

การศึกษาสภาวะความสบายของมนุษย์ภายในห้องเรียนที่มีระบบปรับอากาศ กรณีศึกษาคณะ
วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

A Study of human thermal comfort in air conditioned classroom case of faculty of
engineering , Mahidol University

เอกรินทร์ แสงธรรมรัตน์¹, โชคชัย จูทะโกสิทธิ์กานนท์¹ และ พสุพล วงศ์เหมืองทอง^{1*}

¹ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา นครปฐม 73170

*ผู้ติดต่อ : ekarins2002@hotmail.com, 081-343-2554, 02-889-2138 Ext.6429

โครงการนี้เป็นการศึกษาสภาวะความสบายภายในห้องเรียนที่มีระบบปรับอากาศ ภายในคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล เพื่อศึกษาแนวทางในการพัฒนาสภาวะความสบายในที่มีระบบปรับอากาศ ในที่นี้ได้ทำการศึกษาค้นคว้าของห้องเรียนที่มีระบบปรับอากาศ ภายในคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษา 4 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อสภาวะความสบาย ดังนี้ อุณหภูมิอากาศ ความเร็วของอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์และ ความเข้มแสง โดยใช้แบบสอบถามเป็นเครื่องมือในการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรมทางสถิติ SPSS V.18 โดยในเบื้องต้นผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาแบบสอบถามและได้ตรวจคุณภาพและวัดความเชื่อมั่นแบบสอบถาม จากนั้นทำการจำลองห้องทดลองและควบคุมสภาพอากาศเพื่อทดลองในสภาวะที่มีการควบคุมตัวแปรต่างๆ แล้วทำการเก็บข้อมูลเปรียบเทียบกับการใช้งานในสภาวะห้องจริง จากข้อมูลที่ได้เก็บนำมาวิเคราะห์เพื่อสรุปหาความสัมพันธ์ของสภาวะความสบาย

จากผลการทดลองพบว่า ค่าอุณหภูมิและความเร็วของอากาศมีผลต่อสภาวะความสบายอย่างมีนัยยะสำคัญทางสถิติที่ 95% และสามารถสร้างสมการถดถอยที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสภาวะความสบายกับอุณหภูมิของอากาศ ความเร็วอากาศและความชื้นสัมพัทธ์ได้ดังนี้ $TC = -12.959 + 0.533T - 0.146Velo - 0.008Rela$ โดยที่สมการนี้มีระดับความเชื่อมั่นที่ 77%

คำหลัก: สภาวะความสบาย, การถ่ายเทความร้อน, ระบบปรับอากาศ , สมการถดถอย

Abstract

A field study of human thermal comfort was conducted in the classroom with air conditioning system at faculty of engineering, Mahidol University. Thermal comfort was measured in 4 factors which are air temperature, air velocity, relative humidity and light intensity. Thermal comfort variable data was collected by questionnaires as survey on their perception/sensation of the indoor climate; the data was measured and analyzed by SPSS V.18 software. Firstly a questionnaire had been calibrated and tested for reliability. The testing room had been set up to control the variable for measurement. The data from control room was compared with non-control room. The data was collected and analyzed in order to determine thermal comfort relationship.

The experimental result found that air temperature and air velocity have an influence to thermal comfort significantly at 95% reliability. The linear regression equation can be written as $TC = -12.959 + 0.533T - 0.146Velo - 0.008Rela$ with 77% reliability.

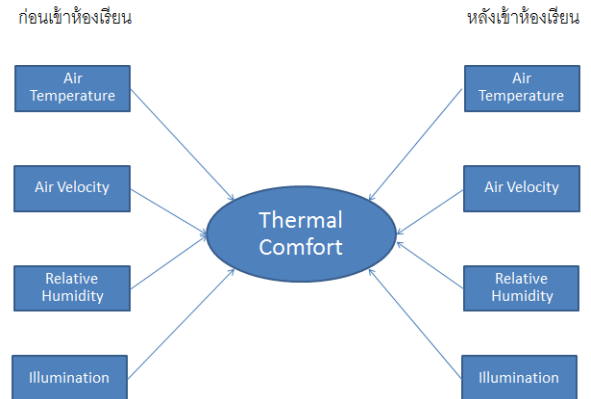
Keywords: Thermal Comfort , Heat Transfer, Air Conditioning, Linear Regression.

ETM-01

1. บทนำ

สภาวะความสบาย (Thermal comfort) หมายถึง ขอบเขตสภาพอุณหภูมิอากาศในช่วงระยะที่ทำให้ร่างกายมนุษย์รู้สึก ร้อนหรือหนาว ซึ่งในที่นี้หมายถึง สภาวะที่สภาพอากาศมีอุณหภูมิ ความเร็วลม และความชื้นที่พอเหมาะ ไม่ทำให้ร่างกายมนุษย์รู้สึกร้อนหรือหนาวเกินไป ช่วงสภาวะน่าสบายของแต่ละบุคคลอาจไม่เท่ากัน เนื่องจากเสื้อผ้า เชื้อชาติ วัฒนธรรม ลักษณะทางกายภาพและจิตใจ ลักษณะการกินอาหาร อายุ เพศ และกิจกรรมที่ทำ [1] โดย B.Stein (1982) [7] ได้ให้คำจำกัดความไว้ว่า การที่ตัวเราไม่รู้สึกอยู่ในสภาวะไม่น่าสบายหรือไม่รู้สึกว่าตัวเองได้สูญเสียความร้อนหรือได้รับความร้อนจากสภาพแวดล้อม เป็นสภาวะที่สมดุลทางอุณหภูมิหรือ ระหว่างร่างกายกับสภาพแวดล้อม ในขณะที่ Givoni (1992) [8] ได้ให้คำจำกัดความสภาวะความสบายไว้ว่าเป็นช่วงเวลาของสภาพอากาศที่มนุษย์พิจารณาว่า น่าสบายและยอมรับได้ โดยปราศจากความรู้สึกร้อนและเปียกชื้นที่ผิวหนัง ซึ่งความเปียกชื้นที่ผิวหนังก็คือเหงื่อที่ตกค้างไม่อาจจะหายจากผิวหนังได้โดยเร็ว จะเห็นได้ว่าสภาวะความสบายมีผลโดยตรงต่อบุคคลที่อยู่ในสิ่งแวดล้อมนั้นๆ ซึ่งจะส่งผลต่อการใช้พลังงานในสภาวะแวดล้อมนั้นๆเช่นกัน [2] ด้วยเหตุนี้งานวิจัยนี้จึงมีเป้าหมายในการศึกษาและวิเคราะห์เปรียบเทียบถึงสภาวะความสบาย (Thermal Comfort) ที่เกิดขึ้นจริงในห้องเรียนที่มีระบบปรับอากาศในคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล การเก็บข้อมูลทำโดยใช้แบบสอบถามเป็นเครื่องมือ โดยทำการเก็บข้อมูลจากการทดลองในหลายๆรอบ เพื่อหาความน่าเชื่อถือ และทำการประมวลผลโดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ผลทางสถิติ (SPSS Version 17) โดยในการทดลองนี้ได้ศึกษาตัวแปรอุณหภูมิอากาศ(Air Temperature) ความเร็วอากาศ (Air Velocity) ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity) และความสว่าง (Illuminance) โดยตัวแปรที่ถูกควบคุมคือ กิจกรรมการเผาผลาญพลังงาน (Met Value) และ ค่าความเป็นฉนวนของเสื้อผ้า (Clo Value) งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ดังนี้ 1. ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศกับสภาวะความสบาย 2. ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วอากาศกับสภาวะความสบาย 3. ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์กับสภาวะความสบาย 4. ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความสว่างกับสภาวะ

ความสบาย 5. ศึกษาระดับสภาวะความสบายของห้องเรียนภายในคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล โดยกรอบแนวคิดงานวิจัยดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงกรอบแนวคิดงานวิจัย (Conceptual Framework) ของการศึกษาสภาวะความสบายของมนุษย์ภายในห้องเรียนที่มีระบบปรับอากาศ

2. งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Y.Teramoto , H.Tokura ,K.Ohkura, Y.Ohmasa, S.Suho, R. Inoshiri (1996) [9] ได้ทำการศึกษาเรื่อง Effect of different light intensities during the forenoon on the afternoon thermal sensation in mild cold ซึ่งเป็นการศึกษาความแตกต่างระหว่างแสงสว่างที่ 200 Lux กับแสงสว่างที่ 4000 lux โดยใช้หลอดไฟ 40 วัตต์ 8 หลอดติดตั้งบนเพดานแล้วนำแผ่นอะครีลิกโปร่งแสงและกระดาษหนาเป็นอุปกรณ์ควบคุมความเข้มแสง พร้อมกับติดกระดาษทึบแสงเพื่อลดอิทธิพลของการแผ่รังสีจากภายนอก พบว่าผู้ทดลองรู้สึกเย็นในสภาพแสงสลัวมากกว่าสภาพแสงสว่าง C.Candido, R.J. de Dear, R.Lamberts (2009) [10] ได้ทำการศึกษาเรื่อง Air movement acceptability limits and thermal comfort in Brazil's hot climate zone โดยศึกษาถึงความรู้สึกถึงความเร็วของอากาศ (Air Velocity) ภายใต้สภาวะความสบายภายในห้องเรียนที่มีการระบายอากาศแบบธรรมชาติ และทำการวัดค่าโดยใช้ microclimatic static (Babuc A) , hit anemometer และ thermometer เป็นหลัก ซึ่งใช้แบบสอบถามเป็นเรื่องมีวัดด้านความรู้สึกของผู้ทดลอง จากนั้นนำแบบสอบถามมาวิเคราะห์ผลทางสถิติ พบว่าที่การยอมรับ 90% ได้แสดงค่าความต้องการความเร็ว

ETM-01

อากาศน้อยที่สุด 0.4 m/s ที่อุณหภูมิ 26 องศาเซลเซียส ขึ้นไปถึง 0.9 m/s สำหรับอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ซึ่งเข้าใกล้หรือสูงกว่า 0.8 m/s ตามขอบเขตของมาตรฐาน ASHRAE

J.W. Wan , K. Yang, W., JK. Zhang (2009) [11] ได้ทำการศึกษาเรื่อง A new method of determination of indoor temperature and relative humidity with consideration of human thermal comfort โดยมีเป้าหมายคือการพัฒนาวิธีการต่อการพิจารณาอุณหภูมิภายใน และความชื้นสัมพัทธ์สำหรับการบริโภคพลังงานที่น้อยที่สุดในขณะที่มีระดับความสบายของมนุษย์ (Human thermal comfort) ที่เพียงพอซึ่งพบว่าภายใต้ความสบายเดียวกัน ทั้งภาระการทำความเย็นและการบริโภคพลังงานเพิ่มขึ้นด้วยอุณหภูมิภายในที่เพิ่มขึ้น มนุษย์มีความอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิมากกว่าความชื้นสัมพัทธ์ โดยที่อิทธิพลของความชื้นสัมพัทธ์ภายใต้การบริโภคพลังงานมีมากกว่าอุณหภูมิที่ต้องการ ดังนั้นการบริโภคพลังงานภายในอาคารปรับอากาศจะลดลงโดยเลือกความชื้นสัมพัทธ์ที่สูงกว่าและอุณหภูมิภายในที่ต่ำกว่า

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การวัดสภาวะความสบาย เป็นแบบสอบถามที่ใช้ในการศึกษาที่ประกอบไปด้วยคำถามถึงความรู้สึกในสภาพอากาศ ความรู้สึกสบายหรือ ความพอใจในสภาพอากาศ โดยใช้มาตรวัดเป็นตัวเลข 7 ตัวมีทั้ง 2 แบบคือ ASHRAE Scale (ASHRAE Standard 55) และแบบ Bedford Scale (Bedford 1936) ดังแสดงในตารางที่ 1 ตารางที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบความพอใจระหว่าง ASHRAE Scale[2] และ Bedford Scale [3]

ASHRAE Scale	Bedford Scale	Numeric
ร้อนมาก	ร้อนมากเกินไป	+3
ร้อน	ร้อนเกินไป	+2
ร้อนเล็กน้อย	รู้สึกสบายแบบอุ่นๆ	+1
กลาง	รู้สึกสบาย	0
เย็นเล็กน้อย	รู้สึกสบายแบบเย็นๆ	-1
เย็น	เย็นเกินไป	-2
หนาว	เย็นมากเกินไป	-3

ปัจจัยที่มีผลต่อความรู้สึกสบายของมนุษย์ ประกอบด้วย 1. ตัวแปรองค์ประกอบของมนุษย์ ประกอบด้วยอัตราการเผาผลาญพลังงานในร่างกาย (Metabolism Rate) และ เสื้อผ้าที่สวมใส่ (Clo Value) 2. ตัวแปรองค์ประกอบสิ่งแวดล้อม ประกอบด้วย อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลมและ อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบ โดยอัตราการเผาผลาญของร่างกาย (Metabolic Activities) และเสื้อผ้าที่สวมใส่ ดังแสดงในตารางที่ 2 และ 3

ตารางที่ 2 แสดงค่าความเป็นฉนวนของเสื้อผ้าสำหรับเพศชาย

Man		Clo
Underware	Single	0.06
	T-Shirt	0.09
	Long, Upper	0.35
	Long, Lower	0.35
Shirt	Light, Short Sleeve	0.14
	Light, Long Sleeve	0.22
	Heavy, Short Sleeve	0.25
	Heavy, Long Sleeve	0.29
Vest	Light	0.15
	Heavy	0.29
Trousers	Light	0.26
	Heavy	0.32
Pullover	Light	0.2
	Heavy	0.37
Jacket	Light	0.22
	Heavy	0.49
Socks	Angle length	0.04
	Knee length	0.1
Footware	Sandals	0.02
	Shoes	0.04
	Boots	0.08

ตารางที่ 3 แสดงค่าความเป็นฉนวนของเสื้อผ้าสำหรับเพศหญิง

Woman		Clo
Underware	Bra+pantries	0.05
	Half slip	0.13
	Full slip	0.19

ETM-01

Woman		Clo
Underware	Long Upper	0.35
	Long Lower	0.35
Blouse	Light	0.2
	Heavy	0.29
Dress	Light	0.2
	Heavy	0.7
Skirt	Light	0.1
	Heavy	0.22
Slacks	Light	0.26
	Heavy	0.44
Pullover	Light	0.17
	Heavy	0.37
Jacket	Light	0.17
	Heavy	0.37
Stocking	Any length	0.01
	Panty hose	0.01
Footware	Sandals	0.02
	Shoes	0.04
	Boots	0.08

และการเผาผลาญพลังงานของร่างกายมนุษย์ในขณะทำกิจกรรมต่างๆ ดังได้แสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แสดงการเผาผลาญของร่างกายในขณะทำกิจกรรมต่างๆ

กิจกรรม	Met	W/m ²	W(ave)
นอนหลับ	0.7	40	70
พักผ่อน บนเตียง	0.8	46	80
นั่งพักผ่อนบนเก้าอี้	1	58	100
ยืน	1.2	70	120
ทำงานเบาๆ	1.6	93	160
ทำงานบ้าน	2	116	200
เดินช้า	3	175	300
เล่นเทนนิส หรือทำงานที่ออกแรงมากกว่าปกติ	ตั้งแต่ 3 ถึง 6	350	600
ทำงานหนักที่ใช้แรงเต็มที่	มากกว่า 7	410	700

2.3 สถิติที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย

การทดสอบค่าเฉลี่ยของกลุ่มประชากรกลุ่มเดียว [4]
(One sample test) ดังแสดงในสมการที่ 1

$$t = \frac{\bar{x} - \mu}{\frac{s}{\sqrt{n}}} \quad (1)$$

เมื่อ

$\bar{x}$ = ค่าเฉลี่ยกลุ่มตัวอย่าง

μ = ค่าเฉลี่ยประชากรทั้งหมด

s = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

n = จำนวนประชากร

การทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของประชากร 2 กลุ่มที่เป็นอิสระต่อกัน (Independent t-test) [4] ดังแสดงในสมการที่ 2

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{s_p^2 \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}} \quad (2)$$

โดยที่

$$s_p^2 = \frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \quad (3)$$

การทดสอบหาความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของประชากร 2 กลุ่มที่มีความสัมพันธ์กัน (Pair Sample T-Test) เป็นการทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของประชากร 2 กลุ่มที่สัมพันธ์กัน หรือ ทดสอบจากประชากรกลุ่มเดียวซ้ำกัน 2 ครั้ง ดังแสดงในสมการที่ 4

$$t = \frac{\sum d}{\frac{s_d}{\sqrt{n}}} \quad (4)$$

โดยที่

$$s_d = \sqrt{\frac{n \sum d^2 - (\sum d)^2}{n(n-1)}} \quad (5)$$

การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) เป็นการทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของตัวแปรอิสระที่มีมากกว่า 2 ตัวแปรขึ้นไป โดยการวิเคราะห์ ANOVA จะเป็นการทดสอบค่าความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยด้วย F Test ตามสมการ

ETM-01

$$F = \frac{MST}{MSE} \quad (6)$$

เมื่อ

F = Anova Coefficient

MST = Mean sum of squares due to treatment

MSE = Mean sum of squares due to error.

การกำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่าง

การกำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่างทำได้โดยการคำนวณจากสมการ ซึ่งจะใช้การกำหนดค่าความคลาดเคลื่อนดังแสดงในสมการที่ 7 สำหรับกรณีที่ทราบจำนวนประชากร และ สมการที่ 8 สำหรับกรณีที่ไม่ทราบจำนวนประชากร [4], [5]

$$n = \frac{N}{1 + N(e)^2} \quad (7)$$

$$n = \frac{p(1-p)(z)^2}{(e)^2} \quad (8)$$

เมื่อ

p = ค่าสัดส่วนของกลุ่มตัวอย่าง

z = z Score สำหรับที่ค่าความเชื่อมั่นที่ต้องการ

e = Margin of Error

การหาค่าความสัมพันธ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 ตัว

เป็นการหาค่าระดับความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเหล่านั้นเพื่ออธิบายการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรที่ศึกษาสามารถเขียนได้ดังสมการที่ 9

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (9)$$

และการหาค่าความสัมพันธ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรมากกว่า 2 ตัวสามารถเขียนได้ดังสมการที่ 10

$$R_{z,xy} = \sqrt{\frac{r_{xz}^2 + r_{yz}^2 - 2 \cdot r_{xz} r_{yz} r_{xy}}{1 - r_{xy}^2}} \quad (10)$$

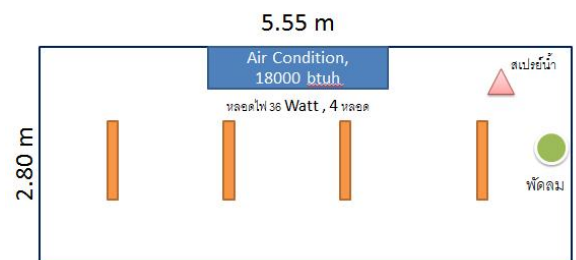
โดยที่ r_{xy} , r_{yz} , r_{xz} หาค่ามาจากสมการที่ 9

3. วิธีการทดลองและเครื่องมือที่ใช้

เครื่องมือที่ใช้ในโครงการประกอบไปด้วย 1. เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนจำนวน 1 เครื่องใช้ใน ห้อง

ทดสอบที่ถูกควบคุมสภาวะ 2. พัฒนชนิดที่สามารถปรับความเร็วรอบได้ 3. เครื่องวัดอุณหภูมิ เครื่องวัดความเร็วอากาศ และ เครื่องวัดปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ 4. เครื่องวัดความสว่าง 5. กระบอกสเปรย์น้ำเพื่อเพิ่มความชื้นในอากาศ และ 6.แบบสอบถามที่ถูก Calibrate แล้ว

สถานที่ทดลองประกอบด้วยห้องทดสอบที่ถูกควบคุม และ ห้องเรียนที่มีการใช้งานจริงภายในอาคารคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ห้องทดลองที่ถูกควบคุมดังแสดงในรูปประกอบที่ 2



รูปที่ 2 แสดงการติดตั้งห้องทดสอบภายใต้การควบคุม

ในห้องทดสอบที่มีการควบคุมมีการติดตั้งระบบปรับอากาศ ขนาด 18,000 Btu/h และ หลอดไฟ ขนาด 36วัตต์ จำนวน 4 หลอด มีพัดลมที่สามารถปรับความเร็วรอบได้ และสเปรย์น้ำเพื่อเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ กลุ่มประชากรที่ถูกทดสอบในห้องทดสอบมีจำนวน 10 คน โดยผลที่ได้จากการทดสอบคือแบบสอบถามที่มีระดับความเชื่อมั่น 95%

จากนั้นนำแบบสอบถามที่ถูก Calibrate จากห้องทดสอบแล้วมาใช้กับส่วนกลุ่มประชากรที่ใช้ในการทดลองในห้องเรียนมีจำนวน 500 คน โดยประชากรเป็นนักศึกษาที่มีการเรียนในตึกคณะวิศวกรรมศาสตร์

4. ผลการทดลอง

การทดลองได้แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนคือการทดสอบความเชื่อมั่นของแบบสอบถาม โดยการให้กลุ่มทดสอบทดลองในห้องทดสอบและตอบแบบสอบถามภายใต้เงื่อนไขการปรับเปลี่ยนตัวแปรภายในห้อง โดยได้เก็บข้อมูลในระหว่างทดสอบดังนี้

เมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจาก 24.7 C ถึง 27.27 C โดยให้ความเร็วของอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์และ ความเข้มแสงคงที่ และได้ทำการทดสอบสมมติฐานดังนี้

H0 : การปรับอุณหภูมิมีผลต่อความรู้สึกโดยรวมไม่แตกต่าง

ETM-01

H1 : การปรับอุณหภูมิมีผลต่อความรู้สึกโดยรวมแตกต่าง การทดสอบทำที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่า การปรับ อุณหภูมิมีผลต่อความรู้สึกแตกต่างที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และผลการทดสอบอื่นๆดังแสดงในตารางที่ 5 ตารางที่ 5 แสดงผลการทดลองการทดสอบสมมติฐานเมื่อ ทำการปรับค่าตัวแปรต่างๆที่เกี่ยวข้องกับสภาวะความ สบาย

ตัวแปรที่ เปลี่ยน	สมมติฐาน	การแปรผล
อุณหภูมิ	การปรับอุณหภูมิมี ผลต่อความรู้สึก โดยรวม	อุณหภูมิต่ำขึ้น ความรู้สึกไม่สบายมากขึ้น
ความเร็ว อากาศ	การปรับความเร็วมี ผลต่อความรู้สึก โดยรวม	ความเร็วลมเพิ่มขึ้น ความรู้สึกไม่สบายมากขึ้น
ความชื้น สัมพัทธ์	การปรับความชื้น สัมพัทธ์มีผลต่อ ความรู้สึกโดยรวม	ความชื้นสัมพัทธ์ เพิ่มขึ้น ความรู้สึกไม่ สบายมากขึ้น
ปริมาณ แสง	การปรับปริมาณ แสง มี ผล ต่อ ความรู้สึกโดยรวม	ความสว่างเพิ่มขึ้น ความรู้สึกไม่สบายมากขึ้น

การศึกษาในขั้นตอนที่2 ประกอบด้วย

2.1 การศึกษาผลเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่าง เพศที่มีผลต่อค่าความเฉลี่ยความรู้สึกโดยรวม ดังแสดงใน ตารางที่ 6

ตารางที่ 6 แสดงผลการทดลองการทดสอบสมมติฐาน ความแตกต่างระหว่างเพศที่มีผลเกี่ยวข้องกับสภาวะความ สบาย

ตัวแปรที่ เปลี่ยน	สมมติฐาน	การแปรผล
อุณหภูมิ	เพศชายและหญิงมี ค ว า ม รู้ สึ ก ต่ อ อุณหภูมิอากาศกับ สภาวะความสบาย โดยรวม	เพศชายและหญิงมี ค ว า ม รู้ สึ ก ต่ อ อุณหภูมิอากาศไม่ แตกต่างกัน
ความเร็ว อากาศ	เพศชายและหญิงมี ค ว า ม รู้ สึ ก ต่ อ ความเร็วอากาศกับ สภาวะความสบาย โดยรวม	เพศชายและหญิงมี ค ว า ม รู้ สึ ก ต่ อ ความเร็วอากาศไม่ แตกต่างกัน

ความชื้น สัมพัทธ์	เพศชายและหญิงมี ค ว า ม รู้ สึ ก ต่ อ ความชื้นสัมพัทธ์กับ สภาวะความสบาย โดยรวม	เพศชายและหญิงมี ค ว า ม รู้ สึ ก ต่ อ ความชื้นสัมพัทธ์ อากาศไม่แตกต่าง กัน
ปริมาณ แสง	เพศชายและหญิงมี ความรู้สึกต่อปริมาณ แสงกับสภาวะความ สบายโดยรวม	เพศชายและหญิงมี ความรู้สึกต่อปริมาณ อากาศไม่แตกต่าง กัน
ภาพรวม	เพศชายและหญิงมี ความรู้สึกต่อสภาวะ ความสบายโดยรวม	เพศชายและหญิงมี ความรู้สึกต่อสภาวะ ความสบายโดยรวม ไม่แตกต่างกัน

2.2 การศึกษาผลกระทบของเสื้อผ้าต่อสภาวะความ สบาย โดยตั้งสมมติฐานดังนี้

H0 : ค่าความเป็นจำนวนของเสื้อผ้ามีผลต่อความรู้สึก โดยรวมไม่แตกต่าง

H1 : ค่าความเป็นจำนวนของเสื้อผ้ามีผลต่อความรู้สึก โดยรวมแตกต่าง

การทดสอบ พบว่า ค่าความเป็นจำนวนของเสื้อผ้ามีผลต่อ ความรู้สึกโดยรวมแตกต่างที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 7 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเป็นจำนวน ของเสื้อผ้า

	เพศ	N	Mean	Std.Dev	SEM
ค่าจำนวน	ชาย	285	3.81	1.7	0.101
	หญิง	224	4.72	0.865	0.058

จากตารางที่7 พบว่าเพศหญิงสวมเสื้อผ้าที่หนากว่าเพศ ชาย โดยที่ค่าความเป็นจำนวนของเสื้อผ้ามีผลต่อสภาวะ ความสบาย ซึ่งไม่น่ามาวิเคราะห์ร่วมกับการวิเคราะห์ เปรียบเทียบสภาวะความสบายของเพศชายและหญิง จึง ส่งผลต่อค่าเฉลี่ยสภาวะความสบายของเพศชายและหญิง ไม่แตกต่างกัน

2.3 การศึกษาผลของการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ ระหว่างค่าเฉลี่ยความรู้สึกในด้านต่างๆและความรู้สึก โดยรวม ดังแสดงในตารางที่ 8 และ ตารางที่ 9

ETM-01

ตารางที่ 8 แสดงระดับความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ
กับสภาวะความสบายโดยรวม

ตัวแปร	ระดับ ความสัมพันธ์	การแปรผล
อุณหภูมิ	0.884	ค่าเฉลี่ยความรู้สึกทางอุณหภูมิต่อสภาวะความสบายมีความสัมพันธ์กันสูง
ความเร็วลม	0.746	ค่าเฉลี่ยความรู้สึกทางความเร็วลมต่อสภาวะความสบายมีความสัมพันธ์กันสูง
ความชื้นสัมพัทธ์	0.126	ค่าเฉลี่ยความรู้สึกทางความชื้นสัมพัทธ์ต่อสภาวะความสบายมีความสัมพันธ์กันน้อย
ความสว่าง	-0.418	ค่าเฉลี่ยความรู้สึกทางความสว่างต่อสภาวะความสบายมีความสัมพันธ์กันปานกลางในทิศทางตรงกันข้าม

ตารางที่ 9 แสดงระดับความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเฉลี่ยความรู้สึกในด้านต่างๆด้วยกันเอง

ตัวแปร	ระดับ ความสัมพันธ์	การแปรผล
อุณหภูมิ + ความเร็วลม	0.684	ค่าเฉลี่ยความรู้สึกทางอุณหภูมิกับความเร็วมมีความสัมพันธ์กันปานกลาง
อุณหภูมิ + ความชื้นสัมพัทธ์	0.12	ค่าเฉลี่ยความรู้สึกทางอุณหภูมิกับความชื้นสัมพัทธ์มีความสัมพันธ์กันน้อย
อุณหภูมิ + ความเข้มแสง	0.427	ค่าเฉลี่ยความรู้สึกทางอุณหภูมิกับความเข้มแสงมีความสัมพันธ์กันปานกลาง
ความเร็วลม + ความชื้นสัมพัทธ์ + แสง	0.157	ค่าเฉลี่ยความรู้สึกทางอุณหภูมิอากาศกับความชื้นสัมพัทธ์มีความสัมพันธ์กันน้อย

ความเร็วลม + ความสว่าง	0.375	ค่าเฉลี่ยความรู้สึกทางความเร็วลมกับความสว่างมีความสัมพันธ์กันปานกลาง
ความชื้นสัมพัทธ์ + ความสว่าง	0.195	ค่าเฉลี่ยความรู้สึกทางความชื้นสัมพัทธ์กับความสว่างมีความสัมพันธ์กันน้อย

2.4 การศึกษาผลของการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความรู้สึกโดยรวมกับ ค่าเฉลี่ยความรู้สึกด้านต่างๆเพื่อการพยากรณ์

จากผลการเก็บข้อมูลผู้วิจัยได้ทำการ Regression เพื่อสามารถเขียนเป็นสมการได้ในสมการที่ 11

$$TC = -12.595 + 0.533T - 0.146V - 0.008R$$

เมื่อ

TC = ระดับความรู้สึก ตั้งแต่ -3 ถึง 3 (อ้างอิง ASHRAE Scale และ Bedford Scale)

T = อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)

V = ความเร็วของอากาศ (m/s)

R = ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ (%RH)

จากการทำ Regression เพื่อหาระดับความรู้สึกจากตัวแปรอุณหภูมิ ความเร็วของอากาศ และ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ พบว่า ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ มีทิศทางไปในทางเดียวกันกับระดับความรู้สึก หรืออุณหภูมิสูงขึ้นระดับความรู้สึกเพิ่มมากขึ้น ระดับความเร็วลมมากขึ้น ส่งผลให้ระดับความรู้สึกลดลง และ ระดับความชื้นสัมพัทธ์อากาศเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ระดับความรู้สึกลดลง โดยปัจจัยจากอุณหภูมิมีมากที่สุด ตามด้วย ปัจจัยด้านความเร็วอากาศและ ความชื้นสัมพัทธ์ตามลำดับ

2.5 การศึกษาเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างสภาวะก่อนและหลังเข้าห้องเรียน ได้ตั้งสมมติฐานดังนี้

H0 : สภาวะความสบายของก่อนและหลังเข้าห้องเรียนของผู้เรียนไม่แตกต่าง

H1 : สภาวะความสบายของก่อนและหลังเข้าห้องเรียนของผู้เรียนแตกต่าง

จากการทดสอบ พบว่า สภาวะความสบายของก่อนและหลังเข้าห้องเรียนของผู้เรียนไม่แตกต่างที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ETM-01

5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

ด้านการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างเพศที่มีต่อสภาวะความสบาย พบว่าไม่มีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความรู้สึกในด้านต่างๆ และความรู้สึกโดยรวมทั้งก่อนและหลังเรียน

ด้านความรู้สึกในด้านอุณหภูมิ ด้านความชื้นสัมพัทธ์ ด้านความเร็วลมมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันกับสภาวะความสบายยกเว้นความสว่างที่มีความสัมพันธ์ระดับปานกลางในทิศทางตรงกันข้าม

เนื่องในการทดลองนี้ยังไม่ได้รวมตัวแปรของคุณภาพอากาศเข้าไปด้วย ดังนั้นในการศึกษาต่อเนื่องควรเพิ่มตัวแปรคุณภาพอากาศเข้าไปด้วย เช่นปริมาณ คาร์บอนไดออกไซด์ และ ปริมาณออกซิเจนในอากาศ เป็นต้น

นอกจากนั้นในการศึกษาต่อเนื่องควรศึกษาเรื่องจำนวนคนต่อพื้นที่ปรับอากาศ ที่ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความสบาย และ อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ที่ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความสบายเช่นกัน

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] สุนทร บุญญธิการ (2542). *เทคนิคการออกแบบบ้านประหยัดพลังงานเพื่อคุณภาพชีวิตที่ดีกว่า*, สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ
- [2] ASHRAE Handbook (2004) ,*Fundamental 10th American Society*, 1791 Tullie Circle., M.E., Atlanta, GA 30329
- [3] C.P. Arora, *Refrigeration and Air conditioning 3rd*., McGraw Hill, London. ,2001
- [4] Richard E. Sonntag, Claus Borgnakke, Gordon J.Van Wylen, *Fundamental of Thermodynamics 6th edition*, John Wiley & Sons, New York , USA.,2003
- [4] ธาณินทร์ ศิลป์จารุ, *การวิจัยและการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วย SPSS พิมพ์ครั้งที่ 9*, บิสิเนสสอาร์แอนด์ดี, กรุงเทพฯ, 2551
- [5] สรชัย พิศาลบุตร ,*วิธีวิจัยเชิงปฏิบัติ* , วิทยพัฒน์ , กรุงเทพฯ,2546
- [6] อวิรุทธ์ ศรีสุธาพรรณ, *เทคโนโลยีสภาพแวดล้อมในการแบบสถาปัตยกรรมในเขตร้อนชื้น*, สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, กรุงเทพฯ,2552

- [7] Stein, B., Reynolds, J.S., Kwok, A., Grondzik, W., *Mechanical and Electrical Equipment for Buildings, 10th ed.*, John Wiley and Sons Inc., New York., 2006
- [8] Givoni, Baruch. *Climate Considerations In Building And Urban Design*, John Wiley & Sons, New York, 1998.
- [9] Y.Teramoto , H.Tokura ,K.Ohkura, Y.Ohmasa, S.Suho, R. Inoshiri (1996) ,*Effect of different light intensities during the for noon on the afternoon thermal sensation in mild cold* , Journal of Thermal Biology, Vol. 21, Number 5, October 1996, pp. 339-343
- [10] C.Candido, R.J. de Dear, R.Lamberts (2009), *Air movement acceptability limits and thermal comfort in Brazil's hot climate zone*, Building and Environment, Vol.45,Issue1, January 2010, Pages 222–229
- [11] J.W. Wan , K. Yang, W., JK. Zhang (2009) , *A new method of determination of indoor temperature and relative humidity with consideration of human thermal comfort*, Building and Environment, Vol.44,Issue2, February 2009, Pages 411–417