

การศึกษาการถ่ายเทพลังงานความร้อนผ่านผนังทึบโดยการตรวจวัด

นายเชมชาติ มังกรศักดิ์สิทธิ์



สถาบันวิทยบริการ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2541

ISBN 974-331-297-8

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**AN EXPERIMENTAL STUDY ON HEAT TRANSFER  
THROUGH OPAQUE WALL**



**Mr. Khemmachat Mangkornsaksit**

**สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย**

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

**Department of Mechanical Engineering**

**Graduate School**

**Chulalongkorn University**

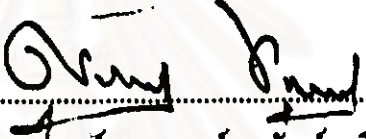
**Academic Year 1998**

**ISBN 974-331-297-8**

หัวข้อวิทยานิพนธ์      การศึกษาการถ่ายเทพลังงานความร้อนผ่านผนังทึบโดยการตรวจวัด  
โดย                              นายเขมชาติ มังกรศักดิ์สิทธิ์  
ภาควิชา                        วิศวกรรมเครื่องกล  
อาจารย์ที่ปรึกษา            รองศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ ไชยะภินันท์


---

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

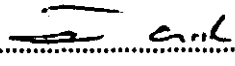
  
..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย  
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ ศุภวัฒน์ ชูติวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
..... ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร. ชัชชัย ตุมิตร)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(รองศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ ไชยะภินันท์)

  
..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร. กุลธร ศิลปบรรเลง)

  
..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร. วิทยา บงเจริญ)

เขมชาติ มังกรศักดิ์สิทธิ์ : การศึกษาการถ่ายเทพลังงานความร้อนผ่านผนังทึบโดยการตรวจวัด (AN EXPERIMENTAL STUDY ON HEAT TRANSFER THROUGH OPAQUE WALL) อ.ที่ปรึกษา: รศ. ดร. สมศักดิ์ ไชยะภินันท์; 168 หน้า. ISBN 974-331-297-8.

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทึบในหนึ่งมิติที่ประกอบด้วยวัสดุหลายชั้น โดยมีเงื่อนไขขอบเขตที่ผิวของวัสดุทั้งสองด้านแปรเปลี่ยนตามเวลา และทำการเปรียบเทียบค่าความร้อนที่ได้จากการตรวจวัดจาก Heat flux meter และค่าผลเฉลยจากโปรแกรม DOE 2.1E และจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้นเพื่อหาค่าการถ่ายเทความร้อนตามวิธี Transfer function โดยปรับเปลี่ยนค่าเงื่อนไขขอบเขตที่ผิวทั้งสองด้านให้แตกต่างกันจำนวน 3 แบบ เพื่อพิจารณาผลกระทบของประเภทของเงื่อนไขขอบเขตที่มีต่อการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทึบ ซึ่งได้แก่ แบบที่หนึ่งใช้อุณหภูมิผิวผนังชั้นนอกสุดและอุณหภูมิผิวผนังชั้นในสุด แบบที่สองใช้อุณหภูมิผิวผนังชั้นนอกสุดและอุณหภูมิอากาศภายในห้อง และแบบที่สามใช้ค่า Solar-air temperature และอุณหภูมิอากาศภายในห้อง และรวมถึงการคำนวณค่า Cooling load temperature difference ของผนังทึบที่ทำการตรวจวัดด้วย

จากผลการทดสอบเปรียบเทียบระหว่างค่าเงื่อนไขขอบเขตแต่ละแบบทำให้พบว่า การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทึบด้วยวิธี Transfer function จะเกิดความผิดพลาดขึ้นเมื่อผลต่างของอุณหภูมิที่เป็นค่าเงื่อนไขขอบเขตทั้งสองด้านมีค่าต่ำมากหรือมีค่าเป็นลบ ในบางช่วงเวลาสำหรับกรณีที่ใช้ค่าเงื่อนไขขอบเขตแบบที่หนึ่ง แต่ในกรณีที่ใช้ค่าเงื่อนไขขอบเขตแบบที่สองและแบบที่สาม ซึ่งมีการเพิ่มขึ้นของฟิล์มอากาศที่ผิวผนังชั้นนอกและฟิล์มอากาศที่ผิวผนังชั้นในเข้าไป ซึ่งทำให้ค่าผลต่างของอุณหภูมิที่เป็นค่าเงื่อนไขขอบเขตทั้งสองด้านจะมีค่าเป็นบวกทุกช่วงเวลา ผลเฉลยที่ได้จะมีค่าใกล้เคียงและมีแนวโน้มเดียวกับผลเฉลยของโปรแกรม DOE 2.1E มากขึ้น สำหรับการตรวจวัดด้วย Heat flux meter พบว่าผลจากการตรวจวัดไม่น่าเชื่อถือ เนื่องจากมีความคลาดเคลื่อนจากการตรวจวัดสูง

การศึกษาค่าภาระการทำความเย็นจะกระทำโดยการตรวจวัดค่า Total heat extraction rate ของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนที่ติดตั้งที่ห้องทดลอง พบว่า ค่า Total heat extraction rate จากการตรวจวัดจะจับกลุ่มอยู่ 2 กลุ่ม คือ กลุ่มของข้อมูลในกรณีที่คอมเพรสเซอร์ทำงานจะให้ค่า Total heat extraction rate ประมาณ 2.69 ตัน และกลุ่มของข้อมูลในกรณีที่คอมเพรสเซอร์หยุดทำงานจะให้ค่า Total heat extraction rate ประมาณ 0.45 ตัน ซึ่งมีค่าแตกต่างกับผลลัพธ์ที่คำนวณได้จากโปรแกรม DOE 2.1E ที่ค่า Total heat extraction rate จะมีค่าแปรผันกับค่าภาระการทำความเย็นของห้องทดลอง ในขณะที่ผลการตรวจวัดจะขึ้นกับค่าการทำงานของเครื่องปรับอากาศเพียง 2 ค่า

ส่วนผลการเปรียบเทียบค่า Cooling load temperature difference (CLTD) ของการนำความร้อนผ่านผนังทึบด้านทิศตะวันตกที่ละติจูดและที่เดือนเดียวกันระหว่าง ค่า CLTD ที่คำนวณมาจากการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทึบเมื่อใช้ค่าเงื่อนไขขอบเขตแบบที่ 2 (ใช้ค่าสัมประสิทธิ์ Room transfer function (RTF) จากโปรแกรม DOE 2.1E) กับผลเฉลยจากโปรแกรม CLDTAB (ASHRAE ใช้ในการคำนวณค่า CLTD มาตรฐาน) แสดงให้เห็นว่า กราฟจากวิธีทั้งสองมีแนวโน้มเดียวกัน แต่มีค่าแอมพลิจูดที่แตกต่างกัน เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์ RTF และ ข้อมูลสภาพบรรยากาศของทั้งสองวิธีมีความแตกต่างกัน

ภาควิชา .....วิศวกรรมเครื่องกล.....  
สาขาวิชา .....วิศวกรรมเครื่องกล.....  
ปีการศึกษา .....2541.....

ลายมือชื่อนิสิต .....เขมชาติ มังกรศักดิ์สิทธิ์.....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

## C816103 MAJOR MECHANICAL ENGINEERING  
KEY WORD: CONDUCTION TRANSFER FUNCTION/ HEAT EXTRACTION RATE/  
COOLING LOAD TEMPERATURE DIFFERENCE/ HEAT TRANSFER  
MEASUREMENT

KHEMMACHAT MANGKORNSAKSIT : AN EXPERIMENTAL STUDY ON HEAT  
TRANSFER THROUGH OPAQUE WALL. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF.  
SOMSAK CHAIYAPINUNT, Ph.D. 168 pp. ISBN 974-331-297-8.

The objective of this thesis is to study one dimensional conduction heat transfer through multi-layers opaque wall with time varying boundary conditions at both surface walls by comparing the heat transfer value from the heat flux meter audit data, the simulated results from computer program DOE 2.1E, and the simulated results from computer program developed for estimating heat transfer by using transfer function method. Three types of boundary conditions which are (1) outside surface temperature and inside surface temperature, (2) outside surface temperature and room temperature, and (3) solar-air temperature and room temperature, have been used to study their effect on the calculation of heat transfer. Furthermore, the cooling load temperature differences of the interested wall have been generated too.

The comparison of the simulated results using different boundary conditions indicated that there is an error in heat transfer calculation using transfer function method when the temperature difference of boundary condition values at both sides of the surface, using the first type of boundary conditions, is low or becomes negative. On the contrary, when the temperature difference of the boundary condition values, in case of adding the outside and/or inside film resistance to both extremities of wall surface using the second and the third type of boundary condition, is positive for all time, the simulated results are close to values obtained from DOE 2.1E. The audit results from heat flux meter prove to be not so reliable due to error on the instrumentation.

The study of the cooling load is done by considering the audit results from the total heat extraction rate of split type air conditioner audited at the assigned room. The values have been obviously separated into 2 groups. The average upper level of total heat extraction rate is 2.69 tons when compressor is operating and the average lower level is 0.45 tons when compressor is not operating. These audit results differ from the simulated results from DOE 2.1E. The reason may be that the DOE 2.1E's simulated heat extraction rate varies with the room cooling load while the audit data resulted from 2 constant operating points of the air conditioning unit.

The comparison of cooling load temperature difference (CLTD) on conduction heat transfer through west opaque wall at the same latitude and month between the calculated CLTD obtained from heat gain when using the second type of boundary condition (the room transfer function coefficient, RTF, obtained from DOE 2.1E) and the simulated values from computer program CLDTAB (the standard CLTD from ASHRAE) show that they are on the same trend but with different magnitudes. The reason is that the room transfer function (RTF) coefficients and the meteorological data used in both methods are difference.

ภาควิชา.....วิศวกรรมเครื่องกล.....

สาขาวิชา.....วิศวกรรมเครื่องกล.....

ปีการศึกษา..... 2541.....

ลายมือชื่อนิสิต..... เพชรดี อังกรดี.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... สมศักดิ์ ชัยยัพิน.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

## กิตติกรรมประกาศ



วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ รศ. ดร. สมศักดิ์ ไชยะภินันท์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งกรุณาให้คำแนะนำ จัดเตรียมอุปกรณ์ และถ่ายทอดความรู้ตลอดจนควบคุมการศึกษาค้นคว้าจนประสบความสำเร็จด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณ รศ. ดร. ชัชชัย สุมิตร รศ. ดร. กุศลธร ศิลปบรรเลง และ รศ. ดร. วิชา ยงเจริญ ซึ่งได้กรุณาถ่ายทอดความรู้ ให้คำแนะนำ และข้อคิดเห็นต่างๆ ในการวิจัยด้วยดี ตลอดจน ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งอย่างยิ่งต่อความกรุณาของท่านอาจารย์ทั้งสามท่าน

ขอขอบพระคุณเพื่อนๆ นิสิตปริญญาโท และ ปริญญาเอก ของภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล จุฬาฯ ที่คอยให้กำลังใจ ให้คำแนะนำ และให้ความช่วยเหลือมาโดยตลอด นอกจากนี้ ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ฝ่ายบริการข้อมูล กรมอุดมศึกษา และ เพื่อนนิสิตปริญญาโท ของภาควิชาพลังงาน จาก Asian Institute of Technology ที่ได้ช่วยให้คำแนะนำในการตรวจวัด และ ช่วยจัดหาข้อมูลสภาพบรรยากาศของกรุงเทพมหานคร

ท้ายที่สุดนี้ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา ที่คอยสนับสนุนการศึกษาของผู้วิจัย มีความเข้าใจ และคอยให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

ประโยชน์อันใดจากการวิจัยนี้ ขอมอบเป็นกตัญญูตราบาแต่บิดามารดา ครูอาจารย์ ตลอดจนผู้มีพระคุณทุกท่าน

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	จ
กิตติกรรมประกาศ .....	ฉ
สารบัญ .....	ช
สารบัญตาราง .....	ญ
สารบัญภาพ .....	ณ
คำอธิบายสัญลักษณ์ .....	ท
บทที่	
1 บทนำ .....	1
1.1 ความสำคัญและที่มา .....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย .....	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย .....	3
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย .....	4
2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	5
2.1 การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทึบ .....	5
2.2 ความคลาดเคลื่อนของ Heat flux meter .....	8
2.3 การคำนวณค่า Cooling load temperature difference .....	10
3 ทฤษฎี .....	28
3.1 การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทึบ .....	28
3.2 วิธีการคำนวณค่า Solar-air temperature .....	43
3.3 ค่าภาระการทำความเย็น .....	48

	หน้า
3.1 วิธีการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ Cooling Load Temperature Difference (CLTD)	50
4 การทดลอง .....	54
4.1 ลักษณะของการทดลอง .....	54
4.2 การตรวจวัดข้อมูลสภาพบรรยากาศและข้อมูลอื่นๆ .....	57
4.3 รายละเอียดของเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัด .....	59
5 การโปรแกรมคอมพิวเตอร์ .....	64
5.1 ลักษณะของปัญหา .....	64
5.2 ลักษณะของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้น .....	65
5.3 ขั้นตอนการดำเนินงานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ .....	66
5.4 ผลลัพธ์ของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ .....	71
5.5 ผลการตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ .....	71
6 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ .....	73
6.1 ผลการตรวจวัด .....	73
6.2 การเปรียบเทียบค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทึบ .....	79
6.3 การคำนวณค่าภาระการทำความเย็นของห้องทดลอง .....	90
6.4 การเปรียบเทียบค่า Heat extraction rate ของเครื่องปรับอากาศ .....	93
6.5 การคำนวณค่า Cooling load temperature difference ของผนังห้องทดลองด้าน ทิศตะวันตก .....	102
7 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ .....	111
7.1 สรุปผลการวิจัย .....	111
7.2 ข้อเสนอแนะ .....	113
รายการอ้างอิง .....	114



	หน้า
บรรณานุกรม .....	119
<b>ภาคผนวก</b>	
ภาคผนวก ก. ข้อมูลสภาพบรรยากาศมาตรฐาน .....	121
ภาคผนวก ข. ข้อมูลขาเข้าของโปรแกรม DOE 2.1E .....	128
ภาคผนวก ค. ตารางบันทึกผลการทดลอง .....	132
ภาคผนวก ง. รายละเอียดของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้น .....	145
ภาคผนวก จ. การคำนวณค่าผลต่างของการแลกเปลี่ยนรังสีความร้อนคลื่นยาวระหว่าง ผนังที่ตรวจวัดกับสิ่งแวดล้อม .....	159
ภาคผนวก ฉ. ตารางแสดงค่าสัมประสิทธิ์ Conduction transfer function อันดับที่ $k$ ของผนังที่ใช้ทั่วไปในประเทศไทย .....	163
ภาคผนวก ช. ตารางแสดงผลการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังที่บด้านทิศ ตะวันตก .....	166
ภาคผนวก ซ. การคำนวณร้อยละค่ากลไกเคลื่อนเฉลี่ยสมบูรณ .....	167
ประวัติผู้วิจัย .....	168

## สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 2.1	ค่าสัมประสิทธิ์ Precalculated weighting factor ของโปรแกรม DOE 2.1E .	14
ตารางที่ 2.2	แสดงตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ RTF ของโซน .....	25
ตารางที่ 2.3	ชนิดของ Exterior wall construction .....	25
ตารางที่ 2.4	ชนิดของ Roof construction .....	26
ตารางที่ 3.1	ค่าสัมประสิทธิ์พหุนามจากสมการที่ 3.41 .....	46
ตารางที่ 3.2	ค่า Solar-air temperature ของวันที่ 21 กรกฎาคมสำหรับละติจูด ที่ 40 องศาเหนือ .....	53
ตารางที่ 4.1	คุณสมบัติทางความร้อนของวัสดุที่ใช้ประกอบเป็นผนัง ด้านทิศตะวันตก .....	55
ตารางที่ 4.2	ข้อมูลจำเพาะของเครื่องปรับอากาศ (ข้อมูลจาก Name plate) .....	56
ตารางที่ 4.3	ข้อมูลจำเพาะของชุดเครื่องอัดและเครื่องควบแน่น (ข้อมูลจาก Name plate)	56
ตารางที่ 6.1	ผลการตรวจวัดอุณหภูมิผิวผนังห้องทดลองรายชั่วโมง .....	76
ตารางที่ 6.2	ผลการตรวจวัดคุณสมบัติของอากาศภายในห้องทดลอง ภายนอกห้อง ทดลอง และ ระบบส่งจ่ายลมเย็น .....	78
ตารางที่ 6.3	ค่าอุณหภูมิผิวด้านในและด้านนอกของผนังทิศตะวันตกที่ใช้ในการคำนวณ ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทึบ .....	79
ตารางที่ 6.4	อนุกรมของค่าสัมประสิทธิ์ Conduction transfer function ของผนังที่ ประกอบด้วยวัสดุจำนวน 3 ชั้น .....	88
ตารางที่ 6.5	ร้อยละค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยสัมบูรณ์ของค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทึบ เมื่อใช้ค่าเงื่อนไขขอบเขตที่ผิวด้านในแบบต่างๆ .....	89
ตารางที่ 6.6	ค่าสัมประสิทธิ์ Room transfer function ของห้องทดลอง .....	91

ตารางที่ 6.7	ขั้นตอนการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ CLTD จากค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทึบที่ประกอบด้วยวัสดุประกอบผนังจำนวน 4 ชั้น .....	103
ตารางที่ 6.8	ขั้นตอนการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ CLTD จากค่าการระการทำความเย็นที่เป็นผลเฉลยจาก Custom weighting-factor method โปรแกรม DOE 2.1E ..	104
ตารางที่ 6.9	ขั้นตอนการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ CLTD จากค่าการระการทำความเย็นที่เป็นผลเฉลยจาก Precalculated weighting-factor method ของโปรแกรม DOE 2.1E .....	105
ตารางที่ 6.10	คุณสมบัติของผนังชนิดที่ 4 จากตารางที่ 33B ของ ASHRAE [1] .....	106
ตารางที่ 6.11	ค่าสัมประสิทธิ์ CLTD ของผนังชนิดที่ 4 ของเดือนมกราคมที่ละติจูด 14 °N ที่ปรับแก้แล้ว .....	106
ตารางที่ 6.12	ค่าสัมประสิทธิ์ CLTD ของผนังห้องทดลองด้านทิศตะวันตก .....	107
ตารางที่ 6.13	ร้อยละค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยสัมบูรณ์ของค่าสัมประสิทธิ์ CLTD ของผนังห้องทดลองด้านทิศตะวันตก เมื่อใช้ค่าสัมประสิทธิ์ CLTD ของวิธีที่ 2 (Custom weighting-factor) เป็นเกณฑ์ในการเปรียบเทียบ .....	107
ตารางที่ ก.1	แสดงรายละเอียดของเพิ่มมาตรฐานแบบ TRY .....	123
ตารางที่ ก.2	แสดงรายละเอียดของเพิ่มมาตรฐานแบบ TMY .....	126
ตารางที่ ก.1	ผลการตรวจวัดด้วยเครื่อง Data logger ของวันที่ 2 และ 3 มกราคม 2542 ...	134
ตารางที่ ก.2	ผลการตรวจวัดด้วยมือของวันที่ 2 และ 3 มกราคม 2542 .....	140
ตารางที่ ก.3	ข้อมูลการตรวจวัดอัตราการไหลเชิงปริมาตรของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน .....	144
ตารางที่ จ.1	ลักษณะทางกายภาพของสิ่งแวดล้อมภายนอกของผนังที่ทำการตรวจวัด .....	160
ตารางที่ จ.2	ค่า view factor โดยประมาณของผนังด้านต่างๆ .....	160

ตารางที่ จ.3	ค่าการแลกเปลี่ยนรังสีความร้อนระหว่างผนังที่วิเคราะห์กับสิ่งแวดล้อม .....	161
ตารางที่ ฉ.1	คุณสมบัติทางความร้อนของวัสดุที่ใช้ประกอบผนังที่ใช้ทั่วไปในประเทศไทย .....	163
ตารางที่ ช.2	ค่าสัมประสิทธิ์ Conduction transfer function อันดับที่ $k$ .....	164
ตารางที่ ซ.1	ตารางแสดงผลการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังด้านทิศตะวันตกจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้น .....	166



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 วงจรของการถ่ายเทความร้อนเพื่อแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ ภายใต้ระบบที่พิจารณา .....	6
รูปที่ 2.2 วงจรความร้อนสำหรับการประมาณค่าในช่วงของ Precalculated weighting factor เมื่อสังเกตรูปแบบสมการที่ 2.10 ซึ่งเป็นตัวแทนของวงจรการถ่ายเทความร้อนภายในโซน .....	12
รูปที่ 3.1 การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทึบที่ประกอบด้วยวัสดุหลายชนิด .....	29
รูปที่ 3.2 รูปของ Pulse สามเหลี่ยมของอุณหภูมิ	
(ก) Pulse รูปสามเหลี่ยมของอุณหภูมิที่ผิวของวัสดุ .....	29
(ข) Pulse รูปสามเหลี่ยมเมื่อนำมาซ้อนกัน .....	29
รูปที่ 3.3 รูปของ 1 triangular pulse ที่เกิดจากผลของ ramp 3 ramp .....	35
รูปที่ 3.4 ขั้นตอนการคำนวณหาค่าจำนวนพจน์ $M$ และค่าอันดับ $k$ ที่เหมาะสม .....	43
รูปที่ 3.5 แสดงสมมูลพลังงานที่ผิวด้านนอกของผนังทึบ .....	44
รูปที่ 4.1 ตำแหน่งของห้องทดลอง .....	54
รูปที่ 4.2 ลักษณะของห้องทดลอง .....	55
รูปที่ 4.3 การติดตั้งตู้ควบคุมอุณหภูมิเพื่อตรวจวัดอุณหภูมิผิวผนัง .....	59
รูปที่ 4.4 Pyranometer .....	61
รูปที่ 4.5 Humidity และ temperature meter .....	61
รูปที่ 4.6 Velocity และ temperature meter .....	62
รูปที่ 4.7 Microprocessor thermometer .....	62
รูปที่ 4.8 Noncontact portable thermometer .....	62
รูปที่ 4.9 Heat flux meter .....	62

	หน้า
รูปที่ 4.10 Data logger .....	63
รูปที่ 4.11 Electronic humidity transmitter .....	63
รูปที่ 4.12 Clamp on P.F. Hi Tester .....	63
รูปที่ 5.1 แผนผังการทำงานของโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น .....	66
รูปที่ 5.2 เปรียบเทียบผลการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทึบด้วยโปรแกรม DOE 2.1E (เส้นทึบบาง) กับ โปรแกรมที่พัฒนาขึ้น (เส้นประหนา) .....	72
รูปที่ 6.1 ค่าอุณหภูมิผิวผนัง และอุณหภูมิอากาศจากการตรวจวัดที่ใช้เป็นเงื่อนไขขอบ เขต .....	74
รูปที่ 6.2 ค่ารังสีดวงอาทิตย์ที่ได้จากการตรวจวัด .....	75
รูปที่ 6.3 ข้อมูลขาเข้าของโปรแกรมเมื่อใช้วัสดุประกอบผนังจำนวน 3 ชั้น .....	82
รูปที่ 6.4 ข้อมูลขาเข้าของโปรแกรมเมื่อใช้วัสดุประกอบผนังจำนวน 4 ชั้น .....	82
รูปที่ 6.5 ข้อมูลขาเข้าของโปรแกรมเมื่อใช้วัสดุประกอบผนังจำนวน 5 ชั้น .....	82
รูปที่ 6.6 เปรียบเทียบผลการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนเมื่อใช้วัสดุประกอบผนัง จำนวน 3 ชั้น .....	86
รูปที่ 6.7 เปรียบเทียบผลการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนเมื่อใช้วัสดุประกอบผนัง จำนวน 4 ชั้น .....	87
รูปที่ 6.8 เปรียบเทียบผลการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนเมื่อใช้วัสดุประกอบผนัง จำนวน 5 ชั้น .....	87
รูปที่ 6.9 เปรียบเทียบผลการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนระหว่างโปรแกรม คอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้น, โปรแกรม DOE 2.1E และค่าจาก Heat flux meter .....	88
รูปที่ 6.10 ค่าของแต่ละพจน์ของสมการที่ 3.36 เมื่อใช้วัสดุประกอบผนังจำนวน 3 ชั้น .....	88

รูปที่ 6.11	เปรียบเทียบค่าปริมาณความร้อนของแหล่งกำเนิดความร้อนภายในและภายนอกของห้องทดลองแบบต่างๆ เทียบกับค่าปริมาณความร้อนที่คำนวณได้จากโปรแกรม DOE 2.1E .....	92
รูปที่ 6.12	เปรียบเทียบค่าการระการทำความเย็นของแหล่งกำเนิดความร้อนภายในห้องแบบต่างๆ เทียบกับค่าการระการทำความเย็นที่คำนวณได้จากโปรแกรม DOE 2.1E ...	93
รูปที่ 6.13	ค่าสถานะของลมจ่ายและลมกลับทุกๆ 15 นาทีของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน .....	97
รูปที่ 6.14	ค่าสถานะของลมจ่ายและลมกลับรายชั่วโมงของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน .....	97
รูปที่ 6.15	เปรียบเทียบค่า Total heat extraction rate ทุกๆ 15 นาที ระหว่างผลการตรวจวัดทุกๆ 15 นาที กับวิธีการเฉลี่ยรายชั่วโมงแบบที่ 1 และ 2 .....	98
รูปที่ 6.16	เปรียบเทียบค่า Total heat extraction rate กับ Sensible heat extraction rate จากการตรวจวัดทุกๆ 15 นาที .....	98
รูปที่ 6.17	เปรียบเทียบค่า Total heat extraction rate รายชั่วโมง เมื่อใช้วิธีการเฉลี่ยแบบที่ 1 และ 2 กับค่าที่คำนวณได้จากโปรแกรม DOE 2.1E .....	99
รูปที่ 6.18	เปรียบเทียบค่า Total heat extraction rate ทุกๆ 5 นาที ระหว่างผลการตรวจวัดทุกๆ 5 นาที กับวิธีการเฉลี่ยรายชั่วโมงแบบที่ 1, 2, 3 และ 4 .....	100
รูปที่ 6.19	เปรียบเทียบค่า Total heat extraction rate กับ Sensible heat extraction rate จากผลการตรวจวัดทุกๆ 5 นาที .....	101
รูปที่ 6.20	ค่าสัมประสิทธิ์ CLTD ของผนังห้องทดลองด้านทิศตะวันตก เมื่อวันที่ 2 และ 3 มกราคม 2541 .....	108
รูปที่ ก.1	รูปแบบของเพิ่มสภาพบรรยากาศมาตรฐาน	
	(ก) รูปแบบของเพิ่ม TRY .....	127
	(ข) รูปแบบของเพิ่ม TMY .....	127
รูปที่ ข.1	ลักษณะการจัดแบ่งโซนของห้องทดลองและบริเวณใกล้เคียง .....	129

	หน้า
รูปที่ ก.1 ตำแหน่งการติดตั้งคู่ควมอุณหภูมิที่ผนังด้านนอก .....	133
รูปที่ ก.2 ตำแหน่งการติดตั้งคู่ควมอุณหภูมิและ Heat flux meter ภายในห้องทดลอง .....	133
รูปที่ จ.1 ลักษณะการวางตัวของสิ่งแวดล้อมภายนอกของผนังที่ทำการวิเคราะห์ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทึบ (ผนังที่แรงเงา) .....	159



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย