การวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนผ่านระบบหลังคาอาคาร

นาย อุทัย ประสพชิงชนะ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2541

ISBN 974-331-047-9

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I 16814633

ANALYSIS OF HEAT TRANSFER THROUGH A BUILDING ROOF SYSTEM

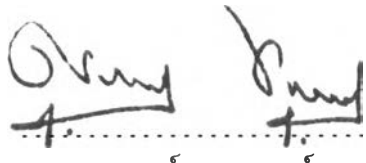
Mr. Uthai Prasopchingchana

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Mechanical Engineering
Department of Mechanical Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 1998

ISBN 974-331-047-9

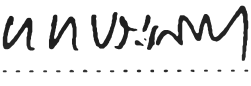
หัวข้อวิทยานิพนธ์ การวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนผ่านระบบหลังคาอาคาร
โดย นาย อุทัย ประสพชิงชนะ
ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. พงษ์ธร จรัญญากรณ์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

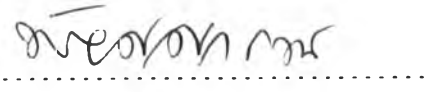


.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ ศุภวัฒน์ ชุติวงศ์)

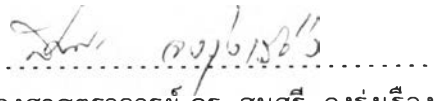
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



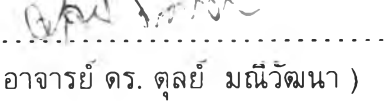
.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. มานิจ ทองประเสริฐ)



.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร. พงษ์ธร จรัญญากรณ์)



.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. สมศรี จงรุ่งเรือง)



.....กรรมการ
(อาจารย์ ดร. ดุลย์ มณีวัฒนา)

อุทัย ประสพชิงชนะ : การวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนผ่านระบบหลังคาอาคาร
(Analysis of heat transfer through a building roof system)
อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร. พงษ์ธร จรัญญากรณ์ , 139 หน้า . ISBN 974-331-047-9.

วิทยานิพนธ์นี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อ ศึกษาปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านระบบหลังคาอาคารซึ่งสามารถใช้เป็นแนวทางในการลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในอาคาร ในการศึกษาได้กำหนดแบบจำลองสำหรับหลังคาหน้าจั่วและหลังคาเรียบ แล้วคำนวณหาค่าปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านระบบหลังคาอาคารด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่เขียนขึ้น เพื่อทำการศึกษาความแตกต่างของปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านระบบหลังคาเข้าสู่อาคารอันเนื่องจากมาตรการลดความร้อน ซึ่งได้แก่ การฉาบด้วยสารสะท้อนรังสีความร้อนที่ผิวด้านนอกของหลังคา การติดตั้งฝ้าเพดานพร้อมทั้งระบายอากาศเหนือฝ้า การติดตั้งฝ้าเพดานแล้วปูด้วยฉนวนกันความร้อนเหนือฝ้า และการติดตั้งฝ้าเพดานแล้วติดฉนวนกันความร้อนใต้พื้นผิวด้านในของหลังคา

สมการทางคณิตศาสตร์ของแบบจำลองถูกแปลงให้อยู่ในรูปที่เหมาะสม สำหรับการคำนวณด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยวิธีผลต่างสืบเนื่อง(finite difference method) แล้วใช้หลักการของนิวตัน-ราฟสันในการแก้ปัญหาระบบสมการไม่เชิงเส้นเพื่อหาอุณหภูมิที่จุดต่างๆของหลังคาและคำนวณหาค่าปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านระบบหลังคา

จากผลการศึกษาพบว่ามาตรการลดความร้อนที่ได้ผลดีที่สุดคือ การติดตั้งฝ้าเพดานแล้วปูด้วยฉนวนกันความร้อนเหนือฝ้า รองลงมาคือการติดตั้งฝ้าเพดานแล้วระบายอากาศเหนือฝ้า และการฉาบสารสะท้อนรังสีความร้อนที่ผิวด้านนอกของหลังคา ตามลำดับ

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล	**ลายมือชื่อนิสิต** .....
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล	**ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา** .....
ปีการศึกษา 2541	**ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม** .....

#C816306 : MAJOR MECHANICAL ENGINEERING
KEY WORD: HEAT TRANSFER / FINITE DIFFERENCE / ROOF SYSTEM
UTHAI PRASOPCHINGCHANA : ANALYSIS OF HEAT TRANSFER THROUGH A BUILDING ROOF SYSTEM. THESIS ADVISOR : ASSO. FROF. PONGTORN CHARUNYAKORN , Ph.D. 139 pp. ISBN 974-331-047-9.

This thesis aims to study the effects of various factors on heat transfer reduction through building roof system. Two models were formulated for triangular roofs and flat roofs. These models were employed to simulate the heat transfer through roof system by computer programs, written for this study, in order to evaluate the impact of various heat reduction measures. The measures considered include coating of reflecting material on the outside surface of the roof, installation of ceiling and ventilation, installation of ceiling with insulation on the top of the ceiling and installation of ceiling with insulation under the roof.

Governing equations for the models were diseretized by finite difference method. Newton-Raphson method was employed to solve nonlinear equation system for temperature values and heat transfer through roof system.

From the results of the study, it was found that installation of ceiling with insulation on the top of the ceiling is the most effective measure in heat transfer reduction. The next effective measures are installation of ceiling and ventilation and coating of reflecting material on the outside of the roof respectively.

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล	ลายมือชื่อนิสิต
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2541	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงลงได้ ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ รองศาสตราจารย์ ดร. พงษ์ธร จรัญญากรณ์ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงที่ท่านได้ให้คำแนะนำและข้อคิดที่มีคุณค่ายิ่งต่อผู้วิจัยด้วยดีมาโดยตลอด

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. มานิจ ทองประเสริฐ ประธานกรรมการ รองศาสตราจารย์ ดร. สมศรี จงรุ่งเรือง และ อาจารย์ ดร. ดุลย์ มณีวัฒนา กรรมการ ที่ได้สละเวลาร่วมพิจารณาและให้คำแนะนำต่อผู้วิจัยในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา ที่ได้ให้กำลังใจตลอดมา ประโยชน์และคุณค่าอันใดที่ได้รับจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบเป็นกตัญญูตาบูชาแด่ บิดา-มารดา ครูอาจารย์ ตลอดจนผู้มีพระคุณทุกท่าน

อุทัย ประสพชิงชนะ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... **ง**
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... **จ**
กิตติกรรมประกาศ ..... **ฉ**
สารบัญ ..... **ช**
สารบัญภาพ ..... **ฌ**
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ ..... **ฐ**
บทที่ 1 บทนำ **1**
1.1 ความสำคัญและที่มาของวิทยานิพนธ์ 1
1.2 ปริทัศน์วรรณกรรม 1
1.3 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์ 2
1.4 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์ 3
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิทยานิพนธ์ 3
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากวิทยานิพนธ์ 3
บทที่ 2 ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน **4**
2.1 การนำความร้อน 4
2.2 การพาความร้อน 6
2.3 การแผ่รังสีความร้อน 7
บทที่ 3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ **12**
บทที่ 4 รายละเอียดโปรแกรมคอมพิวเตอร์..... **24**
4.1 รายละเอียดของโปรแกรม PRO1T และ PRO1F 24
4.2 รายละเอียดของโปรแกรม PRO1TN และ PRO1FN 27
บทที่ 5 การอภิปรายผลการศึกษา สรุปผลและข้อเสนอแนะ **31**
5.1 การนำเสนอผลการศึกษา..... 31
5.2 การอภิปรายผลการศึกษา 44
5.3 สรุปผลการศึกษา 46
5.4 ข้อเสนอแนะ 46
รายการอ้างอิง **47**
ภาคผนวก **49**
ภาคผนวก ก. โปรแกรม PRO1T 50
ภาคผนวก ข. โปรแกรม PRO1F 68
ภาคผนวก ค. โปรแกรม PRO1TN 86

หน้า

ภาคผนวก ง. โปรแกรม PRO1FN 96
ภาคผนวก จ. การหาค่าวิวแฟคเตอร์..... 106
ภาคผนวก ฉ. การอินทิเกรตแบบเกาส์ 110
ภาคผนวก ช. การคำนวณรังสีความร้อนจากแสงแดด 111
ภาคผนวก ซ. รายละเอียดแบบจำลองหลังคาที่ใช้เป็นตัวอย่างในการศึกษา
และมาตรการลดปริมาณความร้อน 115
ภาคผนวก ฌ. ผลการวิเคราะห์ที่อุณหภูมิภายในอาคารเป็น 23°C
และ 27°C 118
ประวัติผู้วิจัย 139

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 แสดงการนำความร้อนในทิศทางเดียวที่สภาวะคงที่ ผ่านวัสดุนำความร้อน 5
รูปที่ 2.2 แสดงวงจรการนำความร้อนผ่านวัสดุหลายชนิด 6
รูปที่ 2.3 แสดงกลไกการดูดซับความร้อน การสะท้อนความร้อน และการส่งผ่านความร้อนของรังสีความร้อนที่ตกกระทบวัตถุ 7
รูปที่ 2.4 รายละเอียดของวิวแฟคเตอร์ 9
รูปที่ 2.5 การถ่ายเทความร้อนด้วยการแผ่รังสีความร้อน ระหว่างผิวภายในบริเวณปิดล้อม 9
รูปที่ 3.1 แสดงรูปแบบของหลังคาหน้าจั่วและลำดับด้าน 12
รูปที่ 3.2 แสดงรูปแบบของหลังคาเรียบและลำดับด้าน..... 12
รูปที่ 3.3 แสดงกลไกการถ่ายเทความร้อนที่ผิว และภายในเนื้อวัสดุหลังคาแต่ละด้าน 13
รูปที่ 3.4 แสดงกลไกการถ่ายเทความร้อนที่ผิวด้านนอกของหลังคา 14
รูปที่ 3.5 แสดงกลไกการถ่ายเทความร้อนภายในเนื้อวัสดุของหลังคา.....15
รูปที่ 3.6 แสดงกลไกการนำความร้อนภายในเนื้อวัสดุของหลังคา ระหว่างวัสดุ 2 ชนิด โดยจุดที่พิจารณาอยู่ในเนื้อวัสดุที่ 1 16
รูปที่ 3.7 แสดงกลไกการนำความร้อนภายในเนื้อวัสดุของหลังคา ระหว่างวัสดุ 2 ชนิด โดยจุดที่พิจารณาอยู่ในเนื้อวัสดุที่ 2 17
รูปที่ 3.8 แสดงกลไกการนำความร้อนภายในเนื้อวัสดุของหลังคา โดยจุดที่พิจารณาอยู่ในเนื้อวัสดุซึ่งอยู่ถัดจากผิวด้านในของหลังคา 18
รูปที่ 3.9 แสดงกลไกการถ่ายเทความร้อนที่ผิวด้านในของหลังคา 18
รูปที่ 3.10 แสดงกลไกการถ่ายเทความร้อนของอากาศภายในช่องว่าง ระหว่างหลังคากับฝ้าเพดาน 20
รูปที่ 5.1 แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนสัมพัทธ์ของหลังคาหน้าจั่ว ที่ค่าสภาพการสะท้อนความร้อนต่างๆ ของผิวหลังคาด้านนอก ที่อุณหภูมิภายในอาคาร 25° C 32
รูปที่ 5.2 แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนสัมพัทธ์ของหลังคาเรียบ ที่ค่าสภาพการสะท้อนความร้อนต่างๆ ของผิวหลังคาด้านนอก ที่อุณหภูมิภายในอาคาร 25° C 33

หน้า

รูปที่ 5.3 แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนสัมพัทธ์ของหลังคาหน้าจั่ว
ที่ค่าการระบายอากาศต่างๆ ของช่องว่างภายในฝ้า
ที่อุณหภูมิภายในอาคาร 25° C 34
รูปที่ 5.4 แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนสัมพัทธ์ของหลังคาเรียบ
ที่ค่าการระบายอากาศต่างๆ ของช่องว่างภายในฝ้า
ที่อุณหภูมิภายในอาคาร 25° C 35
รูปที่ 5.5 แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนสัมพัทธ์ของหลังคาหน้าจั่ว
ที่ค่าความหนาฉนวนต่างๆ ที่อุณหภูมิภายในอาคาร 25° C
ฉนวนติดตั้งเหนือฝ้า 36
รูปที่ 5.6 แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนสัมพัทธ์ของหลังคาเรียบ
ที่ค่าความหนาฉนวนต่างๆ ที่อุณหภูมิภายในอาคาร 25° C
ฉนวนติดตั้งเหนือฝ้า 37
รูปที่ 5.7 แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนสัมพัทธ์ของหลังคาหน้าจั่ว
ที่ค่าความหนาฉนวนต่างๆ ที่อุณหภูมิภายในอาคาร 25° C
ฉนวนติดใต้พื้นผิวด้านในของหลังคา..... 38
รูปที่ 5.8 แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนสัมพัทธ์ของหลังคาเรียบ
ที่ค่าความหนาฉนวนต่างๆ ที่อุณหภูมิภายในอาคาร 25° C
ฉนวนติดใต้พื้นผิวด้านในของหลังคา..... 39
รูปที่ 5.9 แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนสัมพัทธ์ที่ค่าสภาพการสะท้อน
ความร้อนต่างๆ ของผิวด้านนอกของหลังคาหน้าจั่ว
ที่อุณหภูมิภายในอาคาร 25° C ฉนวนติดตั้งเหนือฝ้าเพดาน 40
รูปที่ 5.10 แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนสัมพัทธ์ที่ค่าสภาพการสะท้อน
ความร้อนต่างๆ ของผิวด้านนอกของหลังคาเรียบ
ที่อุณหภูมิภายในอาคาร 25° C ฉนวนติดตั้งเหนือฝ้าเพดาน 41
รูปที่ 5.11 แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนสัมพัทธ์ที่ค่าการระบาย
อากาศต่างๆ ของผิวด้านนอกของหลังคาหน้าจั่ว
ที่อุณหภูมิภายในอาคาร 25° C ฉนวนติดตั้งเหนือฝ้าเพดาน 42
รูปที่ 5.12 แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนสัมพัทธ์ที่ค่าการระบาย
อากาศต่างๆ ของผิวด้านนอกของหลังคาเรียบ
ที่อุณหภูมิภายในอาคาร 25° C ฉนวนติดตั้งเหนือฝ้าเพดาน 43

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

A	พื้นที่ (m^2)
C	ความร้อนจำเพาะ (J/kg.K)
E	อัตราการแผ่รังสีความร้อนจากผิววัตถุต่อหน่วยพื้นที่ (W/m^2)
F	วิวแฟคเตอร์
G_s	ความเข้มของรังสีความร้อนจากแสงแดด (W/m^2)
h	สัมประสิทธิ์การพาความร้อน ($W/m^2.K$)
J	อัตราการแผ่รังสีความร้อนรวมจากผิววัตถุต่อหน่วยพื้นที่ (W/m^2)
k	สภาพการนำความร้อน (W/m.K)
L	ความหนาของวัตถุ (m)
q_D	อัตราการนำความร้อน (W)
q_R	อัตราการแผ่รังสีความร้อน (W)
q_V	อัตราการพาความร้อน (W)
T	อุณหภูมิ (K)
t	เวลา (s)
ε	สภาพการแผ่รังสีความร้อน
σ	ค่าคงที่ Stefan-Boltzmann
ρ	ความหนาแน่น (kg/m^3)
α	สภาพการดูดซับรังสีความร้อน
φ	สภาพการสะท้อนรังสีความร้อน
τ	สภาพการส่งผ่านรังสีความร้อน