

แนวทางการเพิ่มการนำความร้อนออกที่ชั้นอากาศร้อนสูงสุด

นางสาวสุภาวดี บุญถนอม



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีอาคาร ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2541

ISBN 974-332-537-9

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

THE PROMOTION OF CONDUCTION HEAT LOSS THROUGH MAXIMUM
STRATIFICATION

Miss Supawadee Boonthanom

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

Department of Architecture

Graduate School

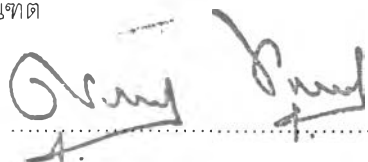
Chulalongkorn University

Academic Year 1998


ISBN 974-332-537-9

หัวข้อวิทยานิพนธ์ แนวทางการเพิ่มการนำความร้อนออกที่ชั้นอากาศร้อนสูงสุด
โดย นางสาวสุภาวดี บุญถนอม
ภาควิชา สถาปัตยกรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ. ดร. สุนทร บุญญาธิการ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม รศ. สมสิทธิ์ นิตยะ

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต



..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศ. นพ. ศุภวัฒน์ ชูติวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานคณะกรรมการ
(รศ. เลอสม สถาปิตานนท์)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รศ. ดร. สุนทร บุญญาธิการ)


..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(รศ. สมสิทธิ์ นิตยะ)


..... กรรมการ
(คุณ ปราโมทย์ เอี่ยมศิริ)

สุภาวดี บุญถนอม : แนวทางการเพิ่มการนำความร้อนออกที่ชั้นอากาศร้อนสูงสุด (THE PROMOTION OF CONDUCTION HEAT LOSS THROUGH MAXIMUM STRATIFICATION) อ.ที่ปรึกษา : รศ. ดร.สุนทร บุญญาธิการ, อ.ที่ปรึกษาร่วม : รศ. สมสิทธิ์ นิตยะ : 145 หน้า, ISBN 974-332-537-9

ปัจจุบันมีอาคารมากมายลดความร้อนด้วยวิธีระบายอากาศในแนวดิ่ง โดยไม่มีการตรวจสอบค่าเอนทัลปี (ค่าความร้อนในอากาศเป็นผลรวมของความร้อนสัมผัส และความร้อนแฝงจากความชื้น) ของอากาศที่ร้อน-แห้งที่ถูกระบายออก กับอากาศเย็น-ชื้นที่เข้ามา อันอาจจะเป็นการเพิ่มภาระการปรับอากาศ งานวิจัยนี้มุ่งหวังหาแนวทางแก้ปัญหานี้ ด้วยวิธีการระบายความร้อนออกโดยการนำความร้อนแทนการพาความร้อนออกที่ชั้นอากาศร้อนสูงสุดออกสู่ภายนอก ได้ศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการระบายความร้อนแนวใหม่

เพื่อเป็นการควบคุมตัวแปรในขณะทำการศึกษา จึงได้สร้างหน่วยทดลองจำนวน 2 หน่วยที่เหมือนกัน เป็นรูปทรงกระบอก ผังหน้า 1 นิ้ว เส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เมตร สูง 4 เมตร และกีดขึ้นไปเป็นผนังสี่เหลี่ยมวางในแนวเหนือใต้ สูง 0.90 เมตรเป็นแผ่นสังกะสีหนา 0.2 มม. ทาสีขาว ซึ่งเป็นวัสดุนำความร้อน หลังคาเป็นระจกหน้า 6 มม. การทดลองแบ่งออกเป็น 3 ชุด คือ ชุดที่ 1 เปรียบเทียบอุณหภูมิภายในหน่วยทดลองที่ลด และไม่ลดค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนังทรงกระบอก ชุดที่ 2 เปรียบเทียบอุณหภูมิภายในหน่วยทดลองที่เพิ่ม และไม่เพิ่มความสูงผนังสี่เหลี่ยมด้านบนจากความสูง 0.90 เป็น 2.70 เมตร และชุดที่ 3 เปรียบเทียบอุณหภูมิภายในหน่วยทดลองที่เปลี่ยน และไม่เปลี่ยนผนังสี่เหลี่ยมด้านบนทิศเหนือและใต้เป็นระจกใส 6 มม. การทดลองทั้ง 3 ชุด ได้หลีกเลี่ยงรังสีดวงอาทิตย์โดยตรงที่ มาตกกระทบหลังคาและผนังสี่เหลี่ยมด้านบน นอกจากนี้ยังปรับเปลี่ยนค่าความร้อนจากแหล่งกำเนิดภายใน

ผลการวิจัยพบว่า การลดค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนังทรงกระบอก จะช่วยลดการถ่ายเทความร้อนเข้าในเวลา กลางวัน และถ่ายเทออกในเวลากลางคืน คืออุณหภูมิภายในมีความแปรเปลี่ยนตามอุณหภูมิอากาศน้อยลง การเพิ่มความสูงของผนังสี่เหลี่ยมด้านบน จะเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อนออก ซึ่งจะเห็นได้ชัดในช่วงกลางคืน สำหรับช่วงกลางวัน ซึ่งมีอิทธิพลของดวงอาทิตย์ ทำให้อุณหภูมิในระดับใช้งาน (พื้นถึงระดับ 3 เมตร) ของหน่วยทดลองทั้งสองไม่แตกต่างกันทางสถิติ เมื่อความร้อนจากแหล่งกำเนิดภายใน น้อยหรือไม่มี และแตกต่างกันประมาณ 1 – 2.5 °C เมื่อความร้อนจากแหล่งกำเนิดภายในมาก การเปลี่ยนวัสดุของผนังสี่เหลี่ยมด้านบน ทิศเหนือและใต้เป็นระจกใสนั้น ไม่ทำให้อุณหภูมิภายในแตกต่างจากเดิม ขณะดำเนินการทดลองทั้ง 3 ชุด ที่หลังคาระจก และผนังสี่เหลี่ยมด้านบนได้เกิดการควบแน่นของไอน้ำในเวลากลางคืน

ผลการวิจัยสรุปว่า แนวทางการระบายความร้อน โดยการนำความร้อนออกที่ชั้นอากาศร้อนสูงสุดจะได้ผลเมื่อ ระดับฝ้าเพดานสูง กว่าปกติ 2 เมตรขึ้นไป ที่ผนังแบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนล่างคือสูงจากพื้นถึงระดับฝ้าเพดานปกติ เป็นผนังที่มีคุณสมบัติลดความร้อนที่เข้ามาใน อาคาร และผนังส่วนบน คือระดับที่สูงขึ้นไป เป็นผนังที่มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูง และ ค่าความจุความร้อนต่ำ เพื่อระบาย ความร้อนออกสู่ภายนอกในเร็วที่สุด นอกจากนี้ยังต้องมีคุณสมบัติทนความชื้น และไอน้ำขณะเกิดการควบแน่นของไอน้ำ อุณหภูมิภายใน ส่วนระดับใช้งาน จะได้รับอิทธิพลของความร้อนจากแหล่งกำเนิดภายในมากกว่าอิทธิพลจากภายนอก อันได้แก่ อุณหภูมิอากาศภายนอก ดวงอาทิตย์ การแลกเปลี่ยนความร้อนกับท้องฟ้า และกระแสลม ทำให้อุณหภูมิมีความแปรเปลี่ยนในระหว่างวันน้อย เกิดการลอยตัวของ อากาศจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ ซึ่งหากความร้อนที่เกิดขึ้นภายในมากอากาศร้อนจะลอยตัวขึ้นอย่างยากลำบาก จึงสะสมอยู่ที่ระดับแหล่งกำเนิด ความร้อน สำหรับอุณหภูมิในส่วนระดับสูงกว่าระดับใช้งานขึ้นไป จะได้รับอิทธิพลจากภายนอก และ ความสามารถในการถ่ายเทความร้อนออกสู่ภายนอกของผนัง อุณหภูมิจึงมีความแปรเปลี่ยนมากกว่าระดับใช้งาน คือ อุณหภูมิสูงกว่าในเวลากลางวัน และ ต่ำกว่าในเวลา กลางคืน

ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์.....
สาขาวิชาเทคโนโลยีอาคาร.....
ปีการศึกษา2541.....

ลายมือชื่อนิสิต
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

407 41675 25 : MAJOR BUILDING TECHNOLOGY

KEY WORD: Thermal Stratification / Stack Effect / Buoyancy Air

SUPAWADEE BOONTHANOM : THE PROMOTION OF CONDUCTION HEAT LOSS THROUGH
MAXIMUM STRATIFICATION. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. SOONTORN BOONYATIKARN, Ph.D.
THESIS CO-ADVISOR : ASSOC. PROF. SOMSIT NITAYA 145 pp. ISBN 974-332-537-9

At present, many building have been reduced heat inside by stack ventilation without checking enthalpy (enthalpy means the heat contain of unit mass of the air, which has two components, sensible heat and latent heat) of the hot and dry air removing out and of the cold and more moisture contain add in. This may increase thermal load of the building. The purpose of this study is to find the method to solve this problem. The heat removal using conduction heat loss in lieu of the heat convection through maximum stratification was used in this study by study parameter effecting this heat removal method

In the order to control the variables during the study the two identical test units were built as 1 m. diameter tube, 4 m. height, having 1 inch concrete wall, and next to it is the square wall using 0.2 mm. thickness zinc plate, white gloss coating which is heat conductor material with 0.90 m. height, and 6 mm. thickness clear glass roof. The experiment has been divided into 3 series. The first series was to compare inside temperature between the test unit, which reduce coefficient of heat transfer and the one, which did not. The second series was compare inside temperature between the test unit which increased the height of the square wall from 4.90 to 6.70 meters and the one which did not. The third series was to compare inside temperature between the test unit which change material of the upper square wall in the north and south facing from zinc plate to sheet of glass the one which did not. There 3 series experiment were not let the roof and upper square wall to expose to direct solar radiation. Moreover they are also adjusted the internal heat gain

The result of this study that the reduction of coefficient of heat transfer of tube wall would reduce external heat gain in during daytime, and reduce heat loss in the night time. That is to say the inside temperature are less depended on the outside air temperature. The increment of the height of the upper square wall would increase the heat loss, which will be obvious in the nighttime. But in the daytime which has the effect of solar radiation causing the temperature at human activities level (3 meters from the floor) of this two test unit are statistically in different when there is no or less internal heat gain and 1 – 2.5 °C different when there is much internal heat gain. The change of the upper square wall material in the north and south, inside temperature would not change this result. During the experiment the condensation occur at the surface of glass roof and upper square wall in the night time.

In conclusion, heat removal using conduction heat loss through maximum stratification will be more effective when ceiling height is 2 meters higher than typical height. The wall which divided into two parts, the lower part, with normal floor to ceiling height is built of material which reduce the external heat gain, the upper part, up from lower part, is built of material which has a high coefficient of heat transfer and low heat capacity in the order to not to delay heat removing. Moreover, this wall has not to be damage when facing with moisture and condensation. The temperature at the human activity level will be depended on the internal heat gain more than the environment, i.e. outside air temperature, sun, the heat exchange with the sky, wind, which cause less temperature swing during the daytime. The buoyancy of air will occur slowly therefore if the much internal heat gain, the hot air will buoy roughly, and obtain at the level of internal heat gain source. The temperature at the level higher than activity level is depended on the environment and ability to remove heat to the outside of the wall therefore cause more temperature swing than the lower level.

ภาควิชา.....สถาปัตยกรรมศาสตร์.....

สาขาวิชา.....เทคโนโลยีอาคาร.....

ปีการศึกษา.....2541.....

ลายมือชื่อนิติ.....*Supadee Boonthanom*.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....*Soontorn Boonyatikarn*.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....*Somsit Nitaya*.....



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลือของ รศ. ดร.สุนทร บุญญาริการ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ในการวิจัยมาด้วยดี ตลอดจนเอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์ต่างในการดำเนินการวิจัย ขอขอบพระคุณ รศ. สมสิทธิ์ นิตยะ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม และ คุณปราโมทย์ เขียมศิริ ที่ได้ให้คำปรึกษาและขอเสนอแนะในการวิจัยนี้ ขอขอบพระคุณ รศ. เลอสม สถาปิตานนท์ และอาจารย์พรพนชล์ สุริโยธิน ที่ให้ความช่วยเหลือมาโดยตลอด และ ขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัย สำหรับทุนอุดหนุนการวิจัยของบัณฑิตวิทยาลัย

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ มารดา และ พี่สาว พี่ชาย ซึ่งสนับสนุนในด้านการเงิน เครื่องมือ อุปกรณ์สำนักงานต่างๆ ในขณะดำเนินการวิจัย และ ให้กำลังใจและความอบอุ่นเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

ทำยนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณเพื่อนร่วมรุ่น และ เพื่อนต่างสถาบัน ที่ให้กำลังใจ คำปรึกษาแนะนำช่วยเหลือ และ ให้ความบันเทิง มาตลอดการวิจัยนี้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฅ
สารบัญแผนภูมิ	ญ
สารบัญรูปภาพ	ณ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	5
1.3 ขอบเขตและข้อจำกัดในการวิจัย	5
1.4 สมมติฐานในการวิจัย	5
1.5 ระเบียบวิธีวิจัย	6
1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	11
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่มีผลและเกี่ยวข้อง	12
2.1 ความร้อน	12
2.2 คุณสมบัติของวัตถุที่บ่งแสงที่มีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อน	15
2.3 การถ่ายเทความร้อน	16
2.4 การระบายอากาศ	23
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	27
บทที่ 3 การทดสอบการนำความร้อนออกที่ชั้นอากาศร้อนสูงสุด	29
3.1 สาเหตุที่ใช้น้ำจาลองในการทดสอบ	29
3.2 การเตรียมการทดลอง	29
3.3 ลักษณะและขั้นตอนการก่อสร้างหุ่นจำลองโดยละเอียด	33
3.4 ขั้นตอนการทดลอง	38

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดสอบการนำความร้อนออกที่ชั้นอากาศร้อนสูงสุด	54
4.1 ผลการทดลองที่ 1	54
4.2 ผลการทดลองที่ 2	82
4.1 ผลการทดลองที่ 3	118
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	140
5.1 ลักษณะของอาคารที่ระบายความร้อนด้วยวิธีการนำความร้อนออกที่ ชั้นอากาศร้อนสูงสุด	140
5.2 ลักษณะการแบ่งชั้นความร้อนภายใน	140
5.3 ตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพการระบายความร้อนโดยการนำความร้อนออกที่ชั้น อากาศร้อนสูงสุด	141
5.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป	143
รายการอ้างอิง	144
ประวัติผู้เขียน	145

สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 2.1 แสดงการคำนวณหาค่าเอนทัลปีจากค่าอุณหภูมิและความชื้นจำเพาะ	13
ตาราง 2.2 แสดงค่าการคายรังสีความร้อน และค่าดูดซับรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ของผิววัสดุบางชนิด	17
ตาราง 2.3 แสดงความต้องการ การถ่ายเทอากาศในอาคารแต่ละประเภท	23
ตาราง 2.4 แสดงความเร็วลมภายในอาคารกับสภาวะนำสบาย	24
ตาราง 2.5 แสดงสมการสำหรับหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยการพาระหว่างร่างกายกับสภาพแวดล้อม	25
ตาราง 2.6 แสดงค่า Surface Conductances (Btu/hr. sq.ft. F) and Resistances (F. sq.ft. hr/Btu) for Air	26
ตาราง 3.1 แสดงคุณสมบัติด้านอุณหภูมิบางประการของวัสดุที่ใช้เป็นตัวแปรในการทดลอง	42

สารบัญแผนภูมิ

	หน้า
แผนภูมิที่ 1.1 เปรียบเทียบอุณหภูมิภายในอาคาร กับอากาศภายนอก	2
แผนภูมิที่ 2.1 แผนภูมิไซโครเมตริก	14
แผนภูมิที่ 4.1 อุณหภูมิภายในหน่วยทดลอง A การทดลองที่ 1 ชั้นตอนที่ 1 เปรียบเทียบค่า U-Value ของผนังด้านล่าง เมื่อไม่มีแหล่งกำเนิดความร้อนภายใน และไม่บังแดด	58
แผนภูมิที่ 4.2 อุณหภูมิภายในหน่วยทดลอง B การทดลองที่ 1 ชั้นตอนที่ 2 เปรียบเทียบค่า U-Value ของผนังด้านล่าง เมื่อมีแหล่งกำเนิดความร้อนภายใน 100 วัตต์ และไม่บังแดด	59
แผนภูมิที่ 4.3 ก, ข อุณหภูมิระดับ 0.10, 1.00 ของหน่วยทดลอง A และ B การทดลองที่ 1 ชั้นตอน ที่ 2 เปรียบเทียบค่า U-Value ของผนังด้านล่าง เมื่อมีแหล่งกำเนิดความร้อนภายใน 100 วัตต์ และไม่บังแดด.....	60
แผนภูมิที่ 4.3 ค, ง อุณหภูมิระดับ 2.00, 3.00 ของหน่วยทดลอง A และ B การทดลองที่ 1 ชั้นตอน ที่ 2 เปรียบเทียบค่า U-Value ของผนังด้านล่าง เมื่อมีแหล่งกำเนิดความร้อนภายใน 100 วัตต์ และไม่บังแดด.....	61
แผนภูมิที่ 4.3 จ, ฉ อุณหภูมิระดับ 4.00, 4.45 ของหน่วยทดลอง A และ B การทดลองที่ 1 ชั้นตอน ที่ 2 เปรียบเทียบค่า U-Value ของผนังด้านล่าง เมื่อมีแหล่งกำเนิดความร้อนภายใน 100วัตต์ และไม่บังแดด	62
แผนภูมิที่ 4.4 ก, ข อุณหภูมิผิวหน่วยทดลอง A และ B การทดลองที่ 1 ชั้นตอนที่ 2 เปรียบเทียบค่า U-Value ของผนังด้านล่าง เมื่อมีแหล่งกำเนิดความร้อนภายใน 100 วัตต์ และไม่บัง แดด	63
แผนภูมิที่ 4.5 อุณหภูมิภายในหน่วยทดลอง A การทดลองที่ 1 ชั้นตอนที่ 2 เปรียบเทียบค่า U-Value ของผนังด้านล่าง เมื่อไม่มีแหล่งกำเนิดความร้อนภายใน	67
แผนภูมิที่ 4.6 อุณหภูมิภายในหน่วยทดลอง B การทดลองที่ 1 ชั้นตอนที่ 2 เปรียบเทียบค่า U-Value ของผนังด้านล่าง เมื่อมีแหล่งกำเนิดความร้อนภายใน 100 วัตต์	68
แผนภูมิที่ 4.7 ก, ข อุณหภูมิระดับ 0.10, 1.00 ของหน่วยทดลอง A และ B การทดลองที่ 1 ชั้นตอน ที่ 2 เปรียบเทียบค่า U-Value ของผนังด้านล่าง เมื่อมีแหล่งกำเนิดความร้อนภายใน 100 วัตต์	69
แผนภูมิที่ 4.7 ค, ง อุณหภูมิระดับ 2.00, 3.00 ของหน่วยทดลอง A และ B การทดลองที่ 1 ชั้นตอน ที่ 2 เปรียบเทียบค่า U-Value ของผนังด้านล่าง เมื่อมีแหล่งกำเนิดความร้อนภายใน 100 วัตต์	70
แผนภูมิที่ 4.7 จ, ฉ อุณหภูมิระดับ 4.00, 4.45 ของหน่วยทดลอง A และ B การทดลองที่ 1 ชั้นตอน ที่ 2 เปรียบเทียบค่า U-Value ของผนังด้านล่าง เมื่อมีแหล่งกำเนิดความร้อนภายใน 100วัตต์.....	71

สารบัญแผนภูมิ (ต่อ)

	หน้า
แผนภูมิที่ 4.24 ก, ข อุณหภูมิผิวหน่วยทดลอง A และ B การทดลองที่ 2 ชั้นตอนที่ 3 เปรียบเทียบ ความสูงและพื้นที่ผิวผนังด้านบน เมื่อมีแหล่งกำเนิดความร้อนภายใน 100 วัตต์ ...	107
แผนภูมิที่ 4.25 อุณหภูมิภายในหน่วยทดลอง A การทดลองที่ 2 ชั้นตอนที่ 4 เปรียบเทียบความสูง และพื้นที่ผิวผนังด้านบน เมื่อมีแหล่งกำเนิดความร้อนภายใน 200 วัตต์	110
แผนภูมิที่ 4.26 อุณหภูมิภายในหน่วยทดลอง B การทดลองที่ 2 ชั้นตอนที่ 4 เปรียบเทียบความสูง และพื้นที่ผิวผนังด้านบน เมื่อมีแหล่งกำเนิดความร้อนภายใน 200 วัตต์	111
แผนภูมิที่ 4.27 ก, ข อุณหภูมิระดับ 0.10, 1.00 เมตร ของหน่วยทดลอง A และ B การทดลองที่ 2 ชั้นตอนที่ 4 เปรียบเทียบความสูงและพื้นที่ผิวผนังด้านบน เมื่อมีแหล่งกำเนิดความ ร้อนภายใน 200 วัตต์	112
แผนภูมิที่ 4.27 ค, ง อุณหภูมิระดับ 2.00, 3.00 เมตร ของหน่วยทดลอง A และ B การทดลองที่ 2 ชั้นตอนที่ 4 เปรียบเทียบความสูงและพื้นที่ผิวผนังด้านบน เมื่อมีแหล่งกำเนิดความ ร้อนภายใน 200 วัตต์	113
แผนภูมิที่ 4.27 จ, ฉ อุณหภูมิระดับ 4.45, 4.00 เมตร ของหน่วยทดลอง A และ B การทดลองที่ 2 ชั้นตอนที่ 4 เปรียบเทียบความสูงและพื้นที่ผิวผนังด้านบน เมื่อมีแหล่งกำเนิดความ ร้อนภายใน 200 วัตต์	114
แผนภูมิที่ 4.28 ก, ข อุณหภูมิผิวหน่วยทดลอง A และ B การทดลองที่ 2 ชั้นตอนที่ 4 เปรียบเทียบ ความสูงและพื้นที่ผิวผนังด้านบน เมื่อมีแหล่งกำเนิดความร้อนภายใน 200 วัตต์	115
แผนภูมิที่ 4.29 อุณหภูมิภายในของหน่วยทดลอง A การทดลองที่ 3 ชั้นตอนที่ 1 เปรียบเทียบวัสดุนำ ความร้อนด้านบนทิศเหนือ ระหว่างวัสดุที่บดแสงและโปร่งแสง เมื่อไม่มีแหล่งกำเนิด ความร้อนภายใน	120
แผนภูมิที่ 4.30 อุณหภูมิภายในของหน่วยทดลอง B การทดลองที่ 3 ชั้นตอนที่ 1 เปรียบเทียบวัสดุนำ ความร้อนด้านบนทิศเหนือ ระหว่างวัสดุที่บดแสงและโปร่งแสง เมื่อไม่มีแหล่งกำเนิด ความร้อนภายใน	121
แผนภูมิที่ 4.35 ก, ข อุณหภูมิระดับ 0.10, 1.00 เมตร ของหน่วยทดลอง A และ B การทดลองที่ 3 ชั้นตอนที่ 1 เปรียบเทียบวัสดุนำความร้อนด้านบนทิศเหนือระหว่างวัสดุที่บดแสงและ โปร่งแสง เมื่อไม่มีแหล่งกำเนิดความร้อนภายใน	122
แผนภูมิที่ 4.31 ค, ง อุณหภูมิระดับ 2.00, 3.00 เมตร ของหน่วยทดลอง A และ B การทดลองที่ 3 ชั้น ตอนที่ 1 เปรียบเทียบวัสดุนำความร้อนด้านบนทิศเหนือระหว่างวัสดุที่บดแสงและ โปร่งแสง เมื่อไม่มีแหล่งกำเนิดความร้อนภายใน.....	123

สารบัญแผนภูมิ (ต่อ)

	หน้า
แผนภูมิที่ 4.39 ก, ข อุณหภูมิระดับ 0.10, 1.00 เมตร ของหน่วยทดลอง A และ B การทดลองที่ 3 ชั้นตอนที่ 3 เปรียบเทียบวัสดุนำความร้อนด้านบนทิศเหนือและใต้ ระหว่างวัสดุที่บ แสงและโปร่งแสง เมื่อมีแหล่งกำเนิดความร้อนภายใน 100 วัตต์.....	136
แผนภูมิที่ 4.39 ค, ง อุณหภูมิระดับ 2.00, 3.00 เมตร ของหน่วยทดลอง A และ B การทดลองที่ 3 ชั้นตอนที่ 3 เปรียบเทียบวัสดุนำความร้อนด้านบนทิศเหนือและใต้ ระหว่างวัสดุที่บ แสงและโปร่งแสง เมื่อมีแหล่งกำเนิดความร้อนภายใน 100 วัตต์	137
แผนภูมิที่ 4.39 จ, ฉ อุณหภูมิระดับ 4.00, 4.45 เมตร ของหน่วยทดลอง A และ B การทดลองที่ 3 ชั้นตอนที่ 3 เปรียบเทียบวัสดุนำความร้อนด้านบนทิศเหนือและใต้ ระหว่างวัสดุที่บ แสงและโปร่งแสง เมื่อมีแหล่งกำเนิดความร้อนภายใน 100 วัตต์	138
แผนภูมิที่ 4.40 ก, ข อุณหภูมิผิวหน่วยทดลอง A และ B การทดลองที่ 3 ชั้นตอนที่ 3 เปรียบเทียบ วัสดุนำความร้อนด้านบนทิศเหนือและใต้ ระหว่างวัสดุที่บแสงและโปร่งแสง เมื่อมี แหล่งกำเนิดความร้อนภายใน 100 วัตต์	139

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปภาพที่ 1.1 แสดงการถ่ายเทความร้อนสัมผัสโดยอาศัยหลักการลอยตัวของอากาศร้อน และการนำความร้อนออก โดยไม่มีการระบายอากาศ	4
รูปภาพที่ 1.2 แสดงลักษณะของหน่วยทดลอง	6
รูปภาพที่ 1.3 แสดงการทดลองเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่ผนังด้านล่าง ชั้นตอนที่ 1	8
รูปภาพที่ 1.4 แสดงการทดลองเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่ผนังด้านล่าง ชั้นตอนที่ 2	8
รูปภาพที่ 1.5 แสดงการทดลองเปรียบเทียบพื้นที่ของวัสดุนำความร้อน และ ความสูง	9
รูปภาพที่ 1.6 แสดงการทดลองเปรียบเทียบวัสดุนำความร้อนที่ผนังด้านบนทิศเหนือ และ ได้ ระหว่างวัสดุทึบแสง กับ โปร่งแสง	10
รูปภาพที่ 2.1 แสดงลักษณะการไหลของอากาศประเภทต่างๆ	21
รูปภาพที่ 2.2 แสดงการดิ่งลมออกจากอาคารที่หลังคา โดยใช้ Stack Effect	22
รูปภาพที่ 2.3 แสดงการดิ่งลมออกจากอาคารที่หลังคาโดยใช้ Solar Chimney	22
รูปภาพที่ 3.1 แสดงตำแหน่งหน่วยทดลอง A และ B	30
รูปภาพที่ 3.2 หัววัดอุณหภูมิ (Thermister) และหัววัดค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น (Dew Sensor)	31
รูปภาพที่ 3.3 หัววัดค่ารังสีดวงอาทิตย์	32
รูปภาพที่ 3.4 เครื่องอ่านค่าตัวแปร (Data Logger)	32
รูปภาพที่ 3.5 แสดงแบบก่อสร้างของหน่วยทดลอง.....	34
รูปภาพที่ 3.6 แสดงการก่อสร้างผนังช่วงจากพื้นถึงระดับ 1.20 เมตร	35
รูปภาพที่ 3.7 แสดงการทำบังใบที่ทางเข้าภายในหน่วยทดลอง	35
รูปภาพที่ 3.8 แสดงการก่อสร้างผนังช่วงจากพื้นถึงระดับ 4.00 เมตร	36
รูปภาพที่ 3.9 แสดงภายในของหน่วยทดลอง	36
รูปภาพที่ 3.10 แสดงหน่วยทดลองเมื่อติดตั้งผนังสังกะสีด้านบน	37
รูปภาพที่ 3.11 แสดงหน่วยทดลองเมื่อก่อสร้างเสร็จเรียบร้อยแล้ว	37
รูปภาพที่ 3.12 แสดงตำแหน่งการติดตั้งหัววัดอุณหภูมิและความชื้นภายในหน่วยทดลอง	41
รูปภาพที่ 3.13 แสดงการทดลองที่ 1 เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่ผนังด้าน ล่าง ชั้นตอนที่ 1	43
รูปภาพที่ 3.14 แสดงการทดลองที่ 1 เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่ผนังด้าน ล่าง ชั้นตอนที่ 2 และ 3	45

สารบัญรูปลูกภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปภาพที่ 3.15 แสดงขณะทำการทดลองที่ 1 เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่ผนังด้านล่าง ชั้นตอนที่ 1	46
รูปภาพที่ 3.16 แสดงการทดลองที่ 2 เปรียบเทียบพื้นที่ของวัสดุนำความร้อน และความสูงของหน่วยทดลอง ชั้นตอนที่ 1	48
รูปภาพที่ 3.17 แสดงการทดลองที่ 2 เปรียบเทียบพื้นที่ของวัสดุนำความร้อน และความสูงของหน่วยทดลอง ในแต่ละชั้นตอน	49
รูปภาพที่ 3.18 แสดงขณะติดตั้งผนังส่วนบนเพิ่ม และติดตั้งโคมบังรังสีดวงอาทิตย์	50
รูปภาพที่ 3.19 แสดงทำการทดลองที่ 2	50
รูปภาพที่ 3.20 แสดงทำการทดลองที่ 3 เปรียบเทียบวัสดุนำความร้อนที่ผนังด้านบนทิศเหนือและใต้ ระหว่างวัสดุทึบแสง และโปร่งแสง	52
รูปภาพที่ 3.21 แสดงขณะเปลี่ยนผนังส่วนบนทิศเหนือและใต้ เป็นกระจกใส 6 มม.	53
รูปภาพที่ 3.19 แสดงหน่วยทดลองทั้ง 2 ขณะติดตั้งกระจกใสที่ส่วนบน	53
รูปภาพที่ 4.1 แสดงการแบ่งลักษณะของชั้นอากาศร้อนภายในหน่วยทดลอง A ที่ไม่ได้หุ้มฉนวนในการทดลองที่ 1 ชั้นตอนที่ 1	55
รูปภาพที่ 4.2 แสดงการแบ่งลักษณะของชั้นอากาศร้อนภายในหน่วยทดลอง B ที่หุ้มฉนวน ในการทดลองที่ 1 ชั้นตอนที่ 1	55
รูปภาพที่ 4.3 แสดงการแบ่งลักษณะของชั้นอากาศร้อนภายในหน่วยทดลอง A ที่ไม่ได้หุ้มฉนวนในการทดลองที่ 1 ชั้นตอนที่ 2	65
รูปภาพที่ 4.4 แสดงการแบ่งลักษณะของชั้นอากาศร้อนภายในหน่วยทดลอง B ที่หุ้มฉนวน ในการทดลองที่ 1 ชั้นตอนที่ 2	65
รูปภาพที่ 4.5 แสดงการแบ่งลักษณะของชั้นอากาศร้อนภายในหน่วยทดลอง A ที่ไม่ได้หุ้มฉนวนในการทดลองที่ 1 ชั้นตอนที่ 3	75
รูปภาพที่ 4.6 แสดงการแบ่งลักษณะของชั้นอากาศร้อนภายในหน่วยทดลอง B ที่หุ้มฉนวน ในการทดลองที่ 1 ชั้นตอนที่ 3	75
รูปภาพที่ 4.7 แสดงการแบ่งลักษณะของชั้นอากาศร้อนภายในหน่วยทดลอง B ที่เพิ่มความสูงของผนังส่วนบน ในการทดลองที่ 2 ชั้นตอนที่ 1	84
รูปภาพที่ 4.8 แสดงการแบ่งลักษณะของชั้นอากาศร้อนภายในหน่วยทดลอง B ที่เพิ่มความสูงของผนังส่วนบน ในการทดลองที่ 2 ชั้นตอนที่ 3	101
รูปภาพที่ 5.1 แสดงพฤติกรรมของอากาศภายในที่แบ่งเป็น 3 ส่วน	141
รูปภาพที่ 5.2 แสดงมุมที่เป็ตรับกับพื้นผิววัสดุนำความร้อนที่มีอุณหภูมิสูง	142