

การศึกษาเชิงวิเคราะห์ของการถ่ายเทความร้อนผ่านระบบหลังคา

นายสมบูรณ์ ตีรสิทธิ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2543

ISBN 974-13-3096-3

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ANALYTICAL STUDY ON HEAT TRANSFER THROUGH A BUILDING ROOF SYSTEM

Mr. Somboon Tirasit

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Mechanical Engineering
Department of Mechanical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2000

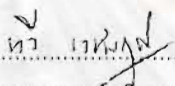
ISBN 974-13-3096-3

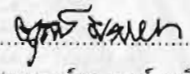
หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาเชิงวิเคราะห์ของการถ่ายเทความร้อนผ่านระบบหลังคา
โดย นาย สมบูรณ์ ติรลิต์
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ ดร. ตูลย์ มณีวัฒนา

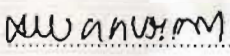
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่ง ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต


.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ทวี เวชพฤถิติ)


.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร. ตูลย์ มณีวัฒนา)


.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. มานิจ ทองประเสริฐ)


.....กรรมการ
(อาจารย์ ดร. เชิดพันธ์ วิฑูราภรณ์)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สมบูรณ์ ดิเรสิทธิ์: การศึกษาเชิงวิเคราะห์ของการถ่ายเทความร้อนผ่านระบบหลังคา.
(ANALYTICAL STUDY ON HEAT TRANSFER THROUGH A BUILDING ROOF SYSTEM)
อ.ที่ปรึกษา: อาจารย์ ดร.ศุภชัย มณีวัฒนา, 153หน้า. ISBN 974-13-3096-3.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นเรื่องของการพัฒนาคอมพิวเตอร์โปรแกรมเพื่อศึกษาพฤติกรรมถ่ายเทความร้อนผ่านระบบหลังคาโดยวิธีสมมูลความร้อน ระบบหลังคาที่ทำการศึกษามี 2 รูปทรง คือ ทรงหน้าจั่ว และทรงปั้นหยา การศึกษาในแต่ละรูปทรงจะทำการแยกออกอีกเป็น 2 กรณี คือ กรณีที่มีฝ้าและไม่มีฝ้าเพดาน ปัจจัยต่างๆที่มีอิทธิพลต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านระบบหลังคาที่นำมาพิจารณามีดังนี้ ความหนาของฉนวนกันความร้อน การติดตั้งแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ การระบายอากาศภายในช่องใต้หลังคา มุมเอียงของหลังคาและวัสดุที่นำมาบุหลังคา

ผลจากการศึกษาแสดงให้เห็นว่าปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านระบบหลังคาที่มีฝ้าเพดาน เข้ามายังห้องที่ปรับอากาศจะน้อยกว่ากรณีที่ไม่มีฝ้าเพดานประมาณ 40% การระบายอากาศจากภายนอกผ่านช่องใต้หลังคา 10 ถึง 30 ACH ส่งผลให้ปริมาณความร้อนลดลงประมาณ 15 ถึง 25% การบุฉนวนกันความร้อนหนา 1 นิ้ว ทำให้ปริมาณความร้อนลดลงประมาณ 30 ถึง 40% เมื่อเทียบกับกรณีไม่บุฉนวน ความหนาของฉนวนที่เหมาะสมมีค่าอยู่ในช่วง 1 ถึง 3 นิ้ว ความหนาที่เกินกว่า 3 นิ้ว จะไม่ช่วยลดความร้อนลงอีกมากนัก การติดตั้งแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์จะลดปริมาณความร้อนลงประมาณ 30 ถึง 40% และประการสุดท้ายจากการศึกษาพบว่าผลของมุมเอียงและวัสดุที่นำมาบุหลังคา ไม่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านระบบหลังคามากนัก

ภาควิชา	วิศวกรรมเครื่องกล	ลายมือชื่อนิสิต	ศุภชัย ดิเรสิทธิ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา	ศุภชัย มณีวัฒนา
ปีการศึกษา	2543	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	—

4170558621: MAJOR MECHANICAL ENGINEERING

KEY WORD: HEAT TRANSFER / ROOF SYSTEM

SOMBOON TIRASIT: ANALYTICAL STUDY ON HEAT TRANSFER THROUGH A BUILDING
ROOF SYSTEM. THESIS ADVISER: TUL MANEEWATTANA, Ph.D.
153 pp. ISBN 974-13-3096-3.

This thesis concerns with the development of a computer program for studying the characteristics of heat transfer through roof systems by the heat balance method. Two basic types of system, the gambrel and the hip roof systems, are investigated. Each basic roof system is also separated into two cases, those with and without suspended ceiling. The following parameters are considered: the insulation thickness, the use of aluminum foil, the ventilation rate through the roof system, the inclination angle of the roof and roofing materials.

Results from the study show that heat transfer from the roof with ceiling to an air-conditioning room is about 40% less than that without ceiling. Ventilation from outside air through the space under the roof system from 10 to 30 ACH correspondingly reduces the heat transfer by 15 to 25%. Installation of 1-inch thick insulation reduces heat transfer about 30 to 40% comparing with a roof with no insulation. The optimum insulation thickness is between 1 to 3 inches and there is no significant decrease of calculated heat transfer when the insulation is thicker than 3 inches. Installation of aluminum foil reduces heat transfer 30 to 40%. Lastly, the roof angle and roofing materials are found to have insignificant effect on the reduction of heat transfer through the roof system.

Department	<u>Mechanical Engineering</u>	Student's signature	<u>Somboon Tirasit</u>
Field of study	<u>Mechanical Engineering</u>	Adviser's signature	<u>Tul Manee Wattana</u>
Academic year	<u>2000</u>	Co-adviser's signature	<u>—</u>

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ ดร. ศุภย์ มณีวัฒนา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงที่ท่านได้ให้คำแนะนำ ตลอดจนคำปรึกษาที่มีประโยชน์ในการนำไปประยุกต์ใช้ในงานวิจัย และการทำงานในอนาคต

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ทวี เวชพฤติ รองศาสตราจารย์ ดร. มานิจ ทองประเสริฐ และ ดร. เชิดพันธ์ วิฑูรภรณ์ ที่ได้ให้คำแนะนำและถ่ายทอดความรู้ตลอดระยะเวลาในการทำงานวิจัย ขึ้นนี้ ซึ่งทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์มากขึ้น

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบิดา มารดา ที่คอยให้กำลังใจและสนับสนุนการศึกษาอย่างดี ยิ่งจนผู้วิจัยสำเร็จการศึกษา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฅ
สารบัญภาพ	ญ
คำอธิบายสัญลักษณ์	ด
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของวิทยานิพนธ์	1
1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์	1
1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์	1
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากวิทยานิพนธ์	2
1.5 ผลงานวิจัยที่ผ่านมา	2
บทที่ 2 ทฤษฎี	4
2.1 การคำนวณปริมาณภาระความร้อนของโซนด้วยวิธีสมดุลทางความร้อน ..	4
2.2 สมดุลความร้อนที่ผิวของกรอบของโซนด้านนอก	5
2.3 กระบวนการนำความร้อนผ่านกรอบของโซน	12
2.4 สมดุลความร้อนที่ผิวของกรอบของโซนด้านใน	13
2.5 สมดุลความร้อนที่พิจารณาอากาศภายในโซนเป็นปริมาตรควบคุม	15
2.6 กระบวนการนำความร้อนในหนึ่งมิติสำหรับวัสดุหลายชั้น	15
บทที่ 3 วิธีการคำนวณของโปรแกรม	21
บทที่ 4 ผลการคำนวณและอภิปรายผลการคำนวณ	33
4.1 ลักษณะทั่วไปของหลังคาที่พิจารณา	34
4.2 อิทธิพลของวัสดุผนังหลังคาที่มีผลต่อความร้อนที่ถ่ายเทผ่านระบบหลังคา ..	39
4.3 อิทธิพลของมุมเอียงหลังคาที่มีผลต่อความร้อนที่ถ่ายเทผ่านระบบหลังคา	42
4.4 อิทธิพลของรูปทรงหลังคาที่มีผลต่อความร้อนที่ถ่ายเทผ่านระบบหลังคา ..	43
4.5 อิทธิพลของการระบายอากาศผ่านช่องใต้หลังคาลังคา	44
4.6 อิทธิพลของทิศทางการวางตัวของอาคารที่มีผลต่อ	47
ความร้อนที่ถ่ายเทผ่านระบบหลังคา	

	หน้า
4.7 อิทธิพลของจนวนกันความร้อนที่มีผลต่อความร้อน ที่ถ่ายเทผ่านระบบหลังคา	50
4.8 อิทธิพลของการติดตั้งสะท้อนความร้อนที่มีผลต่อ ความร้อนที่ถ่ายเทผ่านระบบหลังคา	72
4.9 ค่า U ของหลังคาตัวอย่างและพารามิเตอร์ที่มีผลต่อค่า U	75
4.10 ค่า U และ CLTD ของหลังคาต่างๆ	100
บทที่ 5 สรุปลและข้อเสนอนแนะ	123
5.1 สรุปล	123
5.2 ข้อเสนอนแนะ	125
รายการอ้างอิง	126
ภาคผนวก	127
ภาคผนวก ก คุณสมบัติวัสดุ	128
ภาคผนวก ข รายละเอียดโปรแกรมที่ประดิษฐ์ ตัวอย่างอินพุทไฟล์	129 145
ภาคผนวก ค ว่าด้วย (ร่าง) ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม	146
ภาคผนวก ง รูปต่างๆเกี่ยวกับหลังคา	151
ประวัติผู้เขียน	153

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 2.1	Extraterrestrial Solar Radiation Intensity and Related Data	9
ตารางที่ 2.2	Coefficients for DSA Glass for Calculation of Transmittance and Absorptance	10
ตารางที่ 3.1	รายละเอียดสำหรับพื้นผิวต่างๆของโหนดตัวอย่างที่ 1	24
ตารางที่ 3.2	รายละเอียดสำหรับพื้นผิวต่างๆของโหนดตัวอย่างที่ 2	25
ตารางที่ 3.3	รายละเอียดสำหรับพื้นผิวต่างๆของโหนดตัวอย่างที่ 3	26
ตารางที่ 3.4	รายละเอียดสำหรับพื้นผิวต่างๆของโหนดตัวอย่างที่ 4	27
ตารางที่ 3.5	เปรียบเทียบผลการคำนวณภาวะความร้อนที่เข้าสู่โหนดตัวอย่าง จากโปรแกรม ASHRAE และ โปรแกรมที่ประดิษฐ์ขึ้น	31
ตารางที่ 4.1	แสดงค่าความต้านทานความร้อนหลังคาต่างๆสำหรับ อิทธิพลของวัสดุผนังหลังคา	40
ตารางที่ 4.2	ค่า U และฟิล์มอากาศของระบบหลังคาเคะธิดอ	100
ตารางที่ 4.3	ค่า U และฟิล์มอากาศของระบบหลังคาแบบมีช่องใต้หลังคา	101
ตารางที่ 4.4 (ก)	การหาค่า U หลังคาหน้าจั่วไม่ติดฉนวน แบบเคะธิดอ	102
ตารางที่ 4.4 (ข)	การหาค่า U หลังคาหน้าจั่ว ติดฉนวน 1 นิ้ว แบบเคะธิดอ	103
ตารางที่ 4.4 (ค)	การหาค่า U หลังคาหน้าจั่ว ติดฉนวน 2 นิ้ว แบบเคะธิดอ	104
ตารางที่ 4.4 (ง)	การหาค่า U หลังคาปั้นหย่าไม่ติดฉนวน แบบเคะธิดอ	105
ตารางที่ 4.4 (จ)	การหาค่า U หลังคาปั้นหย่า ติดฉนวน 2 นิ้ว แบบเคะธิดอ	106
ตารางที่ 4.4 (ฉ)	การหาค่า U หลังคาปั้นหย่า ติดฉนวน 1 นิ้ว แบบเคะธิดอ	107
ตารางที่ 4.4 (ช)	การหาค่า U หลังคาหน้าจั่วไม่ติดฉนวน แบบมีช่องใต้หลังคา	108
ตารางที่ 4.4 (ซ)	การหาค่า U หลังคาหน้าจั่ว ติดฉนวน 1 นิ้ว แบบมีช่องใต้หลังคา	109
ตารางที่ 4.4 (ด)	การหาค่า U หลังคาหน้าจั่ว ติดฉนวน 2 นิ้ว แบบมีช่องใต้หลังคา	110
ตารางที่ 4.4 (ด)	การหาค่า U หลังคาปั้นหย่าไม่ติดฉนวน แบบมีช่องใต้หลังคา	111
ตารางที่ 4.4 (ด)	การหาค่า U หลังคาปั้นหย่า ติดฉนวน 1 นิ้ว แบบมีช่องใต้หลังคา	112
ตารางที่ 4.4 (ด)	การหาค่า U หลังคาปั้นหย่า ติดฉนวน 2 นิ้ว แบบมีช่องใต้หลังคา	113
ตารางที่ 4.5	ค่า CLTD ที่คำนวณได้สำหรับหลังคาตัวอย่าง	114
ตารางที่ 4.6	ค่า CLTD สำหรับหลังคากระดานไม่มีฝ้า (เคะธิดอ)	115
ตารางที่ 4.7	ค่า CLTD สำหรับหลังคากระดานแบบมีช่องใต้หลังคา	116

	หน้า
ตารางที่ ก.1	คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในโครงสร้างหลังคาและกำแพง 106
ตารางที่ ก.2	ค่าการดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์และการเปล่งรังสีจากพื้นผิว 106
	ณ อุณหภูมิล้อมรอบที่สี่และวัสดุต่างๆ
ตารางที่ ค.1	คุณสมบัติของฉนวนใยแก้วตาม มอก.487-2526 150



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญญภาพ

			หน้า
รูปที่ 2.1	แผนภูมิกระบวนการลดอุณหภูมิความร้อนในโซนหนึ่ง		5
รูปที่ 2.2	มุมมองต่างๆที่เกี่ยวข้องกับดวงอาทิตย์และพื้นผิว		8
รูปที่ 2.3	แสดงการนำความร้อนในหนึ่งมิติสำหรับ		16
	ก. วัสดุเนื้อเดียว ข. วัสดุ 2 ชนิด		
รูปที่ 3.1	แผนภูมิแสดงขั้นตอนการคำนวณของโปรแกรมที่ประดิษฐ์		23
รูปที่ 3.2	ลักษณะของโซนตัวอย่างที่ 1		24
รูปที่ 3.3	ลักษณะของโซนตัวอย่างที่ 2		25
รูปที่ 3.4	ลักษณะของโซนตัวอย่างที่ 3		26
รูปที่ 3.5	ลักษณะของโซนตัวอย่างที่ 4		27
รูปที่ 3.6	เปรียบเทียบภาระความร้อนรายชั่วโมงระหว่างโปรแกรมที่ประดิษฐ์		28
	กับ ASHRAE สำหรับโซนตัวอย่างที่ 1		
รูปที่ 3.7	เปรียบเทียบภาระความร้อนรายชั่วโมงระหว่างโปรแกรมที่ประดิษฐ์		29
	กับ ASHRAE สำหรับโซนตัวอย่างที่ 2		
รูปที่ 3.8	เปรียบเทียบภาระความร้อนรายชั่วโมงระหว่างโปรแกรมที่ประดิษฐ์		29
	กับ ASHRAE สำหรับโซนตัวอย่างที่ 3		
รูปที่ 3.9	เปรียบเทียบภาระความร้อนรายชั่วโมงระหว่างโปรแกรมที่ประดิษฐ์		30
	กับ ASHRAE สำหรับโซนตัวอย่างที่ 4		
รูปที่ 4.1	แผนผังทิศทางการวางตัวของโซนที่พิจารณา		34
รูปที่ 4.2	หลังคารูปทรง ก. หน้าจั่ว ข. ปันหย่า		34
รูปที่ 4.3	แสดงรูปตัดขวางของโซนหลังคาที่พิจารณาเป็นปริมาตรควบคุม		34
	ก. หลังคาแบบคะฉีตอ ข. หลังคาแบบมีช่องใต้หลังคา		
รูปที่ 4.4	หลังคาเอียงพร้อมช่องใต้หลังคา		37
รูปที่ 4.5	ชั้นวัสดุสำหรับหลังคาเอียงรูปที่ 4.4		37
รูปที่ 4.6	หลังคาเอียงพร้อมเพดาน (หลังคาคะฉีตอ)		38
รูปที่ 4.7	ชั้นวัสดุสำหรับหลังคาเอียงรูปที่ 4.6		38
รูปที่ 4.8	ผลของชนิดวัสดุผนังหลังคาต่อปริมาณความร้อนสัมพัทธ์		39
	สำหรับหลังคารูปทรงต่างๆ		
รูปที่ 4.9	ความสัมพันธ์ระหว่างมุมเอียงหลังคากับความร้อนสัมพัทธ์		42
	สำหรับหลังคารูปทรงต่างๆ		

		หน้า
รูปที่ 4.10	ความสัมพันธ์ระหว่างรูปทรงหลังคากับความร้อนสัมผัส	43
รูปที่ 4.11	ความสัมพันธ์ระหว่างการระบายอากาศในช่องใต้หลังคา กับความร้อนสัมผัส สำหรับหลังคาน้ำจั่วและปั้นหย่า ไม่ติดฉนวน	44
รูปที่ 4.12	ความสัมพันธ์ระหว่างการระบายอากาศในช่องใต้หลังคา กับความร้อนสัมผัส สำหรับหลังคาน้ำจั่วและปั้นหย่า ติดฉนวน 1 นิ้ว	44
รูปที่ 4.13	ความสัมพันธ์ระหว่างการระบายอากาศในช่องใต้หลังคา กับความร้อนสัมผัส สำหรับหลังคาน้ำจั่วและปั้นหย่า ติดฉนวน 2 นิ้ว	45
รูปที่ 4.14	ความสัมพันธ์ระหว่างทิศทางการวางตัวของโชน กับความร้อนสัมผัสสำหรับหลังคารูปทรงต่างๆ ไม่ติดฉนวน	47
รูปที่ 4.15	ความสัมพันธ์ระหว่างทิศทางการวางตัวของโชน กับความร้อนสัมผัสสำหรับหลังคารูปทรงต่างๆ ติดฉนวน 1 นิ้ว	47
รูปที่ 4.16	ความสัมพันธ์ระหว่างทิศทางการวางตัวของโชน กับความร้อนสัมผัสสำหรับหลังคารูปทรงต่างๆ ติดฉนวน 2 นิ้ว	48
รูปที่ 4.17	ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาฉนวนใยแก้วกับความร้อนสัมผัส สำหรับหลังคาน้ำจั่วแบบคละธิดอ	50
รูปที่ 4.18	ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาฉนวนใยแก้วกับความร้อนสัมผัส สำหรับหลังคาน้ำจั่วแบบคละธิดอ	50
รูปที่ 4.19	ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาฉนวนกระดาศกับความร้อนสัมผัส สำหรับหลังคาน้ำจั่วแบบคละธิดอ	51
รูปที่ 4.20	ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาฉนวนโฟมกับความร้อนสัมผัส สำหรับหลังคาน้ำจั่วแบบคละธิดอ	51
รูปที่ 4.21	ผลของวัสดุฉนวนกันความร้อนสำหรับหลังคาน้ำจั่วแบบคละธิดอ	52
รูปที่ 4.22	ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาฉนวนใยแก้วกับความร้อนสัมผัส สำหรับหลังคาปั้นหย่าแบบคละธิดอ	53
รูปที่ 4.23	ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาฉนวนใยแก้วกับความร้อนสัมผัส สำหรับหลังคาปั้นหย่าแบบคละธิดอ	53
รูปที่ 4.24	ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาฉนวนกระดาศกับความร้อนสัมผัส สำหรับหลังคาปั้นหย่าแบบคละธิดอ	54
รูปที่ 4.25	ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาฉนวนโฟมกับความร้อนสัมผัส สำหรับหลังคาปั้นหย่าแบบคละธิดอ	54

	หน้า
รูปที่ 4.26 ผลของวัสดุฉนวนกันความร้อนสำหรับหลังคาปั้นหยาบแบบคะซีดอ	55
รูปที่ 4.27 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาฉนวนใยแก้วกับความร้อนสัมผัส	56
รูปที่ 4.28 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาฉนวนใยแก้วกับความร้อนสัมผัส	56
รูปที่ 4.29 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาฉนวนกระดาษกับความร้อนสัมผัส ..	57
รูปที่ 4.30 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาฉนวนโฟมกับความร้อนสัมผัส	57
รูปที่ 4.31 ผลของวัสดุฉนวนกันความร้อนสำหรับหลังคาหน้าจั่ว	58
รูปที่ 4.32 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาฉนวนใยแก้วกับความร้อนสัมผัส	58
รูปที่ 4.33 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาฉนวนใยแก้วกับความร้อนสัมผัส	59
รูปที่ 4.34 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาฉนวนกระดาษกับความร้อนสัมผัส ..	59
รูปที่ 4.35 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาฉนวนโฟมกับความร้อนสัมผัส	60
รูปที่ 4.36 ผลของวัสดุฉนวนกันความร้อนสำหรับหลังคาหน้าจั่ว	60
รูปที่ 4.37 ผลของตำแหน่งการติดตั้งฉนวนใยแก้วสำหรับหลังคาหน้าจั่ว	61
รูปที่ 4.38 ผลของตำแหน่งการติดตั้งฉนวนใยแก้วสำหรับหลังคาหน้าจั่ว	61
รูปที่ 4.39 ผลของตำแหน่งการติดตั้งฉนวนกระดาษสำหรับหลังคาหน้าจั่ว	62
รูปที่ 4.40 ผลของตำแหน่งการติดตั้งฉนวนโฟมสำหรับหลังคาหน้าจั่ว	62
รูปที่ 4.41 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาฉนวนใยแก้วกับความร้อนสัมผัส	63
รูปที่ 4.42 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาฉนวนใยแก้วกับความร้อนสัมผัส	63

	หน้า
รูปที่ 4.43 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกระตาศกับความร้อนสัมผัส ..	64
สำหรับหลังคาปั้นหย่าแบบมีช่องใต้หลังคา ติดฉนวนบนฝ้าเพดาน	
รูปที่ 4.44 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นใหม่กับความร้อนสัมผัส	64
สำหรับหลังคาปั้นหย่าแบบมีช่องใต้หลังคา ติดฉนวนบนฝ้าเพดาน	
รูปที่ 4.45 ผลของวัสดุฉนวนกันความร้อนสำหรับหลังคาปั้นหย่า	65
แบบมีช่องใต้หลังคา ติดฉนวนบนฝ้าเพดาน	
รูปที่ 4.46 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นใยแก้วกับความร้อนสัมผัส	65
สำหรับหลังคาปั้นหย่าแบบมีช่องใต้หลังคา ติดฉนวนใต้หลังคา	
รูปที่ 4.47 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นใยแก้วกับความร้อนสัมผัส	66
สำหรับหลังคาปั้นหย่าแบบมีช่องใต้หลังคา ติดฉนวนใต้หลังคา	
รูปที่ 4.48 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกระตาศกับความร้อนสัมผัส ..	66
สำหรับหลังคาปั้นหย่าแบบมีช่องใต้หลังคา ติดฉนวนใต้หลังคา	
รูปที่ 4.49 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นใหม่กับความร้อนสัมผัส	67
สำหรับหลังคาปั้นหย่าแบบมีช่องใต้หลังคา ติดฉนวนใต้หลังคา	
รูปที่ 4.50 ผลของวัสดุฉนวนกันความร้อนสำหรับหลังคาปั้นหย่า	67
แบบมีช่องใต้หลังคา ติดฉนวนใต้หลังคา	
รูปที่ 4.51 ผลของตำแหน่งการติดตั้งฉนวนใยแก้วสำหรับหลังคาปั้นหย่า	68
รูปที่ 4.52 ผลของตำแหน่งการติดตั้งฉนวนใยแก้วสำหรับหลังคาปั้นหย่า	68
รูปที่ 4.53 ผลของตำแหน่งการติดตั้งฉนวนกระตาศสำหรับหลังคาปั้นหย่า	69
รูปที่ 4.54 ผลของตำแหน่งการติดตั้งฉนวนใหม่สำหรับหลังคาปั้นหย่า	69
รูปที่ 4.55 ผลของตำแหน่งการติดตั้งวัสดุความร้อนสัมผัสสำหรับหลังคา	72
หน้าจั่วและปั้นหย่าแบบมีช่องใต้หลังคา	
รูปที่ 4.56 ผลของตำแหน่งการติดตั้งวัสดุความร้อนสัมผัสสำหรับหลังคา	72
หน้าจั่วและปั้นหย่าแบบมีช่องใต้หลังคา	
รูปที่ 4.57 ผลของตำแหน่งการติดตั้งวัสดุความร้อนสัมผัสสำหรับหลังคา	73
หน้าจั่วและปั้นหย่าแบบมีช่องใต้หลังคา	
รูปที่ 4.58 ค่า U รายชั่วโมงตลอดทั้งปีของหลังคาหน้าจั่วแบบคะธิดอ	75
ไม่ติดฉนวน	
รูปที่ 4.59 อิทธิพลของพารามิเตอร์ต่างๆที่มีต่อค่า U ของหลังคาหน้าจั่ว	75
แบบคะธิดอ ไม่ติดฉนวน	

		หน้า
รูปที่ 4.60	ค่า U รายชั่วโมงตลอดทั้งปีของหลังคาหน้าจั่วแบบคະຮີດອໍ ไม่ติดฉนวน กรณีที่ 2	76
รูปที่ 4.61	อิทธิพลของพารามิเตอร์ต่างๆที่มีต่อค่า U ของหลังคาหน้าจั่ว แบบคະຮີດອໍ ไม่ติดฉนวน กรณีที่ 2	76
รูปที่ 4.62	ค่า U รายชั่วโมงตลอดทั้งปีของหลังคาหน้าจั่วแบบคະຮີດອໍ ติดฉนวน 1 นิ้ว	77
รูปที่ 4.63	อิทธิพลของพารามิเตอร์ต่างๆที่มีต่อค่า U ของหลังคาหน้าจั่ว แบบคະຮີດອໍ ติดฉนวน 1 นิ้ว	77
รูปที่ 4.64	ค่า U รายชั่วโมงตลอดทั้งปีของหลังคาหน้าจั่วแบบคະຮີດອໍ ติดฉนวน 1 นิ้ว กรณีที่ 2	78
รูปที่ 4.65	อิทธิพลของพารามิเตอร์ต่างๆที่มีต่อค่า U ของหลังคาหน้าจั่ว แบบคະຮີດອໍ ติดฉนวน 1 นิ้ว กรณีที่ 2	78
รูปที่ 4.66	ค่า U รายชั่วโมงตลอดทั้งปีของหลังคาหน้าจั่วแบบคະຮີດອໍ ติดฉนวน 2 นิ้ว	79
รูปที่ 4.67	อิทธิพลของพารามิเตอร์ต่างๆที่มีต่อค่า U ของหลังคาหน้าจั่ว แบบคະຮີດອໍ ติดฉนวน 2 นิ้ว	79
รูปที่ 4.68	ค่า U รายชั่วโมงตลอดทั้งปีของหลังคาหน้าจั่วแบบคະຮີດອໍ ติดฉนวน 2 นิ้ว กรณีที่ 2	80
รูปที่ 4.69	อิทธิพลของพารามิเตอร์ต่างๆที่มีต่อค่า U ของหลังคาหน้าจั่ว แบบคະຮີດອໍ ติดฉนวน 2 นิ้ว กรณีที่ 2	80
รูปที่ 4.70	ค่า U รายชั่วโมงตลอดทั้งปีของหลังคาปั้นหย่าแบบคະຮີດອໍ ไม่ติดฉนวน	81
รูปที่ 4.71	อิทธิพลของพารามิเตอร์ต่างๆที่มีต่อค่า U ของหลังคาปั้นหย่า แบบคະຮີດອໍ ไม่ติดฉนวน	81
รูปที่ 4.72	ค่า U รายชั่วโมงตลอดทั้งปีของหลังคาปั้นหย่าแบบคະຮີດອໍ ไม่ติดฉนวน กรณีที่ 2	82
รูปที่ 4.73	อิทธิพลของพารามิเตอร์ต่างๆที่มีต่อค่า U ของหลังคาปั้นหย่า แบบคະຮີດອໍ ไม่ติดฉนวน กรณีที่ 2	82
รูปที่ 4.74	ค่า U รายชั่วโมงตลอดทั้งปีของหลังคาปั้นหย่าแบบคະຮີດອໍ ติดฉนวน 1 นิ้ว	83

	หน้า
รูปที่ 4.75 อิทธิพลของพารามิเตอร์ต่างๆที่มีต่อค่า P ของหลังคาปั้นหย่า แบบคระธืดอ ติดฉนวน 1 นิ้ว	83
รูปที่ 4.76 ค่า P รายชั่วโมงตลอดทั้งปีของหลังคาปั้นหย่าแบบคระธืดอ ติดฉนวน 1 นิ้ว กรณีที่ 2	84
รูปที่ 4.77 อิทธิพลของพารามิเตอร์ต่างๆที่มีต่อค่า P ของหลังคาปั้นหย่า แบบคระธืดอ ติดฉนวน 1 นิ้ว กรณีที่ 2	84
รูปที่ 4.78 ค่า P รายชั่วโมงตลอดทั้งปีของหลังคาปั้นหย่าแบบคระธืดอ ติดฉนวน 2 นิ้ว	85
รูปที่ 4.79 อิทธิพลของพารามิเตอร์ต่างๆที่มีต่อค่า P ของหลังคาปั้นหย่า แบบคระธืดอ ติดฉนวน 2 นิ้ว	85
รูปที่ 4.80 ค่า P รายชั่วโมงตลอดทั้งปีของหลังคาปั้นหย่าแบบคระธืดอ ติดฉนวน 2 นิ้ว กรณีที่ 2	86
รูปที่ 4.81 อิทธิพลของพารามิเตอร์ต่างๆที่มีต่อค่า P ของหลังคาปั้นหย่า แบบคระธืดอ ติดฉนวน 2 นิ้ว กรณีที่ 2	86
รูปที่ 4.82 ค่า P รายชั่วโมงตลอดทั้งปีของหลังคาหน้าจั่วมีช่องใต้หลังคา ไม่ติดฉนวน	87
รูปที่ 4.83 อิทธิพลของพารามิเตอร์ต่างๆที่มีต่อค่า P ของหลังคาหน้าจั่ว แบบมีช่องใต้หลังคา ไม่ติดฉนวน	87
รูปที่ 4.84 ค่า P รายชั่วโมงตลอดทั้งปีของหลังคาหน้าจั่วมีช่องใต้หลังคา แบบมีช่องใต้หลังคา ไม่ติดฉนวน กรณีที่ 2	88
รูปที่ 4.85 อิทธิพลของพารามิเตอร์ต่างๆที่มีต่อค่า P ของหลังคาหน้าจั่ว แบบมีช่องใต้หลังคา ไม่ติดฉนวน กรณีที่ 2	88
รูปที่ 4.86 ค่า P รายชั่วโมงตลอดทั้งปีของหลังคาหน้าจั่วมีช่องใต้หลังคา ติดฉนวน 1 นิ้ว	89
รูปที่ 4.87 อิทธิพลของพารามิเตอร์ต่างๆที่มีต่อค่า P ของหลังคาหน้าจั่ว แบบมีช่องใต้หลังคา ติดฉนวน 1 นิ้ว	89
รูปที่ 4.88 ค่า P รายชั่วโมงตลอดทั้งปีของหลังคาหน้าจั่วมีช่องใต้หลังคา ติดฉนวน 1 นิ้ว กรณีที่ 2	90
รูปที่ 4.89 อิทธิพลของพารามิเตอร์ต่างๆที่มีต่อค่า P ของหลังคาหน้าจั่ว แบบมีช่องใต้หลังคา ติดฉนวน 1 นิ้ว กรณีที่ 2	90

	หน้า
รูปที่ 4.90 ค่า U รายชั่วโมงตลอดทั้งปีของหลังคาหน้าจั่วมีช่องใต้หลังคา 91 ติดฉนวน 2 นิ้ว	91
รูปที่ 4.91 อิทธิพลของพารามิเตอร์ต่างๆที่มีต่อค่า U ของหลังคาหน้าจั่ว 91 แบบมีช่องใต้หลังคา ติดฉนวน 2 นิ้ว	91
รูปที่ 4.92 ค่า U รายชั่วโมงตลอดทั้งปีของหลังคาหน้าจั่วมีช่องใต้หลังคา 92 ติดฉนวน 2 นิ้ว กรณีที่ 2	92
รูปที่ 4.93 อิทธิพลของพารามิเตอร์ต่างๆที่มีต่อค่า U ของหลังคาหน้าจั่ว 92 แบบมีช่องใต้หลังคา ติดฉนวน 2 นิ้ว กรณีที่ 2	92
รูปที่ 4.94 ค่า U รายชั่วโมงตลอดทั้งปีของหลังคาปั้นหยามีช่องใต้หลังคา 93 ไม่ติดฉนวน	93
รูปที่ 4.95 อิทธิพลของพารามิเตอร์ต่างๆที่มีต่อค่า U ของหลังคาปั้นหย่า 93 แบบมีช่องใต้หลังคา ไม่ติดฉนวน	93
รูปที่ 4.96 ค่า U รายชั่วโมงตลอดทั้งปีของหลังคาปั้นหยามีช่องใต้หลังคา 94 แบบมีช่องใต้หลังคา ไม่ติดฉนวน กรณีที่ 2	94
รูปที่ 4.97 อิทธิพลของพารามิเตอร์ต่างๆที่มีต่อค่า U ของหลังคาปั้นหย่า 94 แบบมีช่องใต้หลังคา ไม่ติดฉนวน กรณีที่ 2	94
รูปที่ 4.98 ค่า U รายชั่วโมงตลอดทั้งปีของหลังคาปั้นหยามีช่องใต้หลังคา 95 ติดฉนวน 1 นิ้ว	95
รูปที่ 4.99 อิทธิพลของพารามิเตอร์ต่างๆที่มีต่อค่า U ของหลังคาปั้นหย่า 95 แบบมีช่องใต้หลังคา ติดฉนวน 1 นิ้ว	95
รูปที่ 4.100 ค่า U รายชั่วโมงตลอดทั้งปีของหลังคาปั้นหยามีช่องใต้หลังคา 96 ติดฉนวน 1 นิ้ว กรณีที่ 2	96
รูปที่ 4.101 อิทธิพลของพารามิเตอร์ต่างๆที่มีต่อค่า U ของหลังคาปั้นหย่า 96 แบบมีช่องใต้หลังคา ติดฉนวน 1 นิ้ว กรณีที่ 2	96
รูปที่ 4.102 ค่า U รายชั่วโมงตลอดทั้งปีของหลังคาปั้นหยามีช่องใต้หลังคา 97 ติดฉนวน 2 นิ้ว	97
รูปที่ 4.103 อิทธิพลของพารามิเตอร์ต่างๆที่มีต่อค่า U ของหลังคาปั้นหย่า 97 แบบมีช่องใต้หลังคา ติดฉนวน 2 นิ้ว	97
รูปที่ 4.104 ค่า U รายชั่วโมงตลอดทั้งปีของหลังคาปั้นหยามีช่องใต้หลังคา 98 ติดฉนวน 2 นิ้ว กรณีที่ 2	98

คำอธิบายสัญลักษณ์

A	พื้นที่
C_p	ความร้อนจำเพาะ
E	equation of time
h_i	สัมประสิทธิ์การพาความร้อนระหว่างพื้นผิวด้านในของกรอบของโชนกับอากาศ
h_r	force convection coefficient
h_{or}	สัมประสิทธิ์การแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่รังสีระหว่างพื้นผิวกับพื้น
h_n	natural convection coefficient
h_o	สัมประสิทธิ์การพาความร้อนระหว่างพื้นผิวด้านนอกของกรอบของโชนกับอากาศ
h_c	สัมประสิทธิ์การแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่รังสีระหว่างกันของพื้นผิวในโชน
h_{hr}	สัมประสิทธิ์การแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่รังสีระหว่างพื้นผิวกับท้องฟ้า
I_d	diffuse irradiation
I_{ds}	diffuse irradiation from sky
I_{dg}	diffuse irradiation from ground
I_o	direct irradiation
I_{DN}	direct normal irradiation
I_t	total solar irradiation
k	สัมประสิทธิ์การนำความร้อน
L	มุมละติจูด
P	ความยาวรอบรูป
q''_{conv}	ฟลักซ์ความร้อนจากการพาความร้อนระหว่างพื้นผิวกับอากาศ
q''_i	ฟลักซ์ความร้อนโดยการนำที่ผิวด้านในของกรอบของโชน
q''_o	ฟลักซ์ความร้อนโดยการนำที่ผิวด้านนอกของกรอบของโชน
q''_{LWS}	ฟลักซ์ความร้อนจากรังสีคลื่นยาวจากอุปกรณ์ภายในที่ผิวรับได้
q''_{LWR}	ฟลักซ์ความร้อนสุทธิจากการแลกเปลี่ยนรังสีคลื่นยาวระหว่างผิวกับสิ่งแวดล้อม
q''_{LWX}	ฟลักซ์ความร้อนสุทธิจากการแลกเปลี่ยนรังสีคลื่นยาวระหว่างผิวของโชนด้วยกัน
q''_{SW}	ฟลักซ์ความร้อนจากรังสีคลื่นสั้นจากแสงไฟที่พื้นผิวรับได้
$q''_{\alpha_{sol}}$	ฟลักซ์ความร้อนจากรังสีจากดวงอาทิตย์ที่ผิวดูดซับได้

R_f	ค่าแก้ไขเนื่องจากความหยาบผิว
T_{ground}	อุณหภูมิพื้น
T_i	อุณหภูมิผิวด้านในของกรอบของโชน
T_{MRT}	อุณหภูมิของพื้นผิวสมมติ
T_o	อุณหภูมิผิวด้านนอกของกรอบของโชน
T_{oa}	อุณหภูมิอากาศภายนอก
T_{sky}	อุณหภูมิท้องฟ้า
V_{ex}	ความเร็วลม
W_f	ค่าแก้ไขเนื่องจากทิศทางลม
X,Y,Z,F	conduction transfer function
α	สัมประสิทธิ์การดูดซับความร้อน
β	solar altitude
δ	มุมเดคลิเนชัน (declination)
ϵ	สัมประสิทธิ์การแผ่ความร้อน
θ	มุมตกกระทบของแสงแดดที่ทำกับพื้นผิวกรอบของโชน
ρ	ความหนาแน่น
ρ_g	สัมประสิทธิ์การสะท้อนของพื้น
σ	Stefan Boltzman constant
Σ	มุมเอียงของระนาบพื้นผิวกับระนาบระดับ
ω	hour angle
ψ	surface azimuth angle

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของวิทยานิพนธ์

ประเทศไทยเป็นประเทศที่ตั้งบริเวณใกล้ศูนย์สูตร มีอุณหภูมิของอากาศสูงเกือบตลอดปี อาคารต่าง ๆ ตลอดจนบ้านพักอาศัยต้องใช้ระบบปรับอากาศเข้าช่วยเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้พักอาศัย ในปัจจุบันได้มีการตื่นตัวในเรื่องการประหยัดพลังงานในอาคารเป็นอย่างมาก การประหยัดพลังงานสำหรับการปรับอากาศจึงเป็นแนวทางหนึ่งในการประหยัดพลังงานในอาคาร ความร้อนที่เข้ามาในอาคารส่วนหนึ่งเกิดจากความร้อนจากแสงแดดที่ถ่ายเทผ่านหลังคาเข้าสู่อาคาร ในปัจจุบันยังไม่มีกรณีศึกษาที่ชัดเจนว่าปัจจัยต่างๆ มีอิทธิพลต่อความร้อนที่ผ่านหลังคาเข้าสู่อาคารมีลักษณะอย่างไรบ้าง ทำให้ไม่ทราบว่าจะจัดรูปแบบหลังคาอย่างเหมาะสมเพื่อการประหยัดพลังงานได้อย่างไรจึงเหมาะสม ฉะนั้นจึงควรศึกษาพฤติกรรมและวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่หลังคา

วิทยานิพนธ์นี้มีจุดประสงค์ที่จะศึกษาให้เข้าใจกลไกที่มีอิทธิพลต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคา และจัดสร้างโปรแกรมสำหรับวิเคราะห์ความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่หลังคาขึ้นซึ่งตรวจสอบความถูกต้องกับโปรแกรมที่เป็นมาตรฐาน (ASHRAE) และวิเคราะห์ปัจจัยและแนวทางการลดปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านหลังคา

1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

เพื่อศึกษาเชิงวิเคราะห์ปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านระบบหลังคาที่นิยมใช้แพร่หลายในกรุงเทพมหานคร

1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

1.3.1 ศึกษาพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนทั้ง 3 แบบ คือ การถ่ายเทความร้อนโดยการนำ การถ่ายเทความร้อนโดยการพา และการถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสีโดยละเอียด เพื่อให้เกิดความ

เข้าใจเกี่ยวกับกลไกการถ่ายเทความร้อนของระบบอย่างชัดเจน ก่อนนำไปประยุกต์ใช้หาความร้อนที่ถ่ายเทผ่านระบบหลังคาเข้าสู่ภายใน

1.3.2 ประดิษฐ์โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สอดคล้องกับการถ่ายเทความร้อนผ่านระบบหลังคาด้วยภาษาฟอร์แทรน (FORTRAN) และเปรียบเทียบผลการคำนวณจากโปรแกรมที่ถูกประดิษฐ์ขึ้นกับโปรแกรมที่เป็นมาตรฐาน (ASHRAE)

1.3.3 วิเคราะห์และสรุปผลกระทบบจากปัจจัยที่สำคัญต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านระบบหลังคาเพื่อเป็นแนวทางในการสานต่อสู่งานวิจัยต่อไปในอนาคต

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ก่อให้เกิดความเข้าใจในพฤติกรรมและความหมายทางกายภาพของกระบวนการถ่ายเทความร้อนทั้ง 3 แบบ คือ การถ่ายเทความร้อนโดยการนำ การพา และการแผ่รังสี

1.4.2 โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้คำนวณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านระบบหลังคา ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์สำหรับงานวิจัยต่ออนาคตได้

1.4.3 เข้าใจปัจจัยที่มีผลต่อพฤติกรรมถ่ายเทความร้อนผ่านระบบหลังคา

1.5 ผลงานวิจัยที่ผ่านมา

ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์นี้ประกอบด้วย

ในงานวิจัยที่ผ่านมา (Pederson, 1997) แสดงรูปแบบของวิธีสมดุลความร้อนที่เหมาะสมในการคำนวณหาภาระความร้อน และแสดงสมมุติฐานที่ใช้ร่วมกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วยวิธีดังกล่าวพัฒนาจาก ASHRAE research project RP-875 และได้รับสนับสนุนจาก TC4.1. ในงานวิจัยยังแสดงถึงกระบวนการแก้ปัญหาโดยแสดงเป็น pseudo-code ด้วย และการหาภาระความร้อนสำหรับอาคารตัวอย่าง

ในปีเดียวกัน (McClellan, 1997.) ศึกษาตรวจสอบการนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้กับการหาภาระการทำความเย็นเกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อนภายนอกอาคาร ประกอบด้วย ความร้อนจากการแผ่รังสีคลื่นสั้น การพาความร้อน และความร้อนจากรังสีคลื่นยาวที่เกิดจากการแลกเปลี่ยนกันระหว่างท้องฟ้าและพื้นดิน งานวิจัยนี้จะนำเสนอและตรวจสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์หลายแบบที่ใช้กันและเปรียบเทียบผลของแต่ละแบบ

นอกจากนี้ยังมี (Liesen, 1997) ศึกษาตรวจสอบการนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้กับการหาภาระการทำความเย็นเกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อนภายในอาคาร ประกอบด้วยการแลกเปลี่ยนความร้อนโดยการแผ่รังสีและการพาความร้อนของอากาศในโซน ตรวจสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการแลกเปลี่ยนความร้อนโดยการแผ่รังสีวิธี MRT แบบต่างๆ กับวิธีตรงสำหรับโซนต่างๆ



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ทฤษฎี

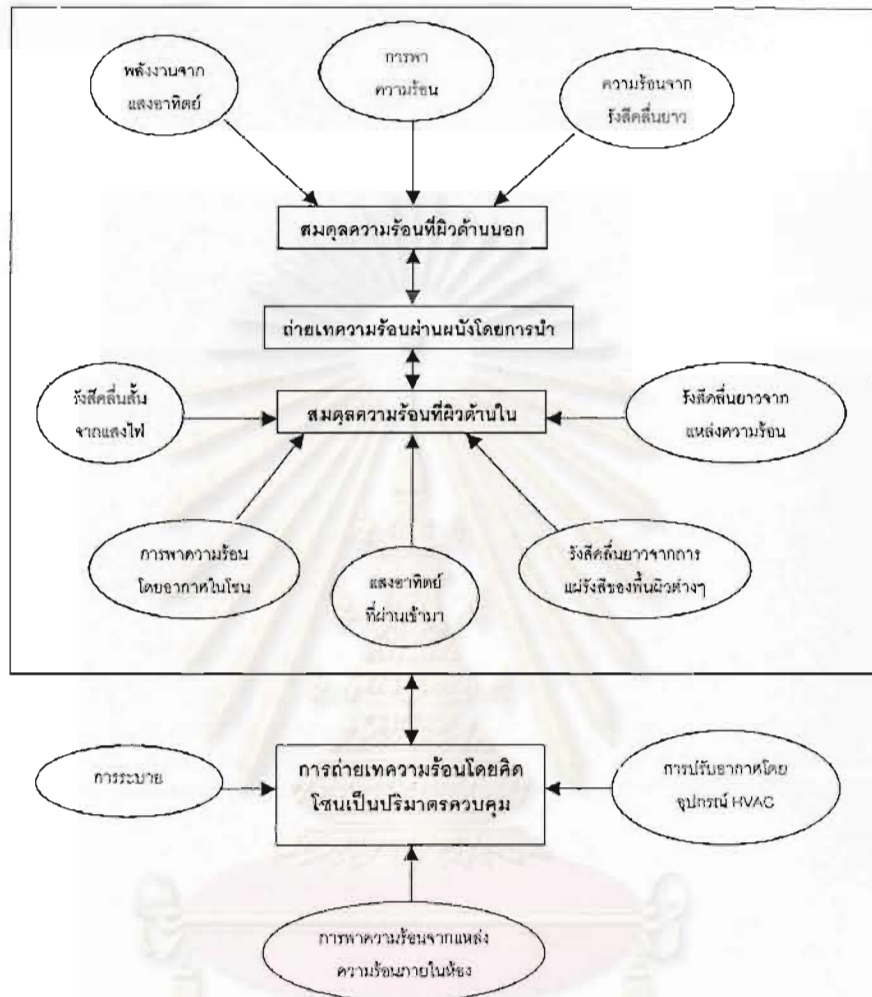
2.1 การคำนวณปริมาณภาระความร้อนของโซนด้วยวิธีสมดุลทางความร้อน

วิธีการสมดุลความร้อนเป็นวิธีการหนึ่งในการหาค่าภาระความร้อนของห้อง ซึ่งพัฒนาขึ้นโดยตรงจากกฎข้อที่ 1 ของอุณหพลศาสตร์ (กฎการอนุรักษ์พลังงาน) กระบวนการทางความร้อนที่ใช้ในวิธีการสมดุลความร้อนประกอบด้วยกระบวนการถ่ายเทความร้อนหลายๆกระบวนการ มีทั้งการถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสี การพาความร้อนที่ผิวของอาคาร และการนำความร้อนผ่านส่วนประกอบต่างๆของอาคาร

การคำนวณหาภาระความร้อนด้วยวิธีการสมดุลความร้อนนี้เกี่ยวข้องกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ต่างๆ โดยมีสมมุติฐานที่จำเป็น ดังนี้

1. อุณหภูมิของผิวแต่ละพื้นผิวมีการกระจายอย่างสม่ำเสมอ
2. การแผ่รังสีคลื่นยาวและคลื่นสั้นของแต่ละพื้นผิวมีความสม่ำเสมอ
3. พื้นผิวมีการแผ่รังสีแบบกระจาย
4. อากาศในห้องมีอุณหภูมิสม่ำเสมอ
5. การนำความร้อนเป็นแบบ 1 มิติ

กระบวนการในวิธีการสมดุลความร้อนแบ่งได้เป็น 4 ส่วน โดย 3 ส่วนแรกจะพิจารณาที่กรอบของโซน ได้แก่ ผนัง พื้น หลังคา เป็นต้น คือ สมดุลความร้อนที่ผิวด้านนอกของพื้นผิว กระบวนการนำความร้อนของกำแพง สมดุลความร้อนที่ผิวด้านใน และสมดุลความร้อนเมื่อติดอากาศภายในเป็นปริมาตรควบคุม ความสัมพันธ์ดังกล่าวแสดงในรูปที่ 2.1 ซึ่งแสดงกระบวนการสมดุลความร้อน ส่วนบนของรูปที่ล้อมกรอบสำหรับสมดุลที่แต่ละพื้นผิวที่ปิดล้อมโซน ลูกศรแสดงทิศทางการถ่ายเทความร้อน กระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อนต่างๆ และกรอบสี่เหลี่ยมแทนกระบวนการสมดุลความร้อนทั้ง 4 กระบวนการ



รูปที่ 2.1 แผนภูมิกระบวนการสมดุลความร้อนในโซนหนึ่ง

2.2 สมดุลความร้อนที่ผิวของกรอบของโซนด้านนอก

พิจารณาที่พื้นผิวใดๆที่มีผิวด้านหนึ่งติดกับสิ่งแวดล้อมภายนอก ผิวดังกล่าวจะได้รับความร้อนและการแลกเปลี่ยนความร้อนกับแหล่งความร้อนต่างๆ คือ แสงแดด ท้องฟ้า พื้น และอากาศภายนอก สมการสมดุลที่ตำแหน่งนี้มีรูปแบบดังนี้

$$q''_{\text{sol}} + q''_{\text{LWR}} + q''_{\text{conv}} - q''_{\text{lo}} = 0 \quad (2.1)$$

โดย

q''_{lo} = ฟลักซ์ความร้อนโดยการนำ

q''_{sol} = ฟลักซ์ความร้อนจากรังสีจากดวงอาทิตย์ที่ผิวดูดซับ

q''_{LWR} = ฟลักซ์ความร้อนสุทธิจากการแลกเปลี่ยนรังสีคลื่นยาวระหว่างผิวกับสิ่งแวดล้อม

q''_{conv} = ฟลักซ์ความร้อนจากการพาความร้อนระหว่างผิวกับอากาศภายนอก

ทุกเทอมมีค่าเป็นบวกสำหรับฟลักซ์สุทธิที่มีทิศเข้าสู่ผิว ยกเว้นเทอมการนำความร้อนซึ่งมีค่าบวกเมื่อมีทิศออกจากผิวเข้าสู่เนื้อของกำแพง

2.2.1 ความร้อนจากดวงอาทิตย์หรือความร้อนจากรังสีคลื่นสั้น ซึ่งแบ่งออกเป็น ความร้อนจากรังสีตรงและความร้อนจากการกระเจิง

$$q_{\text{sol}} = \alpha I_t \quad (2.2)$$

โดย

$$I_t = I_d + I_o \quad (2.3)$$

เมื่อ α คือ ค่าความสามารถในการดูดซับรังสีคลื่นสั้น (absorptivity)

I_t คือ ค่าฟลักซ์รังสีจากดวงอาทิตย์แบบรวม (total solar irradiation, W/m^2)

I_d คือ ค่าฟลักซ์รังสีตรงจากดวงอาทิตย์บนระนาบ (direct irradiation, W/m^2)

I_o คือ ค่าฟลักซ์รังสีกระจายจากดวงอาทิตย์ (diffuse irradiation, W/m^2)

2.2.1.1 ความร้อนจากรังสีตรง ในการหาพลังงานจากรังสีที่ตกกระทบพื้นผิวที่มีทิศทางต่างๆกันนั้นต้องแปลงค่าความเข้มของพลังงานความร้อนในทิศทางของแสงแดดให้อยู่ในทิศทางที่ตั้งฉากกับพื้นผิว ดังนี้ (ASHRAE Fundamental, 1993)

$$I_d = I_{dn} \cos\theta \quad (2.4)$$

เมื่อ I_{dn} คือ ค่าฟลักซ์รังสีตรงดวงอาทิตย์ (direct normal irradiation, W/m^2)

$\cos\theta$ คือ ค่าโคไซน์ของมุมตกกระทบของรังสีดวงอาทิตย์ที่ทำกับกรอบของโชน

$$\begin{aligned} \cos\theta &= \sin\delta \sin L \cos\Sigma - \sin\delta \cos L \sin\Sigma \cos\psi + \cos\delta \cos L \cos\Sigma \cos\omega \\ &+ \cos\delta \sin L \sin\Sigma \cos\psi \cos\omega + \cos\delta \sin\Sigma \sin\psi \sin\omega \end{aligned} \quad (2.5)$$

พลังงานแสงอาทิตย์แบบตรง (beam radiation, direct solar radiation) เป็นพลังงานที่รับจากดวงอาทิตย์ซึ่งแผ่มาโดยตรงไม่ได้เกิดการกระเจิงของแสงในบรรยากาศ

พลังงานแสงอาทิตย์แบบกระจาย (diffuse radiation) เป็นพลังงานที่รับจากดวงอาทิตย์หลังจากที่ทิศทางของแสงถูกเปลี่ยนแปลงจากการกระเจิงในบรรยากาศ

พลังงานแสงอาทิตย์แบบรวม (total or global solar radiation) เป็นพลังงานที่รับจากดวงอาทิตย์ทั้งหมด คือ รวมพลังงานแสงอาทิตย์แบบตรงและแบบกระจาย

เวลาสุริยะ (solar time) คือ เวลาที่เปรียบเทียบกับการเคลื่อนที่เชิงมุมของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้า เวลาสุริยะเป็นเวลาที่ถูกกำหนดโดยความสัมพันธ์ของมุมดวงอาทิตย์ ซึ่งอาจจะไม่ตรงกับเวลาท้องถิ่น (local time) ที่อ่านได้จากนาฬิกา ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเปลี่ยนเวลาท้องถิ่นให้เป็นเวลาสุริยะก่อนในการคำนวณหาพลังงานจากแสงอาทิตย์ เวลาสุริยะจะต่างกับเวลาท้องถิ่นมากน้อยขึ้นกับตำแหน่งที่ตั้งของสถานที่และวันที่จะคำนวณหาพลังงานจากแสงอาทิตย์ ความสัมพันธ์ของเวลาทั้งสองแสดงได้ด้วยสมการต่อไปนี้

$$\text{เวลาสุริยะ (solar time)} = \text{เวลาท้องถิ่น (local time)} + 4(\text{LSM} - \text{LON}) + E \quad (2.6)$$

เมื่อ E คือ สมการเวลา (equation of time) ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 2.1 ซึ่งเป็นเทอมแก้ไข LSM คือ เส้นแวงมาตรฐานที่ท้องถิ่นอ้างอิง (local standard meridian) LON คือ เส้นแวงที่สถานที่นั้นตั้งอยู่

ความสัมพันธ์ทางเรขาคณิตระหว่างระนาบที่ทิศทางเฉพาะใดๆเมื่อเทียบกับโลกที่เวลาใดๆกับพลังงานแสงอาทิตย์แบบตรงที่ได้รับ คือ ตำแหน่งของดวงอาทิตย์เมื่อเทียบกับระนาบ ซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วยมุมต่างๆและความสัมพันธ์ของมุมมีดังนี้

L เส้นรุ้ง (latitude) คือ ตำแหน่งเชิงมุมทางเหนือหรือใต้ของเส้นศูนย์สูตร โดยทางเหนือมีค่าเป็นบวก ทางใต้ของเส้นศูนย์สูตรมีค่าเป็นลบ มีค่าระหว่าง $-90^\circ \leq L \leq 90^\circ$

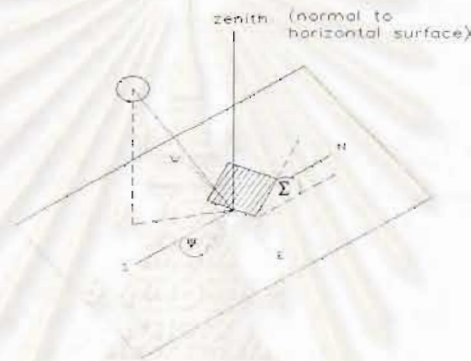
δ เดคลิเนชัน (declination) คือ มุมที่เกิดระหว่างแนวต่อศูนย์กลางโลกกับดวงอาทิตย์ทำกับระนาบศูนย์สูตร เมื่อเวลาเที่ยงสุริยะ (solar noon) โดยทางทิศเหนือของระนาบศูนย์สูตรมีค่าบวก ทางใต้ของระนาบศูนย์สูตรมีค่าเป็นลบ มีค่าระหว่าง $-23.45^\circ \leq \delta \leq 23.45^\circ$

Σ มุมเอียงของระนาบ (tilt) เป็นมุมของระนาบที่ทำกับแนวระดับมีค่าระหว่าง $0^\circ \leq \Sigma \leq 180^\circ$ (เกิน 90 องศาแสดงว่าระนาบหันหน้าลง)

ψ มุมเอซิมูทของระนาบ (surface azimuth angle) คือมุมที่เกิดจากการเบี่ยงเบนของแนวฉาย (projection) บนระนาบระดับของเส้นตั้งฉากกับผิวระนาบจากแนวเมริเดียน (local meridian) มุมนี้มีค่าเป็นศูนย์ถ้าแนวของรูปฉายชี้ไปทางใต้ มีค่าเป็นบวกเมื่อชี้ไปทางทิศตะวันตก มีค่าลบเมื่อชี้ไปทางทิศตะวันออก มีค่าระหว่าง $-180^\circ \leq \psi \leq 180^\circ$

ω มุมชั่วโมง (hour angle) คือ มุมที่เกิดจากแนวฉายของเส้นที่ลากจากศูนย์กลางโลกไปยังตำแหน่งใด ๆ บนผิวโลกทำกับแนวต่อระหว่างศูนย์กลางโลกและดวงอาทิตย์ที่เวลาเที่ยงของเวลาสุริยะ ที่เวลาสุริยะตอนเที่ยงมุมนี้จะเป็น 0° และจะเพิ่มขึ้น 15° ต่อชั่วโมง โดยก่อนเที่ยงมีค่าลบ หลังเที่ยงเป็นค่าบวก

θ มุมตกกระทบของแสงอาทิตย์ (angle of incidence) คือ มุมที่เกิดจากแนวของแสงอาทิตย์ทำกับแนวของเส้นตั้งฉากของระนาบ



รูปที่ 2.2 มุมต่างๆที่เกี่ยวข้องกับดวงอาทิตย์และพื้นผิว

2.2.1.2 ความร้อนจากรังสีที่เกิดการกระเจิง แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนแรกเกิดการกระเจิงกับไอน้ำในอากาศ และส่วนที่สองเกิดการกระเจิงหลังจากสะท้อนกับพื้น ซึ่งจากการสมมุติว่าสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้องมีเพียงท้องฟ้าและพื้นเท่านั้น (ASHRAE Fundamental, 1993)

$$I_g = I_{gs} + I_{gd} \quad (2.7)$$

โดย I_g คือ พลังงานจากรังสีดวงอาทิตย์ที่เกิดจากการกระเจิง (W/m^2)
 I_{gs} คือ ส่วนที่เกิดการกระเจิงกับไอน้ำในอากาศ (W/m^2)
 I_{gd} คือ ส่วนที่เกิดการกระเจิงหลังจากสะท้อนกับพื้น (W/m^2)

I_{ds} สำหรับพื้นผิวที่ตั้งฉากกับระนาบระดับ

$$I_{ds} = C_c Y I_{DN} \quad (2.8)$$

I_{ds} สำหรับพื้นผิวที่ไม่ตั้งฉากกับระนาบระดับ

$$I_{ds} = C_c I_{DN} (1 + \cos \Sigma) / 2 \quad (2.9)$$

$$I_{ds} = I_{DN} (C_c + \sin \beta) \rho_g (1 - \cos \Sigma) / 2 \quad (2.10)$$

โดย β คือ มุมระหว่างลำแสงแดดกับเส้นตั้งฉากของแนวระดับ (solar altitude)

ρ_g คือ ค่าสภาพการสะท้อนแสงของพื้น

C_c คือ ค่าคงที่ ตามตารางที่ 2.1

Y คือ อัตราส่วนระหว่างการกระจิงของฟ้าที่ทำกับพื้นตั้งฉากต่อพื้นเอนแนวระดับ

$$Y = 0.55 + 0.437 \cos \theta + 0.313 \cos^2 \theta \quad ; \cos \theta > -0.2$$

$$Y = 0 \quad ; \cos \theta \leq -0.2 \quad (2.11)$$

ตารางที่ 2.1 Extraterrestrial Solar Radiation Intensity and Related Data

Equation of time, min.	Declination, degree	A W/m ²	B (Dimensionless ratio)	C_c	
Jan	-11.2	-20.0	1230	0.142	0.058
Feb	-13.9	-10.8	1215	0.144	0.060
Mar	-7.5	0.0	1186	0.156	0.071
Apr	1.1	11.6	1136	0.180	0.097
May	3.3	20.0	1104	0.196	0.121
Jun	-1.4	23.45	1088	0.205	0.134
Jul	-6.2	20.6	1085	0.207	0.136
Aug	-2.4	12.3	1107	0.201	0.122
Sep	7.5	0.0	1151	0.177	0.092
Oct	15.4	-10.5	1192	0.160	0.073
Nov	13.8	-19.8	1221	0.149	0.063
Dec	1.6	-23.45	1233	0.142	0.057

ที่มา ASHRAE Fundamental, 1993

นอกจากนี้หากพื้นผิวของห้องเป็นกระจกหรือไม้ที่บดแสงยอมให้แสงผ่านได้ จะทำให้พลังงานเนื่องจากแสงแดดบางส่วนถูกดูดซับโดยกระจกและบางส่วนสามารถผ่านเข้าไปในห้องกลายเป็นพลังงานที่ใช้คำนวณในส่วนที่เป็นการถ่ายเทความร้อนระหว่างผิวด้านในของห้องกับอากาศภายในซึ่งหาจาก

$$\text{Solar heat gain transmitted component} = I_D \sum_{j=0}^5 t_j \cos^j \theta + 2I_G \sum_{j=0}^5 t_j / (j+2) \quad (2.12)$$

$$\text{Solar heat gain absorbed component} = I_D \sum_{j=0}^5 a_j \cos^j \theta + 2I_G \sum_{j=0}^5 a_j / (j+2) \quad (2.13)$$

ตารางที่ 2.2 Coefficients for DSA Glass for Calculation of Transmittance and Absorptance

i	a_j	t_j
0	0.01154	-0.00885
1	0.77674	2.71235
2	-3.94657	-0.62062
3	8.57881	-7.07329
4	-8.38135	9.75995
5	3.01188	-3.89922

ที่มา ASHRAE Fundamental, 1993

2.2.2 ความร้อนที่เกิดจากรังสีคลื่นยาว เป็นความร้อนจากการแผ่รังสีจากสิ่งแวดล้อมส่วนที่นอกเหนือจากแสงแดด แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ จากท้องฟ้าและจากพื้น และได้การหาค่าดังกล่าวสมมุติว่าพื้นผิวมีขนาดเล็กมากเมื่อเทียบกับท้องฟ้าหรือพื้น การถ่ายเทความร้อนแบบแผ่รังสีจะอยู่ในรูปไม่เชิงเส้น แต่ในที่นี้มีการแปลงสมการต่างๆให้อยู่ในรูปเชิงเส้นดังนั้นจะใช้วิธี MRT ในการจำลองสมการให้อยู่ในรูปแบบดังนี้ (McClellan, 1997)

$$q_{\text{sky}} = h_{\text{rsky}}(T_{\text{sky}} - T_o) \quad (2.14)$$

เมื่อ q_{sky} คือ ความร้อนที่ผิวรับจากการแลกเปลี่ยนรังสีคลื่นยาวระหว่างผิวด้านในของห้องกับท้องฟ้า (W/m^2)

h_{rsky} คือ สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนของท้องฟ้า (W/m^2K)

T_{sky} คือ อุณหภูมิของท้องฟ้า (K)

T_o คือ อุณหภูมิของผิวนอกของกรอบของโชน (K)

$$\text{และ } q_j = h_{tg}(T_{ground}-T_o) \quad (2.15)$$

เมื่อ q_o คือ ความร้อนที่ผิวรับจากการแลกเปลี่ยนรังสีคลื่นยาวระหว่างผิวกับพื้น (W/m^2)

h_{tg} คือ สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนของพื้นดิน (W/m^2K)

T_{ground} คือ อุณหภูมิของพื้นดินซึ่งสมมุติว่าประมาณเท่ากับอุณหภูมิของอากาศ (K)

2.2.3 ความร้อนส่วนที่เกิดจากการพาความร้อนระหว่างอากาศกับพื้นผิว

$$q_{conv} = h_o (T_{oa}-T_o) \quad (2.16)$$

เมื่อ h_o คือ ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนโดยการพา ($W/m^2.K$)

T_o คือ อุณหภูมิผิวด้านนอกของพื้นผิว (K)

ค่า h_o ให้แบบจำลองที่ใช้ใน BLAST Detailed Convection Model ซึ่งประกอบด้วยส่วนที่เป็น force convection และ natural convection ดังนี้ (McClellan,1997)

$$h_o = h_f + h_n \quad (2.17)$$

$$\text{โดย } h_f = 2.537 W_f R_s \sqrt{\frac{PV_{sfc}}{A}} \quad (2.18)$$

เมื่อ h_f คือ force convection coefficient (W/m^2K)

W_f คือ ค่าแก้ไขเนื่องจากทิศทางลม (wind direction modifier)

R_s คือ ค่าแก้ไขเนื่องจากความหยาบผิว (surface roughness multiplier)

P คือ ความยาวรอบรูปทรงพื้นผิว (m)

V_{sfc} คือ ความเร็วลม (m/s)

A คือ พื้นผิว (m^2)

(ค่า $R_s = 1.52$ สำหรับคอนกรีต และ 1.00 สำหรับกระจก (McClellan,1997))

$$\text{และ } h_n = 9.482 \frac{\sqrt{|T_{surface} - T_{env}|}}{7.238 - |\cos\Sigma|} \quad (2.19)$$

หรือ

$$h_n = 1.810 \frac{\sqrt{|T_{\text{surface}} - T_{\text{env}}|}}{1.382 \cdot |\cos \Sigma|} \quad (2.20)$$

h_n คือ natural convection coefficient ($\text{W/m}^2\text{K}$)

T_{surface} คือ อุณหภูมิผิวของวัตถุ (K)

T_{env} คือ อุณหภูมิอากาศที่เกี่ยวข้อง (K)

สมการที่ (2.19) สำหรับความร้อนไหลขึ้น และสมการที่ (2.20) สำหรับความร้อนไหลลง

2.3 กระบวนการนำความร้อนผ่านกรอบของโชน

เนื่องจากการนำความร้อนผ่านกำแพงเชื่อมโยงกับสมดุลความร้อนที่ผิวภายนอกและภายใน ฉะนั้นการนำความร้อนผ่านกำแพงจึงนับว่าสำคัญ ในวิธีการสมดุลความร้อน ให้อธิบาย conduction transfer function (CTF) ในการคำนวณ ซึ่งฟังก์ชันความร้อนโดยการนำจะขึ้นกับอุณหภูมิ ณ เวลาปัจจุบันและอดีตที่ผ่านมา รวมถึงฟังก์ชันความร้อนในอดีตด้วย รูปแบบทั่วไปของฟังก์ชันความร้อนมีดังนี้

$$q''_{in} = -X_0 T_{in} + Y_0 T_{o,1} - \sum_{j=1}^{nz} X_j T_{i,t-j\delta} + \sum_{j=1}^{nz} Y_j T_{o,t-j\delta} + \sum_{j=1}^{nq} F_j q''_{k,i,t-j\delta} \quad (2.21)$$

สมการ(2.21)สำหรับฟังก์ชันความร้อนที่ผิวด้านในโชน

$$q''_{ko} = -Y_0 T_{in} + Z_0 T_{o,1} - \sum_{j=1}^{nz} Y_j T_{i,t-j\delta} + \sum_{j=1}^{nz} Z_j T_{o,t-j\delta} + \sum_{j=1}^{nq} F_j q''_{k,o,t-j\delta} \quad (2.22)$$

สมการ (2.22) สำหรับฟังก์ชันความร้อนที่ผิวด้านนอกโชน

เมื่อ X_j = inside CTF โดย $j = 0, 1, \dots, nz$

Y_j = cross CTF โดย $j = 0, 1, \dots, nz$

Z_j = outside CTF โดย $j = 0, 1, \dots, nz$

F_j = flux CTF โดย $j = 0, 1, \dots, nq$

T_i = อุณหภูมิผิวของพื้นผิวด้านในโชน (K)

T_o = อุณหภูมิผิวของพื้นผิวด้านนอกโชน (K)

q''_{ko} = ฟังก์ชันจากการนำที่ผิวของพื้นผิวด้านนอกโชน (W/m^2)

q''_{in} = ฟังก์ชันจากการนำที่ผิวของพื้นผิวด้านในโชน (W/m^2)

ตัวห้อย j แทนคาบของเวลาของแต่ละชั้นเวลา δt ในเทอมแรกของแต่ละชุดสมการแยกออกมาเพื่อความสะดวกเพราะต้องการหาค่าของอุณหภูมิผิว ค่าลิมิตของการบวกแต่ละชุด คือ nz และ nq ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุ

2.4 สมดุลความร้อนที่ผิวของกรอบของโชนด้านใน

พิจารณาที่ผิวด้านที่อยู่ภายในโชน ที่ผิวนี้จะได้รับความร้อนและการแลกเปลี่ยนความร้อนกับแหล่งต่างๆ คือ แหล่งความร้อนจากแสงไฟ อุปกรณ์ไฟฟ้า คน และการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างผิวของโชน สมการสมดุลความร้อนส่วนนี้มีรูปแบบดังสมการต่อไปนี้

$$q''_{LWX} + q''_{SW} + q''_{LWS} + q''_{KI} + q''_{SOL} + q''_{CONVI} = 0. \quad (2.23)$$

เมื่อ q''_{LWX} = ฟลักซ์ความร้อนสุทธิจากการแลกเปลี่ยนรังสีคลื่นยาวระหว่างผิวของโชน (W/m^2)

q''_{SW} = ฟลักซ์ความร้อนสุทธิจากรังสีคลื่นสั้นจากแสงไฟ (W/m^2)

q''_{LWS} = ฟลักซ์ความร้อนรังสีคลื่นยาวจากอุปกรณ์ภายใน (W/m^2)

q''_{KI} = ฟลักซ์ความร้อนจากการนำความร้อนผ่านกำแพง (W/m^2)

q''_{SOL} = ฟลักซ์ความร้อนจากแสงแดดที่เข้ามาที่ผิวดูดซับ (W/m^2)

q''_{CONVI} = ฟลักซ์ความร้อนจากการพาระหว่างอากาศภายในกับผิวของพื้นผิว (W/m^2)

2.4.1 การถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสีระหว่างพื้นผิวกับพื้นผิว ใช้แบบจำลอง MRT ในการคำนวณหาซึ่งเป็นสมการเชิงเส้น โดยมีหลักการดังนี้ พิจารณาพื้นผิวของห้องเป็น 2 ส่วน คือ พื้นผิวหนึ่งเป็นส่วนที่เป็นปริมาตรควบคุม และอีกส่วนคือพื้นผิวที่เหลือทั้งหมดซึ่งคิดเสมือนพื้นผิวสมมติ การแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างกันก็จะเป็นการแลกเปลี่ยนความร้อนของพื้นผิวเพียง 2 พื้นผิวเท่านั้น (Walton, 1980)

$$q_{LWX} = h_r (T_{MRT} - T_s) \quad (2.24)$$

เมื่อ h_r คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสีระหว่างพื้นผิวด้วยกัน (W/m^2K)

T_{MRT} คือ อุณหภูมิของพื้นผิวสมมุติด้านในของห้อง (K)

T_s คือ อุณหภูมิของผิวด้านในของห้องที่กำลังพิจารณา (K)

ซึ่งค่า h_r และ T_{MRT} หาได้จากความสัมพันธ์ดังนี้

$$T_{MRTi} = \frac{\sum_{j=1}^n (A_j \varepsilon_j T_j)}{\sum_{j \neq i} (A_j \varepsilon_j)} \quad (2.25)$$

$$h_r = 4\sigma F_{MRTi} T_{avg}^3 \quad (2.26)$$

$$T_{avg} = (T_i + T_{MRTi})/2 \quad (2.27)$$

$$F_{MRTi} = 1 / [(1-\varepsilon_i)/\varepsilon_i + 1 + A_j (1-\varepsilon_{MRTi}) / (A_{MRTi} \varepsilon_{MRTi})] \quad (2.28)$$

$$A_{MRTi} = \sum_{j \neq i} A_j \quad (2.29)$$

$$\varepsilon_{MRTi} = \frac{\sum_{j \neq i} (A_j \varepsilon_j)}{A_{MRTi}} \quad (2.30)$$

- เมื่อ σ คือ ค่าคงที่สเตฟานโบลซ์มาน (Stefan-Boltzman constnat = $5.67 \cdot 10^{-8}$)
 ε_{MRTi} คือ ค่าเฉลี่ยการแผ่รังสีของพื้นผิวสมมุติโดยการถ่วงน้ำหนักด้วยพื้นที่
 A_{MRTi} คือ พื้นที่ของพื้นผิวสมมุติโดยการถ่วงน้ำหนักด้วยพื้นที่ (m^2)
 F_{MRTi} คือ ค่าวิวแฟคเตอร์ระหว่างพื้นผิวที่กำลังพิจารณา กับพื้นผิวสมมุติ

เนื่องจากสูตรการหาค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย (mean radiant temperature) ข้างต้นเป็นเหตุให้เกิดความไม่สมดุลในค่าพลังงานรวมการแผ่รังสีสาเหตุจากค่าวิวแฟคเตอร์และอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย (mean radiant temperature) ไม่ใช่ค่าแม่นยำ ความไม่สมดุลดังกล่าวสามารถจัดการได้โดยการคำนวณค่าความไม่สมดุลทั้งหมดและเฉลี่ยกันไปที่ทุกพื้นผิวเพื่อรองรับการอนุรักษ์พลังงาน ค่าดังกล่าวสามารถหาได้จาก (Richard, 1997)

$$R_{bal} = \frac{\sum_{i=1}^n \sigma A_i F_{MRTi} (T_{MRTi}^4 - T_i^4)}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (2.31)$$

ดังนั้นค่าพัลซ์การแผ่รังสีกลายเป็น

$$q_{LWx} = h_r (T_{MRTi} - T_i) - R_{bal} \quad (2.32)$$

2.4.2 การถ่ายเทความร้อนระหว่างพื้นผิวกับอากาศในห้องโดยการพา

$$q_{\text{conv}} = h_c (T_s - T_a) \quad (2.33)$$

โดย h_c คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนระหว่างพื้นผิวด้านในห้องกับอากาศ ($\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$)

T_s คือ อุณหภูมิอากาศในห้อง (K)

2.4.3 ความร้อนส่วนที่เกิดจากแสงแดดที่ส่องผ่านหน้าต่างเข้าห้อง มี 2 ประเภท คือ ความร้อนที่ส่วนที่เป็นรังสีตรงและความร้อนส่วนที่เป็นรังสีที่เกิดการกระเจิง จะพิจารณาโดยสมมุติให้ความร้อนส่วนที่เป็นรังสีตรงถูกดูดซับไว้โดยพื้นห้องทั้งหมด และความร้อนส่วนที่เป็นรังสีที่เกิดการกระเจิงกระจายอย่างสม่ำเสมอทุกพื้นผิวภายในห้องโดยเฉลี่ยตามพื้นที่ของพื้นผิว

2.5 สมดุลความร้อนที่พิจารณาอากาศภายในโซนเป็นปริมาตรควบคุม

ในวิธีการสมดุลความร้อนนั้นมีจุดมุ่งหมายในการพิจารณานาภาระการทำความเย็น สมดุลความร้อนส่วนนี้ประกอบด้วย 4 ส่วน คือ

$$q_{\text{conv}} + q_{\text{ce}} + q_{\text{rv}} + q_{\text{sys}} = 0 \quad (2.34)$$

เมื่อ q_{conv} = ความร้อนจากการพาจากพื้นผิว (W/m^2)

q_{ce} = ความร้อนส่วนที่เป็นการพาของอุปกรณ์ภายใน (W/m^2)

q_{rv} = ความร้อนส่วนที่เป็น sensible จากการระบายอากาศ (W/m^2)

q_{sys} = ความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่/ออกจาก ระบบปรับอากาศ (W/m^2)

จากข้างต้นได้กล่าวถึงหอมการถ่ายเทความร้อนโดยการนำ ซึ่งในงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการแปลงการถ่ายเทความร้อนประเภทนี้เป็นสมการเชิงเส้นเพื่อสะดวกในการคำนวณโดยวิธี conduction transfer functions coefficients (Hittle, 1979) ดังนี้

2.6 กระบวนการนำความร้อนในหนึ่งมิติสำหรับวัสดุหลายชั้น

พิจารณาลมการเชิงอนุพันธ์ย่อยของการถ่ายเทความร้อนโดยการนำในหนึ่งมิติสำหรับวัสดุเนื้อเดียว ดังแสดงในรูปที่ 2.3 ดังนี้

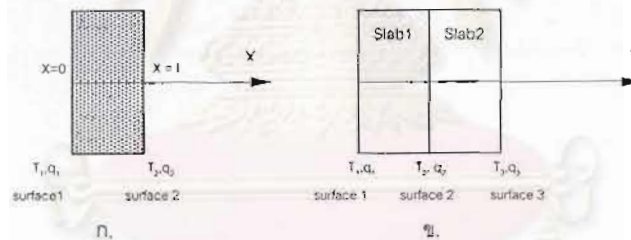
$$\frac{\partial^2 T(x,t)}{\partial x^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T(x,t)}{\partial t} \quad (2.35)$$

และปริมาณฟลักซ์ความร้อนที่ไหลผ่าน ณ ตำแหน่ง x และเวลา t โดยที่สมการดังนี้

$$q(x,t) = -k \frac{\partial T(x,t)}{\partial x} \quad (2.36)$$

โดย
$$\alpha = \frac{k}{\rho C_p} \quad (2.37)$$

- เมื่อ T คือ อุณหภูมิที่ตำแหน่ง x และเวลา t โดย (K)
 q คือ ปริมาณฟลักซ์ความร้อนที่ตำแหน่ง x และเวลา t โดย (W)
 α คือ สัมประสิทธิ์การแพร่ทางความร้อน (thermal diffusivity)
 k คือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (thermal conductivity, W/m.K)
 ρ คือ ความหนาแน่น (kg/m³)
 C_p คือ ค่าความร้อนจำเพาะ (J/kg.K)



รูปที่ 2.3 แสดงการนำความร้อนในหนึ่งมิติสำหรับ

ก. วัสดุเนื้อเดียว, ข. วัสดุ 2 ชนิด

สามารถแปลงสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยของการนำความร้อนข้างต้นให้สอดคล้องกับรูปที่ 2.3 โดยการแปลงสลาปลาซได้ (Hamee, 1979) ดังนี้

$$\begin{bmatrix} T_1(s) \\ q_1(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A(s) & B(s) \\ C(s) & D(s) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_2(s) \\ q_2(s) \end{bmatrix} \quad (2.38)$$

โดย $A(s) = \cosh(l/\sqrt{s/\alpha})$
 $B(s) = (\sinh(l/\sqrt{s/\alpha})) / (k\sqrt{s/\alpha})$
 $C(s) = k\sqrt{s/\alpha} \sinh(l/\sqrt{s/\alpha})$
 $D(s) = \cosh(l/\sqrt{s/\alpha})$

เพราะฉะนั้นในทำนองเดียวกันสำหรับการนำความร้อนในหนึ่งมิติสำหรับวัสดุ 2 ชั้นตามรูปที่ 2.3 สามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ดังนี้ สำหรับวัสดุชั้นที่ 1

$$\begin{bmatrix} T_1(s) \\ q_2(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_1(s) & B_1(s) \\ C_1(s) & D_1(s) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_2(s) \\ q_2(s) \end{bmatrix} \quad (2.39)$$

สำหรับวัสดุชั้นที่ 2

$$\begin{bmatrix} T_2(s) \\ q_2(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_2(s) & B_2(s) \\ C_2(s) & D_2(s) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_3(s) \\ q_3(s) \end{bmatrix} \quad (2.40)$$

จากสมการที่ (2.39) และ (2.40) เขียนความสัมพันธ์การนำความร้อนในหนึ่งมิติสำหรับวัสดุ 2 ชั้นได้เป็น

$$\begin{bmatrix} T_1(s) \\ q_1(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_1(s) & B_1(s) \\ C_1(s) & D_1(s) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_2(s) & B_2(s) \\ C_2(s) & D_2(s) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_3(s) \\ q_3(s) \end{bmatrix} \quad (2.41)$$

และในทำนองเดียวกันนี้สามารถพัฒนาเป็นความสัมพันธ์ของการนำความร้อนในหนึ่งมิติสำหรับวัสดุหลายชั้นได้เป็น

$$\begin{bmatrix} T_1(s) \\ q_1(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_1(s) & B_1(s) \\ C_1(s) & D_1(s) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_2(s) & B_2(s) \\ C_2(s) & D_2(s) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_3(s) & B_3(s) \\ C_3(s) & D_3(s) \end{bmatrix} \dots$$

$$\dots \begin{bmatrix} A_n(s) & B_n(s) \\ C_n(s) & D_n(s) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_{n+1}(s) \\ q_{n+1}(s) \end{bmatrix} \quad (2.42)$$

หรือ

$$\begin{bmatrix} T_1(s) \\ q_2(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A(s) & B(s) \\ C(s) & D(s) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_{n+1}(s) \\ q_{n+1}(s) \end{bmatrix} \quad (2.43)$$

โดยเมตริกซ์สัมประสิทธิ์ $A(s)$, $B(s)$, $C(s)$, $D(s)$ เรียกว่า Transmission matrix มีรายละเอียดดังนี้

$$\begin{bmatrix} A_1(s) & B_1(s) \\ C_1(s) & D_1(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cosh(l_1 \sqrt{s/\alpha_1}), & (\sinh(l_1 \sqrt{s/\alpha_1})) / (k_1 l_1 \sqrt{s/\alpha_1}) \\ k_1 \sqrt{s/\alpha_1} \sinh(l_1 \sqrt{s/\alpha_1}), & \cosh(l_1 \sqrt{s/\alpha_1}) \end{bmatrix} \quad (2.44)$$

หรือ

$$\begin{bmatrix} A_1(s) & B_1(s) \\ C_1(s) & D_1(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cosh(sR_1 C_1), & \frac{R_1}{\sqrt{sR_1 C_1}} \sinh \sqrt{sR_1 C_1} \\ \frac{\sqrt{sR_1 C_1}}{R_1} \sinh \sqrt{sR_1 C_1}, & \cosh(sR_1 C_1) \end{bmatrix} \quad (2.45)$$

โดย

$$R_1 = l_1/k_1 \text{ สำหรับวัสดุชั้นแรก และ } R_n = l_n/k_n \text{ สำหรับวัสดุชั้นที่ } n \quad (2.46)$$

$$C_1 = l_1 \rho_1 C_{p1} \text{ สำหรับวัสดุชั้นแรก และ } C_n = l_n \rho_n C_{pn} \text{ สำหรับวัสดุชั้นที่ } n \quad (2.47)$$

เมื่อ R_1 คือ ค่าความต้านทานความร้อน (thermal capacitance, $m^2.K/W$)

C_1 คือ ค่าความจุความร้อน (thermal capacitance, $J/m^2.K$)

หลังจากได้ความสัมพันธ์ของการนำความร้อนในหนึ่งมิติแล้วทำการแปลงลาปลาซย้อนกลับ และจัดรูปสมการใหม่ได้เป็น Conduction Transfer Function (Hittle, 1979) ดังนี้

$$q_{i,t} = \sum_{m=1}^M X_{k,m} T_{i,t-m+1} - \sum_{m=1}^M Y_{k,m} T_{o,t-m+1} + \sum_{m=1}^k F_{i,t-m} q_{i,t-m} \quad (2.48)$$

$$q_{o,t} = \sum_{m=1}^M Y_{k,m} T_{i,t-m+1} - \sum_{m=1}^M Z_{k,m} T_{o,t-m+1} + \sum_{m=1}^k F_{o,t-m} q_{o,t-m} \quad (2.49)$$

เมื่อ X คือ internal response factor

Y คือ cross response factor

Z คือ external response factor

F คือ ค่าสัมประสิทธิ์ flux history

โดยที่ M เป็นจำนวนเทอมทั้งหมดที่เข้าสู่สมการ k แทนลำดับของ conduction transfer function และรูปแบบสมการในการหาค่า conduction transfer function ในอินเตอร์ 0 ดังนี้

ค่าชุด X response factor

$$X_1 = \left[\frac{D(s)}{B(s)} + \frac{D'(s)}{\delta B(s)} + \frac{D(s)B'(s)}{\delta(B(s))^2} \right] \Bigg|_{s=0} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{e^{-\delta\beta_n} D(s)}{\delta\beta_n B'(s)} \Bigg|_{s=-\beta_n} \quad (2.50)$$

$$X_2 = - \left[\frac{D'(s)}{\delta B(s)} - \frac{D(s)B'(s)}{\delta(B(s))^2} \right] \Bigg|_{s=0} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{e^{-\delta\beta_n} (1-2e^{-\delta\beta_n}) D(s)}{\delta\beta_n B'(s)} \Bigg|_{s=-\beta_n} \quad (2.51)$$

$$X_m = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(1-2e^{-\delta\beta_n})^2 D(s)}{\delta\beta_n B'(s)} \Bigg|_{s=-\beta_n} \quad (2.52)$$

ค่าชุด Y response factor

$$Y_1 = \left[\frac{1}{B(s)} + \frac{1}{\delta B(s)} + \frac{B'(s)}{\delta(B(s))^2} \right] \Bigg|_{s=0} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{e^{-\delta\beta_n}}{\delta\beta_n B'(s)} \Bigg|_{s=-\beta_n} \quad (2.53)$$

$$Y_2 = - \left[\frac{1}{\delta B(s)} - \frac{B'(s)}{\delta(B(s))^2} \right] \Bigg|_{s=0} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{e^{-\delta\beta_n} (1-2e^{-\delta\beta_n})}{\delta\beta_n B'(s)} \Bigg|_{s=-\beta_n} \quad (20)$$

$$Y_m = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(1-2e^{-\delta\beta_n})^2}{\delta\beta_n B'(s)} \Bigg|_{s=-\beta_n} \quad (2.55)$$

ค่าชุด Z response factor

$$Z_1 = \left[\frac{A(s)}{B(s)} + \frac{A'(s)}{\delta B(s)} + \frac{A(s)B'(s)}{\delta(B(s))^2} \right] \Bigg|_{s=0} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{e^{-\delta\beta_n} A(s)}{\delta\beta_n B'(s)} \Bigg|_{s=-\beta_n} \quad (2.56)$$

$$Z_2 = - \left[\frac{A'(s)}{\delta B(s)} - \frac{A(s)B'(s)}{\delta(B(s))^2} \right] \Big|_{s=0} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{e^{\delta\beta_n} (1-2e^{-\delta\beta_n}) A(s)}{\delta\beta_n B'(s)} \Big|_{s=-\beta_n} \quad (2.57)$$

$$Z_m = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(1-2e^{-\delta\beta_n})^2 A(s)}{\delta\beta_n B'(s)} \Big|_{s=-\beta_n} \quad (2.58)$$

โดย $A'(s) = \frac{d(A(s))}{ds}$, $B'(s) = \frac{d(B(s))}{ds}$, และ $D'(s) = \frac{d(D(s))}{ds}$ และให้ $\lambda_n = e^{-\delta\beta_n}$.

ซึ่ง $-\beta_n$ เป็นรากของสมการ $B(s) = 0$

ในการหาค่าอนุพันธ์ของ $A'(s)$, $B'(s)$, และ $D'(s)$ หาได้โดยใช้กฎลูกโซ่ดังนี้

$$\begin{aligned} \frac{d}{ds} \begin{bmatrix} A(s) & B(s) \\ C(s) & D(s) \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} \frac{dA(s)}{ds} & \frac{dB(s)}{ds} \\ \frac{dC(s)}{ds} & \frac{dD(s)}{ds} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A'(s) & B'(s) \\ C'(s) & D'(s) \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} A'_1(s) & B'_1(s) \\ C'_1(s) & D'_1(s) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_2(s) & B_2(s) \\ C_2(s) & D_2(s) \end{bmatrix} \cdots \begin{bmatrix} A_n(s) & B_n(s) \\ C_n(s) & D_n(s) \end{bmatrix} \\ &+ \begin{bmatrix} A_1(s) & B_1(s) \\ C_1(s) & D_1(s) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A'_2(s) & B'_2(s) \\ C'_2(s) & D'_2(s) \end{bmatrix} \cdots \begin{bmatrix} A_n(s) & B_n(s) \\ C_n(s) & D_n(s) \end{bmatrix} \\ &+ \cdots + \begin{bmatrix} A_1(s) & B_1(s) \\ C_1(s) & D_1(s) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_2(s) & B_2(s) \\ C_2(s) & D_2(s) \end{bmatrix} \cdots \begin{bmatrix} A'_n(s) & B'_n(s) \\ C'_n(s) & D'_n(s) \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (2.59)$$

และสำหรับขอเตอร์ k ได้มีรูปแบบดังนี้

$$X_{k,1} = X_{k,1,1} \quad (2.60)$$

$$X_{k,m} = X_{k,1,m} - \lambda_k X_{k-1,m-1} \quad \text{เมื่อ } m \geq 1 \quad (2.61)$$

$$Y_{k,1} = Y_{k,1,1} \quad (2.62)$$

$$Y_{k,m} = Y_{k,1,m} - \lambda_k Y_{k-1,m-1} \quad \text{เมื่อ } m \geq 1 \quad (2.63)$$

$$Z_{k,1} = Z_{k,1,1} \quad (2.64)$$

$$Z_{k,m} = Z_{k,1,m} - \lambda_k Z_{k-1,m-1} \quad \text{เมื่อ } m \geq 1 \quad (2.65)$$

$$F_k = (-1)^{k+1} \prod_{n=1}^k (\lambda_n) \quad (2.66)$$

บทที่ 3

วิธีการคำนวณของโปรแกรม

การคำนวณของโปรแกรม มีขั้นตอนการคำนวณประกอบด้วย

- ก. กำหนดข้อมูลของโชน ประกอบด้วยที่ตั้ง ลักษณะของโชน และข้อมูลทางอากาศ
- ข. กำหนดพื้นที่ คุณสมบัติ และอุณหภูมิของผิวในแต่ละผิวใน 24 ชั่วโมง
- ค. คำนวณความร้อนจากแสงแดดที่พื้นผิวด้านนอกของกรอบของโชนดูดซับไว้ทุกพื้นผิวทุกชั่วโมง
- ง. คำนวณหาความร้อนจากแสงแดดที่ส่องผ่านเข้ามาภายในโชนกรณีที่กรอบของโชนเป็นกระจก
- จ. คำนวณภาระความร้อนที่เกิดขึ้นภายในโชน
- ฉ. คำนวณภาระความร้อนจากการระบายอากาศ
- ช. ทำการแก้ระบบสมการเพื่อหาตัวแปรอุณหภูมิ เปรียบเทียบกับอุณหภูมิที่กำหนดขึ้นในข้อ ข.
- ซ. ทำซ้ำข้อ ช. เพื่อหาตัวแปรอุณหภูมิ เปรียบเทียบตัวแปรที่ได้กับค่าตัวแปรก่อนหน้า จนกระทั่งตัวแปรอุณหภูมิเข้าสู่สมดุล
- ณ. คำนวณหาภาระความร้อนจากส่วนต่างๆที่เข้าสู่โชน
- ร. แสดงผลลัพธ์

โปรแกรมที่ประดิษฐ์ขึ้นเพื่อใช้สำหรับ คำนวณหาปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านระบบหลังคาเข้าสู่โชนที่พิจารณา ประกอบด้วยโปรแกรมย่อยต่างๆเพื่อใช้ในการคำนวณดังนี้

โปรแกรมหลัก ใช้ในการคำนวณหาค่าตอบของระบบสมการกระบวนการสมดุลความร้อนที่เกิดขึ้น 4 ส่วน คือ สมดุลความร้อนที่ผิวด้านนอกของพื้นผิว กระบวนการนำความร้อนของกำแพง สมดุลความร้อนที่ผิวด้านใน และสมดุลความร้อนเมื่อคิดอากาศภายในเป็นปริมาตรควบคุม ซึ่งคำตอบหรือตัวแปรของระบบสมการดังกล่าว จะเป็นค่าอุณหภูมิของพื้นผิวของกรอบของอาคารทั้งด้านในและด้านนอก และอุณหภูมิอากาศในโชนกรณีที่ไม่ได้ปรับอุณหภูมิภายในโชน ในโปรแกรมหลักยังใช้คำนวณและประมวลการหาค่าพลังงานต่างที่อยู่ภายในโชนด้วย

โปรแกรมย่อย `comment()` ใช้ในการอ่านค่าอินพุตไฟล์ที่ใช้กำหนดค่าลักษณะต่างๆของโชนที่ต้องการคำนวณ โดยข้อมูลที่ผู้ใช้ต้องกรอกทางหน้าจอจะมีดังนี้

โปรแกรมย่อย `gauss` ใช้ในการแก้ระบบสมการที่มีในโปรแกรมหลักเพื่อหาค่าตัวแปรได้แก่ อุณหภูมิพื้นผิวต่างๆทั้งด้านในและด้านนอก รวมถึงอุณหภูมิอากาศในโชนกรณีที่ไม่ได้ปรับอุณหภูมิภายในโชน

โปรแกรมย่อย pivot เป็นโปรแกรมย่อยที่ใช้ร่วมกับโปรแกรมย่อย gauss เป็นโปรแกรมย่อยที่ใช้จัดการการเรียงลำดับเมตริกซ์สัมประสิทธิ์ของตัวแปรให้เหมาะสม

โปรแกรมย่อย solare เป็นโปรแกรมย่อยที่ใช้คำนวณหาฟลักซ์ความร้อนจากภายนอกอาคารซึ่งเป็นความร้อนที่มาจากดวงอาทิตย์ที่พื้นผิวด้านนอกของกรอบของอาคารรับไว้ มีการใช้ร่วมกับโปรแกรมย่อยอื่นคือ โปรแกรมย่อย solar โปรแกรมย่อย glass และโปรแกรมย่อย ersi

โปรแกรมย่อย solar เป็นโปรแกรมย่อยที่ใช้คำนวณหาความร้อนที่ดวงอาทิตย์แผ่เข้ามาและทิศทางแสงแดดกระทำกับพื้นผิวของกรอบของอาคาร

โปรแกรมย่อย glass เป็นโปรแกรมย่อยที่ใช้คำนวณหาปริมาณความร้อนที่แสงแดดส่องผ่านหน้าต่าง โดยแบ่งพลังงานนี้เป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่ตัวกระจกเก็บรับเอาไว้และส่วนของพลังงานที่แสงแดดส่องผ่านเข้าสู่โซนที่พิจารณาอยู่

โปรแกรมย่อย ersi เป็นโปรแกรมย่อยจะจัดข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณพลังงานเนื่องจากแสงแดด ซึ่งข้อมูลดังกล่าวเป็นข้อมูลที่แสดงในตารางที่ 2.1 Extraterrestrial Solar Radiation Intensity and Related data

โปรแกรมย่อย slab และ slab2 เป็นโปรแกรมย่อยที่ใช้ประมวลค่า response factor ของพื้นผิวของกรอบของอาคารทุกพื้นผิว ใช้ร่วมกับโปรแกรมย่อยอื่นๆ คือ โปรแกรมย่อย cif โปรแกรมย่อย abcd โปรแกรมย่อย pime โปรแกรมย่อย fr และโปรแกรมย่อย bisect

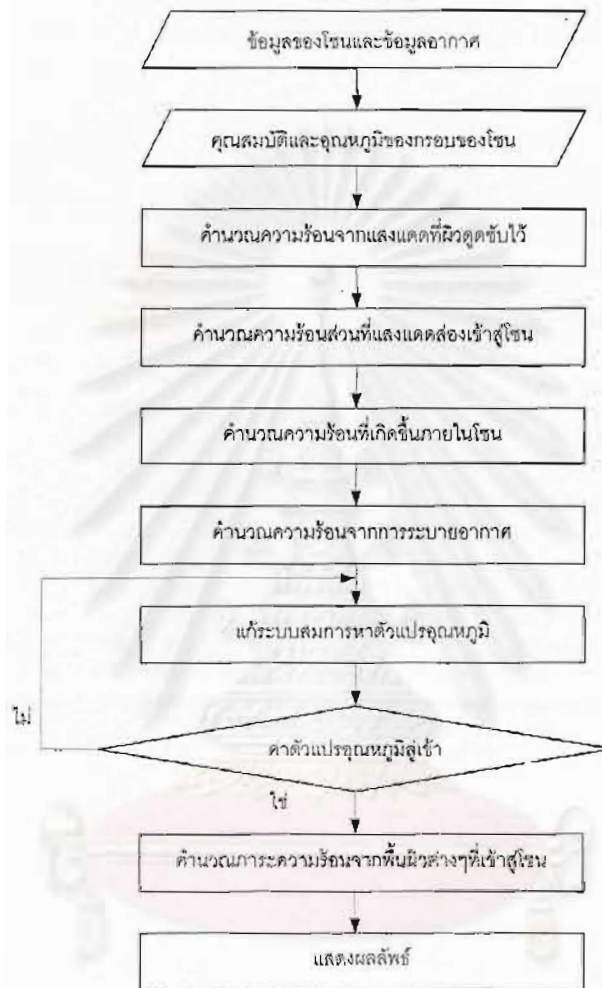
โปรแกรมย่อย cif เป็นย่อยที่ใช้คำนวณค่าคำนวณค่า response factor ของพื้นผิวของกรอบของอาคาร ซึ่งการคำนวณค่า response factor นั้นคำนวณตามวิธีการของ Hittle, 1979.

โปรแกรมย่อย abcd เป็นโปรแกรมย่อยที่ใช้คำนวณค่าเมตริกซ์สัมประสิทธิ์ Transmission matrix ค่า $A(s)$, $B(s)$, $C(s)$ และ $D(s)$ ตามสมการที่ (2.43) และ (2.44)

โปรแกรมย่อย pime เป็นโปรแกรมย่อยที่ใช้คำนวณค่าอนุพันธ์ของเมตริกซ์สัมประสิทธิ์ Transmission matrix $A'(s)$, $B'(s)$, และ $D'(s)$ ตามสมการที่ (2.59)

โปรแกรมย่อย fr เป็นโปรแกรมย่อยที่ใช้หาค่ารากหรือคำตอบของสมการ $B(S) = 0$. ซึ่งรากหรือคำตอบของสมการดังกล่าวจะนำไปใช้ในการคำนวณค่า response factor ในโปรแกรมย่อย cif ในภายหลัง

โปรแกรมย่อย bisect เป็นโปรแกรมย่อยที่ใช้หาค่ารากหรือคำตอบของสมการ $B(S) = 0$. เป็นโปรแกรมย่อยที่ให้ความคู่ไปกับโปรแกรม fr



รูปที่ 3.1 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการคำนวณของโปรแกรมที่ประดิษฐ์

การนำโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ถูกประดิษฐ์ขึ้นมาตรวจสอบความถูกต้อง โดยนำโปรแกรมคอมพิวเตอร์ดังกล่าวไปแก้ปัญหาคำนวณ แล้วนำผลลัพธ์ที่ได้ไปเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรม ASHRAE Load Principles ในปัญหาเดียวกัน ปัญหาที่ถูกนำมาตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในบทนี้ได้แก่ โชนตัวอย่าง 4 โชน โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

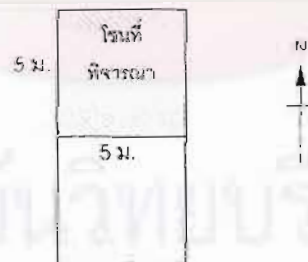
โชนตัวอย่างที่ 1

เป็นโชนตัวอย่างที่ตั้งในกรุงเทพฯ เป็นห้องขนาด ก. x ย. X ล. เท่ากับ 5ม. x 5ม. x 3ม. โดยมีผนังเป็นฉนวนก้ออิฐ 3 นิ้ว ฉาบปูนทั้ง 2 ด้านหนา 0.5 นิ้ว สำหรับพื้นและเพดานเป็นพื้นคอนกรีตหนา 4 นิ้ว เป็นห้องที่ปรับอุณหภูมิ 25 °C คงที่ และโชนที่ติดกับห้องหรือโชนที่พิจารณาเป็นโชนที่มีอุณหภูมิคงที่ 25 °C คงที่ คำนวณหาปริมาณภาระความร้อนรวมที่ถ่ายเทเข้าสู่โชนในวันที่ 21 มกราคม และมีรายละเอียดสำหรับพื้นผิวต่างๆ ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 รายละเอียดสำหรับพื้นผิวต่างๆของโชนตัวอย่างที่ 1

ทิศทาง	พื้นผิว	พื้นที่ (ม. ²)
เหนือ	ผนังด้านนอก	15.0
ใต้	Partition	15.0
ตะวันออก	ผนังด้านนอก	15.0
ตะวันตก	ผนังด้านนอก	15.0
ด้านบน	เพดาน	25.0
ด้านล่าง	พื้น	25.0

มีลักษณะของโชนดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ลักษณะของโชนตัวอย่างที่ 1

โซนตัวอย่างที่ 2

เป็นโซนตัวอย่างที่ตั้งในกรุงเทพฯ เป็นห้องขนาด ก. x ย. X ล. เท่ากับ 5ม. x 5ม. x 3ม. โดยผนังเป็นผนังก่ออิฐ 3นิ้ว ฉาบปูนทั้ง 2 ด้าน หนา 0.5 นิ้ว สำหรับพื้นและเพดานเป็นพื้นคอนกรีตหนา 4 นิ้ว เป็นห้องที่ปรับอุณหภูมิ 25 °C คงที่ และโซนที่ติดกับห้องหรือโซนที่พิจารณาเป็นโซนที่มีอุณหภูมิคงที่ 25 °C คงที่ คำนวณหาปริมาณภาระความร้อนรวมที่ถ่ายเทเข้าสู่โซนในวันที่ 21 เมษายน และมีรายละเอียดสำหรับพื้นผิวต่างๆ ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 รายละเอียดสำหรับพื้นผิวต่างๆของโซนตัวอย่างที่ 2

ทิศทาง	พื้นผิว	พื้นที่ (ม. ²)
เหนือ	ผนังด้านนอก	15.0
ใต้	ผนังด้านนอก	15.0
ตะวันออก	ผนังด้านนอก	15.0
ตะวันตก	Partition	15.0
ด้านบน	เพดาน	25.0
ด้านล่าง	พื้น	25.0

มีลักษณะของโซนดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ลักษณะของโซนตัวอย่างที่ 2

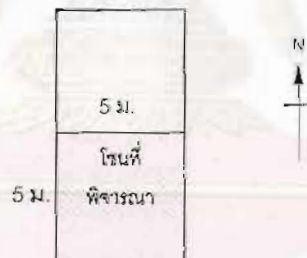
โซนตัวอย่างที่ 3

เป็นโซนตัวอย่างที่ตั้งในกรุงเทพฯ เป็นห้องขนาด ก. x ย. X ส. เท่ากับ 5ม. x 5ม. x 3ม. โดยผนังเป็นผนังก่ออิฐ 3 นิ้ว ฉาบปูนทั้ง 2 ด้าน หน้า 0.5 นิ้ว สำหรับพื้นและเพดานเป็นพื้นคอนกรีตหนา 4 นิ้ว เป็นห้องที่ปรับอากาศอุณหภูมิ 25 °C คงที่ และโซนที่ติดกับห้องหรือโซนที่พิจารณาเป็นโซนที่มีอุณหภูมิคงที่ 25 °C คงที่ คำนวณหาปริมาณการระเหยความร้อนรวมที่ถ่ายเทเข้าสู่โซนในวันที่ 21 กรกฎาคม และมีรายละเอียดสำหรับพื้นผิวต่างๆ ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 รายละเอียดสำหรับพื้นผิวต่างๆของโซนตัวอย่างที่ 3

ทิศทาง	พื้นผิว	พื้นที่ (ม. ²)
เหนือ	Partition	15.0
ใต้	ผนังด้านนอก	15.0
ตะวันออก	ผนังด้านนอก	15.0
ตะวันตก	ผนังด้านนอก	15.0
ด้านเน	เพดาน	25.0
ด้านล่าง	พื้น	25.0

มีลักษณะของโซนดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ลักษณะของโซนตัวอย่างที่ 3

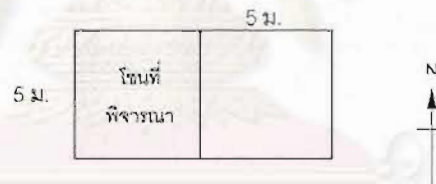
โซนตัวอย่างที่ 4

เป็นโซนตัวอย่างที่ตั้งในกรุงเทพฯ เป็นห้องขนาด ก. x ย. X ส. เท่ากับ 5ม. x 5ม. x 3ม. โดยผนังเป็นผนังก่ออิฐ 3 นิ้ว ฉาบปูนทั้ง 2 ด้าน หนา 0.5 นิ้ว สำหรับพื้นและเพดานเป็นพื้นคอนกรีตหนา 4 นิ้ว เป็นห้องที่ปรับอากาศ 25 °C คงที่ และโซนที่ติดกับห้องหรือโซนที่พิจารณาเป็นโซนที่มีอุณหภูมิคงที่ 25 °C คงที่ คำนวณหาปริมาณภาระความร้อนรวมที่ถ่ายเทเข้าสู่โซนในวันที่ 21 ตุลาคม และมีรายละเอียดสำหรับพื้นผิวต่างๆ ดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 รายละเอียดสำหรับพื้นผิวต่างๆของโซนตัวอย่างที่ 4

ทิศทาง	พื้นผิว	พื้นที่ (ม. ²)
เหนือ	ผนังด้านนอก	15.0
ใต้	ผนังด้านนอก	15.0
ตะวันออก	Partition	15.0
ตะวันตก	ผนังด้านนอก	15.0
ด้านบน	เพดาน	25.0
ด้านล่าง	พื้น	25.0

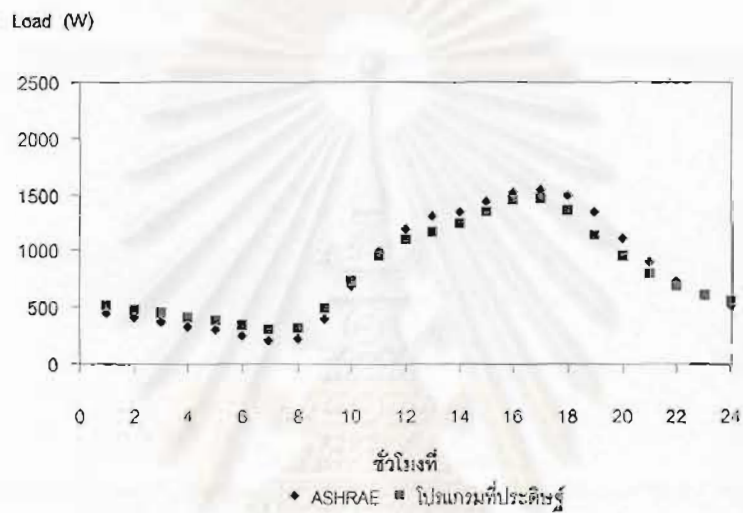
มีลักษณะของโซนดังรูปที่ 3.5



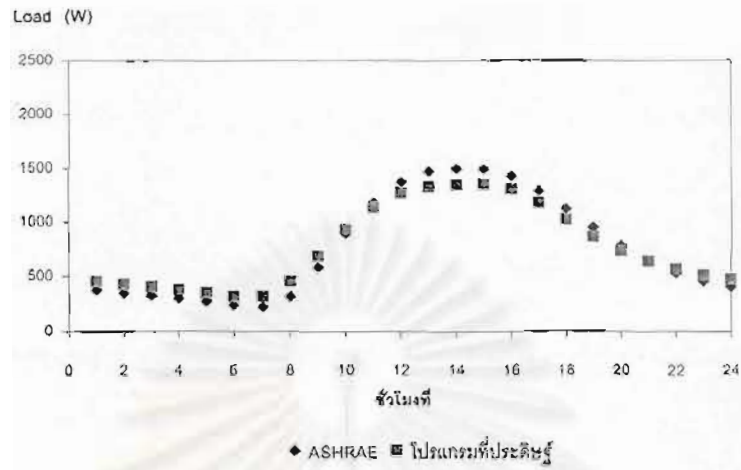
รูปที่ 3.5 ลักษณะของโซนตัวอย่างที่ 4

ผลการคำนวณภาระความร้อนของแต่ละโซน

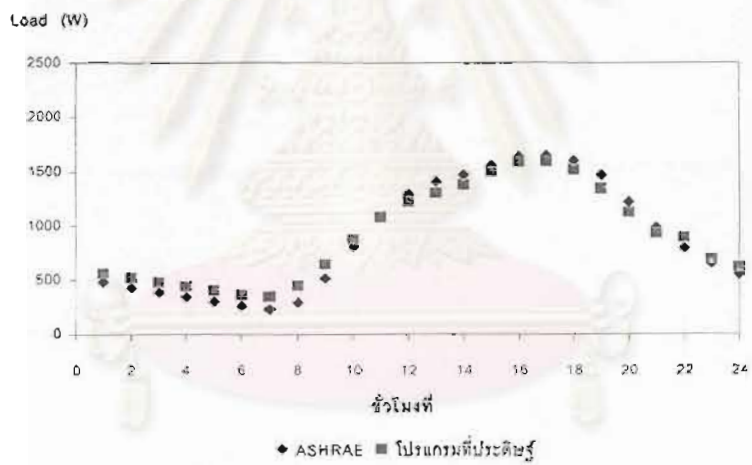
ตารางที่ 3.5 นำเสนอผลการคำนวณภาระความร้อนของแต่ละโซนตัวอย่างทั้ง 4 โซนที่คำนวณได้จากโปรแกรมที่ถูกประดิษฐ์ขึ้นและโปรแกรม ASHRAE Load Principles และเปรียบเทียบกัน พบว่ามีความแตกต่างกันแต่อย่างไรก็ตามแนวโน้มภาระความร้อนที่เกิดขึ้นนั้นทั้ง 2 โปรแกรมมีความสอดคล้องต้องกัน ดังแสดงในรูปที่ 3.6 ถึง 3.9 เป็นกราฟเปรียบเทียบผลการคำนวณภาระความร้อนของแต่ละโซนตัวอย่างทั้ง 4 โซนที่ได้เป็นรายชั่วโมงตลอดทั้งวัน



รูปที่ 3.6 เปรียบเทียบภาระความร้อนรายชั่วโมงระหว่างโปรแกรมที่ประดิษฐ์ขึ้นกับ ASHRAE Load Principles สำหรับโซนตัวอย่างที่ 1

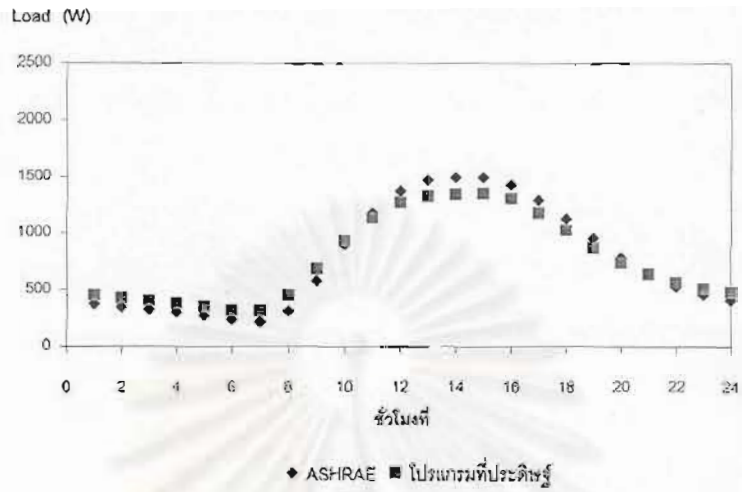


รูปที่ 3.7 เปรียบเทียบภาระความร้อนรายชั่วโมงระหว่างโปรแกรมที่ประดิษฐ์ขึ้น กับ ASHRAE Load Principles สำหรับโซนตัวอย่างที่ 2



รูปที่ 3.8 เปรียบเทียบภาระความร้อนรายชั่วโมงระหว่างโปรแกรมที่ประดิษฐ์ขึ้น กับ ASHRAE Load Principles สำหรับโซนตัวอย่างที่ 3

วาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.9 เปรียบเทียบภาระความร้อนรายชั่วโมงระหว่างโปรแกรมที่ประดิษฐ์ขึ้น
กับ ASHRAE Load Principles สำหรับโซนตัวอย่างที่ 4

ตารางที่ 3.5 เปรียบเทียบผลการคำนวณภาระความร้อนที่เข้าสู่โซนตัวอย่าง
จากโปรแกรม ASHRAE และโปรแกรมที่ประดิษฐ์ขึ้น

โซนตัวอย่างที่ 1				โซนตัวอย่างที่ 2			
ชั่วโมง	ASHRAE	โปรแกรมที่ประดิษฐ์	%ERROR	ชั่วโมง	ASHRAE	โปรแกรมที่ประดิษฐ์	%ERROR
1	454	509	-12.1	1	376	452	-20.3
2	407	474	-16.4	2	349	428	-22.5
3	370	443	-19.9	3	327	405	-24.0
4	334	412	-23.4	4	302	380	-25.8
5	296	377	-27.3	5	272	350	-28.4
6	255	338	-32.6	6	237	316	-33.2
7	211	300	-41.9	7	219	316	-44.6
8	224	318	-42.2	8	315	453	-43.6
9	398	483	-21.3	9	580	684	-17.9
10	689	722	-4.8	10	898	931	-3.7
11	981	945	3.7	11	1176	1136	3.4
12	1204	1100	8.6	12	1374	1271	7.5
13	1316	1177	10.6	13	1471	1327	9.8
14	1360	1245	8.5	14	1495	1347	9.9
15	1444	1360	5.8	15	1493	1355	9.3
16	1526	1458	4.5	16	1430	1307	8.6
17	1549	1470	5.1	17	1294	1182	8.6
18	1505	1372	8.8	18	1129	1028	9.0
19	1354	1147	15.3	19	957	871	9.0
20	1118	946	15.4	20	785	741	5.6
21	898	793	11.7	21	641	641	0.0
22	727	684	5.9	22	535	568	-6.2
23	604	607	-0.5	23	461	516	-11.9
24	517	551	-6.7	24	411	479	-16.6
TOTAL	19740	19231	2.6	TOTAL	18529	18484	0.2

ตารางที่ 3.5 ต่อ

โซนตัวอย่างที่ 3				โซนตัวอย่างที่ 4			
ชั่วโมงที่	ASHRAE	โปรแกรมที่ประดิษฐ์	%ERROR	ชั่วโมงที่	ASHRAE	โปรแกรมที่ประดิษฐ์	%ERROR
1	480	563	-17.4	1	493	567	-15.1
2	425	518	-21.8	2	435	523	-20.3
3	382	478	-25.1	3	389	484	-24.4
4	343	440	-28.4	4	348	446	-28.3
5	302	400	-32.4	5	306	406	-32.8
6	259	358	-38.4	6	261	363	-38.9
7	228	344	-50.9	7	219	331	-51.2
8	292	445	-52.4	8	225	355	-57.8
9	512	642	-25.3	9	344	452	-31.6
10	805	874	-8.6	10	555	617	-11.2
11	1083	1082	0.1	11	813	823	-1.2
12	1295	1229	5.1	12	1074	1036	3.6
13	1411	1308	7.3	13	1309	1237	5.5
14	1472	1385	5.9	14	1538	1457	5.2
15	1562	1501	3.9	15	1778	1690	4.9
16	1638	1592	2.8	16	1958	1848	5.6
17	1649	1597	3.1	17	2012	1853	7.9
18	1603	1522	5.0	18	1912	1684	11.9
19	1469	1350	8.1	19	1630	1381	15.3
20	1227	1128	8.0	20	1310	1123	14.3
21	986	937	4.9	21	1037	930	10.3
22	794	895	-12.7	22	828	791	4.5
23	654	694	-6.2	23	678	693	-2.2
24	553	619	-12.0	24	570	621	-8.9
TOTAL	21422	21901	-2.2	TOTAL	22022	21711	1.4

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

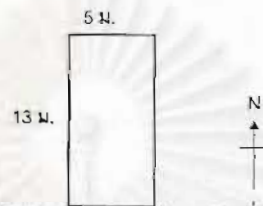
ผลการคำนวณและอภิปรายผลการคำนวณ

กระบวนการถ่ายเทความร้อนในโชนใดๆในทฤษฎีข้างต้นนำมาประยุกต์ใช้กับโชนที่เป็นหลังคา เพื่อศึกษาถึงกลไกการถ่ายเทความร้อนจากแหล่งความร้อนต่างๆที่ผ่านระบบหลังคาอาคารเข้ามาสู่ภายในอาคาร การวิจัยจะทำการคำนวณความร้อนส่วนที่มาจากระบบหลังคาโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ถูกประดิษฐ์ขึ้นมาเพื่อศึกษาพฤติกรรมของการถ่ายเทความร้อนดังกล่าวว่ามีปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อพฤติกรรมของการถ่ายเทความร้อนผ่านระบบหลังคาเข้ามาอย่างไร ซึ่งจะศึกษาถึงปัจจัยต่างๆดังนี้

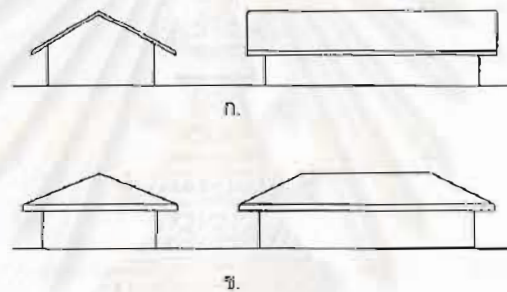
1. ศึกษาและวิเคราะห์หลังคาตัวอย่างได้แก่ หลังคาทรงปั้นหยา หลังคาทรงหน้าจั่ว หลังคาที่มีช่องใต้หลังคา และหลังคาที่ไม่มีช่องใต้หลังคาหรือหลังคาเคอะชืดอ ดังรูปที่ 4.2.4.4-4.7
2. ศึกษาและวิเคราะห์ถึงอิทธิพลของวัสดุผนังหลังคาที่มีต่อปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านระบบหลังคาเข้าสู่ภายใน
3. ศึกษาและวิเคราะห์ถึงอิทธิพลของมุมเอียงของหลังคาที่มีต่อปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านระบบหลังคาเข้าสู่ภายใน
4. ศึกษาและวิเคราะห์ถึงอิทธิพลของการระบายอากาศในช่องใต้หลังคาที่มีต่อปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านระบบหลังคาเข้าสู่ภายใน
5. ศึกษาและวิเคราะห์ถึงอิทธิพลของฉนวนกันความร้อนที่มีต่อปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านระบบหลังคาเข้าสู่ภายใน โดยจะพิจารณาเกี่ยวกับชนิดของวัสดุที่นำมาเป็นฉนวนกันความร้อน ความหนาของฉนวนกันความร้อน และตำแหน่งในการติดตั้งวางฉนวนกันความร้อน
6. ศึกษาและวิเคราะห์ถึงอิทธิพลของแผ่นสูมน้ำมันพอยล์สะท้อนความร้อนที่มีต่อปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านระบบหลังคาเข้าสู่ภายใน
7. ศึกษาและวิเคราะห์ถึงอิทธิพลของรูปทรงของหลังคาที่มีต่อปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านระบบหลังคาเข้าสู่ภายใน
8. ศึกษาและวิเคราะห์ถึงอิทธิพลของทิศทางการวางตัวของโชนที่มีต่อปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านระบบหลังคาเข้าสู่ภายใน
9. คำนวณหาค่า U ของหลังคาตัวอย่างต่างๆ และพิจารณาอิทธิพลของพารามิเตอร์ที่มีผลต่อค่า U ของหลังคาตัวอย่างนั้นๆ

4.1 ลักษณะทั่วไปของหลังคาที่พิจารณา

โชนตัวอย่างที่ใช้พิจารณาในการศึกษาพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านระบบหลังคา จะพิจารณาหลังคารูปทรงหน้าจั่ว และรูปทรงปั้นหยา ตามรูปที่ 4.2 และหลังคาแบบมีช่องใต้หลังคาและหลังคาแบบไม่มีช่องใต้หลังคาหรือหลังคาคะซีตด ดังแสดงในรูปที่ 4.4-4.7 หลังคาที่ศึกษาเป็นหลังคาที่ตั้งอยู่ในกรุงเทพ ใช้ข้อมูลอากาศปี ค.ศ.1991 และทิศของโชนมีการวางตัวดังรูปที่ 4.1

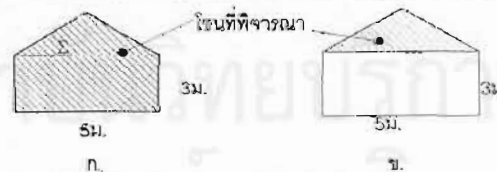


รูปที่ 4.1 แผนผังทิศทางการวางตัวของโชนที่พิจารณา



รูปที่ 4.2 หลังคารูปทรง ก. หน้าจั่ว ข. ปั้นหยา

ลักษณะหลังคาแบบคะซีตดแสดงในรูปที่ 4.3ก โดยมีการจัดเรียงวัสดุระบบหลังคาในรูปที่ 4.7 และโชนที่พิจารณามีขนาด ก. x ย. x ส. เท่ากับ 5 ม. x 13 ม. x 3 ม. เป็นโชนที่ปรับอุณหภูมิ 25°C คงที่ ลักษณะหลังคาแบบมีช่องใต้หลังคาแสดงในรูปที่ 4.3ข โดยมีการจัดเรียงวัสดุระบบหลังคาในรูปที่ 4.6 และโชนที่เป็นช่องใต้หลังคาที่อยู่ติดกับห้องที่ปรับอุณหภูมิ 25°C คงที่



รูปที่ 4.3 แสดงรูปตัดขวางของโชนหลังคาที่พิจารณาเป็นปริมาตรควบคุม
ก. หลังคาแบบคะซีตด ข. หลังคาแบบมีช่องใต้หลังคา

วัสดุผนังหลังคา

กระเบื้องคอนกรีต มีปูนซีเมนต์เป็นวัตถุดิบในการผลิต กระเบื้องคอนกรีตมีใช้กันมานาน ซึ่งรู้จักกันดี เช่น กระเบื้องว่าวรูปสี่เหลี่ยมขนมเปียกปูน และกระเบื้องลวดลอนที่แพร่หลายกันในปัจจุบัน

กระเบื้องซีเมนต์ใยหิน เป็นผลิตภัณฑ์ที่ทำขึ้นด้วยปูนซีเมนต์ ใยหิน และน้ำเป็นส่วนประกอบที่สำคัญ เป็นกระเบื้องที่มีใช้กันนานเช่นกัน เรียกกันเป็นที่เข้าใจว่า กระเบื้องลูกฟูกลอนเล็ก กระเบื้องลูกฟูกลอนใหญ่ กระเบื้องลอนคู่ กระเบื้องราง เป็นต้น

กระเบื้องเซรามิค เป็นกระเบื้องผนังหลังคาที่ค่อนข้างมีราคาสูงกว่ากระเบื้องจากวัสดุชนิดอื่น ลักษณะของกระเบื้องเซรามิคมีลักษณะรูปร่างคล้ายกันกับกระเบื้องคอนกรีต

ฉนวน

ฉนวนใยแก้ว ฉนวนชนิดนี้ที่ทำการออกมามีทั้งลักษณะแบบลูสฟิลล์ แบบแผ่นอัด (Boards) และเส้นใยอัดเป็นแผ่นหรือแบบคลุมห่ม เป็นที่นิยมใช้กันอยู่ทั่วไป ฉนวนประเภทนั้นนอกจากจะสามารถกันความร้อนแล้วยังกันเสียงได้ด้วย และมีค่าการกันไฟได้สูงถึงประมาณ 300°C แต่ไม่ทนทานต่อความเปียกชื้น การกลั่นตัวของหยดน้ำจะทำให้สูญเสียคุณสมบัติในการกันความร้อนไปเมื่อเปียกชื้น นอกจากนี้ฉนวนใยแก้วไม่ทำให้แบคทีเรียหรือฟังไจเจริญเติบโต และเป็นอาหารสัตว์โคจรรวมทั้งไม่มีสภาวะกักกร่อนวัสดุที่หุ้ม และไม่มีการเป็นพิษที่น่ารังเกียจ การประยุกต์ใช้งานฉนวนใยแก้วโดยทั่วไปจะใช้งานเป็นฉนวนหลังคาอาคาร มัง พั้น ห้องใต้ดินติก และระบบท่อ นอกจากนี้ยังใช้ในงานอุตสาหกรรมด้วย เช่น เป็นฉนวนหุ้มถังเก็บ ระบบเหียงกล และท่อส่งลม เป็นต้น

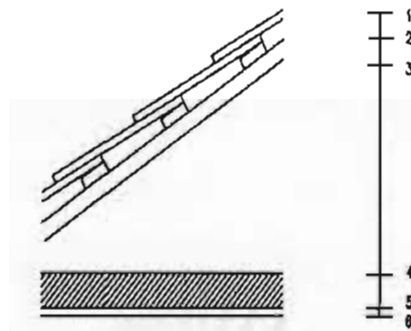
ฉนวนใยหิน (เรื่อควูล) ถูกผลิตขึ้นมาในลักษณะคล้ายคลึงกับฉนวนใยแก้ว โดยทั่วไปวัสดุที่นำมาใช้ในการผลิตใยหิน คือ ซีโลสจากการผลิตเหล็กกล้า ทองแดง หรือตะกั่วซึ่งอาจเรียกฉนวนชนิดนี้ชื่ออีกชื่อว่า Slag wool ฉนวนใยหินจะมีรูปแบบคล้ายคลึงกับฉนวนใยแก้ว ทั้งการใช้งานก็มีลักษณะที่เหมือนกันทั้งในอาคารบ้านเรือน อาคารพาณิชย์ และอาคารอุตสาหกรรม ใยหินจะไม่ช่วยในการเจริญเติบโตของฟังไจ แบคทีเรีย รวมทั้งไม่มีผลกระทบจากสัตว์ต่างๆด้วย ใยหินที่นำมาใช้เป็นฉนวนผนังหลังคามักจะเป็นฉนวนใยหินแบบแผ่นอัด ฉนวนใยหินมีคุณสมบัติในการกันความร้อนได้เทียบเท่าฉนวนกันความร้อนได้ใกล้เคียงกับฉนวนใยแก้ว แต่สามารถทนไฟได้ดีกว่า จึงนำมาใช้เป็นฉนวนกันไฟได้ด้วย (ทนความร้อนร้อนได้สูงถึง 800°C) คุณสมบัติพิเศษอีกประการหนึ่งคือ มีความสามารถในการดูดซับเสียง โดยปกติในการใช้งานจะใช้ฉนวนใยหินที่มีความหนาแน่นสูง แต่มีข้อจำกัดคือ ไม่ทนต่อความเปียกชื้น

ฉนวนโฟม ฉนวนประเภทโฟมจำเป็นต้องห่อหุ้มหรือปกป้องจากการทำลายของรังสีอัลตราไวโอเล็ต (UV) จากดวงอาทิตย์ โฟมมีข้อดีคือ หนา น้ำ สามารถคงสภาพเดิมได้แม้จะโดนความเปียกชื้น แต่เนื่องจากโฟมมีจุดหลอมเหลวต่ำ (โดยทั่วไปจะต่ำกว่า 100°C) ทำให้เมื่อโดนความร้อนสูงเป็นเวลานานๆ โฟมจะเปลี่ยนรูป เช่น บิดงอ บวมสลาย หรือไหม้ไปโนที่จุด แต่ในบ้านทั่วไปมักจะไม่มีอุณหภูมิสูงถึงระดับนั้น ยกเว้น กรณีที่นำโฟมไปใช้บุหลังกระจกโดยตรง จะทำให้อุณหภูมิสูงกว่า 100°C ซึ่งโฟมไม่สามารถคงสภาพเดิมไว้ได้ ฉนวนประเภทนี้เป็นสารที่ลุกไหม้ได้ ดังนั้นต้องหุ้มด้วยวัสดุที่หน่วงไฟไหม้เมื่อใช้เป็นฉนวนกันความร้อนในการประยุกต์ใช้งานโดยมาก ในอาคารพาณิชย์หรืออาคารอุตสาหกรรมนั้น ฉนวนประเภทนี้จะใช้ในลักษณะฉนวนหลังคา ฉนวนพื้นและฐานล่าง ใช้ในโครงสร้างอาคารที่ทักอาศัยด้วยในลักษณะการหุ้มอาคารเป็นหลัก

ฉนวนเยื่อกระดาษ (เซลลูโลส) โดยทั่วไปมักทำจากเยื่อกระดาษเยื่อผสมสารกันไฟลาม ทำให้สามารถป้องกันไฟไหม้ได้ระดับหนึ่ง เมื่อโดนไฟไหม้จะมีควันคล้ายควันธูปและดับไปเองในที่สุด ถ้าเยื่อกระดาษนี้มีสารเคมีผสมอย่างถูกต้อง ก็สามารถใช้เป็นวัสดุกันไฟได้ ผลิตภัณฑ์จากการนำไม้หรือกระดาษที่ใช้แล้วนำกลับมาใช้ใหม่หรือรีไซเคิลด้วยการแปรรูปและตั้งให้กระจายออกทำการย่อยละเอียดจนเป็นใย จากนั้นทำการประสานเข้าด้วยกันด้วยกรดบอแรกซ์ ซึ่งจะช่วยให้มีสภาพด้านทานการลุกไหม้ การดูดซับความชื้น และยับยั้งการเจริญเติบโตของหีงใจได้บางส่วน เนื่องจากฉนวนชนิดนี้นับเป็นฉนวนที่มีคุณสมบัติทางความร้อนดี ราคาถูก และผลิตด้วยกรรมวิธีที่สะดวก จึงเป็นฉนวนประเภทหนึ่งที่มีนิยมนำใช้ชนิดหนึ่ง สำหรับการประยุกต์ใช้งานฉนวนเยื่อเซลลูโลส จะใช้งานในลักษณะวัสดุแบบลูฟลีในโพรงผนังและห้องเพดานของอาคารที่ทักอาศัย แต่อาจจะใช้ในลักษณะแบบเส้นใยอัดเป็นแผ่น (Batts) และแบบคลุม (Blankets) หรือแบบฉีดเข้าไปในช่อง ซึ่งลักษณะนี้จะใช้สำหรับเป็นฉนวนดาดฟ้าหรือหลังคา

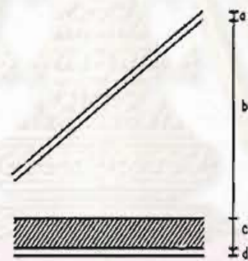
แผ่นสะท้อนความร้อน (อลูมิเนียมฟอยล์) เป็นแผ่นบางผิวสะท้อนความร้อนที่มีค่าการสะท้อนรังสีความร้อนสูงหรือค่าแผ่รังสีต่ำ ผิวฟอยล์จะต้องมีลักษณะมันวาวตลอดเวลา ไม่เช่นนั้นแล้วจะทำให้ฟอยล์สูญเสียคุณสมบัติในการสะท้อนรังสีไปโดยสิ้นเชิง ทำให้ไม่สามารถทำหน้าที่เป็นฉนวนกันความร้อนได้อีกต่อไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.4 หลังคาเอียงพร้อมช่องใต้หลังคา

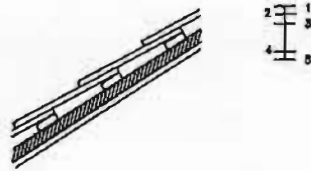
- 1-2 : กระเบื้องมุงหลังคาบนระแนง
- 2-3 : ฉันทัน
- 3-4 : ช่องว่างใต้หลังคา
- 4-5 : ฉนวนกันความร้อน
- 5-6 : ฝ้าเพดาน



รูปที่ 4.5 ชั้นวัสดุสำหรับหลังคาเอียงรูปที่ 4.4

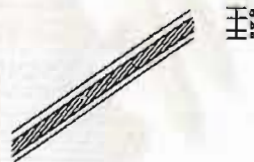
- a ชั้นวัสดุมุงหลังคา ได้แก่ กระเบื้องคอนกรีต ซีเมนต์ไยหิน และaramit
- b ชั้นอากาศหรือช่องใต้หลังคา
- c ชั้นฉนวนกันความร้อน ได้แก่ ฉนวนใยแก้ว ฉนวนใยหิน ยูรีเทนโฟม เพลทโฟลด์ (เยื่อกระดาษ)
- d ฝ้าเพดาน

การติดตั้งฉนวนกันความร้อนติดตั้งได้ 2 ตำแหน่ง คือ ติดบนฝ้าเพดาน ตามรูปที่ 4.5 หรือ ติดใต้วัสดุมุงหลังคา



รูปที่ 4.6 หลังคาเอียงพร้อมหลังคา (หลังคาคะซีค่อ)

- 1-2 : กระเบื้องมุงหลังคาบนระแนง
- 2-3 : ฉันทัน
- 3-4 : ฉนวนกันความร้อน
- 4-5 : ฝ้าเพดาน

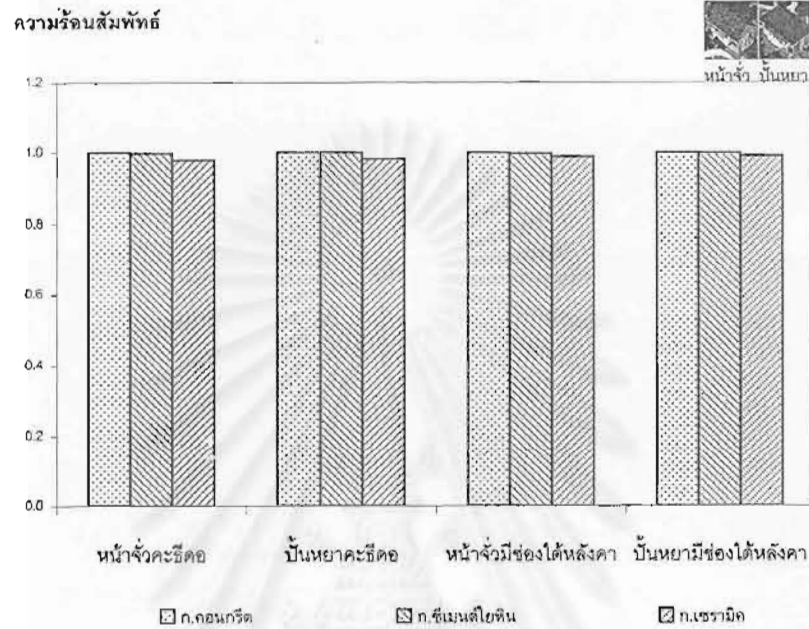


รูปที่ 4.7 ชั้นวัสดุสำหรับหลังคาเอียงรูปที่ 4.6

- a ชั้นวัสดุมุงหลังคา ได้แก่ กระเบื้องคอนกรีต กระเบื้องซีเมนต์ใยหิน และเซรามิก
- b ชั้นฉนวนกันความร้อน ได้แก่ ฉนวนโฟมเบอร์กลาส (ใยแก้ว) ฉนวนรีอ็อควูล (ใยหิน) ยูรีเทนโฟม และ เซลลูโลส (เยื่อกระดาษ)
- c ฝ้าเพดาน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2 อิทธิพลของวัสดุฝังหลังคาที่มีต่อปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านระบบหลังคา



รูปที่ 4.8 ผลของชนิดวัสดุฝังหลังคาต่อปริมาณความร้อนสัมพัทธ์สำหรับหลังคาประเภทต่างๆ

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าความต้านทานความร้อนหลังคาต่างๆสำหรับเรื่องอิทธิพลวัสดุผนังหลังคา

รายการ	R (m ² .KW)
หลังคาแบบค้ำชัศตอ	
กระเบื้องคอนกรีต	0.0649
กระเบื้องซีเมนต์ใยหิน	0.0646
กระเบื้องเซรามิค	0.0706
หลังคาแบบมีช่องใต้หลังคา	
กระเบื้องคอนกรีต	0.2409
กระเบื้องซีเมนต์ใยหิน	0.2406
กระเบื้องเซรามิค	0.2466

R แทน ความต้านทานของระบบหลังคา

ประกอบด้วย กระเบื้องผนังหลังคาต่างๆ ช่องว่างใต้หลังคา และฝ้ายิปซัมเพดาน

ไม่รวมถึงความต้านทานเนื่องจาก inside air film และ outside air film

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

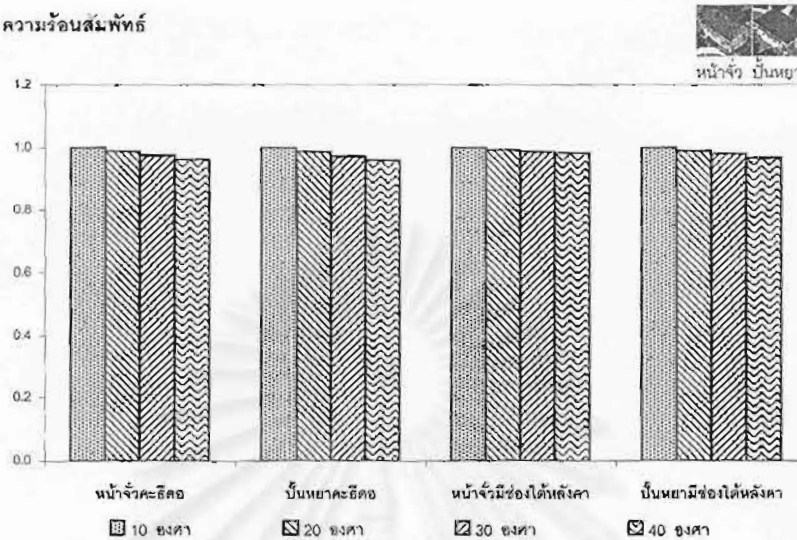
4.2 อิทธิพลของวัสดุผนังหลังคาที่มีต่อปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านระบบหลังคา (ต่อ)

คำนวณหาปริมาณความร้อนสำหรับหลังคารูปทรงต่างๆ คือ หลังคาหน้าจั่วแบบไม่มีช่องใต้หลังคา หรือค้ำคิ้วค้อ หลังคาปั้นหย้าแบบค้ำคิ้วค้อ หลังคาหน้าจั่วแบบมีช่องใต้หลังคา และหลังคาปั้นหย้าแบบมีช่องใต้หลังคา โดยพิจารณาถึงอิทธิพลของวัสดุผนังหลังคา ได้แก่ กระเบื้องคอนกรีต กระเบื้องซีเมนต์ใยหิน และกระเบื้องเซรามิค ลำดับการจัดวางชั้นวัสดุต่างๆ ของระบบหลังคาพิจารณาได้จากรูปที่ 4.4-4.7 คือ วัสดุผนังหลังคา ช่องว่างใต้หลังคา (กรณีหลังคาที่มีช่องใต้หลังคา) และฝ้าเพดาน ปริมาณความร้อนที่คำนวณจะเป็นปริมาณความร้อนแบบรายชั่วโมงรวมตลอดทั้งปี แล้วเปรียบเทียบกับโดยหาเป็นปริมาณความร้อนสัมพัทธ์เทียบกับกรณีกระเบื้องคอนกรีตสำหรับหลังคาแต่ละรูปทรงที่พิจารณามาถึง นั่นคือแต่ละรูปทรงหลังคาค่าความร้อนสัมพัทธ์กรณีใช้กระเบื้องคอนกรีตเป็นวัสดุผนังหลังคามีค่าเท่ากับ 1

จากรูปที่ 4.8 สำหรับหลังคารูปทรงต่างๆซึ่งไม่ได้ติดตั้งฉนวนให้กับระบบหลังคา พบว่าวัสดุผนังหลังคาแต่ละชนิดที่นำมาวิเคราะห์มีความร้อนสัมพัทธ์ใกล้เคียง 1 แสดงว่าชนิดวัสดุผนังหลังคาดังกล่าวให้ปริมาณความร้อนผ่านเข้ามาภายในใกล้เคียงกัน ทั้งนี้เนื่องมาจากค่าความต้านทานความร้อนของหลังคารูปทรงเดียวกันมีค่าความร้อนใกล้เคียงกัน คือ หลังคาหน้าจั่วแบบค้ำคิ้วค้อมีค่าต้านทานความร้อนเท่ากับ $0.0649 \text{ m}^2/\text{KW}$, $0.0646 \text{ m}^2/\text{KW}$, และ $0.0706 \text{ m}^2/\text{KW}$ สำหรับกระเบื้องคอนกรีต กระเบื้องซีเมนต์ใยหิน และกระเบื้องเซรามิค ตามลำดับ สำหรับหลังคาที่มีช่องใต้หลังคา ค่าต้านทานความร้อนของหลังคาแสดงในตารางที่ 4.1

4.3 อิทธิพลของมุมเอียงหลังคาที่มีต่อปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านระบบหลังคา

ความร้อนสัมพัทธ์

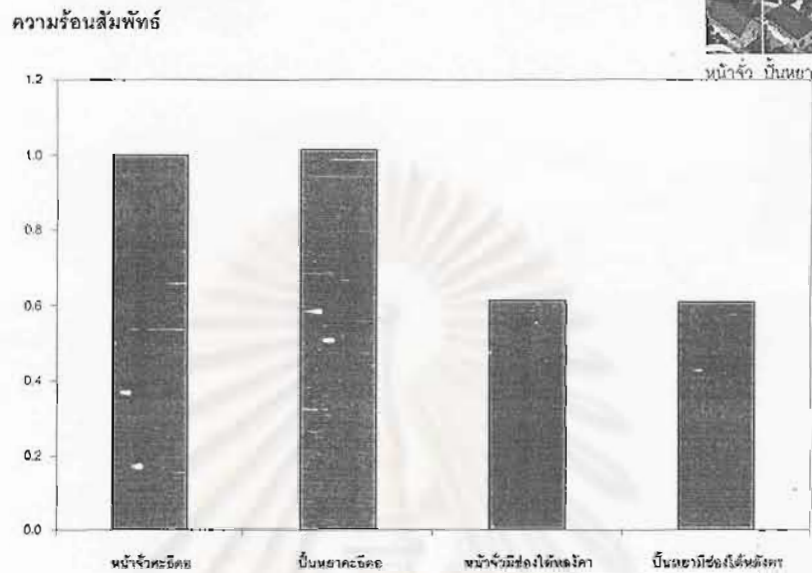


รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างมุมเอียงของหลังคากับความร้อนสัมพัทธ์

ศึกษาอิทธิพลดังกล่าวโดยการคำนวณความร้อนส่วนที่ผ่านระบบหลังคาเข้ามาสู่ภายในสำหรับหลังคารูปทรงต่างๆ พิจารณาหลังคาที่ไม่ได้ติดตั้งฉนวน และรูปทรงของหลังคาตลอดจนการจัดลำดับชั้นวัสดุตั้งเช่นกรณีศึกษามูลของวัสดุผนังหลังคา แต่เปลี่ยนแปลงมุมเอียงของหลังคาซึ่งมุมเอียงของหลังคาจะเป็นมุมที่ระนาบของหลังคาแต่ละระนาบทำมุมกับระนาบระดับ และกำหนดวัสดุผนังหลังคาเป็นกระเบื้องคอนกรีตเพียงชนิดเดียว เพราะชนิดของวัสดุผนังหลังคาสำหรับระบบหลังคาที่วิเคราะห์นั้นมีผลใกล้เคียงกัน ในหัวข้อนี้พิจารณาอิทธิพลของมุมเอียงของหลังคาโดยหาความสัมพันธ์สัมพัทธ์เทียบกับกรณีหลังคาเอียงทำมุม 10° กับระนาบระดับ นั่นคือ แต่ละรูปทรงหลังคา ค่าความสัมพันธ์สัมพัทธ์กรณีเอียง 10° จะมีค่าเท่ากับ 1 หรือในรูปที่ 4.9 กราฟแท่งแรกของแต่ละรูปทรงหลังคาแทนกรณีหลังคาเอียง 10° นั้นมีค่าความสัมพันธ์เท่ากับ 1

จากรูปที่ 4.9 พบว่า หลังคาแต่ละรูปทรงนั้นความร้อนส่วนที่ผ่านระบบหลังคาเข้ามาภายในมีปริมาณใกล้เคียงกันสำหรับแต่ละมุมเอียงที่พิจารณา แสดงว่ามุมเอียงที่พิจารณาไม่มีผลต่อปริมาณความร้อนส่วนที่ผ่านระบบหลังคาตัวอย่างที่วิเคราะห์น้อยพบว่าเมื่อมุมเอียงเพิ่มขึ้นปริมาณความร้อนที่ผ่านระบบหลังคาลดลง ทั้งนี้เนื่องมาจากสมการการถ่ายเทความร้อนแบบแผ่รังสีคลื่นยาวระหว่างพื้นผิวภายในด้วยกันนั้นใช้ MRT เป็นแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่ให้ความสำคัญในเรื่องขนาดพื้นที่ของแต่ละพื้นผิวที่อยู่ภายในโดยไม่คำนึงถึงรูปทรงของพื้นผิวที่ล้อมรอบกันเป็นผิวปิดและใช้ค่าดูกลสัมประสิทธิ์ดวงอาทิตย์เป็นคงที่โดยไม่ขึ้นกับทิศทางของแสง

4.4 อิทธิพลของรูปทรงที่มีต่อปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านระบบหลังคา



รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างรูปทรงของหลังคาต่างๆกับความร้อนสัมพัทธ์

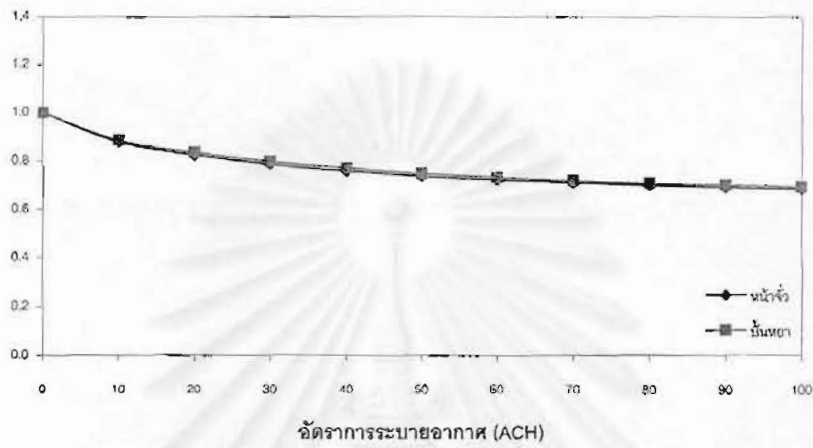
พิจารณาสถของรูปทรงของหลังคาได้แก่ หลังคาทรงหน้าจั่วแบบคละซี่ค หลังคาทรงบันหยาคละซี่ค หลังคาทรงหน้าจั่วแบบมีช่องใต้หลังคา และหลังคาทรงบันหยามีช่องใต้หลังคาที่มีต่อปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านระบบหลังคาสู่ภายใน โดยคำนวณปริมาณความร้อนแบบรายชั่วโมงรวมตลอดทั้งปี และเปรียบเทียบกันโดยหาเป็นความร้อนสัมพัทธ์เทียบกับกรณีหลังคาทรงหน้าจั่วแบบคละซี่ค คือ ค่าความร้อนสัมพัทธ์สำหรับกรณีหลังคาทรงหน้าจั่วแบบคละซี่คมีค่าเท่ากับ 1 พบว่าหลังคาแบบคละซี่คมีปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านระบบหลังคาสูงกว่าหลังคาแบบมีช่องใต้หลังคา นอกจากนี้ทั้งทรงหน้าจั่วและทรงบันหยาค่าสำหรับหลังคาแบบเดียวกันปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านระบบหลังคามีปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านระบบหลังคาใกล้เคียงกันเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณความร้อนที่ผ่านหลังคาทรงหน้าจั่วแบบคละซี่ค ดังแสดงในรูปที่ 4.10

4.5 อิทธิพลของการระบายอากาศในช่องใต้หลังคาที่มีต่อปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านระบบหลังคา

ความร้อนสัมพัทธ์



หน้าจั่ว ปั้นหย้า

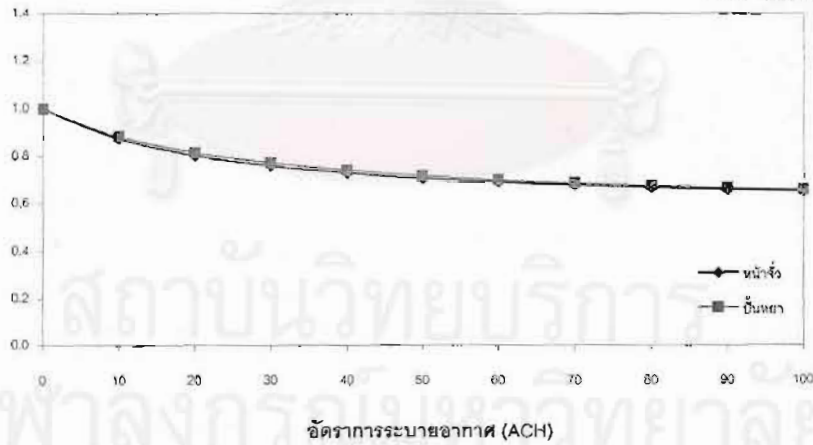


รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างการระบายอากาศในช่องใต้หลังคา กับความร้อนสัมพัทธ์ สำหรับหลังคาหน้าจั่วและหลังคาปั้นหย้า ไม่ติดฉนวน

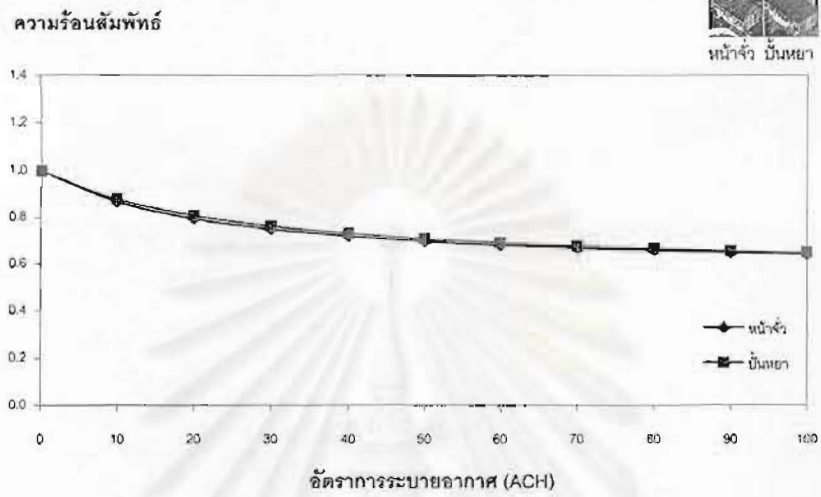
ความร้อนสัมพัทธ์



หน้าจั่ว ปั้นหย้า



รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างการระบายอากาศในช่องใต้หลังคา กับความร้อนสัมพัทธ์ สำหรับหลังคาหน้าจั่วและหลังคาปั้นหย้า ติดฉนวน 1 นิ้ว



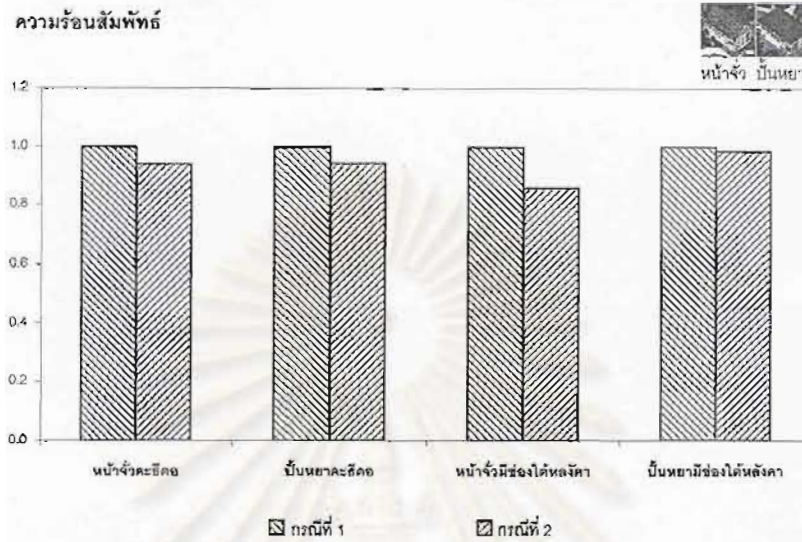
รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างการระบายอากาศในช่องใต้หลังคากับความร้อนสัมผัส สำหรับหลังคาหน้าจั่วและหลังคาบันหยา ติดขนาด 2 นิ้ว

4.5 อิทธิพลของการระบายอากาศในช่องใต้หลังคาที่มีต่อปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านระบบหลังคา (ต่อ)

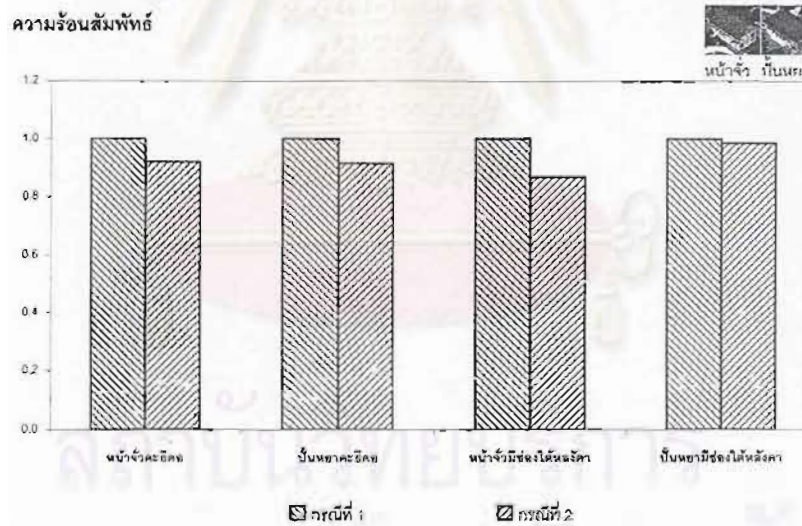
ศึกษาผลการระบายอากาศที่มีต่อปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านระบบหลังคาเข้ามา โดยพิจารณาหลังคาทรงหน้าจั่วและปั้นหยามแบบที่มีช่องใต้หลังคา คำนวณค่าปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านระบบหลังคาทั้ง 2 รูปทรงในปริมาณการระบายอากาศขนาดต่างๆ แล้วหาค่าความร้อนสัมพัทธ์เทียบกับกรณีที่ไม่ได้ระบายอากาศสำหรับหลังคาแต่ละรูปทรง นั่นคือ ในแต่ละรูปทรงหลังคากรณีที่ไม่มีการระบายอากาศจะมีค่าความร้อนสัมพัทธ์มีค่าเท่ากับ 1

จากรูปที่ 4.11-4.13 พบว่า การระบายอากาศโดยลมจากภายนอกอาคารมีผลต่อปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านระบบหลังคาเมื่อเทียบกับไม่ได้มีการระบายอากาศเลย ในกราฟแสดงความสัมพันธ์นั้นแนวโน้มค่าความร้อนสัมพัทธ์ของหลังคาทรงหน้าจั่วและทรงปั้นหยามีแนวโน้มเดียวกัน นั่นคือ ปริมาณความร้อนลดลงเป็นสัดส่วนเดียวกันสำหรับหลังคาแต่ละรูปทรง ไม่ได้หมายความว่าปริมาณความร้อนที่ผ่านเข้ามาภายในมีค่าเท่ากัน เนื่องจากค่าความร้อนสัมพัทธ์ที่คำนวณหา นั้นเทียบกับหลังคาแต่ละรูปทรง

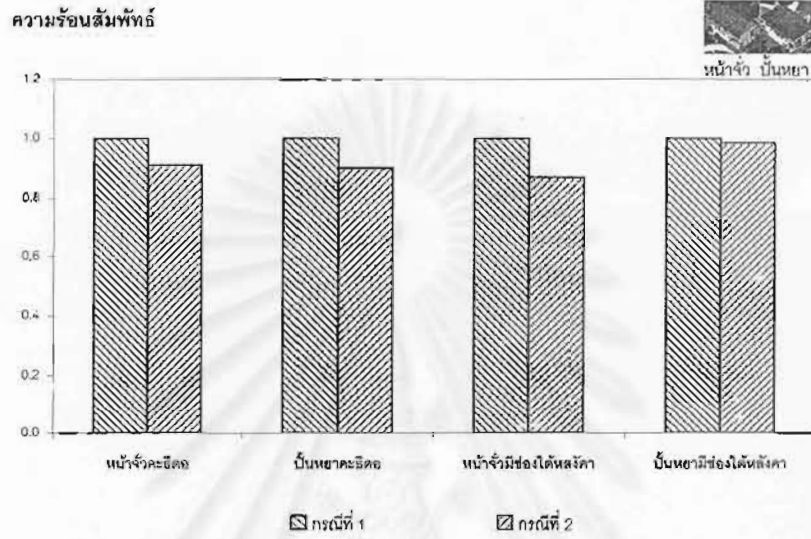
4.6 อิทธิพลของทิศทางการวางตัวของอาคารที่มีต่อปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านระบบหลังคา



รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างทิศทางการวางตัวของโชนกับความร้อนสัมพัทธ์ สำหรับหลังคารูปทรงต่างๆ ไม่ติดฉนวน



รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างทิศทางการวางตัวของโชนกับความร้อนสัมพัทธ์ สำหรับหลังคารูปทรงต่างๆ ติดฉนวนหนา 1 นิ้ว



รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างทิศทางการวางตัวของโซนกับความชื้นสัมพัทธ์
สำหรับหลังคาประเภทต่างๆ ติดฉนวนหนา 2 นิ้ว

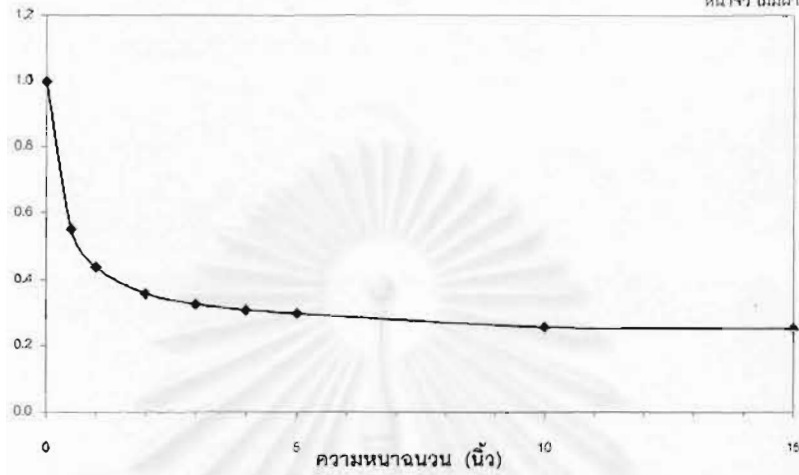
4.6 อิทธิพลของทิศทางการวางตัวของอาคารที่มีต่อปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านระบบหลังคา (ต่อ)

จากการศึกษาผลของวัสดุผนังหลังคา มุมเอียงของหลังคา การระบายอากาศผ่านช่องใต้หลังคา และรูปทรงหลังคาที่มีต่อปริมาณความร้อนที่ผ่านระบบหลังคาเข้าสู่ภายในที่ผ่านมาแล้วนั้น การวางตัวของโชนที่ศึกษานั้นพิจารณาตามรูปที่ 4.1 หัวข้อนี้จะทำการพิจารณาผลของทิศทางการวางตัวของอาคารซึ่งมีผลต่อทิศทางการรับความร้อนเนื่องจากแสงแดดและลมที่ส่งผลกระทบต่อพฤติกรรมถ่ายเทความร้อนผ่านระบบหลังคา โดยการหมุนโชนที่พิจารณาในรูปที่ 4.1 ไป 90° โชนที่พิจารณาจะยังเป็นหลังคาทรงหน้าจั่วแบบคระธิดอ หลังคาทรงปั้นหย่าแบบคระธิดอ หลังคาทรงหน้าจั่วแบบมีช่องใต้หลังคา และหลังคาทรงปั้นหย่าแบบมีช่องใต้หลังคา คำนวณหาค่าปริมาณความร้อนรายชั่วโมงรวมตลอดทั้งปีแล้วหาค่าความร้อนสัมพัทธ์ที่เทียบกับกรณีที่ไม่ได้หมุนไป 90° สำหรับหลังคาแต่ละชนิด เพื่อเปรียบเทียบว่ากรณีที่ไม่หมุนโชนไปแล้วนั้นมีผลต่อปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านระบบหลังคาเป็นอย่างไร

กรณีที่ 1 ซึ่งเป็นกรณีโชนที่พิจารณายังไม่ได้หมุนดังในรูปที่ 4.1 และกรณีที่ 2 เป็นกรณีที่ไม่หมุนโชนที่พิจารณาไปจากกรณีที่ 90° พบว่า สำหรับหลังคาแต่ละประเภทนั้นเมื่อหมุนโชนเป็นกรณีที่ 2 แล้วค่าความร้อนในกรณีที่ 2 ลดลงจากกรณีที่ 1 ในช่วง 10-20% ยกเว้นหลังคาทรงปั้นหย่าแบบมีช่องใต้หลังคาที่ปริมาณความร้อนที่ผ่านระบบหลังคาเข้าสู่ภายในมีค่าลดลงเล็กน้อยประมาณ 5% เมื่อเทียบกับเองสำหรับลักษณะเดียวแต่ทิศทางต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.14-4.16 และในหัวข้อที่ 4.4 ศึกษาผลของรูปทรงหลังคาที่พบว่า รูปทรงหลังคาหน้าจั่วและปั้นหย่าแบบมีช่องใต้หลังคามีความร้อนสัมพัทธ์ใกล้เคียงกันเมื่อเทียบกับปริมาณความร้อนที่ผ่านหลังคาหน้าจั่วแบบคระธิดอ แต่ในหัวข้อที่ 4.6 นี้เป็นการหาความร้อนสัมพัทธ์ที่เทียบกับกรณีที่มีการวางตัวของโชนแบบที่ 1 ของหลังคาแต่ละรูปทรง

4.7 อิทธิพลของจนวนกันความร้อนที่มีต่อปริมาณความร้อนที่ถ่ายผ่านระบบหลังคา

ความร้อนสัมผัส



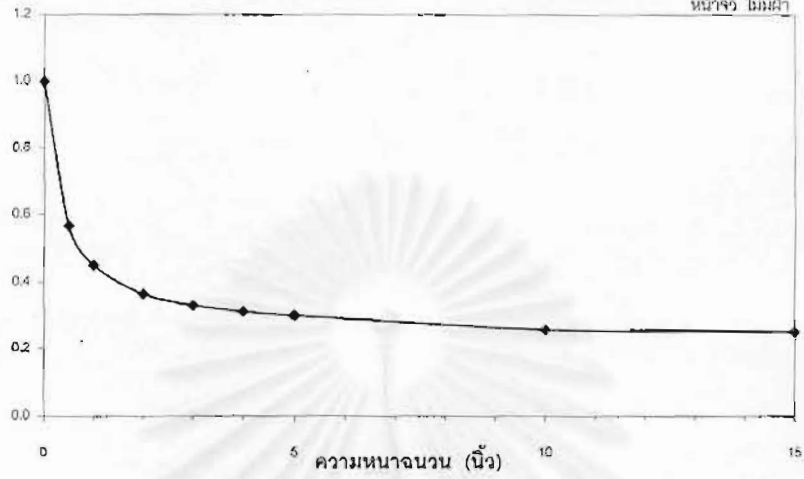
รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาฉนวนใยแก้วกับความร้อนสัมผัส สำหรับหลังคาน้ำจั่วแบบคะธิดอ

ความร้อนสัมผัส



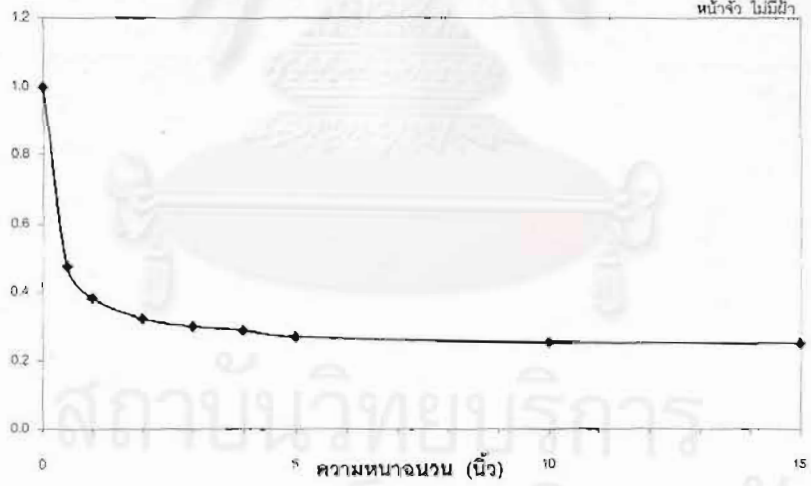
รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาฉนวนใยหินกับความร้อนสัมผัส สำหรับหลังคาน้ำจั่วแบบคะธิดอ

ความร้อนสัมพัทธ์



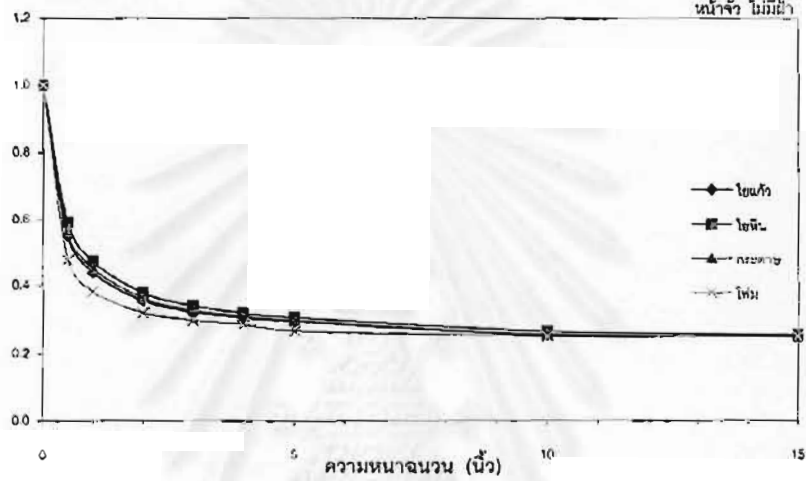
รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาจนวนกระดาษกับความร้อนสัมพัทธ์
สำหรับหลังคาน้ำจั่วแบบคະຮີດອ

ความร้อนสัมพัทธ์



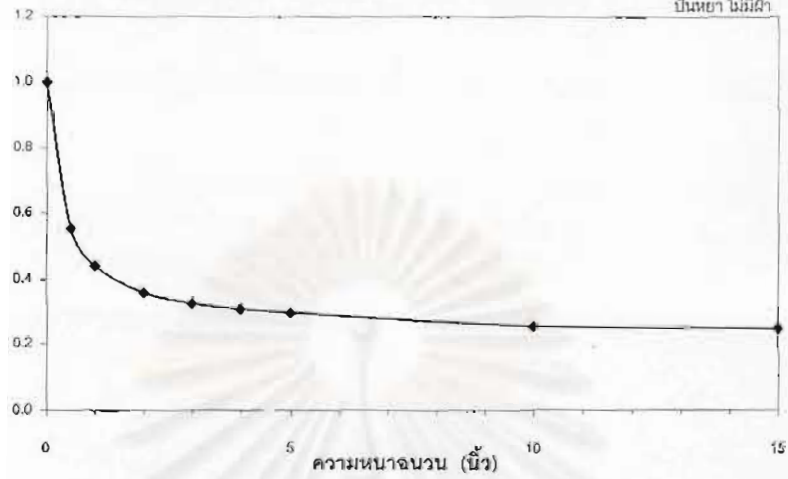
รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาจนวนโพนกับความร้อนสัมพัทธ์
สำหรับหลังคาน้ำจั่วแบบคະຮີດອ

ความชื้นสัมพัทธ์



รูปที่ 4.21 ผลของวัสดุฉนวนหลังคาหน้าจั่วแบบคະธီดอ

ความร้อนสัมผัส



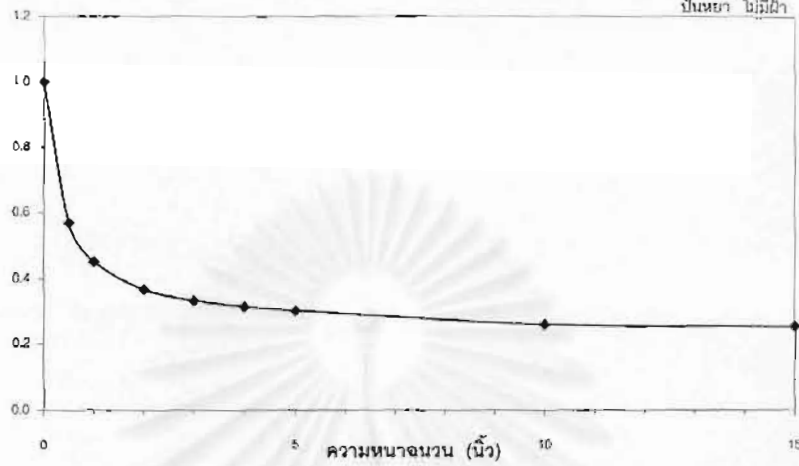
รูปที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างความหน่วงไอแก้วกับความร้อนสัมผัส
สำหรับหลังคาปั้นหย้าแบบคะธิดอ

ความร้อนสัมผัส



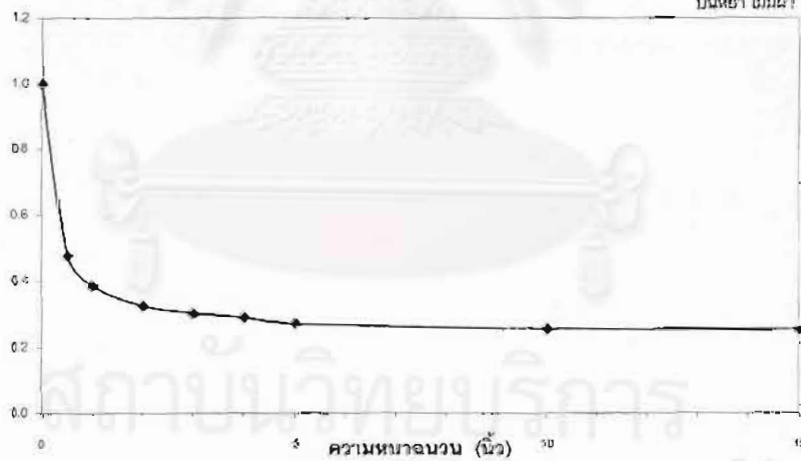
รูปที่ 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างความหน่วงไอหินกับความร้อนสัมผัส
สำหรับหลังคาปั้นหย้าแบบคะธิดอ

ความร้อนสัมพัทธ์



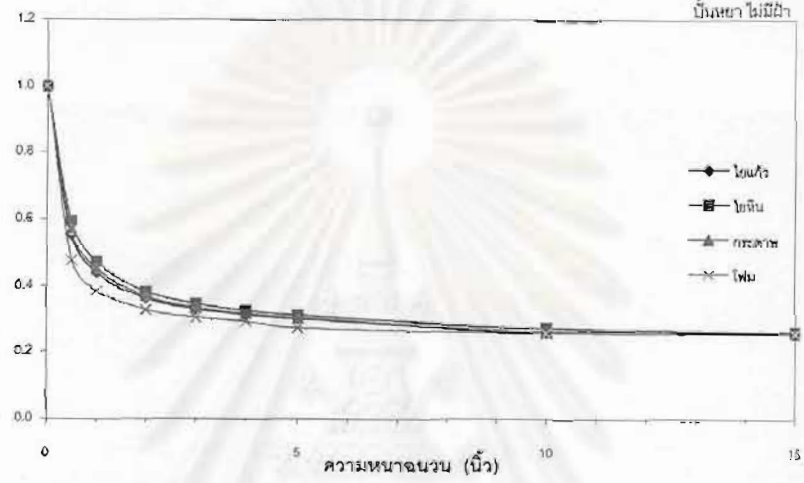
รูปที่ 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาจนวนกระดาษกับความร้อนสัมพัทธ์ สำหรับหลังคาปั้นหย้าแบบค้ำติด

ความร้อนสัมพัทธ์



รูปที่ 4.25 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาจนวนโฝมกับความร้อนสัมพัทธ์ สำหรับหลังคาปั้นหย้าแบบค้ำติด

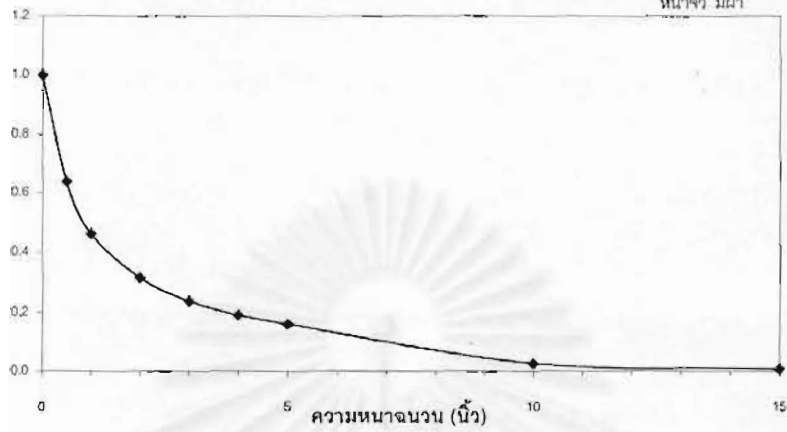
ความร้อนสัมพัทธ์



รูปที่ 4.26 ผลของวัสดุฉนวนหลังคาบ้านหยาดแบบกระเบื้อง

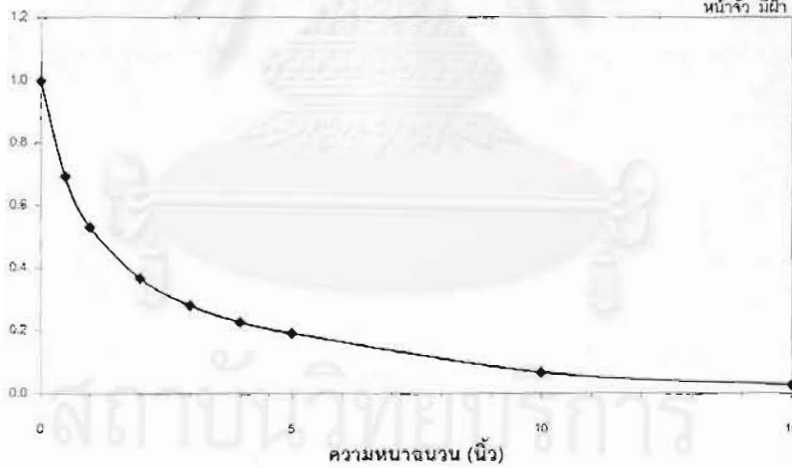
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ความร้อนสัมพัทธ์



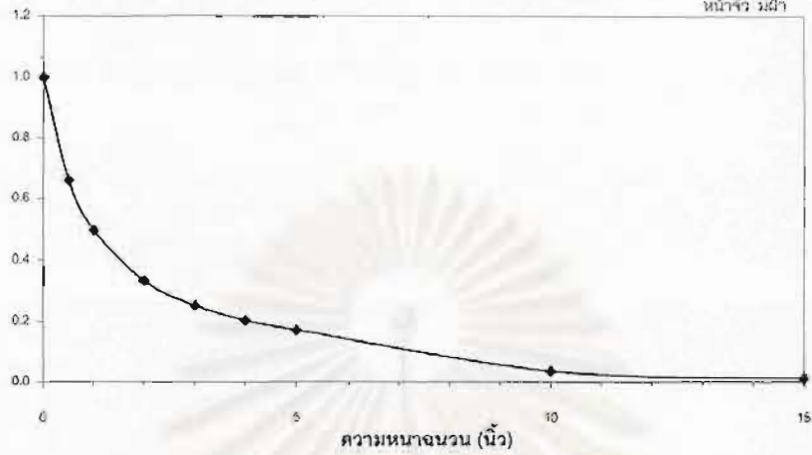
รูปที่ 4.27 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาจนวนโยแกวกับความร้อนสัมพัทธ์
สำหรับหลังคาน้ำจั่วแบบมีช่องใต้หลังคา (ติดจนวนบนฝ้า)

ความร้อนสัมพัทธ์



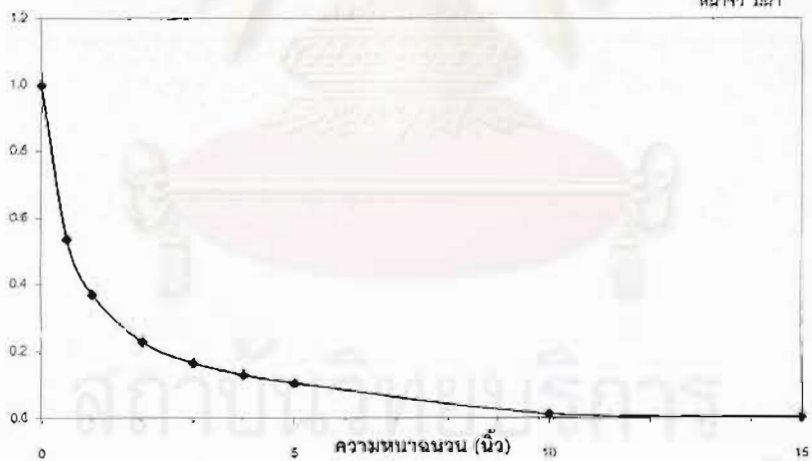
รูปที่ 4.28 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาจนวนโยหีนกับความร้อนสัมพัทธ์
สำหรับหลังคาน้ำจั่วแบบมีช่องใต้หลังคา (ติดจนวนบนฝ้า)

ความร้อนสัมผัส



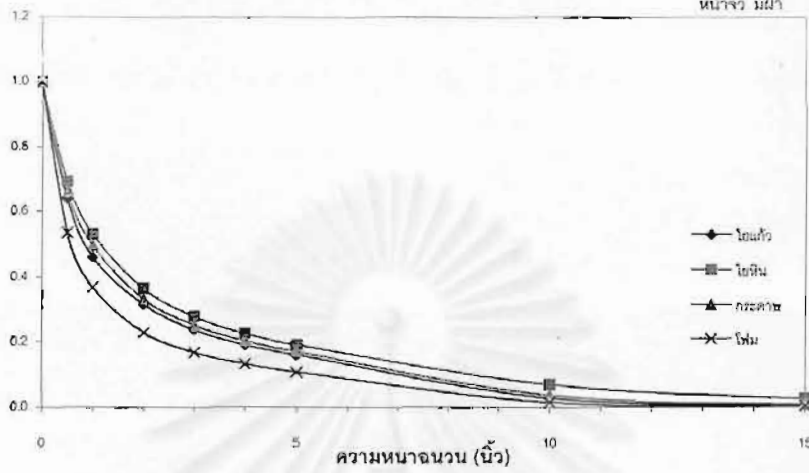
รูปที่ 4.29 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกระดาดกับความร้อนสัมผัส
สำหรับหลังคาน้ำจั่วแบบมีช่องใต้หลังคา (ติดตั้งบนฝ้า)

ความร้อนสัมผัส



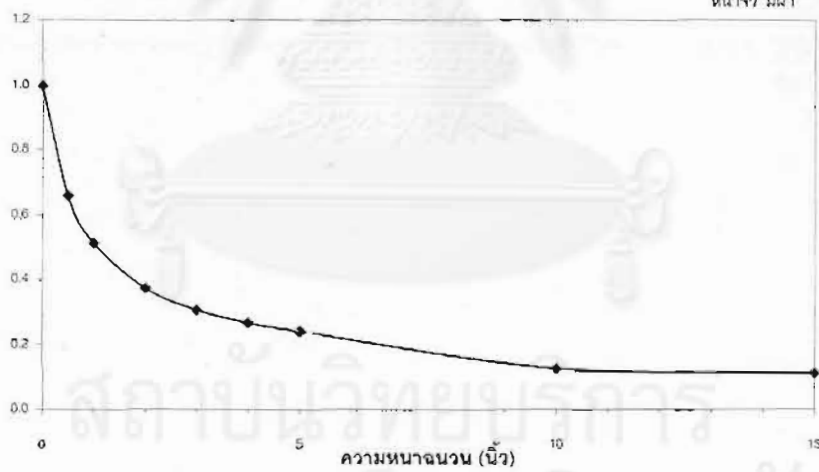
รูปที่ 4.30 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นโพนกับความร้อนสัมผัส
สำหรับหลังคาน้ำจั่วแบบมีช่องใต้หลังคา (ติดตั้งบนฝ้า)

ความร้อนสัมพัทธ์



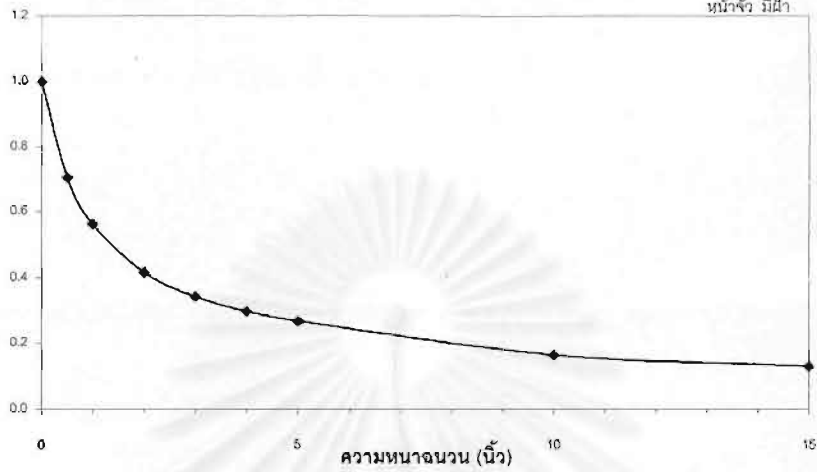
รูปที่ 4.31 ผลของวัสดุจนวนหลังคาน้ำจ้วแบบมีช่องใต้หลังคาติดตั้งจนวนบนฝ้า

ความร้อนสัมพัทธ์



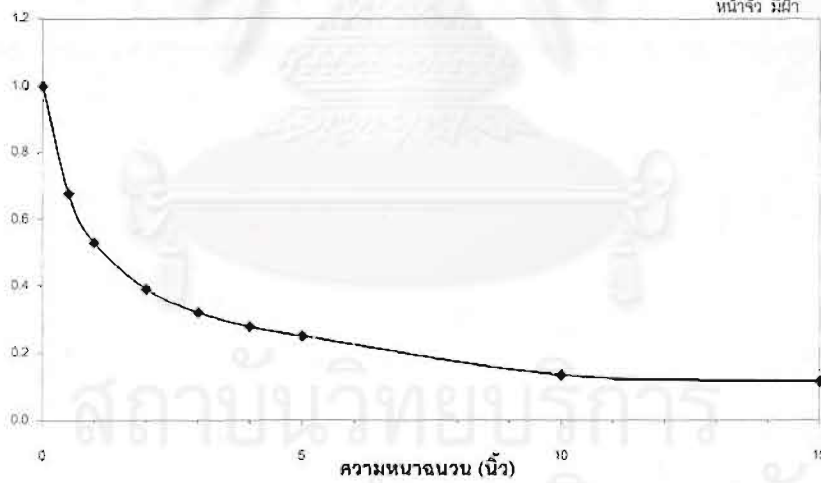
รูปที่ 4.32 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาจนวนโยแก้วกับความร้อนสัมพัทธ์ สำหรับหลังคาน้ำจ้วแบบมีช่องใต้หลังคา (ติดตั้งจนวนใต้หลังคา)

ความร้อนสัมผัส



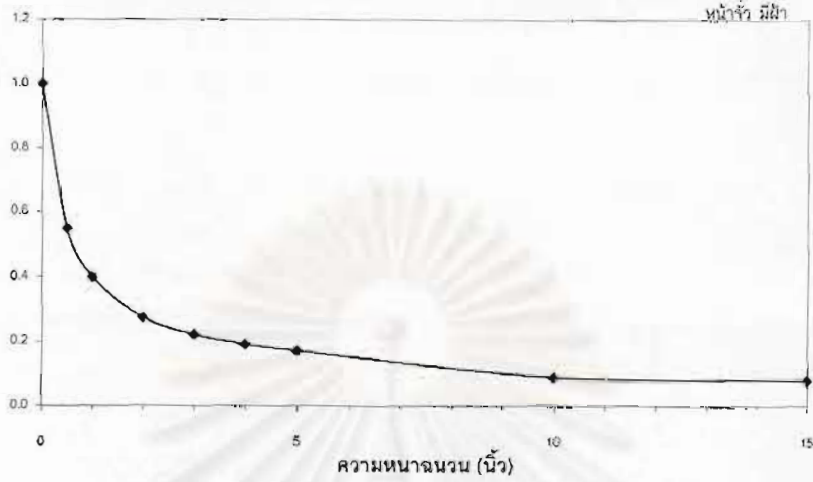
รูปที่ 4.33 ความสัมพันธ์ระหว่างความหน่วงวนโยหินกับความร้อนสัมผัส
สำหรับหลังคาน้ำจ้วแบบมีซี่ของได้หลังคา (ติดฉนวนใต้หลังคา)

ความร้อนสัมผัส



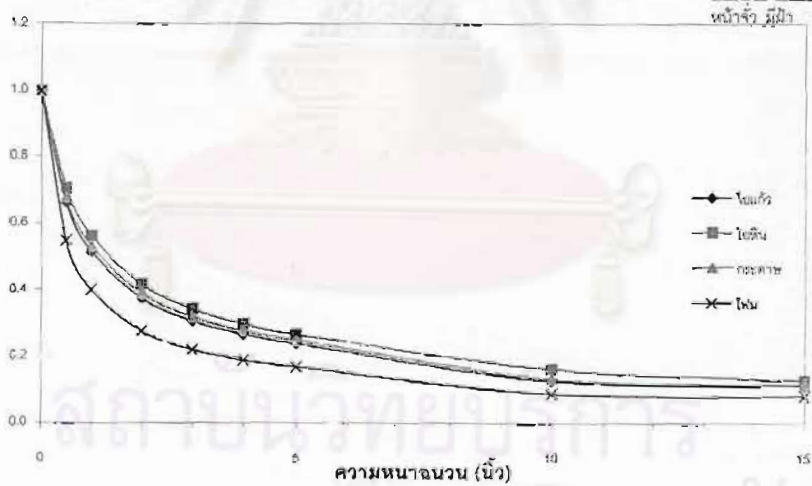
รูปที่ 4.34 ความสัมพันธ์ระหว่างความหน่วงวนกระดาษกับความร้อนสัมผัส
สำหรับหลังคาน้ำจ้วแบบมีซี่ของได้หลังคา (ติดฉนวนใต้หลังคา)

ความร้อนสัมพัทธ์

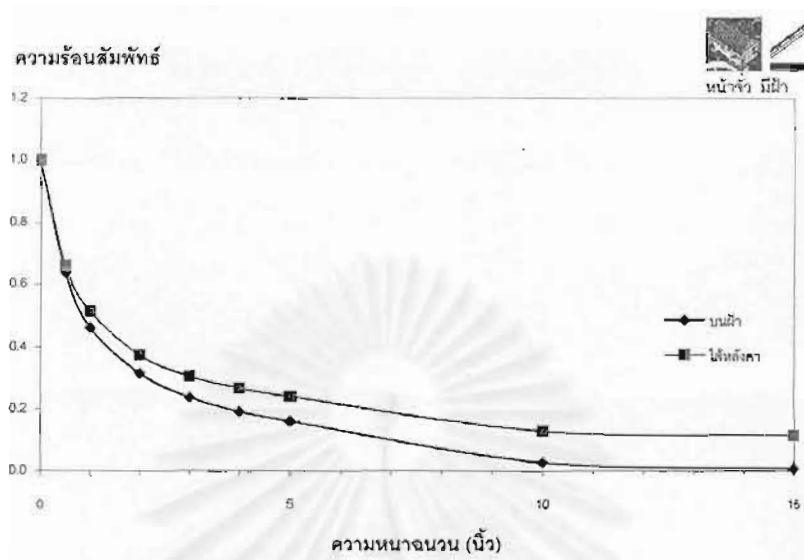


รูปที่ 4.35 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นฟิมกับความร้อนสัมพัทธ์
สำหรับหลังคาน้ำจั่วแบบมีช่องใต้หลังคา (ติดตั้งนอตใต้หลังคา)

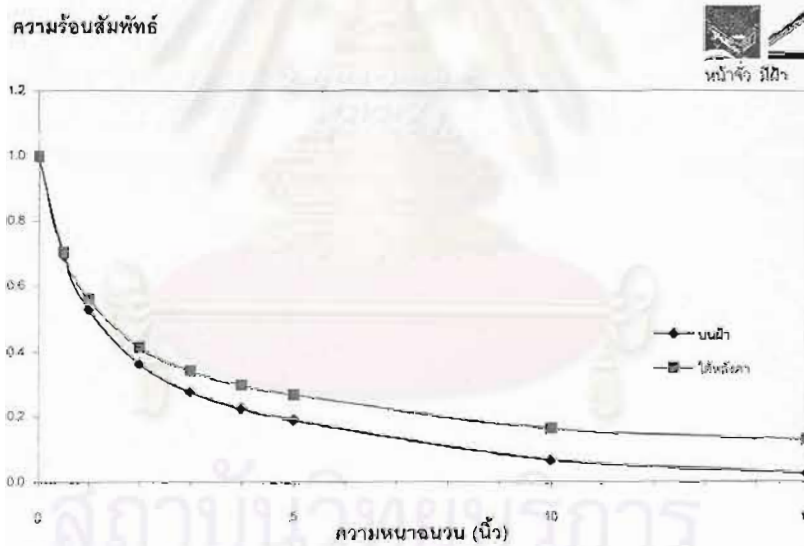
ความร้อนสัมพัทธ์



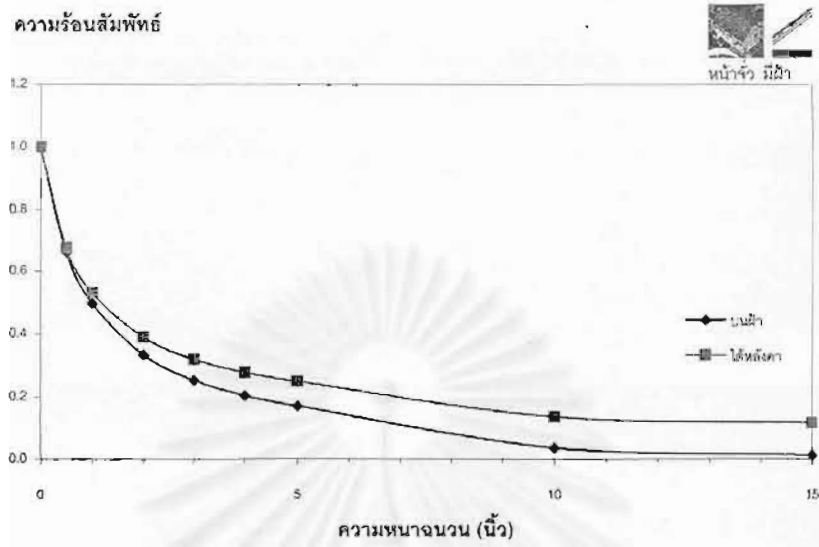
รูปที่ 4.36 ผลของวัสดุอนุพันธ์หลังคาน้ำจั่วแบบมีช่องใต้หลังคาติดตั้งนอตใต้หลังคา



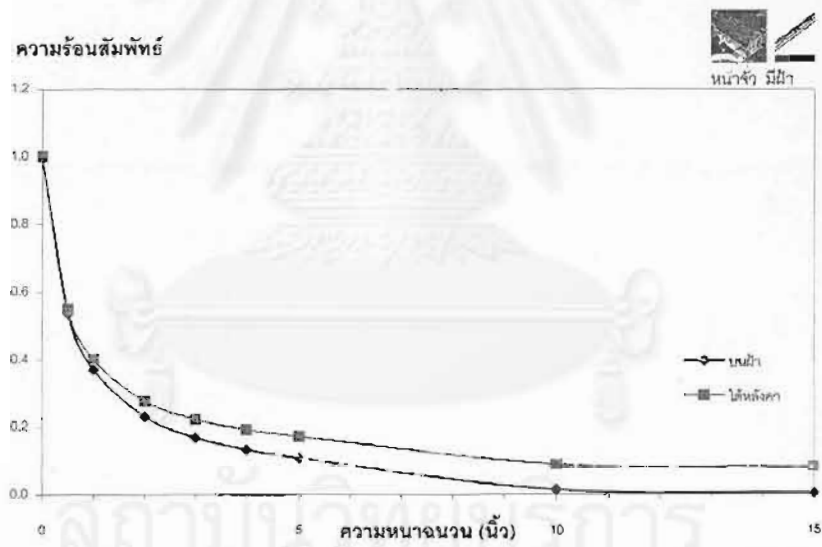
รูปที่ 4.37 ผลของตำแหน่งการติดตั้งฉนวนใยแก้วสำหรับหลังคาน้ำจั่ว



รูปที่ 4.38 ผลของตำแหน่งการติดตั้งฉนวนใยหินสำหรับหลังคาน้ำจั่ว

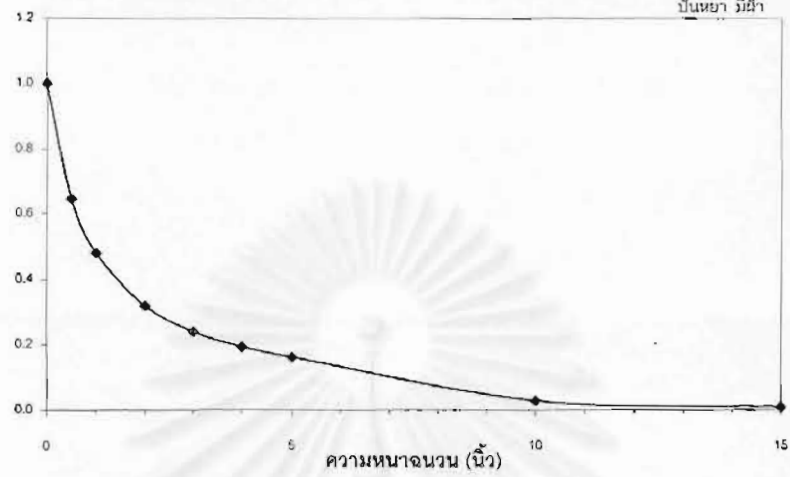


รูปที่ 4.39 ผลของตำแหน่งการติดตั้งจนวนกระดาดสำหรับหลังคาหน้าจั่ว



รูปที่ 4.40 ผลของตำแหน่งการติดตั้งจนวนโพนสำหรับหลังคาหน้าจั่ว

ความร้อนสัมพัทธ์



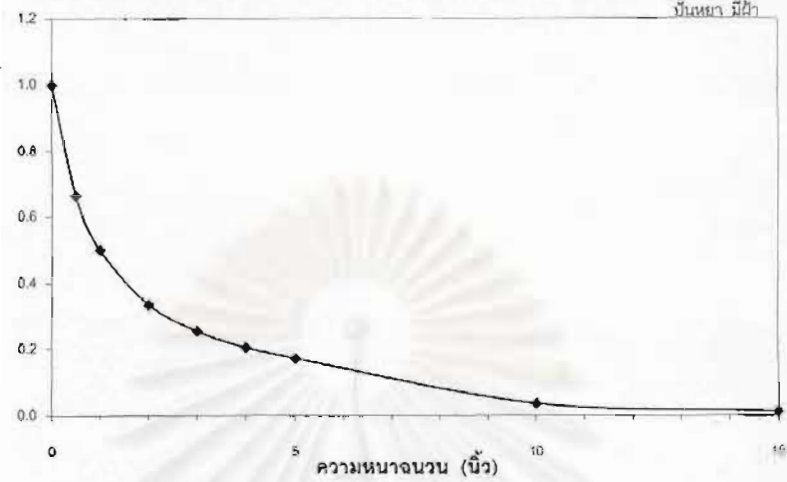
รูปที่ 4.41 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นโยแก้วกับความร้อนสัมพัทธ์ สำหรับหลังคาบ้านหนาแบบมีช่องใต้หลังคา (ติดตั้งบนฝ้า)

ความร้อนสัมพัทธ์



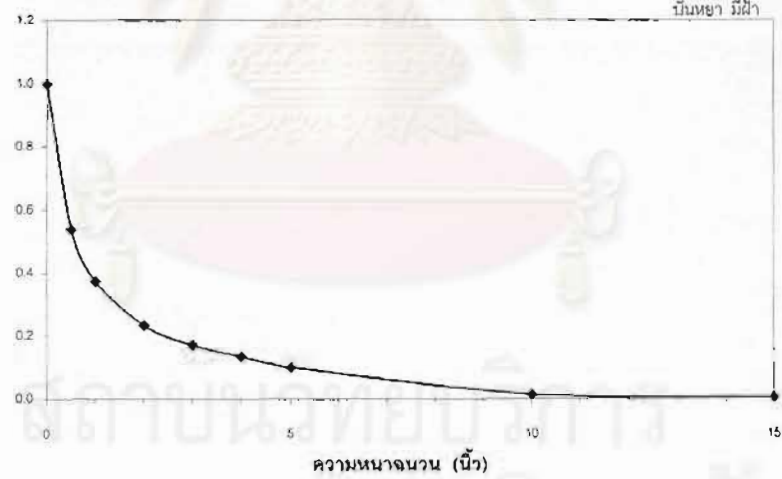
รูปที่ 4.42 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นโยหินกับความร้อนสัมพัทธ์ สำหรับหลังคาบ้านหนาแบบมีช่องใต้หลังคา (ติดตั้งบนฝ้า)

ความร้อนสัมพัทธ์



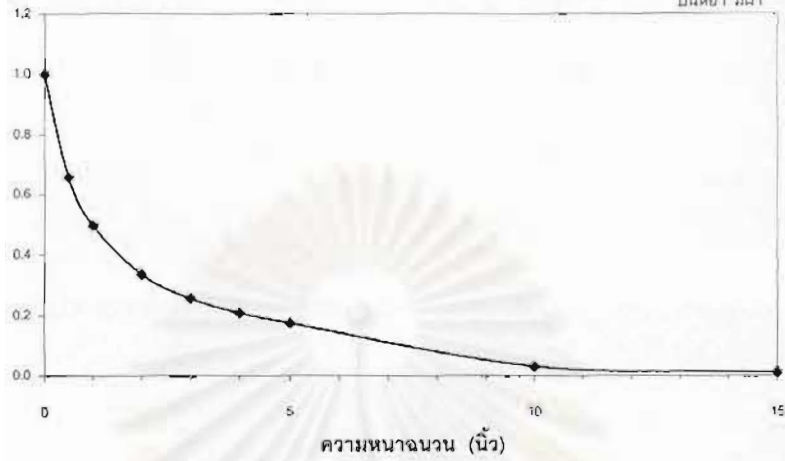
รูปที่ 4.43 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาจนวนกระดากับความร้อนสัมพัทธ์
สำหรับหลังคาปั้นหย้าแบบมีช่องใต้หลังคา (ติดตั้งบนบนฝ้า)

ความร้อนสัมพัทธ์



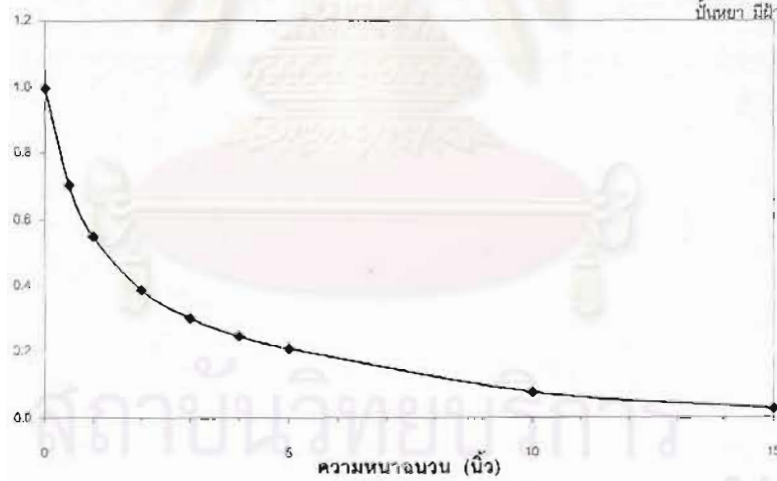
รูปที่ 4.44 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาจนวนโพนกับความร้อนสัมพัทธ์
สำหรับหลังคาปั้นหย้าแบบมีช่องใต้หลังคา (ติดตั้งบนบนฝ้า)

ความร้อนสัมผัส



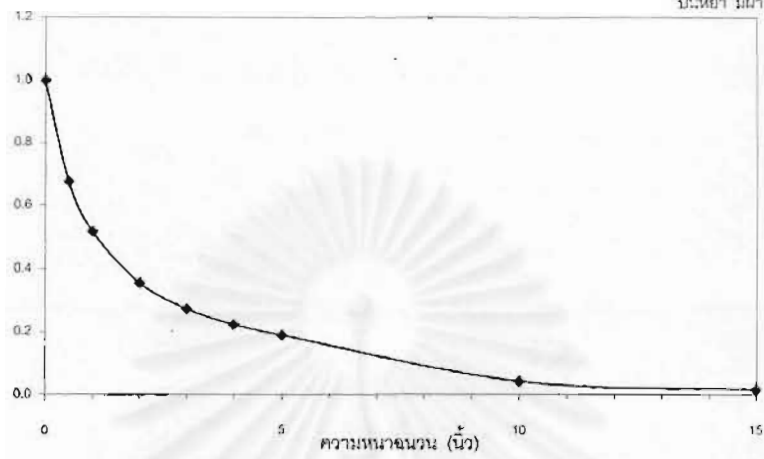
รูปที่ 4.45 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาจนวนโยแก้วกับความร้อนสัมผัส
สำหรับหลังคาบันหยาบแบบมีช่องใต้หลังคา (ติดจนวนใต้หลังคา)

ความร้อนสัมผัส



รูปที่ 4.46 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาจนวนโยหินกับความร้อนสัมผัส
สำหรับหลังคาบันหยาบแบบมีช่องใต้หลังคา (ติดจนวนใต้หลังคา)

ความร้อนสัมผัส



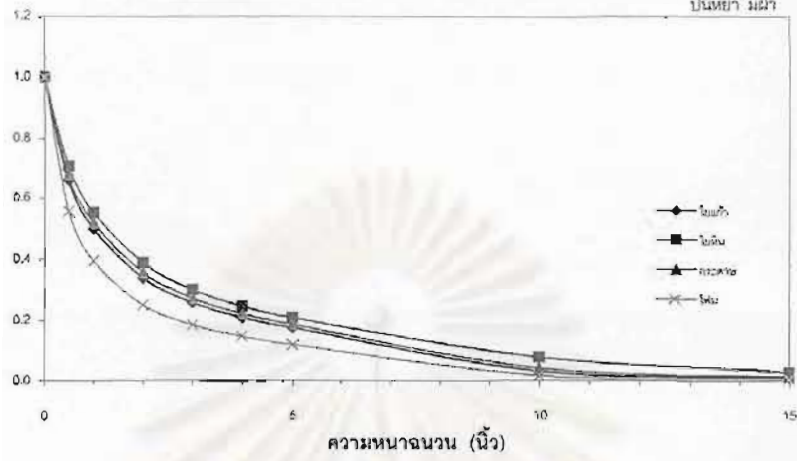
รูปที่ 4.47 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกระดาษกับความร้อนสัมผัส สำหรับหลังคาปั้นหย่าแบบมีช่องใต้หลังคา (ติดฉนวนใต้หลังคา)

ความร้อนสัมผัส



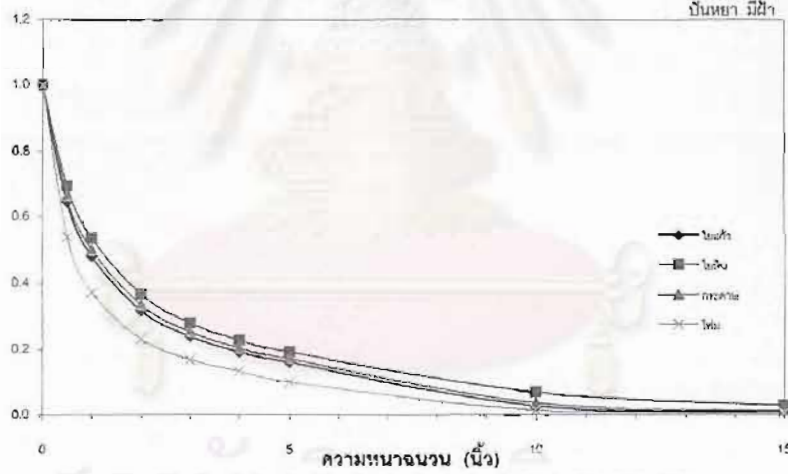
รูปที่ 4.48 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นโฟมกับความร้อนสัมผัส สำหรับหลังคาปั้นหย่าแบบมีช่องใต้หลังคา (ติดฉนวนใต้หลังคา)

ความชื้นสัมพัทธ์



รูปที่ 4.49 ผลของวัสดุจนวนหลังค้ำบ้านยาแบบมีช่องใต้หลังคาติดตั้งจนวนไม้

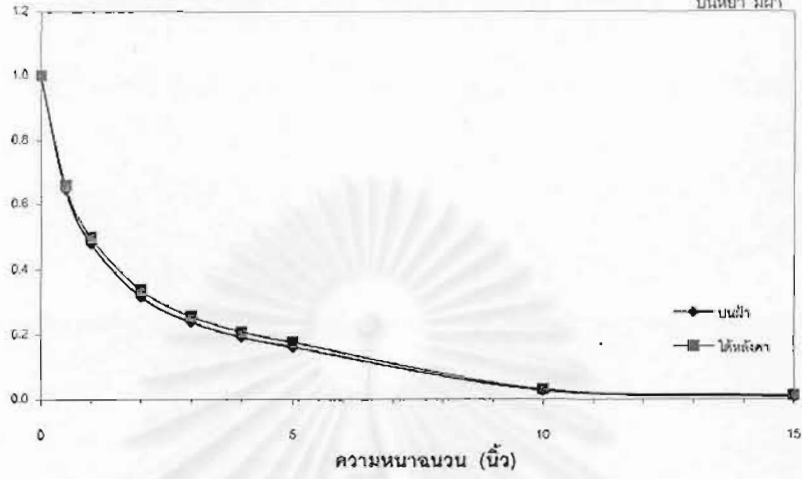
ความชื้นสัมพัทธ์



รูปที่ 4.50 ผลของวัสดุจนวนหลังค้ำบ้านยาแบบมีช่องใต้หลังคาติดตั้งจนวนไม้หลังค้ำ

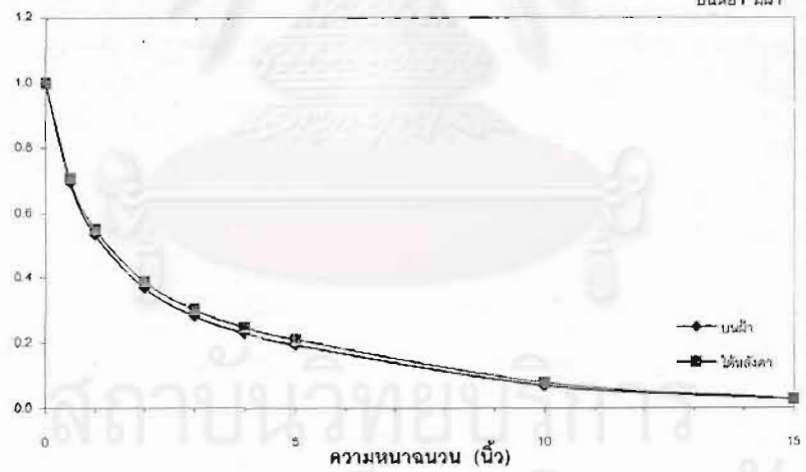
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ความร้อนสัมผัส

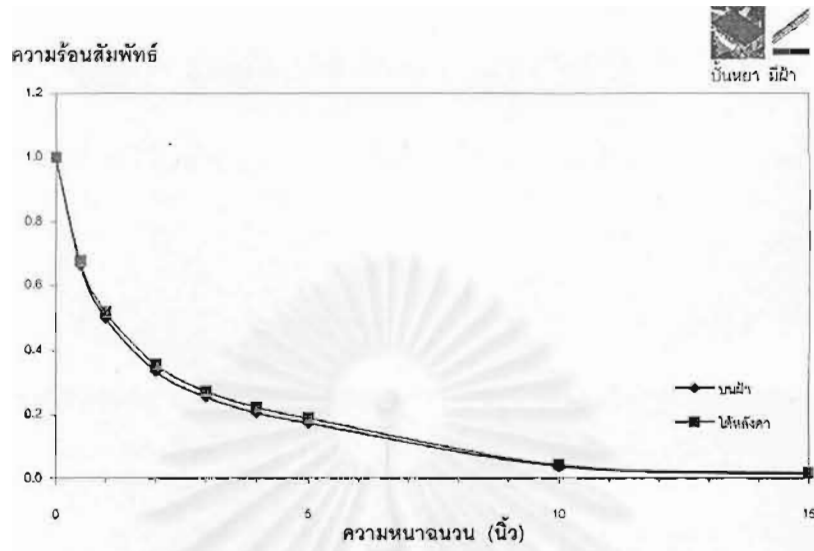


รูปที่ 4.51 ผลของตำแหน่งการติดตั้งจนวนโยแก้วสำหรับหลังคาปั้นหย้า

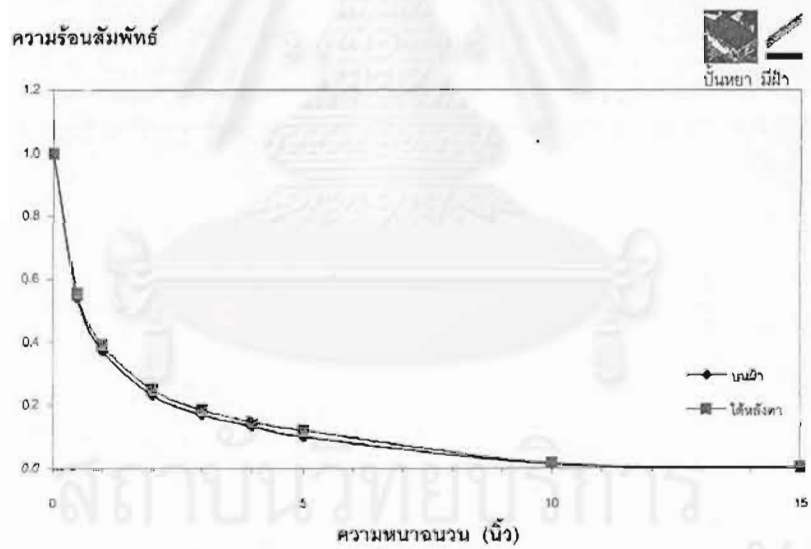
ความร้อนสัมผัส



รูปที่ 4.52 ผลของตำแหน่งการติดตั้งจนวนโยหินสำหรับหลังคาปั้นหย้า



รูปที่ 4.53 ผลของตำแหน่งการติดตั้งฉนวนกระดาดสำหรับหลังคาปั้นหย่า

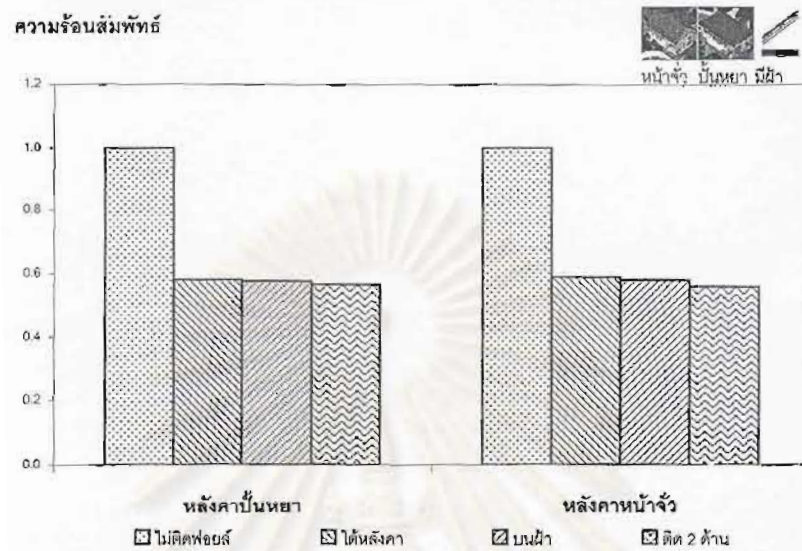


รูปที่ 4.54 ผลของตำแหน่งการติดตั้งฉนวนโฟมสำหรับหลังคาปั้นหย่า

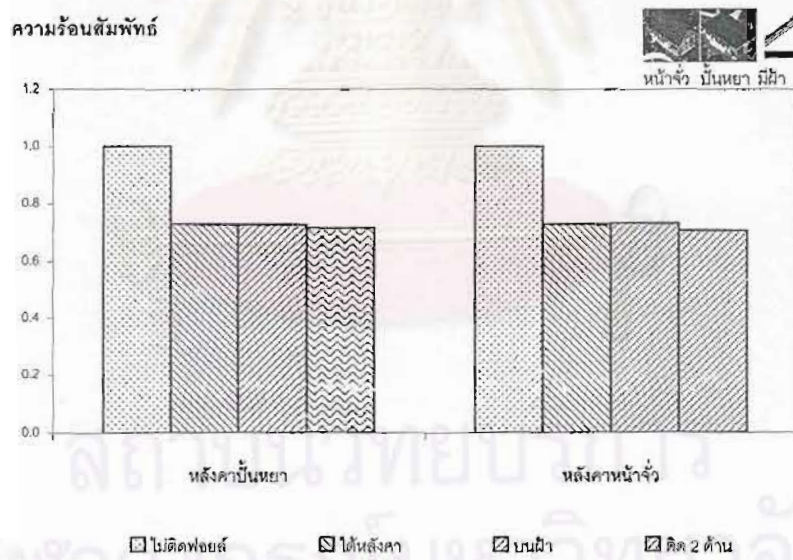
ผลของชนิดของวัสดุที่นำมาใช้เป็นฉนวนกันความร้อน พิจารณารูปที่ 4.5,4.10,4.15,4.20, 4.21,4.33,4.34 แสดงเปรียบเทียบกันระหว่างชนิดของวัสดุต่างๆ คือ โยแก้ว โยหิน กระดาษ และ โฟม สำหรับหลังคารูปทรงต่างๆ พบว่า ที่ความหนาฉนวนกันความร้อนเท่ากับมีค่าความร้อนสัมพัทธ์ใกล้เคียงกัน และฉนวนกันความร้อนที่ทำมาจากโฟมสามารถกันความร้อนที่ผ่านระบบหลังคาได้มากที่สุด รองลงมาเป็นโยแก้ว กระดาษ และโยหิน ตามลำดับ

ผลของตำแหน่งการติดตั้งฉนวนกันความร้อน พิจารณาเป็น 2 กรณีคือ ติดตั้งฉนวนเหนือ ฝ้าเพดานและติดตั้งฉนวนใต้วัสดุผนังหลังคา จากรูปที่ 4.37-4.40,4.51-4.54 แสดงถึงแนวโน้มของปริมาณความร้อนที่ผ่านระบบหลังคาที่สัมพันธ์กับความหนาฉนวนกันความร้อนและตำแหน่งการติดตั้งฉนวน พบว่า ที่ความหนาฉนวนกันความร้อนเท่ากัน ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านระบบหลังคาเข้าสู่ภายในนั้นมีค่าใกล้เคียงกันสำหรับหลังคารูปทรงปั้นหย่าแบบมีช่องใต้หลังคา และที่ความหนาฉนวนกันความร้อนเท่ากัน ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านระบบหลังคาเข้าสู่ภายในนั้น การติดตั้งฉนวนกันความร้อนเหนือฝ้าเพดานสามารถป้องกันความร้อนส่วนนี้ได้ดีกว่าการติดตั้งฉนวนกันความร้อนใต้วัสดุผนังหลังคา เนื่องจากกรณีหลังคาน้ำจั่วที่ติดตั้งฉนวนกันความร้อนใต้วัสดุผนังหลังคาจะไม่ติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่ตำแหน่งกรอบของโชนที่เป็นกำแพง จึงทำให้ความร้อนจากภายนอกผ่านผนังและฝ้าเพดานเข้าสู่ภายในได้ และในกรณีที่หลังคาน้ำจั่วแบบมีช่องใต้หลังคา มีปริมาณความร้อนไม่เข้าสู่ 0 ก็เป็นเพราะเหตุผลทำนองเดียวกับกรณีหลังคาแบบคະຮັດ คือ มีผลจากการถ่ายเทความร้อนแบบแผ่รังสีจากพื้นผิวต่างๆภายในโชน

4.8 อิทธิพลของอุณหภูมิเนียมพอยล์สะท้อนความร้อนที่มีต่อปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านระบบหลังคา

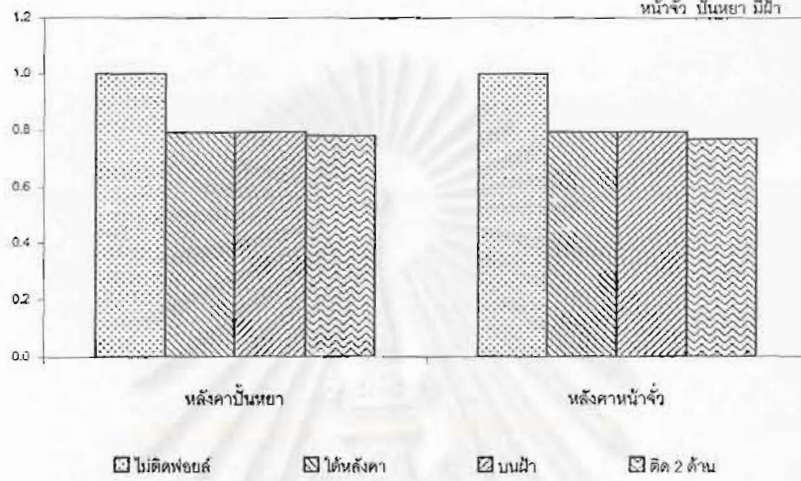


รูปที่ 4.55 ผลของตำแหน่งการติดพอยล์ต่อปริมาณความร้อนสัมพัทธ์สำหรับหลังคาทรงปั้นหย่าและหน้าจั่วแบบมีช่องใต้หลังคาไม่ติดตั้งฉนวน



รูปที่ 4.56 ผลของตำแหน่งการติดพอยล์ต่อปริมาณความร้อนสัมพัทธ์สำหรับหลังคาทรงปั้นหย่าและหน้าจั่วแบบมีช่องใต้หลังคา ติดฉนวน 1 นิ้ว

ความร้อนสัมพัทธ์



รูปที่ 4.57 ผลของตำแหน่งการติดพอยล์ต่อปริมาณความร้อนสัมพัทธ์สำหรับหลังคาทรงปั้นหย่าและหน้าจั่วแบบมีช่องใต้หลังคา ติดฉนวน 2 นิ้ว

4.8 อิทธิพลของอุณหภูมิเย็บพอยส์สะท้อนความร้อนที่มีต่อปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านระบบหลังคา (ต่อ)

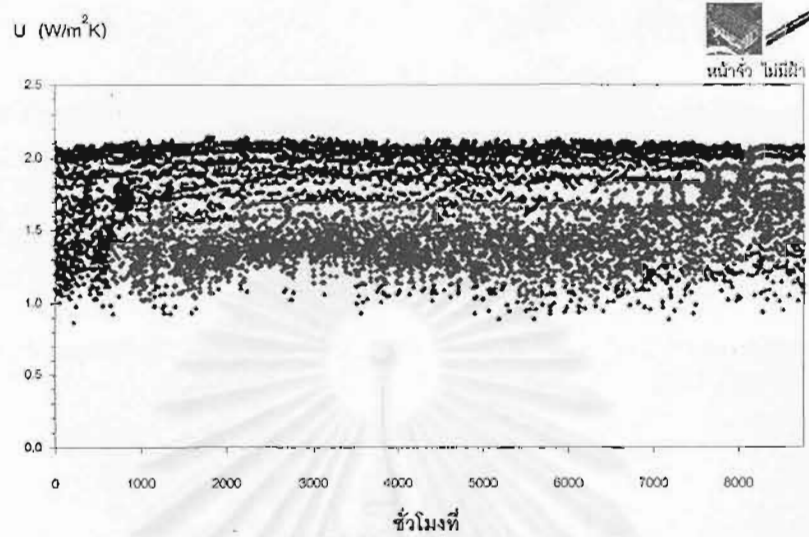
ศึกษาอิทธิพลของแผ่นสะท้อนความร้อนโดยคิดเสมือนว่าแผ่นสะท้อนความร้อนเป็นเพียงแผ่นบางๆ ไม่ถือเป็นชั้นของวัสดุในการจัดเรียงวัสดุในระบบหลังคา เป็นเพียงผิวของวัสดุเท่านั้น กล่าวคือ ถ้าวางแผ่นสะท้อนความร้อนไว้บนฉนวนกันความร้อนจะถือว่าฉนวนกันความร้อนดังกล่าวมีค่าการดูดซับความร้อนเนื่องจากรังสีคลื่นสั้น (short wave absorptivity) และค่าการแผ่ความร้อนเนื่องจากรังสีคลื่นยาว (long wave emissivity) ตามคุณสมบัติของแผ่นสะท้อนความร้อนนั้น แต่ในกรณีหลังคาที่ศึกษานี้จะเป็นผลจากค่าการแผ่รังสีความร้อนจากรังสีคลื่นยาวหรือผลจากการที่แต่ละพื้นผิวในชั้นมีอุณหภูมิผิวไม่เท่ากันเท่านั้น เนื่องจากไม่มีแสงแดดส่องเข้าในชั้นใต้หลังคาที่พิจารณา

พิจารณาผลของแผ่นสะท้อนความร้อนต่อพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคาโดยคำนวณปริมาณความร้อนกวมที่ติดตั้งแผ่นสะท้อนความร้อนที่ตำแหน่งต่างๆ คือ ติดแผ่นสะท้อนความร้อนเหนือฉนวนกันความร้อนที่ติดตั้งวางบนฝ้าเพดาน และติดแผ่นสะท้อนความร้อนใต้วัสดุฉนวนหลังคาเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่ได้ติดตั้งแผ่นสะท้อนความร้อน โดยพิจารณาหลังคารูปทรงหน้าจั่วและปั้นหยาแบบมีช่องใต้หลังคา

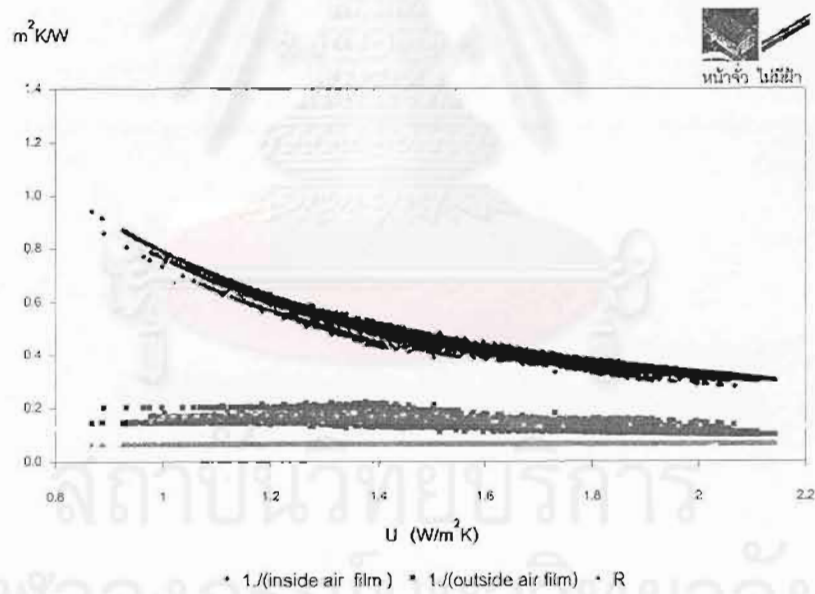
รูปที่ 4.55-4.57 แสดงถึงผลของการติดตั้งแผ่นสะท้อนความร้อน และผลของตำแหน่งการติดตั้งแผ่นสะท้อนความร้อนเปรียบเทียบกับระหว่างหลังคาชนิดเดียวกัน พบว่า การติดตั้งแผ่นสะท้อนความร้อนสามารถลดปริมาณความร้อนได้ประมาณ 40% สำหรับหลังคาที่ไม่ได้ติดตั้งฉนวน และ 30% สำหรับหลังคาที่ติดตั้งฉนวนกันความร้อนหนา 1 นิ้ว และ 20% สำหรับหลังคาที่ติดตั้งฉนวนกันความร้อนหนา 2 นิ้ว และผลของตำแหน่งการติดตั้งแผ่นสะท้อนความร้อนที่ตำแหน่งเหนือฝ้า และตำแหน่งใต้วัสดุฉนวนหลังคานั้นให้ผลการป้องกันความร้อนได้เท่ากัน นอกจากนี้หากติดตั้งแผ่นสะท้อนความร้อนที่ตำแหน่งเหนือฝ้าและใต้วัสดุฉนวนหลังคาทั้ง 2 ตำแหน่ง พบว่าความร้อนที่ถ่ายเทผ่านระบบหลังคาเข้าสู่ภายในไม่แตกต่างไปจากการติดตั้งแผ่นสะท้อนความร้อนที่ตำแหน่งใดเพียงตำแหน่งเดียวเท่านั้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

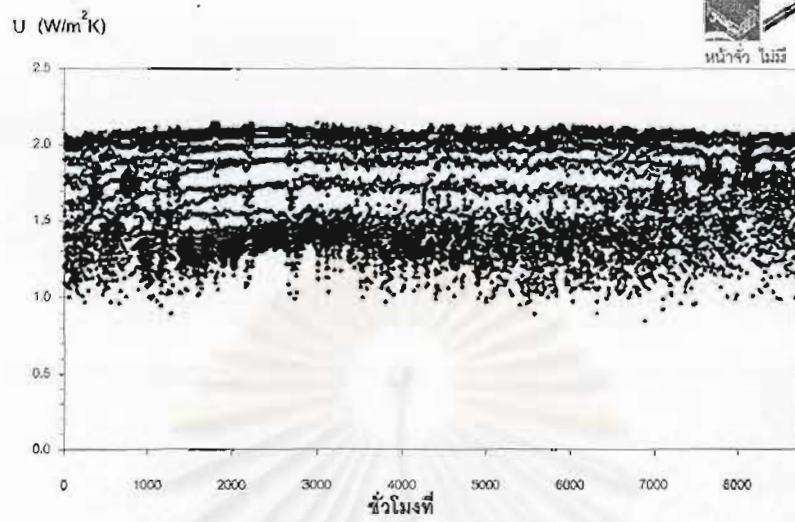
4.9 ค่า U ของหลังคาตัวอย่างและพารามิเตอร์ที่มีผลต่อค่า U



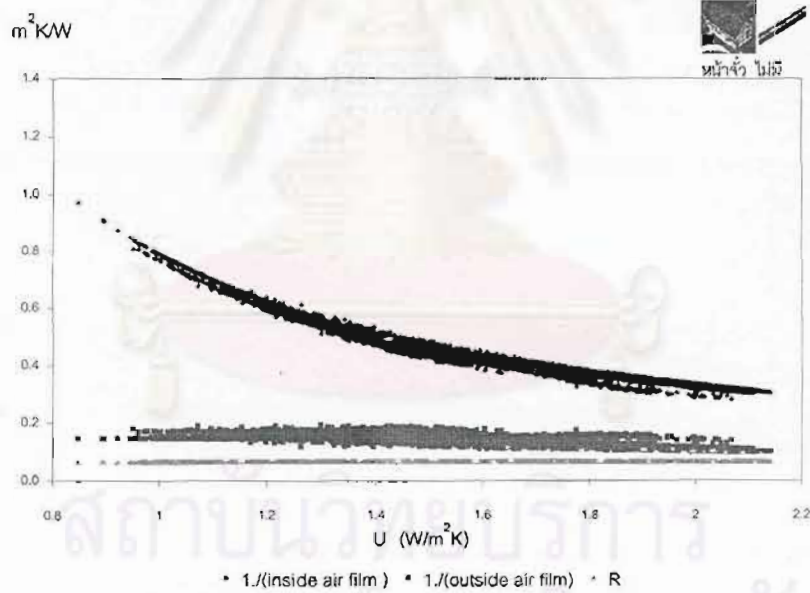
รูปที่ 4.58 ค่า U รายชั่วโมงตลอดทั้งปีของหลังคาน้ำจั่วแบบกระเบื้อง ไม้ติดฉนวน



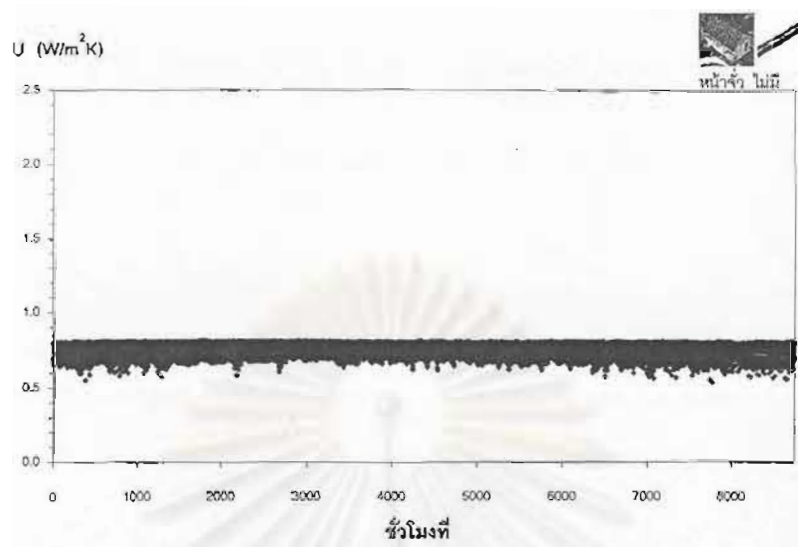
รูปที่ 4.59 อิทธิพลของพารามิเตอร์ต่างๆที่มีต่อค่า U ของหลังคาน้ำจั่วแบบกระเบื้อง



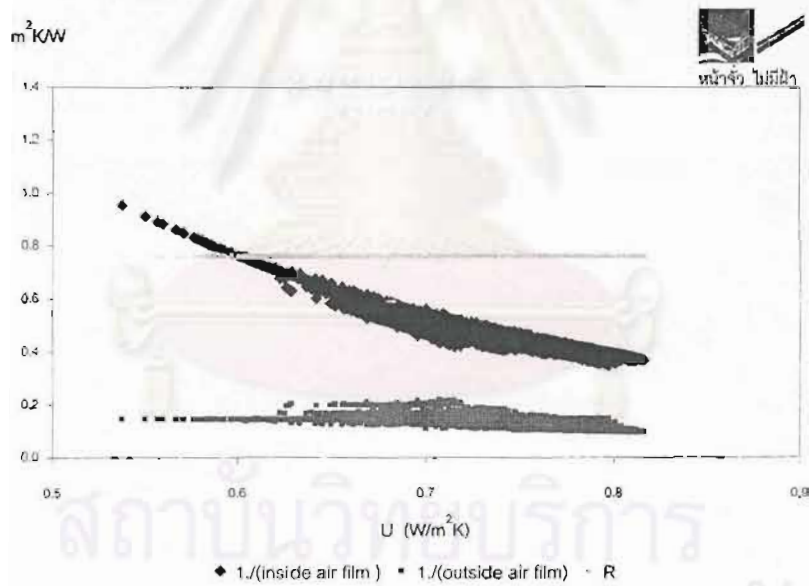
รูปที่ 4.60 ค่า U รายชั่วโมงตลอดทั้งปีของหลังคาน้ำจั่วแบบค้ำติดอ ไม่นิตดจนวน (กรณีที่ 2)



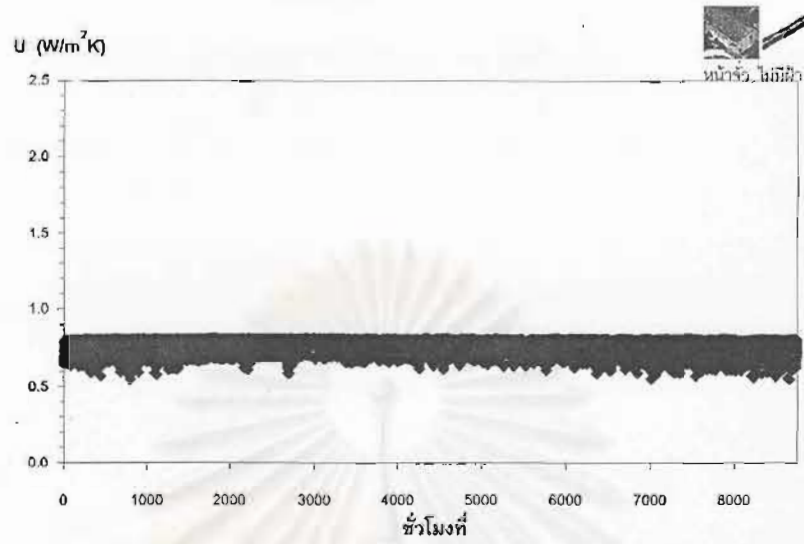
รูปที่ 4.61 อิทธิพลของพารามิเตอร์ต่างๆที่มีต่อค่า U ของหลังคาน้ำจั่วแบบค้ำติดอ ไม่นิตดจนวน (กรณีที่ 2)



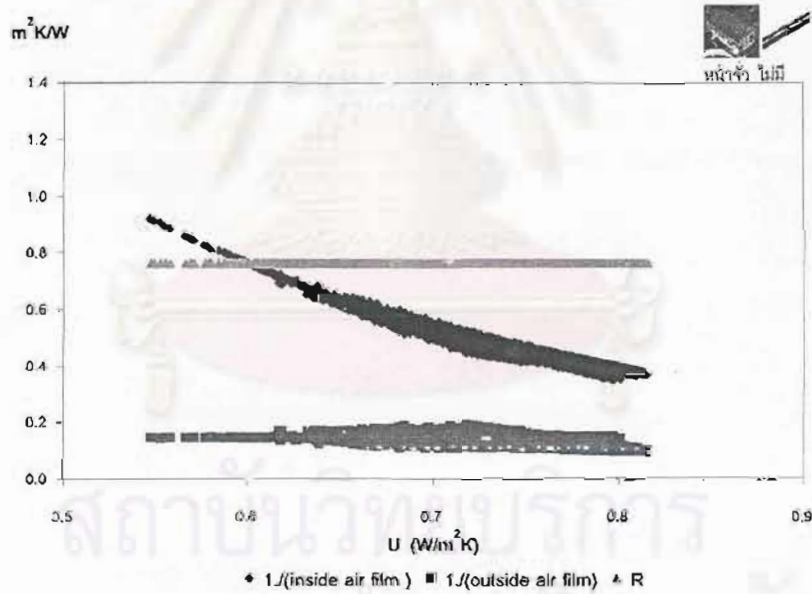
รูปที่ 4.62 ค่า U รายชั่วโมงตลอดทั้งปีของหลังคาน้ำจั่วแบบกระเบื้อง ดัดลอนนูน 1 นิ้ว



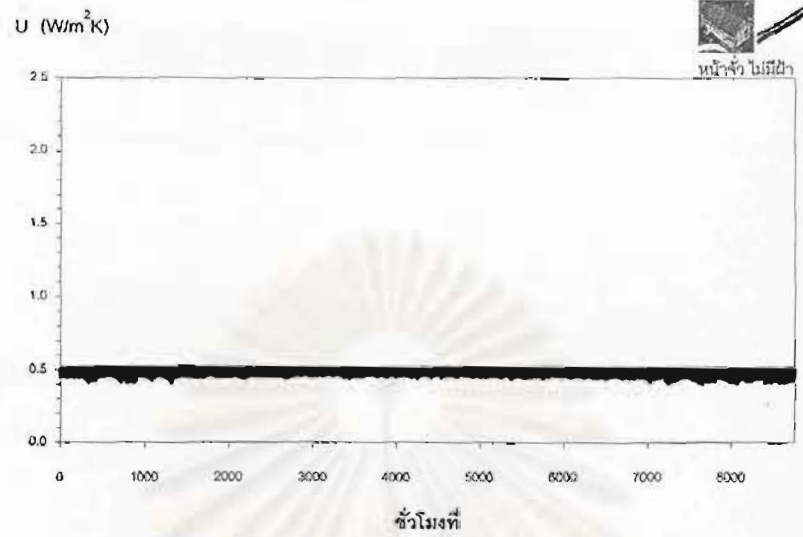
รูปที่ 4.63 อิทธิพลของพารามิเตอร์ต่างๆที่มีต่อค่า U ของหลังคาน้ำจั่วแบบกระเบื้อง ดัดตั้งลอนนูน 1 นิ้ว



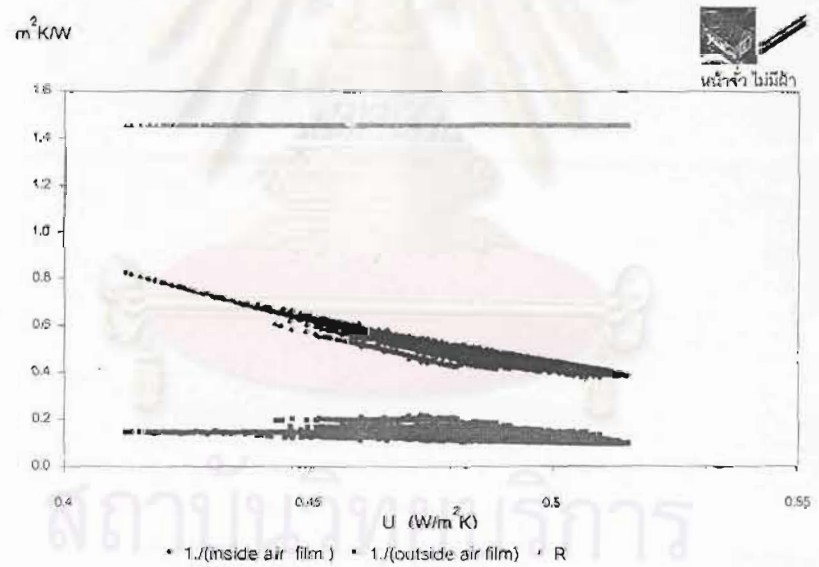
รูปที่ 4.64 ค่า U รายชั่วโมงตลอดทั้งปีของหลังคาหน้าจั่วแบบกระเบื้อง ติดฉนวน 1 นิ้ว (กรณีที่ 2)



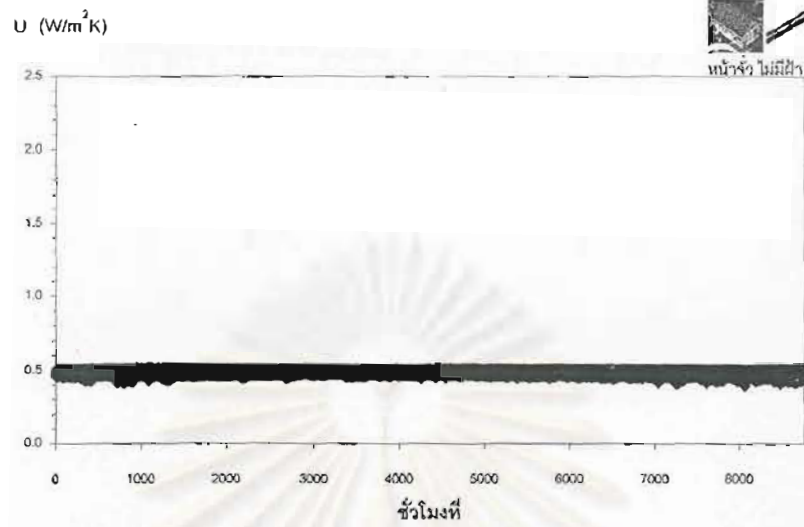
รูปที่ 4.65 อิทธิพลของพารามิเตอร์ต่างๆที่มีต่อค่า U ของหลังคาหน้าจั่วแบบกระเบื้อง ติดฉนวน 1 นิ้ว (กรณีที่ 2)



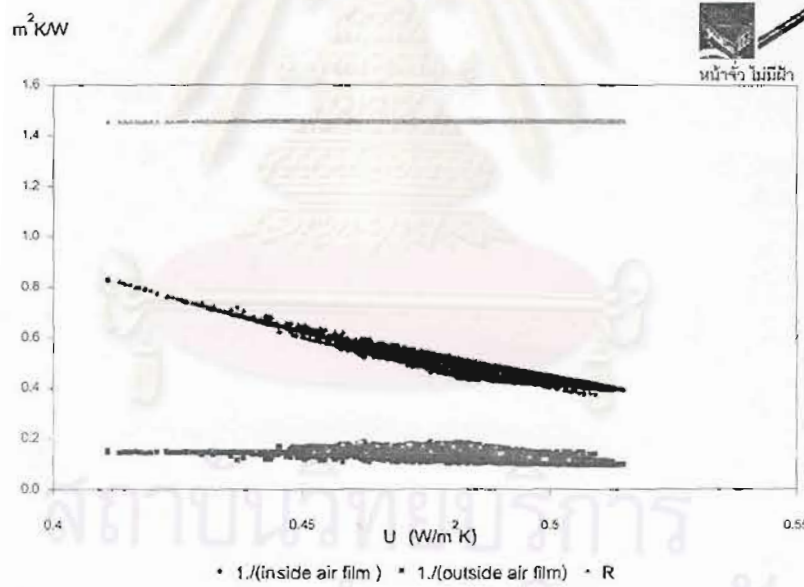
รูปที่ 4.66 ค่า U รายชั่วโมงตลอดทั้งปีของหลังคาน้ำจั่วแบบกระเบื้องติดตั้งฉนวน 2 นิ้ว



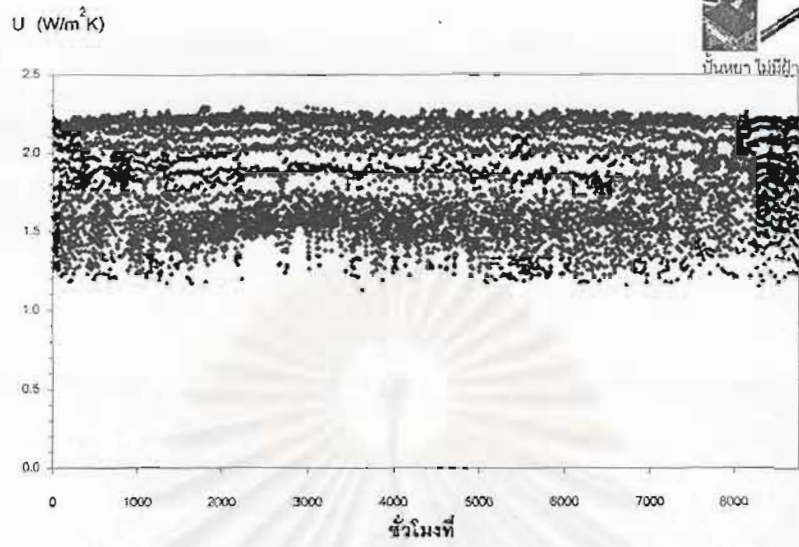
รูปที่ 4.67 อิทธิพลของพารามิเตอร์ต่างๆที่มีต่อค่า U ของหลังคาน้ำจั่วแบบกระเบื้องติดตั้งฉนวน 2 นิ้ว



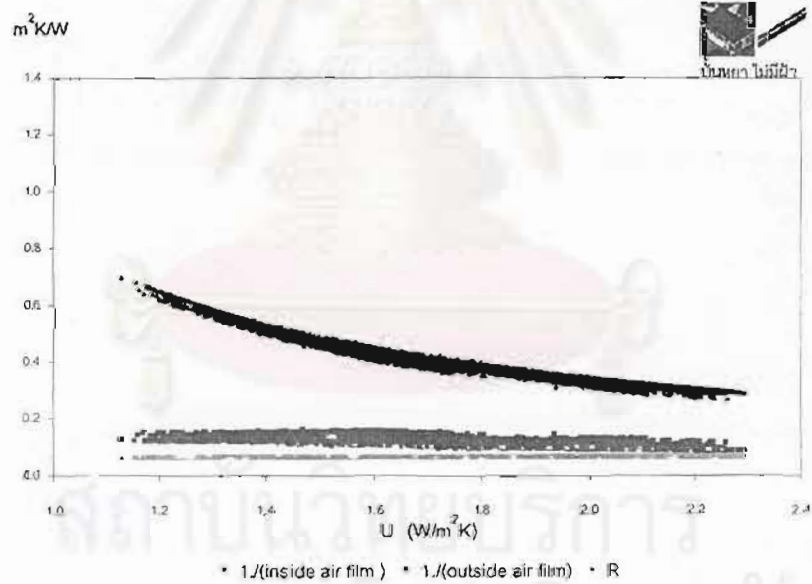
รูปที่ 4.68 ค่า U รายชั่วโมงตลอดทั้งปีของหลังคาหน้าจั่วแบบค้ำยันติดตั้งฉนวน 2 นิ้ว (กรณีที่ 2)



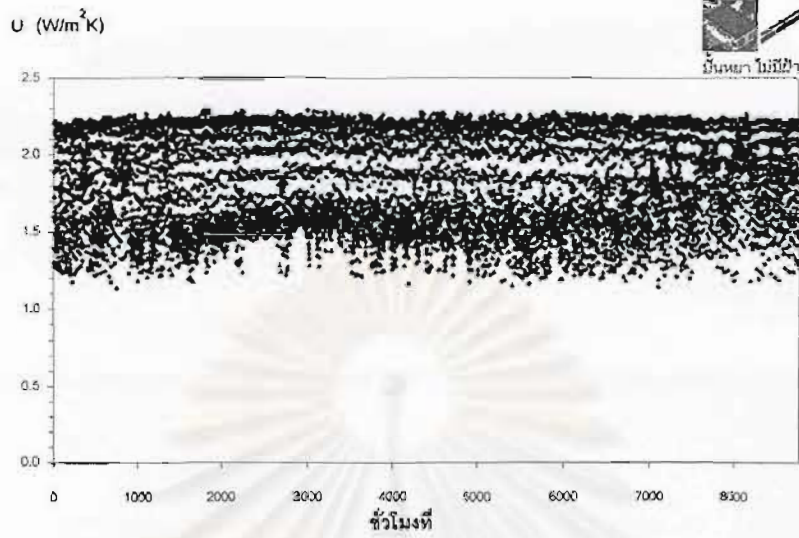
รูปที่ 4.69 อิทธิพลของพารามิเตอร์ต่างๆที่มีต่อค่า U ของหลังคาหน้าจั่วแบบค้ำยันติดตั้งฉนวน 2 นิ้ว (กรณีที่ 2)



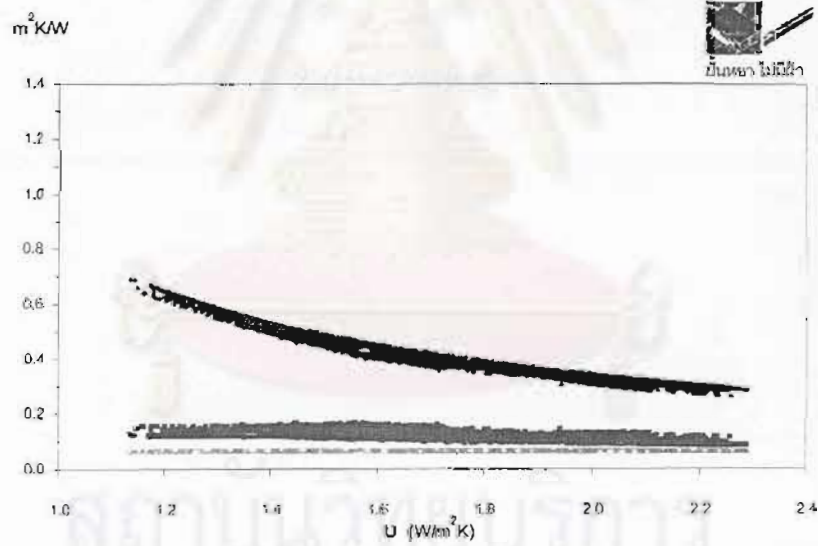
รูปที่ 4.70 ค่า U รายชั่วโมงตลอดทั้งปีของหลังคาบ้านหนาแบบกระเบื้อง ไม่มีติดฉนวน



รูปที่ 4.71 อิทธิพลของพารามิเตอร์ต่างๆที่มีต่อค่า U ของหลังคาบ้านหนาแบบกระเบื้อง ไม่มีติดฉนวน

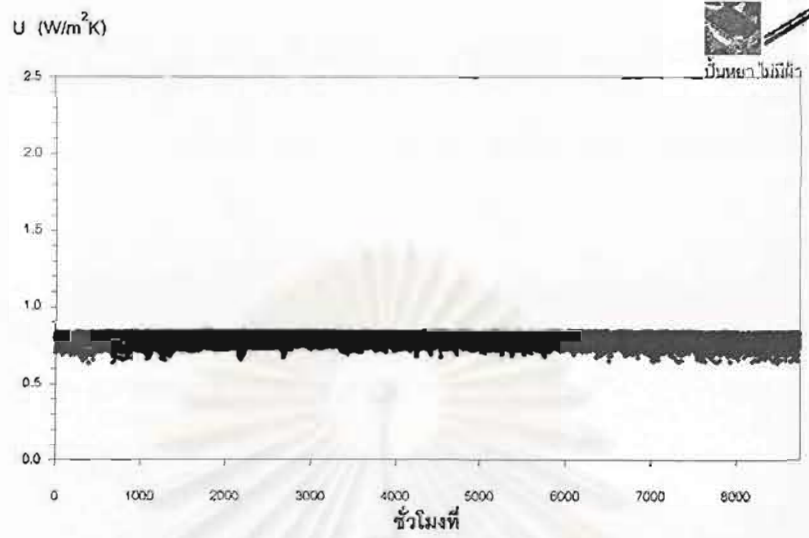


รูปที่ 4.72 ค่า U รายชั่วโมงตลอดทั้งปีของหลังคาบ้านหนาแบบคะธิดอ ไม่ติดฉนวน (กรณีที่ 2)

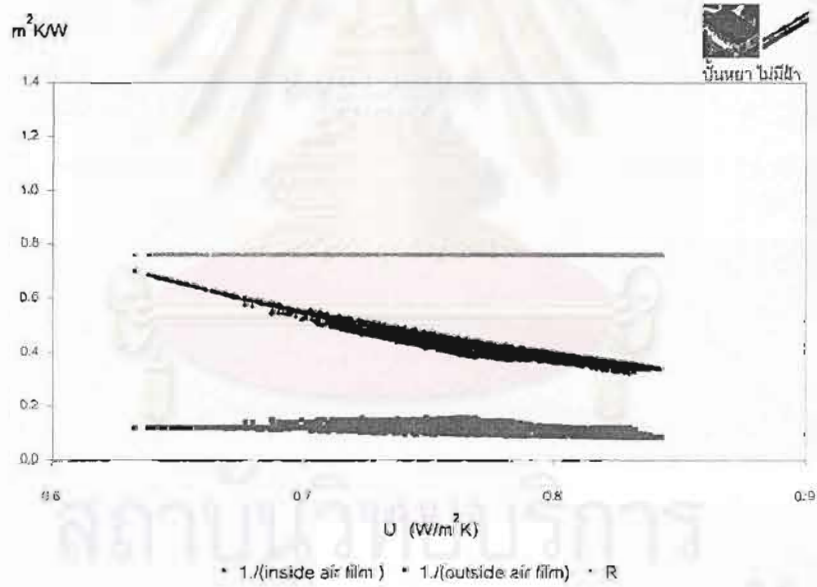


$$\bullet \frac{1}{U}(\text{inside air film}) + \frac{1}{U}(\text{outside air film}) + R$$

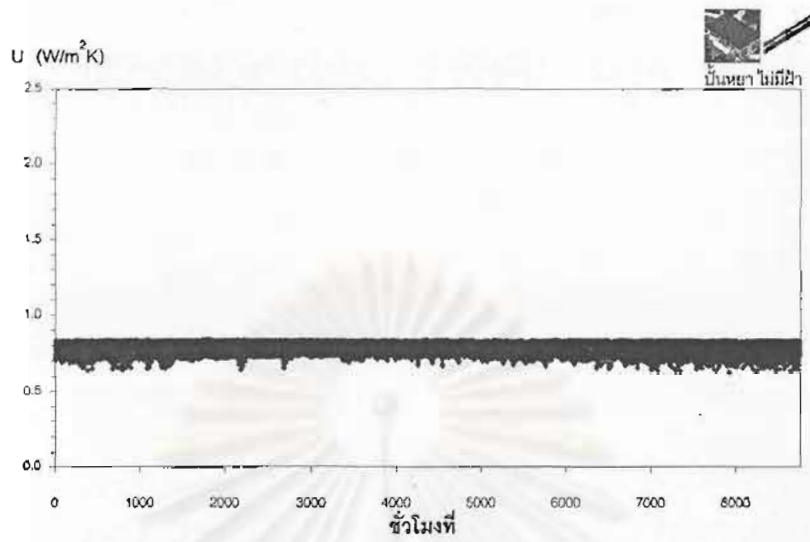
รูปที่ 4.73 อิทธิพลของหรรณมิติตัวต่างๆที่มีต่อค่า U ของหลังคาบ้านหนาแบบคะธิดอ ไม่ติดฉนวน (กรณีที่ 2)



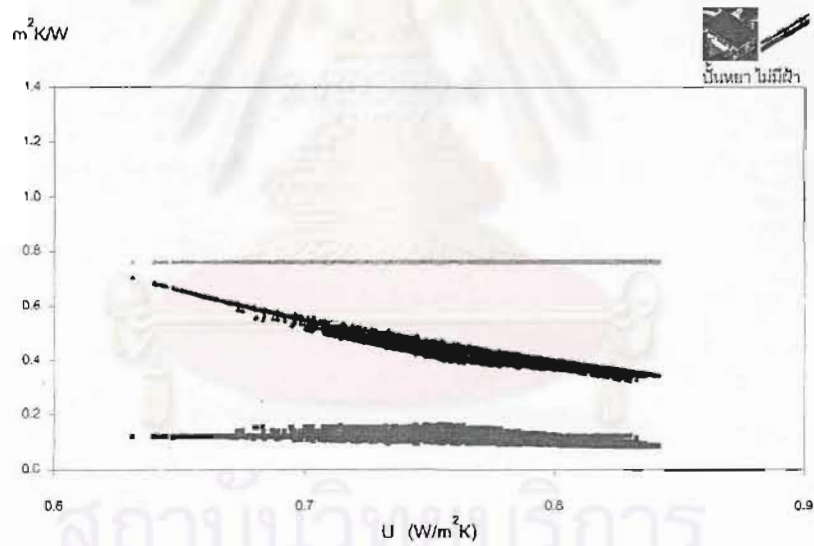
รูปที่ 4.74 ค่า U รายชั่วโมงตลอดทั้งปีของหลังคาบ้านหนาแบบกระเบื้องติดตั้งฉนวน 1 นิ้ว



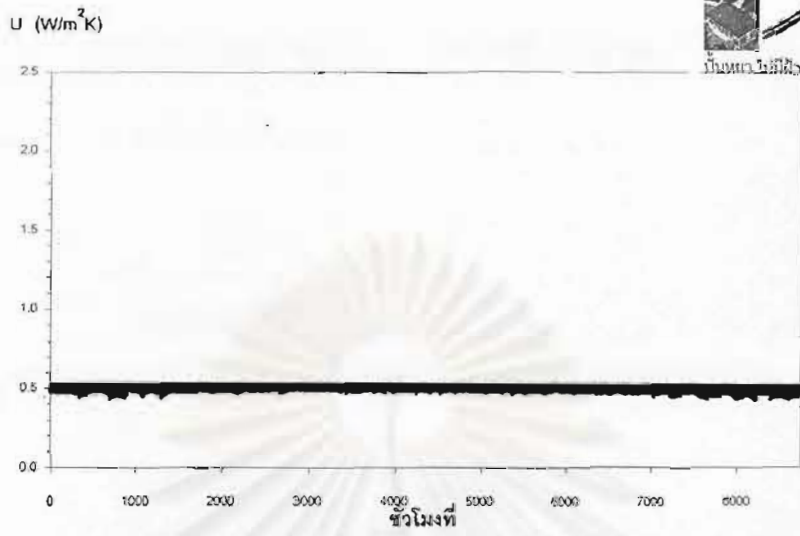
รูปที่ 4.75 อิทธิพลของพารามิเตอร์ต่างๆที่มีต่อค่า U ของหลังคาบ้านหนาแบบกระเบื้องติดตั้งฉนวน 1 นิ้ว



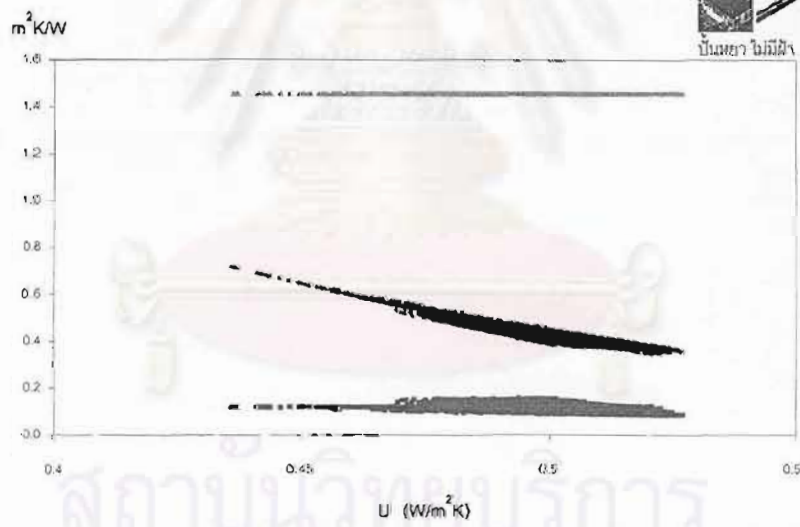
รูปที่ 4.76 ค่า U รายชั่วโมงตลอดทั้งปีของหลังคาบ้านหนาแบบกระเบื้องติดตั้งฉนวน 1 นิ้ว (กรณีนี้ที่ 2)



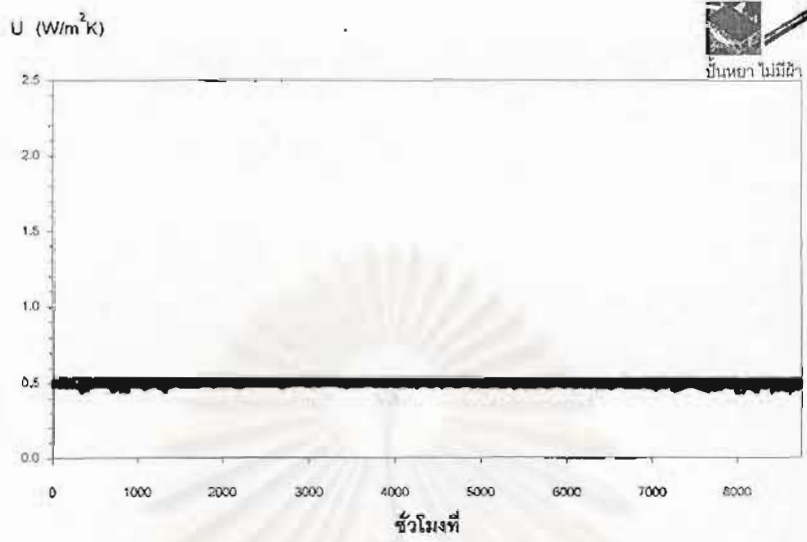
รูปที่ 4.77 อิทธิพลของพารามิเตอร์ต่างๆที่มีต่อค่า U ของหลังคาบ้านหนาแบบกระเบื้องติดตั้งฉนวน 1 นิ้ว (กรณีนี้ที่ 2)



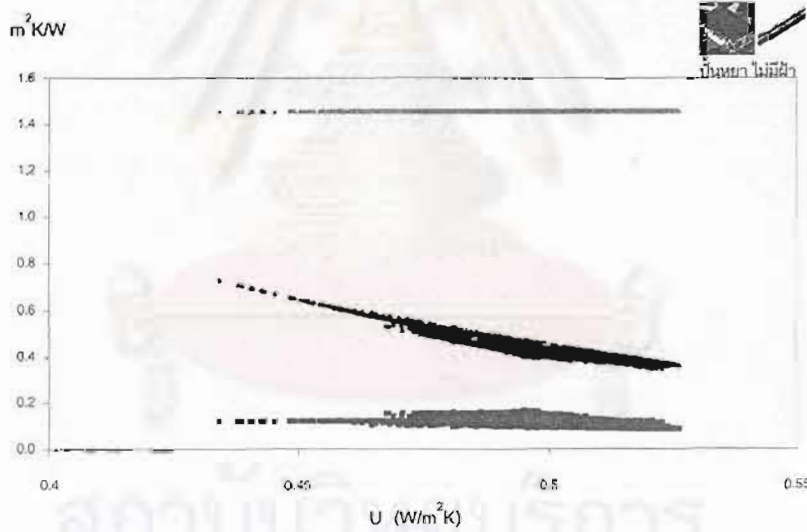
รูปที่ 4.78 ค่า U รายชั่วโมงตลอดทั้งปีของหลังคาบ้านหนาแบบกระเบื้องติดตั้งฉนวน 2 นิ้ว



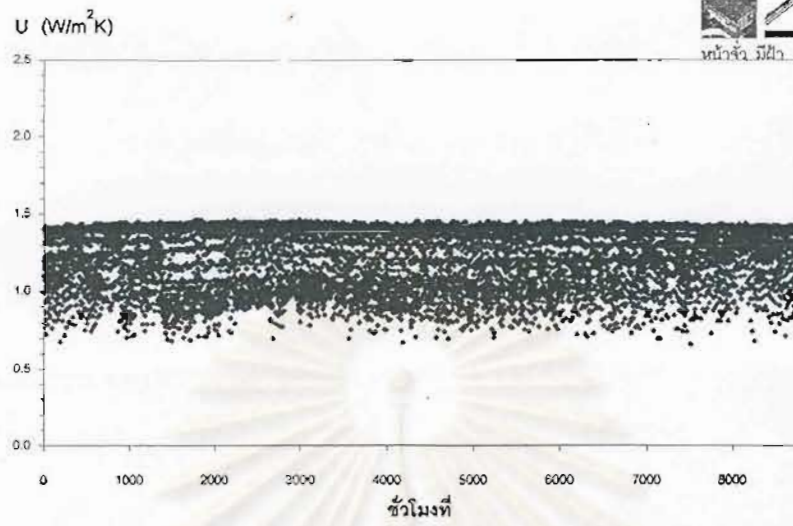
รูปที่ 4.79 อัตราไหลของพารามิเตอร์ต่างๆที่มีต่อค่า U ของหลังคาบ้านหนาแบบกระเบื้องติดตั้งฉนวน 2 นิ้ว



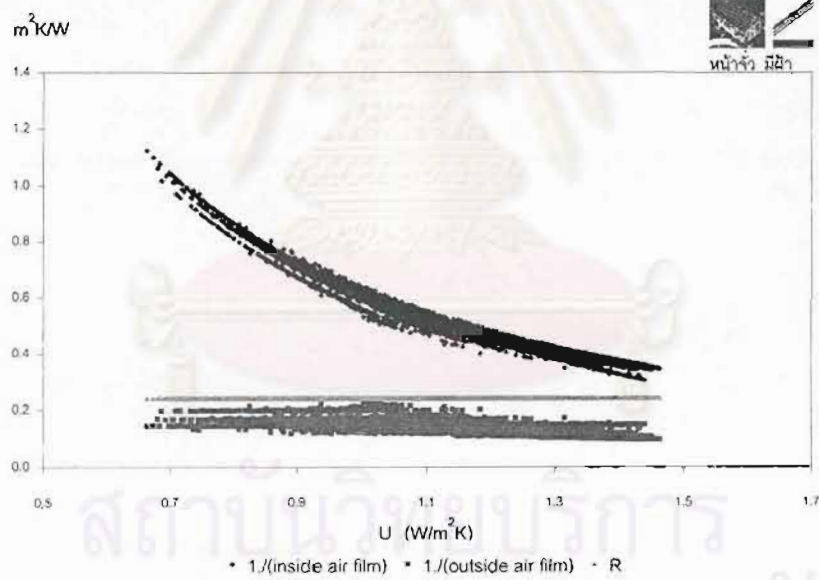
รูปที่ 4.80 ค่า U รายชั่วโมงตลอดทั้งปีของหลังคาบ้านยาแบบคะอีดติดตั้งฉนวน 2 นิ้ว (กรณีนี้ที่ 2)



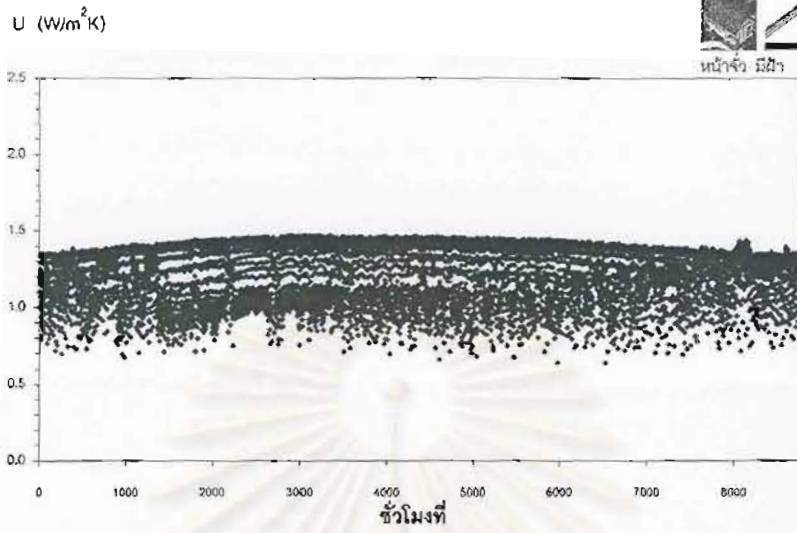
รูปที่ 4.81 อิทธิพลของพารามิเตอร์ต่างๆที่มีต่อค่า U ของหลังคาบ้านยาแบบคะอีดติดตั้งฉนวน 2 นิ้ว (กรณีนี้ที่ 2)



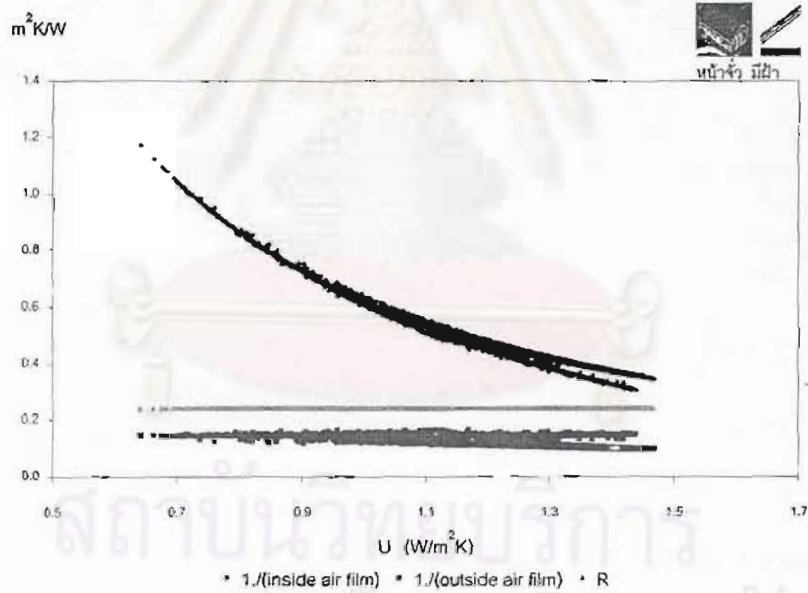
รูปที่ 4.82 ค่า U รายชั่วโมงทั้งปีสำหรับหลังคาหน้าจั่วแบบมีช่องมีได้หลังคาไม่ติดฉนวน



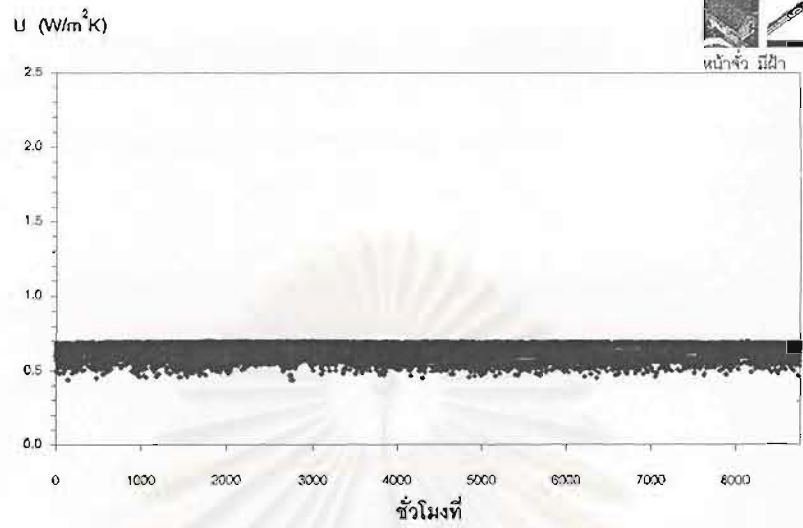
รูปที่ 4.83 อิทธิพลของพารามิเตอร์ต่างๆที่มีต่อค่า U ของหลังคาหน้าจั่วแบบมีช่องได้หลังคาไม่ติดฉนวน



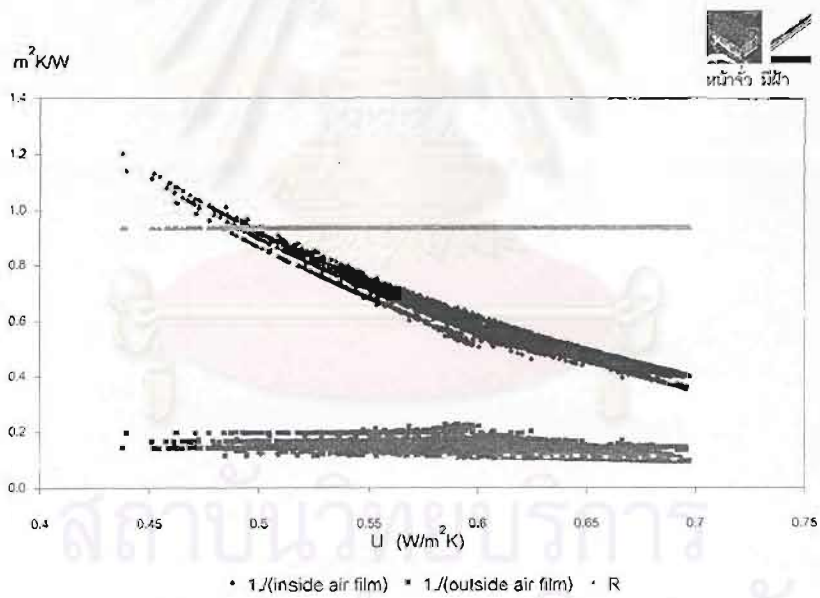
รูปที่ 4.84 ค่า U รายชั่วโมงตลอดทั้งปีของหลังคาหน้าจั่วแบบมีช่องใต้หลังคาไม่ติดฉนวน (กรณีที่ 2)



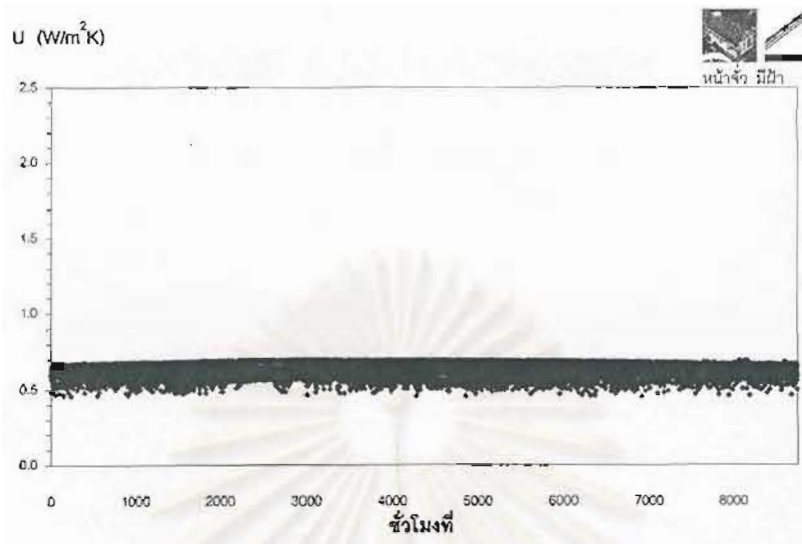
รูปที่ 4.85 อิทธิพลของพารามิเตอร์ต่างๆที่มีต่อค่า U ของหลังคาหน้าจั่วแบบมีช่องใต้หลังคาไม่ติดฉนวน (กรณีที่ 2)



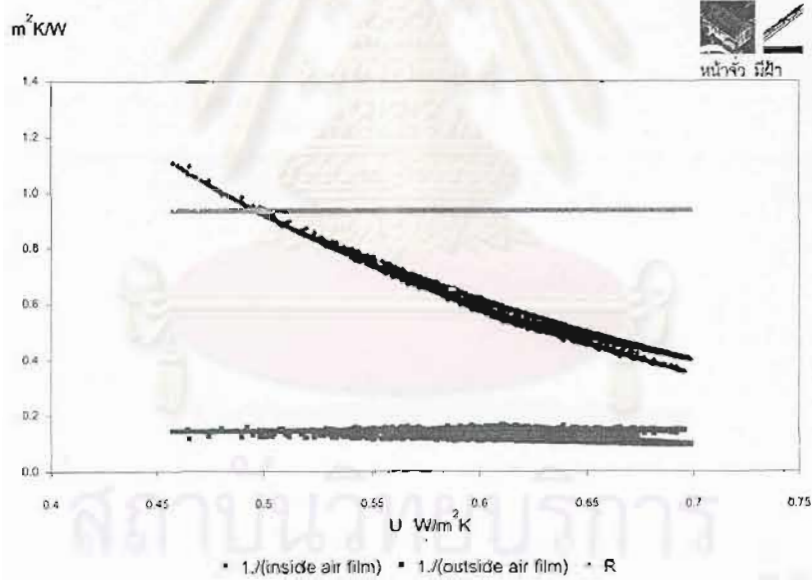
รูปที่ 4.86 ค่า U รายชั่วโมงตลอดทั้งปีของหลังคาหน้าจั่วแบบมีช่องใต้หลังคา ติดตั้งฉนวน 1 นิ้ว



รูปที่ 4.87 อิทธิพลของพารามิเตอร์ต่างๆที่มีต่อค่า U ของหลังคาหน้าจั่วแบบมีช่องใต้หลังคา ติดตั้งฉนวน 1 นิ้ว

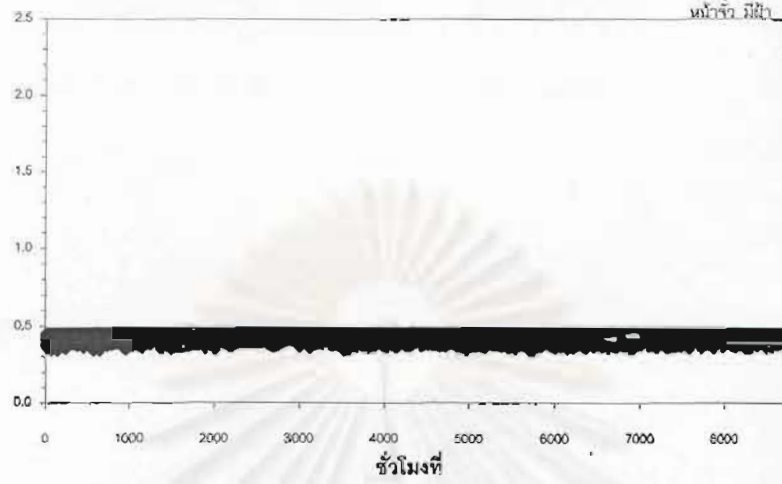


รูปที่ 4.88 ค่า U รายชั่วโมงตลอดทั้งปีของหลังคาน้ำจ้วแบบมีช่องใต้หลังคา ติดตั้งฉนวน 1 นิ้ว (กรณีที่ 2)



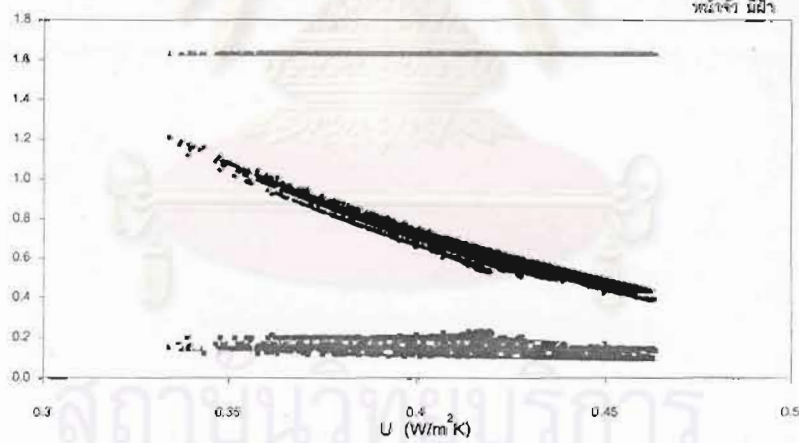
รูปที่ 4.89 อิทธิพลของพารามิเตอร์ต่างๆที่มีต่อค่า U ของหลังคาน้ำจ้วแบบมีช่องใต้หลังคา ติดตั้งฉนวน 1 นิ้ว (กรณีที่ 2)

U (W/m²K)



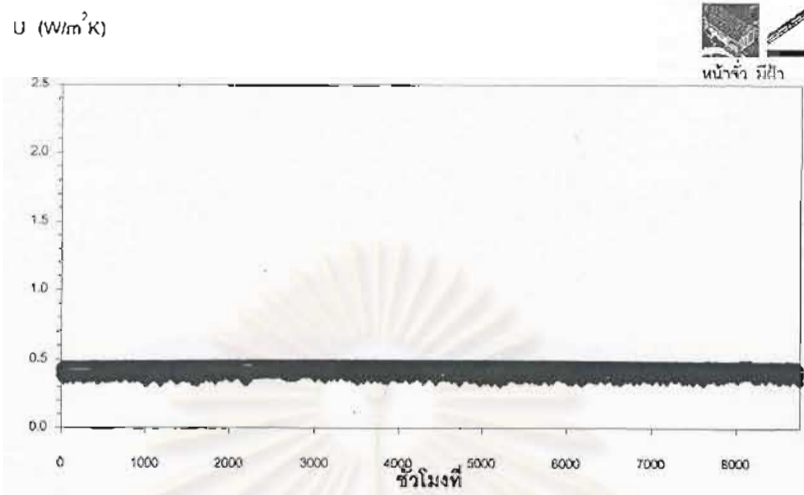
รูปที่ 4.90 ค่า U รายชั่วโมงตลอดทั้งปีของหลังคาหน้าจั่วแบบมีช่องใต้หลังคา ติดตั้งฉนวน 2 นิ้ว

m²/KW

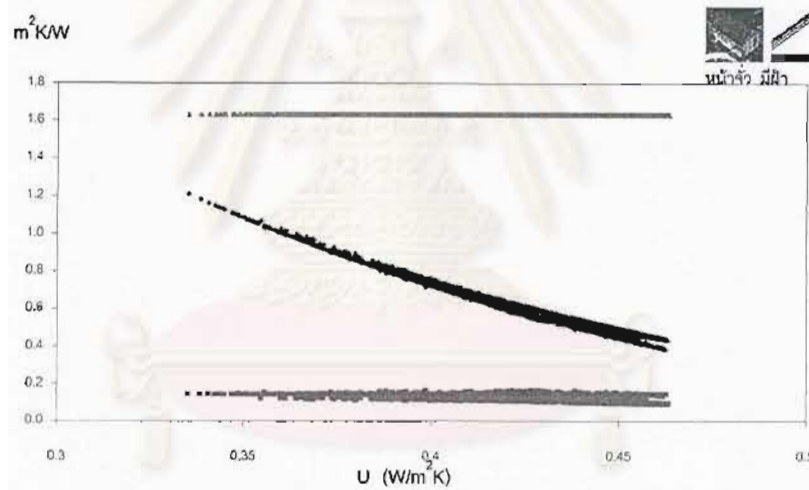


• 1/(inside air film) • 1/(outside air film) • R

รูปที่ 4.91 อิทธิพลของพารามิเตอร์ต่างๆที่มีต่อค่า U ของหลังคาหน้าจั่วแบบมีช่องใต้หลังคา ติดตั้งฉนวน 2 นิ้ว



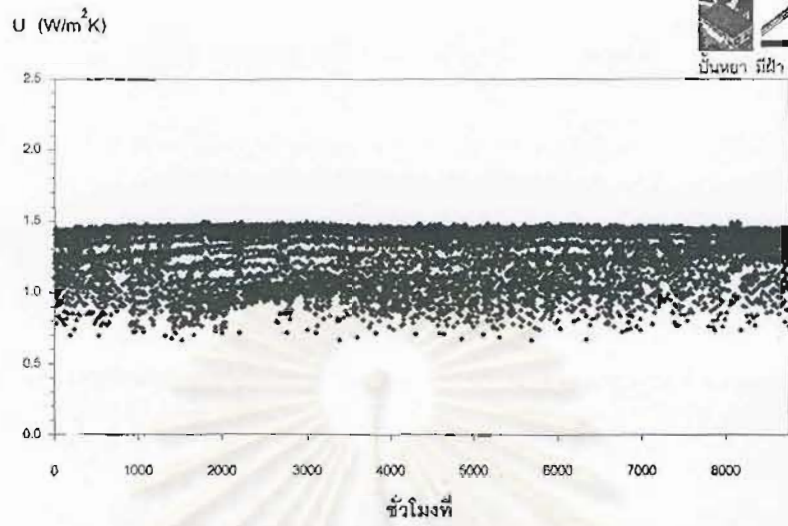
รูปที่ 4.92 ค่า U รายชั่วโมงตลอดทั้งปีของหลังคาหน้าจั่วแบบมีช่องใต้หลังคา ติดตั้งฉนวน 2 นิ้ว (กรณีที่ 2)



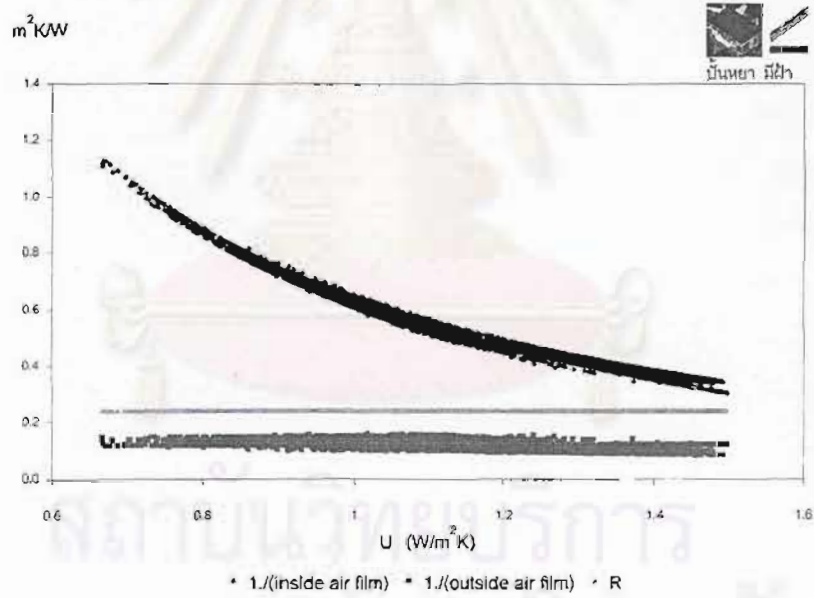
\bullet 1./(inside air film) \bullet 1./(outside air film) \bullet R

รูปที่ 4.93 อิทธิพลของพารามิเตอร์ต่างๆที่มีต่อค่า U ของหลังคาหน้าจั่วแบบมีช่องใต้หลังคา ติดตั้งฉนวน 2 นิ้ว (กรณีที่ 2)

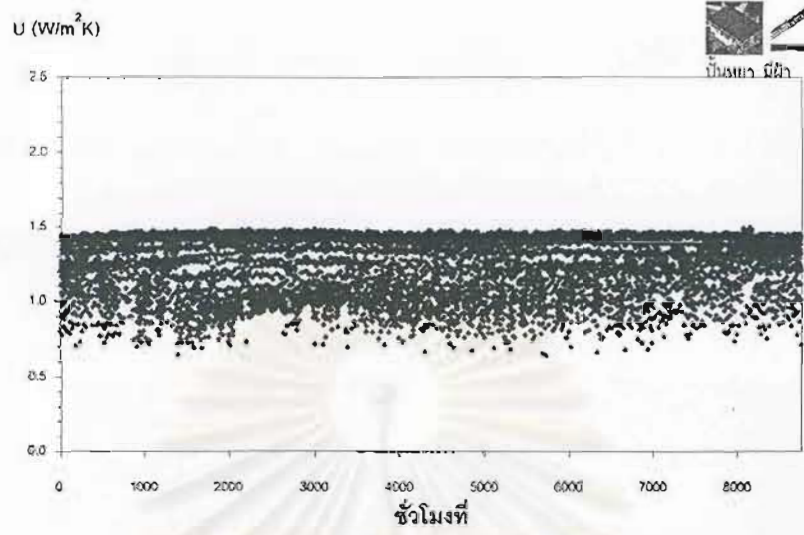
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



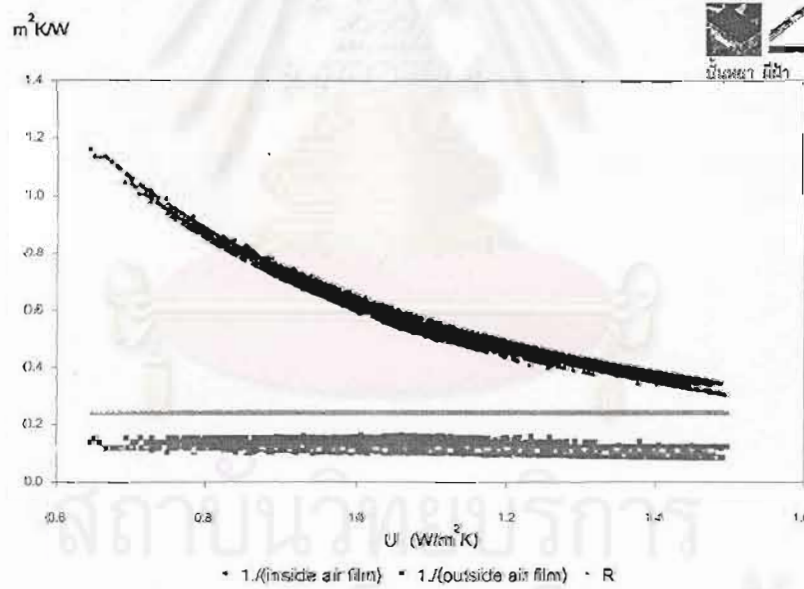
รูปที่ 4.94 ค่า U รายชั่วโมงตลอดทั้งปีของหลังคาบ้านหนาแบบมีช่องใต้หลังคาไม่ติดตั้งฉนวน



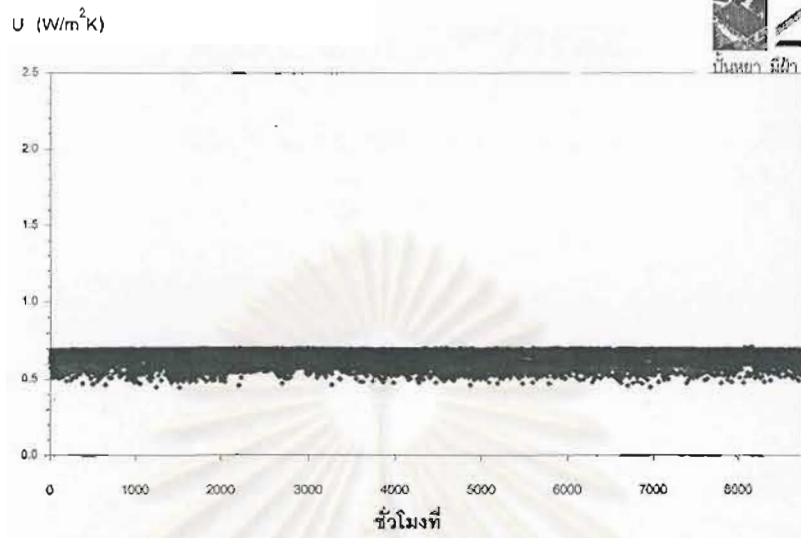
รูปที่ 4.95 อิทธิพลของพารามิเตอร์ต่างๆที่มีต่อค่า U ของหลังคาบ้านหนาแบบมีช่องใต้หลังคาไม่ติดตั้งฉนวน



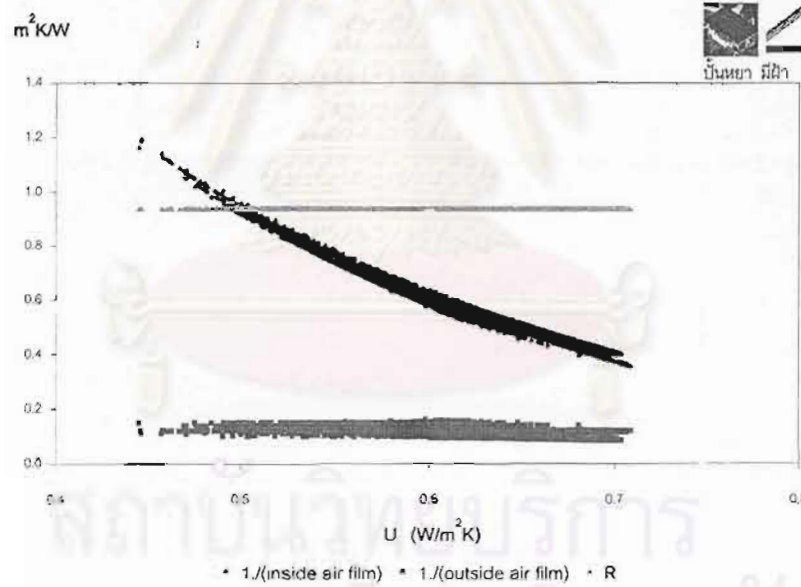
รูปที่ 4.96 ค่า U รายชั่วโมงตลอดทั้งปีของหลังคาบ้านหนาแบบมีช่องใต้หลังคาไม้ติตตั้งฉนวน (กรณีที่ 2)



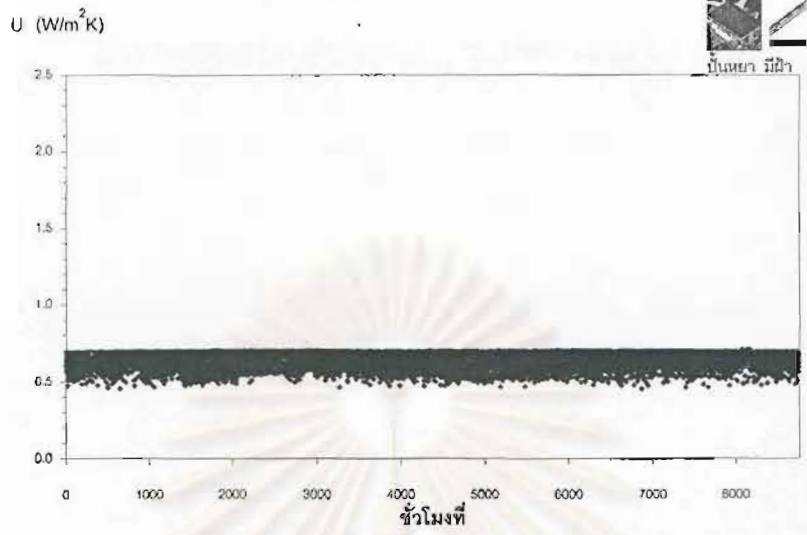
รูปที่ 4.97 อิทธิพลของพารามิเตอร์ต่างๆที่มีต่อค่า U ของหลังคาบ้านหนาแบบมีช่องใต้หลังคาไม้ติตตั้งฉนวน (กรณีที่ 2)



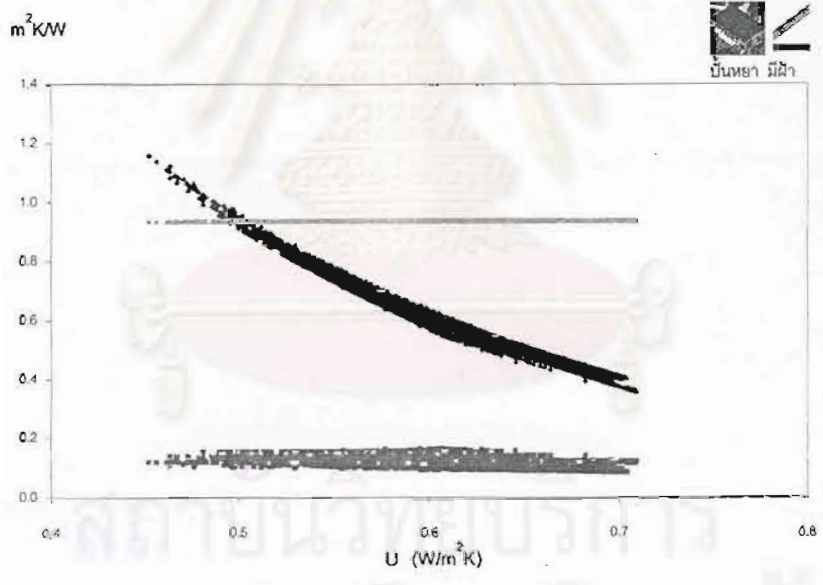
รูปที่ 4.98 ค่า U รายชั่วโมงตลอดทั้งปีของหลังคาบ้านหนาแบบมีช่องใต้หลังคา ติดตั้งฉนวน 1 นิ้ว



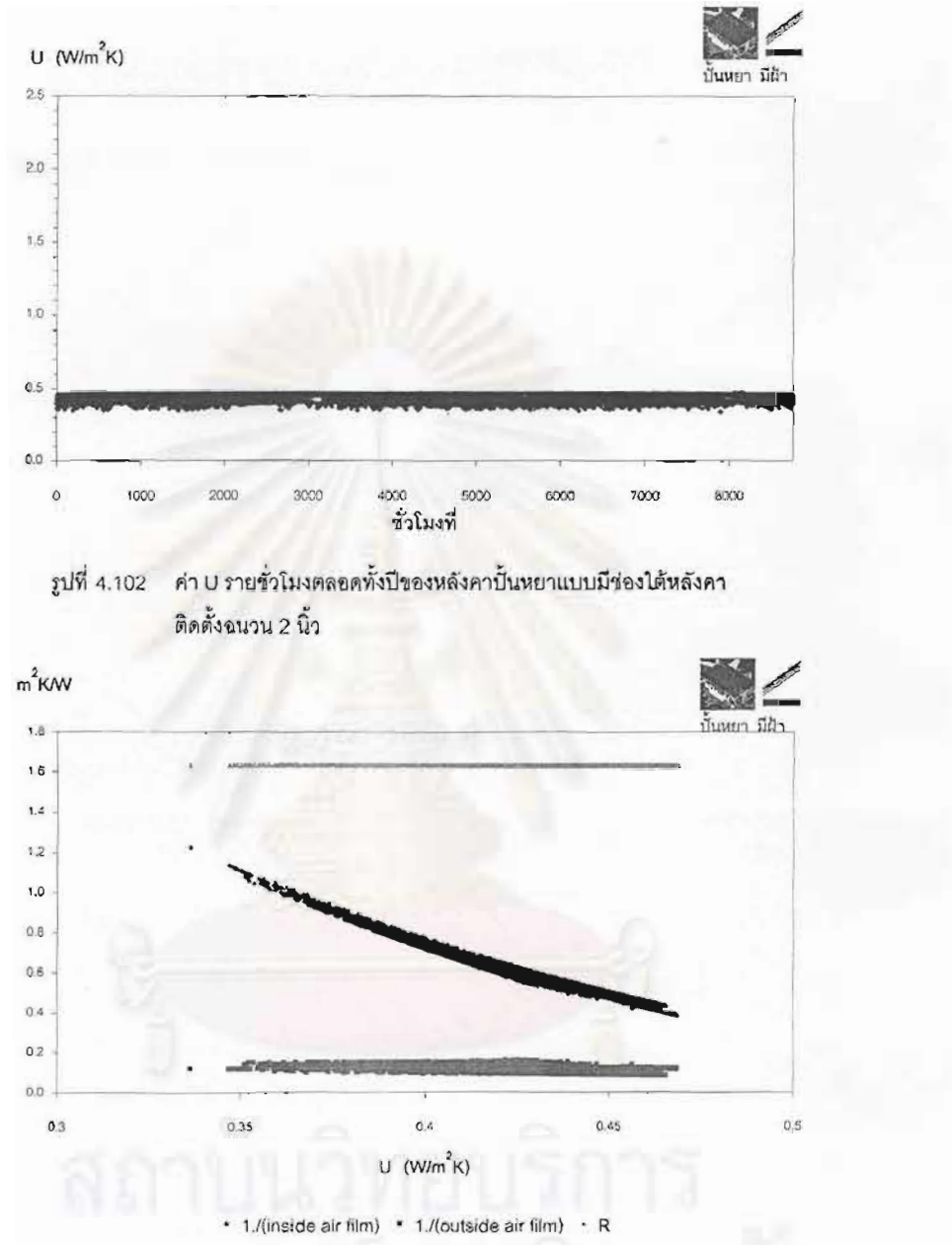
รูปที่ 4.99 อิทธิพลของพารามิเตอร์ต่างๆที่มีต่อค่า U ของหลังคาน้ำจั่วแบบมีช่องใต้หลังคา ติดตั้งฉนวน 1 นิ้ว



รูปที่ 4.100 ค่า U รายชั่วโมงตลอดทั้งปีของหลังคาบันทยาแบบมีช่องได้หลังคา ติดตั้งฉนวน 1 นิ้ว (กรณีที่ 2)

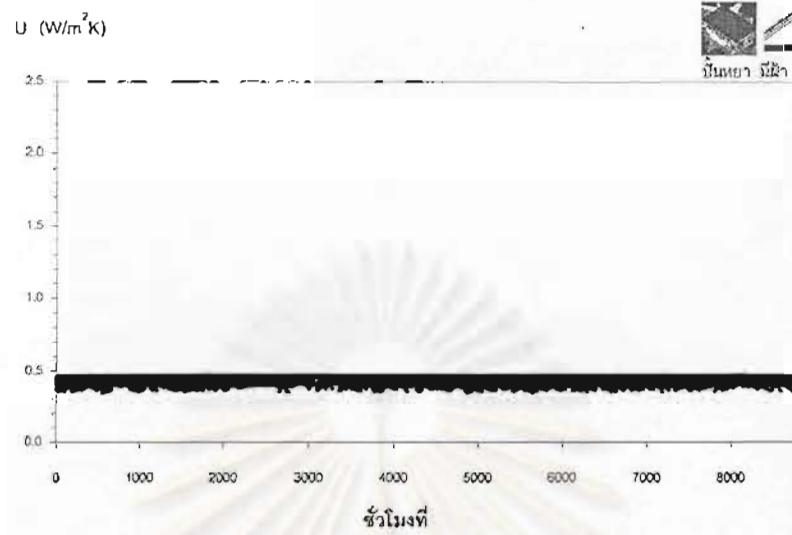


รูปที่ 4.101 อิทธิพลของพารามิเตอร์ต่างๆที่มีต่อค่า U ของหลังคาหน้าจั่ว แบบมีช่องได้หลังคา ติดตั้งฉนวน 1 นิ้ว (กรณีที่ 2)

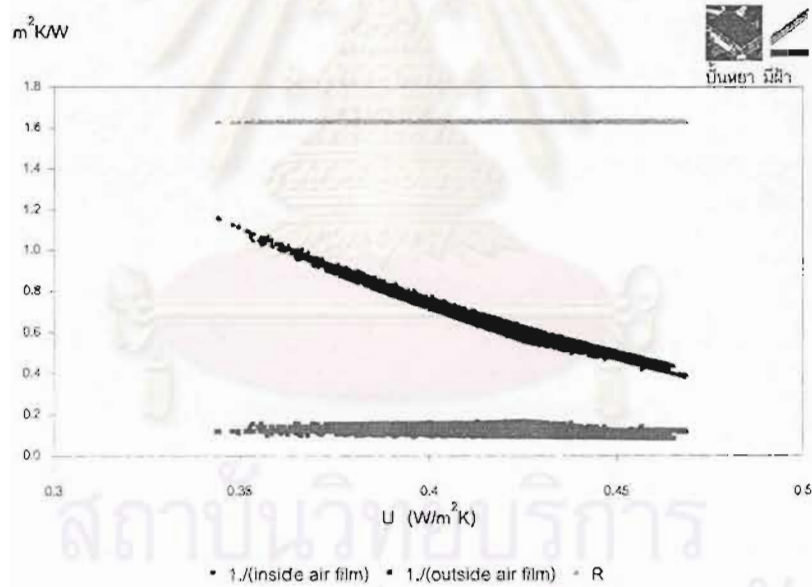


รูปที่ 4.102 ค่า U รายชั่วโมงตลอดทั้งปีของหลังคาบ้านหนาแบบมีช่องใต้หลังคา ติดตั้งฉนวน 2 นิ้ว

รูปที่ 4.103 อธิทธิพลของพหามิตเตอร์ต่างๆที่มีต่อค่า U ของหลังคาน้ำจั่ว แบบมีช่องใต้หลังคา ติดตั้งฉนวน 2 นิ้ว



รูปที่ 4.104 ค่า U รายชั่วโมงตลอดทั้งปีของหลังคาบ้านหนาแบบมีช่องใต้หลังคา ติดตั้งฉนวน 2 นิ้ว (กรณีนี้ที่ 2)



รูปที่ 4.105 อิทธิพลของพารามิเตอร์ต่างๆที่มีต่อค่า U ของหลังคาน้ำจ้ว แบบมีช่องใต้หลังคา ติดตั้งฉนวน 2 นิ้ว (กรณีนี้ที่ 2)

4.9 ค่า U ของหลังคาตัวอย่างและพารามิเตอร์ที่มีผลต่อค่า U (ต่อ)

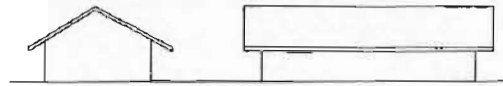
รูปที่ 4.58-4.105 แสดงค่า U รายชั่วโมงตลอดทั้งปีสำหรับหลังคาตัวอย่างประเภทต่างๆ และความสัมพันธ์ระหว่างค่า U กับพารามิเตอร์ที่มีผลต่อค่า U ดังกล่าว หลังคาตัวอย่างที่นำเสนอมีการวางตัวของอาคารตามรูปที่ 4.1 และหมุนไป 90° สำหรับกรณีนี้ 2 ค่า U ของหลังคาสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (4.1) ดังนี้

$$U = \frac{1}{\frac{1}{\text{inside air film}} + R + \frac{1}{\text{outside air film}}} \quad (4.1)$$

โดย U	คือ	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม ($W/m^2.K$)
inside air film	คือ	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยการพาระหว่างอากาศโดยรอบกับพื้นผิว กรณีหลังคาคือตำแหน่งผิวใต้เพดาน ($W/m^2.K$)
outside air film	คือ	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยการพาระหว่างอากาศโดยรอบกับพื้นผิว กรณีหลังคาคือตำแหน่งผิวด้านนอกกัลดมุงหลังคา ($W/m^2.K$)
R	คือ	ค่าความต้านทานความร้อนของระบบหลังคา ($m^2.KW$)

พิจารณากรณีหลังคาหน้าจั่วแบบค้ำจั่วตามรูปที่ 4.58 และ 4.59 ค่า inside air film ของหลังคามีอยู่ในช่วงระหว่าง 0.8 ถึง 3.3 $W/m^2.K$ และค่า outside film มีค่าระหว่าง 6.0-12.0 $W/m^2.K$ และค่า R ของระบบหลังคามีค่าเท่ากับ 0.065 $m^2.KW$ และค่า U ของหลังคาดังกล่าวมีค่าเปลี่ยนแปลงตามเวลาแต่ละชั่วโมง เนื่องจากผลของการเปลี่ยนแปลงของค่า inside air film เป็นสำคัญเมื่อเทียบกับ R และ outside air film เพราะว่าค่าส่วนกลับของ inside air film ที่ปรากฏในสมการที่ (4.1) มีค่าเปลี่ยนแปลงมากกว่าค่า R และ ส่วนกลับของ outside air film ซึ่งค่า outside air film เดิมมีค่ามากแต่เมื่อหาเป็นส่วนกลับแล้วจะทำให้มีค่าน้อยและไม่เปลี่ยนแปลงในช่วงกว้างเมื่อเทียบกับเทอมของ inside air film สำหรับการกระจายของค่า U ของหลังคาตัวอย่างประเภทอื่นก็เช่นเดียวกัน แต่หลังคาที่มีการติดตั้งฉนวนแล้วนั้นการกระจายของค่า U ของหลังคาดังกล่าวมีค่าน้อยกว่าการกระจายของค่า U ของหลังคาที่ไม่ติดตั้งฉนวน เพราะว่าค่า R หรือความต้านทานของระบบหลังคาที่เป็นอีกเทอมในสมการหาค่า U นั้นมีค่ามากขึ้น ทำให้ผลของเทอม inside air film ลดลง เป็นเหตุให้ช่วงของค่า U แคบกว่ากรณีหลังคาไม่ติดตั้งฉนวน หรือ มีค่า R น้อย

4.10 ค่า U และ CLTD ของหลังคาต่างๆ

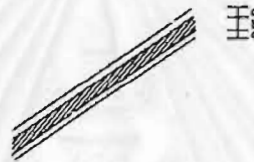


หลังคาทรงหน้าจั่ว



หลังคาทรงปั้นหย่า

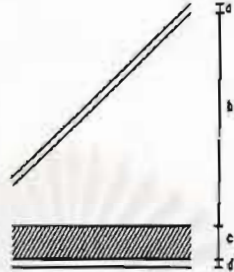
หลังคาเอียงพร้อมเพดาน (คะธืดอ)



- a. วัสดุผนังหลังคา: กระเบื้องคอนกรีต, กระเบื้องซีเมนต์ใยหิน, กระเบื้องเซรามิก
 b. จำนวนกันความร้อน: ฉนวนใยแก้ว, ฉนวนใยหิน, ฉนวนกระดาษ, ฉนวนโฟม
 c. ฝ้าเพดาน

ตารางที่ 4.2 ค่า U, และฟิล์มอากาศ ของระบบหลังคาคะธืดอ

หน้าจั่ว	U (W/m ² K)			inside film (W/m ² K)			outside film (W/m ² K)		
	min	Max	avg	min	max	avg	min	max	avg
ไม่ติดฉนวน	0.868	2.143	1.639	1.063	3.563	2.456	4.463	10.372	7.538
ติดฉนวน 1 นิ้ว	0.539	0.816	0.739	1.048	2.873	2.205	4.541	10.602	7.701
ติดฉนวน 2 นิ้ว	0.413	0.515	0.486	1.212	2.675	2.157	4.568	10.637	7.728
ปั้นหย่า	U (W/m ² K)			inside film (W/m ² K)			outside film (W/m ² K)		
	min	Max	avg	min	max	avg	min	max	avg
ไม่ติดฉนวน	1.127	2.291	1.806	1.436	3.799	2.682	6.162	11.766	8.931
ติดฉนวน 1 นิ้ว	0.633	0.843	0.777	1.427	3.096	2.432	6.329	11.987	9.084
ติดฉนวน 2 นิ้ว	0.436	0.567	0.503	1.391	2.884	2.384	3.346	12.021	9.109



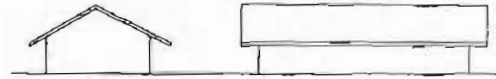
หลังคาแบบมีช่องใต้หลังคา

- a. วัสดุผนังหลังคา: กระเบื้องคอนกรีต, กระเบื้องซีเมนต์ใยหิน, กระเบื้องเซรามิก
 b. ช่องว่างใต้หลังคา
 c. จำนวนกันความร้อน: ฉนวนใยแก้ว, ฉนวนใยหิน, ฉนวนกระดาษ, ฉนวนโฟม
 d. ฝ้าเพดาน

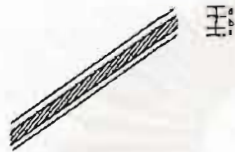
ตารางที่ 4.3 ค่า U, และฟิล์มอากาศ ของระบบหลังคาแบบมีช่องใต้หลังคา

หน้าจั่ว	U (W/m ² K)			inside film (W/m ² K)			outside film (W/m ² K)		
	min	Max	avg	min	max	avg	min	max	avg
ไม่ติดฉนวน	0.663	1.463	1.189	0.890	3.279	2.181	4.330	10.550	7.724
ติดฉนวน 1 นิ้ว	0.438	0.697	0.625	0.830	2.811	1.933	4.413	10.668	7.763
ติดฉนวน 2 นิ้ว	0.334	0.463	0.429	0.826	2.589	1.810	4.366	10.625	7.774
ปั้นหยา	U (W/m ² K)			inside film (W/m ² K)			outside film (W/m ² K)		
	min	max	avg	min	max	avg	min	max	avg
ไม่ติดฉนวน	0.667	1.496	1.220	0.883	3.282	2.185	6.225	11.932	9.086
ติดฉนวน 1 นิ้ว	0.445	0.709	0.633	0.838	2.818	1.937	6.223	11.993	9.126
ติดฉนวน 2 นิ้ว	0.336	0.468	0.433	0.816	2.597	1.814	6.178	12.012	9.139

หมายเหตุ: ค่า U ที่แสดงในตารางที่ 4.2 และ 4.3 สำหรับหลังคากระเบื้องคอนกรีตและฉนวนใยแก้ว



หลังคาหน้าจั่ว



- วัสดุผนังหลังคา
- จำนวนกันความร้อน
- ฝ้าเพดาน

ตารางที่ 4.4 (ก) ภาระค่า U หลังคาหน้าจั่วไม่ติดฉนวน แบบค้ำซี่ค้ำ

กระเบื้องคอนกรีต	ความต้านทานรวม (m ² /KW)
1. ฟิล์มด้านนอก	1/7.538 = 0.13266
2. กระเบื้องคอนกรีต 1.5 cm.	0.00867
3. ฝ้ายิปซัม 9 mm.	0.05625
4. ฟิล์มด้านใน	1/2.456 = 0.40716
รวม	0.60474
U	1.654

กระเบื้องซีเมนต์ไยหิน	ความต้านทานรวม (m ² /KW)
1. ฟิล์มด้านนอก	1/7.538 = 0.13266
2. กระเบื้องซีเมนต์ไยหิน 0.5 cm.	0.00833
3. ฝ้ายิปซัม 9 mm.	0.05625
4. ฟิล์มด้านใน	1/2.456 = 0.40716
รวม	0.6044
U	1.655

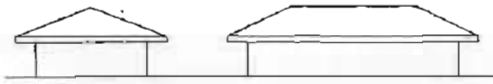
กระเบื้องเซรามิค	ความต้านทานรวม (m ² /KW)
1. ฟิล์มด้านนอก	1/7.538 = 0.13266
2. กระเบื้องเซรามิค 1.2 cm.	0.01435
3. ฝ้ายิปซัม 9 mm.	0.05625
4. ฟิล์มด้านใน	1/2.456 = 0.40716
รวม	0.61042
U	1.638

ตารางที่ 4.4 (ข) การหาค่า U หลังคำนวณจำนวน 1 นิ้ว แบบคัสติด

กระเบื้องคอนกรีต	ความต้านทานรวม ($m^2 K/W$)			
1.ฟิล์มด้านนอก	$1/7.701 = 0.12985$	0.12985	0.12985	0.12985
2.กระเบื้องคอนกรีต 1.5 cm.	0.00867	0.00867	0.00867	0.00867
3.ฉนวนใยแก้ว 1 นิ้ว (ฉนวนใยหิน 1 นิ้ว) (ฉนวนกระดาษ 1 นิ้ว) (ฉนวนโฟม 1 นิ้ว)	0.69444 - - -	- 0.55556 - -	- - 0.64102 -	- - - 1.0869
4.ผ้าใยปฐัม 9 mm.	0.05625	0.05625	0.05625	0.05625
5.ฟิล์มด้านใน	$1/2.205 = 0.45351$	0.45351	0.45351	0.45351
รวม	1.34272	1.20384	1.2893	1.73510
U	0.745	0.831	0.776	0.576
กระเบื้องซีเมนต์ใยหิน	ความต้านทานรวม ($m^2 K/W$)			
1.ฟิล์มด้านนอก	$1/7.701 = 0.12985$	0.12985	0.12985	0.12985
2.กระเบื้องซีเมนต์ใยหิน 0.5 cm.	0.00833	0.00833	0.00833	0.00833
3.ฉนวนใยแก้ว 1 นิ้ว (ฉนวนใยหิน 1 นิ้ว) (ฉนวนกระดาษ 1 นิ้ว) (ฉนวนโฟม 1 นิ้ว)	0.69444 - - -	- 0.55556 - -	- - 0.64102 -	- - - 1.0869
4.ผ้าใยปฐัม 9 mm.	0.05625	0.05625	0.05625	0.05625
5.ฟิล์มด้านใน	$1/2.205 = 0.45351$	0.45351	0.45351	0.45351
รวม	1.34238	1.2035	1.28896	1.73484
U	0.745	0.831	0.776	0.576
กระเบื้องเซรามิค	ความต้านทานรวม ($m^2 K/W$)			
1.ฟิล์มด้านนอก	$1/7.701 = 0.12985$	0.12985	0.12985	0.12985
2.กระเบื้องเซรามิค 1.2 cm.	0.01435	0.01435	0.01435	0.01435
3.ฉนวนใยแก้ว 1 นิ้ว (ฉนวนใยหิน 1 นิ้ว) (ฉนวนกระดาษ 1 นิ้ว) (ฉนวนโฟม 1 นิ้ว)	0.69444 - - -	- 0.55556 - -	- - 0.64102 -	- - - 1.0869
4.ผ้าใยปฐัม 9 mm.	0.05625	0.05625	0.05625	0.05625
5.ฟิล์มด้านใน	$1/2.205 = 0.45351$	0.45351	0.45351	0.45351
รวม	1.3484	1.20952	1.29498	1.74086
U	0.742	0.827	0.772	0.574

ตารางที่ 4.4 (ค) การหาค่า U หลังคาน้ำจืดคอนกรีต 2 นิ้ว แบบกระเบื้อง

กระเบื้องคอนกรีต	ความต้านทานรวม (m^2/KW)			
1.ฟิล์มด้านนอก	$1/7.728 = 0.12940$	0.12940	0.12940	0.12940
2.กระเบื้องคอนกรีต 1.5 cm.	0.00867	0.00867	0.00867	0.00867
3.ฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว (ฉนวนใยหิน 2 นิ้ว)	1.38889	-	-	-
(ฉนวนกระดาษ 2 นิ้ว)	-	1.11111	-	-
(ฉนวนโฟม 2 นิ้ว)	-	-	1.28204	-
4.ฝ้ายิปซัม 9 mm.	0.05625	0.05625	0.05625	0.05625
5.ฟิล์มด้านใน	$1/2.157 = 0.46361$	0.46361	0.46361	0.46361
รวม	2.04682	1.76904	1.93997	2.83173
U	0.489	0.565	0.515	0.353
กระเบื้องซีเมนต์ใยหิน	ความต้านทานรวม (m^2/KW)			
1.ฟิล์มด้านนอก	$1/7.728 = 0.12940$	0.12940	0.12940	0.12940
2.กระเบื้องซีเมนต์ใยหิน 0.5 cm.	0.00833	0.00833	0.00833	0.00833
3.ฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว (ฉนวนใยหิน 2 นิ้ว)	1.38889	-	-	-
(ฉนวนกระดาษ 2 นิ้ว)	-	1.11111	-	-
(ฉนวนโฟม 2 นิ้ว)	-	-	1.28204	-
4.ฝ้ายิปซัม 9 mm.	0.05625	0.05625	0.05625	0.05625
5.ฟิล์มด้านใน	$1/2.157 = 0.46361$	0.46361	0.46361	0.46361
รวม	2.04648	1.7687	1.93963	2.83139
U	0.489	0.565	0.516	0.353
กระเบื้องเซรามิค	ความต้านทานรวม (m^2/KW)			
1.ฟิล์มด้านนอก	$1/7.728 = 0.12940$	0.12940	0.12940	0.12940
2.กระเบื้องเซรามิค 1.2 cm.	0.01435	0.01435	0.01435	0.01435
3.ฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว (ฉนวนใยหิน 2 นิ้ว)	1.38889	-	-	-
(ฉนวนกระดาษ 2 นิ้ว)	-	1.11111	-	-
(ฉนวนโฟม 2 นิ้ว)	-	-	1.28204	-
4.ฝ้ายิปซัม 9 mm.	0.05625	0.05625	0.05625	0.05625
5.ฟิล์มด้านใน	$1/2.157 = 0.46361$	0.46361	0.46361	0.46361
รวม	2.0525	1.77472	1.94565	2.83741
U	0.487	0.563	0.514	0.352



- a. วัสดุผนังหลังคา
- b. ฉนวนกันความร้อน
- c. ฝ้าเพดาน

ตารางที่ 4.4 (ง) การหาค่า U หลังคาเป็นยาไม้ติดฉนวน แบบกระเบื้อง

กระเบื้องคอนกรีต	ความต้านทานรวม (m^2K/W)
1.ฟิล์มด้านนอก	$1/8.931 = 0.11197$
2.กระเบื้องคอนกรีต 1.5 cm.	0.00867
3.ฝ้ายิปซัม 9 mm.	0.05625
4.ฟิล์มด้านใน	$1/2.682 = 0.37286$
รวม	0.54975
U	1.819

กระเบื้องซีเมนต์ใยหิน	ความต้านทานรวม (m^2K/W)
1.ฟิล์มด้านนอก	$1/8.931 = 0.11197$
2.กระเบื้องซีเมนต์ใยหิน 0.5 cm.	0.00833
3.ฝ้ายิปซัม 9 mm.	0.05625
4.ฟิล์มด้านใน	$1/2.682 = 0.37286$
รวม	0.54941
U	1.820

กระเบื้องเซรามิค	ความต้านทานรวม (m^2K/W)
1.ฟิล์มด้านนอก	$1/8.931 = 0.11197$
2.กระเบื้องเซรามิค 1.2 cm.	0.01435
3.ฝ้ายิปซัม 9 mm.	0.05625
4.ฟิล์มด้านใน	$1/2.682 = 0.37286$
รวม	0.55543
U	1.800

ตารางที่ 4.4 (จ) การหาค่า U หลังคำนวณขนาดคอนกรีต 1 นิ้ว แบบกะทัดรัด

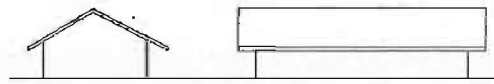
กระเบื้องคอนกรีต	ความต้านทานรวม (m ² KW)			
1.ฟิล์มด้านนอก	1/9.084 = 0.11008	0.11008	0.11008	0.11008
2.กระเบื้องคอนกรีต 1.5 cm.	0.00867	0.00867	0.00867	0.00867
3.ฉนวนใยแก้ว 1 นิ้ว (ฉนวนใยหิน 1 นิ้ว) (ฉนวนกระดาษ 1 นิ้ว) (ฉนวนโพลี 1 นิ้ว)	0.69444 - - -	- 0.55556 - -	- - 0.64102 -	- - - 1.0869
4.ผ้าใยปัม 9 mm.	0.05625	0.05625	0.05625	0.05625
5.ฟิล์มด้านใน	1/2.432 = 0.41118	0.41118	0.41118	0.41118
รวม	1.22437	1.14174	1.2272	1.67308
U	0.817	0.876	0.815	0.598
กระเบื้องซีเมนต์ใยหิน	ความต้านทานรวม (m ² KW)			
1.ฟิล์มด้านนอก	1/9.084 = 0.11008	0.11008	0.11008	0.11008
2.กระเบื้องซีเมนต์ใยหิน 0.5 cm.	0.00833	0.00833	0.00833	0.00833
3.ฉนวนใยแก้ว 1 นิ้ว (ฉนวนใยหิน 1 นิ้ว) (ฉนวนกระดาษ 1 นิ้ว) (ฉนวนโพลี 1 นิ้ว)	0.69444 - - -	- 0.55556 - -	- - 0.64102 -	- - - 1.0869
4.ผ้าใยปัม 9 mm.	0.05625	0.05625	0.05625	0.05625
5.ฟิล์มด้านใน	1/2.432 = 0.41118	0.41118	0.41118	0.41118
รวม	1.28028	1.1414	1.22686	1.67274
U	0.781	0.876	0.815	0.598
กระเบื้องเซรามิค	ความต้านทานรวม (m ² KW)			
1.ฟิล์มด้านนอก	1/9.084 = 0.11008	0.11008	0.11008	0.11008
2.กระเบื้องเซรามิค 1.2 cm.	0.01435	0.01435	0.01435	0.01435
3.ฉนวนใยแก้ว 1 นิ้ว (ฉนวนใยหิน 1 นิ้ว) (ฉนวนกระดาษ 1 นิ้ว) (ฉนวนโพลี 1 นิ้ว)	0.69444 - - -	- 0.55556 - -	- - 0.64102 -	- - - 1.0869
4.ผ้าใยปัม 9 mm.	0.05625	0.05625	0.05625	0.05625
5.ฟิล์มด้านใน	1/2.432 = 0.41118	0.41118	0.41118	0.41118
รวม	1.2863	1.14742	1.23288	1.67876
U	0.777	0.872	0.811	0.596

ตารางที่ 4.4 (อ) การหาค่า U หลังคาปั้นหยาดัดขนวน 2 นิ้ว แบบคະຮີດອ

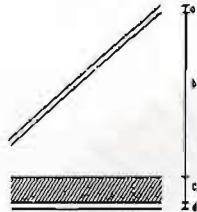
กระเบื้องคอนกรีต	ความต้านทานรวม (m ² /KW)			
1.ฟิล์มด้านนอก	1/9.109 = 0.10978	0.10978	0.10978	0.10978
2.กระเบื้องคอนกรีต 1.5 cm.	0.00867	0.00867	0.00867	0.00867
3.ฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว	1.38889	-	-	-
(ฉนวนใยหิน 2 นิ้ว)	-	1.11111	-	-
(ฉนวนกระดาษ 2 นิ้ว)	-	-	1.28204	-
(ฉนวนโฟม 2 นิ้ว)	-	-	-	2.1738
4.ฝ้ายิปซัม 9 mm.	0.05625	0.05625	0.05625	0.05625
5.ฟิล์มด้านใน	1/2.384 = 0.41946	0.41946	0.41946	0.41946
รวม	1.98305	1.70527	1.8762	2.76796
U	0.504	0.586	0.533	0.361

กระเบื้องซีเมนต์ใยหิน	ความต้านทานรวม (m ² /KW)			
1.ฟิล์มด้านนอก	1/9.109 = 0.10978	0.10978	0.10978	0.10978
2.กระเบื้องซีเมนต์ใยหิน 0.5 cm.	0.00833	0.00833	0.00833	0.00833
3.ฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว	1.38889	-	-	-
(ฉนวนใยหิน 2 นิ้ว)	-	1.11111	-	-
(ฉนวนกระดาษ 2 นิ้ว)	-	-	1.28204	-
(ฉนวนโฟม 2 นิ้ว)	-	-	-	2.1738
4.ฝ้ายิปซัม 9 mm.	0.05625	0.05625	0.05625	0.05625
5.ฟิล์มด้านใน	1/2.384 = 0.41946	0.41946	0.41946	0.41946
รวม	1.98271	1.70493	1.87586	2.76762
U	0.504	0.587	0.533	0.361

กระเบื้องเซรามิก	ความต้านทานรวม (m ² /KW)			
1.ฟิล์มด้านนอก	1/9.109 = 0.10978	0.10978	0.10978	0.10978
2.กระเบื้องเซรามิก 1.2 cm.	0.01435	0.01435	0.01435	0.01435
3.ฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว	1.38889	-	-	-
(ฉนวนใยหิน 2 นิ้ว)	-	1.11111	-	-
(ฉนวนกระดาษ 2 นิ้ว)	-	-	1.28204	-
(ฉนวนโฟม 2 นิ้ว)	-	-	-	2.1738
4.ฝ้ายิปซัม 9 mm.	0.05625	0.05625	0.05625	0.05625
5.ฟิล์มด้านใน	1/2.384 = 0.41946	0.41946	0.41946	0.41946
รวม	1.98873	1.71095	1.88188	2.77364
U	0.503	0.584	0.531	0.361



หลังคาน้ำจั่ว



- a. วัสดุผนังหลังคา
- b. ช่องว่างใต้หลังคา
- c. จำนวนกันความร้อน
- d. ฝ้าเพดาน

ตารางที่ 4.4 (ข) การหาค่า U หลังคาน้ำจั่วไม่ติดฉนวน แบบมีช่องใต้หลังคา

กระเบื้องคอนกรีต	ความต้านทานรวม (m^2KW)
1.ฟิล์มด้านนอก	$1/7.724 = 0.12947$
2.กระเบื้องคอนกรีต 1.5 cm.	0.00867
3.ช่องว่างใต้หลังคา	0.17612
4.ฝ้ายิปซัม 9 mm.	0.05625
5.ฟิล์มด้านใน	$1/2.181 = 0.45851$
รวม	0.82902
U	1.206

กระเบื้องซีเมนต์ใยหิน	ความต้านทานรวม (m^2KW)
1.ฟิล์มด้านนอก	$1/7.538 = 0.13266$
2.กระเบื้องซีเมนต์ใยหิน 0.5 cm.	0.00833
3.ช่องว่างใต้หลังคา	0.17612
4.ฝ้ายิปซัม 9 mm.	0.05625
5.ฟิล์มด้านใน	$1/2.181 = 0.45851$
รวม	0.83187
U	1.202

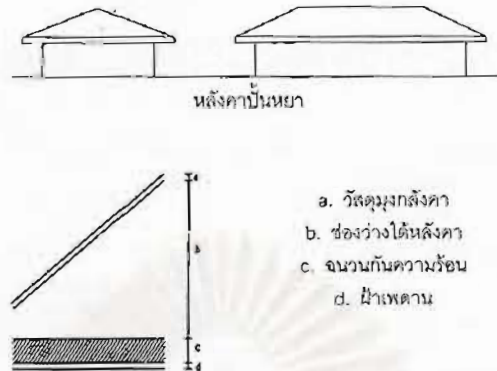
กระเบื้องคอนกรีต	ความต้านทานรวม (m^2KW)
1.ฟิล์มด้านนอก	$1/7.538 = 0.13266$
2.กระเบื้องเซรามิค 1.2 cm.	0.01435
3.ช่องว่างใต้หลังคา	0.17612
4.ฝ้ายิปซัม 9 mm.	0.05625
5.ฟิล์มด้านใน	$1/2.181 = 0.45851$
รวม	0.83789
U	1.193

ตารางที่ 4.4 (ข) การหาค่า U หลังคาน้ำจืดติดฉนวน 1 นิ้ว แบบมีช่องใต้หลังคา

กระเบื้องคอนกรีต	ความต้านทานรวม (m ² /KW)			
1.ฟิล์มด้านนอก	1/7.763 = 0.12882	0.12882	0.12882	0.12882
2.กระเบื้องคอนกรีต 1.5 cm.	0.00867	0.00867	0.00867	0.00867
3.ช่องว่างใต้หลังคา	0.17612	0.17612	0.17612	0.17612
4.ฉนวนใยแก้ว 1 นิ้ว	0.69444	-	-	-
(ฉนวนใยหิน 1 นิ้ว)	-	0.55556	-	-
(ฉนวนกระดาษ 1 นิ้ว)	-	-	0.64102	-
(ฉนวนโฟม 1 นิ้ว)	-	-	-	1.0869
5.ฝ้ายิปซัม 9 mm.	0.05625	0.05625	0.05625	0.05625
6.ฟิล์มด้านใน	1/1.933 = 0.51733	0.51733	0.51733	0.51733
รวม	1.58163	1.44275	1.52821	1.97409
U	0.632	0.693	0.654	0.507
กระเบื้องซีเมนต์ใยหิน	ความต้านทานรวม (m ² /KW)			
1.ฟิล์มด้านนอก	1/7.763 = 0.12882	0.12882	0.12882	0.12882
2.กระเบื้องซีเมนต์ใยหิน 0.5 cm.	0.00833	0.00833	0.00833	0.00833
3.ช่องว่างใต้หลังคา	0.17612	0.17612	0.17612	0.17612
4.ฉนวนใยแก้ว 1 นิ้ว	0.69444	-	-	-
(ฉนวนใยหิน 1 นิ้ว)	-	0.55556	-	-
(ฉนวนกระดาษ 1 นิ้ว)	-	-	0.64102	-
(ฉนวนโฟม 1 นิ้ว)	-	-	-	1.0869
5.ฝ้ายิปซัม 9 mm.	0.05625	0.05625	0.05625	0.05625
6.ฟิล์มด้านใน	1/1.933 = 0.51733	0.51733	0.51733	0.51733
รวม	1.58129	1.44241	1.52787	1.97375
U	0.632	0.693	0.655	0.507
กระเบื้องเซรามิค	ความต้านทานรวม (m ² /KW)			
1.ฟิล์มด้านนอก	1/7.763 = 0.12882	0.12882	0.12882	0.12882
2.กระเบื้องเซรามิค 1.2 cm.	0.01435	0.01435	0.01435	0.01435
3.ช่องว่างใต้หลังคา	0.17612	0.17612	0.17612	0.17612
4.ฉนวนใยแก้ว 1 นิ้ว	0.69444	-	-	-
(ฉนวนใยหิน 1 นิ้ว)	-	0.55556	-	-
(ฉนวนกระดาษ 1 นิ้ว)	-	-	0.64102	-
(ฉนวนโฟม 1 นิ้ว)	-	-	-	1.0869
5.ฝ้ายิปซัม 9 mm.	0.05625	0.05625	0.05625	0.05625
6.ฟิล์มด้านใน	1/1.933 = 0.51733	0.51733	0.51733	0.51733
รวม	1.58731	1.44843	1.53389	1.97977
U	0.630	0.690	0.652	0.505

ตารางที่ 4.4 (ด) การหาค่า U หลังคำนวณจำนวน 2 นิ้ว แบบมีช่องใต้หลังคา

กระเบื้องคอนกรีต	ความต้านทานรวม (m^2/KW)			
1.ฟิล์มด้านนอก	$1/7.774 = 0.12863$	0.12863	0.12863	0.12863
2.กระเบื้องคอนกรีต 1.5 cm.	0.00867	0.00867	0.00867	0.00867
3.ช่องว่างใต้หลังคา	0.17612	0.17612	0.17612	0.17612
4.ฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว (ฉนวนใยหิน 2 นิ้ว) (ฉนวนกระดาษ 2 นิ้ว) (ฉนวนโฟม 2 นิ้ว)	1.38889 - - -	- 1.11111 - -	- - 1.28204 -	- - - 2.1738
5.ฝ้ายปิ้ง 9 mm.	0.05625	0.05625	0.05625	0.05625
6.ฟิล์มด้านใน	$1/1.810 = 0.55249$	0.55249	0.55249	0.55249
รวม	2.31105	2.03327	2.2042	3.09596
U	0.433	0.492	0.454	0.323
กระเบื้องซีเมนต์ใยหิน	ความต้านทานรวม (m^2/KW)			
1.ฟิล์มด้านนอก	$1/7.728 = 0.12940$	0.12940	0.12940	0.12940
2.กระเบื้องซีเมนต์ใยหิน 0.5 cm.	0.00833	0.00833	0.00833	0.00833
3.ช่องว่างใต้หลังคา	0.17612	0.17612	0.17612	0.17612
4.ฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว (ฉนวนใยหิน 2 นิ้ว) (ฉนวนกระดาษ 2 นิ้ว) (ฉนวนโฟม 2 นิ้ว)	1.38889 - - -	- 1.11111 - -	- - 1.28204 -	- - - 2.1738
5.ฝ้ายปิ้ง 9 mm.	0.05625	0.05625	0.05625	0.05625
6.ฟิล์มด้านใน	$1/1.810 = 0.55249$	0.55249	0.55249	0.55249
รวม	2.31071	2.03370	2.20463	3.09639
U	0.433	0.492	0.454	0.323
กระเบื้องเซรามิค	ความต้านทานรวม (m^2/KW)			
1.ฟิล์มด้านนอก	$1/7.728 = 0.12940$	0.12940	0.12940	0.12940
2.กระเบื้องเซรามิค 1.2 cm.	0.01435	0.01435	0.01435	0.01435
3.ช่องว่างใต้หลังคา	0.17612	0.17612	0.17612	0.17612
4.ฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว (ฉนวนใยหิน 2 นิ้ว) (ฉนวนกระดาษ 2 นิ้ว) (ฉนวนโฟม 2 นิ้ว)	1.38889 - - -	- 1.11111 - -	- - 1.28204 -	- - - 2.1738
5.ฝ้ายปิ้ง 9 mm.	0.05625	0.05625	0.05625	0.05625
6.ฟิล์มด้านใน	$1/1.810 = 0.55249$	0.55249	0.55249	0.55249
รวม	2.31673	2.03972	2.21065	3.10241
U	0.432	0.490	0.452	0.322



ตารางที่ 4.4 (ก) การหาค่า U หลังคาปั้นหย่าไม่คิดฉนวน แบบมีช่องใต้หลังคา

กระเบื้องคอนกรีต	ความต้านทานรวม (m^2KW)
1. ฟิล์มด้านนอก	$1/9.086 = 0.11006$
2. กระเบื้องคอนกรีต 1.5 cm.	0.00867
3. ช่องว่างใต้หลังคา	0.17612
4. ฝ้ายิปซัม 9 mm.	0.05625
5. ฟิล์มด้านใน	$1/2.185 = 0.45767$
รวม	0.80937
U	1.236

กระเบื้องซีเมนต์ใยหิน	ความต้านทานรวม (m^2KW)
1. ฟิล์มด้านนอก	$1/9.086 = 0.11006$
2. กระเบื้องซีเมนต์ใยหิน 0.5 cm.	0.00833
3. ช่องว่างใต้หลังคา	0.17612
4. ฝ้ายิปซัม 9 mm.	0.05625
5. ฟิล์มด้านใน	$1/2.185 = 0.45767$
รวม	0.80903
U	1.236

กระเบื้องเซรามิค	ความต้านทานรวม (m^2KW)
1. ฟิล์มด้านนอก	$1/9.086 = 0.11006$
2. กระเบื้องเซรามิค 1.2 cm.	0.01435
3. ช่องว่างใต้หลังคา	0.17612
4. ฝ้ายิปซัม 9 mm.	0.05625
5. ฟิล์มด้านใน	$1/2.185 = 0.45767$
รวม	0.81505
U	1.227

ตารางที่ 4.4 (ก) การหาค่า U หลังคามันหยาดดีดขนาด 1 นิ้ว แบบมีช่องใต้หลังคา

กระเบื้องคอนกรีต	ความต้านทานรวม (m ² KW)			
1.ฟิล์มด้านนอก	$1/9.126 = 0.10958$	0.10958	0.10958	0.10958
2.กระเบื้องคอนกรีต 1.5 cm.	0.00867	0.00867	0.00867	0.00867
3.ช่องว่างใต้หลังคา	0.17612	0.17612	0.17612	0.17612
4.ฉนวนใยแก้ว 1 นิ้ว (ฉนวนใยหิน 1 นิ้ว) (ฉนวนกระดาษ 1 นิ้ว) (ฉนวนโฟม 1 นิ้ว)	0.69444 - - -	- 0.55556 - -	- - 0.64102 -	- - - 1.0869
5.ฝ้ายิปซัม 9 mm.	0.05625	0.05625	0.05625	0.05625
6.ฟิล์มด้านใน	$1/1.937 = 0.51626$	0.51626	0.51626	0.51626
รวม	1.56132	1.42244	1.5079	1.95378
U	0.640	0.703	0.663	0.512
กระเบื้องซีเมนต์ใยหิน	ความต้านทานรวม (m ² KW)			
1.ฟิล์มด้านนอก	$1/9.084 = 0.11008$	0.11008	0.11008	0.11008
2.กระเบื้องซีเมนต์ใยหิน 0.5 cm.	0.00833	0.00833	0.00833	0.00833
3.ช่องว่างใต้หลังคา	0.17612	0.17612	0.17612	0.17612
4.ฉนวนใยแก้ว 1 นิ้ว (ฉนวนใยหิน 1 นิ้ว) (ฉนวนกระดาษ 1 นิ้ว) (ฉนวนโฟม 1 นิ้ว)	0.69444 - - -	- 0.55556 - -	- - 0.64102 -	- - - 1.0869
5.ฝ้ายิปซัม 9 mm.	0.05625	0.05625	0.05625	0.05625
6.ฟิล์มด้านใน	$1/1.937 = 0.51626$	0.51626	0.51626	0.51626
รวม	1.56098	1.42260	1.50806	1.95394
U	0.641	0.703	0.663	0.512
กระเบื้องเซรามิค	ความต้านทานรวม (m ² KW)			
1.ฟิล์มด้านนอก	$1/9.084 = 0.11008$	0.11008	0.11008	0.11008
2.กระเบื้องเซรามิค 1.2 cm.	0.01435	0.01435	0.01435	0.01435
3.ช่องว่างใต้หลังคา	0.17612	0.17612	0.17612	0.17612
4.ฉนวนใยแก้ว 1 นิ้ว (ฉนวนใยหิน 1 นิ้ว) (ฉนวนกระดาษ 1 นิ้ว) (ฉนวนโฟม 1 นิ้ว)	0.69444 - - -	- 0.55556 - -	- - 0.64102 -	- - - 1.0869
5.ฝ้ายิปซัม 9 mm.	0.05625	0.05625	0.05625	0.05625
6.ฟิล์มด้านใน	$1/1.937 = 0.51626$	0.51626	0.51626	0.51626
รวม	1.5670	1.42862	1.51408	1.95996
U	0.638	0.700	0.660	0.510

ตารางที่ 4.4 (ก) การหาค่า U หลังคาปั้นหยาดัดจนวน 2 นิ้ว แบบมีห้องใต้หลังคา

กระเบื้องคอนกรีต	ความต้านทานรวม (m ² KW)			
1.ฟิล์มด้านนอก	1/9.139 = 0.10942	0.10942	0.10942	0.10942
2.กระเบื้องคอนกรีต 1.5 cm.	0.00867	0.00867	0.00867	0.00867
3.ช่องว่างใต้หลังคา	0.17612	0.17612	0.17612	0.17612
4.ฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว (ฉนวนใยหิน 2 นิ้ว) (ฉนวนกระดาษ 2 นิ้ว) (ฉนวนโฟม 2 นิ้ว)	1.38889 - - -	- 1.11111 - -	- - 1.28204 -	- - - 2.1738
5.ฝ้ายิปซัม 9 mm.	0.05625	0.05625	0.05625	0.05625
6.ฟิล์มด้านใน	1/1.814 = 0.55127	0.55127	0.55127	0.55127
รวม	2.29062	2.01284	2.18377	3.07553
U	0.437	0.497	0.458	0.325

กระเบื้องซีเมนต์ใยหิน	ความต้านทานรวม (m ² KW)			
1.ฟิล์มด้านนอก	1/9.139 = 0.10942	0.10942	0.10942	0.10942
2.กระเบื้องซีเมนต์ใยหิน 0.5 cm.	0.00833	0.00833	0.00833	0.00833
3.ช่องว่างใต้หลังคา	0.17612	0.17612	0.17612	0.17612
4.ฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว (ฉนวนใยหิน 2 นิ้ว) (ฉนวนกระดาษ 2 นิ้ว) (ฉนวนโฟม 2 นิ้ว)	1.38889 - - -	- 1.11111 - -	- - 1.28204 -	- - - 2.1738
5.ฝ้ายิปซัม 9 mm.	0.05625	0.05625	0.05625	0.05625
6.ฟิล์มด้านใน	1/1.814 = 0.55127	0.55127	0.55127	0.55127
รวม	2.29028	2.01250	2.18340	3.07519
U	0.437	0.497	0.458	0.325

กระเบื้องเซรามิก	ความต้านทานรวม (m ² KW)			
1.ฟิล์มด้านนอก	1/9.139 = 0.10942	0.10942	0.10942	0.10942
2.กระเบื้องเซรามิก 1.2 cm.	0.01435	0.01435	0.01435	0.01435
3.ช่องว่างใต้หลังคา	0.17612	0.17612	0.17612	0.17612
4.ฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว (ฉนวนใยหิน 2 นิ้ว) (ฉนวนกระดาษ 2 นิ้ว) (ฉนวนโฟม 2 นิ้ว)	1.38889 - - -	- 1.11111 - -	- - 1.28204 -	- - - 2.1738
5.ฝ้ายิปซัม 9 mm.	0.05625	0.05625	0.05625	0.05625
6.ฟิล์มด้านใน	1/1.814 = 0.55127	0.55127	0.55127	0.55127
รวม	2.2963	2.01852	2.18945	3.08121
U	0.435	0.495	0.457	0.325

ตารางที่ 4.5 ค่า CLTD ที่คำนวณได้สำหรับหลังคาตัวอียง

	อุณหภูมิ	CLTD (°C)																							
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	1.639	0.4	-0.7	-1.2	-1.4	-1.6	-1.5	3.4	10.8	19.8	28.9	36.2	42.3	44.8	43.3	36.8	33.1	26.5	17.0	9.8	6.5	4.7	3.7	3.2	2.9
2	0.739	6.8	5.3	4.6	4.0	3.3	2.7	3.7	7.5	13.1	19.8	26.3	31.1	33.9	35.6	35.1	32.9	29.9	24.2	18.2	13.9	11.0	9.0	7.7	6.7
3	0.466	10.0	9.1	8.4	7.8	7.2	6.7	6.3	12.6	18.8	25.9	32.0	36.0	38.0	39.1	39.1	37.9	35.7	31.4	26.8	20.9	17.2	14.5	12.6	11.1
4	1.856	2.8	2.0	1.6	1.2	0.8	0.4	5.3	12.8	22.2	30.2	36.5	41.2	44.2	44.7	39.3	32.6	25.4	16.5	9.9	6.7	5.2	4.5	4.0	3.8
5	0.777	5.0	4.2	3.6	2.9	2.4	1.9	2.3	5.5	11.4	15.3	24.8	29.5	32.1	33.0	32.7	30.9	28.0	22.8	17.3	13.1	10.3	8.3	6.9	5.9
6	0.503	8.6	7.9	7.4	6.8	6.5	6.1	7.7	11.6	17.7	24.1	29.5	33.6	36.0	37.1	36.8	35.7	33.3	29.4	24.4	19.8	15.7	13.9	12.1	10.0
7	1.189	0.5	-0.1	-0.7	-1.0	-1.3	-1.6	2.0	8.6	18.7	25.8	37.3	43.3	47.8	49.2	45.5	38.2	29.7	18.9	10.5	6.0	3.7	2.6	2.1	1.7
8	0.625	2.8	2.6	2.4	2.2	2.0	1.8	1.5	6.5	13.8	23.0	31.2	37.6	41.4	42.4	40.1	35.3	28.5	19.9	12.5	7.5	4.5	2.8	1.8	1.1
9	0.429	2.1	1.5	1.1	0.7	0.4	0.2	1.6	6.0	12.5	20.1	27.3	33.3	37.2	39.0	39.0	36.7	32.2	26.1	19.0	12.9	8.8	6.0	4.2	3.0
10	1.220	0.2	0.0	-0.2	-0.4	-0.5	-0.7	0.4	6.8	17.0	28.6	38.2	44.3	47.4	46.9	42.9	35.5	25.8	15.2	7.5	3.6	1.8	1.0	0.6	0.4
11	0.633	0.8	0.5	0.3	0.1	0.0	-0.2	1.3	7.0	18.0	25.5	34.0	40.0	43.5	44.3	41.8	36.9	30.0	20.6	12.5	7.3	4.4	2.7	1.8	1.3
12	0.433	2.0	1.7	1.3	1.1	0.8	0.6	2.4	6.0	13.7	21.4	29.2	34.9	38.3	39.4	38.2	34.7	29.2	22.2	14.9	9.4	6.0	4.1	3.1	2.5

1,2,3 หลังคาหน้าจั่วแบบครึ่งคองคี่คองนวน 0,1,2 นิ้ว ตามลำดับ

4,5,6 หลังคาปั้นหย่าแบบครึ่งคองคี่คองนวน 0,1,2 นิ้ว ตามลำดับ

7,8,9 หลังคาหน้าจั่วแบบมีช่องใต้หลังคาคี่คองนวน 0,1,2 นิ้ว ตามลำดับ

10,11,12 หลังคาปั้นหย่าแบบมีช่องใต้หลังคาคี่คองนวน 0,1,2 นิ้ว ตามลำดับ

หมายเหตุ: ค่าที่ในตารางได้จากการใช้ข้อมูลอากาศปี ค.ศ.1991 สำหรับกรุงเทพมหานคร ความเร็วลมเฉลี่ยทั้งปี 1.7m/s

ค่า U ที่แสดงสำหรับหลังคากระเบื้องคอนกรีต และฉนวนใยแก้ว

ตารางที่ 4.6 ค่า CLTD สำหรับหลังคากระดานไม้มีฝ้า (กระดาน)

Roof No.	U-value	CLTD (°C)																							
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	0.038	1	-1	-2	-2	-3	-2	3	11	19	27	34	39	43	44	43	39	33	25	17	10	7	4	3	2
2	0.030	3	2	0	-1	-2	-2	-1	2	8	15	22	29	34	39	41	41	39	34	28	15	16	11	8	5
3	0.039	5	3	1	0	-1	-2	-2	1	5	11	18	24	31	38	39	41	39	37	32	25	19	14	10	7
4	0.026	7	4	3	2	0	-1	-1	2	6	11	17	23	28	33	36	37	37	34	30	25	20	16	12	9
5	0.019	2	0	-2	-2	-3	-4	-3	-2	3	9	15	22	27	32	35	36	34	32	27	21	14	10	6	4
6	0.028	12	9	7	5	3	2	1	1	2	4	8	13	18	24	28	32	34	36	34	32	28	23	19	16
7	0.023	16	13	11	9	7	6	4	3	3	5	7	11	15	19	23	27	29	31	31	30	27	24	22	19
8	0.022	19	17	14	12	10	8	6	5	4	4	5	7	11	14	18	22	26	28	29	30	29	27	25	22
9	0.035	14	12	10	8	7	5	4	4	6	8	11	14	18	22	26	28	29	29	29	27	24	21	19	17
10	0.016	17	14	13	11	9	7	6	5	4	5	7	9	13	16	20	23	26	27	28	28	26	24	22	19
11	0.019	19	17	15	14	12	11	9	8	7	7	8	10	12	14	17	20	22	24	25	26	25	24	22	21
12	0.034	17	16	14	12	11	9	8	8	8	9	10	12	14	17	20	22	24	25	25	24	23	22	21	19
13	0.019	21	20	18	17	15	14	12	11	10	9	9	9	10	12	13	16	18	20	22	23	24	24	23	22

ที่มา: ASHRAE GRP 158

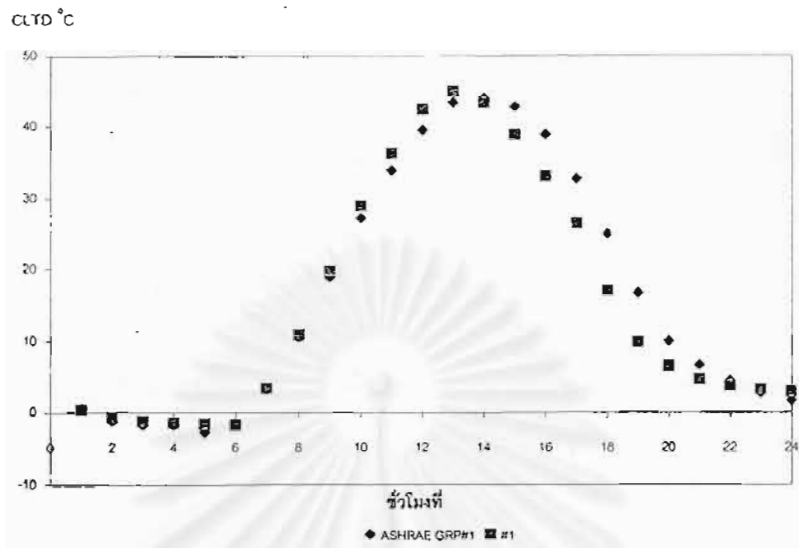
- 1 Steel Sheet with 1-in. insulation
- 2 1-in. wood with 1-in. insulation
- 3 4-in. l.w. concrete
- 4 2-in. h.w. concrete with 1-in. insulation
- 5 1-in. wood with 2-in. insulation
- 6 6-in. l.w. concrete
- 7 2.5-in. wood with 1-in. insulation
- 8 8-in. l.w. concrete
- 9 4-in. h.w. Concrete with 1-in. insulation
- 10 2.5-in. wood with 2-in. insulation
- 11 Roof terrace system
- 12 6-in. h.w. concrete with 1-in. insulation
- 13 4-in. wood with 1-in. insulation

ตารางที่ 4.7 ค่า CLTD สำหรับหลังคาประเภทมีฝ้า (แบบมีช่องใต้หลังคา)

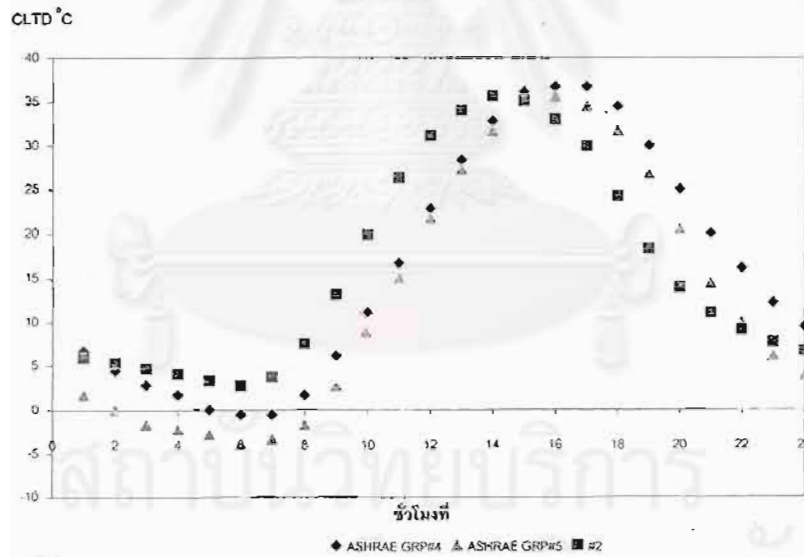
Roof No.	U-value	CLTD (°C)																							
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	0.024	1	0	-1	-2	-2	-2	-1	5	13	21	28	34	39	43	43	41	37	31	23	16	10	7	4	3
2	0.020	11	8	6	4	3	2	1	2	4	7	12	17	22	27	31	33	34	34	32	28	24	21	17	14
3	0.024	11	8	6	4	2	1	0	0	2	6	11	16	22	27	31	34	36	36	34	30	26	21	17	13
4	0.023	16	14	13	11	9	8	7	7	8	9	11	14	17	19	22	24	26	26	26	24	23	21	19	18
5	0.015	14	11	9	7	6	4	3	3	4	7	10	14	18	23	27	29	32	32	31	29	26	22	19	16
6	0.019	18	16	13	11	9	7	6	4	4	4	6	9	12	16	20	23	27	29	30	30	28	26	23	21
7	0.017	19	17	16	14	13	12	10	9	8	8	9	10	12	14	17	19	21	23	24	24	24	23	22	21
8	0.016	22	20	18	16	14	13	11	10	8	6	6	8	9	11	14	16	19	21	23	25	26	25	24	23
9	0.023	17	16	15	14	13	12	12	11	11	12	12	13	15	16	18	19	20	21	21	21	21	20	19	18
10	0.013	19	18	17	16	14	13	12	11	10	10	10	11	12	14	16	18	19	21	22	23	23	22	22	21
11	0.014	17	16	16	15	14	14	13	13	12	12	12	13	13	14	14	16	16	17	18	18	18	18	18	18
12	0.022	16	16	15	14	14	13	13	12	12	12	12	13	14	14	16	17	18	18	19	19	19	18	18	17
13	0.014	19	13	18	18	17	16	15	14	13	13	12	12	12	12	13	14	15	17	18	19	19	20	21	20

ที่มา ASHRAE GRP 158

- 1 Steel Sheet with 1-in. insulation
- 2 1-in. wood with 1-in. insulation
- 3 4-in. l.w. concrete
- 4 2-in. l.w. concrete with 1-in. insulation
- 5 1-in. wood with 2-in. insulation
- 6 6-in. l.w. concrete
- 7 2.5-in. wood with 1-in. insulation
- 8 8-in. l.w. concrete
- 9 4-in. h.w. Concrete with 1-in. insulation
- 10 2.5-in. wood with 2-in. insulation
- 11 Bent terrace system
- 12 6-in. h.w. concrete with 1-in. insulation
- 13 1-in. wood with 1-in. insulation

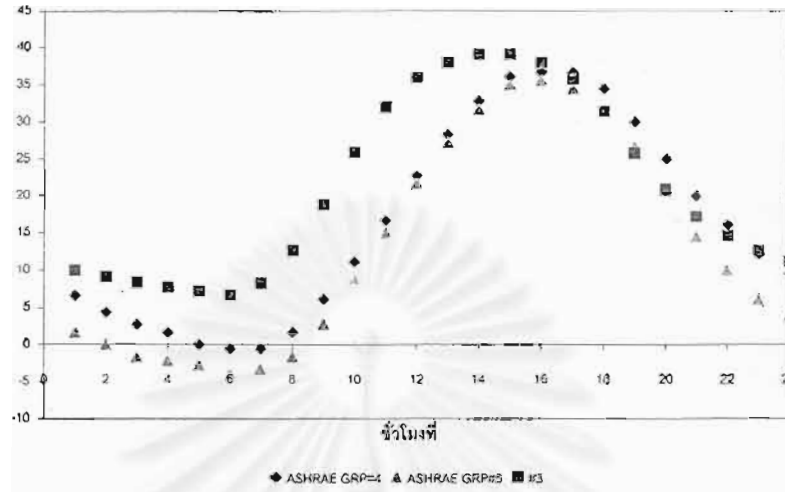


รูปที่ 4.106 เที่ยบเคียงค่า CLTD ของหลังคาตัวอย่างที่ศึกษาหมายเลข1 กับหลังคาไม่มีเพดานในASHRAE GRP 158 กลุ่มที่1



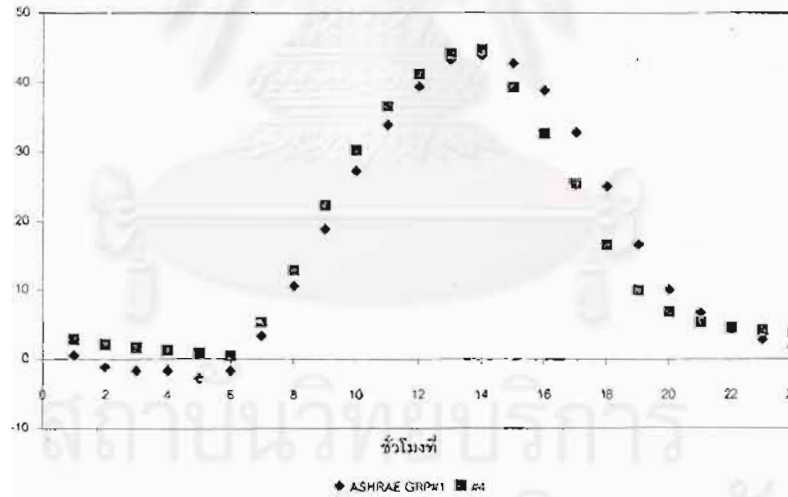
รูปที่ 4.107 เที่ยบเคียงค่า CLTD ของหลังคาตัวอย่างที่ศึกษาหมายเลข2 กับหลังคาไม่มีเพดานในASHRAE GRP 158 กลุ่มที่4และ5

CLTD °C



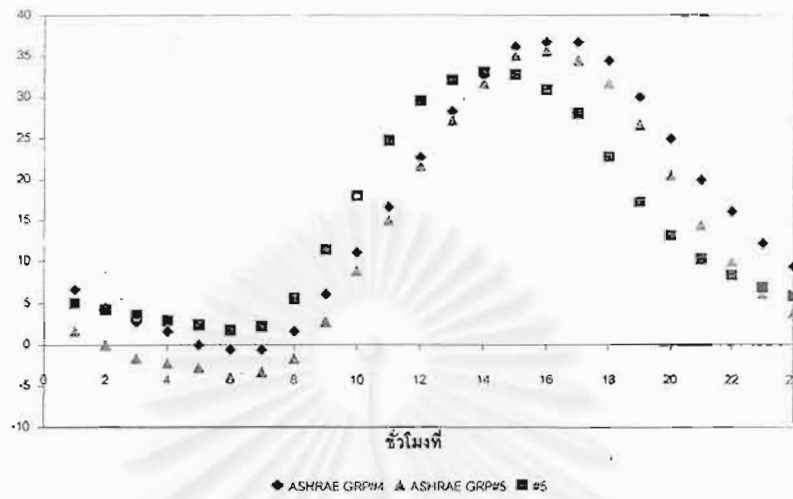
รูปที่ 4.108 เปรียบเทียบค่า CLTD ของหลังคาตัวอย่างที่ศึกษาหมายเลข3 กับหลังคาไม่มีเพดานในASHRAE GRP 158 กลุ่มที่4และ5

CLTD °C



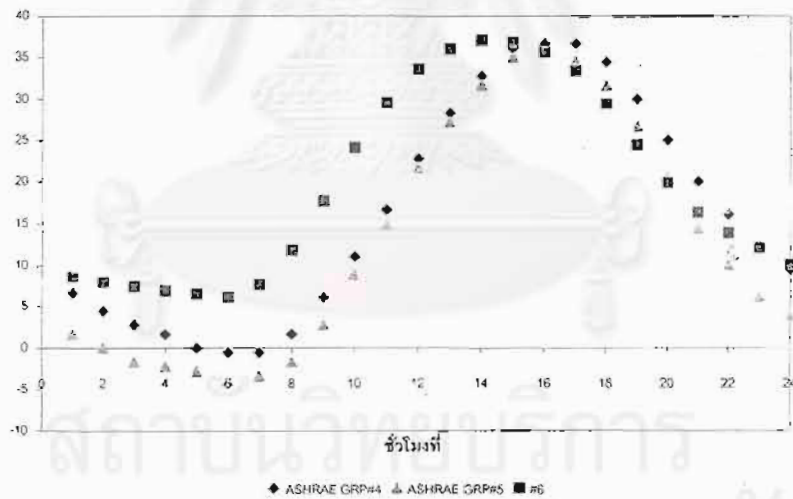
รูปที่ 4.109 เปรียบเทียบค่า CLTD ของหลังคาตัวอย่างที่ศึกษาหมายเลข4 กับหลังคาไม่มีเพดานในASHRAE GRP 158 กลุ่มที่1

CLTD °C

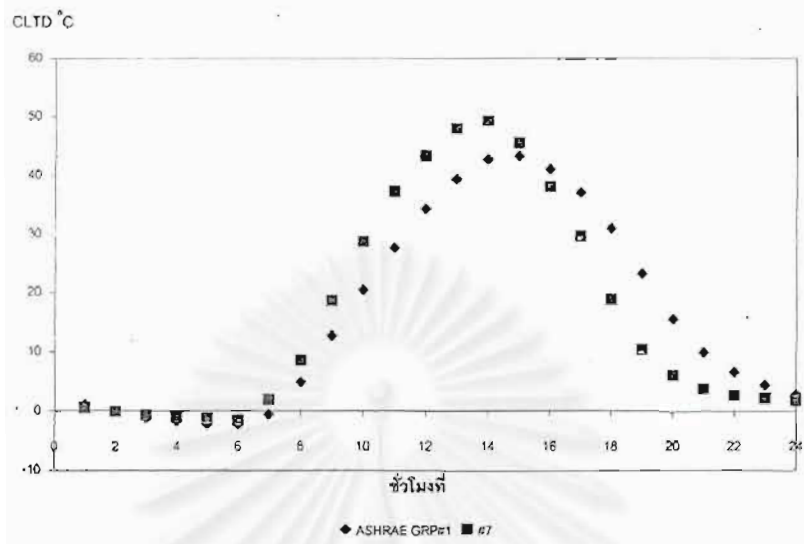


รูปที่ 4.110 เที่ยบเคียงค่า CLTD ของหลังคาตัวอย่างที่ศึกษาหมายเลข5
กับหลังคาไม่มีเพดานในASHRAE GRP 158 กลุ่มที่4และ5

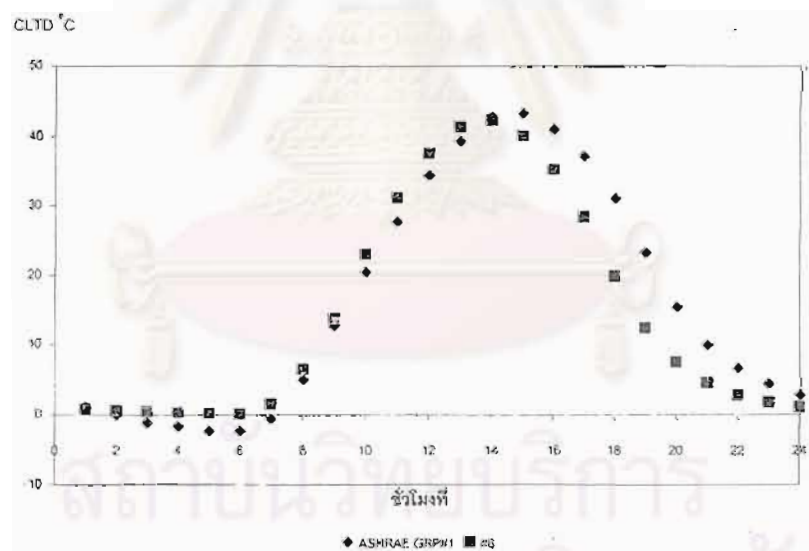
CLTD °C



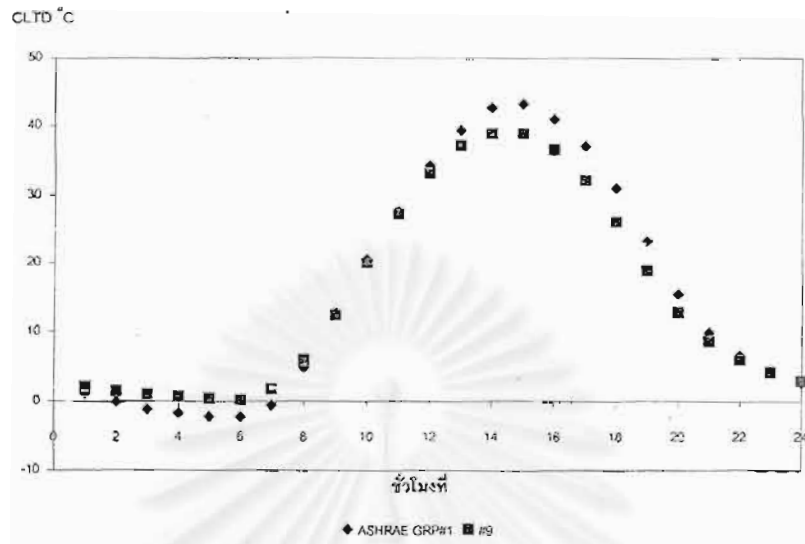
รูปที่ 4.111 เที่ยบเคียงค่า CLTD ของหลังคาตัวอย่างที่ศึกษาหมายเลข6
กับหลังคาไม่มีเพดานในASHRAE GRP 158 กลุ่มที่4และ5



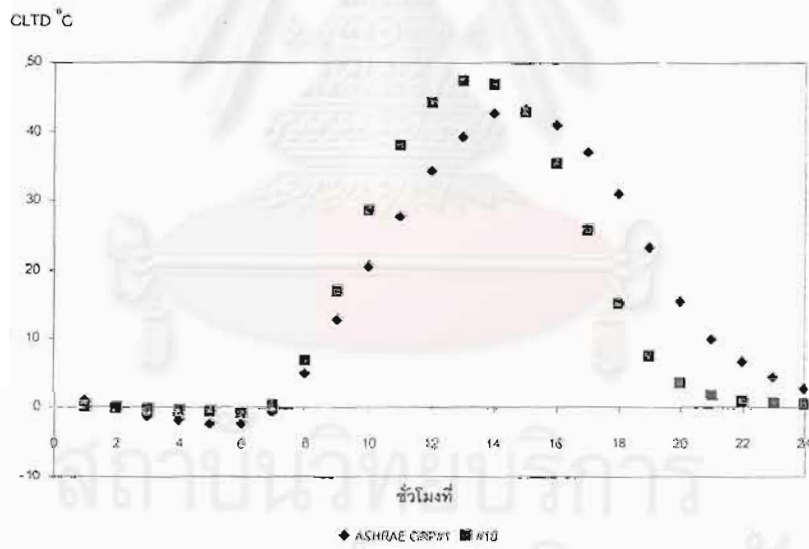
รูปที่ 4.112 เที่ยบเคียงค่า CLTD ของหลังคาตัวอย่างที่ศึกษาหมายเลข7 กับหลังคามีเพดานในASHRAE GRP 158 กลุ่มที่1



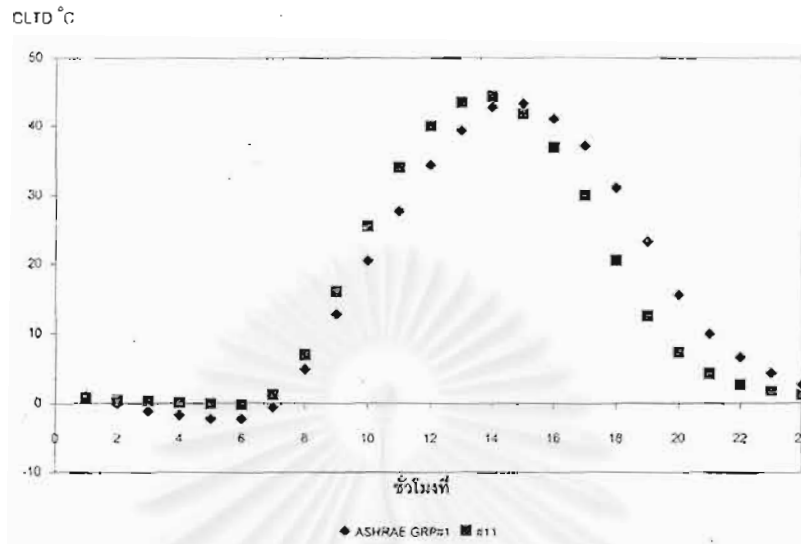
รูปที่ 4.113 เที่ยบเคียงค่า CLTD ของหลังคาตัวอย่างที่ศึกษาหมายเลข8 กับหลังคามีเพดานในASHRAE GRP 158 กลุ่มที่1



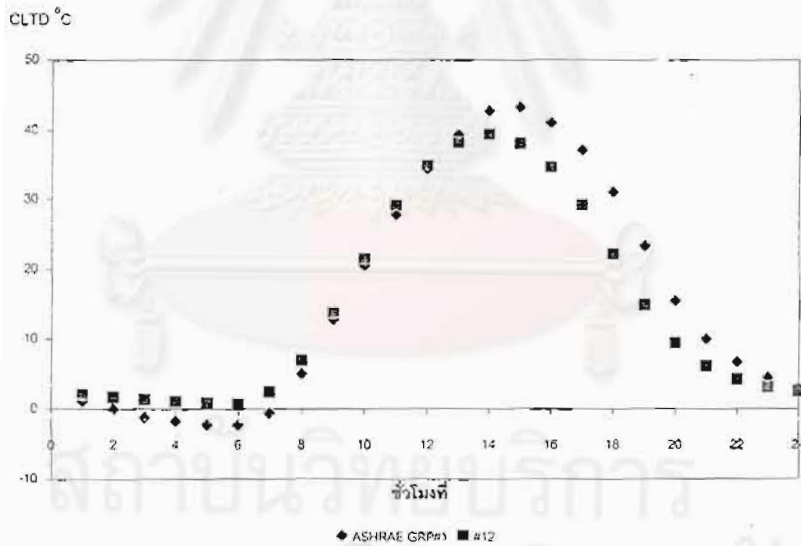
รูปที่ 4.114 เปรียบเคียงค่า CLTD ของหลังคาตัวอย่างที่ศึกษาหมายเลข 9 กับหลังคามีเพดานในASHRAE GRP 158 กลุ่มที่ 1



รูปที่ 4.115 เปรียบเคียงค่า CLTD ของหลังคาตัวอย่างที่ศึกษาหมายเลข 10 กับหลังคามีเพดานในASHRAE GRP 158 กลุ่มที่ 1



รูปที่ 4.116 เที่ยบเคียงค่า CLTD ของหลังคาตัวอย่างที่ศึกษาหมายเลข11 กับหลังคามีเพดานในASHRAE GRP 158 กลุ่มที่1



รูปที่ 4.117 เที่ยบเคียงค่า CLTD ของหลังคาตัวอย่างที่ศึกษาหมายเลข12 กับหลังคามีเพดานในASHRAE GRP 158 กลุ่มที่1

5.1.5 การติดตั้งแผ่นสะท้อนความร้อนจากรูปที่ 4.55-4.57 พบว่า สามารถลดปริมาณความร้อนประมาณ 20%-30% และตำแหน่งในการติดตั้งแผ่นสะท้อนความร้อนสามารถติดตั้งได้ที่ตำแหน่งใต้วัสดุผนังหลัง หรือบนฉนวนเหนือฝ้าก็ได้เพราะให้ผลใกล้เคียงกัน

ในตารางที่ 5.1 เป็นตารางแสดงผลเทียบเคียงค่า CLTD หลังคาตัวอย่างที่ศึกษากับหลังคาตัวอย่างใน ASHRAE GRP168

5.2 ข้อเสนอนณะ

การหาปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านระบบหลังคาในงานวิจัยนี้ใช้วิธีการสมดุลความร้อนและนำวิธี conduction transfer function ในกระบวนการถ่ายเทความร้อนแบบการนำ ซึ่งเป็นการทำให้วิธีการสมดุลความร้อนในการหาค่าตัวแปรอุณหภูมิเป็นระบบสมการเชิงเส้น และมีการนำวิธี MRT (mean radiant temperature) เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการถ่ายเทความร้อนแบบแผ่รังสีระหว่างพื้นผิวด้วยกัน ซึ่งการถ่ายเทความร้อนแบบแผ่รังสีนั้นมีสมการในดีกรี 4 แต่วิธี MRT เป็นการหาแบบจำลองโดยแปลงสมการถ่ายเทความร้อนแบบแผ่รังสีเป็นดีกรี 1 หรือสมการเชิงเส้น ใช้พื้นที่ของแต่ละพื้นผิวในการถ่วงน้ำหนักคุณสมบัติของพื้นผิว ซึ่งแบบจำลอง MRT อาจทำให้ความแม่นยำของการหาค่าตัวแปรอุณหภูมิคลาดเคลื่อนไปจากเดิม นอกจากนี้ค่าดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์ (solar absorptivity) ที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้เป็นค่าคงที่โดยไม่ขึ้นกับทิศทางของแสง

ในงานวิจัยนี้จะสามารถหาปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านโชนที่พิจารณาได้เพียงครั้งละ 1 โชนเท่านั้น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและความซับซ้อนของโชนควรพัฒนาโปรแกรมที่สามารถคำนวณหาปริมาณความร้อนคร่าวๆมากกว่า 1 โชน ซึ่งจะสามารถช่วยขยายขอบเขตของงานวิจัยให้กว้างยิ่งขึ้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

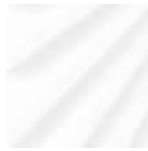
ตารางที่ 5.1 เที่ยบเคียงCLTDหลังคาตัวอย่างที่ศึกษากับหลังคาตัวอย่างใน ASHRAE

รายการหลังคา	เทียบเคียง CLTD หลังคาใน ASHRAE
หลังคาหน้าจั่วแบบค้ำซี่ค้อ ไม่ติดฉนวน ติดฉนวน 1 นิ้ว ติดฉนวน 2 นิ้ว	group 1 without suspended ceiling group 4 without suspended ceiling group 4 without suspended ceiling
หลังคาปั้นหย้าแบบค้ำซี่ค้อ ไม่ติดฉนวน ติดฉนวน 1 นิ้ว ติดฉนวน 2 นิ้ว	group 1 without suspended ceiling group 4 without suspended ceiling group 4 without suspended ceiling
หลังคาหน้าจั่วแบบมีช่องใต้หลังคา ไม่ติดฉนวน ติดฉนวน 1 นิ้ว ติดฉนวน 2 นิ้ว	group 1 with suspended ceiling group 1 with suspended ceiling group 1 with suspended ceiling
หลังคาปั้นหย้าแบบมีช่องใต้หลังคา ไม่ติดฉนวน ติดฉนวน 1 นิ้ว ติดฉนวน 2 นิ้ว	group 1 with suspended ceiling group 1 with suspended ceiling group 1 with suspended ceiling

รายการอ้างอิง

- ตระการ ก้าวกลีกรม 2537. คู่มือคำนวณความร้อน. กรุงเทพมหานคร: บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด.
- ปราโมทย์ เตชะอำไพ 2538. ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขในงานวิศวกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ASHRAE. 1993. ASHRAE Handbook of Fundamentals. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air Condition Engineers, Inc.
- ASHRAE. 1997. ASHRAE Handbook of Fundamentals. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air Condition Engineers, Inc.
- ASHRAE GRP 158. 1960. Cooling and Heating Load Calculation Manual. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air Condition Engineers, Inc
- American Society of Heating, Refrigerating and Air Condition Engineers. Cooling and Heating Load Calculation Manual. 1960.
- Duffie, J.A. 1991. Solar Engineering of Thermal Processes. 2ndEd. New York: John Wiley & Sons.
- Hittle, D.C. 1979. Calculating building heating and cooling loads using the frequency response of multilayered slabs. Ph.D.thesis. University of Illinois at Urbana Champaign.
- Liesen, R.J. 1997. An evaluation of inside surface heat balance model for cooling load calculations. ASHRAE Transaction 103(2) pp.
- McClellan, T.M. 1997. Investigation of outside heat balance model for use in a heat balance cooling load calculation procedure. ASHRAE Transaction 103(2) pp.
- Pedersen, C.O. 1997. Development of a heat balance procedure for cooling loads. ASHRAE Transaction 103(2) pp.

สถาบันวิทยุบริรักษ์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก



ภาคผนวก ก

ตารางที่ ก.1 แสดงคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในโครงสร้างหลังคาและกำแพง

วัสดุ	k (W/m.K)	ρ (kg/m ³)	C_p (J/kg.K)
กระเบื้องคอนกรีต	1.731	2243	840
กระเบื้องซีเมนต์ใยหิน	0.6	1922	1005
กระเบื้องเซรามิค	0.836	1890	795
ฉนวนใยแก้ว	0.036	64	960
ฉนวนใยแร่	0.045	32	837
ฉนวนเซลลูโลส	0.039	37	1380
ฉนวนโพลียูรีเทนโฟม	0.023	32	1590
แผ่นยิปซัม	0.160	801	1089
อิฐมอญ	0.692	1922	837
ปูนฉาบ	0.722	1858	837

ความต้านทานอากาศ 0.176 m²KW

ตารางที่ ก.2 แสดงค่าการดูดกลืนรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ และการเปล่งรังสีจากพื้นผิว ณ อุณหภูมิล้อมรอบที่สี่และของวัสดุต่างๆ

สี:	ค่าการดูดกลืนความร้อน	ค่าการเปล่งรังสีความร้อนที่ 50°C
ดำ	0.97	0.96
แดง	0.74	0.96
เขียว	0.73	0.95
เหลือง	0.45	0.95
ขาว	0.15	0.89
วัสดุ:		
อิฐแดง, กระเบื้อง, คอนกรีต	0.8	0.9
อิฐเหลือง, พลาสติกเทอร์	0.45	0.9
สีอะลูมิเนียม	0.4	0.5
ทองแดง	0.5	0.25
ทองแดงขัดเงา	0.4	0.02
อะลูมิเนียมขัดเงา	0.2	0.03

ภาคผนวก ข
รายละเอียดโปรแกรม

```

PROGRAM Load_cad
PARAMETER
(MSURF=10,NVAR=20,NHR1=24,NHR2=48,MDAY=365)
REAL AREA(MSURF),PE(MSURF),TOA(NHR2),TSKY(NHR2),WSPEED
(NHR2),WDIR(NHR2),SAZ(MSURF)
REAL QS(MSURF,NHR2),R(MSURF,NHR2),QI(MSURF,NHR2),ROUGH
(MSURF),SWABSQ(MSURF),SWABSI(MSURF)
REAL LWEMI(MSURF),LWEMOI(MSURF),ACH(NHR2),DT
(NVAR,NHR2),LSM,LLT,LON
REAL X(MSURF,NHR1),Y(MSURF,NHR1),Z(MSURF,NHR1),CR
(MSURF,NHR1),RSURF(MSURF)
REAL NPPEOPLE(NHR2),QE(NHR2),QLIGHT(NHR2),LWRADL
REAL GRAD_L(MSURF,NHR2),GRAD_P(MSURF,NHR2),GRAD_E
(MSURF,NHR2),QTOZC:HE(NHR2)
REAL QCON_L(NHR2),QCON_P(NHR2),QCON_E(NHR2)
REAL QLAT_P(NHR2),QLAT_E(NHR2)
REAL TF(MSURF,NHR2),TAVG(MSURF,NHR2)
REAL FIFF(MSURF,NHR2),HRP(MSURF,NHR2),HRSS(MSURF,NHR2)
REAL HR(MSURF,NHR2),HCO(MSURF,NHR2),HRGG(MSURF,NHR2)
REAL HRAOQ(MSURF,NHR2),KONDUCT(MSURF,MSURF)
REAL FILMIN(NHR2),FILMOUT(NHR2),UROOF(NHR2) REAL FLUX
(NHR2),DELTA(NHR2)
REAL FILM_IN(MDAY,NHR2),FILM_OUT(MDAY,NHR2),U_ROOF
(MDAY,NHR2),Q_ZO:IE(MDAY,NHR2)
REAL hno(msurf,nhr2),hlo(msurf,nhr2)
REAL hni(msurf,nhr2),hli(msurf,nhr2)
REAL hn_out(mday,nhr2),hli_out(mday,nhr2)
REAL hn_in(mday,nhr2),hli_in(mday,nhr2)
DIMENSION A(NVAR,NVAR),B(NVAR),X(NVAR),T(NHR2)
DIMENSION G(MSURF),TAVG(MSURF),TF(MSURF),DTF(MSURF)
DIMENSION QBAL(MSURF)
DIMENSION T(MSURF,NHR2),TO(MSURF,NHR2),H(:SURF)
DIMENSION TZONE(NHR2),OSY(NHR2),QCONV(MSURF,NHR2)
DIMENSION SUMA(MSURF),SUMAE(MSURF),FIF(MSURF),HR
(MSURF),SUMXTI(MSURF),SUMYTI(MSURF),SUMFO(MSURF)
DIMENSION SIMZTO(MSURF),SUMYTI(MSURF),SUMFO(MSURF)
DIMENSION HO(MSURF),HRG(MSURF),HRSS(MSURF),CO
(MSURF,NHR2),TILT(MSURF)
DIMENSION RR(MSURF,MSURF),CO(MSURF,MSURF),NOL(MSURF)
DIMENSION THICK(MSURF,MSURF),RHOM(MSURF,MSURF)
DIMENSION CP(MSURF,MSURF)
DIMENSION DBTOA(MDAY,NHR2),WBTOA(MDAY,NHR2),DN_IP
(MDAY,NHR2)
DIMENSION DIF_IR(MDAY,NHR2),HUMID(MDAY,NHR2)
DIMENSION WIND_VEL(MDAY,NHR2),WIND_DIR(MDAY,NHR2),D
(NHR2),JB(11)
DATA (JB(N),N=1,11)/31,28,31,30,31,30,31,31,39,31,36/
C.....PE = PERIMETER OF SURFACE
C.....TOA = OUTSIDE AIR TEMPERATURE
C.....TSKY = SKY TEMPERATURE
C.....TA = ROOM AIR TEMPERATURE
C.....TZONE = ADJUST ZONE AIR TEMPERATURE
C.....TI = INSIDE SURFACE TEMPERATURE
C.....TO = OUTSIDE SURFACE TEMPERATURE
C.....WSPEED= WIND SPEED
C.....WDIR = WIND DIRECTION
C.....SAZ = SURFACE AZIMUTH
C.....QS = SOLAR IRRADIANT
C.....R = TRANSMIT PORTION THROUGH GLASS ON EACH SURFACE
C.....QI = FLUX AT INSIDE SURFACE
C.....QO = FLUX AT OUTSIDE SURFACE
C.....ROUGH = ROUGHNESS OF SURFACE
C.....SWABSQ= SHORT WAVE ABSORTANCE AT OUTSIDE SURFACE
C.....SWABSI = SHORT WAVE ABSORTANCE AT INSIDE SURFACE
C.....LWEMI = LONG WAVE EMTTANCE AT INSIDE SURFACE
C.....LWEMOI = LONG WAVE EMTTANCE AT OUTSIDE SURFACE
C.....ACH = VENTILATION OF OUTDOOR AIR THAT FLOW INTO ROOM
C.....LSM = STANDARD MERIDIAN FOR LOCAL TIME ZONE
C.....LLT = LOCAL LATITUDE
C.....LON = LOCAL LONGITUDE
C.....NPEOPLE= NO. OF PEOPLE IN ROOM
C.....QE = ENERGY USAGE OF EQUIPMENT
C.....QLIGHT = ENERGY USAGE OF LIGHT
C.....GRAD_L,GRAD_E,GRAD_P = IRRADIANT FROM
LIGHT,EQUIPMENT,PEOPLE THAT ABSORB BY SURFACE
C.....QCON_L,QCON_E,QCON_P = CONVECTIVE PORTION FROM
LIGGH,EQUIPMENT,PEOPLE
C.....QLAT_E,QLAT_P = LATENT FROM EQUIPMENT,PEOPLE
C.....QSYS = COOLING LOAD
C.....X,Y,Z,CR= CONDUCTION TRANSFER COEFFICIENT
C.....H = INSIDE CONVECTIVE COEFF.
C.....HCO = OUTSIDE CONVECTIVE COEFF.
C.....HRG = RADIATIVE COEFF. BETWEEN GROUND & SURFACE
C.....HRS = RADIATIVE COEFF. BETWEEN SKY & SURFACE
C.....TF = MEAN RADIATIVE TEMPERATURE
C.....TAVG = AVERAGE OF TF AND THE OTHER SURFACE
C.....RRI = THERMAL RESISTANCE
C.....COI = THERMAL CAPACITANCE
C.....NOL = NO. OF LAYER OF EACH SURFACE
C.....OTHER VARIABLES ARE DUMMY IN PROGRAM
C.....
C.....N1 = THE NUMBER OF WHOLE SUNLIT SURFACES
C.....N2 = THE NUMBER OF SUNLIT OPAQUE SURFACES
C.....N3 = THE NUMBER OF SUNLIT GLASS SURFACES =N1-N2
C.....N4 = THE NUMBER OF PARTITIONS
C.....
C.....READ INPUT DATA FILE
OPEN(7,FILE='INPUT10.DAT')
OPEN(71,FILE='WBATHER.DAT')

```

```

OPEN(73,FILE='INPUT.OUT')
OPEN(74,FILE='ROOF.OUT')
OPEN(75,FILE='OUT.OUT')

C-----
CALL COMMEND0
READ(7,*) N1,N2,N4
NALL = N1*N4
N3 = N1-N2
CALL COMMEND0
READ(7,*) LSM,LOM,LLT
CALL COMMEND0
READ(7,*) MAXDAY
CALL COMMEND0
DO 1001 I=1,NALL
READ(7,*) TILT(I),SAZ(I),AREA(I),PE(I),ROUGH(I),
*SWABSI(I),SWABSO(I),LWEMI(I),LWEMO(I)
1001 CONTINUE
WRITE(75,2001)
2001 FORMAT(/,NO, TILT SAZ AREA PE ROUGH SWABSI
SWABSO,
*IX,LWEMI LWEMO')
DO 1002 I=1,NALL
WRITE(75,2002) TILT(I),SAZ(I),AREA(I),PE(I),ROUGH
(I),SWABSO(I),
* LWEMI(I),LWEMO(I)
2002 FORMAT(8F8,2)
1002 CONTINUE
CALL COMMEND0
READ(7,*) (TZONE(I),IA=25,48)
DO 100 IA=25,48
TZONE(IA) = TZONE(IA)+273
100 CONTINUE
CALL COMMEND0
READ(7,*) (NPEOPLE(I),IA=25,48)
READ(7,*) (FSENS_P,FLAT_P,CONVP,RADIP,WPEOPLE)
CALL COMMEND0
READ(7,*) (ICE(I),IA=25,48)
READ(7,*) (FSENS_E,FLAT_E,CONVE,RADE)
CALL COMMEND0
READ(7,*) (QLIGHT(I),IA=25,48)
READ(7,*) (CONVL,SWRADL,LWRADL)
CALL COMMEND0
READ(7,*) (ACH(I),IA=25,48)
CALL COMMEND0
READ(7,*) WIND_IN
CALL COMMEND0
READ(7,*) VOLUME
CALL COMMEND0
DO 1004 I=1,NALL
READ(7,*) NOL(I)
DO 1005 J=1,NOL(I)
READ(7,*) (THICK(I,J),KONDUCT(I,J),RHO(I,J),CPI(I,J)
RRI(I,J) = THICK(I,J)*KONDUCT(I,J)
CCI(I,J) = THICK(I,J)*RHO(I,J)*CPI(I,J)
1005 CONTINUE
1004 CONTINUE
DO 5001 I=1,MAXDAY
READ(71,*) (NDATE, MONTH, YEAR)
READ(71,*) (DBTOA(I),IA=25,48)
READ(71,*) (WBTOA(I),IA=25,48)
READ(71,*) (DN_IR(I),IA=25,48)
READ(71,*) (DIF_IR(I),IA=25,48)
READ(71,*) (HUMID(I),IA=25,48)
READ(71,*) (WIND_VEL(I),IA=25,48)
READ(71,*) (WIND_DIR(I),IA=25,48)
5001 CONTINUE
C-----for using average wind speed-----
wdummy = 0
DO 5100 I=1,maxday
do 5110 ia=25,48
wdummy = wdummy + wind_vel(ia)
5110 continue
5100 continue
wdummy = wdummy/(maxday*24)
write(75,5120) wdummy
5120 format(2x,'avg_wind_speed=',f10.5)
do 5130 I=1,maxday
do 5140 ia=25,48
wind_vel(ia) = wdummy
5140 continue
5130 continue
C-----
if (n2 ne 0.)then
CALL SLAB(n1,n2,NALL,NOL,RR1,CCI,X,Y,Z,CR)
else
call slab2(nol,nol,nol,m,cci,x,y,z,cr)
endif
ESP = 0.0005
DO 301 NS=1,NALL
SX = 0
SY = 0
SZ = 0
DO 302 J=1,24
SX = SX+XINS,J
SY = SY+YINS,J
SZ = SZ+ZINS,J
302 CONTINUE
DS = ABS(SX-SY)
IF (DS.GT.ESP) THEN
WRITE(75,303)
303 FORMAT(2X,'SOLUTION MAY NOT BE CONVERGED')
ELSE
DS = ABS(SX-SZ)
ENDIF
IF (DS.GT.ESP) THEN

```

```

ENDIF
30) CONTINUE
1006 CONTINUE
C-----
DO 6001 I=1,MAXDAY
DATE = ID
6004 CONTINUE
6003 CONTINUE
CALL
SQUARE(N1,N2,N3,N4,TILT,SAZ,AREA,SWABS0,S*1/9.8,DATE,LSM,
LON,
*LLT,OS,R)
DO 6002 IA=25,48
TOA(IA) = DBTOA(ID,IA)+273.
TSKY(IA) = TOA(IA)-6.
wspeed(ia) = wdummy
WDIR(IA) = WIND_DIR(IA)-180.
6002 CONTINUE
6006 FORMAT(2X,24F10.5)
C-----
C.....PRESUME INITIAL VALUE
DO 1020 I=1,NALL
DO 1021 J=1,48
TI(J) = 350.
TO(J) = 350.
TA(J) = 350.
QR(J) = 0.
*OON(J) = 0.
1021 CONTINUE
DO 1022 J=1,24
OS(J) = OS(,J)
R(J+24) = R(,J)
1022 CONTINUE
1020 CONTINUE
1020 CONTINUE
DO 2101 IA=25,48
DO 2102 I=1,NALL
ORAD_L(I,IA) = ORLIGHT(QUIGHT(IA),SWRADL,LWRAD)
LSWABS(I)(LWEM(I))
ORAD_P(I,IA) =
ORPPLE(NPEOPLE(IA),FSSENS_P,WPEOPLE,RADP,LWEM(I))
ORAD_EI(IA) =
DREQUIPQE(IA),FSSENS_E,RADE,LWEM(I))
OCON_L(IA) = OCLIGHT(QUIGHT(IA),CONVL)
OCON_PD(IA) =
OCPPLE(NPEOPLE(IA),FSSENS_P,WPEOPLE,CONVP)
OCON_E(IA) = OCEQUIPQE(IA),FSSENS_E,CONRVE)
QLAT_P(IA) =
OLPPLE(NPEOPLE(IA),WPEOPLE,FLAT_P)
QLAT_E(IA) = OLSOUPPE(IA),FLAT_E)
2102 CONTINUE
2101 CONTINUE
C-----
DO 2 N=1,1001
DO 1 IA=25,48
DO 1030 I=1,NALL
SUMA(I)=0.
SUMAE(I)=0.
G(I)=0.
QBAL(I)=0.
DO 1031 J=1,NALL
SUMA(I) =SUMA(I)+AREA(J)
SUMAE(I) =SUMAE(I)-AREA(J)*LWEM(I)
G(I) =G(I)+AREA(J)*LWEM(I)*TI(J,IA)
IF (I.EQ J) THEN
SUMA(I) =SUMA(I)-AREA(J)
SUMAE(I) =SUMAE(I)+AREA(J)*LWEM(I)
G(I) =G(I)-AREA(J)*LWEM(I)*TI(J,IA)
ENDIF
1031 CONTINUE
TF(I) = G(I)/SUMAE(I)
TAV(I) = (TF(I)+TI(I,IA))/2.
FIF(I) = 1.0*((1-LWEM(I))/LWEM(I) + 1 +
* AREA(I)*(1-SUMAE(I)/SUMA(I))/SUMAE(I))
HRR(I) = 4.0*5.67E-8*FIF(I)*TAVG(I)*TAVG(I)*TAVG(I)
OTF(I) = TF(I)-TI(I,IA)
QBAL(I) = QBAL(I) + (1./SUMA(I)+AREA(I))*(
* 4.*5.67E-8*FIF(I)*TAVG(I)*TAV(I))*TAVG(I)*AREA
(I)*DT(I)
1030 CONTINUE
DO 1032 I=1,NALL
TFF(I,IA) = TF(I)
TAVG(I,IA) = TAVG(I)
FIF(I,IA) = FIF(I)
HRR(I,IA) = HRR(I)
1032 CONTINUE
C-----END OF FINDING HR. COEFF -----
DO 1033 M=1,NALL
SUMYTM(M)=0.
SUMZTO(M)=0.
SUMFOQ(M)=0.
SUMYTO(M)=0.
SUMKTY(M)=0.
SUMFQIM(M)=0.
DO 1034 KK=2,24
SUMKTY(M) =SUMYTM(M) + Y(M,KK)*TO(M,IA,KK + 1)
SUMZTO(M) =SUMZTO(M) + Z(M,KK)*TO(M,IA,KK + 1)
SUMFOQ(M) =SUMFOQ(M) + CP(M,KK-1)*O(M,IA,KK + 1)
SUMYTO(M) =SUMYTO(M) + Y(M,KK)*TO(M,IA,KK + 1)
SUMKTY(M) =SUMKTY(M) + X(M,KK)*TO(M,IA,KK + 1)
SUMFOQ(M) =SUMFOQ(M) + CRIM,KK-1*FOQ(M,IA,KK + 1)
1034 CONTINUE
SUMFOQ(M) =SUMFOQ(M) + CRIM,1)*O(M,IA,1)
SUMKTY(M) =SUMKTY(M) + CRIM,1)*O(M,IA,1)
1033 CONTINUE
C-----END OF FINDING SUMMIT -----
DO 1035 M=1,NALL
HRR(M) = HRR(TO(M,NALL),TOA(IA),TL,ZOALL,WEM(M))
HRRGM(IA) = HRR(TO(M,NALL),TOA(IA),TI,T(M),LWEM(M))

```

```

HRSS(M) = HRSKY(TO(M,IA),TSKY(IA),TILT(M),LWEMO(M))
HRSSIM(IA) = HRSKY(TO(M,IA),TSKY(IA),TILT(M),LWEMO(M))
HOB(M)
      =HF(WSPPEED(IA),WDIR(IA),TILT(M),SAZ
(M),
      * ROUGH(M),PE(M),4.0,AREA(M))
      * HN1(TILT(M),TO(M,IA),TOA(IA))
      * HOO(M,IA)
      * =HF(WSPPEED(IA),WDIR(IA),TILT(M),SAZ(M),
      * ROUGH(M),PE(M),4.0,AREA(M))
      * HN1(TILT(M),TO(M,IA),TOA(IA))
      * hno(m,ia) = hn1(BR(m),so(m,ia),soa(ia))
      * hno(m,ia)
      * =HF(WSPPEED(IA),WDIR(IA),TILT(M),SAZ(M),
      * ROUGH(M),PE(M),4.0,AREA(M))
      * HRAOQ(M,IA) = HRAO(TO(M,IA),TOA(IA),TILT
(M),LWEMO(M))
      * HM(M) = HF2(WIND_IN,ROUGH(M),PE(M),AREA
(M))
      * HH(M,IA) = HF2(WIND_IN,ROUGH(M),PE(M),AREA
(M))
      * HN2(TILT(M),T(M,IA),TA(IA))
      * hH(m,ia) = HN2(TILT(M),T(M,IA),TA(IA))
      * hH(m,ia) = HF2(WIND_IN,ROUGH(M),PE(M),AREA(M))
1035 CONTINUE
      IF(INA.NE.0.)THEN
      DO 1036 M=N1+1,NALL,1
      *
      * HOO(M,IA) = HF2(0.0762,ROUGH(M),PE(M),AREA(M))
      *
      * HN2(TILT(M),TO
(M,IA),TZONE(IA))
      * hO(m,ia) = HF2(0.0762,ROUGH(M),PE(M),AREA(M))
      * hno(m,ia) = HN2(TILT(M),TO(M,IA),TZONE(IA))
      *
      * HH(M,IA) = HF2(WIND_IN,ROUGH(M),PE(M),AREA(M))
      *
      * HN1(TILT(M),T(M,IA),TA(IA))
      * hH(m,ia) = HF2(WIND_IN,ROUGH(M),PE(M),AREA(M))
      * hH(m,ia) = HN1(TILT(M),T(M,IA),TA(IA))
      * HRCGM(IA) = 0
      * HRAOQ(M,IA) = 0
      * HRSS(M,IA) = 0
      * QS(M,IA) = 0
1036 CONTINUE
      ENDIF
      SUMAREA=0
      DO 1037 I=1,NALL
      *
      * SUMAREA = SUMAREA + AREA(I)
1037 CONTINUE
      C-----END OF FINDING COHV,RAD COEFF....
      *
      * NNP1 = NALL + NALL + 1
      * DO 1050 IR=1,NNP1
      * DO 1051 IC=1,NNP1
      * A(IR,IC) = 0.
      *
      * B(IR) = 0.
1051 CONTINUE
1050 CONTINUE
      DO 1052 IR=1,NALL
      *
      * A(IR,IR) = X(IR,1) * HH(IR,IA) + HRR(IR,IA)
      * A(IR,IR+NALL) = -Y(IR,1)
      * A(IR,NNP1) = -H(IR,IA)
      * B(IR) = -SUMXT(IR) + SUMYTO(IR) + SUMFO(IR) + HRR(IR,IA)*TF(IR)
      *
      * + (R(IR,IA)*AREA(I))
      *
      * + (GRAD_P(IR,IA) + QGRAD_E(IR,IA) + QGRAD_L
(IR,IA)) / SUMAREA
      *
      * - QBAL(IR)
      *
      * A(IR+NALL,IR) = -Y(IR,1)
      * A(IR+NALL,IR+NALL) = Z(IR,1) + HOO(IR,IA) + HRSS(IR,IA) + HRCG
      *
      * + HRAOQ(IR,IA)
      *
      * B(IR+NALL) = SUMYTO(IR) - SUMTO(IR) + SUMFO(IR)
      *
      * + HCO(IR,IA)*TOA(IA) + HRSO(R)*TSKY(IA)
      *
      * + HRCG(IR)*TCA(IA) + QS(IR,IA)
      *
      * + HRAOQ(IR,IA)*TOA(IA)
      *
      * IF (IR.GT.N1) THEN
      *
      * A(IR+NALL,IR+NALL) = Z(IR,1) + Hoo(IR,IA)
      *
      * B(IR+NALL) = SUMYTO(IR) - SUMZTO(IR) + SUMFO(IR)
      *
      * + HCO(IR,IA)*TZONE(IA)
      *
      * ENDF
1052 CONTINUE
      SUMAH = 0.
      DO 1054 IR=1,NALL
      *
      * A(NNP1,IR) = AREA(IR)*HH(IR,IA)
      *
      * B(NNP1) = (ACH(IA)*1000.*1.20*VOLUME*TOA(IA)/3600.
      *
      * + 0.33*TA(IA-1)*VOLUME
      *
      * + QCON_L(IA) + QCON_P(IA) + QCON_E(IA) + QLAT_P
(IA) + QLAT_E(IA) )
      *
      * SUMAH = SUMAH + AREA(IR)*HH(IR,IA)
1054 CONTINUE
      A(NNP1,NNP1) = (SUMAH + ACH(IA)*1000.*1.20*VOLUME/3600.
      *
      * + 0.33*VOLUME
      *
      * )
      *
      * C-----END OF SETTING MATRIX
      *
      * CALL GAUSS(NM+nall+1,A,B,XX)
      *
      * DO 1055 M=1,NALL
      *
      * T(M,IA) = XX(M)
1055 CONTINUE
      DO 1056 M=NALL+1,NALL+NALL
      *
      * TO(M-NALL,IA) = XX(M)
1056 CONTINUE
      TAB(IA) = XX(NNP1)
      C-----END OF FINDING UNKNOWNNS.
      *
      * DO 1057 M=1,NALL
      *
      * O(M,IA) = (SUMXT(M) - SUMYTO(M) + SUMFO(M)
      *
      * + X(M,1)*T(M,IA) - Y(M,1)*TO(M,IA) )
      *
      * QO(M,IA) = (-SUMYTO(M) - SUMZTO(M) + SUMFO(M)
      *
      * + Y(M,1)*T(M,IA) - Z(M,IA)*TO(M,IA) )

```

```

1057 CONTINUE
C
      DO 1070 M=1,NALL
DT(M,IA) = ABS((T(M,IA) - T(M,IA-24))/T(M,IA)*100.)
DT(M+NALL,IA) = ABS((TO(M,IA)-TO(M,IA-24))/TO(M,IA)*100.)
DT(NNP1,IA) = ABS((TA(IA)-TA(IA-24))/TA(IA)*100.)

```

```

1070 CONTINUE
      DO 1058 M=1,NALL
      TO(M,IA-24) = TO(M,IA)
      T(M,IA-24) = T(M,IA)
      TA(IA-24) = TA(IA)
      QO(M,IA-24) = QO(M,IA)
      Q(M,IA-24) = Q(M,IA)

```

```
1058 CONTINUE
```

```
C
```

```
1 CONTINUE
```

```
TOL = DT(1,25)
```

```
      DO 1073 IB=25,48
```

```
      DO 1074 M=1,NNP1
```

```
      IF(DT(M,IB) GT. TOL) THEN
```

```
      TOL = DT(M,IB)
```

```
      ENDIF
```

```
1074 CONTINUE
```

```
1073 CONTINUE
```

```
      IF(TOL LE. 0.001) GOTO 3
```

```
2 CONTINUE
```

```
3 CONTINUE
```

```
C
```

```
      DO 1060 IA = 1,24
```

```
      OSYS(IA) = 0.
```

```
      TA(IA) = TA(IA+24)-273.
```

```
      TZONE(IA) = TZONE(IA+24)-273.
```

```
      DO 1061 M=1,NALL
```

```
      TO(m,ia)=TO(m,ia)-273.
```

```
      T(m,ia)=T(m,ia)-273.
```

```
      QCONVM(IA) = 0.
```

```
1061 CONTINUE
```

```
1060 CONTINUE
```

```
      DO 1062 IA = 25,48
```

```
      DO 1063 M=1,NALL
```

```
      QTOZONE(IA) = HOO(NALL,IA)*(TO(NALL,IA)-TZONE
```

```
(IA))*AREA(NALL)
```

```
      QCONVM(IA) = NHRM(IA)*(T(M,IA)-TA(IA))*area(m)
```

```
1063 CONTINUE
```

```
1062 CONTINUE
```

```
C
```

```
      CAL U OF ROOF
```

```
      UAVG = 0.
```

```
      DO 3001 IA=25,48
```

```
      KCOUNT = 0.
```

```
      FILMIN(IA) = 0.
```

```
      FILMOUT(IA) = 0.
```

```
      dummy = 0.
```

```
      dummyb = 0.
```

```
      dummyc = 0.
```

```
      dummyd = 0.
```

```
      DO 3002 M=1,NALL
```

```
      RSURF(M) = 0.
```

```
      DO 3003 J=1,NOLIM
```

```
      RSURF(M) = RSURF(M) + PR(M,J)
```

```
3003 CONTINUE
```

```
      IF ((TILT(M) NE.90.) AND.(TILT(M) NE.180.)) THEN
```

```
      KCCOUNT = KCCOUNT + 1
```

```
      FILMIN(IA) = FILMIN(IA) + NHRM(IA)
```

```
      FILMOUT(IA) = FILMOUT(IA) + HOO(M,IA)
```

```
      dummy = dummy + hno(m,ia)
```

```
      dummyb = dummyb + hno(m,ia)
```

```
      ENDIF
```

```
3002 CONTINUE
```

```
      FILMH(IA) = HOO(NALL,IA)
```

```
      FILMOUT(IA) = FILMOUT(IA)/KCCOUNT
```

```
      dummy = dummy/KCCOUNT
```

```
      dummyb = dummyb/KCCOUNT
```

```
      dummyc = hno(nall,ia)
```

```
      dummyd = hno(nall,ia)
```

```
      DO 3004 M=1,NALL
```

```
      IF ((TILT(M) NE.90.) AND.(TILT(M) NE.180.)) THEN
```

```
      UROOF(IA) = 1./((1./FILMH(IA)) + (1./FILMOUT(IA) +
```

```
      (NALL)+0.176)
```

```
      FLUX(IA) = QTOZONE(IA)/AREA(NALL)
```

```
      goto 3005
```

```
      ENDIF
```

```
3004 CONTINUE
```

```
3005 continue
```

```
      UAVG = (UAVG + UROOF(IA))
```

```
      FILM_INRO(IA) = FILMH(IA)
```

```
      FILM_OUTRO(IA) = FILMOUT(IA)
```

```
      U_ROOF(IA) = UROOF(IA)
```

```
      Q_ZONE(IA) = QTOZONE(IA)
```

```
      hr_out(d,ia) = dummy
```

```
      hr_out(id,ia) = dummyb
```

```
      hr_in(d,ia) = dummyc
```

```
      hr_in(id,ia) = dummyd
```

```
3001 CONTINUE
```

```
      UAVG = UAVG/24.
```

```
      DO 3005 IA=25,48
```

```
      DELTAT(IA) = FLUX(IA)/UAVG
```

```
3005 CONTINUE
```

```
C
```

```
      IDD = IV
```

```
      DO 2100 IV=1,12
```

```
      IF((MAXDAY.EQ.365) AND.(IV.GT.1)) THEN
```

```
      JB(2) = JB(2) + 1
```

```
      ENDIF
```

```
      IF(HDD LE.JB(IV)) THEN
```

```
      IMONTH2 = IV
```

```
      IDATE2 = IDD
```

```
      GOTO 2110
```

สงวนลิขสิทธิ์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย


```

ELSE
IF (V.LB.11) THEN
ID0 = IDD-JB(IV)
ELSE
IMONTH2 = IV
IDATE2 = IDD
ENDIF
ENDIF
2100 CONTINUE
2110 CONTINUE
C-----
WRITE(75,2200) (MONTH2, IDATE2)
2200 FORMAT(1,MONTH2,2X,13,3X,DATE1,2X,13)
WRITE(75,2050)
2060 FORMAT('TIME',2X,'TEMPERATURE OF OUTER SURFACE')
DO 1064 IA=25,48
WRITE(75,2061) IA-24,(TO(M,IA-24),M=1,NALL)
2061 FORMAT(1X,13,3X,9F10.3)
1064 CONTINUE
WRITE(75,2064)
2064 FORMAT('TIME',2X,'TEMPERATURE OF INNER
SURFACE',2X,3,'AIR TEMP')
DO 1065 IA=25,48
WRITE(75,2065) IA-24,(TI(M,IA-24),M=1,NALL)
,TA(IA-24)
1065 CONTINUE
C WRITE(73,2069)
C 2069 FORMAT('TIME',2X,'LOAD FROM ROOF TO ZONE, FLUX,
DELTA,T')
C DO 1069 IA=25,48
C WRITE(73,2061) IA-24,QTOZONE(IA),FLUX(IA),DELTA
(IA)
C 1069 CONTINUE
WRITE(75,2070)
2070 FORMAT('TIME',2X,'INSIDE SURFACE FILM OF ZONE 1')
DO 1071 IA=25,48
WRITE(75,2061) IA-24,(HI(M,IA),M=1,NALL)
1071 CONTINUE
WRITE(75,2071)
2071 FORMAT('TIME',2X,'OUTSIDE SURFACE FILM OF ZONE 1')
DO 1072 IA=25,48
WRITE(75,2061) IA-24,(HSO(M,IA),M=1,NALL)
1072 CONTINUE
C WRITE(73,2073)
C 2073 FORMAT('TIME',2X,'U OF ROOF, FILMOUT, FILMIN')
C DO 2074 IA=25,48
C WRITE(73,2061) IA-24,UROOF(IA),FILMOUT(IA),FILMIN
(IA)
C 2074 CONTINUE
C WRITE(73,2063) UAVG
C 2063 FORMAT(' AVERAGE OF U OF ROOF='9F10.3)
WRITE(75,2075)
2075 FORMAT('TIME',2X,'CONVECTION FROM SURFACE TO ZONE
AIR')
DO 2076 IA=25,48
WRITE(75,2061) IA-24,(CONVM(IA),M=1,NALL)
2076 CONTINUE
6001 CONTINUE
9999 continue
C-----
DUMY = Q_ZONE(1,25)
DO 7001 ID=1,MAXDAY
DO 7100 IA=25,48
IF(Q_ZONE(ID,IA).GT.DUMY) THEN
DUMY = Q_ZONE(ID,IA)
ENDIF
7100 CONTINUE
7001 CONTINUE
ICOUNT = 0
DO 7002 ID=1,MAXDAY
DO 7150 IA=25,48
IF(Q_ZONE(ID,IA).EQ.DUMY) THEN
ICOUNT = ICOUNT + 1
ENDIF
7150 CONTINUE
7002 CONTINUE
C-----END OF FIND MAX-----
7150 CONTINUE
DUMY2 = DUMY
DO 7003 ID=1,MAXDAY
DO 7200 IA=25,48
DIA) = DUMY - Q_ZONE(ID,IA)
IF(DIA).LT.DUMY2.AND.(DIA).GT.0.) THEN
DUMY2 = DIA)
DUMY3 = Q_ZONE(ID,IA)
ENDIF
7200 CONTINUE
7003 CONTINUE
DO 7004 ID=1,MAXDAY
DO 7300 IA=25,48
IF(Q_ZONE(ID,IA).EQ.DUMY3) THEN
ICOUNT = ICOUNT + 1
ENDIF
7300 CONTINUE
7004 CONTINUE
IF (ICOUNT.EQ.219) THEN
GOTO 7400
ELSE
DUMY = DUMY3
GOTO 7190
ENDIF
7400 CONTINUE
DO 7005 ID=1,MAXDAY
DO 7500 IA=25,48
IF(Q_ZONE(ID,IA).EQ.DUMY3) THEN
I_HOUR = IA
I_DATE = ID
ENDIF
7500 CONTINUE
7005 CONTINUE

```

```

C WRITE(73,*) DUMY3,I_HOUR-24,I_DATE
C WRITE(73,*) FILM_IN(I_DATE,I_HOUR),FILM_OUT
* DATE,I_HOUR,
C * U_ROOF
I_DATE,I_HOUR,Q_ZONE(I_DATE,I_HOUR)
C DUMY3 = IDENTIFIED MAX
C ICOUNT = NUMBER OF MAX
C ORDER = ORDER IN INPUT DATA
IK = I_DATE
MD=MAXDAY
DO 8100 I=1,11
IF(MD.EQ.365) AND (.GT.1) THEN
JB(2) = JB(2) + 1
ENDIF
IF(IK.LE.JB(I)) THEN
IMONTH = I
IDATE = IK
GOTO 8110
ELSE
IF (.I.LE.11) THEN
IK = IK - JB(I)
ELSE
IMONTH = I
IDATE = IK
ENDIF
ENDIF
8100 CONTINUE
8110 CONTINUE
C WRITE(73,*) IDATE, IMONTH
C
WRITE(74,7725)
7725 FORMAT(7,2X,TIME,3X,Q_ZONE,3X,U_ROOF
* ,3X,INSIDE FILM,4X,OUTSIDE FILM)
SUMQL = 0.
DO 7700 I=1,MAXDAY
ID3 = ID
DO 7800 IV=1,2
IF((MAXDAY.EQ.366) AND (IV.GT.1)) THEN
JB(2) = JB(2) + 1
ENDIF
IF (ID3.LE.JB(IV)) THEN
IMONTH3 = IV
IDATE3 = ID3
GOTO 7810
ELSE
IF (IV.LE.11) THEN
ID3 = ID3 - JB(IV)
ELSE
IMONTH2 = IV
IDATE2 = ID3
ENDIF
ENDIF
7800 CONTINUE
7810 CONTINUE
WRITE(74,7730) IMONTH3, IDATE3
7730 FORMAT(7,MONTH:14,3X,DATE:14)
WRITE(74,7720)
* (IA-24,Q_ZONE(I,IA),U_ROOF(I,IA),FILM_IN(I,IA),
* FILM_OUT(I,IA),IA=25,48)
7720 FORMAT(2X,13,2X,F10.3,3X,F10.3,3X,F10.3,3X,F10.3)
DO 7910 IA=25,48
SUMQL = SUMQL + Q_ZONE(I,IA)
7910 CONTINUE
7700 CONTINUE
WRITE(74,*) SUMQL
WRITE(74,7900) I_HOUR-24, I_DATE, IMONTH
7900 FORMAT(7,2X,7.5% DESIGN CONDITION AT,
* /3,OCLOCK,5X,DATE,13,2X,MONTH:15)
C
STOP
END
SUBROUTINE COMMEND
CHARACTER FIRST
100 READ(7,*) FIRST
IF(FIRST.EQ.'') GOTO 100
IF(FIRST.NE.<') WRITE(*,*) 'INPUT ERROR'
200 READ(7,*) FIRST
IF(FIRST.NE.>) GOTO 200
RETURN
END
C
SUBROUTINE GAUSS(N,A,B,X)
PARAMETER (NVAR=20)
DIMENSION A(NVAR,NVAR),B(NVAR),X(NVAR)
CALL SCALE(N,A,B)
DO 100 IP=1,N-1
CALL PIVOT(N,A,B,IP)
DO 200 IE=IP+1,N
RATIO = A(IE,IP)/A(IP,IP)
DO 300 IC=IP+1,N
A(IE,IC) = A(IE,IC) - RATIO*A(IP,IC)
300 CONTINUE
B(IE) = B(IE) - RATIO*B(IP)
200 CONTINUE
DO 400 IE=IP+1,N
A(IE,IP) = 0.
400 CONTINUE
100 CONTINUE
X(N) = B(N)/A(N,N)
DO 500 IE=N-1,1,-1
SUM = 0.
DO 600 IC=IE+1,N
SUM = SUM + A(IE,IC)*X(IC)
600 CONTINUE
X(IE) = (B(IE) - SUM)/A(IE,IE)
500 CONTINUE
RETURN

```

```

END
SUBROUTINE SCALE(N,A,B)
DIMENSION A(20,20), B(20)
DO 10 IE=1,N
BIG = ABS(A(IE,1))
DO 20 IC=2,N
AMAX = ABS(A(IE,IC))
IF (AMAX.GT.BIG) BIG = AMAX
20 CONTINUE
DO 30 IC=1,N
A(IE,IC) = A(IE,IC)/BIG
30 CONTINUE
B(IE) = B(IE)/BIG
10 CONTINUE
RETURN
END
SUBROUTINE PIVOT(N,A,B,IP)
DIMENSION A(20,20), B(20)
JP = IP
BIG = ABS(A(IP,JP))
DO 10 I=JP+1,N
AMAX = ABS(A(I,JP))
IF (AMAX.GT.BIG) THEN
BIG = AMAX
JP = I
ENDIF
10 CONTINUE
IF (JP.NE.IP) THEN
DO 20 J=IP,N
DUMY = A(IP,J)
A(IP,J) = A(J,J)
A(J,J) = DUMY
20 CONTINUE
DUMY = B(IP)
B(IP) = B(JP)
B(JP) = DUMY
ENDIF
RETURN
END
C AND TRANSMITTED SOLAR RADIATION FLUX ABSORBED AT SURFACE
C LSM STANDARD MERIDIAN FOR THE LOCAL TIME ZONE
C LON LONGITUDE OF THE LOCATION
C LLT LOCAL LATITUDE
C TILT SLOPE BETWEEN TILT SURFACE AND HORIZONTAL PLANE
C SAZ SURFACE AZIMUTH ANGLE (BEGINNING MEASURE IN SOUTH CW
(*)
C SWABSO SHORT WAVE ABSORPTIVITY OF
OUTSIDE SURFACE
C EDJD DIRECT BEAM RADIATION(ED, EACH
SURFACE),Q, ALL SURFACE)
C EDFSDFS DIFFUSE RADIATION FROM SKY
C EDFGIDFG DIFFUSE RADIATION FROM GROUND
C INCANG,IN INCIDENT ANGLE
C TBS,TRANB TRANSMITTED BEAM SOLAR
C TDS,TRAND TRANSMITTED DIFFUSE SOLAR
C ABBS,ABB ABSORBED BEAM SOLAR
C ABDS,ABD ABSORBED DIFFUSE SOLAR
C R TRANSMITTED SOLAR RADIATION FLUX ABSORBED AT
INNER SURFACE
C QS ABSORBED DIRECT AND DIFFUSE SOLAR RAD FLUX AT
OUTER SURFACE
NALL = N1 + N2
N3 = N1 - N2
C WRITE(73,2001)
C 2001 FORMAT('DATA IN SUBROUTINE SOLARE',DATE,LSM,LON,LLT)
C WRITE(73,2002) DATE,LSM,LON,LLT
C 2002 FORMAT(1X,4F10.3)
C WRITE(73,2003)
C 2003 FORMAT('NO. TILT SAZ AREA')
C DO 1020 I=1,NALL
C WRITE(73,2004) I,T,LT(I),SAZ(I),AREA(I)
C 2004 FORMAT(4,3F10.2)
C 1020 CONTINUE
IF(N3.NE.0.) THEN
DO 1 I=N2+1,N1,1
DO 2 J=1,24
CALL GLASSIDATE,LSM,LON,LLT,TILT(I),SAZ(I),
TBS(I,J),TDS(I,J),ABBS(I,J),ABDS(I,J),J)
2 CONTINUE
1 CONTINUE
ENDIF
DO 3 I=1,N1
DO 4 J=1,24
CALL SOLAR(DATE,LSM,LON,LLT,TILT(I),SAZ(I),
INCANG(I),ED(I),EDFS(I),EDFG(I),J)
4 CONTINUE
3 CONTINUE
IF(N3.NE.0.) THEN
SUMA = 0.
DO 1010 I=1,NALL
SUMA = SUMA + AREA(I)
1010 CONTINUE
C SUBROUTINE FOR CALC. ABOUT ABSORBED DIRECT AND
DIFFUSE SOLAR RAD.FLUX
SUBROUTINE
2 CONTINUE
1 CONTINUE
ENDIF
DO 3 I=1,N1
DO 4 J=1,24
CALL SOLAR(DATE,LSM,LON,LLT,TILT(I),SAZ(I),
INCANG(I),ED(I),EDFS(I),EDFG(I),J)
4 CONTINUE
3 CONTINUE
IF(N3.NE.0.) THEN
SUMA = 0.
DO 1010 I=1,NALL
SUMA = SUMA + AREA(I)
1010 CONTINUE
C SUBROUTINE FOR CALC. ABOUT ABSORBED DIRECT AND
DIFFUSE SOLAR RAD.FLUX

```

```

DO 1011 J=1,24
SUM = 0.
DO 1012 I=N2+1,N1,1
SUM = SUM + TC(I,J)*AREA(I)
1012 CONTINUE
DO 1013 I=1,Nall
RW(I,J) = SUM*AREA(I)/SUMA * swabs(I)
1013 CONTINUE
1011 CONTINUE
IF (N3.NE.0.) THEN
DO 11 J=1,24
DO 12 I=1,Nall
IF (TILT(I).EQ.180.) THEN
DO 13 I=N2+1,N1,1
RW(I,J) = RW(I,J) + TRS(I,J)*AREA(I)*swabs(I)
13 continue
ENDIF
ENDIF
12 CONTINUE
11 CONTINUE
ENDIF

endif
DO 1014 J=1,24
DO 1015 I=1,N2
QS(I,J) = (ED(I,J)+EDFS(I,J)+EDFG(I,J))*SM*ABSO(I)
IF (TILT(I).GE.180.) THEN
QS(I,J) = 0.
ENDIF
1015 CONTINUE
DO 1016 I=N2+1,N1,1
QS(I,J) = ABS(QS(I,J)+ABSO(I))
IF (TILT(I).GE.180.) THEN
QS(I,J) = 0.
ENDIF
1016 CONTINUE
1014 CONTINUE
RETURN
END

SUBROUTINE
SOLAR( DATE, LSM, LON, LLT, TILT, SAZ, INCANG, ED, EDFS, EDFG, J)
C ... COMPUTE INCIDENT ANGLE OF RADIATION SOLAR FLUX
C ...
C DEG CHANGE DEGREE TO RADIAN
C LSM STANDARD MERIDIAN FOR THE LOCAL TIME ZONE
C LON LONGITUDE OF THE LOCATION
C LLT LOCAL LATITUDE
C TILT SLOPE BETWEEN TILT SURFACE AND HORIZONTAL
PLANE
C SAZ SURFACE AZIMUTH ANGLE (BEGINING MEASURE IN
SOUTH CW(+))
C DECL DECLINATION
C AST SOLAR TIME
C CINC COSINE OF INCIDENT ANGLE
C HANG HOUR ANGLE, 15 DEG. PER HR. AND
MORNING(+),
C AFTERNOON(-)
C SALT SOLAR ALTITUDE
C LST LOCAL STANDARD TIME
C SOAZ SOLAR AZIMUTH MEASURE FROM THE SOUTH
C EDN DIRECT NORMAL IRRADIANCE
C ED DIRECT IRRADIANCE
C EDF DIFFUSE IRRADIANCE
REAL DATE, LSM, LON, LLT, TILT, SAZ, DECL, SALT, AST, HANG, INCANG
C REAL EDN(NHR1), ED(NHR1), EDFS(NHR1), EDFG(NHR1), CINC
(NHR1)
DEG = ATAN(1.)/45.
CALL ESRI( DATE, A, B, C, DECL, ET)
C WRITE(8,110) A,B,C,ET,DECL
110 FORMAT(' A=',F10.5, ' B=',F10.5, ' C=',F10.5, ' ET=',
' F10.5, ' DECLINATION=',F10.5)
C WRITE(8,111) LSM,LON,LLT,TILT,SAZ
111 FORMAT(' LSM=',F8.2, ' LON=',F8.2, ' LLT=',F8.2,
' TILT=',F8.2, ' SAZ=',F8.2)
C WRITE(8,121)
121 FORMAT(' TIME',6X, ' INCIDENT ANGLE',3X, ' SOLAR TIME',3X,
' EDN ED EDFS EDFG)
LST = J * 60.
AST = 4. * (LSM-LON) + ET + LST
HANG = ((AST/60.)-12.) * 15.
SALT = ASIN( COS(LLT*DEG)*COS(DECL*DEG)*COS
(HANG*DEG) +
SIN(LLT*DEG)*SIN(DECL*DEG) )
CINC = SIN(DECL*DEG)*SIN(LLT*DEG)*COS(TILT*DEG)
- SIN(DECL*DEG)*COS(LLT*DEG)*SIN(TILT*DEG)*COS(SAZ*DEG)
+ COS(DECL*DEG)*COS(LLT*DEG)*COS(TILT*DEG)*COS(HANG*DEG)
+ COS(DECL*DEG)*SIN(LLT*DEG)*SIN(TILT*DEG)*COS(SAZ*DEG)*
COS(HANG*DEG)
+ COS(DECL*DEG)*SIN(TILT*DEG)*SIN(SAZ*DEG)*SIN(HANG*DEG)
INCANG = ACOS(CINC)/DEG
C ... ALL ABOVE EQUATIONS FROM DUFFIE, 1980
C ... COMPUTE SHORT-WAVE (SOLAR) IRRADIANCE
C ... INVOLVE BEAM & DIFFUSE IRRAD.
C ... ALL BELOW EQUATIONS FROM ASHRAE HANDBOOK 1993
IF (SALT.LT.0.005) THEN
EDN=0.
ELSE
EDN = A*EXP(B/SIN(SALT))
ENDIF
IF (CINC.GT.0.) THEN
ED = EDN*CINC
ELSE
ED = 0.
ENDIF
IF (CINC.GT.-0.2) THEN
Y = 0.55 + 0.437*CINC + 0.313*CINC*CINC
ELSE

```

```

Y = 0.45
ENDIF
IF (TILT.EQ.90) THEN
EDFS = C**EDN
ELSE
EDFS = C**EDN*0.5*(1.+COS(TILT*D(6)))
ENDIF
EDFG = EDN*(C-SIN(SALT))**0.2*0.5*(1.-COS
(TILT*DEG))
200 CONTINUE
RETURN
END
SUBROUTINE
GLASS( DATE, LSM, LON, LLT, TILT, SAZ, TDS, TDS, ABBS, ABDS, J)
C..... COMPUTE TRANSMITTED RADIATION SOLAR FLUX THROUGH
GLASS
C..... ALL BELOW EQUATIONS IN THIS SUBROUTINE FROM ASHRAE
FUNDAMENTAL (1993)
C PARAMETER (NHR1=24)
REAL DATE, LSM, LON, LLT, TILT, SAZ, INCANG
C REAL TDS(NHR1), TDS(NHR1), ABBS(NHR1), ABDS
(NHR1)
C REAL INCANG(NHR1), ED(NHR1), EDFS(NHR1), EDFG
(NHR1), CINC(NHR1)
CALL SOLAR
( DATE, LSM, LON, LLT, TILT, SAZ, INCANG, ED, EDFS, EDFG, J)
DEG = ATAN(1./45.)
DO 1 I=1,24
CINC = COS(INCANG*DEG)
TDS = ED**(-0.00885+2.71235*CINC-0.52062*(CINC**2)
- 7.07329*(CINC**3) + 9.75995*(CINC**4)
- 3.8992*(CINC**5) )
TDS = (EDFS+EDFG)**2.**0.3995 I
ABBS = ED**0.01+540+0.77574*CINC-3.94657**
(CINC**2)
+ 8.57881*(CINC**3) - 8.39135*(CINC**4)
+ 3.01188*(CINC**5) )
ABDS = (EDFS+EDFG)**2.**0.02718)
IF (CINC.LT.0.) THEN
TDS = 0.
ABBS = 0.
ENDIF
ENDIF
WRITE(8,1001) TDS(I), TDS(I), ABBS(I), ABDS(I)
1001 FORMAT
TDS=,F10.5,2X,TDS=,F10.5,2X,ABBS=,F10.5,2X,ABDS=,
C F10.5)
1 CONTINUE
RETURN
END
SUBROUTINE ESRI( DATE, A, B, C, DECL, ET)
C..... EXTRATERRESTRIAL SOLAR RADIATION INTENSITY AND
RELATED DATA
C..... DATA FROM ASHRAE TABLE CHAPTER 27 (1997)
REAL STDDATE(12), AA(12), BB(12), CC(12), DD(12), EE(12)
REAL DATE, A, B, C, DECL, ET
C..... ASSIGN NUMBER OF DATA SETS, DATA OF X AND FIX(X)
N=12
DATA (AA(NM),NM=1,12)/1230.,1215.,1186.,1136.,1104.,1088.,
* 1085.,1107.,1151.,1192.,1221.,1229./
DATA (BB(NM),NM=1,12)/0.142,0.144,0.155,0.180,0.195,0.205,
* 0.207,0.201,0.177,0.160,0.149,0.142/
DATA (CC(NM),NM=1,12)/0.058,0.060,0.071,0.092,0.121,0.134,
* 0.136,0.122,0.092,0.073,0.063,0.057/
DATA
IS( DATE, NM=1,12)/21.,52.,80.,111.,141.,172.,202.,233.
* ,264.,294.,325.,355./
DATA (EE(NM),NM=1,12)/-11.2,-13.0,-7.5,1.1,3.3,-1.4,-6.2,-7.4,
* 7.5,15.4,13.6,1.6/
DATA (DD(NM),NM=1,12)/-10.8,0.0,11.6,20.0,23.41,20.6,
* 12.3,0.0,-10.5,-18.8,-23.45/
IF (DATE.LE.STDDATE(1)) THEN
A = AA(12) * (AA(1)-AA(12))**(DATE+9.)/30.
B = BB(12) * (BB(1)-BB(12))**(DATE+9.)/30.
C = CC(12) * (CC(1)-CC(12))**(DATE+9.)/30.
DECL = DD(12) * (DD(1)-DD(12))**(DATE+9.)/30.
ET = EE(12) * (EE(1)-EE(12))**(DATE+9.)/30.
RETURN
ENDIF
IF (DATE.GE.STDDATE(12)) THEN
A = AA(12) * (AA(1)-AA(12))**(DATE-355.)/30.
B = BB(12) * (BB(1)-BB(12))**(DATE-355.)/30.
C = CC(12) * (CC(1)-CC(12))**(DATE-355.)/30.
DECL = DD(12) * (DD(1)-DD(12))**(DATE-355.)/30.
ET = EE(12) * (EE(1)-EE(12))**(DATE-355.)/30.
RETURN
ENDIF
DO 10 I=2,12
IF (DATE.LT.STDDATE(I)) THEN
A = AA(I-1) * (DATE-STDDATE(I-1))**(AA(I)-AA(I-1))/30.
B = BB(I-1) * (DATE-STDDATE(I-1))**(BB(I)-BB(I-1))/30.
C = CC(I-1) * (DATE-STDDATE(I-1))**(CC(I)-CC(I-1))/30.
DECL = DD(I-1) * (DATE-STDDATE(I-1))**(DD(I)-DD(I-1))/30.
ET = EE(I-1) * (DATE-STDDATE(I-1))**(EE(I)-EE(I-1))/30.
RETURN
ENDIF
10 CONTINUE
RETURN
END
FUNCTION HRISKY(TO,TSKY,TILT,E)
C..... HRISKY = RAD. COEFF BETWEEN SKY AND SURFACE
DEG = ATAN(1./45.)
TAVG = 0.5*(TO+TSKY)
HRISKY = 0.5*(1.+COS(DEG*TILT)*COS(12*DEG*TILT/2.))
* 1.1567E-8*E**TAVG**TAVG
RETURN
END
FUNCTION HRGR(TO,TOA,TILT,E)
C..... HRGR = RAD. COEFF BETWEEN GROUND AND SURFACE
DEG = ATAN(1./45.)
TAVG = 0.5*(TO+TOA)

```

```

HRGR = 0.5*(1.-COS(DEG*TILT))^4*5.67E
8*E**1AVG**1AVG**TAVG

RETURN
END

C-----
FUNCTION
HF1(WSPED,WDIR,TILT,SAZ,RF,PE,HEIGHT,AREA)
C...HF = FORCED CONVECTIVE COEFF.
V = WSPED*((HEIGHT/9.14)**1.1/ 2.5)
DEG = ATAN(1./45)
DUMMY = ABS(TILT-WDIR)
IF (DUMMY.GT.100) THEN
WF = 1.5
ELSE
WF = 1.0
ENDIF
DUMY = ABS(SAZ-WDIR)
IF (DUMY.GT.100) THEN
WF = 1.5
ENDIF
HF = 2.537*WF*RF*((PE*WAREA)**0.5)
RETURN
END

C-----
FUNCTION HF2(WSPED,RF,PE,AREA)
C...HF = FORCED CONVECTIVE COEFF.
WF = 1.0
ENDIF
HF2 = 2.537*WF*RF*((PE*WSPED*AREA)**0.5)
RETURN
END

C-----
FUNCTION HN1(TILT,TSO,TO)
C...HN = NATURAL CONVECTIVE COEFF.
DEG = ATAN(1./45)
IF(TSO.GT.TO) THEN
HN1 = 9.482*(ABS(TSO-TO))**(1./3.)/(7.238-ABS(COS
(TILT*DEG)))
ELSE
HN1 = 1.810*(ABS(TSO-TO))**(1./3.)/(1.382+ABS(COS
(TILT*DEG)))
ENDIF
RETURN
END

C-----
FUNCTION HN2(TILT,TS,T)
C...HN = NATURAL CONVECTIVE COEFF.
DEG = ATAN(1./45)
IF(TS.GT.T) THEN
HN2 = 9.482*(ABS(TS-T))**(1./3.)/(7.238-ABS(COS
(TILT*DEG)))
ELSE
HN2 = 1.810*(ABS(TS-T))**(1./3.)/(1.382+ABS(COS
(TILT*DEG)))
ENDIF
RETURN
END

```

```

ENDIF
RETURN
END

C-----
FUNCTION HRAO(TO,TOA,TILT,E)
DEG = ATAN(1./45)
TAVG = 0.5*(TO+TOA)
HRAO = 4.*5.67E-8*E**1AVG**TAVG**TAVG
* (1.- 0.5*(1.+COS(DEG*TILT))*COS
(DEG*TILT/2)
* 0.5*(1.-COS(DEG*TILT)) )
RETURN
END

C-----
FUNCTION HRAI(T,TA,E)
DEG = ATAN(1./45)
TAVG = 0.5*(T+TA)
HRAI = 4.*5.67E-8*E**1AVG**TAVG**TAVG
RETURN
END

C-----
FUNCTION QRLIGHT(QE,A,B,C,D)
C...QRLIGHT = IRRADIANT FROM LIGHT THAT ABSORB BY SURFACES.
QLIGHT = QE*A*C + QC*B*D
RETURN
END

C-----
FUNCTION QPPPLE(A,B,C,D,E)
C...QPPPLE = IRRADIANT FROM PEOPLE THAT ABSORB BY SURFACES
QPPPLE = A*B*C*D*E
RETURN
END

C-----
FUNCTION QREQUIP(A,B,C,D)
C...QREQUIP = IRRADIANT FROM EQUIPMENT THAT ABSORB BY SURFACES
QREQUIP = A*B*C*D
RETURN
END

C-----
FUNCTION QCPPLA(A,B,C,D)
C...QCPPLA = CONVECTIVE PORTION FROM PEOPLE
QCPPLA = A*B*C*D
RETURN
END

C-----
FUNCTION QCLIGHT(A,B)
C...QCLIGHT = CONVECTIVE PORTION FROM LIGHT
QCLIGHT = A*B
RETURN
END

C-----
FUNCTION QCEQUIP(A,B,C)
C...QCEQUIP = CONVECTIVE PORTION FROM EQUIPMENT
QCEQUIP = A*B*C
RETURN
END

```



```

C.....CI IS LENGHT* DENSITY* SPECIFIC HEAT
C.....C
C.....OPEN (8,F1,ERR=TRY2,OUT)
DO 7 I=1,NOS
N = NOL(8)
DO 6 JJ=1,N
RI(JJ) =RR(I, JJ)
CI(JJ) =CC(I, JJ)
6 CONTINUE
D.....WRITE(8,1006) (RI(JJ),CI(JJ),JJ=1,N)
C 1006 FORMAT(1X,'R=',F16.8,'C=',F16.8)
DO 20 J=1,24
X(1,J)=0.
Y(1,J)=0.
Z(1,J)=0.
20 continue
DO 21 J=1,3
CR(J)=0.
21 continue
SUMR = 0.
DO 22 JJ=1,N
SUMR = SUMR + RI(I, JJ)
22 CONTINUE
CALL CTF(N,RI,CI,X,Y,Z,CR)
2001 continue
C.....WRITE(8,1007) I,KM1
C 1007 FORMAT(' SURFACE NO.',I3,'X',7X,'USES ORDER',J3)
7 CONTINUE
RETURN
END
SUBROUTINE CTF(N,RI,CI,X,Y,Z,CR)
C.....COMPUTE CONDUCTION TRANSFER FUNCTION OF EACH SURFACE
PARAMETER (MLAYER=10,NHR=24)
REAL RI(MLAYER), CI(MLAYER), XNEW(NHR),S
(NHR)
REAL X(MLAYER,24),Y(MLAYER,24),Z(MLAYER,24),CR
(MLAYER),LAMBDA(S)
C.....RI (MAX NO. OF LAYERS OF EACH SURFACE)
C.....X (MAX NO. OF SURFACE OR BE 6 FOR ORDER NOT OVER VALUE OF 6)
C.....20 BE MAX TERMS)
DEL=3600.
CALL ABCD(I=15, RI,CI,N,A,B,C,D)
CALL PIME('S',S,
RI,CI,N,APIME,BPIME,CPIME,DPIME)
X(1,1) = (D/B) * DPIME/(DEL*B) - (D*BPIME)/(DEL*B*B)
X(1,2) = ((DPIME)/(DEL*B)) - (D*BPIME)/(DEL*B*B)
Y(1,1) = (1/B) * (1/(DEL*B)) * (BPIME/(DEL*B*B))
Y(1,2) = ((1/(DEL*B)) * (BPIME/(DEL*B*B))
Z(1,1) = (A/B) * (APIME/(DEL*B)) - (A*BPIME)
(DEL*B*B)
Z(1,2) = ((APIME)/(DEL*B) - (A*BPIME)/(DEL*B*B))
CALL FRIRI,CI,N,XNEW,NX)
DO 11 IK=1,S
LAMBDA(IK) = EXP(-DEL*XNEW(IK))
11 CONTINUE
DO 100 I=1,NX
S(I) = -XNEW(I)
100 CONTINUE
SUM = 0.
DO 1 I=1,NX
CALL ASCD(XNEW(I),RI,CI,N,A,B,C,D)
CALL PIME(XNEW(I),RI,CI,N,APIME,BPIME,CPIME,DPIME)
SUM = SUM + EXP(-2*DEL*XNEW(I))*D/(DEL*XNEW(I)*XNEW
(I)*BPIME)
1 CONTINUE
X(1,1) = X(1,1) + SUM
SUM = 0.
DO 2 I=1,NX
CALL ASCD(XNEW(I),RI,CI,N,A,B,C,D)
CALL PIME(XNEW(I),RI,CI,N,APIME,BPIME,CPIME,DPIME)
SUM = SUM + EXP(-2*DEL*XNEW(I))*1.-2.*EXP(DEL*XNEW
(I))*D/
* (DEL*XNEW(I)*XNEW(I)*BPIME)
2 CONTINUE
X(1,2) = X(1,2) + SUM
SUMY = 0.
DO 3 I=1,NX
CALL ABCD(XNEW(I),RI,CI,N,A,B,C,D)
CALL PIME(XNEW(I),RI,CI,N,APIME,BPIME,CPIME,DPIME)
SUMY = SUMY + EXP(-DEL*XNEW(I))*(DEL*XNEW(I)*XNEW
(I)*BPIME)
3 CONTINUE
Y(1,1) = Y(1,1) + SUMY
SUMY = 0.
DO 4 I=1,NX
CALL ABCD(XNEW(I),RI,CI,N,A,B,C,D)
CALL PIME(XNEW(I),RI,CI,N,APIME,BPIME,CPIME,DPIME)
SUMY = SUMY + EXP(-2*DEL*XNEW(I))*1.-2.*EXP(DEL*XNEW
(I))*BPIME)
4 CONTINUE
Y(1,2) = Y(1,2) + SUMY
SUMZ = 0.
DO 5 I=1,NX
CALL ABCD(XNEW(I),RI,CI,N,A,B,C,D)
CALL PIME(XNEW(I),RI,CI,N,APIME,BPIME,CPIME,DPIME)
SUMZ = SUMZ + A*EXP(-DEL*XNEW(I))*(DEL*XNEW(I)*XNEW
(I)*BPIME)
5 CONTINUE
Z(1,1) = Z(1,1) + SUMZ
SUMZ = 0.
DO 6 I=1,NX
CALL ABCD(XNEW(I),RI,CI,N,A,B,C,D)
CALL PIME(XNEW(I),RI,CI,N,APIME,BPIME,CPIME,DPIME)

```



```

SUMZ = SUMZ + A*EXP(-2*DEL*XNEW(I)**2)*EXP
(DEL*XNEW(I))
CONTINUE
Z(1,2) = Z(1,2) + SUMZ
SUM = 0.
SUMY = 0.
SUMZ = 0.
DO 7 M=3,NX
DO 8 I=1,NX
CALL ABCD(XNEW(I),R,C,I,N,A,B,C,D)
CALL
PIME(XNEW(I),R,C,I,N,APIME,BPIME,CPIME,DPIME)
SUM = SUM + D*EXP(-DEL*XNEW(I)*M)**(1.-EXP
(DEL*XNEW(I))**2,/)
* (DEL*XNEW(I)*XNEW(I)*BPIME)
SUMY = SUMY + EXP(-DEL*XNEW(I)*M)**(1.-EXP
(DEL*XNEW(I))**2,/)
* (DEL*XNEW(I)*XNEW(I)*BPIME)
SUMZ = SUMZ + A*EXP(-DEL*XNEW(I)*M)**(1.-EXP
(DEL*XNEW(I))**2,/)
* (DEL*XNEW(I)*XNEW(I)*BPIME)
8 CONTINUE
X(1,M) = SUM
Y(1,M) = SUMY
Z(1,M) = SUMZ
SUM = 0.
SUMY = 0.
SUMZ = 0.
7 CONTINUE
C...OBTAIN ZEROth ORDER OF CTF X(1,7),Y(1,7),Z(1,7)
c WRITE(6,130)
c 130 FORMAT(' VALUE OF THE 0TH ORDER OF XYZ')
c WRITE(6,131) (X(1,J),Y(1,J),Z(1,J)),J=1,15)
C...FIND THE 1ST TO 5TH ORDER OF XYZ
DO 12 I=2,6
X(I,1) = X(I-1,1)
Y(I,1) = Y(I-1,1)
Z(I,1) = Z(I-1,1)
DO 13 J=2,NX
X(I,J) = X(I-1,J) - LAMDA(I-1)*X(I-1,J-1)
Y(I,J) = Y(I-1,J) - LAMDA(I-1)*Y(I-1,J-1)
Z(I,J) = Z(I-1,J) - LAMDA(I-1)*Z(I-1,J-1)
13 CONTINUE
12 CONTINUE
DO 15 J=1,NX
SUMX=0.
SUMY=0.
SUMZ=0.
DO 16 I=1,J
SUMX = SUMX + X(I,J)
SUMY = SUMY + Y(I,J)
SUMZ = SUMZ + Z(I,J)
16 CONTINUE
DXY=ABS(SUMX-SUMY)*100./SUMX
DXZ=ABS(SUMX-SUMZ)*100./SUMX
# ((DXY.LE.0.01) AND.(DXZ.LE.0.01)) GOTO 17
15 CONTINUE
17 CONTINUE
CR(1) = LAMDA(1)
RETURN
END
SUBROUTINE ABCD(X,R,C,I,N,A,B,C,D)
C...A,B,C,D IS TRANSMISSION MATRIX FROM EQUATION (2-28) OF DC
HITTLE 1979
PARAMETER (MLAYER=10)
REAL R(MLAYER),C(MLAYER),AA(MLAYER),BB(MLAYER)
REAL CC(MLAYER),DD(MLAYER)
REAL AAA(MLAYER),BBB(MLAYER),CCC(MLAYER),DDD(MLAYER)
REAL A,B,C,D
DO 1 I=1,N
AA(I) = COS(SQRT(X*R(I))*C(I))
IF(C(I).EQ.0.) THEN
BB(I) = R(I)
ELSE
BB(I) = R(I)*SIN(SQRT(X*R(I))*C(I))/SQRT(X*R(I))*C(I)
ENDIF
CC(I) = -(SQRT(X*R(I))*C(I))*SIN(SQRT(X*R(I))*C(I))/R(I)
DD(I) = COS(SQRT(X*R(I))*C(I))
C WRITE(6,10) AA(I),BB(I),CC(I),DD(I)
C 10 FORMAT(1,1X,A16.9)
1 CONTINUE
DO 2 I=2,N
AA(I) = AA(I-1)*AA(I) + BB(I-1)*CC(I)
BBB(I) = AA(I-1)*BBB(I) + BB(I-1)*DD(I)
CCC(I) = CC(I-1)*AA(I) + DD(I-1)*CC(I)
DDD(I) = CC(I-1)*BBB(I) + DD(I-1)*DD(I)
AA(I) = AAA(I)
BBB(I) = BBB(I)
CCC(I) = CCC(I)
DDD(I) = DDD(I)
2 CONTINUE
A=AA(N)
B=BBB(N)
C=CCC(N)
D=DDD(N)
RETURN
END
SUBROUTINE PIME(X,P,C,I,N,APIME,BPIME,CPIME,DPIME)
C...COMPUTE A,B,C,D PIME
PARAMETER (MLAYER=10)
REAL ADAT(MLAYER,MLAYER),BDAT(MLAYER,MLAYER)
REAL CDAT(MLAYER,MLAYER),DDAT(MLAYER,MLAYER)
REAL A(MLAYER,MLAYER),B(MLAYER,MLAYER)
REAL C(MLAYER,MLAYER),D(MLAYER,MLAYER),R(MLAYER),C(MLAYER)
REAL AA(MLAYER,MLAYER),BB(MLAYER,MLAYER)
REAL CC(MLAYER,MLAYER),DD(MLAYER,MLAYER)
DO 1 J=1,N

```

```

DO 2 I=1,N
ADAT(I,J) = 0.5*SIN(SQRT(X*R(I)*C(I))) * SQRT(R(I)*C(I)/X)
IF (C(I).EQ.0.) THEN
BDAT(I,J) = 0.
ELSE
BDAT(I,J) = 0.5*R(I) * COS(SQRT(X*R(I)*C(I))) / X
& + 0.5*SIN(SQRT(X*R(I)*C(I))) * SQRT(R(I))
& / SQRT(X*X*C(I))

ENDIF
CDAT(I,J) = 0.5*C(I) * COS(SQRT(X*C(I)*R(I)))
& + 0.5*SIN(SQRT(X*R(I)*C(I))) * SQRT(C(I)/R(I)*X)
DDAT(I,J) = 0.5*SIN(SQRT(X*R(I)*C(I))) * SQRT(R(I)*C(I)/X)
2 CONTINUE
1 CONTINUE
DO 3 J=1,N
DO 4 I=1,N
A(I,J) = COS(SQRT(X*R(I)*C(I)))
IF (C(I).EQ.0.) THEN
B(I,J) = R(I)
ELSE
B(I,J) = R(I) * SIN(SQRT(X*R(I)*C(I))) * SQRT(X*R(I)*C(I))
ENDIF
C(I,J) = -(SQRT(X*R(I)*C(I)) * SIN(SQRT(X*R(I)*C(I)))) / R(I)
D(I,J) = COS(SQRT(X*R(I)*C(I)))
4 CONTINUE
3 CONTINUE
APIME=0.
BPIME=0.
CPIME=0.
DPIME=0.
DO 5 I=1,N
A(I)=ADAT(I,J)
B(I)=BDAT(I,J)
C(I)=CDAT(I,J)
D(I)=DDAT(I,J)
5 CONTINUE
DO 6 J=1,N
DO 7 I=1,N-1
AA(I,J+1) = A(I)*A(I,J+1) + B(I)*C(I,J+1)
BB(I,J+1) = A(I)*B(I,J+1) + B(I)*D(I,J+1)
CC(I,J+1) = C(I)*A(I,J+1) + D(I)*C(I,J+1)
DD(I,J+1) = C(I)*B(I,J+1) + D(I)*D(I,J+1)
A(I,J+1) = AA(I,J+1)
B(I,J+1) = BB(I,J+1)
C(I,J+1) = CC(I,J+1)
D(I,J+1) = DD(I,J+1)
7 CONTINUE
APIME = APIME + A(I,J)
BPIME = BPIME + B(I,J)
CPIME = CPIME + C(I,J)
DPIME = DPIME + D(I,J)
8 CONTINUE
RETURN
END

```

```

SUBROUTINE FR(RI,CI,N,XNEW,NX)
C... FIND ROOT OF B(S)=0.
PARAMETER (NHR1=24,MLAYER=10)
REAL XR(NHR1),XL(NHR1),XNEW(NHR1),RIM(LAYER),CI(MLAYER)
X=1.E-8
DX=1.E-6
CALL ABCD(X,RI,CI,N,A,B,C,D)
Y=B
DO 1 I=1,24
IF (Y.GT.0.) THEN
DO 2 J=1,1000000
X=X+DX
CALL ABCD(X,RI,CI,N,A,B,C,D)
Y=B
IF (Y.LT.0.) GOTO 3
IF (Y.GT.0.AND.J.EQ.1000000) THEN
WRITE(6,10)
10) FORMAT(/, SOLUTION NOT FOUND YET)
GOTO 1
ENDIF
2 CONTINUE
3 CONTINUE
XR(I)=X
XL(I)=X-DX
ELSE
DO 4 K=1,1000000
X=X+DX
CALL ABCD(X,RI,CI,N,A,B,C,D)
Y=B
IF (Y.GT.0.) GOTO 5
IF (Y.LT.0.AND.J.EQ.1000000) THEN
GOTO 1
ENDIF
4 CONTINUE
5 CONTINUE
XR(I)=X
XL(I)=X-DX
ENDIF
ENDIF
IXR=XR(I)
IXL=XL(I)
CALL BISECT(IXR,IXL,XX,R,CI,N)
IF (XX.GE.0.) GOTO 10
XNEW(I) = XX
1 CONTINUE
10 CONTINUE
NX = I-1
RETURN
END
SUBROUTINE BISECT(XX,XXL,XXH,R,CI,N)

```

```
REAL R(10),C(10)
ES=0.000000001
DO 100 ITER=1,500
    XM=(XL+XR)/2
    CALL ABCD(XM,R,C,N,A,B,C,D)
    VM=B
    CALL ABCD(XR,R,C,N,A,B,C,D)
    YR=B
    AA = YM*YR
    IF(AA.GT.0.) THEN
        XR=XM
    ELSE
        XL=XM
   ENDIF
    XN=(XL+XR)/2
    TOL = ABS(XN-XM)
    IF (TOL.LT.ES) GOTO 200
100 CONTINUE
    WRITE(*,110)
110 FORMAT(/,ROOT CANNOT BE REACHED FOR,
    *      (THE GIVEN CONDITIONS)
    *      /)
    GOTO 300
200 continue
300 CONTINUE
    RETURN
    END
C.....
```

ตัวอย่างอินพุตไฟล์

```

<Number of exterior all sunlit surfaces:
      include sunlit walls and windows.
Number of exterior sunlit opaque surfaces.
Number of interior surfaces
>
4,      4,      1
<Standard meridian for the local time zone (Deg).
Longitude of the location (Deg).
Local latitude (Deg)
>
-105.,  -100.5,  13.73
<The number of day in this year 365 or 366 days
>
365
<Set of Tilt(Deg), Surface azimuth(Deg), Area(sq.m), Perimeter(m),
Roughness, Inside short wave absorptivity (SWABSI),
Outside short wave absorptivity (SWABSO),
Inside long wave emissivity (LWEMI),
Outside long wave emissivity (LWEMO)
of exterior opaque surface(i),
of exterior glass surface(i),
of partition(i) respectively
TILT SAZ AREA PE ROUGH SWABSI SWABSO LWEMI LWEMO
>
90.,  0.,  3.6,  10.8,  1.52,  0.65,  0.65,  0.95,  0.95
90.,  -180.,  3.6,  10.8,  1.52,  0.65,  0.65,  0.95,  0.95
30.,  90.,  37.5,  31.8,  1.52,  0.65,  0.65,  0.95,  0.95
30.,  -90.,  37.5,  31.8,  1.52,  0.65,  0.65,  0.95,  0.95
180.,  0.,  65.0,  36.0,  1.52,  0.65,  0.65,  0.95,  0.95
<Indoor air temperature of the zone next to the considered zone(C)
>
25.0,25.0,25.0,25.0,25.0,25.0,25.0,25.0,25.0,25.0,25.0,25.0,25.0,25.0,
25.0,25.0,25.0,25.0,25.0,25.0,25.0,25.0,25.0,25.0,25.0,25.0
<PEOPLE DETAILS:
1.NO.OF PEOPLE IN 24 HOURS
2.SENSIBLE,LATENT FRACTION
3.CONVECTIVE FRACTION,RADIANT FRACTION
4.ACTIVITY LEVEL IN WATTS
>
0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,
0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,
1.0,      0.0,
0.5,      0.5,
0.0
<ELECTRIC EQUIPMENT DETAILS:
1.WATTS IN 24 HOURS
2.SENSIBLE,LATENT FRACTION
3.CONVECTIVE FRACTION,RADIANT FRACTION
>
0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,
0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,
1.0,      0.0,
0.5,      0.5
    
```



- (๔) ชนิดหุ่นที่มีความหนาแน่นไม่น้อยกว่า ๖๔ กก.ต่อ ลบ.ม. และมีความหนาไม่น้อยกว่า ๕๐ มม.
- (๕) ชนิดแผ่นสำหรับพื้นผิว มีความหนาแน่นไม่น้อยกว่า ๓๒ กก. ต่อ ลบ.ม. และมีความหนาไม่น้อยกว่า ๕๐ มม.

ข้อ ๓ ระดับการใช้พลังงานหรือประสิทธิภาพของฉนวนใยแก้ว พิจารณาจากตารางต่อไปนี้

ชนิดเครื่องจักร วัสดุหรืออุปกรณ์	การใช้พลังงาน หรือประสิทธิภาพ	หน่วย
ฉนวนใยแก้ว	๑) ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน	วัตต์ต่อเมตรเคลวิน
	๒) ค่าความหนาแน่นของเนื้อฉนวน	กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
	๓) ค่าความหนาของเนื้อฉนวน	มิลลิเมตร

ข้อ ๔ ฉนวนใยแก้ว ต้องได้รับการรับรองตามมาตรฐาน มอก.๔๔๖ , มอก.๔๔๗ หรือ มอก.๔๔๘

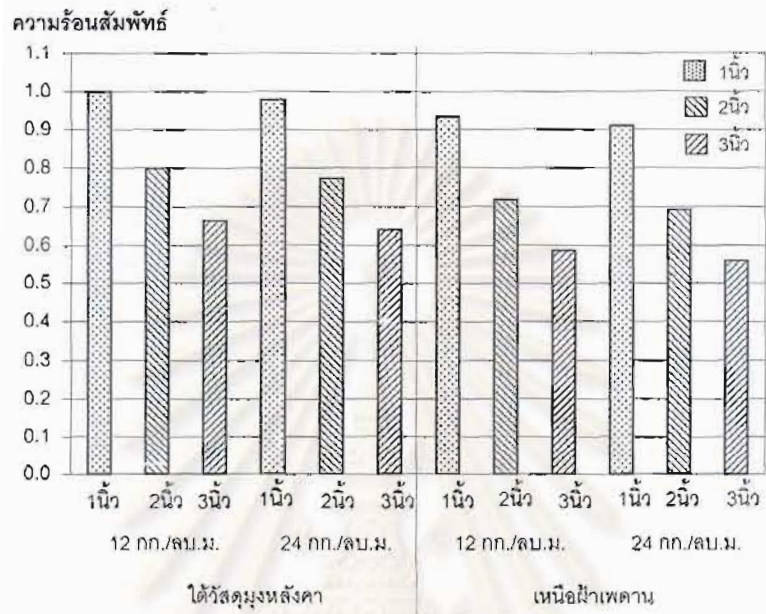
ข้อ ๕ ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) ของฉนวนใยแก้ว ที่จะใช้ประกอบการคำนวณหาค่าความต้านทานความร้อน ให้ใช้ค่าผลการทดสอบตามมาตรฐาน มอก.๔๔๗ หรือ มอก.๔๔๘ หรือ ASTM C๕๕๓ ASTM C๕๕๒, ASTM C๖๖๕, ASTM C๘๕๒ ที่รับรองโดยผู้ผลิต หรือสถาบันการทดสอบที่เชื่อถือได้

ข้อ ๖ คุณสมบัติการดูดซับความชื้น
การดูดซับความชื้นของเนื้อวัสดุฉนวนจะต้องต่ำกว่า ๕% โดยน้ำหนักและเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C๑๑๐๔/C ๑๑๐๔M

ข้อ ๗ คุณสมบัติการติดและลามไฟ

- (๑) วัสดุฉนวนจะต้องผ่านเกณฑ์เมื่อทดสอบตามมาตรฐาน BS ๔๗๖ ส่วนที่ ๖
- (๒) วัสดุฉนวนจะต้องไม่ลามไฟและจัดอยู่ในประเภทที่ ๑ เมื่อทดสอบตามมาตรฐาน BS ๔๗๖ ส่วนที่ ๗ หรือผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ASTM E๘๔
- (๓) วัสดุปิดผิวจะต้องไม่ลามไฟและจัดอยู่ในประเภทที่ ๑ เมื่อทดสอบตามมาตรฐาน BS ๔๗๖

พิจารณาผลการคำนวณหาความร้อนสัมผัสสำหรับการติดฉนวนใยแก้วกรณีต่างๆในรูปที่ ค.1



รูปที่ ค.1 ความร้อนสัมผัสสำหรับหลังคาที่ติดฉนวนใยแก้วหุ้มด้วยอลูมิเนียมฟอยล์ในกรณีต่างๆ

อภิปรายผลในภาคผนวก ค

ในภาคผนวก ค นี้ว่าด้วย ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม เรื่อง คุณสมบัติเฉพาะของฉนวนใยแก้ว มาตรฐานและวิธีทดสอบหาค่าระดับการใช้พลังงานหรือค่าประสิทธิภาพ ข้อที่ 2 (2) และ ข้อที่ 2 (3) โดยพิจารณาการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคาจาก คอมพิวเตอร์โปรแกรมที่ประดิษฐ์ขึ้น ซึ่งโชนที่พิจารณาค่าจะเป็นหลังคาปั้นหยາเอียง 30° ดังเช่นที่ใช้ เป็นตัวอย่างโชนในบทที่ 4 มีลักษณะการวางตัวของโชนตามรูปที่ 4.1 เลือกใช้กระเบื้องคอนกรีต เป็นวัสดุผนังหลังคา และเลือกใช้ฉนวนกันความร้อนซึ่งปิดผิวด้วยอลูมิเนียมฟอยล์ที่มีความหนาแน่น ของฉนวนตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ โดยมีคุณสมบัติทางความร้อนของฉนวนใยแก้วดัง ตารางที่ ค.1 เพื่อทำการตรวจสอบปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านระบบหลังคาเข้าสู่โชนภายใน โดยหาเป็นความร้อนรวมรายชั่วโมงตลอดทั้งปีสำหรับแต่ละกรณีสัมพัทธ์เทียบกับหลังคากรณีที่ดี ตั้งฉนวนใยแก้วความหนาแน่น 12 กก./ลบ.ม. หน้า 1 นิ้ว ติดตั้งที่ได้วัสดุผนังหลังคา

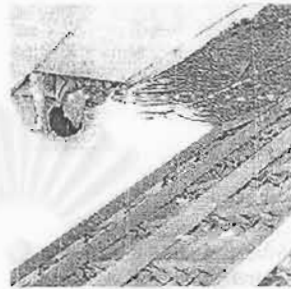
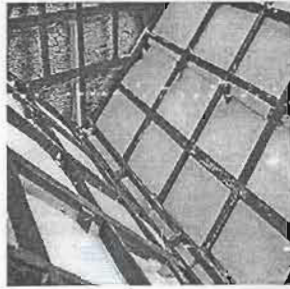
ตารางที่ ค.1 แสดงคุณสมบัติทางความร้อนของฉนวนใยแก้วที่พิจารณาในประกาศกระทรวง

วัสดุ	k (W/mK)	ρ (kg/m ³)	C_p (J/kgK)
ฉนวนใยแก้ว (12K)*	0.063	12	840
ฉนวนใยแก้ว(24K)*	0.049	24	840

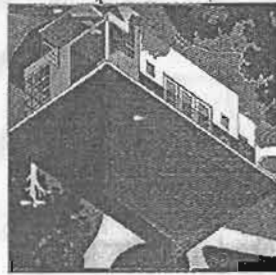
*ข้อมูลจาก มอก.487-2526

จากรูปที่ ง.1 แสดงถึงความร้อนที่ผ่านหลังคาเข้ามาสำหรับหลังคาที่ดีติดตั้งฉนวนใยแก้ว ความหนา 1 นิ้ว 2 นิ้ว และ 3 นิ้ว ความหนาแน่น 12 กก./ลบ.ม. และ 24 กก./ลบ.ม. ที่ตำแหน่งใต้ หลังคาและตำแหน่งเหนือฝ้าเพดาน ความร้อนสัมพัทธ์เป็นการหาความร้อนรวมรายชั่วโมงตลอด ทั้งปีสำหรับแต่ละกรณีสัมพัทธ์เทียบกับหลังคากรณีที่ดีตั้งฉนวนใยแก้วความหนาแน่น 12 กก./ ลบ.ม. หน้า 1 นิ้ว ติดตั้งที่ได้วัสดุผนังหลังคา ฉะนั้น ความร้อนสัมพัทธ์กรณีที่ใช้ฉนวน 12 กก./ลบ.ม. หน้า 1 นิ้ว ติดตั้งที่ได้วัสดุผนังหลังคามีค่าเท่ากับ 1 เมื่อพิจารณาถึงผลของความหนาของฉนวน พบว่า เมื่อความหนาฉนวนเพิ่มขึ้นความร้อนที่ผ่านระบบหลังคาเข้ามาจะลดลง เมื่อพิจารณาผลของ ตำแหน่งการติดตั้งฉนวนกันความร้อนจากรูปที่ ง.1 เห็นได้ว่าเมื่อฉนวนใยแก้วที่มีความหนาแน่น เท่ากันและมีความหนาขนาดเดียวกันนั้นการติดตั้งฉนวนที่เหนือฝ้าเพดานสามารถมีความร้อนผ่าน ระบบหลังคาเข้ามาน้อยกว่าเมื่อเทียบกับการติดตั้งฉนวนที่ได้วัสดุผนังหลังคา และเมื่อพิจารณาถึง ผลของชนิดของฉนวนใยแก้วทั้ง 2 ชนิด คือ 12K และ 24K พบว่า ที่ความหนาฉนวนเดียวกันและ ตำแหน่งการติดตั้งฉนวนตำแหน่งเดียวกัน ความร้อนที่ผ่านระบบหลังคาสำหรับฉนวนใยแก้วชนิด 24K นั้นมีปริมาณน้อยกว่าชนิด 12K ฉะนั้น เมื่อพิจารณาจากคุณสมบัติของฉนวนใยแก้วทั้ง 2 ชนิด และตำแหน่งการติดตั้งที่เหมาะสม คือ ควรเลือกฉนวนใยแก้ว 24K ติดตั้งที่ตำแหน่งเหนือฝ้า เพดาน

แสดงหลังคาปั้นหยา (ค) ใต้อาคาร (ข) ผนังของหลังคาปั้นหยาสูง ๘.๖ เมตร (ง)



แสดงอาคารชั้น ๒ เมตร



ดูจากหลังคาชั้น ๑.๖ เมตร



แสดงหน้าบันปั้นหยาชั้น ๒ เมตร



รูปที่ ๔.๔ วัสดุผนังสังกะสี (ก) กระเบื้องคอนกรีต (ข) กระเบื้องซีเมนต์ใยหิน (ค) กระเบื้องเซรามิก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้วิจัย

นายสมบุรณ์ ตีรสิทธิ์ เกิดเมื่อวันที่ 1 เมษายน พ.ศ.2520 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ในปีการศึกษา 2540 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรม
เครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในปีการศึกษา 2541



สถาบันวิจัยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย