การศึกษาภาวะสบายเชิงความร้อนเนื่องจากผลของช่องเปิด และ กันสาด สำหรับบ้านในกรุงเทพมหานคร

นายอัครา กิจการเจริญสิน

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2544

ISBN 974-17-084-5

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I2054554X 28 ส.ค. 2547

A THERMAL COMFORT STUDY ON THE EFFECTS OF OPENINGS AND SHADINGS FOR A HOUSE IN BANGKOK

Mr. Akara Kitkrancharearnsin

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 2001

ISBN 974-17-0184-5

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาภาวะสบายเชิงความร้อนเนื่องจากผลของช่องเปิด และกันสาด สำหรับบ้านในกรุงเทพมหานคร
โดย	นายอัครา กิจการเจริญสิน
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร. ตุลย์ มณีวัฒนา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ทวี เวชพฤติ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร. ตุลย์ มณีวัฒนา)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ฤชากร จิรกาลวสาน)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. สมพงษ์ พุทธิวิสุทธิศักดิ์)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. กุณฑินี มณีรัตน์)

อัครา กิจการเจริญสิน : การศึกษาภาวะสบายเชิงความร้อนเนื่องจากผลของช่องเปิดและกันสาดสำหรับบ้านในกรุงเทพมหานคร. (A THERMAL COMFORT STUDY ON THE EFFECTS OF OPENINGS AND SHADINGS FOR A HOUSE IN BANGKOK)
อ. ที่ปรึกษา : อาจารย์ ดร. ตุลย์ มณีวัฒนา, 234 หน้า. ISBN 974-17-0184-5.

อิทธิพลของกันสาดและช่องเปิดที่มีต่อภาวะสบายเชิงความร้อนของบ้านจำลองที่ไม่ติดตั้งเครื่องปรับอากาศในกรุงเทพมหานครได้รับการศึกษาโดยการคำนวณและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยในรอบหนึ่งปีของค่า PMV และ SET* ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษานี้ ระเบียบวิธีสมดุลความร้อนและแบบจำลองการไหลของอากาศอย่างง่ายผ่านเครือข่ายช่องเปิดถูกนำมาใช้เพื่อคำนวณค่าอุณหภูมิผนัง อุณหภูมิอากาศภายในห้อง อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย และความเร็วลมเป็นรายชั่วโมง จากนั้นจึงนำผลลัพธ์ที่ได้มาใช้ในการคำนวณค่าดัชนีความสุขสบายรวมถึงค่าเฉลี่ยรายปีของดัชนีดังกล่าว ผลการคำนวณที่ได้ถูกใช้เป็นตัวบ่งชี้ถึงความสุขสบายเชิงความร้อนของผู้อยู่อาศัยในบ้านจำลอง

ผลการศึกษาพบว่ากันสาดทางทิศตะวันออกและตะวันตกมีผลต่อภาวะสบายเชิงความร้อนใกล้เคียงกัน การติดตั้งกันสาดเพื่อให้เกิดการบังเงาครอบคลุมทั้งผนังในทิศทางใดทิศทางหนึ่งจะลดค่า PMV เฉลี่ยลงจาก 2.3 เหลือเพียง 1.9 และทำให้ SET* เฉลี่ยมีค่าลดลง 1.6 $^{\circ}$C กันสาดทางทิศเหนือและทิศใต้มีผลต่อความสุขสบายเชิงความร้อนน้อยกว่ากันสาดทางทิศตะวันออกและทิศตะวันตก กันสาดทางทิศเหนือลดค่า PMV เฉลี่ยลงจาก 2.0 เหลือเพียง 1.9 และทำให้ SET* เฉลี่ยมีค่าลดลง 0.1 $^{\circ}$C กันสาดทางทิศใต้ลดค่า PMV เฉลี่ยลงจาก 2.0 เหลือเพียง 1.7 โดยที่ SET* เฉลี่ยมีค่าลดลง 0.3 $^{\circ}$C การติดตั้งช่องเปิดสองช่องโดยที่ช่องเปิดแต่ละช่องอยู่บนผนังคนละด้านกันเป็นวิธีการติดตั้งช่องเปิดที่ดีที่สุดและลดค่า PMV เฉลี่ยลงจาก 2.3 เหลือเพียง 1.6 และทำให้ SET* เฉลี่ยมีค่าลดลง 1.0 $^{\circ}$C ประการสุดท้ายการติดตั้งฉนวนใยแก้วความหนา 3 นิ้ว บนฝ้าเพดานสามารถลดค่า PMV เฉลี่ยลงจาก 2.3 เหลือเพียง 1.8 และทำให้ SET* เฉลี่ยมีค่าลดลง 1.6 $^{\circ}$C

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล ลายมือชื่อนิสิต อัครา กิจการเจริญสิน
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2544 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ——

4270657121 : MAJOR MECHANICAL ENGINEERING

KEY WORD: THERMAL / COMFORT / HOUSE / OPENING / SHADING

AKARA KITKRANCHARERNSIN : A THERMAL COMFORT STUDY ON THE EFFECTS OF OPENINGS AND SHADINGS FOR A HOUSE IN BANGKOK. THESIS ADVISOR : TUL MANEEWATTANA, Ph.D., 234 pp.

ISBN 974-17-0184-5.

Effects of openings and shadings on thermal comfort for a non-air conditioning model house in Bangkok were studied by evaluating and comparing a yearly average value of PMV and SET* using a computer program developed for this study. The Heat Balance Method and a simple air flow through opening-network model are used to calculate an hourly inside surface temperature of the wall, mean radiant temperature and air velocity. The results are then used to calculate all the required comfort indices and their yearly average values. These values are then used to predict the thermal comfort level of the occupant inside the model house.

Results of the study show that the east and the west shadings give about the same thermal comfort level. Installation of the shading in order to create a full shade on the wall in either direction decreases a yearly average PMV value from 2.3 to 1.9 and decreases the yearly average SET* 1.6 degree C. Shading on the north and the south gives less effects on thermal comfort than the shading on the east and the west do. A shading on the north decreases a yearly average PMV value from 2.0 to 1.9 and decreases the yearly average SET* 0.1 degree C. A shading on the south decreases a yearly average PMV value from 2.0 to 1.7 and decreases the yearly average SET* 0.3 degree C. Installation of two openings, one on each side of the wall, is the best way to install the openings and it decreases a yearly average PMV value from 2.3 to 1.6 and decreases the yearly average SET* 1.0 degree C. Lastly, the installation of 3-inch thickness fiberglass on the ceiling, decreases a yearly average PMV value from 2.3 to 1.8 and decreases the yearly average SET* 1.6 degree C.

Department Mechanical Engineering	Student's signature Akara K.T.
Field of study Mechanical Engineering	Adviser's signature T. Maneewattana
Academic year 2001	Co-adviser's signature ——

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ ดร. ตุลย์ มณีวัฒนา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงที่ท่านได้แนะนำตลอดจนคำปรึกษาที่มีประโยชน์ในการนำไปประยุกต์ใช้ในงานวิจัยและการศึกษาต่อในอนาคต

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ทวี เวชพฤติ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ฤชากร จิรกาลวสาน อาจารย์ ดร. สมพงษ์ พุทธิวิสุทธิศักดิ์ และ อาจารย์ ดร. กุณฑินี มณีรัตน์ ที่ได้ให้คำแนะนำและถ่ายทอดความรู้ตลอดระยะเวลาในการทำงานวิจัย

ขอขอบพระคุณอาจารย์ ดร. จิรพงษ์ กสิวิทย์อำนาย สำหรับคำปรึกษาและความช่วยเหลือในด้านต่างๆ เสมือนดั่งรุ่นพี่คนหนึ่ง

ขอขอบคุณ คุณธีรชัย ตันติมงคลสุข และ คุณจุฑามาส ศรีโมรา ที่ช่วยตรวจทานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้อย่างละเอียดจนเสร็จสมบูรณ์

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบิดา มารดา ที่คอยให้กำลังใจและสนับสนุนการศึกษาอย่างดียิ่งจนผู้วิจัยสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญภาพ ..... ฎ

รายการสัญลักษณ์ ..... ฑ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 6

1.3 ขอบเขตของการวิจัย 6

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย 6

1.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 7

1.5.1 งานวิจัยเกี่ยวกับความสุขสบายเชิงความร้อน 7

1.5.2 งานวิจัยเกี่ยวกับการวิเคราะห์สมดุลความร้อน 9

1.5.3 งานวิจัยเกี่ยวกับการวิเคราะห์การไหลของอากาศ 11

บทที่ 2 ทฤษฎี 12

2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับความสุขสบายเชิงความร้อน 12

2.1.1 สมการสมดุลความร้อน 12

2.1.2 อุณหภูมิยังผลมาตรฐาน 21

2.1.3 Predicted Mean Vote (PMV) 36

2.1.4 Predicted Percentage of Dissatisfied (PPD) 44

2.1.5 อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย 46

2.1.6 Thermal Sensation (TSENS) 49

2.1.7 Thermal Discomfort (DISC) 51

2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับการวิเคราะห์สมดุลความร้อน 52

2.2.1 สมดุลความร้อนที่ผนังด้านนอก 54

2.2.2 การนำความร้อนผ่านชั้นผนัง 56

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.2.3 สมดุลความร้อนที่ผนังด้านใน 57
2.2.4 สมดุลความร้อนของอากาศภายในโซน 60
2.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับการวิเคราะห์การไหลของอากาศ 61
2.3.1 สมการการไหล 61
2.3.2 สมการความต่อเนื่อง 68
บทที่ 3 ลักษณะของบ้านที่ใช้เป็นแบบจำลอง 70
3.1 ชนิดของผนัง 72
3.2 ลักษณะช่องเปิด 72
3.3 ระบบหน้าต่าง 72
3.4 อุปกรณ์บังเงา 73
3.5 ทิศทางอาคาร 73
บทที่ 4 ผลลัพธ์และการวิเคราะห์ 75
4.1 ความสุขสบายเชิงความร้อนของบ้านกรณีพื้นฐาน 80
4.2 อิทธิพลของกันสาดที่มีต่อความสุขสบายเชิงความร้อน 88
4.3 อิทธิพลของช่องเปิดที่มีต่อความสุขสบายเชิงความร้อน 117
4.4 อิทธิพลของอุปกรณ์บังเงาที่มีต่อความสุขสบายเชิงความร้อน 140
4.5 อิทธิพลของฉนวนความร้อนที่มีต่อความสุขสบายเชิงความร้อน 146
4.6 อิทธิพลของการระบายอากาศบนห้องใต้หลังคา ที่มีต่อความสุขสบายเชิงความร้อน 162
4.7 ความสุขสบายเชิงความร้อนของบ้านจำลองในกรณีติดตั้งทุกอุปกรณ์ 167
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 185
สรุปผลการวิจัย 185
ข้อเสนอแนะ 189
รายการอ้างอิง 191
บรรณานุกรม 193
ภาคผนวก 195
ภาคผนวก ก. อุณหภูมิอากาศของกรุงเทพมหานคร 196
ภาคผนวก ข. ผลการวิเคราะห์ภาวะสบายเชิงความร้อนรายชั่วโมงของบ้านจำลอง 199

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก ค. รายละเอียดของโปรแกรมที่ใช้ในงานวิจัย 202

ค.1 โปรแกรม TCAP 205

ค.2 โมดูล TCAP_HBcompute 207

ค.3 โมดูล TCAP_FlowAnalyse 210

ค.4 โมดูล TCAP_ResponseFactor 212

ค.5 โมดูล TCAP_SolarCompute 213

ค.6 โมดูล TCAP_Library 214

ค.7 โมดูล TCAP_MRTtemp 216

ค.8 โมดูล TCAP_Comfort 217

ค.9 การตรวจสอบโปรแกรม 219

ค.9.1 ความถูกต้องของโมดูล TCAP_HBcompute 219

ค.9.2 ความถูกต้องของโมดูล TCAP_FlowAnalyse 222

ค.9.3 ความถูกต้องของโปรแกรม TCAP 225

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 234

สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 2.1 อัตราการเผาผลาญพลังงานโดยทั่วไป 14

ตาราง 2.2 ค่าอุณหภูมิที่เหมาะสมและช่วงที่ยอมรับได้ของ Operative temperature 36
สำหรับผู้คนที่ทำกิจกรรมเบาๆ ($\leq$ met) ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 50% และมี
ความเร็วลมเฉลี่ยน้อยกว่า 0.15 m / s

ตาราง 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง PMV และอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมที่ระดับกิจกรรมต่างๆ 42

ตาราง 2.4 ค่าตัวประกอบสิ่งกีดขวาง 66

ตาราง 2.5 ค่าพารามิเตอร์ชั้นขอบเขต 67

ตาราง 4.1 บ้านจำลองในแต่ละกรณีที่ทำการวิเคราะห์ 76

ตาราง 4.2 ดัชนีความสุขสบายเฉลี่ยของบ้านจำลอง 83
ในกรณีพื้นฐานระหว่างกรณี 1 และ กรณี 2

ตาราง 4.3 ดัชนีความสุขสบายเฉลี่ยของบ้านจำลอง 112
ในกรณีติดตั้งกันสาดตั้งแต่กรณี 1 ถึง กรณี 32

ตาราง 4.4 ดัชนีความสุขสบายเฉลี่ยของบ้านจำลอง 120
ในกรณีติดตั้งช่องเปิดตั้งแต่กรณี 1 ถึง กรณี 22

ตาราง 4.5 ดัชนีความสุขสบายเฉลี่ยของบ้านจำลอง 142
ในกรณีติดตั้งอุปกรณ์บังเงาตั้งแต่กรณี 1 ถึง กรณี 6

ตาราง 4.6 ดัชนีความสุขสบายเฉลี่ยของบ้านจำลอง 158
ที่ติดตั้งฉนวนความร้อนตั้งแต่กรณี 1 ถึง กรณี 5

ตาราง 4.7 ดัชนีความสุขสบายเฉลี่ยของบ้านจำลอง 163
ในกรณีติดตั้งระบบระบายอากาศบนห้องใต้หลังคาระหว่างกรณี 1 และ กรณี 2

ตาราง 4.8 ดัชนีความสุขสบายเฉลี่ยของบ้านจำลอง 181
ที่ติดตั้งทุกอุปกรณ์ตั้งแต่กรณี 1 ถึง กรณี 4

ตาราง ค.1 ผลการวิเคราะห์อัตราการไหลของอากาศผ่านบ้านตัวอย่าง 224

สารบัญภาพ

หน้า

รูป 1.1 อิทธิพลของอาคารที่มีต่อพารามิเตอร์ทางสิ่งแวดล้อม 4

รูป 1.2 ค่า PMV ในห้องนั่งเล่นที่คำนวณตลอดระยะเวลา 1 ปี 4

รูป 2.1 การถ่ายเทความร้อนสัมผัสจากผิวหนัง 22

รูป 2.2 การถ่ายเทความร้อนแฝงจากผิวหนัง 22

รูป 2.3 ช่วงอุณหภูมิและความชื้นในฤดูร้อนและฤดูหนาวที่ทำให้ 37
ผู้คนที่ทำกิจกรรมเบาๆ รู้สึกสบายซึ่งกำหนดโดย ASHRAE Standard 55-a

รูป 2.4 ค่า $\frac{\partial}{\partial L}$PMV ที่เป็นฟังก์ชันของอัตราการเผาผลาญพลังงาน 43

รูป 2.5 สัดส่วนของบุคคลที่ไม่พึงพอใจเชิงความร้อนที่อุณหภูมิอากาศต่างๆ 45

รูป 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า PPD กับค่า PMV 46

รูป 2.7 กระบวนการสมดุลความร้อนที่เกิดขึ้นในหนึ่งโซน 53

รูป 2.8 การไหลของอากาศภายในอาคารตามวิธีของแบบจำลองเครือข่าย 69

รูป 3.1 รูปร่างของบ้านจำลองที่ใช้ในงานวิจัย 71

รูป 3.2 ส่วนต่างๆ ของบ้านจำลองที่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ 71

รูป 3.3 รูปแบบทั่วๆ ไปของอุปกรณ์บังเงาที่ใช้ในโปรแกรม 73

รูป 4.1 บ้านจำลองกรณีพื้นฐานในทิศทางใดๆ 80

รูป 4.2 ดัชนีความสุขสบายเป็นรายเดือนของบ้านจำลองกรณีพื้นฐาน 83

รูป 4.3 ดัชนีความสุขสบายเป็นรายชั่วโมงของบ้านจำลองกรณีพื้นฐาน 84

รูป 4.4 บ้านจำลองที่ติดตั้งกันสาดทั้งสี่ด้าน 88

รูป 4.5 ดัชนีความสุขสบายเป็นรายเดือนในกรณีที่ติดกันสาดทางทิศตะวันออกยาว 100% 92

รูป 4.6 ดัชนีความสุขสบายเป็นรายชั่วโมงในกรณีที่ติดกันสาดทางทิศตะวันออกยาว 100% 93

รูป 4.7 ดัชนีความสุขสบายเป็นรายเดือนในกรณีติดกันสาดทางทิศใต้ยาว 100% 97

รูป 4.8 ดัชนีความสุขสบายเป็นรายชั่วโมงในกรณีติดกันสาดทางทิศใต้ยาว 100% 98

รูป 4.9 ดัชนีความสุขสบายเป็นรายเดือนในกรณีติดกันสาดทางทิศตะวันตกยาว 100% 102

รูป 4.10 ดัชนีความสุขสบายเป็นรายชั่วโมงในกรณีติดกันสาดทางทิศตะวันตกยาว 100% 103

รูป 4.11 ดัชนีความสุขสบายเป็นรายเดือนในกรณีติดกันสาดทางทิศเหนือยาว 100% 107

รูป 4.12 ดัชนีความสุขสบายเป็นรายชั่วโมงในกรณีติดกันสาดทางทิศเหนือยาว 100% 108

รูป 4.13 ดัชนีความสุขสบายเป็นรายเดือนที่ได้จากการติดกันสาดในกรณีต่างๆ 113

หน้า

รูป 4.14 บ้านจำลองที่เจาะช่องเปิดทั้งสี่ด้าน 117
รูป 4.15 ดัชนีความสุขสบายเป็นรายเดือนในกรณีเจาะช่องเปิดขนาด 2.25 m^2 ทางทิศใต้ 121
รูป 4.16 ดัชนีความสุขสบายเป็นรายชั่วโมงในกรณีเจาะช่องเปิดขนาด 2.25 m^2 ทางทิศใต้ 122
รูป 4.17 ดัชนีความสุขสบายในเป็นรายเดือนในกรณี 126
เจาะช่องเปิดขนาด 2.25 m^2 ทางทิศใต้และทิศเหนือ
รูป 4.18 ดัชนีความสุขสบายเป็นรายชั่วโมงในกรณี 127
เจาะช่องเปิดขนาด 2.25 m^2 ทางทิศใต้และทิศเหนือ
รูป 4.19 ดัชนีความสุขสบายเป็นรายเดือนในกรณีเจาะช่องเปิดขนาด 2.25 m^2 ทั้งสี่ทิศทาง 131
รูป 4.20 ดัชนีความสุขสบายเป็นรายชั่วโมงในกรณีเจาะช่องเปิดขนาด 2.25 m^2 ทั้งสี่ทิศทาง 132
รูป 4.21 ดัชนีความสุขสบายที่ได้จากการเจาะช่องเปิดในกรณีต่างๆ 136
รูป 4.22 บ้านจำลองที่ติดตั้งอุปกรณ์บังเงา 140
รูป 4.23 ดัชนีความสุขสบายที่ได้จากการติดอุปกรณ์บังเงาในกรณีต่างๆ 142
รูป 4.24 ดัชนีความสุขสบายเป็นรายเดือนในกรณีติดฉนวนใยแก้วหนา 3″ บนฝ้าเพดาน 148
รูป 4.25 ดัชนีความสุขสบายเป็นรายชั่วโมงในกรณีติดฉนวนใยแก้วหนา 3″ บนฝ้าเพดาน 149
รูป 4.26 ดัชนีความสุขสบายเป็นรายเดือน 153
ในกรณีติดฉนวนใยแก้วหนา 3″ ที่ฝ้าเพดานและกำแพง
รูป 4.27 ดัชนีความสุขสบายเป็นรายชั่วโมง 154
ในกรณีติดฉนวนใยแก้วหนา 3″ ที่ฝ้าเพดานและกำแพง
รูป 4.28 ดัชนีความสุขสบายที่ได้จากการติดฉนวนใยแก้วในกรณีต่างๆ 158
รูป 4.29 ดัชนีความสุขสบายที่ได้จากการติดตั้งระบบระบายอากาศในห้องหลังใต้คา 163
รูป 4.30 รูปทรงของบ้านจำลองในกรณีติดตั้งทุกอุปกรณ์ 167
รูป 4.31 ดัชนีความสุขสบายเป็นรายเดือนในกรณีติดตั้งทุกอุปกรณ์ 171
โดยใช้งานในช่วงเวลา 8:00 น. ถึง 16:00 น.
รูป 4.32 ดัชนีความสุขสบายเป็นรายชั่วโมงในกรณีติดตั้งทุกอุปกรณ์ 172
โดยใช้งานในช่วงเวลา 8:00 น. ถึง 16:00 น.
รูป 4.33 ดัชนีความสุขสบายเป็นรายเดือนในกรณีติดตั้งทุกอุปกรณ์ 176
โดยใช้งานในช่วงเวลา 18:00 น. ถึง 7:00 น.

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

รูป 4.34 ดัชนีความสุขสบายเป็นรายชั่วโมงในกรณีติดตั้งทุกอุปกรณ์ 177
โดยใช้งานในช่วงเวลา 18:00 น. ถึง 7:00 น.
รูป 4.35 ดัชนีความสุขสบายในกรณีติดตั้งทุกอุปกรณ์ 181
รูป ก.1 อุณหภูมิกระเปาะแห้งในแต่ละเดือนของกรุงเทพมหานคร 196
ตั้งแต่ พ.ศ. 2531- พ.ศ. 2542
รูป ก.2 อุณหภูมิกระเปาะแห้งในรอบครึ่งเดือนของกรุงเทพมหานคร 196
ตั้งแต่ พ.ศ. 2531 – พ.ศ. 2542
รูป ก.3 อุณหภูมิกระเปาะแห้งของกรุงเทพมหานครในปี พ.ศ. 2536 197
รูป ก.4 อุณหภูมิกระเปาะเปียกเฉลี่ยที่สอดคล้องกับอุณหภูมิกระเปาะแห้ง 197
ของกรุงเทพมหานครในปี พ.ศ. 2536
รูป ก.5 อุณหภูมิกระเปาะแห้งเป็นรายชั่วโมงของกรุงเทพมหานครในปี พ.ศ. 2536 198
รูป ก.6 อุณหภูมิกระเปาะเปียกเฉลี่ยเป็นรายชั่วโมงที่สอดคล้องกับอุณหภูมิกระเปาะแห้ง 198
ของกรุงเทพมหานครในปี พ.ศ. 2536
รูป ข.1 ภาวะสบายของบ้านจำลองกรณีพื้นฐานที่ 200
ไม่มีกันสาด ช่องเปิด และ ฉนวนความร้อน
รูป ข.2 ภาวะสบายในกรณีที่ติดกันสาด เจาะช่องเปิด และ ติดฉนวนความร้อนบนฝ้าเพดาน 201
รูป ค.1 แผนภูมิการทำงานของโปรแกรม TCAP 206
รูป ค.2 แผนภูมิการทำงานของโมดูล TCAP_HBcompute 209
รูป ค.3 แผนภูมิการทำงานของโมดูล TCAP_FlowAnalyse 212
รูป ค.4 แผนภูมิการทำงานของโปรแกรมย่อย Spline_Genius 216
รูป ค.5 ห้องสี่เหลี่ยมมุมฉากที่นำมาคำนวณค่าภาระการทำความเย็น 220
รูป ค.6 ค่าภาระการทำความเย็นที่คำนวณได้จากโปรแกรมต่างๆ 221
รูป ค.7 บ้านตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์การไหลของอากาศ 223
รูป ค.8 รูปทรงของบ้านกรณีพื้นฐานที่ใช้ตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรม TCAP 228
รูป ค.9 ข้อมูลอากาศที่สมมุติขึ้นเพื่อใช้ทดสอบโปรแกรม 228
รูป ค.10 อุณหภูมิของแต่ละผนังที่เวลาต่างๆ 229

รายการสัญลักษณ์

2NM	คือ	แบบจำลอง 2 จุด (2-node model)
a	คือ	เลขชี้กำลังตามกฎกำลังซึ่งมีค่าตามภูมิประเทศรอบสถานที่ที่ทำการพิจารณา, ไร้มิติ (Exponent in power law wind speed profile for local building terrain)
a_{met}	คือ	เลขชี้กำลังตามกฎกำลังซึ่งมีค่าตามภูมิประเทศรอบสถานีตรวจอากาศ, ไร้มิติ (Exponent in power law for meteorological station)
A_D	คือ	พื้นที่ผิวเปลือยของร่างกาย, m^2 (DuBois surface area of nude body)
A_{eff}	คือ	พื้นที่การไหลยังผล, ไร้มิติ (Effective flow area)
A_r	คือ	พื้นที่ยังผลของร่างกายที่เปล่งรังสีความร้อน, m^2 (Effective radiation area of body)
BFN	คือ	อัตราการไหลเวียนปกติของเลือด, L / m^2 hr (Neutral skin blood flow)
c_{adj}	คือ	ค่าสัมประสิทธิ์การไหลหลังการปรับปรุง (Adjusted flow coefficient)
c_{cr}	คือ	ความจุความร้อนจำเพาะของแกนร่างกาย, kJ / kg K (Specific heat of body core)
c_d	คือ	สัมประสิทธิ์การส่งออก, ไร้มิติ (Discharge coefficient)
c_{dil}	คือ	ค่าคงที่สำหรับการไหลเวียนเลือด,ไร้มิติ (Constant for skin blood flow)
$c_{p,a}$	คือ	ความจุความร้อนจำเพาะของอากาศที่หายใจเข้า, kJ / kg K (Constant pressure specific heat of inhaled air)
$c_{p,bl}$	คือ	ความจุความร้อนจำเพาะของเลือด, kJ / kg K (Constant pressure specific heat of blood)

c_{sk}	คือ	ความจุความร้อนจำเพาะของผิวหนัง, kJ / kg K (Specific heat of skin)
c_{sw}	คือ	ค่าคงที่สำหรับการควบคุมเหงื่อ, W / m^2 (Proportionality constant for sweat control)
C	คือ	การสูญเสียความร้อนจากการพาความร้อน, W / m^2 (Convective heat loss)
C_{res}	คือ	การสูญเสียความร้อนสัมผัสจากการหายใจ, W / m^2 (Sensible respiratory heat loss)
C_w	คือ	สัมประสิทธิ์ความดันลม , ไร้มิติ (Wind pressure coefficient)
CTF	คือ	ฟังก์ชันการนำความร้อน (Conduction transfer function)
DISC	คือ	Thermal Discomfort, ไร้มิติ
E_{dif}	คือ	การสูญเสียความร้อนจากการกลายเป็นไอที่แพร่ผ่านผิวหนัง, W / m^2 (Evaporative heat loss due to moisture diffusion through skin)
E_{max}	คือ	การสูญเสียความร้อนจากการกลายเป็นไอมากที่สุด, W / m^2 (Maximum possible evaporative heat loss)
E_{res}	คือ	การสูญเสียความร้อนจากการหายใจเนื่องจากการกลายเป็นไอ, W / m^2 (Evaporative heat loss due tc respiration)
E_{rsw}	คือ	การสูญเสียความร้อนจากการกลายเป็นไอที่เกิดจากเหงื่อ, W / m^2 (Evaporative heat loss due to regulatory sweating)
$E_{rsw,req}$	คือ	การสูญเสียความร้อนจากเหงื่อที่ต้องการเพื่อให้เกิดความสุขสบายเชิงความร้อน, W / m^2 (Evaporative heat loss required for comfort)
E_{sk}	คือ	การสูญเสียความร้อนจากการกลายเป็นไอที่ผิวหนัง, W / m^2 (Total evaporative heat loss from skin)
ET*	คือ	อุณหภูมิยังผล, ^oC (Effective Temperature)
f_{cl}	คือ	สัดส่วนของพื้นที่ร่างกายซึ่งปกคลุมด้วยเสื้อผ้า, ไร้มิติ (Clothing area factor)

F_{dA1-A2}	คือ	ตัวประกอบเชิงมุมระหว่างเอลิเมนต์ย่อย dA1 กับระนาบ A2 (Angle factor from element dA1 to plane A2)
F_i	คือ	Flux conduction transfer function
F_{P-N}	คือ	ตัวประกอบเชิงมุมระหว่างบุคคลกับพื้นผิวที่ N, ไร้มิติ (Angle factor from person to surface N)
g	คือ	ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก, m / s^2 (Acceleration of gravity)
G	คือ	ลอการิทึมของสัดส่วนระหว่างความกว้างของผนังที่พิจารณากับผนังใกล้เคียง (Natural log ratio of width of wall under consideration to width of adjacent wall)
h	คือ	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสัมผัสรวมที่พื้นผิว, $W / m^2 K$ (Total sensible heat transfer at surface)
h_c	คือ	สัมประสิทธิ์การพาความร้อน, $W / m^2 K$ (Convective heat transfer coefficient)
h_{cl}	คือ	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสัมผัสที่เสื้อผ้า, $W / m^2 K$ (Sensible heat transfer coefficient at clothing)
h_e	คือ	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนแฝงที่เสื้อผ้า, $W / m^2 kPa$ (Evaporative heat transfer coefficient at clothing)
$h_{e,cl}$	คือ	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากการกลายเป็นไอที่เสื้อผ้า,$W / m^2 kPa$ (Evaporative heat transfer coefficient at clothing)
h_{fg}	คือ	ความร้อนแฝงในกลายเป็นไอของน้ำ, kJ / kg K (Heat of vaporization of water)
h_i	คือ	ความสูงที่จุด i, m (Height of point i)
h_j	คือ	ความสูงที่จุด j, m (Height of point j)
h_r	คือ	สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน, $W / m^2 K$ (Radiative heat transfer coefficient)

h'	คือ	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสัมผัสทั้งหมด (รวมเสื้อผ้า), W / m^2 K (Overall sensible heat transfer coefficient including clothing)
h'_e	คือ	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนแฝงทั้งหมด(รวมเสื้อผ้า), W / m^2 kPa (Overall evaporative heat transfer coefficient including clothing)
h'_{es}	คือ	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนแฝง ในสิ่งแวดล้อมมาตรฐาน, W / m^2 K (Evaporative heat transfer coefficient in standard environment)
h'_s	คือ	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสัมผัส ในสิ่งแวดล้อมมาตรฐาน, W / m^2 K (Sensible heat transfer coefficient in standard environment)
H	คือ	ระดับความสูงของกำแพงด้านต้านลมวัดจากพื้น, m (Wall height above ground on upwind building face)
H_{met}	คือ	ระดับความสูงของเครื่องตรวจวัดความเร็วลมที่สถานีตรวจอากาศ, m (Height of wind anemometer at meteorological station)
I_{cl}	คือ	ความเป็นฉนวนของเสื้อผ้าที่สวมใส่, clo (Clothing insulation)
I_{cls}	คือ	ความเป็นฉนวนของเสื้อผ้าในสิ่งแวดล้อมมาตรฐาน, clo (Clothing insulation in standard environment)
ia	คือ	ประสิทธิภาพการซึมของไอน้ำผ่านชั้นอากาศ, ไร้มิติ (Air layer vapor permeation efficiency)
icl	คือ	ประสิทธิภาพการซึมของไอน้ำผ่านเสื้อผ้า, ไร้มิติ (Clothing vapor permeation efficiency)
K	คือ	การนำความร้อนยังผลระหว่างแกนกลาง ของร่างกายกับผิวหนัง, W / m^2 K (Effective conductance between core and skin)
K_{res}	คือ	ค่าคงที่, kg m^2 / MJ (Proportionality constant)
l	คือ	ความสูงของผู้ทำการทดลอง, m (Height)
L	คือ	ภาระความร้อนที่ร่างกายได้รับ, W / m^2 (Thermal load on body)

LR	คือ	สัดส่วนของเลวิส, ^{o}C / kPa (Lewis ratio)
m	คือ	มวลของผู้ทำการทดลอง, kg / m^2 (Body mass)
$\dot{m}$	คือ	อัตราการไหลอากาศเชิงมวล, kg / s (Air mass flow rate)
$\dot{m}(i, j)$	คือ	อัตราการไหลเชิงมวลจากกจุด j ไปยังจุด i, kg / s (Mass Flow rate from space i to space j)
$\dot{m}_{bl}$	คือ	อัตราการไหลเวียนโลหิต, l / m^2 hr (Blood circulation between core and skin)
$\dot{m}_f(i)$	คือ	อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศสุทธิ เนื่องจากระบบปรับความดัน, kg / s (Net mass flow rate of air due to air-handling system or a pressurization system)
$\dot{m}_o(i,k)$	คือ	อัตราการไหลเชิงมวลจากทิศทาง k ภายนอกอาคารไปยังจุด i, kg / s (Mass flow rate from direction k outside the building to space i)
$\dot{m}_{res}$	คือ	อัตราการระบายอากาศของปอด, kg / s (Pulmonary ventilation rate)
M	คือ	อัตราการเผาผลาญพลังงาน, W / m^2 (Metabolic rate)
M_{shiv}	คือ	อัตราการเผาผลาญพลังงานที่เกิดจากการสั่นของร่างกาย, W / m^2 (Metabolic rate due to shivering)
N_c	คือ	จำนวนของจุดต่อภายในอาคารที่เชื่อมต่อกับจุด i (Number of building spaces connected to space i)
N_o	คือ	จำนวนจุดต่อภายนอกอาคารที่เชื่อมต่อกับจุด i (Number of connections to outside from space i)
P_a	คือ	ความดันไอน้ำในอากาศ, kPa (Water vapor pressure in ambient air)
P_{atm}	คือ	ความดันบรรยากาศ, Pa (Ambient pressure)

P_{avg}	คือ	ความดันสมบูรณ์เฉลี่ย, Pa (Average absolute pressure)
P_h	คือ	ผลต่างความดันสถิตย์ที่ระดับความสูง h เทียบกับพื้นดิน, Pa (Hydrostatic pressure difference between h and ground level)
P_i	คือ	ความเกจที่บริเวณ i, Pa (Gauge pressure at space i)
P_j	คือ	ความดันเกจที่บริเวณ j, Pa (Gauge pressure at space j)
P_o	คือ	ความดันเกจที่ภายนอกอาคาร, Pa (Outside gauge pressure)
$P_{sk,s}$	คือ	ความดันไอน้ำอิ่มตัวที่อุณหภูมิผิวหนัง, kPa (Saturated water vapor pressure at skin temperature)
P_{so}	คือ	Standard operative vapor pressure, kPa
$P_{SET^*,s}$	คือ	ความดันไอน้ำอิ่มตัวที่อุณหภูมิ SET*, kPa (Saturated water vapor pressure at SET*)
P_w	คือ	ความดันลมที่ระดับความสูง h, Pa (Dynamic pressure due to wind at height h)
PPD	คือ	Predicted Percentage of Dissatisfied, ไร้มิติ
PMV	คือ	Predicted Mean Vote, ไร้มิติ
ΔP	คือ	ผลต่างความดันตกคร่อมเส้นทางการไหล, Pa (Pressure difference across flow path)
q_{CE}	คือ	การพาความร้อนจากแหล่งความร้อนภายใน, W (Convection part of internal load)
$\bar{q}_{conv}$	คือ	การพาความร้อนจากแต่ละพื้นผิว, W (Convection heat transfer from the surface)
q_{IV}	คือ	การถ่ายเทความร้อนสัมผัสจากการรั่วซึมและการระบายอากาศ, W (Sensible heat transfer due to infiltration and ventilation)
q_{sys}	คือ	การถ่ายเทความร้อนจากระบบ HVAC, W (Heat transfer to/from HVAC system)
q''_{conv}	คือ	ฟลักซ์การพาความร้อนออกสู่อากาศ, W / m^2 (Convective heat flux to air)

q''_{ki} คือ ฟลักซ์การนำความร้อนจากผนังด้านใน, W / m^2
(Conductive heat flux from inside surface)

q''_{ko} คือ ฟลักซ์การนำความร้อนออกจากผนังด้านนอก, W / m^2
(Conductive heat flux from outside surface)

q''_{LWR} คือ ฟลักซ์การแลกเปลี่ยนรังสีคลื่นยาวกับสิ่งแวดล้อม, W / m^2
(Net longwave radiation flux exchange
with the air and surroundings)

q''_{LWS} คือ ฟลักซ์การแผ่รังสีคลื่นยาวจากอุปกรณ์ต่างๆ, W / m^2
(Longwave radiation flux from equipment in zone)

q''_{LWX} คือ ฟลักซ์การแผ่รังสีคลื่นยาวระหว่างพื้นผิว, W / m^2
(Net longwave radiant exchange flux between zone surfaces)

q''_{sol} คือ ฟลักซ์การแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์
ซึ่งเข้ามาทางระบบหน้าต่าง, W / m^2
(Transmitted solar radiation flux from windows)

q''_{SW} คือ ฟลักซ์การแผ่รังสีคลื่นสั้นจากแหล่งความร้อนภายในโซน , W / m^2
(Net shortwave radiant exchange flux between zone surfaces)

$q''_{\alpha sol}$ คือ ฟลักซ์การแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์, W / m^2
(Absorbed solar radiation flux)

Q คือ ความร้อนที่ผลิตขึ้น, W / m^2
(Heat production)

Q_{dry} คือ การสูญเสียความร้อนสัมผัส, W / m^2
(Sensible heat loss)

Q_{evap} คือ การแลกเปลี่ยนความร้อนแฝง, W / m^2
(Latent heat loss from skin)

Q_{res} คือ การสูญเสียความร้อนผ่านกระบวนการหายใจ, W / m^2
(Heat loss due to respiration)

Q_{sk} คือ การสูญเสียความร้อนซึ่งเกิดขึ้นที่ผิวหนัง, W / m^2
(Total heat loss from skin)

R คือ การสูญเสียความร้อนจากการแผ่รังสีความร้อน, W / m^2
หรือ ค่าคงที่ของก๊าซ, J / kg K
(Radiative heat loss or universal gas constant)

R_a	คือ	ความต้านทานการถ่ายเทความร้อนของชั้นอากาศ, m^2 K / W (Air layer thermal resistance)
R_c	คือ	ความต้านทานการพาความร้อน, m^2 K / W (Convective resistance)
R_{cl}	คือ	ความต้านทานการถ่ายเทความร้อนของเสื้อผ้า, m^2 K / W (Intrinsic clothing thermal resistance)
$R_{e,a}$	คือ	ความต้านทานต่อการกลายเป็นไอชั้นของอากาศ, m^2 kPa / W (Evaporative resistance of air layer)
$R_{e,cl}$	คือ	ความต้านทานต่อการกลายเป็นไอของเสื้อผ้า, m^2 kPa / W (Evaporative resistance of clothing)
R_r	คือ	ความต้านทานการแผ่รังสีความร้อน, m^2 K / W (Radiative resistance)
Rh	คือ	ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ, % (Relative air humidity)
s	คือ	ตัวประกอบสิ่งกีดขวาง, ไร้มิติ (Shelter factor)
s_{tr}	คือ	ค่าคงที่สำหรับการหดตัวของเลือดใต้ผิวหนัง, ไร้มิติ (Constriction constant for skin blood flow)
S	คือ	ปริมาณความร้อนที่สะสมอยู่ภายใน, W / m^2 (Thermal heat storage)
S_{cr}	คือ	ปริมาณความร้อนที่สะสมอยู่ในร่างกาย, W / m^2 (Thermal storage in core component)
S_{sk}	คือ	ปริมาณความร้อนที่สะสมอยู่บนผิวหนัง, W / m^2 (Thermal storage in skin component)
SET*	คือ	อุณหภูมิยังผลมาตรฐาน, K (Standard effective temperature)
Sign	คือ	เครื่องหมายของผลต่างความดัน (Sign of pressure difference)
t_a	คือ	อุณหภูมิอากาศ, ^{o}C (Air temperature)

t_b	คือ	อุณหภูมิของร่างกาย, ^oC (Body temperature)
t_{bset}	คือ	อุณหภูมิของร่างกายที่กำหนด, ^oC (Assigned body temperature)
$t_{b,c}$	คือ	อุณหภูมิขอบเขตล่างของเขตการระเหย, ^oC (Lower limit of evaporative regulation zone)
$t_{b,h}$	คือ	อุณหภูมิขอบเขตบนของเขตการระเหย, ^oC (Upper limit of evaporative regulation zone)
t_{cl}	คือ	อุณหภูมิเสื้อผ้าเฉลี่ย, ^oC (Average clothing surface temperature)
t_{cr}	คือ	อุณหภูมิแกนกลางของร่างกาย, ^oC (Body core temperature)
t_{ex}	คือ	อุณหภูมิของอากาศที่หายใจออก, ^oC (Exhaled air temperature)
t_{mb}	คือ	อุณหภูมิร่างกายเฉลี่ย, ^oC (Mean body temperature)
t_{mrt}	คือ	อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย, ^oC (Mean radiant temperature)
t_{pr}	คือ	อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยของระนาบ, ^oC (Plane radiant temperature)
t_{sk}	คือ	อุณหภูมิผิวหนัง, ^oC (Skin temperature)
T_a	คือ	อุณหภูมิอากาศ, K (Air temperature)
T_{avg}	คือ	อุณหภูมิเฉลี่ย, K (Average temperature)
T_{cl}	คือ	อุณหภูมิพื้นผิวเสื้อผ้าเฉลี่ย, K (Average clothing surface temperature)
T_{cr}	คือ	อุณหภูมิแกนกลางของร่างกาย, K (Body core temperature)

T_i	คือ	อุณหภูมิพื้นผิวด้านใน, K (Inside surface temperature)
T_{mrt}	คือ	อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย, K (Mean radiant temperature)
T_N	คือ	อุณหภูมิพื้นผิวที่ N, K (Temperature at surface N)
T_o	คือ	อุณหภูมิพื้นผิวด้านนอก, K (Outside surface temperature)
T_O	คือ	Operative temperature, K
T_{out}	คือ	อุณหภูมิอากาศภายนอก, K (Outside air temperature)
$T_{sk,req}$	คือ	ค่าอุณหภูมิผิวหนังที่ต้องการเพื่อทำให้เกิดความสุขสบายเชิงความร้อน, W / m^2 (Skin temperature required for comfort)
TSENS	คือ	Thermal Sensation, ไร้มิติ
U_H	คือ	ความเร็วลมเฉลี่ย ณ ระดับความสูง H, m / s (Mean wind speed at height H)
U_{met}	คือ	ความเร็วลมที่สถานีตรวจอากาศ, m / s (Meteorological station wind speed)
v	คือ	ความเร็วอากาศ, m / s (Air velocity)
v_r	คือ	ความเร็วอากาศสัมพัทธ์, m / s (Relative air velocity)
w	คือ	ความเปียกชื้นที่ผิวหนัง, ไร้มิติ (Skin wettedness)
w_a	คือ	สัดส่วนความชื้นของอากาศที่หายใจเข้า, kg (H_2O) / kg (dry air) (Humidity ratio of inhaled air)
w_{crit}	คือ	ค่าวิกฤตของความเปียกชื้นบนผิวหนัง, ไร้มิติ (Critical skin wettedness)
w_{dif}	คือ	ความเปียกชื้นที่เกิดจากการแพร่, ไร้มิติ (Skin wettedness due to diffusion)

w_{ex}	คือ	สัดส่วนความชื้นของอากาศที่หายใจออก, kg (H_2O) / kg (dry air) (Humidity ratio of exhaled air)
w_{rsw}	คือ	ความเปียกชื้นที่ผิวหนังอันเกิดจากเหงื่อ, ไร้มิติ (Skin wettedness due to regulatory sweat)
W	คือ	งานภายนอก, W / m^2 (External work)
W_{cr}	คือ	มวลของแกนร่างกายต่อพื้นที่ผิวหนัง, kg / m^2 (Mass of body core)
W_{sk}	คือ	มวลต่อพื้นที่ของผิวหนัง, kg / m^2 (Mass of skin)
X_j	คือ	Inside conduction transfer function
Y_j	คือ	Cross conduction transfer function
Z_j	คือ	Outside conduction transfer function
α	คือ	สัดส่วนมวลผิวหนังต่อมวลร่ายกาย, ไร้มิติ (Fraction of total body mass)
ε	คือ	ค่าการเปล่งรังสีเฉลี่ย, ไร้มิติ (Emissivity)
σ	คือ	ค่าคงที่ของ Stefan-Boltzman, $W / m^2 K^4$ (Stefan-Boltzman constant)
ρ	คือ	ความหนาแน่นของอากาศ, kg / m^3 (Air density)
δ	คือ	ความหนาชั้นขอบเขตของบริเวณที่พิจารณา, m (Boundary layer thickness for local building terrain)
δ_{met}	คือ	ความหนาชั้นขอบเขตของบริเวณรอบสถานีตรวจวัด, m (Boundary layer thickness for the meteorological station)
ϕ	คือ	ทิศทางลมวัดตามเข็มนาฬิกาเทียบกับผนังแรกของอาคาร, องศา (Wind angle measured clockwise from normal to wall 1)
θ	คือ	มุมระหว่างทิศทางลมกับผนังซึ่งทำการพิจารณา, องศา (Angle between wind direction and outward normal of wall under consideration)