

ลักษณะเฉพาะของมุมมองเชิงหลังคาที่มีต่อความรู้สึกร่อนหนาวภายในเรือนไทย



นายรชฏ สุमानนท์

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์

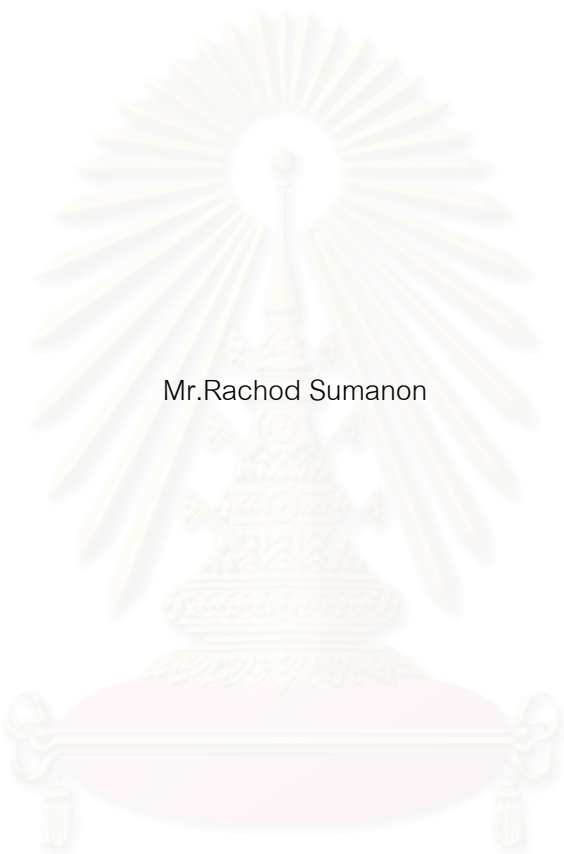
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2545

ISBN 974-17-3126-4

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

THE UNIQUE ANGLE OF ROOF SLOPE EFFECTING THERMAL COMFORT
IN THE TRADITIONAL THAI HOUSE



Mr.Rachod Sumanon

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 974-17-3126-4

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ลักษณะเฉพาะของมูมเอียงหลังคาที่มีต่อความถี่ก้องอนหนาว ภายในเรือนไทย
โดย	นายรชฏ สุमानนท์
ภาควิชา	สถาปัตยกรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรสันต์ บุรณากาญจน์

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัย
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโท

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ เลอสม สถาปิตานนท์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรสันต์ บุรณากาญจน์)

..... กรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.สุนทร บุญญาธิการ)

..... กรรมการ
(อาจารย์ พรรณชาติ สุริโยธิน)

วิทยุ สุमानนท์ : ลักษณะเฉพาะของมุมเอียงหลังคาที่มีต่อความรู้สึกร้อนหนาวภายในเรือนไทย. (THE UNIQUE ANGLE OF ROOF SLOPE EFFECTING THERMAL COMFORT IN THE TRADITIONAL THAI HOUSE) อ. ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรศักดิ์ บุรณากาญจน์ 239 หน้า. ISBN 974-17-3126-9.

เรือนไทยเป็นภูมิปัญญาของช่างในอดีตที่สืบทอดกันมา โดยเป็นสถาปัตยกรรมที่ปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อม จุดเด่นของเรือนไทยจุดหนึ่งนั้นคือ รูปทรงหลังคาจั่ว ลาดชัน ซึ่งมีลักษณะพิเศษเฉพาะตัว ที่มีผลต่อความรู้สึกร้อนหนาวของผู้อยู่อาศัย การวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงตัวแปรที่ทำให้เกิดลักษณะพิเศษของมุมเอียงหลังคานั้น รวมทั้งเสนอแนะแนวทางประยุกต์ใช้ในการออกแบบหลังคาที่เหมาะสมกับภูมิอากาศของไทย

การวิจัยนี้ทำการทดลองในหุ่นจำลองขนาดย่อส่วนที่ไม่มีการปรับอากาศภายใน โดยการวิจัยสามารถแบ่งได้ 3 ขั้นตอน คือ 1) ศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อมุมเอียงหลังคาเรือนไทย ในด้านความรู้สึกร้อนหนาว 2) วิเคราะห์อิทธิพล และทิศทางความสัมพันธ์ของตัวแปรที่มีต่อความรู้สึกร้อนหนาวของมุมเอียงหลังคาเรือนไทย 3) สรุปผลการวิจัยเพื่อหาแนวทางประยุกต์ใช้ พร้อมกับข้อเสนอนี้

ผลจากการศึกษาพบว่า วัสดุผนังหลังคาเรือนไทยเป็นวัสดุที่มีมวลสารน้อย เช่น กระเบื้องดิน ทำให้อิทธิพลของมุมเอียงหลังคามีผลต่อความรู้สึกร้อนหนาวของผู้อยู่อาศัยมาก ส่วนการศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปรพบว่า หุ่นจำลองที่มีมุมหลังคา 60 องศา ซึ่งเป็นตัวแทนของหลังคาทรงไทย มีผลต่างระหว่างอุณหภูมิสูงสุด และต่ำสุดของอากาศภายใน น้อยที่สุดคือ 9.7 องศาเซลเซียส โดยน้อยกว่าหลังคามุม 30 องศาประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังมีอุณหภูมิผิวสูงสุดต่ำกว่าหลังคามุม 30 องศาประมาณ 2.5 องศาเซลเซียส แต่ในเวลากลางวันหลังคามุม 30 องศาจะมีอุณหภูมิภายในต่ำสุดเพราะผิวหลังคาแลกเปลี่ยนรังสีความร้อนกับท้องฟ้าได้มาก ส่วนการวางหลังคาในทิศทางที่ไม่ได้รับรังสีดวงอาทิตย์โดยตรงจะทำให้อุณหภูมิอากาศภายในต่ำลงได้ นอกจากนี้ยังพบว่าหุ่นจำลองที่มีมุมหลังคา 60 องศา จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบภายในต่ำที่สุด เพราะความสมดุลกันระหว่างพื้นที่ผิว กับอุณหภูมิผิวหลังคา

ผลการวิจัยสรุปว่าลักษณะเฉพาะของมุมเอียงหลังคาเรือนไทย นั้นสามารถลดความแปรปรวนที่รุนแรงของอุณหภูมิอากาศภายใน ให้มีความเหมาะสมกับการใช้งาน โดยในช่วงกลางวันหลังคา จะได้รับอิทธิพลของรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบเพียงครึ่งเดียวของพื้นผิวหลังคาทั้งหมด ทำให้ผู้อยู่อาศัยได้รับอิทธิพลการแผ่รังสีจากพื้นผิวหลังคาที่ร้อนเพียงด้านเดียว และวัสดุผนังหลังคาที่มีมวลสารน้อยทำให้คายความร้อนได้เร็ว โดยอุณหภูมิผิวของหลังคาจะลดลงจนเท่ากับอุณหภูมิอากาศ เมื่อเวลาหลังดวงอาทิตย์ตกเพียงครึ่งชั่วโมง ในช่วงเวลากลางคืนมุมเอียงหลังคาจะทำให้อุณหภูมิอากาศภายในมีการเปลี่ยนแปลงที่ใกล้เคียงภาวะน่าสบายมากกว่า ส่วนอิทธิพลของการแผ่รังสีความร้อนจากพื้นผิวหลังคาจะลดลงเมื่อหลังคามีมุมเอียงมากขึ้น จนถึงมุมเอียง 60 องศาจึงไม่ลดลงอีก สาเหตุที่เรือนไทยไม่มีฝ้าเพดานนั้นทำให้ความร้อนลอยตัวสูงขึ้น และระบายออกผ่านวัสดุผนังหลังคาได้ แต่การนำไปประยุกต์ใช้กับอาคารที่มีฝ้าเพดานนั้น ควรออกแบบให้มีการระบายอากาศใต้หลังคา และติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่เหมาะสมในแนวราบเหนือฝ้าเพดาน ซึ่งจะเป็นแนวทางหนึ่งในการออกแบบระบบหลังคาสำหรับภูมิอากาศของไทย ที่สามารถลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ภาควิชา.....สถาปัตยกรรมศาสตร์.....ลายมือชื่อนิสิต.....
 สาขาวิชา.....สถาปัตยกรรม.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
 ปีการศึกษา.....2545.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4474199025: MAJOR ARCHITECTURE

KEY WORD: ROOF SLOPE / TRADITIONAL THAI HOUSE / THERMAL COMFORT

RACHOD SUMANON: THE UNIQUE ANGLE OF ROOF SLOPE EFFECTING THERMAL COMFORT IN THE TRADITIONAL THAI HOUSE. THESIS ADVISOR: ASST. PROF. VORASUN BURANAKARN, Ph.D., 239 pp. ISBN 974-17-3126-4

The traditional Thai house is the indigenous architecture that descends by the Thai craftsman. It had logically responded to the environmental problems by allowing the house to adapt with the nature to create human comfort, while giving delightful and distinctive characters. One of the distinctive characters of its is highly raised gable roof with the uniqueness that affect thermal comfort in the house. The objective of this research is to study the factors causing this uniqueness and to introduce a design guideline for roofing design development.

The research is carried out in models with non air-conditioning. It is divided into 3 parts. First, determining factors that affect roof angle of the Thai house. Second, analyzing relationship of factors effecting thermal comfort in the Thai house due to roof angle. Third, exploring an application for roof design technique.

The research reveals that Thai style roof made from low mass materials such as clay tile makes effect of roof slope higher than high mass materials. The research also reveals that the daily range inside the model with 60 degree slope roof which the angle respect to Thai roof is about 9.7degree Celsius and 20 percents lower than the 30 degree slope roof. The maximum surface temperature of roof with 60 degree slope is 2.5 degree Celsius lower than the 30 degree slope while inside temperature of 30 degree slope roof is the lowest because of the most night sky radiation. Orienting the roof opposite the direct sun leads to more recession of inside air temperature. From the analysis of MRT, the optimum of roof slope is the model with 60 degree slope roof because of balancing between the surface area and surface temperature. The highly raised roof with curve reduces the effect of angle factor from roof surface to below.

It can be concluded that the unique angle of Thai style roof can reduce daily range to better human sensation. During day time, the Thai style roof receive the direct radiation that impact on roof surface in a half of all roof surfaces, so inhabitants suffer effect of hot roof surface only one side. Because roof material is the low mass, so the surface temperature can reduce quickly. The surface temperature is lower than ambient temperature since 30 minutes after sunset. The Thai style roof also emits long-wave radiation appropriately during night times result in a inside condition reach to comfort zone. The diminishing return of MRT effect is the 60 degree slope roof. The traditional Thai house has no ceiling to allow hot air ventilation through out the roof. In application, the roofs system that responds Thailand climate is the attic space ventilation and installs insulation above the ceiling horizontally.

Department.....Architecture.....Student's signature.....

Field of study.....Architecture.....Advisor's signature.....

Academic year.....2002.....Co-advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องด้วยความกรุณา ความอนุเคราะห์ ความช่วยเหลือ และ น้ำใจจากหลายหน่วยงาน และ บุคคล ดังนี้

ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรสันต์ บุรณากาญจน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำ คำปรึกษา ดูแลเอาใจใส่ ตลอดจนข้อมูลเทคนิคต่างๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในงานวิจัย

ขอขอบคุณ ศาสตราจารย์ ดร. สุนทร บุญญาธิการ ซึ่งเป็นผู้ประสานวิชา ให้ข้อมูล และคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ตลอดหลักสูตรการศึกษา โดยเฉพาะในช่วงเวลาทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณ อาจารย์พรพนชล์ท สุริโยธิน ที่ให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำวิทยานิพนธ์ และกรุณาสละเวลามาเป็นคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ธนิต จินดาวงศ์ ที่ให้คำแนะนำช่วยเหลืออย่างดีระหว่างการศึกษาค้นคว้า

ขอขอบคุณ คณาจารย์ และเจ้าหน้าที่คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ ทุกๆ ท่าน ที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการติดต่อประสานงานด้านเอกสาร และเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

เนื่องจากทุนวิจัยครั้งนี้บางส่วนได้รับจาก ทุนอุดหนุนและส่งเสริมวิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโท-เอก ในสถาบันอุดมศึกษาของรัฐ ของทบวงมหาวิทยาลัย จึงขอขอบคุณทบวงมหาวิทยาลัย และบัณฑิตวิทยาลัยมา ณ ที่นี้

ขอขอบคุณ บิดา มารดา และครอบครัว ที่ให้ความสนับสนุน และกำลังใจตลอดมา

ขอขอบคุณ เพื่อน พี่ น้อง ปริญญาโทคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ทุกท่าน

ขอขอบคุณ คุณปริภัทร วิลามาต ที่ให้ความช่วยเหลือ กำลังใจ และ ความเข้าใจ ตลอดระยะเวลาดำเนินงานวิจัย

ประโยชน์ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขออุทิศแก่ บิดา มารดา และครู อาจารย์ทุกท่าน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	ฎ
สารบัญแผนภูมิ.....	ฒ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมา.....	1
1.2 ความสำคัญของการศึกษา.....	3
1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	4
1.4 ขอบเขตของการวิจัย.....	4
1.5 ระเบียบวิธีการวิจัย.....	5
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	7
1.7 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย.....	7
บทที่ 2 การศึกษาทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 อิทธิพลจากดวงอาทิตย์ และท้องฟ้า กับมุมเอียงหลังคาทรงไทย.....	8
2.1.1 มุมเอียงหลังคา และอิทธิพลที่ได้รับในเวลากลางวัน.....	8
2.1.2 มุมเอียงหลังคา และอิทธิพลที่ได้รับในเวลากลางคืน.....	24
2.2 อิทธิพลจากการลอยตัว และการระบายอากาศภายในหลังคาทรงไทย.....	31
2.2.1 แนวความคิดพื้นฐานของกระบวนการลอยตัวของอากาศ.....	31
2.2.2 พฤติกรรมการลอยตัวของอากาศ กับมุมเอียงหลังคาทรงไทย.....	35
2.2.3 การระบายอากาศภายในใต้หลังคาทรงไทย.....	37
2.3 การแผ่รังสีความร้อน และอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ (MRT) ของหลังคาทรงไทย.....	39
2.3.1 แนวความคิดพื้นฐานของการแผ่รังสีความร้อน.....	39
2.3.2 คุณสมบัติการแผ่รังสีความร้อนของพื้นผิว.....	42
2.3.3 อิทธิพลการแผ่รังสีความร้อนของพื้นผิวหลังคาทรงไทย.....	44
2.3.4 อิทธิพลจากอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบกับมุมเอียงหลังคาทรงไทย.....	52
2.4 หลังคาทรงไทยกับฝ้าเพดาน และการใส่ฉนวน.....	58
2.4.1 การระบายความร้อนสะสมออกทางหลังคา.....	58
2.4.2 การปรับสมดุลความร้อน หนาวในเวลากลางวัน และกลางคืน.....	59
2.5 บทสรุปในการศึกษาทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	60

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 การดำเนินการวิจัย	
3.1 ขั้นตอนเตรียมการวิจัยเชิงการทดลอง.....	62
3.1.1 การเตรียมสถานที่ทดลอง.....	62
3.1.2 การเตรียมหุ่นจำลอง.....	63
3.1.3 การเตรียมเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	68
3.1.4 การทดสอบความเที่ยงตรงของเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	70
3.2 การวิจัยในขั้นตอนเชิงการทดลอง.....	71
3.2.1 การทดสอบตัวแปรที่มีผลต่อมุมเอียงหลังคาเรือนไทย.....	71
3.2.2 การทดสอบเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปรที่มีผลต่อความรู้สึกร้อน หนาว ภายในเรือนไทย อันเนื่องมาจากอิทธิพลของมุมเอียงหลังคา.....	72
3.2.3 การวิเคราะห์เทคนิคแนวทาง และสรุปผลการวิจัยเพื่อนำไปประยุกต์ใช้.....	79
บทที่ 4 การวิเคราะห์ผลการวิจัย	
4.1 การทดสอบตัวแปรที่มีผลต่อมุมเอียงหลังคาเรือนไทย.....	86
4.1.1 การทดสอบอิทธิพลของมวลสารวัสดุผนังหลังคาต่างชนิดกัน.....	87
4.1.2 การทดสอบอิทธิพลของมวลสารที่มีผลต่อมุมเอียงหลังคา.....	99
4.2 การทดสอบเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปรที่มีผลต่อความรู้สึกร้อน หนาว ภายในเรือนไทย อันเนื่องมาจากอิทธิพลของมุมเอียงหลังคา.....	113
4.2.1 การทดสอบอิทธิพลจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบลงบนระนาบพื้นผิวหลังคา.....	114
4.2.2 การทดสอบอิทธิพลของการแลกเปลี่ยนรังสีคลื่นยาวระหว่างผิววัสดุผนังหลังคา กับท้องฟ้าในเวลากลางคืน.....	127
4.2.3 การทดสอบอิทธิพลของทิศทางการวางหุ่นจำลอง	138
4.2.4 การทดสอบอิทธิพลจากการลอยตัวของอากาศร้อนภายในหุ่นจำลอง.....	149
4.2.5 การทดสอบอิทธิพลของการแผ่รังสีความร้อนจากพื้นผิวหลังคา และอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ	157
4.3 การวิเคราะห์เทคนิคแนวทาง และสรุปผลการวิจัยเพื่อนำไปประยุกต์ใช้	171
4.3.1 การทดสอบอิทธิพลของสัดส่วนอาคารที่ต่างกัน.....	172
4.3.2 การทดสอบอิทธิพลของรูปแบบการติดตั้งฝ้าเพดาน และการระบายอากาศ.....	187
4.3.3 การทดสอบอิทธิพลของรูปแบบการติดตั้งฉนวนกันความร้อน.....	200
4.3.4 การทดสอบอิทธิพลของตัวแปรในสภาพแวดล้อมจริง.....	209
บทที่ 5 บทสรุป และข้อเสนอแนะ	
5.1 อิทธิพลของตัวแปรในการวิจัย.....	220
5.1.1 อิทธิพลของมวลสารวัสดุผนังหลังคา.....	220
5.1.2 อิทธิพลของมวลสารที่มีผลต่อมุมเอียงหลังคา.....	220
5.1.3 อิทธิพลจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบลงบนระนาบพื้นผิวหลังคา.....	221

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.1.4 อิทธิพลจากการแลกเปลี่ยนรังสีคลื่นยาวระหว่างผิววัสดุหลังคา กับ ท้องฟ้า ตอนกลางคืน.....	221
5.1.5 อิทธิพลของทิศทางการวางหุ่นจำลอง.....	221
5.1.6 อิทธิพลการลอยตัวของอากาศร้อนในหุ่นจำลอง.....	222
5.1.7 อิทธิพลของการแผ่รังสีความร้อนจากพื้นผิวหลังคา และอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ.....	222
5.1.8 อิทธิพลของสัดส่วนอาคารที่ต่างกัน.....	223
5.1.9 อิทธิพลของสัดส่วนอาคารที่ต่างกัน.....	223
5.1.10 อิทธิพลของรูปแบบการติดตั้งฉนวนกันความร้อน.....	224
5.1.11 อิทธิพลของตัวแปรในสภาพแวดล้อมจริง.....	225
5.2 สรุปผลการวิจัย.....	225
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	226
5.3.1 ข้อเสนอแนะสำหรับการทำวิจัย.....	226
5.3.2 ข้อเสนอแนะสำหรับสถาปนิก.....	226
รายการอ้างอิง.....	227
ภาคผนวก.....	229
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	239

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่
หน้า

1-1	แสดงการเปรียบเทียบสัดส่วนของภาระการทำความเย็น ของเครื่องปรับอากาศ จากส่วนต่างๆของอาคาร.....	2
1-2	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างวัสดุผนังหลังคาชนิดต่างๆ กับมุมเอียงของหลังคาที่กระทำกับแนวระนาบพื้นดิน.....	2
2-1	แสดงองค์ประกอบของรังสีความร้อน และสัดส่วนพลังงานจากดวงอาทิตย์.....	41
2-2	แสดงคุณสมบัติการดูดซับรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ กับการแผ่รังสีคลื่นยาวจากผิววัสดุ.....	43
2-3	แสดงค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ Effective radiation area factors.....	44
3-1	แสดงวัสดุผนังหลังคาที่มีมวลสารต่างกัน ที่ใช้ในการทดสอบ.....	71



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า		
1-1	(ก) ลักษณะของบ้านไทยในอดีต	3
	(ข) ลักษณะบ้านไทยในปัจจุบัน.....	3
2-1	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโลก และดวงอาทิตย์.....	9
2-2	(ก) แสดง Zenith angle, slope, surface azimuth angle และ solar azimuth angle สำหรับระนาบพื้นผิวเอียงใดๆ.....	11
	(ข) แสดงผังการหาค่า Solar azimuth angle.....	11
2-3	แสดงการเปรียบเทียบปริมาณ Solar radiation incidence on the surface ของแต่ละมุมเอียงหลังคาในเดือนเมษายน Solar time 12:00 น.จากการคำนวณ.....	13
2-4	แสดงแผนผังโครงร่างของลักษณะรังสีกระจายบนท้องฟ้า ซึ่งแสดง Circumsolar และ Horizon brightening component ที่เพิ่มเติมจาก Isotropic component.....	16
2-5	แสดงรังสีตรง, รังสีกระจาย และรังสีที่สะท้อนจากพื้นดิน บนระนาบพื้นผิวเอียง.....	19
2-6	แสดงรังสีตรงบนระนาบนอน และระนาบเอียง.....	21
2-7	(ก) แสดงการปลูกเรือนขวางตะวัน.....	22
	(ข) แสดงการปลูกเรือนตามตะวัน.....	22
2-8	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่ามุม Surface azimuth กับชนิดของรังสีที่ระนาบพื้นผิวนั้นได้รับ.....	23
2-9	(ก) เรือนเดี่ยวที่มีชาน.....	24
	(ข) เรือนหมู่ที่มีชาน.....	24
2-10	(ก) แสดงความเข้มของการคายรังสี (Schematic of radiation intensity).....	25
	(ข) แสดงอัตราของการคายรังสี (Schematic of radiation flux).....	25
2-11	แสดงการคายรังสีคลื่นยาวกลับสู่ท้องฟ้าในเวลากลางวัน ทำให้อากาศเหนือผิวหลังคาเย็น และไหลลงมายังชานบ้าน และค่อยกระจายเข้าสู่ภายในเรือน.....	27
2-12	(ก) แสดงลักษณะการคายรังสีของพื้นผิวโลหะ (Electric) ที่เปลี่ยนแปลง กับมุมกระทำ (β) (ข) แสดงลักษณะการคายรังสีของพื้นผิวโลหะ (Dielectric) ที่เปลี่ยนแปลง กับมุมกระทำ (β).....	29
2-13	(ก) แสดงมุมเอียงลาดชันน้อยเมื่อเกิดน้ำค้างที่ผิวหลังคา.....	30
	(ข) แสดงมุมเอียงลาดชันมากอาจไม่เกิดน้ำค้างที่ผิว.....	30
2-14	แสดงการเปรียบเทียบพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อน ของบ้านที่มีมุมเอียงหลังคาต่างกัน.....	36
2-15	แสดงพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านวัสดุผนังหลังคาเรือนไทย เนื่องจากความแตกต่างของความกดอากาศ.....	37
2-16	แสดงแรงดูดของลมที่แตกต่างกัน เนื่องจากความแตกต่าง ระหว่างความกดอากาศด้านเหนือ และใต้ลม.....	38
2-17	แสดงช่วงความยาวคลื่นของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า.....	39

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า		
2-18	แสดงการถ่ายเทพลังงานโดยการแผ่รังสีระหว่างพื้นผิว 2 พื้นผิว ที่มีอุณหภูมิแตกต่างกัน เมื่อ $T_1 > T_2$ โมเลกุลบน พื้นผิวจะมีการสั่นสะเทือน และเกิดการถ่ายเทพลังงานในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า.....	40
2-19	แสดงการแผ่รังสีอาทิเดียนอกชั้นบรรยากาศ และบนพื้นผิวโลก.....	40
2-20	แสดงการสะท้อนรังสี การดูดซึมรังสี การส่งผ่านรังสี และการคายรังสีในวัตถุที่ปิดตัน.....	42
2-21	แสดงการเปรียบเทียบมุมกระทำต่อเพดานที่ร้อนระหว่าง หลังคาทรงไทยที่สูงชัน และบ้านปัจจุบันทั่วไป.....	44
2-22	(ก) แสดงทิศทางการแลกเปลี่ยนรังสีระหว่างพื้นผิว โดยความสัมพันธ์ดังกล่าวเรียกว่า View Factor.....	45
	(ข) แสดงผลรวมของ View Factor จากพื้นผิวไปยังพื้นผิวประกอบเท่ากับ View Factor จากพื้นผิวไปยังส่วนต่างๆของพื้นผิวประกอบนั้น.....	47
	(ค) แสดงลักษณะพื้นผิวสองส่วนที่มีลักษณะสมมาตรกับพื้นผิวที่สามจะมี View Factor ที่มาจากพื้นผิวที่ 3 เท่ากัน.....	47
2-23	แสดงค่าต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในการคำนวณ Effective radiation area.....	48
2-24	(ก) แสดงค่า Projected area factor สำหรับบุคคลนั่ง.....	50
	(ข) แสดงค่า Projected area factor สำหรับบุคคลยืน	51
2-25	แสดงอัตราส่วนการถ่ายเทความร้อนของมนุษย์โดยเฉลี่ย.....	52
2-26	แสดงการคิดอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบจากห้องปกติ และห้องสมมติ.....	55
2-27	แสดงจุดเหมาะสมที่สุดของอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบที่ขึ้นกับตัวแปร 2 ตัวคือ อุณหภูมิผิว กับพื้นที่ผิวที่สมดุลกัน เนื่องมาจากมุมเอียงหลังคาที่ดีที่สุด.....	57
2-28	แสดงการระบายความร้อนสะสมภายใต้หลังคาทรงไทย ผ่านทางรอยต่อของวัสดุผนังหลังคา.....	58
2-29	แสดงหลังคาทรงไทย ที่มีการติดตั้งฝ้าเพดาน และฉนวน ทำให้ระบายความร้อนที่สะสมได้น้อยลง.....	59
3-1	แสดงสถานที่ทดลองที่เป็นที่โล่ง.....	62
3-2	(ก) แสดงรายละเอียดของหุ่นจำลอง-PLAN.....	63
	(ข) แสดงรายละเอียดของหุ่นจำลอง-SECTION.....	63
3-3	แสดงขั้นตอนการสร้างหุ่นจำลอง.....	64
3-4	แสดงหุ่นจำลองที่ฉาบสีให้พื้นผิวภายนอกเป็นเนื้อเดียวกัน.....	64
3-5	(ก) แสดงรายละเอียดโครงหลังคาของหุ่นจำลอง-FRONT ELEVATION.....	65
	(ข) แสดงรายละเอียดโครงหลังคาของหุ่นจำลอง-SIDE ELEVATION.....	65
3-6	แสดงโครงหลังคาไม้ที่ใช้ในการวิจัย.....	66
3-7	แสดงกระเบื้องมุงหลังคาที่ใช้ในการวิจัย เป็นกระเบื้องหางมน ชนิดไม่เคลือบผิว สีธรรมชาติ.....	66

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่
หน้า

3-8	(ก) แสดงการติดตั้งโครงไม้ที่เป็นฐานรองรับโครงหลังคา.....	66
	(ข) แสดงโครงไม้ที่เป็นฐานรองรับโครงหลังคาที่ติดตั้งเสร็จแล้ว.....	66
	(ค) แสดงการติดตั้งโครงหลังคาไม้ลงบนผนังหุ้มฉนวน.....	67
	(ง) แสดงการติดตั้งหน้าจั่วที่ใช้วัสดุชนิดเดียวกับตัวผนังหุ้มฉนวน.....	67
3-9	(ก) แสดงหุ้มฉนวนที่เสร็จสมบูรณ์พร้อมในการติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ ด้านหน้า.....	67
	(ข) แสดงหุ้มฉนวนที่เสร็จสมบูรณ์พร้อมในการติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ ด้านข้าง.....	67
3-10	แสดงเครื่องมือเก็บค่าอุณหภูมิ Data Logger System 200.....	68
3-11	แสดงเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้เชื่อมต่อ และจัดเก็บข้อมูลจากเครื่องมือวัดอุณหภูมิ.....	68
3-12	(ก) แสดงสายวัด และหัววัดอุณหภูมิเทอร์มิสเตอร์ (Thermister).....	69
	(ข) แสดงการติดตั้งหัววัดอุณหภูมิผิววัสดุ.....	69
3-13	แสดงวัสดุที่นำมาทดสอบอิทธิพลของมวลสารที่มีผลต่อมุมเอียงหลังคา.....	71
3-14	แสดงลักษณะของหุ้มฉนวน และการติดตั้งหัววัดอุณหภูมิ เพื่อทดสอบตัวแปร Solar radiation.....	72
3-15	แสดงลักษณะของหุ้มฉนวน และการติดตั้งหัววัดอุณหภูมิ เพื่อทดสอบตัวแปร Long-wave radiation.....	73
3-16	แสดงลักษณะของหุ้มฉนวน เพื่อทดสอบตัวแปร Solar radiation และ Long-wave radiation.....	74
3-17	แสดงลักษณะของหุ้มฉนวน และการติดตั้งหัววัดอุณหภูมิ เพื่อทดสอบตัวแปร Orientation.....	75
3-18	แสดงลักษณะของหุ้มฉนวน เพื่อทดสอบตัวแปร Orientation.....	75
3-19	แสดงลักษณะของหุ้มฉนวน และการติดตั้งหัววัดอุณหภูมิ เพื่อทดสอบตัวแปร Stratification.....	76
3-20	แสดงลักษณะของหุ้มฉนวน เพื่อทดสอบตัวแปร Stratification.....	77
3-21	แสดงลักษณะของหุ้มฉนวน และการติดตั้งหัววัดอุณหภูมิ เพื่อทดสอบตัวแปร Mean radiant temperature.....	78
3-22	แสดงลักษณะของหุ้มฉนวน เพื่อทดสอบตัวแปร Mean radiant temperature.....	78
3-23	แสดงลักษณะของหุ้มฉนวน และการติดตั้งหัววัดอุณหภูมิ เพื่อทดสอบตัวแปร Proportion.....	80
3-24	แสดงลักษณะของหุ้มฉนวน เพื่อทดสอบตัวแปร Proportion.....	80
3-25	(ก) แสดงลักษณะของหุ้มฉนวน และการติดตั้งหัววัดอุณหภูมิ เพื่อทดสอบตัวแปร Ventilation ในกรณีไม่มีการระบายอากาศใต้หลังคา.....	82
	(ข) แสดงลักษณะของหุ้มฉนวน และการติดตั้งหัววัดอุณหภูมิ เพื่อทดสอบตัวแปร Ventilation ในกรณีมีการระบายอากาศใต้หลังคา.....	82
3-26	แสดงลักษณะของหุ้มฉนวน เพื่อทดสอบตัวแปร Ventilation	83

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า		
3-27	แสดงลักษณะของหุ่นจำลอง และการติดตั้งหัววัดอุณหภูมิ เพื่อทดสอบตัวแปร Insulation	84
3-28	แสดงลักษณะของหุ่นจำลองเพื่อทดสอบตัวแปร Insulation	84
3-29	(ก) แสดงสภาพแวดล้อมของคัมขุนแผน.....	85
	(ข) แสดงสภาพแวดล้อมของพระตำหนักทับขวัญ.....	85
	(ค) แสดงสภาพแวดล้อมของเรือนไทย ศูนย์ส่งเสริมวัฒนธรรมแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.....	85
4-1	แสดงการเปรียบเทียบปริมาณ Solar radiation incidence on the surface ของแต่ละมุมเอียงหลังคาในเดือนเมษายน Solar time 12:00 น.จากการคำนวณ.....	126
4-2	แสดงลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างมุมเอียงของหลังคา กับมุมเปิดสู่ท้องฟ้า.....	136
4-3	แสดง Sun chart ของละติจูด 14 องศาเหนือ และเส้นทางการโคจร ของดวงอาทิตย์ในวันที่ 11 เมษายน.....	148
4-4	แสดงพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านวัสดุผนังหลังคาเรือนไทย เนื่องจากความแตกต่างของความกดอากาศ.....	156
4-5	แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ สูงสุด – เฉลี่ยในช่วง 24 ชั่วโมง ของหุ่นจำลองที่มีมุมเอียงหลังคาแตกต่างกัน.....	169
4-6	แสดงจุดเหมาะสมที่สุดของอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบที่ขึ้นกับตัวแปร 2 ตัว คือ อุณหภูมิผิว กับพื้นที่ผิวที่สมดุลกัน เนื่องมาจากมุมเอียงหลังคาที่ดีที่สุด.....	170
4-7	แสดงการเปรียบเทียบค่า Angle factor ของหุ่นจำลองที่มีความสูงแตกต่างกัน.....	186
4-8	แสดงอุณหภูมิสูงสุดตำแหน่งต่างๆ ภายในเรือนคัมขุนแผน.....	212
4-9	แสดงอุณหภูมิสูงสุดตำแหน่งต่างๆ ภายในเรือนพระตำหนักทับขวัญ.....	215
4-10	แสดงอุณหภูมิสูงสุดตำแหน่งต่างๆ ภายในเรือนไทย ศูนย์ส่งเสริมวัฒนธรรม แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.....	218
4-11	แสดงการเปรียบเทียบค่า Angle factor ของหลังคาหุ่นจำลอง กับหลังคาเรือนไทยจริง.....	219

สารบัญแผนภูมิ

แผนภูมิที่

หน้า

1-1	แสดงการเปรียบเทียบสัดส่วนของจำนวนหน่วยจ่ายไฟฟ้า (GWH) เป็นร้อยละจำแนกตามประเภทผู้ใช้ไฟฟ้าในเขตกรุงเทพมหานคร ปี 2542.....	1
2-1	แสดง Solar Orientation and Azimuths Measure from South.....	12
2-2	แสดงการเปรียบเทียบปริมาณ Solar radiation incidence on the surface ของแต่ละมุมเอียงของหลังคาที่นำมาคำนวณ.....	14
2-3	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ (ที่ความยาวคลื่น 0.365 μm) กับค่ามุม Zenith angle.....	15
2-4	แสดงลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างมุมเอียงของหลังคา กับมุมเปิดสู่ท้องฟ้า.....	28
4-1	เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวบน และผิวล่างของหลังคาสังกะสี.....	88
4-2	เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวบน และผิวล่างของหลังคาสังกะสีเคลือบสีดำ.....	89
4-3	เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวบน และผิวล่างของหลังคาตึบจาก.....	90
4-4	เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวบน และผิวล่างของหลังคากระเบื้องดินเผา.....	91
4-5	เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวบน และผิวล่างของหลังคาคอนกรีตหนา 0.10 ม.....	92
4-6	เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวบนของวัสดุหลังคาต่างชนิดกัน.....	93
4-7	เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวล่างของวัสดุหลังคาต่างชนิดกัน.....	94
4-8	เปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยของผิวบน และผิวล่าง ของวัสดุหลังคาต่างชนิดกัน.....	95
4-9	เปรียบเทียบผลต่างระหว่างอุณหภูมิเฉลี่ยผิวบน กับอุณหภูมิเฉลี่ยผิวล่างวัสดุหลังคาต่างชนิดกัน.....	96
4-10	เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวบน และผิวล่างของหลังคาสังกะสี ที่มีมุมเอียงต่างกัน.....	100
4-11	เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวบน และผิวล่างของหลังคาสังกะสีเคลือบสีดำ ที่มีมุมเอียงต่างกัน.....	101
4-12	เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวบน และผิวล่างของหลังคาตึบจาก ที่มีมุมเอียงต่างกัน.....	102
4-13	เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวบน และผิวล่างของหลังคากระเบื้องดินเผา ที่มีมุมเอียงต่างกัน.....	103
4-14	เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวบน และผิวล่างของหลังคาคอนกรีตหนา 0.10 ม. ที่มีมุมเอียงต่างกัน.....	104
4-15	เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวบนของวัสดุหลังคาต่างชนิดกัน มุมเอียงหลังคา 30 องศา.....	105
4-16	เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวบนของวัสดุหลังคาต่างชนิดกัน มุมเอียงหลังคา 60 องศา.....	106
4-17	เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวล่างของวัสดุหลังคาต่างชนิดกัน มุมเอียงหลังคา 30 องศา.....	107
4-18	เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวล่างของวัสดุหลังคาต่างชนิดกัน มุมเอียงหลังคา 60 องศา.....	108
4-19	เปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยของผิวบน และผิวล่างของวัสดุหลังคาต่างชนิดกัน ที่มีมุมเอียงต่างกัน...	109
4-20	เปรียบเทียบผลต่างระหว่างอุณหภูมิผิวบน เฉลี่ย / สูงสุด / ต่ำสุด ของหลังคามุมเอียงต่างกัน ที่มีมวลสารต่างกัน.....	110
4-21	เปรียบเทียบผลต่างระหว่างอุณหภูมิผิวล่าง เฉลี่ย / สูงสุด / ต่ำสุด ของหลังคามุมเอียงต่างกัน ที่มีมวลสารต่างกัน.....	111

4-48	เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายใน เฉลี่ย/สูงสุด/ต่ำสุด ในช่วง 24 ชั่วโมง ของหุ่นจำลองที่หันทิศทางหลังคาแตกต่างกัน.....	146
------	---	-----

สารบัญแผนภูมิ (ต่อ)

แผนภูมิที่		หน้า
4-49	เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ยแต่ละช่วงเวลา ในช่วง 24 ชั่วโมง ของหุ่นจำลองที่หันทิศทางหลังคาแตกต่างกัน.....	147
4-50	เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในหุ่นจำลอง ณ ตำแหน่งสูงจากพื้น 0.50 ม. ที่หลังคามีมุมเอียงต่างกัน.....	150
4-51	เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในหุ่นจำลอง ณ ตำแหน่งสูงจากพื้น 1.20 ม. ที่หลังคามีมุมเอียงต่างกัน.....	151
4-52	เปรียบเทียบอุณหภูมิตำแหน่งความสูงต่างกันภายในหุ่นจำลองที่มีมุมเอียงหลังคา 30 องศา.....	152
4-53	เปรียบเทียบอุณหภูมิตำแหน่งความสูงต่างกันภายในหุ่นจำลองที่มีมุมเอียงหลังคา 45 องศา.....	153
4-54	เปรียบเทียบอุณหภูมิตำแหน่งความสูงต่างกันภายในหุ่นจำลองที่มีมุมเอียงหลังคา 60 องศา.....	154
4-55	เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ย ช่วง 24 ชั่วโมง ของหุ่นจำลองที่มีมุมเอียงหลังคาแตกต่างกัน.....	155
4-56	เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวหนังด้านล่างวัสดุผนังหลังคาทางทิศเหนือ ของหลังคาที่มีมุมเอียงต่างกัน.....	158
4-57	เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวหนังด้านล่างวัสดุผนังหลังคาทางทิศใต้ ของหลังคาที่มีมุมเอียงต่างกัน.....	159
4-58	เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในหุ่นจำลองที่หลังคามีมุมเอียงต่างกัน.....	160
4-59	เปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบภายในหุ่นจำลองที่หลังคามีมุมเอียงต่างกัน.....	161
4-60	เปรียบเทียบอุณหภูมิตำแหน่งต่างๆ ภายในหุ่นจำลองที่มีมุมเอียงหลังคา 30 องศา.....	162
4-61	เปรียบเทียบอุณหภูมิตำแหน่งต่างๆ ภายในหุ่นจำลองที่มีมุมเอียงหลังคา 45 องศา.....	163
4-62	เปรียบเทียบอุณหภูมิตำแหน่งต่างๆ ภายในหุ่นจำลองที่มีมุมเอียงหลังคา 60 องศา.....	164
4-63	เปรียบเทียบอุณหภูมิตำแหน่งต่างๆ ภายในหุ่นจำลองที่มีมุมเอียงหลังคา 75 องศา.....	165
4-64	เปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ เฉลี่ย/สูงสุด/ต่ำสุด ในช่วง 24 ชั่วโมง ของหุ่นจำลองที่มีมุมเอียงหลังคาแตกต่างกัน.....	166
4-65	เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายใน เฉลี่ย/สูงสุด/ต่ำสุด ในช่วง 24 ชั่วโมง ของหุ่นจำลองที่มีมุมเอียงหลังคาแตกต่างกัน.....	167
4-66	เปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ แต่ละช่วงเวลา ในช่วง 24 ชั่วโมง ของหุ่นจำลองที่มีมุมเอียงหลังคาแตกต่างกัน.....	168
4-67	เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวหนังด้านล่างวัสดุผนังหลังคาทางทิศเหนือ ของหุ่นจำลอง ที่มีสัดส่วนความสูงต่างกัน.....	173
4-68	เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวหนังด้านล่างวัสดุผนังหลังคาทางทิศใต้ ของหุ่นจำลอง	

	ที่มีสัดส่วนความสูงต่างกัน.....	174
4-69	เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในหุ้่นจำลอง ณ ตำแหน่งสูงจากพื้น 0.50 ม. ที่มีสัดส่วนความสูงต่างกัน.....	175
4-70	เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในหุ้่นจำลอง ณ ตำแหน่งสูงจากพื้น 1.20 ม. ที่มีสัดส่วนความสูงต่างกัน.....	176

สารบัญแผนภูมิ (ต่อ)

แผนภูมิที่		หน้า
4-71	เปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบภายในหุ้่นจำลอง ที่มีสัดส่วนความสูงต่างกัน.....	177
4-72	เปรียบเทียบอุณหภูมิตำแหน่งต่างๆ ภายในหุ้่นจำลองที่มีสัดส่วนความสูงครึ่งเท่าของปกติ.....	178
4-73	เปรียบเทียบอุณหภูมิตำแหน่งต่างๆ ภายในหุ้่นจำลองที่มีสัดส่วนความสูงปกติ.....	179
4-74	เปรียบเทียบอุณหภูมิตำแหน่งต่างๆ ภายในหุ้่นจำลองที่มีสัดส่วนความสูงสองเท่าของปกติ.....	180
4-75	เปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วง 24 ชั่วโมง ของหุ้่นจำลองที่มีสัดส่วนความสูงต่างกัน.....	181
4-76	เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายใน เฉลี่ย/สูงสุด/ต่ำสุด ในช่วง 24 ชั่วโมงของหุ้่นจำลอง ที่มีสัดส่วนความสูงต่างกัน.....	182
4-77	เปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ เฉลี่ย/สูงสุด/ต่ำสุด ในช่วง 24 ชั่วโมง ของหุ้่นจำลองที่มีสัดส่วนความสูงต่างกัน.....	183
4-78	เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ยแต่ละช่วงเวลา ในช่วง 24 ชั่วโมง ของหุ้่นจำลองที่มีมุมเอียงหลังคาแตกต่างกัน.....	184
4-79	เปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบแต่ละช่วงเวลา ในช่วง 24 ชั่วโมง ของหุ้่นจำลองที่มีมุมเอียงหลังคาแตกต่างกัน.....	185
4-80	เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวด้านล่างวัสดุผนังหลังคาทิศเหนือ ของหุ้่นจำลอง ที่มีรูปแบบการระบายอากาศต่างกัน.....	188
4-81	เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวด้านล่างวัสดุผนังหลังคาทิศใต้ ของหุ้่นจำลอง ที่มีรูปแบบการระบายอากาศต่างกัน.....	189
4-82	เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในหุ้่นจำลอง ณ ตำแหน่งสูงจากพื้น 0.50 ม. ที่มีรูปแบบการระบายอากาศต่างกัน.....	190
4-83	เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในหุ้่นจำลอง ณ ตำแหน่งสูงจากพื้น 1.20 ม. ที่มีรูปแบบการระบายอากาศต่างกัน.....	191
4-84	เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวด้านล่างฝ้าเพดาน และอุณหภูมิอากาศภายใน ของหุ้่นจำลอง ที่มีรูปแบบการระบายอากาศต่างกัน.....	192
4-85	เปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบภายในหุ้่นจำลองที่มีรูปแบบการระบายอากาศต่างกัน....	193
4-86	เปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วง 24 ชั่วโมง ของหุ้่นจำลองที่มีรูปแบบการระบายอากาศต่างกัน....	194
4-87	เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายใน เฉลี่ย/สูงสุด/ต่ำสุด ในช่วง 24 ชั่วโมง	

	ของหุ่นจำลองที่มีรูปแบบการระบายอากาศต่างกัน.....	195
4-88	เปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบภายใน เฉลี่ย/สูงสุด/ต่ำสุด ในช่วง 24 ชั่วโมง ของหุ่นจำลองที่มีรูปแบบการระบายอากาศต่างกัน.....	196
4-89	เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ยแต่ละช่วงเวลา ในช่วง 24 ชั่วโมง ของหุ่นจำลองที่มีมุมเอียงหลังคาแตกต่างกัน.....	197
4-90	เปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบแต่ละช่วงเวลา ในช่วง 24 ชั่วโมง ของหุ่นจำลองที่มีมุมเอียงหลังคาแตกต่างกัน.....	198

สารบัญแผนภูมิ (ต่อ)

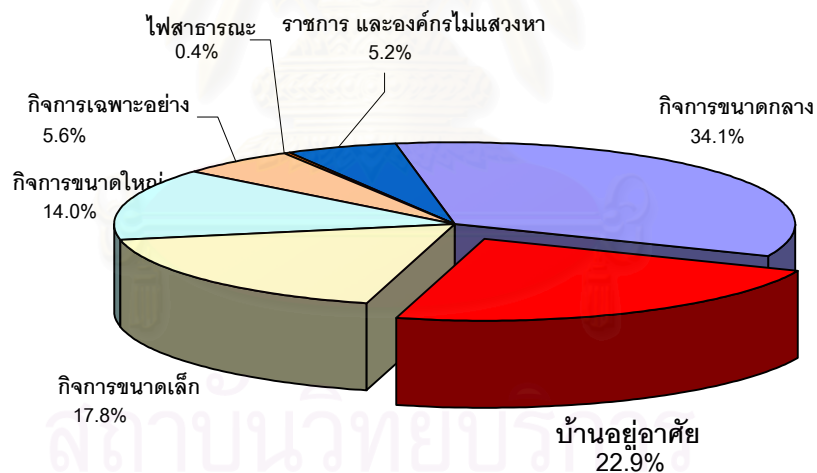
แผนภูมิที่		หน้า
4-91	เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในหุ่นจำลอง ณ ตำแหน่งสูงจากพื้น 0.50 ม. ที่มีฉนวนหนา 6" และไม่มีฉนวน.....	201
4-92	เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในหุ่นจำลอง ณ ตำแหน่งสูงจากพื้น 1.20 ม. ที่มีฉนวนหนา 6" และไม่มีฉนวน.....	202
4-93	เปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบภายในหุ่นจำลอง ที่มีฉนวนหนา 6" และไม่มีฉนวน.....	203
4-94	เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายใน เฉลี่ย/สูงสุด/ต่ำสุด ในช่วง 24 ชั่วโมง ที่มีฉนวนหนา 6" และไม่มีฉนวน.....	204
4-95	เปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบภายใน เฉลี่ย/สูงสุด/ต่ำสุด ในช่วง 24 ชั่วโมง ของหุ่นจำลองที่มีฉนวนหนา 6" และไม่มีฉนวน.....	205
4-96	เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ยแต่ละช่วงเวลา ในช่วง 24 ชั่วโมง ของหุ่นจำลองที่มีมุมเอียงหลังคาแตกต่างกัน.....	206
4-97	เปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบแต่ละช่วงเวลา ในช่วง 24 ชั่วโมง ของหุ่นจำลองที่มีฉนวนหนา 6" และไม่มีฉนวน.....	207
4-98	เปรียบเทียบอุณหภูมิตำแหน่งต่างๆภายในเรือนคัมขุนแผน.....	210
4-99	เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายใน เฉลี่ย/สูงสุด/ต่ำสุด ในช่วง 24 ชั่วโมง ตำแหน่งต่างๆภายในเรือนคัมขุนแผน.....	211
4-100	เปรียบเทียบอุณหภูมิตำแหน่งต่างๆภายในเรือนพระตำหนักทับขวัญ.....	213
4-101	เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายใน เฉลี่ย/สูงสุด/ต่ำสุด ในช่วง 24 ชั่วโมง ตำแหน่งต่างๆภายในเรือนพระตำหนักทับขวัญ.....	214
4-102	เปรียบเทียบอุณหภูมิตำแหน่งต่างๆภายในเรือนไทยศูนย์ส่งเสริมวัฒนธรรม แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.....	216
4-103	เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายใน เฉลี่ย/สูงสุด/ต่ำสุด ในช่วง 24 ชั่วโมง ตำแหน่งต่างๆภายในเรือนไทยศูนย์ส่งเสริมวัฒนธรรมแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.....	217

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา

ในปัจจุบันปัญหาเรื่องวิกฤตการณ์ด้านพลังงานกำลังเป็นประเด็นที่มีการกล่าวถึงกันมากที่สุดประเด็นหนึ่ง เนื่องมาจากปัจจุบันความต้องการในการใช้พลังงานมีมาก และมีแนวโน้มว่าจะมากขึ้นในอนาคต (กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม, กรมพัฒนา และส่งเสริมพลังงาน, 2542) ในขณะที่พลังงานมีอยู่อย่างจำกัด (หมายถึงพลังงานที่ใช้แล้วหมดไป Non-renewable energy เช่น ถ่านหิน พลังงานนิวเคลียร์ น้ำมัน และก๊าซธรรมชาติ) แต่ในสภาวะปัจจุบันที่ประเทศไทยกำลังประสบกับปัญหาดังกล่าว การที่บ้านพักอาศัยแทบทุกหลังติดตั้งระบบปรับอากาศ ด้วยอัตราเฉลี่ยของพื้นที่ปรับอากาศประมาณ 15-20 ตารางเมตรต่อขนาดของเครื่องปรับอากาศ 1 ตัน เมื่อพิจารณาจำนวนบ้านพักอาศัยที่ใช้ไฟฟ้าในเขตกรุงเทพมหานครปี 2542 ที่มีจำนวนถึง 1,141,323 ราย ทำให้ต้องใช้พลังงานไฟฟ้าเมื่อคิดจากหน่วยจำหน่ายมากถึง 4,624.19 GWH (สำนักนโยบาย และแผน กรุงเทพมหานคร, 2540) ซึ่งมากเป็นอันดับสองรองจากการใช้ไฟฟ้าของกิจการขนาดกลาง หรือคิดเป็นสัดส่วน 22.9% ของทั้งหมด



แผนภูมิ 1-1 แสดงการเปรียบเทียบสัดส่วนของจำนวนหน่วยจ่ายไฟฟ้า (GWH) เป็นร้อยละจำแนกตามประเภทผู้ใช้ไฟฟ้า ในเขตกรุงเทพมหานคร ปี 2542

ในบางกรณี แม้จะมีการติดตั้งระบบปรับอากาศแล้วก็ตาม ผู้อยู่อาศัยก็อาจไม่รู้สึกรบายเท่าที่ควร โดยอาจรู้สึกร้อน หรือหนาวเกินไปเป็นบางเวลา หมายความว่า การแก้ปัญหาเรื่องสภาวะภายในบ้านที่ไม่เหมาะสมกับการอยู่อาศัยด้วยวิธีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศเพียงอย่างเดียว นอกจากจะทำให้สิ้นเปลืองพลังงานจำนวนมากแล้ว ยังไม่สามารถปรุงแต่งสภาวะภายในบ้าน ให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมกับความต้องการได้อย่างสมบูรณ์

แนวทางหนึ่งที่จะช่วยแก้ปัญหาทั้งด้านการใช้พลังงาน และคุณภาพชีวิตของผู้อยู่อาศัย ก็คือการศึกษาวิจัยถึงตัวแปรต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานของบ้าน โดยจากการศึกษา (สุนทร บุญญาธิการ, 2543) ได้พบ

ว่าในบ้านเดี่ยว 1 หลังโดยทั่วไปแล้วมีปริมาณภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศที่มาจากส่วนต่างๆ ของอาคารนั้น แบ่งได้ดังนี้

ส่วนประกอบอาคาร	ปริมาณ (เปอร์เซ็นต์)
1. หลังคา	26.5
2. ผนัง	9
3. กระจก	56
4. การรั่วซึมของอากาศ	6
5. อุปกรณ์ และแสงประดิษฐ์	2
6. คน	0.5

ตาราง 1-1 แสดงการเปรียบเทียบสัดส่วนของภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ จากส่วนต่างๆของอาคาร

จากตารางจะเห็นได้ว่ากระจก และหลังคานั้นมีสัดส่วนของพลังงานที่ต้องใช้ในการปรับอากาศสูงที่สุดประมาณ 82.5% แต่จากการศึกษา (สุนทร บุญญาธิการ, 2542) พบว่าจากเทคโนโลยีการผลิตกระจกสมัยใหม่ และการเลือกใช้ชนิดของกระจกที่เหมาะสมนั้น สามารถลดปริมาณ UV และ IR ที่เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าอันทำให้เกิดพลังงานความร้อน ลงได้ถึง 98% ดังนั้น ในขณะนี้หลังคาจึงเป็นส่วนสำคัญที่สุดที่ควรมีการศึกษาวิจัยถึงเทคนิคการออกแบบที่สามารถลดพลังงานความร้อนที่ผ่านเข้ามาทางหลังคา และมีความเหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศของประเทศไทยกันอย่างจริงจัง

รูปแบบหลังคาบ้านพักอาศัยที่พบเห็นในปัจจุบัน โดยเฉพาะบ้านจัดสรรนั้นมีรูปแบบ เทคโนโลยี และวัสดุที่นำตัวอย่างมาจากต่างประเทศแทบทั้งสิ้นโดยขาดการพิจารณาถึงความเหมาะสมในการใช้งานในภูมิอากาศแบบร้อนชื้นในเมืองไทย อิทธิพลจากเทคโนโลยี และวัสดุก่อสร้างใหม่ๆ ดังกล่าวทำให้การก่อสร้างหลังคาเปลี่ยนแปลงไปจากอดีต โดยที่เห็นชัดเจนที่สุดคือมูมเอียงหลังคา เมื่อเปรียบเทียบระหว่างบ้านพักอาศัยในปัจจุบัน และเรือนไทยโบราณ (หรือเรือนไทยประเพณี) จะเห็นได้ชัดว่า หลังคาของบ้านพักอาศัยในปัจจุบันนั้นมีมูมเอียงที่ลาดชันน้อยกว่ามาก

วัสดุมุงหลังคา	มุมหลังคาที่กระทำกับแนวระนาบพื้นดิน
คอนกรีตเสริมเหล็ก แฟลตแสลป	0
กระเบื้องคอนกรีต, โม่เนียบ	30 ถึง 45
กระเบื้องดินเผา, ตับจาก	60

ตาราง 1-2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างวัสดุมุงหลังคาชนิดต่างๆ กับมุมเอียงของหลังคาที่กระทำกับแนวระนาบพื้นดิน

จึงอาจกล่าวได้ว่าในการออกแบบหลังคา นอกจากเรื่องความสวยงาม ความต้องการของสถาปนิก และความต้องการเจ้าของบ้าน มุมเอียงของหลังคาที่เกิดขึ้นจะถูกกำหนดโดย วัสดุมุงหลังคาเป็นหลัก โดยไม่มีการศึกษาวิจัยเพื่อหาข้อสรุปว่ามุมเอียงใดที่มีความเหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย และคำนึงถึงการ

ประหยัดพลังงานมากที่สุด แม้ว่าในปัจจุบันจะมีฉนวนที่มีคุณสมบัติในการลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารหลายชนิดก็ตามทำให้สถาปนิกออกแบบมุมมองหลังคาได้อิสระมากขึ้น แต่จากการศึกษา (G.K. Garden, 1965) พบว่า การที่หลังคามีอุณหภูมิสูงมากจะไปเพิ่มอัตราการเสื่อมของวัสดุหลังคาหลายชนิด เนื่องจากการเร่งกระบวนการ photo-oxidative ของสารหลายชนิด เช่น สารประกอบประเภทไฮโดรคาร์บอน และฉนวนพลาสติกจะอ่อนตัวลง นอกจากนั้นการเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้เกิดการขยายตัวของปริมาณอากาศ หรือความชื้นที่สะสมอยู่ระหว่างชั้นของ roof membrane ทำให้เกิดการพุพอง เป็นผลให้คุณสมบัติ water proof นั้นเสียไป และในทำนองเดียวกันนั้น ที่อุณหภูมิต่ำ สัมประสิทธิ์การขยายตัวของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนใน membrane จะสูง และวัสดุที่ใช้จะมีสภาพที่เปราะบาง เสียหายได้ง่ายเมื่อได้รับแรงเค้น (stress)

1.2 ความสำคัญของการศึกษา

เมื่อเรามองย้อนกลับไปในอดีต รูปแบบเรือนไทยคือสถาปัตยกรรมที่เป็นภูมิปัญญาของช่างไทยในยุคสมัยต่างๆ ในอดีตที่ได้สั่งสมภูมิปัญญา ความรู้ และลองผิดลองถูกกันมาเป็นเวลานาน จนเกิดเป็นลักษณะเด่นทางสถาปัตยกรรมที่เรียกกันในปัจจุบันว่า เรือนไทยประเพณี หากพิจารณาดูแล้วจะพบว่าบ้านไทยเป็นสถาปัตยกรรมที่เกิดจากการปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อม (อรศิริ ปาณินท์, 2539) เป็นการยึดถือธรรมชาติเป็นหลักในการปลูกบ้านเรือน จึงอาจกล่าวได้ว่าคนไทยในอดีตนั้นได้พยายามสร้างอาคาร หรือที่อยู่อาศัยที่สามารถควบคุมสภาพแวดล้อมภายในให้ไม่รู้สึกร้อน หรือหนาวเกินไป (Balance of Nature) รวมทั้งได้ค้นหา และเลือกใช้วัสดุในท้องถิ่นมาออกแบบอาคารที่สามารถปรับตัวเข้ากับสภาพภูมิอากาศในบริเวณนั้น เหมาะสมกับวิถีการดำรงชีวิต ขนบธรรมเนียมประเพณี และสังคมความเป็นอยู่ของตน ผลที่ได้ออกมาคือสถาปัตยกรรมท้องถิ่นที่ปรับตัวเข้ากับสภาพภูมิอากาศ และวิถีการดำรงชีวิตได้ดี มีจุดเด่นเป็นเอกลักษณ์ โดยจุดเด่นที่สุดของเรือนไทยจุดหนึ่งนั้นคือ รูปทรงหลังคาที่มีลักษณะเป็นหลังคาจั่วลาดชัน (ประมาณ 50-60 องศา) ชายคายื่นยาว แต่เมื่อการคมนาคมข้อมูลข่าวสารและเทคโนโลยีด้านต่างๆ ได้ก้าวหน้าไปมากในปัจจุบัน การรับเทคโนโลยีใหม่ๆ จึงเกิดขึ้นได้รวดเร็ว และสะดวกขึ้นดังสามารถสังเกตเห็นได้ชัดเจนจากอาคาร และบ้านพักอาศัยในปัจจุบันที่มีรูปแบบแตกต่างจากเรือนไทยในอดีตอย่างมาก ทั้งนี้ส่วนหนึ่งมาจากการสังเคราะห์ และผลิตวัสดุก่อสร้างชนิดใหม่ ขึ้นมาทดแทนการใช้วัสดุ



รูป 1-1 (ก) ลักษณะของบ้านไทยในอดีต (คุ้มขุนแผน, ออยุธยา)

ที่มา: สมภพ ภิรมย์, บ้านไทย (2538), น.68

(ข) ลักษณะบ้านไทยในปัจจุบัน (J.A.N.S co., ltd., ม.นราธิวาส)

ที่มา: บ้าน และสวน (ปีที่ 24 ฉบับที่ 288, 2543), น.18

แบบดั้งเดิม โดยเฉพาะฉนวนกันความร้อนที่มีคุณภาพสูงประเภทต่างๆ การนำเข้าวัสดุ และเทคโนโลยีอาคารต่างๆ จากต่างประเทศเข้ามาใช้ นำมาผสมผสานการออกแบบใช้กับอาคารบ้านพักอาศัยให้เหมาะสมกับวิถีชีวิตที่เปลี่ยน

ไป และเพื่อความสะอาดสบายยิ่งขึ้น (ธนิต จินดาวณิก, 2540) ด้วยเหตุผลดังกล่าวการออกแบบอาคารจึงค่อนข้างอิสรกว่าในอดีต รูปแบบบ้านไทยจึงได้เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม โดยเฉพาะรูปทรง และมุมเอียงของหลังคา

สิ่งที่น่าสนใจนั่นคือ เมื่อในอดีตที่ยังไม่มีเทคโนโลยีสูงเท่าในปัจจุบัน ช่างในอดีตนั้นมีวิธีการแก้ปัญหาอย่างไร ให้ผู้อยู่อาศัยในบ้านอยู่สบายไม่ร้อน ไม่หนาวเกินไป ปัจจัยอะไรที่ทำให้เกิดมุมเอียงของหลังคาเช่นนั้น ซึ่งหากมีการศึกษา เก็บรวบรวมข้อมูล และการวิเคราะห์กันอย่างจริงจังถึงที่มาของมุมเอียงของหลังคาเรือนไทยนั้นว่า เพราะเหตุใดมุมเอียงนั้นจึงเป็นมุมที่ดีที่สุด (Optimum) รวมทั้งมีตัวแปรใดบ้างที่ส่งผลต่อความรู้สึกร้อนหนาว (Thermal Comfort) ในเรือนไทยทั้งเวลากลางวัน และกลางคืน การศึกษาถึงมุมเอียงของหลังคาเรือนไทยเปรียบเทียบกับรูปแบบของบ้านพักอาศัยที่นิยมสร้างกันอยู่ในปัจจุบันนั้น เพื่อให้เกิดความเข้าใจในเรื่องที่มาของมุมเอียงหลังคาเรือนไทย รวมทั้งเป็นแนวทางประยุกต์ใช้ในการออกแบบรูปทรงหลังคาที่เหมาะสมกับการใช้งานในสภาพภูมิอากาศของไทย เพื่อให้ผู้อยู่อาศัยมีคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้น และยังเป็นการศึกษาภูมิปัญญาของช่างไทยในอดีต เพื่อนำมาพัฒนาต่อยอดองค์ความรู้ และเผยแพร่เอกลักษณ์ของสถาปัตยกรรมไทยต่อไป

1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

การวิจัยนี้ ทำขึ้นเพื่อต้องการศึกษาตัวแปรที่ทำให้เกิดมุมเอียงของหลังคาเรือนไทยประเพณี โดยเน้นด้านความรู้สึกร้อน หนาว (Thermal Comfort) ภายในอาคาร และความเป็นไปได้ในแง่ของการนำไปประยุกต์ใช้กับงานจริง จึงได้กำหนดวัตถุประสงค์เป็นข้อๆ ดังนี้

1. เพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปรสำคัญ อันเป็นที่มาของมุมเอียงหลังคาเรือนไทย โดยเน้นทางด้านผลกระทบต่อความรู้สึกร้อน หนาว (Thermal Comfort) ภายในเรือนไทย
2. เพื่อวิเคราะห์ถึงทิศทางความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่มีผลต่อความรู้สึกร้อน หนาว (Thermal Comfort) ภายในเรือนไทย อันเนื่องมาจากอิทธิพลของมุมเอียงหลังคา
3. นำผลการศึกษามาทำการสรุปเพื่อเสนอแนะ เป็นแนวทางพัฒนาการออกแบบรูปทรงหลังคาบ้านพักอาศัย ที่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อม และสภาพอากาศของไทย รวมทั้งมีเอกลักษณ์ไทยต่อไป

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1. การวิจัยนี้ได้จำลองสภาพอาคารด้วยหุ่นจำลองขนาดย่อส่วน และทำการวิจัยในสภาวะที่ไม่มีมีการปรับอากาศภายในหุ่นจำลอง
2. สถานที่ทดลองใช้พื้นที่ในกรุงเทพมหานคร และปริมณฑล เป็นตัวแทนของภูมิอากาศแบบร้อนชื้น
3. ระยะเวลาในการทำวิจัยสามารถเก็บผลการทดลองได้ในช่วงเดือนธันวาคม 2545 ถึงเดือนเมษายน 2546 ไม่สามารถทำต่อเนื่องทั้งปีได้ เพราะมีข้อจำกัดในเรื่องเวลาการศึกษา งบประมาณ สถานที่ และเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูล แต่สามารถใช้เป็นแนวทางในการศึกษาค้นคว้าได้ในระดับหนึ่ง
4. หลังคาของหุ่นจำลองเป็นแบบหลังคาจั่ว เนื่องจากเป็นการจำลองรูปทรงมาจากเรือนไทย

5. ศึกษามุมมองเชิงหลังคาที่มีการใช้งานกันอยู่ทั่วไปในปัจจุบัน เปรียบเทียบกับมุมมองเชิงของหลังคาเรือนไทย (50-60 องศา)

1.5 ระเบียบวิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) โดยทำการทดสอบปัจจัยต่างๆ ด้วยวิธีการจำลองสภาพแวดล้อมจากการทดลอง เนื่องจากเหตุผลดังต่อไปนี้

- สามารถควบคุมตัวแปร และวิธีการทดลองได้ง่ายกว่าการเก็บข้อมูลจากอาคารจริง
- สะดวกในการเคลื่อนย้าย และติดตั้ง โดยเฉพาะที่ต่องการมีการทดสอบหลายขั้นตอน
- ป้องกันความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นได้ สามารถแก้ไขได้ทันเวลา
- งบประมาณ และเวลาค่อนข้างจำกัด

โดยมีขั้นตอนหลักในการดำเนินการวิจัย ดังต่อไปนี้

1. ขั้นตอนเตรียมการวิจัย

1.1 ขั้นตอนการศึกษาทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.1.1 ค้นคว้าทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องต่างๆ ดังต่อไปนี้

- 1) อิทธิพลของมวลสารวัสดุของหลังคาต่อมุมมองเชิงหลังคา
- 2) อิทธิพลจากดวงอาทิตย์ และท้องฟ้า กับมุมมองเชิงหลังคาทรงไทย
 - มุมเชิงหลังคา และอิทธิพลที่ได้รับในเวลากลางวัน
 - มุมเชิงหลังคา และอิทธิพลที่ได้รับในเวลากลางคืน
- 3) อิทธิพลจากการลอยตัว และการระบายอากาศภายในหลังคาทรงไทย
 - แนวความคิดพื้นฐานของกระบวนการลอยตัวของอากาศ
 - พฤติกรรมการลอยตัวของอากาศ กับมุมมองเชิงหลังคาทรงไทย
 - การระบายอากาศภายในหลังคาทรงไทย
- 4) การแผ่รังสีความร้อน และอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ (MRT) ของหลังคาทรงไทย
 - แนวความคิดพื้นฐานของการแผ่รังสีความร้อน
 - คุณสมบัติการแผ่รังสีความร้อนของพื้นผิว
 - อิทธิพลการแผ่รังสีความร้อนของพื้นผิวหลังคาทรงไทย
 - อิทธิพลจากอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบกับมุมมองเชิงหลังคาทรงไทย
- 5) หลังคาทรงไทยกับฝ้าเพดาน และการใส่ฉนวน

1.1.2 คำนวณค่าต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย เช่น อุณหภูมิผิววัสดุ อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบ (MRT) ปริมาณรังสีความร้อนที่ตกกระทบลงบนระนาบพื้นผิววัสดุ จากทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเพื่อเป็นการอ้างอิงในการศึกษาเชิงปฏิบัติการในขั้นตอนต่อไป

1.2 ขั้นตอนการเตรียมการทดลอง

ทำการทดลองในหุ่นจำลองเพื่อหาคุณสมบัติ และตัวแปรที่มีผลต่อพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อน ที่แตกต่างกันระหว่างมุมเอียงหลังคาที่เลือกมาวิจัย

1.1.1 การกำหนดอุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

- 1) กำหนดวัสดุคุมหลังคาที่จะนำมาใช้ในการวิจัยเป็นกระเบื้องดินเผาชนิดทางเหยี่ยว หรือทางมน สีสรรมาตามรูปแบบของเรือนไทยในอดีต
- 2) การจำลองสภาพอาคารจะใช้หุ่นจำลองขนาดย่อส่วน ที่เป็นโฟมชนิด EPS (Expanded polystyrene foam) ที่มีความหนาแน่น 1.5 ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต มีขนาดภายนอก 1.20 x 1.20 x 1.20 เมตร ขนาดภายใน 0.90 x 0.90 x 0.90 เมตร ประกอบด้วยผนังโฟม 5 ด้าน ด้านบนเจาะช่องเปิดสำหรับติดตั้งหลังคาที่ทำการวิจัย และเจาะช่องสี่เหลี่ยมขนาด 0.40 x 0.40 เมตร ที่ด้านหนึ่งของผนังเพื่อเป็นฝาเปิดในการติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ

1.2.2 การปรับค่ามาตรฐานของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง เนื่องจากอุปกรณ์วัดอุณหภูมิอาจมีการคลาดเคลื่อนจากการผลิต และการเตรียมอุปกรณ์ จึงต้องตรวจสอบเพื่อหาค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้ของอุปกรณ์วัดอุณหภูมิทั้งหมด ด้วยวิธีทางสถิติ ได้แก่ การคาลิเบรชัน (Calibration) รวมทั้งทำการทดสอบคุณสมบัติของหุ่นจำลองเพื่อเทียบมาตรฐานให้เท่าเทียมกัน

2. ขั้นตอนการวิจัยเชิงทดลอง

การวิจัยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปรอันเนื่องมาจากมุมเอียงหลังคา ที่มีผลต่อความรู้สึกร้อน หนาว ภายในเรือนไทย สามารถกำหนดขั้นตอนในการทดลองตามวัตถุประสงค์ได้ดังนี้

2.1 การทดสอบตัวแปรที่มีผลต่อมุมเอียงหลังคาเรือนไทย

เป็นขั้นตอนการทดสอบตัวแปรเบื้องต้นที่มีผลต่อมุมเอียงหลังคาของหลังคาเรือนไทย มีขั้นตอนดังนี้

2.1.1 การศึกษาถึงเหตุผล หรือที่มาของตัวแปรที่มีผลต่อมุมเอียงหลังคาเรือนไทย

2.1.2 การทดสอบตัวแปรเบื้องต้นที่มีผลต่อมุมเอียงหลังคา

- 1) การทดสอบอิทธิพลของมวลสารวัสดุคุมหลังคาต่างชนิดกัน
- 2) การทดสอบอิทธิพลของมวลสารที่มีผลต่อมุมเอียงหลังคา

2.2 การทดลองเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปรที่มีผลต่อความรู้สึกร้อน หนาว (Thermal Comfort) ภายในเรือนไทย อันเนื่องมาจากอิทธิพลของมุมเอียงหลังคา ในเงื่อนไขต่างๆ โดยมีรายละเอียดเบื้องต้นดังต่อไปนี้

2.2.1 การทดสอบอิทธิพลจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบลงบนระนาบพื้นผิวหลังคา (Solar radiation)

2.2.2 การทดสอบอิทธิพลของการแลกเปลี่ยนรังสีคลื่นยาวระหว่างผิววัสดุคุมหลังคา กับท้องฟ้า ในเวลากลางคืน (Long-wave radiation)

2.2.3 การทดสอบอิทธิพลของทิศทางการวางหุ่นจำลอง (Orientation)

มีตัวแปรที่ทำการทดสอบคือ

- ทิศทางที่สัมพันธ์กับทางโคจรของดวงอาทิตย์
- ทิศทางที่สัมพันธ์กับลมธรรมชาติ

2.2.4 การทดสอบอิทธิพลจากกาลลอยตัวของอากาศร้อนภายในห้องจำลอง (Stratification)

2.2.5 การทดสอบอิทธิพลของการแผ่รังสีความร้อนจากพื้นผิวหลังคา และอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ (Mean radiant temperature)

2.2.6 การทดสอบอิทธิพลของสัดส่วนอาคารที่ต่างกัน (Proportion)

2.2.7 การทดสอบอิทธิพลของรูปแบบการติดตั้งฝ้าเพดาน และการระบายอากาศ (Ventilation)

2.3 การสรุป และวิเคราะห์ผลการวิจัย

2.3.1 นำข้อมูลมาวิเคราะห์เพื่อทราบถึงอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ โดยอาศัยหลักทางสถิติ

2.3.2 สรุปที่มาของมุมเอียงหลังคาเรือนไทย และเหตุผลที่มุมหลังคานั้นใช้ประโยชน์ได้สูงสุด (Optimum) วิเคราะห์ข้อดี และข้อเสีย พร้อมทั้งข้อเสนอแนะในการเลือกใช้มุมเอียงหลังคา และวัสดุผนังหลังคา ทั้งในแง่ความรู้สึกที่ร้อน หนาวของผู้อยู่อาศัย รวมถึงแนวทางการนำไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบ หรือก่อสร้างจริงสำหรับงานสถาปัตยกรรมในอนาคต

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ทราบถึงอิทธิพลต่างๆ อันเป็นที่มาของมุมเอียงหลังคาของเรือนไทยประเพณี และผลกระทบต่อความรู้สึกที่ร้อน หนาวภายในอาคาร เพื่อเป็นแนวทางประยุกต์ใช้ในการออกแบบงานสถาปัตยกรรมที่เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศ และเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน
2. เพื่อพัฒนาต่อยอดองค์ความรู้อันเป็นเอกลักษณ์ของสถาปัตยกรรมไทยได้ในระดับหนึ่ง
3. เป็นจุดเริ่มต้นในการทำการวิจัยด้านเทคโนโลยีที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทย ซึ่งมีความจำเป็นอย่างมากต่อสถานะของประเทศในขณะนี้ในแง่การอนุรักษ์พลังงาน เพื่อแก้ปัญหาวิกฤตการณ์ทางเศรษฐกิจ รวมทั้งเป็นการส่งเสริมงานวิจัยลักษณะนี้ในเมืองไทยให้แพร่หลายมากยิ่งขึ้น

1.7 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

1. มุมเอียงหลังคา หมายถึงมุมที่วัดจากระนาบพื้นผิวหลังคาที่กระทำกับระนาบพื้นผิวโลก
2. ความรู้สึกที่ร้อน หนาว หรือ Thermal comfort คือสถานะของความรู้สึกที่แสดงต่ออุณหภูมิ สภาพแวดล้อมรอบกายขณะนั้น มี 3 ลักษณะ ได้แก่ การสูญเสียความร้อนจากร่างกายให้กับสภาพแวดล้อม การได้รับความร้อนจากสภาพแวดล้อม และสถานะที่ไม่มีการสูญเสีย หรือได้รับความร้อนจากสภาพแวดล้อม
3. เรือนไทย หมายถึงเรือนไทยภาคกลาง (หรือเรือนไทยประเพณี) ที่เป็นเรือนเครื่องสับ
4. มุมเอียงหลังคาเรือนไทย หมายถึงมุมเอียงของหลังคาเรือนไทย คือมุมระหว่าง 50-60 องศา

บทที่ 2

การศึกษาทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากวัตถุประสงค์ของการวิจัย ได้ศึกษาทฤษฎี แนวความคิด และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปรสำคัญต่างๆ ในเบื้องต้น อันเป็นที่มาของลักษณะหลังคาทรงไทย โดยแบ่งหัวข้อในการศึกษาได้ดังนี้

- อิทธิพลจากดวงอาทิตย์ และท้องฟ้า กับมুমเอียงหลังคาทรงไทย
- อิทธิพลจากการลอยตัว และการระบายอากาศภายในหลังคาทรงไทย
- การแผ่รังสีความร้อน และอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ (MRT) ของหลังคาทรงไทย
- หลังคาทรงไทยกับฝ้าเพดาน และการใส่ฉนวน

2.1 อิทธิพลจากดวงอาทิตย์ และท้องฟ้า กับมুমเอียงหลังคาทรงไทย

หลังคาได้รับความร้อนในเวลากลางวันจากสภาพแวดล้อมภายนอก และถ่ายเทความร้อนจากตัวหลังคานั้นเข้าสู่ภายในอาคาร จากพฤติกรรมดังกล่าวส่งผลให้อุณหภูมิหลังคา รวมทั้งอุณหภูมิอากาศภายในหลังคานั้นเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งอิทธิพลจากสภาพแวดล้อมภายนอกที่มีผลมากที่สุดต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านเปลือกอาคารทางหลังคาในเวลากลางวันนั้นจากการศึกษา (Givoni, 1969: 1) พบว่าเป็น รังสีจากดวงอาทิตย์ (นอกจากนี้แล้วยังมีองค์ประกอบอื่นๆ ที่ส่งผลกระทบต่อความรู้สึกที่ร้อน หนาวของมนุษย์ร่วมด้วย ได้แก่ รังสีคลื่นยาวจากสภาพแวดล้อม, อุณหภูมิอากาศ, ความชื้น, กระแสลม และฝน)

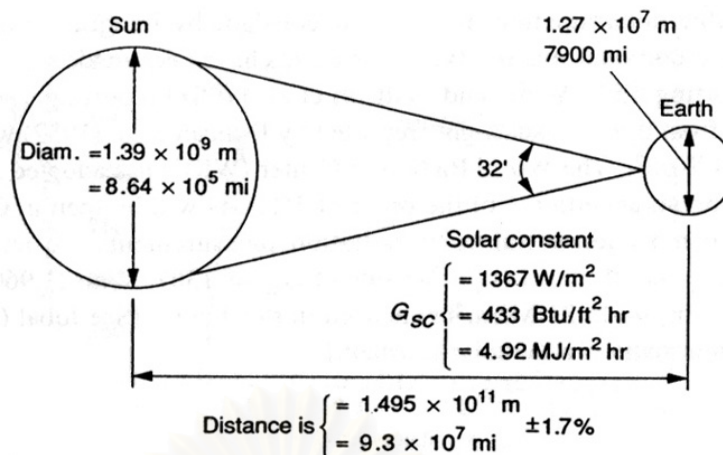
ส่วนในเวลากลางคืนนั้นวัสดุของหลังคาจะแลกเปลี่ยนอุณหภูมิกับชั้นบรรยากาศทำให้อุณหภูมิผิวของวัสดุลดลง ซึ่งมুমเอียงหลังคาที่แตกต่างกัน จะส่งผลต่อการแลกเปลี่ยนอุณหภูมิกับชั้นบรรยากาศที่แตกต่างกัน (ณัฐยาทองมี, 2543) โดยเฉพาะอย่างยิ่งหลังคาทรงไทยนั้นมีมুমเอียงที่เป็นเอกลักษณ์อย่างเด่นชัดแตกต่างจากบ้านที่มีอยู่ในปัจจุบัน ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่ามুমเอียงหลังคานั้นเกิดมาจากภูมิปัญญาของช่างไทยในอดีตที่ต้องการปรุงแต่งสมดุลของธรรมชาติ (Balance of nature) ให้เหมาะสมกับความเป็นอยู่ของคนไทย

ในหัวข้อนี้จึงกล่าวถึงอิทธิพลจากสภาพแวดล้อมภายนอกอันได้แก่ดวงอาทิตย์ และท้องฟ้า กับมুমเอียงหลังคาทรงไทยในช่วงเวลากลางวัน และกลางคืน ในแง่ของการปรับความรู้สึกที่ร้อน หนาวให้มีความพอดีกับการอยู่อาศัย โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1.1 มุมเอียงหลังคา และอิทธิพลที่ได้รับในเวลากลางวัน

1) อิทธิพลจากดวงอาทิตย์

ความสัมพันธ์ระหว่างดวงอาทิตย์ และโลกสามารถแสดงเป็นแผนผังคร่าวๆ ได้ดังรูปด้านล่าง ความคลาดเคลื่อนในการโคจรรอบโลกของดวงอาทิตย์จะส่งผลกระทบต่อระยะทางระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์ที่ผันแปรประมาณ 1.7%



รูป 2-1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโลก และดวงอาทิตย์

ที่มา: Duffie, John A. and Beckman, William A. *Solar engineering of thermal processes*. 1991: p. 5.

การที่โลกโคจรรอบดวงอาทิตย์เป็นรูปวงรี จะทำให้ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบชั้นบรรยากาศ (Extraterrestrial solar radiation, I_0) มีค่าเปลี่ยนแปลงตลอดทั้งปี โดยจะมีค่าสูงที่สุดประมาณ 448 Btu/h.ft^2 เมื่อโลกโคจรเข้าใกล้ดวงอาทิตย์มากที่สุดในวันที่ 3 มกราคม และมีค่าต่ำสุดประมาณ 419 Btu/h.ft^2 เมื่อโลกโคจรออกห่างดวงอาทิตย์มากที่สุดในวันที่ 4 กรกฎาคม ดังนั้นจึงมีการศึกษาหาค่าเฉลี่ยที่มีค่าคงที่ของปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ (ต่อหนึ่งหน่วยเวลา ที่ตกลงบนพื้นผิวที่ตั้งฉากกับทิศทางการแผ่รังสี) ในระยะทางเฉลี่ยระหว่างดวงอาทิตย์ และโลก นอกชั้นบรรยากาศ เรียกว่า Solar constant, G_{sc} จะได้ค่าประมาณ 433 Btu/h.ft^2 (Duffie and Beckman, 1991: 6)

ขณะที่ค่ารังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบชั้นบรรยากาศเป็นรังสีตรงชนิดหนึ่ง ซึ่งเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศของโลก สสารต่างๆ ที่อยู่ในชั้นบรรยากาศ เช่น ฝุ่นละออง โมเลกุลของก๊าซชนิดต่างๆ ไอน้ำ และก้อนเมฆ ฯลฯ จะทำหน้าที่ดูดซับ สะท้อน และทำให้เกิดการกระเจิงของรังสี ซึ่งส่งผลให้ปริมาณพลังงานของรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบชั้นบรรยากาศมีค่าลดลง ประกอบด้วย 2 ส่วนคือ รังสีตรงจากดวงอาทิตย์ (Beam or direct radiation, G_b) และรังสีที่เกิดจากการกระเจิงเรียกว่า รังสีกระจายจากดวงอาทิตย์ (Diffuse radiation, G_d) เป็นต้น สัดส่วนของการลดลงของรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบชั้นบรรยากาศที่ความยาวคลื่นต่างๆ จะแปรผันตามชนิดของสสารในชั้นบรรยากาศ และระยะทางที่รังสีเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศ

แสงอาทิตย์เป็นปัจจัยทางธรรมชาติที่มีอิทธิพลอย่างมากต่อการถ่ายเทความร้อน เข้าสู่อาคาร เมื่อวัสดุเปลือกอาคารถูกแสงแดดก็จะร้อนขึ้น เนื่องจากการแผ่รังสีคลื่นสั้นกลายเป็นรังสีคลื่นยาวทำให้เกิดพลังงานความร้อนขึ้นที่ผิววัสดุพร้อมกับการดูดซับรังสีความร้อนของวัสดุ ทำให้ผิวเปลือกอาคารร้อนขึ้น และการที่ผิวร้อนขึ้นนี้เองทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร และส่งผลต่ออุณหภูมิอากาศภายใน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบ 3 ประการ (ASHRAE, 2001) คือ

1. อุณหภูมิอากาศภายนอก
2. รังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบผิววัสดุที่ถูกดูดซับไว้
3. การแลกเปลี่ยนรังสีความร้อนกับสภาพแวดล้อม (The Long-Wave Radiant Heat Exchange with the Environment)

Sol – Air Temperature ในคำจำกัดความหมายถึง อุณหภูมิสมมติของอากาศที่ติดกับผิววัสดุช่วงที่ไม่มีอิทธิพลจากแสงแดด และการเปลี่ยนแปลงรังสี ที่จะทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารในอัตราที่เทียบเท่ากับสภาวะที่มีอิทธิพลจริงจากรังสีดวงอาทิตย์ จากการแลกเปลี่ยนรังสีความร้อนกับท้องฟ้า จากสภาพแวดล้อมรอบตัว และจากการถ่ายเทความร้อนกับอากาศภายนอก

Sol-air temperature is the outdoors air that, in the absence of radiation change, gives the same rate of heat entry into the surface, as would the combination of incident solar radiation, radiant energy exchange with the sky and other outdoor surrounding, and convective exchange with the outdoor air. (ASHRAE, 2001)

สามารถแสดงเป็นสมการได้ดังนี้

$$T_{\text{sol-air}} = T_{\text{out}} + I \times \left[\frac{\alpha}{h_o} \right] - \left[\frac{\varepsilon \Delta R}{h_o} \right] \quad (1)$$

โดยที่	T_{out}	=	อุณหภูมิอากาศภายนอก (°F)
	I	=	รังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบทั้งหมด (Btu/h.ft ²)
	α	=	สัมประสิทธิ์การดูดซับความร้อนของผิววัสดุ (ไม่มีหน่วย)
	h_o	=	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผิว ซึ่งรวมถึง Long Wave Radiation และ Convection (Btu/h.ft ² .°F)
	ε	=	สัมประสิทธิ์การกระจายความร้อนของผิววัสดุ
	ΔR	=	อัตราแลกเปลี่ยนความร้อนของผิววัสดุกับสภาพแวดล้อม และท้องฟ้า (Btu/h.ft ²)

ที่มา: America society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers. ASHRAE 2001 Handbook of Fundamental. I-P Edition. 2001: p. 29.15.

2) การแผ่รังสีดวงอาทิตย์บนระนาบพื้นผิวเอียงของหลังคา

ปริมาณความร้อนเมื่อรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ตกกระทบพื้นผิวหลังคาที่วางทำมุมเอียงใดๆ กับแนวระนาบพื้นโลก ขึ้นอยู่กับตัวแปรสำคัญ ได้แก่ ค่ามุมตกกระทบเป็นมุมยกจากแนวระนาบของพื้นดิน (θ) กระทำตั้งฉากกับมุมเอียงของหลังคา (Angle of Incidence) และค่าปริมาณรังสีดวงอาทิตย์บนระนาบพื้นผิวเอียงของหลังคา ซึ่งค่าทั้งสองจะแปรเปลี่ยนตามค่ามุมเอียงหลังคาที่แตกต่างกันไป

Angle of Incidence (θ) หมายถึงมุมระหว่างรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ (Beam or Direct Radiation) กับเส้นที่ทำมุมตั้งฉากกับพื้นผิวนั้น การหา Solar Incidence Angle ($\cos\theta$) จากมุมที่กระทำในแนวราบ โดยพิจารณาจากตารางแสดงตำแหน่งดวงอาทิตย์ มุมโปรไฟล์และมุมอะซิมูท สำหรับเส้นรุ้ง 14 องศาเหนือ (กรุงเทพฯ) โดยกำหนด Solar incident angle สำหรับพื้นผิวใดๆ พิจารณาจากสูตร ดังนี้

$$\cos\theta = [\cos\alpha \times \cos(\gamma_s - \gamma) \times \sin\beta] + [\sin\alpha \times \cos\beta]$$

(2)

Tilted surfaces

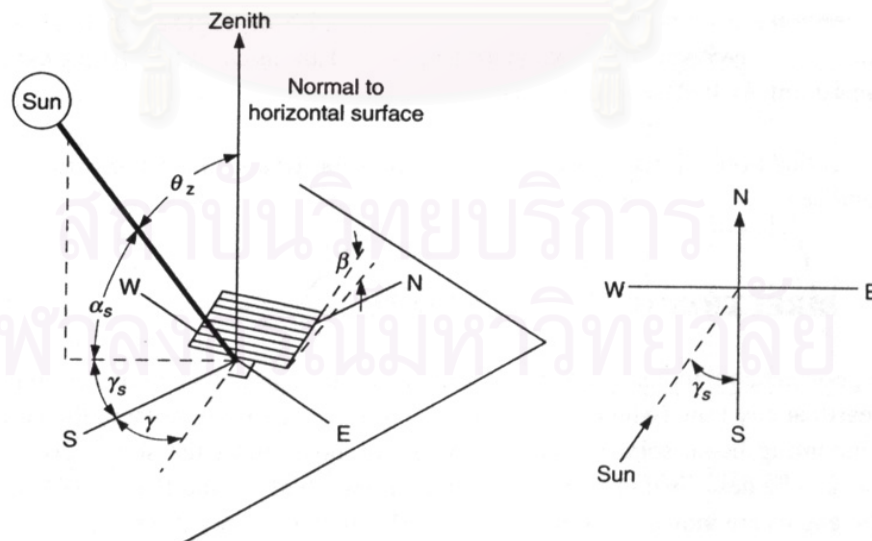
$$\cos\theta_z = [\cos\phi \times \cos\delta \times \cos\omega] + [\sin\phi \times \sin\delta]$$

(3)

Horizontal surfaces

- ϕ = Latitude
 δ = Declination
 β = Slope
 γ = Surface azimuth angle
 ω = Hour angle
 θ = Angle of incidence
 θ_z = Zenith angle
 α = Solar altitude angle
 γ_s = Solar azimuth angle

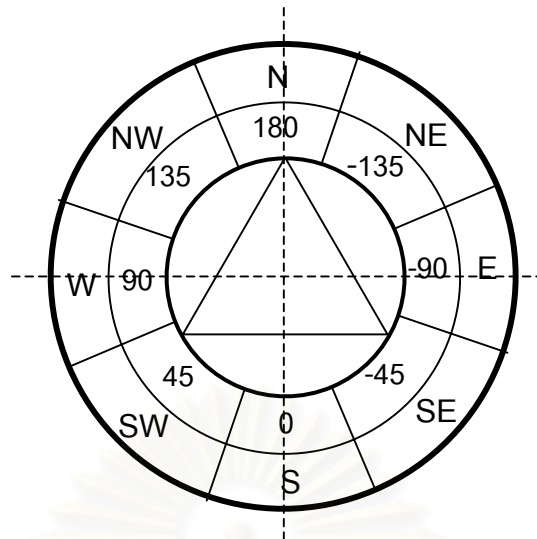
ที่มา: Duffie, John A. and Beckman, William A. Solar engineering of thermal processes. 1991: pp. 13-16.



รูป 2-2 (ก) แสดง Zenith angle, slope, surface azimuth angle และ solar azimuth angle สำหรับระนาบพื้นผิวเอียงใดๆ

(ข) แสดงผังการหาค่า Solar azimuth angle

ที่มา: Duffie, John A. and Beckman, William A. Solar engineering of thermal processes. 1991: p. 14.



แผนภูมิ 2-1 แสดง Solar Orientation and Azimuths Measure from South

ที่มา: ปรับปรุงจาก ASHRAE, 1993.

จากค่า Solar Incidence Angle ที่ได้นำมาพิจารณาหาค่า Solar Radiation Incidence on the surface (SI) จากสูตรการคำนวณดังนี้

$$SI = \frac{\text{Solar Radiation} * \text{Incidence Angle}}{A} \quad (4)$$

กำหนดให้	SI	=	Solar Radiation Incidence on the surface (Watt)
	Solar Radiation	=	ปริมาณพลังงานรังสีดวงอาทิตย์ (Watt/ m ²)
	Incidence Angle	=	cos θ
	A	=	พื้นที่ที่รังสีดวงอาทิตย์ตกกระทบ (m ²) (ในที่นี้หมายถึง พื้นที่หลังคาของหุ่นจำลอง)

ที่มา: William, M. Landscape Planning Environmental Application. 3rd Edition. 1998: p. 288.

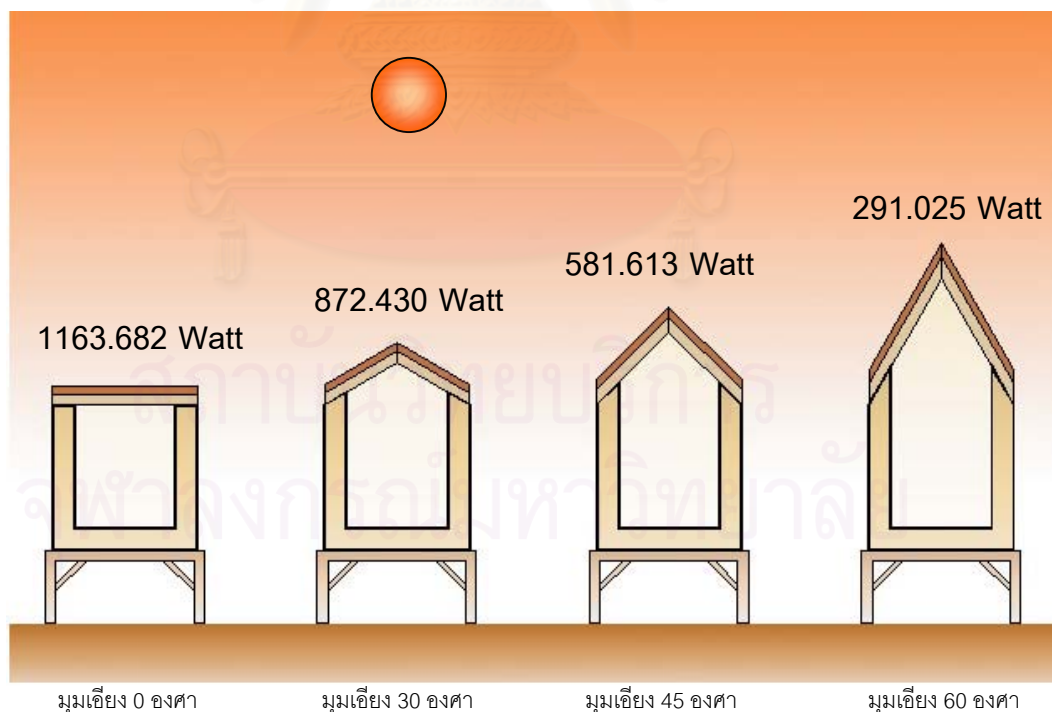
หมายเหตุ ค่า SI เป็นค่าต่อหน่วยพื้นที่ที่ปริมาณพลังงานตกกระทบใน 1 ทิศเท่านั้น ในกรณีทีหลังคาของกรวิจัยนี้ เป็นหลังคาทรงจั่ว จึงต้องนำผลรวมทั้งสองด้าน ของค่า SI มารวมกัน

จากทฤษฎีดังกล่าวนำมาใช้เป็นกรอบในการดำเนินการวิจัย โดยคำนวณหาค่า Solar radiation incidence on the surface ของเดือนเมษายนด้วยการนำข้อมูลค่ามุมมองศาต่างๆ มาคำนวณ และใช้ค่าปริมาณรังสีดวงอาทิตย์เท่ากับ 420.1 Watt/m² (ที่มา: ธนิต จินดาวงนิค และคณะ. ข้อมูลอากาศประเทศไทยสำหรับงานอนุรักษ์พลังงาน. 2543) สมมติขนาดของหุ่นจำลองขนาด 1.20x1.20x1.20 เมตร โดยทำการคำนวณในแต่ละมุมเอียงหลังคา ได้แก่ 0, 30, 45 และ 60 องศา จาก

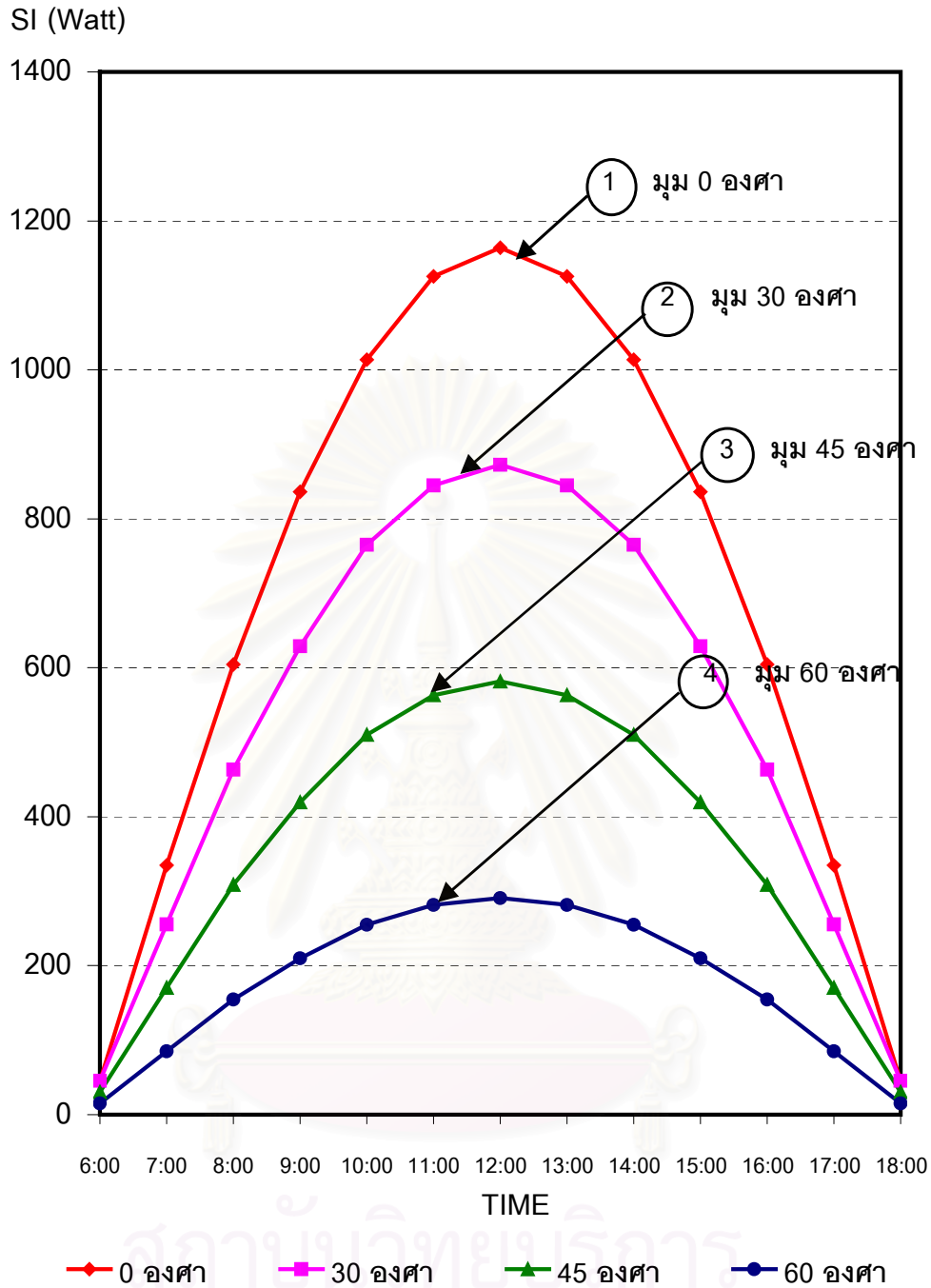
การคำนวณนำค่าที่ได้มานำเสนอในรูปแบบแผนภูมิ เพื่อแสดงการเปรียบเทียบค่า Solar radiation incidence on the surface ของหลังคาแต่ละมุมเอียง สรุปผลได้ผลดังนี้

- มุมเอียง 0 องศา มีปริมาณ Solar radiation incidence on the surface มากที่สุด โดยจุดสูงสุดของวัน มีปริมาณเท่ากับ 1163.682 Watt
- มุมเอียง 30 องศา มีปริมาณ Solar radiation incidence on the surface มากเป็นอันดับสอง โดยจุดสูงสุดของวัน มีปริมาณเท่ากับ 872.430 Watt
- มุมเอียง 45 องศา มีปริมาณ Solar radiation incidence on the surface มากเป็นอันดับสาม โดยจุดสูงสุดของวัน มีปริมาณเท่ากับ 581.613 Watt
- มุมเอียง 60 องศา มีปริมาณ Solar radiation incidence on the surface น้อยที่สุด โดยจุดสูงสุดของวัน มีปริมาณเท่ากับ 291.025 Watt

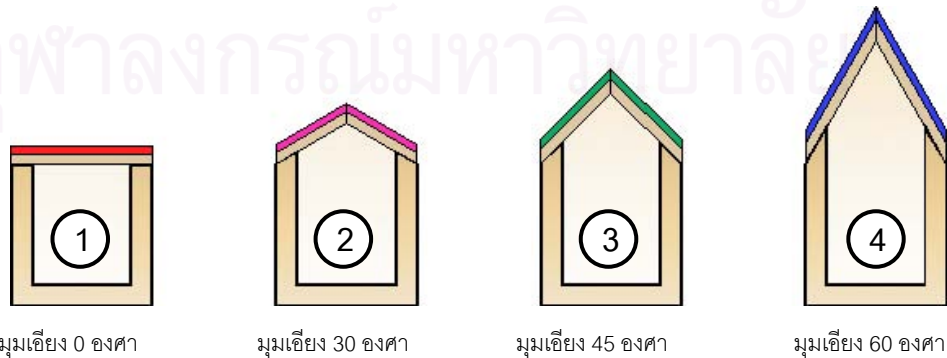
หลังคาที่ได้รับปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นผิวมาก เนื่องมาจากค่า Incidence angle มีค่ามาก (Angle of incidence มีค่าน้อย หรือมีค่าใกล้เคียงศูนย์ทำให้ค่า $\cos\theta$ มีค่ามาก) จากการคำนวณพบว่ายิ่งหลังคาชันมาก หรือมุมเอียงมาก ค่าปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นผิว จะน้อยกว่าหลังคาที่มีมุมเอียงน้อย ด้วยเหตุผลดังกล่าวนี้จึงเป็นคำตอบส่วนหนึ่งของที่มามุมเอียงหลังคาเรือนไทยที่มีลักษณะสูงชันมาก (ประมาณ 50-60 องศา)



รูป 2-3 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณ Solar radiation incidence on the surface ของแต่ละมุมเอียงหลังคาในเดือนเมษายน Solar time 12:00 น. จากการคำนวณ



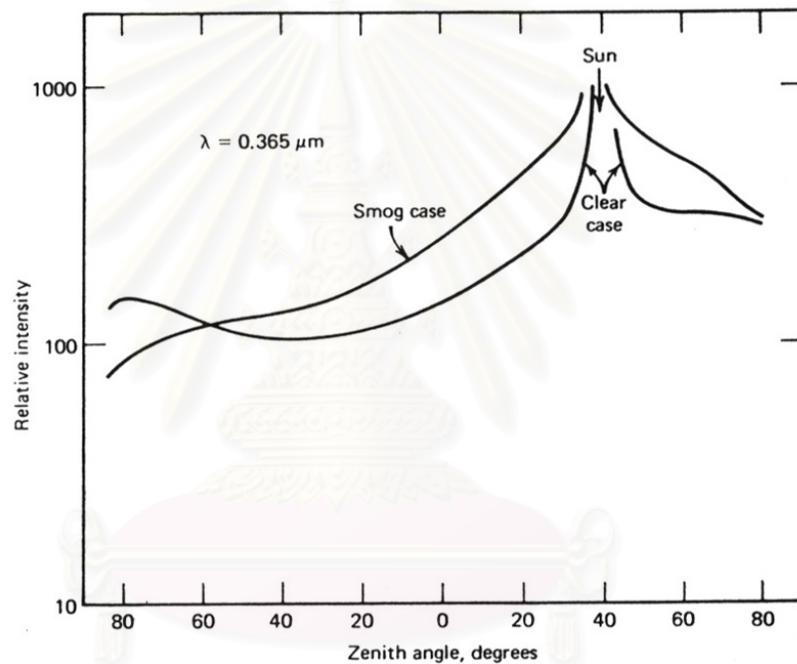
—●— 0 องศา —■— 30 องศา —▲— 45 องศา —●— 60 องศา



แผนภูมิ 2-2 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณ Solar radiation incidence on the surface ของแต่ละมุมเอียงของหลังคาที่นำมาคำนวณ

ที่กล่าวมาข้างต้นนั้นเป็นการคำนวณค่าปริมาณรังสีตรงที่มีอิทธิพลต่อหลังคาเท่านั้น ซึ่งที่จริงแล้วยังมีอิทธิพลจากรังสีกระจาย และรังสีสะท้อนจากสิ่งแวดล้อมรอบข้าง ในการคำนวณหาปริมาณรังสีบนพื้นผิวระนาบเอียงได้นั้น ต้องทราบค่าของปริมาณรังสีรวมทั้งหมดที่ตกในแนวระนาบ โดยอาศัยทิศทางจากรังสีตรง และรังสีกระจาย (Beam and diffuse radiation) ที่ส่งไปยังพื้นผิวในการคำนวณ

ทิศทางจากรังสีกระจายนั้นจะขึ้นกับ สภาพท้องฟ้า และเมฆ ซึ่งมีความแปรปรวนสูง (ไม่เฉพาะแต่ในประเทศไทยเท่านั้น) จากการศึกษาค้นคว้าของ Kondratyev (1969) และ Coulson (1975) พบว่ารังสีจากท้องฟ้า มีความสัมพันธ์กับมุม Zenith angle (มุมกระทำระหว่างเส้นตั้งฉากในแนวตั้ง และทิศทางของรังสีที่ตกกระทบ) ของพื้นผิวใดๆ ที่ได้รับจากดวงอาทิตย์ ตามลักษณะดังแผนภูมิด้านล่าง (โดยข้อมูลใช้สำหรับสภาพท้องฟ้าแบบ Clear sky และมีหมอกผสม)

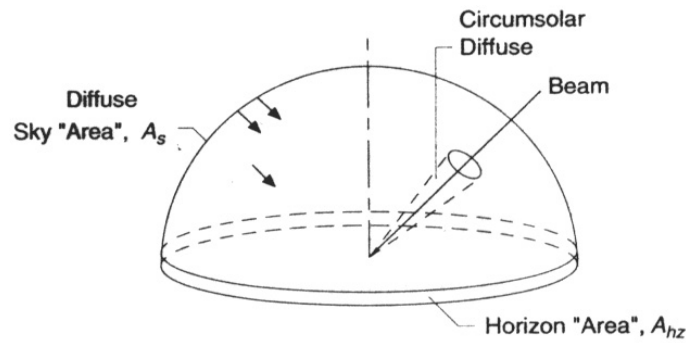


แผนภูมิ 2-3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ (ที่ความยาวคลื่น 0.365 μm) กับค่ามุม Zenith angle เก็บข้อมูลที่ Los Angeles, for clear sky and for smog.

ที่มา: Duffie, John A. and Beckman, William A. *Solar engineering of thermal processes*. 1991: p. 92.

ปรับปรุงจาก Coulson, K. L. *Solar and Terrestrial Radiation*. 1975.

จากแผนภูมิที่ 2-3 นำไปสู่การแบ่งชนิดของรังสีกระจายที่ประกอบไปด้วย 3 ลักษณะ อย่างแรก ได้แก่ Isotropic คือรังสีที่ได้รับอย่างสม่ำเสมอจากท้องฟ้า (Sky dome) อย่างที่สอง ได้แก่ Circumsolar diffuse คือผลรวมจากรังสีกระจายที่จับกลุ่มเข้าด้วยกันบนท้องฟ้ารอบๆ ดวงอาทิตย์ อย่างที่สาม ได้แก่ Horizon brightening คือรังสีซึ่งจับกลุ่มเข้าด้วยกันใกล้กับแนวระนาบเส้นขอบฟ้า



รูป 2-4 แสดงแผนผังโครงร่างของลักษณะรังสีกระจายบนท้องฟ้า ซึ่งแสดง Circumsolar และ Horizon brightening component ที่เพิ่มเติมจาก Isotropic component

ที่มา: Duffie, John A. and Beckman, William A. *Solar engineering of thermal processes*. 1991: p. 92.

ปรับปรุงจาก Perez R., R. Stewart, R. Seals, and T. Guertin, Sandia National Laboratories Contractor Report SAND88-7030 (Oct. 1988). *The Development and Verification of the Perez Diffuse Radiation Model*. 1988.

จากการศึกษาของ Duffie and Beckman (1991) ที่ได้ทำการทดลองในท้องฟ้าจำลอง (Sky model) ในการหาสมการคำนวณทางคณิตศาสตร์ เพื่อที่จะแทนค่ารังสีกระจาย เมื่อมีอิทธิพลจากรังสีตรง (Beam or direct radiation) และรังสีสะท้อน (Reflected radiation) เข้ามาด้วย จากการศึกษานี้ในท้องฟ้าจำลองสามารถสรุปได้ว่าแบบจำลองสภาพท้องฟ้าที่ใช้ประโยชน์ได้มากที่สุดมี 3 ลักษณะ ได้แก่ Isotropic model และ Anisotropic model ที่มี 2 แบบ

โดยความแตกต่างของทั้ง 3 แบบนั้นขึ้นอยู่กับลักษณะรังสีกระจาย 3 แบบที่ได้กล่าวมาข้างต้น ซึ่งในที่สุดจะสรุปได้ว่า Solar radiation incident on tiled surfaces จะเป็นผลรวมของ รังสีตรง, รังสีกระจายทั้ง 3 ลักษณะจากท้องฟ้า และรังสีสะท้อนจากพื้นผิวใดๆ ก็ตามที่มีมุมเปิดไปยังพื้นผิวระนาบที่ทำการพิจารณานั้น

$$I_T = I_{T, b} + I_{T, d, iso} + I_{T, d, hz} + I_{T, refl} \quad (5)$$

ที่มา: Duffie, John A. and Beckman, William A. *Solar engineering of thermal processes*. 1991: p. 93.

โดยที่ ตัวอักษรห้อย iso, cs, hz และ refl นั้นหมายถึงลำแสงแบบ isotropic, circumsolar, horizon และ reflected radiation

จากสมการที่ (6) เมื่อพิจารณาค่าพื้นที่ผิวระนาบเอียงใดๆ ร่วมด้วย ผลรวมของปริมาณรังสีที่ตกกระทบบนนั้นสามารถแสดงในความสัมพันธ์ของ รังสีตรง และรังสีกระจาย ในแนวระนาบ กับปริมาณรังสีรวมที่สะท้อนลงบนพื้นระนาบเอียงนั้น จะได้สมการใหม่ดังนี้

$$A_c I_T = I_b R_b A_c + I_{d, iso} A_s F_{s-c} + I_{d, cs} R_b A_c + I_{d, hz} A_{hz} F_{hz-c} + \sum_i I_i \rho_i A_i F_{i-c} \quad (6)$$

โดยกำหนดให้

I_T	=	ปริมาณรังสีที่ตกกระทบบนพื้นผิวระนาบเอียงที่ทำการพิจารณา
A_c	=	พื้นที่ของระนาบเอียงที่รังสีตกกระทบบน
$I_b R_b A_c$	=	รังสีตรง
$I_{d, iso} A_s F_{s-c}$	=	Isotropic diffuse รวมทั้ง Sky area (A_s) และ View factor จากท้องฟ้ามายังพื้นผิวที่ทำการพิจารณา (F_{s-c})
$I_{d, cs} R_b A_c$	=	Circumsolar diffuse ที่มีทิศทางเดียวกับรังสีตรง
$I_{d, hz} A_{hz} F_{hz-c}$	=	รังสีกระจายในระนาบเส้นขอบฟ้า รวมทั้งพื้นที่ของท้องฟ้าในแนวระนาบนั้น (A_{hz})
$\sum_i I_i \rho_i A_i F_{i-c}$	=	รังสีสะท้อนจากวัตถุรอบข้าง เช่น อาคาร สิ่งปลูกสร้าง, พื้นดิน ที่พื้นผิวที่ทำการพิจารณานั้นเปิดรับได้
I_i	=	ปริมาณรังสีที่ตกกระทบบนพื้นผิว i
ρ_i	=	ค่าการสะท้อนของพื้นผิว i
F_{i-c}	=	View factor จากพื้นผิว i ไปยังพื้นผิวที่ทำการพิจารณา โดยให้ถือว่าพื้นผิวที่สะท้อนนั้นเป็น Diffuse reflectors เท่านั้น

ที่มา: Duffie, John A. and Beckman, William A. Solar engineering of thermal processes. 1991: p. 93.

แต่ในความเป็นจริงนั้น เป็นไปไม่ได้ที่จะสามารถคำนวณพลังงานรังสีสะท้อนได้ทั้งหมดทุกรายละเอียด เพราะมีจำนวนมาก นอกจากอาคาร สิ่งปลูกสร้าง แล้วยังมีต้นไม้ ถนน และสิ่งแวดล้อมอื่นๆ อีก ในทางปฏิบัติจึงให้ถือว่าพื้นผิวเดียวที่นำมาคิด คือ พื้นผิวดินในแนวระนาบ ดังนั้นค่า

I_i จึงกลายเป็น I หมายถึง ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ต่อชั่วโมง
 ρ_i จึงกลายเป็น ρ_g หมายถึง ค่าการสะท้อนของพื้นผิวดิน (Ground reflectance)

และจากกฎ Reciprocity ของ View factor (ตัวอย่างเช่น $A_s F_{s-c} = A_c F_{c-s}$) พื้นผิวใดๆ ก็ตามในสมการ (7) จึงถือว่าไม่มีผล เนื่องจากมีค่าเท่ากัน ดังนั้นจึงได้สมการใหม่เป็นดังนี้

$$I_T = I_b R_b + I_{d, iso} F_{s-c} + I_{d, cs} R_b + I_{d, hz} F_{hz-c} + I_{p_g} F_{c-g} \quad (7)$$

โดยที่

$$R_b = \frac{\text{Total radiation on tilted surface}}{\text{Total radiation on horizontal surface}} = \frac{I_T}{I} = \frac{\cos\theta}{\cos\theta_z} \quad (8)$$

ที่มา: Duffie, John A. and Beckman, William A. *Solar engineering of thermal processes*. 1991: p. 94.

หลังคาเป็นส่วนประกอบอาคารที่มีพื้นผิวระนาบเอียงรับรังสีจากแหล่งต่างๆ อันก่อให้เกิดปริมาณความร้อนถ่ายเทเข้าสู่อาคารที่แตกต่างกัน ซึ่งมีปัจจัยสำคัญที่สามารถคำนวณ และวิเคราะห์ได้ ดังนั้นในหัวข้อต่อไปจะเป็นการกล่าวถึงงานวิจัยต่างๆ ที่เป็นสมการคำนวณทางคณิตศาสตร์ เพื่อหาปริมาณรังสีบนระนาบพื้นผิวเอียง อันเนื่องมาจากการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ในเวลากลางวัน โดยสรุปได้ดังนี้

■ ปริมาณรังสีบนพื้นผิวระนาบเอียง – Isotropic sky

Isotropic คือการรวมกันของ Diffuse และ Ground-reflected radiation โดยไม่คำนึงถึงทิศทาง (Orientation) ผลรวมของรังสีบนระนาบเอียงนั้น คือ ผลรวมของรังสีตรง (Beam radiation) ในสมการ (8) คือ $I_b R_b$ กับรังสีกระจายบนพื้นผิวระนาบนอน (Horizontal) คือ I_d จากงานวิจัยของ Liu และ Jordan (1963) ได้พัฒนาแบบจำลองที่เรียกว่า Isotropic diffuse โดยแสดงว่ารังสีบนระนาบเอียงใดๆ นั้น จะถูกพิจารณาจากองค์ประกอบ 3 ประการ ได้แก่

- รังสีตรง
- Isotropic diffuse
- และรังสีกระจายของดวงอาทิตย์ที่สะท้อนจากพื้นดิน

ดังนั้นในสมการ (8) เทอมที่ 3 และ 4 นั้นจึงมีค่าเท่ากับศูนย์ตามข้อตกลงเบื้องต้นของ Isotropic diffuse

พื้นผิวเอียงใดๆ เช่นมุมเอียงหลังคา β ที่กระทำกับระนาบพื้นนั้นจะมีค่า View factor จากผิวหน้าวัตถุไปสู่ท้องฟ้า F_{c-s} เท่ากับ $(1 + \cos\beta)/2$ และมี View factor จากผิวหน้าวัตถุไปสู่ดิน F_{c-g} เท่ากับ $(1 - \cos\beta)/2$ และถ้าพื้นผิวดินนั้นมีค่าการสะท้อนเท่ากับ ρ_g ผลรวมของรังสีดวงอาทิตย์ที่สะท้อนจากพื้นดินนั้นจะได้เท่ากับ $I_{p_g} (1 - \cos\beta)/2$ จากสมการ (8) จึงเปลี่ยนเป็นสมการใหม่ในการคำนวณหาผลรวมรังสีดวงอาทิตย์บนพื้นผิวระนาบเอียง (ต่อชั่วโมง) ในรูปผลรวมของ 3 เทอม ได้แก่

$$I_T = I_b R_b + I_d \left[\frac{1 + \cos\beta}{2} \right] + I_{p_g} \left[\frac{1 - \cos\beta}{2} \right] \quad (9)$$

และจากสมการ (9) แทนค่า I_T ให้เป็น R จะได้

$$R_b = \frac{I_b R_b}{I} + \frac{I_d}{I} \left[\frac{1 + \cos \beta}{2} \right] + \rho_g \left[\frac{1 - \cos \beta}{2} \right] \tag{10}$$

ที่มา: Duffie, John A. and Beckman, William A. *Solar engineering of thermal processes*. 1991: p. 95.

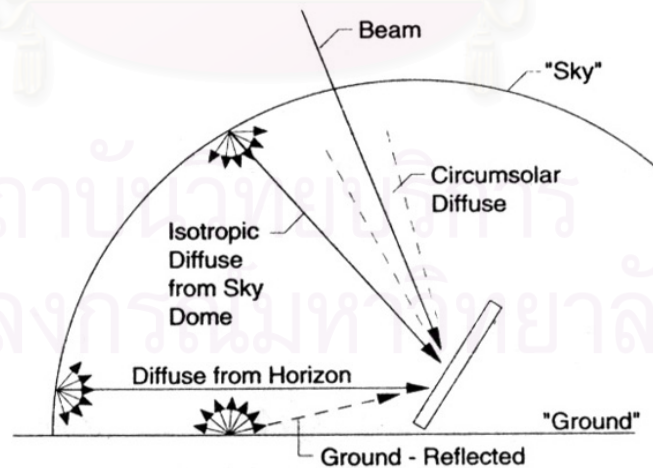
▪ ปริมาณรังสีบนพื้นผิวระนาบเอียง – Anisotropic sky

จากหัวข้อแรก Isotropic diffuse model นั้นเป็นสมการคำนวณที่เข้าใจง่าย แต่ก็มีข้อจำกัดคือ ค่าที่ประเมินได้นั้นอาจต่ำกว่าความเป็นจริง ดังนั้นจึงมีการค้นคว้าวิจัยเพื่อพัฒนาสมการคำนวณให้มีความแม่นยำเพิ่มมากขึ้น Hay และ Davies (1980) จึงทำการวิจัยพัฒนาแบบจำลองโดยเพิ่มส่วนของรังสีกระจายที่ตกกระทบบนพื้นผิวระนาบเอียงเข้าไปด้วย และได้สมการคำนวณปริมาณรวมของรังสีกระจายบนพื้นผิวระนาบเอียงเป็น

$$I_{d, T} = I_{T, d, iso} + I_{T, d, cs} \tag{11}$$

โดยที่

- $I_{d, T}$ = ผลรวมของปริมาณรังสีกระจายทั้งหมดบนระนาบพื้นผิว
- $I_{T, d, iso}$ = รังสีกระจายจากท้องฟ้าแบบ Isotropic
- $I_{T, d, cs}$ = รังสีกระจายแบบ Circumsolar ที่มีทิศทางเดียวกับรังสีตรง



รูป 2-5 แสดงรังสีตรง, รังสีกระจาย และรังสีที่สะท้อนจากพื้นดิน บนระนาบพื้นผิวเอียง

ที่มา: Duffie, John A. and Beckman, William A. *Solar engineering of thermal processes*. 1991: p. 96.

และ

$$I_{d,T} = I_d \left[(1 - A_i) \left[\frac{1 + \cos\beta}{2} \right] + A_i R_b \right] \quad (12)$$

โดยที่ A_i คือ Anisotropic index ที่เป็นฟังก์ชันค่าการส่งผ่านของรังสีตรงผ่านชั้นบรรยากาศ

$$A_i = \frac{I_{bn}}{I_{on}} = \frac{I_b}{I_o} \quad (13)$$

ผลรวมของปริมาณรังสีบนระนาบเอียงจึงเท่ากับ

$$I_T = (I_b + I_d A_i) R_b + I_d (1 - A_i) \left[\frac{+ \cos\beta}{2} \right] + I \rho_g \left[\frac{1 - \cos\beta}{2} \right] \quad (14)$$

ที่มา: Duffie, John A. and Beckman, William A. *Solar engineering of thermal processes*. 1991: p. 97.

งานวิจัยของ Hay และ Davies ยังถูกพัฒนาต่อไปโดย Reindl et al. (1990a) โดยเพิ่มสมการของ Klucher (1979) ที่กล่าวถึง factor F ที่เป็นความสัมพันธ์ของปริมาณรังสีที่ส่องผ่านในสภาวะที่มีเมฆ ซึ่งมีสมการ $[1 + F \sin^3(\beta/2)]$ หรือ $f = \sqrt{I_b / I}$ สุดท้ายได้สมการที่เรียกว่า HDKR model (the Hay, Davies, Klucher, Reindl model) เท่ากับ

$$I_T = (I_b + I_d A_i) R_b + I_d (1 - A_i) \left[\frac{+ \cos\beta}{2} \right] \left[1 + f \sin^3 \left[\frac{\beta}{2} \right] \right] + I \rho_g \left[\frac{- \cos\beta}{2} \right] \quad (15)$$

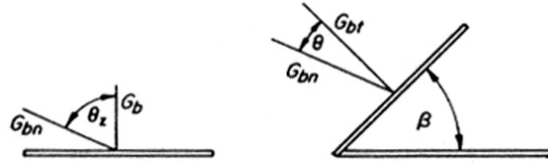
ที่มา: Duffie, John A. and Beckman, William A. *Solar engineering of thermal processes*. 1991: p. 98.

เมื่อเปรียบเทียบการคำนวณแบบ Isotropic และ Anisotropic ของ Hay and Davies และ HDKR model แล้วพบว่าสมการที่ (15), (16) มีค่ามากกว่าสมการ Isotropic ประมาณ 7% และ 9% ตามลำดับ

ส่วน Anisotropic model แบบที่ 2 เป็นงานวิจัยของ Perez et al. (1988) จะให้ค่าปริมาณรังสีรวมที่ตกกระทบบนระนาบพื้นผิวเอียงนั้นสูงกว่า HDKR model 8% และสูงกว่าสมการ Isotropic 18%

จากสมการคำนวณหาปริมาณรังสีทั้งหมดบนพื้นผิวระนาบเอียงซึ่งในที่นี้ก็คือ ระนาบของหลังคาที่มีมุมเอียงต่างๆ กันนั้น มีปัจจัยสำคัญประกอบไปด้วย รังสีตรง และรังสีกระจาย ซึ่งมีความสัมพันธ์กับมุมเอียงหลังคา โดยสามารถแยกเป็น 2 ส่วนคือ

- 1) รังสีตรง กับ มุมเอียงหลังคา สัมพันธ์กันในเชิงอัตราส่วนระหว่าง รังสีที่ตกกระทบในแนวระนาบ นอนกับรังสีที่ตกกระทบในแนวระนาบเอียง คือ R_b ซึ่งเท่ากับ $\frac{\cos\theta}{\cos\theta_z}$



รูป 2-6 แสดงรังสีตรงบนระนาบนอน และระนาบเอียง

ที่มา: Duffie, John A. and Beckman, William A. Solar engineering of thermal processes. 1991: p. 25.

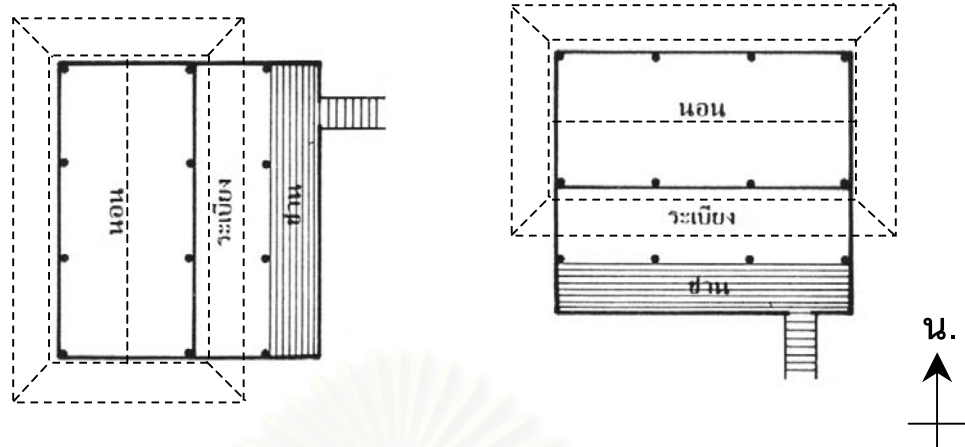
- 2) รังสีกระจาย กับ มุมเอียงหลังคา ขึ้นกับค่า F_{c-s} หรือ View factor จากหลังคาไปยังท้องฟ้า ซึ่งเท่ากับ $(1 + \cos\beta)/2$ โดยที่

$$0 \leq \beta < 90 \text{ ดังนั้น } 0.5 < F_{c-s} \leq 1$$

ในประเทศไทยการลดปริมาณความร้อนที่ผ่านเข้าสู่อาคารทางหลังคานั้นเป็นเรื่องสำคัญมาก เนื่องจากหลังคาเป็นส่วนประกอบอาคารที่ได้รับความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ตลอดทั้งวัน ในอดีตนั้นยังไม่มีเทคโนโลยีทางด้านวัสดุก่อสร้าง และฉนวน เหมือนในปัจจุบัน มุมเอียงหลังคาจึงมีอิทธิพลมากต่อปริมาณความร้อนที่ผ่านเข้าสู่อาคาร ช่างไทยจึงได้พยายามแก้ปัญหาในการออกแบบหลังคาทรงไทยให้สูงขึ้น จากการวิเคราะห์นั้นสรุปได้ว่าลักษณะดังกล่าวเป็นการลดรังสีตรงอันเนื่องมาจากค่า R_b ที่ลดลงเมื่อมุมเอียงหลังคา (β) มีค่ามากขึ้น และค่า View factor จากหลังคาที่เปิดสู่ท้องฟ้า F_{c-s} จะมีค่าลดลง เมื่อมุมเอียงหลังคา (β) มีค่ามากขึ้นเช่นกัน ซึ่งจากการวิจัยของ จุไรพร ตุมพสุวรรณ (2540) ที่ศึกษาเรื่อง “พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านวัสดุผนังหลังคาบ้านพักอาศัยในเขตร้อนชื้น” โดยทำการสร้างกล่องทดลองแทนบ้านหลังคาแบนราบ และหลังคาทรงปั้นหยา ที่มีมุมเอียง 0, 30, 45 และ 60 องศา พบว่าในเดือนมีนาคมในประเทศไทย ในช่วงที่อุณหภูมิอากาศสูงสุดของวัน อุณหภูมิที่จุดต่างๆ ในกล่องทดลอง (ได้แก่ อุณหภูมิใต้หลังคา, ใต้ฝ้าเพดาน และภายในกล่องทดลอง) ที่มีมุมเอียงหลังคา 60 องศา มีค่าต่ำที่สุด โดยอุณหภูมิภายในกล่องทดลองสูงกว่าอุณหภูมิอากาศประมาณ 3.3°C และต่ำกว่ากล่องทดลองที่มีมุมเอียง 0 องศา เท่ากับ 2.0°C โดยประมาณ

- 3) อิทธิพลของทิศทางที่มีต่อหลังคาทรงไทย

ตามคติความเชื่อการปลูกเรือนไทยในสมัยโบราณมีคำกล่าวที่ว่า อย่าปลูกเรือนขวางตะวัน กล่าวคือ การวางตัวเรือนนั้นจะให้ด้านยาวของเรือนขนานทิศตะวันออก-ตะวันตก และหันส่วนแคบหรือส่วนด้านสกัดด้านจั่วไปทางด้านทิศตะวันออก-ตะวันตก (สมภพ ภิรมย์, 2538) โดยสมัยนั้นเชื่อว่าเป็นเหตุผลตามคติโชคลาง ไสยศาสตร์ ที่ถือกันว่าตะวันตกเป็นทิศไม่ดี เป็นทิศของคนตายการปลูกเรือนขวางตะวันจะทำให้หัวนอนหันไปทางทิศตะวันตก ไม่เป็นศิริมงคล



รูป 2-7 (ก) แสดงการปลูกเรือนขวางตะวัน (ข) แสดงการปลูกเรือนตามตะวัน
ที่มา: ปรับปรุงจาก ฤทัย ใจจงรัก. เรือนไทยเดิม. 2539: น. 155.

เมื่อพิจารณาทางด้านวิทยาศาสตร์แล้วพบว่า เป็นภูมิปัญญาของช่างไทยในอดีตที่เข้าใจสภาพภูมิอากาศของไทยอย่างลึกซึ้ง เนื่องจากเหตุผลที่ว่าในประเทศไทยนั้นดวงอาทิตย์โคจรอ้อมได้เป็นส่วนใหญ่ (มีประมาณ 4 เดือนที่ดวงอาทิตย์อ้อมเหนือคือ เดือน พ.ค.-ส.ค.) ผนังเรือนไทยนั้นถ้าอยู่ในทิศเหนือจะได้รับผลกระทบจากรังสีเพียง 2 ประเภท คือ รังสีกระจายจากดวงอาทิตย์ และรังสีกระจายที่สะท้อนจากสภาพแวดล้อม โดยที่ผนังด้านนั้นจะไม่ได้รับรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ การที่เรือนไทยในอดีตปลูกเรือนให้ด้านยาวของตัวเรือนหันไปทางด้านทิศเหนือได้ นั้นเป็นการช่วยลดความร้อนจากรังสีตรงของดวงอาทิตย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้ผนังด้านที่มีพื้นที่มากไม่ได้รับปริมาณความร้อนที่เกิดจากรังสีตรงของดวงอาทิตย์ ความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาภายในเรือนจึงลดลง นอกจากนี้ยังช่วยลดปัญหาทางด้านแสงจ้ารบกวนสายตาอีกด้วย (ประตูไม่เปิดทางทิศตะวันออก-ตะวันตกที่มีแสงแดดจ้า)

คติความเชื่อในการปลูกเรือนตามตะวันนี้สามารถพิสูจน์ได้ในแง่วิทยาศาสตร์จากสมการประมาณค่ารังสีรวมของดวงอาทิตย์ที่มีความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

$$G_T = G_{bn} \cos\theta + G_d + G_r \quad (16)$$

โดยที่ G_T = อัตราพลังงานจากการแผ่รังสีดวงอาทิตย์รวมต่อหน่วยพื้นที่
 G_{bn} = อัตราพลังงานจากการแผ่รังสีตรงจากดวงอาทิตย์ต่อหน่วยพื้นที่
 G_d = อัตราพลังงานจากการแผ่รังสีกระจายจากดวงอาทิตย์ต่อหน่วยพื้นที่
 G_r = อัตราพลังงานจากการแผ่รังสีกระจายที่สะท้อนจากพื้นดินต่อหน่วยพื้นที่

ที่มา: ปรับปรุงจาก America society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers. ASHRAE 2001 Handbook of Fundamental. I-P Edition. 2001: p. 25.14.

จากสมการจะเห็นว่ากรณีที่ผนังจะไม่ได้รับอิทธิพลจากรังสีตรงนั้น G_{bn} จะต้องมามีค่า ≤ 0 ก็ต่อเมื่อ $\cos\theta \leq 0$ หรือ $\theta \geq 90$

$$\text{จากสมการ } \cos\theta = [\cos\alpha \times \cos(\gamma_s - \gamma) \times \sin\beta] + [\sin\alpha \times \cos\beta]$$

$\cos\theta \leq 0$ ถ้ามีเงื่อนไขดังต่อไปนี้

เงื่อนไขที่ 1 $[\sin\alpha \times \cos\beta]$ เท่ากับ 0 ในกรณีที่เปลือกอาคารเป็นผนัง เนื่องจาก $\beta=90^\circ$ ดังนั้น $\cos\beta=0$

เงื่อนไขที่ 2 $\cos(\gamma_s - \gamma) \leq 0$ ก็ต่อเมื่อ

$$\gamma_s - \gamma \geq 90 \rightarrow \gamma_s \geq 90 + \gamma$$

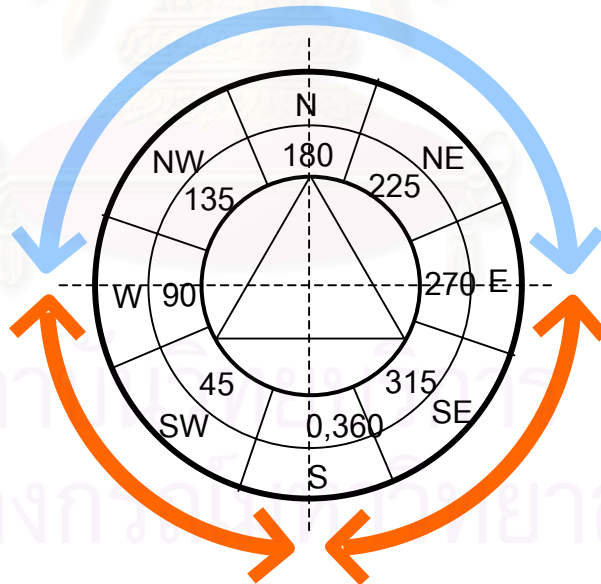
โดยที่ $-180 \leq \gamma_s \leq 0$ แทนค่า γ_s จากสมการข้างบน จะได้เป็น

$$-180 \leq 90 + \gamma \leq 0$$

$$\therefore -270 \leq \gamma \leq -90$$

หรือ

$$90 < \gamma < 270$$



▬ Diffuse radiation + Ground reflected radiation

▬ Diffuse radiation + Ground reflected radiation + Beam radiation

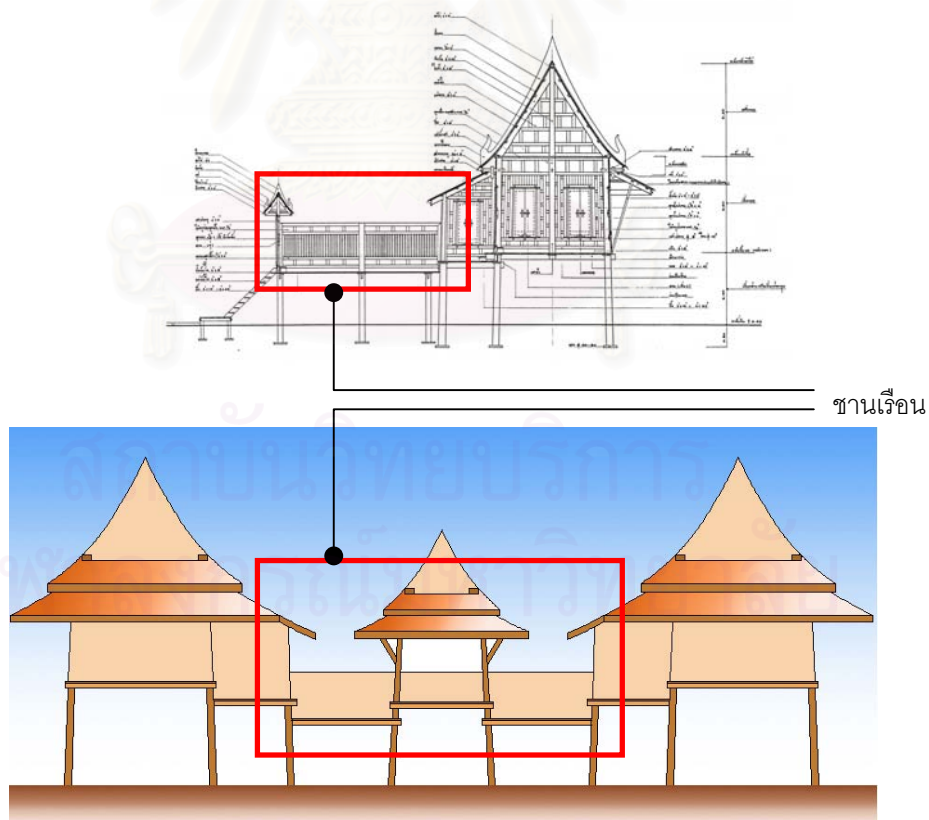
รูป 2-8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่ามุม Surface azimuth กับชนิดของรังสีที่ระนาบพื้นผิวผนังได้รับ
รูปประกอบโดย รชฎ สุมานนท์

จากรูปในกรณีที่มีมุม Surface azimuth มีค่ามากกว่า 90° ถึงน้อยกว่า 270° พื้นที่ผิวที่ได้รับรังสีเพียง 2 ประเภทคือ รังสีกระจายจากดวงอาทิตย์ (Diffuse radiation) และรังสีกระจายที่สะท้อนจากพื้นดิน (Ground reflected radiation) โดยพื้นที่ผิวด้านนั้นจะไม่ได้รับรังสีโดยตรงจากดวงอาทิตย์ แต่ในกรณีที่มีมุม Surface azimuth มีค่าตั้งแต่ 0° ถึง 90° และ 270° ถึง 360° พบว่าพื้นที่ผิวด้านนั้นจะได้รับรังสีจากดวงอาทิตย์ทั้ง 3 ประเภท อย่างไรก็ตามเงื่อนไขที่ 1 มุม β จะต้องเป็น 90° หมายความว่าต้องเป็นผนังเท่านั้น ในกรณีที่พื้นผิวนั้นเป็นระนาบหลังคา (ซึ่งมีมุมเอียง $0 \leq \beta < 90^\circ$) ก็จะได้รับอิทธิพลจากรังสีตรงในทิศดังกล่าวเช่นกัน (ค่าจะไม่เป็นศูนย์ตามเงื่อนไขที่ 1) แต่อิทธิพลจากรังสีตรงนั้นจะลดลงเมื่อมุมเอียงหลังคา (β) มีค่ามากขึ้น เนื่องจากค่า $\cos\beta$ จะน้อยลงเมื่อมุม β มีค่ามากขึ้นนั่นเอง

2.1.2 มุมเอียงหลังคา และอิทธิพลที่ได้รับในเวลากลางวัน

1) การแลกเปลี่ยนความร้อนกับบรรยากาศด้วยการคายรังสีคลื่นยาว (Long-wave radiation)

เรือนไทยในอดีตไม่ว่าจะเป็นเรือนเดี่ยว หรือเรือนหมู่นิยมสร้างให้มีชาน (Courtyard) หรือนอกชาน (ส่วนที่ยื่นจากระเบียงออกมา ครอบ 2-9 ประกอบ) เพื่อใช้เป็นที่นั่งเล่น พักผ่อน รับแขกหรือจัดงานต่างๆ หรือแม้แต่เป็นที่ประกอบอาหาร และมีกิจกรรมหลากหลายตั้งแต่ช่วงเช้า ถึงค่ำ นอกจากนี้แล้วเป็นไปได้ว่าชานเรือนนี้ยังมีประโยชน์ในการทำให้ภายในเรือนไทยนั้นเย็น ในช่วงเวลาตั้งแต่ค่ำ จนถึงรุ่งเช้าก่อนพระอาทิตย์ขึ้น จากปรากฏการณ์ที่เรียกว่า อ่างเย็น



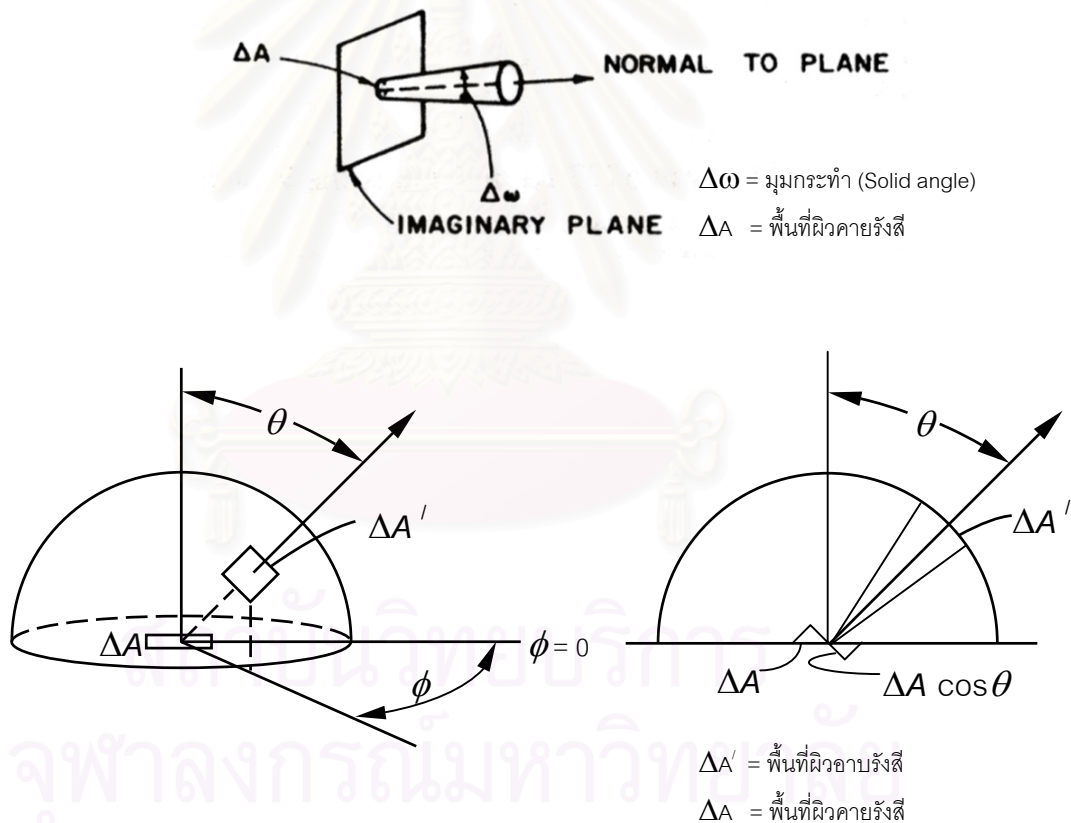
รูป 2-9 (ก) เรือนเดี่ยวที่มีชาน

(ข) เรือนหมู่ที่มีชาน

ที่มา: ปรับปรุงจาก ฤทัย ใจจงรัก. เรือนไทยเดิม. 2539: น. 192, 257.

ปรากฏการณ์ดังกล่าวเกิดจาก กระบวนการแลกเปลี่ยนอุณหภูมิกับท้องฟ้าในเวลากลางวัน หรือที่เรียกว่า Radiative cooling เป็นการคายความร้อนออกจากผิววัสดุบนพื้นโลกด้วยวิธีการทางธรรมชาติ (method of rejects heat) กระบวนการนี้เกิดขึ้นโดยการคายรังสีคลื่นยาวกลับคืนสู่ท้องฟ้าในเวลา กลางคืน ทำให้วัสดุบนโลก โดยเฉพาะส่วนที่มีมุมเปิดสู่ท้องฟ้ากว้างอย่างระนาบพื้นผิวหลังคา มีอุณหภูมิ ลดลง จนต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศ

รังสีคลื่นยาวที่ออกจากผิววัตถุมีลักษณะกระจายออกไป พลังงานจากการคายรังสีวัด ด้วยปริมาณพลังงานที่คายออกจากระนาบพื้นผิว (Imaginary plane) ต่อหน่วยพื้นที่ ต่อหน่วยเวลา ต่อ หน่วยมุมกระทำ¹ (Solid angle) ของทิศทางตั้งฉากกับศูนย์กลางระนาบ ซึ่งเรียกว่า ความเข้มของการ คายรังสี (Radiation intensity) ดังรูปที่ 1-9 (ก) และปริมาณพลังงานที่คายออกจากระนาบพื้นผิว (Imaginary plane) ต่อหน่วยพื้นที่ ต่อหน่วยเวลา ต่อหน่วยมุมกระทำ จากทุกทิศทางบนด้านใดด้านหนึ่ง ของระนาบ เรียกว่า อัตราของการคายรังสี (Radiation flux) ทั้งสองคิดเป็นหน่วย วัตต์ต่อตารางเมตร (Watt/m^2) หรือ บีทียูต่อตารางฟุต (Btu/ft^2) ดังรูปที่ 1-9 (ข)



รูป 2-10 (ก) แสดงความเข้มของการคายรังสี (Schematic of radiation intensity)

(ข) แสดงอัตราของการคายรังสี (Schematic of radiation flux)

ที่มา: Duffie, John A. and Beckman, William A. *Solar engineering of thermal processes*. 1991: pp. 154-155.

¹ มุมกระทำ (Solid angle) คือมุมที่แผ่คลุมจากจุดอ้างอิงบนพื้นผิวแผ่รังสีไปยังพื้นผิวอบรังสี มีหน่วยเป็น sr หรือสเตอเรเดียน (มนตรี อึ้งเจริญ, 2540)

การคายความร้อนจากวัตถุส่วนใหญ่จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของวัตถุนั้น ปริมาณพลังงานการคายรังสีจากวัตถุจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับอุณหภูมิสัมบูรณ์เป็นองศาเคลวินยกกำลังสี่ สำหรับวัตถุที่คายรังสีได้อย่างสัมบูรณ์ หรือที่เรียกว่าวัตถุดำ (Blackbody) ตามกฎของ Stefan Boltzman แต่ในความเป็นจริงแล้วไม่มีวัตถุนิดนี้ ดังนั้นพลังงานการคายรังสีจากวัตถุโดยทั่วไป (วัตถุจริง) จะมีค่าน้อยกว่าวัตถุดำเสมอที่อุณหภูมิเดียวกันดังสมการ

$$E_b = \sigma T^4$$

(Radiant energy of blackbody)

$$E_b = \epsilon \sigma T^4$$

(Radiant energy of blackbody)

ที่มา: Duffie, John A. and Beckman, William A. Solar engineering of thermal processes. 1991: p151.

การคายความร้อนเกิดจากในลักษณะการกระจายตัวสม่ำเสมอออกไปทั่วทุกทิศทางรอบพื้นผิว จึงเกิดความสัมพันธ์ในทางคณิตศาสตร์ระบุว่า พื้นผิวจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงพลังงาน ดังนั้นพลังงานการคายรังสีระหว่างพื้นผิวทั่วไป เท่ากับ

$$Q_i = \sum_{j=1}^N \epsilon_i \epsilon_j A_i F_{ij} \sigma (T_j^4 - T_i^4) \quad (17)$$

ที่มา: Duffie, John A. and Beckman, William A. Solar engineering of thermal processes. 1991: p. 156.

ในกรณีที่เป็นการคายรังสีจากผิวหลังคาสู่ท้องฟ้า จะได้อัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวหลังคาและพื้นที่ท้องฟ้าใกล้เคียงศูนย์ ($A_1/A_2 \cong 0$) และท้องฟ้าเปรียบเสมือนวัตถุดำมีค่าการแผ่รังสีเท่ากับ 1 จากสมการ (18) เปลี่ยนเป็น

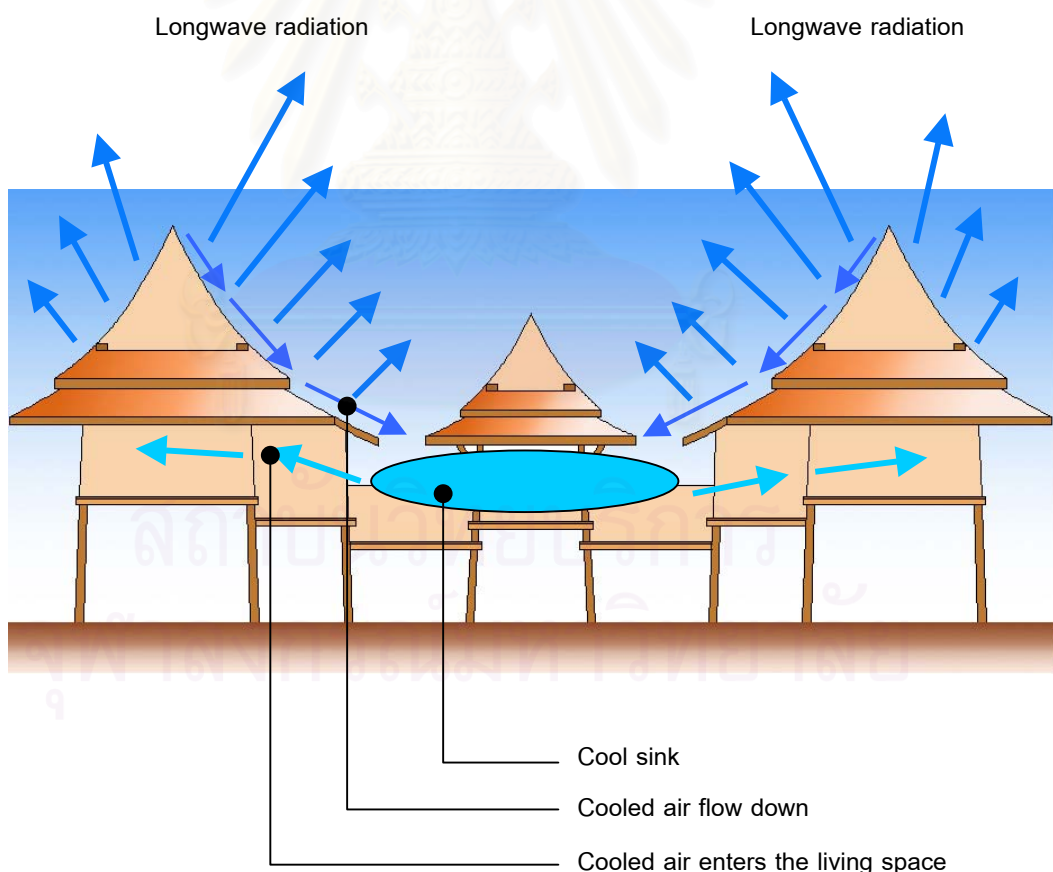
$$Q = \epsilon_r A F_{r-s} \sigma (T^4 - T_s^4) \quad (18)$$

โดยที่

Q	=	พลังงานการแผ่รังสีสู่ท้องฟ้าของวัตถุ
ϵ_r	=	ค่าการแผ่รังสีของพื้นผิวหลังคา
A	=	พื้นที่ผิวหลังคา
F_{r-s}	=	มุมเปิดสู่ท้องฟ้า (View or angle factor)
σ	=	ค่าคงที่ของ Stephan-Boltzmann เท่ากับ $5.6697 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$ หรือ $0.1714 \times 10^{-8} \text{ Btu/ft}^2\text{hr R}^4$
$T - T_s$	=	ค่าความแตกต่างระหว่าง อุณหภูมิผิวหลังคา กับอุณหภูมิท้องฟ้า

เมื่อผิวหลังคาเย็นลงจากการคายรังสีกลับคืนสู่ท้องฟ้า อากาศเหนือพื้นผิวหลังคาจะเย็นลงกว่าอุณหภูมิอากาศสภาพแวดล้อมโดยรอบ อากาศเย็นที่มีคุณสมบัติเหมือนของไหล จึงไหลลงแทนที่อากาศที่ร้อนกว่า และกักเก็บอยู่ในชาน (Courtyard) เปรียบเสมือนเป็นอ่างขนาดใหญ่ที่กักเก็บอากาศเย็น เมื่ออากาศเย็นนั้นมีปริมาณมากพอ ก็จะค่อยๆ ไหลเข้าสู่ตัวเรือน (Bansal et al, 1994: 153) นอกจากนั้นการศึกษาของ Moore (1993) กล่าวสรุปไว้ว่าปรากฏการณ์ดังกล่าวนั้นตอนกลางวัน ยังเกิดขึ้นกับการระบายน้ำฝนจากหลังคาที่เอียงลงสู่ชานบ้าน และเมื่อมีการปลูกต้นไม้อยู่ในบริเวณชานที่ได้รับความชุ่มชื้นจากน้ำฝน จะทำให้เกิดการทำความเย็นโดยการระเหยด้วยการคายน้ำของต้นไม้อีกด้วย

จากงานวิจัยเรื่อง “การศึกษาความเป็นไปได้ของการทำความเย็นโดยใช้หลักการแผ่รังสีในเวลากลางคืนในประเทศไทย” ของจอมภพ แวศักดิ์ (2541) โดยทำการทดลองหลังคาการแผ่รังสีแบบต่างๆ กัน 4 แบบ พบว่าในกรณีที่มีสภาพท้องฟ้ากระจ่าง และท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมอุณหภูมิของหลังคามีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิของอากาศสภาพแวดล้อมประมาณ 1-6 °C จากการทดลองมีความเป็นไปได้ในการทำความเย็นโดยใช้หลักการแผ่รังสีในเวลากลางคืน โดยเฉพาะในฤดูหนาว ถึงแม้ว่าในสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้น อุณหภูมิที่ได้จากหลังคาจะไม่ต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศมากนัก แต่เป็นวิธีปรุงแต่งสภาพแวดล้อมและปรับตัวเข้ากับธรรมชาติ ที่เป็นเอกลักษณ์อย่างหนึ่งของวิถีชีวิตแบบไทย



รูป 2-11 แสดงการคายรังสีคลื่นยาวกลับสู่ท้องฟ้าในเวลากลางคืน ทำให้อากาศเหนือผิวหลังคาเย็น และไหลลงมายังชานบ้าน และค่อยกระจายเข้าสู่ภายในเรือน ที่มา: ปรับปรุงจาก ฤทัย ใจจงรัก. *เรือนไทยเดิม*, 2539: น. 257.

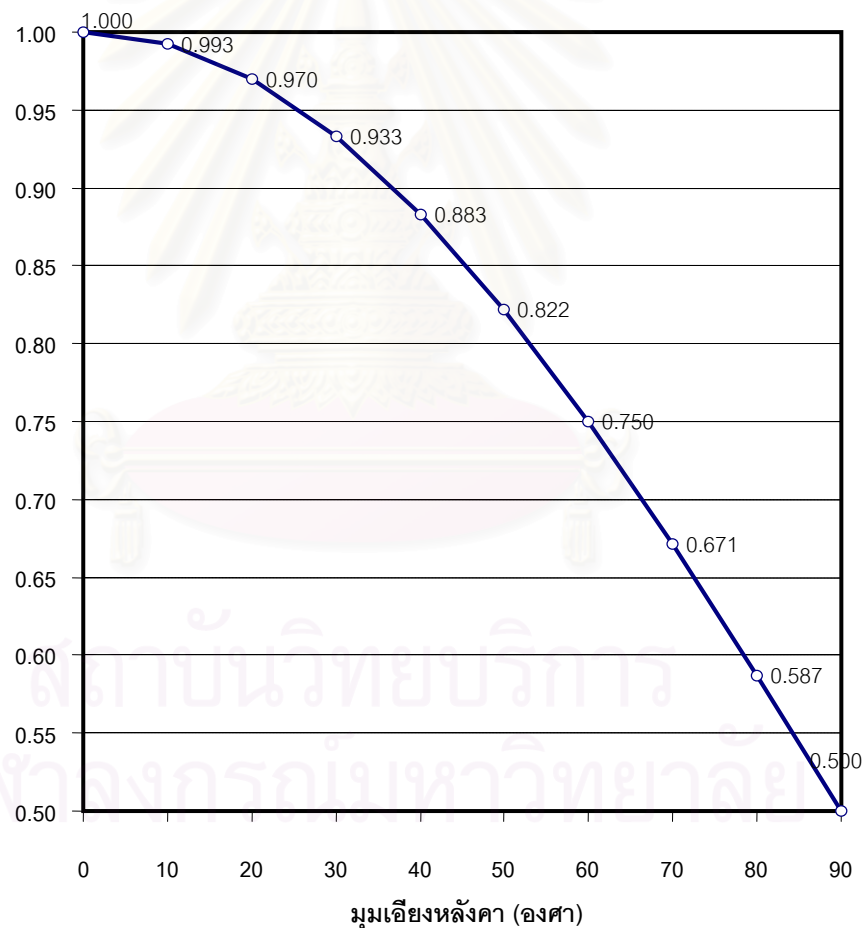
2) มุมเปิดสู่ท้องฟ้ากับการคายรังสี

การแผ่รังสีจากพื้นผิวมีลักษณะครึ่งทรงกลม (Hemisphere) และขึ้นอยู่กับมุมที่เปิดสู่ท้องฟ้า เมื่อเอียงหลังคา ($\beta > 0^\circ$) จะมีมุมบางส่วนเปิดสู่ท้องฟ้า และบางส่วนทำมุมกับพื้นผิวโดยรอบ ทำให้ความเข้มของการคายรังสีลดลง การที่มุมเอียงหลังคาชันขึ้นจะทำให้ความเข้มของการคายรังสีลดลง เนื่องจาก View factor (F) หรือที่เรียกอีกอย่างว่า Concept of configuration factor โดยที่

$$F = \frac{(1 + \cos\beta)}{2}$$

จากสมการเมื่อหลังคามีมุมเอียงเพิ่มมากขึ้น ค่ามุมที่เปิดสู่ท้องฟ้าจะลดลง เป็นผลให้ผิวหลังคาไม่สามารถแผ่รังสีความร้อนกลับสู่ท้องฟ้าได้เต็มที่ ทำให้มีอุณหภูมิผิวโดยเฉลี่ยในช่วงเวลากลางคืนสูงขึ้น (ณัฐยา ทองมี, 2543: 154)

ค่ามุมที่เปิดสู่ท้องฟ้า (View factor, F)



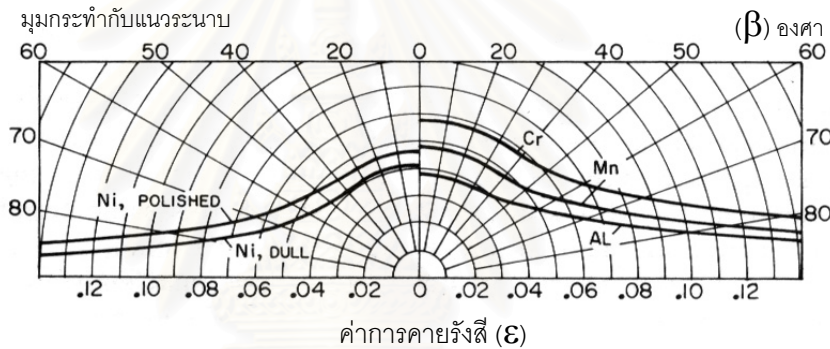
แผนภูมิ 2-4 แสดงลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างมุมเอียงของหลังคา กับมุมเปิดสู่ท้องฟ้า

ที่มา: จากการคำนวณ

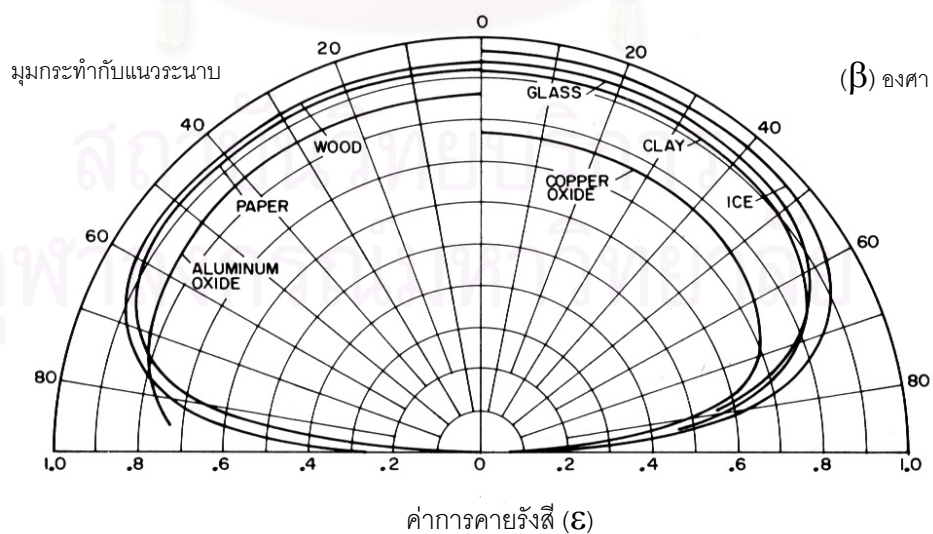
จากแผนภูมิมุมเอียงของหลังคาทรงไทยจะมีค่ามุมเปิดสู่ท้องฟ้า 0.822-0.750 โดยประมาณ ($50^\circ \leq \beta \leq 60^\circ$) ซึ่งอยู่ในระดับปานกลาง

เมื่อแบ่งประเภทตามการคายรังสีของพื้นผิววัสดุบนพื้นโลก จะแบ่งออกเป็น 2 ประเภทได้แก่ การคายรังสีของผิวโลหะ (Metal) และการคายรังสีของผิวอะโลหะ (Non-metal) ซึ่งในลักษณะการคายรังสีของผิวทั้ง 2 ประเภท มีความแตกต่างกันตามปริมาณการคายรังสี โดยที่

- การคายรังสีของผิวโลหะจะมีค่าคงที่ เมื่อมีมุมกระทำกับแนวระนาบ (β) น้อยกว่า 40 องศา และค่าการคายรังสีจะสูงขึ้นเมื่อมีมุมกระทำกับแนวระนาบเพิ่มขึ้น (ประมาณ 40 องศาขึ้นไป) พฤติกรรมแบบนี้จะเกิดขึ้นกับความยาวคลื่นมาก (มนตรี อึ้งเจริญ, 2540: 94 อ้างถึงใน ญฐิยา ทองมี, 2543: 32) ดังรูป 2-12(ก)
- การคายรังสีของผิวอะโลหะจะมีค่ามากกว่าผิวโลหะ และมีค่าสูงสุดเมื่อมีมุมกระทำกับแนวระนาบ (β) เท่ากับ 0 องศา ค่าการคายรังสีจะค่อนข้างคงที่ตลอดเมื่อมีมุมกระทำกับแนวระนาบระหว่าง $0^\circ \leq \beta \leq 45^\circ$ และลดลงเมื่อมีมุมกระทำกับแนวระนาบเพิ่มขึ้น โดยเริ่มลดลงเล็กน้อยตั้งแต่ $\beta \geq 45^\circ$ จนกระทั่งลดลงในอัตราที่รวดเร็วเมื่อ $\beta \geq 60^\circ$ และเมื่อระนาบผิวอะโลหะตั้งฉากกับแนวระนาบค่าการคายรังสีจะเป็น 0 ดังรูป 2-12 (ข)



รูป 2-12 (ก) แสดงลักษณะการคายรังสีของพื้นผิวโลหะ (Electric) ที่เปลี่ยนแปลง กับมุมกระทำ (β)



รูป 2-12 (ข) แสดงลักษณะการคายรังสีของพื้นผิวอะโลหะ (Dielectric) ที่เปลี่ยนแปลง กับมุมกระทำ (β)

ที่มา: Sparrow, E.M. and Cess, R.D. *Radiation heat transfer*. 1978: pp. 55-56.

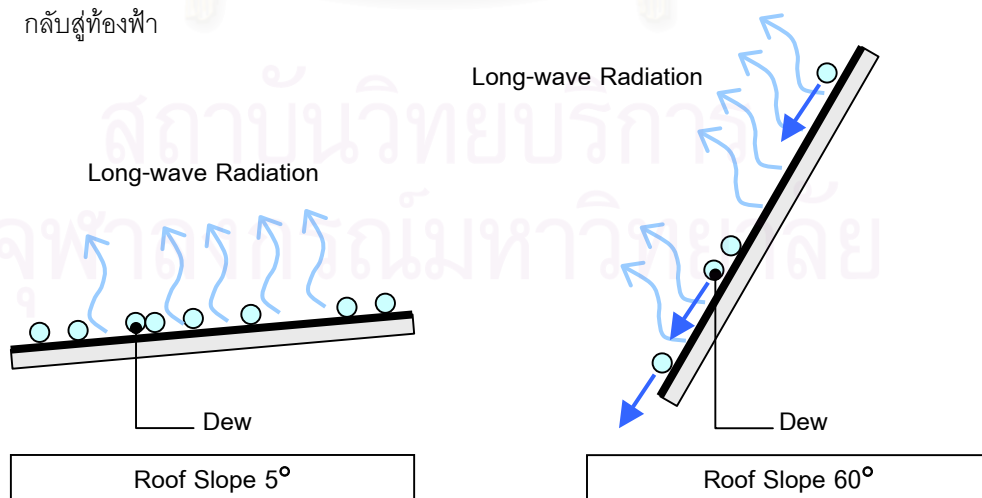
จากการวิเคราะห์เรือนไทยมีมุมเอียงประมาณ 50-60 องศา จะทำให้มีค่ามุมเปิดสู่ท้องฟ้า (View factor) ประมาณ 0.822-0.750 และมีค่าการคายรังสีของพื้นผิวประมาณ 0.86-0.9 ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้เป็น 2 ประเด็น

- มุมเปิดสู่ท้องฟ้ามีค่าอยู่ในช่วงกลางๆ ค่อนข้างไปทางด้านสูงเล็กน้อย ($0.5 \leq F \leq 1.0$)
- ค่าการคายรังสีอยู่ในช่วงเฉลี่ยของพื้นผิวโลหะโดยทั่วไปคือประมาณ 0.80-0.95 ถ้ามุมเอียงหลังคาสูงกว่านั้นค่าการคายรังสีจะลดลงอย่างรวดเร็ว

สรุปว่ามุมเอียงของหลังคาทรงไทยนั้นมีค่าพอดีกับการคายรังสีแลกเปลี่ยนกับท้องฟ้า เพื่อที่จะลดอุณหภูมิผิวหลังคาในเวลากลางคืนได้ไม่มาก และไม่น้อยเกินไป หรืออาจกล่าวได้ว่าถ้ามุมเอียงมากกว่านี้ตอนกลางคืนในบ้านจะยังร้อนอยู่ และถ้ามุมเอียงน้อยไปก็ทำให้ในผู้อยู่อาศัยในบ้านรู้สึกหนาว เนื่องจากอุณหภูมิอากาศที่ต่ำ และการแผ่รังสีจากผิวกึ่งพื้นผิวหลังคาที่เย็นกว่า จากการทดลองอุณหภูมิที่ผิวกระเบื้องดินเผาสามารถลดต่ำลงถึง 23.8 องศา ต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศขณะนั้น 1.5 องศา

นอกจากนั้นการที่อุณหภูมิของผิวหลังคาลดลงไปมากจนกระทั่งต่ำกว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dew point temperature) จะทำให้เกิดการกลั่นตัวของไอน้ำในอากาศเกิดเป็นน้ำค้างที่ผิววัสดุผนังหลังคา จากการศึกษาค้นคว้า (ณัฐยา ทงมี, 2543) พบว่าหลังคาที่ทำจากวัสดุประเภทหญ้าคา ในเดือนตุลาคม มีปริมาณน้ำค้างที่เกิดขึ้นประมาณ 4.44 cc/m^2 ปริมาณน้ำค้างที่เกาะอยู่บนผิวหลังคานี้จะเป็นตัวสกัดกั้นการคายรังสีความร้อนกลับสู่ท้องฟ้า และเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างผิวหลังคา กับหยดน้ำแทน ส่งผลให้อุณหภูมิผิวหลังคาสูงขึ้นกว่าในกรณีที่ไม่แลกเปลี่ยนความร้อนกับท้องฟ้าโดยตรง

เช่นเดียวกับการศึกษาของจอมภพ เวศศักดิ์ (2541) พบว่าในวันที่ 18 มกราคม 2541 อุณหภูมิอากาศ และอุณหภูมิที่ผิววัสดุผนังหลังคา มีความแตกต่างกันประมาณ $2-4^{\circ}\text{C}$ (ในสภาวะที่ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมประมาณ 5%) แต่หลังจากที่เกิดการกลั่นตัวของไอน้ำทำให้เกิดน้ำค้างที่ผิววัสดุ (จากการทดลองในวันที่ 22 มกราคม 2541) พบว่า ค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศ และอุณหภูมิที่ผิววัสดุต่างๆ นั้น มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นกล่าวได้ว่า การเกิดน้ำค้างที่ผิวหลังคา และหลังคานั้นมีมุมเอียงสูงชันไม่พอที่จะระบายหยดน้ำนั้นได้ จะเป็นอุปสรรคต่อการทำความเย็นโดยการคายรังสีกลับสู่ท้องฟ้า



รูป 2-13 (ก) แสดงมุมเอียงลาดชันน้อยเมื่อเกิดน้ำค้างที่ผิวหลังคา ทำให้เป็นอุปสรรคในการคายรังสีกลับสู่ท้องฟ้าในเวลากลางคืน
รูปประกอบโดย รัชฎ สุมานนท์

(ข) แสดงมุมเอียงลาดชันมากอาจไม่เกิดน้ำค้างที่ผิวหลังคาเลย หรือถ้าเกิดก็สามารถระบายได้

2.2 อิทธิพลจากการลอยตัว และการระบายอากาศภายในหลังคาทรงไทย

2.2.1 แนวความคิดพื้นฐานของกระบวนการลอยตัวของอากาศ

การลอยตัวของความร้อนเป็นผลจากการที่ความหนาแน่นของมวลอากาศลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น โดยขึ้นอยู่กับค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศภายนอก กับภายในอาคาร และความสูง หรือระยะทางตามแนวตั้ง อากาศร้อนจะลอยตัวสูงขึ้น และถูกแทนที่โดยอากาศที่เย็นกว่า การที่เรือนไทยมีหลังคาทรงสูงทำให้มีเนื้อที่ และความสูงจากพื้นเรือนมาก อากาศร้อนภายในเรือนจึงลอยสูงขึ้น อากาศที่เย็นกว่าจากสภาพแวดล้อมภายนอกก็ไหลเข้ามาแทนที่ทางช่องเปิดรอบตัวเรือนนั้น ปรากฏการณ์ดังกล่าวเป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติอันเป็นเอกลักษณ์อย่างหนึ่งของเรือนไทยในสมัยโบราณ

การระบายอากาศ (Ventilation) มีรากศัพท์มาจากคำว่า Ventus ในภาษาละติน ซึ่งหมายถึงการเคลื่อนที่ของอากาศ คำว่าการระบายอากาศนี้ บัญญัติขึ้นเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องปรับอากาศ หมายถึงกระบวนการใส่อากาศเข้า หรือนำอากาศออกจากที่ว่าง ไม่ว่าจะไปโดยธรรมชาติ หรือใช้เครื่องกลช่วยก็ตาม โดยปกติแล้วการระบายอากาศนี้จะเกิดจากการถ่ายเทอากาศระหว่างที่ว่างภายนอกห้อง กับภายในห้องการระบายอากาศจะช่วยควบคุมสภาพแวดล้อมของตัวอาคารไว้ 3 ประการ คือ

1. เพื่อให้มีปริมาณอากาศบริสุทธิ์เพียงพอต่อความต้องการของผู้อยู่อาศัย (Health ventilation)
2. เพื่อเพิ่มอัตราการระเหยของเหงื่อ และการพาความร้อนสัมผัสผิ้ออกจากร่างกาย (Comfort ventilation)
3. เพื่อทำความเย็นให้กับภายในอาคาร โดยการถ่ายเทอากาศร้อนในตัวอาคาร กับอากาศที่เย็นกว่าจากภายนอก (Structural ventilation)

การพาความร้อน (Convection) ในทางฟิสิกส์ และวิศวกรรมนั้นถูกใช้บรรยายถึงการถ่ายเทความร้อน โดยอาศัยการเคลื่อนไหวของของเหลว หรือก๊าซ การพาความร้อนในอากาศนั้นจะไม่สามารถเกิดได้ ถ้าขาดการเคลื่อนไหวของอากาศ แต่การเคลื่อนไหวของอากาศอาจเกิดขึ้นได้ โดยปราศจากการถ่ายเทความร้อน การพาความร้อนเกิดขึ้นได้ในระบบปิด เช่น ห้อง หรืออาคารที่ไม่สามารถถ่ายเทความร้อน หรืออากาศกับภายนอกได้

- 1) การระบายอากาศ และการพาความร้อนแบบต่างๆ

อากาศจะเคลื่อนไหวเมื่อมีความแตกต่างระหว่างความหนาแน่น หรือความกดอากาศ ของสถานที่หนึ่ง กับอีกสถานที่หนึ่ง เมื่อมวลอากาศได้รับความร้อน เช่นในเตาไฟ อากาศจะขยายตัว และความหนาแน่นลดลงแล้วลอยตัวสูงขึ้นเป็นผลให้มวลอากาศเย็นซึ่งอยู่ในระดับต่ำกว่า ไหลเข้าไปแทนที่ อากาศร้อนที่ลอยสูงขึ้นไป สภาพวะเช่นนี้เรียกว่า สภาพการเคลื่อนที่ของอากาศเนื่องมาจากความแตกต่างของอุณหภูมิ หรือเรียกว่าเกิดลมโดยใช้พลังงานความร้อน (Thermal force) การลอยตัวของความร้อน (Thermal buoyancy) หรือ buoyant draft เมื่อพลังความร้อนทำให้เกิดการปล่อยอากาศให้ออกจากภายในอาคารแล้ว จะเรียกว่า Chimney effect หรือ Stack effect

การพาความร้อนที่เกิดจากพลังความร้อนนั้น เรียกว่าเป็นการพาความร้อนโดยอิสระ หรือ การพาความร้อนโดยธรรมชาติ เมื่อเกิดขึ้นในระบบปิด ดังเช่น อากาศร้อนที่ลอยขึ้นมาจากที่จุดจรด หรือ คิวหนูที่ลอยสูงขึ้น ส่วนพลังความร้อนที่ก่อให้เกิดการพาความร้อนในระบบปิด ศัพท์เฉพาะทางสถาปัตยกรรมเรียกว่า Thermosiphoning หรือ Gravity circulation ระบบ Thermosiphoning เป็นพื้น

ฐานในการออกแบบที่อาศัยพลังงานจากดวงอาทิตย์ (Passive solar design) ในขณะที่ Gravity flow จะบรรยายถึง การเกิดไอน้ำ และระบบการหมุนเวียนความร้อนในน้ำร้อนโดยทั่วไป

ถ้าการพาความร้อนเกิดขึ้นจากความกดอากาศที่ต่างกันแล้ว จะเรียกว่าเป็น Force convection ซึ่งอาจเกิดจาก บั้ม พัดลม หรือเครื่องเป่าลม หรืออาจเกิดจากแรงลมที่พัดมาปะทะกับผนัง ด้านนอกของตัวอาคาร (แม้ว่ากระแสลมนั้นจะเป็นการพาความร้อนตามธรรมชาติที่เกิดขึ้นตามแต่ห้องติดกันก็ตาม) การระบายความร้อนโดยระบบธรรมชาตินี้สามารถประยุกต์ใช้กับกระแสอากาศที่ถูกขับเคลื่อน โดยความกดอากาศ หรือพลังความร้อน ซึ่งก่อกำเนิด หรือเปลี่ยนรูปมาจากปรากฏการณ์ทางด้านดิน ฟ้า อากาศ รวมทั้ง Cross ventilation และ Ventilation โดย Stack effect การระบายความร้อนโดยวิธีธรรมชาติ (Natural convection) ในความหมายทางวิศวกรรม การถ่ายเทความร้อนนั้น จะหมายถึง การถ่ายเท ความร้อนจากการเคลื่อนไหวของอากาศ ซึ่งถูกกระตุ้นด้วยพลังความร้อนเท่านั้น ในขณะที่ การระบาย อากาศโดยวิธีธรรมชาติ (Natural ventilation) นั้นอาจเกิดได้ทั้งจากกระแสลม และพลังงานความร้อน

2) อัตราการถ่ายเทความร้อนที่เกิดจากการพา²

ปริมาณความร้อนที่อากาศสามารถพาไปได้นั้น คำนวณได้จากรูปแบบง่าย ๆ ในความสัมพันธ์ของความจุความร้อนจำเพาะของอากาศ และอัตราการไหล (หน่วยปริมาตร ต่อหน่วยเวลา) และความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างอากาศเข้า กับอากาศออก อัตราการพาความร้อนของอากาศระหว่าง ภายใน กับภายนอกมีสมการเป็น (Btu/h)

$$Q_{\text{conv}} = \text{CFM} (60) \rho c (T_o - T_i) \quad (19)$$

โดยที่	CFM	=	อัตราการไหลของอากาศ (ft ³ /min)
	60	=	จำนวนนาทีใน 1 ชั่วโมง
	ρ	=	ความหนาแน่นของอากาศ (lb/ft ³)
	c	=	ความจุความร้อนจำเพาะของอากาศ (Btu/lb°F)
	T_o	=	อุณหภูมิอากาศภายนอก (°F)
	T_i	=	อุณหภูมิอากาศภายใน (°F)

ความจุความร้อนจำเพาะ (ρc) ของอากาศนอกจากจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของตัวมันเองเป็นหลักแล้ว ยังขึ้นกับความชื้นในตัวมันเองอีกด้วย อากาศที่แห้งสนิทจะมีค่าความจุความร้อนจำเพาะเป็น 0.24 Btu/(lb)°F ขณะที่ไอน้ำจะมีค่าความจุความร้อนจำเพาะ ซึ่งอาจประมาณค่าได้จากสมการ

² สมการทั้งหมดมีที่มาจาก Watson, D. and Labs, K. Climatic Design: Energy-Efficient Building Principles and Practices. U.S.A.: McGraw-Hill, 1983. pp. 53-55.

$$C = (0.24 + 0.45 W) \quad (20)$$

โดยที่ C = ความจุความร้อนจำเพาะของอากาศ (Btu/lb°F)
 W = ความชื้นจำเพาะ (น้ำหนักของไอน้ำที่มีอยู่จริงของอากาศแห้ง) (lb/lb)

ความชื้นจำเพาะ (W) วัดได้จากปริมาณความชื้น หรือความชื้นสัมบูรณ์ของอากาศ ซึ่งประมาณค่าได้ ถ้าทราบอุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dew point temperature, T_d) ของอากาศรอบจุดที่ต้องการ ความหนาแน่นของอากาศ (ρ) ก็ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิเช่นกัน และหาค่าได้จากแผนภูมิ Psychrometric ถ้าทราบค่าปัจจัยอื่นๆ ความหนาแน่นของอากาศมีส่วนสัมพันธ์กับสภาวะการระบายอากาศที่ทำให้เย็นสบายในช่วง 0.071 ถึง 0.073 lb/ft³ ค่ามาตรฐานที่นิยมใช้กัน เท่ากับ 0.072 lb/ft³ ซึ่งเป็นช่วงของอุณหภูมิ (กระเปาะแห้ง) ประมาณ 75 °F สำหรับอากาศอิมตัว ถึง 91°F สำหรับอากาศแห้ง ในกรณีการทำความเย็นให้กับอาคาร เราจะให้ความสนใจถึงอุณหภูมิอากาศที่ต่ำกว่า หรือเท่ากับช่วงจำกัดของภาวะสบาย ซึ่งหมายความว่าอากาศจะมีความหนาแน่นมากขึ้น ค่ามาตรฐานที่ใช้ (ASHRAE “standard” air) คือ 0.075 ซึ่งใช้แทนอากาศอิมตัวที่ 60 °F และอากาศแห้งที่ 69 °F

สำหรับสภาวะที่อุ่น และชื้น ที่ $T_d = 70$ °F และ $\rho = 0.072$ lb/ft³ สมการลดรูปเป็น

$$Q_{\text{conv}} = 1.07\text{CFM} (T_o - T_i) \quad [\text{warm, humid}] \quad (21)$$

ส่วนในสภาวะที่เย็น และแห้งที่ $T_d = 50$ °F และ $\rho = 0.075$ lb/ft³ สมการลดรูปเป็น

$$Q_{\text{conv}} = 1.10\text{CFM} (T_o - T_i) \quad [\text{cool, dry}] \quad (22)$$

จะให้เห็นอย่างชัดเจนถึงผลที่แตกต่างกันเพียงเล็กน้อยระหว่างสภาวะต่างๆ ที่แสดงไว้ ณ ที่นี้ว่า ไม่สามารถรับประกันค่าที่แน่นอนของ ρC ได้ แต่สามารถกำหนดหลักง่ายๆ ได้ว่า อัตราความเย็นที่ Btu/h นั้นมีค่าใกล้เคียงกับ อัตราการไหลของอากาศ จำนวน CFM เท่าของค่าความแตกต่างของอุณหภูมิที่ °F

3) ผลกระทบแบบปล่องไฟ (Stack effect)

Stack effect ทำความเข้าใจได้จากการมองภายในอาคารว่าเป็นแนวตั้งของอากาศ ที่เชื่อมช่องเปิด 2 ชุด เข้าด้วยกัน โดยมีระยะห่างกันตามแนวตั้งเท่ากับ Z โดยตั้งข้อสมมติว่า ภายในอาคารนั้นมีอุณหภูมิเฉลี่ยที่ T_i และความหนาแน่นอากาศเป็น ρ_i รอบอาคารเป็นอากาศภายนอกซึ่งมีอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำกว่า เป็น T_o และมีความหนาแน่นมากกว่าเป็น ρ_o แนวของอากาศภายในที่ลอยอยู่ระหว่างช่องเปิดมีแรงกดอากาศเป็น $\rho_i (Z)$ ลงบนระนาบตามแนวนอนที่พาดผ่านจุดศูนย์กลางของช่องเปิดด้านล่าง ในขณะที่อากาศภายนอกช่องเปิดด้านบนจะมีแรงกดเป็น $\rho_o (Z)$ เนื่องจากอากาศภายนอกที่หนักกว่าได้เข้าไปภายใน จึงไปแทนที่อากาศภายในที่เบากว่า ซึ่งจะลอยออกไปทางช่องเปิดด้านบน แรงกดที่เกิดขึ้น และ

มีความแตกต่างกันเท่ากับ ΔP_{stack} นี้เรียกว่า Stack effect pressure หรือ Buoyant draft หรือกล่าวง่ายๆ ว่าเป็น แรงกดของแนวอากาศภายในกับภายนอกที่แตกต่างกัน ณ ความสูง Z นั้นเอง

$$\Delta P_{\text{stack}} = (\rho_o - \rho_i) Z \quad (23)$$

โดยที่	ΔP_{stack}	=	ผลต่างของแรงกด (psf)
	Z	=	ระยะทางตามแนวตั้ง ระหว่างศูนย์กลางของช่องเปิด (ft)
	ρ_o	=	ความหนาแน่นของอากาศภายนอก (pcf)
	ρ_i	=	ความหนาแน่นของอากาศภายใน (pcf)

ภายใต้สภาวะการระบายอากาศในฤดูร้อน ความแตกต่างระหว่างความหนาแน่นของอากาศภายใน กับภายนอกนั้น คือฟังก์ชันของอุณหภูมิสัมบูรณ์เพียงอย่างเดียว ดังนั้นผลต่างของความหนาแน่น $(\rho_o - \rho_i)$ จึงมีสมการเป็น

$$(\rho_o - \rho_i) = \rho_i \left[\frac{T_i}{T_o} \right] - \rho_i \left[\frac{T_o}{T_o} \right] = \rho_i \left[\frac{T_i - T_o}{T_o} \right] \quad (24)$$

โดยที่	T_i	=	อุณหภูมิสัมบูรณ์ของอากาศภายใน ($^{\circ}\text{R}$)
	T_o	=	อุณหภูมิสัมบูรณ์ของอากาศภายนอก ($^{\circ}\text{R}$)

ปัจจัยที่สำคัญสำหรับสมการนี้คือผลต่างของความหนาแน่นของอากาศภายในกับภายนอก ไม่ใช่ค่าสัมบูรณ์ของตัวเอง ด้วยเหตุนี้จึงสามารถแทนค่าของ ρ_i (ที่อยู่ในสภาวะปกติ เมื่อการระบายอากาศที่ต้องการนั้นมีค่าประมาณ 0.071 หรือ 1/14 pcf) ได้ดังนี้

$$\Delta P_{\text{stack}} = Z \left[\frac{T_i - T_o}{14 T_o} \right] \quad (25)$$

สมการความสัมพันธ์นี้แสดงถึง

1. Stack effect จะแปรผันตรง ตามความสูงระหว่างช่องเปิด
2. Stack effect จะแปรตามผลต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศภายใน กับอากาศภายนอก
อย่างเป็นเส้นตรง

ถ้าแทนค่า $Z = 10$, $T_i = 85$ $^{\circ}\text{F}$ (545 $^{\circ}\text{R}$), $T_o = 75$ $^{\circ}\text{F}$ (535 $^{\circ}\text{R}$) แล้วจะเกิดผลต่างของแรงกดเป็น 0.013 pcf ซึ่งจะเป็นค่าที่น้อยมากเมื่อเทียบกับแรงกดที่เกิดจากกระแสลมอ่อนๆ

สำหรับการระบายอากาศในฤดูร้อนซึ่ง T_o และ T_i มีค่าใกล้เคียง 80 °F อัตราการไหลของอากาศที่เป็นผลมาจาก Stack effect ที่เกิดขึ้นในอาคารโดยไม่คำนึงถึงแรงต้านอากาศแล้ว จะมีสมการ

$$CFM = KA\sqrt{Z(T_i - T_o)/T_i} \quad (26)$$

โดยที่	CFM	=	อัตราการไหลของอากาศ (CFM)
	A	=	พื้นที่ของช่องเปิดเข้า หรือช่องเปิดออก ซึ่งสมมติว่ามีค่าเท่ากัน (ft ²)
	Z	=	ความสูงจากช่องเปิดเข้า ถึงช่องเปิดออก (ft)
	T_i	=	อุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศภายใน (°F)
	T_o	=	อุณหภูมิของอากาศภายนอก (°F)
	K	=	ค่าคงที่มีค่าจาก 9.4 ถึง 7.2

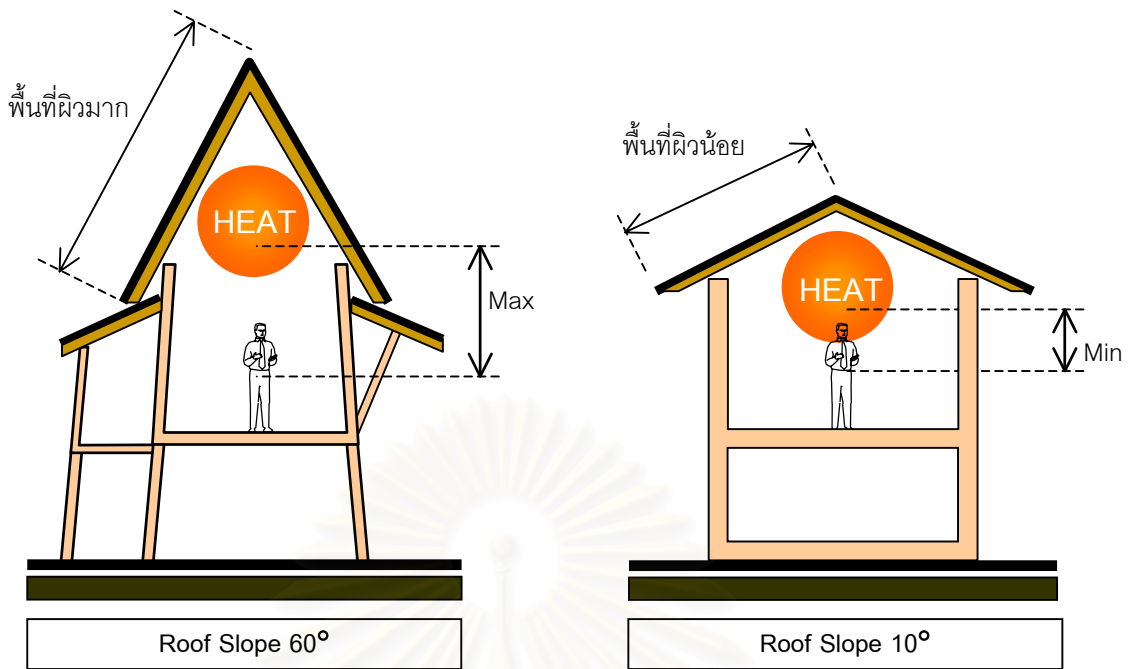
ในสมการนี้ตั้งข้อสมมติว่า ช่องทางเข้ากับทางออกมีขนาดเท่ากัน ค่าคงที่ 9.4 ได้รวมถึงประสิทธิภาพของช่องเปิดไว้ 65% ถ้าเงื่อนไขไม่เหมาะสม อาจลดค่าประสิทธิภาพของช่องเปิดลงเหลือ 50% ซึ่งจะได้ค่า K เป็น 7.2 อัตราการไหลต่อหน่วยพื้นที่ของช่องเปิด จะมีค่ามากที่สุดเมื่อทางเข้า กับทางออกมีขนาดเท่ากัน อย่างไรก็ตามการเพิ่มขนาดของช่องเปิดด้านใดด้านหนึ่งก็สามารถช่วยเพิ่มอัตราการไหลได้สูงขึ้นกว่าเกือบ 40% จากอัตราเดิม และอัตราการไหลของอากาศจะขึ้นอยู่กับขนาดช่องเปิดที่เล็กกว่า

รูปแบบสมการของ CFM นั้นมีข้อตกลงเบื้องต้นว่า T_i มีค่ามากกว่า T_o ดังนั้นการเคลื่อนที่ของอากาศใน Stack จะลอยสูงขึ้น ถ้าอากาศภายในเย็นกว่าภายนอกแล้วทิศทางการไหลก็จะย้อนกลับและค่าของ T_o ก็ควรจะถูกแทนด้วย T_i เพื่อให้ค่าออกมาเป็นเครื่องหมายบวก³

2.2.2 พฤติกรรมการลอยตัวของอากาศ กับมุมเอียงหลังคาทรงไทย

เรือนไทยมีหลังคาที่สูงชัน เนื้อที่ได้หลังคามาก อากาศร้อนที่ความหนาแน่นของมวลอากาศลดลงนั้นจึงลอยตัวสูงขึ้นไปยังส่วนที่สูงที่สุดของพื้นที่ใต้หลังคา (และถูกแทนที่ด้วยอากาศที่เย็นกว่าจากสภาพแวดล้อมภายนอก) เป็นผลให้ความร้อนถ่ายเทมาสู่ผู้ใช้อาคารได้น้อยกว่า เมื่อเทียบกับหลังคาที่มุมเอียงน้อย และความร้อนนั้นจะถูกถ่ายเทออกจากหลังคาด้วยการนำ การพา และการแผ่รังสี (การคายรังสีกลับสู่ท้องฟ้า หรือชั้นบรรยากาศนั้น เกิดขึ้นได้ตลอดทั้งกลางวัน และกลางคืน เพราะวัสดุมุงหลังคายอมมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิท้องฟ้า แต่เนื่องจากได้รับอิทธิพลรังสีดวงอาทิตย์มากกว่า การคายรังสีจึงถือว่ามีย่าน้อยมาก)

³ เรียบเรียงจาก Watson, D. and Labs, K. Climatic Design: Energy-Efficient Building Principles and Practices. U.S.A.: McGraw-Hill, 1983. pp. 53-55.



รูป 2-14 แสดงการเปรียบเทียบพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อน ของบ้านที่มีมุมเอียงหลังคาต่างกัน
รูปประกอบโดย รัชฎ สุมานนท์

จากรูป 2-14 จะเห็นว่าเรือนไทยที่มีมุมเอียงหลังคา 60 องศา จะมีพื้นที่ใต้หลังคามากกว่าบ้านที่มีมุมเอียง 10 องศา อากาศร้อนจึงลอยตัวได้สูงกว่า และสามารถถ่ายเทความร้อนผ่านวัสดุผนังหลังคาออกสู่ภายนอกได้มาก และเนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U) และพื้นที่หลังคา (A) ดังนั้นหลังคาที่มีพื้นที่มาก ก็จะสามารถระบายความร้อนได้มากกว่าหลังคาที่มีพื้นที่น้อย จากสมการ

$$Q_{\text{cond}} = \sum(UA) \times \Delta T \quad (27)$$

กำหนดให้	Q_{cond}	= ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทโดยการนำ	(Btu/hr)
	U	= ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อน	(Btu/h.ft ² . °F)
	A	= พื้นที่ผิวของวัสดุในการส่งผ่านความร้อน	(ft ²)
	ΔT	= ผลต่างของอุณหภูมิอากาศภายนอก และภายใน	(°F)

ที่มา: Stein, B. and Reynolds, J. S. *Mechanical and Electrical Equipment for Buildings*.

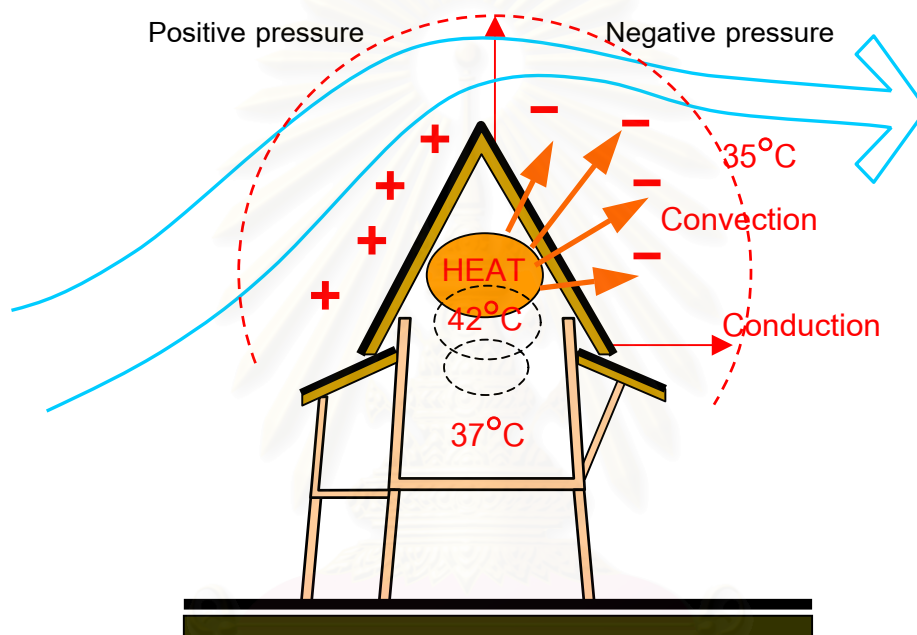
7th Edition. 1986: pp. 129, 204.

ถ้าวิเคราะห์ถึงการถ่ายเทความร้อนโดยการนำ จากหลังคาเพียงอย่างเดียว โดยสมมติว่าภายในบ้านมีปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเข้าไปเท่ากัน บ้านที่มีพื้นที่หลังคามากจะมีอุณหภูมิภายในต่ำกว่า

$$\frac{Q_{\text{cond}}}{\sum(UA)} = \Delta T$$

2.2.3 การระบายอากาศภายใต้หลังคาทรงไทย

หลังคาทรงไทยที่สูงชันทำให้ลมที่พัดผ่านผิวหลังคาด้านนั้นมีความเร็วสูงกว่าด้านหลังที่อับลม เมื่อความเร็วลมต่างกันมาก ทำให้ความกดอากาศด้านหน้า และด้านหลังของหลังคานั้นต่างกันมากเช่นกัน โดยหลังคาด้านที่ปะทะลมจะมีความกดเป็นบวก (Positive pressure) ส่วนด้านหลังจะมีความกดอากาศเป็นลบ (Negative pressure) กล่าวคือรูปทรงของหลังคาทรงไทย เป็นรูปทรงที่สามารถเพิ่มความกดอากาศลบ ของอากาศที่ไหลผ่านด้านหลังของหลังคา และความกดอากาศบวกของอากาศที่ไหลผ่านด้านหน้า ส่งผลให้การรั่วซึมของอากาศสูง ในเวลากลางวันเมื่อความร้อนที่สะสม และลอยตัวสูงขึ้นอยู่ในพื้นที่ใต้หลังคา จึงสามารถรั่วซึมผ่านวัสดุ มุงหลังคาได้ เนื่องมาจากเรือนไทยโบราณไม่มีการตีฝ้าเพดาน รวมทั้งวัสดุที่ใช้มุงหลังคานั้นก็เป็นกระเบื้องดินเผา แผ่นเล็กๆ หรือมุงด้วยจาก ซึ่งอากาศสามารถแทรกตัวผ่านรอยต่อระหว่างวัสดุมุงหลังคาเหล่านี้ได้



รูป 2-15 แสดงพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านวัสดุ มุงหลังคาเรือนไทย เนื่องจากความแตกต่างของความกดอากาศ
รูปประกอบโดย รัชฎ สุมานนท์

การระบายอากาศร้อนจากการลอยตัวของอากาศภายในเรือนไทยนั้น สามารถเกิดขึ้นได้ แม้ไม่มีลม โดยอาศัยการนำความร้อน (Conduction) ผ่านวัสดุ มุงหลังคา ดังนั้นวันที่ไม่มีลม แต่แดดจัด อากาศร้อนก็ยังระบายอากาศได้ หลักการออกแบบการถ่ายเทความร้อนโดยอาศัยความกดอากาศที่ต่างกันนั้น ใช้กันมากสำหรับอาคารที่ไม่ปรับอากาศ โดยหลักสำคัญคือต้องให้ด้านบนร้อน และอากาศที่มีอุณหภูมิสูงลอยตัวขึ้น ต่อมาจึงถูกความกดอากาศดูดออกไป จากนั้นอากาศที่เย็นกว่าจากภายนอกจะไหลเข้ามาแทนที่ทางช่องเปิด ทำให้เกิดกระแสลมหมุนเวียนขึ้นภายในอาคาร เมื่อกระแสลมที่พัดผ่านผิวภายนอกมีความเร็วเพิ่มขึ้น ผู้อยู่อาศัยจะรู้สึกเย็นลงกว่าอุณหภูมิอากาศที่วัดได้จริง เนื่องจากเมื่อกระแสลมมีความเร็วสูงขึ้น ร่างกายจะระบายความร้อนได้เร็วขึ้น จึงทำให้รู้สึกเย็นลงกว่าอุณหภูมิที่วัดได้จริง ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิที่วัดได้จริงกับความรู้สึกเย็นลงเมื่อมีลมพัดผ่านผิวภายนอกนั้น เมื่อนำมาวิเคราะห์เพื่อหาความสัมพันธ์โดยการใช้อนุกรมถดถอย⁴ (Regression Analysis) พบว่า

⁴ มีระดับของความเชื่อมั่น (R^2) = 0.94 และค่าความผิดพลาดมาตรฐาน (Standard error, SE) = 0.457

$$\text{ความรู้สึกเย็นลง (}^{\circ}\text{C)} = 0.381 V + 0.016$$

(28)

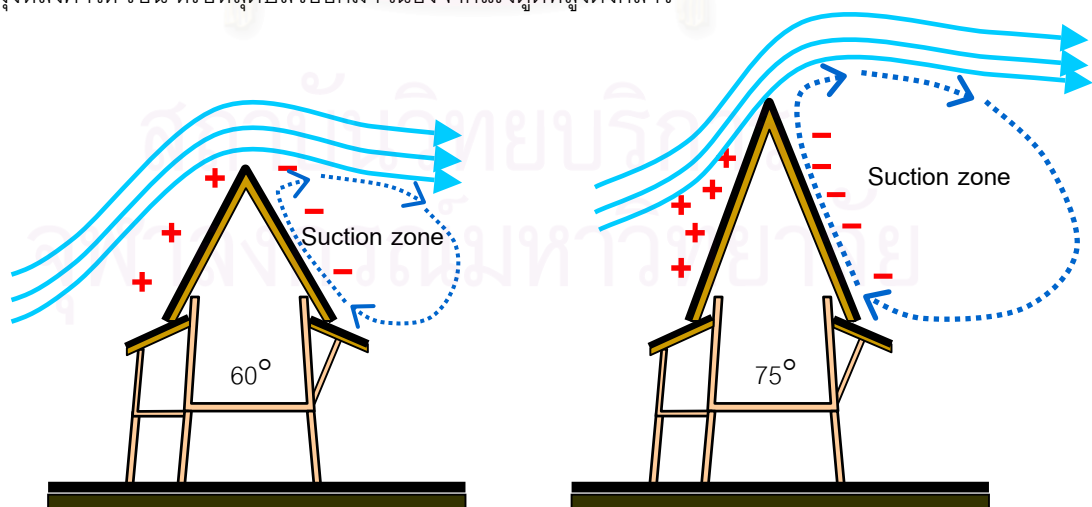
โดยที่	V	=	ความเร็วลม (km/h)
	RH	=	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)

ที่มา: สุนทร บุญญาธิการ. เทคนิคการออกแบบบ้านประหยัดพลังงานเพื่อคุณภาพชีวิตที่ดีกว่า, 2542. น. 35.

จากสมการสรุปได้คร่าวๆ ว่า มนุษย์จะรู้สึกเย็นลงกว่าอุณหภูมิอากาศ 0.4 องศาเซลเซียส เมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้น 1 km/h (54.68 fpm) จากงานวิจัยของ วราภรณ์ กาญจนวิโรจน์ ในวิทยานิพนธ์ระดับมหาบัณฑิตเรื่อง “การศึกษาการเพิ่มขอบเขตภาวะนำสบายในเขตภูมิอากาศร้อนชื้น” (2542) ยังพบว่าในสภาพอากาศร้อนชื้น แบบประเทศไทยนั้น ในสถานที่ที่ไม่ปรับอากาศ ตัวแปรที่มีผลต่อสภาวะนำสบายมากที่สุด เรียงจากมากไปหาน้อยได้แก่

- ความเร็วลม
- อุณหภูมิอากาศ
- อุณหภูมิการแผ่รังสีความร้อนเฉลี่ย
- ความชื้นสัมพัทธ์

จะเห็นได้ว่าความเร็วลมนั้นเป็นตัวแปรที่มีผลต่อภาวะนำสบายสูงที่สุด เมื่อพิจารณาจากแผนภูมิไปโอโคลเมติก สรุปได้ว่า สภาพภูมิอากาศ ที่มีอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์สูงนั้น การทำให้เหงื่อที่ผิวหนังระเหยเพื่อระบายความร้อนออกจากร่างกายเป็นไปได้ยาก เพราะไอน้ำที่มีอยู่มากในบรรยากาศจะทำให้อัตราการระเหยเป็นไปได้ช้าๆ เมื่อต้องการเพิ่มอัตราเร่งการระเหยของเหงื่อจึงจำเป็นต้องใช้การเคลื่อนที่ของอากาศช่วย อย่างไรก็ตามหลังคาทรงไทยถ้ามีมุมเอียงที่สูงกว่านี้อาจทำให้ความแตกต่างระหว่างความกดอากาศด้านหน้า และด้านหลังของหลังคาเกินไป จนกระทั่งอาจเกิดแรงดูดของลมสูง ทำให้ความเสียหายกับกับวัสดุหลังคาให้ ร้อน หรือหลุดปลิวออกมา เนื่องจากแรงดูดที่สูงดังกล่าว



รูป 2-16 แสดงแรงดูดของลมที่ต่างกัน เนื่องจากความแตกต่างระหว่างความกดอากาศด้านเหนือ และใต้ลม
รูปประกอบโดย รชฏ สุमानนท์

2.3 การแผ่รังสีความร้อน และอุณหภูมิจลี่ยพื้นผิวโดยรอบ (MRT) ของหลังคาทรงไทย

2.3.1 แนวความคิดพื้นฐานของการแผ่รังสีความร้อน

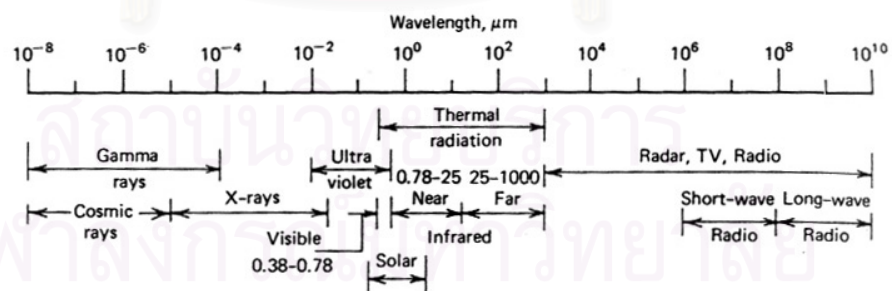
1) ความหมายของการแผ่รังสีความร้อน

ความร้อนเดินทางได้โดย 3 ทาง คือ การนำ (Conduction) การพา (Convection) และการแผ่รังสี (Radiation) ตามทฤษฎี Thermodynamics ความร้อนจะส่งผ่านจากที่ซึ่งมีอุณหภูมิสูงกว่าไปสู่ด้านที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ในขณะที่การนำ และการพาความร้อนต้องอาศัยตัวกลางในการส่งผ่าน แต่การแผ่รังสีความร้อนแตกต่างจากการนำ และการพา โดยการแผ่รังสีนั้นไม่ได้ขึ้นอยู่กับสสารตัวกลาง เพียงแต่ต้องการด้านสองด้านที่มีอุณหภูมิแตกต่างกัน และหันเข้าหากัน

กลไกการถ่ายเทพลังงานโดยการแผ่รังสี ยากต่อการอธิบายให้เห็นพฤติกรรมทางกายภาพได้ชัดเจน จึงอาศัยทฤษฎีแม่เหล็กไฟฟ้าของ Maxwell⁵ และทฤษฎีของ Max Planck ในการอธิบาย ซึ่งแล้วแต่การยอมรับ และจุดประสงค์ในการนำไปใช้ โดยจะสรุปได้ว่า การแผ่รังสีความร้อน (Radiation heat transfer) เป็นการถ่ายเทพลังงานความร้อนที่เกิดจากการสั่นสะเทือนของโมเลกุล (Molecular vibrating energy) และถ่ายเทออกมาในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Waves) หรือ โฟตอน (Photons) จากพื้นผิวหนึ่งไปสู่อีกพื้นผิวหนึ่งที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ด้วยความเร็วแสง มีลักษณะสำคัญ คือ

- ไม่ต้องอาศัยตัวกลางสำหรับแลกเปลี่ยนความร้อน
- ไม่มีทิศทางที่แน่นอน

การแผ่รังสีจากวัตถุใดๆ สามารถอธิบายให้เห็นพฤติกรรมทางกายภาพโดยอาศัยทฤษฎีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อใช้ทำนายคุณสมบัติการแผ่รังสีของผิววัสดุ (ในขณะที่การทำนายปริมาณพลังงานที่ปล่อยออกมาจากการแผ่รังสี จะพิจารณาจากทฤษฎีโฟตอน) คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะปล่อยพลังงานออกทุกความยาวคลื่น ($\lambda = 0 - \infty$) โดยช่วงรังสีความร้อน (Thermal radiation) เป็นช่วงหนึ่งในคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ที่มีช่วงความยาวคลื่นตั้งแต่ 0.1-100 ไมโครเมตร (ไมครอน)

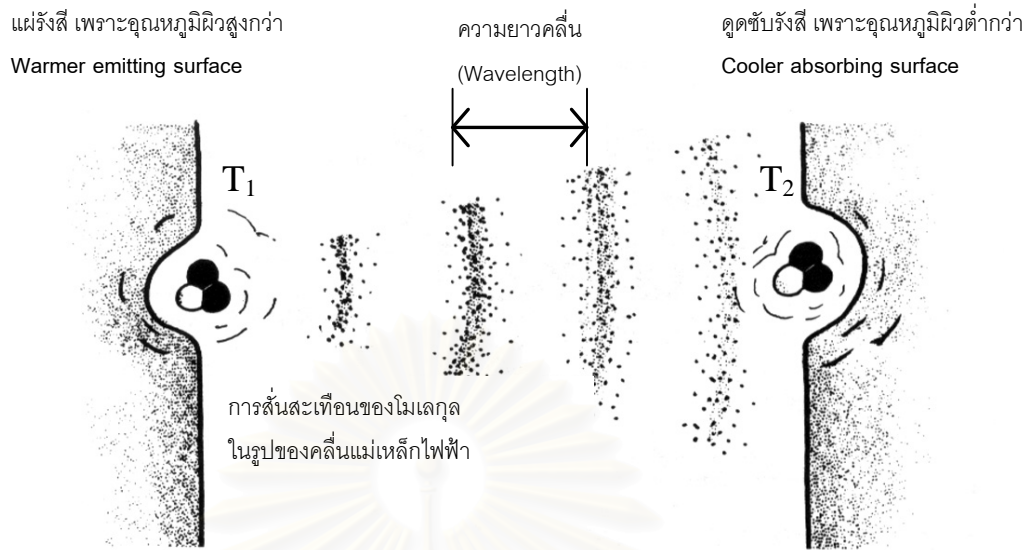


รูป 2-17 แสดงช่วงความยาวคลื่นของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (The spectrum of electromagnetic radiation)

ที่มา: Duffie, John A. and Beckman, William A. *Solar engineering of thermal processes*. 1991: pp.

148.

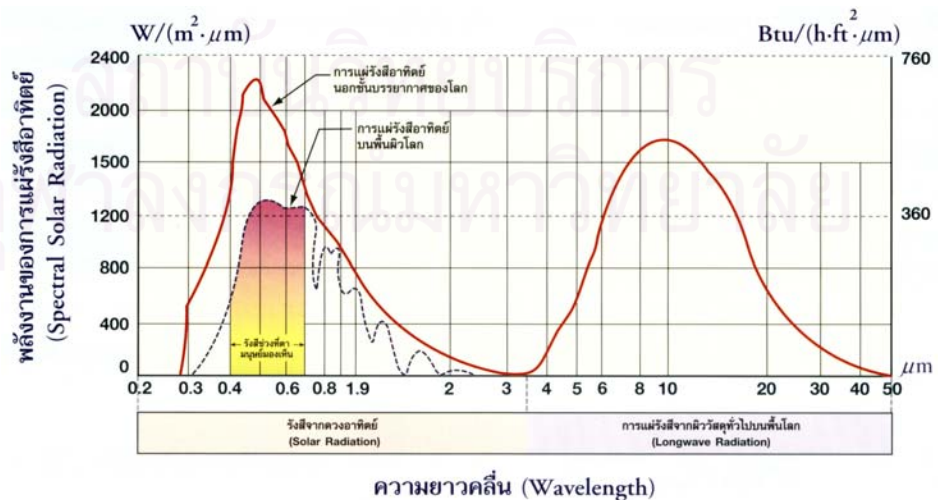
⁵ ตามทฤษฎีของ Maxwell การคายรังสีสามารถพิจารณาถึงการสั่นสะเทือนของคลื่น (Wave oscillating) อธิบายคุณลักษณะได้ด้วยความยาวคลื่น (λ) และความถี่ (ν) โดยที่ $c = \lambda \nu$ (ความเร็วการแผ่รังสี ถ้าตัวกลางเป็นสุญญากาศ $c_0 = 2.9979 \times 10^8$ m/s



รูป 2-18 แสดงการถ่ายเทพลังงานโดยการแผ่รังสีระหว่างพื้นผิว 2 พื้นผิวที่มีอุณหภูมิแตกต่างกัน เมื่อ $T_1 > T_2$ โมเลกุลบนพื้นผิวจะมีการสั่นสะเทือน และเกิดการถ่ายเทพลังงานในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
ที่มา: ปรับปรุงจาก Moore, F. *Environmental Control Systems: Heating Cooling Lighting*, 1993: p. 13.

2) ประเภทของรังสีความร้อน

ในแง่ของการออกแบบอาคารจะถือว่าผิววัสดุบนพื้นโลกมีอุณหภูมิสูงกว่า ศูนย์องศาสัมบูรณ์ ($0\text{ }^{\circ}\text{K}$, $-273.15\text{ }^{\circ}\text{C}$ หรือ $-460\text{ }^{\circ}\text{F}$) ผิววัสดุสามารถถ่ายเทพลังงานในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้ตลอดเวลา และสามารถแลกเปลี่ยนกันได้ไกลถึง 9.3×10^7 ไมล์ แหล่งของรังสีที่ผู้ออกแบบอาคารต้องเกี่ยวข้องกับคือ รังสีจากดวงอาทิตย์ (Solar Spectrum) และรังสีความร้อนระหว่างมนุษย์ และพื้นผิวอาคาร (Far-Infrared Spectrum) ซึ่งจะมีปริมาณพลังงาน (Energy Content) ในแต่ละความยาวคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าใน Spectrum ทั้งสอง (รูป 2-19)



รูป 2-19 แสดงการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์นอกชั้นบรรยากาศ และบนพื้นผิวโลก

ที่มา: สุนทร บุญญาธิการ และอุษณีย์ มิ่งวิมล. การใช้กระจก, 2543: น. 10.

บนพื้นผิวโลกในพื้นที่ที่มีอุณหภูมิแตกต่างกัน และหันเข้าหากันจะมีการแลกเปลี่ยนพลังงาน โดยทาง Infrared Radiation ในช่วงของความยาวคลื่นประมาณ 4 ถึง 40 ไมครอน แสงอาทิตย์จะประกอบไปด้วยรังสีที่มีความยาวคลื่นสั้นกว่า คือ ประมาณ 0.2-2.6 ไมครอน ต่างกับ Solar Spectrum ที่สามารถมองเห็นได้ (มีความยาวคลื่นประมาณ 0.4-0.7 ไมครอน) แต่รังสีอินฟราเรดนั้นไม่สามารถมองเห็นได้ รังสีอินฟราเรดแบ่งเป็น รังสี Near-Infrared และรังสี Far-Infrared รังสี Far-Infrared เรียกอีกอย่างว่ารังสีคลื่นยาว (Long-Wave Radiation) หรือรังสีความร้อน (Thermal Radiation) ผลกระทบของรังสีอินฟราเรดทั้งสองคือความร้อนที่ไม่เป็นที่ต้องการในภูมิภาคที่มีอากาศร้อน

- รังสีจากดวงอาทิตย์ หรือรังสีคลื่นสั้น

“ Solar, or short wave, radiation is radiation originating from the sun, in the wavelength range of 0.3 to 3 μm . ” (Duffie, J.A. and Beckman, W.A., 1991: p. 47)

การแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์จะอยู่ในช่วงความยาวคลื่นตั้งแต่ 0.3 ถึง 3 μm ดังรูป 2-19 รังสีจากดวงอาทิตย์ที่ส่องลงมายังโลกประกอบด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความยาวคลื่น และสัดส่วนของพลังงานจากดวงอาทิตย์ที่แตกต่างกัน ดังตาราง

รังสีจากดวงอาทิตย์	ช่วงความยาวคลื่น	สัดส่วนของพลังงานจากดวงอาทิตย์
1. รังสีอัลตราไวโอเล็ต(Ultraviolet ray, UV)	0.20 – 0.38 μm	9%
2. แสงที่มองเห็นได้ (Visible light)	0.38 – 0.78 μm	38%
3. รังสีอินฟราเรดคลื่นสั้น (Near infrared ray, NIR)	0.78 – 3.00 μm	53%

ตาราง 2-1 แสดงองค์ประกอบของรังสีความร้อน และสัดส่วนพลังงานจากดวงอาทิตย์ (ณฐิยา ทองมี, 2543: น. 14)

- การแผ่รังสีความร้อนจากผิววัสดุทั่วไปบนพื้นโลก หรือรังสีคลื่นสั้น

“ Long wave Radiation is radiation originating from sources at temperature near ordinary ambient temperatures and thus substantially all at wavelengths greater than 3 μm . Long wave radiation is emitted by the atmosphere, by a collector, or by any other body at ordinary temperature.” (This radiation, if originating from the ground, is referred to in some literature as “ terrestrial “ radiation.) (Duffie, J.A. and Beckman, W.A., 1991: p. 47)

เมื่อรังสีคลื่นสั้นกระทบลงบนผิววัสดุแล้วจะแผ่รังสีคลื่นยาวออกมาในช่วงความยาวคลื่นตั้งแต่ 3 μm ขึ้นไป (รูป 2-19) ซึ่งเรียกอีกอย่างว่า การแผ่รังสีคลื่นยาว (Long wave radiation หรือ Terrestrial radiation) โดยจะเกิดขึ้นทุกๆ ผิววัสดุบนโลก ได้แก่ อาคาร, คน, ยานพาหนะ หรือแม้กระทั่งบรรยากาศ ทั้งนี้รังสีคลื่นยาวจะไม่สามารถทะลุผ่านกระจกใสได้ และมีคุณสมบัติในการสะท้อนที่ติดกับวัสดุที่มีผิวเรียบ และมันเงา (Geiger, 1965 อ้างถึงใน ณฐิยา ทองมี, 2543: 14)

2.3.2 คุณสมบัติการแผ่รังสีความร้อนของพื้นผิว

รังสีความร้อนเป็นรังสีในรูปคลื่นยาว และมีพลังงานต่ำ เมื่อตกกระทบวัสดุใดๆ จะสะท้อน ส่งผ่าน และถูกดูดซับไว้ในวัสดุนั้นๆ วัสดุแต่ละประเภทจะมีคุณสมบัติในการสะท้อนรังสี ส่งผ่านรังสี และดูดซับรังสีที่ตกกระทบแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ดังนี้

- ทิศทาง (มุม) ของการแผ่รังสี การคายรังสีที่มีค่าสูงที่ทิศทางตั้งฉาก
- ความยาวคลื่นของการแผ่รังสี การคายรังสีเชิง Spectrum ทิศทางตั้งฉากของโลหะจะลดลงเมื่อความยาวคลื่นเพิ่มขึ้น
- อุณหภูมิของพื้นผิว การแผ่รังสีของโลหะจะสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ส่วนการคายรังสีของโลหะจะลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น
- ลักษณะพื้นผิว เนื่องจากผลของความขรุขระที่ไม่สม่ำเสมอของพื้นผิวเหมือนโพรง จึงทำให้เกิดการสะท้อนรังสีได้หลายครั้ง ซึ่งเป็นผลให้การดูดซับรังสีมีค่าสูงขึ้น นั่นคือการแผ่รังสีมีค่าสูงขึ้น
- การเจือปนพื้นผิว สารปนเปื้อนบนพื้นผิวทำให้คุณสมบัติการแผ่รังสีเปลี่ยนไป โดยทำให้การแผ่รังสีมีค่ามากขึ้น

ลักษณะของพื้นผิวจะมีอิทธิพลสูงต่อการแผ่รังสีและการดูดซับรังสี วัสดุต่างๆจะมีค่าการดูดซับรังสี (Absorptivity) และค่าการสะท้อนรังสี (Reflectivity) แตกต่างกันไปตามลักษณะผิวของวัสดุ วัสดุที่มีค่าการดูดซับรังสีสูง ก็จะมีอัตราสะท้อนรังสีต่ำ คุณสมบัตินี้เรียกว่า การแผ่รังสี (Emissivity) ค่าการแผ่รังสีจะบอกถึงความร้อนที่มีการถ่ายเทโดยการแผ่รังสี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพพื้นผิวของวัสดุ ค่าการคายรังสี ค่าการดูดซับรังสี (Absorptivity) ค่าการสะท้อนรังสี (reflectivity) และค่าการส่งผ่านรังสี แสดงออกมาได้ดังนี้

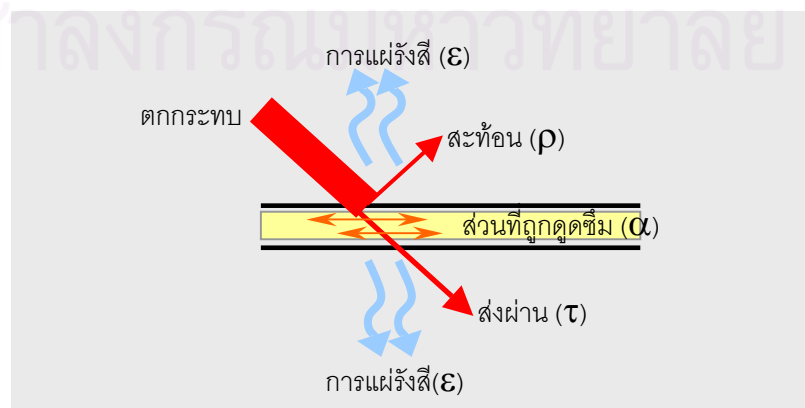
$$\rho + \alpha + \tau = 1$$

(29)

กำหนดให้	ρ	=	การสะท้อนรังสีจากพื้นผิว
	α	=	การดูดซับรังสีโดยพื้นผิว
	τ	=	การส่งผ่านรังสีผ่านวัสดุ

ที่มา: Watson, D. and Labs, K. *Climatic Design: Energy-Efficient Building Principles and Practices*, 1983. p.

50.



รูป 2-20 แสดงการสะท้อนรังสี การดูดซึมรังสี การส่งผ่านรังสี และการคายรังสีในวัตถุทึบตัน

รูปประกอบโดย รัชฎ สุมานนท์

ค่าการสะท้อนรังสี การดูดซึมรังสี และการส่งผ่านรังสี เป็นคุณสมบัติของวัสดุในช่วงอุณหภูมิหนึ่งๆ สำหรับช่วง Spectrum คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าหนึ่ง ผลรวมของการสะท้อนรังสี การดูดซึมรังสี และการส่งผ่านรังสีนั้น เท่ากับ 100% ของพลังงานที่ตกลงมากระทบ สำหรับกรณีวัสดุทึบตัน (Opaque) พลังงานที่ถูกส่งผ่านจะเท่ากับศูนย์ ดังนั้นผลรวมของค่าการสะท้อนรังสี การดูดซึมรังสี และการส่งผ่านรังสีจะเท่ากับพลังงานรังสีเมื่อถูกดูดซึม โดยวัสดุจะเปลี่ยนรูปเป็นความร้อน ความร้อนนี้จะถูกนำ หรือแผ่รังสีออกมาในรูปคลื่นยาวจากวัสดุนั้น

- ค่าการสะท้อนรังสี (Reflectivity) วัสดุผิวมันและมีสีอ่อนจะสะท้อนรังสีความร้อนและแสงได้ดี สำหรับวัสดุทึบตัน (Opaque) วัสดุที่มีค่าการสะท้อนรังสีสูง จะมีค่าการดูดซึมรังสีต่ำ
- ค่าการส่งผ่านรังสี (Transmissivity) จะเป็นคุณสมบัติของวัสดุโปร่งใส (transparent) และโปร่งแสง (translucent) ดังนั้นการเลือกใช้วัสดุประเภทนี้ จึงควรระวังถึงความร้อนที่จะเข้ามาภายในอาคาร
- ค่าการดูดซับรังสี (Absorptivity) เป็นตัวแสดงความสามารถในการดูดกลืนพลังงานของวัสดุ ซึ่งวัสดุที่มีสีเข้มจะดูดกลืนรังสีความร้อนได้ดีกว่าวัสดุสีอ่อน

ค่าการแผ่รังสี (Emissivity) เป็นตัวแสดงความสามารถในการปล่อยรังสีคลื่นยาวของผิววัสดุ สำหรับการตอบสนองต่อคลื่นยาวนั้น ค่าการดูดซับรังสี จะเท่ากับค่าการแผ่รังสีคือ $\alpha = \epsilon$ แต่ค่าทั้งสองจะต่างกันสำหรับการตอบสนองต่อรังสีจากดวงอาทิตย์ ค่าการแผ่รังสีของวัตถุดำเท่ากับ 1 สำหรับพื้นผิวอื่นจะมีค่าอยู่ในช่วงตั้งแต่ 0.05 สำหรับโลหะมันเงา ถึงประมาณ 0.95 สำหรับวัสดุอาคารทั่วไป

รังสีจะถูกดูดซับโดยมีการคัดเลือกตามความยาวคลื่นของรังสีบนพื้นผิว ดังนั้นวัสดุที่ทาสีขาวจะมีค่าการดูดซับรังสีประมาณ 0.12 สำหรับคลื่นสั้นของรังสีดวงอาทิตย์ แต่มีค่าการดูดซับรังสีคลื่นยาวจากพื้นผิวต่างๆ ที่อุณหภูมิปกติ ประมาณ 0.95 ดังนั้นพื้นผิวนี้จะมีค่าการแผ่รังสี 0.95 สำหรับรังสีคลื่นยาว ซึ่งเป็นตัวแผ่รังสีที่ดีโดยจะสูญเสียความร้อนให้กับพื้นผิวที่เย็นกว่า ขณะเดียวกันจะเป็นตัวสะท้อนรังสีที่ดีสำหรับรังสีดวงอาทิตย์ ในทางตรงกันข้าม โลหะมันเงาจะมีค่าการดูดซับ และค่าการแผ่รังสีต่ำทั้งคลื่นสั้น และคลื่นยาว ดังนั้นในขณะที่เป็นตัวสะท้อนรังสีที่ดี ก็จะเป็นตัวแผ่รังสีที่ไม่ดี และสูญเสียความร้อนของตัวเองได้น้อย

สีของพื้นผิวจะเป็นสิ่งที่แสดงถึงค่าการดูดซับรังสีดวงอาทิตย์ โดยที่ค่าการดูดซับจะลดลง และค่าการสะท้อนจะเพิ่มขึ้นกับความอ่อนของสี แต่สีไม่ได้แสดงถึงพฤติกรรมของพื้นผิวที่เกี่ยวกับการแผ่รังสีคลื่นยาว ดังนั้นสีขาว และสีดำจะมีความแตกต่างกันอย่างมากในการดูดซับรังสีจากดวงอาทิตย์ โดยพื้นผิวสีดำจะร้อนมากกว่าหากได้รับรังสีดวงอาทิตย์ แต่การแผ่รังสีคลื่นยาวของสีทั้งสองจะเท่ากัน

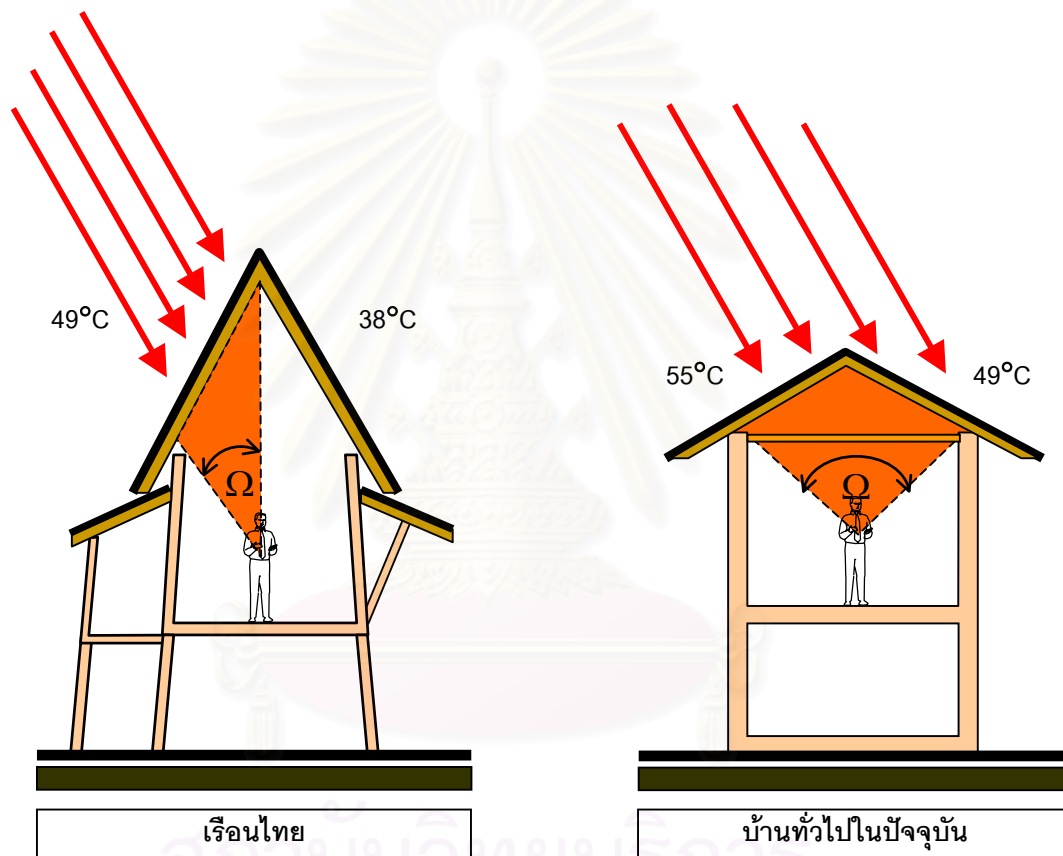
พื้นผิว	สีดำ	สีขาว
Short-wave absorptance	0.94-0.98	0.20
Long-wave emittance	0.88	0.91

ตาราง 2-2 แสดงคุณสมบัติการดูดซับรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ กับการแผ่รังสีคลื่นยาวจากผิววัสดุ

ที่มา: Anderson, 1977: 354-355 อ้างถึงใน ญฐิยา ทองมี, 2543: 45.

2.3.3 อิทธิพลการแผ่รังสีความร้อนของพื้นผิวหลังคาทรงไทย

รูปทรงของหลังคาเรือนไทยที่มีความลาดชันที่สูงมากช่วยลดมุมกระทำ (solid angle) จากหลังคาที่อุ่น (รูป 2-21) ซีกหนึ่งของหลังคาด้านที่ปะทะดวงอาทิตย์จะร้อน เพราะรังสีจากดวงอาทิตย์ ในขณะที่อีกด้านหนึ่งจะมีผลกระทบน้อยกว่า ดังนั้นจะมีเพียงครึ่งหนึ่งของเพดานเท่านั้นที่ผิวที่อุ่น หลังคาเรือนไทยโบราณนี้ปราศจากฝ้าเพดานในแนวระนาบราบ ผลกระทบการแผ่รังสีความร้อน จากเพดานที่อุ่นของเรือนไทยจะน้อยกว่าผลที่เกิดขึ้นกับเพดานหลังคาอาคารพักอาศัยในปัจจุบัน ที่ดีฝ้าเพดานในแนวราบ และมีระบบป้องกันการถ่ายเทความร้อนของระบบหลังคาที่ไม่ดีและไม่มีประสิทธิภาพ



รูป 2-21 แสดงการเปรียบเทียบมุมกระทำต่อเพดานที่ร้อนระหว่างหลังคาทรงไทยที่สูงชัน และบ้านปัจจุบันทั่วไป
รูปประกอบโดย รัชฎ สุมานนท์

อิทธิพลการแผ่รังสีความร้อนจากหลังคานั้นนอกจากจะขึ้นอยู่กับรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ที่กระทำกับระนาบหลังคา และอุณหภูมิที่ผิวหลังคาแล้ว ยังมีปัจจัยสำคัญอื่นที่ต้องคำนึงถึง กล่าวคือหลังคาจะแผ่รังสีความร้อนสู่ผู้อยู่อาศัยในบ้านได้แตกต่างกัน โดยขึ้นกับปัจจัยต่างๆ ได้แก่

- ค่าผลกระทบของทิศทางการแผ่รังสีความร้อนจากหลังคาสู่ผู้อยู่อาศัย (View factor)
- พื้นที่ผิวต่อการแผ่รังสี

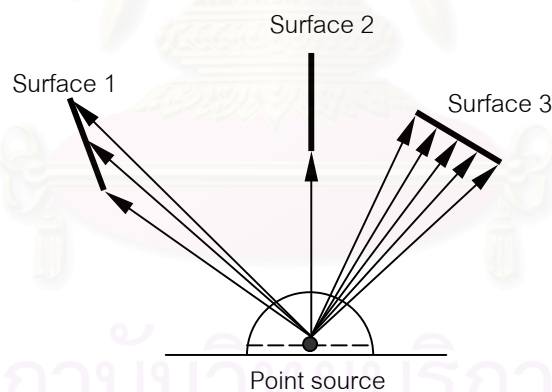
- 1) ค่าผลกระทบของทิศทางการแผ่รังสีความร้อนระหว่างพื้นผิววัตถุ
(View Factor or Angle Factor)

การถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสี ระหว่างพื้นผิวจะขึ้นอยู่กับทิศทางการสัมพันธ์ระหว่างพื้นผิว แต่ละพื้นผิว เช่นเดียวกับคุณสมบัติการแผ่รังสีของพื้นผิวนั้น และอุณหภูมิของพื้นผิวนั้น โดยการอธิบายผลกระทบของทิศทางการแผ่รังสีความร้อนระหว่างพื้นผิววัตถุ นั้น ได้ให้คำจำกัดความไว้ คือ View Factor ซึ่งจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติการแผ่รังสี และอุณหภูมิของพื้นผิว โดย View Factor นั้นมีทั้งการแผ่รังสีจากพื้นผิวที่เป็นแบบกระจาย (Diffuse Reflectors) จะเรียกว่า Diffuse View Factor และพื้นผิวที่สะท้อนรังสีแบบกระจกเงา (Specular Reflector) จะเรียกว่า Specular View Factor ซึ่งพื้นผิววัสดุส่วนใหญ่ที่ประกอบเป็นเปลือกอาคารนั้นจะมีคุณสมบัติแบบแรกมากกว่า ดังนั้นคำว่า View Factor ในที่นี้จะหมายความถึง Diffuse View Factor เพียงอย่างเดียว

(ที่มา: Cengel, Y. *Thermodynamics and heat Transfer*. 1997: pp. 519-530.)

View Factor จากพื้นผิว i ไปยังพื้นผิว j นั้นเขียนในรูปสัญลักษณ์เป็น $F_{i \rightarrow j}$ (หรือ F_{ij}) และนิยามไว้ว่า

$F_{i \rightarrow j}$ = ส่วนของรังสีที่ออกจากพื้นผิว i ผ่านไปสู่พื้นผิว j โดยตรง
รังสีที่ทำการพิจารณานั้นต้องไม่ถูกดูดซับโดยพื้นผิวใดๆ ดังนั้นรังสีที่ถูกส่งผ่านมาโดยการสะท้อนจากพื้นผิวอื่นๆ ที่ไม่ใช่ต้นกำเนิดนั้นไม่สามารถนำมาพิจารณาประมาณค่า View Factor ได้



รูป 2-22 (ก) แสดงทิศทางการแลกเปลี่ยนรังสีระหว่างพื้นผิว โดยความสัมพันธ์ดังกล่าวเรียกว่า View Factor

รูปประกอบโดย ราชู สุमानนท์ คัดลอกจาก Cengel, Y. *Thermodynamics and heat Transfer*. 1997: p. 519.

ค่า View Factor มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 ถ้าค่า $F_{i \rightarrow j}$ เท่ากับ 0 นั้นแสดงว่าพื้นผิวทั้งสองไม่มีมุมมองที่เปิดถึงกันโดยตรง ทำให้รังสีที่ส่งมาจากพื้นผิว i ไม่สามารถส่งไปยังพื้นผิว j ได้โดยตรง (และค่า $F_{i \rightarrow i} = 0$) และในทางกลับกันถ้าค่า $F_{i \rightarrow j}$ มีค่าเท่ากับ 1 แสดงว่าพื้นผิว j นั้นห่อหุ้มโดยรอบทั้งหมดของพื้นผิว i ทำให้รังสีที่ออกมาจากพื้นผิว i ทั้งหมดถูกสกัดไว้โดยพื้นผิว j

View Factor เป็นประโยชน์มากสำหรับกรวิเคราะห์การแผ่รังสี เนื่องจากการแสดงส่วนของรังสี (Fraction of Radiation) ที่ส่งผ่านจากพื้นผิวหนึ่งไปสู่อีกพื้นผิวหนึ่ง ในรูปความสัมพันธ์ด้านทิศทางระหว่างพื้นผิวทั้งสองนั้น กระบวนการดังกล่าวนี้เป็นข้อสันนิษฐานเบื้องต้นว่า ปริมาณรังสีที่พื้นผิวใดๆ ได้รับจากแหล่งกำเนิด จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับมุมที่พื้นผิวนั้นกระทำกับแหล่งกำเนิด โดยรังสีที่มาจากแหล่งกำเนิดนั้นต้องมีลักษณะ Uniform ในทุกทิศทางโดยตลอดพื้นผิวนั้น และต้องไม่ใช่รังสีที่สะท้อนมาจากพื้นผิวใดๆ นอกจากแหล่งกำเนิดโดยตรง รวมทั้งต้องไม่ถูกดูดซับ, แผ่ หรือกระจายโดยตัวกลางใดๆ

View Factor มีกฎที่ใช้ในการคำนวณที่สำคัญดังต่อไปนี้

1. The Reciprocity Rule

View Factor $F_{i \rightarrow j}$ ไม่เท่ากับ $F_{j \rightarrow i}$ นอกจากพื้นที่ผิวทั้งสองจะมีค่าเท่ากัน

$$F_{i \rightarrow j} = F_{j \rightarrow i} \quad \text{เมื่อ} \quad A_i = A_j$$

$$F_{i \rightarrow j} \neq F_{j \rightarrow i} \quad \text{เมื่อ} \quad A_i \neq A_j$$

$$\text{และ} \quad A_i F_{i \rightarrow j} = A_j F_{j \rightarrow i}$$

2. The Summation Rule

ตามกฎการคงอยู่ของพลังงานที่กล่าวไว้ว่า รังสีที่ออกมาจากพื้นผิว i ภายในระบบปิดจะถูกสกัดกั้นไว้โดยพื้นผิวของระบบปิดนั้น เป็นผลให้ ผลรวมของ View Factor จากพื้นผิว i ในระบบปิด ไปยังพื้นผิวทั้งหมดในระบบปิดนั้น รวมทั้งที่ไปยังตัวมันเองนั้นต้องมีค่าคงที่

$$\sum_{j=1}^N F_{i \rightarrow j} = 1$$

เมื่อ N คือจำนวนของพื้นผิวในระบบปิดนั้น ตัวอย่างเช่น

$$\sum_{j=1}^3 F_{i \rightarrow j} = F_{1 \rightarrow 1} + F_{1 \rightarrow 2} + F_{1 \rightarrow 3}$$

3. The Superposition Rule

ปริมาณรังสีที่ออกมาจากพื้นผิว 1 และพุ่งส่งไปยัง พื้นผิวที่ประกอบด้วย พื้นผิว 2 และ 3 จะมีค่าเท่ากับผลรวมปริมาณรังสีที่พุ่งส่งไปยัง พื้นผิว 2 รวมกับที่ส่งไปยังพื้นผิว 3 ด้วยเหตุนี้ View factor จากพื้นผิว 1 ไปสู่ พื้นผิวที่ประกอบด้วยพื้นผิว 2 และ 3 คือ

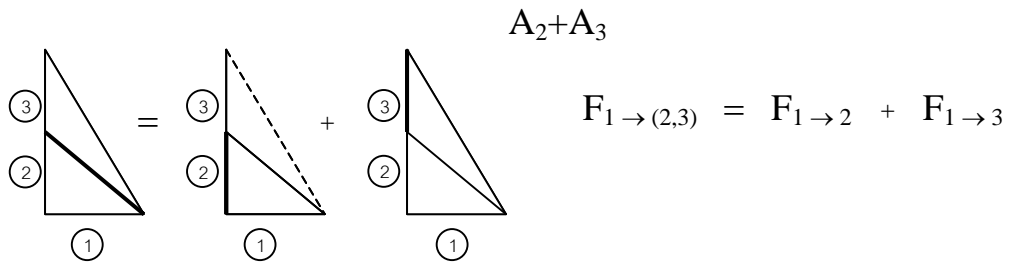
$$F_{1 \rightarrow (2,3)} = F_{1 \rightarrow 2} + F_{1 \rightarrow 3}$$

และเมื่อใช้ร่วมกับ The Reciprocity Rule โดยเพิ่มค่า A_1 เข้าไปในสมการ

$$A_1 F_{1 \rightarrow (2,3)} = A_1 F_{1 \rightarrow 2} + A_1 F_{1 \rightarrow 3}$$

$$(A_2 + A_3) F_{(2,3) \rightarrow 1} = A_2 F_{2 \rightarrow 1} + A_3 F_{3 \rightarrow 1}$$

$$F_{(2,3) \rightarrow 1} = \frac{A_2 F_{2 \rightarrow 1} + A_3 F_{3 \rightarrow 1}}{A_2 + A_3}$$

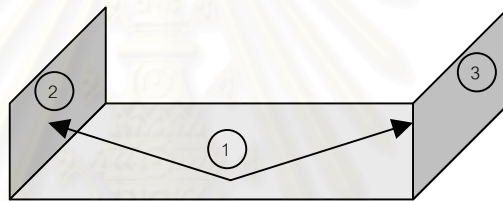


รูป 2-22 (ข) แสดงผลรวมของ View Factor จากพื้นผิวไปยังพื้นผิวประกอบเท่ากับ View Factor จากพื้นผิวไปยังส่วนต่างๆของพื้นผิวประกอบนั้น

รูปประกอบโดย วิทยุ สุมานนท์ คัดลอกจาก Cengel, Y. *Thermodynamics and heat Transfer*. 1997: pp. 527.

4. The Symmetry Rule

เมื่อมีพื้นผิว 3 พื้นผิว โดยที่พื้นผิว 2 และ 3 นั้นอยู่ในลักษณะสมมาตรกันกับพื้นผิว 1 (คือมีลักษณะเท่ากันทุกประการทั้งรูปร่าง ขนาดพื้นที่ และระยะห่างระหว่างพื้นผิวทั้งสองกับ พื้นผิว 1) จะทำให้ค่า $F_{1 \rightarrow 2} = F_{1 \rightarrow 3}$ และตามกฎ The Superposition Rule จะได้อีกสมการว่า $F_{2 \rightarrow 1} = F_{3 \rightarrow 1}$



รูป 2-22 (ค) แสดงลักษณะพื้นผิวสองส่วนที่มีลักษณะสมมาตรกับพื้นผิวที่สามจะมี View Factor ที่มาจากพื้นผิวที่ 3 เท่ากัน รูปประกอบโดย วิทยุ สุมานนท์ ดัดแปลงจาก Cengel, Y. *Thermodynamics and heat Transfer*. 1999: pp. 528.

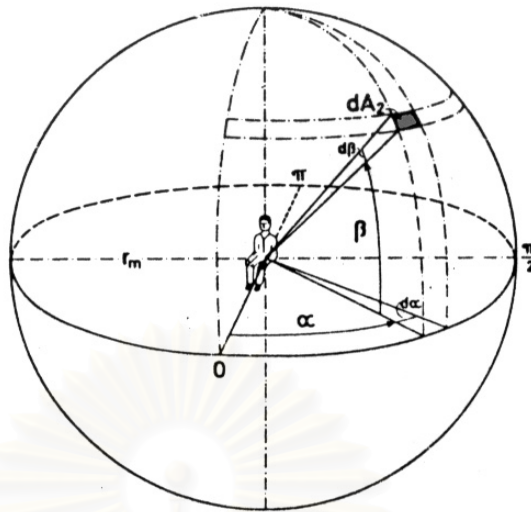
2) อิทธิพลของพื้นที่ผิวต่อการแผ่รังสี

พื้นที่ผิว และตำแหน่งของพื้นผิวที่แผ่รังสีความร้อนนั้นเป็นปัจจัยสำคัญต่อการแผ่รังสีความร้อนจากพื้นผิวนั้นมาสู่ตัวบุคคลที่มากน้อยต่างกัน ซึ่งขึ้นกับค่าทางเรขาคณิตที่สำคัญได้แก่

- Effective radiation area factor (f_{eff})
- Projected area factors (f_p)

1. Effective radiation area factor (f_{eff})

จากงานวิจัยของ Fanger (1970) เมื่อพิจารณาว่าบุคคลอยู่ในจุดศูนย์กลางของทรงกลม ขณะที่ทิศทางในความสัมพันธ์กับบุคคลนั้น กำหนดเป็น มุมอะซิมุท (α) และมุมเฉียงจากแนวระนาบหรือมุมอัลติจูด (β) ดังรูป 3-7 (ก)



รูป 2-23 แสดงค่าต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในการคำนวณ Effective radiation area

ที่มา: Fanger, P.O. *Thermal Comfort: Analysis and Application in environmental Engineering*, 1970: pp. 161.

ถ้ารอบตัวบุคคลนั้นเป็นวัตถุทรงกลมขนาดใหญ่ที่มีพื้นที่ A_2 และรัศมี r_m จากกฎ Reciprocity ของ View factor ($A_i F_{i \rightarrow j} = A_j F_{j \rightarrow i}$) ความสัมพันธ์ในการแผ่รังสีที่ขึ้นกับพื้นที่ผิวจะเป็น

$$A_{\text{eff}} F_{P-A_2} = A_2 F_{A_2-P} \tag{30}$$

- โดยที่ A_{eff} = Effective radiation area ของบุคคล
- F_{P-A_2} = View factor จากบุคคลไปสู่พื้นผิวทรงกลม
- A_2 = $4\pi r_m^2$ คือ พื้นที่ผิวทรงกลม
- F_{A_2-P} = View factor จากพื้นผิวทรงกลมไปสู่บุคคล

ที่มา: Fanger, P.O. *Thermal Comfort: Analysis and Application in environmental Engineering*, 1970: pp. 161.

เมื่อรังสีที่แผ่จากบุคคลไปยังพื้นที่ผิวทรงกลมที่ปิดล้อมมีค่าเท่ากับ 1 สมการเปลี่ยนรูปเป็น

$$A_{\text{eff}} = 4\pi r_m^2 F_{A_2-P} \tag{31}$$

View factor, F_{A_2-P} ไม่สามารถหาได้โดยตรง ต้องใช้ความสัมพันธ์หลายอย่างมาพิจารณา ร่วมกัน คือ พิจารณาพื้นที่ผิว dA_2 บนพื้นผิวทรงกลม ที่มีพิสัย (α, β) ดังรูป View factor, F_{A_2-P} ระหว่างพื้นผิว ไปยังบุคคลจะเป็น



$$F_{dA_2-P} = \frac{A_p}{\pi r_m^2} \quad (32)$$

เมื่อ A_p = พื้นที่ผิวร่างกายที่มีทิศทางตั้งฉากกับระนาบ d_{A_2}

สำหรับบุคคล (ไม่สวมใส่เสื้อผ้า) Effective radiation area factor (f_{eff}) เท่ากับ

$$f_{\text{eff}} = \frac{A_p}{A_{D_u}} \quad (33)$$

เมื่อ A_{D_u} = $0.203 W^{0.425} H^{0.725}$

โดยที่ W = น้ำหนัก (kg)

H = ส่วนสูง (m)

ซึ่งจะมีค่าเฉลี่ยที่สรุปได้ดังตาราง 3-3 (Fanger, 1970: 170)

Group	Effective radiation area factor (f_{eff})
Seated females	0.692 ± 0.019
Seated males	0.700 ± 0.013
Seated females and males	0.696 ± 0.017
Standing females	0.725 ± 0.014
Standing males	0.725 ± 0.013
Standing females and males	0.725 ± 0.013

ตาราง 2-3 แสดงค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ Effective radiation area factors

ที่มา: Fanger, P.O. *Thermal Comfort: Analysis and Application in Environmental Engineering*, 1970: pp. 170.

2. Projected area factors (f_p)

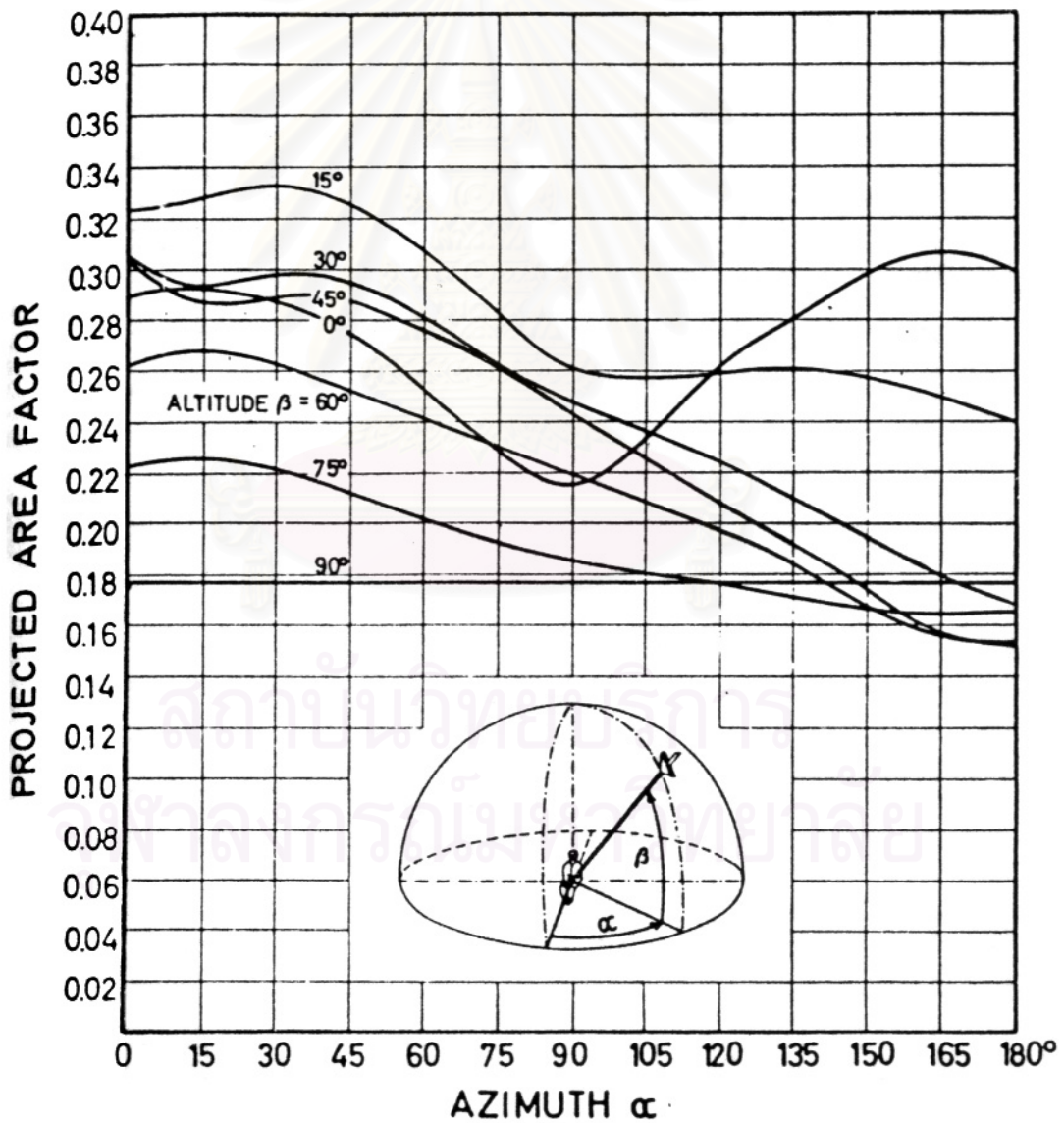
คือฟังก์ชันของมุมอะซิมุท (α) และมุมเอียงจากแนวระนาบ (β) มีความสัมพันธ์เป็นดังนี้

$$f_p = \frac{A_p}{A_{\text{eff}}} \quad (34)$$

สำหรับบุคคลหนึ่งคนนั้น Projected area factors ที่คำนวณจากฟังก์ชันของมุมอะซิมุท (α) และมุมเฉียงจากแนวระนาบ (β) มี 4 ลักษณะ คือ

ผู้หญิง - สวมเสื้อผ้า	ผู้ชาย - สวมเสื้อผ้า
- ไม่สวมเสื้อผ้า	- ไม่สวมเสื้อผ้า

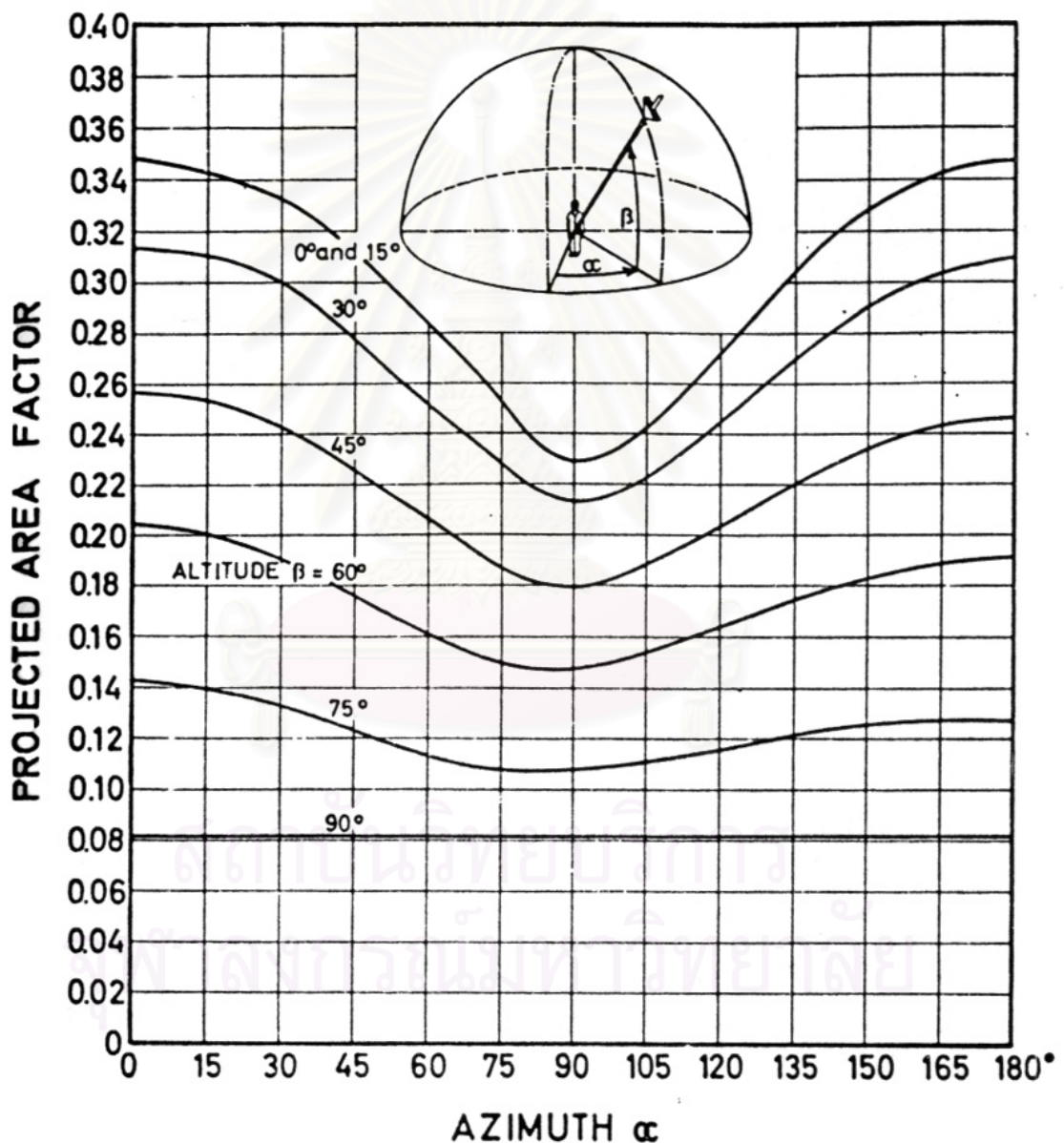
จากการวิจัยของ Fanger (1970) พบว่าผลความแตกต่างเรื่องเพศ และการสวมใส่เสื้อผ้านั้น มีค่าน้อยมาก นั่นคือการเพิ่มขึ้นของ A_p และ A_{eff} มีค่าเกือบเท่ากัน ทำให้สามารถรวมทั้ง 4 กลุ่มเข้าด้วยกันได้ ดังรูป 2-24



รูป 2-24 (ก) แสดงค่า Projected area factor สำหรับบุคคลนั่ง ที่มา: Fanger, P.O. *Thermal Comfort: Analysis and Application in environmental Engineering*, 1970: pp. 172.

จากรูปค่า f_p มากที่สุดเท่ากับ 0.33 ที่พิกัด $(\alpha, \beta) = (30^\circ, 15^\circ)$ และมีค่าประมาณ 2 เท่าของค่าน้อยที่สุด (0.15) ที่พิกัด $(\alpha, \beta) = (180^\circ, 45^\circ)$ โดยการแผ่รังสีสู่บุคคลนั้นจะมีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อมุมอะซิมุท อยู่ด้านหน้าของบุคคล ในพิกัดระหว่าง $-60^\circ < \alpha < 60^\circ$ และมีมุมเอียงอยู่ในพิกัดระหว่าง $15-45^\circ$

สำหรับกรณีบุคคลยืน ก็เช่นเดียวกับบุคคลนั่ง ความแตกต่างระหว่างกลุ่มมีค่าน้อยมาก สามารถรวมกันได้เช่นเดียวกัน

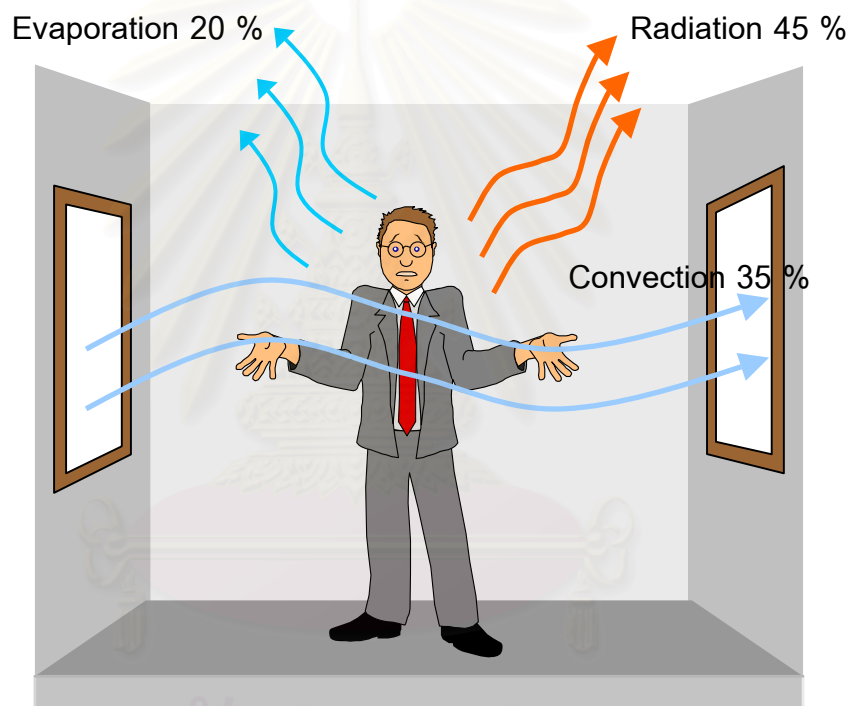


รูป 2-24 (ข) แสดงค่า Projected area factor สำหรับบุคคลยืน ที่มา: Fanger, P.O. *Thermal Comfort: Analysis and Application in environmental Engineering*, 1970: pp. 174.

จากรูปค่า f_p มากที่สุดเท่ากับ 0.35 ที่พิกัด $(\alpha, \beta) = (0^\circ, 0^\circ)$ และมีค่าประมาณ 4 เท่าของค่าน้อยที่สุด (0.08) ที่พิกัด $\beta = 90^\circ$

2.3.4 อิทธิพลจากอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบกับมุมเอียงหลังคาทรงไทย

เมื่อวัตถุใดๆ มีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิผิวกายมนุษย์ วัตถุนั้นจะแผ่รังสีความร้อน เพื่อแลกเปลี่ยนอุณหภูมิกับผิวกายมนุษย์ ซึ่งขึ้นอยู่กับทิศทางการแผ่รังสี หรือมุมมองที่เปิดเข้าหากัน (มีปัจจัยหลายประการ ได้แก่ Solid angle, view factor และ f_p แต่โดยสรุปแล้วจะแปรผันตามกัน) การถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสีนั้นมีผลกระทบต่อมนุษย์โดยเฉลี่ยแล้วมากที่สุดประมาณ 45% เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอื่นๆ จึงอาจกล่าวได้ว่าผลกระทบจากอุณหภูมิ (การแผ่รังสี) เฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบของพื้นผิวส่วนประกอบต่างๆ ภายในอาคาร และมุมมองที่เปิดสู่อุณหภูมิที่ร้อนนั้น มีอิทธิพลต่อความรู้สึกที่ร้อน หนาวภายในอาคารนั้นมากที่สุดด้วย



รูป 2-25 แสดงอัตราส่วนการถ่ายเทความร้อนของมนุษย์โดยเฉลี่ย

ที่มา: ปรับปรุงจาก Baker, N. and Cary, S. *Energy and environment in architecture*, 2000.

หลังคาเป็นส่วนประกอบของอาคารที่แผ่รังสีสู่อุณหภูมิร่างกายมนุษย์ โดยเฉพาะเรือนไทยที่มีหลังคาสูง พื้นหลังคามาก และไม่มีฉนวน หรือฝ้าเพดานตีปิด ด้วยเหตุนี้มุมเอียงหลังคาจึงเป็นปัจจัยสำคัญต่อการแผ่รังสีจากหลังคามาสู่มนุษย์ และส่งผลถึงความรู้สึกที่ร้อน หนาวภายในอาคาร

ในการศึกษาอิทธิพลจากอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบกับมุมเอียงหลังคาทรงไทยนั้นได้ทำการศึกษาถึง ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้

- แนวความคิดพื้นฐานของอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ (Mean radiant temperature, MRT)
- อุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบจากหลังคาที่ส่งผลกระทบต่อความรู้สึกที่ร้อน หนาวภายในเรือนไทย

1) แนวความคิดพื้นฐานของอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ (Mean radiant temperature, MRT) อุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ ในความสัมพันธ์ที่เกี่ยวกับตำแหน่ง ลักษณะท่าทาง และเสื้อผ้าที่สวมใส่ของมนุษย์นั้น ถูกนิยามว่า คือ “อุณหภูมิที่คงที่ของสิ่งปิดล้อมสีดำ (Black enclosure) ที่มีการแลกเปลี่ยนความร้อนโดยการแผ่รังสี ในอัตราเท่ากับร่างกายมนุษย์ที่สูญเสียความร้อนโดยการแผ่รังสีนั้น ในสภาพแวดล้อมจริง” หรืออีกในแง่หนึ่ง เป็นค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิผิวผนัง เพดาน และพื้นห้อง ซึ่งขึ้นอยู่กับค่าการแผ่รังสีของวัสดุ (Emissivity) ความสามารถในการทำความเย็น หรือความร้อนโดยการแผ่รังสีของทุกพื้นผิวที่กระทำกับร่างกาย และตำแหน่งของส่วนที่เปิดเผยของร่างกาย ก็เป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงเช่นกัน

อุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ (Mean Radiant Temperature, MRT) นั้นวัดโดยค่าถ่วงเฉลี่ยของรังสีความร้อนที่มีอิทธิพลต่อสภาพแวดล้อมนั้นๆ ซึ่งรวมถึงแสงแดดโดยตรงด้วย อุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ (MRT) สามารถคำนวณจากอุณหภูมิพื้นผิวของด้านต่างๆ ในห้อง และตำแหน่งที่วัด MRT นั้น โดยใช้มุมกระทำ (Solid Angle) ที่เกิดขึ้นระหว่างตำแหน่งที่วัด และขอบเขตของแต่ละพื้นผิวโดยหาค่าเฉลี่ยออกมาเป็น MRT อย่างไรก็ตามผลของอุณหภูมิพื้นผิวที่มีต่อสภาวะน่าสบาย และการที่จะสามารถวัดออกมาได้นั้นจะใช้ในรูปของ Operative Temperature

Operative Temperature เป็นค่าเฉลี่ยระหว่างอุณหภูมิอากาศในห้อง และค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิพื้นผิวต่างๆ (MRT) ในห้องนั้น ในการวัดจะใช้ Globe Thermometer โดยใช้ลูกโลหะทองแดงกลมทาสีดำด้าน เจาะรูกลมเล็กๆ เพื่อใช้สอดเทอร์โมมิเตอร์เข้าไปให้อยู่ประมาณกึ่งกลางของลูกโลหะกลม เทอร์โมมิเตอร์นี้จะอ่านค่า Operative Temperature

อุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบต่างกับอุณหภูมิอากาศ เพราะอุณหภูมิอากาศเป็นการผสมกันระหว่าง Air Conduction และ Convection มากกว่า Radiation แต่อุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบเป็นอุณหภูมิที่เกิดจากการแผ่รังสี ซึ่งอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบนั้นมีอิทธิพลต่อสภาวะน่าสบายมากกว่าอุณหภูมิอากาศถึง 40 เปอร์เซ็นต์ (สุนทร บุญญาธิการ, 2536) นั่นคือถ้าอุณหภูมิอากาศสูงขึ้น 1.4 องศาเซลเซียส และ อุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบลดลง 1 องศาเซลเซียส ความรู้สึกที่ร้อน หนาวยังคงเหมือนเดิม และในทางกลับกันในห้องที่มีอุณหภูมิอากาศ 26 องศาเซลเซียส แต่อุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบนั้นสูง 32 องศาเซลเซียส ผู้ที่อยู่ในห้องนั้นก็ยิ่งรู้สึกที่ร้อนอยู่

การใช้อุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ (MRT) ในการปรับสภาพแวดล้อมภายในนั้นก็เพื่อทำให้ร่างกายสูญเสียความร้อนได้ดี นั่นก็คือการทำให้สภาพแวดล้อมภายในอาคารเย็น โดยจะทำให้เกิดการแผ่รังสีความร้อนจากร่างกายไปสู่พื้นผิวที่เย็นกว่า ซึ่งก็คือเปลือกอาคาร ได้แก่ พื้น ผนัง และหลังคาภายในอาคารรอบตัวผู้อยู่อาศัย ถ้าสภาพภายในอาคารมีอุณหภูมิของพื้นผิว (Surface Temperature) ที่ต่ำก็จะทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบต่ำ ร่างกายก็จะสูญเสียความร้อนโดยการแผ่รังสีได้ดีขึ้น ทำให้รู้สึกเย็นขึ้น และในบางครั้งอิทธิพลของอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบจะมีผลทำให้สภาพแวดล้อมภายในอาคารอยู่ในสภาวะน่าสบายมากกว่าอิทธิพลของตัวแปรอื่นๆ

2) อุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบจากหลังคาที่ส่งผลกระทบต่อความรู้สึกร้อน หนาวในเรือนไทย การคำนวณค่าอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบนั้นสามารถทำได้หลายวิธีที่แตกต่างกัน ตามแต่ งานวิจัยที่เคยมีผู้ทำขึ้นมา ซึ่งสรุปได้ดังนี้⁶

1. การคำนวณ MRT จากอุณหภูมิอากาศ และอุณหภูมิ Globe thermometer

$$T_{mrt} = \sqrt[4]{(T_g + 273)^4 + \frac{h_{cg}}{h_r}(T_g - T_a) - 273} \quad (35)$$

โดยที่ T_{mrt} = อุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ ($^{\circ}\text{C}$)
 T_g = อุณหภูมิที่วัดได้จาก Globe thermometer ($^{\circ}\text{C}$)
 T_a = อุณหภูมิอากาศ ($^{\circ}\text{C}$)
 h_{cg} = ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของ Globe thermometer ($\text{W}/\text{m}^2/^{\circ}\text{C}$)

$$= \max \left[\begin{array}{l} 6.3 \frac{(v_a)^{0.6}}{D^{0.4}} \quad \text{Forced convection} \\ 1.4 \left(\frac{|T_g - T_a|}{D} \right)^{0.25} \quad \text{Free convection} \end{array} \right]$$

เมื่อ v_a = ความเร็วลมเฉลี่ยแต่ละท้องถิ่น (m/s)

D = เส้นผ่านศูนย์กลาง Globe thermometer (m)

h_r = ค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน ($\text{W}/\text{m}^2/^{\circ}\text{C}$)

$$= \epsilon \sigma = (0.95) \times (5.61 \times 10^{-8}) = 5.38 \times 10^{-8}$$

⁶ ที่มาของข้อมูล และสมการ เรียบเรียงจาก Innova airtech instrument. Thermal comfort[Online]. 1997. Available from: [http:// www.innova.dk/books/thremal/thremal.html](http://www.innova.dk/books/thremal/thremal.html) [2002, Jan 15]

2. การคำนวณ MRT จากการประมาณค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีของระนาบพื้นผิว
(Plane radiant temperature)

- สำหรับบุคคลนั่ง มีสมการคือ

$$T_{mrt} = \frac{0.18 [T_{pr(up)} + T_{pr(down)}] + 0.22 [T_{pr(right)} + T_{pr(left)}] + 0.30 [T_{pr(front)} + T_{pr(back)}]}{2(0.08 + 0.22 + 0.30)} \quad (36)$$

- สำหรับบุคคลยืน มีสมการคือ

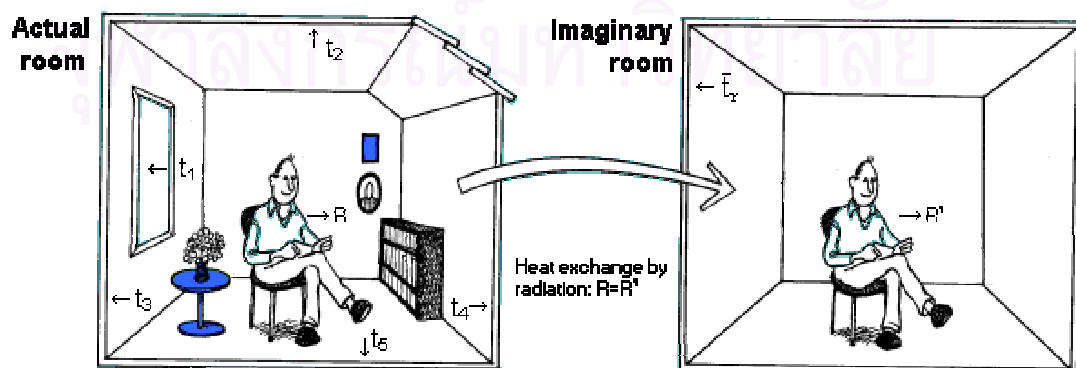
$$T_{mrt} = \frac{0.08 [T_{pr(up)} + T_{pr(down)}] + 0.23 [T_{pr(right)} + T_{pr(left)}] + 0.35 [T_{pr(front)} + T_{pr(back)}]}{2(0.08 + 0.23 + 0.35)} \quad (37)$$

โดยที่ T_{pr} = อุณหภูมิการแผ่รังสีของระนาบพื้นผิว ($^{\circ}\text{C}$)
มีทั้งหมด 6 ตำแหน่งคือ บน, ล่าง, ขวา, ซ้าย, หน้า และหลัง

3. การคำนวณ MRT จากการประมาณค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีของระนาบพื้นผิว และค่า View factor

$$T_{mrt} = \sqrt[4]{\sum_n F_{p-i} (T_i + 273)^4} - 273 \quad (38)$$

โดยที่ T_i = อุณหภูมิพื้นผิว i ($^{\circ}\text{C}$)
 F_{p-i} = View factor ระหว่างบุคคล กับพื้นผิว i



รูป 2-26 แสดงการคิดอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบจากห้องปกติ และห้องสมมติ

ที่มา: Innova airtech instrument. Thermal comfort[Online]. 1997. Available from:
[http:// www.innova.dk/books/thremal/thermal.html](http://www.innova.dk/books/thremal/thermal.html) [2002, Jan 15]

4. การคำนวณ MRT จากการประมาณค่าพื้นผิว และอุณหภูมิพื้นผิว

$$T_{mrt} = \frac{T_1 A_1 + T_2 A_2 + \dots + T_N A_N}{A_1 + A_2 + \dots + A_N} \quad (39)$$

โดยที่ T_N = อุณหภูมิพื้นผิว N
 A_N = พื้นที่ผิวของระนาบพื้นผิว N

ที่มา: Fanger, P.O. Thermal Comfort: Analysis and Application in environmental Engineering, 1970: pp. 148.

วิธีที่ 1 จะใช้เมื่อสามารถวัดอุณหภูมิจาก Globe thermometer ได้ ส่วนวิธีที่ 2 และ 3 จะคล้ายกัน คือ ใช้เมื่อไม่ทราบค่าอุณหภูมิจาก Globe thermometer แต่ทราบค่า View factor จากบุคคลไปยังพื้นผิวแต่ละส่วน ส่วนวิธีการสุดท้ายจะใช้เมื่อหาค่าพื้นที่ผิวระนาบต่างๆ และอุณหภูมิที่พื้นผิวนั้นๆ ได้จากวิธีการทั้งหมดวิธีที่ 4 สะดวก และนิยมใช้ในการคำนวณที่สุด แต่อาจจะทำให้ค่าคลาดเคลื่อนมากกว่าวิธีการอื่นๆ ถ้าอุณหภูมิแต่ละพื้นผิวนั้นมีค่าแตกต่างกันสูงกว่าปกติ หรือขนาดของห้อง เช่น พื้น กับ เพดาน มีความสูงที่ห่างกันมาก อย่างไรก็ตาม หากการคำนวณยอมให้มีความคลาดเคลื่อนได้บ้างก็เหมาะสมที่จะใช้วิธีการที่ 4 ในการคำนวณ

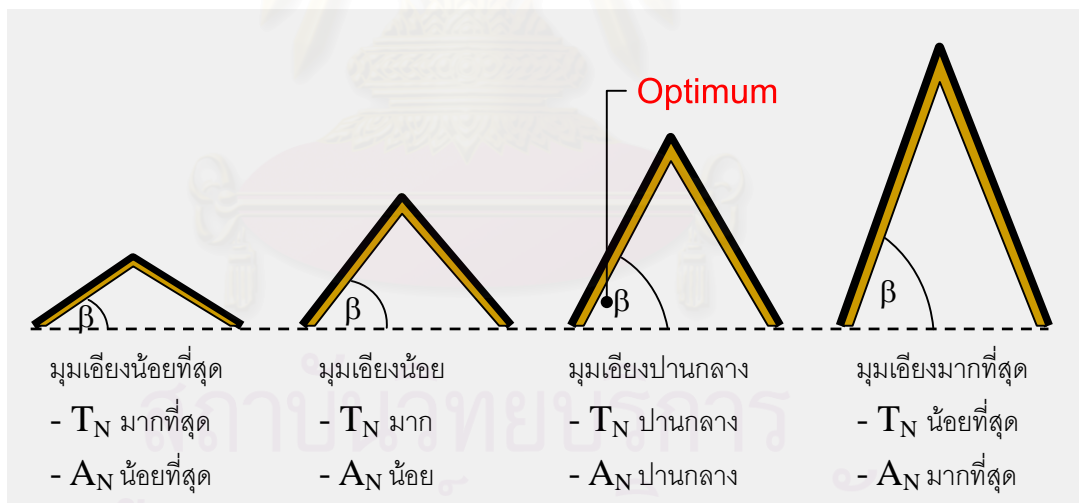
จากการวิเคราะห์เมื่อระนาบพื้นผิวหลังคามีมุมเอียงที่กระทำกับแนวระนาบเพิ่มมากขึ้น (หลังคาชันขึ้น) จะทำให้ค่า View factor หรือ Angle factor ที่เปิดสู่ท้องฟ้า และเปิดสู่ผู้อยู่อาศัยน้อยลง ทำให้การแผ่รังสีความร้อนจากระนาบหลังคา และอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบลดลง (พิจารณาเพียงแค่อิทธิพลที่มาจากหลังคาเท่านั้น ไม่รวมถึงพื้น และผนัง) จากงานวิจัยของอโณทัย ธนะเจริญกิจ (2543) เรื่อง “การศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบกับไซนัสบาย” และงานวิจัยของดิเรก วงศ์พนิตกฤต เรื่อง “การวิเคราะห์พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านเปลือกอาคารของเรือนไทย” (2543) ซึ่งทำการจำลองสภาพอาคารด้วยกล่องทดลองที่มีหลังคาจั่วโครงสร้างไม้ ปลูกด้วยกระเบื้องดินเผา มุมเอียงแตกต่างกัน 3 มุม ได้แก่ 30, 45 และ 60 องศาพบว่า อุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบภายในกล่องทดลองนั้นจะสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองในช่วงที่อุณหภูมิอากาศภายนอกสูงสุดของวัน และกล่องที่มีมุมเอียงหลังคา 60 องศาจะมีทั้งอุณหภูมิอากาศภายใน และอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบในช่วงที่อุณหภูมิอากาศภายนอกสูงสุดของวันต่ำที่สุด (ต่ำกว่ากล่องที่เหลือ 2.5-3 องศาเซลเซียสโดยประมาณ) โดยกล่องที่มีมุมเอียง 30 องศาจะมีทั้งอุณหภูมิอากาศภายใน และอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบในช่วงที่อุณหภูมิอากาศภายนอกสูงสุดของวันสูงที่สุด ส่วนในเวลากลางวันจะตรงข้ามกันเนื่องจากการแลกเปลี่ยนรังสีคลื่นยาวกับชั้นบรรยากาศ กล่องที่มีมุมเอียงหลังคา 30 องศาจะมีมุมเปิดสู่ท้องฟ้า (View factor) มากที่สุดทำให้อุณหภูมิลดลงมากกว่ากล่องทดลองที่มีมุมเอียง 45 และ 60 องศา

แต่อย่างไรก็ตามเมื่อถึงจุดๆ หนึ่งที่มุมเอียงหลังคาถึงจะมากกว่านั้นก็ไม่มีผลทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบลดลงมากไปกว่านั้นอีกแล้ว หรือลดลงเพียงเล็กน้อย ซึ่งเรียกว่าเป็น Optimum angle of roof slope โดยจะพิจารณาจากสมการที่ (39) อุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบจะแปรผันกับตัวแปรอื่นใน 2 ลักษณะคือ

$$T_{mrt} = \frac{T_1 A_1 + T_2 A_2 + \dots + T_N A_N}{A_1 + A_2 + \dots + A_N}$$

- แปรผกผันกับ ผลรวมของพื้นที่ผิวทั้งหมดที่พิจารณา
- แปรผันตรงกับ ผลรวมอุณหภูมิผิวคูณด้วยพื้นที่ผิวนั้น

เมื่อระนาบเอียงของหลังคามากขึ้นทำให้ได้รับปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบน้อยลง เนื่องจากรังสีไม่ตั้งฉากกับระนาบหลังคา เป็นผลให้อุณหภูมิผิวหลังคา (T_N) นั้นต่ำลง แต่ในขณะเดียวกัน พื้นที่ผิวของหลังคาจะเพิ่มมากขึ้น (A_N) และจะเริ่มมากขึ้นในอัตราสูงเมื่อมุมเอียงหลังคานั้นมีองศา มากกว่า 60 องศาขึ้นไป ทำให้หลังคามีพื้นที่ผิวในการแผ่รังสีความร้อนมาก ส่วนในแง่ของการก่อสร้าง และความแข็งแรง คงทน ก็มีความเหมาะสม เนื่องจากถ้าหลังคาชันมากไปจะยากต่อการก่อสร้าง และจะขาดประสิทธิภาพในการต้านทานแรงลม (ดูรูป 2-16) หลังคาจะเสียหายได้ง่าย



รูป 2-27 แสดงจุดเหมาะสมที่สุดของอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบที่ขึ้นกับตัวแปร 2 ตัวคือ อุณหภูมิผิว กับพื้นที่ผิว ที่สมดุลกัน เนื่องจากมุมเอียงหลังคาที่ดีที่สุด

รูปประกอบโดย รัชฎ สุमानนท์

2.4 หลังคาทรงไทยกับฝ้าเพดาน และการใส่ฉนวน

เรือนไทยในอดีตนั้นไม่มีฝ้าเพดาน หรือฉนวนสำหรับกันความร้อนใดๆ อาจเป็นเพราะสาเหตุต่างๆ เช่น (สมภพ ภิรมย์, 2538: 65)

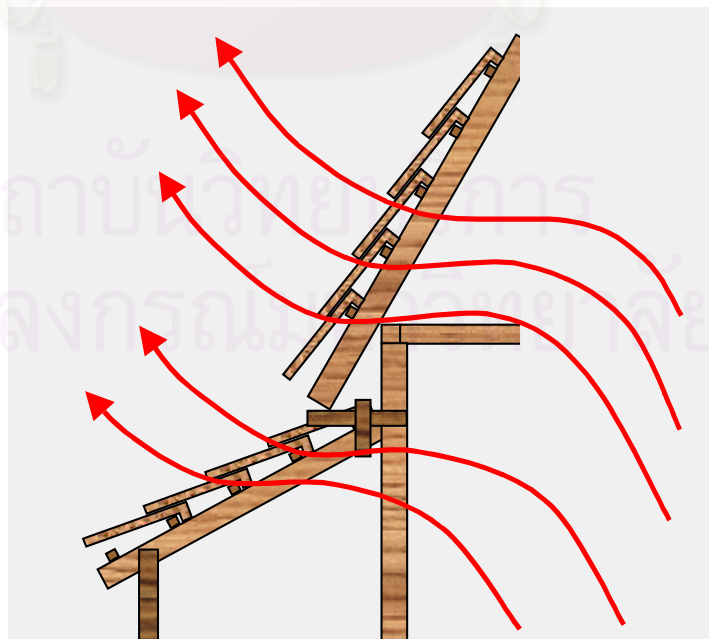
- เป็นการเพิ่มน้ำหนักให้แก่โครงหลังคา
- การยึดไม้แน่นพอ อาจมีอันตราย
- การทำสำเร็จรูปแบบเรือนไทย คงจะยกติดตั้งไม่สะดวก
- เปลืองแรงงาน และระยะเวลาซึ่งจะต้องสร้างให้เสร็จในวันเดียว
- เมื่อเกิดการชำรุด เช่น กระเบื้องหลุด น้ำฝนรั่ว จะเห็นได้ชัดเจน และสามารถซ่อมแซมจากภายในได้
- เป็นการรอดฝีมือการปูกระเบื้องที่ประณีต ของช่างไทยสมัยโบราณ

แต่เมื่อวิเคราะห์ในแง่ของ ผลกระทบต่อความรู้สึกร้อน หนาวของผู้อยู่อาศัยในเรือนไทย จะสรุปได้เป็น 2 หัวข้อใหญ่ๆ ได้แก่

- การระบายความร้อนสะสมออกทางหลังคา
- การปรับสมดุลความร้อน หนาวในเวลากลางวัน และกลางคืน

2.4.1 การระบายความร้อนสะสมออกทางหลังคา

การไม่ติดตั้งฝ้าเพดาน หรือฉนวนในเรือนไทย ซึ่งแตกต่างจากบ้านพักอาศัยในปัจจุบัน มีผลดีคือ ในช่วงเวลากลางวันความร้อนที่สะสมภายในห้องจะค่อยๆ ลอยตัวขึ้นเมื่อมีอากาศที่อุณหภูมิต่ำกว่ามาแทนที่ เป็นการระบายความร้อนในแนวตั้งตามทฤษฎีความร้อนลอยตัวสูงขึ้น ความร้อนที่สะสมอยู่ใต้หลังคาจะระบายผ่านออกไปทางรอยต่อของวัสดุผนังหลังคา เช่นกระเบื้องดินเผาได้โดยไม่มีฝ้าเพดาน หรือฉนวนมาขวางกั้น



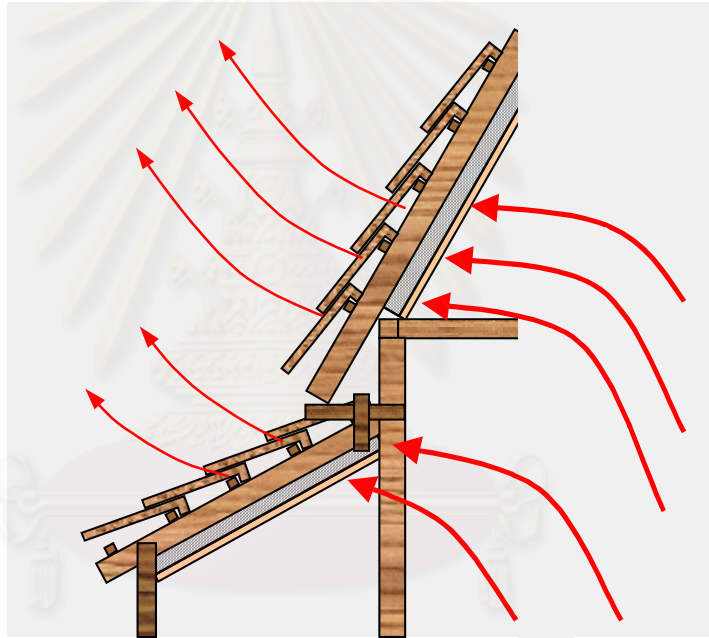
รูป 2-28 แสดงการระบายความร้อนสะสมภายใต้หลังคาทรงไทย ผ่านทางรอยต่อของวัสดุผนังหลังคา

รูปประกอบโดย รชฎ สุมานนท์

2.4.2 การปรับสมดุลความร้อน หนาวในเวลากลางวัน และกลางคืน

ในเวลากลางคืนความร้อนที่สะสมอยู่ในวัสดุภายในห้อง เช่น พื้น ผนัง จะคายออกกลับสู่ท้องฟ้า โดยการแผ่รังสีคลื่นยาว ความร้อนนั้นจะผ่านกลับออกไปทางหลังคาที่ไม่มีฉนวน หรือฝ้าเพดานได้อย่างสะดวกเช่นเดียวกับในเวลากลางวัน ส่งผลให้อุณหภูมิภายในเรือนไทยจะเย็นลงกว่าบ้านที่มีการติดตั้งฉนวน หรือฝ้าเพดาน

จากการวิจัยของจุไรพร ตุมพสุวรรณ (2540) โดยทำการสร้างกล่องทดลองแทนบ้านหลังคาแบนราบ และหลังคาทรงปั้นหยา ที่มีมุมเอียง 0, 30, 45 และ 60 องศา พบว่าในเดือนมีนาคมในประเทศไทย ในช่วงเวลากลางคืนนั้นกล่องทดลองที่มีการติดตั้งฉนวน จะมีความร้อนสะสมภายในมากกว่ากล่องที่ไม่มีฉนวน จากการวิเคราะห์จึงอาจสรุปได้ว่าการที่เรือนไทยไม่มีการติดตั้งฝ้าเพดานนั้น นอกจากเหตุผลด้านการก่อสร้างแล้ว ยังเป็นการช่วยให้อุณหภูมิภายในเรือนไทยนั้นลดลงเร็วขึ้น เนื่องจากมีการระบายความร้อนสะสมได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่งผลให้เกิดความสมดุลในเรื่องความร้อน หนาวที่เหมาะสมสำหรับการอยู่อาศัย



รูป 2-29 แสดงหลังคาทรงไทย ที่มีการติดตั้งฝ้าเพดาน และฉนวนทำให้การระบายความร้อนที่สะสมได้น้อยลง

รูปประกอบโดย รชฎ สุมานนท์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.5 บทสรุปในการศึกษาทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับอิทธิพลของมุมเอียงหลังคาที่มีต่อความรู้สึกร้อนหนาวภายในเรือนไทยนั้น ทำให้ทราบถึงตัวแปร หรือปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องจึงสามารถสรุปถึงที่มาของมุมเอียงหลังคาทรงไทยได้โดยดังต่อไปนี้⁷

2.5.1 อิทธิพลจากดวงอาทิตย์ และท้องฟ้า กับมุมเอียงหลังคาทรงไทย

หลังคาทรงไทยมีมุมเอียงสูงชันทำให้ได้รับอิทธิพลจากรังสีตรงของดวงอาทิตย์ในปริมาณที่น้อยกว่าหลังคาที่แบนราบ เนื่องจากรังสีตรงจากดวงอาทิตย์จะไม่ตั้งฉากกับพื้นผิวระนาบหลังคาโดยเฉพาะช่วงที่ดวงอาทิตย์โคจรถึงจุดสูงสุดในวันนั้น จากการคำนวณ (รูป 2-3) หลังคาทรงไทย (มุม เอียง 60 องศา) จะมีปริมาณรังสีตรงตกกระทบพื้นผิวหลังคาน้อยกว่าหลังคาแบนราบ (มุมเอียง 0 องศา) ถึงประมาณ 75 % ส่วนรังสีกระจายจากดวงอาทิตย์ที่พื้นผิวหลังคาจะได้รับนั้นขึ้นกับค่า F_{c-s} หรือ View factor จากหลังคาไปยังท้องฟ้า ซึ่งเท่ากับ $(1 + \cos\beta)/2$ ดังนั้นเมื่อมุมเอียง (β) มีค่ามากขึ้นค่า View factor จากหลังคาไปยังท้องฟ้าจึงมีค่าน้อยลง ทำให้ปริมาณรังสีกระจายที่ตกกระทบลงบนหลังคาน้อยลง

อิทธิพลจากดวงอาทิตย์อีกอย่างหนึ่งคือเรื่องทิศทางการวางหลังคา โดยเรือนไทยจะวางผังเรือนตามตะวัน คือหันด้านหน้าจั่ว หรือด้านสกัดไปตามแกนทิศตะวันออก-ตะวันตก การวางผังดังกล่าวเป็นเหตุให้หลังคาด้านที่หันไปทางทิศเหนือได้รับปริมาณรังสีตรงน้อยลง ทำให้ความร้อนถ่ายเทเข้าสู่อาคารได้น้อยลง ส่วนทิศตะวันตกและตะวันตกว่านั้นได้รับอิทธิพลจากรังสีตรงดวงอาทิตย์มากกว่าทิศเหนือ เรือนไทยจึงหันด้านสกัดซึ่งมีพื้นผิวในการรับรังสีดวงอาทิตย์น้อยไปด้านดังกล่าว

ส่วนในเวลากลางคืนหลังคาจะแลกเปลี่ยนความร้อนกับท้องฟ้าโดยการคายรังสีคลื่นยาวกลับสู่ชั้นบรรยากาศทำให้อุณหภูมิมิผิวหลังคา และอุณหภูมิภายในบ้านลดลง และเนื่องจากว่าเรือนไทยส่วนใหญ่นั้นนิยมสร้างให้มีชาน (Courtyard) ดังนั้นเมื่อผิวหลังคาเย็นลงจากการคายรังสีกลับคืนสู่ท้องฟ้า เป็นผลให้อากาศเหนือพื้นผิวหลังคาเย็นลงกว่าอุณหภูมิอากาศสภาพแวดล้อมโดยรอบ อากาศเย็นที่มีคุณสมบัติเหมือนของไหล จึงไหลลงแทนที่อากาศที่ร้อนกว่า และกักเก็บอยู่ในชาน (Courtyard) เปรียบเสมือนเป็นอ่างขนาดใหญ่ที่กักเก็บอากาศเย็นเมื่ออากาศเย็นนั้นมีปริมาณมากพอ ก็จะค่อยๆ ไหลเข้าสู่ตัวเรือน ส่วนมุมเอียงหลังคาเรือนไทยนั้น จากการวิเคราะห์พบว่า เป็นมุมที่มีค่าการคายรังสีอยู่ในช่วงเฉลี่ยของพื้นผิวโหลหะทั่วไป รวมทั้งค่ามุมเปิดสู่ท้องฟ้านั้นก็มีค่าอยู่ในช่วงกลางๆ จึงสรุปว่ามุมเอียงของหลังคาทรงไทยนั้นมีค่าพอดีกับการคายรังสีแลกเปลี่ยนกับท้องฟ้า เพื่อที่จะลดอุณหภูมิผิวหลังคาในเวลากลางคืนได้ไม่มาก และไม่เย็นเกินไป ทำให้ผู้อยู่อาศัยไม่ร้อน หรือหนาวจนเกินไป

2.5.2 อิทธิพลจากการลอยตัว และการระบายอากาศภายในหลังคาทรงไทย

เรือนไทยมีหลังคาที่สูงชัน เนื้อที่ใต้หลังคามาก ดังนั้นอากาศร้อนที่มีความหนาแน่นของมวลอากาศลดลงจึงลอยตัวสูงขึ้นไปยังส่วนที่สูงที่สุดของพื้นที่ใต้หลังคา เป็นผลให้ความร้อนถ่ายเทมาสู่ผู้เข้าอาคารได้

⁷ เป็นการสรุปจากส่วนที่ทำการศึกษาทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเท่านั้น ไม่ได้รวมถึงบทสรุปที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลที่เกิดขึ้นจากการทดลองในสภาพแวดล้อมจริง ซึ่งต้องใช้ข้อมูลที่ได้จากทั้งสองส่วนมาวิเคราะห์ เพื่อหาข้อสรุปร่วมกัน

น้อยกว่า เมื่อเทียบกับหลังคาที่มุงเอียงน้อย และความร้อนนั้นจะไม่สะสมเนื่องจากสามารถระบายออกทางรอยต่อของวัสดุมุงหลังคาได้ รวมทั้งรูปแบบหลังคาดังกล่าวเอื้ออำนวยให้เกิดความแตกต่างของความกดอากาศด้านหน้าและด้านหลังของหลังคาทำให้เกิดแรงดูดความร้อนให้ระบายออกไปในด้านที่มีความกดอากาศต่ำกว่าได้มากขึ้น ปกติการณนี้เกิดขึ้นได้แม้วันที่ไม่มีกระแสลม ดังนั้นวันที่แดดจัด อากาศร้อน แต่ไม่มีลม อากาศร้อนในเรือนไทยก็ยังสามารถระบายออกได้

2.5.3 การแผ่รังสีความร้อน และอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ (MRT) ของหลังคาทรงไทย

จากการศึกษาพบว่าหลังคาทรงไทยมีมุมเอียงมากทำให้ได้รับรังสีดวงอาทิตย์ที่ตั้งฉากกับระนาบหลังคาเพียงด้านเดียว ทำให้มีพื้นที่ในการแผ่รังสีความร้อนมาสู่ผู้อยู่อาศัยน้อยกว่าหลังคาแบนราบ และยังมี View factor จากพื้นผิวหลังคาที่เปิดสู่ภายในเรือนน้อยกว่าบ้านในปัจจุบัน และเนื่องจากปริมาณรังสีที่ตกกระทบนั้นน้อยลงทำให้อุณหภูมิผิวหลังคาน้อยลง ส่งผลให้อุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดย (MRT) รอบน้อยลงตามไปด้วย

2.5.4 หลังคาทรงไทยกับฝ้าเพดาน และการใส่ฉนวน

การไม่ติดตั้งฝ้าเพดาน หรือฉนวนในเรือน มีผลดีคือ ในช่วงเวลากลางวันความร้อนที่สะสมภายในห้องจะค่อยๆ ลอยตัวขึ้นเมื่อมีอากาศที่อุณหภูมิต่ำกว่ามาแทนที่ และความร้อนที่สะสมอยู่ใต้หลังคานั้นจะระบายผ่านออกไปทางรอยต่อของวัสดุมุงหลังคา เช่นกระเบื้องดินเผาได้โดยไม่มีฝ้าเพดาน หรือฉนวนมาขวางกั้น ส่วนในเวลากลางคืนความร้อนจากวัสดุที่อยู่ภายในห้อง จะคายออกกลับสู่ท้องฟ้าโดยการแผ่รังสีคลื่นยาวผ่านกลับออกไปทางหลังคาที่ไม่มีฉนวน หรือฝ้าเพดานได้อย่างสะดวกเช่นเดียวกับในเวลากลางวัน

บทที่ 3

การดำเนินการวิจัย

จากการศึกษาทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ทำให้ทราบถึงอิทธิพลตัวแปรในเบื้องต้น และแนวทางในการดำเนินการวิจัยในขั้นตอนการศึกษาเชิงปฏิบัติการ ซึ่งเป็นการทดสอบตัวแปรต่างๆ จากหุ่นจำลองขนาดย่อส่วนในสภาวะแวดล้อมจริง โดยมีวิธีดำเนินการวิจัยดังต่อไปนี้

3.1 ขั้นตอนเตรียมการวิจัยเชิงการทดลอง

การวิจัยนี้ ทำขึ้นเพื่อต้องการศึกษาอิทธิพลของตัวแปร ที่ทำให้เกิดมุมเอียงของหลังคาเรือนไทยประเพณี โดยเน้นด้านความรู้สึกร้อน หนาว (Thermal Comfort) ภายในอาคาร และความเป็นไปได้ในแง่ของการนำไปประยุกต์ใช้กับงานจริง ซึ่งมีขั้นตอนการเตรียมการวิจัยดังนี้

3.1.1 การเตรียมสถานที่ทดลอง

สถานที่ที่ใช้ในการวิจัยได้กำหนดให้เป็นพื้นที่ตัวแทนของสภาพภูมิอากาศในเขตร้อนชื้น และต้องไม่มีผลกระทบของตัวแปรภายนอกจากสภาพแวดล้อมใกล้เคียง คือ ต้องเป็นพื้นที่โล่งแจ้ง ไม่มีสิ่งปลูกสร้างในบริเวณรอบข้าง เช่น พื้นถนนคอนกรีต อาคารขนาดใหญ่ หรือต้นไม้ใหญ่ ที่อาจทำให้อิทธิพลของตัวแปรที่จะทำการทดสอบมีความคลาดเคลื่อน หรือไม่สม่ำเสมอ สถานที่ที่ใช้ในการวิจัยนี้ ตั้งอยู่บริเวณหมู่บ้านเมืองเอก จังหวัดปทุมธานี มีพื้นที่ขนาดประมาณ 1 ไร่ ดังรูป

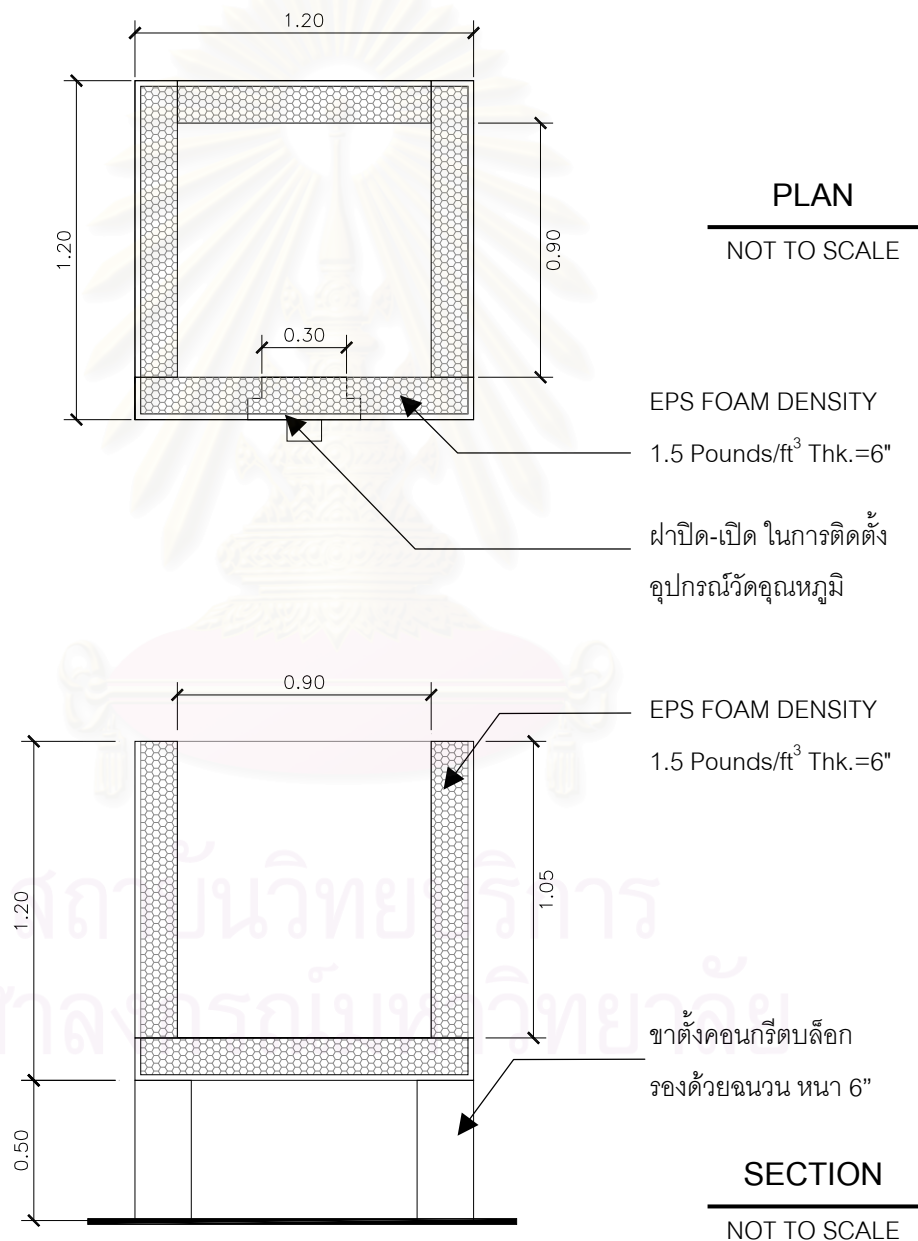


รูป 3-1 แสดงสถานที่ทดลองที่เป็นที่โล่ง

3.1.2 การเตรียมหุ่นจำลอง

การจำลองสภาพอาคารจะใช้หุ่นจำลองขนาดย่อส่วน โดยกำหนดวัสดุถุงมุงหลังคาที่จะนำมาใช้ในการวิจัยเป็นกระเบื้องดินเผาชนิดทางเหยี่ยว หรือหางมน สีธรรมชาติ มุงลงบนโครงหลังคาไม้ตามรูปแบบของเรือนไทยในอดีต ส่วนพื้น และผนังของหุ่นจำลองเป็นโฟมชนิด EPS (Expanded polystyrene foam) ที่มีความหนาแน่น 1.5 ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต มีขนาดภายนอก 1.20 x 1.20 x 1.20 เมตร ขนาดภายใน 0.90 x 0.90 x 0.90 เมตร ประกอบด้วยผนังโฟม 5 ด้าน ด้านบนเจาะช่องเปิดสำหรับติดตั้งหลังคาที่ทำการวิจัย และเจาะช่องสี่เหลี่ยมขนาด 0.30 x 0.30 เมตร ที่ด้านหนึ่งของผนังเพื่อเป็นฝาเปิดในการติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ

1) ส่วนผนัง และพื้นของหุ่นจำลอง ที่ใช้ในการวิจัย มีรายละเอียดดังนี้



รูป 3-2 (ก) แสดงรายละเอียดของหุ่นจำลอง-PLAN

(ข) แสดงรายละเอียดของหุ่นจำลอง-SECTION

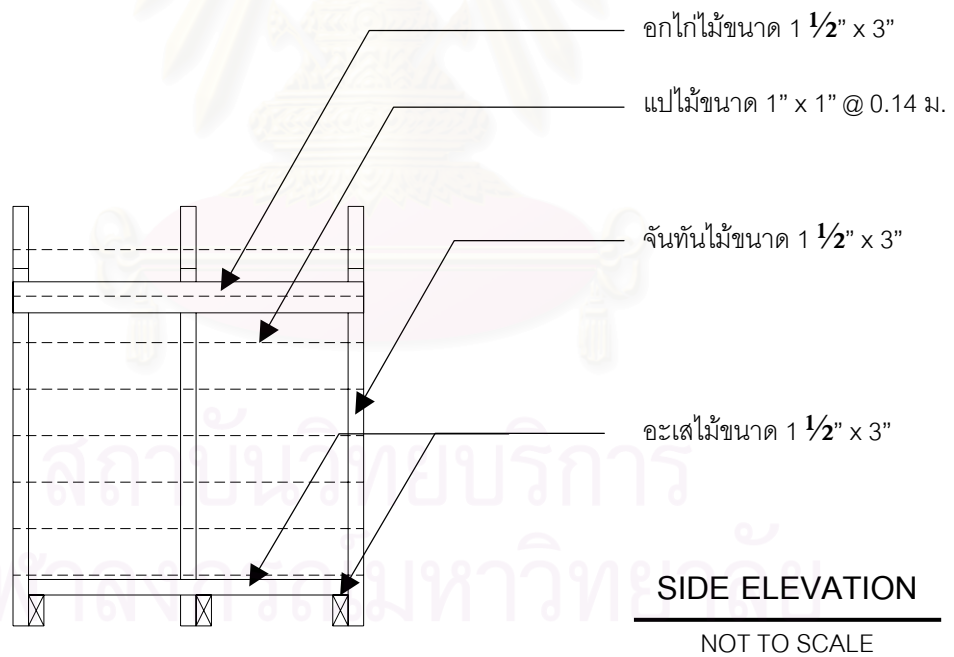
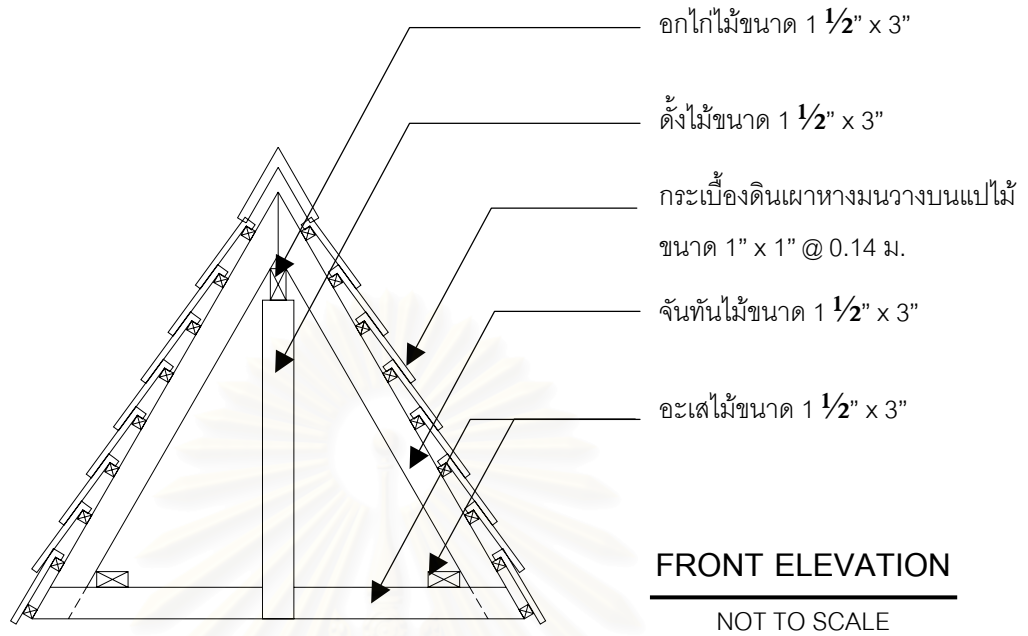


รูป 3-3 แสดงขั้นตอนการสร้างหุ่นจำลอง



รูป 3-4 แสดงหุ่นจำลองที่ฉาบสีให้พื้นผิวภายนอกเป็นเนื้อเดียวกัน

2) ส่วนหลังคาของหุ่นจำลอง ที่ใช้ในการวิจัย มีรายละเอียดดังนี้



รูป 3-5 (ก) แสดงรายละเอียดโครงหลังคาของหุ่นจำลอง-FRONT ELEVATION

(ข) แสดงรายละเอียดโครงหลังคาของหุ่นจำลอง-SIDE ELEVATION



รูป 3-6 แสดงโครงหลังคาไม้ที่ใช้ในการวิจัย



รูป 3-7 แสดงกระเบื้องมุงหลังคาที่ใช้ในการวิจัย เป็นกระเบื้องหางมน ชนิดไม่เคลือบผิว สีธรรมชาติ

3) ขั้นตอนการติดตั้งหุ่นจำลอง มีรายละเอียดดังนี้



รูป 3-8 (ก) แสดงการติดตั้งโครงไม้ที่เป็นฐานรองรับโครงหลังคา



(ข) แสดงโครงไม้ที่เป็นฐานรองรับโครงหลังคาที่ติดตั้งเสร็จแล้ว



(ค) แสดงการติดตั้งโครงหลังคาไม้ลงบนผนังหุ่นจำลอง



(ง) แสดงการติดตั้งหน้าจั่วที่ใช้วัสดุชนิดเดียวกับตัวผนังหุ่นจำลอง



รูป 3-9 (ก) แสดงหุ่นจำลองที่เสร็จสมบูรณ์พร้อมในการติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ ด้านหน้า

(ข) แสดงหุ่นจำลองที่เสร็จสมบูรณ์พร้อมในการติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ ด้านข้าง

3.1.3 การเตรียมเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1) เครื่องมือวัดอุณหภูมิ

ใช้เครื่อง Data Logger System 200 เป็นตัวรับสัญญาณ โดยบันทึกข้อมูลผ่านเครื่องคอมพิวเตอร์ ด้วยโปรแกรม Sciometric Gen 200 Window-Based Software Version 1.46 เป็นเครื่องมือในการเก็บข้อมูลทางอุณหภูมิ การติดตั้งเครื่องมือเก็บค่าอุณหภูมินี้ควรติดตั้งในสถานที่ที่สามารถป้องกันความร้อนจากแสงอาทิตย์ ฝน ความชื้น และฝุ่นละอองจากสภาพแวดล้อมภายนอกไม่ให้มากระทบเครื่องโดยตรง รวมทั้งควรต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าทุกตัวเข้ากับเครื่องสำรองไฟ (UPS) เพื่อป้องกันการสูญหายของข้อมูล ในกรณีที่กระแสไฟฟ้าตก หรือดับ การเก็บค่าอุณหภูมิจะทำการเก็บข้อมูลทุกๆ 5 นาที แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยทุก 15 นาที ตลอดช่วงเวลาในการทดลอง



รูป 3-10 แสดงเครื่องมือเก็บค่าอุณหภูมิ Data Logger System 200



รูป 3-11 แสดงเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้เชื่อมต่อ และจัดเก็บข้อมูลจากเครื่องมือวัดอุณหภูมิ

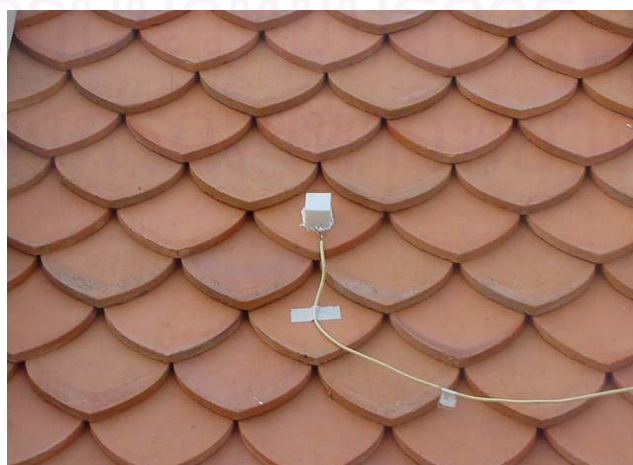
2) สายวัด และหัววัดอุณหภูมิ

หัวเซ็นเซอร์ที่ใช้ในการตรวจจับอุณหภูมิ คือ เทอร์มิสเตอร์ (Thermister) ขนาดความต้านทาน 10 กิโลโอห์ม เป็นตัวรับสัญญาณ ต่อเข้ากับสายโทรศัพท์แบบ 2 สาย (2C) ทำหน้าที่เป็นสายวัดอุณหภูมิ และแปลงสัญญาณเข้ากับเครื่อง Data Logger System 200 เมื่อติดตั้งหัวเทอร์มิสเตอร์เข้ากับสายสัญญาณแล้ว ต้องมีการเคลือบด้วยวัสดุป้องกันความชื้น เช่น แลคเกอร์ กาวยาง ที่บริเวณหัวเทอร์มิสเตอร์ และรอยต่อของสาย เพื่อป้องกันการไม่ให้เกิดความผิดพลาดในการอ่านข้อมูล

- การวัดอุณหภูมิอากาศ (Dry bulb temperature, DBT) จะใช้หัวเซ็นเซอร์สัมผัสอากาศรอบด้าน และมีการป้องกันไม่ให้เกิดรังสีความร้อนจากสภาพแวดล้อมโดยตรง เช่น รังสีตรงจากดวงอาทิตย์ หรือ การแผ่รังสีจากวัตถุอื่น
- การวัดอุณหภูมิผิววัสดุ (Surface temperature) จะใช้หัวเซ็นเซอร์สัมผัสกับเนื้อผิววัสดุที่ต้องการ และมีการป้องกันอิทธิพลของรังสีความร้อนจากสภาพแวดล้อม โดยการใช้โฟม EPS ที่มีความหนาแน่น 1.5 ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต ขนาดประมาณ $0.025 \times 0.025 \times 0.025$ เมตร ปิดหัวเซ็นเซอร์ที่วัดอุณหภูมิ และยาแนวรอบๆ ด้วยซิลิโคน เพื่อป้องกันการรั่วซึมจากอากาศภายนอก



รูป 3-12 (ก) แสดงสายวัด และหัววัดอุณหภูมิเทอร์มิสเตอร์ (Thermister)



รูป 3-12 (ข) แสดงการติดตั้งหัววัดอุณหภูมิผิววัสดุ

3.1.4 การทดสอบความเที่ยงตรงของเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ก่อนการทดลองต้องมีการทดสอบความเที่ยงตรงของเครื่องมือต่างๆ โดยการเทียบมาตรฐาน (Calibration) เพื่อให้ข้อมูลมีความน่าเชื่อถือ หรือมีความคลาดเคลื่อนให้น้อยที่สุดที่ยอมรับได้ ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1) ควรมีการต่อสายดินเข้ากับเครื่องมือวัดอุณหภูมิในขณะวัดอุณหภูมิ เพื่อป้องกันการรบกวนของกระแสไฟ และเพื่อให้กระแสในทิวเซ็นเซอร์เป็นศูนย์

2) ทำการทดสอบสายสัญญาณวัดข้อมูล และปรับตั้งค่าตัวประกอบ โดยนำสายสัญญาณวัดข้อมูลแต่ละสายมาวางไว้ในจุดเดียวกัน สภาวะเดียวกัน ในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 80 – 15 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นช่วงที่ใกล้เคียงกับอุณหภูมิสูงสุดสูงสุด และต่ำสุดในการทดลอง รวมทั้งอุณหภูมิอากาศ โดยกำหนดให้อ่านค่าทุก 10 วินาที และบันทึกเป็นค่าเฉลี่ยทุก 1 นาที แล้วนำข้อมูลไปวิเคราะห์ด้วยสมการถดถอย (Regression analysis) เพื่อหาสมการปรับการอ่านค่าในแต่ละสายสัญญาณ

3) ทำการทดสอบหุนจำลอง เพื่อป้องกันอิทธิพลจากตัวแปรภายนอกที่ไม่ได้ควบคุม อันมีผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการบันทึกข้อมูล เช่น ความชื้นที่สะสมในมวลสาร การรั่วซึมของหุนจำลอง โดยทำการปิดช่องเปิดด้านบนของหุนจำลองด้วยโฟม EPS ชนิดเดียวกับที่ทำหุนจำลอง เพื่อให้ทุกกล่องมีคุณสมบัติที่เหมือนกัน จากนั้นนำสายสัญญาณวัดข้อมูลผ่านขั้นตอนหาสมการปรับการอ่านค่า แล้วนำมาวัดอุณหภูมิอากาศภายในหุนจำลอง แล้วนำข้อมูลไปวิเคราะห์ด้วยสมการถดถอย (Regression analysis) เพื่อหาสมการปรับการอ่านค่าของหุนจำลองแต่ละตัว

3.2 การวิจัยในขั้นตอนเชิงการทดลอง

ขั้นตอนการวิจัยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปรอันเนื่องมาจากมุมเอียงหลังคา ที่มีผลต่อความรู้สึกร้อน หนาว ภายในเรือนไทย โดยสามารถกำหนดขั้นตอนในการวิจัยตามวัตถุประสงค์ได้ดังนี้

3.2.1 การทดสอบตัวแปรที่มีผลต่อมุมเอียงหลังคาเรือนไทย

เป็นขั้นตอนการทดสอบตัวแปรเบื้องต้นที่มีผลต่อมุมเอียงหลังคาของหลังคาเรือนไทยในอดีต มีรายละเอียดดังนี้

1) การทดสอบอิทธิพลของมวลสารวัสดุมุมหลังคาต่างชนิดกัน

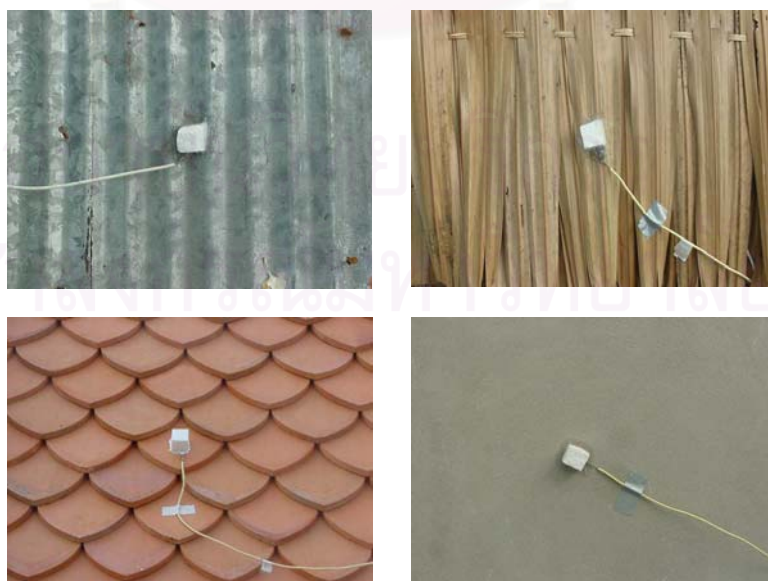
เพื่อศึกษาความแตกต่างของอุณหภูมิผิวด้านบน และด้านล่าง ของหลังคาทั้งในเวลากลางวันที่ได้รับอิทธิพลจากรังสีดวงอาทิตย์ และในเวลากลางคืนที่เกิดการแลกเปลี่ยนรังสีคลื่นยาวกับท้องฟ้า โดยเปรียบเทียบระหว่างวัสดุมุมหลังคาที่มีมวลสารมาก มวลสารปานกลาง และมวลสารน้อย

2) การทดสอบอิทธิพลของมวลสารที่มีผลต่อมุมเอียงหลังคา

เพื่อศึกษาความแตกต่างของอุณหภูมิผิวด้านบน และด้านล่าง ของวัสดุมุมหลังคาที่มีมวลสารต่างกัน ตามขั้นตอนที่ 1 โดยมีมุมเอียงที่ต่างกัน นำมาเปรียบเทียบ เพื่อวิเคราะห์ถึงอิทธิพลของมวลสารที่มีต่อมุมเอียงหลังคา โดยมีวัสดุที่นำมาทดสอบดังนี้

มวลสาร	วัสดุ
มวลสารมาก	- คอนกรีต
มวลสารปานกลาง	- กระเบื้องดินเผาหางมนชนิดไม่เคลือบผิว
มวลสารน้อย	- แผ่นสังกะสีลอน - ตับจาก

ตาราง 3-1 แสดงวัสดุมุมหลังคาที่มีมวลสารต่างกัน ที่ใช้ในการทดสอบ



รูป 3-13 แสดงวัสดุที่นำมาทดสอบอิทธิพลของมวลสารที่มีผลต่อมุมเอียงหลังคา

การทดสอบเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปรที่มีผลต่อความรู้สึกร้อนหนาว (Thermal Comfort) ภายในเรือนไทย อันเนื่องมาจากอิทธิพลของมุมเอียงหลังคา มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ และอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อความรู้สึกร้อนหนาว ภายในเรือนไทย โดยแบ่งการทดสอบออกเป็น 5 ขั้นตอนดังนี้

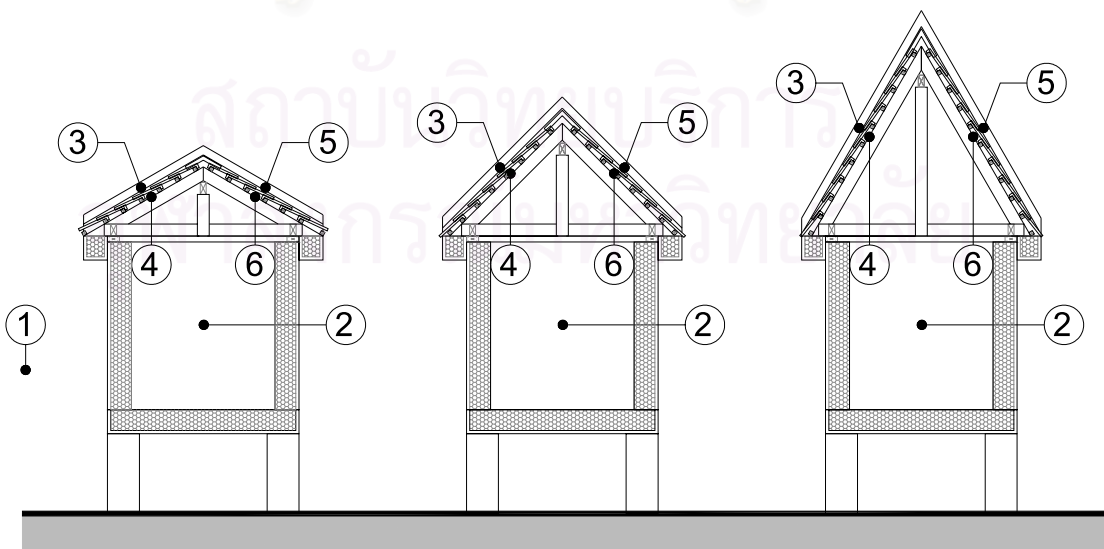
1) การทดสอบอิทธิพลจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบลงบนระนาบพื้นผิวหลังคา (Solar radiation)

มีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะศึกษาอิทธิพลของรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบลงบนระนาบพื้นผิววัสดุผนังหลังคาที่มีมุมเอียงต่างกัน

ในการทดลองใช้หุ่นจำลองเป็นตัวแทนของอาคาร ลักษณะหลังคาเป็นหลังคาจั่ว ที่หันด้านหลังคาไปทางทิศเหนือ-ใต้ มุงด้วยกระเบื้องดินเผา โดยกำหนดมุมเอียงหลังคาที่นำมาทดสอบต่างๆ กัน คือ 30, 45 และ 60 องศา ทำการเก็บข้อมูลต่อเนื่องกันเป็นเวลา 48 ชั่วโมง

รูปแบบการทดลอง

- หุ่นจำลองขนาด 1.20x1.20x1.20 ม. หลังคาจั่วหันหลังคาไปทางทิศเหนือ-ใต้
- มุมเอียงหลังคา 30, 45 และ 60 องศา
- ทำการเก็บข้อมูลต่อไปนี้
 1. อุณหภูมิอากาศภายนอก
 2. อุณหภูมิอากาศภายในหุ่นจำลอง
 3. อุณหภูมิผิวภายนอกของหลังคาที่หันไปทางด้านทิศใต้
 4. อุณหภูมิผิวภายในของหลังคาที่หันไปทางด้านทิศใต้
 5. อุณหภูมิผิวภายนอกของหลังคาที่หันไปทางด้านทิศเหนือ
 6. อุณหภูมิผิวภายในของหลังคาที่หันไปทางด้านทิศเหนือ



รูป 3-14 แสดงลักษณะของหุ่นจำลอง และการติดตั้งหัววัดอุณหภูมิ เพื่อทดสอบตัวแปร Solar radiation

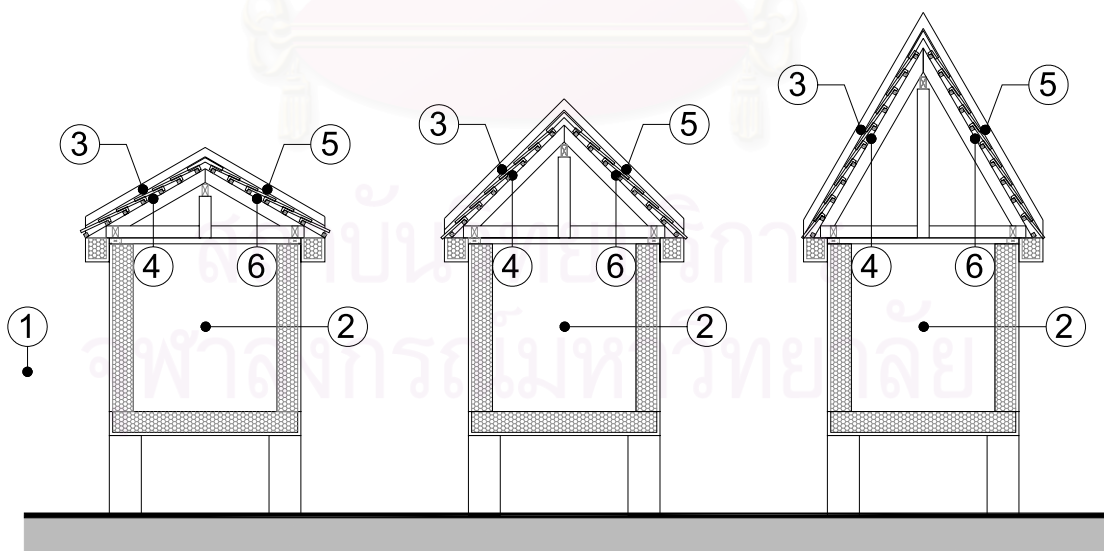
2) การทดสอบอิทธิพลของการแลกเปลี่ยนรังสีคลื่นยาวระหว่างผิววัสดุผนังหลังคากับท้องฟ้าในเวลากลางวัน (Long-wave radiation)

มีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะศึกษาอิทธิพลของการแลกเปลี่ยนรังสีคลื่นยาวระหว่างผิวหลังคา กับท้องฟ้าในเวลากลางวัน ของหลังคาที่มีมุมเอียงต่างกัน

ในการทดลองใช้หุ่นจำลองเป็นตัวแทนของอาคาร ลักษณะหลังคาเป็นหลังคาจั่ว ที่หันด้าน หลังคาไปทางทิศเหนือ-ใต้ มุงด้วยกระเบื้องดินเผา โดยกำหนดมุมเอียงหลังคาที่นำมาทดสอบต่างๆ กัน คือ 30, 45 และ 60 องศา ทำการเก็บข้อมูลต่อเนื่องกันเป็นเวลา 48 ชั่วโมง

รูปแบบการทดลอง

- หุ่นจำลองขนาด 1.20x1.20x1.20 ม. หลังคาจั่วหันหลังคาไปทางทิศเหนือ-ใต้
- มุมเอียงหลังคา 30, 45 และ 60 องศา
- ทำการเก็บข้อมูลต่อไปนี้
 1. อุณหภูมิอากาศภายนอก
 2. อุณหภูมิอากาศภายในหุ่นจำลอง
 3. อุณหภูมิผิวภายนอกของหลังคาที่หันไปทางด้านทิศใต้
 4. อุณหภูมิผิวภายในของหลังคาที่หันไปทางด้านทิศใต้
 5. อุณหภูมิผิวภายนอกของหลังคาที่หันไปทางด้านทิศเหนือ
 6. อุณหภูมิผิวภายในของหลังคาที่หันไปทางด้านทิศเหนือ



รูป 3-15 แสดงลักษณะของหุ่นจำลอง และการติดตั้งหัววัดอุณหภูมิ เพื่อทดสอบตัวแปร Long-wave radiation



รูป 3-16 แสดงลักษณะของหุ่นจำลอง เพื่อทดสอบตัวแปร Solar radiation และ Long-wave radiation

3) การทดสอบอิทธิพลของของทิศทางการวางหุ่นจำลอง (Orientation)

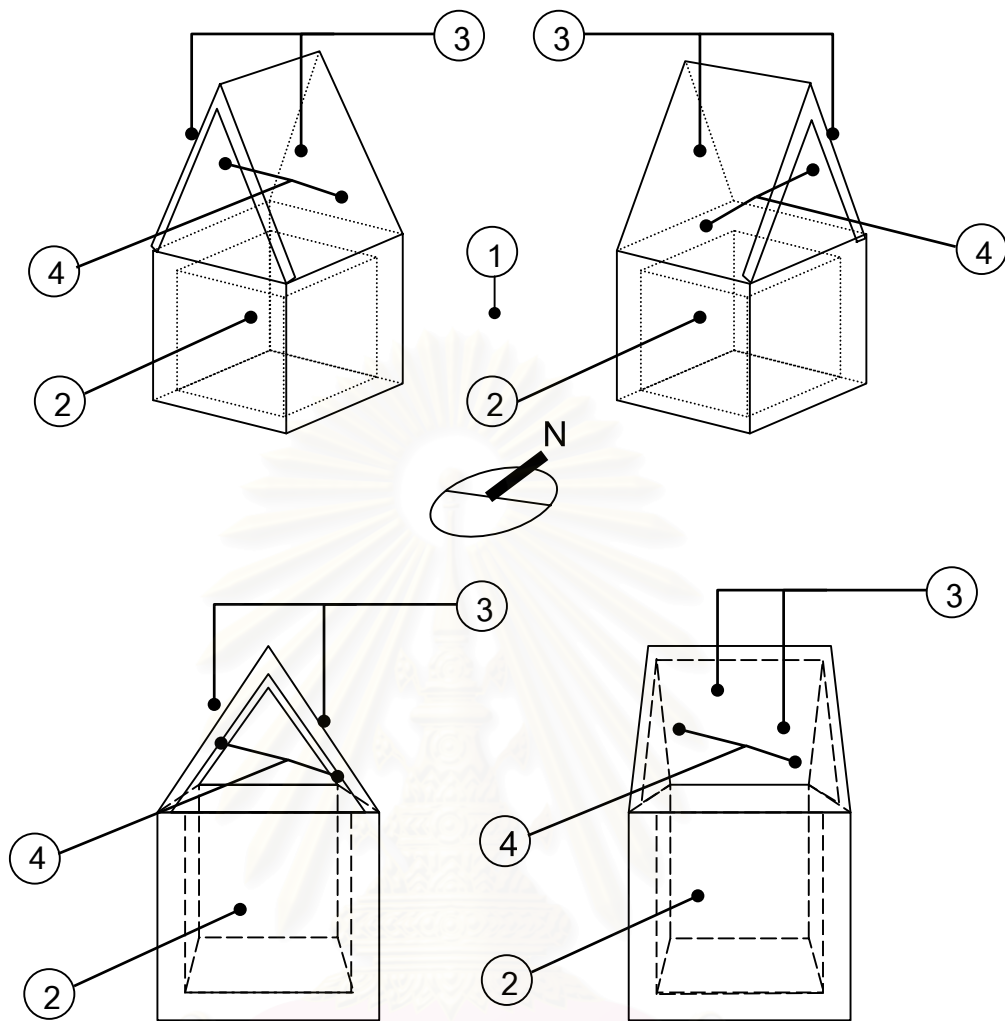
มีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะศึกษาอิทธิพลของการวางหุ่นจำลองในทิศทางต่างๆ กัน ทำให้ได้รับอิทธิพลจากสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน ดังนี้

- 1) ทิศทางที่สัมพันธ์กับทางโคจรของดวงอาทิตย์
 - ตามทางโคจรดวงอาทิตย์
 - ขวางทางโคจรดวงอาทิตย์
- 2) ทิศทางที่สัมพันธ์กับลมธรรมชาติ
 - ตามทิศทางลม
 - ขวางทิศทางลม

ในการทดลองใช้หุ่นจำลองเป็นตัวแทนของอาคาร ลักษณะหลังคาเป็นหลังคาจั่ว ที่หันด้านหลังคาไปทางทิศต่างๆ กัน มุงด้วยกระเบื้องดินเผา โดยกำหนดมุมเอียงหลังคาที่นำมาทดสอบคือ 60 องศา ทำการเก็บข้อมูลต่อเนื่องกันเป็นเวลา 48 ชั่วโมง

รูปแบบการทดลอง

- หุ่นจำลองขนาด 1.20x1.20x1.20 ม. หลังคาจั่ว
 1. วางแนวหลังคาทิศเหนือ-ใต้
 2. วางแนวหลังคาทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้
 3. วางแนวหลังคาทิศตะวันออก-ตะวันตก
 4. วางแนวหลังคาทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้
- มุมเอียงหลังคา 60 องศา
- ทำการเก็บข้อมูลต่อไปนี้
 1. อุณหภูมิอากาศภายนอก
 2. อุณหภูมิอากาศภายในหุ่นจำลอง
 3. อุณหภูมิผิวภายนอกของหลังคาที่หันไปทางด้านทิศต่างๆ
 4. อุณหภูมิผิวภายในของหลังคาที่หันไปทางด้านทิศต่างๆ



รูป 3-17 แสดงลักษณะของหุ่นจำลอง และการติดตั้งหัววัดอุณหภูมิ เพื่อทดสอบตัวแปร Orientation



รูป 3-18 แสดงลักษณะของหุ่นจำลอง เพื่อทดสอบตัวแปร Orientation

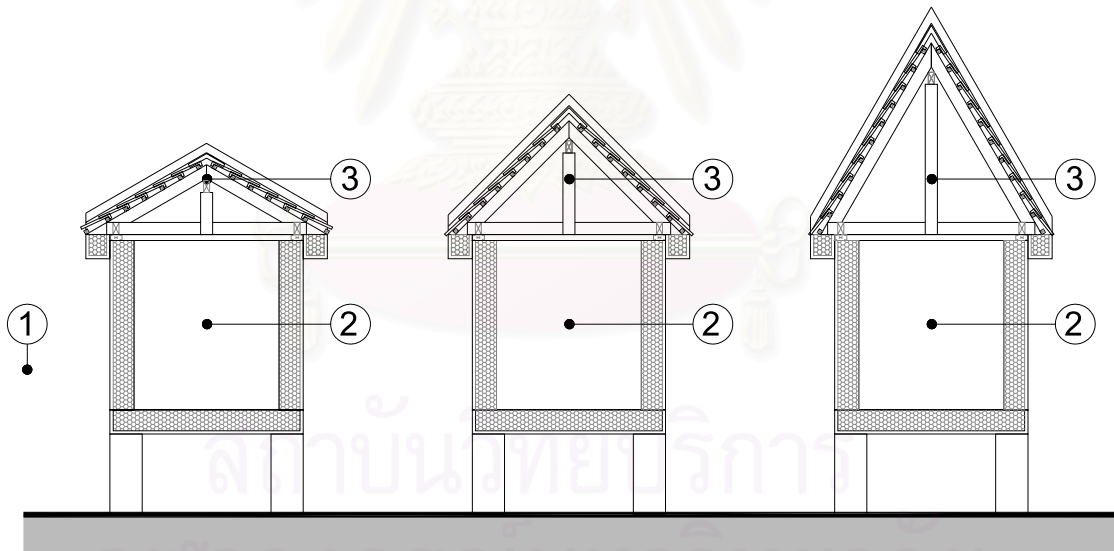
4) การทดสอบอิทธิพลจากการลอยตัวของอากาศร้อนภายในห้องจำลอง (Stratification)

มีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะศึกษาอิทธิพลการลอยตัวของอากาศร้อนภายในห้องจำลองที่มีมุมเอียงหลังคาต่างๆ กัน

ในการทดลองใช้ห้องจำลองเป็นตัวแทนของอาคาร ลักษณะหลังคาเป็นหลังคาจั่ว ที่หันด้านหลังคาไปทางทิศเหนือ-ใต้ มุงด้วยกระเบื้องดินเผา โดยกำหนดมุมเอียงหลังคาที่นำมาทดสอบต่างๆ กัน คือ 30, 45 และ 60 องศา ทำการเก็บข้อมูลต่อเนื่องกันเป็นเวลา 48 ชั่วโมง

รูปแบบการทดลอง

- ห้องจำลองขนาด 1.20x1.20x1.20 ม. หลังคาจั่วหันหลังคาไปทางทิศเหนือ-ใต้
- มุมเอียงหลังคา 30, 45 และ 60 องศา
- ทำการเก็บข้อมูลต่อไปนี้
 1. อุณหภูมิอากาศภายนอก
 2. อุณหภูมิอากาศภายในห้องจำลองตำแหน่งที่ 1 (สูงจากพื้นห้องจำลอง 0.50 ม.)
 3. อุณหภูมิอากาศภายในห้องจำลองตำแหน่งที่ 2 (สูงจากพื้นห้องจำลอง 1.20 ม.)



รูป 3-19 แสดงลักษณะของห้องจำลอง และการติดตั้งหัววัดอุณหภูมิ เพื่อทดสอบตัวแปร Stratification



รูป 3-20 แสดงลักษณะของหุ่นจำลอง เพื่อทดสอบตัวแปร Stratification

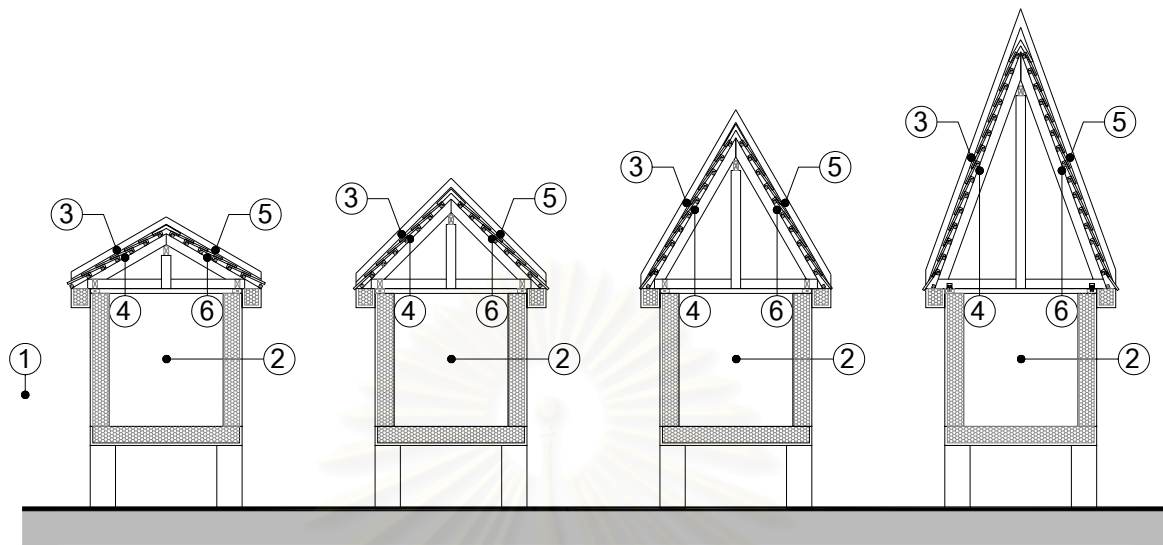
5) การทดสอบอิทธิพลของการแผ่รังสีความร้อนจากพื้นผิวหลังคา และอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ (Mean radiant temperature)

มีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะศึกษาอิทธิพลการแผ่รังสีความร้อนจากพื้นผิวหลังคา และอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ ภายในหุ่นจำลองที่มีมุมเอียงหลังคาต่างๆ กัน

ในการทดลองใช้หุ่นจำลองเป็นตัวแทนของอาคาร ลักษณะหลังคาเป็นหลังคาจั่ว ที่หันด้านหลังคาไปทางทิศเหนือ-ใต้ มุงด้วยกระเบื้องดินเผา โดยกำหนดมุมเอียงหลังคาที่นำมาทดสอบต่างๆ กัน คือ 30, 45, 60 และ 75 องศา ทำการเก็บข้อมูลต่อเนื่องกันเป็นเวลา 48 ชั่วโมง

รูปแบบการทดลอง

- หุ่นจำลองขนาด 1.20x1.20x1.20 ม. หลังคาจั่วหันด้านหลังคาไปทางทิศเหนือ-ใต้
- มุมเอียงหลังคา 30, 45, 60 และ 75 องศา
- ทำการเก็บข้อมูลต่อไปนี้
 1. อุณหภูมิอากาศภายนอก
 2. อุณหภูมิอากาศภายในหุ่นจำลอง
 3. อุณหภูมิผิวภายนอกของหลังคาที่หันไปทางด้านทิศใต้
 4. อุณหภูมิผิวภายในของหลังคาที่หันไปทางด้านทิศใต้
 5. อุณหภูมิผิวภายนอกของหลังคาที่หันไปทางด้านทิศเหนือ
 6. อุณหภูมิผิวภายในของหลังคาที่หันไปทางด้านทิศเหนือ
- คำนวณอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบของหลังคาแต่ละมุมเอียง



รูป 3-21 แสดงลักษณะของหุ่นจำลอง และการติดตั้งหัววัดอุณหภูมิ เพื่อทดสอบตัวแปร Mean radiant temperature



รูป 3-22 แสดงลักษณะของหุ่นจำลอง เพื่อทดสอบตัวแปร Mean radiant temperature

3.2.3 การวิเคราะห์เทคนิคแนวทาง และสรุปผลการวิจัยเพื่อนำไปประยุกต์ใช้

มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์หาตัวแปรทางด้านเทคนิค และแนวทางการนำไปประยุกต์ใช้ในงานสถาปัตยกรรม สำหรับภูมิภาคร้อนชื้นของประเทศไทย โดยมีขั้นตอนดังนี้

1) การทดสอบอิทธิพลของสัดส่วนอาคารที่ต่างกัน (Proportion)

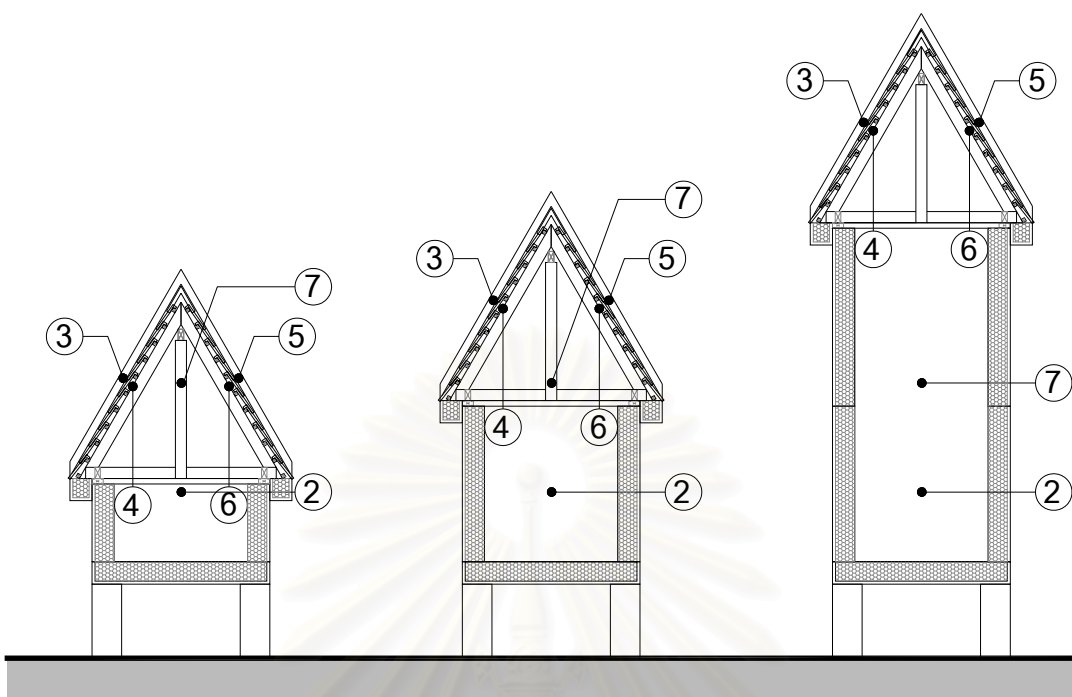
มีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะศึกษาอิทธิพลการแผ่รังสีความร้อนจากพื้นผิวหลังคา และอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ ภายในหุ่นจำลองที่มีสัดส่วนอาคารต่างๆ กัน

ในการทดลองใช้หุ่นจำลองเป็นตัวแทนของอาคาร ลักษณะหลังคาเป็นหลังคาจั่ว ที่หันด้านหลังคาไปทางทิศเหนือ-ใต้ มุงด้วยกระเบื้องดินเผา มุมเอียงหลังคาที่นำมาทดสอบคือ 60 องศา โดยมีสัดส่วนความสูงของหุ่นจำลองต่างๆ กัน ทำการเก็บข้อมูลต่อเนื่องกันเป็นเวลา 48 ชั่วโมง

รูปแบบการทดลอง

- หุ่นจำลองขนาดต่างๆ กัน รูปแบบหลังคาจั่วหันหลังคาไปทางทิศเหนือ-ใต้
 1. ขนาดหุ่นจำลอง 1.20x1.20x0.60 ม.
 2. ขนาดหุ่นจำลอง 1.20x1.20x1.20 ม.
 3. ขนาดหุ่นจำลอง 1.20x1.20x2.40 ม.
- มุมเอียงหลังคา 60 องศา
- ทำการเก็บข้อมูลต่อไปนี้
 1. อุณหภูมิอากาศภายนอก
 2. อุณหภูมิอากาศภายในหุ่นจำลองตำแหน่งที่ 1 (สูงจากพื้นหุ่นจำลอง 0.50 ม.)
 3. อุณหภูมิผิวภายนอกของหลังคาที่หันไปทางด้านทิศใต้
 4. อุณหภูมิผิวภายในของหลังคาที่หันไปทางด้านทิศใต้
 5. อุณหภูมิผิวภายนอกของหลังคาที่หันไปทางด้านทิศเหนือ
 6. อุณหภูมิผิวภายในของหลังคาที่หันไปทางด้านทิศเหนือ
 7. อุณหภูมิอากาศภายในหุ่นจำลองตำแหน่งที่ 2 (สูงจากพื้นหุ่นจำลอง 1.20 ม.)
- คำนวณอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบของหลังคาแต่ละหุ่นจำลอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป 3-23 แสดงลักษณะของหุ่นจำลอง และการติดตั้งหัววัดอุณหภูมิ เพื่อทดสอบตัวแปร Proportion



รูป 3-24 แสดงลักษณะของหุ่นจำลอง เพื่อทดสอบตัวแปร Proportion

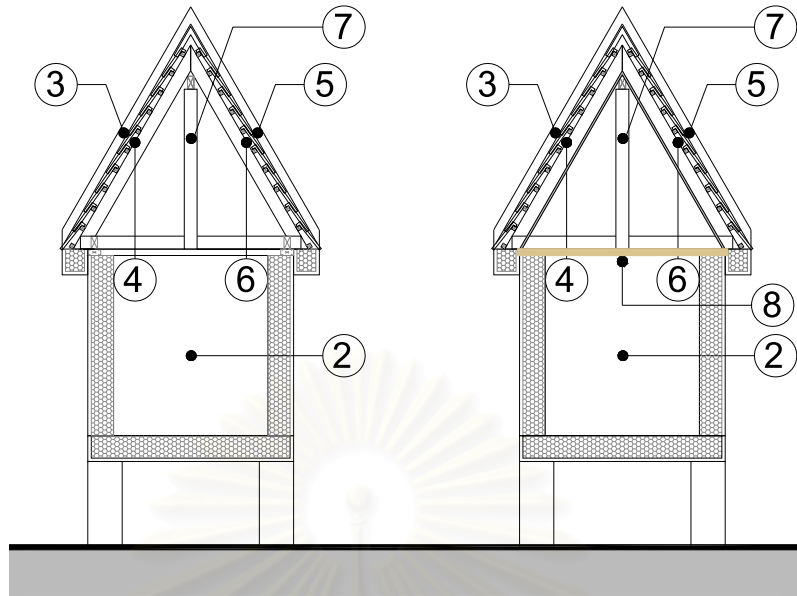
2) การทดสอบประสิทธิภาพของรูปแบบการติดตั้งฝ้าเพดาน และการระบายอากาศ (Ventilation)

มีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะศึกษาเทคนิคแนวทางของรูปแบบการติดตั้งฝ้าเพดาน และการระบายอากาศภายใต้หลังคา

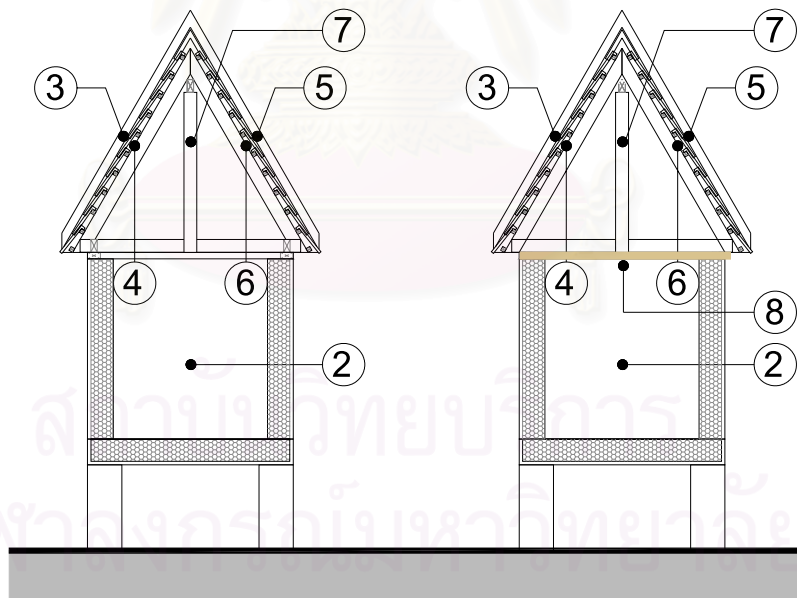
ในการทดลองใช้หุ่นจำลองเป็นตัวแทนของอาคาร ลักษณะหลังคาเป็นหลังคาจั่ว ที่หันด้านหลังคาไปทางทิศเหนือ-ใต้ มุงด้วยกระเบื้องดินเผา มุมเอียงหลังคาที่นำมาทดสอบคือ 60 องศา โดยมีรูปแบบการติดตั้งฝ้าเพดาน และการระบายอากาศต่างๆ กัน

รูปแบบการทดลอง

- หุ่นจำลองขนาด 1.20x1.20x1.20 ม. หลังคาจั่ว
 1. ไม่มีการติดตั้งฝ้าเพดาน และไม่มีการระบายอากาศ
 2. มีการติดตั้งฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ด 12 มม. ในแนวราบ และไม่มีการระบายอากาศ
 3. ไม่มีการติดตั้งฝ้าเพดาน และมีการระบายอากาศ
 4. มีการติดตั้งฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ด 12 มม. ในแนวราบ และมีการระบายอากาศ
- มุมเอียงหลังคา 60 องศา
- ทำการเก็บข้อมูลต่อไปนี้
 1. อุณหภูมิอากาศภายนอก
 2. อุณหภูมิอากาศภายในหุ่นจำลองตำแหน่งที่ 1 (สูงจากพื้นหุ่นจำลอง 0.50 ม.)
 3. อุณหภูมิผิวด้านบนของหลังคาที่หันไปทางด้านทิศใต้
 4. อุณหภูมิผิวด้านล่างของหลังคาที่หันไปทางด้านทิศใต้
 5. อุณหภูมิผิวด้านบนของหลังคาที่หันไปทางด้านทิศเหนือ
 6. อุณหภูมิผิวด้านล่างของหลังคาที่หันไปทางด้านทิศเหนือ
 7. อุณหภูมิอากาศภายในหุ่นจำลองตำแหน่งที่ 2 (สูงจากพื้นหุ่นจำลอง 1.20 ม.)
 8. อุณหภูมิผิวด้านล่างฝ้าเพดาน



รูป 3-25 (ก) แสดงลักษณะของหุ่นจำลอง และการติดตั้งหัววัดอุณหภูมิ เพื่อทดสอบตัวแปร Ventilation ในกรณีไม่มีการระบายอากาศได้หลังคา



รูป 3-25 (ข) แสดงลักษณะของหุ่นจำลอง และการติดตั้งหัววัดอุณหภูมิ เพื่อทดสอบตัวแปร Ventilation ในกรณีมีการระบายอากาศได้หลังคา



รูป 3-26 แสดงลักษณะของหุ่นจำลอง เพื่อทดสอบตัวแปร Ventilation

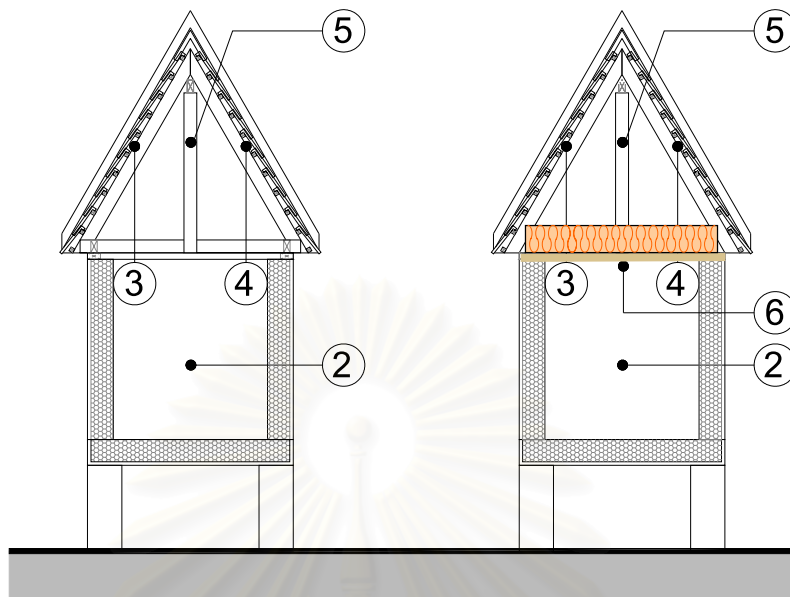
3) การทดสอบอิทธิพลของการติดตั้งฉนวนกันความร้อน และการระบายอากาศ (Insulation)

มีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะศึกษาเทคนิคแนวทางการติดตั้งฉนวนกันความร้อน และการระบายอากาศภายใต้หลังคา

ในการทดลองใช้หุ่นจำลองเป็นตัวแทนของอาคาร ลักษณะหลังคาเป็นหลังคาจั่ว ที่หันด้านหลังคาไปทางทิศเหนือ-ใต้ มุงด้วยกระเบื้องดินเผา มุมเอียงหลังคาที่นำมาทดสอบคือ 60 องศา โดยมีรูปแบบการติดตั้งฉนวนกันความร้อน และการระบายอากาศ ต่างๆ กัน

รูปแบบการทดลอง

- หุ่นจำลองขนาด 1.20x1.20x1.20 ม. หลังคาจั่ว
 1. ไม่มีการติดตั้งฝ้าเพดาน และมีการระบายอากาศ
 2. มีการติดตั้งฉนวนหนา 6 นิ้ว ในแนวราบ เหนือฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ด 12 มม. และมีการระบายอากาศ
- มุมเอียงหลังคา 60 องศา
- ทำการเก็บข้อมูลต่อไปนี้
 1. อุณหภูมิอากาศภายนอก
 2. อุณหภูมิอากาศภายในหุ่นจำลองตำแหน่งที่1 (สูงจากพื้นหุ่นจำลอง 0.50 ม.)
 3. อุณหภูมิผิวด้านล่างของหลังคาที่หันไปทางด้านทิศใต้
 4. อุณหภูมิผิวด้านล่างของหลังคาที่หันไปทางด้านทิศเหนือ
 5. อุณหภูมิอากาศภายในหุ่นจำลองตำแหน่งที่2 (สูงจากพื้นหุ่นจำลอง 1.20 ม.)
 6. อุณหภูมิผิวด้านล่างฝ้าเพดาน



รูป 3-27 แสดงลักษณะของหุ่นจำลอง และการติดตั้งหัววัดอุณหภูมิ เพื่อทดสอบตัวแปร Insulation เมื่อมีการระบายอากาศได้หลังคา



รูป 3-28 แสดงลักษณะของหุ่นจำลอง เพื่อทดสอบตัวแปร Insulation

4) การทดสอบอิทธิพลของตัวแปรในสภาพแวดล้อมจริง

ทำการเก็บข้อมูลอุณหภูมิในเรือนไทยจริงที่นำมาเป็นกรณีศึกษา โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์อิทธิพลของตัวแปรในสภาพแวดล้อมจริง แล้วนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากหุ่นจำลอง ในการเก็บข้อมูลของเรือนไทยนี้จะทำการเก็บข้อมูลทั้งหมด 3 แห่ง ได้แก่

- คุ่มขุนแผน จังหวัดอยุธยา
- พระตำหนักทับขวัญ จังหวัดนครปฐม
- เรือนไทย ศูนย์ส่งเสริมวัฒนธรรมแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร



รูป 3-29(ก) แสดงสภาพแวดล้อมของคุ่มขุนแผน



รูป 3-29(ข) แสดงสภาพแวดล้อมของพระตำหนักทับขวัญ



รูป 3-29(ค) แสดงสภาพแวดล้อมของเรือนไทย ศูนย์ส่งเสริมวัฒนธรรมแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5) การวิเคราะห์ผลการวิจัย

นำผลจากขั้นตอนการศึกษาทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และขั้นตอนการศึกษาเชิงการทดลอง มาวิเคราะห์ผสมผสานร่วมกัน ทำการเปรียบเทียบพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารทางหลังคาที่มีผลต่อความรู้สึกร้อน หนาว (Thermal Comfort) ภายในหุ่นจำลองในแต่ละมุมเอียงหลังคาที่เลือกมาวิจัย โดยนำข้อมูลมาวิเคราะห์เพื่อทราบถึงอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ โดยอาศัยหลักทางสถิติ เปรียบเทียบผลการวิจัย และแสดงผลในรูปแบบแผนภูมิ, รูปภาพ หรือตาราง

6) การสรุปผล และข้อเสนอแนะ

สรุปที่มาของมุมเอียงหลังคาเรือนไทย และเหตุผลที่มุมหลังคานั้นใช้ประโยชน์ได้สูงสุด (Optimum) วิเคราะห์ข้อดี และข้อเสียของมุมเอียงหลังคาต่างๆ พร้อมทั้งข้อเสนอแนะในการเลือกใช้มุมเอียงหลังคา และวัสดุผนังหลังคา ทั้งในแง่ความรู้สึกร้อน หนาวของผู้อยู่อาศัย (Thermal Comfort) รวมถึงแนวทางการนำไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบ หรือก่อสร้างจริงสำหรับงานสถาปัตยกรรมในอนาคต

บทที่ 4

การวิเคราะห์ผลการวิจัย

ผลจากการวิจัย และการวิเคราะห์มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อศึกษาอิทธิพล และทิศทางการสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆอันเป็นที่มาของมูมเอียงหลังคาเรือนไทย โดยเน้นทางด้านผลกระทบต่อความรู้สึกร้อน หนาว (Thermal Comfort) ภายในเรือนไทย ซึ่งสามารถแบ่งการวิเคราะห์ตามระเบียบวิธีวิจัยได้ดังต่อไปนี้

1. การทดสอบตัวแปรที่มีผลต่อมูมเอียงหลังคาเรือนไทย
2. การทดลองเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปรที่มีผลต่อความรู้สึกร้อน หนาว ภายในเรือนไทย อันเนื่องมาจากอิทธิพลของมูมเอียงหลังคา
3. การวิเคราะห์ผลการวิจัยเพื่อนำไปประยุกต์ใช้

4.1 การทดสอบตัวแปรที่มีผลต่อมูมเอียงหลังคาเรือนไทย

เพื่อหาตัวแปรที่มีความสำคัญต่อลักษณะมูมเอียงหลังคาเรือนไทยในอดีต เพื่อทราบถึงตัวแปรเบื้องต้นอันเป็นที่มาของมูมเอียงนั้น

1. การทดสอบอิทธิพลของมวลสารวัสดุผนังหลังคาต่างชนิดกัน
2. การทดสอบอิทธิพลของมวลสารที่มีผลต่อมูมเอียงหลังคา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1.1 การทดสอบอิทธิพลของมวลสารวัสดุผนังหลังคาต่างชนิดกัน

วัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาความแตกต่างของอุณหภูมิผิวด้านบน และด้านล่าง ของหลังคาทั้งในเวลา กลางวันที่ได้รับอิทธิพลจากรังสีดวงอาทิตย์ และในเวลากลางคืนที่เกิดการแลกเปลี่ยน รังสีคลื่นยาวกับท้องฟ้า ของวัสดุผนังหลังคาที่มีมวลสารแตกต่างกัน

ผลการทดสอบ

เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวด้านบน และด้านล่างของวัสดุหลังคาที่มีมวลสารต่างกัน เมื่อ วางแผ่นวัสดุหลังคาในแนวระนาบมุมเอียงเดียวกัน (60 องศา) ได้รับอิทธิพลจากท้องฟ้าทิศทางเดียวกัน และวัสดุดังกล่าวเป็นวัสดุที่มีการใช้งานจริง โดยวัสดุที่นำมาใช้ทดสอบได้แก่

- มวลสารมาก - แผ่นคอนกรีตไม่ทาสี ความหนา 0.10 ม.
- มวลสารปานกลาง - กระเบื้องดินเผาทางมนชนิดไม่เคลือบผิวสีธรรมชาติ ความหนา 0.015 ม.
- มวลสารน้อย - แผ่นสังกะสีลอนความหนา 0.05 มม.
- แผ่นสังกะสีลอนเคลือบสีดำความหนา 0.05 มม.
- ตับจากความหนา 0.02 ม.

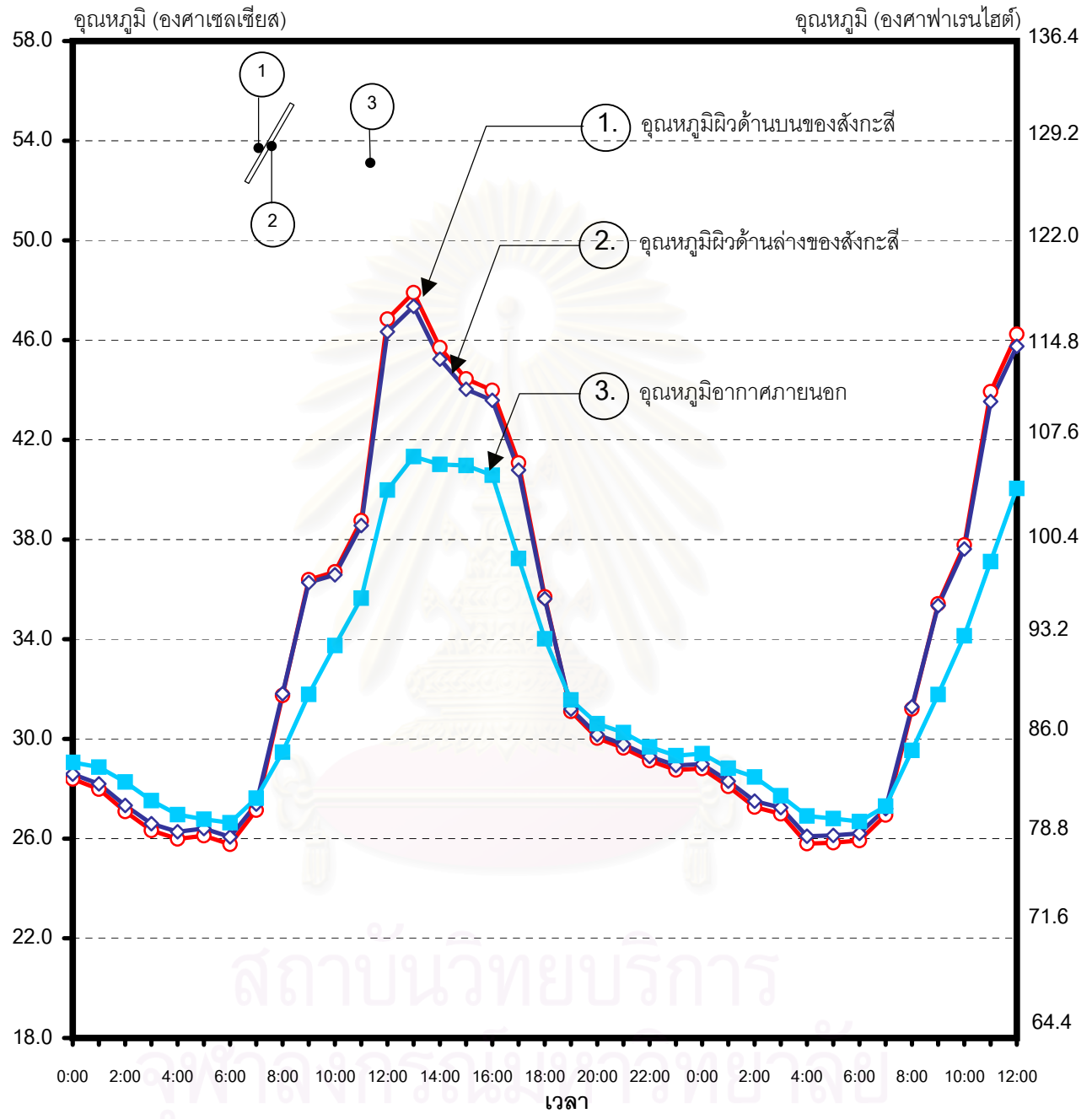
แสดงผลการทดสอบได้ดังนี้

- เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวบน และผิวล่างของหลังคาสังกะสี ดังแผนภูมิ 4-1
- เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวบน และผิวล่างของหลังคาสังกะสีเคลือบสีดำ ดังแผนภูมิ 4-2
- เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวบน และผิวล่างของหลังคาตับจาก ดังแผนภูมิ 4-3
- เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวบน และผิวล่างของหลังคากระเบื้องดินเผา ดังแผนภูมิ 4-4
- เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวบน และผิวล่างของหลังคาคอนกรีตหนา 0.10 ม. ดังแผนภูมิ 4-5
- เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวบนของวัสดุผนังหลังคาต่างชนิดกัน ดังแผนภูมิ 4-6
- เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวล่างของวัสดุผนังหลังคาต่างชนิดกัน ดังแผนภูมิ 4-7
- เปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยของผิวบน และผิวล่าง ของวัสดุผนังหลังคาต่างชนิดกัน ดังแผนภูมิ 4-8
- เปรียบเทียบผลต่างระหว่างอุณหภูมิเฉลี่ยผิวบน กับอุณหภูมิเฉลี่ยผิวล่างวัสดุผนังหลังคาต่างชนิดกัน ดังแผนภูมิ 4-9

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แผนภูมิ 4-1 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวด้านบน และผิวด้านล่างของหลังคาสังกะสี

เก็บข้อมูลตั้งแต่เวลา 00.00 น. ของวันที่ 21 เมษายน 2546 ถึงเวลา 12.00 น. ของวันที่ 22 เมษายน 2546



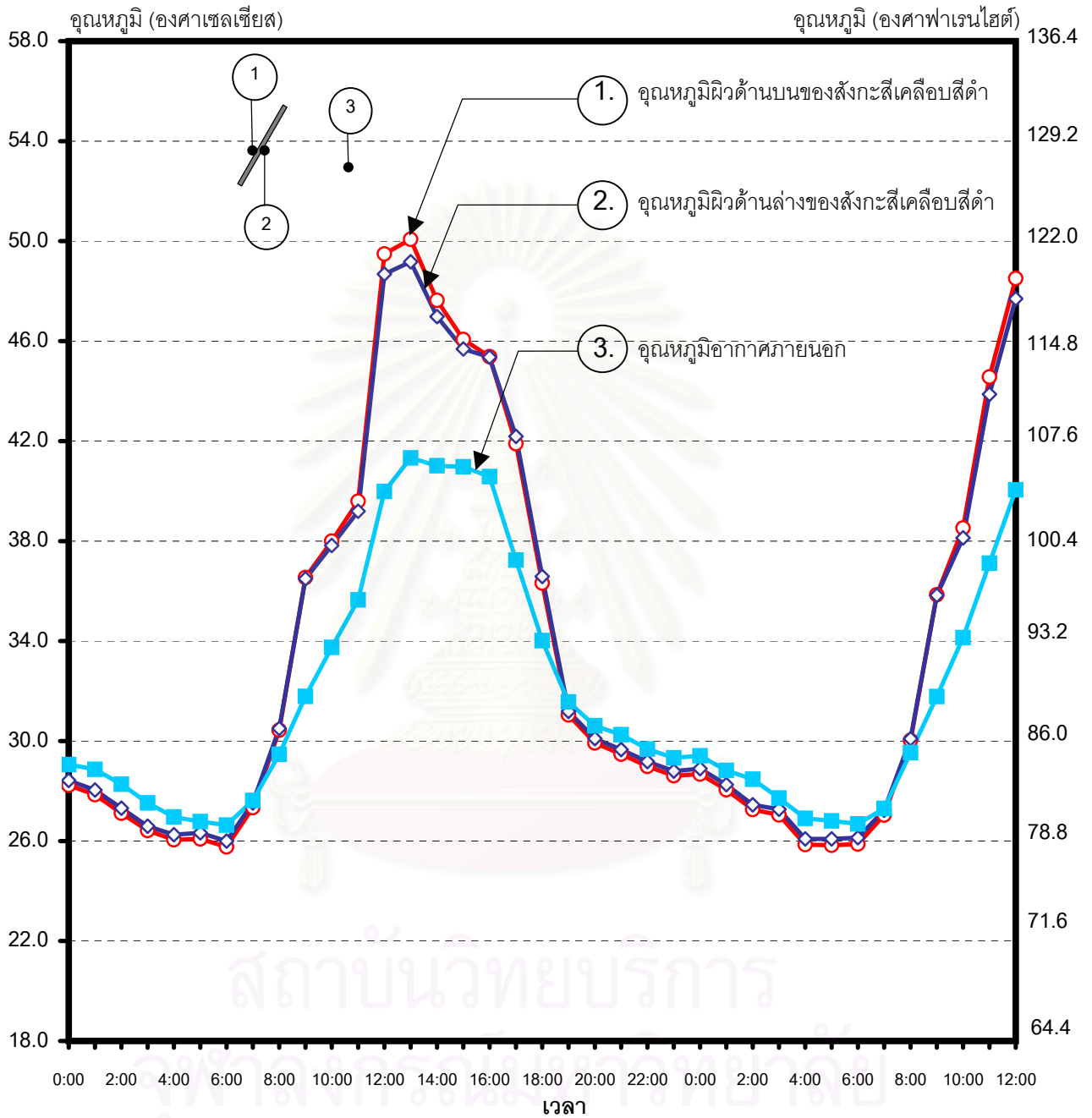
ปริมาณเมฆบนท้องฟ้า

30%	10%	30%	10%
21 เมษายน 2546		22 เมษายน 2546	

● อุณหภูมิผิวด้านบนของสังกะสี
 ◆ อุณหภูมิผิวด้านล่างของสังกะสี
 ■ อุณหภูมิอากาศภายนอก

แผนภูมิ 4-2 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวด้านบน และผิวด้านล่างของหลังคาสังกะสีเคลือบสีดำ

เก็บข้อมูลตั้งแต่เวลา 00.00 น. ของวันที่ 21 เมษายน 2546 ถึงเวลา 12.00 น. ของวันที่ 22 เมษายน 2546



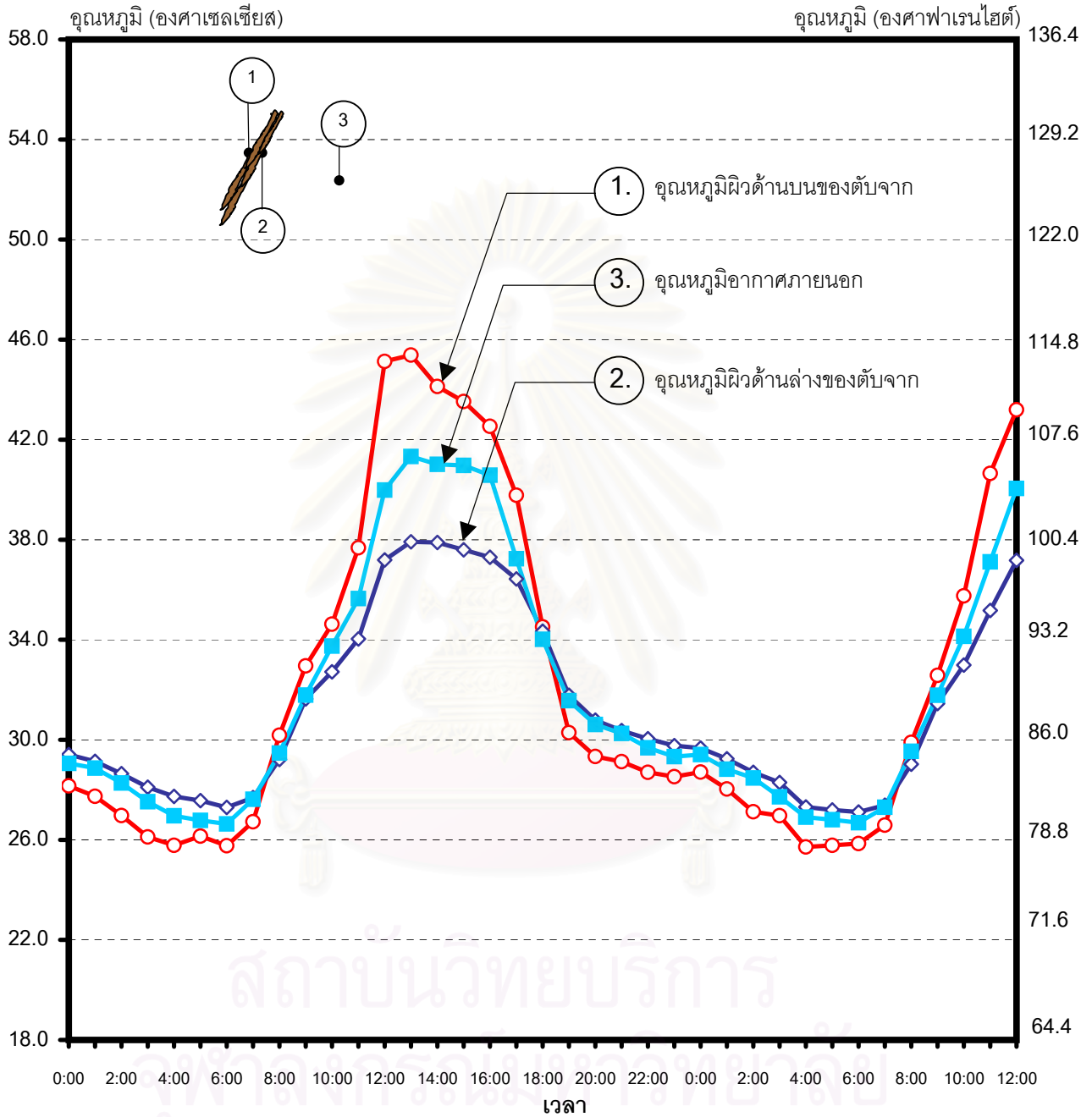
ปริมาณเมฆบนท้องฟ้า

30%	10%	30%	10%
21 เมษายน 2546		22 เมษายน 2546	

—○— อุณหภูมิผิวด้านบนของสังกะสีทาสีดำ —◇— อุณหภูมิผิวด้านล่างของสังกะสีทาสีดำ —■— อุณหภูมิอากาศภายนอก

แผนภูมิ 4-3 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวด้านบน และผิวด้านล่างของหลังคาตึบจาก

เก็บข้อมูลตั้งแต่เวลา 00.00 น. ของวันที่ 21 เมษายน 2546 ถึงเวลา 12.00 น. ของวันที่ 22 เมษายน 2546



ปริมาณเมฆบนท้องฟ้า

30%	10%	30%	10%
21 เมษายน 2546		22 เมษายน 2546	

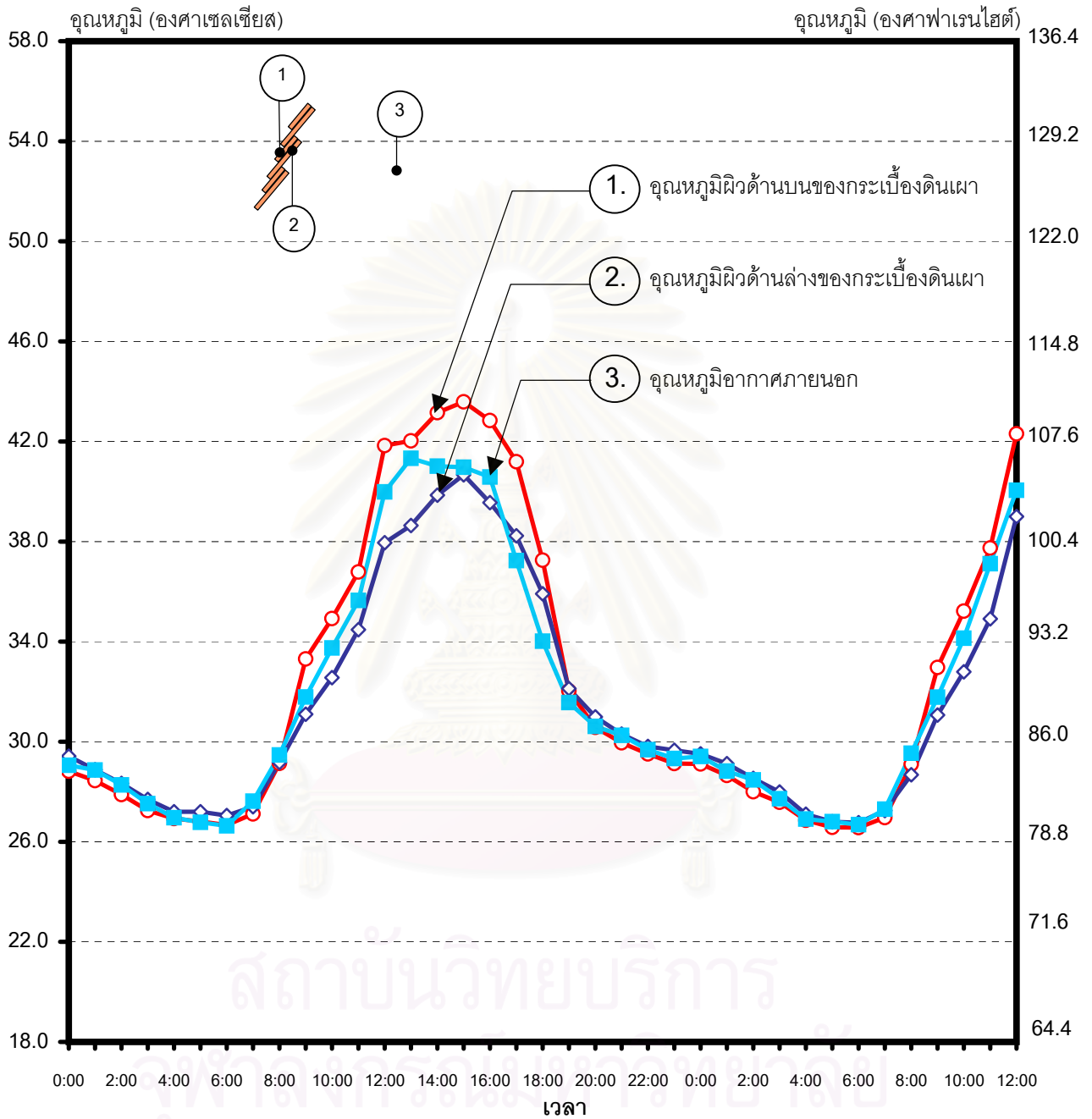
—○— อุณหภูมิผิวด้านบนของตึบจาก

—◇— อุณหภูมิผิวด้านล่างของตึบจาก

—■— อุณหภูมิอากาศภายนอก

แผนภูมิ 4-4 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวด้านบน และผิวด้านล่างของหลังคากระเบื้องดินเผา

เก็บข้อมูลตั้งแต่เวลา 00.00 น. ของวันที่ 21 เมษายน 2546 ถึงเวลา 12.00 น. ของวันที่ 22 เมษายน 2546



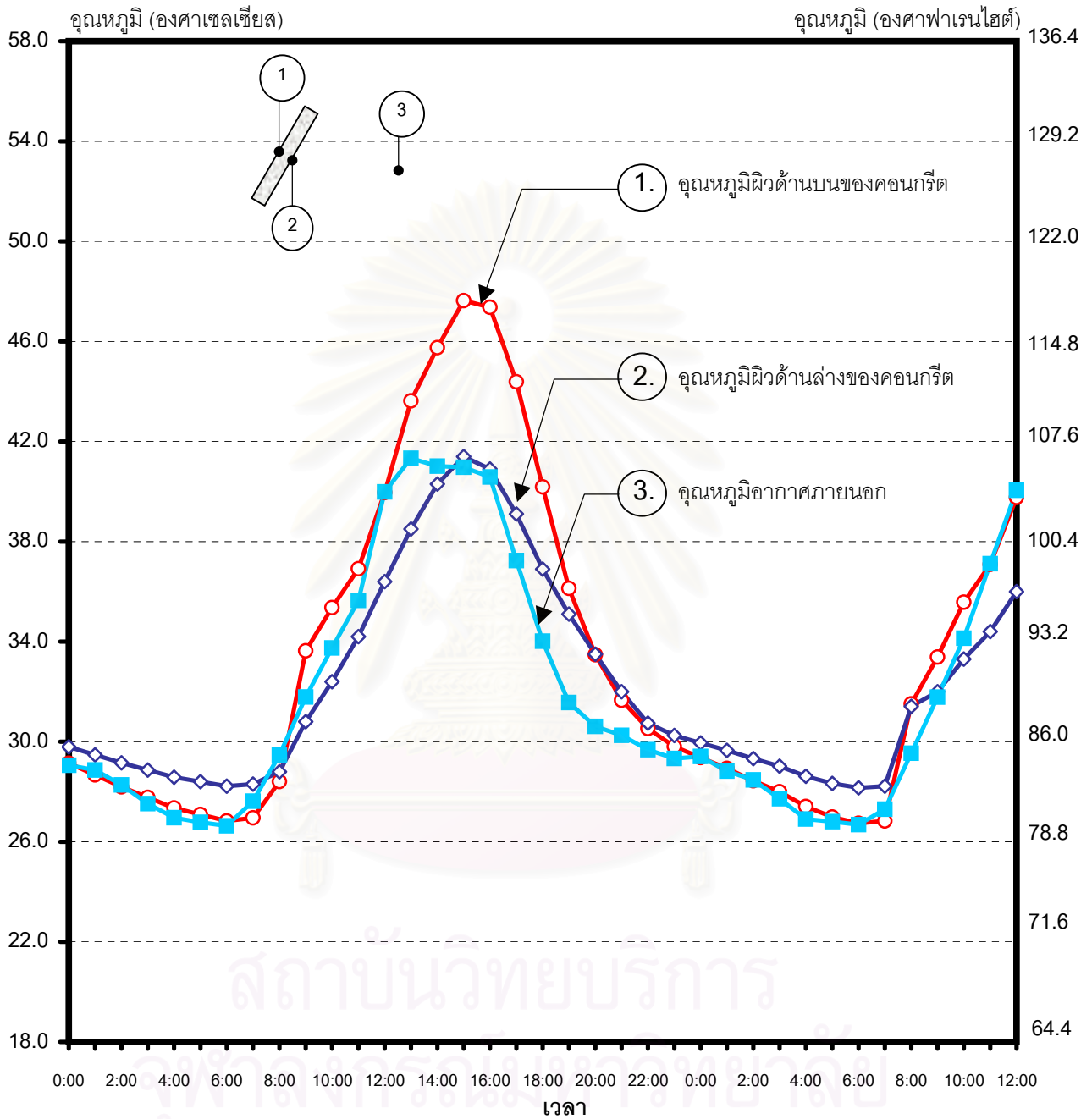
ปริมาณเมฆบนท้องฟ้า

30%	10%	30%	10%
21 เมษายน 2546		22 เมษายน 2546	

—○— อุณหภูมิผิวด้านบนของกระเบื้องดินเผา —◇— อุณหภูมิผิวด้านล่างของกระเบื้องดินเผา —■— อุณหภูมิอากาศภายนอก

แผนภูมิ 4-5 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวด้านบน และผิวด้านล่างของหลังคาคอนกรีต

เก็บข้อมูลตั้งแต่เวลา 00.00 น. ของวันที่ 21 เมษายน 2546 ถึงเวลา 12.00 น. ของวันที่ 22 เมษายน 2546



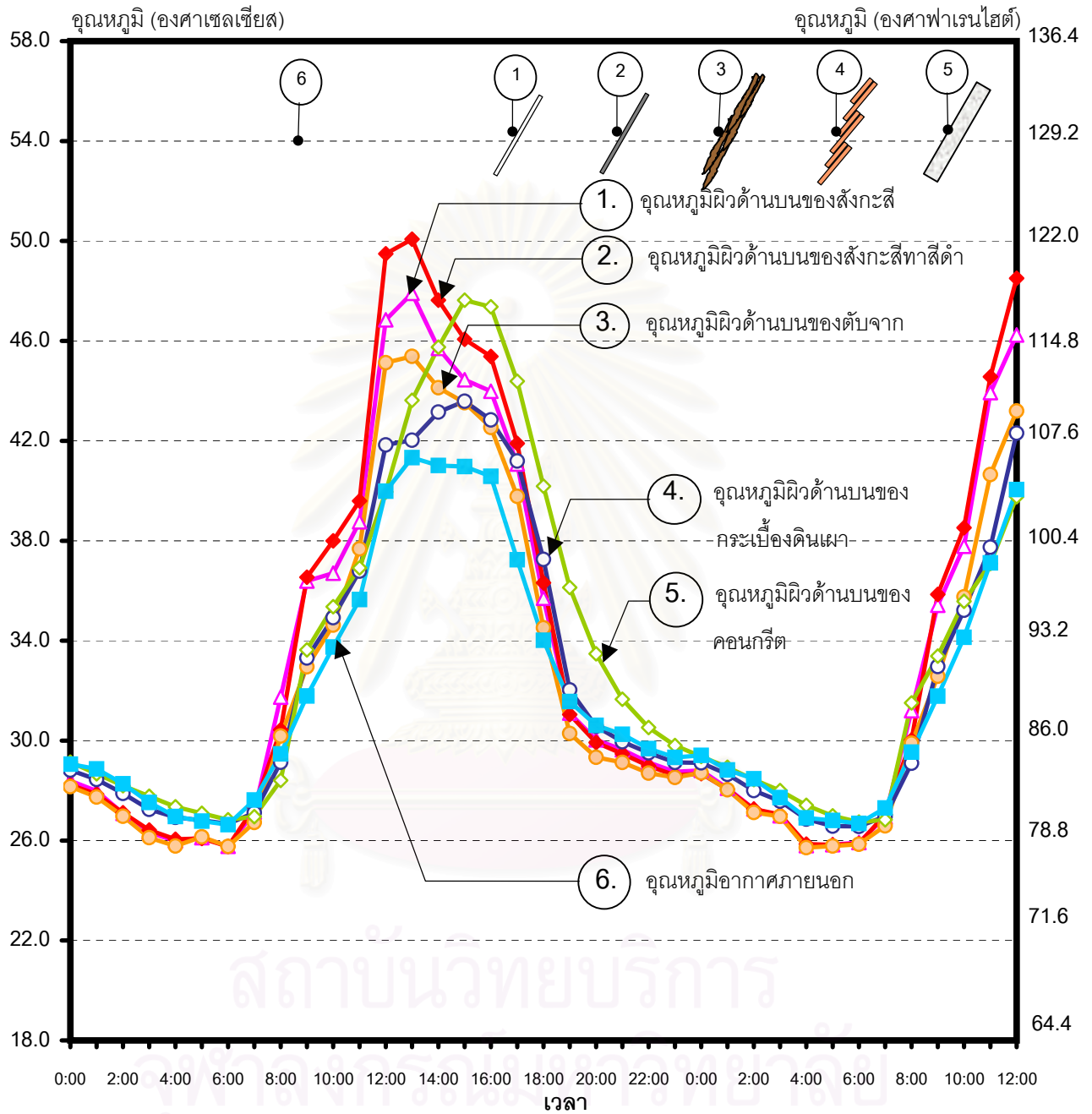
ปริมาณเมฆบนท้องฟ้า

30%	10%	30%	10%
21 เมษายน 2546		22 เมษายน 2546	

○ อุณหภูมิผิวด้านบนของคอนกรีต
 ◇ อุณหภูมิผิวด้านล่างของคอนกรีต
 ■ อุณหภูมิอากาศภายนอก

แผนภูมิ 4-6 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวด้านบนของวัสดุผนังหลังคาต่างชนิดกัน

เก็บข้อมูลตั้งแต่เวลา 00.00 น. ของวันที่ 21 เมษายน 2546 ถึงเวลา 12.00 น. ของวันที่ 22 เมษายน 2546

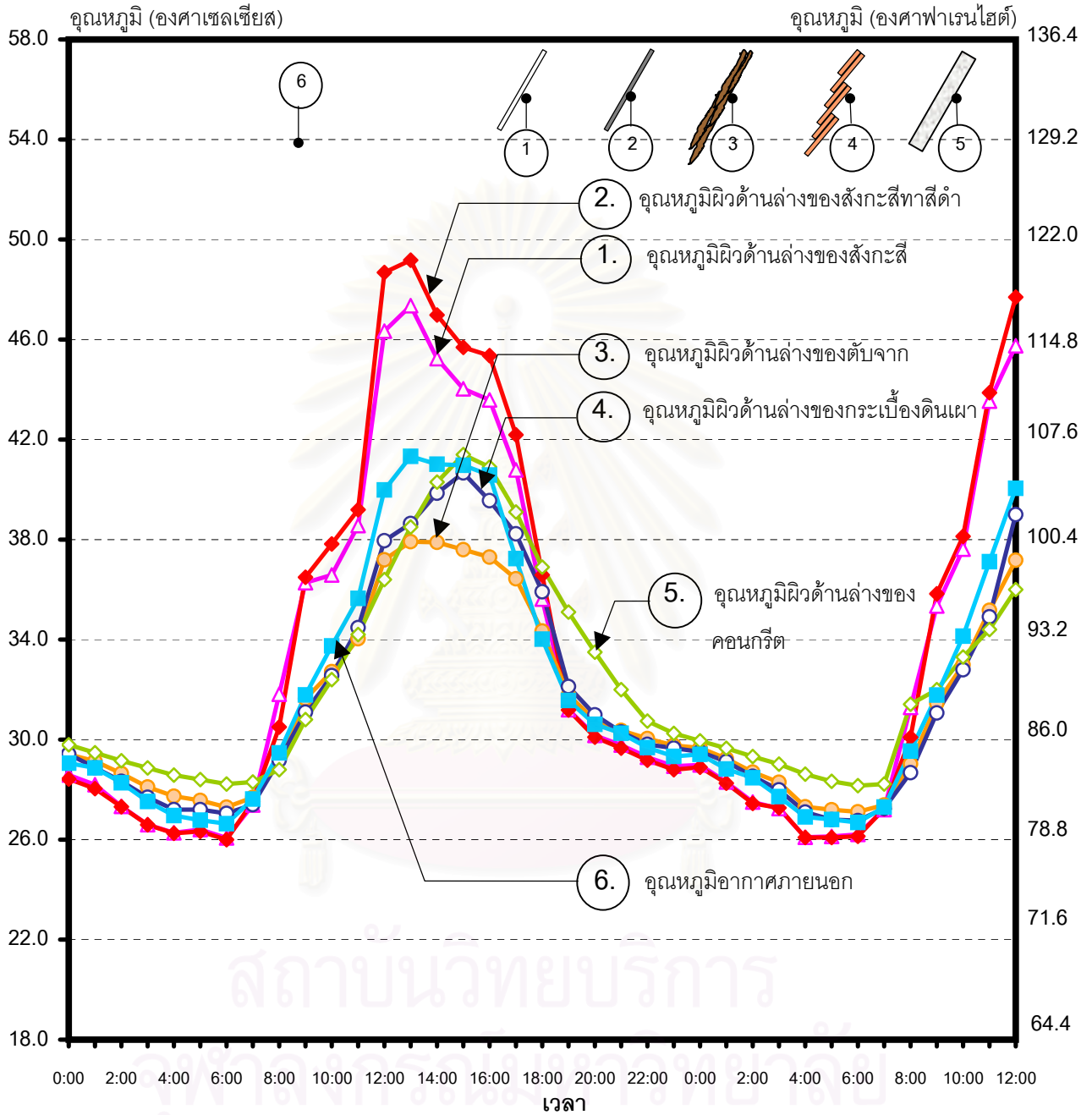


ปริมาณเมฆบนท้องฟ้า

30%	10%	30%	10%
21 เมษายน 2546		22 เมษายน 2546	

- ▲ อุณหภูมิผิวด้านบนของสังกะสี
- ◆ อุณหภูมิผิวด้านบนของสังกะสีทาสีดำ
- อุณหภูมิผิวด้านบนของตับจาก
- อุณหภูมิผิวด้านบนของกระเบื้องดินเผา
- ◇ อุณหภูมิผิวด้านบนของคอนกรีต
- อุณหภูมิอากาศภายนอก

แผนภูมิ 4-7 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวด้านล่างของวัสดุผนังหลังคาต่างชนิดกัน
เก็บข้อมูลตั้งแต่เวลา 00.00 น. ของวันที่ 21 เมษายน 2546 ถึงเวลา 12.00 น. ของวันที่ 22 เมษายน 2546



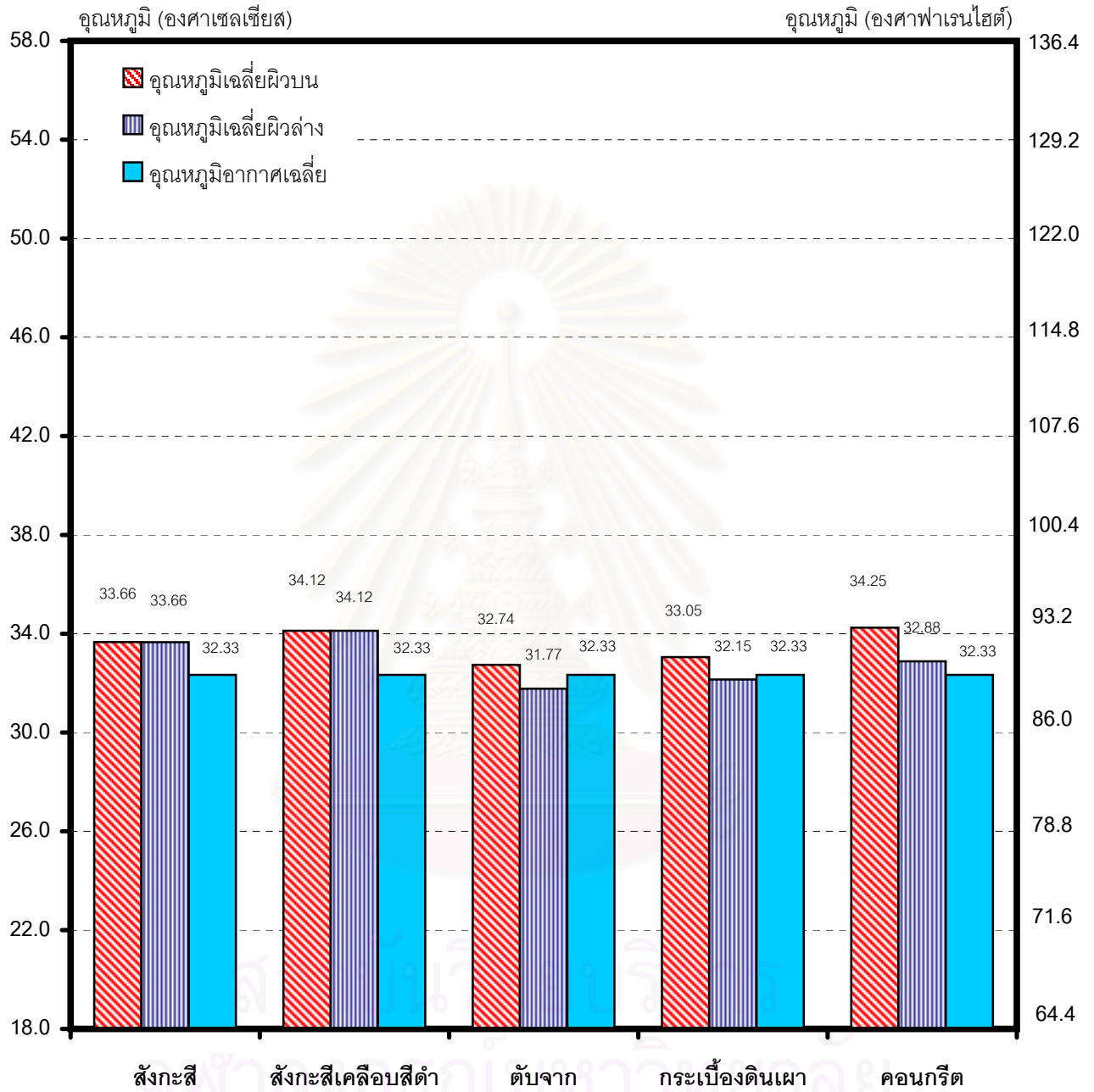
ปริมาณเมฆบนท้องฟ้า

30%	10%	30%	10%
21 เมษายน 2546		22 เมษายน 2546	

- ▲ อุณหภูมิผิวด้านล่างของสังกะสี
- ◆ อุณหภูมิผิวล่างของสังกะสีทาสีดำ
- อุณหภูมิผิวด้านล่างของตึกจาก
- อุณหภูมิผิวด้านล่างของกระเบื้องดินเผา
- ◆ อุณหภูมิผิวด้านล่างของคอนกรีต
- อุณหภูมิอากาศภายนอก

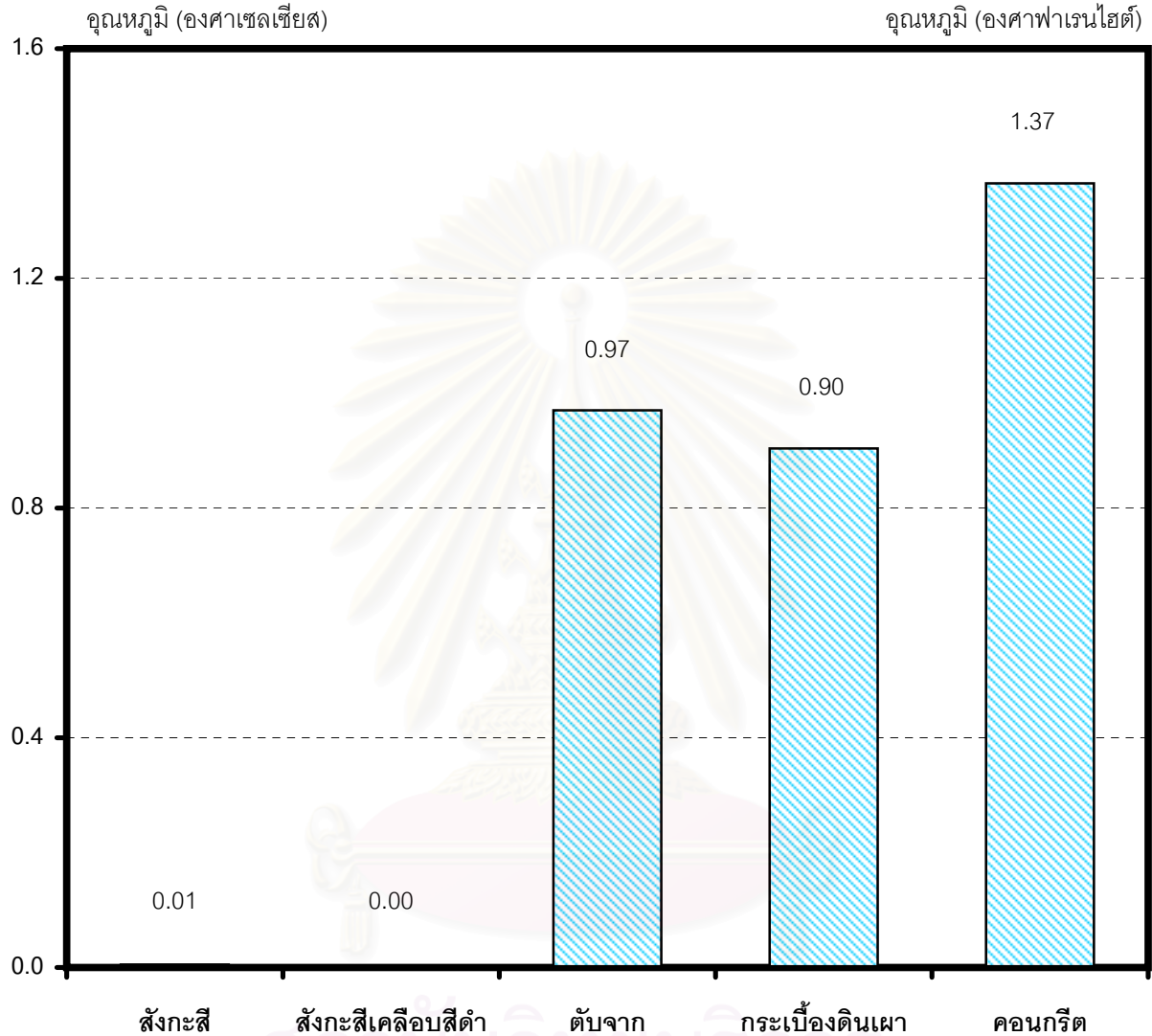
แผนภูมิ 4-8 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ย ผิวนบน และผิวล่าง ในช่วง 24 ชั่วโมง
ของวัสดุผนังหลังคาต่างชนิดกัน

เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 21 เมษายน 2546 ถึงเวลา 00.00 น. ของวันที่ 22 เมษายน 2546



แผนภูมิ 4-9 แสดงการเปรียบเทียบผลต่างระหว่างอุณหภูมิเฉลี่ยผิวด้านบน กับอุณหภูมิเฉลี่ยผิวด้านล่าง
ของวัสดุหลังคาต่างชนิดกัน

เก็บข้อมูลตั้งแต่เวลา 00.00 น. ของวันที่ 21 เมษายน 2546 ถึงเวลา 00.00 น. ของวันที่ 22 เมษายน 2546



ผลการศึกษา พบว่า ผลต่างระหว่างอุณหภูมิผิวด้านบน กับด้านล่างหลังคาโดยเฉลี่ย ของวัสดุหลังคาที่ทำจากสังกะสี และสังกะสีเคลือบสีดำ มีค่าน้อยมาก เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีมวลสารน้อย จึงไม่สามารถกักเก็บความร้อนได้ เหมือนกับวัสดุที่มีมวลสารมากกว่า เช่น กระเบื้องดินเผา และคอนกรีต ส่วนตับจากมีมวลสารน้อยเช่นกัน แต่มีช่องว่างอากาศแทรกอยู่ระหว่างวัสดุ จึงเป็นการเพิ่มคุณสมบัติการเป็นฉนวนให้กับวัสดุ ทำให้มีผลต่างระหว่างอุณหภูมิผิวด้านบน และด้านล่างมากกว่าสังกะสี

การวิเคราะห์ผลการทดสอบอิทธิพลของมวลสารวัสดุผงแห้งคา

ผลการทดสอบพบว่ามวลสารที่ต่างกันของวัสดุแห้งคา มีผลให้อุณหภูมิผิววัสดุแตกต่างกัน ทั้งในช่วงกลางวัน และกลางคืน ดังนี้

■ ในช่วงเวลากลางวัน

เมื่อวัสดุแห้งคาได้รับอิทธิพลจากรังสีดวงอาทิตย์ และสภาพแวดล้อม จะทำให้แห้งคามีอุณหภูมิผิวสูงขึ้น โดยวัสดุที่มีมวลสารน้อยกว่า และพื้นผิวมีอัตราส่วนระหว่างค่าการดูดซับ กับค่าการแผ่รังสีความร้อนสูงกว่า จะมีอุณหภูมิสูงกว่าวัสดุที่มีมวลสารมาก และมีอุณหภูมิถึงจุดสูงสุดของวันในเวลาใกล้เคียงกับอุณหภูมิอากาศ ส่วนวัสดุที่มีมวลสารมาก จะมีค่าการหน่วงเหนี่ยวความร้อนสูง จึงมีอุณหภูมิสูงขึ้นช้ากว่า จากผลการทดสอบ พบว่าอุณหภูมิผิวสูงสุดของวัสดุแห้งคา มีความแตกต่างกัน ดังนี้

แห้งคามวลสารน้อย

- สังกะสี	ผิวบน 47.91 ผิวล่าง 47.36 องศาเซลเซียส	เมื่อเวลา 13.00 น.
- สังกะสีเคลือบสีดำ	ผิวบน 50.07 ผิวล่าง 49.17 องศาเซลเซียส	เมื่อเวลา 13.00 น.
- ตับจาก	ผิวบน 45.38 ผิวล่าง 37.91 องศาเซลเซียส	เมื่อเวลา 13.00 น.

แห้งคามวลสารปานกลาง

- กระเบื้องดินเผา	ผิวบน 43.58 ผิวล่าง 40.67 องศาเซลเซียส	เมื่อเวลา 15.00 น.
-------------------	--	--------------------

แห้งคามวลสารมาก

- คอนกรีต	ผิวบน 47.63 ผิวล่าง 41.40 องศาเซลเซียส	เมื่อเวลา 15.00 น.
-----------	--	--------------------

<u>อุณหภูมิอากาศภายนอก</u>	อุณหภูมิสูงสุดที่ 41.33 องศาเซลเซียส	เมื่อเวลา 13.00 น.
----------------------------	--------------------------------------	--------------------

สังกะสีเป็นวัสดุที่มีมวลสารน้อย และมีค่าการนำความร้อนสูง จึงทำให้อุณหภูมิผิวสูงกว่าวัสดุชนิดอื่น และไม่สามารถหน่วงเหนี่ยวความร้อนได้จึงมีอุณหภูมิสูงสุดของวัน ในเวลาใกล้เคียงกับอุณหภูมิอากาศ ส่วนกระเบื้องดินเผา และคอนกรีต มีมวลสารปานกลาง และมวลสารมากตามลำดับ จึงมีความสามารถในการหน่วงเหนี่ยวความร้อนได้สูงกว่าวัสดุที่มีมวลสารน้อย โดยมีอุณหภูมิสูงสุดของวันช้ากว่าประมาณ 2 ชั่วโมง

สังกะสีจะไม่มี ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิผิวด้านบน และด้านล่าง เนื่องจาก มีมวลสารน้อย ค่าการนำความร้อนสูง ไม่มีคุณสมบัติในการเป็นฉนวน ส่วนตับจากก็มีมวลสารน้อยเช่นกัน แต่มีช่องว่างอากาศแทรกอยู่ระหว่างวัสดุ จึงเป็นการเพิ่มคุณสมบัติการเป็นฉนวนให้กับวัสดุ ทำให้มีผลต่างระหว่างอุณหภูมิผิวด้านบน และด้านล่างมากกว่าสังกะสี ส่วนวัสดุที่มีมวลสารปานกลาง และมวลสารมาก ได้แก่ กระเบื้องดินเผา และคอนกรีต มีค่าการนำความร้อนต่ำกว่า จึงทำให้ความร้อนผ่านเข้ามาได้ช้า ทำให้มีผลต่างระหว่างอุณหภูมิผิวด้านบน และด้านล่างมากกว่า

■ ในช่วงเวลากลางคืน เป็นช่วงเวลาที่วัสดุบนพื้นโลกสามารถแลกเปลี่ยนรังสีคลื่นยาวกับท้องฟ้าได้ เป็นผลให้อุณหภูมิผิววัสดุต่ำลง โดยวัสดุที่มีมวลสารต่างกันจะมีผลต่อการคายรังสีที่ต่างกัน จากผลการทดสอบ พบว่าอุณหภูมิผิวต่ำสุดของวัสดุแห้งคา มีความแตกต่างกันดังนี้

หลังคามวลสารน้อย

- สังกะสี	ผิวบน 25.77 ผิวล่าง 26.07 องศาเซลเซียส	เมื่อเวลา 6.00 น.
- สังกะสีเคลือบสีด้า	ผิวบน 25.76 ผิวล่าง 26.00 องศาเซลเซียส	เมื่อเวลา 6.00 น.
- ตับจาก	ผิวบน 25.76 ผิวล่าง 27.30 องศาเซลเซียส	เมื่อเวลา 6.00 น.

หลังคามวลสารปานกลาง

- กระเบื้องดินเผา	ผิวบน 26.67 ผิวล่าง 27.05 องศาเซลเซียส	เมื่อเวลา 6.00 น.
-------------------	--	-------------------

หลังคามวลสารมาก

- คอนกรีต	ผิวบน 26.83 ผิวล่าง 28.22 องศาเซลเซียส	เมื่อเวลา 6.00 น.
-----------	--	-------------------

<u>อุณหภูมิอากาศภายนอก</u>	อุณหภูมิต่ำสุดที่ 26.64 องศาเซลเซียส	เมื่อเวลา 6.00 น.
----------------------------	--------------------------------------	-------------------

วัสดุที่มีมวลสารน้อย ได้แก่ สังกะสี และตับจาก จะมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนรังสีคลื่นยาวกับท้องฟ้าได้ดีกว่า เนื่องจากมีความร้อนสะสมน้อยกว่าวัสดุที่มีมวลสารมาก เป็นผลให้มีอุณหภูมิผิวด้านบนต่ำที่สุด ส่วนผิวด้านล่างของทุกวัสดุจะมีอุณหภูมิสูงกว่าผิวด้านบน เนื่องจากไม่ได้มีมุมเปิดสู่ท้องฟ้าโดยตรง ยิ่งวัสดุที่มีมวลสารมาก เช่น กระเบื้องดินเผา และคอนกรีต จะมีผลต่างระหว่างอุณหภูมิผิวด้านบน กับด้านล่างมากกว่า ส่วนตับจากจะมีผลต่างระหว่างอุณหภูมิผิวด้านบน กับด้านล่างสูงเช่นกันเนื่องจากวัสดุมีการซ้อนทับกันหลายชั้นทำให้เกิดช่องว่างอากาศที่มีคุณสมบัติการเป็นฉนวนทำให้ผิวด้านล่างของวัสดุไม่สามารถคายรังสีสู่ท้องฟ้าได้โดยตรง

สังกะสี และสังกะสีเคลือบสีด้าจะมีอุณหภูมิสูงสุดในช่วงกลางวันต่างกัน เนื่องจากสังกะสีที่เคลือบสีด้าจะมีอัตราส่วนระหว่างค่าการดูดซับ กับค่าการแผ่รังสีความร้อนสูงกว่า ทำให้มีอุณหภูมิผิวสูงสุดมากกว่า แต่ในช่วงเวลากลางคืนวัสดุทั้งสองชนิดมีค่าการคายรังสีไม่ต่างกัน เป็นผลให้อุณหภูมิผิวในช่วงเวลากลางคืนไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ

สรุปแล้วมวลสารมีผลต่ออุณหภูมิผิววัสดุ และผลต่างระหว่างอุณหภูมิผิวด้านบน กับด้านล่าง โดยวัสดุที่มีมวลสารน้อย และมีค่าความเป็นฉนวนน้อยจะมีอุณหภูมิสูงในช่วงเวลากลางวัน และต่ำในช่วงกลางคืน รวมทั้งมีความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิผิวด้านบน กับด้านล่างน้อยกว่าวัสดุที่มีมวลสารมาก การที่หลังคาเรือนไทยในอดีตเป็นกระเบื้องดินเผา ซึ่งเป็นวัสดุที่มีมวลสารปานกลาง มวลสารจึงเป็นตัวแปรที่มีอิทธิพลต่ออุณหภูมิผิวของหลังคาเรือนไทย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1.2 การทดสอบอิทธิพลของมวลสารที่มีผลต่อมุมเอียงหลังคา

วัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาถึงความแตกต่างของอุณหภูมิผิวด้านบน และด้านล่าง ของวัสดุหลังคาที่มีมวลสารต่างกัน ตามขั้นตอนที่ 4.1.1 โดยมีมุมเอียงที่ต่างกัน นำมาเปรียบเทียบ เพื่อวิเคราะห์ถึงอิทธิพลของมวลสารที่มีต่อมุมเอียงหลังคา

ผลการทดสอบ

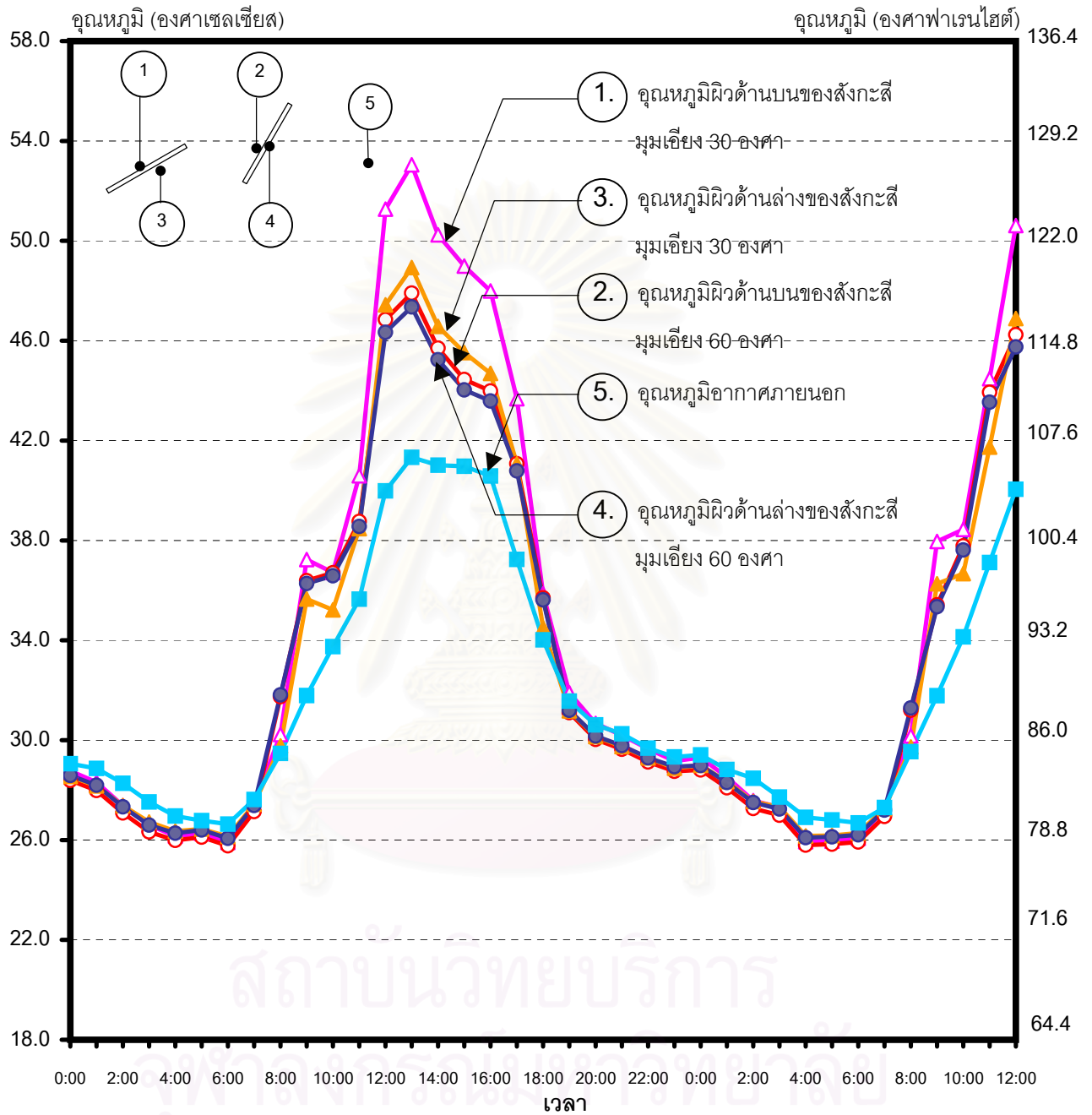
เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวด้านบน และด้านล่างของวัสดุหลังคาที่มีมวลสารต่างกัน เมื่อวางแผ่นวัสดุหลังคาในแนวระนาบมุมเอียงต่างกัน (30 และ 60 องศา) ได้รับอิทธิพลจากท้องฟ้าทิศทางเดียวกัน และวัสดุดังกล่าวเป็นวัสดุที่มีการใช้งานจริง โดยวัสดุที่นำมาใช้ทดสอบได้แก่

- มวลสารมาก - แผ่นคอนกรีตไม่ทาสี ความหนา 0.10 ม.
- มวลสารปานกลาง - กระเบื้องดินเผาหางมนชนิดไม่เคลือบผิวสีธรรมชาติ ความหนา 0.015 ม.
- มวลสารน้อย - แผ่นสังกะสีลอนความหนา 0.05 มม.
- แผ่นสังกะสีลอนเคลือบสีดำความหนา 0.05 มม.
- ตับจากความหนา 0.02 ม.

แสดงผลการทดสอบได้ดังนี้

- เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวบน และผิวล่างของหลังคาสังกะสี ที่มีมุมเอียงต่างกัน ดังแผนภูมิ 4-10
- เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวบน และผิวล่างของหลังคาสังกะสีเคลือบสีดำ ที่มีมุมเอียงต่างกัน ดังแผนภูมิ 4-11
- เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวบน และผิวล่างของหลังคาตับจาก ที่มีมุมเอียงต่างกัน ดังแผนภูมิ 4-12
- เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวบน และผิวล่างของหลังคากระเบื้องดินเผา ที่มีมุมเอียงต่างกัน ดังแผนภูมิ 4-13
- เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวบน และผิวล่างของหลังคาคอนกรีตหนา 0.10 ม. ที่มีมุมเอียงต่างกัน ดังแผนภูมิ 4-14
- เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวบนของวัสดุหลังคาต่างชนิดกัน มุมเอียงหลังคา 30 องศา ดังแผนภูมิ 4-15
- เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวบนของวัสดุหลังคาต่างชนิดกัน มุมเอียงหลังคา 60 องศา ดังแผนภูมิ 4-16
- เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวล่างของวัสดุหลังคาต่างชนิดกัน มุมเอียงหลังคา 30 องศา ดังแผนภูมิ 4-17
- เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวล่างของวัสดุหลังคาต่างชนิดกัน มุมเอียงหลังคา 60 องศา ดังแผนภูมิ 4-18
- เปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยของผิวบน และผิวล่างของวัสดุหลังคาต่างชนิด ที่มีมุมเอียงต่างกัน ดังแผนภูมิ 4-19
- เปรียบเทียบผลต่างระหว่างอุณหภูมิผิวบน เฉลี่ย / สูงสุด / ต่ำสุด ของหลังคามุมเอียงต่างกัน ที่มีมวลสารต่างกัน ดังแผนภูมิ 4-20
- เปรียบเทียบผลต่างระหว่างอุณหภูมิผิวล่าง เฉลี่ย / สูงสุด / ต่ำสุด ของหลังคามุมเอียงต่างกัน ที่มีมวลสารต่างกัน ดังแผนภูมิ 4-21

แผนภูมิ 4-10 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวของหลังคาสังกะสี ที่มีมุมเอียงหลังคา 30 และ 60 องศา
 เก็บข้อมูลตั้งแต่เวลา 00.00 น. ของวันที่ 21 เมษายน 2546 ถึงเวลา 12.00 น. ของวันที่ 22 เมษายน 2546

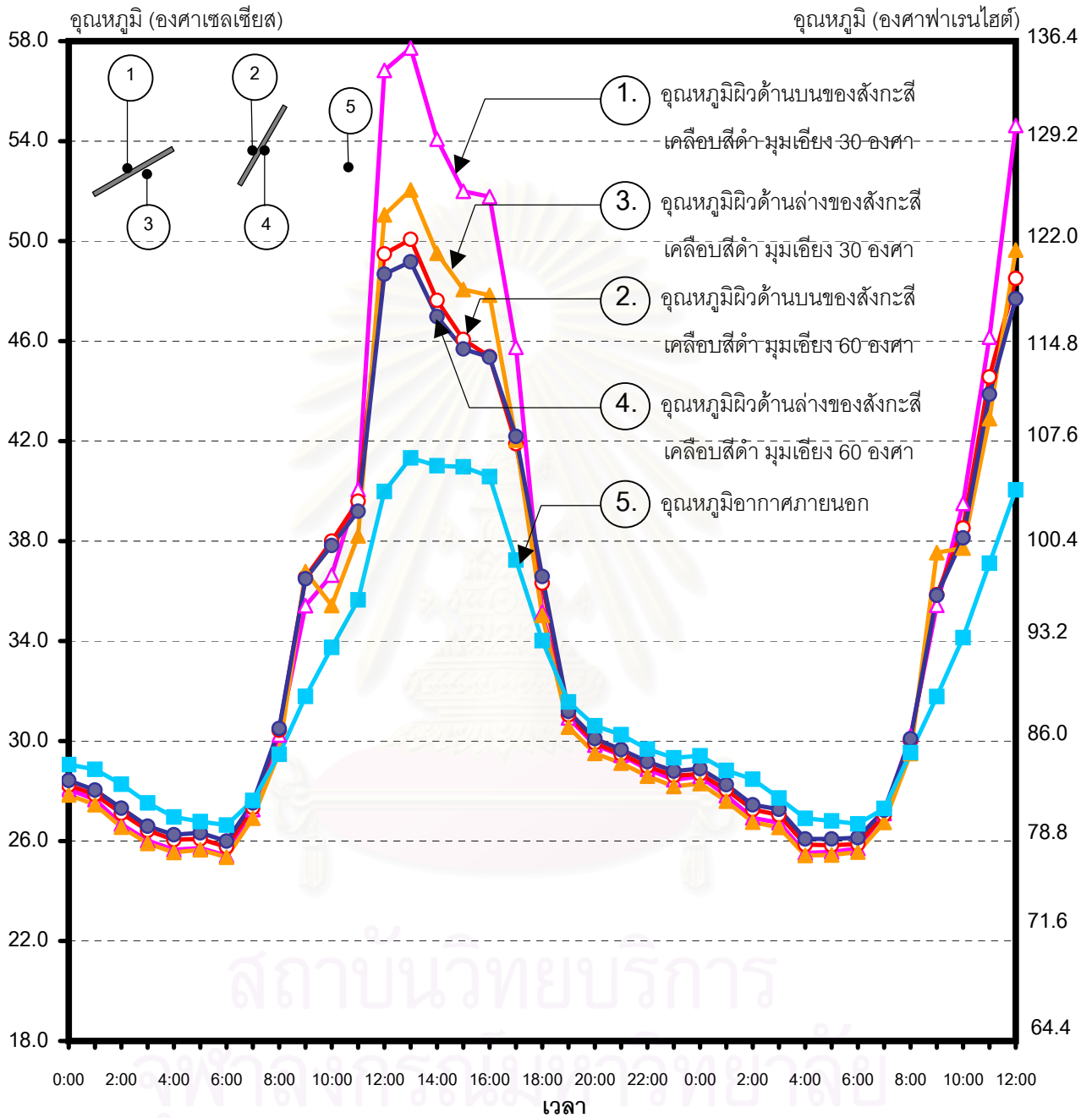


ปริมาณเมฆบนท้องฟ้า

30%	10%	30%	10%
21 เมษายน 2546		22 เมษายน 2546	

- ▲ อุณหภูมิผิวด้านบนของสังกะสีมุม 30 องศา
- อุณหภูมิผิวด้านบนของสังกะสีมุม 60 องศา
- ▲ อุณหภูมิผิวด้านล่างของสังกะสีมุม 30 องศา
- อุณหภูมิผิวด้านล่างของสังกะสีมุม 60 องศา
- อุณหภูมิอากาศภายนอก

แผนภูมิ 4-11 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวของหลังคาสังกะสีเคลือบสีดำ ที่มีมุมเอียงหลังคา 30 และ 60 องศา
เก็บข้อมูลตั้งแต่เวลา 00.00 น. ของวันที่ 21 เมษายน 2546 ถึงเวลา 12.00 น. ของวันที่ 22 เมษายน 2546

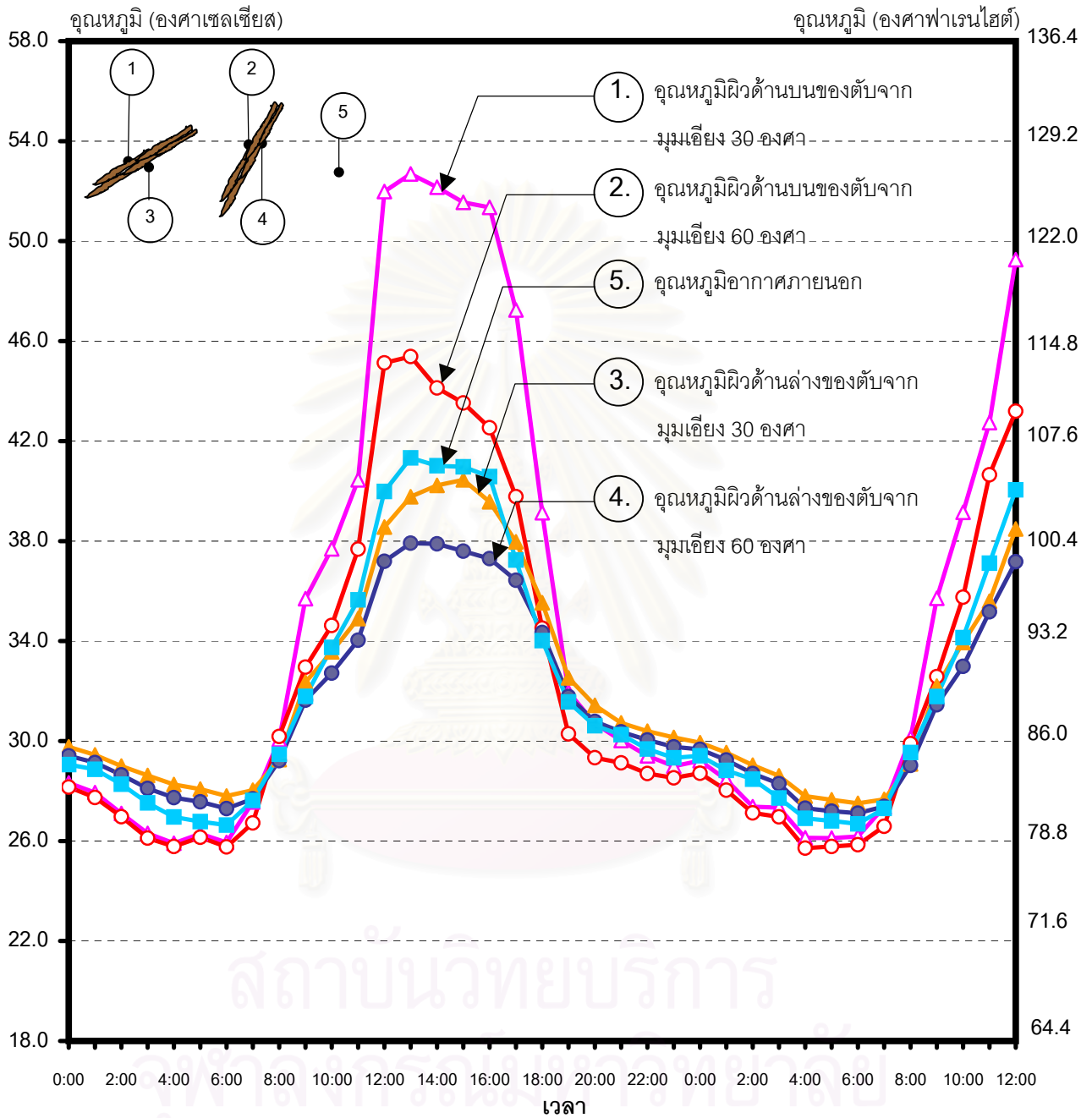


ปริมาณเมฆบนท้องฟ้า

30%	10%	30%	10%
21 เมษายน 2546		22 เมษายน 2546	

- ▲ อุณหภูมิผิวด้านบนของสังกะสีทาสีดำมุม 30 องศา
- ▲ อุณหภูมิผิวด้านล่างของสังกะสีทาสีดำมุม 30 องศา
- อุณหภูมิผิวด้านบนของสังกะสีทาสีดำมุม 60 องศา
- อุณหภูมิผิวด้านล่างของสังกะสีทาสีดำมุม 60 องศา
- อุณหภูมิอากาศภายนอก

แผนภูมิ 4-12 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวของหลังคาตึบจาก ที่มีมุมเอียงหลังคา 30 และ 60 องศา
 เก็บข้อมูลตั้งแต่เวลา 00.00 น. ของวันที่ 21 เมษายน 2546 ถึงเวลา 12.00 น. ของวันที่ 22 เมษายน 2546

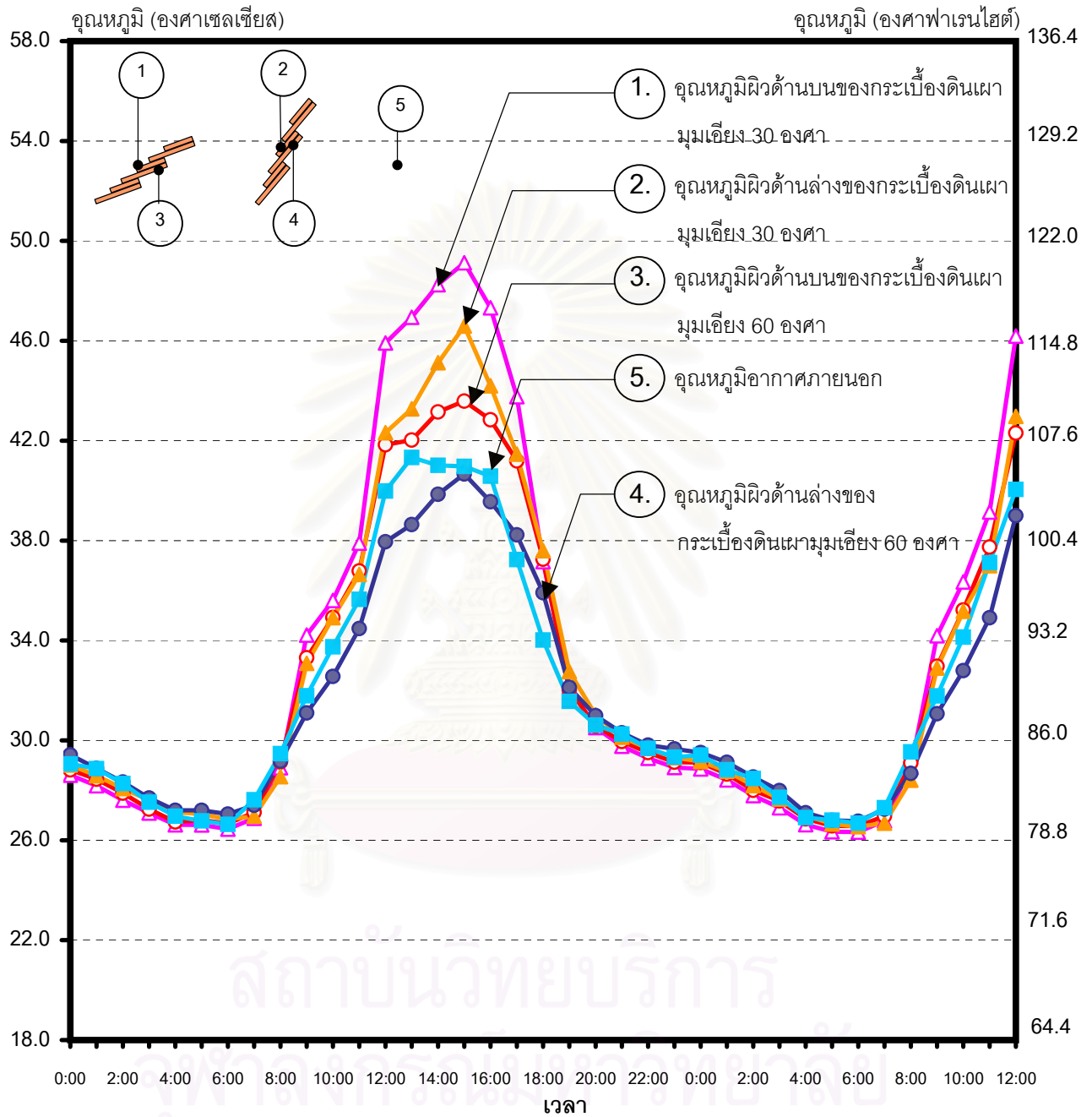


ปริมาณเมฆบนท้องฟ้า

30%	10%	30%	10%
21 เมษายน 2546		22 เมษายน 2546	

- ▲ อุณหภูมิผิวด้านบนของตึบจาก 30 องศา
- อุณหภูมิผิวด้านบนของตึบจากมุม 60 องศา
- ▲ อุณหภูมิผิวด้านล่างของตึบจากมุม 30 องศา
- อุณหภูมิผิวด้านล่างของตึบจากมุม 60 องศา
- อุณหภูมิอากาศภายนอก

แผนภูมิ 4-13 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวของหลังคากระเบื้องดินเผา ที่มีมุมเอียงหลังคา 30 และ 60 องศา
 เก็บข้อมูลตั้งแต่เวลา 00.00 น. ของวันที่ 21 เมษายน 2546 ถึงเวลา 12.00 น. ของวันที่ 22 เมษายน 2546

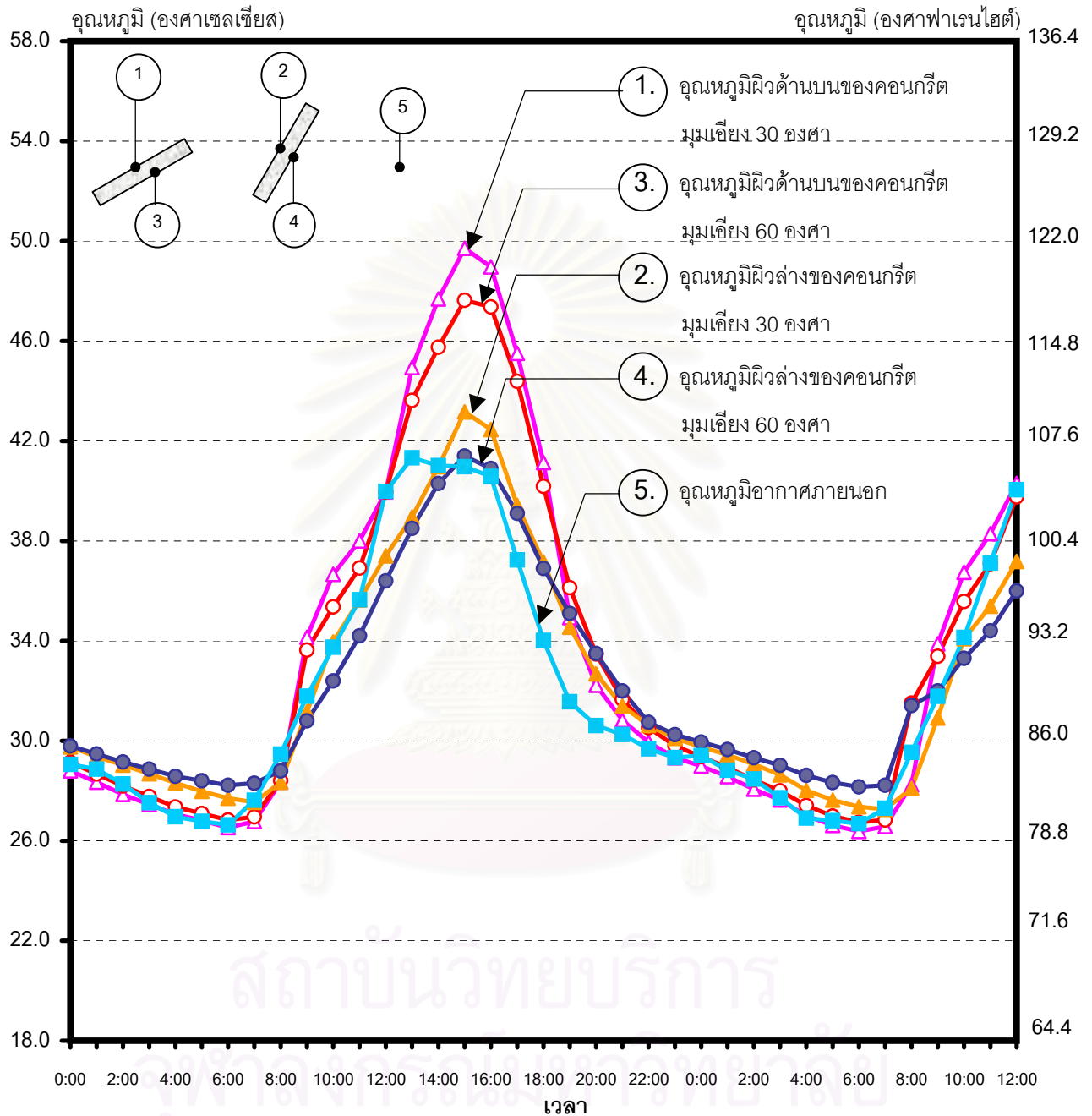


ปริมาณเมฆบนท้องฟ้า

30%	10%	30%	10%
21 เมษายน 2546		22 เมษายน 2546	

- ▲ อุณหภูมิผิวด้านบนของกระเบื้องดินเผา 30 องศา
- อุณหภูมิผิวด้านบนของกระเบื้องดินเผา มุม 60 องศา
- ▲ อุณหภูมิผิวด้านล่างของกระเบื้องดินเผา มุม 30 องศา
- อุณหภูมิผิวด้านล่างของกระเบื้องดินเผา มุม 60 องศา
- อุณหภูมิอากาศภายนอก

แผนภูมิ 4-14 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวของหลังคา ค.ส.ล. ที่มีมุมเอียงหลังคา 30 และ 60 องศา
เก็บข้อมูลตั้งแต่เวลา 00.00 น. ของวันที่ 21 เมษายน 2546 ถึงเวลา 12.00 น. ของวันที่ 22 เมษายน 2546



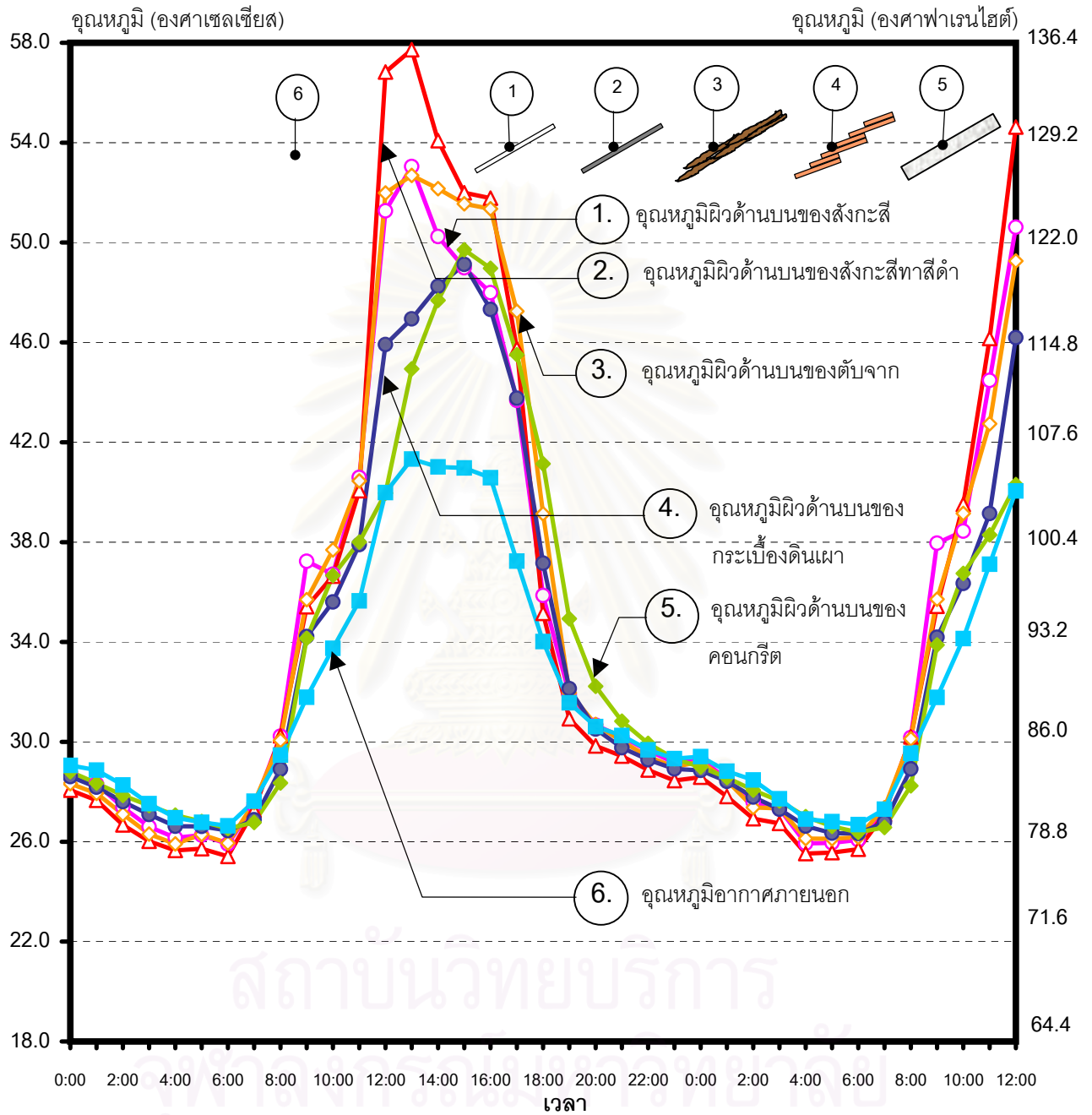
ปริมาณเมฆบนท้องฟ้า

30%	10%	30%	10%
21 เมษายน 2546		22 เมษายน 2546	

- △— อุณหภูมิผิวด้านบนของคองกรีต มุม 30 องศา
- ▲— อุณหภูมิผิวด้านล่างของคองกรีต มุม 30 องศา
- อุณหภูมิอากาศภายนอก

- อุณหภูมิผิวด้านบนของคองกรีต มุม 60 องศา
- อุณหภูมิผิวด้านล่างของคองกรีต มุม 60 องศา

แผนภูมิ 4-15 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวด้านบนของวัสดุผนังหลังคาต่างชนิดกัน มุมเอียงหลังคา 30 องศา
เก็บข้อมูลตั้งแต่เวลา 00.00 น. ของวันที่ 21 เมษายน 2546 ถึงเวลา 12.00 น. ของวันที่ 22 เมษายน 2546

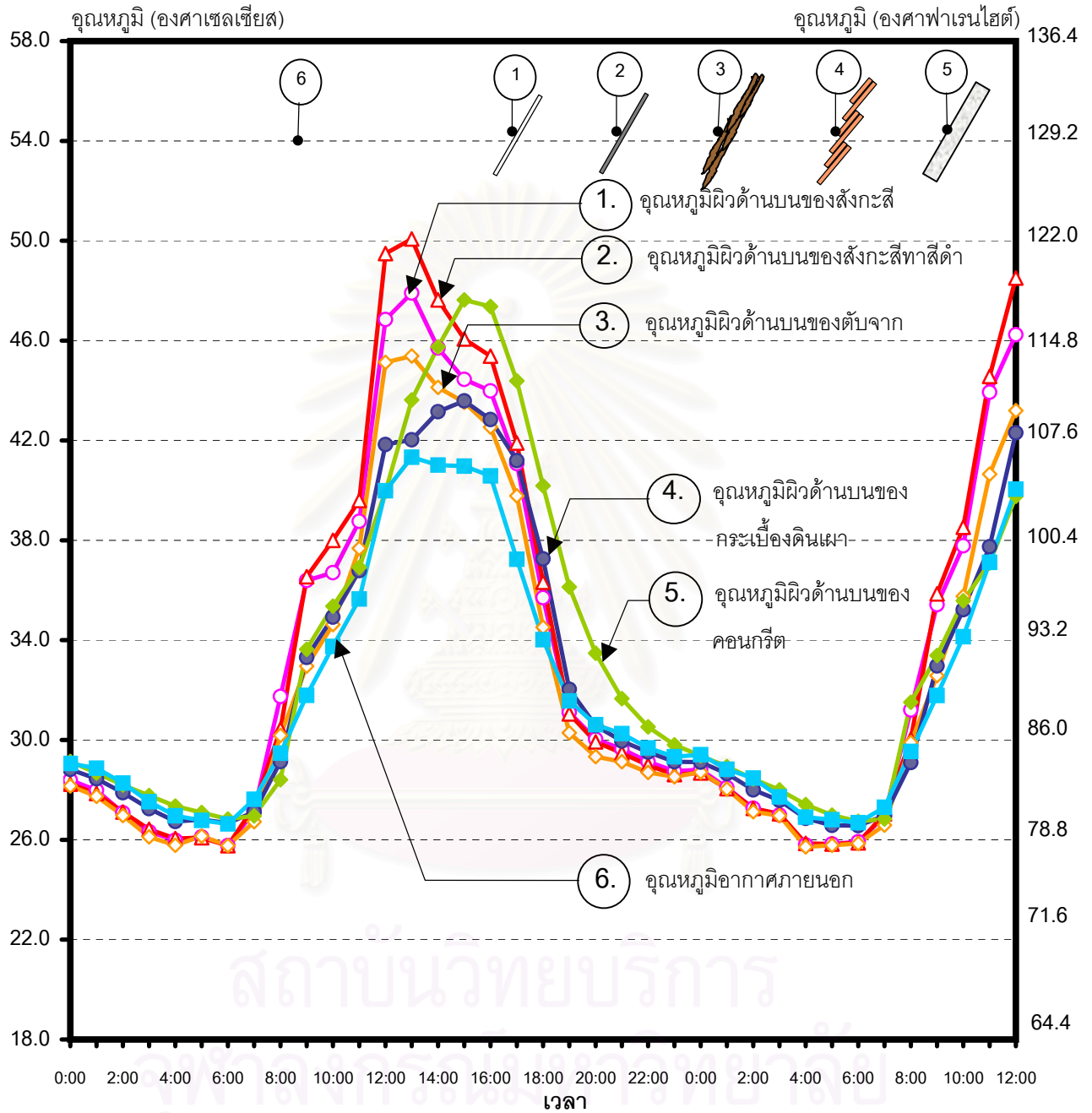


ปริมาณเมฆบนท้องฟ้า

30%	10%	30%	10%
21 เมษายน 2546		22 เมษายน 2546	

- อุณหภูมิผิวด้านบนของสังกะสี
- △— อุณหภูมิผิวด้านบนของสังกะสีทาสีดำ
- ◇— อุณหภูมิผิวด้านบนของตึบจาก
- อุณหภูมิผิวด้านบนของกระเบื้องดินเผา
- ◇— อุณหภูมิผิวด้านบนของคอนกรีต
- อุณหภูมิอากาศภายนอก

แผนภูมิ 4-16 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวด้านบนของวัสดุผนังค้ำต่างชนิดกัน มุมเอียงหลังคา 60 องศา
 เก็บข้อมูลตั้งแต่เวลา 00.00 น. ของวันที่ 21 เมษายน 2546 ถึงเวลา 12.00 น. ของวันที่ 22 เมษายน 2546



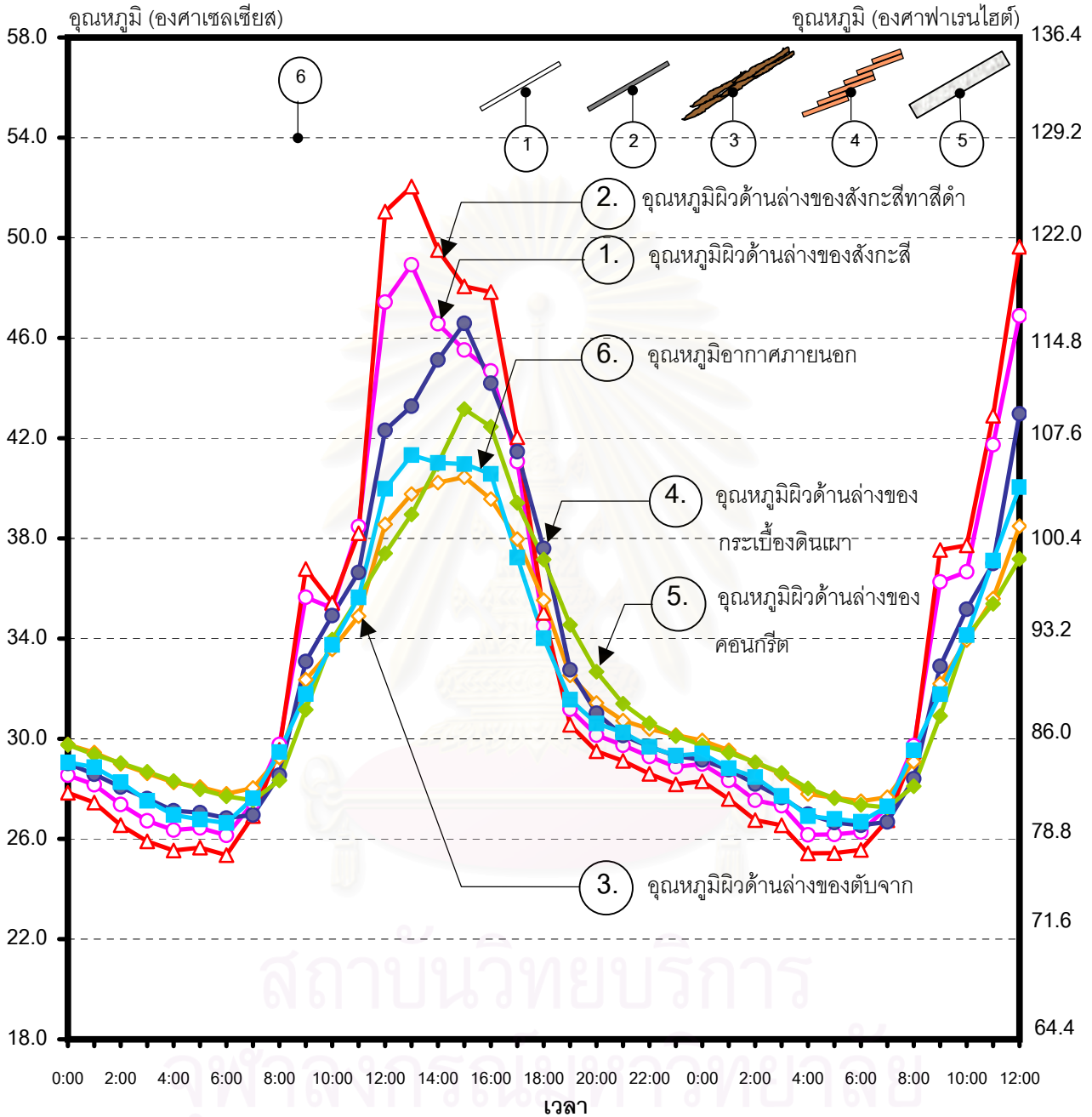
ปริมาณเมฆบนท้องฟ้า

30%	10%	30%	10%
21 เมษายน 2546		22 เมษายน 2546	

- อุณหภูมิผิวด้านบนของสังกะสี
- ▲ อุณหภูมิผิวด้านบนของสังกะสีทาสีดำ
- ◇ อุณหภูมิผิวด้านบนของต๊ับจาก
- อุณหภูมิผิวด้านบนของกระเบื้องดินเผา
- ◆ อุณหภูมิผิวด้านบนของคอนกรีต
- อุณหภูมิอากาศภายนอก

แผนภูมิ 4-17 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวด้านล่างของวัสดุผนังหลังคาต่างชนิดกัน มุมเอียงหลังคา 30 องศา

เก็บข้อมูลตั้งแต่เวลา 00.00 น. ของวันที่ 21 เมษายน 2546 ถึงเวลา 12.00 น. ของวันที่ 22 เมษายน 2546

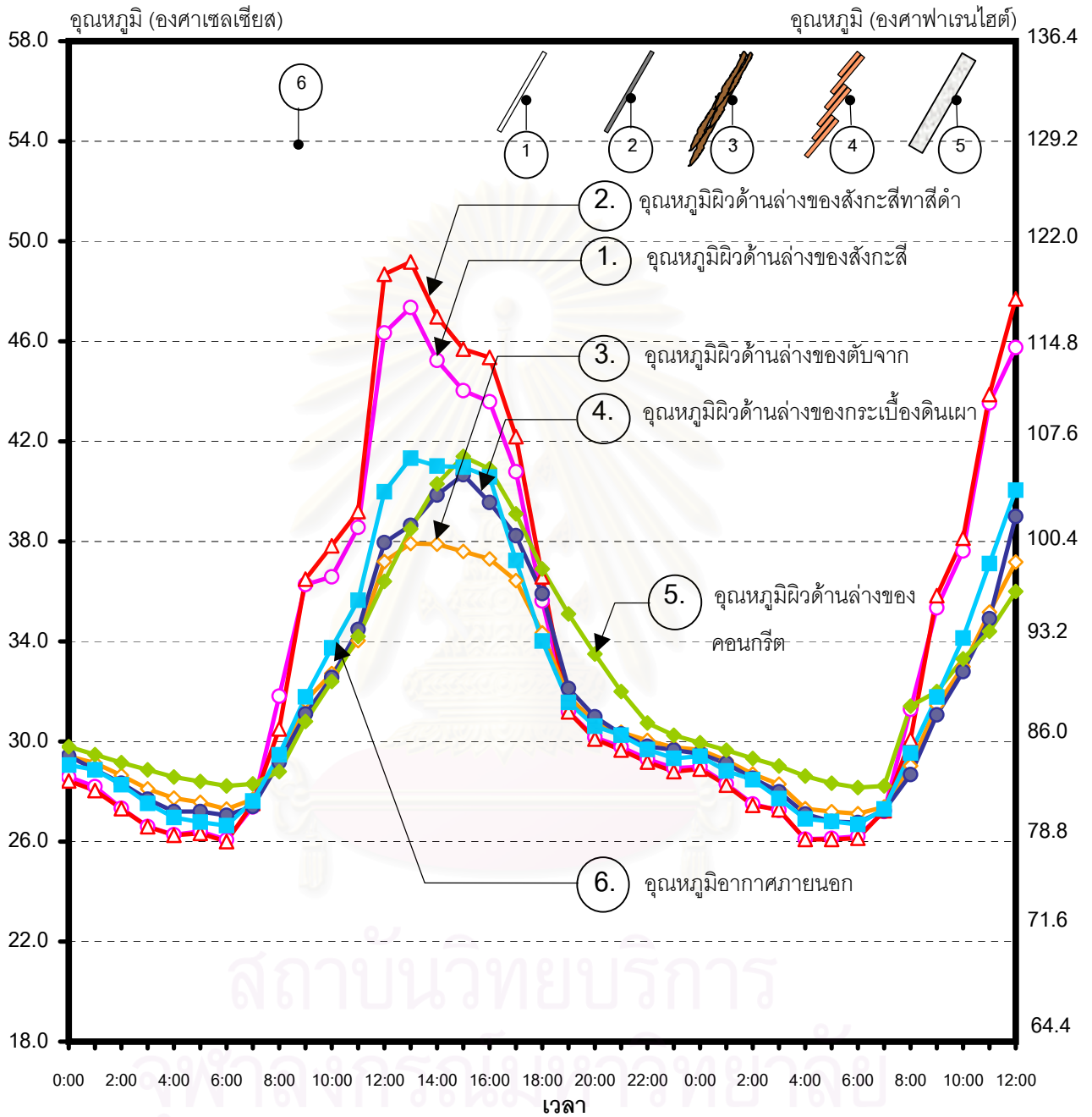


ปริมาณเมฆบนท้องฟ้า

30%	10%	30%	10%
21 เมษายน 2546		22 เมษายน 2546	

- อุณหภูมิผิวด้านล่างของสังกะสี
- △ อุณหภูมิผิวล่างของสังกะสีทาสีดำ
- ◇ อุณหภูมิผิวด้านล่างของดับจาก
- อุณหภูมิผิวด้านล่างของกระเบื้องดินเผา
- ◆ อุณหภูมิผิวด้านล่างของคอนกรีต
- อุณหภูมิอากาศภายนอก

แผนภูมิ 4-18 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวด้านล่างของวัสดุผนังคานต่างชนิดกัน มุมเอียงหลังคา 60 องศา
เก็บข้อมูลตั้งแต่เวลา 00.00 น. ของวันที่ 21 เมษายน 2546 ถึงเวลา 12.00 น. ของวันที่ 22 เมษายน 2546



ปริมาณเมฆบนท้องฟ้า

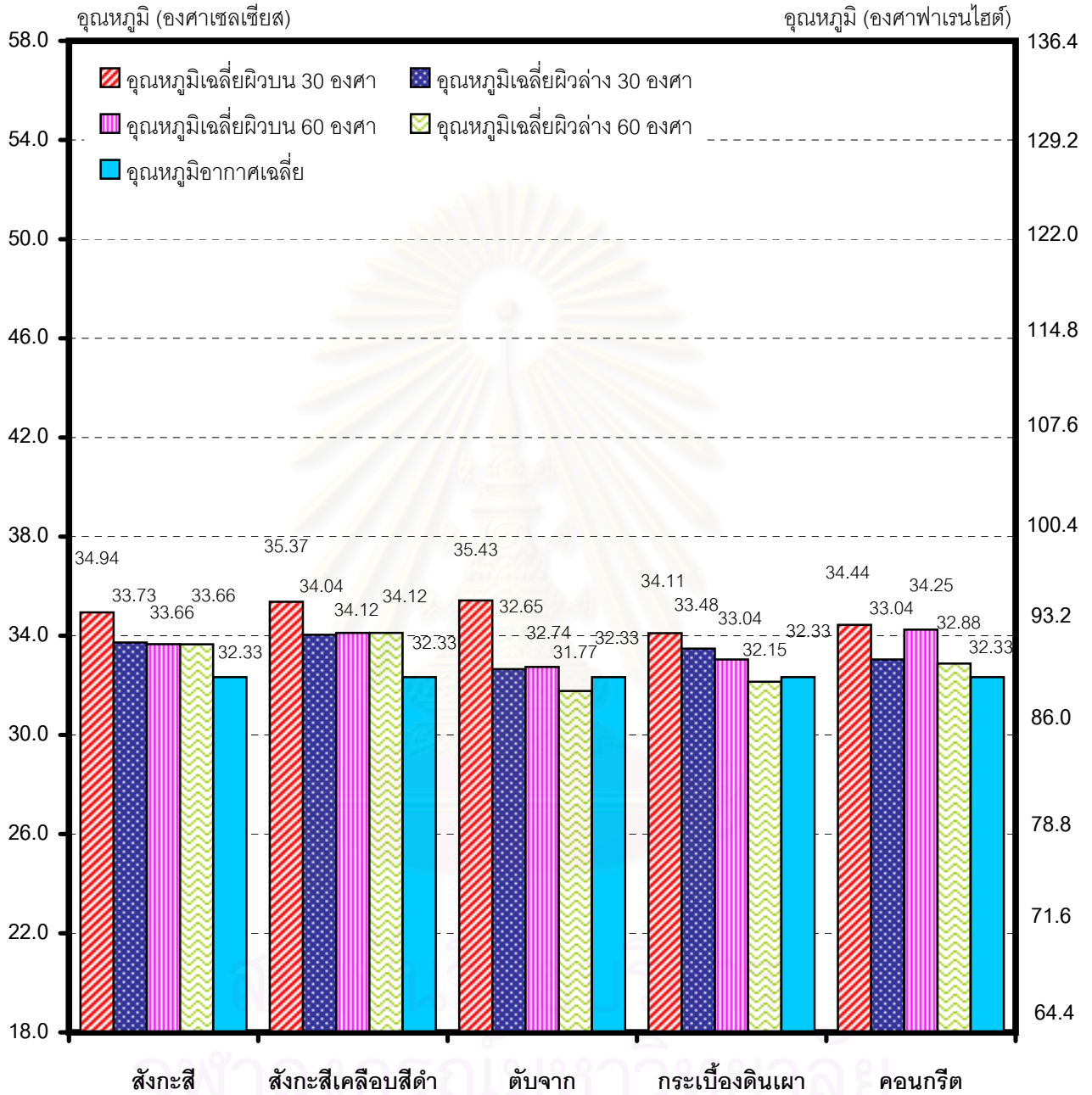
30%	10%	30%	10%
21 เมษายน 2546		22 เมษายน 2546	

- อุณหภูมิผิวด้านล่างของสังกะสี
- ◇ อุณหภูมิผิวด้านล่างของตึกจาก
- ◇ อุณหภูมิผิวด้านล่างของคอนกรีต

- △ อุณหภูมิผิวล่างของสังกะสีทาสีดำ
- อุณหภูมิผิวด้านล่างของกระเบื้องดินเผา
- อุณหภูมิอากาศภายนอก

แผนภูมิ 4-19 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ย ผิวนบน และผิวล่าง ในช่วง 24 ชั่วโมง
ของวัสดุหลังคาต่างชนิดกัน ที่มุมเอียงต่างกัน

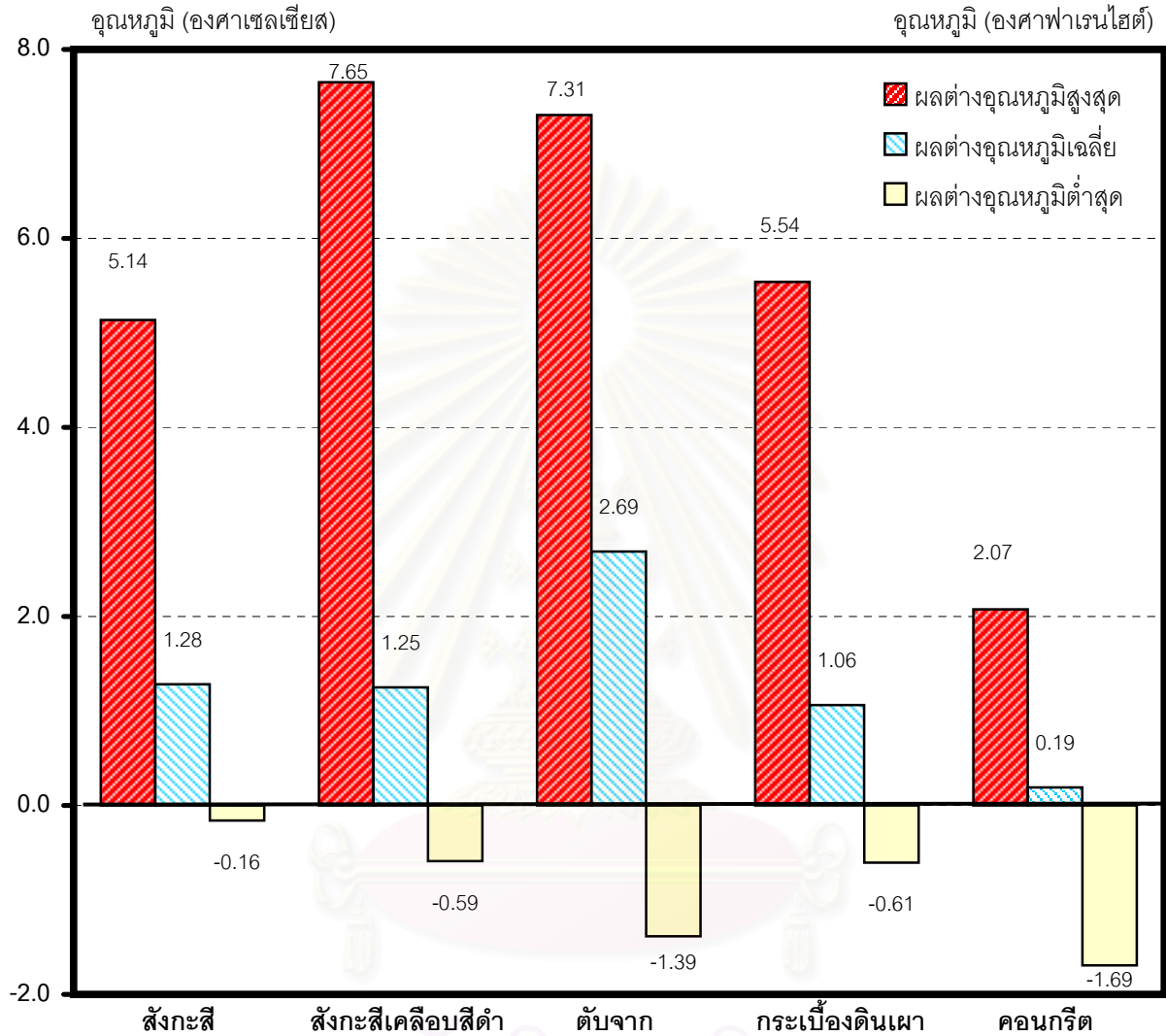
เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 21 เมษายน 2546 ถึงเวลา 00.00 น. ของวันที่ 22 เมษายน 2546



แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวนบน และผิวล่าง เฉลี่ย ของวัสดุหลังคาที่มีมวลสาร และมุมเอียงต่างกัน พบว่า มวลสารมีผลต่ออุณหภูมิผิวของวัสดุแตกต่างกัน วัสดุที่มีมวลสารน้อยความแตกต่างของอุณหภูมิผิวจะมีมากกว่าวัสดุที่มีมวลสารมาก

แผนภูมิ 4-20 แสดงการเปรียบเทียบผลต่างระหว่างอุณหภูมิผิวบน เฉลี่ย / สูงสุด / ต่ำสุด
ของหลังคามุมเอียงต่างกัน ที่มีมวลสารต่างกัน

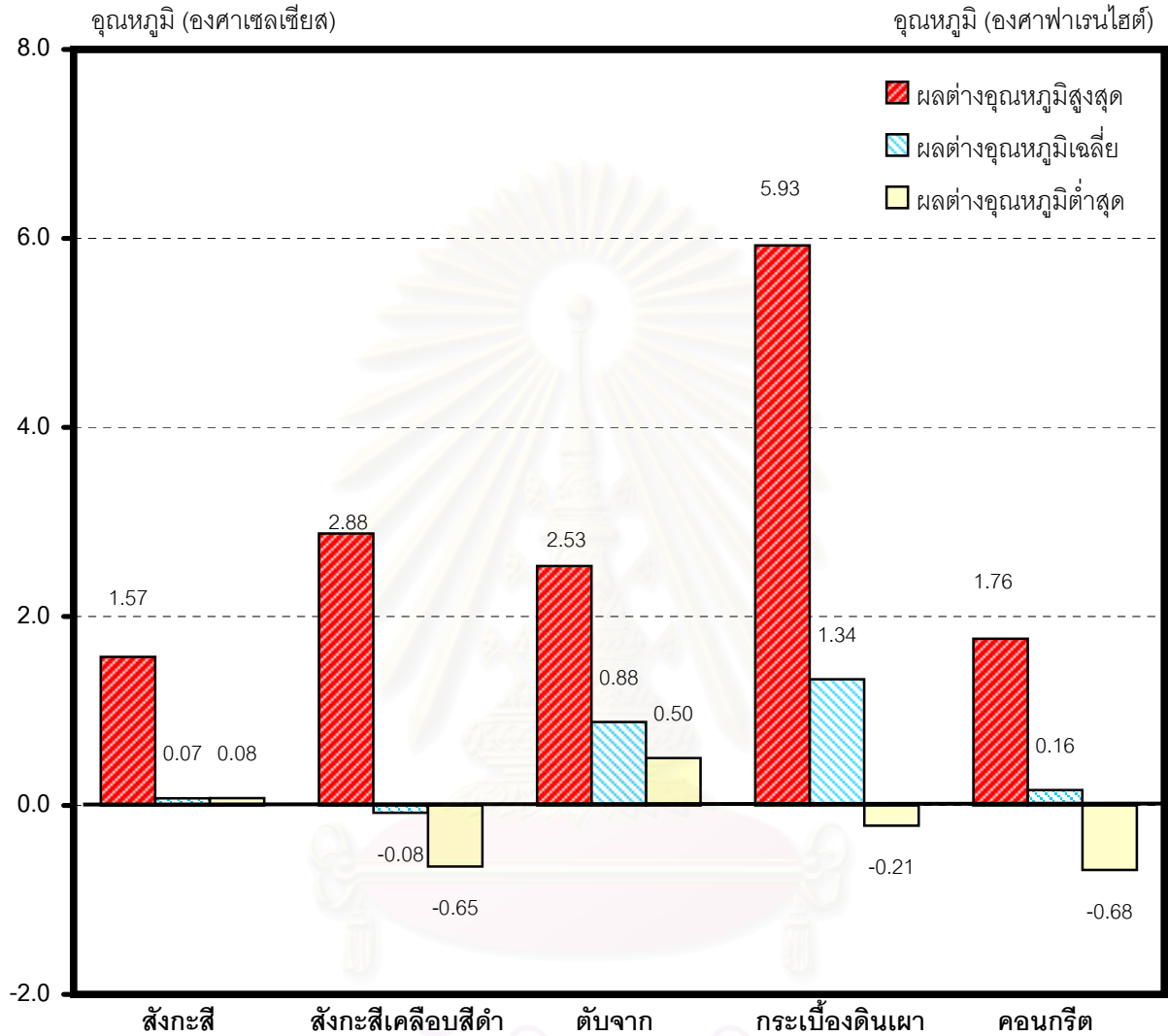
เก็บข้อมูลตั้งแต่เวลา 00.00 น. ของวันที่ 21 เมษายน 2546 ถึงเวลา 00.00 น. ของวันที่ 22 เมษายน 2546



จากแผนภูมิพบว่าวัสดุที่มีมวลสารน้อย ได้แก่ สังกะสี ตับจาก และมวลสารปานกลาง ได้แก่ กระเบื้องดินเผา จะมีอุณหภูมิผิวแตกต่างกันระหว่างมุมเอียง 30 และ 60 องศา มากกว่าวัสดุที่มีมวลสารมาก เช่นคอนกรีต เนื่องจากวัสดุที่มีมวลสารน้อย จะมีค่าการหน่วงเหนี่ยวความร้อนได้น้อยตามไปด้วย ส่วนวัสดุที่มีมวลสารมากมีค่าการหน่วงเหนี่ยวความร้อนมากกว่า มุมเอียงหลังคาจึงส่งผลต่ออุณหภูมิผิวไม่มากเหมือนกับวัสดุที่มีมวลสารน้อย กล่าวคือยิ่งวัสดุที่มีมวลสารมากมุมเอียงหลังคา ยิ่งมีอิทธิพลน้อยลง แต่เนื่องจากเรือนไทยใช้กระเบื้องดินเผาที่เป็นวัสดุมวลสารน้อย มุมเอียงหลังคาจึงมีอิทธิพลมากต่ออุณหภูมิผิวหลังคา ซึ่งจะส่งผลต่อความรู้สึกร้อนหนาว ของผู้อยู่อาศัย หรืออาจกล่าวได้ว่ามุมเอียงของหลังคามีผลต่อการออกแบบหลังคาทรงไทย มากกว่าหลังคาที่ใช้วัสดุมวลสารมากในปัจจุบัน

แผนภูมิ 4-21 แสดงการเปรียบเทียบผลต่างระหว่างอุณหภูมิผิวล่าง เฉลี่ย / สูงสุด / ต่ำสุด
ของหลังคามุมเอียงต่างกัน ที่มีมวลสารต่างกัน

เก็บข้อมูลตั้งแต่เวลา 00.00 น. ของวันที่ 21 เมษายน 2546 ถึงเวลา 00.00 น. ของวันที่ 22 เมษายน 2546



จากแผนภูมิพบว่าผลต่างระหว่างอุณหภูมิผิวล่างสูงสุดของกระเบื้องดินเผาที่มีมุมเอียงต่างกันมีค่ามากถึง 5.93 องศาเซลเซียส ซึ่งสูงกว่าผลต่างระหว่างอุณหภูมิผิวล่างสูงสุดของคอนกรีตถึง 3.63 องศาเซลเซียส เนื่องจากกระเบื้องดินเผาที่มีมวลสารน้อยกว่าคอนกรีตมาก โดยความแตกต่างนี้จะมีอิทธิพลต่อความรู้สึกร้อนหนาวภายในอาคารที่ต่างกัน

การวิเคราะห์ผลการทดสอบอิทธิพลของมวลสารที่มีผลต่อมูมเอียงหลังคา

ผลการทดสอบพบว่ามวลสารที่ต่างกันของวัสดุหลังคา มีผลต่อมูมเอียงหลังคาต่างกัน โดยวัสดุที่มีมวลสารน้อย มูมเอียงหลังคายังมีอิทธิพลมากกว่า วัสดุที่มีมวลสารมาก ดังผลการทดสอบเปรียบเทียบผลต่างระหว่างอุณหภูมิผิวหลังคาที่มีมูมเอียง 30 และ 60 องศา

■ ผลต่างของอุณหภูมิผิวด้านบนสูงสุด

หลังคามวลสารน้อย

- สังกะสี 5.14 องศาเซลเซียส
- สังกะสีเคลือบสีดำ 7.65 องศาเซลเซียส
- ตับจาก 7.31 องศาเซลเซียส

หลังคามวลสารปานกลาง

- กระเบื้องดินเผา 5.54 องศาเซลเซียส

หลังคามวลสารมาก

- คอนกรีต 2.07 องศาเซลเซียส

■ ผลต่างของอุณหภูมิผิวด้านล่างสูงสุด

หลังคามวลสารน้อย

- สังกะสี 1.57 องศาเซลเซียส
- สังกะสีเคลือบสีดำ 2.88 องศาเซลเซียส
- ตับจาก 2.53 องศาเซลเซียส

หลังคามวลสารปานกลาง

- กระเบื้องดินเผา 5.93 องศาเซลเซียส

หลังคามวลสารมาก

- คอนกรีต 1.76 องศาเซลเซียส

วัสดุที่มีมวลสารน้อย ได้แก่ สังกะสี ตับจาก และมวลสารปานกลาง ได้แก่ กระเบื้องดินเผา จะมีอุณหภูมิผิวแตกต่างกันระหว่างมูมเอียง 30 และ 60 องศา มากกว่าวัสดุที่มีมวลสารมาก เช่นคอนกรีต เนื่องจากวัสดุที่มีมวลสารน้อย จะมีค่าการหน่วงเหนี่ยวความร้อนได้น้อยตามไปด้วย ส่วนวัสดุที่มีมวลสารมากมีค่าการหน่วงเหนี่ยวความร้อนมากกว่า มูมเอียงหลังคาจึงส่งผลกระทบต่ออุณหภูมิผิวไม่มากเหมือนกับวัสดุที่มีมวลสารน้อย

สรุปว่ายิ่งวัสดุมีมวลสารมากมูมเอียงหลังคายังมีอิทธิพลน้อยลง แต่เนื่องจากเรือนไทยใช้กระเบื้องดินเผาที่เป็นวัสดุมวลสารน้อย มูมเอียงหลังคาจึงมีอิทธิพลมากต่ออุณหภูมิผิวหลังคา ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อความรู้สึกร้อนหนาวของผู้อยู่อาศัย หรืออาจกล่าวได้ว่ามูมเอียงของหลังคามีผลต่อการออกแบบหลังคาทรงไทย มากกว่าหลังคาที่ใช้วัสดุมวลสารมากในปัจจุบัน

4.2 การทดสอบเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปรที่มีผลต่อความรู้สึกร้อนหนาว (Thermal Comfort) ภายในเรือนไทย อันเนื่องมาจากอิทธิพลของมุมเงยหลังคา

มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ และอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อความรู้สึกร้อนหนาวภายในเรือนไทย โดยแบ่งการทดสอบออกเป็น 5 ขั้นตอนดังนี้

1. การทดสอบอิทธิพลจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบลงบนระนาบพื้นผิวหลังคา
2. การทดสอบอิทธิพลจากการแลกเปลี่ยนรังสีคลื่นยาวระหว่างผิววัสดุผนังหลังคา กับท้องฟ้าในเวลากลางวัน
3. การทดสอบอิทธิพลของทิศทางการวางหุ่นจำลอง
4. การทดสอบอิทธิพลจากการลอยตัวของอากาศร้อนภายในหุ่นจำลอง
5. การทดสอบอิทธิพลของการแผ่รังสีความร้อนจากพื้นผิวหลังคา และอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.1 การทดสอบอิทธิพลจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบลงบนระนาบพื้นผิวหลังคา (Test of solar radiation)

วัตถุประสงค์ มีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะศึกษาอิทธิพลของรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบลงบนระนาบพื้นผิววัสดุผนังหลังคาที่มีมุมเอียงต่างกัน

ผลการทดสอบ

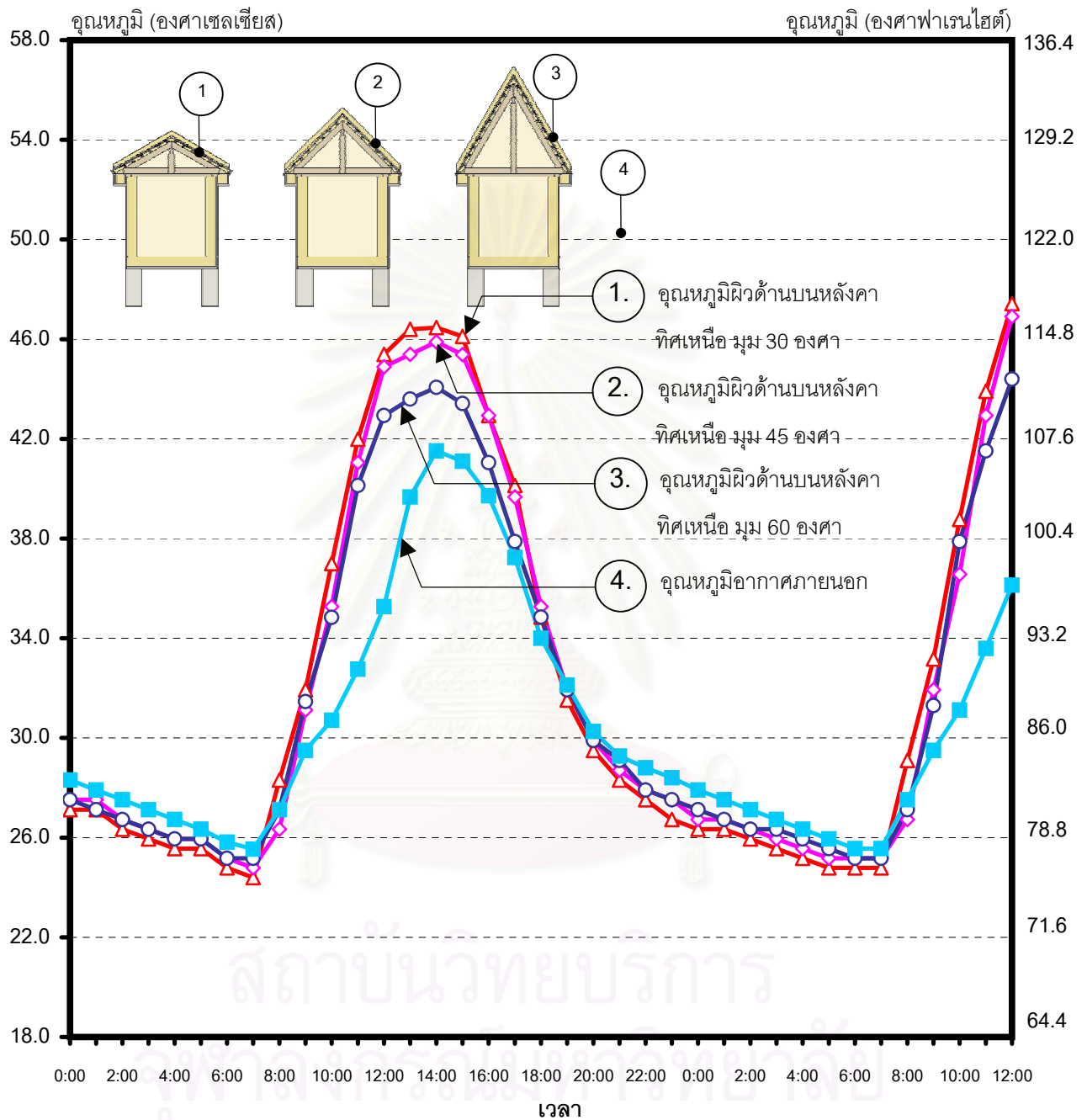
เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวด้านบน ด้านล่าง และอุณหภูมิอากาศภายในห้องที่มียุณหภูมิเอียงหลังคาต่างกัน ในช่วงเวลากลางวัน โดยใช้วัสดุผนังหลังคาเป็นกระเบื้องดินเผาเหมือนกัน แสดงผลการทดสอบได้ดังนี้

- เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวด้านบนของวัสดุผนังหลังคาทางทิศเหนือ ของหลังคาที่มีมุมเอียงต่างกัน ดังแผนภูมิ 4-22
- เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวด้านบนของวัสดุผนังหลังคาทางทิศใต้ ของหลังคาที่มีมุมเอียงต่างกัน ดังแผนภูมิ 4-23
- เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวด้านล่างของวัสดุผนังหลังคาทางทิศเหนือ ของหลังคาที่มีมุมเอียงต่างกัน ดังแผนภูมิ 4-24
- เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวด้านล่างของวัสดุผนังหลังคาทางทิศใต้ ของหลังคาที่มีมุมเอียงต่างกัน ดังแผนภูมิ 4-25
- เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในห้องที่หลังคามุมเอียงต่างกัน ดังแผนภูมิ 4-26
- เปรียบเทียบอุณหภูมิตำแหน่งต่างๆภายในห้องที่มียุณหภูมิเอียงหลังคา 30 องศา ดังแผนภูมิ 4-27
- เปรียบเทียบอุณหภูมิตำแหน่งต่างๆภายในห้องที่มียุณหภูมิเอียงหลังคา 45 องศา ดังแผนภูมิ 4-28
- เปรียบเทียบอุณหภูมิตำแหน่งต่างๆภายในห้องที่มียุณหภูมิเอียงหลังคา 60 องศา ดังแผนภูมิ 4-29
- เปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วง 24 ชั่วโมง ของห้องที่มียุณหภูมิเอียงหลังคาแตกต่างกัน ดังแผนภูมิ 4-30
- เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายใน เฉลี่ย/สูงสุด/ต่ำสุด ในช่วง 24 ชั่วโมง ของห้องที่มียุณหภูมิเอียงหลังคาแตกต่างกัน ดังแผนภูมิ 4-31
- เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ยแต่ละช่วงเวลา ในช่วง 24 ชั่วโมงของห้องที่มียุณหภูมิเอียงหลังคาแตกต่างกัน ดังแผนภูมิ 4-32

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แผนภูมิ 4-22 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวด้านบนผนังวัสดุผนังหลังคาทางทิศเหนือ ของหลังคาที่มีมุมเอียงต่างกัน

เก็บข้อมูลตั้งแต่เวลา 00.00 น. ของวันที่ 3 เมษายน 2546 ถึงเวลา 12.00 น. ของวันที่ 4 เมษายน 2546



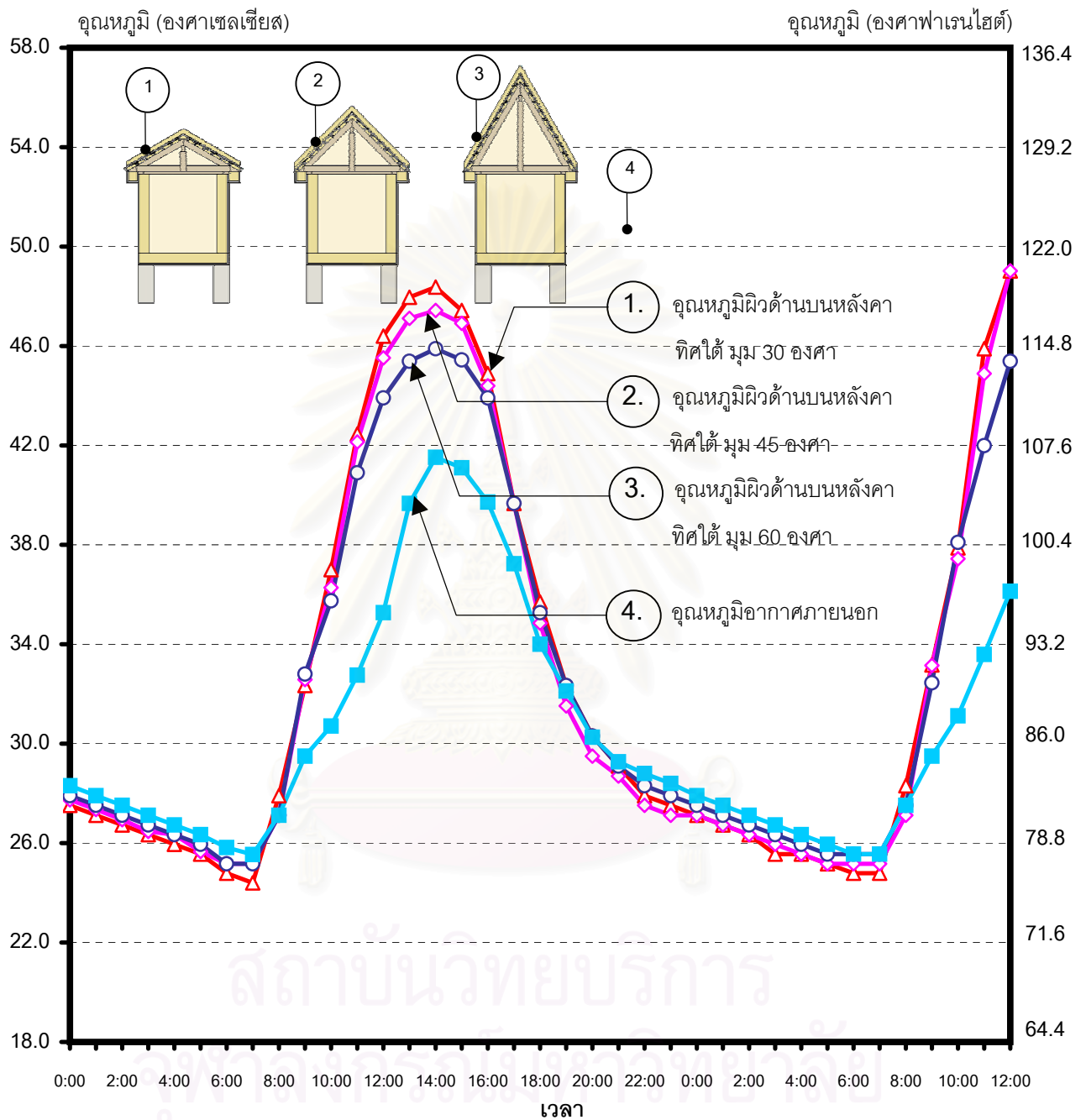
ปริมาณเมฆบนท้องฟ้า

30%	10%	30%	10%
3 เมษายน 2546		4 เมษายน 2546	

- ▲ อุณหภูมิผิวด้านบนหลังคาทิศเหนือหลังคามุม 30 องศา
 ◆ อุณหภูมิผิวด้านบนหลังคาทิศเหนือหลังคามุม 45 องศา
- อุณหภูมิผิวด้านบนหลังคาทิศเหนือหลังคามุม 60 องศา
 ■ อุณหภูมิอากาศภายนอก

แผนภูมิ 4-23 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวด้านบนวัสดุผนังหลังคาทางทิศใต้ ของหลังคาที่มีมุมเอียงต่างกัน

เก็บข้อมูลตั้งแต่เวลา 00.00 น. ของวันที่ 3 เมษายน 2546 ถึงเวลา 12.00 น. ของวันที่ 4 เมษายน 2546



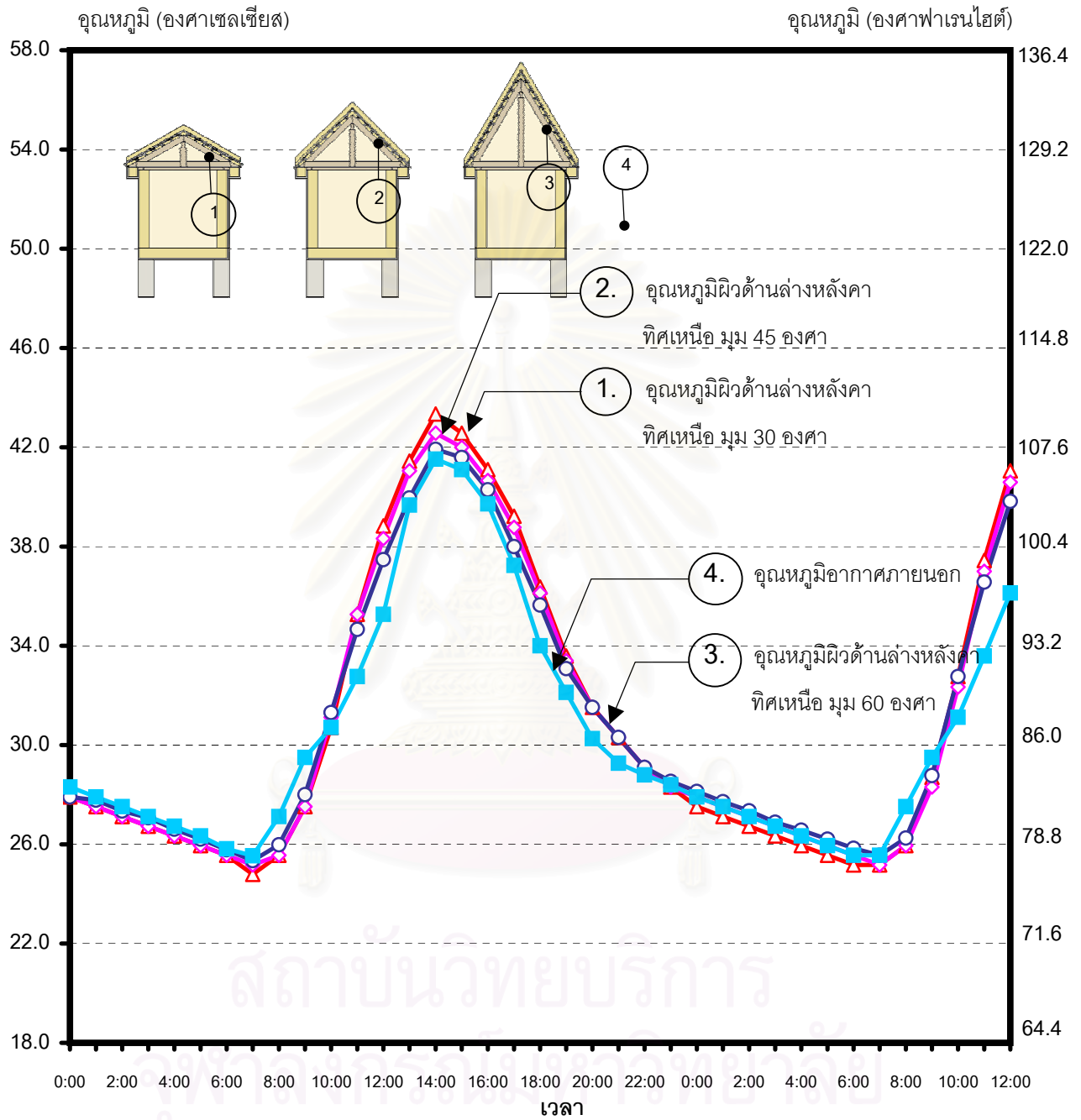
ปริมาณเมฆบนท้องฟ้า

30%	10%	30%	10%
3 เมษายน 2546		4 เมษายน 2546	

- ▲ อุณหภูมิผิวด้านบนหลังคาทิศใต้หลังคามุม 30 องศา
 ◆ อุณหภูมิผิวด้านบนหลังคาทิศใต้หลังคามุม 45 องศา
- อุณหภูมิผิวด้านบนหลังคาทิศใต้หลังคามุม 60 องศา
 ■ อุณหภูมิอากาศภายนอก

แผนภูมิ 4-24 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวด้านล่างวัสดุผนังหลังคาทางทิศเหนือ ของหลังคาที่มีมุมเอียงต่างกัน

เก็บข้อมูลตั้งแต่เวลา 00.00 น. ของวันที่ 3 เมษายน 2546 ถึงเวลา 12.00 น. ของวันที่ 4 เมษายน 2546



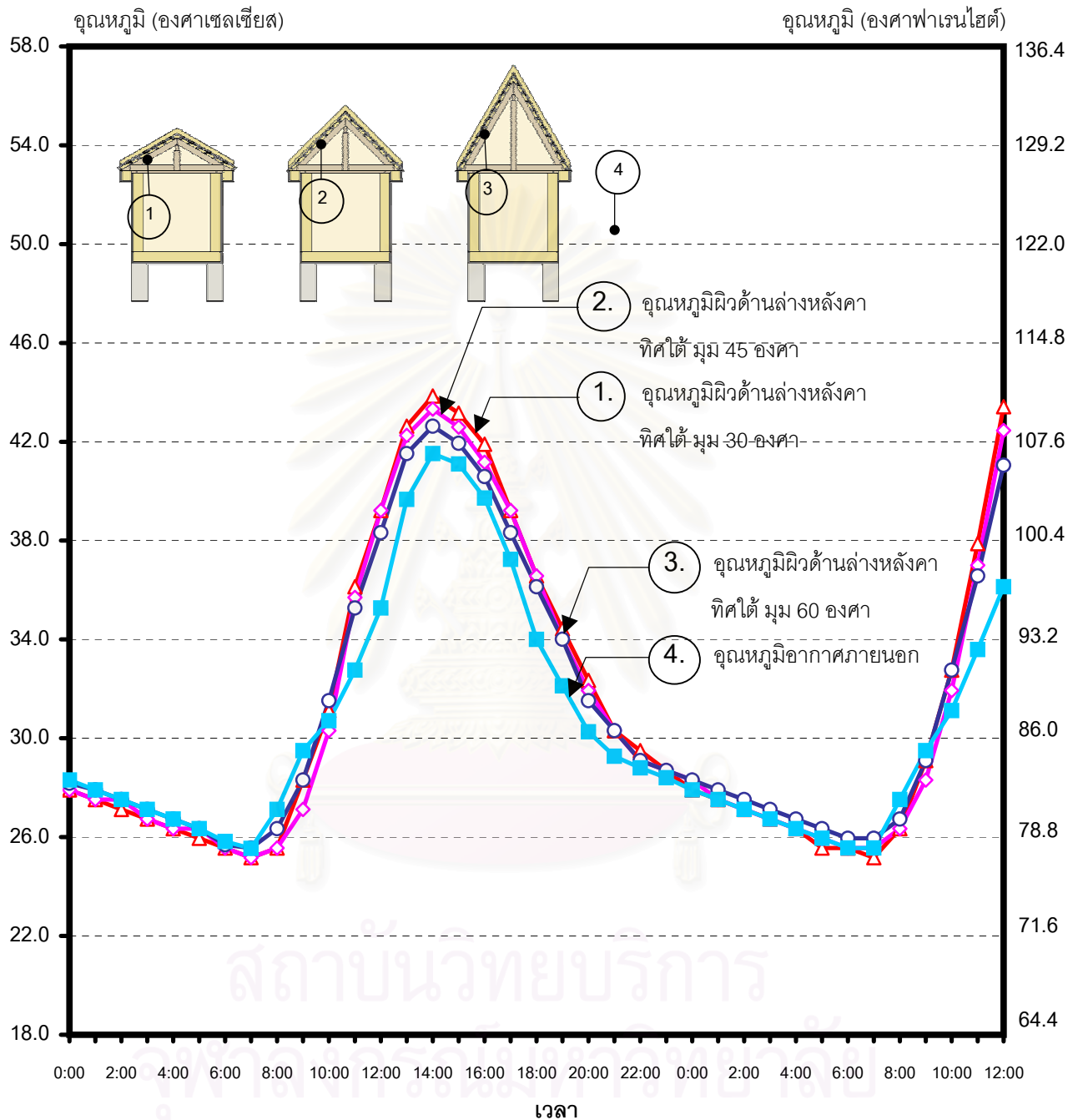
ปริมาณเมฆบนท้องฟ้า

30%	10%	30%	10%
3 เมษายน 2546		4 เมษายน 2546	

- △— อุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาทิศเหนือหลังคามุม 30 องศา
- ◇— อุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาทิศเหนือหลังคามุม 45 องศา
- อุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาทิศเหนือหลังคามุม 60 องศา
- อุณหภูมิอากาศภายนอก

แผนภูมิ 4-25 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวด้านล่างวัสดุผนังหลังคาทางทิศใต้ ของหลังคาที่มีมุมเอียงต่างกัน

เก็บข้อมูลตั้งแต่เวลา 00.00 น. ของวันที่ 3 เมษายน 2546 ถึงเวลา 12.00 น. ของวันที่ 4 เมษายน 2546



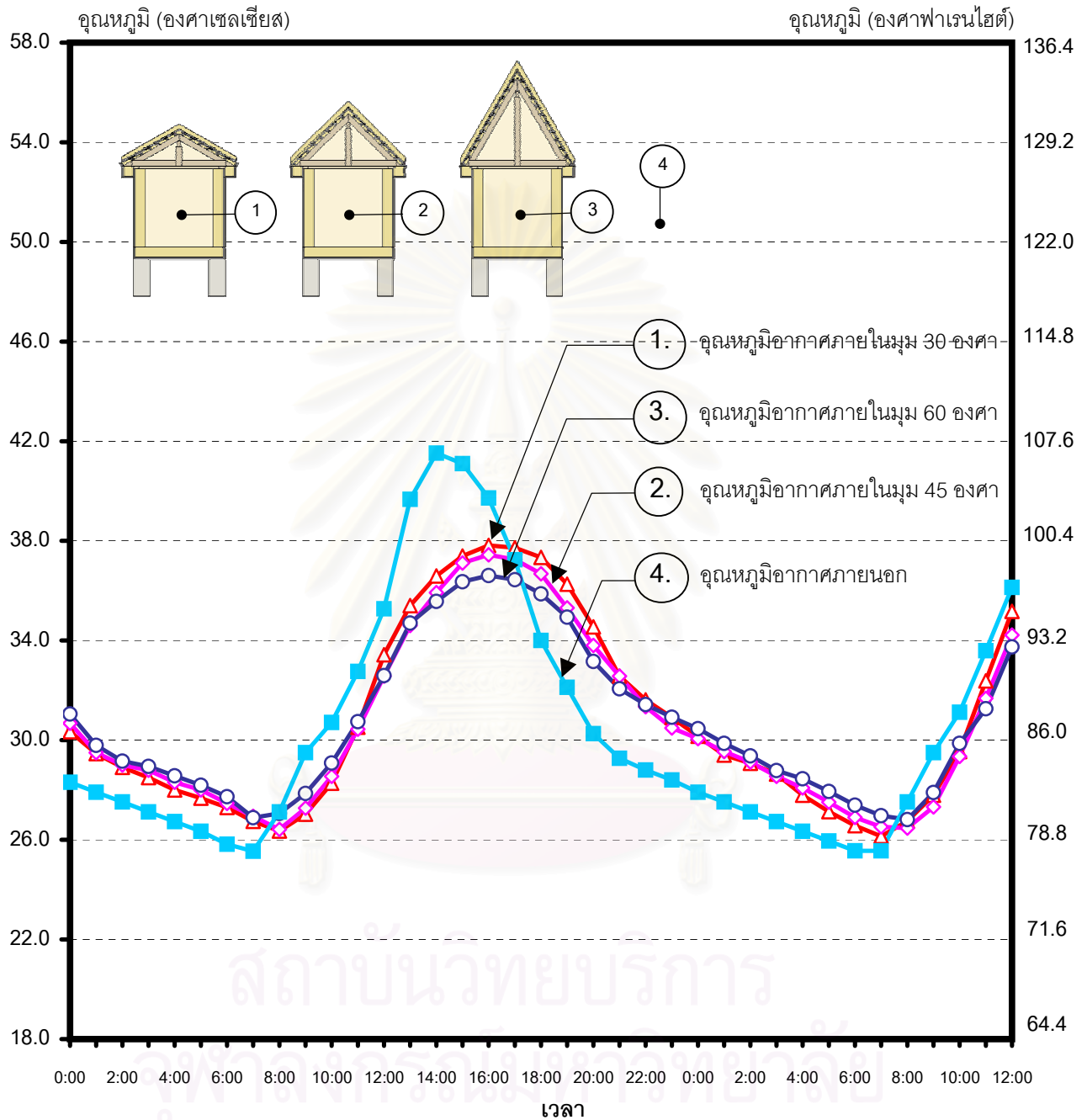
ปริมาณเมฆบนท้องฟ้า

30%	10%	30%	10%
3 เมษายน 2546		4 เมษายน 2546	

- ▲ อุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาทิศใต้หลังคามุม 30 องศา
- ◆ อุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาทิศใต้หลังคามุม 45 องศา
- อุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาทิศใต้หลังคามุม 60 องศา
- อุณหภูมิอากาศภายนอก

แผนภูมิ 4-26 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในหุ่นจำลองที่หลังคามีมุมเอียงต่างกัน

เก็บข้อมูลตั้งแต่เวลา 00.00 น. ของวันที่ 3 เมษายน 2546 ถึงเวลา 12.00 น. ของวันที่ 4 เมษายน 2546



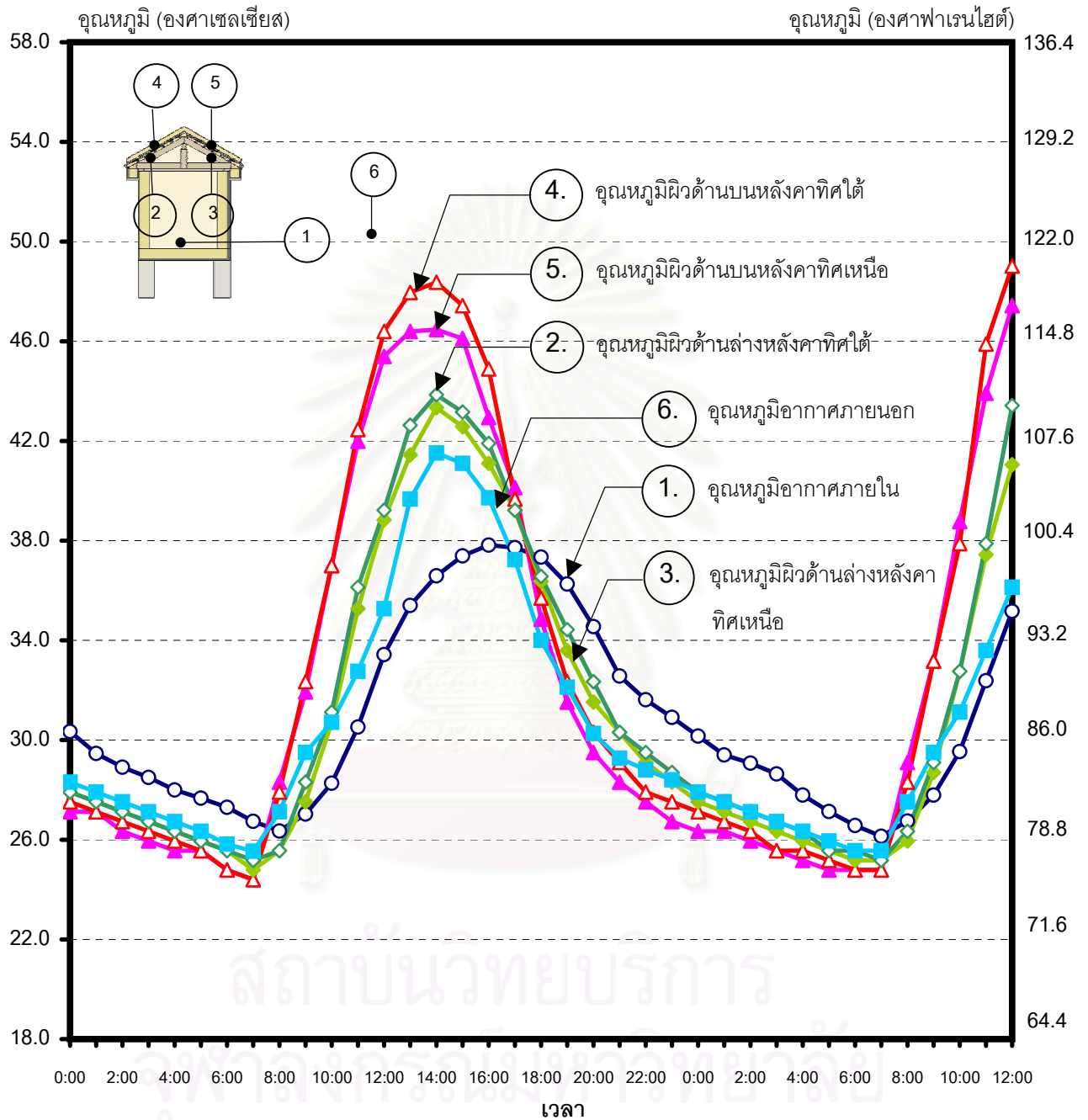
ปริมาณเมฆบนท้องฟ้า

30%	10%	30%	10%
3 เมษายน 2546		4 เมษายน 2546	

- ▲— อุณหภูมิอากาศภายในหุ่นจำลองหลังคามุม 30 องศา
- ◇— อุณหภูมิอากาศภายในหุ่นจำลองหลังคามุม 45 องศา
- อุณหภูมิอากาศภายในหุ่นจำลองหลังคามุม 60 องศา
- อุณหภูมิอากาศภายนอก

แผนภูมิ 4-27 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิตำแหน่งต่างๆภายในหุ่นจำลองที่มีมุมเอียงหลังคา 30 องศา

เก็บข้อมูลตั้งแต่เวลา 00.00 น. ของวันที่ 3 เมษายน 2546 ถึงเวลา 12.00 น. ของวันที่ 4 เมษายน 2546



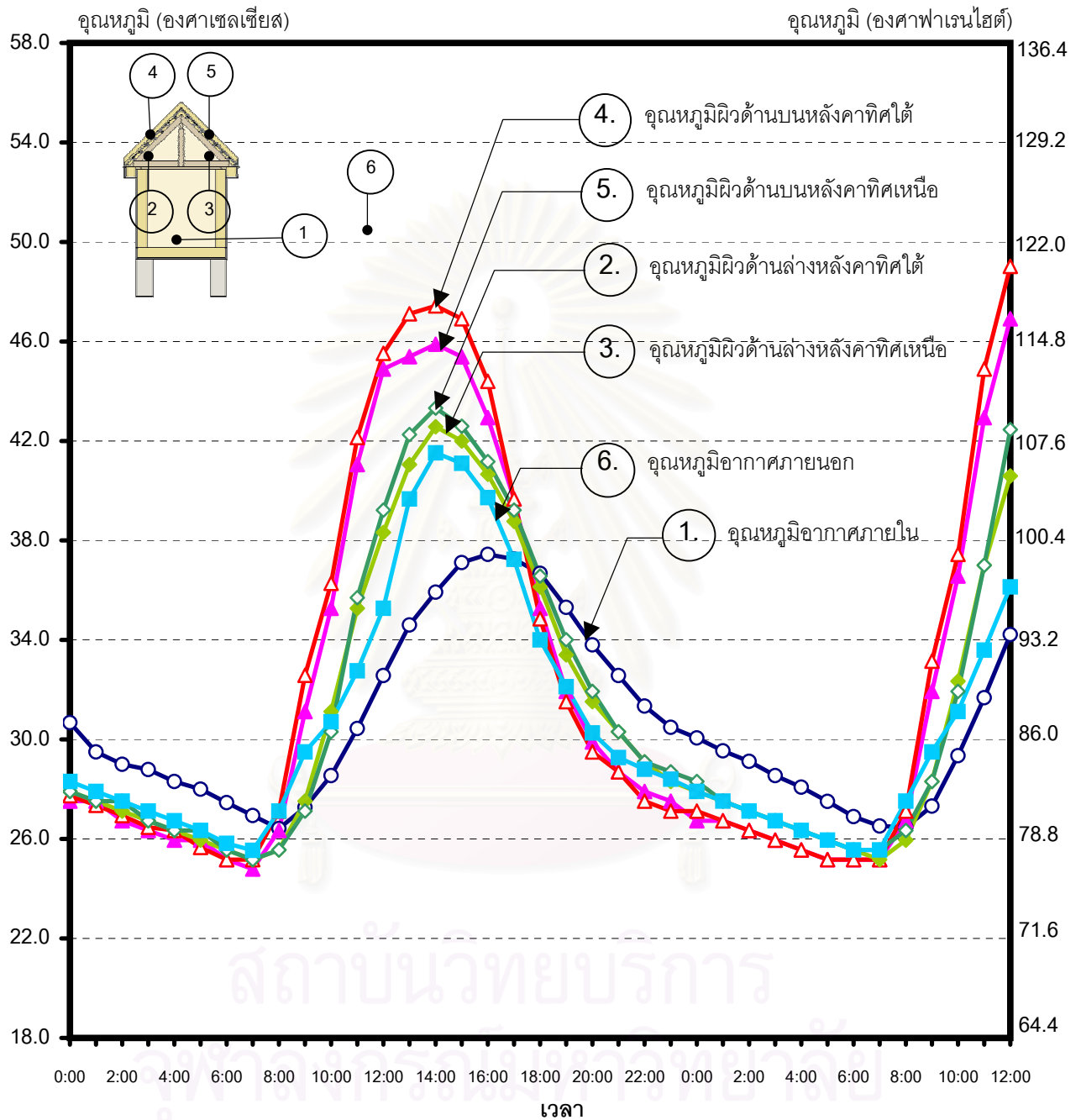
ปริมาณเมฆบนท้องฟ้า

30%	10%	30%	10%
3 เมษายน 2546		4 เมษายน 2546	

- อุณหภูมิอากาศภายใน
- ▲ อุณหภูมิผิวด้านบนหลังคาทิศใต้
- ▲ อุณหภูมิผิวด้านบนหลังคาทิศเหนือ
- ◆ อุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาทิศเหนือ
- ◇ อุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาทิศใต้
- อุณหภูมิอากาศภายนอก

แผนภูมิ 4-28 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิตำแหน่งต่างๆภายในหุ่นจำลองที่มีมุมเอียงหลังคา 45 องศา

เก็บข้อมูลตั้งแต่เวลา 00.00 น. ของวันที่ 3 เมษายน 2546 ถึงเวลา 12.00 น. ของวันที่ 4 เมษายน 2546



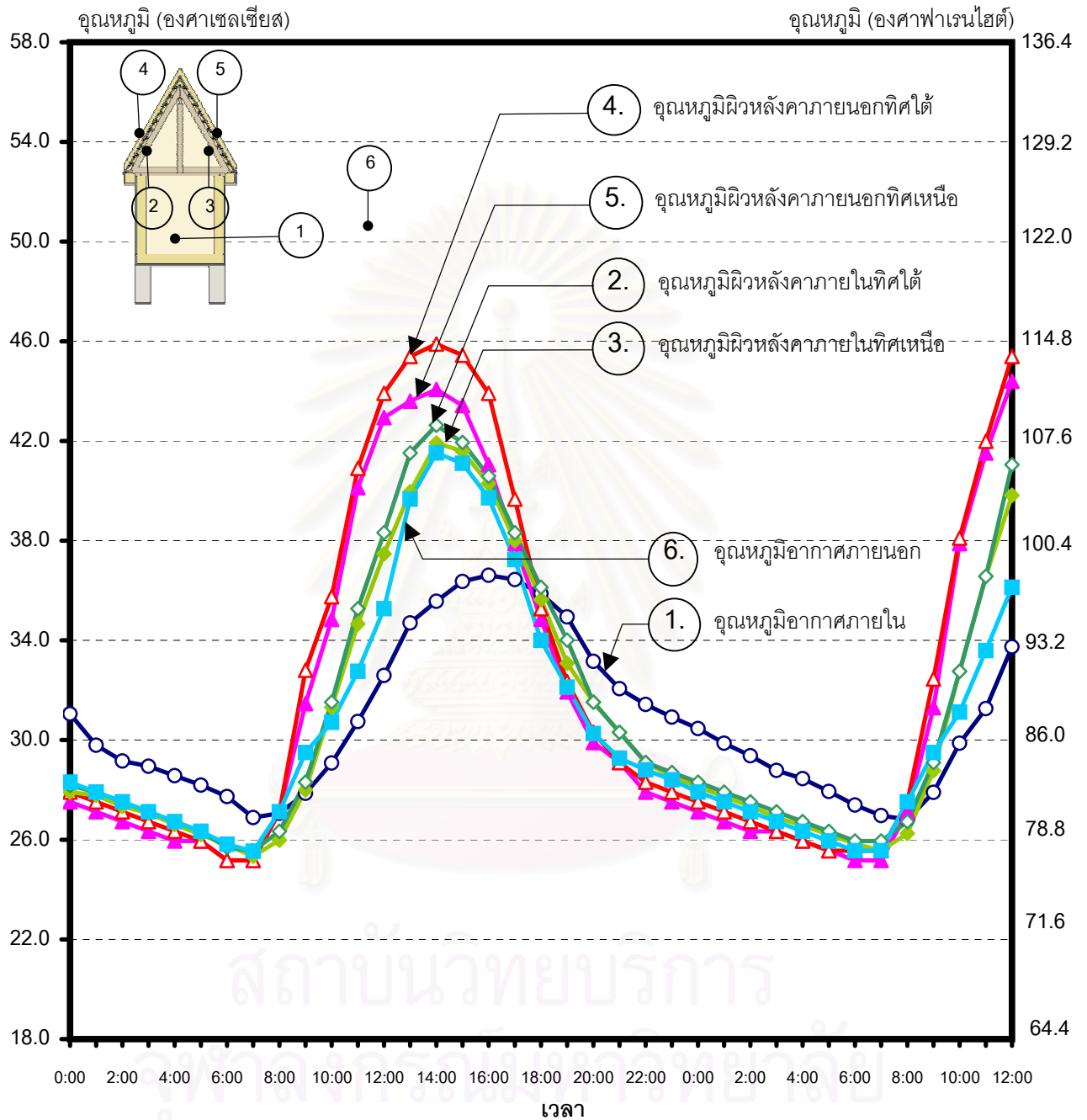
ปริมาณเมฆบนท้องฟ้า

30%	10%	30%	10%
3 เมษายน 2546		4 เมษายน 2546	

- อุณหภูมิอากาศภายใน
- ▲ อุณหภูมิผิวด้านบนหลังคาทิศเหนือ
- ▲ อุณหภูมิผิวด้านบนหลังคาทิศใต้
- ◆ อุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาทิศเหนือ
- ◇ อุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาทิศใต้
- อุณหภูมิอากาศภายนอก

แผนภูมิ 4-29 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิตำแหน่งต่างๆภายในหุ่นจำลองที่มีมุมเอียงหลังคา 60 องศา

เก็บข้อมูลตั้งแต่เวลา 00.00 น. ของวันที่ 3 เมษายน 2546 ถึงเวลา 12.00 น. ของวันที่ 4 เมษายน 2546

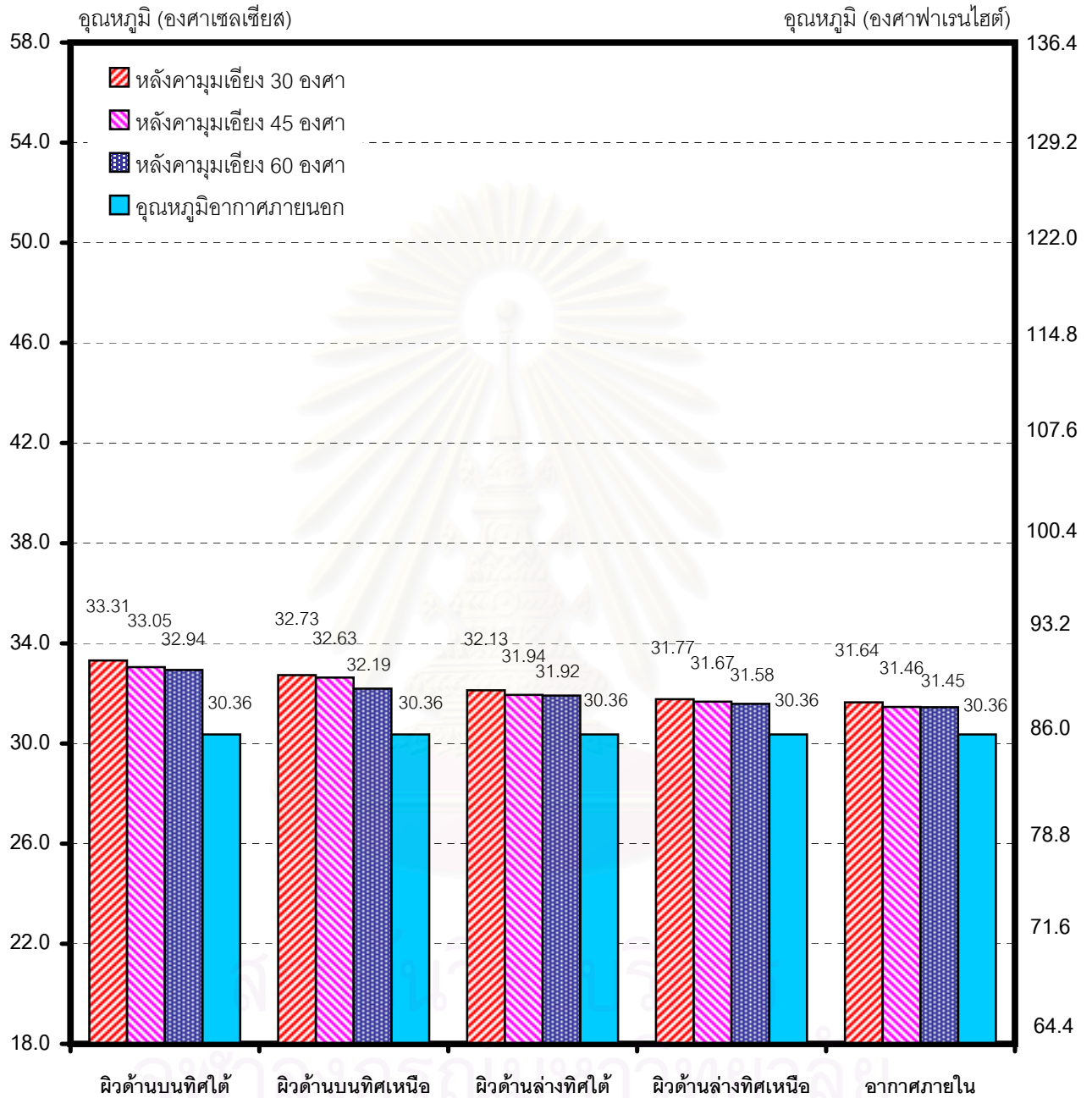


ปริมาณเมฆบนท้องฟ้า

30%	10%	30%	10%
3 เมษายน 2546		4 เมษายน 2546	

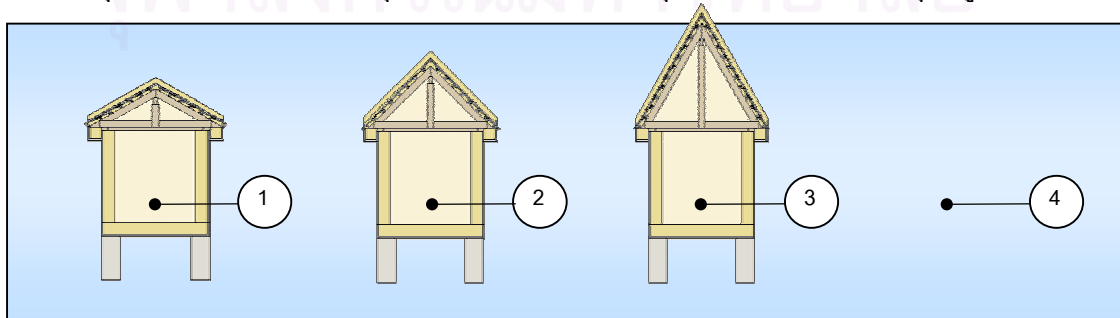
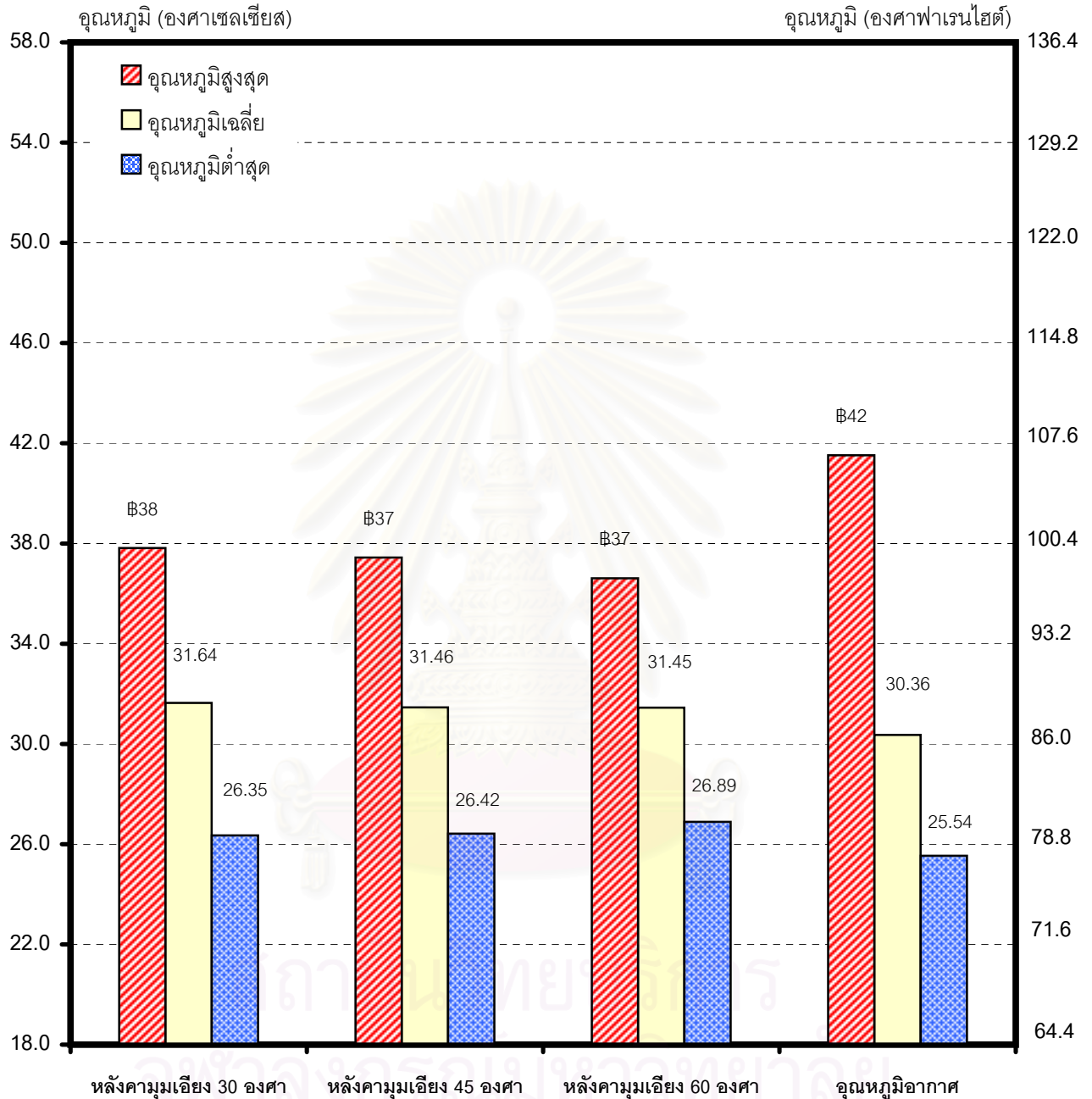
- อุณหภูมิอากาศภายใน
- ▲ อุณหภูมิผิวภายนอกหลังคาทิศเหนือ
- ▲ อุณหภูมิผิวภายนอกหลังคาทิศใต้
- ◆ อุณหภูมิผิวภายในหลังคาทิศเหนือ
- ◇ อุณหภูมิผิวภายในหลังคาทิศใต้
- อุณหภูมิอากาศภายนอก

แผนภูมิ 4-30 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วง 24 ชั่วโมง ของหุ่นจำลองที่มีมุมเอียงหลังคาแตกต่างกัน
เก็บข้อมูลตั้งแต่เวลา 00.00 น. ของวันที่ 3 เมษายน 2546 ถึงเวลา 00.00 น. ของวันที่ 4 เมษายน 2546



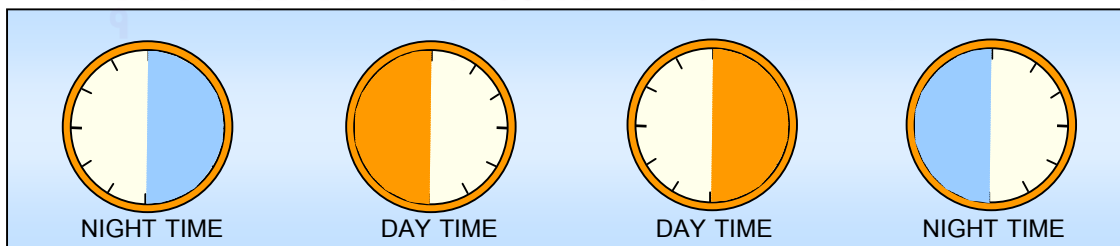
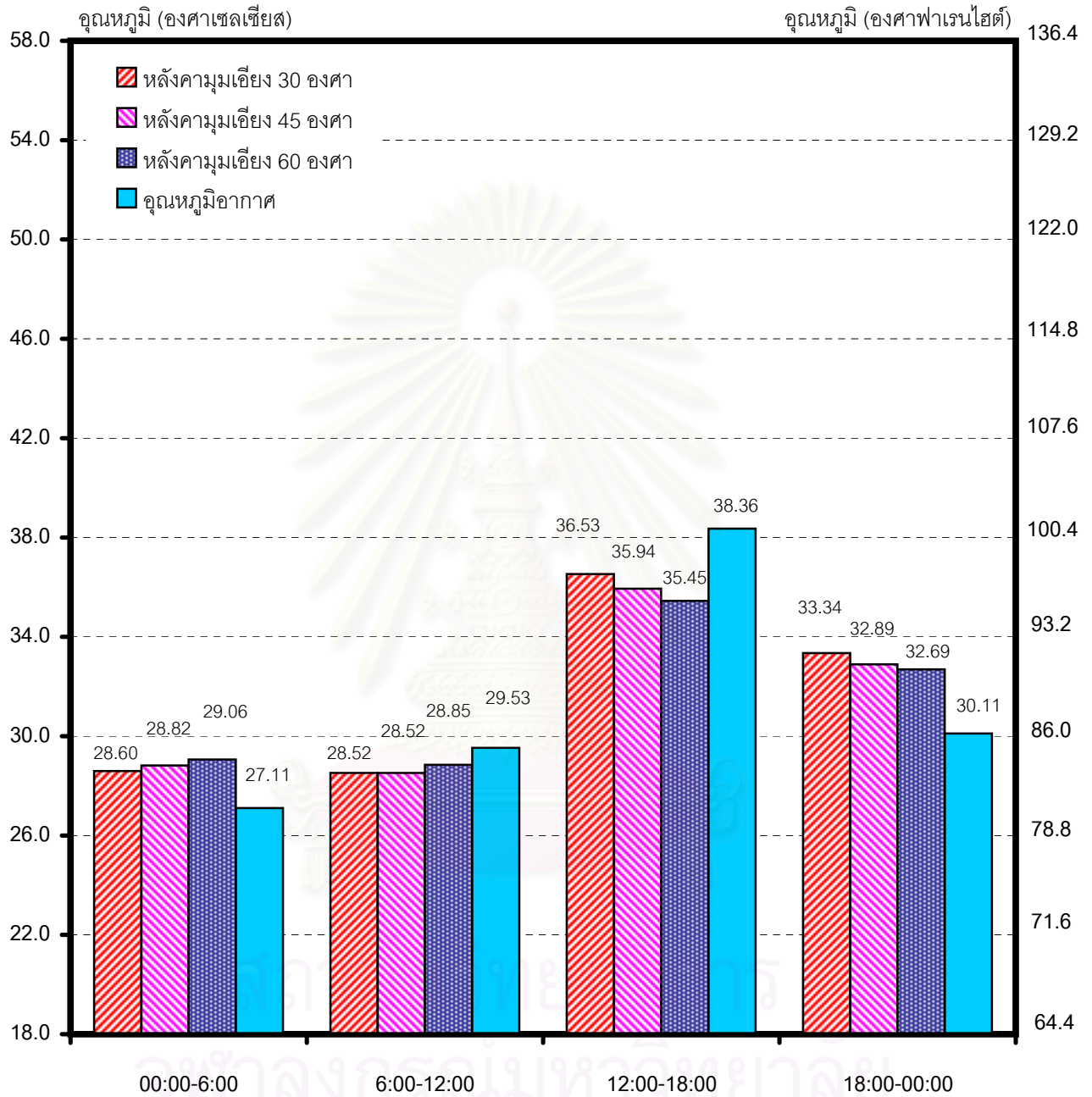
แผนภูมิ 4-31 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายใน เจลลี่/สูงสุด/ต่ำสุด ในช่วง 24 ชั่วโมง
ของหุ่นจำลองที่มีมุมเอียงหลังคาแตกต่างกัน

เก็บข้อมูลตั้งแต่เวลา 00.00 น. ของวันที่ 3 เมษายน 2546 ถึงเวลา 00.00 น. ของวันที่ 4 เมษายน 2546



แผนภูมิ 4-32 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ยแต่ละช่วงเวลา ในช่วง 24 ชั่วโมง
ของหุ่นจำลองที่มีมุมเอียงหลังคาแตกต่างกัน

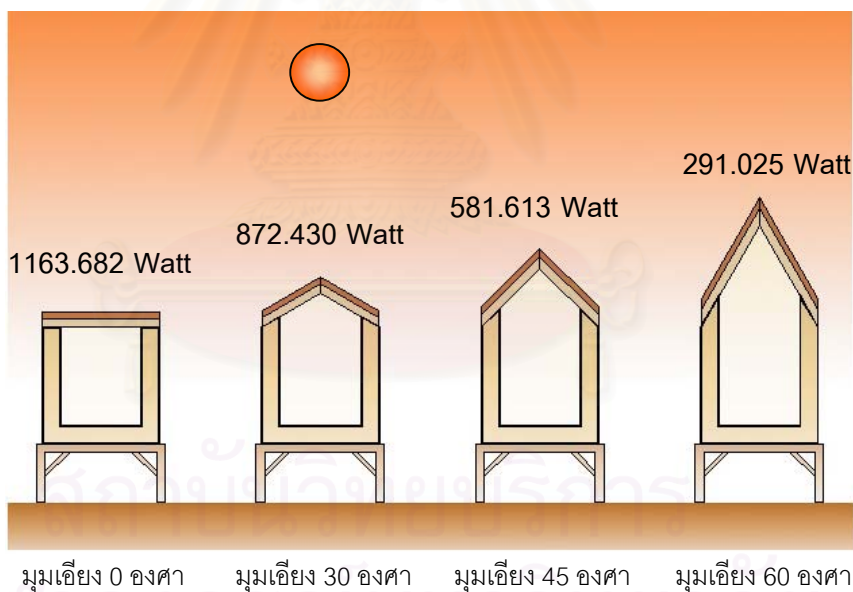
เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 3 เมษายน 2546 ถึงเวลา 00.00 น. ของวันที่ 4 เมษายน 2546



การวิเคราะห์ผลการทดสอบอิทธิพลจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบลงบนระนาบพื้นผิวหลังคา
 ผลจากการทดสอบพบว่าหลังคาที่มีมุมเอียงต่างกัน มีผลทำให้อุณหภูมิอากาศภายในห้องต่างกัน โดยที่อุณหภูมิอากาศภายในสูงสุดของห้องหลังคามุมเอียง 60 องศาจะต่ำกว่า อุณหภูมิอากาศภายในสูงสุดของห้องหลังคามุมเอียง 30 และ 45 องศา ประมาณ 1.21 องศาเซลเซียส และ 0.83 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศสูงสุดของวันอยู่ 4.91 องศาเซลเซียส ในขณะที่อุณหภูมิอากาศภายในสูงสุดของห้องหลังคามุมเอียง 30 และ 45 องศาต่ำกว่า อุณหภูมิอากาศสูงสุดของวันอยู่ 3.70 และ 4.08 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยภายในห้องทั้งสามมีค่าใกล้เคียงกัน โดยที่อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยภายในของห้องหลังคามุมเอียง 60 องศาจะต่ำกว่า อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยภายในของห้องหลังคามุมเอียง 30 และ 45 องศา ประมาณ 0.19 องศาเซลเซียส และ 0.01 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ซึ่งอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยภายในของห้องหลังคามุมเอียงสูงกว่าอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยภายนอก

จากผลการทดสอบมุมเอียงหลังคา 60 องศา ซึ่งเป็นตัวแทนของเรือนไทยจะมีความเหมาะสมในเชิงของการลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในอาคารได้ดีกว่าหลังคามุมเอียง 30 และ 45 องศา เนื่องจากได้รับอิทธิพลจากรังสีตรงของดวงอาทิตย์ในปริมาณที่น้อยกว่าหลังคาที่เอียงน้อย เนื่องจากรังสีตรงจากดวงอาทิตย์จะไม่ตั้งฉากกับพื้นผิวระนาบหลังคาโดยเฉพาะช่วงที่ดวงอาทิตย์โคจรถึงจุดสูงสุดในวันนั้น ซึ่งจากการคำนวณหลังคามุมเอียง 60 องศา จะมีปริมาณรังสีตรงตกกระทบพื้นผิวหลังคาน้อยกว่าหลังคามุมเอียง 30 องศา ถึง 67 %



รูป 4-1 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณ Solar radiation incidence on the surface

ของแต่ละมุมเอียงหลังคาในเดือนเมษายน Solar time 12:00 น.จากการคำนวณ

นอกจากนี้หลังคาที่มีมุมเอียงมากกว่า จะมีพื้นที่ผิวหลังคามากกว่า ทำให้ในช่วงกลางวันอุณหภูมิผิวหลังคาด้านบนสูงกว่าอุณหภูมิอากาศ สามารถแผ่รังสีความร้อนออกไปจากหลังคาได้มากกว่าหลังคาที่มีพื้นที่น้อย ส่งผลให้อุณหภูมิอากาศภายในห้องต่ำกว่าตามไปด้วย

4.2.2 การทดสอบอิทธิพลของการแลกเปลี่ยนรังสีคลื่นยาวระหว่างผิววัสดุผนังหลังคา กับท้องฟ้าในเวลากลางวัน (Test of long-wave radiation)

วัตถุประสงค์ มีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะศึกษาอิทธิพลของการแลกเปลี่ยนรังสีคลื่นยาว ระหว่างผิววัสดุผนังหลังคา กับท้องฟ้าในเวลากลางวัน ของหลังคาที่มีมุมเอียงต่างกัน

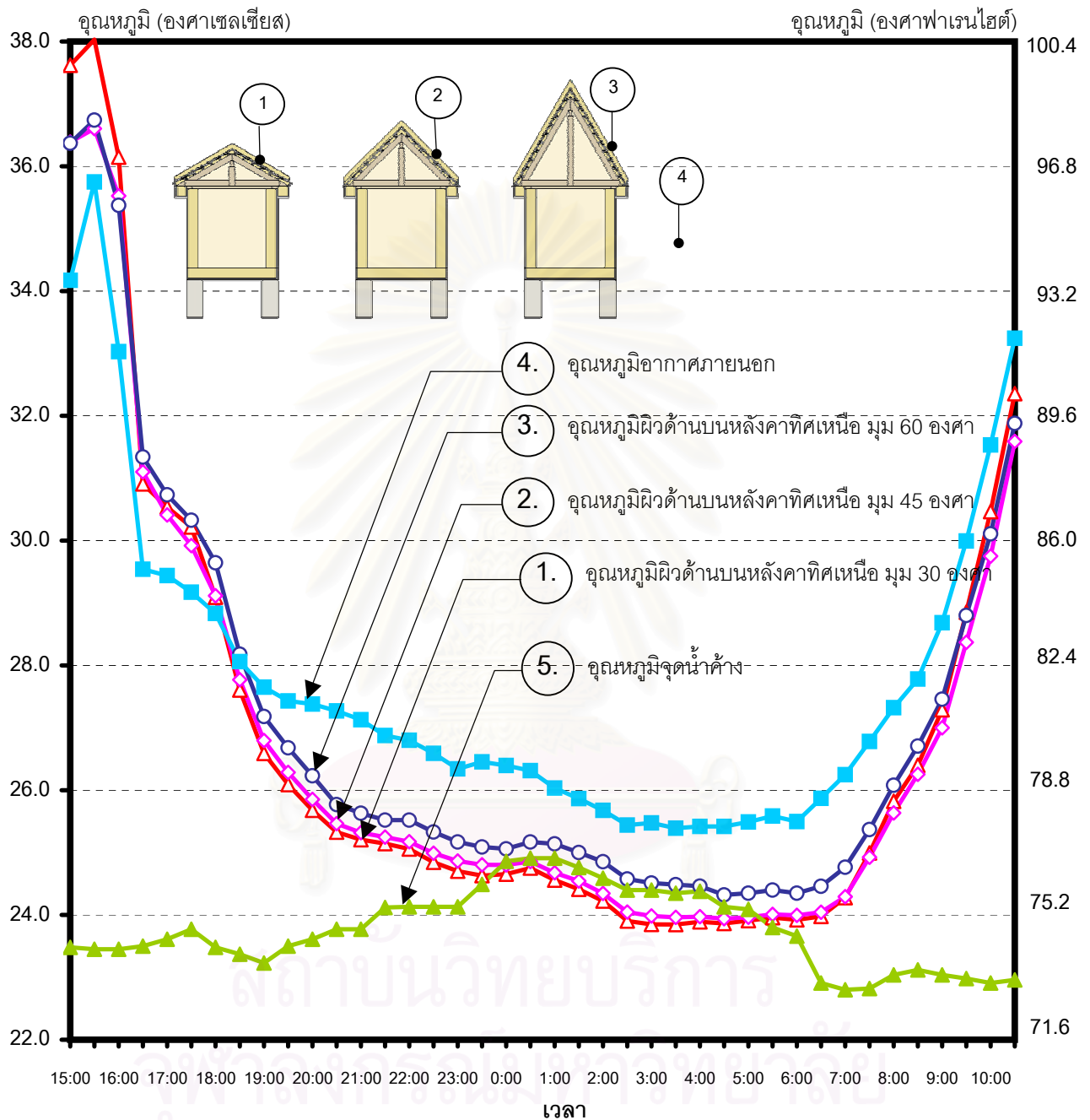
ผลการทดสอบ

เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวด้านบน ด้านล่าง และอุณหภูมิอากาศภายในห้องที่มีมุมเอียงหลังคาต่างกัน ในช่วงเวลากลางวัน โดยใช้วัสดุผนังหลังคาเป็นกระเบื้องดินเผาเหมือนกัน แสดงผลการทดสอบได้ดังนี้

- เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวบนของวัสดุผนังหลังคาทิศเหนือ ของหลังคาที่มีมุมเอียงต่างกัน ดังแผนภูมิ 4-33
- เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวบนของวัสดุผนังหลังคาทิศใต้ ของหลังคาที่มีมุมเอียงต่างกัน ดังแผนภูมิ 4-34
- เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวล่างของวัสดุผนังหลังคาทิศเหนือ ของหลังคาที่มีมุมเอียงต่างกัน ดังแผนภูมิ 4-35
- เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวล่างของวัสดุผนังหลังคาทิศใต้ ของหลังคาที่มีมุมเอียงต่างกัน ดังแผนภูมิ 4-36
- เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในห้องที่มีมุมเอียงต่างกัน ดังแผนภูมิ 4-37
- เปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วง 13 ชั่วโมง ของห้องที่มีมุมเอียงหลังคาแตกต่างกัน ดังแผนภูมิ 4-38
- เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายใน เฉลี่ย/สูงสุด/ต่ำสุด ในช่วง 13 ชั่วโมง ของห้องที่มีมุมเอียงหลังคาแตกต่างกัน ดังแผนภูมิ 4-39
- เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ยแต่ละช่วงเวลา ในช่วง 13 ชั่วโมงของห้องที่มีมุมเอียงหลังคาแตกต่างกัน ดังแผนภูมิ 4-40

แผนภูมิ 4-33 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวด้านบนหลังคาทิศเหนือ ของหลังคาที่มีมุมเอียงต่างกัน

เก็บข้อมูลตั้งแต่เวลา 15.00 น. ของวันที่ 31 มีนาคม 2546 ถึงเวลา 10.30 น. ของวันที่ 1 เมษายน 2546



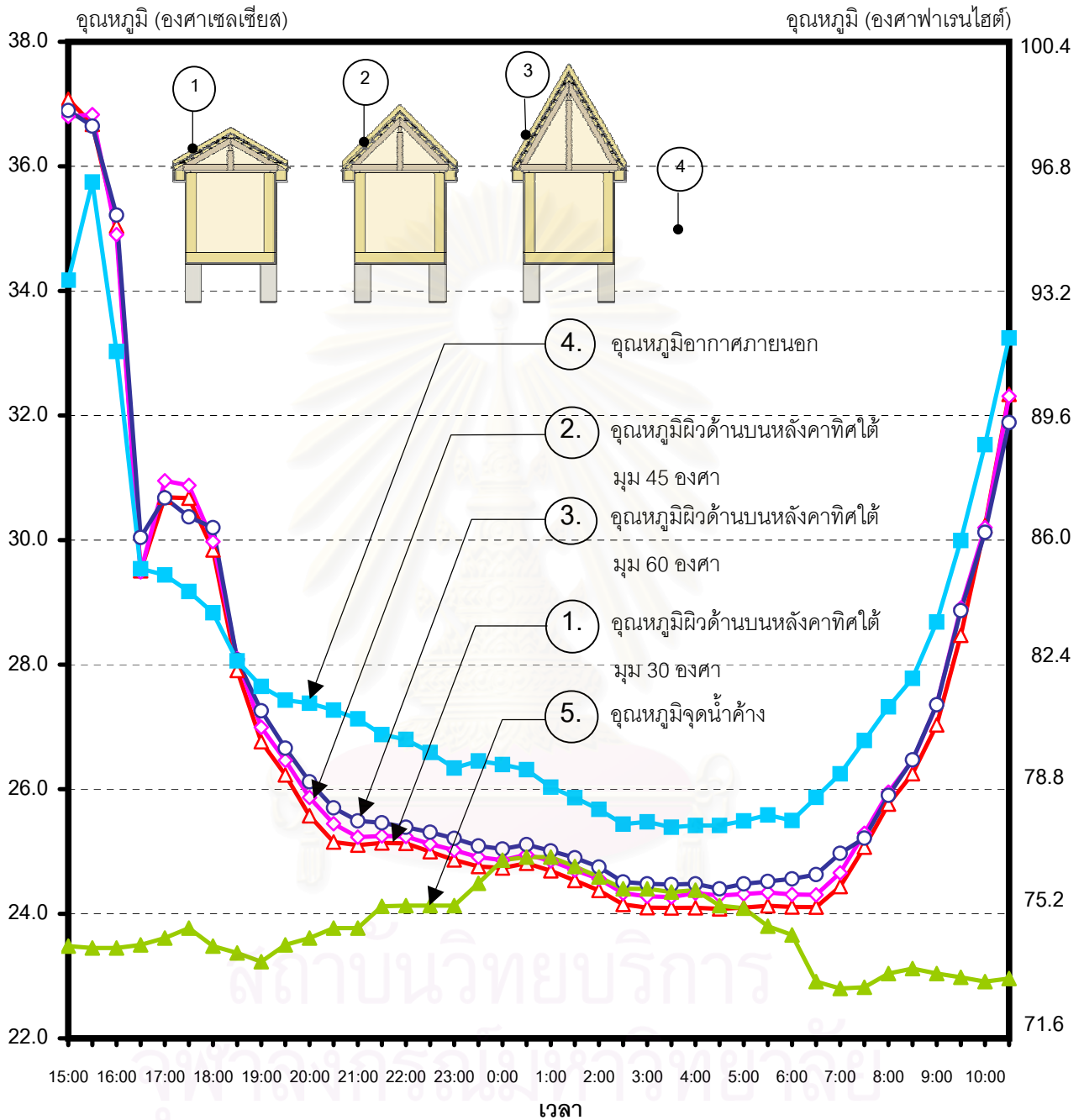
ปริมาณเมฆบนท้องฟ้า

50%	70%	50%	30%
31 มีนาคม 2546		1 เมษายน 2546	

- ▲ อุณหภูมิผิวด้านบนหลังคาทิศเหนือหลังคามุม 30 องศา
- ◆ อุณหภูมิผิวด้านบนหลังคาทิศเหนือหลังคามุม 45 องศา
- อุณหภูมิผิวด้านบนหลังคาทิศเหนือหลังคามุม 60 องศา
- อุณหภูมิอากาศภายนอก
- ▲ อุณหภูมิจุดน้ำค้าง

แผนภูมิ 4-34 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวด้านบนวัสดุผนังหลังคาทิศใต้ ของหลังคาที่มีมุมเอียงต่างกัน

เก็บข้อมูลตั้งแต่เวลา 15.00 น. ของวันที่ 31 มีนาคม 2546 ถึงเวลา 10.30 น. ของวันที่ 1 เมษายน 2546



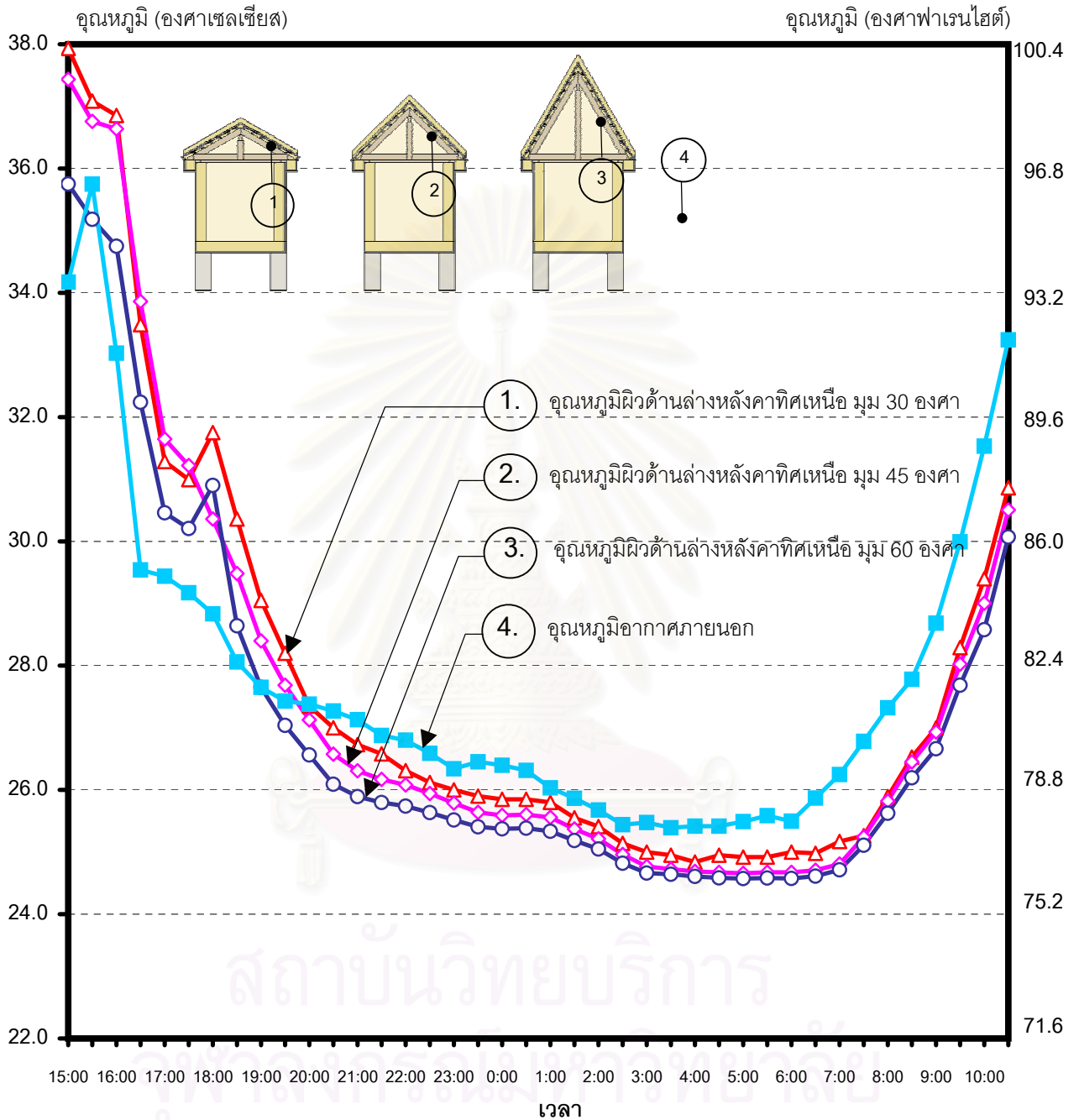
ปริมาณเมฆบนท้องฟ้า

50%	70%	50%	30%
31 มีนาคม 2546		1 เมษายน 2546	

- ▲ อุณหภูมิจุดน้ำค้าง
- อุณหภูมิผิวด้านบนหลังคาทิศใต้หลังคามุม 30 องศา
- ◆ อุณหภูมิผิวด้านบนหลังคาทิศใต้หลังคามุม 45 องศา
- อุณหภูมิผิวด้านบนหลังคาทิศใต้หลังคามุม 60 องศา
- อุณหภูมิอากาศภายนอก

แผนภูมิ 4-35 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาทิศเหนือ ของหลังคาที่มีมุมเอียงต่างกัน

เก็บข้อมูลตั้งแต่เวลา 15.00 น. ของวันที่ 31 มีนาคม 2546 ถึงเวลา 10.30 น. ของวันที่ 1 เมษายน 2546



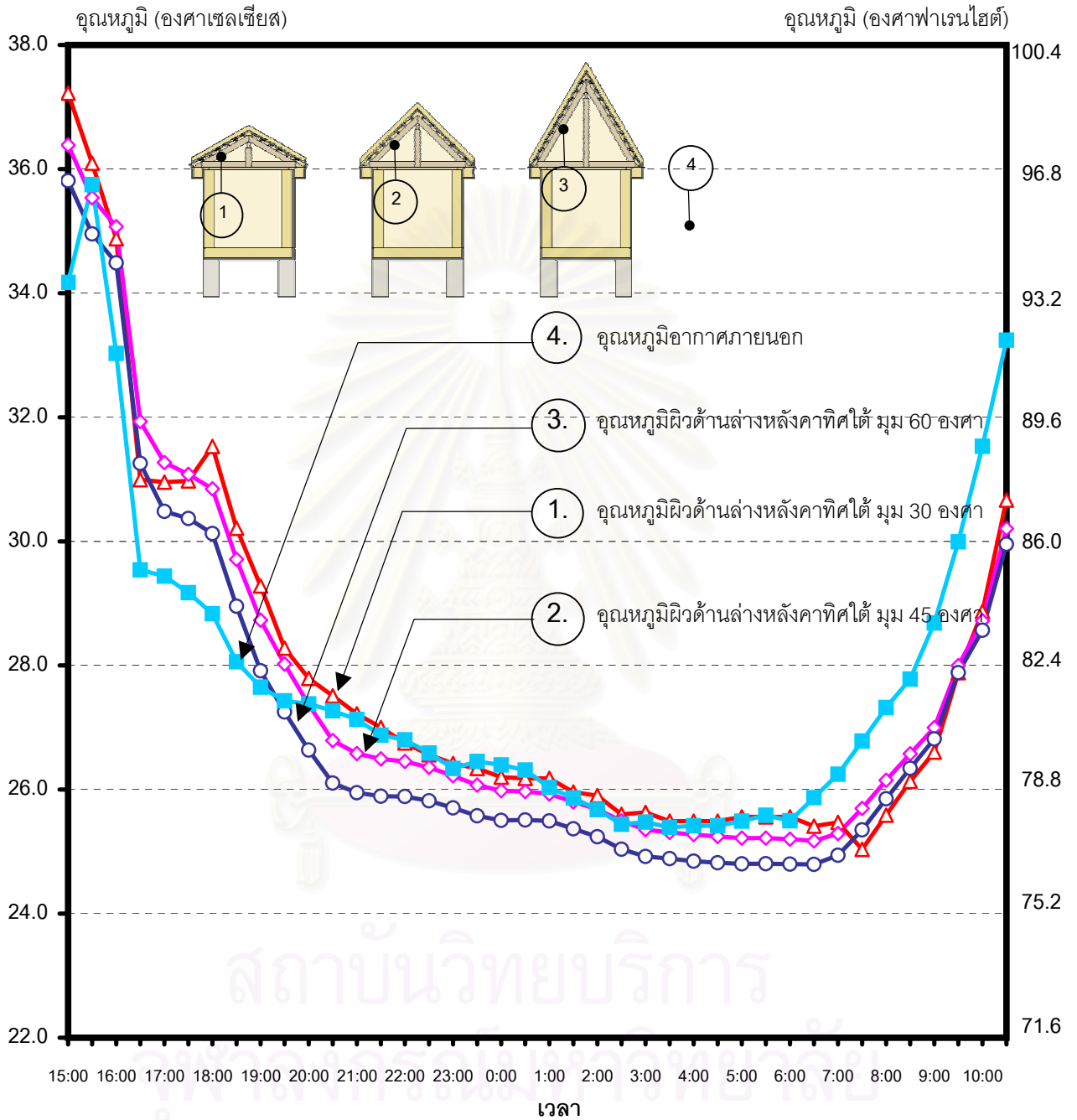
ปริมาณเมฆบนท้องฟ้า

50%	70%	50%	30%
31 มีนาคม 2546		1 เมษายน 2546	

- ▲ อุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาทิศเหนือหลังคามุม 30 องศา
 ◆ อุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาทิศเหนือหลังคามุม 45 องศา
- อุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาทิศเหนือหลังคามุม 60 องศา
 ■ อุณหภูมิอากาศภายนอก

แผนภูมิ 4-36 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาที่ติดตั้งของหลังคาที่มีมุมเอียงต่างกัน

เก็บข้อมูลตั้งแต่เวลา 15.00 น. ของวันที่ 31 มีนาคม 2546 ถึงเวลา 10.30 น. ของวันที่ 1 เมษายน 2546



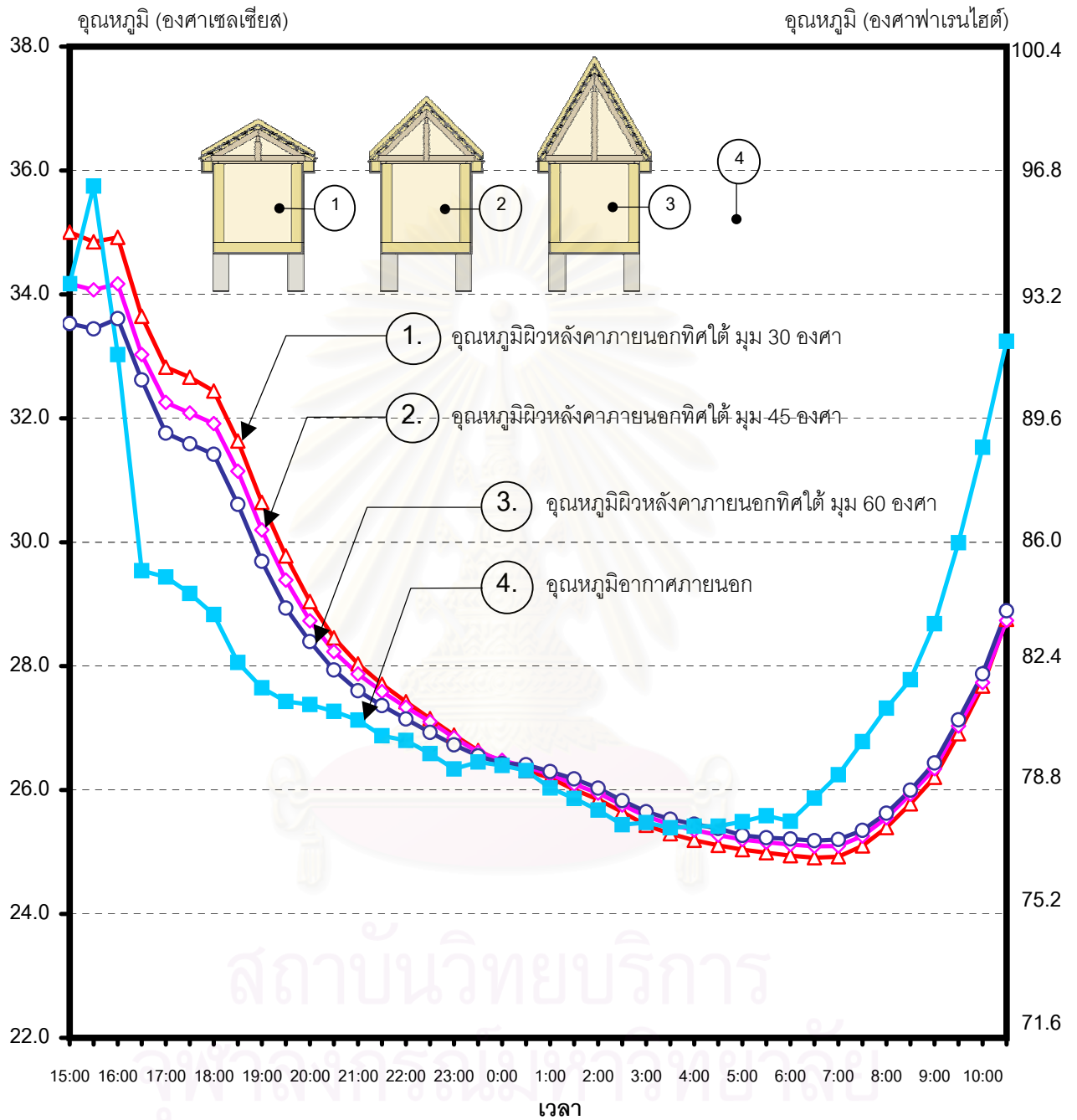
ปริมาณเมฆบนท้องฟ้า

50%	70%	50%	30%
31 มีนาคม 2546		1 เมษายน 2546	

- ▲ อุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาที่ติดตั้งหลังคามุม 30 องศา
- ◆ อุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาที่ติดตั้งหลังคามุม 45 องศา
- อุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาที่ติดตั้งหลังคามุม 60 องศา
- อุณหภูมิอากาศภายนอก

แผนภูมิ 4-37 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในหุ่นจำลองที่หลังคามีมุมเอียงต่างกัน

เก็บข้อมูลตั้งแต่เวลา 15.00 น. ของวันที่ 31 มีนาคม 2546 ถึงเวลา 10.30 น. ของวันที่ 1 เมษายน 2546



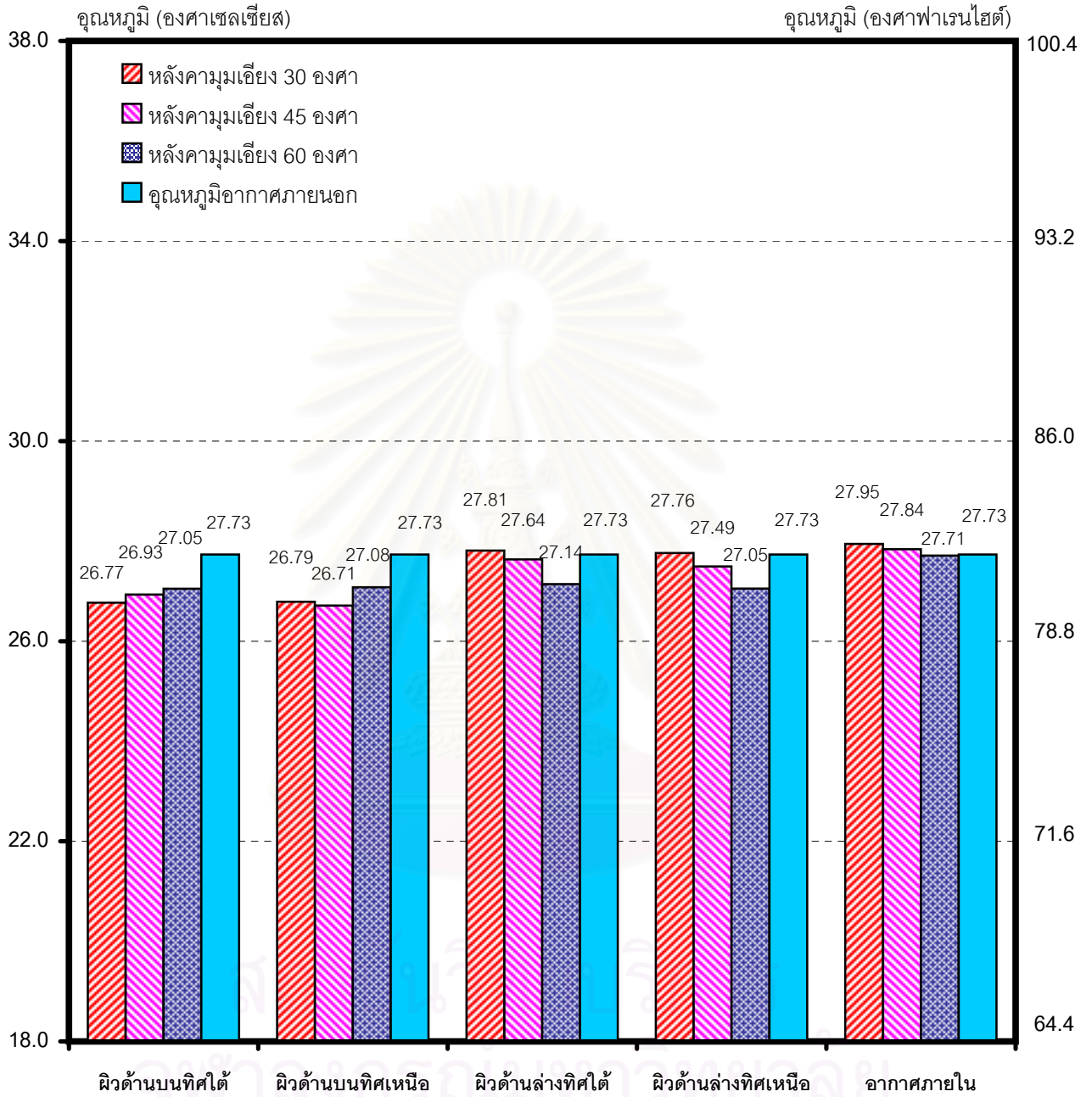
ปริมาณเมฆบนท้องฟ้า

50%	70%	50%	30%
31 มีนาคม 2546		1 เมษายน 2546	

- ▲— อุณหภูมิอากาศภายในหุ่นจำลองหลังคามุม 30 องศา
- ◇— อุณหภูมิอากาศภายในหุ่นจำลองหลังคามุม 45 องศา
- อุณหภูมิอากาศภายในหุ่นจำลองหลังคามุม 60 องศา
- อุณหภูมิอากาศภายนอก

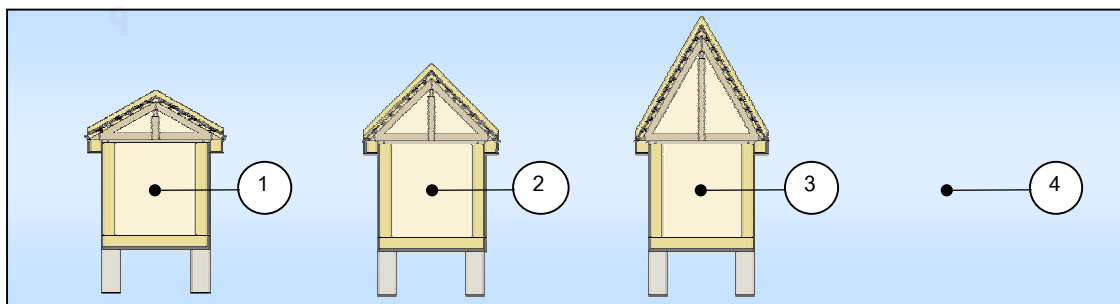
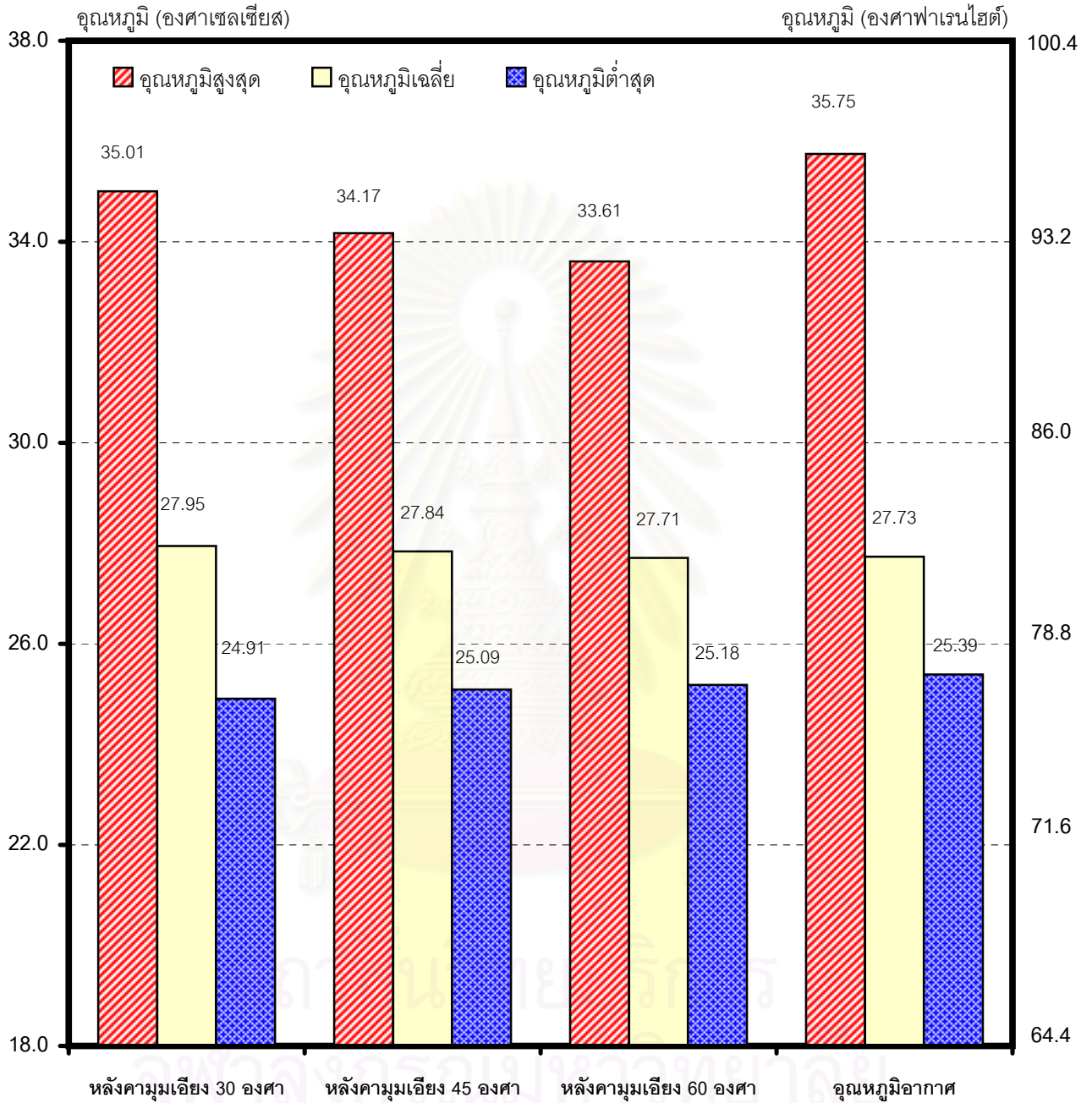
แผนภูมิ 4-38 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงเวลา 15.00 น. ถึงเวลา 10.30 น.
ของหุ่นจำลองที่มีมุมเอียงหลังคาแตกต่างกัน

เก็บข้อมูลตั้งแต่เวลา 15.00 น. ของวันที่ 31 มีนาคม 2546 ถึงเวลา 10.30 น. ของวันที่ 1 เมษายน 2546

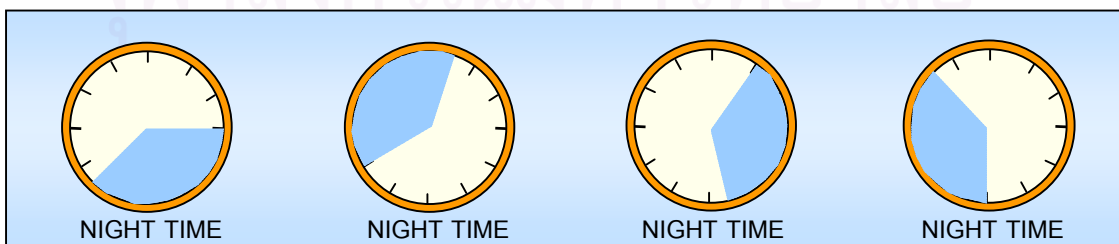
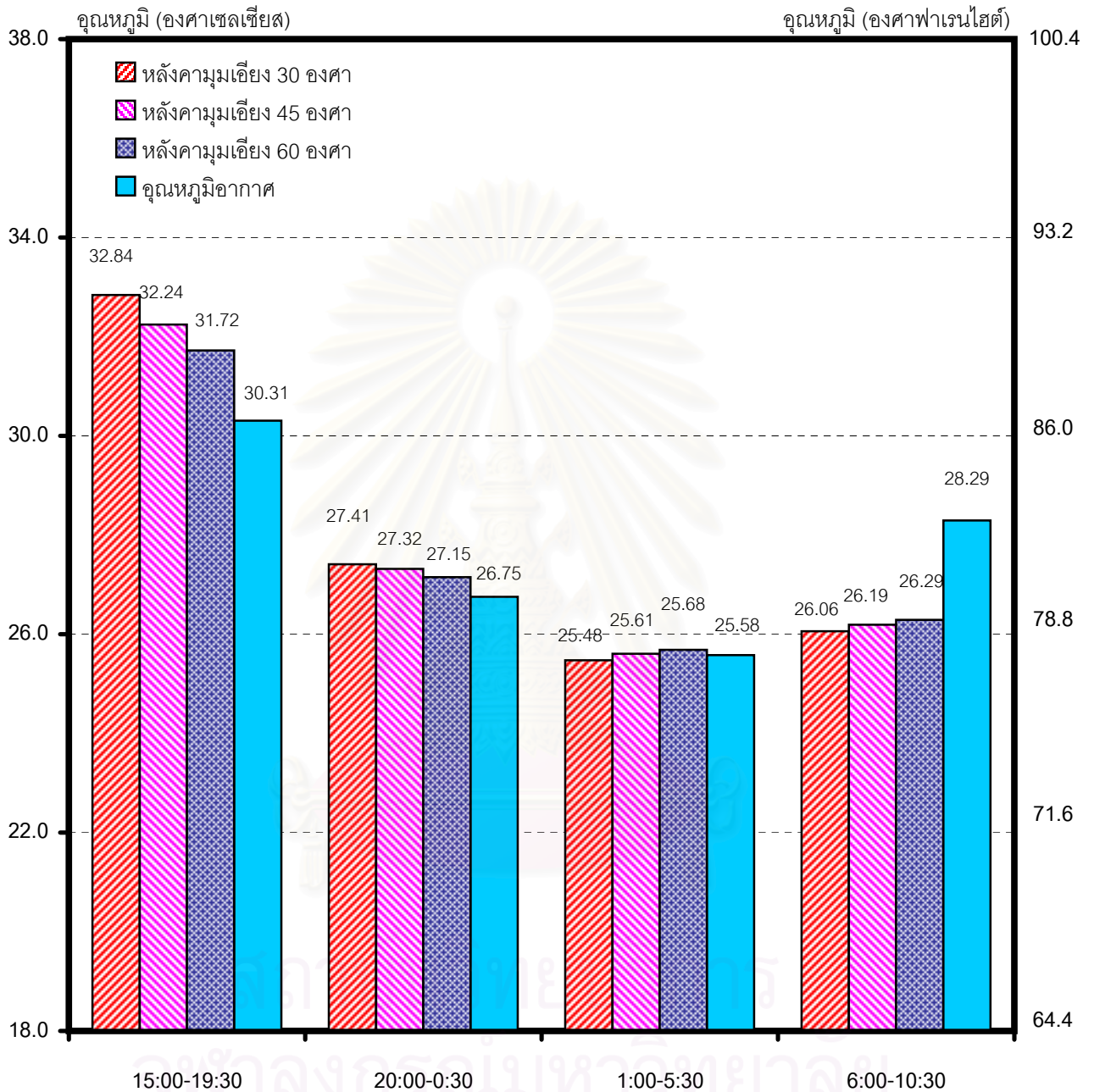


แผนภูมิ 4-39 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ย/สูงสุด/ต่ำสุด ในช่วงเวลา 15.00 น. ถึงเวลา 10.30 น. ของหุ่นจำลองที่มีมุมเอียงหลังคาแตกต่างกัน

เก็บข้อมูลตั้งแต่เวลา 15.00 น. ของวันที่ 31 มีนาคม 2546 ถึงเวลา 10.30 น. ของวันที่ 1 เมษายน 2546



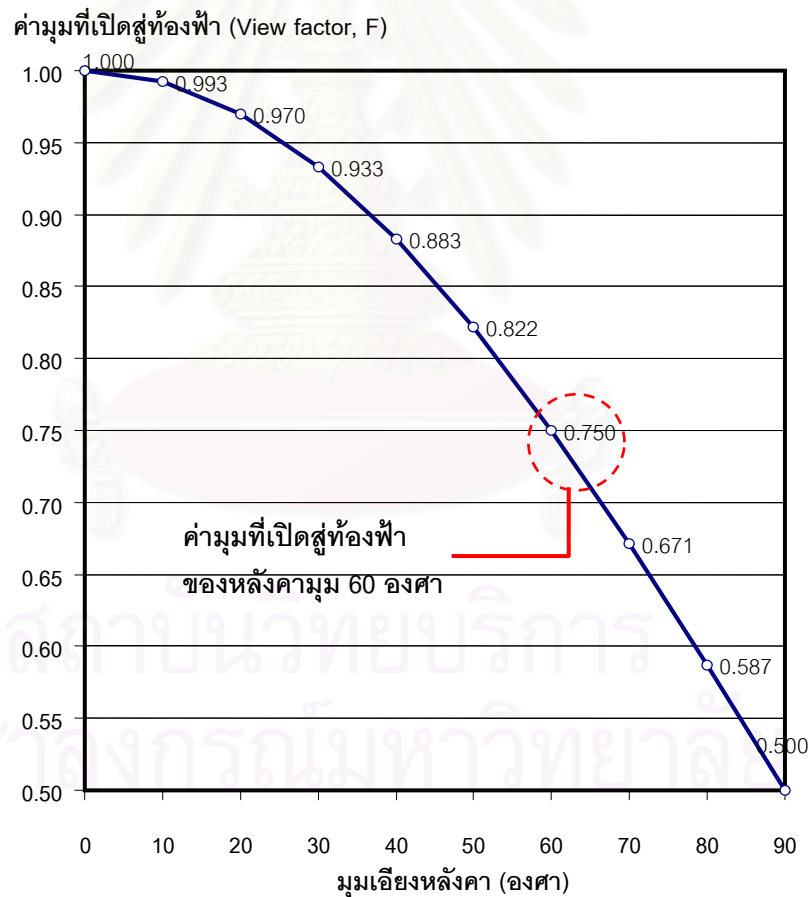
แผนภูมิ 4-40 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในเจดีย์แต่ละช่วงเวลา
 ในช่วงเวลา 15.00 น. ถึงเวลา 10.30 น. ของหุ่นจำลองที่มีมุมเอียงหลังคาแตกต่างกัน
 เก็บข้อมูลตั้งแต่เวลา 15.00 น. ของวันที่ 31 มีนาคม 2546 ถึงเวลา 10.30 น. ของวันที่ 1 เมษายน 2546



การวิเคราะห์ผลการทดสอบอิทธิพลจากการแลกเปลี่ยนรังสีคลื่นยาวระหว่างผิววัสดุผนังหลังคา กับท้องฟ้าในเวลากลางคืน

ผลจากการทดสอบพบว่าหลังคาที่มีมุมเอียงต่างกัน มีผลทำให้อุณหภูมิอากาศภายในห้องจำลองในช่วงเวลากลางคืนต่างกัน โดยที่อุณหภูมิอากาศต่ำสุดภายในของห้องจำลองหลังคามุมเอียง 60 องศาจะสูงกว่า อุณหภูมิอากาศต่ำสุดภายในของห้องจำลองหลังคามุมเอียง 30 และ 45 องศา ประมาณ 0.28 องศาเซลเซียส และ 0.10 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ซึ่งยังคงต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศต่ำสุดในช่วงเวลากลางคืนอยู่ 0.19 องศาเซลเซียส ในขณะที่อุณหภูมิอากาศต่ำสุดภายในของห้องจำลองหลังคามุมเอียง 30 และ 45 องศาจะต่ำกว่า อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยในช่วงเวลากลางคืนอยู่ 0.47 และ 0.29 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

จากผลการทดสอบสรุปได้ว่าในช่วงเวลาที่ไม่ได้รับอิทธิพลจากรังสีดวงอาทิตย์ (ตั้งแต่เวลา 18:00 น. ถึง 6:00 น.) มุมเอียงหลังคา 30 องศา มีศักยภาพในการแลกเปลี่ยนรังสีคลื่นยาวระหว่างอุณหภูมิผิววัสดุผนังหลังคา กับท้องฟ้าได้ดีกว่าหลังคามุมเอียง 45 และ 60 องศา จึงทำให้อุณหภูมิอากาศภายในลดลงได้มากกว่า ส่วนอุณหภูมิอากาศภายในห้องจำลองหลังคา 60 องศา จะลดลงได้น้อยที่สุดเนื่องจากหลังคามีมุมที่เปิดสู่ท้องฟ้าน้อยที่สุด ดังรูป 4-5



รูป 4-2 แสดงลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างมุมเอียงของหลังคา กับมุมเปิดสู่ท้องฟ้า
ที่มา: จากการคำนวณ

เมื่อพิจารณาถึงความเป็นอยู่ของคนไทยในอดีตเมื่อสภาพแวดล้อมยังสมบูรณ์อยู่ ในเวลากลางคืน เมื่ออากาศเย็นลง การที่มมูมเอียงของเรือนไทยนั้นแผ่รังสีกลับสู่ท้องฟ้าได้น้อย ทำให้อุณหภูมิผิวลดลงไม่มากเกินไป ผู้อยู่อาศัยจึงไม่รู้สึกหนาวมาก เมื่อเทียบกับบ้านที่มีมมูมเอียงเปิดสู่ท้องฟ้ามาก หรืออาจกล่าวได้ว่าถ้าเรือนไทยมีมมูมเอียงหลังคามากกว่านี้ตอนกลางคืนในบ้านจะยังร้อนอยู่ และถ้ามมูมเอียงน้อยไปก็จะทำให้ผู้อยู่อาศัยในบ้านรู้สึกหนาว เนื่องมาจากอุณหภูมิอากาศที่ต่ำ และการแผ่รังสีจากผิวกายสู่พื้นผิวหลังคาที่เย็นกว่า จากการทดลองอุณหภูมิที่ผิวกระเบื้องดินเผาสามารถลดต่ำลงถึง 23.84 องศาเซลเซียส (มมูมเอียงหลังคา 30 องศา ซึ่งเป็นมมูมเอียงที่ต่ำที่สุดที่จะมุงกระเบื้องดินเผาได้) ต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศขณะนั้นถึง 1.55 องศาเซลเซียส และต่ำกว่าผิวกายมนุษย์ถึง 8.16 องศาเซลเซียส และเรือนไทยสมัยก่อนไม่นิยมติดฝ้าเพดาน พื้นผิวหลังคาที่เย็นจึงสามารถแผ่รังสีสู่ผิวมนุษย์ที่อาศัยหลับนอนอยู่ได้โดยตรง

นอกจากนั้นการที่อุณหภูมิของผิวหลังคาลดลงไปมากจนกระทั่งต่ำกว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dew point temperature) จะทำให้เกิดการกลั่นตัวของไอน้ำในอากาศเกิดเป็นน้ำค้างที่ผิววัสดุผนังหลังคา จากผลการทดสอบพบว่า หลังคากระเบื้องดินเผาที่มีมมูมเอียง 30 และ 45 องศา ในวันที่ 1 เมษายน 2546 ในช่วงเวลาประมาณ 0.00 น ถึง 5.00 น. อุณหภูมิผิวด้านบนหลังคาทั้งด้านทิศเหนือ และทิศใต้ มีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้าง ปริมาณน้ำค้างที่เกาะอยู่บนผิวหลังคานี้จะเป็นตัวสกัดกั้นการคายรังสีความร้อนกลับสู่ท้องฟ้า และเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างผิวหลังคา กับหยดน้ำแทน ส่งผลให้อุณหภูมิผิวหลังคาสูงขึ้นกว่าในกรณีที่เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนกับท้องฟ้าโดยตรง นอกจากนี้ การเกิดน้ำค้างสะสมบนผิวหลังคากระเบื้องดินเผาที่มีรูพรุน ทำให้เกิดความชื้นสะสมในเนื้อวัสดุส่งผลให้วัสดุเกิดตะไคร่น้ำ หรือเชื้อราได้ง่าย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.3 การทดสอบอิทธิพลของทิศทางการวางหุ่นจำลอง (Test of Orientation)

วัตถุประสงค์ มีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะศึกษาอิทธิพลของการวางหุ่นจำลองในทิศทางต่างๆ กัน ทำให้ได้รับอิทธิพลจากสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน ดังนี้

- 1) ทิศทางที่สัมพันธ์กับทางโคจรของดวงอาทิตย์
 - ตามทางโคจรดวงอาทิตย์
 - ขวางทางโคจรดวงอาทิตย์
- 2) ทิศทางที่สัมพันธ์กับลมธรรมชาติ
 - ตามทิศทางลม
 - ขวางทิศทางลม

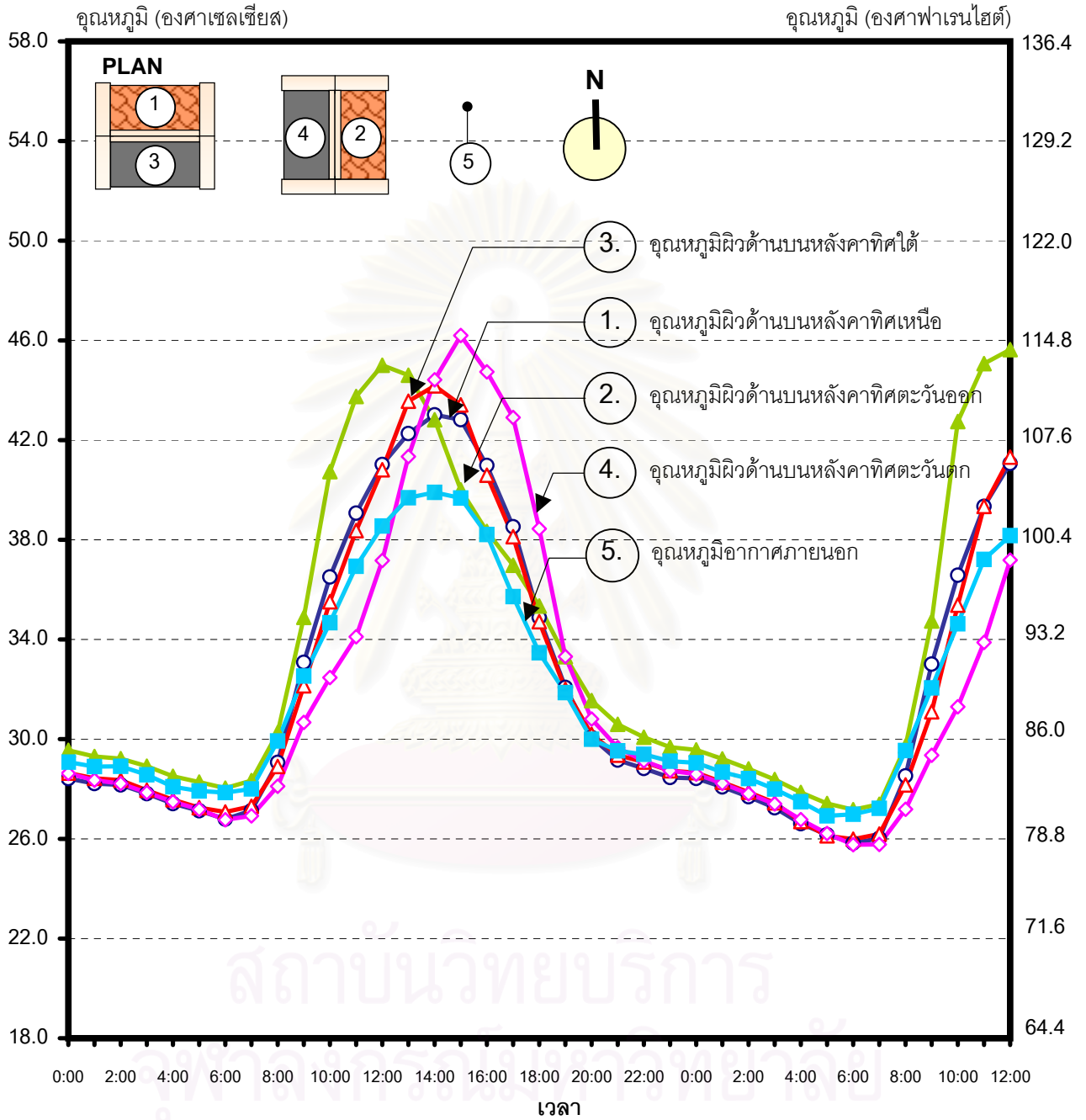
ผลการทดสอบ

เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวด้านบน ด้านล่าง และอุณหภูมิอากาศภายในหุ่นจำลองที่มีทิศทางการวางหุ่นจำลองต่างกัน มุมเอียงหลังคาเท่ากัน ใช้วัสดุผนังหลังคาเป็นกระเบื้องดินเผาเหมือนกัน แสดงผลการทดสอบได้ดังนี้

- เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวด้านบนวัสดุผนังหลังคาของหุ่นจำลองที่หันด้านหลังคาไปในทิศต่างกัน ดังแผนภูมิ 4-41
- เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวด้านบนวัสดุผนังหลังคาของหุ่นจำลองที่หันด้านหลังคาไปในทิศต่างกัน ดังแผนภูมิ 4-42
- เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวด้านล่างวัสดุผนังหลังคาของหุ่นจำลองที่หันด้านหลังคาไปในทิศต่างกัน ดังแผนภูมิ 4-43
- เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวด้านล่างวัสดุผนังหลังคาของหุ่นจำลองที่หันด้านหลังคาไปในทิศต่างกัน ดังแผนภูมิ 4-44
- เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในหุ่นจำลองที่หันด้านหลังคาไปในทิศต่างกัน ดังแผนภูมิ 4-45
- เปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบภายในหุ่นจำลองที่หันด้านหลังคาไปในทิศต่างกัน ดังแผนภูมิ 4-46
- เปรียบเทียบอุณหภูมิผิววัสดุผนังหลังคา เฉลี่ยในช่วง 24 ชั่วโมงของหุ่นจำลองที่หันทิศทางหลังคาแตกต่างกัน ดังแผนภูมิ 4-47
- เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายใน เฉลี่ย/สูงสุด/ต่ำสุด ในช่วง 24 ชั่วโมงของหุ่นจำลองที่หันทิศทางหลังคาแตกต่างกัน ดังแผนภูมิ 4-48
- เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ยแต่ละช่วงเวลา ในช่วง 24 ชั่วโมงของหุ่นจำลองที่หันทิศทางหลังคาแตกต่างกัน ดังแผนภูมิ 4-49

แผนภูมิ 4-41 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวด้านบนวัสดุผนังหลังคา ของหุ่นจำลอง
ที่หันด้านหลังคาไปในทิศต่างกัน

เก็บข้อมูลตั้งแต่เวลา 00.00 น. ของวันที่ 10 เมษายน 2546 ถึงเวลา 12.00 น. ของวันที่ 11 เมษายน 2546



ปริมาณเมฆบนท้องฟ้า

30%	10%	30%	10%
10 เมษายน 2546		11 เมษายน 2546	

○— อุณหภูมิผิวด้านบนหลังคาทิศเหนือ

▲— อุณหภูมิผิวด้านบนหลังคาทิศตะวันออก

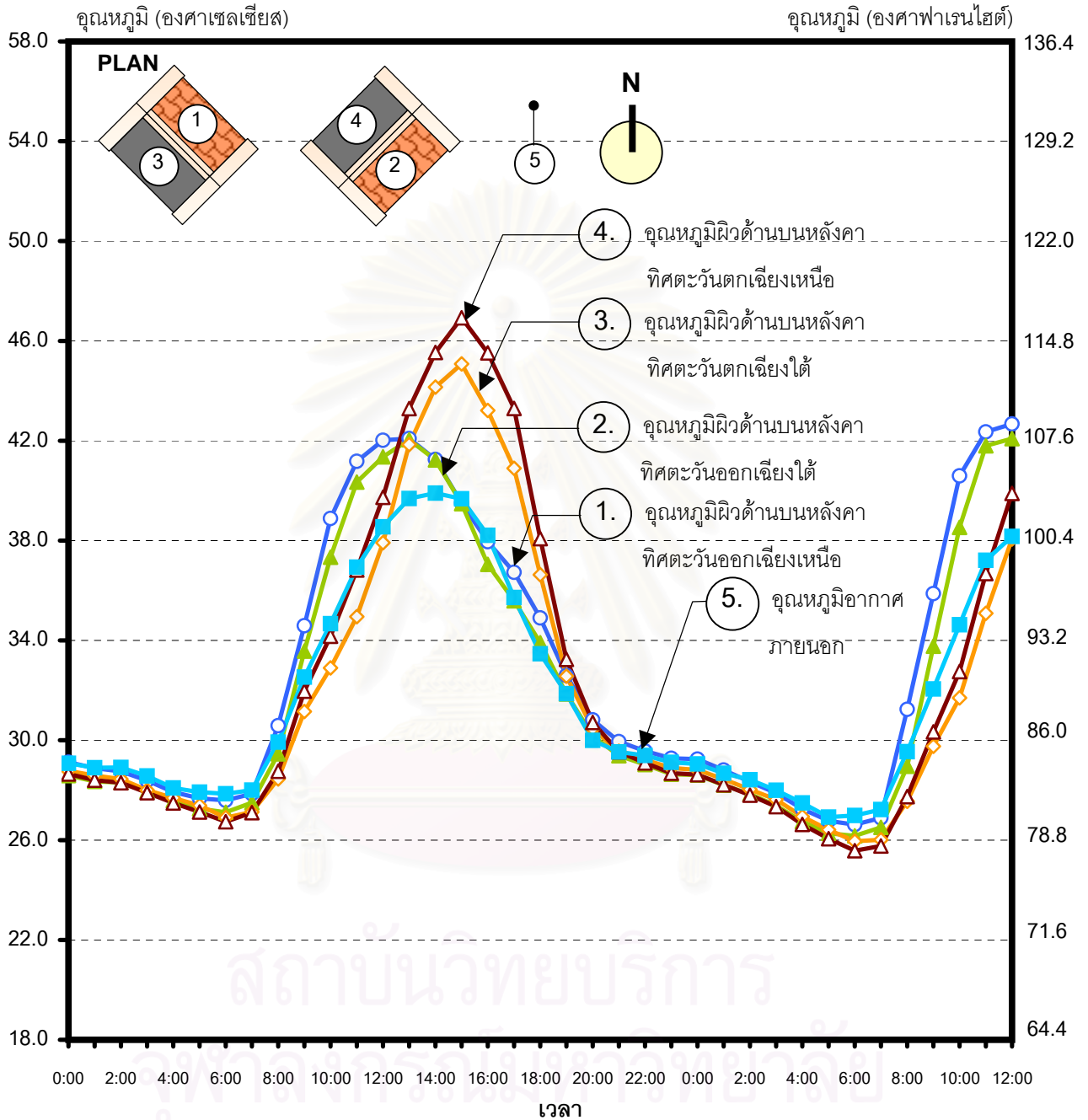
△— อุณหภูมิผิวด้านบนหลังคาทิศใต้

◇— อุณหภูมิผิวด้านบนหลังคาทิศตะวันตก

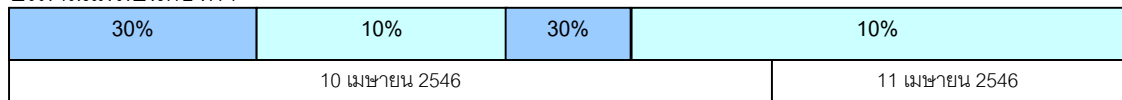
■— อุณหภูมิอากาศภายนอก

แผนภูมิ 4-42 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวด้านบนวัสดุผนังหลังคา ของหุ่นจำลอง
ที่หันด้านหลังคาไปในทิศต่างกัน

เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 10 เมษายน 2546 ถึงเวลา 12.00 น. ของวันที่ 11 เมษายน 2546



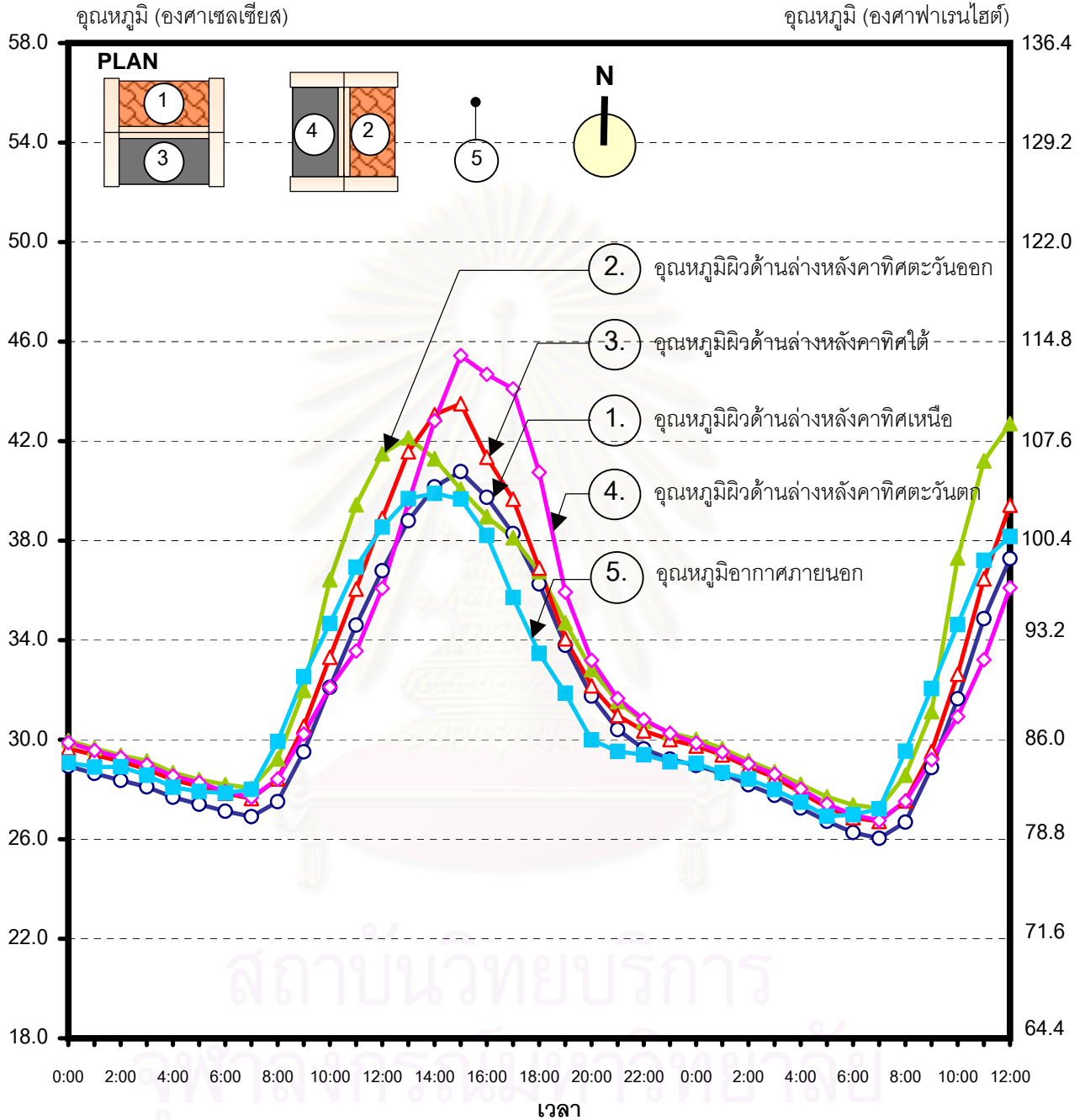
ปริมาณแสงบนท้องฟ้า



- อุณหภูมิผิวด้านบนหลังคาทิศตะวันออกเฉียงเหนือ
- ◇— อุณหภูมิผิวด้านบนหลังคาทิศตะวันตกเฉียงใต้
- อุณหภูมิอากาศภายนอก
- ▲— อุณหภูมิผิวด้านบนหลังคาทิศตะวันตกเฉียงเหนือ
- ▲— อุณหภูมิผิวด้านบนหลังคาทิศตะวันออกเฉียงใต้

แผนภูมิ 4-43 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวตัวด้านล่างวัสดุผนังหลังคา ของหุ่นจำลอง
ที่หันด้านหลังคาไปในทิศต่างกัน

เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 10 เมษายน 2546 ถึงเวลา 12.00 น. ของวันที่ 11 เมษายน 2546



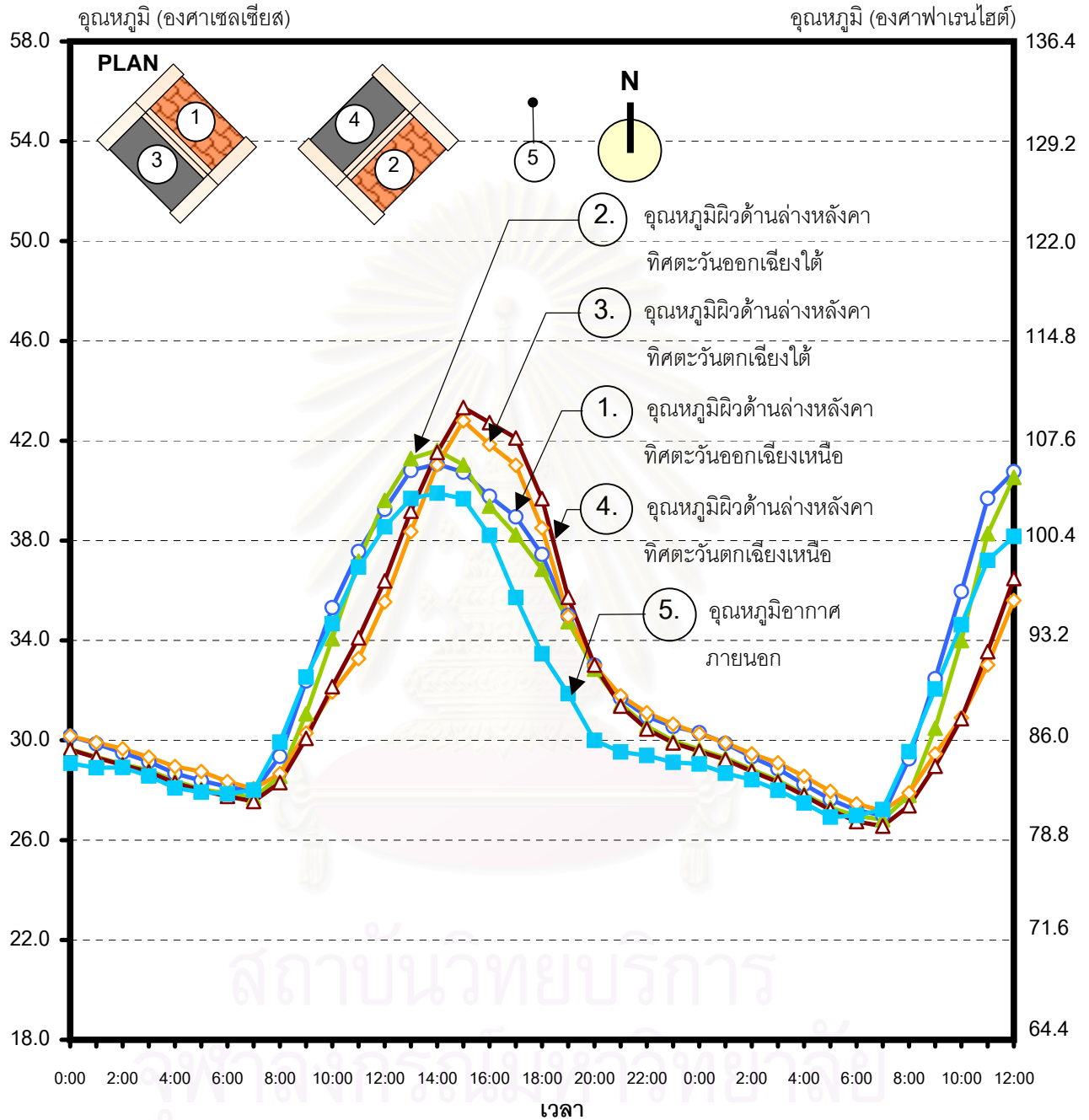
ปริมาณเมฆบนท้องฟ้า

30%	10%	30%	10%
10 เมษายน 2546		11 เมษายน 2546	

- อุณหภูมิผิวตัวด้านล่างหลังคาทิศเหนือ
- △— อุณหภูมิผิวตัวด้านล่างหลังคาทิศใต้
- อุณหภูมิอากาศภายนอก
- ▲— อุณหภูมิผิวตัวด้านล่างหลังคาทิศตะวันออก
- ◇— อุณหภูมิผิวตัวด้านล่างหลังคาทิศตะวันตก

แผนภูมิ 4-44 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวด้านล่างวัสดุผนังหลังคา ของหุ่นจำลอง
ที่หันด้านหลังคาไปในทิศต่างกัน

เก็บข้อมูลตั้งแต่เวลา 00.00 น. ของวันที่ 10 เมษายน 2546 ถึงเวลา 12.00 น. ของวันที่ 11 เมษายน 2546



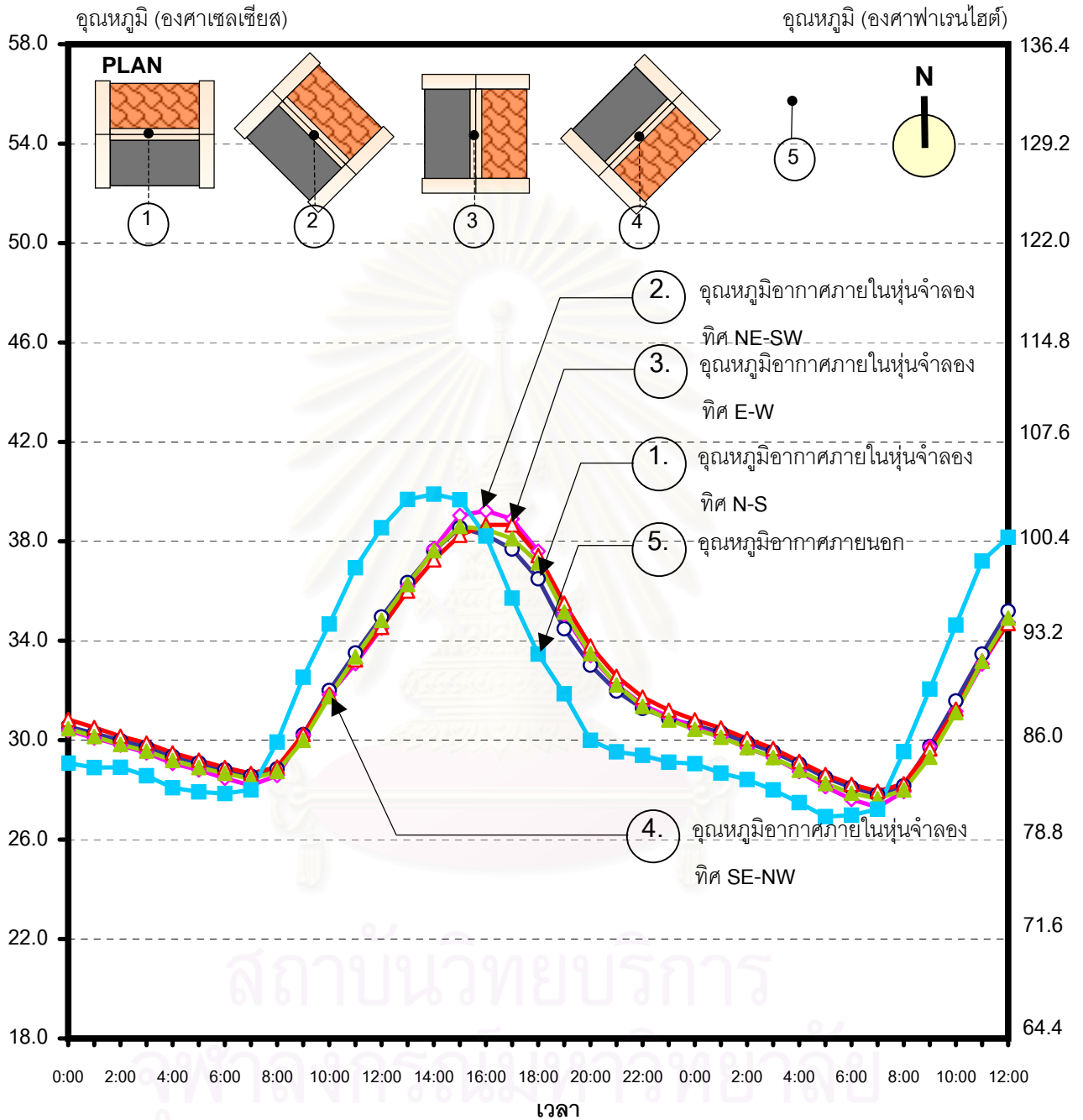
ปริมาณเมฆบนท้องฟ้า

30%	10%	30%	10%
10 เมษายน 2546		11 เมษายน 2546	

- อุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาทิศตะวันออกเฉียงเหนือ
- ◇— อุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาทิศตะวันตกเฉียงใต้
- อุณหภูมิอากาศภายนอก
- ▲— อุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาทิศตะวันออกเฉียงใต้
- △— อุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาทิศตะวันตกเฉียงเหนือ

แผนภูมิ 4-45 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในห้องที่หันด้านหลังคาไปในทิศต่างกัน

เก็บข้อมูลตั้งแต่เวลา 00.00 น. ของวันที่ 10 เมษายน 2546 ถึงเวลา 12.00 น. ของวันที่ 11 เมษายน 2546



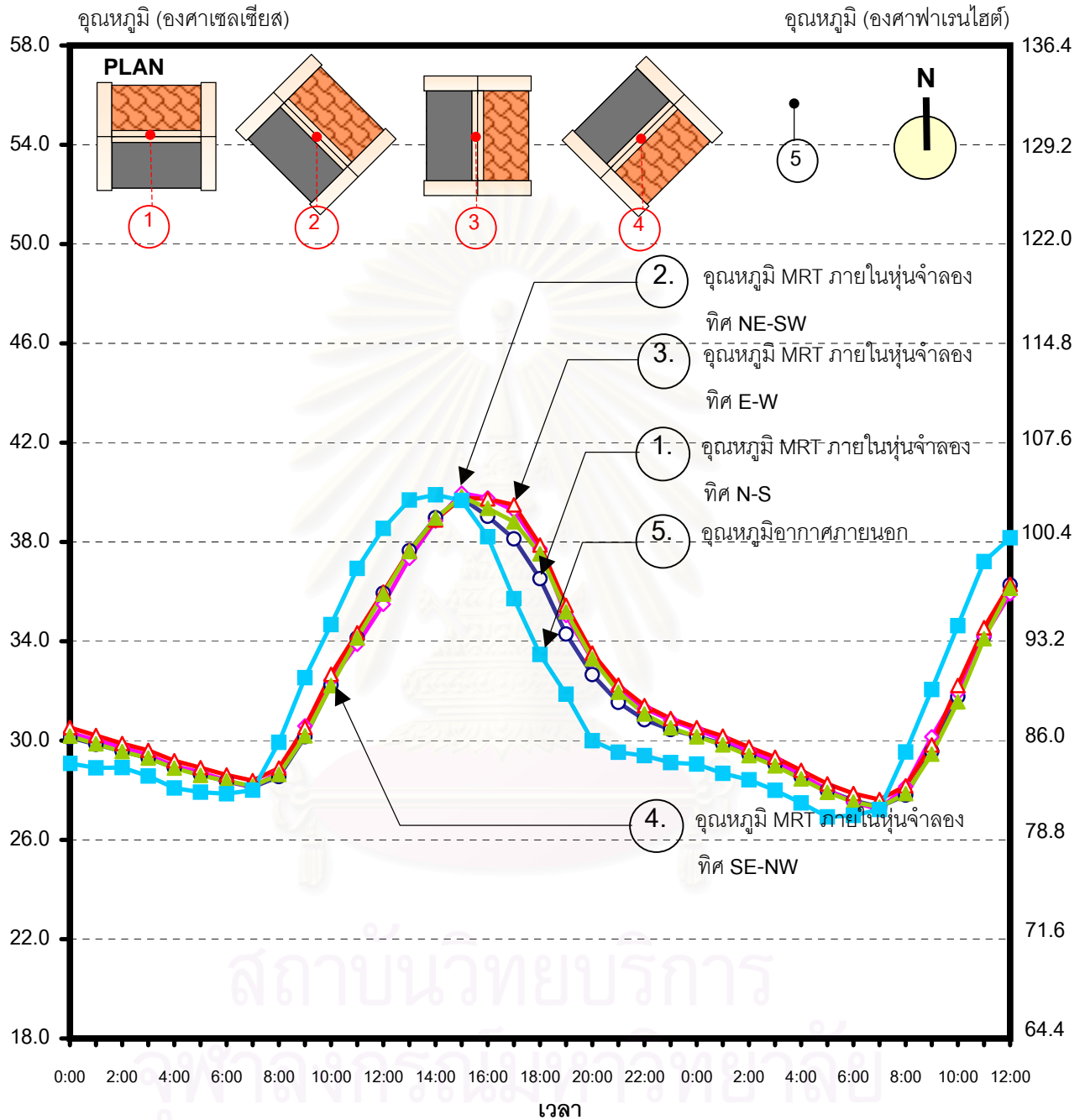
ปริมาณเมฆบนท้องฟ้า

30%	10%	30%	10%
10 เมษายน 2546		11 เมษายน 2546	

- อุณหภูมิอากาศภายในห้อง ที่หันหลังคาทิศเหนือ-ใต้
- ◇ อุณหภูมิอากาศภายในห้อง ที่หันหลังคาทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้
- △ อุณหภูมิอากาศภายในห้อง ที่หันหลังคาทิศตะวันออก-ตะวันตก
- ▲ อุณหภูมิอากาศภายในห้อง ที่หันหลังคาทิศตะวันออกเฉียงใต้-ตะวันตกเฉียงเหนือ
- อุณหภูมิอากาศภายนอก

แผนภูมิ 4-46 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบภายในหุ้่นจำลอง
ที่หันด้านหลังคาไปในทิศต่างกัน

เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 10 เมษายน 2546 ถึงเวลา 12.00 น. ของวันที่ 11 เมษายน 2546



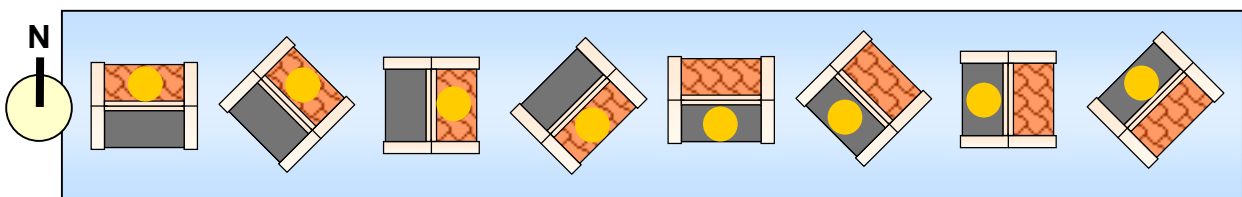
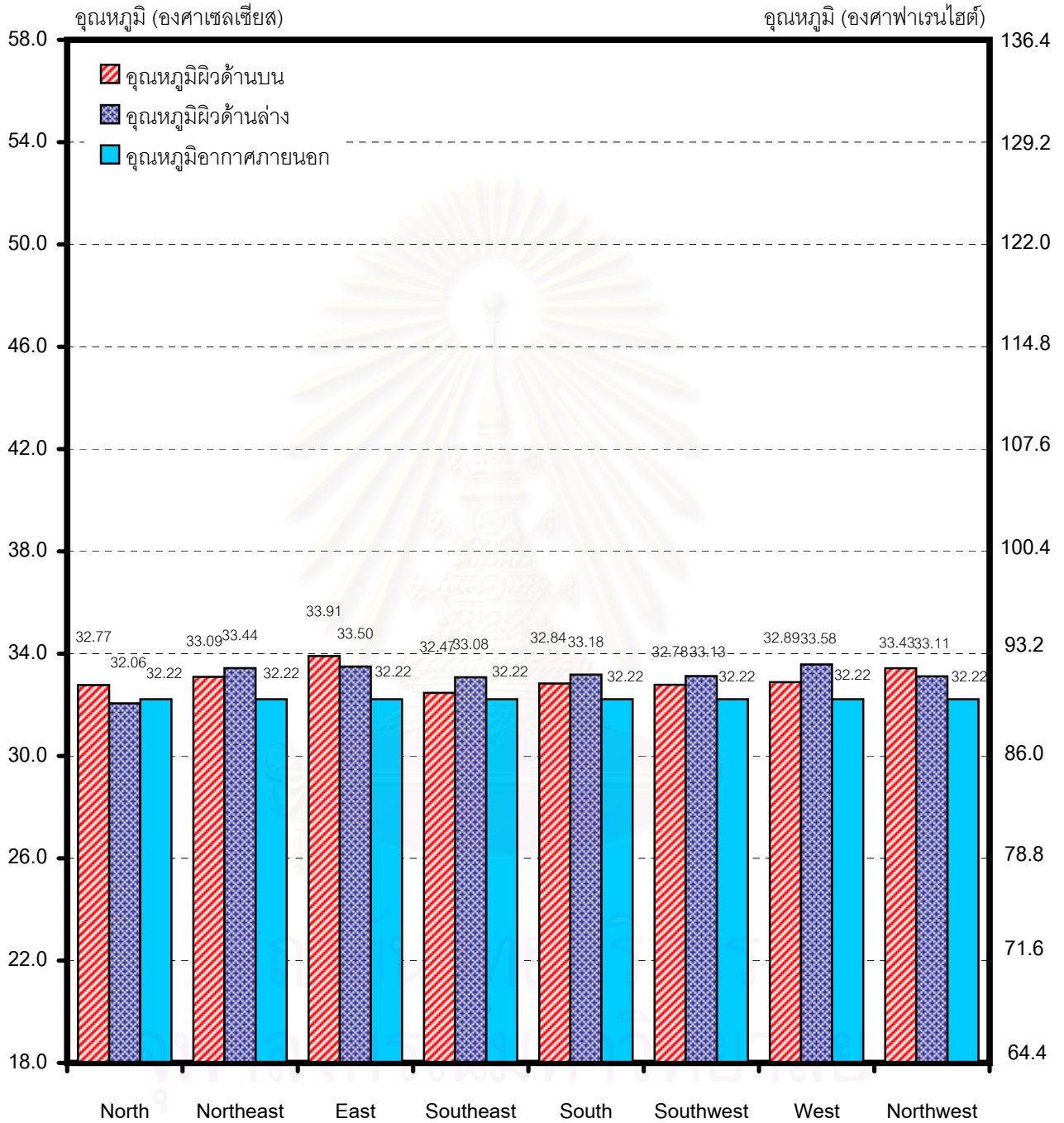
ปริมาณเมฆบนท้องฟ้า

30%	10%	30%	10%
10 เมษายน 2546		11 เมษายน 2546	

- อุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบภายในหุ้่นจำลอง ที่หันหลังคาทิศเหนือ-ใต้
- ◇ อุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบภายในหุ้่นจำลอง ที่หันหลังคาทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้
- △ อุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบภายในหุ้่นจำลอง ที่หันหลังคาทิศตะวันออก-ตะวันตก
- ▲ อุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบภายในหุ้่นจำลอง ที่หันหลังคาทิศตะวันออกเฉียงใต้-ตะวันตกเฉียงเหนือ
- อุณหภูมิอากาศภายนอก

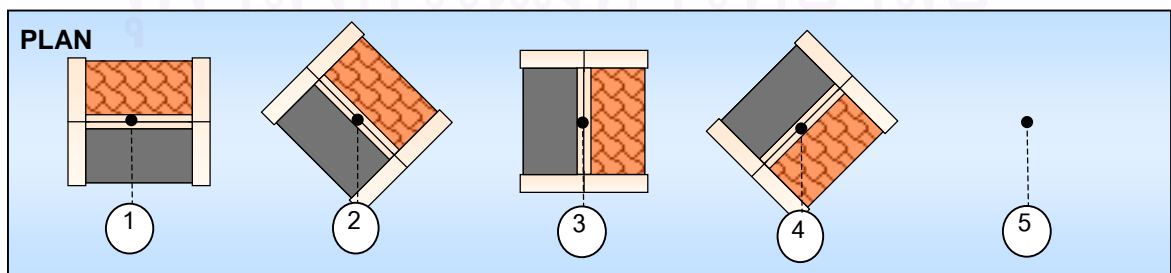
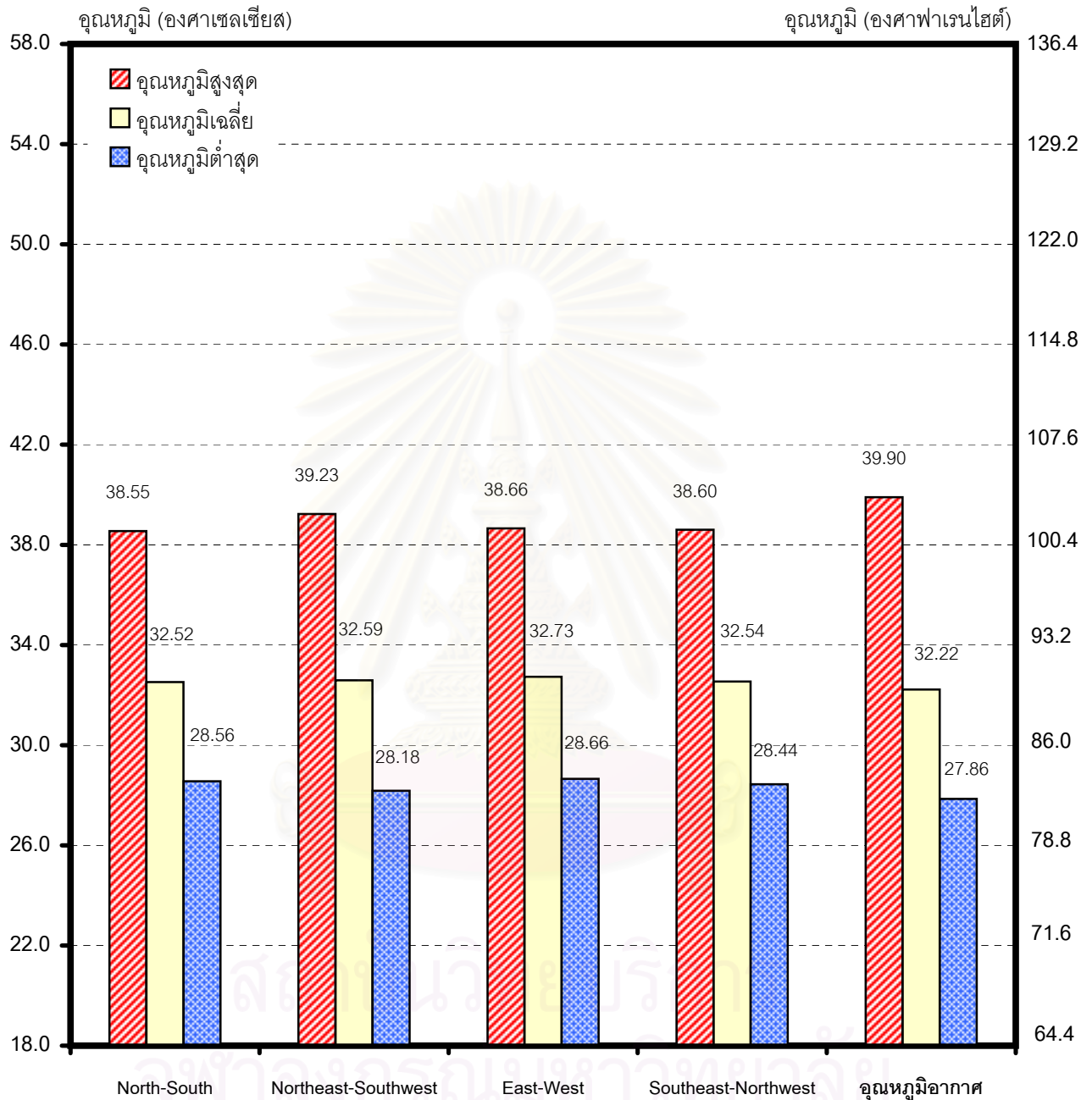
แผนภูมิ 4-47 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิววัสดุผนังหลังคา เฉลี่ยในช่วง 24 ชั่วโมง
ของหุ่นจำลองที่หันทิศทางหลังคาแตกต่างกัน

เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 10 เมษายน 2546 ถึงเวลา 00.00 น. ของวันที่ 11 เมษายน 2546



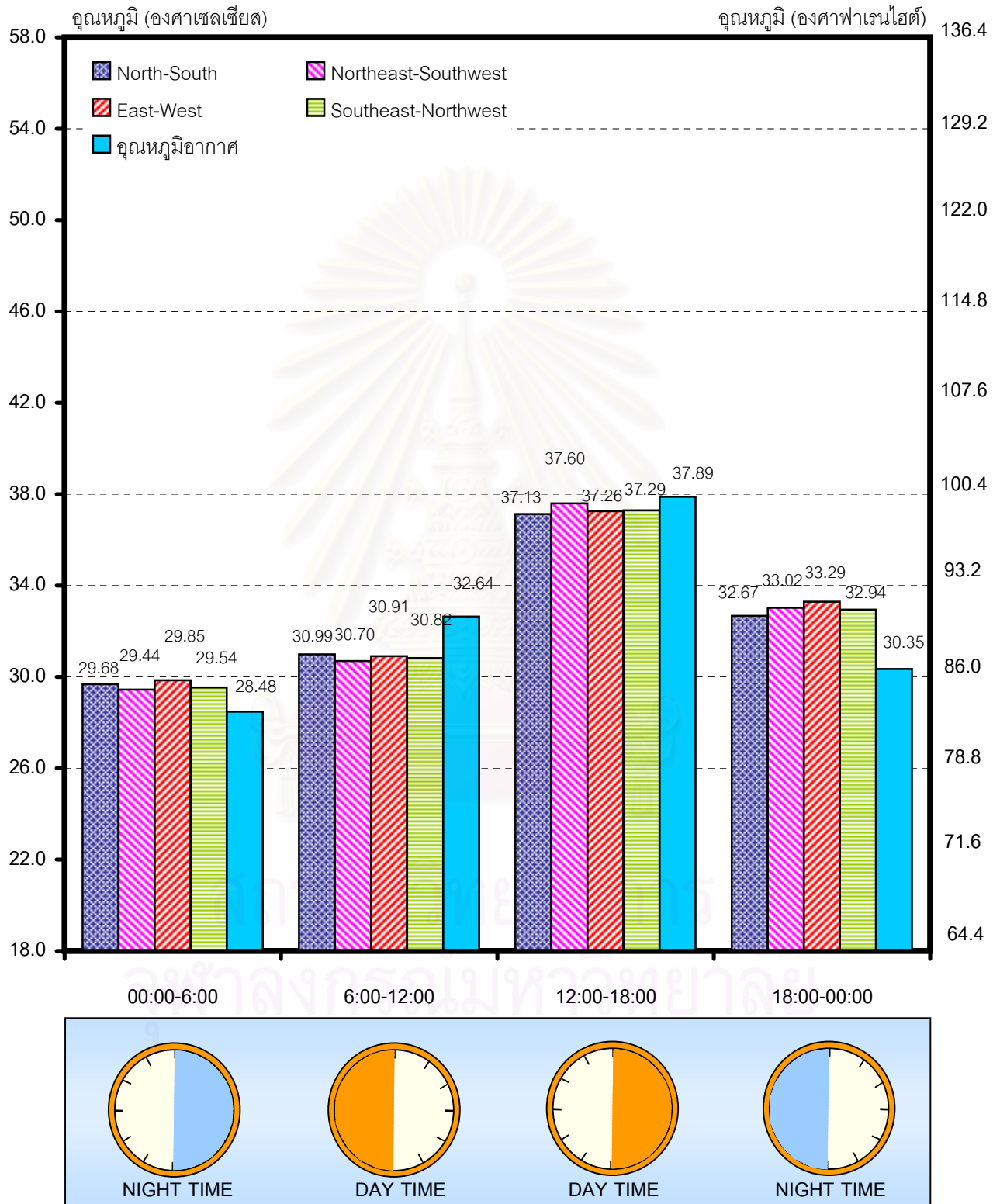
แผนภูมิ 4-48 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายใน เฉลี่ย/สูงสุด/ต่ำสุด ในช่วง 24 ชั่วโมง
ของหุ่นจำลองที่หันทิศทางหลังคาแตกต่างกัน

เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 10 เมษายน 2546 ถึงเวลา 00.00 น. ของวันที่ 11 เมษายน 2546



แผนภูมิ 4-49 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ยแต่ละช่วงเวลา ในช่วง 24 ชั่วโมง
ของหุ่นจำลองที่หันทิศทางหลังคาแตกต่างกัน

เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 10 เมษายน 2546 ถึงเวลา 00.00 น. ของวันที่ 11 เมษายน 2546

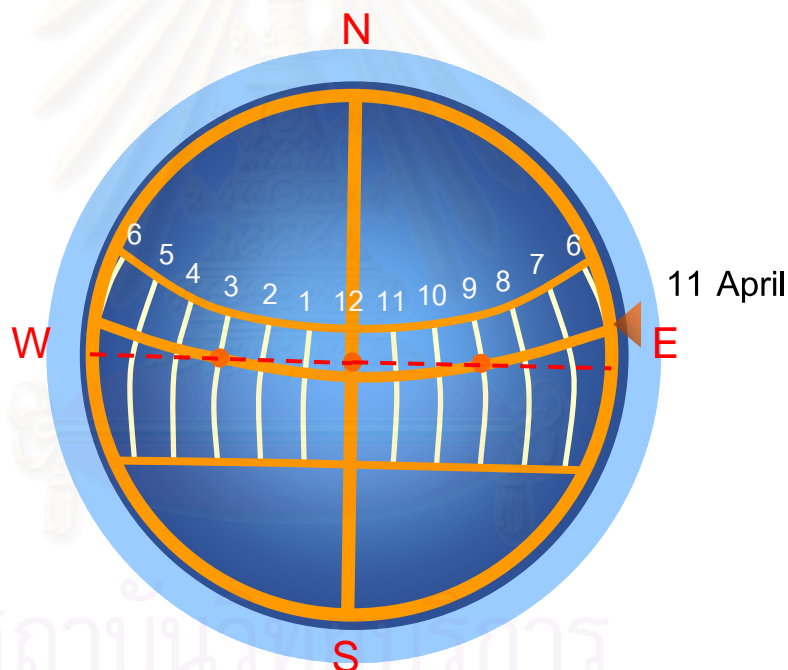


การวิเคราะห์ผลการทดสอบอิทธิพลของทิศทางการวางหุ่นจำลอง

ผลจากการทดสอบพบว่า การวางทิศทางหุ่นจำลองที่ต่างกันมีผลทำให้อุณหภูมิอากาศภายในหุ่นจำลองมีค่าแตกต่างกัน เนื่องจากได้รับอิทธิพลจากดวงอาทิตย์ไม่เท่ากัน ในช่วงที่ทำการทดลอง (10 เมษายน 2546 – 11 เมษายน 2546) ดวงอาทิตย์ขึ้นก่อนไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือทำมุม อะซิมุทประมาณ 98 องศากับทิศใต้ และจะอ้อมไปทางทิศใต้เมื่อเวลาประมาณ 9.00 น.จนถึงเวลาประมาณ 15.00 น. ก็จะเริ่มตกไปทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือ

จากผลการทดสอบ อุณหภูมิอากาศภายในหุ่นจำลองที่หันหลังคาไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ - ตะวันตกเฉียงใต้จะมีค่าสูงที่สุด และหุ่นจำลองที่หันหลังคาหันทางทิศตะวันออกเฉียง - ตะวันตก มีค่าสูงรองลงมา เนื่องจากตอนเช้าตั้งแต่พระอาทิตย์ขึ้นจนถึงช่วงก่อนพระอาทิตย์ตก 2 ชั่วโมงนั้น หลังคาของหุ่นจำลองทั้งสองได้รับอิทธิพลจากรังสีดวงอาทิตย์ตลอดเวลา เมื่อเทียบกับหุ่นจำลองที่มีอุณหภูมิอากาศสูงสุดต่ำที่สุด คือ หุ่นจำลองที่หันทิศหลังคาในแนวเหนือใต้ จะมีผลต่างของอุณหภูมิสูงสุดประมาณ 0.68 และ 0.11 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

ส่วนในช่วงเวลากลางคืน อุณหภูมิอากาศภายในโดยเฉลี่ยแต่ละหุ่นจำลองมีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากไม่มีอิทธิพลจากดวงอาทิตย์



รูป 4-3 แสดง Sun chart ของละติจูด 14 องศาเหนือ และเส้นทางการโคจรของดวงอาทิตย์ในวันที่ 11 เมษายน
รูปประกอบโดย รชฎ สุมานนท์

เมื่อพิจารณาทางด้านทิศทางที่สัมพันธ์กับลมธรรมชาติ ในเดือนเมษายน จากสถิติ (สุนทร บุญญาธิการ, 2542) ลมจะมาจากทิศใต้เป็นส่วนใหญ่ ทำให้หุ่นจำลองที่หันหลังคาไปทางทิศเหนือ - ใต้ ซึ่งสัมพันธ์กับทิศทางลมเกิดความแตกต่างระหว่างความกดอากาศด้านหน้า และด้านหลังหลังคาที่ปะทะลม ความร้อนที่สะสมอยู่ใต้หลังคาจึงสามารถระบายออกไปได้โดยการรั่วซึมผ่านวัสดุผนังหลังคาที่เป็นกระเบื้องดินเผา

4.2.4 การทดสอบอิทธิพลจากการลอยตัวของอากาศร้อนภายในหุ้่นจำลอง (Test of stratification)

วัตถุประสงค์ มีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะศึกษาอิทธิพลจากการลอยตัวของอากาศร้อนภายในหุ้่นจำลอง ที่มีมุมเอียงหลังคาต่างๆ กัน

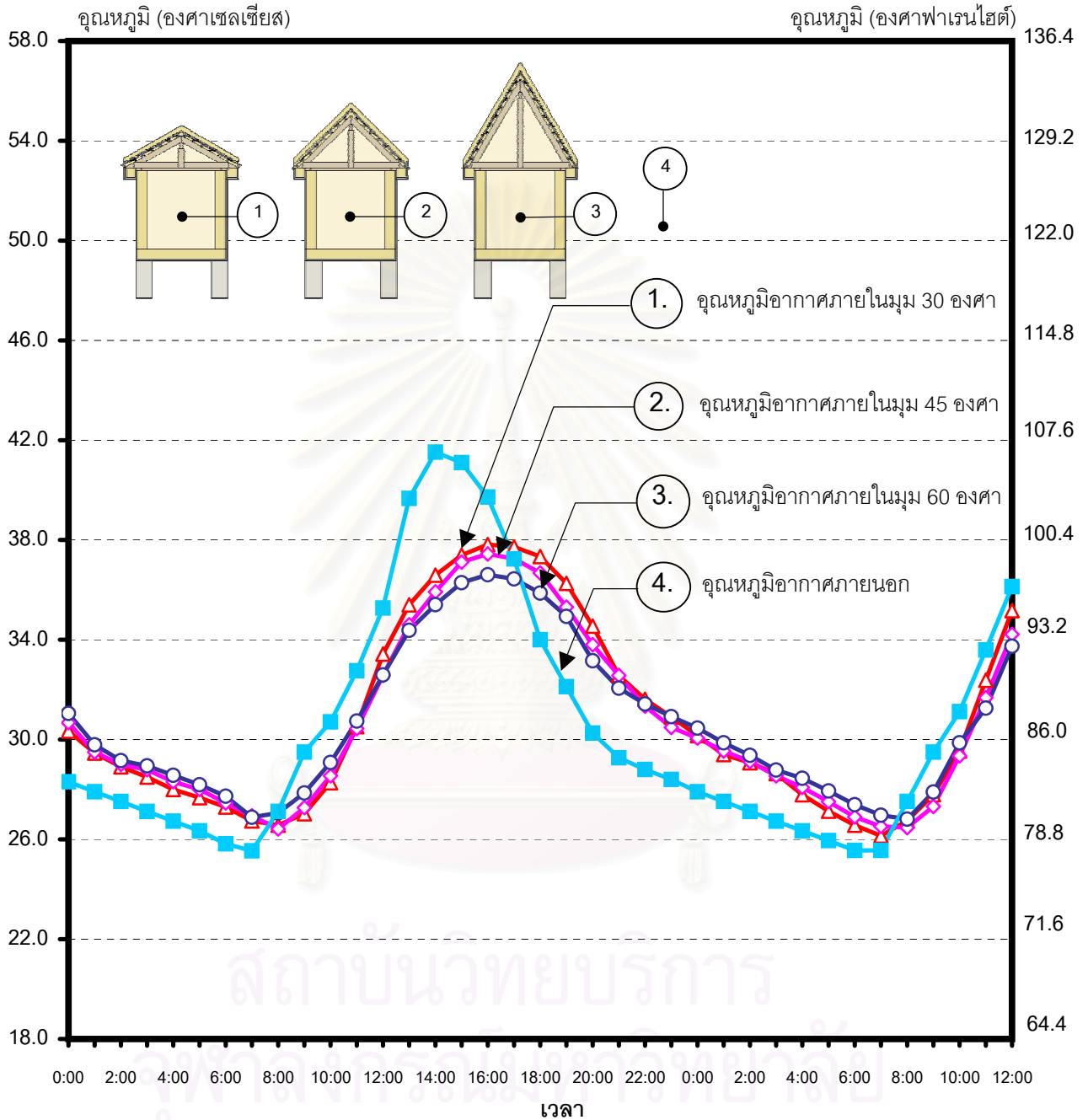
ผลการทดสอบ

เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในหุ้่นจำลอง ตำแหน่งสูงจากพื้นหุ้่นจำลอง 0.50 ม. และ 1.20 ม. ที่มีมุมเอียงหลังคาต่างกัน ใช้วัสดุผนังหลังคาเป็นกระเบื้องดินเผาเหมือนกัน แสดงผลการทดสอบได้ดังนี้

- เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในหุ้่นจำลอง ณ ตำแหน่งสูงจากพื้น 0.50 ม. ที่หลังคามีมุมเอียงต่างกัน ดังแผนภูมิ 4-50
- เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในหุ้่นจำลอง ณ ตำแหน่งสูงจากพื้น 1.20 ม. ที่หลังคามีมุมเอียงต่างกัน ดังแผนภูมิ 4-51
- เปรียบเทียบอุณหภูมิตำแหน่งความสูงต่างกันภายในหุ้่นจำลองที่มีมุมเอียงหลังคา 30 องศา ดังแผนภูมิ 4-52
- เปรียบเทียบอุณหภูมิตำแหน่งความสูงต่างกันภายในหุ้่นจำลองที่มีมุมเอียงหลังคา 45 องศา ดังแผนภูมิ 4-53
- เปรียบเทียบอุณหภูมิตำแหน่งความสูงต่างกันภายในหุ้่นจำลองที่มีมุมเอียงหลังคา 60 องศา ดังแผนภูมิ 4-54
- เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ย ช่วง 24 ชั่วโมงของหุ้่นจำลองที่มีมุมเอียงหลังคาแตกต่างกัน ดังแผนภูมิ 4-55

แผนภูมิ 4-50 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในหุ่นจำลอง ณ ตำแหน่งสูงจากพื้น 0.50 ม.
ที่หลังคามีมุมเอียงต่างกัน

เก็บข้อมูลตั้งแต่เวลา 00.00 น. ของวันที่ 3 เมษายน 2546 ถึงเวลา 12.00 น. ของวันที่ 4 เมษายน 2546



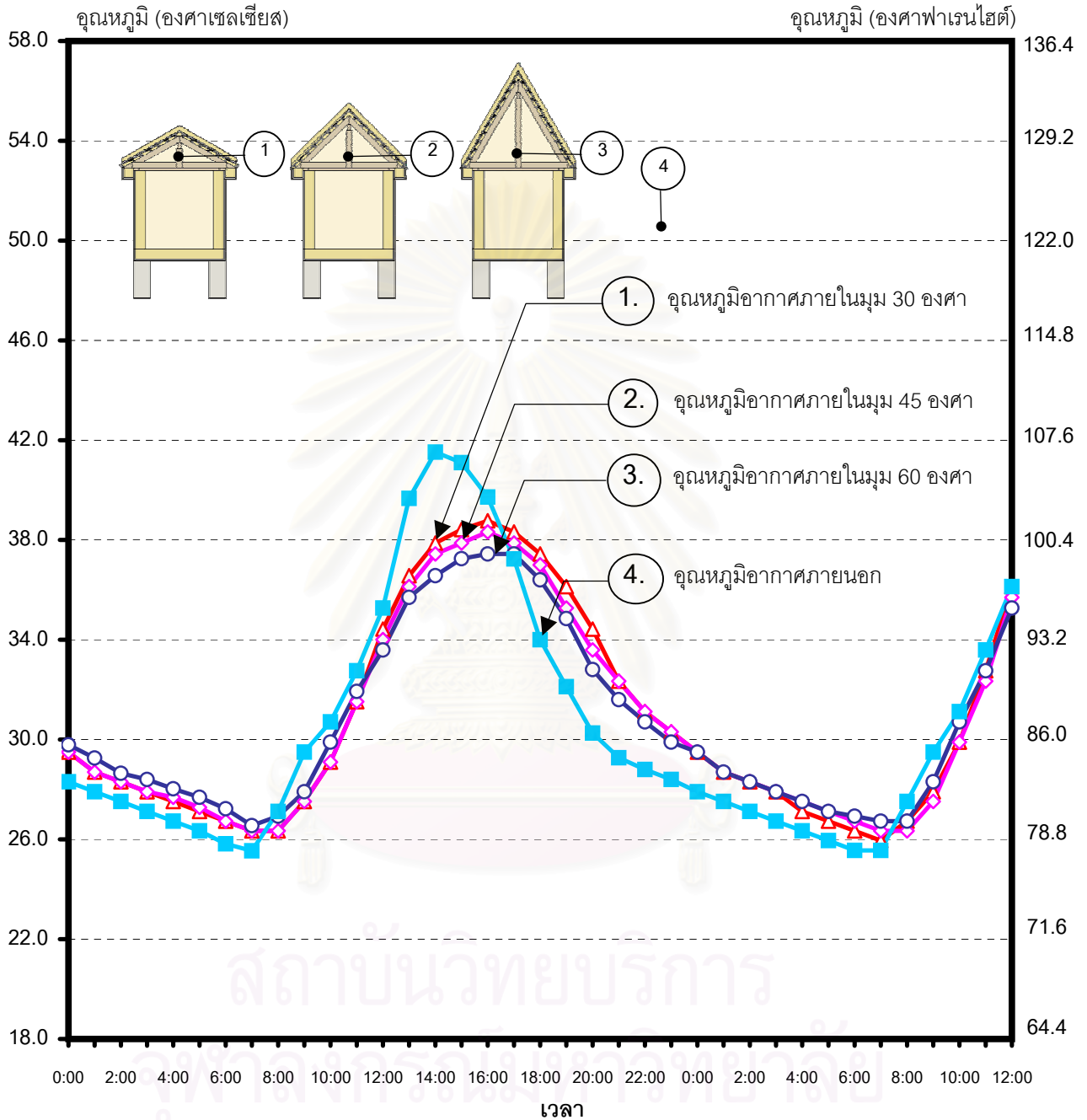
ปริมาณเมฆบนท้องฟ้า

30%	10%	30%	10%
3 เมษายน 2546		4 เมษายน 2546	

- △— อุณหภูมิอากาศภายในหุ่นจำลองหลังคามุม 30 องศา
- ◇— อุณหภูมิอากาศภายในหุ่นจำลองหลังคามุม 45 องศา
- อุณหภูมิอากาศภายในหุ่นจำลองหลังคามุม 60 องศา
- อุณหภูมิอากาศภายนอก

แผนภูมิ 4-51 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในหุ่นจำลอง ณ ตำแหน่งสูงจากพื้น 1.20 ม.
ที่หลังคามิวมุมเอียงต่างกัน

เก็บข้อมูลตั้งแต่เวลา 00.00 น. ของวันที่ 3 เมษายน 2546 ถึงเวลา 12.00 น. ของวันที่ 4 เมษายน 2546



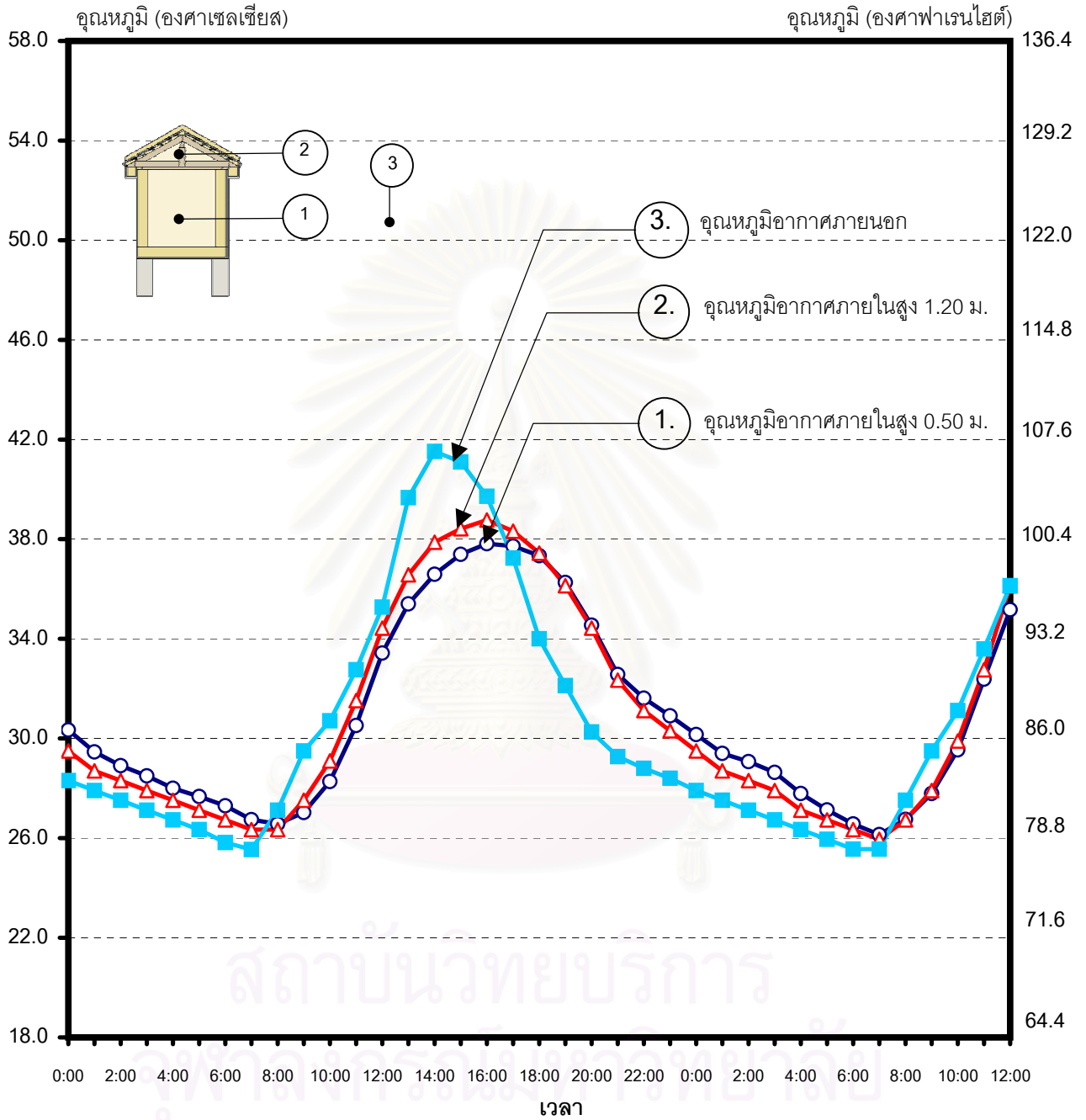
ปริมาณเมฆบนท้องฟ้า

30%	10%	30%	10%
3 เมษายน 2546		4 เมษายน 2546	

- ▲ อุณหภูมิอากาศภายในหุ่นจำลองหลังคามุม 30 องศา
- ◇ อุณหภูมิอากาศภายในหุ่นจำลองหลังคามุม 45 องศา
- อุณหภูมิอากาศภายในหุ่นจำลองหลังคามุม 60 องศา
- อุณหภูมิอากาศภายนอก

แผนภูมิ 4-52 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิตำแหน่งความสูงต่างกัน
ภายในหุ่นจำลองที่มีมุมเอียงหลังคา 30 องศา

เก็บข้อมูลตั้งแต่เวลา 00.00 น. ของวันที่ 3 เมษายน 2546 ถึงเวลา 12.00 น. ของวันที่ 4 เมษายน 2546



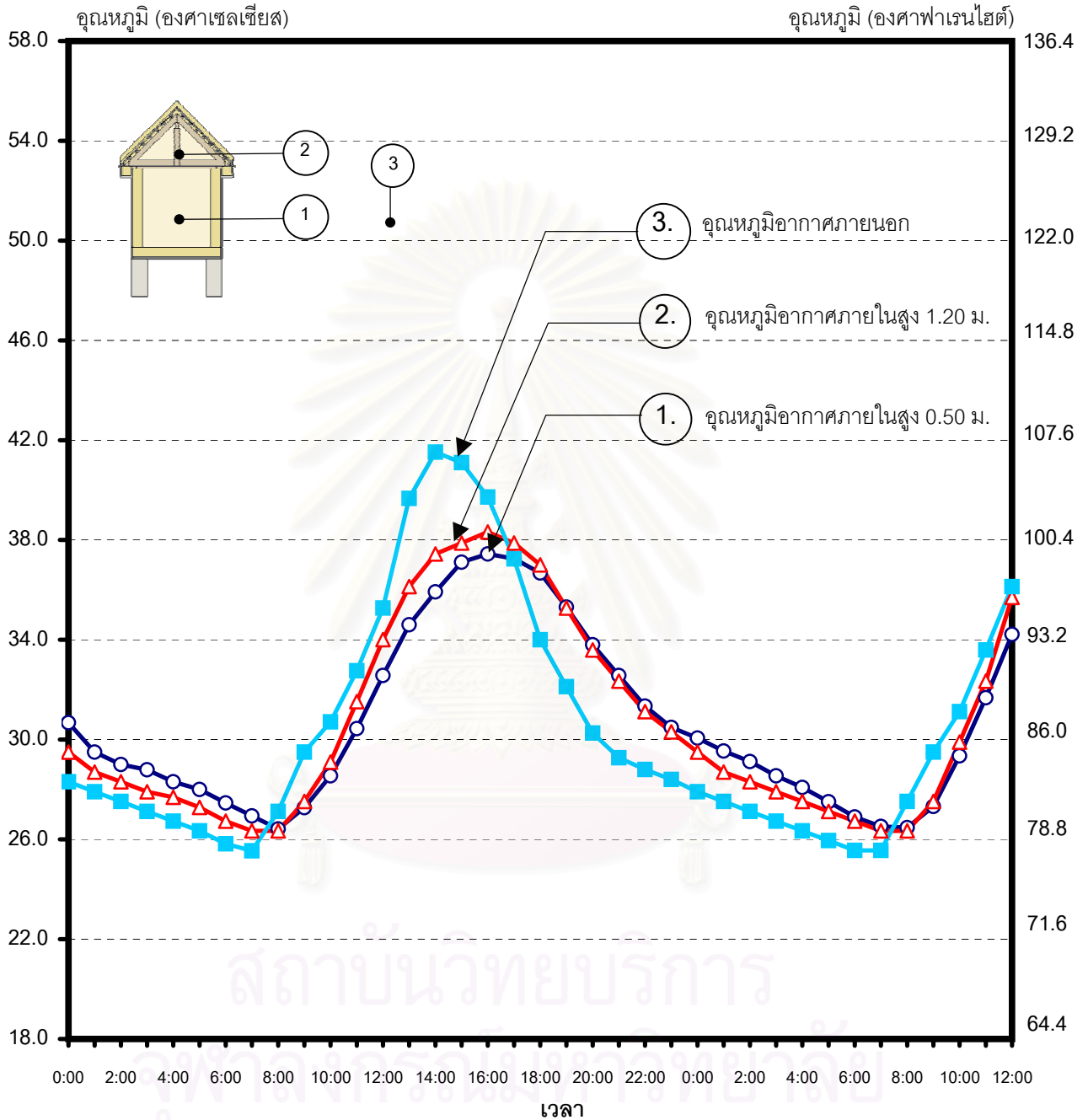
ปริมาณเมฆบนท้องฟ้า

30%	10%	30%	10%
3 เมษายน 2546		4 เมษายน 2546	

○ อุณหภูมิอากาศภายในสูง 0.50 ม.
 △ อุณหภูมิอากาศภายในสูง 1.20 ม.
 ■ อุณหภูมิอากาศภายนอก

แผนภูมิ 4-53 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิตำแหน่งความสูงต่างกัน
ภายในหุ่นจำลองที่มีมุมเอียงหลังคา 45 องศา

เก็บข้อมูลตั้งแต่เวลา 00.00 น. ของวันที่ 3 เมษายน 2546 ถึงเวลา 12.00 น. ของวันที่ 4 เมษายน 2546



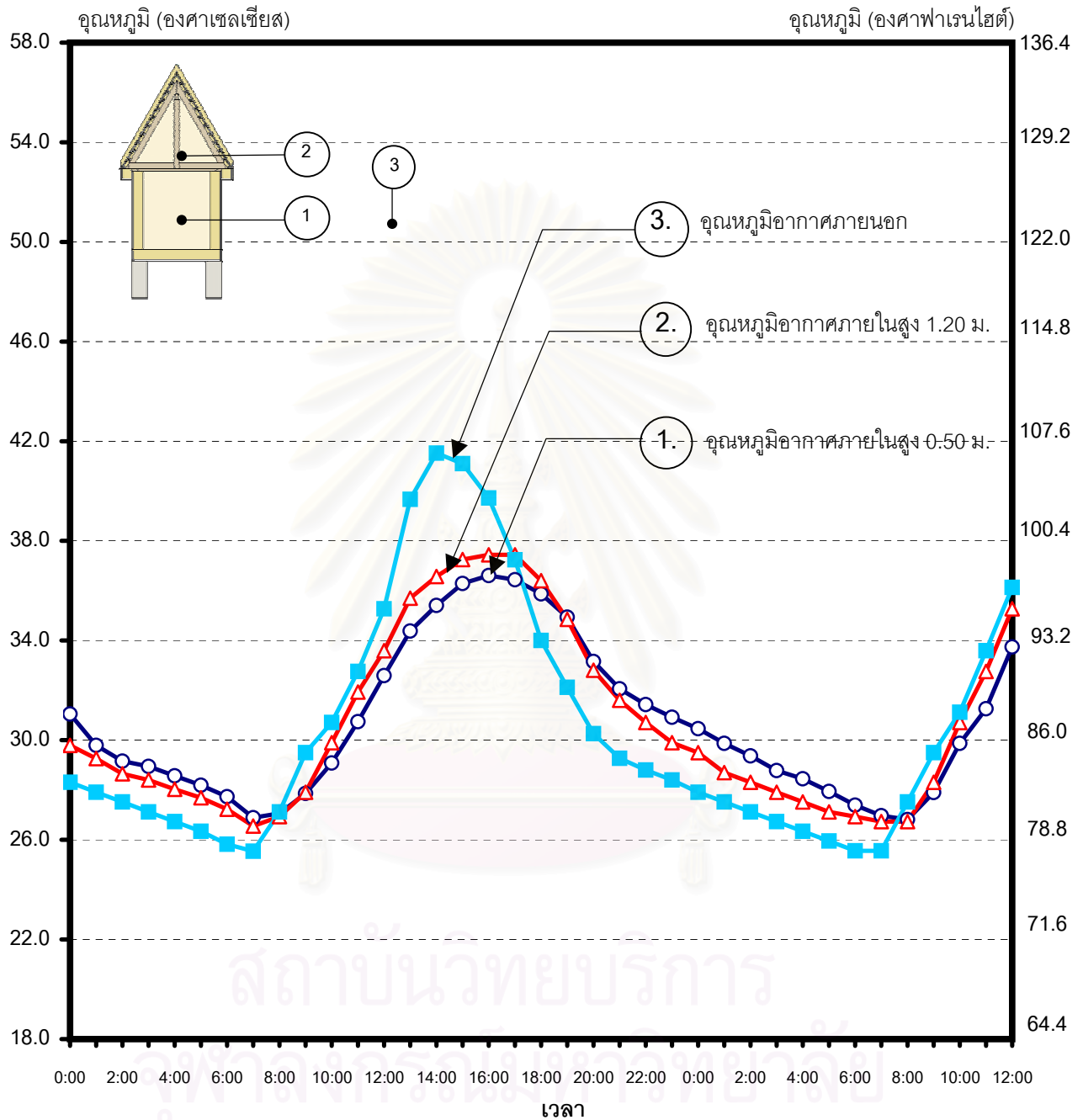
ปริมาณเมฆบนท้องฟ้า

30%	10%	30%	10%
3 เมษายน 2546		4 เมษายน 2546	

○ อุณหภูมิอากาศภายในสูง 0.50 ม. △ อุณหภูมิอากาศภายในสูง 1.20 ม. ■ อุณหภูมิอากาศภายนอก

แผนภูมิ 4-54 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิตำแหน่งความสูงต่างกัน
ภายในหุ่นจำลองที่มีมุมเอียงหลังคา 60 องศา

เก็บข้อมูลตั้งแต่เวลา 00.00 น. ของวันที่ 3 เมษายน 2546 ถึงเวลา 12.00 น. ของวันที่ 4 เมษายน 2546



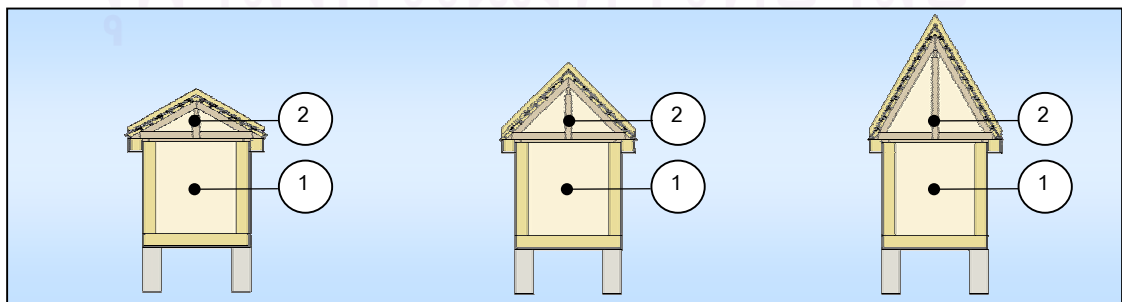
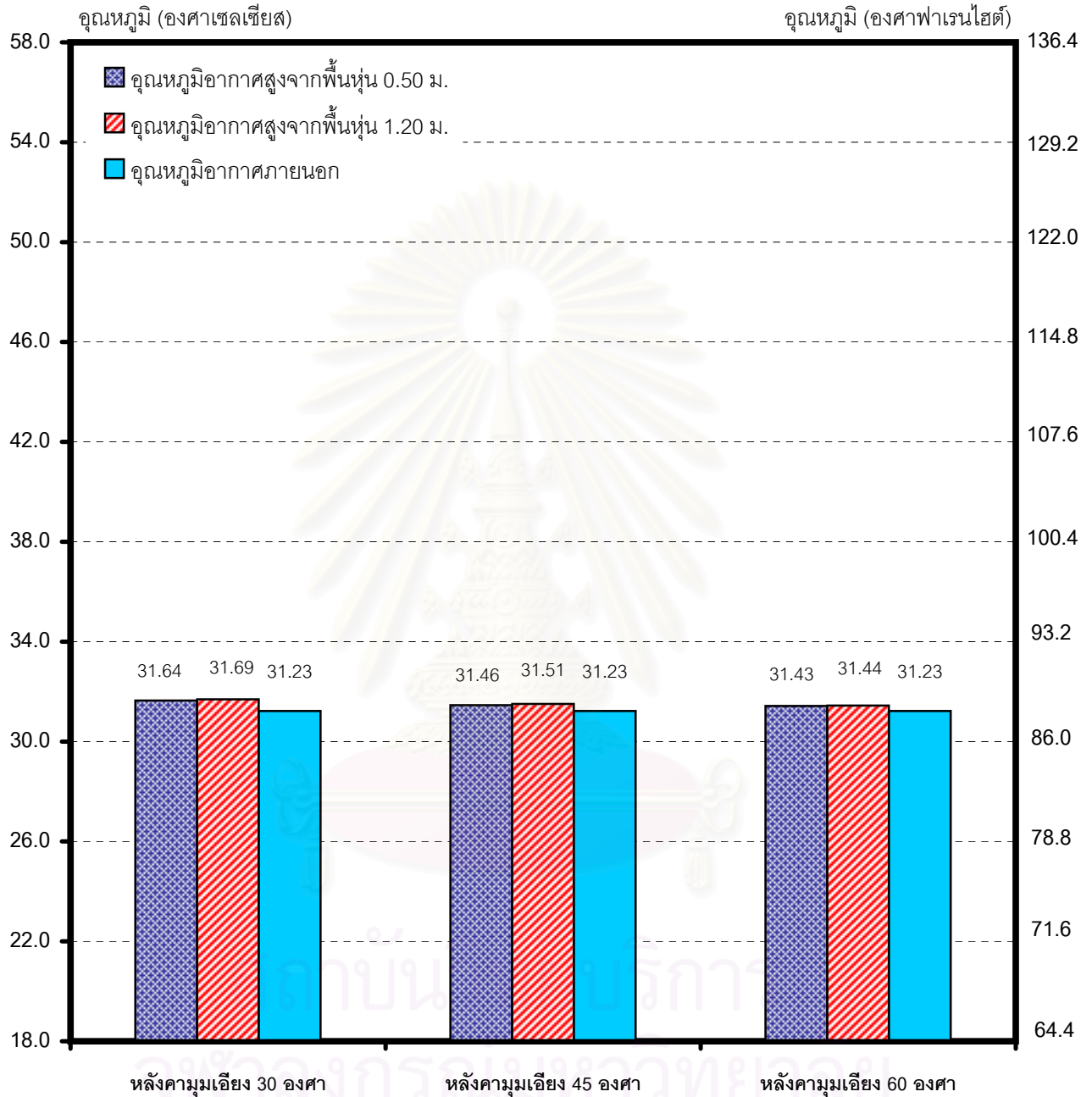
ปริมาณเมฆบนท้องฟ้า

30%	10%	30%	10%
3 เมษายน 2546		4 เมษายน 2546	

○ อุณหภูมิอากาศภายในสูง 0.50 ม.
 △ อุณหภูมิอากาศภายในสูง 1.20 ม.
 ■ อุณหภูมิอากาศภายนอก

แผนภูมิ 4-55 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ย ช่วง 24 ชั่วโมง
ของหุ่นจำลองที่มีมุมเอียงหลังคาแตกต่างกัน

เก็บข้อมูลตั้งแต่เวลา 00.00 น. ของวันที่ 3 เมษายน 2546 ถึงเวลา 00.00 น. ของวันที่ 4 เมษายน 2546



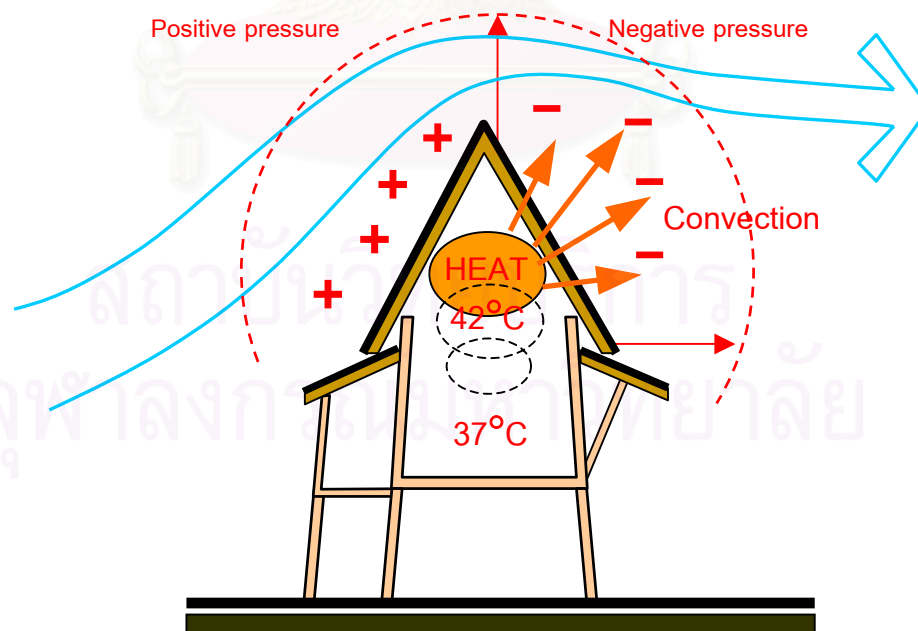
การวิเคราะห์ผลการทดสอบอิทธิพลการลอยตัวของอากาศร้อนในหุ่นจำลอง

ผลจากการทดสอบพบว่าหุ่นจำลองที่มีมุมเอียงหลังคาต่างกัน การลอยตัว และการแบ่งชั้นของอากาศร้อนภายในหุ่นจำลองมีความแตกต่างกัน เมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศโดยเฉลี่ยภายในหุ่นจำลองที่มีมุมเอียงต่างกัน ณ ตำแหน่งสูงจากพื้นหุ่นจำลอง 1.20 ม.พบว่าหุ่นจำลองที่มีมุมเอียง 60 องศาจะมีอุณหภูมิอากาศภายในต่ำที่สุด โดยต่ำกว่าหุ่นจำลองที่มีมุมเอียง 30 องศา และ 45 องศา ประมาณ 0.25 และ 0.06 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ซึ่งยังคงสูงกว่าอุณหภูมิเฉลี่ยอากาศภายนอกอยู่ 0.21 องศาเซลเซียส

จากการทดสอบสรุปได้ว่าเมื่ออากาศภายในหุ่นจำลองมีอุณหภูมิสูงขึ้น อากาศร้อนนั้นจะลอยตัวขึ้น และระบายออกผ่านทางวัสดุผนังหลังคา หุ่นจำลองที่มีมุมเอียง 60 องศา จะมีปริมาตรภายในมากที่สุดทำให้อากาศร้อนสามารถลอยตัวขึ้นได้มากกว่า ส่วนหุ่นจำลองที่มีมุมเอียง 30 และ 45 องศา ความร้อนจะสะสมอยู่ภายในหุ่นจำลองมากกว่า

ส่วนในช่วงเวลากลางคืนจะมีพฤติกรรมตรงข้ามกับช่วงกลางวันโดยหุ่นจำลองที่มีมุมเอียง 30 องศา จะมีอุณหภูมิอากาศภายใน ณ ตำแหน่งสูงจากพื้นหุ่นจำลอง 1.20 ม.ต่ำที่สุด ประมาณ 27.12 องศาเซลเซียส ซึ่งต่ำกว่าหุ่นจำลองที่มีมุมเอียง 45 และ 60 องศา อยู่ประมาณ 0.16 องศาเซลเซียส และ 0.57 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เนื่องจาก หุ่นจำลองที่มีมุมเอียงหลังคาต่ำจะสามารถคายรังสีกลับสู่ท้องฟ้าได้มากกว่า ส่งผลให้มีอุณหภูมิผิวหลังคาต่ำกว่า อุณหภูมิอากาศใต้หลังคาจึงต่ำกว่าด้วย

เมื่อเปรียบเทียบในหุ่นจำลองแต่ละตัวในช่วงเวลากลางคืน อุณหภูมิอากาศโดยเฉลี่ย ณ ตำแหน่งสูงจากพื้นหุ่นจำลอง 1.20 ม.จะสูงกว่า ที่ตำแหน่ง 0.50 ม.เนื่องจากอิทธิพลของการลอยตัว และการแบ่งชั้นความร้อนภายในหุ่นจำลอง ส่วนในช่วงเวลากลางคืน อุณหภูมิอากาศโดยเฉลี่ย ที่ตำแหน่ง 1.20 ม.จะต่ำกว่า ที่ตำแหน่ง 0.50 ม.เนื่องจากสามารถแลกเปลี่ยนความร้อนกับพื้นผิวหลังคาที่เย็นได้ดีกว่าเช่นกัน



รูป 4-4 แสดงพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านวัสดุผนังหลังคาเรือนไทย เนื่องจากความแตกต่างของความกดอากาศ
รูปประกอบโดย รัชฎ์ สุमानนท์

4.2.5 การทดสอบอิทธิพลของการแผ่รังสีความร้อนจากพื้นผิวหลังคา และอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ (Test of mean radiant temperature)

วัตถุประสงค์ มีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะศึกษาอิทธิพลการแผ่รังสีความร้อนจากพื้นผิวหลังคา และอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ ภายในห้องจำลองที่มีมุมเอียงหลังคาต่างๆ กัน

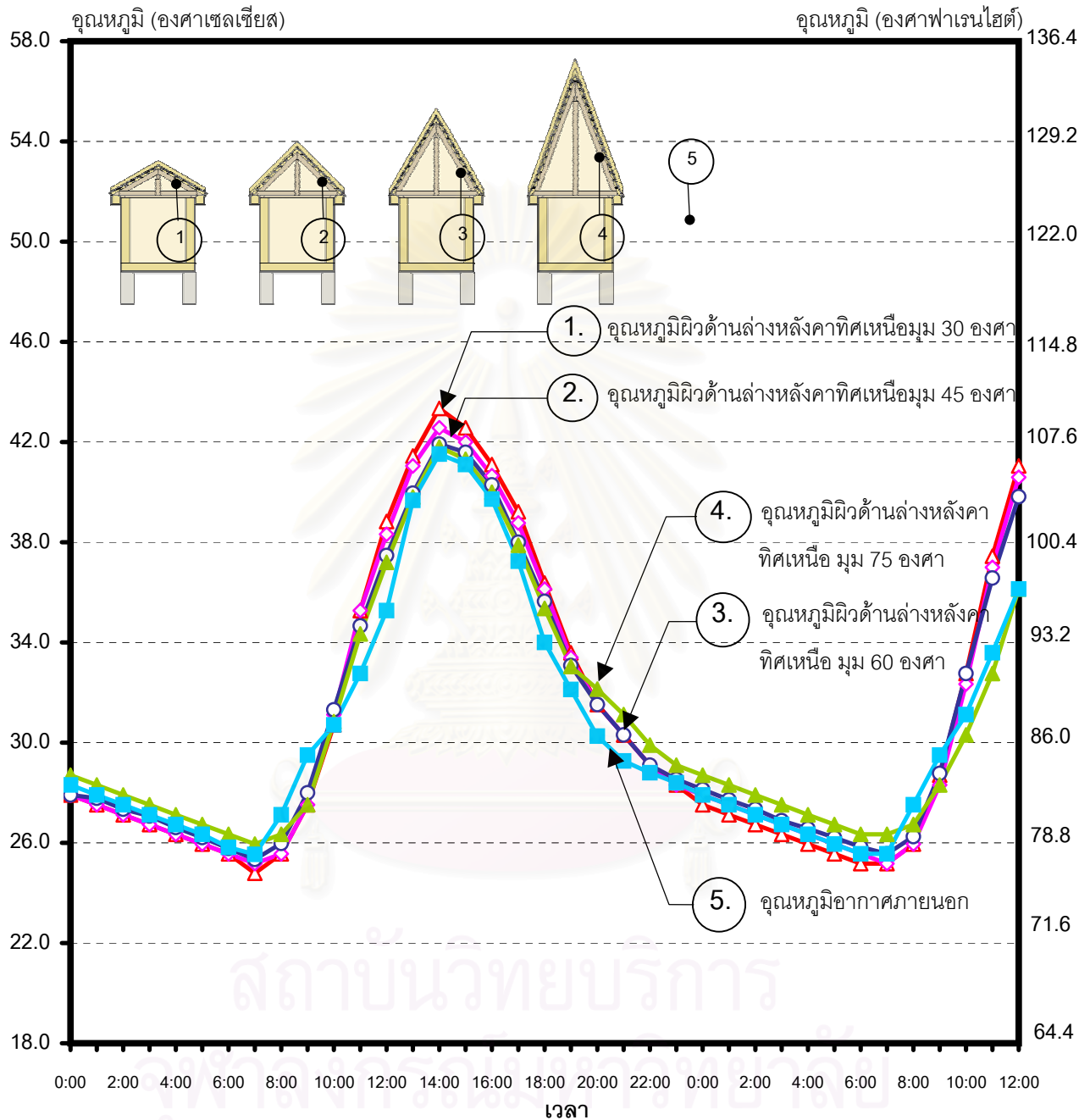
ผลการทดสอบ

เปรียบเทียบอุณหภูมิพื้นผิวหลังคา อุณหภูมิอากาศภายใน และอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบภายในห้องจำลอง ที่มีมุมเอียงหลังคาต่างกัน ใช้วัสดุผนังหลังคาเป็นกระเบื้องดินเผาเหมือนกัน แสดงผลการทดสอบได้ดังนี้

- เปรียบเทียบอุณหภูมิพื้นผิวด้านล่างวัสดุผนังหลังคาทางทิศเหนือ ของหลังคาที่มีมุมเอียงต่างกัน ดังแผนภูมิ 4-56
- เปรียบเทียบอุณหภูมิพื้นผิวด้านล่างวัสดุผนังหลังคาทางทิศใต้ ของหลังคาที่มีมุมเอียงต่างกัน ดังแผนภูมิ 4-57
- เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในห้องจำลองที่หลังคามุมเอียงต่างกัน ดังแผนภูมิ 4-58
- เปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบภายในห้องจำลองที่หลังคามุมเอียงต่างกัน ดังแผนภูมิ 4-59
- เปรียบเทียบอุณหภูมิตำแหน่งต่างๆภายในห้องจำลองที่มีมุมเอียงหลังคา 30 องศา ดังแผนภูมิ 4-60
- เปรียบเทียบอุณหภูมิตำแหน่งต่างๆภายในห้องจำลองที่มีมุมเอียงหลังคา 45 องศา ดังแผนภูมิ 4-61
- เปรียบเทียบอุณหภูมิตำแหน่งต่างๆภายในห้องจำลองที่มีมุมเอียงหลังคา 60 องศา ดังแผนภูมิ 4-62
- เปรียบเทียบอุณหภูมิตำแหน่งต่างๆภายในห้องจำลองที่มีมุมเอียงหลังคา 75 องศา ดังแผนภูมิ 4-63
- เปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ เฉลี่ย/สูงสุด/ต่ำสุด ในช่วง 24 ชั่วโมงของห้องจำลองที่มีมุมเอียงหลังคาแตกต่างกัน ดังแผนภูมิ 4-64
- เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายใน เฉลี่ย/สูงสุด/ต่ำสุด ในช่วง 24 ชั่วโมงของห้องจำลองที่มีมุมเอียงหลังคาแตกต่างกัน ดังแผนภูมิ 4-65
- เปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ แต่ละช่วงเวลา ในช่วง 24 ชั่วโมงของห้องจำลองที่มีมุมเอียงหลังคาแตกต่างกัน ดังแผนภูมิ 4-66

แผนภูมิ 4-56 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวด้านล่างวัสดุผนังหลังคาทางทิศเหนือ ของหลังคาที่มีมุมเอียงต่างกัน

เก็บข้อมูลตั้งแต่เวลา 00.00 น. ของวันที่ 3 เมษายน 2546 ถึงเวลา 12.00 น. ของวันที่ 4 เมษายน 2546



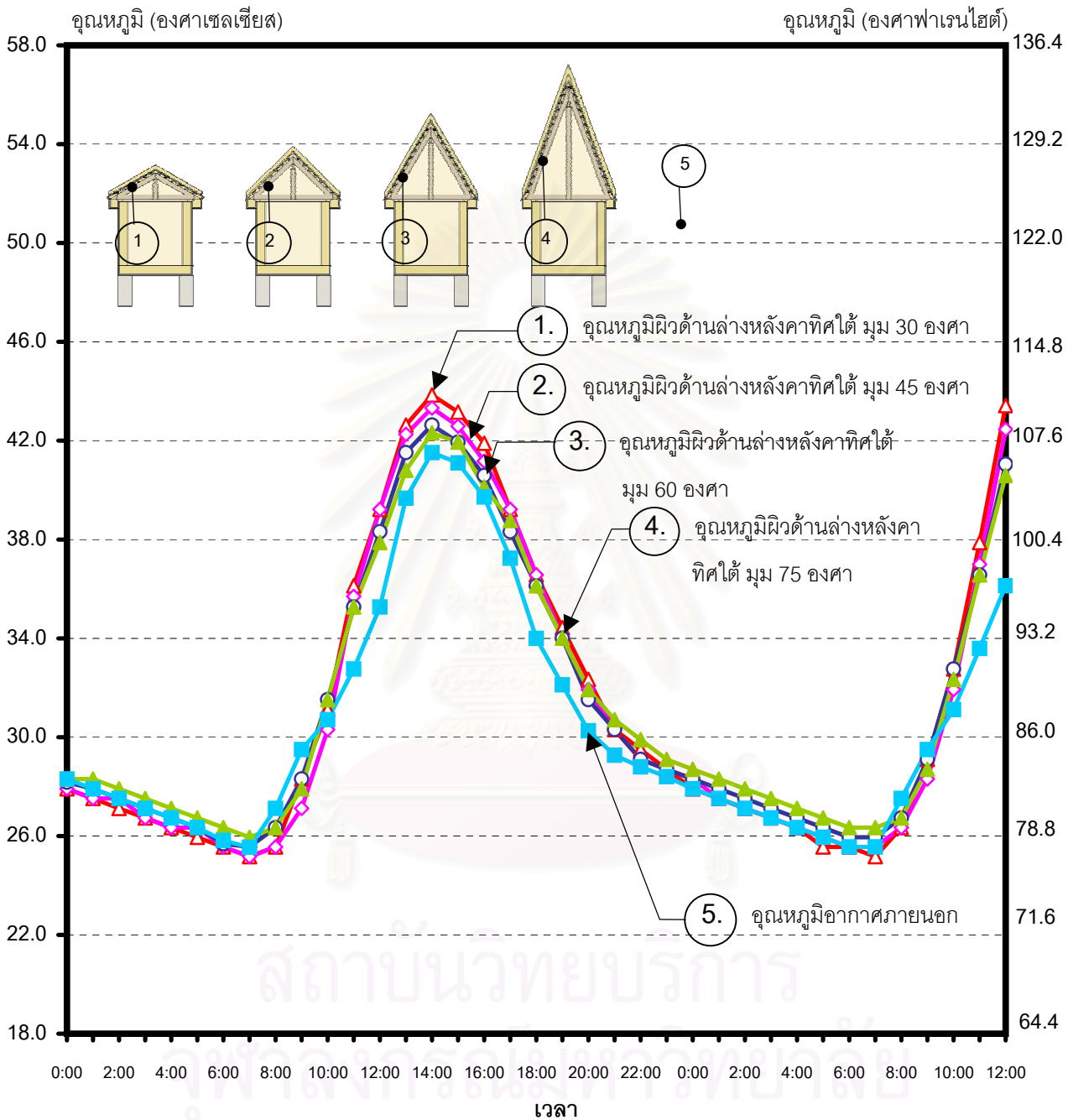
ปริมาณเมฆบนท้องฟ้า

30%	10%	30%	10%
3 เมษายน 2546		4 เมษายน 2546	

- ▲ อุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาทิศเหนือมุม 30 องศา
- ◆ อุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาทิศเหนือมุม 45 องศา
- อุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาทิศเหนือมุม 60 องศา
- ▲ อุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาทิศเหนือมุม 75 องศา
- อุณหภูมิอากาศภายนอก

แผนภูมิ 4-57 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวด้านล่างวัสดุผนังหลังคาทางทิศใต้ ของหลังคาที่มีมุมเอียงต่างกัน

เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 3 เมษายน 2546 ถึงเวลา 12.00 น. ของวันที่ 4 เมษายน 2546



ปริมาณเมฆบนท้องฟ้า

30%	10%	30%	10%
3 เมษายน 2546		4 เมษายน 2546	

—▲— อุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาทิศใต้มุม 30 องศา

—◇— อุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาทิศใต้มุม 45 องศา

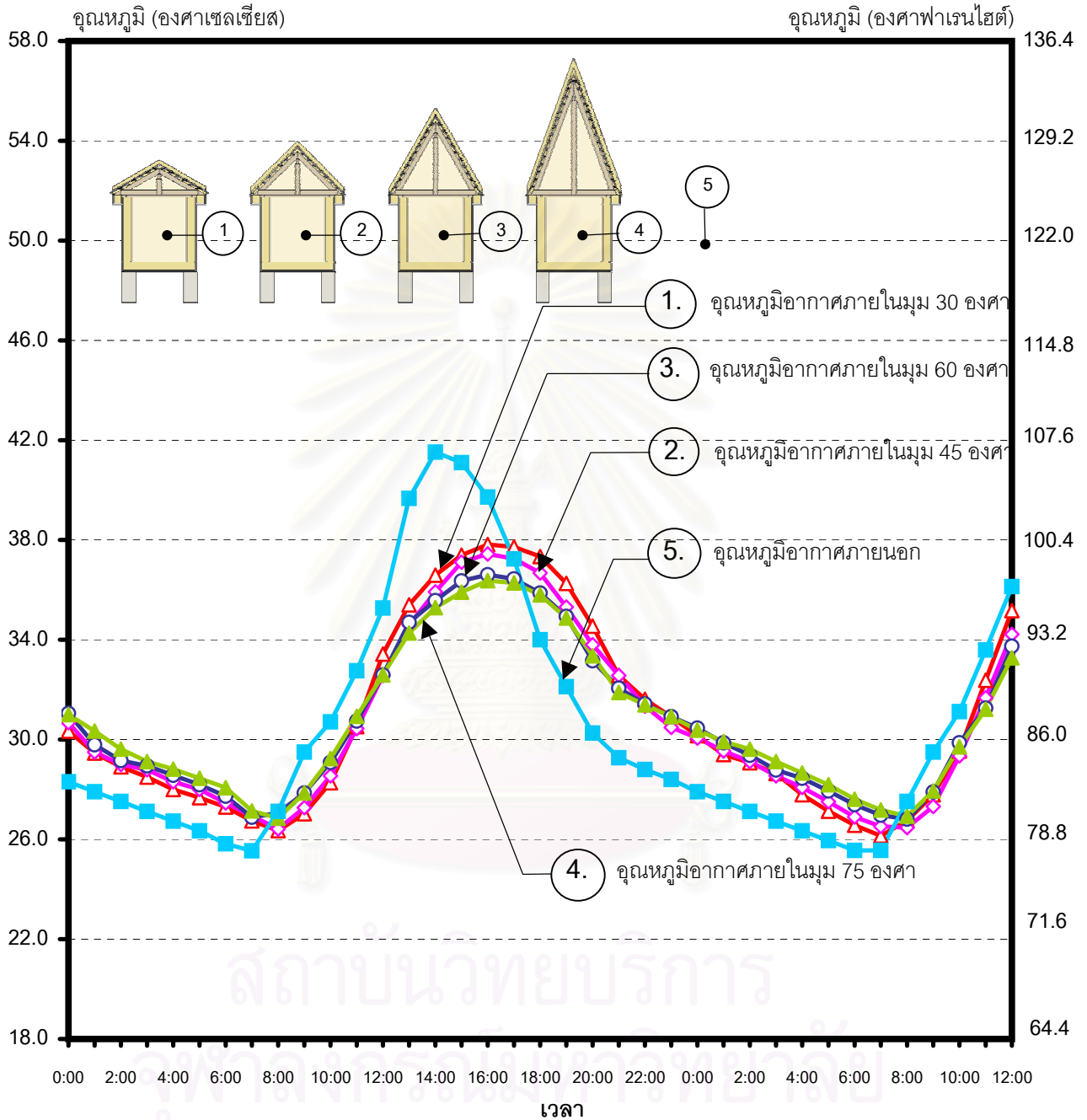
—○— อุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาทิศใต้มุม 60 องศา

—▲— อุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาทิศใต้มุม 75 องศา

—■— อุณหภูมิอากาศภายนอก

แผนภูมิ 4-58 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในหุ่นจำลองที่หลังคามีมุมเอียงต่างกัน

เก็บข้อมูลตั้งแต่เวลา 00.00 น. ของวันที่ 3 เมษายน 2546 ถึงเวลา 12.00 น. ของวันที่ 4 เมษายน 2546



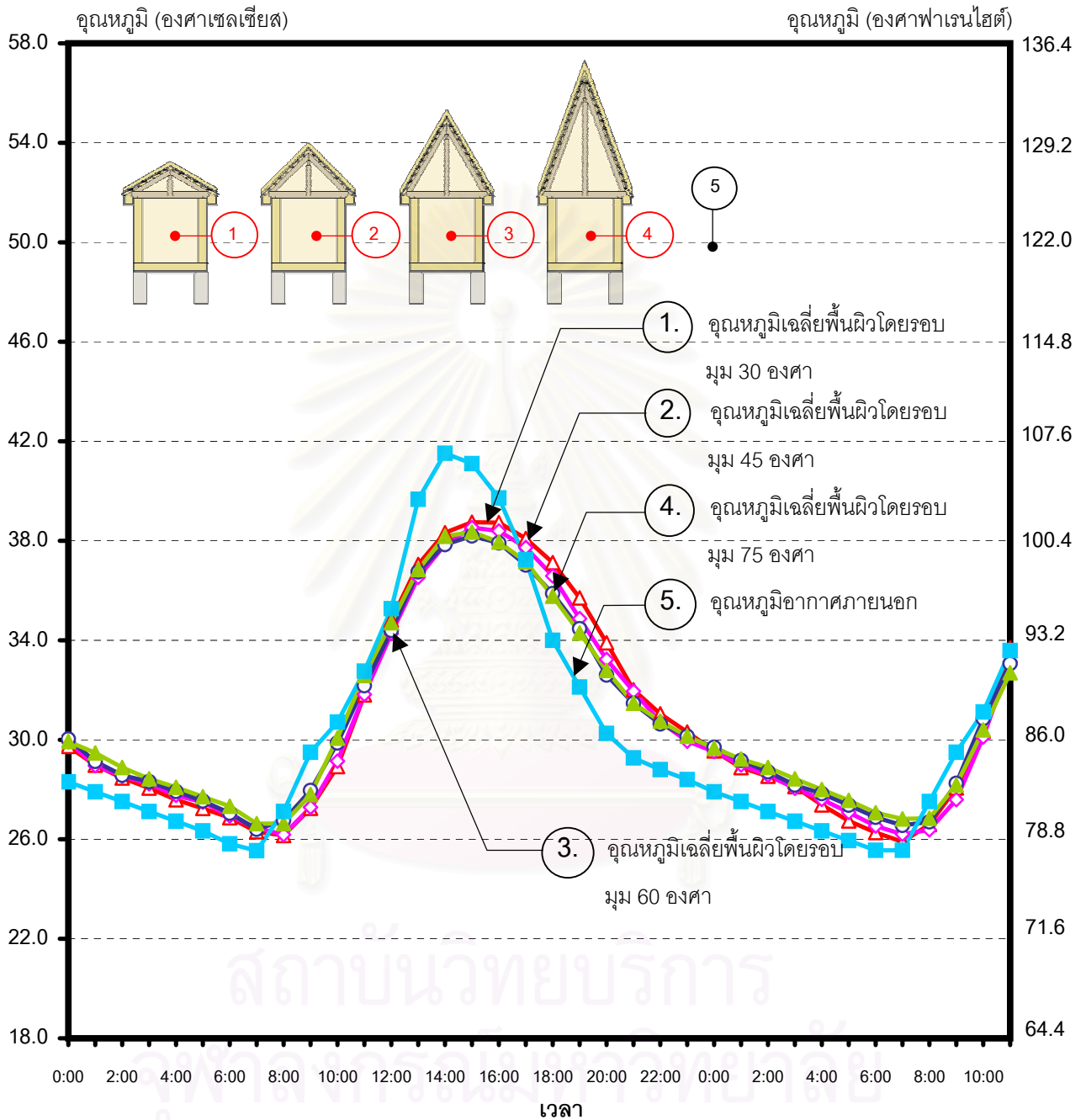
ปริมาณเมฆบนท้องฟ้า

30%	10%	30%	10%
3 เมษายน 2546		4 เมษายน 2546	

- ▲ อุณหภูมิอากาศภายในหุ่นจำลองหลังคามุม 30 องศา
- อุณหภูมิอากาศภายในหุ่นจำลองหลังคามุม 45 องศา
- อุณหภูมิอากาศภายในหุ่นจำลองหลังคามุม 60 องศา
- อุณหภูมิอากาศภายในหุ่นจำลองหลังคามุม 75 องศา
- อุณหภูมิอากาศภายนอก

แผนภูมิ 4-59 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบภายในหุ่นจำลองที่หลังคามีมุมเอียงต่างกัน

เก็บข้อมูลตั้งแต่เวลา 00.00 น. ของวันที่ 3 เมษายน 2546 ถึงเวลา 12.00 น. ของวันที่ 4 เมษายน 2546



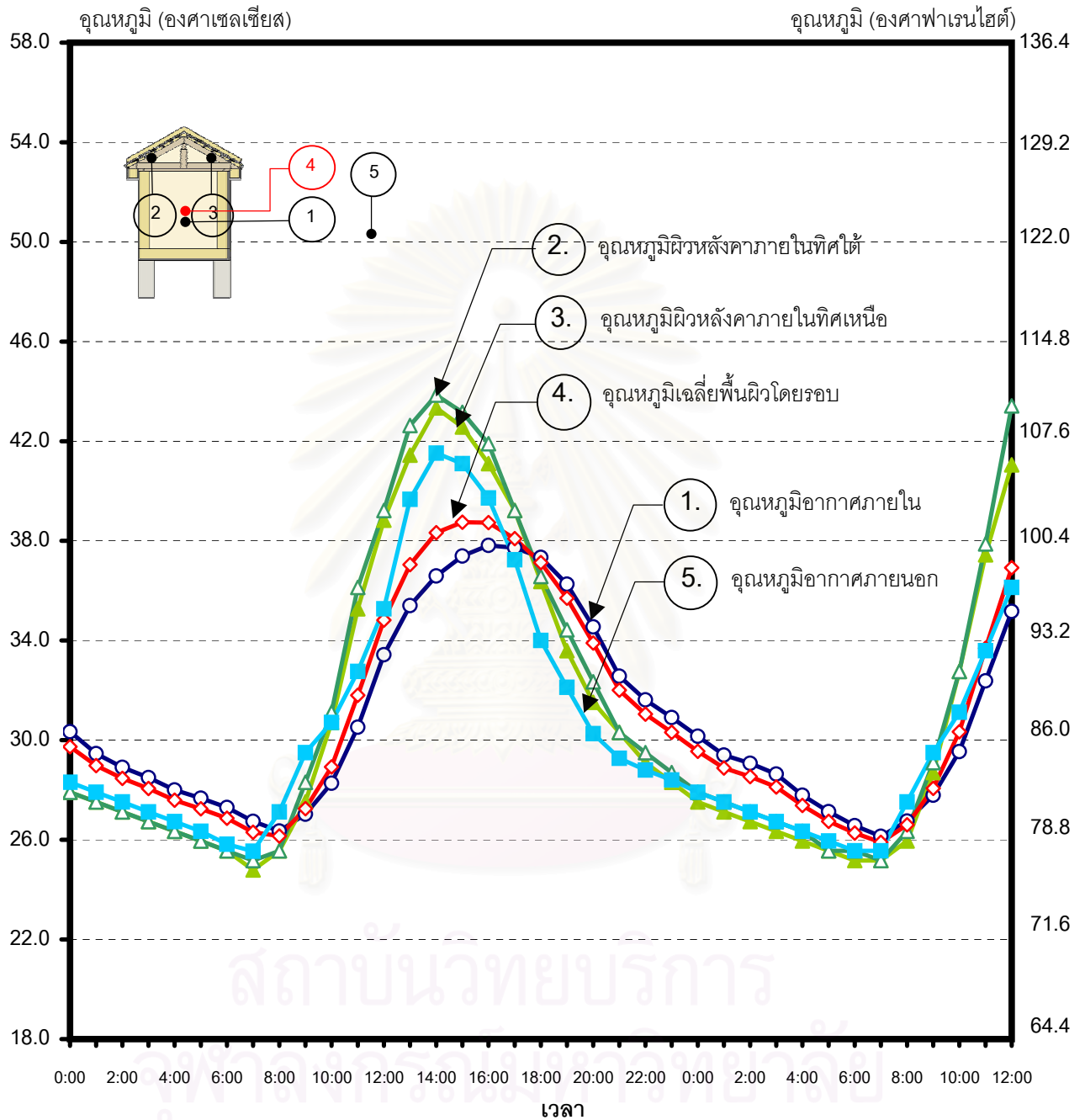
ปริมาณเมฆบนท้องฟ้า

30%	10%	30%	10%
3 เมษายน 2546		4 เมษายน 2546	

- △— อุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบภายในหุ่นจำลองหลังคามุม 30 องศา
- ◇— อุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบภายในหุ่นจำลองหลังคามุม 45 องศา
- อุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบภายในหุ่นจำลองหลังคามุม 60 องศา
- ▲— อุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบภายในหุ่นจำลองหลังคามุม 75 องศา
- อุณหภูมิอากาศภายนอก

แผนภูมิ 4-60 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิตำแหน่งต่างๆภายในหุ่นจำลองที่มีมุมเอียงหลังคา 30 องศา

เก็บข้อมูลตั้งแต่เวลา 00.00 น. ของวันที่ 3 เมษายน 2546 ถึงเวลา 12.00 น. ของวันที่ 4 เมษายน 2546



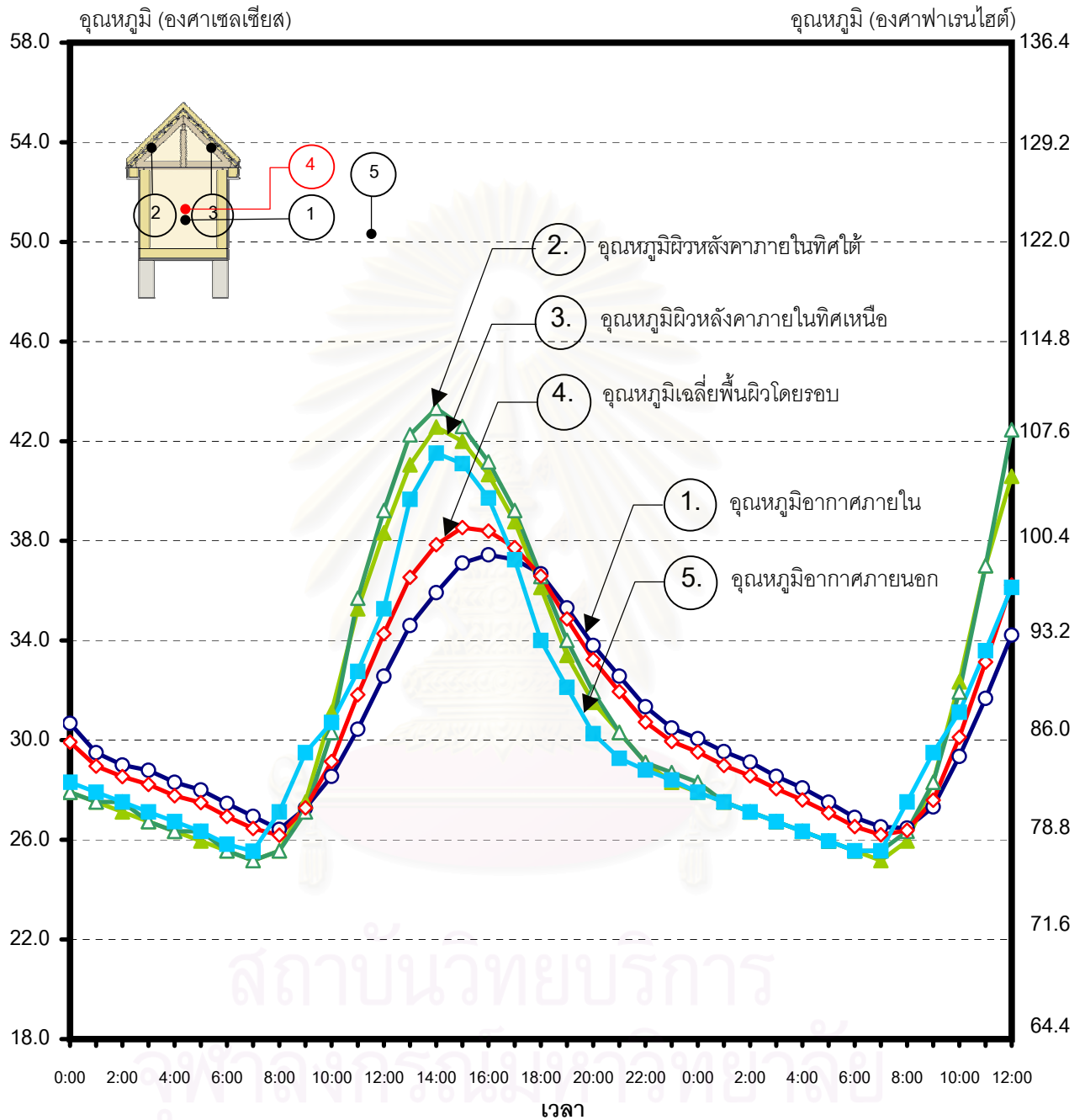
ปริมาณเมฆบนท้องฟ้า

30%	10%	30%	10%
3 เมษายน 2546		4 เมษายน 2546	

- อุณหภูมิอากาศภายใน
- ▲ อุณหภูมิผิวหลังคาภายในทิศเหนือ
- ▲ อุณหภูมิผิวหลังคาภายในทิศใต้
- ◆ อุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ
- อุณหภูมิอากาศภายนอก

แผนภูมิ 4-61 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิตำแหน่งต่างๆภายในหุ่นจำลองที่มีมุมเอียงหลังคา 45 องศา

เก็บข้อมูลตั้งแต่เวลา 00.00 น. ของวันที่ 3 เมษายน 2546 ถึงเวลา 12.00 น. ของวันที่ 4 เมษายน 2546



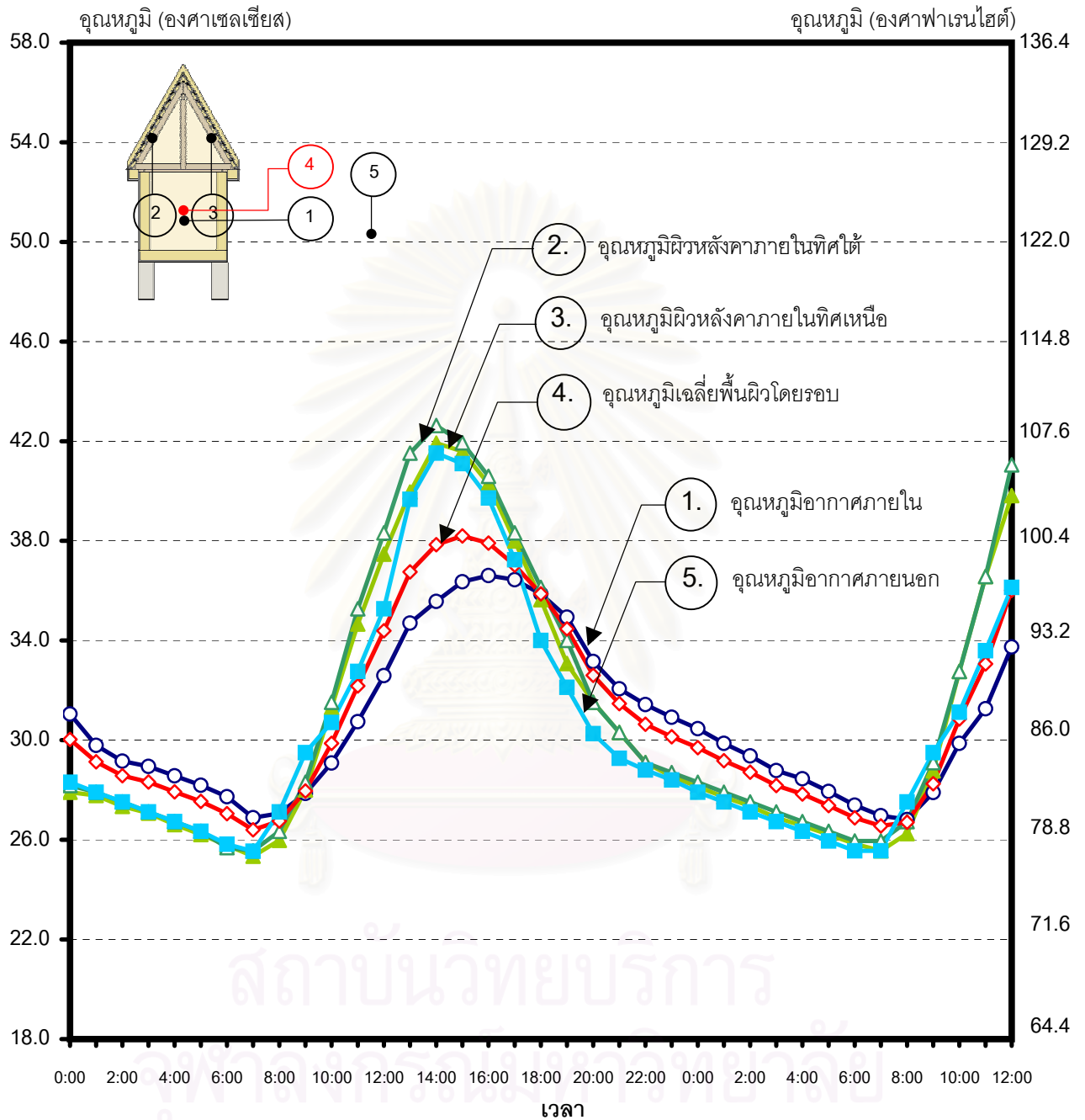
ปริมาณเมฆบนท้องฟ้า

30%	10%	30%	10%
3 เมษายน 2546		4 เมษายน 2546	

- อุณหภูมิอากาศภายใน
- ▲— อุณหภูมิผิวหลังคาภายในทิศเหนือ
- ▲— อุณหภูมิผิวหลังคาภายในทิศใต้
- ◆— อุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ
- อุณหภูมิอากาศภายนอก

แผนภูมิ 4-62 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิตำแหน่งต่างๆภายในหุ่นจำลองที่มีมุมเอียงหลังคา 60 องศา

เก็บข้อมูลตั้งแต่เวลา 00.00 น. ของวันที่ 3 เมษายน 2546 ถึงเวลา 12.00 น. ของวันที่ 4 เมษายน 2546



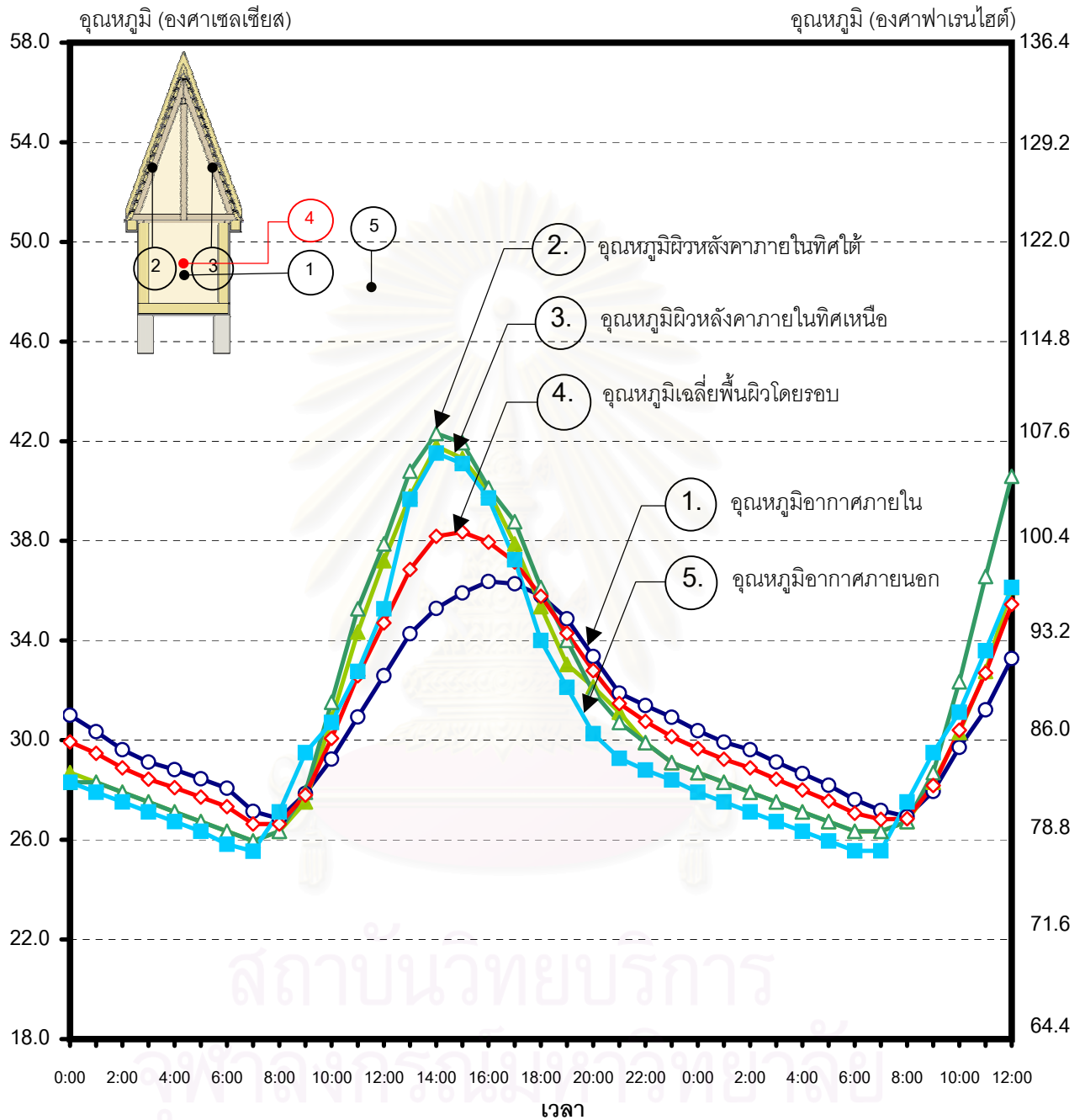
ปริมาณเมฆบนท้องฟ้า

30%	10%	30%	10%
3 เมษายน 2546		4 เมษายน 2546	

- อุณหภูมิอากาศภายใน
- ▲ อุณหภูมิผิวหนังหลังคาภายในทิศเหนือ
- ▲ อุณหภูมิผิวหนังหลังคาภายในทิศใต้
- ◆ อุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ
- อุณหภูมิอากาศภายนอก

แผนภูมิ 4-63 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิตำแหน่งต่างๆภายในหุ่นจำลองที่มีมุมเอียงหลังคา 75 องศา

เก็บข้อมูลตั้งแต่เวลา 00.00 น. ของวันที่ 3 เมษายน 2546 ถึงเวลา 12.00 น. ของวันที่ 4 เมษายน 2546



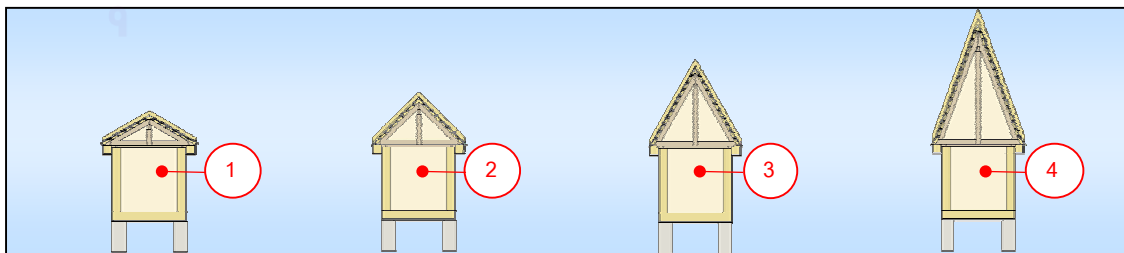
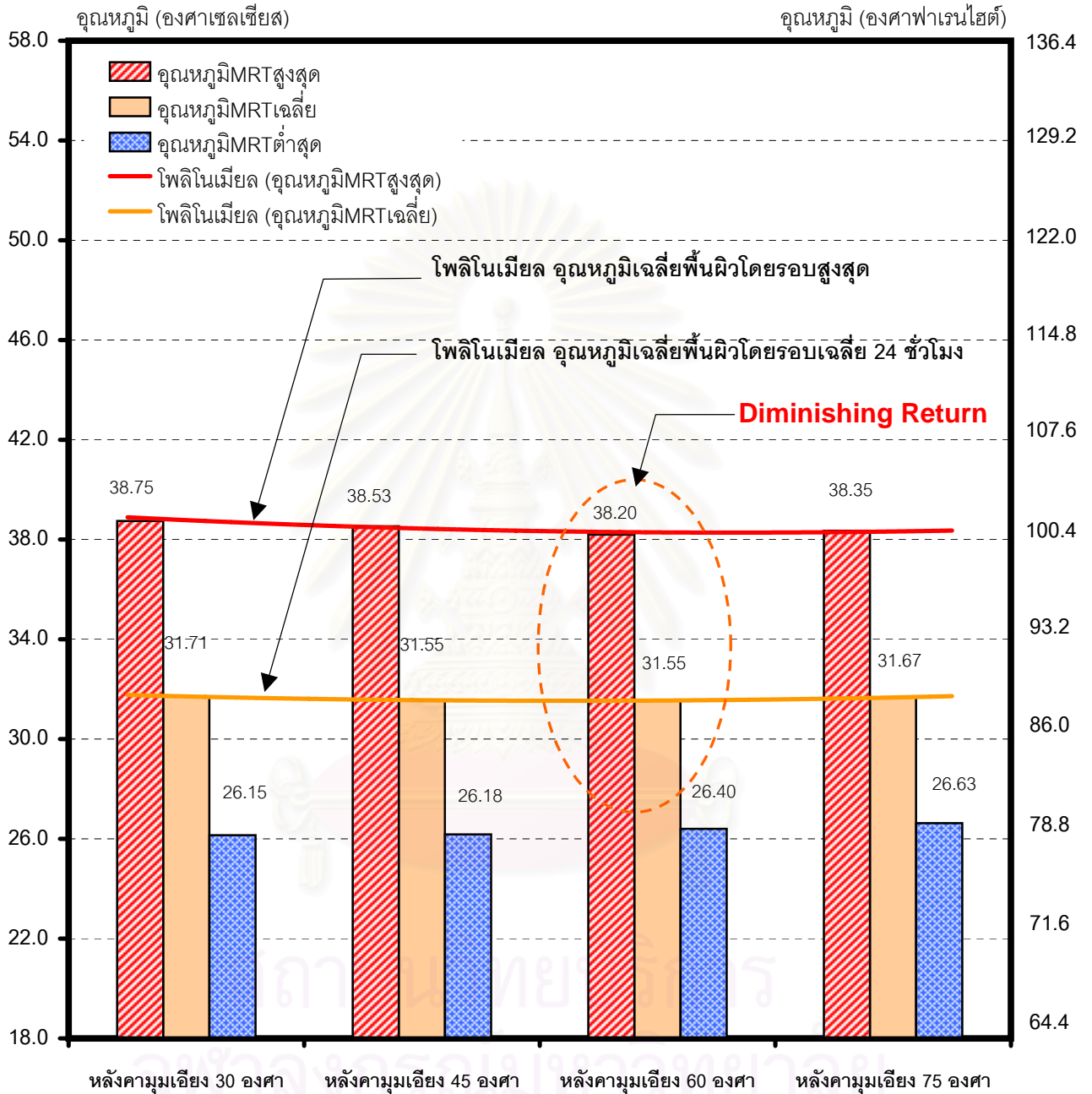
ปริมาณเมฆบนท้องฟ้า

30%	10%	30%	10%
3 เมษายน 2546		4 เมษายน 2546	

- อุณหภูมิอากาศภายใน
- ▲ อุณหภูมิผิวหลังคาภายในทิศเหนือ
- ▲ อุณหภูมิผิวหลังคาภายในทิศใต้
- ◆ อุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ
- อุณหภูมิอากาศภายนอก

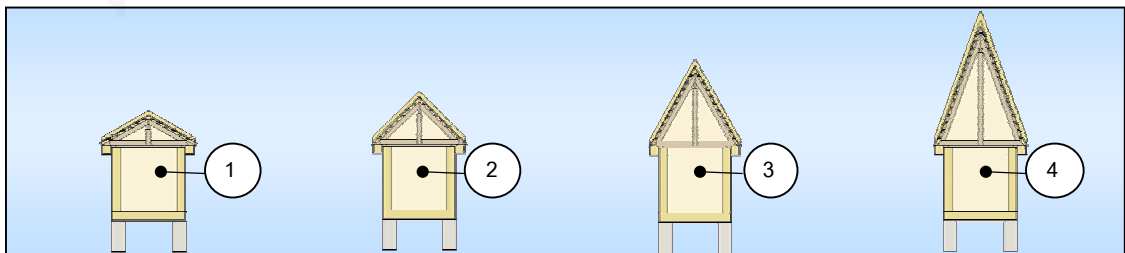
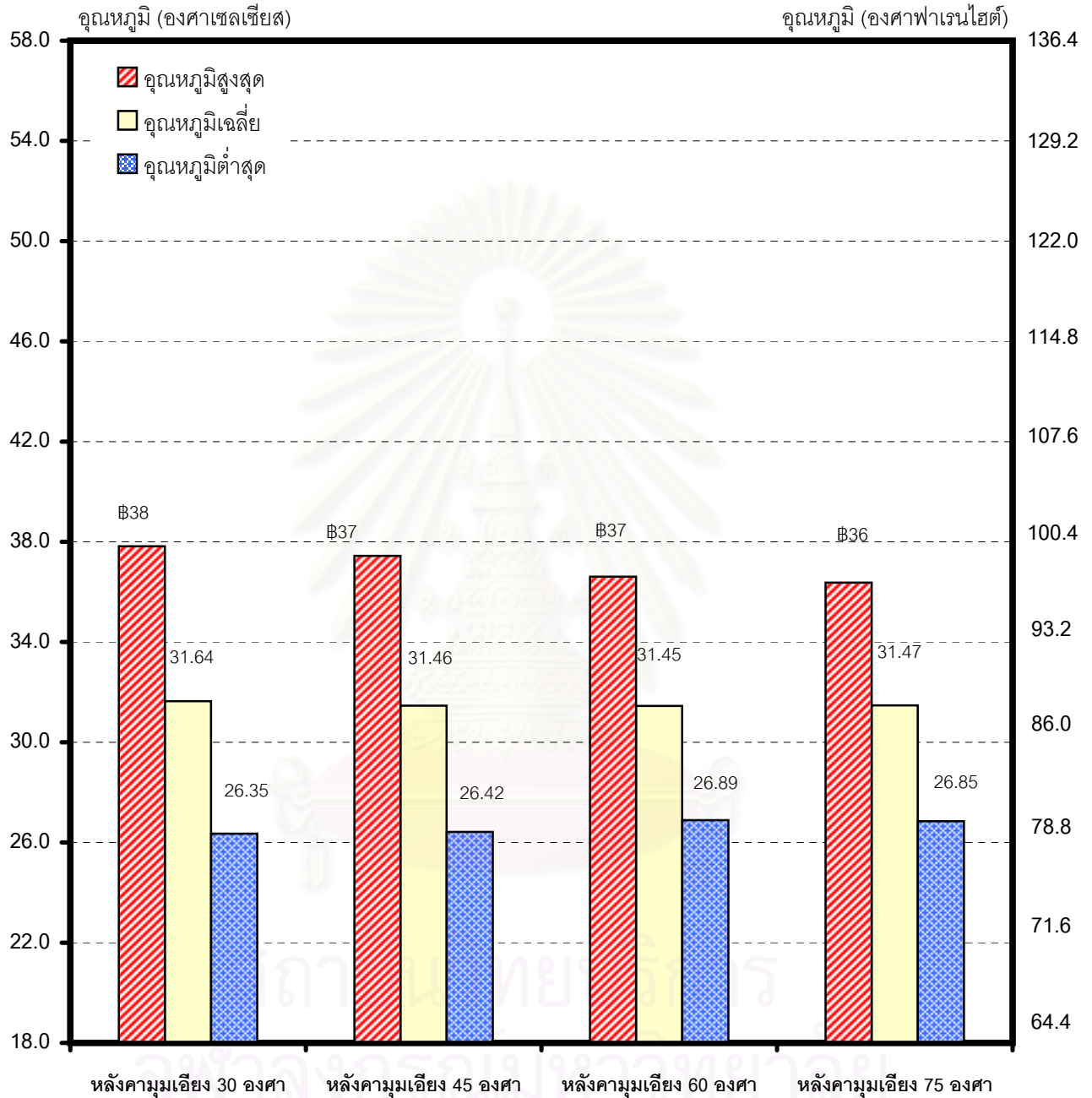
แผนภูมิ 4-64 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ เจลลี่/สูงสุด/ต่ำสุด ในช่วง 24 ชั่วโมง
ของหุ่นจำลองที่มีมุมเอียงหลังคาแตกต่างกัน

เก็บข้อมูลตั้งแต่เวลา 00.00 น. ของวันที่ 3 เมษายน 2546 ถึงเวลา 00.00 น. ของวันที่ 4 เมษายน 2546



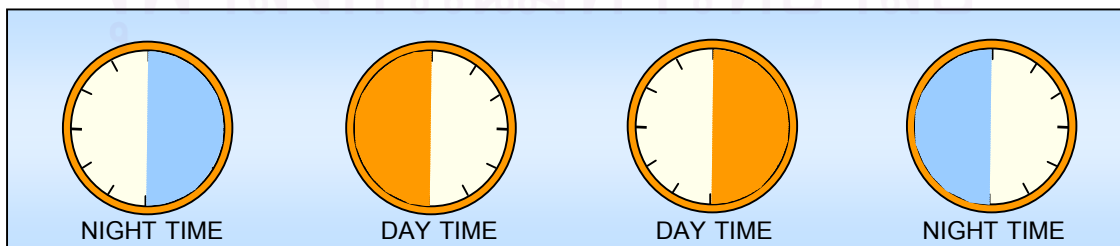
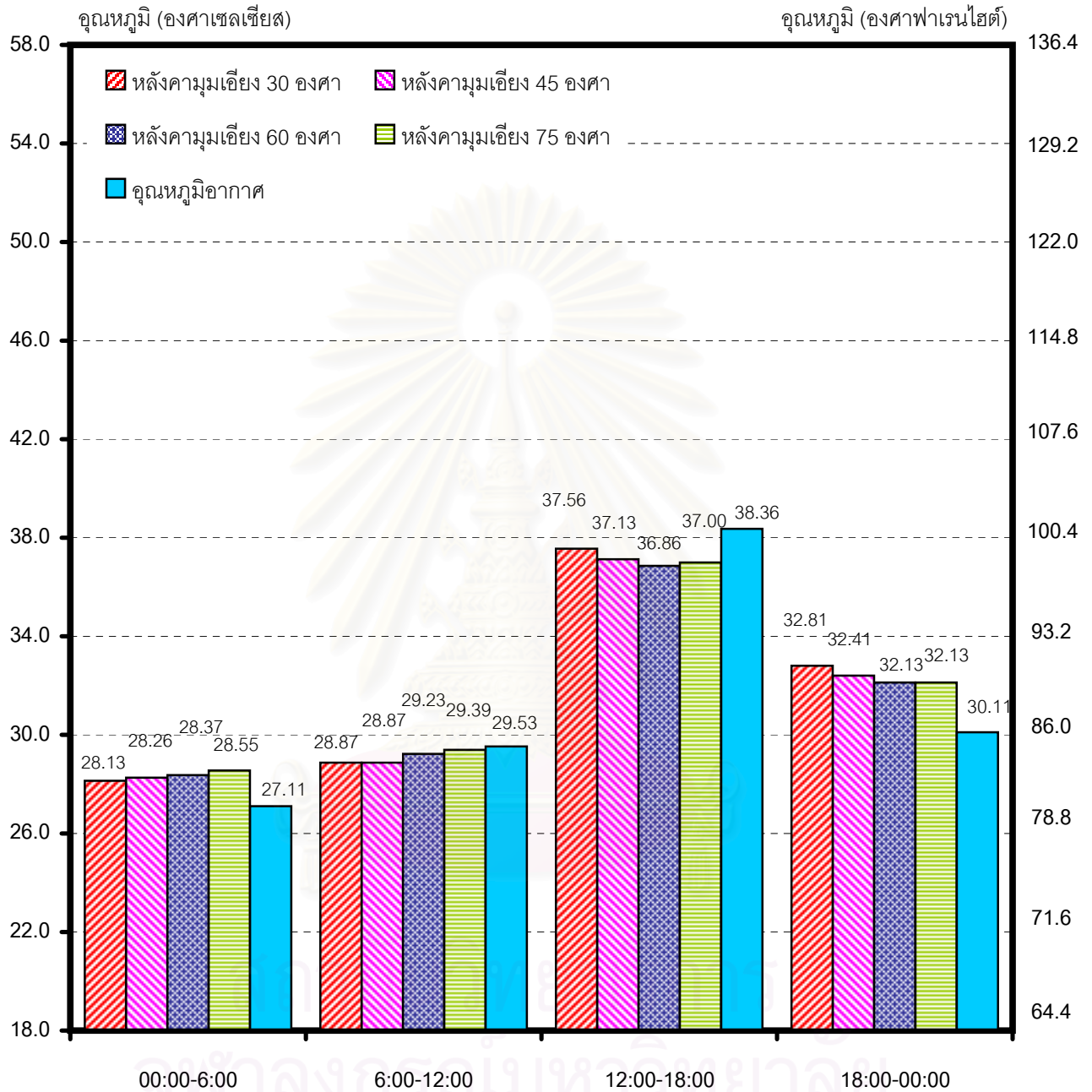
แผนภูมิ 4-65 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายใน เจลลี่/สูงสุด/ต่ำสุด ในช่วง 24 ชั่วโมง
ของหุ่นจำลองที่มีมุมเอียงหลังคาแตกต่างกัน

เก็บข้อมูลตั้งแต่เวลา 00.00 น. ของวันที่ 3 เมษายน 2546 ถึงเวลา 00.00 น. ของวันที่ 4 เมษายน 2546



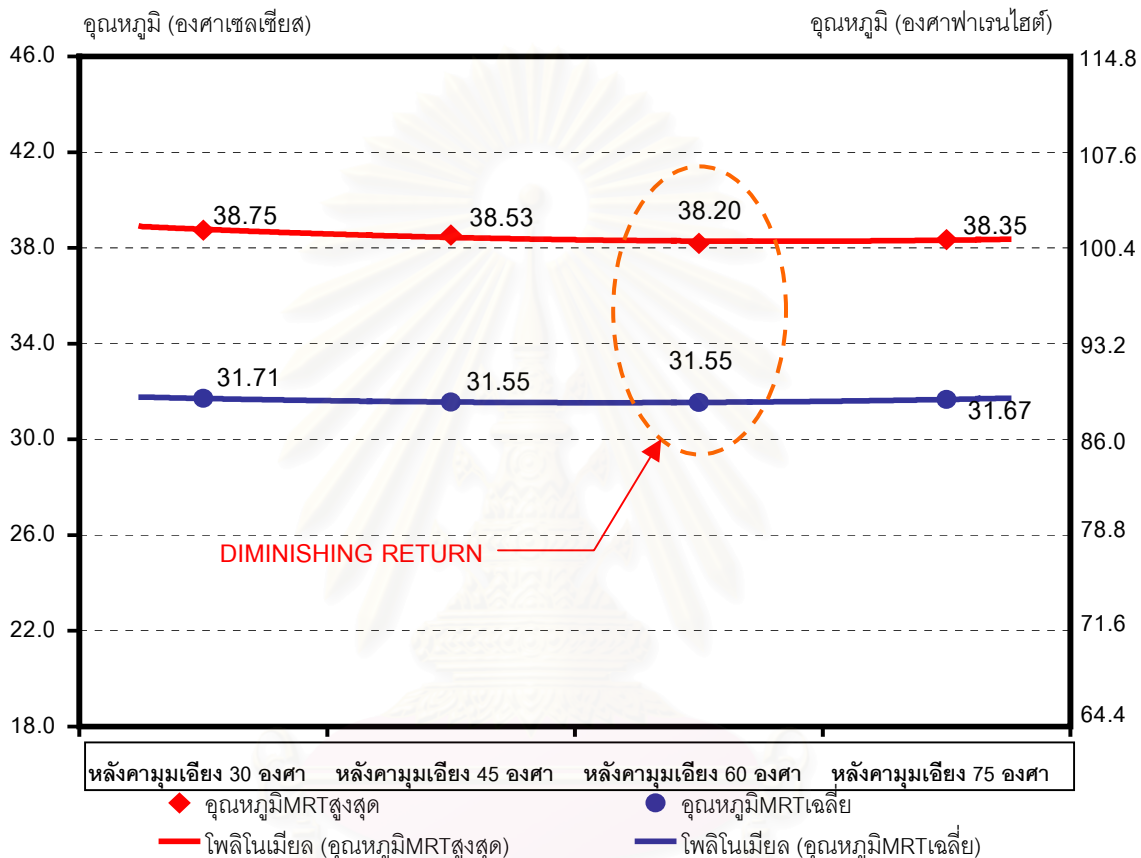
แผนภูมิ 4-66 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ แต่ละช่วงเวลา ในช่วง 24 ชั่วโมง
ของหุ่นจำลองที่มีมุมเอียงหลังคาแตกต่างกัน

เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 3 เมษายน 2546 ถึงเวลา 00.00 น. ของวันที่ 4 เมษายน 2546



การวิเคราะห์ผลการทดสอบอิทธิพลของการแผ่รังสีความร้อนจากพื้นผิวหลังคา และอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ

ผลจากการทดสอบพบว่าหลังคาที่มีมุมเอียงต่างกัน มีผลทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบภายในห้อง จำลองแตกต่างกันไป โดยในช่วงเช้า (6:00 น.-12:00 น.) อุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ ของห้องจำลองทุกๆ หลังคา จะมีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากยังไม่ได้รับอิทธิพลจากรังสีดวงอาทิตย์โดยตรง ในช่วงเวลาบ่าย (12:00 น.-18:00 น.) อุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบของห้องจำลองแต่ละตัวจะเริ่มมีความแตกต่างกันมากขึ้น ดังรูปที่ 4-7



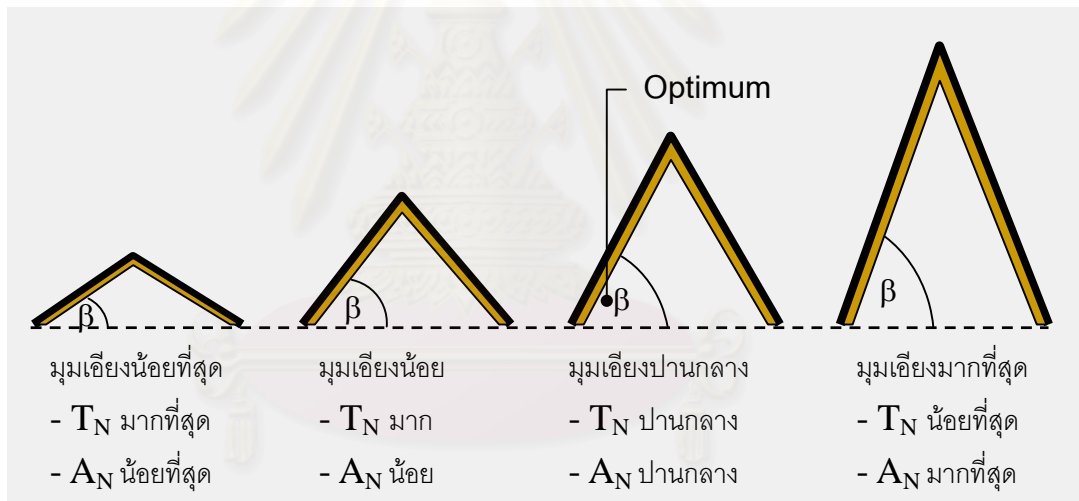
รูป 4-5 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ สูงสุด - เฉลี่ยในช่วง 24 ชั่วโมง ของห้องจำลองที่มีมุมเอียงหลังคาแตกต่างกัน

ผลการทดสอบพบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบจะมีค่าลดลงเมื่อมุมเอียงหลังคาสูงขึ้น จนถึงมุมเอียง 60 องศา ก็จะไม่ลดลงอีก แสดงว่าเมื่อถึงจุดๆ หนึ่งมุมเอียงหลังคาถึงจะมากกว่านั้นก็ไม่มีผลทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบลดลงอีกแล้ว ซึ่งเรียกว่าเป็น Optimum angle of roof slope โดยถ้าจะพิจารณาจากสมการคำนวณอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบจะแปรผันกับตัวแปรอื่นใน 2 ลักษณะคือ

$$T_{mrt} = \frac{T_1 A_1 + T_2 A_2 + \dots + T_N A_N}{A_1 + A_2 + \dots + A_N}$$

- แปรผกผันกับ ผลรวมของพื้นที่ผิวทั้งหมดที่พิจารณา
- แปรผันตรงกับ ผลรวมอุณหภูมิผิวคูณด้วยพื้นที่ผิวนั้น

เมื่อระนาบเอียงของหลังคามากขึ้น ทำให้ได้รับปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบน้อยลง เนื่องจากรังสีไม่ตั้งฉากกับระนาบหลังคา เป็นผลให้อุณหภูมิผิวหลังคา (T_N) นั้นต่ำลง แต่ในขณะเดียวกันพื้นที่ผิวของหลังคาจะเพิ่มมากขึ้น (A_N) และจะเริ่มมากขึ้นในอัตราสูงเมื่อมุมเอียงหลังคานั้นมีองศามากกว่า 60 องศาขึ้นไป ทำให้หลังคามีพื้นที่ผิวในการแผ่รังสีความร้อนมาก ส่วนในแง่ของการก่อสร้าง และความแข็งแรง คงทน ก็มีความเหมาะสม เนื่องจากถ้าหลังคาชันมากไปจะยากต่อการก่อสร้าง และการต้านทานแรงลมจะขาดประสิทธิภาพ หลังคาจะเสียหายได้ง่าย



รูป 4-6 แสดงจุดเหมาะสมที่สุดของอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบที่ขึ้นกับตัวแปร 2 ตัวคือ อุณหภูมิผิว กับพื้นที่ผิวที่สมดุลกัน เนื่องจากมุมเอียงหลังคาที่ดีที่สุด
รูปประกอบโดย รชฎ สุมานนท์

สรุปผลการทดสอบอิทธิพลของการแผ่รังสีจากพื้นผิวหลังคา และอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบได้ว่า มุมเอียงหลังคาเรือนไทยนั้นมีความสมดุลระหว่าง อุณหภูมิผิว และพื้นที่ผิวในการแผ่รังสี ทำให้ความแปรปรวนของอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบในเวลากลางวัน และกลางคืนมีค่าน้อย

4.3 การวิเคราะห์เทคนิคแนวทาง และสรุปผลการวิจัยเพื่อนำไปประยุกต์ใช้

มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์หาตัวแปรทางด้านเทคนิค แนวทางการนำไปประยุกต์ใช้ในงานสถาปัตยกรรม สำหรับภูมิภาคร้อนชื้นของประเทศไทย โดยแบ่งเป็น 2 ขั้นตอนดังนี้

1. การทดสอบอิทธิพลของสัดส่วนอาคารที่ต่างกัน
2. การทดสอบอิทธิพลของรูปแบบการติดตั้งฝ้าเพดาน และการระบายอากาศ
3. การทดสอบอิทธิพลของการติดตั้งฉนวนกันความร้อน
4. การทดสอบอิทธิพลของตัวแปรในสภาพแวดล้อมจริง



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3.1 การทดสอบอิทธิพลของสัดส่วนอาคารที่ต่างกัน (Test of proportion)

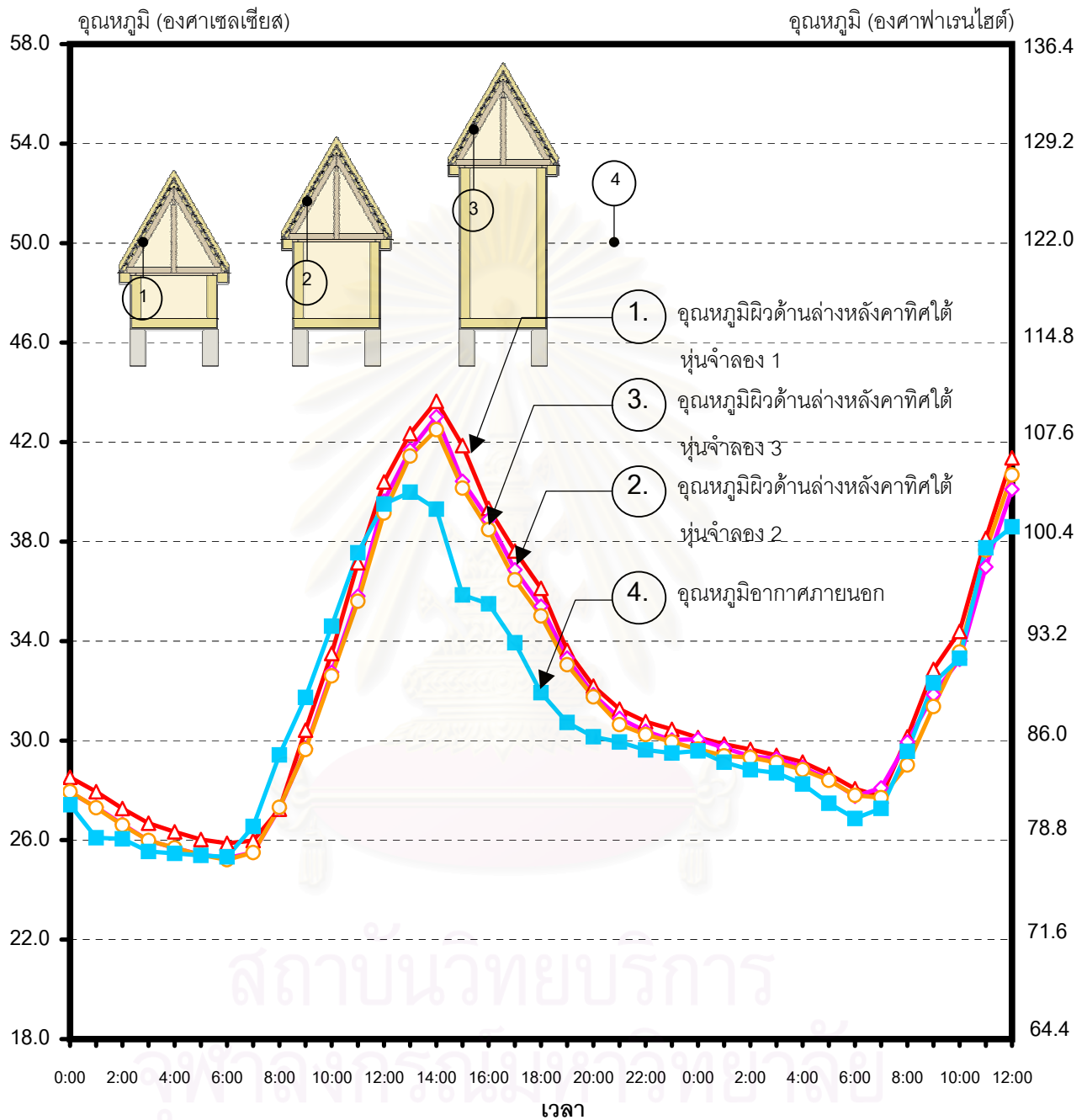
วัตถุประสงค์ มีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะศึกษาอิทธิพลการแผ่รังสีความร้อนจากพื้นผิวหลังคา และ
อุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ ภายในหุ่นจำลองที่มีสัดส่วนอาคารต่างๆ กัน

ผลการทดสอบ

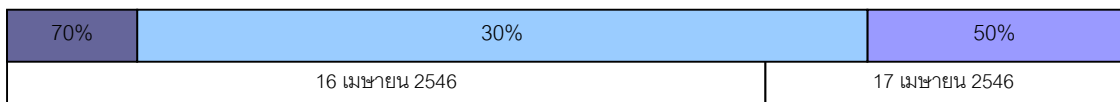
เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวหลังคา อุณหภูมิอากาศภายใน และอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดย
รอบภายในหุ่นจำลอง ที่มีสัดส่วนความสูงต่างกัน ใช้วัสดุผนังหลังคาเป็นกระเบื้องดินเผาเหมือนกัน
แสดงผลการทดสอบได้ดังนี้

- เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวด้านล่างวัสดุผนังหลังคาทางทิศเหนือ ของหุ่นจำลอง ที่มีสัดส่วนความสูงต่าง
กัน ดังแผนภูมิ 4-67
- เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวด้านล่างวัสดุผนังหลังคาทางทิศใต้ ของหุ่นจำลอง ที่มีสัดส่วนความสูงต่างกัน
ดังแผนภูมิ 4-68
- เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในหุ่นจำลอง ณ ตำแหน่งสูงจากพื้น 0.50 ม.ที่มีสัดส่วนความสูง
ต่างกัน ดังแผนภูมิ 4-69
- เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในหุ่นจำลอง ณ ตำแหน่งสูงจากพื้น 1.20 ม.ที่มีสัดส่วนความสูง
ต่างกัน ดังแผนภูมิ 4-70
- เปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบภายในหุ่นจำลอง ที่มีสัดส่วนความสูงต่างกัน ดังแผนภูมิ
4-71
- เปรียบเทียบอุณหภูมิตำแหน่งต่างๆภายในหุ่นจำลองที่มีสัดส่วนความสูงครึ่งเท่าของปกติ ดัง
แผนภูมิ 4-72
- เปรียบเทียบอุณหภูมิตำแหน่งต่างๆภายในหุ่นจำลองที่มีสัดส่วนความสูงปกติ ดังแผนภูมิ 4-73
- เปรียบเทียบอุณหภูมิตำแหน่งต่างๆภายในหุ่นจำลองที่มีสัดส่วนความสูงสองเท่าของปกติ ดัง
แผนภูมิ 4-74
- เปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วง 24 ชั่วโมง ของหุ่นจำลองที่มีสัดส่วนความสูงต่างกัน ดังแผนภูมิ
4-75
- เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายใน เฉลี่ย/สูงสุด/ต่ำสุด ในช่วง 24 ชั่วโมงของหุ่นจำลองที่มีสัดส่วน
ความสูงต่างกัน ดังแผนภูมิ 4-76
- เปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ เฉลี่ย/สูงสุด/ต่ำสุด ในช่วง 24 ชั่วโมงของหุ่นจำลองที่มีสัด
ส่วนความสูงต่างกัน ดังแผนภูมิ 4-77
- เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ยแต่ละช่วงเวลา ในช่วง 24 ชั่วโมงของหุ่นจำลองที่มีมุมเอียง
หลังคาแตกต่างกัน ดังแผนภูมิ 4-78
- เปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบแต่ละช่วงเวลา ในช่วง 24 ชั่วโมงของหุ่นจำลองที่มีมุมเอียง
หลังคาแตกต่างกัน ดังแผนภูมิ 4-79

แผนภูมิ 4-67 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวด้านล่างวัสดุผนังหลังคา ของหุ่นจำลองที่มีสัดส่วนความสูงต่างกัน
เก็บข้อมูลตั้งแต่เวลา 00.00 น. ของวันที่ 16 เมษายน 2546 ถึงเวลา 12.00 น. ของวันที่ 17 เมษายน 2546



ปริมาณเมฆบนท้องฟ้า



—△— อุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาทิศใต้หุ่นจำลอง 1

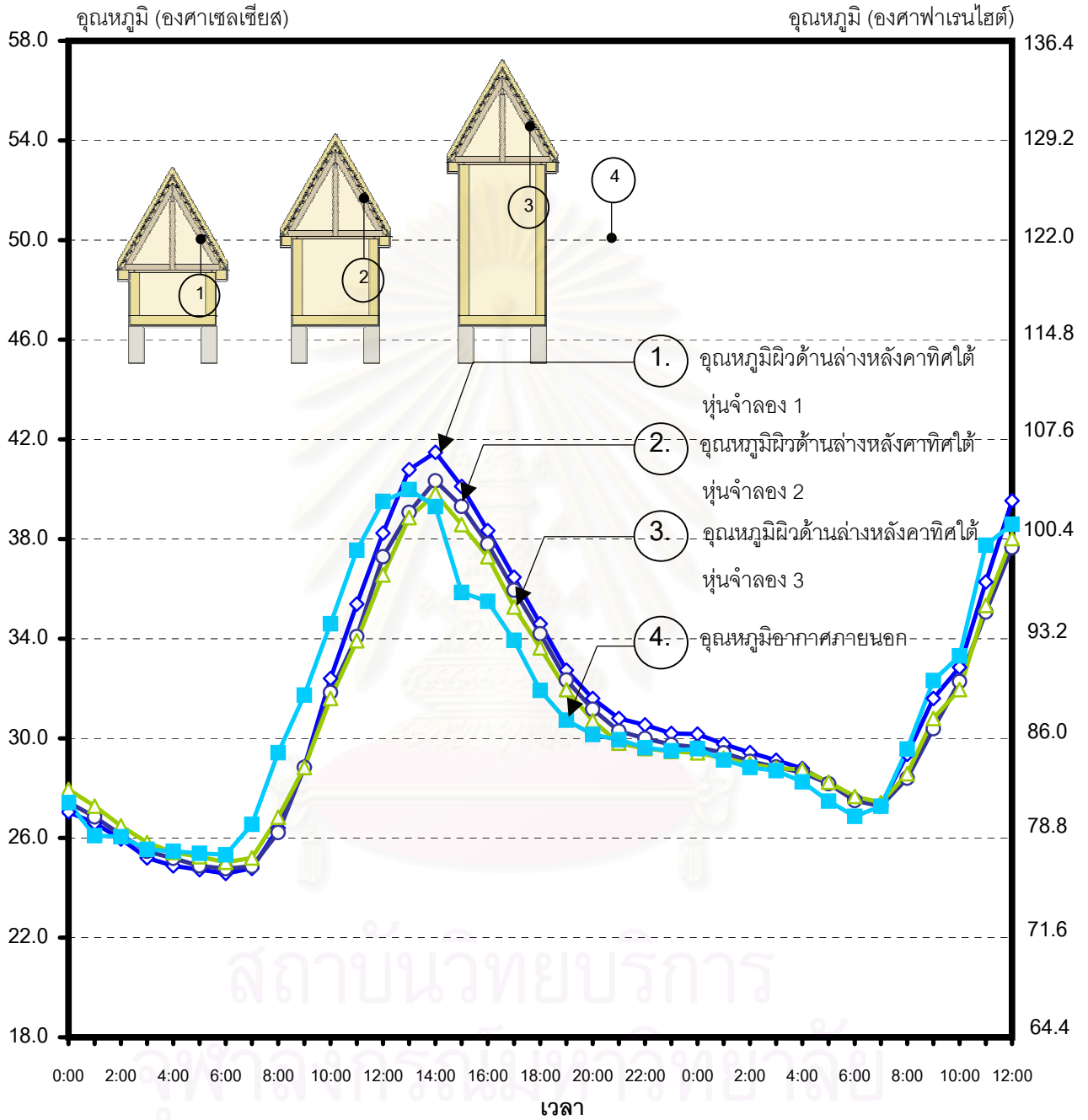
—◇— อุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาทิศใต้หุ่นจำลอง 2

—○— อุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาทิศใต้หุ่นจำลอง 3

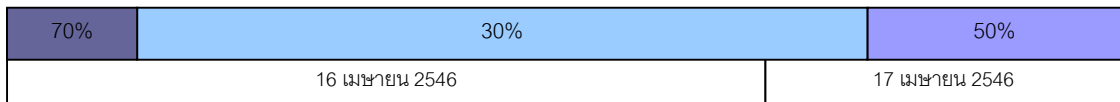
—■— อุณหภูมิอากาศภายนอก

แผนภูมิ 4-68 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวด้านล่างวัสดุผนังหลังคาทิศเหนือ
ของหุ่นจำลองที่มีสัดส่วนความสูงต่างกัน

เก็บข้อมูลตั้งแต่เวลา 00.00 น. ของวันที่ 16 เมษายน 2546 ถึงเวลา 12.00 น. ของวันที่ 17 เมษายน 2546



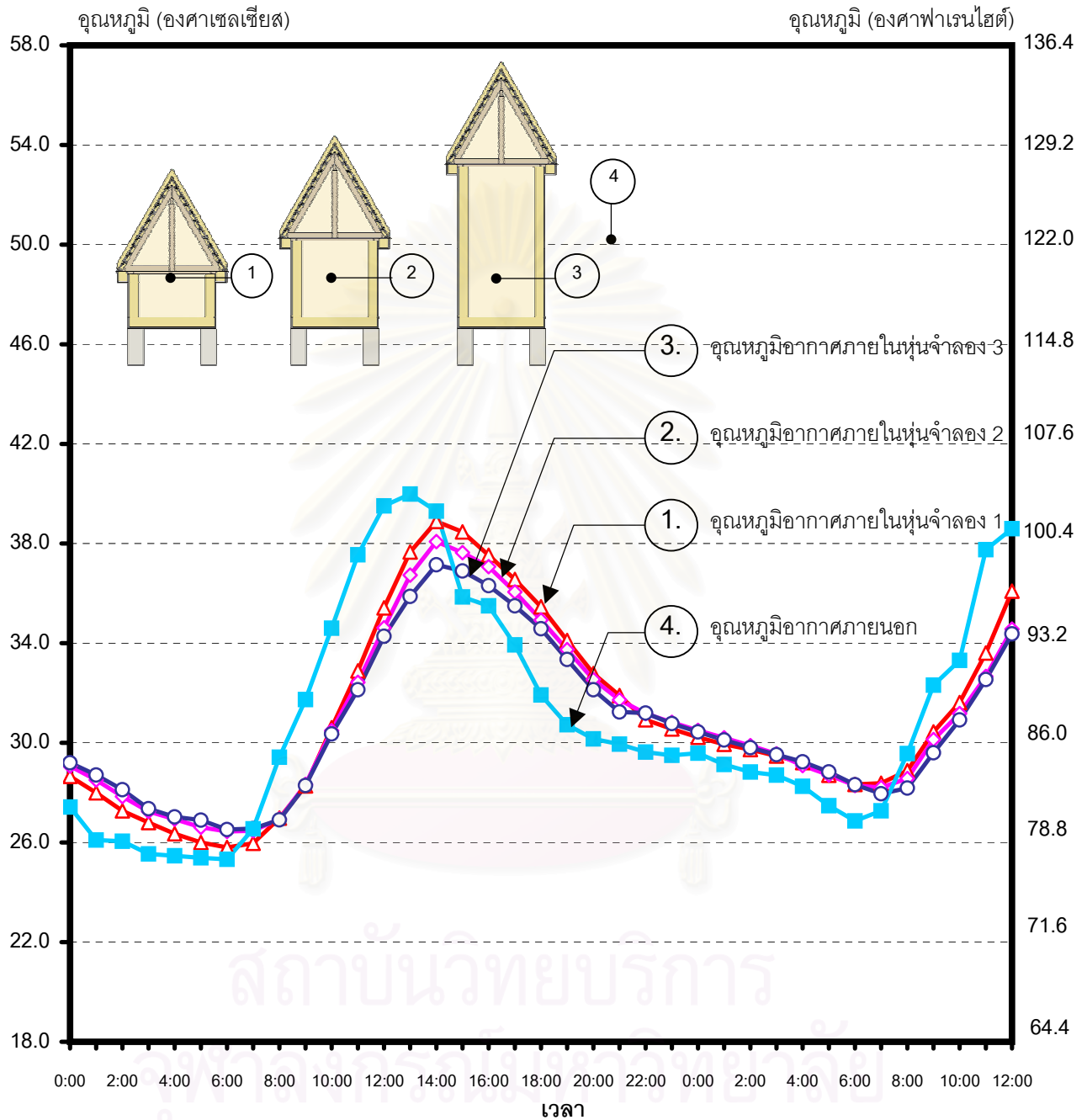
ปริมาณเมฆบนท้องฟ้า



- ◆ อุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาทิศเหนือหุ่นจำลอง 1
- อุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาทิศเหนือหุ่นจำลอง 2
- △ อุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาทิศเหนือหุ่นจำลอง 3
- อุณหภูมิอากาศภายนอก

แผนภูมิ 4-69 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในหุ่นจำลอง ณ ตำแหน่งสูงจากพื้น 0.50 ม. ที่มีสัดส่วนความสูงต่างกัน

เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 16 เมษายน 2546 ถึงเวลา 12.00 น. ของวันที่ 17 เมษายน 2546



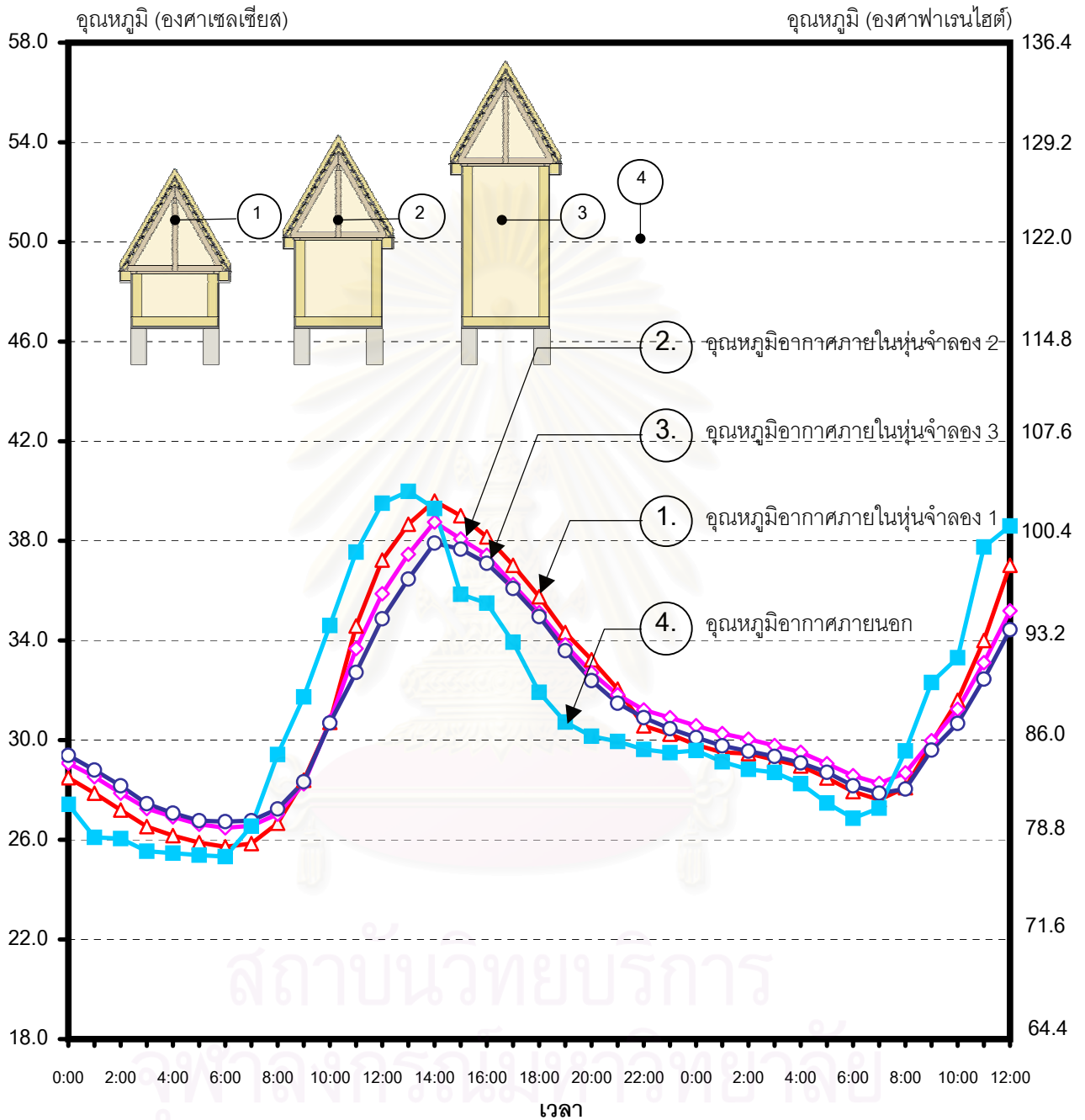
ปริมาณเมฆบนท้องฟ้า

70%	30%	50%
16 เมษายน 2546		17 เมษายน 2546

- ▲— อุณหภูมิอากาศภายในหุ่นจำลอง 1 สูงจากพื้น 0.50 ม.
- ◇— อุณหภูมิอากาศภายในหุ่นจำลอง 2 สูงจากพื้น 0.50 ม.
- อุณหภูมิอากาศภายในหุ่นจำลอง 3 สูงจากพื้น 0.50 ม.
- อุณหภูมิอากาศภายนอก

แผนภูมิ 4-70 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในหุ้่นจำลอง ณ ตำแหน่งสูงจากพื้น 1.20 ม. ที่มีสัดส่วนความสูงต่างกัน

เก็บข้อมูลตั้งแต่เวลา 00.00 น. ของวันที่ 16 เมษายน 2546 ถึงเวลา 12.00 น. ของวันที่ 17 เมษายน 2546

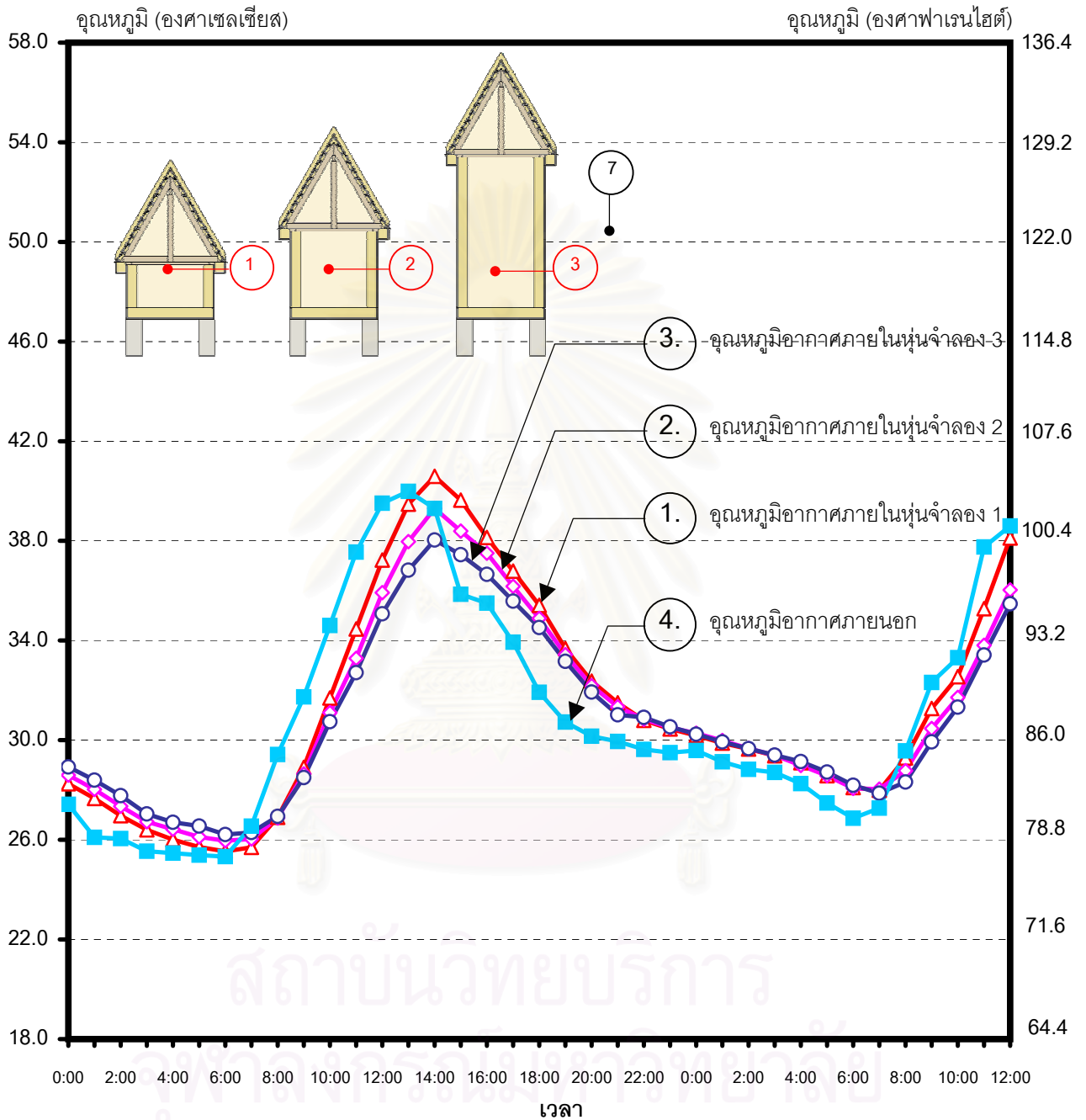


ปริมาณเมฆบนท้องฟ้า

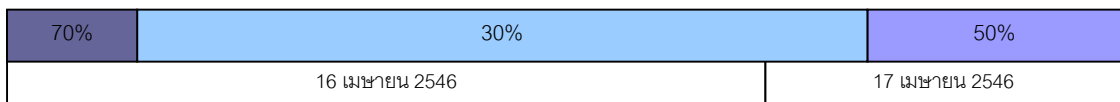
70%	30%	50%
16 เมษายน 2546		17 เมษายน 2546

- △— อุณหภูมิอากาศภายในหุ้่นจำลอง 1 สูงจากพื้น 1.20 ม.
- ◇— อุณหภูมิอากาศภายในหุ้่นจำลอง 2 สูงจากพื้น 1.20 ม.
- อุณหภูมิอากาศภายในหุ้่นจำลอง 3 สูงจากพื้น 1.20 ม.
- อุณหภูมิอากาศภายนอก

แผนภูมิ 4-71 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบภายในหุ่นจำลอง ที่มีสัดส่วนความสูงต่างกัน เก็บข้อมูลตั้งแต่เวลา 00.00 น. ของวันที่ 16 เมษายน 2546 ถึงเวลา 12.00 น. ของวันที่ 17 เมษายน 2546

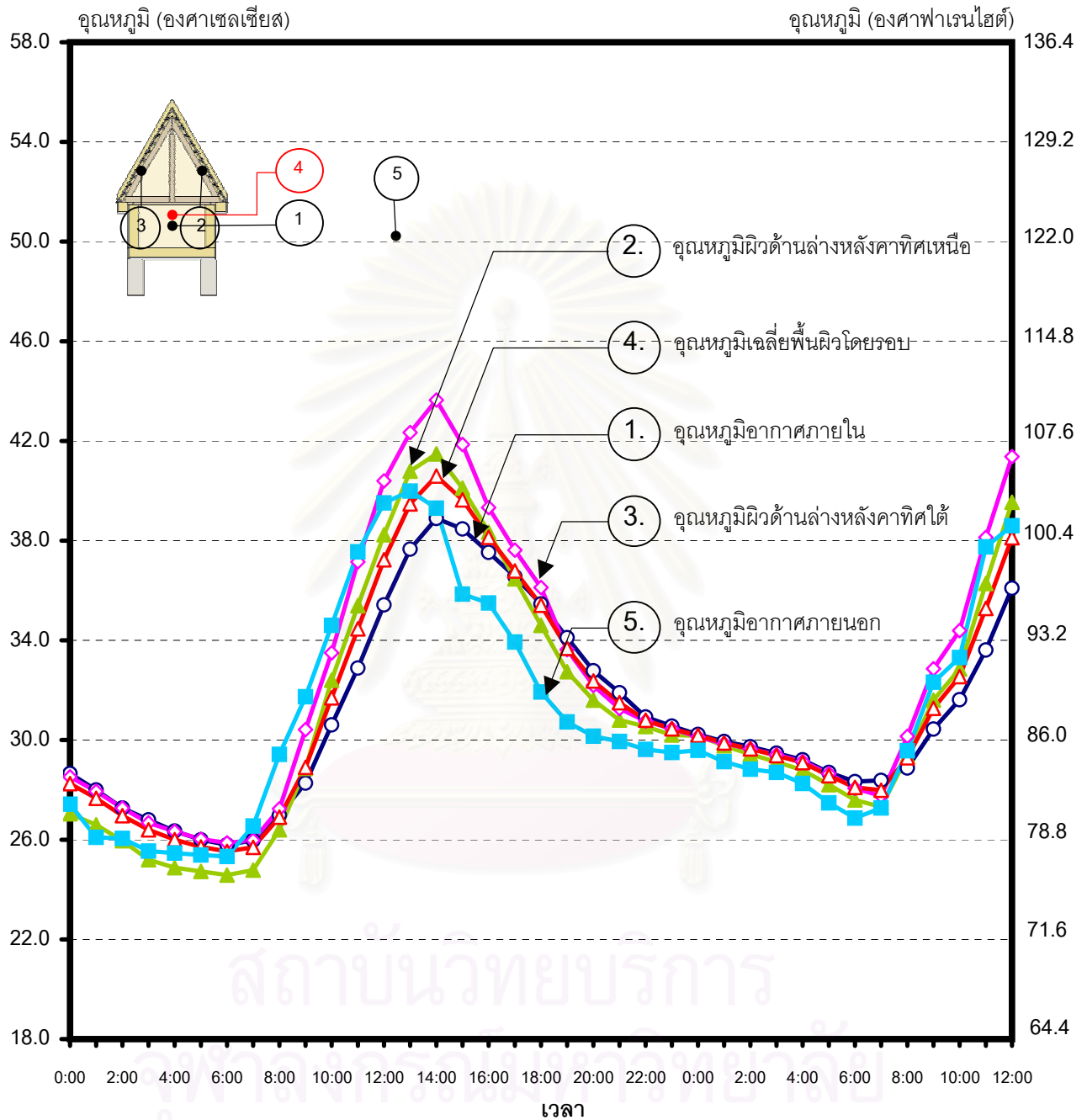


ปริมาณเมฆบนท้องฟ้า

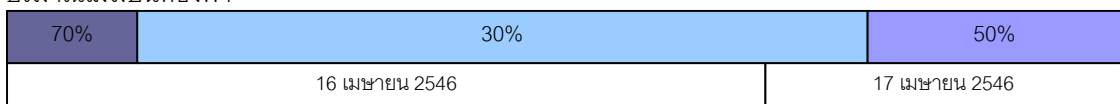


- ▲ อุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบภายในหุ่นจำลอง 1
- ◆ อุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบภายในหุ่นจำลอง 2
- อุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบภายในหุ่นจำลอง 3
- อุณหภูมิอากาศภายนอก

แผนภูมิ 4-72 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิตำแหน่งต่างๆภายในหุ่นจำลองที่มีสัดส่วนความสูงครึ่งเท่าของปกติ
เก็บข้อมูลตั้งแต่เวลา 00.00 น. ของวันที่ 16 เมษายน 2546 ถึงเวลา 12.00 น. ของวันที่ 17 เมษายน 2546



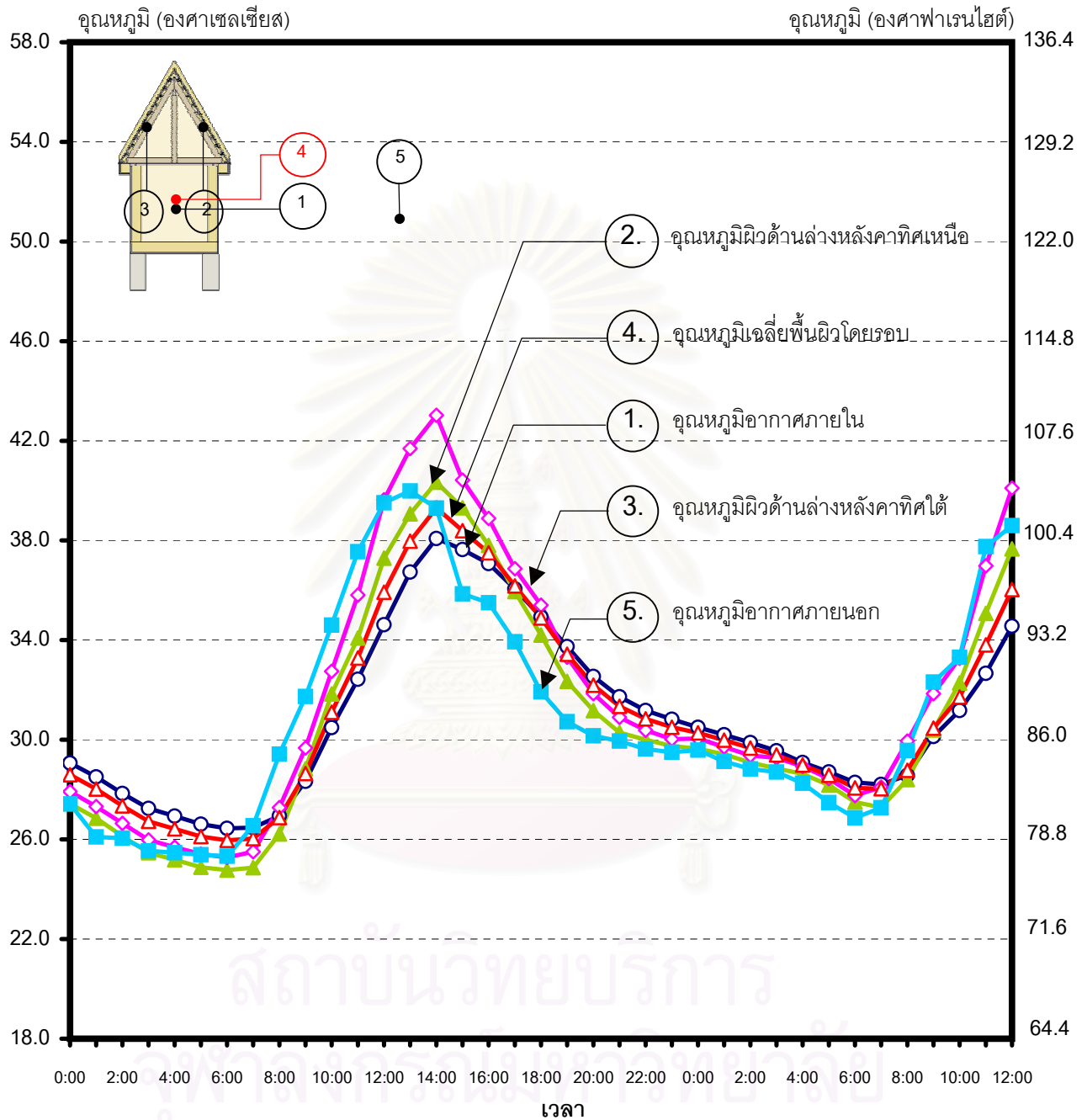
ปริมาณเมฆบนท้องฟ้า



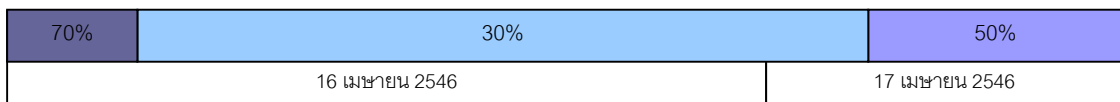
- อุณหภูมิอากาศภายใน
- ▲ อุณหภูมิผิวหนังด้านหลังคาคีศเหนือ
- ◇ อุณหภูมิผิวหนังด้านล่างหลังคาคีศใต้
- △ อุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ
- อุณหภูมิอากาศภายนอก

แผนภูมิ 4-73 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิตำแหน่งต่างๆภายในหุ่นจำลองที่มีสัดส่วนความสูงปกติ

เก็บข้อมูลตั้งแต่เวลา 00.00 น. ของวันที่ 16 เมษายน 2546 ถึงเวลา 12.00 น. ของวันที่ 17 เมษายน 2546



ปริมาณเมฆบนท้องฟ้า



—○— อุณหภูมิอากาศภายใน

—▲— อุณหภูมิผิวหนังด้านหลังคาคีศเหนือ

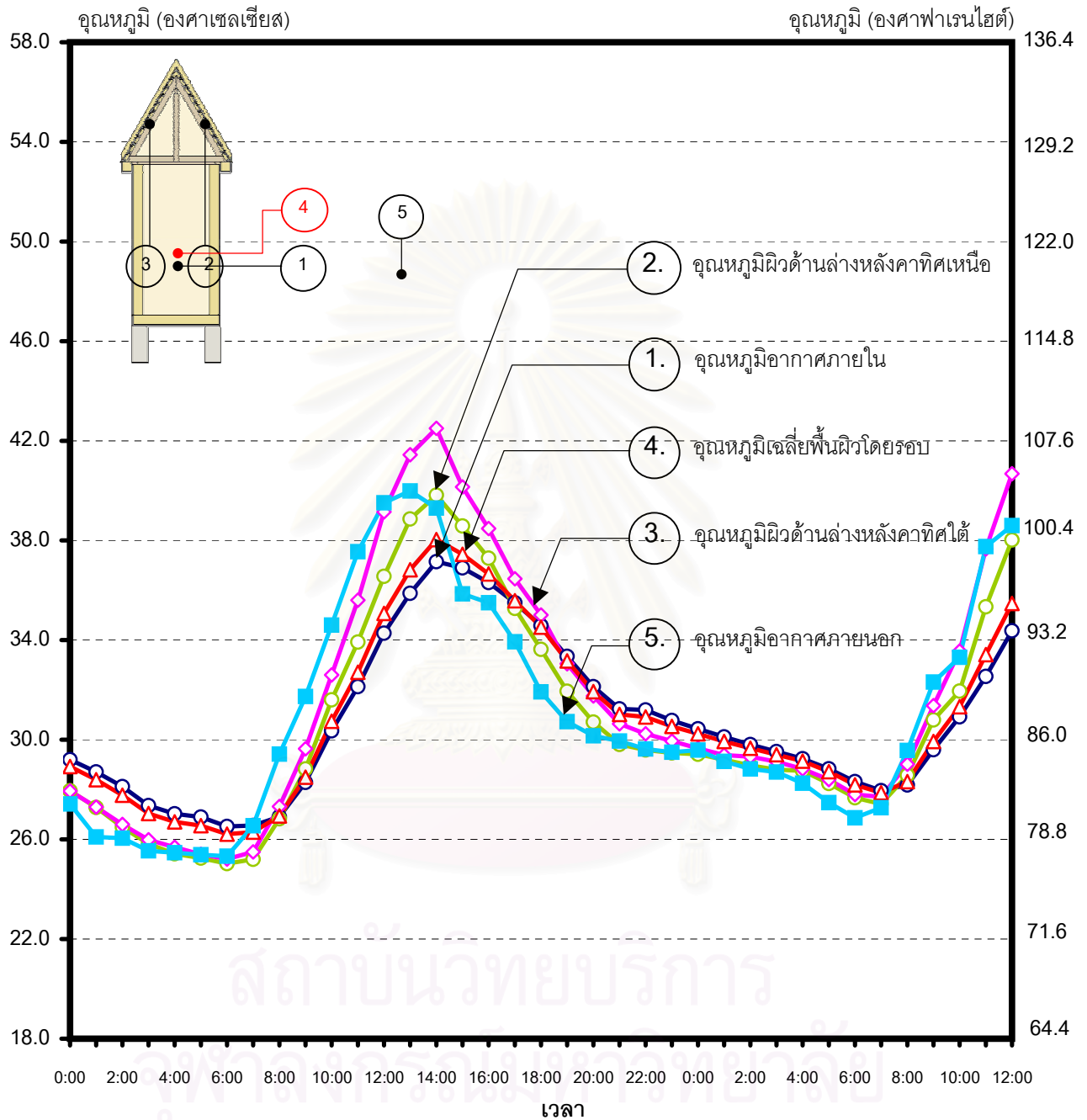
—◇— อุณหภูมิผิวหนังด้านหลังคาคีศใต้

—△— อุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ

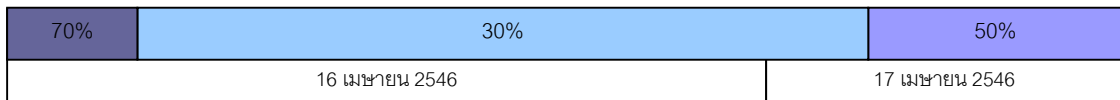
—■— อุณหภูมิอากาศภายนอก

แผนภูมิ 4-74 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิตำแหน่งต่างๆภายในหุ่นจำลองที่มีสัดส่วนความสูงสองเท่าปกติ

เก็บข้อมูลตั้งแต่เวลา 00.00 น. ของวันที่ 16 เมษายน 2546 ถึงเวลา 12.00 น. ของวันที่ 17 เมษายน 2546



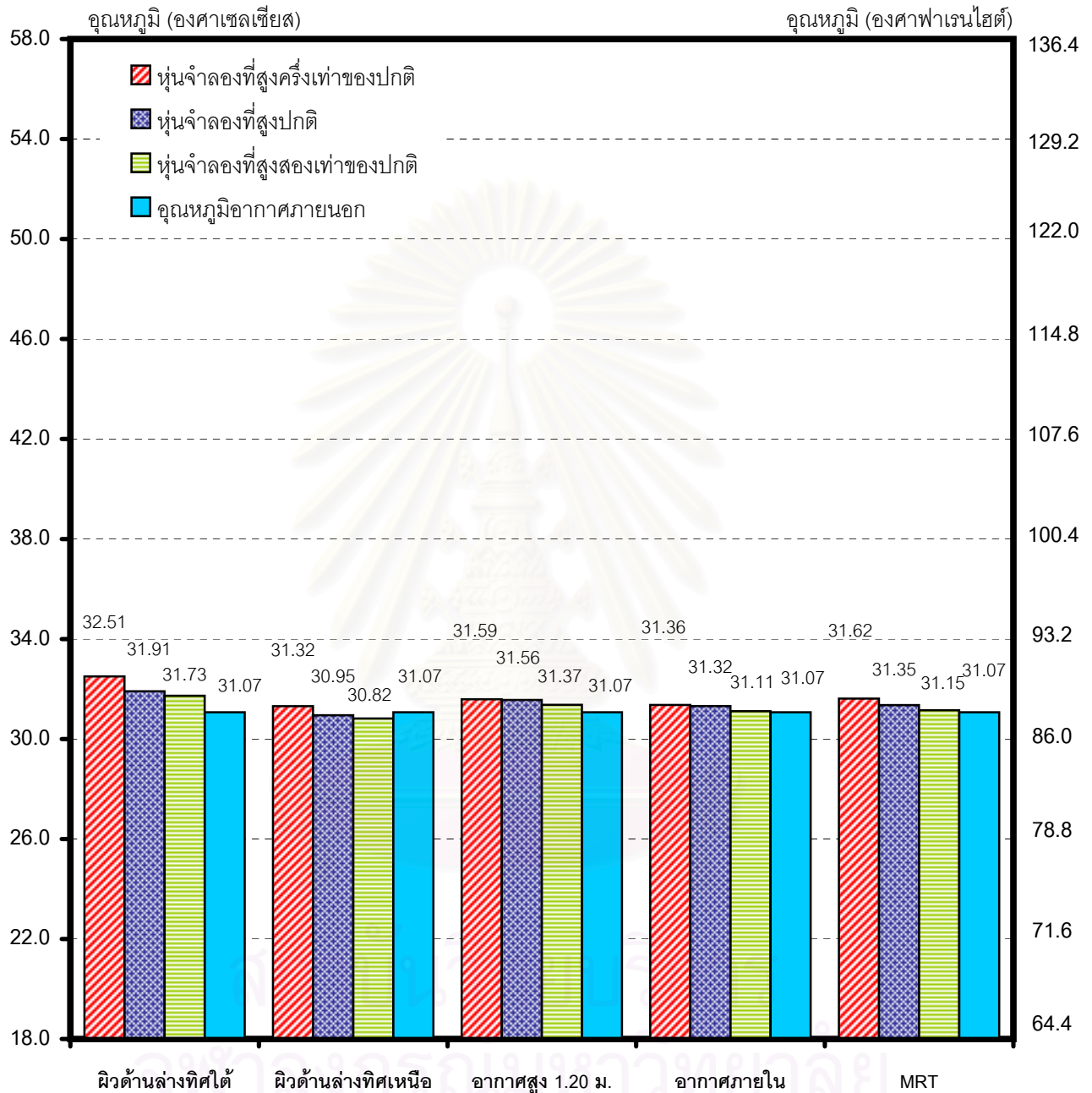
ปริมาณเมฆบนท้องฟ้า



- อุณหภูมิอากาศภายใน
- ◇ อุณหภูมิผิวหนังด้านหลังคาคีศใต้
- อุณหภูมิอากาศภายนอก
- อุณหภูมิผิวหนังด้านหลังคาคีศเหนือ
- △ อุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรวม

แผนภูมิ 4-75 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วง 24 ชั่วโมง ของหุ่นจำลอง
ที่มีสัดส่วนความสูงต่างกัน

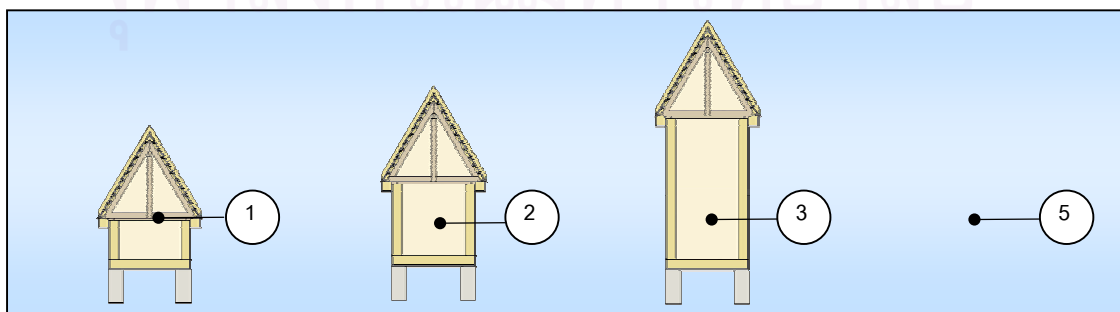
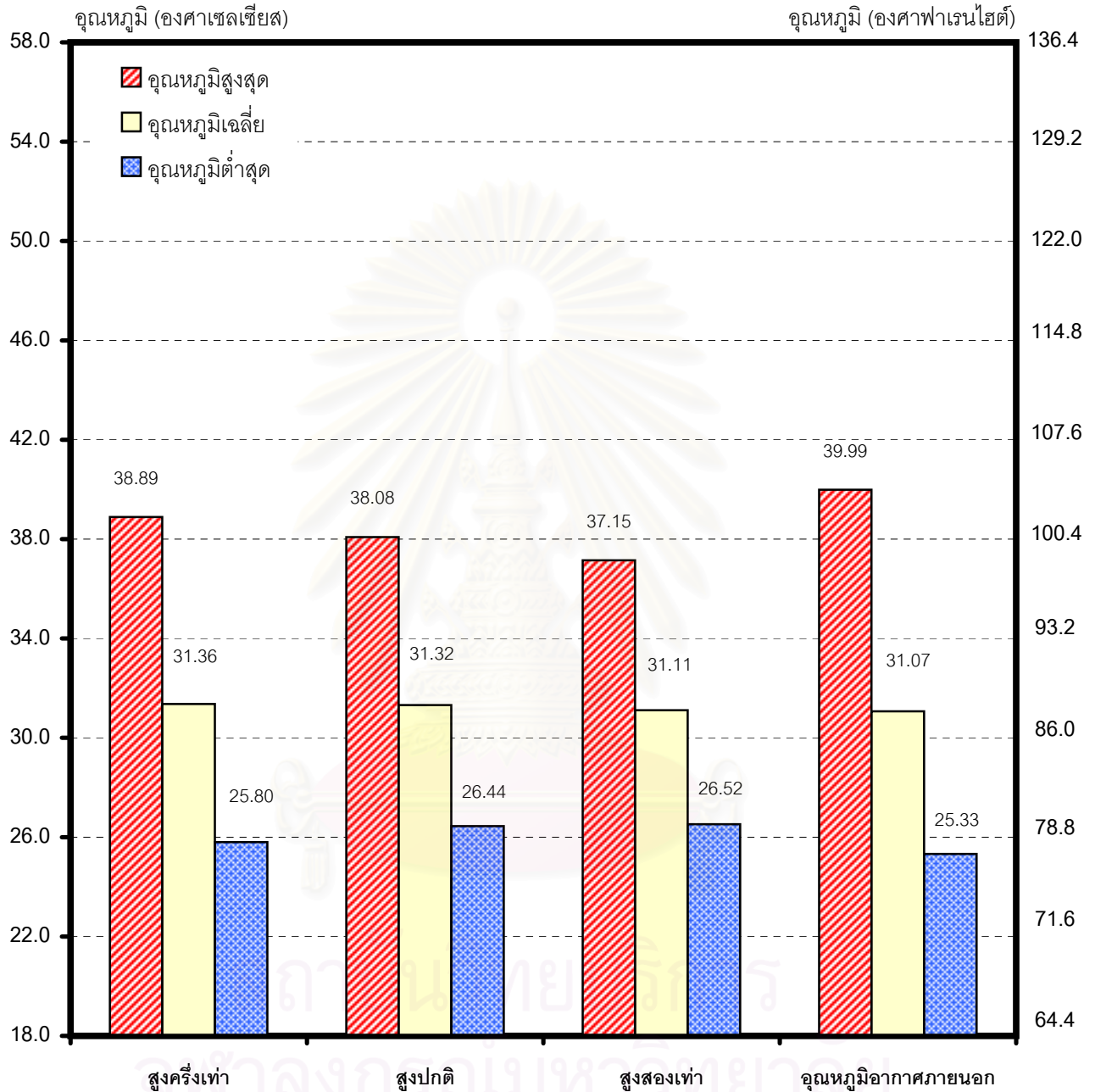
เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 16 เมษายน 2546 ถึงเวลา 00.00 น. ของวันที่ 17 เมษายน 2546



ผลการทดลองพบว่าสัดส่วนอาคารที่สูงขึ้นจะทำให้อุณหภูมิภายในหุ่นจำลองนั้นลดลง รวมทั้งอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบก็ลดลงด้วยเช่นกัน ซึ่งจากแผนภูมิจะเห็นได้ว่าหุ่นจำลองที่มีความสูงสองเท่าของปกติจะมีอุณหภูมิภายในที่ต่ำที่สุด เมื่อเทียบกับหุ่นจำลองที่สูงปกติ และสูงครึ่งหนึ่งของความสูงปกติ

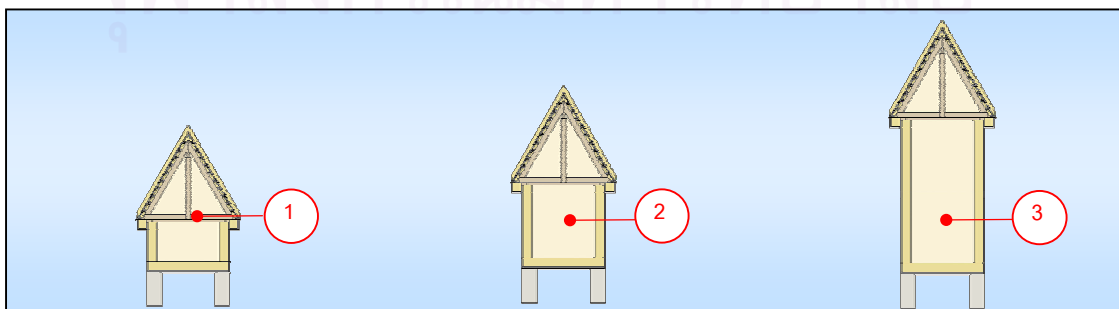
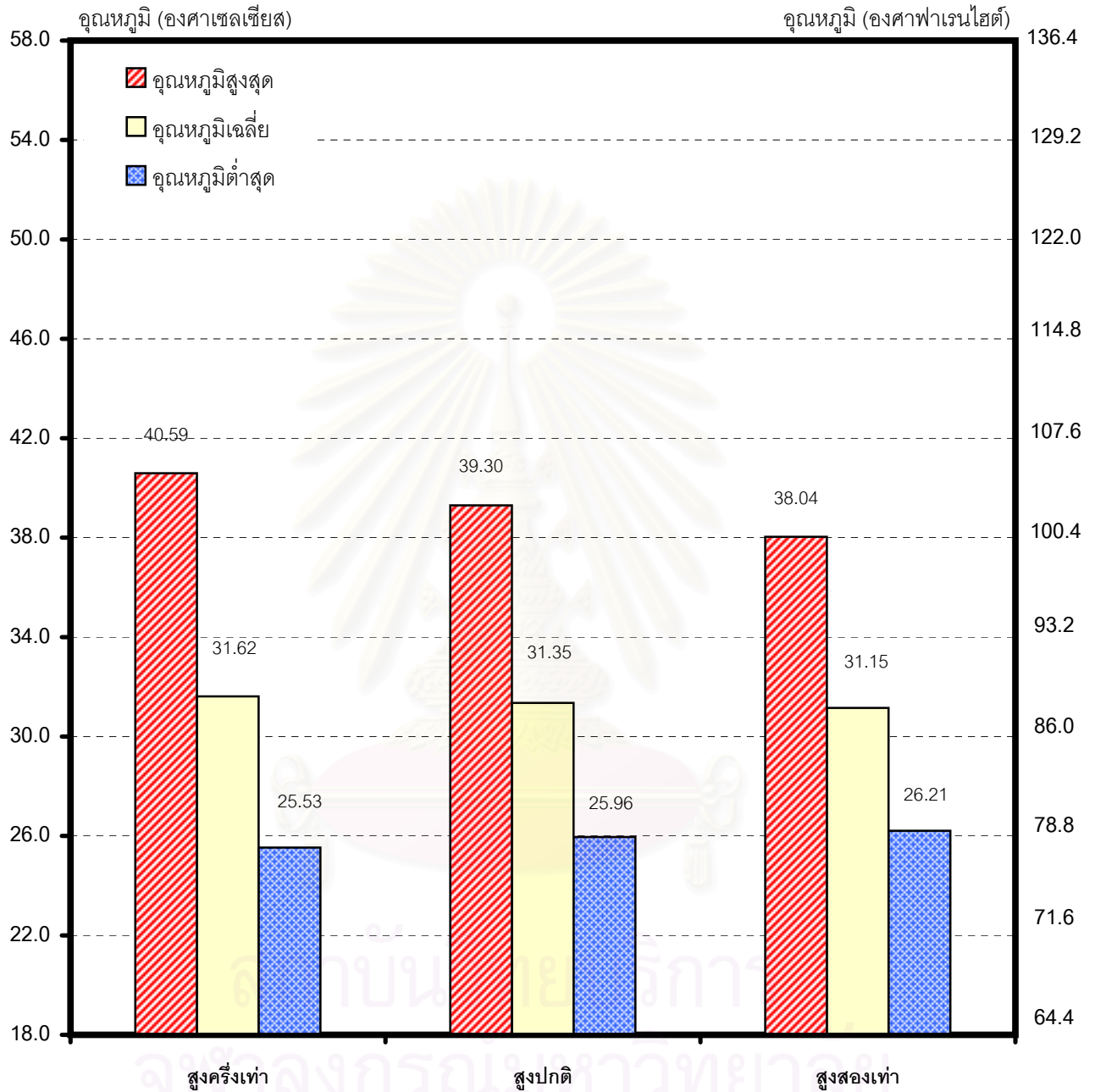
แผนภูมิ 4-76 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายใน เจลลี่/สูงสุด/ต่ำสุด ในช่วง 24 ชั่วโมง
ของหุ่นจำลองที่มีสัดส่วนความสูงต่างกัน

เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 16 เมษายน 2546 ถึงเวลา 00.00 น. ของวันที่ 17 เมษายน 2546



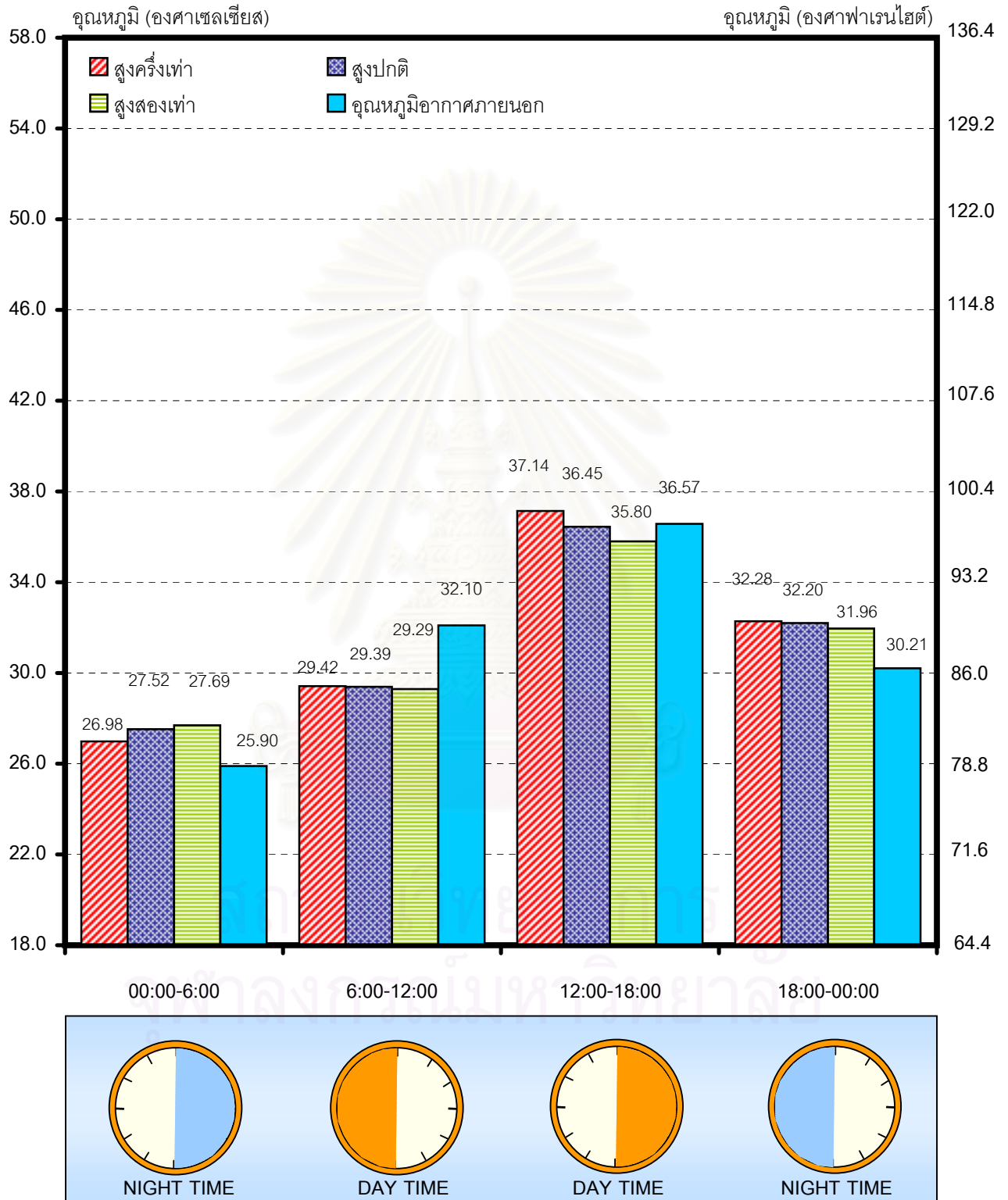
แผนภูมิ 4-77 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ เจลลี่/สูงสุด/ต่ำสุด ในช่วง 24 ชั่วโมง
ของหุ่นจำลองที่มีสัดส่วนความสูงต่างกัน

เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 16 เมษายน 2546 ถึงเวลา 00.00 น. ของวันที่ 17 เมษายน 2546



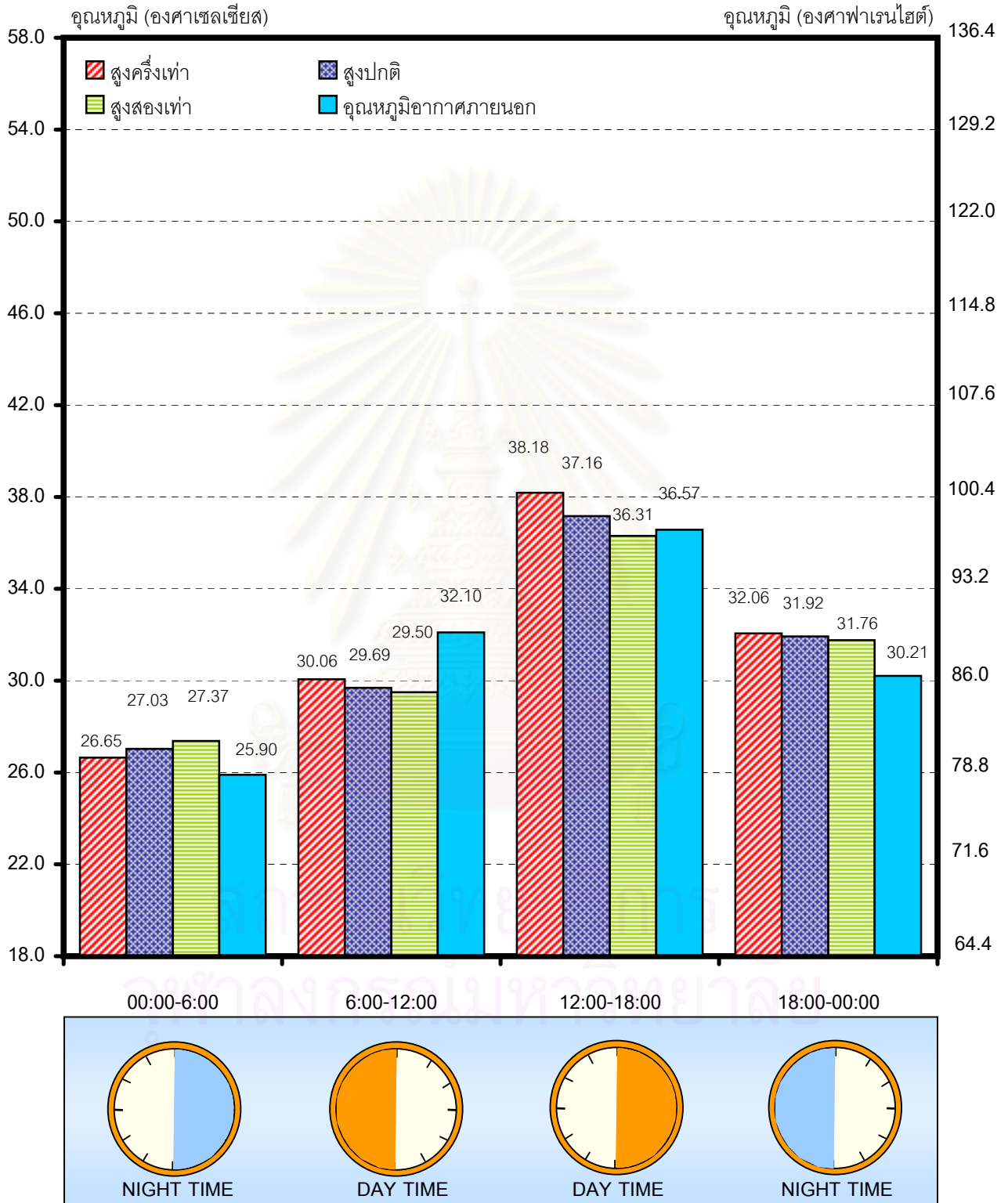
แผนภูมิ 4-78 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ยแต่ละช่วงเวลา ในช่วง 24 ชั่วโมง
 ของหุ่นจำลองที่มีสัดส่วนความสูงต่างกัน

เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 16 เมษายน 2546 ถึงเวลา 00.00 น. ของวันที่ 17 เมษายน 2546



แผนภูมิ 4-79 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบแต่ละช่วงเวลา ในช่วง 24 ชั่วโมง
ของหุ่นจำลองที่มีสัดส่วนความสูงต่างกัน

เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 16 เมษายน 2546 ถึงเวลา 00.00 น. ของวันที่ 17 เมษายน 2546

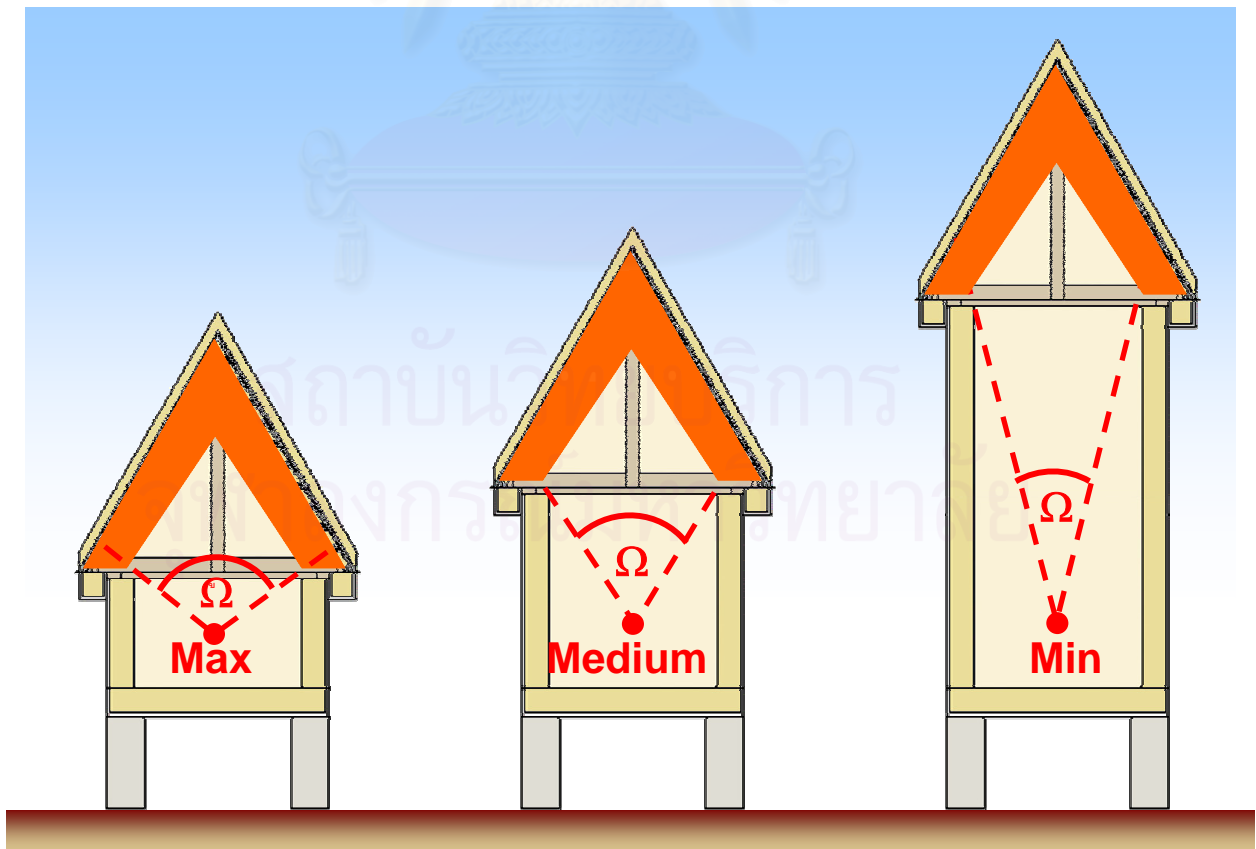


การวิเคราะห์ผลการทดสอบอิทธิพลของสัดส่วนอาคารที่ต่างกัน

จากผลการทดสอบพบว่าสัดส่วนของอาคารที่ต่างกันมีผลทำให้อุณหภูมิอากาศภายใน และอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบภายในหุ่นจำลองแตกต่างกัน โดยในช่วงเวลากลางวัน หุ่นจำลองที่มีสัดส่วนความสูงสองเท่าของปกติจะมีอุณหภูมิอากาศภายในสูงสุด ต่ำกว่าหุ่นจำลองที่มีความสูงปกติ และมีความสูงครึ่งหนึ่งของปกติประมาณ 1.74 องศาเซลเซียส และ 0.93 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยสัดส่วนที่ลดลงค่อนข้างสม่ำเสมอ ส่วนช่วงเวลากลางคืนอุณหภูมิอากาศภายในหุ่นจำลองทั้งสามมีค่าใกล้เคียงกัน โดยหุ่นจำลองที่มีสัดส่วนครึ่งหนึ่งของปกติจะมีอุณหภูมิอากาศภายในต่ำที่สุดเนื่องจากมีความร้อนสะสมน้อย และสามารถระบายออกได้เร็วกว่า

อุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบของหุ่นจำลองทั้งสามมีแนวโน้มเช่นเดียวกับอุณหภูมิอากาศภายใน คือยิ่งมีความสูงเพิ่มขึ้น อุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบยิ่งลดลง ในอัตราส่วนที่สม่ำเสมอเช่นกัน เนื่องจากหุ่นจำลองที่มีสัดส่วนสูงจะมีค่า Angle factor น้อยทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบน้อย ส่วนหุ่นจำลองที่มีความสูงน้อยกว่า จะมีค่า Angle factor มากกว่า ทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบสูงกว่า

สรุปผลการวิจัยได้ว่าการออกแบบอาคารถ้าสัดส่วนความสูงของอาคาร และมุมเอียงของหลังคา มีความเหมาะสมแล้วจะทำให้อุณหภูมิอากาศ และอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบภายในอาคารมีแนวโน้มที่ลดลงได้นอกจากนั้นเมื่ออาคารมีความสูงมากความร้อนก็จะสามารถลอยตัวขึ้นสูงได้มาก ผู้ที่ใช้อาคารด้านล่างก็จะรู้สึกไม่ร้อน ปรากฏการณ์นี้เปรียบเทียบกับโบสถ์ของไทย ที่มีสัดส่วนความสูงของอาคาร และมุมเอียงหลังคาชัน ทำให้มีค่า Angle factor น้อย ผู้ที่อยู่ในโบสถ์จึงรู้สึกเย็นในช่วงเวลากลางวัน ผนวกกับการใช้มวลสารมากของผนังในการหน่วงเหนี่ยวความร้อน และการนำความเย็นจากดินมาใช้ เมื่อผสมผสานตัวแปรดังกล่าวเข้าด้วยกันจะทำให้ผู้ใช้อาคารรู้สึกเข้าใกล้สภาวะสบายมากขึ้น



รูป 4-7 แสดงการเปรียบเทียบค่า Angle factor ของหุ่นจำลองที่มีความสูงแตกต่างกัน

4.3.2 การทดสอบอิทธิพลของรูปแบบการติดตั้งฝ้าเพดาน และการระบายอากาศ (Test of ventilation)

วัตถุประสงค์ มีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะศึกษาเทคนิคแนวทาง ของรูปแบบการติดตั้งฝ้าเพดาน และการระบายอากาศ ภายใต้หลังคา

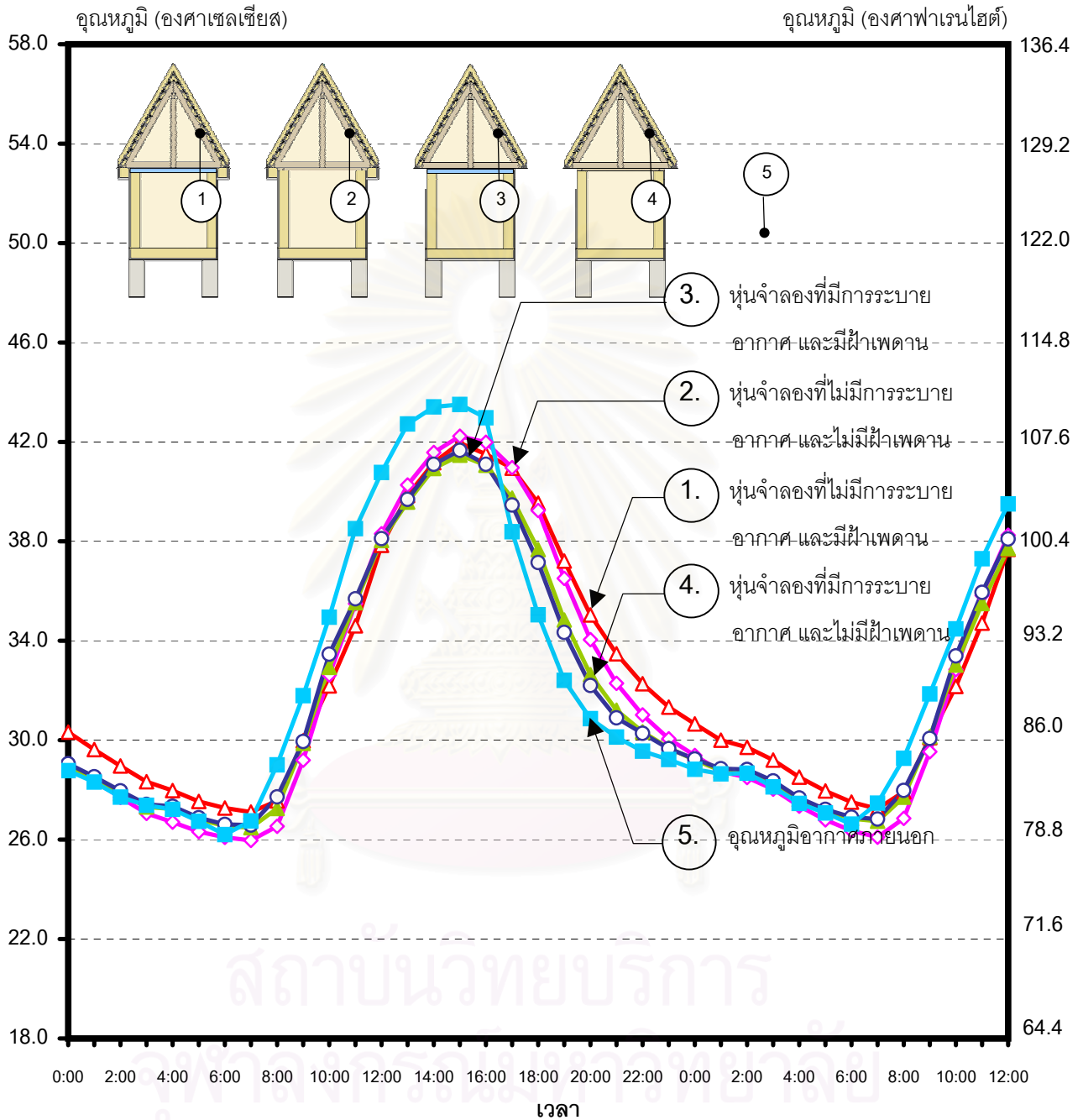
ผลการทดสอบ

เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวหลังคา อุณหภูมิอากาศภายใน และอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบภายในหุ้่นจำลอง ที่มีรูปแบบการระบายอากาศต่างกัน ใช้วัสดุหลังคาเป็นกระเบื้องดินเผาเหมือนกัน แสดงผลการทดสอบได้ดังนี้

- เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวด้านล่างวัสดุผนังหลังคาทิศเหนือ ของหุ้่นจำลอง ที่มีรูปแบบการระบายอากาศต่างกัน ดังแผนภูมิ 4-80
- เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวด้านล่างวัสดุผนังหลังคาทิศใต้ ของหุ้่นจำลอง ที่มีรูปแบบการระบายอากาศต่างกัน ดังแผนภูมิ 4-81
- เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในหุ้่นจำลอง ณ ตำแหน่งสูงจากพื้น 0.50 ม. ที่มีรูปแบบการระบายอากาศต่างกัน ดังแผนภูมิ 4-82
- เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในหุ้่นจำลอง ณ ตำแหน่งสูงจากพื้น 1.20 ม. ที่มีรูปแบบการระบายอากาศต่างกัน ดังแผนภูมิ 4-83
- เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวด้านล่างฝ้าเพดาน และอุณหภูมิอากาศภายใน ของหุ้่นจำลอง ที่มีรูปแบบการระบายอากาศต่างกัน ดังแผนภูมิ 4-84
- เปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบภายในหุ้่นจำลองที่มีรูปแบบการระบายอากาศต่างกัน ดังแผนภูมิ 4-85
- เปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วง 24 ชั่วโมง ของหุ้่นจำลองที่มีรูปแบบการระบายอากาศต่างกัน ดังแผนภูมิ 4-86
- เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายใน เฉลี่ย/สูงสุด/ต่ำสุด ในช่วง 24 ชั่วโมงของหุ้่นจำลองที่มีรูปแบบการระบายอากาศต่างกัน ดังแผนภูมิ 4-87
- เปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบภายใน เฉลี่ย/สูงสุด/ต่ำสุด ในช่วง 24 ชั่วโมงของหุ้่นจำลองที่มีรูปแบบการระบายอากาศต่างกัน ดังแผนภูมิ 4-88
- เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ยแต่ละช่วงเวลา ในช่วง 24 ชั่วโมงของหุ้่นจำลองที่มีมุมเอียงหลังคาแตกต่างกัน ดังแผนภูมิ 4-89
- เปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบแต่ละช่วงเวลา ในช่วง 24 ชั่วโมงของหุ้่นจำลองที่มีมุมเอียงหลังคาแตกต่างกัน ดังแผนภูมิ 4-90

แผนภูมิ 4-80 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวตัวด้านล่างวัสดุผนังหลังคาทิศเหนือ ของหุ่นจำลอง
ที่มีรูปแบบการระบายอากาศต่างกัน

เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 14 เมษายน 2546 ถึงเวลา 12.00 น. ของวันที่ 15 เมษายน 2546



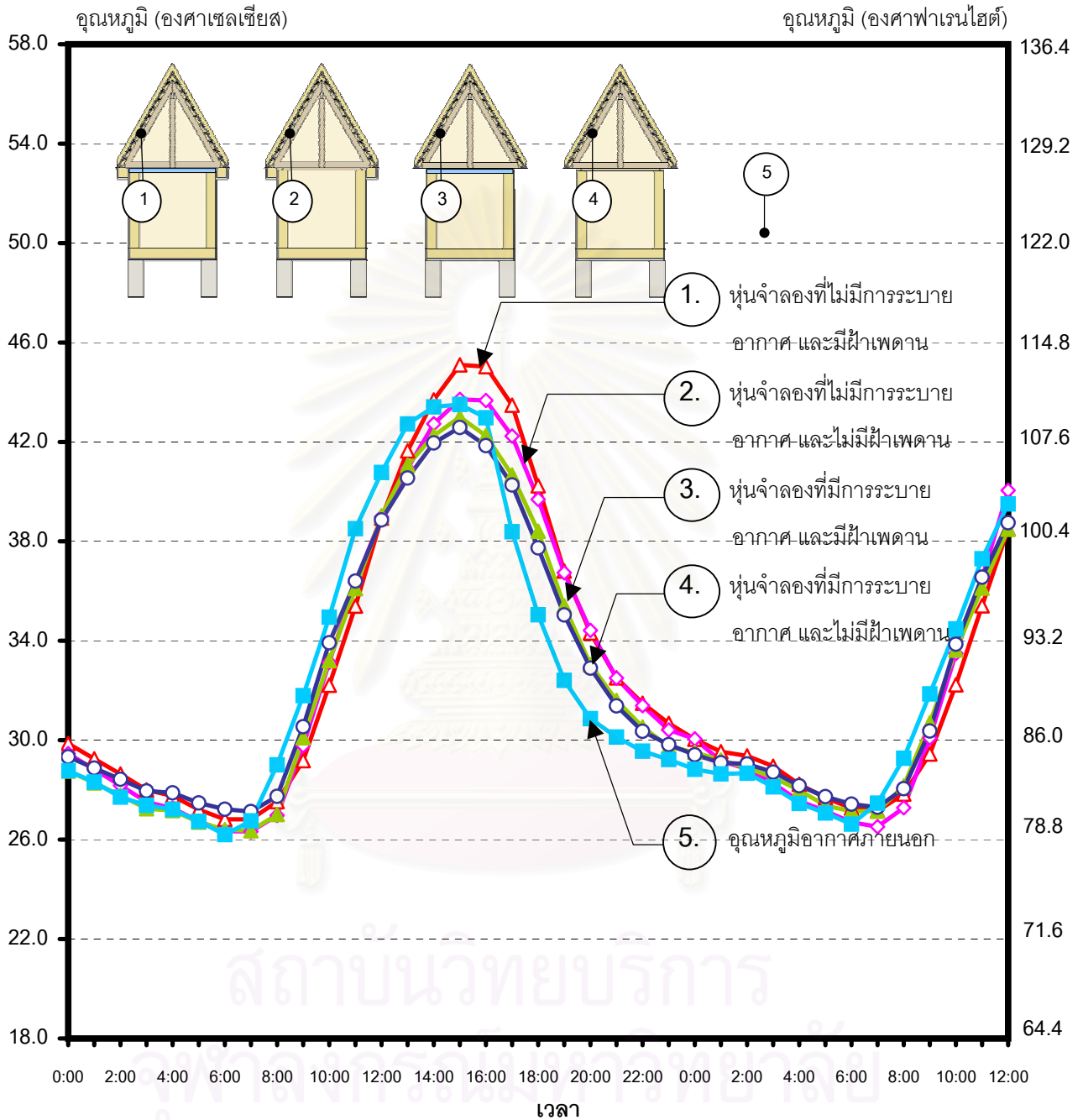
ปริมาณเมฆบนท้องฟ้า

10%	30%
14 เมษายน 2546	15 เมษายน 2546

- △— อุณหภูมิผิวหลังคาภายในทิศเหนือ ที่ไม่มีการระบายอากาศ และมีฝ้าเพดาน
- ◇— อุณหภูมิผิวหลังคาภายในทิศเหนือ ที่ไม่มีการระบายอากาศ และไม่ฝ้าเพดาน
- ▲— อุณหภูมิผิวหลังคาภายในทิศเหนือ ที่มีการระบายอากาศ และมีฝ้าเพดาน
- อุณหภูมิผิวหลังคาภายในทิศเหนือ ที่มีการระบายอากาศ และไม่ฝ้าเพดาน
- อุณหภูมิอากาศภายนอก

แผนภูมิ 4-81 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวด้านล่างวัสดุผนังหลังคาทิศใต้ ของหุ่นจำลอง ที่มีรูปแบบการระบายอากาศต่างกัน

เก็บข้อมูลตั้งแต่เวลา 00.00 น. ของวันที่ 14 เมษายน 2546 ถึงเวลา 12.00 น. ของวันที่ 15 เมษายน 2546



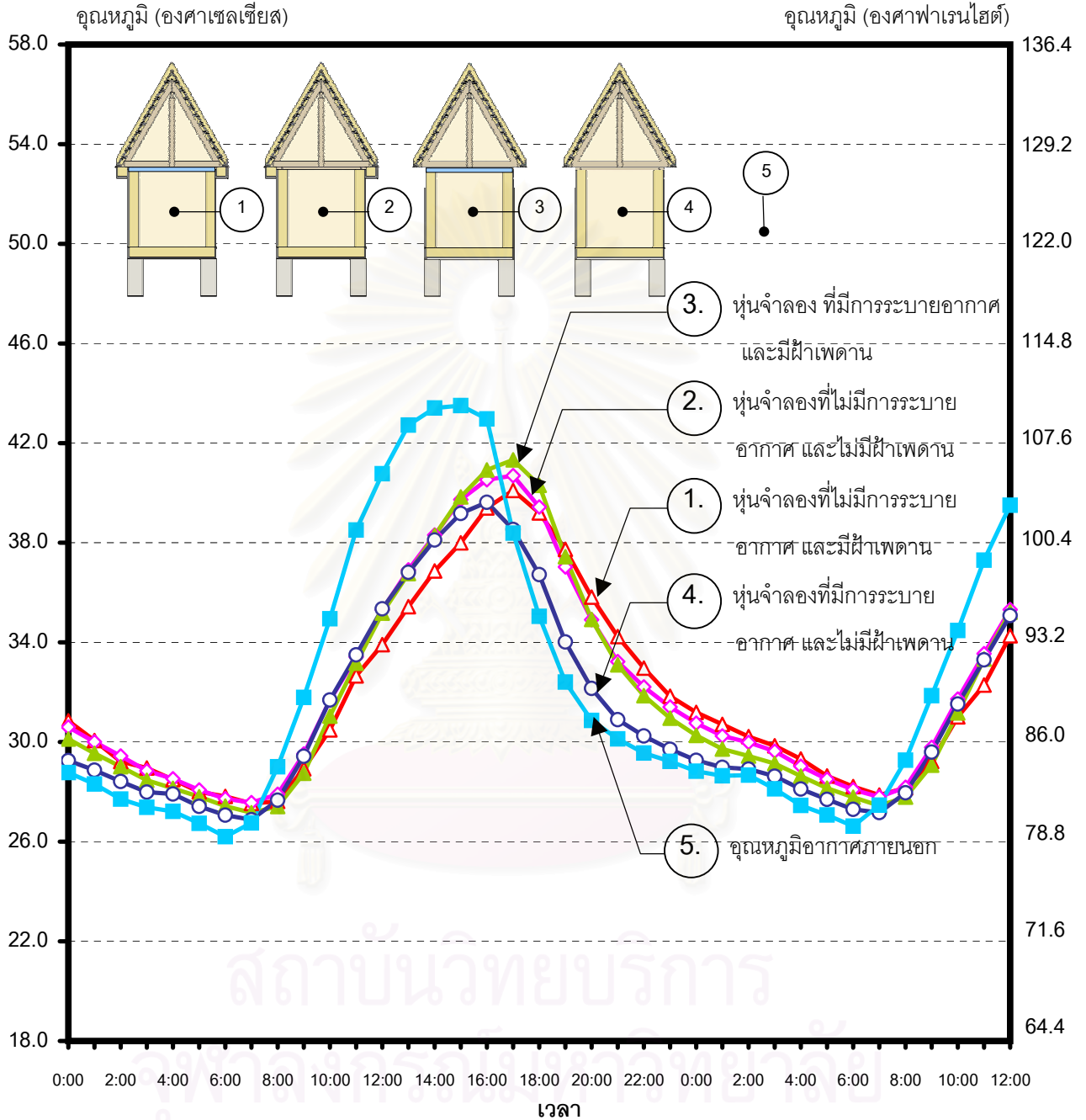
ปริมาณเมฆบนท้องฟ้า

10%	30%
14 เมษายน 2546	15 เมษายน 2546

- △— อุณหภูมิผิวหลังคาภายในทิศใต้ ที่ไม่มีการระบายอากาศ และมีฝ้าเพดาน
- ◇— อุณหภูมิผิวหลังคาภายในทิศใต้ ที่ไม่มีการระบายอากาศ และไม่มีฝ้าเพดาน
- ▲— อุณหภูมิผิวหลังคาภายในทิศใต้ ที่มีการระบายอากาศ และมีฝ้าเพดาน
- อุณหภูมิผิวหลังคาภายในทิศใต้ ที่มีการระบายอากาศ และไม่มีฝ้าเพดาน
- อุณหภูมิอากาศภายนอก

แผนภูมิ 4-82 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในหุ่นจำลอง ณ ตำแหน่งสูงจากพื้น 0.50 ม. ที่มีรูปแบบการระบายอากาศต่างกัน

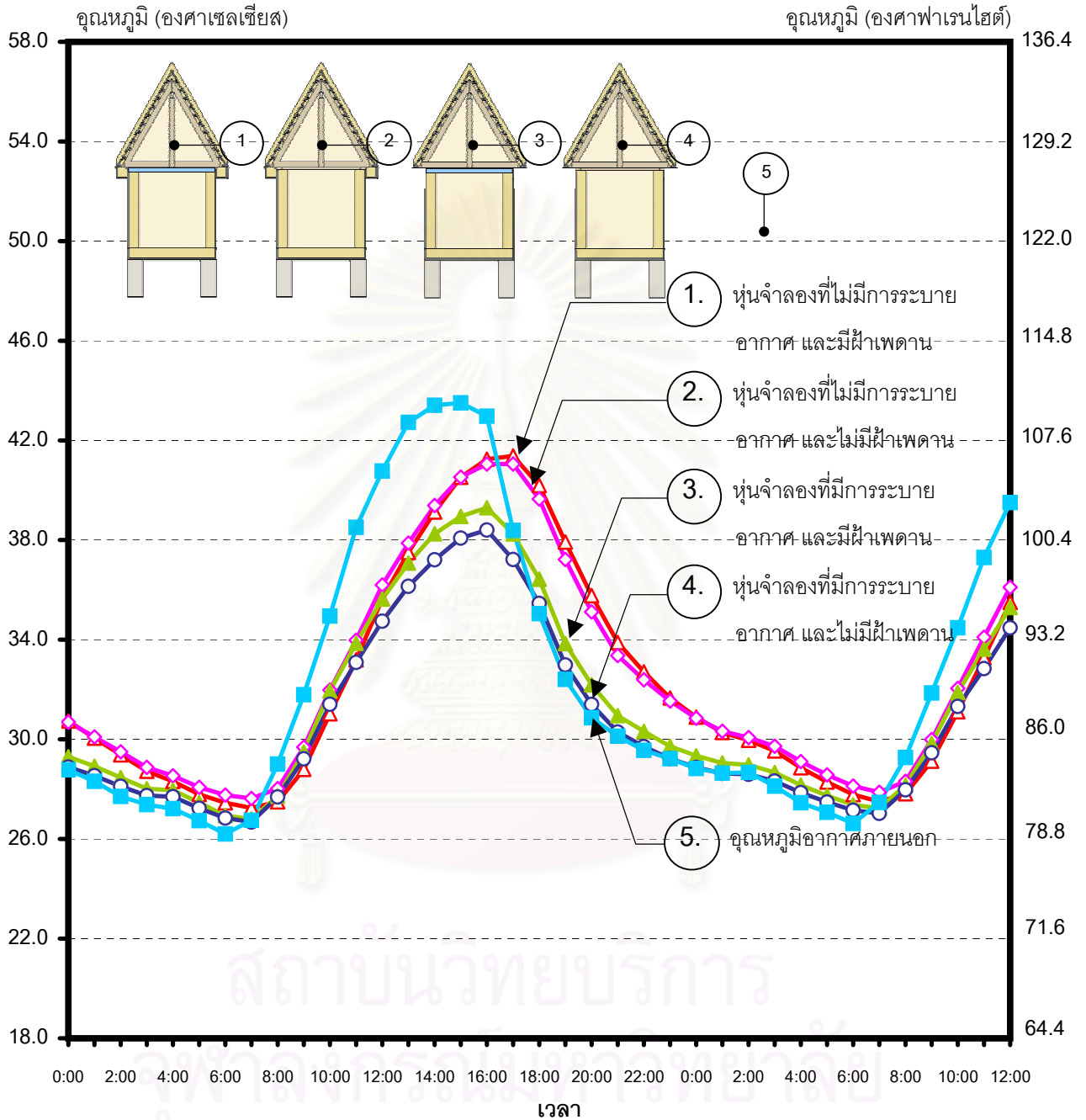
เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 14 เมษายน 2546 ถึงเวลา 12.00 น. ของวันที่ 15 เมษายน 2546



- △— อุณหภูมิอากาศภายในหุ่นจำลอง ที่ไม่มีการระบายอากาศ และมีฝ้าเพดาน
- ◇— อุณหภูมิอากาศภายในหุ่นจำลอง ที่ไม่มีการระบายอากาศ และไม่มีฝ้าเพดาน
- ▲— อุณหภูมิอากาศภายในหุ่นจำลอง ที่มีการระบายอากาศ และมีฝ้าเพดาน
- อุณหภูมิอากาศภายในหุ่นจำลอง ที่มีการระบายอากาศ และไม่มีฝ้าเพดาน
- อุณหภูมิอากาศภายนอก

แผนภูมิ 4-83 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในหุ้่นจำลอง ณ ตำแหน่งสูงจากพื้น 1.20 ม. ที่มีรูปแบบการระบายอากาศต่างกัน

เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 14 เมษายน 2546 ถึงเวลา 12.00 น. ของวันที่ 15 เมษายน 2546



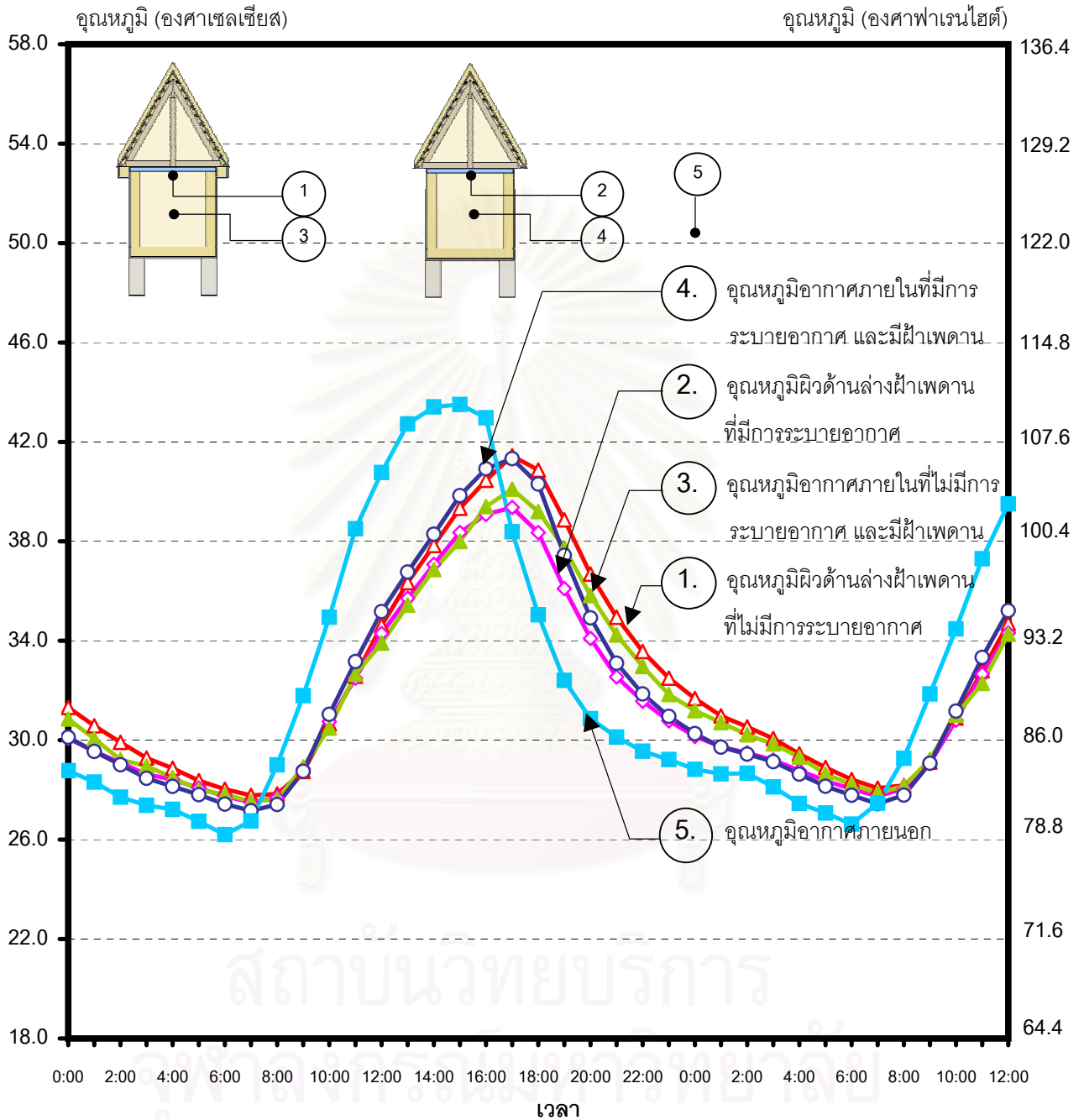
ปริมาณเมฆบนท้องฟ้า

10%	30%
14 เมษายน 2546	15 เมษายน 2546

- △— อุณหภูมิจากอากาศภายในหุ้่นจำลอง ที่ไม่มีการระบายอากาศ และมีฝ้าเพดาน
- ◇— อุณหภูมิจากอากาศภายในหุ้่นจำลอง ที่ไม่มีการระบายอากาศ และไม่มีฝ้าเพดาน
- ▲— อุณหภูมิจากอากาศภายในหุ้่นจำลอง ที่มีการระบายอากาศ และมีฝ้าเพดาน
- อุณหภูมิจากอากาศภายในหุ้่นจำลอง ที่มีการระบายอากาศ และไม่มีฝ้าเพดาน
- อุณหภูมิจากอากาศภายนอก

แผนภูมิ 4-84 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวด้านล่างฝ้าเพดาน และอุณหภูมิอากาศภายใน ของหุ่นจำลอง ที่มีรูปแบบการระบายอากาศต่างกัน

เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 14 เมษายน 2546 ถึงเวลา 12.00 น. ของวันที่ 15 เมษายน 2546



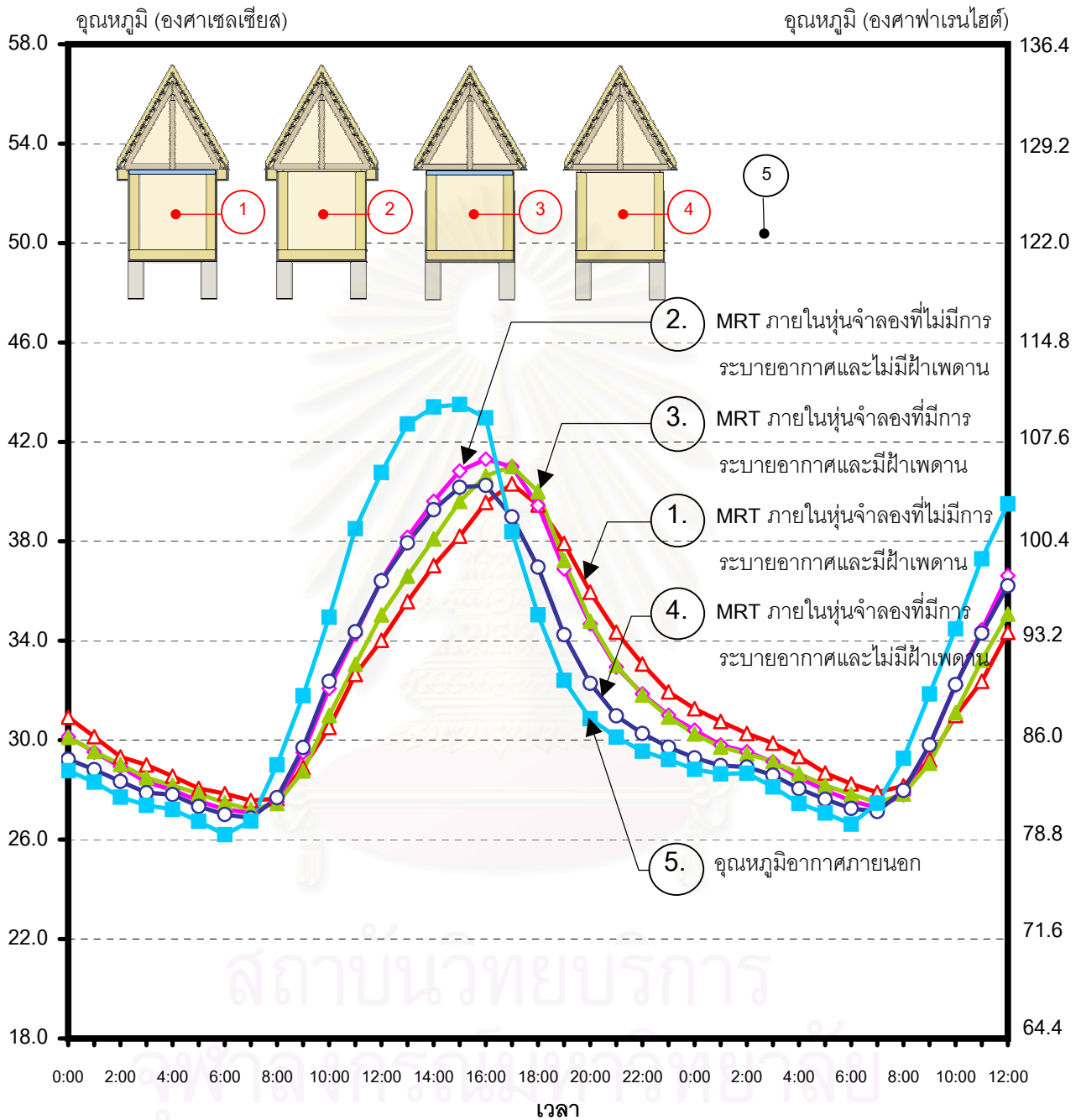
ปริมาณเมฆบนท้องฟ้า

10%	30%
14 เมษายน 2546	15 เมษายน 2546

- ▲ อุณหภูมิผิวด้านล่างฝ้าเพดานที่ไม่มีการระบายอากาศ
- ◇ อุณหภูมิผิวด้านล่างฝ้าเพดานที่มีการระบายอากาศ
- ▲ อุณหภูมิอากาศภายในหุ่นจำลองที่ไม่มีการระบายอากาศ และมีฝ้าเพดาน
- อุณหภูมิอากาศภายในหุ่นจำลองที่มีการระบายอากาศ และมีฝ้าเพดาน
- อุณหภูมิอากาศภายนอก

แผนภูมิ 4-85 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบภายในหุ้่นจำลอง
ที่มีรูปแบบการระบายอากาศต่างกัน

เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 14 เมษายน 2546 ถึงเวลา 12.00 น. ของวันที่ 15 เมษายน 2546



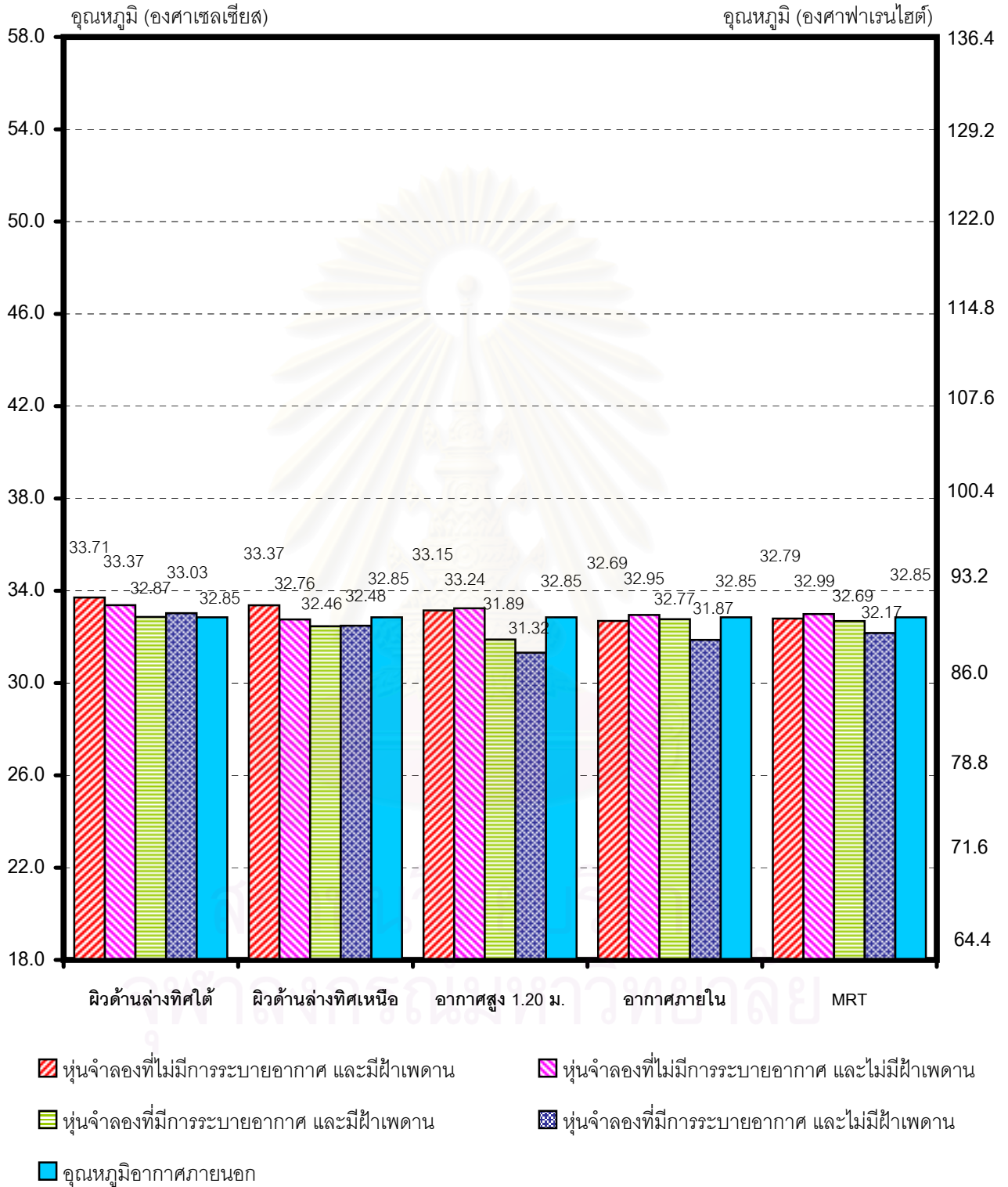
ปริมาณเมฆบนท้องฟ้า

10%	30%
14 เมษายน 2546	15 เมษายน 2546

- △— อุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบภายในหุ้่นจำลอง ที่ไม่มีการระบายอากาศ และมีฝ้าเพดาน
- ◇— อุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบภายในหุ้่นจำลอง ที่ไม่มีการระบายอากาศ และไม่มีฝ้าเพดาน
- ▲— อุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบภายในหุ้่นจำลอง ที่มีการระบายอากาศ และมีฝ้าเพดาน
- อุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบภายในหุ้่นจำลอง ที่มีการระบายอากาศ และไม่มีฝ้าเพดาน
- อุณหภูมิอากาศภายนอก

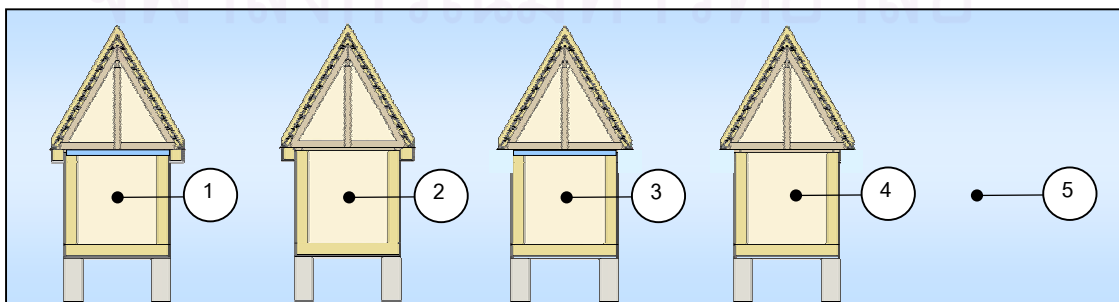
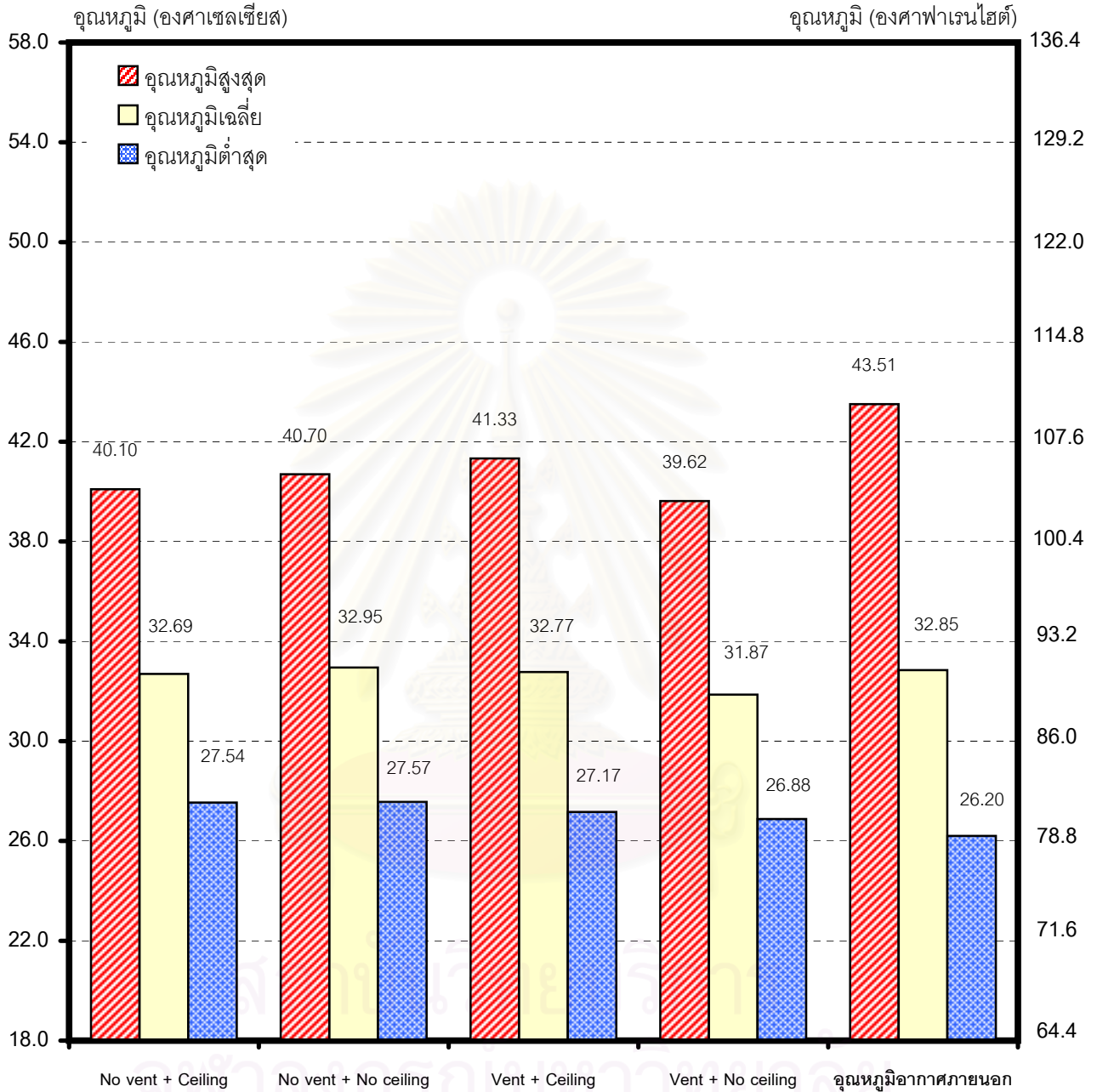
แผนภูมิ 4-86 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วง 24 ชั่วโมง ของหุ่นจำลอง
ที่มีรูปแบบการระบายอากาศต่างกัน

เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 14 เมษายน 2546 ถึงเวลา 00.00 น. ของวันที่ 15 เมษายน 2546



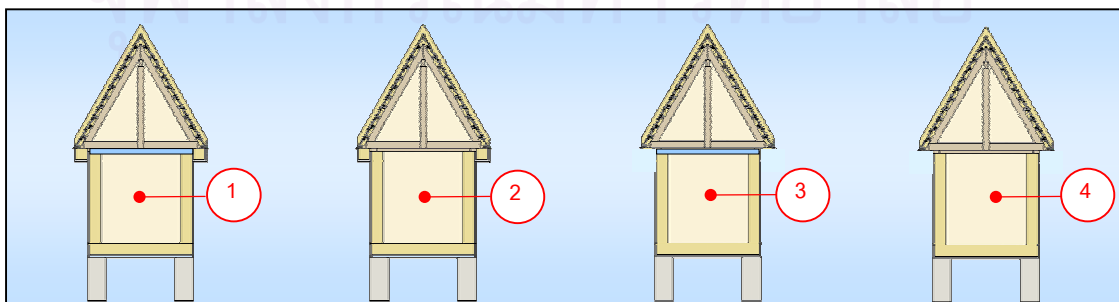
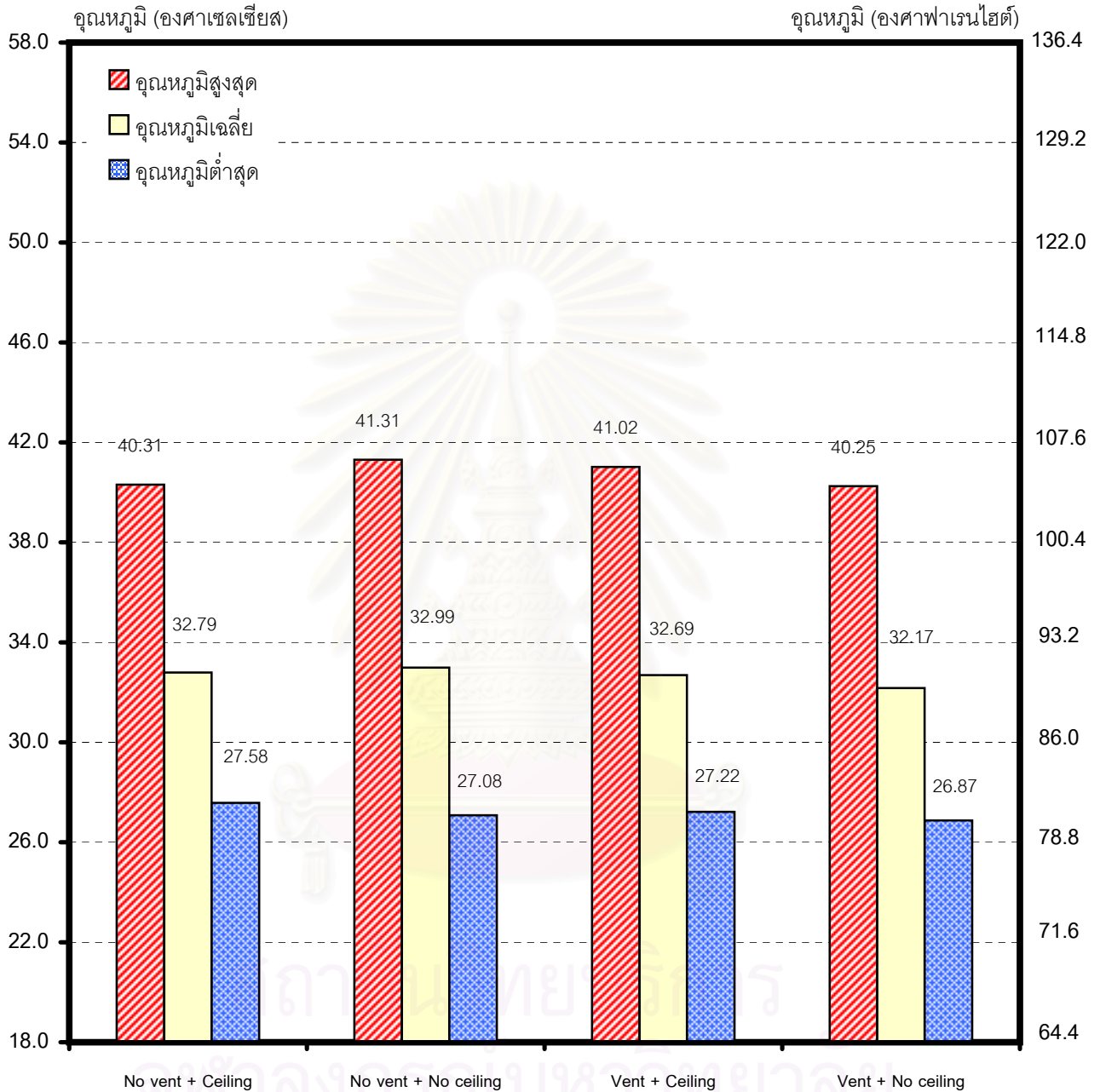
แผนภูมิ 4-87 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายใน เฉลี่ย/สูงสุด/ต่ำสุด ในช่วง 24 ชั่วโมง
 ของหุ่นจำลองที่มีรูปแบบการระบายอากาศต่างกัน

เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 14 เมษายน 2546 ถึงเวลา 00.00 น. ของวันที่ 15 เมษายน 2546



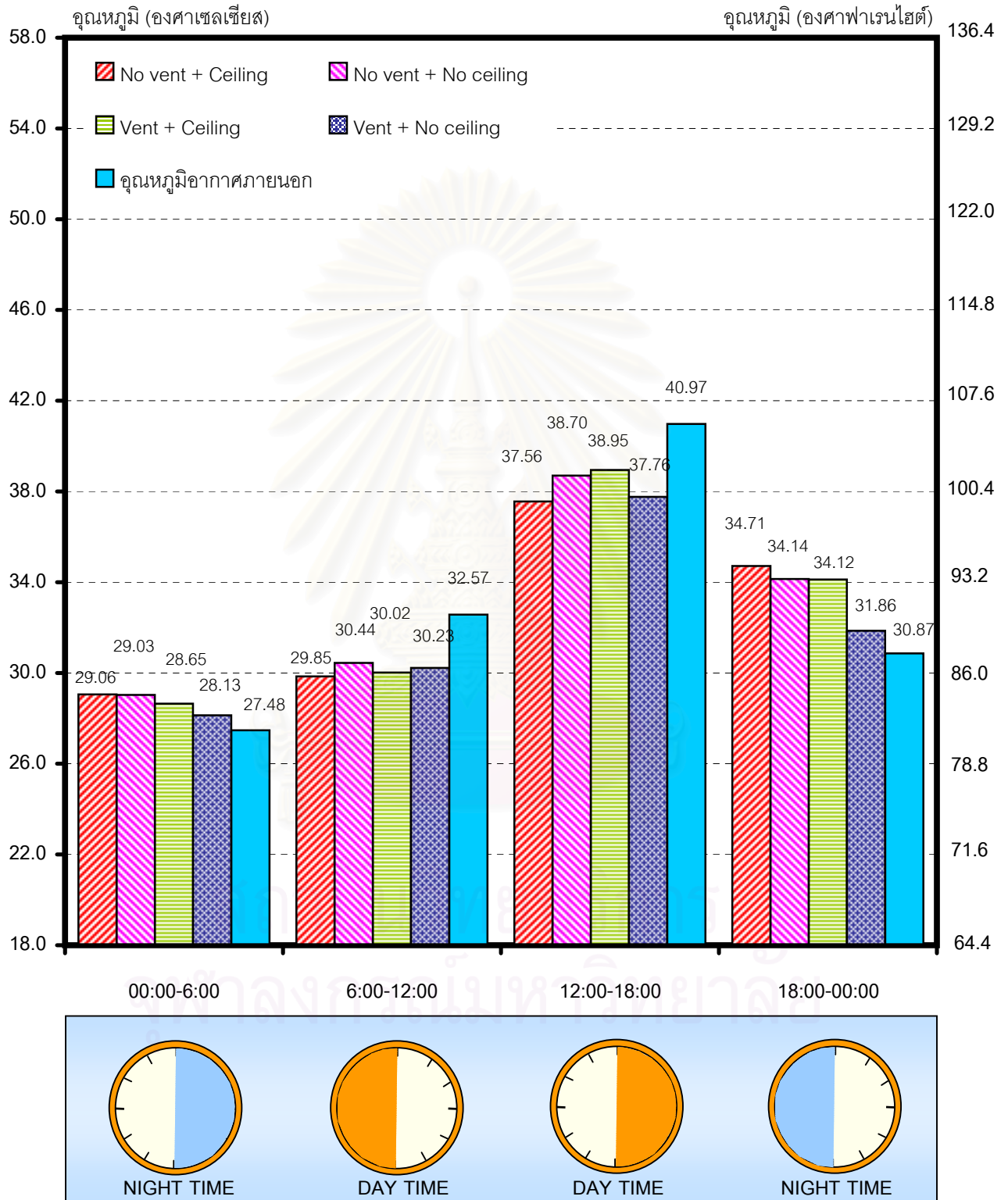
แผนภูมิ 4-88 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบภายใน เฉลี่ย/สูงสุด/ต่ำสุด ในช่วง 24 ชั่วโมง
ของหุ่นจำลองที่มีรูปแบบการระบายอากาศต่างกัน

เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 14 เมษายน 2546 ถึงเวลา 00.00 น. ของวันที่ 15 เมษายน 2546



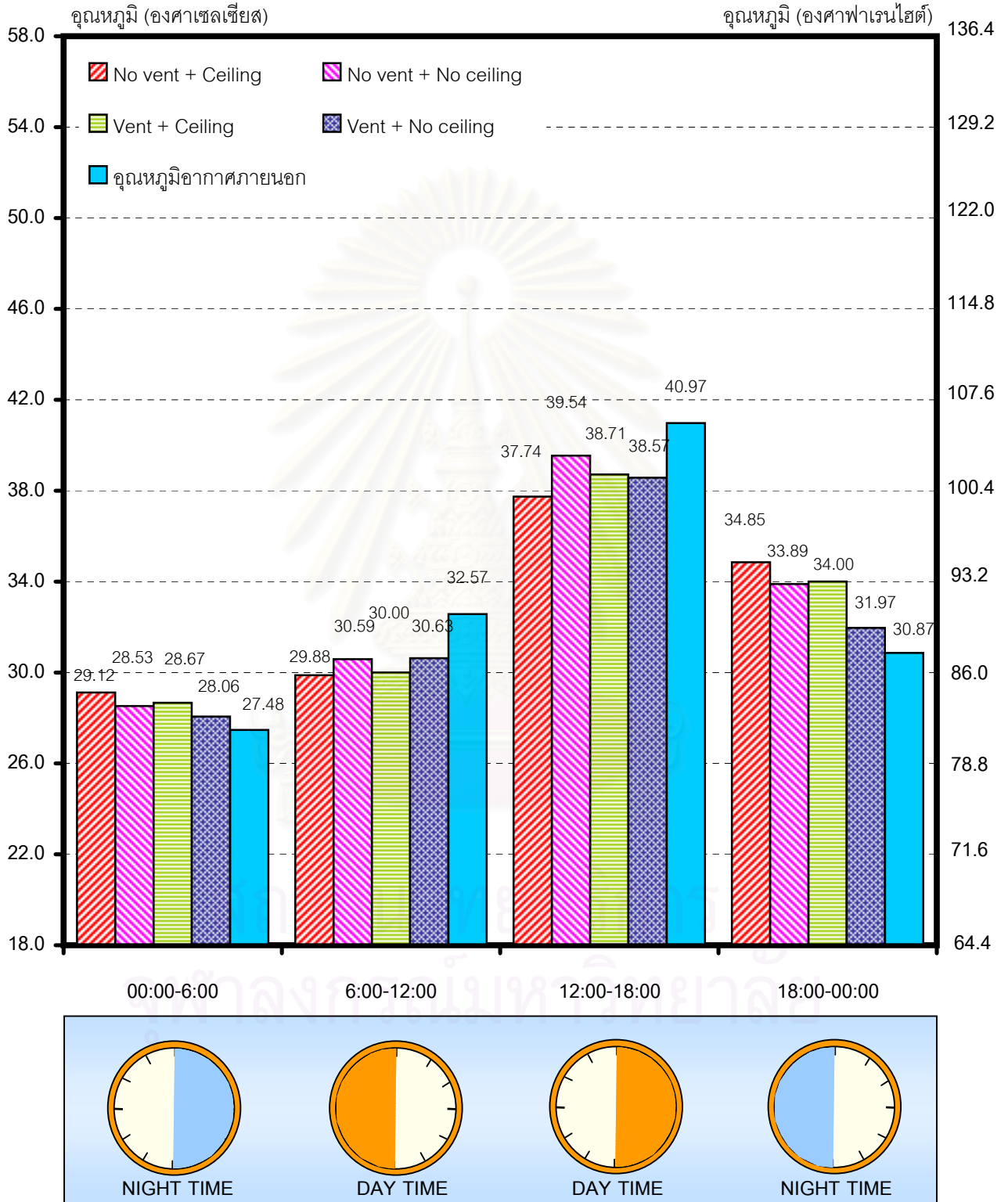
แผนภูมิ 4-89 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ยแต่ละช่วงเวลา ในช่วง 24 ชั่วโมง
ของหุ่นจำลองที่มีรูปแบบการระบายอากาศต่างกัน

เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 14 เมษายน 2546 ถึงเวลา 00.00 น. ของวันที่ 15 เมษายน 2546



แผนภูมิ 4-90 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบแต่ละช่วงเวลา ในช่วง 24 ชั่วโมง
ของหุ่นจำลองที่มีรูปแบบการระบายอากาศต่างกัน

เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 14 เมษายน 2546 ถึงเวลา 00.00 น. ของวันที่ 15 เมษายน 2546



การวิเคราะห์ผลการทดสอบอิทธิพลของรูปแบบการติดตั้งฝ้าเพดาน และการระบายอากาศ

จากผลการทดสอบพบว่ารูปแบบการติดตั้งฝ้าเพดาน และการระบายอากาศที่แตกต่างกันมีผลให้อุณหภูมิอากาศ และอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบแตกต่างกัน โดยอุณหภูมิอากาศโดยเฉลี่ยภายในห้องมีความแตกต่างกัน เรียงจากมากไปน้อยดังนี้

- ห้องจำลองที่ไม่มีการระบายอากาศ และไม่มีฝ้าเพดาน เท่ากับ 32.95 องศาเซลเซียส
- ห้องจำลองที่มีการระบายอากาศ และมีฝ้าเพดาน เท่ากับ 32.77 องศาเซลเซียส
- ห้องจำลองที่ไม่มีการระบายอากาศ และมีฝ้าเพดาน เท่ากับ 32.69 องศาเซลเซียส
- ห้องจำลองที่มีการระบายอากาศ และไม่มีฝ้าเพดาน เท่ากับ 31.87 องศาเซลเซียส

ในกรณีไม่มีการระบายอากาศภายในห้อง ในช่วงเวลากลางวันห้องที่ไม่มีฝ้าเพดานจะมีอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ยสูงกว่าประมาณ 0.26 องศาเซลเซียส เนื่องจากอิทธิพลความร้อนจากพื้นผิวหลังคาถ่ายเทลงมาได้สะดวกกว่าห้องที่มีฝ้าเพดาน เพราะฝ้าเพดานช่วยกักเก็บความร้อนส่วนหนึ่งไว้ได้หลังคา ดังจะเห็นได้จากแผนภูมิ 4-83 ที่อุณหภูมิอากาศใต้หลังคาห้องที่มีฝ้าจะสูงกว่าห้องที่ไม่มีฝ้าตลอดช่วงกลางวัน

ส่วนในเวลาหลังดวงอาทิตย์ตก ห้องจำลองเริ่มแลกเปลี่ยนรังสีคลื่นยาวกับท้องฟ้าผ่านวัสดุผนังหลังคา ห้องจำลองที่มีฝ้าเพดานจะมีอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงกลางคืนสูงกว่า เนื่องจากฝ้าเพดานจะเป็นตัวสกัดกั้นความร้อนที่จะถ่ายเทออกไปทางหลังคา

ในกรณีมีการระบายอากาศภายในห้อง ทั้งช่วงเวลากลางวัน และกลางคืน ห้องจำลองที่มีฝ้าเพดานจะมีอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ยสูงกว่าประมาณ 0.90 องศาเซลเซียส เนื่องจากการระบายอากาศภายในห้องจำลองมีประสิทธิภาพต่ำกว่า เพราะสามารถระบายความร้อนที่สะสมอยู่เหนือฝ้าเพดานเท่านั้น ความร้อนที่อยู่ภายในไม่สามารถระบายผ่านฝ้าเพดานได้สะดวก ส่วนห้องที่ไม่มีฝ้าความร้อนสามารถลอยตัวขึ้น และระบายออกได้สะดวกกว่า

ในการวิเคราะห์อุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบของห้องจำลองที่มีรูปแบบการติดตั้งฝ้าเพดาน และการระบายอากาศต่างกัมนั้นสรุปได้ว่า ห้องจำลองที่มีฝ้าเพดานจะมีอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบในช่วงเวลากลางวันต่ำกว่าห้องจำลองที่ไม่มีฝ้า เนื่องจากความร้อนจะถูกสะสมไว้เหนือฝ้าเพดานส่วนหนึ่ง แต่ในทางกลับกัน ในช่วงเวลากลางคืนห้องจำลองที่ไม่มีฝ้าเพดานจะมีอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบต่ำกว่าเนื่องจากการระบายความร้อนโดยการแผ่รังสีสู่ท้องฟ้าผ่านวัสดุผนังหลังคาเป็นไปได้อย่างสะดวกกว่า

สรุปผลการวิจัยได้ว่ารูปแบบของเรือนไทยในอดีตที่มีการระบายอากาศ และไม่มีฝ้าเพดานจะมีอุณหภูมิโดยเฉลี่ยของอากาศภายใน ตอนเวลากลางวันสูงกว่าบ้านที่มีฝ้าเพดาน ส่วนช่วงเวลากลางคืนจะมีอุณหภูมิโดยเฉลี่ยของอากาศภายในต่ำกว่าบ้านที่ติดฝ้า ซึ่งในความเป็นจริงผู้อยู่อาศัยจะพักผ่อนอยู่ในบ้านในช่วงเวลากลางคืนมากกว่าในช่วงเวลากลางวันที่ออกไปทำงานนอกบ้าน รูปแบบของเรือนไทยที่ไม่มีฝ้าจึงมีความเหมาะสมต่อการอยู่อาศัยมากกว่าเรือนไทยที่มีฝ้าเพดาน

4.3.3 การทดสอบอิทธิพลของรูปแบบการติดตั้งฉนวนกันความร้อน (Test of Insulation)

วัตถุประสงค์ มีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะศึกษาเทคนิคแนวทางการติดตั้งฉนวนกันความร้อน และการระบายอากาศภายใต้หลังคา

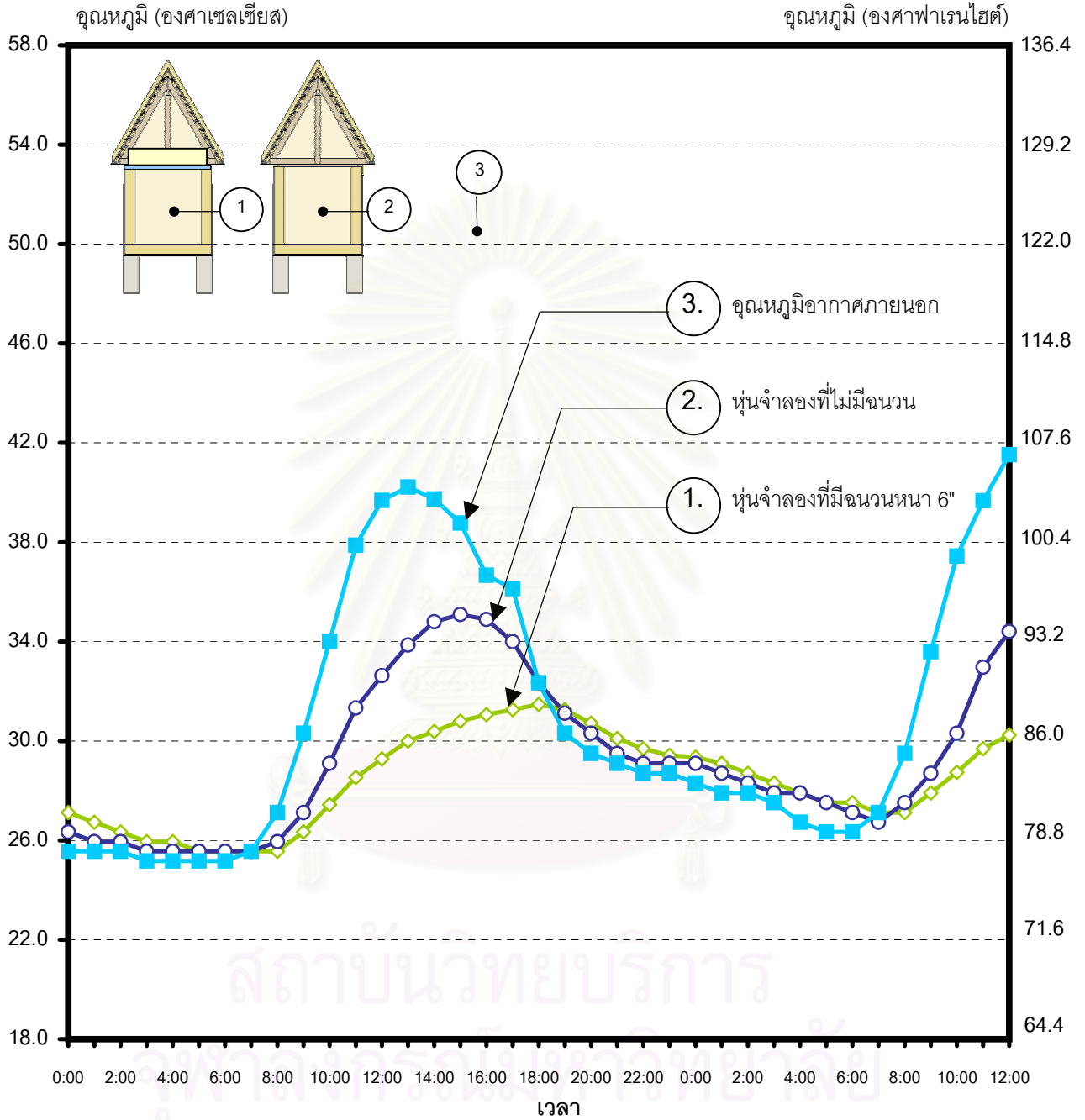
ผลการทดสอบ

เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายใน และอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบภายในห้องจำลอง ที่มีฉนวนกันความร้อนหนา 6 นิ้ว และไม่มีฉนวน โดยใช้วัสดุหลังคาเป็นกระเบื้องดินเผาเหมือนกัน แสดงผลการทดสอบได้ดังนี้

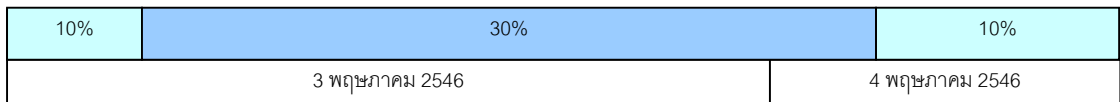
- เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในห้อง ณ ตำแหน่งสูงจากพื้น 0.50 ม. ที่มีฉนวนหนา 6" และไม่มีฉนวนดังแผนภูมิ 4-91
- เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในห้อง ณ ตำแหน่งสูงจากพื้น 1.20 ม. ที่มีฉนวนหนา 6" และไม่มีฉนวน ดังแผนภูมิ 4-92
- เปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบภายในห้องที่มีฉนวนหนา 6" และไม่มีฉนวน ดังแผนภูมิ 4-93
- เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายใน เฉลี่ย/สูงสุด/ต่ำสุด ในช่วง 24 ชั่วโมงที่มีฉนวนหนา 6" และไม่มีฉนวน ดังแผนภูมิ 4-94
- เปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบภายใน เฉลี่ย/สูงสุด/ต่ำสุด ในช่วง 24 ชั่วโมงของห้องจำลองที่มีฉนวนหนา 6" และไม่มีฉนวน ดังแผนภูมิ 4-95
- เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ยแต่ละช่วงเวลา ในช่วง 24 ชั่วโมงของห้องจำลองที่มีมุมเอียงหลังคาแตกต่างกัน ดังแผนภูมิ 4-96
- เปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบแต่ละช่วงเวลา ในช่วง 24 ชั่วโมงของห้องจำลองที่มีฉนวนหนา 6" และไม่มีฉนวน ดังแผนภูมิ 4-97

แผนภูมิ 4-91 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในหุ้่นจำลอง ณ ตำแหน่งสูงจากพื้น 0.50 ม. ที่มีฉนวนหนา 6" และไม่มีฉนวน

เก็บข้อมูลตั้งแต่เวลา 0.00 น. ของวันที่ 3 พฤษภาคม 2546 ถึงเวลา 0.00 น. ของวันที่ 4 พฤษภาคม 2546



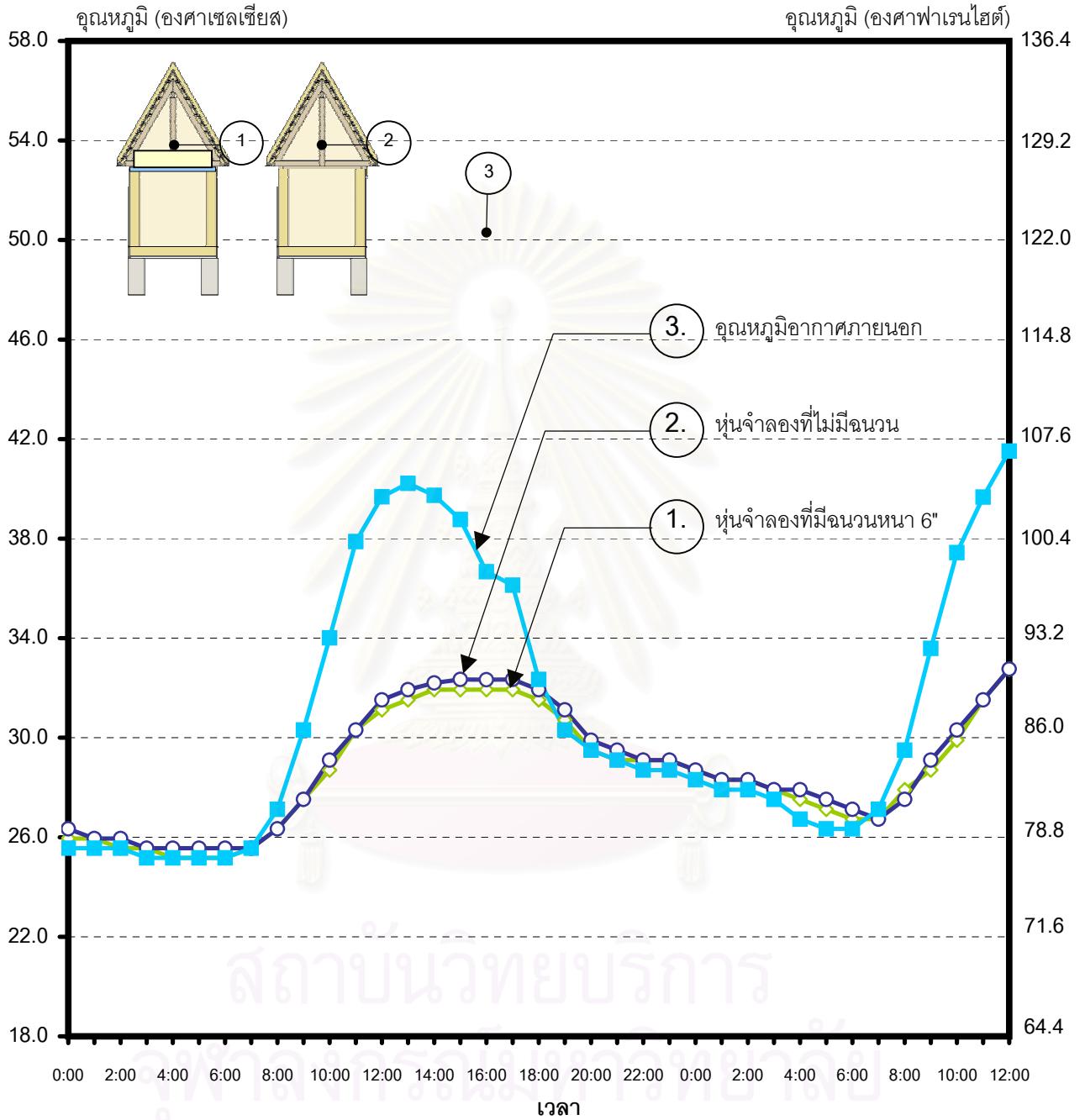
ปริมาณเมฆบนท้องฟ้า



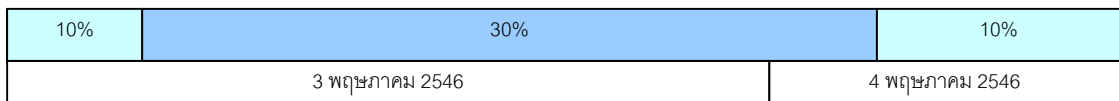
- ◆ อุณหภูมิอากาศภายในหุ้่นจำลองที่มีฉนวนกันความร้อนหนา 6 นิ้ว
- อุณหภูมิอากาศภายในหุ้่นจำลองที่ไม่มีฉนวน
- อุณหภูมิอากาศภายนอก

แผนภูมิ 4-92 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในหุ้่นจำลอง ณ ตำแหน่งสูงจากพื้น 1.20 ม. ที่มีฉนวนหนา 6" และไม่มีฉนวน

เก็บข้อมูลตั้งแต่เวลา 0.00 น. ของวันที่ 3 พฤษภาคม 2546 ถึงเวลา 0.00 น. ของวันที่ 4 พฤษภาคม 2546



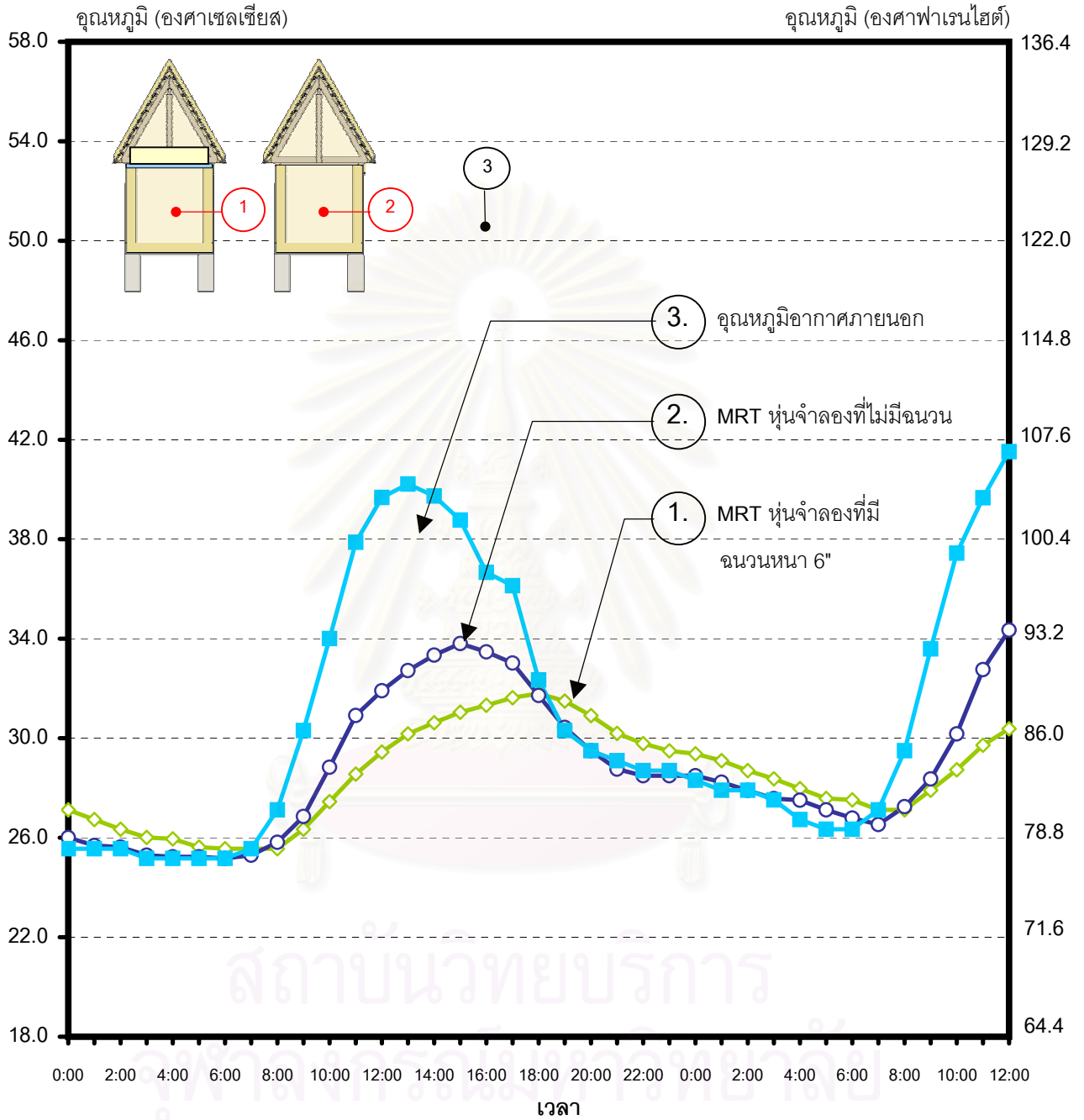
ปริมาณเมฆบนท้องฟ้า



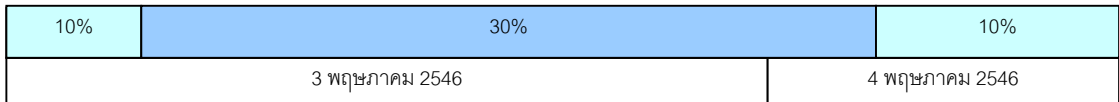
- ◆ อุณหภูมิอากาศภายในหุ้่นจำลองที่มีฉนวนกันความร้อนหนา 6 นิ้ว
- อุณหภูมิอากาศภายในหุ้่นจำลองที่ไม่มีฉนวน
- อุณหภูมิอากาศภายนอก

แผนภูมิ 4-93 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบภายในหุ้่นจำลอง
ที่มีฉนวนหนา 6" และไม่มีฉนวน

เก็บข้อมูลตั้งแต่เวลา 0.00 น. ของวันที่ 3 พฤษภาคม 2546 ถึงเวลา 0.00 น. ของวันที่ 4 พฤษภาคม 2546



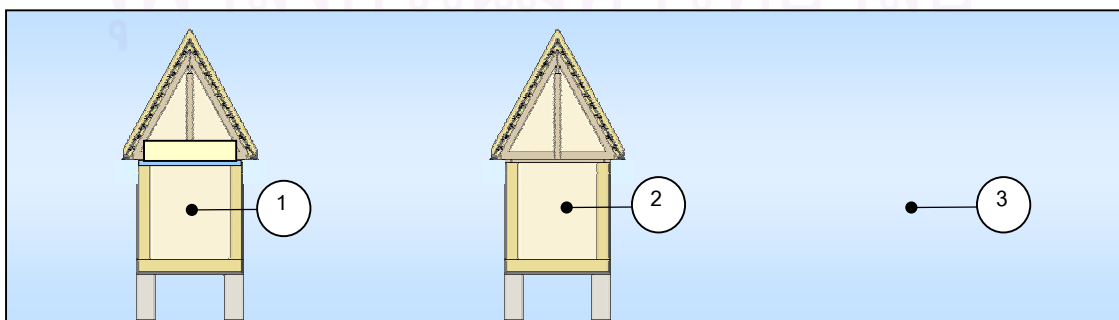
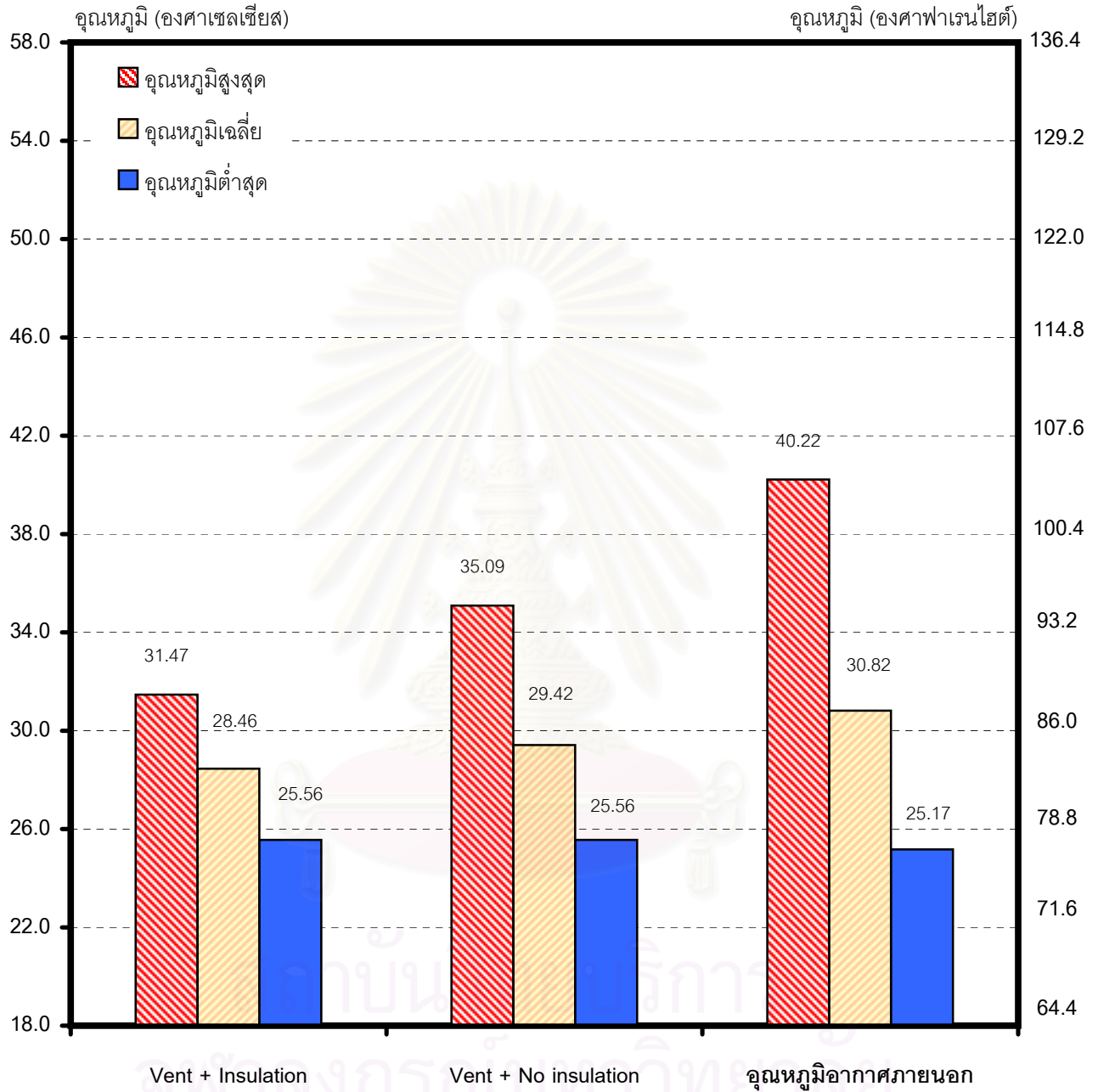
ปริมาณเมฆบนท้องฟ้า



- ◇ อุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบภายในหุ้่นจำลอง ที่มีการระบายอากาศ และมีฝ้าเพดาน
- อุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบภายในหุ้่นจำลอง ที่มีการระบายอากาศ และไม่มีฝ้าเพดาน
- อุณหภูมิอากาศภายนอก

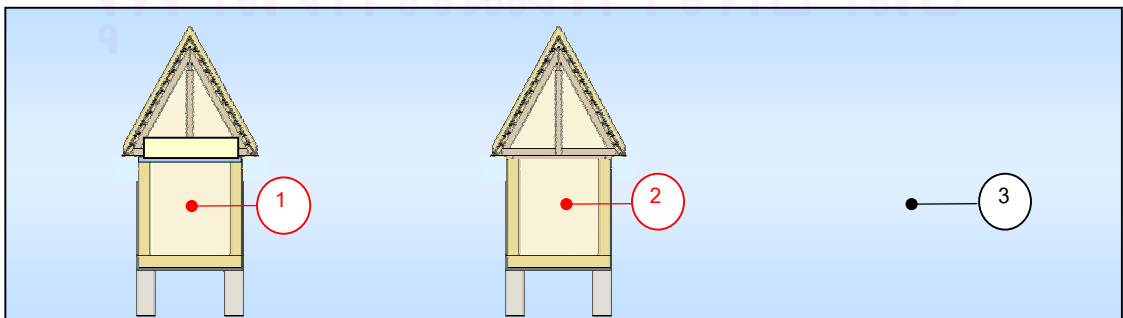
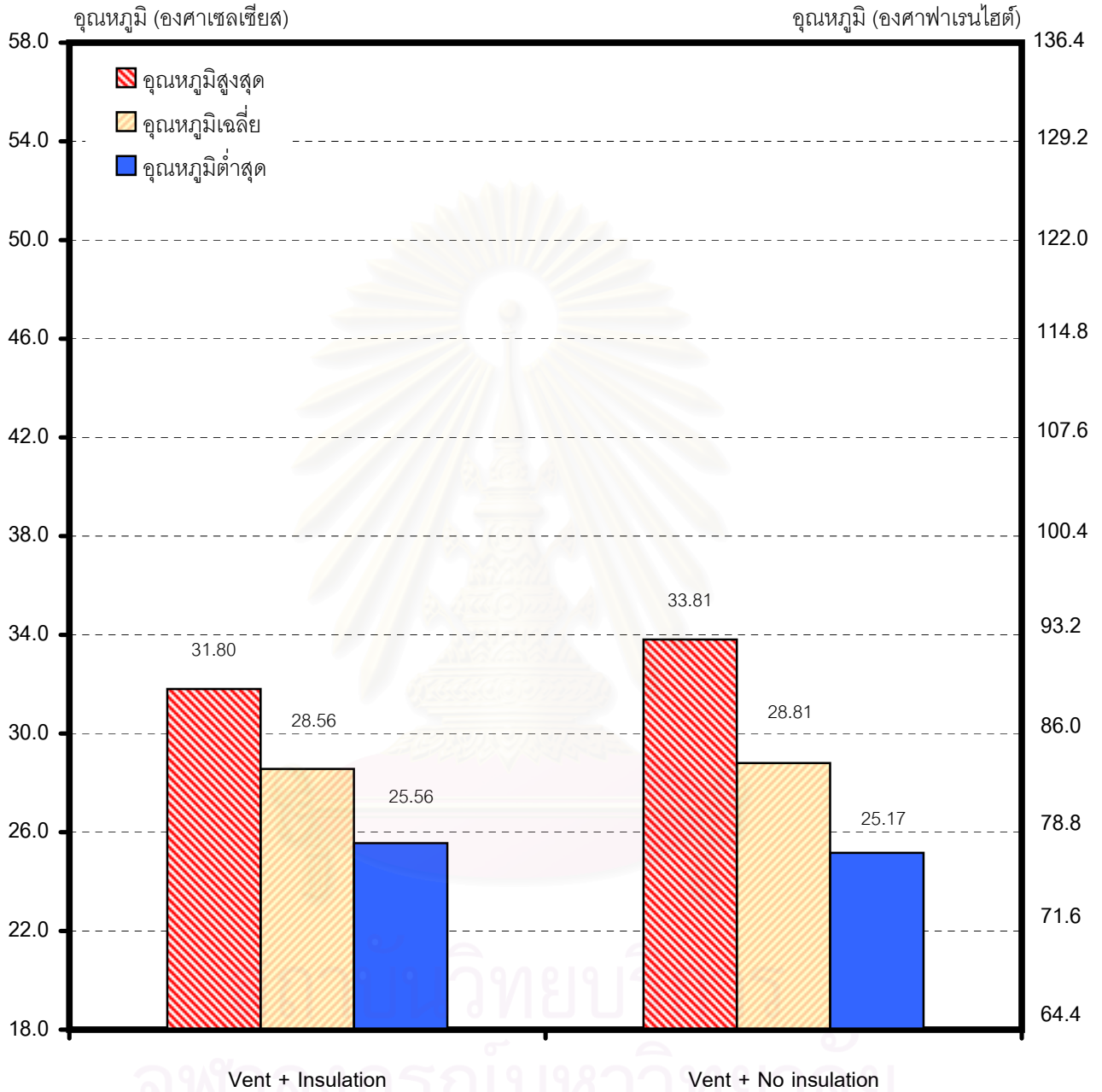
แผนภูมิ 4-94 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายใน เฉลี่ย/สูงสุด/ต่ำสุด ในช่วง 24 ชั่วโมง
ที่มีฉนวนหนา 6" และไม่มีฉนวน

เก็บข้อมูลตั้งแต่เวลา 0.00 น. ของวันที่ 3 พฤษภาคม 2546 ถึงเวลา 0.00 น. ของวันที่ 4 พฤษภาคม 2546



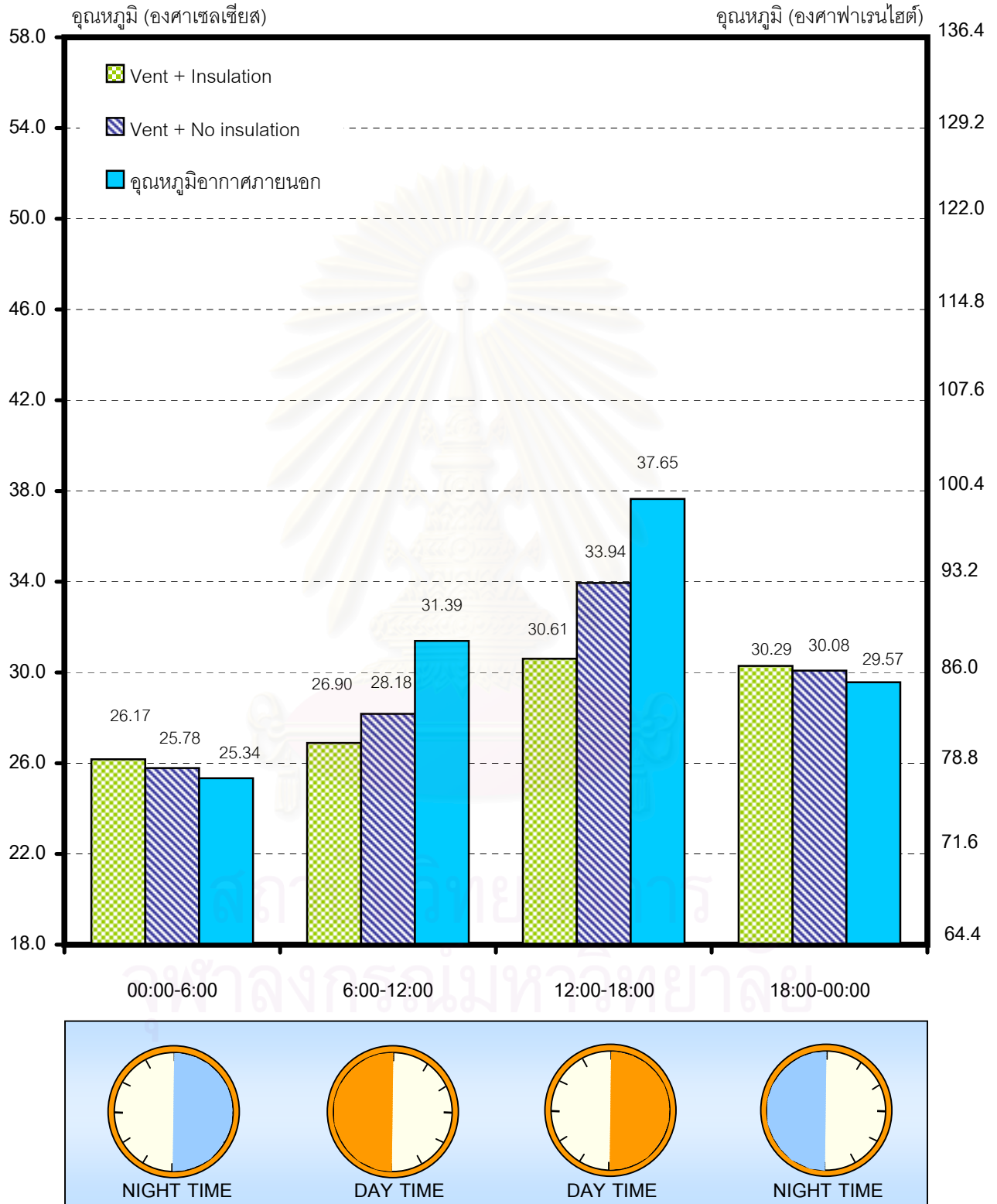
แผนภูมิ 4-95 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบภายใน เฉลี่ย/สูงสุด/ต่ำสุด ในช่วง 24 ชั่วโมง
ของหุ่นจำลองที่มีฉนวนหนา 6" และไม่มีฉนวน

เก็บข้อมูลตั้งแต่เวลา 0.00 น. ของวันที่ 3 พฤษภาคม 2546 ถึงเวลา 0.00 น. ของวันที่ 4 พฤษภาคม 2546



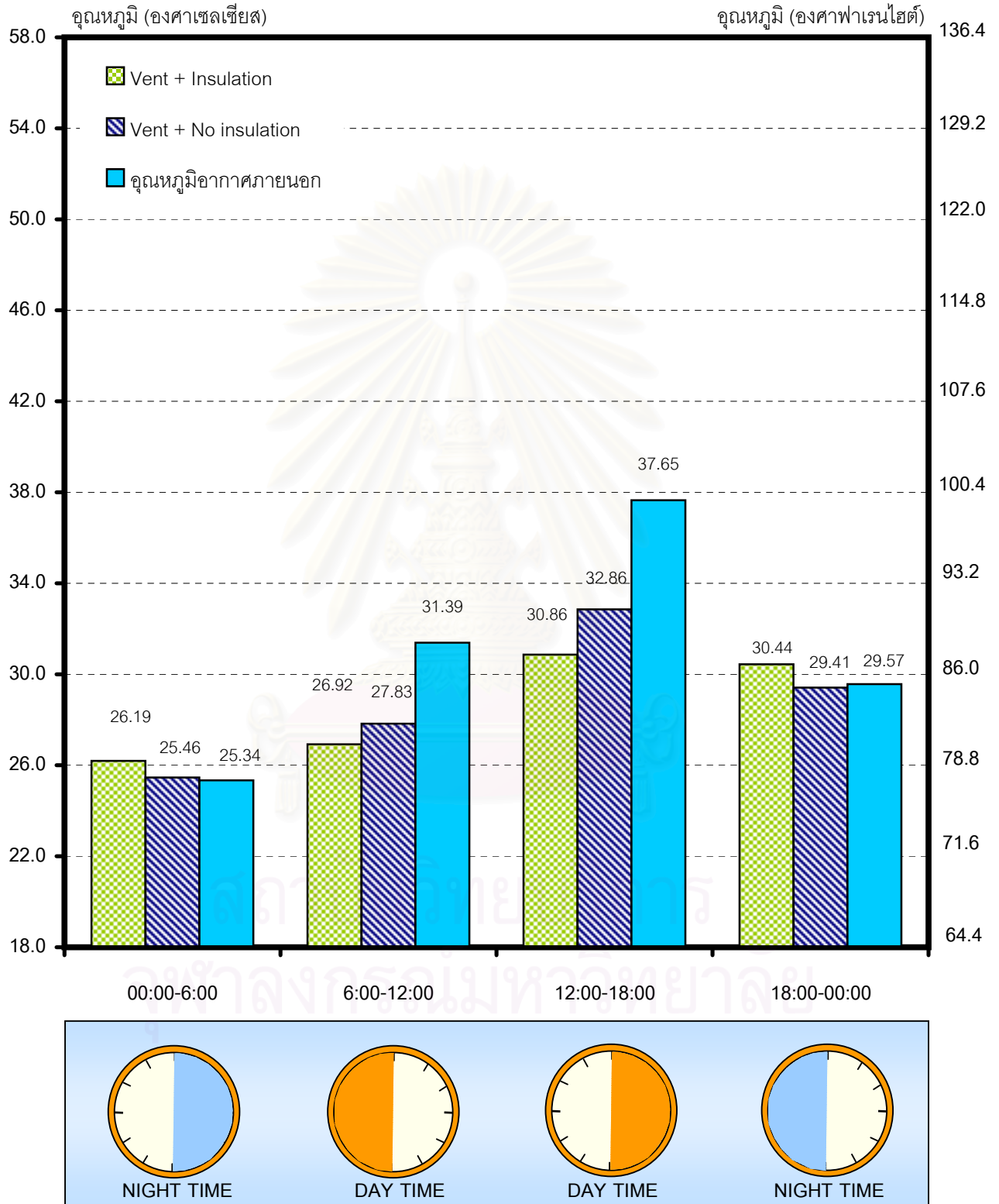
แผนภูมิ 4-96 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ยแต่ละช่วงเวลา ในช่วง 24 ชั่วโมง
ของหุ่นจำลองที่มีฉนวนหนา 6" และไม่มีฉนวน

เก็บข้อมูลตั้งแต่เวลา 0.00 น. ของวันที่ 3 พฤษภาคม 2546 ถึงเวลา 0.00 น. ของวันที่ 4 พฤษภาคม 2546



แผนภูมิ 4-97 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบแต่ละช่วงเวลา ในช่วง 24 ชั่วโมง
ของหุ่นจำลองที่มีฉนวนหนา 6" และไม่มีฉนวน

เก็บข้อมูลตั้งแต่เวลา 0.00 น. ของวันที่ 3 พฤษภาคม 2546 ถึงเวลา 0.00 น. ของวันที่ 4 พฤษภาคม 2546



การวิเคราะห์ผลการทดสอบอิทธิพลของการติดตั้งฉนวนกันความร้อน

จากผลการทดสอบรูปแบบการติดตั้งฝ้าเพดาน และการระบายอากาศนั้นพบว่ารูปแบบที่สามารถลดอุณหภูมิอากาศภายในได้ต่ำที่สุดคือ หุ่นจำลองที่มีการระบายอากาศ และไม่มีฝ้าเพดาน แต่ก็ยังไม่สามารถลดอุณหภูมิอากาศภายในให้ต่ำเข้าใกล้ขอบเขตภาวะน่าสบายได้ โดยมีอุณหภูมิอากาศภายในหุ่นจำลองเฉลี่ยอยู่ที่ 31.87 องศาเซลเซียส และมีอุณหภูมิสูงสุดของวันถึง 39.62 องศาเซลเซียส จึงนำเอารูปแบบที่ดีที่สุดนี้มาทำการทดลองเปรียบเทียบกับหุ่นจำลองที่ทำการปรับปรุงโดยติดตั้งฉนวนกันความร้อนหนา 6 นิ้ว มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U) ประมาณ 0.042 Btu/h.ft²°F ในแนวราบเหนือฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดหนา 12 มม. ซึ่งเป็นตัวแทนของอาคารที่มีการปรับปรุงระบบหลังคาเพื่อลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในอาคาร

จากผลการทดสอบในขั้นตอนนี้พบว่า การปรับปรุงหลังคาโดยการติดตั้งฉนวนกันความร้อนหนา 6 นิ้วในแนวราบเหนือฝ้าเพดาน และมีการระบายอากาศภายในได้หลังคานั้น สามารถลดอุณหภูมิอากาศภายในหุ่นจำลองได้มากกว่ารูปแบบหุ่นจำลองที่มีการระบายอากาศแต่ไม่มีการติดตั้งฝ้าเพดาน โดยในช่วงเวลากลางวันอุณหภูมิอากาศภายในสูงสุดจะมีความแตกต่างกันถึง 3.62 องศาเซลเซียส และต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกสูงสุดถึง 8.75 องศาเซลเซียส ในขณะที่อุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ยของหุ่นจำลองที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนจะอยู่ที่ 28.46 องศาเซลเซียส ซึ่งจะมีความแตกต่างกับหุ่นจำลองที่ไม่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อน และอุณหภูมิอากาศภายนอกประมาณ 0.96 และ 2.36 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

ส่วนในช่วงเวลากลางคืนนั้น ความร้อนที่สะสมภายในหุ่นจำลองจะถ่ายเทออกสู่ภายนอก หุ่นจำลองที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนจะถ่ายเทความร้อนออกได้ยากกว่าหุ่นจำลองที่ไม่มีฉนวนเนื่องจากฉนวนเป็นตัวกั้นความร้อนไม่ให้ระบายออกสู่ภายนอกได้ ส่งผลให้อุณหภูมิอากาศภายในหุ่นจำลองที่มีฉนวน ในช่วงเวลากลางคืนจะสูงกว่าหุ่นจำลองที่ไม่มีฉนวน แต่อย่างไรก็ตามเนื่องจากความร้อนที่สะสมอยู่ในหุ่นจำลองนั้นมีไม่มากเพราะมีฉนวนกันความร้อนไว้ อุณหภูมิอากาศในช่วงเวลากลางคืนของหุ่นจำลองที่มีฉนวนจึงไม่สูงมาก และสูงกว่าหุ่นจำลองที่ไม่มีฉนวนเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

จากการวิจัยสรุปได้ว่าการติดตั้งฉนวนกันความร้อน ร่วมกับรูปแบบการระบายอากาศที่มีประสิทธิภาพนั้น สามารถลดการถ่ายเทความร้อนจากหลังคาเข้าสู่ภายในอาคารได้อยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจ รูปแบบระบบหลังคานี้จึงเป็นแนวทางหนึ่งในการออกแบบอาคารพักอาศัยที่เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย

4.3.4 การทดสอบอิทธิพลของตัวแปรในสภาพแวดล้อมจริง (Case study)

วัตถุประสงค์ มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์อิทธิพลของตัวแปรในสภาพแวดล้อมจริง แล้วนำมาเปรียบเทียบ กับข้อมูลที่ได้จากหุ่นจำลอง

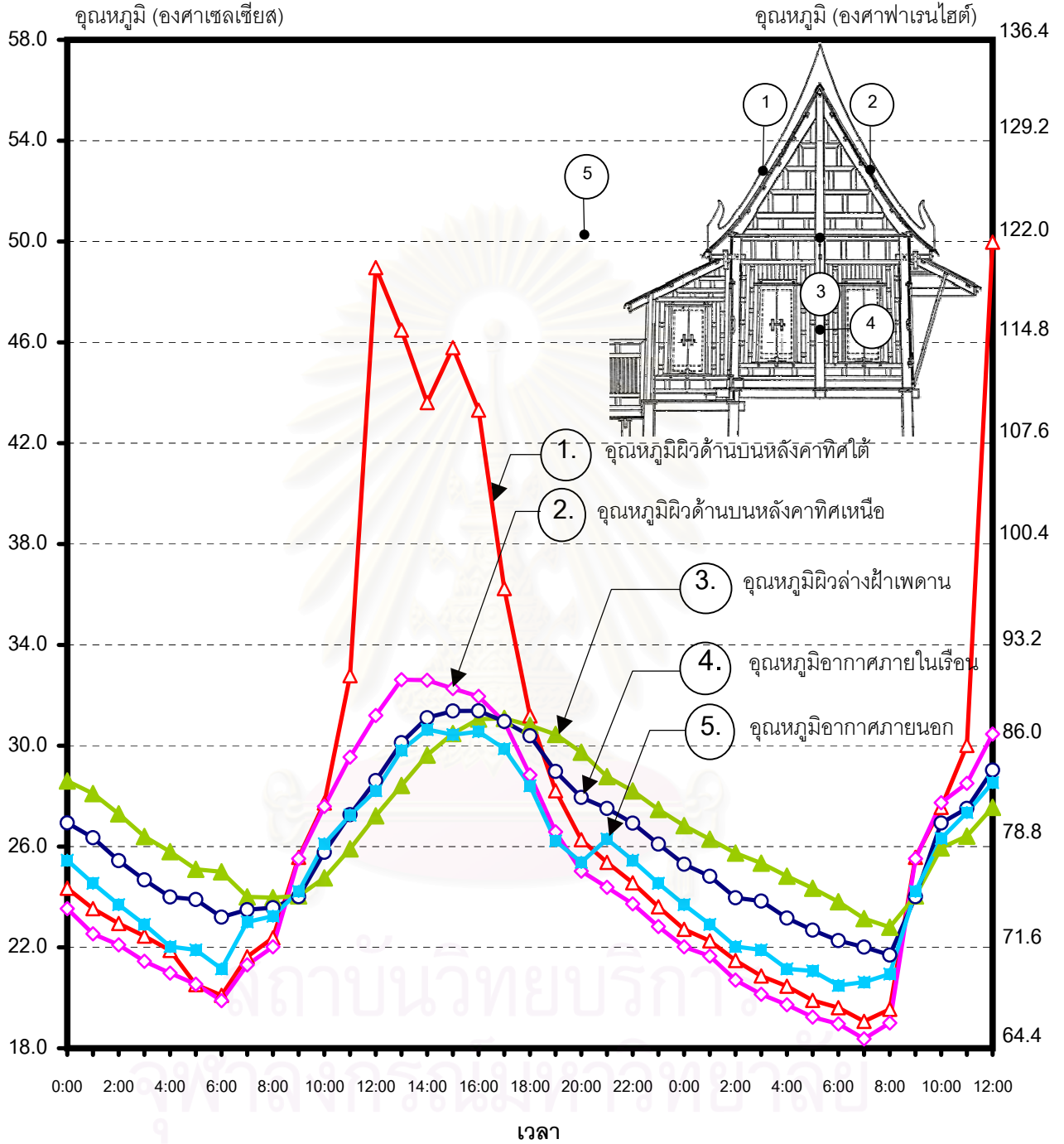
ผลการทดสอบ

เปรียบเทียบอุณหภูมิในตำแหน่งต่างๆ ภายในเรือนไทยที่นำมาเป็นกรณีศึกษา แสดงผลการทดสอบได้ดังนี้

- เปรียบเทียบอุณหภูมิตำแหน่งต่างๆ ภายในเรือนคุ้มขุนแผนดั้งแผนภูมิ 4-98
- เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายใน เฉลี่ย/สูงสุด/ต่ำสุด ในช่วง 24 ชั่วโมงตำแหน่งต่างๆ ภายในเรือนคุ้มขุนแผนดั้งแผนภูมิ 4-99
- เปรียบเทียบอุณหภูมิตำแหน่งต่างๆ ภายในเรือนพระตำหนักทับขวัญดั้งแผนภูมิ 4-100
- เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายใน เฉลี่ย/สูงสุด/ต่ำสุด ในช่วง 24 ชั่วโมงตำแหน่งต่างๆ ภายในเรือนพระตำหนักทับขวัญดั้งแผนภูมิ 4-101
- เปรียบเทียบอุณหภูมิตำแหน่งต่างๆ ภายในเรือนไทยศูนย์ส่งเสริมวัฒนธรรมแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยดั้งแผนภูมิ 4-102
- เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายใน เฉลี่ย/สูงสุด/ต่ำสุด ในช่วง 24 ชั่วโมงตำแหน่งต่างๆ ภายในเรือนไทยศูนย์ส่งเสริมวัฒนธรรมแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยดั้งแผนภูมิ 4-103

แผนภูมิ 4-98 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิตำแหน่งต่างๆภายในเรือนคุ้มขุนแผน

เก็บข้อมูลตั้งแต่เวลา 00.00 น. ของวันที่ 8 มกราคม 2546 ถึงเวลา 12.00 น. ของวันที่ 9 มกราคม 2546



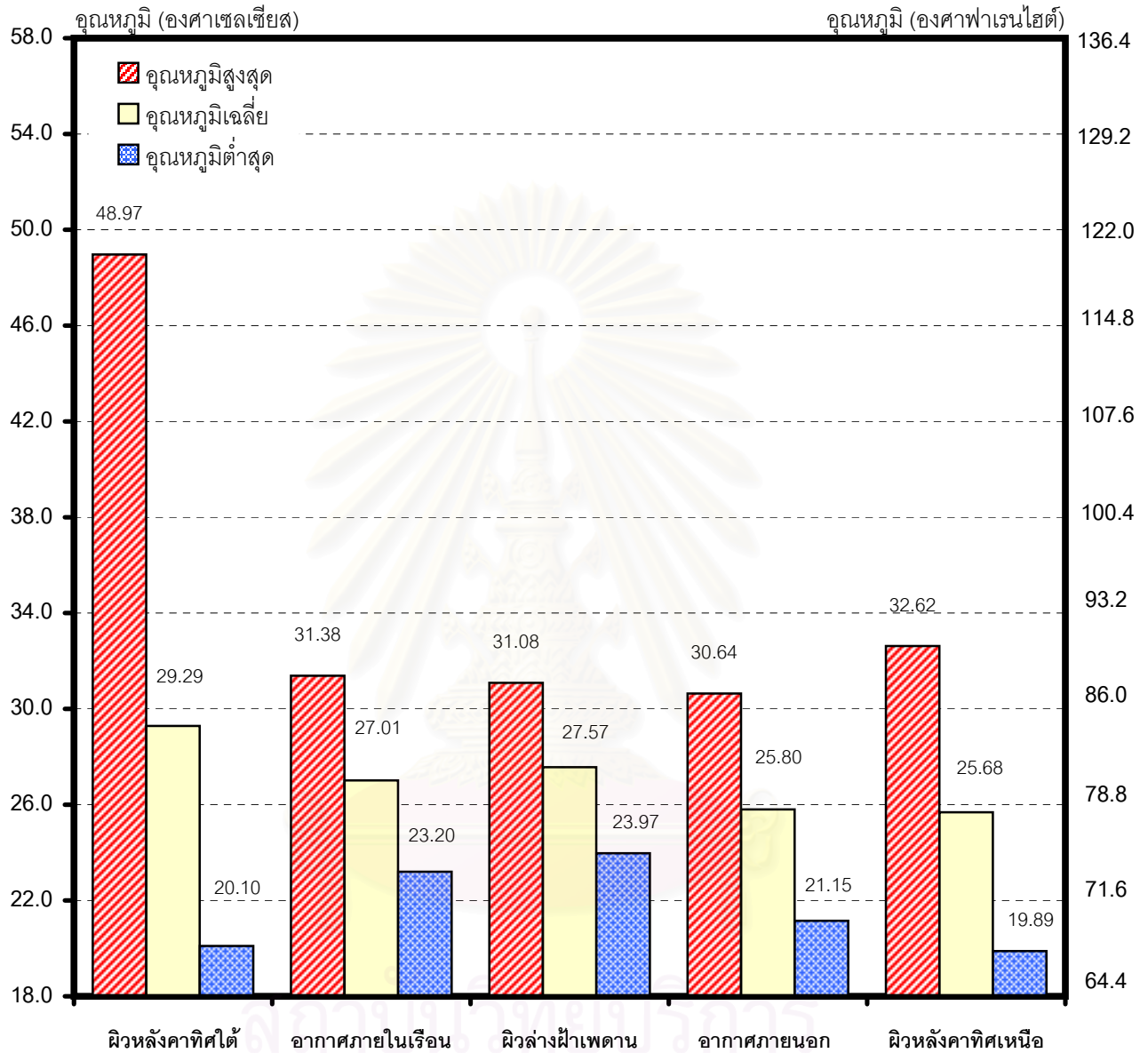
ปริมาณเมฆบนท้องฟ้า

30%	10%	30%	10%
8 มกราคม 2546			9 มกราคม 2546

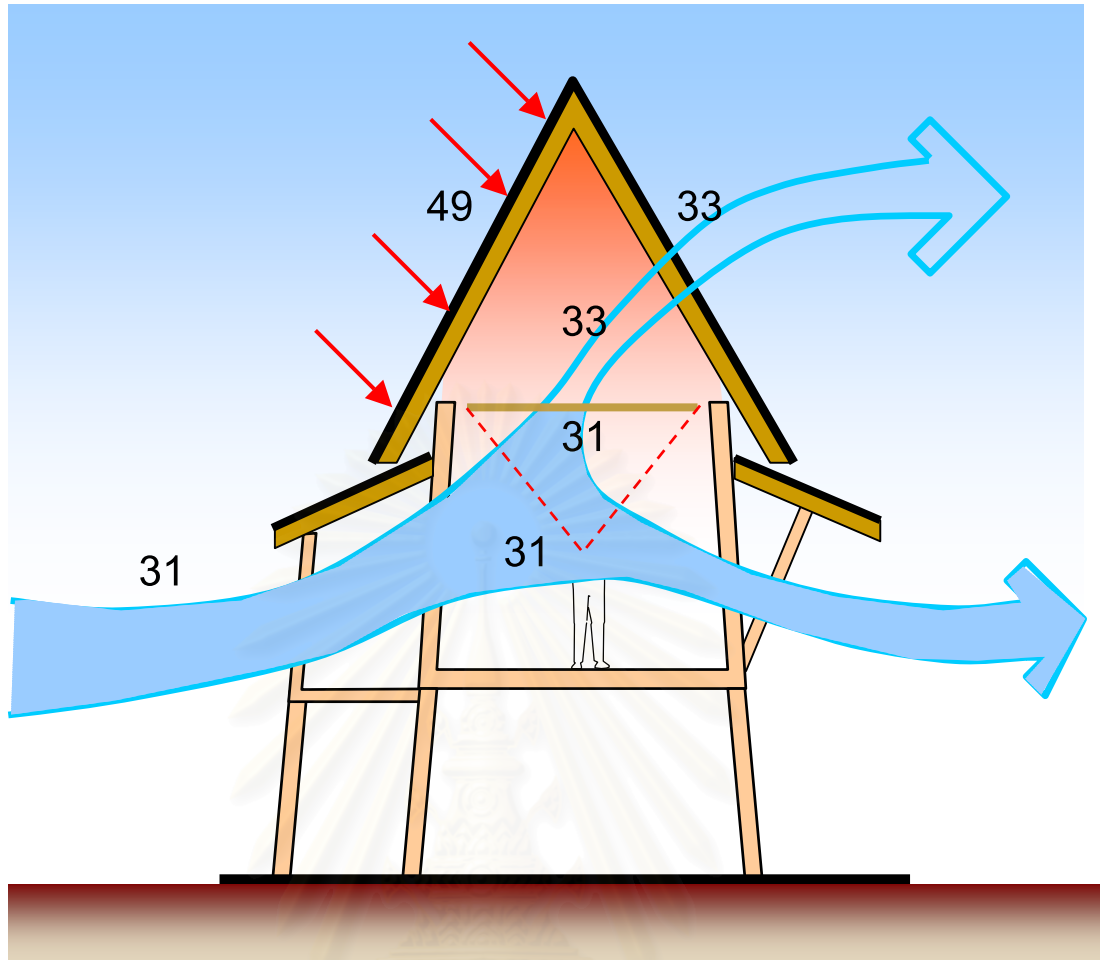
- ▲ อุณหภูมิผิวหลังคาทิศใต้
- ◇ อุณหภูมิผิวหลังคาทิศเหนือ
- ▲ อุณหภูมิผิวล่างฝ้าเพดาน
- อุณหภูมิอากาศภายในเรือน
- อุณหภูมิอากาศภายนอก

แผนภูมิ 4-99 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายใน เจลลีย์/สูงสุด/ต่ำสุด ในช่วง 24 ชั่วโมง
ตำแหน่งต่างๆภายในเรือนคุ้มขุนแผน

เก็บข้อมูลตั้งแต่เวลา 00.00 น. ของวันที่ 8 มกราคม 2546 ถึงเวลา 12.00 น. ของวันที่ 9 มกราคม 2546



จากแผนภูมิอุณหภูมิเฉลี่ยผิวหลังคาทิศใต้จะมีค่ามากที่สุด รองลงไปคือ อุณหภูมิผิวล่างฝ้าเพดาน, อุณหภูมิอากาศภายในเรือน, อุณหภูมิอากาศภายนอก และอุณหภูมิผิวหลังคาทิศเหนือ ตามลำดับ ในช่วงเวลากลางวันนั้นหลังคาทิศใต้ได้รับอิทธิพลจากรังสีโดยตรงจากดวงอาทิตย์มากที่สุด ในขณะที่หลังคาด้านทิศเหนือได้รับน้อยกว่ามากเนื่องจากหลังคาที่สูงชัน ทำให้อุณหภูมิสูงสุดต่างกันถึง 16.35 องศาเซลเซียส ความร้อนที่ถ่ายเทมาจากหลังคาจึงมีค่าไม่มากส่งผลให้อุณหภูมิอากาศภายใน ไม่ สูง มาก เช่น กัน ส่วนในช่วงกลางคืนผิวหลังคาทิศเหนือมีค่าต่ำที่สุด เนื่องจากการแลกเปลี่ยนรังสีคลื่นยาวกับท้องฟ้าในเวลากลางคืนเกิดขึ้นมากที่สุด มากกว่าหลังคาทิศใต้เพราะเป็นทิศที่มีลมพัดผ่านทำให้ได้รับอิทธิพลการพาความร้อนของลมที่พัดผ่านผิวหลังคามากกว่า



รูป 4-8 แสดงอุณหภูมิสูงสุดตำแหน่งต่างๆ ภายในเรือนคุ่มขุนแผน

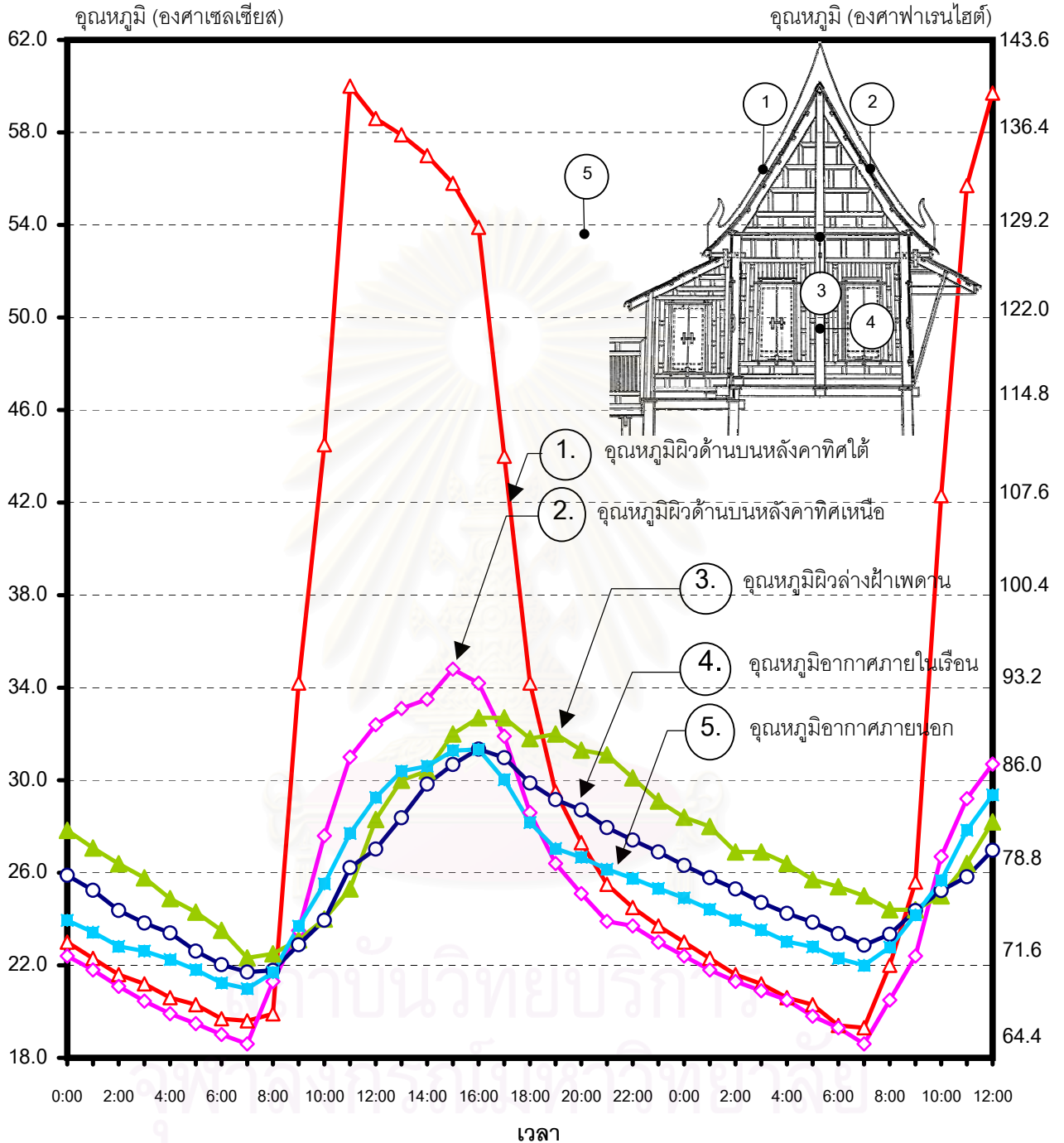
เรือนคุ่มขุนแผนมีการตีฝ้าเพดานไม้ปิดทำให้อากาศร้อนภายในเรือนไม่สามารถระบายออกผ่านทางวัสดุผนังหลังคาโดยการพาความร้อนได้เมื่อมีลมพัดผ่านหลังคา

ในช่วงเวลากลางวัน จากการที่ฝ้าเพดานทำให้อากาศร้อนภายในเรือนเป็นตัวสกัดกั้นอิทธิพลการแผ่รังสีความร้อนจากระนาบพื้นผิวหลังคาในแต่ละด้าน เหลือแต่ระนาบฝ้าเพดานเพียงระนาบเดียวที่มีอิทธิพลต่ออุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบต่อผู้อยู่อาศัย โดยที่อุณหภูมิผิวฝ้าเพดานโดยเฉลี่ยมีค่า 27.30 องศาเซลเซียส ซึ่งจะสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายในเรือนโดยประมาณ 0.53 องศาเซลเซียส และสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกประมาณ 1.77 องศาเซลเซียส

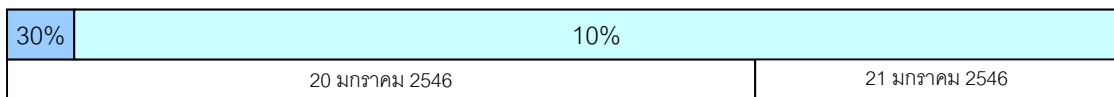
ในช่วงเวลากลางคืนฝ้าเพดานจะเป็นตัวสกัดกั้นความร้อนภายในเรือนที่จะระบายออกทางหลังคาโดยการแผ่รังสีกลับสู่ท้องฟ้า และทำให้ไม่สามารถนำความเย็นจากพื้นผิวหลังคามานำมาใช้ได้โดยตรง ผู้อยู่อาศัยจึงจะรู้สึกร้อนในช่วงเวลากลางคืน โดยที่อุณหภูมิผิวฝ้าเพดานโดยเฉลี่ย 26.82 องศาเซลเซียส ซึ่งจะสูงกว่าอุณหภูมิภายในเรือนโดยประมาณ 1.53 องศาเซลเซียส และสูงกว่าอุณหภูมิภายนอกประมาณ 3.39 องศาเซลเซียส

แผนภูมิ 4-100 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิตำแหน่งต่างๆภายในเรือนพระตำหนักทับขวัญ

เก็บข้อมูลตั้งแต่เวลา 00.00 น. ของวันที่ 20 มกราคม 2546 ถึงเวลา 12.00 น. ของวันที่ 21 มกราคม 2546



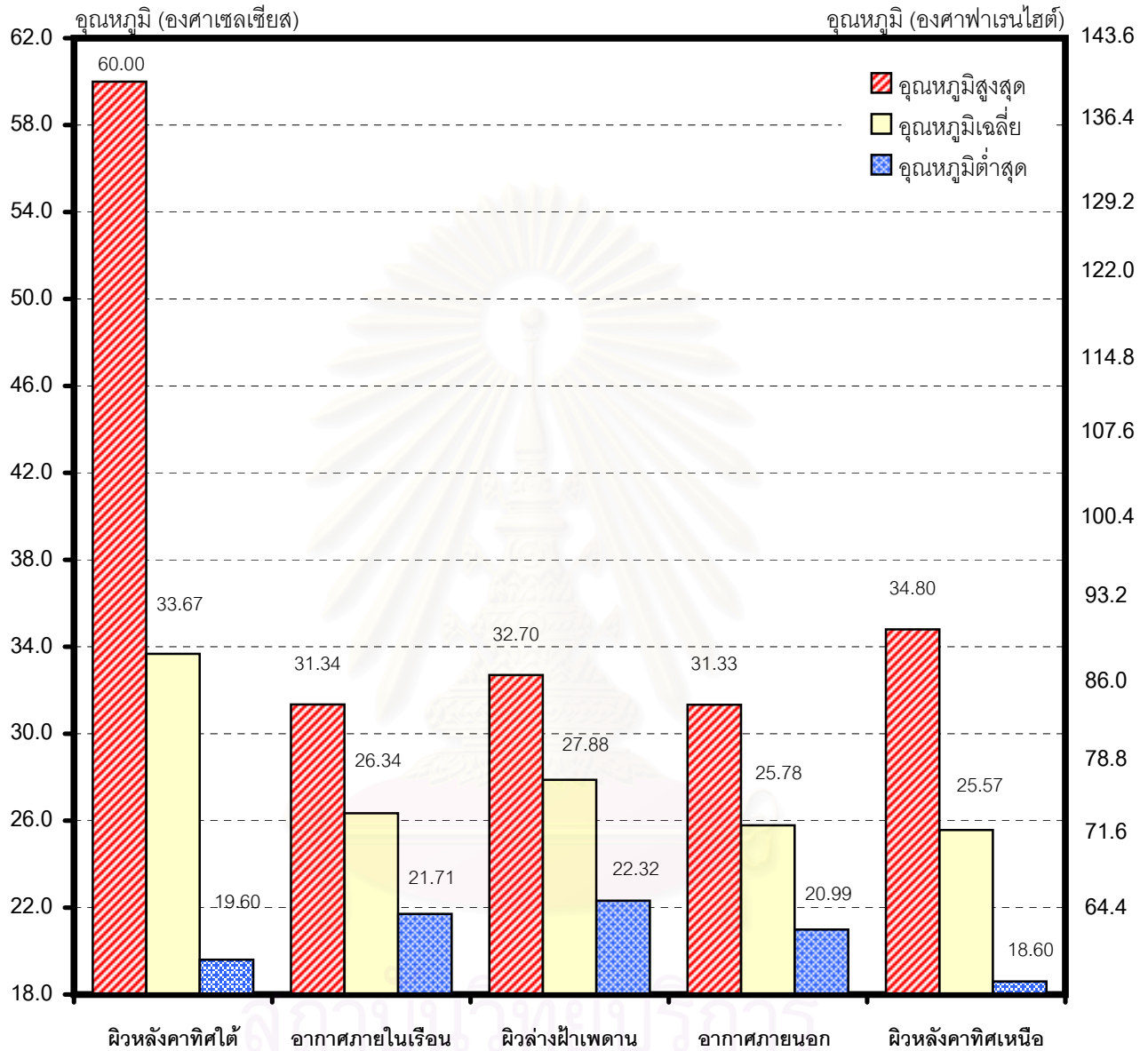
ปริมาณเมฆบนท้องฟ้า



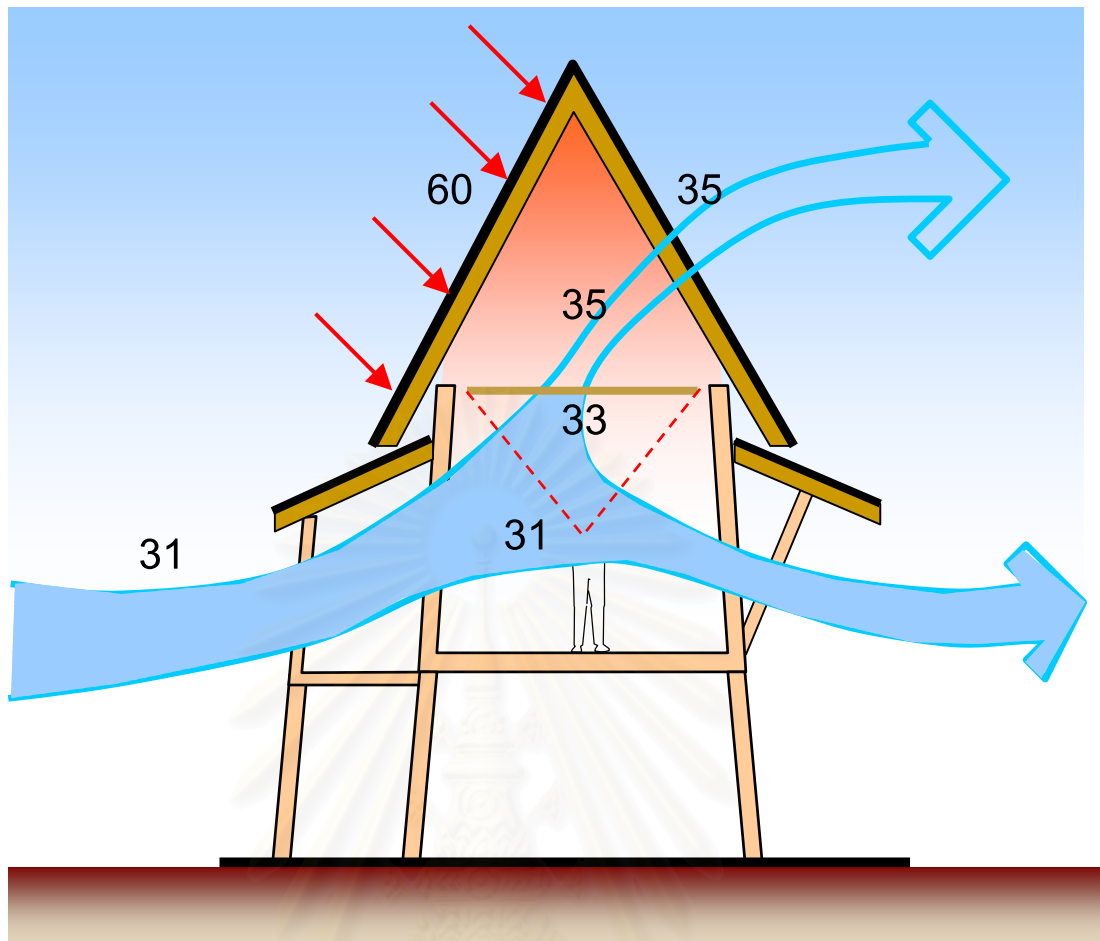
- ▲ อุณหภูมิผิวหลังคาทิศใต้
- ◇ อุณหภูมิผิวหลังคาทิศเหนือ
- ▲ อุณหภูมิผิวล่างฝ้าเพดาน
- อุณหภูมิอากาศภายในเรือน
- อุณหภูมิอากาศภายนอก

แผนภูมิ 4-101 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายใน เฉลี่ย/สูงสุด/ต่ำสุด ในช่วง 24 ชั่วโมง
ตำแหน่งต่างๆภายในเรือนพระตำหนักทับขวัญ

เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 20 มกราคม 2546 ถึงเวลา 12.00 น. ของวันที่ 21 มกราคม 2546



จากแผนภูมิอุณหภูมิเฉลี่ยผิวหลังคาทิศใต้จะมีค่ามากที่สุด รองลงไปคือ อุณหภูมิผิวล่างฝ้าเพดาน, อุณหภูมิอากาศภายในเรือน, อุณหภูมิอากาศภายนอก และอุณหภูมิผิวหลังคาทิศเหนือ ตามลำดับ ในช่วงเวลากลางวันนั้นหลังคาทิศใต้ได้รับอิทธิพลจากรังสีโดยตรงจากดวงอาทิตย์มากที่สุด ในขณะที่หลังคาด้านทิศเหนือได้รับน้อยกว่ามากเนื่องจากหลังคาที่สูงชัน ทำให้อุณหภูมิสูงสุดต่างกันถึง 25.20 องศาเซลเซียส ความร้อนที่ถ่ายเทมาจากหลังคาจึงมีค่าไม่มากส่งผลให้อุณหภูมิอากาศภายใน ไม่ สูง มาก เช่น กัน ส่วนในช่วงเวลากลางคืนผิวหลังคาทิศเหนือมีค่าต่ำที่สุด เนื่องจากการแลกเปลี่ยนรังสีคลื่นยาวกับท้องฟ้าในเวลากลางคืนเกิดขึ้นมากที่สุด มากกว่าหลังคาทิศใต้เพราะเป็นทิศที่มีลมพัดผ่านทำให้ได้รับอิทธิพลการพาความร้อนของลมที่พัดผ่านผิวหลังคามากกว่า



รูป 4-9 แสดงอุณหภูมิสูงสุดตำแหน่งต่างๆ ภายในเรือนพระตำหนักทับขวัญ

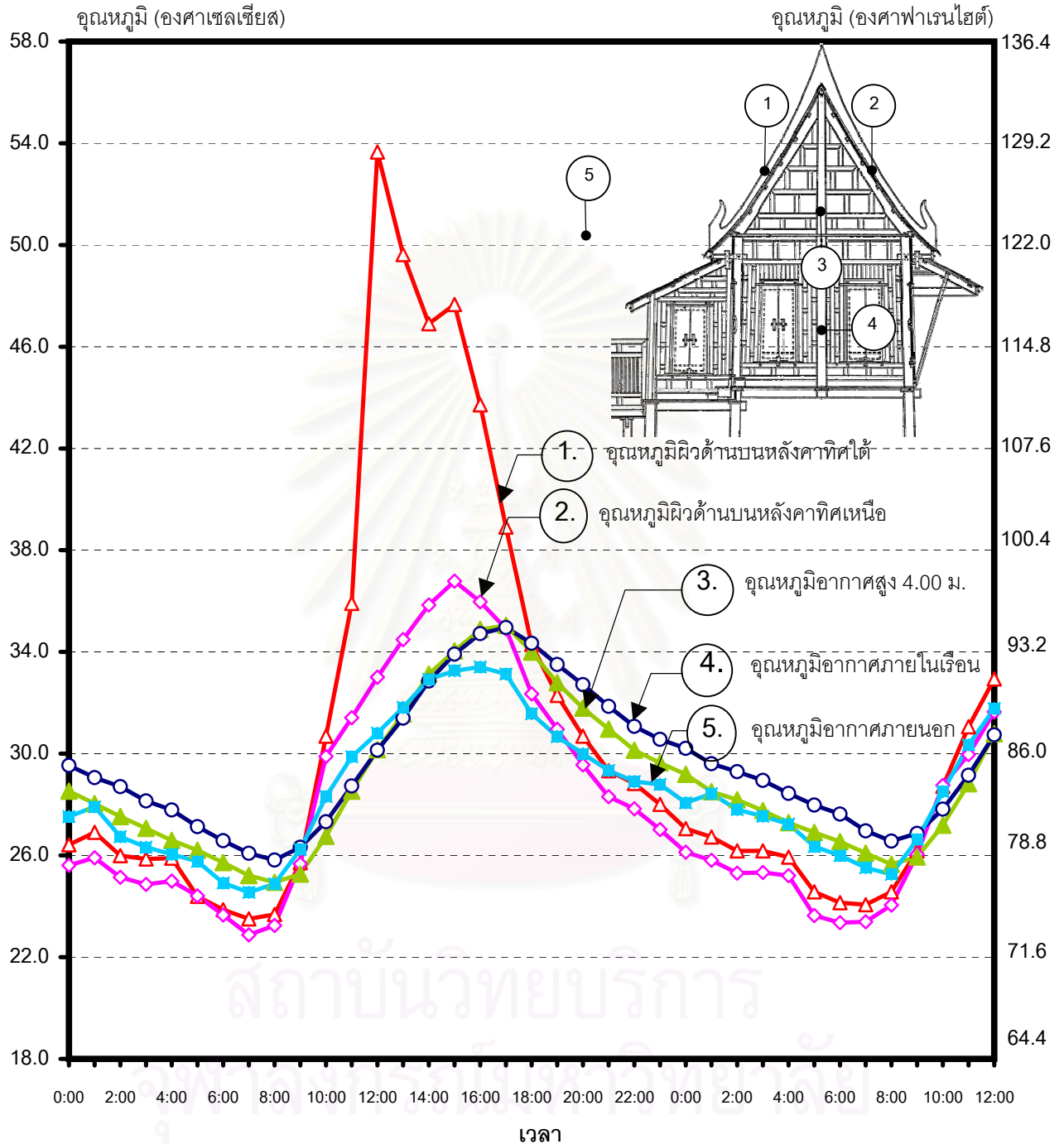
เรือนพระตำหนักทับขวัญมีการตีฝ้าเพดานไม่ปิดทำให้อากาศร้อนภายในเรือนไม่สามารถระบายออกผ่านทางวัสดุผนังหลังคาโดยการพาความร้อนได้เมื่อมีลมพัดผ่านหลังคา

ในช่วงเวลากลางวัน จากการที่มีฝ้าเพดานทำให้อากาศร้อนภายในเรือนเกิดการแผ่รังสีความร้อนจากระนาบพื้นผิวหลังคาในแต่ละด้าน เหลือแต่ระนาบฝ้าเพดานเพียงระนาบเดียวที่มีอิทธิพลต่ออุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบต่อผู้อยู่อาศัย โดยที่อุณหภูมิผิวล่างฝ้าเพดานโดยเฉลี่ยมีค่า 27.93 องศาเซลเซียส ซึ่งจะสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายในเรือนโดยประมาณ 0.88 องศาเซลเซียส และสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกประมาณ 0.38 องศาเซลเซียส

ในช่วงเวลากลางคืนฝ้าเพดานจะเป็นตัวสกัดกั้นความร้อนภายในเรือนที่จะระบายออกทางหลังคาโดยการแผ่รังสีกลับสู่ท้องฟ้า และทำให้ไม่สามารถนำความร้อนจากพื้นผิวหลังคามานำมาใช้ได้โดยตรง ผู้อยู่อาศัยจึงจะรู้สึกร้อนในช่วงเวลากลางคืน โดยที่อุณหภูมิผิวฝ้าเพดานโดยเฉลี่ย 28.44 องศาเซลเซียส ซึ่งจะสูงกว่าอุณหภูมิภายในเรือนโดยประมาณ 2.29 องศาเซลเซียส และสูงกว่าอุณหภูมิภายนอกประมาณ 3.78 องศาเซลเซียส

แผนภูมิ 4-102 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิตำแหน่งต่างๆภายในเรือนไทยที่ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เก็บข้อมูลตั้งแต่เวลา 00.00 น. ของวันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2546 ถึงเวลา 12.00 น. ของวันที่ 2 กุมภาพันธ์ 2546



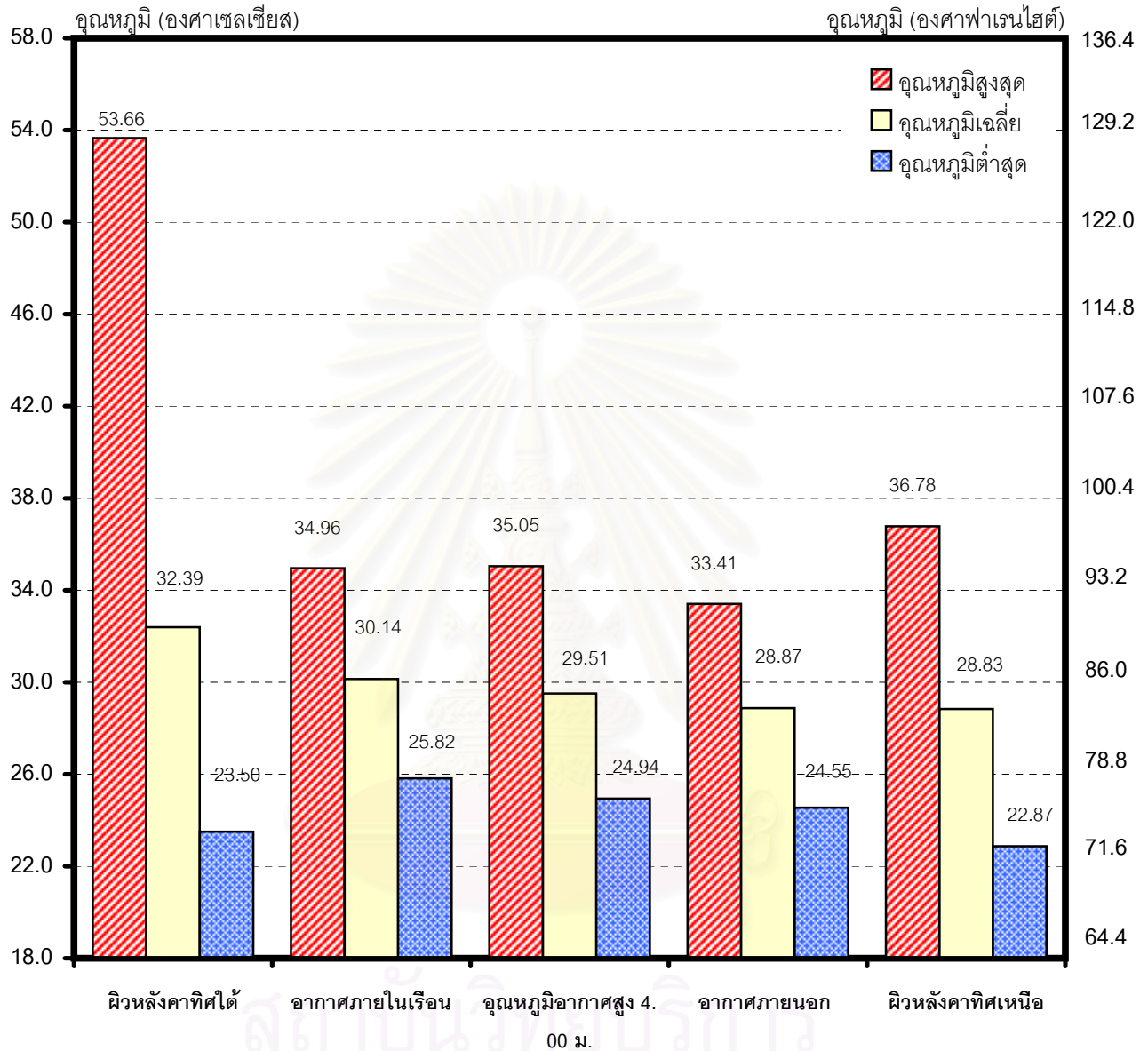
ปริมาณเมฆบนท้องฟ้า



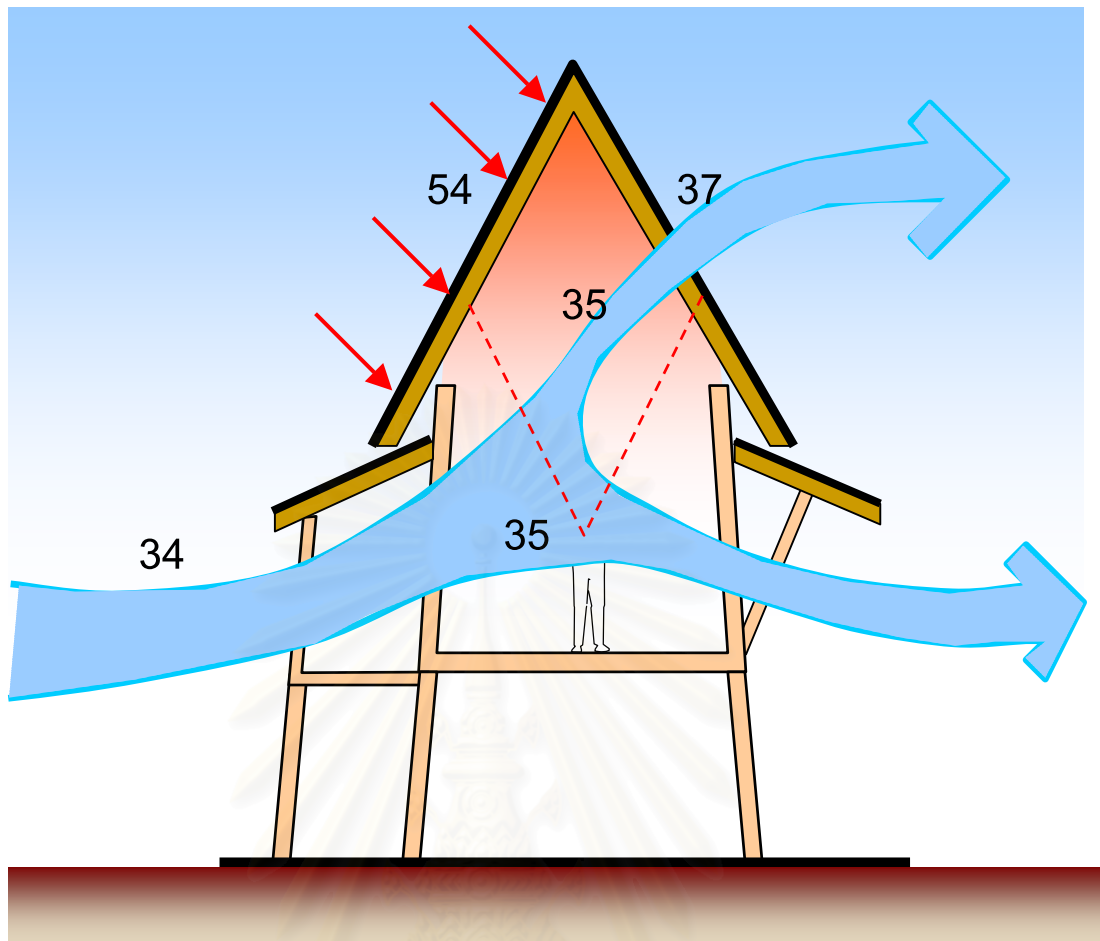
- ▲ อุณหภูมิผิวหลังคาทิศใต้
- ◇ อุณหภูมิผิวหลังคาทิศเหนือ
- ▲ อุณหภูมิอากาศสูง 4.00 ม.
- อุณหภูมิอากาศภายในเรือน
- อุณหภูมิอากาศภายนอก

แผนภูมิ 4-103 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายใน เฉลี่ย/สูงสุด/ต่ำสุด ในช่วง 24 ชั่วโมง
ตำแหน่งต่างๆภายในเรือนไทยที่ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เก็บข้อมูลตั้งแต่เวลา 00.00 น. ของวันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2546 ถึงเวลา 00.00 น. ของวันที่ 2 กุมภาพันธ์ 2546



จากแผนภูมิอุณหภูมิเฉลี่ยผิวหลังคาทิศใต้จะมีค่ามากที่สุด รองลงไปคือ อุณหภูมิอากาศภายในเรือน, อุณหภูมิอากาศสูง 4.00 ม., อุณหภูมิอากาศภายนอก และอุณหภูมิผิวหลังคาทิศเหนือ ตามลำดับ ในช่วงเวลากลางวันนั้นหลังคาทิศใต้ได้รับอิทธิพลจากรังสีโดยตรงจากดวงอาทิตย์มากที่สุด ในขณะที่หลังคาด้านทิศเหนือได้รับน้อยกว่ามากเนื่องจากหลังคาที่สูงชัน ทำให้อุณหภูมิสูงสุดต่างกันถึง 16.88 องศาเซลเซียส ความร้อนที่ถ่ายเทมาจากหลังคาจึงมีค่าไม่มากส่งผลให้อุณหภูมิอากาศภายในไม่สูงมากเช่นกัน ส่วนในช่วงเวลากลางคืนผิวหลังคาทิศเหนือมีค่าต่ำที่สุด เนื่องจากการแลกเปลี่ยนรังสีคลื่นยาวกับท้องฟ้าในเวลากลางคืนเกิดขึ้นมากที่สุด มากกว่าหลังคาทิศใต้เพราะเป็นทิศที่มีลมพัดผ่านทำให้ได้รับอิทธิพลการพาความร้อนของลมที่พัดผ่านผิวหลังคาดีกว่า



รูป 4-10 แสดงอุณหภูมิสูงสุดตำแหน่งต่างๆ ภายในเรือนไทย ศูนย์ส่งเสริมวัฒนธรรมแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เนื่องจากสถานที่ตั้งของเรือนไทย ศูนย์ส่งเสริมวัฒนธรรมแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยนั้นอยู่ในใจกลางกรุงเทพมหานคร ซึ่งต่างจากเรือนไทยทั้งสองที่แรกที่อยู่ในต่างจังหวัด และมีสภาพแวดล้อมที่ดีกว่า ทำให้อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยภายในเรือนไทยที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยนั้นค่อนข้างสูงกว่าทั้งสองแห่ง รวมทั้งมาจากการที่มีการเปลี่ยนแปลงวัสดุก่อสร้างบางส่วนเช่น นอกชานซึ่งเป็นคอนกรีตเสริมเหล็กปูด้วยกระเบื้อง ที่มีค่าการดูดซับ และสะสมความร้อนได้มากกว่าไม้ เรือนไทยที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยนี้ไม่มีฝ้าเพดานทำให้ผู้อยู่อาศัยได้รับอิทธิกรแผ่รังสีความร้อนจากระนาบพื้นผิวหลังคาโดยตรงทั้งในเวลากลางวัน และเวลากลางคืน จากข้อมูลพบว่าในช่วงเวลากลางวันนั้นหลังคาด้านทิศใต้มีอุณหภูมิผิวเฉลี่ยสูงถึง 37.86 องศาเซลเซียส หลังคาทิศเหนือมีอุณหภูมิผิวเฉลี่ย 31.37 องศาเซลเซียส

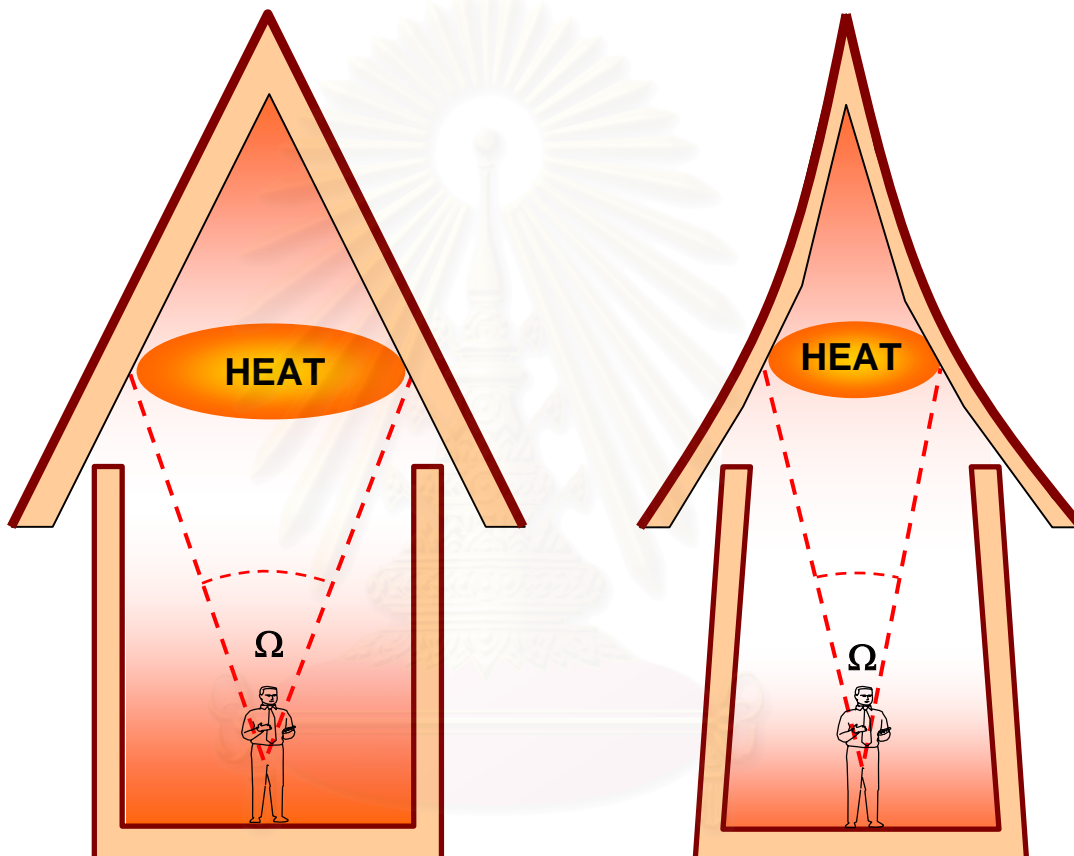
เรือนไทย ศูนย์ส่งเสริมวัฒนธรรมแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยไม่มีฝ้าเพดานทำให้ความร้อนสามารถระบายออกผ่านทางวัสดุผนังหลังคาที่เป็นกระเบื้องดินเผาได้ แต่เนื่องจากอากาศภายนอกร้อน และไม่ค่อยมีลมเพราะตั้งอยู่ใจกลางเมืองทำให้ความร้อนไม่สามารถระบายออกได้ดีเท่าที่ควร

ส่วนในช่วงเวลากลางคืนอุณหภูมิผิวหลังคาจะแลกเปลี่ยนความร้อนกับท้องฟ้า แต่เนื่องจากสภาพแวดล้อมโดยรอบมีอาคารสูง และสิ่งปลูกสร้างที่เป็นแหล่งสะสมความร้อนอยู่มากทำให้หลังคาไม่สามารถแลกเปลี่ยนรังสีความร้อนกับท้องฟ้าได้โดยตรง อุณหภูมิผิวหลังคาในช่วงกลางคืนจึงสูงกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับเรือนไทยสองแห่งแรก 4-5 องศาเซลเซียสโดยประมาณ

การวิเคราะห์ผลการทดสอบอิทธิพลของตัวแปรในสภาพแวดล้อมจริง

เนื่องจากข้อจำกัดทางด้านเครื่องมือ และการขอใช้สถานที่ จึงไม่สามารถเก็บข้อมูลในวันเวลาเดียวกันได้ ทำให้ข้อมูลที่ได้จากอาคารกรณีศึกษา และข้อมูลที่ได้จากหุ่นจำลองมีความแตกต่างกันบ้าง แต่มีความสอดคล้องกันโดยเฉพาะอิทธิพลที่มาจากหลังคา

ความแตกต่างอีกประการหนึ่งระหว่างเรือนไทยจริงที่นำมาเป็นกรณีศึกษา กับหุ่นจำลองนั้น คือรูปทรงของหลังคา โดยที่หลังคาหุ่นจำลองนั้นจะเป็นหลังคาจั่วมุมเอียง 60 องศา แต่หลังคาเรือนไทยจริงมีลักษณะที่แอ่นโค้งเล็กน้อยที่เรียกว่าจอมแห ซึ่งความแตกต่างนี้จะส่งผลต่อค่ามุม Angle Factor ที่แตกต่างกันดังรูป



รูป 4-11 แสดงการเปรียบเทียบค่า Angle factor ของหลังคาหุ่นจำลอง กับหลังคาเรือนไทยจริง

จากรูปจะเห็นว่าค่า Angle factor ของหลังคาเรือนไทยจริงที่มีลักษณะแอ่นโค้งเล็กน้อยนั้นจะมีค่าน้อยกว่าเมื่อเทียบกับหลังคาที่มีลักษณะตรง เช่น หุ่นจำลอง ความแตกต่างนี้ส่งผลต่ออุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบที่ต่างกันเนื่องจากอิทธิพลของ Angle factor ที่ไม่เท่ากัน โดยหลังคาที่มีค่า Angle factor น้อยจะมีอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบน้อยกว่าด้วย (ในกรณีที่เสมือนว่าอุณหภูมิผิวหลังคามีค่าเท่ากัน) จึงสรุปได้ว่า เมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมเดียวกัน และตัวแปรอื่น ๆ มีค่าเท่ากันหมด เรือนไทยจริงที่มีระนาบพื้นผิวหลังคาแอ่นโค้ง และไม่มีฝ้าเพดานนั้นจะมีอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบที่น้อยกว่าหลังคาระนาบตรง

บทสรุป และข้อเสนอแนะ

จากการวิจัยลักษณะเฉพาะของมูมเอียงหลังคาที่มีต่อความรู้สึกร้อนหนาวภายในเรือนไทย ในการทดสอบ อิทธิพลความสัมพันธ์ของตัวแปร และเทคนิคแนวทางการประยุกต์ใช้ สามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

5.1 อิทธิพลของตัวแปรในการวิจัย

5.1.1 อิทธิพลของมวลสารวัสดุผนังหลังคา

มวลสารของวัสดุที่ต่างกัน จะมีผลต่ออุณหภูมิผิววัสดุที่ต่างกัน เมื่อวัสดุหลังคาได้รับอิทธิพลจากรังสีดวงอาทิตย์ และสภาพแวดล้อม จะทำให้หลังคามีอุณหภูมิผิวสูงขึ้น โดยวัสดุที่มีมวลสารน้อยกว่า และพื้นผิวมีอัตราส่วนระหว่างค่าการดูดซับ กับค่าการแผ่รังสีความร้อนสูงกว่า จะมีอุณหภูมิสูงกว่าวัสดุที่มีมวลสารมาก และมีอุณหภูมิถึงจุดสูงสุดของวันในเวลาใกล้เคียงกับอุณหภูมิอากาศ ส่วนวัสดุที่มีมวลสารมาก จะมีค่าการหน่วงเหนี่ยวความร้อนสูง จึงมีอุณหภูมิสูงขึ้นช้ากว่า

ในเวลากลางวันวัสดุที่มีมวลสารน้อย จะมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนรังสีคลื่นยาวกับท้องฟ้าได้ดีกว่า เนื่องจากมีความร้อนสะสมน้อยกว่าวัสดุที่มีมวลสารมาก เป็นผลให้มีอุณหภูมิผิวด้านบนต่ำ ส่วนผิวด้านล่างของทุกวัสดุจะมีอุณหภูมิสูงกว่าผิวด้านบน เนื่องจากไม่ได้มีมุมเปิดสู่ท้องฟ้าโดยตรง ยิ่งวัสดุที่มีมวลสารมากจะมีผลต่างระหว่างอุณหภูมิผิวด้านบน กับด้านล่างมากกว่าวัสดุที่มีมวลสารน้อย สรุปแล้วมวลสารมีผลต่ออุณหภูมิผิววัสดุ และผลต่างระหว่างอุณหภูมิผิวด้านบน กับด้านล่าง โดยวัสดุที่มีมวลสารน้อย และมีค่าความเป็นฉนวนน้อยจะมีอุณหภูมิสูงในช่วงเวลากลางวัน และต่ำในช่วงกลางคืน รวมทั้งมีความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิผิวด้านบน กับด้านล่างน้อยกว่าวัสดุที่มีมวลสารมาก การที่หลังคาเรือนไทยในอดีตเป็นกระเบื้องดินเผา ซึ่งเป็นวัสดุที่มีมวลสารปานกลาง มวลสารจึงเป็นตัวแปรที่มีอิทธิพลต่ออุณหภูมิผิวของหลังคาเรือนไทย ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อความรู้สึกร้อนหนาวของผู้อยู่อาศัย

5.1.2 อิทธิพลของมวลสารที่มีผลต่อมูมเอียงหลังคา

วัสดุที่มีมวลสารน้อย และมวลสารปานกลาง จะมีอุณหภูมิผิวแตกต่างกันระหว่างมูมเอียงที่ต่างกัน มากกว่าวัสดุที่มีมวลสารมาก เนื่องจากวัสดุที่มีมวลสารน้อย จะมีค่าการหน่วงเหนี่ยวความร้อนได้น้อยตามไปด้วย ส่วนวัสดุที่มีมวลสารมากจะมีค่าการหน่วงเหนี่ยวความร้อนมากกว่า มูมเอียงหลังคาจึงส่งผลกระทบต่ออุณหภูมิผิวไม่มากเหมือนกับวัสดุที่มีมวลสารน้อย

สรุปว่ายิ่งวัสดุที่มีมวลสารมากมูมเอียงหลังคาก็มีอิทธิพลน้อยลง แต่เนื่องจากเรือนไทยใช้กระเบื้องดินเผาที่เป็นวัสดุมวลสารน้อยในการมุงหลังคา มูมเอียงหลังคาก็มีอิทธิพลมากต่ออุณหภูมิผิวหลังคา ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อความรู้สึกร้อน หนาวของผู้อยู่อาศัย หรืออาจกล่าวได้ว่ามูมเอียงของหลังคามีผลต่อการออกแบบหลังคาทรงไทยมากกว่าหลังคาที่ใช้วัสดุมวลสารมากในปัจจุบัน

5.1.3 อิทธิพลจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบลงบนระนาบพื้นผิวหลังคา

หลังคาที่มีมุมเอียงต่างกัน มีผลทำให้อุณหภูมิอากาศภายในห้องต่างกันไป หลังคาที่มีมุมเอียงมากจะได้รับอิทธิพลจากรังสีตรงของดวงอาทิตย์ในปริมาณที่น้อยกว่าหลังคาที่เอียงน้อย เนื่องจากรังสีตรงจากดวงอาทิตย์จะไม่ตั้งฉากกับพื้นผิวระนาบหลังคาโดยเฉพาะช่วงที่ดวงอาทิตย์โคจรถึงจุดสูงสุดของวัน

นอกจากนี้หลังคาที่มีมุมเอียงมากกว่า จะมีพื้นที่ผิวหลังคามากกว่า ทำให้สามารถแผ่รังสีความร้อนออกไปจากหลังคาได้มากกว่าหลังคาที่มีพื้นที่น้อย ในช่วงกลางวันอุณหภูมิผิวหลังคาด้านบนสูงกว่าอุณหภูมิอากาศส่งผลให้อุณหภูมิอากาศภายในห้องต่างไปตามไปด้วย

5.1.4 อิทธิพลจากการแลกเปลี่ยนรังสีคลื่นยาวระหว่างผิววัสดุหลังคา กับท้องฟ้าตอนกลางคืน

ในช่วงเวลาที่ไม้ได้รับอิทธิพลจากรังสีดวงอาทิตย์ (ตั้งแต่เวลา 18:00 น. ถึง 6:00 น.) มุมเอียงหลังคาที่น้อยมีศักยภาพในการแลกเปลี่ยนรังสีคลื่นยาวระหว่างอุณหภูมิผิววัสดุหลังคา กับท้องฟ้าได้ดีกว่าหลังคาที่มีมุมเอียงมาก จึงทำให้อุณหภูมิอากาศภายในลดลงได้มากกว่า เนื่องจากมีค่า Angle factor ที่เปิดสู่ท้องฟ้ามากกว่า

การที่มุมเอียงของเรือนไทยนั้นแผ่รังสีกลับสู่ท้องฟ้าได้น้อย ทำให้อุณหภูมิผิวลดลงไม่มากเกินไป ผู้อยู่อาศัยจึงไม่รู้สึกร้อนมาก เมื่อเทียบกับบ้านที่มีมุมเอียงเปิดสู่ท้องฟ้ามาก หรืออาจกล่าวได้ว่าถ้าเรือนไทยมีมุมเอียงหลังคามากกว่านี้ตอนกลางคืนในบ้านจะยังร้อนอยู่ และถ้ามุมเอียงน้อยไปก็จะทำให้ในผู้อยู่อาศัยในบ้านรู้สึกหนาวเนื่องมาจากอุณหภูมิอากาศที่ต่ำ และการแผ่รังสีจากผิวภายในสู่พื้นผิวหลังคาที่เย็นกว่า ซึ่งเรือนไทยสมัยก่อนไม่นิยมติดฝ้าเพดาน การแผ่รังสีจึงมีอิทธิพลสูงขึ้น

นอกจากนั้น การที่อุณหภูมิของผิวหลังคาลดลงไปมากจนกระทั่งต่ำกว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dew point temperature) จะทำให้เกิดการกลั่นตัวของไอน้ำในอากาศเกิดเป็นน้ำค้างที่ผิววัสดุหลังคา ปริมาณน้ำค้างที่เกาะอยู่บนผิวหลังคานี้จะเป็นตัวสกัดกั้นการคายรังสีความร้อนกลับสู่ท้องฟ้า และเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างผิวหลังคา กับหยดน้ำแทน ส่งผลให้อุณหภูมิผิวหลังคาสูงขึ้นกว่าในกรณีที่แลกเปลี่ยนความร้อนกับท้องฟ้าโดยตรง นอกจากนี้การเกิดน้ำค้างสะสมบนผิวหลังคากระเบื้องดินเผาที่มีรูพรุน ทำให้เกิดความชื้นสะสมในเนื้อวัสดุส่งผลให้ผิววัสดุเกิดตะไคร่น้ำ หรือเชื้อราได้

5.1.5 อิทธิพลของทิศทางการวางห้อง

การวางทิศทางห้องต่างกันมีผลให้อุณหภูมิอากาศภายในห้องต่างกันไป เนื่องจากได้รับอิทธิพลจากดวงอาทิตย์ไม่เท่ากัน ในช่วงที่ทำการทดลอง (10 เมษายน 2546 – 11 เมษายน 2546) ดวงอาทิตย์ขึ้นค่อนข้างไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือทำมุม ละติจูดประมาณ 98 องศา กับทิศใต้ และจะอ้อมไปทางทิศใต้เมื่อเวลาประมาณ 9.00 น. จนถึงเวลาประมาณ 15.00 น. ก็จะเริ่มตกไปทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือ

อุณหภูมิอากาศภายในห้องที่หันหลังคาไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ - ตะวันตกเฉียงใต้จะมีค่าสูงที่สุด และห้องที่หันหลังคาหันทางทิศตะวันออกเฉียง - ตะวันตก มีค่าสูงรองลงมา เนื่องจากหลังคาของห้องทั้งสองได้รับอิทธิพลจากรังสีดวงอาทิตย์ตลอดเวลา ส่วนห้องที่มีอุณหภูมิอากาศจุดสูงสุดต่ำที่สุดคือห้องที่หันทิศหลังคาในแนวเหนือใต้ สอดคล้องกับคติความเชื่อของคนไทยที่ว่า อย่าปลูกเรือนขวางตะวัน เนื่องจากเหตุผลที่ว่าในประเทศไทยนั้นดวงอาทิตย์โคจรอ้อมไปทางทิศใต้เป็นส่วนใหญ่ มนังเรือนไทยนั้นถ้าอยู่ในทิศเหนือจะได้รับผลกระทบจากรังสีเพียง 2 ประเภท คือ รังสีกระจายจากดวงอาทิตย์ และรังสีกระจายที่สะท้อนจากสภาพแวดล้อม โดยจะไม้ได้รับรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ การที่เรือนไทยในอดีตปลูกเรือนให้ด้านยาวของตัวเรือนหันไปทางด้านทิศเหนือ-ใต้ นั้นเป็นการช่วยลดความร้อนจากรังสีตรงของดวงอาทิตย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้ผนังด้านที่มีพื้นที่

มากไม่ได้รับปริมาณความร้อนที่เกิดจากรังสีตรงของดวงอาทิตย์ ความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาจึงลดลง นอกจากนี้ยังช่วยลดปัญหาทางด้านแสงจ้ารบกวนสายตาอีกด้วย (ประตูไม่เปิดทางทิศตะวันออก-ตะวันตกที่มีแสงแดดจ้า)

เมื่อพิจารณาทางด้านทิศทางที่สัมพันธ์กับลมธรรมชาติ ในเดือนเมษายน ลมจะมาทางทิศใต้เป็นส่วนใหญ่ ทำให้หุ่นจำลองที่หันหลังคาไปทางทิศเหนือ - ใต้ ซึ่งสัมพันธ์กับทิศทางลม เกิดความแตกต่างระหว่างความกดอากาศด้านหน้า และด้านหลังหลังคาที่ปะทะลม ความร้อนที่สะสมอยู่ใต้หลังคาจึงสามารถระบายออกไปได้โดยการรั่วซึมผ่านวัสดุผนังหลังคาที่เป็นกระเบื้องดินเผา

5.1.6 อิทธิพลการลอยตัวของอากาศร้อนในหุ่นจำลอง

เมื่ออากาศภายในหุ่นจำลองมีอุณหภูมิสูงขึ้น อากาศร้อนนั้นจะลอยตัวขึ้น และระบายออกผ่านทางวัสดุผนังหลังคา หุ่นจำลองที่มีมุมเอียง 60 องศา จะมีปริมาตรภายในมากที่สุดทำให้อากาศร้อนสามารถลอยตัวขึ้นได้มากกว่า ส่วนหุ่นจำลองที่มีมุมเอียง 30 และ 45 องศา ความร้อนจะสะสมอยู่ภายในหุ่นจำลองมากกว่า

ส่วนในช่วงเวลากลางคืนจะมีพฤติกรรมตรงข้ามกับช่วงกลางวันโดยหุ่นจำลองที่มีมุมเอียง 30 องศา จะมีอุณหภูมิอากาศภายใน ณ ตำแหน่งสูงจากพื้นหุ่นจำลอง 1.20 ม. ต่ำที่สุด เนื่องจาก หุ่นจำลองที่มีมุมเอียงหลังคาต่ำจะสามารถคายรังสีกลับสู่ท้องฟ้าได้มากกว่า ส่งผลให้มีอุณหภูมิมิวหลังคาต่ำกว่า อุณหภูมิอากาศใต้หลังคาจึงต่ำกว่าด้วย

เมื่อเปรียบเทียบในหุ่นจำลองแต่ละตัวในช่วงเวลากลางวัน อุณหภูมิอากาศโดยเฉลี่ย ณ ตำแหน่งสูงจากพื้นหุ่นจำลอง 1.20 ม. จะสูงกว่า ที่ตำแหน่ง 0.50 ม. เนื่องจากอิทธิพลของการลอยตัว และการแบ่งชั้นความร้อนภายในหุ่นจำลอง ส่วนในเวลากลางคืน อุณหภูมิอากาศโดยเฉลี่ย ที่ตำแหน่ง 1.20 ม. จะต่ำกว่า ที่ตำแหน่ง 0.50 ม. เนื่องจากสามารถแลกเปลี่ยนความร้อนกับพื้นผิวหลังคาที่เย็นได้ดีกว่าเช่นกัน

5.1.7 อิทธิพลของการแผ่รังสีความร้อนจากพื้นผิวหลังคา และอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ

อุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบจะมีค่าลดลงเมื่อมุมเอียงหลังคาสูงขึ้น จนถึงมุมเอียง 60 องศา ก็จะไม่ลดลงอีก แสดงว่าเมื่อถึงจุดๆ หนึ่งมุมเอียงหลังคาที่มากกว่านั้นจะไม่มีผลทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบลดลงอีกแล้ว ซึ่งเรียกว่าเป็น Optimum angle of roof slope เนื่องจากเมื่อระนาบเอียงของหลังคามากขึ้นทำให้ได้รับปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบน้อยลง เนื่องจากรังสีไม่ตั้งฉากกับระนาบหลังคา เป็นผลให้อุณหภูมิมิวหลังคานั้นต่ำลง แต่ในขณะเดียวกันพื้นที่ผิวของหลังคาจะเพิ่มมากขึ้น และจะเริ่มมากขึ้นในอัตราสูงเมื่อมุมเอียงหลังคานั้นมีองศามากกว่า 60 องศาขึ้นไป ทำให้หลังคามีพื้นที่ผิวในการแผ่รังสีความร้อนมาก ส่วนในแง่ของการก่อสร้าง และความแข็งแรง คงทน ก็มีความเหมาะสม เนื่องจากถ้าหลังคาชันมากไปจะยากต่อการก่อสร้าง และการต้านทานแรงลมจะขาดประสิทธิภาพ หลังคาจะเสียหายได้ง่าย

สรุปว่าอิทธิพลของการแผ่รังสีจากพื้นผิวหลังคา และอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบของมุมเอียงหลังคาเรือนไทยนั้นมีความสมดุลระหว่าง อุณหภูมิมิว และพื้นที่ผิวในการแผ่รังสี ทำให้ความแปรปรวนของอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบในเวลากลางวัน และกลางคืนมีค่าน้อย

5.1.8 อิทธิพลของสัดส่วนอาคารที่ต่างกัน

สัดส่วนของอาคารมีผลต่ออุณหภูมิอากาศภายใน และอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบภายใน โดยในช่วงเวลากลางวัน หุ่นจำลองที่มีสัดส่วนความสูงสองเท่าของปกติจะมีอุณหภูมิอากาศภายในสูงสุด ต่ำกว่าหุ่นจำลองที่มีความสูงปกติ และมีความสูงครึ่งหนึ่งของปกติ โดยสัดส่วนที่ลดลงค่อนข้างสม่ำเสมอ ส่วนช่วงเวลากลางคืน อุณหภูมิอากาศภายในหุ่นจำลองทั้งสามมีค่าใกล้เคียงกัน โดยหุ่นจำลองที่มีสัดส่วนครึ่งหนึ่งของปกติจะมีอุณหภูมิอากาศภายในต่ำที่สุดเนื่องจากมีความร้อนสะสมน้อย และสามารถระบายออกได้เร็วกว่า

อุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบของหุ่นจำลองทั้งสามมีแนวโน้มเช่นเดียวกับอุณหภูมิอากาศภายใน คือยังมีความสูงเพิ่มขึ้น อุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบยิ่งลดลงในอัตราส่วนที่สม่ำเสมอเช่นกัน เนื่องจากหุ่นจำลองที่มีสัดส่วนสูงจะมีค่า Angle factor น้อยทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบน้อย ส่วนหุ่นจำลองที่มีความสูงน้อยกว่า จะมีค่า Angle factor มากกว่า ทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบสูงกว่า

สรุปผลการวิจัยได้ว่าการออกแบบอาคาร ถ้าสัดส่วนความสูงของอาคาร และมุมเอียงของหลังคา มีความเหมาะสมแล้วจะทำให้อุณหภูมิอากาศ และอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบภายในอาคารมีแนวโน้มที่ลดลงได้นอกจากนั้น เมื่ออาคารมีความสูงมากความร้อนก็จะสามารถลอยตัวขึ้นสูงได้มาก ผู้ที่ใช้อาคารด้านล่างก็จะรู้สึกไม่ร้อน ปรากฏการณ์นี้เปรียบเทียบกับโบสถ์ของไทย ที่มีสัดส่วนความสูงของอาคาร และมุมเอียงหลังคาชัน ทำให้มีค่า Angle factor น้อย ผู้ที่อยู่ในโบสถ์จึงรู้สึกเย็นในช่วงเวลากลางวัน ผนวกกับการใช้มวลสารมากของผนังในการหน่วงเหนี่ยวความร้อน และการนำความเย็นจากดินมาใช้ เมื่อผสมผสานตัวแปรดังกล่าวเข้าด้วยกันจะทำให้ผู้ใช้อาคารรู้สึกเข้าใกล้สภาวะสบายมากขึ้น

5.1.9 อิทธิพลของรูปแบบการติดตั้งฝ้าเพดาน และการระบายอากาศ

จากผลการทดสอบพบว่ารูปแบบการติดตั้งฝ้าเพดาน และการระบายอากาศที่แตกต่างกันมีผลให้อุณหภูมิอากาศ และอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบแตกต่างกัน ในกรณีที่ไม่มีการระบายอากาศภายในหุ่นจำลอง ในช่วงเวลากลางวัน หุ่นจำลองที่ไม่มีฝ้าเพดานจะมีอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ยสูงกว่า เนื่องจากอิทธิพลความร้อนจากพื้นผิวหลังคาถ่ายเทลงมาได้สะดวกกว่าหุ่นจำลองที่มีฝ้าเพดาน เพราะฝ้าเพดานช่วยกักเก็บความร้อนส่วนหนึ่งไว้ใต้หลังคา ขณะที่อุณหภูมิอากาศใต้หลังคาหุ่นจำลองที่มีฝ้าจะสูงกว่าหุ่นจำลองที่ไม่มีฝ้าตลอดช่วงกลางวัน ส่วนเวลาช่วงหลังดวงอาทิตย์ตก หุ่นจำลองเริ่มแลกเปลี่ยนรังสีคลื่นยาวกับท้องฟ้าผ่านวัสดุผนังหลังคา หุ่นจำลองที่มีฝ้าเพดานจะมีอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงกลางคืนสูงกว่า เนื่องจากฝ้าเพดานจะเป็นตัวสกัดกั้นความร้อนที่จะถ่ายเทออกไป

ในกรณีที่มีการระบายอากาศภายในหุ่นจำลอง ทั้งช่วงเวลากลางวัน และกลางคืน หุ่นจำลองที่มีฝ้าเพดานจะมีอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ยสูงกว่า เนื่องจากการระบายอากาศภายในหุ่นจำลองมีประสิทธิภาพต่ำกว่า เพราะสามารถระบายความร้อนที่สะสมอยู่เหนือฝ้าเพดานเท่านั้น ความร้อนที่อยู่ภายในไม่สามารถระบายผ่านฝ้าเพดานได้สะดวก ส่วนหุ่นจำลองที่ไม่มีฝ้าความร้อนสามารถลอยตัวขึ้น และระบายออกได้สะดวกกว่า

หุ่นจำลองที่มีฝ้าเพดานจะมีอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบในช่วงเวลากลางวันที่ต่ำกว่าหุ่นจำลองที่ไม่มีฝ้า เนื่องจากความร้อนจะถูกสะสมไว้เหนือฝ้าเพดานส่วนหนึ่ง แต่ในทางกลับกันในช่วงเวลากลางคืนหุ่นจำลองที่ไม่มีฝ้าเพดานจะมีอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบต่ำกว่าเนื่องจากการระบายความร้อนโดยการแผ่รังสีสู่ท้องฟ้าผ่านวัสดุผนังหลังคาเป็นไปได้อย่างสะดวกกว่า

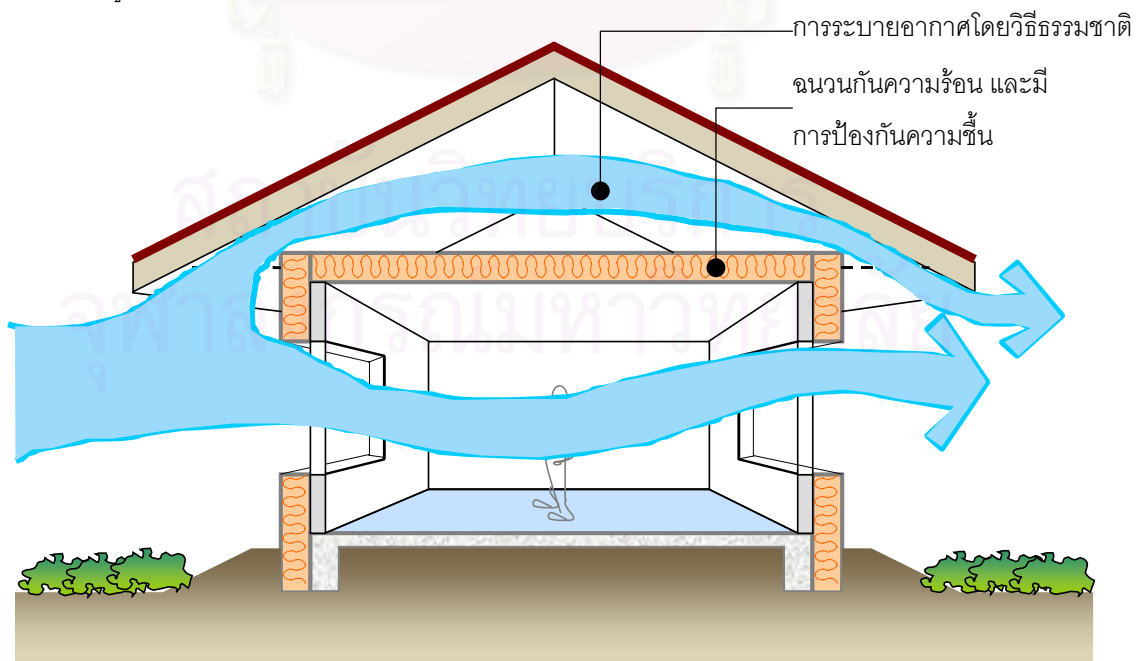
สรุปผลการวิจัยได้ว่ารูปแบบของเรือนไทยในอดีตที่มีการระบายอากาศ และไม่มีฝ้าเพดานจะมีอุณหภูมิโดยเฉลี่ยของอากาศภายใน ตอนเวลากลางวันสูงกว่าบ้านที่มีฝ้าเพดาน ส่วนช่วงเวลากลางคืนจะมีอุณหภูมิโดยเฉลี่ยของอากาศภายในต่ำกว่าบ้านที่ติดฝ้า ซึ่งในความเป็นจริงผู้อยู่อาศัยจะพักผ่อนอยู่ในบ้านในช่วงเวลากลางคืนมากกว่าในช่วงเวลากลางวันที่ออกไปทำงานนอกบ้าน รูปแบบของเรือนไทยที่ไม่มีฝ้าจึงมีความเหมาะสมต่อการอยู่อาศัยมากกว่าเรือนไทยที่มีฝ้าเพดาน แต่อย่างไรก็ตามอุณหภูมิอากาศภายในในช่วงเวลากลางวันนั้นก็ยิ่งสูงเกินกว่าขอบเขตภาวะน่าสบายของมนุษย์อยู่มากจึงควรศึกษาหาแนวทางกาปรับปรุงระบบหลังคาให้มีประสิทธิภาพในการลดการถ่ายเทความร้อนเพื่อที่จะทำให้อุณหภูมิอากาศภายในเข้าใกล้ขอบเขตภาวะน่าสบายมากขึ้น

5.1.10 อิทธิพลของรูปแบบการติดตั้งฉนวนกันความร้อน

จากผลการทดสอบพบว่ากาปรับปรุงหลังคาโดยการติดตั้งฉนวนกันความร้อนหนา 6 นิ้วในแนวราบเหนือฝ้าเพดาน และมีการระบายอากาศภายในใต้หลังคานั้น สามารถลดอุณหภูมิอากาศภายในหุ้่นจำลองได้มากกว่ารูปแบบหุ้่นจำลองที่มีการระบายอากาศแต่ไม่มีการติดตั้งฝ้าเพดาน โดยในช่วงเวลากลางวันอุณหภูมิอากาศภายในสูงสุดจะมีความแตกต่างกันถึง 3.62 องศาเซลเซียส และต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกสูงสุดถึง 8.75 องศาเซลเซียส ในขณะที่อุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ยของหุ้่นจำลองที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนจะอยู่ที่ 28.46 องศาเซลเซียส ซึ่งจะมีความแตกต่างกับหุ้่นจำลองที่ไม่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อน และอุณหภูมิอากาศภายนอกประมาณ 0.96 และ 2.36 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

ในช่วงเวลากลางคืนนั้นความร้อนที่สะสมภายในจะถ่ายเทออกสู่ภายนอก หุ้่นจำลองที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนจะถ่ายเทความร้อนออกได้ยากกว่าหุ้่นจำลองที่ไม่มีฉนวนเนื่องจากฉนวนเป็นตัวกั้นความร้อนไม่ให้ระบายออกสู่ภายนอกได้ ส่งผลให้อุณหภูมิอากาศภายในหุ้่นจำลองที่มีฉนวน ในช่วงเวลากลางคืน จะสูงกว่าแต่อย่างไรก็ตามเนื่องจากความร้อนที่สะสมอยู่ในหุ้่นจำลองในช่วงกลางวันนั้นมีไม่มากเพราะมีฉนวนกันความร้อนไว้ อุณหภูมิอากาศในช่วงเวลากลางคืนของหุ้่นจำลองที่มีฉนวนจึงสูงกว่าหุ้่นจำลองที่ไม่มีฉนวนเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

จากการวิจัยจึงเสนอแนะรูปแบบระบบหลังคานี้เป็นแนวทางหนึ่งในการออกแบบอาคารพักอาศัยที่เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย



รูป 5-1 แสดงแนวทางหนึ่งในการออกแบบระบบหลังคาสำหรับอาคารไม่ปรับอากาศที่เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย

5.1.11 อิทธิพลของตัวแปรในสภาพแวดล้อมจริง

จากการวิเคราะห์เรือนไทยทั้งสามแห่งซึ่งมีฝ้า และไม่มีฝ้าเพดานพบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบจะมีความแตกต่างกันเนื่องจากอิทธิพลความร้อนที่แผ่มาจากหลังคาจะไม่เท่ากัน เพราะมีฝ้าเพดานกันอยู่ ส่วนความแตกต่างระหว่างเรือนไทยจริงที่นำมาเป็นกรณีศึกษา กับหุ่นจำลองนั้น คือรูปทรงของหลังคา โดยที่หลังคาหุ่นจำลองนั้นจะเป็นหลังคาจั่วมุมเอียง 60 องศา แต่หลังคาเรือนไทยจริงมีลักษณะที่แอ่นโค้งเล็กน้อยที่เรียกว่าจอมแห ซึ่งความแตกต่างนี้จะส่งผลต่อค่ามุม Angle Factor ที่แตกต่างกัน โดยหลังคาเรือนไทยจริงที่มีลักษณะแอ่นโค้งเล็กน้อยนั้นจะมีค่าน้อยกว่าเมื่อเทียบกับหลังคาที่มีลักษณะตรง ความแตกต่างนี้ส่งผลต่ออุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบที่ต่างกันเนื่องจากอิทธิพลของ Angle factor ที่ไม่เท่ากัน โดยหลังคาที่มีค่า Angle factor น้อยจะมีอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบน้อยกว่าด้วย (ในกรณีนี้ที่เสมือนว่าอุณหภูมิผิวหลังคามีค่าเท่ากัน) จึงสรุปได้ว่า เมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมเดียวกัน และตัวแปรอื่น ๆ มีค่าเท่ากันหมด เรือนไทยจริงที่มีระนาบพื้นผิวหลังคาแอ่นโค้ง และไม่มีฝ้าเพดานนั้น จะมีมีอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบที่น้อยกว่าหลังคาระนาบตรง

5.2 สรุปผลการวิจัย

การวิจัยนี้ทำให้ทราบถึงอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อมุมเอียงหลังคา และความสัมพันธ์กับความรู้สึกร้อนหนาวภายในเรือนไทย ดังนี้

- มวลสารที่น้อยของกระเบื้องดินเผาทำให้มุมเอียงหลังคามีอิทธิพลต่อความรู้สึกร้อนหนาวมากกว่าวัสดุผนังที่มีมวลสารมาก
- ยิ่งมวลสารมากอิทธิพลของมุมเอียงหลังคาจะยิ่งน้อยลง
- หลังคายิ่งชัน รังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบจะตั้งฉากน้อยลง โดยเฉพาะช่วงที่โคจรถึงจุดสูงสุดของวัน ส่งผลให้อุณหภูมิผิวต่ำกว่าหลังคาที่เอียงน้อย
- หลังคายิ่งชัน การแลกเปลี่ยนรังสีคลื่นยาวกับท้องฟ้าตอนกลางคืนยิ่งน้อยลง ส่งผลให้อุณหภูมิผิวสูงกว่าหลังคาที่เอียงน้อย
- หลังคาที่หันไปในทิศทางที่สัมพันธ์กับทางโคจรของดวงอาทิตย์ และลมธรรมชาติจะทำให้อุณหภูมิอากาศภายในมีค่าต่ำลงได้
- หลังคาที่มีมุมเอียงมาก การแบ่งชั้นความร้อน และอากาศร้อนจะลอยตัวสูงขึ้นได้มากกว่า อุณหภูมิอากาศภายในจะยิ่งน้อยลง
- หลังคาที่มีมุมเอียง และพื้นที่ผิวหลังคาที่สมดุลกัน เช่น มุมเอียงหลังคาเรือนไทย จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบที่ต่ำที่สุด
- รูปทรงของอาคารที่สูงเป็นสองเท่าจะมีอุณหภูมิอากาศ และอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบต่ำกว่าอาคารที่สูงปกติ และอาคารที่สูงน้อยจะมีอุณหภูมิอากาศ และอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบสูงกว่า
- รูปแบบการติดตั้งฝ้าเพดาน และการระบายอากาศที่เหมาะสมสำหรับเรือนไทยนั้นควรเป็นแบบที่ มีการระบายอากาศใต้หลังคา และไม่มีฝ้าเพดาน
- รูปแบบระบบหลังคาที่ทำการปรับปรุงโดยการติดตั้งฉนวนกันความร้อนร่วมกับการระบายอากาศนั้น สามารถลดความร้อนที่ถ่ายเทสู่อาคารได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งเป็นแนวทางหนึ่งในการออกแบบหรือปรับปรุงงานสถาปัตยกรรมต่อไปในอนาคต

- ข้อมูลจากการวิจัยโดยการจำลองสภาพแวดล้อม และอาคารด้วยหุ่นจำลองมีความแตกต่างจากข้อมูลที่ได้จากเรือนไทยจริงอยู่บ้างเนื่องจาก สภาพแวดล้อม และวัน เวลา ที่ต่างกัน

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 ข้อเสนอแนะสำหรับการทำวิจัย

1.) การเก็บข้อมูลควรเก็บในระยะยาว ซึ่งครอบคลุมทุกฤดูกาล เพื่อจะได้ทราบถึงอิทธิพลของตัวแปรว่า ในฤดูกาลที่ต่างกัน ว่ามีอิทธิพลที่แตกต่างกันหรือไม่อย่างไร เนื่องจากงานวิจัยนี้มีข้อจำกัดในเรื่องระยะเวลาการศึกษาจึงสามารถเก็บข้อมูลได้ในช่วงฤดูร้อนเท่านั้น

2.) การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรในสภาพแวดล้อมจริงเพิ่มเติม เช่น เรือนไทยจริงที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงวัสดุก่อสร้าง และสภาพแวดล้อมมากนัก ทำการเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากหุ่นจำลอง

3.) การศึกษาตัวแปรด้านความเร็ว และทิศทางลมในเชิงปริมาณ เพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือในงานวิจัย เนื่องจากเป็นตัวแปรที่มีความแปรปรวนเกือบตลอดเวลา และงานวิจัยนี้ศึกษาตัวแปรด้วยการสังเกตในเชิงคุณภาพเท่านั้น เนื่องจากขาดแคลนเครื่องมือที่ใช้วัดทิศทาง และความเร็วลม

4.) การประยุกต์ใช้จริงกับงานออกแบบในอนาคต เนื่องจากงานวิจัยนี้มุ่งศึกษาศักยภาพของเรือนไทยในอดีตเป็นหลัก การนำไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบจริง จึงมีตัวแปรอื่นที่ควรนำมาพิจารณา ร่วมด้วย โดยเฉพาะสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไปจากอดีตมาก และควรนำเอาเทคโนโลยีสมัยใหม่ เช่น การใช้ฉนวนกันความร้อนมาผสมผสานร่วมกัน

5.3.1 ข้อเสนอแนะสำหรับสถาปนิก

1.) การออกแบบอาคารควรมีความสอดคล้องกับสภาพภูมิอากาศร้อนชื้นของไทย รวมทั้งควรมีเอกลักษณ์ไทย จากงานวิจัยนี้ชี้ให้เห็นว่า เรือนไทยในอดีตเป็นภูมิปัญญาที่ลึกซึ้งในการปรับตัวให้เข้ากับภูมิอากาศ และมีความเด่นชัดเป็นเอกลักษณ์

2.) การออกแบบโดยคำนึงถึงการประหยัดพลังงาน การใช้ประโยชน์จากสภาพแวดล้อม และธรรมชาตินั้นไม่ใช่เรื่องยาก หรือไกลตัวสถาปนิก แต่เป็นเรื่องสำคัญที่สถาปนิกควรเป็นผู้ชี้นำสังคม ให้หันมาใส่ใจการอนุรักษ์พลังงานอย่างถูกวิธีกันมากขึ้น

3.) การพัฒนาการออกแบบทางด้านเทคโนโลยีสมัยใหม่ และการดำรงเอกลักษณ์ไทยนั้นควรดำเนินควบคู่ไปด้วยกัน เพราะภูมิปัญญาไทยนั้นเป็นสิ่งที่มีความสมควรจะศึกษา และพัฒนาต่อยอดให้ดียิ่งขึ้นต่อไปในอนาคต

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย สาระนิเทศ, กอง ประชาสัมพันธ์, ฝ่าย. ข้อมูลสำคัญสำหรับผู้บริหาร: สถิติรายปี (ปีงบประมาณ 2512-2542). 2542. (ม.ป.ท.).

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย สาระนิเทศ, กอง ประชาสัมพันธ์, ฝ่าย. สถานภาพการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. 2542. (ม.ป.ท.).

จัญดา บุญเกียรติ. การลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ตัวอาคารทางหลังคา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาสถาปัตยกรรม สาขาวิชาเทคโนโลยีอาคาร บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2537.

จอมภพ แวดศักดิ์. การศึกษาความเป็นไปได้ของการทำความเย็นโดยใช้หลักการแผ่รังสีในเวลากลางคืน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงาน และวัสดุ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2541.

จุไรพร ตุมพสุวรรณ. พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านวัสดุผนังหลังคาบ้านพักอาศัยในเขตร้อนชื้น. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาสถาปัตยกรรม สาขาวิชาเทคโนโลยีอาคาร บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540.

โชติ กัลยาณมิตร. สถาปัตยกรรมแบบไทยเดิม. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2539.

ณัฐยา ทงมี. เทคนิคการออกแบบ และเลือกวัสดุหลังคา เพื่อใช้ประโยชน์จากน้ำค้าง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาสถาปัตยกรรม สาขาวิชาเทคโนโลยีอาคาร บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.

ประชัย เปี่ยมสมบุญ, สุนทร บุญญธิการ และแสงสันต์ พานิช. มหาวิทยาลัยชินวัตร: ปรัชญา และแนวคิดสู่มิติใหม่ทางการศึกษา. กรุงเทพฯ: รัชการพิมพ์, 2544.

วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม, กระทรวง, กรมพัฒนา และส่งเสริมพลังงาน. รายงานพลังงานของประเทศไทย 2542. 2542. (ม.ป.ท.).

สมภพ ภิรมย์. บ้านไทย. กรุงเทพฯ: บริษัทหลักทรัพย์ กองทุนรวมจำกัด (มหาชน), 2538.

สุนทร บุญญธิการ และธนิต จินดาวงนิค. รายงานการวิจัยการวิเคราะห์สภาวะน่าสบาย และสภาพแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับสถาปัตยกรรมไทย. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2536.

สุนทร บุญญธิการ. เทคนิคการออกแบบบ้านประหยัดพลังงานเพื่อคุณภาพชีวิตที่ดีกว่า. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.

สุนทร บุญญธิการ และคณะ. พลังงานใกล้ตัว. กรุงเทพฯ: (ม.ป.ท.), 2544.

โสภิญ วชิรภูวดล. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของหลังคาตัวเก็บรังสีอาทิตย์ สำหรับหลังคาบ้านทรงไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงาน และวัสดุ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2539.

ฤทัย ใจจงรัก. เรือนไทยเดิม. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ท่าพระจันทร์, 2539

อรศิริ ปาณินท์. บ้าน และหมู่บ้านพื้นถิ่น. กรุงเทพฯ: สมาคมสถาปนิกสยามในพระบรมราชูปถัมภ์, 2539

ภาษาอังกฤษ

- America society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers. ASHRAE 1995 HVAC Applications. I-P Edition. (n.p.), 1995.
- America society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers. ASHRAE 1996 HVAC Systems and Equipment. I-P Edition. (n.p.), 1996.
- America society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers. ASHRAE 2001 Handbook of Fundamental. I-P Edition. (n.p.), 2001.
- Anderson, B. N. Solar Energy: Fundamental in Building Design. New York: McGraw-Hill, 1977.
- Bansal, N.K., Hauser, G. and Minke G. Passive Building Design: A Handbook of Natural Climatic Control. Netherlands: Elsevier Science B. V, 1994
- Beckman, A. William, and John, A. Duffie. Solar Engineering of Thermal Processes. 2nd Edition. New York: John Wiley & Sons, 1991.
- Brown, G. Z. and DeKay, M. Sun, wind & light: architectural design strategies. 2nd Edition. U.S.A.: John Wiley & Sons, 2001
- Cengel, Y. Thermodynamics and heat Transfer. New York: McGraw-Hill, 1997.
- Fanger, P.O. Thermal Comfort: Analysis and Application in environmental Engineering. New York: McGraw-Hill, 1970.
- Givoni, B. Man Climate and Architecture. Great Britain: Elsevier Publishing, 1969.
- Givoni, B. Passive and Low Energy Cooling of Buildings. U.S.A.: International Thomson Publishing, Inc, 1994.
- Koenigsberger, O. and Lynn, R. Roofs in the Warm Humid Tropics. London: Lund Hamphiries Publisher, 1965.
- Moore, F. Environmental Control Systems: Heating Cooling Lighting. New York: McGraw-Hill, 1993.
- Olgay, V. Design with Climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism. Fourth Printing. New Jersey: priton University Press, 1973.
- Sparrow, E.M. and Cess, R.D. Thermal Radiation Heat Transfer. New York: McGraw-Hill, 1978.
- Stein, B. and Reynolds, J. S. Mechanical and Electrical Equipment for Buildings. 7th Edition. New York: John Wiley & Sons, 1992
- Watson, D. and Labs, K. Climatic Design: Energy-Efficient Building Principles and Practices. U.S.A.: McGraw-Hill, 1983.
- William, M. Landscape Planning Environmental Application. 3rd Edition. U.S.A.: John Wiley & Sons, 1998.



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

TEST OF THERMAL MASS

DATE	TIME	ZINC					ZINC-BLACK PAINT					THATCH					CLAY TILE					CONCRETE					Tair
		30		60		T-Diff	30		60		T-Diff	30		60		T-Diff	30		60		T-Diff	30		60		T-Diff	
		OVER	UNDER	OVER	UNDER		OVER	UNDER	OVER	UNDER		OVER	UNDER	OVER	UNDER		OVER	UNDER	OVER	UNDER		OVER	UNDER	OVER	UNDER		
21/4/2003	0:00	28.77	28.55	28.39	28.59	-0.04	28.07	27.84	28.23	28.42	-0.58	28.32	29.77	28.16	29.41	0.36	28.61	29.01	28.82	29.42	-0.41	28.80	29.76	29.14	29.79	-0.04	29.055
21/4/2003	1:00	28.32	28.17	27.99	28.20	-0.03	27.66	27.45	27.86	28.04	-0.59	27.94	29.45	27.74	29.14	0.31	28.19	28.59	28.44	28.88	-0.29	28.35	29.37	28.67	29.48	-0.11	28.867
21/4/2003	2:00	27.38	27.38	27.08	27.33	0.05	26.68	26.55	27.12	27.31	-0.76	27.10	29.00	26.97	28.65	0.35	27.60	28.07	27.89	28.33	-0.26	27.86	29.03	28.19	29.15	-0.12	28.271
21/4/2003	3:00	26.60	26.72	26.33	26.60	0.12	26.02	25.90	26.42	26.60	-0.69	26.30	28.62	26.11	28.11	0.52	27.09	27.61	27.25	27.69	-0.08	27.45	28.68	27.77	28.87	-0.18	27.524
21/4/2003	4:00	26.16	26.36	25.99	26.28	0.08	25.65	25.54	26.05	26.26	-0.71	25.91	28.26	25.78	27.73	0.53	26.62	27.13	26.73	27.20	-0.07	27.07	28.31	27.35	28.58	-0.26	26.96
21/4/2003	5:00	26.26	26.44	26.12	26.40	0.04	25.72	25.65	26.09	26.33	-0.67	26.29	28.08	26.15	27.57	0.50	26.61	27.05	26.81	27.20	-0.15	26.81	27.98	27.09	28.40	-0.42	26.778
21/4/2003	6:00	25.91	26.14	25.77	26.07	0.08	25.41	25.35	25.76	26.00	-0.65	25.94	27.80	25.76	27.30	0.50	26.44	26.84	26.67	27.05	-0.21	26.53	27.71	26.83	28.22	-0.52	26.637
21/4/2003	7:00	27.44	27.43	27.14	27.39	0.04	27.26	26.91	27.34	27.52	-0.61	27.57	28.03	26.73	27.69	0.35	26.88	26.96	27.11	27.40	-0.44	26.77	27.54	26.95	28.31	-0.77	27.624
21/4/2003	8:00	30.23	29.77	31.75	31.81	-2.04	30.24	29.56	30.43	30.50	-0.94	30.06	29.26	30.18	29.21	0.04	28.90	28.55	29.13	29.17	-0.62	28.35	28.34	28.41	28.80	-0.46	29.47
21/4/2003	9:00	37.23	35.65	36.39	36.28	-0.62	35.41	36.78	36.54	36.49	0.29	35.70	32.36	32.96	31.64	0.72	34.22	33.08	33.31	31.10	1.99	34.15	31.16	33.63	30.80	0.36	31.786
21/4/2003	10:00	36.72	35.22	36.71	36.58	-1.37	36.64	35.42	38.00	37.82	-2.40	37.69	33.57	34.63	32.72	0.85	35.61	34.92	34.92	32.56	2.35	36.66	33.96	35.36	32.40	1.56	33.749
21/4/2003	11:00	40.59	38.48	38.76	38.56	-0.09	40.06	38.21	39.60	39.19	-0.98	40.45	34.90	37.68	34.03	0.87	37.90	36.64	36.79	34.48	2.17	38.00	35.64	36.91	34.20	1.44	35.648
21/4/2003	12:00	51.27	47.44	46.84	46.33	1.10	56.83	51.05	49.49	48.68	2.37	51.98	38.56	45.13	37.19	1.37	45.92	42.32	41.83	37.95	4.36	39.96	37.40	39.96	36.40	1.00	39.985
21/4/2003	13:00	53.04	48.93	47.91	47.36	1.57	57.73	52.05	50.07	49.17	2.88	52.69	39.77	45.38	37.91	1.86	46.95	43.28	42.03	38.64	4.64	44.94	38.96	43.62	38.50	0.46	41.33
21/4/2003	14:00	50.24	46.58	45.70	45.24	1.34	54.08	49.51	47.63	46.98	2.53	52.16	40.23	44.12	37.89	2.34	48.25	45.13	43.15	39.85	5.27	47.68	40.97	45.75	40.30	0.67	41.015
21/4/2003	15:00	48.99	45.53	44.45	44.03	1.50	51.99	48.06	46.07	45.69	2.37	51.55	40.45	43.53	37.60	2.85	49.12	46.59	43.58	40.67	5.93	49.71	43.16	47.63	41.40	1.76	40.97
21/4/2003	16:00	47.99	44.69	43.98	43.58	1.10	51.78	47.83	45.38	45.36	2.48	51.35	39.57	42.53	37.30	2.27	47.32	44.20	42.84	39.56	4.64	48.97	42.46	47.36	40.90	1.56	40.579
21/4/2003	17:00	43.68	41.07	41.08	40.79	0.28	45.75	42.04	41.89	42.19	-0.15	47.25	37.97	39.78	36.43	1.54	43.76	41.47	41.19	38.23	3.23	45.51	39.42	44.39	39.10	0.32	37.241
21/4/2003	18:00	35.87	34.51	35.70	35.62	-1.11	35.15	35.02	36.32	36.59	-1.56	39.13	35.53	34.51	34.34	1.19	37.16	37.60	37.26	35.91	1.69	41.14	37.16	40.18	36.90	0.26	34.015
21/4/2003	19:00	31.90	31.18	31.10	31.20	-0.02	30.93	30.56	31.05	31.18	-0.62	31.96	32.53	30.29	31.78	0.75	32.13	32.75	32.03	32.12	0.63	34.93	34.55	36.13	35.10	-0.55	31.565
21/4/2003	20:00	30.67	30.15	30.03	30.16	-0.02	29.84	29.51	29.92	30.10	-0.59	30.70	31.43	29.33	30.79	0.64	30.52	31.02	30.57	30.99	0.03	32.22	32.68	33.47	33.50	-0.82	30.612
21/4/2003	21:00	30.19	29.74	29.63	29.78	-0.04	29.43	29.12	29.47	29.66	-0.54	30.02	30.72	29.13	30.37	0.36	29.76	30.13	29.96	30.30	-0.17	30.83	31.40	31.66	32.00	-0.60	30.251
21/4/2003	22:00	29.65	29.29	29.13	29.30	-0.01	28.87	28.60	28.98	29.17	-0.58	29.41	30.40	28.70	30.04	0.35	29.28	29.68	29.51	29.81	-0.13	29.94	30.62	30.53	30.74	-0.12	29.681
21/4/2003	23:00	29.16	28.88	28.75	28.94	-0.06	28.45	28.18	28.61	28.80	-0.61	28.99	30.14	28.52	29.77	0.38	28.92	29.31	29.13	29.66	-0.35	29.32	30.10	29.81	30.25	-0.15	29.327
22/4/2003	0:00	29.30	28.99	28.81	28.99	0.01	28.59	28.30	28.68	28.89	-0.59	29.22	29.93	28.71	29.67	0.26	28.86	29.15	29.11	29.51	-0.36	28.99	29.75	29.36	29.95	-0.20	29.408
22/4/2003	1:00	28.52	28.34	28.10	28.30	0.04	27.81	27.60	28.05	28.26	-0.66	28.45	29.54	28.03	29.24	0.30	28.42	28.76	28.65	29.12	-0.36	28.57	29.44	28.93	29.65	-0.21	28.827
22/4/2003	2:00	27.58	27.55	27.27	27.50	0.04	26.92	26.75	27.26	27.45	-0.69	27.37	29.04	27.12	28.70	0.34	27.79	28.19	28.00	28.53	-0.34	28.07	29.06	28.44	29.32	-0.26	28.471
22/4/2003	3:00	27.32	27.33	26.99	27.24	0.08	26.74	26.55	27.04	27.27	-0.72	27.34	28.61	26.97	28.29	0.31	27.30	27.66	27.58	27.99	-0.33	27.63	28.64	28.00	29.02	-0.38	27.719
22/4/2003	4:00	25.93	26.16	25.80	26.09	0.07	25.53	25.42	25.86	26.09	-0.66	26.13	27.79	25.72	27.31	0.48	26.63	26.99	26.86	27.10	-0.11	27.00	28.02	27.41	28.62	-0.60	26.91
22/4/2003	5:00	25.95	26.18	25.83	26.13	0.06	25.57	25.44	25.83	26.09	-0.65	26.12	27.65	25.78	27.20	0.45	26.35	26.66	26.58	26.80	-0.14	26.61	27.63	26.99	28.33	-0.70	26.803
22/4/2003	6:00	26.07	26.28	25.92	26.21	0.07	25.70	25.56	25.88	26.13	-0.57	26.18	27.51	25.85	27.11	0.39	26.33	26.55	26.56	26.76	-0.21	26.38	27.36	26.74	28.16	-0.80	26.686
22/4/2003	7:00	27.24	27.26	26.95	27.20	0.06	27.10	26.75	27.04	27.23	-0.48	27.37	27.67	26.59	27.38	0.29	26.78	26.68	26.97	27.25	-0.57	26.57	27.26	26.83	28.22	-0.97	27.303
22/4/2003	8:00	30.17	29.73	31.20	31.29	-1.56	30.20	29.50	30.03	30.09	-0.59	30.13	29.09	29.90	29.02	0.06	28.92	28.41	29.09	28.68	-0.27	28.24	28.11	31.51	31.41	-3.31	29.541
22/4/2003	9:00	37.96	36.27	35.42	35.35	0.92	35.43	37.54	35.85	35.83	1.70	35.71	32.20	32.58	31.45	0.75	34.19	32.90	32.97	31.07	1.83	33.88	30.91	33.39	32.00	-1.09	31.781
22/4/2003	10:00	38.44	36.67	37.78	37.62	-0.95	39.51	37.72	38.52	38.13	-0.40	39.15	33.94	35.76	32.99	0.95	36.34	35.17	35.22	32.79	2.38	36.75	34.09	35.58	33.30	0.79	34.138
22/4/2003	11:00	44.48	41.74	43.93	43.54	-1.80	46.16	42.90	44.57	43.87	-0.97	42.74	35.60	40.65	35.17	0.43	39.14	37.00	37.74	34.91	2.09	38.29	35.39	37.09	34.40	0.99	37.115
22/4/2003	12:00	50.61	46.89	46.24	45.75	1.14	54.63	49.64	48.51	47.70	1.95	49.26	38.49	43.20	37.17	1.31	46.19	42.98	42.31	39.00	3.98	40.30	37.18	39.76	36.00	1.18	40.05

TEST OF SOLAR RADIATION

DATE	TIME	30				45				60				75				Tair								
		Tsurface.outside		Tsurface.inside		T-in50	T-in120	Tsurface.outside		Tsurface.inside		T-in50	T-in120	Tsurface.outside		Tsurface.inside			T-in50	T-in120						
		NORTH	SOUTH	NORTH	SOUTH			NORTH	SOUTH	NORTH	SOUTH			NORTH	SOUTH	NORTH	SOUTH									
31/3/2003	0:00	27.12	27.52	27.91	27.91	30.34	29.50	27.52	27.74	27.91	27.91	30.68	29.50	27.52	27.91	27.91	28.18	31.05	29.79	28.31	27.91	28.70	28.31	31.00	30.13	28.31
31/3/2003	1:00	27.12	27.12	27.52	27.52	29.46	28.70	27.52	27.35	27.52	27.52	29.50	28.70	27.12	27.52	27.78	27.91	29.79	28.95	27.91	27.91	28.31	28.31	30.34	29.10	27.91
31/3/2003	2:00	26.34	26.73	27.12	27.12	28.91	28.31	26.73	26.94	27.12	27.52	29.00	28.31	26.73	27.12	27.34	27.52	29.16	28.45	27.52	27.52	27.91	27.91	29.62	28.70	27.52
31/3/2003	3:00	25.95	26.34	26.73	26.73	28.50	27.91	26.34	26.47	26.73	26.73	28.79	27.91	26.34	26.73	27.07	27.12	28.95	28.07	27.12	26.73	27.52	27.52	29.12	28.31	27.12
31/3/2003	4:00	25.56	25.95	26.34	26.34	28.00	27.52	25.95	26.34	26.34	26.34	28.31	27.52	25.95	26.34	26.61	26.73	28.57	28.03	26.73	26.73	27.12	27.12	28.82	27.91	26.73
31/3/2003	5:00	25.56	25.56	25.95	25.95	27.67	27.12	25.95	25.66	25.95	26.34	28.00	27.12	25.95	25.95	26.21	26.34	28.19	27.69	26.34	26.34	26.73	26.73	28.45	27.77	26.34
31/3/2003	6:00	24.79	24.79	25.56	25.56	27.30	26.73	25.17	25.17	25.56	25.56	27.46	26.73	25.17	25.17	25.78	25.69	27.73	27.23	25.95	25.56	26.34	26.34	28.07	27.52	25.82
31/3/2003	7:00	24.40	24.40	24.79	25.17	26.74	26.34	24.79	25.17	25.17	25.17	26.94	26.34	25.17	25.17	25.34	25.56	26.89	26.55	25.56	25.56	25.95	25.95	27.14	26.73	25.54
31/3/2003	8:00	28.31	27.91	25.56	25.56	26.35	26.34	26.34	27.12	25.56	25.56	26.42	26.34	27.12	27.12	25.98	26.34	27.06	26.93	27.52	27.52	26.34	26.34	26.85	27.09	27.12
31/3/2003	9:00	31.93	32.34	27.52	28.31	27.03	27.52	31.12	32.58	27.52	27.12	27.27	27.52	31.46	32.80	28.00	28.31	27.86	27.91	29.50	29.90	27.52	27.91	27.86	28.17	29.5
31/3/2003	10:00	37.00	37.00	30.71	31.12	28.27	29.10	35.27	36.28	31.12	30.31	28.55	29.10	34.84	35.75	31.31	31.52	29.08	29.90	32.76	35.70	30.84	31.52	29.24	29.90	30.71
31/3/2003	11:00	41.99	42.46	35.27	36.13	30.52	31.52	41.05	42.14	35.27	35.70	30.44	31.52	40.13	40.90	34.66	35.27	30.74	31.93	37.88	39.67	34.34	35.27	30.93	31.93	32.76
31/3/2003	12:00	45.39	46.40	38.83	39.22	33.43	34.43	44.89	45.52	38.32	39.22	32.57	34.01	42.94	43.91	37.47	38.32	32.59	33.59	40.59	43.42	37.20	37.88	32.59	33.59	35.27
31/3/2003	13:00	46.40	47.96	41.44	42.63	35.40	36.57	45.39	47.11	41.05	42.26	34.60	36.13	43.60	45.39	39.96	41.52	34.70	35.70	41.94	44.40	39.80	40.80	34.27	35.27	39.67
31/3/2003	14:00	46.47	48.37	43.34	43.85	36.59	37.88	45.89	47.43	42.57	43.32	35.92	37.44	44.07	45.89	41.92	42.63	35.57	36.57	42.83	45.39	41.80	42.31	35.29	36.29	41.52
31/3/2003	15:00	46.11	47.43	42.57	43.16	37.39	38.32	45.38	46.91	42.00	42.59	37.11	37.88	43.42	45.44	41.59	41.94	36.36	37.00	42.26	45.39	41.31	41.94	35.91	36.91	41.1
31/3/2003	16:00	42.94	44.89	41.10	41.90	37.82	38.77	42.94	44.40	40.66	41.17	37.44	38.32	41.05	43.91	40.29	40.59	36.61	37.44	40.13	43.42	40.00	40.13	36.37	37.30	39.72
31/3/2003	17:00	40.13	39.67	39.22	39.22	37.72	38.32	39.67	39.67	38.77	39.22	37.25	37.88	37.88	39.67	38.00	38.32	36.44	37.44	38.32	38.77	37.88	38.77	36.28	37.11	37.24
31/3/2003	18:00	34.85	35.70	36.37	36.57	37.34	37.44	35.27	34.85	36.13	36.57	36.68	37.00	34.85	35.27	35.64	36.13	35.87	36.13	35.70	35.27	35.36	36.13	35.80	35.97	34
31/3/2003	19:00	31.52	32.34	33.59	34.43	36.26	36.13	31.93	31.52	33.40	34.01	35.31	35.27	31.93	32.34	33.08	34.01	34.94	34.85	32.76	32.34	33.04	34.01	34.87	34.74	32.12
31/3/2003	20:00	29.50	30.31	31.52	32.34	34.55	34.43	29.90	29.50	31.52	31.93	33.80	33.59	29.90	30.31	31.52	31.52	33.16	32.76	31.12	30.31	32.14	31.93	33.36	32.47	30.26
31/3/2003	21:00	28.31	29.10	30.31	30.31	32.57	32.34	28.70	28.70	30.31	30.31	32.57	32.34	29.10	29.10	30.31	30.31	32.06	31.52	29.90	29.50	31.12	30.71	31.89	31.34	29.27
31/3/2003	22:00	27.52	27.91	29.10	29.50	31.62	31.12	27.91	27.52	29.10	29.10	31.34	31.12	27.91	28.31	29.10	29.10	31.43	30.71	29.10	28.70	29.90	29.90	31.39	30.54	28.8
31/3/2003	23:00	26.73	27.52	28.31	28.70	30.91	30.31	27.52	27.12	28.31	28.70	30.49	30.31	27.52	27.91	28.54	28.70	30.92	29.90	28.31	28.31	29.10	29.10	30.92	30.00	28.4
1/4/2003	0:00	26.34	27.12	27.52	27.91	30.16	29.50	26.73	27.12	27.91	28.31	30.06	29.50	27.12	27.52	28.13	28.31	30.46	29.50	28.31	27.91	28.70	28.70	30.38	29.62	27.91
1/4/2003	1:00	26.34	26.73	27.12	27.52	29.40	28.70	26.73	26.73	27.52	27.52	29.54	28.70	26.73	27.12	27.72	27.91	29.87	28.70	27.91	27.52	28.31	28.31	29.92	29.12	27.52
1/4/2003	2:00	25.95	26.34	26.73	27.12	29.07	28.31	26.34	26.34	27.12	27.12	29.12	28.31	26.34	26.73	27.35	27.52	29.37	28.31	27.52	27.12	27.91	27.91	29.62	28.79	27.12
1/4/2003	3:00	25.56	25.56	26.34	26.73	28.64	27.91	25.95	25.95	26.73	26.73	28.55	27.91	26.34	26.34	26.89	27.12	28.78	27.91	27.12	26.73	27.52	27.52	29.12	28.41	26.73
1/4/2003	4:00	25.17	25.56	25.95	26.34	27.79	27.12	25.56	25.56	26.34	26.34	28.08	27.52	25.95	25.95	26.57	26.73	28.45	27.52	26.73	26.34	27.12	27.12	28.66	28.03	26.34
1/4/2003	5:00	24.79	25.17	25.56	25.56	27.13	26.73	25.17	25.17	25.95	25.95	27.51	27.12	25.56	25.56	26.21	26.34	27.94	27.12	26.34	25.95	26.73	26.73	28.19	27.65	25.95
1/4/2003	6:00	24.79	24.79	25.17	25.56	26.57	26.34	25.17	25.17	25.56	25.56	26.90	26.73	25.17	25.56	25.84	25.95	27.39	26.93	25.95	25.95	26.34	26.34	27.61	27.32	25.56
1/4/2003	7:00	24.79	24.79	25.17	25.17	26.14	25.95	25.17	25.17	25.17	25.56	26.52	26.34	25.17	25.56	25.56	25.95	26.97	26.73	25.95	25.95	26.34	26.34	27.18	26.89	25.56
1/4/2003	8:00	29.10	28.31	25.95	26.34	26.75	26.73	26.73	27.12	25.95	26.34	26.47	26.34	27.12	27.52	26.25	26.73	26.81	26.73	27.52	27.91	26.73	26.73	26.93	27.13	27.52
1/4/2003	9:00	33.17	33.17	28.70	29.10	27.79	27.91	31.93	33.15	28.31	28.31	27.32	27.52	31.30	32.45	28.77	29.10	27.90	28.31	29.90	30.31	28.31	28.70	27.94	28.49	29.5
1/4/2003	10:00	38.77	37.88	32.76	32.76	29.54	29.90	36.57	37.44	32.34	31.93	29.35	29.90	37.88	38.10	32.76	32.76	29.87	30.71	33.59	36.57	30.31	32.34	29.71	30.71	31.12
1/4/2003	11:00	43.91	45.89	37.44	37.88	32.38	32.76	42.94	44.89	37.00	37.00	31.68	32.34	41.52	41.99	36.57	36.57	31.26	32.76	38.77	41.99	32.76	36.57	31.22	32.76	33.59
1/4/2003	12:00	47.43	49.02	41.05	43.42	35.17	36.13	46.91	49.02	40.59	42.46	34.22	35.70	44.40	45.39	39.82	41.05	33.74	35.27	41.99	44.89	36.13	40.59	33.28	34.85	36.13

TEST OF ORIENTATION

DATE	TIME	CS-1 (N - S)						CS-2 (NE - SW)						CS-3 (E - W)						CS-4 (SE - NW)						Tair
		Tsurface.outside		Tsurface.inside		T-in50	MRT	Tsurface.outside		Tsurface.inside		T-in50	MRT	Tsurface.outside		Tsurface.inside		T-in50	MRT	Tsurface.outside		Tsurface.inside		T-in50	MRT	
		N	S	N	S			NE	SW	NE	SW			E	W	E	W			SE	NW	SE	NW			
10/4/03	0:00	28.42	28.64	28.93	29.65	30.55	30.12	29.12	28.78	30.16	30.17	30.39	30.31	29.56	28.63	29.97	29.88	30.83	30.52	28.58	28.65	29.64	29.62	30.46	30.18	29.08
10/4/03	1:00	28.22	28.43	28.65	29.39	30.28	29.85	28.89	28.59	29.85	29.91	30.09	30.02	29.30	28.35	29.66	29.57	30.51	30.20	28.35	28.40	29.34	29.30	30.15	29.87	28.90
10/4/03	2:00	28.16	28.35	28.37	29.13	29.99	29.57	28.75	28.45	29.51	29.66	29.80	29.73	29.22	28.22	29.38	29.28	30.16	29.88	28.30	28.30	29.04	29.01	29.83	29.55	28.91
10/4/03	3:00	27.81	27.95	28.11	28.81	29.73	29.29	28.39	28.00	29.14	29.33	29.50	29.41	28.91	27.86	29.15	28.99	29.88	29.61	27.95	27.90	28.80	28.73	29.57	29.29	28.57
10/4/03	4:00	27.41	27.57	27.69	28.38	29.35	28.91	27.93	27.69	28.67	28.95	29.07	28.98	28.51	27.49	28.68	28.54	29.49	29.19	27.58	27.49	28.37	28.29	29.18	28.89	28.09
10/4/03	5:00	27.13	27.25	27.41	28.13	29.09	28.64	27.67	27.39	28.38	28.75	28.81	28.72	28.28	27.18	28.40	28.28	29.20	28.91	27.26	27.13	28.04	27.99	28.90	28.60	27.92
10/4/03	6:00	26.79	27.08	27.13	27.85	28.81	28.36	27.59	26.90	28.14	28.35	28.47	28.39	28.03	26.77	28.20	27.92	28.90	28.61	27.12	26.74	27.87	27.76	28.67	28.38	27.86
10/4/03	7:00	27.14	27.31	26.91	27.63	28.56	28.12	27.86	27.13	27.93	28.06	28.18	28.12	28.34	26.92	28.05	27.68	28.66	28.39	27.50	27.10	27.70	27.55	28.44	28.16	28.00
10/4/03	8:00	29.06	28.90	27.51	28.43	28.85	28.55	30.58	28.45	29.35	28.66	28.58	28.72	30.26	28.11	29.23	28.41	28.92	28.89	29.46	28.76	28.56	28.30	28.74	28.64	29.93
10/4/03	9:00	33.08	32.14	29.51	30.54	30.23	30.16	34.59	31.15	32.38	30.29	30.21	30.59	34.89	30.67	31.98	30.23	30.24	30.53	33.57	31.97	31.06	30.08	29.99	30.19	32.53
10/4/03	10:00	36.51	35.52	32.10	33.31	32.00	32.24	38.89	32.90	35.31	31.93	31.83	32.44	40.73	32.47	36.43	32.11	31.85	32.67	37.34	34.17	34.07	32.15	31.75	32.21	34.67
10/4/03	11:00	39.07	38.37	34.61	36.05	33.51	34.13	41.18	34.95	37.56	33.27	33.09	33.88	43.75	34.11	39.44	33.56	33.23	34.34	40.35	36.82	37.18	34.10	33.35	34.13	36.94
10/4/03	12:00	41.02	40.81	36.80	38.90	34.96	35.94	42.02	37.91	39.25	35.54	34.51	35.49	45.00	37.17	41.49	36.08	34.54	35.98	41.36	39.73	39.61	36.38	34.82	35.90	38.55
10/4/03	13:00	42.27	43.56	38.80	41.57	36.34	37.65	42.09	41.85	40.81	38.36	36.18	37.34	44.60	41.34	42.13	39.53	36.00	37.64	42.04	43.29	41.29	39.18	36.27	37.61	39.69
10/4/03	14:00	43.01	44.18	40.16	43.07	37.62	38.98	41.25	44.15	41.07	41.04	37.71	38.84	42.82	44.42	41.29	42.82	37.25	38.89	41.23	45.54	41.61	41.53	37.62	38.96	39.90
10/4/03	15:00	42.82	43.42	40.78	43.50	38.55	39.77	39.50	45.08	40.74	42.80	39.04	39.97	40.01	46.20	40.07	45.44	38.25	39.78	39.48	46.93	41.03	43.33	38.60	39.82	39.67
10/4/03	16:00	40.99	40.59	39.75	41.35	38.25	39.03	37.96	43.22	39.78	41.85	39.23	39.77	38.34	44.74	38.97	44.69	38.66	39.74	37.05	45.52	39.39	42.73	38.49	39.36	38.21
10/4/03	17:00	38.53	38.12	38.29	39.67	37.69	38.12	36.73	40.90	38.95	41.02	38.90	39.27	36.98	42.91	38.12	44.10	38.66	39.49	35.59	43.30	38.23	42.11	38.11	38.81	35.72
10/4/03	18:00	34.88	34.71	36.26	36.89	36.50	36.52	34.91	36.63	37.45	38.50	37.61	37.73	35.34	38.44	36.75	40.74	37.43	37.88	33.91	38.08	36.86	39.68	37.14	37.52	33.47
10/4/03	19:00	32.08	32.00	33.79	34.05	34.48	34.29	32.59	32.57	35.00	34.97	35.06	35.04	33.31	33.31	34.70	35.93	35.51	35.44	31.85	33.24	34.75	35.73	35.16	35.18	31.87
10/4/03	20:00	30.06	30.19	31.76	32.17	33.02	32.66	30.82	30.46	33.01	32.99	33.40	33.26	31.55	30.81	32.82	33.19	33.79	33.53	30.18	30.71	32.85	33.01	33.48	33.29	30.00
10/4/03	21:00	29.16	29.36	30.41	30.97	31.97	31.54	29.95	29.56	31.69	31.79	32.23	32.06	30.60	29.66	31.53	31.66	32.57	32.24	29.38	29.54	31.46	31.37	32.22	31.95	29.53
10/4/03	22:00	28.82	29.09	29.63	30.35	31.28	30.84	29.57	29.22	30.95	31.11	31.43	31.29	30.08	29.12	30.73	30.81	31.73	31.40	29.03	29.09	30.56	30.45	31.36	31.07	29.39
10/4/03	23:00	28.46	28.73	29.22	30.01	30.87	30.44	29.28	28.89	30.56	30.64	30.94	30.82	29.68	28.73	30.28	30.25	31.21	30.89	28.64	28.68	29.98	29.89	30.82	30.52	29.11
11/4/03	0:00	28.42	28.66	28.96	29.75	30.59	30.17	29.25	28.81	30.31	30.26	30.50	30.43	29.57	28.60	30.02	29.86	30.82	30.52	28.61	28.63	29.63	29.56	30.44	30.15	29.05
11/4/03	1:00	28.09	28.27	28.65	29.39	30.31	29.87	28.81	28.44	29.87	29.90	30.14	30.05	29.21	28.23	29.65	29.50	30.49	30.18	28.20	28.22	29.29	29.22	30.12	29.83	28.68
11/4/03	2:00	27.69	27.87	28.19	28.90	29.91	29.45	28.34	28.03	29.33	29.46	29.69	29.59	28.81	27.81	29.16	29.02	30.06	29.73	27.85	27.80	28.83	28.75	29.70	29.39	28.42
11/4/03	3:00	27.25	27.45	27.77	28.49	29.53	29.05	27.88	27.63	28.85	29.10	29.30	29.19	28.38	27.40	28.72	28.61	29.67	29.33	27.38	27.34	28.40	28.32	29.30	28.98	28.00
11/4/03	4:00	26.61	26.69	27.26	27.88	29.04	28.54	27.25	26.94	28.23	28.55	28.74	28.62	27.86	26.77	28.21	28.02	29.15	28.80	26.74	26.63	27.84	27.79	28.79	28.46	27.49
11/4/03	5:00	26.17	26.12	26.72	27.28	28.50	27.99	26.77	26.41	27.63	27.95	28.13	28.01	27.42	26.21	27.70	27.41	28.62	28.26	26.27	26.06	27.30	27.21	28.26	27.92	26.92
11/4/03	6:00	25.83	25.99	26.27	26.87	28.10	27.58	26.62	25.96	27.19	27.45	27.62	27.52	27.17	25.77	27.38	26.98	28.22	27.87	26.17	25.58	26.97	26.74	27.87	27.53	26.99
11/4/03	7:00	26.02	26.19	26.04	26.72	27.82	27.33	26.89	26.01	26.99	27.17	27.31	27.23	27.39	25.78	27.24	26.75	27.94	27.62	26.51	25.76	26.82	26.56	27.64	27.32	27.22
11/4/03	8:00	28.53	28.17	26.69	27.54	28.16	27.81	31.24	27.55	29.26	27.89	27.93	28.15	29.72	27.18	28.57	27.53	28.24	28.18	28.96	27.74	27.80	27.38	28.00	27.86	29.54
11/4/03	9:00	33.01	31.10	28.88	29.52	29.75	29.56	35.87	29.76	32.47	29.46	29.74	30.15	34.74	29.35	31.13	29.20	29.65	29.82	33.77	30.34	30.48	28.96	29.32	29.45	32.06
11/4/03	10:00	36.58	35.38	31.64	32.63	31.58	31.77	40.60	31.70	35.96	30.90	31.17	31.93	42.75	31.30	37.30	30.92	31.24	32.22	38.53	32.75	33.99	30.87	31.11	31.56	34.63
11/4/03	11:00	39.34	39.34	34.87	36.46	33.47	34.21	42.35	35.09	39.69	33.02	33.07	34.18	45.07	33.88	41.21	33.22	33.18	34.55	41.80	36.68	38.28	33.56	33.17	34.10	37.21
11/4/03	12:00	41.06	41.32	37.28	39.43	35.19	36.27	42.67	38.06	40.76	35.60	34.74	35.91	45.63	37.18	42.70	36.11	34.70	36.30	42.08	39.89	40.53	36.48	34.91	36.13	38.17

TEST OF STRATIFICATION

DATE	TIME	30				45				60				75				Tair								
		Tsurface.outside		Tsurface.inside		T-in50	T-in120	Tsurface.outside		Tsurface.inside		T-in50	T-in120	Tsurface.outside		Tsurface.inside			T-in50	T-in120						
		NORTH	SOUTH	NORTH	SOUTH			NORTH	SOUTH	NORTH	SOUTH			NORTH	SOUTH	NORTH	SOUTH									
31/3/2003	0:00	27.12	27.52	27.91	27.91	30.34	29.50	27.52	27.74	27.91	27.91	30.68	29.50	27.52	27.91	27.91	28.18	31.05	29.79	28.31	27.91	28.70	28.31	31.00	30.13	28.31
31/3/2003	1:00	27.12	27.12	27.52	27.52	29.46	28.70	27.52	27.35	27.52	27.52	29.50	28.70	27.12	27.52	27.78	27.91	29.79	29.26	27.91	27.91	28.31	28.31	30.34	29.10	27.91
31/3/2003	2:00	26.34	26.73	27.12	27.12	28.91	28.31	26.73	26.94	27.12	27.52	29.00	28.31	26.73	27.12	27.34	27.52	29.16	28.65	27.52	27.52	27.91	27.91	29.62	28.70	27.52
31/3/2003	3:00	25.95	26.34	26.73	26.73	28.50	27.91	26.34	26.47	26.73	26.73	28.79	27.91	26.34	26.73	27.07	27.12	28.95	28.40	27.12	26.73	27.52	27.52	29.12	28.31	27.12
31/3/2003	4:00	25.56	25.95	26.34	26.34	28.00	27.52	25.95	26.34	26.34	26.34	28.31	27.69	25.95	26.34	26.61	26.73	28.57	28.03	26.73	26.73	27.12	27.12	28.82	27.91	26.73
31/3/2003	5:00	25.56	25.56	25.95	25.95	27.67	27.12	25.95	25.66	25.95	26.34	28.00	27.28	25.95	25.95	26.21	26.34	28.19	27.69	26.34	26.34	26.73	26.73	28.45	27.77	26.34
31/3/2003	6:00	24.79	24.79	25.56	25.56	27.30	26.73	25.17	25.17	25.56	25.56	27.46	26.73	25.17	25.17	25.78	25.69	27.73	27.23	25.95	25.56	26.34	26.34	28.07	27.52	25.82
31/3/2003	7:00	24.40	24.40	24.79	25.17	26.74	26.34	24.79	25.17	25.17	25.17	26.94	26.34	25.17	25.17	25.34	25.56	26.89	26.55	25.56	25.56	25.95	25.95	27.14	26.73	25.54
31/3/2003	8:00	28.31	27.91	25.56	25.56	26.57	26.34	26.34	27.12	25.56	25.56	26.42	26.34	27.12	27.12	25.98	26.34	27.06	26.93	27.52	27.52	26.34	26.34	26.85	27.09	27.12
31/3/2003	9:00	31.93	32.34	27.52	28.31	27.03	27.52	31.12	32.58	27.52	27.12	27.27	27.52	31.46	32.80	28.00	28.31	27.86	27.91	29.50	29.90	27.52	27.91	27.86	28.17	29.5
31/3/2003	10:00	37.00	37.00	30.71	31.12	28.27	29.10	35.27	36.28	31.12	30.31	28.55	29.10	34.84	35.75	31.31	31.52	29.08	29.90	32.76	35.70	29.50	31.52	29.24	29.90	30.71
31/3/2003	11:00	41.99	42.46	35.27	36.13	30.52	31.52	41.05	42.14	35.27	35.70	30.44	31.52	40.13	40.90	34.66	35.27	30.74	31.93	37.88	39.67	31.93	35.27	30.93	31.93	32.76
31/3/2003	12:00	45.39	46.40	38.83	39.22	33.43	34.43	44.89	45.52	38.32	39.22	32.57	34.01	42.94	43.91	37.47	38.32	32.59	33.59	40.59	43.42	34.43	37.88	32.59	33.59	35.27
31/3/2003	13:00	46.40	47.96	41.44	42.63	35.40	36.57	45.39	47.11	41.05	42.26	34.60	36.13	43.60	45.39	39.96	41.52	34.38	35.70	41.05	44.40	37.00	40.59	34.27	35.27	39.67
31/3/2003	14:00	46.47	48.37	43.34	43.85	36.59	37.88	45.89	47.43	42.57	43.32	35.92	37.44	44.07	45.89	41.92	42.63	35.41	36.57	41.99	45.39	37.88	41.05	35.29	36.29	41.52
31/3/2003	15:00	46.11	47.43	42.57	43.16	37.39	38.42	45.38	46.91	42.00	42.59	37.11	37.88	43.42	45.44	41.59	41.94	36.29	37.25	42.46	45.39	38.32	40.59	35.91	36.91	41.1
31/3/2003	16:00	42.94	44.89	41.10	41.90	37.82	38.77	42.94	44.40	40.66	41.17	37.44	38.32	41.05	43.91	40.29	40.59	36.61	37.44	40.13	43.42	38.32	40.13	36.37	37.30	39.72
31/3/2003	17:00	40.13	39.67	39.22	39.22	37.72	38.32	39.67	39.67	38.77	39.22	37.25	37.88	37.88	39.67	38.00	38.32	36.44	37.44	38.32	38.77	37.88	38.77	36.28	37.11	37.24
31/3/2003	18:00	34.85	35.70	36.37	36.57	37.34	37.44	35.27	34.85	36.13	36.57	36.68	37.00	34.85	35.27	35.64	36.13	35.87	36.40	35.70	35.27	36.13	36.13	35.80	35.97	34
31/3/2003	19:00	31.52	32.34	33.59	34.43	36.26	36.13	31.93	31.52	33.40	34.01	35.31	35.27	31.93	32.34	33.08	34.01	34.94	34.85	32.76	32.34	34.43	34.01	34.87	34.74	32.12
31/3/2003	20:00	29.50	30.31	31.52	32.34	34.55	34.43	29.90	29.50	31.52	31.93	33.80	33.59	29.90	30.31	31.52	31.52	33.16	32.81	31.12	30.31	32.34	31.93	33.36	32.47	30.26
31/3/2003	21:00	28.31	29.10	30.31	30.31	32.57	32.34	28.70	28.70	30.31	30.31	32.57	32.34	29.10	29.10	30.31	30.31	32.06	31.60	29.90	29.50	31.12	30.71	31.89	31.34	29.27
31/3/2003	22:00	27.52	27.91	29.10	29.50	31.62	31.12	27.91	27.52	29.10	29.10	31.34	31.12	27.91	28.31	29.10	29.10	31.43	30.71	29.10	28.70	29.90	29.90	31.39	30.54	28.8
31/3/2003	23:00	26.73	27.52	28.31	28.70	30.91	30.31	27.52	27.12	28.31	28.70	30.49	30.31	27.52	27.91	28.54	28.70	30.92	29.90	28.31	28.31	29.10	29.10	30.92	30.00	28.4
1/4/2003	0:00	26.34	27.12	27.52	27.91	30.16	29.50	26.73	27.12	27.91	28.31	30.06	29.50	27.12	27.52	28.13	28.31	30.46	29.50	28.31	27.91	28.70	28.70	30.38	29.62	27.91
1/4/2003	1:00	26.34	26.73	27.12	27.52	29.40	28.70	26.73	26.73	27.52	27.52	29.54	28.70	26.73	27.12	27.72	27.91	29.87	28.70	27.91	27.52	28.31	28.31	29.92	29.12	27.52
1/4/2003	2:00	25.95	26.34	26.73	27.12	29.07	28.31	26.34	26.34	27.12	27.12	29.12	28.31	26.34	26.73	27.35	27.52	29.37	28.31	27.52	27.12	27.91	27.91	29.62	28.79	27.12
1/4/2003	3:00	25.56	25.56	26.34	26.73	28.64	27.91	25.95	25.95	26.73	26.73	28.55	27.91	26.34	26.34	26.89	27.12	28.78	27.91	27.12	26.73	27.52	27.52	29.12	28.41	26.73
1/4/2003	4:00	25.17	25.56	25.95	26.34	27.79	27.12	25.56	25.56	26.34	26.34	28.08	27.52	25.95	25.95	26.57	26.73	28.45	27.52	26.73	26.34	27.12	27.12	28.66	28.03	26.34
1/4/2003	5:00	24.79	25.17	25.56	25.56	27.13	26.73	25.17	25.17	25.95	25.95	27.51	27.12	25.56	25.56	26.21	26.34	27.94	27.12	26.34	25.95	26.73	26.73	28.19	27.65	25.95
1/4/2003	6:00	24.79	24.79	25.17	25.56	26.57	26.34	25.17	25.17	25.56	25.56	26.90	26.73	25.17	25.56	25.84	25.95	27.39	26.93	25.95	25.95	26.34	26.34	27.61	27.32	25.56
1/4/2003	7:00	24.79	24.79	25.17	25.17	26.14	25.95	25.17	25.17	25.17	25.56	26.52	26.34	25.17	25.56	25.56	25.95	26.97	26.73	25.95	25.95	26.34	26.34	27.18	26.89	25.56
1/4/2003	8:00	29.10	28.31	25.95	26.34	26.75	26.73	26.73	27.12	25.95	26.34	26.47	26.34	27.12	27.52	26.25	26.73	26.81	26.73	27.52	27.91	26.73	26.73	26.93	27.13	27.52
1/4/2003	9:00	33.17	33.17	28.70	29.10	27.79	27.91	31.93	33.15	28.31	28.31	27.32	27.52	31.30	32.45	28.77	29.10	27.90	28.31	29.90	30.31	28.31	28.70	27.94	28.49	29.5
1/4/2003	10:00	38.77	37.88	32.76	32.76	29.54	29.90	36.57	37.44	32.34	31.93	29.35	29.90	37.88	38.10	32.76	32.76	29.87	30.71	33.59	36.57	30.31	32.34	29.71	30.71	31.12
1/4/2003	11:00	43.91	45.89	37.44	37.88	32.38	32.76	42.94	44.89	37.00	37.00	31.68	32.34	41.52	41.99	36.57	36.57	31.26	32.76	38.77	41.99	32.76	36.57	31.22	32.76	33.59
1/4/2003	12:00	47.43	49.02	41.05	43.42	35.17	36.13	46.91	49.02	40.59	42.46	34.22	35.70	44.40	45.39	39.82	41.05	33.74	35.27	41.99	44.89	36.13	40.59	33.28	34.85	36.13

TEST OF MRT

DATE	TIME	30				45				60				75				Tair								
		Tsurface.outside		Tsurface.inside		T-in50	MRT	Tsurface.outside		Tsurface.inside		T-in50	MRT	Tsurface.outside		Tsurface.inside			T-in50	MRT						
		NORTH	SOUTH	NORTH	SOUTH			NORTH	SOUTH	NORTH	SOUTH			NORTH	SOUTH	NORTH	SOUTH				NORTH	SOUTH				
31/3/2003	0:00	27.12	27.52	27.91	27.91	30.34	29.74	27.52	27.74	27.91	27.91	30.68	29.92	27.52	27.91	27.91	28.18	31.05	30.03	28.31	27.91	28.70	28.31	31.00	29.93	28.31
31/3/2003	1:00	27.12	27.12	27.52	27.52	29.46	28.98	27.52	27.35	27.52	27.52	29.50	28.96	27.12	27.52	27.78	27.91	29.79	29.13	27.91	27.91	28.31	28.31	30.34	29.47	27.91
31/3/2003	2:00	26.34	26.73	27.12	27.12	28.91	28.47	26.73	26.94	27.12	27.52	29.00	28.54	26.73	27.12	27.34	27.52	29.16	28.57	27.52	27.52	27.91	27.91	29.62	28.89	27.52
31/3/2003	3:00	25.95	26.34	26.73	26.73	28.50	28.06	26.34	26.47	26.73	26.73	28.79	28.22	26.34	26.73	27.07	27.12	28.95	28.32	27.12	26.73	27.52	27.52	29.12	28.44	27.12
31/3/2003	4:00	25.56	25.95	26.34	26.34	28.00	27.59	25.95	26.34	26.34	26.34	28.31	27.77	25.95	26.34	26.61	26.73	28.57	27.92	26.73	26.73	27.12	27.12	28.82	28.09	26.73
31/3/2003	5:00	25.56	25.56	25.95	25.95	27.67	27.24	25.95	25.66	25.95	26.34	28.00	27.49	25.95	25.95	26.21	26.34	28.19	27.54	26.34	26.34	26.73	26.73	28.45	27.71	26.34
31/3/2003	6:00	24.79	24.79	25.56	25.56	27.30	26.87	25.17	25.17	25.56	25.56	27.46	26.94	25.17	25.17	25.78	25.69	27.73	27.05	25.95	25.56	26.34	26.34	28.07	27.33	25.82
31/3/2003	7:00	24.40	24.40	24.79	25.17	26.74	26.30	24.79	25.17	25.17	25.17	26.94	26.45	25.17	25.17	25.34	25.56	26.89	26.40	25.56	25.56	25.95	25.95	27.14	26.63	25.54
31/3/2003	8:00	28.31	27.91	25.56	25.56	26.35	26.15	26.34	27.12	25.56	25.56	26.42	26.18	27.12	27.12	25.98	26.34	27.06	26.75	27.52	27.52	26.34	26.34	26.85	26.63	27.12
31/3/2003	9:00	31.93	32.34	27.52	28.31	27.03	27.25	31.12	32.58	27.52	27.12	27.27	27.28	31.46	32.80	28.00	28.31	27.86	27.96	29.50	29.90	27.52	27.91	27.86	27.80	29.5
31/3/2003	10:00	37.00	37.00	30.71	31.12	28.27	28.93	35.27	36.28	31.12	30.31	28.55	29.14	34.84	35.75	31.31	31.52	29.08	29.87	32.76	35.70	30.84	31.52	29.24	30.07	30.71
31/3/2003	11:00	41.99	42.46	35.27	36.13	30.52	31.80	41.05	42.14	35.27	35.70	30.44	31.82	40.13	40.90	34.66	35.27	30.74	32.17	37.88	39.67	34.34	35.27	30.93	32.59	32.76
31/3/2003	12:00	45.39	46.40	38.83	39.22	33.43	34.82	44.89	45.52	38.32	39.22	32.57	34.27	42.94	43.91	37.47	38.32	32.59	34.39	40.59	43.42	37.20	37.88	32.59	34.71	35.27
31/3/2003	13:00	46.40	47.96	41.44	42.63	35.40	37.05	45.39	47.11	41.05	42.26	34.60	36.54	43.60	45.39	39.96	41.52	34.70	36.75	41.94	44.40	39.80	40.80	34.27	36.85	39.67
31/3/2003	14:00	46.47	48.37	43.34	43.85	36.59	38.33	45.89	47.43	42.57	43.32	35.92	37.85	44.07	45.89	41.92	42.63	35.57	37.85	42.83	45.39	41.80	42.31	35.29	38.18	41.52
31/3/2003	15:00	46.11	47.43	42.57	43.16	37.39	38.75	45.38	46.91	42.00	42.59	37.11	38.53	43.42	45.44	41.59	41.94	36.36	38.20	42.26	45.39	41.31	41.94	35.91	38.35	41.1
31/3/2003	16:00	42.94	44.89	41.10	41.90	37.82	38.73	42.94	44.40	40.66	41.17	37.44	38.39	41.05	43.91	40.29	40.59	36.61	37.91	40.13	43.42	40.00	40.13	36.37	37.95	39.72
31/3/2003	17:00	40.13	39.67	39.22	39.22	37.72	38.09	39.67	39.67	38.77	39.22	37.25	37.73	37.88	39.67	38.00	38.32	36.44	37.02	38.32	38.77	37.88	38.77	36.28	37.15	37.24
31/3/2003	18:00	34.85	35.70	36.37	36.57	37.34	37.12	35.27	34.85	36.13	36.57	36.68	36.59	34.85	35.27	35.64	36.13	35.87	35.88	35.70	35.27	35.36	36.13	35.80	35.78	34
31/3/2003	19:00	31.52	32.34	33.59	34.43	36.26	35.70	31.93	31.52	33.40	34.01	35.31	34.87	31.93	32.34	33.08	34.01	34.94	34.47	32.76	32.34	33.04	34.01	34.87	34.29	32.12
31/3/2003	20:00	29.50	30.31	31.52	32.34	34.55	33.90	29.90	29.50	31.52	31.93	33.80	33.23	29.90	30.31	31.52	31.52	33.16	32.60	31.12	30.31	32.14	31.93	33.36	32.79	30.26
31/3/2003	21:00	28.31	29.10	30.31	30.31	32.57	32.01	28.70	28.70	30.31	30.31	32.57	31.95	29.10	29.10	30.31	30.31	32.06	31.47	29.90	29.50	31.12	30.71	31.89	31.47	29.27
31/3/2003	22:00	27.52	27.91	29.10	29.50	31.62	31.04	27.91	27.52	29.10	29.10	31.34	30.73	27.91	28.31	29.10	29.10	31.43	30.64	29.10	28.70	29.90	29.90	31.39	30.75	28.8
31/3/2003	23:00	26.73	27.52	28.31	28.70	30.91	30.31	27.52	27.12	28.31	28.70	30.49	29.95	27.52	27.91	28.54	28.70	30.92	30.14	28.31	28.31	29.10	29.10	30.92	30.14	28.4
1/4/2003	0:00	26.34	27.12	27.52	27.91	30.16	29.55	26.73	27.12	27.91	28.31	30.06	29.53	27.12	27.52	28.13	28.31	30.46	29.70	28.31	27.91	28.70	28.70	30.38	29.66	27.91
1/4/2003	1:00	26.34	26.73	27.12	27.52	29.40	28.88	26.73	26.73	27.52	27.52	29.54	28.99	26.73	27.12	27.72	27.91	29.87	29.17	27.91	27.52	28.31	28.31	29.92	29.23	27.52
1/4/2003	2:00	25.95	26.34	26.73	27.12	29.07	28.54	26.34	26.34	27.12	27.12	29.12	28.57	26.34	26.73	27.35	27.52	29.37	28.71	27.52	27.12	27.91	27.91	29.62	28.89	27.12
1/4/2003	3:00	25.56	25.56	26.34	26.73	28.64	28.12	25.95	25.95	26.73	26.73	28.55	28.05	26.34	26.34	26.89	27.12	28.78	28.18	27.12	26.73	27.52	27.52	29.12	28.44	26.73
1/4/2003	4:00	25.17	25.56	25.95	26.34	27.79	27.38	25.56	25.56	26.34	26.34	28.08	27.60	25.95	25.95	26.57	26.73	28.45	27.84	26.73	26.34	27.12	27.12	28.66	28.00	26.34
1/4/2003	5:00	24.79	25.17	25.56	25.56	27.13	26.74	25.17	25.17	25.95	25.95	27.51	27.08	25.56	25.56	26.21	26.34	27.94	27.37	26.34	25.95	26.73	26.73	28.19	27.57	25.95
1/4/2003	6:00	24.79	24.79	25.17	25.56	26.57	26.27	25.17	25.17	25.56	25.56	26.90	26.53	25.17	25.56	25.84	25.95	27.39	26.88	25.95	25.95	26.34	26.34	27.61	27.07	25.56
1/4/2003	7:00	24.79	24.79	25.17	25.17	26.14	25.90	25.17	25.17	25.17	25.56	26.52	26.20	25.17	25.56	25.56	25.95	26.97	26.56	25.95	25.95	26.34	26.34	27.18	26.82	25.56
1/4/2003	8:00	29.10	28.31	25.95	26.34	26.75	26.60	26.73	27.12	25.95	26.34	26.47	26.38	27.12	27.52	26.25	26.73	26.81	26.70	27.52	27.91	26.73	26.73	26.93	26.84	27.52
1/4/2003	9:00	33.17	33.17	28.70	29.10	27.79	28.07	31.93	33.15	28.31	28.31	27.32	27.59	31.30	32.45	28.77	29.10	27.90	28.25	29.90	30.31	28.31	28.70	27.94	28.18	29.5
1/4/2003	10:00	38.77	37.88	32.76	32.76	29.54	30.34	36.57	37.44	32.34	31.93	29.35	30.11	37.88	38.10	32.76	32.76	29.87	30.85	33.59	36.57	30.31	32.34	29.71	30.40	31.12
1/4/2003	11:00	43.91	45.89	37.44	37.88	32.38	33.69	42.94	44.89	37.00	37.00	31.68	33.14	41.52	41.99	36.57	36.57	31.26	33.06	38.77	41.99	32.76	36.57	31.22	32.69	33.59
1/4/2003	12:00	47.43	49.02	41.05	43.42	35.17	36.92	46.91	49.02	40.59	42.46	34.22	36.22	44.40	45.39	39.82	41.05	33.74	36.01	41.99	44.89	36.13	40.59	33.28	35.45	36.13

TEST OF POPORTION

DATE	TIME	0.5						1					2					Tair					
		Tsurface.outside		Tsurface.inside		T-in50	T-in120	MRT	Tsurface.outside		Tsurface.inside		T-in50	T-in120	MRT	Tsurface.outside			Tsurface.inside		T-in50	T-in120	MRT
		NORTH	SOUTH	NORTH	SOUTH				NORTH	SOUTH	NORTH	SOUTH				NORTH	SOUTH		NORTH	SOUTH			
16/4/2003	0:00	27.80	26.74	27.04	28.52	28.66	28.49	28.25	27.25	28.20	27.44	27.92	29.07	29.08	28.59	27.46	27.86	27.95	27.94	29.20	29.39	28.92	27.42
16/4/2003	1:00	27.01	25.81	26.60	27.94	28.00	27.87	27.66	26.46	27.50	26.85	27.32	28.51	28.53	28.02	26.68	27.01	27.28	27.30	28.71	28.80	28.40	26.10
16/4/2003	2:00	26.39	24.64	25.96	27.27	27.27	27.19	26.97	25.74	27.00	26.13	26.64	27.84	27.87	27.35	25.96	26.51	26.49	26.60	28.12	28.17	27.77	26.05
16/4/2003	3:00	26.00	25.02	25.20	26.68	26.80	26.53	26.40	25.37	26.80	25.46	25.98	27.24	27.26	26.73	25.54	26.17	25.82	25.99	27.36	27.45	27.04	25.54
16/4/2003	4:00	25.72	24.68	24.88	26.33	26.35	26.17	26.00	25.20	26.10	25.18	25.69	26.93	26.92	26.43	25.38	26.00	25.42	25.69	27.03	27.07	26.70	25.47
16/4/2003	5:00	25.66	24.78	24.73	26.03	26.00	25.89	25.71	25.25	26.40	24.88	25.41	26.61	26.62	26.11	25.36	26.28	25.25	25.40	26.90	26.77	26.55	25.39
16/4/2003	6:00	25.94	24.66	24.58	25.87	25.80	25.72	25.53	25.19	26.80	24.77	25.28	26.44	26.48	25.96	25.32	26.51	25.03	25.21	26.52	26.73	26.21	25.33
16/4/2003	7:00	26.85	25.34	24.78	25.98	25.97	25.85	25.70	26.14	27.40	24.87	25.50	26.47	26.56	26.03	26.16	27.01	25.20	25.50	26.56	26.77	26.29	26.55
16/4/2003	8:00	30.39	28.51	26.40	27.24	26.98	26.67	26.91	29.77	30.53	26.22	27.28	26.94	27.03	26.88	29.70	30.26	26.83	27.32	26.91	27.24	26.94	29.43
16/4/2003	9:00	34.23	31.18	28.86	30.42	28.27	28.39	28.91	33.64	34.90	28.83	29.67	28.33	28.25	28.64	32.53	33.20	28.83	29.64	28.29	28.33	28.50	31.74
16/4/2003	10:00	37.72	35.90	32.40	33.50	30.61	30.71	31.70	37.22	38.70	31.84	32.75	30.49	30.74	31.10	35.62	36.95	31.60	32.60	30.36	30.69	30.74	34.60
16/4/2003	11:00	41.27	38.74	35.39	37.15	32.89	34.58	34.46	40.20	42.73	34.09	35.81	32.43	33.68	33.28	41.02	42.34	33.92	35.60	32.13	32.72	32.71	37.55
16/4/2003	12:00	44.37	41.65	38.24	40.40	35.42	37.23	37.23	42.84	46.00	37.29	39.63	34.62	35.88	35.92	43.66	45.32	36.56	39.15	34.28	34.87	35.07	39.51
16/4/2003	13:00	44.93	41.59	40.79	42.34	37.66	38.67	39.47	43.95	46.80	39.07	41.69	36.73	37.46	37.97	43.94	46.51	38.86	41.44	35.88	36.47	36.82	39.99
16/4/2003	14:00	44.33	33.89	41.48	43.64	38.89	39.60	40.59	43.40	45.90	40.34	43.02	38.08	38.75	39.30	43.42	45.50	39.82	42.50	37.15	37.91	38.04	39.30
16/4/2003	15:00	39.44	30.91	40.11	41.86	38.47	39.01	39.64	39.08	41.05	39.31	40.42	37.63	38.08	38.39	38.79	40.25	38.58	40.15	36.90	37.67	37.44	35.86
16/4/2003	16:00	38.60	36.79	38.34	39.33	37.53	38.16	38.14	38.32	39.43	37.80	38.89	37.07	37.42	37.50	37.91	38.46	37.29	38.48	36.31	37.10	36.66	35.50
16/4/2003	17:00	36.29	34.66	36.47	37.62	36.56	37.02	36.79	35.87	36.97	35.95	36.87	36.06	36.25	36.18	35.75	36.34	35.27	36.46	35.50	36.09	35.58	33.93
16/4/2003	18:00	33.58	33.00	34.60	36.12	35.46	35.76	35.41	33.54	34.50	34.20	35.40	34.93	35.12	34.89	33.44	34.28	33.63	35.01	34.58	34.96	34.52	31.92
16/4/2003	19:00	32.10	31.09	32.74	33.63	34.11	34.32	33.68	31.72	32.77	32.34	33.32	33.74	33.83	33.43	31.87	32.49	31.95	33.05	33.35	33.59	33.16	30.73
16/4/2003	20:00	31.26	30.27	31.60	32.19	32.78	33.23	32.37	30.98	31.65	31.17	31.85	32.54	32.71	32.19	31.20	31.77	30.71	31.76	32.13	32.39	31.93	30.16
16/4/2003	21:00	30.88	29.74	30.80	31.26	31.90	32.05	31.50	30.38	30.77	30.29	30.90	31.73	31.82	31.34	30.60	30.97	29.81	30.64	31.24	31.48	31.02	29.95
16/4/2003	22:00	30.64	29.46	30.54	30.76	30.93	30.58	30.80	29.99	30.68	30.00	30.38	31.17	31.21	30.84	30.21	30.41	29.59	30.24	31.20	30.90	30.91	29.63
16/4/2003	23:00	30.26	29.32	30.20	30.45	30.56	30.24	30.45	29.70	30.06	29.75	30.02	30.82	30.90	30.50	29.91	30.08	29.47	29.95	30.78	30.46	30.54	29.50
17/4/2003	0:00	29.87	29.08	30.17	30.12	30.22	29.81	30.19	29.40	29.73	29.64	30.05	30.50	30.58	30.28	29.61	29.80	29.42	29.66	30.44	30.11	30.24	29.59
17/4/2003	1:00	29.49	28.88	29.77	29.86	29.94	29.51	29.88	29.12	29.28	29.42	29.71	30.20	30.27	29.99	29.34	29.58	29.20	29.39	30.11	29.78	29.93	29.13
17/4/2003	2:00	29.07	28.58	29.43	29.65	29.73	29.46	29.64	28.79	29.20	29.08	29.37	29.89	30.04	29.66	29.03	29.24	28.97	29.32	29.81	29.56	29.66	28.83
17/4/2003	3:00	28.72	28.36	29.12	29.41	29.47	29.21	29.37	28.53	28.78	28.85	29.27	29.56	29.79	29.39	28.75	29.02	28.80	29.12	29.52	29.35	29.40	28.70
17/4/2003	4:00	28.22	27.87	28.79	29.14	29.21	28.96	29.09	28.03	28.28	28.63	28.93	29.09	29.52	28.98	28.33	28.52	28.75	28.83	29.24	29.09	29.14	28.26
17/4/2003	5:00	27.52	27.26	28.21	28.65	28.70	28.48	28.57	27.47	27.83	28.18	28.44	28.71	29.06	28.57	27.83	28.30	28.25	28.40	28.83	28.71	28.72	27.48
17/4/2003	6:00	26.84	26.70	27.60	28.06	28.33	27.94	28.10	26.94	27.27	27.50	27.76	28.29	28.57	28.07	27.29	27.57	27.67	27.80	28.32	28.17	28.19	26.87
17/4/2003	7:00	27.15	26.91	27.32	27.76	28.38	27.60	27.99	27.30	28.16	27.28	28.10	28.21	28.27	28.03	27.61	28.40	27.42	27.71	27.96	27.87	27.87	27.27
17/4/2003	8:00	30.60	28.36	29.36	30.15	28.88	28.09	29.29	30.21	31.44	28.40	29.95	28.57	28.69	28.77	30.36	30.60	28.58	29.02	28.19	28.04	28.32	29.57
17/4/2003	9:00	33.30	31.02	31.60	32.86	30.44	29.89	31.27	33.20	33.92	30.39	31.85	30.13	29.98	30.47	33.03	33.02	30.80	31.37	29.60	29.60	29.93	32.32
17/4/2003	10:00	35.50	32.93	32.85	34.39	31.62	31.60	32.55	34.63	36.28	32.28	33.27	31.17	31.24	31.72	33.95	35.31	31.96	33.56	30.92	30.67	31.33	33.31
17/4/2003	11:00	41.12	37.93	36.28	38.13	33.61	34.00	35.28	39.85	42.41	35.07	36.98	32.67	33.11	33.81	40.93	41.51	35.34	37.66	32.54	32.45	33.42	37.75



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

TEST OF VENTILATION

DATE	TIME	CS-1 (No.Vent - Ceiling)							CS-2 (No.Vent - No.Ceiling)						CS-3 (Vent - Ceiling)						CS-4 (Vent - No. Ceiling)						Tair	
		Tsurface.outside		Tsurface.inside		Ceiling	T-in50	MRT	Tsurface.outside		Tsurface.inside		T-in50	MRT	Tsurface.outside		Tsurface.inside		Ceiling	T-in50	MRT	Tsurface.outside		Tsurface.inside		T-in50		MRT
		N	S	N	S				N	S	N	S			N	S	N	S				N	S	N	S			
14/4/2003	0:00	28.39	28.94	30.33	29.87	31.32	30.85	30.93	28.60	28.92	29.04	29.46	30.60	30.14	27.75	28.24	28.99	28.76	30.07	30.12	30.11	28.54	29.57	29.06	29.33	29.26	29.23	28.77
14/4/2003	1:00	27.20	28.45	29.62	29.25	30.58	30.06	30.14	28.03	28.34	28.36	28.82	30.01	29.53	27.23	27.73	28.41	28.28	29.55	29.55	29.55	27.91	29.06	28.53	28.88	28.87	28.82	28.32
14/4/2003	2:00	26.67	27.75	28.96	28.64	29.92	29.22	29.33	27.41	27.54	27.70	28.18	29.44	28.93	26.63	26.98	27.85	27.78	29.09	29.01	29.02	27.16	28.51	27.97	28.43	28.42	28.34	27.71
14/4/2003	3:00	26.73	27.25	28.33	28.00	29.28	28.96	29.01	26.90	26.96	27.05	27.52	28.85	28.32	26.15	26.47	27.31	27.24	28.62	28.47	28.49	26.57	27.97	27.42	27.96	27.99	27.89	27.38
14/4/2003	4:00	26.12	27.34	27.97	27.76	28.87	28.49	28.55	26.98	27.14	26.70	27.26	28.53	28.00	26.32	26.78	27.23	27.17	28.42	28.14	28.18	26.80	27.90	27.34	27.88	27.91	27.81	27.22
14/4/2003	5:00	25.44	26.48	27.54	27.21	28.37	28.00	28.06	26.33	26.56	26.32	26.74	28.08	27.55	25.66	25.87	26.80	26.70	28.07	27.81	27.85	26.05	27.45	26.88	27.48	27.42	27.34	26.73
14/4/2003	6:00	25.24	26.13	27.27	26.82	28.03	27.82	27.85	26.28	26.51	26.09	26.34	27.73	27.22	25.57	25.77	26.55	26.40	27.75	27.43	27.48	26.08	27.19	26.61	27.22	27.06	27.01	26.20
14/4/2003	7:00	26.17	26.58	27.11	26.82	27.78	27.54	27.58	26.62	26.87	25.97	26.32	27.57	27.08	25.90	26.26	26.48	26.36	27.50	27.17	27.22	26.34	27.16	26.59	27.13	26.88	26.87	26.75
14/4/2003	8:00	28.04	28.26	27.56	27.53	27.84	27.62	27.65	27.65	28.03	26.53	26.97	27.90	27.51	28.16	28.23	27.26	27.01	27.69	27.41	27.45	27.92	28.27	27.72	27.74	27.67	27.69	29.01
14/4/2003	9:00	29.60	30.78	29.97	29.18	28.74	28.93	28.90	29.20	30.03	29.20	29.78	29.52	29.51	30.38	30.61	29.87	30.10	28.86	28.75	28.77	30.00	30.45	29.95	30.54	29.43	29.71	31.79
14/4/2003	10:00	34.94	35.90	32.19	32.21	30.66	30.49	30.52	34.71	34.94	32.63	33.13	31.68	32.09	35.02	35.53	32.93	33.20	30.75	31.04	31.00	35.30	35.86	33.46	33.92	31.69	32.37	34.95
14/4/2003	11:00	39.30	40.17	34.60	35.40	32.58	32.66	32.65	39.18	39.60	35.49	36.34	33.41	34.26	39.14	39.71	35.53	36.10	32.50	33.16	33.06	38.85	40.20	35.69	36.40	33.50	34.36	38.51
14/4/2003	12:00	42.90	43.51	37.84	38.94	34.61	33.91	34.02	43.14	43.53	38.30	38.98	35.30	36.44	42.14	42.48	38.03	39.03	34.29	35.18	35.04	42.68	43.30	38.11	38.86	35.35	36.41	40.77
14/4/2003	13:00	44.40	45.85	39.84	41.64	36.34	35.43	35.58	44.65	45.50	40.27	40.93	36.91	38.16	44.01	44.57	39.58	41.07	35.71	36.76	36.60	44.65	45.83	39.69	40.55	36.82	37.94	42.72
14/4/2003	14:00	44.70	47.51	41.16	43.69	37.83	36.87	37.02	44.79	47.28	41.57	42.73	38.31	39.62	44.80	45.99	40.93	42.26	37.07	38.29	38.10	45.32	47.41	41.10	41.96	38.11	39.27	43.41
14/4/2003	15:00	44.56	47.95	41.96	45.10	39.33	38.00	38.21	44.65	47.73	42.23	43.71	39.73	40.83	44.80	46.55	41.47	43.00	38.35	39.84	39.61	45.04	47.01	41.66	42.58	39.17	40.17	43.51
14/4/2003	16:00	44.19	47.51	41.51	45.03	40.46	39.40	39.57	44.26	46.96	41.99	43.67	40.53	41.31	44.40	46.10	41.06	42.25	39.09	40.92	40.63	44.25	46.06	41.10	41.85	39.62	40.25	42.97
14/4/2003	17:00	39.33	43.09	40.94	43.48	41.44	40.10	40.31	40.51	42.83	40.97	42.24	40.70	41.00	40.08	42.00	39.74	40.67	39.37	41.33	41.02	41.32	42.45	39.46	40.27	38.53	38.98	38.39
14/4/2003	18:00	37.08	38.74	39.54	40.23	40.87	39.20	39.46	37.60	38.55	39.24	39.69	39.43	39.44	36.62	37.05	37.67	38.41	38.35	40.31	40.00	37.95	38.68	37.15	37.74	36.72	36.97	35.04
14/4/2003	19:00	33.74	33.97	37.21	36.81	38.87	37.74	37.91	33.96	34.22	36.51	36.74	37.03	36.89	32.81	33.94	34.83	35.41	36.10	37.44	37.23	34.07	34.90	34.34	35.04	34.02	34.25	32.41
14/4/2003	20:00	31.79	31.91	35.04	34.32	36.68	35.82	35.96	31.92	32.35	34.04	34.42	34.91	34.68	30.73	31.91	32.63	33.04	34.10	34.92	34.79	31.83	32.91	32.20	32.90	32.15	32.29	30.87
14/4/2003	21:00	30.65	30.70	33.48	32.51	34.95	34.24	34.35	30.80	30.97	32.29	32.50	33.23	32.94	29.62	30.72	31.20	31.60	32.55	33.10	33.01	30.65	31.57	30.90	31.38	30.90	30.98	30.13
14/4/2003	22:00	29.75	29.88	32.27	31.49	33.57	32.97	33.06	29.86	30.03	31.02	31.39	32.21	31.87	28.75	30.00	30.34	30.53	31.57	31.86	31.82	29.72	30.77	30.28	30.36	30.25	30.27	29.56
14/4/2003	23:00	29.10	29.35	31.33	30.68	32.50	31.84	31.94	29.24	29.50	30.05	30.41	31.41	31.01	28.25	29.08	29.69	29.74	30.78	30.96	30.93	29.17	30.17	29.66	29.82	29.71	29.72	29.22
15/4/2003	0:00	28.75	29.07	30.66	30.04	31.68	31.19	31.27	28.90	29.14	29.39	30.05	30.76	30.41	27.98	28.39	29.20	29.51	30.15	30.27	30.25	28.84	29.76	29.25	29.41	29.27	29.29	28.83
15/4/2003	1:00	28.32	28.77	30.00	29.54	30.98	30.71	30.75	28.50	28.65	28.74	29.16	30.24	29.81	27.65	28.16	28.78	29.20	29.74	29.72	29.72	28.47	29.38	28.86	29.09	28.99	28.98	28.65
15/4/2003	2:00	28.38	28.86	29.71	29.37	30.54	30.22	30.27	28.25	28.56	28.50	28.85	29.98	29.54	27.81	28.24	28.71	28.89	29.49	29.44	29.45	28.60	29.35	28.82	29.04	28.92	28.92	28.67
15/4/2003	3:00	27.76	28.18	29.20	28.95	30.07	29.85	29.88	27.85	27.98	28.03	28.26	29.64	29.13	27.13	27.52	28.26	28.50	29.20	29.14	29.15	27.78	28.90	28.36	28.71	28.63	28.60	28.12
15/4/2003	4:00	27.08	27.41	28.52	28.23	29.45	29.32	29.34	27.13	27.36	27.34	27.55	29.03	28.49	26.38	26.66	27.62	27.99	28.78	28.63	28.66	26.87	28.23	27.68	28.17	28.12	28.05	27.45
15/4/2003	5:00	26.63	26.94	27.96	27.68	28.91	28.64	28.68	26.77	26.91	26.79	27.15	28.51	27.99	26.04	26.28	27.16	27.37	28.37	28.15	28.18	26.51	27.78	27.22	27.73	27.70	27.62	27.07
15/4/2003	6:00	26.07	26.49	27.51	27.27	28.42	28.21	28.24	26.22	26.38	26.36	26.70	28.09	27.56	25.49	25.95	26.85	27.14	28.04	27.78	27.82	25.96	27.47	26.91	27.43	27.30	27.25	26.62
15/4/2003	7:00	26.63	27.15	27.24	27.16	28.07	27.87	27.90	27.00	27.05	26.10	26.52	27.79	27.29	26.40	26.65	26.74	27.14	27.75	27.44	27.49	26.83	27.40	26.83	27.30	27.17	27.13	27.46
15/4/2003	8:00	28.73	29.15	27.93	27.84	28.18	28.16	28.16	28.65	28.87	26.86	27.28	28.19	27.81	28.12	28.29	27.71	28.16	28.05	27.79	27.83	27.97	28.65	27.98	28.05	27.96	27.98	29.27
15/4/2003	9:00	30.42	31.13	30.10	29.44	29.12	29.22	29.20	30.66	30.84	29.54	30.09	29.79	29.80	31.68	32.40	30.14	30.70	29.08	29.07	29.07	30.17	30.57	30.07	30.37	29.60	29.81	31.86
15/4/2003	10:00	34.77	35.72	32.16	32.23	30.89	31.01	31.00	34.89	35.20	32.84	33.49	31.73	32.21	35.98	36.26	33.03	33.63	30.81	31.17	31.11	34.62	35.41	33.39	33.86	31.52	32.24	34.48
15/4/2003	11:00	40.64	41.20	34.71	35.41	32.79	32.29	32.37	37.88	38.55	35.83	36.52	33.55	34.44	38.64	39.37	35.50	36.12	32.66	33.33	33.22	40.31	41.20	35.95	36.56	33.30	34.30	37.30
16/4/2003	12:00	43.27	44.11	37.68	38.50	34.70	34.27	34.34	40.91	41.58	38.25	40.05	35.31	36.62	41.69	42.54	37.71	38.49	34.32	35.21	35.07	43.01	43.92	38.10	38.75	35.08	36.22	39.50

TEST OF VENTILATION

DATE	TIME	CS-1 (Vent - Insulation)					CS-2 (Vent - No. Insulation)				Tair
		Tsurface.inside		Ceiling	T-in50	MRT	Tsurface.inside		T-in50	MRT	
		N	S				N	S			
14/4/2003	0:00	28.99	28.76	27.12	27.12	27.12	25.56	25.17	26.34	26.01	25.56
14/4/2003	1:00	28.41	28.28	26.73	26.73	26.73	25.17	25.17	25.95	25.69	25.56
14/4/2003	2:00	27.85	27.78	26.34	26.34	26.34	25.17	24.79	25.95	25.62	25.56
14/4/2003	3:00	27.31	27.24	26.34	25.95	26.01	24.79	24.79	25.56	25.30	25.17
14/4/2003	4:00	27.23	27.17	25.95	25.95	25.95	24.79	24.40	25.56	25.23	25.17
14/4/2003	5:00	26.80	26.70	25.95	25.56	25.62	24.79	24.40	25.56	25.23	25.17
14/4/2003	6:00	26.55	26.40	25.56	25.56	25.56	24.40	24.40	25.56	25.17	25.17
14/4/2003	7:00	26.48	26.36	25.56	25.56	25.56	24.79	24.79	25.56	25.30	25.56
14/4/2003	8:00	27.26	27.01	25.56	25.56	25.56	25.56	25.56	25.95	25.82	27.12
14/4/2003	9:00	29.87	30.10	26.34	26.34	26.34	26.73	25.95	27.12	26.86	30.31
14/4/2003	10:00	32.93	33.20	27.52	27.44	27.45	29.10	27.52	29.10	28.83	34.01
14/4/2003	11:00	35.53	36.10	28.70	28.53	28.56	30.71	29.50	31.33	30.91	37.88
14/4/2003	12:00	38.03	39.03	30.31	29.28	29.44	30.71	30.31	32.63	31.91	39.68
14/4/2003	13:00	39.58	41.07	31.12	30.00	30.18	31.12	29.90	33.86	32.72	40.22
14/4/2003	14:00	40.93	42.26	31.93	30.38	30.62	30.71	30.31	34.80	33.34	39.74
14/4/2003	15:00	41.47	43.00	32.34	30.80	31.04	31.52	31.12	35.09	33.81	38.77
14/4/2003	16:00	41.06	42.25	32.76	31.06	31.33	31.12	30.31	34.89	33.47	36.67
14/4/2003	17:00	39.74	40.67	33.59	31.26	31.63	31.93	30.31	34.00	33.02	36.13
14/4/2003	18:00	37.67	38.41	33.59	31.47	31.80	31.52	29.50	32.34	31.72	32.34
14/4/2003	19:00	34.83	35.41	32.76	31.26	31.50	29.50	28.70	31.12	30.43	30.31
14/4/2003	20:00	32.63	33.04	31.93	30.72	30.91	28.31	27.52	30.31	29.50	29.50
14/4/2003	21:00	31.20	31.60	30.71	30.10	30.20	27.52	27.12	29.50	28.76	29.10
14/4/2003	22:00	30.34	30.53	30.31	29.69	29.79	27.52	27.12	29.10	28.50	28.70
14/4/2003	23:00	29.69	29.74	29.90	29.42	29.50	27.52	27.12	29.10	28.50	28.70
15/4/2003	0:00	29.20	29.51	29.50	29.35	29.37	27.52	27.12	29.10	28.50	28.31
15/4/2003	1:00	28.78	29.20	29.10	29.10	29.10	27.12	27.52	28.70	28.23	27.91
15/4/2003	2:00	28.71	28.89	28.70	28.70	28.70	27.12	27.12	28.31	27.91	27.91
15/4/2003	3:00	28.26	28.50	28.70	28.31	28.37	26.73	27.12	27.91	27.58	27.52
15/4/2003	4:00	27.62	27.99	28.31	27.91	27.97	26.73	26.73	27.91	27.51	26.73
15/4/2003	5:00	27.16	27.37	27.91	27.52	27.58	26.34	26.34	27.52	27.12	26.34
15/4/2003	6:00	26.85	27.14	27.52	27.52	27.52	25.95	26.34	27.12	26.79	26.34
15/4/2003	7:00	26.74	27.14	27.12	27.12	27.12	25.95	26.34	26.73	26.53	27.12
15/4/2003	8:00	27.71	28.16	27.12	27.12	27.12	26.73	26.73	27.52	27.25	29.50
15/4/2003	9:00	30.14	30.70	27.91	27.91	27.91	28.31	27.12	28.70	28.37	33.59
15/4/2003	10:00	33.03	33.63	28.70	28.74	28.73	31.12	28.70	30.31	30.17	37.44
15/4/2003	11:00	35.50	36.12	29.90	29.69	29.72	33.59	31.12	32.97	32.76	39.67
16/4/2003	12:00	37.71	38.49	31.12	30.24	30.38	35.70	32.76	34.41	34.35	41.52

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายรชฎ สุमानนท์ เกิดวันที่ 31 ตุลาคม พ.ศ. 2520 สำเร็จการศึกษา สถาปัตยกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาสถาปัตยกรรม จากคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2542 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสถาปัตยกรรมและสิ่งแวดล้อม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2544 ปัจจุบันอาศัยอยู่ที่บ้านเลขที่ 125 ซอยทินกร ถนนดินแดง เขตดินแดง กรุงเทพมหานคร 10400 โทรศัพท์ 02-2452157, 01-9131246



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย