

การศึกษาภาวะสบายเชิงความร้อนของคนในอาคาร



นาย ประพนธ์ วงษ์ท่าเรือ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2535

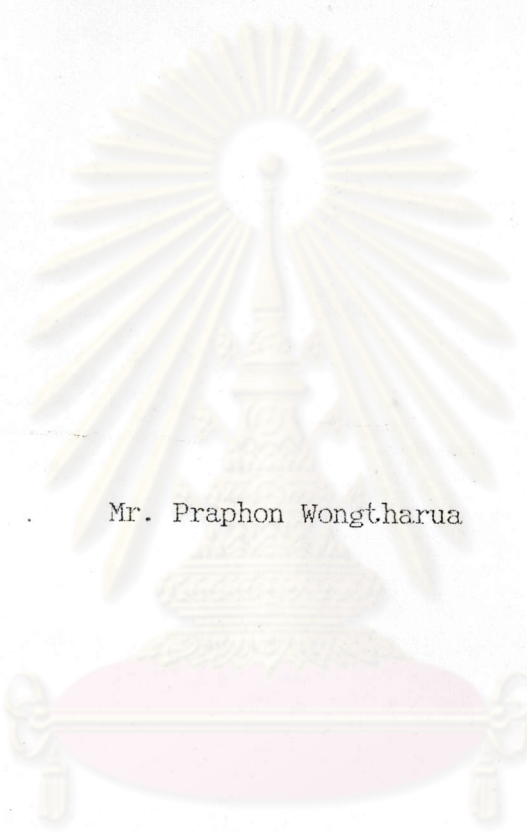
ISBN 974-581-673-6

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

018511

117192663

A STUDY OF THERMAL COMFORT IN BUILDINGS.



Mr. Praphon Wongtharua

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering
Department of Mechanical Engineering
Graduate School
Chulalongkorn University

1992

ISBN 974-581-673-6

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาภาวะสบายเชิงความร้อนของคนในอาคาร
โดย นาย ประพนธ์ วงษ์ท่าเรือ
ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ทวี เวชพฤติ

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้มหาวิทยาลัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

ผ วิชาญ

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร. ถาวร วัชรภักย์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ผพ มานิจ ทองประเสริฐ

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

ทว เวชพฤติ

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ทวี เวชพฤติ)

วทยา ขงเจริญ

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. วทยา ขงเจริญ)

คุณวุฒิ ดำรงค์พลาสิทธิ์

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ คุณวุฒิ ดำรงค์พลาสิทธิ์)

นายกิตติพงศ์ เตมียะประดิษฐ์

..... กรรมการ
(นายกิตติพงศ์ เตมียะประดิษฐ์)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว



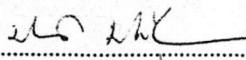
ประพันธ์ วิชาทำเรื่อง : การศึกษาภาวะสบายเชิงความร้อนของคนในอาคาร (A STUDY OF THERMAL COMFORT IN BUILDINGS) อ.ที่ปรึกษา : รศ.ทวี เวชพฤติ, 151 หน้า.
ISBN 974-581-673-6

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาหาภาวะสบายเชิงความร้อนของคนไทยในท้องทำงานจริง โดยการเก็บข้อมูลจากคนทดสอบที่มีการทำงานเป็นแบบงานในสำนักงาน หรือเทียบเท่า มีการแต่งกายตามปกติ เพื่อจะหาว่าสภาพอากาศที่เป็นภาวะสบายเชิงความร้อนควรเป็นอย่างไร

ผลการวิจัยจะได้สมการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณที่ประกอบด้วย ลักษณะงาน ค่าความต้านทานความร้อนของชุดแต่งกาย และอุณหภูมิอากาศ มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ 0.47 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 มีค่าความผิดพลาดมาตรฐานต่ำสุด 10.6 % , สูงสุด 26.5 % เมื่อแทนค่าลักษณะงานเป็นการนั่งโต๊ะทำงาน ค่าความต้านทานความร้อนของชุดแต่งกาย 0.6 clo คนไทยจะรู้สึกสบายที่อุณหภูมิอากาศ 23.9 °c และผลจากการใช้เครื่องมือวัดความสบาย พบว่า สามารถนำมาใช้หาภาวะสบายได้อย่างถูกต้อง สะดวกและรวดเร็ว แต่ต้องเป็นการตั้งค่าบนแผงหน้าปัทม์เครื่องที่ถูกต้องหรือใกล้เคียงกับความเป็นจริง โดยเฉพาะค่า clo ดังนั้น ควรสอบถามและตรวจสอบค่าตัวแปรดังกล่าวก่อนการทดสอบ.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล
ปีการศึกษา 2534

ลายมือชื่อนิสิต 
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ทวี เวชพฤติ
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

PRAPHON WONGTHARUA : A STUDY OF THERMAL COMFORT IN BUILDINGS.

THESIS ADVISOR : ASSO. PROF. TAWEE VECHAPHUTH, 151 PP.

ISBN 974-581-673-6

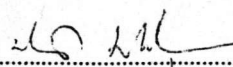
This thesis is a study of thermal comfort in buildings to find the effect of the thermal environmental on Thai subjects by using data obtained from office works or the equivalent.

Result from statistical analysis showed that the multiple linear regression equation is a function of activity level, clothing resistance and air temperature. A coefficient of determination is 0.47 at 0.01 significant level, minimum and maximum standard error for prediction are 10.6 % and 26.5 % respectively. If the variables are substituted into the equation with sedentary activity, 0.6 clo and vote scale = 4, the comfort air temperature for Thai is found to be 23.9 °c.

The using of comfort meter in the tests showed that it displayed similar result when variable settings were corresponded to the thermal environment of the room. Particularly, the clo-value must be predetermined from the questionnaires along with the said variables.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล
ปีการศึกษา 2534

ลายมือชื่อนิสิต 
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ทวี เวชพิศ
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม -

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของรองศาสตราจารย์ ทวี เวชพฤติ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และรองศาสตราจารย์ วิทยา ยงเจริญ ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ ของการวิจัยมาด้วยดีตลอด อีกทั้งยังได้รับความช่วยเหลือจาก ศูนย์อนุรักษ์พลังงานแห่งประเทศไทย สำนักงานพลังงานสำนักงานพลังงานแห่งชาติ บริษัทบีกริม เอ็นจิเนียริ่งซิสเต็ม จำกัด ธนาคารกรุงเทพ จำกัด สาขาบางกอกน้อย บริษัทฟูจิคุระ จำกัด บริษัทจารดินแมทริสัน จำกัด และเนื่องจากทุนการวิจัยครั้งนี้บางส่วนได้รับมาจากทุนอุดหนุนการวิจัยของบัณฑิตวิทยาลัย จึงขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัยมา ณ. ที่นี้ด้วย

ท้ายนี้ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา และภรรยา ซึ่งให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	๖
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	๗
กิตติกรรมประกาศ	๘
สารบัญตาราง	๙
สารบัญภาพ	๑๐
คำอธิบายสัญลักษณ์	๑๑
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของ โครงการวิทยานิพนธ์	1
1.2 วัตถุประสงค์ของ โครงการวิทยานิพนธ์	2
1.3 ขอบเขตของ โครงการวิทยานิพนธ์	2
1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจาก โครงการวิทยานิพนธ์	4
บทที่ 2 ภาวะสบายเชิงความร้อน	5
2.1 ความหมายของภาวะสบายเชิงความร้อน	5
2.2 เงื่อนไขของภาวะสบายเชิงความร้อน	6
2.3 สมดุลทางความร้อน	7
2.4 การผลิตความร้อนภายใน	8
2.5 การสูญเสียความร้อนทางผิวหนัง	13
2.6 การสูญเสียความร้อนโดยการระเหยของเหงื่อ	13
2.7 การสูญเสียความร้อนแฝงของการหายใจ	13
2.8 การสูญเสียความร้อนแฝงของการหายใจ (แบบแห้ง)	14
2.9 การนำความร้อนผ่านเสื้อผ้า	15
2.10 การสูญเสียความร้อนโดยการแผ่ความร้อน	16
2.11 การสูญเสียความร้อนโดยการพาความร้อน	17

สารบัญ

	หน้า	
2.12	สมการสมดุลความร้อน	19
2.13	เงื่อนไขของภาวะสบายเชิงความร้อน	19
2.14	สมการความสบาย	20
บทที่ 3	การประเมินค่าในทางปฏิบัติของสิ่งแวดล้อมทางความร้อน	21
3.1	ดัชนีทำนายการไหลเวียน	21
3.2	เปอร์เซ็นต์ทำนายความรู้สึกไม่สบาย	24
บทที่ 4	การวิเคราะห์การถดถอย	26
4.1	การวิเคราะห์การถดถอยกับงานวิจัย	26
4.2	การถดถอยและสหสัมพันธ์	26
4.3	ข้อตกลงเบื้องต้นของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย	27
4.4	การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย	27
4.5	ความหมายและการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์	28
4.6	ความหมายและการหาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ	29
4.7	การทดสอบนัยสำคัญของการถดถอยอย่างง่าย	29
4.8	การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ	30
4.9	การวิเคราะห์สมการที่มีตัวแปรอิสระ 3 ตัว	31
4.10	ข้อสมมุติฐานในการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ	31
4.11	Solution ทั่วไปของสมการการถดถอย	32
4.12	ความหมายและการหาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจพหุคูณ	33
4.13	ความหมายและการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุคูณ	33
4.14	การทดสอบนัยสำคัญของการถดถอยพหุคูณ	34
4.15	การทดสอบนัยสำคัญทางสถิติของตัวแปรที่เพิ่มเข้ามาในสมการถดถอย	34
บทที่ 5	เครื่องมือและวิธีการใช้ในการเก็บข้อมูล	35
5.1	การใช้ Thermal comfort meter	35
5.2	เครื่องมือและอุปกรณ์หาค่าตัวแปรเฉพาะ	41

สารบัญ

หน้า

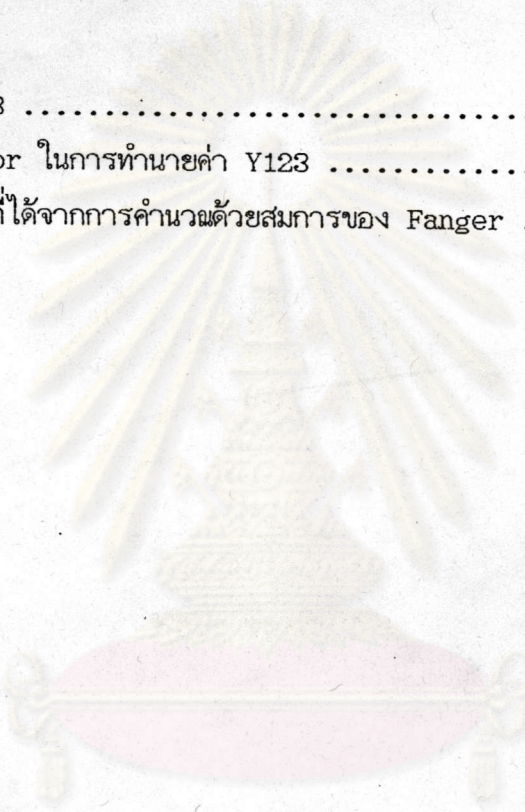
บทที่ 6	การเก็บข้อมูลและข้อมูลการทดสอบ	46
6.1	สถานที่เก็บข้อมูล	46
6.2	ขั้นตอนและวิธีการเก็บข้อมูล	47
6.3	ข้อมูลการทดสอบ	49
บทที่ 7	การวิเคราะห์ข้อมูลและผลลัพธ์ที่ได้	51
7.1	การวิเคราะห์ทางสถิติโดยการใช้การถดถอยพหุคูณ	51
บทที่ 8	ข้ออภิปราย	56
8.1	การแปลงค่าข้อมูลงานวิจัยมาที่ภาวะสิ่งแวดล้อมของการทดลองฯ	56
8.2	ผลการวิเคราะห์และผลการทดลองของชาวต่างประเทศ	64
8.3	การใช้ Comfort meter กับงานวิจัย	66
บทที่ 9	บทสรุปและข้อเสนอแนะ	68
9.1	สรุป	68
9.2	ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการวิจัยขั้นต่อไป	70
9.3	ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	71
	รายการอ้างอิง	72
	ภาคผนวก	73
	ภาคผนวก ก. การทดลองของ Fanger เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างการไหลตื้นเฉียดกับ อุณหภูมิ	74
	ภาคผนวก ข. ตัวอย่างการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณและตาราง F-distribution	79
	ภาคผนวก ค. การใช้เครื่องมือในการเก็บข้อมูลและรูปการทดลอง	91
	ภาคผนวก ง. Field test data ของงานวิจัย	116
	ภาคผนวก จ. การตัดข้อมูลผิดปกติออกจากกลุ่ม, Y123 และ Standard error	122
	ภาคผนวก ฉ. โปรแกรมการคำนวณ PMV และการหาสมการเส้นถดถอย	140
	ประวัติผู้เขียน	151

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 Metabolic rate ของลักษณะงานต่าง ๆ	10
2.2 ค่า I_{c1}, f_{c1} เนื่องจากเครื่องแต่งกายที่สวมใส่	18
3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างการไหลตเฉลิขกับอุณหภูมิล้อมรอบ	23
5.1 ค่า clo ของการสวมเครื่องแต่งกายแต่ละรายการพร้อมตัวอย่าง	40
5.2 ค่า Metabolic rate ที่ลักษณะงานต่าง ๆ กัน	41
7.1 ผลรวมกำลังสองและอื่น ๆ ของงานวิจัย	52
7.2 Beta weights	52
7.3 b weights	53
7.4 Significant checkings	53
8.1 ค่าการไหลตจริงเฉลิขและ Modified temp.	60
8.2 ค่าการไหลตจริงเฉลิขของคนทดสอบชายกับ Modified temp.	62
8.3 ค่าการไหลตจริงเฉลิขของคนทดสอบหญิงกับ Modified temp.	63
8.4 ผลการวิเคราะห์ที่ได้จากการแปลงค่ากับการทดลองของชาวต่างประเทศ	64
8.5 ข้อมูลและผลลัพธ์ที่ได้จาก 1212	66
8.6 ข้อมูลและผลลัพธ์ที่ได้จาก WBGT , Hot wire และ Vote form	66
8.7 PMV error ที่เกิดจากการตั้งค่านบน front panel ผิดพลาดไป	67
ก.1 สมการเส้นถดถอย	78
ก.2 อุณหภูมิกลางของคนทดสอบ	78
ข.1 ตัวอย่างการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ	81
ข.2 ผลลัพธ์การคำนวณของตาราง ข.1	81
ข.3 Percentile of F distribution	87
ค.1 ผลการวัดอุณหภูมิเปรียบเทียบระหว่างเทอร์โมมิเตอร์ของ WBGT กับเครื่องวัดอุณหภูมิแบบควอทซ์	104
ง.1 Field test data ของงานวิจัย	117
จ.1 Vote, PMV และการคัดข้อมูลผิดปกติ	124

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
จ.2 Vote และ Y123	129
จ.3 Standard error ในการทำนายค่า Y123	135
ฉ.1 PMV และ PPD ที่ได้จากการคำนวณด้วยสมการของ Fanger	143



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
3.1	oY/oL เป็นฟังก์ชันของ Metabolic rate 23
3.2	PPD เป็นฟังก์ชันของ PMV 25
4.1	สัดส่วนความแปรปรวนของ Y 29
5.1	Transducer MM0023 และ Comfort meter 1212 36
5.2	การติดตั้ง MM0023 38
5.3	กราฟความดันไอบางส่วนของอากาศเป็นฟังก์ชันของอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์. 39
5.4	Globe thermometer 43
6.1	ตำแหน่งการตรวจสอบอุณหภูมิอากาศ, ความเร็วอากาศในห้องทดสอบ และการติดตั้งเครื่องมือ 47
6.2	ขั้นตอนการเก็บข้อมูล 49
8.1	ตัวอย่างการพล็อตค่าการโหวต 57
8.2	ความสัมพันธ์ระหว่างการโหวตของคนไทยกับ Modified temp 59
8.3	เส้นถดถอยที่ได้จากการโหวตเฉลี่ยจริงกับ Modified temp 60
8.4	เส้นถดถอยที่ได้จากการโหวตเฉลี่ยจริงของคนทดสอบชายกับ Modified temp 62
8.5	เส้นถดถอยที่ได้จากการโหวตเฉลี่ยจริงของคนทดสอบหญิงกับ Modified temp 63
8.6	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการโหวตเฉลี่ยจริงกับ Modified temp. จากการทดลอง ของชาวต่างประเทศกับผลการทดสอบในสถานที่ทำงานจริง 65
ก.1	Floor plan ของห้องทดสอบที่ Techn.Univ.of Denmark 76
ก.2	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการโหวตเฉลี่ยกับเวลา 77
ก.3	การโหวตเฉลี่ยกับอุณหภูมิของชาวเดนมาร์ก 77
ค.1	Front panel ของ Comfort meter 1212 94
ค.2	Rear panel ของ Comfort 1212 95
ค.3	แผนภาพการทำงานของเครื่องวัดและบันทึกดัชนีอุณหภูมิแบบ WBGT 101
ค.4	หน้าปัทม์แสดงผลของ WBGT 102
ค.5	รูปแบบข้อมูลบนเครื่องพิมพ์ 102

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
ค.6	เส้นกราฟแสดงผลการทดสอบความสัมพันธ์ของอุณหภูมิตั้งที่วัด 105
ค.7	รูปตัวอย่างการแต่งกายของคนทดสอบ, เครื่องมือ และ สถานที่เก็บข้อมูล 106
จ.1	Residuals plot กับ Y123 134

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คำอธิบายสัญลักษณ์

A_{Du}	พื้นที่ผิวของร่างกายคน (เปลี่ยน)
A_{eff}	พื้นที่ effective ของการแผ่ความร้อนของเสื้อผ้า
C	การสูญเสียความร้อน โดยการพาความร้อนจากผิวนอกเสื้อผ้า
CoV_x	ค่าความแปรปรวนร่วมของกลุ่มข้อมูล
d^2	Residuals
df	องศาอิสระ (Degree of freedom)
E_d	การสูญเสียความร้อน โดยการระเหยของน้ำผ่านผิวหนัง
E_{re}	การสูญเสียความร้อนแฝงทางการหายใจ
E_{sw}	ความร้อนที่สูญเสียต่อ 1 หน่วยพื้นที่ผิวของร่างกาย คัดจากการระเหยของเหงื่อ
f_{c1}	อัตราส่วนของพื้นที่ผิวของรูปร่าง เสื้อผ้ากับพื้นที่ผิวคน (เปลี่ยน)
f_{eff}	ตัวประกอบ Effective radiant area
H	พลังงานความร้อนที่ผลิตขึ้นภายในร่างกายคน
h_c	สัมประสิทธิ์การพาความร้อน
I_{c1}	ค่าความต้านทานของความร้อนของเครื่องแต่งกาย
K	การสูญเสียความร้อนจากผิวหนังสู่ผิวนอกของเสื้อผ้า
L	การสูญเสียความร้อนของการหายใจแบบแห้ง
L	Thermal load
M	Metabolic rate
m	สัมประสิทธิ์การซึมของผิวหนัง
P_a	ความดันไอน้ำในอากาศ
P_s	ความดันไอน้ำที่อุณหภูมิผิวหนัง
PMV	ดัชนีทำนายการโหวตเฉลี่ย (Predicted mean vote)
PPD	เปอร์เซ็นต์ทำนายความรู้สึกไม่สบาย (Predicted percentage dissatisfied)
R	การสูญเสียความร้อน โดยการแผ่ความร้อนจากผิวนอกเสื้อผ้า
R	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เชิงพหุคูณ
R^2	สัมประสิทธิ์การตัดสินใจเชิงพหุคูณ

คำอธิบายสัญลักษณ์

r	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์
r^2	สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ
R_{c1}	ความต้านทานการถ่ายเทความร้อนทั้งหมดจากผิวหนังถึงผิวนอกของเสื้อผ้า
Rh	ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ
T	อุณหภูมิล้อมรอบ (Ambient temp.) หรือ Modified temp.
t_a	อุณหภูมิอากาศ
t_c	อุณหภูมิสบายเชิงความร้อน
t_{c1}	อุณหภูมิของผิวนอกเสื้อผ้าที่สวมใส่
t_d	อุณหภูมิแตกต่าง
t_{db}	อุณหภูมิอากาศแบบระเปาะแห้ง
t_e	อุณหภูมิเทียบเท่า
t_{ex}	อุณหภูมิผิวหนังของคน เมื่ออยู่ในภาวะสบายเชิงความร้อน
t_g	อุณหภูมิอากาศสมดุลที่จุดศูนย์กลางของ Black globe
t_{mrt}	อุณหภูมิการแผ่ความร้อนเฉลี่ย
t_o	อุณหภูมิทำงาน
t_s	อุณหภูมิเฉลี่ยของผิวหนัง
t_{wb}	อุณหภูมิอากาศระเปาะเปียก
V	ปริมาณการหมุนเวียนของอากาศในปอด
v	ความเร็วอากาศ
v_a	ความเร็วอากาศสัมพัทธ์
v_x	ค่าความแปรปรวนของกลุ่มข้อมูล X
W	กำลังงานภายนอก
WBGT	เครื่องวัดและบันทึกดัชนีอุณหภูมิ (Wet bulb globe temperature index record)
W_a	อัตราส่วนความชื้นของอากาศที่หายใจเข้า
W_{ex}	อัตราส่วนความชื้นของอากาศที่หายใจออก
x	ค่าเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ย X

คำอธิบายสัญลักษณ์

Y	Estimated population mean vote
Y' หรือ Y_{123}	ค่าทำนายการโหวตที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยการถดถอยพหุคูณ
Z_x	คะแนนมาตรฐานของ X
ϵ	สัมประสิทธิ์การส่งออกของพิกัดของเส้นผ่า
η	ประสิทธิภาพทางกลภายนอก
σ	ค่าคงที่ Stefan - boltzman

ศูนย์วิทยพัชกร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย