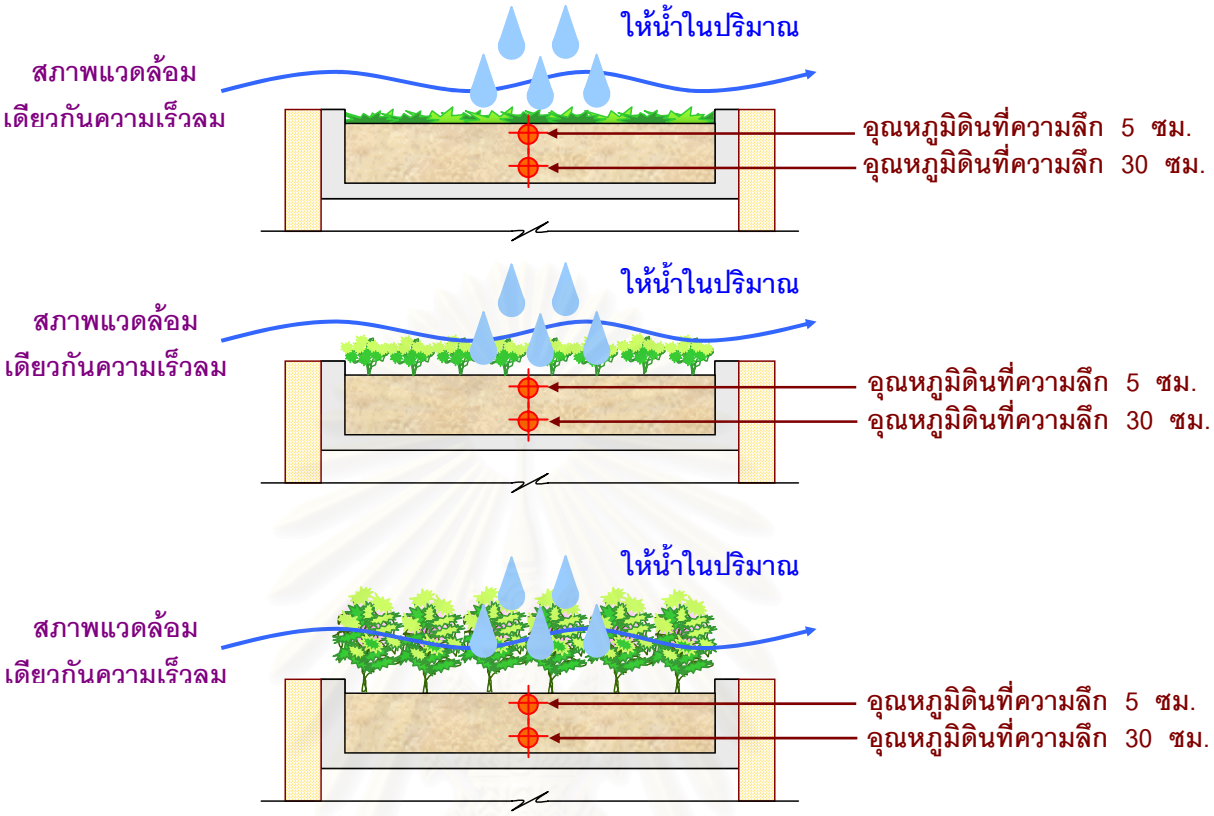
2) **กำหนดขอบเขตของตัวแปรที่ทำการศึกษา**

ตัวแปรต้น - ประเภทของต้นไม้ ได้แก่ หญ้า พืชคลุมดิน ไม้พุ่ม

ตัวแปรตาม - อุณหภูมิดินที่ระดับความลึก 5 ซม. และ 30 ซม. ของดินที่ถูกปกคลุมด้วย หญ้า พืชคลุมดิน และไม้พุ่ม

ตัวแปรควบคุม - ทำการเก็บข้อมูลในสภาพแวดล้อมเดียวกัน ความเร็วลมเท่ากัน ส่วนของดินเท่ากัน และให้ปริมาณน้ำที่เท่ากัน

3) **ขั้นตอนในการทดลอง**



ภาพที่ 3 – 15 ลักษณะและตำแหน่งของการเก็บข้อมูล

ทำการเก็บข้อมูลอุณหภูมิดินที่ระดับความลึก 5 ซม. และ 30 ซม. โดยต้นไม้ที่ปลูกทั้ง 3 กลุ่ม จะต้องได้รับอิทธิพลจากสภาพแวดล้อม และการให้น้ำในปริมาณที่เท่ากัน แล้วจึงนำข้อมูลอุณหภูมิที่ได้มาหาความสัมพันธ์ของประเภทของต้นไม้กับอุณหภูมิดิน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<u>การทดลองที่ 1.2</u> การศึกษาปริมาณความชื้นในดิน

- แบ่งกลุ่มชนิดของต้นไม้ที่จะนำมาทดสอบ
- กำหนดขอบเขตของตัวแปรที่ต้องการศึกษา
- ขั้นตอนในการทดลอง

1) แบ่งกลุ่มชนิดของต้นไม้ที่จะนำมาทดสอบ

ต้นไม้ที่เลือกเป็นตัวแทนในการนำมาทดสอบแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มคือ

	หญ้ามาเลเซีย เป็นหญ้าที่มีลักษณะใบหนา ผิวใบเป็นมัน มีความสูงประมาณ 5 – 10 เซนติเมตร
	ต้นเทียนทองเล็ก เป็นตัวแทนของพืชคลุมดิน มีพุ่มใบหนาแน่น ใบมีสีเขียวเป็นมัน ลำต้นสูงประมาณ 15 – 20 เซนติเมตร
	ต้นนาคชมพู เป็นตัวแทนของไม้พุ่ม มีพุ่มใบหนาแน่น ใบมีลักษณะใหญ่ซ้อนกันเป็นชั้น ลำต้นสูงประมาณ 40 – 50 เซนติเมตร

ภาพที่ 3 – 16 การแบ่งกลุ่มของต้นไม้ที่ทำการทดสองที่ 1.2

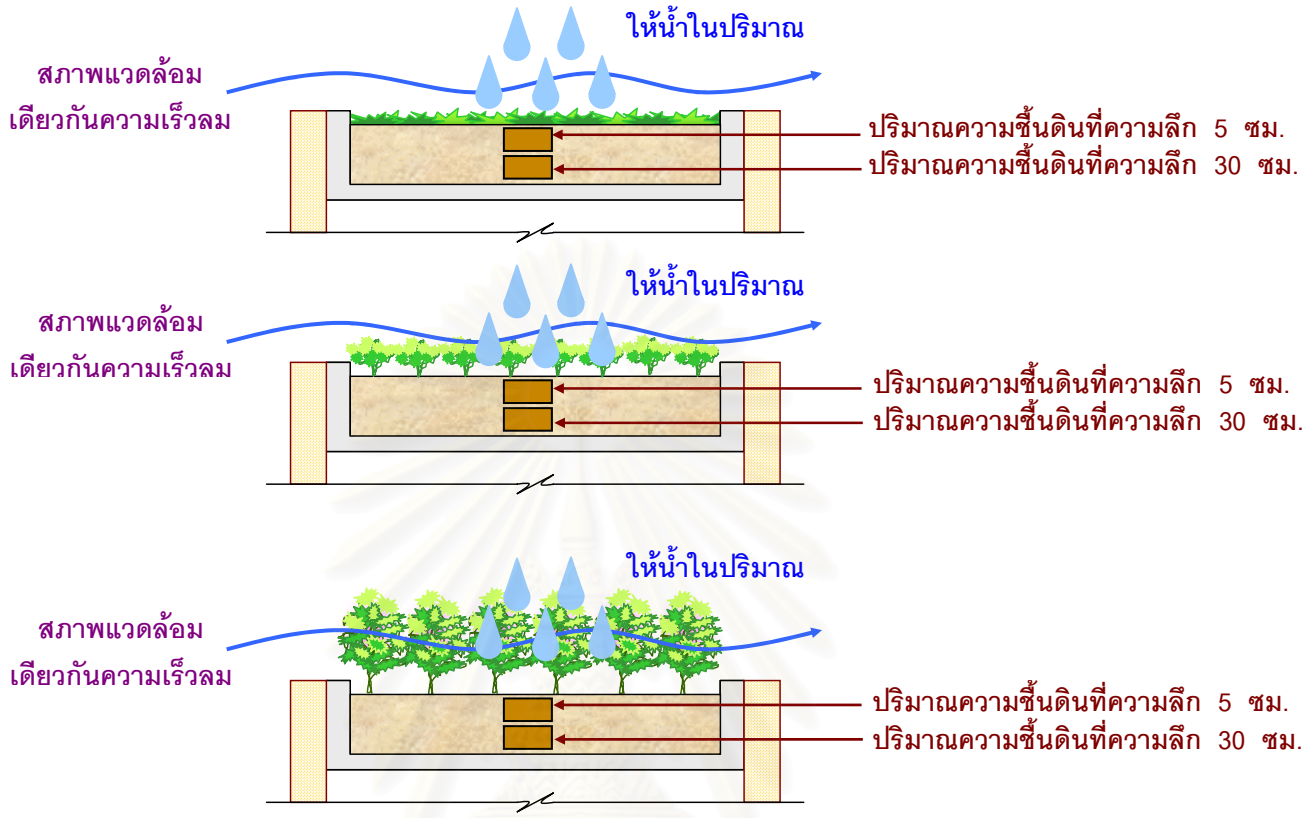
2) กำหนดขอบเขตของตัวแปรที่ทำการศึกษา

ตัวแปรต้น - ประเภทของต้นไม้ ได้แก่ หญ้า พืชคลุมดิน ไม้พุ่ม

ตัวแปรตาม - ปริมาณความชื้นในดิน (%) ที่ปกคลุมด้วยหญ้า พืชคลุมดิน และไม้พุ่ม

ตัวแปรควบคุม - ทำการเก็บข้อมูลในสภาพแวดล้อมเดียวกัน ความเร็วลมเท่ากัน ส่วนประกอบของดินเท่ากัน และให้น้ำในปริมาตรที่เท่ากัน

3) ขั้นตอนในการทดลอง



ภาพที่ 3 – 17 ลักษณะและตำแหน่งของการเก็บข้อมูลการทดลองที่ 1.2

ทำการเก็บข้อมูลอุณหภูมิดินที่ระดับความลึก 5 ซม. และ 30 ซม. ที่อยู่ใต้ต้นหญ้า พืชคลุมดิน ไม้พุ่ม ซึ่งต้นไม้ทั้ง 3 ได้รับอิทธิพลจากสภาพแวดล้อมและการให้น้ำในปริมาณที่เท่ากัน แล้วนำดินนั้นมาอบให้แห้งจนดินมีน้ำหนักคงที่ ทำการจดบันทึกข้อมูล ได้แก่ น้ำหนักน้ำในดิน(g.) และน้ำหนักดินแห้ง(g.) ทำการเปรียบเทียบเทียบหาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับปริมาณความชื้นในดิน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<u>ชุดการทดลองที่ 2</u> **การศึกษาแนวทางในการนำประโยชน์ของสวนหลังคามาใช้ในการออกแบบเพื่อปรับปรุงอาคารในระบบปรับอากาศ และไม่ปรับอากาศ**

<u>การทดลองที่ 2.1</u> การศึกษาสวนหลังคากับอาคารในระบบปรับอากาศ

- แบ่งกลุ่มชนิดของต้นไม้ที่จะนำมาทดสอบ
- กำหนดขอบเขตของตัวแปรที่ต้องการศึกษา
- ขั้นตอนในการทดลอง

1) **แบ่งประเภทของหลังคาที่ทำการศึกษา**

	สวนหลังคาหญ้า
	สวนหลังคาพืชคลุมดิน
	สวนหลังคาไม้พุ่ม
	หลังคาคอนกรีต

ภาพที่ 3 – 18 การแบ่งประเภทหลังคาของการทดลองที่ 2.1

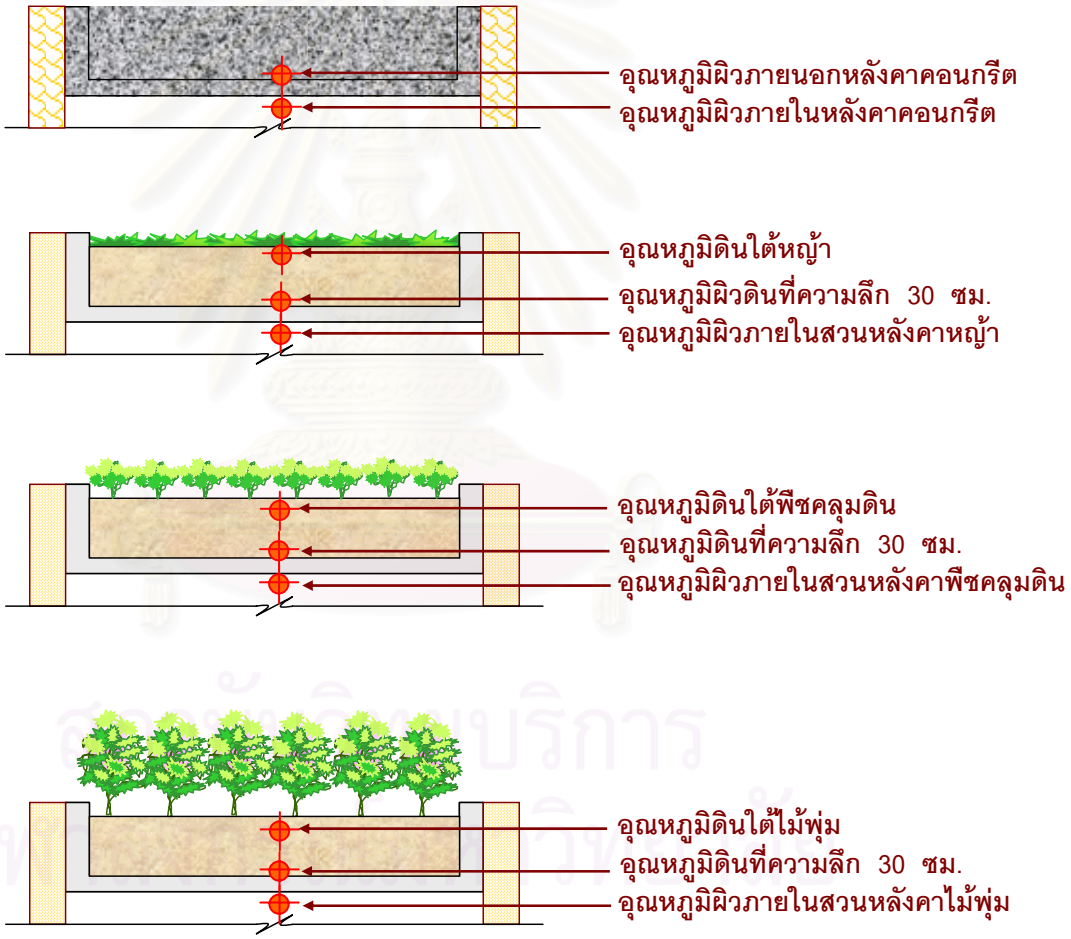
2) **กำหนดขอบเขตของตัวแปรที่ทำการศึกษา**

ตัวแปรต้น - รูปแบบของหลังคา ได้แก่ สวนหลังคาหญ้า พืชคลุมดิน ไม้พุ่ม และหลังคาคอนกรีต

ตัวแปรตาม - อุณหภูมิผิวหลังคาภายในของสวนหลังคาหญ้า พืชคลุมดิน ไม้พุ่ม และหลังคาคอนกรีต

ตัวแปรควบคุม - ทำการเก็บข้อมูลในสภาพแวดล้อมเดียวกัน ความเร็วลมเท่ากัน ส่วนประกอบของดินเท่ากัน และให้น้ำในปริมาณที่เท่ากัน

3) **ขั้นตอนในการทดลอง**



ภาพที่ 3 – 19 ลักษณะและตำแหน่งของการเก็บข้อมูลการทดลองที่ 2.1

ทำการเก็บข้อมูลในตำแหน่งต่างๆ ดังภาพ และนำข้อมูลหลักได้แก่ อุณหภูมิผิวด้านในของแต่ละประเภทหลังคามาคำนวณหาปริมาณความร้อนที่เข้ามาทางหลังคา เปรียบกับหลังคาคอนกรีต

<u>การทดลองที่</u> 2.2 การศึกษาสวนหลังคากับอาคารในระบบไม่ปรับอากาศ

- แบ่งประเภทของหลังคาที่ทำการศึกษา
- กำหนดขอบเขตตัวแปรที่ทำการศึกษา
- ขั้นตอนในการทดลอง

1) **แบ่งประเภทของหลังคาที่ทำการศึกษา**

	สวนหลังคาหญ้า
	สวนหลังคาพืชคลุมดิน
	สวนหลังคาไม้พุ่ม
	หลังคาคอนกรีต

ภาพที่ 3 – 20 การแบ่งประเภทหลังคาของการทดลองที่ 2.2

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

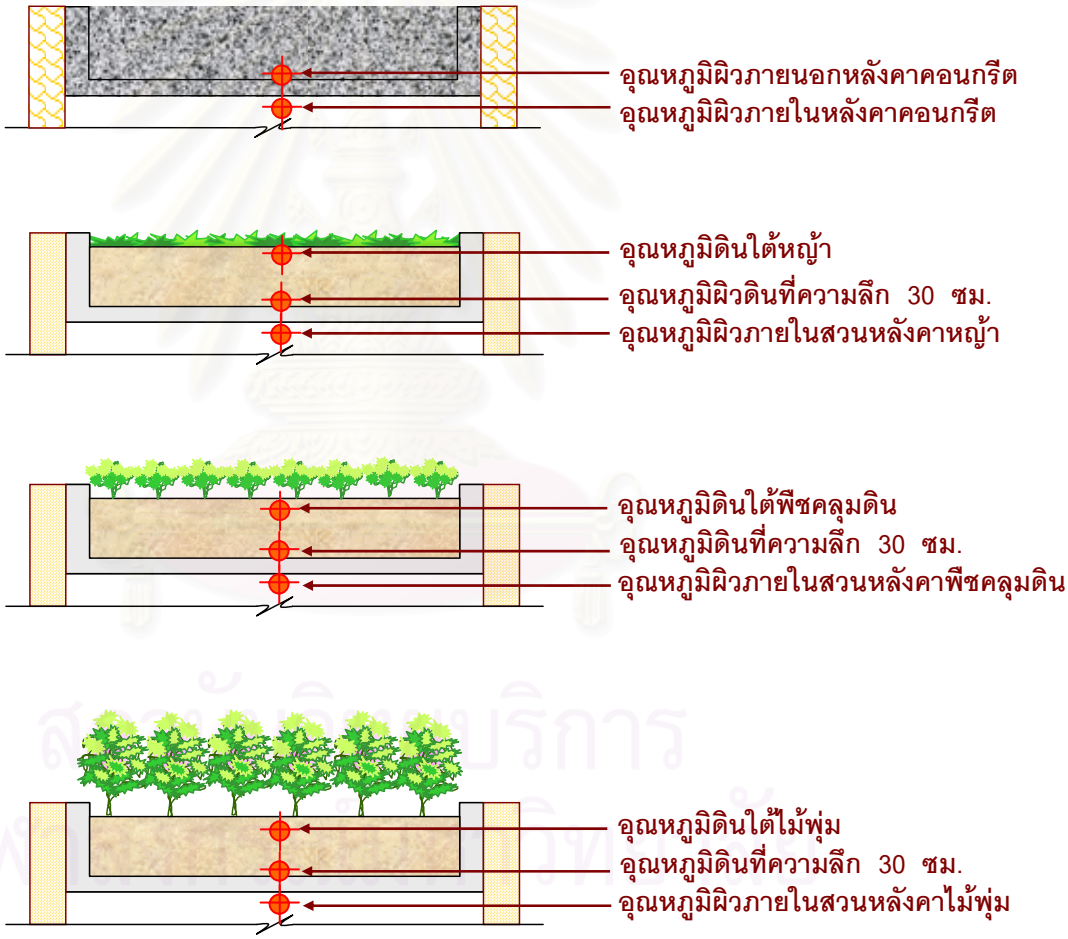
2) **กำหนดขอบเขตของตัวแปรที่ทำการศึกษา**

ตัวแปรต้น - รูปแบบของหลังคา ได้แก่ สวนหลังคาหญ้า พืชคลุมดิน ไม้พุ่ม และหลังคาคอนกรีต

ตัวแปรตาม - อุณหภูมิผิวภายในของสวนหลังคาหญ้า พืชคลุมดิน ไม้พุ่ม และหลังคาคอนกรีต

ตัวแปรควบคุม - ทำการเก็บข้อมูลในสภาพแวดล้อมเดียวกัน ความเร็วลมเท่ากัน ส่วนประกอบของดินเท่ากัน และให้น้ำในปริมาณที่เท่ากัน

3) **ขั้นตอนในการทดลอง**



ภาพที่ 3 –21 ลักษณะและตำแหน่งของการเก็บข้อมูลการทดลองที่ 2.2

ทำการเก็บข้อมูลในตำแหน่งต่างๆ ดังภาพ และนำข้อมูลหลักได้แก่ อุณหภูมิผิวด้านในของแต่ละประเภทหลังคามาเปรียบเทียบกันว่า หลังคาใดที่ทำให้ผู้อยู่อาศัยรู้สึกว่าอยู่แล้วสบายกว่ากัน

<u>ชุดการทดลองเพิ่มเติม</u> **การเปรียบเทียบศักยภาพระหว่างสวนหลังคาและหลังคาฉนวน 6 นิ้ว**

<u>การทดลองเพิ่มเติมที่ 1</u> การเปรียบเทียบศักยภาพระหว่างสวนหลังคาและหลังคาฉนวน 6 นิ้ว ในระบบปรับอากาศ

- แบ่งประเภทของหลังคาที่ทำหารศึกษา
- กำหนดขอบเขตของตัวแปรที่ทำการศึกษา
- ขั้นตอนในการทดลอง

1) แบ่งประเภทของหลังคาที่ทำการศึกษา

	สวนหลังคาหญ้า
	สวนหลังคาพืชคลุมดิน
	สวนหลังคาไม้พุ่ม
	หลังคาคอนกรีต
	หลังคาฉนวน 6 นิ้ว

ภาพที่ 3 – 22 การแบ่งประเภทหลังคาของการทดลองเพิ่มเติมที่ 1

2) **กำหนดขอบเขตของตัวแปรที่ทำการศึกษา**

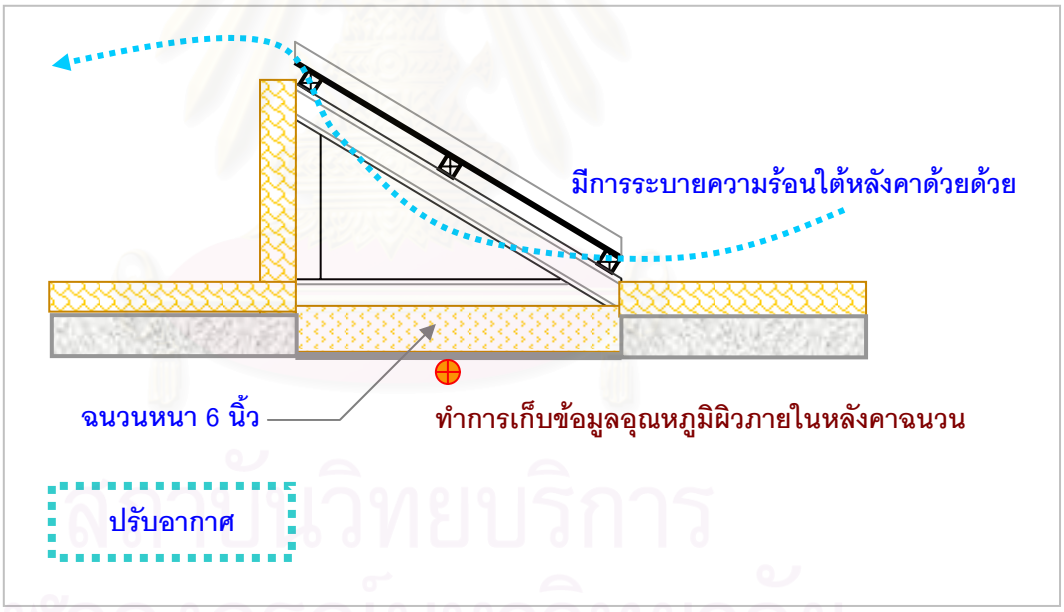
ตัวแปรต้น - รูปแบบของหลังคา ได้แก่ สวนหลังคาหญ้า พืชคลุมดิน ไม้พุ่ม หลังคาคอนกรีต และหลังคาฉนวน 6 นิ้ว

ตัวแปรตาม - อุณหภูมิผิวหลังคาภายในของสวนหลังคาหญ้า พืชคลุมดิน ไม้พุ่ม หลังคาคอนกรีต และหลังคาฉนวน 6 นิ้ว

ตัวแปรควบคุม - ทำการเก็บข้อมูลในสภาพแวดล้อมเดียวกัน ความเร็วลมเท่ากัน ส่วนประกอบของดินเท่ากัน และให้น้ำในปริมาณที่เท่ากัน

3) **ขั้นตอนในการทดลอง**

ทำการเก็บข้อมูลอุณหภูมิผิวด้านในของหลังคาหลังคาคอนกรีต หลังคาฉนวน 6 นิ้ว สวนหลังคาหญ้า พืชคลุมดิน และไม้พุ่ม เพื่อนำมาคำนวณหาปริมาณความร้อนที่เข้ามาทางหลังคา



ภาพที่ 3 – 23 ลักษณะและตำแหน่งของการเก็บข้อมูลหลังคาฉนวนในชุดการทดลองเพิ่มเติมที่ 1

<u>การทดลองเพิ่มเติมที่ 2</u> การเปรียบเทียบศักยภาพระหว่างสวนหลังคาและหลังคาฉนวน 6 นิ้ว ในระบบไม่ปรับอากาศ

- แบ่งประเภทของหลังคาที่ทำหารศึกษา
- กำหนดขอบเขตของตัวแปรที่ทำการศึกษา
- ขั้นตอนในการทดลอง

1) แบ่งประเภทของหลังคาที่ทำการศึกษา

	สวนหลังคาหญ้า
	สวนหลังคาพืชคลุมดิน
	สวนหลังคาไม้พุ่ม
	หลังคาคอนกรีต
	หลังคาฉนวน 6 นิ้ว

ภาพที่ 3 – 24 การแบ่งประเภทหลังคาของการทดลองเพิ่มเติมที่ 2

2) **กำหนดขอบเขตของตัวแปรที่ทำการศึกษา**

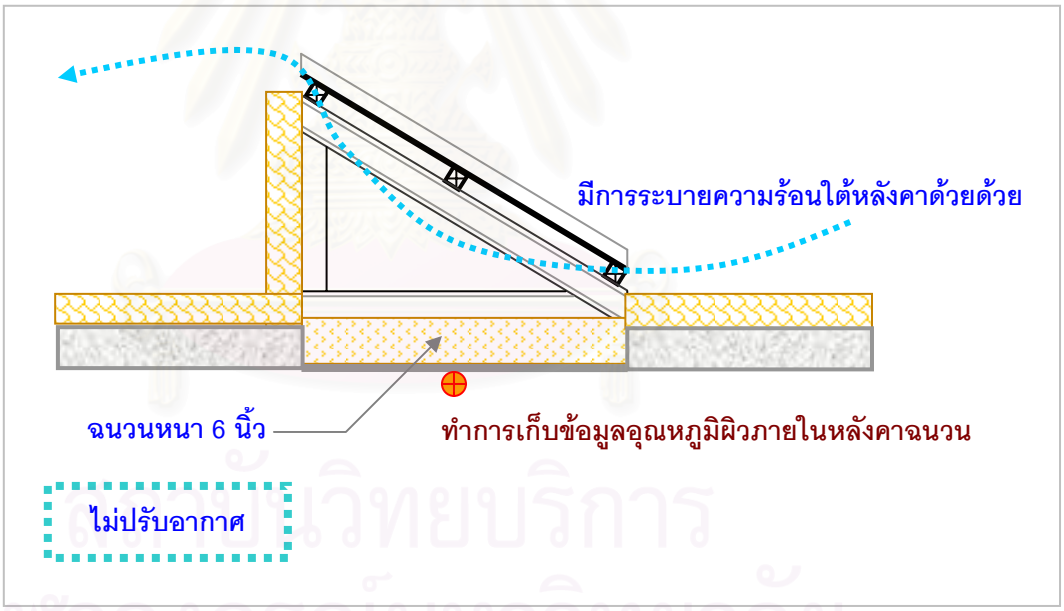
ตัวแปรต้น - รูปแบบของหลังคา ได้แก่ สวนหลังคาหญ้า พืชคลุมดิน ไม้พุ่ม หลังคาคอนกรีต และหลังคาฉนวน 6 นิ้ว

ตัวแปรตาม - อุณหภูมิผิวหลังคาภายในของสวนหลังคาหญ้า พืชคลุมดิน ไม้พุ่ม หลังคาคอนกรีต และหลังคาฉนวน 6 นิ้ว

ตัวแปรควบคุม - ทำการเก็บข้อมูลในสภาพแวดล้อมเดียวกัน ความเร็วลมเท่ากัน ส่วนประกอบของดินเท่ากัน และให้น้ำในปริมาณที่เท่ากัน

3) **ขั้นตอนในการทดลอง**

ทำการเก็บข้อมูลอุณหภูมิผิวด้านในของหลังคาหลังคาคอนกรีต หลังคาฉนวน 6 นิ้ว สวนหลังคาหญ้า พืชคลุมดิน และไม้พุ่ม เพื่อนำมาคำนวณหาปริมาณความร้อนที่เข้ามาทางหลังคา



ภาพที่ 3 – 25 ลักษณะและตำแหน่งของการเก็บข้อมูลหลังคาฉนวนในชุดการทดลองเพิ่มเติมที่ 2

<u>ชุดการทดลองที่ 3</u> การศึกษาอิทธิพลของมวลสารของหลังคาในการหน่วงเหนี่ยวความร้อนที่เข้ามาภายในอาคาร

<u>การทดลองที่</u> <u>3.1</u> การศึกษาระยะเวลาในการหน่วงเหนี่ยวความร้อน

- แบ่งประเภทของหลังคาที่ทำหารศึกษา
- กำหนดขอบเขตของตัวแปรที่ทำการศึกษา
- ขั้นตอนในการทดลอง

1) **การแบ่งประเภทของหลังคาที่ทำการศึกษา**

	สวนหลังคาหญ้า
	สวนหลังคาพืชคลุมดิน
	สวนหลังคาไม้พุ่ม
	หลังคาคอนกรีต

ภาพที่ 3 – 26 การแบ่งประเภทหลังคาของการทดลองที่ 3.1

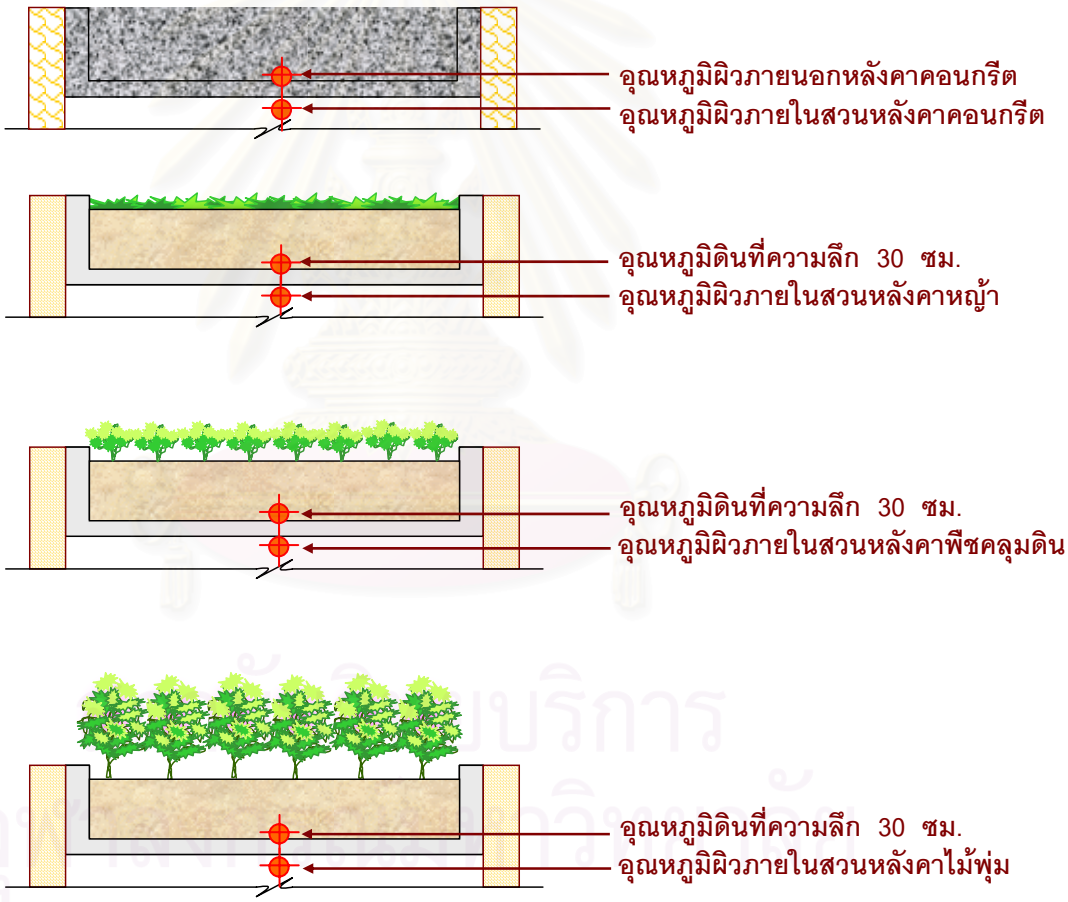
2) **กำหนดขอบเขตของตัวแปรที่ทำการศึกษา**

ตัวแปรต้น - รูปแบบของหลังคา ได้แก่ สวนหลังคาหญ้า พืชคลุมดิน ไม้พุ่ม และหลังคาคอนกรีต

ตัวแปรตาม - อุณหภูมิผิวภายในของสวนหลังคาหญ้า พืชคลุมดิน ไม้พุ่ม และหลังคาคอนกรีต

ตัวแปรควบคุม - ทำการเก็บข้อมูลในสภาพแวดล้อมเดียวกัน ความเร็วลมเท่ากัน ส่วนประกอบของดินเท่ากัน และให้น้ำในปริมาณที่เท่ากัน

3) **ขั้นตอนในการทดลอง**



ภาพที่ 3 – 27 ลักษณะและตำแหน่งของการเก็บข้อมูลการทดลองที่ 3.1

ทำการเก็บข้อมูลอุณหภูมิผิวภายใน แล้วทำการเปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศภายนอก ดู ณ เวลาที่อุณหภูมิผิวหลังคาภายในมีอุณหภูมิสูงสุดเทียบกับเวลาที่อุณหภูมิอากาศสูงสุดว่าแตกต่างกันกี่ชั่วโมง

<u>การทดลองที่</u> 3.2 การศึกษาความสามารถในการเก็บกักความเย็นของสวนหลังคา

- แบ่งประเภทของสวนหลังคาที่ทำการศึกษา
- กำหนดขอบเขตของตัวแปรที่ทำการศึกษา
- ขั้นตอนในการทดลอง

1) แบ่งประเภทของหลังคาที่ทำการศึกษา

	สวนหลังคาหญ้า
	สวนหลังคาพืชคลุมดิน
	สวนหลังคาไม้พุ่ม
	หลังคาคอนกรีต

ภาพที่ 3 – 28 การแบ่งประเภทหลังคาของการทดลองที่ 3.2

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

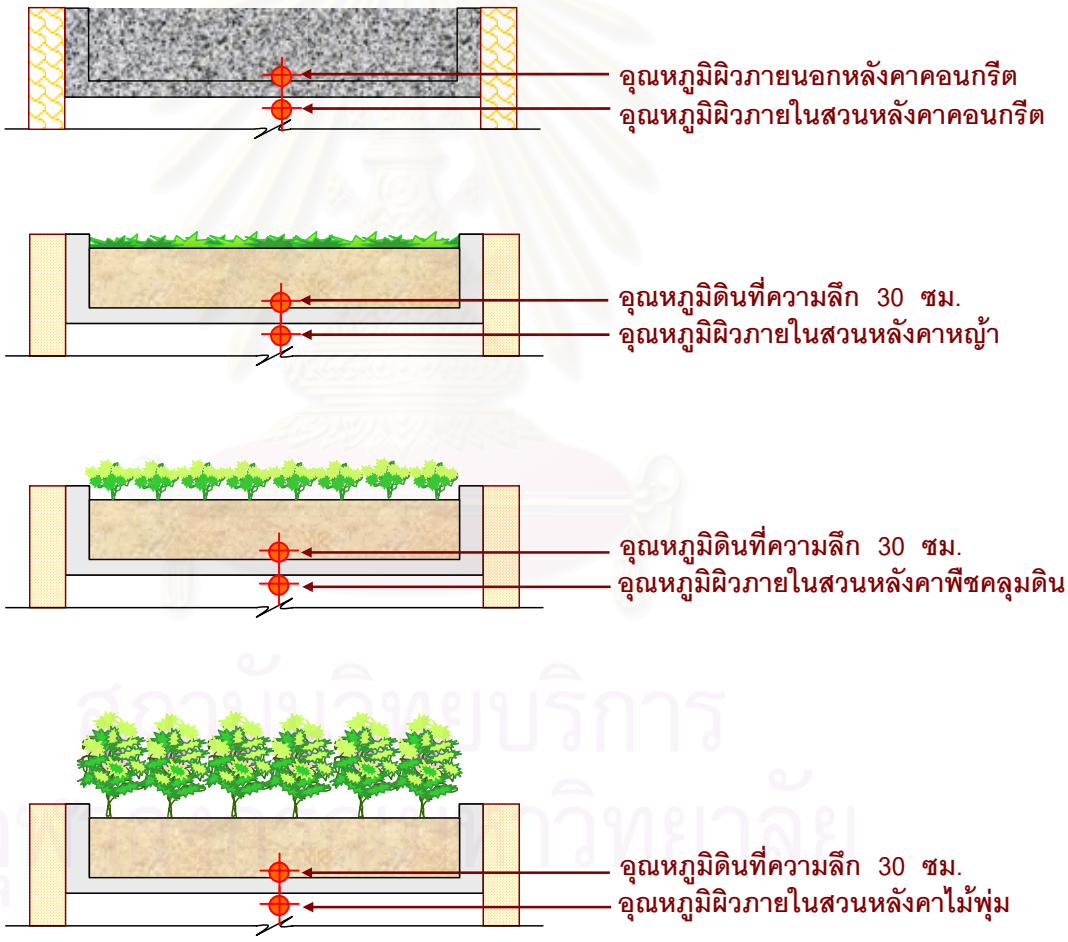
2) **กำหนดขอบเขตของตัวแปรที่ทำการศึกษา**

ตัวแปรต้น - รูปแบบของหลังคา ได้แก่ สวนหลังคาหญ้า พืชคลุมดิน ไม้พุ่ม และหลังคาคอนกรีต

ตัวแปรตาม - อุณหภูมิผิวภายในของสวนหลังคาหญ้า พืชคลุมดิน ไม้พุ่ม และหลังคาคอนกรีต

ตัวแปรควบคุม - ทำการเก็บข้อมูลในสภาพแวดล้อมเดียวกัน ความเร็วลมเท่ากัน ส่วนประกอบของดินเท่ากัน และให้น้ำในปริมาณที่เท่ากัน

3) **ขั้นตอนในการทดลอง**



ภาพที่ 3 – 29 ลักษณะและตำแหน่งของการเก็บข้อมูลการทดลองที่ 3.2

ทำการเก็บอุณหภูมิผิวหลังคาภายใน โดยการเก็บข้อมูลในระบบปรับอากาศก่อนเป็นเวลา 1 วัน แล้วจึงทำการปิดเครื่องปรับอากาศอีก 1 วัน ดูระยะเวลาที่อุณหภูมิผิวหลังคาภายในเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนมีอุณหภูมิผิวคงที่

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการวิเคราะห์ข้อมูล

จากวัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาตัวแปรสำคัญที่มีอิทธิพล ในการป้องกันความร้อนที่เข้าสู่ภายในอาคารทางหลังคา
2. เพื่อศึกษาแนวทางในการนำประโยชน์ของสวนหลังคา (Roof Garden) มาใช้ในการออกแบบและปรับปรุงอาคารในระบบปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ
3. เพื่อศึกษาอิทธิพลของมวลสาร ของสวนหลังคาในการหน่วงเหนี่ยวความร้อนที่เข้ามาภายในอาคาร เพื่อใช้เป็นแนวทางในการออกแบบเพื่อการประหยัดพลังงานต่อไป

จากวัตถุประสงค์ดังกล่าว สามารถจำแนกออกมาเป็นชุดการทดลอง เพื่อตอบปัญหาในการวิจัย ได้ดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1

การศึกษาอิทธิพลในการป้องกันความร้อนที่เข้าสู่ภายในอาคาร โดยการใช้สวนหลังคา

การทดลองที่ 1.1 การศึกษาชนิดของต้นไม้ที่ปกคลุมดิน

การทดลองที่ 1.2 การศึกษาปริมาณความชื้นในดิน

ชุดการทดลองที่ 2

การศึกษาแนวทางในการนำประโยชน์ของสวนหลังคามาใช้ในการออกแบบเพื่อปรับปรุงอาคารในระบบปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ

การทดลองที่ 2.1 การศึกษาสวนหลังคากับอาคารในระบบปรับอากาศ

การทดลองที่ 2.2 การศึกษาสวนหลังคากับอาคารในระบบไม่ปรับอากาศ

ชุดการทดลองที่ 3

การศึกษาอิทธิพลของมวลสารของหลังคาในการหน่วงเหนี่ยวความร้อนที่เข้ามาภายใอาคาร

การทดลองที่ 3.1 การศึกษาระยะเวลาในการหน่วงเหนี่ยวความร้อน

การทดลองที่ 3.2 การศึกษาความสามารถในการเก็บกักความเย็นของสวนหลังคา

4.1 ชุดการทดลองที่ 1 การศึกษาอิทธิพลในการป้องกันความร้อนที่เข้าสู่ภายในอาคาร โดยการใช้สวนหลังคา

จากการการศึกษาเบื้องต้น ได้คัดเลือกตัวแปรที่มีอิทธิพลสำคัญในการป้องกันความร้อนไม่ให้เข้าสู่อาคารทางหลังคา นั่นคือตัวแปรที่ส่งผลให้ดินมีคุณสมบัติในการเป็นฉนวนมากที่สุด ได้แก่ ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิดิน และปริมาณความชื้นในดิน โดยแบ่งเป็นชุดการทดลองได้ ดังนี้

การทดลองที่ 1.1 การศึกษาชนิดของต้นไม้ที่ปกคลุมดิน

การทดลองที่ 1.2 การศึกษาปริมาณความชื้นในดิน

4.1.1 การทดลองที่ 1.1 การศึกษาชนิดของต้นไม้ที่ปกคลุมดิน

วิธีการทดลอง ทำการเก็บข้อมูลตัวแปร เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิดินกับประเภทของต้นไม้

ตัวแปรที่ทำการศึกษา

ตัวแปรต้น - ประเภทของต้นไม้ ได้แก่ หญ้ามาเลเซีย ต้นเทียนทองเล็ก(พืชคลุมดิน) นาคชมพู (ไม้พุ่ม)

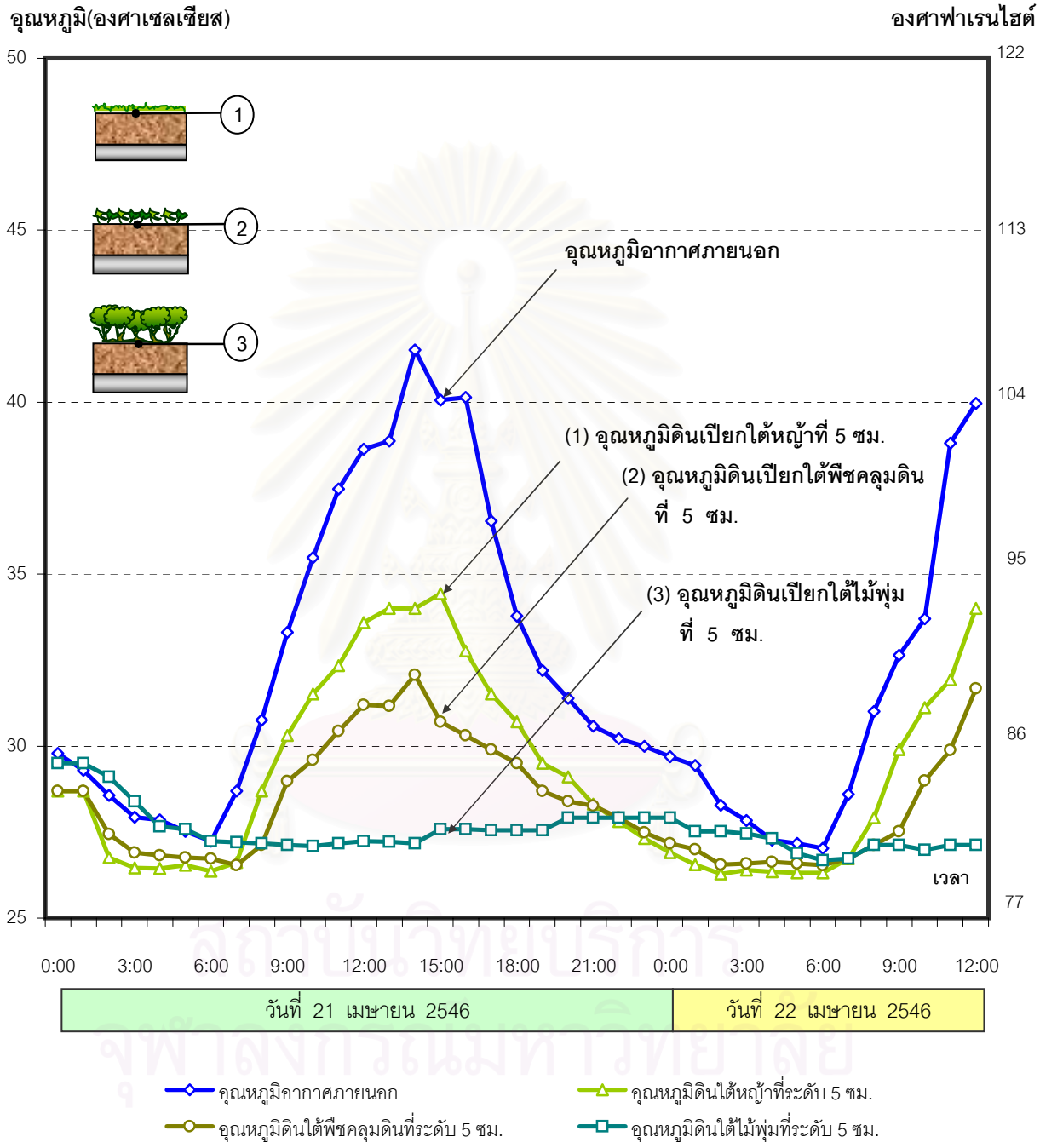
ตัวแปรตาม - อุณหภูมิดินที่ระดับความลึก 5 ซม. และ 30 ซม. ของดินที่ปกคลุมด้วยหญ้า พืชคลุมดิน และไม้พุ่ม

ตัวแปรควบคุม - ทำการเก็บข้อมูลในสภาพแวดล้อมเดียวกัน ความเร็วลมเท่ากัน ส่วนประกอบของดินเท่ากัน และให้น้ำในปริมาณที่เท่ากัน

วิเคราะห์ผลการทดลอง

- อุณหภูมิดินที่ระดับความลึก 5 ซม.ของหญ้า พืชคลุมดิน และไม้พุ่ม
- เปรียบเทียบอุณหภูมิสูงสุด ต่ำสุด เฉลี่ย ของดินที่ระดับความลึก 5 ซม. ของหญ้า พืชคลุมดิน และไม้พุ่ม
- อุณหภูมิดินที่ระดับความลึก 30 ซม.ของหญ้า พืชคลุมดินและไม้พุ่ม
- เปรียบเทียบอุณหภูมิสูงสุด ต่ำสุด เฉลี่ย ของดินที่ระดับความลึก 30 ซม. ของหญ้า พืชคลุมดิน และไม้พุ่ม
- เปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยของดินที่ระดับความลึก 5 ซม. และ 30 ซม.ของหญ้า พืชคลุมดิน และไม้พุ่ม

กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิดินใต้ต้นไม้ต่างชนิดกัน
ได้แก่ หญ้า พืชคลุมดิน และไม้พุ่ม เทียบกับอุณหภูมิอากาศภายนอก
ระหว่างวันที่ 21 มีนาคม 2546 เวลา 0.00น. ถึง วันที่ 22 มีนาคม 2546 เวลา 12.00น.



กราฟที่ 4-1 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิดินใต้ต้นไม้ต่างชนิดกัน ได้แก่ หญ้า พืชคลุมดิน และไม้พุ่ม เทียบกับอุณหภูมิอากาศภายนอกระหว่างวันที่ 21 มีนาคม 2546 เวลา 0.00น. ถึง วันที่ 22 มีนาคม 2546 เวลา 12.00น. พบว่า ในช่วงเวลากลางวันอุณหภูมิดินเปียกใต้หญ้าที่ความลึก 5 ซม. มีอุณหภูมิสูงที่สุด รองลงมาคือดินเปียกใต้พืชคลุมดินและไม้พุ่ม ส่วนในช่วงเวลากลางคืน อุณหภูมิดินเปียกใต้ไม้พุ่มมีค่าสูงสุด รองลงมาคือ พืชคลุมดิน และหญ้าตามลำดับ

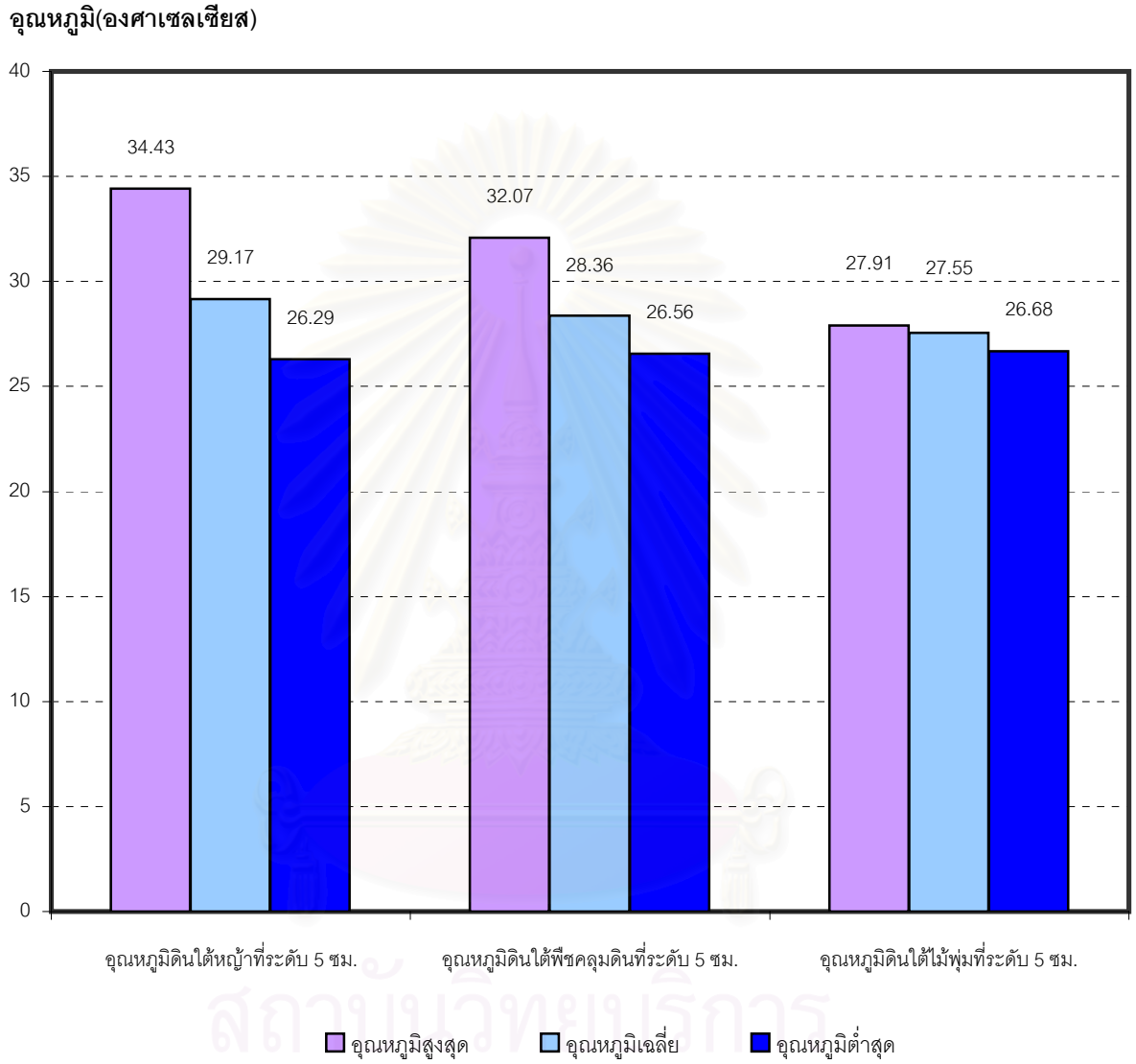
กราฟที่ 4-1 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิดินใต้ต้นไม้ต่างชนิดกัน ได้แก่ หญ้า พืชคลุมดิน และไม้พุ่ม เทียบกับอุณหภูมิอากาศภายนอก

กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิดินใต้ต้นไม้ต่างชนิดกัน ได้แก่ หญ้า พืชคลุมดิน และไม้พุ่ม เทียบกับอุณหภูมิอากาศภายนอก ระหว่างวันที่ 21 มีนาคม 2546 เวลา 0.00น. ถึง วันที่ 22 มีนาคม 2546 เวลา 12.00น. พบว่า ในช่วงกลางวันเวลา 7:00น. ถึง 21:00น. ของวันที่ 21 เมษายน 2546 อุณหภูมิดินเปียกใต้หญ้าที่ความลึก 5 ซม. มีอุณหภูมิสูงที่สุด รองลงมาคือดินเปียกใต้พืชคลุมดิน แลอุณหภูมิดินเปียกไม้พุ่ม ส่วนในช่วงเวลากลางคืน ในเวลา 21:00น. ของวันที่ 21 เมษายน 2546 ถึง ช่วงเวลา 6:30น. ของวันที่ 22 เมษายน 2546 ทิศทางของอุณหภูมิเปลี่ยนไป นั่นคือ อุณหภูมิดินเปียกใต้ไม้พุ่มมีค่าสูงสุด รองลงมาคือ อุณหภูมิดินเปียกใต้พืชคลุมดิน และอุณหภูมิดินเปียกใต้หญ้าตามลำดับ

จะเห็นว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิดินเปียกใต้หญ้า อุณหภูมิดินเปียกใต้พืชคลุมดิน และอุณหภูมิดินเปียกใต้ไม้พุ่มตลอดทั้งวัน แต่ในช่วงเวลากลางคืน 4:00น. ของวันที่ 22 เมษายน 2546 อุณหภูมิดินปียกใต้ไม้พุ่มมีค่าเท่ากับอุณหภูมิอากาศ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แผนภูมิแท่งแสดงอุณหภูมิสูงสุด ต่ำสุด และอุณหภูมิเฉลี่ย
ของอุณหภูมิดินที่ระดับความลึก 5 ซม.ใต้หญ้า พืชคลุมดิน และไม้พุ่ม
ระหว่างวันที่ 21 มีนาคม 2546 เวลา 0.00น. ถึง วันที่ 22 มีนาคม 2546 เวลา 12.00น.



กราฟที่ 4-2 แผนภูมิแท่งแสดงอุณหภูมิสูงสุด ต่ำสุด และอุณหภูมิเฉลี่ย ของอุณหภูมิดินที่ระดับความลึก 5 ซม.ใต้หญ้า พืชคลุมดิน และไม้พุ่ม ระหว่างวันที่ 21 มีนาคม 2546 เวลา 0.00น. ถึง วันที่ 22 มีนาคม 2546 เวลา 12.00น. พบว่า อุณหภูมิเฉลี่ยดินที่ความลึก 5 ซม. ของหญ้ามีค่ามากกว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของดินที่ระดับ 5 ซม. ใต้ไม้พุ่ม และพืชคลุมดิน ตามลำดับ โดยดินที่ความลึก 5 ซม. ใต้หญ้ามีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุด และต่ำสุดมากที่สุด รองลงมาคือ พืชคลุมดิน ส่วนไม้พุ่มมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดน้อยมาก เมื่อเทียบกับหญ้าและพืชคลุมดิน

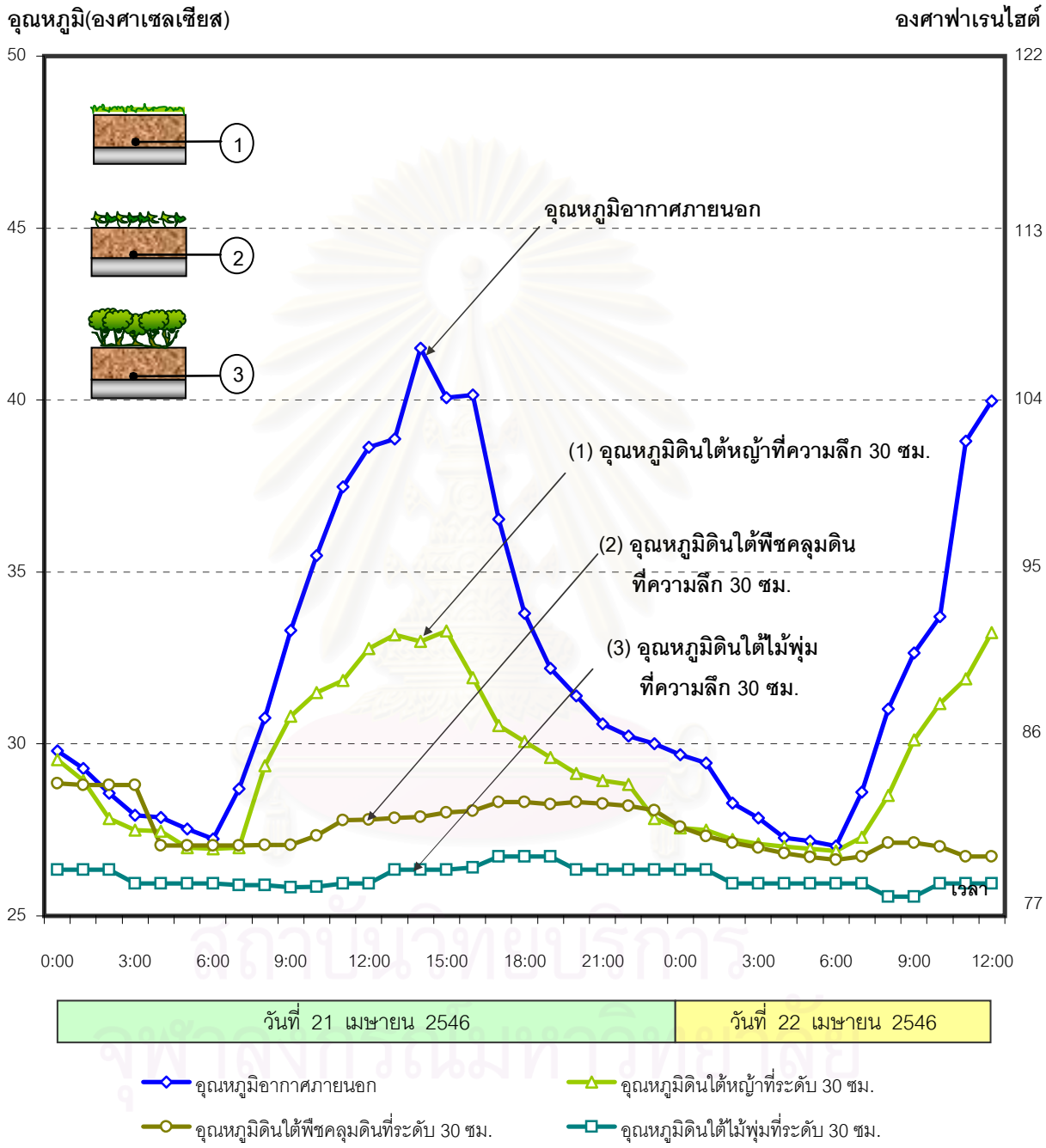
กราฟที่ 4-2 **แผนภูมิแท่งแสดงอุณหภูมิสูงสุด ต่ำสุด และอุณหภูมิเฉลี่ย ของอุณหภูมิดินที่ระดับความลึก 5 ซม.ใต้หญ้า พืชคลุมดิน และไม้พุ่ม**

แผนภูมิแท่งแสดงอุณหภูมิสูงสุด ต่ำสุด และอุณหภูมิเฉลี่ย ของอุณหภูมิดินที่ระดับความลึก 5 ซม.ใต้หญ้า พืชคลุมดิน และไม้พุ่ม ระหว่างวันที่ 21 มีนาคม 2546 เวลา 0.00น. ถึง วันที่ 22 มีนาคม 2546 เวลา 12.00น. พบว่า อุณหภูมิเฉลี่ยดินที่ความลึก 5 ซม. ของหญ้ามีค่า 29.17 องศาเซลเซียส ซึ่งมากกว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของดินที่ระดับ 5 ซม. ใต้พืชคลุมดิน และอุณหภูมิเฉลี่ยของดินที่ระดับ 5 ซม.ใต้ไม้พุ่ม ตามลำดับ

โดยดินที่ความลึก 5 ซม. อุณหภูมิดินเปียกใต้หญ้ามีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดมากที่สุด คือ 8.14 องศาเซลเซียส รองลงมาคือ อุณหภูมิดินเปียกใต้พืชคลุมดิน มีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุด คือ 3.51 องศาเซลเซียส ส่วนไม้พุ่มมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดน้อยที่สุด คือ 1.23 องศาเซลเซียส เมื่อเทียบกับอุณหภูมิดินเปียกใต้หญ้าและพืชคลุมดินแล้ว พบว่า อุณหภูมิดินเปียกใต้ไม้พุ่มมีค่าคงที่กว่า แสดงว่าพืชประเภทไม้พุ่มสามารถรักษาความชื้นในดินที่ระดับความลึกเท่าๆ กัน ได้ดีกว่าพืชประเภทหญ้า และพืชคลุมดิน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิดินที่ความลึก 30 ซม. ต้นไม้ต่างชนิดกัน ได้แก่ หญ้า พืชคลุมดิน และไม้พุ่ม เทียบกับอุณหภูมิอากาศภายนอก ระหว่างวันที่ 21 มีนาคม 2546 เวลา 0.00น. ถึง วันที่ 22 มีนาคม 2546 เวลา 12.00น.



กราฟที่ 4-3 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิดินที่ความลึก 30 ซม. ต้นไม้ต่างชนิดกัน ได้แก่ หญ้า พืชคลุมดิน และไม้พุ่ม เทียบกับอุณหภูมิอากาศภายนอก ระหว่างวันที่ 21 มีนาคม 2546 เวลา 0.00น. ถึง วันที่ 22 มีนาคม 2546 เวลา 12.00น. พบว่า ในช่วงเวลากลางวันอุณหภูมิดินเปียกใต้หญ้าที่ความลึก 30 ซม. มีอุณหภูมิสูงที่สุด รองลงมาคือ ดินเปียกที่ความลึก 30 ซม. ใต้พืชคลุมดิน และดินเปียกที่ความลึก 30 ซม. ใต้ไม้พุ่ม ส่วนในช่วงเวลากลางคืน อุณหภูมิดินเปียกที่ความลึก 30 ซม. ใต้ไม้พุ่มมีค่าสูงสุด รองลงมาคือ พืชคลุมดิน และหญ้า ตามลำดับ

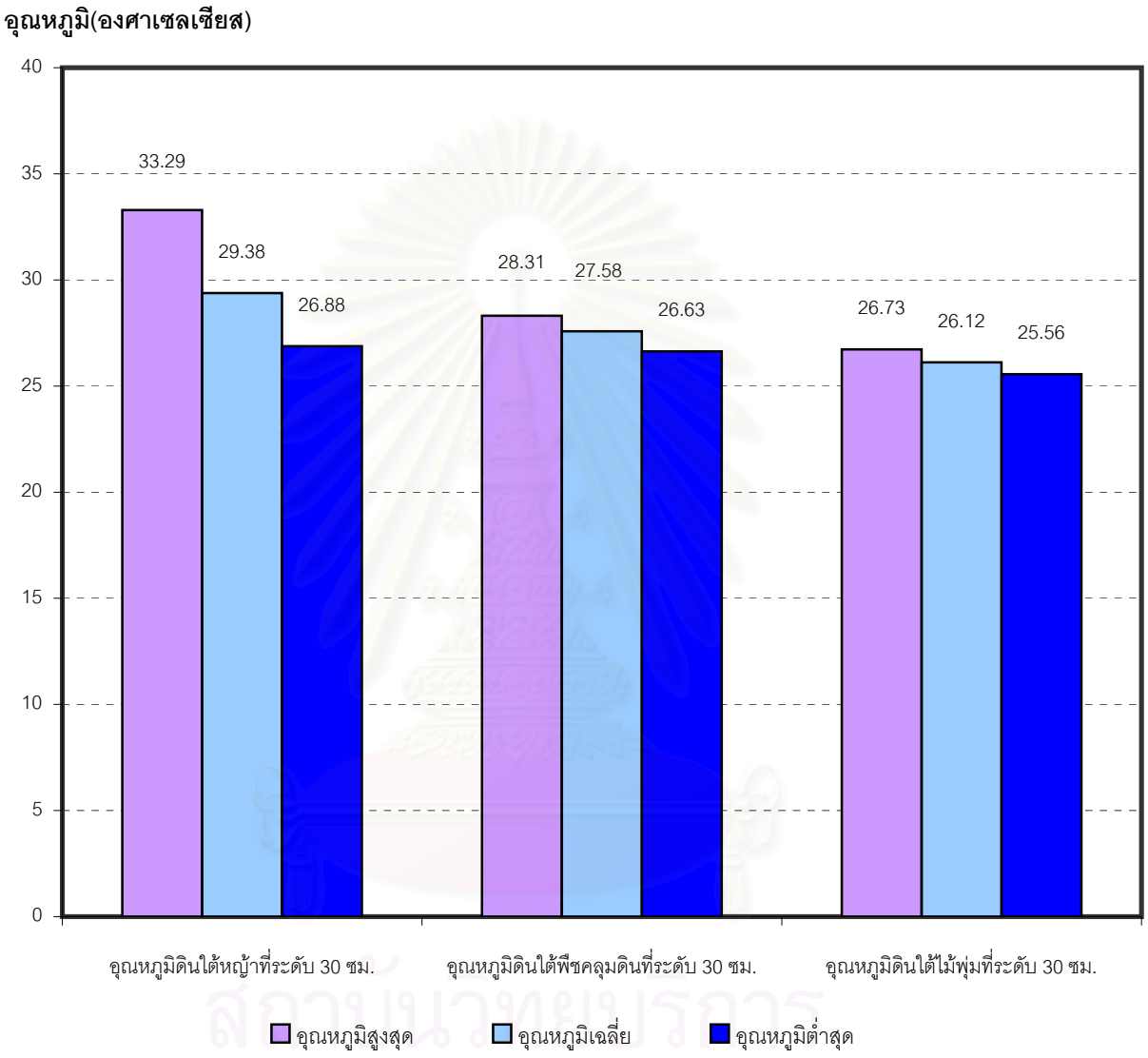
กราฟที่ 4-3 **แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิดินที่ความลึก 30 ซม. ต้นไม้ต่างชนิดกัน ได้แก่ หญ้า พืชคลุมดิน และไม้พุ่ม เทียบกับอุณหภูมิอากาศภายนอก**

กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิดินที่ระดับความลึก 30 ซม. ใต้ต้นไม้ต่างชนิดกัน ได้แก่ หญ้า พืชคลุมดิน และไม้พุ่ม เทียบกับอุณหภูมิอากาศภายนอก ระหว่างวันที่ 21 มีนาคม 2546 เวลา 0.00น. ถึง วันที่ 22 มีนาคม 2546 เวลา 12.00น. พบว่า ตลอดทั้งวัน ทั้งในช่วงเวลากลางวันและกลางคืน อุณหภูมิดินเปียกใต้หญ้าที่ความลึก 30 ซม. มีอุณหภูมิสูงที่สุด รองลงมาคือดินเปียกใต้พืชคลุมดิน แลอุณหภูมิดินเปียกไม้พุ่ม แต่มีเพียงช่วงเวลา 23:00น. ของวันที่ 21 เมษายน 2546 ถึงเวลา 3:30 น. ของวันที่ 22 เมษายน 2546 เท่านั้นที่อุณหภูมิดินลึกที่ 30 ซม. ของสวนหลังคาหญ้าเท่ากับอุณหภูมิดินลึกที่ 30 ซม. ของสวนหลังคาพืชคลุมดิน

จะเห็นว่าอุณหภูมิดินเปียกที่ 30 ซม. ใต้ไม้พุ่มมีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดทั้งวัน และอุณหภูมิอากาศภายนอกนั้นมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิดินเปียกใต้หญ้า อุณหภูมิดินเปียกใต้พืชคลุมดิน และอุณหภูมิดินเปียกใต้ไม้พุ่มตลอดทั้งวัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แผนภูมิแท่งแสดงอุณหภูมิสูงสุด ต่ำสุด และอุณหภูมิเฉลี่ย
ของอุณหภูมิดินที่ระดับความลึก 30 ซม.ใต้หญ้า พืชคลุมดิน และไม้พุ่ม
ระหว่างวันที่ 21 มีนาคม 2546 เวลา 0.00น. ถึง วันที่ 22 มีนาคม 2546 เวลา 12.00น.



กราฟที่ 4-4 แผนภูมิแท่งแสดงอุณหภูมิสูงสุด ต่ำสุด และอุณหภูมิเฉลี่ย ของอุณหภูมิดินที่ระดับความลึก 30 ซม.ใต้หญ้า พืชคลุมดิน และไม้พุ่ม ระหว่างวันที่ 21 มีนาคม 2546 เวลา 0.00น. ถึง วันที่ 22 มีนาคม 2546 เวลา 12.00น. พบว่า อุณหภูมิเฉลี่ยดินที่ความลึก 30 ซม. ของหญ้ามีค่ามากกว่าอุณหภูมิเฉลี่ยดินที่ความลึก 30 ซม.ของไม้พุ่ม และอุณหภูมิเฉลี่ยดินที่ความลึก 30 ซม.ของพืชคลุมดิน ตามลำดับ โดยดินใต้หญ้ามีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดมากที่สุด รองลงมาคือ พืชคลุมดิน ส่วนไม้พุ่มมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิดินสูงสุดและต่ำสุดน้อยมาก เมื่อเทียบกับหญ้าและพืชคลุมดิน

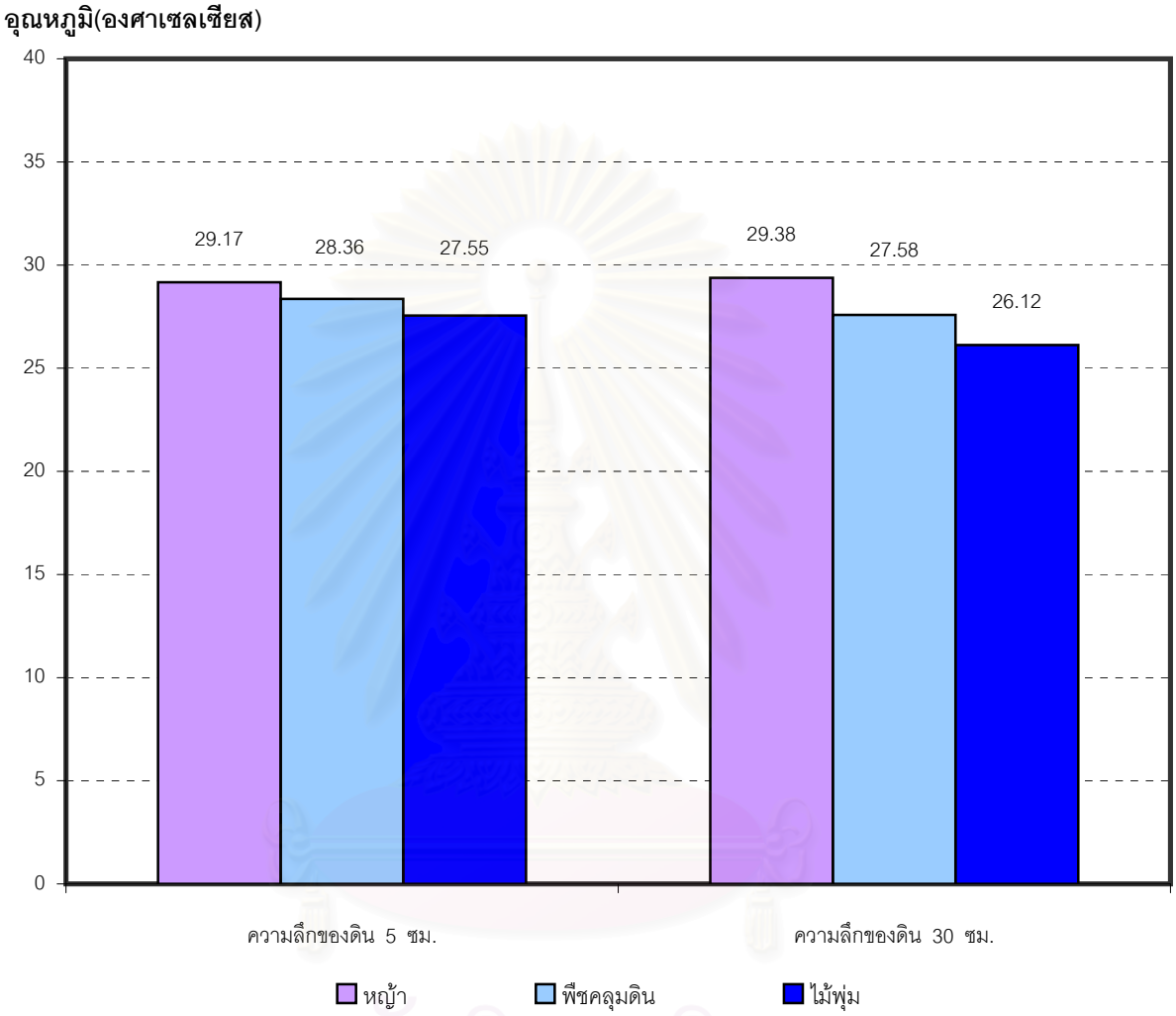
กราฟที่ 4-4 แผนภูมิแท่งแสดงอุณหภูมิสูงสุด ต่ำสุด และอุณหภูมิเฉลี่ย ของอุณหภูมิดิน ที่ระดับความลึก 30 ซม.ใต้หญ้า พืชคลุมดิน และไม้พุ่ม

แผนภูมิแท่งแสดงอุณหภูมิสูงสุด ต่ำสุด และอุณหภูมิเฉลี่ย ของอุณหภูมิดินที่ระดับความลึก 30 ซม.ใต้หญ้า พืชคลุมดิน และไม้พุ่ม ระหว่างวันที่ 21 มีนาคม 2546 เวลา 0.00น. ถึง วันที่ 22 มีนาคม 2546 เวลา 12.00น. พบว่า อุณหภูมิเฉลี่ยดินที่ความลึก 30 ซม. ของหญ้ามีค่า 29.38 องศาเซลเซียส ซึ่งมากกว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของดินที่ระดับ 5 ซม. ใต้พืชคลุมดิน และอุณหภูมิเฉลี่ยของดินที่ระดับ 5 ซม.ใต้ไม้พุ่ม ตามลำดับ

โดยดินที่ความลึก 30 ซม. อุณหภูมิดินเปียกใต้หญ้ามีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดมากที่สุด คือ 6.41 องศาเซลเซียส รองลงมาคือ อุณหภูมิดินเปียกที่ความลึก 30 ซม. ใต้พืชคลุมดิน มีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุด คือ 1.68 องศาเซลเซียส ส่วนอุณหภูมิดินเปียกใต้ไม้พุ่มมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดน้อยที่สุด คือ 1.17 องศาเซลเซียส เมื่อเทียบกับอุณหภูมิดินเปียกที่ความลึก 30 ซม. ใต้หญ้าและพืชคลุมดินแล้ว พบว่า อุณหภูมิดินเปียกที่ความลึก 30 ซม. ใต้ไม้พุ่มมีค่าคงที่กว่า แสดงว่าพืชประเภทไม้พุ่มสามารถรักษาความชื้นในดินที่ระดับความลึกเท่าๆ กัน ได้ดีกว่าพืชประเภทหญ้า และพืชคลุมดิน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แผนภูมิแท่งแสดงอุณหภูมิเฉลี่ยของอุณหภูมิดิน
ที่ระดับความลึก 5 และ 30 ซม.ใต้หญ้า พืชคลุมดิน และไม้พุ่ม
ระหว่างวันที่ 21 มีนาคม 2546 เวลา 0.00น. ถึง วันที่ 22 มีนาคม 2546 เวลา 12.00น.



กราฟที่ 4-5 แผนภูมิแท่งแสดงอุณหภูมิเฉลี่ย ของอุณหภูมิดินที่ระดับความลึก 5 และ 30 ซม.ใต้หญ้า พืชคลุมดิน และไม้พุ่ม ระหว่างวันที่ 21 มีนาคม 2546 เวลา 0.00น. ถึง วันที่ 22 มีนาคม 2546 เวลา 12.00น. พบว่า อุณหภูมิเฉลี่ยดินที่ระดับความลึก 5 ซม. ของหญ้าสูงที่สุด รองลงมาคือพืชคลุมดิน และไม้พุ่ม ส่วนอุณหภูมิเฉลี่ยดินที่ความลึก 30 ซม. เท่ากัน อุณหภูมิเฉลี่ยดินของหญ้ายังคงสูงที่สุด รองลงมาคือพืชคลุมดิน และไม้พุ่ม ตามลำดับ

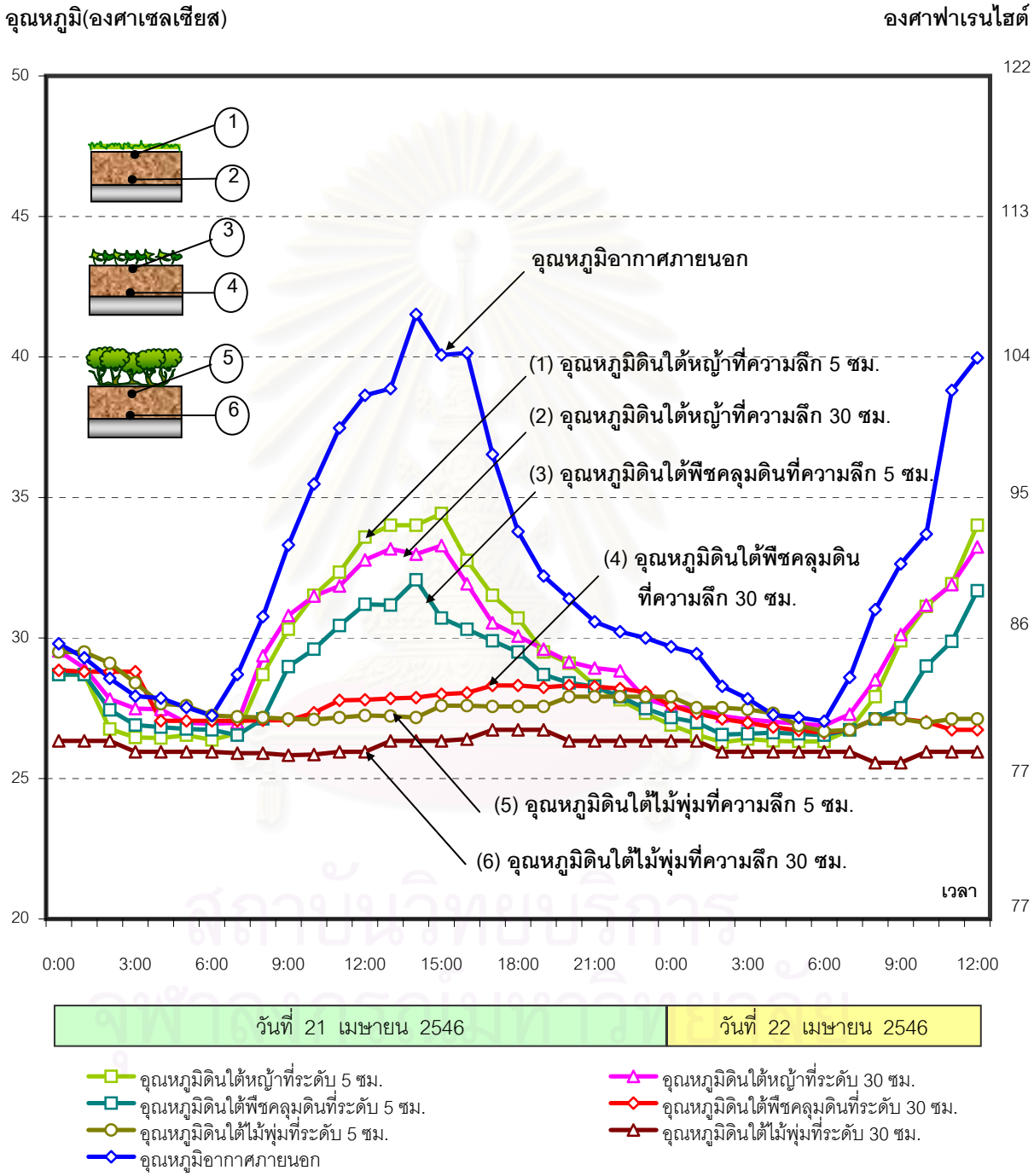
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กราฟที่ 4-5 **แผนภูมิแท่งแสดงอุณหภูมิเฉลี่ย ของอุณหภูมิดินที่ระดับความลึก** 5 **และ** 30 **ซม. ใต้หญ้า พืชคลุมดิน และไม้พุ่ม**

แผนภูมิแท่งแสดงอุณหภูมิเฉลี่ย ของอุณหภูมิดินที่ระดับความลึก 5 และ 30 ซม.ใต้หญ้า พืชคลุมดิน และไม้พุ่ม ระหว่างวันที่ 21 มีนาคม 2546 เวลา 0.00น. ถึง วันที่ 22 มีนาคม 2546 เวลา 12.00น. พบว่า เมื่อนำอุณหภูมิเฉลี่ยดินเปียกที่ระดับความลึก 5 และ 30 ซม. ใต้หญ้า พืชคลุมดิน และไม้พุ่มมาเปรียบเทียบกันแล้วจัดเป็นลำดับจากอุณหภูมิสูงสุดไปหาต่ำสุด ได้ดังนี้ 1) อุณหภูมิดินเปียกใต้หญ้าที่ความลึก 30 ซม. มีอุณหภูมิเฉลี่ย คือ 29.38 องศาเซลเซียส 2) อุณหภูมิดินเปียกใต้หญ้าที่ความลึก 5 ซม. มีอุณหภูมิเฉลี่ย คือ 29.17 องศาเซลเซียส 3) อุณหภูมิดินเปียกใต้พืชคลุมดินที่ความลึก 5 ซม. มีอุณหภูมิเฉลี่ย คือ 28.36 องศาเซลเซียส 4) อุณหภูมิดินเปียกใต้พืชคลุมดินที่ความลึก 30 ซม. มีอุณหภูมิเฉลี่ย คือ 27.58 องศาเซลเซียส 5) อุณหภูมิดินเปียกใต้ไม้พุ่มที่ความลึก 5 ซม. มีอุณหภูมิเฉลี่ย คือ 27.55 องศาเซลเซียส 6) อุณหภูมิดินเปียกใต้ไม้พุ่มที่ความลึก 30 ซม. มีอุณหภูมิเฉลี่ย 26.12 องศาเซลเซียส คามลำดับ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิดินที่ความลึก 5 และ 30 ซม. ต้นไม้ต่างชนิดกัน ได้แก่ หญ้า พืชคลุมดิน และไม้พุ่ม เทียบกับอุณหภูมิอากาศภายนอก ระหว่างวันที่ 21 มีนาคม 2546 เวลา 0.00น. ถึง วันที่ 22 มีนาคม 2546 เวลา 12.00น.



กราฟ4-6 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิดินที่ความลึก 5 และ 30 ซม. ต้นไม้ต่างชนิดกัน ได้แก่ หญ้า พชคลุมดิน และไม้พุ่ม เทียบกับอุณหภูมิอากาศภายนอก ระหว่างวันที่ 21 มีนาคม 2546 เวลา 0.00น. ถึง วันที่ 22 มีนาคม 2546 เวลา 12.00น.พบว่า ในช่วงเวลากลางวัน (15:00น.) อุณดินเรียงลำดับจากสูงสุดมาต่ำสุดได้ดังนี้ (1) อุณหภูมิดินใต้หญ้าที่ 5 ซม. (2) อุณหภูมิดินใต้หญ้าที่ 30 ซม. (3) อุณหภูมิดินใต้พืชคลุมดินที่ 5 ซม. (4) อุณหภูมิดินใต้พืชคลุมดินที่ 30 ซม. (5) อุณหภูมิดินใต้ไม้พุ่มที่ 5 ซม. (4) อุณหภูมิดินใต้ไม้พุ่มที่ 30 ซม ตามลำดับ

กราฟ 4-6 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิดินที่ความลึก 5 และ 30 ซม. ต้นไม้ต่างชนิดกัน ได้แก่ หญ้า พืชคลุมดิน และไม้พุ่ม เทียบกับอุณหภูมิอากาศภายนอก

กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิดินที่ความลึก 5 และ 30 ซม. ต้นไม้ต่างชนิดกัน ได้แก่ หญ้า พชคลุมดิน และไม้พุ่ม เทียบกับอุณหภูมิอากาศภายนอก ระหว่างวันที่ 21 มีนาคม 2546 เวลา 0.00น. ถึง วันที่ 22 มีนาคม 2546 เวลา 12.00น.พบว่า เมื่อนำอุณหภูมิดินเปียกที่ระดับความลึก 5 และ 30 ซม. ใต้หญ้า พืชคลุมดิน และไม้พุ่มมาเปรียบเทียบกันแล้วจัดเป็นลำดับจากอุณหภูมิสูงสุดไปหาต่ำสุด ได้ดังนี้ 1) อุณหภูมิดินเปียกใต้หญ้าที่ความลึก 30 ซม. มีอุณหภูมิสูงสุดของวันในช่วงเวลา 15:00น. คือ 29.38 องศาเซลเซียส 2) อุณหภูมิดินเปียกใต้หญ้าที่ความลึก 5 ซม. มีอุณหภูมิสูงสุดของวันในช่วงเวลา 15:00น. คือ 29.17 องศาเซลเซียส 3) อุณหภูมิดินเปียกใต้พืชคลุมดินที่ความลึก 5 ซม. มีอุณหภูมิสูงสุดของวันในช่วงเวลา 15:00น. คือ 28.36 องศาเซลเซียส 4) อุณหภูมิดินเปียกใต้พืชคลุมดินที่ความลึก 30 ซม. มีอุณหภูมิสูงสุดของวันในช่วงเวลา 15:00น. คือ 27.58 องศาเซลเซียส 5) อุณหภูมิดินเปียกใต้ไม้พุ่มที่ความลึก 5 ซม. มีอุณหภูมิสูงสุดของวันในช่วงเวลา 15:00น. คือ 27.55 องศาเซลเซียส 6) อุณหภูมิดินเปียกใต้ไม้พุ่มที่ความลึก 30 ซม. มีอุณหภูมิสูงสุดของวันในช่วงเวลา 15:00น. คือ 26.12 องศาเซลเซียส คามลำดับ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สรุปผลการทดลองที่ 1.1

จากการทดลองเก็บอุณหภูมิดินที่ระดับความลึก 5 ซม. พบว่าในเวลากลางวัน อุณหภูมิดินใต้หญ้ามีอุณหภูมิเฉลี่ย 29.17 องศาเซลเซียส รองลงมาได้แก่อุณหภูมิดินใต้พืชคลุมดิน มีอุณหภูมิเฉลี่ย 28.36 องศาเซลเซียส และไม้พุ่มมีอุณหภูมิเฉลี่ยของดินต่ำที่สุด คือ 27.55 องศาเซลเซียส นั่นแสดงว่า ที่ระดับความลึกของดิน 5 ซม. เท่ากัน ไม้พุ่มสามารถรักษาอุณหภูมิดินโดยเฉลี่ยได้ดีที่สุด คือ ต่ำกว่าอุณหภูมิดินใต้พืชคลุมดิน และไม้พุ่ม

และเช่นเดียวกันที่ระดับความลึก 30 ซม. พบว่าในเวลากลางวัน อุณหภูมิดินใต้หญ้ามีอุณหภูมิเฉลี่ย 29.38 องศาเซลเซียส รองลงมาได้แก่อุณหภูมิดินใต้พืชคลุมดิน มีอุณหภูมิเฉลี่ย 27.58 องศาเซลเซียส และไม้พุ่มมีอุณหภูมิดินเฉลี่ยต่ำที่สุด คือ 26.12 องศาเซลเซียส นั่นแสดงว่า ที่ระดับความลึกของดิน 30 ซม. เท่ากัน ไม้พุ่มสามารถรักษาอุณหภูมิดินโดยเฉลี่ยได้ดีที่สุด คือ ต่ำกว่าอุณหภูมิดินใต้พืชคลุมดิน และไม้พุ่ม

ซึ่งเมื่อทำการเปรียบเทียบอุณหภูมิดินโดยเฉลี่ยทั้งในระดับ 5 ซม. และ 30 ซม. ของหญ้า พืชคลุมดิน และไม้พุ่มแล้ว สามารถเรียงลำดับจากอุณหภูมิสูงสุด ไปหาอุณหภูมิต่ำสุดได้ดังนี้

ตาราง4-1 เปรียบเทียบอุณหภูมิดินสูงสุดที่ระดับ 5 ซม. และ 30 ซม. ของหญ้า พืชคลุมดิน และไม้พุ่ม

	ต้นไม้	ความลึกดิน (ซม.)	อุณหภูมิดินสูงสุดของวัน (องศาเซลเซียส)
1	หญ้า	30	29.38
2	หญ้า	5	29.17
3	พืชคลุมดิน	5	28.36
4	พืชคลุมดิน	30	27.58
5	ไม้พุ่ม	5	27.55
6	ไม้พุ่ม	30	26.12

จากตารางสรุปนี้จะนำไปประกอบการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง อุณหภูมิดิน และปริมาณความชื้นในดิน ในชุดการทดลองต่อไป

4.1.2 การทดลองที่ 1.2 การศึกษาปริมาณความชื้นในดิน

วิธีการทดลอง การเก็บตัวอย่างดินที่ระดับความลึก 5 ซม. และ 30 ซม. ใต้หญ้า พืชคลุมดิน และไม้พุ่ม ทำการอบจนแห้งแล้วหาสัดส่วนระหว่างน้ำหนักน้ำในดินต่อน้ำหนักดินแห้ง ทั้งหมดคูณด้วยร้อย จึงได้ปริมาณความชื้นในดินที่ต้องการ

ตัวแปรที่ทำการศึกษา

ตัวแปรต้น - ประเภทของต้นไม้ ได้แก่ หญ้ามาเลเซีย เทียนทองเล็ก (พืชคลุมดิน) นาคชมพู (ไม้พุ่ม)

ตัวแปรตาม - ปริมาณความชื้นในดินที่ระดับความลึก 5 ซม. และ 30 ซม. ของดินที่ปกคลุมด้วยหญ้า พืชคลุมดิน และไม้พุ่ม

ตัวแปรควบคุม - ทำการเก็บข้อมูลในสภาพแวดล้อมเดียวกัน ความเร็วลมเท่ากัน ส่วนประกอบของดินเท่ากัน และให้น้ำในปริมาณที่เท่ากัน

วิเคราะห์ผลการทดลอง

- ปริมาณความชื้นในดินที่ระดับความลึก 5 ซม. ของหญ้า พืชคลุมดิน และไม้พุ่ม
- ปริมาณความชื้นในดินที่ระดับความลึก 30 ซม. ของหญ้า พืชคลุมดิน และไม้พุ่ม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลการทดลองที่ 1.2

ทำการเก็บตัวอย่างดินในเวลา 15:00น. ของวันที่ 21 เมษายน 2546 แล้วทำการชั่งน้ำหนักดินเปียกในปริมาตรที่เท่ากับ จึงนำไปอบจนดินมีน้ำหนักคงที่ แล้วเข้าสมการหาปริมาณความชื้นในดิน ได้ดังนี้

จากสูตร

$$\text{การหาปริมาณความชื้น(\%)} = \frac{\text{น้ำหนักน้ำในดิน (g.)} * 100}{\text{น้ำหนักดินแห้ง (g.)}}$$

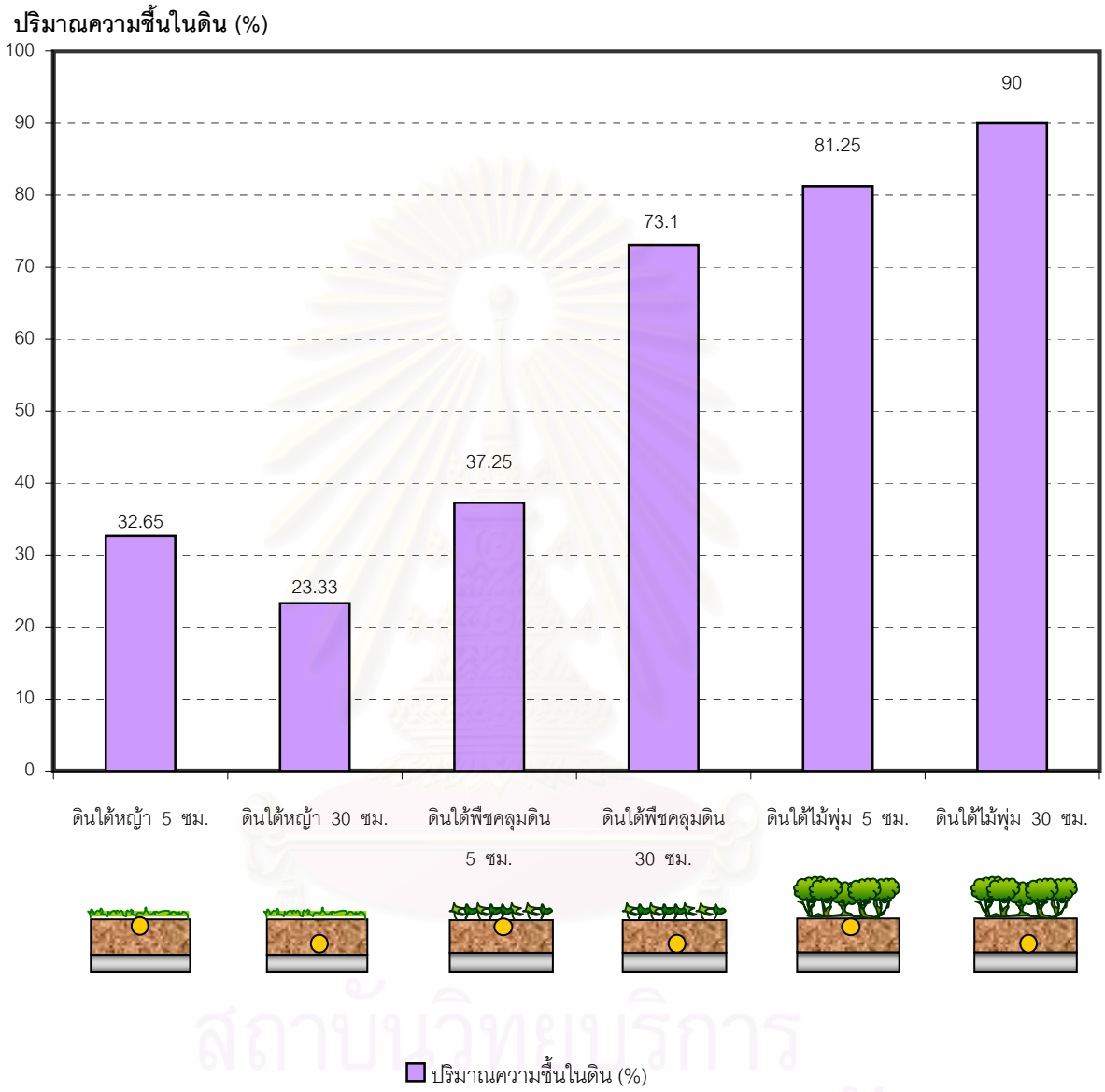
ตาราง4-2 การเปรียบเทียบปริมาณความชื้นในดินที่ระดับ 5 และ 30 ซม.ใต้หญ้า พืชคลุมดิน และไม้พุ่ม

	ระดับดิน (ซม.)	น้ำหนักน้ำในดิน (กรัม)	น้ำหนักดินแห้ง (กรัม)	ปริมาณความชื้นในดิน (%)
หญ้า	5	16	49	32.65
	30	14	60	23.33
พืชคลุมดิน	5	19	51	37.25
	30	30	41	73.10
ไม้พุ่ม	5	32.5	40	81.25
	30	36	40	90.00

จากการเก็บตัวอย่างดินเพื่อหาปริมาณความชื้นในดิน เรียงตามลำดับจากดินที่มีปริมาณความชื้นน้อยไปหามากได้ดังนี้

1. ดินใต้หญ้าที่ความลึก 30 ซม.
2. ดินใต้หญ้าที่ระดับความลึก 5 ซม.
3. ดินใต้พืชคลุมดินที่ความลึก 5 ซม.
4. ดินใต้พืชคลุมดินที่ระดับความลึก 30 ซม.
5. ดินใต้ไม้พุ่มที่ความลึก 5 ซม.
6. ดินใต้ไม้พุ่มที่ระดับความลึก 30 ซม.

แผนภูมิแท่งแสดงปริมาณความชื้นในดินที่ระดับความลึก 5 และ 30 ซม.
ของหญ้า พืชคลุมดิน และไม้พุ่ม
ในเวลา 15:00น. ของวันที่ 21 มีนาคม 2546



กราฟที่ 4-7 แผนภูมิแท่งแสดงปริมาณความชื้นในดินที่ระดับความลึก 5 และ 30 ซม. ของหญ้า พืชคลุมดิน และไม้พุ่มในเวลา 15:00น. ของวันที่ 21 มีนาคม 2546 พบว่าดินที่มีปริมาณความชื้นสูงที่สุดได้แก่ดินใต้ไม้พุ่มที่ความลึก 30 ซม. รองลงมาได้แก่ ดินใต้ไม้พุ่มที่ความลึก 5 ซม. ดินใต้พืชคลุมดินที่ความลึก 30 ซม. ดินใต้พืชคลุมดินที่ความลึก 5 ซม. ดินใต้หญ้าที่ความลึก 5 ซม. และดินใต้หญ้าที่ความลึก 30 ซม. ตามลำดับ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กราฟที่ 4-7 แผนภูมิแท่งแสดงปริมาณความชื้นในดินที่ระดับความลึก 5 และ 30 ซม. ของหญ้า พืชคลุมดิน และไม้พุ่ม

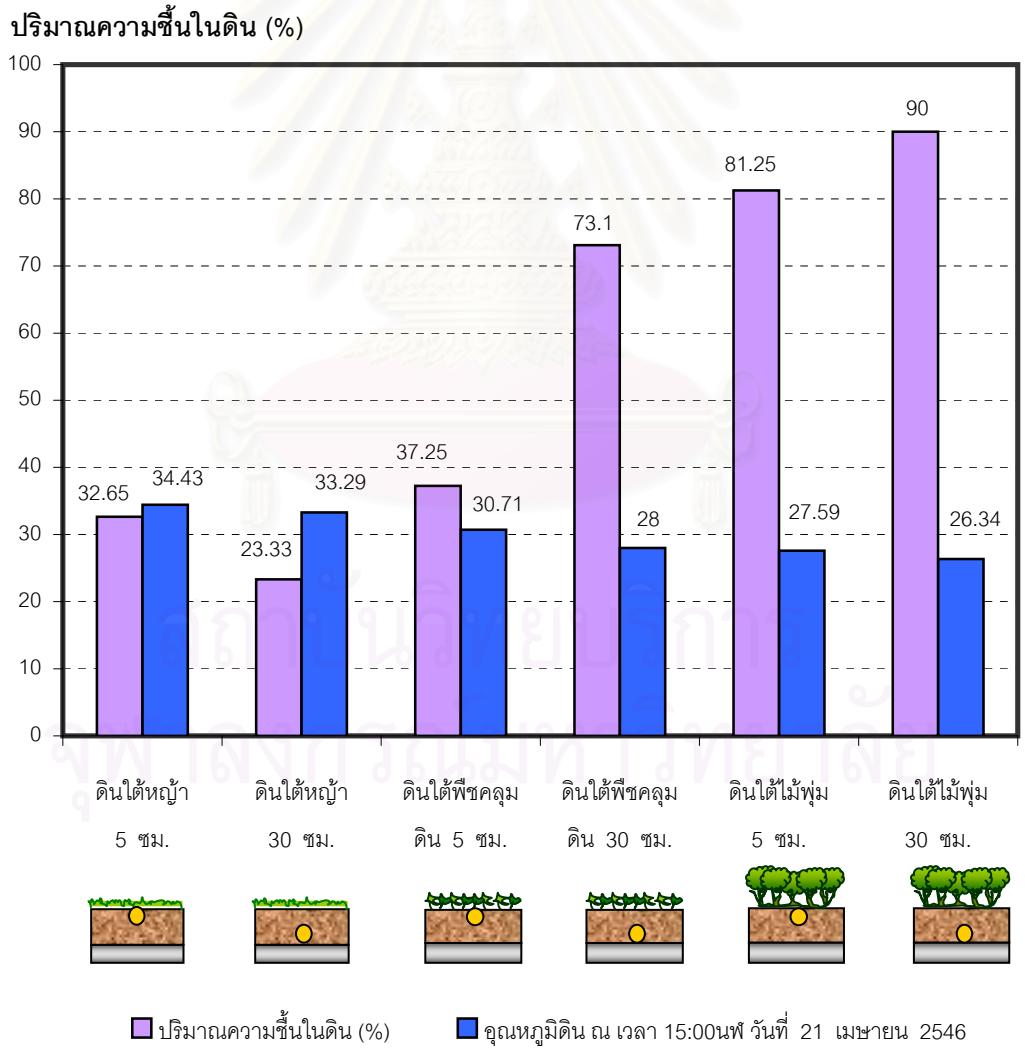
แผนภูมิแท่งแสดงปริมาณความชื้นในดินที่ระดับความลึก 5 และ 30 ซม. ของหญ้า พืชคลุมดิน และไม้พุ่มในเวลา 15:00น. ของวันที่ 21 มีนาคม 2546 พบว่า ดินที่มีปริมาณความชื้นสูงที่สุดได้แก่ดินเปียกใต้ไม้พุ่มที่ความลึก 30 ซม. มีปริมาณความชื้น 90% รองลงมาได้แก่ ดินเปียกใต้ไม้พุ่มที่ความลึก 5 ซม. มีปริมาณความชื้น 81.25% ดินเปียกใต้พืชคลุมดินที่ความลึก 30 ซม. มีปริมาณความชื้น 73.1% ดินเปียกใต้พืชคลุมดินที่ความลึก 5 ซม. มีปริมาณความชื้น 37.25% ดินเปียกใต้หญ้าที่ความลึก 5 ซม. มีปริมาณความชื้น 32.65% และดินเปียกใต้หญ้าที่ความลึก 30 ซม. มีปริมาณความชื้น 23.33% ตามลำดับ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สรุปผลการทดลองที่ 1.2

จากการทดลองที่ 1.1 และ 1.2 จึงได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิดินกับปริมาณความชื้นในดิน จะมีสัดส่วนแปรผันกัน คือ ดินที่มีปริมาณความชื้นมากจะมีอุณหภูมิต่ำกว่า ดินที่มีปริมาณความชื้นน้อยกว่า และดินที่ปกคลุมด้วยไม้พุ่มที่ระดับความลึกเดียวกัน จะมีอุณหภูมิต่ำกว่าดินที่ปกคลุมพืชคลุมดิน และหญ้า เนื่องจากดินที่ปกคลุมด้วยไม้พุ่มมีปริมาณความชื้นมากกว่าดินที่ปกคลุมด้วยพืชคลุมดิน และหญ้า

ซึ่งจากการทดลองนี้พบว่า อุณหภูมิดินใต้หญ้าที่ความลึก 30 ซม. ไม่เป็นไปตามแนวโน้ม เนื่องจาก หญ้าเป็นต้นไม้ที่มีรากสั้นๆ เพียง 10 ซม. ดังนั้น ปริมาณความชื้นที่ผิวดินที่รากลงไปถึง จึงมีมากกว่าที่ระดับดินลึก 30 ซม.



แผนภูมิแท่งสรุปความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิดิน และ ปริมาณความชื้นในดิน

4.2 ชุดการทดลองที่ 2 การศึกษาแนวทางในการนำประโยชน์ของสวนหลังคา มาใช้ในการออกแบบและปรับปรุงอาคาร

จากการการศึกษาเบื้องต้น และจากชุดการทดลองที่ 1 จึงได้ตัวแปรที่มีอิทธิพลสำคัญในการป้องกันความร้อนไม่ให้เข้าสู่ภายในอาคารทางหลังคา และตัวแปรนั้นก็ส่งผลต่ออุณหภูมิผิวภายในอาคาร ซึ่งมีอิทธิพลโดยตรงต่อผู้ใช้อาคารนั้นๆ ชุดการทดลองนี้จึงแบ่งเป็นชุดการทดลองได้ ดังนี้

การทดลองที่ 2.1 การศึกษาสวนหลังคากับอาคารในระบบปรับอากาศ

การทดลองที่ 2.2 การศึกษาสวนหลังคากับอาคารในระบบไม่ปรับอากาศ

4.2.1 การทดลองที่ 2.1 การศึกษาสวนหลังคากับอาคารในระบบปรับอากาศ

วิธีการทดลอง ทำการเก็บข้อมูลตัวแปร เพื่อทำการคำนวณปริมาณความร้อนที่ผ่านเข้ามาทางหลังคา โดยใช้อุณหภูมิผิวหลังคาภายใน

ตัวแปรที่ทำการศึกษา

ตัวแปรต้น - รูปแบบของหลังคา ได้แก่ หลังคาหญ้า พืชคลุมดิน ไม้พุ่ม และหลังคาคอนกรีต

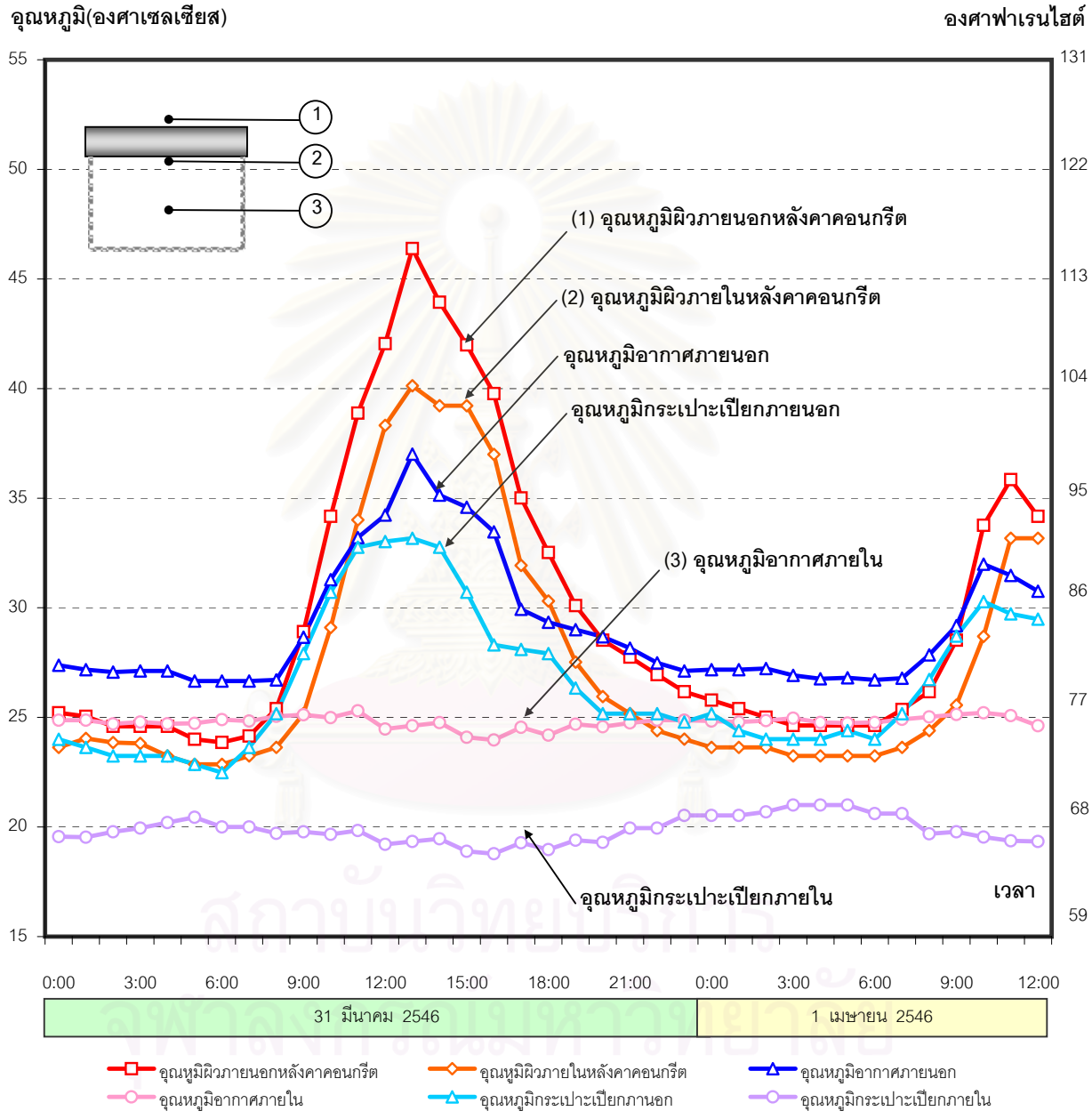
ตัวแปรตาม - อุณหภูมิผิวภายในสวนหลังคาหญ้า พืชคลุมดิน ไม้พุ่ม และหลังคาคอนกรีต

ตัวแปรควบคุม - ทำการเก็บข้อมูลในสภาพแวดล้อมเดียวกัน ความเร็วลมเท่ากัน ส่วนประกอบของดินเท่ากัน และให้น้ำในปริมาณที่เท่ากัน

วิเคราะห์ผลการทดลอง

- อุณหภูมิดินที่ระดับความลึก 5 ซม.ของสวนหลังคาหญ้า พืชคลุมดิน ไม้พุ่มและหลังคาคอนกรีต
- อุณหภูมิดินที่ระดับความลึก 30 ซม.ของสวนหลังคาหญ้า พืชคลุมดิน ไม้พุ่มและหลังคาคอนกรีต
- อุณหภูมิผิวภายในของสวนหลังคาหญ้า พืชคลุมดิน ไม้พุ่มและหลังคาคอนกรีต

กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิแต่ละระดับของหลังคาคอนกรีต
เทียบกับอุณหภูมิอากาศภายนอกและอุณหภูมิกระเปาะเปียกในระบบปรับอากาศ
ระหว่างวันที่ 31 มีนาคม 2546 เวลา 0.00น. ถึง วันที่ 1 เมษายน 2546 เวลา 12.00น.



กราฟที่ 4-9 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิแต่ละระดับของหลังคาคอนกรีต เทียบกับอุณหภูมิอากาศภายนอกและอุณหภูมิกระเปาะเปียกในระบบปรับอากาศ ระหว่างวันที่ 31 มีนาคม 2546 เวลา 0.00น. ถึง วันที่ 1 เมษายน 2546 เวลา 12.00น. พบว่า อุณหภูมิผิวภายนอกหลังคาคอนกรีตโดยเฉลี่ยสูงกว่าอุณผิวภายในหลังคาคอนกรีตโดยเฉลี่ยตลอดทั้งวัน แต่ในช่วงเวลา10:45น. ถึง 18:00น. อุณหภูมิผิวภายในหลังคาคอนกรีตโดยลี่ยสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก และตั้งแต่ช่วงเวลา 18 :00น. ฝนตกจึงทำให้หลังคาคอนกรีตเปียก ส่งผลให้ผิวภายในหลังคาคอนกรีตเกิดการระเหยของน้ำ จึงมีอุณหภูมิผิวภายในต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายในช่วงเวลาตั้งแต่ 21:30น. ของวันที่ 31 มีนาคม 2546 ถึงเวลา 8:45น. ของวันที่ 1 เมษายน 2546

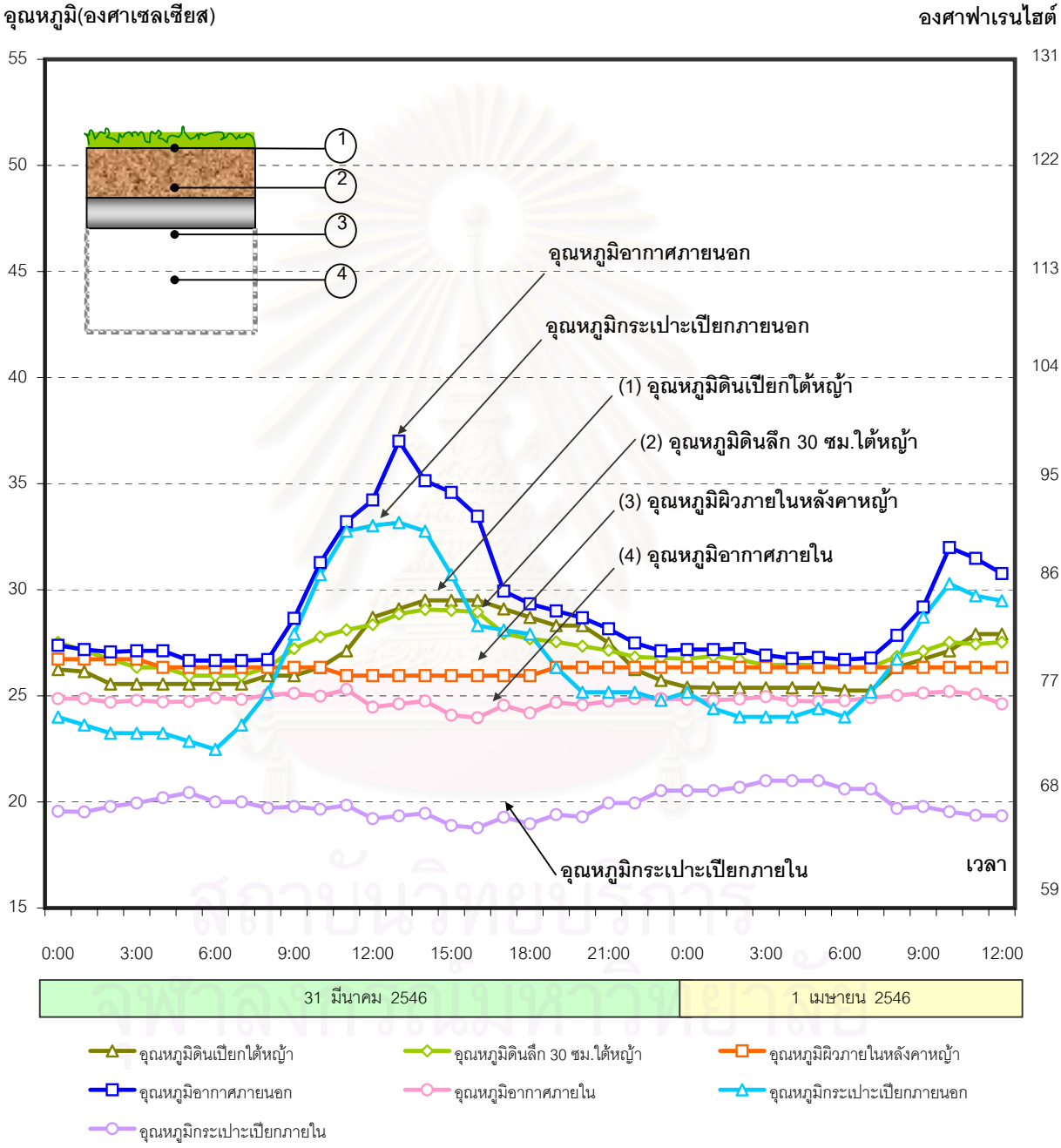
จากกราฟที่ 4-9 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิแต่ละระดับของหลังคาคอนกรีต เทียบกับอุณหภูมิอากาศภายนอกและอุณหภูมิกระเปาะเปียกในระบบปรับอากาศ

กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิแต่ละระดับของหลังคาคอนกรีต เทียบกับอุณหภูมิอากาศภายนอกและอุณหภูมิกระเปาะเปียกในระบบปรับอากาศ ระหว่างวันที่ 31 มีนาคม 2546 เวลา 0.00น. ถึง วันที่ 1 เมษายน 2546 เวลา 12.00น. พบว่า อุณหภูมิผิวภายนอกหลังคาคอนกรีตโดยเฉลี่ยสูงกว่าอุณผิวภายในหลังคาคอนกรีตโดยเฉลี่ยตลอดทั้งวัน โดยตั้งแต่เวลา 8:30น. ถึง 20:00น. ของวันที่ 31 มีนาคม 2546 อุณหภูมิผิวภายนอกหลังคาคอนกรีตสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก แต่ในช่วงเวลา 20:00น. ของวันที่ 21 มีนาคม 2546 ถึง 8:00น.ของวันที่ 1 เมษายน 2546อุณหภูมิผิวภายนอกมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก

ในช่วงเวลาตั้งแต่ 22:00น ของวันที่ 21 มีนาคม 2546 . - 8:00น. ของวันที่ 1 เมษายน 2546 มีฝนตกตลอดเวลา จึงทำให้หลังคาคอนกรีตเปียก ส่งผลให้ผิวภายในหลังคาคอนกรีตเกิดการระเหยของน้ำ จึงมีอุณหภูมิผิวภายในต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายในช่วงเวลาตั้งแต่ 21:30น. ของวันที่ 31 มีนาคม 2546 ถึงเวลา 8:45น. ของวันที่ 1 เมษายน 2546

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิแต่ละระดับของหลังคาหญ้า
เทียบกับอุณหภูมิอากาศภายนอกและอุณหภูมิกระเปาะเปียกในระบบปรับอากาศ
ระหว่างวันที่ 31 มีนาคม 2546 เวลา 0.00น. ถึง วันที่ 1 เมษายน 2546 เวลา 12.00น.



กราฟที่ 4-10 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิแต่ละระดับของหลังคาหญ้า เทียบกับอุณหภูมิอากาศภายนอกและอุณหภูมิกระเปาะเปียกในระบบปรับอากาศ ระหว่างวันที่ 31 มีนาคม 2546 เวลา 0.00น. ถึง วันที่ 1 เมษายน 2546 เวลา 12.00น. พบว่า ในช่วงเวลากลางวันอุณหภูมิอากาศภายนอก โดยเฉลี่ยสูงกว่าอุณหภูมิดินเปียกใต้หญ้า อุณหภูมิดินลึก 30 ซม. ใต้หญ้า และอุณหภูมิผิวภายในหลังคาหญ้าตามลำดับ ส่วนในเวลากลางคืนอุณหภูมิอากาศภายนอก โดยเฉลี่ยยังคงสูงกว่าอุณหภูมิดินลึก 30 ซม.ใต้หญ้า อุณหภูมิผิวภายในหลังคาหญ้า และอุณหภูมิดินเปียกใต้หญ้า ตามลำดับ

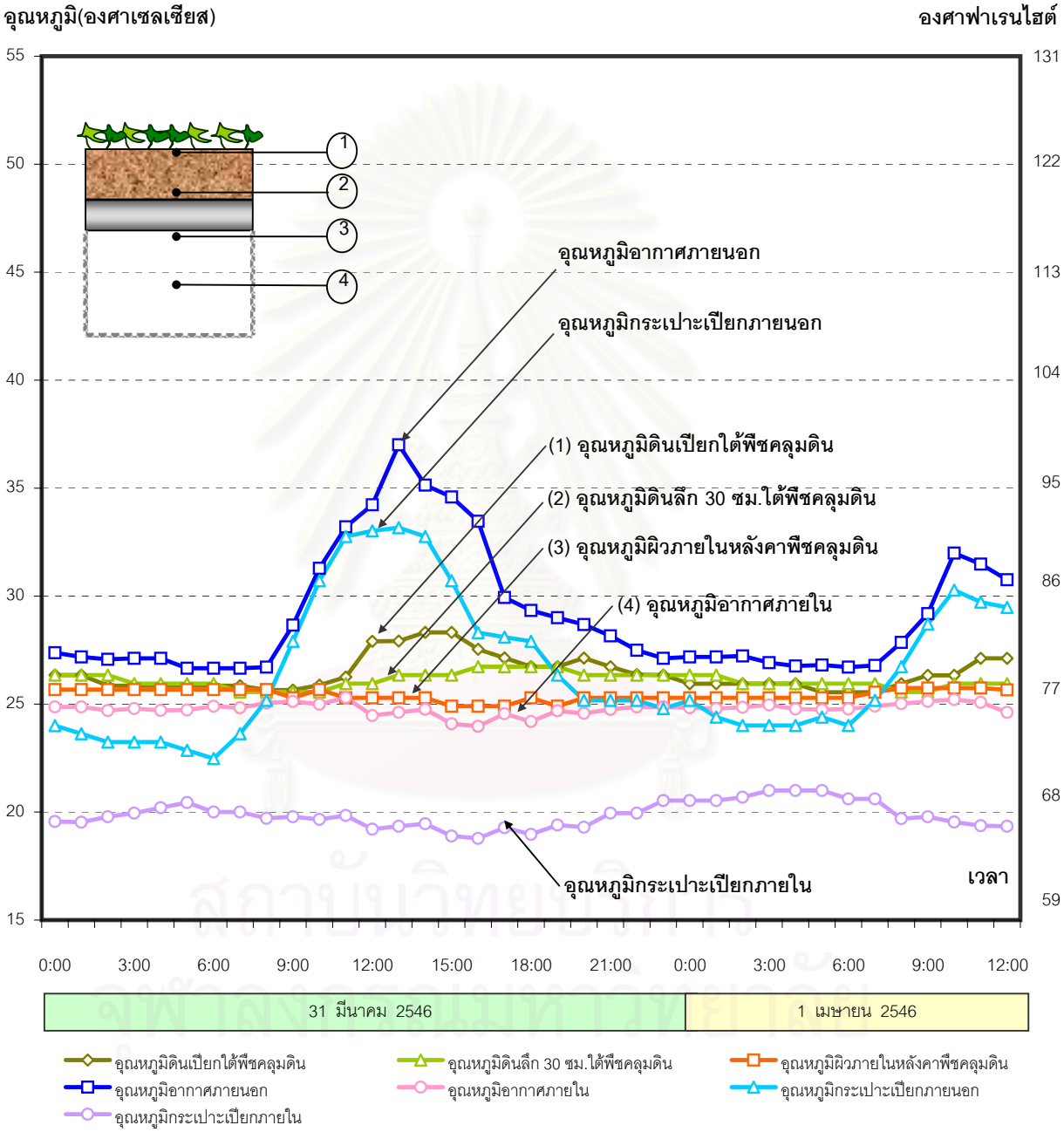
จากกราฟที่ 4-10 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิแต่ละระดับของหลังคาหญ้าเทียบกับอุณหภูมิอากาศภายนอกและอุณหภูมิกระเปาะเปียกในระบบปรับอากาศ

กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิแต่ละระดับของหลังคาหญ้า เทียบกับอุณหภูมิอากาศภายนอกและอุณหภูมิกระเปาะเปียกในระบบปรับอากาศ ระหว่างวันที่ 31 มีนาคม 2546 เวลา 0.00น. ถึง วันที่ 1 เมษายน 2546 เวลา 12.00น. พบว่า ในช่วงเวลาตลอดทั้งวัน อุณหภูมิอากาศภายนอก โดยเฉลี่ยมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิดินเปียกใต้หญ้า อุณหภูมิดินเปียกที่ความลึก 30 ซม.ใต้หญ้า และอุณหภูมิผิวภายในสวนหลังคาหญ้าตามลำดับ

ส่วนในเวลากลางคืน เวลาประมาณ 21:30น. อุณหภูมิดินเปียกที่ความลึก 30 ซม.ใต้หญ้าถึงแม้ว่าจะต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก แต่กลับสูงกว่าอุณหภูมิผิวภายในหลังคาหญ้า และอุณหภูมิดินเปียกใต้หญ้า ตามลำดับ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิแต่ละระดับของหลังคาพืชคลุมดิน
เทียบกับอุณหภูมิอากาศภายนอกและอุณหภูมิกระเปาะเปียกในระบบปรับอากาศ
ระหว่างวันที่ 31 มีนาคม 2546 เวลา 0.00น. ถึง วันที่ 1 เมษายน 2546 เวลา 12.00น.



กราฟที่ 4-11 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิแต่ละระดับของหลังคาพืชคลุมดิน เทียบกับอุณหภูมิอากาศภายนอกและอุณหภูมิกระเปาะเปียกในระบบปรับอากาศ ระหว่างวันที่ 31 มีนาคม 2546 เวลา 0.00น. ถึง วันที่ 1 เมษายน 2546 เวลา 12.00น. พบว่า ในช่วงเวลากลางวันอุณหภูมิอากาศภายนอกโดยเฉลี่ย สูงกว่าอุณหภูมิดินเปียกใต้พืชคลุมดิน อุณหภูมิดินลึก 30 ซม.ใต้พืชคลุมดิน และอุณหภูมิผิวภายในหลังคาพืชคลุมดินตามลำดับ ส่วนในเวลากลางคืนอุณหภูมิอากาศภายนอก โดยเฉลี่ยยังคงสูงกว่า อุณหภูมิดินลึก 30 ซม.ใต้พืชคลุมดิน อุณหภูมิดินเปียกใต้พืชคลุมดิน และอุณหภูมิผิวภายในหลังคาพืชคลุมดินตามลำดับ

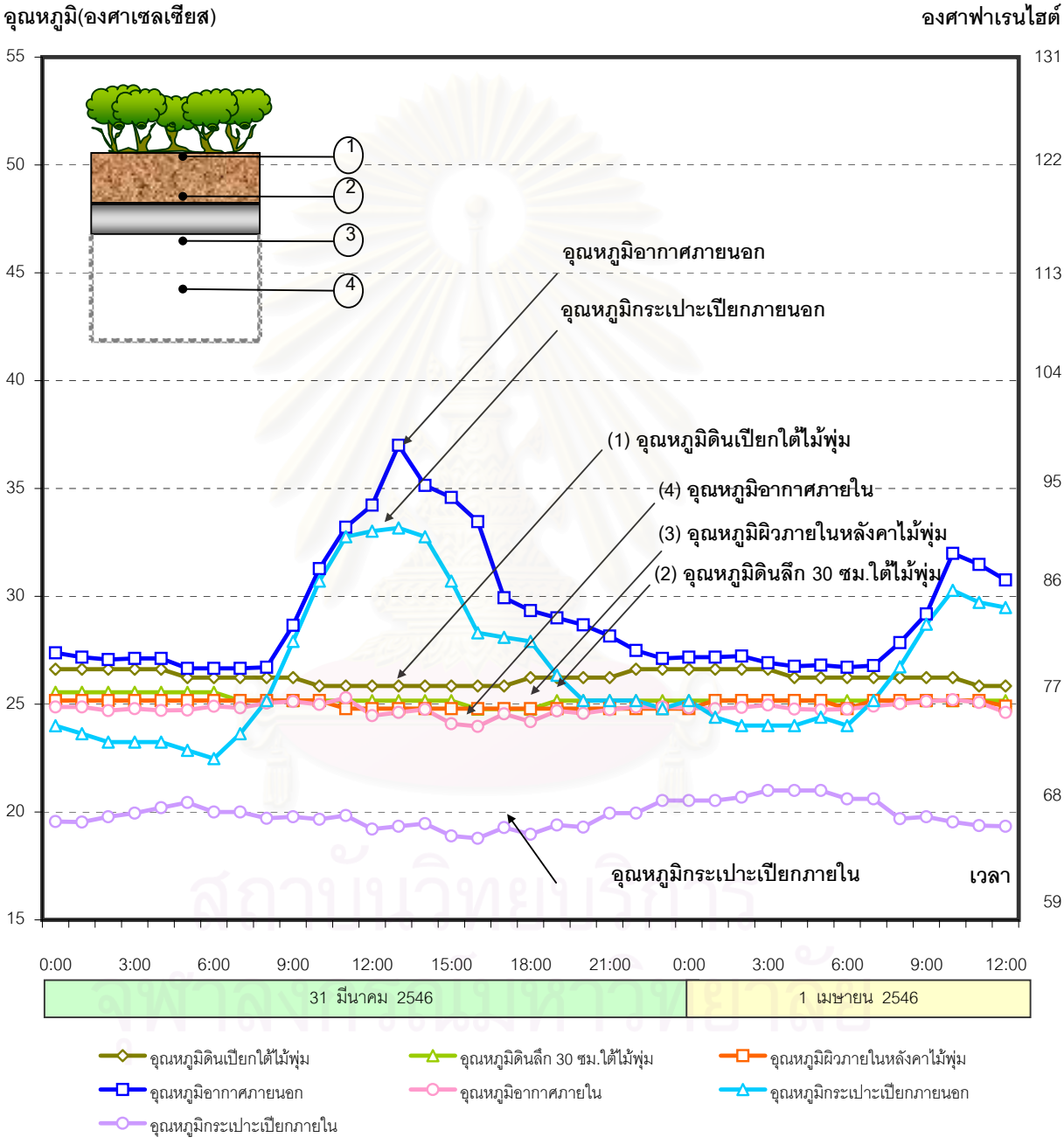
จากกราฟที่ 4-11 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิแต่ละระดับของหลังคาพืชคลุมดินเทียบกับอุณหภูมิอากาศภายนอกและอุณหภูมิกระเปาะเปียกในระบบปรับอากาศ

กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิแต่ละระดับของหลังคาพืชคลุมดิน เทียบกับอุณหภูมิอากาศภายนอกและอุณหภูมิกระเปาะเปียกในระบบปรับอากาศ ระหว่างวันที่ 31 มีนาคม 2546 เวลา 0.00น. ถึง วันที่ 1 เมษายน 2546 เวลา 12.00น. พบว่า ในช่วงเวลาตลอดทั้งวัน อุณหภูมิอากาศภายนอกโดยเฉลี่ยมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิดินเปียกใต้พืชคลุมดิน อุณหภูมิดินเปียกที่ความลึก 30 ซม.ใต้พืชคลุมดินและอุณหภูมิผิวภายในสวนหลังคาพืชคลุมดิน ตามลำดับ

ส่วนในเวลากลางคืน ช่วงเวลาประมาณ 19:30น. – 7:00น. อุณหภูมิดินเปียกใต้พืชคลุมดินและอุณหภูมิดินเปียกที่ความลึก 30 ซม.ใต้พืชคลุมดิน มีอุณหภูมิใกล้เคียงกันมาก แต่ยังคงสูงกว่าอุณหภูมิผิวภายในหลังคาพืชคลุมดิน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิแต่ละระดับของหลังคาไม้พุ่ม
เทียบกับอุณหภูมิอากาศภายนอกและอุณหภูมิกระเปาะเปียกในระบบปรับอากาศ
ระหว่างวันที่ 31 มีนาคม 2546 เวลา 0.00น. ถึง วันที่ 1 เมษายน 2546 เวลา 12.00น.



กราฟที่ 4-12 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิแต่ละระดับของหลังคาไม้พุ่ม เทียบกับอุณหภูมิอากาศภายนอกและอุณหภูมิกระเปาะเปียกในระบบปรับอากาศ ระหว่างวันที่ 31 มีนาคม 2546 เวลา 0.00น. ถึง วันที่ 1 เมษายน 2546 เวลา 12.00น.พบว่าในช่วงเวลากลางวันอุณหภูมิอากาศภายนอกโดยเฉลี่ยสูงกว่าอุณหภูมิดินเปียกใต้ไม้พุ่ม อุณหภูมิดินลึก 30 ซม.ใต้ไม้พุ่ม และอุณหภูมิผิวภายในหลังคาไม้พุ่มตามลำดับ ส่วนในเวลากลางคืนอุณหภูมิอากาศภายนอกโดยเฉลี่ยยังคงสูงกว่าอุณหภูมิดินเปียกใต้ไม้พ่ม อุณหภูมิดินลึก 30 ซม.ใต้ไม้พุ่ม และอุณหภูมิผิวภายในหลังคาพืไม้พุ่ม ตามลำดับ

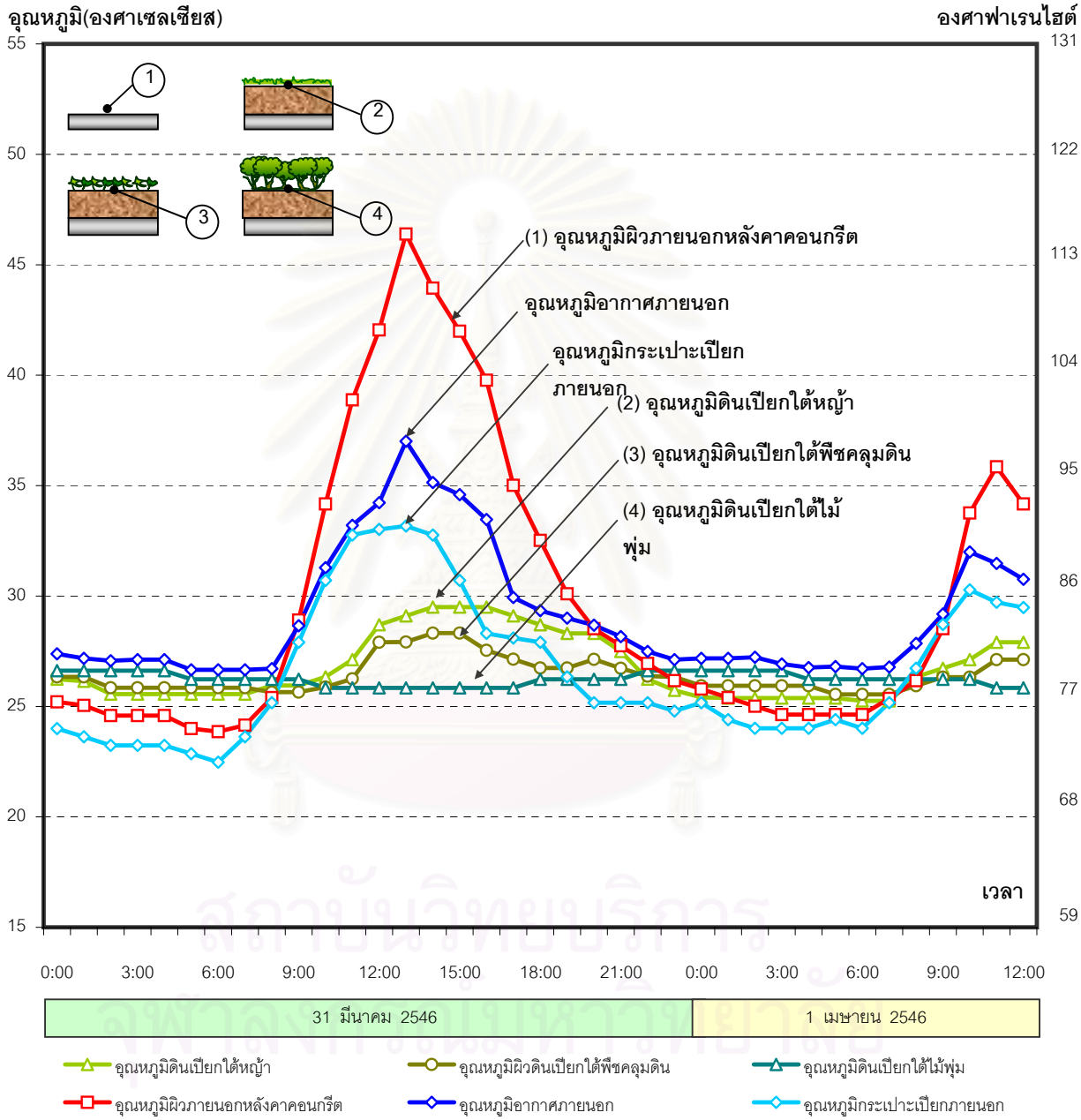
จากกราฟที่ 4-12 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิแต่ละระดับของหลังคาไม้พุ่มเทียบกับณหภูมิอากาศภายนอกและอุณหภูมิกระเปาะเปียกในระบบปรับอากาศ

กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิแต่ละระดับของหลังคาไม้พุ่ม เทียบกับอุณหภูมิอากาศภายนอกและอุณหภูมิกระเปาะเปียกในระบบปรับอากาศ ระหว่างวันที่ 31 มีนาคม 2546 เวลา 0.00น. ถึง วันที่ 1 เมษายน 2546 เวลา 12.00น. พบว่าตลอดระยะเวลาทั้งวันอุณหภูมิอากาศภายนอกมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิดินเปียกใต้ไม้พุ่ม อุณหภูมิดินลึก 30 ซม.ใต้ไม้พุ่ม และอุณหภูมิผิวภายในหลังคาไม้พุ่มตามลำดับ

โดยอุณหภูมิดินเปียกใต้ไม้พุ่ม อุณหภูมิดินลึก 30 ซม.ใต้ไม้พุ่ม และอุณหภูมิผิวภายในหลังคาไม้พุ่มมีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดเวลา ทั้งในช่วงกลางวันและกลางคืน ซึ่งถ้าย้อนกลับไปดูใน กราฟที่ 4-10 และกราฟที่ 4-11 จะพบว่าสวนหลังคาไม้พุ่มมีอุณหภูมิแต่ระระดับของหลังคาคงที่มาก เมื่อเทียบกับสวนหลังคาหญ้าและพืชคลุมดิน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิดินใต้ต้นไม้ต่างชนิดกัน
เทียบกับอุณหภูมิผิวภายนอกหลังคาคอนกรีตของอาคารทั่วไปในระบบปรับอากาศ
ระหว่างวันที่ 31 มีนาคม 2546 เวลา 0.00น. ถึง วันที่ 1 เมษายน 2546 เวลา 12.00น.



กราฟที่ 4-13 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิดินใต้ต้นไม้ต่างชนิดกัน เทียบกับอุณหภูมิผิวภายนอกหลังคาคอนกรีตของอาคารทั่วไปในระบบปรับอากาศ ระหว่างวันที่ 31 มีนาคม 2546 เวลา 0.00น. ถึง วันที่ 1 เมษายน 2546 เวลา 12.00น. พบว่า ในช่วงเวลา 8:00น. ถึง 22:00น. ของวันที่ 31 มีนาคม 2546 อุณหภูมิผิวภายนอกหลังคาคอนกรีตโดยเฉลี่ย สูงกว่าอุณหภูมิดินเปียกโดยเฉลี่ยใต้หญ้า พืชคลุมดิน ไม้พุ่มตามลำดับ ส่วนในช่วงเวลา 22:00น. ของวันที่ 31 มีนาคม 2546 ถึงเวลา 8 :00น. ของวันที่ 1 เมษายน 2546 พบว่า อุณหภูมิดินเปียกโดยเฉลี่ยต่ำใต้ไม้พุ่มกว่า พืชคลุมดิน หญ้า และอุณหภูมิผิวภายนอกหลังคาคอนกรีต

จากกราฟที่ 4-13 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิดินใต้ต้นไม้ต่างชนิดกันเทียบกับอุณหภูมิผิวภายนอกหลังคาคอนกรีตของอาคารทั่วไปในระบบปรับอากาศ

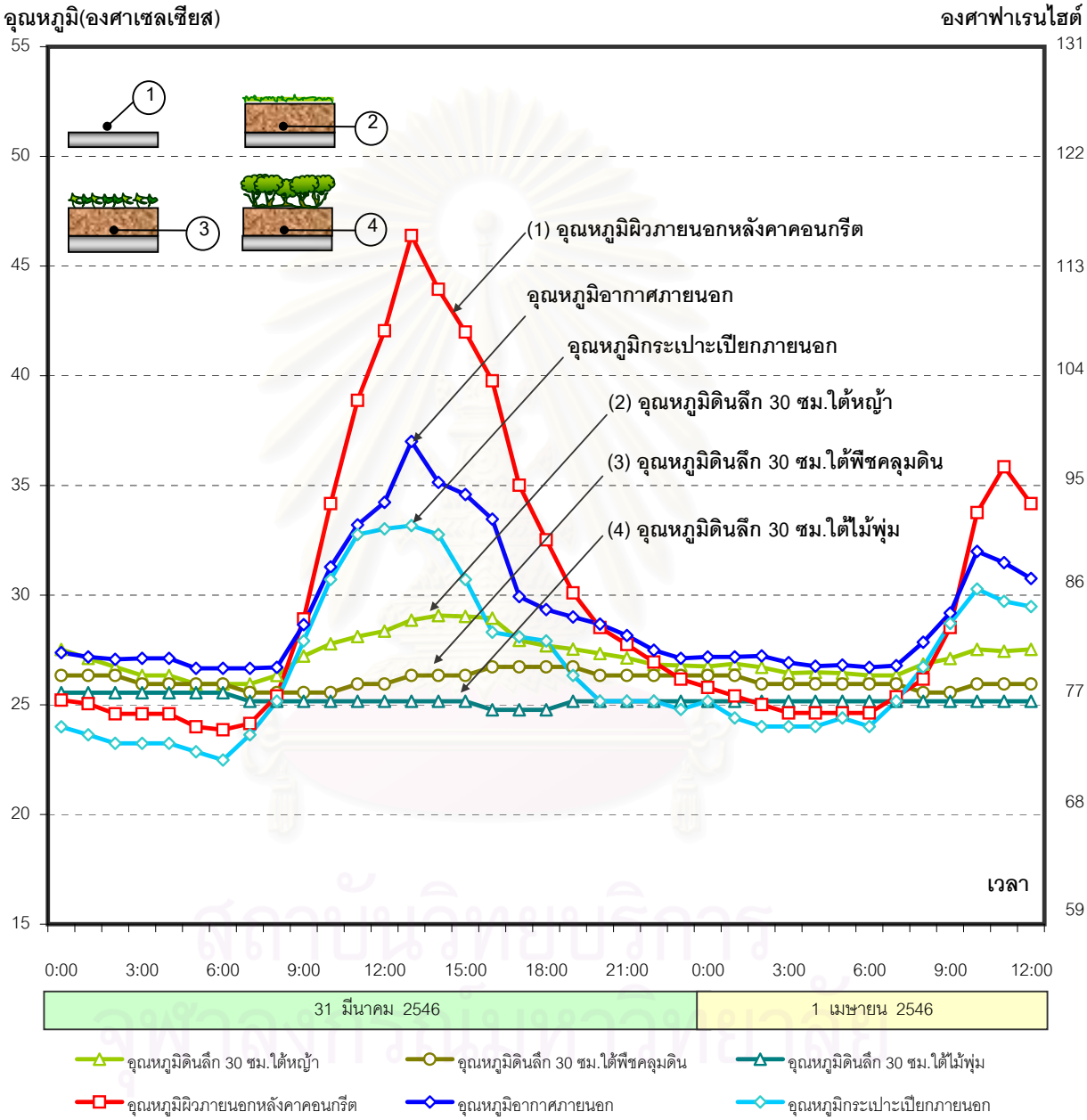
กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิดินใต้ต้นไม้ต่างชนิดกัน เทียบกับอุณหภูมิผิวภายนอกหลังคาคอนกรีตของอาคารทั่วไปในระบบปรับอากาศ ระหว่างวันที่ 31 มีนาคม 2546 เวลา 0.00น. ถึง วันที่ 1 เมษายน 2546 เวลา 12.00น. พบว่า ในช่วงเวลากลางวัน 8:00น. ถึง 22:00น. ของวันที่ 31 มีนาคม 2546 อุณหภูมิผิวภายนอกหลังคาคอนกรีตโดยเฉลี่ยสูงกว่าอุณหภูมิดินเปียกโดยเฉลี่ยใต้หญ้า อุณหภูมิดินเปียกใต้พืชคลุมดิน และอุณหภูมิดินเปียกใต้ไม้พุ่มตามลำดับ

ส่วนในช่วงเวลากลางคืน 22:00น. ของวันที่ 31 มีนาคม 2546 ถึงเวลา 8:00น. ของวันที่ 1 เมษายน 2546 พบว่า อุณหภูมิดินเปียกโดยเฉลี่ยใต้ไม้พุ่มสูงกว่า อุณหภูมิดินเปียกใต้พืชคลุมดิน อุณหภูมิดินเปียกใต้หญ้า และอุณหภูมิผิวภายนอกหลังคาคอนกรีต

โดยในช่วงเวลากลางวันช่วงเวลา 13:00น. อุณหภูมิผิวภายนอกหลังคาคอนกรีตมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกถึง 10 องศาเซลเซียส ในขณะที่อุณหภูมิดินเปียกใต้หญ้ามีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกถึง 7 องศาเซลเซียส อุณหภูมิดินเปียกใต้พืชคลุมดินมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกถึง 8 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิดินเปียกใต้ไม้พุ่มมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกถึง 11 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิดินที่ระดับความลึก 30 เซนติเมตรใต้ต้นไม้ต่างชนิดกัน เทียบกับอุณหภูมิผิวภายนอกหลังคาคอนกรีตของอาคารทั่วไปในระบบปรับอากาศ ระหว่างวันที่ 31 มีนาคม 2546 เวลา 0.00น. ถึง วันที่ 1 เมษายน 2546 เวลา 12.00น.



กราฟที่ 4-14 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิดินที่ระดับความลึก 30 เซนติเมตร ใต้ต้นไม้ต่างชนิดกัน เทียบกับอุณหภูมิผิวภายนอกหลังคาคอนกรีตของอาคารทั่วไปในระบบปรับอากาศ ระหว่างวันที่ 31 มีนาคม 2546 เวลา 0.00น. ถึง วันที่ 1 เมษายน 2546 เวลา 12.00น. พบว่า ในช่วงเวลา 8:30น. ถึง 22:00น. ของวันที่ 31 มีนาคม 2546 อุณหภูมิผิวภายนอกหลังคาคอนกรีตโดยเฉลี่ย สูงกว่าอุณหภูมิดินที่ระดับความลึก 30 ซม. โดยเฉลี่ยของหญ้า พืชคลุมดิน ไม้พุ่มตามลำดับ ส่วนในช่วงเวลา 22:00น. ของวันที่ 31 มีนาคม 2546 ถึง 8:00น. ของวันที่ 1 เมษายน 2546 พบว่า อุณหภูมิดินที่ระดับความลึก 30 ซม. โดยเฉลี่ยของไม้พุ่มต่ำกว่า พืชคลุมดิน หญ้า และอุณหภูมิผิวภายนอกหลังคาคอนกรีต

กราฟที่ 4-14 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิดินที่ระดับความลึก 30 เซนติเมตร ใต้ต้นไม้ต่างชนิดกัน เทียบกับอุณหภูมิผิวภายนอกหลังคาคอนกรีตของอาคารทั่วไปในระบบปรับอากาศ

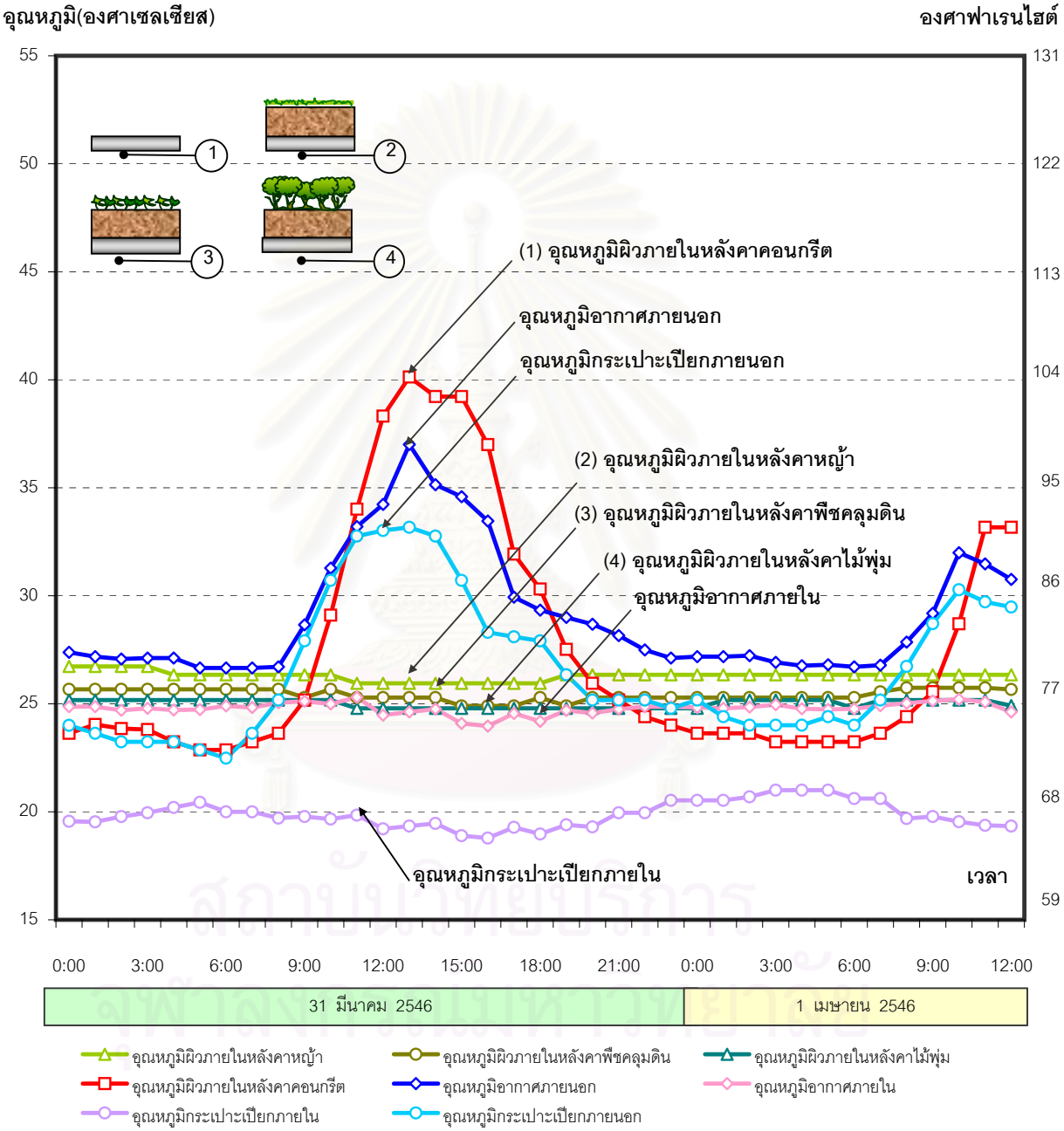
กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิดินที่ระดับความลึก 30 เซนติเมตร ใต้ต้นไม้ต่างชนิดกัน เทียบกับอุณหภูมิผิวภายนอกหลังคาคอนกรีตของอาคารทั่วไปในระบบปรับอากาศ ระหว่างวันที่ 31 มีนาคม 2546 เวลา 0.00น. ถึง วันที่ 1 เมษายน 2546 เวลา 12.00น. พบว่า ในช่วงเวลากลางวัน 8:00 น. ถึง 22:00น. ของวันที่ 31 มีนาคม 2546 อุณหภูมิผิวภายนอกหลังคาคอนกรีตโดยเฉลี่ยสูงกว่าอุณหภูมิดินเปียกที่ความลึก 30 ซม.โดยเฉลี่ยใต้หญ้า อุณหภูมิดินเปียกที่ความลึก 30 ซม.ใต้พืชคลุมดิน และอุณหภูมิดินเปียกที่ความลึก 30 ซม.ใต้ไม้พุ่มตามลำดับ

ส่วนในช่วงเวลากลางคืน 22:00น. ของวันที่ 31 มีนาคม 2546 ถึงเวลา 8:00น. ของวันที่ 1 เมษายน 2546 พบว่า อุณหภูมิดินเปียกที่ความลึก 30 ซม.โดยเฉลี่ยใต้ไม้พุ่มสูงกว่า อุณหภูมิดินเปียกที่ความลึก 30 ซม.ใต้พืชคลุมดิน อุณหภูมิดินเปียกที่ความลึก 30 ซม.ใต้หญ้า และอุณหภูมิผิวภายนอกหลังคาคอนกรีต

โดยในช่วงเวลากลางวันช่วงเวลา 13:00น. อุณหภูมิผิวภายนอกหลังคาคอนกรีตมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกถึง 10 องศาเซลเซียส ในขณะที่อุณหภูมิดินเปียกที่ความลึก 30 ซม.ใต้หญ้ามีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกถึง 7 องศาเซลเซียส อุณหภูมิดินเปียกที่ความลึก 30 ซม.ใต้พืชคลุมดินมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกถึง 8 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิดินเปียกที่ความลึก 30 ซม.ใต้ไม้พุ่มมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกถึง 11 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวหลังคาภายในของต้นไม้ต่างชนิดกัน เทียบกับอุณหภูมิอากาศภายนอกและอุณหภูมิอากาศภายใน ในระบบปรับอากาศ ระหว่างวันที่ 31 มีนาคม 2546 เวลา 0.00น. ถึง วันที่ 1 เมษายน 2546 เวลา 12.00น.



กราฟที่ 4-15 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวหลังคาภายในของต้นไม้ต่างชนิดกัน เทียบกับอุณหภูมิอากาศภายนอกและอุณหภูมิอากาศภายใน ในระบบปรับอากาศ ระหว่างวันที่ 31 มีนาคม 2546 เวลา 0.00น. ถึง วันที่ 1 เมษายน 2546 เวลา 12.00น. พบว่า ช่วงเวลา 9:00น. ถึง 20:00น. ของวันที่ 31 มีนาคม 2536 อุณหภูมิผิวภายในหลังคาคอนกรีตโดยเฉลี่ย สูงกว่าอุณหภูมิผิวภายในของหลังคาหญ้า หลังคาพืชคลุมดิน และหลังคาไม้พุ่มตามลำดับ ส่วนในช่วงเวลา 20:00น. ของวันที่ 31 มีนาคม 2546 ถึงเวลา 9:15น. ของวันที่ 1 เมษายน 2546 พบว่าอุณหภูมิผิวภายในโดยเฉลี่ยของหลังคาหญ้าสูงกว่า หลังคาพืชคลุมดิน หลังคาไม้พุ่ม และหลังคาคอนกรีตตามลำดับ

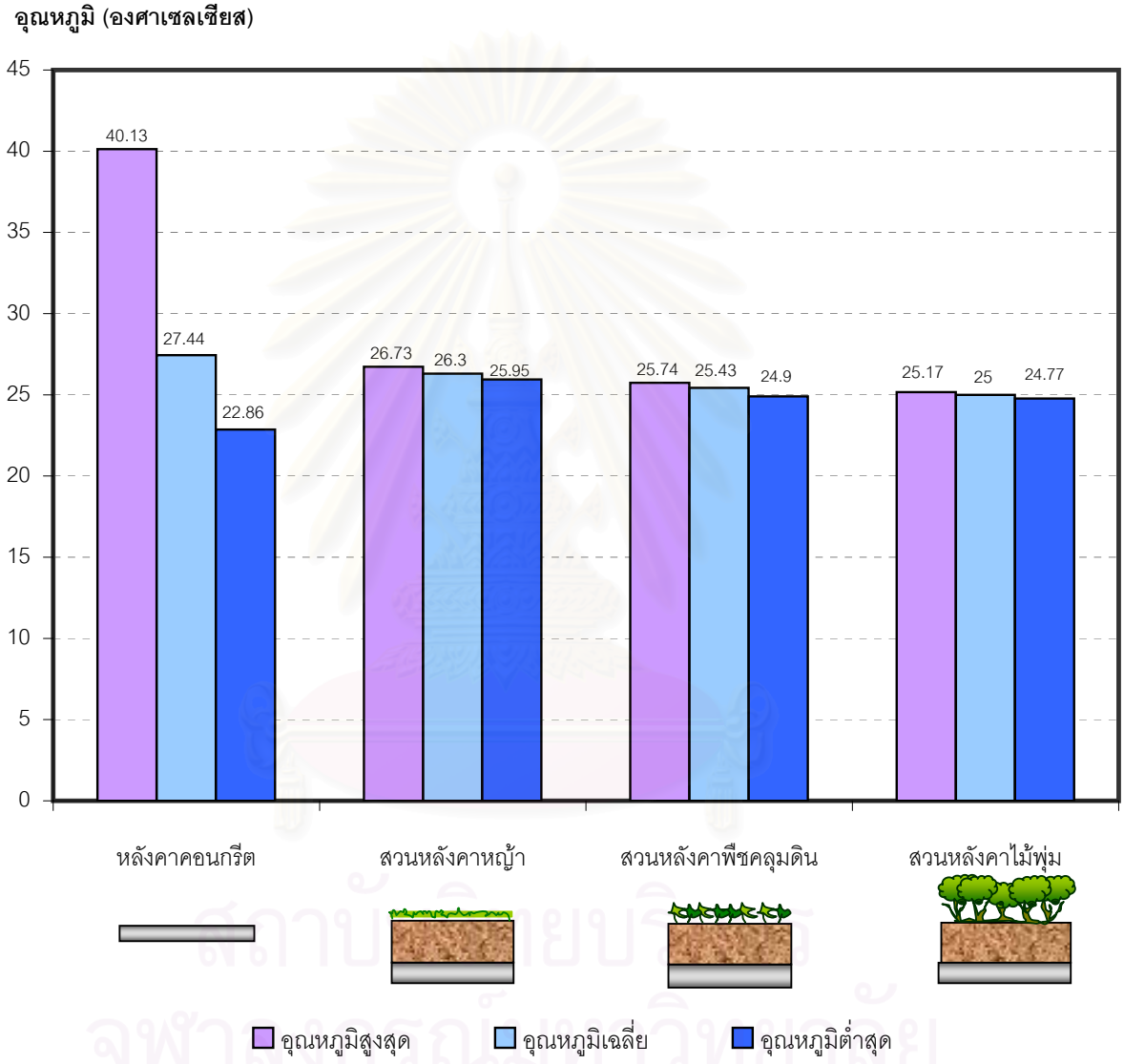
กราฟที่ 4-15 **กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวหลังคาภายในของต้นไม้ต่างชนิดกัน เทียบกับอุณหภูมิอากาศภายนอกและอุณหภูมิอากาศภายใน ในระบบปรับอากาศ**

กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวหลังคาภายในของต้นไม้ต่างชนิดกัน เทียบกับอุณหภูมิอากาศภายนอกและอุณหภูมิอากาศภายใน ในระบบปรับอากาศ ระหว่างวันที่ 31 มีนาคม 2546 เวลา 0.00น. ถึง วันที่ 1 เมษายน 2546 เวลา 12.00น. พบว่า ช่วงเวลา 9:00น. ถึง 20:00น. ของวันที่ 31 มีนาคม 2536 อุณหภูมิผิวภายในหลังคาคอนกรีตโดยเฉลี่ย สูงกว่าอุณหภูมิผิวภายในของหลังคาหญ้า อุณหภูมิผิวภายในหลังคาพืชคลุมดิน และอุณหภูมิผิวภายในหลังคาไม้พุ่มตามลำดับ ส่วนในช่วงเวลา 20:00น. ของวันที่ 31 มีนาคม 2546 ถึงเวลา 9:15น. ของวันที่ 1 เมษายน 2546 พบว่าอุณหภูมิผิวภายในโดยเฉลี่ยของหลังคาหญ้ายังคงสูงกว่า อุณหภูมิผิวภายในหลังคาพืชคลุมดิน อุณหภูมิผิวภายในหลังคาไม้พุ่ม และหลังคาคอนกรีตตามลำดับ

ซึ่งจะเห็นว่าสวนหลังคาทั้งสามมีอุณหภูมิผิวภายในคงที่ตลอดทั้งวัน แต่หลังคาคอนกรีตนั้นมีในช่วงเวลากลางวันมีอุณหภูมิผิวภายในสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก แต่ในช่วงเวลากลางคืนกลับมีอุณหภูมิผิวภายในต่ำกว่าอึณหภูมิอากาศภายนอก นั่นคืออุณหภูมิผิวภายในของหลังคาคอนกรีตจะแปรเปลี่ยนไปตามสภาพแวดล้อมอย่างรุนแรง ส่งผลให้ในช่วงเวลากลางวันมีความร้อนผ่านเข้ามาภายในอาคารมาก จึงเป็นภาระในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ ผิดกับสวนหลังคาซึ่งไม่แปรเปลี่ยนไปตามสภาพแวดล้อม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

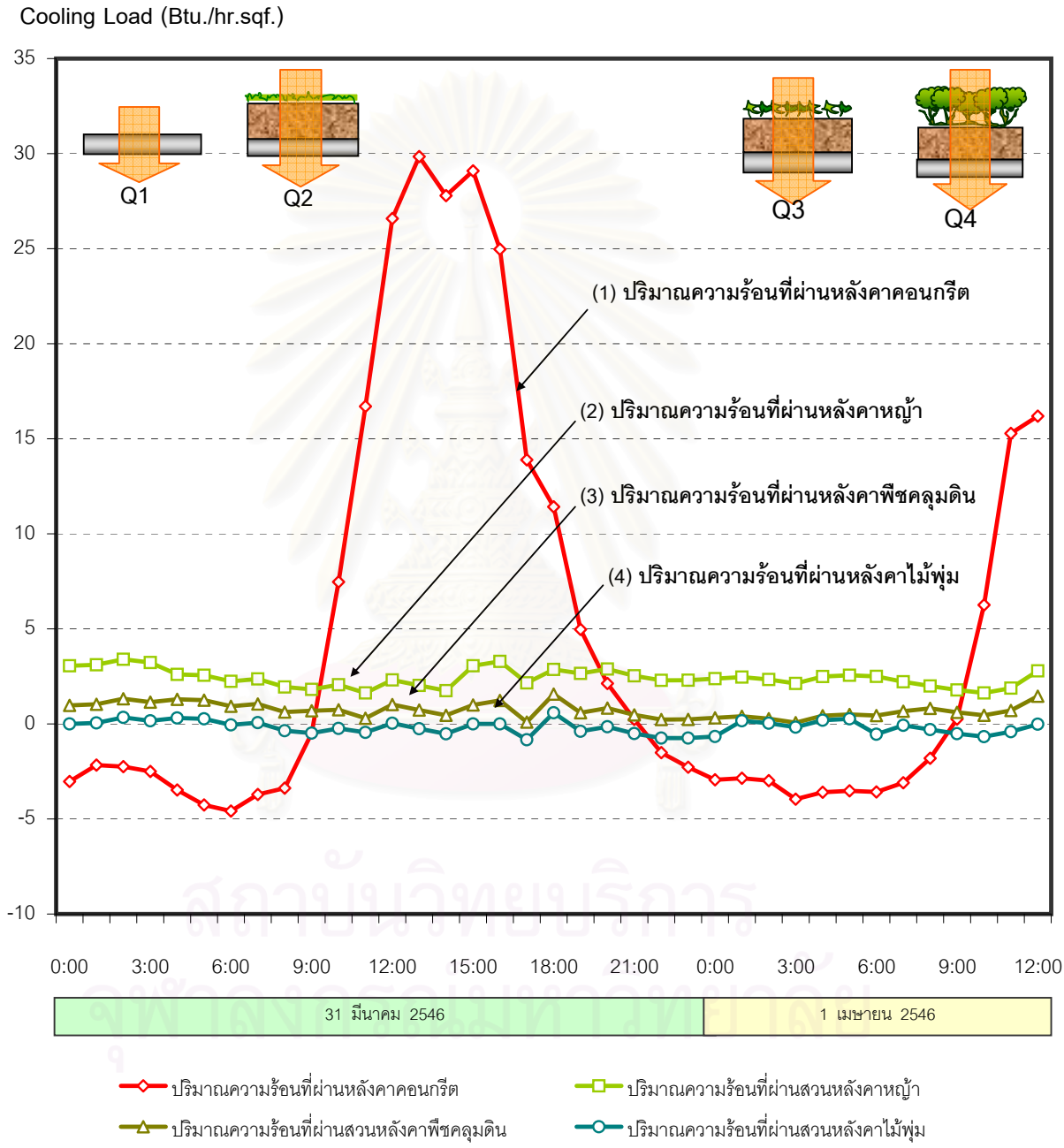
แผนภูมิแท่งแสดงอุณหภูมิผิวภายในสูงสุด - ต่ำสุด - เฉลี่ย
ของหลังคาคอนกรีต สวนหลังคาหญ้า พืชคลุมดิน และไม้พุ่ม ในระบบปรับอากาศ
ระหว่างวันที่ 31 มีนาคม 2546 เวลา 0.00น. ถึง วันที่ 1 เมษายน 2546 เวลา 12.00น.



กราฟที่ 4-16 แผนภูมิแท่งแสดงอุณหภูมิผิวภายในสูงสุด - ต่ำสุด - เฉลี่ย ของหลังคาคอนกรีต สวนหลังคาหญ้า พืชคลุมดิน และไม้พุ่ม ในระบบปรับอากาศ ระหว่างวันที่ 31 มีนาคม 2546 เวลา 0.00น. ถึง วันที่ 1 เมษายน 2546 เวลา 12.00น. พบว่า อุณหภูมิผิวภายในสูงสุดและอุณหภูมิเฉลี่ยเรียงตามลำดับจากมากไปหาน้อยดังนี้ หลังคาคอนกรีต สวนหลังคาหญ้า พืชคลุมดิน และไม้พุ่มตามลำดับ ส่วนอุณหภูมิต่ำสุดเรียงตามลำดับจากมากไปหาน้อยคือ สวนหลังคาหญ้า พืชคลุมดิน ไม้พุ่ม และหลังคาคอนกรีต

จะเห็นว่า อุณหภูมิผิวภายในสูงสุด - ต่ำสุด - เฉลี่ย ของสวนหลังคาหญ้า พืชคลุมดิน และไม้พุ่ม มีค่าใกล้เคียงกันซึ่งแตกต่างกับหลังคาคอนกรีตที่มีค่าสูงสุด - ต่ำสุด แตกต่างกันมาก นั่นคือ สวนหลังคามีสวนช่วยให้อุณหภูมิผิวภายในคงที่ ไม่ผันแปรตามสภาพแวดล้อมภายนอก

กราฟแสดงปริมาณความร้อนที่ผ่านหลังคาคอนกรีต
สวนหลังคาหญ้า พืชคลุมดิน และไม้พุ่ม
ระหว่างวันที่ 31 มีนาคม 2546 เวลา 0.00น. ถึง วันที่ 1 เมษายน 2546 เวลา 12.00น.



กราฟที่ 4-17 กราฟแสดงปริมาณความร้อนที่ผ่านหลังคาคอนกรีต สวนหลังคาหญ้า พืชคลุมดิน และไม้พุ่ม ระหว่างวันที่ 31 มีนาคม 2546 เวลา 0.00น. ถึงวันที่ 1 เมษายน 2546 เวลา 12.00น. พบว่า หลังคาคอนกรีตช่วงเวลา 9:00 - 21:00น. ของวันที่ 31 มีนาคม 2546 เป็นช่วงเวลาที่ปริมาณความร้อนเข้าสู่ภายในอาคาร (Heat Gain) ส่วนในเวลา 21:00น. ของวันที่ 31 มีนาคม ถึง เวลา 9:00น. เป็นช่วงเวลาที่ความร้อนจากภายในออกสู่ภายนอก (Heat Lose) แต่พบว่าสวนหลังคาหญ้าและพืชคลุมดิน เกิด Heat Gain ตลอดทั้งวัน โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 2.41 และ 0.73 Btu./hr.sqf. ตามลำดับ ส่วนสวนหลังคาไม้พุ่มโดยเฉลี่ยเกิด Heat Lose 0.17 Btu./hr.sqf.

สรุปผลการทดลองที่ 2.1

จากกราฟที่ 4-15 จะเห็นว่าปริมาณความร้อนที่ผ่านหลังคาคอนกรีต ในเวลากลางวันนั้นมีค่าสูงมากกว่าสวนหลังคามาก ทำให้เกิดความร้อนผ่านเข้ามาภายในอาคาร (Heat Gain) เกือบตลอดเวลา แต่ในทางกลับกันเวลากลางคืนปริมาณความร้อนจากภายในอาคาร กลับสูญเสียออกสู่ภายนอก (Heat Lose)

ซึ่งถ้าเปรียบเทียบกับสวนหลังคาแล้ว ถึงแม้ว่าสวนหลังคาหญ้าจะมีปริมาณความร้อนเข้ามาภายในอาคารมากที่สุด รองลงมาคือสวนหลังคาพืชคลุมดิน ละสวนหลังคาไม้พุ่ม แต่เป็นปริมาณความร้อนที่เข้ามาน้อยมาก เมื่อเทียบกับหลังคาคอนกรีต ดังตาราง

จากสูตร $$Q = C * A * \Delta t$$

จึงได้ค่าปริมาณความร้อนที่เป็นภาระในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศดังนี้

	Load ที่ใช้ในการปรับอากาศ (Btu./h.sqf.)
หลังคาคอนกรีต	29.84
สวนหลังคาหญ้า	3.29
สวนหลังคาพืชคลุมดิน	1.57
สวนหลังคาไม้พุ่ม	0.59

จึงสามารถสรุปได้ว่าสวนหลังคาไม้พุ่ม ช่วยลดภาระในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศลงได้ถึง 88.94%

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.2 การทดลองที่ 2.2 การศึกษาสวนหลังคากับอาคารในระบบไม่ปรับอากาศ

วิธีการทดลอง ทำการเก็บข้อมูลตัวแปร เพื่อทำการเปรียบเทียบความรู้สึกเสมือนของผู้อยู่อาศัยในอาคารระหว่างสวนหลังคา กับหลังคาทั่วไป

ตัวแปรที่ทำการศึกษา

ตัวแปรต้น - รูปแบบของหลังคา ได้แก่ หลังคาหญ้า พืชคลุมดิน ไม้พุ่ม และหลังคาคอนกรีต

ตัวแปรตาม - อุณหภูมิผิวภายในสวนหลังคาหญ้า พืชคลุมดิน ไม้พุ่ม และหลังคาคอนกรีต

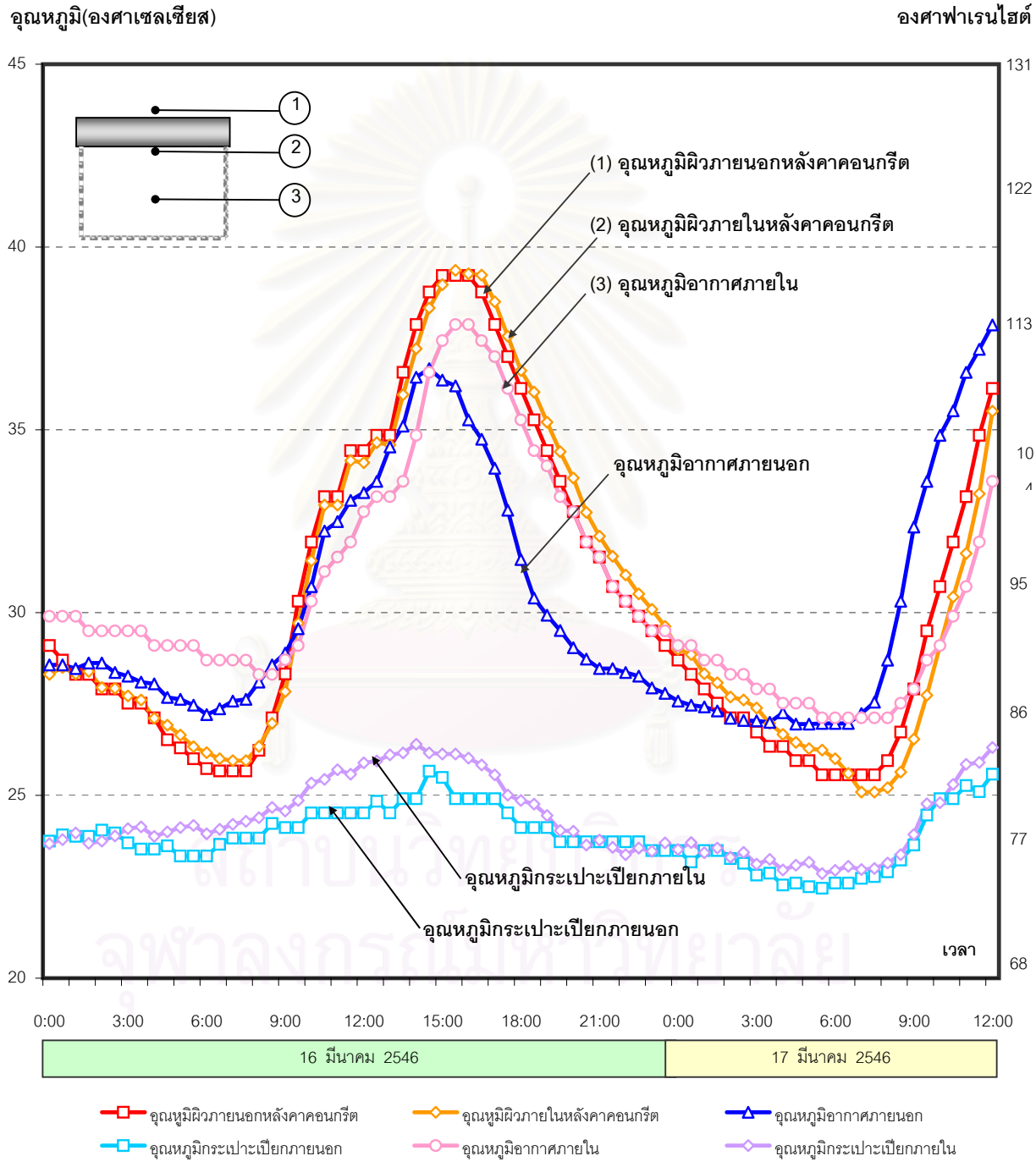
ตัวแปรควบคุม - ทำการเก็บข้อมูลในสภาพแวดล้อมเดียวกัน ความเร็วลมเท่ากัน ส่วนประกอบของดินเท่ากัน และให้น้ำในปริมาณที่เท่ากัน

วิเคราะห์ผลการทดลอง

- อุณหภูมิดินที่ระดับความลึก 5 ซม.ของสวนหลังคาหญ้า พืชคลุมดิน ไม้พุ่มและหลังคาคอนกรีต
- อุณหภูมิดินที่ระดับความลึก 30 ซม.ของสวนหลังคาหญ้า พืชคลุมดิน ไม้พุ่มและหลังคาคอนกรีต
- อุณหภูมิผิวภายในของสวนหลังคาหญ้า พืชคลุมดิน ไม้พุ่มและหลังคาคอนกรีต

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิแต่ละระดับของหลังคาคอนกรีต
เทียบกับอุณหภูมิอากาศภายนอกและอุณหภูมิกระเปาะเปียกในระบบไม่ปรับอากาศ
ระหว่างวันที่ 16 มีนาคม 2546 เวลา 0.00น. ถึง วันที่ 17 มีนาคม 2546 เวลา 12.00น.



กราฟที่ 4 - 18 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิแต่ละระดับของหลังคาคอนกรีต เทียบกับอุณหภูมิอากาศภายนอกและอุณหภูมิกระเปาะเปียกในระบบไม่ปรับอากาศ ระหว่างวันที่ 16 มีนาคม 2546 เวลา 0.00น. ถึง วันที่ 17 มีนาคม 2546 เวลา 12.00น.ซึ่งพบว่าอุณหภูมิผิวภายนอกและภายในของหลังคาคอนกรีต มีค่าใกล้เคียงกัน และมีแนวโน้มไปในแนวทางเดียวกัน โดยอุณหภูมิสูงสุดของหลังคาคอนกรีตด้านบนมีค่าสูงสุดที่เวลา 15:00น. สุกงกว่าอุณหภูมิอากาศขณะนั้นถึง 9 องศาเซลเซียส

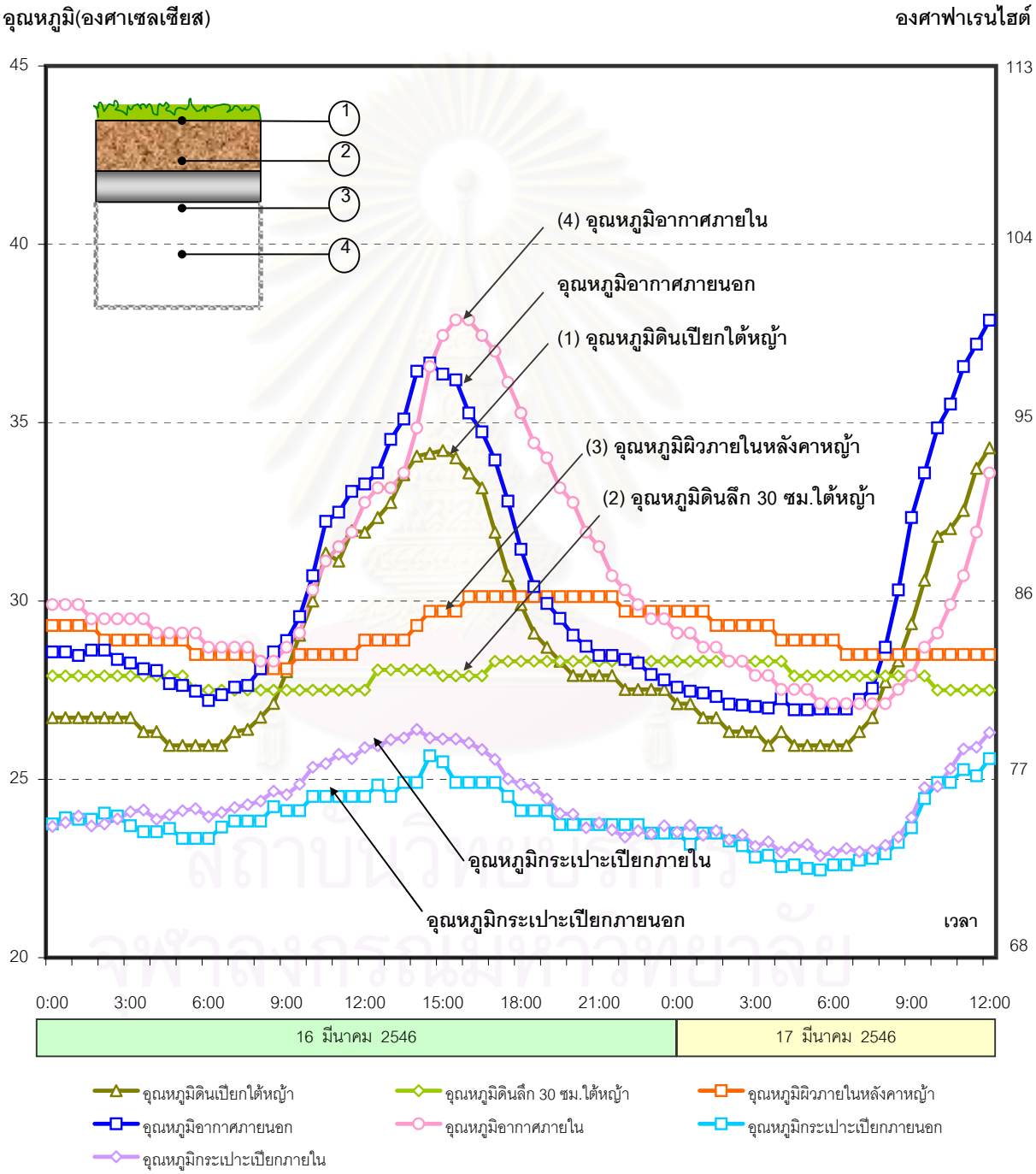
จากกราฟที่ 4-18 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิแต่ละระดับของหลังคาคอนกรีตเทียบกับอุณหภูมิอากาศภายนอกและอุณหภูมิกระเปาะเปียกในระบบไม่ปรับอากาศ

แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิแต่ละระดับของหลังคาคอนกรีต เทียบกับอุณหภูมิอากาศภายนอกและอุณหภูมิกระเปาะเปียกในระบบไม่ปรับอากาศ ระหว่างวันที่ 16 มีนาคม 2546 เวลา 0.00น. ถึง วันที่ 17 มีนาคม 2546 เวลา 12.00น. พบว่า อุณหภูมิผิวภายนอกและภายในของหลังคาคอนกรีต มีค่าใกล้เคียงกัน และมีแนวโน้มไปในแนวทางเดียวกันตลอดทั้งวัย โดยอุณหภูมิสูงสุดของหลังคาคอนกรีตด้านบนมีค่าสูงสุดที่เวลา 15:00น. สูงกว่าอุณหภูมิอากาศขณะนั้นถึง 9 องศาเซลเซียส

ในช่วงเวลา 9:00น. ของวันที่ 16 มีนาคม 2546 ถึง เวลา 2:00น. ของวันที่ 17 มีนาคม 2546 อุณหภูมิผิวภายนอกและภายในของหลังคาคอนกรีต มีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก และอุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลอง และในช่วงเวลา 2:00น.- 7:00น. ของวันที่ 17 มีนาคม 2546 อุณหภูมิผิวหลังคาคอนกรีตทั้งภายนอกและภายใน มีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกและอุณหภูมิอากาศภายใน เนื่องจากในเวลากลางคืนหลังคาคอนกรีตจะแผ่รังสีความร้อนคืนสู่ท้องฟ้า

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิแต่ละระดับของหลังคาหญ้า
เทียบกับอุณหภูมิอากาศภายนอกและอุณหภูมิกระเปาะเปียกในระบบไม่ปรับอากาศ
ระหว่างวันที่ 16 มีนาคม 2546 เวลา 0.00น. ถึง วันที่ 17 มีนาคม 2546 เวลา 12.00น.



กราฟที่ 4 - 19 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิแต่ละระดับของหลังคาหญ้า เทียบกับอุณหภูมิอากาศภายนอกและอุณหภูมิกระเปาะเปียกในระบบไม่ปรับอากาศ ระหว่างวันที่ 16 มีนาคม 2546 เวลา 0.00น. ถึง วันที่ 17 มีนาคม 2546 เวลา 12.00น.พบว่า ในช่วงเวลากลางวันอุณหภูมิดินเปียกใต้หญ้าที่ 5 ซม. มีอุณหภูมิสูงที่สุด รองลงมาคืออุณหภูมิผิวภายในหลังคาหญ้า และอุณหภูมิดินเปียกใต้หญ้าที่ 30 ซม. สวนในช่วงเวลากลางคืน อุณหภูมิผิวภายในหลังคาหญ้ามีค่าสูงสุด โดยสูงกว่าอุณหภูมิดินลึก 30 ม.ใต้หญ้า และอุณหภูมิดินที่ระดับความลึก 5 ซม. ใต้หญ้าตามลำดับ

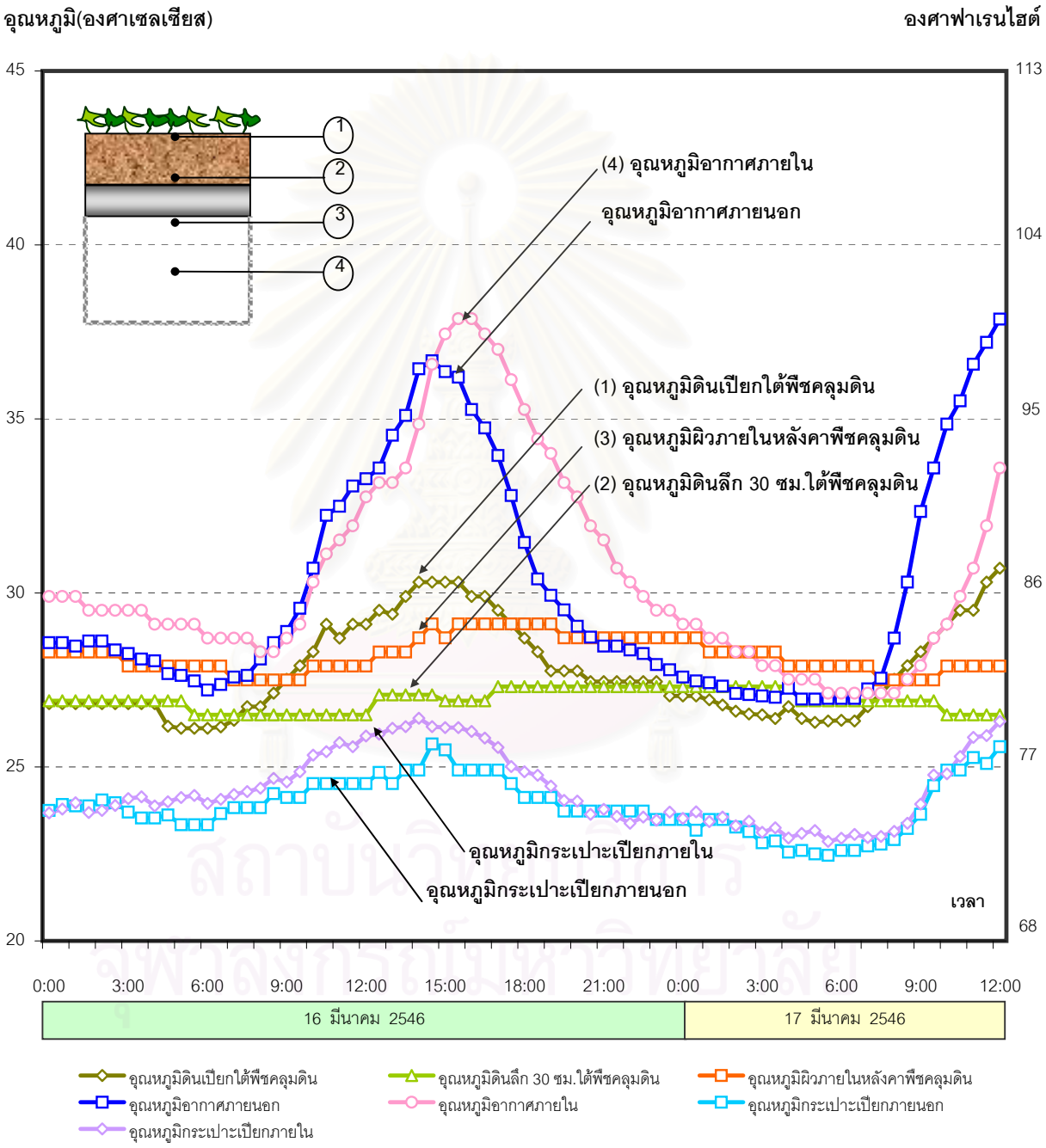
จากกราฟที่ 4-19 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิแต่ละระดับของหลังคาหญ้าเทียบกับอุณหภูมิอากาศภายนอกและอุณหภูมิกระเปาะเปียกในระบบไม่ปรับอากาศ

กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิแต่ละระดับของหลังคาหญ้า เทียบกับอุณหภูมิอากาศภายนอกและอุณหภูมิกระเปาะเปียกในระบบไม่ปรับอากาศ ระหว่างวันที่ 16 มีนาคม 2546 เวลา 0.00น. ถึง วันที่ 17 มีนาคม 2546 เวลา 12.00น.พบว่า ในช่วงเวลากลางวัน เวลา 8:00น. – 19:00น. ของวันที่ 16 มีนาคม 2546 อุณหภูมิดินเปียกใต้หญ้าที่ความลึก 5 ซม. มีอุณหภูมิสูงที่สุด รองลงมาคือ อุณหภูมิผิวภายในหลังคาหญ้า และอุณหภูมิดินเปียกใต้หญ้าที่ความลึก 30 ซม.

สวนในช่วงเวลากลางคืน เวลา 19:00น. ของวันที่ 16 มีนาคม 2546 ถึง 8:00น. ของวันที่ 17 มีนาคม 2546 อุณหภูมิผิวภายในหลังคาหญ้ามีค่าสูงสุด โดยสูงกว่าอุณหภูมิดินลึก 30 ม.ใต้หญ้า และอุณหภูมิดินที่ระดับความลึก 5 ซม. ใต้หญ้าตามลำดับ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิแต่ละระดับของหลังคาพืชคลุมดิน
เทียบกับอุณหภูมิอากาศภายนอกและอุณหภูมิกระเปาะเปียกในระบบไม่ปรับอากาศ
ระหว่างวันที่ 16 มีนาคม 2546 เวลา 0.00น. ถึง วันที่ 17 มีนาคม 2546 เวลา 12.00น.



กราฟที่ 4 -20 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิแต่ละระดับของหลังคาพืชคลุมดิน เทียบกับอุณหภูมิอากาศภายนอกและอุณหภูมิ กระเปาะเปียกในระบบไม่ปรับอากาศ ระหว่างวันที่ 16 มีนาคม 2546 เวลา 0.00น. ถึง วันที่ 17 มีนาคม 2546 เวลา 12.00น.พบว่าในช่วงเวลากลางวันอุณหภูมิดินเปียกใต้พืชคลุมดินที่ 5 ซม. มีอุณหภูมิสูงที่สุด รองลงมาคืออุณหภูมิผิวภายในหลังคาพืชคลุมดิน และอุณหภูมิดินเปียกใต้พืชคลุมดินที่ 30 ซม. สวนในช่วงเวลากลางคืน อุณหภูมิผิวภายในหลังคาพืชคลุมดินมีค่าสูงสุด โดยสูงกว่าอุณหภูมิดินลึก 30 ม.ใต้พืชคลุมดิน และอุณหภูมิดินที่ระดับความลึก 5 ซม. ใต้พืชคลุมดินตามลำดับ

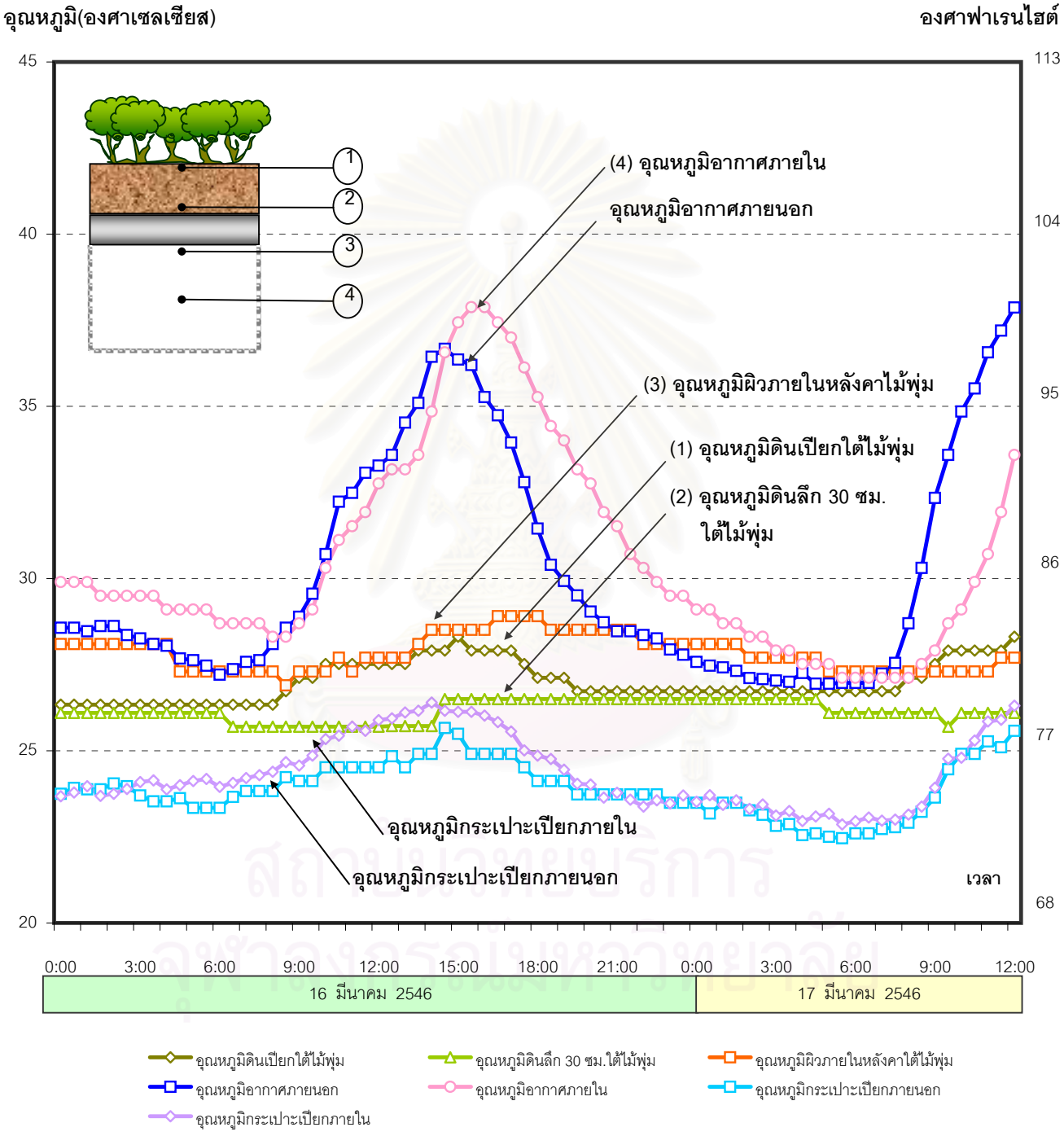
จากกราฟที่ 4-20 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิแต่ละระดับของหลังคาพืชคลุมดินเทียบกับอุณหภูมิอากาศภายนอกและอุณหภูมิกระเปาะเปียกในระบบไม่ปรับอากาศ

กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิแต่ละระดับของหลังคาพืชคลุมดิน เทียบกับอุณหภูมิอากาศภายนอกและอุณหภูมิ กระเปาะเปียกในระบบไม่ปรับอากาศ ระหว่างวันที่ 16 มีนาคม 2546 เวลา 0.00น. ถึง วันที่ 17 มีนาคม 2546 เวลา 12.00น. พบว่าในช่วงเวลากลางวัน เวลา 8:00น.– 21:00น. ของวันที่ 16 มีนาคม 2546 อุณหภูมิดินเปียกใต้พืชคลุมดินที่ 5 ซม. มีอุณหภูมิสูงที่สุด รองลงมาคืออุณหภูมิผิวภายในหลังคาพืชคลุมดิน และอุณหภูมิดินเปียกใต้พืชคลุมดินที่ 30 ซม.

สวนในช่วงเวลากลางคืน เวลา 21:00น. ของวันที่ 16 มีนาคม 2546 ถึงเวลา 7:00น. ของวันที่ 17 มีนาคม 2546 อุณหภูมิผิวภายในหลังคาพืชคลุมดินมีค่าสูงสุด โดยสูงกว่าอุณหภูมิดินลึก 30 ม.ใต้พืชคลุมดิน และอุณหภูมิดินที่ระดับความลึก 5 ซม. ใต้พืชคลุมดินตามลำดับ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิแต่ละระดับของหลังคาไม้พุ่ม
เทียบกับอุณหภูมิอากาศภายนอกและอุณหภูมิกระเปาะเปียกในระบบไม่ปรับอากาศ
ระหว่างวันที่ 16 มีนาคม 2546 เวลา 0.00น. ถึง วันที่ 17 มีนาคม 2546 เวลา 12.00น.



กราฟที่ 4 -21 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิแต่ละระดับของหลังคาไม้พุ่ม เทียบกับอุณหภูมิอากาศภายนอกและอุณหภูมิกระเปาะเปียกในระบบไม่ปรับอากาศ ระหว่างวันที่ 16 มีนาคม 2546 เวลา 0.00น. ถึง วันที่ 17 มีนาคม 2546 เวลา 12.00น.พบว่า ทั้งในช่วงเวลากลางวันและกลางคืน แนวโน้มของอุณหภูมิระดับต่างๆ ของหลังคาไม้พุ่มใกล้เคียงกัน คืออุณหภูมิผิวภายในของหลังคาไม้พุ่มมีค่าสูงสุด รองลงมาคืออุณหภูมิดินใต้ไม้พุ่ม และอุณหภูมิดินที่ 30 ซม. ใต้ไม้พุ่ม ตามลำดับ

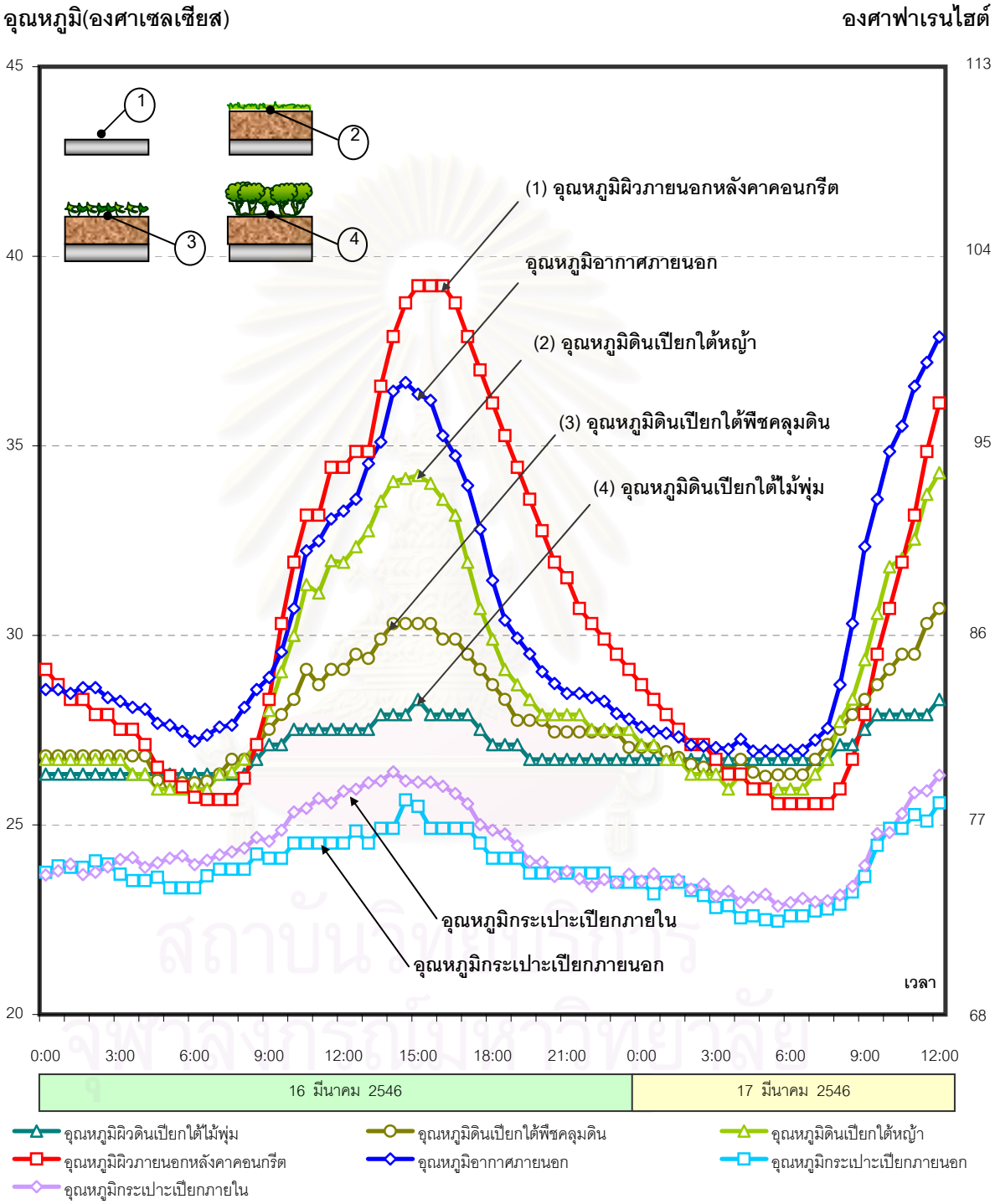
จากกราฟที่ 4-21 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิแต่ละระดับของหลังคาไม้พุ่มเทียบกับอุณหภูมิอากาศภายนอกและอุณหภูมิกระเปาะเปียกในระบบไม่ปรับอากาศ

กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิแต่ละระดับของหลังคาไม้พุ่ม เทียบกับอุณหภูมิอากาศภายนอกและอุณหภูมิกระเปาะเปียกในระบบไม่ปรับอากาศ ระหว่างวันที่ 16 มีนาคม 2546 เวลา 0.00น. ถึง วันที่ 17 มีนาคม 2546 เวลา 12.00น.พบว่า ทั้งในช่วงเวลากลางวันและกลางคืน แนวโน้มของอุณหภูมิระดับต่างๆ ของหลังคาไม้พุ่มใกล้เคียงกัน คืออุณหภูมิผิวภายในของหลังคาไม้พุ่มมีค่าสูงสุด รองลงมาคืออุณหภูมิดินใต้ไม้พุ่ม และอุณหภูมิดินที่ 30 ซม. ใต้ไม้พุ่ม ตามลำดับ

โดยอุณหภูมิดินเปียกใต้ไม้พุ่ม อุณหภูมิดินลึก 30 ซม.ใต้ไม้พุ่ม และอุณหภูมิผิวภายในหลังคาไม้พุ่มมีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดเวลา ทั้งในช่วงกลางวันและกลางคืน ซึ่งถ้าย้อนกลับไปดูใน กราฟที่ 4-19 และกราฟที่ 4-20 จะพบว่าสวนหลังคาไม้พุ่มมีอุณหภูมิแต่ระระดับของหลังคาคงที่มาก เมื่อเทียบกับสวนหลังคาหญ้าและพืชคลุมดิน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิดินใต้ต้นไม้ต่างชนิดกัน
เทียบกับอุณหภูมิผิวภายนอกหลังคาคอนกรีตของอาคารทั่วไปในระบบไม่ปรับอากาศ
ระหว่างวันที่ 16 มีนาคม 2546 เวลา 0.00น. ถึง วันที่ 17 มีนาคม 2546 เวลา 12.00น.



กราฟที่ 4 - 22 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิดินที่ระดับความลึก 5 เซนติเมตรใต้ต้นไม้ต่างชนิดกัน เทียบกับอุณหภูมิผิวภายนอกหลังคาคอนกรีตของอาคารทั่วไป ระหว่างวันที่ 16 มีนาคม 2546 เวลา 0.00น. ถึง วันที่ 17 มีนาคม 2546 เวลา 12 .00น. ซึ่งพบว่าในช่วงเวลากลางวันอุณหภูมิผิวภายนอกหลังคาคอนกรีตมีอุณหภูมิสูงกว่า อุณหภูมิดินที่ความลึก 5 ซม. ใต้หญ้ามีอุณหภูมิสูงกว่าใต้พืชคลุมดิน และไม้พุ่ม แต่ในช่วงเวลากลางคืนอุณหภูมิดินที่ระดับความลึก 5 ซม. ใต้ไม้พุ่มสูงที่สุด โดยสูงกว่าพืชคลุมดิน หญ้า และอุณหภูมิผิวภายนอกหลังคาคอนกรีต

จากกราฟที่ 4-22 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิดินใต้ต้นไม้ต่างชนิดกันเทียบกับอุณหภูมิผิวภายนอกหลังคาคอนกรีตของอาคารทั่วไปในระบบไม่ปรับอากาศ

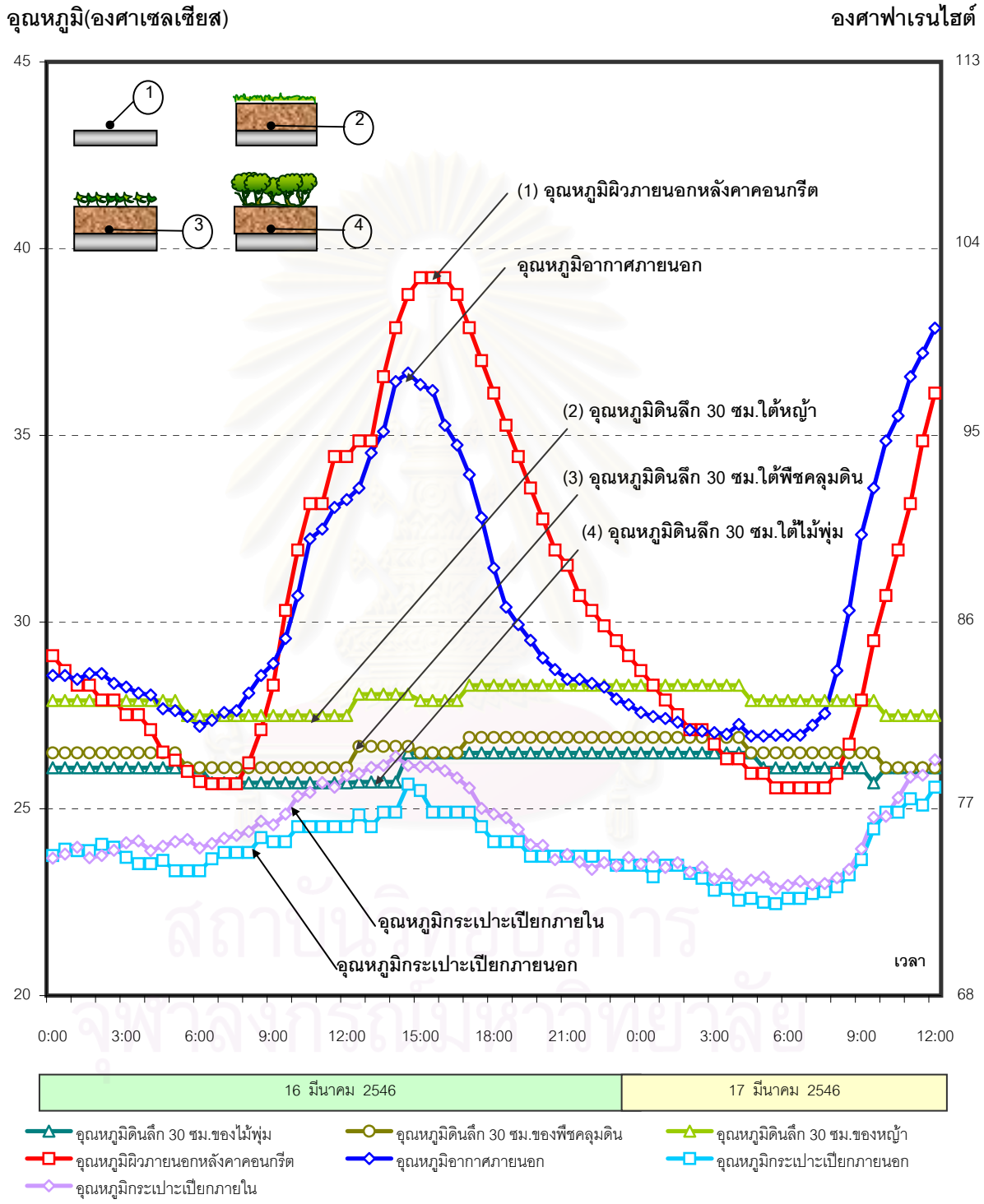
กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิดินที่ระดับความลึก 5 เซนติเมตรใต้ต้นไม้ต่างชนิดกัน เทียบกับอุณหภูมิผิวภายนอกหลังคาคอนกรีตของอาคารทั่วไป ระหว่างวันที่ 16 มีนาคม 2546 เวลา 0.00น. ถึง วันที่ 17 มีนาคม 2546 เวลา 12.00น. ซึ่งพบว่าในช่วงเวลา 9:00น. ของวันที่ 16 มีนาคม 2546 ถึง 2:00น. ของวันที่ 17 มีนาคม 2546 อุณหภูมิผิวภายนอกหลังคาคอนกรีตโดยเฉลี่ยสูงกว่าอุณหภูมิดินเปียกโดยเฉลี่ยใต้หญ้า อุณหภูมิดินเปียกใต้พืชคลุมดิน และอุณหภูมิดินเปียกใต้ไม้พุ่มตามลำดับ

ส่วนในช่วงเวลากลางคืน 2:00- 9:00น. ของวันที่ 17 มีนาคม 2546 พบว่า อุณหภูมิดินเปียกโดยเฉลี่ยใต้ไม้พุ่มสูงกว่า อุณหภูมิดินเปียกใต้พืชคลุมดิน อุณหภูมิดินเปียกใต้หญ้า และอุณหภูมิผิวภายนอกหลังคาคอนกรีต

โดยในช่วงเวลากลางวันช่วงเวลา 14:00น. อุณหภูมิผิวภายนอกหลังคาคอนกรีตมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกถึง 4 องศาเซลเซียส ในขณะที่อุณหภูมิดินเปียกใต้หญ้ามีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกถึง 3 องศาเซลเซียส อุณหภูมิดินเปียกใต้พืชคลุมดินมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกถึง 7 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิดินเปียกใต้ไม้พุ่มมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกถึง 10 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิดินที่ระดับความลึก 30 เซนติเมตรของต้นไม้ต่างชนิดกัน เทียบกับอุณหภูมิผิวภายนอกหลังคาคอนกรีตของอาคารทั่วไปในระบบไม่ปรับอากาศ ระหว่างวันที่ 16 มีนาคม 2546 เวลา 0.00น. ถึง วันที่ 17 มีนาคม 2546 เวลา 12.00น.



กราฟที่ 4 - 23 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิดินที่ระดับความลึก 30 เซนติเมตรใต้ต้นไม้ต่างชนิดกัน เทียบกับอุณหภูมิผิวภายนอกหลังคาคอนกรีตของอาคารทั่วไป ระหว่างวันที่ 16 มีนาคม 2546 เวลา 0.00น. ถึง วันที่ 17 มีนาคม 2546 เวลา 12.00น. ซึ่งพบว่า ในช่วงเวลากลางวันอุณหภูมิผิวภายนอกหลังคาคอนกรีตมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิอากาศในเวลา 15:00น. ถึง 5 องศาเซลเซียส ส่วนแนวโน้มของอุณหภูมิดินที่ 30 ซม. มีทิศทางไปในทางเดียวกันตลอดทั้งวัน คือ อุณหภูมิใต้หญ้าที่ 30 ซม. มีค่าสูงกว่าอุณหภูมิดินใต้พืชคลุมดิน และไม้พุ่ม แต่ในช่วงเวลา 3:00 - 7:00น.หลังคาคอนกรีตจะมีอุณหภูมิผิวภายนอกต่ำสุด

จากกราฟที่ 4-23 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิดินที่ระดับความลึก 30 เซนติเมตรของต้นไม้ต่างชนิดกันเทียบกับอุณหภูมิผิวภายนอกหลังคาคอนกรีตของอาคารทั่วไปในระบบไม่ปรับอากาศ

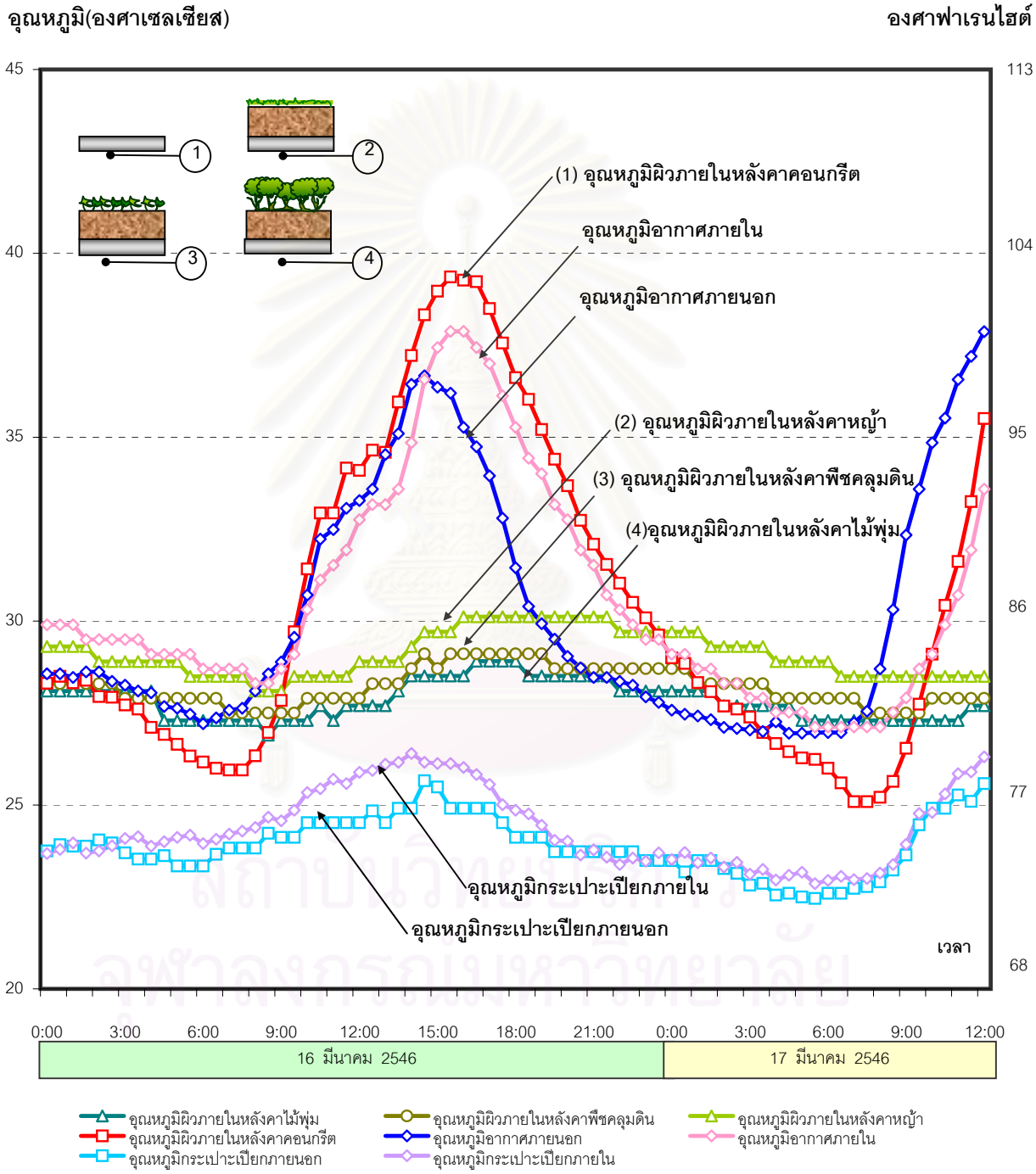
กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิดินที่ระดับความลึก 30 เซนติเมตรใต้ต้นไม้ต่างชนิดกัน เทียบกับอุณหภูมิผิวภายนอกหลังคาคอนกรีตของอาคารทั่วไป ระหว่างวันที่ 16 มีนาคม 2546 เวลา 0.00น. ถึง วันที่ 17 มีนาคม 2546 เวลา 12.00น. ซึ่งพบว่า ในช่วงเวลากลางวัน 8:00น. ของวันที่ 16 มีนาคม 2546 ถึง 2:00น. ของวันที่ 17 มีนาคม 2546 อุณหภูมิผิวภายนอกหลังคาคอนกรีตโดยเฉลี่ยสูงกว่าอุณหภูมิดินเปียกที่ความลึก 30 ซม.โดยเฉลี่ยใต้หญ้า อุณหภูมิดินเปียกที่ความลึก 30 ซม.ใต้พืชคลุมดิน และอุณหภูมิดินเปียกที่ความลึก 30 ซม.ใต้ไม้พุ่มตามลำดับ

ส่วนในช่วงเวลากลางคืน 2:00 - 8:00น. ของวันที่ 17 มีนาคม 2546 พบว่า อุณหภูมิดินเปียกเปียกที่ความลึก 30 ซม.โดยเฉลี่ยใต้ไม้พุ่มสูงกว่า อุณหภูมิดินเปียกเปียกที่ความลึก 30 ซม.ใต้พืชคลุมดิน อุณหภูมิดินเปียกเปียกที่ความลึก 30 ซม.ใต้หญ้า และอุณหภูมิผิวภายนอกหลังคาคอนกรีต

โดยในช่วงเวลากลางวันช่วงเวลา 16:00น. อุณหภูมิผิวภายนอกหลังคาคอนกรีตมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกถึง 3 องศาเซลเซียส ในขณะที่อุณหภูมิดินเปียกเปียกที่ความลึก 30 ซม.ใต้หญ้ามีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกถึง 9 องศาเซลเซียส อุณหภูมิดินเปียกเปียกที่ความลึก 30 ซม.ใต้พืชคลุมดินมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกถึง 10 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิดินเปียกเปียกที่ความลึก 30 ซม.ใต้ไม้พุ่มมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกถึง 11 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวหลังคาภายในของต้นไม้ต่างชนิดกัน เทียบกับอุณหภูมิอากาศภายนอกและอุณหภูมิอากาศภายใน ในระบบไม่ปรับอากาศ ระหว่างวันที่ 16 มีนาคม 2546 เวลา 0.00น. ถึง วันที่ 17 มีนาคม 2546 เวลา 12.00น.



กราฟที่ 4 - 24 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวหลังคาภายในของต้นไม้ต่างชนิดกัน เทียบกับอุณหภูมิอากาศภายนอกและอุณหภูมิอากาศภายใน ในระบบไม่ปรับอากาศ ระหว่างวันที่ 16 มีนาคม 2546 เวลา 0.00น. ถึง วันที่ 17 มีนาคม 2546 เวลา 12.00น.ซึ่งพบว่าในช่วงเวลากลางวันอุณหภูมิผิวภายนอกหลังคาคอนกรีตมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิอากาศในเวลา 15:00น. ถึง 5 องศาเซลเซียส ส่วนแนวโน้มของอุณหภูมิผิวภายในสวนหลังคา มีทิศทางไปในทางเดียวกันตลอดทั้งวัน คือ อุณหภูมิผิวภายในหลังคาหญ้า มีค่าสูงกว่าอุณหภูมิผิวภายในหลังคาพืชคลุมดิน และไม้พุ่ม แต่ในช่วงเวลา 23:30 - 10:00น.หลังคาคอนกรีตจะมีอุณหภูมิผิวภายนอกต่ำสุด

จากกราฟที่ 4-24 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวหลังคาภายในของต้นไม้ต่างชนิดกันเทียบกับอุณหภูมิอากาศภายนอกและอุณหภูมิอากาศภายใน ในระบบไม่ปรับอากาศ

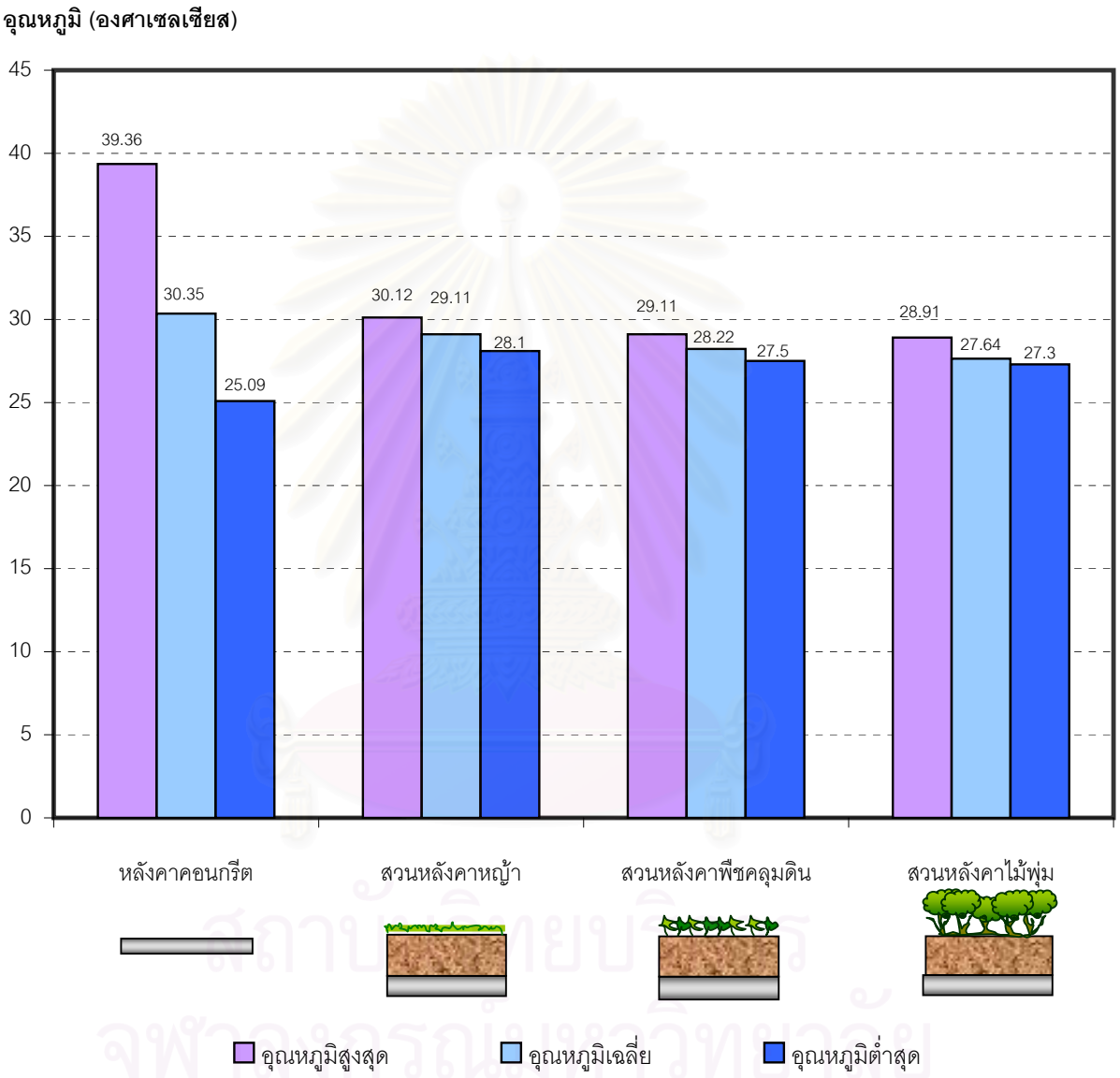
แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวหลังคาภายในของต้นไม้ต่างชนิดกัน เทียบกับอุณหภูมิอากาศภายนอกและอุณหภูมิอากาศภายใน ในระบบไม่ปรับอากาศ ระหว่างวันที่ 16 มีนาคม 2546 เวลา 0.00น. ถึง วันที่ 17 มีนาคม 2546 เวลา 12.00น. พบว่า ช่วงเวลา 9:00น. ถึง 23:00น. ของวันที่ 16 มีนาคม 2536 อุณหภูมิผิวภายในหลังคาคอนกรีตโดยเฉลี่ย สูงกว่าอุณหภูมิผิวภายในของหลังคาหญ้า อุณหภูมิผิวภายในหลังคาพืชคลุมดิน และอุณหภูมิผิวภายในหลังคาไม้พุ่มตามลำดับ ส่วนในช่วงเวลา 23:00น. ของวันที่ 16 มีนาคม 2546 ถึงเวลา 9:00น. ของวันที่ 17 มีนาคม 2546 พบว่าอุณหภูมิผิวภายในโดยเฉลี่ยของหลังคาหญ้ายังคงสูงกว่า อุณหภูมิผิวภายในหลังคาพืชคลุมดิน อุณหภูมิผิวภายในหลังคาไม้พุ่ม และหลังคาคอนกรีตตามลำดับ

ซึ่งจะเห็นว่าสวนหลังคาทั้งสามมีอุณหภูมิผิวภายใน ค่อนข้างคงที่น้อยกว่าอุณหภูมิดินที่ความลึก 30 ซม. และ อุณหภูมิดินใต้ต้นไม้ เนื่องจากได้รับอิทธิพลจากอุณหภูมิอากาศภายใน ที่มีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก

หลังคาคอนกรีตนั้นมีในช่วงเวลากลางวันมีอุณหภูมิผิวภายในสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก แต่ในช่วงเวลากลางคืนกลับมีอุณหภูมิผิวภายในต่ำกว่าอึณหภูมิอากาศภายนอก นั่นคืออุณหภูมิผิวภายในของหลังคาคอนกรีตจะแปรเปลี่ยนไปตามสภาพแวดล้อมอย่างรุนแรง ส่งผลให้ในช่วงเวลากลางวันมีความร้อนผ่านเข้ามาภายในอาคารมาก จึงเป็นภาระในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ ผิดกับสวนหลังคาซึ่งไม่แปรเปลี่ยนไปตามสภาพแวดล้อม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แผนภูมิแท่งแสดงอุณหภูมิผิวภายในสูงสุด - ต่ำสุด - เฉลี่ย
ของหลังคาคอนกรีต สวนหลังคาหญ้า พืชคลุมดิน และไม้พุ่ม ในระบบไม่ปรับอากาศ
ระหว่างวันที่ 31 มีนาคม 2546 เวลา 0.00น. ถึง วันที่ 1 เมษายน 2546 เวลา 12.00น.



กราฟ4-25 แผนภูมิแท่งแสดงอุณหภูมิผิวภายในสูงสุด - ต่ำสุด - เฉลี่ย ของหลังคาคอนกรีต สวนหลังคาหญ้า พืชคลุมดิน และไม้พุ่ม ในระบบปรับอากาศระหว่างวันที่ 31 มีนาคม 2546 เวลา 0.00น. ถึง วันที่ 1 เมษายน 2546 เวลา 12.00 น. พบว่า อุณหภูมิสูงสุด - ต่ำสุด - เฉลี่ย ของสวนหลังคาทั้งสามมีค่าใกล้เคียงกัน แต่หลังคาคอนกรีตมีความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุด - ต่ำสุดมาก และอุณหภูมิสูงสุดของหลังคาคอนกรีตยังมีค่าสูงถึง 39.36 องศาเซลเซียส ซึ่งสูงกว่าอุณหภูมิผิวกายคน (32 องศาเซลเซียส) ความร้อนจากหลังคาจึงแผ่รังสีออกมาสู่ผู้ใช้อาคาร ทำให้ผู้ใช้อาคารรู้สึกร้อนและไม่สบายตัว ผิดกับสวนหลังคาทั้งสามซึ่งมีอุณหภูมิสูงสุดต่ำกว่าอุณหภูมิผิวกายคน คนจึงแผ่รังสีความร้อนให้แก่หลังคา ทำให้ผู้อยู่อาศัยรู้สึกสบาย

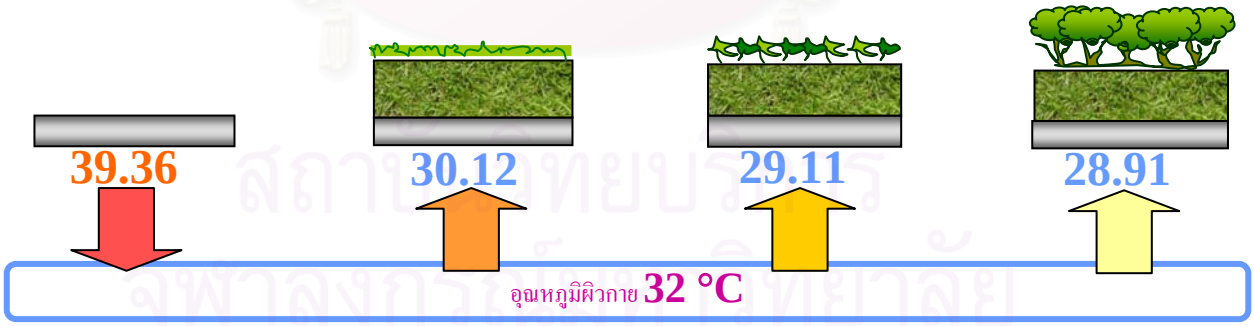
สรุปผลการทดลองที่ 2.2

จากกราฟที่ 4-23 จะเห็นว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของหลังคาทั้ง 4 ประเภทมีค่าใกล้เคียงกันมาก โดยเฉพาะสวนหลังคาหญ้า พืชคลุมดิน และไม้พุ่ม มีค่าใกล้เคียงกันทั้งอุณหภูมิสูงสุด ต่ำสุด และอุณหภูมิเฉลี่ย ดังตาราง

	อุณหภูมิอากาศ (°C)			
	สูงสุด	เฉลี่ย	ต่ำสุด	Tmax - Tmin
หลังคาคอนกรีต	39.36	30.35	25.09	14.27
สวนหลังคาหญ้า	30.12	29.11	28.10	2.02
สวนหลังคาพืชคลุมดิน	29.11	28.22	27.50	1.61
สวนหลังคาไม้พุ่ม	28.91	27.64	27.30	1.61

จะเห็นว่าเมื่อนำอุณหภูมิสูงสุดของหลังคาแต่ละประเภทมาเปรียบเทียบกับอุณหภูมิผิวกายคนแล้วพบว่า หลังคาคอนกรีตซึ่งมีอุณหภูมิสูงกว่าผิวการคน จะแผ่รังสีความร้อนมาสู่คนทำให้คนรู้สึกร้อนกว่าอุณหภูมิอากาศจริง

แต่สวนหลังคาทั้ง 3 ประเภทมีอุณหภูมิสูงสุดต่ำกว่าอุณหภูมิผิวกายคน คนจึงสูญเสียความร้อนให้กับหลังคา ทำให้คนรู้สึกเย็น



ชุดการทดลองเพิ่มเติม

การทดลองเพิ่มเติมที่ 1 การเปรียบเทียบสวนหลังคากับหลังคาฉนวน 6 นิ้ว ในระบบปรับอากาศ

<u>วิธีการทดลอง</u> ทำการเก็บข้อมูลตัวแปร เพื่อทำการคำนวณปริมาณความร้อนที่ผ่านเข้ามาทางหลังคา โดยใช้อุณหภูมิผิวหลังคาภายใน

<u>ตัวแปรที่ทำการศึกษา</u>

ตัวแปรต้น - รูปแบบของหลังคา ได้แก่ หลังคาหญ้า พืชคลุมดิน ไม้พุ่ม หลังคาคอนกรีต และหลังคาฉนวน

ตัวแปรตาม - อุณหภูมิผิวภายในสวนหลังคาหญ้า พืชคลุมดิน ไม้พุ่ม หลังคาคอนกรีต และหลังคาฉนวน

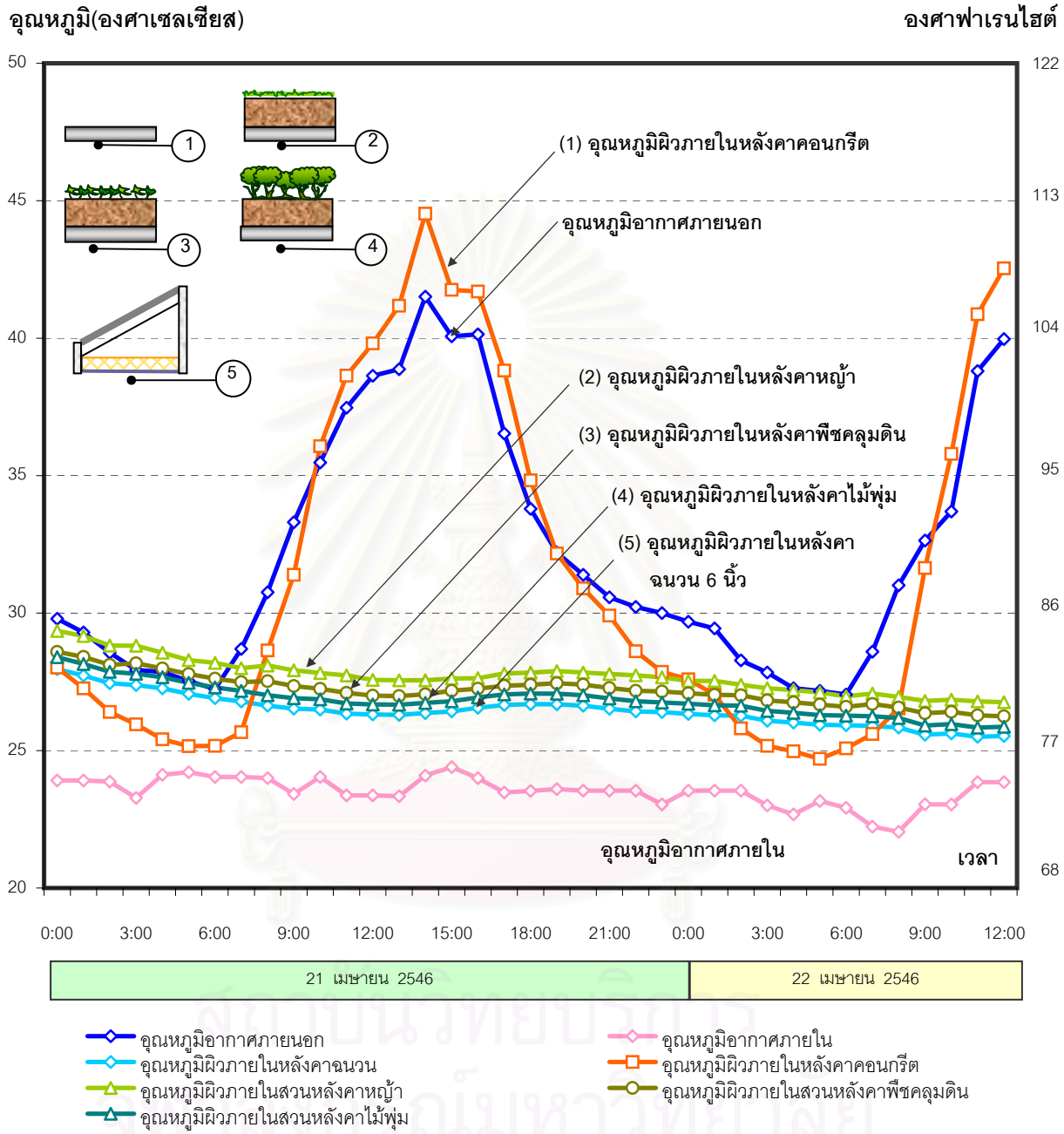
ตัวแปรควบคุม - ทำการเก็บข้อมูลในสภาพแวดล้อมเดียวกัน ความเร็วลมเท่ากัน ส่วนประกอบของดินเท่ากัน และให้น้ำในปริมาณที่เท่ากัน

<u>วิเคราะห์ผลการทดลอง</u>

- อุณหภูมิดินที่ระดับความลึก 5 ซม.ของสวนหลังคาหญ้า พืชคลุมดิน ไม้พุ่มและหลังคาคอนกรีต
- อุณหภูมิดินที่ระดับความลึก 30 ซม.ของสวนหลังคาหญ้า พืชคลุมดิน ไม้พุ่มและหลังคาคอนกรีต
- อุณหภูมิผิวภายในของสวนหลังคาหญ้า พืชคลุมดิน ไม้พุ่ม หลังคาคอนกรีต และหลังคาฉนวน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวหลังคาภายในของต้นไม้ต่างชนิดกัน เทียบกับอุณหภูมิหลังคาฉนวนหนา 6 นิ้ว ในระบบปรับอากาศ ระหว่างวันที่ 21 เมษายน 2546 เวลา 0.00น. ถึง วันที่ 22 เมษายน 2546 เวลา 12.00น.



กราฟที่ 4-26 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวหลังคาภายในของต้นไม้ต่างชนิดกันเทียบกับอุณหภูมิอากาศภายนอกและอุณหภูมิอากาศภายใน ในระบบปรับอากาศ ระหว่างวันที่ 21 เมษายน 2546 เวลา 0.00น. ถึง วันที่ 22 เมษายน 2546 เวลา 12.00น. พบว่า ช่วงเวลา 10:00น. ถึง 19:00น. ของวันที่ 21 เมษายน 2546 อุณหภูมิผิวภายในหลังคาคอนกรีตโดยเฉลี่ย สูงกว่าอุณหภูมิผิวภายในของหลังคาหญ้า หลังคาพืชคลุมดินหลังคาไม้พุ่ม และหลังคาฉนวนตามลำดับ ส่วนในช่วงเวลา 19:00น. ของวันที่ 22 เมษายน 2546 ถึงเวลา 9:00น. ของวันที่ 22 เมษายน 2546 พบว่าอุณหภูมิผิวภายในโดยเฉลี่ยของหลังคาหญ้าสูงกว่า หลังคาพืชคลุมดิน หลังคาไม้พุ่ม หลังคาฉนวน และ หลังคาคอนกรีต ตามลำดับ

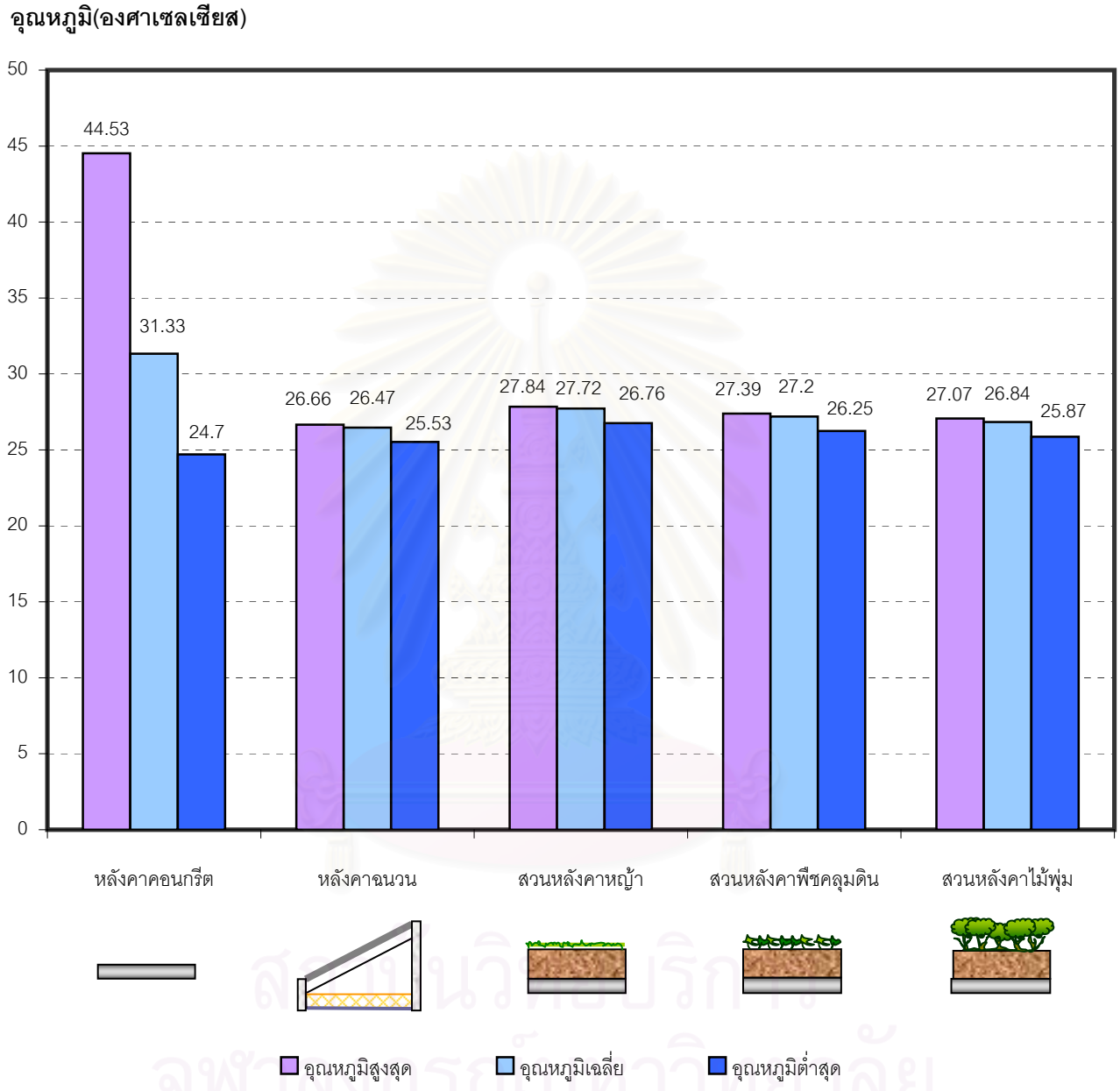
กราฟที่ 4-26 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวหลังคาภายในของต้นไม้ต่างชนิดกันเทียบกันเทียบกับอุณหภูมิหลังคาฉนวนหนา 6 นิ้ว ในระบบปรับอากาศ

จากกราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวหลังคาภายในของต้นไม้ต่างชนิดกันเทียบกับเทียบกับอุณหภูมิหลังคาฉนวนหนา 6 นิ้ว ในระบบปรับอากาศ ระหว่างวันที่ 21 เมษายน 2546 เวลา 0.00น. ถึง วันที่ 22 เมษายน 2546 เวลา 12.00น. พบว่า ช่วงเวลา 10:00น. ถึง 19:00น. ของวันที่ 21 เมษายน 2546 อุณหภูมิผิวภายในหลังคาคอนกรีตโดยเฉลี่ย สูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก และในช่วงเวลา 7:00 – 24:00น. ของวันที่ 21 เมษายน 2546 อุณหภูมิผิวหลังคาคอนกรีตภายในมีอุณหภูมิสูงที่สุด สูงกว่า อุณหภูมิผิวภายในของหลังคาหญ้า อุณหภูมิผิวภายในของหลังคาพืชคลุมดิน อุณหภูมิผิวภายในของหลังคาไม้พุ่ม และหลังคาฉนวนตามลำดับ

ส่วนในช่วงเวลา 1:00 - 7:30น. . ของวันที่ 22 เมษายน 2546 พบว่าอุณหภูมิผิวภายในโดยเฉลี่ยของหลังคาหญ้าสูงกว่า อุณหภูมิผิวภายในหลังคาพืชคลุมดิน อุณหภูมิผิวภายในหลังคาไม้พุ่ม อุณหภูมิผิวภายในหลังคาฉนวน และ อุณหภูมิผิวภายในหลังคาคอนกรีต ตามลำดับ

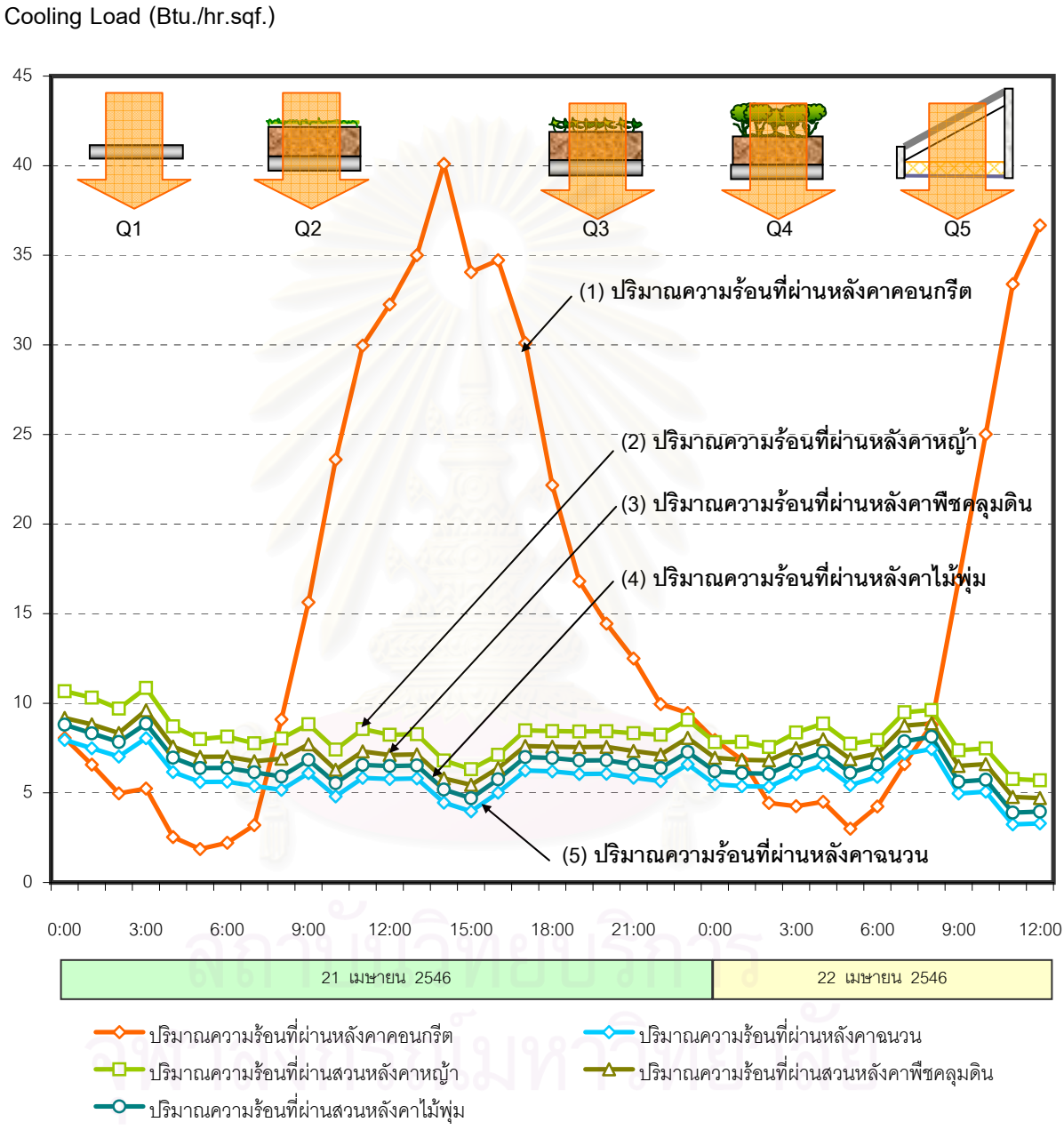
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แผนภูมิแท่งแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวภายในสูงสุด - ต่ำสุด - เฉลี่ย ของหลังคาคอนกรีต หลังคาฉนวน 6 นิ้ว สวนหลังคาหญ้า พืชคลุมดิน ไม้พุ่ม ในระบบปรับอากาศ ระหว่างวันที่ 21 เมษายน 2546 เวลา 0.00น. ถึง วันที่ 22 เมษายน 2546 เวลา 12.00น.



กราฟที่ 4-27 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวภายในสูงสุด - ต่ำสุด - เฉลี่ย ของหลังคาคอนกรีต สวนหลังคาหญ้า พืชคลุมดิน และไม้พุ่ม ในระบบปรับอากาศ ระหว่างวันที่ 21 เมษายน 2546 เวลา 0.00น. ถึง วันที่ 22 เมษายน 2546 เวลา 12.00น. พบว่า อุณหภูมิสูงสุด - ต่ำสุด - เฉลี่ยของหลังคาทั้ง 5 เรียงตามลำดับจากอุณหภูมิสูงสุดมาหาต่ำสุดได้ดังนี้ (1) หลังคาคอนกรีต (2)สวนหลังคาหญ้า (3)สวนหลังคาพืชคลุมดิน (4)สวนหลังคาไม้พุ่ม และ (5)หลังคาฉนวนหนา 6 นิ้ว ตามลำดับ เมื่อทำการเปรียบเทียบกันโดยใช้อุณภูมิสูงสุดของหลังคาแต่ละประภทจะเห็นว่า อุณหภูมิผิวภายในของหลังคาคอนกรีตมีค่าสูงที่สุด นั่นคือเป็นผลให้ภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศสูงตามไปด้วย ในขณะที่สวนหลังคาละหลังคาฉนวนมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่าทำให้ภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศน้อยกว่า

กราฟแสดงปริมาณความร้อนที่ผ่านหลังคาคอนกรีต
หลังคาฉนวน สวนหลังคาหญ้า พืชคลุมดิน และไม้พุ่ม
ระหว่างวันที่ 21 เมษายน 2546 เวลา 0.00น. ถึง วันที่ 22 เมษายน 2546 เวลา 12.00น.



กราฟ 4-28 แสดงปริมาณความร้อนที่ผ่านหลังคาคอนกรีต หลังคาฉนวน สวนหลังคาหญ้า พืชคลุมดิน และไม้พุ่ม ระหว่างวันที่ 21 เมษายน 2546 เวลา 0.00น. ถึง วันที่ 22 เมษายน 2546 เวลา 12.00น. พบว่า หลังคาคอนกรีต มีปริมาณความร้อนเข้าสู่ภายในอาคาร (Heat Gain) ตลอดทั้งวัน โดยเฉพาะในเวลากลางวัน มีปริมาณความร้อนเข้ามาสูงสุดถึง 40.1 Btu./hr.sqf. ส่วนสวนหลังคาหญ้า พืชคลุมดิน ไม้พุ่ม และ หลังคาฉนวน เกิด Heat Gain ตลอดทั้งวันเช่นกัน โดยมีค่าสูงสุดอยู่ที่ 10.85 9.60 8.86 และ 8.05 Btu./hr.sqf. ตามลำดับ

สรุปผลการทดลองเพิ่มเติม

การทดลองเพิ่มเติมที่ 1

จากกราฟที่ 4-28 จะเห็นว่าปริมาณความร้อนที่ผ่านหลังคาคอนกรีต ในเวลากลางวันนั้นมีค่าสูงมากกว่าสวนหลังคาหญ้า พืชคลุมดิน ไม้พุ่ม และหลังคาฉนวน 6 นิ้ว ทำให้ความร้อนจากหลังคาคอนกรีตผ่านเข้ามาภายในอาคาร (Heat Gain) เกือบตลอดเวลา เป็นภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ โดยหลังคาคอนกรีตมีปริมาณความร้อนผ่านเข้ามามากที่สุด รองลงมาคือสวนหลังคาหญ้า สวนหลังคาพืชคลุมดิน และสวนหลังคาไม้พุ่ม ตามลำดับ ถึงแม้ในเวลากลางคืนความร้อนก็ยังคงเข้าสู่ภายในอาคาร

ซึ่งถ้าเปรียบเทียบกับสวนหลังคาแล้ว ถึงแม้ว่าสวนหลังคาหญ้าจะมีปริมาณความร้อนเข้ามาภายในอาคารมากที่สุด รองลงมาคือสวนหลังคาพืชคลุมดิน สวนหลังคาไม้พุ่ม และหลังคาฉนวน 6 นิ้ว แต่เป็นปริมาณความร้อนที่เข้ามาน้อยมาก เมื่อเทียบกับหลังคาคอนกรีต ดังตาราง

จากสูตร $$Q = C * A * \Delta t$$

จึงได้ค่าปริมาณความร้อนที่เป็นภาระในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศดังนี้

	Load **ที่ใช้ในการปรับอากาศ** (Btu./h.sqf.)
หลังคาคอนกรีต	40.10
สวนหลังคาหญ้า	10.85
สวนหลังคาพืชคลุมดิน	9.60
สวนหลังคาไม้พุ่ม	8.86
หลังคาฉนวน 6 นิ้ว	8.05

จึงสามารถสรุปได้ว่าสวนหลังคาไม้พุ่ม ช่วยลดภาระในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศลงได้ถึง 77.91% และหลังคาฉนวน 6 นิ้ว ช่วยลดภาระในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศลงได้ถึง 79.90%

การทดลองเพิ่มเติมที่ 2 การเปรียบเทียบสวนหลังคากับหลังคาฉนวน 6 นิ้ว ในระบบไม่ปรับอากาศ

วิธีการทดลอง หลังจากทำการปิดเครื่องปรับอากาศ ทำการเก็บข้อมูลอุณหภูมิผิวภายในสวนหลังคา กับหลังคาทั่วไป เพื่อศึกษาความสามารถในการเก็บกักความเย็น

ตัวแปรที่ทำการศึกษา

ตัวแปรต้น - รูปแบบของหลังคา ได้แก่ หลังคาหญ้า พืชคลุมดิน ไม้พุ่ม หลังคาคอนกรีต และหลังคาฉนวน

ตัวแปรตาม - อุณหภูมิผิวภายในสวนหลังคาหญ้า พืชคลุมดิน ไม้พุ่ม หลังคาคอนกรีต และหลังคาฉนวน

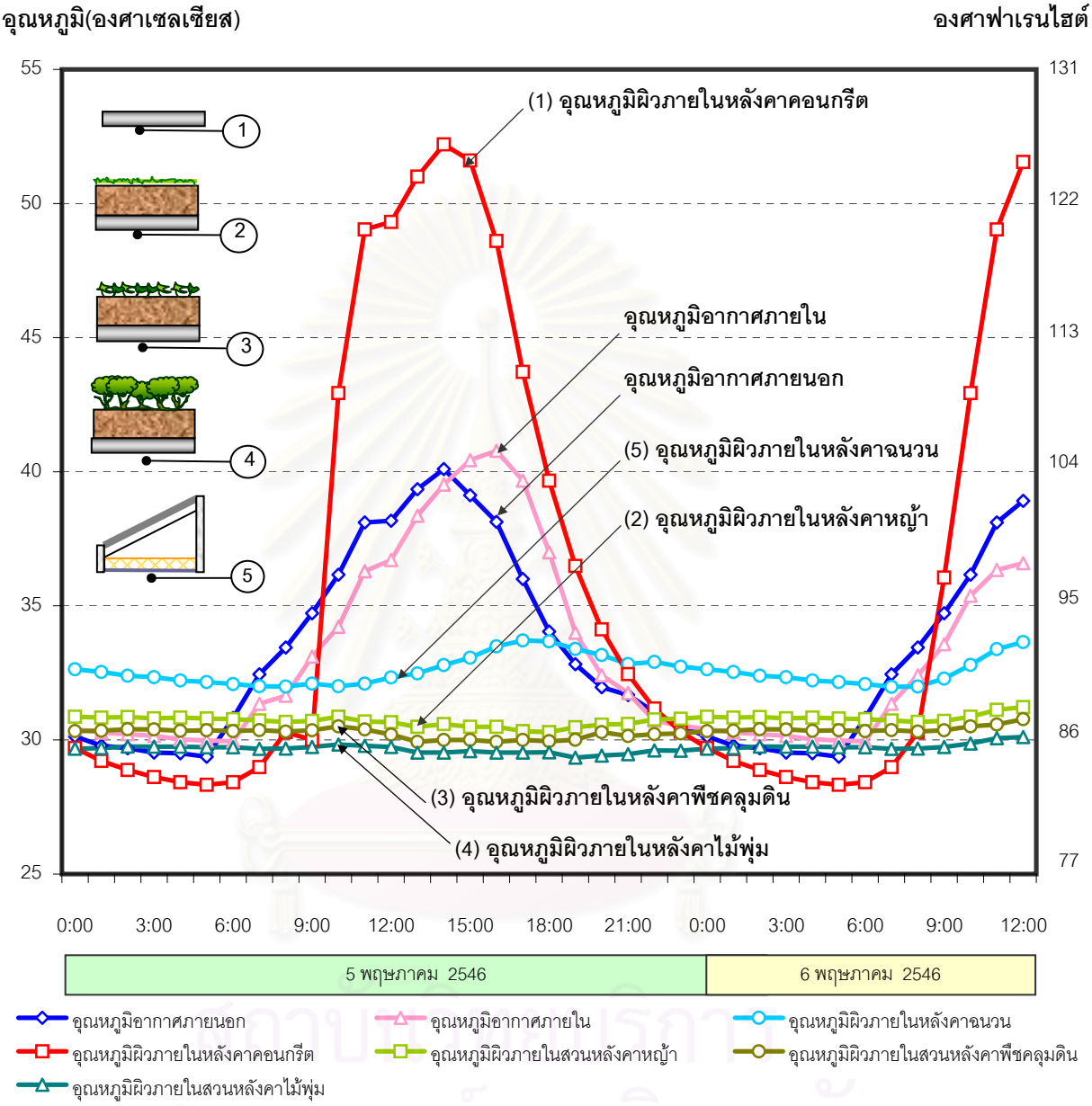
ตัวแปรควบคุม - ทำการเก็บข้อมูลในสภาพแวดล้อมเดียวกัน ความเร็วลมเท่ากัน ส่วนประกอบของดินเท่ากัน และให้น้ำในปริมาณที่เท่ากัน

วิเคราะห์ผลการทดลอง

- อุณหภูมิดินที่ระดับความลึก 5 ซม.ของสวนหลังคาหญ้า พืชคลุมดิน ไม้พุ่มและหลังคาคอนกรีต
- อุณหภูมิดินที่ระดับความลึก 30 ซม.ของสวนหลังคาหญ้า พืชคลุมดิน ไม้พุ่มและหลังคาคอนกรีต
- อุณหภูมิผิวภายในของสวนหลังคาหญ้า พืชคลุมดิน ไม้พุ่ม หลังคาคอนกรีต และหลังคาฉนวน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวหลังคาภายในของสวนหลังคาต่างชนิดกัน เทียบกับอุณหภูมิผิวภายในหลังคาฉนวน 6 นิ้ว และหลังคาคอนกรีตในระบบไม่ปรับอากาศ ระหว่างวันที่ 5 พฤษภาคม 2546 เวลา 0.00น. ถึง วันที่ 6 พฤษภาคม 2546 เวลา 12.00น.



กราฟ4-29 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวหลังคาภายในของสวนหลังคาต่างชนิดกัน เทียบกับอุณหภูมิผิวภายในหลังคาฉนวน 6 นิ้ว และหลังคาคอนกรีตในระบบไม่ปรับอากาศ ระหว่างวันที่ 5 พฤษภาคม 2546 เวลา 0.00น. ถึง วันที่ 6 พฤษภาคม 2546 เวลา 12.00น. พบว่า ในช่วงเวลา 9:00 - 21:00น. อุณหภูมิผิวภายในของหลังคาคอนกรีตสูงกว่าอุณหภูมิหลังคาฉนวน 6 นิ้ว และสวนหลังคา และในช่วงเวลา 1:00 - 8:00น. อุณหภูมิผิวภายในหลังคาคอนกรีตต่ำกว่าอุณหภูมิหลังคาฉนวน 6 นิ้ว และสวนหลังคา โดยตลอดทั้งวันอุณหภูมิฉนวน 6 นิ้ว และสวนหลังคามีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน คือ หลังคาฉนวน 6 นิ้ว มีอุณหภูมิผิวภายในสูงกว่าอุณหภูมิผิวภายในสวนหลังคาหญ้า สวนหลังคาพืชคลุมดิน และสวนหลังคาไม้พุ่ม ตามลำดับ

กราฟที่ 4-29 **กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวหลังคาภายในของสวนหลังคาต่างชนิดกัน เทียบกับอุณหภูมิผิวภายในหลังคาฉนวน 6 นิ้ว และหลังคาคอนกรีตในระบบไม่ปรับอากาศ**

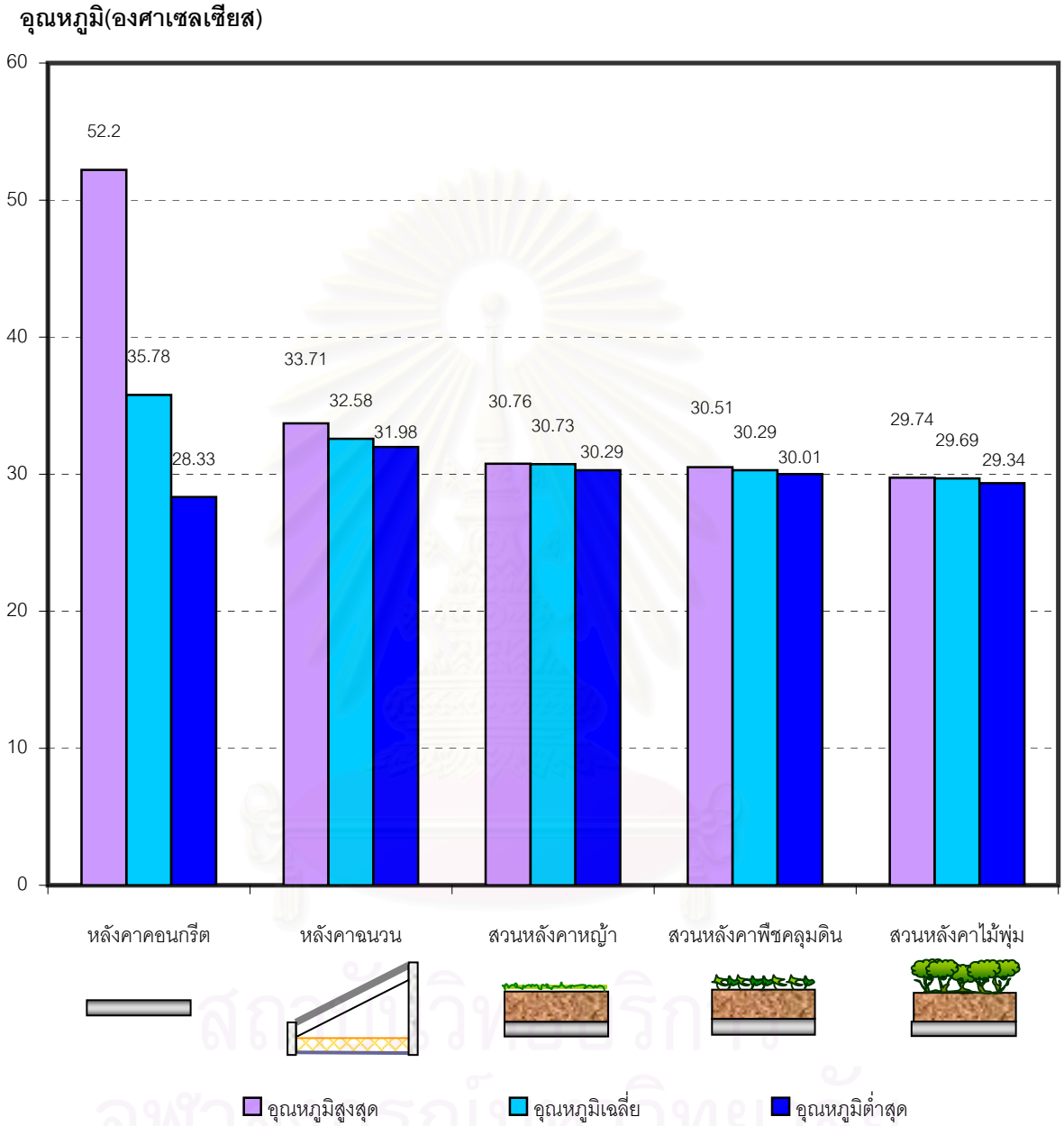
กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวหลังคาภายในของสวนหลังคาต่างชนิดกัน เทียบกับอุณหภูมิผิวภายในหลังคาฉนวน 6 นิ้ว และหลังคาคอนกรีตในระบบไม่ปรับอากาศ ระหว่างวันที่ 5 พฤษภาคม 2546 เวลา 0.00น. ถึง วันที่ 6 พฤษภาคม 2546 เวลา 12.00น. พบว่า หลังจากทำการปิดเครื่องปรับอากาศแล้วทำการเก็บข้อมูลอุณหภูมิผิวหลังคาภายใน ในช่วงเวลา 9:00 - 21:00น. ของวันที่ 5 พฤษภาคม 2546 อุณหภูมิผิวภายในของหลังคาคอนกรีตสูงกว่าอุณหภูมิผิวภายในของหลังคาฉนวน 6 นิ้ว อุณหภูมิผิวภายในของสวนหลังคาหญ้า อุณหภูมิผิวภายในของสวนหลังคาพืชคลุมดิน และอุณหภูมิผิวภายในของสวนหลังคาไม้พุ่ม

ในช่วงเวลา 1:00 - 8:00น. ของวันที่ 6 พฤษภาคม 3546 พบว่า อุณหภูมิผิวภายในหลังคาฉนวน 6 นิ้ว มีอุณหภูมิสูงกว่า อุณหภูมิผิวภายในสวนหลังคาหญ้า อุณหภูมิผิวภายในสวนหลังคาพืชคลุมดิน อุณหภูมิผิวภายในสวนหลังคาไม้พุ่ม และอุณหภูมิผิวภายในหลังคาคอนกรีต

จากกราฟพบว่าอุณหภูมิผิวหลังคาภายในของสวนหลังคาหญ้า พืชคลุมดิน และไม้พุ่ม มีค่าค่อนข้างคงที่ มีความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดน้อยกว่า 1 องศาเซลเซียส ในขณะที่ก่อนปิดเครื่องปรับอากาศหลังคาฉนวน 6 นิ้ว มีอุณหภูมิผิวภายในต่ำที่สุด เมื่อปิดเครื่องปรับอากาศแล้วอุณหภูมิสูงขึ้นอย่างรวดเร็วต่างจากอุณหภูมิสวนหลังคา สวนหลังคาจึงสามารถเก็บกักความเย็นได้ดีกว่าหลังคาฉนวน 6 นิ้ว

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แผนภูมิแท่งแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวภายในสูงสุด - ต่ำสุด - เฉลี่ย ของหลังคาคอนกรีต หลังคาฉนวน 6 นิ้ว สวนหลังต่างประเภทกันในระบบไม่ปรับอากาศ ระหว่างวันที่ 5 พฤษภาคม 2546 เวลา 0.00น. ถึงวันที่ 22 เมษายน 2546 เวลา 12.00น.



กราฟ4-30 แผนภูมิแท่งแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวภายในสูงสุด - ต่ำสุด - เฉลี่ย ของหลังคาคอนกรีต หลังคาฉนวน 6 นิ้ว สวนหลังต่างประเภทกันในระบบไม่ปรับอากาศ ระหว่างวันที่ 5 พฤษภาคม 2546 เวลา 0.00น. ถึงวันที่ 22 เมษายน 2546 เวลา 12.00น. พบว่า ในเวลากลางวันอุณหภูมิสูงสุดของหลังคาคอนกรีต และหลังคาฉนวน 6 นิ้ว มีค่าสูงกว่าอุณหภูมิผิวกายคน(32 องศาเซลเซียส) หลังคาจึงแผ่ความร้อนลงมา ทำให้ผู้อยู่อาศัยรู้สึกร้อน แต่อุณหภูมิผิวภายในของสวนหลังคาต่ำกว่าอุณหภูมิผิวกาย ผิวคนแผ่รังสีให้แก่หลังคา ผู้อยู่อาศัยจึงรู้สึกเย็น ส่วนในเวลากลางคืนอุณหภูมิผิวภายในต่ำสุดของหลังคาทั้ง 5 แบบต่ำกว่าอุณหภูมิผิวกาย ผิวคนจึงแผ่ความร้อนให้แก่หลังคา ผู้อยู่อาศัยจึงรู้สึกเย็นสบาย

สรุปผลการทดลองเพิ่มเติม

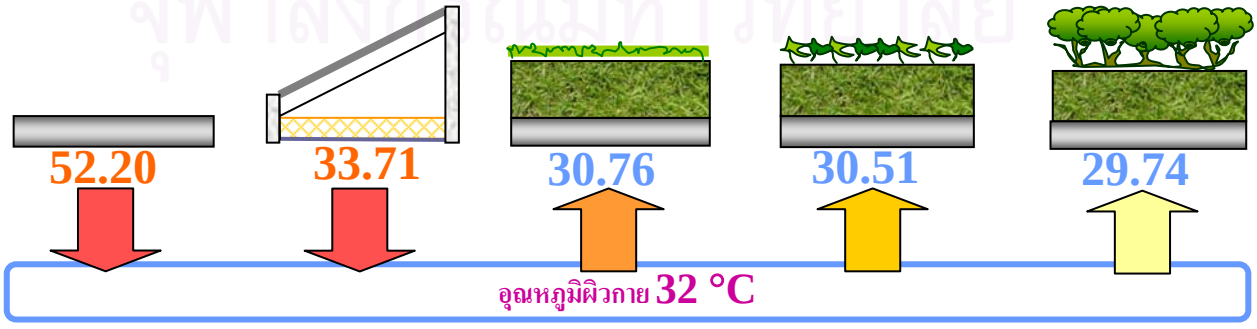
การทดลองเพิ่มเติมที่ 2

จากกราฟที่ 4-30 จะเห็นว่าอุณหภูมิผิวภายในเฉลี่ยของหลังคาฉนวนและสวนหลังคามีค่าใกล้เคียงกัน แต่หลังคาคอนกรีตมีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงที่สุด นั่นคือเมื่อทำการปิดเครื่องปรับอากาศอุณหภูมิผิวภายในหลังคาคอนกรีตจะแปรเปลี่ยนไปตามสภาพแวดล้อมอย่างรวดเร็ว ในขณะที่หลังคาฉนวน 6 นิ้ว มีการเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพแวดล้อมเช่นกันแต่เป็นไปอย่างช้าๆ ต่างจากสวนหลังคาทั้งสามประเภทที่มีค่าคอนข้างคงที่เนื่องจากอิทธิพลของมวลสารของหลังคาที่มีมาก จึงสามารเก็บกักความเย็นไว้ได้ดีกว่าหลังคาคอนกรีตและหลังคาฉนวน

	อุณหภูมิอากาศ (°C)			
	สูงสุด	เฉลี่ย	ต่ำสุด	Tmax - Tmin
หลังคาคอนกรีต	52.20	35.78	28.33	23.87
สวนหลังคาหญ้า	30.76	30.73	30.29	0.47
สวนหลังคาพืชคลุมดิน	30.51	30.29	30.01	0.50
สวนหลังคาไม้พุ่ม	29.74	29.69	29.34	0.40
หลังคาฉนวน 6 นิ้ว	33.71	32.58	31.98	1.73

เมื่อนำอุณหภูมิสูงสุดของหลังคาแต่ละประเภท มาเปรียบเทียบกับอุณหภูมิผิวกายคนแล้วพบว่า หลังคาคอนกรีตและหลังคาฉนวน 6 นิ้ว มีอุณหภูมิสูงกว่าผิวการคน จะแผ่รังสีความร้อนมาสู่คนทำให้คนรู้สึกร้อนกว่าอุณหภูมิอากาศจริง

แต่สวนหลังคาทั้ง 3 ประเภทมีอุณหภูมิสูงสุดต่ำกว่าอุณหภูมิผิวกายคน คนจึงสูญเสียความร้อนให้กับหลังคา ทำให้คนรู้สึกเย็น



4.3 ชุดการทดลองที่ 3 การศึกษาอิทธิพลของมวลสารของหลังคาในการหน่วงเหนี่ยวความร้อนที่เข้ามาภายในอาคาร

จากการการศึกษาเบื้องต้น และจากชุดการทดลองที่ 2 จึงได้ตัวแปรที่มีอิทธิพลสำคัญในการป้องกันความร้อน ไม่ให้เข้าสู่ภายในอาคารทางหลังคาอีกตัวแปรหนึ่งนั่นคืออิทธิพลของมวลสาร และตัวแปรนั้นก็ส่งผลต่ออุณหภูมิผิวภายในอาคาร ซึ่งมีอิทธิพลโดยตรงต่อผู้ใช้อาคารนั้นๆ ชุดการทดลองนี้จึงแบ่งเป็นชุดการทดลองได้ ดังนี้

การทดลองที่ 3.1 การศึกษาระยะเวลาในการหน่วงเหนี่ยวความร้อน

การทดลองที่ 3.2 การศึกษาความสามารถในการเก็บกักความเย็นของสวนหลังคา

4.3.1 การทดลองที่ 3.1 การศึกษาระยะเวลาในการหน่วงเหนี่ยวความร้อน

<u>วิธีการทดลอง</u> ทำการเก็บข้อมูลตัวแปร เพื่อดูความแตกต่างของระยะเวลาระหว่างอุณหภูมิผิวภายในที่มีค่าสูงสุด กับอุณหภูมิอากาศภายนอกที่มีค่าสูงสุด

<u>ตัวแปรที่ทำการศึกษา</u>

ตัวแปรต้น - รูปแบบของหลังคา ได้แก่ หลังคาหญ้า พืชคลุมดิน ไม้พุ่ม และหลังคาคอนกรีต

ตัวแปรตาม - อุณหภูมิผิวภายในสวนหลังคาหญ้า พืชคลุมดิน ไม้พุ่ม และหลังคาคอนกรีต

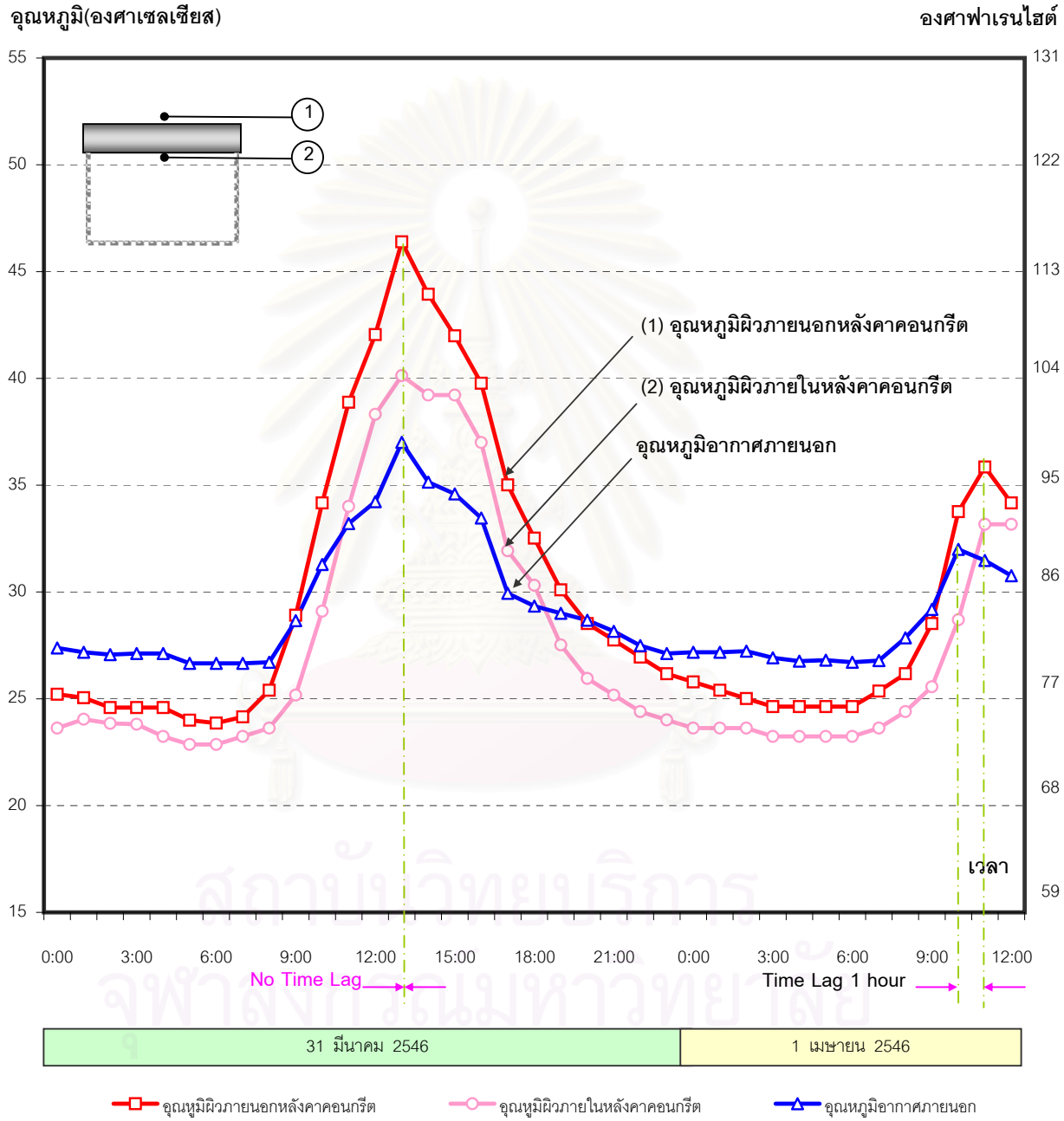
ตัวแปรควบคุม - ทำการเก็บข้อมูลในสภาพแวดล้อมเดียวกัน ความเร็วลมเท่ากัน ส่วนประกอบของดินเท่ากัน และให้น้ำในปริมาณที่เท่ากัน

<u>วิเคราะห์ผลการทดลอง</u>

- ความแตกต่างของระยะเวลาระหว่างอุณหภูมิผิวหลังคาคอนกรีตภายในที่มีค่าสูงสุด กับอุณหภูมิอากาศภายนอกที่มีค่าสูงสุด
- ความแตกต่างของระยะเวลาระหว่างอุณหภูมิผิวหลังคาภายในของสวนหลังคาหญ้าที่มีค่าสูงสุดกับอุณหภูมิอากาศภายนอกที่มีค่าสูงสุด
- ความแตกต่างของระยะเวลาระหว่างอุณหภูมิผิวหลังคาภายในของสวนหลังคาพืชคลุมดินที่มีค่าสูงสุดกับอุณหภูมิอากาศภายนอกที่มีค่าสูงสุด
- ความแตกต่างของระยะเวลาระหว่าง อุณหภูมิผิวหลังคาภายในของสวนหลังคาไม่พุ่มที่มีค่าสูงสุดกับอุณหภูมิอากาศภายนอกที่มีค่าสูงสุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิผิวภายนอก-ภายในของหลังคาคอนกรีต
เพื่อแสดงอิทธิพลของมวลสารของหลังคาคอนกรีตในระบบปรับอากาศ
ระหว่างวันที่ 31 มีนาคม 2546 เวลา 0.00น. ถึง วันที่ 1 เมษายน 2546 เวลา 12.00น.



กราฟที่ 4-31 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิผิวภายนอก-ภายในของหลังคาคอนกรีต เพื่อแสดงอิทธิพลของมวลสารของหลังคาคอนกรีตในระบบปรับอากาศ ระหว่างวันที่ 31 มีนาคม 2546 เวลา 0.00น. ถึงวันที่ 1 เมษายน 2546 เวลา 12.00น. พบว่า ในวันที่ 31 มีนาคม 2546 อุณหภูมิผิวภายนอกหลังคาคอนกรีต อุณหภูมิผิวภายในหลังคาคอนกรีต และอุณหภูมิอากาศสูงสุดในเวลาเดียวกันคือ ที่เวลา 13:00น. แต่ในวันที่ 1 เมษายน 2546 อุณหภูมิอากาศภายนอกสูงสุดที่เวลา 10:00น. และอุณหภูมิผิวภายในมีอุณหภูมิสูงสุดที่เวลา 11:00น. จึงสรุปได้ว่าหลังคาคอนกรีตมีระยะเวลาการหน่วงเหนียวความร้อน 0 ชั่วโมง

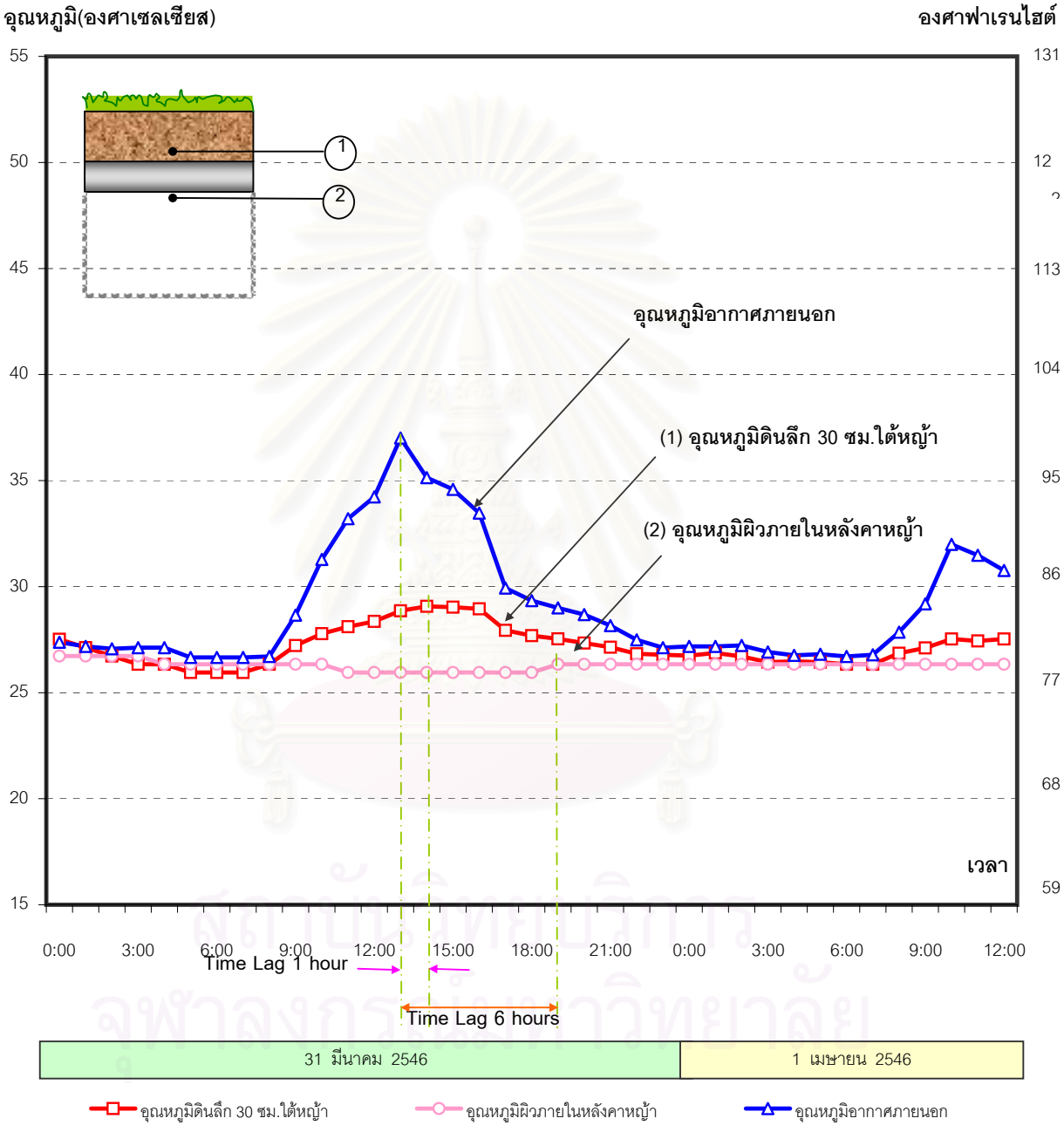
จากกราฟที่ 4 – 31 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิผิวภายนอก-ภายใน ของหลังคาคอนกรีตเพื่อแสดงอิทธิพลของมวลสารของหลังคาคอนกรีตในระบบปรับอากาศ

กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิผิวภายนอก-ภายในของหลังคาคอนกรีต เพื่อแสดงอิทธิพลของมวลสารของหลังคาคอนกรีตในระบบปรับอากาศ ระหว่างวันที่ 31 มีนาคม 2546 เวลา 0.00น. ถึงวันที่ 1 เมษายน 2546 เวลา 12.00น. พบว่า ในวันที่ 31 มีนาคม 2546 อุณหภูมิผิวภายนอกของหลังคาคอนกรีต อุณหภูมิผิวภายในของหลังคาคอนกรีต และอุณหภูมิอากาศ มีค่าของอุณหภูมิสูงสุดในเวลาเดียวกันคือ ที่เวลา 13:00น.

ในวันที่ 1 เมษายน 2546 อุณหภูมิอากาศภายนอกสูงสุดที่เวลา 10:00น. และอุณหภูมิผิวภายในของหลังคาคอนกรีต มีอุณหภูมิสูงสุดที่เวลา 11:00น. จึงสรุปได้ว่าหลังคาคอนกรีตมีระยะเวลาการหน่วงเหนียวความร้อน 0-1 ชั่วโมง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิดินลึก 30 ซม.ใต้หญ้าและอุณหภูมิผิวภายในหลังคาหญ้า เพื่อแสดงอิทธิพลของมวลสารของหลังคาหญ้าในระบบปรับอากาศ ระหว่างวันที่ 31 มีนาคม 2546 เวลา 0.00น. ถึง วันที่ 1 เมษายน 2546 เวลา 12.00น.



กราฟที่ 4-32 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิดินลึก 30 ซม.ใต้หญ้าและอุณหภูมิผิวภายในหลังคาหญ้า เพื่อแสดงอิทธิพลของมวลสารของหลังคาหญ้าในระบบปรับอากาศ ระหว่างวันที่ 31 มีนาคม 2546 เวลา 0.00น. ถึง วันที่ 1 เมษายน 2546 เวลา 12.00น. พบว่าในวันที่ 31 มีนาคม 2546 อุณหภูมิอากาศภายนอกสูงสุดที่เวลา 13:00น. และอุณหภูมิสูงสุดของดินลึก 30 ซม.ใต้หญ้าที่เวลา 14:00น. จึงสรุปได้ว่าดินลึก 30 ซม. ที่ปกคลุมด้วยหญ้ามีระยะเวลาการหน่วงเหนี่ยวความร้อน 1 ชั่วโมง ส่วนอุณหภูมิผิวภายในหลังคาหญ้ามีอุณหภูมิสูงสุดที่เวลา 19:00น. จึงสรุปได้ว่าสวนหลังคาซึ่งมีดินลึก 30 ซม. และถูกปกคลุมด้วยหญ้ามีระยะเวลาในการหน่วงเหนี่ยวความร้อน 6 ชั่วโมง

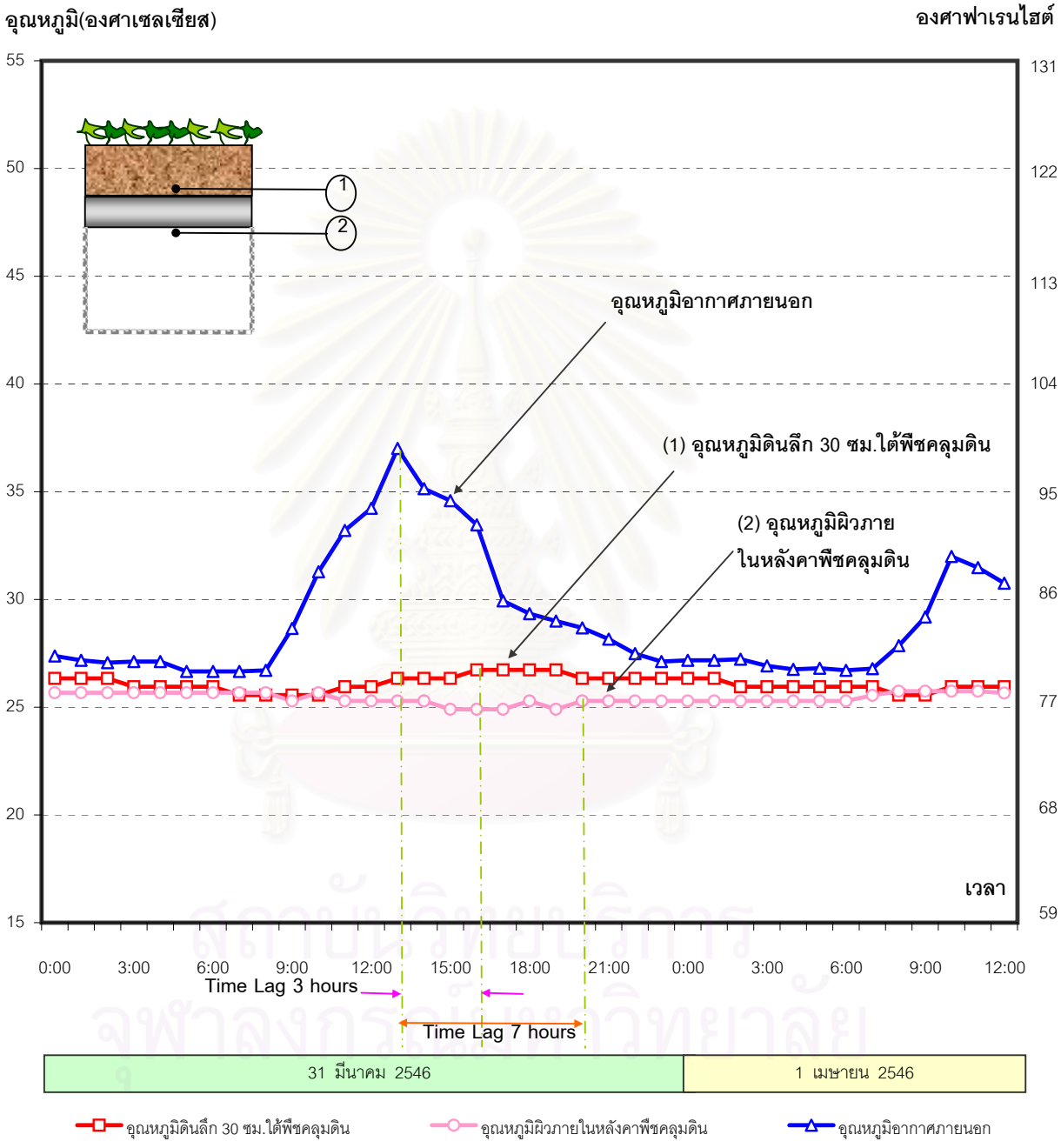
จากกราฟที่ 4 – 32 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิดินลึก 30 ซม.ใต้หญ้าและอุณหภูมิผิวภายในหลังคาหญ้าเพื่อแสดงอิทธิพลของมวลสารของหลังคาหญ้าในระบบปรับอากาศ

กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิดินลึก 30 ซม.ใต้หญ้าและอุณหภูมิผิวภายในหลังคาหญ้า เพื่อแสดงอิทธิพลของมวลสารของหลังคาหญ้าในระบบปรับอากาศ ระหว่างวันที่ 31 มีนาคม 2546 เวลา 0.00น. ถึง วันที่ 1 เมษายน 2546 เวลา 12.00น. พบว่าในวันที่ 31 มีนาคม 2546 อุณหภูมิอากาศภายนอกมีค่าสูงสุดที่เวลา 13:00น. และอุณหภูมิสูงสุดของดินลึก 30 ซม.ใต้หญ้าที่เวลา 14:00น. จึงสรุปได้ว่าดินลึก 30 ซม. ที่ปกคลุมด้วยหญ้ามีระยะเวลาการหน่วงเหนียวความร้อน 1 ชั่วโมง

ในขณะที่อุณหภูมิผิวภายในหลังคาหญ้ามีอุณหภูมิสูงสุดที่เวลา 19:00น. เมื่ออุณหภูมิอากาศภายนอกมีค่าสูงสุดที่เวลา 13:00น. จึงสรุปได้ว่าสวนหลังคาซึ่งมีดินลึก 30 ซม. และถูกปกคลุมด้วยหญ้ามีระยะเวลาในการหน่วงเหนี่ยวความร้อน 6 ชั่วโมง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิดินลึก 30 ซม.ใต้และอุณหภูมิผิวภายในหลังคาพืชคลุมดิน
เพื่อแสดงอิทธิพลของมวลสารของหลังคาพืชคลุมดินในระบบปรับอากาศ
ระหว่างวันที่ 31 มีนาคม 2546 เวลา 0.00น. ถึง วันที่ 1 เมษายน 2546 เวลา 12.00น.



กราฟที่ 4-33 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิดินลึก 30 ซม. ใต้และอุณหภูมิผิวภายในหลังคาพืชคลุมดิน เพื่อแสดงอิทธิพลของมวลสารของหลังคาพืชคลุมดินในระบบปรับอากาศ ระหว่างวันที่ 31 มีนาคม 2546 เวลา 0.00น. ถึง วันที่ 1 เมษายน 2546 เวลา 12.00น. พบว่าในวันที่ 31 มีนาคม 2546 อุณหภูมิอากาศภายนอกสูงสุดที่เวลา 13:00น. และอุณหภูมิสูงสุดของดินลึก 30 ซม.ใต้พืชคลุมดินที่เวลา 16:00น. จึงสรุปได้ว่าดินลึก 30 ซม. ที่ปกคลุมด้วยพืชคลุมดินมีระยะเวลาการหน่วงเหนี่ยวความร้อน 3 ชั่วโมง ส่วนอุณหภูมิผิวภายในหลังคาพืชคลุมดินมีอุณหภูมิสูงสุดที่เวลา 20:00น. จึงสรุปได้ว่าสวนหลังคาซึ่งมีดินลึก 30 ซม. และถูกปกคลุมด้วยพืชคลุมดินมีระยะเวลาในการหน่วงเหนี่ยวความร้อน 7 ชั่วโมง

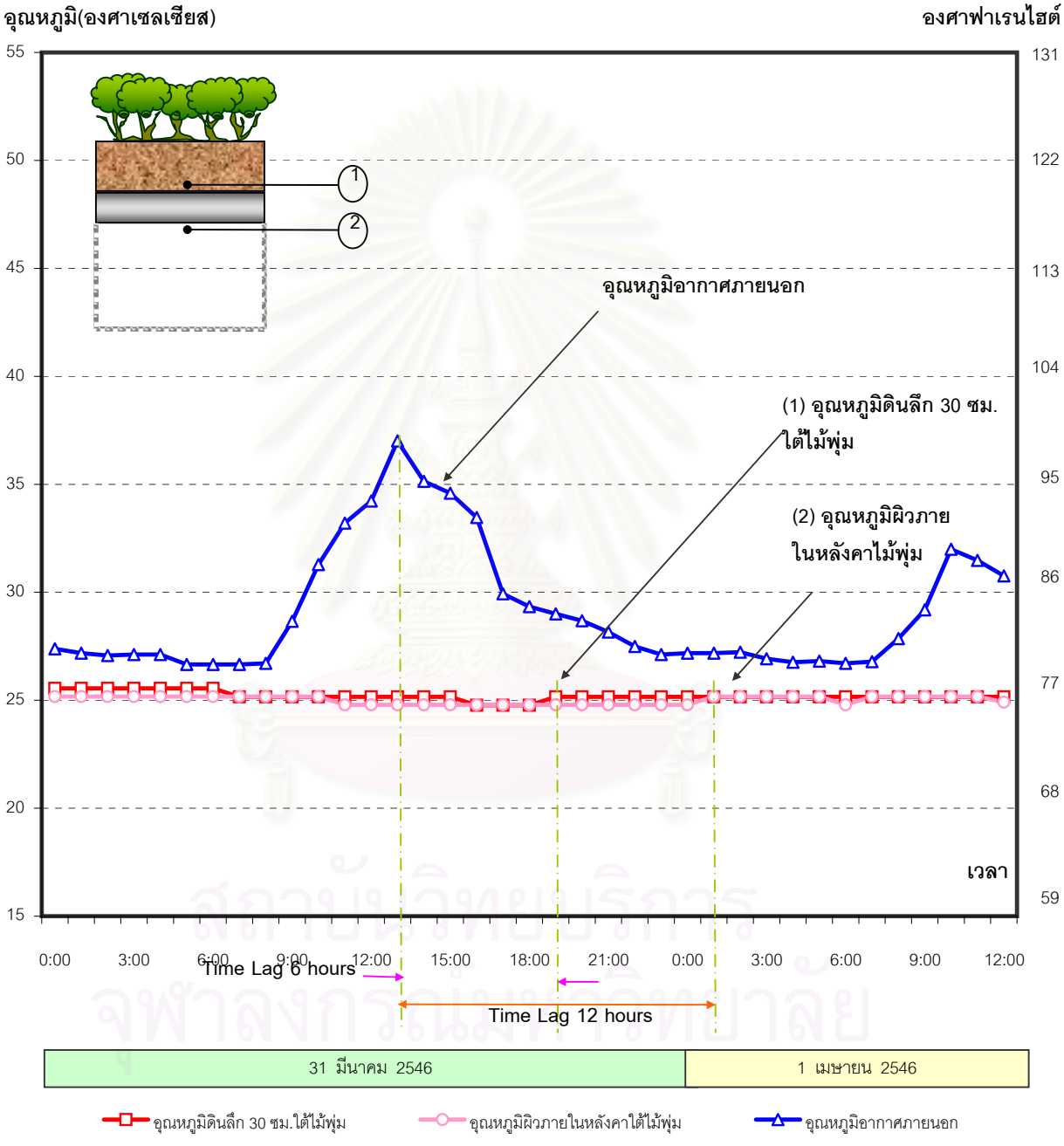
จากกราฟที่ 4 - 33 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิดินลึก 30 ซม.ใต้และอุณหภูมิผิวภายในหลังคาพืชคลุมดินเพื่อแสดงอิทธิพลของมวลสารของหลังคาพืชคลุมดินในระบบปรับอากาศ

กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิดินลึก 30 ซม. ใต้และอุณหภูมิผิวภายในหลังคาพืชคลุมดิน เพื่อแสดงอิทธิพลของมวลสารของหลังคาพืชคลุมดินในระบบปรับอากาศ ระหว่างวันที่ 31 มีนาคม 2546 เวลา 0.00น. ถึง วันที่ 1 เมษายน 2546 เวลา 12.00น. พบว่า ในวันที่ 31 มีนาคม 2546 อุณหภูมิอากาศภายนอกสูงสุดที่เวลา 13:00น. และอุณหภูมิสูงสุดของดินลึก 30 ซม.ใต้พืชคลุมดินที่เวลา 16:00น. จึงสรุปได้ว่าดินลึก 30 ซม. ที่ปกคลุมด้วยพืชคลุมดินมีระยะเวลาการหน่วงเหนียวความร้อน 3 ชั่วโมง

ในขณะที่อุณหภูมิผิวภายในหลังคาพืชคลุมดินมีอุณหภูมิสูงสุดที่เวลา 20:00น. เมื่ออุณหภูมิอากาศภายนอกมีค่าสูงสุดที่เวลา 13:00น. จึงสรุปได้ว่าสวนหลังคาซึ่งมีดินลึก 30 ซม. และถูกปกคลุมด้วยพืชคลุมดินมีระยะเวลาในการหน่วงเหนี่ยวความร้อน 7 ชั่วโมง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิดินลึก 30 ซม.ใต้และอุณหภูมิผิวภายในหลังคาไม้พุ่ม เพื่อแสดงอิทธิพลของมวลสารของหลังคาไม้พุ่มในระบบปรับอากาศ ระหว่างวันที่ 31 มีนาคม 2546 เวลา 0.00น. ถึง วันที่ 1 เมษายน 2546 เวลา 12.00น.



กราฟที่ 4-34 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิดินลึก 30 ซม.ใต้และอุณหภูมิผิวภายในหลังคาไม้พุ่ม เพื่อแสดงอิทธิพลของมวลสารของหลังคาไม้พุ่ม ในระบบปรับอากาศ ระหว่างวันที่ 31 มีนาคม 2546 เวลา 0.00น. ถึง วันที่ 1 เมษายน 2546 เวลา 12.00น. พบว่าในวันที่ 31 มีนาคม 2546 อุณหภูมิอากาศภายนอกสูงสุดที่เวลา 13:00น. และอุณหภูมิสูงสุดของดินลึก 30 ซม.ใต้ไม้พุ่มที่เวลา 19:00น. จึงสรุปได้ว่าดินลึก 30 ซม. ที่ปกคลุมด้วยไม้พุ่มมีระยะเวลาการหน่วงเหนี่ยวความร้อน 6 ชั่วโมง ส่วนอุณหภูมิ ผิวภายในหลังคาไม้พ่มมีอุณหภูมิสูงสุดที่เวลา 1:00น. ของวันที่ 1 เมษายน 546 จึงสรุปได้ว่าสวนหลังคาซึ่งมีดินลึก 30 ซม. และถูกปกคลุมด้วยไม้พุ่มมีระยะเวลาในการหน่วงเหนี่ยวความร้อน 12 ชั่วโมง

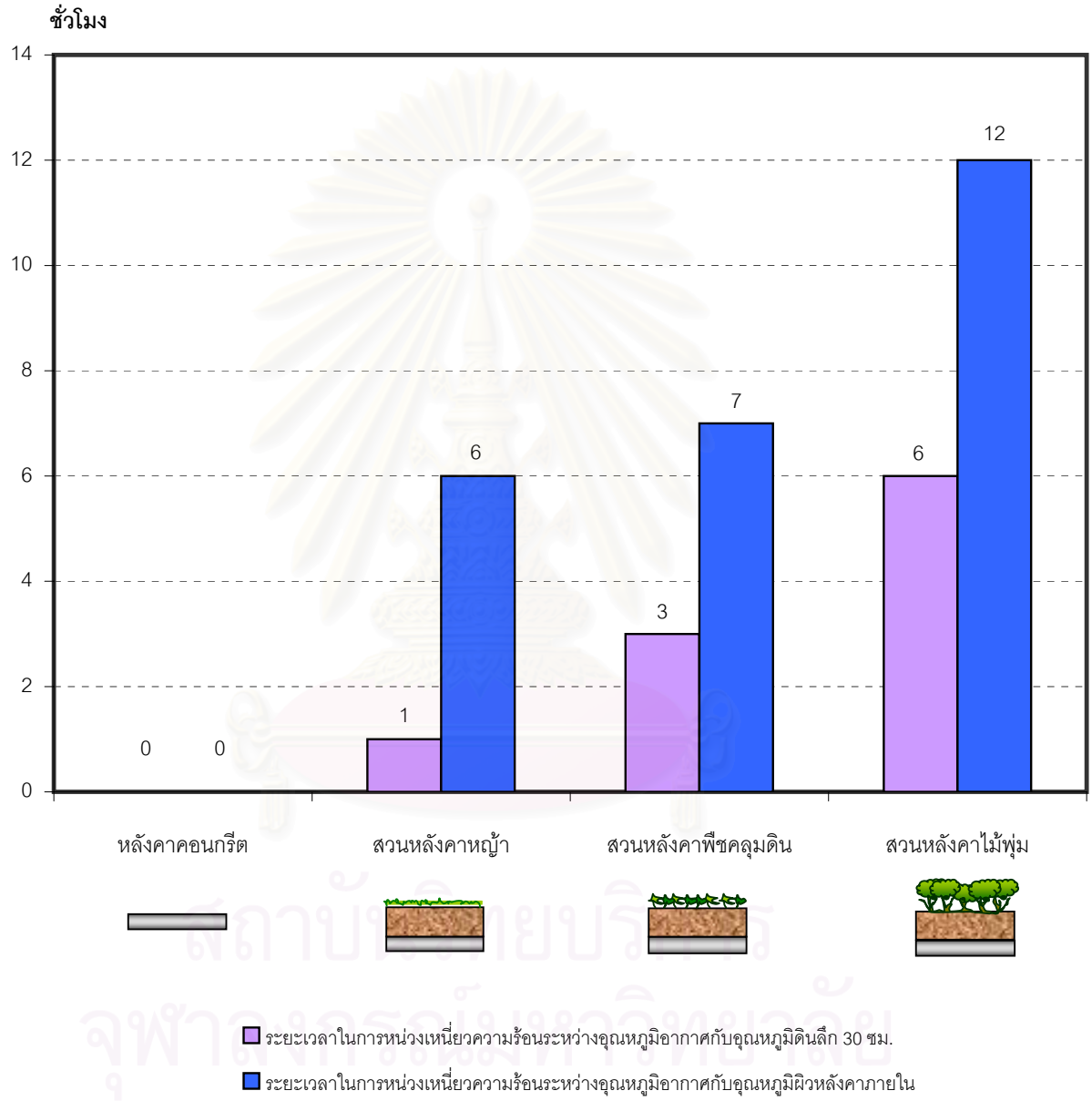
จากกราฟที่ 4 – 34 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิดินลึก 30 ซม.ใต้และอุณหภูมิผิวภายในหลังคาไม้พุ่มเพื่อแสดงอิทธิพลของมวลสารของหลังคาไม้พุ่มในระบบปรับอากาศ

กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิดินลึก 30 ซม.ใต้และอุณหภูมิผิวภายในหลังคาไม้พุ่ม เพื่อแสดงอิทธิพลของมวลสารของหลังคาไม้พุ่ม ในระบบปรับอากาศ ระหว่างวันที่ 31 มีนาคม 2546 เวลา 0.00น. ถึง วันที่ 1 เมษายน 2546 เวลา 12.00น. พบว่าในวันที่ 31 มีนาคม 2546 อุณหภูมิอากาศภายนอกมีค่าสูงสุดที่เวลา 13:00น. และอุณหภูมิสูงสุดของดินลึก 30 ซม.ใต้ไม้พุ่มที่เวลา 19:00น. จึงสรุปได้ว่าดินลึก 30 ซม. ที่ปกคลุมด้วยไม้พุ่มมีระยะเวลาการหน่วงเหนียวความร้อน 6 ชั่วโมง

ในขณะที่อุณหภูมิ ผิวภายในหลังคาไม้พุ่มมีอุณหภูมิสูงสุดที่เวลา 1:00น. ของวันที่ 1 เมษายน 2546 เมื่ออุณหภูมิอากาศภายนอกมีค่าสูงสุดที่เวลา 13:00น. จึงสรุปได้ว่าสวนหลังคาซึ่งมีดินลึก 30 ซม. และถูกปกคลุมด้วยไม้พุ่มมีระยะเวลาในการหน่วงเหนี่ยวความร้อน 12 ชั่วโมง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แผนภูมิแท่งแสดงการเปรียบเทียบระยะเวลาในการหน่วงเหนี่ยวความร้อน ระหว่างหลังคาคอนกรีต สวนหลังคาหญ้า พืชคลุมดิน และไม้พุ่ม ในระบบปรับอากาศ ระหว่างวันที่ 31 มีนาคม 2546 เวลา 0.00น. ถึง วันที่ 1 เมษายน 2546 เวลา 12.00น.



กราฟ 4-35 แผนภูมิแท่งแสดงการเปรียบเทียบระยะเวลาในการหน่วงเหนี่ยวความร้อน ระหว่างหลังคาคอนกรีต สวนหลังคาหญ้า พืชคลุมดิน และไม้พุ่ม ในระบบปรับอากาศระหว่างวันที่ 31 มีนาคม 2546 เวลา 0.00น. ถึง วันที่ 1 เมษายน 2546 เวลา 12.00น. พบว่า สวนหลังคาไม้พุ่มมีระยะเวลาในการหน่วงเหนี่ยวความร้อน ระหว่างอุณหภูมิอากาศภายนอกกับอุณหภูมิผิวหลังคาภายในสูงสุดคือ 12 ชั่วโมง รองลงมาคือสวนหลังคาพืชคลุมดิน 7 ชั่วโมง และสวนหลังคาหญ้า 6 ชั่วโมง แต่พบว่าหลังคาคอนกรีตไม่มีระยะเวลาในการหน่วงเหนี่ยวความร้อนเลย

สรุปผลการทดลองที่ 3.1

สวนหลังคาที่ถูกปกคลุมด้วยพืชคลุมดินมีคุณสมบัติ

1. ลดรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ (Shading)
2. ลดการดูดซับความร้อนที่ผิวดิน (Absorption)
3. เพิ่มอัตราการระเหยของน้ำที่ผิวดิน (Evaporation)
4. รักษาความชื้นในมวลสารของดิน (Resistance)

เพราะฉะนั้นความเป็นฉนวน และ Time Lag ของสวนหลังคาไม้พุ่ม จึงมากกว่าสวนหลังคาพืชคลุมดิน และสวนหลังคาหญ้า ตามลำดับ

ประโยชน์ของการหน่วงเหนี่ยวความร้อนของสวนหลังคา เป็นประโยชน์ในการออกแบบสถาปัตยกรรม เพราะในเวลากลางวันหลังคาจะร้อน แต่สวนหลังคาทำหน้าที่เป็นฉนวนกันไม่ให้ความร้อนลงมา เมื่อถึงเวลาเย็นหลังไม่ได้รับอิทธิพลจากดวงอาทิตย์ในขณะที่ความร้อนยังลงมาไม่ถึง แต่หลังคาแผ่ความร้อนคืนสู่ท้องฟ้าเสียก่อน ทำให้ความร้อนเข้ามาไม่ถึงภายในอาคาร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3.2 การทดลองที่ 3.2 การศึกษาความสามารถในการเก็บกักความเย็นของสวนหลังคา

วิธีการทดลอง ทำการเก็บข้อมูลอุณหภูมิผิวภายในของหลังคาแต่ละประเภท โดยทำการเปิดเครื่องปรับอากาศก่อนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จึงปิดเครื่องปรับอากาศต่อเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ดูระยะเวลาที่อุณหภูมิผิวภายในเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนคงที่

ตัวแปรที่ทำการศึกษา

ตัวแปรต้น - รูปแบบของหลังคา ได้แก่ หลังคาหญ้า พืชคลุมดิน ไม้พุ่ม และหลังคาคอนกรีต

ตัวแปรตาม - อุณหภูมิผิวภายในสวนหลังคาหญ้า พืชคลุมดิน ไม้พุ่ม และหลังคาคอนกรีต

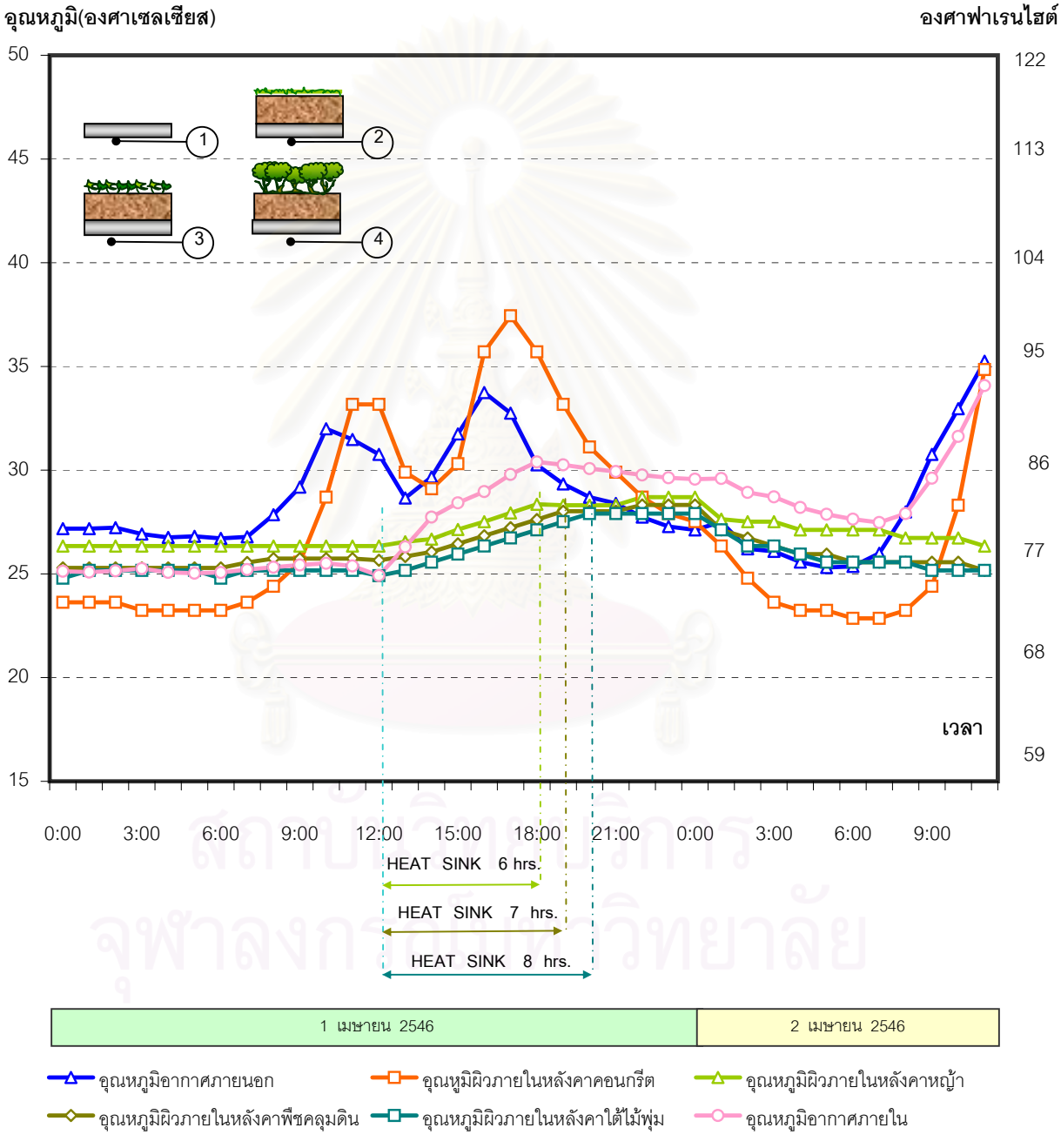
ตัวแปรควบคุม - ทำการเก็บข้อมูลในสภาพแวดล้อมเดียวกัน ความเร็วลมเท่ากัน ส่วนประกอบของดินเท่ากัน และให้น้ำในปริมาณที่เท่ากัน

วิเคราะห์ผลการทดลอง

- ระยะเวลาที่อุณหภูมิผิวภายในของหลังคาตั้งแต่เริ่มปิดเครื่องปรับอากาศ เพิ่มขึ้นจนมีค่าคงที่เป็นระยะเวลาที่มวลสารของหลังคาสามารถเก็บกักความเย็นเอาไว้ได้

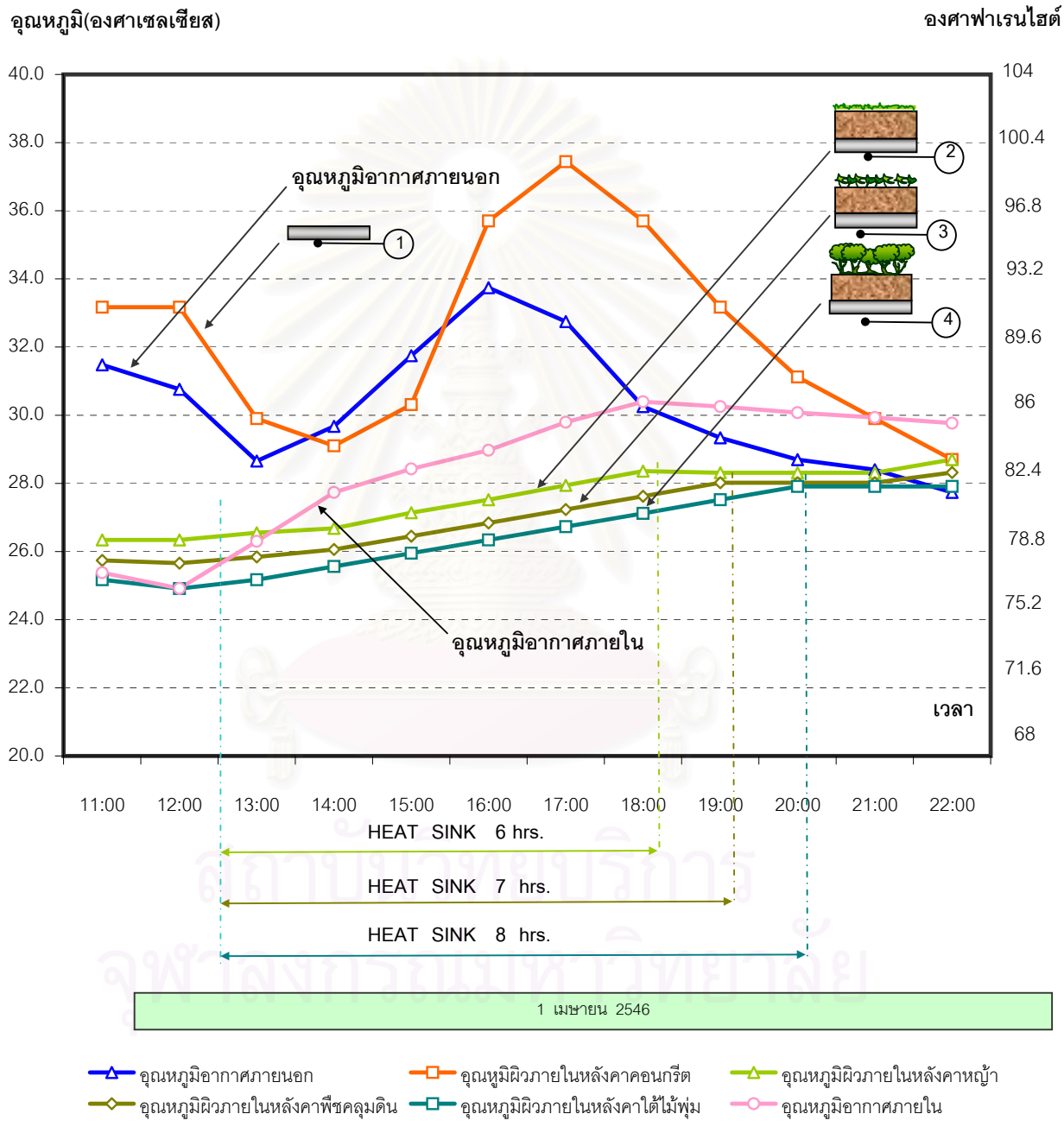
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กราฟแสดงระยะเวลาในการเก็บกักความเย็น (HEAT SINK)
เทียบกับสวนหลังคาหญ้า พืชคลุมดิน และไม้พุ่ม
โดยทำการเก็บข้อมูลในระบบปรับอากาศตั้งแต่วันที่ 1 เมษายน 2546 เวลา 0:00 - 12:00น.
แล้วจึงทำการปิดเครื่องปรับอากาศ จนถึงเวลา 11:00น. ของวันที่ 2 เมษายน 2546



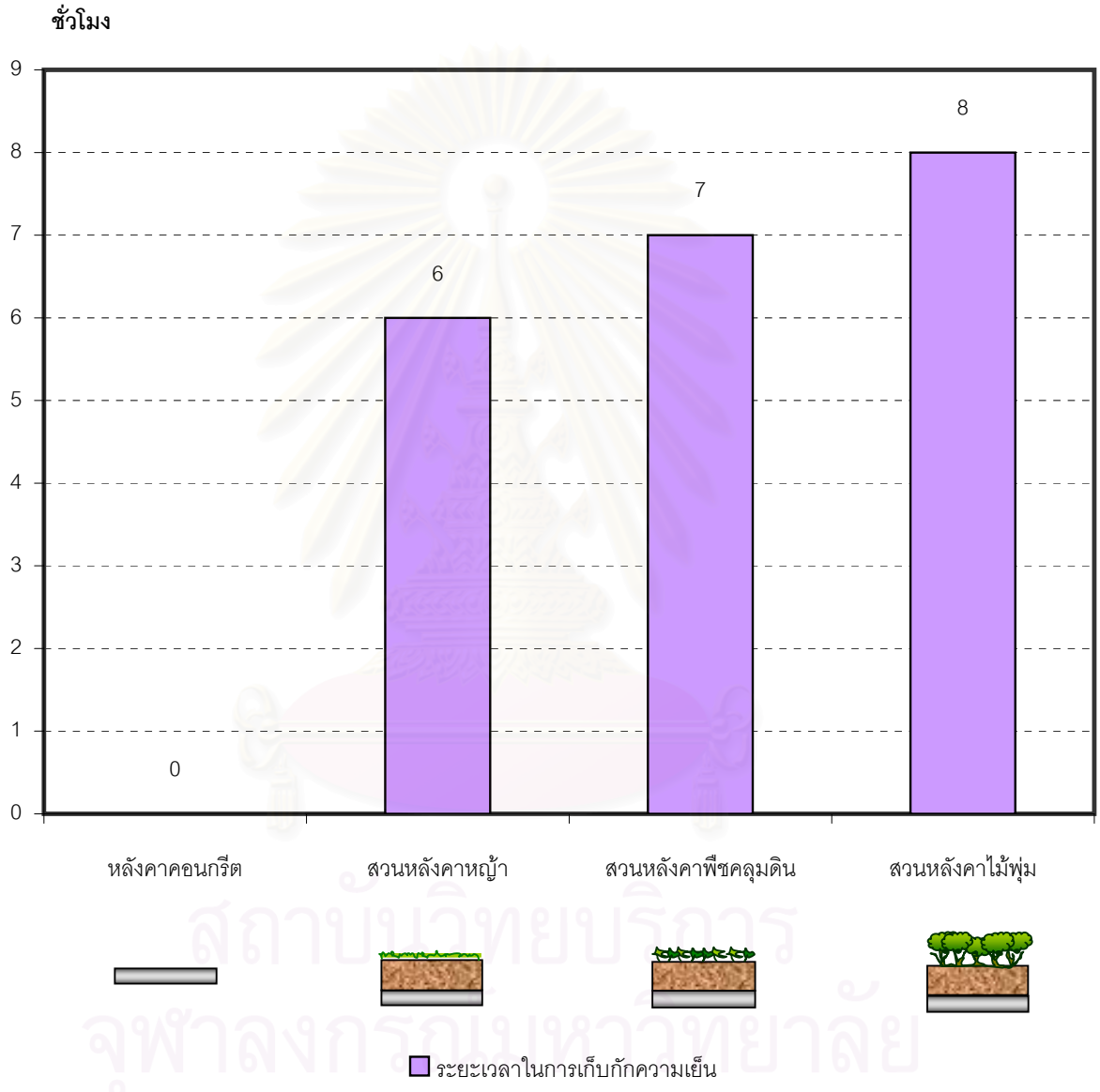
กราฟ 4 - 36 แสดงระยะเวลาในการเก็บกักความเย็น (HEAT SINK) เทียบกับสวนหลังคาหญ้า พืชคลุมดิน และไม้พุ่ม โดยทำการเก็บข้อมูลในระบบปรับอากาศตั้งแต่วันที่ 1 เมษายน 2546 เวลา 0:00 - 12:00น. แล้วจึงทำการปิดเครื่องปรับอากาศ จนถึงเวลา 11:00น. ของวันที่ 2 เมษายน 2546 (ดูกราฟขยาย 4-37)

กราฟขยายจาก 4-19 แสดงระยะเวลาในการเก็บกักความเย็น (HEAT SINK)
เทียบกับสวนหลังคาหญ้า พืชคลุมดิน และไม้พุ่ม ในช่วงเวลาที่ทำการปิดเครื่องปรับอากาศ
ตั้งแต่เวลา 12:00น.ของวันที่ 1 เมษายน 2546 ถึงเวลา 11:00น. ของวันที่ 2 เมษายน 2546



กราฟที่ 4-37 กราฟขยายจาก 4-19 แสดงระยะเวลาในการเก็บกักความเย็น (HEAT SINK) เทียบกับสวนหลังคาหญ้า พืชคลุมดิน และไม้พุ่ม ในช่วงเวลาที่ทำการปิดเครื่องปรับอากาศ ตั้งแต่เวลา 12:00น. ของวันที่ 1 เมษายน 2546 ถึงเวลา 11:00น. ของวันที่ 2 เมษายน 2546 พบว่า สวนหลังคาไม้พุ่มมีระยะเวลาในการเก็บกักความเย็นได้ดีกว่า สวนหลังคาพืชคลุมดินและสวนหลังคาหญ้า ในขณะที่หลังคาคอนกรีตไม่มีความสามารถในการเก็บกักความเย็นเลย

แผนภูมิแท่งแสดงระยะเวลาในการเก็บกักความเย็น (HEAT SINK)
เทียบกับสวนหลังคาหญ้า พืชคลุมดิน และไม้พุ่ม ในช่วงเวลาที่ทำการปิดเครื่องปรับอากาศ
ตั้งแต่เวลา 12:00น.ของวันที่ 1 เมษายน 2546 ถึงเวลา 11:00น. ของวันที่ 2 เมษายน 2546



กราฟ 4-38 แผนภูมิแท่งแสดงระยะเวลาในการเก็บกักความเย็น (HEAT SINK) เทียบกับสวนหลังคาหญ้า พืชคลุมดิน และไม้พุ่ม ในช่วงเวลาที่ทำการปิดเครื่องปรับอากาศ ตั้งแต่เวลา 12:00น.ของวันที่ 1 เมษายน 2546 ถึงเวลา 11:00น. ของวันที่ 2 เมษายน 2546 พบว่า สวนหลังคาไม้พุ่มมีระยะเวลาในการเก็บกักความเย็นมากที่สุด 8 ชั่วโมง รองลงมาคือ สวนหลังคาพืชคลุมดิน มีความสามารถในการเก็บกักความเย็น 7 ชั่วโมง และสวนหลังคาหญ้ามีความสามารถในการเก็บกักความเย็น 6 ชั่วโมง แต่หลังคาคอนกรีตไม่มีความสามารถในการเก็บกักความเย็น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สรุปผลการทดลองที่ 3.2

จากแผนภูมิแท่งพบว่า ระยะเวลาในการเก็บกักความเย็นของหลังคาคอนกรีตนั้นไม่มีเลย เนื่องจากคอนกรีตมีการแปรเปลี่ยนของอุณหภูมิ ไปตามสภาพแวดล้อมอย่างรวดเร็ว ซึ่งแตกต่างกับสวนหลังคา เนื่องจากสวนหลังคามีความสามารถในการเก็บกักความเย็น ดังนี้

- สวนหลังคาหญ้ามีระยะเวลาในการหน่วงเหนี่ยวความร้อน 6 ชั่วโมง
- สวนหลังคาพืชคลุมดิน มีระยะเวลาในการเก็บกักความเย็น 7 ชั่วโมง
- สวนหลังคาไม้พุ่ม มีระยะเวลาในการเก็บกักความเย็น 8 ชั่วโมง

จะเห็นว่าความสามารถในการเก็บกักความเย็นนี้ สามารถนำมาใช้ในการออกแบบเพื่อการประหยัดพลังงานได้ คือ เราสามารถทำการออกแบบให้สวนหลังคาเก็บกักความเย็นในเวลากลางคืน แล้วเอาความเย็นนั้นๆ มาใช้ในเวลากลางวัน เช่น

- การนำเอาความเย็นในเวลากลางคืนมาใช้ในช่วงเช้า ทำให้ย่นระยะเวลาในการเปิดเครื่องปรับอากาศลง เช่นจากเดิมเปิดเครื่องปรับอากาศในเวลา 8:00น. อาจจะเปิดในเวลา 10:00น.
- การตั้งเวลาปิดเครื่องปรับอากาศในเวลา 3:00น. แทนการปิดเครื่องปรับอากาศในเวลา 6:00น. ก็เป็นการลดระยะเวลาในการใช้เครื่องปรับอากาศลงได้เช่นกัน

ดังนั้นคุณสมบัติในการเก็บกักความเย็นของสวนหลังคาจึงเป็นอีกคุณสมบัติหนึ่งในการช่วยประหยัดพลังงาน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากวัตถุประสงค์ในการวิจัย การเปรียบเทียบศักยภาพในการป้องกันความร้อนระหว่างการใช้สวนหลังคากับระบบหลังคาที่ใช้กันทั่วไป จึงแบ่งการศึกษาออกเป็น 3 ส่วนด้วยกัน ดังนี้

1. การศึกษาอิทธิพลในการป้องกันความร้อนที่เข้าสู่ภายในอาคารโดยการใช้สวนหลังคา
    - การศึกษาชนิดของต้นไม้ที่ปกคลุมดิน
    - การศึกษาปริมาณความชื้นในดิน

2. การศึกษาแนวทางในการนำประโยชน์ของสวนหลังคา มาใช้ในการออกแบบเพื่อปรับปรุงอาคารในระบบปรับอากาศและระบบไม่ปรับอากาศ
    - การศึกษาสวนหลังคากับอาคารในระบบปรับอากาศ
    - การศึกษาสวนหลังคากับอาคารในระบบไม่ปรับอากาศ

3. การศึกษาอิทธิพลของมวลสารของหลังคาในการหน่วงเหนี่ยวความร้อนที่เข้ามาภายในอาคาร
    - การศึกษาระยะเวลาในการหน่วงเหนี่ยวความร้อน
    - การศึกษาความสามารถในการเก็บกักความเย็นของสวนหลังคา

ซึ่งการการแบ่งหัวข้อในการศึกษาดังกล่าว สามารถสรุปถึงข้อดีของสวนหลังคาที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้จริงกับสถาปัตยกรรม ดังนี้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 การศึกษาชนิดของต้นไม้ที่ปกคลุมดิน

จากการทดลองเก็บอุณหภูมิดินที่ระดับความลึก 5 ซม. พบว่าในเวลากลางวัน อุณหภูมิดินใต้หญ้ามีอุณหภูมิเฉลี่ย 29.17 องศาเซลเซียส รองลงมาได้แก่อุณหภูมิดินใต้พืชคลุมดิน มีอุณหภูมิเฉลี่ย 28.36 องศาเซลเซียส และไม้พุ่มมีอุณหภูมิเฉลี่ยของดินต่ำที่สุด คือ 27.55 องศาเซลเซียส นั่นแสดงว่า ที่ระดับความลึกของดิน 5 ซม. เท่ากัน ไม้พุ่มสามารถรักษาอุณหภูมิดินโดยเฉลี่ยได้ดีที่สุด คือ ต่ำกว่าอุณหภูมิดินใต้พืชคลุมดิน และไม้พุ่ม

และเช่นเดียวกันที่ระดับความลึก 30 ซม. พบว่าในเวลากลางวัน อุณหภูมิดินใต้หญ้ามีอุณหภูมิเฉลี่ย 29.38 องศาเซลเซียส รองลงมาได้แก่อุณหภูมิดินใต้พืชคลุมดิน มีอุณหภูมิเฉลี่ย 27.58 องศาเซลเซียส และไม้พุ่มมีอุณหภูมิดินเฉลี่ยต่ำที่สุด คือ 26.12 องศาเซลเซียส นั่นแสดงว่า ที่ระดับความลึกของดิน 30 ซม. เท่ากัน ไม้พุ่มสามารถรักษาอุณหภูมิดินโดยเฉลี่ยได้ดีที่สุด คือ ต่ำกว่าอุณหภูมิดินใต้พืชคลุมดิน และไม้พุ่ม

ซึ่งเมื่อทำการเปรียบเทียบอุณหภูมิดินโดยเฉลี่ยทั้งในระดับ 5 ซม. และ 30 ซม. ของหญ้า พืชคลุมดิน และไม้พุ่มแล้ว สามารถเรียงลำดับจากอุณหภูมิสูงสุด ไปหาอุณหภูมิต่ำสุดได้ดังนี้

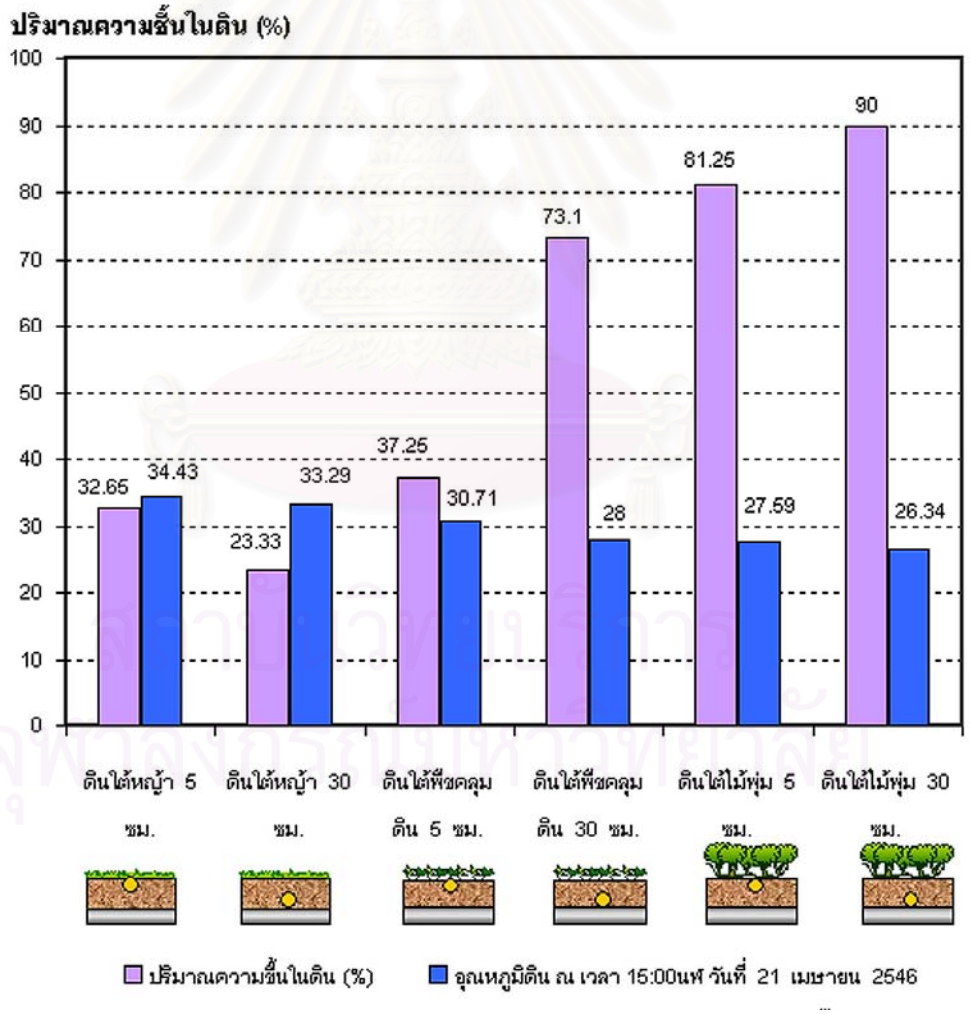
	ต้นไม้	ความลึกดิน (ซม.)	อุณหภูมิดินสูงสุดของวัน (องศาเซลเซียส)
1	หญ้า	30	29.38
2	หญ้า	5	29.17
3	พืชคลุมดิน	5	28.36
4	พืชคลุมดิน	30	27.58
5	ไม้พุ่ม	5	27.55
6	ไม้พุ่ม	30	26.12

จากตารางสรุปนี้จะนำไปประกอบการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง อุณหภูมิดิน และปริมาณความชื้นในดิน ในชุดการทดลองต่อไป

5.1.2 การศึกษาปริมาณความชื้นในดิน

จากการทดลองที่ 1.1 และ 1.2 จึงได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิดินกับปริมาณความชื้นในดิน จะมีสัดส่วนแปรผันกัน คือ ดินที่มีปริมาณความชื้นมากจะมีอุณหภูมิต่ำกว่า ดินที่มีปริมาณความชื้นน้อยกว่า และดินที่ปกคลุมด้วยไม้พุ่มที่ระดับความลึกเดียวกัน จะมีอุณหภูมิต่ำกว่าดินที่ปกคลุมพืชคลุมดิน และหญ้า เนื่องจากดินที่ปกคลุมด้วยไม้พุ่มมีปริมาณความชื้นมากว่าดินที่ปกคลุมด้วยพืชคลุมดิน และหญ้า

ซึ่งจากการทดลองนี้พบว่า อุณหภูมิดินใต้หญ้าที่ความลึก 30 ซม. ไม่เป็นไปตามแนวโน้ม เนื่องจาก หญ้าเป็นต้นไม้ที่มีรากสั้นๆ เพียง 10 ซม. ดังนั้น ปริมาณความชื้นที่ผิวดินที่รากลงไปถึง จึงมีมากกว่าที่ระดับดินลึก 30 ซม.

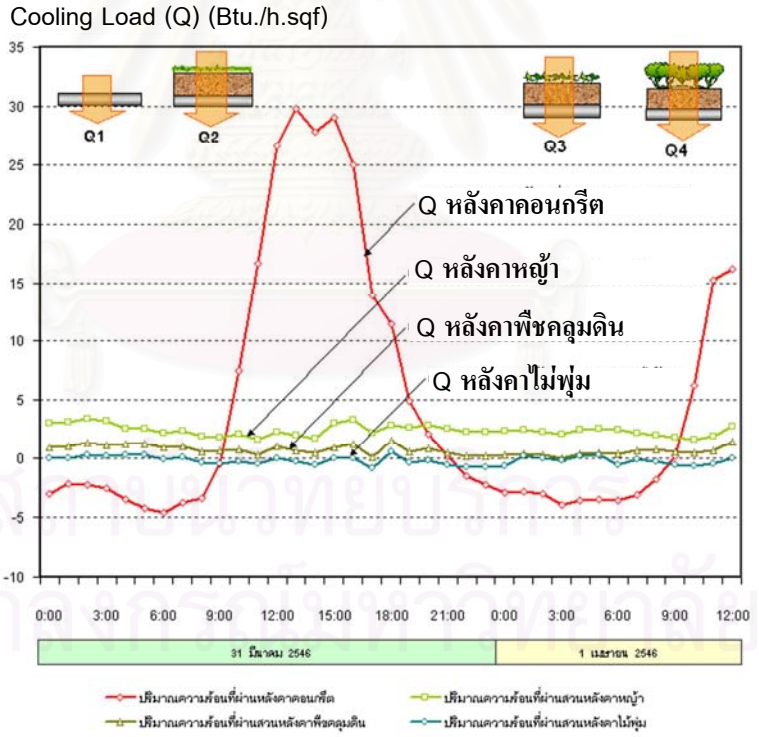


แผนภูมิแท่งสรุปความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิดิน และ ปริมาณความชื้นในดิน

5.1.3 การศึกษาสวนหลังคากับอาคารในระบบปรับอากาศ

สวนหลังคาสร้างร่มเงาและความชุ่มชื้นให้แก่ดิน ทำให้อุณหภูมิของดินมีค่าคงที่ คือ สวนหลังคาหญ้ามีอุณหภูมิดินประมาณ 26–29 องศาเซลเซียส สวนหลังคาพืชคลุมดินมีอุณหภูมิดินประมาณ 25–26 องศาเซลเซียส และสวนหลังคาไม้พุ่มมีอุณหภูมิดินประมาณ 25 องศาเซลเซียส และดินที่มีอุณหภูมิต่ำมีคุณสมบัติในการเหนี่ยวนำวัตถุใดๆที่สัมผัสดินมีอุณหภูมิเท่าหรือใกล้เคียงกับดินมากที่สุดจึงเป็นผลให้หลังคาภายในมีอุณหภูมิใกล้เคียงอุณหภูมิดินและใกล้เคียงกับอุณหภูมิอากาศภายในในระบบปรับอากาศ

เมื่อผิวหลังคาภายในมีอุณหภูมิเท่าหรือใกล้เคียงอุณหภูมิปรับอากาศภายใน จึงเป็นการช่วยลดภาระในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศลง ซึ่งแตกต่างจากอุณหภูมิผิวภายในของหลังคาคอนกรีตของอาคารทั่วไป ซึ่งมีอุณหภูมิผิวภายในที่มีความแปรปรวนมาก ตามสภาพแวดล้อมภายนอกนั่นคืออุณหภูมิผิวภายในอยู่ระหว่าง 23 – 40 องศาเซลเซียส เป็นผลให้เคื่องปรับอากาศต้องรับภาระหนักในการปรับอุณหภูมิอากาศภายใน ดังกราฟเปรียบเทียบภาระในการปรับอากาศของเครื่องปรับอากาศระหว่างสวนหลังคาหญ้า พืชคลุมดิน ไม้พุ่ม และหลังคาคอนกรีต



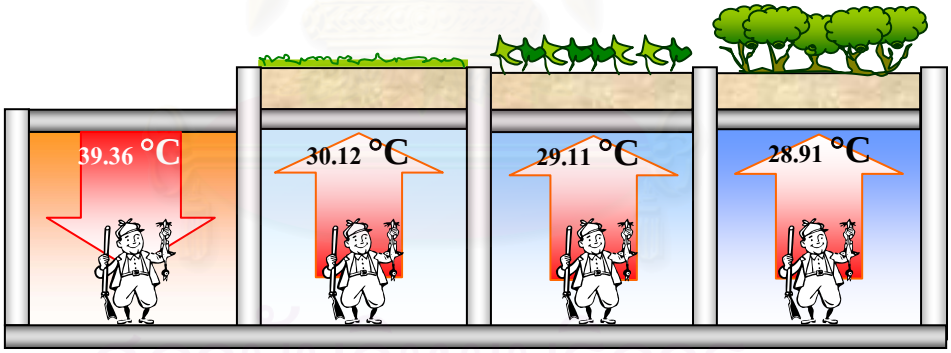
จากกราฟจะเห็นว่า ภาระในการทำความเย็นของหลังคาคอนกรีตสูงที่สุดในเวลากลางวันและในเวลากลางคืนอุณหภูมิอากาศภายนอกต่ำกว่าอากาศภายใน ทำให้เกิดการสูญเสียความร้อนสู่ภายนอก (Heat Lost) สวนหลังคาจึงช่วยลดภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศทั้งในเวลากลางวันและกลางคืน

5.1.4 การศึกษาสวนหลังคากับอาคารในระบบไม่ปรับอากาศ

สวนหลังส่งผลให้ดินมีความชุ่มชื้น มีคุณสมบัติเป็นฉนวน และเหนี่ยวนำให้อุณหภูมิผิวภายในของหลังคามีอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิดิน ซึ่งในระบบไม่ปรับอากาศซึ่งอุณหภูมิอากาศภายในไม่คงที่ แต่แปรเปลี่ยนไปตามสภาพแวดล้อม สวนหลังคาทำหน้าที่ช่วยลดความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิสูงสุด และต่ำสุดของผิวภายในหลังคา

นั่นคือ สวนหลังคาหญ้ามีความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิสูงสุด – ต่ำสุด 2.02 องศาเซลเซียส สวนหลังคาพืชคลุมดินมีความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิสูงสุด – ต่ำสุด 1.61 องศาเซลเซียส และสวนหลังคาไม้พุ่มมีความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิสูงสุด – ต่ำสุด 1.61 องศาเซลเซียส เช่นกัน ซึ่งแตกต่างจากหลังคาคอนกรีตที่มีความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิสูงสุด – ต่ำสุด 14.27 องศาเซลเซียส นั่นหมายความว่า หลังคาคอนกรีตจะทำให้ผู้อยู่อาศัยรู้สึกไม่สบายเพราะอุณหภูมิมีความผันแปรตลอดเวลา

ตรงกันข้ามกับสวนหลังคาซึ่งมีอุณหภูมิค่อนข้างคงที่ และต่ำกว่าอุณหภูมิผิวกายของมนุษย์ นั่นคือ 32 องศาเซลเซียส ตลอดทั้งวัน ผิวกายของมนุษย์จึงสูญเสียความร้อนให้แก่หลังคาทำให้ผู้อยู่อาศัยรู้สึกเย็นดังภาพ



อุณหภูมิผิวกายมนุษย์ 32 องศาเซลเซียส

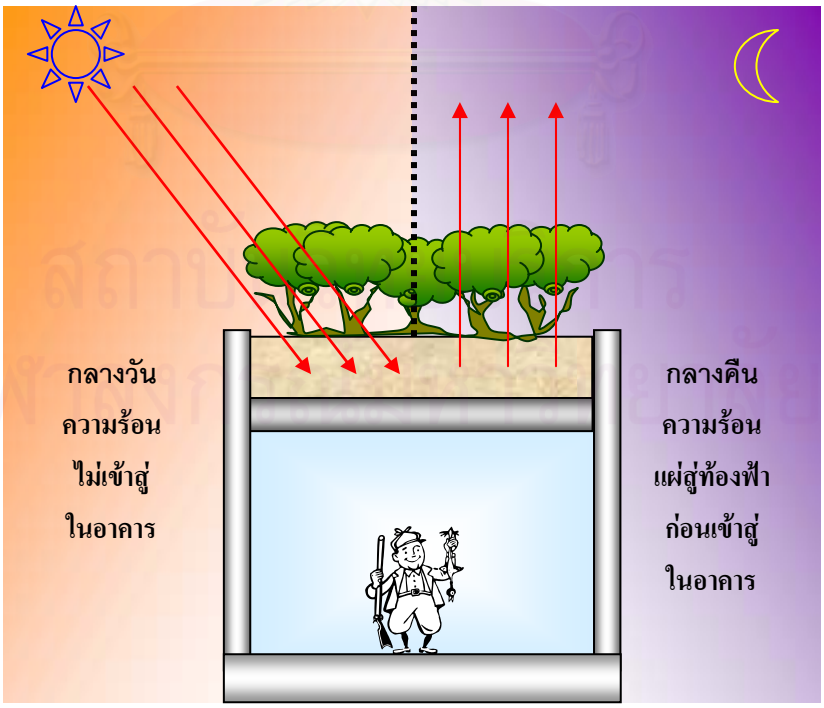
จะเห็นว่า ณ อุณหภูมิผิวภายในสูงสุดของสวนหลังคาทั้ง 3 ประเภท ก็ยังคงต่ำกว่าอุณหภูมิผิวกายมนุษย์ ดังนั้นในระบบปรับอากาศ สวนหลังคาจึงช่วยให้ผู้อยู่อาศัยรู้สึกสบาย เพราะมนุษย์สูญเสียความร้อนให้แก่หลังคา

5.1.5 การศึกษาระยะเวลาในการหน่วงเหนี่ยวความร้อน

สวนหลังคาช่วยลดความร้อนจากดวงอาทิตย์ โดยการสร้างร่มเงา (Shading) ให้กับผิวดิน ช่วยลดการดูดซับความร้อนที่ผิวดิน (Absorption) เพิ่มอัตราการระเหยของน้ำที่ผิวดิน (Evaporative) และช่วยรักษาความชื้นในมวลสารของดินทำให้ดินเป็นฉนวน (Resistance) แล้ว มวลสารของหลังคายังมีช่วยหน่วงเหนี่ยวความร้อน ให้เข้ามาภายในอาคารทางหลังคาให้ช้าลง เป็นผลให้ความร้อนเปลี่ยนทิศทางกลับออกไปภายนอกอาคารก่อนที่จะข้ามาข้างใน เป็นการลดปริมาณความร้อนที่เข้ามาภายในอาคาร

จากการวิจัยสวนหลังคาหญ้ามีการหน่วงเหนี่ยวความร้อน (Time Lag) 6 ชั่วโมง สวนหลังคาพืชคลุมดินมีการหน่วงเหนี่ยวความร้อน (Time Lag) 7 ชั่วโมง สวนหลังคาไม้พุ่มมีการหน่วงเหนี่ยวความร้อน (Time Lag) 12 ชั่วโมง ในขณะที่หลังคาคอนกรีตไม่มีการหน่วงเหนี่ยวความร้อน

ดังนั้นจะเห็นว่าหากเรามีสวนหลังคาไม้พุ่มเป็นหลังคาอาคาร ความร้อนจะไม่สามารถผ่านหลังคาลงมาได้ตลอดในเวลากลางวัน เนื่องจากสวนหลังคาไม้พุ่มมีระยะเวลาในการหน่วงเหนี่ยวความร้อนถึง 12 ชั่วโมง นั่นหมายความว่ากว่าความร้อนจะลงมาถึงผิวหลังคาภายใน หลังคาภายนอกก็ไม่ได้รับอิทธิพลจากดวงอาทิตย์แล้ว เป็นผลให้หลังคาแผ่ความร้อนคืนสู่ท้องฟ้า ทิศทางของความร้อนจึงเปลี่ยนกลับออกสู่ภายนอก แทนการเข้ามาสู่ภายใน



5.1.6 การศึกษาความสามารถในการเก็บกักความเย็นของสวนหลังคา

สวนหลังคานอกจากมาความสามารถในการหน่วงเหนี่ยวความร้อน ไม่ให้เข้ามาภายในอาคารในเวลากลางวันแล้ว ในเวลากลางคืน เมื่อสวนหลังคาแผ่ความร้อนคืนสู่ท้องฟ้าทำให้อุณหภูมิดินลดลง และสามารถนำเอาความเย็นของดินมาใช้ในช่วงเช้า ซึ่งหลังคายังได้รับอิทธิพลจากดวงอาทิตย์ไม่มากนักได้อีกด้วย

จากการศึกษาความสามารถในการกักเก็บความเย็นของสวนหลังคาพบว่า สวนหลังคาหญ้ามีความสามารถในการเก็บกักความเย็น 6 ชั่วโมง สวนหลังคาพืชคลุมดินมีความสามารถในการเก็บกักความเย็น 7 ชั่วโมง และสวนหลังคาไม้พุ่มมีความสามารถในการกักเก็บความเย็น 8 ชั่วโมง นั่นหมายความว่า หากในขณะนั้นห้องที่มีสวนหลังคาหญ้าอยู่ด้านบน และอยู่ในระบบปรับอากาศ เมื่อทำการปิดเครื่องปรับอากาศ อุณหภูมิอากาศในห้องจะเพิ่มขึ้นด้วยอัตราคงที่เป็นเวลา 6 ชั่วโมง จึงจะมีการแปรเปลี่ยนไปตามอิทธิพลของสภาพแวดล้อมภายนอกนั่นเอง คุณสมบัติในการเก็บกักความเย็นของสวนลังคา จึงมีส่วนช่วยในการประหยัดพลังงาน เพราะเป็นการช่วยลดชั่วโมงในการเปิดเครื่องปรับอากาศให้เหลือน้อยลง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ในการวิจัยนี้ทำการวิจัยเพียงต้นไม้ 3 ชนิดเท่านั้น ยังไม่ครอบคลุมถึงต้นไม้ขนาดใหญ่ ซึ่งหากเป็นอาคารที่สร้างใหม่มีการเผื่อโครงสร้างสำหรับรองรับสวนหลังคา สามารถปลูกต้นไม้ใหญ่ได้ จึงควรทำการวิจัยต้นไม้ใหญ่ที่จะนำมาปลูกบนสวนหลังคา หรืออาจศึกษาจากกรณีศึกษาต่อไป

2. นอกจากการศึกษาการใช้สวนหลังคาแทนหลังคาคอนกรีตแล้ว ควรทำการศึกษาต่อในเรื่องของการออกแบบสวนหลังคา บนหลังคาที่มีความชันด้วย

3. ตามหลักความจริงแล้ว สวนหลังคาต้องมีความหลากหลายของต้นไม้ ดังนั้นในการออกแบบสวนหลังคาจริงๆ ต้องมีการนำเอาต้นไม้มาออกแบบผสมผสานกัน โดยอาจศึกษาถึงรูปแบบของต้นไม้ เช่น พุ่มหนาด้านบน ช่วงโคนต้นสูง ควรจะปลูกในทิศใต้ เพราะพุ่มใบช่วยกันแสงแดด แต่ลำต้นสูงทำให้ลมซึ่งสวนใหญ่ตลอดปีมาจากทางทิศใต้ พัดผ่านใต้ต้นไม้ได้มากขึ้น เป็นการเพิ่มอัตราการระเหยของน้ำ ซึ่งข้อเสนอแนะนี้เป็นการนำไปต่อยอดให้เห็นเป็นรูปธรรมมากขึ้นในการออกแบบสวนหลังคา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กรมการพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. คู่มือการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร. จำนวน 3,000 เล่ม พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2536.

คณะบรรณาธิการสำนักพิมพ์บ้านและสวน. สาราณุกรมไม้ประดับในประเทศไทย(เล่ม2). พิมพ์ครั้งที่1. กรุงเทพมหานคร: บริษัทอมรินทร์พริ้นติ้งแอนพับลิชชิ่ง จำกัด (มหาชน), 2543.

จญาดา บุณยเกียรติ. การลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ตัวอาคารทางหลังคา. วิทยานิพนธ์ปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีอาคาร. คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2536.

จุไรพร ตุมพสุวรรณ. พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านวัสดุมุงหลังคาบ้านพักอาศัยในเขตร้อนชื้น. วิทยานิพนธ์ปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีอาคาร. คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540.

ตรึงใจ บูรณสมภพ. การออกแบบสถาปัตยกรรมเมืองร้อนในประเทศไทย. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: นำอักษรการพิมพ์, 2521.

ธนิต ผิวนิ่ม, สมเกียรติ ธานานิต และเลิศวิทย์ โอวาสิทธิ์. มนุษย์กับวิทยาศาสตร์. นครปฐม: คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์, 2535.

ประเสริฐ วิทยารัฐ. ภูมิศาสตร์กายภาพประเทศไทย. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์อักษรบัณฑิต, 2531.

มณีรัตน์ บุนนาค. พรรณไม้ในสวนหลวง ร.9. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร: ด่านสุทธาการพิมพ์, 2539.

ศุภกิจ ยิ้มสรวล. การใช้สวนหลังคาเพื่อลดการถ่ายเทความร้อน. วิทยานิพนธ์ปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีอาคาร. คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.

สมสิทธิ์ นิตยะ. การออกแบบอาคารสำหรับภูมิอากาศร้อนชื้น. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.

สุนทร บุญญาธิการ. การเลือกใช้วัสดุเพื่อการออกแบบอาคารประหยัดพลังงาน. วารสารพลังงาน (Jurnal of Energy) ฉบับพิเศษ (2537): 28 - 51.

สุนทร บุญญาธิการ. การใช้วัสดุเพื่อการประหยัดพลังงานในอาคารอนุรักษ์พลังงานเฉลิมพระเกียรติ. วารสารอาษา (กรกฎาคม 2539): 102 – 103.

สุนทร บุญญาธิการ. เทคนิคการออกแบบบ้านประหยัดพลังงาน. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.

สุนทร บุญญาธิการ และธนิต จินดาวนิค . รายงานผลการวิจัย การวิเคราะห์สภาวะน่าสบายและสภาพแวดล้อมที่เกี่ยวข้องของอาคารสถาปัตยกรรมไทย . กรุงเทพมหานคร : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย . 2536 .

สุริยน ศิริธรรมปิติ. ปัจจัยที่มีผลต่อการควบแน่นในโบราณสถาน. วิทยานิพนธ์ปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีอาคาร. คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.

ภาษาอังกฤษ

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

Baruch, Givoni. Passive and Low Energy Cooling of Building. (n.p.), 1944.

Benjamin Stain, John S,Reynolds, Mechanical and Electrical Equipment for Buildings. 7th ed. USA, 1992.

Fanger.O.P, Thermal Comfort. New York: McGraw-Hill, 1967.

Fuller Moore. Environmental Control System : Heating Cooling Lighting. Singapore: Mcgrew-Hill Book Co., 1993.

Lstiburek and Carmody, Moisture Control Handbook: Principles and Practices for Residential and Small Commercial Building, New York: Van Nosland Reinhold, 1993.

Otto Koeningsberger & Robert Lynn. Roofs in the Warm Humid – Tropical. Architectural Association: Published By Lund Humphriea, London, 1965.

Richardson,Barry A Defects and Deteroriration in Buildings. 1st ed. Great Britain: Cambridge University Press, 1994.

Stein, B., and Reynolds, J.S. Mechanical and Electrical Equipment for Building. 8th Edition. New York : John Wiley & Sons, 1992.

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กราฟ 4-1 เปรียบเทียบอุณหภูมิดินที่ระดับความลึก 5 ซม.ใต้หญ้า พืชคลุมดิน และไม้พุ่ม

	เวลา	อุณหภูมิอากาศภายนอก	อุณหภูมิดินใต้หญ้าที่ระดับ	อุณหภูมิดินใต้พืชคลุมดินที่ระดับ 5 ซ	อุณหภูมิดินใต้ไม้พุ่มที่ระดับ 5 ซม.
21/4/2546	0:00	29.80	28.7	28.7	29.5
21/4/2546	1:00	29.29	28.7	28.7	29.5
21/4/2546	2:00	28.56	26.76	27.44	29.1
21/4/2546	3:00	27.93	26.46	26.9	28.4
21/4/2546	4:00	27.86	26.44	26.83	27.66
21/4/2546	5:00	27.53	26.54	26.76	27.59
21/4/2546	6:00	27.24	26.37	26.73	27.24
21/4/2546	7:00	28.70	26.61	26.54	27.2
21/4/2546	8:00	30.76	28.7	27.12	27.17
21/4/2546	9:00	33.31	30.31	28.98	27.12
21/4/2546	10:00	35.48	31.52	29.6	27.1
21/4/2546	11:00	37.47	32.34	30.44	27.17
21/4/2546	12:00	38.63	33.59	31.2	27.24
21/4/2546	13:00	38.87	34.01	31.17	27.22
21/4/2546	14:00	41.51	34.01	32.07	27.17
21/4/2546	15:00	40.07	34.43	30.71	27.59
21/4/2546	16:00	40.14	32.76	30.31	27.59
21/4/2546	17:00	36.53	31.52	29.9	27.56
21/4/2546	18:00	33.79	30.71	29.5	27.56
21/4/2546	19:00	32.20	29.5	28.7	27.56
21/4/2546	20:00	31.39	29.1	28.4	27.91
21/4/2546	21:00	30.58	28.31	28.27	27.91
21/4/2546	22:00	30.22	27.8	27.91	27.91
21/4/2546	23:00	30.00	27.32	27.49	27.91
22/4/2546	0:00	29.69	26.9	27.17	27.91
22/4/2546	1:00	29.44	26.56	27	27.52
22/4/2546	2:00	28.28	26.29	26.56	27.52
22/4/2546	3:00	27.84	26.4	26.59	27.46
22/4/2546	4:00	27.27	26.34	26.63	27.32
22/4/2546	5:00	27.17	26.32	26.59	26.88
22/4/2546	6:00	27.04	26.32	26.54	26.68
22/4/2546	7:00	28.60	26.73	26.73	26.73
22/4/2546	8:00	31.01	27.91	27.12	27.12
22/4/2546	9:00	32.64	29.9	27.52	27.12
22/4/2546	10:00	33.70	31.12	29	26.98
22/4/2546	11:00	38.81	31.93	29.88	27.12
22/4/2546	12:00	39.97	34.01	31.68	27.12

กราฟ 4-4 แผนภูมิแท่งแสดงอุณหภูมิสูงสุด ต่ำสุด และอุณหภูมิเฉลี่ย ของอุณหภูมิดินที่ระดับความลึก 30 ซม.ใต้หญ้า พืชคลุมดิน และไม้พุ่ม

	อุณหภูมิสูงสุด	อุณหภูมิเฉลี่ย	อุณหภูมิต่ำสุด
อุณหภูมิดินใต้หญ้าที่ระดับ 30 ซม.	33.29	29.38	26.88
อุณหภูมิดินใต้พืชคลุมดินที่ระดับ 30 ซม.	28.31	27.58	26.63
อุณหภูมิดินใต้ไม้พุ่มที่ระดับ 30 ซม.	26.73	26.12	25.56

กราฟ 4-5 แผนภูมิแท่งแสดงอุณหภูมิเฉลี่ยของดินที่ระดับความลึก 5 และ 30 ซม. ของหญ้า พืชคลุมดิน และไม้พุ่ม

	หญ้า	พืชคลุมดิน	ไม้พุ่ม
ความลึกของดิน 5 ซม.	29.17	28.36	27.55
ความลึกของดิน 30 ซม.	29.38	27.58	26.12

กราฟ 4-2 แผนภูมิแท่งแสดงอุณหภูมิสูงสุด ต่ำสุด และอุณหภูมิเฉลี่ย ของอุณหภูมิดินที่ระดับความลึก 5 ซม.ใต้หญ้า พืชคลุมดิน และไม้พุ่ม

	อุณหภูมิสูงสุด	อุณหภูมิเฉลี่ย	อุณหภูมิต่ำสุด
อุณหภูมิดินใต้หญ้าที่ระดับ 5 ซม.	34.43	29.17	26.29
อุณหภูมิดินใต้พืชคลุมดินที่ระดับ 5 ซม.	32.07	28.36	26.56
อุณหภูมิดินใต้ไม้พุ่มที่ระดับ 5 ซม.	27.91	27.55	26.68

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กราฟ 4-3 เปรียบเทียบอุณหภูมิดินที่ระดับความลึก 30 ซม.ใต้หญ้า พืชคลุมดิน และไม้พุ่ม

เวลา		อุณหภูมิอากาศภายนอก	อุณหภูมิดินใต้หญ้าที่ระดับ	อุณหภูมิดินใต้พืชคลุมดินที่ระดับ 30	อุณหภูมิดินใต้ไม้พุ่มที่ระดับ 30 ซม.
21/4/2546	0:00	29.80	29.54	28.85	26.34
21/4/2546	1:00	29.29	28.93	28.8	26.34
21/4/2546	2:00	28.56	27.83	28.8	26.34
21/4/2546	3:00	27.93	27.49	28.8	25.95
21/4/2546	4:00	27.86	27.46	27.05	25.95
21/4/2546	5:00	27.53	26.98	27.05	25.95
21/4/2546	6:00	27.24	26.95	27.05	25.95
21/4/2546	7:00	28.70	26.98	27.05	25.9
21/4/2546	8:00	30.76	29.37	27.07	25.9
21/4/2546	9:00	33.31	30.8	27.07	25.83
21/4/2546	10:00	35.48	31.49	27.34	25.85
21/4/2546	11:00	37.47	31.85	27.78	25.95
21/4/2546	12:00	38.63	32.78	27.8	25.95
21/4/2546	13:00	38.87	33.17	27.85	26.34
21/4/2546	14:00	41.51	32.98	27.88	26.34
21/4/2546	15:00	40.07	33.29	28	26.34
21/4/2546	16:00	40.14	31.93	28.05	26.4
21/4/2546	17:00	36.53	30.54	28.31	26.73
21/4/2546	18:00	33.79	30.07	28.31	26.73
21/4/2546	19:00	32.20	29.6	28.24	26.73
21/4/2546	20:00	31.39	29.15	28.31	26.34
21/4/2546	21:00	30.58	28.93	28.27	26.34
21/4/2546	22:00	30.22	28.83	28.2	26.34
21/4/2546	23:00	30.00	27.83	28.07	26.34
22/4/2546	0:00	29.69	27.56	27.59	26.34
22/4/2546	1:00	29.44	27.49	27.32	26.34
22/4/2546	2:00	28.28	27.22	27.12	25.95
22/4/2546	3:00	27.84	27.1	26.98	25.95
22/4/2546	4:00	27.27	27.02	26.83	25.95
22/4/2546	5:00	27.17	26.95	26.71	25.95
22/4/2546	6:00	27.04	26.88	26.63	25.95
22/4/2546	7:00	28.60	27.29	26.73	25.95
22/4/2546	8:00	31.01	28.51	27.12	25.56
22/4/2546	9:00	32.64	30.12	27.12	25.56
22/4/2546	10:00	33.70	31.17	27.02	25.95
22/4/2546	11:00	38.81	31.9	26.73	25.95
22/4/2546	12:00	39.97	33.24	26.73	25.95

กราฟ4-6 เปรียบเทียบอุณหภูมิดินที่ระดับ 5 และ 30 ซม. ใต้หญ้า พืชคลุมดิน และไม้พุ่ม

	เวลา	อุณหภูมิดินใต้หญ้าที่ระดับ 5 ซม.	อุณหภูมิดินใต้หญ้าที่ระดับ 30 ซม.	อุณหภูมิดินใต้พืชคลุมดินที่ระดับ 5 ซม.	อุณหภูมิดินใต้พืชคลุมดินที่ระดับ 30 ซม.	อุณหภูมิดินใต้ไม้พุ่มที่ระดับ 5 ซม.	อุณหภูมิดินใต้ไม้พุ่มที่ระดับ 30 ซม.	อุณหภูมิอากาศภายนอก
21/4/2546	0:00	28.7	29.54	28.7	28.85	29.5	26.34	29.80
21/4/2546	1:00	28.7	28.93	28.7	28.8	29.5	26.34	29.29
21/4/2546	2:00	26.76	27.83	27.44	28.8	29.1	26.34	28.56
21/4/2546	3:00	26.46	27.49	26.9	28.8	28.4	25.95	27.93
21/4/2546	4:00	26.44	27.46	26.83	27.05	27.66	25.95	27.86
21/4/2546	5:00	26.54	26.98	26.76	27.05	27.59	25.95	27.53
21/4/2546	6:00	26.37	26.95	26.73	27.05	27.24	25.95	27.24
21/4/2546	7:00	26.61	26.98	26.54	27.05	27.2	25.9	28.70
21/4/2546	8:00	28.7	29.37	27.12	27.07	27.17	25.9	30.76
21/4/2546	9:00	30.31	30.8	28.98	27.07	27.12	25.83	33.31
21/4/2546	10:00	31.52	31.49	29.6	27.34	27.1	25.85	35.48
21/4/2546	11:00	32.34	31.85	30.44	27.78	27.17	25.95	37.47
21/4/2546	12:00	33.59	32.78	31.2	27.8	27.24	25.95	38.63
21/4/2546	13:00	34.01	33.17	31.17	27.85	27.22	26.34	38.87
21/4/2546	14:00	34.01	32.98	32.07	27.88	27.17	26.34	41.51
21/4/2546	15:00	34.43	33.29	30.71	28	27.59	26.34	40.07
21/4/2546	16:00	32.76	31.93	30.31	28.05	27.59	26.4	40.14
21/4/2546	17:00	31.52	30.54	29.9	28.31	27.56	26.73	36.53
21/4/2546	18:00	30.71	30.07	29.5	28.31	27.56	26.73	33.79
21/4/2546	19:00	29.5	29.6	28.7	28.24	27.56	26.73	32.20
21/4/2546	20:00	29.1	29.15	28.4	28.31	27.91	26.34	31.39
21/4/2546	21:00	28.31	28.93	28.27	28.27	27.91	26.34	30.58
21/4/2546	22:00	27.8	28.83	27.91	28.2	27.91	26.34	30.22
21/4/2546	23:00	27.32	27.83	27.49	28.07	27.91	26.34	30.00
22/4/2546	0:00	26.9	27.56	27.17	27.59	27.91	26.34	29.69
22/4/2546	1:00	26.56	27.49	27	27.32	27.52	26.34	29.44
22/4/2546	2:00	26.29	27.22	26.56	27.12	27.52	25.95	28.28
22/4/2546	3:00	26.4	27.1	26.59	26.98	27.46	25.95	27.84
22/4/2546	4:00	26.34	27.02	26.63	26.83	27.32	25.95	27.27
22/4/2546	5:00	26.32	26.95	26.59	26.71	26.88	25.95	27.17
22/4/2546	6:00	26.32	26.88	26.54	26.63	26.68	25.95	27.04
22/4/2546	7:00	26.73	27.29	26.73	26.73	26.73	25.95	28.60
22/4/2546	8:00	27.91	28.51	27.12	27.12	27.12	25.56	31.01
22/4/2546	9:00	29.9	30.12	27.52	27.12	27.12	25.56	32.64
22/4/2546	10:00	31.12	31.17	29	27.02	26.98	25.95	33.70
22/4/2546	11:00	31.93	31.9	29.88	26.73	27.12	25.95	38.81
22/4/2546	12:00	34.01	33.24	31.68	26.73	27.12	25.95	39.97

กราฟ 4-7 แผนภูมิแท่งแสดงปริมาณความชื้นในดินที่ระดับความลึก 5 และ 30 ซม. ของหญ้า พืชคลุมดิน และไม้พุ่ม

	ปริมาณความชื้นในดิน (%)
ดินใต้หญ้า 5 ซม.	32.65
ดินใต้หญ้า 30 ซม.	23.33
ดินใต้พืชคลุมดิน 5 ซม.	37.25
ดินใต้พืชคลุมดิน 30 ซม.	73.1
ดินใต้ไม้พุ่ม 5 ซม.	81.25
ดินใต้ไม้พุ่ม 30 ซม.	90

กราฟ 4-8 แผนภูมิแท่งแสดงการเปรียบเทียบปริมาณความชื้นในดินและอุณหภูมิดินที่ระดับความลึก 5 และ 30 ซม.

	ปริมาณความชื้นในดิน (%)	อุณหภูมิดิน ณ เวลา 15:00นฬ วันที่ 21 เมษายน 2546
ดินใต้หญ้า 5 ซม.	32.65	34.43
ดินใต้หญ้า 30 ซม.	23.33	33.29
ดินใต้พืชคลุมดิน 5 ซม.	37.25	30.71
ดินใต้พืชคลุมดิน 30 ซม.	73.1	28
ดินใต้ไม้พุ่ม 5 ซม.	81.25	27.59
ดินใต้ไม้พุ่ม 30 ซม.	90	26.34

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กราฟ 4-9 เปรียบเทียบอุณหภูมิแต่ละระดับของหลังคาคอนกรีต

	เวลา	อุณหภูมิผิวภายนอกหลังคาคอนกรีต	อุณหภูมิผิวภายในหลังคาคอนกรีต	อุณหภูมิอากาศภายนอก	อุณหภูมิอากาศภายใน	อุณหภูมิกระเบื้องภายนอก	อุณหภูมิกระเบื้องภายใน
30/3/2546	18:00	28.52	29.1	29.7	23.80	26.73	18.58
	19:00	26.95	27.52	28.0	23.03	25.56	17.97
	20:00	26.17	25.95	27.5	22.29	24.79	17.33
	21:00	25.4	24.4	27.0	22.94	24.01	17.89
	22:00	24.63	24.01	26.8	24.21	24.01	18.99
30/3/2546	23:00	24.63	23.63	26.4	24.18	24.4	18.96
31/3/2546	0:00	25.21	23.63	27.4	24.87	24	19.56
	1:00	25.05	24.04	27.2	24.87	23.63	19.53
	2:00	24.59	23.85	27.1	24.70	23.24	19.78
	3:00	24.59	23.81	27.1	24.79	23.24	19.95
	4:00	24.59	23.24	27.1	24.71	23.24	20.2
	5:00	24	22.86	26.7	24.73	22.86	20.44
	6:00	23.86	22.86	26.7	24.90	22.48	20
	7:00	24.15	23.24	26.7	24.83	23.63	20
	8:00	25.4	23.63	26.7	25.05	25.17	19.71
	9:00	28.91	25.17	28.7	25.12	27.91	19.78
	10:00	34.17	29.1	31.3	24.99	30.71	19.66
	11:00	38.88	34.01	33.2	25.30	32.76	19.84
31/3/2546	12:00	42.05	38.32	34.2	24.47	33.02	19.21
	13:00	46.39	40.13	37.0	24.62	33.17	19.34
	14:00	43.94	39.22	35.1	24.76	32.76	19.46
	15:00	41.99	39.22	34.6	24.09	30.71	18.89
	16:00	39.77	37	33.5	23.97	28.31	18.78
	17:00	35.01	31.93	29.9	24.55	28.1	19.28
	18:00	32.52	30.31	29.3	24.19	27.91	18.97
	19:00	30.1	27.52	29.0	24.69	26.34	19.4
	20:00	28.52	25.95	28.7	24.57	25.17	19.3
	21:00	27.75	25.17	28.2	24.75	25.17	19.95
	22:00	26.95	24.4	27.5	24.87	25.17	19.95
31/3/2546	23:00	26.17	24.01	27.1	24.87	24.79	20.53
1/4/2546	0:00	25.79	23.63	27.2	24.83	25.17	20.53
	1:00	25.4	23.63	27.2	24.79	24.4	20.53
	2:00	25.01	23.63	27.2	24.85	24.01	20.69
	3:00	24.63	23.24	26.9	24.96	24.01	21
	4:00	24.63	23.24	26.8	24.77	24.01	21
	5:00	24.63	23.24	26.8	24.74	24.4	21
	6:00	24.63	23.24	26.7	24.77	24.01	20.61
	7:00	25.36	23.63	26.8	24.91	25.17	20.61
	8:00	26.17	24.4	27.9	25.02	26.73	19.69
	9:00	28.52	25.56	29.2	25.13	28.71	19.78
	10:00	33.76	28.7	32.0	25.21	30.28	19.54
	11:00	35.85	33.17	31.5	25.08	29.72	19.37
1/4/2546	12:00	34.17	33.17	30.8	24.62	29.48	19.34
	13:00	32.12	29.9	28.7	26.03	29.9	22.13
	14:00	32.52	29.1	29.7	27.44	31.52	23.4
	15:00	34.17	30.31	31.7	28.13	30.71	24.03
	16:00	39.32	35.7	33.7	28.67	30.71	24.52
	17:00	38.88	37.44	32.7	29.50	28.31	25.23
	18:00	36.27	35.7	30.3	30.10	27.12	26.64
	19:00	33.76	33.17	29.3	29.95	25.56	26.5
	20:00	32.12	31.12	28.7	29.78	25.56	26.34
	21:00	30.9	29.9	28.4	29.63	25.95	26.24
	22:00	29.7	28.7	27.7	29.47	25.56	26.06
	23:00	28.91	27.91	27.3	29.33	25.56	25.12
1/4/2546	0:00	28.52	27.52	27.1	29.27	25.17	25.87

กราฟ 4-10 เปรียบเทียบอุณหภูมิแต่ละระดับของหลังคาหญ้า

	เวลา	อุณหภูมิดินเปียกใต้หญ้า	อุณหภูมิดินลึก 30 ซม.ใต้หญ้า	อุณหภูมิผิวภายในหลังคาหญ้า	อุณหภูมิอากาศภายนอก	อุณหภูมิอากาศภายใน	อุณหภูมิกระเบาะเปียกภายนอก	อุณหภูมิกระเบาะเปียกภายใน
30/3/2546	18:00	27.52	30.71	26.73	29.7	23.80	26.73	18.58
	19:00	27.52	29.5	26.73	28.0	23.03	25.56	17.97
	20:00	27.52	29.1	26.73	27.5	22.29	24.79	17.33
	21:00	27.52	28.31	26.34	27.0	22.94	24.01	17.89
	22:00	27.12	27.91	26.73	26.8	24.21	24.01	18.99
30/3/2546	23:00	27.12	27.91	26.73	26.4	24.18	24.4	18.96
31/3/2546	0:00	26.24	27.52	26.73	27.4	24.87	24	19.56
	1:00	26.14	27.12	26.73	27.2	24.87	23.63	19.53
	2:00	25.56	26.73	26.73	27.1	24.70	23.24	19.78
	3:00	25.56	26.34	26.73	27.1	24.79	23.24	19.95
	4:00	25.56	26.34	26.34	27.1	24.71	23.24	20.2
	5:00	25.56	25.95	26.34	26.7	24.73	22.86	20.44
	6:00	25.56	25.95	26.34	26.7	24.90	22.48	20
	7:00	25.56	25.95	26.34	26.7	24.83	23.63	20
	8:00	25.95	26.34	26.34	26.7	25.05	25.17	19.71
	9:00	25.95	27.22	26.34	28.7	25.12	27.91	19.78
	10:00	26.34	27.78	26.34	31.3	24.99	30.71	19.66
	11:00	27.12	28.11	25.95	33.2	25.30	32.76	19.84
31/3/2546	12:00	28.7	28.36	25.95	34.2	24.47	33.02	19.21
	13:00	29.1	28.86	25.95	37.0	24.62	33.17	19.34
	14:00	29.5	29.07	25.95	35.1	24.76	32.76	19.46
	15:00	29.5	29.03	25.95	34.6	24.09	30.71	18.89
	16:00	29.5	28.95	25.95	33.5	23.97	28.31	18.78
	17:00	29.1	27.94	25.95	29.9	24.55	28.1	19.28
	18:00	28.7	27.69	25.95	29.3	24.19	27.91	18.97
	19:00	28.31	27.54	26.34	29.0	24.69	26.34	19.4
	20:00	28.31	27.34	26.34	28.7	24.57	25.17	19.3
	21:00	27.49	27.14	26.34	28.2	24.75	25.17	19.95
	22:00	26.24	26.83	26.34	27.5	24.87	25.17	19.95
31/3/2546	23:00	25.73	26.79	26.34	27.1	24.87	24.79	20.53
1/4/2546	0:00	25.41	26.75	26.34	27.2	24.83	25.17	20.53
	1:00	25.38	26.87	26.34	27.2	24.79	24.4	20.53
	2:00	25.38	26.71	26.34	27.2	24.85	24.01	20.69
	3:00	25.38	26.44	26.34	26.9	24.96	24.01	21
	4:00	25.38	26.48	26.34	26.8	24.77	24.01	21
	5:00	25.38	26.44	26.34	26.8	24.74	24.4	21
	6:00	25.25	26.34	26.34	26.7	24.77	24.01	20.61
	7:00	25.25	26.34	26.34	26.8	24.91	25.17	20.61
	8:00	26.34	26.86	26.34	27.9	25.02	26.73	19.69
	9:00	26.73	27.11	26.34	29.2	25.13	28.71	19.78
	10:00	27.12	27.53	26.34	32.0	25.21	30.28	19.54
	11:00	27.91	27.44	26.34	31.5	25.08	29.72	19.37
1/4/2546	12:00	27.91	27.53	26.34	30.8	24.62	29.48	19.34
	13:00	27.91	29.5	26.34	28.7	26.03	29.9	22.13
	14:00	27.91	30.31	26.73	29.7	27.44	31.52	23.4
	15:00	28.31	30.71	26.73	31.7	28.13	30.71	24.03
	16:00	28.31	31.93	27.12	33.7	28.67	30.71	24.52
	17:00	28.31	31.52	27.52	32.7	29.50	28.31	25.23
	18:00	28.31	30.71	27.91	30.3	30.10	27.12	26.64
	19:00	27.91	29.9	28.31	29.3	29.95	25.56	26.5
	20:00	27.91	29.1	28.31	28.7	29.78	25.56	26.34
	21:00	27.52	28.7	28.31	28.4	29.63	25.95	26.24
	22:00	27.52	28.31	28.7	27.7	29.47	25.56	26.06
	23:00	27.12	27.91	28.7	27.3	29.33	25.56	25.12
1/4/2546	0:00	27.12	27.91	28.7	27.1	29.27	25.17	25.87

กราฟ 4-11 เปรียบเทียบอุณหภูมิแต่ละระดับของหลังคาพืชคลุมดิน

	เวลา	อุณหภูมิดินเปียกใต้พืชคลุมดิน	อุณหภูมิดินลึก 30 ซม.ใต้พืชคลุมดิน	อุณหภูมิผิวภายในหลังคาพืชคลุมดิน	อุณหภูมิอากาศภายนอก	อุณหภูมิอากาศภายใน	อุณหภูมิกระเบาะเปียกภายนอก	อุณหภูมิกระเบาะเปียกภายใน
30/3/2546	18:00	27.52	26.34	26.45	29.7	23.80	26.73	18.58
	19:00	27.52	26.34	26.06	28.0	23.03	25.56	17.97
	20:00	27.52	26.34	26.06	27.5	22.29	24.79	17.33
	21:00	27.52	26.34	25.67	27.0	22.94	24.01	17.89
	22:00	27.12	26.34	25.67	26.8	24.21	24.01	18.99
30/3/2546	23:00	27.12	26.34	26.06	26.4	24.18	24.4	18.96
31/3/2546	0:00	26.34	26.34	25.67	27.4	24.87	24	19.56
	1:00	26.34	26.34	25.67	27.2	24.87	23.63	19.53
	2:00	25.85	26.34	25.67	27.1	24.70	23.24	19.78
	3:00	25.85	25.95	25.67	27.1	24.79	23.24	19.95
	4:00	25.85	25.95	25.67	27.1	24.71	23.24	20.2
	5:00	25.85	25.95	25.67	26.7	24.73	22.86	20.44
	6:00	25.85	25.95	25.67	26.7	24.90	22.48	20
	7:00	25.85	25.56	25.67	26.7	24.83	23.63	20
	8:00	25.65	25.56	25.67	26.7	25.05	25.17	19.71
	9:00	25.65	25.56	25.29	28.7	25.12	27.91	19.78
	10:00	25.88	25.56	25.67	31.3	24.99	30.71	19.66
	11:00	26.25	25.95	25.29	33.2	25.30	32.76	19.84
31/3/2546	12:00	27.91	25.95	25.29	34.2	24.47	33.02	19.21
	13:00	27.92	26.34	25.29	37.0	24.62	33.17	19.34
	14:00	28.32	26.34	25.29	35.1	24.76	32.76	19.46
	15:00	28.32	26.34	24.9	34.6	24.09	30.71	18.89
	16:00	27.54	26.73	24.9	33.5	23.97	28.31	18.78
	17:00	27.14	26.73	24.9	29.9	24.55	28.1	19.28
	18:00	26.74	26.73	25.29	29.3	24.19	27.91	18.97
	19:00	26.74	26.73	24.9	29.0	24.69	26.34	19.4
	20:00	27.13	26.34	25.29	28.7	24.57	25.17	19.3
	21:00	26.73	26.34	25.29	28.2	24.75	25.17	19.95
	22:00	26.37	26.34	25.29	27.5	24.87	25.17	19.95
31/3/2546	23:00	26.34	26.34	25.29	27.1	24.87	24.79	20.53
1/4/2546	0:00	25.94	26.34	25.29	27.2	24.83	25.17	20.53
	1:00	25.94	26.34	25.29	27.2	24.79	24.4	20.53
	2:00	25.94	25.95	25.29	27.2	24.85	24.01	20.69
	3:00	25.94	25.95	25.29	26.9	24.96	24.01	21
	4:00	25.94	25.95	25.29	26.8	24.77	24.01	21
	5:00	25.55	25.95	25.29	26.8	24.74	24.4	21
	6:00	25.55	25.95	25.29	26.7	24.77	24.01	20.61
	7:00	25.55	25.95	25.55	26.8	24.91	25.17	20.61
	8:00	25.94	25.56	25.74	27.9	25.02	26.73	19.69
	9:00	26.33	25.56	25.74	29.2	25.13	28.71	19.78
	10:00	26.33	25.95	25.74	32.0	25.21	30.28	19.54
	11:00	27.12	25.95	25.74	31.5	25.08	29.72	19.37
1/4/2546	12:00	27.12	25.95	25.66	30.8	24.62	29.48	19.34
	13:00	26.24	26.34	25.97	28.7	26.03	29.9	22.13
	14:00	26.73	26.34	26.06	29.7	27.44	31.52	23.4
	15:00	27.13	26.34	26.45	31.7	28.13	30.71	24.03
	16:00	27.52	26.34	26.84	33.7	28.67	30.71	24.52
	17:00	27.52	26.34	27.23	32.7	29.50	28.31	25.23
	18:00	27.91	26.34	27.62	30.3	30.10	27.12	26.64
	19:00	27.51	26.34	28.02	29.3	29.95	25.56	26.5
	20:00	27.9	26.34	28.02	28.7	29.78	25.56	26.34
	21:00	27.32	26.34	28.02	28.4	29.63	25.95	26.24
	22:00	27.32	26.34	28.32	27.7	29.47	25.56	26.06
	23:00	26.89	26.34	28.32	27.3	29.33	25.56	25.12
1/4/2546	0:00	26.89	26.34	28.32	27.1	29.27	25.17	25.87

กราฟ 4-12 เปรียบเทียบอุณหภูมิแต่ละระดับของหลังคาไม้พุ่ม

	เวลา	อุณหภูมิดินเปียกใต้ไม้พุ่ม	อุณหภูมิดินลึก 30 ซม.ใต้ไม้พุ่ม	อุณหภูมิผิวภายในหลังคาไม้พุ่ม	อุณหภูมิอากาศภายนอก	อุณหภูมิอากาศภายใน	อุณหภูมิกระเบื้องเปียกภายนอก	อุณหภูมิกระเบื้องเปียกภายใน
30/3/2546	18:00	27.02	25.94	25.95	29.7	23.80	26.73	18.58
	19:00	27.02	25.94	25.56	28.0	23.03	25.56	17.97
	20:00	27.02	25.94	25.56	27.5	22.29	24.79	17.33
	21:00	27.02	25.94	25.56	27.0	22.94	24.01	17.89
	22:00	26.62	25.94	25.17	26.8	24.21	24.01	18.99
30/3/2546	23:00	26.62	25.94	25.56	26.4	24.18	24.4	18.96
31/3/2546	0:00	26.62	25.55	25.17	27.4	24.87	24	19.56
	1:00	26.62	25.55	25.17	27.2	24.87	23.63	19.53
	2:00	26.62	25.55	25.17	27.1	24.70	23.24	19.78
	3:00	26.62	25.55	25.17	27.1	24.79	23.24	19.95
	4:00	26.62	25.55	25.17	27.1	24.71	23.24	20.2
	5:00	26.23	25.55	25.17	26.7	24.73	22.86	20.44
	6:00	26.23	25.55	25.17	26.7	24.90	22.48	20
	7:00	26.23	25.16	25.17	26.7	24.83	23.63	20
	8:00	26.23	25.16	25.17	26.7	25.05	25.17	19.71
	9:00	26.23	25.16	25.17	28.7	25.12	27.91	19.78
	10:00	25.84	25.16	25.17	31.3	24.99	30.71	19.66
	11:00	25.84	25.16	24.79	33.2	25.30	32.76	19.84
31/3/2546	12:00	25.84	25.16	24.79	34.2	24.47	33.02	19.21
	13:00	25.84	25.16	24.79	37.0	24.62	33.17	19.34
	14:00	25.84	25.16	24.79	35.1	24.76	32.76	19.46
	15:00	25.84	25.16	24.79	34.6	24.09	30.71	18.89
	16:00	25.84	24.77	24.79	33.5	23.97	28.31	18.78
	17:00	25.84	24.77	24.79	29.9	24.55	28.1	19.28
	18:00	26.23	24.77	24.79	29.3	24.19	27.91	18.97
	19:00	26.23	25.16	24.79	29.0	24.69	26.34	19.4
	20:00	26.23	25.16	24.79	28.7	24.57	25.17	19.3
	21:00	26.23	25.16	24.79	28.2	24.75	25.17	19.95
	22:00	26.62	25.16	24.79	27.5	24.87	25.17	19.95
31/3/2546	23:00	26.62	25.16	24.79	27.1	24.87	24.79	20.53
1/4/2546	0:00	26.62	25.16	24.79	27.2	24.83	25.17	20.53
	1:00	26.62	25.16	25.17	27.2	24.79	24.4	20.53
	2:00	26.62	25.16	25.17	27.2	24.85	24.01	20.69
	3:00	26.62	25.16	25.17	26.9	24.96	24.01	21
	4:00	26.23	25.16	25.17	26.8	24.77	24.01	21
	5:00	26.23	25.16	25.17	26.8	24.74	24.4	21
	6:00	26.23	25.16	24.79	26.7	24.77	24.01	20.61
	7:00	26.23	25.16	25.17	26.8	24.91	25.17	20.61
	8:00	26.23	25.16	25.17	27.9	25.02	26.73	19.69
	9:00	26.23	25.16	25.17	29.2	25.13	28.71	19.78
	10:00	26.23	25.16	25.17	32.0	25.21	30.28	19.54
	11:00	25.84	25.16	25.17	31.5	25.08	29.72	19.37
1/4/2546	12:00	25.84	25.16	24.91	30.8	24.62	29.48	19.34
	13:00	25.84	24.77	25.17	28.7	26.03	29.9	22.13
	14:00	26.23	25.16	25.56	29.7	27.44	31.52	23.4
	15:00	26.23	25.16	25.95	31.7	28.13	30.71	24.03
	16:00	26.62	25.55	26.34	33.7	28.67	30.71	24.52
	17:00	26.62	25.55	26.73	32.7	29.50	28.31	25.23
	18:00	27.02	25.94	27.12	30.3	30.10	27.12	26.64
	19:00	27.41	25.94	27.52	29.3	29.95	25.56	26.5
	20:00	27.81	26.33	27.91	28.7	29.78	25.56	26.34
	21:00	27.81	26.17	27.91	28.4	29.63	25.95	26.24
	22:00	27.81	26.17	27.91	27.7	29.47	25.56	26.06
	23:00	28.5	26.17	27.91	27.3	29.33	25.56	25.12
1/4/2546	0:00	28.5	26.17	27.91	27.1	29.27	25.17	25.87

กราฟ 4-13 เปรียบเทียบอุณหภูมิดินใต้พุ่มของต้นไม้ 3 ประเภทเทียบกับผิวคอนกรีต

	เวลา	อุณหภูมิดินเปียกใต้หญ้า	อุณหภูมิผิวดินเปียกใต้พืชคลุมดิน	อุณหภูมิดินเปียกใต้ไม้พุ่ม	อุณหภูมิผิวภายนอกหลังคาคอนกรีต	อุณหภูมิอากาศภายนอก	อุณหภูมิกระเบื้องเปียกภายนอก
30/3/2546	18:00	27.52	27.52	27.02	28.52	29.7	26.73
	19:00	27.52	27.52	27.02	26.95	28.0	25.56
	20:00	27.52	27.52	27.02	26.17	27.5	24.79
	21:00	27.52	27.52	27.02	25.4	27.0	24.01
	22:00	27.12	27.12	26.62	24.63	26.8	24.01
30/3/2546	23:00	27.12	27.12	26.62	24.63	26.4	24.4
31/3/2546	0:00	26.24	26.34	26.62	25.21	27.4	24
	1:00	26.14	26.34	26.62	25.05	27.2	23.63
	2:00	25.56	25.85	26.62	24.59	27.1	23.24
	3:00	25.56	25.85	26.62	24.59	27.1	23.24
	4:00	25.56	25.85	26.62	24.59	27.1	23.24
	5:00	25.56	25.85	26.23	24	26.7	22.86
	6:00	25.56	25.85	26.23	23.86	26.7	22.48
	7:00	25.56	25.85	26.23	24.15	26.7	23.63
	8:00	25.95	25.65	26.23	25.4	26.7	25.17
	9:00	25.95	25.65	26.23	28.91	28.7	27.91
	10:00	26.34	25.88	25.84	34.17	31.3	30.71
	11:00	27.12	26.25	25.84	38.88	33.2	32.76
31/3/2546	12:00	28.7	27.91	25.84	42.05	34.2	33.02
	13:00	29.1	27.92	25.84	46.39	37.0	33.17
	14:00	29.5	28.32	25.84	43.94	35.1	32.76
	15:00	29.5	28.32	25.84	41.99	34.6	30.71
	16:00	29.5	27.54	25.84	39.77	33.5	28.31
	17:00	29.1	27.14	25.84	35.01	29.9	28.1
	18:00	28.7	26.74	26.23	32.52	29.3	27.91
	19:00	28.31	26.74	26.23	30.1	29.0	26.34
	20:00	28.31	27.13	26.23	28.52	28.7	25.17
	21:00	27.49	26.73	26.23	27.75	28.2	25.17
	22:00	26.24	26.37	26.62	26.95	27.5	25.17
31/3/2546	23:00	25.73	26.34	26.62	26.17	27.1	24.79
1/4/2546	0:00	25.41	25.94	26.62	25.79	27.2	25.17
	1:00	25.38	25.94	26.62	25.4	27.2	24.4
	2:00	25.38	25.94	26.62	25.01	27.2	24.01
	3:00	25.38	25.94	26.62	24.63	26.9	24.01
	4:00	25.38	25.94	26.23	24.63	26.8	24.01
	5:00	25.38	25.55	26.23	24.63	26.8	24.4
	6:00	25.25	25.55	26.23	24.63	26.7	24.01
	7:00	25.25	25.55	26.23	25.36	26.8	25.17
	8:00	26.34	25.94	26.23	26.17	27.9	26.73
	9:00	26.73	26.33	26.23	28.52	29.2	28.71
	10:00	27.12	26.33	26.23	33.76	32.0	30.28
	11:00	27.91	27.12	25.84	35.85	31.5	29.72
1/4/2546	12:00	27.91	27.12	25.84	34.17	30.8	29.48
	13:00	27.91	26.24	25.84	32.12	28.7	29.9
	14:00	27.91	26.73	26.23	32.52	29.7	31.52
	15:00	28.31	27.13	26.23	34.17	31.7	30.71
	16:00	28.31	27.52	26.62	39.32	33.7	30.71
	17:00	28.31	27.52	26.62	38.88	32.7	28.31
	18:00	28.31	27.91	27.02	36.27	30.3	27.12
	19:00	27.91	27.51	27.41	33.76	29.3	25.56
	20:00	27.91	27.9	27.81	32.12	28.7	25.56
	21:00	27.52	27.32	27.81	30.9	28.4	25.95
	22:00	27.52	27.32	27.81	29.7	27.7	25.56
	23:00	27.12	26.89	28.5	28.91	27.3	25.56
1/4/2546	0:00	27.12	26.89	28.5	28.52	27.1	25.17

กราฟ 4-14 เปรียบเทียบอุณหภูมิดินที่ระดับความลึก 30 ซม.ของต้นไม้ 3 ประเภทเทียบกับผิวคอ

	เวลา	อุณหภูมิดินลึก 30 ซม.ใต้หญ้า	อุณหภูมิดินลึก 30 ซม.ใต้พืชคลุมดิน	อุณหภูมิดินลึก 30 ซม.ใต้ไม้พุ่ม	อุณหภูมิผิวภายนอกหลังคาคอนกรีต	อุณหภูมิอากาศภายนอก	อุณหภูมิกระเบื้องภายนอก
30/3/2546	18:00	30.71	26.34	25.94	28.52	29.7	26.73
	19:00	29.5	26.34	25.94	26.95	28.0	25.56
	20:00	29.1	26.34	25.94	26.17	27.5	24.79
	21:00	28.31	26.34	25.94	25.4	27.0	24.01
	22:00	27.91	26.34	25.94	24.63	26.8	24.01
30/3/2546	23:00	27.91	26.34	25.94	24.63	26.4	24.4
31/3/2546	0:00	27.52	26.34	25.55	25.21	27.4	24
	1:00	27.12	26.34	25.55	25.05	27.2	23.63
	2:00	26.73	26.34	25.55	24.59	27.1	23.24
	3:00	26.34	25.95	25.55	24.59	27.1	23.24
	4:00	26.34	25.95	25.55	24.59	27.1	23.24
	5:00	25.95	25.95	25.55	24	26.7	22.86
	6:00	25.95	25.95	25.55	23.86	26.7	22.48
	7:00	25.95	25.56	25.16	24.15	26.7	23.63
	8:00	26.34	25.56	25.16	25.4	26.7	25.17
	9:00	27.22	25.56	25.16	28.91	28.7	27.91
	10:00	27.78	25.56	25.16	34.17	31.3	30.71
	11:00	28.11	25.95	25.16	38.88	33.2	32.76
31/3/2546	12:00	28.36	25.95	25.16	42.05	34.2	33.02
	13:00	28.86	26.34	25.16	46.39	37.0	33.17
	14:00	29.07	26.34	25.16	43.94	35.1	32.76
	15:00	29.03	26.34	25.16	41.99	34.6	30.71
	16:00	28.95	26.73	24.77	39.77	33.5	28.31
	17:00	27.94	26.73	24.77	35.01	29.9	28.1
	18:00	27.69	26.73	24.77	32.52	29.3	27.91
	19:00	27.54	26.73	25.16	30.1	29.0	26.34
	20:00	27.34	26.34	25.16	28.52	28.7	25.17
	21:00	27.14	26.34	25.16	27.75	28.2	25.17
	22:00	26.83	26.34	25.16	26.95	27.5	25.17
31/3/2546	23:00	26.79	26.34	25.16	26.17	27.1	24.79
1/4/2546	0:00	26.75	26.34	25.16	25.79	27.2	25.17
	1:00	26.87	26.34	25.16	25.4	27.2	24.4
	2:00	26.71	25.95	25.16	25.01	27.2	24.01
	3:00	26.44	25.95	25.16	24.63	26.9	24.01
	4:00	26.48	25.95	25.16	24.63	26.8	24.01
	5:00	26.44	25.95	25.16	24.63	26.8	24.4
	6:00	26.34	25.95	25.16	24.63	26.7	24.01
	7:00	26.34	25.95	25.16	25.36	26.8	25.17
	8:00	26.86	25.56	25.16	26.17	27.9	26.73
	9:00	27.11	25.56	25.16	28.52	29.2	28.71
	10:00	27.53	25.95	25.16	33.76	32.0	30.28
	11:00	27.44	25.95	25.16	35.85	31.5	29.72
1/4/2546	12:00	27.53	25.95	25.16	34.17	30.8	29.48
	13:00	29.5	26.34	24.77	32.12	28.7	29.9
	14:00	30.31	26.34	25.16	32.52	29.7	31.52
	15:00	30.71	26.34	25.16	34.17	31.7	30.71
	16:00	31.93	26.34	25.55	39.32	33.7	30.71
	17:00	31.52	26.34	25.55	38.88	32.7	28.31
	18:00	30.71	26.34	25.94	36.27	30.3	27.12
	19:00	29.9	26.34	25.94	33.76	29.3	25.56
	20:00	29.1	26.34	26.33	32.12	28.7	25.56
	21:00	28.7	26.34	26.17	30.9	28.4	25.95
	22:00	28.31	26.34	26.17	29.7	27.7	25.56
	23:00	27.91	26.34	26.17	28.91	27.3	25.56
1/4/2546	0:00	27.91	26.34	26.17	28.52	27.1	25.17

กราฟ 4-15 เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวหลังคาภายในของบ่อต้นไม้ 3 ประเภทเทียบกับผิวคอนกรีตภายใน

	เวลา	อุณหภูมิผิวภายในหลังคาหญ้า	อุณหภูมิผิวภายในหลังคาที่ขุดลงดิน	อุณหภูมิผิวภายในหลังคาไม้ทุ่ม	อุณหภูมิผิวภายในหลังคาคอนกรีต	อุณหภูมิอากาศภายนอก	อุณหภูมิอากาศภายใน	อุณหภูมิกระเบาะเปียกภายใน	อุณหภูมิกระเบาะเปียกภายนอก
#######	18:00	26.73	26.45	25.95	29.1	29.7	23.80	18.58	26.73
	19:00	26.73	26.06	25.56	27.52	28.0	23.03	17.97	25.56
	20:00	26.73	26.06	25.56	25.95	27.5	22.29	17.33	24.79
	21:00	26.34	25.67	25.56	24.4	27.0	22.94	17.89	24.01
	22:00	26.73	25.67	25.17	24.01	26.8	24.21	18.99	24.01
#######	23:00	26.73	26.06	25.56	23.63	26.4	24.18	18.96	24.4
#######	0:00	26.73	25.67	25.17	23.63	27.4	24.87	19.56	24
	1:00	26.73	25.67	25.17	24.04	27.2	24.87	19.53	23.63
	2:00	26.73	25.67	25.17	23.85	27.1	24.70	19.78	23.24
	3:00	26.73	25.67	25.17	23.81	27.1	24.79	19.95	23.24
	4:00	26.34	25.67	25.17	23.24	27.1	24.71	20.2	23.24
	5:00	26.34	25.67	25.17	22.86	26.7	24.73	20.44	22.86
	6:00	26.34	25.67	25.17	22.86	26.7	24.90	20	22.48
	7:00	26.34	25.67	25.17	23.24	26.7	24.83	20	23.63
	8:00	26.34	25.67	25.17	23.63	26.7	25.05	19.71	25.17
	9:00	26.34	25.29	25.17	25.17	28.7	25.12	19.78	27.91
	10:00	26.34	25.67	25.17	29.1	31.3	24.99	19.66	30.71
	11:00	25.95	25.29	24.79	34.01	33.2	25.30	19.84	32.76
#######	12:00	25.95	25.29	24.79	38.32	34.2	24.47	19.21	33.02
	13:00	25.95	25.29	24.79	40.13	37.0	24.62	19.34	33.17
	14:00	25.95	25.29	24.79	39.22	35.1	24.76	19.46	32.76
	15:00	25.95	24.9	24.79	39.22	34.6	24.09	18.89	30.71
	16:00	25.95	24.9	24.79	37	33.5	23.97	18.78	28.31
	17:00	25.95	24.9	24.79	31.93	29.9	24.55	19.28	28.1
	18:00	25.95	25.29	24.79	30.31	29.3	24.19	18.97	27.91
	19:00	26.34	24.9	24.79	27.52	29.0	24.69	19.4	26.34
	20:00	26.34	25.29	24.79	25.95	28.7	24.57	19.3	25.17
	21:00	26.34	25.29	24.79	25.17	28.2	24.75	19.95	25.17
	22:00	26.34	25.29	24.79	24.4	27.5	24.87	19.95	25.17
#######	23:00	26.34	25.29	24.79	24.01	27.1	24.87	20.53	24.79
1/4/2546	0:00	26.34	25.29	24.79	23.63	27.2	24.83	20.53	25.17
	1:00	26.34	25.29	25.17	23.63	27.2	24.79	20.53	24.4
	2:00	26.34	25.29	25.17	23.63	27.2	24.85	20.69	24.01
	3:00	26.34	25.29	25.17	23.24	26.9	24.96	21	24.01
	4:00	26.34	25.29	25.17	23.24	26.8	24.77	21	24.01
	5:00	26.34	25.29	25.17	23.24	26.8	24.74	21	24.4
	6:00	26.34	25.29	24.79	23.24	26.7	24.77	20.61	24.01
	7:00	26.34	25.55	25.17	23.63	26.8	24.91	20.61	25.17
	8:00	26.34	25.74	25.17	24.4	27.9	25.02	19.69	26.73
	9:00	26.34	25.74	25.17	25.56	29.2	25.13	19.78	28.71
	10:00	26.34	25.74	25.17	28.7	32.0	25.21	19.54	30.28
	11:00	26.34	25.74	25.17	33.17	31.5	25.08	19.37	29.72
1/4/2546	12:00	26.34	25.66	24.91	33.17	30.8	24.62	19.34	29.48
	13:00	26.34	25.97	25.17	29.9	28.7	26.03	22.13	29.9
	14:00	26.73	26.06	25.56	29.1	29.7	27.44	23.4	31.52
	15:00	26.73	26.45	25.95	30.31	31.7	28.13	24.03	30.71
	16:00	27.12	26.84	26.34	35.7	33.7	28.67	24.52	30.71
	17:00	27.52	27.23	26.73	37.44	32.7	29.50	25.23	28.31
	18:00	27.91	27.62	27.12	35.7	30.3	30.10	26.64	27.12
	19:00	28.31	28.02	27.52	33.17	29.3	29.95	26.5	25.56
	20:00	28.31	28.02	27.91	31.12	28.7	29.78	26.34	25.56
	21:00	28.31	28.02	27.91	29.9	28.4	29.63	26.24	25.95
	22:00	28.7	28.32	27.91	28.7	27.7	29.47	26.06	25.56
	23:00	28.7	28.32	27.91	27.91	27.3	29.33	25.12	25.56
1/4/2546	0:00	28.7	28.32	27.91	27.52	27.1	29.27	25.87	25.17

กราฟ 4-16 แผนภูมิแท่งแสดงอุณหภูมิผิวภายในสูงสุด - ต่ำสุด - เฉลี่ย ของหลังคาคอนกรีต สวนหลังคาหญ้า พืชคลุมดิน และไม้พุ่ม

	หลังคาคอนกรีต	สวนหลังคาหญ้า	สวนหลังคาพืชคลุมดิน	สวนหลังคาไม้พุ่ม
อุณหภูมิสูงสุด	40.13	26.73	25.74	25.17
อุณหภูมิเฉลี่ย	27.44	26.3	25.43	25
อุณหภูมิต่ำสุด	22.86	25.95	24.9	24.77

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กราฟ 4-17 กราฟแสดงปริมาณความร้อนที่ผ่านหลังคาคอนกรีต สวนหลังคาหญ้า พืชคลุมดิน และไม้พุ่ม

Q = (1/R air film in) * A * (Tsurface - T air in) หน่วย F Q = C * A * (Tsurface - T air in) หน่วย F

	เวลา	ปริมาณความร้อนที่ผ่านหลังคาคอนกรีต	ปริมาณความร้อนที่ผ่านสวนหลังคาหญ้า	ปริมาณความร้อนที่ผ่านสวนหลังคาพืชคลุมดิน	ปริมาณความร้อนที่ผ่านสวนหลังคาไม้พุ่ม
31/3/2546	0:00	-3.025404	3.056796	0.977076	0
	1:00	-2.164086	3.113694	1.033974	0.052974
	2:00	-2.248452	3.402108	1.322388	0.341388
	3:00	-2.503512	3.225528	1.145808	0.164808
	4:00	-3.476664	2.605536	1.290996	0.309996
	5:00	-4.265388	2.562372	1.247832	0.266832
	6:00	-4.585194	2.242566	0.928026	-0.052974
	7:00	-3.716028	2.366172	1.051632	0.070632
	8:00	-3.378564	1.938456	0.623916	-0.357084
	9:00	-0.48069	1.81485	0.69	-0.48069
	10:00	7.473258	2.058138	0.743598	-0.237402
	11:00	16.70643	1.63	0.3	-0.449
31/3/2546	12:00	26.583138	2.313198	1.018278	0.037278
	13:00	29.843982	2.022822	0.727902	-0.253098
	14:00	27.787806	1.752066	0.457146	-0.523854
	15:00	29.090574	3.054834	0.994734	0
	16:00	24.972336	3.292236	1.232136	0
	17:00	13.892922	2.160162	0.100062	-0.83
	18:00	11.41884	2.86452	1.5696	0.5886
	19:00	4.971708	2.656548	0.59	-0.384552
	20:00	2.124846	2.890026	0.829926	-0.151074
	21:00	0.237402	2.532942	0.472842	-0.508158
	22:00	-1.512702	2.293578	0.233478	-0.747522
31/3/2546	23:00	-2.27592	2.29554	0.23544	-0.74556
1/4/2546	0:00	-2.937114	2.379906	0.319806	-0.661194
	1:00	-2.856672	2.460348	0.400248	0.164808
	2:00	-2.98224	2.33478	0.27468	0.03924
	3:00	-3.955392	2.126808	0.066708	-0.168732
	4:00	-3.592422	2.489778	0.429678	0.194238
	5:00	-3.52179	2.56041	0.50031	0.26487
	6:00	-3.58065	2.50155	0.44145	-0.53955
	7:00	-3.097998	2.219022	0.669042	-0.076518
	8:00	-1.808964	1.997316	0.820116	-0.298224
	9:00	0.25506	1.78542	0.60822	-0.51012
	10:00	6.25878	1.62846	0.45126	-0.66708
	11:00	15.285942	1.885482	0.708282	-0.410058
1/4/2546	12:00	16.192386	2.791926	1.457766	-0.013734
			89.305894	26.964356	-6.570514
			2.41	0.73	-0.17

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กราฟ 4-18 เปรียบเทียบอุณหภูมิแต่ละระดับของหลังคาคอนกรีต

	เวลา	อุณหภูมิผิวภายนอกหลังคาคอนกรีต	อุณหภูมิผิวภายในหลังคาคอนกรีต	อุณหภูมิอากาศภายนอก	อุณหภูมิอากาศภายใน	อุณหภูมิกระเบื้องเปียกภายนอก	อุณหภูมิกระเบื้องเปียกภายใน
16/3/2546	0:00	29.1	28.31	28.57	29.9	23.75	23.68
	0:30	28.7	28.5	28.57	29.9	23.92	23.79
	1:00	28.31	28.32	28.47	29.9	23.88	23.97
	1:30	28.31	28.39	28.62	29.5	23.88	23.69
	2:00	27.91	27.95	28.62	29.5	24.05	23.75
	2:30	27.91	27.93	28.36	29.5	23.97	23.89
	3:00	27.52	27.72	28.26	29.5	23.7	24.09
	3:30	27.52	27.61	28.1	29.5	23.53	24.14
	4:00	27.12	27.11	28.05	29.1	23.53	23.88
	4:30	26.52	26.92	27.68	29.1	23.62	24
	5:00	26.3	26.65	27.63	29.1	23.34	24.12
	5:30	26	26.33	27.47	29.1	23.34	24.18
16/3/2546	6:00	25.73	26.17	27.21	28.7	23.34	23.95
	6:30	25.67	26	27.37	28.7	23.66	24.07
	7:00	25.67	25.95	27.58	28.7	23.83	24.21
	7:30	25.67	25.95	27.63	28.7	23.83	24.29
	8:00	26.23	26.34	28.1	28.31	23.83	24.39
	8:30	27.12	26.97	28.57	28.31	24.23	24.67
	9:00	28.32	27.84	28.89	28.71	24.12	24.57
	9:30	30.31	29.71	29.56	29.1	24.12	24.86
	10:00	31.93	31.42	30.71	30.31	24.52	25.34
	10:30	33.17	32.94	32.23	31.12	24.52	25.44
	11:00	33.17	32.94	32.49	31.52	24.52	25.7
	11:30	34.43	34.16	33.07	31.93	24.52	25.58
16/3/2546	12:00	34.43	34.1	33.28	32.76	24.52	25.89
	12:30	34.85	34.65	33.59	33.17	24.84	25.94
	13:00	34.85	34.59	34.53	33.17	24.52	26.11
	13:30	36.57	35.96	35.1	33.59	24.91	26.16
	14:00	37.88	37.22	36.44	34.85	24.91	26.4
	14:30	38.77	38.33	36.67	36.57	25.66	26.16
	15:00	39.22	38.97	36.36	37.44	25.49	26.13
	15:30	39.22	39.36	36.2	37.88	24.91	26.13
	16:00	39.22	39.27	35.27	37.88	24.91	26.02
	16:30	38.77	39.23	34.74	37.44	24.91	25.83
	17:00	37.88	38.5	33.95	37	24.91	25.56
	17:30	37	37.56	32.8	36.13	24.52	25.01
16/3/2546	18:00	36.13	36.62	31.45	35.27	24.12	24.86
	18:30	35.27	36.03	30.4	34.43	24.12	24.76
	19:00	34.43	35.21	29.93	34.01	24.12	24.45
	19:30	33.59	34.4	29.51	33.17	23.73	24.04
	20:00	32.76	33.68	29.04	32.76	23.73	24.02
	20:30	31.93	32.74	28.73	31.93	23.73	23.64
	21:00	31.52	32.09	28.47	31.52	23.73	23.78
	21:30	30.71	31.54	28.47	30.71	23.73	23.58
	22:00	30.31	31.03	28.36	30.31	23.73	23.38
	22:30	29.9	30.51	28.26	29.9	23.73	23.56
	23:00	29.5	30.09	27.94	29.5	23.49	23.47
16/3/2546	23:30	29.1	29.62	27.79	29.5	23.49	23.7
17/3/2546	0:00	28.7	29	27.58	29.1	23.49	23.52
	0:30	28.31	28.85	27.47	29.1	23.18	23.71
	1:00	27.91	28.33	27.42	28.7	23.49	23.43
	1:30	27.52	28.08	27.31	28.7	23.49	23.56
	2:00	27.12	27.69	27.11	28.31	23.27	23.31
	2:30	27.12	27.61	27.05	28.31	23.14	23.44
	3:00	26.73	27.39	27.04	27.91	22.82	23.12
	3:30	26.34	26.97	27	27.91	22.87	23.25
	4:00	26.34	26.67	27.26	27.52	22.55	22.96
	4:30	25.95	26.45	26.95	27.52	22.6	23.09
	5:00	25.95	26.28	26.95	27.52	22.5	23.17
	5:30	25.56	26.24	26.97	27.12	22.46	22.86
17/3/2546	6:00	25.56	26	26.97	27.12	22.6	22.95
	6:30	25.56	25.6	26.97	27.12	22.6	23.06
	7:00	25.56	25.09	27.24	27.12	22.73	22.97
	7:30	25.56	25.09	27.55	27.12	22.78	23
	8:00	25.95	25.21	28.7	27.12	22.91	23.15
	8:30	26.73	25.64	30.31	27.52	23.23	23.38
	9:00	27.91	26.54	32.34	27.91	23.64	23.93
	9:30	29.5	27.74	33.59	28.7	24.46	24.77
	10:00	30.71	29.1	34.85	29.1	24.91	24.8
	10:30	31.93	30.43	35.52	29.9	24.91	25.3
	11:00	33.17	31.62	36.57	30.71	25.27	25.85
	11:30	34.85	33.25	37.2	31.93	25.1	25.9
17/3/2546	12:00	36.13	35.51	37.87	33.59	25.58	26.31

กราฟ 4-19 เปรียบเทียบอุณหภูมิแต่ละระดับของหลังคาหญ้า

	เวลา	อุณหภูมิดินเปียกใต้หญ้า	อุณหภูมิดินลึก 30 ซม.ใต้หญ้า	อุณหภูมิผิวภายในหลังคาหญ้า	อุณหภูมิอากาศภายนอก	อุณหภูมิอากาศภายใน	อุณหภูมิกระเบื้องเปียกภายนอก	อุณหภูมิกระเบื้องเปียกภายใน
16/3/2546	0:00	26.73	27.9	29.31	28.57	29.9	23.75	23.68
	0:30	26.73	27.9	29.31	28.57	29.9	23.92	23.79
	1:00	26.73	27.9	29.31	28.47	29.9	23.88	23.97
	1:30	26.73	27.9	29.31	28.62	29.5	23.88	23.69
	2:00	26.73	27.9	28.9	28.62	29.5	24.05	23.75
	2:30	26.73	27.9	28.9	28.36	29.5	23.97	23.89
	3:00	26.73	27.9	28.9	28.26	29.5	23.7	24.09
	3:30	26.34	27.9	28.9	28.1	29.5	23.53	24.14
	4:00	26.34	27.9	28.9	28.05	29.1	23.53	23.88
	4:30	25.95	27.9	28.9	27.68	29.1	23.62	24
	5:00	25.95	27.9	28.9	27.63	29.1	23.34	24.12
	5:30	25.95	27.5	28.5	27.47	29.1	23.34	24.18
16/3/2546	6:00	25.95	27.5	28.5	27.21	28.7	23.34	23.95
	6:30	25.95	27.5	28.5	27.37	28.7	23.66	24.07
	7:00	26.34	27.5	28.5	27.58	28.7	23.83	24.21
	7:30	26.4	27.5	28.5	27.63	28.7	23.83	24.29
	8:00	26.74	27.5	28.1	28.1	28.31	23.83	24.39
	8:30	27.13	27.5	28.1	28.57	28.31	24.23	24.67
	9:00	28.02	27.5	28.1	28.89	28.7	24.12	24.57
	9:30	29.04	27.5	28.5	29.56	29.1	24.12	24.86
	10:00	30	27.5	28.5	30.71	30.31	24.52	25.34
	10:30	31.34	27.5	28.5	32.23	31.12	24.52	25.44
	11:00	31.12	27.5	28.5	32.49	31.52	24.52	25.7
	11:30	31.97	27.5	28.5	33.07	31.93	24.52	25.58
16/3/2546	12:00	31.93	27.5	28.9	33.28	32.76	24.52	25.89
	12:30	32.34	28.07	28.9	33.59	33.17	24.84	25.94
	13:00	32.76	28.07	28.9	34.53	33.17	24.52	26.11
	13:30	33.54	28.07	28.9	35.1	33.59	24.91	26.16
	14:00	34.06	28.07	29.31	36.44	34.85	24.91	26.4
	14:30	34.14	28.07	29.71	36.67	36.57	25.66	26.16
	15:00	34.22	27.9	29.71	36.36	37.44	25.49	26.13
	15:30	34.01	27.9	29.71	36.2	37.88	24.91	26.13
	16:00	33.59	27.9	30.12	35.27	37.88	24.91	26.02
	16:30	33.17	27.9	30.12	34.74	37.44	24.91	25.83
	17:00	31.93	28.31	30.12	33.95	37	24.91	25.56
	17:30	30.71	28.31	30.12	32.8	36.13	24.52	25.01
16/3/2546	18:00	29.9	28.31	30.12	31.45	35.27	24.12	24.86
	18:30	29.1	28.31	30.12	30.4	34.43	24.12	24.76
	19:00	28.7	28.31	30.12	29.93	34.01	24.12	24.45
	19:30	28.31	28.31	30.12	29.51	33.17	23.73	24.04
	20:00	27.91	28.31	30.12	29.04	32.76	23.73	24.02
	20:30	27.91	28.31	30.12	28.73	31.93	23.73	23.64
	21:00	27.91	28.31	30.12	28.47	31.52	23.73	23.78
	21:30	27.91	28.31	30.12	28.47	30.71	23.73	23.58
	22:00	27.52	28.31	29.71	28.36	30.31	23.73	23.38
	22:30	27.52	28.31	29.71	28.26	29.9	23.73	23.56
	23:00	27.52	28.31	29.71	27.94	29.5	23.49	23.47
16/3/2546	23:30	27.52	28.31	29.71	27.79	29.5	23.49	23.7
17/3/2546	0:00	27.12	28.31	29.71	27.58	29.1	23.49	23.52
	0:30	27.12	28.31	29.71	27.47	29.1	23.18	23.71
	1:00	26.73	28.31	29.71	27.42	28.7	23.49	23.43
	1:30	26.73	28.31	29.31	27.32	28.7	23.49	23.56
	2:00	26.34	28.31	29.31	27.11	28.31	23.27	23.31
	2:30	26.34	28.31	29.31	27.08	28.31	23.14	23.44
	3:00	26.34	28.31	29.31	27.04	27.91	22.82	23.12
	3:30	25.95	28.31	29.31	27	27.91	22.87	23.25
	4:00	26.34	28.31	28.9	27.26	27.52	22.55	22.96
	4:30	25.95	27.9	28.9	26.95	27.52	22.6	23.09
	5:00	25.95	27.9	28.9	26.95	27.52	22.5	23.17
	5:30	25.95	27.9	28.9	26.97	27.12	22.46	22.86
17/3/2546	6:00	25.95	27.9	28.9	26.97	27.12	22.6	22.95
	6:30	25.95	27.9	28.5	26.97	27.12	22.6	23.06
	7:00	26.34	27.9	28.5	27.24	27.12	22.73	22.97
	7:30	26.73	27.9	28.5	27.55	27.12	22.78	23
	8:00	27.73	27.9	28.5	28.7	27.12	22.91	23.15
	8:30	28.32	27.9	28.5	30.31	27.52	23.23	23.38
	9:00	29.36	27.9	28.5	32.34	27.91	23.64	23.93
	9:30	30.58	27.9	28.5	33.59	28.7	24.46	24.77
	10:00	31.81	27.5	28.5	34.85	29.1	24.91	24.8
	10:30	32.03	27.5	28.5	35.52	29.9	24.91	25.3
	11:00	32.54	27.5	28.5	36.57	30.71	25.27	25.85
	11:30	33.72	27.5	28.5	37.2	31.93	25.1	25.9
17/3/2546	12:00	34.29	27.5	28.5	37.87	33.59	25.58	26.31

กราฟ 4-20 เปรียบเทียบอุณหภูมิแต่ละระดับของหลังคาพืชคลุมดิน

	เวลา	อุณหภูมิดินเปียกใต้พืชคลุมดิน	อุณหภูมิดินลึก 30 ซม.ใต้พืชคลุมดิน	อุณหภูมิผิวภายในหลังคาพืชคลุมดิน	อุณหภูมิอากาศภายนอก	อุณหภูมิอากาศภายใน	อุณหภูมิกระเบื้องเปียกภายนอก	อุณหภูมิกระเบื้องเปียกภายใน
16/3/2546	0:00	26.82	26.9	28.3	28.57	29.9	23.75	23.68
	0:30	26.82	26.9	28.3	28.57	29.9	23.92	23.79
	1:00	26.82	26.9	28.3	28.47	29.9	23.88	23.97
	1:30	26.82	26.9	28.3	28.62	29.5	23.88	23.69
	2:00	26.82	26.9	28.3	28.62	29.5	24.05	23.75
	2:30	26.82	26.9	28.3	28.36	29.5	23.97	23.89
	3:00	26.82	26.9	27.9	28.26	29.5	23.7	24.09
	3:30	26.82	26.9	27.9	28.1	29.5	23.53	24.14
	4:00	26.82	26.9	27.9	28.05	29.1	23.53	23.88
	4:30	26.17	26.9	27.9	27.68	29.1	23.62	24
	5:00	26.11	26.9	27.9	27.63	29.1	23.34	24.12
	5:30	26.11	26.5	27.9	27.47	29.1	23.34	24.18
16/3/2546	6:00	26.11	26.5	27.9	27.21	28.7	23.34	23.95
	6:30	26.15	26.5	27.9	27.37	28.7	23.66	24.07
	7:00	26.34	26.5	27.5	27.58	28.7	23.83	24.21
	7:30	26.73	26.5	27.5	27.63	28.7	23.83	24.29
	8:00	26.73	26.5	27.5	28.1	28.31	23.83	24.39
	8:30	27.12	26.5	27.5	28.57	28.31	24.23	24.67
	9:00	27.52	26.5	27.5	28.89	28.7	24.12	24.57
	9:30	27.91	26.5	27.5	29.56	29.1	24.12	24.86
	10:00	28.31	26.5	27.9	30.71	30.31	24.52	25.34
	10:30	29.1	26.5	27.9	32.23	31.12	24.52	25.44
	11:00	28.7	26.5	27.9	32.49	31.52	24.52	25.7
	11:30	29.1	26.5	27.9	33.07	31.93	24.52	25.58
16/3/2546	12:00	29.1	26.5	27.9	33.28	32.76	24.52	25.89
	12:30	29.5	27.07	28.3	33.59	33.17	24.84	25.94
	13:00	29.39	27.07	28.3	34.53	33.17	24.52	26.11
	13:30	29.9	27.07	28.3	35.1	33.59	24.91	26.16
	14:00	30.31	27.07	28.71	36.44	34.85	24.91	26.4
	14:30	30.31	27.07	29.11	36.67	36.57	25.66	26.16
	15:00	30.31	26.9	28.71	36.36	37.44	25.49	26.13
	15:30	30.31	26.9	29.11	36.2	37.88	24.91	26.13
	16:00	29.9	26.9	29.11	35.27	37.88	24.91	26.02
	16:30	29.9	26.9	29.11	34.74	37.44	24.91	25.83
	17:00	29.5	27.31	29.11	33.95	37	24.91	25.56
	17:30	29.1	27.31	29.11	32.8	36.13	24.52	25.01
16/3/2546	18:00	28.7	27.31	29.11	31.45	35.27	24.12	24.86
	18:30	28.31	27.31	29.11	30.4	34.43	24.12	24.76
	19:00	27.76	27.31	29.11	29.93	34.01	24.12	24.45
	19:30	27.76	27.31	28.71	29.51	33.17	23.73	24.04
	20:00	27.76	27.31	28.71	29.04	32.76	23.73	24.02
	20:30	27.45	27.31	28.71	28.73	31.93	23.73	23.64
	21:00	27.45	27.31	28.71	28.47	31.52	23.73	23.78
	21:30	27.45	27.31	28.71	28.47	30.71	23.73	23.58
	22:00	27.45	27.31	28.71	28.36	30.31	23.73	23.38
	22:30	27.45	27.31	28.71	28.26	29.9	23.73	23.56
	23:00	27.45	27.31	28.71	27.94	29.5	23.49	23.47
16/3/2546	23:30	27.04	27.31	28.71	27.79	29.5	23.49	23.7
17/3/2546	0:00	27.04	27.31	28.71	27.58	29.1	23.49	23.52
	0:30	27.04	27.31	28.71	27.47	29.1	23.18	23.71
	1:00	26.93	27.31	28.3	27.42	28.7	23.49	23.43
	1:30	26.78	27.31	28.3	27.32	28.7	23.49	23.56
	2:00	26.6	27.31	28.3	27.11	28.31	23.27	23.31
	2:30	26.52	27.31	28.3	27.08	28.31	23.14	23.44
	3:00	26.5	27.31	28.3	27.04	27.91	22.82	23.12
	3:30	26.39	27.31	28.3	27	27.91	22.87	23.25
	4:00	26.73	27.31	27.9	27.26	27.52	22.55	22.96
	4:30	26.39	26.9	27.9	26.95	27.52	22.6	23.09
	5:00	26.28	26.9	27.9	26.95	27.52	22.5	23.17
	5:30	26.32	26.9	27.9	26.97	27.12	22.46	22.86
17/3/2546	6:00	26.34	26.9	27.9	26.97	27.12	22.6	22.95
	6:30	26.32	26.9	27.9	26.97	27.12	22.6	23.06
	7:00	26.73	26.9	27.9	27.24	27.12	22.73	22.97
	7:30	27.12	26.9	27.5	27.55	27.12	22.78	23
	8:00	27.52	26.9	27.5	28.7	27.12	22.91	23.15
	8:30	27.91	26.9	27.5	30.31	27.52	23.23	23.38
	9:00	28.31	26.9	27.5	32.34	27.91	23.64	23.93
	9:30	28.7	26.9	27.5	33.59	28.7	24.46	24.77
	10:00	29.1	26.5	27.9	34.85	29.1	24.91	24.8
	10:30	29.5	26.5	27.9	35.52	29.9	24.91	25.3
	11:00	29.5	26.5	27.9	36.57	30.71	25.27	25.85
	11:30	30.31	26.5	27.9	37.2	31.93	25.1	25.9
17/3/2546	12:00	30.71	26.5	27.9	37.87	33.59	25.58	26.31

กราฟ 4-21 เปรียบเทียบอุณหภูมิแต่ละระดับของหลังคาไม้พุ่ม

	เวลา	อุณหภูมิดินเปียกใต้ไม้พุ่ม	อุณหภูมิดินลึก 30 ซม.ใต้ไม้พุ่ม	อุณหภูมิผิวภายในหลังคาใต้ไม้พุ่ม	อุณหภูมิอากาศภายนอก	อุณหภูมิอากาศภายใน	อุณหภูมิกระเบาะเปียกภายนอก	อุณหภูมิกระเบาะเปียกภายใน
16/3/2546	0:00	26.34	26.1	28.1	28.57	29.9	23.75	23.68
	0:30	26.34	26.1	28.1	28.57	29.9	23.92	23.79
	1:00	26.34	26.1	28.1	28.47	29.9	23.88	23.97
	1:30	26.34	26.1	28.1	28.62	29.5	23.88	23.69
	2:00	26.34	26.1	28.1	28.62	29.5	24.05	23.75
	2:30	26.34	26.1	28.1	28.36	29.5	23.97	23.89
	3:00	26.34	26.1	28.1	28.26	29.5	23.7	24.09
	3:30	26.34	26.1	28.1	28.1	29.5	23.53	24.14
	4:00	26.34	26.1	28.1	28.05	29.1	23.53	23.88
	4:30	26.34	26.1	27.3	27.68	29.1	23.62	24
	5:00	26.34	26.1	27.3	27.63	29.1	23.34	24.12
	5:30	26.34	26.1	27.3	27.47	29.1	23.34	24.18
16/3/2546	6:00	26.34	26.1	27.3	27.21	28.7	23.34	23.95
	6:30	26.34	25.7	27.3	27.37	28.7	23.66	24.07
	7:00	26.34	25.7	27.3	27.58	28.7	23.83	24.21
	7:30	26.34	25.7	27.3	27.63	28.7	23.83	24.29
	8:00	26.34	25.7	27.3	28.1	28.31	23.83	24.39
	8:30	26.73	25.7	26.9	28.57	28.31	24.23	24.67
	9:00	27.12	25.7	27.3	28.89	28.7	24.12	24.57
	9:30	27.12	25.7	27.3	29.56	29.1	24.12	24.86
	10:00	27.52	25.7	27.3	30.71	30.31	24.52	25.34
	10:30	27.52	25.7	27.7	32.23	31.12	24.52	25.44
	11:00	27.52	25.7	27.3	32.49	31.52	24.52	25.7
	11:30	27.52	25.7	27.7	33.07	31.93	24.52	25.58
16/3/2546	12:00	27.52	25.7	27.7	33.28	32.76	24.52	25.89
	12:30	27.52	25.72	27.7	33.59	33.17	24.84	25.94
	13:00	27.52	25.72	27.7	34.53	33.17	24.52	26.11
	13:30	27.91	25.72	28.1	35.1	33.59	24.91	26.16
	14:00	27.91	25.72	28.51	36.44	34.85	24.91	26.4
	14:30	27.91	26.5	28.51	36.67	36.57	25.66	26.16
	15:00	28.31	26.5	28.51	36.36	37.44	25.49	26.13
	15:30	27.91	26.5	28.51	36.2	37.88	24.91	26.13
	16:00	27.91	26.5	28.51	35.27	37.88	24.91	26.02
	16:30	27.91	26.5	28.91	34.74	37.44	24.91	25.83
	17:00	27.91	26.5	28.91	33.95	37	24.91	25.56
	17:30	27.52	26.5	28.91	32.8	36.13	24.52	25.01
16/3/2546	18:00	27.12	26.5	28.91	31.45	35.27	24.12	24.86
	18:30	27.12	26.5	28.51	30.4	34.43	24.12	24.76
	19:00	27.12	26.5	28.51	29.93	34.01	24.12	24.45
	19:30	26.73	26.5	28.51	29.51	33.17	23.73	24.04
	20:00	26.73	26.5	28.51	29.04	32.76	23.73	24.02
	20:30	26.73	26.5	28.51	28.73	31.93	23.73	23.64
	21:00	26.73	26.5	28.51	28.47	31.52	23.73	23.78
	21:30	26.73	26.5	28.51	28.47	30.71	23.73	23.58
	22:00	26.73	26.5	28.1	28.36	30.31	23.73	23.38
	22:30	26.73	26.5	28.1	28.26	29.9	23.73	23.56
	23:00	26.73	26.5	28.1	27.94	29.5	23.49	23.47
16/3/2546	23:30	26.73	26.5	28.1	27.79	29.5	23.49	23.7
17/3/2546	0:00	26.73	26.5	28.1	27.58	29.1	23.49	23.52
	0:30	26.73	26.5	28.1	27.47	29.1	23.18	23.71
	1:00	26.73	26.5	28.1	27.42	28.7	23.49	23.43
	1:30	26.73	26.5	28.1	27.32	28.7	23.49	23.56
	2:00	26.73	26.5	27.7	27.11	28.31	23.27	23.31
	2:30	26.73	26.5	27.7	27.08	28.31	23.14	23.44
	3:00	26.73	26.5	27.7	27.04	27.91	22.82	23.12
	3:30	26.73	26.5	27.7	27	27.91	22.87	23.25
	4:00	26.73	26.5	27.7	27.26	27.52	22.55	22.96
	4:30	26.73	26.5	27.7	26.95	27.52	22.6	23.09
	5:00	26.73	26.1	27.3	26.95	27.52	22.5	23.17
	5:30	26.73	26.1	27.3	26.97	27.12	22.46	22.86
17/3/2546	6:00	26.73	26.1	27.3	26.97	27.12	22.6	22.95
	6:30	26.73	26.1	27.3	26.97	27.12	22.6	23.06
	7:00	26.73	26.1	27.3	27.24	27.12	22.73	22.97
	7:30	26.73	26.1	27.3	27.55	27.12	22.78	23
	8:00	27.12	26.1	27.3	28.7	27.12	22.91	23.15
	8:30	27.12	26.1	27.3	30.31	27.52	23.23	23.38
	9:00	27.52	26.1	27.3	32.34	27.91	23.64	23.93
	9:30	27.91	25.7	27.3	33.59	28.7	24.46	24.77
	10:00	27.91	26.1	27.3	34.85	29.1	24.91	24.8
	10:30	27.91	26.1	27.3	35.52	29.9	24.91	25.3
	11:00	27.91	26.1	27.3	36.57	30.71	25.27	25.85
	11:30	27.91	26.1	27.7	37.2	31.93	25.1	25.9
17/3/2546	12:00	28.31	26.1	27.7	37.87	33.59	25.58	26.31

กราฟ 4-22 เปรียบเทียบอุณหภูมิดินใต้พุ่มของต้นไม้ 3 ประเภทเทียบกับผิวคอนกรีต

	เวลา	อุณหภูมิผิวดินเปียกใต้ไม้พุ่ม	อุณหภูมิดินเปียกใต้พืชคลุมดิน	อุณหภูมิดินเปียกใต้หญ้า	อุณหภูมิผิวภายนอกหลังคาคอนกรีต	อุณหภูมิอากาศภายนอก	อุณหภูมิกระเบื้องเปียกภายนอก	อุณหภูมิกระเบื้องเปียกภายใน
16/3/2546	0:00	26.34	26.82	26.73	29.1	28.57	23.75	23.68
	0:30	26.34	26.82	26.73	28.7	28.57	23.92	23.79
	1:00	26.34	26.82	26.73	28.31	28.47	23.88	23.97
	1:30	26.34	26.82	26.73	28.31	28.62	23.88	23.69
	2:00	26.34	26.82	26.73	27.91	28.62	24.05	23.75
	2:30	26.34	26.82	26.73	27.91	28.36	23.97	23.89
	3:00	26.34	26.82	26.73	27.52	28.26	23.7	24.09
	3:30	26.34	26.82	26.34	27.52	28.1	23.53	24.14
	4:00	26.34	26.82	26.34	27.12	28.05	23.53	23.88
	4:30	26.34	26.17	25.95	26.52	27.68	23.62	24
	5:00	26.34	26.11	25.95	26.3	27.63	23.34	24.12
	5:30	26.34	26.11	25.95	26	27.47	23.34	24.18
16/3/2546	6:00	26.34	26.11	25.95	25.73	27.21	23.34	23.95
	6:30	26.34	26.15	25.95	25.67	27.37	23.66	24.07
	7:00	26.34	26.34	26.34	25.67	27.58	23.83	24.21
	7:30	26.34	26.73	26.4	25.67	27.63	23.83	24.29
	8:00	26.34	26.73	26.74	26.23	28.1	23.83	24.39
	8:30	26.73	27.12	27.13	27.12	28.57	24.23	24.67
	9:00	27.12	27.52	28.02	28.31	28.89	24.12	24.57
	9:30	27.12	27.91	29.04	30.31	29.56	24.12	24.86
	10:00	27.52	28.31	30	31.93	30.71	24.52	25.34
	10:30	27.52	29.1	31.34	33.17	32.23	24.52	25.44
	11:00	27.52	28.7	31.12	33.17	32.49	24.52	25.7
	11:30	27.52	29.1	31.97	34.43	33.07	24.52	25.58
16/3/2546	12:00	27.52	29.1	31.93	34.43	33.28	24.52	25.89
	12:30	27.52	29.5	32.34	34.85	33.59	24.84	25.94
	13:00	27.52	29.39	32.76	34.85	34.53	24.52	26.11
	13:30	27.91	29.9	33.54	36.57	35.1	24.91	26.16
	14:00	27.91	30.31	34.06	37.88	36.44	24.91	26.4
	14:30	27.91	30.31	34.14	38.77	36.67	25.66	26.16
	15:00	28.31	30.31	34.22	39.22	36.36	25.49	26.13
	15:30	27.91	30.31	34.01	39.22	36.2	24.91	26.13
	16:00	27.91	29.9	33.59	39.22	35.27	24.91	26.02
	16:30	27.91	29.9	33.17	38.77	34.74	24.91	25.83
	17:00	27.91	29.5	31.93	37.88	33.95	24.91	25.56
	17:30	27.52	29.1	30.71	37	32.8	24.52	25.01
16/3/2546	18:00	27.12	28.7	29.9	36.13	31.45	24.12	24.86
	18:30	27.12	28.31	29.1	35.27	30.4	24.12	24.76
	19:00	27.12	27.76	28.7	34.43	29.93	24.12	24.45
	19:30	26.73	27.76	28.31	33.59	29.51	23.73	24.04
	20:00	26.73	27.76	27.91	32.76	29.04	23.73	24.02
	20:30	26.73	27.45	27.91	31.93	28.73	23.73	23.64
	21:00	26.73	27.45	27.91	31.52	28.47	23.73	23.78
	21:30	26.73	27.45	27.91	30.71	28.47	23.73	23.58
	22:00	26.73	27.45	27.52	30.31	28.36	23.73	23.38
	22:30	26.73	27.45	27.52	29.9	28.26	23.73	23.56
	23:00	26.73	27.45	27.52	29.5	27.94	23.49	23.47
16/3/2546	23:30	26.73	27.04	27.52	29.1	27.79	23.49	23.7
17/3/2546	0:00	26.73	27.04	27.12	28.7	27.58	23.49	23.52
	0:30	26.73	27.04	27.12	28.31	27.47	23.18	23.71
	1:00	26.73	26.93	26.73	27.91	27.42	23.49	23.43
	1:30	26.73	26.78	26.73	27.52	27.32	23.49	23.56
	2:00	26.73	26.6	26.34	27.12	27.11	23.27	23.31
	2:30	26.73	26.52	26.34	27.12	27.08	23.14	23.44
	3:00	26.73	26.5	26.34	26.73	27.04	22.82	23.12
	3:30	26.73	26.39	25.95	26.34	27	22.87	23.25
	4:00	26.73	26.73	26.34	26.34	27.26	22.55	22.96
	4:30	26.73	26.39	25.95	25.95	26.95	22.6	23.09
	5:00	26.73	26.28	25.95	25.95	26.95	22.5	23.17
	5:30	26.73	26.32	25.95	25.56	26.97	22.46	22.86
17/3/2546	6:00	26.73	26.34	25.95	25.56	26.97	22.6	22.95
	6:30	26.73	26.32	25.95	25.56	26.97	22.6	23.06
	7:00	26.73	26.73	26.34	25.56	27.24	22.73	22.97
	7:30	26.73	27.12	26.73	25.56	27.55	22.78	23
	8:00	27.12	27.52	27.73	25.95	28.7	22.91	23.15
	8:30	27.12	27.91	28.32	26.73	30.31	23.23	23.38
	9:00	27.52	28.31	29.36	27.91	32.34	23.64	23.93
	9:30	27.91	28.7	30.58	29.5	33.59	24.46	24.77
	10:00	27.91	29.1	31.81	30.71	34.85	24.91	24.8
	10:30	27.91	29.5	32.03	31.93	35.52	24.91	25.3
	11:00	27.91	29.5	32.54	33.17	36.57	25.27	25.85
	11:30	27.91	30.31	33.72	34.85	37.2	25.1	25.9
17/3/2546	12:00	28.31	30.71	34.29	36.13	37.87	25.58	26.31

กราฟ 4-23 เปรียบเทียบอุณหภูมิดินที่ระดับความลึก 30 ซม.ของต้นไม้ 3 ประเภทเทียบกับผิวคอนกรีต

	เวลา	อุณหภูมิดินลึก 30 ซม.ของไม้พุ่ม	อุณหภูมิดินลึก 30 ซม.ของพืชคลุมดิน	อุณหภูมิดินลึก 30 ซม.ของหญ้า	อุณหภูมิผิวภายนอกหลังคาคอนกรีต	อุณหภูมิอากาศภายนอก	อุณหภูมิกระเบื้องเปียกภายนอก	อุณหภูมิกระเบื้องเปียกภายใน
16/3/2546	0:00	26.1	26.5	27.9	29.1	28.57	23.75	23.68
	0:30	26.1	26.5	27.9	28.7	28.57	23.92	23.79
	1:00	26.1	26.5	27.9	28.31	28.47	23.88	23.97
	1:30	26.1	26.5	27.9	28.31	28.62	23.88	23.69
	2:00	26.1	26.5	27.9	27.91	28.62	24.05	23.75
	2:30	26.1	26.5	27.9	27.91	28.36	23.97	23.89
	3:00	26.1	26.5	27.9	27.52	28.26	23.7	24.09
	3:30	26.1	26.5	27.9	27.52	28.1	23.53	24.14
	4:00	26.1	26.5	27.9	27.12	28.05	23.53	23.88
	4:30	26.1	26.5	27.9	26.52	27.68	23.62	24
	5:00	26.1	26.5	27.9	26.3	27.63	23.34	24.12
	5:30	26.1	26.1	27.5	26	27.47	23.34	24.18
16/3/2546	6:00	26.1	26.1	27.5	25.73	27.21	23.34	23.95
	6:30	25.7	26.1	27.5	25.67	27.37	23.66	24.07
	7:00	25.7	26.1	27.5	25.67	27.58	23.83	24.21
	7:30	25.7	26.1	27.5	25.67	27.63	23.83	24.29
	8:00	25.7	26.1	27.5	26.23	28.1	23.83	24.39
	8:30	25.7	26.1	27.5	27.12	28.57	24.23	24.67
	9:00	25.7	26.1	27.5	28.31	28.89	24.12	24.57
	9:30	25.7	26.1	27.5	30.31	29.56	24.12	24.86
	10:00	25.7	26.1	27.5	31.93	30.71	24.52	25.34
	10:30	25.7	26.1	27.5	33.17	32.23	24.52	25.44
	11:00	25.7	26.1	27.5	33.17	32.49	24.52	25.7
	11:30	25.7	26.1	27.5	34.43	33.07	24.52	25.58
16/3/2546	12:00	25.7	26.1	27.5	34.43	33.28	24.52	25.89
	12:30	25.72	26.67	28.07	34.85	33.59	24.84	25.94
	13:00	25.72	26.67	28.07	34.85	34.53	24.52	26.11
	13:30	25.72	26.67	28.07	36.57	35.1	24.91	26.16
	14:00	25.72	26.67	28.07	37.88	36.44	24.91	26.4
	14:30	26.5	26.67	28.07	38.77	36.67	25.66	26.16
	15:00	26.5	26.5	27.9	39.22	36.36	25.49	26.13
	15:30	26.5	26.5	27.9	39.22	36.2	24.91	26.13
	16:00	26.5	26.5	27.9	39.22	35.27	24.91	26.02
	16:30	26.5	26.5	27.9	38.77	34.74	24.91	25.83
	17:00	26.5	26.91	28.31	37.88	33.95	24.91	25.56
	17:30	26.5	26.91	28.31	37	32.8	24.52	25.01
16/3/2546	18:00	26.5	26.91	28.31	36.13	31.45	24.12	24.86
	18:30	26.5	26.91	28.31	35.27	30.4	24.12	24.76
	19:00	26.5	26.91	28.31	34.43	29.93	24.12	24.45
	19:30	26.5	26.91	28.31	33.59	29.51	23.73	24.04
	20:00	26.5	26.91	28.31	32.76	29.04	23.73	24.02
	20:30	26.5	26.91	28.31	31.93	28.73	23.73	23.64
	21:00	26.5	26.91	28.31	31.52	28.47	23.73	23.78
	21:30	26.5	26.91	28.31	30.71	28.47	23.73	23.58
	22:00	26.5	26.91	28.31	30.31	28.36	23.73	23.38
	22:30	26.5	26.91	28.31	29.9	28.26	23.73	23.56
	23:00	26.5	26.91	28.31	29.5	27.94	23.49	23.47
16/3/2546	23:30	26.5	26.91	28.31	29.1	27.79	23.49	23.7
17/3/2546	0:00	26.5	26.91	28.31	28.7	27.58	23.49	23.52
	0:30	26.5	26.91	28.31	28.31	27.47	23.18	23.71
	1:00	26.5	26.91	28.31	27.91	27.42	23.49	23.43
	1:30	26.5	26.91	28.31	27.52	27.32	23.49	23.56
	2:00	26.5	26.91	28.31	27.12	27.11	23.27	23.31
	2:30	26.5	26.91	28.31	27.12	27.08	23.14	23.44
	3:00	26.5	26.91	28.31	26.73	27.04	22.82	23.12
	3:30	26.5	26.91	28.31	26.34	27	22.87	23.25
	4:00	26.5	26.91	28.31	26.34	27.26	22.55	22.96
	4:30	26.5	26.5	27.9	25.95	26.95	22.6	23.09
	5:00	26.1	26.5	27.9	25.95	26.95	22.5	23.17
	5:30	26.1	26.5	27.9	25.56	26.97	22.46	22.86
17/3/2546	6:00	26.1	26.5	27.9	25.56	26.97	22.6	22.95
	6:30	26.1	26.5	27.9	25.56	26.97	22.6	23.06
	7:00	26.1	26.5	27.9	25.56	27.24	22.73	22.97
	7:30	26.1	26.5	27.9	25.56	27.55	22.78	23
	8:00	26.1	26.5	27.9	25.95	28.7	22.91	23.15
	8:30	26.1	26.5	27.9	26.73	30.31	23.23	23.38
	9:00	26.1	26.5	27.9	27.91	32.34	23.64	23.93
	9:30	25.7	26.5	27.9	29.5	33.59	24.46	24.77
	10:00	26.1	26.1	27.5	30.71	34.85	24.91	24.8
	10:30	26.1	26.1	27.5	31.93	35.52	24.91	25.3
	11:00	26.1	26.1	27.5	33.17	36.57	25.27	25.85
	11:30	26.1	26.1	27.5	34.85	37.2	25.1	25.9
17/3/2546	12:00	26.1	26.1	27.5	36.13	37.87	25.58	26.31

กราฟ 4-24 เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวภายในหลังคาอาคารของบ่อต้นไม้ 3 ประเภทเทียบกับผิวคอนกรีต

	เวลา	อุณหภูมิผิวภายในหลังคาไม้พุ่ม	อุณหภูมิผิวภายในหลังคาพืชคลุมดิน	อุณหภูมิผิวภายในหลังคาหญ้า	อุณหภูมิผิวภายในหลังคาคอนกรีต	อุณหภูมิอากาศภายนอก	อุณหภูมิอากาศภายใน	อุณหภูมิกระเบาะเปียกภายนอก	อุณหภูมิกระเบาะเปียกภายใน
16/3/2546	0:00	28.1	28.3	29.31	28.31	28.57	29.9	23.75	23.68
	0:30	28.1	28.3	29.31	28.5	28.57	29.9	23.92	23.79
	1:00	28.1	28.3	29.31	28.32	28.47	29.9	23.88	23.97
	1:30	28.1	28.3	29.31	28.39	28.62	29.5	23.88	23.69
	2:00	28.1	28.3	28.9	27.95	28.62	29.5	24.05	23.75
	2:30	28.1	28.3	28.9	27.93	28.36	29.5	23.97	23.89
	3:00	28.1	27.9	28.9	27.72	28.26	29.5	23.7	24.09
	3:30	28.1	27.9	28.9	27.61	28.1	29.5	23.53	24.14
	4:00	28.1	27.9	28.9	27.11	28.05	29.1	23.53	23.88
	4:30	27.3	27.9	28.9	26.92	27.68	29.1	23.62	24
	5:00	27.3	27.9	28.9	26.65	27.63	29.1	23.34	24.12
	5:30	27.3	27.9	28.5	26.33	27.47	29.1	23.34	24.18
16/3/2546	6:00	27.3	27.9	28.5	26.17	27.21	28.7	23.34	23.95
	6:30	27.3	27.9	28.5	26	27.37	28.7	23.66	24.07
	7:00	27.3	27.5	28.5	25.95	27.58	28.7	23.83	24.21
	7:30	27.3	27.5	28.5	25.95	27.63	28.7	23.83	24.29
	8:00	27.3	27.5	28.1	26.34	28.1	28.31	23.83	24.39
	8:30	26.9	27.5	28.1	26.97	28.57	28.31	24.23	24.67
	9:00	27.3	27.5	28.1	27.84	28.89	28.7	24.12	24.57
	9:30	27.3	27.5	28.5	29.71	29.56	29.1	24.12	24.86
	10:00	27.3	27.9	28.5	31.42	30.71	30.31	24.52	25.34
	10:30	27.7	27.9	28.5	32.94	32.23	31.12	24.52	25.44
	11:00	27.3	27.9	28.5	32.94	32.49	31.52	24.52	25.7
	11:30	27.7	27.9	28.5	34.16	33.07	31.93	24.52	25.58
16/3/2546	12:00	27.7	27.9	28.9	34.1	33.28	32.76	24.52	25.89
	12:30	27.7	28.3	28.9	34.65	33.59	33.17	24.84	25.94
	13:00	27.7	28.3	28.9	34.59	34.53	33.17	24.52	26.11
	13:30	28.1	28.3	28.9	35.96	35.1	33.59	24.91	26.16
	14:00	28.51	28.71	29.31	37.22	36.44	34.85	24.91	26.4
	14:30	28.51	29.11	29.71	38.33	36.67	36.57	25.66	26.16
	15:00	28.51	28.71	29.71	38.97	36.36	37.44	25.49	26.13
	15:30	28.51	29.11	29.71	39.36	36.2	37.88	24.91	26.13
	16:00	28.51	29.11	30.12	39.27	35.27	37.88	24.91	26.02
	16:30	28.91	29.11	30.12	39.23	34.74	37.44	24.91	25.83
	17:00	28.91	29.11	30.12	38.5	33.95	37	24.91	25.56
	17:30	28.91	29.11	30.12	37.56	32.8	36.13	24.52	25.01
16/3/2546	18:00	28.91	29.11	30.12	36.62	31.45	35.27	24.12	24.86
	18:30	28.51	29.11	30.12	36.03	30.4	34.43	24.12	24.76
	19:00	28.51	29.11	30.12	35.21	29.93	34.01	24.12	24.45
	19:30	28.51	28.71	30.12	34.4	29.51	33.17	23.73	24.04
	20:00	28.51	28.71	30.12	33.68	29.04	32.76	23.73	24.02
	20:30	28.51	28.71	30.12	32.74	28.73	31.93	23.73	23.64
	21:00	28.51	28.71	30.12	32.09	28.47	31.52	23.73	23.78
	21:30	28.51	28.71	30.12	31.54	28.47	30.71	23.73	23.58
	22:00	28.1	28.71	29.71	31.03	28.36	30.31	23.73	23.38
	22:30	28.1	28.71	29.71	30.51	28.26	29.9	23.73	23.56
	23:00	28.1	28.71	29.71	30.09	27.94	29.5	23.49	23.47
16/3/2546	23:30	28.1	28.71	29.71	29.62	27.79	29.5	23.49	23.7
17/3/2546	0:00	28.1	28.71	29.71	29	27.58	29.1	23.49	23.52
	0:30	28.1	28.71	29.71	28.85	27.47	29.1	23.18	23.71
	1:00	28.1	28.3	29.71	28.33	27.42	28.7	23.49	23.43
	1:30	28.1	28.3	29.31	28.08	27.32	28.7	23.49	23.56
	2:00	27.7	28.3	29.31	27.69	27.11	28.31	23.27	23.31
	2:30	27.7	28.3	29.31	27.61	27.08	28.31	23.14	23.44
	3:00	27.7	28.3	29.31	27.39	27.04	27.91	22.82	23.12
	3:30	27.7	28.3	29.31	26.97	27	27.91	22.87	23.25
	4:00	27.7	27.9	28.9	26.67	27.26	27.52	22.55	22.96
	4:30	27.7	27.9	28.9	26.45	26.95	27.52	22.6	23.09
	5:00	27.3	27.9	28.9	26.28	26.95	27.52	22.5	23.17
	5:30	27.3	27.9	28.9	26.24	26.97	27.12	22.46	22.86
17/3/2546	6:00	27.3	27.9	28.9	26	26.97	27.12	22.6	22.95
	6:30	27.3	27.9	28.5	25.6	26.97	27.12	22.6	23.06
	7:00	27.3	27.9	28.5	25.09	27.24	27.12	22.73	22.97
	7:30	27.3	27.5	28.5	25.09	27.55	27.12	22.78	23
	8:00	27.3	27.5	28.5	25.21	28.7	27.12	22.91	23.15
	8:30	27.3	27.5	28.5	25.64	30.31	27.52	23.23	23.38
	9:00	27.3	27.5	28.5	26.54	32.34	27.91	23.64	23.93
	9:30	27.3	27.5	28.5	27.74	33.59	28.7	24.46	24.77
	10:00	27.3	27.9	28.5	29.1	34.85	29.1	24.91	24.8
	10:30	27.3	27.9	28.5	30.43	35.52	29.9	24.91	25.3
	11:00	27.3	27.9	28.5	31.62	36.57	30.71	25.27	25.85
	11:30	27.7	27.9	28.5	33.25	37.2	31.93	25.1	25.9
17/3/2546	12:00	27.7	27.9	28.5	35.51	37.87	33.59	25.58	26.31

กราฟ 4-25 แผนภูมิแท่งแสดงอุณหภูมิผิวภายในสูงสุด - ต่ำสุด - เฉลี่ย ของหลังคาคอนกรีต สวนหลังคาหญ้า พืชคลุมดิน และไม้พุ่ม

	หลังคาคอนกรีต	สวนหลังคาหญ้า	สวนหลังคาพืชคลุมดิน	สวนหลังคาไม้พุ่ม
อุณหภูมิสูงสุด	39.36	30.12	29.11	28.91
อุณหภูมิเฉลี่ย	30.35	29.11	28.22	27.64
อุณหภูมิต่ำสุด	25.09	28.1	27.5	27.3

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กราฟ 4-26 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวภายในของหลังคาจนวน หลังคาคอนกรีต สวนหลังคาหญ้า ไม้พุ่ม และพืชคลุมดิน

	เวลา	อุณหภูมิอากาศภายนอก	อุณหภูมิอากาศภายใน	อุณหภูมิผิวภายในหลังคาจนวน	อุณหภูมิผิวภายในหลังคาคอนกรีต	อุณหภูมิผิวภายในสวนหลังคาหญ้า	อุณหภูมิผิวภายในสวนหลังคาพืชคลุมดิน	อุณหภูมิผิวภายในสวนหลังคาไม้พุ่ม
21/4/2546	0:00	29.80	23.91	0.00	28.02	29.35	28.59	28.40
21/4/2546	1:00	29.29	23.91	27.96	27.26	29.17	28.41	28.15
21/4/2546	2:00	28.56	23.87	27.73	26.40	28.82	28.12	27.87
21/4/2546	3:00	27.93	23.28	27.45	25.95	28.81	28.18	27.80
21/4/2546	4:00	27.86	24.12	27.38	25.41	28.56	27.99	27.67
21/4/2546	5:00	27.53	24.21	27.26	25.16	28.29	27.78	27.47
21/4/2546	6:00	27.24	24.04	27.07	25.17	28.19	27.62	27.30
21/4/2546	7:00	28.70	24.04	26.91	25.67	28.00	27.49	27.17
21/4/2546	8:00	30.76	24.00	26.78	28.64	28.10	27.52	27.02
21/4/2546	9:00	33.31	23.42	26.63	31.39	27.92	27.35	26.90
21/4/2546	10:00	35.48	24.04	26.53	36.07	27.82	27.25	26.87
21/4/2546	11:00	37.47	23.37	26.49	38.64	27.73	27.10	26.72
21/4/2546	12:00	38.63	23.37	26.35	39.81	27.57	27.00	26.68
21/4/2546	13:00	38.87	23.34	26.31	41.18	27.56	26.98	26.67
21/4/2546	14:00	41.51	24.09	26.30	44.53	27.56	27.05	26.73
21/4/2546	15:00	40.07	24.40	26.36	41.76	27.62	27.18	26.80
21/4/2546	16:00	40.14	24.00	26.42	41.70	27.63	27.25	26.93
21/4/2546	17:00	36.53	23.48	26.55	38.82	27.80	27.36	27.04
21/4/2546	18:00	33.79	23.53	26.66	34.83	27.84	27.39	27.07
21/4/2546	19:00	32.20	23.60	26.69	32.17	27.89	27.45	27.07
21/4/2546	20:00	31.39	23.54	26.68	30.90	27.84	27.40	27.02
21/4/2546	21:00	30.58	23.54	26.63	29.91	27.79	27.28	26.90
21/4/2546	22:00	30.22	23.54	26.52	28.61	27.74	27.18	26.80
21/4/2546	23:00	30.00	23.04	26.42	27.86	27.66	27.15	26.75
22/4/2546	0:00	29.69	23.54	26.40	27.59	27.53	27.09	26.70
22/4/2546	1:00	29.44	23.54	26.33	27.03	27.54	27.03	26.65
22/4/2546	2:00	28.28	23.54	26.28	25.80	27.39	27.01	26.63
22/4/2546	3:00	27.84	23.00	26.26	25.17	27.27	26.82	26.44
22/4/2546	4:00	27.27	22.68	26.08	24.98	27.20	26.76	26.38
22/4/2546	5:00	27.17	23.17	26.02	24.70	27.12	26.67	26.29
22/4/2546	6:00	27.04	22.92	25.94	25.08	26.97	26.59	26.27
22/4/2546	7:00	28.60	22.23	25.92	25.60	27.07	26.69	26.25
22/4/2546	8:00	31.01	22.04	25.90	26.53	26.95	26.57	26.19
22/4/2546	9:00	32.64	23.05	25.84	31.64	26.81	26.36	25.91
22/4/2546	10:00	33.70	23.04	25.58	35.79	26.85	26.41	25.96
22/4/2546	11:00	38.81	23.85	25.62	40.87	26.79	26.28	25.84
22/4/2546	12:00	39.97	23.85	25.50	42.54	26.76	26.25	25.87

กราฟ 4-27 แผนภูมิแท่งแสดงอุณหภูมิผิวภายในสูงสุด - ต่ำสุด - เฉลี่ย ของหลังคาคอนกรีต สวนหลังคาหญ้า พืชคลุมดิน และไม้พุ่ม ในระบบปรับอากาศ

	หลังคาคอนกรีต	หลังคาฉนวน	สวนหลังคาหญ้า	สวนหลังคาพืชคลุมดิน	สวนหลังคาไม้พุ่ม
อุณหภูมิสูงสุด	44.53	26.66	27.84	27.39	27.07
อุณหภูมิเฉลี่ย	31.33	26.47	27.72	27.2	26.84
อุณหภูมิต่ำสุด	24.7	25.53	26.76	26.25	25.87

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กราฟ 4-28 กราฟแสดงปริมาณความร้อนที่ผ่านหลังคาคอนกรีต หลังคาฉนวน สวนหลังคาหญ้า พืชคลุมดิน และไม้พุ่ม

		ปริมาณความร้อนที่ผ่านหลังคาคอนกรีต	ปริมาณความร้อนที่ผ่านหลังคาฉนวน	ปริมาณความร้อนที่ผ่านสวนหลังคาหญ้า	ปริมาณความร้อนที่ผ่านสวนหลังคาพืชคลุมดิน	ปริมาณความร้อนที่ผ่านสวนหลังคาไม้พุ่ม
21/4/2546	0:00	8.059896	7.952847318	10.675242	9.18216	8.807418
21/4/2546	1:00	6.576624	7.487133264	10.314234	8.821152	8.322804
21/4/2546	2:00	4.969746	7.02447993	9.706014	8.336538	7.83819
21/4/2546	3:00	5.244426	8.051961672	10.853784	9.607914	8.860392
21/4/2546	4:00	2.53098	6.164425458	8.709318	7.587054	6.963138
21/4/2546	5:00	1.8639	5.60320713	8.00496	7.008264	6.38631
21/4/2546	6:00	2.21706	5.623757118	8.140338	7.018074	6.394158
21/4/2546	7:00	3.19806	5.384300904	7.765596	6.7689	6.144984
21/4/2546	8:00	9.10368	5.16676023	8.03439	6.912126	5.91543
21/4/2546	9:00	15.63714	6.095431728	8.830962	7.708698	6.835608
21/4/2546	10:00	23.60286	4.807343412	7.414398	6.292134	5.544612
21/4/2546	11:00	29.95974	5.83717563	8.558244	7.312374	6.56289
21/4/2546	12:00	32.25528	5.77118376	8.2404	7.118136	6.49422
21/4/2546	13:00	35.00208	5.803647012	8.271792	7.149528	6.525612
21/4/2546	14:00	40.10328	4.456588824	6.804216	5.80752	5.183604
21/4/2546	15:00	34.06032	3.96715419	6.321564	5.448474	4.69899
21/4/2546	16:00	34.7274	5.012150706	7.125984	6.3765	5.754546
21/4/2546	17:00	30.10689	6.245832762	8.491536	7.618446	6.996492
21/4/2546	18:00	22.1706	6.198258186	8.448372	7.575282	6.951366
21/4/2546	19:00	16.81434	6.049605294	8.422866	7.549776	6.802254
21/4/2546	20:00	14.44032	6.06928023	8.438562	7.565472	6.81795
21/4/2546	21:00	12.49794	5.844907872	8.330652	7.333956	6.584472
21/4/2546	22:00	9.94734	5.65447419	8.2404	7.135794	6.38631
21/4/2546	23:00	9.45684	6.592108104	9.066402	8.06382	7.27902
22/4/2546	0:00	7.951986	5.481009846	7.826418	6.95529	6.205806
22/4/2546	1:00	6.843456	5.375422854	7.842114	6.843456	6.095934
22/4/2546	2:00	4.441968	5.345255142	7.561548	6.812064	6.064542
22/4/2546	3:00	4.253616	6.044455044	8.371854	7.498764	6.74928
22/4/2546	4:00	4.504752	6.55185375	8.872164	7.999074	7.251552
22/4/2546	5:00	3.00186	5.430284298	7.745976	6.872886	6.123402
22/4/2546	6:00	4.23792	5.888578068	7.951986	7.204464	6.580548
22/4/2546	7:00	6.608016	7.187526054	9.498042	8.75052	7.87743
22/4/2546	8:00	8.801532	7.443253134	9.625572	8.876088	8.128566
22/4/2546	9:00	16.859466	4.960630548	7.373196	6.500106	5.625054
22/4/2546	10:00	25.0155	5.062982202	7.479144	6.606054	5.731002
22/4/2546	11:00	33.39324	3.241847916	5.772204	4.773546	3.900456
22/4/2546	12:00	36.66978	3.294641412	5.703534	4.704876	3.955392

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กราฟ 4-29 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวภายในของหลังคาจนวน หลังคาคอนกรีต สวนหลังคาหญ้า ไม้พุ่ม และพืชคลุมดิน ในระบบไม่ปรับอากาศ

	เวลา	อุณหภูมิอากาศภายนอก	อุณหภูมิอากาศภายใน	อุณหภูมิผิวภายในหลังคาจนวน	อุณหภูมิผิวภายในหลังคาคอนกรีต	อุณหภูมิผิวภายในสวนหลังคาหญ้า	อุณหภูมิผิวภายในสวนหลังคาพืชคลุมดิน	อุณหภูมิผิวภายในสวนหลังคาไม้พุ่ม
5/5/2546	0:00	30.13	30.41	32.64	29.70	30.87	30.33	29.68
5/5/2546	1:00	29.79	30.27	32.54	29.22	30.83	30.34	29.69
5/5/2546	2:00	29.69	30.22	32.40	28.88	30.86	30.40	29.76
5/5/2546	3:00	29.53	30.15	32.34	28.62	30.81	30.39	29.75
5/5/2546	4:00	29.50	30.02	32.22	28.42	30.83	30.34	29.75
5/5/2546	5:00	29.37	29.98	32.16	28.33	30.80	30.36	29.73
5/5/2546	6:00	30.82	29.95	32.08	28.43	30.77	30.33	29.73
5/5/2546	7:00	32.45	31.35	32.00	28.99	30.73	30.36	29.67
5/5/2546	8:00	33.45	31.65	31.99	30.29	30.67	30.31	29.68
5/5/2546	9:00	34.72	33.11	32.10	30.00	30.71	30.36	29.74
5/5/2546	10:00	36.16	34.22	32.00	42.93	30.86	30.51	29.83
5/5/2546	11:00	38.11	36.29	32.10	49.03	30.69	30.39	29.78
5/6/2546	12:00	38.17	36.71	32.33	49.31	30.66	30.20	29.74
5/6/2546	13:00	39.35	38.36	32.48	51.00	30.49	29.93	29.53
5/6/2546	14:00	40.10	39.52	32.79	52.20	30.59	30.00	29.53
5/6/2546	15:00	39.12	40.43	33.07	51.60	30.49	30.00	29.58
5/6/2546	16:00	38.13	40.78	33.49	48.60	30.49	29.93	29.53
5/6/2546	17:00	36.00	39.67	33.71	43.72	30.33	30.00	29.53
5/6/2546	18:00	34.04	37.00	33.67	39.66	30.29	29.95	29.54
5/6/2546	19:00	32.82	34.00	33.39	36.49	30.48	30.01	29.34
5/6/2546	20:00	31.96	32.41	33.17	34.12	30.57	30.29	29.42
5/6/2546	21:00	31.67	31.75	32.83	32.45	30.60	30.15	29.47
5/6/2546	22:00	31.04	30.71	32.91	31.17	30.76	30.22	29.61
5/6/2546	23:00	30.50	30.53	32.73	30.31	30.79	30.24	29.60
5/6/2546	0:00	30.13	30.41	32.64	29.70	30.87	30.33	29.68
5/6/2546	1:00	29.79	30.27	32.54	29.22	30.83	30.34	29.69
5/6/2546	2:00	29.69	30.22	32.40	28.88	30.86	30.40	29.76
5/6/2546	3:00	29.53	30.15	32.34	28.62	30.81	30.39	29.75
5/6/2546	4:00	29.50	30.02	32.22	28.42	30.83	30.34	29.75
5/6/2546	5:00	29.37	29.98	32.16	28.33	30.80	30.36	29.73
5/6/2546	6:00	30.82	29.95	32.08	28.43	30.77	30.33	29.73
5/6/2546	7:00	32.45	31.35	31.98	28.99	30.73	30.36	29.67
5/6/2546	8:00	33.45	32.41	31.99	30.29	30.67	30.31	29.68
5/6/2546	9:00	34.72	33.57	32.29	36.05	30.71	30.36	29.74
5/6/2546	10:00	36.16	35.38	32.80	42.93	30.86	30.51	29.87
5/6/2546	11:00	38.11	36.34	33.39	49.03	31.12	30.58	30.07
5/6/2546	12:00	38.91	36.59	33.65	51.55	31.23	30.77	30.11

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กราฟ 4-30 แผนภูมิแท่งแสดงอุณหภูมิผิวภายในสูงสุด - ต่ำสุด - เฉลี่ยของหลังคาคอนกรีต หลังคาฉนวน 6 นิ้วสวนหลังคาหญ้า พืชคลุมดิน และไม้พุ่มในระบบไม่ปรับอากาศ

	หลังคาคอนกรีต	หลังคาฉนวน	สวนหลังคาหญ้า	สวนหลังคาพืชคลุมดิน	สวนหลังคาไม้พุ่ม
อุณหภูมิสูงสุด	52.2	33.71	30.76	30.51	29.74
อุณหภูมิเฉลี่ย	35.78	32.58	30.73	30.29	29.69
อุณหภูมิต่ำสุด	28.33	31.98	30.29	30.01	29.34

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กราฟ 4-31 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิผิวภายนอก-ภายในของหลังคาคอนกรีตเพื่อแสดงอิทธิพลของมวลสารของหลังคาคอนกรีตในระบบปรับอากาศ

	เวลา	อุณหภูมิผิวภายนอกหลังคาคอนกรีต	อุณหภูมิผิวภายในหลังคาคอนกรีต	อุณหภูมิอากาศภายนอก
30/3/2546	18:00	28.52	29.1	29.7
	19:00	26.95	27.52	28.0
	20:00	26.17	25.95	27.5
	21:00	25.4	24.4	27.0
	22:00	24.63	24.01	26.8
30/3/2546	23:00	24.63	23.63	26.4
31/3/2546	0:00	25.21	23.63	27.4
	1:00	25.05	24.04	27.2
	2:00	24.59	23.85	27.1
	3:00	24.59	23.81	27.1
	4:00	24.59	23.24	27.1
	5:00	24	22.86	26.7
	6:00	23.86	22.86	26.7
	7:00	24.15	23.24	26.7
	8:00	25.4	23.63	26.7
	9:00	28.91	25.17	28.7
	10:00	34.17	29.1	31.3
	11:00	38.88	34.01	33.2
31/3/2546	12:00	42.05	38.32	34.2
	13:00	46.39	40.13	37.0
	14:00	43.94	39.22	35.1
	15:00	41.99	39.22	34.6
	16:00	39.77	37	33.5
	17:00	35.01	31.93	29.9
	18:00	32.52	30.31	29.3
	19:00	30.1	27.52	29.0
	20:00	28.52	25.95	28.7
	21:00	27.75	25.17	28.2
	22:00	26.95	24.4	27.5
31/3/2546	23:00	26.17	24.01	27.1
1/4/2546	0:00	25.79	23.63	27.2
	1:00	25.4	23.63	27.2
	2:00	25.01	23.63	27.2
	3:00	24.63	23.24	26.9
	4:00	24.63	23.24	26.8
	5:00	24.63	23.24	26.8
	6:00	24.63	23.24	26.7
	7:00	25.36	23.63	26.8
	8:00	26.17	24.4	27.9
	9:00	28.52	25.56	29.2
	10:00	33.76	28.7	32.0
	11:00	35.85	33.17	31.5
1/4/2546	12:00	34.17	33.17	30.8
	13:00	32.12	29.9	28.7
	14:00	32.52	29.1	29.7
	15:00	34.17	30.31	31.7
	16:00	39.32	35.7	33.7
	17:00	38.88	37.44	32.7
	18:00	36.27	35.7	30.3
	19:00	33.76	33.17	29.3
	20:00	32.12	31.12	28.7
	21:00	30.9	29.9	28.4
	22:00	29.7	28.7	27.7
	23:00	28.91	27.91	27.3
1/4/2546	0:00	28.52	27.52	27.1

กราฟ 4-32 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิดินลึก 30 ซม.ใต้หญ้าและอุณหภูมิผิวภายในหลังคาหญ้า เพื่อแสดงอิทธิพลของมวลสารของหลังคาหญ้าในระบบปรับอากาศ

	เวลา	อุณหภูมิดินลึก 30 ซม.ใต้หญ้า	อุณหภูมิผิวภายในหลังคาหญ้า	อุณหภูมิอากาศภายนอก
30/3/2546	18:00	30.71	26.73	29.7
	19:00	29.5	26.73	28.0
	20:00	29.1	26.73	27.5
	21:00	28.31	26.34	27.0
	22:00	27.91	26.73	26.8
30/3/2546	23:00	27.91	26.73	26.4
31/3/2546	0:00	27.52	26.73	27.4
	1:00	27.12	26.73	27.2
	2:00	26.73	26.73	27.1
	3:00	26.34	26.73	27.1
	4:00	26.34	26.34	27.1
	5:00	25.95	26.34	26.7
	6:00	25.95	26.34	26.7
	7:00	25.95	26.34	26.7
	8:00	26.34	26.34	26.7
	9:00	27.22	26.34	28.7
	10:00	27.78	26.34	31.3
	11:00	28.11	25.95	33.2
31/3/2546	12:00	28.36	25.95	34.2
	13:00	28.86	25.95	37.0
	14:00	29.07	25.95	35.1
	15:00	29.03	25.95	34.6
	16:00	28.95	25.95	33.5
	17:00	27.94	25.95	29.9
	18:00	27.69	25.95	29.3
	19:00	27.54	26.34	29.0
	20:00	27.34	26.34	28.7
	21:00	27.14	26.34	28.2
	22:00	26.83	26.34	27.5
31/3/2546	23:00	26.79	26.34	27.1
1/4/2546	0:00	26.75	26.34	27.2
	1:00	26.87	26.34	27.2
	2:00	26.71	26.34	27.2
	3:00	26.44	26.34	26.9
	4:00	26.48	26.34	26.8
	5:00	26.44	26.34	26.8
	6:00	26.34	26.34	26.7
	7:00	26.34	26.34	26.8
	8:00	26.86	26.34	27.9
	9:00	27.11	26.34	29.2
	10:00	27.53	26.34	32.0
	11:00	27.44	26.34	31.5
1/4/2546	12:00	27.53	26.34	30.8
	13:00	29.5	26.34	28.7
	14:00	30.31	26.73	29.7
	15:00	30.71	26.73	31.7
	16:00	31.93	27.12	33.7
	17:00	31.52	27.52	32.7
	18:00	30.71	27.91	30.3
	19:00	29.9	28.31	29.3
	20:00	29.1	28.31	28.7
	21:00	28.7	28.31	28.4
	22:00	28.31	28.7	27.7
	23:00	27.91	28.7	27.3
1/4/2546	0:00	27.91	28.7	27.1

กราฟ 4-33 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิดินลึก 30 ซม.ใต้และอุณหภูมิผิวภายในหลังคาพืชคลุมดิน เพื่อแสดงอิทธิพลของมวลสารของหลังคาพืชคลุมดินในระบบปรับอากาศ

	เวลา	อุณหภูมิดินลึก 30 ซม.ใต้พืชคลุมดิน	อุณหภูมิผิวภายในหลังคาพืชคลุมดิน	อุณหภูมิอากาศภายนอก
30/3/2546	18:00	26.34	26.45	29.7
	19:00	26.34	26.06	28.0
	20:00	26.34	26.06	27.5
	21:00	26.34	25.67	27.0
	22:00	26.34	25.67	26.8
30/3/2546	23:00	26.34	26.06	26.4
31/3/2546	0:00	26.34	25.67	27.4
	1:00	26.34	25.67	27.2
	2:00	26.34	25.67	27.1
	3:00	25.95	25.67	27.1
	4:00	25.95	25.67	27.1
	5:00	25.95	25.67	26.7
	6:00	25.95	25.67	26.7
	7:00	25.56	25.67	26.7
	8:00	25.56	25.67	26.7
	9:00	25.56	25.29	28.7
	10:00	25.56	25.67	31.3
	11:00	25.95	25.29	33.2
31/3/2546	12:00	25.95	25.29	34.2
	13:00	26.34	25.29	37.0
	14:00	26.34	25.29	35.1
	15:00	26.34	24.9	34.6
	16:00	26.73	24.9	33.5
	17:00	26.73	24.9	29.9
	18:00	26.73	25.29	29.3
	19:00	26.73	24.9	29.0
	20:00	26.34	25.29	28.7
	21:00	26.34	25.29	28.2
	22:00	26.34	25.29	27.5
31/3/2546	23:00	26.34	25.29	27.1
1/4/2546	0:00	26.34	25.29	27.2
	1:00	26.34	25.29	27.2
	2:00	25.95	25.29	27.2
	3:00	25.95	25.29	26.9
	4:00	25.95	25.29	26.8
	5:00	25.95	25.29	26.8
	6:00	25.95	25.29	26.7
	7:00	25.95	25.55	26.8
	8:00	25.56	25.74	27.9
	9:00	25.56	25.74	29.2
	10:00	25.95	25.74	32.0
	11:00	25.95	25.74	31.5
1/4/2546	12:00	25.95	25.66	30.8
	13:00	26.34	25.97	28.7
	14:00	26.34	26.06	29.7
	15:00	26.34	26.45	31.7
	16:00	26.34	26.84	33.7
	17:00	26.34	27.23	32.7
	18:00	26.34	27.62	30.3
	19:00	26.34	28.02	29.3
	20:00	26.34	28.02	28.7
	21:00	26.34	28.02	28.4
	22:00	26.34	28.32	27.7
	23:00	26.34	28.32	27.3
1/4/2546	0:00	26.34	28.32	27.1

กราฟ 4-34 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิดินลึก 30 ซม.ใต้และอุณหภูมิผิวภายในหลังคาไม้พุ่ม เพื่อแสดงอิทธิพลของมวลสารของหลังคาไม้พุ่มในระบบปรับอากาศ

	เวลา	อุณหภูมิดินลึก 30 ซม.ใต้ไม้พุ่ม	อุณหภูมิผิวภายในหลังคาใต้ไม้พุ่ม	อุณหภูมิอากาศภายนอก
30/3/2546	18:00	25.94	25.95	29.7
	19:00	25.94	25.56	28.0
	20:00	25.94	25.56	27.5
	21:00	25.94	25.56	27.0
	22:00	25.94	25.17	26.8
30/3/2546	23:00	25.94	25.56	26.4
31/3/2546	0:00	25.55	25.17	27.4
	1:00	25.55	25.17	27.2
	2:00	25.55	25.17	27.1
	3:00	25.55	25.17	27.1
	4:00	25.55	25.17	27.1
	5:00	25.55	25.17	26.7
	6:00	25.55	25.17	26.7
	7:00	25.16	25.17	26.7
	8:00	25.16	25.17	26.7
	9:00	25.16	25.17	28.7
	10:00	25.16	25.17	31.3
	11:00	25.16	24.79	33.2
31/3/2546	12:00	25.16	24.79	34.2
	13:00	25.16	24.79	37.0
	14:00	25.16	24.79	35.1
	15:00	25.16	24.79	34.6
	16:00	24.77	24.79	33.5
	17:00	24.77	24.79	29.9
	18:00	24.77	24.79	29.3
	19:00	25.16	24.79	29.0
	20:00	25.16	24.79	28.7
	21:00	25.16	24.79	28.2
	22:00	25.16	24.79	27.5
31/3/2546	23:00	25.16	24.79	27.1
1/4/2546	0:00	25.16	24.79	27.2
	1:00	25.16	25.17	27.2
	2:00	25.16	25.17	27.2
	3:00	25.16	25.17	26.9
	4:00	25.16	25.17	26.8
	5:00	25.16	25.17	26.8
	6:00	25.16	24.79	26.7
	7:00	25.16	25.17	26.8
	8:00	25.16	25.17	27.9
	9:00	25.16	25.17	29.2
	10:00	25.16	25.17	32.0
	11:00	25.16	25.17	31.5
1/4/2546	12:00	25.16	24.91	30.8
	13:00	24.77	25.17	28.7
	14:00	25.16	25.56	29.7
	15:00	25.16	25.95	31.7
	16:00	25.55	26.34	33.7
	17:00	25.55	26.73	32.7
	18:00	25.94	27.12	30.3
	19:00	25.94	27.52	29.3
	20:00	26.33	27.91	28.7
	21:00	26.17	27.91	28.4
	22:00	26.17	27.91	27.7
	23:00	26.17	27.91	27.3
1/4/2546	0:00	26.17	27.91	27.1

กราฟ 4-35 แผนภูมิแท่งแสดงการเปรียบเทียบระยะเวลาในการหน่วงเหนี่ยวความร้อน ระหว่างหลังคาคอนกรีต สวนหลังคาหญ้า พืชคลุมดิน และไม้พุ่ม

	หลังคาคอนกรีต	สวนหลังคาหญ้า	สวนหลังคาพืชคลุมดิน	สวนหลังคาไม้พุ่ม
ระยะเวลาในการหน่วงเหนี่ยวความร้อนระหว่างอุณหภูมิอากาศกับอุณหภูมิดินลึก 30 ซม.	0	1	3	6
ระยะเวลาในการหน่วงเหนี่ยวความร้อนระหว่างอุณหภูมิอากาศกับอุณหภูมิผิวหลังคาภายใน	0	6	7	12

กราฟ 4-38 แผนภูมิแท่งแสดงการเปรียบเทียบระยะเวลาในการเก็บกักความเย็น ระหว่างหลังคาคอนกรีต สวนหลังคาหญ้า พืชคลุมดิน และไม้พุ่ม

	หลังคาคอนกรีต	สวนหลังคาหญ้า	สวนหลังคาพืชคลุมดิน	สวนหลังคาไม้พุ่ม
ระยะเวลาในการเก็บกักความเย็น	0	6	7	8

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กราฟ 4-36,37 กราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการเก็บกักความเย็นของสวนหลังคาซึ่งปลูกต้นไม้แตกต่างกัน (หญ้า พืชคลุมดิน และ ไม้พุ่ม) เทียบกับหลังคาคอนกรีตอาคารทั่วไป

	เวลา	อุณหภูมิอากาศภายนอก	อุณหภูมิผิวภายในหลังคาคอนกรีต	อุณหภูมิผิวภายในหลังคาหญ้า	อุณหภูมิผิวภายในหลังคาพืชคลุมดิน	อุณหภูมิผิวภายในหลังคาใต้ไม้พุ่ม	อุณหภูมิอากาศภายใน
30/3/2546	18:00	29.7	29.1	26.73	26.45	25.95	24.10
	19:00	28.0	27.52	26.73	26.06	25.56	23.33
	20:00	27.5	25.95	26.73	26.06	25.56	22.59
	21:00	27.0	24.4	26.34	25.67	25.56	23.24
	22:00	26.8	24.01	26.73	25.67	25.17	24.51
30/3/2546	23:00	26.4	23.63	26.73	26.06	25.56	24.48
31/3/2546	0:00	27.4	23.63	26.73	25.67	25.17	25.17
	1:00	27.2	24.04	26.73	25.67	25.17	25.14
	2:00	27.1	23.85	26.73	25.67	25.17	25.00
	3:00	27.1	23.81	26.73	25.67	25.17	25.09
	4:00	27.1	23.24	26.34	25.67	25.17	25.01
	5:00	26.7	22.86	26.34	25.67	25.17	25.03
	6:00	26.7	22.86	26.34	25.67	25.17	25.20
	7:00	26.7	23.24	26.34	25.67	25.17	25.13
	8:00	26.7	23.63	26.34	25.67	25.17	25.35
	9:00	28.7	25.17	26.34	25.29	25.17	25.42
	10:00	31.3	29.1	26.34	25.67	25.17	25.29
	11:00	33.2	34.01	25.95	25.29	24.79	25.50
31/3/2546	12:00	34.2	38.32	25.95	25.29	24.79	24.77
	13:00	37.0	40.13	25.95	25.29	24.79	24.92
	14:00	35.1	39.22	25.95	25.29	24.79	25.06
	15:00	34.6	39.22	25.95	24.9	24.79	24.39
	16:00	33.5	37	25.95	24.9	24.79	24.27
	17:00	29.9	31.93	25.95	24.9	24.79	24.85
	18:00	29.3	30.31	25.95	25.29	24.79	24.49
	19:00	29.0	27.52	26.34	24.9	24.79	24.99
	20:00	28.7	25.95	26.34	25.29	24.79	24.87
	21:00	28.2	25.17	26.34	25.29	24.79	25.05
	22:00	27.5	24.4	26.34	25.29	24.79	25.17
31/3/2546	23:00	27.1	24.01	26.34	25.29	24.79	25.17
1/4/2546	0:00	27.2	23.63	26.34	25.29	24.79	25.13
	1:00	27.2	23.63	26.34	25.29	25.17	25.09
	2:00	27.2	23.63	26.34	25.29	25.17	25.15
	3:00	26.9	23.24	26.34	25.29	25.17	25.26
	4:00	26.8	23.24	26.34	25.29	25.17	25.07
	5:00	26.8	23.24	26.34	25.29	25.17	25.04
	6:00	26.7	23.24	26.34	25.29	24.79	25.07
	7:00	26.8	23.63	26.34	25.55	25.17	25.21
	8:00	27.9	24.4	26.34	25.74	25.17	25.32
	9:00	29.2	25.56	26.34	25.74	25.17	25.43
	10:00	32.0	28.7	26.34	25.74	25.17	25.51
	11:00	31.5	33.17	26.34	25.74	25.17	25.38
1/4/2546	12:00	30.8	33.17	26.34	25.66	24.91	24.92
	13:00	28.7	29.9	26.55	25.84	25.17	26.30
	14:00	29.7	29.1	26.68	26.06	25.56	27.74
	15:00	31.7	30.31	27.14	26.45	25.95	28.43
	16:00	33.7	35.7	27.52	26.84	26.34	28.97
	17:00	32.7	37.44	27.94	27.23	26.73	29.80
	18:00	30.3	35.7	28.36	27.62	27.12	30.40
	19:00	29.3	33.17	28.31	28.02	27.52	30.25
	20:00	28.7	31.12	28.31	28.02	27.91	30.08
	21:00	28.4	29.9	28.31	28.02	27.91	29.93
	22:00	27.7	28.7	28.7	28.32	27.91	29.77
1/4/2546	23:00	27.3	27.91	28.7	28.32	27.91	29.63
2/4/2546	0:00	27.1	27.52	28.7	28.32	27.91	29.57
	1:00	27.505	26.34	27.64	27.12	27.12	29.60
	2:00	26.208	24.79	27.52	26.73	26.34	28.93
	3:00	26.09	23.63	27.52	26.34	26.34	28.71
	4:00	25.571	23.24	27.12	25.95	25.95	28.20
	5:00	25.311	23.24	27.12	25.95	25.56	27.87
	6:00	25.363	22.86	27.12	25.56	25.56	27.64
	7:00	25.99	22.86	27.12	25.56	25.56	27.48
	8:00	27.99	23.24	26.73	25.56	25.56	27.91
	9:00	30.762	24.4	26.73	25.56	25.17	29.61
	10:00	32.962	28.31	26.73	25.56	25.17	31.63
2/4/2546	11:00	35.25	34.85	26.34	25.17	25.17	34.08

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ชื่อ นางสาวณัฏฐิณี นวลสกุล ชื่อเล่น น้ำผึ้ง

เกิด 14 ธันวาคม 2520 ณ โรงพยาบาลศิริราช กรุงเทพมหานคร

ที่อยู่ 156 / 77 หมู่ 6 ต.บางกรวย อ.บางกรวย จ.นนทบุรี 11130

โทรศัพท์ 0 – 2447 –1148 , 0 – 2879 – 4289

โทรศัพท์มือถือ 0 – 9114 –8477

Email honey_nattinee@yahoo.com

ประวัติการศึกษา

อนุบาล	:	สาธิตอนุบาลลออุทิศ
ประถมศึกษา	:	โรงเรียนราชวินิต
มัธยมศึกษาตอนต้น	:	โรงเรียนเบญจมราชาลัย
มัธยมศึกษาตอนปลาย	:	โรงเรียนมหิดลวิทยานุสรณ์
อุดมศึกษา	:	คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย