

การปรับปรุงหลังคาเพื่อลดปริมาณการถ่ายเทความร้อน



นาย อวิรุทธ์ ศรีสุธาพรรณ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีอาคาร ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2541

ISBN 974-332-534-4

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

THE REDUCTION OF HEAT GAIN THROUGH ROOF MODIFICATION

Mr. Awiroot Srisutapan

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Architecture in Building Technology

Department of Architecture

Graduate School

Chulalongkom University

Academic Year 1998

ISBN 974-332-534-4

หัวข้อวิทยานิพนธ์            การปรับปรุงหลังคาเพื่อลดปริมาณการถ่ายเทความร้อน  
โดย                                นาย อวิรุทธ์ ศรีสุธาพรรณ  
ภาควิชา                         สถาปัตยกรรมศาสตร์  
อาจารย์ที่ปรึกษา             รองศาสตราจารย์ ดร.สุนทร บุญญาธิการ  
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม       รองศาสตราจารย์ เดชา บุญค้ำ

---

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการ  
ศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต



.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย  
( ศาสตราจารย์ นายแพทย์ ศุภวัฒน์ ชูติวงศ์ )

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



.....ประธานกรรมการ  
( รองศาสตราจารย์ เลอสม สถาปิตานนท์ )



.....อาจารย์ที่ปรึกษา  
( รองศาสตราจารย์ ดร.สุนทร บุญญาธิการ )



.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม  
( รองศาสตราจารย์ เดชา บุญค้ำ )



.....กรรมการ  
( อาจารย์ พรรณชลัท สุริโยธิน )

อวิรุทธ์ ศรีสุภาพรรณ : การปรับปรุงหลังคาเพื่อลดปริมาณการถ่ายเทความร้อน (THE REDUCTION OF HEAT GAIN THROUGH ROOF MODIFICATION) อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร.สุนทร บุญญาธิการ อ.ที่ปรึกษาร่วม : รศ. เดชา บุญค้ำ , 127 หน้า. ISBN 974-332-534-4.

ปัญหาทั่วไปของบ้านพักอาศัยที่พบคือพื้นที่ใช้สอยภายในบ้านมีอุณหภูมิสูงเกินขอบเขตสภาพจะน่าสบายทำให้ไม่สามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ พื้นที่ใต้หลังคามีบางส่วนที่เกิดปัญหามากที่สุดของบ้าน วัตถุประสงค์ของการวิจัยเพื่อศึกษาวิเคราะห์ตัวแปรที่ทำให้หลังคาเย็นและแนวทางการประยุกต์ใช้ในการออกแบบหรือปรับปรุงหลังคาเพื่อลดปริมาณการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร ขั้นตอนแรกของการวิจัยทำการสร้างหลังคาจำลองที่ใช้โพลีสไตรีนโฟมเป็นวัสดุหุ้มเพื่อป้องกันอิทธิพลจากภายนอก ตัวแปรที่เลือกมาทดลองได้แก่ ช่องอากาศใต้หลังคาและความยาวของหลังคา ในการทดลองเกี่ยวกับช่องอากาศใต้หลังคาจะเปรียบเทียบระยะห่างของช่องอากาศ 10 ซม.และ 20 ซม. ส่วนความยาวของหลังคาจะเปรียบเทียบระหว่าง 4 ม. และ 12 ม. การทดลองทั้งหมดทำในสภาพที่ไม่ได้ปรับอากาศและหันไปยังทิศใต้เพื่อรับอิทธิพลจากแสงอาทิตย์มากที่สุดในช่วงที่ทำการทดลอง การบันทึกผลการทดลองทำการเก็บข้อมูลทุก 15 นาที ตลอด 24 ชม. เป็นเวลา 2 วัน

กระบวนการวิจัยจะแบ่งออกเป็น 2 ชุด ชุดแรกจะเป็นการเปรียบเทียบระหว่างหลังคาทั่วไปที่ไม่มีการปรับปรุงและหลังคาที่ปรับปรุงโดยให้ระยะห่างช่องอากาศ 10 ซม.และ 20 ซม. ผลการทดลองพบว่า ในช่วงเวลากลางวัน อุณหภูมิผิวฝ้าเพดานของหลังคาทั่วไปมีค่าสูงสุด คือ 38.23 °C รองลงมาคือหลังคาที่มีระยะห่างช่องอากาศ 10 ซม.มีค่า 36.87 °C และหลังคาที่มีระยะห่างช่องอากาศ 20 ซม.มีค่าต่ำสุด คือ 35.70 °C ตามลำดับ ที่อุณหภูมิสูงสุดของวัน หลังคาทั่วไปมีอุณหภูมิในกล่องทดลองสูงสุด คือ 37.38 °C รองลงมาคือหลังคาที่มีระยะห่างช่องอากาศ 10 ซม.มีค่า 35.69 °C และหลังคาที่มีระยะห่างช่องอากาศ 20 ซม.มีค่าต่ำสุด คือ 35.22 °C ตามลำดับ ที่อุณหภูมิสูงสุดของวัน การทดลองชุดที่ 2 เป็นการเปรียบเทียบหลังคาที่ใช้ช่องอากาศ 20 ซม.ความยาว 4 ม.และ 12 ม.พบว่า ในช่วงเวลากลางวัน หลังคาที่มีระยะห่างช่องอากาศ 20 ซม.ความยาว 12 ม. มีอุณหภูมิผิวฝ้าเพดานสูงสุด คือ มีค่า 41.4 °C และ หลังคาที่มีระยะห่างช่องอากาศ 20 ซม.ความยาว 4 ม. มีอุณหภูมิผิวฝ้าเพดาน 40.99 °C ตามลำดับ ที่อุณหภูมิสูงสุดของวัน หลังคาที่มีระยะห่างช่องอากาศ 20 ซม.ความยาว 12 ม. มีอุณหภูมิในกล่องทดลองสูงสุด คือ มีค่า 39.22 °C และ หลังคาที่มีระยะห่างช่องอากาศ 20 ซม.ความยาว 4 ม. มีอุณหภูมิในกล่องทดลอง 38.55 °C ตามลำดับ ที่อุณหภูมิสูงสุดของวัน

ผลการวิจัยสรุปได้ว่า การปรับปรุงหลังคาเพื่อลดปริมาณการถ่ายเทความร้อนสามารถทำได้โดยการใช้ช่องอากาศใต้หลังคาเพื่อระบายอากาศ ช่องอากาศใต้หลังคาจะช่วยลดความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดให้น้อยลง ทำให้อุณหภูมิภายในอาคารคงที่มากขึ้นซึ่งเป็นการลดภาระการปรับอากาศในกรณีที่อาคารมีการปรับอากาศ เมื่อเปรียบเทียบหลังคาที่มีความยาวเท่ากันแล้วระยะห่างของช่องอากาศที่เพิ่มขึ้นสามารถลดอุณหภูมิผิวฝ้าเพดานและอุณหภูมิในกล่องทดลองได้มากขึ้น โดยหลังคาที่ใช้ช่องอากาศ 10 ซม.สามารถลดอุณหภูมิผิวฝ้าเพดานได้ 1.45 °C และลดอุณหภูมิในกล่องทดลองได้ 1.69 °C ที่อุณหภูมิสูงสุดของวัน หลังคาที่ใช้ช่องอากาศ 20 ซม.สามารถลดอุณหภูมิผิวฝ้าเพดานได้ 2.53 °C และลดอุณหภูมิในกล่องทดลองได้ 2.16 °C ที่อุณหภูมิสูงสุดของวัน เนื่องจากระยะห่างที่เพิ่มขึ้นจะช่วยลดแรงเสียดทานในช่องอากาศ สำหรับหลังคาที่มีความยาวเพิ่มขึ้นแต่มีระยะห่างช่องอากาศเท่ากัน จะทำให้เกิดการสะสมความร้อนเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากปริมาณความร้อนที่เข้ามาเพิ่มขึ้นแต่อัตราการระบายออกยังคงเท่าเดิม หลังคาที่มีความยาว 12 ม.ทำให้อุณหภูมิผิวฝ้าเพดานสูงขึ้น 0.41 °C และอุณหภูมิภายในกล่องทดลองสูงขึ้น 0.67 °C เมื่อเทียบกับหลังคาวยาว 4 ม. เพราะฉะนั้นหลังคาที่มีความยาวเพิ่มขึ้นควรมีระยะห่างช่องอากาศมากขึ้นเพื่อเพิ่มอัตราการระบายอากาศให้เท่ากับหลังคาที่สั้น

ภาควิชา ..... สถาบันวิศวกรรมศาสตร์  
สาขาวิชา ..... เทคโนโลยีอาคาร  
ปีการศึกษา ..... 2541

ลายมือชื่อนิสิต .....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

# # 4074174925 : MAJOR BUILDING TECHNOLOGY  
KEY WORD: ROOF

AWIROOT SRISUTAPAN : THE REDUCTION OF HEAT GAIN THROUGH ROOF MODIFICATION. THESIS  
ADVISOR : ASSOC. PROF SOONTORN BOONYATIKARN, Ph.D. THESIS CO-ADVISOR : ASSOC.PROF DEDHA  
BOONKHAM, 127 pp. ISBN 974-332-534-4.

A common problem founded in residential building room temperature is higher than comfort zone. The attic space is the area considered to create such a problem most often. The objective of this research is to analyze the factor of the cause and methods in reducing heat gain, mainly by roof modification. In the first part of the research, experimental roofs are built. The roofs are covered with polystyrene foam so as to block the heat form outside. The air gap of the model roofs are set 10 cm. and 20 cm. in width, while the lengths of experimental roofs are 4 and 12 m. have been used in this test. This experiment is carried out under the surrounding temperature. All model roofs is pointed to the south so as to have it exposed directly to the sun during the study Tests on the equipment and the test cells were conducted prior to the experiment to ensure minimum errors. The results of the test are recorded every 15 minutes, round the clock, for a period of 2 days.

The experiments were divided into 2 sets. The first set compared a typical roof with a modified roof with air gaps 10 cm. and 20 cm. in width. It was discovered that the ceiling surface temperatures at the peak of the day reached 38.2 °C , 36.7 °C and 35.7 °C respectively. The highest temperature in test cells reached 37.38 °C , 35.7 °C and 35.2 °C respectively at the peak of the day. The second set of experiments involved roofs 4 m. and 12 m. with a 20 cm. wide air gap. It was discovered that the highest ceiling temperatures at the peak of the day reached 41 °C and 41.5 °C respectively, while the highest temperature in test cells reached 38.5 °C and 39.2 °C respectively.

The research concluded that the reduction of heat gain through roof modification and be done by using air gap, it help reducing the roof surface temperature, as well as the test cell' s, during the peak temperature of the day. The cells with air gap exhibited a much lower temperature swing to provide a more consistent temperature, which can lower air-conditioning expenses. The roof with 10 cm. air gap can lower the ceiling surface temperature by 1.45 °C and reduce the temperature in test cell by 1.7 °C at the peak temperature of the day. The roof with 20 cm. air gap can lower the ceiling surface temperature by 2.5 °C and can reduce temperature in test cell by 2.2 °C at the peak temperature of the day. Because to increase the width of air gap will decrease friction inside the air gap. Experiment also shows that the length of roof also effect the affect of heat exchange, it is noted that, to increase the length of roof will increase heat gain, thus increase friction inside the air gap, and in turn decrease the dispersion of hot air from the air gap. The un-ventilated heat will be accumulated in the air gap , causing a higher temperature around the ceiling surface and test cell. A Greater length of the roof should increase air gap width to increase ventilation rate as equal as the shorter roof.

ภาควิชา.....สถาปัตยกรรมศาสตร์.....  
สาขาวิชา.....เทคโนโลยีอาคาร.....  
ปีการศึกษา.....2541.....

ลายมือชื่อนิสิต.....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

## กิตติกรรมประกาศ



๑

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วงไปด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ รองศาสตราจารย์ ดร.สุนทร บุญญาธิการ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ รองศาสตราจารย์ เดชา บุญค้ำ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม นอกจากนี้ยังได้รับความกรุณาจาก รองศาสตราจารย์ สมสิทธิ์ นิตยะ และ อาจารย์ พรรณชลัท สุริโยธิน ที่ได้สละเวลาให้คำปรึกษา ข้อเสนอแนะ แนวทางในการทำงานที่เป็นประโยชน์ตลอดจนการดูแลเอาใจใส่ในการทำวิทยานิพนธ์มาตั้งแต่ต้น นอกจากนี้ยังได้รับความกรุณาอย่างสูงจาก รองศาสตราจารย์ เลอสม สถาปิตานนท์ ซึ่งเป็นประธานกรรมการในการตรวจวิทยานิพนธ์ และเนื่องจากทุนการวิจัยครั้งนี้บางส่วนได้มาจากทุนอุดหนุนการวิจัยของบัณฑิตวิทยาลัย จึงขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัยมา ณ ที่นี้ด้วย

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา ซึ่งสนับสนุนในด้านการเงินและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตารางประกอบ.....	ฅ
สารบัญรูปประกอบ.....	ญ
สารบัญแผนภูมิประกอบ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาของปัญหา.....	2
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
1.3 สมมติฐานของการวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	4
1.4 ระเบียบวิธีวิจัย.....	5
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย.....	7
บทที่ 2 การสำรวจแนวความคิดและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	8
2.1 อิทธิพลจากแสงอาทิตย์.....	8
2.2 อิทธิพลของมวลสาร.....	13
2.3 การถ่ายเทความร้อนผ่านช่องอากาศ.....	15
2.4 อุณหภูมิในช่องอากาศได้หลังคา.....	17
2.5 ความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศภายนอกและภายในหลังคา.....	18
2.6 การระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติ.....	20
2.7 การระบายอากาศโดยอาศัยความแตกต่างของความกดอากาศ.....	21
2.8 การพาความร้อน.....	23
2.9 มุมเอียงและรูปทรงหลังคา.....	29
บทที่ 3 รายละเอียดการทดลองและการทดสอบสมมติฐาน.....	34
3.1 พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของหลังคาทั่วไป.....	34
3.2 การออกแบบการทดลอง.....	36
3.3 สถานที่ทดลอง.....	36
3.4 รายละเอียดของหลังคาทดลอง.....	38
3.5 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....	50

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.6 รายละเอียดกล้องทดลอง.....	53
3.7 หลักในการพิจารณาอุณหภูมิภายในกล้องทดลอง.....	55
บทที่ 4 การวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	56
4.1 การศึกษาผลของระยะห่างของช่องอากาศที่เพิ่มขึ้นต่อการลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร.....	57
4.2 การศึกษาความยาวของหลังคาที่เพิ่มขึ้นต่อการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร....	83
4.2 การศึกษาการเพิ่มของอุณหภูมิผิวฝ้าเพดานที่ระดับความสูงต่างกัน.....	107
บทที่ 5 บทสรุป.....	117
5.1 บทสรุป.....	117
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	121
รายการอ้างอิง.....	124
ประวัติผู้วิจัย.....	127



## สารบัญตารางประกอบ

		หน้า
ตารางที่ 2.1	แสดงค่าอุณหภูมิ Sol-air Temperature.....	11
ตารางที่ 2.2	แสดง Effective Thermal Resistance of Ventilated Attic (Summer Condition).....	20
ตารางที่ 2.3	แสดงการไหลของอากาศที่เพิ่มขึ้นจากการเพิ่มขนาดของช่องเปิดในอัตราส่วนต่างๆ.....	22
ตารางที่ 3.1	แสดงค่าตัวประกอบที่ได้จากการวิเคราะห์สมการถดถอย.....	51

## สารบัญรูปประกอบ

		หน้า
รูปที่ 2.1	แสดงการโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์.....	12
รูปที่ 2.2	แสดงการติดตั้งฉนวนและการระบายอากาศในพื้นที่ใต้หลังคา.....	16
รูปที่ 2.3	แสดงวิธีการของ Venturi Tube.....	19
รูปที่ 2.4	แสดงการนำ Bernoulli Effect มาใช้กับอาคาร.....	19
รูปที่ 2.5	แสดงวิธีการเปิดช่องอากาศด้านบนเพื่อให้เกิดการระบายอากาศ.....	26
รูปที่ 2.6	แสดงการเจาะช่องเปิดได้ชายคาและด้านบนหลังคา.....	27
รูปที่ 2.7	แสดงการนำ Bernoulli Effect มาใช้กับอาคาร.....	27
รูปที่ 2.8	แสดงการติดตั้งช่องเปิดระบายอากาศที่ระยะห่างจากผนังแตกต่างกัน.....	28
รูปที่ 2.9	แสดงถึงว่าในช่วงกลางวันรูปทรงของหลังคามีผลกระทบเพียงเล็กน้อยต่อการได้รับอิทธิพลจากแสงอาทิตย์.....	29
รูปที่ 2.10	แสดง Mean Pressure Coefficient เมื่อมีลมปะทะที่มุมแตกต่างกัน.....	30
รูปที่ 2.11	แสดง Pressure Coefficient ในมุมเอียงหลังคาที่แตกต่างกัน.....	31
รูปที่ 2.12	แสดงพื้นที่ของแรงกดอากาศในมุมเอียงหลังคาที่แตกต่างกัน.....	31
รูปที่ 2.13	แสดงพื้นที่ของแรงกดอากาศที่เป็นบวก (Positive Pressure) และพื้นที่ส่วนที่เป็นแรงดูด(Negative Pressure) ในหลังคาที่มีมุมเอียงต่างกัน.....	32
รูปที่ 2.14	แสดงการไหลของอากาศผ่านมุ้งลวดและผ่านตระแกรงเหล็กฉีก.....	33
รูปที่ 3.1	แสดงพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของหลังคาในช่วงกลางวัน.....	34
รูปที่ 3.2	แสดงพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของหลังคาในช่วงกลางคืน.....	35
รูปที่ 3.3	แนวความคิดในการออกแบบหลังคาทดลอง.....	36
รูปที่ 3.4	แสดงสภาพแวดล้อมของสถานที่ทดลอง.....	37
รูปที่ 3.5	แสดงสภาพแวดล้อมของสถานที่ทดลอง.....	37
รูปที่ 3.6	แสดงรายละเอียดของหลังคาทดลอง.....	38
รูปที่ 3.7	แสดงรายละเอียดตำแหน่งของหัววัดสัญญาณที่ตำแหน่งต่างของหลังคาทดลอง.....	39
รูปที่ 3.8	แสดงรายละเอียดการติดตั้งฐานรองรับหลังคาทดลอง.....	40
รูปที่ 3.9	แสดงรายละเอียดการติดตั้งฐานรองรับหลังคาทดลองที่มีความยาวมากขึ้น.....	41
รูปที่ 3.10	แสดงรายละเอียดหลังคาทดลองทั้ง 3 แบบ.....	42
รูปที่ 3.11	แสดงรายละเอียดหลังคาทดลอง.....	43
รูปที่ 3.12	แสดงการดำเนินการก่อสร้างหลังคาทดลอง.....	44
รูปที่ 3.13	แสดงการดำเนินการก่อสร้างหลังคาทดลอง.....	44

## สารบัญรูปประกอบ(ต่อ)

		หน้า
รูปที่ 3.14	แสดงรายละเอียดการทดลองชุดที่ 1.....	45
รูปที่ 3.15	แสดงรายละเอียดการทดลองชุดที่ 1.....	46
รูปที่ 3.16	แสดงรายละเอียดการทดลองชุดที่ 1.....	46
รูปที่ 3.17	แสดงรายละเอียดการทดลองชุดที่ 2.....	47
รูปที่ 3.18	แสดงรายละเอียดการทดลองชุดที่ 2.....	48
รูปที่ 3.19	แสดงรายละเอียดการทดลองชุดที่ 2.....	48
รูปที่ 3.20	แสดงรายละเอียดการทดลองชุดที่ 3.....	49
รูปที่ 3.21	แสดงภาพเครื่องมือเก็บข้อมูล.....	50
รูปที่ 3.22	แสดงการติดตั้งสายและหัววัดสัญญาณที่ตำแหน่งต่างๆ.....	52
รูปที่ 3.23	แสดงการติดตั้งกล่องทดลอง.....	53
รูปที่ 3.24	แสดงรายละเอียดกล่องทดลอง.....	54
รูปที่ 5.1	แสดงแนวทางการติดตั้งจนวนในแนวราบ.....	121
รูปที่ 5.2	แสดงแนวทางการศึกษาต่อถึงการติดตั้งจนวนตามแนวโครงสร้าง.....	122

## สารบัญแผนภูมิประกอบ

		หน้า
แผนภูมิที่ 1.1	แผนภูมิแสดงการใช้ไฟฟ้าเปรียบเทียบในส่วนของที่พักอาศัย ภาคธุรกิจ และภาคอุตสาหกรรม.....	1
แผนภูมิที่ 4.1	แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวฝ้าเพดาน ส่วนปลายและส่วนฐาน ของ หลังคาทดลองชุด A.....	58
แผนภูมิที่ 4.2	แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในกล่องทดลองส่วนปลายและส่วน ฐาน ของหลังคาทดลองชุด A.....	59
แผนภูมิที่ 4.3	แสดงเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวฝ้าเพดานส่วนปลายและส่วนฐานของหลัง คาทดลองชุด B.....	61
แผนภูมิที่ 4.4	แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในกล่องทดลองส่วนปลายและส่วน ฐาน ของหลังคาทดลองชุด B.....	62
แผนภูมิที่ 4.5	แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิของอากาศ ส่วนปลายและส่วนฐาน ของ หลังคาทดลองชุด B.....	63
แผนภูมิที่ 4.6	แสดงเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวฝ้าเพดานส่วนปลายและส่วนฐานของหลัง คาทดลองชุด C .....	65
แผนภูมิที่ 4.7	แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในกล่องทดลองส่วนปลายและส่วน ฐาน ของหลังคาทดลองชุด C.....	66
แผนภูมิที่ 4.8	แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิของอากาศ ส่วนปลายและส่วนฐาน ของ หลังคาทดลองชุด C.....	67
แผนภูมิที่ 4.9	แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวฝ้าเพดานส่วนฐานของหลังคาทดลองชุด A B และ C.....	68
แผนภูมิที่ 4.10	แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวฝ้าเพดานส่วนปลายของหลังคาทดลอง ชุด A B และ C.....	67
แผนภูมิที่ 4.11	แสดงเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในกล่องทดลองเฉลี่ย ของหลังคาทดลอง ชุด A B และ C.....	70
แผนภูมิที่ 4.12	แสดงเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในกล่องทดลองเฉลี่ย ของหลังคาทดลอง ชุด A B และ C.....	71
แผนภูมิที่ 4.13	แสดงเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในกล่องทดลองเฉลี่ย ของหลังคาทดลอง ชุด A B และ C.....	72
แผนภูมิที่ 4.14	แสดงเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวฝ้าเพดานเฉลี่ย ของหลังคาทดลองชุด A B และ C.....	73

สารบัญแผนภูมิประกอบ(ต่อ)

	หน้า	
แผนภูมิที่ 4.15	แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิสูงสุดของผิวผ้าเปดาน ที่ส่วนปลายและ ส่วนฐานของหลังคามีระยะห่างต่างกัน.....	80
แผนภูมิที่ 4.16	แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิสูงสุดของในกล่องทดลอง ที่ส่วนปลายและ ส่วนฐานของหลังคามีระยะห่างต่างกัน.....	80
แผนภูมิที่ 4.17	แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยของผิวผ้าเปดาน ที่ส่วนปลายและ ส่วนฐานของหลังคามีระยะห่างต่างกัน.....	81
แผนภูมิที่ 4.18	แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยของในกล่องทดลอง ที่ส่วนปลายและ ส่วนฐานของหลังคามีระยะห่างต่างกัน.....	81
แผนภูมิที่ 4.19	แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิสูงสุดในช่องอากาศ ที่ส่วนปลายและส่วน ฐานของหลังคามีระยะห่างต่างกัน.....	82
แผนภูมิที่ 4.20	แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดในช่องอากาศ ที่ส่วนปลายและ ส่วนฐานของหลังคามีระยะห่างต่างกัน.....	82
แผนภูมิที่ 4.21	แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวผ้าเปดาน ส่วนปลายและส่วนฐาน ของ หลังคาทดลองชุด A.....	84
แผนภูมิที่ 4.22	แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในกล่องทดลองส่วนปลายและส่วน ฐาน ของหลังคาทดลองชุด A.....	85
แผนภูมิที่ 4.23	แสดงเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวผ้าเปดานส่วนปลายและส่วนฐานของหลัง คาทดลองชุด B .....	91
แผนภูมิที่ 4.24	แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในกล่องทดลองส่วนปลายและส่วน ฐาน ของหลังคาทดลองชุด B.....	92
แผนภูมิที่ 4.25	แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิช่องอากาศ ส่วนปลายและส่วนฐาน ของ หลังคาทดลองชุด B.....	93
แผนภูมิที่ 4.26	แสดงเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวผ้าเปดานส่วนปลายและส่วนฐานของหลัง คาทดลองชุด C .....	91
แผนภูมิที่ 4.27	แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในกล่องทดลองส่วนปลายและส่วน ฐาน ของหลังคาทดลองชุด C .....	92
แผนภูมิที่ 4.28	แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิช่องอากาศ ส่วนปลายและส่วนฐาน ของ หลังคาทดลองชุด C.....	93
แผนภูมิที่ 4.29	แสดงเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวผ้าเปดานส่วนปลายและส่วนฐานของหลัง คาทดลองชุด B และที่ตำแหน่งเดียวกันของหลังคาชุด C.....	94

## สารบัญแผนภูมิประกอบ(ต่อ)

		หน้า
แผนภูมิที่ 4.30	แสดงเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในกล่องทดลองเฉลี่ย ของหลังคาทดลอง ชุด A B และ C.....	95
แผนภูมิที่ 4.31	แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวฝ้าเพดานส่วนฐานของหลังคาทดลองชุด A B และ C.....	96
แผนภูมิที่ 4.32	แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวฝ้าเพดานส่วนปลายของหลังคาทดลอง ชุด A B และ C.....	97
แผนภูมิที่ 4.33	แสดงการเปรียบเทียบในกล่องทดลองส่วนฐาน ของหลังคาทดลองชุด A B และ C.....	98
แผนภูมิที่ 4.34	แสดงการเปรียบเทียบในกล่องทดลองส่วนปลายของหลังคาทดลองชุด A B และ C.....	98
แผนภูมิที่ 4.35	แสดงการเปรียบเทียบในกล่องทดลองเฉลี่ยของหลังคาทดลองชุด A B และ C.....	100
แผนภูมิที่ 4.36	แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิสูงสุดของผิวฝ้าเพดาน ที่ส่วนปลายและ ส่วนฐานของหลังคาที่มีความยาวต่างกัน.....	104
แผนภูมิที่ 4.37	แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิสูงสุดของในกล่องทดลอง ที่ส่วนปลายและ ส่วนฐานของหลังคาที่มีความยาวต่างกัน.....	104
แผนภูมิที่ 4.38	แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยของผิวฝ้าเพดาน ที่ส่วนปลายและ ส่วนฐานของหลังคาที่มีความยาวต่างกัน.....	105
แผนภูมิที่ 4.39	แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยของในกล่องทดลอง ที่ส่วนปลายและ ส่วนฐานของหลังคาที่มีความยาวต่างกัน.....	105
แผนภูมิที่ 4.40	แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิสูงสุดในช่องอากาศ ที่ส่วนปลายและส่วน ฐานของหลังคาที่มีความยาวต่างกัน.....	106
แผนภูมิที่ 4.41	แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดในช่องอากาศ ที่ส่วนปลายและ ส่วนฐานของหลังคาที่มีความยาวต่างกัน.....	106
แผนภูมิที่ 4.42	แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวฝ้าเพดานที่แต่ละระดับ หลังคาชุด A.....	108
แผนภูมิที่ 4.43	แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวฝ้าเพดานที่แต่ละระดับ หลังคาชุด B.....	109
แผนภูมิที่ 4.44	แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวฝ้าเพดานที่แต่ละระดับ หลังคาชุด C.....	110
แผนภูมิที่ 4.45	แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวฝ้าเพดานที่แต่ละระดับ หลังคาชุด D.....	111
แผนภูมิที่ 4.46	แสดงอัตราการเพิ่มของอุณหภูมิผิวฝ้าเพดานที่ความสูงในแต่ละระดับ หลังคาชุด A.....	112

สารบัญแผนภูมิประกอบ(ต่อ)

		หน้า
แผนภูมิที่ 4.47	แสดงอัตราการเพิ่มของอุณหภูมิผิวผ้าเปียานที่ความสูงในแต่ละระดับ หลังคาชุด B.....	113
แผนภูมิที่ 4.48	แสดงอัตราการเพิ่มของอุณหภูมิผิวผ้าเปียานที่ความสูงในแต่ละระดับ หลังคาชุด C.....	114
แผนภูมิที่ 4.49	แสดงอัตราการเพิ่มของอุณหภูมิผิวผ้าเปียานที่ความสูงในแต่ละระดับ หลังคาชุด D.....	115
แผนภูมิที่ 4.50	แสดงอัตราการเพิ่มของอุณหภูมิผิวผ้าเปียานที่ความสูง 4 ระดับแรก หลัง คาชุด C.....	116
แผนภูมิที่ 5.1	แสดงค่าสูงสุดของอุณหภูมิผิวผ้าเปียานใน 1 วัน.....	117
แผนภูมิที่ 5.2	แสดงค่าสูงสุดของอุณหภูมิในกล่องทดลองใน 1 วัน.....	118
แผนภูมิที่ 5.3	แสดงค่าสูงสุดของอุณหภูมิผิวผ้าเปียานใน 1 วัน ของหลังคาสันและยาว...	118
แผนภูมิที่ 5.4	แสดงเวลาที่อุณหภูมิภายในของหลังคาที่ไม่มีช่องอากาศ สูงกว่า อุณหภูมิอากาศภายนอก.....	119
แผนภูมิที่ 5.5	แสดงเวลาที่อุณหภูมิภายในของหลังคาที่มีช่องอากาศ 20 ซม.สูงกว่า อุณหภูมิอากาศภายนอก.....	119
แผนภูมิที่ 5.6	แสดงเวลาที่อุณหภูมิภายในของหลังคาที่ไม่มีช่องอากาศ สูงกว่า อุณหภูมิน้ำสบาย ( 27 °C ) .....	120
แผนภูมิที่ 5.7	แสดงเวลาที่อุณหภูมิภายในของหลังคาที่มีช่องอากาศ 20 ซม.สูงกว่า อุณหภูมิน้ำสบาย ( 27 °C ) .....	120