

**การศึกษาการถ่ายเทความร้อนของระบบอนวนความร้อนที่ถูกติดตั้งได้หลังคา
และบนฝ้าเพดาน**

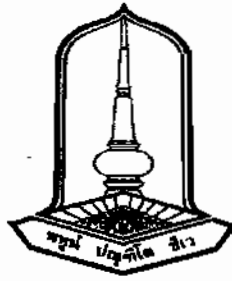
นิศากร จันทรชีน

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ (สายพลังงาน)

มีนาคม 2555

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม



**Study of Heat Transfer on Thermal Insulating System with Installed
under the Roof and on the Ceiling**

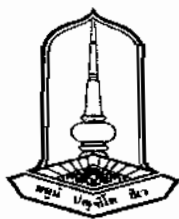
Nisakorn Janchuen

**This physics project report present in Partial fulfillment
for the requirements for the Bachelor Science degree in Applied Physics**

At Maharakham University

March 2012

All rights reserved by Maharakham University



การศึกษาการถ่ายเทความร้อนของระบบนวนความร้อนที่ถูกติดตั้งใต้หลังคา
และบนฝ้าเพดาน

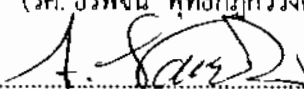
นิศากร จันทรชื่น

รายงานปัญหาพิเศษนี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาฟิสิกส์ประยุกต์

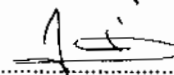
คณะกรรมการตรวจสอบรายงานปัญหาพิเศษ

.....  ประธานกรรมการ

(รศ. อีรพจน์ พุทธิภักก์วิวงศ์)

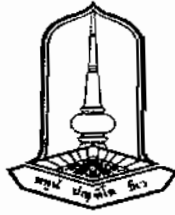
.....  กรรมการ

(ผศ.ดร. อนุสรณ์ แสงประจักษ์)

.....  กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ ดร.นิคม นครเรียบ)

วันที่ 7 เดือน มีนาคม พ.ศ. 2555



Study of Heat Transfer on Thermal Insulating System with Installed
under the Roof and on the Ceiling

Nisakorn Janchuen

This special project has been approved to be partial fulfillment of requirement
for The bachelor of science degree in Applied Physics

Examining committee

Thirapote Chairman

(Assoc. Prof. Thirapote Puthikitakawiwong)

A. Saengprajak Examining Member

(Asst. Prof. Dr. Arnusorn Saengprajak)

Nicom Examining Member and Advisor

(Nakornriab NICOM Dr.Eng.)

Date *March 7, 2012*

กิตติกรรมประกาศ

โครงการฟิสิกส์นี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความกรุณา และความช่วยเหลือในด้านต่างๆ จากท่าน อาจารย์ ดร. นิคม นครเรียบ อาจารย์ที่ปรึกษาซึ่งกรุณาให้ความช่วยเหลือให้ความรู้คำแนะนำอย่างเอาใจใส่ในทุกๆขั้นตอนในการทำโครงการนี้ ตลอดจนนำโครงการนี้ขึ้นเสนอ

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำต่างๆ ด้านวิชาการมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ คุณเอกพล เพ็ชรนง เจ้าหน้าที่ประจำโรงฝึกงาน ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่อำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ

ขอขอบพระคุณ เพื่อนๆ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำต่างๆ ทั้งในเรื่องวิชาการ งานวิจัยและเรื่องส่วนตัว

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และทุกคนในครอบครัวที่เอาใจใส่ดูแล ให้กำลังใจ และสนับสนุนในทุกสิ่งตลอดมา

นิศากร จันทร์จีน

ชื่อเรื่อง	การศึกษาการถ่ายเทความร้อนของระบบฉนวนความร้อนที่ถูกติดตั้งใต้หลังคาและบนฝ้าเพดาน
ผู้วิจัย	นิศากร จันทรชื่น
อาจารย์ที่ปรึกษา	อ.ดร. นิคม นครเรียบ
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ (พลังงาน)
สถาบัน	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ปีที่พิมพ์ มีนาคม 2555

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาการถ่ายเทความร้อนของระบบฉนวนความร้อนที่ถูกติดตั้งใต้หลังคาและฝ้าเพดานพร้อมทั้งค้นหาวิธีการติดตั้งระบบฉนวนกันความร้อนให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด โดยทำการวัดอุณหภูมิจากแบบบ้านจำลองซึ่งมี ขนาดความกว้าง 1.2 m และขนาดความยาว 1.2 m หลังคามุงด้วยกระเบื้องซีแพคโมเนีย ทำการทดลองโดยเปลี่ยนชนิดของฝ้าเพดานและชนิดของแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ที่ถูกติดตั้งใต้แผ่นมุงหลังคา ทำการวัดอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ (บนหลังคา, บนแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์, ใต้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์, บนฝ้าเพดาน) ในเวลาช่วงกลางวัน จากการทดลองแสดงให้เห็นว่า ความเข้มของแสงแดดและลมมีผลโดยตรงต่อความร้อนตกกระทบบนหลังคา ยิ่งความเข้มของแสงแดดยิ่งมากและไม่มียลส่งผลให้หลังคามีอุณหภูมิสูง ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงอุณหภูมิจากหลังคาและฝ้าเพดาน การใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ชนิดหน้าเดียวร่วมกับฝ้าเพดานแผ่นเรียบ อุณหภูมิที่ฝ้าเพดานต่ำที่สุดเนื่องจากเกิดการสะท้อนความร้อนของแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์และค่าความจุความร้อนของฝ้าเพดาน ดังนั้นทางเลือกที่ดีที่สุดเกี่ยวกับการประหยัดพลังงานและค่าใช้จ่าย คือ การเลือกใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ชนิดหน้าเดียวร่วมกับฝ้าเพดานชนิดแผ่นเรียบ การติดตั้งฉนวนความร้อนบนฝ้าเพดานทำหน้าที่เป็นฉนวนกันความร้อนในช่วงเวลากลางวันและคลายความร้อนออกมาในช่วงเวลากลางคืน

คำสำคัญ : ห้องใต้หลังคา, หลังคา, ฝ้าเพดาน, การถ่ายเทความร้อน, แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์, ฝ้าเพดานชนิดสะท้อนความร้อน, ความจุความร้อน

TITLE	Study of Heat Transfer on Thermal Insulating System with Installed under the Roof and on the Ceiling
AUTHOR	Nisakorn Janchuen
ADVISER	Nakomriab NICOM, Dr.Eng.
DEGREE	Bachelor of science Major Applied Physics (B.Sc. Applied Physics)
UNIVERSITY	Maharakham University March 2012

Abstract

This work aims to evaluate the heat transfer of thermal insulating system with installed under the roof and on the ceiling. The optimization of roofing and ceiling installation are investigated. A typical attic with dimension of 1.20 m in width and 1.20 m in length is constructed to measure the temperature profile. Namely CPAC monier is used as a roof sheet. Dual and single faces of aluminum foils are used to reflect the heat wave under the roof sheet. Thermal insulator and reflecting board are used to reflect the heat wave on the ceiling. The temperature profiles at the various positions (on the roof, on the foil, below the foil and on the ceiling) are measured in the daytime. Experimental results show that the heat on the roof depends upon the sunlight and wind. A strong sunlight with no wind leads to be a high temperature. In order to reflect the heat wave from the roofing and ceiling, a dual face foil should be selected. The usage of single face foil with normal ceiling provides the lowest temperature on the ceiling because of the heat reflection of foil and a low heat capacity of ceiling. This is a prospect to be the best condition of this work with low cost and temperature. In addition, the usage of thermal insulator concerns a heat barrier in the daytime, but the heat will be released in the night time.

Keywords:Attic, Roofing, Ceiling, Heat transfer, Aluminum foil, Heat wave reflection, Heat capacity.

สารบัญ

บทที่	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	จ
บทคัดย่อภาษาไทย	ฉ
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ช
สารบัญ	ซ
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญภาพประกอบ	ฎ
บัญชีสัญลักษณ์	ฏ
1. บทนำ	1
1.1 หลักการและเหตุผล	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 โครงสร้างหลังคา	4
2.2 ความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่หลังคาได้รับ	8
2.3 การถ่ายเทความร้อนเข้าสู่หลังคา	9
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	14
3. ขั้นตอนการดำเนินงาน	18
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน	18
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือวัดที่ใช้ในการทดสอบ	20

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4. ผลการทดลองและอภิปรายผล	21
4.1 อุณหภูมิตำแหน่งหลังคา	22
4.2 การกระจายอุณหภูมิภายในห้องใต้หลังคา	23
4.3 อุณหภูมิตำแหน่งแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์	25
4.4 อุณหภูมิบนฝ้าเพดาน	28
4.5 การถ่ายเทความร้อนภายในห้องใต้หลังคา.....	32
5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	33
5.1 สรุปผลการทดลอง	33
5.2 ข้อเสนอแนะ	34
บรรณานุกรม	35
ประวัติย่อของผู้วิจัย	60

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 3.1 แสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงสภาวะการทดลองของห้องใต้หลังคา.....	19

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.1(ก) : แสดงส่วนประกอบต่างๆ ของโครงสร้างหลังคามุมมองด้านข้าง.....	4
รูปที่ 2.1(ข) : แสดงส่วนประกอบต่างๆ ของโครงสร้างหลังคามุมมองด้านบน.....	5
รูปที่ 2.2 : แสดงลักษณะของความร้อนที่ได้รับจากรังสีดวงอาทิตย์	8
รูปที่ 2.3 : แสดงการถ่ายเทความร้อนในระบบหลังคา	10
รูปที่ 3.1 : แสดงการตำแหน่งต่างๆที่ใช้ในการวัดอุณหภูมิ	18
รูปที่ 4.1: แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิบนหลังคา (T_1) ในช่วงเวลากลางวันที่มีเงื่อนไขการ ทดลองที่แตกต่างกัน.....	21
รูปที่ 4.2: แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับอุณหภูมิของการกระจายอุณหภูมิในห้องใต้หลังคา	22
รูปที่ 4.3 : แสดงการกระจายความร้อนของสภาวะแผ่นอลูมิเนียมพอยล์สองหน้าร่วมกับฝ้าเพดาน ชนิดสะท้อนความร้อน.....	24
รูปที่ 4.4 (ก) : แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิบนพอยล์ (T_2) ในช่วงเวลากลางวันที่มีเงื่อนไขการ ทดลองที่แตกต่างกัน.....	24
รูปที่ 4.4 (ข) : แผนภาพแสดงการเปรียบเทียบอย่างง่ายจากสภาวะทดลองในรูปที่ 4.4 (ก).....	25
รูปที่ 4.5 (ก) : แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิต่ำกว่าพอยล์ (T_3) ในช่วงเวลากลางวันที่มีเงื่อนไขการ ทดลองที่แตกต่างกัน.....	26
รูปที่ 4.5 (ข) : แผนภาพแสดงการเปรียบเทียบอย่างง่ายจากสภาวะทดลองในรูปที่ 4.5 (ก).....	26
รูปที่ 4.6 (ก) : แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิต่ำกว่าพอยล์ (T_4) ในช่วงเวลากลางวันที่มีเงื่อนไขการ ทดลองที่แตกต่างกัน.....	29
รูปที่ 4.6 (ข) : แผนภาพแสดงการเปรียบเทียบอย่างง่ายจากสภาวะทดลองในรูปที่ 4.6 (ก)	29
รูปที่ 4.7 : แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการถ่ายเทความร้อนกับเวลาในช่วงเวลากลางวันที่มีเงื่อนไข การทดลองที่แตกต่างกัน.....	30
รูปที่ 4.8 : แสดงการเปรียบเทียบค่าการถ่ายเทความร้อนในช่วงเวลากลางวันที่มีเงื่อนไขการทดลองที่ แตกต่างกัน	31

สารบัญสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ความหมาย
A	พื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อน, m^2
g	ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก มีหน่วยเป็น $m.s^{-2}$
k	ค่าการนำความร้อนของแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์หน่วยเป็น $W.m^{-1}.C^{-1}$
L	ความหนาของแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ มีหน่วยเป็น m
Nu	ตัวเลขนัสเซิลท์ (Nusselt Number, Nu)
Pr	ตัวเลข พรันเทิล (prandtl Number, Pr)
Q	ปริมาณการถ่ายเทความร้อน, W
R ₁	ความต้านทานตัวที่หนึ่งระหว่างกระเบื้องซีเมนต์โมเนียกับบนแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ (Ω)
R ₂	ความต้านทานตัวที่สองระหว่างบนแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์กับใต้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ (Ω)
R ₃	ความต้านทานตัวที่สามระหว่างใต้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์กับบนฝ้าเพดาน (Ω)
R ₄	ความต้านทานตัวที่สี่ระหว่างฝ้าเพดานกับสภาพแวดล้อม (Ω)
Ra	ตัวเลขเรย์เลย์ (Rayleigh Number, Ra)
T _{cp}	อุณหภูมิที่ตำแหน่งกระเบื้องซีเมนต์โมเนียหน่วยเป็นเคลวิน (K)
T _F	อุณหภูมิแผ่นบนอลูมิเนียมฟอยล์ มีหน่วยเป็น เคลวิน (K)
T _{BF}	อุณหภูมิแผ่นใต้อลูมิเนียมฟอยล์ มีหน่วยเป็น เคลวิน (K)
T _C	อุณหภูมิฝ้าเพดาน มีหน่วยเป็น เคลวิน (K)
T _a	อุณหภูมิสภาพอากาศ มีหน่วยเป็น เคลวิน (K)
U	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม, $W.m^{-1}.K^{-1}$
ΔT	ผลต่างของอุณหภูมิแลกเปลี่ยนความร้อน, K
σ	ค่าคงที่สเตฟาน-โบลทซ์มันน์ มีค่าเท่ากับ $5.6697 \times 10^{-8} W.m^{-2}.k^{-4}$
\mathcal{E}_{cp}	ค่าการแผ่รังสีความร้อนของกระเบื้องซีเมนต์โมเนีย
\mathcal{E}_F	ค่าการแผ่รังสีความร้อนบนแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์
\mathcal{E}_{BF}	ค่าการแผ่รังสีความร้อนใต้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์

สารบัญสัญลักษณ์ (ต่อ)

สัญลักษณ์

 E_c
 β'
 ν
 α

ความหมาย

ค่าการแผ่รังสีความร้อนผิาเขตแดน

สัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงปริมาตร(สำหรับก๊าซอุดมคติ $\beta' = \frac{1}{T}$)

ความหนืดคินematic (Kinematic Viscosity) มีหน่วยเป็น $m^2 \cdot s^{-1}$

ค่าสภาพการแผ่ความร้อน มีหน่วยเป็น $m^2 \cdot s^{-1}$

สภาวะการทดลอง

DN

DNI

DRI

DR

SR

SRI

SN

SNi

NI

RI

พอยล์ชนิดสองหน้า + ผิาเขตแดนชนิดแผ่นเรียบ

พอยล์ชนิดสองหน้า + ผิาเขตแดนชนิดแผ่นเรียบ+ฉนวนใยแก้ว

พอยล์ชนิดสองหน้า + ผิาเขตแดนชนิดสะท้อนความร้อน+ฉนวนใยแก้ว

พอยล์ชนิดสองหน้า + ผิาเขตแดนชนิดสะท้อนความร้อน

พอยล์ชนิดหน้าเดียว + ผิาเขตแดนชนิดสะท้อนความร้อน

พอยล์ชนิดหน้าเดียว+ผิาเขตแดนชนิดสะท้อนความร้อน+ฉนวนใยแก้ว

พอยล์ชนิดหน้าเดียว + ผิาเขตแดนชนิดแผ่นเรียบ

พอยล์ชนิดหน้าเดียว + ผิาเขตแดนชนิดแผ่นเรียบ+ฉนวนใยแก้ว

ผิาเขตแดนชนิดแผ่นเรียบ+ฉนวนใยแก้ว

ผิาเขตแดนชนิดสะท้อนความร้อน+ฉนวนใยแก้ว

บทที่ 1

บทนำ

1.1 หลักการและเหตุผล

หลังคานับว่าเป็นส่วนที่สำคัญของบ้านส่วนหนึ่ง เนื่องจากทำหน้าที่ป้องกันแดด ฝน พายุ และ ปกป้องพื้นที่ภายในบ้านและอาคารให้พ้นจากภัยธรรมชาติและสภาพแวดล้อมภายนอกหลังคาที่ได้รับ การออกแบบมาอย่างดีสามารถป้องกันไม่ให้อุณหภูมิของพื้นที่ที่อยู่ใต้หลังคามีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิ ของอากาศภายนอกบ้าน สามารถรักษาอุณหภูมิที่ผิวของฝ้าเพดานให้อยู่ในระดับเดียวกับอุณหภูมิที่ผิว วัสดุอื่นๆ ภายในห้อง นั่นคือ หลังคาที่มีประสิทธิภาพสามารถป้องกันความร้อนให้ถ่ายเทเข้าสู่ตัวบ้านได้ ต้อยู่ในระดับเดียวกับองค์ประกอบอื่นๆ ของบ้านและอาคาร รูปลักษณะของหลังคา นับเป็นองค์ประกอบ สำคัญอีกอย่างหนึ่งในการสร้างสรรค์รูปทรงของบ้าน อาคารให้งดงาม และสอดคล้องกับประโยชน์การใช้ สอย โดยรูปลักษณะหลังคาบ้านที่นิยมมากที่สุดในเมืองไทย ก็คือ หลังคาแบบหน้าจั่วและหลังคาแบบ ปันหย้า ส่วนหลังคาแบบเพิงหมาแหงนนี้ มีลักษณะเอียงไปด้านเดียว และยังเป็นส่วนหนึ่งของรูปลักษณะ ของหลังคาทั้งสองชนิดดังกล่าว ซึ่งมีราคาถูก และก่อสร้างได้ง่าย ฝ้าเพดาน เป็นองค์ประกอบอีกส่วน หนึ่งของหลังคา เนื่องจากช่วยปกปิดความไม่เรียบร้อยต่างๆ ของหลังคา เช่น ท่อ หรือสายไฟ ตลอดจน ฝุ่นละอองต่างๆ นอกจากยังช่วยลดความร้อนที่ส่งมาจากหลังคาสู่ตัวบ้าน อาคาร

ฉนวนความร้อนเป็นวัสดุที่ต้านทานและป้องกันความร้อนที่ส่งผ่านจากด้านหนึ่งไปยังด้านหนึ่ง ได้สะดวก ฉนวนกันความร้อนที่ดีต้องมีน้ำหนักเบาและมีสมบัติในการต้านทานความร้อนได้ดี สำหรับการติดตั้งฉนวนความร้อนสามารถช่วยปรับสภาพอากาศร้อนมาสู่อากาศเย็นตามปกติ หรือทำให้อากาศ เย็นลง ในขณะที่เครื่องปรับอากาศไม่ต้องทำงานหนักจนเกินไปในการดึงเอาความร้อนที่สะสมอยู่ใต้ หลังคา ได้ฝ้าเพดาน หรือฉนวนกันความร้อนภายในอาคารส่งผลให้อากาศเย็นลง ดังนั้นการติดตั้งฉนวนความร้อน จึงทำให้เกิดการประหยัดพลังงาน ช่วยลดค่าไฟฟ้าจากเครื่องปรับอากาศรวมถึงประหยัดค่าใช้จ่ายจาก การใช้เครื่องปรับอากาศขนาดเล็กลงได้

ในขั้นตอนการติดตั้งฉนวนความร้อนที่สำคัญที่ต้องระวัง คือ ฉนวนส่วนใหญ่หากเปียกหรือเกิด ความชื้นจะมีประสิทธิภาพในการป้องกันความร้อนลดลงและอาจจะสร้างปัญหาให้ การใช้ควรจะมีวัสดุ ท่อ-หุ้มเพื่อป้องกันความชื้น เช่น แผ่นอลูมิเนียมพอยล์ แผ่นอลูมิเนียมพอยล์ทำจากอลูมิเนียมซึ่งเป็น โลหะที่มีผิวมันวาว ทำให้มีค่าการนำความร้อนได้ดี มีสมบัติสะท้อนรังสีความร้อนได้ดี โดยใช้ความร้อน จากแผ่นสะท้อนคลื่นความร้อนสะท้อนคลื่นรังสีที่แผ่กระจายออกจากแหล่งความร้อน แต่ความร้อนส่วน หนึ่งจะแผ่กระจายสู่ด้านล่าง ในการติดตั้งจะติดตั้งใต้หลังคา โดยมีระยะห่างจากหลังคาเพื่อให้อากาศ ช่วยถ่ายเทความร้อนออก สำหรับแผ่นอลูมิเนียมพอยล์ที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด คือแผ่นอลูมิเนียม พอยล์ชนิดหน้าเดียวและแผ่นอลูมิเนียมพอยล์ชนิดหน้าคู่ สำหรับผู้ที่นำแผ่นอลูมิเนียม พอยล์ไปใช้งาน ยังไม่สามารถที่จะเลือกได้ว่าชนิดไหนมีประสิทธิภาพการใช้งานดีกว่ากัน สำหรับผู้บริโภคยังไม่ทราบ ข้อจำกัดนี้ และผู้ผลิตก็ยังไม่สามารถแก้ไขข้อจำกัดนี้ได้

จากปัญหาที่พบจึงได้มีการศึกษาการถ่ายเทความร้อนของฉนวนความร้อนที่ถูกติดตั้งกับหลังคาและฝ้าเพดานและค้นหาวิธิตดตั้งระบบฉนวนความร้อนเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด เพื่อที่จะได้นำไปใช้งานให้มีประสิทธิภาพสูงสุดและอายุการใช้งานยาวนาน โดยเชื่อแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์จะทำหน้าที่ในการสะท้อนคลื่นความร้อนได้ดี และยังไม่มีความแน่นอนที่จะใช้ฝ้าเพดานที่มีการฉาบอะลูมิเนียม และยังไม่มีความแน่ใจในเรื่องของการเลือกใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ชนิดหน้าเดียวหรือแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ชนิดหน้าคู่ ซึ่งสามารถสังเกตได้จากการที่ผู้ผลิตแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์นำออกมาจำหน่ายให้กับผู้บริโภคดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาการถ่ายเทความร้อนของระบบฉนวนความร้อนที่ถูกติดตั้งได้หลังคาและบนฝ้าเพดานเพื่อค้นหาวิธีการติดตั้งระบบฉนวนความร้อนให้เกิดประสิทธิภาพมากที่สุด

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อวัดการถ่ายเทความร้อนของระบบฉนวนความร้อนที่ถูกติดตั้งกับได้หลังคาและบนฝ้าเพดาน
- 1.2.2 เพื่อวิเคราะห์ทางเลือกการติดตั้งระบบฉนวนความร้อนให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

- 1.3.1 ลักษณะการมุงหลังคาเป็นแบบเพิงหมาแหงน
- 1.3.2 วัสดุมุงหลังคาแบบเพิงหมาแหงนที่ใช้ในการทดสอบการถ่ายเทความร้อนของระบบฉนวนกันความร้อน
 - ซีแพค โม่เนีย สีนํ้าตาล
- 1.3.3 ชนิดของแผ่นอะลูมิเนียมฟอยล์ที่ถูกติดตั้งได้แผ่นมุงหลังคาซึ่งใช้ในการทดสอบการถ่ายเทความร้อนของระบบฉนวนกันความร้อนเพื่อค้นหาวิธีการติดตั้งระบบฉนวนกันความร้อนให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด
 - แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ชนิดหน้าเดียว
 - แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ชนิดหน้าคู่
- 1.3.4 ชนิดของฝ้าเพดานที่ถูกติดตั้งได้แผ่นมุงหลังคาซึ่งใช้ในการทดสอบการถ่ายเทความร้อนของระบบฉนวนกันความร้อนเพื่อค้นหาวิธีการติดตั้งระบบฉนวนกันความร้อนให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด
 - ฝ้าเพดานชนิดกระเบื้องแผ่นเรียบ
 - ฝ้าเพดานชนิดสะท้อนความร้อน
- 1.3.6 ขนาดบ้านตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาการถ่ายเทความร้อนของระบบฉนวนกันความร้อนแบบจำลองบ้าน - ขนาดของตัวบ้าน ความกว้าง 120 cm. ความยาว 120 cm.
 - ขนาดของหลังคา ความลาดชันของหลังคา 30 องศา ความสูงของหลังคา 82 cm ความลาดเอียงของหลังคา 200 cm

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 มีความเข้าใจเกี่ยวกับระบบความร้อนที่เข้าสู่บ้าน
- 1.4.2 มีความเข้าใจเกี่ยวกับระบบฉนวนความร้อนที่ถูกติดตั้งใต้หลังคาและบนฝ้าเพดาน
- 1.4.3 ได้วิธีการติดตั้งระบบฉนวนความร้อนให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด
- 1.4.4 ได้ข้อมูลประสิทธิภาพของระบบฉนวนความร้อนที่ถูกติดตั้งใต้หลังคาและบนฝ้าเพดาน

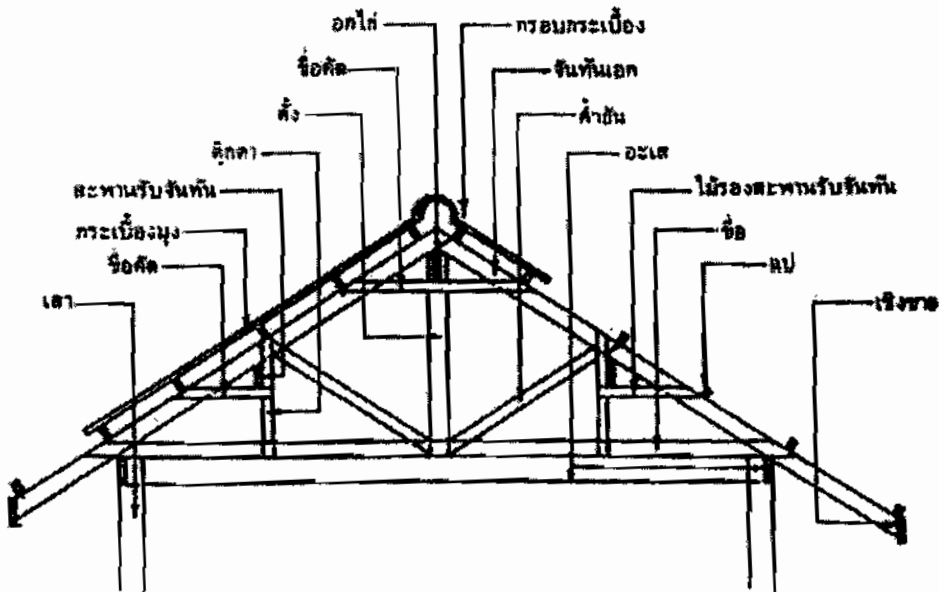
บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

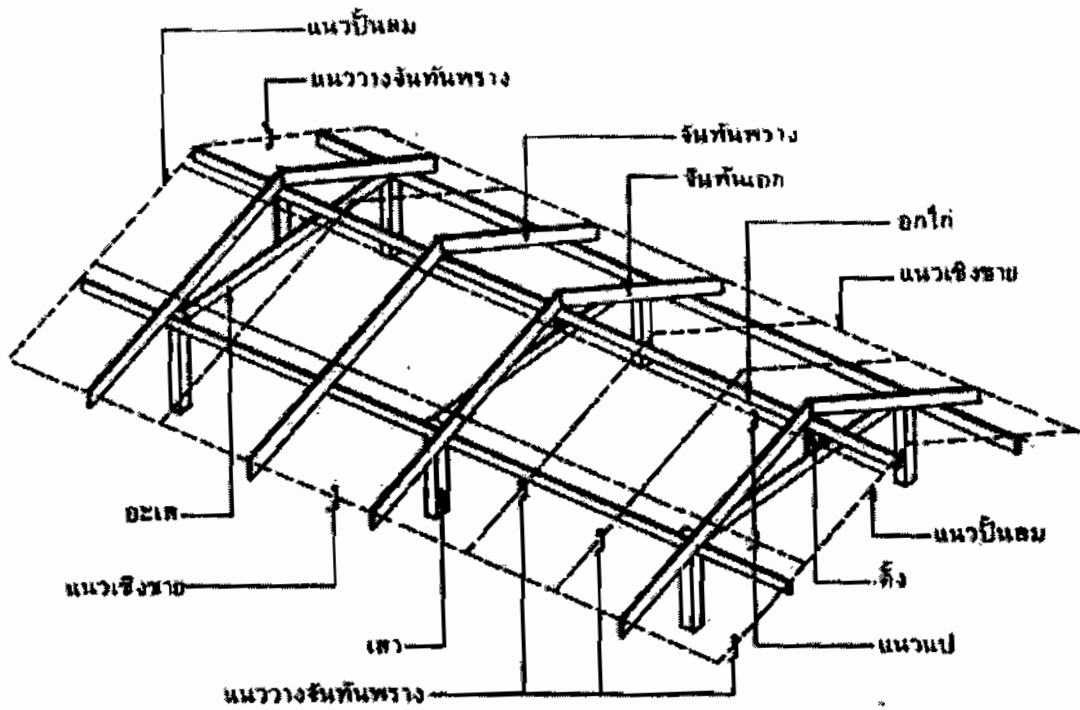
2.1 โครงสร้างหลังคา

หลังคานับว่าเป็นส่วนที่สำคัญของบ้านส่วนหนึ่ง เนื่องจากทำหน้าที่ป้องกันแดด ฝน พายุ และ ปกป้องพื้นที่ภายในบ้านและอาคารให้พ้นจากภัยธรรมชาติและสภาพแวดล้อมภายนอกหลังคาที่ได้รับการออกแบบมาอย่างดีจะช่วยป้องกันไม่ให้อุณหภูมิของพื้นที่ที่อยู่ใต้หลังคามีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิของอากาศภายนอกบ้าน สามารถรักษาอุณหภูมิที่ผิวของฝ้าเพดานให้อยู่ในระดับเดียวกับอุณหภูมิที่ผิววัสดุอื่นๆ ภายในห้อง นั่นคือ หลังคาที่มีประสิทธิภาพจะสามารถป้องกันความร้อนให้ถ่ายเทเข้าสู่ตัวบ้านได้คืออยู่ในระดับเดียวกับองค์ประกอบอื่นๆ ของบ้านและอาคาร รูปลักษณะของหลังคา นับเป็นองค์ประกอบสำคัญอีกอย่างหนึ่งในการสร้างสรรค์รูปทรงของบ้าน อาคาร ใ้ทั้งงดงาม และสอดคล้องกับประโยชน์การใช้สอย ซึ่งในการวิจัยนี้ได้เลือกลักษณะการมุงหลังคาเป็นแบบเพิงหมาแหงน เนื่องจากหลังคาเพิงหมาแหงน เป็นหลังคาที่ยกให้อีกด้านสูงกว่าอีกด้านหนึ่ง เพื่อให้สามารถระบายน้ำฝนได้ และยังเป็นส่วนหนึ่งของหลังคาแต่ละประเภท เหมาะสมสำหรับบ้านขนาดเล็ก เนื่องจากก่อสร้างง่าย รวดเร็ว ราคาประหยัด โดยมีรายละเอียดของการมุงหลังคาต่อไปนี้

2.1.1 ส่วนประกอบต่างๆของหลังคามุงดังนี้



รูปที่ 2.1(ก) : แสดงส่วนประกอบต่างๆ ของโครงสร้างหลังคามุมมองด้านข้าง (Novabizz, 2012 : เว็บไซต์)



รูปที่ 2.1 (ข) : แสดงส่วนประกอบต่างๆ ของโครงสร้างหลังคา มุมมองด้านบน (Novabizz, 2012 : เว็บไซต์)

จากรูป 2.1 สามารถอธิบายการทำงานของส่วนต่างๆ ได้ดังนี้

1. อกเส คือส่วนของโครงหลังคาที่วางพาดอยู่บนหัวเสา ลักษณะคล้ายคาน ทำหน้าที่ยึดและรัดหัวเสา และยังทำหน้าที่รับแรงจากโครงหลังคาถ่ายลงสู่เสาอีกด้วย โดยทั่วไปแล้วในการวางอกเสมักจะวางทางด้านริมนอกของเสาและวางเฉพาะด้านที่มีความลาดเอียงของหลังคา ดังนั้นหลังคามะนิลา (Gable Roof) จะมีอกเสหลักเพียง 2 ด้าน ในขณะที่หลังคาปั้นหย้า (Hip Roof) จะมีอกเสหลัก 4 ด้าน
2. ด้ง คือส่วนของโครงสร้างที่วางอยู่บนหัวเสาในทิศทางเดียวกัน กับจันทัน ทำหน้าที่รับทั้งแรงดึงและยึดหัวเสา ในแนวคานสก๊ต และช่วยยึดโครงผนัง
3. ด้งเอก คือส่วนของโครงสร้างที่อยู่แนวสันหลังคา โดยวางอยู่บนข้อต่อตัวฉากตรงขึ้นไป โดยมีอกไก่วางพาดตามแนวสันหลังคาเป็นตัวยึด
4. ออกไก่ คือส่วนของโครงสร้างที่วางพาดอยู่บนดั่งบริเวณสันหลังคา ทำหน้าที่รับจันทัน
5. จันทัน คือส่วนของโครงสร้างที่วางอยู่บนหัวเสา โดยวางพาดอยู่บนอกเสและอกไก่รองรับแป หรือระแนงที่รับกระเบื้องมุงหลังคา จันทันยังแบ่งเป็นจันทันเอกคือ จันทันที่วางอยู่บนหัวเสาและจันทันที่มีได้วางพาดอยู่บนหัวเสา โดยทั่วไปจันทันจะวางทุกระยะประมาณ 1.00 m. โดยระยะห่างของจันทันขึ้นอยู่กับน้ำหนักของวัสดุมุงหลังคาและระยะแปด้วย

6. แปะหรือระแนง คือส่วนของโครงสร้างที่วางอยู่บนจันทัน รองรับวัสดุผนังหลังคาประเภทต่างๆ โดยวางขนานกับแนวอกไก่ เริ่มจากส่วนที่ต่ำสุดไปสู่ส่วนที่สูงสุดของหลังคา

7. เเชิงชาย คือส่วนของโครงสร้างที่ปิดอยู่บริเวณปลายจันทัน เพื่อปกปิดความไม่เรียบร้อยของปลายจันทัน อีกทั้งยังเป็นส่วนที่ช่วยยึดเหล็กรับรางน้ำและยังทำหน้าที่เป็นแผ่นปิดด้านสกัดของจันทันที่ช่วยกันมิให้ฝนลาดย้อนกลับด้วย

8. ปั้นลม คือส่วนของโครงสร้างที่ปิดไม่ให้เห็นสันกระเบื้องทางด้านหน้าจั่ว และปิดหัวแป จะใช้กับอาคารประเภทมีหน้าจั่วเท่านั้น

9. ไม้ปิดลอน หรือไม้เข้ตามลอนกระเบื้อง เป็นไม้ที่มีลักษณะโค้งตามขนาดลอนของวัสดุผนังหลังคา เพื่อปิดช่องว่างระหว่างปลายกระเบื้องกับเชิงชายกันนกและแมลงเล็ดลอดเข้าไปก่อความรำคาญในบ้านของท่าน

10. ตะเข้เส้น จะอยู่บริเวณครอบมุมหลังคา ที่ความลาดเอียง 2 ด้านมาบรรจบกัน โดยหันหน้าออกจากกัน โดยมีครอบกระเบื้องและวัสดุผนังอีกที

11. ตะเข้ราง เป็นส่วนที่ความลาดเอียงของหลังคาสองด้านมาชนกันเป็นราง ซึ่งบริเวณส่วนนี้จำเป็นจะต้องมีรางน้ำ เพื่อระบายน้ำออกจาก หลังคา

2.1.2 วัสดุผนังหลังคา

กระเบื้องคอนกรีตหรือกระเบื้องซีเมนต์ วัสดุผนังหลังคาชนิดนี้มีความแข็งแรงและสวยงามแต่มีราคาค่อนข้างแพง และมีน้ำหนักมาก ทำให้โครงหลังคาที่จะมุงด้วยกระเบื้องชนิดนี้ต้องแข็งแรงขึ้นเพื่อรับน้ำหนักวัสดุผนังหลังคา กระเบื้องซีเมนต์มีอยู่ 2 ชนิดด้วยกัน คือ กระเบื้องสี่เหลี่ยมขนมเปียกปูน ขนาดเล็กที่ใช้มุงกับหลังคาที่มีความลาดเอียงตั้งแต่ 30-45 องศา ส่วนอีกชนิดนั้นเป็นกระเบื้องที่เรียกกันว่า กระเบื้องซีแพคโมเนีย ซึ่งสามารถมุงหลังคาในความชันตั้งแต่ 17 องศาขึ้นไป

การเลือกวัสดุผนังหลังคาคือ โครงหลังคา เพราะวัสดุผนังที่มีน้ำหนักมาก ก็จะเพิ่มราคาโครงหลังคา ที่จะมารับน้ำหนักวัสดุผนัง ได้เหมือนกัน ระยะลักษณะของการทับซ้อน ระยะและมุมลาดเอียงของหลังคา มีลักษณะดังต่อไปนี้

1. ความลาดชันของหลังคา 10-20 องศา ระยะทับซ้อน 20 cm.
2. ความลาดชันของหลังคา 21-40 องศา ระยะทับซ้อน 15 cm.
3. ความลาดชันของหลังคา 41-60 องศา ระยะทับซ้อน 10 cm.
4. ความลาดชันของหลังคา 60 องศาขึ้นไประยะทับซ้อน 5 cm.

ระยะทับซ้อนดังกล่าวเป็นระยะอย่างน้อย หากมากกว่านี้ก็ไม่ว่ากัน แต่จะทำให้เปลืองวัสดุผนังขึ้นอีก วัสดุที่ใช้สำหรับงานหลังคา อีกชิ้น ก็คือ ครอบหลังคา ก็ควรเลือกง่าย ๆ คือ เลือกครอบหลังคาชนิดเดียวกัน กับกระเบื้องผนังหลังคา ส่วนใหญ่เขาจะผลิตมาคู่กันตามองศา ที่นิยมใช้ เป็นส่วนใหญ่ เช่น ครอบหลังคา 30, 35, 40 องศา หากเป็นมุงลาดชันอื่น ๆ ก็ใช้ครอบหลังคาปูนปั้น ซึ่งต้องทำตามแบบอย่างเคร่งครัด และก็ไม่ลืมที่จะผสมน้ำยากันซึมด้วย

2.1.3 การเตรียมการก่อนการมุงหลังคา

1. ตรวจสอบฉากของหลังคาว่าได้ฉากหรือไม่ ถ้าไม่ได้ฉากควรแก้ไขก่อน
2. ตรวจสอบระนาบของแปว่าได้ระนาบเดียวกันหรือไม่ มีการดกตองข้างหรือไม่
3. ตรวจสอบความลาดเอียงของหลังคาว่า เหมาะกับรูปลอนที่จะใช้หรือไม่
4. ตรวจสอบรอยเชื่อม, ซี และสิ่งอื่นๆ ของโครงหลังคาก่อนมุง เนื่องจากเมื่อมุงแล้ว การเชื่อมทาสี หรือการกระทำเพิ่มเติมใดๆภายหลัง อาจก่อให้เกิดความเสียหายแก่แผ่นหลังคา
5. ติดตั้งรางรับน้ำฝนให้เรียบร้อยก่อนเริ่มงานมุงหลังคาถ้ามีปีกควรฉาบแต่งปูนฉาบให้เรียบร้อยก่อน ไม่ควรมีการแต่งปูนใดๆภายหลังการมุงแผ่นหลังคาเนื่องจากอาจทำลายผิวเคลือบของแผ่นหลังคา

2.1.4 วิธีการมุงหลังคา

1. การยกแผ่นขึ้นบนหลังคา ควรยกด้วยความระมัดระวังไม่ให้กระทบหรือครูดกับวัตถุใดๆ ขณะยกควรใช้เชือกผูกแผ่นให้มากที่สุด เพื่อป้องกันการหักงอหรือแผ่นแตก การกองแผ่นควรระวังกองเป็นตับๆ ใกล้เคียงกันและควรใช้เชือกผูกไว้กับแป เพื่อที่จะยกขึ้นไปให้ถูกด้าน เพื่อป้องกันการที่ จะต้องพลิกหรือกลับหัว-ท้ายของแผ่นบนโครงหลังคา

2. วัดความยาวของอาคารและหารด้วยความกว้างประสิทธิผลของแผ่น เพื่อหาจำนวนแผ่นที่จะมุง เศษความยาวของอาคารที่เหลือควรแบ่งเป็นสองส่วนเพื่อใช้เป็นระยะที่จะเว้นจากของอาคารก่อนที่จะมุงแผ่นแรก

การมุงแผ่นแรกต้องใช้ความละเอียดเป็นพิเศษ เพื่อให้แน่ใจว่าแผ่นขนาน และได้ฉากกับโครงหลังคาที่สุดหลังจากยึดลกรูให้ติดกับแผ่นแปแล้วจึงควรชิงสายเอ็นที่ปลายแผ่น เพื่อใช้เป็นแนวอ้างอิงให้ปลายแผ่นของแผ่นต่อไปทุกแผ่น ขณะที่มุงควรตรวจสอบระยะที่มุงไปแล้ว ก็ระยะคงเหลือเสมอเพื่อให้แน่ใจได้ว่าไม่ได้มุงเอียง

3. การยึดสกรูจะต้องเลือกสกรูที่ยาวพอที่จะยึดแผ่นจากยอดลอนถึงแป และจะต้องเลือกสำหรับแปเหล็ก หรือแปไม้ โดยแปเหล็กใช้สกรูที่มีเกลียวละเอียด ส่วนแปไม้ใช้สกรูที่มีเกลียวหยาบ จะต้องแจ้งผู้ขายถึงวัสดุที่ใช้ทำแปแก่ผู้ขายเสมอ เพื่อผู้ขายจะได้จัดสกรูให้ถูกต้องกับการใช้งาน การยึดแผ่น มี 2 ลักษณะ

3.1 ยึดบนยอดลอน ใช้กับแผ่นมุงหลังคา

3.2 ยึดบนท้องลอน ใช้กับการมุงผนังหรือฝ้าเพดาน

3.3 ยึดบนรอยต่อแผ่นระหว่างแป เป็นการยึดรอยต่อของแผ่นให้แนบสนิท เพื่อป้องกันน้ำเข้า โดยยึดระหว่างกึ่งกลางของระยะแป ใช้กับหลังคาที่จะต้องมีการเดินเป็นครั้งคราวโดยข้างหรือผนังที่มีระยะคร่าวๆ

4. การเลือกสกรู ใช้สกรูที่มีแหวนยางทุกครั้ง

- บริเวณรอยซ้อนแผ่น 2 ชั้นและ 4 ชั้น ควรเพิ่มความยาวสกรูอีกอย่างน้อย

5 mm.

- สำหรับแปหรือโครงคร่าวที่ใช้เหล็กรูปพรรณมากกว่า 5 mm. ควรใช้สกรูที่ออกแบบพิเศษ โดยมีส่วนปลายสกรูที่เป็นดอกสว่านยาวไม่น้อยกว่าความหนาของสกรู

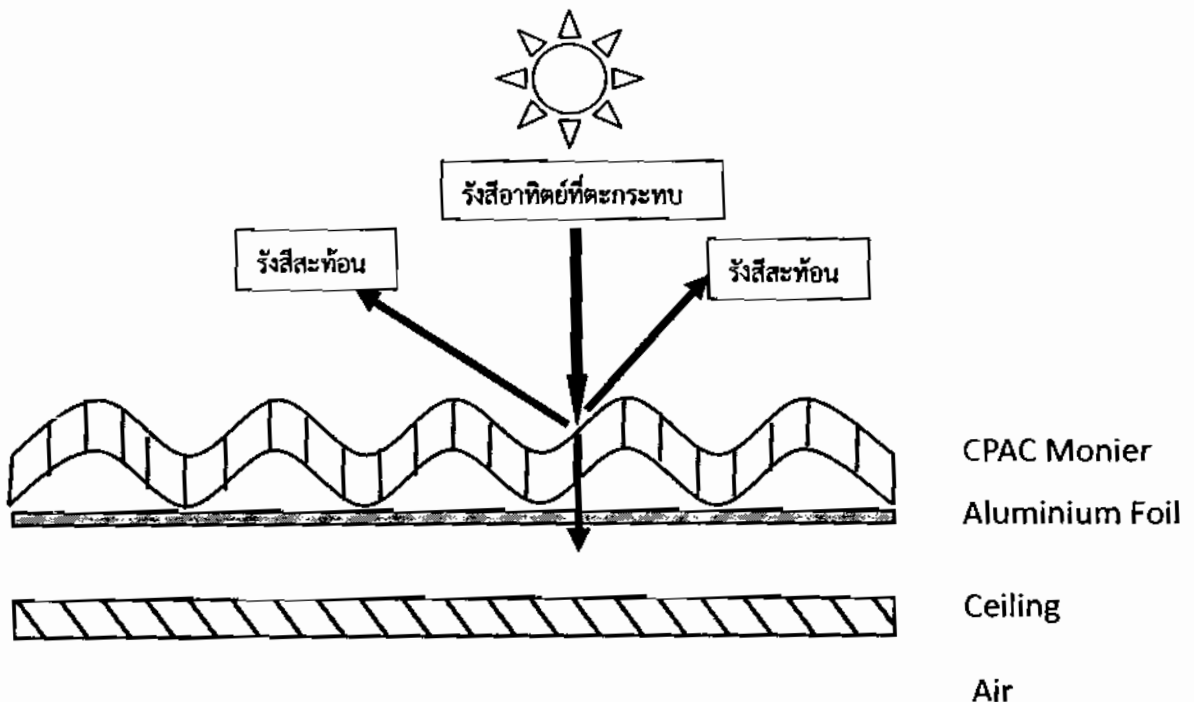
5. การซ้อนทับปลายแผ่น แม้ว่าเราจะสามารถรีดแผ่นหลังคาด้วยความยาวใดๆก็ได้ แต่ในบางกรณีอาจมีข้อจำกัดของความยาวซึ่งเกิดจากการขนส่งสถานที่ติดตั้ง หรือกรณีจำเป็นใดๆก็ตามก็สามารถตัดแผ่นให้สั้นลงและมุงซ้อนทับกัน แทนที่จะใช้แผ่นเดียวยาวตลอดโดยมีระยะซ้อนทับอย่างน้อย 15 cm. สำหรับหลังคา และ 10 cm. สำหรับผนังและบริเวณซ้อนทับนี้ควรจัดให้อยู่บนแปและควรฉีดซิลิโคนตลอดความกว้างของแผ่นบริเวณรอยซ้อนทับนี้

6. รอยต่อเมื่อขยายตัว ในกรณีแผ่นหลังคามีความยาวมากๆ ควรจัดรอยต่อเพื่อการขยายตัว เนื่องจากความร้อนให้ทุกระยะ 25 - 30 m. เนื่องจากแผ่นหลังคาเหล็กเมื่อได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์ จะมีการขยายตัวตามความยาว เช่น แผ่นหลังคาที่มีความยาว 30 m. เมื่อได้รับความร้อนเพิ่มขึ้น 25 °C ก็อาจมีความยาวเพิ่มมากขึ้นถึง 8.5 cm. ทำให้เกิดแรงดึงและดันในแผ่นหลังคาตลอดเวลา

การจัดรอยต่อเมื่อขยายตัว ทำได้โดยยกแปทุกตัวของแผ่นหลังคาที่อยู่ใกล้ยอดหลังคากว่าให้สูงกว่าแปชุดที่รองรับแผ่นถัดไป ประมาณ 1.5 cm. และจัดให้มีระยะซ้อนทับไม่น้อยกว่า 30 cm. และมี Flashing

2.2 ความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่หลังคาได้รับ

ลักษณะของความร้อนที่จะได้รับจากรังสีอาทิตย์ซึ่งจะผ่านเข้ามาทางหลังคาจะแสดงได้ดังรูป



รูปที่ 2.2 : แสดงลักษณะของความร้อนที่ได้รับจากรังสีดวงอาทิตย์

จากรูป 2.2 ที่บริเวณด้านบนของหลังคาซึ่งจะได้รับความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์โดยตรง ความร้อนเมื่อตกกระทบที่บริเวณหลังคาความร้อนส่วนหนึ่งจะถูกสะท้อนออกสู่ท้องฟ้า สู่อากาศ และความร้อนส่วนที่เหลือจะถูกหลังคาดูดกลืนเอาไว้ ทำให้ผิวหลังคามีอุณหภูมิสูง หลังจากจะแผ่รังสีความร้อนที่ดูดกลืนบางส่วนออกสู่อากาศที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า และรังสีความร้อนอีกบางส่วนจะถูกส่งผ่านมายังแผ่นอลูมิเนียมพอยล์และผ่านลงมายังแผ่นฝ้าเพดานซึ่งมีอุณหภูมิต่ำสุด ยิ่งอุณหภูมิที่ผิวหลังคาได้รับสูง ความร้อนที่ส่งผ่านลงมายังห้องใต้หลังคาก็จะสูงตามไปด้วย

2.3 การถ่ายเทความร้อนเข้าสู่หลังคา

การถ่ายเทความร้อนเข้าหรือออกจากอาคารผ่านหลังคาสามารถทำได้ใน 3 รูปแบบ คือ การนำความร้อน (Conduction), การพาความร้อน (Convection), และการแผ่ความร้อน (Radiation) ตามลักษณะทางกายภาพของอาคารทั่วไปที่มีความสูงไม่มากพบว่า หลังคาเป็นส่วนที่ได้รับอิทธิพลจากการแผ่รังสีความร้อนตรงจากดวงอาทิตย์มากที่สุด การแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ เมื่อเข้าสู่ชั้นบรรยากาศของโลก จะมีบางส่วนที่แพร่กระจาย เหลือเพียงบางส่วนที่ผ่านตรงมายังพื้นโลก รังสีที่เกิดการสะท้อนกับเมฆ ฝุ่นละออง หรือไอน้ำในอากาศ เรียกว่า รังสีกระจาย (Diffuse Radiation) ซึ่งมีการกระจายที่ไม่สม่ำเสมอ มีความเข้มสูงในบริเวณรอบดวงอาทิตย์ และปริมาณของรังสีจะมีค่า 10-90% ของปริมาณรังสีจากดวงอาทิตย์ที่ผ่านเข้าสู่ตัวอาคาร อีกส่วนหนึ่งของรังสีเกิดการสะท้อนจากพื้นดิน หรืออาคารข้างเคียง เรียกว่า รังสีสะท้อน (Reflected Radiation) จะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับค่า Reflectivity ของพื้นผิว สี ของวัสดุที่อยู่รอบๆ อาคารนั้น

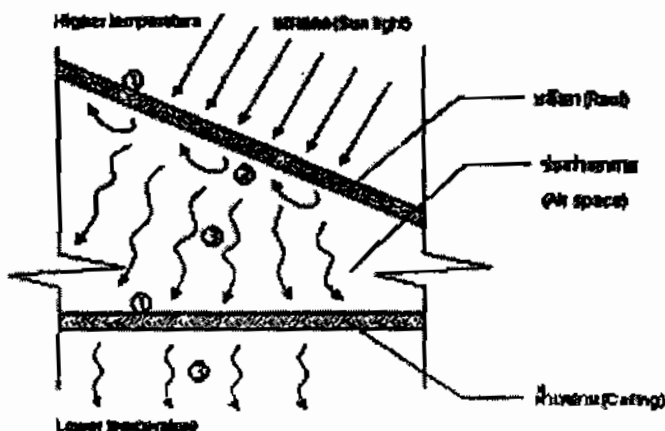
รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ที่ผ่านเข้ามาถึงพื้นโลก จะประกอบด้วยรังสี 2 ประเภท คือ

1. รังสีคลื่นสั้น (Short Wave Radiation) เป็นรังสีที่มาจากดวงอาทิตย์โดยตรง สามารถทะลุผ่านกระจกใสได้
2. รังสีคลื่นยาว (Long Wave Radiation) เกิดจากรังสีคลื่นสั้นที่ตกกระทบวัตถุและจะเปลี่ยนเป็นรังสีคลื่นยาวในรูปของพลังงานความร้อน ซึ่งจะไม่สามารถทะลุผ่านกระจกใสออกไปได้ จะสะท้อนได้ดีกับวัสดุผิวเรียบมันและเงา

เมื่อวัสดุหลังคาได้รับรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์จะร้อนขึ้น เนื่องจากการแผ่รังสีคลื่นสั้น กลายเป็นรังสีคลื่นยาว ทำให้เกิดพลังงานความร้อนขึ้นที่ผิววัสดุพร้อมกับการดูดซับรังสีความร้อนของวัสดุ ทำให้ผิวหลังคาร้อนขึ้น นำไปสู่การถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร ส่งผลต่ออุณหภูมิอากาศภายในอาคาร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบ 3 ประการ (Ashrae, 2001) คือ

1. อุณหภูมิอากาศภายนอก
2. รังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบผิววัสดุที่ถูกดูดซับไว้
3. การแลกเปลี่ยนรังสีความร้อนกับสภาพแวดล้อม

มวลสาร (thermal mass) เป็นตัวแปรสำคัญที่มีอิทธิพลต่อการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร กล่าวคือ มวลสารมีความสามารถในการกักเก็บความร้อน และการหน่วงเหนี่ยวการถ่ายเทความร้อนของวัสดุได้มากหรือน้อยต่างกัน วัสดุที่มีน้ำหนักเบาและมีมวลสารน้อยจะมีความสามารถในการกักเก็บปริมาณความร้อนได้น้อย แต่ความสามารถในการกักเก็บการถ่ายเทความร้อนเป็นไปในอัตราที่ช้า ในทางกลับกันวัสดุที่มีมวลสารมาก จะมีความสามารถในการกักเก็บปริมาณความร้อนได้มาก เมื่อปริมาณความร้อนกักเก็บมีมากขึ้นจะเกิดการส่งผ่านอย่างต่อเนื่อง ความร้อนที่สะสมในมวลสารทยอยเคลื่อนตัวผ่านเข้าสู่อาคารในเวลาถัดมา อิทธิพลนี้เรียกว่า การหน่วงเหนี่ยวเวลา หรือ Time Lag Effect ถ้าหากในช่วงเวลาที่หลังคานั้นกักเก็บความร้อนอยู่ อุณหภูมิอากาศภายนอกเย็นลงกว่าอุณหภูมิของหลังคาแล้ว ในช่วงเวลานั้นจะเกิดการถ่ายเทความร้อนจากหลังคาสู่อากาศภายนอกด้วย จะเห็นว่าความร้อนที่สะสมอยู่ในหลังคา ส่วนหนึ่งจะเคลื่อนตัวเข้าสู่อาคารและอีกส่วนหนึ่งเคลื่อนตัวจากหลังคาสู่ภายนอก หากหลังคามีมวลสารมากและมี Time Lag มากโอกาสที่ความร้อนที่สะสมอยู่ในหลังคาจะถ่ายให้กับอาคารและภายนอกก็มีมาก



รูปที่ 2.3 : แสดงการถ่ายเทความร้อนในระบบหลังคา (1) = Conduction, (2) = Convection, (3) = Radiation (ประพันธ์พงศ์ จงปติยัตต์, 2542)

จากรูปที่ 2.11 จะเห็นได้ว่าบริเวณช่องว่างอากาศ (Air space) ระหว่างหลังคา กับฝ้าเพดาน ความร้อนที่เกิดขึ้นจากอิทธิพลของแสงแดดจะถ่ายเท (Transfer) ลงมาสู่พื้นที่ใช้สอยใต้หลังคาหรือใต้ฝ้าเพดานที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าเสมอ รูปแบบการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นมากที่สุด คือการแผ่รังสีความร้อน (3) ซึ่งเป็นรูปแบบหนึ่งของรังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic wave) เรียกกันโดยทั่วไปว่ารังสีอินฟราเรด (Infrared) สามารถถ่ายเทความร้อนได้ในทุกทิศทางโดยไม่ต้องอาศัยตัวกลาง ให้กับทุกสรรพสิ่งที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า สำหรับการนำความร้อน (1) เกิดขึ้นเสมอในเนื้อวัสดุใดๆที่เป็นชิ้นเดียวกันหรือต่างชนิดกัน แต่ติดหรือสัมผัสกัน จากพื้นผิวที่มีอุณหภูมิสูงกว่าไปสู่พื้นผิวที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ส่วนการพาความร้อน (2) ในระบบหลังคามีน้อยมากเพราะอากาศที่ร้อนจะมีน้ำหนักเบาแล้วลอยตัวสูงขึ้น หากหลังคาได้รับการออกแบบให้สามารถระบายอากาศร้อนออกทิ้งสู่ภายนอกได้ ไม่ว่าจะเป็นโดยวิธีธรรมชาติหรือใช้เครื่องกลก็ตาม อากาศภายนอกที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าจะเข้ามาแทนที่ โอกาสของการพาความร้อนสู่ฝ้าเพดานจึงแทบไม่มีเลย

2.3.1 การถ่ายเทความร้อน

ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่ห้องหลังคาสามารถหาได้จากสมการ

$$Q = UA\Delta T \quad (2.1)$$

เมื่อ	Q	คือ	ปริมาณความร้อน, W
	U	คือ	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม, $W.m^{-1}.K^{-1}$
	A	คือ	พื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อน, m^2
	ΔT	คือ	ผลต่างของอุณหภูมิแลกเปลี่ยนความร้อน, K

สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม สามารถหาได้จากสมการ

$$U_i = \frac{1}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4} \quad (2.2)$$

เมื่อ	U	คือ	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม, $W.m^{-1}.K^{-1}$
	R_1	คือ	ความต้านทานตัวที่หนึ่งระหว่างกระเบื้องซีแพคโมเนียกับบนแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ (Ω)
	R_2	คือ	ความต้านทานตัวที่สองระหว่างบนแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์กับใต้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ (Ω)
	R_3	คือ	ความต้านทานตัวที่สามระหว่างใต้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์กับฝ้าเพดาน (Ω)
	R_4	คือ	ความต้านทานตัวที่สี่ระหว่างฝ้าเพดานกับสภาพแวดล้อม (Ω)

ความต้านทานตัวที่หนึ่ง (R_1) ระหว่างกระเบื้องซีแพคโมเนียกับบนแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ (Ω) สามารถหาได้จากสมการ

$$R_1 = \frac{1}{h_{c,CP-F} + h_{r,CP-F}} \quad (2.3)$$

เมื่อ	$h_{c,CP-F}$	คือ	สัมประสิทธิ์การพาความร้อนจากกระเบื้องซีแพคโมเนียไปยังบนแผ่น อลูมิเนียมฟอยล์
	$h_{r,CP-F}$	คือ	สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนจากกระเบื้องซีแพคโมเนียไปยังบนแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์

ความต้านทานตัวที่สอง (R_2) ระหว่างบนแผ่นอลูมิเนียมพอยล์กับใต้แผ่นอลูมิเนียมพอยล์ (Ω) สามารถหาได้จากสมการ

$$R_2 = \frac{L}{k} \quad (2.4)$$

เมื่อ L คือ ความหนาของแผ่นอลูมิเนียมพอยล์ มีหน่วยเป็นเมตร (m)
 k คือ ค่าการนำความร้อนของแผ่นอลูมิเนียมพอยล์ มีหน่วยเป็น $W \cdot m^{-1} \cdot C^{-1}$

ความต้านทานตัวที่สาม (R_3) ระหว่างใต้แผ่นอลูมิเนียมพอยล์กับฝ้าเพดาน (Ω) สามารถหาได้จากสมการ

$$R_3 = \frac{1}{h_{c,F-c} + h_{r,F-c}} \quad (2.5)$$

เมื่อ $h_{c,F-c}$ คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนใต้แผ่นอลูมิเนียมพอยล์กับฝ้าเพดาน
 $h_{r,F-c}$ คือ สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนใต้แผ่นอลูมิเนียมพอยล์กับฝ้าเพดาน

ความต้านทานตัวที่สี่ (R_4) ระหว่างฝ้าเพดานกับสภาพแวดล้อม (Ω) สามารถหาได้จากสมการ

$$R_4 = \frac{1}{h_{c,c-a} + h_{r,c-a}} \quad (2.6)$$

เมื่อ $h_{c,c-a}$ คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนจากฝ้าเพดานไปยังสภาพแวดล้อม
 $h_{r,c-a}$ คือ สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนจากฝ้าเพดานไปยังสภาพแวดล้อม

สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีระหว่างกระเบื้องซีแพคโมเนียกับบนแผ่นอลูมิเนียมพอยล์

$$h_{r,CP-F} = \frac{\sigma (T_{CP} - T_F)(T_{CP}^2 + T_F^2)}{\frac{1}{\epsilon_{CP}} + \frac{1}{\epsilon_F} - 1} \quad (2.7)$$

สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีระหว่างใต้แผ่นอลูมิเนียมพอยล์กับฝ้าเพดาน

$$h_{r,BF-c} = \frac{\sigma (T_{BF} - T_c)(T_{BF}^2 + T_c^2)}{\frac{1}{\epsilon_{BF}} + \frac{1}{\epsilon_c} - 1} \quad (2.8)$$

สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีระหว่างผิวพาดานกับอากาศ

$$h_{r,c-a} = \epsilon_c \sigma (T_c^2 + T_a^2) (T_c - T_a) \quad (2.9)$$

เมื่อ $h_{r,CP-F}$ คือ สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนจากกระเบื้องซีแพคโมเนียไปยังบนแผ่นอลูมิเนียม

	พอยล์
σ	คือ ค่าคงที่สเตฟาน-โบลทซ์มันน์ มีค่าเท่ากับ $5.6697 \times 10^{-8} \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-4}$
T_{cp}	คือ อุณหภูมิที่ตำแหน่งกระเบื้องซีแพคโมเนีย มีหน่วยเป็น (K)
T_F	คือ อุณหภูมิแผ่นบนอลูมิเนียมพอยล์ มีหน่วยเป็น เคลวิน (K)
T_{BF}	คือ อุณหภูมิแผ่นใต้อลูมิเนียมพอยล์ มีหน่วยเป็น เคลวิน (K)
T_C	คือ อุณหภูมิผิวพาดาน มีหน่วยเป็น เคลวิน (K)
T_a	คือ อุณหภูมิสภาพอากาศ มีหน่วยเป็น เคลวิน (K)
ϵ_{cp}	คือ ค่าการแผ่รังสีความร้อนของกระเบื้องซีแพคโมเนีย
ϵ_F	คือ ค่าการแผ่รังสีความร้อนบนแผ่นอลูมิเนียมพอยล์
ϵ_{BF}	คือ ค่าการแผ่รังสีความร้อนใต้แผ่นอลูมิเนียมพอยล์
ϵ_c	คือ ค่าการแผ่รังสีความร้อนผิวพาดาน

การพาความร้อนระหว่างแผ่นราบสองแผ่นขนานกัน คือ อัตราการถ่ายโอนความร้อนระหว่างแผ่นราบที่วางทำมุมกับแนวราบ คือ สิ่งสำคัญที่บอกถึงสมรรถนะของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบ ข้อมูลของการพาความร้อนแบบธรรมชาติที่ใช้ทั่วไปจะเกี่ยวข้องกับตัวแปรไร้มิติ 2 หรือ 3 ได้แก่

ตัวเลขนัสเซิลท์ (Nusselt Number, Nu) สามารถหาได้จากสมการ

$$h = Nu \frac{k}{L} \quad (2.10)$$

ตัวเลขเรย์เลย์ (Rayleigh Number, Ra) สามารถหาได้จากสมการ

$$Ra = \frac{g\beta\Delta TL^3}{\nu\alpha} \quad (2.11)$$

ตัวเลข พรันเทิล (prandtl Number, Pr) สามารถหาได้จากสมการ

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} \quad (2.12)$$

เมื่อ	L	คือ ระยะห่างระหว่างแผ่น มีหน่วยเป็นเมตร (m)
	k	คือ ค่าการนำความร้อนมีหน่วยเป็น $W \cdot m^{-1} \cdot C^{-1}$
	g	คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก มีหน่วยเป็น $m \cdot s^{-2}$
	β'	คือ สัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงปริมาตร (สำหรับก๊าซอุดมคติ $\beta' = \frac{1}{T}$)
	ΔT	คือ ผลต่างระหว่างอุณหภูมิ
	ν	คือ ความหนืดคิเนมาติก (Kinematic Viscosity) มีหน่วยเป็น $m^2 \cdot s^{-1}$
	α	คือ ค่าสภาพการแผ่ความร้อน มีหน่วยเป็น $m^2 \cdot s^{-1}$

ในการทดลองใช้อากาศเป็นสารทำงาน Hollands และคณะ (1976) ได้เสนอความสัมพันธ์ระหว่างตัวเลขนัสเซลท์กับตัวเลขเรย์เลย์ สำหรับทำมุมเอียงตั้งแต่ 0 ถึง 70 องศาเซลเซียส ดังนี้

$$Nu = 1 + 1.44 \left[1 - \frac{1708(\sin 1.8\beta)^{1.6}}{Ra \cos \beta} \right] \left[1 - \frac{1708}{Ra \cos \beta} \right]^+ + \left[\left(\frac{Ra \cos \beta}{5830} \right)^{1/3} - 1 \right]^+ \quad (2.13)$$

เครื่องหมาย (+) หมายความว่าใช้เฉพาะค่าบวก และจะใช้ค่าศูนย์หากเทอมในวงเล็บได้ค่าติดลบ

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

- 2501 วิกรม จำนงจิตต์ ศึกษาประสิทธิภาพลดการถ่ายเทความร้อนจากหลังคาด้วยวิธีการระบายอากาศ ช่องใต้ หลังคาของอาคารที่ตั้งอยู่ในสภาพภูมิอากาศร้อนชื้น พบว่าเมื่อมีการเพิ่มการระบายอากาศช่องใต้หลังคา จะเพิ่มประสิทธิภาพลดการถ่ายเทความร้อนจากหลังคาเพียงเล็กน้อย ดังนั้นการออกแบบปรับปรุงหลังคาเพื่อลดการถ่ายเทความร้อนจะใช้วิธีการอื่นๆ เช่น การใช้ฉนวนใยแก้วกันความร้อน ซึ่งเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าจะใช้เงินลงทุนไม่มากนัก และพบว่าในช่วงเวลากลางคืนการใช้ฉนวนใยแก้วกันความร้อนในหลังคาจะทำให้อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยในห้องสูงกว่าห้องที่มีและไม่มีการระบายอากาศใต้หลังคา และสูงกว่าห้องที่ใช้ระบบป้องกันรังสีความร้อนในหลังคา
- 2536 จัญดา บุญเกียรติ ศึกษาการหาแนวทางในการลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารที่ผ่านทางหลังคา งานวิจัยเน้นไปที่การศึกษาปัจจัยที่จะมีผลต่อการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร โดยการทำหุ่นจำลองขนาด 1.20x1.20x1.20 เมตร ด้านบนเป็นวัสดุผนังหลังคาที่ต้องการทดสอบ และทำการวัดอุณหภูมิจุดต่างๆ ภายในกล่องทดลองพบว่า หลังคามุงจากมีค่าความเป็นฉนวนสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุชนิดอื่นๆ โดยในช่วงกลางวันผิวหลังคาจะดูดซึมความร้อนไว้ไม่มากทำ

ให้อุณหภูมิเฉลี่ยภายในกล่องทดลองค่อนข้างต่ำ ส่วนในช่วงกลางคืนด้วยความเป็นฉนวนของจาก ผิวหลังคาจึงไม่ค่อยจะสูญเสียความร้อนให้กับท้องฟ้า ส่งผลให้อุณหภูมิผิวหลังคา และอุณหภูมิภายในกล่องทดลองไม่แตกต่างกันมากนัก หลังคาแผ่นโลหะมีคุณสมบัติในการเป็นตัวนำที่ดี และสะท้อนรังสีแสงอาทิตย์ได้มาก ดูดซึมน้อย ทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยภายในกล่องทดลองไม่สูงไปตามอุณหภูมิผิวหลังคา

- 2540 จุไรพร ดุมพสุวรรณ ศึกษาพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านวัสดุผนังหลังคาบ้านพักอาศัยในเขตร้อนชื้น โดยศึกษาและวิเคราะห์คุณสมบัตินี้ของวัสดุผนังหลังคา มุมเอียงของหลังคา การใช้ฉนวนกันความร้อนและการระบายอากาศบริเวณชายคา พบว่าวัสดุผนังหลังคาที่มีคุณสมบัติในการลดการถ่ายเทความร้อนได้ดีที่สุดจากการทดลองนี้ คือ หนา 10 ซม. มุมเอียงของหลังคาที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนพบว่าในช่วงเวลาที่อุณหภูมิสูงสุดของวัน มุมเอียง 60 องศาจะมีอุณหภูมิใต้ฝ้าเพดานต่ำที่สุด การเพิ่มประสิทธิภาพของหลังคา พบว่าตำแหน่งการติดตั้งฉนวนที่ดีคือตำแหน่งแนวราบเหนือฝ้าเพดานที่มีการระบายอากาศเหนือบริเวณชายคา ซึ่งเป็นการแสดงว่าการลดการถ่ายเทความร้อนโดยการใช้อุณหภูมิของอากาศในตำแหน่งที่ถูกต้องและการระบายอากาศบริเวณชายคาจะช่วยลดความร้อนในช่วงเวลาที่สูงที่สุดของวันได้
- 2540 สมพงษ์ ไจมา ศึกษาการวิเคราะห์สมรรถนะของหลังคาปรับรังสีอาทิตย์ โดยมีการออกแบบให้ตัวบ้านมีอากาศถ่ายเทได้สะดวกซึ่งจะอาศัยหลักการพาความร้อนโดยธรรมชาติจึงได้สร้างอุปกรณ์ให้ กับตัวบ้านซึ่งเรียกว่า หลังคาปรับรังสีอาทิตย์จะเรียกย่อว่า RSC ซึ่ง RSC สามารถที่จะลดปริมาณการดูดกลืนรังสีตกกระทบ และยังช่วยก่อให้เกิดกลไกการไหลถ่ายเทระบายอากาศโดย ธรรมชาติได้อีกด้วย จากผลการทดลองที่ได้ เมื่อเปรียบเทียบกับผลของการ simulation จะได้ผลใกล้เคียงกันจากการ simulation ซึ่งสามารถทำได้สะดวก จะให้ เงื่อนไขในการสร้าง RSC ที่เหมาะสมคือ มุมของหลังคาอยู่ ระหว่าง 20 องศา ถึง 45 องศา โดยใช้เวลาอยู่ในช่วง 100-130 cm และช่องอากาศระหว่างซีแพคโมเนีย และแผ่นยิปซัม ควรกว้าง 10-14 cm
- 2541 ปานทิพย์ ทักซ์เสถียร ศึกษาเปรียบเทียบลักษณะรูปทรงและวัสดุหลังคาเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน โดยมุ่งเน้นที่หลังคาบ้านของกลุ่มบ้านพักอาศัยซึ่งถือว่าเป็นส่วนประกอบหนึ่งของอาคารที่ใช้พื้นที่ในการสกัดกั้นรังสีความร้อนมากที่สุด พบว่า วัสดุผนังหลังคาที่ควรเลือกใช้ที่มุมลาดเอียง 30 องศา และ 20 องศา คือ กระเบื้องซีแพคโมเนีย กระเบื้องลอนคู่ กระเบื้องเซรามิก เปรียบเทียบฉนวนกันความร้อน พบว่า ฉนวนกันความร้อนควรใช้แผ่นสะท้อนความร้อนและฉนวนใยแก้ว เปรียบเทียบวัสดุผนังหลังคาพร้อมกับฉนวนกันความร้อน พบว่า ควรเลือกใช้กระเบื้องซีแพคโมเนียร่วมกับฉนวนใยแก้ว และกระเบื้องลอนคู่ร่วมกับฉนวนใยแก้ว
- 2541 อุทัย ประสพชิงชนะ ศึกษาการวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนผ่านระบบหลังอาคาร ในการศึกษาได้ทำแบบจำลองสำหรับหลังคาจั่วและหลังคาเรียบแล้วคำนวณหาค่าปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านระบบหลังคาด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่เขียนขึ้น สำหรับการคำนวณด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยวิธีผลต่างสี่เหลี่ยม (finite differencemethod) แล้วใช้หลักการของนิวตันกราฟิสนในการแก้ปัญหาระบบสมการไม่เชิงเส้นเพื่อหาอุณหภูมิที่จุดต่างๆ ของหลังคาและคำนวณหาค่าปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านระบบหลังคา จากผลการศึกษาพบว่ามาตรการลดความร้อนที่ได้ผลดีที่สุดคือ

การติดตั้งฝ้าเพดานแล้วปูด้วยฉนวนกันความร้อนเหนือฝ้า รองลงมาคือการติดตั้งฝ้าเพดาน แล้วระบายอากาศเหนือฝ้าเพดานและการฉาบสารสะท้อนรังสีความร้อนที่ผิวด้านบนของ หลังคา ตามลำดับ

- 2541 ศุภกิจ ยิ้มสรวล ศึกษาการใช้สวนหลังคาเพื่อลดการถ่ายเทความร้อนพบว่าการใช้ดินปกคลุม หลังคาอาคารสามารถลดอุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาอาคารลงได้ เนื่องจากอิทธิพลความเย็น จากดินและการเปลี่ยนความร้อนระหว่างหลังคาอาคารกับดิน ดินที่มีความชื้นมากมีผลทำให้ อุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาอาคารลดต่ำลง การมีสิ่งปกคลุมผิวดินช่วยป้องกันความร้อนและ รักษาความชุ่มชื้นให้กับดิน ทำให้มีอุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาอาคารลดต่ำลง การใช้ต้นไม้ใหญ่ กรองแสงและป้องกันความร้อนจากดวงอาทิตย์สามารถลดความร้อนให้แก่ผิวดินทำให้ผิวดินมี ความเย็นและมีการเหนี่ยวนำความเย็นลงสู่ดิน ส่งผลต่อการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่าง หลังคาอาคารกับดินทำให้อุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาอาคารลดต่ำลงการประยุกต์ใช้สวนบน หลังคาเพื่อลดการถ่ายเทความร้อน ควรทำให้ดินมีความชุ่มชื้นตลอดเวลาและมีสิ่งปกคลุมผิวดินเพื่อรักษาความชื้นภายในดิน ควรใช้ต้นไม้ใหญ่เพื่อปรับสภาพแวดล้อมและป้องกันความ ร้อนจากดวงอาทิตย์ ซึ่งจะช่วยลดการถ่ายเทความร้อนได้
- 2544 พัชรี ลำพองพวน และคณะ ศึกษาผลของการเกิดฟิล์มอากาศต่อการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ห้อง ทางหลังคาโดยพิจารณาการเกิดฟิล์มอากาศที่บริเวณผิวของฉนวน และศึกษาโดยใช้แบบจำลอง เชิงตัวเลขหนึ่งมิติ พบว่าผลของการเกิดฟิล์มอากาศสามารถลดความร้อนได้จริง จากการศึกษา เพื่อเปรียบเทียบภาระความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่ห้องทางหลังคาระหว่างกรณีที่เกิดฟิล์ม อากาศและกรณีไม่เกิดฟิล์มอากาศ กรณีที่เกิดฟิล์มอากาศสามารถลดภาระความร้อนที่ถ่ายเท เข้าสู่ห้องทางหลังคาได้ประมาณ 21.25 เปอร์เซ็นต์ของกรณีที่ไม่เกิดฟิล์มอากาศตรงกับทฤษฎี ที่กล่าวว่าฟิล์มอากาศเป็นฉนวนป้องกันความร้อน
- 2548 T'Soubdhan ศึกษาเรื่องการประเมินผลการทดลองของฉนวนความร้อนที่ถูกติดตั้งกับหลังคา ภายใต้อากาศร้อน พบว่าฉนวนกันความร้อนที่ถูกติดตั้งกับหลังคาสามารถลดปริมาณความร้อน ที่ผ่านหลังคาเข้าสู่ตัวบ้านได้ และการออกแบบหลังคาให้มีช่องระบายอากาศสามารถลด ปริมาณความร้อนที่ผ่านหลังคาเข้าสู่ตัวบ้านได้เช่นกัน แต่งานวิจัยนี้สรุปได้ว่า การติดตั้งฉนวน กันความร้อนสามารถลดปริมาณความร้อนที่เข้าสู่หลังคาได้ดีกว่าการออกแบบหลังคาให้มีช่อง ระบายอากาศและยังสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายในการติดตั้งได้
- 2548 S.Maneewan และคณะ ศึกษาเรื่องการลดความร้อนช่องว่างใต้หลังคาโดยวิธีเทอร์โมอิเล็กทริก โดยใช้พัดลมในการดึงเอาความร้อนออกจากช่องว่างใต้หลังคา พบว่าการใช้พัดลมในการดึงเอา ความร้อนออกจากช่องว่างใต้หลังคา ทำให้ลดปริมาณความร้อนที่เข้าสู่ฝ้าเพดานได้โดยวัด อุณหภูมิที่ห้องใต้หลังคาได้ 35°C ทำให้เกิดประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนสูง ข้อเสีย ต้อง เสียค่าใช้จ่ายในการติดตั้งสูงมาก

- 2550 ถาวร นิลชา ศึกษาการลดภาระความร้อนในอาคารหลังจากหมดค่ารังสีความร้อนของดวงอาทิตย์ โดยใช้ท่อแลกเปลี่ยนความร้อนใต้ดินพบว่า อัตราความร้อนที่เข้าสู่อาคารที่ไม่มีการปรับอากาศจะหมดในเวลา 21.50น. ในส่วนของการปรับอากาศโดยใช้ระบบท่อแลกเปลี่ยนความร้อนใต้ดินมีการทำความเย็นในช่วงเวลา 18.05-21.20 น. ทำให้อัตราความร้อนเข้าสู่ภายในอาคารหมดในเวลา 21.05น. และอุณหภูมิอากาศภายในอาคารมีค่าต่ำกว่าไม่มีการปรับอากาศเฉลี่ย 0.77°C

บทที่ 3

ขั้นตอนการดำเนินงาน

วิธีการทดสอบและวิเคราะห์ผลการทดสอบ ดังนี้

- 3.1 ตัวแปรในการทดสอบ
- 3.2 ชุดทดสอบ
- 3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือวัด
- 3.3 ขั้นตอนการทดลอง
- 3.4 บันทึกผลการทดลอง

3.1 ตัวแปรในการทดสอบ

- 3.1.1 ขนาดของตัวบ้าน ความกว้าง 120 cm. ความยาว 120 cm.
- 3.1.2 ขนาดของหลังคา ความลาดชันของหลังคาทำมุม 30 องศา ความสูงของหลังคา 82 cm. ความลาดเอียงของหลังคา 200 cm.
- 3.1.3 กระเบื้องซีแพคโมเนีย สีน้ำตาล
- 3.1.4 แผ่นอลูมิเนียม คือ ฟอยล์ชนิดหน้าคู่และแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ชนิดหน้าเดียว
- 3.1.5 ฝ้าเพดาน คือ ฝ้าเพดานชนิดแผ่นเรียบและฝ้าเพดานชนิดสะท้อนความร้อน

3.2 ชุดทดสอบ

ออกแบบและสร้างชุดทดสอบการถ่ายเทความร้อนของระบบฉนวนความร้อนที่ถูกติดตั้งได้ หลังคาและบนฝ้าเพดาน โดยออกแบบให้เป็นแบบจำลองที่มีลักษณะคล้ายบ้านและใช้วัสดุในการก่อสร้างบ้านจริง ซึ่งมีลักษณะการมุงหลังคาเป็นแบบเพิงหมาแหงน และทำการมุงหลังคาด้วยวัสดุ กระเบื้องซีแพคโมเนีย (ภาคผนวก ค) ติดตั้งแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ได้แผ่นมุงหลังคา (ภาคผนวก ค) และ ติดตั้งแผ่นฝ้าเพดาน แสดงดังภาคผนวก ค

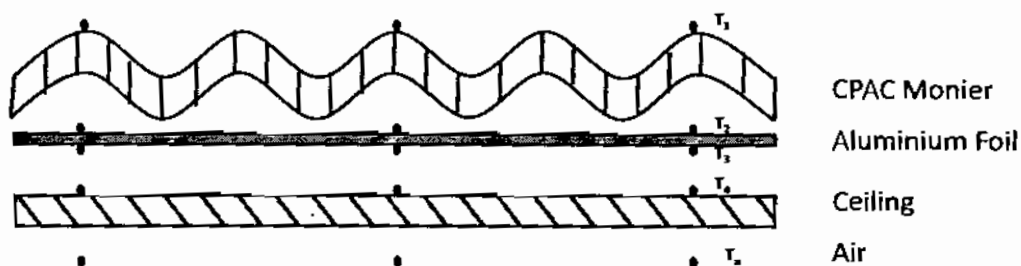
3.3 อุปกรณ์และเครื่องมือวัด

- 3.3.1 เครื่องบันทึกข้อมูล (Data Logger) ยี่ห้อ YOKOGAWA รุ่น DX200 ขนาด 20 ช่องสัญญาณ มีช่วงการวัดอุณหภูมิ -200°C ถึง 1100°C มีความแม่นยำ $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ (ดังภาคผนวก ค)
- 3.3.2 สายเทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) Type K ใช้ร่วมกับเครื่องบันทึกข้อมูล(ดังภาคผนวก ค)
- 3.3.3 Amplified Pyranometer SP 212 & 215 (ดังภาคผนวก ค)

3.4 ขั้นตอนการทดลอง

3.4.1 ติดตั้งแผ่นฟอยล์อะลูมิเนียม (Aluminium foil) มีความหนา 0.001 m. และฝ้าเพดานขนาดกว้าง x ยาว (60x60 cm) จำนวน 4 แผ่น มีความหนา 0.008 m. ไว้ใต้แผ่นมุงหลังคา

3.4.2 ติดตั้งสายเทอร์โมคัปเปิล Type K (ค่าความคลาดเคลื่อน ± 0.5) เข้ากับชุดสอบอบที่ตำแหน่งต่างๆ แสดงดังรูป 3.1



• หมายถึง ตำแหน่งต่างๆที่ใช้ในการวัดอุณหภูมิ

รูปที่ 3.1 แสดงการตำแหน่งต่างๆที่ใช้ในการวัดอุณหภูมิ

3.4.3 ติดตั้งสายเทอร์โมคัปเปิล Type K (ค่าความคลาดเคลื่อน ± 0.5) ที่ติดตั้งจากชุดทดลองจากรูป 3.1 เข้ากับเครื่องบันทึกข้อมูล (Data Logger)

3.4.4 เริ่มทำการวัดอุณหภูมิ ณ จุดต่างๆ ประกอบด้วย บนหลังคา (T_1) บนแผ่นฟอยล์ (T_2) ใต้แผ่นฟอยล์ (T_3) และบนฝ้าเพดาน (T_4) และอุณหภูมิสภาพอากาศ (T_a) แสดงดังรูป 3.1

3.4.5 นำค่าอุณหภูมิที่วัดได้ ณ จุดต่างๆ มาคำนวณหาค่าการถ่ายเทความร้อน (Q)

3.4.6 ทำการเปลี่ยนแปลงสภาวะของการทดลอง แสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงสภาวะการทดลองของห้องใต้หลังคา

สภาวะทดลอง	ลักษณะการเปลี่ยนแปลงสภาวะการทดลองของห้องใต้หลังคา				
	อลูมิเนียมฟอยล์ชนิดหน้าคู่	อลูมิเนียมฟอยล์ชนิดหน้าเดียว	ฝ้าเพดานชนิดแผ่นเรียบ	ฝ้าเพดานชนิดสะท้อนความร้อน	ฉนวนใยแก้ว
DN	✓		✓		
DNI	✓		✓		✓
DRI	✓			✓	✓
DR	✓			✓	
SR		✓		✓	
SRI		✓		✓	✓
SN		✓	✓		
SNI		✓	✓		✓
NI			✓		✓
RI				✓	✓

*หมายเหตุ รายละเอียดแสดงในสารบัญญัตินี้

- ◆ วิเคราะห์ผลการทดลอง
- ◆ จัดทำรูปเล่มรายงานฉบับสมบูรณ์

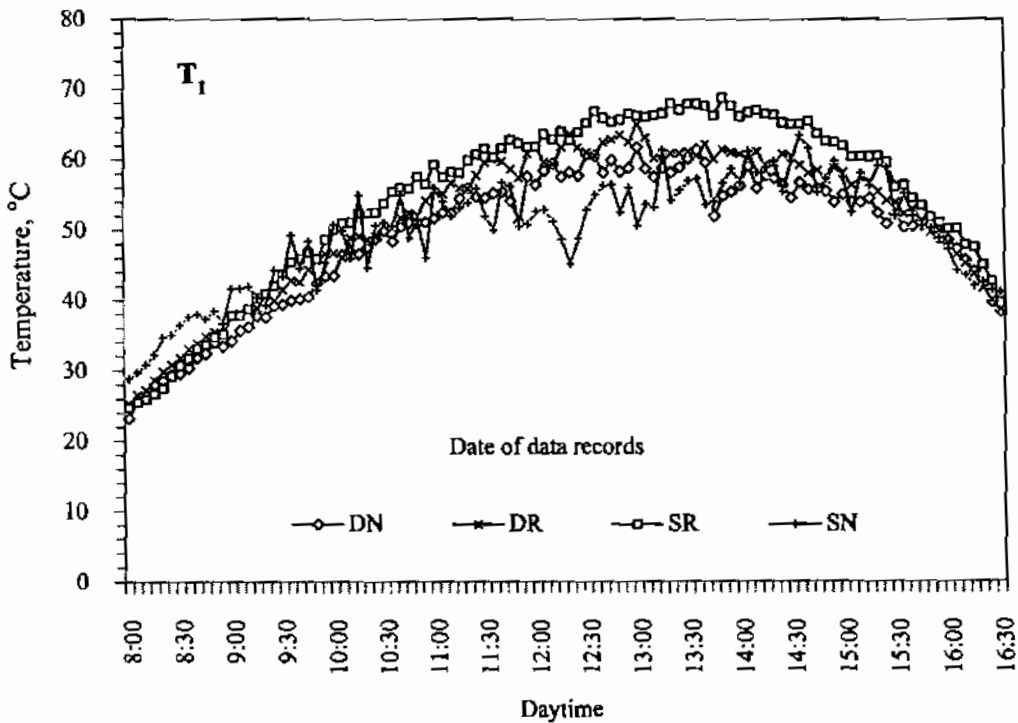
3.4 บันทึกผลการทดลอง

- ◆ ตั้งเครื่องทดลอง ณ ตึก SC2 คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
- ◆ บันทึกผลการทดลองในช่วงเวลา 08.00 – 16.00 นาฬิกา
- ◆ บันทึกผลการทดลองทุกๆ เวลา 5 นาที โดยเก็บข้อมูลอุณหภูมิตำแหน่งบนหลังคา (T_1) อุณหภูมิตำแหน่งบนแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ (T_2) อุณหภูมิตำแหน่งใต้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ (T_3) และอุณหภูมิตำแหน่งบนฝ้าเพดาน (T_4) และอุณหภูมิสภาพอากาศ (T_a)

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

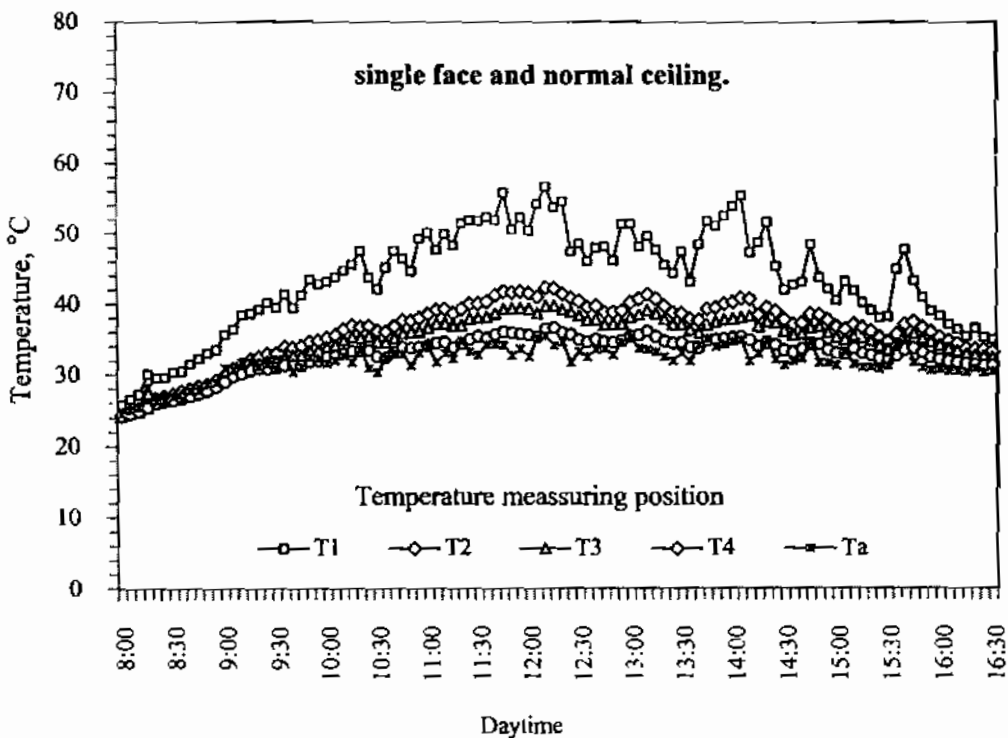
งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาค่าการถ่ายเทความร้อนของระบบฉนวนความร้อนที่ถูกต้องได้หลังคาและบนฝ้าเพดาน โดยสร้างบ้านจากวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างจริง เพียงจำลองขนาดของตัวบ้านให้มีขนาดความกว้างและความยาวเท่ากัน คือ 1.20 m. จากนั้นทำการเปลี่ยนแปลงสภาพทดลองของห้องได้หลังคา เพื่อศึกษาพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อน ในรูปของอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ประกอบด้วย ตำแหน่งบนหลังคา (T_1) ตำแหน่งบนแผ่นอะลูมิเนียมฟอยล์ (T_2) ตำแหน่งใต้แผ่นอะลูมิเนียมฟอยล์ (T_3) และตำแหน่งบนฝ้าเพดาน (T_4) ผลการทดลองสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ผลของอุณหภูมิที่มีต่อการถ่ายเทความร้อนและค่าการถ่ายเทความร้อนที่มีผลต่อการติดตั้งระบบฉนวนความร้อนให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ผลการทดลองสามารถอภิปรายได้ดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.1: แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิบนหลังคา (T_1) ในช่วงเวลากลางวันที่มีเงื่อนไขการทดลองที่แตกต่างกัน

4.1 อุณหภูมิตำแหน่งบนหลังคา

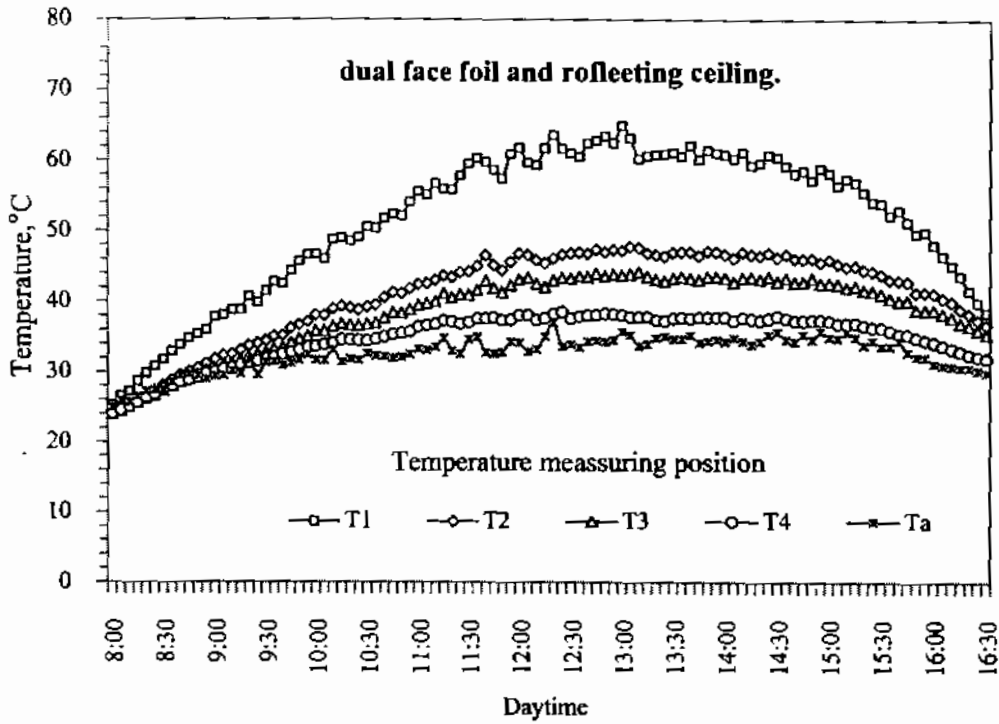
รูปที่ 4.1 แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิบนหลังคาในเวลากลางวัน เมื่อบันทึกข้อมูลในวันต่างๆ ผลการทดลองพบว่า อุณหภูมิต่ำที่สุด ณ เวลา 8.00 น. จากนั้นเพิ่มขึ้นจนกระทั่งเวลาประมาณ 12.30 น. อุณหภูมิเข้าสู่เสถียรภาพ กระทั่ง 15.00 น. อุณหภูมิเริ่มลดลง ข้อสังเกตคือ อุณหภูมิเริ่มต้นแตกต่างกันไม่เกิน 2°C แม้ว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงเวลาการเก็บข้อมูลห่างกันถึง 4 วัน ดังนั้น จึงเป็นการยืนยันในเบื้องต้นถึงการเปรียบเทียบข้อมูลในการวิเคราะห์ปัจจัยอื่นๆ ได้อย่างมีเหตุผล อย่างไรก็ตาม ผลการทดลองแสดงให้เห็นชัดเจนถึงความแตกต่างของอุณหภูมิตกกระทบบนหลังคา เมื่อมีแสงแดดมากขึ้น ความเข้มของแสงแดดยิ่งทำให้เกิดอุณหภูมิสูง ด้วยเหตุนี้เมื่อมีเมฆบดบังแสงแดดจึงส่งผลให้เส้นอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงระดับด้วย นอกจากนี้ ลมยังเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ทำให้อุณหภูมิเปลี่ยนแปลงได้เช่นกัน ซึ่งสังเกตจากผลการทดลองของวันที่ 22 พฤศจิกายน 2554 อนึ่งการทดลองนี้ไม่มีการบันทึกข้อมูลในช่วงเวลากลางคืน เนื่องจากไม่มีปัจจัยหลักเกี่ยวกับแสงแดดที่จะทำให้หลังคามีอุณหภูมิแตกต่างกันมากนัก ซึ่งยืนยันได้จากผลการทดลองของจุดเริ่มต้นและจุดสุดท้ายในรูปที่ 4.1 โดยไม่มีความแตกต่างของอุณหภูมಿಯ่างมีนัยสำคัญ



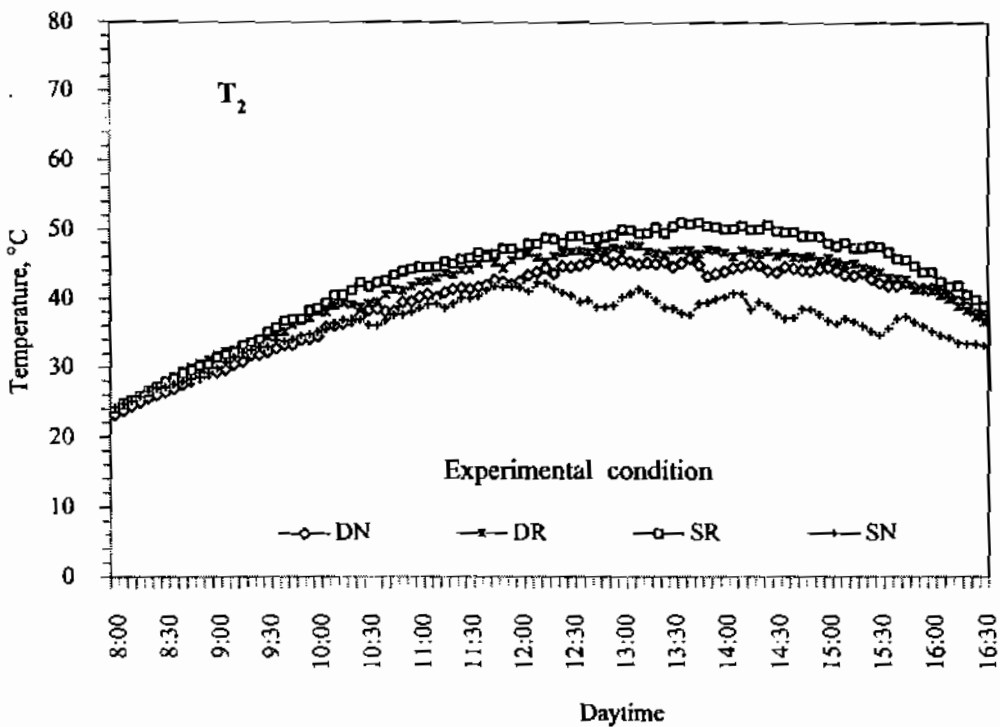
รูปที่ 4.2 : แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลา กับอุณหภูมิของการกระจายความร้อนในห้องใต้หลังคา

4.2 การกระจายอุณหภูมิภายในห้องใต้หลังคา

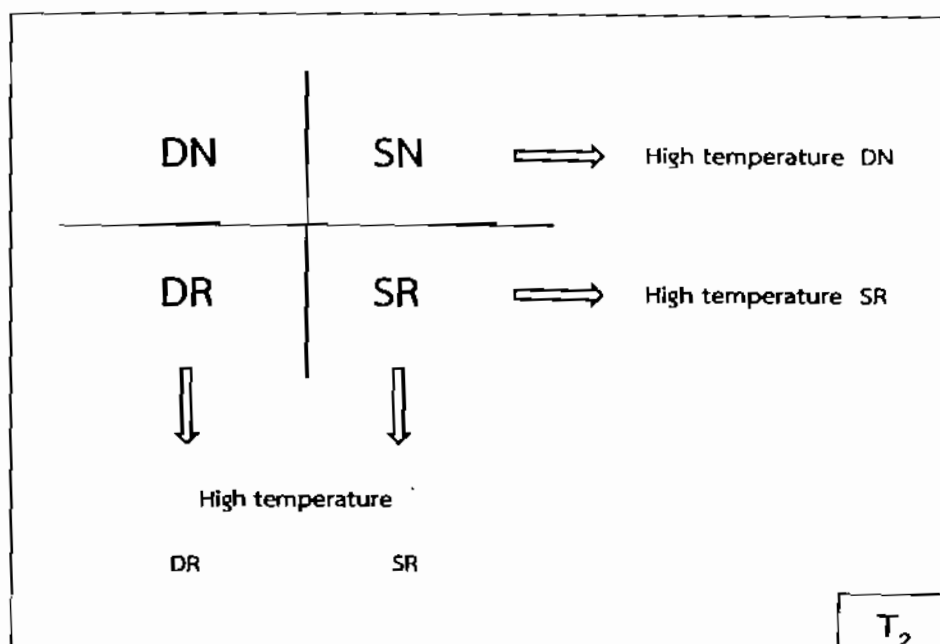
ตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในช่วงเวลากลางวัน ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ของระบบหลังคา โดยการใช้แผ่นอลูมิเนียมพอยล์ชนิดหน้าเดียวและฝ้าเพดานแบบทั่วไปแสดงในรูปที่ 4.2 ผลการทดลองพบว่า เวลาเริ่มต้นที่ 8.00 น. อุณหภูมิทุกจุดของหลังคา (T_1 , T_2 , T_3 , และ T_4) มีค่าเท่ากัน คือ $24\text{ }^{\circ}\text{C}$ จากนั้นอุณหภูมิเพิ่มขึ้นตามเวลา เนื่องจากรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์แผ่มาจากหลังคาเมื่อได้รับแสงแดด อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ แปรผันโดยตรงกับระยะทางการถ่ายเทความร้อน ดังตัวอย่างอุณหภูมิที่เข้าสู่เสถียร ค่าของ T_1 , T_2 , T_3 , T_4 และ T_a คือ 57, 42, 40, 36 และ $34\text{ }^{\circ}\text{C}$ ตามลำดับ หลังจากนั้นอุณหภูมิมิมีการเปลี่ยนแปลงขึ้น-ลงตามสภาพแวดล้อมภายนอก ส่งผลให้อุณหภูมิภายในห้องใต้หลังคาเปลี่ยนแปลงด้วยเช่นกัน ดังนั้นเมื่อปริมาณความร้อนจากอากาศภายนอกที่ถ่ายเทผ่านเข้ามาภายในห้องใต้หลังคาโดยผ่านหลังคาลงมาจะเกิดการสะท้อนคลื่นรังสีความร้อนออกจากหลังคาและรังสีความร้อนส่วนหนึ่งจะถูกส่งผ่านมายังแผ่นอลูมิเนียมพอยล์ ซึ่งแผ่นอลูมิเนียมพอยล์จะทำหน้าที่ในการสะท้อนคลื่นความร้อนเพื่อไม่ให้รังสีความร้อนผ่านลงมายังฝ้าเพดานมากเกินไป ส่งผลให้อุณหภูมิที่ผิวหลังคาสูงที่สุด ซึ่งรังสีความร้อนจากอากาศที่ถ่ายเทเข้าไปภายในห้องใต้หลังคาจะมีปริมาณมากหรือน้อยแตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับปัจจัยทางสภาพแวดล้อมในการทำงานเหมือนกัน การกระจายของอุณหภูมิภายในห้องใต้หลังคาสำหรับการใช้แผ่นอลูมิเนียมพอยล์ชนิดสองหน้าแสดงในรูปที่ 4.3 ผลการทดลองแสดงแนวโน้มเดียวเช่นเดียวกับรูปที่ 4.2 แต่มีข้อสังเกตชัดเจนขึ้นในแง่ความชันของเส้นอุณหภูมิจากจุดเริ่มต้นถึงจุดเสถียร แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงสภาวะทดลองต่างๆ ภายในห้องใต้หลังคาและอุณหภูมิที่ตกกระทบหลังคามิผลโดยตรงต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในห้องใต้หลังคาด้วย



รูปที่ 4.3 : แสดงการกระจายอุณหภูมิของสภาวะแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์หน้าคู่ร่วมกับฝ้าเพดานชนิดสะท้อนความร้อน



รูปที่ 4.4 (ก) : แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิบนแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ (T₂) ในช่วงเวลากลางวันที่มีเงื่อนไขการทดลองที่แตกต่างกัน



รูปที่ 4.4 (ข) : แผนภาพแสดงการเปรียบเทียบอย่างง่ายจากสภาวะทดลองในรูปที่ 4.4 (ก)

4.3 อุณหภูมิแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์

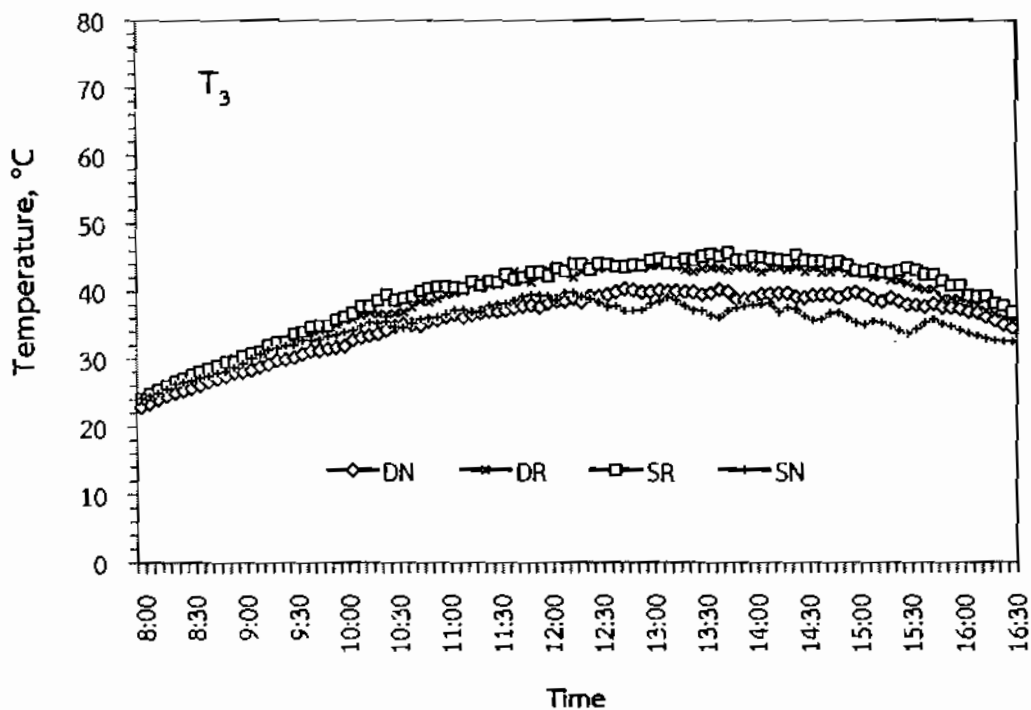
รูปที่ 4.4 (ก) แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิบนแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ในช่วงเวลากลางวัน เมื่อสภาวะทดลองเปลี่ยนไป เมื่อพิจารณาจุดเริ่มต้นของข้อมูลที่มีค่าอุณหภูมิเท่ากันแสดงถึงทุกสภาวะทดลองสามารถเปรียบเทียบกันได้ แม้มีการบันทึกข้อมูลด้วยวันเวลาที่แตกต่างกัน นอกจากนี้ ผลการทดลองยังสื่อให้เห็นถึงความแตกต่างของความร้อน เมื่อเวลาเปลี่ยนแปลงไป โดยเฉพาะในช่วงกลางวัน เพื่อให้่ายในการเปรียบเทียบและวิเคราะห์ผลการทดลอง ให้ดูรูปที่ 4.4 (ข) ประกอบกับผลการทดลองในรูปที่ 4.4 (ก) ซึ่งสามารถแยกอธิบายรายละเอียดดังต่อไปนี้

- พิจารณาสภาวะทดลองการใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ชนิดหน้าคู่ และผ้าเทคานแผ่นเรียบ (DN) เปรียบเทียบกับการใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ชนิดหน้าเดียวและผ้าเทคานทั่วไป (SN) ผลการทดลองแสดงให้เห็นถึงความร้อนสูงเกิดขึ้นกับสภาวะทดลองการใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ชนิดหน้าคู่ และผ้าเทคานแผ่นเรียบ (DN) เนื่องจากแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ชนิดหน้าคู่มีมวลในการเก็บความร้อนได้มากกว่าแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ชนิดหน้าเดียว

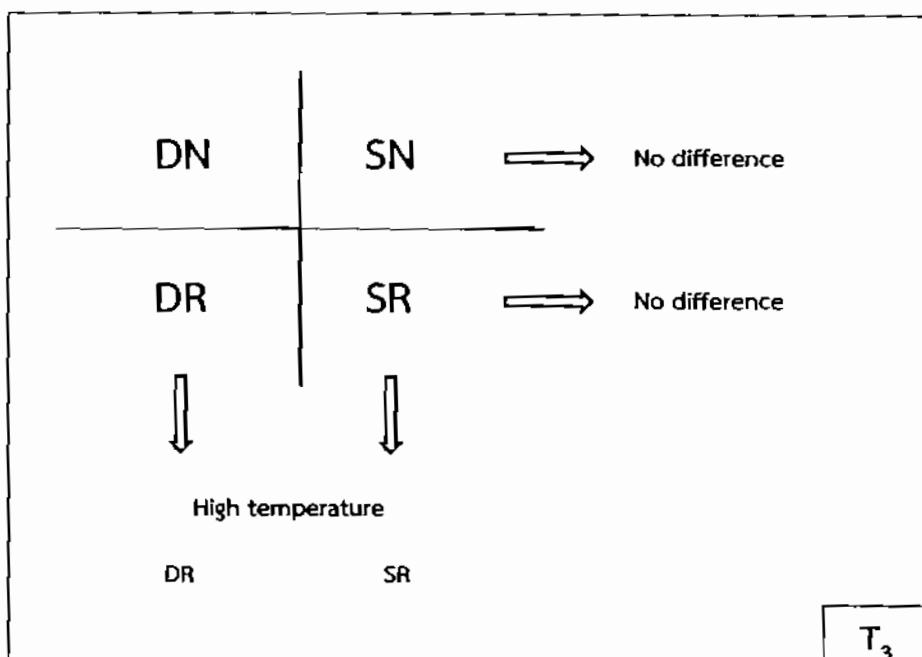
- พิจารณาสภาวะทดลองการใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ชนิดหน้าคู่ และผ้าเทคานสะท้อนความร้อน (DR) เปรียบเทียบกับการใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ชนิดหน้าเดียวและผ้าเทคานสะท้อนความร้อน (SR) ผลการทดลองแสดงให้เห็นถึงความร้อนสูงเกิดขึ้นกับสภาวะ SR เนื่องจากความร้อนจากผ้าเทคานถูกสะท้อนกลับมายังแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ ในขณะที่แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ชนิดหน้าคู่ ทำหน้าที่สะท้อนความร้อนกลับไปกลับมาได้มากกว่าแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ชนิดหน้าเดียว

- พิจารณาสภาวะทดลองสองการใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ชนิดหน้าคู่และผ้าเพดานชนิดแผ่นเรียบ (DN) เปรียบเทียบกับสภาวะที่ใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ชนิดหน้าคู่ร่วมกับแผ่นผ้าเพดานชนิดสะท้อนความร้อน (DR) ผลการทดลองพบว่า อุณหภูมิสูงปรากฏที่สภาวะที่ใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ชนิดหน้าคู่ร่วมกับแผ่นผ้าเพดานชนิดสะท้อนความร้อน (DR) เนื่องจากความร้อนที่สะท้อนจากผ้าเพดานบางส่วนถูกสะสมไว้ในแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ และบางส่วนจะถูกส่งผ่านลงมายังใต้แผ่นผ้าเพดาน ในรูปของความจุความร้อนจำเพาะ (specific heat capacity) เหตุผลนี้ยืนยันได้จากความร้อนสูงปรากฏในสภาวะทดลองที่ใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ชนิดเดียวและแผ่นผ้าเพดานชนิดสะท้อนความร้อน (SR)

เมื่อพิจารณาสภาวะทดลองทั้งหมดในรูปที่ 4.4 ความร้อนสูงที่สุดคือ สภาวะที่ใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ชนิดเดียวและแผ่นผ้าเพดานชนิดสะท้อนความร้อน (SR) แสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของผ้าสะท้อนความร้อนมีบทบาทมากกว่าค่าความจุความร้อนจำเพาะของแผ่นฟอยล์อลูมิเนียม (aluminium foil)



รูปที่ 4.5 (น) : แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิต่ำกว่าแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ (T_3) ในช่วงเวลากลางวันที่มีเงื่อนไขการทดลองที่แตกต่างกัน

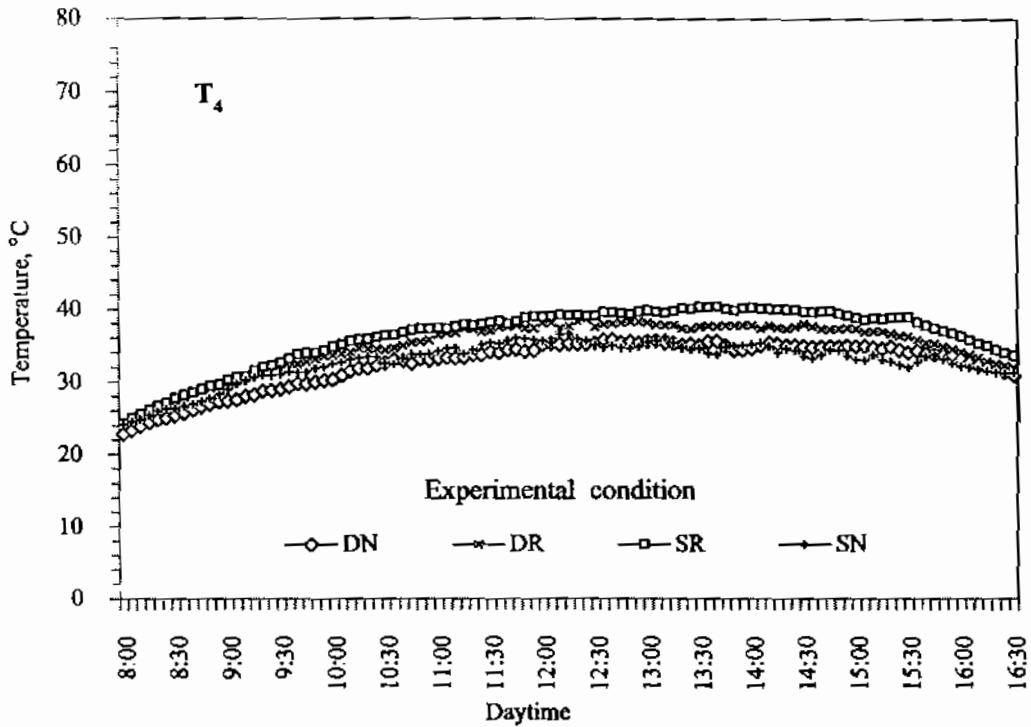


รูปที่ 4.5 (ข) : แผนภาพแสดงการเปรียบเทียบอย่างง่ายจากสภาวะทดลองในรูปที่ 4.5 (ก)

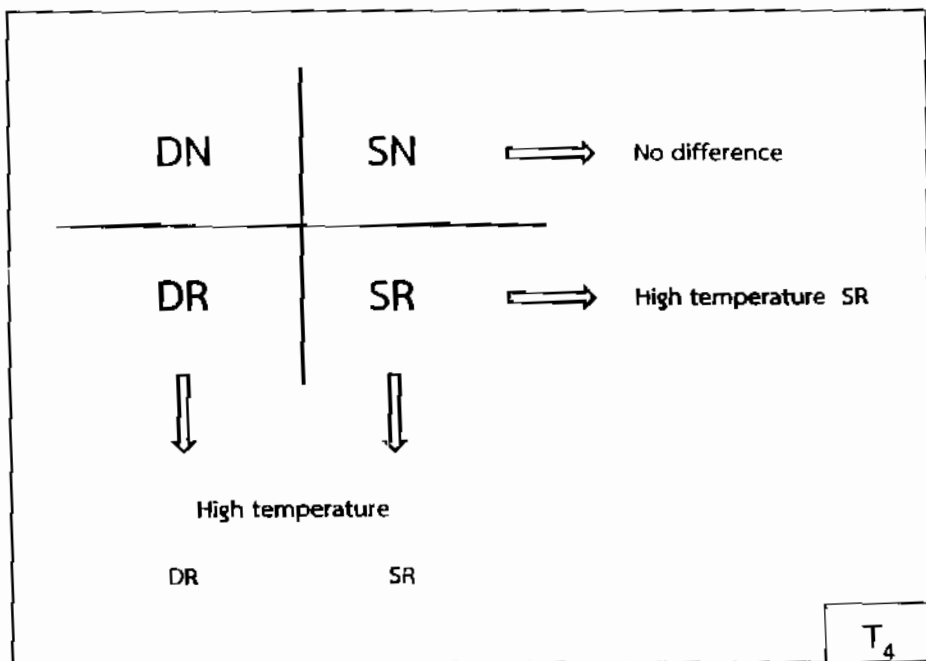
เพื่อความกระจ่างชัดของพฤติกรรมการสะท้อนความร้อนของแผ่นอลูมิเนียมพอยล์ ร่วมกับการสะท้อนรังสีความร้อนของฝ้าเพดาน อุณหภูมิใต้แผ่นอลูมิเนียมพอยล์จึงถูกวัด ดังแสดงในรูปที่ 4.5 (ก) อีกทั้งเพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ข้อมูลจึงจำเป็นต้องพิจารณาพร้อมกับรูปที่ 4.5 (ข) ผลการทดลองยืนยันได้ชัดเจนแล้วว่า การเปลี่ยนแปลงชนิดของแผ่นอลูมิเนียมพอยล์ไม่มีบทบาทต่ออุณหภูมิที่ถ่ายเทผ่านแผ่นอลูมิเนียมพอยล์ลงมายังฝ้าเพดานเนื่องจากรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ที่ส่งลงมายังหลังคาโดยตรงจะถูกถ่ายเทความร้อนมายังแผ่นอลูมิเนียมพอยล์แต่รังสีความร้อนบางส่วนจะถูกสะท้อนไปเก็บสะสมไว้ที่กระเบื้องหลังคา และบางส่วนจะถูกส่งลงมายังฝ้าเพดานจึงทำให้ฝ้าเพดานมีอุณหภูมิต่ำ แต่ในขณะเดียวกันเมื่อเปลี่ยนชนิดของฝ้าเพดานความร้อนจากฝ้าเพดานจะถูกสะท้อนกลับมายังแผ่นอลูมิเนียมพอยล์และรังสีความร้อนบางส่วนจะถูกสะสมอยู่ในแผ่นอลูมิเนียมพอยล์ ส่งผลให้อุณหภูมิที่แผ่นอลูมิเนียมพอยล์สูงกว่า ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงชนิดของฝ้าเพดานมีผลต่อความร้อนที่สะท้อนไปยังแผ่นอลูมิเนียมพอยล์ อย่างไรก็ตามอุณหภูมิที่เกิดบนฝ้าเพดานมีความสำคัญมากกว่า ซึ่งจะกล่าวในรายละเอียดต่อไป

4.4 อุณหภูมิบนผ้าเพดาน

รูปที่ 4.6 (ก) แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิบนผ้าเพดานในช่วงเวลากลางวัน เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์และผ้าเพดาน เพื่อให้ง่ายในการวิเคราะห์ข้อมูลจึงจำเป็นต้องพิจารณาร่วมกับรูปที่ 4.6 (ข) เมื่อเปรียบเทียบสภาวะทดลองการใส่แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ชนิดหน้าคู่ และผ้าเพดานแผ่นเรียบ (DN) เปรียบเทียบกับ การใส่แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ชนิดหน้าเดียวและผ้าเพดานแผ่นเรียบ (SN) อุณหภูมิที่ตำแหน่งผ้าเพดานไม่ได้แตกต่างกัน เนื่องจากอุณหภูมิได้ส่งผ่านมายังแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ (T_3) ไม่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาสภาวะทดลองการใส่แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ชนิดหน้าคู่ และผ้าเพดานสะท้อนความร้อน (DR) เปรียบเทียบกับ สภาวะการใส่แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ชนิดหน้าเดียวและผ้าเพดานสะท้อนความร้อน (SR) พบว่า ในช่วงเช้าอุณหภูมิไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ มีเพียงช่วงบ่ายที่ปรากฏสภาวะการใส่แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ชนิดหน้าเดียวและผ้าเพดานสะท้อนความร้อน (SR) ให้อุณหภูมิสูงกว่าเล็กน้อย (ประมาณ 2°C) เนื่องจากเกิดความแปรปรวนของสภาวะการทดลอง ซึ่งจำเป็นต้องศึกษาอย่างละเอียดต่อไป อนึ่ง จากผลการทดลองแสดงชัดเจน สภาวะทดลองที่ใช้ผ้าเพดานสะท้อนความร้อนให้อุณหภูมิสูงกว่าการใช้ผ้าเพดานชนิดแผ่นเรียบ เนื่องจากความร้อนจากแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์บางส่วนส่งผ่านลงมายังแผ่นผ้าเพดาน ในขณะที่เดียวกันผ้าเพดานจะทำหน้าที่สะท้อนความร้อน ทำให้เกิดโมเลกุลของอากาศจากแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์มายังผ้าเพดานมาก ทำให้ผ้าเพดานชนิดสะท้อนความร้อนได้สะท้อนความร้อนบางส่วนและเก็บความร้อนบางส่วนไว้ในแผ่นผ้าเพดาน และความร้อนที่ถูกเก็บไว้ในแผ่นผ้าเพดานจะคายความร้อนออกมาในช่วงที่แสงแดดหมดลงซึ่งความร้อนที่คายออกมานั้นจะใช้เวลานานมากถึงจะคายความร้อนได้หมด ในขณะเดียวกัน เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับสภาวะการใช้งานของแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ชนิดหน้าเดียวร่วมกับผ้าเพดานชนิดแผ่นเรียบ (SN) เมื่อความร้อนจากแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ส่งมายังแผ่นผ้าเพดานจะถูกส่งลงไปยังตัวบ้านได้เลย แต่ในขณะที่เดียวกันแผ่นผ้าเพดานชนิดนี้ไม่เก็บความร้อน ดังนั้นเมื่อแสงแดดหมดลงจะมีการถ่ายเทความร้อนได้เร็วมากจึงทำให้ตัวบ้านเย็นกว่า จากผลการทดลองแสดงชัดเจน สภาวะทดลองที่ใช้ผ้าเพดานสะท้อนความร้อนให้อุณหภูมิสูงกว่าการใช้ผ้าเพดานชนิดแผ่นเรียบ เนื่องจากความร้อนบางส่วนถูกสะสมไว้กับแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ในรูปของค่าความจุความร้อนจำเพาะ เมื่อพิจารณากรณีการคายความร้อนของผ้าเพดาน แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์นั้นสามารถระบายความร้อนได้ดีกว่า เนื่องจากมีค่าการนำความร้อนดีกว่าผ้าเพดานชนิดแผ่นเรียบทั้งนี้ควรมีการศึกษาในรายละเอียดต่อไป



รูปที่ 4.6 (ก) : แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิบนแผ่นอลูมิเนียมพอยล์ (T_4) ในช่วงเวลากลางวันที่มีเงื่อนไขการ ทดลองที่แตกต่างกัน

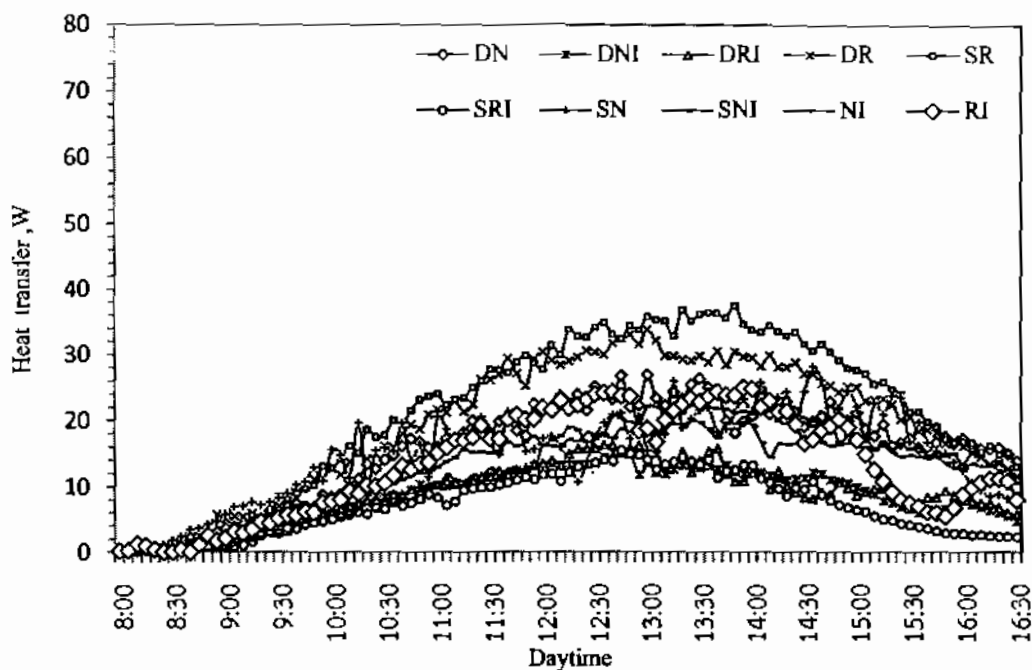


รูปที่ 4.6 (ข) : แผนภาพแสดงการเปรียบเทียบอย่างง่ายจากสภาวะทดลองในรูปที่ 4.6 (ก)

เมื่อเปรียบเทียบสภาวะที่ใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ชนิดหน้าคู่ร่วมกับแผ่นฝ้าเพดานชนิดแผ่นเรียบ (DN) และ สภาวะที่ใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ชนิดหน้าคู่ร่วมกับแผ่นฝ้าเพดานชนิดสะท้อนความร้อน (DR) จะเห็นว่าอุณหภูมิสูงจะอยู่ที่ สภาวะที่ใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ชนิดหน้าคู่ร่วมกับแผ่นฝ้าเพดานชนิดสะท้อนความร้อน (DR) เนื่องจากรังสีความร้อนที่สะท้อนจากฝ้าเพดานบางส่วนถูกสะสมไว้ในแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ และบางส่วนจะถูกส่งลงมายังได้แผ่นฝ้าเพดานในรูปของความร้อนจำเพาะ อย่างไรก็ตาม แผ่นฝ้าเพดานชนิดสะท้อนความร้อนสามารถสะท้อนความร้อนได้ดีกว่าแผ่นฝ้าเพดานทั่วไป จากนั้นอนุมาณไปที่สภาวะทดสอบของสภาวะที่ใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ชนิดหน้าเดียวร่วมกับแผ่นฝ้าเพดานชนิดสะท้อนความร้อน (SR) และสภาวะที่ใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ชนิดหน้าเดียวร่วมกับแผ่นฝ้าเพดานชนิดแผ่นเรียบ (SN) จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิค่าจะปรากฏอยู่ที่สภาวะที่ใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ชนิดหน้าเดียวร่วมกับแผ่นฝ้าเพดานชนิดแผ่นเรียบ (SN) เนื่องจากว่ารังสีความร้อนจากแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์จะส่งผ่านลงมายังแผ่นฝ้าเพดานซึ่งแผ่นฝ้าเพดานชนิดสะท้อนความร้อนจะสามารถสะท้อนรังสีความร้อนได้มากกว่าแผ่นฝ้าเพดานชนิดแผ่นเรียบจึงส่งผลให้อุณหภูมิที่แผ่นฝ้าเพดานชนิดแผ่นเรียบต่ำกว่า นอกจากนี้จากภาพอุณหภูมิที่ตำแหน่งบนหลังคา (T_1) ในสภาวะทดลองที่ใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ชนิดหน้าเดียวร่วมกับแผ่นฝ้าเพดานชนิดแผ่นเรียบ (SN) ให้ค่าอุณหภูมิที่ต่ำ เป็นเหตุให้อุณหภูมิที่ตำแหน่งบนฝ้าเพดาน (T_4) ของสภาวะการทดลองดังกล่าวต่ำด้วยเช่นกัน

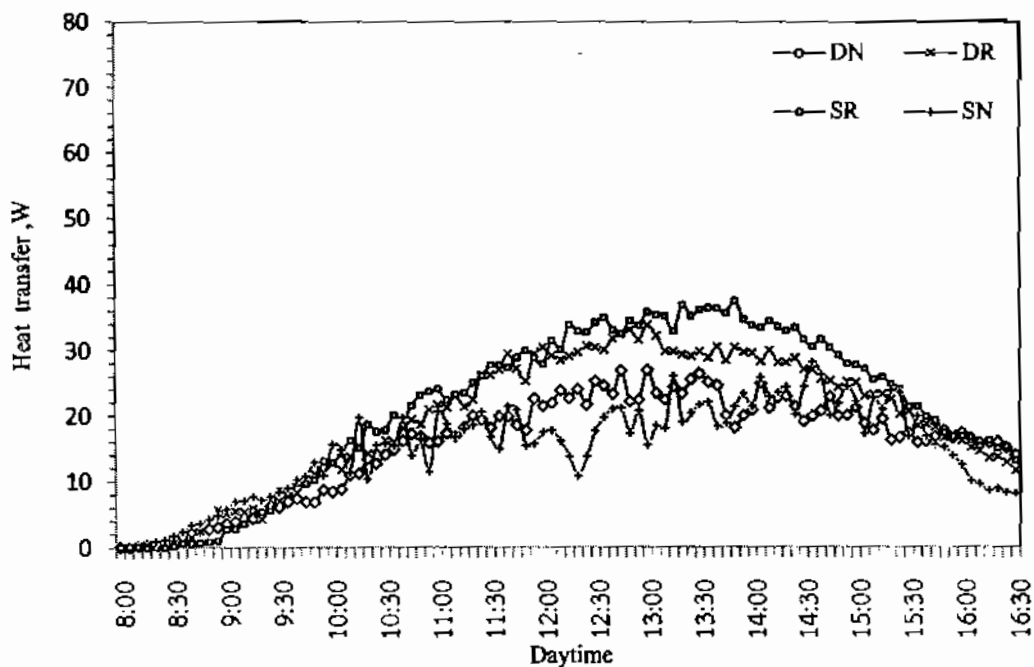
จากโครงการนี้ มีคำแนะนำเบื้องต้นในการติดตั้งระบบหลังคาและฝ้าเพดานเพื่อลดความร้อนหรืออาคารและประหยัดค่าใช้จ่าย ทางเลือกที่ดีที่สุด คือ ใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ชนิดหน้าเดียวร่วมกับฝ้าเพดานชนิดแผ่นเรียบทั่วไป

ในบางกรณีแผ่นฉนวนความร้อนถูกวางไว้บนฝ้าเพดาน ทำหน้าที่เป็นฉนวนกันความร้อนให้กับระบบหลังคาเช่นกัน ผลการทดลองดังแสดงในรูป 4.7 แสดงความชัดเจนของความร้อนเกิดขึ้นสูงมากเมื่อปราศจากแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ชนิดสะท้อนความร้อนได้แผ่นมุงหลังคา เนื่องจากความร้อนสามารถถ่ายเทสู่ฝ้าเพดานได้โดยตรง ในขณะที่การใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ชนิดหน้าคู่และแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ชนิดหน้าเดียวจะช่วยในการสะท้อนคลื่นความร้อนได้แผ่นมุงหลังคาส่งผลให้อุณหภูมิตกกระทบฉนวนความร้อนลดลง ความแตกต่างของอุณหภูมิบนฝ้าเพดาน (T_4) จึงไม่มีนัยสำคัญ อีกนัยหนึ่งการใช้ฉนวนความร้อนบนฝ้าเพดานเป็นการขัดขวางความสามารถในการสะท้อนคลื่นความร้อนเปรียบเสมือนสภาวะการใช้งานจริงที่มีฝุ่นปกคลุมฝ้าเพดาน ดังนั้น ผลการทดลองจึงแสดงชัดเจนถึงความไม่จำเป็นในการใช้ฝ้าชนิดสะท้อนความร้อน อย่างไรก็ตามกรณีนี้มีผลเสียกับบ้านพักอาศัย เนื่องจากในช่วงเวลากลางวัน ฉนวนความร้อนทำหน้าที่ได้ดี (เป็นประโยชน์กับอาคารสำนักงานในเวลากลางวัน) ในขณะที่ช่วงเวลากลางคืนความร้อนที่สะสมไว้ด้วยฉนวนความร้อนนี้จะถูกถ่ายเทออกมา ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของวิกรม จ้างจิดต์, 2501



ที่มา : จากตารางข้อมูลภาคผนวก ก.4

รูปที่ 4.7 : แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการถ่ายเทความร้อนกับเวลาในช่วงเวลากลางวันที่มีเงื่อนไขการทดลองที่แตกต่างกัน



รูปที่ 4.8 : แสดงการเปรียบเทียบค่าการถ่ายเทความร้อนในช่วงเวลากลางวันที่มีเงื่อนไขการทดลองที่แตกต่างกัน

4.5 การถ่ายเทความร้อนภายในห้องใต้หลังคา

จากรูปที่ 4.7 ผลการทดลองแสดงถึงค่าการถ่ายเทความร้อนมีลักษณะเช่นเดียวกันกับลักษณะของอุณหภูมิของแต่ละวันที่มีเงื่อนไขในการทดลองที่แตกต่างกัน ซึ่งจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในช่วงเริ่มต้นจนกระทั่งเวลาประมาณ 12.30 น. ค่าการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่เสถียรภาพ กระทั่งเวลา 15.00 น. ค่าการถ่ายเทความร้อนเริ่มลดลง และเมื่อทำการเปรียบเทียบสภาวะทดลองที่ไม่ติดฉนวนใยแก้วแสดงดังรูป 4.8 จะเห็นว่า ค่าการถ่ายเทความร้อนในสภาวะการใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ชนิดหน้าเงาร่วมกับแผ่นฝ้าเพดานชนิดแผ่นเรียบ (SN) ต่ำสุด สามารถลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ตัวบ้านได้ดีที่สุด เมื่อนำค่าการถ่ายเทความร้อนเปรียบเทียบกับอุณหภูมิในตำแหน่งฝ้าเพดาน จะเห็นได้ว่า ค่าการถ่ายเทความร้อนและอุณหภูมิจะมีค่าที่ต่ำสุด คือ สภาวะสภาวะการใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ชนิดหน้าเงาร่วมกับแผ่นฝ้าเพดานชนิดแผ่นเรียบ (SN) ดังนั้น จึงสรุปได้ว่า ค่าการถ่ายเทความร้อนแปรตามค่าผลต่างของอุณหภูมิ การถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ตัวบ้านโดยผ่านหลังคาอาคาร มีการนำความร้อนผ่านมวลสารของวัสดุหลังคาและการพาความร้อนเข้าสู่ภายในอาคาร ในกรณีที่อุณหภูมิภายในอาคารต่ำกว่า ซึ่งปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคารขึ้นอยู่กับสมบัติของมวลสาร ไม่ว่าจะเป็นความสามารถในการหน่วงเหนี่ยวความร้อน ความสามารถในการดูดซึมรังสี ความสามารถในการสะท้อนรังสี เป็นต้น ดังนั้น ความสามารถในการต้านทานความร้อนของวัสดุเป็นตัวบ่งชี้ (Indicator) ที่มีความเหมาะสมในการบอกถึงศักยภาพในการประหยัดพลังงานของหลังคา เพราะปริมาณความร้อนจากอากาศภายนอกที่ถ่ายเทผ่านเข้ามาภายในตัวบ้านโดยผ่านหลังคาจะมีปริมาณมากหรือน้อยแตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับสมบัติในความเป็นฉนวนของวัสดุแต่ละชนิด หลังคาที่มีความสามารถในการสกัดกั้นไม่ให้ความร้อนถ่ายเทผ่านจากภายนอกของหลังคาไปยังภายในอาคารสำหรับภูมิอากาศแบบร้อนได้ดี ทำให้ช่วยลดปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่ภายในตัวบ้านได้มาก

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

รายงานวิจัยฉบับนี้มุ่งเน้นที่จะศึกษาการถ่ายเทความร้อนของระบบฉนวนความร้อนที่ถูกติดตั้งใต้หลังคาและบนฝ้าเพดานเพื่อค้นหาวิธีการติดตั้งระบบฉนวนความร้อนให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด โดยทำการเปรียบเทียบสภาวะทดลองต่างๆ สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

- 1) แสงแดดและลมมีผลโดยตรงต่อความร้อนตกกระทบหลังคา ความเข้มของแสงแดดยิ่งมาก ประกอบกับไม่มีลมส่งผลให้หลังคามีความร้อนสูง
- 2) อุณหภูมิในตำแหน่งต่างๆ ของห้องใต้หลังคาได้รับอิทธิพลจากการเปลี่ยนแปลงสภาวะทดลองในห้องใต้หลังคาและระยะทางการถ่ายเทความร้อน
- 3) แผ่นอลูมิเนียมพอยล์หน้าคู้มีความสามารถในการสะท้อนความร้อนจากฝ้าเพดานได้มากกว่าแผ่นอลูมิเนียมพอยล์หน้าเดียว
- 4) ความร้อนที่ถูกสะท้อนจากฝ้าเพดานสามารถสะสมไว้ในแผ่นอลูมิเนียมพอยล์หน้าเดียวได้มากกว่าแผ่นอลูมิเนียมพอยล์หน้าคู้
- 5) อิทธิพลของความร้อนที่ถูกสะท้อนจากฝ้าเพดานมีบทบาทสำคัญกว่าค่าความจุความร้อนของแผ่นอลูมิเนียมพอยล์อลูมิเนียม
- 6) การใช้ฝ้าเพดานชนิดสะท้อนความร้อนทำให้เกิดอุณหภูมิบนฝ้าเพดานมากกว่าการใช้ฝ้าเพดานชนิดแผ่นเรียบเป็นผลมาจากความร้อนบางส่วนถูกสะสมไว้ในแผ่นอลูมิเนียมพอยล์
- 7) การติดตั้งฉนวนกันความร้อนบนฝ้าเพดานมีข้อดีคือ ทำหน้าที่เป็นฉนวนความร้อนในช่วงกลางวันในขณะที่ช่วงเวลากลางคืนฉนวนความร้อนจะคายความร้อนออกมาซึ่งไม่เป็นผลดีนักกับบ้านพักอาศัย
- 8) ทางเลือกที่ดีที่สุดเกี่ยวกับการประหยัดพลังงานและค่าใช้จ่าย คือ การเลือกใช้แผ่นอลูมิเนียมพอยล์ชนิดหน้าเดียวร่วมกับฝ้าเพดานชนิดแผ่นเรียบ

5.2 ข้อเสนอแนะ

- (1) ควรศึกษาข้อมูลในเรื่องของความเข้มข้นของรังสีความร้อนและความเร็วลม
- (2) ควรศึกษาและเก็บข้อมูลตลอดทั้งปี ทั้งในช่วงฤดูร้อน ฤดูหนาว และฤดูฝน
- (3) ควรมีการสร้างแบบจำลองหลายชุดเพื่อแยกสภาวะการทดลองให้ชัดเจน และทดลองในสภาพอากาศเดียวกัน ในวันเวลาเดียวกัน เพื่อนำมาเปรียบเทียบค่าการถ่ายเทความร้อน
- (4) ควรทำการวัดอุณหภูมิที่ตำแหน่งใต้แผ่นฝ้าเพดาน เพื่อความละเอียดของข้อมูล
- (5) ฉนวนที่ติดสายเทอร์โมคัปเปิลเข้ากับตำแหน่งที่ใช้ในการทดลอง อาจมีผลต่อข้อมูลการทดลอง

บรรณานุกรม

⋮

บรรณานุกรม

- จัญดา บุญเกียรติ, การลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ตัวอาคารทางหลังคา, วิทยานิพนธ์
มหาบัณฑิต. สถาปัตยกรรมศาสตร์ (สถาปัตยกรรม) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2536.
- จุไรพร ตุมพสุวรรณ, พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านวัสดุผนังหลังคาบ้านพักอาศัยในเขต
ร้อนชื้น, วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต. สถาปัตยกรรมศาสตร์ (เทคโนโลยีอาคาร) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,
2540.
- ปานทิพย์ ทักษ์เสถียร, การศึกษาเปรียบเทียบลักษณะรูปทรงและวัสดุหลังคาเพื่อส่งเสริมการ
อนุรักษ์พลังงาน, วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต. วิทยาศาสตร์ (เทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนา
ทรัพยากร) มหาวิทยาลัยมหิดล, 2541.
- วิกรม จำนงค์จิตต์, ประสิทธิภาพของการออกแบบการระบายอากาศช่องใต้หลังคาเพื่อป้องกัน
การถ่ายเทความร้อนจากหลังคา, วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต. สถาปัตยกรรมศาสตร์ (สถาปัตยกรรม)
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.
- ศุภกิจ ยิ้มสรวล, การใช้สวนหลังคาเพื่อลดการถ่ายเทความร้อน, วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต.
สถาปัตยกรรมศาสตร์ (เทคโนโลยีทางอาคาร) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.
- สมพงษ์ ใจมา, การวิเคราะห์สมรรถนะของหลังคารับรังสีอาทิตย์, วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต.
วิศวกรรมศาสตร์ (เทคโนโลยีอุณหภาพ) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2540.
- อนุสรณ์ แสงประจักษ์, ผลงานแสงอาทิตย์, ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัย
มหาสารคาม, 2551
- อุทัย ประลพชิงชนะ, การวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนผ่านระบบหลังอาคาร, วิทยานิพนธ์
มหาบัณฑิต. วิศวกรรมศาสตร์ (วิศวกรรมเครื่องกล) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.
- S. Maneewan, J. Hirunlabh, J. Khedari, B. Zeghmali, S. Teekasap, *Solar Energy* 78
(2005) 495–503
- T. Soubdhan *, T. Feuillard, and F. Bade, *Solar Energy* 79 (2005) 311–320.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
ตารางสมบัติของอากาศและวัสดุ

ตาราง ก.1: แสดงคุณสมบัติอากาศที่ความดันบรรยากาศ

T, K	ρ , Kg/m ³	c_p , kJ/kg.K	μ , kg/m.s $\times 10^{-4}$	ν , m ² /s $\times 10^{-4}$	k , W/m.K	α , m ² /s $\times 10^{-4}$	Pr
100	3.6010	1.0266	0.6924	1.923	0.009246	0.02501	0.770
150	2.3675	1.0099	1.0283	4.343	0.013735	0.05745	0.753
200	1.7684	1.0061	1.5289	7.490	0.018090	0.10165	0.739
250	1.4128	1.0053	1.5990	11.310	0.022270	0.15675	0.722
300	1.1774	1.0057	1.8462	15.690	0.026240	0.22160	0.708
350	0.9980	1.0090	2.0750	20.760	0.030030	0.29830	0.697
400	0.8826	1.0140	2.2860	25.900	0.033650	0.37600	0.689
450	0.7833	1.0207	2.4840	31.710	0.037070	0.42220	0.683
500	0.7048	1.0295	2.6710	37.900	0.040380	0.55640	0.680
550	0.6423	1.0392	2.8480	44.340	0.043600	0.65320	0.680
600	0.5879	1.0531	3.0180	51.340	0.046590	0.75120	0.680
650	0.5430	1.0635	3.1770	58.510	0.049330	0.85780	0.682
700	0.5030	1.0752	3.3320	66.290	0.052300	0.96720	0.684
750	0.4709	1.0856	3.4810	73.910	0.055090	1.07740	0.686
800	0.4405	1.0978	3.6250	82.290	0.057790	1.19510	0.689
850	0.4149	1.1095	3.7650	90.750	0.060280	1.30970	0.692
900	0.3925	1.1212	3.8990	99.300	0.062790	1.42710	0.696
950	0.3716	1.1321	4.0230	108.200	0.065250	1.55100	0.699
1000	0.3524	1.1417	4.1520	117.800	0.067520	1.67790	0.702
1100	0.3204	1.1600	4.4400	138.600	0.073200	1.96900	0.704
1200	0.2947	1.1790	4.6900	159.100	0.078200	2.25100	0.707
1300	0.2707	1.1970	4.9300	182.100	0.083700	2.58300	0.705
1400	0.2515	1.2140	5.1700	205.900	0.089100	2.92000	0.705
1500	0.2355	1.2300	5.4000	229.100	0.094600	3.26200	0.705
1600	0.2211	1.2480	5.6300	254.500	0.100000	3.60900	0.705
1700	0.2082	1.2670	5.8500	280.500	0.105000	3.97700	0.705
1800	0.1970	1.2870	6.0700	308.100	0.111000	4.37900	0.704
1900	0.1858	1.3090	6.2900	338.500	0.117000	4.81100	0.704
2000	0.1762	1.3380	6.5000	369.000	0.124000	5.26000	0.702
2100	0.1682	1.3720	6.7200	399.600	0.131000	5.71500	0.700
2200	0.1602	1.4190	6.9300	432.600	0.139000	6.12000	0.707
2300	0.1538	1.4820	7.1400	464.000	0.149000	6.54000	0.710
2400	0.1458	1.5740	7.3500	504.000	0.161000	7.02000	0.718
2500	0.1394	1.6880	7.5700	543.500	0.175000	7.44100	0.730

ตาราง ก. 2 : แสดงแฟกเตอร์เปลี่ยนหน่วย

Dimension	Metric	Metric/English
ความเร็ว	$1 \text{ m/s} = 100 \text{ cm/s}$	$1 \text{ m/s} = 3.2808 \text{ ft/s}$ $1 \text{ ft/s} = 0.3048 \text{ m/s}$
พื้นที่	$1 \text{ m}^2 = 10^4 \text{ cm}^2 = 10^6 \text{ mm}^2 = 10^6 \text{ km}^2$	$1 \text{ m}^2 = 1550 \text{ in}^2 = 10.764 \text{ ft}^2$ $1 \text{ ft}^2 = 144 \text{ in}^2$
ความหนาแน่น	$1 \text{ g/cm}^3 = 1 \text{ kg/L} = 1000 \text{ kg/m}^3$	$1 \text{ g/cm}^3 = 62.428 \text{ lbn/ft}^3 = 0.036127 \text{ lbn/ft}^3$ $1 \text{ lbn/ft}^3 = 1.728 \text{ lbn/ft}^3$ $1 \text{ kg/m}^3 = 0.062428 \text{ lbn/ft}^3$
พลังงาน ความร้อน งาน และพลังงาน ไฟฟ้า	$1 \text{ kJ} = 1000 \text{ J} = 1000 \text{ N}\cdot\text{m} = 1 \text{ kPa}\cdot\text{m}^3$ $1 \text{ kJ/kg} = 1000 \text{ m}^2/\text{s}^2$ $1 \text{ kWh} = 3600 \text{ kJ}$ $1 \text{ cal} = 4.184 \text{ J}$ $1 \text{ cal} = 4.1868$	$1 \text{ kJ} = 0.94782 \text{ Btu}$ $1 \text{ Btu} = 1.055056 \text{ kJ}$ $= 5.40395 \text{ psia}\cdot\text{ft}^3$ $= 778.169 \text{ lbf}\cdot\text{ft}$ $1 \text{ Btu/lbn} = 25.037 \text{ ft}^2/\text{s}^2 = 2.326 \text{ kJ/kg}$ $1 \text{ kJ/kg} = 0.430 \text{ btu/lbn}$ $1 \text{ kWh} = 3412.14 \text{ Btu}$
แรง	$1 \text{ N} = 1 \text{ kg}\cdot\text{m/s}^2 = 10 \text{ dyne}$ $1 \text{ kgf} = 9.80665 \text{ N}$	$1 \text{ lbf} = 32.174 \text{ lbn}\cdot\text{ft/s}^2 = 4.44822 \text{ N}$ $1 \text{ N} = 0.22481 \text{ lbf}$
ความยาว	$1 \text{ m} = 100 \text{ cm} = 1000 \text{ mm}$ $1 \text{ km} = 1000 \text{ m}$	$1 \text{ m} = 39.370 \text{ in} = 3.808 \text{ ft} = 1.0926 \text{ yd}$ $1 \text{ ft} = 12 \text{ in} = 0.3048 \text{ m}$ $1 \text{ in} = 2.54 \text{ cm}$
มวล	$1 \text{ kg} = 1000 \text{ g}$ $1 \text{ metric ton} = 1000 \text{ kg}$	$1 \text{ kg} = 2.2046226 \text{ lbn}$ $1 \text{ lbn} = 0.45359237 \text{ kg}$ $1 \text{ slug} = 32.174 \text{ lbn} = 14.5939 \text{ kg}$ $1 \text{ short ton} = 2000 \text{ lbn} = 907.1847 \text{ kg}$
กำลังและอัตรา การถ่ายโอน ความร้อน	$1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$ $1 \text{ kW} = 1000 \text{ W} = 1.341 \text{ hp}$ $1 \text{ hp} = 745.7 \text{ W}$	$1 \text{ kW} = 3412.14 \text{ Btu/h} = 0.73756 \text{ lbf}\cdot\text{ft/s}$ $1 \text{ hp} = 550 \text{ lbf}\cdot\text{ft/s} = 0.7068 \text{ Btu/s}$ $= 42.41 \text{ Btu/min} = 2544.5 \text{ Btu/h}$ $= 0.74570 \text{ kW}$ $1 \text{ Btu/h} = 1.055056 \text{ kJ/h}$ $1 \text{ ton of refrigeration} = 200 \text{ Btu/min}$

ตาราง ก. 2 : แสดงแฟกเตอร์เปลี่ยนหน่วย (ต่อ)

Dimension	Metric	Metric/English
ความดัน	$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$ $1 \text{ kPa} = 10^3 \text{ Pa} = 10^{-3} \text{ MPa}$ $1 \text{ atm} = 101.325 \text{ kPa}$ $= 1.01325 \text{ bar}$ $= 760 \text{ mmHg at } 0^\circ \text{C}$ $= 1.03323 \text{ kg/cm}^2$ $1 \text{ mmHg} = 0.1333 \text{ kPa}$	$1 \text{ Pa} = 1.4504 \times 10^{-4} \text{ psia}$ $= 0.020886 \text{ lb/ft}^2$ $1 \text{ psia} = 144 \text{ lb/ft}^2 = 6.894757 \text{ kPa}$ $1 \text{ atm} = 14.696 \text{ psia}$ $= 29.92 \text{ inHg at } 30^\circ \text{F}$ $1 \text{ inHg} = 3.387 \text{ kPa}$
ความร้อนจำเพาะ	$1 \text{ kJ/(kg}^\circ\text{C)} = 1 \text{ kJ/(kg}^\circ\text{K)}$ $= 1 \text{ kJ/(g}^\circ\text{C)}$	$1 \text{ Btu/(lbm}^\circ\text{F)} = 4.1868 \text{ kJ/(kg}^\circ\text{C)}$ $1 \text{ Btu/(lbmol}^\circ\text{R)} = 4.1868 \text{ kJ/(kg}^\circ\text{K)}$ $1 \text{ kJ/(kg}^\circ\text{C)} = 0.23885 \text{ Btu/(lbm}^\circ\text{F)}$ $= 0.23885 \text{ Btu/(lbmol}^\circ\text{R)}$
ปริมาตรจำเพาะ	$1 \text{ m}^3/\text{kg} = 1000 \text{ L/kg}$ $= 1000 \text{ cm}^3/\text{g}$	$1 \text{ m}^3/\text{kg} = 16.02 \text{ ft}^3/\text{lbm}$ $1 \text{ ft}^3/\text{lbm} = 0.062428 \text{ m}^3/\text{kg}$
อุณหภูมิ	$T(\text{K}) = T(^{\circ}\text{C}) + 273$ $dT(\text{K}) = dT(^{\circ}\text{C})$	$T(\text{R}) = T(^{\circ}\text{F}) + 459.67 = 1.8 T(\text{K})$ $T(^{\circ}\text{F}) = 1.8 T(^{\circ}\text{C}) + 32$ $dT(^{\circ}\text{F}) = dT(\text{R})$ $= 1.8 dT(\text{K})$
ความเร็ว	$1 \text{ m/s} = 3.60 \text{ km/h}$	$1 \text{ m/s} = 3.2808 \text{ ft/s}$ $= 2.237 \text{ mile/h}$ $1 \text{ mile/h} = 1.609 \text{ km/h}$
ปริมาตร	$1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ L}$ $= 10^6 \text{ cm}^3 (\text{cc})$	$1 \text{ m}^3 = 6.102 \times 10^4 \text{ in}^3 = 35.315 \text{ ft}^3$ $= 264.17 \text{ gal (U.S.)}$ $1 \text{ U.S. gallon} = 231 \text{ in}^3 = 3.7854 \text{ L}$

ตาราง ก. 3 : แสดงคุณสมบัติของวัสดุ

วัสดุ	ความหนา (L)m	ค่าการนำความร้อน (k)W.m ⁻¹ .C ⁻¹	ค่าการแผ่รังสี ϵ
Cpac Monier	0.015	-	0.93
Al Foil (1)	0.001	0.025	0.03
Al Foil (2)	0.001	0.029	0.05
Ceiling	0.007	0.025	0.003
Ceiling gypsum	0.008	0.14	0.0903
Insulation R =1.190 Ω	-	-	-

* measured [Apinya pongnag, Thesis of Master Degree, KMITT, in preparation]

ตาราง ก.4 : แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนจากการทดลองของแต่ละสภาวะ

เวลา	DN	DNI	DRI	DR	SR	SRI	SN	SNI	NI	RI
8:00	0.10	0.48	0.06	0.06	0.07	0.05	0.35	0.01	0.19	0.23
8:05	0.03	0.50	0.19	0.13	0.14	0.00	1.50	0.10	0.31	0.28
8:10	0.20	0.56	0.22	0.32	0.12	0.08	1.39	0.02	0.16	1.25
8:15	0.35	0.52	0.21	0.43	0.03	0.26	2.13	0.09	0.17	0.95
8:20	0.50	0.60	0.39	0.52	0.10	0.28	1.39	0.08	0.17	0.42
8:25	0.90	0.56	0.55	0.67	0.03	0.28	2.20	0.10	0.08	0.02
8:30	1.54	0.72	0.38	0.88	0.22	0.47	2.55	0.01	0.13	0.01
8:35	1.59	0.84	0.56	0.88	0.72	0.56	2.94	0.11	0.92	0.39
8:40	2.22	0.95	0.79	1.62	0.59	0.64	3.35	0.02	1.75	0.03
8:45	2.77	0.94	0.84	2.51	0.75	0.67	3.20	0.14	1.41	1.12
8:50	2.79	1.00	1.07	3.66	0.88	0.78	3.22	0.30	1.79	2.54
8:55	3.08	1.07	0.92	5.77	1.09	0.83	3.53	0.39	2.50	1.79
9:00	3.63	2.39	1.04	5.14	2.75	0.86	3.70	0.57	2.57	2.16
9:05	3.93	2.60	1.18	5.52	2.83	0.94	4.34	1.06	3.10	3.13
9:10	4.30	3.52	2.31	5.43	3.55	1.03	5.35	1.71	3.46	2.92
9:15	4.39	3.25	3.02	5.99	5.67	1.56	4.38	1.75	3.61	3.47
9:20	5.16	3.25	3.39	4.34	5.37	2.58	5.96	2.35	3.61	4.65
9:25	6.29	4.22	3.94	7.26	5.56	3.24	7.04	2.53	4.53	4.46
9:30	6.08	4.59	4.45	7.10	8.53	2.90	6.18	2.80	5.74	5.17
9:35	6.89	4.93	4.34	8.31	8.18	3.73	7.86	2.69	6.75	5.69
9:40	7.42	4.91	4.57	8.33	9.74	3.57	7.01	4.10	7.06	5.62
9:45	6.89	5.08	5.68	9.99	9.69	4.22	7.88	4.57	7.49	6.19
9:50	6.84	5.48	5.94	11.16	10.21	4.58	9.72	4.98	7.10	6.01
9:55	8.72	5.69	5.77	11.34	13.08	4.66	8.04	5.37	8.35	7.54
10:00	8.43	5.93	5.96	12.69	12.86	5.05	9.07	6.19	8.18	7.76
10:05	8.82	6.95	6.68	11.80	14.14	5.36	9.39	5.17	9.21	8.04
10:10	10.99	6.95	7.04	13.77	16.20	5.72	10.10	5.62	9.73	9.30
10:15	11.18	6.64	7.55	15.24	15.06	6.12	11.77	6.47	10.27	8.89

ตาราง ก.4 : แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนจากการทดลองของแต่ละสภาวะ (ต่อ)

เวลา	DN	DNI	DRI	DR	SR	SRI	SN	SNI	NI	RI
10:20	13.35	8.40	7.86	14.26	18.66	5.83	13.76	7.25	9.71	10.21
10:25	12.68	8.57	7.89	14.99	17.52	6.75	10.63	6.23	10.07	10.03
10:30	14.04	8.42	7.60	16.14	17.76	6.59	9.78	7.98	10.26	10.53
10:35	14.84	8.67	8.81	15.97	20.07	7.61	11.18	7.44	10.49	11.71
10:40	16.10	8.47	8.70	18.00	19.41	7.08	12.69	8.19	11.10	13.15
10:45	17.23	9.47	9.52	19.41	21.51	7.45	11.60	8.02	11.61	12.58
10:50	16.73	10.34	9.31	18.71	23.14	8.06	11.28	9.37	11.97	13.42
10:55	15.86	9.66	9.45	20.89	23.62	8.81	14.76	10.38	12.09	13.69
11:00	16.01	10.26	10.18	21.70	24.03	8.26	15.00	9.74	12.90	15.13
11:05	17.30	10.09	10.80	21.26	22.36	7.17	14.29	11.76	13.79	15.93
11:10	16.77	10.29	10.64	22.94	23.21	7.72	15.78	10.99	14.40	16.97
11:15	18.21	10.50	9.78	21.33	23.46	9.39	15.16	10.83	15.56	17.00
11:20	19.97	10.65	10.94	22.46	24.95	9.71	15.80	11.73	15.15	17.45
11:25	19.34	11.00	11.50	26.24	25.98	9.85	18.01	11.72	15.25	19.28
11:30	18.12	11.63	11.44	26.20	27.72	9.90	18.01	12.69	15.03	17.25
11:35	19.90	11.67	12.39	26.96	27.68	10.31	17.61	11.67	15.37	17.22
11:40	19.84	11.95	11.78	29.48	27.31	10.62	16.77	12.70	16.76	20.20
11:45	18.48	12.49	12.54	27.16	28.82	11.04	21.85	12.46	16.12	20.85
11:50	17.70	12.19	12.79	25.30	29.94	11.49	16.89	12.68	16.74	20.16
11:55	22.54	13.12	13.41	29.39	28.76	11.13	18.39	12.80	17.54	20.27
12:00	21.46	11.85	13.50	30.46	27.79	11.84	17.13	16.24	16.37	21.97
12:05	21.87	13.51	14.03	29.15	31.46	11.99	19.26	16.18	17.07	21.62
12:10	23.81	13.30	13.23	28.48	30.02	10.89	21.60	16.11	17.64	23.10
12:15	22.60	13.71	14.92	29.08	33.88	12.22	19.17	17.16	19.00	21.90
12:20	23.98	13.41	15.71	29.68	32.90	13.08	20.11	16.87	18.63	22.41
12:25	21.58	13.42	15.76	30.66	32.66	13.40	14.08	18.12	16.77	23.17
12:30	25.21	13.57	15.81	30.42	34.23	13.66	14.17	17.92	17.25	24.01
12:35	24.54	14.56	16.32	30.07	34.93	14.09	12.09	17.75	18.07	24.25

ตาราง ก.4 : แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนจากการทดลองของแต่ละสภาวะ (ต่อ)

เวลา	DN	DNI	DRI	DR	SR	SRI	SN	SNI	NI	RI
12:40	23.25	15.17	16.25	31.84	33.12	13.89	13.03	17.39	20.77	24.40
12:45	26.82	15.04	15.61	32.51	32.40	15.50	12.87	18.81	20.38	23.77
12:50	22.06	14.95	15.72	33.14	34.49	15.04	11.59	18.31	19.82	23.76
12:55	22.37	11.85	16.18	31.61	33.78	14.83	15.65	18.75	19.49	18.52
13:00	26.91	13.56	13.71	33.87	35.81	14.11	15.09	18.32	22.21	18.84
13:05	23.40	14.93	12.13	32.20	35.36	12.68	12.78	18.18	22.09	16.78
13:10	22.37	11.97	13.41	29.87	35.18	13.39	14.54	19.12	21.17	20.11
13:15	24.40	12.62	13.55	29.82	32.89	13.81	13.09	19.47	21.48	21.53
13:20	23.35	13.21	15.26	29.31	36.89	14.52	11.64	19.43	21.23	22.55
13:25	25.51	13.35	12.16	29.11	35.21	13.88	10.87	19.93	22.37	23.35
13:30	26.40	12.86	13.89	29.79	36.20	13.33	12.69	19.73	21.77	22.83
13:35	25.12	13.11	15.35	28.89	36.46	14.10	9.77	18.70	21.96	23.71
13:40	24.56	12.75	15.71	30.54	36.36	11.39	11.29	17.38	21.80	24.38
13:45	20.04	13.29	11.97	28.47	35.67	12.37	16.06	19.70	21.81	23.90
13:50	18.13	12.26	10.74	30.44	37.52	12.55	16.08	19.54	21.20	23.82
13:55	19.92	12.01	10.88	29.72	34.70	13.33	17.49	19.80	21.51	25.02
14:00	20.77	12.56	12.09	29.55	33.79	13.28	18.61	19.24	21.07	24.84
14:05	24.91	12.17	11.94	28.29	33.45	11.24	20.04	16.69	21.25	22.12
14:10	21.04	11.80	9.65	29.97	34.46	10.65	13.98	14.50	21.62	23.09
14:15	22.68	11.19	12.33	28.19	33.62	9.69	14.80	16.49	20.04	21.41
14:20	22.96	11.06	10.16	28.13	32.91	8.53	18.26	16.36	19.56	21.42
14:25	21.34	11.16	9.09	28.81	33.48	9.83	11.77	16.53	20.94	19.49
14:30	19.11	11.36	8.28	27.10	31.63	9.60	10.31	17.00	20.45	16.66
14:35	19.89	12.18	8.14	27.07	30.53	10.84	9.27	16.84	20.04	17.15
14:40	20.69	11.94	9.07	25.66	31.65	8.79	9.00	16.75	21.36	18.49
14:45	22.88	11.09	8.83	25.33	30.41	7.88	14.94	16.21	20.40	19.23
14:50	19.93	10.83	10.65	24.37	29.22	7.24	10.49	16.42	16.87	20.22
14:55	20.02	10.57	9.79	25.22	27.92	6.82	9.71	16.61	17.80	19.03

ตาราง ก.4 : แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนจากการทดลองของแต่ละสภาวะ (ต่อ)

เวลา	DN	DNI	DRI	DR	SR	SRI	SN	SNI	NI	RI
15:00	21.27	9.93	8.69	25.10	27.68	6.41	9.02	16.30	17.65	17.08
15:05	18.76	9.41	9.14	23.03	27.14	6.17	8.96	16.02	17.41	14.95
15:10	17.75	8.85	9.59	23.25	25.53	5.50	8.73	15.58	15.89	12.57
15:15	19.48	7.84	9.76	23.37	25.86	4.98	9.16	16.25	16.80	10.87
15:20	16.21	7.54	9.12	22.50	24.82	4.87	8.45	15.20	15.81	9.20
15:25	16.62	6.88	8.30	20.22	24.09	4.36	7.64	14.56	16.57	8.02
15:30	17.32	6.57	7.81	20.61	21.34	4.13	6.49	14.77	15.77	7.51
15:35	15.93	6.05	7.43	18.45	21.37	3.88	11.07	14.58	16.00	7.01
15:40	16.04	6.60	8.42	18.69	19.85	3.56	14.02	14.35	14.78	6.12
15:45	16.76	6.17	8.36	18.28	19.20	3.23	9.56	14.54	15.24	6.04
15:50	17.62	6.62	9.29	16.58	17.30	2.90	8.90	13.57	14.74	5.48
15:55	16.57	7.43	8.63	17.14	16.70	2.83	9.01	12.81	15.03	6.76
16:00	17.31	7.78	8.60	16.15	16.81	2.79	7.83	12.87	13.52	8.79
16:05	16.45	7.28	7.85	15.11	16.70	2.60	7.21	13.51	15.33	9.90
16:10	15.76	6.85	7.52	14.60	15.31	2.67	6.47	13.11	14.69	10.69
16:15	15.80	6.42	7.39	13.59	16.22	2.50	5.43	13.29	13.22	11.24
16:20	15.97	6.05	6.80	13.64	14.96	2.39	5.37	12.42	13.81	11.20
16:25	15.02	5.54	6.04	12.84	15.22	2.40	5.17	10.27	12.80	10.86
16:30	13.89	4.73	5.78	11.63	13.05	2.37	4.49	8.90	10.64	7.97

ภาคผนวก ข

วิธีการคำนวณ

1. การคำนวณหาค่าการถ่ายเทความร้อนของห้องใต้หลังคา

โดยสมการที่ 2.1

$$Q = UA\Delta T$$

โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม สามารถหาได้จากสมการ 2.2

$$U_1 = \frac{1}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4}$$

โดยที่ ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนอาคาร สามารถหาได้จากสมการที่ 2.10

$$h = Nu \frac{k}{L}$$

1.1 หาค่าความต้านตัวที่หนึ่ง R_1 ระหว่างแผ่นกระเบื้องซีแพคโมเนียกับบนแผ่นอลูมิเนียมพอยล์สามารถหาได้จากสมการ 2.3

โดยยกตัวอย่าง สภาวะที่ใช้แผ่นอลูมิเนียมพอยล์หน้าเดียวร่วมกับฝ้าเพดานชนิดแผ่นเรียบ

กำหนดให้	แผ่นอลูมิเนียมพอยล์	ค่าการนำความร้อน (k) = $0.025 \text{ W.m}^{-1}.\text{C}^{-1}$ ค่าการแผ่รังสี (ϵ) = 0.03 ความหนาของฉนวน (L) = 0.001 m
	ฝ้าเพดานชนิดแผ่นเรียบ	ค่าการนำความร้อน (k) = $0.025 \text{ W.m}^{-1}.\text{C}^{-1}$ ค่าการแผ่รังสี (ϵ) = 0.03 ความหนาของฉนวน (L) = 0.007 m
		ค่าการนำความร้อนของกระเบื้องซีแพคโมเนีย (k) = $0.93 \text{ W.m}^{-1}.\text{C}^{-1}$

จากสูตร

$$R_1 = \frac{1}{h_{c,CP-F} + h_{r,CP-F}}$$

หาค่า สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีระหว่างกระเบื้องซีแพค โมเนียกับบนแผ่นอลูมิเนียมพอยล์ได้จากสมการ 2.7

$$h_{r,CP-F} = \frac{\sigma (T_{CP} - T_F)(T_{CP}^2 + T_F^2)}{\frac{1}{\epsilon_{CP}} + \frac{1}{\epsilon_F} - 1}$$

แทนค่า

$$h_{c,cp-F} = \frac{5.6697 \times 10^{18} \times (313 - 306) \times (313^2 + 306^2)}{\frac{1}{0.93} + \frac{1}{0.03} - 1}$$

$$h_{c,cp-F} = 0.002361 \text{ W.m}^{-2}.\text{C}^{-1}$$

เปิดตารางคุณสมบัติอากาศที่ความดันบรรยากาศที่ $T_{cp-F} = 313 \text{ K}$ จะได้

$$\nu = 17.01 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}, k = 0.02722 \text{ W.m}^{-1}.\text{C}^{-1}, Pr = 0.705$$

ตัวเลขเรย์เลย์ (Rayleigh Number, Ra) สามารถหาได้จากสมการ 2.11

$$Ra = \frac{g\beta\Delta TL^3}{\nu\alpha}$$

$$Ra = \frac{9.18(40-33)(0.015)^3(0.705)}{313(1.70 \times 10^{-5})^2}$$

$$Ra = 1870.664 \Omega$$

หาตัวเลขนัสเซิลท์ (Nusselt Number) ได้จากสมการ (2.13) ได้เท่ากับ 0.98

$$h = Nu \frac{k}{L}$$

$$h = 0.98 \frac{0.02722}{0.015} = 1.78 \text{ W.m}^{-2}.\text{C}^{-1}$$

ดังนั้น

$$R_1 = \frac{1}{0.002361 + 1.78} = 0.56 \Omega$$

1.2 ความต้านทานตัวที่สอง (R_2) ระหว่างบนแผ่นอลูมิเนียมพอยล์กับใต้แผ่นอลูมิเนียมพอยล์ (Ω) สามารถหาได้จากสมการ 2.4

$$R_2 = \frac{L}{k} = \frac{0.001}{0.025} = 0.04 \Omega$$

1.3 ความต้านทานตัวที่สาม (R_3) ระหว่างใต้แผ่นอลูมิเนียมพอยล์กับฝ้าเพดาน (Ω) สามารถหาได้จากสมการ 2.5

$$R_3 = \frac{1}{h_{c,F-C} + h_{r,F-C}}$$

หาค่า สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีระหว่างได้แผ่นอสุมนิเยมพอยล์กับฝาเพดานได้จากสมการ 2.8

$$h_{r,BF-c} = \frac{\sigma (T_{BF}-T_c)(T_{BF}^2+T_c^2)}{\frac{1}{\epsilon_{BF}}+\frac{1}{\epsilon_c}-1}$$

แทนค่า

$$h_{r,BF-c} = \frac{5.6697 \times 10^{18} \times (305-304) \times (305^2+304^2)}{\frac{1}{0.03}+\frac{1}{0.03}-1}$$

$$h_{r,BF-c} = 0.00016 \text{ W.m}^2.\text{C}^{-1}$$

เปิดตารางคุณสมบัติอากาศที่ความดันบรรยากาศที่ $T_{cp-F} = 307 \text{ K}$ จะได้

$$\nu = 16.39 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}, \quad k = 0.02677 \text{ W.m}^{-1}.\text{C}^{-1}, \quad \text{Pr} = 0.706$$

ตัวเลขเรย์เลย์ (Rayleigh Number, Ra) สามารถหาได้จากสมการ 2.11

$$\text{Ra} = \frac{g\beta'\Delta TL^3}{\nu\alpha}$$

$$\text{Ra} = \frac{9.18(32-31)(0.46)^3(0.706)}{307(1.619 \times 10^{-5})^2}$$

$$\text{Ra} = 8299646 \quad \Omega$$

หาค่าตัวเลขนัสเซิลท์ (Nusselt Number) ได้จากสมการ (2.13) ได้เท่ากับ 12.16

$$h = \text{Nu} \frac{k}{L}$$

$$h = 12.16 \frac{0.0267}{0.46} = 0.719 \text{ W.m}^2.\text{C}^{-1}$$

ดังนั้น

$$R_3 = \frac{1}{0.00016+0.719} = 1.39 \quad \Omega$$

1.4 ความต้านทานตัวที่สี่ (R_4) ระหว่างฝ้าเพดานกับสภาพแวดล้อม (Ω) สามารถหาได้จาก

สมการ 2.6

$$R_4 = \frac{1}{h_{c,c-a} + h_{r,c-a}}$$

หาค่า สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีระหว่างฝ้าเพดานกับอากาศได้จากสมการ 2.9

$$h_{r,c-a} = \varepsilon_c (T_c^2 + T_a^2) (T_c - T_a)$$

แทนค่า $h_{r,c-a} = 0.03 \times 5.6697 \times 10^{-8} (304^2 + 303^2) (304 - 303) = 0.00013 \text{ W.m}^{-2}.\text{C}^{-1}$

เปิดตารางคุณสมบัติอากาศที่ความดันบรรยากาศที่ $T_{cpF} = 305 \text{ K}$ จะได้

$$\nu = 16.19 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}, \quad k = 0.02661 \text{ W.m}^{-1}.\text{C}^{-1}, \quad Pr = 0.706$$

ตัวเลขเรย์เสย์ (Rayleigh Number, Ra) สามารถหาได้จากสมการ 2.11

$$Ra = \frac{g\beta\Delta TL^3}{\nu\alpha}$$

$$Ra = \frac{9.18(31-33)(0.007)^3(0.706)}{305(1.619 \times 10^{-5})^2}$$

$$Ra = 12.72 \quad \Omega$$

หาตัวเลขนัสเซิลท์ (Nusselt Number) ได้จากสมการ (2.13) ได้เท่ากับ 24271

$$h = Nu \frac{k}{L} = 24271 \frac{0.007}{0.02661} = 92264 \text{ W.m}^{-2}.\text{C}^{-1}$$

ดังนั้น $R_4 = \frac{1}{0.00013 + 92264} = 1.08 \times 10^{-5} \quad \Omega$

1.5 สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม สามารถหาได้จากสมการ 2.2

$$U_t = \frac{1}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4}$$

แทนค่า $U_t = \frac{1}{0.56 + 0.04 + 1.39 + 1.08 \times 10^{-5}} = 0.50 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$

ดังนั้นค่าการถ่ายเทความร้อน เมื่อพื้นที่ = 1.44 m^2

$$Q = UA\Delta T$$

แทนค่า

$$Q = 0.50 \times 1.44 \times (40-30)$$

$$Q = 7.2 \text{ W}$$

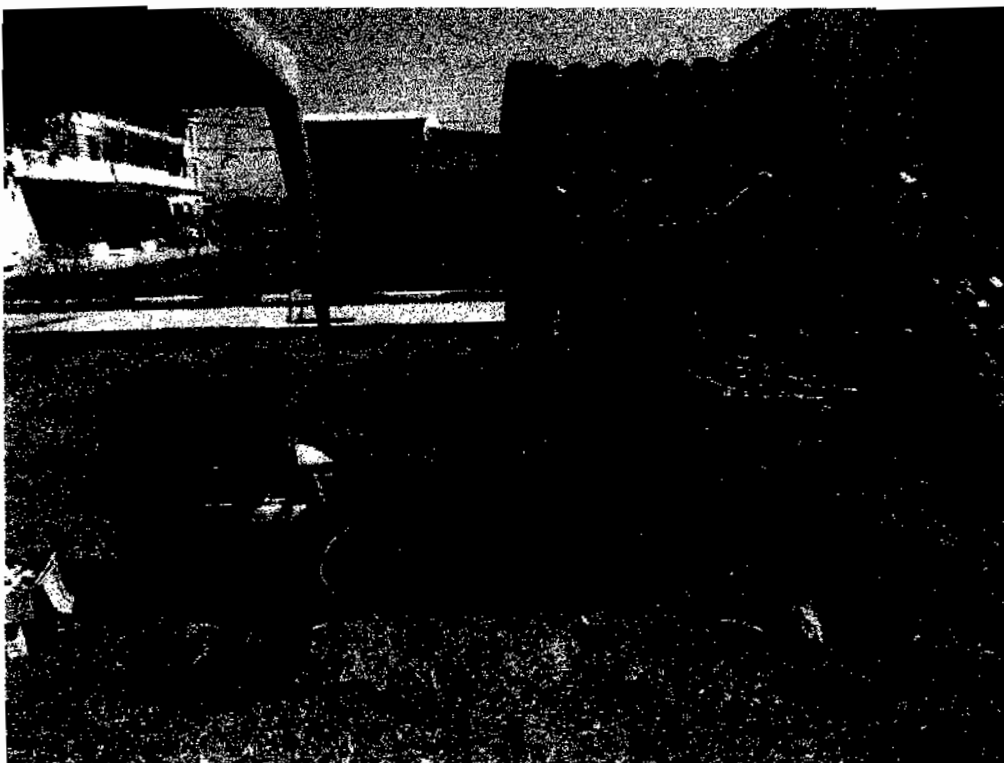
ดังนั้นค่าการถ่ายเทความร้อนของห้องได้หลังคา เท่ากับ 7.2 W

ภาคผนวก ค

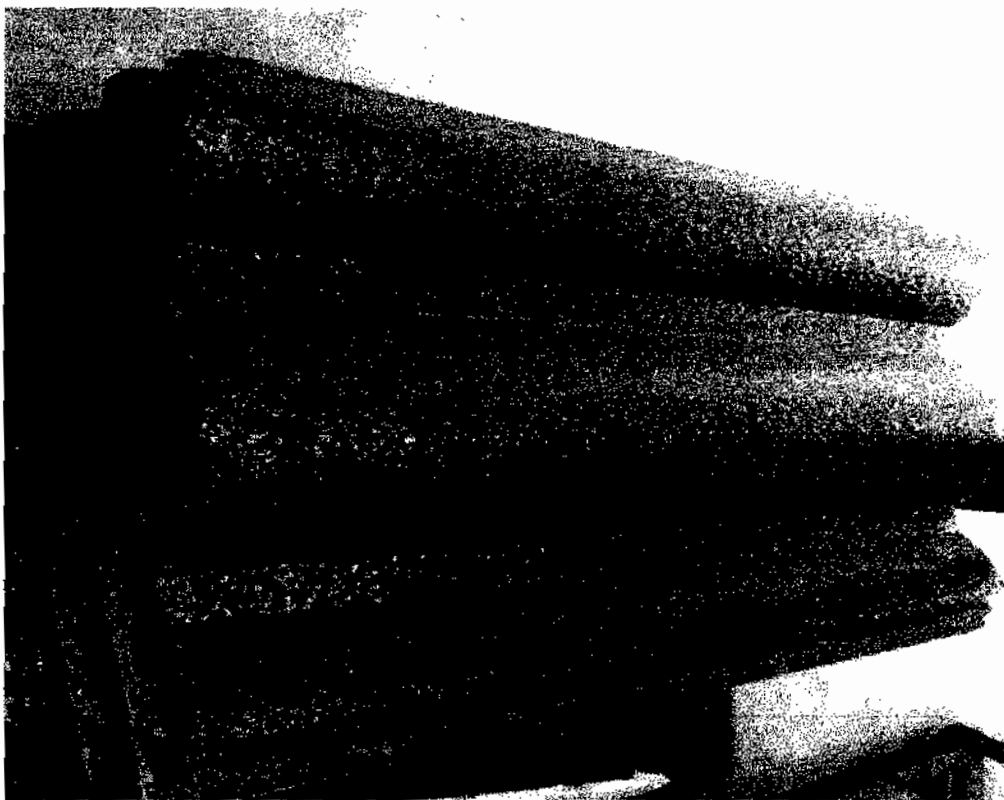
ภาพประกอบการทดลอง



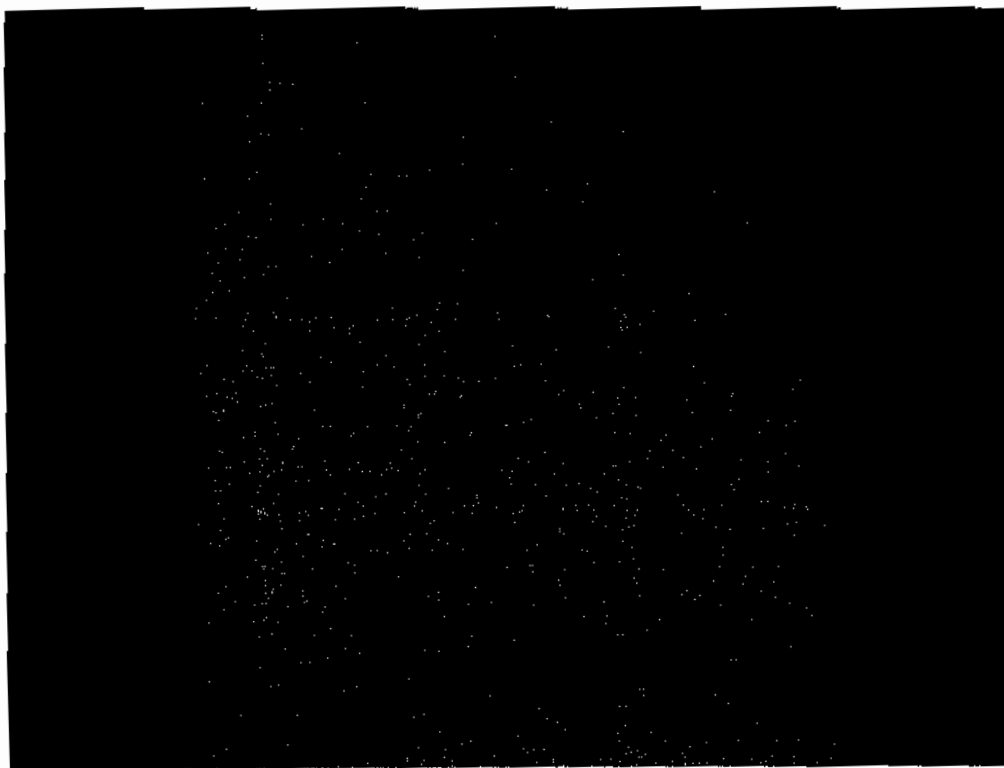
รูปที่ ค. 1: แสดงแบบจำลองบ้านที่ใช้ในการทดลอง



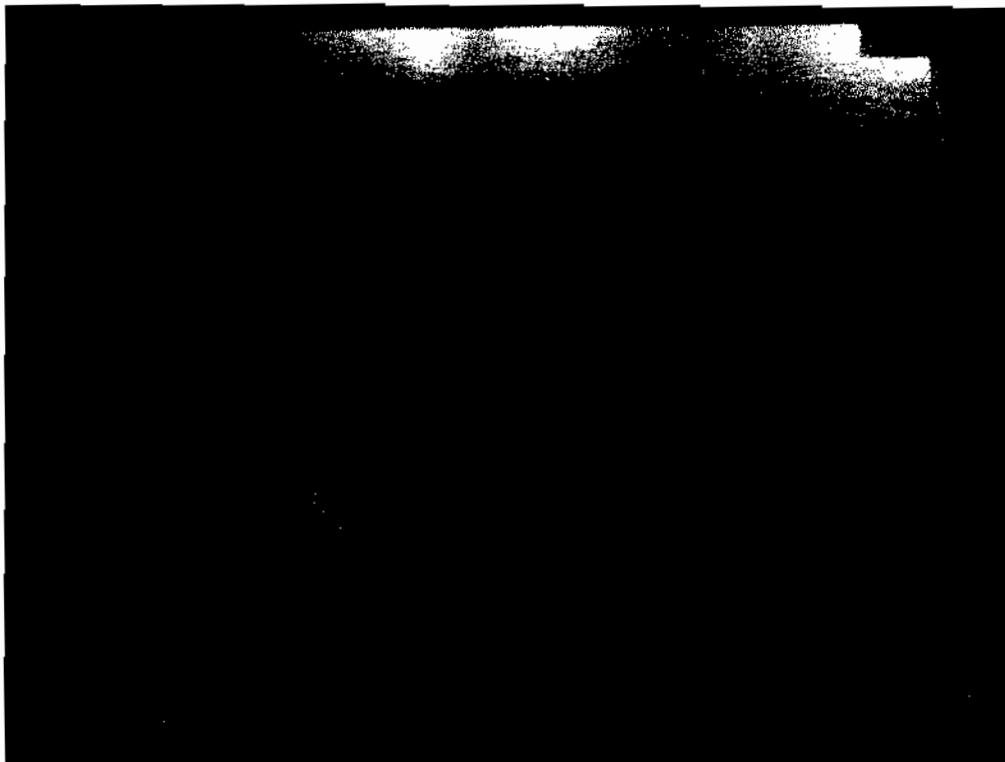
รูปที่ ค. 2 : แสดงลักษณะในการเก็บข้อมูล



รูปที่ ค. 3 : แสดงกระเบื้องซีแพคโมเนีย สีน้ำตาล



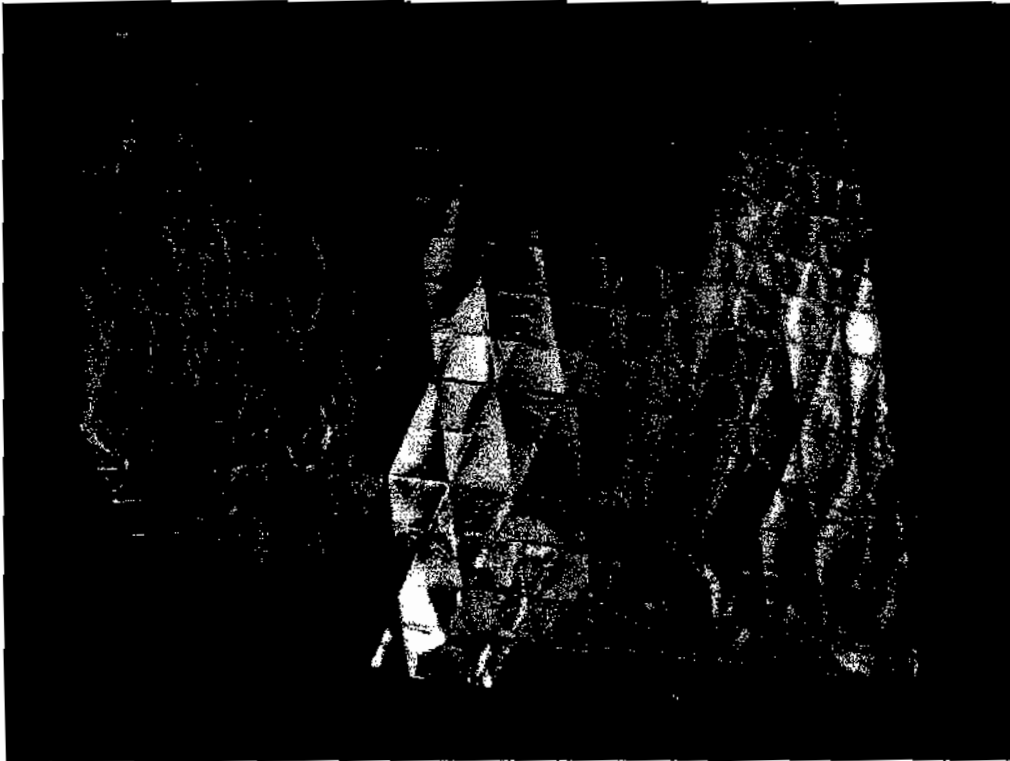
รูปที่ ค. 4 : แสดงผ้าเพดานชนิดแผ่นเรียบ



รูปที่ ค. 5 : แสดงฝ้าพาดานสะท้อนความร้อน



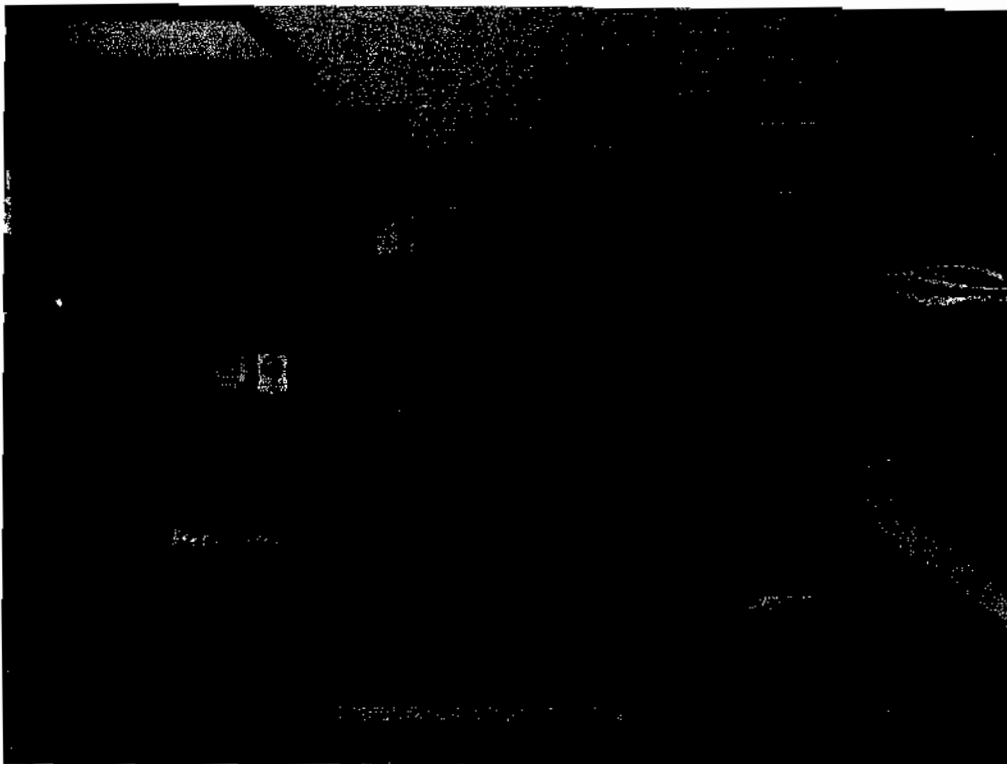
รูปที่ ค. 6 : แสดงฉนวนใยแก้ว



รูปที่ ค. 7 : แสดงอลูมิเนียมพอยล์ชนิดสองหน้า CPAC Monier



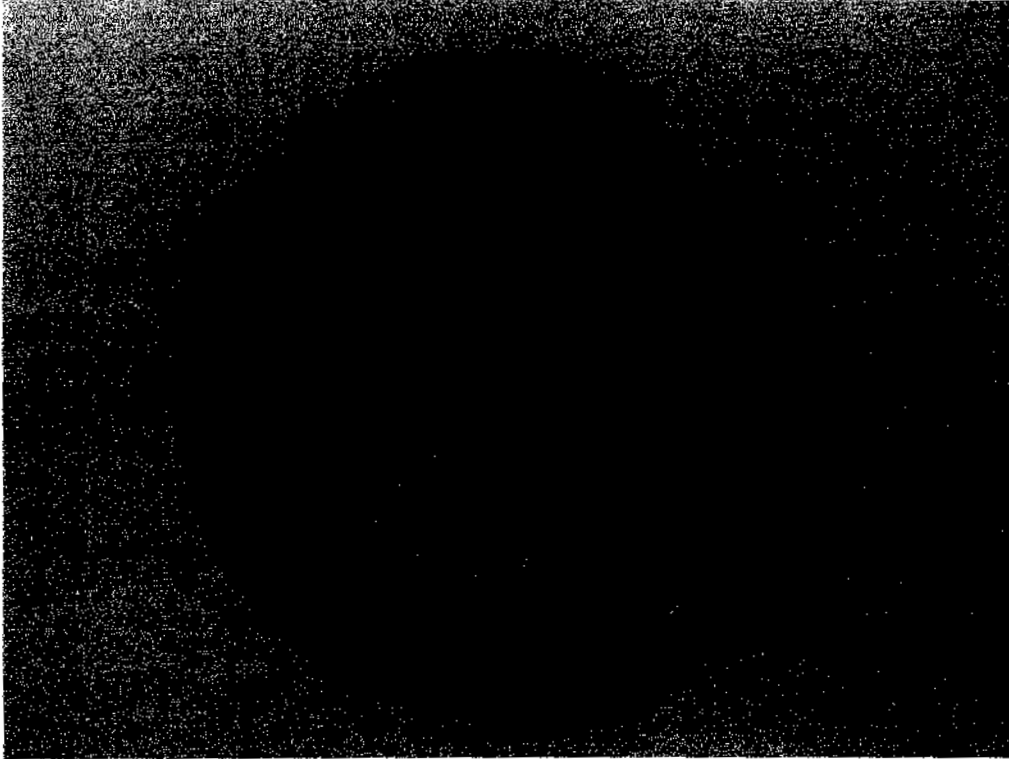
รูปที่ ค.8 : แสดงอลูมิเนียมพอยล์ 1 หน้า รุ่น AF14000



รูปที่ ค.9 : แสดงชุดเครื่องคอมพิวเตอร์



รูปที่ ค.10 : แสดงเครื่องบันทึกข้อมูล (Data Logger) ยี่ห้อ YOKOGAWA รุ่น DX200



รูปที่ ค.11 : แสดงสายเทอร์โมคัปเปิล Type K

ประวัติย่อของผู้วิจัย

ประวัติย่อของผู้วิจัย

ชื่อ นางสาวนิศากร จันทร์ชื่น
 วันเกิด วันที่ 20 ตุลาคม พ.ศ. 2532
 สถานที่เกิด อำเภอหนองเรือ จังหวัดขอนแก่น
 สถานที่ที่อยู่ปัจจุบัน บ้านเลขที่ 116 หมู่ 6 ตำบลโนนสะอาด อำเภอหนองเรือ จังหวัดขอนแก่น 40210

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2544 ประถมศึกษาจากโรงเรียนหนองคูมุกดหนองสว่าง จังหวัดขอนแก่น
 พ.ศ. 2544 มัธยมศึกษาตอนต้นจากโรงเรียนหนองเรือวิทยา จังหวัดขอนแก่น
 พ.ศ. 2550 มัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนรัตนราษฎร์บำรุง จังหวัดราชบุรี
 พ.ศ. 2554 ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ.) สาขาฟิสิกส์ประยุกต์(พลังงาน)
 มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

หมายเลขติดต่อได้ 086-7977909
 E-mail address Nisakorn_ae@hotmail.com