

ประสิทธิผลของการออกแบบการระบายอากาศช่องใต้หลังคา
เพื่อป้องกันการถ่ายเทความร้อนจากหลังคา



นาย วิกรม จำนงค์จิตต์

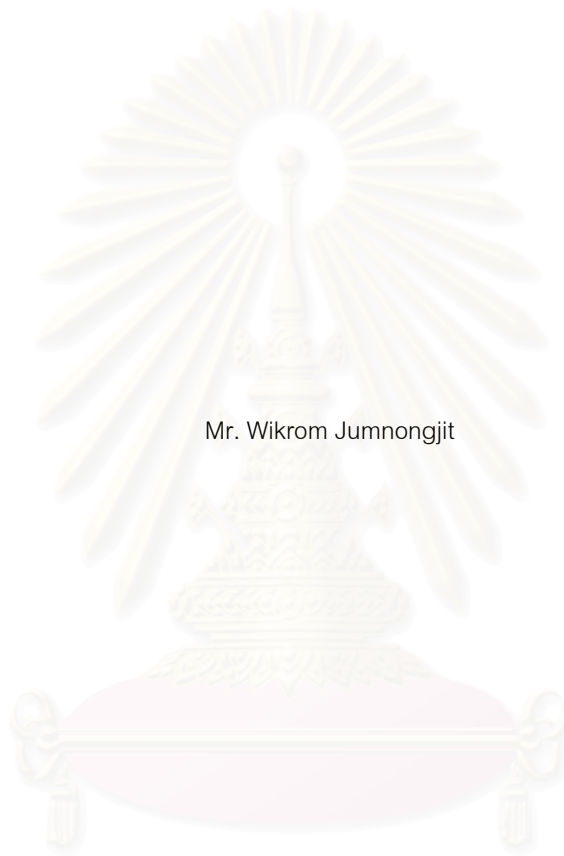
สถาบันวิทยบริการ
วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2545

ISBN 974-17-2915-4

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

THE EFFECTIVENESS OF ATTIC VENTILATION DESIGN
TO PREVENT HEAT TRANSFER FROM ROOF



Mr. Wikrom Jumnongjit

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 974-17-2915-4

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ประสิทธิผลของการออกแบบการระบายอากาศช่องใต้หลังคา เพื่อป้องกันการถ่ายเทความร้อนจากหลังคา
โดย	นาย วิกรม จำนงค์จิตต์
สาขาวิชา	สถาปัตยกรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ธนิต จินดาวงศ์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อ. พิรัช พัทธเศวต

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทมหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะสถาปัตยกรรม
ศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร. วีระ สัจกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุวานีศวร์ เจริญพงษ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ธนิต จินดาวงศ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(อ. พิรัช พัทธเศวต)

..... กรรมการ

(อ. พรรณชลัท สุริโยธิน)

วิกรม จำนวนคีจิตต์ : ประสิทธิภาพของการออกแบบการระบายอากาศช่องใต้หลังคาเพื่อป้องกัน การถ่ายเทความร้อนจากหลังคา. (THE EFFECTIVENESS OF ATTIC VENTILATION DESIGN TO PREVENT HEAT TRANSFER FROM ROOF) อ. ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ธนิต จินดาวงนิค, อ.ที่ปรึกษาร่วม : อ. พิรัช พัทธเสวต, จำนวนหน้า 105 หน้า. ISBN 974-17-2915-4.

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงทดลองจากสถานที่จริง เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการลดการถ่ายเทความร้อนจากหลังคาด้วยวิธีการระบายอากาศช่องใต้หลังคาของอาคารที่ตั้งอยู่ในสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้น อาคารที่ใช้ทำการทดลองเป็นอาคารพักอาศัยชั้นเดียว ขนาด กว้าง 4 เมตร ยาว 4 เมตร สูง 2.40 เมตร หลังคาทรงจั่ว มุงหลังคาด้วยกระเบื้องคอนกรีต มุมของหลังคาประมาณ 40-45 องศา ในการทดลองเรื่องการระบายอากาศจะใช้พัดลมระบายอากาศจำลองสภาพการระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติ การเก็บและบันทึกข้อมูลจากการทดลองใช้อุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์บันทึกและเก็บข้อมูลทุกๆ 1 ชั่วโมงเป็นเวลาติดต่อกัน 3 วัน หรือ 72 ชั่วโมง ต่อ 1 การทดลอง การวิเคราะห์ข้อมูลจะใช้ข้อมูลชั่วโมง (degree-hour) ฐานอุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส (°c) สะสม เป็นตัวเทียบผลของการทดลอง

การวิจัยแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 ศึกษาประสิทธิภาพการลดการถ่ายเทความร้อนจากหลังคาด้วยวิธีการระบายอากาศช่องใต้หลังคา พบว่า การระบายอากาศช่องใต้หลังคามีประสิทธิภาพในการลดการถ่ายเทความร้อนไม่มากนักโดยสามารถลดอุณหภูมิอากาศภายในห้องเฉลี่ยได้ประมาณ 0.1-0.2 องศาเซลเซียส ส่วนที่ 2 หาแนวทางในการออกแบบปรับปรุงเพื่อลดปริมาณความร้อนที่เกิดจากการถ่ายเทความร้อนจากหลังคา พบว่า การใช้ฉนวนใยแก้วหนา 2 นิ้วปูบนฝ้าเพดาน การใช้แผ่นอลูมิเนียมพอยล์ชนิดด้านเดียวติดใต้แปหลังคา และการใช้ทั้งฉนวนใยแก้วหนา 2 นิ้วปูบนฝ้าเพดานร่วมกับแผ่นอลูมิเนียมพอยล์ชนิดด้านเดียวติดใต้แปหลังคา จะมีประสิทธิภาพในการป้องกันการถ่ายเทความร้อนลงมาในอาคารได้ดีกว่าวิธีการระบายอากาศในช่องใต้หลังคา ส่วนที่ 3 ศึกษาด้านเศรษฐศาสตร์ในการออกแบบและการปรับปรุงเพื่อลดปริมาณความร้อน พบว่า เงินลงทุนในการป้องกันความร้อนโดยการระบายอากาศช่องใต้หลังคาต่อประสิทธิภาพในการป้องกันความร้อน ไม่คุ้มค่าเมื่อเทียบกับ เงินลงทุนการป้องกันการนำความร้อนโดยฉนวนใยแก้วหนา 2 นิ้ว หรือเงินลงทุนในการใช้ระบบป้องกันการแผ่รังสีโดยใช้แผ่นอลูมิเนียมพอยล์ หลังคาที่ปรับปรุงโดยการระบายอากาศใช้เงินลงทุนเฉลี่ย 162.5 บาทต่อตารางเมตรโดยสามารถลดอุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิที่ผิวฝ้าเพดานภายในห้องเฉลี่ยลดลงประมาณ 0.1 องศาเซลเซียส เมื่อเทียบกับการใช้ฉนวนใยแก้วหนา 2 นิ้ว ใช้เงินลงทุนเฉลี่ย 81.5 บาทต่อตารางเมตรซึ่งสามารถลดอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยภายในห้องประมาณ 0.4 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยที่ผิวฝ้าเพดานภายในห้องลดลงประมาณ 0.3 องศาเซลเซียส และเมื่อเทียบกับการใช้แผ่นอลูมิเนียมพอยล์ชนิดด้านเดียว ใช้เงินลงทุนเฉลี่ย 108.5 บาทต่อตารางเมตรโดยสามารถลดอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยภายในห้องประมาณ 0.3 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยที่ผิวฝ้าเพดานภายในห้องลดลงประมาณ 0.2 องศาเซลเซียส

ผลการวิจัยพบว่า เมื่อมีการเพิ่มการระบายอากาศช่องใต้หลังคา จะเพิ่มประสิทธิภาพของการลดการถ่ายเทความร้อนจากหลังคาเพียงเล็กน้อย ดังนั้นในการออกแบบปรับปรุงหลังคาเพื่อลดการถ่ายเทความร้อนควรจะใช้วิธีการอื่นๆ เช่น การใช้ฉนวนใยแก้วกันความร้อน ซึ่งเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าและใช้เงินลงทุนไม่ต่างกันมาก แต่จากการวิจัยยังพบปรากฏการณ์ที่น่าสนใจคือ ในช่วงเวลากลางคืนการใช้ฉนวนใยแก้วกันความร้อนในหลังคาจะทำให้อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยในห้องสูงกว่าห้องที่มีและไม่มีการระบายอากาศใต้หลังคา และสูงกว่าห้องที่ใช้ระบบป้องกันการรังสีความร้อนในหลังคา

ภาควิชา.....สถาปัตยกรรมศาสตร์.....ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา.....สถาปัตยกรรม.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ปีการศึกษา...2545.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4474210125 : MAJOR ARCHITECTURE

KEY WORD : EFFECTIVENESS OF ATTIC / ROOF VENTILATION / HEAT TRANSFER /

WIKROM JUMNONGJIT : THE EFFECTIVENESS OF ATTIC VENTILATION DESIGN TO
PREVENT HEAT TRANSFER FROM ROOF THESIS ADVISOR : ASSIST. PROF. THANIT

CHINDAVANIG, THESIS COADVISOR : PIRAT PATCHARASAVATE, 105 pp. ISBN 974-17-
2915-4.

This study is experimental research, carried out on location, with the aim to study the effectiveness of attic ventilation design in preventing heat transfer from the roof of a house in a tropical climate. The building used in this experiment was a one-storey house, 4 metres in width, 4 metres in length and 2.4 metres in height, with a roof covered with concrete tiles. The angles of the roof were about 40 – 45 degrees. In the experiment, ventilating fans were used to simulate natural ventilation. To gather the data for this experiment, scientific equipment was used to record and collect information every hour for three consecutive days, or 72 hours per single experiment. To analyze the data, the degree each hour above 18 degrees Celcius was utilized to compare the results of the experiment.

This research is divided into three parts. The first part studies the effectiveness of attic ventilation in preventing heat transfer from the roof. It was found that attic ventilation was not able to reduce heat transfer effectively, as it could lower the average room temperature by only about 0.1 – 0.2 of a degree Celcius. The second part deals with improvement of the design to reduce heat caused by heat transfer from the roof. It was discovered that the use of fiber asbestos sheets, about two inches thick, spread over the ceiling, the use of one-sided aluminium foil under the purlin, and the use of two-inch-thick asbestos sheets together with one-sided aluminium foil to spread under the purlin, were more effective to prevent heat transfer from the roof than attic ventilation. The third part is concerned with the economy of design and heat reduction improvement.

The study revealed that investment on attic ventilation to prevent heat transfer was not worth the expense when compared with the use of two-inch-thick fiber asbestos sheets to prevent heat conduction and the use of aluminium foil sheets to prevent heat radiation. The cost of roof improvement by means of attic ventilation was about 162.5 baht per square metre while the average room temperature and the temperature at the surface of the ceiling could be reduced by about 0.1 degree Celcius. Investment in the use of two-inch-thick fiber asbestos sheets was about 81.5 baht per square metre and the average room temperature could be reduced by about 0.4 of a degree Celcius and the average temperature at the surface of the ceiling by 0.3 of a degree Celcius. As for the investment on one-sided aluminium foil sheets, the cost was about 108.5 baht per square metre and the average room temperature and the temperature at the surface of the ceiling could be lowered by 0.3 and 0.2 degree Celcius respectively.

The results of this study indicated that, with the increase in attic ventilation, the reduction of heat transfer only slightly improved. Therefore, other alternatives should be considered in the improvement of roof design to reduce heat transfer. For example, the use of fiber asbestos sheets is a more effective technique and the cost is not widely different. In addition, the research findings revealed another interesting phenomenon. During the night, the average temperature of a room with asbestos sheets in the roof was higher than a room with or without attic ventilation, and it was higher than a room that used heat radiation prevention systems in the roof as well.

Department.....Architecture.....Student's signature.....*Wikrom Jumnonjitt*

Field of Study.....Architecture.....Advisor's signature.....*Thanit Chindavanig*

Academic year....2002.....Co-Advisor's signature.....*Pirat Patcharasavate*

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะไม่สามารถสำเร็จได้ด้วยดี หากขาดความช่วยเหลือสนับสนุนทั้งทางด้านความรู้ คำแนะนำ น้ำใจและกำลังใจจากบุคคล และสถาบันต่างๆดังนี้

ขอขอบพระคุณในความกรุณาและความอนุเคราะห์จาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุานิศวรร เจริญพงษ์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ธนิต จินดาวงนิค อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ อาจารย์ พิศุทธิ์ พัทธเศวต อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อาจารย์ พรรณชลัท สุริโยธิน กรรมการ ที่กรุณาให้คำแนะนำ คำปรึกษาที่มีประโยชน์อย่างยิ่งต่องานวิจัย

ขอขอบพระคุณในความกรุณาของ รองศาสตราจารย์ สมลสิทธิ์ นิตยะ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ธนิต จินดาวงนิค ที่ให้แนวคิดและองค์ความรู้ที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำวิทยานิพนธ์นี้

ขอขอบคุณในความช่วยเหลือของ นางสาววรรณุช ฤกษ์เสริมสุข (เจ๊ียบ) นายอดิชาติ สัตถาผล (แทน) นายธีรศักดิ์ สิงห์ปรีชา (หนุ่ม) นายภัทร พงษ์ชำนะภักย์ (ภัทร) นายธนรัชต์ ลิ้มปคุปตถาวร (โกโก้) เพื่อนๆในภาคเดียวกันที่ร่วมเป็นกำลังใจซึ่งกันและกัน อีกทั้งเพื่อนที่อยู่ภาคอื่นๆ เศรษฐ ทรัพย์ พีเอ และน้องผึ้งที่ให้เยี่ยม อุปกรณ์ในการทำงานช่วงสุดท้าย คุณสุวิทย์ เจ้าหน้าที่คุมห้องแล็บเครื่องมือที่อำนวยความสะดวกในการเลือกเครื่องมือให้ พี่นุช ที่ห้องภาค ที่ช่วยกรุณาโทรมาตามอย่างเร่งด่วนเมื่อมีปัญหาเสมอ

ขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อวีระ จ้านงศ์จิตต์ คุณแม่ยุพดี จ้านงศ์จิตต์ ด้วยความกรุณา ความเสียสละและกำลังใจจากท่านจึงทำให้สามารถทำงานให้ลุล่วงลงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ น้องเก๋ ที่คอยเป็นกำลังใจและอยู่เคียงข้างตลอดเวลาไม่ว่าจะทุกข์หรือสุข ไม่มีเธอคงไม่มีวันนี้ น้องพลอย น้องแพรว น้องสาวที่น่ารักทั้งสองคนที่เป็นกำลังใจให้กับพี่ชายคนนี้เสมอ

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	ฎ
สารบัญแผนภูมิ.....	ฐ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหาของการวิจัย.....	1
1.2 แนวเหตุผล ทฤษฎีที่สำคัญ.....	2
1.3 วัตถุประสงค์.....	2
1.4 สมมติฐานของการวิจัย.....	3
1.5 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.6 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	4
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	6
บทที่ 2 การสำรวจแนวความคิดและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 อิทธิพลจากดวงอาทิตย์.....	7
2.2 อิทธิพลของมวลสาร.....	11
2.3 การถ่ายเทความร้อนผ่านช่องอากาศ.....	13
2.4 อุณหภูมิในช่องอากาศใต้หลังคา (Attic Temperature).....	15
2.5 ความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศภายนอกและภายในหลังคา.....	16
2.6 Bernoulli Effect.....	17
2.7 การระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติ (Natural Ventilation).....	18
2.8 การระบายอากาศโดยการอาศัยความแตกต่างของความกดอากาศ (Cross Ventilation).....	19
2.9 การพาความร้อน (Convection).....	21
2.10 Stack Effect.....	23
2.11 มุมเอียงและรูปทรงของหลังคา.....	27

2.12	แรงกดอากาศที่กระทำต่อหลังคา (Roof Pressure).....	28
2.13	การวิเคราะห์พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของหลังคาทั่วไป	31
บทที่ 3 ขั้นตอนในการทำวิจัยและลักษณะทางกายภาพของสถานที่ทดลอง		
3.1	ขั้นตอนการทำวิจัย	33
3.1.1	ศึกษาข้อมูลเบื้องต้น	33
3.1.2	แนวความคิดในการออกแบบการทดลอง.....	33
3.2	รายละเอียดในการออกแบบการทดลอง.....	38
3.2.1	ขั้นตอนในการเก็บข้อมูลในการทดลอง.....	42
3.3	การวิเคราะห์และการสรุปผล.....	51
3.4	ลักษณะทางกายภาพของสถานที่ทดลอง.....	52
3.4.1	ห้องทดลอง.....	52
3.5	เครื่องมือเก็บข้อมูล.....	54
3.6	อุปกรณ์อื่นๆ.....	55
3.6.1	พัดลมระบายอากาศ.....	55
3.6.2	Globe Meter	56
3.6.3	อุปกรณ์วัดความเร็วลม.....	57
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง		
4.1	ผลจากการทดลอง.....	58
4.2	การวิเคราะห์ผลจากการทดลอง.....	73
4.2.1	การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิผลการลดการถ่ายเทความร้อนจากการ ระบายอากาศช่องใต้หลังคา (โดยวิธีการพาความร้อน).....	81
4.2.2	การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิผลการลดการถ่ายเทความร้อนจากการ ระบายอากาศช่องใต้หลังคา (โดยวิธีการนำความร้อน).....	82
4.2.3	การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิผลการลดการถ่ายเทความร้อนจากการ ระบายอากาศช่องใต้หลังคา (โดยวิธีการแผ่รังสีความร้อน).....	83
4.2.4	การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิผลการลดการถ่ายเทความร้อนจากการ ระบายอากาศช่องใต้หลังคา (โดยวิธีการนำความร้อนและการแผ่รังสี)	84

4.2.5	การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิผลการลดการถ่ายเทความร้อนจากหลังคา เมื่อมีการใช้วิธีเพิ่มการระบายอากาศ (ventilation) ร่วมกับวิธีการลดการถ่ายเทความร้อนด้วยวิธีอื่นๆ.....	85
4.3	สรุปการวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	88
4.4	การเปรียบเทียบอัตราการระบายอากาศ.....	89
4.5	การเปรียบเทียบสัดส่วนของช่องระบายอากาศ (บานเกล็ดระบายอากาศ)....	90
4.6	การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงหลังคา	91
บทที่ 5	บทสรุปและข้อเสนอแนะ	
5.1	บทสรุป.....	96
5.2	ข้อสังเกตอื่นที่เป็นปรากฏการณ์ที่น่าสนใจจากการวิจัย.....	100
5.3	ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการทำวิจัยขั้นต่อไป.....	101
	รายการอ้างอิง	102
	ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	105

ตารางที่ 2.1	แสดงค่าอุณหภูมิ Sol-air Temperature.....	10
ตารางที่ 2.2	แสดง Effective Thermal Resistance of Ventilated Attic.....	18
ตารางที่ 2.3	แสดงการไหลของอากาศที่เพิ่มขึ้นจากการเพิ่มของขนาดช่องเปิดใน อัตราส่วนต่างๆ.....	20
ตารางที่ 4.1	แสดงค่าเฉลี่ยอุณหภูมิทั้ง 3 วันที่ทำการทดลอง	70
ตารางที่ 4.2	แสดงค่าเฉลี่ยอุณหภูมิเฉพาะช่วงกลางวัน (6.00 น. - 18.00 น.) ทั้ง 3 วัน ที่ทำการทดลอง.....	71
ตารางที่ 4.3	แสดงค่าเฉลี่ยอุณหภูมิเฉพาะช่วงกลางคืน (18.00 น.-6.00 น.) ทั้ง 3 วัน ที่ทำการทดลอง.....	72
ตารางที่ 5.1	ตารางเปรียบเทียบอุณหภูมิองศาเซลเซียสสะสมที่ผิวฝ้ากับอุณหภูมิเฉลี่ย ภายในห้องและที่ผิวฝ้าเพดาน ตลอด 3 วัน.....	97
ตารางที่ 5.2	ตารางเปรียบเทียบอุณหภูมิองศาเซลเซียสสะสมที่ผิวฝ้ากับอุณหภูมิเฉลี่ย ภายในห้องและที่ผิวฝ้าเพดานเฉพาะช่วงกลางวัน (6.00 – 18.00).....	97
ตารางที่ 5.3	ตารางเปรียบเทียบอุณหภูมิองศาเซลเซียสสะสมที่ผิวฝ้ากับอุณหภูมิเฉลี่ย ภายในห้องและที่ผิวฝ้าเพดานเฉพาะช่วงกลางคืน (18.00 – 6.00).....	98
ตารางที่ 5.4	ตารางเปรียบเทียบราคาลงทุนเฉลี่ยกับอุณหภูมิองศาเซลเซียสสะสมที่ผิวฝ้า..	100

รูปที่ 2.1	แสดงส่วนของหลังคา.....	14
รูปที่ 2.2	แสดงภายในส่วนของหลังคา.....	16
รูปที่ 2.3	แสดงวิธีการของ Venturi Tube.....	17
รูปที่ 2.4	แสดงการนำ Bernoulli Effect มาใช้กับอาคาร.....	17
รูปที่ 2.5	แสดงวิธีการเปิดช่องอากาศด้านบนเพื่อให้เกิดการระบายอากาศ.....	23
รูปที่ 2.6	แสดงการเจาะช่องได้ชายคาและด้านบนหลังคา.....	25
รูปที่ 2.7	แสดงการนำ Bernoulli Effect มาใช้กับอาคาร.....	25
รูปที่ 2.8	แสดงการติดตั้งช่องเปิดระบายอากาศที่ระยะห่างจากผนังแตกต่างกัน.....	26
รูปที่ 2.9	แสดงถึงว่าในช่วงกลางวันรูปทรงของหลังคามีผลกระทบต่อ การได้รับอิทธิพลจากแสงอาทิตย์.....	27
รูปที่ 2.10	แสดง Mean Pressure Coefficient เมื่อมีลมมาปะทะที่มุมแตกต่างกัน.....	28
รูปที่ 2.11	แสดง Pressure Coefficient ในมุมเฉียงหลังคาที่แตกต่างกัน.....	29
รูปที่ 2.12	แสดงพื้นที่ของแรงกดอากาศในมุมเฉียงหลังคาที่แตกต่างกัน.....	29
รูปที่ 2.13	แสดงพื้นที่ของแรงกดอากาศที่เป็นบวก (Positive Pressure) และพื้นที่ ส่วนที่เป็นแรงดูด (Negative Pressure) ในหลังคาที่มีมุมเฉียงต่างกัน.....	30
รูปที่ 2.14	แสดงพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของหลังคาในช่วงกลางวัน.....	31
รูปที่ 2.15	แสดงพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของหลังคาในช่วงกลางคืน.....	32
รูปที่ 3.1	แสดงรายละเอียดของหลังคาที่ทำการทดลอง.....	40
รูปที่ 3.2	แสดงรายละเอียดของหลังคาที่ทำการทดลอง.....	41
รูปที่ 3.3	แสดงสภาพภายในของหลังคาที่ทำการทดลอง.....	42
รูปที่ 3.4	แสดงสภาพภายในของหลังคาที่ทำการทดลอง.....	43
รูปที่ 3.5	แสดงสภาพภายในของหลังคาที่ทำการทดลอง.....	43
รูปที่ 3.6	แสดงสภาพภายในของหลังคาที่ทำการทดลองแบบมีฉนวน.....	44
รูปที่ 3.7	แสดงสภาพภายในของหลังคาที่ทำการทดลองแบบมีฉนวน.....	45
รูปที่ 3.8	แสดงฉนวนกันความร้อนที่นำมาใช้.....	45
รูปที่ 3.9	แสดงสภาพภายในของหลังคาที่ทำการทดลองกับแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์.....	46
รูปที่ 3.10	แสดงสภาพภายในของหลังคาที่ทำการทดลองกับแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์.....	47
รูปที่ 3.11	แสดงแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์.....	47
รูปที่ 3.12	แสดงแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ก่อนทำการติดตั้ง.....	48

รูปที่ 3.13	แสดงสภาพภายในของหลังคาที่ทำการทดลองแบบใช้ฉนวนทั้ง 2 ชนิด.....	49
รูปที่ 3.14	แสดงสภาพภายในของหลังคาที่ทำการทดลองแบบใช้ฉนวนทั้ง 2 ชนิด.....	50
รูปที่ 3.15	แสดงสถานที่ทำการทดลอง	52
รูปที่ 3.16	แสดงส่วนของหลังคาที่จะใช้ทำการทดลอง	53
รูปที่ 3.17	แสดงห้องภายใต้หลังคาที่จะใช้ทำการทดลอง.....	53
รูปที่ 3.18	แสดงเครื่องมือ HOBO Datalogger	54
รูปที่ 3.19	แสดงตำแหน่งที่ติดตั้งพัดลมระบายอากาศ	55
รูปที่ 3.20	แสดงการติดตั้งพัดลมระบายอากาศ.....	55
รูปที่ 3.21	แสดงเครื่องมือ Globe Meter.....	56
รูปที่ 3.22	แสดงการติดตั้ง Globe Meter.....	56
รูปที่ 3.23	แสดงเครื่องมือวัดลม.....	57
รูปที่ 3.24	แสดงหน้าจอแสดงผลของเครื่องมือวัดลม.....	57

สารบัญแผนภูมิ

ฐ

หน้า

แผนภูมิที่ 1.1	การออกแบบการทดลอง.....	5
แผนภูมิที่ 2.1	แสดงการไหลของอากาศที่เพิ่มขึ้นจากการเพิ่มขนาดช่องเปิดในอัตราส่วน ต่างๆ.....	19
แผนภูมิที่ 3.1	การออกแบบการทดลอง.....	34
แผนภูมิที่ 3.2	แสดงขั้นตอนการทดลอง.....	37
แผนภูมิที่ 4.11	แสดงอุณหภูมิของหลังคาปกติ (Roof without fan) ทำการทดลอง วันที่ 5 - 7 / March / 2003.....	59
แผนภูมิที่ 4.12	แสดงอุณหภูมิของหลังคาที่เปิดพัดลมระบายอากาศ (Roof with fan) ทำการทดลองวันที่ 8 - 10 / March / 2003.....	60
แผนภูมิที่ 4.13	แสดงอุณหภูมิของหลังคาที่ปูฉนวนใยแก้วกันความร้อนหนา 2 นิ้ว ปิดพัดลม ระบายอากาศ (Roof Insulation without fan) ทำการทดลอง วันที่ 11 - 13 / March / 2003.....	62
แผนภูมิที่ 4.14	แสดงอุณหภูมิของหลังคาที่ปูฉนวนใยแก้วกันความร้อนหนา 2 นิ้ว เปิดพัดลม ระบายอากาศ (Roof Insulation with fan) ทำการทดลอง วันที่ 14 - 16 / March / 2003.....	63
แผนภูมิที่ 4.15	แสดงอุณหภูมิของหลังคาที่ติดแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ชนิดด้านเดียว ปิดพัดลมระบายอากาศ (Roof Aluminium foil without fan) ทำการทดลอง วันที่ 17 - 19 / March / 2003.....	65
แผนภูมิที่ 4.16	แสดงอุณหภูมิของหลังคาที่ติดแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ชนิดด้านเดียว เปิดพัดลมระบายอากาศ (Roof Aluminium foil with fan) ทำการทดลอง วันที่ 20 - 22 / March / 2003.....	66
แผนภูมิที่ 4.17	แสดงอุณหภูมิของหลังคาที่ติดทั้งฉนวนใยแก้วและแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ ปิดพัดลมระบายอากาศ (Roof Insulate+Aluminium foil without fan) ทำการทดลองวันที่ 23 - 25 / March / 2003.....	68
แผนภูมิที่ 4.18	แสดงอุณหภูมิของหลังคาที่ติดทั้งฉนวนใยแก้วและแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ เปิดพัดลมระบายอากาศ (Roof Insulate+Aluminium foil with fan) ทำการทดลองวันที่ 26 - 28 / March / 2003.....	69

แผนภูมิที่ 4.21	แสดงผลรวมของอุณหภูมิชั่วโมงสะสม ตลอดทั้ง 3 วัน (Accumulate Degree-hours (18 'c base) 24 hours x 3 days).....	76
แผนภูมิที่ 4.22	แสดงผลรวมของอุณหภูมิชั่วโมงสะสม เฉพาะช่วงกลางวัน ตั้งแต่ 6.00 น. – 18.00 น. (Accumulate Degree-hours (18 'c base) Day-time).....	77
แผนภูมิที่ 4.23	แสดงผลรวมของอุณหภูมิชั่วโมงสะสม เฉพาะช่วงกลางคืน ตั้งแต่ 18.00 น. – 6.00 น. (Accumulate Degree-hours (18 'c base) Night-time).....	78
แผนภูมิที่ 4.24	กราฟแสดงผลต่างของอุณหภูมิชั่วโมงสะสมอุณหภูมิอากาศภายนอกห้อง ทดลองกับอุณหภูมิชั่วโมงสะสมที่สนใจ ตลอดทั้ง 3 วัน (Comparative Degree-hours 24 hours x 3 days).....	80
แผนภูมิที่ 4.25	แสดงผลต่างของอุณหภูมิชั่วโมงสะสมอุณหภูมิอากาศภายนอกห้อง ทดลองกับอุณหภูมิชั่วโมงสะสมที่สนใจ เฉพาะช่วงกลางวัน ตั้งแต่ 6.00 น. – 18.00 น. (Comparative Degree-hours (Day-time)).....	81
แผนภูมิที่ 4.26	กราฟแสดงผลต่างของอุณหภูมิชั่วโมงสะสมอุณหภูมิอากาศภายนอกห้อง ทดลองกับอุณหภูมิชั่วโมงสะสมที่สนใจ เฉพาะช่วงกลางคืน ตั้งแต่ 18.00 น. – 6.00 น. (Comparative Degree-hours (Night-time)).....	82
แผนภูมิที่ 5.1	แสดงอุณหภูมิของหลังคาที่ปูฉนวน 2 นิ้ว ไม่มีการระบายอากาศ ตลอด 3 วัน.....	101

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหาของการวิจัย

ปัจจุบันสภาวะอากาศของโลกร้อนขึ้นเป็นอย่างมากในทุกๆปี เนื่องจากสภาพแวดล้อมทางธรรมชาติที่ถูกทำลาย ลงโดยมนุษย์เป็นตัวการสำคัญ ทำให้มีการใช้พลังงานในด้านต่างๆ อย่างสิ้นเปลืองที่จะนำมาใช้เพื่อตอบสนอง ความต้องการของมนุษย์ ก่อให้เกิดวิกฤตการณ์ทางสภาพแวดล้อมและขาดการแคลนพลังงานโดยเฉพาะอย่างยิ่ง พลังงานไฟฟ้าที่มนุษย์นำมาใช้ในชีวิตประจำวันในอาคารบ้านเรือนและที่พักรักษาตัว ดังจะเห็นได้จากอาคารต่างๆ เกือบทุกประเภทมีการใช้ระบบปรับอากาศ เพื่อช่วยปรับภวะน่าสบาย (comfort zone) ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้เฉพาะปรับอากาศนี้ คิดเป็นร้อยละ 50-60 ของปริมาณการใช้ไฟฟ้าในอาคารพาณิชย์ทั้งหมด (สำนักงาน พลังงานแห่งชาติ 3526) ซึ่งเป็นวิกฤตการณ์ที่น่าเป็นห่วงมาก เพราะพลังงานไฟฟ้าที่ต้องใช้เป็นพลังงานที่มีอยู่อย่างจำกัดและกำลังจะหมดไปในที่สุด สำหรับประเทศไทยรัฐบาลได้ตระหนักถึงปัญหาดังกล่าว จึงได้มีการประกาศใช้พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานตั้งแต่ปี พ.ศ. 2535 เพื่อให้ประชาชนอนุรักษ์การใช้ พลังงานในอาคารให้น้อยและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยคำนึงถึงความเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมและสภาพ ภูมิอากาศในประเทศไทย รวมถึงการพยายามนำเอาสภาพแวดล้อมทางธรรมชาติและพลังงานธรรมชาติที่ไม่มี วันหมดสิ้นมาใช้ประโยชน์

ในส่วนของสถาปัตยกรรมเพื่อการอนุรักษ์พลังงานในอาคารนั้น การออกแบบส่วนต่างๆ ของอาคารเพื่อให้ เกิดการประหยัดพลังงานจึงเป็นสิ่งที่มีความสำคัญอย่างยิ่ง และวิธีหนึ่งที่จะสามารถช่วยได้คือ การระบายความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ผ่านเข้ามาทางหลังคา เนื่องจากหลังคาเป็นส่วนที่รับความร้อนโดยตรงจากดวงอาทิตย์มากที่สุด หากไม่มีการระบายความร้อนในส่วนนี้แล้วความร้อนดังกล่าวย่อมส่งผลกระทบต่ออุณหภูมิที่สูงขึ้น บริเวณใต้หลังคา ส่งผลกระทบต่อผู้ใช้อาคารภายใต้พื้นที่นั้นทั้งในส่วนที่ไม่มีมีการปรับอากาศ และในส่วนที่มีการปรับอากาศซึ่งมีผลต่อการเพิ่มภาระการทำความเย็น (cooling load) ของเครื่องปรับอากาศอย่างมาก ซึ่งการ ศึกษาและวิเคราะห์วิธีการ ตลอดจนพฤติกรรมของการระบายอากาศของบ้านพักอาศัยที่นิยมกันในปัจจุบันจะสามารถเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียตลอดจนวิธีที่ใช้ระบายอากาศใต้หลังคา เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบลักษณะที่เหมาะสมในการระบายอากาศใต้หลังคาที่เหมาะสมกับสภาพ

ภูมิอากาศแบบร้อนชื้นอย่างประเทศไทย ซึ่งจากแนวทางดังกล่าวจะนำไปสู่ความเข้าใจและการนำเสนอในสิ่งที่เหมาะสมสำหรับสภาวะในปัจจุบัน

1.2 แนวเหตุผล ทฤษฎีสำคัญ

ในส่วนของสถาปัตยกรรมเพื่อการอนุรักษ์พลังงานในอาคารนั้น การออกแบบส่วนต่างๆ ของอาคารเพื่อให้เกิดการประหยัดพลังงานจึงเป็นสิ่งที่มีความสำคัญอย่างยิ่ง และวิธีหนึ่งที่จะสามารถช่วยได้คือ การระบายความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ผ่านเข้ามาทางหลังคา เนื่องจากหลังคาเป็นส่วนที่รับความร้อนโดยตรงจากดวงอาทิตย์มากที่สุด หากไม่มีการระบายความร้อนในส่วนนี้แล้วความร้อนดังกล่าวย่อมส่งผลกระทบต่ออุณหภูมิที่สูงขึ้น บริเวณใต้หลังคา ส่งผลกระทบต่อผู้ใช้อาคารภายใต้พื้นที่นั้นทั้งในส่วนที่ไม่มี การปรับอากาศ และในส่วนที่มีการปรับอากาศซึ่งมีผลต่อการเพิ่มภาระการทำความเย็น (cooling load) ของเครื่องปรับอากาศอย่างมาก ซึ่งการศึกษาและวิเคราะห์วิธีการ ตลอดจนพฤติกรรมของการระบายอากาศของบ้านพักอาศัยที่นิยมกันในปัจจุบันจะสามารถเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียตลอดจนวิธีที่ใช้ระบายอากาศใต้หลังคา เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบลักษณะที่เหมาะสมในการระบายอากาศใต้หลังคาที่เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้นอย่างประเทศไทย ซึ่งจากแนวทางดังกล่าวจะนำไปสู่ความเข้าใจและการนำเสนอในสิ่งที่เหมาะสมสำหรับสภาวะในปัจจุบัน

1.3 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาประสิทธิภาพการลดการถ่ายเทความร้อนจากหลังคาด้วยวิธีการระบายอากาศช่องใต้หลังคา
2. หาแนวทางในการออกแบบปรับปรุงเพื่อลดปริมาณความร้อนที่เกิดจากการถ่ายเทความร้อนจากหลังคา
3. ศึกษาด้านเศรษฐศาสตร์ในการออกแบบและปรับปรุงหลังคาเพื่อลดปริมาณความร้อน
4. เพื่อเป็นแนวทางในการนำไปใช้ในการออกแบบปรับปรุงอาคารพักอาศัยที่มีอยู่แล้วและอาคารพักอาศัยที่จะสร้างขึ้นใหม่

1.4 สมมติฐานของการวิจัย

การออกแบบปรับปรุงหลังคาโดยใช้วิธีการระบายอากาศ จะไม่ช่วยลดปริมาณความร้อนที่เข้าสู่ตัวอาคาร

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

1. ทำการศึกษาวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนจากช่องใต้หลังคาโดยใช้วิธีการระบายอากาศ (ใช้พัดลมระบายอากาศเพื่อจำลองสภาพการระบายอากาศ) ของบ้านพักอาศัยที่มีการใช้งานจริงอยู่ในบริเวณกรุงเทพมหานคร ซึ่งอยู่ในสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้น

2. ศึกษาการระบายความร้อนช่องใต้หลังคาจากอาคารพักอาศัย ในสภาวะที่ไม่มีการปรับอากาศภายใต้พื้นที่ใช้งานของห้องด้านล่างของหลังคา โดยจะศึกษาในหัวข้อดังนี้

- อัตราการระบายอากาศ

- อุณหภูมิอากาศ

3. ศึกษาด้านเศรษฐศาสตร์ในการออกแบบและปรับปรุงหลังคาด้วยวิธีการระบายอากาศ

4. ศึกษาจากอาคารพักอาศัยที่มีลักษณะดังนี้

- วัสดุผนังหลังคาเป็นกระเบื้องคอนกรีต

- ใช้หลังคาที่มีมุม 45 องศา

- เป็นอาคารพักอาศัยที่ใช้งานอยู่จริงและยังไม่มีมีการปรับปรุงในส่วนช่องใต้หลังคา

- แนวหลังคาว่างอยู่ในแนวทิศเหนือ-ทิศใต้

- ฝ้าเพดานเป็นกระเบื้องใยหินหนา 4 มิลลิเมตร

5. ทำการศึกษาในช่วงเดือนมีนาคมถึงเดือนเมษายนเท่านั้น

6. ปัจจัยอื่นๆ ที่ไม่ครอบคลุมในงานวิจัยนี้ ได้แก่

สีของวัสดุผนังหลังคา

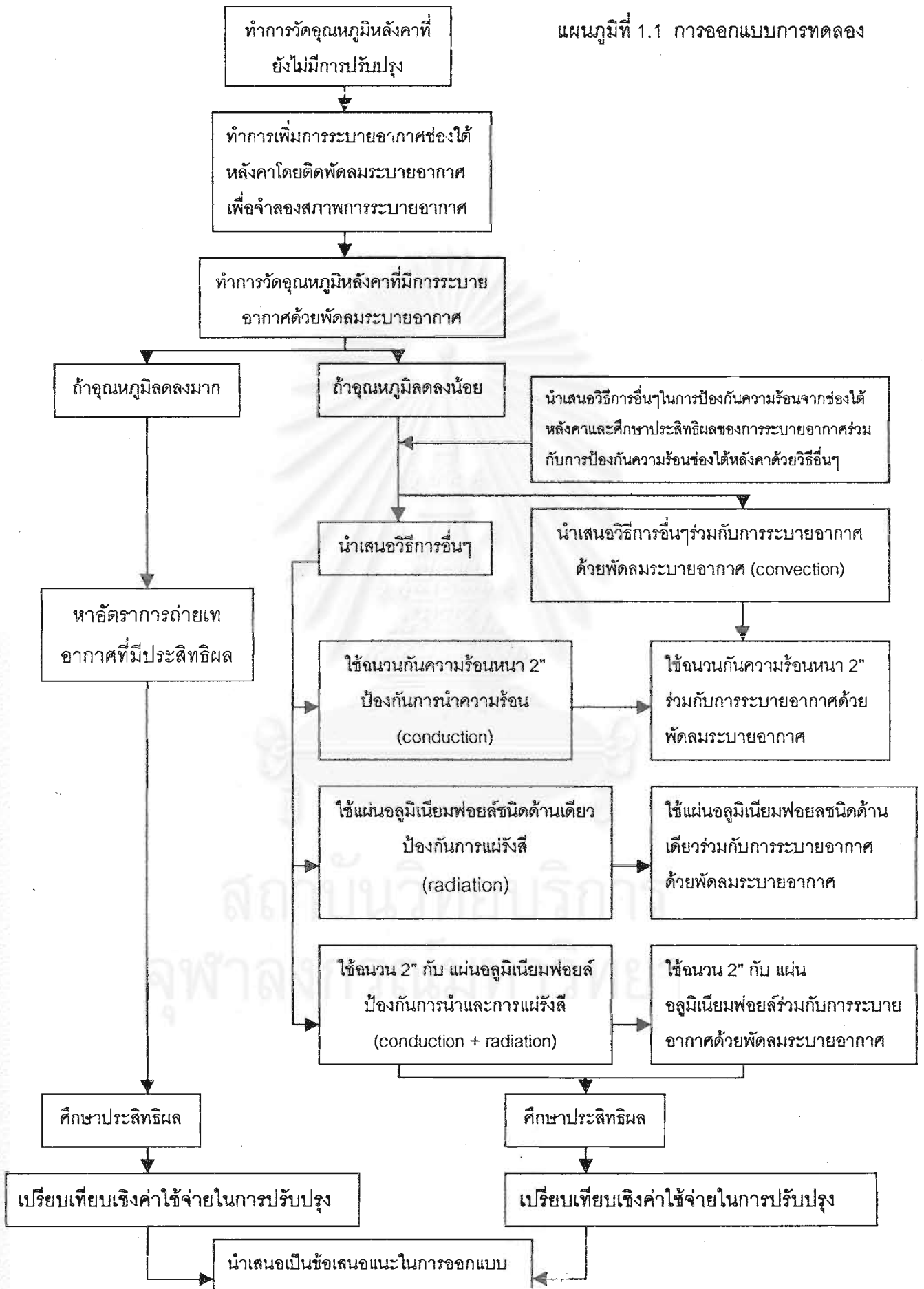
ราคาของวัสดุผนังหลังคา

1.6 วิธีดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบปรับปรุงอาคารพักอาศัยที่มีอยู่เดิม และเป็นแนวทางในการออกแบบอาคารที่จะสร้างขึ้นใหม่ ประกอบกับเป็นงานวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) จำเป็นต้องศึกษารวบรวมข้อมูลและ ปฏิบัติตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ศึกษาและรวบรวมข้อมูลที่ได้เคยมีผู้ทำการศึกษาไว้ เกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อนผ่านทางหลังคาสู่อากาศ จากวิทยานิพนธ์และสิ่งพิมพ์ต่างๆทั้งในและต่างประเทศ
2. ออกแบบการทดลองและทำการทดลองเพื่อศึกษาประสิทธิภาพการลดการถ่ายเทความร้อนจากหลังคาด้วยวิธีการระบายอากาศช่องใต้หลังคา โดยมีขั้นตอนดังแผนภูมิที่ 1.1
3. วิเคราะห์ผลการทดลอง
4. สรุปผลการทดลอง อธิบายความผิดพลาดหรือความคลาดเคลื่อนในการทดลองว่ามีสาเหตุมาจากอะไรบ้าง เพื่อนำมาเป็นเสนอแนะข้อมูลเพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบและเป็นข้อมูลแก่ผู้ที่จะทำการวิจัยต่อจากนี้

แผนภูมิที่ 1.1 การออกแบบการทดลอง



1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. จากผลการทำวิจัยทำให้ทราบถึงวิธีที่เหมาะสมและคุ้มค่าในการลงทุนเพื่อลดปริมาณความร้อนได้หลังคา
2. นำผลที่ได้จากการวิจัยมาประยุกต์ใช้เป็นแนวทางในการออกแบบอาคารพักอาศัยในสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้นในประเทศไทยได้อย่างเหมาะสม
3. เพื่อนำผลการวิจัยที่ได้เป็นแนวทางในการศึกษาต่อไป



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

การสำรวจแนวความคิดและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการที่จะปรับปรุงหลังคาให้มีประสิทธิภาพในการป้องกันความร้อนได้นั้นก่อนที่จะทำการออกแบบจึงควรที่จะศึกษาถึงตัวแปรที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านทางหลังคาเสียก่อน เพื่อที่จะสามารถออกแบบปรับปรุงได้ถูกต้องและสอดคล้องกับปัญหาเหล่านั้นและแนวทางในการปรับปรุงหลังคาในเรื่องของการระบายอากาศดังนี้

2.1 อิทธิพลจากดวงอาทิตย์

เมื่อดูจากลักษณะทางกายภาพของอาคารต่างๆโดยทั่วไปแล้วจะพบว่าหลังคาเป็นส่วนที่ได้รับอิทธิพลจากการแผ่รังสีความร้อนตรงจากดวงอาทิตย์มากที่สุด การแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ที่ผ่านเข้ามายังโลกนั้นผ่านชั้นบรรยากาศของโลก รังสีบางส่วนจะถูกสะท้อนก่อนเมฆออกไปบางส่วนก็จะถูกดูดซับโดยชั้นบรรยากาศ บางส่วนก็จะแพร่กระจายไปยังชั้นบรรยากาศและเหลือเพียงบางส่วนที่ผ่านเข้ามายังพื้นผิวโลกจะประกอบด้วยรังสี 2 ประเภทคือ (ASHRAE, 1989)

1. รังสีคลื่นสั้น (shortwave radiation) เป็นรังสีที่มาจากดวงอาทิตย์โดยตรง สามารถทะลุผ่านกระจกใสได้

2. รังสีคลื่นยาว (longwave radiation) เกิดจากรังสีคลื่นสั้นที่ตกลงมากระทบวัตถุและจะเปลี่ยนเป็นรังสีคลื่นยาวในรูปของพลังงานความร้อน ซึ่งจะไม่สามารถทะลุผ่านกระจกออกไปได้

พลังงานบางส่วนจะถูกดูดซับ บางส่วนจะถูกสะท้อน ซึ่งพลังงานดังกล่าวจะเคลื่อนที่ออกไปโดยการนำความร้อน (conduction) การพาความร้อน (convection) และการแผ่รังสีความร้อน (radiation) ความร้อนที่เกิดขึ้นจากดวงอาทิตย์ที่เข้ามาภายในอาคาร (ธนิต จินดาวณิก, 2540)

รังสีจากดวงอาทิตย์โดยตรง (Direct Radiation) เป็นรังสีที่ส่องเข้ามายังบรรยากาศโลก มีค่า $434.29 \text{ Btu/h.ft}^2$ ซึ่งเป็นค่าที่นำมาใช้กันโดยทั่วไปและจากการที่การโคจรของโลกเป็นวงรีจะมีปริมาณรังสีของดวงอาทิตย์เปลี่ยนแปลงตั้งแต่ค่ามากที่สุดในวันที่ 3 มกราคม เมื่อโลกมีการโคจรใกล้กับดวงอาทิตย์มากที่สุด ค่าการแผ่รังสีจะเท่ากับ $449.60 \text{ Btu/h.ft}^2$

และน้อยที่สุดในวันที่ 6 กรกฎาคม เมื่อโลกมีการโคจรห่างจากดวงอาทิตย์มากที่สุด ค่าการแผ่รังสีจะเท่ากับ 419.9 Btu/h.ft^2 (ASHRAE, 1989)

รังสีการกระจาย (diffuse radiation) เป็นรังสีที่เกิดจากการสะท้อนของแสงกับเมฆ ฝุ่น ละอองหรือไอน้ำในอากาศ การกระจายที่เกิดขึ้นจะไม่สม่ำเสมอ แต่จะมีความเข้มสูงในบริเวณรอบดวงอาทิตย์ปริมาณรังสีจะมีค่า 10-90% ของปริมาณรังสีจากดวงอาทิตย์ที่ผ่านเข้าสู่ตัวอาคาร

รังสีสะท้อน (reflected radiation) เป็นรังสีที่เกิดจากการสะท้อนมาจากพื้นดิน หรือ อาคารข้างเคียง จะมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับค่า Reflectivity ของผิว สี พื้นผิวของวัสดุที่อยู่รอบๆอาคาร

ในการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารนั้นจะหาได้จากสูตรการคำนวณ 2 สูตร คือ (ASHRAE, 1989)

$$Q = U * A * \Delta T$$

$$Q = U * A * CLTD$$

โดยที่

Q = ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่อาคาร (Bth/h)

U = ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของวัสดุ (Btu/h.ft²)

A = พื้นที่ที่ความร้อนถ่ายเทผ่านวัสดุของผนัง (ft²)

ΔT = ค่าความแตกต่างความร้อนระหว่างภายนอกกับภายใน (°F)

CLTD = ค่าความแตกต่างภาระการทำความเย็นเทียบเท่า (cooling load temperature difference (°F))

ความแตกต่างในการที่จะเลือกใช้สูตรนั้น จะขึ้นอยู่กับ

1. ค่า ΔT จะใช้ในกรณีที่ไม่มีอิทธิพลจากแสงอาทิตย์เข้ามาเกี่ยวข้องซึ่งจะทำให้มีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกมีคงที่ (steady state condition)
2. ค่า CLTD จะใช้ในกรณีที่มีอิทธิพลจากแสงแดดเข้ามาเกี่ยวข้อง แสงอาทิตย์เป็นตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการถ่ายเทความร้อนของผนังเข้าสู่อาคารมากที่สุด เมื่อหลังคาโดนแดดก็จะร้อนขึ้นเนื่องจากการดูดกลืนรังสีความร้อนจากแสงแดดทำให้การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารเปลี่ยนไปการปรับเปลี่ยนค่า CLTD เป็นการปรับให้เข้ากับอิทธิพลภายนอก เพราะในความเป็นจริงแล้วความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายนอกและภายในอาคารจะไม่คง

ที่ แต่จะเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลงไปตลอดเวลา โดยจะใช้องค์ประกอบ เช่น วัน เดือน เวลา อิทธิพลของแสงแดด อิทธิพลของมวลสารผนัง การถ่ายเทความร้อนจากผิวภายนอก การหน่วงเวลา สภาพแวดล้อม โดยเป็นการปรับเปลี่ยนค่าให้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากขึ้นจะใช้ค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอกและภายใน (ΔT) ไม่ได้ เนื่องจากค่าที่ได้จะต่างจากความเป็นจริงมากและได้มีผู้ประยุกต์อิทธิพลของตัวแปรที่เกิดจากแสงอาทิตย์และองค์ประกอบอื่น ๆ ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร โดยสร้างเป็นสมการดังนี้ (ASHRAE, 1989)

$$\text{Sol-air Temperature (} T_e \text{)} = T_{\text{out}} + \alpha I / h_o - \epsilon \delta R / h_o$$

โดยที่

T_e = Sol-air Temperature ($^{\circ}\text{F}$)

T_{out} = อุณหภูมิอากาศภายนอก ($^{\circ}\text{F}$)

I = รังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบทั้งหมด (total solar radiation incident on the surface)
(Btu/h.ft^2) มีค่าประมาณ 240 Btu/h.ft^2

α = สัมประสิทธิ์การดูดซับความร้อนของผิววัสดุ (ไม่มีหน่วย)

h_o = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผิวรวมทั้งหมด long wave radiation และ convection ($\text{Btu/h.ft}^2 \cdot ^{\circ}\text{F}$) มีค่าประมาณ $3.0 \text{ Btu/h.ft}^2 \cdot ^{\circ}\text{F}$

δR = อัตราการแลกเปลี่ยนความร้อนของผิววัสดุกับสภาพแวดล้อมและท้องฟ้า (Btu/h.ft^2)

ϵ = สัมประสิทธิ์การกระจายความร้อนออกจากผิว (Hemispherical Emittance of the surface)

ASHRAE (1989) ได้ให้ความหมายของ Sol-air temperature คือ อุณหภูมิประมาณของอากาศที่ติดอยู่บนผิวของวัสดุตอนที่ไม่มีอิทธิพลจากแสงแดดและการแลกเปลี่ยนรังสีที่จะทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารในอัตราที่เทียบเท่ากับสภาวะที่มีอิทธิพลจากรังสีดวงอาทิตย์จริง จากการแลกเปลี่ยนความร้อนกับท้องฟ้า สภาพแวดล้อมรอบข้างและจากการแลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศภายนอก

ในพื้นที่ผิวในแนวราบ (horizontal surface) ที่ได้รับการแผ่รังสีรังสีคลื่นยาว (longwave radiation) จากท้องฟ้าเพียงอย่างเดียวค่า δR จะอยู่ที่ประมาณ 20 Btu/h.ft^2 (ASHRAE, 1989)

พื้นที่ผิวแนวตั้ง (vertical surface) จะได้รับการแผ่รังสีคลื่นยาวจากพื้นอาคารที่อยู่รอบๆข้างได้พอๆกับจากท้องฟ้า ค่า δR ที่แน่นอนไม่สามารถที่จะกำหนดได้ เมื่อปริมาณของรังสีดวงอาทิตย์เพิ่มมากขึ้นพื้นผิวของวัตถุที่อยู่บนโลกก็จะร้อนขึ้นตามไปด้วยและจะสูงกว่าอุณหภูมิของอากาศด้วยเหตุนี้รังสีคลื่นยาวบางส่วนจะแผ่กลับไปยังท้องฟ้าที่มีค่าการแผ่รังสีต่ำกว่า ดังนั้นจึงสมมติให้ใช้ค่า $\delta R = 0$ ในการคำนวณสำหรับผนังที่อยู่ในแนวตั้ง (ASHRAE, 1989)

Time	Air Temp, °F	$\alpha/h_o = 0.15$							
		N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
0100	76	76	76	76	76	76	76	76	76
0200	76	76	76	76	76	76	76	76	76
0300	75	75	75	75	75	75	75	75	75
0400	74	74	74	74	74	74	74	74	74
0500	74	74	74	74	74	74	74	74	74
0600	74	82	95	97	86	75	75	75	75
0700	75	82	103	109	97	78	78	78	78
0800	77	82	103	114	105	83	81	81	81
0900	80	85	101	114	110	92	85	85	85
1000	83	89	96	110	112	100	89	89	89
1100	87	93	94	104	111	108	96	93	93
1200	90	96	96	97	107	112	107	97	96
1300	93	99	99	99	102	114	117	110	100
1400	94	100	100	100	100	111	123	121	107
1500	95	100	100	100	100	107	125	129	116
1600	94	99	98	98	98	100	122	131	120
1700	93	100	96	96	96	96	115	127	121
1800	91	99	92	92	92	103	114	114	112
1900	87	87	87	87	87	87	87	87	87
2000	85	85	85	85	85	85	85	85	85
2100	83	83	83	83	83	83	83	83	83
2200	81	81	81	81	81	81	81	81	81
2300	79	79	79	79	79	79	79	79	79
2400	77	77	77	77	77	77	77	77	77
Avg.	83	86	89	91	90	89	90	91	89

Time	Air Temp, °F	$\alpha/h_o = 0.30$							
		N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
0100	76	76	76	76	76	76	76	76	76
0200	76	76	76	76	76	76	76	76	76
0300	75	75	75	75	75	75	75	75	75
0400	74	74	74	74	74	74	74	74	74
0500	74	74	74	74	74	74	74	74	74
0600	74	90	117	121	99	77	77	77	77
0700	75	90	131	144	120	82	82	82	82
0800	77	87	130	151	134	89	86	86	86
0900	80	91	122	148	141	105	91	91	91
1000	83	95	109	137	141	118	96	95	95
1100	87	100	101	122	136	129	105	100	100
1200	90	103	103	104	125	134	125	104	103
1300	93	106	106	106	111	135	142	128	107
1400	94	106	106	106	107	129	152	148	120
1500	95	106	106	106	106	120	156	163	137
1600	94	104	103	103	103	106	151	168	147
1700	93	108	100	100	100	100	138	162	149
1800	91	107	94	94	94	94	116	138	134
1900	87	87	87	87	87	87	87	87	87
2000	85	85	85	85	85	85	85	85	85
2100	83	83	83	83	83	83	83	83	83
2200	81	81	81	81	81	81	81	81	81
2300	79	79	79	79	79	79	79	79	79
2400	77	77	77	77	77	77	77	77	77
Avg.	83	89	95	100	99	95	99	100	95

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าอุณหภูมิ Sol-air Temperature

ที่มา : American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineerings. 1989 ASHRAE Handbook Fundamentals. I-P Edittion. (Atlanta Georgia, 1989.) , p.26.4.

จากตารางที่ 2.1 ได้ให้ค่าอุณหภูมิ sol-air temperature ที่แตกต่างกันสำหรับตัวแปร α / h_o ไว้ 2 ค่าคือ เมื่อ α / h_o มีค่า 0.15 สำหรับผิวของวัสดุสีอ่อน และค่า $\alpha / h_o = 0.30$ ซึ่งเป็นค่าสูงสุดเมื่อผิวของวัสดุสีเข้ม (ASHRAE, 1989)

2.2 อิทธิพลของมวลสาร

นอกจากอิทธิพลจากภายนอกที่จะมีผลต่อการถ่ายเทความร้อนแล้วยังขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัสดุแต่ละชนิดที่ใช้ด้วย โดยที่คุณสมบัติที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนมีดังนี้

อัตราการถ่ายเทความร้อนรวมการถ่ายเท (thermal conductivity : K)

หมายถึง อัตราส่วนของพลังงานความร้อนในเวลา 1 ชั่วโมงที่ถ่ายเทผ่านวัสดุหนา 1 นิ้ว ในพื้นที่ 1 ตารางฟุต เมื่ออุณหภูมิลดลง 1 องศาฟาเรนไฮท์ มีหน่วยเป็น Btu/h.ft².°F

อัตราการถ่ายเทความร้อนรวม (thermal conductance : C)

หมายถึง อัตราส่วนของพลังงานความร้อนในเวลา 1 ชั่วโมงที่ถ่ายเทผ่านวัสดุที่มีความหนามาตรฐานในพื้นที่ 1 ตารางฟุต เมื่ออุณหภูมิลดลง 1 องศาฟาเรนไฮท์ มีหน่วยเป็น Btu/h.ft² . F แสดงเป็นสมการได้ดังนี้

$$C = K / dX$$

เมื่อ dX คือ ความหนาของวัสดุ (ม.)

C คือ อัตราการถ่ายเทความร้อน

ค่าการต้านทานความร้อน (thermal resistance / R – value)

เป็นค่าที่แสดงประสิทธิภาพในการเป็นฉนวนกันความร้อนของวัสดุ เป็นส่วนกลับของค่า conductivity หมายถึง จำนวนชั่วโมงสำหรับความร้อน ที่ถ่ายเทผ่านวัสดุความหนาหนึ่งๆ ในพื้นที่ 1 ตารางฟุต เมื่อมีอุณหภูมิต่าง 1 °F มีหน่วยเป็น °F.ft².h / Btuแสดงเป็นสมการได้ดังนี้

$$R = 1 / C = dX / K$$

เมื่อ R คือค่าการต้านทานความร้อน ยิ่งมีค่ามากเท่าไรก็ยิ่งดีเท่านั้น

สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (Coefficient of heat transmission / U – value)

เป็นค่าการถ่ายเทความร้อนของวัสดุโดยปกติการคำนวณหาปริมาณความร้อนเข้าสู่ตัวอาคารหรือออกจากอาคารอันเนื่องมาจากความแตกต่างของอุณหภูมิมักจะใช้ค่า U – value เป็นหลักโดยที่

$$U = 1 / \sum R \text{ มีหน่วยเป็น Btu/h.ft}^2 \text{ .}^{\circ}\text{F}$$

$\sum R$ คือ ผลของค่า R – Value ของเปลือกหุ้มอาคาร

ความจุความร้อน (thermal heat capacity)

วัสดุที่มีความจุความร้อนมากจะดูดและกักเก็บความร้อนไว้ได้มาก ทำให้ความร้อนไหลผ่านในอัตราที่ช้าลง จากผลการวิจัยพบว่าวัสดุที่มีค่าความจุความร้อนต่างกันแต่มีความเข้มของสีและลักษณะพื้นผิวเหมือนกัน วัสดุที่มีมวลสารมากกว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ผิวนอกช้ากว่าและแตกต่างระหว่างอุณหภูมิผิวสูงสุดและอุณหภูมิต่ำจะมีค่าน้อยกว่าวัสดุที่มีมวลสารน้อย ความร้อนที่สะสมในวัสดุที่มีมวลสารน้อยจะมีไม่มากเท่ากับในวัสดุที่มีมวลสารมาก ดังนั้นเมื่อไม่มีอิทธิพลจากดวงอาทิตย์แล้วความร้อนที่สะสมอยู่ภายในวัสดุนั้นจะเริ่มคายความร้อนออกสู่ภายนอก วัสดุที่มีมวลสารมากจะมีอุณหภูมิผิวที่สูงที่สุด (วันเอก กิจสมใจ, 2539)

การหน่วงเวลาหรือการหน่วงเหนี่ยวความร้อน (time leg)

โดยปกติแล้ววัสดุที่มีมวลสารมากจะมีค่าการหน่วงเหนี่ยวความร้อนไว้ได้นานกว่า วัสดุที่มีมวลสารน้อยกว่า แต่ในสภาพการใช้งานจริงการหน่วงเหนี่ยวความร้อนของวัสดุขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายประการ ที่สำคัญคือ ปริมาณความร้อนที่มากพอที่จะทำให้วัสดุในแต่ละชั้นร้อนขึ้นจนถึงจุดอิ่มตัว ก่อนที่จะถ่ายเทเข้าไปในอาคารต่อไป

ค่าการถ่ายความร้อนให้กับอากาศโดยตรงโดยการพาความร้อน (surface air conduction)

การถ่ายเทความร้อนโดยวิธีนี้จะขึ้นอยู่กับความเร็วลมที่พัดผ่าน และลักษณะของพื้นผิว อิทธิพลในส่วนนี้จะมีความน้อยมากในกรณีที่วัสดุนั้นมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนต่ำ อิทธิพลนี้จะมีความมากขึ้นในกรณีที่วัสดุนั้นมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูงขึ้น

ค่าการดูดกลืนและการกระจายพลังงานความร้อนของวัสดุ (surface absorption and surface emission)

โดยปกติแล้วหากวัสดุมีสีธรรมชาติหรือสีของวัสดุตามธรรมชาติ ค่า surface emission จะค่อนข้างสูง ประมาณ 0.8 – 0.9 นอกจากนั้นจะเป็นสีชนิดพิเศษ (selective coating) อาจมีค่าการดูดกลืนความร้อนต่ำ แต่ก็มีค่าสัมประสิทธิ์การกระจายความร้อนสูง จะทำให้ผิวของวัสดุเย็นกว่าปกติสำหรับค่าการดูดกลืนความร้อนส่วนใหญ่มักจะแปรตรงตามความเข้มของสีผิว คือ ถ้ามีสีเข้มมาก ก็จะถูกดูดกลืนความร้อนสูง

2.3 การถ่ายเทความร้อนผ่านช่องอากาศ

การถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารมีด้วยกัน 3 ลักษณะ คือ (ธนิต จินดาวงนิค, 2540)

- การนำความร้อน (conduction) คือ การถ่ายเทความร้อนระหว่างโมเลกุลที่อยู่ติดกัน แม้ว่าโมเลกุลจะอยู่ในสภาพเดียวกันหรือสสารสองชนิดที่สัมผัสกันโดยตรง

- การพาความร้อน (convection) คือ การถ่ายเทพลังงานความร้อนที่เกิดจากการเคลื่อนไหวยของก๊าซ หรือ ของเหลวที่มีอุณหภูมิ หรือ ความหนาแน่นแตกต่างกัน ของเหลวจะเป็นตัวพาความร้อนให้เคลื่อนที่

- การแผ่รังสีความร้อน (radiation) คือ การที่พลังงานความร้อนเคลื่อนที่โดยตรงในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic waves) จากผิวที่ร้อนกว่าผ่านตัวกลางโปร่งใสหรือสุญญากาศไปสู่ผิวที่เย็นกว่าโดยไม่ต้องอาศัยตัวกลาง สสารทุกชนิดสามารถแผ่รังสีความร้อนออกมาได้มากน้อยต่างกันโดยขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและลักษณะของผิววัตถุ

หลังคาเป็นพื้นผิวอาคารที่รับแสงอาทิตย์อยู่ตลอดเวลา แสงอาทิตย์ส่วนใหญ่จะถูกดูดซึม โดยหลังคาและส่งผ่านพลังงานความร้อนลงมาสู่ด้านล่างโดยการแผ่รังสีความร้อนจากหลังคาเท่านั้นเนื่องจากมีช่องอากาศระหว่างวัสดุผนังหลังคา จึงไม่มีการถ่ายเทความร้อนโดยการนำ และเนื่องจากอากาศร้อนจะลอยตัวขึ้นข้างบนทำให้ไม่มีการถ่ายเทความร้อนด้วยการพาด้วยเช่นกัน ถ้าทำการติดตั้งวัสดุป้องกันการแผ่รังสีความร้อนในช่องอากาศระหว่างหลังคาและฝ้าเพดานก็จะช่วยป้องกันการแผ่รังสีได้ การติดตั้งวัสดุป้องกันการแผ่รังสีความร้อนในช่องหลังคาสามารถติดตั้งได้ 3 แห่ง คือ (ธนิต จินดาวณิก, 2540)

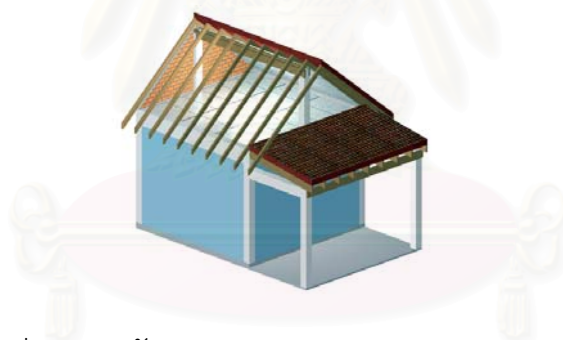
1. บนโครงหลังคาหรือใต้วัสดุผนังหลังคา
2. ใต้โครงหลังคา
3. ด้านบนของฝ้าเพดาน

ประสิทธิภาพในการป้องกันรังสีความร้อนหลังจากทำการติดตั้งไม่นานจะให้ผลเหมือนกันแต่เมื่อใช้งานไปนานๆ วิธีการติดตั้งวัสดุป้องกันการแผ่รังสีความร้อนที่โครงหลังคาหรือฝ้าเพดานโดยหันด้านมันหรือด้านที่เป็นฟอยด์หันขึ้นด้านบน ประสิทธิภาพในการป้องกันรังสีความร้อนจะลดลงไปเรื่อยๆ ทั้งนี้เนื่องจากฝุ่นละอองจะไปสะสมอยู่บนผิวของฟอยด์ จึงทำให้ฟอยด์ทำหน้าที่ดูดซึมรังสีความร้อนแทนที่จะทำหน้าที่สะท้อนรังสีความร้อน ในการติดตั้งวัสดุป้องกันการรังสีความร้อนควรติดตั้งโดยหันด้านที่เป็นฟอยด์ลงสู่ด้านที่เป็นช่องอากาศ ฟอยด์จะไม่แผ่รังสีความร้อนที่ได้รับจากหลังคาไปสู่ฝ้าเพดานหรือฉนวนบนฝ้าเพดานที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าและฝุ่นก็ไม่สามารถสะสมบนผิวของฟอยด์ได้

การติดตั้งวัสดุป้องกันการแผ่รังสีความร้อนที่ใต้โครงหลังคาหรือฉนวนกันความร้อนสามารถใช้ฟอยด์ชนิด 2 หน้าได้ทำให้เกิดการแบ่งช่องว่างที่สามารถออกแบบให้ระบายลมขึ้นระหว่างวัสดุป้องกันการแผ่รังสีความร้อนกับหลังคาที่ร้อน และช่องใต้หลังคา ซึ่งจะช่วยให้อุณหภูมิของช่องใต้หลังคาใกล้เคียงกับอุณหภูมิของห้องที่อยู่ใต้ฝ้าเพดาน การติดตั้งวัสดุป้องกันการแผ่รังสีความร้อนด้านบน

ของโครงหลังคาหรือใต้วัสดุผนังอาจจะกระทำได้สะดวกกว่า ก่อนวางวัสดุผนังหลังคาควรติดตั้งให้แผ่นพอยด์ห้อยต่ำลงมาประมาณ 1.5 – 2 นิ้วจากด้านบนของโครงหลังคาเพื่อทำให้เกิดช่องอากาศระหว่างวัสดุผนังและพอยด์และจากการวิจัยพบว่าการใช้แผ่นอลูมิเนียมพอยด์ติดตั้งในส่วนองใต้กระเบื้องหลังคาจะช่วยลดอุณหภูมิใต้ผิวกระเบื้องได้ประมาณ 7 – 8 องศาเซลเซียส และการติดตั้งแผ่นฝ้าเพดานวางในแนวระนาบจะช่วยลดอุณหภูมิใต้ผิวฝ้าเพดานได้ถึง 4 องศาเซลเซียส แต่เมื่อระยะเวลาผ่านไปจะมีฝุ่นมาเกาะบริเวณผิวหน้าของพอยด์ทำให้ลดคุณสมบัติในการสะท้อนความร้อนของพอยด์ลงทำให้สามารถลดอุณหภูมิใต้ฝ้าเพดานได้เพียง 1 องศาเซลเซียสเท่านั้น (ไซติวิทย์พงษ์เสริมผล, 2540)

ระบบการติดตั้งวัสดุป้องกันการแผ่รังสีความร้อนไม่จำเป็นต้องป้องกันไม่ให้มีอากาศไหลเวียน เนื่องจากรังสีความร้อนเดินทางเป็นเส้นตรงผ่านที่ว่าง ไม่ใช่เดินทางผ่านอากาศ การติดตั้งวัสดุป้องกันการแผ่รังสีความร้อนมีจุดประสงค์เพื่อป้องกันรังสีความร้อน ไม่ใช่ป้องกันการพาความร้อน ดังนั้นรูรั่วตามแผ่นพอยด์จะไม่ทำให้ประสิทธิภาพของพอยด์ลดลง และการที่มีการระบายอากาศใต้หลังคาจะช่วยให้ระบบสามารถป้องกันรังสีความร้อนได้ดีขึ้น (ธนิต จินดาวนิก, 2540)



รูปที่ 2.1 แสดงส่วนของหลังคา

2.4 อุณหภูมิในช่องอากาศใต้หลังคา (attic temperature)

ช่องอากาศใต้หลังคา (attic) คือ พื้นที่ที่มีระยะห่างประมาณ 1 ฟุตหรือมากกว่านั้น พื้นที่นี้จะอยู่ระหว่างเพดานกับหลังคา การคำนวณหาอุณหภูมิอากาศในช่องอากาศใต้หลังคาสามารถหาได้จากสมการ (ASHRAE, 1989)

$$t_a = A_c U_c t_c + t_o (\rho C_p A_c Q_c + A_r U_r + A_w U_w + A_g U_g)$$

$$A_c (U_c + \rho C_p Q_c) + A_r U_r + A_w U_w + A_g U_g$$

โดยที่

ρC_p = ความหนาแน่นของอากาศคูณด้วยค่า specific heat = 0.018 Btu/ft³ · °F

t_a = อุณหภูมิอากาศ (°F)

t_c = อุณหภูมิอากาศภายใน ในตำแหน่งบนสุดของเพดาน (°F)

t_o = อุณหภูมิอากาศภายนอก (°F)

A_c = พื้นที่ของเพดาน (ft²)

A_r = พื้นที่ของหลังคา (ft²)

A_w = พื้นที่สุทธิของผนังในแนวตั้งในช่องอากาศ (ft²)

A_g = พื้นที่ส่วนที่เป็นกระจกในช่องอากาศ (ft²)

U_c = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของเพดาน (Btu/h. ft² · °F)

U_r = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของหลังคา (Btu/h. ft² · °F)

U_w = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนังในแนวตั้ง (Btu/h. ft² · °F)

U_g = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของกระจก (Btu/h. ft² · °F)

Q_c = อัตราการไหลของอากาศเข้ามาภายในช่องอากาศต่อพื้นที่ของเพดาน (cfm/ft²)

2.5 ความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศภายนอกและภายในหลังคา

จากกฎข้อที่ 2 ของการเคลื่อนที่ของความร้อน (Thermodynamics) ความร้อนจะไม่สามารถเคลื่อนที่จากจุดที่เย็นกว่าไปสู่จุดที่ร้อนกว่าได้เองโดยธรรมชาติ โดยปราศจากแรงกระทำจากภายนอก ฉะนั้นเมื่ออุณหภูมิภายในและภายนอกอาคารมีค่าแตกต่างกันมากยิ่งขึ้นไม่ว่าจะเป็นส่วนหลังคา ผนังหรือพื้นของอาคารก็จะทำให้ความร้อนถ่ายเทเข้าไปสู่ในพื้นที่ที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าและถ้าเกิดในอาคารนั้นมีการปรับอากาศก็ยิ่งทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนมากยิ่งขึ้นด้วย

เมื่อหลังคาเป็นส่วนที่ได้รับแสงอาทิตย์มากที่สุดก็ย่อมจะเกิดความร้อนมากขึ้นเช่นกันทั้งอิทธิพลจากแสงอาทิตย์โดยตรง อิทธิพลจาก sol-air temperature อิทธิพลจากมวลสารเป็นต้น อิทธิพลเหล่านี้ส่งผลทำให้ผิวหลังคามีอุณหภูมิสูงขึ้นกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกและอุณหภูมิช่องอากาศใต้หลังคาเป็นอย่างมาก ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในช่องอากาศใต้หลังคา เมื่ออุณหภูมิอากาศภายในช่องใต้หลังคาสูงขึ้นก็จะถ่ายเทไปสู่แผ่นฝ้าเพดานและจากฝ้าเพดานก็จะถ่ายเทเข้าไปสู่พื้นที่ใช้สอยภายในอาคารที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าด้วยเหตุนี้จึงทำให้ภายในห้องมีอุณหภูมิสูงขึ้นตามไปด้วย ถ้าในส่วนของฝ้าเพดานไม่มีฉนวนป้องกันความร้อนติดตั้งอยู่ก็จะทำให้ร้อนมากขึ้นไปอีก

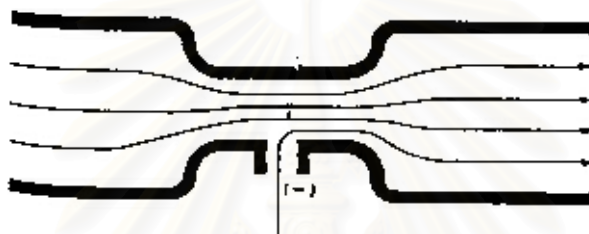
จากสมการ $Q = U \cdot A \cdot \Delta T$ จะสามารถวิเคราะห์ได้ว่าถ้ายังมีความแตกต่างของอุณหภูมิมากขึ้นเท่าไรความร้อนก็จะถ่ายเทได้มากขึ้นเท่านั้น การทำให้เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิจากช่องอากาศใต้หลังคาไปสู่อากาศภายในพื้นที่ใช้สอยของอาคารให้น้อยที่สุด จะเป็นการลดการถ่ายเทความร้อนได้มากที่สุดนับว่าเป็นเรื่องที่น่าสนใจเรื่องหนึ่ง



รูปที่ 2.2 แสดงภายในส่วนของหลังคา

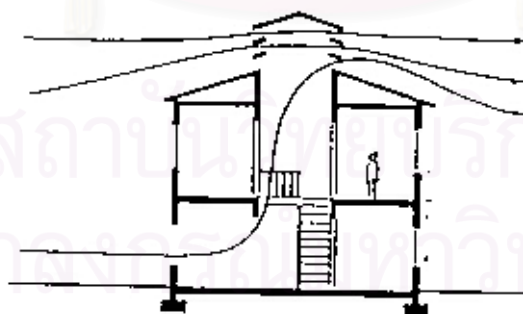
2.6 Bernoulli Effect

เป็นวิธีการเพิ่มอัตราความเร็วของของไหลโดยที่ความกดอากาศลดลง ปรากฏการณ์นี้สามารถนำมาใช้ได้ผลอย่างดียิ่งในอาคารหรือหลังคา โดยใช้การออกแบบให้มีรูปร่างของ Venturi Tube หรือมีความสูงเพียงครั้งเดียวก็ได้ ความเร็วของลมจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อความสูงจากพื้นดินเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อความสูงจากพื้นดินเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นความกดอากาศที่สันหลังคาจะน้อยกว่าบริเวณหน้าต่างที่อยู่บริเวณหน้าต่างที่อยู่ใกล้กับพื้นดิน ด้วยเหตุนี้ถึงแม้ว่าจะไม่ได้ใช้รูปทรงของ Venturi Tube แต่ Bernoulli Effect ก็สามารถระบายอากาศไปตามช่องเปิดของหลังคาได้



รูปที่ 2.3 แสดงวิธีการของ Venturi Tube

ที่มา : Lechner, N. Heating, Cooling, Lighting, Design Methods for Architects. (New York : John Wiley & Sons, 1991.), p. 185.



รูปที่ 2.4 แสดงการนำ Bernoulli Effect มาใช้กับอาคาร

ที่มา : Lechner, N. Heating, Cooling, Lighting, Design Methods for Architects. (New York : John Wiley & Sons, 1991.), p. 186.

2.7 การระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติ (natural ventilation)

การระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติเป็นการนำอากาศให้เคลื่อนที่ไปด้วยอัตราที่ช้า โดยที่การเคลื่อนที่ที่เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิ ความกดอากาศหรือการเคลื่อนไหวของลม การระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาตินี้ได้รวมเอาวิธี cross ventilation และ stack effect เข้าไปด้วยทั้ง 2 วิธี

การระบายอากาศในลักษณะนี้จะมีข้อจำกัดค่อนข้างมากและไม่สามารถที่จะควบคุมประสิทธิภาพได้แน่นอน เช่น ช่องเปิดต่างๆอาจจะต้องเปิดทิ้งไว้ตลอดเวลาถ้าปิดช่องเหล่านั้นแล้วประสิทธิภาพก็จะลดลง หรืออาจจะขึ้นอยู่กับสภาพอากาศภายนอกว่าเหมาะสมที่จะนำมาใช้หรือไม่ ในช่วงเวลาใดบ้าง การระบายอากาศไม่ใช่เป็นการลดความร้อนที่เกิดจากการแผ่รังสี แต่เป็นการลดอุณหภูมิบริเวณผิวหน้าของวัสดุ ซึ่งจะช่วยให้ลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร การระบายอากาศในพื้นที่ใต้หลังคาที่ใช้แนวคิดนี้ คือ จะสามารถช่วยทำให้อุณหภูมิในช่องอากาศใต้หลังคาลดลงและจะช่วยลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร

PART A. NONREFLECTIVE SURFACES										
Sol-Air Temp., °F	No Ventilation ^b		Natural Ventilation			Power Ventilation ^c				
	Ventilation Rate, cfm/ft ²									
	0		0.1 ^a	0.5		1.0			1.5	
	Ceiling Resistance, R ^c , ft ² · ft ² · h/Btu									
	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20
120	1.9	1.9	2.8	3.4	6.3	9.3	9.6	16	11	20
140	1.9	1.9	2.8	3.5	6.5	10	9.8	17	12	21
160	1.9	1.9	2.8	3.6	6.7	11	10	18	13	22
120	1.9	1.9	2.5	2.8	4.6	6.7	6.1	10	6.9	13
140	1.9	1.9	2.6	3.1	5.2	7.9	7.6	12	8.6	15
160	1.9	1.9	2.7	3.4	5.8	9.0	8.5	14	10	17
120	1.9	1.9	2.2	2.3	3.3	4.4	4.0	6.0	4.1	6.9
140	1.9	1.9	2.4	2.7	4.2	6.1	5.8	8.7	6.5	10
160	1.9	1.9	2.6	3.2	5.0	7.6	7.2	11	8.3	13
PART B. REFLECTIVE SURFACES ^a										
120	6.5	6.5	8.1	8.8	13	17	17	25	19	30
140	6.5	6.5	8.2	9.0	14	18	18	26	20	31
160	6.5	6.5	8.3	9.2	15	18	19	27	21	32
120	6.5	6.5	7.5	8.0	10	13	12	17	13	19
140	6.5	6.5	7.7	8.3	12	15	14	20	16	22
160	6.5	6.5	7.9	8.6	13	16	16	22	18	25
120	6.5	6.5	7.0	7.4	8.0	10	8.5	12	8.8	12
140	6.5	6.5	7.3	7.8	10	12	11	15	12	16
160	6.5	6.5	7.6	8.2	11	14	13	18	15	20

ตารางที่ 2.2 แสดง Effective Thermal Resistance of Ventilated Attic(Summer Condition)

ที่มา : American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineerings. 1989 ASHRAE Handbook Fundamentals. I-P Edition. (Atlanta Georgia, 1989.) , p.22.11.

2.8 การระบายอากาศโดยการอาศัยความแตกต่างของความกดอากาศ (cross ventilation

เป็นการนำเอาอากาศภายนอกที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าภายในอาคาร ผ่านเข้ามาให้มากที่สุด โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะทำให้ผู้ที่ใช้สอยในอาคารเกิดความรู้สึกสบาย การระบายอากาศในลักษณะนี้จะเน้นความสำคัญที่ขนาดของช่องเปิด และตำแหน่งการเปิดเพื่อที่จะบังคับลมให้เข้ามามากที่สุด ปริมาณกระแสลมที่เกิดขึ้นภายในอาคารเนื่องจาก wind force (ASHRAE, 1989)

$$Q = C_4 C_v A V$$

Q = อัตราการไหลของอากาศ (cfm)

C_4 = unit conversion factor = 88.0

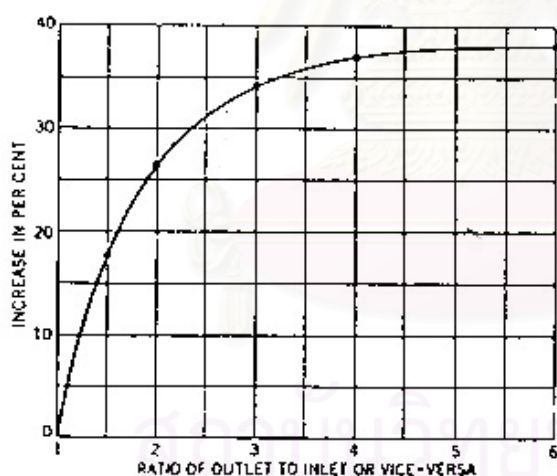
C_v = Effectiveness of openings ที่ปรับสำหรับทิศทางลม

0.5 – 0.6 สำหรับลมที่พัดตั้งฉาก

0.25 – 0.35 สำหรับลมที่พัดทะแยง

A = พื้นที่ช่องเปิดหน้าต่าง (ft^2)

V = ความเร็วลม (mph)



แผนภูมิที่ 2.1 แสดงการไหลของอากาศที่เพิ่มขึ้นจากการเพิ่มขนาดช่องเปิดในอัตราส่วนต่างๆ

ที่มา : American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineerings. 1989

ASHRAE Handbook Fundamentals. I-P Edittion. (Atlanta Georgia, 1989.) , p.23.8.

จากแผนภูมิข้างต้นนำมาเปรียบเทียบเป็นตารางได้ดังนี้

Ratio of Outlet to Inlet		Increase in Percent
1 : 1	1 : 1	0
1 : 1.5	1.5 : 1	17.5
1 : 2	2 : 1	26
1 : 2.5	2.5 : 1	31
1 : 3	3 : 1	34
1 : 3.5	3.5 : 1	36
1 ; 4	4 : 1	37
1 : 6	6 : 1	38

ตารางที่ 2.3 แสดงการไหลของอากาศที่เพิ่มขึ้นจากการเพิ่มของขนาดช่องเปิดในอัตราส่วนต่างๆ
ที่มา : Watson, D. Climatic Design : Energy-Efficient Building Principles and Practices.
(New York : McGraw-Hill Book, 1983) , p. 58.

ช่องทางลมเข้าควรจะหันไปทางด้านที่มีลมประจำพัดผ่าน มิฉะนั้นแล้วปริมาณลมที่ได้จะน้อยกว่าการคำนวณ (ASHRAE, 1989) ช่องทางลมที่เข้าควรอยู่ในตำแหน่งตรงข้ามของช่องทางออกในส่วนที่เป็นด้านอับลม, ด้านบนของหลังคา, พื้นที่ที่เป็น Low Pressure เป็นต้น

จากการศึกษาเรื่องของพื้นที่ทางลมเข้าและทางลมออกพบว่า (Givoni, B., 1969)

1. พื้นที่ทางลมเข้าและทางลมออกที่เท่ากันจะทำให้เกิดปริมาณการไหลของอากาศมากที่สุด
2. พื้นที่ทางลมน้อยกว่าทางลมออกจะทำให้เกิดกระแสลมที่แรงมากขึ้นแต่ไม่เหมาะในการใช้งานหลังคา แต่ในการระบายอากาศในอาคารสามารถใช้ได้ในบางพื้นที่
3. พื้นที่ทางลมเข้ามากกว่าทางลมออกจะเกิดกระแสน้อยที่สุดแต่จะมีความสม่ำเสมอของปริมาณลมตลอดเวลา (ASHRAE, 1989)

ในการที่จะทำให้เกิดการระบายอากาศใต้หลังคาที่ดันทันควรจะใช้พื้นที่ทางลมเข้าและทางลมออกที่เท่ากัน

2.9 การพาความร้อน (convection)

เป็นการเคลื่อนที่ของอากาศโดยที่การเคลื่อนที่สามารถเกิดขึ้นได้เองเนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิหรือการเกิดขึ้นโดยใช้เครื่องจักรกล อัตราในการพาความร้อนขึ้นอยู่กับ (Koenigsberger, 1973)

1. ความแตกต่างของอุณหภูมิ
2. ความเร็วในการเคลื่อนที่ของอากาศ
3. ความร้อนจำเพาะและความหนาแน่นของอากาศ

Forced convection

เป็นการเกิดการเคลื่อนที่ของอากาศที่เกิดจากความแตกต่างของความกดอากาศหรือเกิดขึ้นจากแรงกระทำภายนอก เช่น จากพัดลมหรือปั๊ม โดยที่การเกิดจะไม่ขึ้นกับแรงโน้มถ่วงหรือการลอยตัวของอากาศและสามารถเกิดขึ้นได้ทุกทิศทุกทาง

การทำความเย็นโดยการพาความร้อน (convection cooling)

เป็นวิธีการทำความเย็นให้กับอาคารโดยการดึงเอาอากาศภายนอกที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าเข้ามาแทนที่อากาศภายในอาคารที่มีอุณหภูมิสูงกว่า ส่วนใหญ่มักจะใช้ในอาคารที่ไม่มีการปรับอากาศ เนื่องจากการนำอากาศภายนอกเข้ามาภายในอาคารที่มีการปรับอากาศจะต้องระวังเรื่องความชื้นเป็นอย่างมากเพราะอากาศภายนอกมีความชื้นมากกว่าอากาศภายในอาคารที่ปรับอากาศแล้ว อาจจะเป็นการทำให้เพิ่มภาระการปรับอากาศของเครื่องปรับอากาศให้มากขึ้นไปอีก อัตราการเคลื่อนย้ายความร้อนที่เกิดจากการพาความร้อนมีสูตรที่ใช้ในการคำนวณดังนี้

(ASHRAE, 1989)

$$q_s = 60 Q \rho C_p \Delta T$$

q_s = ปริมาณความร้อนที่อากาศสามารถไปได้ (Btu / h)

Q = อัตราการไหลของอากาศ (cfm)

60 = จำนวนนาทีใน 1 ชั่วโมง

ρ = ความหนาแน่นของอากาศ (lbm / ft³) มีค่าประมาณ 0.075 lbm / ft³

C_p = ความร้อนจำเพาะของอากาศ (Btu / lb °F) มีค่าประมาณ 0.24 Btu / lb °F

ΔT = ความแตกต่างของอุณหภูมิของอากาศภายในและภายนอก (°F)

จากการวิจัยโดยการเปรียบเทียบอุณหภูมิหลังคาภายในหลังคาแบบปิดและหลังคาที่มีระบบการระบายอากาศของอาคารในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยพบว่าค่าพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาทางหลังคาแบบระบายอากาศลดลงประมาณ 8 % เมื่อเทียบกับหลังคาแบบปิด แต่เมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในห้องแล้วพบว่าในหลังคาที่มีระบบระบายอากาศจะมีอุณหภูมิภายในห้องเสียสูงกว่าในห้องที่ใช้หลังคาแบบปิด แต่การทดลองทั้งสองไม่ได้ทดลองในวันเดียวกันจึงอาจทำให้

เกิดความผิดพลาดของข้อมูลได้ จึงสรุปว่าหลังจากระบบระบายอากาศไม่มีผลต่อการลดอุณหภูมิภายในอาคารในช่วงเวลากลางวันเท่าใดนัก เนื่องจากผลกระทบจากอากาศภายนอกสูงทำให้อุณหภูมิอากาศในพื้นที่ใต้หลังคาแปรผันตามอุณหภูมิอากาศภายนอก (ไซติวิทช์ พงษ์เสริมผล, 2539)

จากการวิจัยพบว่าในช่วงเวลากลางวันหลังคาที่มีการระบายอากาศบริเวณชายคา โดยการเปิดโล่งจะทำให้อุณหภูมิใต้ช่องหลังคาต่ำที่สุด ส่วนการใช้ไม้ระแนงตีตามยาว ตีตามขวาง การเจาะบานเกล็ดที่หน้าจั่วและการปิดที่บจะให้ผลที่แย่งตามลำดับ โดยที่ในช่วง 12.00 – 17.00 น. ซึ่งเป็นค่าที่มี wind speed สูง จะทำให้ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิอากาศในพื้นที่ใต้หลังคามีค่าใกล้เคียงกันกับอุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศภายนอก ในช่วงเวลากลางคืนอุณหภูมิในช่องอากาศจะมีค่าเฉลี่ยสูงกว่าอุณหภูมิของอากาศภายนอกทั้งนี้เนื่องมาจากการที่มีความเร็วลมไม่เพียงพอในการที่จะระบายอากาศร้อนออกไปและเป็นผลที่เกิดจากการหน่วงเหนี่ยวความร้อนของวัสดุผนังหลังคาที่ถ่ายเทลงสู่พื้นที่ใต้หลังคา การระบายอากาศที่ดีนอกจากจะช่วยในการลดอุณหภูมิในช่องใต้หลังคาแล้วยังส่งผลในเรื่องของการลดอุณหภูมิใต้ผิวฝ้าเพดานและอุณหภูมิที่กึ่งกลางภายในกล่องทดลองอีกด้วย ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับหลังคาที่ไม่มีการระบายอากาศแล้วความแตกต่างของอุณหภูมิใต้ผิวฝ้าเพดานและอุณหภูมิที่กึ่งกลางภายในกล่องทดลองจะมีมากกว่า (จัญดา บุญเกียรติ, 2539)

และเมื่อสังเกตจากสมการ $Q = U * A * T$ แล้วจะพบว่าการที่เกิดค่าความแตกต่างของอุณหภูมิมากขึ้นเท่าไรก็จะเกิดการถ่ายเทความร้อนมากขึ้นเท่านั้น ฉะนั้นการใช้วิธีการระบายอากาศเพื่อที่จะทำให้อุณหภูมิใต้ผิวฝ้าเพดานและอุณหภูมิที่กึ่งกลางภายในกล่องทดลองต่างกันน้อยที่สุดนั้นก็จะเป็นวิธีการลดการถ่ายเทความร้อนเข้ามายังอาคารได้วิธีหนึ่ง

2.10 Stack effect

ในเรื่องเกี่ยวกับความแตกต่างของความสูงของช่องเปิดจะเกี่ยวข้องกับโดยตรงกับการระบายอากาศโดยใช้ความแตกต่างของอุณหภูมิหรือระบายอากาศด้วยปล่อง (Stack effect) ที่มักใช้ในอาคารหรือหลังคา เป็นการระบายอากาศจากอาคารโดยการพาความร้อนจากธรรมชาติ การระบายอากาศในลักษณะนี้เกิดจากความหนาแน่นของอากาศที่แตกต่างกันระหว่างภายในและภายนอกอาคาร (เกิดเนื่องจากอุณหภูมิโดยที่อุณหภูมิต่ำความหนาแน่นของอากาศจะมากและเมื่ออุณหภูมิสูงความหนาแน่นของอากาศจะลดลง) อากาศที่ร้อนที่เบา ก็จะลอยขึ้นอากาศที่เย็นทางด้านล่างที่หนักกว่าก็จะเข้ามาแทนที่

องค์ประกอบที่จะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของอากาศที่มากขึ้นจะขึ้นอยู่กับ

1. ความแตกต่างของอุณหภูมิมิ่งมากเท่าไรจะทำให้เกิดการลอยตัวมากขึ้น

2. ความสูงระหว่างทางลมเข้าและทางลมออกในแนวตั้ง
3. พื้นที่หน้าตัดของทางลมเข้าและทางลมออก

ข้อดีของ Stack effect ที่มีมากกว่า Bernoulli effect คือ จะไม่ขึ้นอยู่กับลม แต่จะมีข้อเสียคือจะมีแรงกระทำน้อยและจะไม่สามารถระบายอากาศออกไปได้อย่างรวดเร็วนัก อย่างไรก็ตามเราสามารถที่จะนำวิธีการต่างๆ มาผสมผสานกันเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพมากขึ้น เช่นการวางตำแหน่งให้แสงอาทิตย์ส่องมากขึ้นในบริเวณทางออกของช่องอากาศเพื่อช่วยให้เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิมากขึ้น ข้อควรระวังที่จะทำให้ประสิทธิภาพในการระบายอากาศลดลงคือ การเปลี่ยนของทิศทางลมที่ย้อนกลับเข้ามาในช่องลมจะทำให้อากาศร้อนไหลกลับเข้ามาในอาคาร ปริมาณกระแสลมที่เกิดขึ้นภายในอาคารเนื่องจาก Stack effect สามารถคำนวณได้จากสูตรดังนี้ (Bradshaw, V., 1993)

$$Q = 9.4 A \sqrt{H \Delta T}$$

Q = อัตราการไหลของอากาศ (cfm)

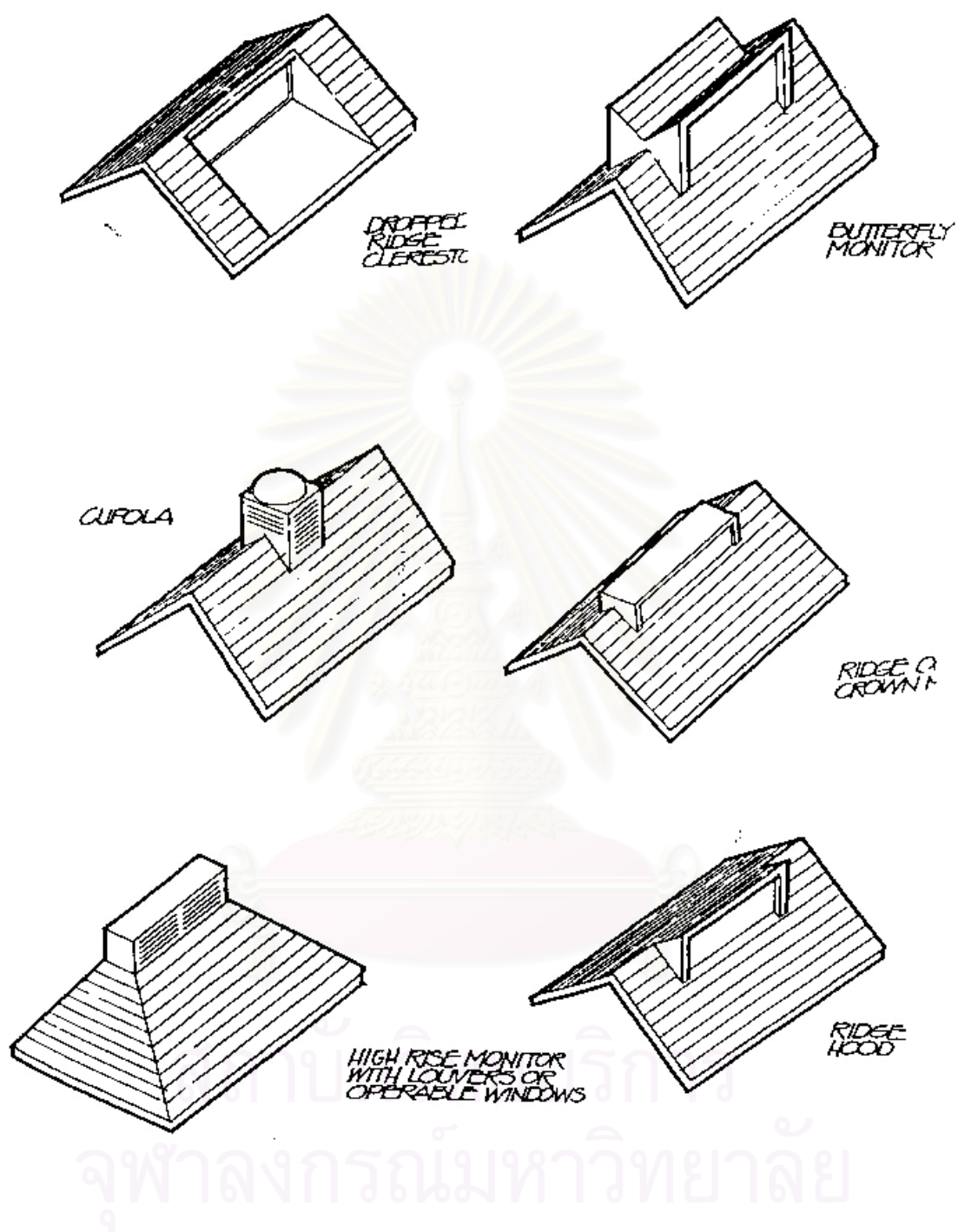
9.4 = ค่าคงที่

A = พื้นที่หน้าตัดปล่อง เลือกละเอินทางด้านที่มีพื้นที่น้อยกว่ามาคำนวณ (ft²)

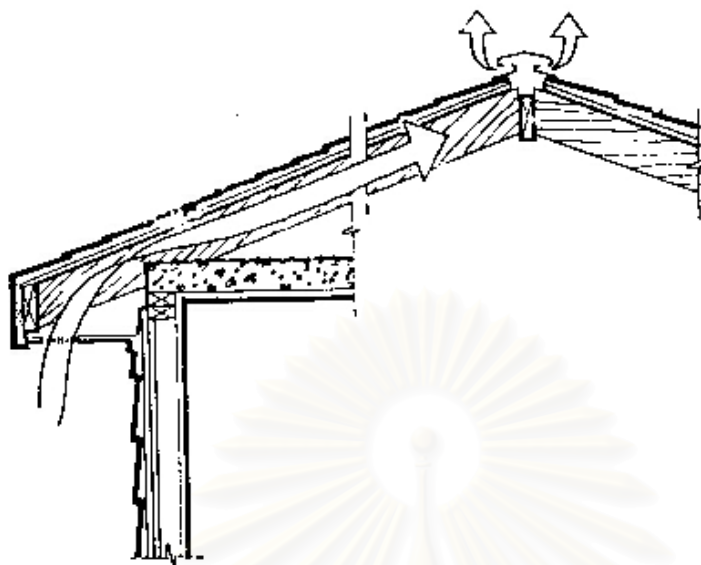
H = ความสูงระหว่างช่องทางเข้าและทางออก (ft)

ΔT = ความแตกต่างของอุณหภูมิของอากาศภายในและภายนอก (°F)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.5 แสดงวิธีการเปิดช่องอากาศด้านบนเพื่อให้เกิดการระบายอากาศ
 ที่มา : Watson, D. Climatic Design : Energy-Efficient Building Principles and Practices.
 (New York : McGraw-Hill Book, 1983) , p. 200,202.

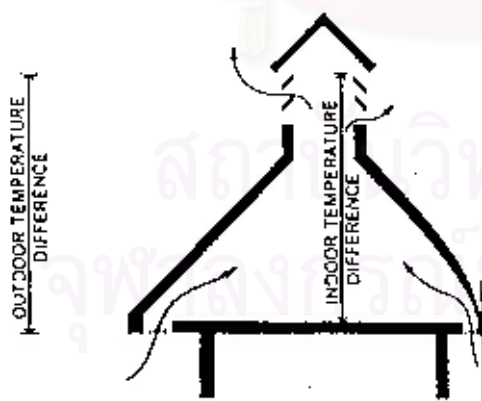


รูปที่ 2.6 แสดงการเจาะช่องใต้ชายคาและด้านบนหลังคา

ที่มา : Watson, D. Climatic Design : Energy-Efficient Building Principles and Practices.

(New York : McGraw-Hill Book, 1983) , p. 114.

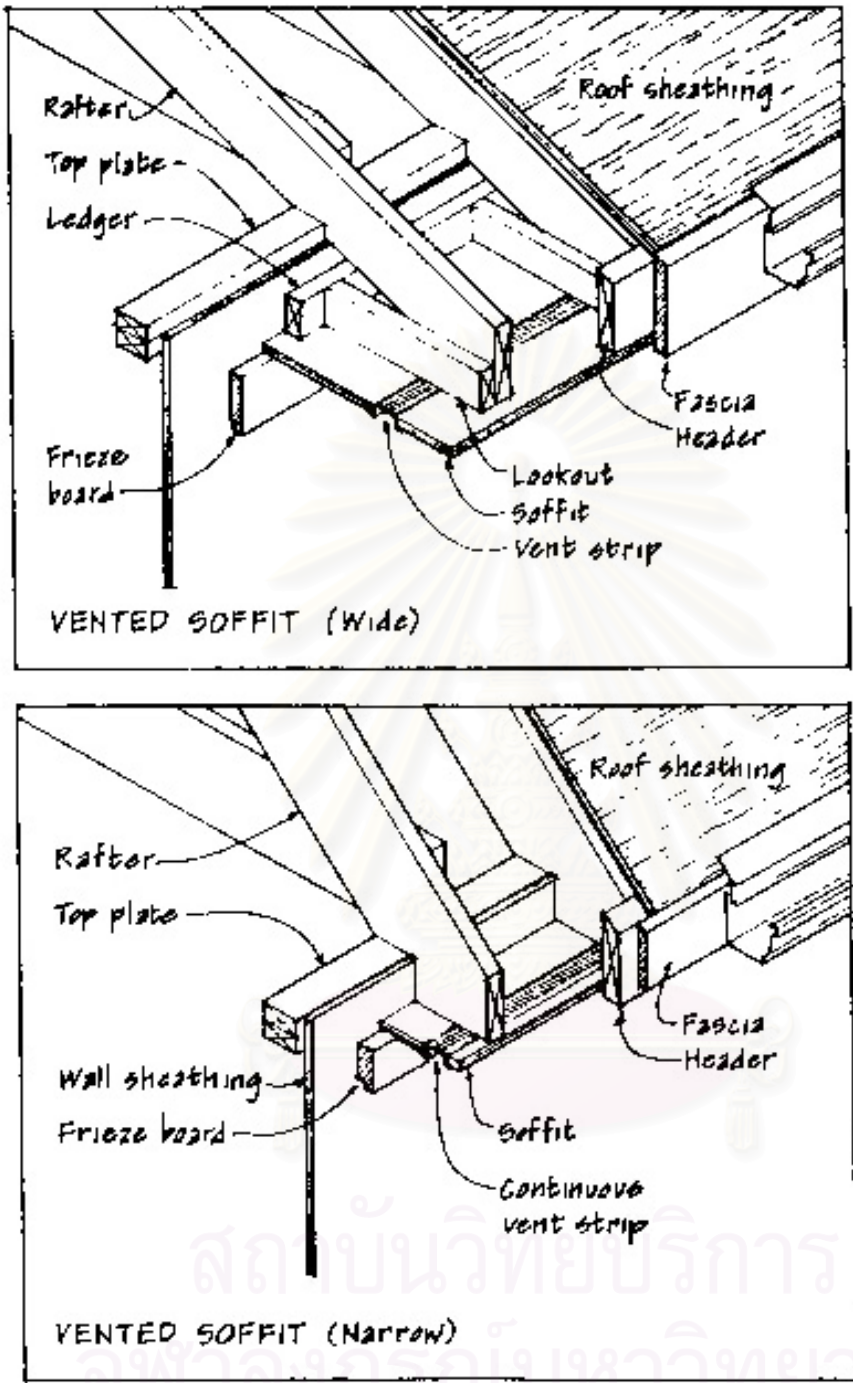
จากรูปที่ 2.6 ในการเปิดช่องเปิดบริเวณใต้ชายคาเพื่อระบายอากาศนั้นควรเว้นให้มีระยะห่างออกมาจากผนังกำแพงเพื่อลดการไหลย้อนกลับขึ้นไปของน้ำฝนอันเนื่องมาจากมีแรงลมมาปะทะ (Watson, 1983)



รูปที่ 2.7 แสดงการนำ Bernoulli Effect มาใช้กับอาคาร

ที่มา : Lechner, N. Heating, Cooling, Lighting Design Methods for Architects. (New York :

John Wiley & Sons, 1991) , p. 186.

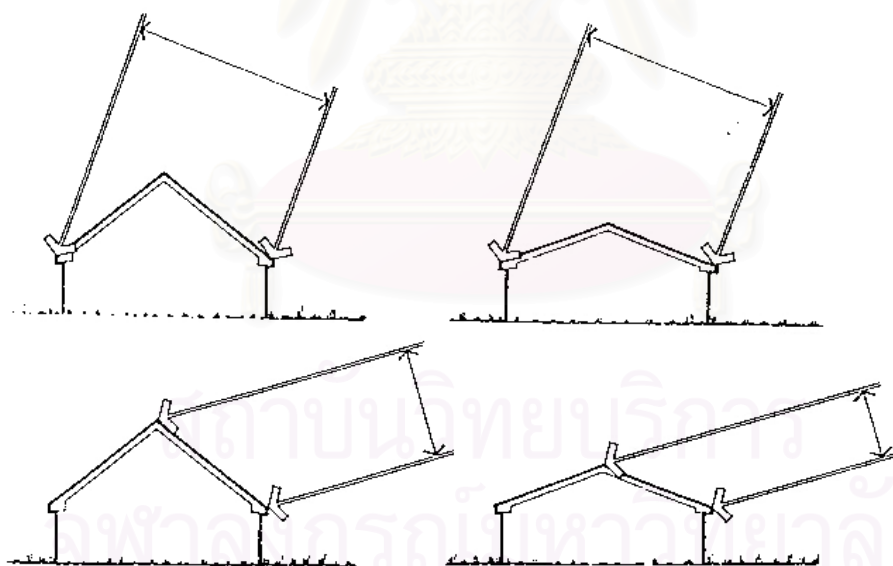


รูปที่ 2.8 แสดงการติดตั้งช่องเปิดระบายอากาศที่ระยะห่างจากผนังแตกต่างกัน
 ที่มา : Ching, D.K. Building Construction Illustrated. 2 nd. Edition (New York : Van
 Nostrand, 1991) , p.6.9.

2.11 มุมเอียงและรูปทรงของหลังคา

จากการวิจัยโดยทดสอบมุมเอียงของหลังคา กับผลของการถ่ายความร้อนเข้าสู่อาคารได้แบ่งมุมของหลังคาที่ทดลองคือ หลังคาราบ เอียง 30 องศา เอียง 45 องศา และเอียง 60 องศาโดยใช้ฝ้าเพดานแนวราบ ผลการทดลองปรากฏว่าหลังคาเอียง 60 องศา มีอุณหภูมิภายในใกล้ช่องทดลอง อุณหภูมิผิวภายนอกและอุณหภูมิผิวใต้ฝ้าเพดานต่ำที่สุดทั้งหมด ทั้งในด้านทิศเหนือและด้านทิศใต้ รองลงมาคือหลังคาเอียง 45 องศา เอียง 30 องศา และหลังคาราบตามลำดับ และเมื่อเปลี่ยนฝ้าเพดานเป็นแนวเอียงก็ยังไม่ให้ผลเช่นเดิม (จุไรพร ตุมพสุวรรณ, 2540) จากผลของการวิจัยเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับบ้านไทยในสมัยก่อนแล้วจะเห็นว่าหลังคาของบ้านไทยในสมัยก่อนนั้นมีความลาดชันมากซึ่งนอกจากจะให้ผลในเรื่องของการป้องกันการรั่วของฝนแล้วยังช่วยในเรื่องการระบายอากาศ และการป้องกันความร้อนได้อย่างดีอีกด้วย แต่ในปัจจุบันหลังคาของบ้านส่วนใหญ่จะมีความลาดชันน้อยหรือเป็นหลังคาราบเสียเป็นส่วนใหญ่ทำให้อุณหภูมิภายในบ้านสูงมากขึ้นจนเลยสภาวะน่าสบาย

อย่างไรก็ตามได้มีการศึกษาพบว่าหลังคาที่มีความลาดชัน 26 องศาเป็นระดับความลาดชันที่ทำให้ลมเคลื่อนที่ได้ดีที่สุด (จัญาดา บุญเกียรติ, 2537)



รูปที่ 2.9 แสดงถึงว่าในช่วงกลางวันรูปทรงของหลังคามีผลกระทบเพียงเล็กน้อยต่อการได้รับอิทธิพลจากแสงอาทิตย์

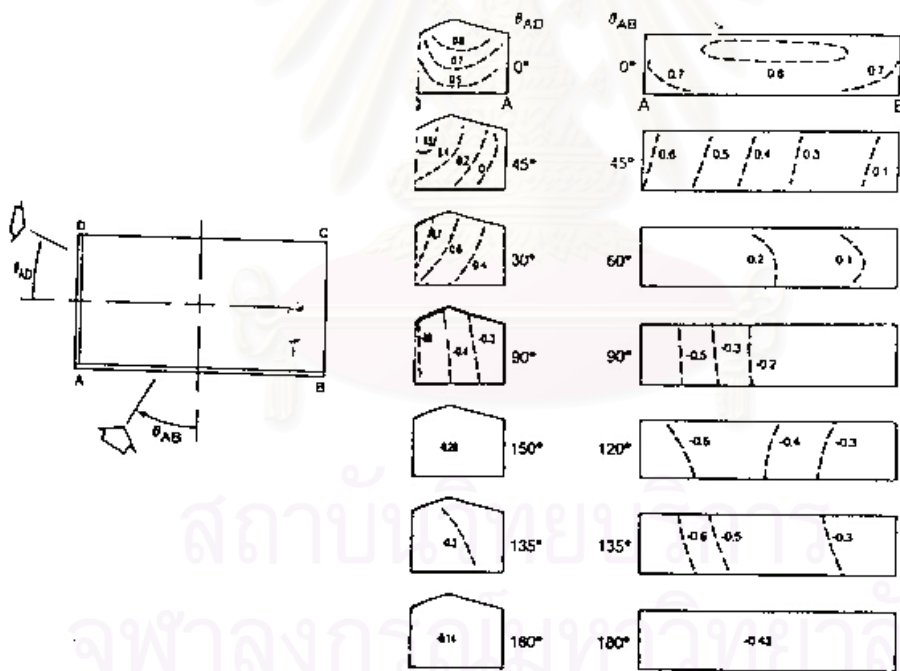
ที่มา : Watson, D. Climatic Design : Energy-Efficient Building Principles and Practices. (New York : McGraw-Hill Book, 1983) , p. 109.

2.12 แรกดอากาศที่กระทำต่อหลังคา (roof pressure)

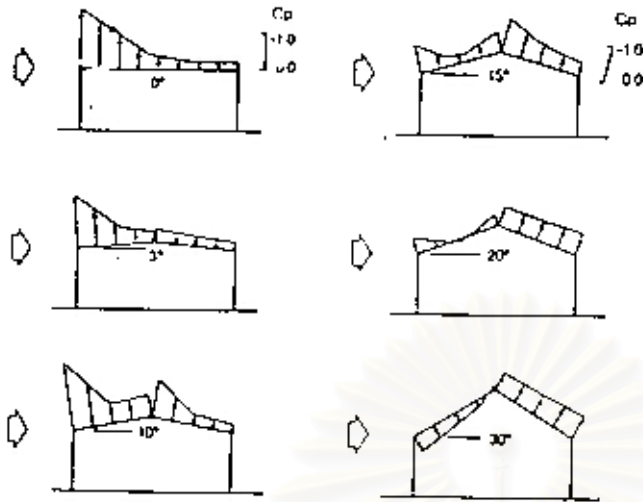
เมื่ออากาศตกกระทบเข้ากับผนังของอากาศก็จะเกิดแรงกดขึ้นและจะทำให้เกิดพื้นที่ positive pressure ขึ้น ในขณะที่เดียวกันอากาศก็ถูกดูดไปยังด้านข้างที่ได้ลมและที่บทำให้เกิดพื้นที่ negative pressure นอกจากนี้การเปียงเบนของทิศลมก็จะทำให้เกิด negative pressure ได้เช่นกันและความกดอากาศจะกระจายตัวไม่สม่ำเสมอ

แรงกดอากาศที่กระทำลงบนหลังคาขนาดเล็กลงของอาคารจะขึ้นอยู่กับความลาดชันของหลังคาเป็นหลัก ในหลังคาที่มีมุมเอียงต่ำมากๆ จะเกิดแรงดูด (negative pressure) ในส่วนของหลังคาทั้งหมด เมื่อหลังคามีมุมเอียงมากขึ้นจะเกิดแรงอัดอากาศทางด้านบวก (positive pressure) บริเวณส่วนของหลังคาด้านหน้าที่ถูกลมปะทะและเกิดแรงดูดทางด้านหลังของหลังคา

เมื่อลมที่พัดเอียงทำมุม 45 องศา กับหลังคาพัดมาปะทะที่มุมของหลังคาที่มีความลาดชันต่ำก็ช่วยเพิ่มพื้นที่ของแรงดูดอากาศให้เพิ่มขึ้น

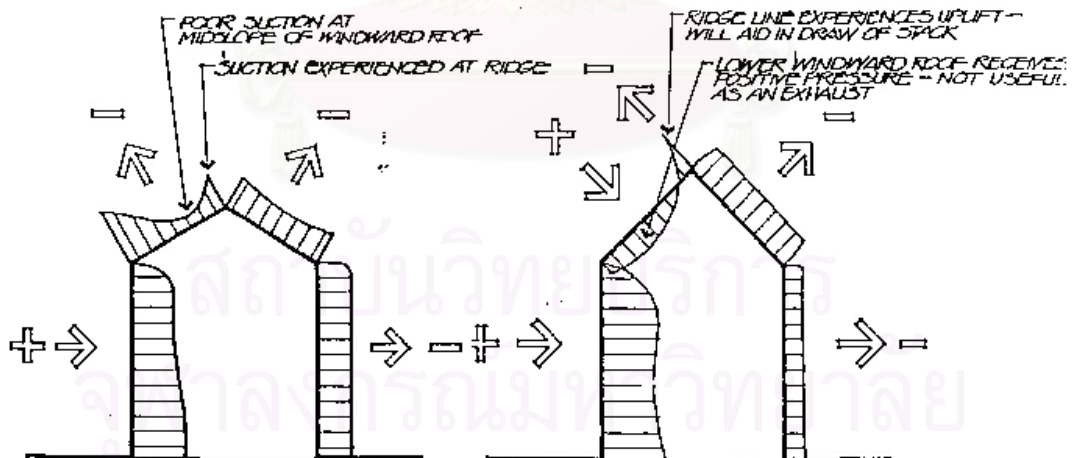


รูปที่ 2.10 แสดง Mean Pressure Coefficient เมื่อมีลมมาปะทะที่มุมแตกต่างกัน
ที่มา : American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineerings. 1989
ASHRAE Handbook Fundamentals. I-P Edition. (Atlanta Georgia, 1989.) , p.14.5.



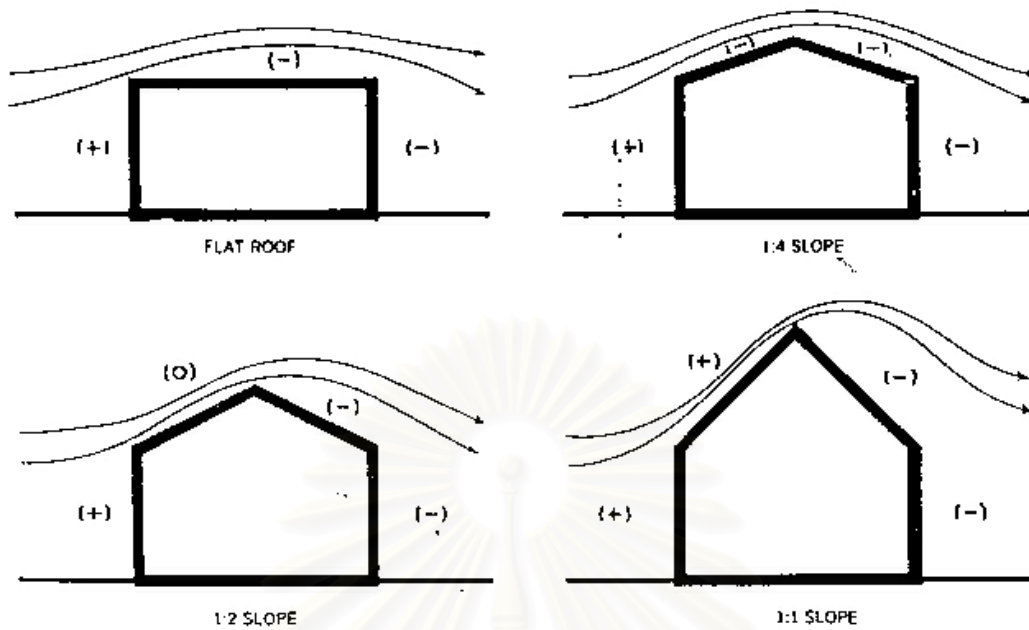
รูปที่ 2.11 แสดง Pressure Coefficient ในมุมเอียงหลังคาที่แตกต่างกัน

ที่มา : American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers. 1989
ASHRAE Handbook Fundamentals. I-P Edition. (Atlanta Georgia, 1989.) , p.14.6.



รูปที่ 2.12 แสดงพื้นที่ของแรงกดอากาศในมุมเอียงหลังคาที่แตกต่างกัน

ที่มา : Watson, D. Climatic Design : Energy-Efficient Building Principles and Practices.
(New York : McGraw-Hill Book, 1983) , p. 200,202.

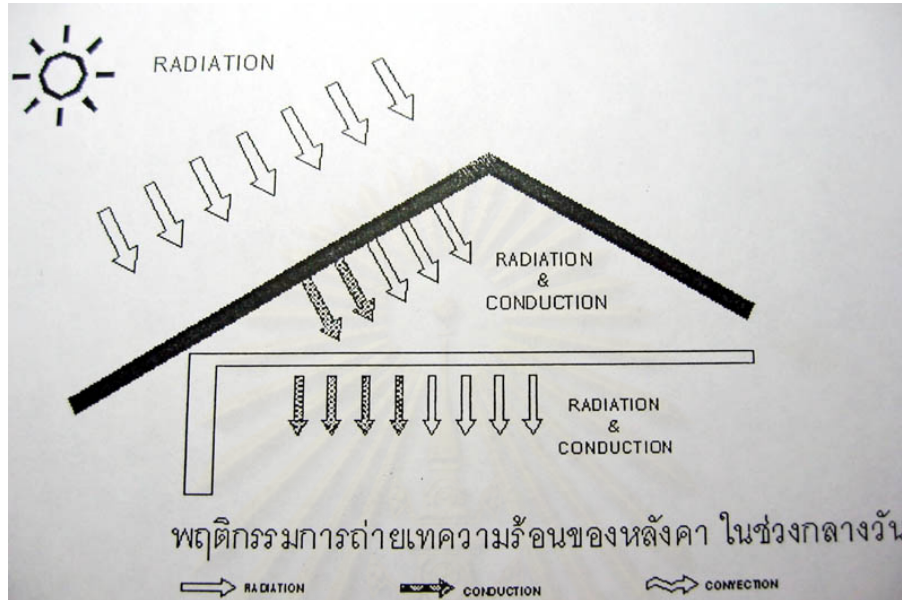


รูปที่ 2.13 แสดงพื้นที่ของแรงกดอากาศที่เป็นบวก (Positive Pressure) และพื้นที่ส่วนที่เป็นแรงดูด (Negative Pressure) ในหลังคาที่มีมุมเอียงต่างกัน
ที่มา : Lechner, N. Heating, Cooling, Lighting Design Methods for Architects. (New York : John Wiley & Sons, 1991) , p. 185.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.13 การวิเคราะห์พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของหลังคาทั่วไป

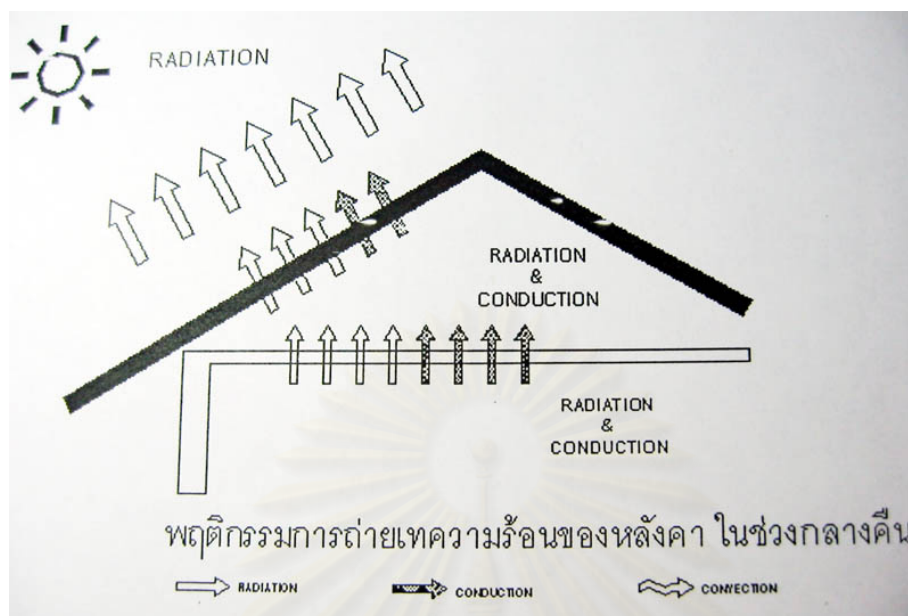
จากการศึกษาพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของหลังคาทั่วไปพบว่า



รูปที่ 2.14 แสดงพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของหลังคาในช่วงกลางวัน

ในช่วงกลางวันหลังคาจะเป็นส่วนที่ได้รับแสงมากที่สุดเกือบตลอดทั้งวัน วัสดุผนังหลังคาจะดูดซับรังสีความร้อนที่มากับดวงอาทิตย์ จึงทำให้อุณหภูมิผิวของวัสดุผนังหลังคาสูงกว่าอุณหภูมิของอากาศภายนอก ความร้อนที่สะสมในวัสดุผนังหลังคาจะถูกถ่ายเทไปยังช่องว่างอากาศใต้หลังคา เมื่อช่องอากาศใต้หลังคามีอุณหภูมิสูงขึ้นก็จะถ่ายเทความร้อนไปสู่ฝ้าเพดานที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า และเมื่อฝ้าเพดานมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิห้อง ก็จะทำให้เกิดการแผ่รังสีความร้อนให้กับห้องส่งผลให้ภายในห้องมีอุณหภูมิสูงขึ้นตามไปด้วย

สถาบันวิทยบริการ
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.15 แสดงพฤติกรรมถ่ายเทความร้อนของหลังคาในช่วงกลางวัน

ในช่วงเวลากลางคืนจะเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนกับท้องฟ้าขึ้น (night sky radiation) ทำให้อุณหภูมิผิวของวัสดุผนังหลังคาภายนอกอาคารเย็นลงกว่าอุณหภูมิของอากาศเนื่องจากอิทธิพลของ sol - air temperature ในส่วนของช่องว่างใต้หลังคาที่มีอุณหภูมิสูงกว่าก็จะสูญเสียความร้อนให้กับผิววัสดุผนังหลังคาภายนอกทำให้ช่องอากาศมีอุณหภูมิลดลง

เมื่อมีความร้อนสะสมในพื้นที่ใต้หลังคามากขึ้นจะส่งผลทำให้อุณหภูมิภายในพื้นที่ใต้หลังคาสูงขึ้นตามไปด้วย เมื่ออากาศร้อนขึ้นความหนาแน่นของอากาศจะน้อยลง อากาศร้อนก็จะลอยตัวขึ้น เมื่อเป็นเช่นนี้หากสามารถทำให้อากาศร้อนที่ลอยตัวอยู่ทางด้านบนระบายออกไปก็จะช่วยลดการสะสมความร้อนในพื้นที่ใต้หลังคา

บทที่ 3

ขั้นตอนในการทำวิจัยและลักษณะทางกายภาพของสถานที่ทดลอง

3.1 ขั้นตอนการทำวิจัย

เนื่องจากงานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงทดลอง (experimental research) จากอาการที่มีการใช้งานจริง มีขั้นตอนในการทำกรวิจัยดังนี้

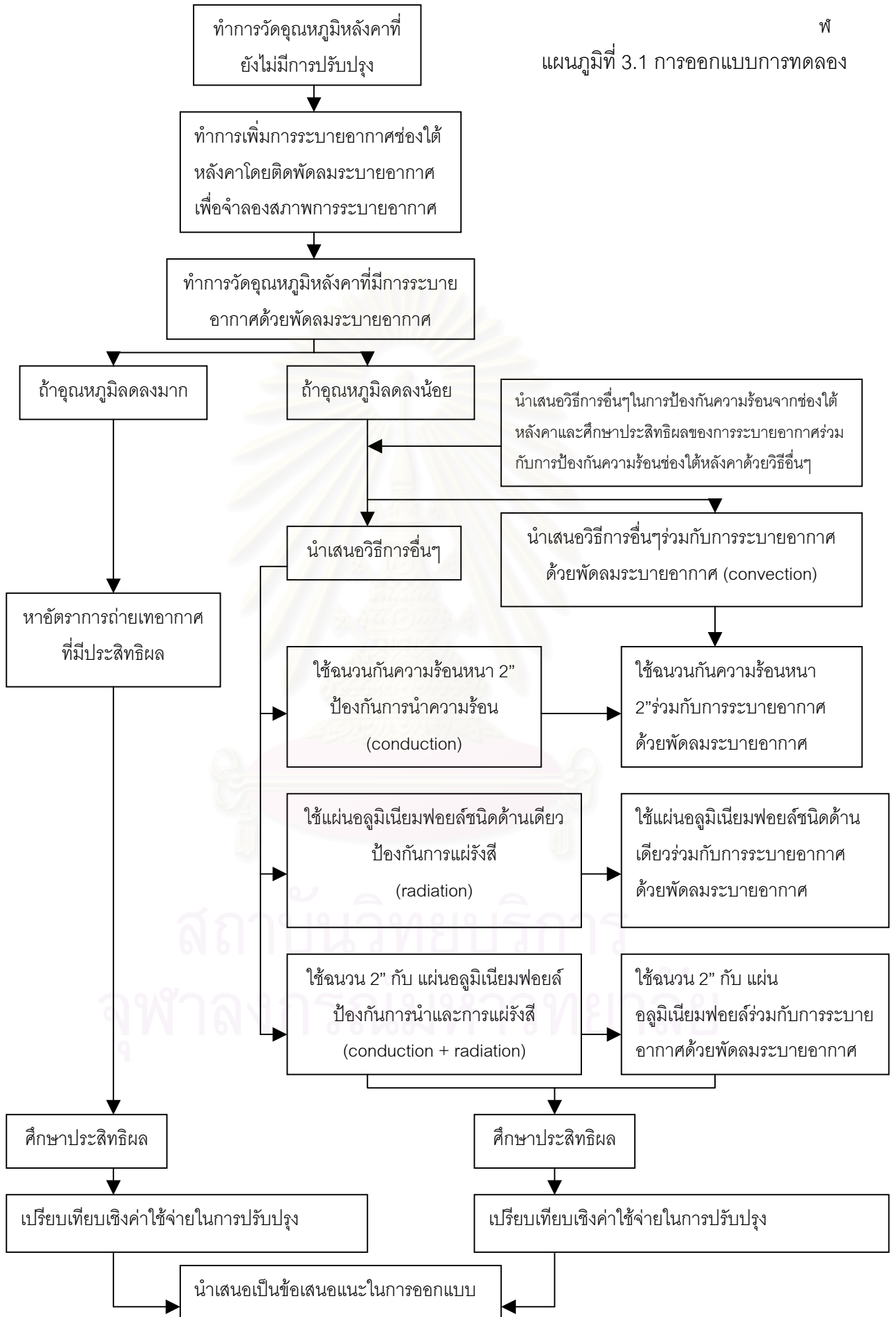
3.1.1 ศึกษาข้อมูลเบื้องต้น

ศึกษาและรวบรวมข้อมูลที่ได้เคยมีผู้ทำการศึกษาไว้ เกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อนผ่านทางหลังคาสู่ตัวอาคาร จากวิทยานิพนธ์และสิ่งพิมพ์ต่างๆทั้งในและต่างประเทศเพื่อเป็นแนวทางในการทำกรวิจัย

3.1.2 แนวความคิดในการออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลองและทำการทดลองเพื่อศึกษาประสิทธิภาพผลการลดการถ่ายเทความร้อนจากหลังคาด้วยวิธีการระบายอากาศช่องใต้หลังคา โดยมีขั้นตอนดังแผนภูมิที่ 3.1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



เนื่องจากงานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงทดลองจากสถานที่จริง (experimental research) ที่จะศึกษาประสิทธิภาพของการออกแบบการระบายอากาศของใต้หลังคาเพื่อป้องกันการถ่ายเทความร้อนจากหลังคา เพื่อหาแนวทางในการออกแบบปรับปรุงช่องใต้หลังคาของอาคารพักอาศัยที่มีอยู่เดิม และเป็นแนวทางในการออกแบบช่องใต้หลังคาของอาคารพักอาศัยที่จะสร้างขึ้น ในการออกแบบการทดลองได้เลือกที่จะทำการทดลองกับอาคารที่ใช้งานอยู่จริงเพื่อดูถึงประสิทธิภาพที่ได้จากอาคารที่ใช้งานจริง โดยอาคารที่เลือกใช้ทำการทดลองเป็นอาคารที่มีหลังคาเป็นหลังคาทรงจั่ว เพื่อให้สามารถทำการทดลองเรื่องการระบายอากาศได้ กระเบื้องมุงหลังคาเป็นการเบียดคอนกรีต (โมเนียร์) เพราะในปัจจุบันมีการใช้หลังคาชนิดนี้เป็นจำนวนมาก โดยพื้นที่ห้องที่ใช้งานด้านล่างมีขนาดไม่ใหญ่มากคือมีขนาด กว้าง 4 เมตร ยาว 4 เมตร สูง 2.40 เมตร เพื่อที่จะสามารถควบคุมการทดลองได้ ในช่องใต้หลังคาควรที่จะมีความแข็งแรงเพียงพอที่จะสามารถเข้าไปทำการติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองได้ ส่วนมุงของหลังคาควรเป็นมุงของหลังคาที่นิยมใช้ในการออกแบบคืออยู่ที่ 40-45 องศา ในการทดลองเรื่องการระบายอากาศจะใช้พัดลมระบายอากาศจำลองสภาพการระบายอากาศแทนการระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติที่มีกระแสลมที่ไม่แน่นอน โดยในการทดลองจะศึกษาประสิทธิภาพของหลังคาที่ไม่มีการปรับปรุงกับหลังคาที่มีการปรับปรุงโดยเพิ่มการระบายอากาศโดยใช้พัดลมระบายอากาศจำลองสภาพการระบายอากาศ แล้วดูว่าคุณสมบัติมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร ถ้าคุณหมามีการปรับลดลงมากก็จะทำการหาอัตราการระบายอากาศที่มีประสิทธิภาพ แต่ถ้าคุณหมามีการปรับลดลงไม่มากนักก็จะทำการศึกษาหาแนวทางในการออกแบบปรับปรุงเพื่อลดปริมาณความร้อนที่เกิดจากการถ่ายเทความร้อนจากหลังคา โดยการศึกษาประสิทธิภาพของการระบายอากาศโดยใช้พัดลมระบายอากาศร่วมกับการป้องกันการถ่ายเทความร้อนด้วยวิธีการนำความร้อน (conduction) โดยจะใช้ฉนวนใยแก้วกันความร้อนหนา 2 นิ้ว กับการศึกษาประสิทธิภาพของการระบายอากาศโดยใช้พัดลมระบายอากาศร่วมกับการป้องกันการถ่ายเทความร้อนด้วยวิธีการแผ่รังสีความร้อน (radiation) โดยจะใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ชนิดด้านเดียวในการทดลองเนื่องจากอุปกรณ์ทั้ง 2 ชนิดนี้สามารถที่จะหาซื้อมาใช้งานในการทำการปรับปรุงได้ง่าย และมีประสิทธิภาพในการใช้งาน ในส่วนของ การเก็บข้อมูล จะทำการเก็บข้อมูลของคุณสมบัติในจุดต่างๆที่กำหนดไว้โดยใช้เครื่องมือเก็บข้อมูลอัตโนมัติ (HOBO RH+ temperature logger) ทำการเก็บข้อมูลในการทดลอง โดยหนึ่งชุดทดลองจะใช้เวลา 3 วัน

ในการทำการทดลองเนื่องจากอาคารที่ใช้ในการทดลองจริงจึงต้องทำการทดลองที่ละชุดการทดลองดังนี้ (ดูได้จากแผนภูมิภาพที่ 3.2)

การทดลองที่ 1 เริ่มจากการทำการวัดอุณหภูมิของหลังคาที่ยังไม่มีการปรับปรุงเสร็จแล้วทำการติดตั้งพัดลมระบายอากาศจากนั้นก็เปิดพัดลมระบายอากาศเพื่อเพิ่มการระบายอากาศ (convection) แล้วทำการวัดอุณหภูมิ

การทดลองที่ 2 นำฉนวนใยแก้วกันความร้อนหนา 2 นิ้วมาปูบนฝ้าใต้หลังคาแล้วทำการวัดอุณหภูมิเพื่อดูผลของการป้องกันการนำความร้อน (conduction) หลังจากนั้นทำการเปิดพัดลมเพื่อเพิ่มการระบายอากาศ (convection)ร่วมด้วยแล้ววัดอุณหภูมิ

การทดลองที่ 3 นำฉนวนใยแก้วหนา 2 นิ้วที่ใช้ในการทดลองที่ 2 ออกแล้วทำการติดตั้งแผ่นอลูมิเนียมพอยล์ชนิดด้านเดียวทำการวัดอุณหภูมิเพื่อดูผลของการป้องกันการแผ่รังสีความร้อน (radiation) หลังจากนั้นทำการเปิดพัดลมเพื่อเพิ่มการระบายอากาศ (convection) ร่วมด้วยแล้ววัดอุณหภูมิ

การทดลองที่ 4 นำฉนวนใยแก้วกันความร้อนหนา 2 นิ้วมาปูบนฝ้าใต้หลังคาอีกครั้งร่วมกับแผ่นอลูมิเนียมพอยล์ชนิดด้านเดียวที่ติดตั้งอยู่ก่อนแล้ว ทำการวัดอุณหภูมิเพื่อดูผลของการป้องกันการนำความร้อนจากหลังคาทั้งการนำความร้อน (conduction) และการแผ่รังสีความร้อน (radiation) หลังจากนั้นทำการเปิดพัดลมเพื่อเพิ่มการระบายอากาศ (convection) ร่วมด้วยแล้ววัดอุณหภูมิ

หลังจากได้ผลการทดลองครบทุกชุดการทดลองแล้ว ก็จะทำกรวิเคราะห์ผลการทดลองและหาผลสรุปต่อไป

การทดลองที่ 1

การทดลองที่ 1A



หลังคาปกติ
(Roof without fan)

การทดลองที่ 1B



หลังคาที่ติดพัดลมระบายอากาศ
(Roof with fan) convection

การทดลองที่ 2

การทดลองที่ 2A



หลังคาปูฉนวนฝ้าเพดานปิดพัดลม
(Roof insulation without fan) conduction

การทดลองที่ 2B



หลังคาปูฉนวนฝ้าเพดานเปิดพัดลม
(Roof insulation with fan)

การทดลองที่ 3

การทดลองที่ 3A



หลังคาปูแผ่นอลูมิเนียมปิดพัดลม
(Roof aluminium foil without fan) radiation

การทดลองที่ 3B



หลังคาปูแผ่นอลูมิเนียมเปิดพัดลม
(Roof aluminium foil with fan)

การทดลองที่ 4

การทดลองที่ 4A



หลังคาปูฉนวนทั้ง 2 ชั้นปิดพัดลม
(Roof insulate+alu without fan) composite

การทดลองที่ 4B



หลังคาปูฉนวนทั้ง 2 ชั้นเปิดพัดลม
(Roof insulate+alu with fan)

แผนภูมิภาพที่ 3.2 แสดงขั้นตอนการทดลอง

3.2 รายละเอียดในการออกแบบการทดลอง

ในการออกแบบการทดลองเรื่องประสิทธิภาพของการออกแบบการระบายอากาศช่องใต้หลังคาเพื่อป้องกันการถ่ายเทความร้อนจากหลังคาจะต้องมีการระบายอากาศภายในช่องใต้หลังคา ในการทดลองเรื่องการระบายอากาศโดยใช้การระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติซึ่งมีกระแสลมที่ไม่แน่นอนทำให้ไม่สามารถวัดอัตราการความเร็วของลมที่แน่นอนที่จะก่อให้เกิดประสิทธิภาพของการระบายอากาศได้ ดังนั้นจึงเลือกใช้พัดลมดูดอากาศมาจำลองสภาพการระบายอากาศ เพื่อที่จะสามารถสร้างอัตราการความเร็วลมที่แน่นอนได้ โดยเลือกใช้พัดลมดูดอากาศที่มีอยู่ทั่วไปตามท้องตลาด เนื่องจากหลังคามีพื้นที่ 14.16 ตารางเมตรจึงเลือกใช้พัดลมดูดอากาศขนาด 8 นิ้ว x 8 นิ้ว ซึ่งสามารถใช้ระบายอากาศได้ในพื้นที่ไม่เกิน 20 ตารางเมตร มีอัตราการระบายอากาศอยู่ที่ $0.18 \text{ m}^3 / \text{min} / \text{W}$ ขนาด 37 W โดยจะให้อัตราการระบายอากาศเท่ากับ $6.66 \text{ m}^2 / \text{min}$ หรือ $235.19 \text{ ft}^3 / \text{min}$

หลังคาที่ใช้ในการทดลองเป็นหลังคาจั่ว ขนาด กว้าง 4.00 เมตร ยาว 4.00 เมตร สูง 1.77 เมตร โครงสร้างหลังคาเป็นโครงสร้างไม้ กระเบื้องมุงหลังคาเป็นกระเบื้องคอนกรีตเคลือบสีน้ำเงิน มุมหลังคาเอียง 45 องศา โครงฝ้าเพดานภายในเป็นโครงสร้างไม้ ฝ้าเพดานเป็นการเบี่ยงโยยหิน แผ่นเรียบหนา 4 มิลลิเมตร

ห้องทดลองที่ใช้มีขนาด กว้าง 4.00 เมตร ยาว 4.00 เมตร สูง 2.40 เมตร ผนังทั้ง 4 ด้านเป็นผนังก่ออิฐฉาบปูนเรียบ โดยส่วนที่เป็นช่องเปิดเช่น ประตู หน้าต่าง ใช้โพนหนา 3 นิ้วปิด เพื่อป้องกันความร้อนผ่านเข้ามาในห้องทดลอง

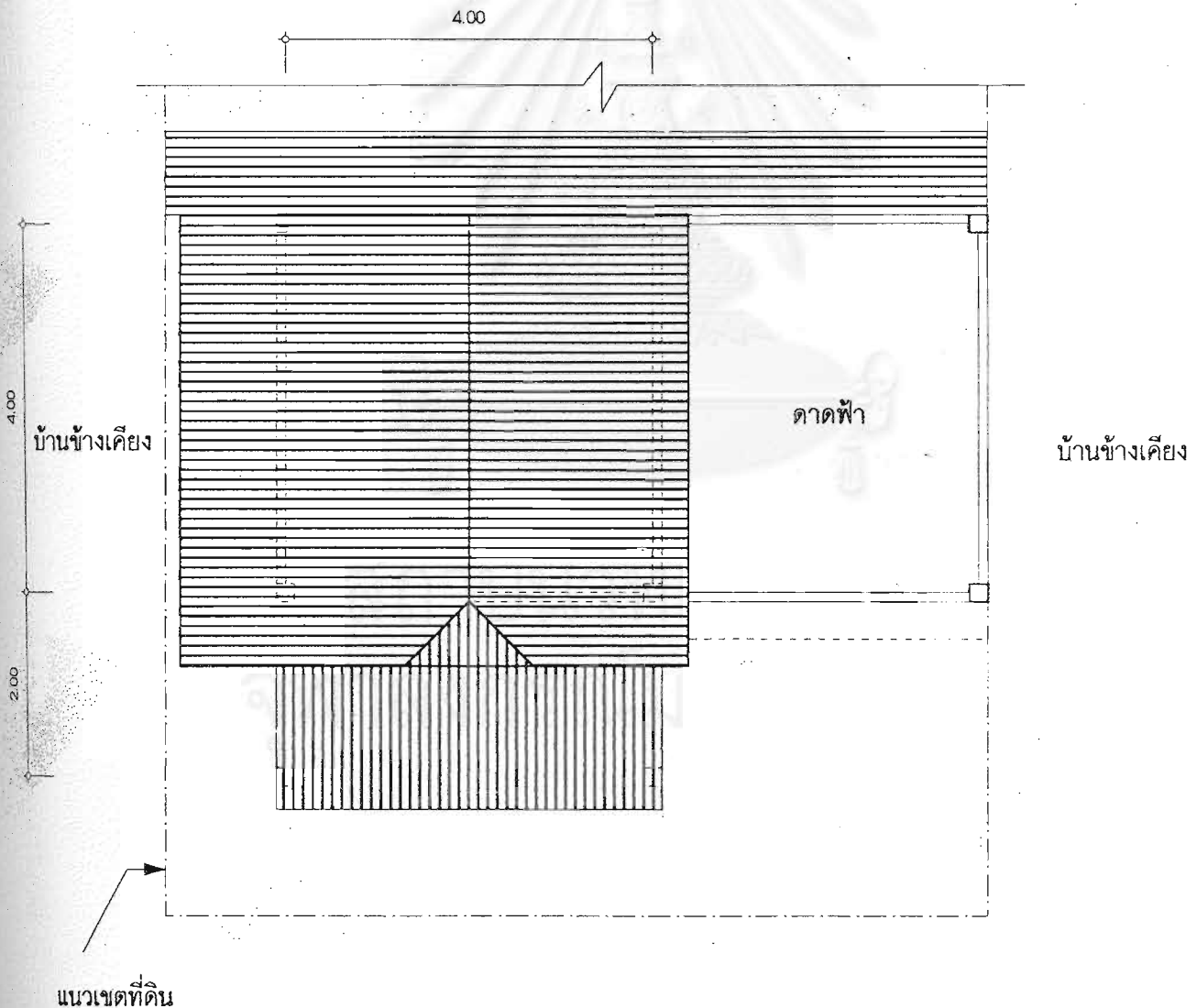
การวัดอุณหภูมิ ทำการวัดอุณหภูมิทั้งหมด 6 จุด ดังนี้ (ดูได้จากแผนภาพประกอบที่ 3.3)

- 1 อุณหภูมิอากาศภายนอกห้องทดลอง
- 2 อุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลอง
- 3 อุณหภูมิผิวฝ้าเพดานภายในห้องทดลอง
- 4 อุณหภูมิอากาศภายในห้องที่วัดจาก Globe meter
- 5 อุณหภูมิอากาศช่องใต้หลังคา
- 6 อุณหภูมิอากาศช่องใต้หลังคาที่วัดจาก Globe meter

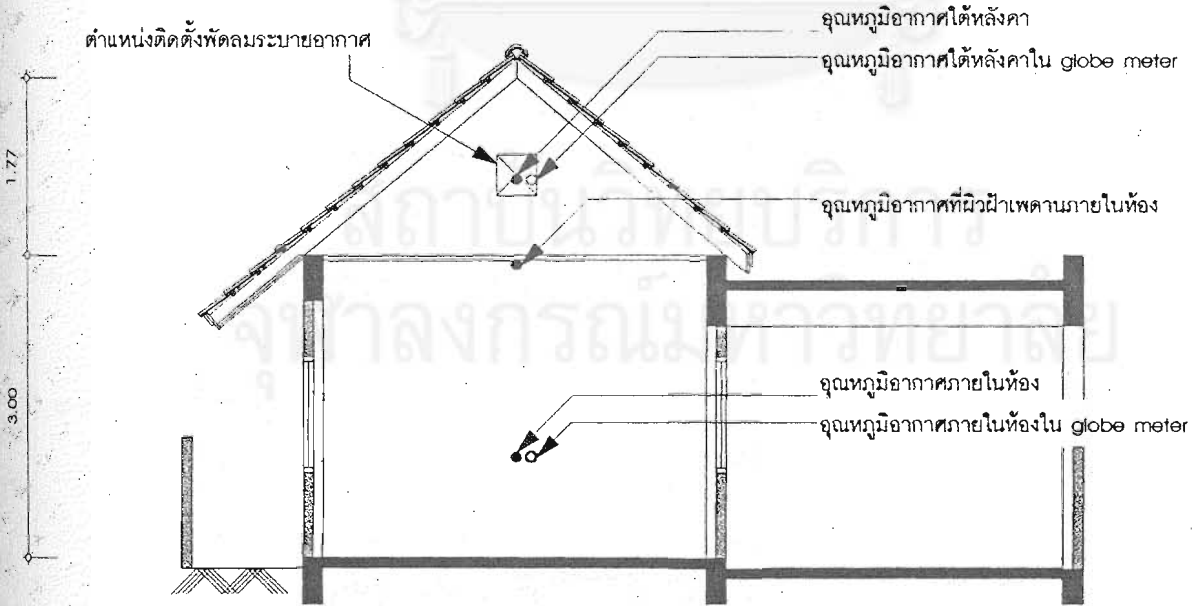
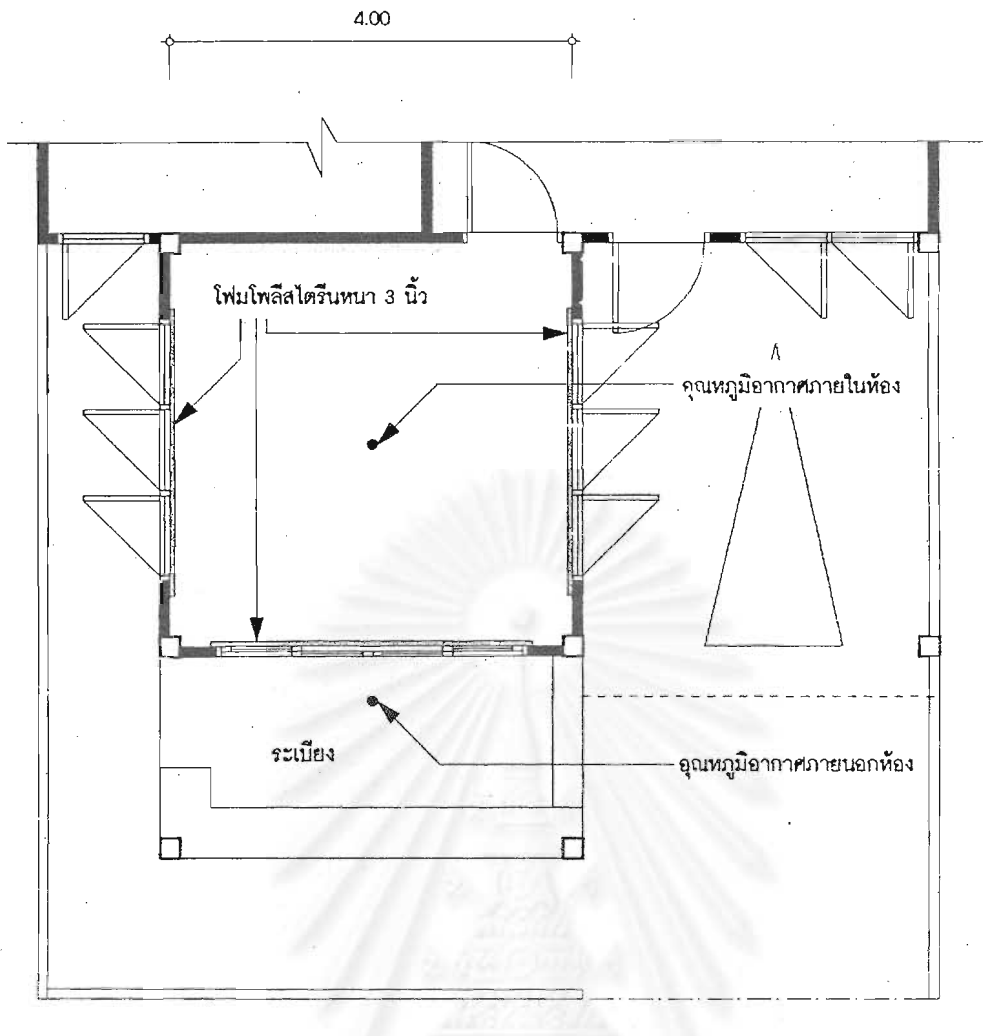
โดยอุณหภูมิที่ใช้พิจารณาประสิทธิภาพหลักๆคือ

- 1 อุณหภูมิอากาศภายนอกห้องทดลอง
- 2 อุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลอง
- 3 อุณหภูมิผิวฝ้าเพดานภายในห้องทดลอง
- 4 อุณหภูมิอากาศภายในห้องที่วัดจาก Globe meter
และอุณหภูมิที่ใช้ประกอบคือ
- 5 อุณหภูมิอากาศช่องใต้หลังคา
- 6 อุณหภูมิอากาศช่องใต้หลังคาที่วัดจาก Globe meter

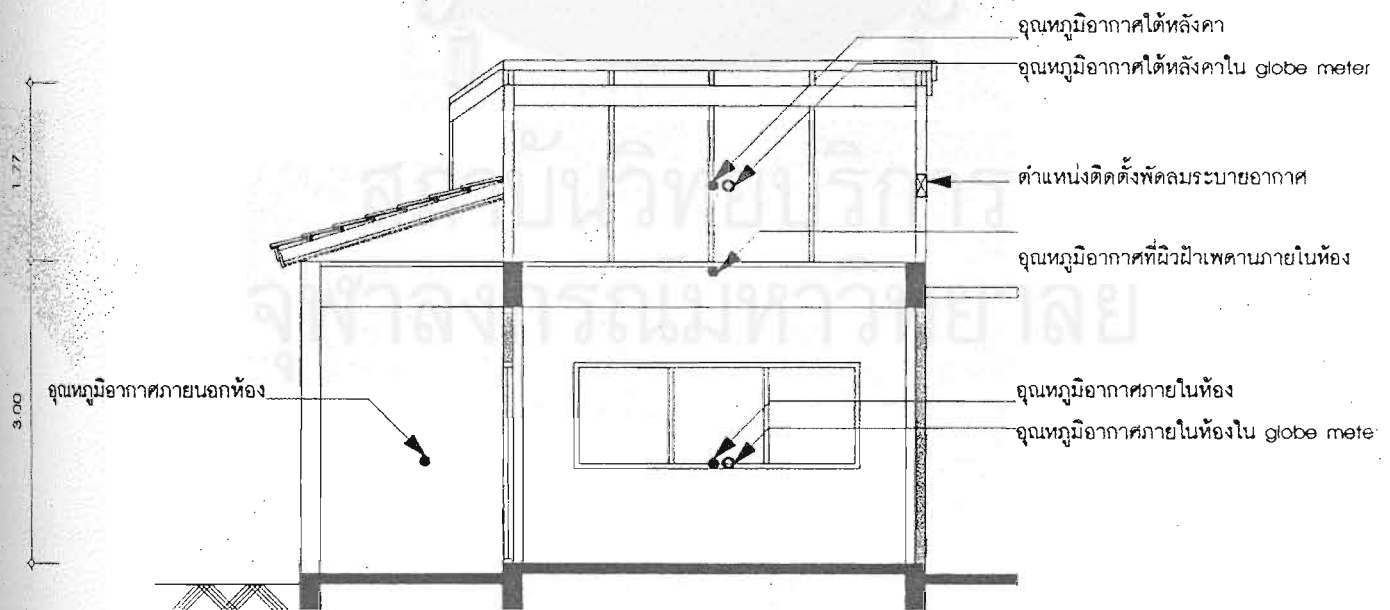
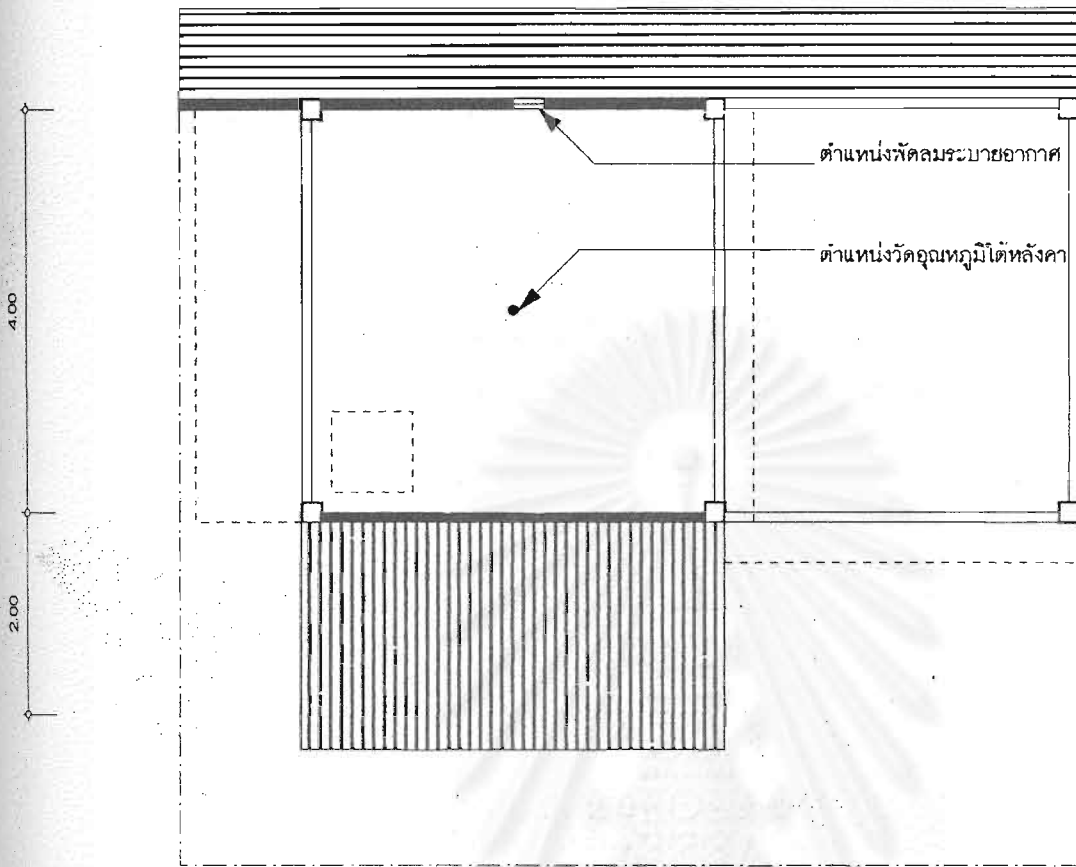
ในการวัดอุณหภูมิในแต่ละจุดจะวัดพร้อมกันทุกจุดตลอดชุดการทดลอง โดย 1 ชุดการทดลองจะทำการวัดอุณหภูมิทุกๆ 1 ชั่วโมงเป็นเวลาติดต่อกัน 3 วัน โดยทุกชุดการทดลอง จะเริ่มทำการวัดเวลา 1.00 น ในตอนกลางคืน และสิ้นสุดการวัดในเวลา 24.00 น. ในคืนที่ 3



แสดงสภาพแวดล้อมของสถานที่ทำการทดลอง



รูปที่ 3.1 แสดงรายละเอียดของหลังคาที่ทำการทดลอง



รูปที่ 3.2 แสดงรายละเอียดของหลังคาที่ทำการทดลอง

3.2.1 ขั้นตอนในการเก็บข้อมูลในการทดลอง

ในการทดลองจะแบ่งเป็น 4 ขั้นตอนหลักดังนี้คือ

การทดลองที่ 1

เป็นการทดลองเปรียบเทียบหลังคาที่ยังไม่มีการปรับปรุง กับหลังคาที่มีการปรับปรุง โดยมีการระบายอากาศ แบ่งเป็น 2 ขั้นตอนย่อยดังนี้

การทดลองที่ 1A ทำการวัดอุณหภูมิทั้งหมดของหลังคาที่ยังไม่มีการปรับปรุง ทำการทดลองในช่วงวันที่ 5 - 7 มีนาคม 2546

การทดลองที่ 1B ทำการติดตั้งพัดลมระบายอากาศที่ช่องใต้หลังคาโดยติดตั้งด้านบนของจั่ว เพื่อระบายอากาศร้อนที่ลอยตัวอยู่ด้านบนของช่องหลังคา ทำการทดลองในช่วงวันที่ 8 -10 มีนาคม 2546



รูปที่ 3.3 แสดงสภาพภายในของหลังคาที่ทำการทดลอง



รูปที่ 3.4 แสดงสภาพภายในของหลังคาที่ทำการทดลอง



รูปที่ 3.5 แสดงสภาพภายในของหลังคาที่ทำการทดลอง

การทดลองที่ 2

เป็นการทดลองเปรียบเทียบหลังคาที่มีการเพิ่มฉนวนกันความร้อนหนา 2 นิ้ว ฟูที่ฝ้าเพดานโดยไม่มีการปรับอากาศกับหลังคาที่มีฉนวนกันความร้อนหนา 2 นิ้วที่มีการระบายอากาศโดยพัดลมระบายอากาศร่วมด้วย แบ่งเป็น 2 ขั้นตอนย่อยคือ

การทดลองที่ 2A ทำการปูฉนวนกันความร้อนหนา 2 นิ้ว บนฝ้าเพดาน ปิดพัดลมระบายอากาศทำการวัดอุณหภูมิ ทำการทดลองในช่วงวันที่ 11 -13 มีนาคม 2546

การทดลองที่ 2B เปิดพัดลมระบายอากาศ เพื่อเพิ่มการระบายอากาศ ทำการทดลองในช่วงวันที่ 14 -16 มีนาคม 2546



รูปที่ 3.6 แสดงสภาพภายในของหลังคาที่ทำการทดลองแบบมีฉนวน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.7 แสดงสภาพภายในของหลังคาที่ทำการทดลองแบบมีฉนวน



รูปที่ 3.8 แสดงฉนวนกันความร้อนที่นำมาใช้

การทดลองที่ 3

เป็นการทดลองเปรียบเทียบหลังคาที่มีการติดแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ชนิดด้านเดียวปูได้แปหลังคาโดยไม่มีภาวะระบายอากาศกับหลังคาที่ติดแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ชนิดด้านเดียวที่มีการระบายอากาศร่วมด้วย แบ่งเป็น 2 ขั้นตอนย่อยคือ

การทดลองที่ 3A นำฉนวนกันความร้อนหนา 2 นิ้วที่ติดอยู่ก่อนในการทดลองที่ 2 ออกแล้วทำการติดแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ชนิดด้านเดียวที่ได้แปหลังคา ปิดพัดลมระบายอากาศ ทำการวัดอุณหภูมิ ทำการทดลองในช่วงวันที่ 17 - 19 มีนาคม 2546

การทดลองที่ 3B เปิดพัดลมระบายอากาศ เพื่อเพิ่มอัตราการระบายอากาศ ทำการวัดอุณหภูมิ ทำการทดลองในช่วงวันที่ 20 - 22 มีนาคม 2546



รูปที่ 3.9 แสดงสภาพภายในของหลังคาที่ทำการทดลองกับแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์



รูปที่ 3.10 แสดงสภาพภายในของหลังคาที่ทำการทดลองกับแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์



รูปที่ 3.11 แสดงแผ่นอลูมิเนียมพอยล์



รูปที่ 3.12 แสดงแผ่นอลูมิเนียมพอยล์ก่อนทำการติดตั้ง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การทดลองที่ 4

เป็นการทดลองเปรียบเทียบ หลังคาที่มีการใช้ทั้งฉนวนกันความร้อนหนา 2 นิ้วปูที่บนฝ้าเพดานร่วมกับการติดแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ชนิดด้านเดียวที่ได้เป่าหลังคาไม่มีการระบายอากาศ กับหลังคาที่มีการใช้ทั้งฉนวนกันความร้อน 2 นิ้วปูที่บนฝ้าเพดานร่วมกับการติดแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ชนิดด้านเดียวที่ได้เป่าหลังคาและมีการระบายอากาศร่วมด้วย แบ่งเป็น 2 ขั้นตอนย่อยคือ

การทดลองที่ 4A ทำการติดฉนวนกันความร้อน 2 นิ้ว ร่วมกับแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ที่ติดอยู่ก่อนในการทดลองที่ 3 ปิดพัดลมระบายอากาศ ทำการวัดอุณหภูมิ ทำการทดลองในช่วงวันที่ 23 – 25 มีนาคม 2546

การทดลองที่ 4B เปิดพัดลมระบายอากาศเพื่อเพิ่มการระบายอากาศ ทำการวัดอุณหภูมิ ทำการทดลองในช่วงวันที่ 26 - 28 มีนาคม 2546



รูปที่ 3.13 แสดงสภาพภายในของหลังคาที่ทำการทดลองแบบใช้ฉนวนทั้ง 2 ชนิด



รูปที่ 3.14 แสดงสภาพภายในของหลังคาที่ทำการทดลองแบบใช้ฉนวนทั้ง 2 ชนิด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3 การวิเคราะห์และการสรุปผล

หลังจากที่ทำการทดลองครบทุกการทดลองแล้ว นำอุณหภูมิในแต่ละจุดที่เก็บค่าได้ ทุกๆ ชั่วโมงเป็นเวลา 3 วัน โดยนำอุณหภูมิในแต่ละชั่วโมงมาลบที่ 18 องศาเซลเซียสซึ่งเป็นอุณหภูมิฐาน เมื่อนำมาลบในแต่ละชั่วโมงแล้วให้นำผลต่างที่ได้มารวมเป็นผลรวมของอุณหภูมิจากเซลเซียส-ชั่วโมงสะสมโดยมีอุณหภูมิฐานอยู่ที่ 18 องศาเซลเซียส (accumulate degree-hours (18°C base) 24 hours x 3 days) โดยนำค่าอุณหภูมิจากเซลเซียส-ชั่วโมงสะสมในจุดหลักๆที่จะนำมาใช้ในการวิเคราะห์คือ

อุณหภูมิอากาศภายนอกห้องทดลอง

อุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลอง

อุณหภูมิผิวฝ้าเพดานภายในห้องทดลอง

อุณหภูมิอากาศภายในห้องที่วัดจาก Globe meter

เนื่องจากการทดลองครั้งนี้ไม่สามารถทำการทดลองทุกชุดการทดลองในเวลาเดียวกันได้ เพราะใช้อาคารที่ใช้งานจริงมาทำการทดลองทำให้ต้องทำการทดลองทีละชุด ส่งผลให้อุณหภูมิอากาศในแต่ละช่วงอาจจะไม่เท่ากันแต่ก็ไม่แตกต่างกันมากเพราะในช่วงวันที่ทำการทดลองสภาพอากาศเป็นลักษณะท้องมีเมฆมากบ้างน้อยบ้าง แต่ไม่มีช่วงที่มีฝนตก ดังนั้นในการเปรียบเทียบเพื่อดูประสิทธิผลทำได้โดยการเปรียบเทียบโดยใช้อุณหภูมิจากเซลเซียส-ชั่วโมงสะสมของอุณหภูมิอากาศภายนอกเป็นเกณฑ์ โดยปรับให้อุณหภูมิจากเซลเซียส-ชั่วโมงสะสมของอุณหภูมิอากาศภายนอกในห้องทดลองมาเป็นฐานที่เท่ากันทุกจุดในการทดลองแล้วหาผลต่างของอุณหภูมิจากเซลเซียส-ชั่วโมงสะสมของจุดทดลองอื่นๆว่ามีผลต่างจากอุณหภูมิจากเซลเซียส-ชั่วโมงสะสมของอุณหภูมิอากาศภายนอกของแต่ละชุดทดลองเท่าใด โดยถ้าผลต่างของอุณหภูมิจากเซลเซียส-ชั่วโมงสะสมมีค่ามากแสดงว่ามีปริมาณความร้อนสะสมอยู่มากทำให้มีประสิทธิผลต่ำ ถ้าผลต่างของอุณหภูมิจากเซลเซียส-ชั่วโมงสะสมมีค่าน้อยแสดงว่ามีปริมาณความร้อนสะสมอยู่น้อยทำให้มีประสิทธิผลสูง

3.4 ลักษณะทางกายภาพของสถานที่ทดลอง

3.4.1 ห้องทดลอง

ในการทดลองห้องที่ใช้ทดลองอยู่ในสภาพแวดล้อมของอาคารจริงในวัสดุจริง โดยอาคารที่ใช้มีคุณสมบัติดังนี้

1. เป็นอาคารที่ใช้วัสดุภายนอกเป็นผนังก่ออิฐ
2. สามารถควบคุมอุณหภูมิอากาศภายในห้องให้คงที่ได้
3. ไม่มีอาคารสูงมาบังแดดในส่วนของหลังคาของห้องที่ใช้ในการทดลอง
4. ทางด้านหน้าและด้านหลังของส่วนของหลังคาที่ใช้ในการทดลองไม่มีสิ่งปลูกสร้าง

ห้องที่ใช้เป็นสถานที่ทดลองตั้งอยู่ในหมู่บ้านการเคหะ อ.บางขุนเทียน จ. กรุงเทพฯ ลักษณะโดยรอบเป็นบ้านพักอาศัยความสูง 2 - 3 ชั้น ห้องทดลองมีลักษณะดังรูปประกอบมีขนาดภายใน กว้าง 4.00 เมตร ยาว 4.00 เมตร สูง 2.40 เมตร ผนังทั้ง 4 ด้านเป็นผนังก่ออิฐฉาบปูนเรียบ หลังคามุงกระเบื้องคอนกรีต(โมเนียร์) ฝ้าเพดานกระเบื้องใยหินหนา 4 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.15 แสดงสถานที่ทำการทดลอง



รูปที่ 3.16 แสดงส่วนของหลังคาที่จะใช้ทำการทดลอง



รูปที่ 3.17 แสดงห้องภายใต้หลังคาที่จะใช้ทำการทดลอง

3.5 เครื่องมือเก็บข้อมูล

ในการวิจัยทดลองใช้เครื่องมือสำหรับวัดอุณหภูมิคือ เครื่องเก็บข้อมูลอัตโนมัติ (Datalogger) ชื่อเครื่อง HOBO RH+temperature logger รายละเอียดทั่วไปในการใช้เครื่อง เป็นเครื่องเก็บข้อมูลความอุณหภูมิได้อัตโนมัติ หน่วยที่ได้จากการการบันทึกและประมวลผลโดยซอฟต์แวร์เป็นได้ทั้งองศาเซลเซียส และองศาฟาเรนไฮต์ สามารถจัดเก็บข้อมูลได้ 1 ช่องสัญญาณต่อเครื่อง บันทึกข้อมูลได้สูงสุดถึง 15,000 ข้อมูล ต่อการติดตั้ง 1 ครั้ง สามารถวัดได้แบบ off line การวัดแบบ off line สามารถทำได้โดยการ set up เครื่องโดย run program Boxcarpro version 3.51 แล้วตั้งค่าอุณหภูมิตามหน่วยที่ต้องการจะวัด และ ช่วงห่างของเวลาที่ต้องการจะบันทึก แล้วจึงนำไปติดตั้งตามสถานที่ต่าง ๆ โดยไม่ต้องต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์ขณะบันทึกข้อมูลเครื่องนี้ไม่มีจอแสดงผลระหว่างการตรวจวัดข้อมูล เมื่อบันทึกค่าในช่วงเวลาที่ต้องการเรียบร้อยแล้วจึงนำมา off load ลงในเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ และนำค่าที่บันทึกไปใช้ใน program ประเภท spreadsheet ได้ สามารถวัดค่าอุณหภูมิเป็นหน่วย องศาเซลเซียส หรือ องศาฟาเรนไฮต์ได้จำนวน 3 ช่องสัญญาณ เป็นช่องสัญญาณภายในจำนวน 1 ช่องสัญญาณ สำหรับวัดอุณหภูมิอากาศและช่องสัญญาณสำหรับเซนเซอร์ภายนอกอีก 2 ช่องสัญญาณ สำหรับวัดอุณหภูมิผิวหรืออื่น ๆ รวมทั้งค่าความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ เป็นเปอร์เซ็นต์ และยังคำนวณค่า dew point ให้โดยอัตโนมัติ



รูปที่ 3.18 แสดงเครื่องมือ HOBO Datalogger

3.6 อุปกรณ์อื่นๆ

3.6.1 พัดลมระบายอากาศ

พัดลมระบายอากาศที่ใช้ในการทดลองใช้พัดลมระบายอากาศขนาด 8 นิ้ว โดยมีอัตราการระบายอากาศ $0.18 \text{ m}^3 / \text{min} / \text{W}$



รูปที่ 3.19 แสดงตำแหน่งที่ติดตั้งพัดลมระบายอากาศ



รูปที่ 3.20 แสดงการติดตั้งพัดลมระบายอากาศ

3.6.2 Globe meter

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดค่าของอุณหภูมิที่ได้รับอิทธิพลจากการแผ่รังสีของผิววัตถุข้างเคียง แสงลมและสิ่งแวดล้อม เป็น effective temperature ซึ่งสามารถทำได้ง่าย ๆ โดยการนำลูกทองแดงกลวงเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 15 ซม. มาเจาะแล้วใช้เทอร์โมมิเตอร์ธรรมดาซึ่งเปรียบเทียบค่าให้เท่ากับการวัดอุณหภูมิด้วย HOBO datalogger สอดเข้าไปตรงกลางแล้วอุดด้วยวัสดุอุดรอยโดยซิลิโคนที่ไม่นำความร้อน มีลักษณะดังรูป 3.21 ในการสำรวจ ใช้เพื่อวัดอุณหภูมิของ Globe temperature ภายในห้องทดลองและช่องใต้หลังคา โดยใช้เครื่องมือชนิดนี้จำนวน 2 ชิ้น



รูปที่ 3.21 แสดงเครื่องมือ Globe meter



รูปที่ 3.22 แสดงการติดตั้ง Globe meter

3.6.3 อุปกรณ์วัดความเร็วลม

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดด้วยอาศัยหลักการในการคงที่ของอุณหภูมิที่หัว Thermistor ขนาดเล็กเมื่ออากาศพัดผ่านหัว Thermistor ทำให้มีอุณหภูมิลดลง เครื่องจะต้องให้กระแสไฟฟ้าเข้าไปเพื่อรักษาอุณหภูมิของ Thermistor ที่ทำให้สามารถคำนวณค่าความเร็วของลมที่พัดผ่านได้ มีลักษณะดังรูปที่ 3.23 ข้อควรระวังในการใช้งานคือ หัว Thermistor มีความละเอียดสูงห้ามกระทบโดยเด็ดขาด



รูปที่ 3.23 แสดงเครื่องมือวัดลม



รูปที่ 3.24 แสดงหน้าจอแสดงผลของเครื่องมือวัดลม

บทที่ 4

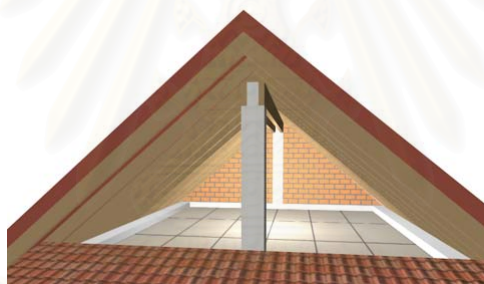
ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 ผลจากการทดลอง

การทดลองที่ 1

เป็นการทดลองเปรียบเทียบหลังคาที่ยังไม่มีการปรับปรุงกับหลังคาที่มีการปรับปรุง โดยมีการระบายอากาศ แบ่งเป็น 2 ขั้นตอนย่อยดังนี้

การทดลองที่ 1A ทำการวัดอุณหภูมิทั้งหมดของหลังคาที่ยังไม่มีการปรับปรุง ทำการทดลองในช่วงวันที่ 5 - 7 มีนาคม 2546 ผลที่ได้จากการทดลองแสดงอยู่ในกราฟที่ 4.11

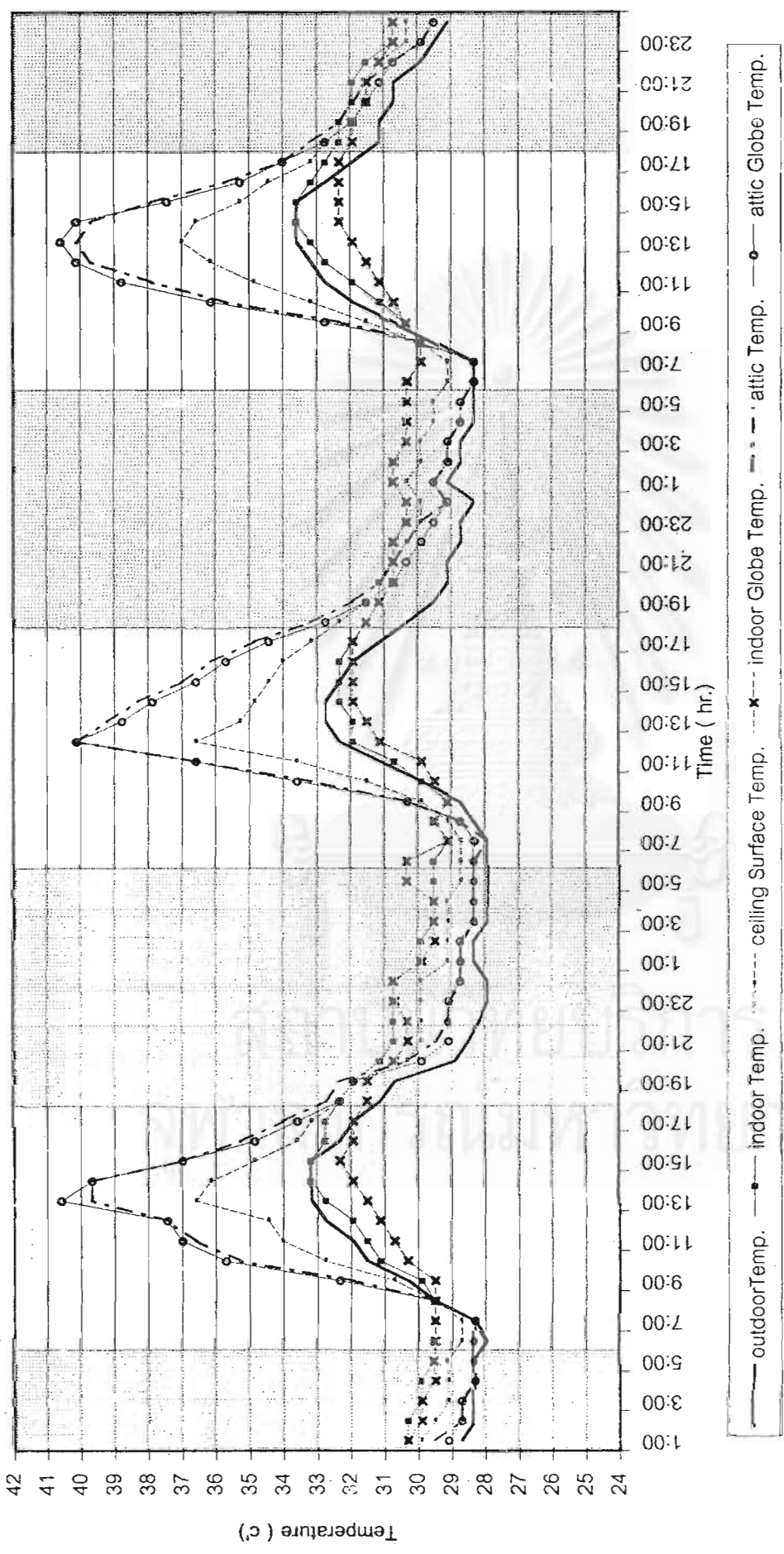


หลังคาปกติ (Roof without fan)

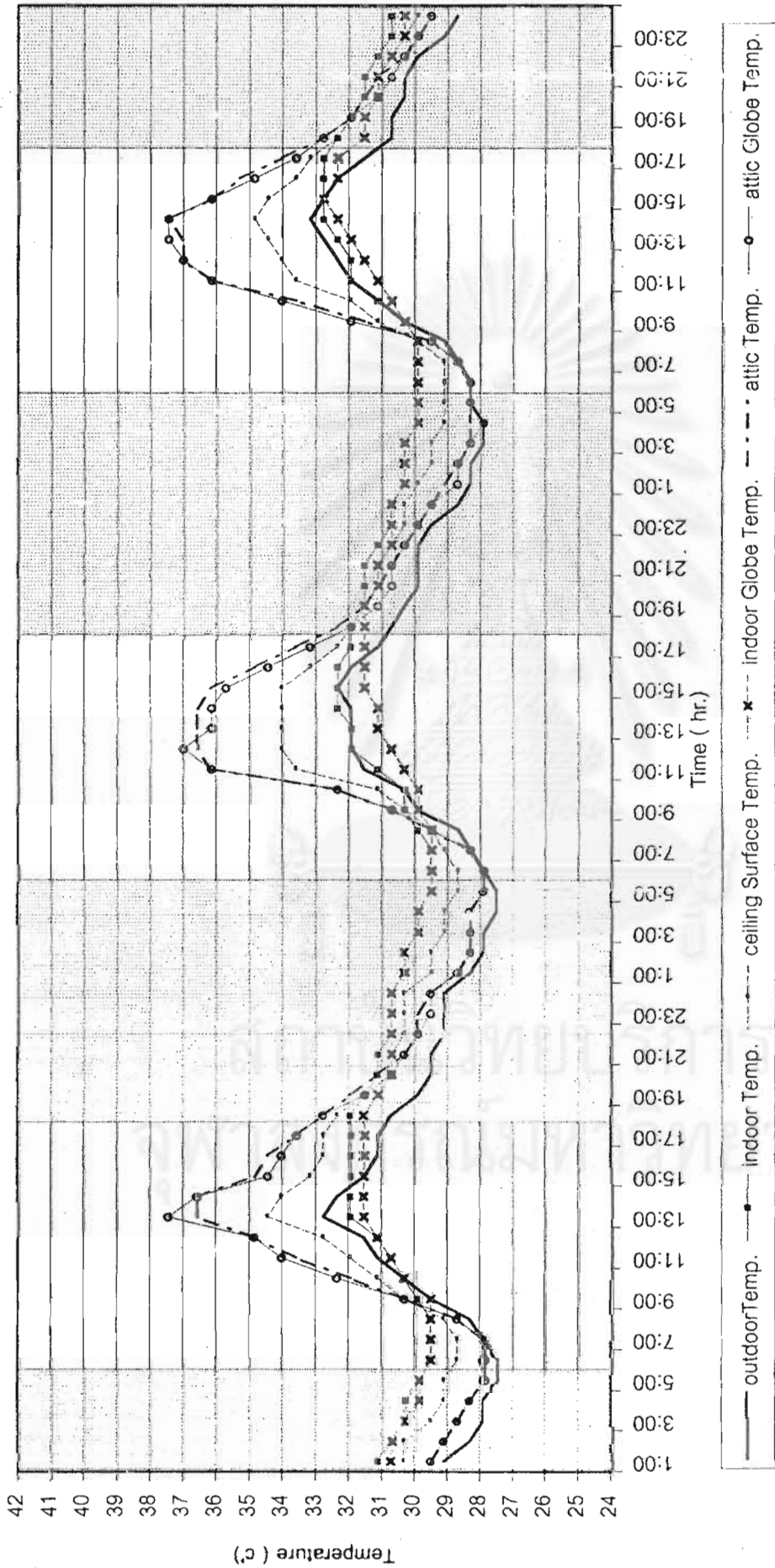
การทดลองที่ 1B ทำการติดตั้งพัดลมระบายอากาศที่ช่องใต้หลังคาโดยติดตั้งด้านบนของจั่ว เพื่อระบายอากาศร้อนที่ลอยตัวอยู่ด้านบนของช่องหลังคา ทำการทดลองในช่วงวันที่ 8 -10 มีนาคม 2546 ผลที่ได้จากการทดลองแสดงอยู่ในกราฟที่ 4.12



หลังคาที่ติดพัดลมระบายอากาศ (Roof with fan) convection



4.11 กราฟแสดงอุณหภูมิของหลังคาปกติ (Roof without fan)
 ทำการทดลองวันที่ 5 - 7 / March / 2003



4.12 กราฟแสดงอุณหภูมิของห้องที่เปิดพัดลมระบายอากาศ (Roof with fan)

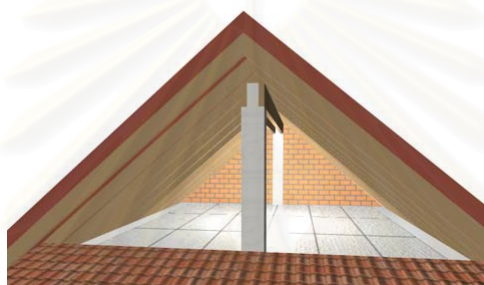
Day-Time 6.00 am-6.00 pm
Night-Time 6.00 pm-6.00 am

ทำการทดลองวันที่ 8 - 10 / March / 2003

การทดลองที่ 2

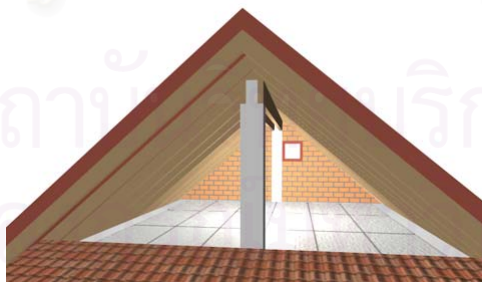
เป็นการทดลองเปรียบเทียบหลังคาที่มีการเพิ่มฉนวนใยแก้วกันความร้อนหนา 2 นิ้ว ปูที่ฝ้าเพดานโดยไม่มีการปรับอากาศกับหลังคาที่มีฉนวนใยแก้วกันความร้อนหนา 2 นิ้วที่มีการระบายอากาศโดยพัดลมระบายอากาศร่วมด้วย แบ่งเป็น 2 ขั้นตอนย่อยคือ

การทดลองที่ 2A ทำการปูฉนวนกันความร้อนหนา 2 นิ้ว บนฝ้าเพดาน ปิดพัดลมระบายอากาศทำการวัดอุณหภูมิ ทำการทดลองในช่วงวันที่ 11 -13 มีนาคม 2546 ผลที่ได้จากการทดลองแสดงอยู่ในกราฟที่ 4.13

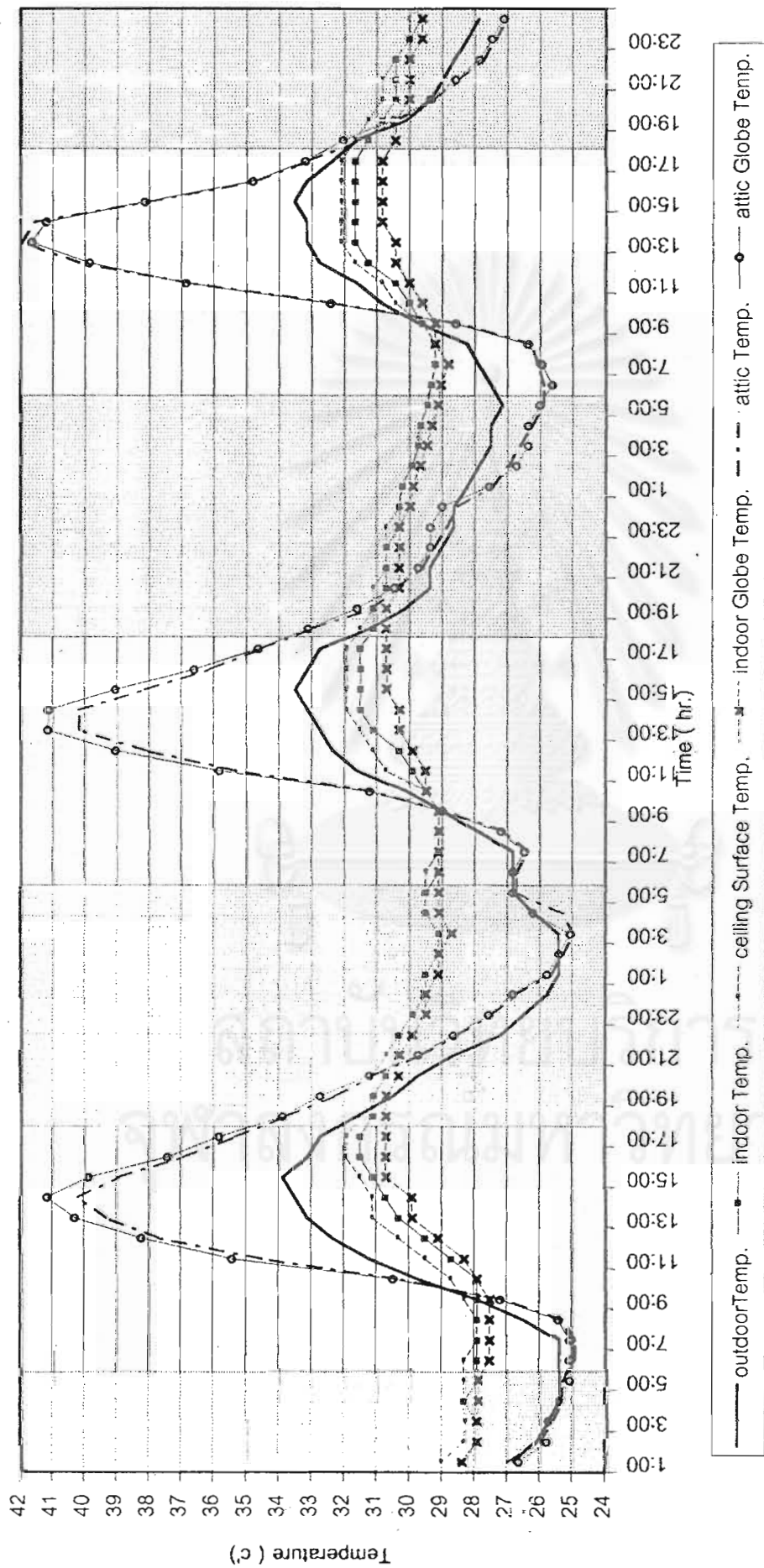


หลังคาปูฉนวนฝ้าเพดานปิดพัดลม (Roof insulation without fan) conduction

การทดลองที่ 2B เปิดพัดลมระบายอากาศ เพื่อเพิ่มการระบายอากาศ ทำการทดลองในช่วงวันที่ 14 -16 มีนาคม 2546 ผลที่ได้จากการทดลองแสดงอยู่ในกราฟที่ 4.14

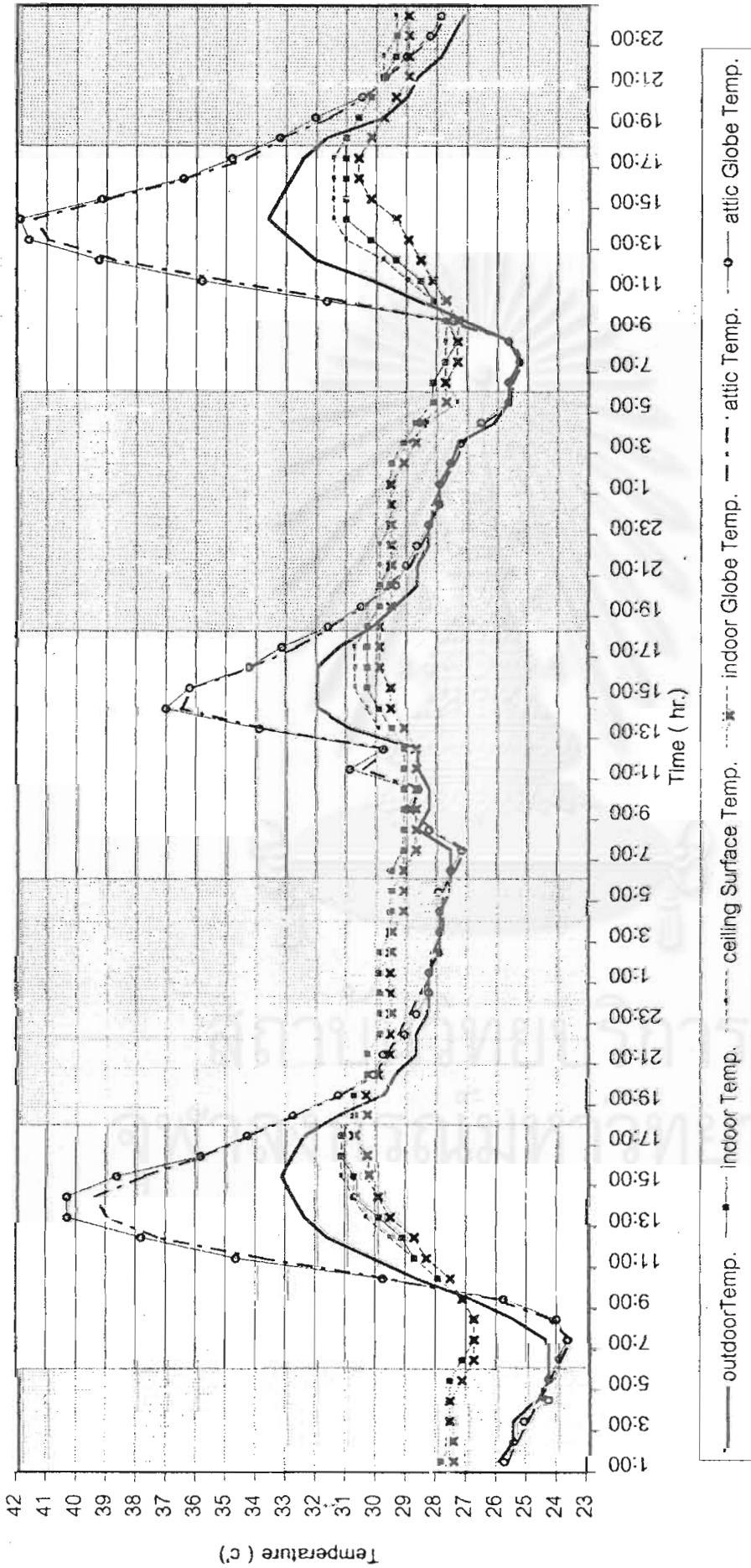


หลังคาปูฉนวนฝ้าเพดานเปิดพัดลม (Roof insulation with fan)



4.13 กราฟแสดงอุณหภูมิของหลังคาที่ปูฉนวนใยแก้วกันความร้อนหนา 2 นิ้ว ปิดพัดลมระบายอากาศ (Roof Insulation without fan) ทำการทดลองวันที่ 11 - 13 / March / 2003

Day-Time 6.00 am-6.00 pm
 Night-Time 6.00 pm-6.00 am



4.14 กราฟแสดงอุณหภูมิของหลังคาที่ดูนวนโยแกวกับความร้อนหนา 2 นิ้ว เปิดพัดลมระบายอากาศ (Roof Insulation with fan) ทำการทดลองวันที่ 14 - 16 / March / 2003

Day-Time 6.00 am-6.00 pm
Night-Time 6.00 pm-6.00 am

การทดลองที่ 3

เป็นการทดลองเปรียบเทียบหลังคาที่มีการติดแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ชนิดด้านเดียวปูได้เปหลังคาโดยไม่มีภาวะระบายอากาศกับหลังคาที่ติดแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ชนิดด้านเดียวที่มีการระบายอากาศร่วมด้วย แบ่งเป็น 2 ขั้นตอนย่อยคือ

การทดลองที่ 3A นำฉนวนใยแก้วกันความร้อนหนา 2 นิ้วที่ติดอยู่ก่อนในการทดลองที่ 2 ออกแล้วทำการติดแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ชนิดด้านเดียวที่ได้เปหลังคา ปิดพัดลมระบายอากาศทำการวัดอุณหภูมิ ทำการทดลองในช่วงวันที่ 17 - 19 มีนาคม 2546 ผลที่ได้จากการทดลองแสดงอยู่ในกราฟที่ 4.15

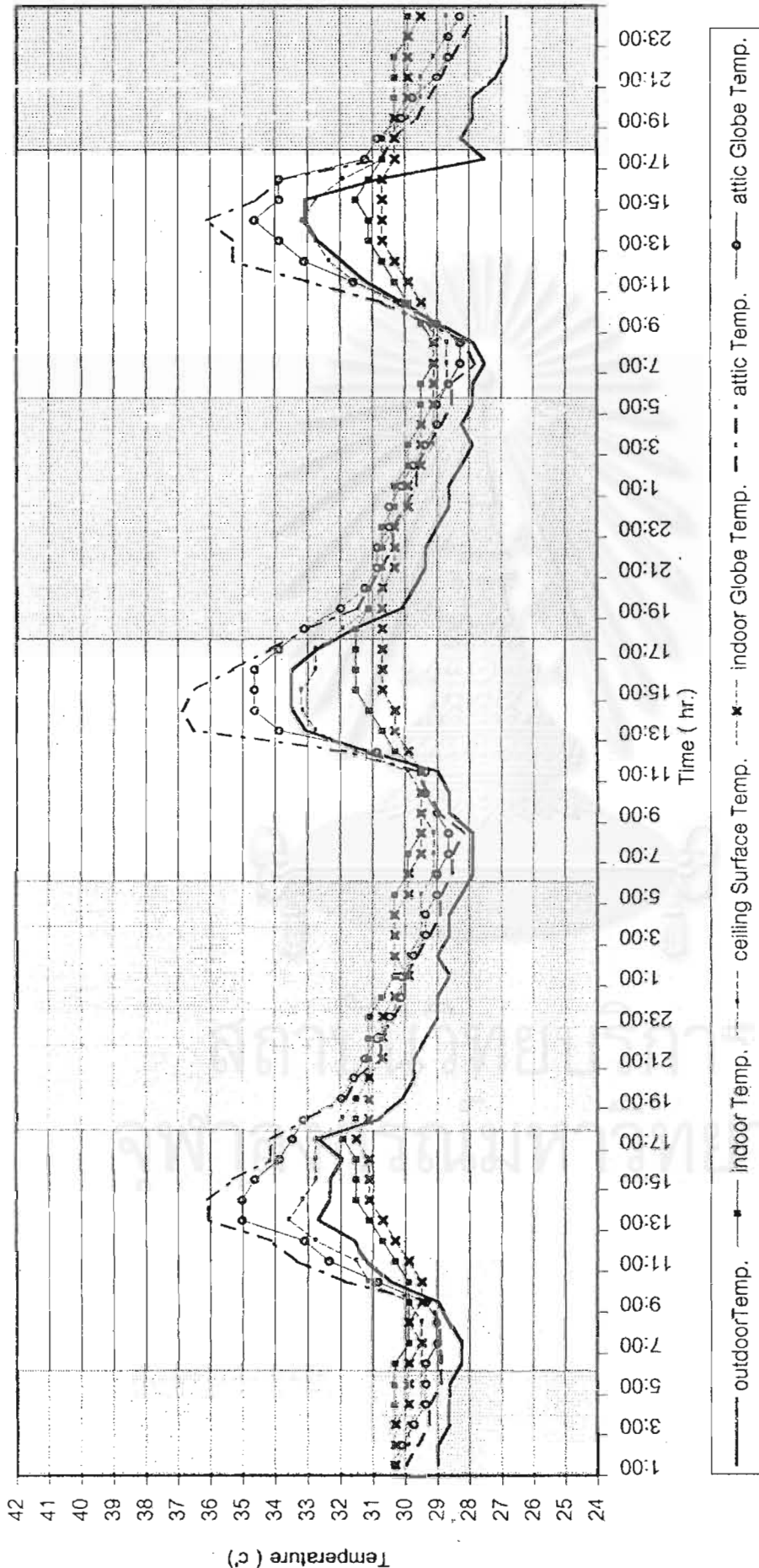


หลังคาปูแผ่นอลูมิเนียมปิดพัดลม (Roof aluminium foil without fan) radiation

การทดลองที่ 3B เปิดพัดลมระบายอากาศ เพื่อเพิ่มอัตราการระบายอากาศ ทำการวัดอุณหภูมิ ทำการทดลองในช่วงวันที่ 20 - 22 มีนาคม 2546 ผลที่ได้จากการทดลองแสดงอยู่ในกราฟที่ 4.16

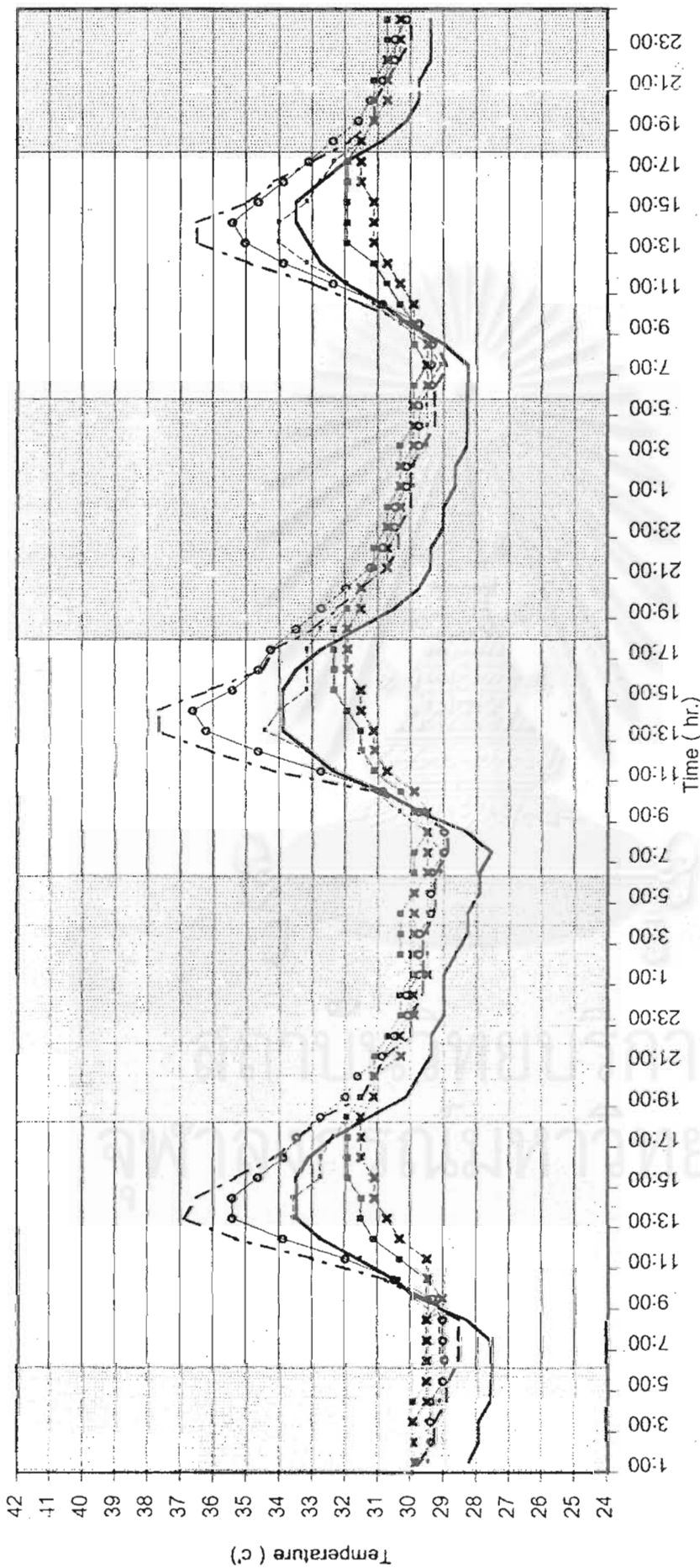


หลังคาปูแผ่นอลูมิเนียมเปิดพัดลม (Roof aluminium foil with fan)



4.15 กราฟแสดงอุณหภูมิของหลังคาที่ติดตั้งแผ่นอลูมิเนียมเฟอยลชนิดด้านเดียว ปิดพัดลมระบายอากาศ (Roof Aluminium foil without fan) ทำการทดลองวันที่ 17 - 19 / March / 2003

Day-Time 6.00 am-6.00 pm
 Night-Time 6.00 pm-6.00 am



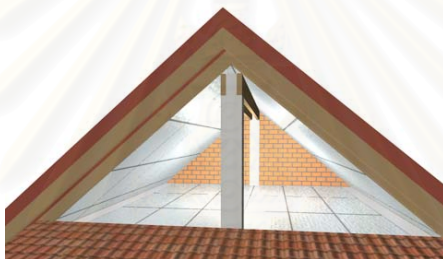
4.16 กราฟแสดงอุณหภูมิของหลังคาที่ติดตั้งแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ม้วนที่ด้านข้างเดียว เปิดพัดลมระบายอากาศ (Roof Aluminium foil with fan) ทำการทดลองวันที่ 20 - 22 / March / 2003

Day-Time 6.00 am-6.00 pm
 Night-Time 6.00 pm-6.00 am

การทดลองที่ 4

เป็นการทดลองเปรียบเทียบหลังคาที่มีการใช้ทั้งฉนวนใยแก้วกันความร้อนหนา 2 นิ้ว ปูที่บนฝ้าเพดานร่วมกับการติดแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ชนิดด้านเดียวที่ได้เป่าหลังคาไม่มีการระบายอากาศ กับหลังคาที่มีการใช้ทั้งฉนวนใยแก้วกันความร้อนหนา 2 นิ้ว ปูที่บนฝ้าเพดานร่วมกับการติดแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ชนิดด้านเดียวที่ได้เป่าหลังคาและมีการระบายอากาศร่วมด้วย แบ่งเป็น 2 ขั้นตอนย่อยคือ

การทดลองที่ 4A ทำการติดฉนวนใยแก้วกันความร้อนหนา 2 นิ้ว ร่วมกับแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ที่ติดอยู่ก่อนในการทดลองที่ 3 ปิดพัดลมระบายอากาศ ทำการวัดอุณหภูมิ ทำการทดลองในช่วงวันที่ 23 – 25 มีนาคม 2546 ผลที่ได้จากการทดลองแสดงอยู่ในกราฟที่ 4.17

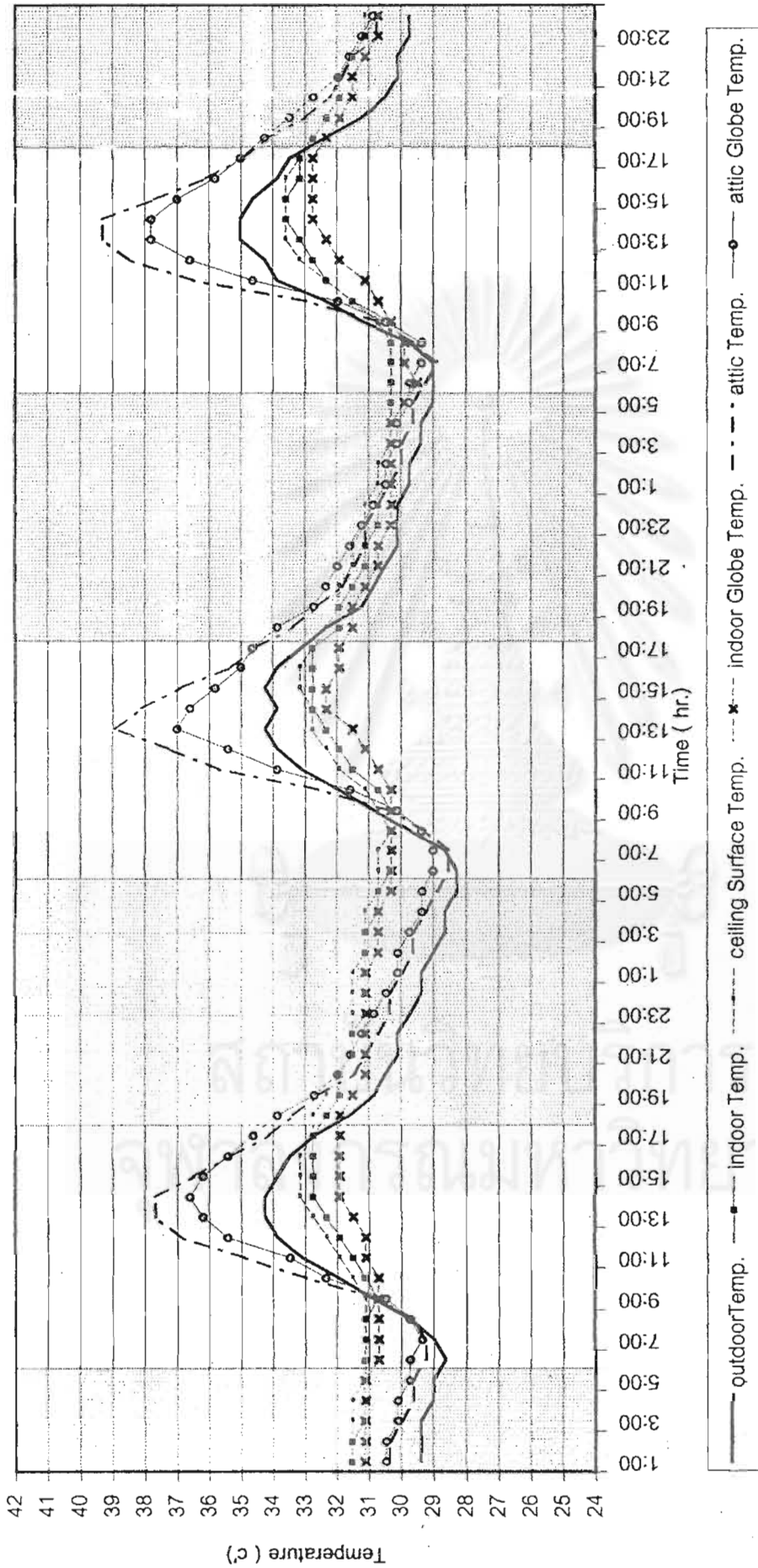


หลังคาปูฉนวนทั้ง 2 ชนิดปิดพัดลม (Roof insulate+alu without fan) composite

การทดลองที่ 4B เปิดพัดลมระบายอากาศเพื่อเพิ่มการระบายอากาศ ทำการวัดอุณหภูมิ ทำการทดลองในช่วงวันที่ 26 – 28 มีนาคม 2546 ผลที่ได้จากการทดลองแสดงอยู่ในกราฟที่ 4.18

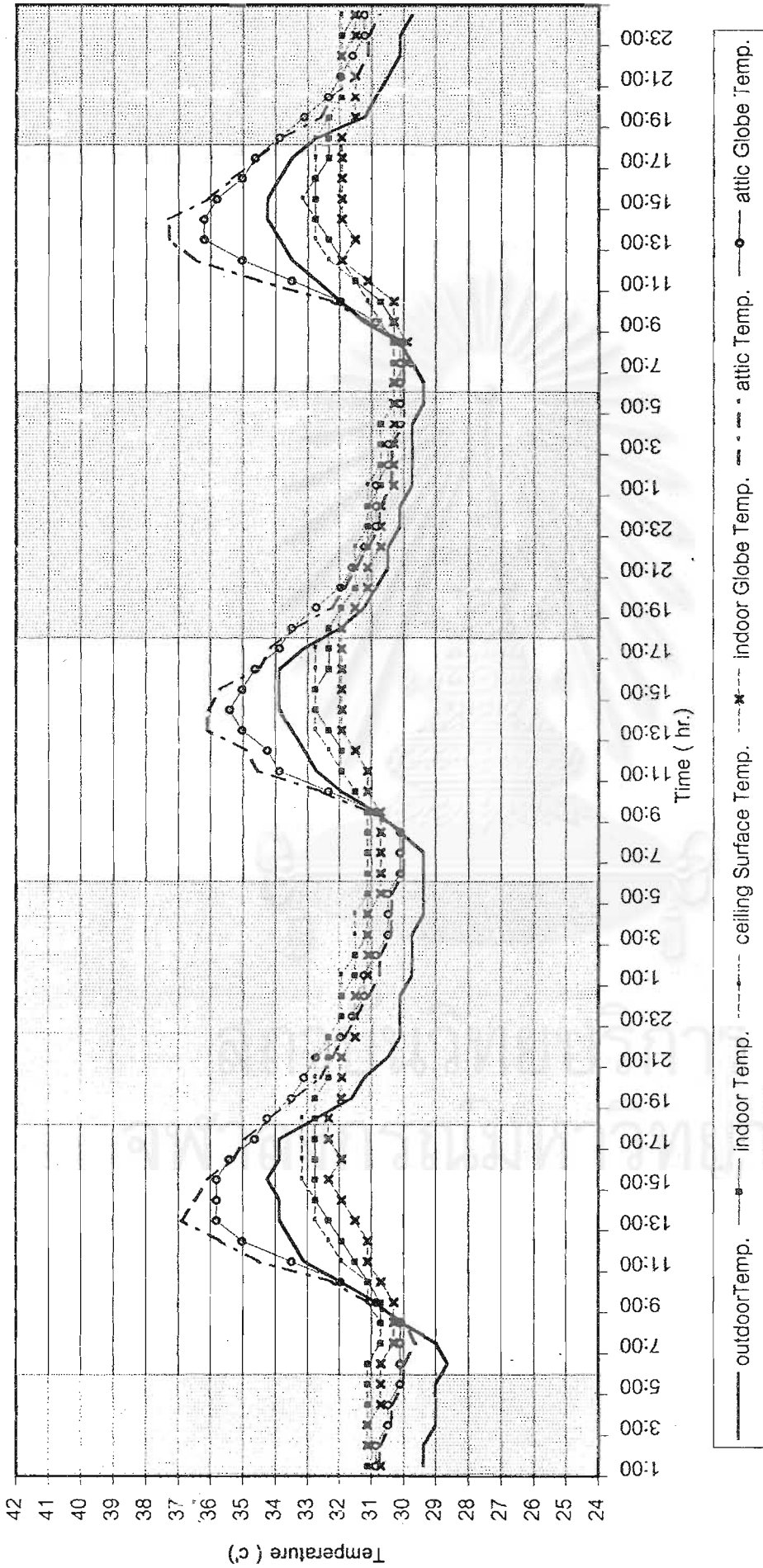


หลังคาปูฉนวนทั้ง 2 ชนิดเปิดพัดลม (Roof insulate+alu with fan)
และค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิในทุกการทดลองแสดงผลอยู่ตารางที่ 4.1-4.3



4.17 กราฟแสดงอุณหภูมิของหลังคาที่ติดตั้งฉนวนใยแก้วและแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ปิดพัดลมระบายอากาศ (Roof Insulate+Aluminium foil without fan) ทำการทดลองวันที่ 23 - 25 / March / 2003

Day-Time 6.00 am-6.00 pm
Night-Time 6.00 pm-6.00 am



4.18 กราฟแสดงอุณหภูมิของหลังคาที่ติดตั้งฉนวนใยแก้วและแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ เปิดพัดลมระบายอากาศ

(Roof Insulate+Aluminium foil with fan) ทำการทดลองวันที่ 26 - 28 / March / 2003

Day-Time 6.00 am-6.00 pm

Night-Time 6.00 pm-6.00 am

Roof without fan	outdoorTemp.	indoor Temp.	ceiling Surface Temp.	indoor Globe Temp.	attic Temp.	attic Globe Temp.
ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิทั้งวัน	30.10833333	31.06666667	31.57069444	30.74180556	32.2380556	32.18444444
อุณหภูมิสูงสุด	33.59	33.59	37	32.34	40.13	40.59
อุณหภูมิต่ำสุด	27.91	29.1	28.7	29.1	27.91	28.31
Roof with fan	outdoorTemp.	indoor Temp.	ceiling Surface Temp.	indoor Globe Temp.	attic Temp.	attic Globe Temp.
ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิทั้งวัน	29.90944444	30.99597222	31.18361111	30.71277778	31.5366667	31.47444444
อุณหภูมิสูงสุด	33.17	32.76	34.85	32.76	37.44	37.44
อุณหภูมิต่ำสุด	27.52	29.5	28.7	29.5	27.91	27.91
Insulation without fan	outdoorTemp.	indoor Temp.	ceiling Surface Temp.	indoor Globe Temp.	attic Temp.	attic Globe Temp.
ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิทั้งวัน	29.405	30.01125	30.28125	29.60888889	30.7741667	30.99319444
อุณหภูมิสูงสุด	33.88	31.67	32.09	30.84	41.98	41.65
อุณหภูมิต่ำสุด	25.42	27.91	27.91	27.52	24.94	25.06
Insulation with fan	outdoorTemp.	indoor Temp.	ceiling Surface Temp.	indoor Globe Temp.	attic Temp.	attic Globe Temp.
ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิทั้งวัน	28.84041667	29.34222222	29.43680556	28.93333333	30.2952778	30.47986111
อุณหภูมิสูงสุด	33.61	31.12	31.43	30.71	41.4	41.9
อุณหภูมิต่ำสุด	24.34	26.73	26.73	26.73	23.51	23.63
Roof Aluminium foil without fan	outdoorTemp.	indoor Temp.	ceiling Surface Temp.	indoor Globe Temp.	attic Temp.	attic Globe Temp.
ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิทั้งวัน	30.22611111	30.76958333	30.99277778	30.43708333	31.5406944	31.46819444
อุณหภูมิสูงสุด	33.88	32.34	34.43	31.93	37.69	36.61
อุณหภูมิต่ำสุด	27.56	29.5	29.1	29.1	28.53	29.01
Roof Aluminium foil with fan	outdoorTemp.	indoor Temp.	ceiling Surface Temp.	indoor Globe Temp.	attic Temp.	attic Globe Temp.
ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิทั้งวัน	29.64916667	30.48805556	30.61805556	30.15069444	31.0556944	30.91152778
อุณหภูมิสูงสุด	33.47	31.93	33.59	31.52	36.89	35.03
อุณหภูมิต่ำสุด	26.82	29.1	28.7	29.1	27.81	28.28
Roof Insulate+Alu without fan	outdoorTemp.	indoor Temp.	ceiling Surface Temp.	indoor Globe Temp.	attic Temp.	attic Globe Temp.
ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิทั้งวัน	31.21791667	31.8	31.97208333	31.32125	32.5795833	32.51666667
อุณหภูมิสูงสุด	35.04	33.59	33.59	32.76	39.33	37.81
อุณหภูมิต่ำสุด	28.28	30.31	30.31	29.5	28.53	29.01
Roof Insulate+Alu with fan	outdoorTemp.	indoor Temp.	ceiling Surface Temp.	indoor Globe Temp.	attic Temp.	attic Globe Temp.
ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิทั้งวัน	31.14125	31.54041667	31.75555556	31.11972222	32.4783333	32.31847222
อุณหภูมิสูงสุด	34.26	32.76	33.17	32.34	36.89	35.82
อุณหภูมิต่ำสุด	28.65	30.71	30.71	30.31	29.63	30.11

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าเฉลี่ยอุณหภูมิทั้ง 3 วันที่ทำการทดลอง

Roof without fan	outdoorTemp.	indoor Temp.	ceiling Surface Temp.	indoor Globe Temp.	attic Temp.	attic Globe Temp.
ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิกลางวัน	31.43583333	31.60027778	33.16888889	31.04083333	34.92333333	34.95138889
อุณหภูมิสูงสุด	33.59	33.59	37	32.34	40.13	40.59
อุณหภูมิต่ำสุด	27.91	29.1	28.7	29.1	27.91	28.31
Roof with fan	outdoorTemp.	indoor Temp.	ceiling Surface Temp.	indoor Globe Temp.	attic Temp.	attic Globe Temp.
ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิกลางวัน	30.98972222	31.36972222	32.30416667	30.96083333	33.57555556	33.55222222
อุณหภูมิสูงสุด	33.17	32.76	34.85	32.76	37.44	37.44
อุณหภูมิต่ำสุด	27.91	29.5	28.7	29.5	27.91	27.91
Insulation without fan	outdoorTemp.	indoor Temp.	ceiling Surface Temp.	indoor Globe Temp.	attic Temp.	attic Globe Temp.
ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิกลางวัน	31.20861111	30.30083333	30.67416667	29.76944444	34.0030556	34.32694444
อุณหภูมิสูงสุด	33.88	31.67	32.09	30.84	41.98	41.65
อุณหภูมิต่ำสุด	25.42	27.91	27.91	27.52	24.94	25.06
Insulation with fan	outdoorTemp.	indoor Temp.	ceiling Surface Temp.	indoor Globe Temp.	attic Temp.	attic Globe Temp.
ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิกลางวัน	30.14222222	29.43694444	29.64222222	28.95055556	32.7313889	33.04527778
อุณหภูมิสูงสุด	33.61	31.12	31.43	30.71	41.4	41.9
อุณหภูมิต่ำสุด	24.34	26.73	26.73	26.73	23.51	23.63
Roof Aluminium foil without fan	outdoorTemp.	indoor Temp.	ceiling Surface Temp.	indoor Globe Temp.	attic Temp.	attic Globe Temp.
ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิกลางวัน	31.60194444	31.05166667	31.9125	30.63444444	33.0788889	32.66416667
อุณหภูมิสูงสุด	33.88	32.34	34.43	31.93	37.69	36.61
อุณหภูมิต่ำสุด	27.56	29.5	29.1	29.1	28.53	29.01
Roof Aluminium foil with fan	outdoorTemp.	indoor Temp.	ceiling Surface Temp.	indoor Globe Temp.	attic Temp.	attic Globe Temp.
ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิกลางวัน	30.72944444	30.5775	31.37638889	30.18472222	32.4694444	31.89666667
อุณหภูมิสูงสุด	33.47	31.93	33.59	31.52	36.89	35.03
อุณหภูมิต่ำสุด	27.54	29.1	28.7	29.1	27.81	28.28
Roof Insulate+Alu without fan	outdoorTemp.	indoor Temp.	ceiling Surface Temp.	indoor Globe Temp.	attic Temp.	attic Globe Temp.
ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิกลางวัน	32.60444444	31.96222222	32.21305556	31.4025	34.4097222	33.78805556
อุณหภูมิสูงสุด	35.04	33.59	33.59	32.76	39.33	37.81
อุณหภูมิต่ำสุด	28.65	30.31	30.31	29.9	28.53	29.01
Roof Insulate+Alu with fan	outdoorTemp.	indoor Temp.	ceiling Surface Temp.	indoor Globe Temp.	attic Temp.	attic Globe Temp.
ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิกลางวัน	32.59166667	31.90333333	32.1775	31.35666667	33.92	33.61333333
อุณหภูมิสูงสุด	34.26	32.76	33.17	32.34	36.89	35.82
อุณหภูมิต่ำสุด	29.01	30.71	30.71	30.31	29.63	30.11

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าเฉลี่ยอุณหภูมิเฉพาะช่วงกลางวัน (6.00 น. - 18.00 น.) ทั้ง 3 วันที่ทำการทดลอง

Roof without fan	outdoorTemp.	indoor Temp.	ceiling Surface Temp.	indoor Globe Temp.	attic Temp.	attic Globe Temp.
ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิกลางวัน	28.78083333	30.53305556	29.9725	30.44277778	29.5527778	29.4175
อุณหภูมิสูงสุด	31.12	32.34	31.93	31.93	32.34	31.93
อุณหภูมิต่ำสุด	27.91	29.5	28.7	29.5	28.31	28.31
Roof with fan	outdoorTemp.	indoor Temp.	ceiling Surface Temp.	indoor Globe Temp.	attic Temp.	attic Globe Temp.
ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิกลางวัน	28.82916667	30.62222222	30.06305556	30.46472222	29.4977778	29.39666667
อุณหภูมิสูงสุด	30.71	31.93	31.93	31.52	31.93	31.93
อุณหภูมิต่ำสุด	27.52	29.5	28.7	29.5	27.91	27.91
Insulation without fan	outdoorTemp.	indoor Temp.	ceiling Surface Temp.	indoor Globe Temp.	attic Temp.	attic Globe Temp.
ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิกลางวัน	27.60138889	29.72166667	29.86833333	29.44833333	27.5452778	27.65944444
อุณหภูมิสูงสุด	30.49	31.12	31.26	30.71	32.24	32.73
อุณหภูมิต่ำสุด	25.42	27.91	28.26	27.52	24.94	25.06
Insulation with fan	outdoorTemp.	indoor Temp.	ceiling Surface Temp.	indoor Globe Temp.	attic Temp.	attic Globe Temp.
ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิกลางวัน	27.53861111	29.2475	29.23138889	28.91611111	27.8591667	27.91444444
อุณหภูมิสูงสุด	29.74	30.71	30.71	30.31	31.53	32.03
อุณหภูมิต่ำสุด	24.34	27.12	27.12	26.73	23.87	23.98
Roof Aluminium foil without fan	outdoorTemp.	indoor Temp.	ceiling Surface Temp.	indoor Globe Temp.	attic Temp.	attic Globe Temp.
ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิกลางวัน	28.85027778	30.4875	30.07305556	30.23972222	30.0025	30.27222222
อุณหภูมิสูงสุด	30.49	31.93	31.93	31.52	32.24	32.73
อุณหภูมิต่ำสุด	27.56	29.5	29.1	29.5	28.53	29.01
Roof Aluminium foil with fan	outdoorTemp.	indoor Temp.	ceiling Surface Temp.	indoor Globe Temp.	attic Temp.	attic Globe Temp.
ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิกลางวัน	28.56888889	30.39861111	29.85972222	30.11666667	29.6419444	29.92638889
อุณหภูมิสูงสุด	30.09	31.52	31.52	31.12	31.86	31.98
อุณหภูมิต่ำสุด	26.82	29.5	28.7	29.1	27.81	28.28
Roof Insulate+Alu without fan	outdoorTemp.	indoor Temp.	ceiling Surface Temp.	indoor Globe Temp.	attic Temp.	attic Globe Temp.
ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิกลางวัน	29.84416667	31.69666667	31.76666667	31.28583333	31.2391667	31.42
อุณหภูมิสูงสุด	31.61	32.76	32.76	31.93	33.37	33.49
อุณหภูมิต่ำสุด	28.65	31.12	31.12	30.71	29.99	30.11
Roof Insulate+Alu with fan	outdoorTemp.	indoor Temp.	ceiling Surface Temp.	indoor Globe Temp.	attic Temp.	attic Globe Temp.
ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิกลางวัน	29.67805556	31.11861111	31.29805556	30.83694444	30.5469444	30.84888889
อุณหภูมิสูงสุด	31.23	32.34	32.34	31.93	32.99	33.49
อุณหภูมิต่ำสุด	28.28	30.31	30.31	29.5	28.53	29.01

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าเฉลี่ยอุณหภูมิเฉพาะช่วงกลางวัน (18.00 น.-6.00 น.) ทั้ง 3 วันที่ทำการทดลอง

4.2 การวิเคราะห์ผลจากการทดลอง

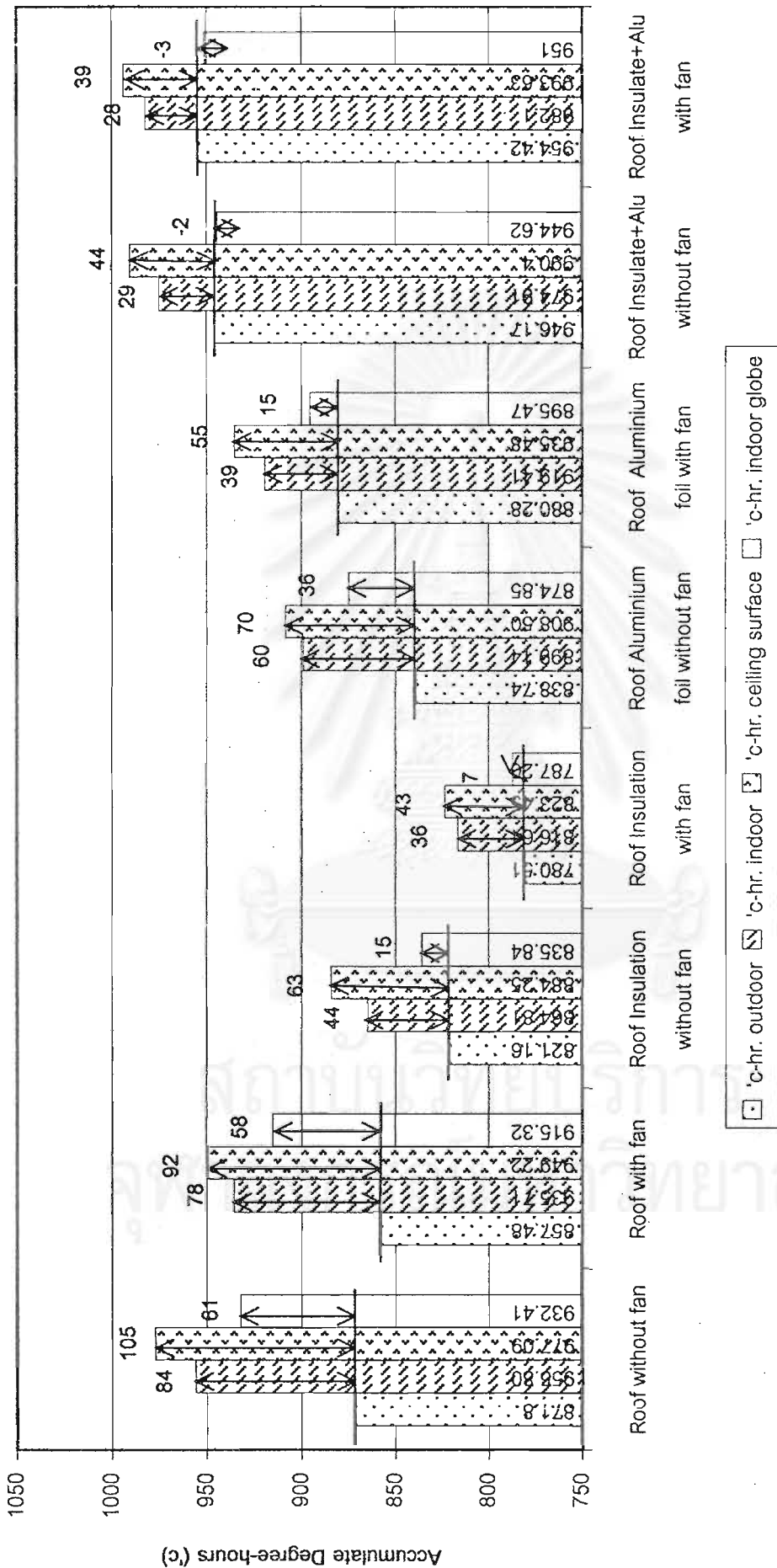
เนื่องจากการทดลองเก็บข้อมูลจากอาคารจริงอาคารเดียว ไม่มีผลการทดลองของอาคารฐาน (base building) ให้เปรียบเทียบประสิทธิภาพของการทดลองแต่ละครั้งยังเป็นการการควบคุมตัวแปรทุกตัวแปรให้เหมือนกันยกเว้นตัวแปรที่ต้องการทราบผล ดังนั้นการนำผลการทดลองแต่ละกรณีมาเปรียบเทียบกันโดยตรงเลยเพื่อเปรียบเทียบดูประสิทธิภาพของการทดลองต่างๆจึงไม่สามารถกระทำได้ เนื่องจากวันทดลองเป็นคนละวันกันตัวแปรทางด้านสภาพแวดล้อมของการทดลองแต่ละกรณีจึงแตกต่างกันไปบ้าง ดังนั้นในการวิเคราะห์ผลการทดลองกรณีต่างๆจึงใช้วิธีพิจารณาจากผลต่างขององศาชั่วโมงของอุณหภูมิในแต่ละจุดที่เก็บค่า ณ ฐาน 18 องศาเซลเซียสกับองศาทำความเย็น (cooling degree-hour) ที่ฐาน 18 องศาเซลเซียสของอุณหภูมิอากาศภายนอกเพื่อวิเคราะห์ผลเปรียบเทียบในแต่ละกรณีศึกษาทดลอง

ในการวิเคราะห์ถึงประสิทธิภาพของทุกชุดการทดลองจะนำอุณหภูมิในแต่ละจุดได้แก่ อุณหภูมิอากาศภายในห้อง อุณหภูมิผิวฝ้าเพดานและอุณหภูมิโกลบ (glob temp.) เก็บค่าทุกๆชั่วโมงเป็นเวลา 3 วัน โดยนำอุณหภูมิในแต่ละชั่วโมงมาลบที่ 18 องศาเซลเซียสซึ่งเป็นอุณหภูมิฐานเมื่อนำมาลบในแต่ละชั่วโมงแล้วนำผลต่างที่ได้มารวมเป็นผลรวมของอุณหภูมิองศาเซลเซียส-ชั่วโมงสะสมโดยมีอุณหภูมิฐานอยู่ที่ 18 องศาเซลเซียส (accumulate degree-hours (18'c base) 24 hours x 3 days) โดยแสดงผลของกราฟได้ดังนี้

กราฟ 4.21 แสดงผลรวมของอุณหภูมิชั่วโมงสะสมทั้งวัน ตลอดทั้ง 3 วัน (accumulate degree-hours (18 'c base) 24 hours x 3 days)

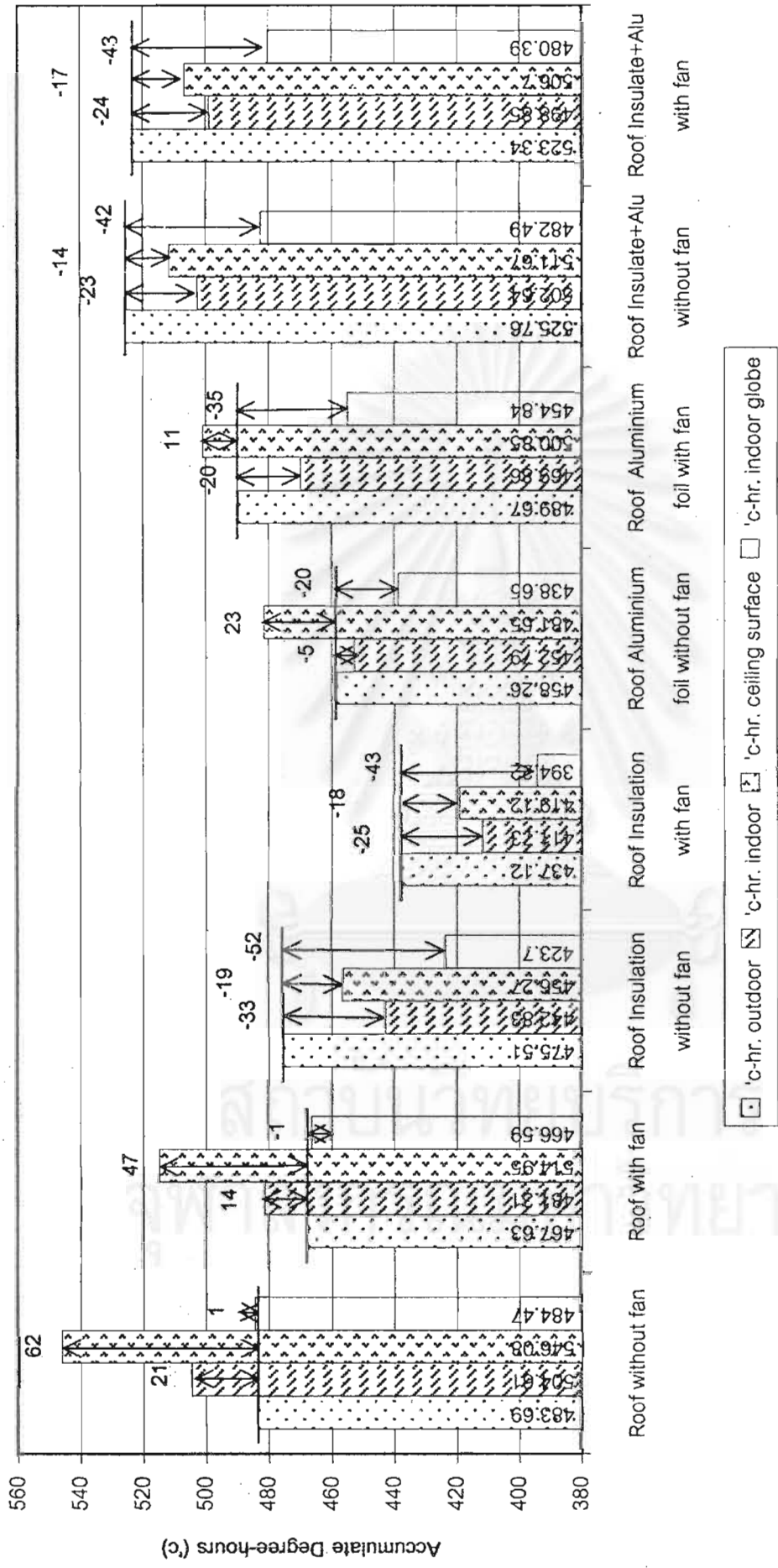
กราฟ 4.22 แสดงผลรวมของอุณหภูมิชั่วโมงสะสม เฉพาะช่วงกลางวัน ตั้งแต่ 6.00 น. – 18.00 น. (accumulate degree-hours (18 'c base) day-time) ตลอด 3 วัน

กราฟ 4.23 แสดงผลรวมของอุณหภูมิชั่วโมงสะสม เฉพาะช่วงกลางคืน ตั้งแต่ 18.00 น. – 6.00 น. (accumulate degree-hours (18 'c base) night-time) ตลอด 3 วัน

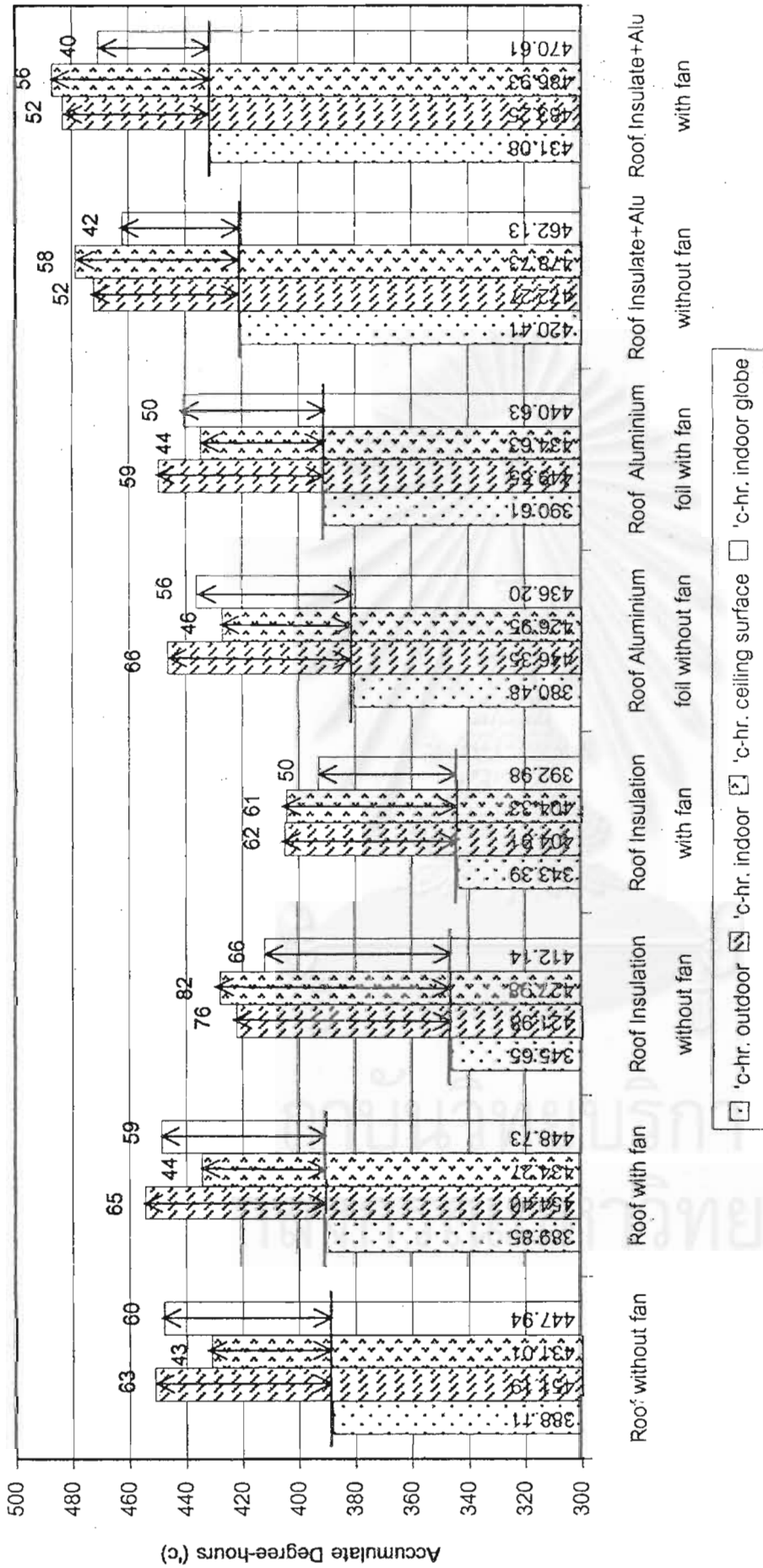


4.21 กราฟแสดงผลรวมของอุณหภูมิชั่วโมงสะสม ตลอดทั้ง 3 วัน

accumulate degree-hours above 18 'c for 3 days



4.22 กราฟแสดงผลรวมของอุณหภูมิชั่วโมงสะสม เฉพาะช่วงกลางวัน ตั้งแต่ 6.00 น. - 18.00 น. ตลอดทั้ง 3 วัน
 accumulate degree-hours above 18 °C only day-time for 3 days



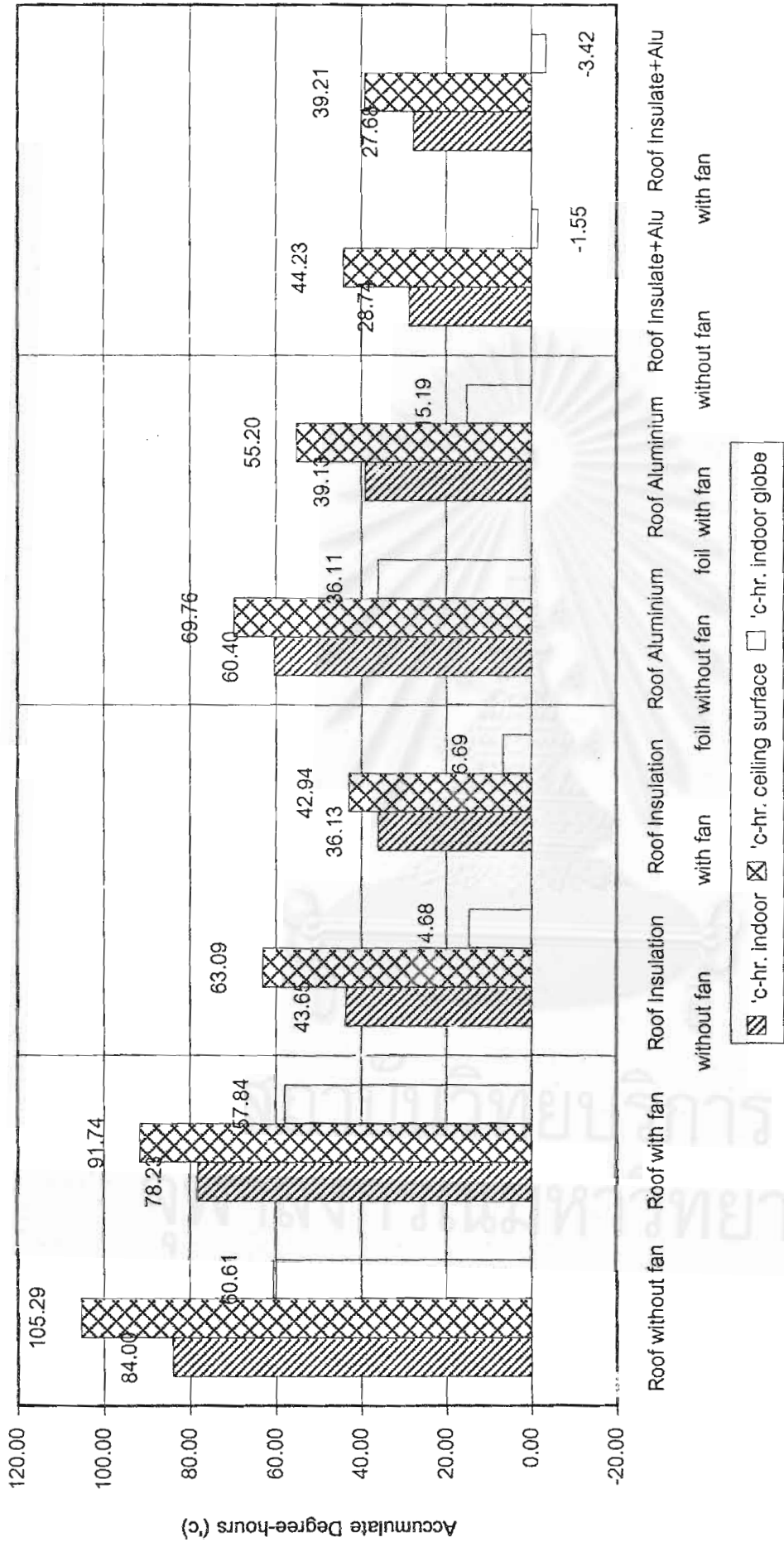
4.23 กราฟแสดงผลรวมของอุณหภูมิชั่วโมงสะสม เฉพาะช่วงกลางวัน ตั้งแต่ 18.00 น. - 6.00 น. ตลอดทั้ง 3 วัน
 accumulate degree-hours above 18 'c only night-time for 3 days

เมื่อได้ผลของกราฟแสดงผลรวมของอุณหภูมิองศาเซลเซียส-ชั่วโมงสะสมโดยมีฐานของอุณหภูมิอยู่ที่ 18 องศาเซลเซียส (accumulate degree-hours (18°C base)) จึงนำมาใช้ในการวิเคราะห์ผลการทดลอง โดยจะทำการศึกษาเปรียบเทียบในส่วนที่เป็นผลต่างของอุณหภูมิองศาเซลเซียส-ชั่วโมงสะสมของอากาศภายนอกห้องทดลองกับอุณหภูมิองศาเซลเซียส-ชั่วโมงสะสมของอุณหภูมิอากาศภายในห้อง อุณหภูมิผิวฝ้าเพดานและอุณหภูมิโกลบ (glob temp.) โดยดูได้จากผลของกราฟดังนี้

กราฟ 4.24 แสดงผลต่างของอุณหภูมิชั่วโมงสะสมอุณหภูมิอากาศภายนอกห้องทดลองกับอุณหภูมิชั่วโมงสะสมที่สนใจทั้งวัน ตลอดทั้ง 3 วัน (comparative degree-hours 24 hours x 3 days)

กราฟ 4.25 แสดงผลต่างของอุณหภูมิชั่วโมงสะสมอุณหภูมิอากาศภายนอกห้องทดลองกับอุณหภูมิชั่วโมงสะสมที่สนใจ เฉพาะช่วงกลางวัน ตั้งแต่ 6.00 น. – 18.00 น. (comparative degree-hours (day-time)) ตลอด 3 วัน

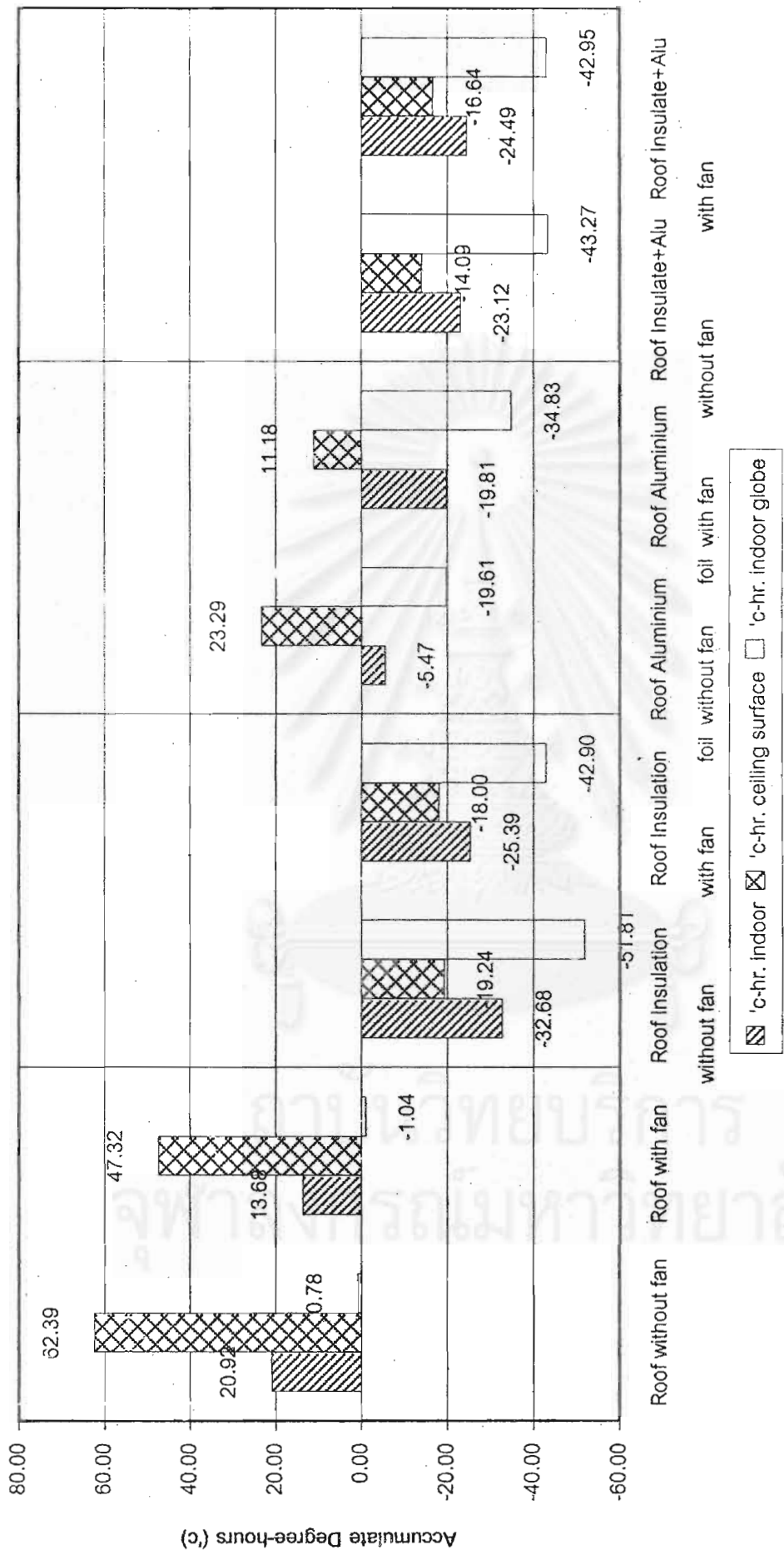
กราฟ 4.26 แสดงผลต่างของอุณหภูมิชั่วโมงสะสมอุณหภูมิอากาศภายนอกห้องทดลองกับอุณหภูมิชั่วโมงสะสมที่สนใจ เฉพาะช่วงกลางคืน ตั้งแต่ 18.00 น. – 6.00 น. (comparative degree-hours (night-time)) ตลอด 3 วัน



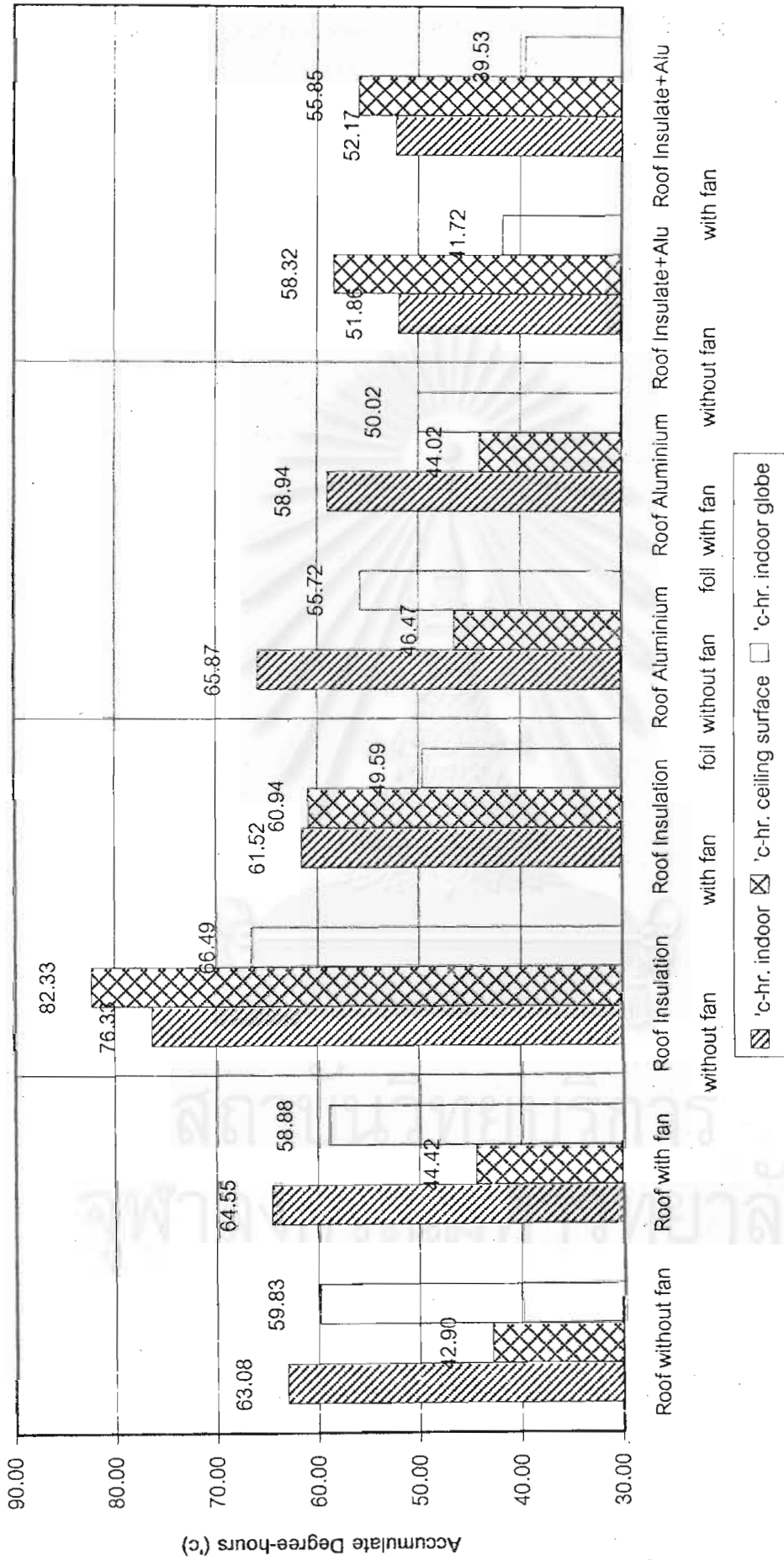
4.24 กราฟแสดงผลต่างของอุณหภูมิชั่วโมงตลอดทั้งวันของอาคารภายนอกห้องทดลองกับอุณหภูมิชั่วโมงตลอดทั้ง 3 วัน

Roof without fan Roof with fan Roof Insulation without fan Roof Insulation with fan Roof Aluminium foil without fan Roof Aluminium foil with fan Roof Insulate+Alu without fan Roof Insulate+Alu with fan

▨ 'c-hr. indoor ▩ 'c-hr. ceiling surface □ 'c-hr. indoor globe



4.25 กราฟแสดงผลต่างของอุณหภูมิชั่วโมงอากาศภายนอกห้องทดลองกับอุณหภูมิชั่วโมงสะสมที่สนใจ เฉพาะช่วงกลางวัน ตั้งแต่ 6.00 น. - 18.00 น.



4.26 กราฟแสดงผลต่างของอุณหภูมิชั่วโมงอากาศภายนอกห้องทดลองกับอุณหภูมิชั่วโมงสะสมที่สนใจ เฉพาะช่วงกลาง

คืน ตั้งแต่ 18.00 น. - 6.00 น.

จากผลของกราฟแสดงผลต่างของอุณหภูมิอากาศเซลล์เขียว-ชั่วโมงสะสมเปรียบเทียบกับหลังคาที่ยังไม่มีการปรับปรุงกับการลดการถ่ายเทความร้อนโดยวิธีต่างๆออกมานี้

4.2.1 การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิผลการลดการถ่ายเทความร้อนจากการระบายอากาศช่องใต้หลังคา (การพาความร้อน)

จากผลการทดลองระหว่างชุดหลังคาที่ยังไม่มีการระบายอากาศ (Roof without fan) กับหลังคาที่มีการปรับปรุงโดยการเพิ่มการระบายอากาศโดยใช้พัดลมระบายอากาศ (Roof with fan) เปรียบเทียบในส่วนที่เป็นผลต่างของอุณหภูมิอากาศเซลล์เขียว-ชั่วโมงสะสมของอากาศภายนอกห้องทดลองกับอุณหภูมิอากาศเซลล์เขียว-ชั่วโมงสะสมของอุณหภูมิผิวฝ้าเพดานและอุณหภูมิอากาศภายในห้อง ในภาพรวมตลอดทั้ง 3 วัน ได้ผลดังนี้

24 hours x 3 days	'c-hr. of ceiling surface	'c-hr. of indoor
Roof without fan (base case)	105.29	84.00
Roof with fan (convection)	91.74	78.23

Day-time x 3 days	'c-hr. of ceiling surface	'c-hr. of indoor
Roof without fan (base case)	62.39	20.92
Roof with fan (convection)	47.32	13.68

Night-time x 3 days	'c-hr. of ceiling surface	'c-hr. of indoor
Roof without fan (base case)	42.90	63.08
Roof with fan (convection)	44.42	64.55

หมายเหตุ ค่า 'c-hr. of ceiling surface และ 'c-hr. of indoor เป็นค่าอุณหภูมิอากาศเซลล์เขียว-ชั่วโมงสะสม

จากผลการทดลองพบว่า ในภาพรวมตลอดวันการปรับปรุงโดยใช้วิธีการระบายอากาศภายในช่องใต้หลังคา (โดยวิธีการพา) จะช่วยลดผลต่างของอุณหภูมิอากาศเซลล์เขียว-ชั่วโมงสะสมของอากาศภายนอกห้องทดลองกับอุณหภูมิอากาศเซลล์เขียว-ชั่วโมงสะสมของอุณหภูมิผิวฝ้าเพดานลงจาก 105.29 'c-hour เหลือ 91.74 'c-hour ผลต่างที่ลดลง 13.55 'c-hour และอุณหภูมิอากาศภายในห้องลดลงจาก 84.0 'c-hour เหลือ 78.23 ผลต่างที่ลดลง 5.77 'c-hour เมื่อเทียบกับของคาชั่วโมงสะสม 3 วันโดยประมาณที่ 800 องศาชั่วโมง พบว่าลดลงน้อยมาก

4.2.2 การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิผลการลดการถ่ายเทความร้อนโดยใช้ฉนวนกันความร้อนหนา 2 นิ้ววางเหนือฝ้าเพดาน (ป้องกันการนำความร้อน)

จากผลการทดลองระหว่างชุดหลังคาที่ยังไม่มีการปรับปรุง (Roof without fan) กับชุดหลังคาที่มีการติดฉนวนใยแก้วกันความร้อนหนา 2 นิ้ว (Roof insulation without fan) เปรียบเทียบในส่วนที่เป็นผลต่างของอุณหภูมิองศาเซลเซียส-ชั่วโมงสะสมของอากาศภายนอกห้อง ทดลองกับอุณหภูมิองศาเซลเซียส-ชั่วโมงสะสมของอุณหภูมิฝ้าเพดานและอุณหภูมิอากาศภายในห้อง ในภาพรวมตลอดทั้ง 3 วัน ได้ผลดังนี้

24 hours x 3 days	'c-hr. of ceiling surface	'c-hr. of indoor
Roof without fan (base case)	105.29	84.00
Roof Insulation without fan (conduction)	63.09	43.65

Day-time x 3 days	'c-hr. of ceiling surface	'c-hr. of indoor
Roof without fan (base case)	62.39	20.92
Roof Insulation without fan (conduction)	-19.24	-32.68

Night-time x 3 days	'c-hr. of ceiling surface	'c-hr. of indoor
Roof without fan (base case)	42.90	63.08
Roof Insulation without fan (conduction)	82.33	76.33

หมายเหตุ ค่า 'c-hr. of ceiling surface และ 'c-hr. of indoor เป็นค่าอุณหภูมิองศาเซลเซียส-ชั่วโมงสะสม

จากผลการทดลองพบว่า ในภาพรวมตลอดวันการปรับปรุงโดยใช้ฉนวนกันความร้อนหนา 2 นิ้ววางเหนือฝ้าเพดานในช่องใต้หลังคา จะช่วยลดผลต่างของอุณหภูมิองศาเซลเซียส-ชั่วโมงสะสมของอากาศภายนอกห้องทดลองกับอุณหภูมิองศาเซลเซียส-ชั่วโมงสะสมของอุณหภูมิฝ้าเพดานลงจาก 105.29 'c-hour เหลือ 63.09'c-hour ผลต่างที่ลดลง 42.2 'c-hour และอุณหภูมิอากาศภายในห้องลดลงจาก 84.0 'c-hour เหลือ 43.65 ผลต่างที่ลดลง 40.35 'c-hour เมื่อเทียบกับองศาชั่วโมงสะสม 3 วันโดยประมาณที่ 800 พบว่าลดลงน้อย ประสิทธิภาพของการลดการถ่ายเทความร้อนโดยการใช้ฉนวนป้องกันการนำความร้อนที่ฝ้าเพดานนั้นดีกว่าการระบายอากาศในช่องหลังคามาก เมื่อพิจารณาในช่วงเวลากลางวันประสิทธิภาพนั้นดีมากแต่ในทางกลับ

กันในช่วงเวลากลางคืนฉนวนจะป้องกันความร้อนภายในอาคารที่สะสมในช่วงกลางวันถ่ายเทออกไปภายนอกทำให้สภาพภายในนั้นไม่ดี

4.2.3 การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการลดการถ่ายเทความร้อนจากการใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ในช่องใต้หลังคา (ป้องกันการแผ่รังสีความร้อน)

โดยดูจากผลการทดลองระหว่างชุดหลังคาที่ยังไม่มีการปรับปรุง (Roof without fan) กับชุดหลังคาที่มีการติดแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ชนิดด้านเดียว (Roof aluminium foil without fan) เปรียบเทียบในส่วนที่เป็นผลต่างของอุณหภูมิห้องศาลาเซลล์เซียส-ชั่วโมงสะสมของอากาศภายนอกห้องทดลองกับอุณหภูมิห้องศาลาเซลล์เซียส-ชั่วโมงสะสมของอุณหภูมิผิวฝ้าเพดานและอุณหภูมิอากาศภายในห้อง ในภาพรวมตลอดทั้ง 3 วัน ได้ผลดังนี้

24 hours x 3 days	'c-hr. of ceiling surface	'c-hr. of indoor
Roof without fan (base case)	105.29	84.00
Roof aluminium foil without fan (radiation)	69.76	60.40

Day-time x 3 days	'c-hr. of ceiling surface	'c-hr. of indoor
Roof without fan (base case)	62.39	20.92
Roof aluminium foil without fan (radiation)	23.26	-5.47

Night-time x 3 days	'c-hr. of ceiling surface	'c-hr. of indoor
Roof without fan (base case)	42.90	63.08
Roof aluminium foil without fan (radiation)	46.47	65.87

หมายเหตุ ค่า 'c-hr. of ceiling surface และ 'c-hr. of indoor เป็นค่าอุณหภูมิห้องศาลาเซลล์เซียส-ชั่วโมงสะสม จากผลการทดลองพบว่า ในภาพรวมตลอดวันการปรับปรุงโดยใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ในช่องใต้หลังคา (ป้องกันการแผ่รังสีความร้อน) จะช่วยลดผลต่างของอุณหภูมิห้องศาลาเซลล์เซียส-ชั่วโมงสะสมของอากาศภายนอกห้องทดลองกับอุณหภูมิห้องศาลาเซลล์เซียส-ชั่วโมงสะสมของอุณหภูมิผิวฝ้าเพดานลงจาก 105.29 'c-hour เหลือ 69.76 'c-hour ผลต่างที่ลดลง 35.53 'c-hour และอุณหภูมิอากาศภายในห้องลดลงจาก 84.0 'c-hour เหลือ 60.40 ผลต่างที่ลดลง 23.6 'c-hour ประสิทธิภาพของการใช้ระบบป้องกันรังสีความร้อนนั้นดีกว่าการระบายอากาศในช่องใต้หลังคา ในช่วงกลางวันจะได้ผลดีกว่า ส่วนในช่วงกลางคืนประสิทธิภาพใกล้เคียงกับหลังคา

ที่มีการระบายอากาศ ถ้าพิจารณาเปรียบเทียบกับการใช้ฉนวนแล้ว ช่วงเวลากลางวันประสิทธิผลของการใช้ฉนวนกันความร้อนดีกว่าใช้อลูมิเนียมฟอยล์ แต่ในทางกลับกันในช่วงเวลากลางคืนห้องใต้หลังคาที่มีฉนวนป้องกันความร้อนจะร้อนกว่าห้องที่หลังคาใช้อลูมิเนียมฟอยล์

4.2.4 การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการลดการถ่ายเทความร้อนจากการใช้ฉนวนกันความร้อน 2 นิ้วร่วมกับแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ (ป้องกันการนำความร้อนร่วมกับการป้องกันการแผ่รังสีความร้อน)

โดยดูจากผลการทดลองระหว่างชุดหลังคาที่ยังไม่มีการปรับปรุง (Roof without fan) กับชุดหลังคาที่มีการติดฉนวนกันความร้อนหนา 2 นิ้วกับแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ชนิดด้านเดียว (Roof insulate+alu without fan) เปรียบเทียบในส่วนที่เป็นผลต่างของอุณหภูมิองศาเซลเซียส-ชั่วโมงสะสมของอากาศภายนอกห้องทดลองกับอุณหภูมิองศาเซลเซียส-ชั่วโมงสะสมของอุณหภูมิผิวฝ้าเพดานและอุณหภูมิอากาศภายในห้อง ในภาพรวมตลอดทั้ง 3 วัน ได้ผลดังนี้

24 hours x 3 days	'c-hr. of ceiling surface	'c-hr. of indoor
Roof without fan (base case)	105.29	84.00
Roof insulate+alu without fan	44.23	28.74

Day-time x 3 days	'c-hr. of ceiling surface	'c-hr. of indoor
Roof without fan (base case)	62.39	20.92
Roof insulate+alu without fan	-14.09	-23.12

Night-time x 3 days	'c-hr. of ceiling surface	'c-hr. of indoor
Roof without fan (base case)	42.90	63.08
Roof insulate+alu without fan	58.32	51.86

หมายเหตุ ค่า 'c-hr. of ceiling surface และ 'c-hr. of indoor เป็นค่าอุณหภูมิองศาเซลเซียส-ชั่วโมงสะสม

จากผลการทดลองพบว่า ในภาพรวมตลอดวันการปรับปรุงโดยการใช้นิฉนวนกันความร้อน 2 นิ้วร่วมกับแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ (ป้องกันการนำความร้อนร่วมกับการป้องกันการแผ่รังสีความร้อน) จะช่วยลดผลต่างของอุณหภูมิองศาเซลเซียส-ชั่วโมงสะสมของอากาศภายนอกห้องทดลองกับอุณหภูมิองศาเซลเซียส-ชั่วโมงสะสมของอุณหภูมิผิวฝ้าเพดานลงจาก 105.29 'c-hour เหลือ 44.23 'c-hour ผลต่างที่ลดลง 61.09 'c-hour และอุณหภูมิอากาศภายในห้องลดลงจาก

84.0 'c-hour เหลือ 28.74 ผลต่างที่ลดลง 55.26 'c-hour ประสิทธิภาพของการใช้ฉนวนกันความร้อน 2 นิ้วร่วมกับแผ่นอลูมิเนียมพอยล์ในช่องใต้หลังคานั้นดีกว่าการใช้วิธีระบายอากาศในช่องใต้หลังคามาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงเวลากลางวัน

4.2.5 การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิผลการลดการถ่ายเทความร้อนจากหลังคา เมื่อมีการใช้วิธีเพิ่มการระบายอากาศ (ventilation) ร่วมกับวิธีการป้องกันการถ่ายเทความร้อนด้วยวิธีอื่นๆ

ผลการทดลองพบว่าหลังคาที่มีการป้องกันการนำ (conduction) ความร้อน ที่มีการติดตั้งใยแก้วกันความร้อนหนา 2 นิ้ว (Roof insulation without fan) กับชุดหลังคาที่มีการติดตั้งใยแก้วกันความร้อนหนา 2 นิ้วและมีการเพิ่มการระบายอากาศโดยใช้พัดลมระบายอากาศ (Roof insulation with fan)) เปรียบเทียบในส่วนที่เป็นผลต่างของอุณหภูมิองศาเซลเซียส-ชั่วโมงสะสมของอากาศภายนอกห้องทดลองกับอุณหภูมิองศาเซลเซียส-ชั่วโมงสะสมของอุณหภูมิผิวฝ้าเพดานและอุณหภูมิอากาศภายในห้อง ในภาพรวมตลอดทั้ง 3 วัน ได้ผลดังนี้

24 hours x 3 days	'c-hr. of ceiling surface	'c-hr. of indoor
Roof insulation without fan (conduction)	63.09	43.65
Roof insulation with fan (conduction)	42.94	36.13

Day-time x 3 days	'c-hr. of ceiling surface	'c-hr. of indoor
Roof insulation without fan (conduction)	-19.24	-32.68
Roof insulation with fan (conduction)	-18.00	-25.39

Night-time x 3 days	'c-hr. of ceiling surface	'c-hr. of indoor
Roof insulation without fan (conduction)	82.33	76.33
Roof insulation with fan (conduction)	60.94	61.52

หมายเหตุ ค่า 'c-hr. of ceiling surface และ 'c-hr. of indoor เป็นค่าอุณหภูมิองศาเซลเซียส-ชั่วโมงสะสม

จากผลการทดลองพบว่า ในภาพรวมตลอดวันการปรับปรุงโดยใช้วิธีการระบายอากาศภายในช่องใต้หลังคาจะช่วยลดผลต่างของอุณหภูมิองศาเซลเซียส-ชั่วโมงสะสมของอากาศภายนอกห้องทดลองกับอุณหภูมิองศาเซลเซียส-ชั่วโมงสะสมของอุณหภูมิผิวฝ้าเพดานลงจาก 63.09 'c-hour เหลือ 42.94 'c-hour ผลต่างที่ลดลง 20.15 'c-hour และอุณหภูมิอากาศภายใน

ห้องลดลงจาก 43.65 'c-hour เหลือ 36.13 ผลต่างที่ลดลง 7.52 'c-hour ประสิทธิภาพของการระบายอากาศได้หลังคาพร้อมกับฉนวนกันความร้อน 2 นิ้ว ช่วยให้ภายในอาคารตลอด 24 ชั่วโมงดีขึ้น ในช่วงเวลากลางคืนได้ผลค่อนข้างมาก แต่ในช่วงเวลากลางวันผลที่ได้จากการระบายอากาศนั้นน้อยมาก

ผลการทดลองพบว่าหลังคาที่มีการป้องกันการแผ่รังสี (radiation) ความร้อนโดยใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ชนิดด้านเดียว (Roof aluminium foil without fan) กับชุดหลังคาที่มีการติดแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ชนิดด้านและมีการเพิ่มการระบายอากาศโดยใช้พัดลมระบายอากาศ (Roof insulation with fan) เปรียบเทียบในส่วนที่เป็นผลต่างของอุณหภูมิองศาเซลเซียส-ชั่วโมงสะสมของอากาศภายนอกห้องทดลองกับอุณหภูมิองศาเซลเซียส-ชั่วโมงสะสมของอุณหภูมิผิวฝ้าเพดานและอุณหภูมิอากาศภายในห้อง ในภาพรวมตลอดทั้ง 3 วัน ได้ผลดังนี้

24 hours x 3 days	'c-hr. of ceiling surface	'c-hr. of indoor
Roof aluminium without fan (radiation)	69.76	60.40
Roof aluminium with fan (radiation)	55.20	39.13

Day-time x 3 days	'c-hr. of ceiling surface	'c-hr. of indoor
Roof aluminium without fan (radiation)	23.29	-5.47
Roof aluminium with fan (radiation)	11.18	-19.81

Night-time x 3 days	'c-hr. of ceiling surface	'c-hr. of indoor
Roof aluminium without fan (radiation)	46.47	65.87
Roof aluminium with fan (radiation)	44.02	58.94

หมายเหตุ ค่า 'c-hr. of ceiling surface และ 'c-hr. of indoor เป็นค่าอุณหภูมิองศาเซลเซียส-ชั่วโมงสะสม

จากผลการทดลองพบว่า ในภาพรวมตลอดวันการปรับปรุงโดยใช้วิธีการระบายอากาศภายในห้องได้หลังคาจะช่วยลดผลต่างของอุณหภูมิองศาเซลเซียส-ชั่วโมงสะสมของอากาศภายนอกห้องทดลองกับอุณหภูมิองศาเซลเซียส-ชั่วโมงสะสมของอุณหภูมิผิวฝ้าเพดานลงจาก 69.76 'c-hour เหลือ 55.2 'c-hour ผลต่างที่ลดลง 14.56 'c-hour และอุณหภูมิอากาศภายในห้องลดลงจาก 60.40 'c-hour เหลือ 39.13 ผลต่างที่ลดลง 21.27 'c-hour ประสิทธิภาพของการระบาย

อากาศใต้หลังคา กับแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ช่วยให้ภายในอาคารดีขึ้นบ้างในภาพรวมตลอด 24 ชั่วโมง รวมทั้งในช่วงเวลากลางวันและเวลากลางคืนด้วย

ผลการทดลองพบว่าหลังคาที่มีการป้องกันการนำ (conduction) ความร้อนร่วมกับ การป้องกันการแผ่รังสี (radiation) โดยการติดฉนวนกันความร้อนหนา 2 นิ้วกับแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ชนิดด้านเดียว (Roof insulate+alu without fan) กับหลังคาที่มีการติดฉนวนกันความร้อน 2 นิ้วกับแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ชนิดด้านเดียวและมีการเพิ่มการระบายอากาศโดยใช้พัดลมระบายอากาศ (Roof insulate+alu with fan) เปรียบเทียบในส่วนที่เป็นผลต่างของอุณหภูมิห้องศาลาเซเลส-ชั่วโมงสะสมของอากาศภายนอกห้องทดลองกับอุณหภูมิห้องศาลาเซเลส-ชั่วโมงสะสมของอุณหภูมิผิวฝ้าเพดานและอุณหภูมิอากาศภายในห้อง ในภาพรวมตลอดทั้ง 3 วัน ได้ผลดังนี้

24 hours x 3 days	'c-hr. of ceiling surface	'c-hr. of indoor
Roof insulate+alu without fan	44.23	28.74
Roof insulate+alu with fan	39.21	27.68

Day-time x 3 days	'c-hr. of ceiling surface	'c-hr. of indoor
Roof insulate+alu without fan	-14.09	-23.12
Roof insulate+alu with fan	-16.64	-24.49

Night-time x 3 days	'c-hr. of ceiling surface	'c-hr. of indoor
Roof insulate+alu without fan	58.32	51.86
Roof insulate+alu with fan	55.85	52.17

หมายเหตุ ค่า 'c-hr. of ceiling surface และ 'c-hr. of indoor เป็นค่าอุณหภูมิห้องศาลาเซเลส-ชั่วโมงสะสม

จากผลการทดลองพบว่า ในภาพรวมตลอดวันการปรับปรุงโดยใช้วิธีการระบายอากาศภายในช่องใต้หลังคา (โดยวิธีการแผ่รังสีความร้อน) จะช่วยลดผลต่างของอุณหภูมิห้องศาลาเซเลส-ชั่วโมงสะสมของอากาศภายนอกห้องทดลองกับอุณหภูมิห้องศาลาเซเลส-ชั่วโมงสะสมของอุณหภูมิผิวฝ้าเพดานลงจาก 44.23 'c-hour เหลือ 39.21 'c-hour ผลต่างที่ลดลง 5.02 'c-hour และอุณหภูมิอากาศภายในห้องลดลงจาก 28.74 'c-hour เหลือ 27.68 ผลต่างที่ลดลง 0.96 'c-hour เมื่อเทียบกับของศาลาชั่วโมงสะสม 3 วันโดยประมาณที่ 800 พบว่าลดลงน้อยมาก และเมื่อ

พิจารณาช่วงกลางวันและกลางคืนแล้วผลออกมาในทำนองเดียวกัน คือประสิทธิภาพของการระบายอากาศนั้นน้อยมาก

4.3 สรุปการวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลองเปรียบเทียบในส่วนที่เป็นผลต่างของอุณหภูมิอากาศเซลล์-ชั่วโมงสะสมของอากาศภายนอกห้องทดลองกับอุณหภูมิอากาศเซลล์-ชั่วโมงสะสมของอุณหภูมิผิวฝ้าเพดานและอุณหภูมิอากาศภายในห้อง ตลอดทั้ง 3 วัน พบว่าการปรับปรุงที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดเรียงลำดับจากมากไปหาน้อยได้ดังนี้

	ชุดการทดลอง	'c-hr. of ceiling surface	'c-hr. of indoor
1	Roof insulate+alu with fan	39.21	27.68
2	Roof insulate+alu without fan	44.23	28.74
3	Roof insulation with fan	42.94	36.13
4	Roof aluminium foil with fan	55.20	39.13
5	Roof insulation without fan	63.09	43.65
6	Roof aluminium foil without fan	69.76	60.40
7	Roof with fan	91.74	78.23
8	Roof without fan	105.29	84.00

หมายเหตุ ค่า 'c-hr. of ceiling surface และ 'c-hr. of indoor เป็นค่าอุณหภูมิอากาศเซลล์-ชั่วโมงสะสม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.4 การเปรียบเทียบอัตราการระบายอากาศ

จากผลการทดลองนำมาเปรียบเทียบกับอัตราการระบายอากาศของพัดลมระบายอากาศขนาด 0.18 m³ / min / W โดยพัดลมมีขนาด 37 W สามารถคำนวณอัตราการระบายอากาศได้ดังนี้

อัตราการระบายอากาศของพัดลมระบายอากาศเท่ากับ

$$0.18 \text{ m}^3 / \text{min} / \text{W} \times 37 \text{ watt} = 6.66 \text{ m}^3 / \text{min}$$

ดังนั้นพัดลมที่ใช้มีอัตราการระบายอากาศเท่ากับ 6.66 m³/min หรือ 235.19 ft³ / min

อัตราการระบายอากาศภายใน 1 ชั่วโมงเท่ากับ

$$6.66 \text{ m}^3 / \text{min} \times 60 \text{ min} = 399.6 \text{ m}^3 / \text{min}$$

ปริมาตรของหลังคาที่ใช้ในการทดลองเท่ากับ

$$\frac{1}{2} \times 4 \text{ m} \times 1.77 \text{ m} \times 4 \text{ m} = 14.16 \text{ m}^3$$

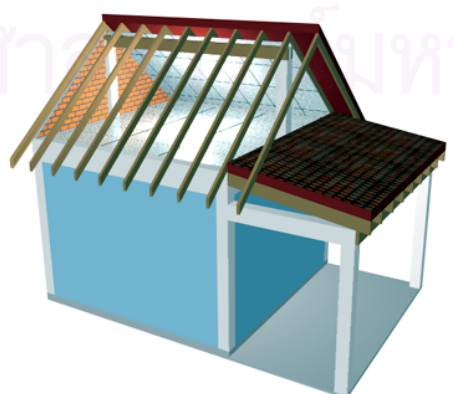
จากสูตรของอัตราการระบายอากาศ

$$V = \frac{(ACH) \times (\text{room volume})}{60 \text{ min/h}}$$

$$ACH = \frac{V \times 60 \text{ min/h}}{\text{Room volume}}$$

$$ACH = \frac{6.66 \times 60}{14.16}$$

$$ACH = 28.22 \text{ air change per hour}$$



4.5 การเปรียบเทียบสัดส่วนของช่องระบายอากาศ (บานเกล็ดระบายอากาศ)

จากการศึกษาอัตราการระบายอากาศของบานเกล็ดระบายอากาศ โดยถ้ามีลมที่มีความแรงจะไม่มีผลต่ออัตราการระบายอากาศของบานเกล็ดระบายอากาศ แต่ถ้าความแรงของลมลดลงจะส่งผลต่ออัตราการระบายอากาศโดยจากการศึกษาพบว่าบานเกล็ดระบายอากาศที่ใช้ยู่ทั่วไปที่มีขนาดของแผ่นเกล็ดขนาด 1/8" และมีระยะห่างระหว่างเกล็ด 1" และมุมของเกล็ดอยู่ที่ 45 องศา อัตราการระบายอากาศของบานเกล็ดระบายอากาศจะลดลงเหลือ 45%-50% หรือ 50% ของพื้นที่บานเกล็ดระบายอากาศ

เพื่อให้ได้ขนาดพื้นที่ของช่องเปิดที่มีอัตราการระบายอากาศเท่ากับอัตราการระบายอากาศด้วยพัดลมระบายอากาศสามารถคำนวณได้จาก

จากสูตร	Q	=	$C_v AV$
---------	-----	---	----------

โดย

Q = อัตราการระบายอากาศ (cfm)

A = พื้นที่ของช่องระบายอากาศ

V = ความเร็วลม

C_v = ค่าคงที่ของทิศทางช่องเปิดโดยช่องเปิดที่ตั้งฉากทิศทางของลม ค่าคงที่เท่ากับ 0.5-0.6
ช่องเปิดที่ทำมุม 45 องศาทิศทางของลม ค่าคงที่เท่ากับ 0.25-0.35

การคำนวณหาขนาดของช่องเปิดเพื่อให้ได้ค่าอัตราการระบายอากาศเทียบเท่ากับการใช้พัดลมระบายอากาศ โดยความเร็วลมที่ใช้เป็นความเร็วลมเฉลี่ยของกรุงเทพมหานครเท่ากับ 1.7 m/s หรือ 334.645 fpm มีอัตราการระบายอากาศเท่ากับ 6.66 m³/min หรือ 235.19 ft³/min และเลือกใช้ค่าคงที่ 0.25

จากสูตร	Q	=	$C_v AV$
---------	-----	---	----------

$A = \frac{Q}{C_v V}$

$A = \frac{235.19 \text{ ft}^3/\text{min}}{(0.25) \times (334.645 \text{ fpm})}$

$A = 2.81 \text{ ft}^2$

จากการคำนวณจะได้พื้นที่ขนาด 2.81 ft² แต่ในการใช้งานจริงเนื่องจากการระบายอากาศช่องอากาศโดยทั่วไปจะใช้บานเกล็ดระบายอากาศ ดังนั้นพื้นที่ของบานเกล็ดระบายอากาศควรจะมีพื้นที่เป็น 2 เท่าของพื้นที่ที่ได้จากการคำนวณข้างต้นคือเท่ากับ

$$= 2.81 \text{ ft}^2 \times 2$$

$$= 5.62 \text{ ft}^2 \text{ หรือ } 0.52 \text{ m}^2 \text{ (ขนาดประมาณ } 0.72 \text{ m.} \times 0.72 \text{ m.)}$$

ในการออกแบบปรับปรุงการระบายอากาศช่องใต้หลังคาที่อาคารพักอาศัยในปัจจุบัน จากการคำนวณพบว่า ถ้าหลังคามีพื้นที่เพิ่มมากขึ้นจะต้องเจาะช่องเปิดขนาดใหญ่ขึ้นเพิ่มให้ได้อัตราการระบายอากาศต่อชั่วโมงเทียบเท่าหรือมากกว่าอัตราการระบายอากาศที่ใช้ทำการทดลองที่ 28.22 air change per hour

4.6 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงหลังคา

ในการทดลองได้ใช้วิธีต่างๆในการปรับปรุงโดยสามารถเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายได้ดังนี้

การปรับปรุงโดยใช้บานเกล็ดระบายอากาศ

โดยขนาดของบานเกล็ดที่เลือกใช้มีขนาดคือ 65 cm x 95 cm มีชนิดของไม้ที่ใช้และราคาต่างๆกันดังนี้

บานไม้ขนาด 65 cm x 95 cm

ชนิดของไม้	ราคา (บาท)	จำนวน (ชิ้น)	รวม (บาท)
ไม้ตะเคียนทอง	550	2	1100
ไม้แดง	630	2	1260
ไม้สัก	1100	2	2200
ไม้มะค่า	1250	2	2500

บานชนิดอื่นๆ ขนาด 60 cm x 80 cm

ชนิด	ราคา (บาท)	จำนวน (ชิ้น)	รวม (บาท)
PVC	1227	2	2454
PVC	1304	2	2608
PVC	1116	2	2232
อลูมิเนียม	2100	2	4100

การปรับปรุงโดยใช้ฉนวนใยแก้วกันความร้อน

การใช้ฉนวนกันความร้อนหนา 2 นิ้วปูที่ฝ้าเพดานสามารถคำนวณค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงห้องขนาด 4.00 m x 4.00 m ซึ่งโดยทั่วไปจะขายเป็นถุงโดย 1 ถุงมีขนาด 0.6 m x 4.00 m ดังนั้นห้องที่ใช้ทำการทดลองต้องใช้อุ่นจำนวน 7 ถุง สามารถคำนวณเป็นค่าใช้จ่ายได้ดังนี้

ราคาของฉนวนใยแก้วกันความร้อนหนา 2 นิ้วแต่ละยี่ห้อ

ยี่ห้อ	ราคาต่อถุง(บาท)	จำนวน(บาท)	รวม(บาท)
Microfiber	187	7	1309
Stay cool	184	7	1288
Unifiber	184	7	1288

การปรับปรุงหลังคาโดยใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ชนิดด้านเดียว

การใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ในการป้องกันความร้อนส่งผ่านมาสู่พื้นที่ในหลังคาเลือกใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ชนิดด้านเดียวมาใช้ซึ่งโดยทั่วไปที่ขายอยู่ในท้องตลาดจะมีขนาด 1.25 m x 20 m และ 1.25 m x 60 m แต่ในการทดลองนี้ห้องทดลองมีขนาด 4.00 m x 4.00 m จึงใช้ขนาด 1.25 m x 20 m มีราคาของแต่ละยี่ห้อดังนี้

ราคาของแผ่นอลูมิเนียมพอยล์ชนิดด้านเดียวแต่ละยี่ห้อ

ยี่ห้อ	ราคาต่อม้วน(บาท)	จำนวน(ม้วน)	รวม(บาท)
V-con rb1	1300	1	1300
Microfiber	1475	1	1475
C-PAC	2170	1	2170

การปรับปรุงหลังคาโดยใช้พัดลมระบายอากาศ

การใช้พัดลมระบายอากาศในการปรับปรุงจะต้องคำนึงถึงค่าใช้จ่ายในส่วนอื่นๆด้วย เช่น ค่าไฟฟ้าที่ใช้ พัดลมที่ใช้มีขนาด 0.20 m x 0.20 m 37 W / 0.21 A ราคาของแต่ละยี่ห้อดังนี้

ยี่ห้อ	ราคาต่อเครื่อง(บาท)
Mitsubishi	790
Hatari	760
National	845

การคำนวณอัตราค่าไฟฟ้าในการใช้พัดลมระบายอากาศ

ในการเปิดพัดลมระบายอากาศจะเปิดเฉพาะเวลากลางวันเท่านั้น ดังนั้นจึงคำนวณโดยใช้เวลาเพียง 12 ชั่วโมงเท่านั้น โดยสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{อัตราการใช้ค่าไฟฟ้า} &= 37 \text{ W.} \times 12 \text{ hr.} \times 30 \text{ วัน} \\ &= 13.32 \text{ KWh} \end{aligned}$$

คิดค่าไฟฟ้าต่อหน่วยที่ 2.50 บาท

$$\begin{aligned} \text{ค่าไฟฟ้าต่อปี} &= 13.32 \times 2.50 \\ &= 399.6 \text{ บาท/ปี} \end{aligned}$$

จากผลการทดลองเปรียบเทียบสัดส่วนการลงทุนเพื่อปรับปรุง

	Roof- Insulation (บาท)	Roof- Aluminium foil (บาท)	Roof- Insulate+Alu (บาท)	Roof- Ventilation (บาท)
ราคาลงทุนต่ำสุด	1288	1300	1288+1300 = 2588	1100 (ตะเคียน)
ราคาลงทุนสูงสุด	1309	2170	1309+2170 = 3479	4100 (อลูมิเนียม)

เปรียบเทียบระหว่างการปรับปรุงที่มีประสิทธิผลกับสัดส่วนการลงทุนในการปรับปรุงได้ผลดังนี้

	ชุดการทดลอง	ราคาลงทุนต่ำสุด (บาท)	ราคาลงทุนสูงสุด (บาท)
1	Roof insulate+alu with ventilation	3688	7579
2	Roof insulate+alu without ventilation	2588	3479
3	Roof insulation with ventilation	2388	5409
4	Roof aluminium foil with ventilation	2400	6270
5	Roof insulation without ventilation	1288	1309
6	Roof aluminium foil without ventilation	1300	2170
7	Roof with ventilation	1100	4100
8	Roof without ventilation	0	0

ดังนั้นเพื่อให้สามารถเปรียบเทียบเป็นสัดส่วนระหว่างประสิทธิผลกับการลงทุนพบว่า เพื่อให้ได้ประสิทธิผลสูงสุดจากการทดลองนี้คือการใช้ฉนวนใยแก้วกันความร้อนหนา 2 นิ้วร่วมกับใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ชนิดด้านเดียวและมีการระบายอากาศร่วมด้วยพบว่าต้องใช้ค่าใช้จ่ายในการลงทุนสูงสุด 7579 บาท ต่ำสุด 3688 บาท เพื่อปรับปรุงอาคารพักอาศัยที่ใช้ในการทดลองที่มีขนาด 16 ตารางเมตร ดังนั้นในการปรับปรุงอาคารพักอาศัยที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้เมื่อคิดเป็นค่าใช้จ่ายต่อตารางเมตรเท่ากับราคาลงทุนสูงสุด 473.7 บาทต่อตารางเมตร และราคาลงทุนต่ำสุด 230.5 บาทต่อตารางเมตร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เปรียบเทียบระหว่างการปรับปรุงที่มีประสิทธิผลกับสัดส่วนการลงทุนต่อตารางเมตรในการปรับปรุงได้ผลดังนี้

	ชุดการทดลอง	ราคาลงทุนต่ำสุด (บาท)/m ²	ราคาลงทุนสูงสุด (บาท)/m ²	ราคาลงทุนเฉลี่ย (บาท)/m ²
1	Roof insulate+alu with ventilation	230.5	473.69	352.1
2	Roof insulation with ventilation	149.25	338.06	243.7
3	Roof insulate+alu without ventilation	161.75	217.43	189.59
4	Roof aluminium foil with ventilation	150	391.87	270.9
5	Roof insulation without ventilation	80.5	81.81	81.5
6	Roof aluminium foil without ventilation	81.25	135.63	108.5
7	Roof with ventilation	68.75	256.25	162.5
8	Roof without ventilation	0		0

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุป

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงทดลองจากสถานที่จริง (experimental research) เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการลดการถ่ายเทความร้อนจากหลังคาด้วยวิธีการระบายอากาศช่องใต้หลังคาของอาคารที่ตั้งอยู่ในสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้น อาคารที่ใช้ทำการทดลองเป็นอาคารพักอาศัยชั้นเดียวขนาด กว้าง 4 เมตร ยาว 4 เมตร สูง 2.40 เมตร หลังคาทรงจั่ว มุงหลังคาด้วยกระเบื้องคอนกรีต มุมของหลังคาประมาณ 40-45 องศา ในการทดลองเรื่องการระบายอากาศจะใช้พัดลมระบายอากาศจำลองสภาพการระบายอากาศแทนการระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติ โดยเลือกใช้พัดลมดูดอากาศที่มีอัตราการระบายอากาศอยู่ที่ $0.18 \text{ m}^3 / \text{min} / \text{W}$ ขนาด 37 W จะให้อัตราการระบายอากาศเท่ากับ $6.66 \text{ m}^2 / \text{min}$ หรือ $235.19 \text{ ft}^3 / \text{min}$ การเก็บและบันทึกข้อมูลจากการทดลองใช้อุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์บันทึกและเก็บข้อมูลทุกๆ 1 ชั่วโมงเป็นเวลาติดต่อกัน 3 วัน หรือ 72 ชั่วโมง ต่อ 1 การทดลอง การวิเคราะห์ข้อมูลจะใช้อุณหภูมิชั่วโมงสะสม (degree-hour) ฐานอุณหภูมิอยู่ที่ 18 องศาเซลเซียส เป็นตัวเทียบผลของการทดลอง

การวิจัยแบ่งออกเป็น 3 ส่วนตามวัตถุประสงค์การวิจัย คือ

- ส่วนที่ 1 ศึกษาประสิทธิภาพการลดการถ่ายเทความร้อนจากหลังคาด้วยวิธีการระบายอากาศช่องใต้หลังคา
- ส่วนที่ 2 หาแนวทางในการออกแบบปรับปรุงเพื่อลดปริมาณความร้อนที่เกิดจากการถ่ายเทความร้อนจากหลังคา
- ส่วนที่ 3 ศึกษาด้านเศรษฐศาสตร์ในการออกแบบและปรับปรุงเพื่อลดปริมาณความร้อน

ผลที่ได้มีดังนี้

ส่วนที่ 1 ศึกษาประสิทธิภาพการลดการถ่ายเทความร้อนจากหลังคาด้วยวิธีการระบายอากาศช่องใต้หลังคา ได้ผลดังตารางที่ 5.1 5.2 และ 5.3

	degree-hour of ceiling surface ('c-hour)x3 days			degree-hour of indoor ('c-hour)x3 days			degree-hour of globe ('c-hour)x3 days		
	without Vent.	with Vent.	ผลต่างที่ลดลง	without Vent.	with Vent.	ผลต่างที่ลดลง	without Vent.	with Vent.	ผลต่างที่ลดลง
Roof	105.29	91.74	13.55	84.0	78.23	5.77	60.61	57.84	2.77
Roof +2" insulation	63.09	42.94	20.15	43.65	36.13	7.52	14.68	6.69	7.99
Roof +aluminium foil	69.76	55.2	14.56	60.40	39.13	21.27	36.31	15.19	21.12
Roof + 2"insulate +aluminium foil	44.23	39.21	5.02	28.74	27.68	1.06	-1.55	-3.42	1.87

ตารางที่ 5.1 ตารางเปรียบเทียบในส่วนที่เป็นผลต่างของอุณหภูมิองศาเซลเซียส-ชั่วโมงสะสมของอากาศภายนอกห้องทดลองกับอุณหภูมิองศาเซลเซียส-ชั่วโมงสะสมของอุณหภูมิมิถิวฝ้าเพดาน อุณหภูมิอากาศภายในห้องและอุณหภูมิโกลบ (globe temp.) ตลอด 3 วัน

	degree-hour of ceiling surface ('c-hour)x3 days			degree-hour of indoor ('c-hour)x3 days			degree-hour of globe ('c-hour)x3 days		
	without Vent.	with Vent.	ผลต่างที่ลดลง	without Vent.	with Vent.	ผลต่างที่ลดลง	without Vent.	with Vent.	ผลต่างที่ลดลง
Roof	62.39	47.32	15.07	20.92	13.68	7.24	0.78	-1.04	1.26
Roof +2" insulation	-19.24	-18.0	-1.24	-32.68	-25.4	-7.28	-51.8	-42.9	-8.9
Roof +aluminium foil	23.29	11.18	12.11	-5.47	-19.8	-14.33	-19.61	-34.8	-15.19
Roof + 2"insulate +aluminium foil	-14.09	-16.6	-2.51	-23.1	-24.5	-1.4	-43.27	-42.9	-0.37

ตารางที่ 5.2 ตารางเปรียบเทียบในส่วนที่เป็นผลต่างของอุณหภูมิองศาเซลเซียส-ชั่วโมงสะสมของอากาศภายนอกห้องทดลองกับอุณหภูมิองศาเซลเซียส-ชั่วโมงสะสมของอุณหภูมิมิถิวฝ้าเพดาน อุณหภูมิอากาศภายในห้องและอุณหภูมิโกลบ (globe temp.) เฉพาะช่วงกลางวัน (6.00 – 18.00)

	degree-hour of ceiling surface ('c-hour)x3 days			degree-hour of indoor ('c-hour)x3 days			degree-hour of globe ('c-hour)x3 days		
	without Vent.	with Vent.	ผลต่างที่ลดลง	without Vent.	with Vent.	ผลต่างที่ลดลง	without Vent.	with Vent.	ผลต่างที่ลดลง
	Roof	42.90	44.42	-1.52	63.08	64.55	-1.47	59.83	58.88
Roof +2" insulation	82.33	60.94	21.39	76.33	61.52	14.81	66.49	49.59	16.9
Roof +aluminium foil	46.47	44.02	2.45	65.87	58.94	6.93	55.72	50.02	5.7
Roof + 2"insulate +aluminium foil	58.32	55.85	2.47	51.86	52.17	-0.31	41.72	39.53	2.19

ตารางที่ 5.2 ตารางเปรียบเทียบในส่วนที่เป็นผลต่างของอุณหภูมิองศาเซลเซียส-ชั่วโมงสะสมของอากาศภายนอกห้องทดลองกับอุณหภูมิองศาเซลเซียส-ชั่วโมงสะสมของอุณหภูมิผิวฝ้าเพดาน อุณหภูมิอากาศภายในห้องและอุณหภูมิโกลบ (globe temp.) ช่วงกลางวัน (18.00 – 6.00)

จากผลการทดลองเปรียบเทียบในส่วนที่เป็นผลต่างของอุณหภูมิองศาเซลเซียส-ชั่วโมงสะสมของอากาศภายนอกห้องทดลองกับอุณหภูมิองศาเซลเซียส-ชั่วโมงสะสมของอุณหภูมิผิวฝ้าเพดาน อุณหภูมิอากาศภายในห้องและอุณหภูมิโกลบ (globe temp.) พบว่า ในภาพรวมตลอดวันการปรับปรุงโดยใช้วิธีการระบายอากาศภายในช่องใต้หลังคา (โดยวิธีการพา) จะช่วยลดผลต่างของอุณหภูมิองศาเซลเซียส-ชั่วโมงสะสมของอากาศภายนอกห้องทดลองกับอุณหภูมิองศาเซลเซียส-ชั่วโมงสะสมของอุณหภูมิเฉลี่ยผิวฝ้าเพดานลงจาก 70.59 'c-hour เหลือ 57.27 'c-hour ผลต่างเฉลี่ยที่ลดลง 13.32 'c-hour อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยภายในห้องลดลงจาก 54.19 'c-hour เหลือ 45.29 ผลต่างเฉลี่ยที่ลดลง 8.90 'c-hour และอุณหภูมิโกลบ (globe) ในห้องเฉลี่ยลดลงจาก 27.51 'c-hour เหลือ 19.08 ผลต่างเฉลี่ยที่ลดลง 8.43'c-hour เมื่อเทียบกับองศาชั่วโมงสะสม 3 วันโดยประมาณที่ 800 ชั่วโมงพบว่าลดลงน้อยมาก ดังนั้นการลดการถ่ายเทความร้อนโดยการระบายอากาศช่องใต้หลังคามีประสิทธิภาพของการระบายอากาศช่องใต้หลังคาไม่ได้ผลดีนัก

ส่วนที่ 2 หาแนวทางในการออกแบบปรับปรุงอื่นนอกจากวิธีการระบายอากาศช่องใต้หลังคาเพื่อลดปริมาณความร้อนที่เกิดจากการถ่ายเทความร้อนจากหลังคา พบว่า ในช่วงเวลากลางวัน การใช้ฉนวนใยแก้วหนา 2 นิ้วปูบนฝ้าเพดานจะมีประสิทธิผลมากที่สุด ในช่วงเวลากลางคืน หลังคาที่ไม่มีมีการปรับปรุงจะมีประสิทธิผลมากที่สุด ส่วนการเปรียบเทียบระหว่างการป้องกันความร้อนโดยวิธีการพาความร้อน (convection) จากช่องหลังคาการป้องกันความร้อน

ร้อน (conduction) และการป้องกันการแผ่รังสี (radiation) ได้ประสิทธิผลเรียงลำดับจากมากที่สุดไปหาน้อยที่สุดดังนี้

- 1 การป้องกันการนำ (conduction) ความร้อน
- 2 การป้องกันโดยการแผ่รังสี (radiation) ความร้อน
- 3 ป้องกันการพา (convection) ความร้อน

เมื่อมีการเพิ่มการระบายอากาศเข้าไปในแต่ละวิธีพบว่ามีอุณหภูมิของศาลเซลเซียส-ชั่วโมงสะสมลดลงแต่ไม่มากนัก นั้นแสดงว่าประสิทธิผลของการระบายอากาศช่องใต้หลังคาจะช่วยลดความร้อนได้ไม่เห็นผลมากนัก เมื่อพิจารณาเป็นช่วงเวลาพบว่า

ช่วงกลางวัน (6.00 น.- 18.00 น.) การใช้ฉนวนใยแก้วกันความร้อนหนา 2 นิ้วปูบนฝ้าเพดานจะมีประสิทธิผลดีที่สุดโดยมีค่าของอุณหภูมิของศาลเซลเซียส-ชั่วโมงสะสมที่ฝ้าเพดาน -19.24 (°C-hour) เนื่องจากการใช้ฉนวนใยแก้วกันความร้อนหนา 2 นิ้วจะสามารถป้องกันการแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์และความร้อนที่สะสมภายในช่องใต้หลังคา ที่จะลงมาที่ฝ้าเพดานแต่จะส่งผลให้อุณหภูมิภายในห้องในช่วงกลางคืนสูงขึ้น โดยดูได้จากกราฟที่ 5.1

ช่วงเวลากลางคืน (18.00 น.- 6.00 น.) หลังคาที่ไม่มีมีการปรับปรุงมีประสิทธิผลดีที่สุดโดยมีค่าของอุณหภูมิของศาลเซลเซียส-ชั่วโมงสะสมที่ฝ้าเพดาน 42.90 (°C-hour) เนื่องจากในช่วงเวลากลางคืนอุณหภูมิอากาศภายนอกจะต่ำกว่าอุณหภูมิภายในช่องใต้หลังคาที่ทดลอง ดังนั้นหลังคาที่ไม่มีฉนวนและแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์จะสามารถถ่ายเทความร้อนไปยังอุณหภูมิอากาศภายนอกที่เย็นกว่าได้ง่าย

ส่วนที่ 3 ศึกษาด้านเศรษฐศาสตร์ในการออกแบบและปรับปรุงเพื่อลดปริมาณความร้อน ได้ผลดังในตารางที่ 5.4

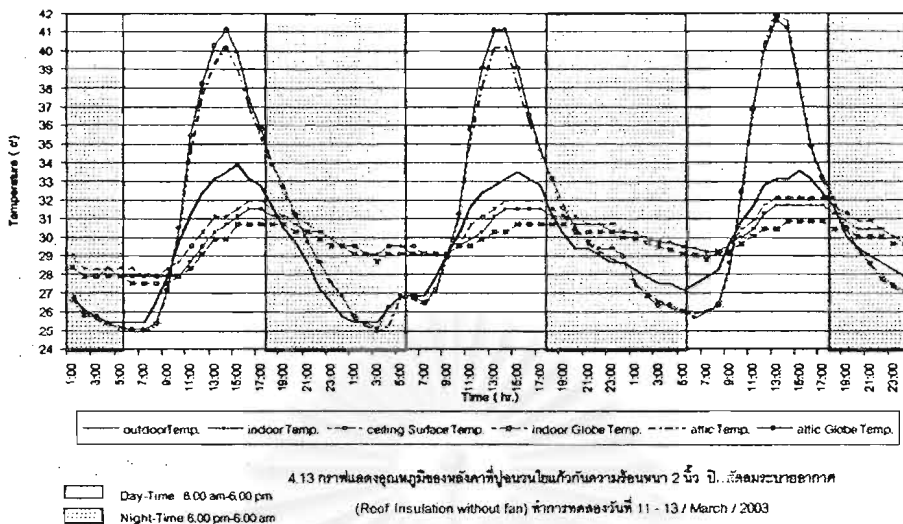
ชุดการทดลอง	ราคาลงทุนเฉลี่ย (บาท)/m ²	อุณหภูมิชั่วโมงสะสม ('c-hour)
Roof	0	105.29
Roof +vent	162.5	91.74
Roof + 2" insulation	81.5	63.09
Roof +aluminium foil	108.5	69.76
Roof +2" insulate+aluminium foil	189.6	44.23
Roof + 2" insulation+vent.	243.7	42.94
Roof +aluminium foil+vent.	270.9	55.20
Roof +2" insulate+aluminium foil+vent.	352.1	39.21

ตารางที่ 5.4 ตารางเปรียบเทียบราคาลงทุนเฉลี่ยกับอุณหภูมิองศาเซลเซียสสะสมที่ผิวฝ้า

จากตารางพบว่าการปรับปรุงโดยการระบายอากาศเมื่อเทียบประสิทธิผลต่อเงินลงทุนเฉลี่ย 162.5 บาทต่อตารางเมตร อุณหภูมิชั่วโมงสะสมลดลงจาก 105.29 ('c-hour) เหลือ 91.74 ('c-hour) ผลต่างที่ลดลง 13.55 'c-hour ดังนั้นเมื่อเทียบประสิทธิผลต่อเงินลงทุนที่ใกล้เคียงกันพบว่า การใช้ฉนวนใยแก้วหนา 2 นิ้ว และการใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ จะได้ประสิทธิผลที่ดีกว่าและลงทุนถูกกว่าอีกด้วย แต่ถ้าต้องการให้ได้ประสิทธิผลสูงสุดโดยไม่มีของจำกัดเรื่องการลงทุนก็ให้ใช้ทั้งฉนวนกันความร้อนหนา 2 นิ้ว แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ ร่วมกับการระบายอากาศก็จะสามารถลดอุณหภูมิชั่วโมงสะสมลงจาก 105.29 ('c-hour) เหลือ 39.21 ('c-hour) ผลต่างที่ลดลง 66.08 'c-hour

5.2 ข้อสังเกตอื่นที่เป็นปรากฏการณ์ที่น่าสนใจจากการวิจัย

อาคารที่ใช้งานกลางวัน ใช้ฉนวนกันความร้อนหนา 2 นิ้ว จะได้ผลดีเพราะสามารถลดการถ่ายเทความร้อนจากช่องใต้หลังคาลงมาที่ห้องด้านล่าง แต่ถ้าเป็นอาคารที่ใช้งานกลางคืนการปูฉนวนกันความร้อนหนา 2 นิ้วจะทำให้ภายในห้องที่ใช้งานด้านล่างมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิอากาศ เพราะฉนวนจะกันไม่ให้อุณหภูมิอากาศภายในห้องที่สูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกระบายออกไปได้ จึงควรที่จะหาแนวทางในการเพื่อระบายความร้อนที่สะสมในช่วงเวลากลางวันออกไปเพื่อให้ได้ประสิทธิผลที่ดีทั้งกลางวันและกลางคืน โดยดูได้จากกราฟที่ 5.1



แผนภูมิที่ 5.1 แสดงอุณหภูมิของหลังคาที่ปูฉนวน 2 นิ้ว ไม่มีการระบายอากาศ ตลอด 3 วัน

5.3 ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการทำวิจัยขั้นต่อไป

ในการวิจัยขั้นต่อไปในหัวข้อเดียวกันนี้ น่าจะ

- 1) ทดสอบปัจจัยอื่นที่ยังไม่ได้ทำในการวิจัยครั้งนี้ เช่น ศึกษาต่อในเรื่องอัตราการระบายอากาศถ้าเพิ่มขึ้นจะมีผลหรือไม่ในการลดการถ่ายเทความร้อน เพราะในการวิจัยนี้ใช้ อัตราการระบายอากาศที่ 28.22 air change per hour โดยทำการควบคุมตัวแปรอื่นๆให้คงที่ หรือศึกษาอัตราส่วนความร้อนช่องใต้หลังคา กับอุณหภูมิภายในห้องว่ามีความสัมพันธ์กันอย่างไร
- 2) ศึกษาเรื่องของวัสดุหลังคาประเภทอื่นๆว่า เมื่อออกแบบระบายอากาศว่ามี ประสิทธิภาพมากน้อยต่างกันอย่างไร
- 3) ศึกษาการลดการถ่ายเทความร้อนช่องใต้หลังคาด้วยวิธีการระบายอากาศใน อาคารที่มีการปรับอากาศว่าสามารถประหยัดค่าไฟได้เพียงใด
- 4) ศึกษาการลดการถ่ายเทความร้อนช่องใต้หลังคาด้วยวิธีการระบายอากาศกับ อาคารที่เป็นอาคารเปิดระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน. สถานการณ์ไฟฟ้าประจำปี 2537. (ม.ป.ท.)
- จัญดา บุญเกียรติ. การลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารทางหลังคา. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย, 2537.
- จุไรพร ตุมพสุวรรณ. พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านวัสดุผนังหลังคาบ้านพักอาศัยในเขตร้อนชื้น. นิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540.
- โชติวิทย์ พงษ์เสริมผล. การปรับปรุงหลังคาเพื่อลดภาระการทำความเย็น : กรณีศึกษาอาคารของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.
- ธนิศ จินดาวณิก. สถาปัตยกรรมและเทคโนโลยี. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540.
- ประพันธ์ จงปติยัตต์. การลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารด้วยระบบผนังที่มีช่องอากาศ : กรณีศึกษาอาคารในเขตร้อนชื้น. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2538.
- วันเอก กิจสมใจ. ปัจจัยที่มีผลต่ออุณหภูมิผิวภายนอกของผนังอาคาร. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.
- วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กระทรวง. พัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, กรม. อนุรักษ์พลังงาน, กองคู่มือการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร. 1,000 เล่ม. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : กองอนุรักษ์พลังงาน กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, 2536.
- สำนักงานคณะกรรมการนโยบายแห่งชาติ. วาระสารนโยบายพลังงาน 39 (มกราคม-มีนาคม) : 104-106.
- สำนักงานสถิติแห่งชาติ. สมุดสถิติรายปีประเทศไทย 2540 (ฉบับย่อ). กรุงเทพฯ, 2540.
- สำนักงานนโยบายและแผนกรุงเทพมหานคร. แนะนำกรุงเทพมหานคร 2540. กรุงเทพฯ, 2540.
- สิทธิชัย วุฒิวรวงศ์. การปรับปรุงผนังอาคารเพื่อลดการถ่ายเทความร้อน : กรณีศึกษาอาคารของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.
- สินีรัตน์ ภัทรรวมกุล. ผลของมวลสารและสีของผนังต่อพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่

อาคาร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2537.

สุนทร บุญญาธิการ และ ธนิต จินดาวงนิค. การวิเคราะห์สภาวะน่าสบายและสภาพแวดล้อมที่เกี่ยวข้องของอาคารสถาปัตยกรรมไทย. กรุงเทพฯ : คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2536.

สุนทร บุญญาธิการ, รศ. การออกแบบเพื่อการประหยัดพลังงานในสภาพภูมิอากาศร้อนชื้นแบบเมืองไทย. วารสารวิชาการ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ฉบับพิเศษ ครบรอบ 60 ปี (2536) : 8-15.

สุนทร บุญญาธิการ. เทคนิคการออกแบบบ้านประหยัดพลังงาน. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.

สุนทร บุญญาธิการ. บ้านเพื่อการประหยัดพลังงาน. วารสารARCH&IDEA ฉบับที่39 (พฤศจิกายน 2539): 16-21.

อนันต์ วิชรพงษ์วิจิ. ประสิทธิภาพในการใช้ฉนวนสะท้อนรังสีและทิศทางการถ่ายเทความร้อนสำหรับอาคารในภูมิอากาศเขตร้อนชื้น วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์, 2537.

ภาษาอังกฤษ

American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineerings. 1989
ASHRAE Handbook Fundamentals. I-P Edition. Atlanta Georgia, 1989.

Bradshaw, V. Building Control Systems, 2 nd Edition. New York : John Wiley & Sons, 1993.

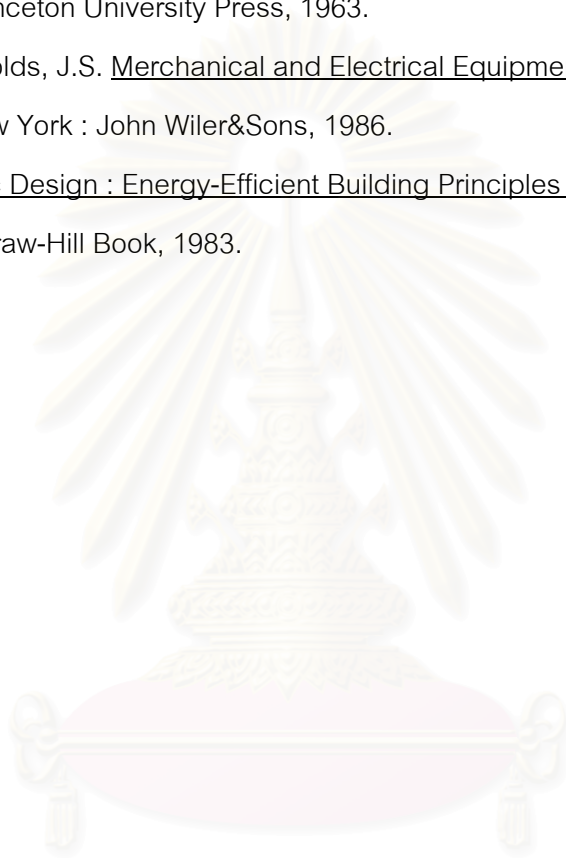
Ching, D.K. Building Construction Illustrated. 2 nd Edition. New York : Van Nostrand Reinhold, 1991.

Narenda, K. B. Passive Building Design Handbook of Natural Climate Control.
Amsterdam : Elsevier Science B.V. 1994.

Givoni, B. Passive and Low Energy Cooling of Buildings. New York : Van Nostrand Reinhold, 1994.

Givoni, B. Man, Climate and Architecture. London : Applied Science Publishers Ltd, 1969.

- Konigsberger, I. Manual of Tropical Housing and Building : Part 1 Climatic Design.
London : Longman, 1973.
- Lechner, N. Heating, Cooling, Lighting Design Methods for Architects. New York : John Wiley&Sons, 1991.
- Clyay, V. Design with Climate : Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism. New Jersey : Princeton University Press, 1963.
- Stein, B, and Reynolds, J.S. Merchanical and Electrical Equipment for Building. 7th Edition. New York : John Wiler&Sons, 1986.
- Watson, D. Climatic Design : Energy-Efficient Building Principles and Practices. New York : McGraw-Hill Book, 1983.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นาย วิกรม จำนงค์จิตต์ เกิดวันที่ 26 กันยายน 2516 ที่จังหวัดปัตตานี สำเร็จการศึกษาปริญญาตรี สถาปัตยกรรมบัณฑิต ภาควิชา สถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม ในปีการศึกษา 2542 เข้าทำงานในตำแหน่งสถาปนิกบริษัทบูรณเวสแอนแอสโซซิเอท พ.ศ. 2542-2544 ทำงานในตำแหน่งอาจารย์พิเศษที่มหาวิทยาลัยศรีปทุม พ.ศ. 2542-2545 ทำงานในตำแหน่งเจ้าหน้าที่สารสนเทศของสมาคมสถาปนิกสยาม พ.ศ. 2544-2545 และเข้าศึกษาต่อหลักสูตรสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเมื่อปี พ.ศ. 2544



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย