การประเมินสภาวะความสบายอุณหภาพของห้องสมุด
กรณีศึกษา คณะนิติศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พรชัย ถิรชีวิน

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
บัณฑิตวิทยาลัย สาขาเทคโนโลยีวิศวกรรม
สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น
ปีการศึกษา 2562

EVALUATION ON THE THERMAL COMFORT OF THE LIBRARY
CASE STUDY OF THE FACULTY OF LAW, CHULALONGKORN UNIVERSITY

Pornchai Triracheewin

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of Requirements
for The Degree of Master of Engineering Program in Engineering Technology
Graduate School
Thai-Nichi Institute of Technology
Academic Year 2019

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประเมินสภาวะความสบายอุณหภาพของห้องสมุด กรณีศึกษา คณะนิติศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
โดย	พรชัย ถิรชีวิน
สาขาวิชา	เทคโนโลยีวิศวกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิภาวดี วงษ์สุวรรณ์

บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร. พิชิต สุขเจริญพงษ์)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. พิพัฒน์ ชัยวิวัฒน์วรกุล)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิมล แสนอุ้ม)

..... กรรมการ

(ดร. วัชรินทร์ หนูทอง)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิภาวดี วงษ์สุวรรณ์)

พรชัย ถิรชีวิน : การประเมินสภาวะความสบายอุณหภาพของห้องสมุด กรณีศึกษา คณะนิติศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิภาวดี วงษ์สุวรรณ์, 102 หน้า.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นงานวิจัยเชิงสำรวจเพื่อประเมินความรู้สึกพึงพอใจและการยอมรับต่อสภาพความสบายอุณหภาพ (Thermal Comfort) ภายในพื้นที่ปรับอากาศห้องสมุดของคณะนิติศาสตร์ จุฬาฯ จำนวน 4 ชั้น โดยใช้แบบสอบถามและเครื่องมือวัดสภาวะอากาศแวดล้อม ทำการเก็บข้อมูลในช่วงเดือน ม.ค. – ก.พ. 2562 และเดือน พ.ค. 2562 ผลวิจัยจะนำไปสู่การเสนอแนวทางการปรับปรุงสภาวะอากาศในห้องสมุด

กลุ่มผู้ใช้บริการห้องสมุดที่ได้รับการสำรวจข้อมูล จำนวน 235 คน เป็นคนไทยที่พักอาศัยอยู่ในกรุงเทพฯ ร้อยละ 72.8 เป็นเพศหญิง และร้อยละ 27.2 เป็นเพศชาย จากการตรวจวัดสภาวะอากาศมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศ 24.38 °C ± 0.95°C ความชื้นสัมพัทธ์ 55.71% ± 5.73% โดยความเร็วลมค่อนข้างต่ำที่ 0.075 m/s ± 0.14 m/s

ผลการประเมินระดับความสบายอุณหภาพจากค่าการโหวตความรู้สึกเชิงอุณหภาพ (PMV) ได้ค่าเฉลี่ย -0.18 แสดงว่าผู้ใช้บริการห้องสมุดมีความรู้สึกเย็นเล็กน้อย ในขณะที่ร้อยละความไม่พอใจเชิงอุณหภาพ (PPD) เฉลี่ย 9.20 จัดอยู่ในความพึงพอใจระดับ A ตามมาตรฐาน ASHRAE ส่วนผลการประเมินความสบายทางอุณหภาพจากแบบสอบถาม (AMV) ได้ค่าเฉลี่ย -0.12 หรือมีความรู้สึกเย็นเล็กน้อยเช่นกัน และสอดคล้องกับค่าทำนาย PMV

โดยรวมค่าการทำนายความสบายอุณหภาพ PMV ใกล้เคียงกับค่า AMV โดย AMV จะสูงกว่าเล็กน้อย ผลการวิเคราะห์ความน่าจะเป็นโดยวิธีการ Logit สำหรับ AMV และสำหรับความคาดหวังต่อความร้อนหรือเย็น ประเมินว่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้บริการห้องสมุดจะรู้สึกสบายอยู่ที่อุณหภูมิโอเปอเรทีฟ 24.29 -24.77 °C ซึ่งเป็นช่วงค่าที่สอดคล้องกับมาตรฐาน ASHRAE

โดยสรุปห้องสมุดคณะนิติศาสตร์นี้มีสภาพอากาศที่ได้รับอิทธิพลจากอุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยและความชื้นสัมพัทธ์ ที่สามารถสร้างความสบายเชิงอุณภาพได้ดีแล้ว อย่างไรก็ดีความเร็วลมค่อนข้างต่ำและควรจะปรับเพิ่มขึ้นอีก ซึ่งทางห้องสมุดควรจะตรวจสอบจุดรั่วของระบบท่อลมและแก้ไขเพื่อให้เกิดความสบายอุณหภาพยิ่งขึ้นต่อไป

บัณฑิตวิทยาลัย ลายมือชื่อนักศึกษา .....

สาขาวิชา เทคโนโลยีวิศวกรรม ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปการศึกษา 2562

PORNCHAI TRIRACHEEWIN: EVALUATION ON LIBRARY THERMAL COMFORT: CASE STUDY OF THE FACULTY OF LAW, CHULALONGKORN UNIVERSITY. ADVISOR: ASST. PROF. DR. WIPAWADEE WONGSUWAN, 102 PP.

This thesis focus on the survey research to evaluate thermal preference and acceptabililty on the thermal comfort within air conditioned space for the 4-story library of the faculty of laws, Chulalongkorn University. The questionnaires and air measurement equipment were implemented during January – February 2019 and May 2019. The research results lead to the recommendation for improving the library air condition.

In the survey, most of the library occupants about 235 persons are Thai people who live in Bangkok; 72.8% is female and 27.2% is male. The average values of measured air conditions are; temperature 24.38 °C ± 0.95°C, relative humidity 55.71% ± 5.73%, and rather low air velocity 0.075 m/s ± 0.14 m/s.

The PMVs is -0.18 that imply occupants feeling “Slight cool”, while the average PPDs is 9.20 classified as the acceptance to thermal comfort level A according to ASHRAE standard. However, the AMVs is averaged to -0.12 showing “Slight cool” consistency with PMV.

Generally, the PMVs value are closed to AMVs, while AMVs were slightly higher. Considering probability analysis based on the Logit for the AMV and for the occupant’s preferences on warmer or cooler condition, the possibility that the occupants would feel “comfort” are at the operative temperature 24.29-24.77 °C, which consistent to the suggested temperature range in the ASHRAE standard.

In summary, the faculty of laws’ library currently having the air conditions influenced by air temperature, mean radiant temperature, and relative humidity, could create appropriate thermal comfort. However, air velocity should be considerably increased so that the library has to inspect leakages within the duct system, and fix them to improve thermal comfort accordingly.

Graduate School Student’s Signature .....

Field of Engineering Technology Advisor’s Signature .....

Academic Year 2019

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีโดยได้รับคำปรึกษาจากอาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย ดร. วิภาวดี วงษ์สุวรรณ์ จากประธานกรรมการสอบ รองศาสตราจารย ดร. พิพัฒน์ ชัยวิวัฒน์วรกุล จากบัณฑิตวิทยาลัยร่วมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี และจากกรรมการสอบ อาจารย์ ดร. วัชรินทร์ หนูทอง และผู้ช่วยศาสตราจารย ดร. วิมล แสนอุ้ม อาจารย์ประจำคณะวิศวกรรมศาสตร์ รวมถึงอาจารย์ทุกท่านที่มิได้เอ่ยนามมา ณ ที่นี้ด้วย ที่ได้คอยให้คำแนะนำและให้ความช่วยเหลือในทุกขั้นตอนของการทำวิจัยครั้งนี้เป็นอย่างดี เพื่อให้งานวิจัยฉบับนี้มีความเรียบร้อบสมบูรณ์

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณคณะนิติศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้การสนับสนุนสถานที่ทำการวิจัย คือ ห้องสมุดคณะนิติศาสตร์ หรือศูนย์ “เพชรรัตน” นิติทรัพยากร ชั้น 1 - ชั้น 4 อาคารเทพทวาราวดี และขอบพระคุณพ่อ แม่ ครอบครัว และเพื่อน ๆ ทุกท่านที่คอยให้กำลังใจให้คำปรึกษาและสนับสนุนการทำงานงานจนประสบผลสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

พรชัย ถิรชีวิน

สารบัญ

หนา

บทคัดยอภาษาไทย ..... ง
บทคัดยอภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ฎ
สารบัญรูป ..... ฏ
รายการสัญลักษณ์ ..... ฑ

บทที่

1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงคของการศึกษา 2
1.3 ขอบเขตของการศึกษา 2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน 2
1.5 ประโยชนที่คาดวาจะไดรับ 3
1.6 แผนงานและระยะเวลาการดำเนินงาน 3

2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข่อง 4
2.1 สภาวะความสบายของมนุษย์ 4
2.2 สภาวะความสบายอุณหภาพ 5
2.3 สมดุลความร้อนของร่างกายมนุษย์ 5
2.3.1 การแผ่รังสีความร้อน 5
2.3.2 การพาความร้อน 5
2.3.3 การนำความร้อน 5
2.3.4 การระเหย 6
2.4 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อสภาวะความสบายอุณหภาพ 6
2.5 ความคุ้นชินต่อสภาพอากาศ 7

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
2	2.6 การถ่ายเทความร้อนระหว่างบุคคลกับสิ่งแวดล้อม	7
	2.6.1 ปัจจัยด้านสภาพแวดล้อม	9
	2.6.2 ปัจจัยจากตัวบุคคล	12
	2.7 ดัชนีความสบายอุณหภาพ	13
	2.7.1 ค่าการโหวตความรู้สึก	13
	2.7.1.1 ค่าทำนายการโหวตความรู้สึกเชิงอุณหภาพเฉลี่ย (PMV)	13
	2.7.1.2 ค่าการโหวตความรู้สึกเชิงอุณหภาพ (AMV)	16
	2.7.2 ร้อยละความไม่พอใจ	16
	2.7.2.1 การทำนายร้อยละความไม่พอใจเชิงอุณหภาพ (PPD)	16
	2.7.2.2 ร้อยละความไม่พอใจเชิงอุณหภาพ (PD)	17
	2.8 อุณหภูมิโอเปอเรทีฟ	18
	2.9 การวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติค	20
	2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	21
3	ระเบียบวิธีการวิจัย	36
	3.1 กรอบแนวคิดการวิจัย	36
	3.2 ขั้นตอนการทดลอง	38
	3.3 การดำเนินการวิจัยและเก็บข้อมูล	39
	3.4 การทำการทดลอง	45
	3.4.1 สถานที่ทำการทดลอง	45
	3.4.2 การประเมินความรู้สึกสบายต่อสภาพอากาศ ณ ปัจจุบัน	47
	3.4.3 เครื่องมือสำรวจ	48
	3.4.3.1 แบบสอบถาม	48
	3.4.3.2 เครื่องมือตรวจวัดสภาวะแวดล้อมอุณหภาพ	48
	3.4.3.3 ตำแหน่งการสำรวจสภาวะอากาศ และความสบายอุณหภาพ	51
	3.5 ปัจจัยที่ส่งผลต่อสภาวะความสบายอุณหภาพ	52

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
3	3.6 แบบจำลองค่าทำนายการโหวตความรู้สึกเชิงอุณหภาพเฉลี่ย (PMV)	53
	3.7 การทำนายร้อยละความไม่พอใจเชิงอุณหภาพ (PPD)	55
4	ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	56
	4.1 สภาพภูมิอากาศของกรุงเทพมหานคร	57
	4.2 การสำรวจความสบายอุณหภาพในห้องปรับอากาศปกติ	57
	4.2.1 เครื่องมือสำรวจ	57
	4.2.1.1 แบบสอบถาม	57
	4.2.1.2 เครื่องมือตรวจวัดสภาวะแวดล้อมอุณหภาพในอาคา	58
	4.2.2 ผลการสำรวจ	58
	4.2.2.1 อาคารที่สำรวจ	58
	4.2.2.2 ชุดข้อมูลจากการสำรวจ	61
	4.2.2.3 ความเป็นฉนวนของเครื่องแต่งกาย	61
	4.2.2.4 สภาวะอากาศในอาคารและความสบายอุณหภาพ	62
	4.2.2.5 ความรู้สึกสบายอุณหภาพ	65
	4.2.2.6 การวิเคราะห์ความน่าจะเป็นการยอมรับทางอุณหภาพ	68
	4.2.2.7 ความน่าจะเป็นของความพึงพอใจเชิงอุณหภาพ	70
	4.2.2.8 การไม่ยอมรับต่อสภาวะแวดล้อมเชิงอุณหภาพ	71
	4.2.2.9 การเคลื่อนไหวลม	72
	4.2.2.10 ความชื้นอากาศ	75
	4.3 ผลวิเคราะห์การวิจัย	76
	4.4 ข้อเสนอแนะแนวทางการปรับปรุงสภาวะอากาศในห้องสมุด	78
5	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	79
	5.1 สรุปผลการทดลอง	79
	5.1.1 สภาวะอากาศและความสบายอุณหภาพ	79
	5.1.2 ดัชนีความสบายอุณหภาพ	80
	5.1.3 ความรู้สึกสบายอุณหภาพ	80
	5.1.4 ความน่าจะเป็นในการยอมรับทางอุณหภาพ	81

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
5	5.1.4.1 การยอมรับทางอุณหภาพตามแบบจำลอง Logit	81
	5.1.4.2 ความพึงพอใจทางอุณหภาพตามแบบจำลอง Logit	81
	5.1.5 การไม่ยอมรับต่อสภาวะแวดล้อมเชิงอุณหภาพ	81
	5.1.6 การเคลื่อนไหวลม	82
	5.1.7 ความชื้นอากาศ	82
	5.1.8 ข้อเสนอแนะแนวทางการปรับปรุงสภาวะอากาศภายในห้องสมุด	82
	5.2 ข้อเสนอแนะ	83
บรรณานุกรม		84
	ภาคผนวก	89
	ภาคผนวก ก.	90
	ภาคผนวก ข.	93
	ภาคผนวก ค.	96
	ภาคผนวก ง.	98
ประวัติย่อผู้วิจัย		102

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
1.1	แผนงานและระยะเวลาในการดำเนินการศึกษาวิจัย ปี พ.ศ. 2561-2562	3
2.1	ระดับการยอมรับทางอุณหภูมิ	17
2.2	สัมประสิทธิ์การพาความร้อนโดยธรรมชาติผ่านแต่ละส่วนของร่างกาย	18
2.3	สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนผ่านร่างกาย	19
2.4	ค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีและการพาความร้อนผ่านร่างกาย	19
2.5	สรุปผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องด้านสภาวะความสบาย	22
3.1	ข้อมูลของพื้นที่ที่จะทำการทดลอง	40
3.2	ระดับสเกลของความรู้สึกภายในห้องปรับอากาศ	48
4.1	สถิติอายุและระดับฉนวนของเสื้อผ้าของคนในห้องสมุดที่ปรับอากาศ	61
4.2	สถิติการตรวจวัดสภาพแวดล้อมในห้องปรับอากาศและดัชนีความสบาย	64
4.3	สถิติผลการประเมินความสบายจากผู้ใช้บริการห้องสมุด	66
4.4	การกระจายของการโหวตความสบายอุณหภาพของผู้ถูกสัมภาษณ์	67
4.5	สถิติอัตราการไหลลมจ่ายและความเร็วลมของห้องสมุด	74

สารบัญรูป

รูป		หน้า
2.1	แบบจำลองการเกิดและการกระจายความร้อนจากร่างกายมนุษย์	8
2.2	ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมกับอุณหภูมิ	10
2.3	การโหวตความรู้สึกเชิงอุณหภาพ 7 ระดับ ตามมาตรฐาน ASHRAE	16
2.4	การทำนายร้อยละความไม่พอใจเชิงอุณหภาพ	17
2.5	ฟังก์ชั่นโลจิสติค (logistic function)	20
3.1	แผนผังแสดงระเบียบวิธีวิจัย	37
3.2	การแบ่งพื้นที่การปรับอากาศของระบบเครื่องส่งลมเย็น ชั้น 1	40
3.3	การแบ่งพื้นที่การปรับอากาศของระบบเครื่องส่งลมเย็น ชั้น 2	41
3.4	การแบ่งพื้นที่การปรับอากาศของระบบเครื่องส่งลมเย็น ชั้น 3	41
3.5	การแบ่งพื้นที่การปรับอากาศของระบบเครื่องส่งลมเย็น ชั้น 4	41
3.6	การกำหนดกริดไลน์ในแบบจำลองพื้นที่ ชั้น 1	42
3.7	การกำหนดกริดไลน์ในแบบจำลองพื้นที่ ชั้น 2	42
3.8	การกำหนดกริดไลน์ในแบบจำลองพื้นที่ ชั้น 3	42
3.9	การกำหนดกริดไลน์ในแบบจำลองพื้นที่ ชั้น 4	43
3.10	วิธีการวัดอัตราการไหลของหัวจ่ายลม (Air Grille)	43
3.11	ข้อมูลจากแบบสอบถามที่นำมากรอกในโปรแกรม Excel	44
3.12	สภาพแวดล้อมของพื้นที่ห้องสมุด ชั้น 1	45
3.13	สภาพแวดล้อมของพื้นที่ห้องสมุด ชั้น 2	45
3.14	สภาพแวดล้อมของพื้นที่ห้องสมุด ชั้น 3	46
3.15	สภาพแวดล้อมของพื้นที่ห้องสมุด ชั้น 4	46
3.16	เครื่องส่งลมเย็น (Air Handing Unit : AHU)	47
3.17	หัวจ่ายลม (Air Grille)	47
3.18	เครื่องมือวัดความเร็วลม แบบ Hot wire ยี่ห้อ Benetech รุ่น GM8903	49
3.19	เครื่องมือเครื่องวัดค่าความชื้น ยี่ห้อ UNI-T รุ่น UT333	49
3.20	เครื่องมือเครื่องวัดค่าดัชนีความร้อน และอุณหภูมิ ยี่ห้อ Lutron รุ่น WBGT-2010SD	50

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป		หน้า
3.21	การติดตั้งเครื่องมือวัดค่าพารามิเตอร์สภาพอากาศ	50
3.22	ตำแหน่งการสำรวจภาวะความสบายภายในห้องสมุด ชั้น 1	51
	ก. มกราคม-กุมภาพันธ์ 2562	51
	ข. เมษายน 2562	51
3.23	ตำแหน่งการสำรวจภาวะความสบายภายในห้องสมุด ชั้น 2	51
	ก. มกราคม-กุมภาพันธ์ 2562	51
	ข. เมษายน 2562	51
3.24	ตำแหน่งการสำรวจภาวะความสบายภายในห้องสมุด ชั้น 3	52
	ก. มกราคม-กุมภาพันธ์ 2562	52
	ข. เมษายน 2562	52
3.25	ตำแหน่งการสำรวจภาวะความสบายภายในห้องสมุด ชั้น 4	52
	ก. มกราคม-กุมภาพันธ์ 2562	52
	ข. เมษายน 2562	52
4.1	ห้องสมุดคณะนิติศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (สถานที่สำรวจ)	58
4.2	ผังการกระจายลมเย็นในพื้นที่ปรับอากาศห้องสมุด ชั้นที่ 1	59
4.3	ผังการกระจายลมเย็นในพื้นที่ปรับอากาศห้องสมุด ชั้นที่ 2	59
4.4	ผังการกระจายลมเย็นในพื้นที่ปรับอากาศห้องสมุด ชั้นที่ 3	60
4.5	ผังการกระจายลมเย็นในพื้นที่ปรับอากาศห้องสมุด ชั้นที่ 4	60
4.6	บรรยายกาศในพื้นที่ห้องสมุด ชั้น 3	60
4.7	เครื่องแต่งกายของนิสิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	62
4.8	ลักษณะการติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดสภาพแวดล้อมของอากาศ	63
4.9	อุณหภูมิโอเปอร์เรทีฟกับอุณหภูมิอากาศในห้องจากข้อมูลผลสำรวจ	65
4.10	ค่า AMV และ PMV กับอุณหภูมิโอเปอเรทีฟ (T_o)	67
4.11	ความน่าจะเป็นของการยอมรับทางอุณหภาพตามแบบจำลอง Logit	69
4.12	ความน่าจะเป็นของความพึงพอใจทางอุณหภาพตามแบบจำลอง Logit	70
4.13	การสำรวจการยอมรับภาวะแวดล้อมในเชิงอุณหภาพกับอุณหภูมิโอเปอเรทีฟ (T_o)	72
4.14	ลักษณะของหัวจ่ายลมแบบสี่เหลี่ยม (Air Grill)	73
4.15	ความต้องการการเคลื่อนไหวอากาศสัมพัทธ์กับอุณหภูมิโอเปอเรทีฟ (T_o)	74
4.16	ความสัมพันธ์ของความคาดหวังต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นสัมพันธ์กับอุณหภูมิน้ำค้าง	75

รายการสัญลักษณ์

S	คือ	ความร้อนที่เก็บรักษาในร่างกาย, W/m^2
M	คือ	อัตราการเผาผลาญพลังงานของร่างกาย, W/m^2
W	คือ	ระดับการทำงานของมนุษย์, W/m^2
C	คือ	การสูญเสียความร้อนโดยการพา, W/m^2
R	คือ	การสูญเสียความร้อนโดยการแผ่รังสี, W/m^2
E_{sk}	คือ	การสูญเสียความร้อนโดยการระเหยจากทางผิวหนัง, W/m^2
C_{res}	คือ	การสูญเสียความร้อนโดยการพาจากการหายใจ, W/m^2
E_{res}	คือ	การสูญเสียความร้อนโดยการระเหยจากการหายใจ, W/m^2
K	คือ	การสูญเสียความร้อนโดยการนำความร้อน, W/m^2
PMV	คือ	การทำนายค่าการโหวตความรู้สึกเชิงอุณหภาพ
AMV	คือ	การทำนายค่าร้อยละความไม่พอใจเชิงอุณหภาพ
PPD	คือ	การทำนายร้อยละความไม่พอใจเชิงอุณหภาพ, %
S_c	คือ	ความร้อนสะสมภายในร่างกาย, W/m^2
$M - W$	คือ	อัตราการผลิตพลังงานสุทธิ, W/m
Q_{csk}	คือ	การถ่ายเทความร้อนจากภายในร่างกายสู่ผิวหนัง, W/m^2
T_a	คือ	อุณหภูมิอากาศ, °C
RH	คือ	ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ, %
V_a	คือ	ความเร็วลม, m/s
T_r	คือ	อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย, °C
T_n	คือ	อุณหภูมิผิววัตถุ, °C โดย n = 1, 2, 3, ...n
F_{p-n}	คือ	ตัวประกอบการมองเห็นระหว่างคน (p) และผิววัตถุ (n)
T_g	คือ	อุณหภูมิโกลบ, °C
ε	คือ	ค่าการเปล่งรังสีของโกลบ, ไม่มีหน่วย และค่ามาตรฐาน คือ 0.95
D	คือ	เส้นผ่านศูนย์กลางของโกลบ, m.
I_{cl}	คือ	ค่าความต้านทานของเสื้อผ้า, clo
$\sum i_{cl}$	คือ	ผลรวมค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้า, clo

รายการสัญลักษณ์ (ต่อ)

P_a	คือ	ความดันไอน้ำในบรรยากาศ, Pa
f_{cl}	คือ	อัตราส่วนของพื้นที่ของเสื้อผ้าต่อพื้นที่ผิวของร่างกาย
T_{cl}	คือ	อุณหภูมิผิวของเสื้อผ้า, °C
h_c	คือ	สัมประสิทธิ์การพาความร้อน, W/m^2K
T_o	คือ	อุณหภูมิโอเปอเรทีฟ, °C
T_{sk}	คือ	อุณหภูมิผิวหนังของร่างกาย, °C
T_s	คือ	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน
E_{diff}	คือ	การสูญเสียความร้อนผ่านผิวหนัง
E_{sw}	คือ	การสูญเสียความร้อนจากเหงื่อ
$LRES$	คือ	การสูญเสียความร้อนแฝงจากการหายใจ
$DRES$	คือ	การสูญเสียความร้อนสัมผัสจากการหายใจ

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา

สภาวะอากาศของประเทศไทยเป็นแบบร้อนชื้นและมีแนวโน้มอุณหภูมิที่สูงขึ้นโดยเฉพาะในฤดูร้อนที่มีช่วงเวลายาวนานกว่าฤดูอื่น และมีความเสี่ยงต่อสภาพอากาศที่รุนแรงมากขึ้นจากผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก (Global climate change) [1-2]

การคำนึงถึงความสบายอุณหภาพหรือความสบายเชิงความร้อน (Thermal comfort) เพื่อให้อาคารมีความสบายที่เหมาะสมและส่งผลต่อสุขภาพที่ดีของผู้ใช้อาคาร จึงเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ในยุคปัจจุบัน ซึ่งคำว่า “ความสบายเชิงอุณหภาพ (Thermal comfort)” ได้รับการนิยามจากสมาคมวิศวกรรมการปรับอากาศแห่งสหรัฐอเมริกา (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) [3] ตามมาตรฐาน ASHRAE 55-92 ว่าหมายถึง “สภาวะของจิตใจที่แสดงถึงความพึงพอใจต่อสภาวะอากาศแวดล้อม” อย่างไรก็ตามสภาวะอากาศหนึ่ง ๆ ไม่สามารถทำให้คนทุกคนรู้สึกพึงพอใจได้ ดังนั้น จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาเพื่อสำรวจหาสภาวะอากาศที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้คนส่วนใหญ่ในที่นั้นรู้สึกสบายเชิงอุณหภาพ โดยเฉพาะพื้นที่ปรับอากาศสาธารณะที่มีคนใช้งานเป็นประจำ อาทิ ห้องเรียน ห้องสมุด โรงหนัง ห้างสรรพสินค้า ฯลฯ

งานศึกษาวิจัยนี้เพื่อประเมินสภาวะความสบายอุณหภาพของห้องสมุดคณะนิติศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (ศูนย์ “เพชรรัตน” นิติทรัพยากร) ชั้น 1– 4 อาคารเทพทวาราวดี ซึ่งเป็นสถานศึกษาและมีผู้มาใช้บริการหมุนเวียนสับเปลี่ยนกันตลอดเวลา การสำรวจสภาวะอากาศแวดล้อมในอาคารจึงเป็นสิ่งจำเป็น ซึ่งจะส่งเสริมให้ผู้ใช้บริการห้องสมุดส่วนมากรู้สึกพึงพอใจ และยังช่วยสนับสนุนการใช้พลังงานสำหรับการปรับอากาศอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

ความรู้สึกสบายเชิงอุณหภาพขึ้นอยู่กับ 6 ปัจจัยเชิงปริมาณ ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ (Air temperature) ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity) ความเร็วลม (Air speed) อุณหภูมิการแผ่รังสี (Radiant temperature) ระดับกิจกรรม (Activity level) ที่ส่งผลต่อการเผาผลาญพลังงาน และระดับฉนวนของเสื้อผ้า (Clothing insulation) [4] นอกจากนี้ ยังขึ้นอยู่กับปัจจัยเชิงคุณภาพ ได้แก่ ความชอบของแต่ละบุคคล ความเคยชินกับสภาพอากาศ นิสัย การศึกษา และเพศ [5] ซึ่งห้องสมุดมีสภาพแวดล้อมและลักษณะการใช้งานที่เฉพาะตัว ความสบายอุณหภาพในพื้นที่ปรับอากาศเป็นส่วนสำคัญที่จะทำให้ผู้ใช้บริการห้องสมุดพึงพอใจ และยินดีใช้งานห้องสมุดอย่างเต็มประสิทธิภาพ จึงนำมาซึ่งวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

เพื่อประเมินสภาวะความสบายอุณหภาพ ภายในห้องสมุดคณะนิติศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และเสนอแนวทางการปรับปรุงสภาวะอากาศเพื่อเพิ่มความสบายอุณหภาพ

1.1 ขอบเขตของการศึกษา

1.1.1 กำหนดสถานที่และบริเวณที่จะเก็บข้อมูล เฉพาะพื้นที่ปรับอากาศภายในห้องสมุดคณะนิติศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (ศูนย์ “เพชรรัตน” นิติทรัพยากร) ชั้น 1 – 4 อาคารเทพทวาราวดี

1.1.2 บันทึกข้อมูลจากแบบสอบถามสำหรับผู้ใช้บริการห้องสมุด และข้อมูลวัดสภาวะอากาศจากเครื่องมือวัด (เก็บรายนาที ในช่วงเวลาทำงาน) และประเมินค่าดัชนีความสบายอุณหภาพตามมาตรฐาน ASHRAE 55-92 (ASHRAE, 1992) ด้วยแบบจำลองของ Takahiro SATO ที่ปรับปรุงจากแบบจำลองของ Fanger เมื่อปี ค.ศ. 2002

1.1.3 จำนวนชุดข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างไม่เกิน 235 ชุด

1.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1.4.1 ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินสภาวะความสบายอุณหภาพ ศึกษาวิธีการสำรวจสภาวะอากาศภายในห้องสมุด

1.4.2 ออกแบบแบบสอบถามที่เหมาะสม โดยกำหนดหัวข้อและรายละเอียดของแบบสอบถามที่จะใช้ในการเก็บข้อมูลจากผู้ใช้บริการห้องสมุด และจัดทำแบบสอบถาม

1.4.3 ออกแบบการทดลองเพื่อการเก็บข้อมูลอย่างเป็นระบบและครบถ้วน

1.4.4 แบ่งโซนพื้นที่ในแต่ละชั้นเพื่อเก็บข้อมูลสำหรับการประเมินความสบายอุณหภาพจากผู้ใช้บริการห้องสมุดโดยแบบสอบถาม จำนวน 235 ตัวอย่างหรือชุดข้อมูล

1.4.5 ใช้แบบสอบถามสำรวจข้อมูลจากผู้ใช้บริการห้องสมุด ในช่วง ม.ค.- ก.พ. 62 และ พ.ค. 62 พร้อมทั้งใช้เครื่องมือวัดสภาพอากาศไปพร้อมกับการใช้แบบสอบถาม

1.4.6 การเตรียมเครื่องมือวัดความเร็วลมและอุณหภูมิ แบบ Hotwire Anemometer และเครื่องมือวัดความชื้น (Humidity meter) และเครื่องมือวัดอุณหภูมิโกลบ เพื่อใช้เก็บข้อมูลมาคำนวณค่าดัชนีความสบายอุณหภาพ

1.4.7 ตรวจวัดสภาวะอากาศแวดล้อมในพื้นที่ที่ผู้ใช้บริการห้องสมุด

1.4.8 วิเคราะห์วิจารณ์ข้อมูลจากแบบสอบถามและจากผลการวัดค่าสภาพอากาศ

1.4.9 สรุปผลการวิจัยส่วนหนึ่งและเขียนบทความวิจัยเพื่อนำเสนอในที่ประชุมวิชาการ TNIAC 2019

1.4.10 เสนอแนวทางการปรับปรุงคุณภาพอากาศภายในห้องสมุดที่ช่วยเพิ่มความสบายอุณหภาพ

1.4.11 ประมวลผลทั้งหมด และสรุปผลการวิจัย จัดทำเล่มวิทยานิพนธ์ และสอบป้องกันวิทยานิพนธ์

1.4.12 แก้ไขเล่มวิทยานิพนธ์ตามข้อเสนอแนะของกรรมการสอบฯ และจัดส่งบัณฑิตวิทยาลัย

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ทราบผลการเปรียบเทียบค่าดัชนีความสบายอุณหภาพจากแบบสอบถามและจากที่คำนวณได้จากแบบจำลองตามมาตรฐาน และประเมินได้ว่าผู้ใช้บริการห้องสมุดส่วนใหญ่รู้สึกพึงพอใจต่อสภาพอากาศภายในห้องสมุดหรือไม่อย่างไร รวมทั้งทราบแนวทางการปรับปรุงสภาวะอากาศภายในห้องสมุดเพื่อเพิ่มความสบายอุณหภาพ

1.6 แผนงานและระยะเวลาดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 แผนงานและระยะเวลาในการดำเนินการศึกษาวิจัย

	ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการ	ปี พ.ศ.2561					ปี พ.ศ.2562									
		8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง															
2	สอบป้องกันโครงร่างวิทยานิพนธ์															
3	ออกแบบระเบียบวิธีวิจัย															
4	จัดเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์															
5	จัดทำแบบสอบถาม และเก็บข้อมูลด้วยเครื่องมือวัด															
6	วิเคราะห์ข้อมูลและกำหนดแนวทางปรับปรุง															
7	นำเสนอผลงานทางวิชาการ															
8	สรุปผลการทดลองและจัดทำวิทยานิพนธ์															
9	สอบป้องกันวิทยานิพนธ์															

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ตั้งแต่อดีตจนปัจจุบันมนุษย์พยายามปรับสภาวะแวดล้อมอากาศรอบตัวให้มีความสบายเชิงอุณหภาพมากที่สุด เนื่องจากสภาวะความสบายส่งผลโดยตรงต่อการดำเนินชีวิตประจำวัน การออกแบบและสร้างอาคารต้องเอื้อต่อการปรับสภาพอากาศภายในอย่างมีประสิทธิภาพตามความต้องการของผู้อาศัย จึงมีงานวิจัยด้านนี้อย่างต่อเนื่อง เพื่อใช้ประโยชน์ตัวแปรที่มีผลต่อสภาวะความสบายอุณหภาพในสิ่งแวดล้อมที่อาศัยอยู่

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงประเมินสภาวะความสบายอุณหภาพของห้องสมุดคณะนิติศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เพื่อให้เกิดความสบายและเหมาะสมที่สุดกับผู้ใช้บริการห้องสมุดส่วนมาก อ้างอิงตามมาตรฐาน ISO 7730 [6] และ ASHRAE 55 [3, 7] รวมถึงข้อมูลจากงานวิจัยและวิทยานิพนธ์ที่เกี่ยวข้อง โดยมีรายละเอียดต่อไปนี้

2.1 สภาวะความสบายของมนุษย์ (Human Comfort)

ความรู้สึกสบายหรือไม่สบายของมนุษย์ขึ้นอยู่กับการทำงานร่วมกันของอวัยวะที่รับความรู้สึกไม่ว่าจะเป็น ตา หู จมูก สมองและการสัมผัส รับรู้ได้จากการมองเห็น การได้ยิน การสัมผัส และความสบายด้านอุณหภูมิและระดับคุณภาพของอากาศ นักวิจัยหรือองค์กรต่าง ๆ ได้กำหนดมาตรฐานเพื่อวัดระดับความสบายโดยทดลองวัดความรู้สึกของมนุษย์ และประเมินค่าออกมาโดยวิธีทางสถิติ

โดยปกติมนุษย์จะอยู่ในห้องที่มีอากาศไหลเวียนได้ดี แต่ถ้าจำเป็นต้องไปอยู่ในห้องที่ถูกปิดมิดชิดโดยไม่มีอากาศไหลเวียนเป็นระยะเวลาหนึ่ง มนุษย์จะรู้สึกไม่สบายและอึดอัด ซึ่งข้อสังเกตนี้นักเคมีชื่อ Lavoisier อธิบายไว้ในปี ค.ศ. 1777 ว่าการเพิ่มความหนาแน่นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจของมนุษย์ ทำให้มนุษย์เกิดความรู้สึกอึดอัด ต่อมาใน ค.ศ. 1858 นักสุขศาสตร์ชื่อ Max Von Paattenkofer อธิบายว่าการปล่อยลมหายใจของมนุษย์ที่เป็นพิษออกมาเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และในปี ค.ศ. 1905 นักสุขศาสตร์ชื่อ Frugge ได้เสนอทฤษฎีที่ใช้กันจนถึงปัจจุบันว่า “ร่างกายของมนุษย์อาจเปรียบเทียบเหมือนเครื่องยนต์ที่สันดาปภายใน และต้องถ่ายเทความร้อนที่เกิดจากการทำงาน ถ้าความร้อนนี้ไม่สามารถระบายออกจากร่างกายได้ เนื่องมาจากอุณหภูมิที่สูงก็จะส่งผลให้รู้สึกไม่สบาย” [8]

2.2 สภาวะความสบายอุณหภาพ (Thermal Comfort)

สภาวะความสบายอุณหภาพเป็นสภาวะที่มีอุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วลมที่เหมาะสมกับร่างกายของมนุษย์ที่ปกติมีอุณหภูมิภายใน 37 °C และมีอุณหภูมิที่ผิวหนังเฉลี่ยประมาณ 34 °C และร่างกายมนุษย์ต้องรักษาสมดุลอุณหภูมิภายในร่างกายให้อยู่ในสภาวะปกติเสมอ [9] ซึ่ง ASHRAE ได้นิยามความสบายอุณหภาพ (Thermal Comfort) ไว้ว่าเป็น “สภาวะของจิตใจที่แสดงถึงความพึงพอใจกับสิ่งแวดล้อมทางอุณหภาพและจะถูกประเมินโดยขึ้นกับบุคคล” หรือจากภาษาอังกฤษต้นฉบับที่ว่า “That condition of mind which expresses satisfaction with the thermal environment and is assessed by subjective evaluation” [3] หรือสภาพของจิตใจที่มีความพึงพอใจในอุณหภูมิแวดล้อม

ดังนั้น มนุษย์จึงหาวิธีสร้างสภาวะแวดล้อมให้ตนเองรู้สึกสบาย เช่น การเลือกอยู่ใต้ต้นไม้เพื่อหลบความร้อนจากแสงอาทิตย์ การเปิดหน้าต่างเพื่อระบายอากาศ การโบกพัดเพื่อคลายความร้อน หรือการเลือกทำกิจกรรมต่าง ๆ ที่ผ่อนคลายความร้อนในร่างกาย ฯลฯ

2.3 สมดุลความร้อนของร่างกายมนุษย์ (Body Heat Balance)

โดยปกติร่างกายของมนุษย์จะมีการถ่ายเทความร้อนกับสิ่งแวดล้อมอยู่ตลอดเวลาเพื่อรักษาอุณหภูมิภายในร่างกายให้อยู่ที่ 37 °C เสมอ ดังนั้นการผลิตพลังงานของร่างกายมนุษย์จึงได้มาจากกระบวนการเผาผลาญอาหาร (Metabolism) โดยตรง พลังงานจะถูกนำมาใช้แค่ 20% เท่านั้น ส่วนที่เหลืออีก 80% จะถูกถ่ายเทให้กับสภาพแวดล้อมรอบ ๆ ลักษณะของการถ่ายเทความร้อนระหว่างมนุษย์กับสิ่งแวดล้อม [9-11] สามารถแบ่งออกเป็น 4 ประเภท ได้แก่

2.3.1 การแผ่รังสีความร้อน (Radiation)

การแผ่รังสีความร้อนเป็นการถ่ายเทความร้อนโดยไม่อาศัยการสัมผัสและตัวกลาง แต่เกิดจากการแผ่รังสีจากต้นกำเนิดความร้อน

2.3.2 การพาความร้อน (Convection)

การพาความร้อนเป็นการถ่ายเทความร้อนโดยอาศัยตัวกลางพาความร้อนจากต้นกำเนิดความร้อนไปยังวัตถุหรือส่วนที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า

2.3.3 การนำความร้อน (Conduction)

การนำความร้อนเป็นการถ่ายเทความร้อนที่วัตถุ 2 ชนิดต้องมีการสัมผัสกัน โดยความร้อนจะถูกนำจากที่อุณหภูมิสูงกว่าไปยังที่อุณหภูมิต่ำกว่า จนกระทั่งอุณหภูมิเท่ากันการนำความร้อนจึงจะสิ้นสุดลง

2.3.4 การระเหย (Evaporation)

การระเหยน้ำในร่างกายสัมพันธ์กับการหายใจเข้าออก ของเหลวจะระเหยได้เมื่อมีการดึงความร้อนจากผิวบริเวณที่ของเหลวระเหย อย่างไรก็ตามความสามารถของร่างกายมนุษย์ในการปรับตัวให้เข้ากับสิ่งแวดล้อมย่อมมีข้อจำกัดอยู่บ้าง ถึงแม้ว่าร่างกายมนุษย์จะปรับตัวได้แต่มนุษย์ก็รู้สึกถึงความไม่สบายอยู่ดี สมดุลความร้อนของร่างกายมนุษย์เขียนในรูปสมการที่ถูกพัฒนาโดย Fanger [9] ที่แสดงให้เห็นถึงตัวแปรต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายเทความร้อนระหว่างมนุษย์กับสิ่งแวดล้อม เช่น การสูญเสียความร้อนจากการพาความร้อน ระดับกิจกรรมการทำงาน และการผลิตความร้อนจากกระบวนการเผาผลาญอาหาร เป็นต้น ซึ่งแสดงสมการคำนวณค่าความร้อนที่เก็บรักษาในร่างกายดังสมการที่ 2.1

$$S = M - W - C - R - E_{sk} - C_{res} - E_{res} - K \tag{2.1}$$

เมื่อ S คือ ความร้อนที่เก็บรักษาในร่างกาย, W/m^2

M คือ อัตราการเผาผลาญพลังงานของร่างกาย, W/m^2

W คือ ระดับการทำงาน, W/m^2

C คือ การสูญเสียความร้อนโดยการพาความร้อน, W/m^2

R คือ การสูญเสียความร้อนโดยการแผ่รังสี, W/m^2

E_{sk} คือ การสูญเสียความร้อนโดยการระเหยจากทางผิวหนัง, W/m^2

C_{res} คือ การสูญเสียความร้อนโดยการพาจากการหายใจ, W/m^2

E_{res} คือ การสูญเสียความร้อนโดยการระเหยจากการหายใจ, W/m^2

K คือ การสูญเสียความร้อนโดยการนำความร้อน, W/m^2

2.4 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อสภาวะความสบายอุณหภาพ (Thermal Comfort Factor)

ความสบายอุณหภาพ (Thermal comfort) คือ ความรู้สึกพึงพอใจต่อภาวะแวดล้อมรอบตัว ซึ่งความสบายอุณหภาพได้รับการนิยามจากสมาคมวิศวกรรมการปรับอากาศแห่งสหรัฐอเมริกา (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) ตามมาตรฐาน ANSI/ASHRAE Standard 55 1992 วาหมายถึง “สภาวะของจิตใจที่แสดงถึงความพึงพอใจตอสภาวะอากาศแวดลอม”

จากการศึกษาของ Fanger [9] พบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อสภาวะความสบายอุณหภาพของมนุษย์มีอยู่ด้วยกัน 6 ปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ (Ambient Air Temperature) อุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ย (Mean Radiant Temperature) ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity) ความเร็วอากาศหรืออัตราเร็วลม (Air Velocity or Wind Speed) อัตราการเผาผลาญพลังงาน (Metabolic Rate) และลักษณะเสื้อผ้าที่สวมใส่ (Clothing) โดย 4 ปัจจัยแรกเป็นด้านสภาวะแวดล้อม และสองปัจจัยหลังเกี่ยวข้องกับตัวบุคคล

มาตรฐาน ASHRAE (1992) และ ISO 7730 กำหนดว่าความสบายอุณหภาพของกลุ่มคนส่วนใหญ่ สามารถประเมินได้ด้วยดัชนีการทำนายค่าการโหวตความรู้สึกเชิงอุณหภาพ (Predicted Mean Vote: PMV) และการทำนายค่าร้อยละความไม่พอใจเชิงอุณหภาพ (Predicted Percentage of Dissatisfied: PPD)

2.5 ความคุ้นชินต่อสภาพอากาศ

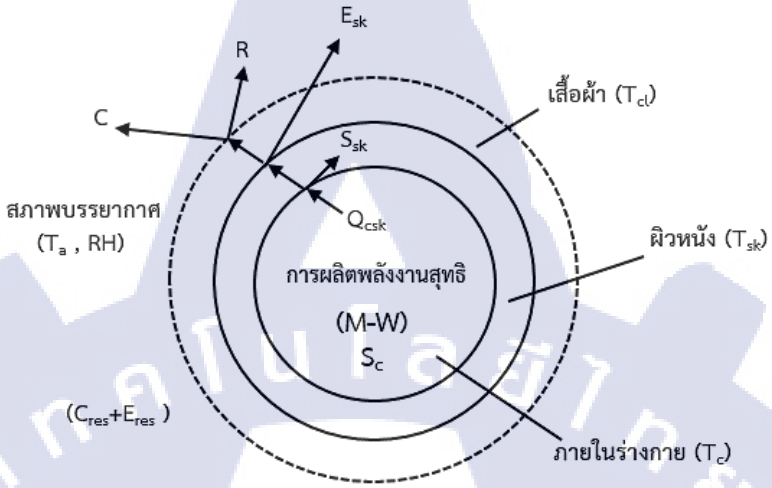
การปรับตัวของร่างกายให้เข้ากับสภาพแวดล้อม นอกจากปัจจัยส่วนบุคคลแล้วยังมีปัจจัยด้านความเคยชินต่อสภาพอากาศในท้องที่หรือตามเชื้อชาติ เช่น คนในเขตหนาวจะสามารถต้านทานอากาศหนาวได้ดีกว่าคนในเขตร้อน เนื่องจากสภาพร่างกายมีการปรับตัวให้เหมาะสมกับสภาพอากาศที่เจอเป็นประจำ หรือการอยู่อาศัยในพื้นที่ใด ๆ เป็นเวลานานจนร่างกายปรับตามสภาพอากาศพื้นที่นั้น นอกจากนี้ร่างกายจะปรับตัวให้เคยชินกับสภาพอากาศที่เจอ ณ ช่วงเวลาหนึ่ง หากอยู่ในสภาพอากาศที่มีอุณหภูมิใกล้เคียงกันเป็นเวลานานร่างกายจะปรับตัวให้เข้ากับสภาพอากาศนั้น โดยการขยายตัวหรือหดตัวของเส้นเลือด ทำให้การรับรู้อุณหภูมิเปลี่ยนไป จนเกิดความเคยชินต่ออุณหภูมินั้น ๆ ช่วงอุณหภูมิที่ร่างกายไม่รู้สึกร้อนหรือหนาว เรียกว่า “ช่วงอุณหภูมิที่เป็นกลาง หรือ ศูนย์สรีระ” ซึ่งอาจจะมีความกว้างของช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 0.01–8 °C [12-14]

2.6 การถ่ายเทความร้อนระหว่างบุคคลกับสิ่งแวดล้อม

ความสบายอุณหภาพจะเกิดขึ้นได้เมื่อสภาพแวดล้อมของอากาศภายนอกและสภาพในร่างกายมีความสมดุลทางความร้อนต่อกัน โดยการปรับสภาพในร่างกายเป็นเรื่องยากกว่าการปรับสภาพแวดล้อมของอากาศภายนอก

Gagge และคณะ [15] ได้สร้างแบบจำลองสมดุลความร้อนของร่างกายดังแสดงในรูปที่ 2.1 ภายในร่างกายของมนุษย์มีการผลิตความร้อนออกมาโดยกระบวนการเมตาบอลิซึม ในขณะที่การสูญเสียความร้อนของร่างกายเกิดจากการหายใจและทางผิวหนัง ขณะที่ความร้อนถ่ายเทออกสู่ภายนอกผ่านทางผิวหนังนั้น จะมีความร้อนส่วนหนึ่งถูกเก็บกักไว้บริเวณผิวหนัง และส่วนที่เหลือจะออกจากผิวหนังโดยการพาความร้อน การแผ่รังสีความร้อน และการระเหยทางเหงื่อจากผิวหนัง

โดยเส้นวงกลมวงในสุดแสดงให้เห็นถึงการถ่ายเทความร้อนภายในร่างกาย และเส้นวงกลมวงถัดมาเป็นการถ่ายเทความร้อนจากผิวหนัง และสุดท้ายเป็นส่วนของเสื้อผ้าซึ่งก็คือวงกลมเส้นประ



รูปที่ 2.1 แบบจำลองการเกิดและการกระจายความร้อนจากร่างกายมนุษย์

จากรูปที่ 2.1 จะได้สมการถ่ายเทความร้อนจากภายในร่างกายสู่สิ่งแวดล้อม ดังสมการที่ 2.2

$$S_c = (M - W) - C_{res} - E_{res} - Q_{csk} \tag{2.2}$$

เมื่อ S_c คือ ความร้อนสะสมภายในร่างกาย, W/m^2

$M - W$ คือ อัตราการผลิตพลังงานสุทธิ, W/m^2

C_{res} คือ การถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อนจากการหายใจ, W/m^2

E_{res} คือ การถ่ายเทความร้อนโดยการระเหยจากการหายใจ, W/m^2

Q_{csk} คือ การถ่ายเทความร้อนจากภายในร่างกายสู่ผิวหนัง, W/m^2

สมการคำนวณความร้อนสะสมที่เหลือจากการถ่ายเทความร้อนจากผิวหนังสู่สิ่งแวดล้อม ดังสมการที่ 2.3

$$S_{sk} = Q_{csk} - C - R - E_{sk} \tag{2.3}$$

2.6.1 ปัจจัยด้านสภาพแวดล้อม

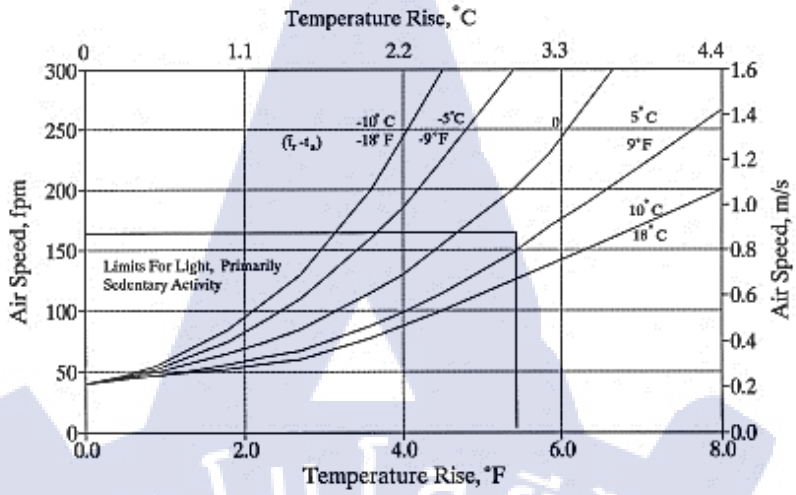
ปัจจัยทางด้านสภาพแวดล้อมต่อความสบายอุณหภาพ ประกอบด้วย

2.6.1.1 อุณหภูมิอากาศ (Air Temperature: T_a) เป็นตัวแปรที่มีผลต่อการแผ่รังสี การพาและการนำความร้อนออกจากร่างกาย เมื่ออุณหภูมิของอากาศแวดล้อมต่ำกว่าร่างกายจะช่วยให้การแผ่รังสี การพาและการนำความร้อนออกจากร่างกายเป็นได้ด้วยดี

2.6.1.2 ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ (Relative Humidity: *RH*) มีผลต่อการระเหยความชื้นจากการหายใจ และจากผิวหนังของร่างกาย หากอากาศมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ จะทำให้ความชื้นสามารถระเหยออกจากร่างกายได้อย่างรวดเร็วขึ้น แต่ถ้าอากาศมีความชื้นสัมพัทธ์สูงมากเกินไป จะทำให้การระเหยเหงื่อที่ผิวหนังเป็นไปได้ยาก จึงทำให้เกิดความรู้สึกไม่สบายตัวหรือรู้สึกเหนียวเหนอะหนะที่ผิวหนัง

2.6.1.3 ความเร็วลม (Air Velocity: V_a) คือ ความเร็วลมที่เกิดจากการเปิดพัดลมหรือจากที่ลมพัดผ่านโดยธรรมชาติ จะช่วยให้เกิดการพัดพาความร้อนออกจากร่างกายโดยการพาความร้อน และการระเหยความชื้นของเหงื่อออกจากผิวหนัง ถ้าลมยิ่งพัดแรงยิ่งทำให้สามารถพาความร้อนออกจากผิวหนังได้มากขึ้น หากลมมีความเร็วมากเกินไป หรือกรณีที่ลมได้พัดพาอากาศเย็นหรืออากาศร้อนเกินไปติดมาด้วยก็จะทำให้เกิดความรู้สึกไม่สบายเกิดขึ้น ซึ่งการพัดพาของลมในลักษณะนี้ เรียกว่า ดราฟต์ (Draft) และจะสังเกตได้ว่าตำแหน่งอวัยวะของร่างกายที่มีโอกาสเกิดสภาวะนี้ได้มากที่สุด คือ ศีรษะและเท้า เนื่องจากไม่มีการปกคลุมจากเสื้อผ้าเหมือนส่วนอื่น ๆ

จากการศึกษาของ Olesen และ Brager [16] แสดงให้เห็นว่าถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้เกิดความต้องการความเร็วลมที่เพิ่มขึ้นเช่นกัน เพื่อให้เกิดสภาวะความสบาย หรืออาจกล่าวในอีกแง่หนึ่งได้ว่า ความเร็วลมสามารถช่วยให้ผู้อยู่อาศัยทนอยู่ในสภาพที่อุณหภูมิสูงกว่าปกติได้หรือช่วงของการยอมรับทางอุณหภูมิกว้างขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.2 ซึ่งรูปนี้จะใช้สำหรับกิจกรรมการนั่ง โดยอัตราเมตาบอลิกอยู่ระหว่าง 58.2-75.7 W/m^2 และเสื้อผ้าที่เป็นแบบบางสวมใส่ในฤดูร้อนจะทำให้ค่าความต้านทานของเสื้อผ้าอยู่ระหว่าง 0.5-0.7 clo



รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมกับอุณหภูมิ

2.6.1.4 อุณหภูมิการแผ่รังสีโดยเฉลี่ย (Mean Radiant Temperature: T_r) ถ้าผิววัตถุที่อยู่รอบตัวเรา เช่น ผนังบ้านหรือฝ้าเพดานมีอุณหภูมิต่ำ ผิวของวัตถุนั้นจะสามารถรับรังสีความร้อนที่แผ่ออกจากร่างกายได้เป็นอย่างดี และในทางกลับกัน ถ้าผิววัตถุที่อยู่รอบตัวเรามีอุณหภูมิสูง ผิววัตถุนั้นจะสามารถแผ่รังสีความร้อนสู่ร่างกายได้มาก ส่วนกรณีที่มีการทำความเย็นอยู่ใต้พื้นต้องควบคุมอุณภูมิบนพื้นให้อยู่ระหว่าง 19 – 29 °C แต่ต้องสวมรองเท้าและไม่ได้นั่งกับพื้น โดยเฉพาะในช่วงฤดูหนาวอากาศที่ร้อนกว่าจะลอยตัวสู่ที่สูงได้ยากกว่าในฤดูร้อน ทำให้ความเย็นที่แผ่ขึ้นมาจากพื้นไม่สามารถลอยตัวได้ดีบริเวณผิวของพื้นจึงเย็นจัดทำให้เกิดสภาวะความไม่สบายได้

โดยปกติแล้วจะใช้โกลบเทอร์โมมิเตอร์ ในการวัดอุณหภูมิการแผ่รังสีความร้อนจากสิ่งแวดล้อม ซึ่งจะได้ค่าอุณหภูมิที่ค่อนข้างถูกต้อง Fanger [9] ได้ตั้งสมมุติฐานให้พื้นผิวมีความสามารถในการแผ่รังสีสูง หรือให้เปรียบเสมือนผิววัตถุดำ ดังนั้นสมการอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ยแสดงดังสมการที่ 2.4

$$\left(T_r + 273.15\right)^4 = \left(T_1 + 273.15\right)^4 F_{p-1} + \ldots + \left(T_n + 273.15\right)^4 F_{p-n} \quad (2.4)$$

เมื่อ T_r คือ อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย, °C

T_n คือ อุณหภูมิผิววัตถุ, °C โดยจำนวนพื้นผิว คือ n = 1, 2, 3, ...n

F_{p-n} คือ ค่าตัวประกอบการมองเห็นระหว่างคน (p) และผิววัตถุ (n)

และสำหรับสภาวะที่อุณหภูมิผิวแต่ละด้านมีความแตกต่างกันน้อย สามารถคำนวณโดยใช้สมการที่ 2.5

$$T_r = T_1F_{p-1} + T_2F_{p-2} + \ldots\ldots + T_nF_{p-n} \tag{2.5}$$

หรือในกรณีที่อุณหภูมิผิววัตถุทุกด้านมีค่าประมาณเท่ากันเช่นในเวลากลางคืน

$$T_r = \sqrt[4]{\sum_{n} F_{p-n}(T_n + 273.15)^4} - 273.15 \tag{2.6}$$

ค่า T_r สามารถคำนวณจากค่าวัดที่ได้จากการใช้เทอร์โมมิเตอร์แบบโกลบสีดำ (Black-Globe Thermometer) เทอร์โมมิเตอร์นี้ประกอบด้วยโกลบสีดำตรงกลาง ซึ่งจะเป็นตำแหน่งของเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ อาทิ เทอร์โมคัปเปิ้ล หรือโพรบตัวต้านทาน สมการคำนวณค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยจะขึ้นกับเส้นผ่านศูนย์กลางของโกลบที่ 0.15 m.

แต่ถ้าโกลบมีขนาดเล็กกว่านี้ก็จะได้รับอิทธิพลจากอุณหภูมิอากาศและความเร็วลมมากขึ้น โดยจากสเปคเครื่องมือวัดค่าอุณหภูมิโกลบ ยี่ห้อ Lutron รุ่น WBGT-2010SD (ดังรูปที่ 3.20 บทที่ 3) สำหรับการวัดค่าผลกระทบของการแผ่รังสีโดยตรงถูกล้อมด้วยลูกบอลสีดำเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 mm อาจทำให้ความแม่นยำของการวัดค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยลดลง ผิวด้านนอกจากโกลบจะดูดซับการแผ่รังสีจากผนังของสิ่งที่แวดล้อมอยู่ ผิวของโกลบจึงต้องเป็นสีเข้มด้วยการเคลือบด้วยสารทางไฟฟ้าเคมี ค่าที่วัดได้จากเทอร์โมมิเตอร์แบบโกลบสีดำ คือ อุณหภูมิโกลบ (Globe Temperature: T_g) ซึ่งได้จากสมดุลความร้อนภายใต้อิทธิพลของการพาความร้อนและการแผ่รังสีจากแหล่งความร้อนต่างกันในพื้นที่ปิด ซึ่งเมื่อวัดค่าอุณหภูมิโกลบได้ก็จะคำนวณค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยได้ ตามมาตรฐาน ISO 7726 โดยสมการที่นิยมใช้ คือ สำหรับกรณีการพาความร้อนแบบบังคับ คือ

$$T_r = \left[\left(T_g + 273.15\right)^4 + \frac{\left(1.1\text{x}10^8\right)V_a^{0.6}}{\varepsilon(\mathrm{D})^{0.4}}\left(T_g - T_a\right) \right]^{0.25} - 273.15 \tag{2.7}$$

เมื่อ T_r คือ อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย, °C

T_g คือ อุณหภูมิโกลบ, °C

T_a คือ อุณหภูมิอากาศ, °C

V_a คือ ความเร็วลมที่ระดับเดียวกับโกลบ (m/s)

ε คือ ค่าการเปล่งรังสีของโกลบ, ไม่มีหน่วย และค่ามาตรฐาน คือ 0.95

D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของโกลบ, m และในที่นี้ D = 0.075 m. (หรือ 75 mm.) ตามข้อมูลคุณลักษณะจำเพาะของเครื่องมือวัดค่าอุณหภูมิโกลบ ยี่ห้อ Lutron รุ่น WBGT-2010SD

2.6.2 ปัจจัยจากตัวบุคคล

ปัจจัยจากตัวบุคคลที่มีผลต่อความรู้สึก ประกอบด้วย

2.6.2.1 อัตราเมตาบอลิก (Metabolic Rate: *M*) ค่ามากหรือน้อยขึ้นกับขนาดของร่างกายสภาพอากาศขณะนั้น อัตราเมตาบอลิก มีอีกหน่วยเป็น met ซึ่ง 1 met เท่ากับ 58.15 W/m^2

2.6.2.2 ค่าความต้านทานของเสื้อผ้า (Clothing insulation: I_{cl}) ขึ้นกับชนิดของเสื้อผ้ามีผลต่ออัตราการพา การนำ และการแผ่รังสีความร้อนออกจากร่างกาย รวมถึงอัตราการระเหยของความชื้นจากร่างกาย เนื่องจากเสื้อผ้าแต่ละชิ้นส่วนผลิตจากวัสดุที่แตกต่างกัน รวมถึงความหนาและพื้นที่ปกคลุมร่างกายไม่เท่ากัน จึงจำเป็นต้องมีค่าอ้างอิงสำหรับความต้านทานต่อความร้อน

โดยค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้ามีหน่วยเป็น clo ซึ่ง 1 clo เท่ากับ 0.155 m²K/Wและสำหรับการคำนวณหาค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้า (I_{cl}) พิจารณาได้จากสมการที่ 2.8

$$I_{cl} = 0.676\sum i_{cl} + 0.117 \tag{2.8}$$

เมื่อ $\sum i_{cl}$ คือ ผลรวมค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้า, clo

2.7 ดัชนีความสบายอุณหภาพ

ค่าดัชนีความสบายอุณหภาพของมนุษย์ สามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วน ได้แก่ ค่าการโหวตความรู้สึกและค่าร้อยละของความไม่พอใจ ดังมีรายละเอียดต่อไปนี้

2.7.1 ค่าการโหวตความรู้สึก

2.7.1.1 ค่าทำนายการโหวตความรู้สึกเชิงอุณหภาพเฉลี่ย (Predicted Mean Vote: PMV)

การทำนายค่าการโหวตความรู้สึกเชิงอุณหภาพเฉลี่ย สามารถใช้แทนความรู้สึกเชิงอุณหภาพกับกลุ่มคนจำนวนมากได้ และสมการทำนายค่าการโหวตความรู้สึกเชิงอุณหภาพเฉลี่ยเกี่ยวข้องกับสมการสมดุลความร้อนของร่างกายมนุษย์ และสภาพของความสบายอุณหภาพ ซึ่งค่าที่ได้จากสมการมีตั้งแต่ -3 ถึง +3 ดังสมการที่ 2.9

$$\begin{aligned} PMV = & \left(0.303e^{-0.036M} + 0.028\right)\Big\{(M-W) - 3.05x10^{-3}\left[5733 - 6.99M - W - P_a\right] \\ & -0.42\left[(M-W) - 58.15\right] - 1.7x10^{-5}M\left(5867 - P_a\right) - 0.0014M\left(34 - T_a\right) \\ & -3.96x10^{-8}f_{cl}\left[\left(T_{cl}+273\right)^4 - \left(T_r+273\right)^4\right] - f_{cl}h_c\left(T_{cl} - T_a\right)\Big\} \end{aligned} \quad (2.9)$$

เมื่อ M คือ อัตราเมตาบอลิก, W/m^2

W คือ งานที่กระทำภายนอก, W/m^2

P_a คือ ความดันไอน้ำในบรรยากาศ, Pa

T_a คือ อุณหภูมิอากาศ, °C

f_{cl} คือ อัตราส่วนของพื้นที่ของเสื้อผ้าต่อพื้นที่ผิวของร่างกาย

T_{cl} คือ อุณหภูมิผิวของเสื้อผ้า, °C

T_r คือ อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย, °C

h_c คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อน, W/m^{2}K

ค่าของอัตราส่วนของพื้นที่ของเสื้อผ้าต่อพื้นที่ผิวของร่างกาย แสดงดังสมการที่ 2.10 และสมการที่ 2.11

$$f_{cl} = 1.0 + 0.2I_{cl} \quad \text{สำหรับ} \quad I_{cl} < 0.5 \text{ clo} \quad (2.10)$$

$$f_{cl} = 1.05 + 0.1I_{cl} \quad \text{สำหรับ} \quad I_{cl} > 0.5 \text{ clo} \quad (2.11)$$

สมการที่ 2.9 ได้จากการทดลอง ซึ่งตั้งอยู่บนพื้นฐานของการวิเคราะห์ทางทฤษฎีเกี่ยวกับสมดุลทางความร้อนของร่างกายกับสิ่งแวดล้อมที่ทำการวัดภายในห้องทดลอง โดยสร้างแบบจำลองจากสภาวะแวดล้อมจริงและอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ย ที่มีผลต่อค่าการโหวตอย่างมาก จากการศึกษาของ Hamdi และคณะ [17] ถึงความสัมพันธ์ของการทำนายค่าการโหวตความรู้สึกเชิงอุณหภาพเฉลี่ยกับอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย พิสูจน์ว่าการเปลี่ยนแปลงของการแผ่รังสีความร้อนของสิ่งแวดล้อมมีผลต่อความสบายอุณหภาพในอาคารเป็นอย่างมาก และได้กำหนดเกณฑ์ว่าถ้าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยสูงกว่าอุณหภูมิอากาศ การทำนายค่าการโหวตความรู้สึกเชิงอุณหภาพเฉลี่ยก็จะมีค่ามากกว่าระดับสบายจริง แต่ถ้าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศ การทำนายค่าการโหวตความรู้สึกเชิงอุณหภาพเฉลี่ย ก็จะต่ำกว่าระดับสบายจริง และอุณหภูมิผิวของเสื้อผ้าหาได้จากสมการที่ 2.12

$$T_{cl} = 35.7 - 0.028(M - W) - 0.155 I_{cl}\left\{\left(3.96x10^{-8} f_{cl}\left[(T_{cl}+273.15)^4 - (T_r+273.15)^4\right]\right) + f_{cl}h_c(T_{cl}-T_a)\right\} \quad (2.12)$$

เมื่อ I_{cl} คือ ค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้า, clo

ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนหาได้ 2 กรณี แต่ละกรณีมีผลต่อกระบวนการถ่ายเทความร้อนต่างกัน กรณีแรกคือการพาความร้อนแบบธรรมชาติ คือการที่อากาศไหลผ่านผิวร่างกายน้อยมากจนเกิดชั้นของความร้อนเหนือผิว โดย Arens และคณะ [18] ได้พบว่าในสภาพการพาความร้อนแบบธรรมชาติ อุณหภูมิระหว่างผิวหนังกับอากาศจะมีค่าแตกต่างกันมาก และได้เสนอสมการคำนวณสัมประสิทธิ์การพาความร้อนสำหรับกรณีการนั่งและการยืน ดังสมการที่ 2.13 และ 2.14 ตามลำดับ ดังนี้

การนั่ง $h_c = 0.78(T_{sk} - T_a)^{0.56}$ (2.13)

การยืน $h_c = 1.21(T_{sk} - T_a)^{0.43}$ (2.14)

เมื่อ T_{sk} คือ อุณหภูมิผิวหนังของร่างกาย, °C

กรณีที่สอง คือ การพาความร้อนแบบบังคับ การเคลื่อนตัวของอากาศช่วยเพิ่มการถ่ายเทความร้อนออกจากผิว โดยจะลดชั้นความร้อนบนผิวให้บางลง ได้มีการทดสอบกับหุ่นจำลอง

ในอุโมงค์ลม โดย De Dear และคณะ [19] นำเสนอสมการหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่ใช้ได้กับร่างกายคนทุกรูปแบบ โดยต้องมีตัวแปรความเร็วลมเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย ดังสมการที่ 2.15 และ 2.16

การนั่ง $h_c = 9.41v^{0.61}$ (2.15)

การยืน $h_c = 9.43v^{0.63}$ (2.16)

เมื่อ v คือ ความเร็วลม, m/s

Fanger [9] ได้เสนอสมการที่ 2.17 เพื่อใช้ในการหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่เป็นการพาความร้อนแบบธรรมชาติ โดยความเร็วลมน้อยกว่า 0.1 m/s

$$h_c = 12.1\sqrt{v} \quad \text{สำหรับ} \quad 2.38\left(T_{cl} - T_a\right)^{0.25} < 12.1\sqrt{v} \tag{2.17}$$

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่เป็นการพาแบบบังคับ โดยความเร็วลมมากกว่าหรือเท่ากับ 0.1 m/s จะได้สมการที่ 2.18

$$h_c = 2.38\left(T_{cl} - T_a\right)^{0.25} \quad \text{สำหรับ} \quad 2.38\left(T_{cl} - T_a\right)^{0.25} > 12.1\sqrt{v} \tag{2.18}$$

จากกฎของก๊าซอุณหพลศาสตร์อุณหภูมิจะแปรผันตามความดัน กล่าวคือเมื่อความดันในอากาศเพิ่มขึ้นอุณหภูมิของอากาศก็จะสูงตามไปด้วย ดังนั้นอุณหภูมิอากาศแปรผันตามความดันไอน้ำในอากาศ และอากาศชื้นย่อมจะมีอุณหภูมิสูงกว่าอากาศแห้ง ซึ่งสมการหาความดันไอน้ำอากาศ คือสมการที่ 2.19

$$P_a = RH \exp\left[18.956 - \frac{4030.18}{T_a + 235}\right] \tag{2.19}$$

เมื่อ RH คือ ความชื้นสัมพันธ์ของอากาศ, %

2.7.1.2 ค่าการโหวตความรู้สึกเชิงอุณหภาพ (Actual Mean Vote: AMV)

บางครั้งผลการคำนวณหรือการทำนายค่าการโหวตความรู้สึกเชิงอุณหภาพไม่ตรงกับความเป็นจริง จึงต้องเทียบกับดัชนีประมาณค่าการโหวตจากความรู้สึกของบุคคลนั้นจริง ๆ เรียกว่า ค่าการโหวตความรู้สึกเชิงอุณหภาพ (AMV) โดยเทียบกับการวัดระดับความรู้สึกของ ASHRAE [3] ที่แบ่งออกเป็น 7 ระดับ มีค่าตั้งแต่ -3 ถึง +3 ดังรูปที่ 2.3 ซึ่งสามารถนำไปเปรียบเทียบกับค่า PMV ที่คำนวณได้ จากสมการที่ 2.9 และทำการประมวลผลต่อไป

-3	-	-	Cold
-2	-	-	Cool
-1	-	-	Slightly cool
0	-	-	Neutral
1	-	-	Slightly warm
2	-	-	Warm
3	-	-	Hot

รูปที่ 2.3 การโหวตความรู้สึกเชิงอุณหภาพ 7 ระดับ ตามมาตรฐาน ASHRAE

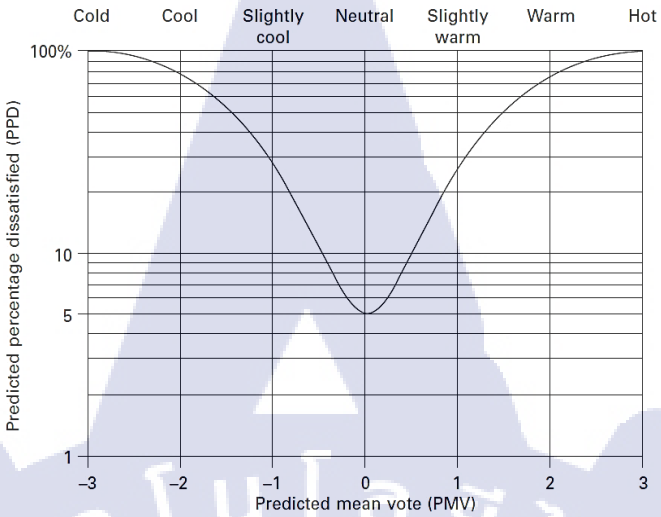
2.7.2 ร้อยละความไม่พอใจ

2.7.2.1 การทำนายร้อยละความไม่พอใจเชิงอุณหภาพ (Predicted Percentage Dissatisfied: PPD)

ค่าทำนายร้อยละความไม่พอใจเชิงอุณหภาพ จะช่วยให้ทราบว่ามีคนจำนวนร้อยละเท่าไร ที่มีความรู้สึกไม่พอใจเชิงอุณหภาพ เพราะการรับรู้ความรู้สึกของแต่ละคนนั้นไม่เท่ากัน ถึงแม้จะอาศัยอยู่ในสภาพอุณหภูมิแวดล้อมเดียวกันก็ตาม

ดังนั้น จากการทำนายค่าการโหวตความรู้สึกเชิงอุณหภาพที่ได้ ก็จะมีบางส่วนที่ยังรู้สึกไม่สบายทางอุณหภาพดังรูปที่ 2.4 ที่แสดงให้เห็นว่าแม้ผลการโหวตเป็นศูนย์หรือระดับสบาย ก็มีคนอีก 5% ที่ยังคงรู้สึกเย็นหรือร้อนเล็กน้อยอยู่ และค่าทำนายร้อยละความไม่พอใจเชิงอุณหภาพหาได้จากสมการที่ 2.20

$$PPD = 100 - 95\, exp\left[-0.03353PMV^{4} - 0.2179PMV^{2}\right] \qquad (2.20)$$



รูปที่ 2.4 การทำนายร้อยละความไม่พอใจเชิงอุณหภาพ

ทั้งนี้ ASHRAE แบ่งระดับความสบาย จากร้อยละความไม่พอใจและจากค่าการโหวตเชิงอุณหภาพเป็น 3 ระดับ ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ระดับการยอมรับทางอุณหภาพ

ระดับความสบาย	ค่าความไม่พอใจ (%)	ค่าการโหวต
A	มากกว่า 6	มากกว่า -0.2 แต่น้อยกว่า +0.2
B	มากกว่า 10	มากกว่า -0.5 แต่น้อยกว่า +0.5
C	มากกว่า 15	มากกว่า -0.7 แต่น้อยกว่า +0.7

ซึ่งข้อมูลในตารางข้างต้นสามารถใช้กำหนดช่วงอุณหภูมิที่ผู้อยู่อาศัยรู้สึกสบายได้ โดยการคำนวณกลับหาช่วงอุณหภูมิจากค่าการโหวต

2.7.2.2 ร้อยละความไม่พอใจเชิงอุณหภาพ (Percentage Dissatisfied: PD)

เป็นค่าทำนายร้อยละความไม่พอใจเชิงอุณหภาพ ที่คำนวณจากค่าการโหวตความรู้สึกเชิงอุณหภาพจริงจากผู้อยู่อาศัย

2.8 อุณหภูมิโอเปอเรทีฟ (Operative Temperature: T_o)

อุณหภูมิโอเปอเรทีฟเป็นอุณหภูมิที่คงที่ของพื้นที่ปิดล้อมสีดำ (Black enclosure) ที่มีการแลกเปลี่ยนความร้อนโดยการแผ่รังสี ในอัตราเท่ากับร่างกายมนุษย์ที่สูญเสียความร้อยโดยการแผ่รังสีในสภาพแวดล้อมจริง และมีความเร็วลมกับความดันเท่ากัน

หากรวมทั้งอุณหภูมิบรรยากาศ และอุณหภูมิการแผ่รังสีจากผนังรอบด้านเฉลี่ยเข้าไว้ด้วยกัน จะช่วยให้ทราบถึงอุณหภูมิที่มีผลต่อผู้อยู่อาศัยที่แท้จริงได้ โดยนำค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่สัมพันธ์กับอุณหภูมิทั้งสองมาพิจารณาด้วย แสดงดังสมการที่ 2.21

$$T_o = \frac{h_r T_r + h_c T_a}{h_r + h_c} \tag{2.21}$$

เมื่อ h_r คือ สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน, W/m^2K

h_c คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อน, W/m^2K

T_r คือ อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย, °C

T_a คือ อุณหภูมิอากาศ, °C

การถ่ายเทความร้อนสู่ร่างกายคนนั้นเกิดจากการพาความร้อนและการแผ่รังสีความร้อน โดย De Dear และคณะ [19] ได้ทำการทดสอบกับหุ่นจำลองในอุโมงค์ลม ระดับความเร็วลมน้อยกว่า 0.1 m/s โดยควบคุมอุณหภูมิผิวและอากาศให้คงที่ ซึ่งได้ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนดังตารางที่ 2.2 และสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนดังตารางที่ 2.3 เป็นค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนในแต่ละส่วนของร่างกาย และสำหรับตารางที่ 2.4 เป็นค่าเฉลี่ยซึ่งสามารถนำไปใช้คำนวณหาค่า T_o

ตารางที่ 2.2 สัมประสิทธิ์การพาความร้อนโดยธรรมชาติผ่านแต่ละส่วนของร่างกาย

ส่วนต่าง ๆ ของหุ่นจำลอง	กรณีนั่ง (W/m^2K)	กรณียืน (W/m^2K)
เท้า	4.2	5.1
ขาท่อนล่าง	4.2	4.1
ต้นขา	3.7	4.1
กระดูกเชิงกราน	2.8	3.4
ศีรษะ	3.7	3.6

ตารางที่ 2.2 สัมประสิทธิ์การพาความร้อนโดยธรรมชาติผ่านแต่ละส่วนของร่างกาย ต่อ

มือ	4.5	4.1
ปลายแขน	3.8	3.7
แขนท่อนบน	3.4	2.9
หน้าอก	3.0	3.0
หลัง	2.6	2.9
ทั้งร่างกาย	3.3	3.4

ตารางที่ 2.3 สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนผ่านร่างกาย

ส่วนต่าง ๆ ของหุ่นจำลอง	**กรณีนั่ง** (W/m^2K)	**กรณียืน** (W/m^2K)
เท้า	4.2	3.9
ขาท่อนล่าง	5.4	5.3
ต้นขา	4.6	4.3
กระดูกเชิงกราน	4.8	4.2
ศีรษะ	3.9	4.1
มือ	3.9	4.1
ปลายแขน	5.2	4.9
แขนท่อนบน	4.8	5.2
หน้าอก	3.4	4.5
หลัง	4.6	4.4
ทั้งร่างกาย	4.5	4.5

สำหรับค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีและการพาความร้อนผ่านร่างกาย ซึ่งคิดเฉลี่ยรวมทั้งร่างกาย ในกรณีการนั่งและการยืนแสดงในตารางที่ 2.4

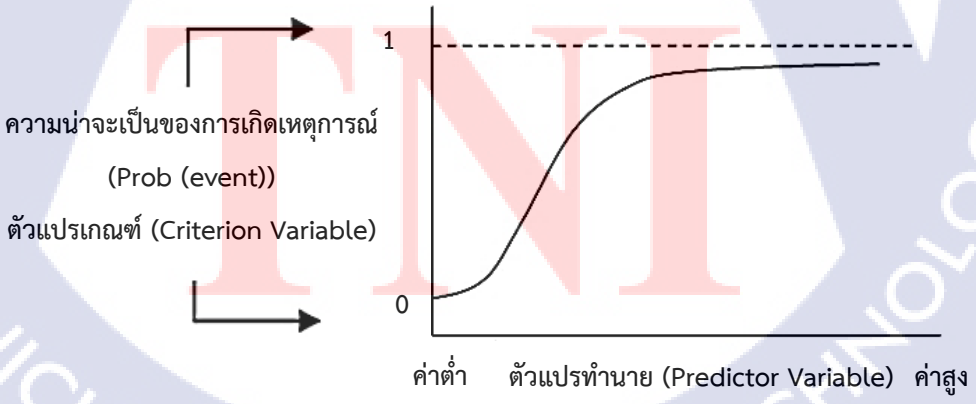
ตารางที่ 2.4 ค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีและการพาความร้อนผ่านร่างกาย

ค่าการถ่ายเทความร้อน	**การนั่ง**	**การยืน**
h_c (W/m^2K)	3.54	3.66
h_r (W/m^2K)	4.48	4.49

2.9 การวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติค (Logistic Regression Analysis: Logit)

ยุทธ ไกรวรรณ์ [20] ได้ศึกษาหลักการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติคสำหรับการวิจัยเป็นเทคนิคการวิเคราะห์สถิติเชิงคุณภาพ (Qualitative Statistical Techniques) ที่แตกต่างไปจากเทคนิคการวิเคราะห์เชิงปริมาณ (Quantitative Techniques) ซึ่งการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสิคแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ การวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติคทวิ (Binary Logistic Regression Analysis) และการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติคพหุกลุ่ม (Multinomial Logistic Regression Analysis) การวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติคทั้ง 2 ประเภท แตกต่างกันในด้านตัวแปรตาม โดยที่การวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติคทวิใช้กับตัวแปรตามที่แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มย่อย (Dichotomous Variable) มี 2 ค่า คือมีค่าเป็น 0 กับ 1 ส่วนการวิเคราะห์โลจิสติคแบบพหุกลุ่มใช้กับตัวแปรตามที่มีหลายค่ามากกว่า 2 กลุ่ม (Polytomous Variable)

การวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติค มีเป้าหมายเพื่อทำนายโอกาสที่จะเกิดเหตุการณ์ที่สนใจโดยอาศัยสมการที่สร้างขึ้นจากข้อมูลที่เก็บรวบรวมมา ที่มีลักษณะแบบตัดขวาง (Dross Sectional Design) ซึ่งก็คือตัวแปรเกณฑ์ โดยอาศัยสมการโลจิสติคที่สร้างขึ้น จากชุดตัวแปรทำนาย (x’s) ที่มีข้อมูลเป็นตัวแปรที่มีข้อมูลอยู่ในระดับช่วง (Interval Scale) เป็นอย่างน้อย หากเป็นข้อมูลเชิงกลุ่มจะต้องแปลงเป็นตัวแปรทวิ ที่มีค่า 0 กับ 1 ก่อน โดยที่ระหว่างตัวแปรทำนายจะต้องมีความสัมพันธ์กันต่ำ โดยใช้เกณฑ์ค่า r ไม่เกิน 0.65 ถ้าใช้เกณฑ์ของ Burnsand [21] หรือถ้าใช้เกณฑ์ของ Stevens (1996) ค่า r ไม่เกิน .80 ซึ่งถ้าหากเกิดความสัมพันธ์กันสูงจะทำให้เกิดปัญหา Multicolinearity และในการวิเคราะห์จะต้องใช้ขนาดตัวอย่างหรือ n มากกว่าหรือเท่ากับ 30 เท่าของจำนวนตัวแปรทำนาย [22]



รูปที่ 2.5 ฟังก์ชั่นโลจิสติค (Logistic Function)

จากการศึกษาวิจัยของ ยุทธ ไกรวรรณ์ [20] สรุปจากการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติค ค่าสัมประสิทธิ์ที่คำนวณได้นำมาเขียนเป็นสมการถดถอยโลจิสติค เพื่อที่จะทำนายความน่าจะเป็นของการเกิดเหตุการณ์ที่สนใจ ดังสมการที่ 2.23

$$P(y=1)=\frac{1}{1+e^{-z}} \tag{2.23}$$

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

มีผู้วิจัยด้านความสบายอุณหภาพ (Thermal comfort) หลายกลุ่มที่ศึกษาตัวแปรต่าง ๆ ทั้งปัจจัยด้านสภาพแวดล้อมและปัจจัยด้านบุคคล เช่น อุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย ปริมาณอากาศส่วนเกิน เพศ อายุ และค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้า เป็นต้น ซึ่งตัวแปรเหล่านี้ ทำให้ผู้อยู่อาศัยเกิดความรู้สึกไม่สบายได้ พื้นที่ในการศึกษาความไม่สบาย อาทิ อาคารสำนักงานต่าง ๆ ห้องเรียน และห้องประชุม หรือแม้กระทั่งในรถยนต์ เป็นต้น

ตารางที่ 2.5 สรุปผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องด้านสภาวะความสบาย

ที่	คณะผู้วิจัย (ปี)	หัวข้อวิจัย	วิธีวิจัย	ผลที่ได้รับ
1.	ชลธิชา เป็งนวล [23] (2559)	สภาวะน่าสบายของสถาปัตยกรรมประเภทคุ้ม กรณีศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดแพร่	● ศึกษาเรือนพื้นถิ่นล้านนาในภาคเหนือที่ได้รับอิทธิพลจากชาติตะวันตก 3 หลัง ได้แก่ คุ้มวงศ์บุรี บ้านวงศ์พระถาง และคุ้มวิชัยราชา ● เก็บข้อมูลความน่าสบาย 3 รายการ ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลม	● เดือน ก.พ. คุ้มวงศ์บุรีและบ้านวงศ์พระถาง สบายเฉพาะช่วงเช้าอุณหภูมิเฉลี่ย 26.0-28.6°C และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 40.8-58.3% ● เดือน เม.ย. คุ้มวงศ์บุรีสบายตลอดวัน อุณหภูมิเฉลี่ย 26.7-28.9 °C ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 58.2 -73.0 % และความเร็วลม 0.2-0.5 m/s ● บริเวณบ่อน้ำในบ้านวงศ์พระถาง และชานในคุ้มวิชัยราชา สบายตลอดทั้งวันเช่นเดียวกับคุ้มวงศ์บุรีด้วยความเร็วลมเฉลี่ย 0.3 m/s
2.	นภารัตน์ พานิชชีวะกุล [24] (2558)	การศึกษาความสบายเชิงความร้อนของผู้อยู่อาศัยที่อยู่ใกล้หน้าต่างกระจกที่มีการติดตั้งมู่ลี่	● ศึกษาการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ให้มีความแม่นยำ โดยการปรับปรุงค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของหน้าต่างกระจกติดมู่ลี่ สภาพนำความร้อนของชั้นมู่ลี่	● การใช้กระจกที่มีค่าการส่งผ่านรังสีแสงอาทิตย์ต่ำจะช่วยลดปริมาณรังสีแสงอาทิตย์ที่ส่งผ่านเข้ามาภายในห้องได้มาก ผู้อยู่อาศัยจึงมีความไม่สบายเชิงความร้อนลดลง ● ค่าการสะท้อนรังสีของใบมู่ลี่ พบว่ายิ่งใบมู่ลี่มีค่าการสะท้อนรังสีสูง ผู้อยู่อาศัยจึงมีความไม่สบายเชิงความร้อนลดลง

ตารางที่ 2.5 สรุปผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องด้านสภาวะความสบาย (ต่อ)

ที่	คณะผู้วิจัย (ปี)	หัวข้อวิจัย	วิธีวิจัย	ผลที่ได้รับ
			● การปรับปรุงสัดส่วนของรังสีแสงอาทิตย์แบบกระจายจากท้องฟ้าและพื้นดินที่ตกกระทบระบบหน้าต่างกระจกติดมู่ลี่และเพิ่มเติมการดูดกลืนรังสีแสงอาทิตย์แบบกระจายในชั้นของกระจกและมู่ลี่ ● ทดลองหน้าต่างกระจกใสกับมู่ลี่สีครีมที่มุมบิดใบมู่ลี่เท่ากับ 0, 45 และ -45 องศา	● สัดส่วนของรังสีแสงอาทิตย์แบบกระจายจากดินที่ตกกระทบหน้าต่างกระจกติดมู่ลี่ที่เพิ่มขึ้นและสัดส่วนของรังสีแสงอาทิตย์แบบกระจายจากท้องฟ้าที่ลดลง จะไม่ส่งผลกระทบต่อความไม่สบายเชิงความร้อนของผู้อยู่อาศัย ● เมื่อใบมู่ลี่ทำมุมบิด 0 องศา จะไม่มีผลกระทบต่อความไม่สบายเชิงความร้อนผู้อยู่อาศัย ● เมื่อใบมู่ลี่ทำมุมบิด 45 องศา ผู้อยู่อาศัยจะมีความไม่สบายเชิงความร้อนเพิ่มขึ้น ● เมื่อใบมู่ลี่ทำมุมบิด -45 องศา ผู้อยู่อาศัยจะมีความไม่สบายเชิงความร้อนลดลง
3.	กฤติน อัศววิชัย [25] (2557)	สภาวะน่าสบายเชิงอุณหภาพสำหรับผู้สูงอายุภายในบ้านพักคนชราในประเทศไทย	● ศึกษาผู้สูงอายุในบ้านพักคนชราจำนวน 400 คน ในเขตกรุงเทพและปริมณฑล ได้แก่ พื้นที่ใช้งานสาธารณะ พื้นที่ส่วนตัวสำหรับ	● ผู้สูงอายุในเขตอบอุ่นอยู่ในอุณหภูมิเหมาะสมที่ 26°C ● ผู้สูงอายุในบ้านพักคนชราต้องการอุณหภูมิ 27.10–31.40 °C อุ่นกว่าผู้สูงอายุในเขตหนาว

ตารางที่ 2.5 สรุปผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องด้านสภาวะความสบาย (ต่อ)

ที่	คณะผู้วิจัย (ปี)	หัวข้อวิจัย	วิธีวิจัย	ผลที่ได้รับ
			พักอาศัย และพื้นที่ส่วนกลางของบ้านพักผู้สูงอายุสวางคนิเวศ สถานฟื้นฟูคนชราบางเขน ส่วนดูแลคนชราโรงพยาบาลมูลนิธิเทียนฟ้า และส่วนดูแลผู้สูงอายุโรงพยาบาลกว๋องสิว ● ใช้แบบสอบถามและเครื่องมือวัดความเร็วลม ความชื้น อุณหภูมิอากาศ และค่าการแผ่รังสีความร้อน	● ผู้สูงอายุในไทยมีความพึงพอใจต่อสภาวะน่าสบายเชิงอุณหภาพที่ต่างไปจากคนไทยทั่วไป ● ผู้สูงอายุมีการสวมใส่เสื้อผ้าที่น้อยชิ้นกว่าคนทั่วไปและกิจกรรมที่ผู้สูงอายุในบ้านพักคนชราส่วนใหญ่เป็นกิจกรรมออกแรงไม่มาก ● ผู้สูงอายุไทยที่อาศัยในบ้านพักคนชราต้องการอุณหภูมิที่อุ่นกว่าคนทั่วไปเล็กน้อย ค่อนข้างรู้สึกหนาวง่าย ต้องการความชื้นสัมพัทธ์อากาศและความเร็วลมที่มากกว่าคนทั่วไป
4.	ภัชญา ปรางค์สุวรรณ [26] (2557)	ความสัมพันธ์ระหว่างสภาวะน่าสบายและทัศนียภาพของอาคารเขียวตามเกณฑ์ลีด (LEED) ในประเทศไทย	● ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสภาวะน่าสบาย และมุมมองทัศนียภาพของอาคารเขียวตามเกณฑ์ รวมทั้งปัจจัยที่ช่วยการออกแบบอาคารสำนักงานในประเทศไทยให้มีสภาวะน่า	● การเปิดช่องเปิดอาคารเพื่อให้เห็นทัศนียภาพมีความสำคัญ และส่งผลต่อสภาวะน่าสบายของผู้ใช้งานภายในอาคารสำนักงาน ● ค่าเฉลี่ยการโหวตความรู้สึก AMV ตำแหน่ง view 1 ถึง view 5 อยู่ที่ -0.28, -0.10, 0.17, 0.41 และ 1.04 ตามลำดับ

ตารางที่ 2.5 สรุปผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องด้านสภาวะความสบาย (ต่อ)

ที่	คณะผู้วิจัย (ปี)	หัวข้อวิจัย	วิธีวิจัย	ผลที่ได้รับ
			สบาย จำนวน 3 แห่ง ในกรุงเทพมหานคร ● ใช้แบบสอบถาม และใช้เครื่องมือวัดเก็บข้อมูลสภาพแวดล้อมในอาคาร จากกลุ่มตัวอย่างจำนวน 400 คน	● ค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย MRT อยู่ที่ 25.08 °C, 25.64 °C, 27.52 °C, 29.62 °C และ 30.56 °C ตามลำดับ ● ช่วงกลางวันผู้ที่นั่งอยู่ในตำแหน่ง view 1 ถึง view 4 ส่วนใหญ่รู้สึกพึงพอใจและอยู่ในสภาวะน่าสบาย ขณะที่ผู้ที่นั่งอยู่ในตำแหน่ง view 5 ส่วนใหญ่จะรู้สึกค่อนข้างร้อน และมีปริมาณ MRT สูงกว่า view factor ระดับอื่น ๆ นอกจากนี้ view 5 ทางทิศตะวันตกมี MRT เฉลี่ยมากที่สุดถึง 31.50 °C ทิศตะวันออก 30.26 °C ทิศใต้ 29.78 °C และทิศเหนือ 28.77 °C ตามลำดับ ● เสนอแนวทางการออกแบบอาคารสำนักงานกระจกในประเทศไทยที่อ้างอิงเกณฑ์ลีดเวอร์ชั่น 4 สามารถเลือกใช้ view 3 และ view 4 ที่ไม่ส่งผลต่อสภาวะน่าสบาย ส่วน view 5 ควรพิจารณาทิศของอาคารที่หลีกเลี่ยงความร้อนจากแสงอาทิตย์โดยตรง เช่น ทิศเหนือ หรือออกแบบ

ตารางที่ 2.5 สรุปผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องด้านสภาวะความสบาย (ต่อ)

ที่	คณะผู้วิจัย (ปี)	หัวข้อวิจัย	วิธีวิจัย	ผลที่ได้รับ
				ร่วมกับวิธีการอื่น ๆ และอุปกรณ์บังแดดที่ช่วยให้เกิดสภาวะน่าสบายต่อผู้ใช้งานในอาคาร
5	สุภารัตน์ รัตนวิจิตร [27] (2555)	ความไม่สบายเชิงอุณหภาพของผู้โดยสารในอาคารสนามบิน	● ศึกษาตัวแปรที่ส่งผลให้เกิดสภาวะความไม่สบายเชิงอุณหภาพในอาคารโดยสารสาธารณะ โดยการสำรวจสภาวะแวดล้อมภายในอาคารและการตอบแบบสอบถามของผู้ใช้พื้นที่จำนวน 491 ตัวอย่าง ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม กลุ่มตัวอย่างที่สวมใส่เสื้อผ้าต่ำกว่า 0.69 clo, 0.70 – 0.99 clo และมากกว่า 1 clo ขึ้นไป และแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่	● แบบจำลอง ASV พบว่า กลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่มมีค่าของอุณหภูมิอากาศที่ทำให้เกิดความรู้สึกไม่สบายทางด้านเย็นเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า 24.0, 23.0 และ 22.0 °C และทางด้านร้อนเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 24.9, 23.9 และ 22.9 °C ตามลำดับ ● แบบจำลอง PMV พบว่า กลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม เกิดความรู้สึกไม่สบายเมื่อมีค่าอุณหภูมิอากาศทางด้านเย็น 23.0, 23.0 และ 22.0 °C และทางด้านร้อน 23.9, 23.9°C และ 22.9 °C ตามลำดับ ● อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างที่สองและสามมีค่าเท่ากัน ทำให้เกิดความรู้สึกไม่สบายทางด้านเย็นเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า 24.0 °C และทางด้านร้อนสูงกว่า 24.9 °C ซึ่งในกลุ่มที่มี

ตารางที่ 2.5 สรุปผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องด้านสภาวะความสบาย (ต่อ)

ที่	คณะผู้วิจัย (ปี)	หัวข้อวิจัย	วิธีวิจัย	ผลที่ได้รับ
			• ส่วนแรกทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าการโหวตความรู้สึกเชิงอุณหภาพจากการตรวจวัดจริงและค่าการทำนายการโหวตเฉลี่ยกับตัวแปรที่มีผลต่อความไม่สบายเชิงอุณหภาพ • ส่วนที่สองเป็นการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของความไม่สบายเชิงอุณหภาพจากกลุ่มตัวอย่างในรูปแบบของฟังก์ชั่นเอ็กซ์โพเนลเชียล	การสวมใส่เสื้อผ้าต่ำกว่า 0.69 clo กลุ่มตัวอย่างเกิดความรู้สึกไม่สบายทางด้านเย็นเมื่ออุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยต่ำกว่า 28.0 °C และด้านร้อนเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 28.9 °C ทั้งในแบบจำลอง ASV และ PMV
6.	รสริน ทักษิณ [28] (2554)	การศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความรู้สึกร้อนหนาวของมนุษย์ภายในห้องสปา	• ศึกษาการควบคุมสภาวะน่าสบายสำหรับธุรกิจสปา และหาแนวทางที่ทำให้รู้สึกสบายภายใต้อุณหภูมิที่ 25 °C และความชื้นสัมพัทธ์ 50% โดย	• การนวดไทยเมื่อตั้งอุณหภูมิที่ 25 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 50% ผู้ให้และผู้รับบริการมีค่า Clo-value 0.5 การใช้ความเร็วลมระหว่าง 200-300 fpm ทำให้ผู้ให้บริการรู้สึกสบายแม้กิจกรรมมี MET สูงกว่า

ตารางที่ 2.5 สรุปผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องด้านสภาวะความสบาย (ต่อ)

ที่	คณะผู้วิจัย (ปี)	หัวข้อวิจัย	วิธีวิจัย	ผลที่ได้รับ
			ชดเชยความรู้สึกร้อนหรือหนาวด้วยความเร็วลมและอุณหภูมิผิวเฉลี่ยโดยรอบ ● กลุ่มตัวอย่างในร้านสปาแห่งละ 60 คน จำนวน 3 แห่ง ได้แก่ Pana spa, Health land spa และ Zensala spa	● ห้องนวดน้ำมันตั้งอุณหภูมิที่ 25 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 50% ผู้ให้บริการมี Clo-value 0.5 ต้องใช้ความเร็วลมระหว่าง 200-300 fpm เพื่อชดเชยกิจกรรม (MET) ที่เพิ่มขึ้น ● เมื่อผู้รับบริการมีค่า Clo-value 0.15 มีความรู้สึกเสมือนเย็นลงกว่าปกติ แต่ชดเชยได้จากการนวดน้ำมันซึ่งเกิดความร้อนที่ผิวหนัง และน้ำมันยังช่วยลดการระเหยของน้ำที่ผิวหนังของผู้รับบริการ ● ผู้รับบริการนวดน้ำมันมีความรู้สึกสบายแม้ Clo-value จะมีค่าที่ 0.15
7.	ทิพย์คนึง กุลลาวัณย์ [29] (2553)	สาระสำคัญด้านสภาวะน่าสบายที่ส่งเสริมการใช้อาคารศูนย์กีฬาในกรุงเทพมหานคร	● ศึกษาสภาวะสบายที่เหมาะสมของอาคารศูนย์กีฬาในกรุงเทพมหานคร จำนวน 3 แห่ง ได้แก่ ศูนย์กีฬาวชิรเบญจทัศ (ฟิตเนสแบบปรับอากาศ)ศูนย์กีฬาประชานิเวศน์	● ศูนย์กีฬาวชิรเบญจทัศ อุณหภูมิ 19.86 -29.04°C ความชื้นสัมพัทธ์ 33.31-55.78 % คนส่วนใหญ่มีความรู้สึกต่อสภาพอากาศแบบกลาง ๆ หรือ กำลังสบาย และยอมรับสภาพอากาศที่เป็นอยู่ แต่เกือบร้อยละ 63 อยากให้สภาพอากาศเย็นลง

ตารางที่ 2.5 สรุปผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องด้านสภาวะความสบาย (ต่อ)

ที่	คณะผู้วิจัย (ปี)	หัวข้อวิจัย	วิธีวิจัย	ผลที่ได้รับ
			(ฟิตเนสแบบไม่ปรับอากาศ) และศูนย์กีฬาประชานิเวศน์ (แบบโรงยิม) ● ใช้แบบสอบถาม จำนวน 300 ชุด และใช้เครื่องมือวัดสภาพอากาศ ได้แก่ อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์	● ศูนย์กีฬาประชานิเวศน์ (ฟิสเนสแบบไม่ปรับอากาศ) มีอุณหภูมิ 27.31-32.71 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 38.51-49.98 % คนส่วนใหญ่มีความรู้สึกต่อสภาพอากาศแบบร้อนมาก และไม่ยอมรับกับสภาพอากาศที่เป็นอยู่และอยากให้เย็นลง ● ศูนย์กีฬาประชานิเวศน์ (แบบโรงยิม) มีค่าอุณหภูมิ 26.71-31.88 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 26.31-42.98 % คนในโรงยิมส่วนใหญ่มีความรู้สึกต่อสภาพอากาศแบบร้อนมาก และไม่ยอมรับกับสภาพอากาศที่เป็นอยู่และอยากให้เย็นลง ● เสนอแนวทางการแก้ปัญหา 2 แนวทาง คือ การปรับตัว และการปรับสภาพแวดล้อม เช่น การเปลี่ยนเสื้อผ้า การเปลี่ยนสถานที่ การเปลี่ยนกิจกรรมที่ทำ การใช้ลม น้ำ และต้นไม้ และการปรับองค์ประกอบทางสถาปัตยกรรม

ตารางที่ 2.5 สรุปผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องด้านสภาวะความสบาย (ต่อ)

ที่	คณะผู้วิจัย (ปี)	หัวข้อวิจัย	วิธีวิจัย	ผลที่ได้รับ
8.	ภัททิรา พวงมาลี [30] (2551)	การศึกษาเงื่อนไขการปรับอากาศที่เหมาะสมผสมผสานกับการใช้พัดลมช่วยเพื่อความสบายอุณหภาพ กรณีศึกษาอาคารห้องเรียน	• ศึกษาในห้องเรียนของประเทศไทย เพื่อกำหนดอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการปรับอากาศร่วมกับการใช้พัดลมช่วยและเพื่อการประหยัดพลังงานในระบบปรับอากาศ โดยทำการทดลอง 3 ฤดูกาล คือ ฤดูร้อนฤดูฝน และฤดูหนาว โดยมีจำนวนกลุ่มตัวอย่างที่เป็นนักศึกษา 1,142 คน • ทำการปรับตั้งอุณหภูมิของเครื่องปรับอากาศที่ 26 °C และ 28 °C	• เมื่อปรับตั้งอุณหภูมิ 28 °C พร้อมกับการใช้พัดลมช่วยจะเหมาะกับช่วงฤดูฝนและฤดูหนาว • เมื่อปรับตั้งอุณหภูมิ 26 °C จะเหมาะกับช่วงฤดูร้อน แต่ไม่เหมาะกับช่วงฤดูฝนและฤดูหนาว • ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิอากาศกับค่า ASV ในรูปสมการถดถอยแบบเชิงเส้น พบว่า กลุ่มตัวอย่างรู้สึกสบายที่ (-0.5 < ASV < 0.5) ในช่วงฤดูร้อน ฤดูฝนและฤดูหนาว คือ 25.2-27.9°C, 25.3-28.9°C และ 25.9-31.4°C ตามลำดับ • ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิอากาศกับค่าดัชนีทำนายการโหวตเฉลี่ย PMV พบว่า กลุ่มตัวอย่างรู้สึกสบาย ที่ (-0.5<PMV< 0.5) ในช่วงฤดูร้อน ฤดูฝนและฤดูหนาว คือ 26.5-29.1°C, 26.2-28.8 °C และ 26.4-29.6 °C ตามลำดับ

ตารางที่ 2.5 สรุปผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องด้านสภาวะความสบาย (ต่อ)

ที่	คณะผู้วิจัย (ปี)	หัวข้อวิจัย	วิธีวิจัย	ผลที่ได้รับ
				● ค่าทำนายร้อยละความไม่พอใจในช่วงฤดูร้อน ฤดูฝนและฤดูหนาว เท่ากับ 6.8, 10.1 และ 7.0 ตามลำดับ
9.	ชาคริต ฉัตรศาสติกุล [31] (2551)	การศึกษาความสบายอุณหภาพในอาคารบ้านพักอาศัยสำหรับประเทศไทย	● ศึกษาลักษณะสภาวะความสบายเชิงอุณหภาพ เพื่อกำหนดสภาวะความสบายที่เหมาะสมสำหรับอาคารบ้านพักอาศัยในประเทศไทยที่ไม่ใช้เครื่องปรับอากาศ โดยทำการเก็บข้อมูล 3 ฤดูกาล คือ ฤดูร้อน ฤดูฝน และฤดูหนาว จากกลุ่มตัวอย่างจำนวน 355 คน และมีอายุเฉลี่ย 40 ปี ● ใช้แบบสอบถามในการประเมินความสบายอุณหภาพพร้อมทั้งเก็บข้อมูลอุณหภูมิอากาศ	● จำนวนกลุ่มคน 257 คน โหวตความรู้สึกสบายครบทั้ง 3 ฤดู ซึ่งมีอุณหภูมิอากาศเฉลี่ย 29.7 °C ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 61 % และความเร็วลมเฉลี่ย 0.29 m/s ตามลำดับ ● การปรับเปลี่ยนแต่งกายให้เหมาะกับสภาพอากาศเป็นปัจจัยสำคัญที่สุด (สำหรับค่าความต้านทานของเสื้อผ้าเฉลี่ย 0.48 clo) และรองลงมาคือการปรับเปลี่ยนสภาวะแวดล้อม เช่น การเปิดปิดประตู หน้าต่าง หรือการเลือกนั่งใกล้ประตูและหน้าต่าง เป็นต้น ● การปรับเปลี่ยนพฤติกรรมให้เข้ากับสภาวะแวดล้อมของผู้อยู่อาศัยเป็นเหตุผลหลักที่ทำให้จำนวนกลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่สามารถรับรู้ถึง

ตารางที่ 2.5 สรุปผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องด้านสภาวะความสบาย (ต่อ)

ที่	คณะผู้วิจัย (ปี)	หัวข้อวิจัย	วิธีวิจัย	ผลที่ได้รับ
			ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลม	ความสบายได้โดยร้อยละของความไม่พอใจเชิงอุณหภาพ คือ 18.7 %
10.	T.T. Chow et al. [32] (2010)	Thermal Sensation of Hong Kong People with Increased Air Speed, Temperature and Humidity in Air–Conditioned Environment	• ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างเพศกับอุณหภูมิที่รู้สึกสบายของคนในฮ่องกง 2 กรณี	• กรณีที่ 1 : ไม่มีการเปิดพัดลม พบว่าอุณหภูมิอากาศที่ทำให้รู้สึกสบายของเพศชายอยู่ที่ 24.6 °C และเพศหญิงอยู่ที่ 25.8 °C แสดงว่าผลต่างของอุณหภูมิอากาศที่ทำให้รู้สึกสบายระหว่างเพศชายกับหญิง 1.2 °C แสดงว่าผู้หญิงชอบอุณหภูมิอากาศสูงกว่าผู้ชายอยู่มาก • กรณีที่ 2 : เปิดพัดลม พบว่าเมื่อมีความเร็วของอากาศเพิ่มสูงขึ้นผลต่างอุณหภูมิที่รู้สึกสบายระหว่างเพศชายกับหญิงเริ่มมีค่าลดลง โดยการเปิดพัดลมทำให้ความเร็วอากาศในห้องปรับอากาศสูงขึ้น ความรู้สึกเชิงอุณหภาพของเพศชายกับหญิงจึงมีค่าใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 2.5 สรุปผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องด้านสภาวะความสบาย (ต่อ)

ที่	คณะผู้วิจัย (ปี)	หัวข้อวิจัย	วิธีวิจัย	ผลที่ได้รับ
11.	M. Mozaffarieh et al. [33] (2010)	Thermal Discomfort with Cold Extremitied in Relation to Age, Gender, and Body Mass Index in a Random Sample of a Swiss Urban Population	● ศึกษาความสัมพันธ์ของความรู้สึกไม่สบายทางความเย็นกับอายุ เพศ และดัชนีมวลกาย (BMI) จากการประเมินโดยแบบสอบถามกับกลุ่มตัวอย่างจำนวน 2,800 คน ที่มีอายุระหว่าง 20 – 40 ปี ในเมืองบาเซิล ประเทศสวิสเซอร์แลนด์ ● วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยสมการถดถอย (Multiple Regression)	● ข้อมูลที่ได้จากแบบสอบถามทั้งหมดประกอบด้วยเพศหญิง 1,001 คน (คิดเป็นร้อยละ 72.3 จากจำนวนผู้หญิงทั้งหมด) และเพศชาย 809 คน (คิดเป็นร้อยละ 60 จากจำนวนผู้ชายทั้งหมด) และได้นำมาวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่าคนอายุน้อยรู้สึกหนาวมากกว่าคนอายุมาก โดยเฉพาะเพศหญิงจะมากกว่าเพศชาย นอกจากนี้ คนรูปร่างผอมจะรู้สึกหนาวกว่าคนที่มีรูปร่างอ้วน
12.	Yamtraipat et al. [5] (2005)	Assessment of Thailand indoor set-point impact on energy consumption and environment	● ศึกษาหามาตรฐานสภาวะสบายสำหรับห้องปรับอากาศของอาคารสำนักงาน 13 แห่งในประเทศไทย จากกลุ่มตัวอย่าง 1,520 คน โดยการใช้แบบสอบถาม เพศ การศึกษา	● ความเร็วลมในพื้นที่ปรับอากาศมีค่าเฉลี่ย 0.20 -0.25 m/s อุณหภูมิอากาศมีค่า 20-27 °C และค่าความชื้นสัมพัทธ 40-70% ● คนส่วนใหญ่รู้สึกสบายที่ 26 °C และคนที่เปิดใช้เครื่องปรับอากาศประจำจะรู้สึกสบายที่ 25.4 °C

ตารางที่ 2.5 สรุปผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องด้านสภาวะความสบาย (ต่อ)

ที่	คณะผู้วิจัย (ปี)	หัวข้อวิจัย	วิธีวิจัย	ผลที่ได้รับ
			และการใช้เครื่องปรับอากาศในบาน พร้อมกับการใช้เครื่องมือวัดเก็บข้อมูลอุณหภูมิ และความชื้นอากาศภายในอาคาร	● เพศหญิงจะรู้สึกสบายที่ 26.2 ℃ สูงกว่าเพศชายที่รู้สึกสบาย 25.7 ℃ ● จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการศึกษาต่อความรู้สึกสบาย พบว่า ผู้ที่ศึกษาในระดับที่สูงกว่าปริญญาตรีจะรู้สึกสบายที่ 25.3 ℃ ซึ่งต่ำกว่าผู้ที่มีการศึกษาระดับต่ำกว่าอยู่ 0.8 ℃
13.	N. Pellerin et al. [34] (2004)	Local Thermal Unpleasantness and Discomfort Prediction in the Vicinity of Thermoneutrality	● ทำความเข้าใจจุดกำเนิดความไม่สบายทางอุณหภาพภายใต้สิ่งแวดล้อมที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกันแต่สภาวะคงตัว ● ทำการศึกษา 345 ตัวอย่างที่อยู่ในสภาพแวดล้อมทางความร้อนที่แตกต่างกัน ปรับตามปัจจัยอาทิ การกระจายอากาศในห้อง คนขับรถยนต์หรือความเป็น	● มีเปอร์เซ็นต์ความไม่พอใจเล็กน้อยที่อุณหภูมิระหว่าง 32.8-33.8 ℃ ด้วยสัดส่วนประมาณ 40 % โดยมี 21 คนที่รู้สึกเย็น และ 48 คนที่รู้สึกร้อน ● จากการประเมินเชิงปริมาณถึงความสัมพันธ์ของจำนวนส่วนของร่างกายที่รู้สึกไม่สบายและร้อยละคนที่ไม่พึงพอใจให้คำแนะนำว่าความไม่สบายเชิงอุณหภาพเกิดจากการรับรู้ที่ส่วนของร่างกายที่รู้สึกไม่สบายเชิงอุณหภาพ

ตารางที่ 2.5 สรุปผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องด้านสภาวะความสบาย (ต่อ)

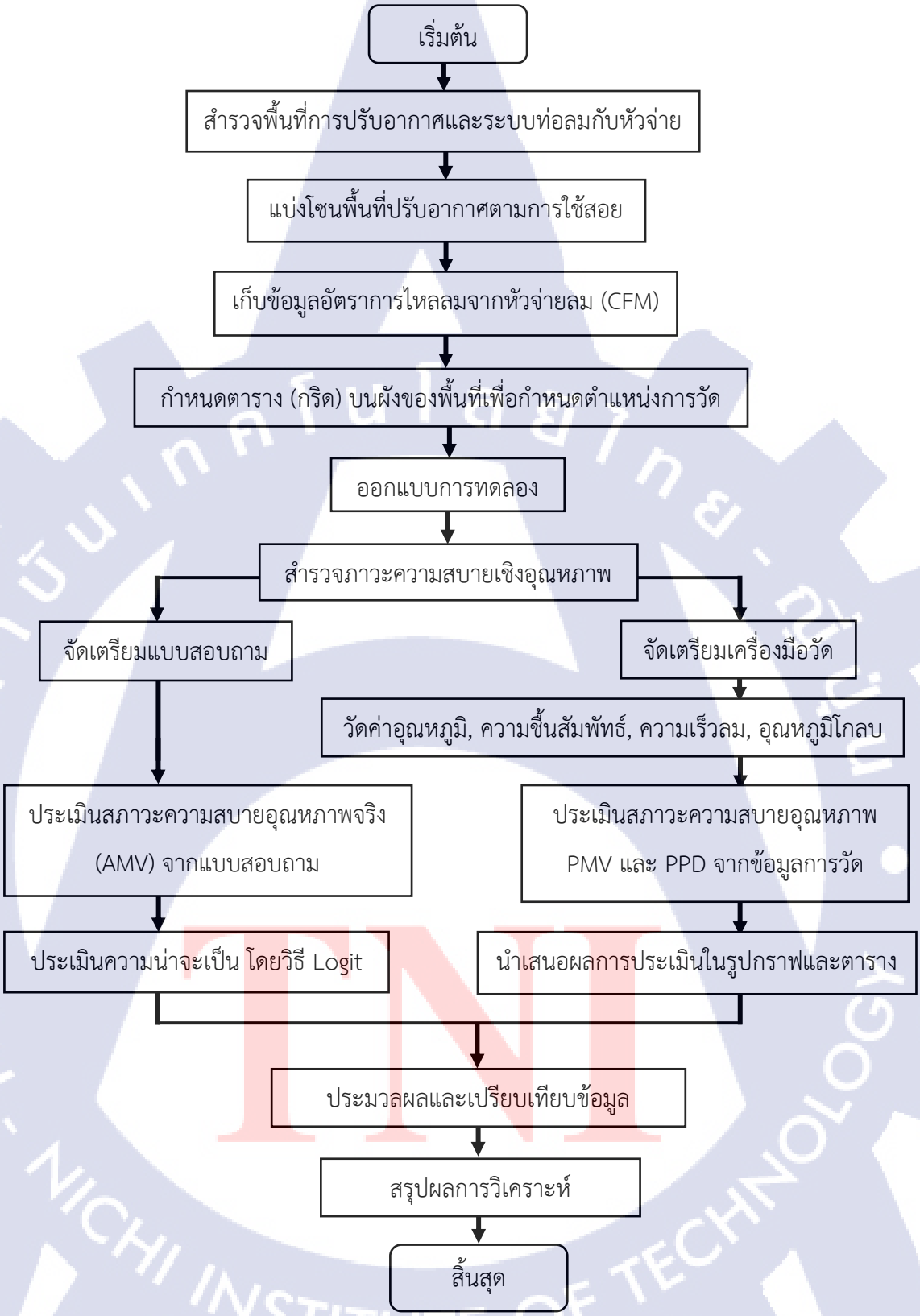
ที่	คณะผู้วิจัย (ปี)	หัวข้อวิจัย	วิธีวิจัย	ผลที่ได้รับ
			ฉนวนของเสื้อผ้า (ในฤดูหนาวหรือร้อน) ● พิจารณาสภาวะความร้อน ณ ตำแหน่งนั้นเพื่อประเมินความสบายอุณหภาพในกรณีที่สิ่งแวดล้อมมีสภาพไม่สม่ำเสมอ	● แบบจำลองความไม่สบายที่มีปัจจัยค่าถ่วงน้ำหนักสำหรับแต่ละส่วนของร่างกายที่ต่างกันในกรณีเย็นและร้อน ซึ่งผู้วิจัยได้ให้ข้อมูลนี้กับผู้ผลิตรถยนต์และคาดการณ์ว่าจะเป็นเครื่องมือในการปรับปรุงระบบปรับอากาศภายในรถยนต์เพื่อการพัฒนารถยนต์รุ่นใหม่

บทที่ 3
ระเบียบวิธีการวิจัย

เนื้อหาในบทนี้กล่าวถึงระเบียบวิธีวิจัยเกี่ยวกับความสบายอุณหภาพในห้องสมุดคณะนิติศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้แก่ กรอบแนวคิดการวิจัย ขั้นตอนการทดลอง การวิจัยและเก็บข้อมูล การทำการทดลอง ปัจจัยที่ส่งผลต่อสภาวะความสบายอุณหภาพ แบบจำลองค่าทำนายการโหวตความรู้สึกเชิงอุณหภาพเฉลี่ย และขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูล

3.1 กรอบแนวคิดการวิจัย

กรอบแนวคิดการวิจัย คือ ประเมินสภาวะความสบายอุณหภาพ ด้วยการใช้แบบสอบถามเพื่อสำรวจและประเมินความรู้สึกสบายด้านอุณหภูมิและความชื้น สำหรับผู้ที่มาใช้บริการภายในห้องสมุดคณะนิติศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้แก่ คณาจารย์ เจ้าหน้าที่ และนิสิต รวมทั้งสิ้น 235 คน ประกอบกับการวัดข้อมูลสภาพอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ และการไหลเวียนของลมโดยแผนผังแสดงระเบียบวิธีวิจัย ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนผังแสดงระเบียบวิธีวิจัย

จากรูปที่ 3.1 ในขั้นตอนการออกแบบการทดลอง (Experimental Design) เพื่อการเก็บข้อมูลแบบสอบถามและการวัดค่าสภาพอากาศอย่างเป็นระบบ มีการสร้างตารางเก็บผลการทดลอง การปรับปรุงแบบสอบถามให้เหมาะสมกับการใช้งานในห้องสมุด จากนั้นจึงสำรวจสภาวะความสบายอุณหภาพโดยการใช้แบบสอบถาม ซึ่งจะสอบถามผู้ตอบแบบสอบถามก่อนว่า ได้นั่งในตำแหน่งนั้นมานานเกิน 15 นาทีหรือไม่ หากนั่งมานานแล้วจึงขออนุญาตให้ทำแบบสอบถาม พร้อมกับการใช้เครื่องมือวัดค่าพารามิเตอร์ด้านสภาพอากาศไปพร้อมกัน ดังรูปที่ 3.11

การจัดทำแบบสอบถาม ได้อ้างอิงตามมาตรฐาน ANSI/ASHRAE standard 55 1992 [3] โดยผู้วิจัยได้สำรวจพื้นที่ห้องสมุดทั้ง 4 ชั้น ตรวจสอบตำแหน่งเครื่องปรับอากาศ การเดินระบบท่อลม ตำแหน่งหัวจ่ายลม เทียบกับแบบก่อสร้าง (As Built) จากโปรแกรมออโต้แคด (Auto-CAD) รวมถึงตรวจสอบสภาพและสถานะการทำงานของระบบปรับอากาศ จากนั้นได้แบ่งโซนโดยตีตาราง (Grid) บนผังพื้นที่ เพื่อวางแผนการเก็บข้อมูลจากแบบสอบถามและการวัดข้อมูลสภาพอากาศ

ข้อมูลจากแบบสอบถามนำมาประเมินความรู้สึกสบายทางอุณหภาพจริง (Actual Mean Vote: AMV) ส่วนข้อมูลวัดสภาพอากาศถูกนำมาคำนวณค่าดัชนีความสบายอุณหภาพในทางทฤษฎี โดยทำนายค่าการโหวตความรู้สึกเชิงอุณหภาพ (Predicted Mean Vote: PMV) และค่าร้อยละความไม่พอใจเชิงอุณหภาพ (Predicted Percentage of Dissatisfied: PPD)

ข้อมูล AMV จะถูกนำมาประเมินค่าความน่าจะเป็นที่กลุ่มตัวอย่างจะไม่รู้สึกร้อนหรือเย็น (หรือรู้สึกกำลังดีหรือรู้สึกสบาย) ทำให้ค่าความน่าจะเป็น (Probability) คือ 0.5 จึงทราบอุณหภูมิใช้งานห้องปรับอากาศที่เหมาะสม (Optimum Operative Temperature) หรืออุณหภูมิที่คาดว่าผู้อยู่อาศัยรู้สึกจะสบายจริง

3.2 ขั้นตอนการทดลอง

3.2.1 ศึกษาและค้นคว้าข้อมูลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องจากแหล่งต่าง ๆ ทั้งในและต่างประเทศ พร้อมทั้งทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง เพื่อใช้เป็นแนวทางในการศึกษาและวิเคราะห์ตัวแปรต่าง ๆ ที่มีอิทธิพลต่อสภาวะความสบายอุณหภาพ (Thermal Comfort Factor) ตลอดจนใช้เป็นแนวทางออกแบบการทดลอง และประเมินค่าสภาวะความสบายอุณหภาพ

3.2.2 ศึกษาข้อมูลสภาพทั่วไปของห้องสมุด สภาพระบบปรับอากาศ ระบบท่อลม และหัวจ่ายลม โดยเข้าสำรวจและสอบถามผู้ใช้งานพื้นที่นั้น เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการวางแผนสำหรับการเก็บข้อมูล

3.2.3 แบ่งโซนพื้นที่ปรับอากาศสำหรับการเก็บข้อมูล เขียนแบบระบบท่อลมและตำแหน่งหัวจ่ายลม วัดอัตราการไหลจากหัวจ่ายลม (หน่วย CFM) และใส่ข้อมูลในแบบผังระบบท่อลม

3.2.4 ตีตารางหรือกริด (Grid) บนผังพื้นห้อง (Floor Plan) เพื่อกำหนดตำแหน่งการใช้แบบสอบถามสำหรับกลุ่มตัวอย่าง และตำแหน่งการวัดสภาพอากาศ

3.2.5 จัดหาเครื่องมือวัดอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม และอุณหภูมิโกลบ

3.2.6 ดำเนินการสำรวจข้อมูลโดยใช้แบบสอบถามกับผู้ใช้บริการห้องสมุด โดยตรวจสอบก่อนว่ากลุ่มตัวอย่างนั่งอยู่ตำแหน่งนั้นมาเกินกว่า 15 นาทีแล้ว พร้อมกับวางชุดเครื่องมือวัดสภาพอากาศ (อุณหภูมิอากาศ T_a, ความชื้นสัมพัทธ์ RH, ความเร็วลม V_a และอุณหภูมิโกลบ T_g) เพื่อวัดข้อมูลสภาพอากาศ ซึ่งจำเป็นสำหรับการวิเคราะห์ตัวแปรต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อความสบายอุณหภาพ

3.2.7 วิเคราะห์ข้อมูลความรู้สึกยอมรับต่อสภาพอากาศจริงหรือสภาวะความสบายอุณหภาพที่ได้จากแบบสอบถาม (Actual Mean Vote: AMV) และวิเคราะห์ข้อมูลดัชนีสภาวะความสบายเชิงอุณหภาพ (PMV และ PPD) จากการคำนวณพารามิเตอร์ที่ได้จากการวัดจริง

3.2.8 วิเคราะห์ความน่าจะเป็นที่กลุ่มตัวอย่างจะรู้สึกสบายที่อุณหภูมิการใช้งานพื้นที่ปรับอากาศที่เหมาะสมที่สุดโดยวิธีการทางสถิติศาสตร์ Logit และวิเคราะห์ผลลัพธ์สำคัญจากข้อมูลสภาพอากาศและข้อมูลจากแบบสอบถาม

3.2.9 สรุปผลการศึกษาวิจัยและนำเสนอข้อเสนอแนะ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการนำไปพิจารณาปรับปรุงภายในอาคารทำให้เกิดสภาวะสบายมากที่สุด ตลอดจนเป็นแนวทางในการศึกษาในด้านอื่น ๆ ต่อไป

3.3 การดำเนินการวิจัยและเก็บข้อมูล

ห้องสมุดคณะนิติศาสตร์ ณ อาคารเทพทวาราวดี รวมทั้ง 4 ชั้น มีพื้นที่ใช้สอยรวมทั้งสิ้น 2,756.16 ตารางเมตร โดยระบบปรับอากาศนี้ ออกแบบโดยอาจารย์ผู้ทรงคุณวุฒิจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาฯ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2544 ท่อลมเป็นท่อสังกะสีทรงฉาก หัวจ่ายลมเป็นกริล (Grille) อลูมิเนียมแบบปรับได้ 4 ทิศทาง การนำอากาศกลับ (Returned Air) ผ่านฝ้าตะแกรงโดยบางตำแหน่งเป็นกริล ตำแหน่งหัวจ่ายลมมีความสมมาตรเพื่อให้การจ่ายลมเกิดความสมดุล แต่อัตราการไหลลมผ่านการปรับเปลี่ยนให้เหมาะสมตามรูปแบบการใช้งานแต่ละพื้นที่ อาทิ ลดอัตราการไหลสำหรับพื้นที่ชั้นวางหนังสือ และเพิ่มอัตราไหลลมในพื้นที่นั่งอ่านหนังสือ ทำให้ช่วงค่าอัตราการไหลลมจากหัวจ่ายลมทั้งหมดค่อนข้างกว้าง

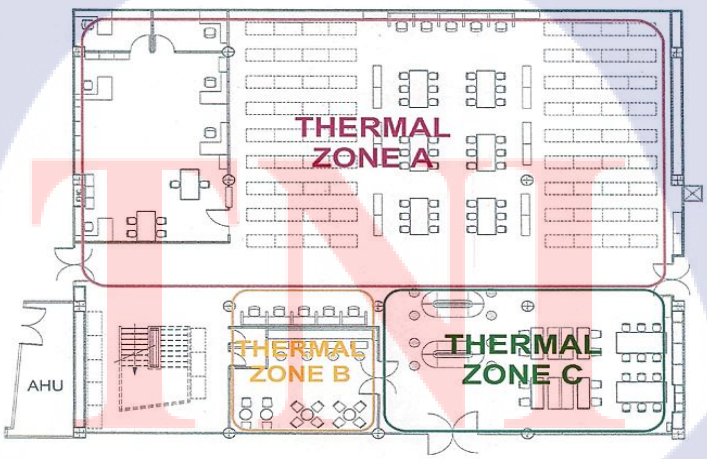
การเก็บข้อมูลแบ่งเป็น 2 ช่วง คือเดือน ม.ค.-ก.พ. 62 และเดือน เม.ย. 62 ข้อมูลพื้นที่ใช้สอย จำนวนการแบ่งโซนความร้อนสำหรับเก็บข้อมูลจำนวนกลุ่มตัวอย่าง และอัตราการไหลของลมเย็น สรุปดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลของพื้นที่ที่จะทำการทดลอง

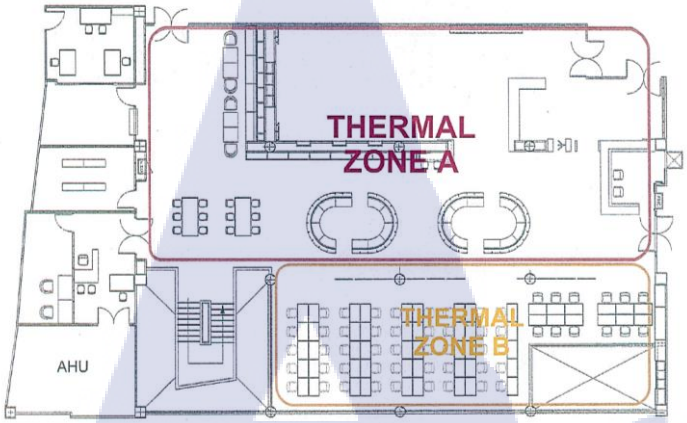
พื้นที่ห้องสมุด	พื้นที่ใช้สอย (m^2)	จำนวนโซนความร้อน	จำนวนหัวจ่ายลม (หัว)	ช่วงค่าอัตราการไหล (CFM)	อัตราการไหลเฉลี่ย (CFM)	จำนวนข้อมูลจากแบบสอบถาม (ชุด)	
						ม.ค.-ก.พ. 62	เม.ย. 62
ชั้น 1	712.12	A, B, C	48	238 - 642	395 ± 118	38	25
ชั้น 2	770.60	A, B	59	207 - 794	443 ± 127	31	25
ชั้น 3	789.12	A, B	54	232 - 738	424 ± 112	41	25
ชั้น 4	472.32	A, B, C, D, E, F	31	0 - 661	201 ± 168	25	25
รวม	**2,756.16**	**-**	**192**		**-**	**235**	

การวิจัยและเก็บข้อมูลเพื่อหาตัวแปรที่ส่งผลต่อสภาวะความสบายอุณหภาพที่ตอบสนองต่อผู้ใช้บริการห้องสมุด ในช่วงเดือน ม.ค.- ก.พ. 62 จำนวน 135 ชุด และช่วงเดือน เม.ย. 62 จำนวน 100 ชุด รวมทั้งสิ้น 235 ชุด ซึ่งได้ดำเนินการตามขั้นตอน ดังต่อไปนี้

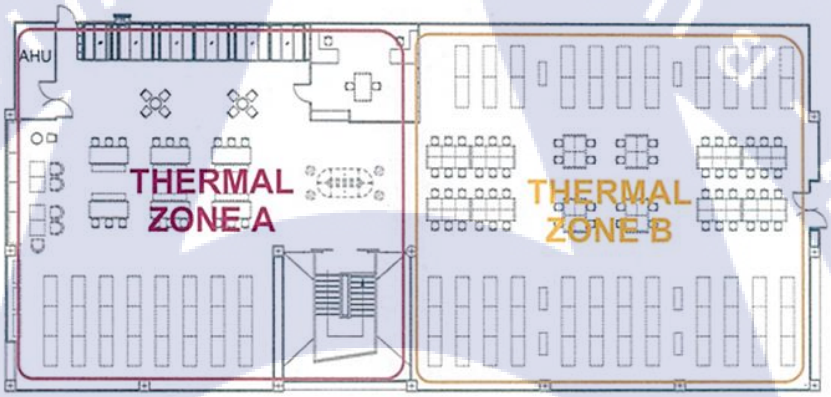
3.3.1 กำหนดตำแหน่งที่จะตรวจวัดภายในพื้นที่ห้องสมุดแต่ละชั้น โดยจะแบ่งตามพื้นที่การปรับอากาศของระบบเครื่องส่งลมเย็น (Air Handling Unit: AHU) ดังรูปที่ 3.2 – 3.5 และกำหนดตารางหรือกริดไลน์ (Gridlines) ลงในแบบจำลองพื้นที่ ซึ่งจะได้ขนาดพื้นที่ประมาณ 3 ตารางเมตรต่อหนึ่งกริดไลน์ ดังรูปที่ 3.6–3.9 เพื่อที่จะสามารถกำหนดตำแหน่งของการวัดข้อมูลทดลองได้อย่างถูกต้อง



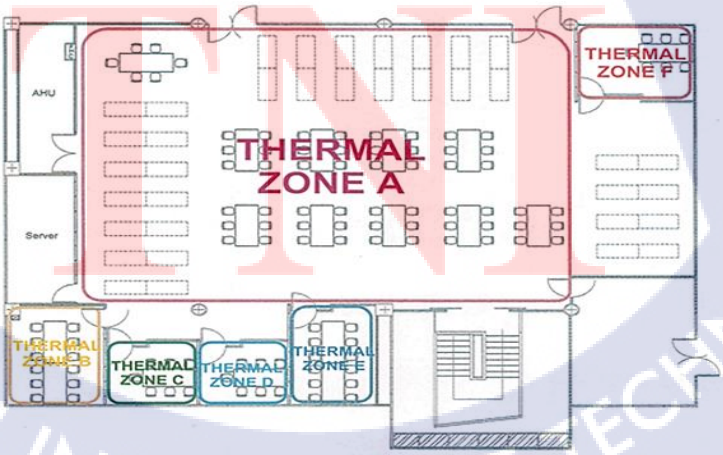
รูปที่ 3.2 การแบ่งพื้นที่การปรับอากาศของระบบเครื่องส่งลมเย็น ชั้น 1



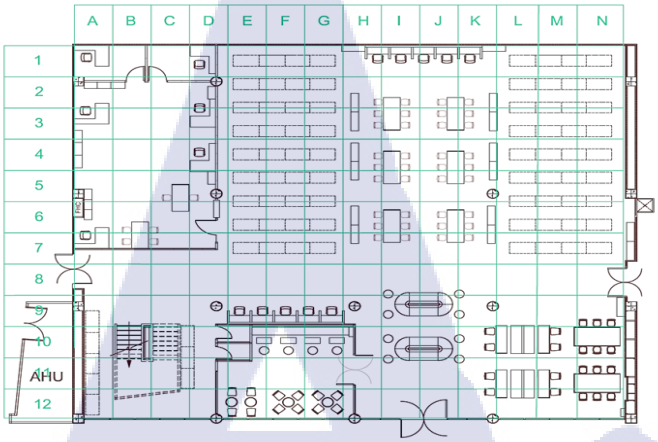
รูปที่ 3.3 การแบ่งพื้นที่การปรับอากาศของระบบเครื่องส่งลมเย็น ชั้น 2



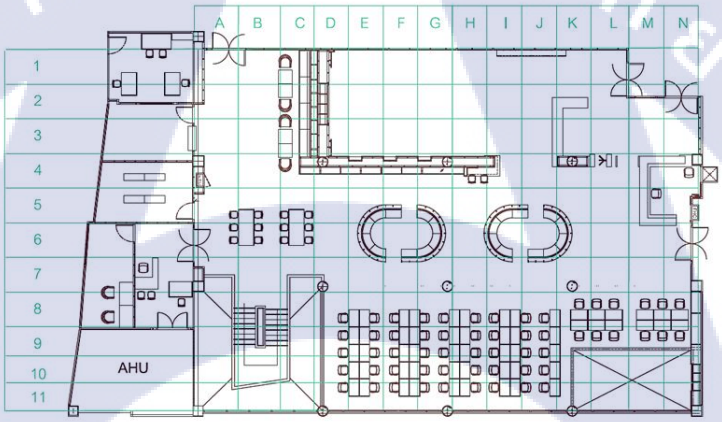
รูปที่ 3.4 การแบ่งพื้นที่การปรับอากาศของระบบเครื่องส่งลมเย็น ชั้น 3



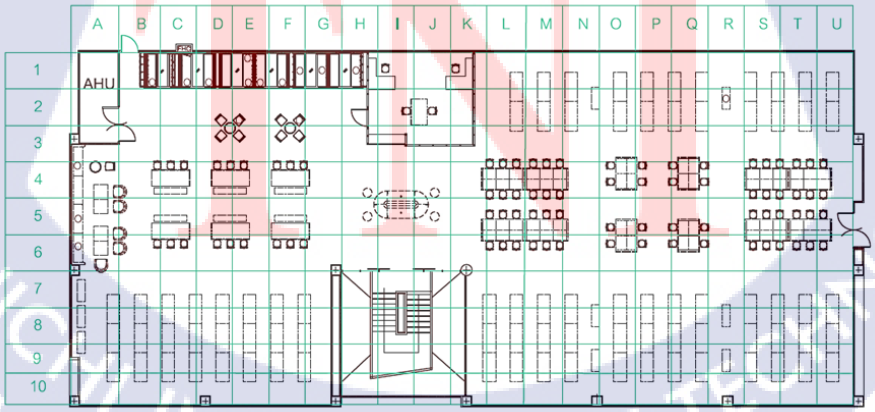
รูปที่ 3.5 การแบ่งพื้นที่การปรับอากาศของระบบเครื่องส่งลมเย็น ชั้น 4



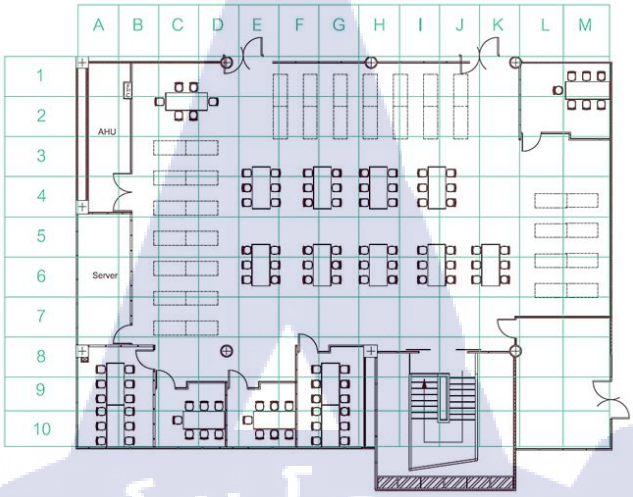
รูปที่ 3.6 การกำหนดกริดไลน์ในแบบจำลองพื้นที่ ชั้น 1



รูปที่ 3.7 การกำหนดกริดไลน์ในแบบจำลองพื้นที่ ชั้น 2

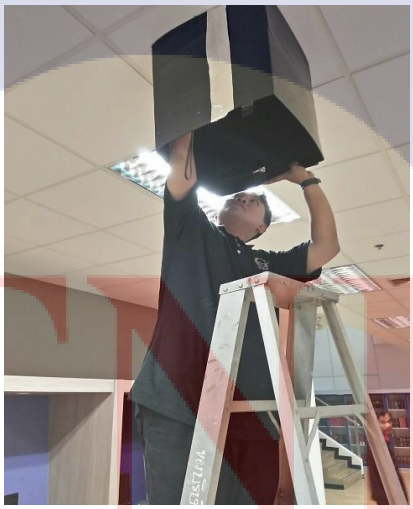


รูปที่ 3.8 การกำหนดกริดไลน์ในแบบจำลองพื้นที่ ชั้น 3



รูปที่ 3.9 การกำหนดกริดไลน์ในแบบจำลองพื้นที่ ชั้น 4

3.3.2 การใช้เครื่องมือวัดอัตราการไหลของหัวจ่ายลม (Air Grille) เพื่อเก็บข้อมูลปริมาณการส่งลมไปยังพื้นที่ปรับอากาศ ชั้น 1-4 ดังรูปที่ 3.10 และผลการวัดอัตราการไหลของลมแต่ละหัวจ่าย รวม 192 ชุด ดังแสดงในตาราง ก.1

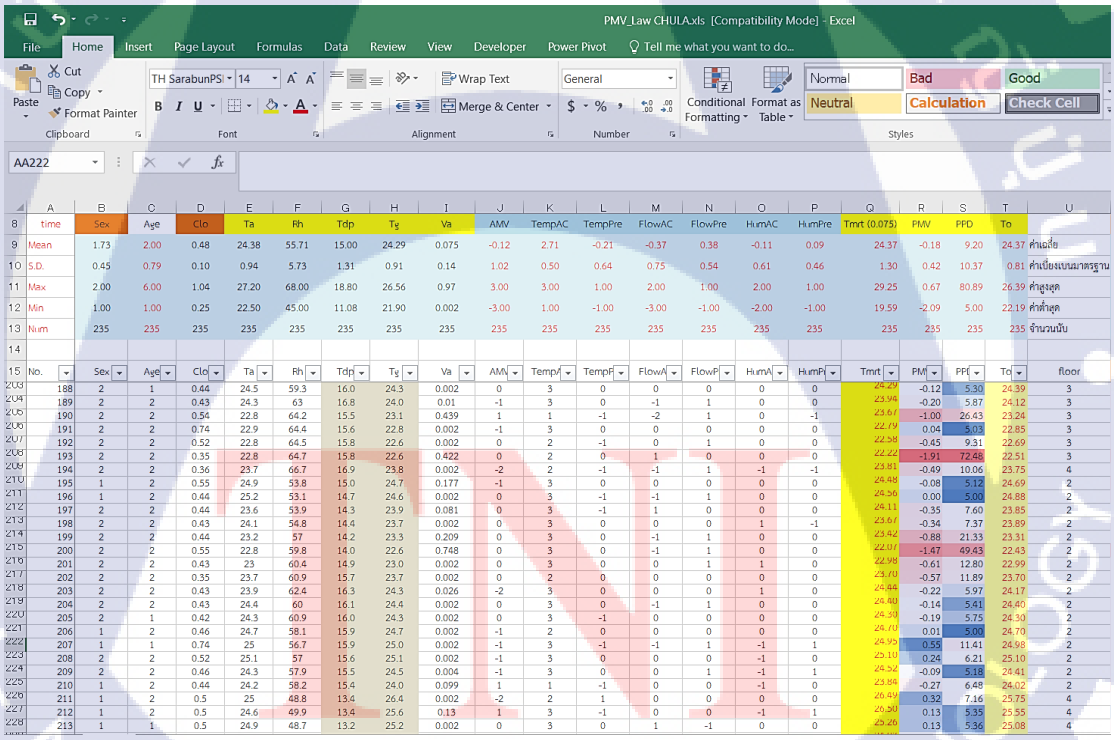


รูปที่ 3.10 วิธีการวัดอัตราการไหลของหัวจ่ายลม (Air Grille)

3.3.3 ติดตั้งชุดเครื่องมือวัดสภาพอากาศแบบมีขาตั้ง ซึ่งรวบรวมเครื่องวัดอุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม และเครื่องวัดอุณหภูมิแผ่รังสีแบบโกลบ (Globe Temperature) ไว้ด้วยกัน เพื่อสะดวกต่อการเคลื่อนที่ไปยังจุดตรวจวัดต่าง ๆ ดังรูปที่ 3.22

3.3.4 เก็บข้อมูลที่ได้จากเครื่องมือวัดความสบายอุณหภาพ ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วอากาศ อุณหภูมิของโกลบ ณ จุดที่ทำการสำรวจข้อมูล โดยขณะเก็บข้อมูลจากเครื่องวัดความสบายอุณหภาพ ผู้วิจัยได้แจกแบบสอบถามความสบายอุณหภาพ (Thermal Comfort) ดังแสดงในรูป ข.1 แก่ผู้ใช้พื้นที่ ณ บริเวณที่ทำการเก็บข้อมูล เพื่อนำข้อมูลจากแบบสอบถามไปวิเคราะห์หาค่าการโหวตความรู้สึกเชิงอุณหภาพ

3.3.5 นำข้อมูลที่ได้ในจากการเก็บแบบสอบถามสำหรับแต่ละตัวอย่าง มากรอกลงในโปรแกรม Excel ที่มี Visual Basic for Applications in Excel (VBA) สำหรับคำนวณ PMV/PPD เพื่อวิเคราะห์อุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย และอุณหภูมิโอเปอร์เรทีฟ ที่มีผลต่อค่าทำนายการโหวตความรู้สึกเชิงอุณหภาพเฉลี่ย (Predicted Mean Vote: PMV) และค่าทำนายร้อยละความไม่พอใจเชิงอุณหภาพ (Predicted Percentage Dissatisfied: PPD) รวมถึงการวิเคราะห์ค่าการโหวตความรู้สึกเชิงอุณหภาพจากการตรวจวัดจริง (AMV) ดังตัวอย่างข้อมูลที่กรอกในไฟล์ Excel ซึ่งจะถูกคำนวณค่า PMV/PPD โดย VBA for Excel ต่อไป ดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 ข้อมูลจากแบบสอบถามที่กรอกในโปรแกรม Excel

3.3.6 สรุปผลการวิจัยและเสนอแนวทางปรับปรุงเพื่อให้ได้ความสบายอุณหภาพของผู้ใช้บริการห้องสมุด

3.4 การทำการทดลอง

3.4.1 สถานที่ทำการทดลอง

ห้องสมุดเปิดให้บริการตั้งแต่เดือนตุลาคม 2546 ต่อมาในเดือนสิงหาคม 2557 คณะนิติศาสตร์ได้ปรับปรุงตกแต่งภายในห้องสมุดใหม่ และได้รับพระราชทานนามใหม่ว่า ศูนย์ "เพชรรัตน" นิติทรัพยากร และเปิดให้บริการอีกครั้งในเดือนมกราคม 2558 จนถึงปัจจุบัน สภาพแวดล้อมของพื้นที่ห้องสมุดทั้งหมดแสดงดังรูปที่ 3.12-3.15

รูปที่ 3.12 สภาพแวดล้อมของพื้นที่ห้องสมุด ชั้น 1

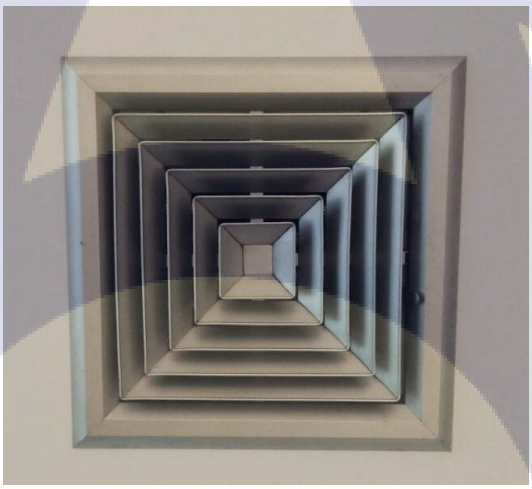
รูปที่ 3.13 สภาพแวดล้อมของพื้นที่ห้องสมุด ชั้น 2

รูปที่ 3.14 สภาพแวดล้อมของพื้นที่ห้องสมุด ชั้น 3

รูปที่ 3.15 สภาพแวดล้อมของพื้นที่ห้องสมุด ชั้น 4

การปรับอากาศภายในพื้นที่ห้องสมุดใช้เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type) ยี่ห้อ Carrier ที่มีการติดตั้งและใช้งานมากว่า 15 ปี โดยมีเครื่องส่งลมเย็น (Air Handing Unit: AHU) ดังรูปที่ 3.16 จำนวน 10 เครื่อง ติดตั้งที่ชั้นที่ 1-4 และในแต่ละชั้นของห้องสมุดมีระบบท่อส่งจ่ายลมเย็นไปยังพื้นที่ต่าง ๆ ผ่านหัวจ่ายลมแบบสี่เหลี่ยมกระจายลมออกทั้งสี่ด้าน ดังรูปที่ 3.17 มีอัตราการไหลลมเย็นจากหัวจ่ายประมาณ 100–800 CFM จากการปรับอัตราการไหลลมให้ต่างกันตามลักษณะการใช้งานของพื้นที่

รูปที่ 3.16 เครื่องส่งลมเย็น (Air Handing Unit : AHU)



รูปที่ 3.17 หัวจ่ายลม (Air Grille)

3.4.2 การประเมินความรู้สึกสบายต่อสภาพอากาศ ณ ปัจจุบัน

ห้องสมุดได้เปิดให้บริการตลอดวันตั้งแต่เช้าถึงค่ำ ช่วงเวลา 8:00–21:00 น. ซึ่งผู้ใช้บริการทั้งหมดย่อมต้องการความสบายจากการปรับอากาศ มีการแบ่งโซนความร้อน (Thermal Zone) เพื่อความสะดวกในการเก็บข้อมูลด้วยแบบสอบถาม โดยแผนผังการแบ่งโซนเพื่อเก็บข้อมูลจากพื้นที่ปรับอากาศ ชั้น 1-4 แสดงดังรูปที่ 3.2–3.5

การเก็บข้อมูลจากแบบสอบถามจะมีการถามข้อมูลส่วนตัว ระดับกิจกรรม ความเป็นฉนวนของเสื้อผ้า ความพึงพอใจและการยอมรับสภาพแวดล้อมในด้านความเย็นความร้อน ความแห้งความชื้น และความแรงของลม พร้อมกับการใช้เครื่องมือวัดค่าพารามิเตอร์ อาทิ เวลา อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม และอุณหภูมิโกลบ เพื่อนำข้อมูลมาประเมินสภาวะความสบายอุณหภาพ (Thermal Comfort)

3.4.3 เครื่องมือสำรวจ

3.4.3.1 แบบสอบถาม

แบบสอบถามที่ประกอบด้วย 2 ส่วน ส่วนแรกเป็นข้อมูลเกี่ยวกับผู้ที่ถูกสำรวจ อาทิ อายุ เพศ การแต่งกาย น้ำหนัก เสื้อผ้าที่สวมใส่ในขณะนั้น และส่วนที่สอง ประกอบด้วยชุดคำถามที่เกี่ยวข้องกับความสบายในช่วงที่กำลังสัมภาษณ์ แบบสอบถามจำนวน 235 ตัวอย่าง สรุปข้อมูลได้ ดังตารางที่ 3.2 ที่แสดงระดับสเกลของความสบายภายในพื้นที่ปรับอากาศ

ตารางที่ 3.2 ระดับสเกลของความรู้สึกภายในห้องปรับอากาศ

สเกล ตัวเลข	สเกล ความรู้สึกของ ASHRAE	การยอมรับ (Acceptability)			ความชอบ (Preference)		
		อุณหภูมิ	ปริมาณลม	ความชื้น	อุณหภูมิ	ปริมาณลม	ความชื้น
+3	ร้อน		สูงเกินไป	สูงเกินไป			
+2	อุ่น		สูง	สูง			
+1	ค่อนข้างอุ่น	รับได้	ค่อนข้างสูง	ค่อนข้างสูง	อุ่นขึ้น	ลงมากขึ้น	ชื้นขึ้น
0	สบาย	พอรับได้	พอดี	พอดี	ไม่เปลี่ยน	ไม่เปลี่ยน	ไม่เปลี่ยน
-1	ค่อนข้างเย็น	รับไม่ได้	ค่อนข้างต่ำ	ค่อนข้างต่ำ	เย็นลง	ลมน้อยลง	แห้งลง
-2	เย็น		ต่ำ	ต่ำ			
-3	หนาว		ต่ำเกินไป	ต่ำเกินไป			

3.4.3.2 เครื่องมือตรวจวัดสภาวะแวดล้อมอุณหภาพ

ขณะที่ผู้ถูกสำรวจกำลังกรอกข้อมูลในแบบสอบถาม สภาวะแวดล้อมทางอุณหภาพรอบตัวผู้อยู่อาศัยได้รับการตรวจวัดด้วย ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ (T_a) ความชื้นสัมพัทธ์อากาศ (RH) อุณหภูมิโกลบ (T_g) และความเร็วลม (V_a) เครื่องมือวัดที่ใช้เป็นชนิดสำหรับการใช้งานนอกพื้นที่ และชุดเครื่องมือวัดถูกวางไว้บนโต๊ะอ่านหนังสือภายในห้องสมุด เพื่อให้ตำแหน่งเครื่องมือวัดอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม และอุณหภูมิโกลบ เป็นตำแหน่งเดียวกัน และอยู่ที่ระดับความสูง

จากพื้นห้องประมาณ 1 เมตร ซึ่งเป็นระดับเดียวกับความสูงของร่างกายผู้ใช้บริการห้องสมุดในอิริยาบถการนั่ง จึงทำให้ได้ข้อมูลการวัดสอดคล้องและตรงกับสภาพความเป็นจริง

ช่วงเวลาการวัดค่าและเก็บข้อมูลจากแบบสอบถาม ตั้งแต่ 11:00 ถึง 17:00 น. ซึ่งอุณหภูมิอากาศสูงกว่าช่วงเช้า และใช้เวลาวัดค่าต่าง ๆ ในแต่ละตำแหน่งประมาณ 10–15 นาที ทั้งนี้ ในช่วงบ่ายเครื่องปรับอากาศได้ทำงานมาเป็นระยะเวลาที่นานพอสมควร ดังรูปที่ 3.18-3.21

รูปที่ 3.18 เครื่องมือวัดความเร็วลมแบบ Hot wire ยี่ห้อ Benetech รุ่น GM8903

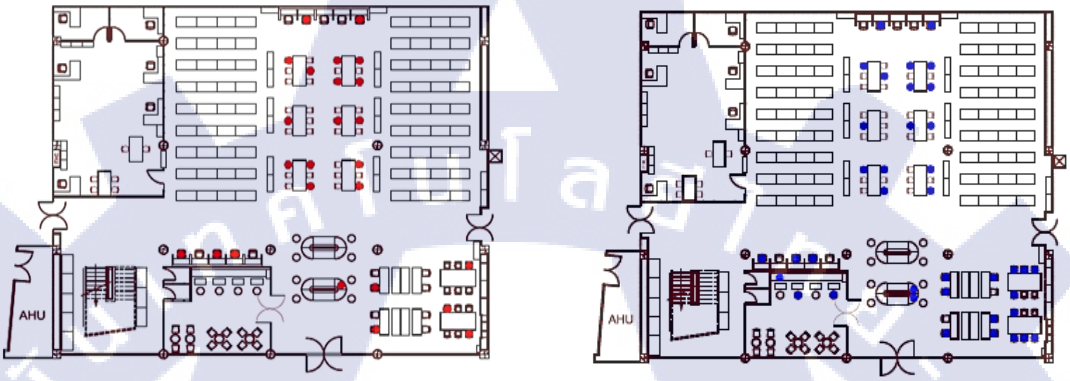
รูปที่ 3.19 เครื่องมือเครื่องวัดความชื้นยี่ห้อ UNI-T รุ่น UT333

รูปที่ 3.20 เครื่องมือวัดค่าอุณหภูมิโกลบ ยี่ห้อ Lutron รุ่น WBGT-2010SD

รูปที่ 3.21 การติดตั้งเครื่องมือวัดค่าพารามิเตอร์สภาพอากาศ

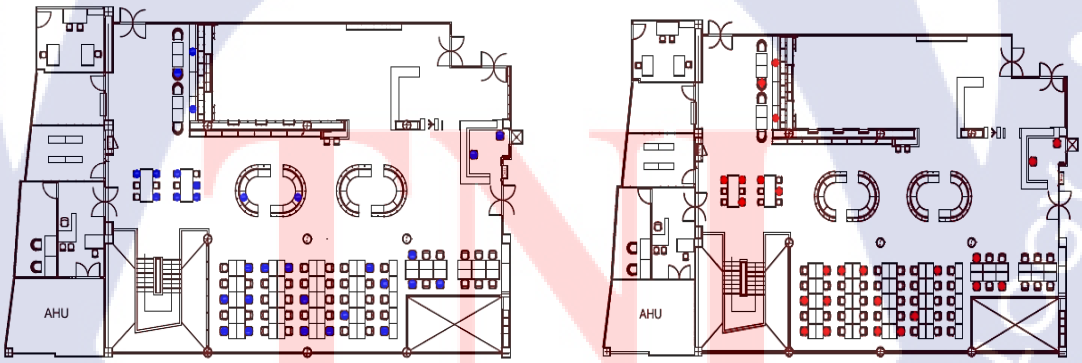
3.4.3.3 ตำแหน่งการสำรวจสภาวะอากาศและความสบายอุณหภาพ

การสำรวจสภาวะอากาศและความสบายอุณภาพภายในพื้นที่ปรับอากาศของห้องสมุดในพื้นที่ต่าง ๆ โดยผู้ใช้บริการอยู่ในอิริยาบถท่านั่งและส่วนใหญ่อ่านหนังสือรวม 235 คน โดยเก็บข้อมูล 2 ช่วงเดือน ได้แก่ เดือนมกราคม-กุมภาพันธ์ 2562 จำนวน 135 คน และเดือนเมษายน 2562 จำนวน 100 คน ตำแหน่งเก็บข้อมูลดังรูปที่ 3.22-3.25



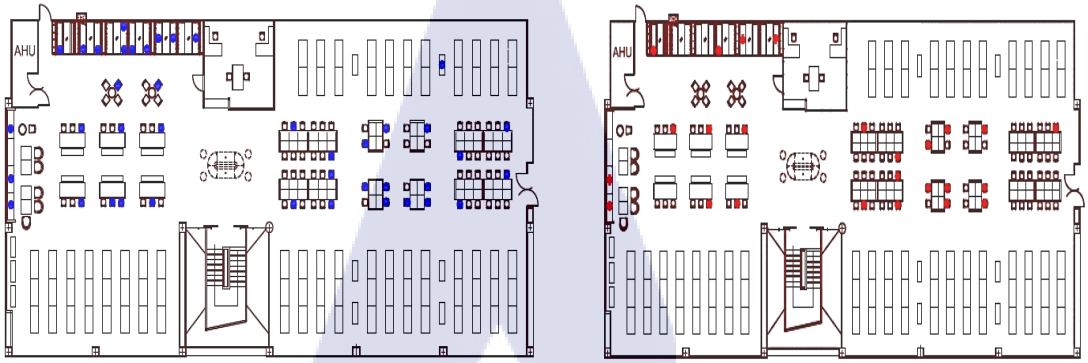
ก. มกราคม-กุมภาพันธ์ 2562 ข. เมษายน 2562

รูปที่ 3.22 ตำแหน่งการสำรวจสภาวะความสบายภายในห้องสมุด ชั้น 1



ก. มกราคม-กุมภาพันธ์ 2562 ข. เมษายน 2562

รูปที่ 3.23 ตำแหน่งการสำรวจสภาวะความสบายภายในห้องสมุด ชั้น 2



ก. มกราคม-กุมภาพันธ์ 2562 ข. เมษายน 2562

รูปที่ 3.24 ตำแหน่งการสำรวจสภาวะความสบายภายในห้องสมุด ชั้น 3

ก. มกราคม-กุมภาพันธ์ 2562 ข. เมษายน 2562

รูปที่ 3.25 ตำแหน่งการสำรวจสภาวะความสบายภายในห้องสมุด ชั้น 4

3.5 ปัจจัยที่ส่งผลต่อสภาวะความสบายอุณหภาพ

ปัจจัยที่มีผลต่อความสบายอุณหภาพ ได้แก่ ปัจจัยด้านสภาพแวดล้อมอากาศ คือ อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ความเร็วลม และอุณหภูมิแผ่รังสี และปัจจัยที่เกี่ยวกับตัวบุคคล ได้แก่ เมตาโบลิซึมหรืออัตราการเผาผลาญพลังงานภายในร่างกาย และความเป็นฉนวนของเสื้อผ้าที่สวมใส่ในขณะนั้น โดยปัจจัยด้านสภาพแวดล้อมอากาศสามารถควบคุมได้โดยการปรับสภาพแวดล้อมของอากาศภายในห้องสมุดเพื่อให้ผู้ใช้บริการรู้สึกสบาย

ส่วนปัจจัยที่เกี่ยวกับตัวบุคคลขึ้นอยู่กับลักษณะบุคคลไม่สามารถควบคุมได้ เช่น เพศ อายุ น้ำหนัก การสวมเสื้อผ้า เป็นต้น

3.6 แบบจำลองค่าทำนายการโหวตความรู้สึกเชิงอุณหภาพเฉลี่ย (Predicted Mean Vote: PMV)

ข้อมูลการวัดสภาพแวดล้อมของอากาศภายในห้องสมุดใช้เพื่อคำนวณค่าทำนายการโหวตความรู้สึกเชิงอุณหภาพเฉลี่ย PMV ที่ทุกกริด คำนวณโดยสมการของ Fanger ที่ขึ้นกับ 6 ปัจจัย คือ อุณหภูมิอากาศ ความชื้นของอากาศ ความเร็วลม อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย สภาพความเป็นฉนวนของเสื้อผ้า และอัตราเมตาบอลิกของร่างกาย

การคำนวนเพื่อทำนายว่ากลุ่มของผู้ใช้บริการในพื้นที่ปรับอากาศมีความพึงพอใจหรือยอมรับต่อสภาพอากาศในห้องปรับอากาศ ใช้สมการคำนวณที่มีตัวแปรและค่าคงที่ต่าง ๆ ดังสมการที่ 3.1 ซึ่งอธิบายรายละเอียดไว้ในบทที่ 2 แล้ว

$$\begin{aligned} PMV = & \left(0.303e^{-0.036M} + 0.028\right)\Big\{(M-W) - 3.05x10^{-3}\left[5733 - 6.99M - W - P_a\right] \\ & -0.42x\left[(M-W) - 58.15\right] - 1.7x10^{-5}M\left(5867 - P_a\right) - 0.0014M\left(34 - T_a\right) \\ & -3.96x10^{-8} f_{cl}\left[\left(T_{cl}+273\right)^4 - \left(T_{mrt}+273\right)^4\right] - f_{cl}h_c\left(T_{cl} - T_a\right)\Big\} \end{aligned} \quad (3.1)$$

ต่อมาในปี ค.ศ. 2002 Takahiro SATO ได้พัฒนาสมการคำนวณค่าทำนายการโหวตความรู้สึกเชิงอุณหภาพเฉลี่ย PMV ของ Fanger และต่อมา ทศพล เขตเจนการ และพิพัฒน์ ชัยวิวัฒน์วรกุล ได้นำมาประยุกต์เขียนเป็น VBA สำหรับ Excel และพัฒนาเป็นโปรแกรมคำนวณ PMV/PPD เพื่อสะดวกต่อการใช้งาน โดยมีสมการดังรายละเอียดต่อไปนี้ และ Source Code ของสมการได้ระบุไว้ในภาคผนวก ข.

$$PMV = T_s * \left(MW - E_{diff} - E_{sw} - LRES - DRES - R - C\right) \quad (3.2)$$

<u>ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน</u> (Thermal Sensation Transfer Coefficient: T_s)

$$T_s = \left(0.303e^{-0.036M} + 0.028\right) \quad (3.3)$$

<u>ค่าความร้อนที่ถูกผลิตในร่างกายมนุษย์</u> (Internal Heat Production in the Human Body: MW)

$$MW = (M - W) \tag{3.4}$$

เมื่อ M คือ อัตราการเผาพลาญพลังงานของร่างกายมนุษย์, W/m^2

W คือ งานจากภายนอก, W/m^2

<u>ค่าการสูญเสียจากการแพร่ความร้อนผ่านผิวหนัง</u> (Heat Loss Diffusion Through Skin: E_{diff})

$$E_{diff} = 3.05x10^{-3}\left[5733 - 6.99M - W - P_a\right] \tag{3.5}$$

<u>ค่าการสูญเสียความร้อนจากเหงื่อ</u> (Heat Loss by Sweating: E_{sw})

$$E_{sw} = 0.42(MW - 58.15) \;;\; \text{If } MW > 58.15 \quad \text{โดย } MW = M - W \tag{3.6}$$

$$E_{sw} = 0 \qquad \text{If } MW < 58.15$$

<u>ค่าการสูญเสียความร้อนแฝงจากการหายใจ</u> (Latent Respiration Heat Loss: $LRES$)

$$LRES = 1.7x10^{-5}M\left(5867 - P_a\right) \tag{3.7}$$

เมื่อ P_a คือ ความดันไอน้ำในบรรยากาศ, Pa

<u>ค่าการสูญเสียความร้อนสัมผัสจากการหายใจ</u> (Dry Respiration Heat Loss: $DRES$)

$$DRES = 0.0014M\left(34 - T_a\right) \tag{3.8}$$

เมื่อ T_a คือ อุณหภูมิอากาศ, °C

<u>ค่าการสูญเสียความร้อนจากการแผ่รังสีความร้อน</u> (Heat Loss by Radiation: R)

$$R = 3.96x10^{-8} f_{cl}\left[\left(T_{cl}+273\right)^4 - \left(T_r+273\right)^4\right] \tag{3.9}$$

เมื่อ f_{cl} คือ อัตราส่วนของพื้นที่ของเสื้อผ้าต่อพื้นที่ผิวของร่างกาย

T_{cl} คือ อุณหภูมิผิวของเสื้อผ้า, °C

T_r คือ อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย, °C

<u>ค่าการสูญเสียความร้อนโดยการพาความร้อน</u> (Heat Loss by Convection: C)

$$C = f_{cl}h_c\left(T_{cl} - T_a\right) \tag{3.10}$$

เมื่อ h_c คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อน, W/m^2K

3.7 การทำนายร้อยละความไม่พอใจเชิงอุณหภาพ (Predicted Percentage Dissatisfied: PPD)

การคำนวณค่าร้อยละความไม่พอใจเชิงอุณหภาพหรือ PPD หรือร้อยละคนที่ไม่พอใจเชิงอุณหภาพ ที่ระดับค่าผลทำนายการโหวตความรู้สึกเชิงอุณหภาพเฉลี่ย ซึ่งแม้ว่าผลการโหวตโดยรวมเป็นศูนย์หรือมีความพึงพอใจความสบายอุณหภาพ ณ ขณะนั้น แต่ก็จะมีคนอีก 5% ที่ยังคงรู้สึกค่อนข้างเย็นหรือค่อนข้างอุ่นอยู่ และค่าทำนายร้อยละความไม่พอใจเชิงอุณหภาพ หาได้จากสมการที่ 3.11

$$PPD = 100 - 95\ exp\left[-0.03353PMV^4 - 0.2179PMV^2\right] \tag{3.11}$$

การดำเนินการตามระเบียบวิธีวิจัยและการวิเคราะห์โดยใช้สมการที่นำเสนอในบทที่ 3 นี้ จะทำให้ได้ผลการวิเคราะห์ข้อมูลวิจัยดังที่จะนำเสนอต่อไปในบทที่ 4

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

บทนี้นำเสนอผลการวิเคราะห์สภาวะความสบายอุณหภาพของห้องสมุดคณะนิติศาสตร์ จากผลแบบสอบถาม โดยประเมินความพึงพอใจในด้านอุณหภูมิ ความชื้น ความเร็วลม และความคาดหวังต่อสภาพอากาศ ตลอดจนผลการทำนายค่า PMV และ PPD ตามมาตรฐาน ASHRAE และได้เปรียบเทียบผลการประเมินจากแบบสอบถามกับผลการคำนวณ รวมไปถึงการหาความน่าจะเป็นทางสถิติศาสตร์ที่สภาพอากาศจะเป็นที่ยอมรับของผู้อยู่อาศัยในพื้นที่ปรับอากาศ

การคำนวณ PMV อิงตามแบบจำลองสมดุลความร้อนร่างกายของแฟงเกอร์ (Fanger's Human Heat Balance Model) ที่ถูกพัฒนาขึ้นโดยอาศัยฐานข้อมูลจากการทดลองกับคนในเขตละติจูดตอนกลาง (Mid-Latitude) ที่มีภูมิอากาศอบอุ่น ทดสอบภายในห้องที่ควบคุมสภาวะแวดล้อมเป็นอย่างดี และถูกพัฒนาจนเป็นมาตรฐานสากล แต่ความสบายอุณหภาพของบุคคลในแต่ละพื้นที่มีความแตกต่างกัน และไม่สามารถกำหนดภาวะนั้นด้วยค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเท่านั้น

หลายปีที่ผ่านมาได้มีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับความรู้สึกสบาย ดังสรุปในบทที่ 2 ซึ่งชี้ให้เห็นว่ามีปัจจัยเชิงจิตวิทยาที่ไม่สามารถประเมินในเชิงปริมาณได้ เช่น ลักษณะของการอยู่อาศัย ความคิด ความพึงพอใจ และการศึกษา เป็นต้น และอีกปัจจัยหนึ่งที่มีอิทธิพลอย่างยิ่ง คือ ความคุ้นชินกับสภาพภูมิอากาศของคนในท้องถิ่นที่อาศัยอยู่ ซึ่งผลจากการศึกษาวิจัยที่ผ่านมาได้ยืนยันว่าความสบายของคนในแต่ละพื้นที่ที่มีสภาพภูมิอากาศที่แตกต่างกัน เช่น กรณีคนไทยซึ่งอาศัยอยู่ในบริเวณเขตของเส้นศูนย์สูตรรู้สึกถึงความสบายได้ที่อุณหภูมิอากาศสูงกว่าคนยุโรปที่อาศัยอยู่ในเขตพื้นที่อากาศเย็น และยิ่งไปกว่านั้นความพอใจเชิงอุณหภาพยังได้รับอิทธิพลจากเทคโนโลยีที่ใช้ในการปรับอากาศ

งานวิจัยนี้ศึกษาความสบายอุณหภาพของผู้ใช้บริการห้องสมุดคณะนิติศาสตร์ จุฬาลงกรณ์-มหาวิทยาลัย ซึ่งตั้งอยู่เขตพื้นที่ใจกลางของกรุงเทพฯ กลุ่มผู้ให้สัมภาษณ์ส่วนใหญ่ร้อยละ 98 เป็นนิสิตคณะนิติศาสตร์ จุฬาฯ ที่พักอาศัยในกรุงเทพฯ และมาใช้บริการนั่งอ่านหนังสือในห้องสมุดและสืบค้นฐานข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์

ระบบปรับอากาศภายในห้องสมุดชั้นที่ 1–4 ใช้เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Typeยี่ห้อแคร์เรียร์ (Carrier) ทั้งหมด ใช้งานมาตั้งแต่ปี 2547 มีอายุการใช้งานมากกว่า 15 ปี โดยมีเครื่องส่งลมเย็น (Air Handing Unit: AHU) จำนวน 10 เครื่อง แต่ละชั้นของห้องสมุดมีระบบท่อส่งลมเย็นไปยังพื้นที่ต่าง ๆ ผ่านหัวจ่ายลมแบบสี่เหลี่ยมสำหรับกระจายลมออกทั้งสี่ด้านมีอัตราการ

ไหลลมเย็นโดยเฉลี่ยจากหัวจ่ายอยู่ในช่วงกว้าง 200–600 CFM ซึ่งถูกปรับอัตราให้ต่างกันตามลักษณะการใช้งานของพื้นที่

4.1 สภาพภูมิอากาศของกรุงเทพมหานคร [35]

กรุงเทพมหานครอยู่ในแถบเส้นศูนย์สูตร ละติจูด 13 องศา 44 ลิปดาเหนือ ลองจิจูด 100 องศา 34 ลิปดาตะวันออก อยู่บริเวณภาคกลางตอนล่างของประเทศไทย จากผลการตรวจวัด ณ สถานีอุตุนิยมวิทยากรุงเทพฯ (เฉลิมพระเกียรติ) เขตคลองเตย กรุงเทพฯ พบว่ามีอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดปี 2 -30 °C อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย 32-34 °C และอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย 24-26 °C และมีอากาศร้อนจัดในเดือนเมษายนและพฤษภาคมจึงทำให้กรุงเทพมหานครมีภาวะอากาศร้อนและชื้นเกือบตลอดปี

ประเทศไทยแบ่งฤดูกาลของกรุงเทพมหานคร ออกเป็น 3 ฤดู ดังนี้

(1) ฤดูหนาว เริ่มตั้งแต่กลางเดือนตุลาคมถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์ ซึ่งจะเริ่มมีอากาศหนาวประมาณกลางเดือนพฤศจิกายนเป็นต้นไป

(2) ฤดูร้อน เริ่มประมาณกลางเดือนกุมภาพันธ์ถึงกลางเดือนพฤษภาคม ซึ่งจะมีอากาศร้อนอบอ้าวทั่วไป โดยมีอากาศร้อนที่สุดในเดือนเมษายน

(3) ฤดูฝน เริ่มตั้งแต่กลางเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคม ซึ่งจะเริ่มมีฝนตกชุกขึ้นตั้งแต่กลางเดือนพฤษภาคมเป็นต้นไป และเดือนกันยายนจะที่มีฝนตกชุกมากที่สุดในรอบปี จึงเป็นช่วงที่มีความชื้นสูง

4.2 การสำรวจความสบายอุณหภาพในห้องปรับอากาศปกติ

การสำรวจข้อมูลจากบุคลากร นิสิต และบุคคลภายนอก ที่มาใช้บริการนั่งอ่านหนังสือและสืบค้นในฐานข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์ นานกว่า 15 นาทีขึ้นไป โดยมีรายละเอียดเครื่องมือสำรวจและผลการสำรวจ ดังนี้

4.2.1 เครื่องมือสำรวจ

เครื่องมือสำรวจ ประกอบด้วย แบบสอบถามและการใช้เครื่องมือวัดสภาวะแวดล้อมภายในห้องสมุด เพื่อให้สอดคล้องกับมาตรฐาน ANSI/ASHRAE Standard 55 ข้อมูลที่จัดเก็บจากแต่ละบุคคลใช้เวลาประมาณ 10 ถึง 15 นาที รวมเวลาอธิบายวัตถุประสงค์ของการสำรวจ รายละเอียดของแบบสอบถาม และการกรอกแบบสอบถาม

4.2.1.1 แบบสอบถาม

แบบสอบถามประกอบด้วยข้อมูล 2 ส่วน โดยส่วนแรกเป็นข้อมูลเกี่ยวกับผู้ถูกสำรวจ ประกอบด้วย อายุ เพศ การแต่งกาย และส่วนที่สองเป็นชุดคำถามที่เกี่ยวข้องกับความสบายของผู้ถูกสัมภาษณ์ในช่วงที่กำลังสัมภาษณ์ โดยอ้างอิงตามมาตรฐาน ASHRAE ตารางที่ 3.2 แสดงระดับสเกลของความสบายในห้องปรับอากาศที่ใช้ประเมินผู้ถูกสำรวจ ซึ่งมีรายละเอียดข้อมูลการประเมินสภาวะความสบายอุณหภาพ (Thermal Comfort) ดังรูปที่ 3.11

นอกจากใช้สเกลความรู้สึกตามมาตรฐาน ASHRAE แล้ว การประเมินสภาพความสบายยังพิจารณาระดับการยอมรับภาวะแวดล้อมเชิงอุณหภาพภายในห้อง (Thermal Acceptability) ของบุคคล ด้านการเคลื่อนไหวของลมและความชื้น โดยแบ่งออกเป็น 7 ระดับ ตามตารางที่ 3.2 ดังนั้น คำถามชุดที่สองในแบบสอบถามจะประเมินความชอบ (Thermal Preference) ของบุคคล ด้านอุณหภูมิ ความชื้น และการเคลื่อนไหวของลมภายในห้องปรับอากาศ โดยแบ่งออกเป็น 3 ระดับ เพื่อใช้เป็นข้อมูลเปรียบเทียบกับภาวะที่เกิดขึ้นในขณะสัมภาษณ์

4.2.1.2 เครื่องมือตรวจวัดสภาวะแวดล้อมอุณหภาพในอาคาร

ผู้วิจัยได้ตรวจวัดภาวะแวดล้อมรอบตัวของผู้ให้สัมภาษณ์ ด้วยเครื่องมือวัดชนิดใช้งานนอกพื้นที่ ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ (T_a) ความชื้นสัมพัทธ์อากาศ (RH) อุณหภูมิโกลบ (T_g) และความเร็วลม (V_a) ในระหว่างที่กำลังกรอกแบบสอบถาม ที่มีความแม่นยำของอุปกรณ์ คือ อุณหภูมิอากาศ ±2 °C ความเร็วลม ±3 % และความชื้นสัมพัทธ์ ±5 % อุณหภูมิโกลบ ± 0.6 °C ผลของการวัดค่าจะใช้ประกอบการวิเคราะห์ร่วมกับข้อมูลจากแบบสอบถาม

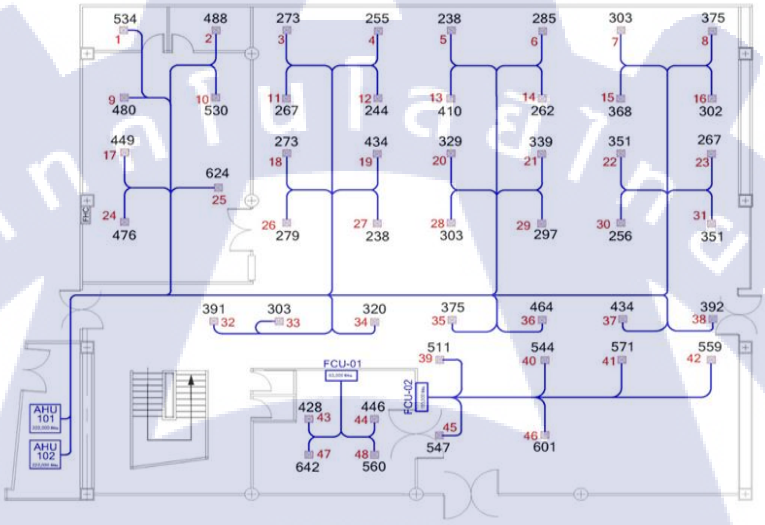
4.2.2 ผลการสำรวจ

4.2.2.1 อาคารที่สำรวจ

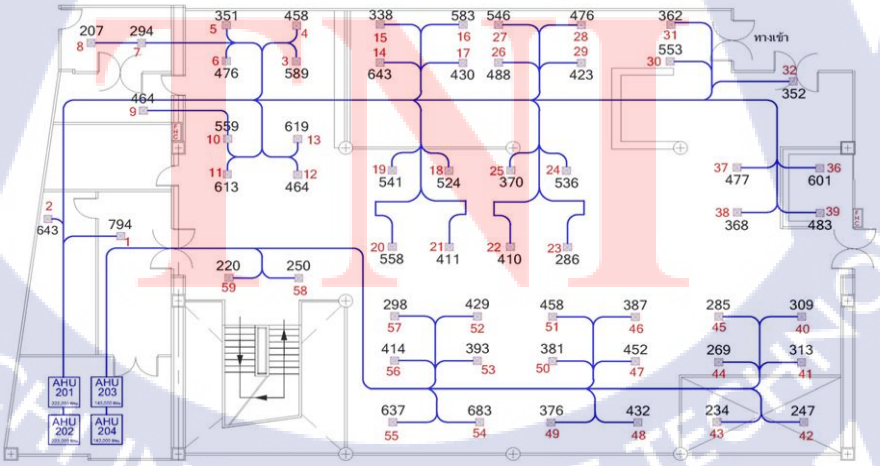
อาคารห้องสมุดมีพื้นที่ใช้สอยทั้งสิ้น 2,756 m^2 มีผู้มาใช้บริการหมุนเวียนสับเปลี่ยนกันตลอดเวลาประมาณ 150-160 คนต่อวัน (ช่วงเปิดภาคการศึกษา)

รูปที่ 4.1 ห้องสมุดคณะนิติศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (สถานที่สำรวจ)

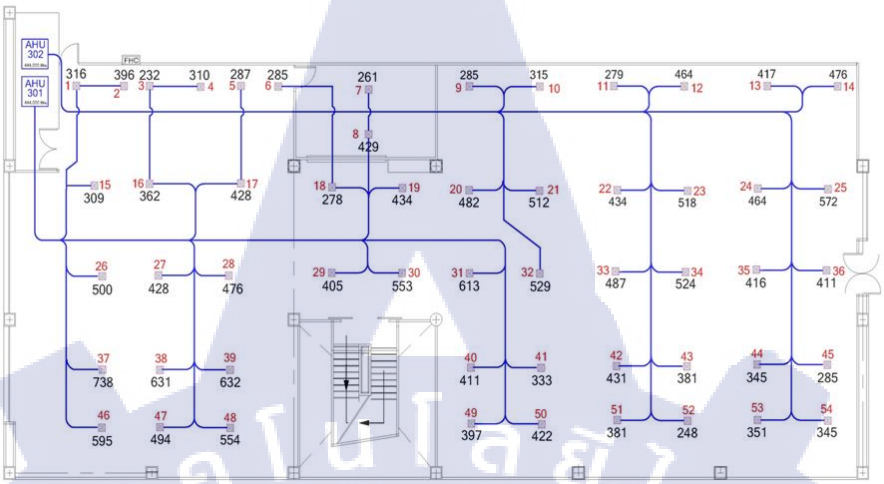
ระบบปรับอากาศในแต่ละชั้นของห้องสมุดมีระบบท่อส่งจ่ายลมเย็นไปยังพื้นที่ต่าง ๆ โดยได้ปรับปริมาณความเร็วลมต่างกันตามลักษณะการใช้งานของพื้นที่ ดังค่าอัตราการไหลเชิงปริมาตรของลมเย็นภายในห้องสมุด ตั้งแต่ชั้นที่ 1 - 4 ในแผนผังท่อลมดังรูปที่ 4.2 – 4.5 ตามลำดับ



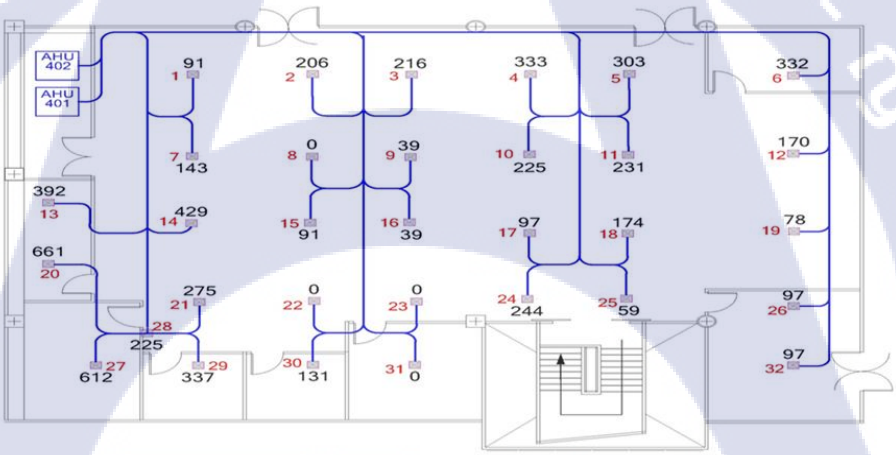
รูปที่ 4.2 ผังการกระจายลมเย็นในพื้นที่ปรับอากาศห้องสมุด ชั้นที่ 1



รูปที่ 4.3 ผังการกระจายลมเย็นในพื้นที่ปรับอากาศห้องสมุด ชั้นที่ 2



รูปที่ 4.4 ผังการกระจายลมเย็นในพื้นที่ปรับอากาศห้องสมุด ชั้นที่ 3



รูปที่ 4.5 ผังการกระจายลมเย็นในพื้นที่ปรับอากาศห้องสมุด ชั้นที่ 4

รูปที่ 4.6 บรรยากาศในพื้นที่ห้องสมุด ชั้น 3

4.2.2.2 ชุดข้อมูลจากการสำรวจ

ผลการสำรวจผู้ใช้บริการห้องสมุดได้จำนวน 235 ชุดตัวอย่าง ทั้งหมดเป็นคนไทยซึ่งคุ้นชินกับภูมิอากาศแบบร้อนชื้น พักอาศัยในกรุงเทพมหานคร ตารางที่ 4.1 แสดงข้อมูลอายุและการสวมเสื้อผ้าของผู้ที่ถูกสำรวจ โดยส่วนใหญ่เป็นนิสิตจุฬาฯ ที่กำลังศึกษาอยู่ในระดับชั้นปริญญาตรี ร้อยละ 68.5 มีอายุ 20-25 ปี ร้อยละ 19.1 อายุน้อยกว่า 20 ปี และกลุ่มอายุมากกว่า 30 ปี ขึ้นไปเป็นบุคลากรของมหาวิทยาลัยหรือนิสิตระดับชั้นปริญญาโทขึ้นไป

ร้อยละเพศของผู้ใช้บริการห้องสมุด 72.8 เป็นหญิง และที่เหลือร้อยละ 27.2 เป็นชาย ร้อยละ 86.4 เปิดใช้เครื่องปรับอากาศที่บ้านหรือที่พัก และในกลุ่มนี้ร้อยละ 71.4 เป็นเพศหญิง โดยคนที่ไม่เปิดเครื่องปรับอากาศที่บ้านหรือที่พักอาศัยเป็นเพศชายเพียง 6 คน และเพศหญิง 26 คน

ตารางที่ 4.1 สถิติอายุและระดับฉนวนของเสื้อผ้าของคนในห้องสมุดที่ปรับอากาศ

ข้อมูล		ชาย	หญิง	รวม
ศูนย์ "เพชรรัตน" นิติทรัพยากร (ห้องสมุด) คณะนิติศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร				
อายุ (ปี)	<20	15	30	45
	20-25	41	120	161
	25-30	6	15	21
	30-35	0	4	4
	35-40	0	0	0
	>40	2	2	4
	รวม	64	171	235
ระดับฉนวนของเสื้อผ้า (clo)	ค่าเฉลี่ย (Mean)	0.502	0.474	0.482
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	0.091	0.106	0.103
	ค่าสูงสุด (Max)	1.040	0.940	1.040
	ค่าต่ำสุด (Min)	0.340	0.250	0.250

4.2.2.3 ความเป็นฉนวนของเครื่องแต่งกาย

ข้อมูลการแต่งกายของผู้ให้สัมภาษณ์ใช้เพื่อการประเมินค่าความเป็นฉนวนของเสื้อผ้าชุดเครื่องแบบนิสิตปกติแสดงดังรูปที่ 4.7 โดยการคำนวณความเป็นฉนวนอ้างอิงจากมาตรฐาน ANSI/ASHRAE 55-1992 ผลการคำนวณแสดงในตารางที่ 4.1 พบว่า เพศชายมีค่าเฉลี่ยความเป็นฉนวนเสื้อผ้า 0.502 clo ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.091 ซึ่งต่ำมาก เนื่องจากผู้ให้สัมภาษณ์ชายส่วนใหญ่แต่งชุดเครื่องแบบนิสิตจุฬาฯ สำหรับเพศหญิงค่าเฉลี่ยของความเป็นฉนวนของเสื้อผ้า 0.474 clo ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.106 สูงกว่าเพศชายเล็กน้อย เนื่องจากผู้หญิงมีการใส่กระโปรงหรือเสื้อกันหนาวที่หลากหลายกว่า

รูปที่ 4.7 เครื่องแต่งกายของนิสิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย [36]

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานความเป็นฉนวนของเสื้อผ้าของเพศหญิงสูงกว่าของเพศชาย เพราะมีการแต่งกายมีความหลากหลายกว่าเพศชาย ส่วนค่าความเป็นฉนวนของเสื้อผ้าเพศชายสูงกว่า เนื่องจากนิสิตชายสวมเสื้อเชิ้ตแขนยาว สวมถุงเท้าและรองเท้าหนังหุ้มส้น ส่วนนิสิตหญิงสวมเสื้อเชิ้ตแขนสั้น กระโปรง และสวมใส่รองเท้านิสิตหรือรองเท้าผู้หญิงแบบมีสายรัดเปิดส้น

4.2.2.4 สภาวะอากาศในอาคารและความสบายอุณหภาพ

ขณะสำรวจข้อมูลโดยแบบสอบถาม ผู้วิจัยได้ใช้เครื่องมือตรวจวัดสภาวะแวดล้อมของอากาศโดยรอบของผู้ให้สัมภาษณ์ รูปที่ 4.7 แสดงการติดตั้งเครื่องมือวัดสภาวะของอากาศในห้องสมุดชั้น 3 ชุดอุปกรณ์วัดประกอบด้วย อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (T_a) และความชื้นสัมผัส (RH) อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (T_{dp}) อุณหภูมิโกลบ (T_g) และความเร็วลม (V_a)

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าสถิติที่ได้จากการตรวจวัด อุณหภูมิห้องปรับอากาศ (T_a) อยู่ระหว่าง 22.5–27.2 °C เฉลี่ย 24.38 °C ± 0.94°C ความชื้นสัมพัทธ์ 45-68 % เฉลี่ย 55.71% ± 5.73% ความเร็วลมที่วัดค่อนข้างต่ำที่ค่าเฉลี่ย 0.075 m/s ± 0.14 m/s เนื่องจากการออกแบบฝ้าเพดานที่เป็นแบบตะแกรงอลูมิเนียม สำหรับระบบลมกลับ (Return Air) ที่ไหลเวียนลมขึ้นฝ้าเพดาน ถึงแม้ว่าจะมีลมที่ออกมาจากหัวจ่าย (Grille Air) แต่ก็ยังมีลมอีกส่วนหนึ่งไหลขึ้นบนฝ้าเพดาน และอาจผสมกับอากาศปฐมภูมิ (Primary Air) ลมกลับจะไปยังเครื่องส่งลมเย็นภายในห้อง AHU สิ่งนี้จึงทำให้ลมที่ไหลเวียนลงมายังพื้นที่ใช้งานมีความเร็วลมต่ำ

เมื่อเปรียบเทียบผลการวัดสภาวะอากาศภายในอาคารกับมาตรฐานการออกแบบการปรับอากาศและระบายอากาศของประเทศไทย EIT standard 3003-50 (ISBN: 978-974-7197-54-9) ของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยภายใต้พระบรมราชูปถัมภ์ ซึ่งกำหนดอุณหภูมิอากาศไว้ที่ 24 °C และความชื้นสัมพัทธ์ 50-70 % จะเห็นว่าค่าตรวจวัดค่อนข้างใกล้เคียง และความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วงที่เหมาะสม

ค่าอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ย (T_r) เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความสบาย แต่ไม่สามารถตรวจวัดค่าได้โดยตรง และคำนวณได้จากค่าวัดอุณหภูมิโกลบ (T_g) ดังวิธีการคำนวณในสมการ 2.7 ในบทที่ 2 ตารางที่ 4.2 แสดงค่าสถิติของอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ยมีค่าระหว่าง 19.59-29.25 °C และเฉลี่ย 24.37 °C ± 1.30 °C ซึ่งอุณหภูมิแผ่รังสีมีช่วงค่ากว้างกว่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งอย่างชัดเจน ในขณะที่ค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกันมาก เนื่องจากผนังอาคารในบางพื้นที่ของห้องสมุดถูกออกแบบเป็นกระจกดำทึบแสง โดยมิได้ติดตั้งม่านบังแสงแดดไว้ ส่งผลให้ผนังกระจกได้รับการแผ่รังสีความร้อนจากแสงอาทิตย์โดยตรง และกระจกก็แผ่รังสีความร้อนเข้ามาในพื้นที่ปรับอากาศ

รูปที่ 4.8 ลักษณะการติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดสภาพแวดล้อมของอากาศ

สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น
TNI
THAI - NICHI INSTITUTE OF TECHNOLOGY

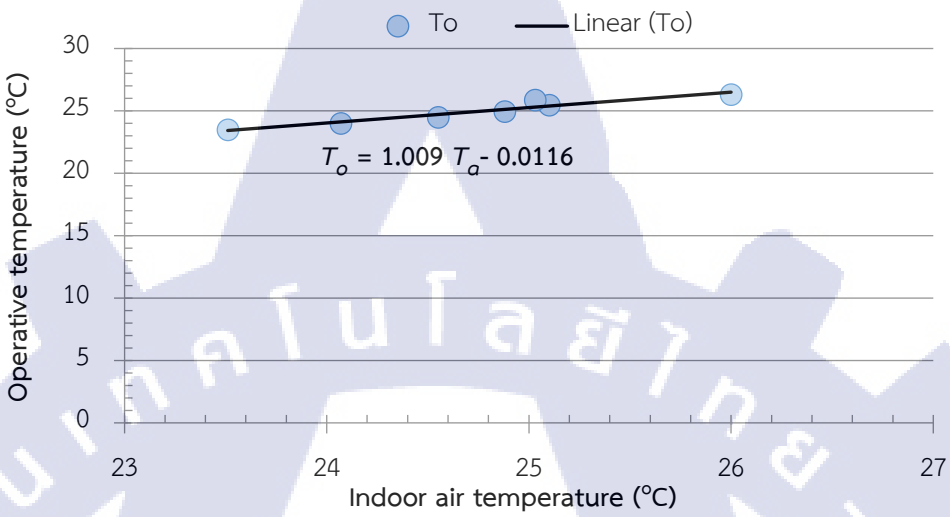
ตารางที่ 4.2 สถิติการตรวจวัดสภาพแวดล้อมในห้องปรับอากาศและดัชนีความสบาย

ค่าสถิติ	สภาพแวดล้อมในห้อง (Room Environment)							ระดับความสบาย (Comfort Measure)	
	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง T_a (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ RH (%)	ความเร็วลม V_a (m/s)	อุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ย T_r (°C)	อุณหภูมิโอเปอเรทีฟ T_o (°C)	อุณหภูมิจุดน้ำค้าง T_{dp} (°C)	อุณหภูมิโกลบ T_g (°C)	PMV (-)	PPD (%)
ศูนย์ "เพชรรัตน" นิติทรัพยากร (ห้องสมุด) คณะนิติศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร									
ค่าเฉลี่ย (Mean)	24.38	55.71	0.075	24.37	24.37	15.00	24.29	-0.18	9.20
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	0.94	5.73	0.140	1.30	0.81	1.31	0.91	0.42	10.37
ค่าสูงสุด (Max)	27.20	68.00	0.971	29.25	26.39	18.80	26.56	0.67	80.89
ค่าต่ำสุด (Min)	22.50	45.00	0.002	19.59	22.19	11.08	21.90	-2.09	5.00
จำนวนคน (Num)	235	235	235	235	235	235	235	235	235

พื้นที่ปรับอากาศมีระบบการหมุนเวียนลมเย็น โดยส่วนใหญ่อุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ย (T_r) สูงกว่าอุณหภูมิอากาศในห้อง (T_a) แต่จากงานวิจัยนี้ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ยเท่ากับ 24.37 °C ต่ำกว่าค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศในห้อง (24.38 °C) เพียง 0.01 °C ผลการคำนวณค่า T_r พบว่าร้อยละ 56 มากกว่าค่า T_a โดยค่าเฉลี่ยของผลต่าง (Mean Bias Error: MBE) คือ -0.186 °C เนื่องจากตามปกติอากาศเย็นที่ถูกส่งออกมาจากหัวจ่ายของท่อลมเย็น (Primary Air) มิได้จ่ายโดยตรงไปยังผู้ที่อยู่ภายในห้องสมุด แต่จะหมุนเวียนผ่านพื้นผิวผนังห้องที่อุ่นกว่า ก่อนไหลผ่านตัวผู้อยู่อาศัยในห้องสมุดอุณหภูมิอากาศจึงอุ่นกว่า

อุณหภูมิแผ่รังสี (T_r) ใช้ในการคำนวณอุณหภูมิโอเปอร์เรทีฟ (T_o) โดยการเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักกับอุณหภูมิอากาศ ด้วยค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนโดยการพาและการแผ่รังสี ซึ่งในกรณีนี้จะใช้ค่าเฉลี่ยของ T_r กับ T_o เพราะค่าทั้งสองใกล้เคียงกันมาก จากนั้นจึงสร้างความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิโอเปอร์เรทีฟกับความสบายอุณหภาพได้

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าเฉลี่ยอุณหภูมิโอเปอร์เรทีฟ 24.37 °C ที่ต่ำกว่าค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศในห้องเพียง 0.01 °C รูปที่ 4.9 แสดงกราฟระหว่างอุณหภูมิโอเปอร์เรทีฟกับอุณหภูมิอากาศในห้อง



รูปที่ 4.9 อุณหภูมิโอเปอร์เรทีฟกับอุณหภูมิอากาศในห้องจากข้อมูลผลสำรวจ

ตามมาตรฐาน ANSI/ASHRAE Standard 55-1992 และ ISO 7730 การทำนายดัชนีความสบายอุณหภาพของบุคคล ได้จากการคำนวณค่าการโหวตความรู้สึกเชิงอุณหภาพ (Predicted Mean Vote: PMV) และค่าร้อยละความไม่พอใจเชิงอุณหภาพ (Predicted Percentage of Dissatisfied: PPD) โดยผู้ใช้บริการห้องสมุดอยู่ในท่านั่งอ่านหนังสือ หรือกำลังสืบค้นข้อมูลทางอิเล็กทรอนิกส์ภายในห้องสมุด ค่าอัตราเมตาโบลิกจึงมีค่าเท่ากับ 1.2 met หรือ 69.8 W/m^2 ผลการคำนวณค่า PMV และ PPD แสดงในตารางที่ 4.2 เช่นกัน ค่าทำนายการโหวตความรู้สึกเชิงอุณหภาพ (PMV) เฉลี่ยเท่ากับ -0.18 แสดงให้เห็นว่าผู้ใช้บริการห้องสมุดมีความรู้สึกค่อนข้างเย็น “Slight Cool” และค่าร้อยละความไม่พอใจเชิงอุณหภาพ (PPD) เฉลี่ยเท่ากับ 9.20

4.2.2.5 ความรู้สึกสบายอุณหภาพ

ผู้วิจัยได้ประเมินค่าความสบายโดยแท้จริงของผู้ให้สัมภาษณ์จากแบบสอบถาม (Actual Mean Vote: AMV) และยังประเมินการยอมรับทางอุณหภาพ (Thermal Acceptability) และความพึงพอใจทางอุณหภาพ (Thermal Preference) ตารางที่ 4.3 แสดงค่าสถิติ คือ ค่าเฉลี่ย ค่าต่ำสุดและสูงสุด และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ตามระดับสเกลของมาตรฐาน ASHRAE ครอบคลุมช่วงสเกลของความรู้สึกตั้งแต่ “-3 : too cold” ถึง “+3 : too warm”

ขณะที่สำรวจไม่มีผู้ให้สัมภาษณ์คนใดถูกแสงแดดกระทบร่างกายโดยตรง ค่าเฉลี่ยความรู้สึกสบายเชิงอุณหภาพโดยรวมหรือ *Thermal Acceptability* เท่ากับ -0.12 ชี้ให้เห็นว่าผู้ให้สัมภาษณ์ “Slight Cool” หรือมีความรู้สึกเย็นเล็กน้อย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.02 ผู้ให้สัมภาษณ์ร้อยละ 21.28 รู้สึกเย็นเล็กน้อยและร้อยละ 16.6 รู้สึกอุ่นเล็กน้อย โดยค่าการโหวตความรู้สึกอุณหภาพโดยเฉลี่ย (PMV) พบว่าเท่ากับ -0.18 คือเย็นเล็กน้อยและเป็นไปในแนวทางเดียวกับค่าที่คำนวณได้จากแบบสอบถาม

ตารางที่ 4.3 สถิติผลการประเมินความสบายจากผู้ใช้บริการห้องสมุด

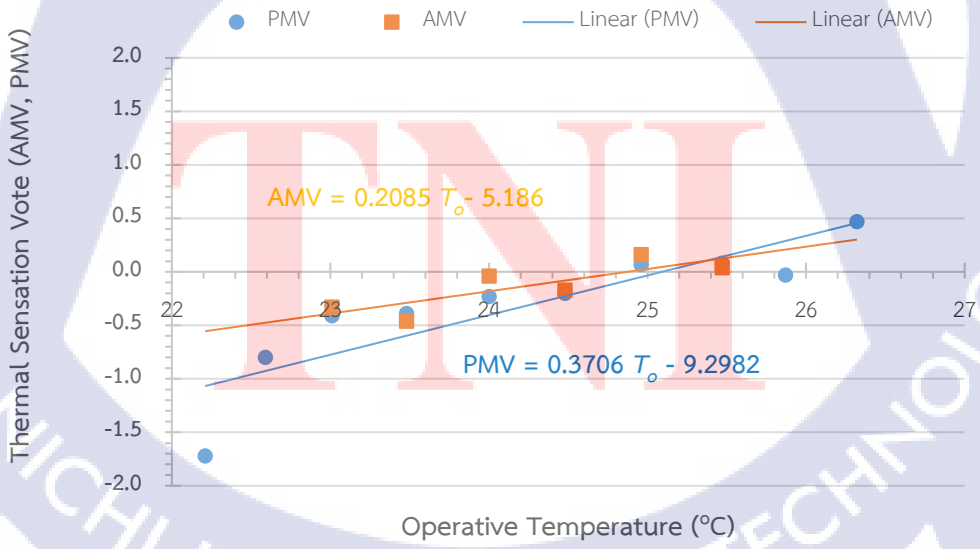
ค่าสถิติ	สเกลความรู้สึก	การยอมรับ (Acceptability)			ความชอบ (Preference)		
		อุณหภูมิ (°C)	ปริมาณลม (m/s)	ความชื้น (%)	อุณหภูมิ (°C)	ปริมาณลม (m/s)	ความชื้น (%)
ค่าเฉลี่ย (Mean)	-0.12	24.37	-0.37	-0.11	24.21	0.3	0.09
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	1.02	0.50	0.75	0.61	0.64	0.54	0.46
ค่าสูงสุด (Max)	3	3	2	2	1	1	1
ค่าต่ำสุด (Min)	-3	1	-3	-2	-1	-1	-1
จำนวนคน (Num)	235	235	235	235	235	235	235

การวิเคราะห์เพิ่มเติมสำหรับค่าความรู้สึกสบายอุณหภาพ โดยจำแนกเป็นช่วงย่อยของอุณหภูมิโอเปอเรทีฟ (T_o) ทุก 0.5 °C ดังแสดงในตารางที่ 4.4 ซึ่งเป็นตารางไขว้ (Cross-Tabulation) ที่กระจายข้อมูลการโหวตตามช่วงอุณหภูมิโอเปอเรทีฟ และกราฟรูปที่ 4.10 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่า AMV และ PMV ตามอุณหภูมิโอเปอเรทีฟ ซึ่งผลวิเคราะห์การถดถอยเชิงเสน (Linear Regression Analysis) ของค่าเฉลี่ยการโหวตจริง AMV กับค่าอุณหภูมิโอเปอเรทีฟ (T_o) ตามสมการถดถอย คือ AMV = 0.2085 T_o -5.186 และจากสมการถดถอยนี้ ค่าอุณหภูมิโอเปอเรทีฟ (T_o) สำหรับภาวะความสบายที่ค่า “0” (Thermal Neutrality) เท่ากับ 24.85 °C

รูปที่ 4.10 ยังได้แสดงผลการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเสน (Linear Regression Analysis) ของดัชนี PMV = 0.3706 T_o –9.2982 โดยเส้นตรงมีแนวโน้มตรงกันข้ามกับกราฟของ AMV ซึ่งได้แสดงค่าอุณหภูมิโอเปอเรทีฟ (T_o) สำหรับความสบายที่เป็นกลาง (PMV = 0) ซึ่งเท่ากับ 25.10 °C ซึ่งมีค่าสูงกว่าที่ได้จากการสัมภาษณ์ถึง 0.25 °C

ตารางที่ 4.4 การกระจายของการโหวตความสบายอุณหภาพของผู้ถูกสัมภาษณ์

อุณหภูมิห้อง (°C)	อุณหภูมิโอเปอเรทีฟ (°C)	จำนวนการโหวตตามมาตรฐาน ASHRAE (Scale)							การโหวตสะสม	Accept [-1,0,+1]	Neutral [0]
		-3	-2	-1	0	1	2	3	(%)	(%)	(%)
22.75	22.21				1	1			0.9	100.0	50.0
23.32	22.59				5	1			3.4	100.0	83.3
23.86	23.01		1	2	5	1			7.2	88.9	55.6
23.51	23.48		2	13	10	2	1		19.1	89.3	35.7
24.07	24.00	1	5	10	24	13	1	2	43.0	83.9	42.9
24.55	24.48		5	10	39	9			69.8	92.1	61.9
24.88	24.96	1	1	4	17	6	1	2	83.4	84.4	53.1
25.10	25.47	1	1	6	12	5	2	1	95.3	82.1	42.9
25.03	25.87	1		4	3	1			99.1	88.9	33.3
26.00	26.32	0	0	1	1	0	0	0	100.0	100.0	50.0
	รวม	**4**	**15**	**50**	**117**	**39**	**5**	**5**	**235**		
	ร้อยละ	**1.7**	**6.4**	**21.3**	**49.8**	**16.6**	**2.1**	**2.1**	**100.0**		



รูปที่ 4.10 ค่า AMV และ PMV กับอุณหภูมิโอเปอเรทีฟ (T_o)

จากการเปรียบเทียบผลการทำนายความสบาย PMV กับค่าที่ได้จากการสัมภาษณ์ AMV เพื่อหาผลต่างค่า PMV - AMV จะได้ค่าเฉลี่ยของผลต่าง (Mean Bias Error: MBE) คือ -0.186 ในขณะที่ค่าเฉลี่ยของผลต่างสัมบูรณ์ (Mean Absolute Error: MAE) คือ 0.342 แสดงให้เห็นว่าค่าการทำนายความสบาย PMV มีความใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการสัมภาษณ์ AMV โดย AMV สูงกว่าเล็กน้อย ซึ่งผลคำนวณค่าความผิดพลาดของ AMV และ PMV แสดงไว้ที่ภาคผนวก ในตารางที่ ค.1

จากการพิจารณาผลของเพศต่อความรู้สึกสบายทางอุณหภาพ โดยสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า AMV และ PMV กับอุณหภูมิโอเปอเรทีฟ แยกกันสำหรับเพศชายและเพศหญิง (ไม่ได้แสดงไว้ในวิทยานิพนธ์นี้) พบว่าอุณหภูมิโอเปอเรทีฟ (T_o) ที่ค่า AMV = 0 สำหรับผู้ใช้บริการห้องสมุดที่เป็นเพศชาย คือ 24.43 °C และของเพศหญิง คือ 24.33 °C ซึ่งให้ผลต่างของอุณหภูมิอากาศที่ทำให้รู้สึกสบายระหว่างเพศชายกับหญิง 0.1 °C แสดงว่าผู้หญิงชอบอุณหภูมิอากาศต่ำกว่าผู้ชาย ด้วยนิสิตหญิงใส่เสื้อหนาวและกระโปรงจึงอาจชอบอุณหภูมิที่ต่ำกว่านิสิตชาย ซึ่งแตกต่างอย่างชัดเจนจากที่พบในงานวิจัยของ Chow and et al. [32] ที่พบว่าอุณหภูมิที่เพศหญิงพึงพอใจ คือ 25.8 °C และมีค่าสูงว่าค่าจากเพศชาย 1.2 °C

พิจารณาค่าความสบายอุณหภาพ (PMV) พบว่าอุณหภูมิที่เพศชายและเพศหญิงรู้สึกสบายคือ 24.29 °C และ 25.11 °C ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างกันเพียง 0.82 °C โดยค่าคำนวณ PMV ของเพศชายมีค่าใกล้เคียงกับค่า AMV มาก แต่ในการคำนวณค่า PMV ได้กำหนดค่า MET เท่ากับ 1.2 (69.8 W/m^2) ดังระบุไว้ในบทที่ 2 ให้เท่ากันทั้งเพศชายและหญิง ซึ่งอาจเป็นสาเหตุให้ผลการคำนวณ PMV ไม่ได้สะท้อนถึงผลของเมตาบอลิซึมที่แตกต่างกันระหว่างเพศชายและหญิงเท่าใดนัก เพราะในความเป็นจริงแล้ว ผู้ชายจะมีอัตราการเผาผลาญวันละประมาณ 1,700 กิโลแคลอรี่ (7,100 กิโลจูล) ส่วนผู้หญิงมีอัตราการเผาผลาญวันละประมาณ 1,400 กิโลแคลอรี่ (5,900 กิโลจูล) [37] ผลการวิจัยนี้แสดงว่าควรมีการวิจัยอิทธิพลของอัตราเมตาบอลิกกับการคำนวณค่า PMV สำหรับเพศชายและเพศหญิงเพิ่มเติม

4.2.2.6 การวิเคราะห์ความน่าจะเป็นการยอมรับทางอุณหภาพ

การวิเคราะห์ความน่าจะเป็นของการยอมรับทางอุณหภาพจากข้อมูลผู้ถูกสัมภาษณ์โดยวิธีการ Logit ดังอธิบายในหัวข้อ 2.9 บทที่ 2 เริ่มจากการแบ่งข้อมูลการโหวตความรู้สึกสบายเชิงอุณหภาพ 7 สเกล อ้างอิงมาตรฐาน ASHRAE ตามช่วงอุณหภูมิโอเปอเรทีฟ (T_o) ทุก 0.5 °C จากนั้นจึงคำนวณค่าร้อยละของจำนวนการโหวตของข้อมูลเป็นสองกลุ่มใหญ่ ตามหลักการนี้

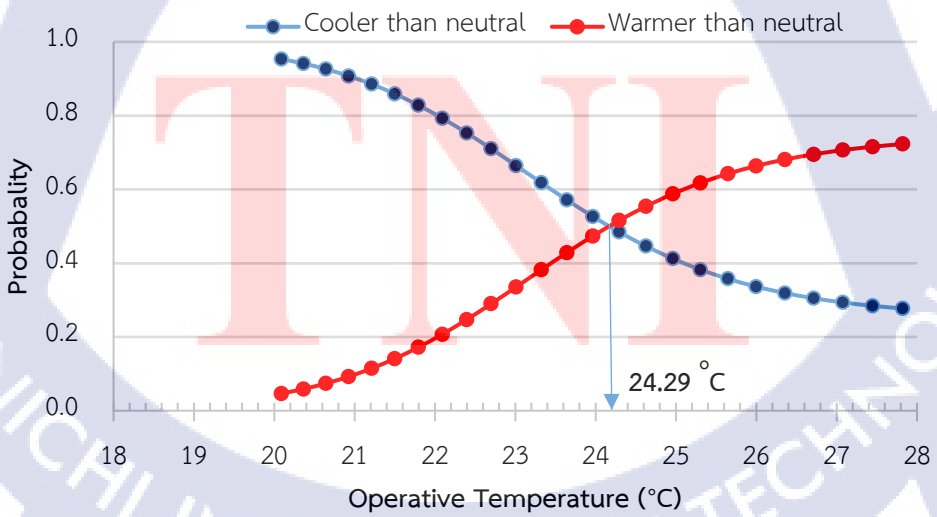
(1) กลุ่มที่ตอบว่ารู้สึกอุ่นเล็กน้อยถึงร้อน “warmer-than-neutral” (+1, +2 และ +3)

(2) กลุ่มที่ตอบว่ารู้สึกเย็นเล็กน้อยถึงหนาว “cooler-than-neutral” (-1, -2 และ –3)

(3) กลุ่มที่โหวตว่าสบาย (scale 0) จะถูกแบ่งครึ่งในอัตรา 50:50 ไปยังกลุ่มแรกและกลุ่มที่สอง

ผลการวิเคราะห์แสดงดังรูปที่ 4.11 เป็นกราฟแบบจำลองถดถอย Logit กับอุณหภูมิโอเปอเรทีฟ (T_o) ซึ่งช่วงอุณหภูมิต่ำๆ ค่าความน่าจะเป็นที่ผู้อยู่อาศัยในพื้นที่ปรับอากาศจะประเมินว่ารู้สึกเย็นกว่าอุณหภูมิสบายหรือนิวตรอนจะมีค่าสูง จากนั้นเมื่ออุณหภูมิโอเปอเรทีฟเพิ่มขึ้นค่าความน่าจะเป็นก็จะลดลงอย่างมากโดยเฉพาะในช่วงอุณหภูมิ 21-26 °C และเมื่ออุณหภูมิสูงมากกว่า 26.8 °C ค่าความน่าจะเป็นก็จะต่ำกว่า 0.3 แต่ไม่มีค่าที่เข้าใกล้ศูนย์ เพราะข้อมูล AMV ที่สภาวะอุณหภูมิสูงๆ มีปริมาณน้อย ในทางกลับกัน ที่ระดับอุณหภูมิโอเปอเรทีฟต่ำ เมื่อประเมินค่าความน่าจะเป็นที่ผู้อยู่อาศัยจะรู้สึกอุ่นกว่านิวตรอนมีค่าต่ำ และจะเพิ่มขึ้นอย่างมากในช่วงอุณหภูมิ 22–25 °C จากนั้นค่าจะเพิ่มขึ้นช้าลง และเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 27 °C ความน่าจะเป็นนี้ก็จะสูงกว่า 0.7 แต่ไม่เข้าใกล้ 1.0 ด้วยเหตุผลที่ข้อมูล AMV ที่อุณหภูมิสูงมีปริมาณน้อยเช่นกัน

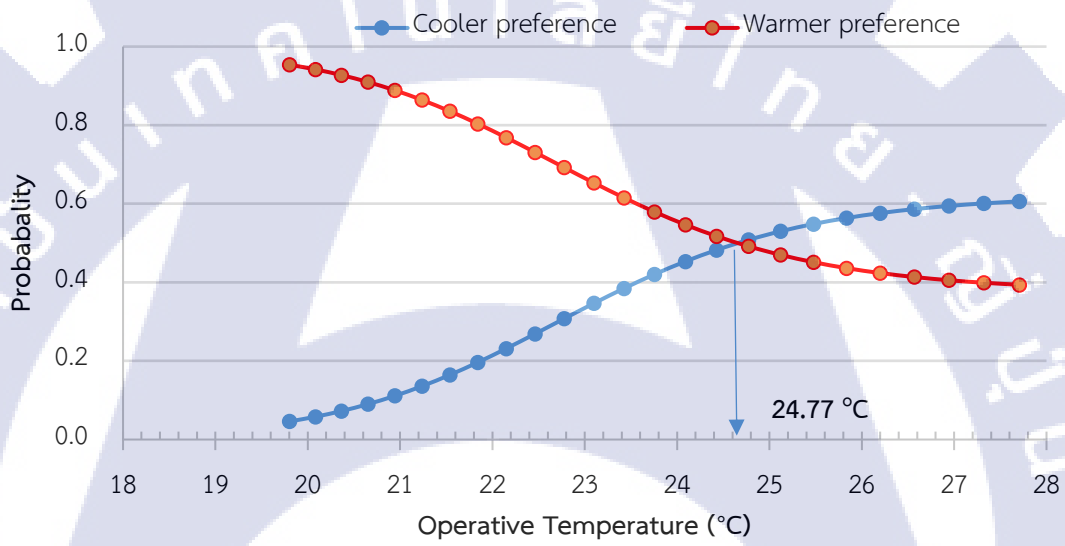
ตำแหน่งจุดตัดของกราฟความน่าจะเป็นทั้งสองเส้น เป็นอุณหภูมิที่สอดคล้องกับอัตราการตอบสนองของแบบจำลอง Logit ที่ 0.5 หรือ 50% คือ ที่อุณหภูมิความสบายที่ 24.29 °C แต่ค่านี้สูงกว่าผลการประเมิน AMV จากการใช้สมการความถดถอยเชิงเส้นกับกราฟเส้นตรง ที่พบว่าผู้ตอบแบบสอบถามที่รู้สึกสบายที่อุณหภูมิโอเปอเรทีฟ 24.85 °C ดังอภิปรายในหัวข้อ 4.3.2.5



รูปที่ 4.11 ความน่าจะเป็นของการยอมรับทางอุณหภาพ AMV ตามแบบจำลอง Logit

4.2.2.7 ความน่าจะเป็นของความพึงพอใจเชิงอุณหภาพ

ความพึงพอใจเชิงอุณหภาพหรือความต้องการอากาศร้อนหรือเย็นของผู้ตอบแบบสอบถามถูกประเมินเป็น 3 ระดับ ได้แก่ ความต้องการให้ “เย็นลง” (-1) “ไม่เปลี่ยนแปลง” (0) หรือ “อุ่นขึ้น” (+1) ข้อมูลเหล่านี้ถูกแบ่งเป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ “ต้องการให้เย็นลง” หรือ “ต้องการให้อุ่นขึ้น” โดยส่วนที่ระบุว่า “ไม่เปลี่ยนแปลง” ถูกแบ่งอย่างละครึ่งไปรวมกับแต่ละกลุ่มข้างต้น และพิจารณาการเปลี่ยนแปลงค่าตามช่วงอุณหภูมิโอเปอเรทีฟ (T_o) จากนั้นคำนวณร้อยละของจำนวนการโหวต และประเมินความน่าจะเป็นโดยหลักการ Logit ในลักษณะเดียวกับหัวข้อ 4.3.2.6 กราฟความน่าจะเป็นที่ได้ของความพึงพอใจเชิงอุณหภาพ แสดงดังแสดงในรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 ความน่าจะเป็นของความความหวังทางอุณหภาพ PMV ตามแบบจำลอง Logit

รูปที่ 4.12 แสดงว่าจุดตัดในของเส้นกราฟสองเส้นที่แสดงความพึงพอใจที่สบายและไม่ต้องการให้เย็นลงหรือไม่ต้องการให้อุ่นขึ้น คือที่อุณหภูมิโอเปอเรทีฟ 24.77 °C ซึ่งสูงกว่าจุดตัดของกราฟในรูปที่ 4.11 ที่ผู้ตอบแบบสอบถามรู้สึกสบายที่อุณหภูมิโอเปอเรทีฟ 24.29 °C เพียง 0.48 °C แสดงว่าอุณหภูมิโอเปอเรทีฟที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วง 24.29–24.77 °C ซึ่งค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับพื้นที่ใช้งานอื่น อาจเป็นด้วยลักษณะเฉพาะตัวของความรู้สึกและความพึงพอใจในสภาพอากาศของผู้ใช้บริการห้องสมุด

นอกจากนี้ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่แสดงความต้องการที่จะเปลี่ยนสภาวะแวดล้อมให้เย็นลงถึงร้อยละ 33.19 และต้องการให้อุ่นขึ้นเพียงร้อยละ 11.91 หากพิจารณาในมุมมองด้านกิจกรรมของผู้ใช้บริการห้องสมุด ซึ่งส่วนใหญ่จะต้องใช้สมองทำงานค่อนข้างมากและเกือบตลอดเวลา แม้ว่าผู้ใช้บริการเหล่านั้นจะอยู่ในพื้นที่ปรับอากาศที่มีอุณหภูมิในระดับที่ทำให้รู้สึกสบายแล้ว แต่ด้วยเมตาบอลิซึมจากการใช้พลังงานในสมองอาจเป็นไปได้ที่จะทำให้ปรารถนาอุณหภูมิที่ต่ำลงอีก

4.2.2.8 การไม่ยอมรับต่อสภาวะแวดล้อมเชิงอุณหภาพ

การประเมินผลการไม่ยอมรับต่อสภาวะแวดล้อมในเชิงอุณหภาพของผู้ถูกสัมภาษณ์ โดยแบ่งออกเป็นกลุ่ม ๆ ตามอุณหภูมิโอเปอเรทีฟเช่นกัน มีการเปรียบเทียบผลการประเมินระหว่าง 3 วิธีการ ดังด้านล่าง และหาเส้นแนวโน้มจากสมการถดถอยยกกำลังสองกับอุณหภูมิโอเปอเรทีฟ (T_o) ดังกราฟในรูปที่ 4.13

(1) ผลประเมินการไม่ยอมรับด้านอุณหภาพจาก AMV ตามสเกล 7 ระดับของ ASHRAE (จุดสีฟ้า)

(2) ผลประเมินร้อยละความไม่พึงพอใจจากความคาดหวังต่อสภาวะทางอุณหภาพจากแบบสอบถาม (จุดสีเขียว)

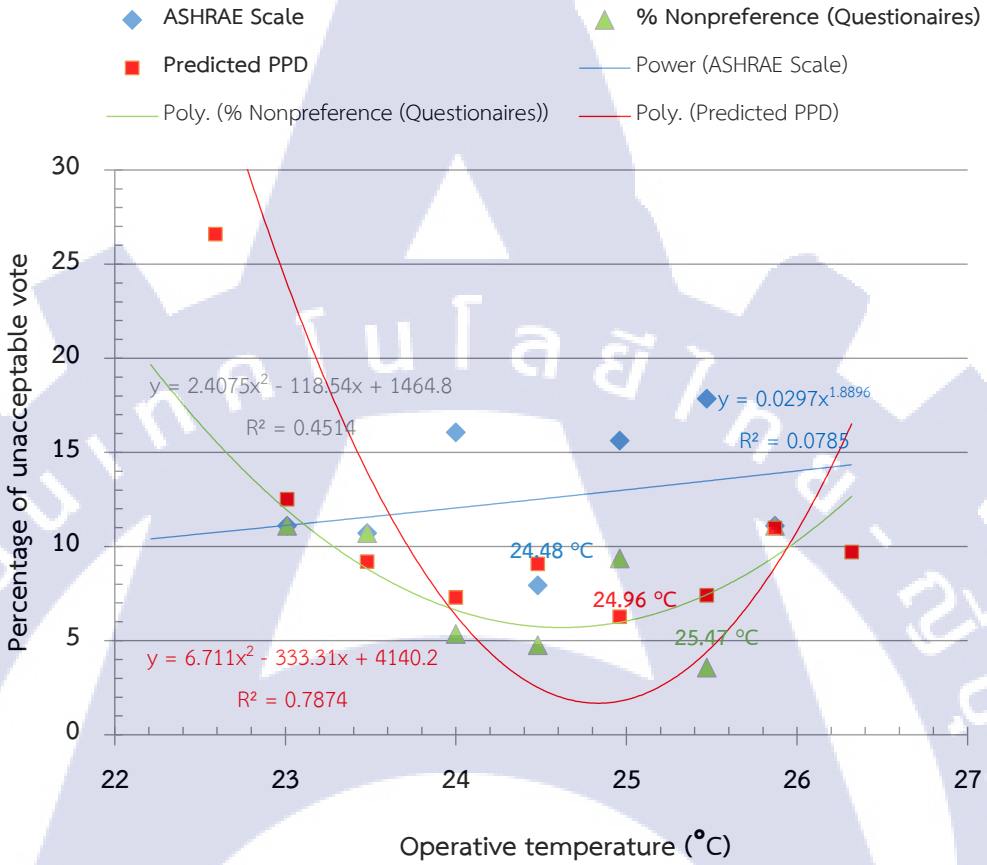
(3) ผลทำนายค่า PPD จากแบบจำลองตามมาตรฐาน ASHRAE และ Fanger (จุดสีแดง)

กราฟแนวโน้มร้อยละความไม่พึงพอใจที่มีลักษณะเป็นเส้นโค้งหงายคล้ายกันคือเส้นสีแดง (Predicted PPD) และเส้นสีเขียว (% Nonpreference) แสดงว่าที่อุณหภูมิโอเปอเรทีฟ (T_o) ที่ต่ำลงหรือสูงขึ้นเมื่อเทียบกับช่วงค่าอุณหภูมิโอเปอเรทีฟที่เหมาะสม คือ 24.6 – 25.0 °C หากออกนอกช่วงนี้ก็จะทำให้ผู้อยู่อาศัยรู้สึกไม่ยอมรับหรือไม่พึงพอใจมากขึ้น

ในขณะที่ผลประเมินตามสเกล AMV ไม่พบแนวโน้มที่ชัดเจน อย่างไรก็ดี พบว่าระดับค่าต่ำสุดของการไม่ยอมรับสภาวะแวดล้อม (จุดสีฟ้า) อยู่ที่อุณหภูมิโอเปอเรทีฟ T_o = 24.48°C หรือประมาณร้อยละ 7.9 ไม่ยอมรับค่าอุณหภูมิที่สภาวะความสบายนี้ ซึ่งสูงกว่าค่าตามมาตรฐาน ANSI/ASHRAE 55-1992 ที่กำหนดว่ากลุ่มผู้อยู่อาศัยจะรู้สึกยอมรับได้หรือร้อยละความไม่พึงพอใจไม่เกิน 5 หากอุณหภูมิโอเปอเรทีฟ (T_o) ถูกควบคุมให้อยู่ในช่วง 24.2 - 25.6 °C (จากเส้นสีแดง)

ค่าอุณหภูมิโอเปอเรทีฟ (T_o) ที่ร้อยละความไม่พึงพอใจต่ำสุดที่ 24.48 °C นี้ใกล้เคียงกับผลการทำนายความน่าจะเป็นตามแบบจำลอง Logit ที่ได้อุณหภูมิโอเปอเรทีฟที่เหมาะสมที่สุดที่ 24.29 - 24.77 °C ในขณะที่ค่าต่ำสุดของร้อยละของความไม่พึงพอใจจากความคาดหวังให้อุณหภูมิต่ำลงหรือสูงขึ้น (จุดสีเขียว) อยู่ที่ T_o = 25.47 °C

ส่วนผลทำนายค่า PPD จากสมการตามมาตรฐาน ANSI/ASHRAE 55 และ ISO 7730 (จุดสีแดง) แสดงค่าร้อยละความไม่พึงพอใจต่ำสุดที่อุณหภูมิประมาณ 24.96 °C



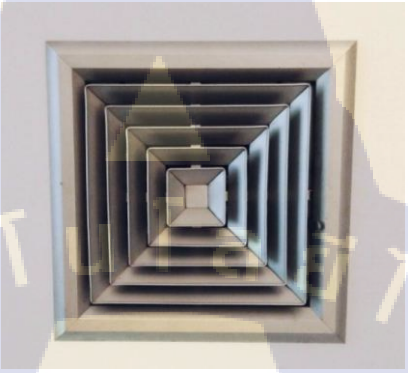
รูปที่ 4.13 การสำรวจการไม่ยอมรับภาวะแวดล้อมในเชิงอุณหภาพกับอุณหภูมิโอเปอเรทีฟ (T_o)

4.2.2.9 การเคลื่อนไหวลม

การเคลื่อนไหวลม (Air Movement) หรือการไหลเวียนของอากาศภายในห้องสมุดเกิดจากลมจากระบบท่อส่งจ่ายลมเย็นไปยังพื้นที่ต่าง ๆ และส่งออกสู่พื้นที่ปรับอากาศผ่านหัวจ่ายลมแบบสี่เหลี่ยม ดังรูปที่ 4.14 ที่แสดงภาพหัวจ่ายแบบกระจายลมสี่ทิศทาง

ตารางที่ 4.5 สรุปข้อมูลการวัดค่าความเร็วลมที่วัด ณ ตำแหน่งของผู้ตอบแบบสอบถาม (m/s) อัตราการไหลลมเย็นที่ออกจากหัวจ่าย (CFM) และในส่วนของความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ (%) สำหรับห้องสมุดแต่ละชั้น โดยแบ่งการวัดค่าเป็น 2 ช่วง คือ เดือนมกราคม–กุมภาพันธ์ 2562 และเมษายน 2562 เห็นได้ชัดเจนว่าช่วงค่าอัตราการไหลลมเย็นจากหัวจ่ายค่อนข้างกว้าง ประมาณ 200 – 700 CFM ค่าเฉลี่ยประมาณ 420 CFM ซึ่งข้อมูลอัตราการไหลเชิงปริมาตร

ของลมเย็นภายในห้องสมุดแต่ละชั้น ดังตาราง ก.1 เพราะห้องสมุดแห่งนี้ได้ปรับอัตราการไหลลมจากหัวจ่ายต่างกันตามลักษณะการใช้งานของพื้นที่ เช่น พื้นที่อ่านหนังสือจะมีค่าอัตราการไหลลมโดยเฉลี่ย 389 CFM ซึ่งมากกว่าค่าอัตราการไหลลมในพื้นที่ของชั้นวางหนังสือที่ 154 CFM ดังตารางที่ ก.2



รูปที่ 4.14 ลักษณะของหัวจ่ายลมแบบสี่เหลี่ยม (Air Grille)

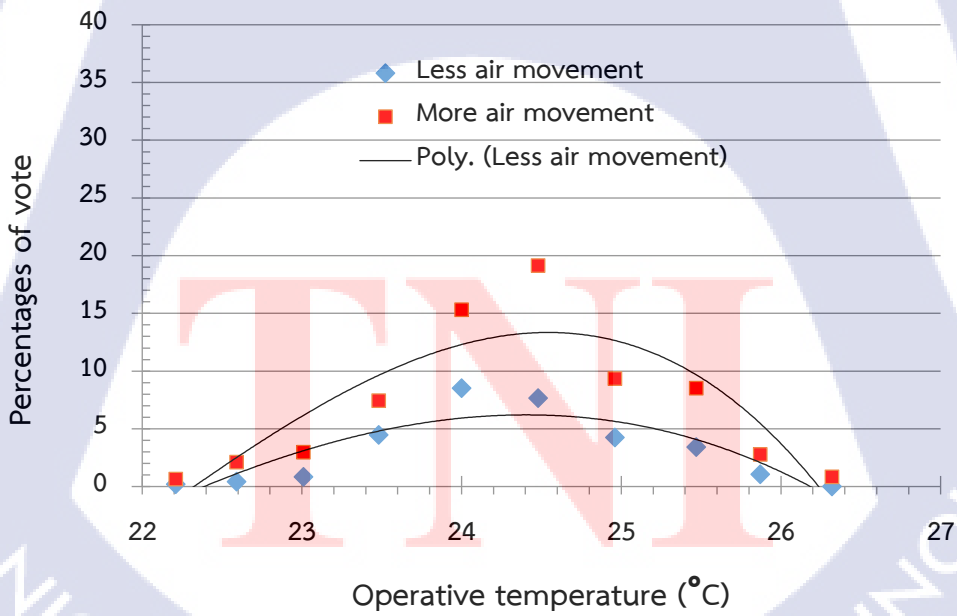
ผลการวัดค่าความเร็วลมที่ตำแหน่งนั่งของผู้ตอบแบบสอบถามในพื้นที่อ่านหนังสือ ดังแสดงในตารางที่ 4.5 พบว่าค่าความเร็วลมที่ค่อนข้างต่ำ 0.002 – 0.5 m/s ยกเว้นชั้น 4 ที่ค่าสูงสุดเข้าใกล้ 1 m/s และค่าเฉลี่ยของแต่ละชั้นประมาณ 0.03 - 0.14 m/s

แบบสอบถามมีการประเมินการยอมรับด้านการไหลเวียนของลมเย็นภายในห้องสมุด ซึ่งระดับสเกลประเมินการยอมรับของการไหลเวียนลม 7 ระดับ ตามมาตรฐาน ASHRAE ตั้งแต่ +3 ถึง -3 (+3 : สูงเกินไป, +2 : สูง, +1 : ค่อนข้างสูง, 0 : พอดี, -1 : ค่อนข้างต่ำ, -2 : ต่ำ และ -3 : ต่ำเกินไป) และระดับสเกลของการประเมินความคาดหวังการไหลเวียนลม 3 ระดับ ตามมาตรฐาน ASHARE ตั้งแต่ +1 ถึง -1 (+1 : ลมมากขึ้น, 0 : ไม่เปลี่ยนแปลง และ -1 : ลมน้อยลง) พบว่าผู้อยู่อาศัยในห้องสมุดยอมรับความเร็วลมที่ค่อนข้างต่ำที่ระดับ -0.37 และพึงพอใจกับความเร็วลมที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อยที่ระดับ +0.3

ข้อมูลร้อยละของการตอบแบบสอบถามระดับสเกลของการไหลเวียนลมจะถูกจำแนกตามค่าอุณหภูมิโอเปอเรทีฟ (T_o) ในแต่ละช่วงอุณหภูมิ 0.5 °C สรุปดังรูปที่ 4.15 ที่ค่าอุณหภูมิโอเปอเรทีฟที่สภาวะสบาย T_o = 24.5 °C ร้อยละ 19 ของผู้ให้สัมภาษณ์มีความต้องการให้การไหลเวียนของลมภายในห้องเพิ่มขึ้นกว่าในปัจจุบัน ในทางกลับกันผู้ให้สัมภาษณ์ร้อยละ 8 ต้องการให้ความเร็วลมต่ำลง โดยมีสัดส่วนที่ต้องการให้ความเร็วลมเพิ่มขึ้นร้อยละ 1–19

ตารางที่ 4.5 สถิติอัตราการไหลลมจ่ายและความเร็วลมของห้องสมุด

ค่าสถิติ	การเคลื่อนไหวลม V_a (m/s) (Air movement)				อัตราการไหลลม Q_a (cfm) (Air flow rate)				ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ (%) (Air relative humidity)			
	ชั้น 1	ชั้น 2	ชั้น 3	ชั้น 4	ชั้น 1	ชั้น 2	ชั้น 3	ชั้น 4	ชั้น 1	ชั้น 2	ชั้น 3	ชั้น 4
ศูนย์ "เพชรรัตน" นิติทรัพยากร (ห้องสมุด) คณะนิติศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร												
มกราคม-กุมภาพันธ์ 2562												
ค่าเฉลี่ย (Mean)	0.030	0.133	0.139	0.108	395	443	424	201	51.4	54.0	56.5	49.3
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	0.066	0.120	0.163	0.235	118	127	112	168	5.3	4.1	3.5	3.8
ค่าสูงสุด (Max)	0.347	0.498	0.553	0.971	642	794	738	661	63.0	61.4	67.0	57.7
ค่าต่ำสุด (Min)	0.002	0.002	0.002	0.002	238	207	232	0	45.0	47.4	47.7	45.3
จำนวนคน (Num)	38	31	41	25					38	31	41	25
เมษายน 2562												
ค่าเฉลี่ย (Mean)	0.016	0.062	0.072	0.009					61.4	58.5	63.5	53.5
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	0.029	0.154	0.156	0.025					2.5	2.6	2.4	4.4
ค่าสูงสุด (Max)	0.120	0.748	0.439	0.130					65.8	62.4	68.0	66.7
ค่าต่ำสุด (Min)	0.002	0.001	0.002	0.002					56.3	53.1	57.5	48.7
จำนวนคน (Num)	25	25	25	25					25	25	25	25

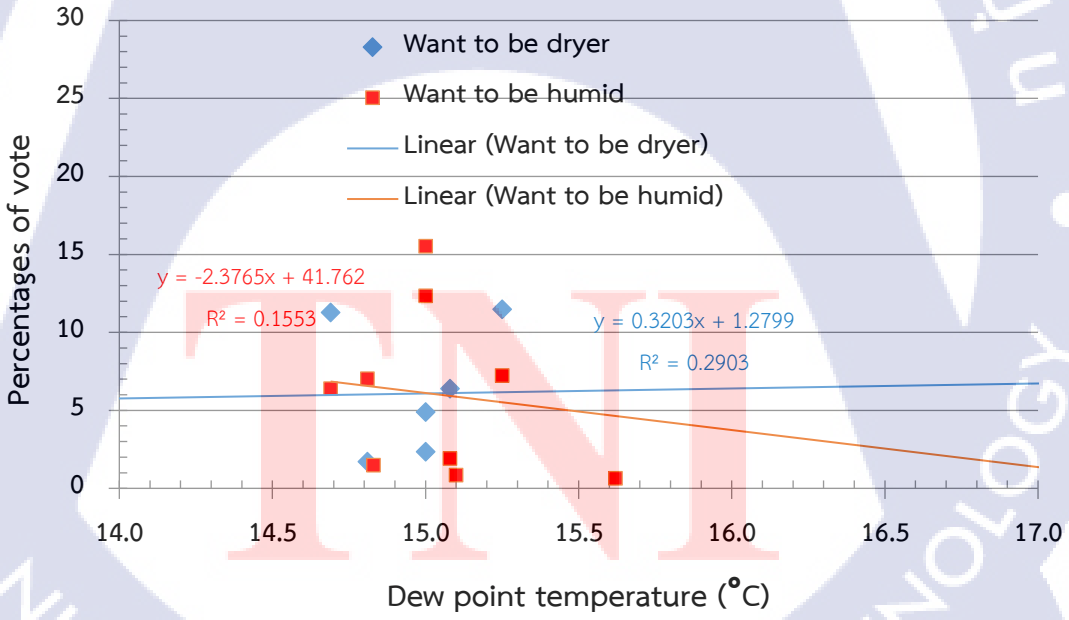


รูปที่ 4.15 ความต้องการการเคลื่อนไหวอากาศสัมพัทธ์กับอุณหภูมิโอเปอเรทีฟ (T_o)

4.2.2.10 ความชื้นอากาศ

ความชื้นอากาศเป็นอีกปัจจัยที่สำคัญ ผลการวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศสรุปในตารางที่ 4.5 สำหรับห้องสมุดแต่ละชั้น ค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 45 - 67 และค่าเฉลี่ยร้อยละ 53.5–63.5 ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานร้อยละ 3.5 – 5.3 แสดงว่าความชื้นสัมพัทธ์เปลี่ยนแปลงในช่วงแคบ ๆ ตารางที่ 4.1 แสดงผลตามมาตรฐาน ASHRAE ได้แก่ การยอมรับความชื้น 7 ระดับ ตั้งแต่ +3 ถึง -3 (+3 : สูงเกินไป, +2 : สูง, +1 : ค่อนข้างสูง, 0 : พอดี, -1 : ค่อนข้างต่ำ, -2 : ต่ำ และ -3 : ต่ำเกินไป) และผลความคาดหวังความชื้น 3 ระดับ ตั้งแต่ +1 ถึง -1 (+1 : ชื้นขึ้นอีก, 0 : ไม่เปลี่ยนแปลง และ -1 : แห้งลงอีก) พบว่าค่าเฉลี่ยการยอมรับความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเท่ากับ -0.11 ซึ่งแสดงถึงการยอมรับกับค่าระดับความชื้นอากาศที่ค่อนข้างต่ำ ในขณะที่มีความพึงพอใจที่จะให้ระดับความชื้นเพิ่มขึ้นเล็กน้อยที่ 0.09

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความต้องการให้แห้งขึ้น (Want to be dryer) หรือชื้นขึ้น (Want to be humid) ที่คำนวณจากร้อยละความคาดหวังต่อความชื้นกับอุณหภูมิจุดน้ำค้าง ดังรูปที่ 4.16 แต่ไม่พบรูปแบบความสัมพันธ์ที่ชัดเจน โดยภาพรวมผู้ตอบแบบสอบถามที่ต้องการให้อากาศแห้งขึ้นหรืออากาศชื้นขึ้นมีสัดส่วนไม่เกินร้อยละ 15.5



รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ของความคาดหวังต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นสัมพันธ์กับอุณหภูมิน้ำค้าง

4.3 ผลวิเคราะห์การวิจัย

ผลการสำรวจความสบายอุณหภาพแสดงให้เห็นความรู้สึกสบายในห้องปรับอากาศของกลุ่มตัวอย่างคนไทยที่ใช้บริการห้องสมุดในขณะนั้น รูปที่ 4.10 แสดงค่าเฉลี่ยของค่าโหวตความสบายทางอุณหภาพจริง (AMV) ซึ่งต่างจากค่าความสบายทางอุณหภาพ (PMV) ที่คำนวณตามมาตรฐาน ANSI/ASHRAE 55 สำหรับแต่ละค่าอุณหภูมิโอเปอร์เรทีฟ (T_o) เส้นกราฟจากวิธีการสมการถดถอยเชิงเส้น PMV และ AMV มีความชันแตกต่างกัน ส่งผลให้ความชันและจุดตัดแกนแตกต่างกัน ค่าอุณหภูมิโอเปอเรทีฟที่ PMV = 0 และ AMV = 0 แตกต่างกันเพียง 0.25 °C แสดงว่าผลการทำนายการเปลี่ยนแปลงความรู้สึกกลุ่มตัวอย่างตามอุณหภูมิมีค่าใกล้เคียงกับความเป็นจริงพอสมควร

อ้างอิงจากการทำวรรณกรรมวิจัย ผลการสำรวจความสบายอุณหภาพในประเทศไทย [38] วิเคราะห์ผลโหวตความรู้สึกของคนไทยในห้องปรับอากาศ 1,520 คน พบว่ารู้สึกสบายที่ช่วงอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศในห้อง 25.5-26.0 °C ในขณะที่อีกงานวิจัย [39] ใช้อุณหภูมิโอเปอเรทีฟ (T_o) โดยทั้งสองงานพบว่าคนไทยรู้สึกสบายที่อุณหภูมิสูงกว่าคนที่อยู่ในภูมิอากาศอบอุ่นและเย็น งานวิจัยนี้พบว่าผู้ใช้บริการห้องสมุดรู้สึกสบายที่อุณหภูมิโอเปอเรทีฟ 24.29 °C แม้ความเป็นฉนวนของเสื้อผ้าเพียง 0.5 clo แต่ค่าอุณหภูมิที่เหมาะสมกลับต่ำกว่าที่พบในงานที่วิจัยที่ผ่านมา แสดงว่าผู้ใช้บริการเพื่อทำงานหรืออ่านหนังสือในห้องสมุดพึงพอใจต่อระดับอุณหภูมิที่ต่ำกว่า อาจเนื่องจากระดับอุณหภูมิที่ต่ำกว่าจะช่วยสนับสนุนการทำงานของสภาพจิตใจได้ โดยเฉพาะเมื่อพิจารณาในด้านจิตวิทยาการรู้คิดเชิงประยุกต์ [40]

พิจารณากราฟรูปที่ 4.11 และ 4.12 สำหรับห้องสมุดที่ควบคุมสภาวะอุณหภูมิให้ค่อนข้างคงที่ แต่กลุ่มตัวอย่างมีความรู้สึกไวต่ออุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปจากอุณหภูมิสภาวะสบาย (ลดลงหรือเพิ่มขึ้น) โดยกราฟรูปตัวเอสของความน่าจะเป็นของความพึงพอใจต่อความเย็นหรือความร้อนที่เปลี่ยนแปลงตามระดับอุณหภูมิโอเปอเรทีฟมีความชันสูงในช่วงเข้าใกล้อุณหภูมิภาวะความสบาย (การยอมรับที่ 24.29 °C ดังรูปที่ 4.11 หรือความคาดหวังที่ 24.77 °C ดังรูปที่ 4.12)

เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของแย้มไตรพัฒน์ และคณะ [5] ที่ได้ศึกษาหามาตรฐานสภาวะสบายสำหรับห้องปรับอากาศของอาคารสำนักงาน 13 แห่งในประเทศไทย จากกลุ่มตัวอย่าง 1,520 คน พบว่าคนส่วนใหญ่รู้สึกสบายที่ 26 °C และคนที่เปิดใช้เครื่องปรับอากาศที่บ้านเปนประจำจะรู้สึกสบายที่ 25.4 °C ซึ่งสูงกว่าอุณหภูมิที่ภาวะความสบายจากกราฟความน่าจะเป็นของความคาดหวังต่อสภาวะทางอุณหภาพที่ 24.77 °C อยู่ 0.63 °C ในขณะที่การออกแบบระบบปรับอากาศตามมาตรฐานวิศวกรรมการปรับอากาศของประเทศไทยกำหนดอุณหภูมิอากาศภายในอาคารที่ 24-25 °C แสดงว่าผู้ใช้บริการในพื้นที่ปรับอากาศในห้องสมุดพึงพอใจที่อุณหภูมิโอเปอเรทีฟที่ต่ำกว่า โดยยอมรับและคาดหวังต่อระดับอุณหภูมิที่ต่ำกว่าอาคารสำนักงานที่ปรับอากาศไม่มาก

ค่า PPD ใช้เพื่อประเมินความไม่พึงพอใจของคนส่วนใหญ่ โดยคำนวณจากดัชนี PMV ตามแบบจำลองของ PPD โดยจะมีคนประมาณร้อยละ 5 ไม่พึงพอใจกับอุณหภูมิอากาศที่สภาวะสบาย และสำหรับโซนความสบายที่กำหนดตามมาตรฐาน ANSI/ASHRAE 55 สำหรับช่วงค่าดัชนี PMV ± 0.5 ร้อยละของความไม่พอใจจะไม่เกินร้อยละ 10 ซึ่งงานวิจัยนี้จะได้ค่าอุณหภูมิโอเปอเรทีฟในช่วง 22.19–26.39 °C

จากการประยุกต์ใช้เกณฑ์นี้กับดัชนี AMV ± 0.5 ได้ช่วงค่าอุณหภูมิโอเปอเรทีฟ (T_o) ที่สภาวะสบายของคนไทยในกรุงเทพฯ อยู่ในช่วง 22.21–26.32°C ด้วยเหตุที่คนกรุงเทพฯ ส่วนใหญ่คุ้นเคยกับการใช้เครื่องปรับอากาศที่บ้าน พบว่าช่วงอุณหภูมินี้สอดคล้องกับค่าจำกัดในโซนความสบายฤดูร้อนสำหรับฉนวนเสื้อผ้า 0.5 clo และความชื้นสัมพัทธ์เกินกว่าร้อยละ 50 ตามที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน ANSI/ASHRAE 55

ผลการสำรวจการยอมรับภาวะแวดล้อมในเชิงอุณหภาพกับอุณหภูมิโอเปอเรทีฟ (T_o) ดังรูปที่ 4.13 แสดงว่าช่วงอุณหภูมิที่ยอมรับได้สำหรับผู้ใช้บริการห้องสมุดที่ 24.2–25.6 °C สอดคล้องกับร้อยละที่ผู้ใช้บริการที่อยู่ในช่วงอุณหภูมินี้และระบุว่า จะสามารถอยู่ในพื้นที่ห้องสมุดได้ต่อเนื่องเป็นเวลานานที่ร้อยละ 74 แต่ก็ยังต่ำกว่าร้อยละ 85–90 ตามที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน ANSI/ASHRAE 55 ที่คาดการณ์ว่าร้อยละ 10-15 ของความไม่พอใจเชิงอุณหภาพเป็นผลจากความรู้สึกแต่ละบุคคล ที่ต้องการช่วงของอุณหภูมิสบายที่แตกต่างกัน งานวิจัยนี้แสดงว่าที่อุณหภูมิสภาวะสบายอุณหภาพยังมีบุคคลที่รู้สึกไม่พึงพอใจร้อยละ 26 ซึ่งสูงกว่าค่ามาตรฐาน

การเคลื่อนไหวของลมมีผลต่อการยอมรับหรือไม่ยอมรับภาวะเชิงอุณหภาพเช่นกัน ห้องสมุดนี้ไม่จำเป็นต้องมีการปรับอากาศเฉพาะจุด อัตราการไหลลมเย็นจากหัวจ่ายได้รับการปรับให้เหมาะสมกับพื้นที่ใช้งานในระดับหนึ่งแล้ว ดังอภิปรายไว้ที่ตาราง 4.5 ความเร็วลมต่างกันตามลักษณะพื้นที่ใช้งานพื้นที่นั่งอ่านหนังสือจะมีปริมาณลมไหลเวียนมากกว่าพื้นที่ชั้นวางหนังสือและทางเดินสัญจร อย่างไรก็ดีผลการตรวจวัดความเคลื่อนไหวของลมได้ค่าที่ต่ำมากที่ค่าเฉลี่ย 0.016-0.139 m/s

ความชื้นของอากาศที่วัดได้มีค่าแปรผันในช่วงแคบ ๆ และผลแบบสอบถามระบุว่าผู้อยู่อาศัยในห้องสมุดมีความรู้สึกยอมรับต่อระดับความแห้งเล็กน้อย และมีความคาดหวังให้อากาศชื้นขึ้นเล็กน้อย

ผลประเมินความน่าจะเป็นที่ Probability = 0.50 ด้วยวิธีการ Logit ผู้ใช้บริการห้องสมุดจะมีความรู้สึกสบายเชิงอุณหภาพพอดี คือ ไม่รู้สึกร้อนและเย็นแต่อย่างใด โดยพิจารณาจากค่าประเมิน AMV และค่าประเมินความพึงพอใจทางอุณหภาพ PMV พบว่าอุณหภูมิโอเปอเรทีฟที่เหมาะสมระหว่าง 24.29–24.77 °C ซึ่งต่ำกว่าค่าอุณหภูมิอากาศสำหรับพื้นที่ปรับอากาศที่แนะนำสำหรับประเทศไทย

ในกรณีห้องสมุดนี้พบว่า ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศกับอุณหภูมิโอเปอเรทีฟใกล้กันมากที่ 24.38 °C และ 24.37 °C และใกล้เคียงกับค่าอุณหภูมิโอเปอเรทีฟที่เหมาะสมที่สุด คือ 24.29–24.77 °C มาก แสดงว่าอุณหภูมิปรับอากาศในห้องสมุดในปัจจุบันเหมาะสมแล้วที่จะทำให้ผู้อยู่อาศัยมีสภาวะสบายทางอุณหภาพ แม้ว่าโดยเฉลี่ย PMV คือ -0.18 คือรู้สึกเย็นเล็กน้อยโดยระดับ PPD คือ 9.20 ซึ่งไม่เกินร้อยละ 10 โดยจัดอยู่ในความพึงพอใจต่อความสบายอุณหภาพระดับ A ตามมาตรฐาน ASHRAE

4.5 ข้อเสนอแนะแนวทางการปรับปรุงสภาวะอากาศภายในห้องสมุด

จากผลการศึกษาสภาวะความสบายอุณหภาพดังได้อภิปรายมาข้างต้น พบว่าห้องสมุดมีสภาวะอุณหภูมิของอากาศที่เหมาะสมกับความต้องการสภาวะความสบายอุณหภาพของผู้ใช้บริการแล้ว แม้ว่าผู้ใช้บริการจะรู้สึกเย็นเล็กน้อยแต่ระดับความไม่พึงพอใจก็ยังอยู่ในเกณฑ์ตามมาตรฐาน

ด้านความเร็วลมนั้นแม้จะได้รับการปรับให้เหมาะสมกับพื้นที่ใช้งานแล้ว แต่ผู้ใช้บริการ 5-19% ก็ยังต้องการให้มีความเร็วลมเพิ่มขึ้นในช่วงอุณหภูมิโอเปอเรทีฟที่เหมาะสม 24.2–25.6 °C แสดงว่าควรปรับระดับความเร็วลมเพื่อให้เหมาะสมยิ่งขึ้น หรือตรวจสอบจุดรอยรั่วของระบบท่อลมทั้งหมด เพราะที่ผ่านมาได้มีการปรับปรุงตำแหน่งหัวจ่ายลมในบางจุดเพื่อให้เหมาะสมกับฝ้าเพดานใหม่ จึงอาจทำให้ลมเกิดการรั่วไหลได้ รวมถึงการตรวจสอบสภาพของฉนวนว่ามีการฉีกขาดชำรุดด้วยหรือไม่ เนื่องจากฉนวนหุ้มท่อลมมีการใช้งานมากว่า 15 ปี ซึ่งนอกจากจะส่งผลดีด้านสภาวะความสบายอุณหภาพแล้วยังช่วยด้านการประหยัดพลังงานด้วย

ด้านความชื้นสัมพัทธ์ (*RH*) นั้นผู้ใช้บริการรู้สึกว่าแห้งเล็กน้อยและต้องการให้ชื้นขึ้นเล็กน้อยเท่านั้น แต่ค่าความชื้นสัมพัทธ์เปลี่ยนแปลงในช่วงแคบ ๆ แล้วจึงไม่มีจำเป็นต้องปรับค่านี้แต่อย่างใด

อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย (T_r) มีความสำคัญเช่นกัน ซึ่งมีช่วงค่าที่กว้างกว่าอุณหภูมิอากาศ (T_a) และสูงได้ถึง 29.25 °C โดยจากการพิจารณาค่าอุณหภูมิการแผ่รังสี (T_r) ค่าสูงสุด 5 อันดับแรกที่พบในบางพื้นที่ มีค่าตั้งแต่ 26.94-29.25 °C พบว่ากลุ่มตัวอย่างในพื้นที่นั้นยังรู้สึกสบายและค่อนข้างเย็น ยอมรับพึงพอใจและอยู่ได้ต่อเนื่องเป็นเวลานาน และไม่ต้องการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ จึงไม่จำเป็นต้องหามาตรการปรับลดค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยแต่อย่างใด

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

สภาวะอากาศของประเทศไทยซึ่งอยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตรเป็นแบบร้อนชื้น และมีแนวโน้มอุณหภูมิที่สูงขึ้นมาโดยตลอด กรุงเทพมหานครมีช่วงฤดูร้อนยาวนานกว่าฤดูอื่น เนื่องจากภาวะเรือนกระจก (Global Warming) และสภาพความเป็นเมืองใหญ่ อาคารส่วนใหญ่จึงต้องมีระบบปรับอากาศ ดังนั้นการประเมินสภาวะความสบายอุณหภาพหรือความสบายเชิงความร้อน (Thermal comfort) เพื่อให้อาคารมีความสบายที่เหมาะสมจะส่งผลต่อดีต่อผู้ใช้อาคาร และจะเป็นแนวทางในการใช้พลังงานสำหรับการปรับอากาศอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยผลสรุปการวิจัยด้านความสบายอุณหภาพสำหรับห้องสมุดคณะนิติศาสตร์ จุฬาลงกรณ์ฯ พร้อมด้วยข้อเสนอแนะนำเสนอไว้ในบทนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เพื่อประเมินสภาวะความสบายอุณหภาพ (Thermal Comfort) ของห้องสมุดคณะนิติศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยเปรียบเทียบกับมาตรฐาน ANSI/ASHRAE 55-1992 และ ISO 7730 และเสนอแนวทางการปรับปรุงสภาพอากาศภายในห้องสมุดเพื่อเพิ่มความสบายอุณหภาพ ซึ่งในบทที่ 4 ได้นำเสนอผลการประเมินสภาวะความสบายอุณหภาพจากผู้ใช้บริการพื้นที่ปรับอากาศของห้องสมุดคณะนิติศาสตร์ จำนวน 235 คน ที่คำนวณตามมาตรฐานและเปรียบเทียบกับผลจากแบบสอบถาม โดยผู้วิจัยได้ดำเนินการเก็บข้อมูลสองช่วงเวลา ได้แก่ เดือนมกราคมถึงกุมภาพันธ์ 2562 (ฤดูหนาว) และเดือนพฤษภาคม 2562 (ฤดูร้อน) และสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

5.1.1 สภาวะอากาศและความสบายอุณหภาพ

การตรวจวัดสภาวะแวดล้อมของอากาศโดยรอบของผู้ให้สัมภาษณ์ ประกอบด้วย อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (T_a) ความชื้นสัมผัส (RH) อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (T_{dp}) อุณหภูมิโกลบ (T_g) และความเร็วลม (V_a) พบว่า อุณหภูมิห้องปรับอากาศ (T_a) อยู่ระหว่าง 22.5–27.2 °C โดยมีค่าเฉลี่ย 24.38 °C ± 0.94 °C ความชื้นสัมพัทธ์อยู่ระหว่าง 45-68 % ที่ค่าเฉลี่ย 55.71% ± 5.73% ความเร็วลมวัดค่าได้ค่อนข้างต่ำที่ค่าเฉลี่ย 0.075 m/s ± 0.14 m/s

มาตรฐานการออกแบบการปรับอากาศและระบายอากาศของประเทศไทย EIT standard 3003-50 (ISBN: 978-974-7197-54-9) โดยวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยภายใต้พระบรมราชูปถัมภ์ กำหนดอุณหภูมิอากาศที่ 24-25 °C และความชื้นสัมพัทธ์ 50-70 % ดังนั้นค่าตรวจวัดที่ได้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม

ค่าอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ย (T_r) เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความสบายมีค่าอยู่ระหว่าง 19.59 - 29.25 °C มีช่วงค่ากว้างกว่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งอย่างชัดเจน แต่ค่าเฉลี่ย 24.37 °C ± 1.30 °C ซึ่งต่ำกว่าค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศในห้อง (24.38 °C) เพียง 0.01 °C

5.1.2 ดัชนีความสบายอุณหภาพ

การประเมินระดับความสบายอุณหภาพของตัวบุคคล ใช้ดัชนีความสบายอุณหภาพตามมาตรฐาน ANSI/ASHRAE Standard 55-1992 ทำนายค่าการโหวตความรู้สึกเชิงอุณหภาพ (Predicted Mean Vote: PMV) และค่าร้อยละความไม่พอใจเชิงอุณหภาพ (Predicted Percentage of Dissatisfied: PPD) ผลคำนวณที่ได้คือค่า PMV เฉลี่ยเท่ากับ -0.18 แสดงว่าผู้ใช้บริการห้องสมุดมีความรู้สึกเย็นเล็กน้อย “Slight cool” และค่า PPD เฉลี่ยเท่ากับ 9.20 ซึ่งอยู่ในความพึงพอใจระดับ A ตามมาตรฐาน ASHRAE แสดงว่าสภาวะภายในพื้นที่ปรับอากาศของห้องสมุดเหมาะสมแล้ว

5.1.3 ความรู้สึกสบายอุณหภาพ

ความรู้สึกสบายอุณหภาพประเมินจากแบบสอบถามสำหรับผู้ใช้บริการห้องสมุดที่อยู่ในอิริยาบถท่านั่งอ่านหนังสือหรือสืบค้นข้อมูลทางอิเล็กทรอนิกส์ ค่าการโหวตจริงจากแบบสอบถาม (Actual Mean Vote: AMV) เฉลี่ย -0.12 แสดงว่าผู้ให้สัมภาษณ์ “Slight Cool” หรือเย็นเล็กน้อย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.02 เป็นไปทำนองเดียวกับผลการคำนวณค่า PMV ที่เท่ากับ -0.18

ผลการวิเคราะห์ค่าความรู้สึกสบายอุณหภาพจากสมการถดถอยเชิงเส้น สมการของค่าเฉลี่ยการโหวต AMV = 0.2085 T_o - 5.186 และทำให้ได้ค่าอุณหภูมิโอเปอเรทีฟ (T_o) สำหรับภาวะความสบายที่ “0” (Thermal Neutrality) เท่ากับ 24.85 °C ในทำนองเดียวกันสมการจากการวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้นของดัชนี PMV คือ PMV = 0.3706 T_o – 9.2982 ค่าความสบายที่เป็นกลาง (PMV = 0) จึงเท่ากับ 25.10 °C ซึ่งมีค่าสูงกว่าที่ได้จากการสัมภาษณ์ 0.25 °C และเมื่อหาผลต่างค่า PMV–AMV ทั้งหมดจะได้ค่าเฉลี่ยของผลต่าง (Mean Bias Error: MBE) คือ -0.186 ในขณะที่ค่าเฉลี่ยของผลต่างสัมบูรณ์ (Mean Absolute Error: MAE) คือ 0.342 แสดงให้เห็นว่าค่าการทำนายความสบาย PMV มีความใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการสัมภาษณ์ AMV โดย AMV สูงกว่าเล็กน้อย

5.1.4 ความน่าจะเป็นในการยอมรับทางอุณหภาพ

การวิเคราะห์ความน่าจะเป็นทางสถิติศาสตร์โดยวิธีการ Logit ตามช่วงอุณหภูมิโอเปอเรทีฟ (T_o) ทุก 0.5 °C และคำนวณค่าร้อยละการยอมรับทางอุณหภาพ (เย็นกว่าสภาพสบายหรืออุ่นกว่าสภาพสบาย) และความพึงพอใจหรือคาดหวังทางอุณหภาพ (ต้องการให้เย็นลงหรือต้องการให้อุ่นขึ้น)

5.1.4.1 การยอมรับทางอุณหภาพตามแบบจำลอง Logit

การยอมรับทางอุณหภาพคิดจากสเกลค่า AMV ที่แบ่งเป็น 7 ระดับตามมาตรฐาน ASHRAE โดยการวิเคราะห์ด้วยวิธี Logit พบว่าความน่าจะเป็นที่ 0.5 หรือผู้อยู่อาศัยรู้สึกสบายไม่ร้อนไม่หนาว ที่อุณหภูมิโอเปอเรทีฟ 24.29 °C ซึ่งต่ำกว่าผลการประเมินค่าจากสมการเส้นตรงของ AMV กับ T_o ที่พบว่าอุณหภูมิโอเปเรทีฟที่รู้สึกสบาย คือ 24.85 °C

5.1.4.2 ความพึงพอใจทางอุณหภาพตามแบบจำลอง Logit

ความพึงพอใจเชิงอุณหภาพสำหรับข้อมูล 2 กลุ่ม คือ “ต้องการให้เย็นลง” หรือ “ต้องการให้อุ่นขึ้น” วิเคราะห์โดยหลักการ Logit พบว่าความน่าจะเป็น 0.5 ที่จะได้ความพึงพอใจเชิงอุณหภาพที่ไม่ต้องการให้เย็นลงหรือไม่ต้องการให้อุ่นขึ้นที่อุณหภูมิโอเปอเรทีฟ 24.77 °C ซึ่งสูงกว่าอุณหภูมิโอเปอเรทีฟที่เหมาะสม 24.29 °C จากข้อ 5.1.4.1 เพียง 0.48 °C แสดงว่าอุณหภูมิโอเปอเรทีฟที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วง 24.29–24.77 °C เนื่องจากผู้ใช้บริการห้องสมุดส่วนใหญ่ต้องใช้สมองในการประมวลผลการอ่านหนังสือการคิดและวิเคราะห์ หรือการทำงานที่ใช้สมองค่อนข้างมากเกือบตลอดเวลา แม้ว่าผู้ใช้บริการห้องสมุดที่ปรับอากาศจนมีอุณหภูมิในระดับที่ทำให้รู้สึกสบายแล้ว แต่ด้วยเมตาบอลิซึมจากการใช้พลังงานในสมองอาจทำให้ปรารถนาอุณหภูมิที่ต่ำลง

5.1.5 การไม่ยอมรับต่อสภาวะแวดล้อมเชิงอุณหภาพ

จากการเปรียบเทียบความไม่ยอมรับต่อสภาวะแวดล้อมทางอุณหภาพ 3 กรณี คือ (1) ผลประเมินการไม่ยอมรับด้านอุณหภาพจาก AMV ตามสเกล 7 ระดับของ ASHRAE (2) ผลประเมินร้อยละความไม่พึงพอใจจากความคาดหวังต่อสภาวะทางอุณหภาพจากแบบสอบถาม และ (3) ผลทำนายค่า PPD จากแบบจำลองตามมาตรฐาน ASHRAE พบว่าค่าต่ำสุดของการไม่ยอมรับสภาวะแวดล้อมอยู่ที่อุณหภูมิโอเปอเรทีฟ T_o = 24.48 °C หรือประมาณร้อยละ 7.9 ไม่ยอมรับค่าอุณหภูมิที่สภาวะความสบายนี้ ซึ่งสูงกว่าค่ามาตรฐานที่ร้อยละ 5 ส่วนผลทำนายค่า PPD จากสมการตามมาตรฐาน ANSI/ASHARE 55 และ ISO 7730 ได้แสดงค่าร้อยละความไม่พึงพอใจต่ำสุดที่อุณหภูมิ 24.96 °C

5.1.6 การเคลื่อนไหวลม

ค่าอัตราการไหลลมเย็นจากหัวจ่ายค่อนข้างกว้างประมาณ 200–700 CFM ค่าเฉลี่ยประมาณ 420 CFM โดยห้องสมุดนี้ได้รับการปรับอัตราการไหลลมจากหัวจ่ายให้แตกต่างกันตามลักษณะการใช้งานของพื้นที่แล้ว ผลการวัดค่าความเร็วลมที่ตำแหน่งนั่งของผู้ตอบแบบสอบถามในพื้นที่อ่านหนังสือ พบว่าความเร็วลมค่อนข้างต่ำ 0.002–0.5 m/s และค่าเฉลี่ยของแต่ละชั้นประมาณ 0.03-0.14 m/s ผลประเมินการยอมรับด้านการไหลเวียนของลมเย็นภายในห้องสมุดจากแบบสอบถามได้ค่า -0.37 แสดงว่าผู้อยู่อาศัยในห้องสมุดยอมรับความเร็วลมที่ค่อนข้างต่ำ และระดับพึงพอใจ +0.3 คือต้องการเพิ่มความเร็วลมเล็กน้อย

5.1.7 ความชื้นอากาศ

ผลการวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศสำหรับห้องสมุดแต่ละชั้น ค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 45-67 และค่าเฉลี่ยร้อยละ 53.5–63.5 ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานร้อยละ 3.5–5.3 แสดงว่าความชื้นสัมพัทธ์เปลี่ยนแปลงในช่วงแคบ ๆ ค่าเฉลี่ยการยอมรับความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเท่ากับ -0.11 ซึ่งแสดงถึงการยอมรับกับค่าระดับความชื้นอากาศที่ค่อนข้างต่ำ ในขณะที่มีความพึงพอใจที่ 0.09 คือ ต้องการให้ความชื้นเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และโดยภาพรวมผู้ตอบแบบสอบถามที่ต้องการให้อากาศแห้งขึ้นหรืออากาศชื้นขึ้นมีสัดส่วนไม่เกินร้อยละ 15.5

5.1.8 ข้อเสนอแนะแนวทางการปรับปรุงสภาวะอากาศภายในห้องสมุด

ห้องสมุดมีอุณหภูมิและความชื้นอากาศที่เหมาะสมกับความต้องการสภาวะสบายอุณหภาพของผู้ใช้บริการแล้ว แม้ว่าผู้ใช้บริการจะรู้สึกเย็นเล็กน้อยแต่ระดับความไม่พึงพอใจก็ยังอยู่ในเกณฑ์ตามมาตรฐาน ความเร็วลมได้รับการปรับให้เหมาะสมกับพื้นที่ใช้งานแล้ว โดยผู้ใช้บริการ 5-19 % ต้องการให้ความเร็วลมเพิ่มขึ้นในช่วงอุณหภูมิโอเปอเรทีฟที่เหมาะสม 24–25 °C แสดงว่าควรปรับระดับความเร็วลมให้เหมาะสมยิ่งขึ้น หรือตรวจสอบจุดรอยรั่วของระบบท่อลมทั้งหมด ด้านความชื้นสัมพัทธ์ (*RH*) นั้นผู้ใช้บริการรู้สึกว่าแห้งเล็กน้อยและต้องการให้ชื้นขึ้นเล็กน้อยเท่านั้น จึงไม่มีจำเป็นต้องปรับระดับความชื้น นอกจากนี้แม้ว่าอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ย (T_r) จะมีช่วงค่าที่กว้างกว่าอุณหภูมิอากาศ (T_a) และค่าสูงสุดถึง 29.25 °C จากการพิจารณาค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีสูงสุด 5 อันดับแรก 26.94-29.25 °C พบว่า กลุ่มตัวอย่างรู้สึกสบายและค่อนข้างเย็นยอมรับพึงพอใจและอยู่ได้ต่อเนื่องเป็นเวลานาน และไม่ต้องการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจึงไม่ต้องปรับเปลี่ยนสภาพการแผ่รังสีของพื้นผิวโดยรอบแต่อย่างใด

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 งานวิจัยนี้ได้ทำการประเมินสภาวะความสบายอุณหภาพจากผู้ใช้บริการพื้นที่ปรับอากาศห้องสมุดคณะนิติศาสตร์ จำนวน 235 ชุด โดยเก็บข้อมูลใน 2 ช่วงฤดูกาล ได้แก่ ช่วงฤดูหนาวและฤดูร้อน ซึ่งมิได้ทำการเก็บข้อมูลในช่วงฤดูฝน (พฤษภาคมถึงตุลาคม) ซึ่งที่เป็นช่วงฤดูยาวนานพอควร โดยคาดว่าจะมีปัจจัยด้านความชื้นสัมพัทธ์มาเกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ข้อมูล ซึ่งผู้วิจัยแนะนำว่าควรจะดำเนินการวิจัยสำหรับช่วงฤดูฝนต่อไป

5.2.2 งานวิจัยนี้ได้ทำการเก็บข้อมูลผู้สัมภาษณ์เฉพาะในส่วนของผู้ใช้บริการที่ใช้พื้นที่นั่งอ่านหนังสือเท่านั้น เพื่อให้งานวิจัยนี้มีความสมบูรณ์เพิ่มมากขึ้น จึงควรทำการเก็บข้อมูลผู้ใช้บริการที่อยู่ในพื้นที่ของชั้นวางหนังสือห้องสมุดร่วมด้วย

5.2.3 ผู้ชายจะมีอัตราการเผาผลาญวันละประมาณ 1,700 กิโลแคลอรี่ (7,100 กิโลจูล) ส่วนผู้หญิงมีอัตราการเผาผลาญต่ำกว่าที่วันละประมาณ 1,400 กิโลแคลอรี่ (5,900 กิโลจูล) [37] แสดงว่าควรพิจารณาอิทธิพลของอัตราเมตาบอลิกกับการคำนวณค่า PMV สำหรับเพศชายและเพศหญิง

สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น
TNI
THAI - NICHI INSTITUTE OF TECHNOLOGY

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

[1] L. Chen and E. Ng, “Outdoor thermal comfort and outdoor activities: a review of research in the past decade,” *Cities*, vol. 29, no. 2, pp. 118-125, April 2012.

[2] E. Johansson et al., “Instruments and methods in outdoor thermal comfort studies-The need for standardization,” *Urban Climate*, vol. 10, no. 2, pp. 346-366, December 2014.

[3] American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineer, Inc., “Thermal environmental conditions for human occupancy,” *ANSI/ASHRAE Standard*, vol. 55, no. 1, pp. 1-21, June 1992.

[4] P.O. Fanger, *Thermal Comfort Analysis and Application in Environmental Engineering*, New York: McGraw-Hill, 1972.

[5] Yamtraipat et al., “Assessment of Thailand indoor set-point impact on energy consumption and environment,” *Energy Policy*, vol. 34, no. 7, pp. 765-770, May 2006.

[6] ISO 7730, “Determination of the PMV and PPD indices and specification of the condition for thermal comfort,” *Moderate Thermal Environment*, vol. 1, no. 1, pp. 1-19, August 1984.

[7] ASHRAE, “Physiological Principles and Thermal Comfort,” ASHRAE Handbook-Fundamentals, Atlanta, Gerogia: ASHRAE Inc., 1987.

[8] ไพบูลย์ หังสพฤกษ์ และเฮอโซ ไซโต, *การปรับอากาศ,* กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ดวงกมล, 2543.

[9] P.O. Fanger, *Thermal Comfort Analysis and Applications in Environmental Engineering, Technical University of Denmark, Laboratory of Heating and Air Conditioning,* New York: McGraw-Hill, 1970.

[10] สุรัสวดี มรรควัลย์, *สรีรวิทยาของการใช้ความร้อน เพื่อการรักษา,* ขอนแก่น : ภาควิชาสรีรวิทยา มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2549.

[11] วิรดา ไชยรุ่งเรือง, “*สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการปรับอากาศในช่วงเวลาพักผ่อน*,” วิทยานิพนธ์ วท.ม. (เทคโนโลยีการจัดการพลังงาน), มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ, 2550.

[12] ณัฐกาญจน์ อุดมสัจจพันธุ์, “*อิทธิพลของระยะเวลาของการอยู่ในพื้นที่เปลี่ยนถ่ายต่อการรับรู้อุณหภูมิในห้องปรับอากาศ*,” วิทยานิพนธ์ สถ.ม. (สถาปัตยกรรมและผังเมือง), มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, ปทุมธานี, 2559.

[13] รัตน์พันธ์ นันทวิจารณ์, “*สภาวะน่าสบายของนักศึกษาในห้องฟังบรรยายแบบปรับอากาศและไม่ปรับอากาศของมหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา*,” วิทยานิพนธ์ สถ.ม. (สถาปัตยกรรม), มหาวิทยาลัยศิลปากร, กรุงเทพฯ, 2547.

[14] รัจรี นพเกตุ, *จิตวิทยาทั่วไป เรื่องการรับรู้,* กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ประกายพรึ, 2539.

[15] A.P. Gagge et al., “A standard predictive index of human response to the thermal environment,” *ASHRAE Transaction*, vol. 92, no. 2, pp. 709-731, June 1986.

[16] B.W. Olesen and G.S. Brager, “A better way to predict comfort,” *ASHRAE Journal*, vol. 46, no. 1, pp. 20-28, August 2004.

[17] M. Hamdi et al., “A new predictive thermal sensation index of human response,” *Energy and Buildings*, vol. 29, no 2, pp. 167–178, January 1999.

[18] E. Arens et al., “Partial- and whole-body thermal sensation and comfort - Part I : Uniform environmental conditions,” *Journal of Thermal Biology*, vol. 31, no. 1–2, pp. 53–59, January 2006.

[19] J. Richard et al., “Convective and radiative heat transfer coefficients for individual human body segments,” *International Journal Biometeorology*, vol. 40, no 3, pp. 141–156, June 1997.

[20] ยุทธ ไกยวรรณ์, “หลักการและการใช้การวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติคสำหรับการวิจัย,” *วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย,* ปีที่ 4, ฉบับที่ 1, หน้า 1-12, มกราคม-มิถุนายน, 2555.

[21] N. Burns and S.K. Grove, *The Practice of Nursing Research : Conduct, Critique and Utilization,* Philadelphia: W.B.Saunders Company, 1993.

[22] กัลยา วานิชย์บัญชา, *การวิเคราะห์สถิติขั้นสูงด้วย SPSS for windows,* พิมพ์ครั้งที่ 5, กรุงเทพฯ : ธรรมสาร, 2549.

[23] ชลธิชา เป็งนวล, “*สภาวะน่าสบายของสถาปัตยกรรมประเภทคุ้ม กรณีศึกษาอำเภอเมืองจังหวัดแพร่*,” วิทยานิพนธ์ สถ.ม. (สถาปัตยกรรม), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ, 2559.

[24] นภารัตน์ พานิชชีวะกุล, “*การศึกษาความสบายเชิงความร้อนของผู้อยู่อาศัยที่อยู่ใกล้หน้าต่างกระจกที่มีการติดตั้งมู่ลี่,*” วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (เครื่องกล), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ, 2558.

[25] กฤติน อัศววิชัย, “*สภาวะน่าสบายเชิงอุณหภาพสำหรับผู้สูงอายุภายในบ้านพักคนชราในประเทศไทย,*” วิทยานิพนธ์ สถ.ม. (สถาปัตยกรรม), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ, 2557.

[26] ภัชญา ปรางค์สุวรรณ, “*ความสัมพันธ์ระหว่างสภาวะน่าสบายและทัศนียภาพของอาคารเขียวตามเกณฑ์ลีด (LEED) ในประเทศไทย,*” วิทยานิพนธ์ สถ.ม. (สถาปัตยกรรม), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ, 2557.

[27] สุภารัตน์ รัตนวิจิตร, “*ความไม่สบายเชิงอุณหภาพของผู้โดยสารในอาคารสนามบิน,*” วิทยานิพนธ์ วท.ม. (เทคโนโลยีการจัดการพลังงาน), มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ, 2555.

[28] รสริน ทักษิณ, “*การศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความรู้สึกร้อน หนาวของมนุษย์ภายในห้องสปา,*” วิทยานิพนธ์ วท.ม. (สถาปัตยกรรม), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ, 2554.

[29] ทิพย์คนึง กุลลาวัณย์, “*สาระสำคัญด้านสภาวะน่าสบายที่ส่งเสริมการใช้อาคารศูนย์กีฬาในกรุงเทพมหานคร,*” วิทยานิพนธ์ สถ.ม. (สถาปัตยกรรม), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ, 2553.

[30] ภัททิรา พวงมาลี, “*การศึกษาเงื่อนไขการปรับอากาศที่เหมาะสมผสมผสานกับการใช้พัดลมช่วยเพื่อความสบายอุณหภาพ: กรณีศึกษา อาคารห้องเรียน,*” วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (เทคโนโลยีการจัดการพลังงาน), มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ, 2551.

[31] ชาคริต ฉัตรศานติกุล, “*การศึกษาความสบายอุณหภาพในอาคารบ้านพักอาศัยสำหรับประเทศไทย,*”วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (เทคโนโลยีการจัดการพลังงาน), มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ, 2551.

[32] T.T. Chow et al., “Thermal sensation of hong Kong people with increased air speed, temperature and humidity in air–conditioned environment,” *Building and Environment*, vol. 45, no. 10, pp. 2,177-2,183, October 2010.

[33] M. Mozaffarieh et al., “Thermal discomfort with cold extremitied in relation to age, gender, and body mass index in a random sample of a swiss urban population,” *Population Health Metrics*, vol. 8, no. 1, pp. 1–5, June 2010.

[34] N. Pellerin et al., “Local thermal unpleasantness and discomfort prediction in the vicinity of thermoneutrality,” *European Journal of Applied Physiology*, vol. 92, no. 6, pp. 717–720, September 2004.

[35] ข้อมูลศูนย์ภูมิอากาศ สำนักพัฒนาอุตุนิยมวิทยา กรมอุตุนิยมวิทยา, “*สภาพภูมิอากาศกรุงเทพมหานคร มิถุนายน 2562*,” [Online]. Available: http://climate.tmd.go.th/data/province/กลาง/ภูมิอากาศกรุงเทพมหานคร. [Accessed: 24 กันยายน 2562].

[36] สำนักบริหารกิจการนิสิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, *“การแต่งกายของนิสิต,”* [Online]. Available: http://www.sa.chula.ac.th/การแต่งกายของนิสิต/. [Accessed: 21 สิงหาคม 2562].

[37] กองบรรณาธิการ, *“เมตาบอลิซึม (Metabolism) และการเผาผลาญ,”* Health2click [Online]. Available: https://health2click.com/2018/05/02/. [Accessed: 14 กันยายน 2562].

[38] J. Khedari et al., “ Thailand ventilation comfort chart,” *Energy and Buildings*, vol. 32, no. 3, pp. 245-249, September 2000.

[39] N. Nutprasert and P. Chaiwiwatworakul, “Radiant cooling with dehumidified air ventilation for thermal comfort in buildings in tropical climate,” *Energy Procedia*, vol. 52, no. 1, pp. 250–259, July 2014.

[40] C. Jarrett, *“The Science of Us, Your Brain Performs Better When It's Cold Outside,”* CNN Health [Online]. Available: https://edition.cnn.com/2016/02/19/health/your-brain-on-winter/index.html. [Accessed: August 24,2019].

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

อัตราการไหลเชิงปริมาตรของลมเย็นภายในห้องสมุด

อัตราการไหลเชิงปริมาตรของลมเย็นภายในห้องสมุด

อาคารห้องสมุดมีพื้นที่ใช้สอยทั้งสิ้น 2,756 m^2 มีผู้มาใช้บริการหมุนเวียนสับเปลี่ยนกันตลอดเวลาประมาณ 150-160 คนต่อวัน (ช่วงเปิดภาคการศึกษา) โดยเปิดให้บริการแก่นิสิต บุคลากร และบุคคลภายนอก ตั้งแต่เดือนตุลาคม 2546 เป็นต้นมา ซึ่งระบบปรับอากาศของห้องสมุดใช้เครื่องปรับอากาศชุดเดิมที่มีการติดตั้งและใช้งานมาตั้งแต่ ปี 2546 และในแต่ละชั้นของห้องสมุดมีระบบท่อส่งจ่ายลมเย็นไปยังพื้นที่ต่าง ๆ โดยได้ปรับปริมาณความเร็วลมต่างกันตามลักษณะการใช้งานของพื้นที่ ซึ่งค่าอัตราการไหลเชิงปริมาตรของลมเย็นภายในห้องสมุดตั้งแต่ชั้นที่ 1 ถึง ชั้นที่ 4 สรุปไว้ในตาราง ก.1

ตารางที่ ก.1 อัตราการไหลเชิงปริมาตรของหัวจ่ายลมเย็นในแต่ชั้นของห้องสมุด

หัวจ่ายลมที่	ชั้น 1	ชั้น 2	ชั้น 3	ชั้น 4
	cfm	cfm	cfm	cfm
1	534	794	316	91
2	488	643	396	206
3	273	589	232	216
4	255	458	310	333
5	238	351	287	303
6	285	476	285	332
7	303	294	261	143
8	375	207	429	0
9	480	464	285	39
10	530	559	315	225
11	267	613	297	231
12	244	464	464	170
13	410	619	417	392
14	262	643	476	429
15	368	338	309	91
16	302	583	362	39
17	449	430	428	97
18	273	524	278	174
19	434	541	434	78
20	329	558	482	661
21	339	411	512	275
22	351	410	434	0
23	267	286	518	0
24	476	536	464	244
25	625	370	572	59
26	279	488	500	97
27	238	546	428	612
28	303	476	476	225
29	297	423	405	337
30	256	553	553	131
31	351	362	613	0
32	391	352	529	
33	303	399	487	
34	320	469	524	
35	375	385	416	
36	464	601	411	
37	434	477	738	
38	392	368	631	
39	511	483	632	
40	544	309	411	
41	571	467	333	
42	559	247	431	
43	428	234	381	
44	446	269	345	
45	547	285	285	
46	601	387	595	
47	642	452	494	
48	560	432	554	
49		376	397	
50		381	422	
51		458	381	
52		429	248	
53		393	351	
54		683	345	
55		637		
56		414		
57		298		
58		250		
59		220		
Total	18,969	26,164	22,879	6,230
Mean	395	443	424	201
Min	238	207	232	0
Max	642	794	738	661
S.D	118	127	112	168

นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาอัตราการไหลเชิงปริมาตรของลมเย็นจากหัวจ่ายตามลักษณะการใช้งานของพื้นที่ภายในห้องสมุด จะพบว่า พื้นที่อ่านหนังสือจะมีค่าอัตราการไหลลมโดยเฉลี่ย 389 CFM ซึ่งมากกว่าค่าอัตราการไหลลมของลมเย็นในพื้นที่ของชั้นวางหนังสือที่ 154 CFM ดังตารางที่ ก.2

ตารางที่ ก.2 ค่าเฉลี่ยความเร็วลมของพื้นที่ใช้สอยแต่ละชั้น

พื้นที่ปรับอากาศห้องสมุด	ค่าเฉลี่ยความเร็วลม (CFM)		
	พื้นที่อ่านหนังสือ	พื้นที่ชั้นวาง	พื้นที่ทางเดิน
ชั้น 1	424	302	383
ชั้น 2	461	ไม่มี	447
ชั้น 3	434	447	ไม่มี
ชั้น 4	237	192	ไม่มี
Total	1,557	941	830
Mean	389	235	207

ภาคผนวก ข.

การประเมินสภาวะความสบายอุณหภาพ (Thermal Comfort)

การประเมินสภาวะความสบายอุณหภาพ (Thermal Comfort)

การประเมินโดยใช้สอบถามจะดำเนินการควบคู่ไปกับการใช้เครื่องมือวัดสภาวะแวดล้อมของอากาศ ณ ตำแหน่งที่ทำการสัมภาษณ์นั้น ซึ่งในรายละเอียดของข้อมูลในแบบสอบถามจะประกอบด้วยข้อมูล 2 ส่วน ส่วนแรกเป็นข้อมูลเกี่ยวกับผู้ถูกสำรวจ ประกอบด้วย อายุ เพศ การแต่งกาย และส่วนที่สองเป็นชุดคำถามที่เกี่ยวข้องกับความสบายในช่วงที่กำลังสัมภาษณ์ อ้างอิงตามมาตรฐาน ASHRAE จำนวน 7 ระดับสเกล ได้แก่ +3 ร้อน, +2 อุ่น, +1 ค่อนข้างอุ่น, 0 สบาย, 1 ค่อนข้างเย็น, 2 เย็น และ 3 หนาว นอกจากการใช้สเกลความรู้สึกตามมาตรฐาน ASHRAE ดังกล่าวแล้ว ยังประเมินความสบายระดับการยอมรับ (Thermal Acceptability) ของบุคคลด้านการเคลื่อนไหวของลมและความชื้น และประเมินความชอบ (Thermal Preference) ของบุคคลด้านอุณหภูมิ ความชื้น และการเคลื่อนไหวของลมภายในห้องปรับอากาศ ตัวอย่างแบบสอบถามดังรูปที่ ข.1

ความสบายอุณหภาพ (Thermal Comfort)

วันที่ประเมิน ..... เวลา ..... น. ผู้ทดสอบได้นั่งอยู่ในตำแหน่งนี้ ..... ชั่วโมง ..... นาที

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ทดสอบ

1. ชื่อ.....นามสกุล.....
2. เพศ ☐ ชาย ☐ หญิง น้ำหนัก (ประมาณ) ..... Kg
3. อายุ ☐ ต่ำกว่า 20 ปี ☐ 20 – 25 ปี ☐ 26 – 30 ปี ☐ 31 – 35 ปี ☐ 36 – 40 ปี ☐ 40 ปีขึ้นไป

ค่าอุณหภูมิที่ตั้งไว้ (°C)	
ค่าอุณหภูมิที่วัดได้ (°C)	
ค่าความชื้นที่วัดได้ (%RH)	
ค่าความเร็วลมที่วัดได้ (m/s)	

4. เสื้อผ้าที่สวมใส่อยู่ขณะนี้

☐ เสื้อเชิ้ตแขนสั้น	(0.19)	☐ เสื้อเชิ้ตแขนยาว	(0.25)
☐ เสื้อยืดคอกลม	(0.08)	☐ เสื้อยืดแขนกุดบาง	(0.13)
☐ เสื้อยืดแขนกุดหนา	(0.22)	☐ เสื้อยืดแขนยาวบาง	(0.38)
☐ เสื้อยืดแขนยาวหนา	(0.58)		
☐ กางเกงยาวบาง	(0.15)	☐ กางเกงขายาวหนา(ยีนส์)	(0.24)
☐ กระโปรงบาง	(0.14)	☐ กระโปรงหนา	(0.23)
☐ ถุงเท้า	(0.02)	☐ รองเท้าหุ้มส้น	(0.10)
☐ รองเท้าแตะ	(0.02)		

ส่วนที่ 2 ข้อมูลความรู้สึกสบายของผู้ทดสอบ

5. ผู้ทดสอบรู้สึกอย่างไรกับความสบาย ณ ปัจจุบัน

หนาว	เย็น	เย็นเล็กน้อย	สบาย	อุ่นเล็กน้อย	อุ่น	ร้อน
-3	-2	-1	0	1	2	3

6. ผู้ทดสอบยอมรับอุณหภูมิของอากาศในห้อง ณ ขณะนี้ได้หรือไม่

ไม่ยอมรับ (1) (หนาวหรือร้อนเกินไป)	พอยอมรับได้ (2) ไม่เกิน-อยู่ได้แต่ไม่นาน)1 ชั่วโมง(	ยอมรับได้พึงพอใจ (3) (อยู่ได้ต่อเนื่องเป็นเวลานาน)

7. ผู้ทดสอบ**อยากให้**อุณหภูมิของอากาศในห้องนี้เป็นอย่างไร

เย็นลง)-1(	ไม่เปลี่ยนแปลง) 0)	อุ่นขึ้น (1)

8. ผู้ทดสอบรู้สึกอย่างไรกับระดับการไหลเวียนของลมภายในห้อง

ลมต่ำไปอีดอัด	ลมต่ำพอทนได้	ลมต่ำเล็กน้อย	พอดี	ลมแรงเล็กน้อย	ลมแรง	ลมแรงมาก
-3	-2	-1	0	1	2	3

9. ผู้ทดสอบ**อยากให้**การไหลเวียนของลมในห้องนี้เป็นอย่างไร

น้อยลง (-1)	ไม่เปลี่ยนแปลง (0)	มากขึ้น (1)

10. ผู้ทดสอบรู้สึกอย่างไรกับความชื้นภายในห้อง

แห้งมากไป	แห้งมาก	แห้งเล็กน้อย	พอดี	ชื้นเล็กน้อย	ชื้นมาก	ชื้นมากไป
-3	-2	-1	0	1	2	3

11. ผู้ทดสอบ**อยากให้**ความชื้นของอากาศในห้องนี้เป็นอย่างไร

แห้งลงอีก (-1)	ไม่เปลี่ยนแปลง (0)	ชื้นมากขึ้น (1)

12. ผู้ทดสอบนอนเปิดแอร์เป็นปกติหรือไม่

ปกติไม่นอนเปิดแอร์ (0)	นอนเปิดแอร์เป็นปกติ (1)

รูปที่ ข.1 แบบประเมินสภาวะความสบายอุณหภาพ (Thermal Comfort)

TNI
THAI - NICHI INSTITUTE OF TECHNOLOGY

ภาคผนวก ค.

การศึกษาค่าความผิดพลาดของ AMV และ PMV

สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น
TNI
THAI - NICHI INSTITUTE OF TECHNOLOGY

การศึกษาค่าความผิดพลาดของ AMV และ PMV

การศึกษาค่าความผิดพลาดของ AMV และ PMV เป็นการนำผลของค่าทำนายความสบาย PMV ที่ได้จากการคำนวณในแต่ละช่วงของอุณหภูมิโอเปอเรทีฟมาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการสัมภาษณ์ AMV เพื่อหาผลต่างของค่า AMV – PMV จะได้ค่าเฉลี่ยของผลต่าง (Mean Bias Error: MBE) คือ -0.186 ในขณะที่ค่าเฉลี่ยของผลต่างสัมบูรณ์ (Mean Absolute Error: MAE) คือ 0.342 แสดงให้เห็นว่าค่าการทำนายความสบายโดยใช้ PMV มีความใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการสัมภาษณ์ AMV ดังตารางที่ ค.1

ตารางที่ ค.1 ค่าความผิดพลาดของ AMV และ PMV

ช่วงอุณหภูมิโอเปอเรทีฟ (T_o)	**ค่าอุณหภูมิโอเปอเรทีฟ (T_o) เฉลี่ย**	ค่า AMV	ค่า PMV	Bias Error	Absolute Error
21.75-22.25 °C	22.21 °C	0.5	-1.72	-2.22	2.22
22.25-22.75 °C	22.59 °C	0.17	-0.8	-0.97	0.97
22.75-23.25 °C	23.01 °C	-0.33	-0.41	-0.08	0.08
23.25-23.75 °C	23.48 °C	-0.46	-0.39	0.07	0.07
23.75-24.25 °C	24.00 °C	-0.04	-0.23	-0.19	0.19
24.25-24.75 °C	24.48 °C	-0.17	-0.20	-0.03	0.03
24.75-25.25 °C	24.96 °C	0.16	0.07	-0.09	0.09
25.25-25.75 °C	25.47 °C	0.04	0.08	0.04	0.04
25.75-26.25 °C	25.87 °C	-0.67	-0.03	0.64	0.64
26.25-26.75 °C	26.32 °C	-0.50	0.47	0.97	0.97
26.75-27.25 °C	-	-	-	-	-
27.25-27.75 °C	-	-	-	-	-
27.75-28.25 °C	-	-	-	-	-
Total	-	**-1.3**	**-3.2**	**-1.86**	**3.08**
Mean	**24.24**°C	**-0.13**	**-0.316**	**-0.186**	**0.342**

ภาคผนวก ง.

การประยุกต์เขียน VBA สำหรับการคำนวณ ค่าทำนายการโหวต PMV และ PPD ในโปรแกรม Excel

การประยุกต์เขียน VBA สำหรับการคำนวณค่าทำนายการโหวต PMV และ PPD ในโปรแกรม Excel

ในปี ค.ศ. 2002 Mr.Takahiro SATO ได้ปรับปรุงและพัฒนาสมการคำนวณค่าทำนายการโหวตความรู้สึกเชิงอุณหภาพเฉลี่ย PMV ของ Fanger ซึ่งต่อมา ทศพล เขตเจนการ และพิพัฒน์ ชัยวิวัฒน์วรกุลได้นำมาประยุกต์เขียนเป็น (Visual Basic for Application: VBA) สำหรับ Excel เพื่อให้สะดวกต่อการใช้งาน โดยมีสมการและ Source Code ดังมีรายละเอียดต่อไปนี้

```
'-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------
' Predicted Mean Vote (PMV) and Predicted Percentage of Dissatisfied (PPD) in accordance with ISO 7730
'---------   December 18 2002, editted by Takahiro SATO, Tanabe Lab., Waseda Univ. ----------------
'-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------
Function FNPS(T)
        FNPS = Exp(16.6536 - 4030.183 / (T + 235))        'Saturated Vapor Pressure, [kPa]
End Function

Function PMV(Ta, Tr, Vel, RH, CLO, MET, EW)    'Definition of the Function "PMV" by 7 factors
'  Ta  : Air Temperature,              [deg.C]
'@Tr@: Mean Radiant Temperature, @    [deg.C]
'@Vel : Relative Air Velocity,         [m/s]
'  RH  : Relative Humidity,            [%]
'  CLO : Clothing,                     [clo]
'  MET : Metabolic Rate,               [met]

'  EW : External Work,                 [met] (=normally around 0)
'  PA  : Water Vapor Pressure,         [Pa]
   PA = RH * 10 * FNPS(Ta)   '[Pa]=(RH/100)*1000*[kPa]

'---METABORIC RATE---
 M = MET * 58.15:    'Metabolic Rate,    [W/m2]
 W = EW * 58.15:     'External Work,     [W/m2]
 MW = M - W          'internal heat production in the human body
```

```
'---CLOTHING---
ICL = 0.155 * CLO:  'thermal insulation of the Clothing, [m2K/W]
If ICL < 0.078 Then FCL = 1 + 1.29 * ICL Else FCL = 1.05 + 0.645 * ICL  'clothing area factor

'---CONVECTION---
HCF = 12.1 * Sqr(Vel):  'convective heat transfer coefficient by forced convection
TaA = Ta + 273:        'Air Temperature in Kelvin [K]
TrA = Tr + 273:        'Mean Radiant Temperature in Kelvin [K]

'CALCULATE SURFACE TEMPERATURE OF CLOTHING BY ITERATION
TCLA = TaA + (35.5 - Ta) / (3.5 * (6.45 * ICL + 0.1))
'first guess for surface temperature of clothing
P1 = ICL * FCL:  'calculation term
P2 = P1 * 3.96:  'calculation term
P3 = P1 * 100:   'calculation term
P4 = P1 * TaA:   'calculation term
P5 = 308.7 - 0.028 * MW + P2 * (TrA / 100) ^ 4 'calculation term
XN = TCLA / 100
XF = XN
N = 0:          'N: number of iterations
EPS = 0.00015:   'stop criteria in iteration

Do
XF = (XF + XN) / 2

'convective heat Transf. coeff. by natural convection
HCN = 2.38 * Abs(100 * XF - TaA) ^ 0.25
If HCF > HCN Then HC = HCF Else HC = HCN
XN = (P5 + P4 * HC - P2 * XF ^ 4) / (100 + P3 * HC)
N = N + 1

If N > 150 Then GoTo 50
Loop Until Abs(XN - XF) < EPS
TCL = 100 * XN - 273:  'surface temperature of the clothing
```

```
'---HEAT LOSS COMPONENTS---
'heat loss diff. through skin
 Ediff = 3.05 * 0.001 * (5733 - 6.99 * MW - PA)
'heat loss by sweating (comfort)
 If MW > 58.15 Then Esw = 0.42 * (MW - 58.15) Else Esw = 0!
'latent respiration heat loss
 LRES = 1.7 * 0.00001 * M * (5867 - PA)
'dry respiration heat loss
 DRES = 0.0014 * M * (34 - Ta)
'heat loss by radiation
 R = 3.96 * FCL * (XN ^ 4 - (TrA / 100) ^ 4)
'heat loss by convection
 C = FCL * HC * (TCL - Ta)

'--- CALCULATE PMV AND PPD ---
'Thermal sensation transfer coefficient
 TS = 0.303 * Exp(-0.036 * M) + 0.028

'Predicted Mean Vote
 PMV = TS * (MW - Ediff - Esw - LRES - DRES - R - C)

GoTo 80
50 PMV = 999999!
80 '
End Function

'Predicted PercenTage of Dissatisfied
Function PPD(PMV)
   PPD = 100 - 95 * Exp(-0.03353 * PMV ^ 4 - 0.2197 * PMV ^ 2)
End Function
```