



ความไม่สบายเชิงคุณภาพของผู้โดยสารในอาคารสนามบิน

นางสาวสุภารัตน์ รัตนวิจิตร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการพลังงาน  
คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

พ.ศ. 2555

ความไม่สบายเชิงคุณภาพของผู้โดยสารในอาคารสนามบิน

นางสาวสุภารัตน์ รัตนวิจิตร วศ.บ. (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม)

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการพลังงาน  
คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี  
พ.ศ. 2555

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์  
(ผศ. ดร.อรรถนัย เศรษฐบุศ)

..... กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์  
(ผศ. ดร.กฤษกานา กุบาฮา)

..... กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม  
(ดร.พัฒนาะ รักความสุข)

..... กรรมการ  
(รศ.วารุณี เตีย)

..... กรรมการ  
(ดร.พิพัฒน์ ชัยวิวัฒน์วรกุล)

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

|                   |   |
|-------------------|---|
| หัวข้อวิทยานิพนธ์ | ความไม่สบายเชิงอุณหภูมิของผู้โดยสารในอาคารสนามบิน |
| หน่วยกิต          | 12  |
| ผู้เขียน          | นางสาวสุภารัตน์ รัตนวิจิตร                        |
| อาจารย์ที่ปรึกษา  | ผศ. ดร. กุสกานา กุบาฮา<br>ดร. พัฒนะ รักความสุข    |
| หลักสูตร          | วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต                            |
| สาขาวิชา          | การจัดการพลังงาน                                  |
| สายวิชา           | เทคโนโลยีการจัดการพลังงาน                         |
| คณะ               | พลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ                        |
| พ.ศ.              | 2555  |

### บทคัดย่อ

การวิจัยเชิงสำรวจนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาตัวแปรที่ส่งผลให้เกิดสภาวะความไม่สบายเชิงอุณหภูมิในอาคารโดยสารสาธารณะ เพื่อสร้างแบบจำลองความไม่สบายเชิงอุณหภูมิของผู้อาศัยในอาคาร โดยทำการสำรวจสภาวะแวดล้อมภายในอาคารและการตอบแบบสอบถามของผู้ใช้พื้นที่ จากกลุ่มตัวอย่างจำนวน 491 ตัวอย่าง ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม กลุ่มตัวอย่างที่สวมใส่เสื้อผ้าต่ำกว่า 0.69 clo, 0.70 – 0.99 clo และมากกว่า 1 clo ขึ้นไป โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้ ส่วนแรก ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าการไหลความร้อนรู้สึกเชิงอุณหภูมิจากการตรวจวัดจริงและค่าการทำนายการไหลความร้อนเกี่ยวกับตัวแปรที่มีผลต่อความไม่สบายเชิงอุณหภูมิในสภาวะแวดล้อมของอาคาร ส่วนที่สองเป็นการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของความไม่สบายเชิงอุณหภูมิจากกลุ่มตัวอย่างข้างต้น โดยแสดงอยู่ในรูปแบบของฟังก์ชันเอ็กซ์โพเนนเชียล จากผลการวิเคราะห์แบบจำลองความไม่สบายเชิงอุณหภูมิ พบว่า แบบจำลอง ASV ของทั้ง 3 กลุ่มตัวอย่างมีค่าของอุณหภูมิอากาศที่ทำให้กลุ่มตัวอย่างเกิดความรู้สึกไม่สบายทั้งทางด้านเย็นและทางด้านร้อนดังนี้ ความไม่สบายทางด้านเย็นจะพบเมื่ออุณหภูมิอากาศต่ำกว่า 24.0, 23.0 และ 22.0 °C และทางด้านร้อนสูงกว่า 24.9, 23.9 และ 22.9 °C สำหรับกลุ่มตัวอย่างที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ ส่วนแบบจำลอง PMV พบว่า กลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่มเกิดความรู้สึกไม่สบายเมื่อมีค่าอุณหภูมิอากาศทางด้านเย็น 23.0, 23.0 และ 22.0 °C และทางด้านร้อน 23.9, 23.9 และ 22.9 °C ตามลำดับ อีกทั้งอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างที่สองและกลุ่มตัวอย่างที่สามมีค่าของอุณหภูมิเท่ากันที่ทำให้กลุ่มตัวอย่างเกิดความรู้สึกไม่สบายทางด้านเย็นเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า 24.0 °C และทางด้านร้อนสูงกว่า 24.9 °C ซึ่งในกลุ่มตัวอย่างที่มีการสวมใส่เสื้อผ้าต่ำกว่า 0.69 clo กลุ่มตัวอย่างเกิดความรู้สึกไม่สบายทางด้านเย็นเมื่ออุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยต่ำกว่า 28.0 °C และด้านร้อนเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 28.9 °C ทั้งในแบบจำลอง ASV และ PMV และจากผลการพัฒนา

แบบจำลองนี้สามารถนำมาใช้ประโยชน์เพื่อเป็นแนวทางการประเมินสภาวะเชิงคุณภาพของบุคคลที่รู้สึกไม่สบายในกรณีปรับอากาศในพื้นที่ต่างๆ ได้

**คำสำคัญ:** ความไม่สบายเชิงคุณภาพ/แบบจำลอง/สนามบิน

|                 |  |
|-----------------|--|
| Thesis Title    | Thermal Discomfort of Passengers in an Airport Terminal  |
| Thesis Credits  | 12   |
| Candidate       | Miss Suparat Rattanavijit                                |
| Thesis Advisors | Asst. Prof. Dr. Kuskana Kubaha<br>Dr. Pattana Rakkwamsuk |
| Program         | Master of Engineering                                    |
| Field of Study  | Energy Management  |
| Department      | Energy Management Technology                             |
| Faculty         | School of Energy, Environment and Material               |
| B.E.            | 2555   |

### Abstract

The objective of this survey research was to study parameters influencing to thermal discomfort in a public terminal building in order to model the thermal discomfort of occupants in the building. A group of 491 samples in the building was surveyed. The samples were grouped as clothing level into 3 groups: less than 0.69 clo, 0.70 - 0.99 clo and more than 1 clo. Two stages of the study were classified. The first part was to study a relationship of environmental parameters in which influencing to Actual Sensation Vote (ASV) and Predicted Mean Vote (PMV) to thermal discomfort of people in the building. The second part was to develop a mathematical model of the thermal discomfort from the above samples. A function of exponential equation was performed. The results of the study showed that the ASV model of all 3 groups, the cold and warm discomfort found when the air temperature below 24.0, 23.0 and 22.0 °C and greater than 24.9, 23.9 and 22.9 °C for the people of group 1, 2 and 3, respectively. Similarly, the PMV model of all three groups, found when the air temperature below than 23.0, 23.0 and 22.0 °C, for cold discomfort, and the temperature greater than 23.9, 23.9 and 22.9 °C for warm discomfort, respectively. As same as, the mean radiation temperature of the sample group 2 and 3 performed identical for cold and warm discomfort when the temperature below than 24.0 °C and greater than 24.9 °C respectively. But the samples with clothing level less than 0.69 clo caused cold discomfort when the mean radian temperature lower than 28.0 °C and presented warm discomfort when the temperature larger than 28.9 °C, both in the ASV and PMV model. From the finding, the developed discomfort model is

able to use as a guideline for the assessment of the human discomfort in the air conditioning space in various areas.

**Keywords:** Airport/Model/Thermal Discomfort

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากโครงการส่งเสริมการวิจัยในอุดมศึกษา และการพัฒนามหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ ของสำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ผศ. ดร. กุสศานา กุบาฮา ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา และ ดร. พัฒนะ รักความสุข อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมที่กรุณาให้คำแนะนำแนวทางในการทำงานและการเขียนวิทยานิพนธ์ รวมทั้งการแก้ไขปัญหาต่างๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการทำการศึกษา และผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รศ. วารุณี เตีย อาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการพลังงาน และ ดร. พิพัฒน์ ชัยวิวัฒน์ วรกุล อาจารย์จากบัณฑิตวิทยาลัยร่วมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม ที่กรุณาให้คำแนะนำในการตรวจแก้ไขงานวิจัย และเป็นคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

ผู้วิจัยขอขอบคุณเจ้าของสถานที่และเจ้าหน้าที่ของอาคารสนามบินที่ได้เอื้อเฟื้อสนับสนุนผู้ศึกษา โดยให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์และให้ความสะดวกในการเก็บข้อมูลที่มีความจำเป็นต่อการศึกษาครั้งนี้ ซึ่งผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่งใคร่ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

## สารบัญ

### หน้า

|   |          |
|---|----------|
| บทคัดย่อภาษาไทย                                       | ๗        |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ                                    | ๘        |
| กิตติกรรมประกาศ                                       | ๙        |
| สารบัญ  | ๗        |
| รายการตาราง   | ๙        |
| รายการรูปประกอบ                                       | ๑๓       |
| รายการสัญลักษณ์                                       | ๑๓       |
| ประมวลคำศัพท์   | ๑๓       |
| <b>บทที่</b>  |          |
| <b>1. บทนำ</b>  | <b>1</b> |
| 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำงานวิจัย            | 1        |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย                           | 2        |
| 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย                                 | 2        |
| 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ                         | 2        |
| <b>2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b>               | <b>4</b> |
| 2.1 สภาวะความสบายของมนุษย์                            | 4        |
| 2.2 สภาวะความสบายเชิงอุณหภูมิภาพ                      | 5        |
| 2.3 สมดุลความร้อนของร่างกายมนุษย์                     | 5        |
| 2.3.1 การแผ่รังสีความร้อน                             | 5        |
| 2.3.2 การพาความร้อน                                   | 5        |
| 2.3.3 การนำความร้อน                                   | 6        |
| 2.3.4 การระเหย  | 6        |
| 2.4 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อสภาวะความสบายเชิงอุณหภูมิภาพ | 8        |
| 2.4.1 อุณหภูมิอากาศ                                   | 8        |
| 2.4.2 อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย                       | 8        |

|   |    |
|---|----|
| 2.4.3 ความชื้นสัมพัทธ์                                  | 11 |
| 2.4.4 ความเร็วอากาศ หรือความเร็วลม                      | 11 |
| 2.4.5 อัตราการเผาผลาญพลังงานของร่างกาย                  | 11 |
| 2.4.6 ลักษณะของเสื้อผ้าที่สวมใส่                        | 12 |
| 2.5 ความรู้สึกเชิงอุณหภูมิ                              | 14 |
| 2.6 ขอบเขตสภาวะความสบาย                                 | 15 |
| 2.7 ดัชนีชี้วัดสภาวะความสบายเชิงอุณหภูมิ                | 16 |
| 2.7.1 การทำนายค่าการโหวตเฉลี่ย                          | 16 |
| 2.7.2 การทำนายเปอร์เซ็นต์ความไม่พอใจเชิงอุณหภูมิ        | 18 |
| 2.7.3 ค่าการโหวตเฉลี่ย                                  | 19 |
| 2.7.4 อุณหภูมิโอเปอร์เรทีฟ                              | 19 |
| 2.7.5 อุณหภูมิเอฟเฟกทีฟ                                 | 20 |
| 2.7.6 ค่าการโหวตความรู้สึกเชิงอุณหภูมิจากการตรวจวัดจริง | 21 |
| 2.8 การปรับตัวให้เกิดความสบาย                           | 22 |
| 2.9 สภาวะความไม่สบายเชิงอุณหภูมิ                        | 22 |
| 2.9.1 ความไม่สม่ำเสมอของอุณหภูมิบริเวณที่อยู่อาศัย      | 22 |
| 2.9.2 ปริมาณอากาศส่วนเกินหรือกระแสลมที่แรงเกินไป        | 23 |
| 2.9.3 ผลต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศในแนวตั้ง               | 24 |
| 2.9.4 อุณหภูมิที่เย็นเกินไปหรืออุ่นเกินไปของพื้น        | 25 |
| 2.9.5 เท้าเปล่า   | 26 |
| 2.9.6 สี  | 26 |
| 2.9.7 ความแออัด   | 27 |
| 2.10 ความไม่สบายเฉพาะที่                                | 27 |
| 2.11 แบบจำลองความไม่สบายเชิงอุณหภูมิเฉพาะที่            | 27 |
| 2.11.1 ความไม่สบายเฉพาะที่ทางความเย็น                   | 28 |
| 2.11.2 ความไม่สบายเฉพาะที่ทางความร้อน                   | 29 |
| 2.12 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง                            | 30 |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>3. การดำเนินงานวิจัย</b>  | <b>33</b> |
| 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย   | 33        |
| 3.2 วิธีการดำเนินการวิจัยและเก็บข้อมูล                               | 33        |
| 3.3 ลักษณะการทดสอบของกลุ่มผู้ใช้พื้นที่และสถานที่ทดสอบ               | 34        |
| 3.4 เครื่องมือวัดที่ใช้ในการเก็บข้อมูล                               | 35        |
| <br>   |           |
| <b>4. ผลการวิจัยและวิจารณ์</b>                                       | <b>38</b> |
| 4.1 ข้อมูลทั่วไปของอาคาร   | 38        |
| 4.2 ข้อมูลการสำรวจทั่วไป   | 38        |
| 4.3 ผลการวิเคราะห์ดัชนีความไม่สบายเชิงอุณหภูมิภาพ                    | 40        |
| 4.3.1 ดัชนีทางด้านเสื้อผ้าที่สวมใส่                                  | 40        |
| 4.3.2 ดัชนีทางด้านความรู้สึกไม่สบายที่อุณหภูมิอากาศ                  | 40        |
| 4.3.3 ดัชนีทางด้านความรู้สึกไม่สบายที่อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย      | 53        |
| 4.3.4 ดัชนีทางด้านความรู้สึกไม่สบายที่อุณหภูมิโอเปอร์เรทีฟ           | 65        |
| 4.4 การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของความไม่สบายเชิงอุณหภูมิภาพ       | 78        |
| 4.4.1 ข้อมูลสำหรับการสร้างต้นแบบจำลอง                                | 78        |
| 4.4.2 การพัฒนาแบบจำลอง   | 78        |
| 4.4.3 แบบจำลองความไม่สบายเชิงอุณหภูมิภาพกับอุณหภูมิอากาศ             | 82        |
| 4.4.4 แบบจำลองความไม่สบายเชิงอุณหภูมิภาพกับอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย | 90        |
| 4.5 แนวทางการปรับปรุงเพื่อทำให้เกิดสภาวะความสบายเชิงอุณหภูมิภาพ      | 94        |
| 4.5.1 แนวทางการปรับปรุงตัวแปรทางด้านอุณหภูมิอากาศ                    | 94        |
| 4.5.2 แนวทางการปรับปรุงตัวแปรทางด้านอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย        | 94        |
| 4.5.3 แนวทางการปรับปรุงตัวแปรทางด้านเสื้อผ้า                         | 95        |
| <br>   |           |
| <b>5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ</b>                                | <b>96</b> |
| 5.1 สรุปผลการวิจัย   | 96        |
| 5.1.1 ข้อมูลการสำรวจทั่วไป   | 96        |
| 5.1.2 การวิเคราะห์ดัชนีความไม่สบายเชิงอุณหภูมิภาพ                    | 96        |
| 5.1.3 การวิเคราะห์แบบจำลองความไม่สบายเชิงอุณหภูมิภาพ                 | 97        |

|   |     |
|---|-----|
| 5.1.4 แนวทางการปรับปรุงเพื่อให้ผู้ใช้อาคารเกิดสภาวะความสบายเชิงอุณหภูมิ | 99  |
| 5.2 ข้อเสนอแนะ  | 99  |
| <b>เอกสารอ้างอิง</b>  | 100 |
| <b>ภาคผนวก</b>  |     |
| ภาคผนวก ก. ค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้า                            | 103 |
| ภาคผนวก ข. แบบสอบถามความสบายเชิงอุณหภูมิ                                | 106 |
| ภาคผนวก ค. ข้อมูลการสำรวจความรู้สึกเชิงอุณหภูมิ                         | 110 |
| ภาคผนวก ง. การคำนวณ   | 129 |
| ภาคผนวก จ. แบบจำลองความไม่สบายเชิงอุณหภูมิ                              | 135 |
| <b>ประวัติผู้ทำวิจัย</b>  | 141 |

## รายการตาราง

| ตาราง |   | หน้า |
|-------|---|------|
| 2.1   | ความเร็วลมที่มีผลต่อความรู้สึกการรับรู้ในขอบเขตสภาวะสบาย  | 12   |
| 2.2   | อัตราการเผาผลาญพลังงานของกิจกรรมต่างๆ   | 12   |
| 2.3   | ค่า clo Value ของเครื่องแต่งกายแบบต่างๆ   | 14   |
| 2.4   | ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน<br>และการแผ่รังสีความร้อนในอิริยาบถการนั่งและการยืน  | 20   |
| 2.5   | ค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีพื้นผิวที่ไม่สมมาตร   | 23   |
| 2.6   | ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิในแนวแกนตั้ง ทั้ง 3 กรณี   | 25   |
| 2.7   | ช่วงของอุณหภูมิพื้นที่จะทำให้เกิดความสบายในกรณีต่างๆ  | 26   |
| 4.1   | ข้อมูลสภาวะแวดล้อมที่ได้ทำการศึกษา  | 39   |
| 4.2   | อุณหภูมิต่ำสุดและสูงสุดในช่วงเวลากลางวันและกลางคืน บริเวณชั้น 4<br>ของอาคารผู้โดยสาร (จุดศูนย์กลางของอาคารเทียบเครื่องบิน<br>ทั้งฝั่งตะวันออกและตะวันตก) ที่ได้จากการตรวจวัดและการคำนวณ | 39   |
| 4.3   | ข้อมูลทางด้านบุคคลที่ได้ทำการศึกษา  | 39   |
| 4.4   | ข้อมูลด้านบุคคลของกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ   | 40   |
| 4.5   | ผลการโหวตความรู้สึกสบายเชิงคุณภาพจากการตรวจวัดจริงของกลุ่มตัวอย่าง<br>ที่มีการใส่เสื้อผ้าที่มีค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าอยู่ระหว่าง 0.40 - 0.69 clo                              | 42   |
| 4.6   | ค่าการทำนายการโหวตเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างที่มีการใส่เสื้อผ้าที่มี<br>ค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าอยู่ระหว่าง 0.40 - 0.69 clo  | 44   |
| 4.7   | ผลการโหวตความรู้สึกสบายเชิงคุณภาพจากการตรวจวัดจริงของกลุ่มตัวอย่าง<br>ที่มีการใส่เสื้อผ้าที่มีค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าอยู่ระหว่าง 0.70 - 0.99 clo                              | 46   |
| 4.8   | ค่าการทำนายการโหวตเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างที่มีการใส่เสื้อผ้าที่มี<br>ค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าอยู่ระหว่าง 0.70 - 0.99 clo  | 48   |
| 4.9   | ผลการโหวตความรู้สึกสบายเชิงคุณภาพจากการตรวจวัดจริงของกลุ่มตัวอย่าง<br>ที่มีการใส่เสื้อผ้าที่มีค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าอยู่ระหว่าง 1.00 - 1.45 clo                              | 50   |
| 4.10  | ค่าการทำนายการโหวตเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างที่มีการใส่เสื้อผ้าที่มี<br>ค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าอยู่ระหว่าง 1.00 - 1.99 clo  | 52   |



|      |  |     |
|------|--|-----|
| 4.26 | ค่าสัมประสิทธิ์ $C_0$ และ $C_1$ ที่ได้จากแบบจำลองความไม่สบายทั้งทางด้านเย็นและทางด้านร้อนของอุณหภูมิอากาศ  | 89  |
| 4.27 | อุณหภูมิที่ทำให้กลุ่มตัวอย่างเกิดความรู้สึกสบายมากที่สุด และอุณหภูมิอ้างอิงที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองความไม่สบายเชิงอุณหภูมิ   | 90  |
| 4.28 | ค่าสัมประสิทธิ์ $C_0$ และ $C_1$ ที่ได้จากแบบจำลองความไม่สบายทั้งทางด้านเย็นและทางด้านร้อนของอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย  | 93  |
| 4.29 | เปรียบเทียบค่าของอุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยระหว่าง ASV กับ PMV ที่ทำให้กลุ่มตัวอย่างรู้สึกไม่สบายทั้งทางด้านเย็นและทางด้านร้อน  | 93  |
| 5.1  | ร้อยละของกลุ่มตัวอย่างที่เกิดความรู้สึกสบายในช่วงของอุณหภูมิต่างๆ จากค่าความรู้สึกสบายเชิงอุณหภูมิจากการตรวจวัดจริงและค่าการทำนายการโหวตเฉลี่ย   | 97  |
| 5.2  | ช่วงของอุณหภูมิที่ทำให้กลุ่มตัวอย่างเกิดความรู้สึกสบายมากที่สุด จากการตรวจวัดจริงและค่าการทำนายการโหวตเฉลี่ย   | 97  |
| 5.3  | ค่าของอุณหภูมิต่างๆ ที่ทำให้กลุ่มตัวอย่างที่เกิดความไม่สบายเชิงอุณหภูมิทั้งทางด้านเย็นและด้านร้อน และค่าอุณหภูมิอ้างอิงที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลอง จากค่าความรู้สึกสบายเชิงอุณหภูมิจากการตรวจวัดจริงและค่าการทำนายการโหวตเฉลี่ย | 98  |
| 5.4  | ร้อยละของกลุ่มตัวอย่างที่เกิดความไม่สบายเชิงอุณหภูมิทั้งทางด้านเย็นและด้านร้อนของอุณหภูมิต่างๆ จากค่าความรู้สึกสบายเชิงอุณหภูมิจากการตรวจวัดจริงและค่าการทำนายการโหวตเฉลี่ย  | 98  |
| ก.1  | ค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้า  | 101 |
| ก.2  | ค่าความต้านทานความร้อนของกางเกงและกระโปรง  | 101 |
| ก.3  | ค่าความต้านทานความร้อนของชุดชั้นในและรองเท้า   | 102 |
| ค.1  | ข้อมูลการสำรวจความรู้สึกเชิงอุณหภูมิ   | 111 |

## รายการรูปประกอบ

| รูป   | หน้า |
|---|------|
| 2.1 การแผ่รังสีของทุกพื้นผิวที่กระทำกับร่างกาย  | 9    |
| 2.2 การแผ่รังสีโดยพื้นผิว $A_w$ กระทำโดยตรงกับพื้นผิว $A_b$   | 9    |
| 2.3 การแต่งกายในรูปแบบต่างๆ   | 13   |
| 2.4 ความรู้สึกเชิงอุณหภูมิที่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิผิวหนังเฉลี่ย   | 15   |
| 2.5 พัฒนาการในการกำหนดขอบเขตสภาวะสบายของ ASHRAE   | 16   |
| 2.6 มาตรฐานของ ASHRAE, Fanger และ Bedford   | 16   |
| 2.7 ดัชนีทำนายเปอร์เซ็นต์ความรู้สึกไม่สบายทางอุณหภูมิ   | 19   |
| 2.8 แผนภูมิแสดงสเกลของอุณหภูมิเอฟเฟกทีฟ   | 21   |
| 2.9 ระดับความรู้สึกเชิงอุณหภูมิจากการตรวจวัดจริงของ ASHRAE  | 21   |
| 2.10 เปอร์เซ็นต์ของคนที่ไม่พอใจเมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมที่ไม่สมดุล  | 23   |
| 2.11 ความเร็วลมเฉลี่ยที่ขึ้นกับอุณหภูมิของอากาศ   | 24   |
| 2.12 เปอร์เซ็นต์ของคนที่ไม่พึงพอใจต่อความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างศีรษะและเท้า  | 25   |
| 2.13 เปอร์เซ็นต์ของคนที่ไม่พึงพอใจซึ่งเกิดจากอุณหภูมิพื้น   | 26   |
| 2.14 จุดต่างๆบนร่างกายที่มีอุณหภูมิผิวต่างกัน   | 27   |
| 2.15 เปอร์เซ็นต์ความไม่สบายเฉพาะพื้นที่ที่เย็น  | 28   |
| 2.16 เปอร์เซ็นต์ความไม่สบายเฉพาะพื้นที่ที่ร้อน  | 29   |
| 3.1 เครื่องวัดอุณหภูมิ WBGT 8778 Heat stress  | 35   |
| 3.2 เครื่องวัดความเร็วลมและอุณหภูมิ Testo 425   | 35   |
| 3.3 Hot Wire Probe  | 36   |
| 3.4 Radio Probes  | 36   |
| 3.5 เครื่องวัดอุณหภูมิแบบใช้แสงอินฟราเรด UT301A   | 37   |
| 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศกับความรู้สึกเชิงอุณหภูมิจากการตรวจวัดจริง<br>ของกรณีค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าอยู่ระหว่าง 0.40 - 0.69 clo | 41   |
| 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศกับค่าการทำนายการไหลเวียนเฉลี่ย<br>ของกรณีค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าอยู่ระหว่าง 0.40 - 0.69 clo            | 43   |
| 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศกับความรู้สึกเชิงอุณหภูมิจากการตรวจวัดจริง<br>ของกรณีค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าอยู่ระหว่าง 0.70 - 0.99 clo | 45   |





- จ.3 แบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความไม่สบายทางด้านอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย  
วิเคราะห์จาก ASV กรณีค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าอยู่ระหว่าง 1.00 - 1.45 clo 138
- จ.4 แบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความไม่สบายทางด้านอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย  
วิเคราะห์จาก PMV กรณีค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าอยู่ระหว่าง 1.00 - 1.45 clo 139

## รายการสัญลักษณ์

|           |  |
|-----------|--|
| $A_b$     | แต่ละส่วนของร่างกาย  |
| $A_{Du}$  | พื้นที่ผิวต่อร่างกายเปลือย ( $m^2$ )                                 |
| AC        | การปรับตัวให้เกิดความสบาย  |
| AMV       | ค่าการ โหวตเฉลี่ย  |
| ASV       | ค่าการ โหวตความรู้สึกเชิงคุณภาพจากการตรวจวัดจริง                     |
| C         | การสูญเสียความร้อนโดยการพา ( $W/m^2$ )                               |
| $C_{res}$ | การสูญเสียความร้อนโดยการพาจากการหายใจ ( $W/m^2$ )                    |
| clo       | ลักษณะเสื้อผ้าที่สวมใส่  |
| DR        | ปริมาณอากาศส่วนเกิน  |
| $dA_b$    | พื้นที่ผิวที่ถูกฉายลงมา  |
| $E_{res}$ | การสูญเสียความร้อนโดยการระเหยจากการหายใจ ( $W/m^2$ )                 |
| $E_{sk}$  | การสูญเสียความร้อนโดยการระเหยจากทางผิวหนัง ( $W/m^2$ )               |
| ET        | อุณหภูมิประสงค์  |
| $F_p$     | สัดส่วนของพื้นที่ที่ถูกฉายลงมาและพื้นที่ผิวจริง                      |
| $f_{cl}$  | อัตราส่วนของพื้นที่ผิวของคนที่สวมเสื้อผ้าและคนที่ไม่สวมเสื้อผ้า (ND) |
| H         | ความร้อนภายในร่างกาย ( $W/m^2$ )                                     |
| h         | ความสูงของคน (m)   |
| $h_c$     | สัมประสิทธิ์การพาความร้อน ( $W/m^2.K$ )                              |
| $h_r$     | สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน ( $W/m^2.K$ )                        |
| $I_{cl}$  | ค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้า (clo)                              |
| K         | การสูญเสียความร้อนโดยการนำ ( $W/m^2$ )                               |
| LCD       | ความไม่สบายเฉพาะพื้นที่ที่เย็น                                       |
| LWD       | ความไม่สบายเฉพาะพื้นที่ที่ร้อน                                       |
| M         | อัตราการเผาผลาญพลังงานของร่างกาย ( $W/m^2$ )                         |
| m         | น้ำหนักของคน (kg)  |
| $P_a$     | ความดันไอน้ำในอากาศ (Pa)   |
| PMV       | การทำนายค่าการ โหวตความสบายเชิงคุณภาพเฉลี่ย                          |
| PPD       | การทำนายร้อยละของความไม่พอใจเชิงคุณภาพ (%)                           |
| R         | การสูญเสียความร้อนโดยการแผ่รังสี ( $W/m^2$ )                         |

|                 |   |
|-----------------|---|
| RH              | ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ (%)  |
| S               | ความร้อนที่เก็บรักษาในร่างกาย ( $W/m^2$ )                             |
| T               | อุณหภูมิแวดล้อมที่ความชื้นสัมพัทธ์ 50 %                               |
| $T_a, t_a$      | อุณหภูมิอากาศ ( $^{\circ}C$ )   |
| TS              | ความรู้สึกเชิงอุณหภูมิ  |
| Tu              | ความปั่นป่วนที่รุนแรงของพื้นที่ (%)                                   |
| $t_{cl}$        | อุณหภูมิผิวเสื้อผ้า ( $^{\circ}C$ )                                   |
| $t_{mrt}$       | อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย ( $^{\circ}C$ )                             |
| $t_n$           | อุณหภูมิพื้นผิว ( $^{\circ}C$ ) ของพื้นผิว n ( $n = 1, 2, \dots, N$ ) |
| $T_{op}$        | อุณหภูมิโอเพอร์เรทีฟ  |
| $v_a$           | ความเร็วลม (m/s)  |
| W               | ระดับการทำงาน ( $W/m^2$ )   |
| Y               | ค่าเฉลี่ยการไหลของความรู้สึกเชิงอุณหภูมิ                              |
| $\eta$          | ค่าประสิทธิภาพของกลไกภายนอก   |
| $\varphi_{p-n}$ | View Factor ระหว่างบุคคลและพื้นผิวที่ n                               |

## ประมวลคำศัพท์

|                      |   |                                   |
|----------------------|---|-----------------------------------|
| AC                   | = | Adaptive Comfort                  |
| AMV                  | = | Actual Mean Votes                 |
| °C                   | = | degree Celsius                    |
| clo                  | = | Clothing                          |
| DR                   | = | Draught                           |
| ET                   | = | Effective Temperature             |
| K                    | = | Kelvin                            |
| kg                   | = | kilogram                          |
| LCD                  | = | Local Cold Discomfort             |
| LWD                  | = | Local Warm Discomfort             |
| m                    | = | meter                             |
| m <sup>2</sup>       | = | square meter                      |
| met                  | = | Metabolic Rate                    |
| m/s                  | = | meter per second                  |
| Pa                   | = | Atmospheric Pressure              |
| PPD                  | = | Predicted Percentage Dissatisfied |
| PMV                  | = | Predicted Mean Vote               |
| TS                   | = | Thermal Sensation                 |
| t <sub>mrt</sub>     | = | Mean Radiant Temperature          |
| W/m <sup>2</sup>     | = | Watt per square meter             |
| W/m <sup>2</sup> .°C | = | Watt per square meter Centigrade  |

# บทที่ 1 บทนำ

## 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ปัจจุบันแนวโน้มในการใช้พลังงานมีเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากกิจกรรมหลายๆ อย่างในปัจจุบันจำเป็นต้องใช้พลังงานเข้ามาขับเคลื่อนเพื่อให้กิจกรรมนั้นสามารถดำเนินงานต่อไปได้ ไม่ว่าจะใช้ในภาคครัวเรือน ภาคเอกชน ภาคการคมนาคม หรือแม้กระทั่งภาคการเกษตรก็ตาม ดังนั้นการใช้พลังงานเพิ่มมากขึ้นจึงเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้โลกประสบปัญหาภาวะโลกร้อน (Global Warming) ที่เกิดจากสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลงไป โดยทั่วไปแล้วความรู้สึกสบายของมนุษย์จะเกิดจากตัวแปรหลายๆ ตัว ที่มีความสัมพันธ์กันทั้งตัวแปรทางด้านสภาพแวดล้อม ที่มีอุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉื่อย ความชื้นสัมพัทธ์อากาศ ความเร็วอากาศ รวมทั้งตัวแปรทางด้านบุคคล ได้แก่ อัตราการเผาผลาญพลังงาน และลักษณะของเสื้อผ้าที่สวมใส่ ซึ่งตัวแปรต่างๆ เหล่านี้ไม่มีเกณฑ์กำหนดที่ตายตัวจึงทำให้ค่าต่างๆ ของตัวแปรปรับเปลี่ยนได้ตลอดเวลา ดังนั้นความสบายจึงเกิดจากสภาวะอากาศที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้มนุษย์เกิดความรู้สึกสบาย โดยเรียกสภาวะนี้ว่า “ความสบายเชิงอุณหภาพ” (Thermal Comfort) สำหรับการปรับระบบปรับอากาศเป็นอีกหนึ่งวิธีที่ช่วยแก้ปัญหาเรื่องความไม่สบายเชิงอุณหภาพ (Thermal Discomfort) ในอาคารหรือที่พักอาศัยได้ แต่ระบบปรับอากาศก็ใช้พลังงานไฟฟ้าค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดในอาคาร ดังนั้นเพื่อประหยัดพลังงานไฟฟ้าจึงมีการรณรงค์ให้ทำการปรับตั้งอุณหภูมิตั้งที่ 25 °C หรืออีกทางหนึ่งเลือกใช้เครื่องปรับอากาศแบบประหยัดไฟเบอร์ 5 เป็นต้น ถ้าสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าส่วนนี้ไปได้ จะทำให้การใช้พลังงานภายในอาคารลดลงไปด้วย [1 - 2]

การศึกษาในครั้งนี้ได้ทำการศึกษาที่อาคารผู้โดยสารสนามบินแห่งหนึ่งมีการเปิดให้บริการตลอด 24 ชั่วโมง จึงมีจำนวนผู้ใช้บริการเป็นจำนวนมาก ซึ่งอาคารแห่งนี้มีโครงสร้างอาคารส่วนใหญ่เป็นกระจกทั้งผนังด้านข้างและหลังคา ทำให้แสงแดดสามารถทะลุผ่านกระจกเข้ามาในตัวอาคารได้ ดังนั้นบางพื้นที่จึงได้รับแสงจากดวงอาทิตย์ตลอดทั้งวัน ทำให้ในช่วงเวลากลางวันบางพื้นที่มีอุณหภูมิสูงกว่าพื้นที่บริเวณอื่นเมื่อเทียบกันทั้งอาคาร แต่ในทางกลับกันช่วงเวลากลางคืนอาคารไม่รับอิทธิพลจากแสงอาทิตย์จึงทำให้บางพื้นที่มีอุณหภูมิต่ำจนเกินไป ทำให้ผู้ใช้พื้นที่เกิดความรู้สึกไม่สบาย ดังนั้นควรปรับอุณหภูมิให้เหมาะสมกับผู้ใช้บริการในพื้นที่ อีกทั้งยังเป็นการประหยัดพลังงานอีกทางหนึ่งด้วย

สำหรับงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาตัวแปรที่ส่งผลให้เกิดความไม่สบายเชิงอุณหภูมิของผู้โดยสารในอาคารสนามบิน โดยทำการศึกษาค่าตัวแปรที่มีผลต่อความสบายเชิงอุณหภูมิ ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ส่วนด้วยกัน โดยส่วนที่หนึ่งทำการศึกษาค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าการโหวตความรู้สึกเชิงอุณหภูมิ (ASV) จากการตรวจวัดจริงและการทำนายค่าการโหวตเฉลี่ย (PMV) กับตัวแปรที่ทำให้เกิดความไม่สบายเชิงอุณหภูมิต่อสภาวะแวดล้อมในของอาคาร และส่วนที่สองพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของความไม่สบายเชิงอุณหภูมิจากกลุ่มตัวอย่าง รวมทั้งเสนอแนวทางในการปรับเปลี่ยนให้เกิดความสบายเชิงอุณหภูมิ หรือใช้เป็นกรณีศึกษาตัวอย่างให้กับผู้ที่มีความสนใจในเรื่อง ความไม่สบายเชิงอุณหภูมิ ต่อไปได้

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาค่าตัวแปรที่ส่งผลให้เกิดสภาวะความไม่สบายเชิงอุณหภูมิของผู้โดยสารในอาคารสนามบิน
2. เพื่อศึกษาและกำหนดแนวทางที่เหมาะสมในการปรับปรุงสภาวะแวดล้อม เพื่อให้เกิดความสบายเชิงอุณหภูมิ

## 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

ทำการศึกษาและสำรวจความรู้สึกเชิงอุณหภูมิภายในอาคารผู้โดยสารในอาคารสนามบิน จากกลุ่มตัวอย่างที่เป็นผู้ใช้พื้นที่และเจ้าหน้าที่ โดยทำการเก็บข้อมูลช่วงเดือนตุลาคม 2554 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ 2555 ในช่วงเวลากลางวันและกลางคืน ซึ่งทำการศึกษาระดับจุดศูนย์กลางชั้น 4 ของอาคารเทียบเครื่องบินฝั่งตะวันออกและตะวันตก เพื่อทำการวิเคราะห์และพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เรื่องความไม่สบายเชิงอุณหภูมิ สำหรับเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างคือ แบบสอบถามแสดงความคิดเห็น

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถอธิบายถึงปัจจัยของตัวแปรที่ส่งผลต่อความไม่สบายเชิงอุณหภูมิ เพื่อหาแนวทางในการปรับปรุงหรือปรับเปลี่ยนสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมสำหรับผู้โดยสารในอาคารสนามบิน
2. แบบจำลองที่พัฒนามานี้สามารถนำไปใช้ในการประเมินเปอร์เซ็นต์ความไม่สบายเชิงอุณหภูมิของบุคคลในสภาวะต่างๆ เมื่อทราบค่าอุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย ซึ่งเป็นประโยชน์

ในการออกแบบระบบปรับอากาศและเป็นแนวทางการใช้ปรับตั้งอุณหภูมิในพื้นที่ให้เหมาะสมต่อการ  
ใช้งาน

## บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

มนุษย์เรามีความพยายามสร้างสภาวะแวดล้อมรอบตัวให้เกิดความสภาวะความสบายเชิงอุณหภูมิมากที่สุด เพราะว่าสภาวะความสบายส่งผลต่อการดำเนินชีวิตประจำวัน ไม่ว่าจะเป็นการสร้างอาคาร บ้านเรือน การทำงาน หรือแม้กระทั่งการวิธีการที่จะใช้สร้างที่พักอาศัยตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ดังนั้น นักวิชาการและนักวิทยาศาสตร์หลายๆ คน จึงนำสภาวะความสบายมาศึกษาและทำการวิจัยอยู่เสมอ เพื่อหาตัวแปรที่สามารถสร้างสภาวะความสบายเชิงอุณหภูมิในสิ่งแวดล้อมที่อาศัยอยู่ สำหรับการออกแบบอาคารบ้านเรือนเนื่องจากมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการทำงานและการพักผ่อนของมนุษย์ แต่จะรู้ได้อย่างไรว่าเป็นสภาวะความสบายเชิงอุณหภูมิที่แท้จริง ความสบายเชิงอุณหภูมิจาก ISO 7730, ASHRAE Standard 55: 2004 [3 - 5] มีคำจำกัดความว่า “สภาวะความพึงพอใจต่อสภาวะแวดล้อมที่เป็นอยู่” การอ้างอิง “จิตใจ” เป็นการย้ำว่าความน่าสบายเป็นปรากฏการณ์ทางจิตวิทยาซึ่งคนส่วนใหญ่เห็นด้วยกับคำจำกัดความนี้ แต่เช่นเดียวกันคำจำกัดความนี้ก็ไม่ใช่เรื่องที่ทำได้ง่ายเพราะมีการเปลี่ยนแปลงจากตัวแปรอื่นๆ อีก

### 2.1 สภาวะความสบายของมนุษย์ (Human Comfort)

เนื่องจาก “ความรู้สึกสบายหรือไม่สบายของมนุษย์นั้นขึ้นอยู่กับการทำงานร่วมกันของอวัยวะที่รับความรู้สึกไม่ว่าจะเป็น ตา หู จมูก สมองและการสัมผัส” ดังนั้นความสบายของมนุษย์จึงตั้งอยู่บนพื้นฐานของความสบายด้านการมองเห็น การได้ยิน การได้สัมผัส และความสบายด้านอุณหภูมิหรือแม้แต่ว่าระดับคุณภาพของอากาศเองก็ตาม ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ส่งผลให้นักวิจัยหลายท่านได้พยายามค้นหามาตรฐานต่างๆ เพื่อวัดระดับความสบายโดยทดลองวัดความรู้สึกของมนุษย์ และทำการประเมินค่าออกมาโดยวิธีทางสถิติ โดยปกติมนุษย์จะอยู่ในห้องที่มีอากาศไหลเวียนได้ดี แต่ถ้าจำเป็นต้องไปอยู่ในห้องที่ถูกปิดมิดชิดเป็นระยะเวลาหนึ่ง จะทำให้มนุษย์เกิดความรู้สึกอึดอัดและไม่สบาย เนื่องจากการเพิ่มความหนาแน่นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งข้อสังเกตนี้ Lavoisier นักเคมี ได้อธิบายไว้ในปี ค.ศ. 1777 และในปี ค.ศ. 1905 Frugge นักสุขศาสตร์ [6] ได้เสนอทฤษฎีที่ใช้กันจนถึงปัจจุบันว่า “ร่างกายของมนุษย์ต้องการการถ่ายเทความร้อนที่เกิดจากการประกอบกิจกรรม หากความร้อนนั้นไม่สามารถระบายออกไปจากร่างกายได้ เนื่องจากอุณหภูมิภายนอกสูงกว่าจะมีผลให้รู้สึกอึดอัดและรู้สึกไม่สบาย”

## 2.2 สภาวะความสบายเชิงอุณหภูมิ (Thermal Comfort)

สภาวะความสบายเชิงอุณหภูมิเป็นสภาวะที่มีอุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วลมที่เหมาะสมแก่ร่างกายของมนุษย์ โดยปกติร่างกายมนุษย์จะมีอุณหภูมิภายในร่างกายที่  $37^{\circ}\text{C}$  และมีอุณหภูมิที่ผิวหนังเฉลี่ยประมาณ  $34^{\circ}\text{C}$  เนื่องจากร่างกายของมนุษย์ต้องรักษาสมดุลของอุณหภูมิภายในร่างกายให้อยู่ในสภาวะปกติ [7] ซึ่ง ASHREA ได้นิยามความสบายเชิงอุณหภูมิ (Thermal Comfort) ไว้ว่า “That condition of mind which expresses satisfaction with the thermal environment and is assessed by subjective evaluation” [3] คือ สภาพของจิตใจที่มีความพึงพอใจในอุณหภูมิแวดล้อม ดังนั้นมนุษย์จึงหาวิธีสร้างสภาวะแวดล้อมให้ตนเองรู้สึกสบาย เช่น การเลือกที่จะนั่งในร่มหรือใต้ต้นไม้ เพื่อหลบความร้อนจากแสงอาทิตย์ การโบกพัดเพื่อคลายความร้อนจากอุณหภูมिरอบข้าง หรือการเลือกทำกิจกรรมต่างๆ ที่ผ่อนคลายความร้อนในร่างกาย ฯลฯ

## 2.3 สมดุลความร้อนของร่างกายมนุษย์ (Body Heat Balance)

โดยปกติร่างกายของมนุษย์จะมีการถ่ายเทความร้อนกับสิ่งแวดล้อมอยู่ตลอดเวลา เพื่อรักษาอุณหภูมิภายในร่างกายให้อยู่ที่  $37^{\circ}\text{C}$  เสมอ ดังนั้นการผลิตพลังงานของร่างกายมนุษย์จึงได้มาจากขบวนการเผาผลาญอาหาร (Metabolism) โดยตรง พลังงานจะถูกนำมาใช้แค่ 20 % เท่านั้น ส่วนที่เหลืออีก 80 % นั้น จะถูกถ่ายเทให้กับสภาพแวดล้อมรอบๆ ลักษณะของการถ่ายเทความร้อนระหว่างมนุษย์กับสิ่งแวดล้อม [7, 9 - 10] สามารถแบ่งออกเป็น 4 ประเภท ได้แก่

### 2.3.1 การแผ่รังสีความร้อน (Radiation)

การแผ่รังสีความร้อนเป็นการถ่ายเทความร้อนโดยไม่อาศัยการสัมผัสและตัวกลางแต่อาศัยการแผ่รังสีจากต้นกำเนิดความร้อน

### 2.3.2 การพาความร้อน (Convection)

การพาความร้อนเป็นการถ่ายเทความร้อนโดยอาศัยตัวกลางเป็นตัวพาความร้อนจากต้นกำเนิดความร้อน ไปยังวัตถุหรือส่วนที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า

### 2.3.3 การนำความร้อน (Conduction)

การนำความร้อนเป็นการถ่ายเทความร้อนที่วัตถุ 2 ชนิดนั้นต้องมีการสัมผัสกัน โดยความร้อนจะถูกนำจากที่ที่มีอุณหภูมิสูงกว่าไปยังที่ที่มีอุณหภูมิต่ำจนกระทั่งมีอุณหภูมิเท่ากันการนำความร้อนจึงจะสิ้นสุดลง

### 2.3.4 การระเหย (Evaporation)

การระเหยเป็นการระเหยน้ำในร่างกาย และการหายใจเข้าออก ซึ่งปกติของเหลวจะระเหยได้เมื่อมีการดึงความร้อนจากผิวบริเวณที่ของเหลวระเหย อย่างไรก็ตามความสามารถของร่างกายมนุษย์ในการปรับตัวให้เข้ากับสิ่งแวดล้อมย่อมมีข้อจำกัดอยู่บ้าง ถึงแม้ว่าร่างกายมนุษย์จะปรับตัวได้แต่มนุษย์ก็รู้สึกถึงความไม่สบายอยู่ดี ดังนั้นสมดุลความร้อนของร่างกายมนุษย์สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของสมการที่ ถูกพัฒนาโดย Fanger [7] ซึ่งสมการนี้จะแสดงให้เห็นถึงตัวแปรต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายเทความร้อนระหว่างมนุษย์กับสิ่งแวดล้อม เช่น การสูญเสียความร้อนจากการพา ระดับกิจกรรมการทำงาน และการผลิตความร้อนจากกระบวนการเผาผลาญอาหาร เป็นต้น ซึ่งแสดงไว้ในสมการที่ 2.1

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

|       |           |  |
|-------|-----------|--|
| เมื่อ | S         | คือ ความร้อนที่เก็บรักษาในร่างกาย ( $W/m^2$ )              |
|       | M         | คือ อัตราการเผาผลาญพลังงานของร่างกาย ( $W/m^2$ )           |
|       | W         | คือ ระดับการทำงาน ( $W/m^2$ )                              |
|       | 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 ( $W/m^2$ )         |

แบบจำลองแสดงถึงระบบที่ควบคุมร่างกายมนุษย์ จะประกอบด้วย ระบบความรู้สึกระงับอุณหภูมิ และระบบกล้ามเนื้อ โดยแบบจำลองนี้ถูกแบ่งออกเป็น 6 ส่วนใหญ่ๆ ได้แก่ ศีรษะที่แสดงด้วยรูปทรงวงกลม ส่วนลำตัว แขน มือ เท้า และขาทั้งสองข้างแสดงด้วยรูปทรงกระบอก [11 - 18] ตามลำดับ

รวมถึงระบบเลือดที่แยกออกมาเป็น 25 ส่วน เพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณ ค่าตัวแปรทางสมดุลความร้อน ภาพตัดขวางแสงชิ้นส่วนต่างๆ ของแกนร่างกาย ชั้นกล้ามเนื้อ และชั้นผิวหนัง ตามลำดับ

ดังนั้นร่างกายมนุษย์มีการผลิตความร้อนโดยกระบวนการออกซิเดชัน [6] ซึ่งบางครั้งเปลี่ยนแปลงตามระดับการทำงานแต่โดยส่วนใหญ่แล้วจะเปลี่ยนแปลงตามความร้อนภายในร่างกายดังสมการที่ 2.2

$$M = H + W \quad (2.2)$$

เมื่อ **M** คือ อัตราการเผาผลาญพลังงานของร่างกาย ( $W/m^2$ )  
**H** คือ ความร้อนภายในร่างกาย ( $W/m^2$ )  
**W** คือ ระดับการทำงาน ( $W/m^2$ )

สมมติ  $\eta$  คือ ค่าประสิทธิภาพของกลไกภายนอก;  $\eta = \frac{W}{M}$  สามารถเขียนใหม่ได้เป็นสมการที่ 2.3

$$H = M (1 - \eta) \quad (2.3)$$

สามารถเขียนการผลิตความร้อนภายในต่อพื้นที่ผิวร่างกายคนเฉลี่ยได้ดังสมการที่ 2.4

$$\frac{H}{A_{Du}} = \frac{M}{A_{Du}} (1 - \eta) \quad (2.4)$$

เมื่อ  $A_{Du}$  คือ พื้นที่ผิวต่อร่างกายเปลือย (DuBois Area;  $m^2$ ) ซึ่งหาค่าได้จากสมการที่ 2.5

$$A_{Du} = 0.202m^{0.425} h^{0.725} \quad (2.5)$$

เมื่อ **m** คือ น้ำหนักของคน (kg)  
**h** คือ ความสูงของคน (m)

นอกจากนี้ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทออกมายังขึ้นอยู่กับกิจกรรมของแต่ละบุคคล เสื้อผ้าที่สวมใส่ และสภาพอากาศโดยรอบ หรือแม้กระทั่งเพศ อายุ วัฒนธรรม และความสมบูรณ์ของร่างกาย เป็นต้น

## 2.4 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อสภาวะความสบายเชิงอุณหภูมิ (Thermal Comfort Factor)

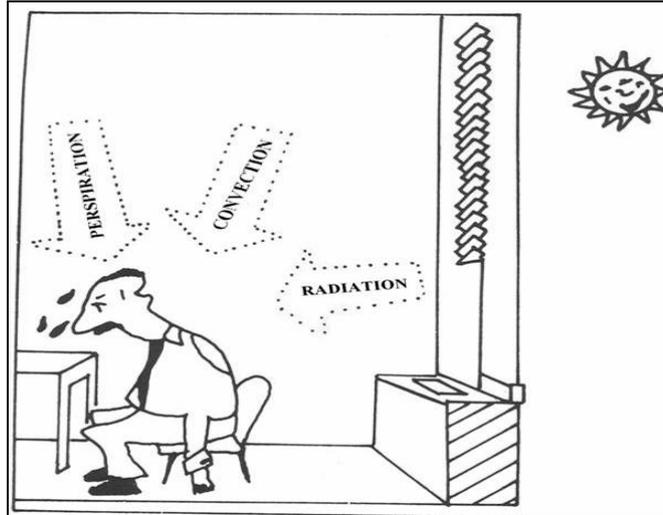
จากการศึกษาของ Fanger [7] พบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อสภาวะความสบายเชิงอุณหภูมิของมนุษย์มีอยู่ด้วยกัน 6 ปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ (Ambient Air Temperature) อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย (Mean Radiant Temperature) ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity) ความเร็วอากาศ หรือความเร็วลม (Air Velocity or Wind Speed) อัตราการเผาผลาญพลังงาน (Metabolic Rate) และลักษณะของเสื้อผ้าที่สวมใส่ (Clothing)

### 2.4.1 อุณหภูมิอากาศ (Ambient Air Temperature: $t_a$ )

อุณหภูมิอากาศ เป็นตัวแปรหนึ่งที่ใช้กันแพร่หลายในการกำหนดสภาวะทางสิ่งแวดล้อม รวมถึงการบ่งบอกถึงสภาวะความสบายเชิงอุณหภูมิ เช่น ASHRAE กำหนดช่วงอุณหภูมิไว้ที่ 22.0 - 26.6 °C (72 - 79 °F) ซึ่งเป็นช่วงสภาวะความสบาย แต่ถ้าอุณหภูมิสูงหรือต่ำมากกว่านี้ต้องมีการปรับปรุงสภาพแวดล้อมตรงบริเวณนั้น เนื่องจากอุณหภูมิอากาศสูงขึ้นทำให้การนำและการพาความร้อนออกจากร่างกายจะมีประสิทธิภาพต่ำ ในทางกลับกัน ถ้าอุณหภูมิต่ำเกินไปการนำและการพาความร้อนออกจากร่างกายก็จะมีประสิทธิภาพมากขึ้น [3, 5]

### 2.4.2 อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย (Mean Radiant Temperature: $t_{mrt}$ )

อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย ซึ่งถูกนิยามว่า “อุณหภูมิเทียบเท่าของสิ่งแวดล้อมสีดำ (Black Enclosure) ที่มีการแลกเปลี่ยนความร้อนโดยการแผ่รังสี ในอัตราเท่ากับร่างกายมนุษย์ที่สูญเสียความร้อนโดยการแผ่รังสีนั้นในสภาพแวดล้อมจริง” หรืออีกแง่หนึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิผนัง เพดาน และพื้นห้อง ซึ่งมีผลต่อการแผ่รังสีความร้อนโดยการแผ่รังสีของทุกพื้นผิวที่กระทำกับร่างกาย และตำแหน่งของส่วนที่เปิดเผยของร่างกายเป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงอย่างมากเพราะอาจทำให้รู้สึกร้อนหรือไม่สบาย แม้ว่าอุณหภูมิของอากาศภายในอาคารจะอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมก็ตาม อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยนั้นได้จากค่าถ่วงเฉลี่ยของอุณหภูมิผิวของผนังแวดล้อมนั้นๆ หรืออาจกล่าวได้ว่าเป็นการคำนวณจากอุณหภูมิพื้นผิวของด้านต่างๆ ของห้อง ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.1 และค่าปัจจัยการมองเห็น (View Factor) ระหว่างตัวบุคคลกับผนังในด้านต่างๆ ของห้อง ซึ่งสามารถแสดงการคำนวณได้ดังสมการที่ 2.6



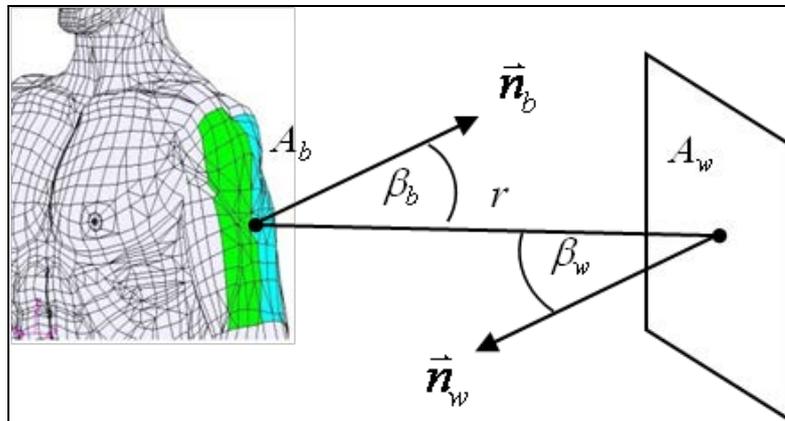
รูปที่ 2.1 การแผ่รังสีของทุกพื้นผิวที่กระทำกับร่างกาย [18]

$$t_{mrt}^4 \varphi_P = t_1^4 \varphi_{P \rightarrow 1} + t_2^4 \varphi_{P \rightarrow 2} + \dots + t_N^4 \varphi_{P \rightarrow N} \quad (2.6)$$

- เมื่อ  $t_{mrt}$  คือ อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย (K)
- $t_n$  คือ อุณหภูมิพื้นผิว (K) ของพื้นผิว  $n$  ( $n = 1, 2, \dots, N$ )
- $\varphi_{p-n}$  คือ View Factor ระหว่างบุคคลและพื้นผิว  $n$

หรือสามารถหาได้จากสมการที่ 2.7

$$t_{mrt} = \sqrt[4]{\sum_n F_{p-n} (t_n + 273)^4 - 273} \quad (2.7)$$



รูปที่ 2.2 การแผ่รังสีโดยพื้นผิว  $A_w$  กระทำโดยตรงกับพื้นผิว  $A_b$  [23]

ค่าปัจจัยการมองเห็น (View Factor:  $\Phi_{ij}$ ) คือ สัดส่วนของรังสีความร้อนที่ออกจากพื้นผิว  $i$  ซึ่งตกกระทบกับพื้นผิว  $j$  ในการหาสมการทั่วไปสำหรับ  $\Phi_{ij}$  เราสามารถพิจารณาพื้นผิว  $A_i$  และ  $A_j$  โดยพื้นผิวทั้งสองอาจหันไปในทิศทางใดๆ ก็ได้ พื้นที่  $dA_i$  และ  $dA_j$  บนพื้นผิวทั้งสองต่อกันด้วยเส้นตรงซึ่งมีความยาว  $R$  ทำมุม  $\theta_i$  และ  $\theta_j$  กับ “Surface Normal”  $n_i$  และ  $n_j$  ของพื้นผิวทั้งสอง ค่าของ  $R$ ,  $\theta_i$  และ  $\theta_j$  นั้น จะเปลี่ยนแปลงไปตามตำแหน่งของพื้นที่  $dA_i$  และ  $dA_j$  บน  $A_i$  และ  $A_j$  เช่น View Factor ของ  $\Phi_{12}$  เป็นสัดส่วนในการแผ่รังสีโดยพื้นผิว  $A_w$  กระทำโดยตรงกับพื้นผิว  $A_b$  ดังแสดงในรูปที่ 2.2

ซึ่งการคำนวณ View Factor นั้นจะอยู่ระหว่างส่วนของร่างกาย และพื้นผิวสิ่งแวดล้อมด้านนั้นๆ ดังแสดงในสมการที่ 2.8

$$\Phi_{b,w} = \frac{1}{\pi A_b} \int_{A_b} \int_{A_w} \frac{\cos \beta_b \cos \beta_w}{r^2} dA_b dA_w \quad (2.8)$$

หรือสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.9

$$\Phi_{b,w} = \frac{1}{\pi A_b} \int_{A_b} \int_{A_w} \frac{1}{r^2} f_p dA_b \cos \beta_w dA_w \quad (2.9)$$

เมื่อ  $dA_b$  คือ พื้นที่ผิวที่ถูกฉายลงมา  
 $A_b$  คือ แต่ละส่วนของร่างกาย  
 $f_p$  คือ สัดส่วนของพื้นที่ที่ถูกฉายแสงต่อพื้นที่ผิวจริง

แต่ถ้าในกรณีการหาอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยพื้นที่ภายนอกอาคารหรือพื้นที่ภายในอาคารที่มีขนาดใหญ่ โดยใช้ข้อมูลจากอุปกรณ์ globe temperature ( $t_g$ ) ซึ่งเป็นอุณหภูมิสมมติที่มีผลลัพท์จากสมดุลระหว่างการได้รับความร้อนและสูญเสียความร้อนจากการแผ่รังสีและการพาความร้อน ผลที่ได้จากค่า  $t_g$  หมายถึง ค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักของการแผ่รังสี และอุณหภูมิห้อง [3 – 5, 7] ดังนั้นสามารถแบ่งเป็น 2 กรณี ได้ดังสมการที่ 2.10 และ 2.11

#### 2.4.2.1 กรณีการพาความร้อนแบบธรรมชาติ ( $V < 0.15$ m/s)

$$t_{mrt} = \left[ (t_g + 273)^4 + \left( \frac{0.25 \times 10^8}{\epsilon_g} \right) \times \left| \left( \frac{t_a - t_g}{d} \right)^{0.25} \right| \times (t_a - t_g) \right]^{0.25} - 273 \quad (2.10)$$

#### 2.4.2.2 กรณีการพาความร้อนแบบบังคับ ( $v > 0.15 \text{ m/s}$ )

$$t_{mri} = \left[ (24.6 + 273)^4 + \left( \frac{0.25 \times 10^8}{0.95} \right) \times \left( \frac{22.9 - 24.6}{0.15} \right)^{0.25} \times (22.9 - 24.6) \right]^{0.25} - 273 \quad (2.11)$$

- เมื่อ  $t_g$  = อุณหภูมิโกรบ ( $^{\circ}\text{C}$ )  
 $\epsilon_g$  = ค่าการแผ่รังสีของโกรบ (0.95)  
 $d$  = เส้นผ่านศูนย์กลางของโกรบ (0.15 m)

#### 2.4.3 ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity: %RH)

ความชื้นสัมพัทธ์ หมายถึง สัดส่วนของความชื้นในอากาศเมื่อเทียบกับปริมาณความชื้นสูงสุดที่อากาศสามารถมีความชื้นได้ [3 - 4] โดยปราศจากการกลั่นตัวเองเป็นหยดน้ำ (Condensation) ซึ่งค่าความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศจะแสดงในรูปของร้อยละ (%) ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศจะเป็นตัวแปรที่มีความสำคัญมากในการบ่งบอกความสบายเชิงอุณหภูมิในสภาพอากาศที่ร้อนชื้น ช่วงของความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศในสภาวะความสบายเชิงอุณหภูมิอยู่ในช่วง 20 – 80 %

#### 2.4.4 ความเร็วอากาศ หรือความเร็วลม (Air Velocity or Wind Speed: V)

ความเร็วอากาศ หรือความเร็วลมเป็นตัวแปรที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งต่อสภาวะความสบายเชิงอุณหภูมิ เพราะลมจะพัดพาเอาความร้อน และความชื้นออกจากบริเวณผิวหนังออกไป ทำให้ร่างกายระบายความร้อนได้ดีและรู้สึกเย็นขึ้นเนื่องจากการระเหยของเหงื่อ [3, 7] อย่างไรก็ตามความเร็วลมที่เหมาะสมเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการสร้างสภาวะความสบาย หากความเร็วลมน้อยเกินไปจะทำให้รู้สึกร้อนและอึดอัด เพราะความร้อนจากร่างกายไม่สามารถระบายออกไปได้เร็วเท่าที่ควร แต่ถ้าความเร็วลมที่มากเกินไปก็จะทำให้ความรู้สึกรำคาญหรือรบกวนการทำงานและกิจกรรมต่างๆ ซึ่งจะก่อให้เกิดความไม่สบายที่ไม่พึงประสงค์จากลมพัดได้ซึ่งเรียกว่า ดราฟต์ (Draft) ดังนั้น ความเร็วลมที่มีผลต่อความรู้สึกการรับรู้ในขอบเขตสภาวะสบาย จึงสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 2.1

#### 2.4.5 อัตราการเผาผลาญพลังงานของร่างกาย (Metabolic Rate: M)

อัตราการเผาผลาญพลังงานของร่างกายมนุษย์ขึ้นอยู่กับลักษณะของกิจกรรม [7] เช่น การนั่ง การเดิน การวิ่ง การทำงาน และการออกกำลังกาย เป็นต้น ดังนั้นความร้อนที่ถูกปล่อยออกมาจะทำหน้าที่รักษาสมดุลของอุณหภูมิภายในร่างกายของมนุษย์ให้คงที่ ซึ่งความต้องการพลังงานของร่างกายมนุษย์ทั้งหมดนั้นจะได้อาหารจากบริโภคน้ำและการย่อยอาหาร โดยขบวนการเปลี่ยนแปลงอาหารและเครื่องดื่มที่เรบริโภคน้ำเข้าไปจะทำการเปลี่ยนให้เป็นพลังงานสำหรับร่างกาย และเกิดการผลิตความร้อนออกมา

ตลอดเวลาอย่างต่อเนื่อง ซึ่งในกิจกรรมประจำวันของมนุษย์จะผลิตความร้อนในอัตราเล็กน้อยขณะที่นอนหลับ และเพิ่มขึ้นเมื่อทำกิจกรรมหรือทำงานหนักขึ้น ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.1 ความเร็วลมที่มีผลต่อความรู้สึกการรับรู้ในขอบเขตสภาวะสบาย [8]

| ความเร็วลม (m/s) | ความรู้สึกการรับรู้                           |
|------------------|---|
| 0.00-0.25        | จะไม่รู้สึกหรือสังเกตได้                      |
| 0.25-0.50        | รู้สึกสบาย                                    |
| 0.50-1.00        | รู้สึกสบายโดยมีการรับรู้การเคลื่อนไหวของอากาศ |
| 1.00-1.50        | รู้สึกว่าลมพัดผ่าน                            |
| มากกว่า 1.50     | รู้สึกว่าถูกรบกวน                             |

ตารางที่ 2.2 อัตราการเผาผลาญพลังงานของกิจกรรมต่างๆ [7]

| กิจกรรม                                | อัตราการเผาผลาญพลังงาน |                              | Mechanical efficiency | Relative velocity in still air (m/s) |
|--|------------------------|------------------------------|-----------------------|--------------------------------------|
|  | (met)                  | M/ADU kcal/hr m <sup>2</sup> |                       |                                      |
| นอน                                    | 0.7                    | 35                           | 0                     | 0                                    |
| เอนกาย เอกอเนก                         | 0.8                    | 40                           | 0                     | 0                                    |
| นั่งนิ่งอยู่กับที่                     | 1.0                    | 50                           | 0                     | 0                                    |
| ยืนพัก                                 | 1.2                    | 60                           | 0                     | 0                                    |
| ทำความสะอาดบ้าน                        | 2.0 - 3.4              | 100 - 170                    | 0 - 0.1               | 0.1 - 0.3                            |
| ทำอาหาร                                | 1.6 - 2.0              | 80 - 100                     | 0                     | -                                    |
| ยืนล้างจาน                             | 1.6                    | 80                           | 0                     | 0 - 0.2                              |
| ซักผ้าด้วยมือ, รีดผ้า                  | 2.0 - 3.6              | 100 - 180                    | 0 - 0.1               | 0 - 0.2                              |
| โกนหนวด, ซักผ้าด้วยเครื่อง, แต่งตัว    | 1.7                    | 85                           | 0                     | 0 - 0.2                              |
| ถือของหนัก 50 กิโลกรัม                 | 4.0                    | 200                          | 0.2                   | 0.5                                  |
| ทำงานในโรงรถ (เปลี่ยนยางใช้แม่แรงกรวด) | 2.2 - 3.0              | 110 - 150                    | 0 - 0.1               | 0.2                                  |
| ซื้อของ จับจ่ายสินค้า                  | 1.6                    | 80                           | 0                     | 0.2 - 1                              |
| ขายของร้านชำ                           | 2.0                    | 100                          | 0                     | 0.2 - 0.5                            |
| พิมพ์ดีด                               | 1.0                    | 50                           | 0.05                  | 0.05                                 |
| งานสำนักงานทั่วไป                      | 1.0 - 1.2              | 50 - 60                      | 0 - 0.1               | 0 - 0.1                              |

ตารางที่ 2.2 อัตราการเผาผลาญพลังงานของกิจกรรมต่างๆ (ต่อ) [7]

|                            |           |           |           |           |
|----------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| เดินด้วยความเร็วระดับต่างๆ |           |           |           |           |
| 3.2 กม./ชม.                | 2.0       | 100       | 0         | 0.9       |
| 4.0 กม./ชม.                | 2.4       | 120       | 0         | 1.1       |
| 4.8 กม./ชม.                | 2.6       | 130       | 0         | 1.3       |
| ขับรถยนต์                  |           |           |           |           |
| การจราจรเบาบาง             | 1.0       | 50        | 0         | 0         |
| การจราจรหนาแน่น            | 2.0       | 100       | 0         | 0         |
| มวยปล้ำ                    | 8.7       | 435       | 0.2 - 0.3 | 0.2 - 0.3 |
| เดินรำ                     | 2.4 - 4.4 | 120 - 220 | 0.2 - 2   | 0.2 - 2   |
| เล่นเทนนิส                 | 4.6       | 230       | 0.5 - 2   | 0.5 - 2   |
| เล่นบาสเกตบอล              | 7.6       | 380       | 1 - 3     | 1 - 3     |

#### 2.4.6 ลักษณะของเสื้อผ้าที่สวมใส่ (Clothing: clo)

เสื้อผ้าที่คนเราสวมใส่นั้นจะทำหน้าที่เป็นเหมือนฉนวนหรือตัวขัดขวางการสูญเสียความร้อนไปสู่สภาพแวดล้อมโดยรอบ หากมนุษย์มีการปรับเปลี่ยนการใส่เสื้อผ้าตามสภาพอากาศที่เราอาศัยอยู่ [3 - 4, 11, 17] เช่น ถ้าอุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิพื้นผิวโดยรอบสูง คนที่สวมใส่เสื้อผ้าหลายๆ ชั้นจะรู้สึกร้อน เนื่องจากการถ่ายเทความร้อนส่วนเกินออกจากร่างกายจะช้าลงและลำบากขึ้น แต่ถ้าเรารู้สึกหนาวก็เพิ่มความหนาของเสื้อผ้าที่ใส่ได้ก็จะทำให้รู้สึกสบายขึ้น ดังนั้นควรเลือกสวมใส่เสื้อผ้าให้เหมาะสมกับสภาวะอากาศภายนอกหรือตามฤดูกาล เพื่อให้ร่างกายสามารถถ่ายเทความร้อนออกจากตัวได้ดีขึ้น ซึ่งค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้า มีหน่วยวัดเป็น clo Unit โดย 1 clo จะมีค่าเท่ากับชุดชุดที่ใส่ทำงานในบริษัทหรือสำนักงานทั่วไป และค่า 0 (ศูนย์) clo จะมีค่าเท่ากับคนที่ไม่สวมเสื้อผ้า (เปลือย) ดังแสดงได้ตามรูปที่ 2.3 และตารางที่ 2.3



รูปที่ 2.3 การแต่งกายในรูปแบบต่างๆ

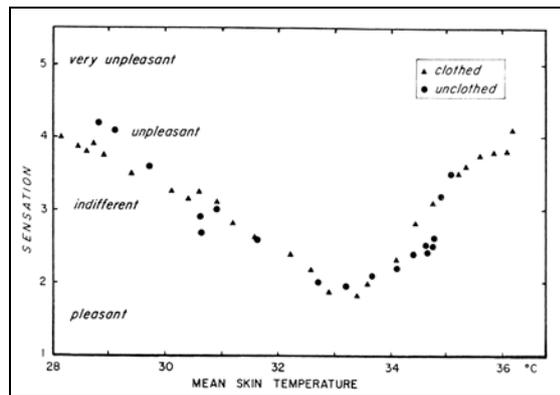
ตารางที่ 2.3 ค่า clo Value ของเครื่องแต่งกายแบบต่างๆ [7]

| เครื่องแต่งกาย   | c  (clo)  | fcl       |
|--|-----------|-----------|
| เปลือยกาย  | 0         | 1.0       |
| กางเกงขาสั้น   | 0.1       | 1.0       |
| ชุดสำหรับภูมิอากาศเขตร้อน<br>กางเกงขาสั้น, เสื้อเชิ้ตแขนสั้นคอเปิด, ถุงเท้าบาง และรองเท้าแตะ                           | 0.3 – 0.4 | 1.05      |
| ชุดหน้าร้อน<br>กางเกงยาวเนื้อเบา, เสื้อแขนสั้นคอเปิด   | 0.5       | 1.1       |
| ชุดทำงานเบาๆ<br>กางเกงกีฬาขาสั้น, ถุงเท้าขนสัตว์, เชิ้ตผ้าฝ้ายคอเปิด, กางเกงขายาว, เสื้อเชิ้ตปลอกชาย                   | 0.6       | 1.1       |
| ชุดสุทททั่วไป  | 1.0       | 1.15      |
| ชุดกีฬากลางแจ้ง<br>เสื้อเชิ้ตผ้าฝ้าย กางเกงขายาว เสื้อยืด กางเกงขาสั้น ถุงเท้า รองเท้าและเสื้อคลุมผ้าฝ้าย<br>หนึ่งชั้น | 0.9       | 1.15      |
| ชุดขนสัตว์, กำมะหยี่ขนพรมชุดสำหรับภูมิอากาศทั่วโลก   | 3 - 4     | 1.3 – 1.5 |

## 2.5 ความรู้สึกเชิงอุณหภูมิ (Thermal Sensation: TS)

ร่างกายของมนุษย์ในสภาวะปกติจะมีการปรับปรุงพลังงานทางเคมีโดยใช้อาหารและออกซิเจนเป็นพลังงานความร้อน เพื่อให้อุณหภูมิภายในร่างกายคงที่ประมาณ  $37^{\circ}\text{C}$  และอุณหภูมิผิวหนังเฉลี่ยประมาณ  $33.7 - 34.0^{\circ}\text{C}$  ซึ่งอุณหภูมิความร้อนในร่างกายจะเปลี่ยนแปลงไปตามอายุ เพศ และชนิดของการทำงาน ความรู้สึกเชิงอุณหภูมิตามธรรมชาติมาจากอุณหภูมิผิวหนังเฉลี่ย และอุณหภูมิแกน (Core Temperature) [7] ซึ่งความรู้สึกเชิงอุณหภูมิสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน คือ ศูนย์ควบคุมอุณหภูมิ (Hypothalamus) และผิวหนัง (Skin) ซึ่งการรับรู้ของศูนย์ควบคุมอุณหภูมิเป็นการรับรู้ความร้อนโดยทำการปรับให้ร่างกายเย็นลงเมื่ออุณหภูมิแกนเกินกว่า  $37^{\circ}\text{C}$  ทำให้อุณหภูมิผิวหนังเฉลี่ยสูงขึ้น เมื่อร่างกายเข้าสู่สภาวะร้อนร่างกายจะพยายามทำให้มีการระเหยน้ำออกจากร่างกายเพื่อรักษาอุณหภูมิของร่างกายให้คงที่ หรือที่เราเรียกว่า เหงื่อ นั่นเอง และในการรับรู้ของผิวหนังเป็นการรับรู้ความเย็น โดยทำการปรับให้ร่างกายป้องกันความเย็นเมื่ออุณหภูมิแกนต่ำกว่า  $34^{\circ}\text{C}$  ดังนั้นเมื่ออากาศภายนอกมีอุณหภูมิสูงกว่าระดับอุณหภูมิของปกติร่างกายก็จะทำให้ร่างกายเข้าสู่สภาวะเย็น ซึ่งร่างกายจะพยายามลดปริมาณความร้อนที่สูญเสียไปและสงวนความร้อนไว้สำหรับอวัยวะที่สำคัญๆ โดยเพิ่มความร้อน

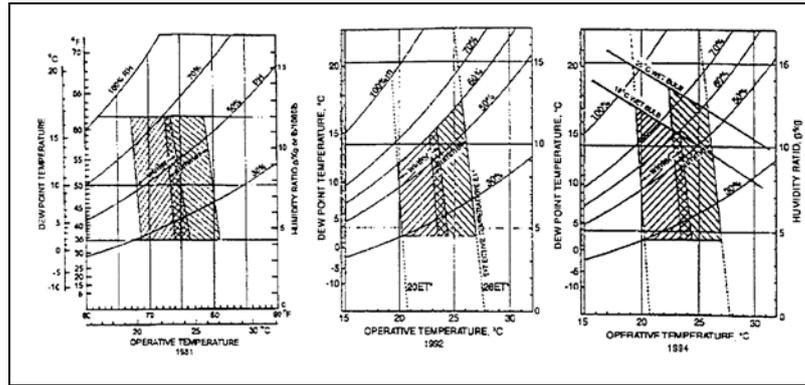
จากการทำงานของกล้ามเนื้อด้วยการสั่นของร่างกาย และการเคลื่อนไหวของอวัยวะที่บังคับด้วยจิตใจ ซึ่งระบบนี้มีประสิทธิภาพมาก และเป็นกรเพิ่มความร้อนให้กับร่างกายได้ทันที ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอุณหภูมิผิวหนังเฉลี่ยกับอุณหภูมิแกนของร่างกาย ทำให้คนเรารู้สึกเชิงอุณหภูมิภาพเป็นไปตามธรรมชาติ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ความรู้สึกเชิงอุณหภูมิภาพขึ้นอยู่กับอุณหภูมิผิวหนังเฉลี่ย [3]

## 2.6 ขอบเขตสภาวะความสบาย (Comfort Zone)

ในปี ค.ศ.1923 Yaglou และผู้ช่วย [18] ได้ทำการทดลองหาขอบเขตสภาวะความสบายที่มีผลมาจากอุณหภูมิและความชื้นพร้อมทั้งได้ทำโมโนแกรม (Monogram) ขึ้นมาใช้เป็นครั้งแรก และได้คำดัชนีขึ้นมาตัวหนึ่งซึ่งใช้แทนความหมายของภาวะอากาศที่ห้องแรกเท่ากับห้องสองเป็นค่าของอุณหภูมิ เรียกว่า อุณหภูมิประสงค์ (Effective Temperature: ET) เมื่อทดสอบหลายครั้งก็นำค่าเหล่านี้มาสร้างโมโนแกรมหรือกราฟเพื่อใช้หาอุณหภูมิความสบายที่สภาวะอากาศต่างๆ ต่อมา ASHRAE นำมาใช้และสร้างแผนภูมิความสบายขึ้นมาโดยใช้ไซโครเมตริกชาร์ตอธิบายขอบเขตสภาวะความสบายของมนุษย์ด้วยเส้นกราฟตั้งแต่ปี ค.ศ. 1970 ต่อมาได้มีการปรับปรุงแก้ไขให้เหมาะสมกับสภาวะปัจจุบันซึ่งอ้างอิงตาม ASHRAE [3 - 4] โดยใช้ชื่อว่าขอบเขตสภาวะความสบายของ ASHRAE ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.5

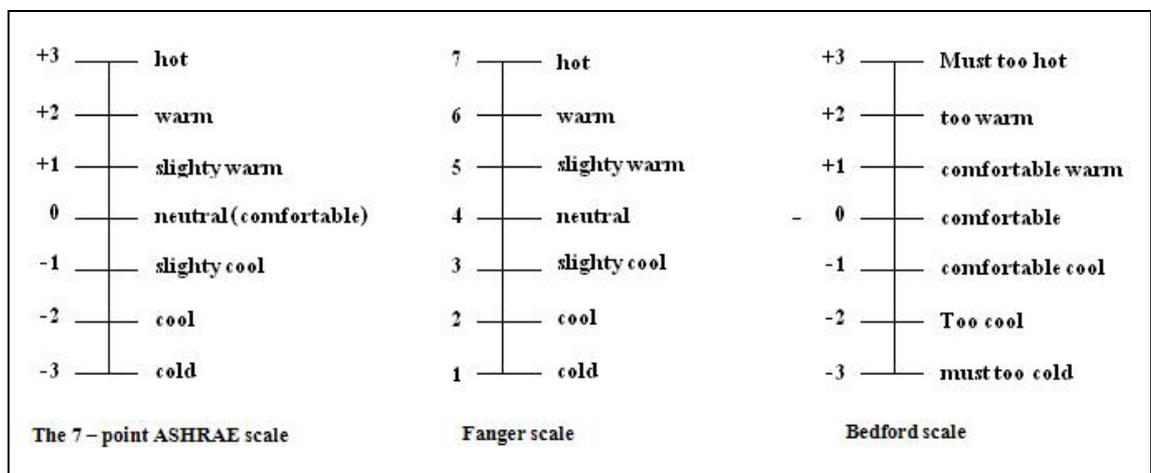


รูปที่ 2.5 พัฒนาการในการกำหนดขอบเขตสภาวะสบายของ ASHRAE [3]

## 2.7 ดัชนีชี้วัดสภาวะความสบายเชิงอุณหภูมิ (Thermal Comfort Indices)

### 2.7.1 การทำนายค่าการโหวตเฉลี่ย (Predicted Mean Vote: PMV)

การทำนายค่าการโหวตความสบายเชิงอุณหภูมิเฉลี่ยหรือ PMV เป็นการประเมินคุณภาพด้วยความรู้สึก เพราะในสภาพแวดล้อมเดียวกันบางคนอาจจะบอกว่ารู้สึกสบายแต่บางคนอาจจะบอกว่ารู้สึกไม่สบายก็ได้ ซึ่งการทำนายค่าการโหวตเฉลี่ยคำนวณจากตัวแปรทางด้านกายภาพ ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ ความเร็วอากาศ อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยของผนังห้อง และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ร่วมกับตัวแปรของบุคคล ได้แก่ ชนิดของเสื้อผ้าที่สวมใส่ และระดับกิจกรรม โดยสามารถที่จะแบ่งระดับได้ 7 ระดับ [3 - 4, 8] เพื่อสามารถจัดอันดับในการศึกษาสภาวะน่าสบาย หากสภาพอากาศอยู่ในสภาวะน่าสบายจะได้ผลโหวตเฉลี่ยเป็น 0 (ศูนย์) ซึ่งในปัจจุบันมีมาตราส่วนที่นิยมใช้ทั่วไป 2 มาตราส่วน ได้แก่ มาตราส่วนของ Bedford และของ ASHRAE ที่มีความใกล้เคียงกัน ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 มาตราส่วนของ ASHRAE, Fanger และ Bedford [3]

และสามารถแสดงสมการการคำนวณ PMV ได้ดังสมการที่ 2.12

$$PMV = \exp[met]*L \text{ where } L = F(P_a, t_a, t_r, t_{cl}, f_{cl}, h_c) \quad (2.12)$$

โดยสามารถเขียนใหม่ได้เป็นสมการที่ 2.11

$$\begin{aligned} PMV = & (0.303e^{-0.036M} + 0.028)\{(M - W) - 3.05 \times 10^{-3} [5733 - 6.99 M - W - P_a] \\ & - 0.42 \times [(M - W) - 58.15] - 1.7 \times 10^{-5} M (5867 - P_a) - 0.0014M (34 - t_a) \\ & - 3.96 \times 10^{-8} f_{cl} \times [(t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4] - f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a)\} \end{aligned} \quad (2.13)$$

|       |                 |  |
|-------|-----------------|--|
| เมื่อ | M               | คือ พลังงานความร้อนในร่างกายที่ปล่อยออกมาโดยกระบวนการ Metabolic rate (W/m <sup>2</sup> ) |
|       | W               | คือ ระดับการทำงาน (W/m <sup>2</sup> )  |
|       | P <sub>a</sub>  | คือ ความดันไอน้ำในอากาศ (Pa)   |
|       | t <sub>a</sub>  | คือ อุณหภูมิอากาศ (°C)   |
|       | t <sub>r</sub>  | คือ อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย (°C)   |
|       | t <sub>cl</sub> | คือ อุณหภูมิผิวเสื้อผ้า (°C)   |
|       | f <sub>cl</sub> | คือ อัตราส่วนของพื้นผิวของคนกรณีสวมเสื้อผ้าและกรณีไม่สวมเสื้อผ้า (ND)                    |
|       | h <sub>c</sub>  | คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อน (W/m <sup>2</sup> .K)                                      |

ซึ่งอุณหภูมิผิวของเสื้อผ้าหาได้จากสมการ 2.14

$$\begin{aligned} t_{cl} = & 35.7 - 0.028(M - W) - 0.155I_{cl} \{3.96 \times 10^{-8} f_{cl} \\ & [(t_{cl} + 273.15)^4 - (t_{mrt} + 273.15)^4] + f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a)\} \end{aligned} \quad (2.14)$$

|       |                  |   |
|-------|------------------|---|
| เมื่อ | M                | อัตราการเผาผลาญพลังงานของร่างกาย (W/m <sup>2</sup> )              |
|       | I <sub>cl</sub>  | ค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้า (clo)                           |
|       | t <sub>mrt</sub> | อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย (°C)                                    |
|       | f <sub>cl</sub>  | อัตราส่วนของพื้นผิวของคนกรณีสวมเสื้อผ้าและกรณีไม่สวมเสื้อผ้า (ND) |
|       | h <sub>c</sub>   | สัมประสิทธิ์การพาความร้อน (W/m <sup>2</sup> .K)                   |
|       | t <sub>cl</sub>  | อุณหภูมิผิวเสื้อผ้า (°C)  |
|       | t <sub>a</sub>   | อุณหภูมิอากาศ (°C)  |

สัมประสิทธิ์การพาความร้อนระหว่างผิวเสื้อผ้ากับอากาศ คือค่าคงที่ของการถ่ายเทความร้อน โดยการพาความร้อน ทั้งนี้ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนจะขึ้นอยู่กับรูปแบบการไหลว่าเป็นการไหลแบบอิสระหรือเป็นการไหลแบบบังคับ สำหรับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของ Fanger [7] จะแบ่งได้เป็น 2 กรณี คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่เป็นการพาแบบธรรมชาติ (Natural Convection) โดยความเร็วลมน้อยกว่า 0.1 m/s ดังสมการที่ 2.15

$$h_c = 12.1\sqrt{v} \quad \text{สำหรับ} \quad 2.38(t_{cl} - t_a)^{0.25} < 12.1\sqrt{v} \quad (2.15)$$

และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่เป็นการพาแบบไม่อิสระ (Force Convection) โดยความเร็วลมมากกว่าหรือเท่ากับ 0.1 m/s ดังสมการที่ 2.16

$$h_c = 2.38(t_{cl} - t_a)^{0.25} \quad \text{สำหรับ} \quad 2.38(t_{cl} - t_a)^{0.25} > 12.1\sqrt{v} \quad (2.16)$$

โดยที่อัตราส่วนของพื้นผิวของคนกรณีสวมเสื้อผ้าและกรณีไม่สวมเสื้อผ้า (ND) สามารถหาได้จากสมการที่ 2.17 และ 2.18

$$f_{cl} = 1.00 + 1.29I_{cl} \quad \text{กรณี} \quad I_{cl} < 0.078 \text{ m}^2\text{K/W} \quad (2.17)$$

$$f_{cl} = 1.05 + 0.645I_{cl} \quad \text{กรณี} \quad I_{cl} > 0.078 \text{ m}^2\text{K/W} \quad (2.18)$$

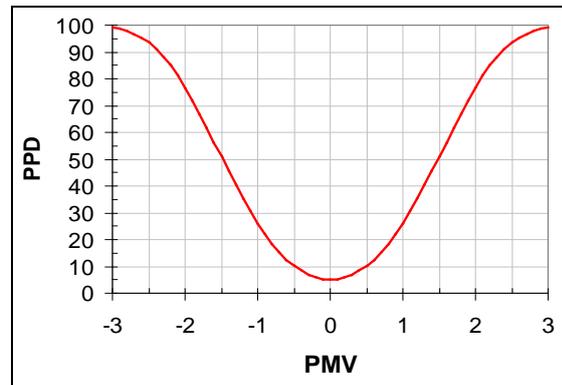
และความดันอากาศสามารถหาได้จากสมการที่ 2.19 เนื่องจากกฎของก๊าซอุดมคติพลศาสตร์อุณหภูมิจะแปรผันตามความดัน กล่าวคือเมื่อความดันในอากาศเพิ่มขึ้นอุณหภูมิของอากาศก็จะสูงตามไปด้วย จึงสรุปได้ว่าอุณหภูมิของอากาศแปรผันตามความดันไอน้ำในอากาศและอากาศชั้นย่อมจะมีอุณหภูมิสูงกว่าอากาศแห้ง

$$p_a = RH \exp \left[ 18.865 - \frac{4030.18}{t_a + 235} \right] \quad (2.19)$$

## 2.7.2 การทำนายร้อยละของความไม่พอใจเชิงอุณหภูมิ (Predicted Percentage Dissatisfied: PPD)

การทำนายร้อยละของความไม่พอใจเชิงอุณหภูมิหรือ PPD เป็นดัชนีที่สร้างขึ้นมาเพื่อการทำนายค่าเชิงคุณภาพเป็นร้อยละของผู้ที่รู้สึกไม่สบายในสภาพแวดล้อมนั้นๆ จากรูปที่ 7 สามารถสังเกตจากเส้นกราฟที่ได้จะมีลักษณะสมมาตรและมีค่า PPD = 5 % ที่ PMV = 0 ณ จุดนี้จะใช้เป็นเงื่อนไขความสบายที่เหมาะสมในการใช้สมการความสบายทำให้เป็นจุดที่ต้องปรับเพื่อให้ได้ความสบาย ถ้าค่า

PMV ที่  $-0.35$  จะมีค่า PPD มากกว่าจุดต่ำสุด (5%) ประมาณครึ่งหนึ่ง (7.5%) หลังจากนั้นค่า PPD จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เช่นที่  $PMV = -0.5, -1.0$  จะมีค่าเพิ่มเป็น 2 เท่า และมากกว่า 5 เท่าของจุดต่ำสุด ดังนั้นจึงแสดงให้เห็นว่า เป็นไปไม่ได้ที่กลุ่มคนจะมีความพอใจกับสภาพอากาศทุกคน ถึงแม้ว่าจะอยู่ในระบบสิ่งแวดล้อม การแต่งกาย และกิจกรรมที่เหมือนกันก็ตาม [3 - 4, 7]



รูปที่ 2.7 คณิตทำนายเปอร์เซ็นต์ความรู้สึกไม่สบายทางอุณหภูมิ [3]

ซึ่งสามารถแสดงสมการของ PPD ได้ดังสมการที่ 2.20

$$PPD = 100 - 95e^{-(0.03353PMV^4 + 0.2179PMV^2)} \quad (\%) \quad (2.20)$$

### 2.7.3 ค่าการโหวตเฉลี่ย (Actual Mean Votes: AMV)

ค่าการโหวตเฉลี่ยเป็นการใช้สเกลการโหวตด้วยความรู้สึกเชิงอุณหภูมิทั้งหมดของร่างกาย [6] ซึ่งสามารถสร้างสมการถดถอยที่เป็นฟังก์ชันของค่าการโหวตเฉลี่ยกับอุณหภูมิแวดล้อม ได้ดังสมการที่ 2.21

$$Y = -3.836 + 0.048T \quad (2.21)$$

เมื่อ Y คือ ค่าเฉลี่ยการโหวตความรู้สึกเชิงอุณหภูมิ

T คือ อุณหภูมิแวดล้อมที่ความชื้นสัมพัทธ์ 50 %

### 2.7.4 อุณหภูมิโอเปอร์เรทีฟ (Operative Temperature: $t_{op}$ )

อุณหภูมิโอเปอร์เรทีฟเป็นอุณหภูมิคงที่ของพื้นที่ปิดล้อมสี่ด้านที่มีการเปลี่ยนความร้อนโดยการแผ่รังสีในอัตราเท่ากับร่างกายมนุษย์ที่สูญเสียความร้อนโดยการแผ่รังสีนั้นในสภาพแวดล้อมจริง และมีความเร็วอากาศกับความดันเท่ากัน ซึ่งรวมทั้งอุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิการแผ่รังสีจากผนังรอบด้าน

เฉลี่ยเข้าไว้ด้วยกัน จึงจะช่วยให้ทราบถึงอุณหภูมิที่มีผลต่อผู้อยู่อาศัยที่แท้จริงได้ โดยนำค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนแต่ละด้านมาพิจารณาได้ดังสมการที่ 2.22

$$t_{op} = \frac{h_r t_{mrt} + h_c t_a}{h_r + h_c} \quad (2.22)$$

เมื่อ  $h_r$  คือ สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน ( $W/m^2.K$ )  
 $h_c$  คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อน ( $W/m^2.K$ )  
 $t_{mrt}$  คือ อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย ( $^{\circ}C$ )  
 $t_a$  คือ อุณหภูมิอากาศ ( $^{\circ}C$ )

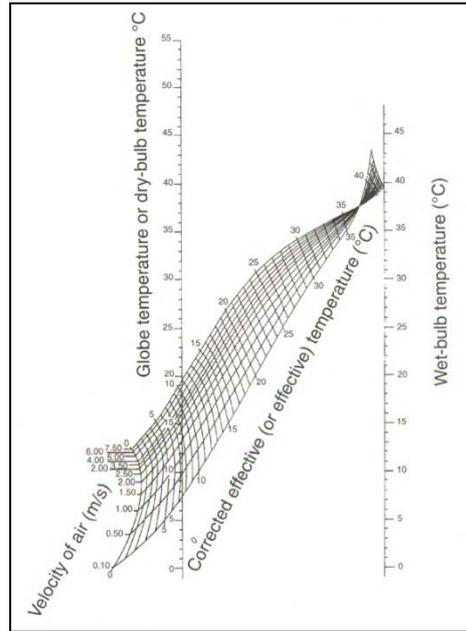
ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์จากการพาความร้อนและการแผ่รังสีความร้อนนั้น ได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.4 เป็นการแสดงค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนในอิริยาบถการนั่งและการยืน

ตารางที่ 2.4 ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนและการแผ่รังสีความร้อนในอิริยาบถการนั่งและการยืน

|                     | นั่ง | ยืน |
|---------------------|------|-----|
| $h_r$ ( $W/m^2.K$ ) | 3.3  | 4.5 |
| $h_c$ ( $W/m^2.K$ ) | 4.5  | 3.4 |

### 2.7.5 อุณหภูมิเอฟเฟคทีฟ (Effective Temperature: ET)

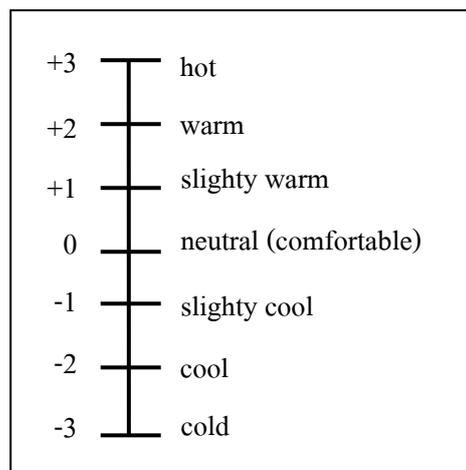
อุณหภูมิเอฟเฟคทีฟเป็นอุณหภูมิสมมติที่ทำให้ผู้อยู่อาศัยอยู่ในอาคารที่มีอากาศนิ่งและมีความอึดตัวรู้สึกสบายเท่ากับคนที่อยู่ภายนอกอาคารที่มีอุณหภูมิและความชื้นของอากาศเปลี่ยนแปลงไปมา อุณหภูมิเอฟเฟคทีฟเป็นดัชนีที่ไม่มีกฎเกณฑ์แน่นอน แต่พิจารณาโดยถือหลักทั่วไปของอุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลม โดยไม่พิจารณาการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ซึ่งเกี่ยวข้องสัมพันธ์กับความรู้สึกร้อนหรือหนาวทางกายภาพอันเกิดจากร่างกายของมนุษย์ ซึ่งสามารถหาได้จากแผนภูมิสเกลของอุณหภูมิเอฟเฟคทีฟ (รูปที่ 2.8) สำหรับอุณหภูมิเอฟเฟคทีฟนี้ใช้ได้กับกิจกรรมที่เป็นการนั่งและเสื้อผ้าที่เป็นแบบบาง และสมการอุณหภูมิเอฟเฟคทีฟสามารถหาได้โดยใช้สมการ Parsons (2003) [18]



รูปที่ 2.8 แผนภูมิแสดงสเกลของอุณหภูมิเอฟเฟกทีฟ [28]

### 2.7.6 ค่าการโหวตความรู้สึกเชิงอุณหภูมิจากการตรวจวัดจริง (Actual Sensation Vote: ASV)

ค่าการโหวตความรู้สึกเชิงอุณหภูมิจากการตรวจวัดจริง เป็นค่าการโหวตจากความรู้สึกของแต่ละบุคคลในสภาวะหนึ่งว่ารู้สึกอย่างไร เช่น ร้อน หรือหนาว เป็นต้น ซึ่งสามารถแบ่งระดับของความรู้สึกได้จากดัชนีการโหวตความรู้สึกของ ASHRAE [4] โดยสามารถแบ่งเป็น 7 ระดับ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.9 ระดับความรู้สึกเชิงอุณหภูมิจากการตรวจวัดจริงของ ASHRAE [4]

## 2.8 การปรับตัวให้เกิดความสบาย (Adaptive Comfort: AC)

การปรับตัวเพื่อให้เข้าใกล้กับสภาวะความสบายเชิงอุณหภูมิไม่ได้พิจารณาจากการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างคนกับสิ่งแวดล้อมเท่านั้น แต่พิจารณาจากการสังเกตพฤติกรรมต่างๆ ว่าเป็นไปตามสภาวะความสบายเชิงอุณหภูมิหรือไม่ [3 - 4, 19] ซึ่งหลักเกณฑ์การปรับตัวให้เกิดความสบายคือ “ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นกับอุณหภูมิแวดล้อมทำให้เกิดความรู้สึกไม่สบาย ผู้คนจะ ได้ตอบให้เข้าถึงการคืนสภาพความสบาย” ดังนั้นการปรับตัวของผู้อยู่อาศัยกับสภาวะแวดล้อมโดยรอบ หรือปรับสภาวะแวดล้อมโดยรอบให้เข้ากับผู้อยู่อาศัย จึงอธิบายได้ว่าความสบายสามารถบรรลุผลได้หากผู้อยู่อาศัยปรับเปลี่ยนสภาวะในอาคารหรือปรับเปลี่ยนอาคารด้วยการปรับปรุงให้มีความสบายมากขึ้น ลักษณะของพฤติกรรมปรับตัว เช่น การสั้นของร่างกายโดยอัตโนมัติ การเปลี่ยนเสื้อผ้าที่สวมใส่ และการเปิดหน้าต่าง เป็นต้น แต่บางครั้งก็มีข้อจำกัดสำหรับการปรับตัวของเราเพื่อหลีกเลี่ยงสภาวะความไม่สบาย เช่น ลักษณะของอากาศตามฤดูกาลที่มีอุณหภูมิภายนอกร้อนกว่าอุณหภูมิภายใน เมื่อเราเปิดหน้าต่างอาจทำให้สภาวะความสบายเชิงอุณหภูมิแย่ลง เป็นต้น ดังนั้นเราสามารถออกแบบอุณหภูมิภายในอาคารบ้านเรือนได้จากอุณหภูมิการปรับตัวให้เกิดความสบาย (Adaptive Comfort Temperature: AC) หรืออุณหภูมิความสบาย (Neutral Temperature) [20] ที่เป็นสมการถดถอยเชิงเส้นที่ได้จากความสัมพันธ์ของอุณหภูมิภายในเฉลี่ยหรืออุณหภูมิภายนอกเฉลี่ย ซึ่งการใช้สมการนี้จะช่วยลดเปอร์เซ็นต์ความไม่พอใจของผู้อยู่อาศัยได้

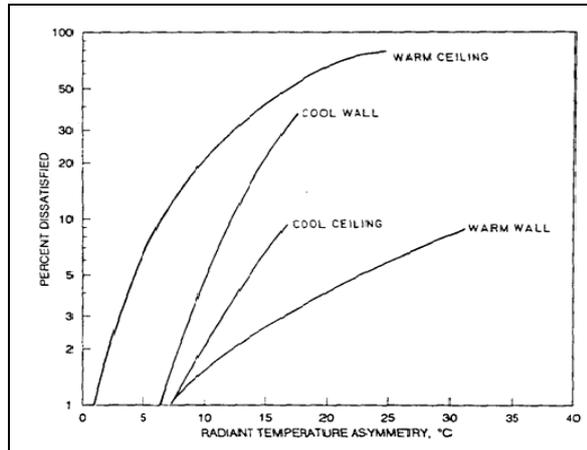
## 2.9 สภาวะความไม่สบายเชิงอุณหภูมิ (Thermal Discomfort) [3, 4, 21 - 24]

สภาวะความไม่สบายเชิงอุณหภูมิ คือ เงื่อนไขทางจิตใจที่แสดงออกถึงความไม่พึงพอใจต่อสภาพแวดล้อมของมนุษย์ ซึ่งเป็นสภาวะที่อุณหภูมิอากาศ ความชื้นในอากาศ และความเร็วลมไม่พอเหมาะกับการที่จะทำให้ร่างกายมนุษย์รู้สึกสบาย โดยส่วนใหญ่แล้วผู้อยู่อาศัยอาจเกิดสภาวะสบายเมื่ออยู่ใกล้หน้าต่าง กระจก การได้รับการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์หรือจากวัตถุอื่นๆ แต่บางคนก็อาจรู้สึกไม่สบายก็เป็นได้ ซึ่งสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดความไม่สบายเชิงอุณหภูมิ มีดังนี้

### 2.9.1 ความไม่สม่ำเสมอของอุณหภูมิบริเวณที่ผู้อยู่อาศัย (Asymmetric Thermal Radiation)

ความไม่สม่ำเสมอของอุณหภูมิบริเวณที่มนุษย์อาศัยอยู่ ซึ่งมีสาเหตุมาจากการแตกต่างระหว่างผลต่างของอุณหภูมิการแผ่รังสีระหว่างผู้อยู่อาศัยกับสิ่งแวดล้อม (Radiant Temperature Asymetry) เช่น ผนังทางทิศใต้ที่ได้รับแสงแดดโดยตรงจะมีอุณหภูมิสูงกว่าเพดานที่ได้รับแสงแดดน้อยกว่า เป็นต้น รูปที่ 2.9 แสดงผลต่างอุณหภูมิการแผ่รังสีระหว่างคนกับเพดาน และคนกับผนังห้องที่มีต่อ

ความรู้สึกไม่สบายเชิงอุณหภูมิ จากผลการศึกษพบว่า เมื่อ Radiant Temperature Asymmetry เท่ากับ 25 °C ที่เพดานร้อน (Warm Ceiling) มีเปอร์เซ็นต์ของคนที่ไม่พึงพอใจประมาณ 80 – 90 % และที่กำแพงร้อน (Warm Wall) มีเปอร์เซ็นต์ของคนที่ไม่พึงพอใจประมาณ 5 – 10 % เป็นต้น ดังนั้นผู้อยู่อาศัยมีความรู้สึกอ่อนไหวต่อเพดานห้องที่มีอุณหภูมิสูงกว่าผนังห้องที่มีอุณหภูมิต่ำคน



รูปที่ 2.10 เปอร์เซนต์ของคนที่ไม่พอใจเมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมที่ไม่สมดุล [3]

และ ASHRAE ยังกำหนดค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีพื้นผิวที่ศึกษาไว้ 3 กรณี ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.5

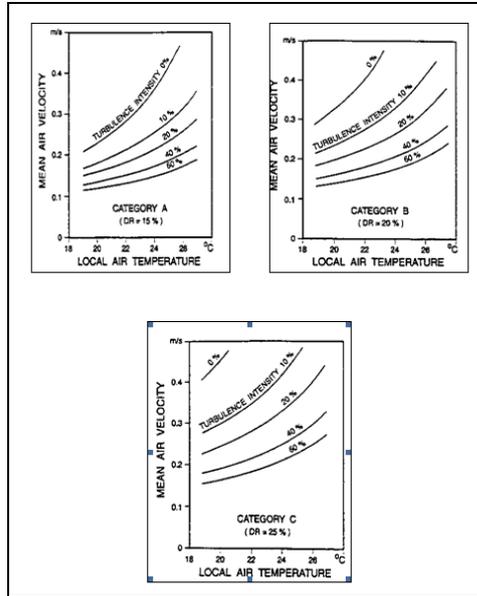
ตารางที่ 2.5 ค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีพื้นผิวที่ไม่สมมาตร [3]

| Category | Radiant temperature asymmetry °C (°F) |             |              |             |
|----------|---------------------------------------|-------------|--------------|-------------|
|          | Warm ceiling                          | Cool wall   | Cool ceiling | Warm wall   |
| A        | < 5 (9.0)                             | < 10 (18.0) | < 14 (25.2)  | < 23 (41.4) |
| B        | < 5 (9.0)                             | < 10 (18.0) | < 14 (25.2)  | < 23 (41.4) |
| C        | < 7 (12.6)                            | < 13 (23.4) | < 18 (32.4)  | < 35 (63.0) |

### 2.9.2 ปริมาณอากาศส่วนเกินหรือกระแสลมที่แรงเกินไป (Draught: DR)

ปริมาณอากาศส่วนเกินคือ ความเร็วลมเฉลี่ยที่ขึ้นกับอุณหภูมิของอากาศ ซึ่งอธิบายได้ว่าลมเย็นที่ไม่พึงประสงค์ จะเกิดจากการเคลื่อนไหวของอากาศขึ้นอยู่กับความเร็วลม อุณหภูมิ ความรุนแรง ความปั่นป่วนในกิจกรรม และเสื้อผ้าที่สวมใส่ ดังนั้นความเร็วลมที่มากเกินไปอาจทำให้ผู้อยู่อาศัยรู้สึกรำคาญได้ นอกจากนี้ผลการศึกษายังพบว่า ความรู้สึกของกระแสลมเมื่อเปรียบเทียบกับระหว่างเพศชายและเพศหญิงมีค่าไม่แตกต่างกัน ซึ่งบริเวณท้ายทอยและหลังเป็นส่วนที่สามารถรับรู้ความรู้สึกได้ไว

ที่สุด โดยที่ ISO 7730 [5] ได้แบ่งค่าปริมาณอากาศส่วนเกินไว้ 3 กรณี คือ ปริมาณอากาศส่วนเกินมีค่าน้อยกว่า 15 %, 20 % และ 25 % ตามลำดับ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.11 ความเร็วลมเฉลี่ยที่ขึ้นกับอุณหภูมิของอากาศ [3]

และสามารถคำนวณค่าปริมาณอากาศส่วนเกินได้ดังสมการที่ 2.23

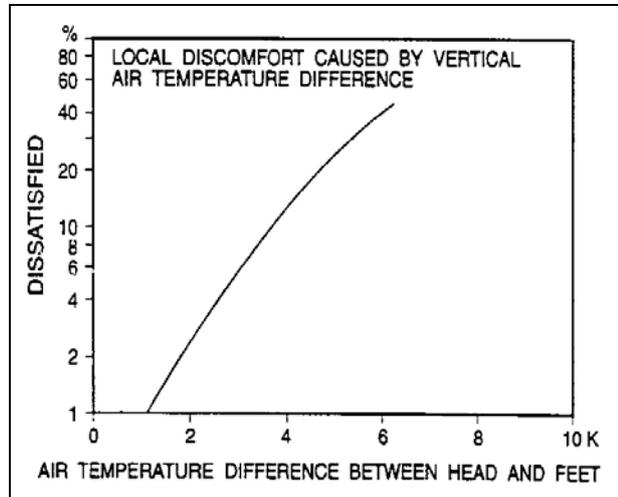
$$DR = (34 - T_a)(v_a - 0.05)^{0.6223} (3.143 + 0.3696 * T_u * v_a) \quad (2.23)$$

เมื่อ  $T_u$  คือ ความปั่นป่วนที่รุนแรงของพื้นที่ (%)

### 2.9.3 ผลต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศในแนวตั้ง (Vertical Air Temperature Difference)

ผลต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศในแนวตั้งในพื้นที่ที่มีการปรับอากาศ บริเวณที่สูงจากพื้นมีอุณหภูมิที่สูงกว่าบริเวณพื้น ทำให้เกิดผลต่างของอุณหภูมิระหว่างศีรษะกับเท้า เช่น เมื่อเราวัดอุณหภูมิที่ศีรษะได้ลงมาจนถึงเท้าจะสังเกตได้ว่าอุณหภูมิที่ศีรษะจะต่ำกว่าเท้าเสมอ เนื่องจากเท้าจะรับรู้ความรู้สึกได้มากกว่าศีรษะ ดังนั้นการที่อุณหภูมิหัวกับเท้ามีค่าต่างกันมากๆ จึงเป็นสาเหตุให้เกิดความไม่สบายเชิงอุณหภูมิภาพ ถึงแม้ว่าผลรวมอุณหภูมิเฉลี่ยทั้งหมดของร่างกายบ่งบอกว่าเกิดความสบายเชิงอุณหภูมิภาพก็ตาม จากรูปที่ 2.11 แสดงจำนวนกลุ่มตัวอย่างที่รู้สึกไม่พึงพอใจกับสภาพแวดล้อมที่มีผลต่างระหว่างอุณหภูมิศีรษะกับเท้า พบว่า ถ้าผลต่างอุณหภูมิระหว่างศีรษะกับเท้าน้อยความรู้สึกไม่พึงพอใจของ

กลุ่มตัวอย่างก็จะมีค่าน้อย แต่ถ้าผลต่างของอุณหภูมิระหว่างศีรษะกับเท้ามากๆ ความรู้สึกไม่พึงพอใจของกลุ่มตัวอย่างก็จะมีค่ามากเช่นกัน



รูปที่ 2.12 เปอร์เซนต์ของคนที่ไม่พึงพอใจต่อความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างศีรษะและเท้า [3]

ซึ่งสามารถกำหนดค่าความแตกต่างของอุณหภูมิในแนวแกนตั้งไว้ 3 กรณี ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.6

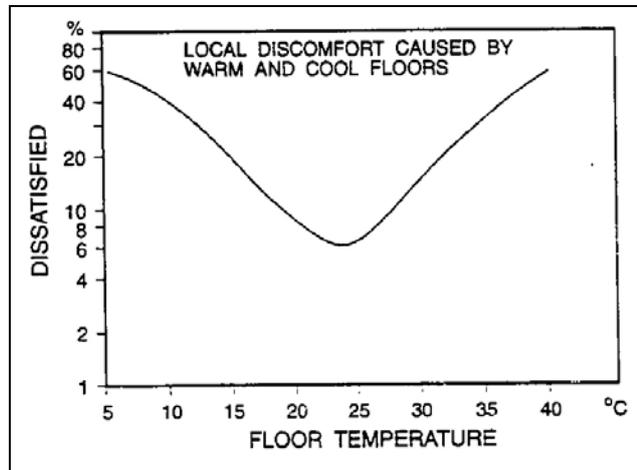
ตารางที่ 2.6 ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิในแนวแกนตั้ง ทั้ง 3 กรณี [3]

| Class | Vertical air temperature difference °C (°F) |
|-------|---|
| A     | < 2 (< 3.6)                                 |
| B     | < 3 (< 5.4)                                 |
| C     | < 4 (< 7.2)                                 |

#### 2.9.4 อุณหภูมิที่เย็นหรืออุ่นเกินไปของพื้น (Cold or Warm Floor)

สำหรับพื้นมีอุณหภูมิที่เย็นหรืออุ่นจนเกินไป อาจทำให้เท้าที่สัมผัสกับพื้นโดยตรงทำให้เกิดความไม่สบายเชิงอุณหภูมิ ดังนั้นนักวิจัยที่มาจากประเทศในเขตหนาวอย่าง Olesen [25] จึงพยายามคิดค้นหาวัสดุพื้นที่มีคุณสมบัติค่าสัมประสิทธิ์การสัมผัสที่ต่ำ เพื่อให้พื้นมีความสบายเชิงอุณหภูมิมากขึ้น และลดการใช้พลังงานจาก Heater ที่ทำความร้อนบนพื้น นอกจากนี้ Olesen ยังทำการศึกษาอุณหภูมิของเท้าค่าอุณหภูมิต่างๆ กัน ที่ส่งผลต่อความรู้สึกไม่สบายเชิงอุณหภูมิ โดยทำการศึกษาในห้องที่มีสภาพอากาศเหมาะสม พบว่า ถ้าอุณหภูมิของเท้ามีค่าต่ำกว่า 19 °C หรือสูงกว่า 29 °C มีผลให้

เกิดความรู้สึกไม่สบายเชิงอุณหภูมิเกิดขึ้น ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.13 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ของคนที่ไม่พึงพอใจต่ออุณหภูมิ [3]

ซึ่งช่วงของอุณหภูมิพื้นจะแสดงไว้ในตารางที่ 2.7 โดยแบ่งเป็น 3 กรณีดังนี้

ตารางที่ 2.7 ช่วงของอุณหภูมิพื้นที่จะทำให้เกิดความสบายในกรณีต่างๆ [3]

| Class | Range of surface temperature of the floor °C (°F) |
|-------|---|
| A     | 19 – 29 (66.2 -84.2)                              |
| B     | 19 – 29 (66.2 -84.2)                              |
| C     | 17 – 31 (62.6 -87.8)                              |

### 2.9.5 เท้าเปล่า (Bare Feet)

วัสดุพื้นเป็นสิ่งที่สำคัญมากสำหรับการรักษาอุณหภูมิพื้น เพื่อให้เกิดความสบายต่อผู้อยู่อาศัยในสถานที่ที่จำเป็นต้องเดินด้วยเท้าเปล่า เช่น ห้องโถงสระว่ายน้ำ ห้องแต่งตัว ห้องน้ำ และห้องนอน เป็นต้น

### 2.9.6 สี (Color)

สีสามารถส่งผลกระทบต่อความรู้สึกสบายเชิงอุณหภูมิต่อผู้อยู่อาศัย เช่น ถ้าเราต้องไปอยู่ในห้องที่ทาด้วยสีเทา หรือสีที่ทึบๆ จะทำให้เราเกิดความรู้สึกเศร้า อล้า ทอแท้ และด้วยความหดหู่ แต่ถ้าเราไปอยู่

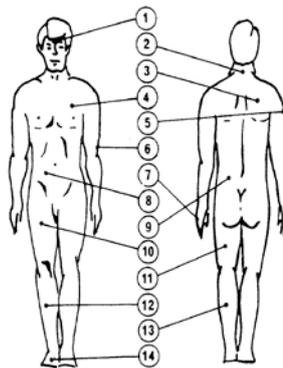
ในห้องที่ทาด้วยสีแดง หรือสีที่ฉูดฉาด ก็จะทำให้เราเกิดความรู้สึก ตื่นเต้น ไร่ใจ กระชับกระเฉง และมีพลัง เป็นต้น

### 2.9.7 ความแออัด (Crowding)

ความแออัดบ่งบอกถึงสภาวะความรู้สึกไม่สบายต่อจำนวนผู้คน อาคาร หรือแม้กระทั่งสิ่งของที่มีความหนาแน่นจนเกินไป จึงทำให้เกิดความแออัดกับสถานที่นั้น

### 2.10 ความไม่สบายเฉพาะที่ (Local Discomfort)

ความไม่สบายเฉพาะที่ หรือความไม่สบายเฉพาะบางส่วนของร่างกาย จะถูกครอบงำจากความรู้สึกของตนเอง ถึงแม้ว่าบางบุคคลจะมีความรู้สึกที่เป็นกลาง แต่ความร้อนบางส่วนที่ไม่สามารถระบายออกได้ก็จะทำให้รู้สึกอึดอัด ซึ่งความไม่สบายเฉพาะส่วนขึ้นอยู่กับสัญญาณทางด้านความเย็น หรือความร้อนเนื่องมาจากอุณหภูมิบางส่วนของผิวหนังกับอุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศ โดยจะแบ่งเป็น 2 แบบคือ 1.) Cool Stimuli เช่น การที่อุณหภูมิของมือต่ำกว่าอุณหภูมิของร่างกายจะทำให้เกิดสัญญาณทางด้านความเย็น และ 2.) Warm Stimuli เช่น การที่อุณหภูมิของร่างกายสูงขึ้นจนทำให้เหงื่อออกจึงทำให้เกิดสัญญาณทางด้านความร้อน จากรูปที่ 2.13 แสดงให้เห็นจุดต่างๆ บนร่างกายที่มีอุณหภูมิผิวหนังต่างกัน โดยจะทำการวัดตามอุณหภูมิตามจุดบนร่างกายแล้วนำมาเฉลี่ยก็จะได้อุณหภูมิผิวของร่างกายจริง [24]



รูปที่ 2.14 จุดต่างๆบนร่างกายที่มีอุณหภูมิผิวต่างกัน [3]

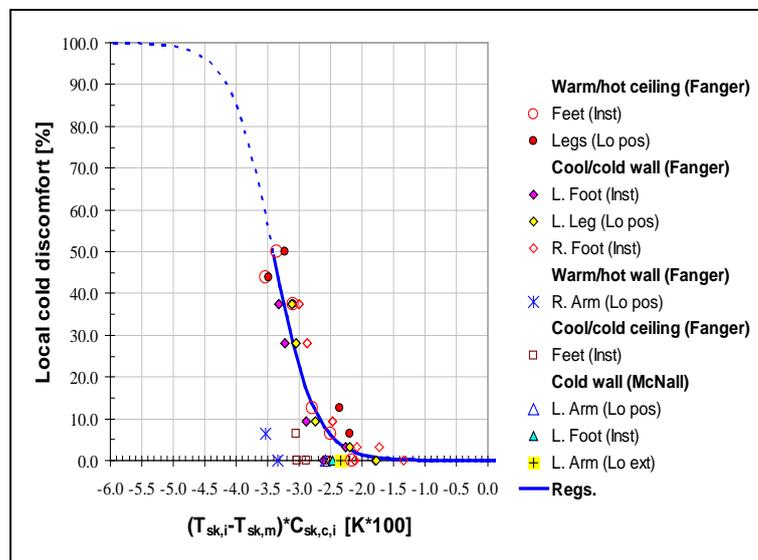
### 2.11 แบบจำลองความไม่สบายเชิงอุณหภูมิเฉพาะที่ (Local Thermal Discomfort Model)

จากการพัฒนาแบบจำลองของ Kubaha (2003) [24] ได้ทำการพัฒนาแบบจำลองความไม่สบายเชิง

อุณหภูมิเฉพาะที่ (Local Thermal Discomfort) สำหรับส่วนต่างๆ ของผิวหนังจำนวน 59 ส่วนของร่างกายมนุษย์ ถูกนำมาใช้เพื่อให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์ความไวต่อความรู้สึกเฉพาะที่ โดยแสดงอยู่ในรูปแบบของฟังก์ชันเอกซ์โพเนนเชียล (exponential function) เนื่องจากฟังก์ชันนี้สามารถเข้าใกล้ขีดจำกัดทั้งทางด้านล่างและด้านบนที่ค่าการณ้ไว้ที่ 0 และ 100% ของความไม่พึงพอใจ ซึ่งได้ทำการพัฒนาแบบจำลองความไม่สบายเฉพาะที่ไว้ 2 กรณี ดังนี้

**2.11.1 ความไม่สบายเฉพาะที่ทางความเย็น (Local Cold Discomfort: LCD)**

จากรูปที่ 2.14 แสดงรูปแบบของกราฟเมื่อมีความแตกต่างของอุณหภูมิผิวหนังเฉพาะที่ต่ำกว่าอุณหภูมิผิวหนังเฉลี่ยทำให้เกิดความไม่สบายเฉพาะที่ทางความเย็น ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 2.24



รูปที่ 2.15 เปอร์เซ็นต์ความไม่สบายเฉพาะที่ทางความเย็น [23]

$$LCD=f(1/exp(LCS)) \tag{2.24}$$

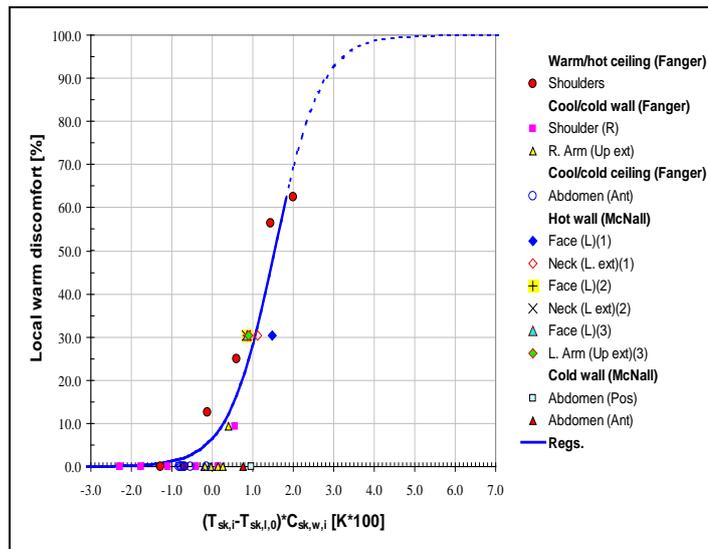
เมื่อ LCS (Local Cold Stimulus) คือ ตัวกระตุ้นเฉพาะที่ทางความเย็น ซึ่งเกิดจากความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิผิวหนังเฉพาะที่กับอุณหภูมิผิวหนังเฉลี่ยของร่างกาย โดยที่  $C_{sk,c,i}$  เป็นค่าสัมประสิทธิ์ความไวต่อการรับรู้ถึงความรู้สึกของร่างกายกับตัวกระตุ้นความเย็นเฉพาะที่

ดังนั้นจากสมการที่ 2.24 สามารถทำเป็นสมการเชิงเส้นในการวิเคราะห์สมการถดถอยได้ดังสมการที่ 2.25

$$LCD = \frac{100}{1 + 9.981 * 10^4 e^{3.39LCS}} \tag{2.25}$$

**2.11.2 ความไม่สบายเฉพาะที่ทางความร้อน (Local Warm Discomfort: LWD)**

เมื่อไหร่ที่ร่างกายของเรา รู้สึกว่าอุณหภูมิในร่างกายสูงกว่าอุณหภูมิผิวหนังเฉลี่ย จะทำให้เกิดความไม่สบายเฉพาะที่ทางความร้อน ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 2.26 และสามารถแสดงรูปแบบของกราฟได้ดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.16 เปอร์เซนต์ความไม่สบายเฉพาะที่ทางความร้อน [23]

$$LWD = f\left(\frac{1}{\exp(-LWS)}\right) \tag{2.26}$$

เมื่อ LWS (Local Warm Stimuli) คือ ตัวกระตุ้นเฉพาะที่ทางความร้อน ซึ่งเกิดจากความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิผิวหนังเฉพาะที่กับอุณหภูมิผิวหนังของร่างกายที่อยู่ในสภาวะปกติ (อุณหภูมิร่างกายที่ 37 °C) โดยที่  $C_{sk,w,i}$  เป็นค่าสัมประสิทธิ์ความไวต่อการรับรู้ถึงความรู้สึกของร่างกายกับตัวกระตุ้นความร้อนเฉพาะที่

โดยสามารถเขียนเป็นสมการเชิงเส้นได้ดังสมการที่ 2.27

$$LWD = \frac{100}{1 + 14.33e^{-1.73LWS}} \tag{2.27}$$

## 2.12 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากรายงานการวิจัยความไม่สบายเชิงอุณหภูมิภาพ (Thermal Discomfort) มีผู้วิจัยหลายคนได้ทำการศึกษาตัวแปรต่างๆ ทั้งทางด้านสภาพแวดล้อมและด้านบุคคล เช่น อุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย ปริมาณอากาศส่วนเกิน เพศ อายุ และค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้า เป็นต้น ซึ่งตัวแปรต่างๆ เหล่านี้ทำให้ผู้อยู่อาศัยเกิดความรู้สึกไม่สบายได้ สำหรับพื้นที่ที่ใช้ในการศึกษาความไม่สบาย เช่น สำนักงานต่างๆ ห้องเรียน และห้องประชุม หรือแม้กระทั่งในรถยนต์ เป็นต้น

ภัททิรา พวงมาลี [15] ได้ศึกษาการปรับอากาศที่เหมาะสมผสมผสานกับการใช้พัดลมช่วยเพื่อความสบายเชิงอุณหภูมิภาพ โดยทำการศึกษาในห้องเรียนของประเทศไทย ซึ่งการศึกษาในครั้งนี้จะทำการทดสอบ 3 ฤดูกาล โดยที่มีจำนวนกลุ่มตัวอย่างที่เป็นนักศึกษา 1,142 คน และทำการปรับตั้งที่เครื่องปรับอากาศที่อุณหภูมิ 26 °C และ 28 °C ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นแนวทางในการกำหนดอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการปรับอากาศผนวกกับการใช้พัดลมช่วย และเป็นการประหยัดพลังงานในระบบปรับอากาศ จากการศึกษาพบว่า ที่การปรับตั้งอุณหภูมิ 26 °C ในช่วงฤดูร้อน ฤดูฝน และฤดูหนาว มีกลุ่มตัวอย่าง 53% รู้สึกพอดี 42% รู้สึกค่อนข้างเย็นเล็กน้อย และ 31% รู้สึกค่อนข้างเย็นเล็กน้อย ตามลำดับ และเมื่อใช้พัดลมช่วยจะเหมาะกับฤดูร้อน ส่วนฤดูฝนกับฤดูหนาวกลุ่มตัวอย่างจะรู้สึกค่อนข้างหนาว และเมื่อปรับตั้งอุณหภูมิที่ 28 °C พบว่า กลุ่มตัวอย่างที่ 43, 60 และ 34% รู้สึกพอดี ทั้ง 3 ช่วงฤดูกาล ตามลำดับ และเมื่อใช้พัดลมช่วยจะเหมาะกับฤดูฝนกับฤดูหนาว แต่สำหรับฤดูร้อนกลุ่มตัวอย่างจะรู้สึกค่อนข้างหนาว

ชาคริต นัทรศาสตร์กุล [16] ได้ศึกษาลักษณะสภาวะความสบายเชิงอุณหภูมิภาพ เพื่อหาแนวทางในการกำหนดสภาวะความสบายที่เหมาะสมสำหรับอาคารบ้านพักอาศัยในประเทศไทยที่ไม่ใช้เครื่องปรับอากาศ โดยใช้แบบสอบถามในการประเมินความสบายเชิงอุณหภูมิภาพพร้อมทั้งทำการเก็บข้อมูลต่างๆ ดังนี้ อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลม ซึ่งมีจำนวนกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด 355 คน มีอายุเฉลี่ย 40 ปี และแบ่งการเก็บข้อมูลออกเป็น 3 ฤดู คือ ฤดูร้อน ฤดูฝน และฤดูหนาว พบว่า จำนวนกลุ่มคนตัวอย่างจำนวน 257 คน ได้โหวตความรู้สึกสบายครบทั้ง 3 ฤดู ซึ่งมีอุณหภูมิอากาศอากาศภายในเฉลี่ย 29.7 °C ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 61 % และมีความเร็วลมเฉลี่ย 0.29 m/s ตามลำดับ และจากการศึกษาในครั้งนี้พบว่า การปรับเปลี่ยนแต่งกายให้เหมาะกับสภาพอากาศเป็นปัจจัยสำคัญที่สุด (สำหรับค่าความต้านทานของเสื้อผ้าเฉลี่ย 0.48 clo) และรองลงมาคือการปรับเปลี่ยนสภาวะแวดล้อม เช่น การเปิดปิดประตู หน้าต่าง หรือการเลือกนั่งใกล้ประตูและหน้าต่าง เป็นต้น แสดงว่าการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมให้เข้ากับสภาวะแวดล้อมของผู้อยู่อาศัยเป็นเหตุผลหลักที่ทำให้จำนวนกลุ่ม

ตัวอย่างส่วนใหญ่สามารถรับรู้ถึงความสบายได้ โดยสามารถหาร้อยละของความไม่พอใจเชิงอุณหภูมิภาพได้ 18.7 %

Melikov [26] ได้ศึกษาปริมาณอากาศส่วนเกินและความแตกต่างของอุณหภูมิในแนวตั้ง สำหรับห้องในกรุงปรากที่มีการเคลื่อนที่ของการระบายอากาศ ซึ่งพื้นที่ที่ไม่เกิดความสบายเนื่องมาจากมีปริมาณอากาศส่วนเกิน ค่า PD และความแตกต่างของอุณหภูมิในแนวตั้ง จะมีค่า PD มากกว่า 15 % และมีอุณหภูมิแตกต่างกันประมาณ 0.1 - 1.1 °C จะครอบคลุมถึง 33 % จากพื้นที่ทั้งหมด ด้วยสภาวะความสบายเฉพาะที่จะเกิดจากความแตกต่างของกระแสลมและอุณหภูมิในแนวตั้งเป็นสิ่งสำคัญในการระบายอุณหภูมิในแนวตั้ง และเปอร์เซ็นต์ความไม่สบายตัวที่คาดการณ์ไว้อันเนื่องมาจากกระแสลมที่เกินกว่า 15 % สำหรับ 46 % ของสถานที่ตั้งที่วัดค่าในส่วนหนึ่งของเขตพื้นที่ที่อยู่ใกล้ช่องระบายอากาศ และอีกส่วนหนึ่งของเขตพื้นที่ที่มีความแตกต่างของอากาศในแนวตั้งมากกว่า 3 °C สำหรับ 49 % ของสถานที่ทำการตรวจวัด สำหรับ 18 % ของสถานที่ทำการตรวจวัดภายในค่า PD จะมากกว่า 15 % และมากกว่า 3 °C ซึ่งถูกบันทึกไว้ที่ 43 % ของตำแหน่งที่ต่างๆ มีค่า PD มากกว่า 10 % และ มากกว่า 2.5 °C ดังนั้น ถ้าความเร็วลมเฉลี่ยเพิ่มขึ้นความรุนแรงของความแปรปรวน (Turbulence Intensity) และอุณหภูมิอากาศก็จะลดลงเมื่อการระบายอากาศและความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศที่จ่ายเข้าไปเพิ่มขึ้น ทำให้ความเร็วลมเพิ่มขึ้น ความเร็วลมเฉลี่ยและความรุนแรงของความแปรปรวน ก็จะเพิ่มขึ้น แต่อุณหภูมิอากาศจะลดลง

Pellerin, N. and et al. [27] ได้ทำการศึกษาความไม่สบายเชิงอุณหภูมิภาพและทำการคาดการณ์ความไม่พอใจต่อสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน ซึ่งเขานำ ISO 7730 เข้ามาเป็นมาตรฐานในการคาดการณ์ว่า ในกรณีที่มีความแตกต่างกันของสภาวะแวดล้อมในการช่วยระบายความร้อนที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียงมีความเป็นกลางสรีระทางวิทยาและประสาทสัมผัสทางความร้อน โดยสามารถคาดการณ์สิ่งที่เกิดความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิผิวเฉลี่ยและค่าเปอร์เซ็นต์ของคนในประเทศฝรั่งเศสที่ไม่พอใจจากการแลกเปลี่ยนความร้อนและมวลกับสภาพแวดล้อม จากการคาดการณ์พบว่า มีเปอร์เซ็นต์ความไม่พอใจเล็กน้อยที่เกิดความไม่สบายทางความเย็นที่มีอุณหภูมิผิวหนังเฉลี่ยไม่เกิน 32.8 °C และทางด้านร้อนไม่เกิน 33.8 °C ซึ่งจำนวนเหล่านี้ยังคงอยู่ที่ประมาณ 40 % และเป็นไปไม่ได้ที่จะคาดการณ์ความไม่สบายในช่วงของอุณหภูมิผิวเฉลี่ยได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพราะมีเพียง 21 คน เท่านั้น ที่แสดงความรู้สึกไม่สบายทางความร้อนออกมาในด้านของความเย็นทั้งหมด และอีก 48 คน ที่แสดงความรู้สึกทางความร้อนออกมาในด้านความร้อน

Gan [28] ได้ทำการศึกษาอาคารสำนักงานในเมืองนีออตติงแฮมถึงความไม่สบายเชิงอุณหภูมิภาพเฉพาะที่ในห้องที่มีการเคลื่อนที่ของการระบายอากาศ โดยใช้คอมพิวเตอร์คำนวณพลศาสตร์ของไหลและใช้

มาตรฐานความปั่นป่วนของ k-e มาวิเคราะห์และทำนาย พบว่ามีปริมาณอากาศส่วนเกินจากแหล่งจ่าย  $17^{\circ}\text{C}$  และมีอุณหภูมิอากาศ  $18 - 22^{\circ}\text{C}$  ในกรณีที่ซัพพลายแอร์เท่ากับ  $0.2\text{ m/s}$  และค่า PD จะเท่ากับ  $15\%$  มี 144 จุด ที่ทำให้เกิดความไม่สบายเชิงอุณหภูมิ

Chow and et al. [29] ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างเพศกับอุณหภูมิที่รู้สึกสบายของคนในฮ่องกง ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กรณี 1.) กรณีที่ไม่มีการเปิดพัดลม พบว่า อุณหภูมิอากาศที่ทำให้รู้สึกสบายของเพศชายอยู่ที่  $24.6^{\circ}\text{C}$  และเพศหญิงอยู่ที่  $25.8^{\circ}\text{C}$  ซึ่งทำให้ผลต่างของอุณหภูมิอากาศที่ทำให้ไม่รู้สึกสบายระหว่างเพศชายกับหญิงมีค่าเท่ากับ  $1.2^{\circ}\text{C}$  แสดงว่าผู้หญิงชอบอุณหภูมิอากาศสูงกว่าผู้ชายอยู่มาก และ 2.) กรณีที่เปิดพัดลม พบว่า เมื่อมีความเร็วของอากาศเพิ่มสูงขึ้นผลต่างอุณหภูมิที่รู้สึกสบายระหว่างเพศชายกับหญิงเริ่มมีค่าลดลง แสดงให้เห็นว่า เมื่อทำการเปิดพัดลมทำให้ความเร็วอากาศในห้องปรับอากาศสูงขึ้น ดังนั้นความรู้สึกเชิงอุณหภูมิของเพศชายกับหญิงจึงมีค่าใกล้เคียงกัน

Schiavon, S. and Lee, H.K. [30] ได้ศึกษาค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าที่มีผลต่อความไม่สบายต่ออุณหภูมิสภาพแวดล้อมจากกลุ่มตัวอย่าง 6,333 กลุ่มในเบิร์กลีย์ โดยทำการวิจัยไว้ 2 แบบ 1.) ทำการพยากรณ์ค่าต้านทานความร้อนของเสื้อผ้า พบว่า ค่าความร้อนของเสื้อผ้าเฉลี่ยในฤดูร้อนอยู่ที่  $0.59\text{ clo}$  และ  $0.66\text{ clo}$  ในฤดูหนาว โดยที่มีอัตราการเผาผลาญพลังงานอยู่ที่ประมาณ 1.2 ซึ่งค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้ามีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิของอากาศกลางแจ้งที่เวลา 6.00 นาฬิกา อุณหภูมิอากาศในร่ม ความชื้น ความเร็วลม และกิจกรรมการที่ทำ และ 2.) ทำการจำลองการถอดย 2 ครั้ง พบว่า ครั้งแรกค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าเป็นฟังก์ชันของอุณหภูมิอากาศกลางแจ้งที่เวลา 6.00 นาฬิกา มีความสามารถในการทำนาย  $19\%$  และครั้งที่สองอิทธิพลของอุณหภูมิอากาศในร่มมีความสามารถในการทำนายเพียง  $22\%$  ของความแปรปรวนทั้งหมด

Mozaffarieh, M. and et al. [31] ได้ศึกษาความสัมพันธ์ของความรู้สึกไม่สบายทางความเย็นกับอายุ เพศ และดัชนีมวลกายจากการสุ่มตัวอย่างของประชาชนในเมืองบาเซิล ประเทศสวิสเซอร์แลนด์ ซึ่งทำการวิเคราะห์โดยใช้การถอดยสำหรับประชากรในเมืองสวิส โดยทำการสุ่มประชากร 2,800 คน ที่มีอายุ 20 – 40 ปี ผลการศึกษาพบว่า คนที่มีอายุน้อยจะรับรู้ถึงความรู้สึกไม่สบายทางด้านเย็นมากกว่าคนที่มีอายุมาก ซึ่งผู้หญิงจะได้รับรู้ถึงความรู้สึกไม่สบายทางด้านเย็นมากกว่าผู้ชาย โดยเฉพาะผู้ที่มีดัชนีมวลกายต่ำ (รูปร่างผอม) จะรู้สึกถึงความไม่สบายมากกว่าผู้ที่มีดัชนีมวลกายสูง (รูปร่างอ้วน) แสดงว่าผู้หญิงที่อายุน้อยและรูปร่างผอมสามารถรับรู้ความรู้สึกไม่สบายได้มากที่สุด และผู้ชายที่อายุมากและรูปร่างอ้วนสามารถรับรู้ความรู้สึกไม่สบายได้น้อยที่สุด

## บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย

### 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ในการดำเนินงานวิจัยนี้ ได้ทำการศึกษาและวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อความไม่สบายเชิงอุณหภูมิของผู้โดยสารในอาคารสนามบิน โดยมีขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัยดังนี้

1. ศึกษาและค้นคว้าข้อมูลงานวิจัยจากแหล่งต่างๆ ทั้งในและต่างประเทศ พร้อมทั้งทฤษฎีต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง เพื่อใช้เป็นแนวทางในการศึกษาและวิเคราะห์ตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อสภาวะความไม่สบายเชิงอุณหภูมิ ตลอดจนใช้เป็นแนวทางในการเสนอมาตรการปรับปรุงเพื่อให้เกิดสภาวะความสบายเชิงอุณหภูมิ
2. ศึกษาข้อมูลสภาพทั่วไปของอาคาร โดยเข้าสำรวจและสอบถามผู้ใช้งานพื้นที่นั้น เพื่อใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการวางแผนสำหรับการดำเนินงานขั้นต่อไป
3. ดำเนินการสำรวจโดยการใช้แบบสอบถามกับผู้ใช้งานพื้นที่อาคารโดยสารสนามบินชั้น 4 และเก็บรวบรวมข้อมูลที่ต้องใช้ในการวิเคราะห์ตัวแปรที่ส่งผลต่อความไม่สบายเชิงอุณหภูมิ
4. นำข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดมาทำการวิเคราะห์ และสร้างต้นแบบจำลองความไม่สบายเชิงอุณหภูมิของผู้โดยสารในอาคารสนามบิน
5. สรุปผลการศึกษาวิจัยและข้อเสนอแนะ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการนำไปพิจารณาปรับปรุงภายในอาคารทำให้เกิดสภาวะสบายมากที่สุด ตลอดจนเป็นแนวทางในการศึกษาในด้านอื่นๆ ต่อไป
6. จัดทำรายงานโครงการศึกษาวิทยานิพนธ์

### 3.2 วิธีการดำเนินการวิจัยและเก็บข้อมูล

เนื่องจากอาคารสนามบินมีพื้นที่ขนาดใหญ่มาก ดังนั้น พื้นที่ที่ใช้เป็นกรณีศึกษา คือ ชั้น 4 ของอาคารผู้โดยสาร (บริเวณจุดศูนย์กลางของอาคารเทียบเครื่องบินทั้งฝั่งตะวันออกและตะวันตก) ทำการทดสอบเพื่อหาตัวแปรที่ส่งผลต่อสภาวะความไม่สบายเชิงอุณหภูมิที่ตอบสนองกับผู้ใช้งานพื้นที่ในอาคาร โดยทำการวิจัยตามขั้นตอนดังนี้

1. กำหนดจุดที่จะทำการตรวจวัดภายในอาคาร โดยทำการกำหนดจุดให้ใกล้กับพื้นที่ที่มีผู้ใช้เยอะที่สุด จากนั้นทำการติดตั้งเครื่องมือที่ใช้วัดอุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม และเครื่องวัดความสบาย (Globe Temperature) ไว้ด้วยกัน เพื่อสะดวกต่อการเคลื่อนที่ยังจุดตรวจวัดต่างๆ โดยทำการติดตั้งให้สูงจากพื้นประมาณ 80 ซม.

2. ทำการเก็บข้อมูลที่ได้จากเครื่องมือวัดความสบายเชิงอุณหภูมิ (WBGT Heat Stress Monitor 8778) ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วอากาศ อุณหภูมิของโกลบ ณ จุดที่ทำการสำรวจ ข้อมูล ขณะที่เก็บข้อมูลจากเครื่องมือวัดความสบายเชิงอุณหภูมิ ผู้วิจัยทำการแจกแบบสอบถามแก่ผู้ใช้พื้นที่บริเวณจุดที่ทำการเก็บข้อมูล เพื่อนำไปวิเคราะห์ค่าการโหวตความรู้สึกเชิงอุณหภูมิจากการตรวจวัดจริง (Actual Sensation Vote: ASV)
3. นำข้อมูลที่ได้จากการเก็บแบบสอบถามมารอกลงในโปรแกรม Excel เพื่อวิเคราะห์ค่าอุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย และอุณหภูมิโอเปอร์เรทีฟ ที่มีผลต่อค่าการโหวตความรู้สึกเชิงอุณหภูมิจากการตรวจวัดจริง (ASV) และการทำนายค่าการโหวตเฉลี่ย (PMV)
4. นำข้อมูลที่ได้จากการเก็บแบบสอบถามมาวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Excel โดยทำการวิเคราะห์ลักษณะการสวมใส่เสื้อผ้าซึ่งแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มตัวอย่าง จากจำนวนกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด 491 กลุ่มตัวอย่าง แบ่งเป็นผู้ชาย 279 คน และผู้หญิง 212 คน
5. ทำการพัฒนาแบบจำลองความไม่สบายเชิงอุณหภูมิ โดยทำให้เกิดการตอบสนองกับตัวแปรที่ส่งผลต่อความไม่สบายที่มีความสัมพันธ์ร่วมกันกับค่าการโหวตความรู้สึกเชิงอุณหภูมิจากการตรวจวัดจริง (ASV) และการทำนายค่าการโหวตเฉลี่ย (PMV) ซึ่งทำการวิเคราะห์แบบจำลองความไม่สบายเชิงอุณหภูมิตามกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม ดังนี้ กลุ่มที่ 1 มีค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าต่ำกว่า 0.69 clo กลุ่มที่ 2 มีค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าช่วงระหว่าง 0.70 - 0.99 clo และกลุ่มที่ 3 มีค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าสูงกว่า 1.00 clo ขึ้นไป
6. สรุปผลการวิจัยและเสนอแนวทางปรับปรุงเพื่อให้ความสบายเชิงอุณหภูมิของผู้โดยสารในอาคารสนามบิน

### 3.3 ลักษณะการทดสอบของกลุ่มผู้ใช้พื้นที่และสถานที่ทดสอบ

ทำการทดสอบกลุ่มผู้ใช้พื้นที่ทั้งชายและหญิง ซึ่งมีสภาพร่างกายและจิตใจรวมทั้งแต่งกายอยู่ในสภาวะปกติ โดยที่ผู้ทดสอบแต่ละคนจะมีกิจกรรมที่แตกต่างกันไปภายในพื้นที่ที่ทำการทดสอบ โดยทำการทดสอบพื้นที่ปรับอากาศภายในอาคารสนามบิน ซึ่งบริเวณอาคารผู้โดยสารสนามบินที่ทำการเก็บแบบสอบถามนั้นมีผู้โดยสารใช้บริการจำนวนมาก เนื่องจากเป็นพื้นที่ที่มีกิจกรรมต่างๆ ทั้งการบริการและการบริโภค เช่น เคาน์เตอร์ขายสินค้าและบริการ ร้านค้า ร้านอาหาร ที่นั่งพักสำหรับผู้โดยสาร จุดประชาสัมพันธ์ เป็นต้น

สำหรับลักษณะ โครงสร้างกรอบอาคารทั้งหลังคาและผนังด้านข้างของอาคารผู้โดยสารสนามบินพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นกระจก จึงทำให้แสงแดดสามารถทะลุผ่านกระจกได้ โดยเฉพาะช่วงเวลากลางวันอากาศ

ภายในอาคารค่อนข้างมีอุณหภูมิสูง เนื่องจากพื้นที่ที่ได้รับแสงแดดโดยตรงและเป็นเวลานาน จึงส่งผลให้พื้นที่ของอาคารผู้โดยสารสนามบินมีอากาศร้อน แต่ในช่วงเวลากลางคืนอาคารไม่ได้รับอิทธิพลจากแสงอาทิตย์ ทำให้บางพื้นที่ภายในอาคารผู้โดยสารสนามบินมีอุณหภูมิอากาศที่เย็นเกินไป เนื่องมาจากการออกแบบระบบปรับอากาศภายในสนามบินนั้น มีระบบทำความเย็นของอาคารเป็นระบบส่งท่อน้ำเย็นอยู่ในพื้น โดยให้พื้นเป็นตัวแผ่ความเย็นขึ้นมาออกมาอยู่ตามจุดที่มีการใช้พื้นที่เท่านั้น ดังนั้นทำให้ผู้โดยสารรู้สึกสบายเมื่อได้รับลมหรืออยู่ใกล้ๆ อีกทั้งยังมีตัวช่วยกระจายลมอีกตัวหนึ่ง ชื่อว่า Vertical Diffuser ซึ่งจะทำหน้าที่ในการเป่าลมออกมาตรงๆ จึงทำให้บุคคลคนบางกลุ่มรู้สึกหนาว เมื่ออยู่ใกล้ๆ หรืออยู่ตรงหน้าเครื่อง Vertical Diffuser

### 3.4 เครื่องมือวัดที่ใช้ในการเก็บข้อมูล

#### 1. Heat Index WBGT Meter (Model: 8778)

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัดความสบายเชิงอุณหภูมิอากาศ ซึ่งประกอบไปด้วยค่าอุณหภูมิของอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิกระเปาะเปียก และอุณหภูมิโกลบ



รูปที่ 3.1 เครื่องวัดอุณหภูมิ WBGT 8778 Heat stress

#### 2. Multifunction Measuring instrument

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัดอุณหภูมิของอากาศ ความเร็วลม และความชื้นสัมพัทธ์แบบมัลติฟังก์ชัน (Testo 435 - 635 – 735)



รูปที่ 3.2 เครื่องวัดความเร็วลมและอุณหภูมิ Testo 435

### 3. Hot Wire Probe

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัดความเร็วลม โดยมีหัววัดแบบ hot wire ติดตั้งที่ตัวเครื่องพร้อม telescope ปรับความยาวได้สูงสุด 820 mm ซึ่งสามารถวัดความละเอียดในช่วง 0 m/s ถึง 20 m/s ค่าความคลาดเคลื่อนในการวัด  $\pm 0.03$  m/s



รูปที่ 3.3 Hot Wire Probe

### 4. Radio Probes

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัดอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์อากาศ ซึ่งช่วงในการวัดอุณหภูมิ ระหว่าง  $-20^{\circ}\text{C}$  ถึง  $+70^{\circ}\text{C}$  ค่าคลาดเคลื่อนในการวัด  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  และช่วงของความชื้นสัมพัทธ์ 0 %RH ถึง 100 %RH ค่าคลาดเคลื่อนในการวัด  $\pm 2$  %RH



รูปที่ 3.4 Radio Probes

### 5. Infrared Digital Thermometer Gun UT301A

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัดอุณหภูมิพื้นผิว แบบใช้แสงอินฟราเรด UT301A เป็นตัวตรวจจับความร้อนแล้วนำมาประมวลผลแสดงเป็นตัวเลขแบบดิจิทัล ซึ่งช่วงในการวัดอุณหภูมิระหว่าง  $-18^{\circ}\text{C}$  ถึง  $350^{\circ}\text{C}$  ระยะเวลาการวัดคือ 12 ต่อ 1 ค่าคลาดเคลื่อนในการวัด  $0.1^{\circ}\text{C}$  โดยที่สามารถปรับค่า Emissivity ของพื้นผิวได้ตั้งแต่ 0.10 ถึง 1.0



รูปที่ 3.5 เครื่องวัดอุณหภูมิแบบใช้แสงอินฟราเรด UT301A

#### 6. แบบสอบถามที่ใช้สำหรับโหนดสถานะทางด้านความความสบายเชิงอุณหภูมิ

เป็นเอกสารที่ใช้ในการเก็บข้อมูลกลุ่มตัวอย่างผู้โดยสารในอาคารสนามบิน ซึ่งได้ทำการพัฒนาแบบสอบถามให้เหมาะสมกับข้อมูลที่ต้องการโดยอ้างอิงแบบสอบถามจาก ASHRAE โดยทำการเพิ่มระดับการโหวตความรู้สึกจาก 7 เป็น 9 ระดับ ซึ่งมีการเพิ่มระดับ  $-0.5$  กับ  $+0.5$  เพื่อการรับรู้ความรู้สึกที่ละเอียดมากขึ้น ดังแสดงไว้ในภาคผนวก ข

## บทที่ 4 ผลการศึกษาและวิจารณ์

### 4.1 ข้อมูลทั่วไปของอาคาร

อาคารที่ทำการศึกษาคืออาคารสนามบินซึ่งมีพื้นที่รวม 563,000 ตารางเมตร โดยเปิดทำการตลอด 24 ชั่วโมง และมีโครงสร้างกรอบอาคารส่วนใหญ่เป็นกระจก โดยโครงสร้างของหลังคาจะมีทั้งกระจกและฝ้าใบสังเคราะห์พิเศษที่มีความเหนียว ทนทาน และเคลือบเทปลอนซึ่งป้องกันฝุ่นละอองไม่ให้เกาะได้

### 4.2 ข้อมูลการสำรวจทั่วไป

จากตารางที่ 4.1 แสดงข้อมูลสภาวะแวดล้อมภายในอาคารขณะทำการเก็บข้อมูลกับกลุ่มตัวอย่างที่อาคารโดยสารสนามบิน ซึ่งทำการสำรวจตั้งแต่เดือนตุลาคม 2554 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ 2555 โดยใช้แบบสอบถามที่ทำการพัฒนามาจากแบบสอบถามขั้นต้นของ ASHRAE เพื่อให้เหมาะสมกับข้อมูลที่ต้องการ และทำการสุ่มกลุ่มตัวอย่างจากผู้ใช้งานที่จำนวน 491 คน แบ่งเป็นผู้ชาย 279 คน และผู้หญิง 212 คน จากการเก็บข้อมูลในช่วงระยะเวลาดังกล่าวเป็นช่วงระหว่างฤดูฝนและฤดูหนาว แต่เนื่องจากระยะเวลาดังกล่าวมีมรสุมที่พัดผ่านสนามบิน จึงทำให้สภาพอากาศส่วนใหญ่มีฝนตกเกือบทุกวันทั้งตอนกลางวันและตอนกลางคืน แต่ก็มีบางเวลาที่มีแสงแดด ท้องฟ้าโปร่งใส และฝนไม่ตก จึงสามารถแสดงข้อมูลทางด้านสภาวะแวดล้อมที่ได้ทำการศึกษาไว้ดังนี้ (1) ค่าอุณหภูมิอากาศอยู่ระหว่าง 19.6 – 29.1 °C และมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศอยู่ที่ 23.4 °C และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 2.02 (2) ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศมีค่าอยู่ระหว่าง 39.0 - 64.9 % โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 50.5 % และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 5.42 (3) อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยมีค่าอุณหภูมิระหว่าง 19.5 – 34.8 °C และมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยอยู่ที่ 26.2 °C โดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 3.56 (4) ความเร็วอากาศมีค่าอยู่ระหว่าง 0.0 – 3.9 m/s และมีค่าเฉลี่ยความเร็วอากาศอยู่ที่ 0.5 m/s โดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.76

สำหรับข้อมูลของอุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย และอุณหภูมิโอเปอ์เรทีฟในช่วงกลางวัน มีค่าของอุณหภูมิต่ำสุดเท่ากับ 24.0, 26.0 และ 25.0 °C และมีค่าสูงสุดในช่วงเวลากลางวันเท่ากับ 29.0, 35.0 และ 31.0 °C ตามลำดับ ในทำนองเดียวกันช่วงเวลากลางคืนมีค่าของอุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย และอุณหภูมิโอเปอ์เรทีฟมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 19.0, 19.0 และ 20.0 °C และมีค่าของ

อุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 23.0, 23.0 และ 24.0°C ตามลำดับ ซึ่งสามารถแสดงค่าที่ได้จากการตรวจวัดและการคำนวณไว้ในดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลสภาวะแวดล้อมที่ได้ทำการศึกษา

| ตัวแปร                             | ค่าต่ำสุด | ค่าสูงสุด | ค่าเฉลี่ย | ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน |
|------------------------------------|-----------|-----------|-----------|---------------------|
| (1) อุณหภูมิอากาศ (°C)             | 19.6      | 29.1      | 23.4      | 2.02                |
| (2) ความชื้นสัมพัทธ์ (%RH)         | 39.0      | 64.9      | 50.5      | 5.42                |
| (3) อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย (°C) | 19.5      | 34.8      | 26.2      | 3.56                |
| (4) ความเร็วลม (m/s)               | 0.0       | 3.9       | 0.5       | 0.76                |

ตารางที่ 4.2 อุณหภูมิต่ำสุดและสูงสุดในช่วงเวลากลางวันและกลางคืน บริเวณชั้น 4 ของอาคาร ผู้โดยสาร (จุดศูนย์กลางของอาคารเทียบเครื่องบินทั้งฝั่งตะวันออกและตะวันตก) ที่ได้จากการตรวจวัดและการคำนวณ

| ตัวแปร                | อุณหภูมิต่ำสุดในช่วงเวลากลางวัน | อุณหภูมิต่ำสุดในช่วงเวลากลางคืน | อุณหภูมิสูงสุดในช่วงเวลากลางวัน | อุณหภูมิสูงสุดในช่วงเวลากลางคืน |
|-----------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| T <sub>a</sub> (°C)   | 24.0                            | 19.0                            | 29.0                            | 23.0                            |
| T <sub>mrt</sub> (°C) | 26.0                            | 19.0                            | 35.0                            | 23.0                            |
| T <sub>op</sub> (°C)  | 25.0                            | 20.0                            | 31.0                            | 24.0                            |

ตารางที่ 4.3 ข้อมูลทางด้านบุคคลที่ได้ทำการศึกษา

| ข้อมูลทางด้านบุคคล               | ต่ำสุด | สูงสุด | เฉลี่ย |
|----------------------------------|--------|--------|--------|
| (1) การสวมใส่เสื้อผ้า (clo)      | 0.44   | 1.71   | 0.89   |
| (2) ความสูง (m)                  | 1.49   | 1.81   | 1.67   |
| (3) น้ำหนัก (kg)                 | 39.0   | 90.0   | 64.1   |
| (4) อัตราการเผาผลาญพลังงาน (met) | 0.8    | 2.5    | 1.2    |
| (5) อายุ (year)                  | 19     | 53     | 26     |

จากแบบสอบถามกลุ่มตัวอย่างทำให้ได้ทางด้านบุคคล (ตารางที่ 4.3) ดังนี้ (1) ค่าการสวมใส่เสื้อผ้า (Clothing) หรือค่า clo มีค่าต่ำสุด สูงสุด และค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.44, 1.71 และ 0.89 clo ตามลำดับ และ (2) มีค่าความสูงต่ำสุด 1.49 m. สูงสุด 1.81 m. และมีค่าเฉลี่ย 1.67 m. ซึ่ง (3) กลุ่มตัวอย่างมีน้ำหนักน้อยสุด มากสุด และเฉลี่ยเท่ากับ 39.0, 90.0 และ 64.1 kg. ตามลำดับ โดยที่ (4) มีค่าอัตราการเผาผลาญพลังงาน และ (5) มีช่วงอายุที่ต่ำที่สุด สูงที่สุด และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.8, 2.5 และ 1.2 met และ 19, 53 และ 26 year ตามลำดับ

### 4.3 ผลการวิเคราะห์ดัชนีความไม่สบายเชิงอุณหภูมิ (Thermal Comfort Indices)

#### 4.3.1 ดัชนีทางด้านเสื้อผ้าที่สวมใส่ (Clothing)

จากข้อมูลของกลุ่มตัวอย่างสามารถแบ่งค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าได้ดังตารางที่ 4.4 ซึ่งจะแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มตัวอย่างได้ดังนี้ กลุ่มที่ 1 ใส่เสื้อผ้าแบบสบายๆ เช่น เสื้อโปโล + กางเกงขาสั้น + ชุดชั้นใน + รองเท้าทั่วไป เป็นต้น ซึ่งมีค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าช่วงระหว่าง 0.40 – 0.69 clo กลุ่มที่ 2 ใส่เสื้อผ้าแบบทั่วไป เช่น เสื้อเชิ้ตแขนยาว + กางเกงยีนส์ + ชุดชั้นใน + รองเท้า เป็นต้น ในกลุ่มนี้จะมีค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าช่วงระหว่าง 0.70 - 0.99 clo และกลุ่มที่ 3 จะมีค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าช่วงระหว่าง 1.00 – 1.45 clo ในกลุ่มนี้จะมีใส่เสื้อผ้าแบบเป็นทางการ เช่น มีการใส่เสื้อสูท หรือเสื้อแจ็กเก็ต เป็นต้น

ตารางที่ 4.4 ข้อมูลด้านบุคคลของกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ

| ข้อมูลด้านบุคคล                    | กลุ่มที่ 1<br>(0.40 - 0.69 clo) | กลุ่มที่ 2<br>(0.70 - 0.99 clo) | กลุ่มที่ 3<br>(1.00 - 1.45 clo) |
|------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| การสวมใส่เสื้อผ้าเฉลี่ย (clo)      | 0.63                            | 0.82                            | 1.14                            |
| อัตราการเผาผลาญพลังงานเฉลี่ย (met) | 1.31                            | 1.21                            | 1.26                            |

#### 4.3.2 ดัชนีทางด้านความรู้สึกไม่สบายที่อุณหภูมิอากาศ (Air Temperature: $T_a$ )

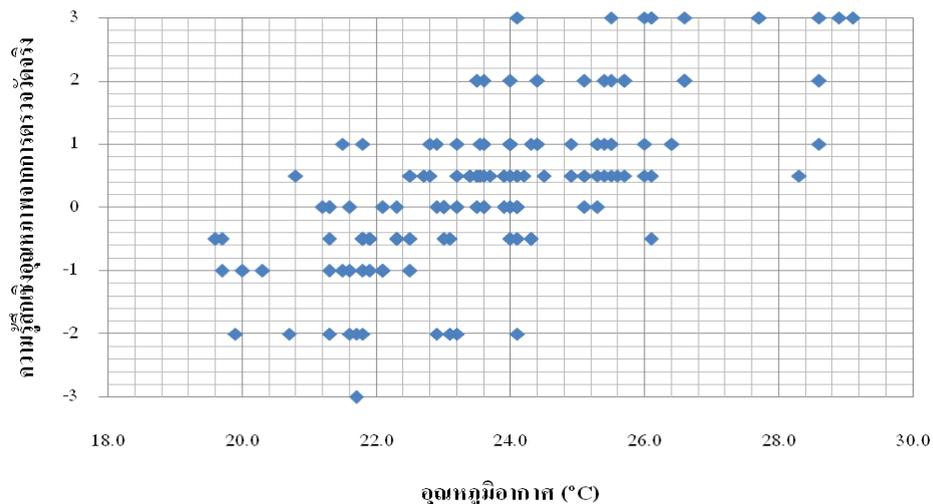
##### 4.3.2.1 กรณีค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าอยู่ระหว่าง 0.40 - 0.69 clo

(1) การวิเคราะห์ค่าการโหวตความรู้สึกเชิงอุณหภูมิจากการตรวจวัดจริง (Actual Sensation Vote: ASV) เป็นค่าการโหวตจากความรู้สึกของกลุ่มตัวอย่างว่าในสภาวะขณะนั้นว่ารู้สึกอย่างไร เช่น ร้อน

หรือหนาว เป็นต้น ซึ่งจากการสอบถามในครั้งนี้ได้อ้างอิงมาจาก ASHRAE ที่มีการแบ่งไว้ 7 ระดับ ดังนั้น เพื่อให้รับรู้ความรู้สึกได้ละเอียดมากขึ้น จึงเพิ่มระดับที่ -0.5 และ +0.5 ทำให้ระดับของความรู้สึกเป็น 9 ระดับ ดังแสดงไว้ในภาคผนวก ข.

จากรูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับความรู้สึกเชิงอุณหภูมิจากการตรวจวัดจริง พบว่า เมื่อทำการพิจารณาที่ ASV อยู่ในช่วง -0.5 ถึง +0.5 พบว่า อุณหภูมิอากาศที่ทำให้กลุ่มตัวอย่างเกิดรู้สึกสบายอยู่ในช่วงระหว่าง 21.8 - 24.1 °C โดยที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 23.8 °C อุณหภูมิอากาศต่ำสุดและสูงสุดเท่ากับ 19.6, 29.1 °C ตามลำดับ ซึ่งมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 2.02

จากผลการโหวตความรู้สึกสบายเชิงอุณหภูมิจากการตรวจวัดจริงของจากกลุ่มตัวอย่าง 154 ตัวอย่าง (ตารางที่ 4.5) พบว่า กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่เกิดความรู้สึกสบายที่อุณหภูมิ 24.0 – 24.9 °C เมื่อทำการพิจารณาที่ผลโหวตในช่วง -0.5 ถึง +0.5 โดยที่มีผลโหวตความรู้สึกสบายเท่ากับ 72.41% ซึ่งผลโหวตของกลุ่มตัวอย่างที่เกิดความรู้สึกไม่สบายทางด้านเย็นเท่ากับ 6.45% และผลโหวตทางด้านร้อนเท่ากับ 19.35% ดังนั้นถ้าอุณหภูมิต่ำกว่า 24.0 °C กลุ่มตัวอย่างจะเกิดความรู้สึกไม่สบายทางด้านเย็น และที่อุณหภูมิตั้งแต่ 24.9 °C ขึ้นไป กลุ่มตัวอย่างจะเกิดความรู้สึกไม่สบายทางด้านร้อน และจากข้อมูลที่ได้กล่าวมานี้ทำให้ทราบถึงการปรับตั้งอุณหภูมิให้เหมาะสมกับกลุ่มตัวอย่างที่มีการสวมใส่เสื้อผ้าที่มีความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าอยู่ระหว่าง 0.40 – 0.69 clo นั้น เพื่อให้กลุ่มตัวอย่างเกิดความสบายเชิงอุณหภูมิควรปรับตั้งอุณหภูมิให้อยู่ประมาณ 24.5 °C



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศกับความรู้สึกเชิงอุณหภูมิจากการตรวจวัดจริง กรณีค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าอยู่ระหว่าง 0.40 - 0.69 clo

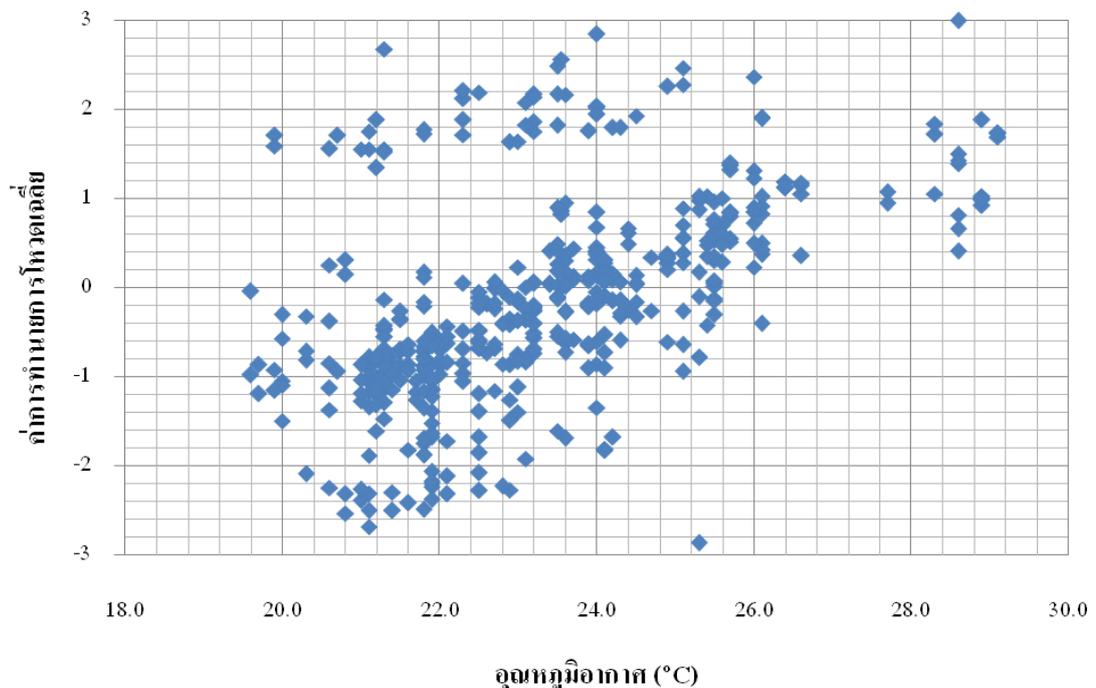
ตารางที่ 4.5 ผลการโหวตความรู้สึกสบายเชิงอุณหภูมิอากาศจากการตรวจวัดจริงของกลุ่มตัวอย่างที่มีการใส่เสื้อผ้าที่มีค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าอยู่ระหว่าง 0.40 - 0.69 clo

| Range | T <sub>a</sub> | -3 | -2 | -1 | -0.5 | 0 | 0.5 | 1 | 2 | 3 | sum | %      | Cool Dis. | %Cool Dis. | Comfort | %Comfort | Warm Dis. | %Warm Dis. |
|-------|----------------|----|----|----|------|---|-----|---|---|---|-----|--------|-----------|------------|---------|----------|-----------|------------|
| 1     | 19.0 - 19.9    | 1  | 1  | 2  | 0    | 0 | 0   | 0 | 0 | 0 | 4   | 2.60   | 4         | 100.00     | 0       | 0.00     | 0         | 0.00       |
| 2     | 20.0 - 20.9    | 0  | 1  | 2  | 1    | 0 | 0   | 0 | 0 | 0 | 4   | 2.60   | 3         | 75.00      | 1       | 25.00    | 0         | 0.00       |
| 3     | 21.0 - 21.9    | 1  | 5  | 5  | 7    | 4 | 0   | 2 | 0 | 0 | 24  | 15.58  | 11        | 45.83      | 11      | 45.83    | 2         | 8.33       |
| 4     | 22.0 - 22.9    | 0  | 1  | 3  | 4    | 3 | 5   | 2 | 0 | 0 | 18  | 11.69  | 4         | 22.22      | 12      | 66.67    | 2         | 11.11      |
| 5     | 23.0 - 23.9    | 0  | 2  | 2  | 2    | 8 | 11  | 4 | 2 | 0 | 31  | 20.13  | 4         | 12.90      | 21      | 67.74    | 6         | 19.35      |
| 6     | 24.0 - 24.9    | 0  | 1  | 0  | 4    | 6 | 11  | 5 | 1 | 1 | 29  | 18.83  | 1         | 3.45       | 21      | 72.41    | 7         | 24.14      |
| 7     | 25.0 - 25.9    | 0  | 0  | 0  | 0    | 5 | 10  | 3 | 2 | 1 | 21  | 13.64  | 0         | 0.00       | 15      | 71.43    | 6         | 28.57      |
| 8     | 26.0 - 26.9    | 0  | 0  | 0  | 1    | 0 | 3   | 3 | 2 | 5 | 14  | 9.09   | 0         | 0.00       | 4       | 28.57    | 10        | 71.43      |
| 9     | 27.0 - 27.9    | 0  | 0  | 0  | 0    | 0 | 0   | 0 | 0 | 2 | 2   | 1.30   | 0         | 0.00       | 0       | 0.00     | 2         | 100.00     |
| 10    | 28.0 - 28.9    | 0  | 0  | 0  | 0    | 0 | 1   | 1 | 1 | 2 | 5   | 3.25   | 0         | 0.00       | 1       | 20.00    | 4         | 80.00      |
| 11    | 29.0 - 29.9    | 0  | 0  | 0  | 0    | 0 | 0   | 0 | 0 | 2 | 2   | 1.30   | 0         | 0.00       | 0       | 0.00     | 2         | 100.00     |
|       |                |    |    |    |      |   |     |   |   |   | 154 | 100.00 | 27        |            | 86      |          | 41        |            |

(2) การวิเคราะห์ค่าการทำนายค่าการโหวตเฉลี่ย (Predicted Mean Vote: PMV) เป็นค่าการประเมินคุณภาพด้วยความรู้สึกรู้สึก โดยการคำนวณจากข้อมูลด้านบุคคลของกลุ่มตัวอย่างและข้อมูลด้านสิ่งแวดล้อมที่ทำการเก็บในพื้นที่เสมือนพื้นที่นั้นมีสภาวะอากาศแบบคงที่ (Steady - State) ซึ่งค่าการทำนายค่าการโหวตเฉลี่ยสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.11 และสามารถแบ่งระดับได้ 7 ระดับ เช่นเดียวกับค่า ASV ซึ่งในปัจจุบันมีมาตราส่วนที่นิยมใช้ทั่วไป 2 มาตรส่วน ได้แก่ มาตรส่วนของ Bedford และของ ASHRAE ที่มีความใกล้เคียงกัน

ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศกับค่าการทำนายการโหวตเฉลี่ยจากรูปที่ 4.2 พบว่า อุณหภูมิอากาศที่ทำให้กลุ่มตัวอย่างเกิดรู้สึกสบายอยู่ในช่วงระหว่าง 22.2 - 25.2 °C เมื่อพิจารณาที่ PMV อยู่ในช่วง -0.5 ถึง +0.5

และจากกลุ่มตัวอย่าง 154 ตัวอย่าง พบว่า กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่รู้สึกสบายในช่วงอุณหภูมิ 23.0 - 23.9 °C ( $-0.5 < PMV < +0.5$ ) โดยที่มีผลโหวตความรู้สึกรู้สึกสบายเท่ากับ 80.65% ดังนั้นกลุ่มตัวอย่างจะเกิดความรู้สึกไม่สบายทางด้านเย็นเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า 23.0 °C และทางด้านร้อนเมื่อมีอุณหภูมิตั้งแต่ 23.9 °C ขึ้นไป ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.6



**รูปที่ 4.2** ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศกับค่าการทำนายการโหวตเฉลี่ย  
กรณีค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าอยู่ระหว่าง 0.40 - 0.69 clo

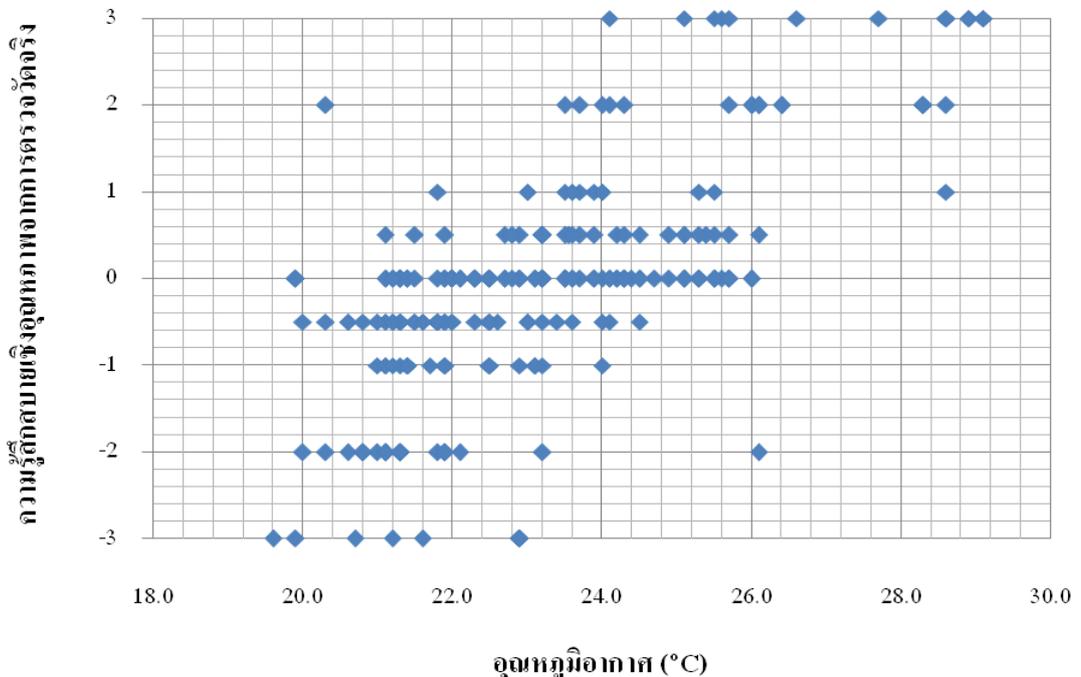
ตารางที่ 4.6 ค่าการทำนายการโหวตเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างที่มีการใส่เสื้อผ้าที่มีค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าอยู่ระหว่าง 0.40 - 0.69 clo

| Range | T <sub>a</sub> | -3 | -2 | -1 | -0.5 | 0  | 0.5 | 1 | 2 | 3 | sum | %      | Cool Dis. | %Cool Dis. | Comfort | %Comfort | Warm Dis. | %Warm Dis. |
|-------|----------------|----|----|----|------|----|-----|---|---|---|-----|--------|-----------|------------|---------|----------|-----------|------------|
| 1     | 19.0 - 19.9    | 0  | 0  | 2  | 1    | 1  | 0   | 0 | 0 | 0 | 4   | 2.60   | 2         | 50.00      | 2       | 50.00    | 0         | 0.00       |
| 2     | 20.0 - 20.9    | 0  | 0  | 1  | 2    | 1  | 0   | 0 | 0 | 0 | 4   | 2.60   | 1         | 25.00      | 3       | 75.00    | 0         | 0.00       |
| 3     | 21.0 - 21.9    | 0  | 0  | 6  | 13   | 0  | 0   | 5 | 0 | 0 | 24  | 15.58  | 6         | 25.00      | 13      | 54.17    | 5         | 20.83      |
| 4     | 22.0 - 22.9    | 0  | 2  | 2  | 8    | 2  | 0   | 2 | 2 | 0 | 18  | 11.69  | 4         | 22.22      | 10      | 55.56    | 4         | 22.22      |
| 5     | 23.0 - 23.9    | 0  | 0  | 1  | 10   | 13 | 2   | 4 | 1 | 0 | 31  | 20.13  | 1         | 3.23       | 25      | 80.65    | 5         | 16.13      |
| 6     | 24.0 - 24.9    | 0  | 0  | 2  | 2    | 14 | 5   | 2 | 4 | 0 | 29  | 18.83  | 2         | 6.90       | 21      | 72.41    | 6         | 20.69      |
| 7     | 25.0 - 25.9    | 0  | 0  | 0  | 0    | 5  | 10  | 4 | 2 | 0 | 21  | 13.64  | 0         | 0.00       | 15      | 71.43    | 6         | 28.57      |
| 8     | 26.0 - 26.9    | 0  | 0  | 0  | 0    | 1  | 4   | 7 | 0 | 2 | 14  | 9.09   | 0         | 0.00       | 5       | 35.71    | 9         | 64.29      |
| 9     | 27.0 - 27.9    | 0  | 0  | 0  | 0    | 0  | 0   | 2 | 0 | 0 | 2   | 1.30   | 0         | 0.00       | 0       | 0.00     | 2         | 100.00     |
| 10    | 28.0 - 28.9    | 0  | 0  | 0  | 0    | 0  | 1   | 4 | 0 | 0 | 5   | 3.25   | 0         | 0.00       | 1       | 20.00    | 4         | 80.00      |
| 11    | 29.0 - 29.9    | 0  | 0  | 0  | 0    | 0  | 0   | 1 | 0 | 1 | 2   | 1.30   | 0         | 0.00       | 0       | 0.00     | 2         | 100.00     |
| 12    | 30.0 - 30.9    | 0  | 0  | 0  | 0    | 0  | 0   | 0 | 0 | 0 | 0   | 0.00   | 0         | 0.00       | 0       | 0.00     | 0         | 0.00       |
|       |                |    |    |    |      |    |     |   |   |   | 154 | 100.00 | 16        |            | 95      |          | 43        |            |

**4.3.2.2 กรณีค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าอยู่ระหว่าง 0.70 - 0.99 clo**

(1) สำหรับกรณีค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าอยู่ระหว่าง 0.70 - 0.99 clo มีการกระจายตัวของอุณหภูมิอากาศตั้งแต่ 19.6 - 29.1 °C โดยที่มีอุณหภูมิอุณหภูมิเฉลี่ย 23.2 °C ซึ่งมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 2.09 และจากรูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับความรู้สึกเชิงอุณหภูมิจากการตรวจวัดจริง พบว่า เมื่อทำการพิจารณาที่ ASV อยู่ในช่วง -0.5 ถึง +0.5 พบว่า อุณหภูมิอากาศที่ทำให้กลุ่มตัวอย่างเกิดรู้สึกสบายอยู่ในช่วงระหว่าง 21.1 - 24.4 °C

จากกลุ่มตัวอย่าง 241 ตัวอย่าง พบว่า ช่วงอุณหภูมิระหว่าง 23.0 – 23.9 °C มีเปอร์เซ็นต์ความสบายเชิงอุณหภูมิมากที่สุดเท่ากับ 73.33% จากผลการโหวตความรู้สึกสบายเชิงอุณหภูมิจากการตรวจวัดจริงของกลุ่มตัวอย่าง หากพิจารณาที่ผลโหวต ASV ในช่วง -0.5 ถึง +0.5 ซึ่งคิดเป็น 18.67% ของกลุ่มตัวอย่างทั้งหมดที่ได้ทำการโหวตในช่วงของอุณหภูมินี้ แต่อีก 50.21% กลุ่มตัวอย่างเกิดความรู้สึกทางด้านเย็น (< 23.0 °C) และ 31.12% กลุ่มตัวอย่างเกิดความรู้สึกทางด้านร้อน (>23.9 °C) ดังนั้นควรมีการปรับตั้งอุณหภูมิให้อยู่ประมาณ 23.5 °C จากข้อมูลที่ได้กล่าวมาข้างต้นสำหรับกลุ่มตัวอย่างที่มีการสวมใส่เสื้อผ้าที่มีความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าอยู่ระหว่าง 0.70 – 0.99 clo เพื่อให้กลุ่มตัวอย่างเกิดความสบายเชิงอุณหภูมิ (ตารางที่ 4.7)



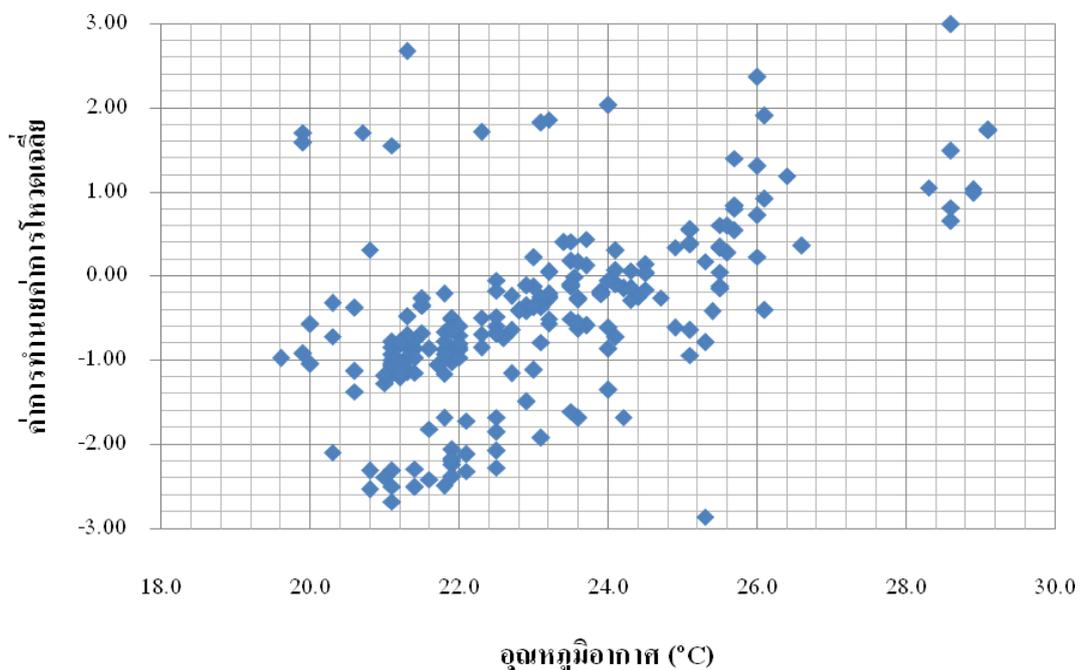
**รูปที่ 4.3** ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศกับความรับรู้เชิงอุณหภูมิจากการตรวจวัดจริง กรณีค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าอยู่ระหว่าง 0.70 - 0.99 clo

ตารางที่ 4.7 ผลการโหวตความรู้สึกสบายเชิงอุณหภูมิอากาศจากการตรวจวัดจริงของกลุ่มตัวอย่างที่มีการใส่เสื้อผ้าที่มีค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าอยู่ระหว่าง 0.70 - 0.99 clo

| Range | T <sub>a</sub> | -3 | -2 | -1 | -0.5 | 0  | 0.5 | 1 | 2 | 3 | sum | %      | Cool Dis. | %Cool Dis. | Comfort | %Comfort | Warm Dis. | %Warm Dis. |
|-------|----------------|----|----|----|------|----|-----|---|---|---|-----|--------|-----------|------------|---------|----------|-----------|------------|
| 1     | 19.0 - 19.9    | 2  | 1  | 1  | 0    | 0  | 0   | 0 | 0 | 0 | 4   | 1.66   | 4         | 100.00     | 0       | 0.00     | 0         | 0.00       |
| 2     | 20.0 - 20.9    | 1  | 5  | 0  | 5    | 0  | 0   | 0 | 1 | 0 | 12  | 4.98   | 6         | 50.00      | 5       | 41.67    | 1         | 8.33       |
| 3     | 21.0 - 21.9    | 2  | 10 | 14 | 26   | 14 | 3   | 1 | 0 | 0 | 70  | 29.05  | 26        | 37.14      | 43      | 61.43    | 1         | 1.43       |
| 4     | 22.0 - 22.9    | 2  | 3  | 5  | 7    | 15 | 3   | 0 | 0 | 0 | 35  | 14.52  | 10        | 28.57      | 25      | 71.43    | 0         | 0.00       |
| 5     | 23.0 - 23.9    | 0  | 1  | 4  | 8    | 17 | 8   | 5 | 2 | 0 | 45  | 18.67  | 5         | 11.11      | 33      | 73.33    | 7         | 15.56      |
| 6     | 24.0 - 24.9    | 0  | 0  | 1  | 3    | 13 | 3   | 3 | 3 | 1 | 27  | 11.20  | 1         | 3.70       | 19      | 70.37    | 7         | 25.93      |
| 7     | 25.0 - 25.9    | 0  | 0  | 0  | 0    | 7  | 4   | 2 | 2 | 4 | 19  | 7.88   | 0         | 0.00       | 11      | 57.89    | 8         | 42.11      |
| 8     | 26.0 - 26.9    | 0  | 1  | 0  | 0    | 4  | 1   | 1 | 7 | 1 | 15  | 6.22   | 1         | 6.67       | 5       | 33.33    | 9         | 60.00      |
| 9     | 27.0 - 27.9    | 0  | 0  | 0  | 0    | 0  | 0   | 0 | 0 | 1 | 1   | 0.41   | 0         | 0.00       | 0       | 0.00     | 1         | 100.00     |
| 10    | 28.0 - 28.9    | 0  | 0  | 0  | 0    | 0  | 3   | 1 | 3 | 4 | 11  | 4.56   | 0         | 0.00       | 3       | 27.27    | 8         | 72.73      |
| 11    | 29.0 - 29.9    | 0  | 0  | 0  | 0    | 0  | 0   | 0 | 0 | 2 | 2   | 0.83   | 0         | 0.00       | 0       | 0.00     | 2         | 100.00     |
|       |                |    |    |    |      |    |     |   |   |   | 241 | 100.00 | 53        |            | 144     |          | 44        |            |

(2) จากรูปที่ 4.4 พบว่า เมื่อพิจารณาที่ PMV อยู่ในช่วง -0.5 ถึง +0.5 อุณหภูมิอากาศที่ทำให้กลุ่มตัวอย่างเกิดรู้สึกสบายอยู่ในช่วงระหว่าง 22.8 - 25.7 °C

และจากการวิเคราะห์ค่าการทำนายค่าการโหวตเฉลี่ย (PMV) พบว่า กลุ่มตัวอย่างที่มีการสวมใส่เสื้อผ้าระหว่าง 0.70 - 0.99 clo จะเกิดรู้สึกสบายในช่วงอุณหภูมิ 23.0 – 23.9 °C เมื่อพิจารณา ASV ในช่วง -0.5 ถึง +0.5 โดยที่มีผลโหวตความรู้สึกสบายเท่ากับ 84.78% และกลุ่มตัวอย่างจะเกิดความรู้สึกไม่สบายทางด้านเย็นเมื่ออุณหภูมิอากาศต่ำกว่า 23.0 °C และทางด้านร้อนเมื่อมีอุณหภูมิตั้งแต่ 23.9 °C ขึ้นไป ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.8



**รูปที่ 4.4** ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศกับค่าการทำนายการโหวตเฉลี่ย  
กรณีค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าอยู่ระหว่าง 0.70 - 0.99 clo

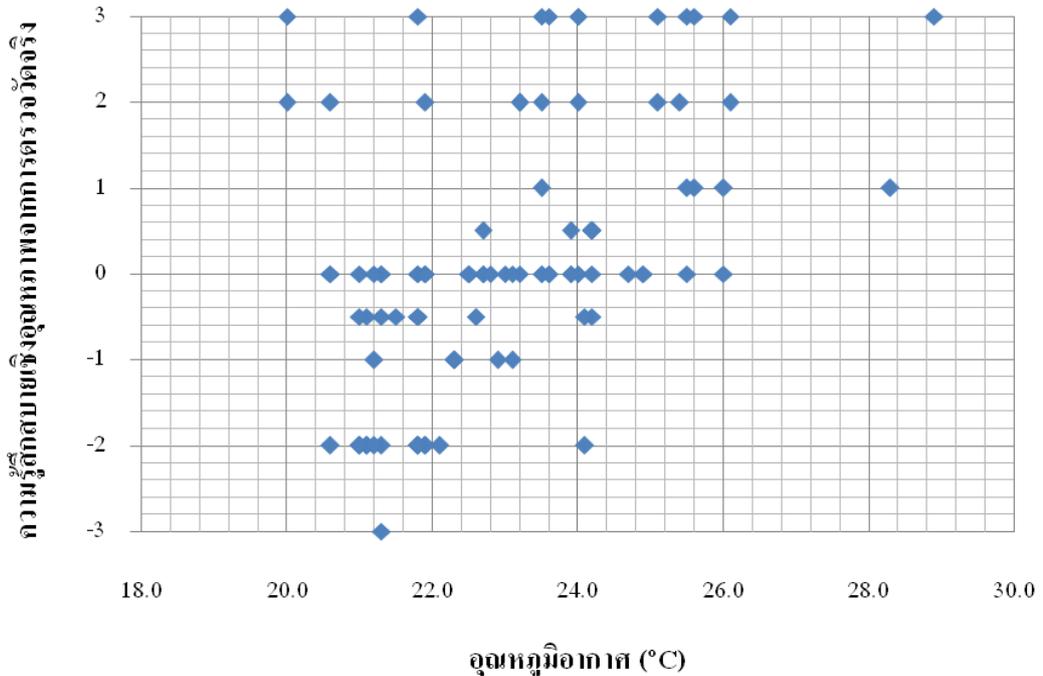
ตารางที่ 4.8 ค่าการทำนายการไหลของความร้อนของกลุ่มตัวอย่างที่มีการใส่เสื้อผ้าที่มีค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าอยู่ระหว่าง 0.70 - 0.99 clo

| Range | T <sub>a</sub> |        | -3 | -2 | -1 | -0.5 | 0  | 0.5 | 1 | 2 | 3 | sum        | %      | Cool Dis. | %Cool Dis. | Comfort | %Comfort | Warm Dis. | %Warm Dis. |
|-------|----------------|--------|----|----|----|------|----|-----|---|---|---|------------|--------|-----------|------------|---------|----------|-----------|------------|
| 1     | 19.0           | - 19.9 | 0  | 2  | 2  | 0    | 0  | 0   | 0 | 0 | 0 | 4          | 1.66   | 4         | 100.00     | 0       | 0.00     | 0         | 0.00       |
| 2     | 20.0           | - 20.9 | 0  | 3  | 3  | 2    | 3  | 0   | 1 | 0 | 0 | 12         | 4.98   | 6         | 50.00      | 5       | 41.67    | 1         | 8.33       |
| 3     | 21.0           | - 21.9 | 0  | 13 | 17 | 32   | 6  | 0   | 1 | 1 | 0 | 70         | 29.05  | 30        | 42.86      | 38      | 54.29    | 2         | 2.86       |
| 4     | 22.0           | - 22.9 | 0  | 4  | 5  | 13   | 12 | 0   | 1 | 0 | 0 | 35         | 14.52  | 9         | 25.71      | 25      | 71.43    | 1         | 2.86       |
| 5     | 23.0           | - 23.9 | 0  | 0  | 4  | 8    | 27 | 4   | 2 | 0 | 1 | 46         | 19.09  | 4         | 8.70       | 39      | 84.78    | 3         | 6.52       |
| 6     | 24.0           | - 24.9 | 0  | 0  | 2  | 4    | 17 | 1   | 1 | 1 | 1 | 27         | 11.20  | 2         | 7.41       | 22      | 81.48    | 3         | 11.11      |
| 7     | 25.0           | - 25.9 | 0  | 1  | 0  | 4    | 10 | 6   | 2 | 1 | 0 | 24         | 9.96   | 1         | 4.17       | 20      | 83.33    | 3         | 12.50      |
| 8     | 26.0           | - 26.9 | 0  | 0  | 0  | 0    | 3  | 1   | 4 | 2 | 1 | 11         | 4.56   | 0         | 0.00       | 4       | 36.36    | 7         | 63.64      |
| 9     | 27.0           | - 27.9 | 0  | 0  | 0  | 0    | 0  | 0   | 0 | 0 | 1 | 1          | 0.41   | 0         | 0.00       | 0       | 0.00     | 1         | 100.00     |
| 10    | 28.0           | - 28.9 | 0  | 0  | 0  | 0    | 0  | 2   | 4 | 0 | 3 | 9          | 3.73   | 0         | 0.00       | 2       | 22.22    | 7         | 77.78      |
| 11    | 29.0           | - 29.9 | 0  | 0  | 0  | 0    | 0  | 0   | 2 | 0 | 0 | 2          | 0.83   | 0         | 0.00       | 0       | 0.00     | 2         | 100.00     |
|       |                |        |    |    |    |      |    |     |   |   |   | <b>241</b> | 100.00 | 56        |            | 155     |          | 30        |            |

**4.3.2.3 กรณีค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าอยู่ระหว่าง 1.00 - 1.45 clo**

(1) จากรูปที่ 4.5 มีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 22.9 °C และมีอุณหภูมิอากาศต่ำสุดเท่ากับ 20.0 °C และมีอุณหภูมิอากาศสูงสุดเท่ากับ 28.9 °C โดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.75 และจากความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับความรู้สึกเชิงอุณหภูมิจากการตรวจวัดจริง พบว่า กลุ่มตัวอย่างเกิดความรู้สึกสบายเมื่ออุณหภูมิอากาศอยู่ในช่วงระหว่าง 21.3 - 23.8 °C (ASV อยู่ในช่วง -0.5 ถึง +0.5)

จากตารางที่ 4.9 แสดงผลการโหวตความรู้สึกสบายเชิงอุณหภูมิจากการตรวจวัดจริงของกลุ่มตัวอย่างที่มีการใส่เสื้อผ้าที่มีค่าต้านทานความร้อนของเสื้อผ้ามากกว่า 1.00 clo ขึ้นไป พบว่า กลุ่มตัวอย่างเกิดความรู้สึกสบายมากที่สุดเมื่อมีอุณหภูมิอากาศ 22.0 - 22.9 °C (คิดเป็น 71.43% ของกลุ่มตัวอย่างที่ทำการโหวต)



**รูปที่ 4.5** ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศกับความรู้สึกสบายเชิงอุณหภูมิจากการตรวจวัดจริง กรณีค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าอยู่ระหว่าง 1.00 - 1.45 clo

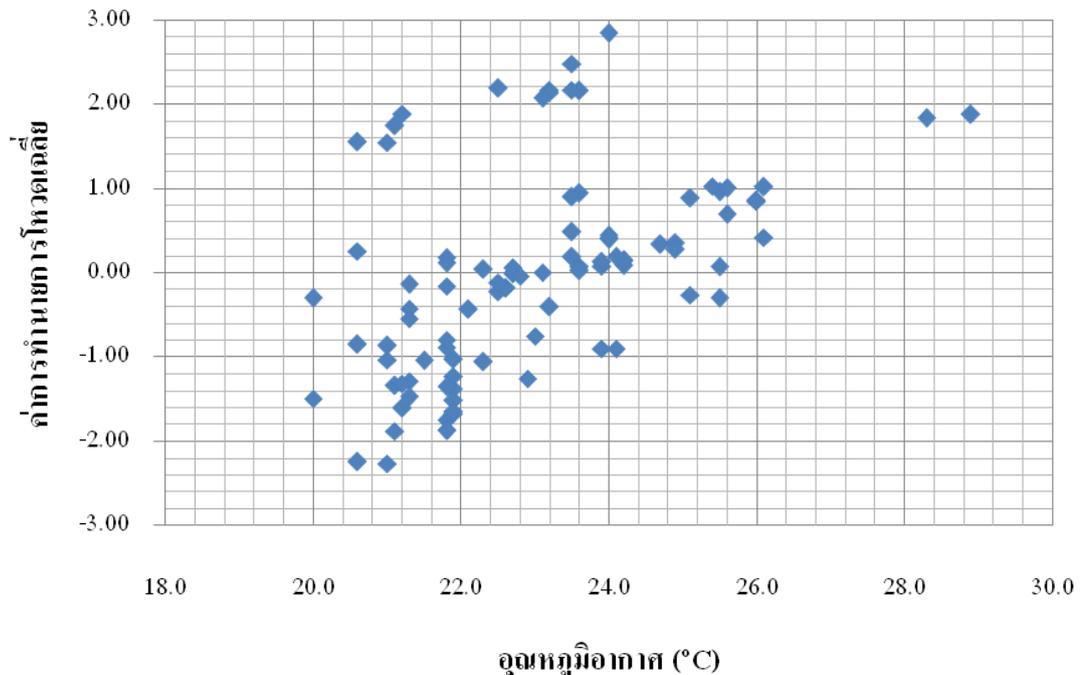
ตารางที่ 4.9 ผลการโหวตความรู้สึกสบายเชิงอุณหภูมิอากาศจากการตรวจวัดจริงของกลุ่มตัวอย่างที่มีการใส่เสื้อผ้าที่มีค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าอยู่ระหว่าง

1.00 – 1.40 clo

| Range | T <sub>a</sub> | -3 | -2 | -1 | -0.5 | 0  | 0.5 | 1 | 2 | 3 | sum | %      | Cool Dis. | %Cool Dis. | Comfort | %Comfort | Warm Dis. | %Warm Dis. |
|-------|----------------|----|----|----|------|----|-----|---|---|---|-----|--------|-----------|------------|---------|----------|-----------|------------|
| 1     | 19.0 - 19.9    | 0  | 0  | 0  | 0    | 0  | 0   | 0 | 0 | 0 | 0   | 0.00   | 0         | 0.00       | 0       | 0.00     | 0         | 0.00       |
| 2     | 20.0 - 20.9    | 0  | 2  | 1  | 0    | 1  | 0   | 0 | 1 | 1 | 6   | 6.25   | 3         | 50.00      | 1       | 16.67    | 2         | 33.33      |
| 3     | 21.0 - 21.9    | 1  | 11 | 1  | 7    | 13 | 0   | 0 | 3 | 1 | 37  | 38.54  | 13        | 35.14      | 20      | 54.05    | 4         | 10.81      |
| 4     | 22.0 - 22.9    | 0  | 1  | 3  | 2    | 7  | 1   | 0 | 0 | 0 | 14  | 14.58  | 4         | 28.57      | 10      | 71.43    | 0         | 0.00       |
| 5     | 23.0 - 23.9    | 0  | 0  | 1  | 0    | 6  | 2   | 1 | 1 | 1 | 12  | 12.50  | 1         | 8.33       | 8       | 66.67    | 3         | 25.00      |
| 6     | 24.0 - 24.9    | 0  | 1  | 0  | 2    | 5  | 2   | 0 | 1 | 2 | 13  | 13.54  | 1         | 7.69       | 9       | 69.23    | 3         | 23.08      |
| 7     | 25.0 - 25.9    | 0  | 0  | 0  | 0    | 1  | 0   | 2 | 2 | 2 | 7   | 7.29   | 0         | 0.00       | 1       | 14.29    | 6         | 85.71      |
| 8     | 26.0 - 26.9    | 0  | 0  | 0  | 0    | 1  | 0   | 1 | 1 | 1 | 4   | 4.17   | 0         | 0.00       | 1       | 25.00    | 3         | 75.00      |
| 9     | 27.0 - 27.9    | 0  | 0  | 0  | 0    | 0  | 0   | 0 | 0 | 1 | 1   | 1.04   | 0         | 0.00       | 0       | 0.00     | 1         | 100.00     |
| 10    | 28.0 - 28.9    | 0  | 0  | 0  | 0    | 0  | 0   | 1 | 0 | 1 | 2   | 2.08   | 0         | 0.00       | 0       | 0.00     | 2         | 100.00     |
|       |                |    |    |    |      |    |     |   |   |   | 96  | 100.00 | 22        |            | 50      |          | 24        |            |

(2) ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศกับค่าการทำนายการโหวตเฉลี่ยจากรูปที่ 4.6 พบว่า เมื่อพิจารณาที่ PMV อยู่ในช่วง -0.5 ถึง +0.5 อุณหภูมิอากาศที่ทำให้กลุ่มตัวอย่างเกิดความรู้สึกสบายอยู่ในช่วงระหว่าง 21.6 – 24.6 °C

จากกลุ่มตัวอย่างที่มีการใส่เสื้อผ้าที่มีค่าต้านทานความร้อนของเสื้อผ้ามากกว่า 1.00 clo ขึ้นไป พบว่า กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่รู้สึกสบายมากที่สุดในช่วงอุณหภูมิ 22.0 – 22.9 °C เมื่อพิจารณา PMV อยู่ระหว่าง -0.5 ถึง +0.5 ซึ่งมีผลโหวตของกลุ่มตัวอย่างที่เกิดความรู้สึกสบายมากที่สุดเท่ากับ 78.57% ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.10 จากข้อมูลที่ได้กล่าวไปแล้วทำให้ทราบว่า กลุ่มตัวอย่างจะเกิดความรู้สึกไม่สบายทางด้านเย็นเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า 22.0 °C และทางด้านร้อนเมื่อมีอุณหภูมิตั้งแต่ 22.9 °C ขึ้นไป



**รูปที่ 4.6** ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศกับค่าการทำนายการโหวตเฉลี่ย  
กรณีค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าอยู่ระหว่าง 1.00 - 1.45 clo

ตารางที่ 4.10 ค่าการทำนายการไหลของความร้อนของกลุ่มตัวอย่างที่มีการใส่เสื้อผ้าที่มีค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าอยู่ระหว่าง 1.00 – 1.40 clo

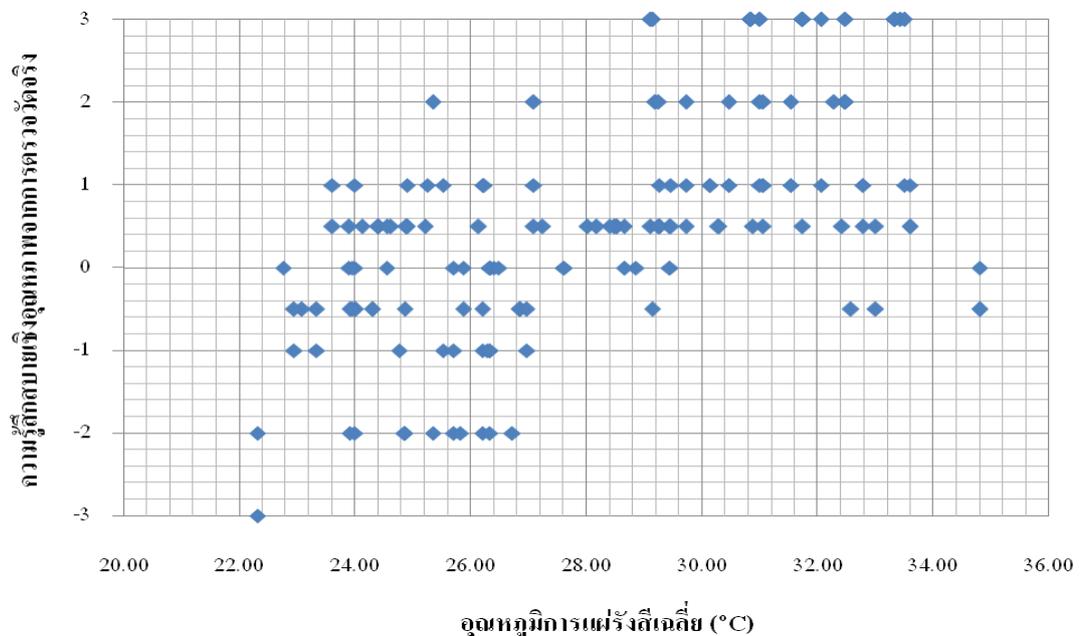
| Range | T <sub>a</sub> | -3 | -2 | -1 | -0.5 | 0  | 0.5 | 1 | 2 | 3 | sum | %      | Cool Dis. | %Cool Dis. | Comfort | %Comfort | Warm Dis. | %Warm Dis. |
|-------|----------------|----|----|----|------|----|-----|---|---|---|-----|--------|-----------|------------|---------|----------|-----------|------------|
| 1     | 19.0 - 19.9    | 0  | 0  | 0  | 0    | 0  | 0   | 0 | 0 | 0 | 0   | 0.00   | 0         | 0.00       | 0       | 0.00     | 0         | 0.00       |
| 2     | 20.0 - 20.9    | 0  | 1  | 1  | 1    | 2  | 0   | 1 | 0 | 0 | 6   | 6.25   | 2         | 33.33      | 3       | 50.00    | 1         | 16.67      |
| 3     | 21.0 - 21.9    | 0  | 1  | 18 | 4    | 5  | 0   | 3 | 0 | 0 | 31  | 32.29  | 19        | 61.29      | 9       | 29.03    | 3         | 9.68       |
| 4     | 22.0 - 22.9    | 0  | 0  | 2  | 0    | 11 | 0   | 0 | 1 | 0 | 14  | 14.58  | 2         | 14.29      | 11      | 78.57    | 1         | 7.14       |
| 5     | 23.0 - 23.9    | 0  | 0  | 0  | 3    | 7  | 4   | 1 | 4 | 0 | 19  | 19.79  | 0         | 0.00       | 14      | 73.68    | 5         | 26.32      |
| 6     | 24.0 - 24.9    | 0  | 0  | 0  | 1    | 6  | 2   | 1 | 1 | 1 | 12  | 12.50  | 0         | 0.00       | 9       | 75.00    | 3         | 25.00      |
| 7     | 25.0 - 25.9    | 0  | 0  | 0  | 0    | 2  | 2   | 2 | 1 | 0 | 7   | 7.29   | 0         | 0.00       | 4       | 57.14    | 3         | 42.86      |
| 8     | 26.0 - 26.9    | 0  | 0  | 0  | 0    | 0  | 1   | 1 | 1 | 1 | 4   | 4.17   | 0         | 0.00       | 1       | 25.00    | 3         | 75.00      |
| 9     | 27.0 - 27.9    | 0  | 0  | 0  | 0    | 0  | 0   | 1 | 0 | 0 | 1   | 1.04   | 0         | 0.00       | 0       | 0.00     | 1         | 100.00     |
| 10    | 28.0 - 28.9    | 0  | 0  | 0  | 0    | 0  | 0   | 2 | 0 | 0 | 2   | 2.08   | 0         | 0.00       | 0       | 0.00     | 2         | 100.00     |
| 11    | 29.0 - 29.9    | 0  | 0  | 0  | 0    | 0  | 0   | 0 | 0 | 0 | 0   | 0.00   | 0         | 0.00       | 0       | 0.00     | 0         | 0.00       |
|       |                |    |    |    |      |    |     |   |   |   | 96  | 100.00 | 23        |            | 51      |          | 22        |            |

### 4.3.3 ดัชนีทางด้านความรู้สึกไม่สบายที่อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย (Mean Radiant Temperature: $T_{mrt}$ )

อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย คือ ความร้อนที่แผ่มาจากวัตถุที่มีความร้อน ซึ่งผิวหนังของเราก็จะสามารถดูดซับพลังงานจากการแผ่รังสีได้มากเท่ากับวัตถุที่มีพื้นผิวสีดำ โดยที่อุณหภูมิการแผ่รังสีนั้นจะมีอิทธิพลมากกว่าอุณหภูมิของอากาศ หรืออีกความหมายหนึ่งคือ เป็นค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิผนัง เพดาน และพื้นห้อง ซึ่งมีผลต่อการแผ่รังสีความร้อน โดยการแผ่รังสีของพื้นผิวจะกระทำกับร่างกายและตำแหน่งส่วนที่เปิดเผยร่างกายจึงเป็นสิ่งที่ต้องคำนึงเป็นอย่างมาก เพราะอาจทำให้รู้สึกร้อนหรือเกิดความรำคาญได้ แม้ว่าอุณหภูมิอากาศภายในห้องหรืออาคารจะอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมก็ตาม ซึ่งหากมีการเลือกใช้วัสดุและปรับเปลี่ยนพื้นที่การจาดพื้นที่ให้เหมาะสมและถูกทิศทางแล้วก็จะช่วยให้อาคารไม่ร้อนและทำให้เกิดสภาวะความสบายเชิงอุณหภูมิได้ อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 2.7, 2.10 หรือ 2.11 ตามกรณีที่ทำการศึกษา

#### 4.3.3.1 กรณีค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าอยู่ระหว่าง 0.40 - 0.69 clo

(1) ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับความรำคาญเชิงอุณหภูมิจากการตรวจวัดจริง (รูปที่ 4.7) พบว่า มีอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยอยู่ระหว่าง  $22.31 - 34.8^{\circ}\text{C}$  ซึ่งมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่  $28.1^{\circ}\text{C}$  โดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 3.31 และหากพิจารณาที่ ASV อยู่ในช่วง -0.5 ถึง +0.5 พบว่า อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยที่ทำให้กลุ่มตัวอย่างเกิดรู้สึกสบายอยู่ในช่วงระหว่าง  $23.9 - 28.5^{\circ}\text{C}$



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยกับความรำคาญเชิงอุณหภูมิจากการตรวจวัดจริง กรณีค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าอยู่ระหว่าง 0.40 - 0.69 clo

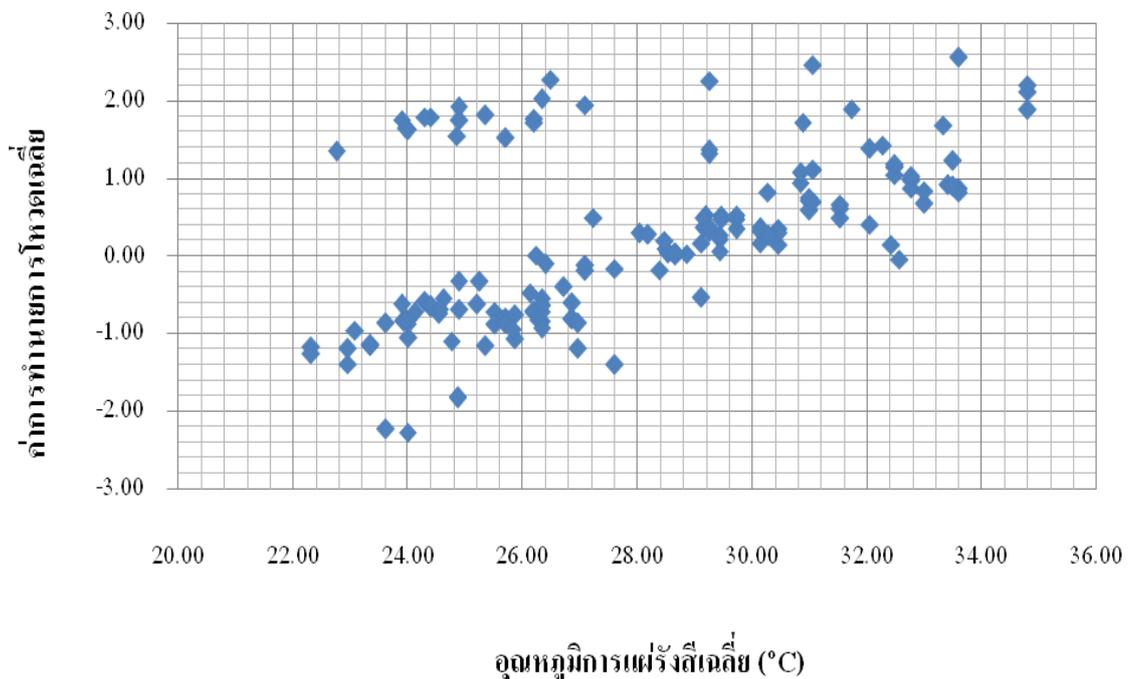
ตารางที่ 4.11 ผลการโหวตความรู้สึกเชิงคุณภาพจากการตรวจวัดจริงของกลุ่มตัวอย่างที่มีการใส่เสื้อผ้าที่มีค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าอยู่ระหว่าง 0.40 – 0.69 clo

| Range | T <sub>mrt</sub> | -3 | -2 | -1 | -0.5 | 0 | 0.5 | 1 | 2 | 3 | sum | %      | Cool Dis. | %Cool Dis. | Comfort | %Comfort | Warm Dis. | %Warm Dis. |
|-------|------------------|----|----|----|------|---|-----|---|---|---|-----|--------|-----------|------------|---------|----------|-----------|------------|
| 1     | 22.0 - 22.9      | 1  | 1  | 3  | 0    | 0 | 0   | 0 | 0 | 0 | 5   | 3.25   | 5         | 100.00     | 0       | 0.00     | 0         | 0.00       |
| 2     | 23.0 - 23.9      | 0  | 7  | 4  | 0    | 1 | 0   | 0 | 0 | 0 | 12  | 7.79   | 11        | 91.67      | 1       | 8.33     | 0         | 0.00       |
| 3     | 24.0 - 24.9      | 0  | 5  | 4  | 4    | 2 | 4   | 2 | 0 | 0 | 21  | 13.64  | 9         | 42.86      | 10      | 47.62    | 2         | 9.52       |
| 4     | 25.0 - 25.9      | 0  | 3  | 2  | 1    | 2 | 1   | 2 | 1 | 0 | 12  | 7.79   | 5         | 41.67      | 4       | 33.33    | 3         | 25.00      |
| 5     | 26.0 - 26.9      | 0  | 3  | 5  | 6    | 5 | 1   | 2 | 0 | 0 | 22  | 14.29  | 8         | 36.36      | 12      | 54.55    | 2         | 9.09       |
| 6     | 27.0 - 27.9      | 0  | 0  | 0  | 0    | 2 | 2   | 1 | 1 | 0 | 6   | 3.90   | 0         | 0.00       | 4       | 66.67    | 2         | 33.33      |
| 7     | 28.0 - 28.9      | 0  | 0  | 0  | 0    | 3 | 8   | 0 | 0 | 0 | 11  | 7.14   | 0         | 0.00       | 11      | 100.00   | 0         | 0.00       |
| 8     | 29.0 - 29.9      | 0  | 0  | 0  | 1    | 3 | 12  | 0 | 0 | 1 | 17  | 11.04  | 0         | 0.00       | 16      | 94.12    | 1         | 5.88       |
| 9     | 30.0 - 30.9      | 0  | 0  | 0  | 0    | 2 | 5   | 3 | 1 | 0 | 11  | 7.14   | 0         | 0.00       | 7       | 63.64    | 4         | 36.36      |
| 10    | 31.0 - 31.9      | 0  | 0  | 0  | 0    | 0 | 2   | 5 | 3 | 3 | 13  | 8.44   | 0         | 0.00       | 2       | 15.38    | 11        | 84.62      |
| 11    | 32.0 - 32.9      | 0  | 0  | 0  | 1    | 0 | 2   | 3 | 3 | 2 | 11  | 7.14   | 0         | 0.00       | 3       | 27.27    | 8         | 72.73      |
| 12    | 33.0 - 33.9      | 0  | 0  | 0  | 1    | 0 | 3   | 2 | 0 | 4 | 10  | 6.49   | 0         | 0.00       | 4       | 40.00    | 6         | 60.00      |
| 13    | 34.0 - 34.9      | 0  | 0  | 0  | 0    | 0 | 0   | 0 | 1 | 2 | 3   | 1.95   | 0         | 0.00       | 0       | 0.00     | 3         | 100.00     |
|       |                  |    |    |    |      |   |     |   |   |   | 154 | 100.00 | 38        |            | 74      |          | 42        |            |

จากกลุ่มตัวอย่างที่มีการสวมใส่เสื้อผ้าที่มีความต้านทานความร้อนน้อยกว่า 0.69 clo พบว่า มีผลโหวตความรู้สึกสบายกลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่เกิดความรู้สึกสบายที่อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 28.0 – 28.9 °C เมื่อทำการพิจารณาที่ผลโหวตในช่วง -0.5 ถึง +0.5 โดยที่มีผลโหวตความรู้สึกสบายเท่ากับ 100% ดังนั้นถ้าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยต่ำกว่า 28.0 °C กลุ่มตัวอย่างจะเกิดความรู้สึกไม่สบายทางด้านเย็น และที่อุณหภูมิตั้งแต่ 28.9 °C ขึ้นไป กลุ่มตัวอย่างจะเกิดรู้สึกไม่สบายทางด้านร้อน ดังตารางที่ 4.11 ที่ได้แสดงไว้ข้างต้น

(2) ในทำนองเดียวกันความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยกับค่าการทำนายการโหวตเฉลี่ยจากรูปที่ 4.8 พบว่า เมื่อพิจารณาที่ PMV อยู่ในช่วง -0.5 ถึง +0.5 อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยที่ทำให้กลุ่มตัวอย่างเกิดรู้สึกสบายอยู่ในช่วงระหว่าง 24.2 – 29.3 °C

จากกลุ่มตัวอย่างนี้ พบว่า กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่รู้สึกสบายมากที่สุดในช่วงอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย 28.0 – 28.9 °C ( $-0.5 < PMV < +0.5$ ) โดยมีผลโหวตของกลุ่มตัวอย่างที่เกิดความรู้สึกสบายมากที่สุดเท่ากับ 100% ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.12



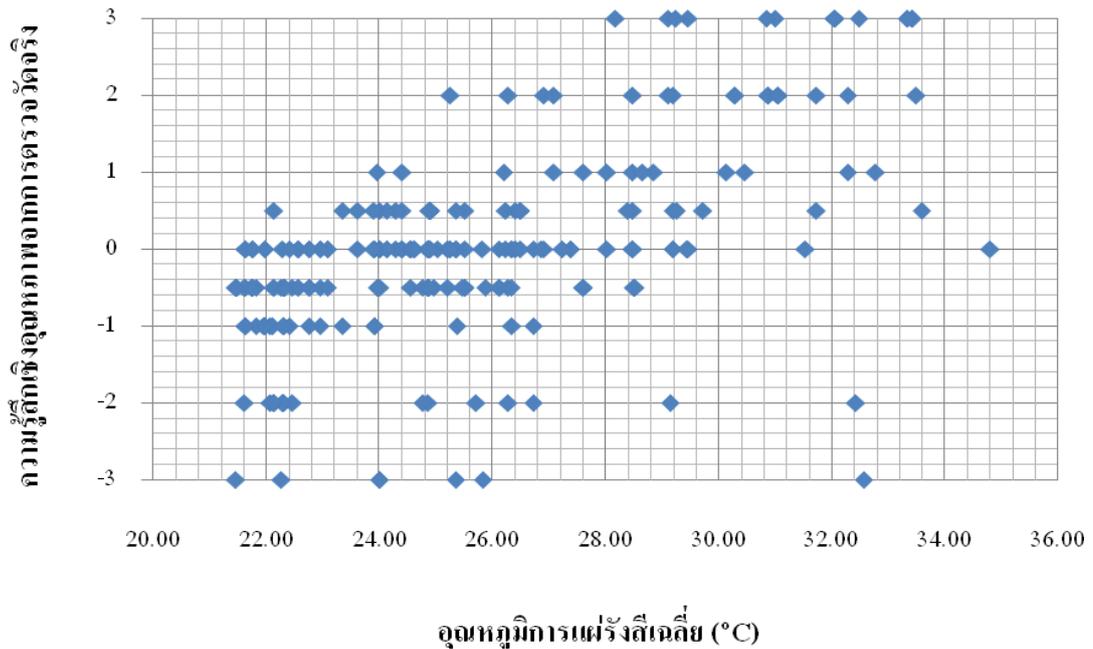
รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยกับค่าการทำนายการโหวตเฉลี่ย  
กรณีค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าอยู่ระหว่าง 0.40 - 0.69 clo

ตารางที่ 4.12 ค่าการทำนายการโหวตเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างที่มีการใส่เสื้อผ้าที่มีค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าอยู่ระหว่าง 0.40 – 0.69 clo

| Range | T <sub>mrt</sub> | -3 | -2 | -1 | -0.5 | 0  | 0.5 | 1 | 2 | 3 | sum        | %      | Cool Dis. | %Cool Dis. | Comfort | %Comfort | Warm Dis. | %Warm Dis. |
|-------|------------------|----|----|----|------|----|-----|---|---|---|------------|--------|-----------|------------|---------|----------|-----------|------------|
| 1     | 22.0 - 22.9      | 0  | 0  | 5  | 0    | 0  | 0   | 0 | 0 | 0 | 5          | 3.25   | 5         | 100.00     | 0       | 0.00     | 0         | 0.00       |
| 2     | 23.0 - 23.9      | 0  | 3  | 4  | 3    | 0  | 0   | 1 | 0 | 0 | 11         | 7.14   | 7         | 63.64      | 3       | 27.27    | 1         | 9.09       |
| 3     | 24.0 - 24.9      | 0  | 1  | 4  | 9    | 1  | 0   | 5 | 1 | 0 | 21         | 13.64  | 5         | 23.81      | 10      | 47.62    | 6         | 28.57      |
| 4     | 25.0 - 25.9      | 0  | 0  | 2  | 7    | 1  | 0   | 2 | 0 | 0 | 12         | 7.79   | 2         | 16.67      | 8       | 66.67    | 2         | 16.67      |
| 5     | 26.0 - 26.9      | 0  | 0  | 1  | 13   | 4  | 0   | 2 | 2 | 0 | 22         | 14.29  | 1         | 4.55       | 17      | 77.27    | 4         | 18.18      |
| 6     | 27.0 - 27.9      | 0  | 0  | 1  | 0    | 3  | 1   | 0 | 1 | 0 | 6          | 3.90   | 1         | 16.67      | 4       | 66.67    | 1         | 16.67      |
| 7     | 28.0 - 28.9      | 0  | 0  | 0  | 0    | 11 | 0   | 0 | 0 | 0 | 11         | 7.14   | 0         | 0.00       | 11      | 100.00   | 0         | 0.00       |
| 8     | 29.0 - 29.9      | 0  | 0  | 0  | 1    | 8  | 6   | 3 | 1 | 0 | 19         | 12.34  | 0         | 0.00       | 15      | 78.95    | 4         | 21.05      |
| 9     | 30.0 - 30.9      | 0  | 0  | 0  | 0    | 7  | 1   | 2 | 0 | 0 | 10         | 6.49   | 0         | 0.00       | 8       | 80.00    | 2         | 20.00      |
| 10    | 31.0 - 31.9      | 0  | 0  | 0  | 0    | 0  | 7   | 3 | 1 | 2 | 13         | 8.44   | 0         | 0.00       | 7       | 53.85    | 6         | 46.15      |
| 11    | 32.0 - 32.9      | 0  | 0  | 0  | 0    | 2  | 2   | 7 | 0 | 0 | 11         | 7.14   | 0         | 0.00       | 4       | 36.36    | 7         | 63.64      |
| 12    | 33.0 - 33.9      | 0  | 0  | 0  | 0    | 0  | 5   | 3 | 1 | 1 | 10         | 6.49   | 0         | 0.00       | 5       | 50.00    | 5         | 50.00      |
| 13    | 34.0 - 34.9      | 0  | 0  | 0  | 0    | 0  | 0   | 1 | 2 | 0 | 3          | 1.95   | 0         | 0.00       | 0       | 0.00     | 3         | 100.00     |
|       |                  |    |    |    |      |    |     |   |   |   | <b>154</b> | 100.00 | 16        |            | 92      |          | 41        |            |

#### 4.3.3.2 กรณีค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าอยู่ระหว่าง 0.70 - 0.99 clo

(1) รูปที่ 4.9 พบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับความรู้สึกเชิงอุณหภูมิจากการตรวจวัดจริง มีอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยอยู่ในช่วง 20.1 - 31.5 °C ซึ่งมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 24.5°C โดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 3.38 เมื่อทำการพิจารณาที่ ASV อยู่ในช่วง -0.5 ถึง +0.5 พบว่ากลุ่มตัวอย่างเกิดความรู้สึกสบายเมื่ออุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย 23.5 – 27.7 °C



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยกับความรู้สึกเชิงอุณหภูมิจากการตรวจวัดจริง กรณีค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าอยู่ระหว่าง 0.70 - 0.99 clo

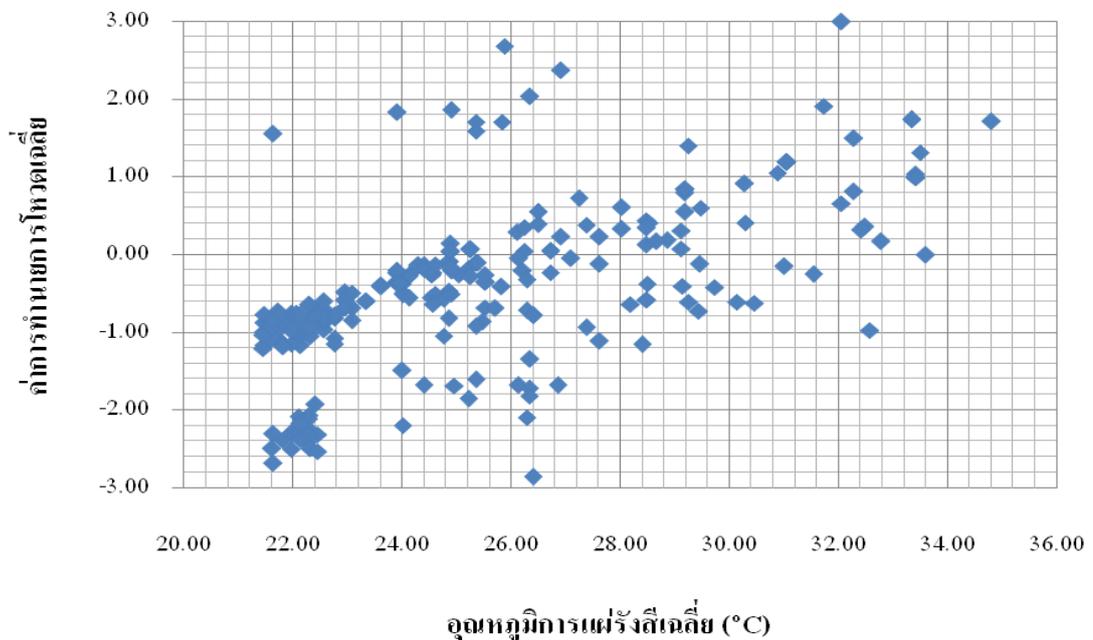
จากตารางที่ 4.13 พบว่า ในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 24.0 – 24.9 °C มีเปอร์เซ็นต์ที่มากที่สุดของผลโหวตความรู้สึกสบายที่ทำให้กลุ่มตัวอย่างเกิดความรู้สึกสบายเท่ากับ 86.84% เมื่อทำการพิจารณาที่ผลโหวตในช่วง -0.5 ถึง +0.5 ดังนั้นกลุ่มตัวอย่างจะเกิดความรู้สึกไม่สบายทางด้านเย็นเมื่ออุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยต่ำกว่า 24.0 °C และกลุ่มตัวอย่างจะเกิดความรู้สึกไม่สบายทางด้านร้อนเมื่อมีอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยสูงกว่า 24.9 °C ขึ้นไป

ตารางที่ 4.13 ความรู้สึกเชิงอุณหภูมิจากการตรวจวัดจริงของกลุ่มตัวอย่างที่มีการใส่เสื้อผ้าที่มีค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าอยู่ระหว่าง 0.70 – 0.99 clo

| Range | T <sub>mrt</sub> | -3 | -2 | -1 | -0.5 | 0  | 0.5 | 1 | 2 | 3 | sum | %      | Cool Dis. | %Cool Dis. | Comfort | %Comfort | Warm Dis. | %Warm Dis. |
|-------|------------------|----|----|----|------|----|-----|---|---|---|-----|--------|-----------|------------|---------|----------|-----------|------------|
| 1     | 19.0 - 19.9      | 0  | 2  | 0  | 1    | 0  | 0   | 0 | 0 | 0 | 3   | 1.24   | 2         | 66.67      | 1       | 33.33    | 0         | 0.00       |
| 2     | 20.0 - 20.9      | 0  | 1  | 0  | 0    | 0  | 0   | 0 | 0 | 0 | 1   | 0.41   | 1         | 100.00     | 0       | 0.00     | 0         | 0.00       |
| 3     | 21.0 - 21.9      | 1  | 1  | 7  | 10   | 7  | 0   | 0 | 0 | 0 | 26  | 10.79  | 9         | 34.62      | 17      | 65.38    | 0         | 0.00       |
| 4     | 22.0 - 22.9      | 1  | 8  | 10 | 14   | 11 | 2   | 0 | 0 | 0 | 46  | 19.09  | 19        | 41.30      | 27      | 58.70    | 0         | 0.00       |
| 5     | 23.0 - 23.9      | 0  | 0  | 4  | 2    | 5  | 3   | 1 | 0 | 0 | 15  | 6.22   | 4         | 26.67      | 10      | 66.67    | 1         | 6.67       |
| 6     | 24.0 - 24.9      | 2  | 2  | 0  | 7    | 19 | 7   | 1 | 0 | 0 | 38  | 15.77  | 4         | 10.53      | 33      | 86.84    | 1         | 2.63       |
| 7     | 25.0 - 25.9      | 2  | 1  | 1  | 5    | 10 | 2   | 0 | 1 | 0 | 22  | 9.13   | 4         | 18.18      | 17      | 77.27    | 1         | 4.55       |
| 8     | 26.0 - 26.9      | 0  | 2  | 2  | 4    | 10 | 4   | 1 | 2 | 0 | 25  | 10.37  | 4         | 16.00      | 18      | 72.00    | 3         | 12.00      |
| 9     | 27.0 - 27.9      | 0  | 0  | 0  | 2    | 3  | 0   | 2 | 1 | 0 | 8   | 3.32   | 0         | 0.00       | 5       | 62.50    | 3         | 37.50      |
| 10    | 28.0 - 28.9      | 0  | 0  | 0  | 2    | 3  | 2   | 4 | 1 | 1 | 13  | 5.39   | 0         | 0.00       | 7       | 53.85    | 6         | 46.15      |
| 11    | 29.0 - 29.9      | 0  | 1  | 0  | 0    | 4  | 3   | 0 | 2 | 3 | 13  | 5.39   | 1         | 7.69       | 7       | 53.85    | 5         | 38.46      |
| 12    | 30.0 - 30.9      | 0  | 0  | 0  | 0    | 0  | 0   | 2 | 4 | 1 | 7   | 2.90   | 0         | 0.00       | 0       | 0.00     | 7         | 100.00     |
| 13    | 31.0 - 31.9      | 0  | 0  | 0  | 0    | 1  | 1   | 0 | 3 | 1 | 6   | 2.49   | 0         | 0.00       | 2       | 33.33    | 4         | 66.67      |
| 14    | 32.0 - 32.9      | 1  | 1  | 0  | 0    | 0  | 0   | 2 | 1 | 4 | 9   | 3.73   | 2         | 22.22      | 0       | 0.00     | 7         | 77.78      |
| 15    | 33.0 - 33.9      | 0  | 0  | 0  | 0    | 0  | 1   | 0 | 1 | 6 | 8   | 3.32   | 0         | 0.00       | 1       | 12.50    | 7         | 87.50      |
| 16    | 34.0 - 34.9      | 0  | 0  | 0  | 0    | 1  | 0   | 0 | 0 | 0 | 1   | 0.41   | 0         | 0.00       | 1       | 100.00   | 0         | 0.00       |
|       |                  |    |    |    |      |    |     |   |   |   | 241 | 100.00 | 50        |            | 146     |          | 45        |            |

(2) จากกลุ่มตัวอย่างที่ 2 ( $0.70 < clo < 0.99$ ) พบว่า กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่ร้อยละ 85 รู้สึกสบายมากที่สุดในช่วงอุณหภูมิ  $24.0 - 24.9$  °C เมื่อพิจารณา PMV อยู่ระหว่าง  $-0.5$  กับ  $+0.5$  ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.14 จากข้อมูลที่ได้อีกต่อไปแล้วทำให้ทราบว่า กลุ่มตัวอย่างจะเกิดความรู้สึกไม่สบายทางด้านเย็นเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า  $24.0$  °C และทางด้านร้อนเมื่อมีอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยตั้งแต่  $24.9$  °C ขึ้นไป

และจากความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยกับค่าการทำนายการโหวตเฉลี่ยจากรูปที่ 4.10 พบว่า เมื่อพิจารณาที่ PMV อยู่ในช่วง  $-0.5$  ถึง  $+0.5$  อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยที่ทำให้กลุ่มตัวอย่างเกิดความรู้สึกสบายอยู่ในช่วงระหว่าง  $24.9 - 29.4$  °C และหากพิจารณาที่ PMV เท่ากับ 0 พบว่ากลุ่มตัวอย่างเกิดความรู้สึกสบายเมื่ออุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยเท่ากับ  $27.1$  °C



**รูปที่ 4.10** ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยกับค่าการทำนายการโหวตเฉลี่ย  
กรณีค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าอยู่ระหว่าง  $0.70 - 0.99 clo$

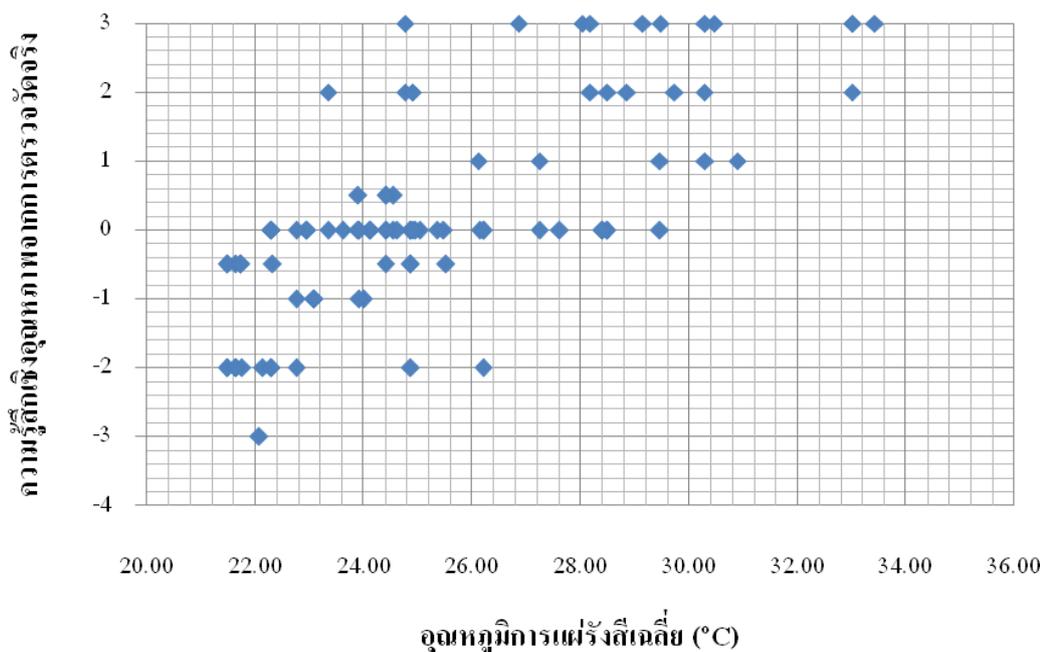
ตารางที่ 4.14 ค่าการทำนายการไหลตื้นของอุณหภูมิของตัวอย่างที่มีการใส่เสื้อผ้าที่มีค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าอยู่ระหว่าง 0.70 – 0.99 clo

| Range | T <sub>mrt</sub> | -3 | -2 | -1 | -0.5 | 0  | 0.5 | 1 | 2 | 3 | sum        | %      | Cool Dis. | %Cool Dis. | Comfort | %Comfort | Warm Dis. | %Warm Dis. |
|-------|------------------|----|----|----|------|----|-----|---|---|---|------------|--------|-----------|------------|---------|----------|-----------|------------|
| 1     | 19.0 - 19.9      | 0  | 0  | 3  | 0    | 0  | 0   | 0 | 0 | 0 | 3          | 1.24   | 3         | 100.00     | 0       | 0.00     | 0         | 0.00       |
| 2     | 20.0 - 20.9      | 0  | 1  | 1  | 0    | 0  | 0   | 0 | 0 | 0 | 2          | 0.83   | 2         | 100.00     | 0       | 0.00     | 0         | 0.00       |
| 3     | 21.0 - 21.9      | 0  | 6  | 8  | 10   | 0  | 0   | 1 | 0 | 0 | 25         | 10.37  | 14        | 56.00      | 10      | 40.00    | 1         | 4.00       |
| 4     | 22.0 - 22.9      | 0  | 12 | 7  | 24   | 1  | 0   | 0 | 0 | 0 | 44         | 18.26  | 19        | 43.18      | 25      | 56.82    | 0         | 0.00       |
| 5     | 23.0 - 23.9      | 0  | 0  | 2  | 4    | 8  | 0   | 1 | 0 | 0 | 15         | 6.22   | 2         | 13.33      | 12      | 80.00    | 1         | 6.67       |
| 6     | 24.0 - 24.9      | 0  | 1  | 4  | 9    | 25 | 0   | 1 | 0 | 0 | 40         | 16.60  | 5         | 12.50      | 34      | 85.00    | 1         | 2.50       |
| 7     | 25.0 - 25.9      | 0  | 0  | 2  | 4    | 12 | 0   | 3 | 1 | 0 | 22         | 9.13   | 2         | 9.09       | 16      | 72.73    | 4         | 18.18      |
| 8     | 26.0 - 26.9      | 0  | 2  | 5  | 3    | 11 | 2   | 0 | 2 | 0 | 25         | 10.37  | 7         | 28.00      | 16      | 64.00    | 2         | 8.00       |
| 9     | 27.0 - 27.9      | 0  | 0  | 1  | 1    | 4  | 1   | 0 | 0 | 1 | 8          | 3.32   | 1         | 12.50      | 6       | 75.00    | 1         | 12.50      |
| 10    | 28.0 - 28.9      | 0  | 0  | 1  | 3    | 4  | 3   | 2 | 0 | 0 | 13         | 5.39   | 1         | 7.69       | 10      | 76.92    | 2         | 15.38      |
| 11    | 29.0 - 29.9      | 0  | 0  | 0  | 0    | 5  | 2   | 2 | 3 | 1 | 13         | 5.39   | 0         | 0.00       | 7       | 53.85    | 6         | 46.15      |
| 12    | 30.0 - 30.9      | 0  | 0  | 0  | 0    | 0  | 0   | 3 | 2 | 2 | 7          | 2.90   | 0         | 0.00       | 0       | 0.00     | 7         | 100.00     |
| 13    | 31.0 - 31.9      | 0  | 0  | 0  | 0    | 0  | 0   | 4 | 1 | 1 | 6          | 2.49   | 0         | 0.00       | 0       | 0.00     | 6         | 100.00     |
| 14    | 32.0 - 32.9      | 0  | 0  | 0  | 1    | 3  | 2   | 1 | 0 | 2 | 9          | 3.73   | 0         | 0.00       | 6       | 66.67    | 3         | 33.33      |
| 15    | 33.0 - 33.9      | 0  | 0  | 0  | 0    | 1  | 0   | 6 | 0 | 1 | 8          | 3.32   | 0         | 0.00       | 1       | 12.50    | 7         | 87.50      |
| 16    | 34.0 - 34.9      | 0  | 0  | 0  | 0    | 0  | 0   | 1 | 0 | 0 | 1          | 0.41   | 0         | 0.00       | 0       | 0.00     | 1         | 100.00     |
|       |                  |    |    |    |      |    |     |   |   |   | <b>241</b> | 100.00 | 56        |            | 143     |          | 42        |            |

#### 4.3.3.3 กรณีค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าอยู่ระหว่าง 1.00 - 1.45 clo

(1) รูปที่ 4.11 พบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยกับความรู้สึกเชิงอุณหภูมิจากการตรวจวัดจริงมีอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยในช่วง  $19.5 - 33.4\text{ }^{\circ}\text{C}$  ซึ่งมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่  $25.1\text{ }^{\circ}\text{C}$  โดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 3.33 และกลุ่มตัวอย่างเกิดความรู้สึกสบายเมื่ออุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย  $23.0 - 26.1\text{ }^{\circ}\text{C}$  เมื่อพิจารณาที่ ASV อยู่ในช่วง  $-0.5$  ถึง  $+0.5$

กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่เกิดความรู้สึกสบายเมื่อมีอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย  $24.0 - 24.9\text{ }^{\circ}\text{C}$  โดยมีผลโหวตความรู้สึกสบายมากที่สุดของกลุ่มตัวอย่างร้อยละ 72.73 ( $-0.5 < \text{ASV} < +0.5$ ) ดังนั้นกลุ่มตัวอย่างจะเกิดความรู้สึกไม่สบายทางด้านเย็นเมื่ออุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยต่ำกว่า  $24.0\text{ }^{\circ}\text{C}$  และกลุ่มตัวอย่างจะเกิดรู้สึกไม่สบายทางด้านร้อนเมื่อมีอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยสูงกว่า  $24.9\text{ }^{\circ}\text{C}$  ขึ้นไป ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.15



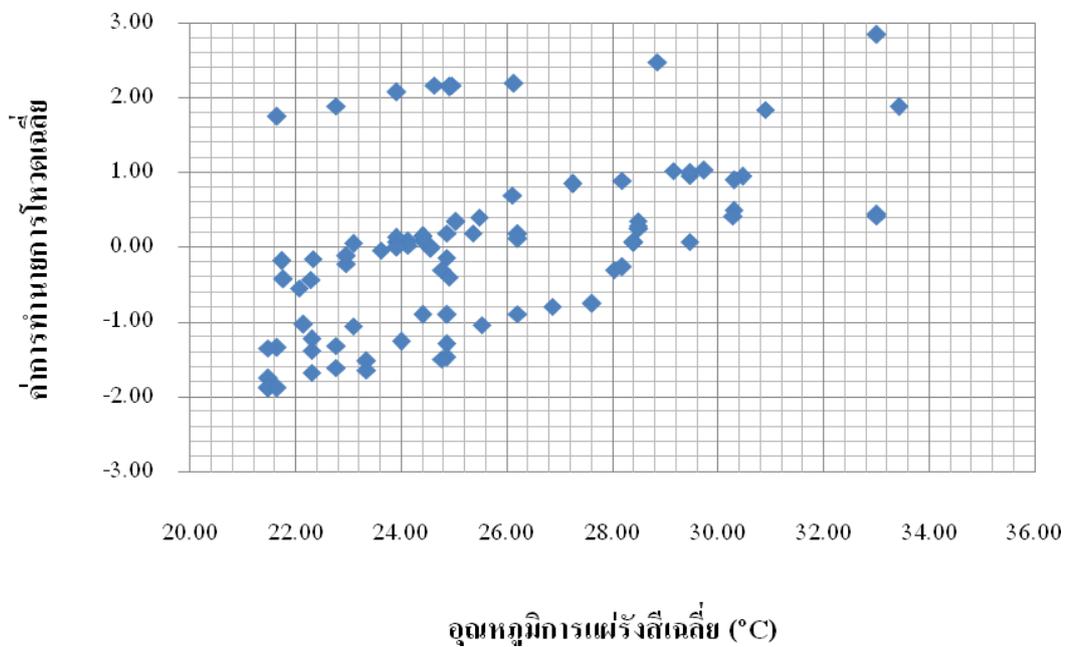
รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยกับความรู้สึกเชิงอุณหภูมิจากการตรวจวัดจริง กรณีค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าอยู่ระหว่าง 1.00 - 1.45 clo

ตารางที่ 4.15 ความรู้สึกเชิงอุณหภูมิจากการตรวจวัดจริงของกลุ่มตัวอย่างที่มีการใส่เสื้อผ้าที่มีค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าอยู่ระหว่าง 1.00 – 1.45 clo

| Range | T <sub>mrt</sub> | -3 | -2 | -1 | -0.5 | 0  | 0.5 | 1 | 2 | 3 | sum | %      | Cool Dis. | %Cool Dis. | Comfort | %Comfort | Warm Dis. | %Warm Dis. |
|-------|------------------|----|----|----|------|----|-----|---|---|---|-----|--------|-----------|------------|---------|----------|-----------|------------|
| 1     | 19.0 - 19.9      | 0  | 3  | 3  | 0    | 0  | 0   | 0 | 0 | 0 | 6   | 6.25   | 6         | 100.00     | 0       | 0.00     | 0         | 0.00       |
| 2     | 20.0 - 20.9      | 0  | 0  | 1  | 0    | 0  | 0   | 0 | 0 | 0 | 1   | 1.04   | 1         | 100.00     | 0       | 0.00     | 0         | 0.00       |
| 3     | 21.0 - 21.9      | 0  | 5  | 0  | 5    | 0  | 0   | 0 | 0 | 0 | 10  | 10.42  | 5         | 50.00      | 5       | 50.00    | 0         | 0.00       |
| 4     | 22.0 - 22.9      | 1  | 4  | 1  | 1    | 5  | 0   | 0 | 0 | 0 | 12  | 12.50  | 6         | 50.00      | 6       | 50.00    | 0         | 0.00       |
| 5     | 23.0 - 23.9      | 0  | 0  | 3  | 0    | 4  | 1   | 0 | 1 | 0 | 9   | 9.38   | 3         | 33.33      | 5       | 55.56    | 1         | 11.11      |
| 6     | 24.0 - 24.9      | 0  | 1  | 1  | 3    | 10 | 3   | 0 | 3 | 1 | 22  | 22.92  | 2         | 9.09       | 16      | 72.73    | 4         | 18.18      |
| 7     | 25.0 - 25.9      | 0  | 0  | 0  | 0    | 1  | 1   | 1 | 0 | 0 | 3   | 3.13   | 0         | 0.00       | 2       | 66.67    | 1         | 33.33      |
| 8     | 26.0 - 26.9      | 0  | 1  | 0  | 0    | 3  | 0   | 1 | 0 | 1 | 6   | 6.25   | 1         | 16.67      | 3       | 50.00    | 2         | 33.33      |
| 9     | 27.0 - 27.9      | 0  | 0  | 0  | 0    | 1  | 0   | 2 | 1 | 0 | 4   | 4.17   | 0         | 0.00       | 1       | 25.00    | 3         | 75.00      |
| 10    | 28.0 - 28.9      | 0  | 0  | 0  | 0    | 4  | 0   | 0 | 3 | 2 | 9   | 9.38   | 0         | 0.00       | 4       | 44.44    | 5         | 55.56      |
| 11    | 29.0 - 29.9      | 0  | 0  | 0  | 0    | 0  | 0   | 2 | 1 | 2 | 5   | 5.21   | 0         | 0.00       | 0       | 0.00     | 5         | 100.00     |
| 12    | 30.0 - 30.9      | 0  | 0  | 0  | 0    | 0  | 0   | 2 | 1 | 2 | 5   | 5.21   | 0         | 0.00       | 0       | 0.00     | 5         | 100.00     |
| 13    | 31.0 - 31.9      | 0  | 0  | 0  | 0    | 0  | 0   | 0 | 0 | 0 | 0   | 0.00   | 0         | 0.00       | 0       | 0.00     | 0         | 0.00       |
| 14    | 32.0 - 32.9      | 0  | 0  | 0  | 0    | 0  | 0   | 0 | 0 | 0 | 0   | 0.00   | 0         | 0.00       | 0       | 0.00     | 0         | 0.00       |
| 15    | 33.0 - 33.9      | 0  | 0  | 0  | 0    | 0  | 0   | 0 | 1 | 3 | 4   | 4.17   | 0         | 0.00       | 0       | 0.00     | 4         | 100.00     |
|       |                  |    |    |    |      |    |     |   |   |   | 96  | 100.00 | 24        |            | 42      |          | 30        |            |

(2) สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยกับค่าการทำนายการโหวตเฉลี่ย พบว่า เมื่อพิจารณาที่ PMV อยู่ในช่วง -0.5 ถึง +0.5 อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยที่ทำให้กลุ่มตัวอย่างเกิดรู้สึกสบายอยู่ในช่วงระหว่าง 22.4 – 28.1 °C ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.12

กลุ่มตัวอย่างที่ 3 (ค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้ามากกว่า 1.00 clo) พบว่า กลุ่มตัวอย่างเกิดความรู้สึกสบายมากที่สุดในช่วงอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย 24.0 – 24.9 °C เมื่อพิจารณา PMV อยู่ระหว่าง -0.5 กับ +0.5 โดยกลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่รู้สึกสบาย 63.64% ดังนั้น กลุ่มตัวอย่างเกิดความรู้สึกไม่สบายทางด้านเย็นเมื่ออุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยต่ำกว่า 24.0 °C และทางด้านร้อนเมื่อมีอุณหภูมิตั้งแต่ 24.9 °C ขึ้นไป ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.16



รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยกับค่าการทำนายการโหวตเฉลี่ย กรณีค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าอยู่ระหว่าง 1.00 - 1.45 clo

ตารางที่ 4.16 ค่าการทำนายการไหลตเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างที่มีการใส่เสื้อผ้าที่มีค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าอยู่ระหว่าง 1.00 – 1.45 clo

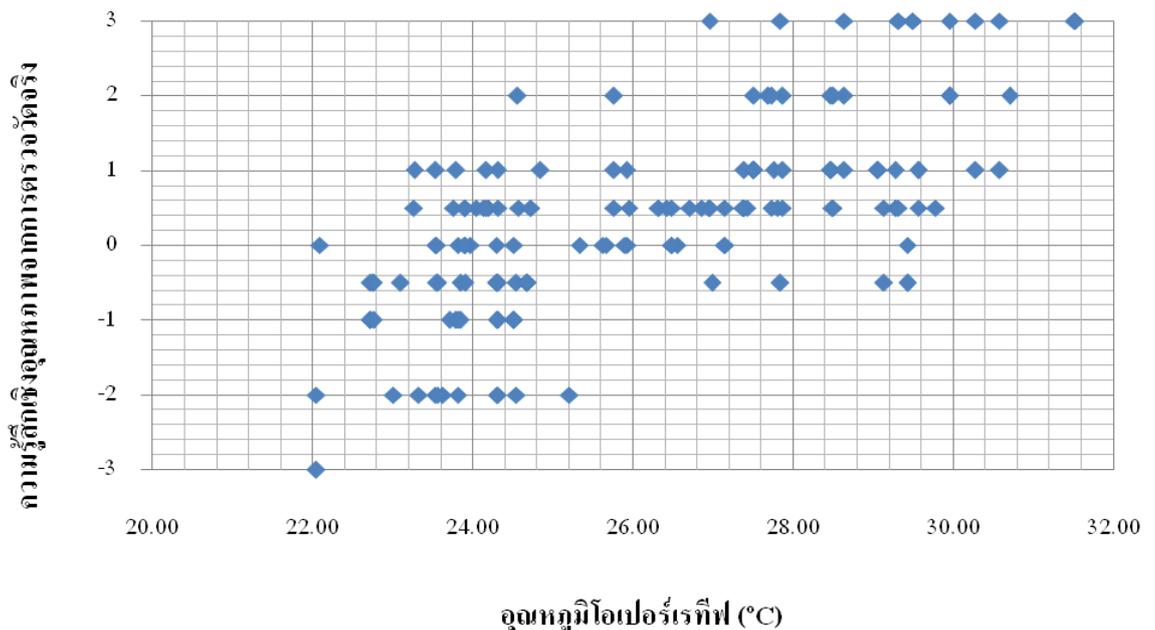
| Range | T <sub>mrt</sub> | -3 | -2 | -1 | -0.5 | 0  | 0.5 | 1 | 2 | 3 | sum | %      | Cool Dis. | %Cool Dis. | Comfort | %Comfort | Warm Dis. | %Warm Dis. |
|-------|------------------|----|----|----|------|----|-----|---|---|---|-----|--------|-----------|------------|---------|----------|-----------|------------|
| 1     | 19.0 - 19.9      | 0  | 2  | 3  | 1    | 0  | 0   | 0 | 0 | 0 | 6   | 6.25   | 5         | 83.33      | 1       | 16.67    | 0         | 0.00       |
| 2     | 20.0 - 20.9      | 0  | 0  | 2  | 0    | 0  | 0   | 0 | 0 | 0 | 2   | 2.08   | 2         | 100.00     | 0       | 0.00     | 0         | 0.00       |
| 3     | 21.0 - 21.9      | 0  | 0  | 6  | 0    | 3  | 0   | 1 | 0 | 0 | 10  | 10.42  | 6         | 60.00      | 3       | 30.00    | 1         | 10.00      |
| 4     | 22.0 - 22.9      | 0  | 0  | 6  | 1    | 4  | 0   | 1 | 0 | 0 | 12  | 12.50  | 6         | 50.00      | 5       | 41.67    | 1         | 8.33       |
| 5     | 23.0 - 23.9      | 0  | 0  | 3  | 0    | 5  | 0   | 0 | 1 | 0 | 9   | 9.38   | 3         | 33.33      | 5       | 55.56    | 1         | 11.11      |
| 6     | 24.0 - 24.9      | 0  | 0  | 4  | 2    | 12 | 0   | 0 | 4 | 0 | 22  | 22.92  | 4         | 18.18      | 14      | 63.64    | 4         | 18.18      |
| 5     | 25.0 - 25.9      | 0  | 0  | 0  | 0    | 2  | 0   | 1 | 0 | 0 | 3   | 3.13   | 0         | 0.00       | 1       | 33.33    | 1         | 33.33      |
| 8     | 26.0 - 26.9      | 0  | 0  | 0  | 0    | 2  | 1   | 2 | 1 | 0 | 6   | 6.25   | 0         | 0.00       | 3       | 50.00    | 3         | 50.00      |
| 9     | 27.0 - 27.9      | 0  | 0  | 0  | 0    | 0  | 1   | 1 | 1 | 0 | 3   | 3.13   | 0         | 0.00       | 1       | 33.33    | 2         | 66.67      |
| 10    | 28.0 - 28.9      | 0  | 0  | 0  | 0    | 4  | 1   | 1 | 2 | 1 | 9   | 9.38   | 0         | 0.00       | 5       | 55.56    | 4         | 44.44      |
| 11    | 29.0 - 29.9      | 0  | 0  | 0  | 0    | 0  | 0   | 4 | 1 | 0 | 5   | 5.21   | 0         | 0.00       | 0       | 0.00     | 5         | 100.00     |
| 12    | 30.0 - 30.9      | 0  | 0  | 0  | 0    | 0  | 0   | 2 | 2 | 1 | 5   | 5.21   | 0         | 0.00       | 0       | 0.00     | 5         | 100.00     |
| 13    | 31.0 - 31.9      | 0  | 0  | 0  | 0    | 0  | 0   | 0 | 0 | 0 | 0   | 0.00   | 0         | 0.00       | 0       | 0.00     | 0         | 0.00       |
| 14    | 32.0 - 32.9      | 0  | 0  | 0  | 0    | 0  | 0   | 0 | 0 | 0 | 0   | 0.00   | 0         | 0.00       | 0       | 0.00     | 0         | 0.00       |
| 15    | 33.0 - 33.9      | 0  | 0  | 0  | 0    | 0  | 2   | 1 | 1 | 0 | 4   | 4.17   | 0         | 0.00       | 2       | 50.00    | 2         | 50.00      |
|       |                  |    |    |    |      |    |     |   |   |   | 96  | 100.00 | 26        |            | 40      |          | 29        |            |

#### 4.3.4 ดัชนีทางด้านความรู้สึกไม่สบายที่อุณหภูมิโอเปอร์เรทีฟ (Operative Temperature: $T_{op}$ )

อุณหภูมิโอเปอร์เรทีฟเป็นอุณหภูมิคงที่ของพื้นที่ปิดล้อมสี่ด้านที่มีการเปลี่ยนความร้อนโดยการแผ่รังสีในอัตราเท่ากับร่างกายมนุษย์ที่สูญเสียความร้อนโดยการแผ่รังสีนั้นในสภาพแวดล้อมจริง และมีความเร็วอากาศกับความดันเท่ากัน ซึ่งรวมทั้งอุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิการแผ่รังสีจากผนังรอบด้านเฉลี่ยเข้าไว้ด้วยกัน จึงทำให้ทราบถึงอุณหภูมิที่มีผลต่อผู้อยู่อาศัยที่แท้จริงได้ โดยนำค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนแต่ละด้านมาพิจารณา ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 2.22

##### 4.3.4.1 กรณีค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าอยู่ระหว่าง 0.40 - 0.69 clo

(1) จากรูปที่ 4.13 มีอุณหภูมิเฉลี่ย  $24.2^{\circ}\text{C}$  และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 2.49 โดยที่ช่วงของอุณหภูมิโอเปอร์เรทีฟอยู่ในช่วง  $20.1 - 31.5^{\circ}\text{C}$  และจากความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิโอเปอร์เรทีฟกับความรู้สึกเชิงอุณหภูมิจากการตรวจวัดจริง พบว่า อุณหภูมิโอเปอร์เรทีฟในช่วงระหว่าง  $23.7 - 26.6^{\circ}\text{C}$  ทำให้กลุ่มตัวอย่างเกิดความรู้สึกสบาย เมื่อพิจารณาในช่วง  $-0.5 < \text{ASV} < +0.5$



รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิโอเปอร์เรทีฟกับความรู้สึกเชิงอุณหภูมิจากการตรวจวัดจริง กรณีค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าอยู่ระหว่าง 0.40 - 0.69 clo

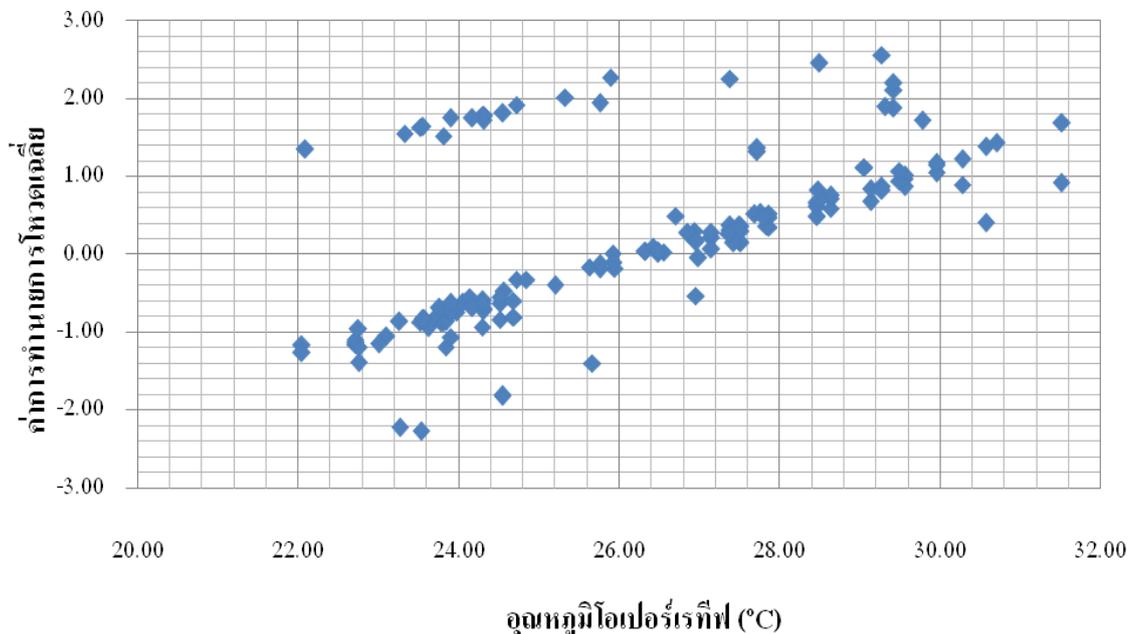
ตารางที่ 4.17 ความรู้สึกเชิงอุณหภูมิจากการตรวจวัดจริงของกลุ่มตัวอย่างที่มีการใส่เสื้อผ้าที่มีค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าอยู่ระหว่าง 0.40 - 0.69 clo

| Range | T <sub>op</sub> | -3 | -2 | -1 | -0.5 | 0 | 0.5 | 1 | 2 | 3 | sum | %      | Cool Dis. | %Cool Dis. | Comfort | %Comfort | Warm Dis. | %Warm Dis. |
|-------|-----------------|----|----|----|------|---|-----|---|---|---|-----|--------|-----------|------------|---------|----------|-----------|------------|
| 1     | 20.0 - 20.9     | 0  | 0  | 0  | 0    | 0 | 0   | 0 | 0 | 0 | 0   | 0.00   | 0         | 0.00       | 0       | 0.00     | 0         | 0.00       |
| 2     | 21.0 - 21.9     | 0  | 0  | 0  | 0    | 0 | 0   | 0 | 0 | 0 | 0   | 0.00   | 0         | 0.00       | 0       | 0.00     | 0         | 0.00       |
| 3     | 22.0 - 22.9     | 1  | 1  | 2  | 3    | 2 | 0   | 0 | 0 | 0 | 9   | 5.84   | 4         | 44.44      | 5       | 55.56    | 0         | 0.00       |
| 4     | 23.0 - 23.9     | 0  | 6  | 3  | 6    | 6 | 4   | 3 | 0 | 0 | 28  | 18.18  | 9         | 32.14      | 16      | 57.14    | 3         | 10.71      |
| 5     | 24.0 - 24.9     | 0  | 3  | 4  | 7    | 2 | 9   | 3 | 1 | 0 | 29  | 18.83  | 7         | 24.14      | 18      | 62.07    | 4         | 13.79      |
| 6     | 25.0 - 25.9     | 0  | 1  | 0  | 0    | 5 | 2   | 2 | 1 | 0 | 11  | 7.14   | 1         | 9.09       | 7       | 63.64    | 3         | 27.27      |
| 7     | 26.0 - 26.9     | 0  | 0  | 0  | 1    | 3 | 10  | 0 | 0 | 1 | 15  | 9.74   | 0         | 0.00       | 14      | 93.33    | 1         | 6.67       |
| 8     | 27.0 - 27.9     | 0  | 0  | 0  | 1    | 2 | 7   | 8 | 4 | 1 | 23  | 14.94  | 0         | 0.00       | 10      | 43.48    | 13        | 56.52      |
| 9     | 28.0 - 28.9     | 0  | 0  | 0  | 0    | 0 | 2   | 3 | 3 | 1 | 9   | 5.84   | 0         | 0.00       | 2       | 22.22    | 7         | 77.78      |
| 10    | 29.0 - 29.9     | 0  | 0  | 0  | 3    | 1 | 6   | 5 | 2 | 5 | 22  | 14.29  | 0         | 0.00       | 10      | 45.45    | 12        | 54.55      |
| 11    | 30.0 - 30.9     | 0  | 0  | 0  | 0    | 0 | 0   | 2 | 1 | 2 | 5   | 3.25   | 0         | 0.00       | 0       | 0.00     | 5         | 100.00     |
| 12    | 31.0 - 31.9     | 0  | 0  | 0  | 0    | 0 | 0   | 0 | 0 | 3 | 3   | 1.95   | 0         | 0.00       | 0       | 0.00     | 3         | 100.00     |
|       |                 |    |    |    |      |   |     |   |   |   | 154 | 100.00 | 21        |            | 82      |          | 51        |            |

ตารางที่ 4.17 แสดงถึงข้อมูลความรู้สึกเชิงอุณหภูมิจากการตรวจวัดจริงของกลุ่มตัวอย่างที่มีการใส่เสื้อผ้าที่มีค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าอยู่ระหว่าง 0.40 - 0.69 clo แสดงให้เห็นว่าที่อุณหภูมิโอเปอร์เรทีฟช่วงระหว่าง 26.0 - 26.9 °C มีเปอร์เซ็นต์ความสบายเชิงอุณหภูมิมากที่สุดของกลุ่มตัวอย่างเท่ากับ 93.33% เมื่อพิจารณาที่ ASV ในช่วงระหว่าง -0.5 ถึง +0.5 จากตารางนี้ทำให้ทราบว่ากลุ่มตัวอย่างเกิดความรู้สึกไม่สบายทางด้านเย็นเมื่ออุณหภูมิโอเปอร์เรทีฟต่ำกว่า 26.0 °C และทางด้านร้อนเมื่ออุณหภูมิโอเปอร์เรทีฟสูงกว่า 26.9 °C

(2) ซึ่งอุณหภูมิโอเปอร์เรทีฟที่ทำให้กลุ่มตัวอย่างเกิดรู้สึกสบายอยู่ในช่วงระหว่าง 23.6 – 27.1 °C เมื่อพิจารณาที่ PMV อยู่ในช่วง -0.5 ถึง +0.5 ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.14

จากกลุ่มตัวอย่างที่มีการสวมใส่เสื้อผ้าต่ำกว่า 0.60 clo ค่าการทำนายการโหวดเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างนี้ (ตารางที่ 4.18) แสดงให้เห็นว่ามีเปอร์เซ็นต์ความสบายเชิงอุณหภูมิมากที่สุดเท่ากับ 100% โดยที่อุณหภูมิโอเปอร์เรทีฟอยู่ในช่วงระหว่าง 26.0 - 26.9 °C ( $-0.5 < PMV < +0.5$ ) และจากตารางนี้ทำให้ทราบว่ากลุ่มตัวอย่างเกิดความรู้สึกไม่สบายทางด้านเย็นเมื่ออุณหภูมิโอเปอร์เรทีฟต่ำกว่า 26.0 °C และทางด้านร้อนเมื่ออุณหภูมิโอเปอร์เรทีฟสูงกว่า 26.9 °C



รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิโอเปอร์เรทีฟกับค่าการทำนายการโหวดเฉลี่ย กรณีค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าอยู่ระหว่าง 0.40 - 0.69 clo

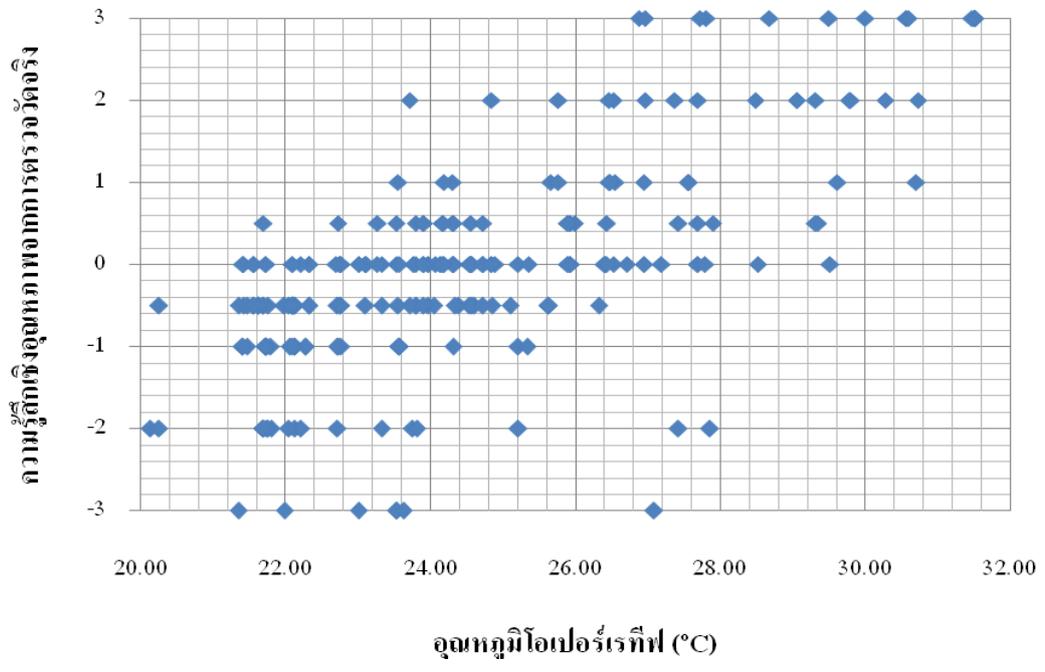
ตารางที่ 4.18 ค่าการทำนายการไหลตเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างที่มีการใส่เสื้อผ้าที่มีค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าอยู่ระหว่าง 0.40 - 0.69 clo

| Range | T <sub>op</sub> | -3 | -2 | -1 | -0.5 | 0  | 0.5 | 1  | 2 | 3 | sum | %      | Cool Dis. | %Cool Dis. | Comfort | %Comfort | Warm Dis. | %Warm Dis. |
|-------|-----------------|----|----|----|------|----|-----|----|---|---|-----|--------|-----------|------------|---------|----------|-----------|------------|
| 1     | 20.0 - 20.9     | 0  | 0  | 0  | 0    | 0  | 0   | 0  | 0 | 0 | 0   | 0.00   | 0         | 0.00       | 0       | 0.00     | 0         | 0.00       |
| 2     | 21.0 - 21.9     | 0  | 0  | 0  | 0    | 0  | 0   | 0  | 0 | 0 | 0   | 0.00   | 0         | 0.00       | 0       | 0.00     | 0         | 0.00       |
| 3     | 22.0 - 22.9     | 0  | 0  | 7  | 1    | 0  | 0   | 1  | 0 | 0 | 9   | 5.84   | 7         | 77.78      | 1       | 11.11    | 1         | 11.11      |
| 4     | 23.0 - 23.9     | 0  | 2  | 3  | 16   | 0  | 0   | 5  | 0 | 0 | 26  | 16.88  | 5         | 19.23      | 16      | 61.54    | 5         | 19.23      |
| 5     | 24.0 - 24.9     | 0  | 0  | 2  | 17   | 3  | 0   | 6  | 1 | 0 | 29  | 18.83  | 2         | 6.90       | 20      | 68.97    | 7         | 24.14      |
| 6     | 25.0 - 25.9     | 0  | 0  | 1  | 0    | 7  | 0   | 0  | 3 | 0 | 11  | 7.14   | 1         | 9.09       | 7       | 63.64    | 3         | 27.27      |
| 7     | 26.0 - 26.9     | 0  | 0  | 0  | 1    | 12 | 1   | 0  | 0 | 0 | 14  | 9.09   | 0         | 0.00       | 14      | 100.00   | 0         | 0.00       |
| 8     | 27.0 - 27.9     | 0  | 0  | 0  | 0    | 15 | 6   | 2  | 1 | 0 | 24  | 15.58  | 0         | 0.00       | 21      | 87.50    | 3         | 12.50      |
| 9     | 28.0 - 28.9     | 0  | 0  | 0  | 0    | 0  | 8   | 0  | 1 | 0 | 9   | 5.84   | 0         | 0.00       | 8       | 88.89    | 1         | 11.11      |
| 10    | 29.0 - 29.9     | 0  | 0  | 1  | 1    | 0  | 5   | 12 | 3 | 2 | 24  | 15.58  | 1         | 4.17       | 6       | 25.00    | 17        | 70.83      |
| 11    | 30.0 - 30.9     | 0  | 0  | 0  | 0    | 0  | 2   | 3  | 0 | 0 | 5   | 3.25   | 0         | 0.00       | 2       | 40.00    | 3         | 60.00      |
| 12    | 31.0 - 31.9     | 0  | 0  | 0  | 0    | 0  | 0   | 2  | 0 | 1 | 3   | 1.95   | 0         | 0.00       | 0       | 0.00     | 3         | 100.00     |
|       |                 |    |    |    |      |    |     |    |   |   | 154 | 100.00 | 16        |            | 95      |          | 43        |            |

**4.3.4.2 กรณีค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าอยู่ระหว่าง 0.70 - 0.99 clo**

(1) รูปที่ 4.15 พบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิโอเปอร์เรทีฟกับความรู้สึกเชิงอุณหภูมิจากการตรวจวัดจริงมีอุณหภูมิโอเปอร์เรทีฟอยู่ในช่วง 20.1 – 31.5 °C ซึ่งมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 24.5 °C โดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 2.66 เมื่อพิจารณาที่ ASV อยู่ในช่วง -0.5 ถึง +0.5 พบว่ากลุ่มตัวอย่างเกิดความรู้สึกสบายเมื่ออุณหภูมิโอเปอร์เรทีฟเท่ากับ 24.5 °C และ 23.0 – 26.0 °C

เมื่อดูจากตารางที่ 4.19 พบว่า ช่วงของอุณหภูมิโอเปอร์เรทีฟ 24.0 – 24.9 °C กลุ่มตัวอย่างโหวตให้มีเปอร์เซ็นต์ความสบายมากที่สุด (89.47%) แสดงว่ากลุ่มตัวอย่างเกิดความรู้สึกไม่สบายทางด้านเย็นเมื่ออุณหภูมิโอเปอร์เรทีฟ ต่ำกว่า 24.0 °C และทางด้านร้อนสูงกว่า 24.9 °C



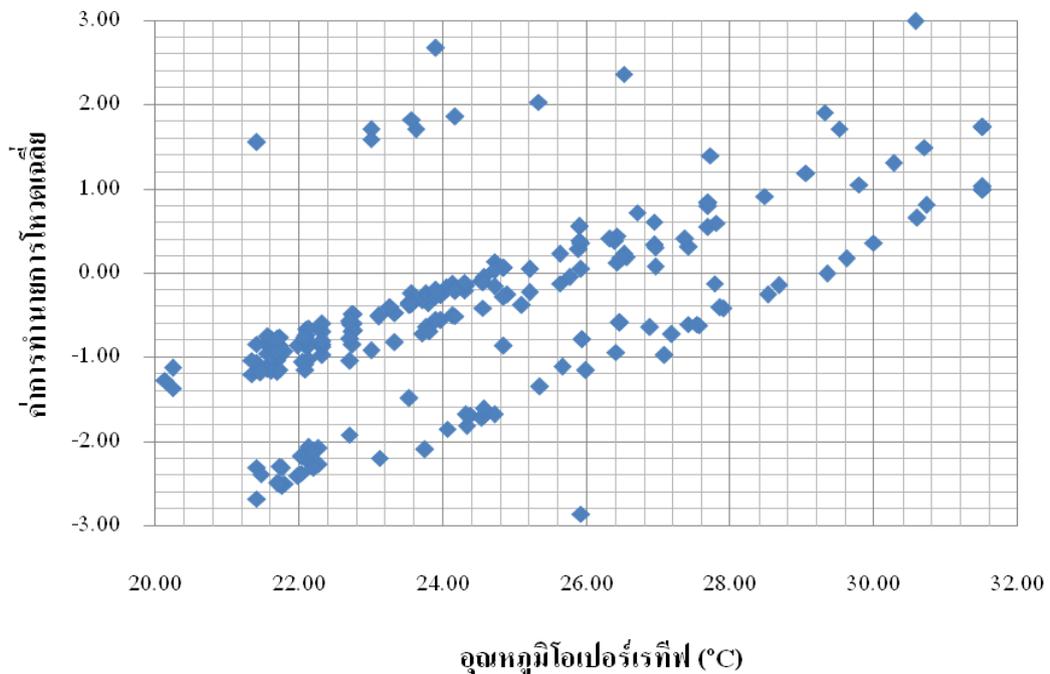
**รูปที่ 4.15** ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิโอเปอร์เรทีฟกับความรู้สึกเชิงอุณหภูมิจากการตรวจวัดจริง กรณีค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าอยู่ระหว่าง 0.70 - 0.99 clo

ตารางที่ 4.19 ความรู้สึกเชิงอุณหภูมิจากการตรวจวัดจริงของกลุ่มตัวอย่างที่มีการใส่เสื้อผ้าที่มีค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าอยู่ระหว่าง 0.70 - 0.99 clo

| Range | T <sub>op</sub> | -3 | -2 | -1 | -0.5 | 0  | 0.5 | 1 | 2 | 3 | sum | %      | Cool Dis. | %Cool Dis. | Comfort | %Comfort | Warm Dis. | %Warm Dis. |
|-------|-----------------|----|----|----|------|----|-----|---|---|---|-----|--------|-----------|------------|---------|----------|-----------|------------|
| 1     | 19.0 - 19.9     | 0  | 1  | 1  | 0    | 0  | 0   | 0 | 0 | 0 | 2   | 0.83   | 2         | 100.00     | 0       | 0.00     | 0         | 0.00       |
| 2     | 20.0 - 20.9     | 0  | 1  | 0  | 0    | 0  | 0   | 0 | 0 | 0 | 1   | 0.41   | 1         | 100.00     | 0       | 0.00     | 0         | 0.00       |
| 3     | 21.0 - 21.9     | 2  | 6  | 8  | 12   | 7  | 1   | 0 | 0 | 0 | 36  | 14.94  | 16        | 44.44      | 20      | 55.56    | 0         | 0.00       |
| 4     | 22.0 - 22.9     | 0  | 4  | 10 | 15   | 11 | 1   | 0 | 0 | 0 | 41  | 17.01  | 14        | 34.15      | 27      | 65.85    | 0         | 0.00       |
| 5     | 23.0 - 23.9     | 4  | 3  | 3  | 8    | 17 | 5   | 1 | 1 | 0 | 42  | 17.43  | 10        | 23.81      | 30      | 71.43    | 2         | 4.76       |
| 6     | 24.0 - 24.9     | 0  | 0  | 1  | 8    | 19 | 7   | 2 | 1 | 0 | 38  | 15.77  | 1         | 2.63       | 34      | 89.47    | 3         | 7.89       |
| 7     | 25.0 - 25.9     | 0  | 1  | 2  | 3    | 7  | 5   | 1 | 0 | 0 | 19  | 7.88   | 3         | 15.79      | 15      | 78.95    | 1         | 5.26       |
| 8     | 26.0 - 26.9     | 0  | 0  | 0  | 1    | 7  | 1   | 4 | 3 | 2 | 18  | 7.47   | 0         | 0.00       | 9       | 50.00    | 9         | 50.00      |
| 9     | 27.0 - 27.9     | 1  | 2  | 0  | 0    | 4  | 3   | 3 | 3 | 2 | 18  | 7.47   | 3         | 16.67      | 7       | 38.89    | 8         | 44.44      |
| 10    | 28.0 - 28.9     | 0  | 0  | 0  | 0    | 1  | 0   | 0 | 1 | 1 | 3   | 1.24   | 0         | 0.00       | 1       | 33.33    | 2         | 66.67      |
| 11    | 29.0 - 29.9     | 0  | 0  | 0  | 0    | 1  | 2   | 1 | 5 | 1 | 10  | 4.15   | 0         | 0.00       | 3       | 30.00    | 7         | 70.00      |
| 12    | 30.0 - 30.9     | 0  | 0  | 0  | 0    | 0  | 0   | 1 | 2 | 4 | 7   | 2.90   | 0         | 0.00       | 0       | 0.00     | 7         | 100.00     |
| 13    | 31.0 - 31.9     | 0  | 0  | 0  | 0    | 0  | 0   | 0 | 0 | 6 | 6   | 2.49   | 0         | 0.00       | 0       | 0.00     | 6         | 100.00     |
|       |                 |    |    |    |      |    |     |   |   |   | 241 | 100.00 | 50        |            | 146     |          | 45        |            |

(2) รูปที่ 4.16 พบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิโอเปอร์เรทีฟกับค่าการทำนายการโหวดเฉลี่ยมีอุณหภูมิโอเปอร์เรทีฟอยู่ในช่วง 20.1 – 31.5 °C และกลุ่มตัวอย่างเกิดความรู้สึกสบายเมื่ออุณหภูมิโอเปอร์เรทีฟ 24.0 – 27.4 °C เมื่อพิจารณาที่ ASV อยู่ในช่วง -0.5 ถึง +0.5

หากพิจารณาที่ PMV อยู่ระหว่าง -0.5 ถึง +0.5 โดยมีผลโหวดความรู้สึกสบายมากที่สุดของกลุ่มตัวอย่าง 84.21% (กลุ่มตัวอย่างเกิดความรู้สึกสบายเมื่อมีอุณหภูมิโอเปอร์เรทีฟ 24.0 – 24.9 °C) ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.20 ดังนั้นกลุ่มตัวอย่างจะเกิดความรู้สึกไม่สบายทางด้านเย็นเมื่ออุณหภูมิโอเปอร์เรทีฟต่ำกว่าและสูงกว่าดังนี้ 24.0 °C และ 24.9 °C ตามลำดับ



รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิโอเปอร์เรทีฟกับค่าการทำนายการโหวดเฉลี่ย  
กรณีค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าอยู่ระหว่าง 0.70 - 0.99 clo

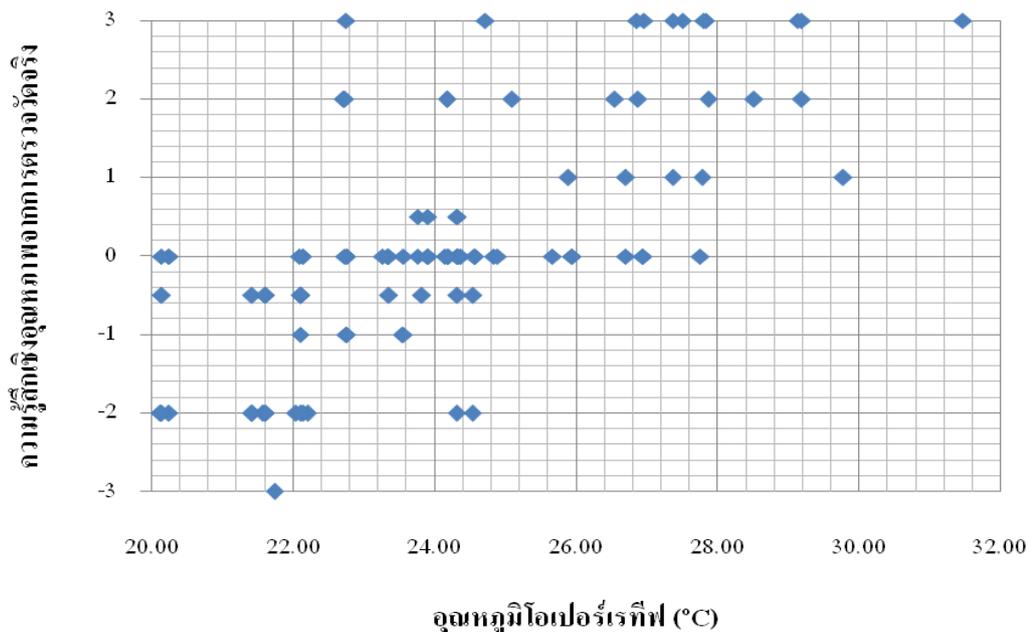
ตารางที่ 4.20 ค่าการทำนายการโหวตเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างที่มีการใส่เสื้อผ้าที่มีค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าอยู่ระหว่าง 0.70 - 0.99 clo

| Range | T <sub>op</sub> | -3 | -2 | -1 | -0.5 | 0  | 0.5 | 1 | 2 | 3 | sum | %      | Cool Dis. | %Cool Dis. | Comfort | %Comfort | Warm Dis. | %Warm Dis. |
|-------|-----------------|----|----|----|------|----|-----|---|---|---|-----|--------|-----------|------------|---------|----------|-----------|------------|
| 1     | 20.0 - 20.9     | 0  | 0  | 3  | 0    | 0  | 0   | 0 | 0 | 0 | 3   | 1.24   | 3         | 100.00     | 0       | 0.00     | 0         | 0.00       |
| 2     | 21.0 - 21.9     | 0  | 10 | 10 | 17   | 0  | 0   | 1 | 0 | 0 | 38  | 15.77  | 20        | 52.63      | 17      | 44.74    | 1         | 2.63       |
| 3     | 22.0 - 22.9     | 0  | 8  | 6  | 24   | 2  | 0   | 0 | 0 | 0 | 40  | 16.60  | 14        | 35.00      | 26      | 65.00    | 0         | 0.00       |
| 4     | 23.0 - 23.9     | 0  | 3  | 1  | 12   | 24 | 2   | 4 | 1 | 0 | 47  | 19.50  | 4         | 8.51       | 38      | 80.85    | 5         | 10.64      |
| 5     | 24.0 - 24.9     | 0  | 0  | 5  | 6    | 26 | 0   | 1 | 0 | 0 | 38  | 15.77  | 5         | 13.16      | 32      | 84.21    | 1         | 2.63       |
| 6     | 25.0 - 25.9     | 0  | 0  | 3  | 0    | 10 | 0   | 0 | 1 | 1 | 15  | 6.22   | 3         | 20.00      | 10      | 66.67    | 2         | 13.33      |
| 7     | 26.0 - 26.9     | 0  | 0  | 0  | 4    | 7  | 4   | 1 | 2 | 0 | 18  | 7.47   | 0         | 0.00       | 15      | 83.33    | 3         | 16.67      |
| 8     | 27.0 - 27.9     | 0  | 0  | 0  | 5    | 4  | 6   | 1 | 0 | 0 | 16  | 6.64   | 0         | 0.00       | 15      | 0.00     | 1         | 6.25       |
| 9     | 28.0 - 28.9     | 0  | 0  | 0  | 0    | 2  | 0   | 1 | 0 | 0 | 3   | 1.24   | 0         | 0.00       | 2       | 66.67    | 1         | 33.33      |
| 10    | 29.0 - 29.9     | 0  | 0  | 0  | 0    | 2  | 0   | 2 | 1 | 3 | 8   | 3.32   | 0         | 0.00       | 2       | 25.00    | 6         | 75.00      |
| 11    | 30.0 - 30.9     | 0  | 0  | 0  | 0    | 1  | 2   | 4 | 0 | 2 | 9   | 3.73   | 0         | 1.00       | 3       | 1.00     | 6         | 66.67      |
| 12    | 31.0 - 31.9     | 0  | 0  | 0  | 0    | 0  | 0   | 5 | 0 | 1 | 6   | 2.49   | 0         | 0.00       | 0       | 0.00     | 6         | 100.00     |
|       |                 |    |    |    |      |    |     |   |   |   | 241 | 100.00 | 49        |            | 160     |          | 32        |            |

#### 4.3.4.3 กรณีค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าอยู่ระหว่าง 1.00 - 1.45 clo

(1) จากจำนวนกลุ่มตัวอย่าง 96 ตัวอย่าง (รูปที่ 4.17) พบว่า มีช่วงอุณหภูมิโอเปอร์เรทีฟตั้งแต่ 20.1 – 31.5 °C ซึ่งมีอุณหภูมิโอเปอร์เรทีฟเฉลี่ยเท่ากับ 24.2 °C และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 2.49 สำหรับการพิจารณาที่ ASV อยู่ในช่วง -0.5 ถึง +0.5 พบว่า มีช่วงของอุณหภูมิโอเปอร์เรทีฟที่ทำให้กลุ่มตัวอย่างรู้สึกสบายเมื่อมีอุณหภูมิ 22.5 – 24.9 °C

จากตารางที่ 4.21 แสดงให้เห็นถึงผลโหวตของกลุ่มตัวอย่างที่เกิดความรู้สึกสบายมากที่สุดในช่วงอุณหภูมิโอเปอร์เรทีฟ 24.0 – 24.9 °C ซึ่งมีผลโหวตความรู้สึกสบายมากที่สุด 80% ( $-0.5 < ASV < +0.5$ ) แสดงว่ากลุ่มตัวอย่างเกิดความรู้สึกไม่สบายทางด้านเย็นเมื่ออุณหภูมิโอเปอร์เรทีฟต่ำกว่า 24.0 °C และกลุ่มตัวอย่างจะเกิดความรู้สึกไม่สบายทางด้านร้อนเมื่อมีอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยสูงกว่า 24.9 °C ขึ้นไป



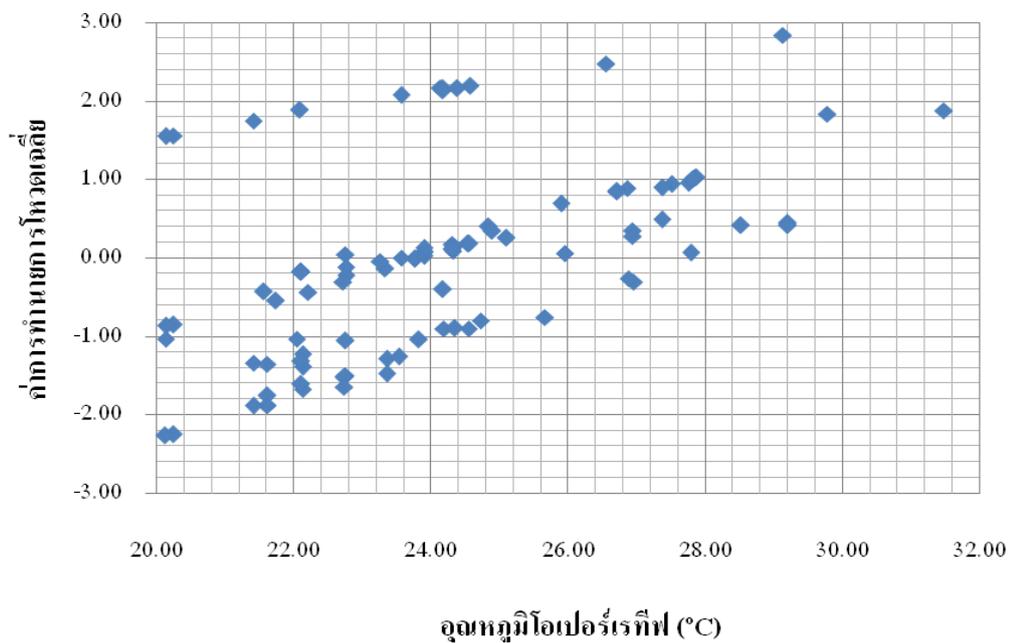
รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิโอเปอร์เรทีฟกับความรู้สึกเชิงอุณหภูมิจากการตรวจวัดจริง กรณีค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าอยู่ระหว่าง 1.00 - 1.45 clo

ตารางที่ 4.21 ความรู้สึกเชิงอุณหภูมิจากการตรวจวัดจริงของกลุ่มตัวอย่างที่มีการใส่เสื้อผ้าที่มีค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าอยู่ระหว่าง 1.00 – 1.45 clo

| Range | T <sub>op</sub> | -3 | -2 | -1 | -0.5 | 0  | 0.5 | 1 | 2 | 3 | sum       | %      | Cool Dis. | %Cool Dis. | Comfort | %Comfort | Warm Dis. | %Warm Dis. |
|-------|-----------------|----|----|----|------|----|-----|---|---|---|-----------|--------|-----------|------------|---------|----------|-----------|------------|
| 1     | 20.0 - 20.9     | 0  | 3  | 0  | 1    | 3  | 0   | 0 | 0 | 0 | 7         | 7.29   | 3         | 42.86      | 4       | 57.14    | 0         | 0.00       |
| 2     | 21.0 - 21.9     | 1  | 5  | 0  | 3    | 0  | 0   | 0 | 0 | 0 | 9         | 9.38   | 6         | 66.67      | 3       | 33.33    | 0         | 0.00       |
| 3     | 22.0 - 22.9     | 0  | 4  | 3  | 3    | 6  | 0   | 0 | 2 | 1 | 19        | 19.79  | 7         | 36.84      | 9       | 47.37    | 3         | 15.79      |
| 4     | 23.0 - 23.9     | 0  | 1  | 2  | 1    | 8  | 2   | 0 | 0 | 0 | 14        | 14.58  | 3         | 21.43      | 11      | 78.57    | 0         | 0.00       |
| 5     | 24.0 - 24.9     | 0  | 1  | 0  | 3    | 11 | 2   | 0 | 2 | 1 | 20        | 20.83  | 1         | 5.00       | 16      | 80.00    | 3         | 15.00      |
| 6     | 25.0 - 25.9     | 0  | 0  | 0  | 0    | 3  | 0   | 1 | 1 | 0 | 5         | 5.21   | 0         | 0.00       | 3       | 60.00    | 2         | 40.00      |
| 7     | 26.0 - 26.9     | 0  | 0  | 0  | 0    | 3  | 0   | 1 | 2 | 2 | 8         | 8.33   | 0         | 0.00       | 3       | 37.50    | 5         | 62.50      |
| 8     | 27.0 - 27.9     | 0  | 0  | 0  | 0    | 1  | 0   | 2 | 1 | 4 | 8         | 8.33   | 0         | 0.00       | 1       | 12.50    | 7         | 87.50      |
| 9     | 28.0 - 28.9     | 0  | 0  | 0  | 0    | 0  | 0   | 0 | 1 | 0 | 1         | 1.04   | 0         | 0.00       | 0       | 0.00     | 1         | 100.00     |
| 10    | 29.0 - 29.9     | 0  | 0  | 0  | 0    | 0  | 0   | 1 | 1 | 2 | 4         | 4.17   | 0         | 0.00       | 0       | 0.00     | 4         | 100.00     |
| 11    | 30.0 - 30.9     | 0  | 0  | 0  | 0    | 0  | 0   | 0 | 0 | 0 | 0         | 0.00   | 0         | 0.00       | 0       | 0.00     | 0         | 0.00       |
| 12    | 31.0 - 31.9     | 0  | 0  | 0  | 0    | 0  | 0   | 0 | 0 | 1 | 1         | 1.04   | 0         | 0.00       | 0       | 0.00     | 1         | 100.00     |
|       |                 |    |    |    |      |    |     |   |   |   | <b>96</b> | 100.00 | 20        |            | 50      |          | 26        |            |

(2) รูปที่ 4.18 พบว่า กลุ่มตัวอย่างเกิดความรู้สึกสบายเมื่ออุณหภูมิโอเปอร์เรทีฟอยู่ช่วงระหว่าง 22.3 – 26.3 °C เมื่อพิจารณาที่ ASV อยู่ในช่วง -0.5 ถึง +0.5

กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่เกิดความรู้สึกสบายเมื่อมีอุณหภูมิโอเปอร์เรทีฟ 24.0 – 24.9 °C โดยมีผลโหวตความรู้สึกสบายมากที่สุด 90.48% ( $-0.5 < ASV < +0.5$ ) จากตารางที่ 4.22 และจากข้อมูลตารางนี้ทำให้ทราบว่ากลุ่มตัวอย่างจะเกิดความรู้สึกไม่สบายทางด้านเย็นเมื่ออุณหภูมิโอเปอร์เรทีฟต่ำกว่า 24.0 °C และกลุ่มตัวอย่างจะเกิดความรู้สึกไม่สบายทางด้านร้อนเมื่อมีอุณหภูมิโอเปอร์เรทีฟสูงกว่า 24.9 °C ขึ้นไป



รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิโอเปอร์เรทีฟกับค่าการทํานายการโหวตเฉลี่ย  
กรณีค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าอยู่ระหว่าง 1.00 - 1.45 clo

ตารางที่ 4.22 ค่าการทำนายการไหลของความร้อนของกลุ่มตัวอย่างที่มีการใส่เสื้อผ้าที่มีค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าอยู่ระหว่าง 1.00 – 1.45 clo

| Range | T <sub>op</sub> | -3 | -2 | -1 | -0.5 | 0  | 0.5 | 1 | 2 | 3 | sum       | %      | Cool Dis. | %Cool Dis. | Comfort | %Comfort | Warm Dis. | %Warm Dis. |
|-------|-----------------|----|----|----|------|----|-----|---|---|---|-----------|--------|-----------|------------|---------|----------|-----------|------------|
| 1     | 20.0 - 20.9     | 0  | 2  | 1  | 2    | 0  | 0   | 2 | 0 | 0 | 7         | 7.29   | 3         | 42.86      | 2       | 28.57    | 2         | 28.57      |
| 2     | 21.0 - 21.9     | 0  | 0  | 6  | 1    | 1  | 0   | 1 | 0 | 0 | 9         | 9.38   | 6         | 66.67      | 2       | 22.22    | 1         | 11.11      |
| 3     | 22.0 - 22.9     | 0  | 0  | 10 | 0    | 7  | 0   | 1 | 0 | 0 | 18        | 18.75  | 10        | 55.56      | 7       | 38.89    | 1         | 5.56       |
| 4     | 23.0 - 23.9     | 0  | 0  | 4  | 0    | 9  | 0   | 0 | 1 | 0 | 14        | 14.58  | 4         | 28.57      | 9       | 64.29    | 1         | 7.14       |
| 5     | 24.0 - 24.9     | 0  | 0  | 0  | 4    | 12 | 3   | 0 | 2 | 0 | 21        | 21.88  | 0         | 0.00       | 19      | 90.48    | 2         | 9.52       |
| 6     | 25.0 - 25.9     | 0  | 0  | 0  | 1    | 2  | 1   | 1 | 0 | 0 | 5         | 5.21   | 0         | 0.00       | 4       | 80.00    | 1         | 20.00      |
| 7     | 26.0 - 26.9     | 0  | 0  | 0  | 0    | 4  | 3   | 0 | 1 | 0 | 8         | 8.33   | 0         | 0.00       | 7       | 87.50    | 1         | 12.50      |
| 8     | 27.0 - 27.9     | 0  | 0  | 0  | 0    | 1  | 2   | 5 | 0 | 0 | 8         | 8.33   | 0         | 0.00       | 3       | 37.50    | 5         | 62.50      |
| 9     | 28.0 - 28.9     | 0  | 0  | 0  | 0    | 0  | 0   | 1 | 0 | 0 | 1         | 1.04   | 0         | 0.00       | 0       | 0.00     | 1         | 100.00     |
| 10    | 29.0 - 29.9     | 0  | 0  | 0  | 0    | 0  | 2   | 1 | 1 | 0 | 4         | 4.17   | 0         | 0.00       | 2       | 50.00    | 2         | 50.00      |
| 11    | 30.0 - 30.9     | 0  | 0  | 0  | 0    | 0  | 0   | 0 | 0 | 0 | 0         | 0.00   | 0         | 0.00       | 0       | 0.00     | 0         | 0.00       |
| 12    | 31.0 - 31.9     | 0  | 0  | 0  | 0    | 0  | 0   | 1 | 0 | 0 | 1         | 1.04   | 0         | 0.00       | 0       | 0.00     | 1         | 100.00     |
|       |                 |    |    |    |      |    |     |   |   |   | <b>96</b> | 100.00 | 23        |            | 55      |          | 18        |            |

สำหรับข้อมูลทางด้านตัวแปรต่างๆ ที่ได้กล่าวมาในข้างต้นนั้น สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.23 เมื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย และอุณหภูมิโอเปอร์เรทีฟ กับความรู้สึกเชิงอุณหภูมิจากการตรวจวัดจริงและค่าการทำนายการไหลเวียนของอากาศ พบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิทั้ง 3 ตัวแปร กับค่าการทำนายการไหลเวียนของอากาศมีช่วงของอุณหภูมิที่กลุ่มตัวอย่างรู้สึกสบายกว้างกว่าความรู้สึกเชิงอุณหภูมิจากการตรวจวัดจริงเมื่อพิจารณาช่วงของการยอมรับ  $-0.5$  ถึง  $+0.5$  แสดงว่าคนสามารถรับรู้ถึงความรู้สึกจริงๆ ของอุณหภูมิได้น้อยกว่าค่าที่คำนวณได้ ซึ่งตารางที่ 4.24 แสดงข้อมูลของช่วงอุณหภูมิที่มีเปอร์เซ็นต์ความสบายเชิงอุณหภูมิมากที่สุดที่กลุ่มตัวอย่างได้ทำการโหวตที่ได้จากแบบสอบถามและจากการคำนวณ

**ตารางที่ 4.23** ช่วงของอุณหภูมิที่ทำให้กลุ่มตัวอย่างเกิดความรู้สึกสบายจากการตรวจวัดจริงและค่าการทำนายการไหลเวียน

|           |     | ช่วงของอุณหภูมิที่กลุ่มตัวอย่างรู้สึกสบาย (°C) |   |   |
|-----------|-----|--|---|---|
|           |     | กลุ่มตัวอย่างที่ 1<br>(0.40 – 0.69 clo)        | กลุ่มตัวอย่างที่ 2<br>(0.70 – 0.99 clo) | กลุ่มตัวอย่างที่ 3<br>(1.00 – 1.45 clo) |
|           |     | (-0.5 < X < +0.5)                              | (-0.5 < X < +0.5)                       | (-0.5 < X < +0.5)                       |
| $T_a$     | ASV | 21.8 – 24.1                                    | 21.1 – 24.4                             | 21.3 – 23.8                             |
|           | PMV | 22.2 – 25.2                                    | 22.8 – 25.7                             | 21.6 – 24.6                             |
| $T_{mrt}$ | ASV | 23.9 – 28.5                                    | 23.5 – 27.7                             | 23.0 – 26.1                             |
|           | PMV | 24.2 – 29.3                                    | 24.9 – 29.4                             | 22.4 – 28.1                             |
| $T_{op}$  | ASV | 23.7 – 26.6                                    | 23.0 – 26.0                             | 22.5 – 24.9                             |
|           | PMV | 23.6 – 27.1                                    | 24.0 – 27.4                             | 22.3 – 26.3                             |

ตารางที่ 4.24 ช่วงของอุณหภูมิที่ทำให้กลุ่มตัวอย่างเกิดความรู้สึกสบายมากที่สุดจากการตรวจวัดจริง และค่าการทำนายการโหวตเฉลี่ย

|           |     | ช่วงของอุณหภูมิที่กลุ่มตัวอย่างรู้สึกสบายมากที่สุด ( $^{\circ}\text{C}$ ) |   |   |
|-----------|-----|---|---|---|
|           |     | กลุ่มตัวอย่างที่ 1<br>(0.40 – 0.69 clo)                                   | กลุ่มตัวอย่างที่ 2<br>(0.70 – 0.99 clo) | กลุ่มตัวอย่างที่ 3<br>(1.00 – 1.45 clo) |
| $T_a$     | ASV | 24.0 – 24.9   | 23.0 – 23.9                             | 22.0 – 22.9                             |
|           | PMV | 23.0 – 23.9   | 23.0 – 23.9                             | 22.0 – 22.9                             |
| $T_{mrt}$ | ASV | 28.0 – 28.9   | 24.0 – 24.9                             | 24.0 – 24.9                             |
|           | PMV | 28.0 – 28.9   | 24.0 – 24.9                             | 24.0 – 24.9                             |
| $T_{op}$  | ASV | 26.0 – 26.9   | 24.0 – 24.9                             | 24.0 – 24.9                             |
|           | PMV | 26.0 – 26.9   | 24.0 – 24.9                             | 24.0 – 24.9                             |

#### 4.4 การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของความรู้สึกไม่สบายเชิงอุณหภูมิ

##### 4.4.1 ข้อมูลสำหรับการพัฒนาแบบจำลอง

ข้อมูลสำหรับการพัฒนาแบบจำลองแบ่งออกเป็น 3 ส่วนด้วยกันคือ ค่าการโหวตความรู้สึกเชิงอุณหภูมิจากการตรวจวัดจริง (แบบสอบถามของกลุ่มตัวอย่าง) ค่าการทำนายการโหวตเฉลี่ย (ค่าที่ได้จากการคำนวณ) และค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าที่กลุ่มตัวอย่างสวมใส่ ตั้งแต่เดือนตุลาคม พ.ศ. 2554 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2555 โดยใช้อุณหภูมิที่กลุ่มตัวอย่างเกิดความรู้สึกสบายมากที่สุด จากตารางที่ 4.24 มาเป็นตัวกำหนดในการตัดสินใจเลือกช่วงของอุณหภูมิอ้างอิง เพื่อนำมาพัฒนาแบบจำลองความไม่สบายเชิงอุณหภูมิทางด้านเย็นและทางด้านร้อน

##### 4.4.2 การพัฒนาแบบจำลอง

การพัฒนาแบบจำลองความไม่สบายเชิงอุณหภูมิ (Thermal Discomfort) โดยทำการวิเคราะห์จากข้อมูลที่สำรวจในเบื้องต้น (หรือค่า PMV) และผลการสำรวจค่า ASV ของกลุ่มตัวอย่าง โดยทำการวิเคราะห์ช่วงอุณหภูมิที่กลุ่มตัวอย่างแต่ละกลุ่มแสดงความพึงพอใจเพื่อกำหนดเป็นอุณหภูมิอ้างอิง ( $T_{c,ref}$ ) โดยอุณหภูมิที่ได้นี้เป็นอุณหภูมิอ้างอิงที่กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่เกิดความสบายเช่นเดียวกับการพัฒนาแบบจำลองความไม่สบายเชิงอุณหภูมิของ Kubaha [23] ดังนั้นความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของอากาศขณะใดๆ ( $T_{a,i}$ ) และอุณหภูมิอ้างอิงที่ทำให้เกิดสภาวะสบายเชิงอุณหภูมิ ( $T_{c,ref}$ ) จะเป็นอุณหภูมิที่บ่งบอกถึงความไม่สบายของกลุ่มตัวอย่าง สามารถแสดงได้ดังสมการที่ 4.1 โดยที่จะแบ่งความละเอียดของอุณหภูมิในแต่ละช่วงห่างกัน  $1^{\circ}\text{C}$

$$\Delta T_{a,i} = T_{a,i} - T_{c,ref} \quad (4.1)$$

อุณหภูมิอ้างอิง ( $T_{c,ref}$ ) ดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นคือ ค่าที่อุณหภูมิของอากาศอยู่ในสภาวะสมดุลที่ทำให้มนุษย์เกิดความรู้สึกสบายมากที่สุด ถ้าแทนค่าอุณหภูมิไปในสมการที่ 4.1 แล้วค่าที่ได้เป็น “ลบ” จะแสดงถึงความไม่สบายทาง “ด้านเย็น” (Cold Discomfort: CD) แต่ถ้าค่าที่ได้เป็น “บวก” จะแสดงถึงความไม่สบายทาง “ด้านร้อน” (Warm Discomfort: WD) [23] ดังนั้นสภาวะความไม่สบายเชิงอุณหภูมิทางด้านเย็น จึงทำให้เกิดฟังก์ชันทางด้านลบ และสภาวะความไม่สบายเชิงอุณหภูมิทางด้านร้อน จึงทำให้เกิดฟังก์ชันทางด้านบวก ซึ่งในสภาวะต่างๆ เหล่านี้แต่ละบุคคลจะรับรู้ความรู้สึกได้ไม่เท่ากัน เนื่องจากตัวแปรที่ได้กล่าวไปในข้างต้นส่งผลต่อความไม่สบาย

#### 4.4.2.1 สภาวะความไม่สบายเชิงอุณหภูมิทางด้านเย็น (Cold Discomfort: CD)

สภาวะความไม่สบายทางด้านเย็น (Cold Discomfort: CD) มีผลมาจากความไม่พึงพอใจของบุคคลที่สามารถรับรู้ได้จากความรู้สึก ซึ่งแต่ละบุคคลจะรับรู้ความรู้สึกนั้นได้ไม่เท่ากันเนื่องมาจากตัวแปรที่ส่งผลต่อความไม่สบายดังได้กล่าวไปในหัวข้อ 2.9 และจากรูปที่ 4.19 เห็นได้ว่าข้อมูลมีความสัมพันธ์กันซึ่งเมื่อดูแนวโน้มของข้อมูลแล้วจึงนำมาจัดทำแบบจำลองโดยใช้ฟังก์ชันเอกซ์โพเนนเชียล (exponential function) ที่สามารถเข้าใกล้ขีดจำกัดทั้งทางด้านล่างและด้านบนซึ่งคาดการณ์ไว้ที่ 0 และ 100% ของความไม่พึงพอใจ ดังแสดงไว้ในสมการที่ 4.2

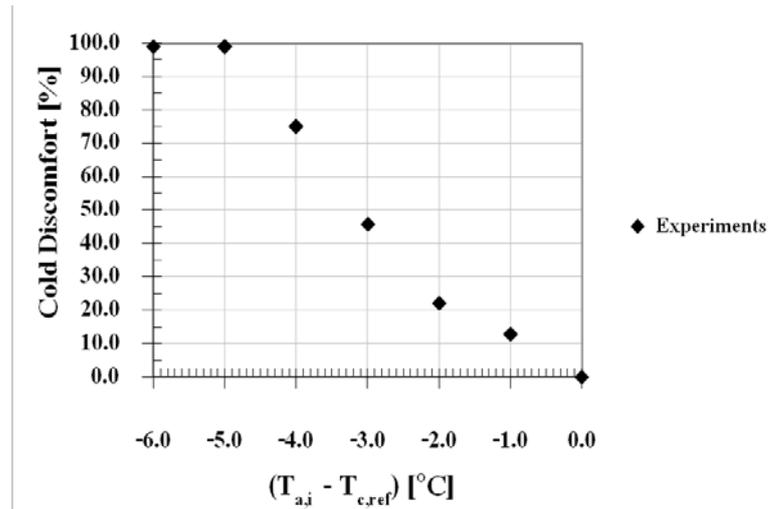
$$\%Dis = \frac{1}{1 + \exp(C_1 * DT_c + C_0)} \quad (4.2)$$

จากสมการที่ 4.2 ค่า  $C_1$  และ  $C_0$  เป็นค่าสัมประสิทธิ์ที่จะต้องทำการกำหนดจากข้อมูลที่ทำการจำลองและค่าที่วัดได้ โดยสามารถทำเป็นสมการถดถอยในสมการที่ 4.4 ได้ โดยที่ตัวแปร  $DT_c$  คือ ผลต่างของอุณหภูมิต่อความไม่สบายทางด้านเย็น (Cold Discomfort Temperature) ดังแสดงไว้ในสมการที่ 4.3

$$DT_c = T_{a,i} - T_{c,ref} \quad (4.3)$$

$$\ln\left(\frac{100}{CD} - 1\right) = C_1 * DT_c + C_0 \quad (4.4)$$

เมื่อผลวิเคราะห์ห้ขึ้นกับ  $Y = \ln\left(\frac{100}{CD} - 1\right)$  โดยที่  $X = DT_c$  และ  $C_1$  กับ  $C_0$  เป็นค่าสัมประสิทธิ์ที่กำหนดโดยการวิเคราะห์เชิงถดถอย และสมการสุดท้ายของเปอร์เซ็นต์ความไม่พึงพอใจเนื่องมาจากสภาวะความไม่สบายเชิงอุณหภูมิทางด้านเย็น (CD) จะแสดงได้ดังสมการที่ 4.5

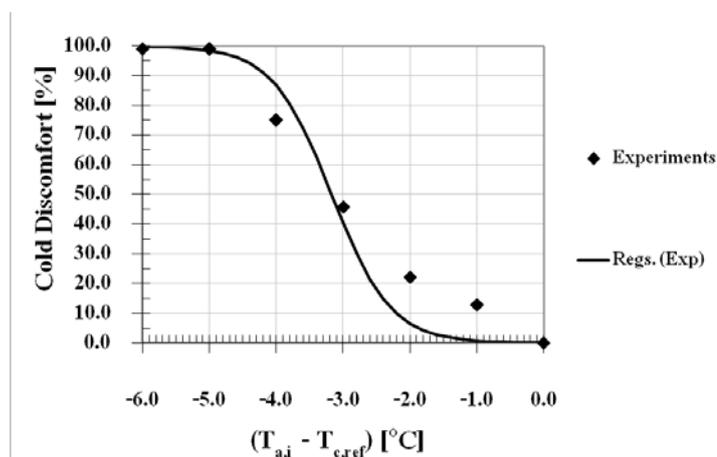


รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความไม่พึงพอใจ อันเนื่องมาจากสภาวะไม่สบายทางด้านเย็น (%Cold Discomfort) กับส่วนต่างของอุณหภูมิอากาศ

$$CD = \left\{ \frac{1}{1 + \exp(C_1 * DT_c + C_0)} \right\} * 100 \quad (4.5)$$

เมื่อ CD = ความไม่สบายทางด้านเย็น (%)  
 DT<sub>c</sub> = ผลต่างของอุณหภูมิความไม่สบายทางด้านเย็น (°C)

จากรูปที่ 4.20 ตัวอย่างแบบจำลองแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความไม่สบายทางด้านเย็น (%CD) กับผลต่างของอุณหภูมิความไม่สบายของอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย



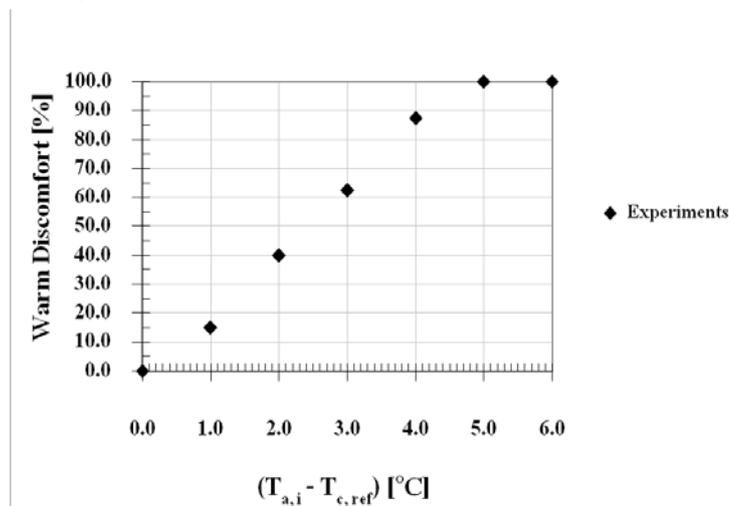
รูปที่ 4.20 แบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความไม่สบายทางด้านเย็น (%CD) กับผลต่างของอุณหภูมิความไม่สบายของอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย

#### 4.4.2.2 สภาวะความไม่สบายเชิงอุณหภูมิทางด้านร้อน (Warm Discomfort: WD)

ในทำนองเดียวกันสภาวะความไม่สบายทางด้านร้อน (WD) อันเนื่องมาจากเปอร์เซ็นต์ความไม่พึงพอใจของบุคคลที่รับรู้ความรู้สึกถึงสภาวะความไม่สบายที่เกิดขึ้นกับร่างกายนั้น เมื่อดูข้อมูลแล้วพบว่า แนวโน้มของฟังก์ชันเอกซ์โพเนนเชียล (exponential function) จะไปทางด้านบวก ดังแสดงไว้ในรูป 4.21 ซึ่งสามารถแสดงสมการที่สอดคล้องกับฟังก์ชันได้ดังสมการที่ 4.6

$$\%Dis = \frac{1}{1 + \exp(C_1 * DT_w + C_0)} \quad (4.6)$$

จากผลต่างของอุณหภูมิความไม่สบายทางด้านร้อน (Discomfort Warm Temperature:  $DT_w$ ) ในสมการที่ 4.7 โดยที่ค่า  $C_1$  และ  $C_0$  เป็นค่าสัมประสิทธิ์ที่จะต้องทำการกำหนดจากข้อมูลทำการจำลองและค่าที่วัดได้ ดังแสดงไว้ในสมการที่ 4.6 ซึ่งสามารถทำเป็นสมการถดถอยแบบเชิงเส้นในรูปแบบของสมการที่ 4.8 โดยที่ตัวแปร  $DT_w$  คือ ผลต่างของอุณหภูมิความไม่สบายทางด้านร้อน (Warm Discomfort Temperature



รูปที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความไม่พึงพอใจ อันเนื่องมาจากสภาวะไม่สบายทางด้านร้อน (%Warm Discomfort) กับส่วนต่างของอุณหภูมิอากาศ

$$DT_w = T_{a,i} - T_{c,ref} \quad (4.7)$$

$$\ln\left(\frac{100}{WD} - 1\right) = C_1 * DT_w + C_0 \quad (4.8)$$

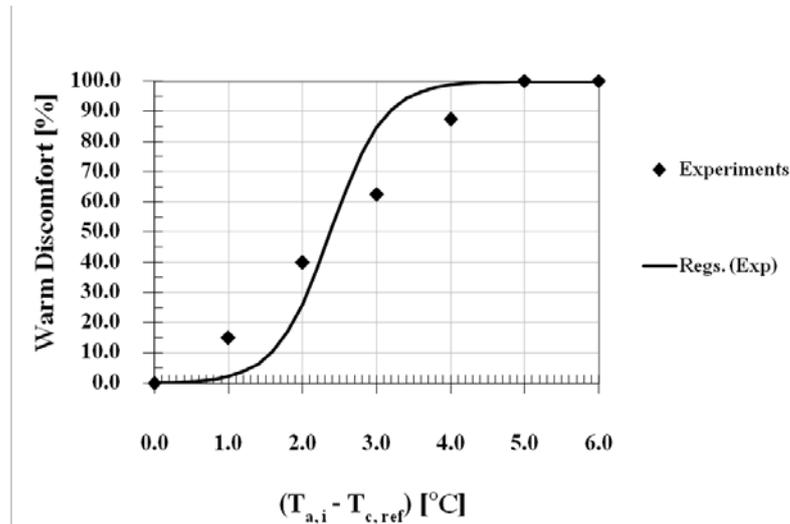
เมื่อผลวิเคราะห์ห้ขึ้นกับ  $Y = \ln\left(\frac{100}{WD} - 1\right)$  และ  $x = DT_w$  โดยที่  $C_1$  และ  $C_0$  เป็นค่าสัมประสิทธิ์ที่กำหนดโดยการวิเคราะห์เชิงถดถอย และสมการสุดท้ายของเปอร์เซ็นต์ความไม่พึงพอใจอันเนื่องมาจากสภาวะความไม่สบายเชิงอุณหภูมิทางด้านร้อน (WD) จะแสดงได้ดังสมการที่ 4.9

$$WD = \left\{ \frac{1}{1 + \exp(C_1 * DT_w + C_0)} \right\} * 100 \quad (4.9)$$

เมื่อ WD = ความไม่สบายทางด้านร้อน (%)

$DT_w$  = ผลต่างของอุณหภูมิความไม่สบายทางด้านร้อน ( $^{\circ}\text{C}$ )

จากตัวอย่างแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความไม่สบายทางด้านร้อน (%WD) กับค่าการโหวตความรู้สึกเชิงอุณหภูมิจากการตรวจวัดจริง (ASV) ดังได้แสดงรูปที่ 4.22



รูปที่ 4.22 แบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความไม่สบายทางด้านร้อน (%WD) กับผลต่างของอุณหภูมิความไม่สบายของอุณหภูมิอากาศ

#### 4.4.3 แบบจำลองความไม่สบายเชิงอุณหภูมิกับอุณหภูมิอากาศ

จากข้อมูลการโหวตความรู้สึกสบายมากที่สุดของทั้ง 3 กลุ่มตัวอย่าง แสดงให้เห็นว่ากลุ่มตัวอย่างที่ 1 (มีการสวมใส่เสื้อผ้าต่ำกว่า 0.69 clo) โหวตให้อุณหภูมิอากาศในช่วง  $24.0 - 24.9^{\circ}\text{C}$  (ASV) และ  $23.0 - 23.9^{\circ}\text{C}$  (PMV) เป็นช่วงอุณหภูมิที่รู้สึกสบายมากที่สุดถึง 72.41% และ 80.65% ตามลำดับ ดังนั้นจึงเลือกอุณหภูมิอ้างอิงที่  $24.5, 23.5^{\circ}\text{C}$  มาใช้พัฒนาแบบจำลองความไม่สบายเชิงอุณหภูมิ และสำหรับกลุ่มที่ 2 มีการสวมใส่เสื้อผ้าอยู่ในช่วง  $0.70 - 0.99$  clo กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่มีการโหวตถึง  $73.33$  (ASV) และ  $84.78\%$  (PMV) ในช่วงของอุณหภูมิอากาศที่กลุ่มตัวอย่างรู้สึกสบายมากที่สุด  $23.0 - 23.9^{\circ}\text{C}$  ฉะนั้นอุณหภูมิอ้างอิงที่นำไปใช้ในแบบจำลองของ ASV และ PMV ก็คือ  $23.5^{\circ}\text{C}$  ส่วนในกลุ่มที่มี

การสวมใส่เสื้อผ้ามากกว่า 1.00 clo ขึ้นไป ในช่วงอุณหภูมิอากาศที่ 22.0 – 22.9 °C มีเปอร์เซ็นต์ที่มากที่สุดที่ทำให้กลุ่มตัวอย่างเกิดความรู้สึกสบายทั้งที่ได้จากการตรวจวัดจริงและจากการคำนวณ ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์เท่ากับ 71.43% และ 78.57% ตามลำดับ ดังนั้นอุณหภูมิอากาศอ้างอิงที่ใช้คือ 22.5 °C ดังที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.25

**ตารางที่ 4.25** อุณหภูมิอากาศที่ทำให้กลุ่มตัวอย่างรู้สึกสบายมากที่สุดและอุณหภูมิอ้างอิงที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองความไม่สบายเชิงอุณหภูมิ

|       |     | ช่วงของอุณหภูมิอากาศที่กลุ่มตัวอย่างรู้สึกสบายมากที่สุด ( $T_c$ )<br>และอุณหภูมิอ้างอิงที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลอง ( $T_{c,ref}$ ) |                  |   |                  |   |                  |
|-------|-----|---|------------------|---|------------------|---|------------------|
|       |     | กลุ่มตัวอย่างที่ 1<br>(0.40 – 0.69 clo)   |                  | กลุ่มตัวอย่างที่ 2<br>(0.70 – 0.99 clo) |                  | กลุ่มตัวอย่างที่ 3<br>(1.00 – 1.45 clo) |                  |
|       |     | $T_c$ (°C)  | $T_{c,ref}$ (°C) | $T_c$ (°C)                              | $T_{c,ref}$ (°C) | $T_c$ (°C)                              | $T_{c,ref}$ (°C) |
| $T_a$ | ASV | 24.0 – 24.9   | 24.5             | 23.0 – 23.9                             | 23.5             | 22.0 – 22.9                             | 22.5             |
|       | PMV | 23.0 – 23.9   | 23.5             | 23.0 – 23.9                             | 23.5             | 22.0 – 22.9                             | 22.5             |

\*\*\*หมายเหตุ ช่วงอุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิอ้างอิงที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองความไม่สบายเชิงอุณหภูมิ มาจากการโหวตความรู้สึกสบายมากที่สุดของกลุ่มตัวอย่างจากรู้สึกเชิงอุณหภูมิจากการตรวจวัดจริง

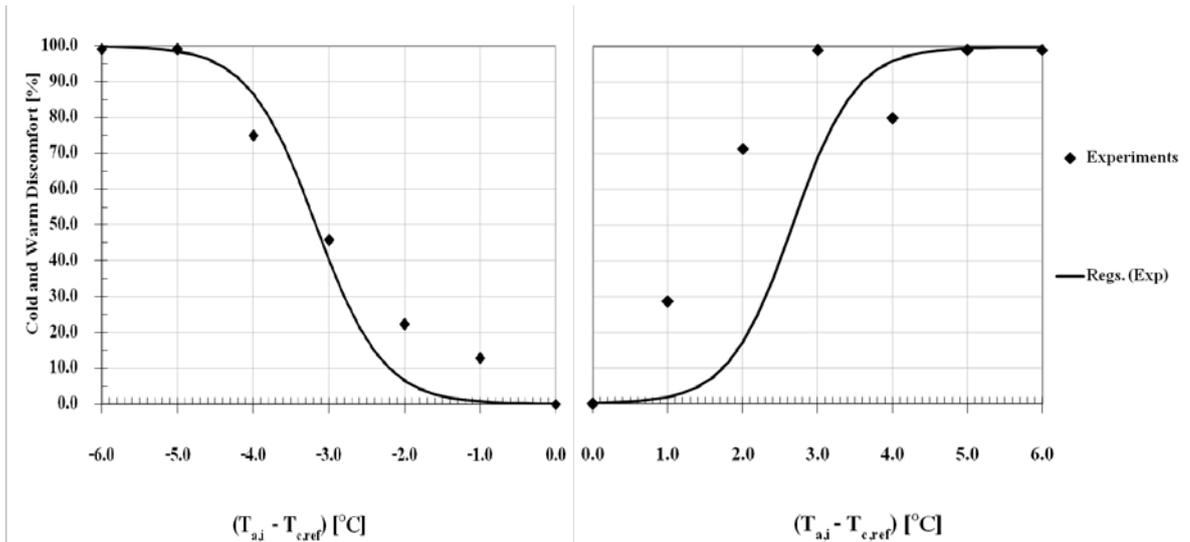
#### 4.4.3.1 กรณีค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าอยู่ระหว่าง 0.40 - 0.69 clo

(1) วิเคราะห์แบบจำลองความไม่สบายของความรู้สึกเชิงอุณหภูมิจากการตรวจวัดจริง (ASV)

จากรูป 4.23 (ก.) แบบจำลองความสัมพัทธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความไม่สบายทางด้านเย็น พบว่า กลุ่มตัวอย่างเกิดความรู้สึกไม่สบายทางด้านเย็นเมื่ออุณหภูมิอากาศต่ำกว่า 24.0 °C ซึ่งมีค่า  $C_0 = 7.169$  และ  $C_1 = 2.260$  ดังแสดงในสมการที่ 4.10 ในทางกลับกันกลุ่มตัวอย่างเกิดความรู้สึกไม่สบายทางด้านร้อน (ข.) เมื่ออุณหภูมิอากาศสูงกว่า 24.9 °C เมื่อค่า  $C_0 = 6.320$  และ  $C_1 = -2.373$  (สมการที่ 4.11) ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.23 โดยใช้อุณหภูมิอ้างอิงเท่ากับ 24.5 °C (ตารางที่ 4.23)

$$CD = \left\{ \frac{1}{1 + \exp(2.260 * DT_c + 7.169)} \right\} * 100 \quad (4.10)$$

$$WD = \left\{ \frac{1}{1 + \exp(-2.373 * DT_w + 6.320)} \right\} * 100 \quad (4.11)$$



(ก.) ความไม่สบายทางด้านเย็น

(ข.) ความไม่สบายทางด้านร้อน

**รูปที่ 4.23** แบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความไม่สบายทางด้านอุณหภูมิอากาศ

วิเคราะห์จาก ASV กรณีค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าอยู่ระหว่าง 0.40 - 0.69 clo

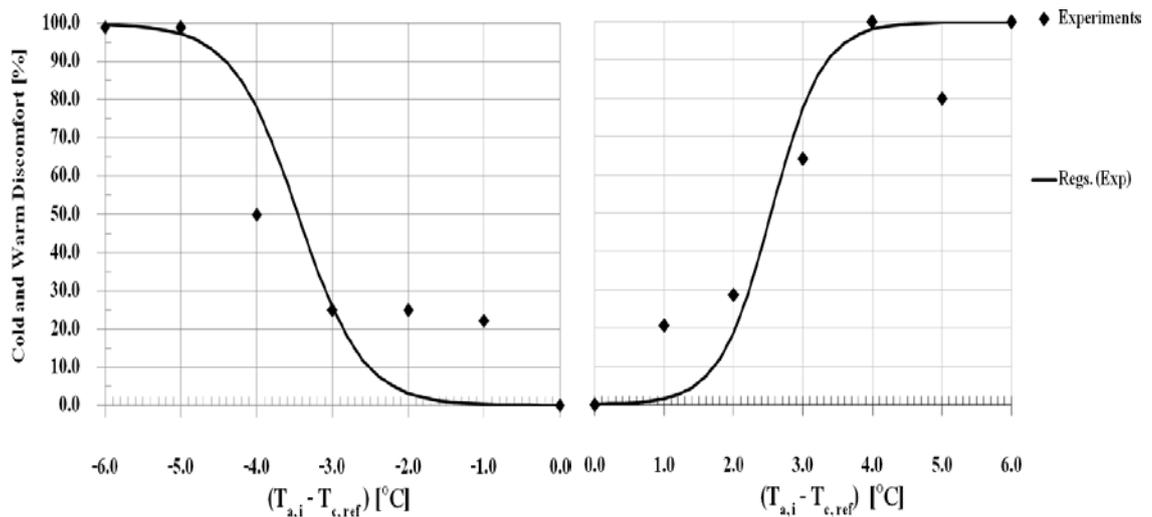
(2) วิเคราะห์แบบจำลองความไม่สบายของค่าการทำนายการโหวตเฉลี่ย (PMV)

สำหรับแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความไม่สบายทางด้านเย็น (ก.) และทางด้านร้อน (ข.) กับผลต่างของอุณหภูมิความไม่สบายของอุณหภูมิอากาศดังรูปที่ 4.24 กลุ่มตัวอย่างเกิดความรู้สึกสบายเมื่ออุณหภูมิอยู่ระหว่าง 23.0 – 23.9 °C โดยที่แบบจำลองนี้ได้ใช้อุณหภูมิอ้างอิงที่ 23.5 °C ดังนั้นเมื่อสร้างแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความไม่สบายทางด้านเย็น (ก.) และทางด้านร้อน (ข.) พบว่า แบบจำลองนี้มี ค่า  $C_0 = 8.063, 6.883$  และ  $C_1 = 2.335, -2.710$  ตามลำดับ ดังสมการที่ 4.12 และ 4.13

$$CD = \left\{ \frac{1}{1 + \exp(2.335 * DT_c + 8.063)} \right\} * 100 \quad (4.12)$$

$$WD = \left\{ \frac{1}{1 + \exp(-2.710 * DT_w + 6.883)} \right\} * 100 \quad (4.13)$$

จากรูปที่ 4.24 (ก.) พบว่ามีบางค่าที่ได้การตรวจวัดจริงอยู่เหนือเส้นกราฟ เช่น ที่อุณหภูมิแตกต่างกันอยู่  $-1^{\circ}\text{C}$  นั้น มีเปอร์เซ็นต์ของความไม่สบายเชิงอุณหภูมิของกุ่มตัวอย่างทางด้านเย็นประมาณ 22.0% ซึ่งถ้าเป็นไปตามทฤษฎีที่อุณหภูมิเดียวกันจะมีเปอร์เซ็นต์ของกุ่มตัวอย่างทางด้านเย็นประมาณ 2% แสดงว่าคนเรามีความรู้สึกไวต่ออุณหภูมิอากาศที่เย็นมากกว่าค่าที่ได้ตามทฤษฎี เช่นเดียวกันกับรูปที่ 4.23 (ข.)



(ก.) ความไม่สบายทางด้านเย็น

(ข.) ความไม่สบายทางด้านร้อน

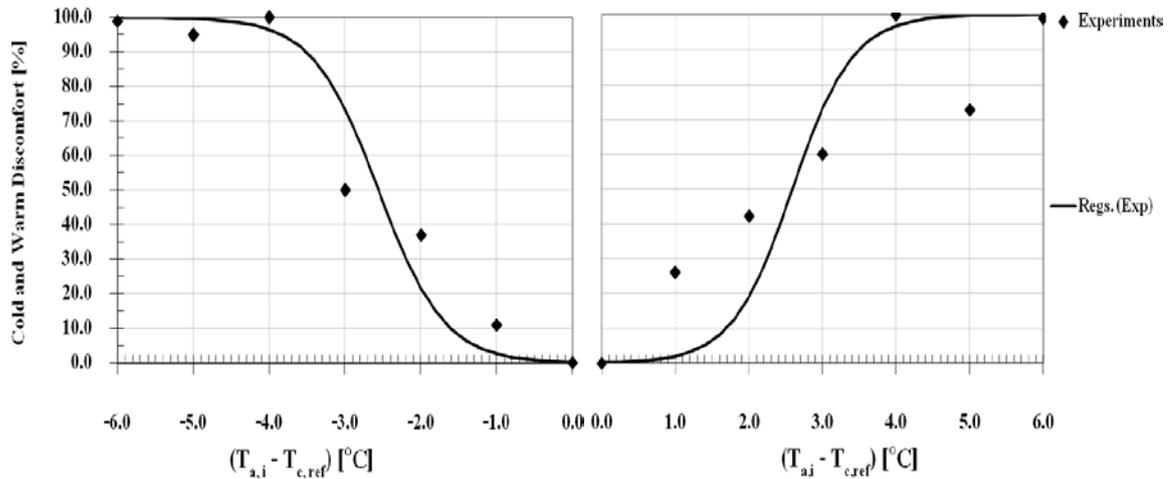
**รูปที่ 4.24** แบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความไม่สบายทางด้านอุณหภูมิอากาศ วิเคราะห์จาก PMV กรณีค่าด้านทานความร้อนของเสื้อผ้าอยู่ระหว่าง 0.40 - 0.69 clo

**4.4.3.2 กรณีค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าอยู่ระหว่าง 0.70 - 0.99 clo**

(1) วิเคราะห์แบบจำลองความไม่สบายของความรู้สึกเชิงอุณหภูมิจากการตรวจวัดจริง (ASV) สำหรับกรณีที่ 2 จากข้อมูลที่ได้จากตารางที่ 4.7 กลุ่มตัวอย่างเกิดความรู้สึกสบายมากที่สุดในช่วงอุณหภูมิ  $23.0 - 23.9^{\circ}\text{C}$  ถึง 73.33% ดังนั้นการพัฒนาแบบจำลองของกลุ่มตัวอย่างนี้จึงใช้อุณหภูมิอากาศที่  $23.5^{\circ}\text{C}$  เป็นอุณหภูมิอ้างอิง จากแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความไม่สบายทางด้านเย็น (ก.) ดังนั้น กลุ่มตัวอย่างเกิดความรู้สึกไม่สบายทางด้านเย็นเมื่ออุณหภูมิอากาศต่ำกว่า  $23.0^{\circ}\text{C}$  โดยมีค่า  $C_0 = 5.919$  และ  $C_1 = 2.313$  ดังแสดงในสมการที่ 4.14 และในทางกลับกัน เปอร์เซ็นต์ความไม่สบายทางด้านร้อน (ข.) มีค่า  $C_0 = 6.362$  และ  $C_1 = -2.452$  กลุ่มตัวอย่างเกิดความรู้สึกไม่สบายทางด้านร้อนเมื่ออุณหภูมิอากาศสูงกว่า  $23.9^{\circ}\text{C}$  ดังแสดงในสมการที่ 4.15

$$CD = \left\{ \frac{1}{1 + \exp(2.313 * DT_c + 5.919)} \right\} * 100 \quad (4.14)$$

$$WD = \left\{ \frac{1}{1 + \exp(-2.452 * DT_w + 6.362)} \right\} * 100 \quad (4.15)$$



(ก.) ความไม่สบายทางด้านเย็น

(ข.) ความไม่สบายทางด้านร้อน

**รูปที่ 4.25** แบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความไม่สบายทางด้านอุณหภูมิอากาศ

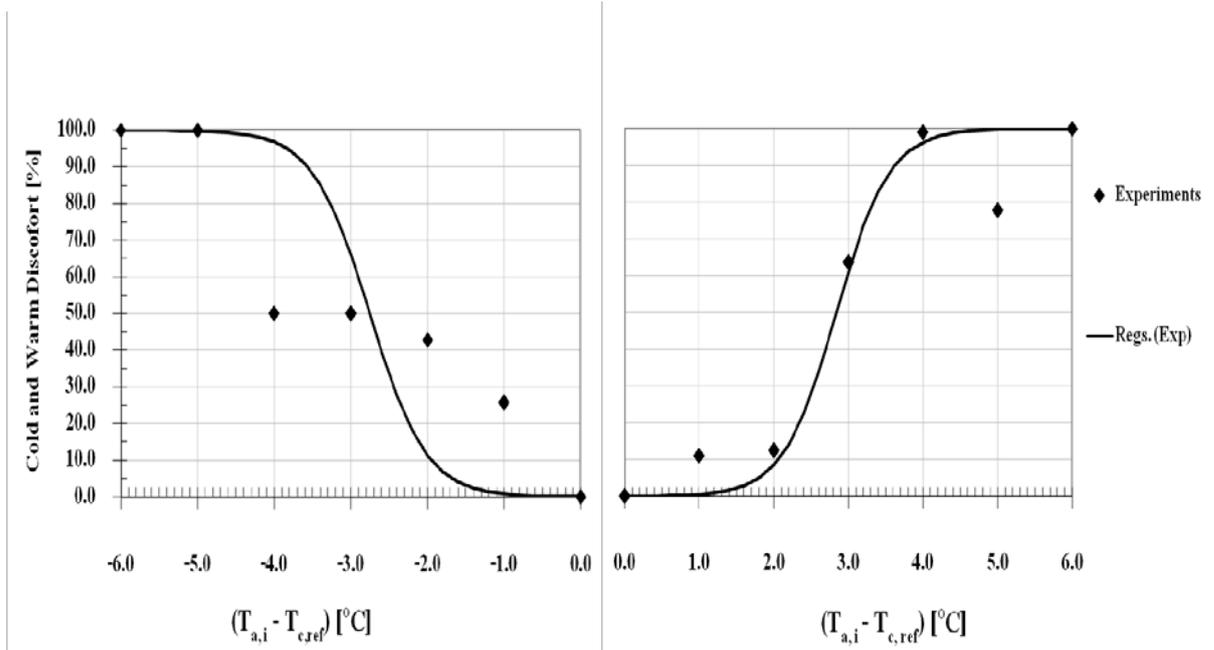
วิเคราะห์จาก ASV กรณีค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าอยู่ระหว่าง 0.70 - 0.99 clo

(2) วิเคราะห์แบบจำลองความไม่สบายของค่าการทำนายการโหวตเฉลี่ย (PMV)

จากตารางที่ 4.23 แบบจำลองของ PMV ใช้อุณหภูมิอ้างอิงที่ 23.5 °C ทำให้สามารถพัฒนาแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความไม่สบายทางด้านเย็น (ก.) และทางด้านร้อน (ข.) ได้ดังรูปที่ 4.26 โดยสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 4.16 และ 4.17 ซึ่งมีค่า  $C_0 = 7.484, 7.989$  และ  $C_1 = 2.716, 2.815$

$$CD = \left\{ \frac{1}{1 + \exp(2.716 * DT_c + 7.484)} \right\} * 100 \quad (4.16)$$

$$WD = \left\{ \frac{1}{1 + \exp(-2.815 * DT_w + 7.989)} \right\} * 100 \quad (4.17)$$



(ก.) ความไม่สบายทางด้านเย็น

(ข.) ความไม่สบายทางด้านร้อน

**รูปที่ 4.26** แบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความไม่สบายทางด้านอุณหภูมิอากาศ  
วิเคราะห์จาก PMV กรณีค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าอยู่ระหว่าง 0.70 - 0.99 clo

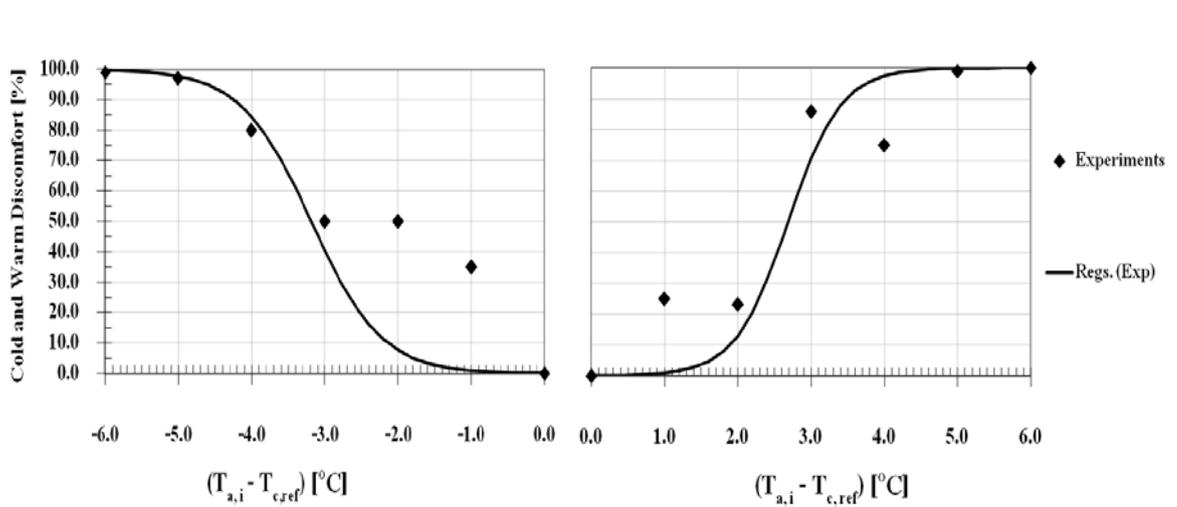
**4.4.3.3 กรณีค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าอยู่ระหว่าง 1.00 - 1.45 clo**

(1) วิเคราะห์แบบจำลองความไม่สบายของความรู้สึกเชิงอุณหภูมิจากการตรวจวัดจริง (ASV)

จากรูป ก. แบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความไม่สบายทางด้านเย็น พบว่า กลุ่มตัวอย่างเกิดความรู้สึกไม่สบายทางด้านเย็นเมื่ออุณหภูมิอากาศต่ำกว่า 22.0 °C เมื่อค่า C<sub>0</sub> = 6.669 และ C<sub>1</sub> = 2.093 ดังแสดงในสมการที่ 4.18 แต่กลุ่มตัวอย่างเกิดความรู้สึกไม่สบายทางด้านร้อน (ข.) เมื่ออุณหภูมิอากาศสูงกว่า 22.9 °C เมื่อค่า C<sub>0</sub> = 7.445 และ C<sub>1</sub> = -2.772 (สมการ 4.19) ดังนั้นในกรณีค่าต้านทานความร้อนของเสื้อผ้ามากกว่า 1.00 clo ขึ้นไป (รูปที่ 4.27) ใช้อุณหภูมิอ้างอิงที่ 22.5 °C เนื่องจากกลุ่มตัวอย่างเกิดความรู้สึกสบายเมื่ออุณหภูมิอากาศอยู่ในช่วง 22.0 – 22.9 °C ดังที่ได้กล่าวไปแล้วในหัวข้อที่ 4.3.2.3

$$CD = \left\{ \frac{1}{1 + \exp(2.093 * DT_c + 6.669)} \right\} * 100 \tag{4.18}$$

$$WD = \left\{ \frac{1}{1 + \exp(-2.772 * DT_w + 7.445)} \right\} * 100 \tag{4.19}$$



(ก.) ความไม่สบายทางด้านเย็น

(ข.) ความไม่สบายทางด้านร้อน

**รูปที่ 4.27** แบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความไม่สบายทางด้านอุณหภูมิอากาศ

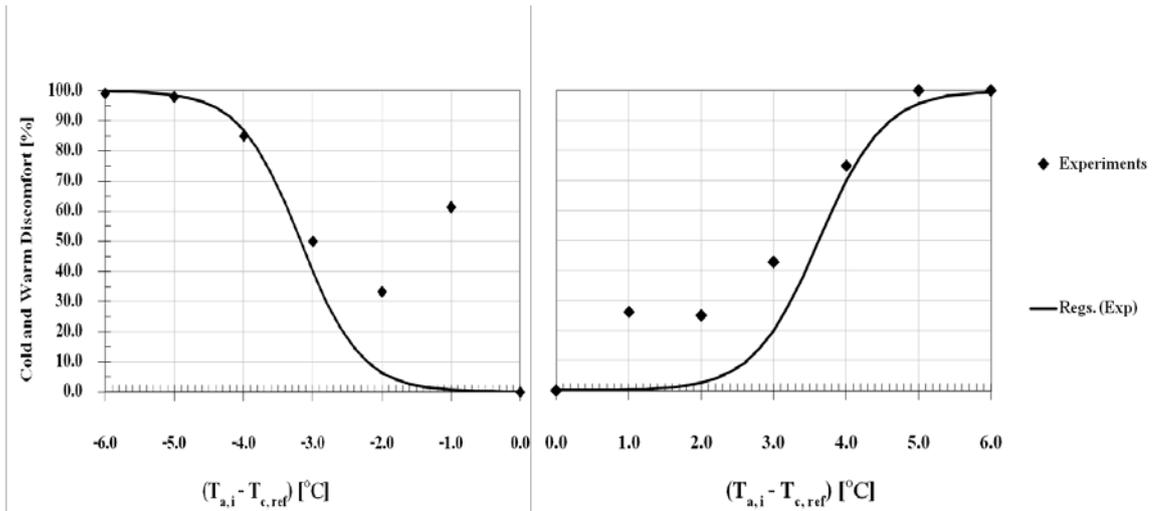
วิเคราะห์จาก ASV กรณีค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าอยู่ระหว่าง 1.00 - 1.45 clo

(2) วิเคราะห์แบบจำลองความไม่สบายของค่าการกีดกันการไหลของความร้อน (PMV)

อุณหภูมิอากาศที่กลุ่มตัวอย่างจะรู้สึกสบายเมื่ออุณหภูมิอยู่ระหว่าง 22.0 – 22.9 °C โดยอุณหภูมิอ้างอิงใช้ที่ 22.5 °C ดังรูปที่ 4.28 (ก.) พบว่า แบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความไม่สบายทางด้านเย็นของกลุ่มตัวอย่างเกิดความรู้สึกไม่สบายเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า 22.0 °C เมื่อค่า C<sub>0</sub> = 7.273 และ C<sub>1</sub> = 2.291 ดังแสดงในสมการที่ 4.20 สำหรับเปอร์เซ็นต์ความไม่สบายทางด้านร้อน (ข.) ของกลุ่มตัวอย่างเกิดความรู้สึกไม่สบายเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 22.9 °C จากสมการที่ 4.21 เมื่อค่า C<sub>0</sub> = 7.981 และ C<sub>1</sub> = -2.229

$$CD = \left\{ \frac{1}{1 + \exp(2.291 * DT_c + 7.273)} \right\} * 100 \tag{4.20}$$

$$WD = \left\{ \frac{1}{1 + \exp(-2.229 * DT_w + 7.981)} \right\} * 100 \tag{4.21}$$



(ก.) ความไม่สบายทางด้านเย็น

(ข.) ความไม่สบายทางด้านร้อน

**รูปที่ 4.28** แบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความไม่สบายทางด้านอุณหภูมิอากาศ

วิเคราะห์จาก PMV กรณีค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าอยู่ระหว่าง 1.00 - 1.45 clo

จากแบบจำลองความไม่สบายเชิงอุณหภูมิอากาศของอุณหภูมิอากาศ สามารถแสดงค่าสัมประสิทธิ์  $C_0$  และ  $C_1$  ได้ดังตารางที่ 4.26

**ตารางที่ 4.26** ค่าสัมประสิทธิ์  $C_0$  และ  $C_1$  ที่ได้จากแบบจำลองความไม่สบายทั้งทางด้านเย็นและทางด้านร้อนของอุณหภูมิอากาศ

|   |     | $C_0$                      |                            | $C_1$                      |                            |
|---|-----|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
|   |     | ความไม่สบาย<br>ทางด้านเย็น | ความไม่สบาย<br>ทางด้านร้อน | ความไม่สบาย<br>ทางด้านเย็น | ความไม่สบาย<br>ทางด้านร้อน |
| กลุ่มตัวอย่างที่ 1<br>(0.40 - 0.69 clo) | ASV | 6.320                      | 7.169                      | 2.260                      | -2.373                     |
|   | PMV | 8.063                      | 6.883                      | 2.335                      | -2.710                     |
| กลุ่มตัวอย่างที่ 2<br>(0.70 - 0.99 clo) | ASV | 5.919                      | 6.362                      | 2.313                      | -2.452                     |
|   | PMV | 7.484                      | 7.484                      | 2.716                      | 7.989                      |
| กลุ่มตัวอย่างที่ 3<br>(1.00 - 1.45 clo) | ASV | 6.669                      | 7.445                      | 2.093                      | -2.772                     |
|   | PMV | 7.273                      | 7.981                      | 2.291                      | -2.229                     |

#### 4.4.4 แบบจำลองความไม่สบายเชิงอุณหภูมิกับอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย

กลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม ได้โหวตช่วงของอุณหภูมิที่ทำให้เกิดความรู้สึกสบายมากที่สุด ดังนี้ กลุ่มตัวอย่างที่มีการสวมใส่เสื้อผ้าต่ำกว่า 0.69 clo จากการโหวตความรู้สึกเชิงอุณหภูมิจากการตรวจวัดจริงและค่าการทำนายการโหวตเฉลี่ยมีอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยในช่วง 28.0 – 28.9 °C ที่ทำให้กลุ่มตัวอย่างรู้สึกสบายมากที่สุด ซึ่งมีการโหวตมากที่สุด 100% ดังนั้นจึงเลือกอุณหภูมิอ้างอิงที่ 28.5 °C มาใช้พัฒนาแบบจำลองความไม่สบายเชิงอุณหภูมิทั้ง ASV และ PMV สำหรับกลุ่มตัวอย่างที่ 2 มีการสวมใส่เสื้อผ้าอยู่ในช่วง 0.70 – 0.99 clo กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่มีการโหวตถึง 86.84% (ASV) และ 85.00% (PMV) ในช่วงของอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยที่กลุ่มตัวอย่างรู้สึกสบายมากที่สุด 24.0 – 24.9 °C ฉะนั้นอุณหภูมิอ้างอิงที่นำไปใช้ในแบบจำลองของ ASV และ PMV ก็คือ 24.5 °C สำหรับกลุ่มสุดท้าย (สวมใส่เสื้อผ้ามากกว่า 1.00 clo ขึ้นไป) มีเปอร์เซ็นต์ที่มากที่สุดที่ทำให้กลุ่มตัวอย่างเกิดความรู้สึกสบายทั้งที่ได้จาก ASV และ PMV ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์เท่ากับ 72.73% และ 63.64% ตามลำดับ ดังนั้นอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยอ้างอิงที่ใช้คือ 24.5 °C เนื่องจากอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยที่กลุ่มตัวอย่างรู้สึกสบายมากที่สุดอยู่ในช่วง 24.0 – 24.9 °C ดังที่แสดงไว้ในตารางที่ 4.27

ตารางที่ 4.27 อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยที่ทำให้กลุ่มตัวอย่างรู้สึกสบายมากที่สุดและอุณหภูมิอ้างอิงที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองความไม่สบายเชิงอุณหภูมิ

|           |     | ช่วงของอุณหภูมิอากาศที่กลุ่มตัวอย่างรู้สึกสบายมากที่สุด ( $T_c$ )<br>และอุณหภูมิอ้างอิงที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลอง ( $T_{c,ref}$ ) |                  |   |                  |   |                  |
|-----------|-----|---|------------------|---|------------------|---|------------------|
|           |     | กลุ่มตัวอย่างที่ 1<br>(0.40 – 0.69 clo)   |                  | กลุ่มตัวอย่างที่ 2<br>(0.70 – 0.99 clo) |                  | กลุ่มตัวอย่างที่ 3<br>(1.00 – 1.45 clo) |                  |
|           |     | $T_c$ (°C)  | $T_{c,ref}$ (°C) | $T_c$ (°C)                              | $T_{c,ref}$ (°C) | $T_c$ (°C)                              | $T_{c,ref}$ (°C) |
| $T_{mrt}$ | ASV | 28.0 – 28.9   | 28.5             | 24.0 – 24.9                             | 24.5             | 24.0 – 24.9                             | 24.5             |
|           | PMV | 28.0 – 28.9   | 28.5             | 24.0 – 24.9                             | 24.5             | 24.0 – 24.9                             | 24.5             |

\*\*\*หมายเหตุ ช่วงอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยและอุณหภูมิอ้างอิงที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองความไม่สบายเชิงอุณหภูมิ มาจากการโหวตความรู้สึกสบายมากที่สุดของกลุ่มตัวอย่างจากความรู้สึกเชิงอุณหภูมิจากการตรวจวัดจริง

##### 4.4.4.1 กรณีค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าอยู่ระหว่าง 0.40 - 0.69 clo

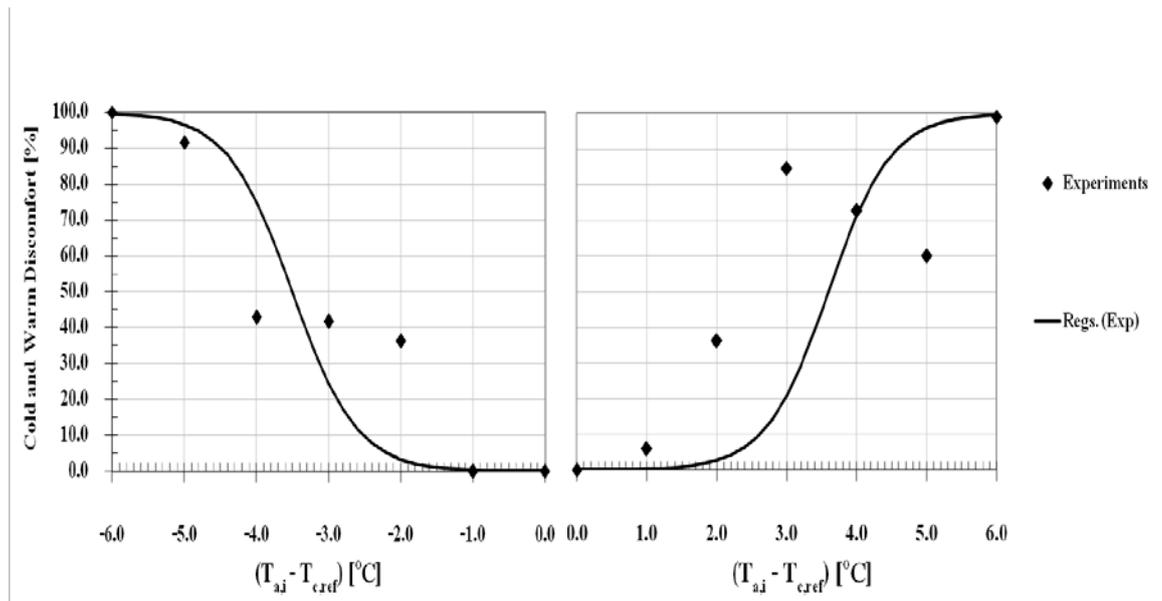
(1) วิเคราะห์แบบจำลองความไม่สบายของความรู้สึกเชิงอุณหภูมิจากการตรวจวัดจริง (ASV)

จากข้อมูลที่ได้แสดงไว้ในหัวข้อ 4.3.3.1 กลุ่มตัวอย่างที่ 1 ได้โหวตอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยที่ทำให้เกิดความรู้สึกสบายมากที่สุดเมื่อมีอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 28.0 – 28.9 °C ดังนั้นในแบบจำลองนี้จึงใช้อุณหภูมิอ้างอิงเท่ากับ 28.5 °C จากแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างความไม่สบายทางด้านเย็น (ก.) และเปอร์เซ็นต์ความไม่สบายทางด้านร้อน (ข.) (รูปที่ 4.29) ซึ่งสามารถแสดงสมการได้ 2 ดังสมการที่ 4.22 และ 4.23 โดยมีค่า  $C_0 = 7.8639, 8.080$  และ  $C_1 = 2.235, -2.246$  ตามลำดับ

$$CD = \left\{ \frac{1}{1 + \exp(2.235 * DT_c + 7.839)} \right\} * 100 \tag{4.22}$$

$$WD = \left\{ \frac{1}{1 + \exp(-2.246 * DT_w + 8.080)} \right\} * 100 \tag{4.23}$$

เมื่อพิจารณาอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยที่ได้จากการตรวจวัดจริง(รูปที่ 4.29) แสดงให้เห็นว่ากลุ่มตัวอย่างสามารถรับรู้ความรู้สึกทางด้านร้อน ได้ดีกว่าทางด้านเย็น เนื่องมาจากกลุ่มตัวอย่างมีการสวมใส่เสื้อผ้าที่มีความต้านทานความร้อนต่ำ



(ก.) ความไม่สบายทางด้านเย็น

(ข.) ความไม่สบายทางด้านร้อน

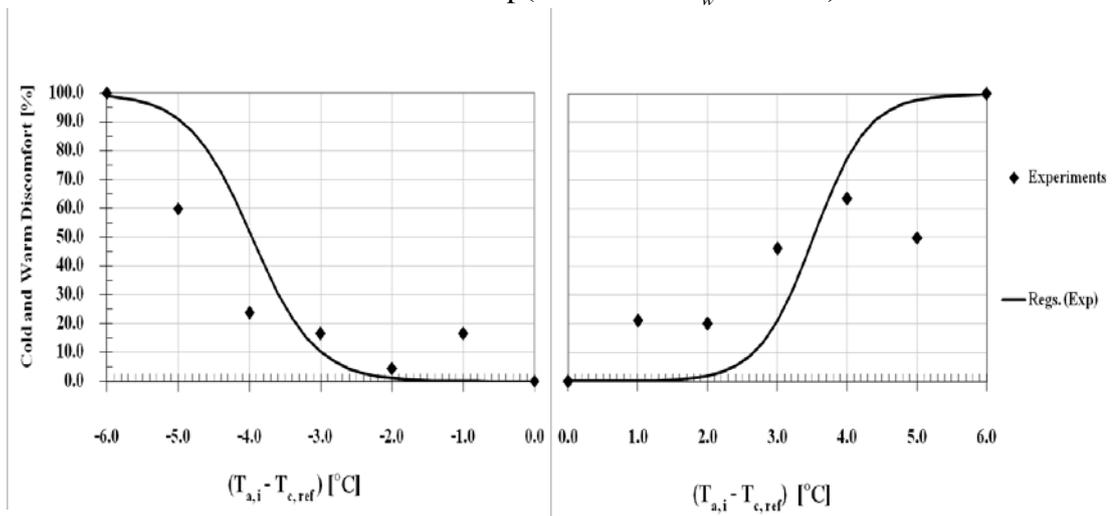
**รูปที่ 4.29** แบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความไม่สบายทางด้านอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย วิเคราะห์จาก ASV กรณีค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าอยู่ระหว่าง 0.40 - 0.69 clo

(2) วิเคราะห์แบบจำลองความไม่สบายของค่าการทำงานการโหวตเฉลี่ย (PMV)

เนื่องจากกลุ่มตัวอย่างที่สวมใส่เสื้อผ้าต่ำกว่า 0.40 clo ได้โหวตช่วงของอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย 28.0 – 28.9 °C เป็นช่วงของอุณหภูมิที่ทำให้เกิดความรู้สึกสบายมากที่สุด ดังนั้นในการสร้างแบบจำลองจึงใช้อุณหภูมิอ้างอิงที่ 28.5 °C ทำให้แบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างความไม่สบายทางด้านเย็น (ก.) มีค่า  $C_0 = 8.901$  และ  $C_1 = 2.245$  ดังแสดงไว้ในสมการที่ 4.24 และเปอร์เซ็นต์ความไม่สบายทางด้านร้อน (ข.) มีค่า  $C_0 = 8.442$  และ  $C_1 = -2.839$  ดังสมการที่ 4.25

$$CD = \left\{ \frac{1}{1 + \exp(2.245 * DT_c + 8.901)} \right\} * 100 \tag{4.24}$$

$$WD = \left\{ \frac{1}{1 + \exp(-2.839 * DT_w + 8.442)} \right\} * 100 \tag{4.25}$$



(ก.) ความไม่สบายทางด้านเย็น

(ข.) ความไม่สบายทางด้านร้อน

**รูปที่ 4.30** แบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความไม่สบายทางด้านอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย วิเคราะห์จาก ASV กรณีค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าอยู่ระหว่าง 0.40 - 0.69 clo

เนื่องจากแบบจำลองความไม่สบายเชิงอุณหภูมิภาพทั้งทางด้านเย็นและด้านร้อนของอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย ในกรณีที่มีความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้า 0.70 – 0.99 และมากกว่า 1 clo ขึ้นไป มีรูปแบบเดียวกันกับแบบจำลองที่ได้สร้างขึ้นมาดังแบบจำลองข้างต้น ดังนั้น จึงยกตัวอย่างแบบจำลองความไม่สบายเชิงอุณหภูมิภาพทั้งทางด้านเย็นและด้านร้อนของอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยได้ดังรูปที่ 4.29 และ 4.30 ซึ่งแบบจำลองทั้ง 2 กรณี ได้แสดงไว้ในภาคผนวกที่ จ

ตารางที่ 4.28 คือ ค่าสัมประสิทธิ์  $C_0$  และ  $C_1$  ที่นำมาใช้ในการสร้างแบบจำลองความไม่สบายเชิงอุณหภูมิภาพทั้งทางด้านเย็นและทางด้านร้อน โดยสามารถแสดงในรูปแบบฟังก์ชันเอ็กซ์โพเนนเชียลของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม

**ตารางที่ 4.28** ค่าสัมประสิทธิ์  $C_0$  และ  $C_1$  ที่ได้จากแบบจำลองความไม่สบายทั้งทางด้านเย็นและทางด้านร้อนของอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย

|   |     | $C_0$                      |                            | $C_1$                      |                            |
|---|-----|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
|   |     | ความไม่สบาย<br>ทางด้านเย็น | ความไม่สบาย<br>ทางด้านร้อน | ความไม่สบาย<br>ทางด้านเย็น | ความไม่สบาย<br>ทางด้านร้อน |
| กลุ่มตัวอย่างที่ 1<br>(0.40 – 0.69 clo) | ASV | 6.320                      | 7.169                      | 2.260                      | -2.373                     |
|   | PMV | 8.063                      | 6.883                      | 2.335                      | -2.710                     |
| กลุ่มตัวอย่างที่ 2<br>(0.70 – 0.99 clo) | ASV | 5.919                      | 6.362                      | 2.313                      | -2.452                     |
|   | PMV | 7.484                      | 7.484                      | 2.716                      | 7.989                      |
| กลุ่มตัวอย่างที่ 3<br>(1.00 – 1.45 clo) | ASV | 6.669                      | 7.445                      | 2.093                      | -2.772                     |
|   | PMV | 7.273                      | 7.981                      | 2.291                      | -2.229                     |

จากผลการวิเคราะห์แบบจำลองความไม่สบายเชิงอุณหภูมิภาพพบว่า ค่าของอุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยต่างๆ ที่ทำให้กลุ่มตัวอย่างรู้สึกสบายมากที่สุด เมื่ออุณหภูมิทั้งทางด้านเย็นและทางด้านร้อนขึ้นอยู่กับลักษณะของเสื้อผ้าที่สวมใส่ เนื่องจากเสื้อผ้าเป็นฉนวนกันความร้อนทำให้การถ่ายเทความร้อนส่วนเกินออกจากร่างกายจะช้าลงและลำบากมากขึ้น ดังนั้นเพื่อทำให้เกิดสภาวะสบายควรเลือกสวมใส่เสื้อผ้าให้เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศและสภาพแวดล้อมนั้นๆ ซึ่งสามารถแสดงอุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยต่างๆ ที่ทำให้กลุ่มตัวอย่างรู้สึกสบายได้ดังตารางที่ 4.29

**ตารางที่ 4.29** เปรียบเทียบค่าของอุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยระหว่าง ASV กับ PMV ที่ทำให้กลุ่มตัวอย่างรู้สึกไม่สบายทั้งทางด้านเย็นและทางด้านร้อน

| ค่าความต้านทาน<br>ความร้อนของ<br>เสื้อผ้า (clo) |     | กลุ่มตัวอย่างที่ 1<br>(0.40 – 0.69 clo) |                                    | กลุ่มตัวอย่างที่ 2<br>(0.70 – 0.99 clo) |                                    | กลุ่มตัวอย่างที่ 3<br>(1.00 – 1.45 clo) |                                    |
|---|-----|---|------------------------------------|---|------------------------------------|---|------------------------------------|
|   |     | ความไม่<br>สบาย<br>ทางด้านเย็น          | ความไม่<br>สบาย<br>ทางด้าน<br>ร้อน | ความไม่<br>สบาย<br>ทางด้านเย็น          | ความไม่<br>สบาย<br>ทางด้าน<br>ร้อน | ความไม่<br>สบาย<br>ทางด้านเย็น          | ความไม่<br>สบาย<br>ทางด้าน<br>ร้อน |
| $T_a$ (°C)                                      | ASV | < 24.0                                  | > 24.9                             | < 23.0                                  | > 23.9                             | < 22.0                                  | > 22.9                             |

|                                |            |        |        |        |        |        |        |
|--------------------------------|------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                                | <b>PMV</b> | < 23.0 | > 23.9 | < 23.0 | > 23.9 | < 22.0 | > 22.9 |
| <b>T<sub>mrt</sub></b><br>(°C) | <b>ASV</b> | < 28.0 | > 28.9 | < 24.0 | > 24.9 | < 24.0 | > 24.9 |
|                                | <b>PMV</b> | < 28.0 | > 28.9 | < 24.0 | > 24.9 | < 24.0 | > 24.9 |

#### 4.5 แนวทางการปรับปรุงเพื่อทำให้เกิดสภาวะความสบายเชิงอุณหภูมิ

จากการสำรวจโดยใช้แบบสอบถาม พบว่า กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่รู้สึกร้อนอบอ้าวและรู้สึกอึดอัดบริเวณเหนือหน้าอกขึ้นไปในพื้นที่ที่ทำการสำรวจถึงแม้จะอยู่ช่วงฤดูฝนและฤดูหนาวในช่วงเวลากลางวัน แต่สำหรับช่วงเวลากลางคืนอุณหภูมิอากาศภายในอาคารมีค่าค่อนข้างต่ำ จึงส่งผลให้กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่รู้สึกหนาวมากถึงแม้ว่าจะจะมีการสวมใส่เสื้อผ้ามากกว่า 1 clo ขึ้นไปก็ตาม ดังนั้นแนวทางการปรับปรุงเพื่อให้เกิดความสบายเชิงอุณหภูมิกับผู้โดยสารหรือผู้ใช้พื้นที่ในอาคารสนามบินมีดังนี้

##### 4.5.1 แนวทางการปรับปรุงตัวแปรทางด้านอุณหภูมิอากาศ

จากผลการวิเคราะห์ความสบายเชิงอุณหภูมิจากผลการวัดความรู้สึกเชิงอุณหภูมิจากการตรวจวัดจริงและค่าการทำนายการไหลเวียนของอากาศ พบว่า ควรทำการปรับตั้งอุณหภูมิอากาศให้อยู่ในช่วง 21.0 – 25.0 °C เพื่อให้เกิดสภาวะสบาย โดยที่ช่วงของอุณหภูมินี้สามารถทำการปรับตั้งให้เหมาะสมกับฤดูกาลหรือในช่วงเวลาต่างๆ เพื่อเป็นการประหยัดพลังงานไฟฟ้าและลดภาระทางความเย็น ทำให้เกิดความสบายเชิงอุณหภูมิดีอีกด้วย

##### 4.5.2 แนวทางการปรับปรุงตัวแปรทางด้านอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉื่อย

จากการวิเคราะห์อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉื่อย พบว่า อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉื่อยมีอิทธิพลต่อกลุ่มตัวอย่างมาก เนื่องจากหลังคาและผนังส่วนใหญ่เป็นกระจกใสทำให้แสงและความร้อนผ่านเข้ามาได้มากตลอดทั้งวัน จึงเกิดการกักเก็บความร้อนไว้บางส่วนไม่สามารถระบายความร้อนออกไปได้หมด อีกทั้งพื้นที่บริเวณทดสอบยังมีทั้งร้านค้าและร้านอาหาร จึงทำให้ได้รับรังสีความร้อนจากหลอดไฟที่ตกแต่งร้านและกิจกรรมในการทำอาหารอีกด้วย ทำให้พื้นที่บริเวณมีอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉื่อยสูงถึง 35.0 °C สำหรับในวันที่แดดแรงมากๆ ดังนั้นควรมีการปรับเปลี่ยนกระจกให้เหมาะสมกับอาคารสนามบิน โดยการเลือกกระจกที่มีค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด (Shading Coefficient: SC) ต่ำเพื่อลดปริมาณรังสีอาทิตย์ที่จะเข้ามาในอาคาร เลือกกระจกที่มีค่าการส่องผ่านของแสง (Light transmittance: LT) สูงมากพอที่จะนำแสงธรรมชาติมาใช้ประโยชน์ได้ เช่นการใช้กระจกชนิด Low – e (Low Emittance Glass) เนื่องจากกระจกชนิดนี้สามารถลดความร้อนได้ถึง 32% มีความใส ไม่ทึบแสง ให้ค่าแสงส่องผ่านมากและมีค่าการสะท้อนแสงน้อย เมื่อเทียบกับกระจกเคลือบฟิล์มสีปกติเนื่องจากมีค่าสัมประสิทธิ์

การถ่ายเทความร้อนต่ำ ทำให้ประหยัดพลังงานและมีประสิทธิภาพการส่องผ่านแสงเพิ่มขึ้น หรือการติดตั้งอุปกรณ์บังแสงแดด (Shading) เพื่อป้องกันการส่องผ่านของรังสีอาทิตย์และลดปริมาณความร้อนที่จะเข้ามาในอาคารโดยตรง เป็นต้น แต่วิธีนี้จำเป็นต้องมีการลงทุนที่สูงมากอาจไม่คุ้มค่าต่อการลงทุน ดังนั้นวิธีง่ายๆ ที่จะทำให้อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยได้แล้วยังสามารถสร้างภูมิทัศน์ให้กับอาคารให้ดีขึ้น คือ การเพิ่มพื้นที่สีเขียวให้กับอาคาร เพื่อลดการแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ โดยการนำต้นไม้ที่ไม่สูงมากและสามารถปลูกในกระถางได้มากจัดเป็นพื้นที่พักผ่อน เนื่องจากต้นไม้พวกนี้สามารถให้ร่มเงาและบังรังสีจากดวงอาทิตย์ได้บางส่วน อาจทำให้ผู้ใช้พื้นที่เกิดความสบายเชิงอุณหภูมิเพิ่มมากขึ้น

#### 4.5.3 แนวทางการปรับปรุงตัวแปรทางด้านเสื้อผ้า

จากการศึกษาความสบายเชิงอุณหภูมิ พบว่า ควรมีการสวมใส่เสื้อผ้า 0.70 – 0.99 clo ซึ่งเป็นช่วงที่กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่รู้สึกสบายมากที่สุด เมื่อดูจากช่วงอุณหภูมิอากาศที่กลุ่มตัวอย่างทำการโหวตมากที่สุด 23.0 - 24.0 °C ดังนั้นการปรับเปลี่ยนลักษณะการแต่งกายของผู้ที่ใช้พื้นที่ โดยเฉพาะพนักงานหรือเจ้าหน้าที่ในอาคารสนามบิน โดยที่เครื่องแต่งกายควรมีเนื้อผ้าที่ระบายความร้อนจากร่างกายได้ดีไม่ทำให้รู้สึกร้อนหรือรู้สึกอึดอัดและควรเป็นเสื้อผ้าที่สวมใส่สบายมากขึ้น เนื่องจากลักษณะการแต่งกายหรือค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าที่สวมใส่ส่งผลต่อความไม่สบายเชิงอุณหภูมิ

## บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

### 5.1 สรุปผลการวิจัย

#### 5.1.1 ข้อมูลการสำรวจทั่วไป

จากการสำรวจกลุ่มตัวอย่างโดยใช้แบบสอบถามทั้งหมด 491 ตัวอย่าง ซึ่งแบ่งเป็นผู้ชาย 279 คน และผู้หญิง 212 คน โดยทำการศึกษาดังตั้งแต่วันที่ 1 ตุลาคม 2554 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ 2555 มีสภาวะแวดล้อมทางด้านอุณหภูมิอากาศอยู่ระหว่าง  $19.0 - 29.0^{\circ}\text{C}$  โดยที่มีอุณหภูมิอากาศภายในพื้นที่เฉลี่ย  $23.4^{\circ}\text{C}$  อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย  $26.2^{\circ}\text{C}$  ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย  $50.5\%$  และความเร็วลมเฉลี่ย  $0.5\text{ m/s}$  ซึ่งกลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่จะมีอัตราการเผาผลาญพลังงานประมาณ  $1.2\text{ met}$  (การยืน) และกลุ่มตัวอย่างมีการสวมใส่เสื้อผ้าอยู่ที่  $0.89\text{ clo}$  สามารถแบ่งกลุ่มตัวอย่างตามค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าออกเป็น 3 กลุ่มตัวอย่าง

#### 5.1.2 การวิเคราะห์ดัชนีความไม่สบายเชิงอุณหภูมิ

##### 5.1.2.1 ดัชนีทางด้านเสื้อผ้าที่สวมใส่

จากผลการศึกษาค่าความไม่สบายเชิงอุณหภูมิของกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด 491 คน กลุ่มตัวอย่างมีการสวมใส่เสื้อผ้าที่มีความหลากหลายมากตั้งแต่  $0.40\text{ clo}$  ขึ้นไปจนถึง  $1.70\text{ clo}$  สามารถแบ่งกลุ่มตัวอย่างตามค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าได้ 3 กลุ่มด้วยกัน ดังนี้  $0.40 - 0.69\text{ clo}$ ,  $0.70 - 0.99\text{ clo}$  และ  $1.00 - 1.45\text{ clo}$  ตามลำดับ

##### 5.1.2.2 ดัชนีทางด้านความรู้สึกไม่สบายที่อุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย และอุณหภูมิโอเปอร์เรทีฟ

จากตารางที่ 5.1 สามารถบอกร้อยละของกลุ่มตัวอย่างที่สามารถยอมรับในช่วงอุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย และอุณหภูมิโอเปอร์เรทีฟที่ทำให้เกิดความรู้สึกสบายได้ พบว่าช่วงของอุณหภูมิของค่าความรู้สึกสบายเชิงอุณหภูมิจากการตรวจวัดจริงมีช่วงห่างน้อยกว่าค่าที่ได้จากการทำนายการไหลเวียน แสดงว่ากลุ่มตัวอย่างสามารถรับรู้ถึงความรู้สึกจริงๆ ของอุณหภูมิทั้ง 3 ตัว ได้น้อยกว่าค่าที่คำนวณได้ โดยที่มีร้อยละของกลุ่มตัวอย่างที่เกิดความรู้สึกสบายในแต่ละกลุ่มมีค่าใกล้เคียงกัน และตารางที่ 5.2 ช่วงอุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย และอุณหภูมิโอเปอร์เรทีฟทำให้เกิดความรู้สึกสบายมากที่สุด โดยที่ช่วงอุณหภูมิดังกล่าวนี้ได้นำไปพัฒนาแบบจำลองความไม่สบายเชิงอุณหภูมิทั้งทางด้านเย็นและทางด้านร้อน

ตารางที่ 5.1 ร้อยละของกลุ่มตัวอย่างที่เกิดความรู้สึกสบายในช่วงของอุณหภูมิต่างๆ จากค่าความรู้สึกสบายเชิงอุณหภาพจากการตรวจวัดจริงและค่าการทำนายการไหลเวียน

|                  |     | ช่วงของอุณหภูมิที่กลุ่มตัวอย่างรู้สึกสบาย (°C) |        |   |        |   |        |
|------------------|-----|--|--------|---|--------|---|--------|
|                  |     | กลุ่มตัวอย่างที่ 1<br>(0.40 – 0.69 clo)        |        | กลุ่มตัวอย่างที่ 2<br>(0.70 – 0.99 clo) |        | กลุ่มตัวอย่างที่ 3<br>(1.00 – 1.45 clo) |        |
|                  |     | (-0.5 < X < +0.5)                              | ร้อยละ | (-0.5 < X < +0.5)                       | ร้อยละ | (-0.5 < X < +0.5)                       | ร้อยละ |
| T <sub>a</sub>   | ASV | 21.8 – 24.1                                    | 66.2   | 21.1 – 24.4                             | 63.4   | 21.3 – 23.8                             | 65.6   |
|                  | PMV | 22.2 – 25.2                                    | 64.3   | 22.8 – 25.7                             | 54.8   | 21.6 – 24.6                             | 79.2   |
| T <sub>mrt</sub> | ASV | 23.9 – 28.5                                    | 54.6   | 23.5 – 27.7                             | 44.8   | 23.0 – 26.1                             | 41.7   |
|                  | PMV | 24.2 – 29.3                                    | 59.1   | 24.9 – 29.4                             | 50.2   | 22.4 – 28.1                             | 41.7   |
| T <sub>op</sub>  | ASV | 23.7 – 26.6                                    | 53.9   | 23.0 – 26.0                             | 48.6   | 22.5 – 24.9                             | 55.2   |
|                  | PMV | 23.6 – 27.1                                    | 67.5   | 24.0 – 27.4                             | 36.1   | 22.3 – 26.3                             | 68.8   |

ตารางที่ 5.2 ช่วงของอุณหภูมิที่ทำให้กลุ่มตัวอย่างเกิดความรู้สึกสบายมากที่สุดจากการตรวจวัดจริงและค่าการทำนายการไหลเวียน

|                  |     | ช่วงของอุณหภูมิที่กลุ่มตัวอย่างรู้สึกสบายมากที่สุด (°C) |   |   |
|------------------|-----|---|---|---|
|                  |     | กลุ่มตัวอย่างที่ 1<br>(0.40 – 0.69 clo)                 | กลุ่มตัวอย่างที่ 2<br>(0.70 – 0.99 clo) | กลุ่มตัวอย่างที่ 3<br>(1.00 – 1.45 clo) |
|                  |     |   |   |   |
| T <sub>a</sub>   | ASV | 24.0 – 24.9   | 23.0 – 23.9                             | 22.0 – 22.9                             |
|                  | PMV | 23.0 – 23.9   | 23.0 – 23.9                             | 22.0 – 22.9                             |
| T <sub>mrt</sub> | ASV | 28.0 – 28.9   | 24.0 – 24.9                             | 24.0 – 24.9                             |
|                  | PMV | 28.0 – 28.9   | 24.0 – 24.9                             | 24.0 – 24.9                             |
| T <sub>op</sub>  | ASV | 26.0 – 26.9   | 24.0 – 24.9                             | 24.0 – 24.9                             |
|                  | PMV | 26.0 – 26.9   | 24.0 – 24.9                             | 24.0 – 24.9                             |

### 5.1.3 การวิเคราะห์แบบจำลองความไม่สบายเชิงอุณหภาพ

จากการวิเคราะห์แบบจำลองความไม่สบายเชิงอุณหภาพของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม สามารถสรุปอุณหภูมิทางด้านเย็นและทางด้านร้อนที่ทำให้กลุ่มตัวอย่างเกิดความรู้สึกไม่สบาย โดยใช้ข้อมูลอ้างอิงจากตารางที่ 4.25 และ 4.27 มาสร้างแบบจำลองความไม่สบายเชิงอุณหภาพ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 5.3 และสามารถสรุปเป็นร้อยละของกลุ่มตัวอย่างที่เกิดความไม่สบายเชิงอุณหภาพทั้งทางด้านเย็นและด้านร้อนของอุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิการแผ่รังสี และอุณหภูมิโอเปอร์เรทีฟ จาก

ค่าความรู้สึกสบายเชิงอุณหภูมิอากาศจากการตรวจวัดจริงและค่าการทำนายการไหลตื้นเฉื่อย ดังแสดงไว้ในตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.3 ค่าของอุณหภูมิต่างๆ ที่ทำให้กลุ่มตัวอย่างที่เกิดความไม่สบายเชิงอุณหภูมิทั้งทางด้านเย็นและด้านร้อน และค่าอุณหภูมิอ้างอิงที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลอง จากค่าความรู้สึกสบายเชิงอุณหภูมิอากาศจากการตรวจวัดจริงและค่าการทำนายการไหลตื้นเฉื่อย

|                 |     | อุณหภูมิที่กลุ่มตัวอย่างรู้สึกไม่สบาย (°C) |             |                       |   |             |                       |   |             |                       |
|-----------------|-----|--|-------------|-----------------------|---|-------------|-----------------------|---|-------------|-----------------------|
|                 |     | กลุ่มตัวอย่างที่ 1<br>(0.40 – 0.69 clo)    |             |                       | กลุ่มตัวอย่างที่ 2<br>(0.70 – 0.99 clo) |             |                       | กลุ่มตัวอย่างที่ 3<br>(1.00 – 1.45 clo) |             |                       |
|                 |     | ทางด้านเย็น                                | ทางด้านร้อน | อุณหภูมิอ้างอิงที่ใช้ | ทางด้านเย็น                             | ทางด้านร้อน | อุณหภูมิอ้างอิงที่ใช้ | ทางด้านเย็น                             | ทางด้านร้อน | อุณหภูมิอ้างอิงที่ใช้ |
| T <sub>a</sub>  | ASV | <24.0                                      | >24.9       | 24.5                  | <23.0                                   | >24.9       | 23.5                  | <22.0                                   | >22.9       | 22.5                  |
|                 | PMV | <23.0                                      | >23.9       | 23.5                  | <23.0                                   | >23.9       | 23.5                  | <22.0                                   | >22.9       | 22.5                  |
| T <sub>mr</sub> | ASV | <28.0                                      | >28.9       | 28.5                  | <24.0                                   | >24.9       | 24.5                  | <24.0                                   | >24.9       | 24.5                  |
|                 | PMV | <28.0                                      | >28.9       | 28.5                  | <24.0                                   | >24.9       | 24.5                  | <24.0                                   | >24.9       | 24.5                  |

ตารางที่ 5.4 ร้อยละของกลุ่มตัวอย่างที่เกิดความไม่สบายเชิงอุณหภูมิทั้งทางด้านเย็นและด้านร้อนของอุณหภูมิต่างๆ จากค่าความรู้สึกสบายเชิงอุณหภูมิอากาศจากการตรวจวัดจริงและค่าการทำนายการไหลตื้นเฉื่อย

|                  |     | ช่วงของอุณหภูมิที่กลุ่มตัวอย่างรู้สึกไม่สบาย (°C) |             |   |             |   |             |
|------------------|-----|---|-------------|---|-------------|---|-------------|
|                  |     | กลุ่มตัวอย่างที่ 1<br>(0.40 – 0.69 clo)           |             | กลุ่มตัวอย่างที่ 2<br>(0.70 – 0.99 clo) |             | กลุ่มตัวอย่างที่ 3<br>(1.00 – 1.45 clo) |             |
|                  |     | ร้อยละ  |             | ร้อยละ                                  |             | ร้อยละ                                  |             |
|                  |     | ทางด้านเย็น                                       | ทางด้านร้อน | ทางด้านเย็น                             | ทางด้านร้อน | ทางด้านเย็น                             | ทางด้านร้อน |
| T <sub>a</sub>   | ASV | 52.6  | 28.5        | 50.2                                    | 31.1        | 71.9                                    | 14.6        |
|                  | PMV | 32.5  | 47.4        | 50.2                                    | 30.7        | 72.9                                    | 14.6        |
| T <sub>mrt</sub> | ASV | 50.7  | 42.2        | 37.7                                    | 46.5        | 39.6                                    | 37.5        |
|                  | PMV | 49.4  | 42.9        | 36.9                                    | 46.5        | 40.6                                    | 36.5        |

### 5.1.4 แนวทางการปรับปรุงเพื่อให้ผู้ใช้อาคารเกิดสภาวะความสบายเชิงอุณหภูมิ

จากการสำรวจโดยใช้แบบสอบถาม พบว่า กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่รู้สึกร้อนอบอ้าวและรู้สึกอึดอัด บริเวณเหนือหน้าอกขึ้นไปในพื้นที่ที่ทำการสำรวจถึงแม้ในช่วงฤดูฝนและฤดูหนาวในช่วงเวลา กลางวัน แต่สำหรับช่วงเวลากลางคืนอุณหภูมิอากาศภายในอาคารมีค่าค่อนข้างต่ำ จึงส่งผลให้กลุ่ม ตัวอย่างส่วนใหญ่รู้สึกหนาวมากถึงแม้ว่าจะมีการสวมใส่เสื้อผ้ามากกว่า 1 clo ขึ้นไปก็ตาม ดังนั้น แนวทางการปรับปรุงเพื่อให้เกิดความสบายเชิงอุณหภูมิกับผู้ใช้โดยสารหรือผู้ใช้พื้นที่ในอาคาร สนามบิน ดังนั้นควรทำการปรับตั้งอุณหภูมิอากาศให้อยู่ในช่วง  $21.0 - 25.0^{\circ}\text{C}$  เพื่อให้เกิดสภาวะ สบาย เนื่องจากในช่วงอุณหภูมิดังกล่าวเป็นช่วงอุณหภูมิที่กลุ่มตัวอย่างยอมรับได้ โดยที่กลุ่มตัวอย่างมี การสวมใส่เสื้อผ้าที่หลากหลาย แต่ในช่วงอุณหภูมิที่กลุ่มตัวอย่างได้โหวตว่ารู้สึกสบายมากที่สุด  $23.0 - 24.0^{\circ}\text{C}$  ซึ่งมีการสวมใส่เสื้อผ้าของผู้ใช้พื้นที่หรือเจ้าหน้าที่ในอาคารอยู่ในช่วง  $0.70 - 0.99$  clo ดังนั้น ในช่วงของอุณหภูมิ  $23.0 - 24.0$  จึงเป็นช่วงอุณหภูมิที่ดีที่สุดที่ใช้ในการปรับตั้งให้อุณหภูมิภายใน อาคารเพื่อให้เกิดความสบายเชิงอุณหภูมิ และแนวทางการปรับปรุงอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉื่อยก็คือ การปรับเปลี่ยนกรอบอาคารหรือหลังคา โดยการเปลี่ยนกระจกหรือการติดตั้งอุปกรณ์บังแสงแดด เพื่อ ลดปริมาณความร้อนที่จะเข้ามาในอาคารโดยตรงอีกทั้งยังป้องกันการส่องผ่านของรังสีอาทิตย์ หรือ อีกวิธีหนึ่งคือ การเพิ่มพื้นที่สีเขียวให้กับอาคารเพื่อลดการแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ โดยการ ปลูกต้นไม้ เนื่องจากต้นไม้สามารถให้ร่มเงาและบดบังรังสีจากดวงอาทิตย์ได้บางส่วน อาจทำให้ผู้ใช้ พื้นที่เกิดความสบายเชิงอุณหภูมิเพิ่มมากขึ้น

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. จากการสำรวจข้อมูลของกลุ่มตัวอย่างได้ทำการเก็บในช่วงฤดูฝนและฤดูหนาวเท่านั้น ดังนั้นควร ทำการเก็บข้อมูลเพิ่มเติมในช่วงฤดูร้อนด้วย เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ครอบคลุมมากขึ้น
2. ควรเพิ่มจำนวนของกลุ่มตัวอย่างเพื่อนำมาสร้างแบบจำลองความไม่สบายเชิงอุณหภูมิที่มีความ แม่นยำมากขึ้น
3. ควรทำการวิเคราะห์ตัวแปรอื่นๆ เพิ่มเติม เช่น การแบ่งช่วงอายุ แยกตามอิริยาบถต่างๆ หรือแยก ตามกลุ่มตัวอย่างที่เป็นผู้ใช้พื้นที่เป็นประจำกับผู้ใช้โดยสาร เป็นต้น เพื่อความละเอียดในการนำ แบบจำลองความไม่สบายเชิงอุณหภูมิมาใช้งานจริง

## เอกสารอ้างอิง

1. ศุภกิจ บัณฑิตธรรมกุล, 2551, ผลของการปรับอุณหภูมิที่มีต่อความรู้สึกสบายในห้องปรับอากาศ เพื่อประหยัดพลังงาน, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา.
2. จุลละพงษ์ จุลละ โปธิ, 2553, เอกสารประกอบวิชา **Energy Conservation for Industry**, คณะ พลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, หน้า 28-36
3. American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineer, Inc., 1992, “Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy”, **ANSI/ASHRAE Standard**, Vol. 55, pp. 1-21.
4. American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineer, Inc., 1987, **ASHRAE Handbook Fundamentals**, Physiological Principles and Thermal Comfort, Atlanta, pp. 1-28.
5. ISO 7730, 1994, “Determination of the PMV and PPD Indices and Specification of the Condition for Thermal Comfort”, **Moderate Thermal Environment**.
6. วรณช ฤกษ์เสริมสุข, 2547, การปรับปรุงตึกแถวพักอาศัย เพื่อความสบายทางด้านอุณหภูมิ แสงสว่างและการระบายอากาศ, วิทยานิพนธ์ปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา สถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
7. Fanger, P.O., 1970, **Thermal Comfort Analysis and Applications in Environmental Engineering**, Technical University of Denmark, Laboratory of Heating and Air Conditioning, McGraw-Hill Book Company, pp 1-241.
8. ชนินทร์ ทิพย์โภท, 2537, การนำเสนอรูปแบบ “ตึกแถวลักษณะพาณิชย์กึ่งพักอาศัย” เพื่อความ สบายทางด้านอุณหภูมิ และแสงสว่างให้แก่ผู้ใช้อาคาร, วิทยานิพนธ์ปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตร มหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรมเขตร้อน คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระ จอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
9. สุรัสวดี มรรควัลย์, ไม่ปรากฏปีที่พิมพ์, สรีรวิทยาของการใช้ความร้อนเพื่อการรักษา [Online], Available: <http://home.kku.ac.th/surmac/surussawadi49/word-study-document/3.doc> [23 กรกฎาคม 2554].

10. วิรดา ไชยรุ่งเรือง, 2550, **สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการปรับอากาศในช่วงเวลาพักผ่อน**, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการพลังงาน คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
11. Innova Air Tech Instrument, 1997, **Thermal Comfort** [Online], Available: <http://www.blowtex-educair.it/DOWNLOADS/thermal%20Comfort.htm> [7 สิงหาคม 2554].
12. นุภาพ แยมไตรรัตน์, 2543, **การสร้างแผนภูมิความสบายของถ่ายเทอากาศสำหรับประเทศไทย**, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการพลังงาน คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
13. ประพนธ์ วงษ์ท่าเรือ, 2535, **การศึกษาสภาวะความสบายเชิงความร้อนของคนในอาคาร**, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการพลังงาน คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
14. กัททิตรา พวงมาลี, 2551, **การศึกษาเงื่อนไขการปรับอากาศที่เหมาะสมผสมผสานกับการใช้พัดลมช่วยเพื่อความสบายเชิงอุณหภูมิ: กรณีศึกษา อาคารห้องเรียน**, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการพลังงาน คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
15. ชาคริต นัตรสานติกุล, 2551, **การศึกษาความสบายเชิงอุณหภูมิในอาคารบ้านพักอาศัยสำหรับประเทศไทย**, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการพลังงาน คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
16. Yamtrapat N., Khedari J., Hirunlabh J. rs of acclimatiza 2005, "Thermal Comfort Standards for Air Conditioned Buildings in Hot and Humid Thailand Considering Additional Factors of Acclimatization and Education Level", **Solar Energy**, Vol. 78, pp. 504-517.
17. Brager, G. S., De Dear R. J., 2000, **A Standard for Natural Ventilation**, **ASHRAE Journal**.
18. Parson, K.C., 2003, **Human Thermal Environment**, 2<sup>nd</sup> ed., Taylor & Francis, London.
19. Miloslav V. J., Stanislav M., Zdeněk J., Hana T. and Daniel S., 2008, **Globe Stereothermometer** [Online], Available: <http://bozpinfo.cz/tisk.html?clanek=5404804> [10 สิงหาคม 2554].
20. Nicol, F., 2004, "Adaptive Thermal Comfort Standards in the Hot-Humid Tropics", **Energy and Building**, Vol. 36, No. 7, pp. 628-637.

21. นิรนาม, 2006, **Floor Temperatures - Health Effects** [Online], Available: [http://www.healthyheating.com/Thermal\\_Comfort\\_Working\\_Copy/Definitions/floor\\_temps.htm](http://www.healthyheating.com/Thermal_Comfort_Working_Copy/Definitions/floor_temps.htm) [10 สิงหาคม 2554].
22. Bjarne W. O., Wirsbo-Velta GmbH and Norderstedt, ไม่ปรากฏปีที่พิมพ์, **Thermal Environments** [Online], Available: [http://www.healthyheating.com/Thermal\\_Comfort\\_Working\\_Copy/downloads/Thermal%20Comfort.pdf](http://www.healthyheating.com/Thermal_Comfort_Working_Copy/downloads/Thermal%20Comfort.pdf) [10 สิงหาคม 2554].
23. Melikov A., 2010, **Thermal Comfort Local Thermal Discomfort** [ Online], Available: <http://www.ib.cvut.cz/sites/default/files/temporary/Local%20thermal%20discomfort-AMelikov-CTU%20in%20Prague-Oct2010.pdf> [17 สิงหาคม 2554].
24. Kubaha K., 2005, “**Asymmetric Radiant Fields and Human Thermal Comfort**”, Ph. D. Thesis, De Montfort University UK.
25. Olesen B.W., Sliwiska E. and Fanger P.O., 1982, “Effect of Body Posture and Activity on Thermal Insulation of Clothing: Measurement by Amovable Thermal Manikin”, **ASHRAE Transactions**, Vol. 88.
26. Melikov A. K. and Nielsen, J. B., 1989, “Local Thermal Discomfort Due to Draft and Vertical Temperature Difference in Room with Displacement Ventilation”, **ASHRAE Trasiation**, Vol. 95, pp. 1050-1057.
27. Pellerin N., Deschuyteneer A. and Candas V., 2004, “**Local Thermal Unpleasantness and Discomfort Prediction in the Vicinity of Thermoneutrality**”.
28. Gan G., 1993, “Numerical Investigation of Local Thermal Discomfort in Offices with Displacement Ventilation”, **Energy and Building**, Vol. 23, pp. 73-81.
29. Chow, T.T., Fong, K.F., Givoni, B., Zhang, L. and Chan, A.L.S., 2010, “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. 2177 - 2183.
30. Schiavon, S. and Lee H.K., 2012, **Predictive Clothing Insulation Model Based on Outdoor Air and Indoor Operative Temperatures** [Online], Available: <http://nceub.org.uk.pdf> [5 ธันวาคม 2555].
31. Mozaffarieh, M., Gasio, P.F., Schotzau, A., Orgul, S., Flammer, J. and Krauchi, K., 2010, “Thermal Discomfort with Cold Extremities in Relation to Age, Gender, and Body Mass Index in a Random Sample of a Swiss Urban Population”, **Population Health Metrics**, pp. 1 – 5.

ภาคผนวก ก

ค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้า

**ตารางที่ ก.1** ค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้า

| ลักษณะเสื้อ                              | clo  |
|--|------|
| เสื้อเชิ้ตแขนยาวคอปก                     | 0.33 |
| เสื้อเชิ้ตแขนสั้นคอปก                    | 0.25 |
| เสื้อยืดคอวีแขนสั้น                      | 0.23 |
| เสื้อ โปโล , เสื้อยืดแขนสั้น , เสื้อกีฬา | 0.18 |
| เสื้อยืดคอกลมแขนกุด, เสื้อกล้าม          | 0.18 |
| เสื้อยืดแขนยาว                           | 0.25 |
| เสื้อสายเดี่ยว , เกะออก                  | 0.07 |
| เสื้อสูทกระดุม 1 แถว                     | 0.52 |
| เสื้อสูทกระดุม 2 แถว                     | 0.56 |
| เสื้อกันหนาวแขนยาวแบบสวม                 | 0.40 |
| เสื้อกันหนาวแขนยาวชิพหน้าหรือกระดุมหน้า  | 0.35 |
| แจ็กเก็ตหนัง, ยีนส์                      | 0.44 |
| เสื้อกั๊ก                                | 0.20 |

**ตารางที่ ก.2** ค่าความต้านทานความร้อนของกางเกงและกระโปรง

| ลักษณะกางเกงและกระโปรง | clo  |
|------------------------|------|
| กางเกงยีนส์ขายาวฟิต    | 0.21 |
| กางเกงยีนส์ขายาวหลวม   | 0.32 |
| กางเกงขายาวฟิต         | 0.30 |
| กางเกงขายาวหลวม        | 0.40 |
| กางเกงขาสั้นธรรมดา     | 0.21 |
| กางเกงขาสั้นยีนส์      | 0.12 |
| กางเกงขาสั้นหลายๆ      | 0.09 |
| กางเกงวอร์มกีฬาขายาว   | 0.34 |
| กางเกงกีฬาขาสั้น       | 0.08 |
| เอี๊ยม                 | 0.41 |
| ชุดหมี                 | 0.61 |

**ตารางที่ ก.2 ค่าความต้านทานความร้อนของทางเกงและกระโปรง (ต่อ)**

| <b>ลักษณะทางเกงและกระโปรง (ต่อ)</b> | <b>clo</b> |
|-------------------------------------|------------|
| กระโปรงยีนส์ทรงเอเหนือเข่า          | 0.18       |
| กระโปรงยีนส์ทรงเอคลุมเข่า           | 0.25       |
| กระโปรงทรงเอเท่าตาคุ่ม              | 0.46       |
| กระโปรงทรงตรงเท่าเข่า               | 0.31       |
| กระโปรงทรงสุ่มเท่าเข่า              | 0.34       |
| กระโปรงทรงพิทเท่าเข่า               | 0.37       |
| ชุดเดรสกระโปรงแขนยาว                | 0.44       |
| ชุดเดรสกระโปรงแขนยาวมีเข็มขัด       | 0.46       |
| ชุดเดรสกระโปรงแขนสั้นมีเข็มขัด      | 0.38       |
| ชุดเดรสกระโปรงแขนกุดคอลึก           | 0.34       |
| ชุดเดรสทางเกงเท่าตาคุ่ม             | 0.40       |
| ทางเกงเลกกิ้ง                       | 0.10       |

**ตารางที่ ก.3 ค่าความต้านทานความร้อนของชุดชั้นในและรองเท้า**

| <b>ลักษณะชุดชั้นในและรองเท้า</b>      | <b>clo</b> |
|---------------------------------------|------------|
| ทางเกงขาสั้น , บ็อกเซอร์              | 0.12       |
| ทางเกงในผู้ชาย                        | 0.05       |
| ทางเกงในผู้หญิง                       | 0.04       |
| เสื้อชั้นใน                           | 0.02       |
| กระโปรงซับใน                          | 0.21       |
| ทางเกงซับใน                           | 0.21       |
| ถุงน่อง                               | 0.02       |
| ถุงเท้าทำงาน , ถุงเท้าฟุตบอลครึ่งแข้ง | 0.04       |
| ถุงเท้าสั้น                           | 0.03       |
| ถุงเท้าครึ่งเข่า                      | 0.07       |
| รองเท้าแตะทุกประเภท                   |            |
| รองเท้าทั่วไป                         | 0.04       |

**ภาคผนวก ข**  
**แบบสอบถามความสบายเชิงคุณภาพ**



## แบบสอบถามความสบายเชิงคุณภาพ

วันที่ (ว/ด/ป) ...../...../.....

เวลา ..... น.

### 1. ข้อมูลส่วนตัวผู้ตอบ

สถานที่ (Place)..... จังหวัด

.....

เพศ (Gender)       ชาย (Male)       หญิง (Female)      อายุ (Age) ..... ปี

น้ำหนัก (Weight) ..... กก. (kg)      ความสูง (Height) ..... ซม. (cm)

### 2. ข้อมูลการใช้เครื่องปรับอากาศ (ที่บ้าน?)

2.1  ไม่มีเครื่องปรับอากาศ (ข้ามไปตอบข้อ 3)

2.2  มีเครื่องปรับอากาศ

ห้อง ..... ขนาด ..... BTU จำนวน ..... เครื่อง

การใช้เครื่องปรับอากาศ  ทุกวัน  ไม่ทุกวัน ใช้ตั้งแต่เวลา ..... น.

ตั้งอุณหภูมิที่ ..... °C

### 3. กิจกรรมที่ทำ

นอน       เอนกาย เอกเขนก       นั่งนิ่งอยู่กับที่

ยืนพัก       ทำความสะอาด       เดิน

ขายของ       ซื่อของ จับจ่ายสินค้า

ทำงานสำนักงานทั่วไป       อื่นๆ (โปรดระบุ) .....

#### 4. ลักษณะเสื้อผ้าที่สวมใส่ขณะอยู่ในห้อง (สามารถตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)

##### ประเภทเสื้อ

- |  |  |
|--|--|
| <input type="checkbox"/> เสื้อเชิ้ตแขนยาวคอปก                    | <input type="checkbox"/> เสื้อเชิ้ตแขนสั้นคอปก                 |
| <input type="checkbox"/> เสื้อยืดคอวีแขนสั้น                     | <input type="checkbox"/> เสื้อโปโล, เสื้อยืดแขนสั้น, เสื้อกีฬา |
| <input type="checkbox"/> เสื้อยืดคอกลมแขนกุด                     | <input type="checkbox"/> เสื้อยืดแขนยาว                        |
| <input type="checkbox"/> เสื้อกล้าม, เสื้อสายเดี่ยว, เกะอก       | <input type="checkbox"/> เสื้อสูทสั้น                          |
| <input type="checkbox"/> เสื้อสูทยาว                             | <input type="checkbox"/> เสื้อกันหนาวแขนยาวแบบสวม              |
| <input type="checkbox"/> เสื้อกันหนาวแขนยาวชิปหน้าหรือกระดุมหน้า |  |
| <input type="checkbox"/> แจ็คเก็ตหนัง, ผ้า                       | <input type="checkbox"/> เสื้อกั๊ก                             |
| <input type="checkbox"/> อื่น (โปรดระบุ) .....                   |  |

##### ประเภทกางเกงและกระโปรง

- |  |  |
|--|--|
| <input type="checkbox"/> กางเกงยีนส์ขายาวฟิต         | <input type="checkbox"/> กางเกงยีนส์ขายาวหลวม      |
| <input type="checkbox"/> กางเกงขายาวฟิต              | <input type="checkbox"/> กางเกงขายาวหลวม           |
| <input type="checkbox"/> กางเกงขาสั้นเนื้อเข้า       | <input type="checkbox"/> กางเกงขาสั้นคลุมเข้า      |
| <input type="checkbox"/> กางเกงวอร์มกีฬาขายาว        | <input type="checkbox"/> กางเกงกีฬาขาสั้น          |
| <input type="checkbox"/> เอี๊ยม                      | <input type="checkbox"/> ชุดหมี่                   |
| <input type="checkbox"/> กระโปรงยีนส์ทรงเอเนื้อเข้า  | <input type="checkbox"/> กระโปรงยีนส์ทรงเอคลุมเข้า |
| <input type="checkbox"/> กระโปรงทรงเอเนื้อเข้า       | <input type="checkbox"/> กระโปรงทรงเอคลุมเข้า      |
| <input type="checkbox"/> กระโปรงทรงเอเท่าตาคุ่ม      | <input type="checkbox"/> กระโปรงทรงตรงเนื้อเข้า    |
| <input type="checkbox"/> กระโปรงทรงตรงคลุมเข้า       | <input type="checkbox"/> กระโปรงทรงตรงเท่าตาคุ่ม   |
| <input type="checkbox"/> กระโปรงทรงสุ่มเนื้อเข้า     | <input type="checkbox"/> กระโปรงทรงสุ่มคลุมเข้า    |
| <input type="checkbox"/> กระโปรงทรงสุ่มเท่าตาคุ่ม    | <input type="checkbox"/> กระโปรงทรงฟิตเนื้อเข้า    |
| <input type="checkbox"/> กระโปรงทรงฟิตคลุมเข้า       | <input type="checkbox"/> กระโปรงทรงฟิตเท่าตาคุ่ม   |
| <input type="checkbox"/> ชุดเดรสกระโปรงเนื้อเข้า     | <input type="checkbox"/> ชุดเดรสกระโปรงยาวคลุมเข้า |
| <input type="checkbox"/> ชุดเดรสกระโปรงยาวเท่าตาคุ่ม | <input type="checkbox"/> กางเกงเลกกิ้ง             |
| <input type="checkbox"/> ชุดเดรสกางเกงเนื้อเข้า      | <input type="checkbox"/> ชุดเดรสกางเกงเท่าตาคุ่ม   |
| <input type="checkbox"/> กางเกงขาก๊วย (กางเกงเล)     | <input type="checkbox"/> อื่น (โปรดระบุ) .....     |

## ประเภทชุดชั้นใน, ถุงเท้า, รองเท้า

- กางเกงขาสั้น, บ็อกเซอร์       กางเกงในผู้ชาย       กางเกงในผู้หญิง  
 เสื้อชั้นใน       กระโปรงชั้นใน       กางเกงชั้นใน  
 ถุงน่อง       ถุงเท้าทำงาน, ถุงเท้าฟุตบอลครึ่งแข้ง  
 ถุงเท้าสั้น       ถุงเท้าเท้าเข้า       รองเท้าแตะทุกประเภท  
 รองเท้าทั่วไป       อื่นๆ (โปรดระบุ) .....

## 5. ความรู้สึกทางความร้อน (Thermal sensation vote) ของท่านขณะนี้

|      |      |              |              |      |              |              |      |      |
|------|------|--------------|--------------|------|--------------|--------------|------|------|
| หนาว | เย็น | เย็นเล็กน้อย | ค่อนข้างเย็น | พอดี | ค่อนข้างอุ่น | อุ่นเล็กน้อย | อุ่น | ร้อน |
|------|------|--------------|--------------|------|--------------|--------------|------|------|

## 6. ท่านมีความต้องการให้ปรับอุณหภูมิ

|                    |              |      |
|--------------------|--------------|------|
| สูงขึ้น (อุ่นขึ้น) | ลดลง(เย็นลง) | พอดี |
|--------------------|--------------|------|

## 7. สาเหตุที่ทำให้รู้สึกไม่สบายมาจาก

|                   |                                  |                             |                            |
|-------------------|----------------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| ลมที่พัดแรงเกินไป | แสงแดดหรือความร้อนจากหลังคา/ผนัง | ผิวแห้ง (ความชื้นต่ำเกินไป) | อบอ้าว (ความชื้นสูงเกินไป) |
| อุณหภูมิต่ำเกินไป | อุณหภูมิสูงเกินไป                | ความแออัดของผู้คนสูง        | อื่นๆ เช่น พื้นเย็น        |

## 8. ข้อเสนอแนะหรือหมายเหตุ

.....

.....

ภาคผนวก ค

ข้อมูลการสำรวจความรู้สึกเชิงคุณภาพ

ตารางที่ ค.1 ข้อมูลการสำรวจความรู้สึกเชิงอุณหภูมิ

| ลำดับ | เพศ | อายุ | น้ำหนัก | ความสูง | กิจกรรมที่ทำ | เสื้อผ้า | T <sub>a</sub> | RH   | V    | T <sub>g</sub> | ASV  |
|-------|-----|------|---------|---------|--------------|----------|----------------|------|------|----------------|------|
| 1     | ช   | 25   | 72      | 1.69    | 2.0          | 0.62     | 21.3           | 58.1 | 0.23 | 23.1           | -2   |
| 2     | ช   | 24   | 60      | 1.79    | 1.2          | 0.74     | 21.3           | 58.1 | 0.23 | 23.1           | -2   |
| 3     | ญ   | 23   | 70      | 1.60    | 1.2          | 0.99     | 21.3           | 58.1 | 0.23 | 23.1           | -0.5 |
| 4     | ช   | 24   | 59      | 1.66    | 1.2          | 0.98     | 21.3           | 58.1 | 0.23 | 23.1           | 0    |
| 5     | ญ   | 23   | 70      | 1.60    | 1.2          | 0.99     | 21.9           | 59.1 | 0.15 | 23.1           | 0    |
| 6     | ช   | 25   | 72      | 1.69    | 1.2          | 0.62     | 21.9           | 59.1 | 0.15 | 23.1           | -0.5 |
| 7     | ช   | 24   | 59      | 1.66    | 1.2          | 0.98     | 21.9           | 59.1 | 0.15 | 23.1           | -0.5 |
| 8     | ช   | 24   | 60      | 1.79    | 1.0          | 0.74     | 21.9           | 59.1 | 0.15 | 23.1           | 0    |
| 9     | ช   | 23   | 70      | 1.60    | 1.2          | 0.99     | 23.6           | 59.1 | 0.09 | 24.0           | 0.5  |
| 10    | ช   | 24   | 60      | 1.79    | 1.2          | 0.74     | 23.6           | 59.1 | 0.09 | 24.0           | 0    |
| 11    | ช   | 25   | 72      | 1.69    | 1.2          | 0.62     | 23.6           | 59.1 | 0.09 | 24.0           | 0.5  |
| 12    | ช   | 24   | 59      | 1.66    | 1.2          | 0.98     | 23.6           | 59.1 | 0.09 | 24.0           | 0    |
| 13    | ช   | 24   | 59      | 1.66    | 1.2          | 0.98     | 21.5           | 53.2 | 0.29 | 23.4           | -0.5 |
| 14    | ญ   | 29   | 58      | 1.51    | 1.2          | 0.72     | 21.5           | 53.2 | 0.29 | 23.4           | 1    |
| 15    | ช   | 25   | 72      | 1.69    | 1.2          | 0.62     | 21.5           | 53.2 | 0.29 | 23.4           | -1   |
| 16    | ญ   | 23   | 70      | 1.60    | 1.2          | 0.99     | 21.5           | 53.2 | 0.29 | 23.4           | 0.5  |
| 17    | ช   | 24   | 60      | 1.79    | 1.2          | 0.74     | 21.5           | 53.2 | 0.29 | 23.4           | -0.5 |
| 18    | ช   | 24   | 59      | 1.66    | 1.2          | 0.98     | 23.2           | 52.3 | 0.35 | 23.8           | 0    |
| 19    | ช   | 25   | 72      | 1.69    | 1.2          | 0.62     | 23.2           | 52.3 | 0.35 | 23.8           | 0    |
| 20    | ช   | 24   | 60      | 1.79    | 1.2          | 0.74     | 23.2           | 52.3 | 0.35 | 23.8           | -0.5 |
| 21    | ญ   | 23   | 70      | 1.60    | 1.2          | 0.99     | 23.2           | 52.3 | 0.35 | 23.8           | 0    |
| 22    | ญ   | 23   | 70      | 1.60    | 1.2          | 0.99     | 23.2           | 51.7 | 0.19 | 25.1           | 0    |
| 23    | ช   | 25   | 72      | 1.69    | 1.2          | 0.62     | 23.2           | 51.7 | 0.19 | 25.1           | -2   |
| 24    | ช   | 24   | 60      | 1.79    | 1.2          | 0.74     | 23.2           | 51.7 | 0.19 | 25.1           | -2   |
| 25    | ช   | 24   | 59      | 1.66    | 1.2          | 0.98     | 23.2           | 51.7 | 0.19 | 25.1           | -1   |
| 26    | ญ   | 23   | 70      | 1.60    | 1.0          | 0.99     | 25.3           | 45.6 | 0.13 | 26.1           | 0.5  |
| 27    | ช   | 25   | 72      | 1.69    | 1.2          | 0.62     | 25.3           | 45.6 | 0.13 | 26.1           | 0    |
| 28    | ช   | 24   | 59      | 1.66    | 1.0          | 0.98     | 25.3           | 45.6 | 0.13 | 26.1           | 0    |

ตารางที่ ค.1 ข้อมูลการสำรวจความรู้สึกเชิงอุณหภูมิ (ต่อ)

| ลำดับ | เพศ | อายุ | น้ำหนัก | ความสูง | กิจกรรมที่ทำ | เสื้อผ้า | T <sub>a</sub> | RH   | V    | T <sub>g</sub> | ASV  |
|-------|-----|------|---------|---------|--------------|----------|----------------|------|------|----------------|------|
| 29    | ช   | 24   | 60      | 1.79    | 0.8          | 0.74     | 25.3           | 45.6 | 0.13 | 26.1           | 0    |
| 30    | ช   | 24   | 60      | 1.79    | 1.2          | 0.74     | 25.1           | 46.3 | 0.02 | 26.1           | 0.5  |
| 31    | ช   | 25   | 72      | 1.69    | 2.0          | 0.62     | 25.1           | 46.3 | 0.02 | 26.1           | 0    |
| 32    | ช   | 24   | 59      | 1.66    | 1.2          | 0.98     | 25.1           | 46.3 | 0.02 | 26.1           | 0    |
| 33    | ญ   | 23   | 70      | 1.60    | 1.2          | 0.99     | 25.1           | 46.3 | 0.02 | 26.1           | 0.5  |
| 34    | ญ   | 47   | 90      | 1.55    | 2.0          | 0.78     | 23.2           | 51.4 | 0.13 | 24.4           | 0.5  |
| 35    | ญ   | 23   | 70      | 1.60    | 1.2          | 0.99     | 23.2           | 51.4 | 0.13 | 24.4           | 0    |
| 36    | ช   | 25   | 69      | 1.70    | 2.0          | 0.63     | 23.2           | 51.4 | 0.13 | 24.4           | 0.5  |
| 37    | ช   | 24   | 59      | 1.66    | 1.2          | 0.98     | 23.2           | 51.4 | 0.13 | 24.4           | 0.5  |
| 38    | ช   | 24   | 60      | 1.79    | 1.2          | 0.74     | 23.2           | 51.4 | 0.13 | 24.4           | 0.5  |
| 39    | ช   | 25   | 72      | 1.69    | 1.2          | 0.62     | 23.2           | 51.4 | 0.13 | 24.4           | 1    |
| 40    | ญ   | 23   | 70      | 1.60    | 1.2          | 0.99     | 23.5           | 48.0 | 0.09 | 24.8           | 0.5  |
| 41    | ช   | 25   | 53      | 1.67    | 2.0          | 0.62     | 23.5           | 48.0 | 0.09 | 24.8           | 2    |
| 42    | ช   | 24   | 60      | 1.79    | 1.0          | 0.74     | 23.5           | 48.0 | 0.09 | 24.8           | 0    |
| 43    | ช   | 24   | 59      | 1.66    | 1.2          | 0.98     | 23.5           | 48.0 | 0.09 | 24.8           | 0    |
| 44    | ช   | 24   | 60      | 1.79    | 1.0          | 0.74     | 24.2           | 49.3 | 0.25 | 24.3           | 0    |
| 45    | ช   | 25   | 72      | 1.69    | 2.0          | 0.62     | 24.2           | 49.3 | 0.25 | 24.3           | 0.5  |
| 46    | ช   | 24   | 59      | 1.66    | 1.2          | 0.98     | 24.2           | 49.3 | 0.25 | 24.3           | 0    |
| 47    | ญ   | 23   | 70      | 1.60    | 1.2          | 0.99     | 24.2           | 49.3 | 0.25 | 24.3           | 0.5  |
| 48    | ญ   | 23   | 70      | 1.60    | 1.2          | 0.99     | 23.1           | 54.9 | 0.09 | 23.7           | 0    |
| 49    | ญ   | 32   | 65      | 1.55    | 2.0          | 0.88     | 23.1           | 54.9 | 0.09 | 23.7           | -1   |
| 50    | ช   | 25   | 72      | 1.69    | 1.2          | 0.62     | 23.1           | 54.9 | 0.09 | 23.7           | -2   |
| 51    | ช   | 29   | 60      | 1.79    | 1.2          | 0.63     | 23.1           | 54.9 | 0.09 | 23.7           | -0.5 |
| 52    | ช   | 24   | 59      | 1.66    | 1.2          | 0.98     | 23.1           | 54.9 | 0.09 | 23.7           | -1   |
| 53    | ญ   | 23   | 70      | 1.60    | 1.2          | 0.99     | 24.1           | 51.0 | 0.21 | 24.5           | 0    |
| 54    | ช   | 24   | 59      | 1.66    | 1.2          | 0.98     | 24.1           | 51.0 | 0.21 | 24.5           | -0.5 |
| 55    | ช   | 25   | 72      | 1.69    | 1.0          | 0.62     | 24.1           | 51.0 | 0.21 | 24.5           | -0.5 |
| 56    | ช   | 24   | 60      | 1.79    | 1.0          | 0.63     | 24.1           | 51.0 | 0.21 | 24.5           | -2   |

ตารางที่ ค.1 ข้อมูลการสำรวจความรู้สึกเชิงอุณหภูมิ (ต่อ)

| ลำดับ | เพศ | อายุ | น้ำหนัก | ความสูง | กิจกรรมที่ทำ | เสื้อผ้า | T <sub>a</sub> | RH   | V    | T <sub>g</sub> | ASV  |
|-------|-----|------|---------|---------|--------------|----------|----------------|------|------|----------------|------|
| 57    | ช   | 25   | 72      | 1.69    | 2.0          | 0.62     | 23.9           | 49.2 | 0.07 | 23.9           | 0.5  |
| 58    | ญ   | 23   | 70      | 1.60    | 1.2          | 0.99     | 23.9           | 49.2 | 0.07 | 23.9           | 0.5  |
| 59    | ช   | 24   | 60      | 1.79    | 1.2          | 0.63     | 23.9           | 49.2 | 0.07 | 23.9           | 0    |
| 60    | ญ   | 24   | 59      | 1.66    | 1.2          | 0.98     | 23.9           | 49.2 | 0.07 | 23.9           | 0    |
| 61    | ช   | 25   | 72      | 1.69    | 1.2          | 0.62     | 21.8           | 52.1 | 0.21 | 24.1           | 1    |
| 62    | ญ   | 23   | 70      | 1.60    | 1.2          | 0.99     | 21.8           | 52.1 | 0.21 | 24.1           | 1    |
| 63    | ญ   | 30   | 48      | 1.55    | 2.0          | 0.68     | 21.8           | 52.1 | 0.21 | 24.1           | -0.5 |
| 64    | ช   | 24   | 60      | 1.79    | 1.2          | 0.63     | 21.8           | 52.1 | 0.21 | 24.1           | -1   |
| 65    | ช   | 25   | 72      | 1.69    | 2.0          | 0.62     | 21.8           | 52.1 | 0.21 | 24.1           | -2   |
| 66    | ญ   | 25   | 60      | 1.56    | 1.2          | 0.78     | 21.2           | 54.5 | 0.14 | 22.3           | -0.5 |
| 67    | ญ   | 32   | 54      | 1.58    | 1.2          | 0.96     | 21.2           | 54.5 | 0.14 | 22.3           | 0    |
| 68    | ญ   | 27   | 53      | 1.59    | 1.2          | 0.96     | 21.2           | 54.5 | 0.14 | 22.3           | -0.5 |
| 69    | ช   | 25   | 72      | 1.69    | 2.0          | 0.62     | 21.2           | 54.5 | 0.14 | 22.3           | 0    |
| 70    | ช   | 25   | 60      | 1.79    | 1.2          | 0.74     | 21.2           | 54.5 | 0.14 | 22.3           | -0.5 |
| 71    | ช   | 24   | 59      | 1.66    | 1.2          | 0.98     | 21.2           | 54.5 | 0.14 | 22.3           | -1   |
| 72    | ญ   | 23   | 70      | 1.60    | 1.2          | 0.99     | 21.2           | 54.5 | 0.14 | 22.3           | 0    |
| 73    | ญ   | 23   | 70      | 1.60    | 1.2          | 0.99     | 22.8           | 49.3 | 0.08 | 23.4           | 0.5  |
| 74    | ช   | 25   | 69      | 1.69    | 1.0          | 0.62     | 22.8           | 49.3 | 0.08 | 23.4           | 1    |
| 75    | ช   | 24   | 59      | 1.66    | 1.2          | 0.98     | 22.8           | 49.3 | 0.08 | 23.4           | 0    |
| 76    | ช   | 24   | 60      | 1.79    | 1.2          | 0.63     | 22.8           | 49.3 | 0.08 | 23.4           | 0.5  |
| 77    | ญ   | 23   | 70      | 1.60    | 1.2          | 0.99     | 22.9           | 50.7 | 0.32 | 23.4           | 0.5  |
| 78    | ช   | 24   | 59      | 1.66    | 1.2          | 0.98     | 22.9           | 50.7 | 0.32 | 23.4           | 0    |
| 79    | ช   | 25   | 72      | 1.69    | 2.0          | 0.62     | 22.9           | 50.7 | 0.32 | 23.4           | -2   |
| 80    | ช   | 24   | 60      | 1.79    | 1.2          | 0.63     | 22.9           | 50.7 | 0.32 | 23.4           | 0    |
| 81    | ญ   | 27   | 44      | 1.58    | 1.0          | 0.61     | 22.9           | 50.7 | 0.32 | 23.4           | 1    |
| 82    | ช   | 24   | 59      | 1.66    | 1.2          | 0.98     | 23.0           | 49.2 | 0.09 | 23.7           | -0.5 |
| 83    | ช   | 25   | 72      | 1.69    | 2.0          | 0.62     | 23.0           | 49.2 | 0.09 | 23.7           | -0.5 |
| 84    | ช   | 24   | 60      | 1.79    | 1.2          | 0.63     | 23.0           | 49.2 | 0.09 | 23.7           | 0    |

ตารางที่ ค.1 ข้อมูลการสำรวจความรู้สึกเชิงอุณหภูมิ (ต่อ)

| ลำดับ | เพศ | อายุ | น้ำหนัก | ความสูง | กิจกรรมที่ทำ | เสื้อผ้า | T <sub>a</sub> | RH   | V    | T <sub>g</sub> | ASV  |
|-------|-----|------|---------|---------|--------------|----------|----------------|------|------|----------------|------|
| 85    | ญ   | 23   | 70      | 1.60    | 1.2          | 0.99     | 23.0           | 49.2 | 0.09 | 23.7           | 1    |
| 86    | ญ   | 23   | 70      | 1.60    | 1.2          | 0.99     | 24.3           | 47.9 | 0.22 | 24.3           | 0.5  |
| 87    | ช   | 24   | 59      | 1.66    | 1.2          | 0.98     | 24.3           | 47.9 | 0.22 | 24.3           | 0    |
| 88    | ช   | 24   | 60      | 1.79    | 1.2          | 0.63     | 24.3           | 47.9 | 0.22 | 24.3           | -0.5 |
| 89    | ช   | 25   | 72      | 1.69    | 2.0          | 0.62     | 24.3           | 47.9 | 0.22 | 24.3           | -0.5 |
| 90    | ญ   | 23   | 70      | 1.60    | 1.2          | 0.99     | 21.9           | 56.7 | 0.26 | 22.6           | 0.5  |
| 91    | ช   | 24   | 59      | 1.66    | 1.2          | 0.98     | 21.9           | 56.7 | 0.26 | 22.6           | -1   |
| 92    | ช   | 25   | 72      | 1.69    | 1.2          | 0.62     | 21.9           | 56.7 | 0.26 | 22.6           | -1   |
| 93    | ช   | 24   | 60      | 1.79    | 1.2          | 0.63     | 21.9           | 56.7 | 0.26 | 22.6           | -0.5 |
| 94    | ญ   | 23   | 70      | 1.60    | 1.2          | 0.99     | 23.9           | 48.7 | 0.48 | 24.1           | 1    |
| 95    | ช   | 24   | 59      | 1.66    | 1.2          | 0.98     | 23.9           | 48.7 | 0.48 | 24.1           | 0    |
| 96    | ช   | 25   | 72      | 1.69    | 1.2          | 0.62     | 23.9           | 48.7 | 0.48 | 24.1           | 0.5  |
| 97    | ช   | 24   | 60      | 1.79    | 1.2          | 0.63     | 23.9           | 48.7 | 0.48 | 24.1           | 0.5  |
| 98    | ช   | 44   | 60      | 1.55    | 1.2          | 0.78     | 24.5           | 49.5 | 0.06 | 24.8           | -0.5 |
| 99    | ช   | 25   | 72      | 1.69    | 2.0          | 0.62     | 24.5           | 49.5 | 0.06 | 24.8           | 0.5  |
| 100   | ช   | 24   | 59      | 1.66    | 1.2          | 0.98     | 24.5           | 49.5 | 0.06 | 24.8           | 0    |
| 101   | ช   | 24   | 60      | 1.79    | 1.2          | 0.63     | 24.5           | 49.5 | 0.06 | 24.8           | 0.5  |
| 102   | ญ   | 23   | 70      | 1.60    | 1.2          | 0.99     | 24.5           | 49.5 | 0.06 | 24.8           | 0.5  |
| 103   | ญ   | 23   | 70      | 1.60    | 1.2          | 0.71     | 23.4           | 52.0 | 0.53 | 25.4           | 0.5  |
| 104   | ญ   | 21   | 48      | 1.68    | 1.2          | 0.7      | 23.4           | 52.0 | 0.53 | 25.4           | 3.5  |
| 105   | ญ   | 23   | 70      | 1.60    | 1.2          | 0.71     | 25.5           | 45.2 | 0.15 | 27.8           | 1    |
| 106   | ญ   | 23   | 70      | 1.60    | 1.2          | 0.71     | 26.0           | 45.1 | 0.03 | 26.9           | 0.5  |
| 107   | ช   | 24   | 60      | 1.79    | 1.2          | 0.74     | 20.0           | 56.5 | 0.63 | 21.7           | -0.5 |
| 108   | ญ   | 23   | 70      | 1.60    | 1.2          | 0.71     | 20.0           | 56.5 | 0.63 | 21.7           | 0    |
| 109   | ช   | 24   | 60      | 1.79    | 1.0          | 0.74     | 22.5           | 51.2 | 0.17 | 24.0           | 0    |
| 110   | ญ   | 23   | 70      | 1.60    | 1.2          | 0.71     | 22.5           | 51.2 | 0.17 | 24.0           | 0.5  |
| 111   | ญ   | 23   | 70      | 1.60    | 1.2          | 0.71     | 23.5           | 48.7 | 0.19 | 24.1           | 0.5  |
| 112   | ช   | 24   | 60      | 1.79    | 1.2          | 0.74     | 23.5           | 48.7 | 0.19 | 24.1           | 0    |

ตารางที่ ค.1 ข้อมูลการสำรวจความรู้สึกเชิงอุณหภูมิ (ต่อ)

| ลำดับ | เพศ | อายุ | น้ำหนัก | ความสูง | กิจกรรมที่ทำ | เสื้อผ้า | T <sub>a</sub> | RH   | V    | T <sub>g</sub> | ASV  |
|-------|-----|------|---------|---------|--------------|----------|----------------|------|------|----------------|------|
| 113   | ช   | 28   | 58      | 1.65    | 1.0          | 0.86     | 23.0           | 51.4 | 0.45 | 24.9           | 1    |
| 114   | ญ   | 28   | 45      | 1.55    | 1.0          | 0.68     | 23.0           | 51.4 | 0.45 | 24.9           | 0    |
| 115   | ญ   | 23   | 70      | 1.60    | 1.2          | 0.71     | 23.0           | 51.4 | 0.45 | 24.9           | 0    |
| 116   | ช   | 24   | 60      | 1.79    | 1.2          | 0.74     | 23.0           | 51.4 | 0.45 | 24.9           | -0.5 |
| 117   | ญ   | 23   | 70      | 1.60    | 1.2          | 0.71     | 24.3           | 48.7 | 0.12 | 25.0           | 1    |
| 118   | ช   | 24   | 60      | 1.79    | 1.2          | 0.74     | 24.3           | 48.7 | 0.12 | 25.0           | 0    |
| 119   | ช   | 24   | 60      | 1.79    | 1.2          | 0.74     | 25.5           | 46.8 | 0.19 | 25.9           | 0.5  |
| 120   | ญ   | 23   | 70      | 1.60    | 1.2          | 0.71     | 25.5           | 46.8 | 0.19 | 25.9           | 1    |
| 121   | ช   | 24   | 60      | 1.79    | 1.2          | 0.74     | 23.7           | 50.3 | 0.38 | 25.8           | 0.5  |
| 122   | ญ   | 23   | 70      | 1.60    | 1.2          | 0.71     | 23.7           | 50.3 | 0.38 | 25.8           | 0.5  |
| 123   | ญ   | 23   | 70      | 1.60    | 1.2          | 0.71     | 25.5           | 56.1 | 0.30 | 26.7           | 0.5  |
| 124   | ช   | 24   | 60      | 1.79    | 1.2          | 0.74     | 25.5           | 56.1 | 0.30 | 26.7           | 0    |
| 125   | ช   | 24   | 60      | 1.79    | 1.2          | 0.74     | 25.7           | 48.1 | 0.41 | 27.2           | 0.5  |
| 126   | ญ   | 23   | 70      | 1.60    | 1.2          | 0.71     | 25.7           | 48.1 | 0.41 | 27.2           | 2    |
| 127   | ช   | 24   | 60      | 1.79    | 1.2          | 0.74     | 22.9           | 53.7 | 0.14 | 24.6           | 0    |
| 128   | ช   | 24   | 60      | 1.79    | 1.0          | 0.74     | 24.0           | 50.3 | 0.17 | 25.3           | 0    |
| 129   | ญ   | 21   | 49      | 1.68    | 2.0          | 0.72     | 24.0           | 50.3 | 0.17 | 25.3           | 0    |
| 130   | ญ   | 22   | 43      | 1.60    | 2.0          | 0.74     | 24.0           | 50.3 | 0.17 | 25.3           | -1   |
| 131   | ช   | 24   | 60      | 1.79    | 1.2          | 0.74     | 25.6           | 46.0 | 0.03 | 26.0           | 0    |
| 132   | ช   | 24   | 60      | 1.79    | 1.2          | 0.74     | 20.6           | 50.4 | 0.26 | 24.5           | -0.5 |
| 133   | ช   | 24   | 60      | 1.79    | 1.0          | 0.74     | 23.6           | 49.2 | 0.22 | 24.3           | -0.5 |
| 134   | ช   | 24   | 60      | 1.79    | 1.2          | 0.74     | 24.7           | 49.2 | 0.13 | 24.9           | 0    |
| 135   | ช   | 24   | 60      | 1.79    | 1.0          | 0.74     | 22.5           | 49.1 | 0.12 | 24.7           | -0.5 |
| 136   | ญ   | 23   | 70      | 1.60    | 1.2          | 0.71     | 22.5           | 49.1 | 0.12 | 24.7           | 0.5  |
| 137   | ช   | 24   | 60      | 1.79    | 1.0          | 0.74     | 20.3           | 54.0 | 0.30 | 23.1           | -2   |
| 138   | ญ   | 23   | 70      | 1.60    | 1.2          | 0.71     | 20.3           | 54.0 | 0.30 | 23.1           | -0.5 |
| 139   | ญ   | 32   | 59      | 1.60    | 1.2          | 0.77     | 20.3           | 54.0 | 0.30 | 23.1           | 2    |
| 140   | ญ   | 23   | 70      | 1.60    | 1.2          | 0.71     | 22.7           | 50.3 | 0.38 | 23.5           | 0.5  |

ตารางที่ ค.1 ข้อมูลการสำรวจความรู้สึกเชิงอุณหภูมิ (ต่อ)

| ลำดับ | เพศ | อายุ | น้ำหนัก | ความสูง | กิจกรรมที่ทำ | เสื้อผ้า | T <sub>a</sub> | RH   | V    | T <sub>g</sub> | ASV  |
|-------|-----|------|---------|---------|--------------|----------|----------------|------|------|----------------|------|
| 141   | ช   | 24   | 60      | 1.79    | 1.2          | 0.74     | 22.7           | 50.3 | 0.38 | 23.5           | 0    |
| 142   | ช   | 24   | 60      | 1.79    | 1.0          | 0.74     | 25.1           | 45.2 | 0.21 | 26.3           | 0    |
| 143   | ช   | 35   | 74      | 1.69    | 1.2          | 0.96     | 25.1           | 45.2 | 0.21 | 26.3           | 0    |
| 144   | ช   | 24   | 60      | 1.79    | 1.2          | 0.74     | 26.0           | 45.2 | 0.38 | 26.4           | 0    |
| 145   | ญ   | 22   | 57      | 1.57    | 2.0          | 0.98     | 26.0           | 45.2 | 0.38 | 26.4           | 2    |
| 146   | ญ   | 23   | 70      | 1.60    | 1.2          | 0.79     | 21.1           | 55.4 | 0.26 | 21.6           | 0.5  |
| 147   | ช   | 24   | 59      | 1.66    | 1.2          | 0.87     | 21.1           | 55.4 | 0.26 | 21.6           | -2   |
| 148   | ช   | 40   | 50      | 170.00  | 1.0          | 0.88     | 21.9           | 51.3 | 0.23 | 22.1           | -2   |
| 149   | ช   | 24   | 59      | 1.66    | 1.0          | 0.98     | 21.9           | 51.3 | 0.23 | 22.1           | -1   |
| 150   | ญ   | 23   | 70      | 1.60    | 1.2          | 0.79     | 21.9           | 51.3 | 0.23 | 22.1           | -0.5 |
| 151   | ญ   | 23   | 70      | 1.60    | 1.2          | 0.79     | 22.3           | 50.0 | 0.22 | 22.7           | 0    |
| 152   | ช   | 24   | 59      | 1.66    | 1.2          | 0.72     | 22.3           | 50.0 | 0.22 | 22.7           | -0.5 |
| 153   | ญ   | 23   | 70      | 1.60    | 1.2          | 0.79     | 21.7           | 52.0 | 0.25 | 22.0           | -1   |
| 154   | ช   | 24   | 59      | 1.66    | 1.2          | 0.72     | 21.7           | 52.0 | 0.25 | 22.0           | -2   |
| 155   | ญ   | 27   | 43      | 1.53    | 1.2          | 0.67     | 21.7           | 52.0 | 0.25 | 22             | -3   |
| 156   | ช   | 24   | 59      | 1.66    | 1.2          | 0.98     | 22.6           | 51.4 | 0.14 | 22.1           | -0.5 |
| 157   | ช   | 24   | 59.5    | 1.66    | 1.2          | 0.90     | 22.5           | 51.0 | 0.35 | 22.7           | -1   |
| 158   | ญ   | 26   | 52      | 1.60    | 1.2          | 0.48     | 22.5           | 51.0 | 0.35 | 22.7           | -0.5 |
| 159   | ญ   | 23   | 70      | 1.60    | 1.2          | 0.97     | 22.5           | 51.0 | 0.35 | 22.7           | 0    |
| 160   | ช   | 24   | 59      | 1.66    | 1.2          | 0.97     | 21.0           | 64.9 | 0.29 | 20.3           | -2   |
| 161   | ญ   | 23   | 70      | 1.60    | 1.0          | 0.79     | 21.1           | 57.2 | 0.16 | 21.4           | 0    |
| 162   | ญ   | 42   | 70      | 1.60    | 1.0          | 0.98     | 21.1           | 57.2 | 0.16 | 21.4           | -0.5 |
| 163   | ญ   | 22   | 48      | 163.00  | 2.0          | 0.98     | 21.1           | 57.2 | 0.16 | 21.4           | -1   |
| 164   | ญ   | 23   | 70      | 1.60    | 1.2          | 0.79     | 21.3           | 58.4 | 0.08 | 21.6           | 0    |
| 165   | ญ   | 28   | 52      | 1.58    | 1.2          | 0.77     | 21.3           | 58.4 | 0.08 | 21.6           | 0    |
| 166   | ช   | 24   | 59      | 1.66    | 1.2          | 0.98     | 21.3           | 58.4 | 0.08 | 21.6           | -0.5 |
| 167   | ช   | 24   | 59      | 1.66    | 1.2          | 0.98     | 21.8           | 54.8 | 0.11 | 21.6           | -0.5 |
| 168   | ญ   | 23   | 70      | 1.60    | 1.2          | 0.79     | 21.8           | 54.8 | 0.11 | 21.6           | -0.5 |

ตารางที่ ค.1 ข้อมูลการสำรวจความรู้สึกเชิงอุณหภูมิ (ต่อ)

| ลำดับ | เพศ | อายุ | น้ำหนัก | ความสูง | กิจกรรมที่ทำ | เสื้อผ้า | T <sub>a</sub> | RH    | V    | T <sub>g</sub> | ASV  |
|-------|-----|------|---------|---------|--------------|----------|----------------|-------|------|----------------|------|
| 169   | ช   | 24   | 59      | 1.66    | 1.2          | 0.98     | 21.4           | 53.8  | 0.2  | 21.7           | -1   |
| 170   | ญ   | 23   | 70      | 1.60    | 1.2          | 0.79     | 21.4           | 53.8  | 0.2  | 21.7           | 0    |
| 171   | ญ   | 23   | 70      | 1.60    | 1.2          | 0.79     | 22.0           | 52.7  | 0.19 | 22.3           | 0    |
| 172   | ช   | 24   | 59      | 1.66    | 1.2          | 0.98     | 22.0           | 52.7  | 0.19 | 22.3           | -0.5 |
| 173   | ญ   | 27   | 52      | 1.62    | 1.2          | 0.85     | 22.0           | 52.7  | 0.19 | 22.3           | 0    |
| 174   | ญ   | 23   | 70      | 1.60    | 1.2          | 0.90     | 21.1           | 55.4  | 0.26 | 21.6           | -0.5 |
| 175   | ญ   | 23   | 70      | 1.60    | 1.2          | 0.90     | 21.9           | 51.3  | 0.23 | 22.1           | -0.5 |
| 176   | ญ   | 23   | 70      | 1.60    | 1.2          | 0.90     | 22.3           | 50.0  | 0.22 | 22.7           | 0    |
| 177   | ญ   | 23   | 70      | 1.60    | 1.2          | 0.90     | 21.3           | 54.7  | 0.20 | 21.7           | -1   |
| 178   | ญ   | 23   | 70      | 1.60    | 1.2          | 0.90     | 21.8           | 51.4  | 0.14 | 22.1           | -0.5 |
| 179   | ญ   | 26   | 52      | 1.60    | 1.2          | 0.58     | 22.5           | 54.6  | 0.35 | 22.7           | -1   |
| 180   | ญ   | 23   | 70      | 1.60    | 1.2          | 0.90     | 22.5           | 54.6  | 0.35 | 22.7           | 0    |
| 181   | ญ   | 23   | 70      | 1.60    | 1.2          | 0.90     | 20.6           | 64.90 | 0.25 | 20.3           | -0.5 |
| 182   | ญ   | 23   | 70      | 1.60    | 1.2          | 0.90     | 21.1           | 57.20 | 0.16 | 21.4           | 0    |
| 183   | ญ   | 23   | 70      | 1.60    | 1.2          | 0.90     | 21.3           | 58.4  | 0.08 | 21.6           | 0    |
| 184   | ญ   | 23   | 70      | 1.60    | 1.2          | 0.90     | 21.8           | 54.8  | 0.11 | 21.6           | -0.5 |
| 185   | ญ   | 23   | 70      | 1.60    | 1.2          | 0.90     | 21.4           | 53.8  | 0.20 | 21.7           | 0    |
| 186   | ญ   | 34   | 52      | 1.62    | 1.2          | 0.87     | 22.0           | 52.7  | 0.19 | 22.3           | 0    |
| 187   | ญ   | 23   | 70      | 1.60    | 1.2          | 0.90     | 22.0           | 52.7  | 0.19 | 22.3           | 0    |
| 188   | ช   | 25   | 80      | 1.77    | 1.0          | 0.82     | 21.6           | 57.8  | 0.32 | 21.9           | -3   |
| 189   | ช   | 24   | 60      | 1.79    | 1.2          | 0.93     | 21.6           | 57.8  | 0.32 | 21.9           | -0.5 |
| 190   | ช   | 25   | 80      | 1.77    | 1.0          | 0.82     | 21.1           | 57.3  | 0.42 | 21.6           | -2   |
| 191   | ช   | 24   | 60      | 1.79    | 1.2          | 0.93     | 21.1           | 57.3  | 0.42 | 21.6           | -1   |
| 192   | ช   | 25   | 80      | 1.77    | 1.0          | 0.82     | 20.8           | 55.7  | 0.26 | 21.6           | -2   |
| 193   | ช   | 24   | 60      | 1.79    | 1.0          | 0.93     | 20.8           | 55.7  | 0.26 | 21.6           | -0.5 |
| 194   | ช   | 25   | 80      | 1.77    | 1.0          | 0.82     | 21.4           | 55.3  | 0.19 | 21.7           | -1   |
| 195   | ช   | 24   | 60      | 1.79    | 1.0          | 0.93     | 21.4           | 55.3  | 0.19 | 21.7           | -1   |
| 196   | ช   | 25   | 80      | 1.77    | 1.0          | 0.82     | 22.5           | 56.2  | 0.22 | 22.3           | -1   |

ตารางที่ ค.1 ข้อมูลการสำรวจความรู้สึกเชิงอุณหภูมิ (ต่อ)

| ลำดับ | เพศ | อายุ | น้ำหนัก | ความสูง | กิจกรรมที่ทำ | เสื้อผ้า | T <sub>a</sub> | RH   | V    | T <sub>g</sub> | ASV  |
|-------|-----|------|---------|---------|--------------|----------|----------------|------|------|----------------|------|
| 197   | ช   | 24   | 60      | 1.79    | 1.0          | 0.93     | 22.5           | 56.2 | 0.22 | 22.3           | -1   |
| 198   | ช   | 25   | 80      | 1.77    | 1.2          | 0.82     | 21.2           | 60.2 | 0.50 | 21.3           | -3   |
| 199   | ช   | 24   | 60      | 1.79    | 1.2          | 0.93     | 21.2           | 60.2 | 0.50 | 21.3           | -0.5 |
| 200   | ช   | 25   | 80      | 1.77    | 1.0          | 0.82     | 22.1           | 55.3 | 0.18 | 22.2           | -2   |
| 201   | ช   | 24   | 60      | 1.79    | 1.0          | 0.93     | 22.1           | 55.3 | 0.18 | 22.2           | 0    |
| 202   | ช   | 25   | 80      | 1.77    | 1.2          | 0.82     | 23.1           | 56.6 | 0.14 | 22.7           | -1   |
| 203   | ช   | 24   | 60      | 1.79    | 1.0          | 0.93     | 23.1           | 56.6 | 0.14 | 22.7           | 0    |
| 204   | ช   | 25   | 80      | 1.77    | 1.0          | 0.82     | 21.8           | 56.1 | 0.17 | 21.7           | -2   |
| 205   | ช   | 24   | 60      | 1.79    | 1.2          | 0.93     | 21.8           | 56.1 | 0.17 | 21.7           | -0.5 |
| 206   | ช   | 25   | 80      | 1.77    | 1.0          | 0.82     | 21.9           | 54.5 | 0.42 | 22.0           | -2   |
| 207   | ช   | 24   | 60      | 1.79    | 1.0          | 0.93     | 21.9           | 54.5 | 0.42 | 22.0           | -0.5 |
| 208   | ช   | 25   | 80      | 1.77    | 1.2          | 0.82     | 21.0           | 54.2 | 0.25 | 21.4           | -3   |
| 209   | ช   | 24   | 60      | 1.79    | 1.0          | 0.93     | 21.0           | 54.2 | 0.25 | 21.4           | -0.5 |
| 210   | ญ   | 35   | 42      | 1.52    | 1.2          | 1.29     | 21.3           | 58.1 | 0.23 | 23.1           | 0    |
| 211   | ญ   | 27   | 58      | 1.50    | 1.0          | 1.29     | 21.3           | 58.1 | 0.23 | 23.1           | 0    |
| 212   | ญ   | 28   | 48      | 1.60    | 1.0          | 1.15     | 21.3           | 58.1 | 0.23 | 23.1           | -0.5 |
| 213   | ญ   | 26   | 49      | 1.60    | 1.1          | 1.23     | 21.9           | 54.5 | 0.42 | 22.0           | -2   |
| 214   | ญ   | 29   | 48      | 1.60    | 1.2          | 1.23     | 22.1           | 55.3 | 0.18 | 22.2           | -2   |
| 215   | ช   | 24   | 59.5    | 1.66    | 1.2          | 1.06     | 21.4           | 53.8 | 0.20 | 21.7           | -1   |
| 216   | ช   | 24   | 59.5    | 1.66    | 1.2          | 1.06     | 22.0           | 52.7 | 0.19 | 22.3           | -0.5 |
| 217   | ช   | 24   | 59.5    | 1.66    | 1.2          | 1.06     | 21.8           | 54.8 | 0.11 | 21.6           | -0.5 |
| 218   | ญ   | 27   | 41      | 1.50    | 1.0          | 1.29     | 21.8           | 54.8 | 0.11 | 21.6           | -0.5 |
| 219   | ญ   | 28   | 55      | 1.66    | 1.0          | 1.20     | 21.8           | 54.8 | 0.11 | 21.6           | -2   |
| 220   | ช   | 24   | 59.5    | 1.66    | 1.2          | 1.06     | 21.1           | 57.2 | 0.16 | 21.4           | -1   |
| 221   | ญ   | 22   | 48      | 1.63    | 2.0          | 1.29     | 21.1           | 57.2 | 0.16 | 21.4           | -2   |
| 222   | ช   | 42   | 70      | 1.60    | 1.0          | 1.71     | 21.1           | 57.2 | 0.16 | 21.4           | -0.5 |
| 223   | ช   | 24   | 59.5    | 1.66    | 1.2          | 1.06     | 21.3           | 58.4 | 0.08 | 21.6           | -0.5 |
| 224   | ญ   | 28   | 52      | 1.58    | 1.2          | 1.37     | 21.3           | 58.4 | 0.08 | 21.6           | -2   |

ตารางที่ ค.1 ข้อมูลการสำรวจความรู้สึกเชิงอุณหภูมิ (ต่อ)

| ลำดับ | เพศ | อายุ | น้ำหนัก | ความสูง | กิจกรรมที่ทำ | เสื้อผ้า | T <sub>a</sub> | RH   | V    | T <sub>g</sub> | ASV  |
|-------|-----|------|---------|---------|--------------|----------|----------------|------|------|----------------|------|
| 225   | ญ   | 35   | 70      | 1.54    | 1.2          | 1.31     | 22.5           | 54.6 | 0.35 | 22.7           | 0    |
| 226   | ช   | 24   | 59.5    | 1.66    | 1.2          | 1.06     | 20.6           | 64.9 | 0.25 | 20.3           | -2   |
| 227   | ช   | 29   | 59      | 1.70    | 2.0          | 1.23     | 20.6           | 64.9 | 0.25 | 20.3           | 0    |
| 228   | ช   | 41   | 65      | 1.70    | 1.0          | 1.23     | 20.6           | 64.9 | 0.25 | 20.3           | 0    |
| 229   | ช   | 33   | 65      | 1.62    | 1.2          | 1.28     | 20.6           | 64.9 | 0.25 | 20.3           | -2   |
| 230   | ช   | 24   | 59.5    | 1.66    | 1.2          | 1.06     | 22.5           | 54.6 | 0.35 | 22.7           | -0.5 |
| 231   | ช   | 24   | 59.5    | 1.66    | 1.2          | 1.06     | 21.8           | 51.4 | 0.14 | 22.1           | -0.5 |
| 232   | ช   | 48   | 65      | 1.60    | 1.2          | 1.56     | 21.8           | 51.4 | 0.14 | 22.1           | -0.5 |
| 233   | ช   | 24   | 59.5    | 1.66    | 1.2          | 1.06     | 21.3           | 54.7 | 0.20 | 21.7           | -2   |
| 234   | ญ   | 27   | 43      | 1.53    | 1.2          | 1.24     | 21.3           | 54.7 | 0.20 | 21.7           | -3   |
| 235   | ช   | 24   | 59.5    | 1.66    | 1.2          | 1.06     | 22.3           | 50.0 | 0.22 | 22.7           | -0.5 |
| 236   | ญ   | 37   | 42      | 1.60    | 1.2          | 1.64     | 22.3           | 50.0 | 0.22 | 22.7           | -1   |
| 237   | ช   | 24   | 59.5    | 1.66    | 1.2          | 1.06     | 21.1           | 55.4 | 0.26 | 21.6           | -2   |
| 238   | ช   | 24   | 59.5    | 1.66    | 1.2          | 1.06     | 21.9           | 51.3 | 0.23 | 22.1           | -1   |
| 239   | ช   | 40   | 50      | 1.70    | 1.0          | 1.48     | 21.9           | 51.3 | 0.23 | 22.1           | -2   |
| 240   | ช   | 27   | 60      | 1.77    | 1.0          | 1.63     | 21.9           | 51.3 | 0.23 | 22.1           | 0    |
| 241   | ญ   | 28   | 55      | 1.66    | 1.0          | 1.20     | 21.8           | 54.8 | 0.11 | 21.6           | -2   |
| 242   | ญ   | 27   | 41      | 1.50    | 1.0          | 1.64     | 21.8           | 54.8 | 0.11 | 21.6           | -0.5 |
| 243   | ช   | 24   | 59      | 1.66    | 1.0          | 1.25     | 21.1           | 57.2 | 0.16 | 21.4           | -2   |
| 244   | ญ   | 23   | 70      | 1.60    | 1.2          | 1.14     | 21.0           | 64.9 | 0.29 | 20.3           | -0.5 |
| 245   | ช   | 29   | 59      | 1.70    | 2.0          | 1.23     | 21.0           | 64.9 | 0.29 | 20.3           | 0    |
| 246   | ช   | 41   | 65      | 1.70    | 1.0          | 1.23     | 21.0           | 64.9 | 0.29 | 20.3           | -2   |
| 247   | ช   | 33   | 65      | 1.62    | 1.2          | 1.28     | 21.0           | 64.9 | 0.29 | 20.3           | -2   |
| 248   | ญ   | 23   | 70      | 1.60    | 1.2          | 1.53     | 22.6           | 51.4 | 0.14 | 22.1           | -0.5 |
| 249   | ช   | 48   | 65      | 1.60    | 1.2          | 1.52     | 22.6           | 51.4 | 0.14 | 22.1           | -0.5 |
| 250   | ญ   | 35   | 70      | 1.54    | 1.2          | 1.43     | 22.5           | 51.0 | 0.35 | 22.7           | 0    |
| 251   | ญ   | 37   | 42      | 1.60    | 1.0          | 1.64     | 22.3           | 50.0 | 0.22 | 22.7           | -1   |
| 252   | ช   | 27   | 60      | 1.77    | 1.0          | 1.24     | 21.9           | 51.3 | 0.23 | 22.1           | 0    |

ตารางที่ ค.1 ข้อมูลการสำรวจความรู้สึกเชิงอุณหภูมิ (ต่อ)

| ลำดับ | เพศ | อายุ | น้ำหนัก | ความสูง | กิจกรรมที่ทำ | เสื้อผ้า | T <sub>a</sub> | RH   | V    | T <sub>g</sub> | ASV  |
|-------|-----|------|---------|---------|--------------|----------|----------------|------|------|----------------|------|
| 253   | ช   | 33   | 75      | 173.00  | 1.2          | 1.30     | 22.7           | 50.3 | 0.38 | 23.5           | 0.5  |
| 254   | ช   | 24   | 59      | 1.66    | 1.2          | 1.06     | 22.7           | 50.3 | 0.38 | 23.5           | 0    |
| 255   | ญ   | 23   | 52      | 1.63    | 1.2          | 1.29     | 22.7           | 50.3 | 0.38 | 23.5           | 0    |
| 256   | ช   | 33   | 80      | 1.71    | 1.2          | 1.30     | 24.0           | 50.0 | 0.04 | 25.1           | 0    |
| 257   | ญ   | 30   | 50      | 1.63    | 1.0          | 1.03     | 24.0           | 50.0 | 0.04 | 25.1           | -0.5 |
| 258   | ช   | 24   | 59      | 1.66    | 1.2          | 1.06     | 22.5           | 49.1 | 0.12 | 24.7           | -0.5 |
| 259   | ญ   | 22   | 46      | 1.66    | 2.0          | 1.31     | 22.5           | 49.1 | 0.12 | 24.7           | 0    |
| 260   | ช   | 24   | 59      | 1.66    | 1.2          | 1.06     | 20.3           | 54.0 | 0.30 | 23.1           | -0.5 |
| 261   | ช   | 30   | 67      | 1.70    | 1.2          | 1.38     | 24.7           | 49.2 | 0.13 | 24.9           | 0    |
| 262   | ญ   | 33   | 55      | 1.57    | 2.0          | 1.29     | 23.6           | 49.2 | 0.22 | 24.3           | 0    |
| 263   | ญ   | 30   | 50      | 1.57    | 1.1          | 1.29     | 20.6           | 50.4 | 0.26 | 24.5           | 2    |
| 264   | ญ   | 24   | 53      | 1.65    | 1.2          | 1.39     | 25.6           | 46.0 | 0.03 | 26.0           | 1    |
| 265   | ช   | 24   | 59      | 1.66    | 1.2          | 1.06     | 25.7           | 48.1 | 0.41 | 27.2           | 0    |
| 266   | ช   | 30   | 67      | 1.70    | 1.2          | 1.13     | 25.7           | 48.1 | 0.41 | 27.2           | 0    |
| 267   | ญ   | 46   | 60      | 1.60    | 1.2          | 1.12     | 25.7           | 48.1 | 0.41 | 27.2           | 2    |
| 268   | ญ   | 23   | 54      | 1.65    | 1.2          | 1.05     | 22.9           | 53.7 | 0.14 | 24.6           | -1   |
| 269   | ญ   | 44   | 50      | 1.50    | 1.0          | 1.14     | 25.5           | 56.1 | 0.30 | 26.7           | 3    |
| 270   | ญ   | 24   | 59      | 1.66    | 1.2          | 1.06     | 25.5           | 56.1 | 0.30 | 26.7           | 1    |
| 271   | ญ   | 26   | 59      | 1.59    | 1.0          | 1.06     | 23.7           | 50.3 | 0.38 | 25.8           | 2    |
| 272   | ช   | 24   | 59      | 1.66    | 1.2          | 1.06     | 23.7           | 50.3 | 0.38 | 25.8           | 0    |
| 273   | ญ   | 27   | 47      | 1.62    | 1.0          | 1.06     | 23.7           | 50.3 | 0.38 | 25.8           | 1    |
| 274   | ช   | 24   | 59      | 1.66    | 1.2          | 1.06     | 25.5           | 46.8 | 0.19 | 25.9           | 0    |
| 275   | ช   | 24   | 59      | 1.66    | 1.2          | 1.06     | 24.3           | 48.7 | 0.12 | 25.0           | 0    |
| 276   | ญ   | 19   | 51      | 1.57    | 1.2          | 1.06     | 24.3           | 48.7 | 0.12 | 25.0           | 2    |
| 277   | ญ   | 32   | 47      | 1.57    | 1.0          | 1.14     | 23.0           | 51.4 | 0.45 | 24.9           | 0    |
| 278   | ช   | 24   | 59      | 1.66    | 1.2          | 1.06     | 23.0           | 51.4 | 0.45 | 24.9           | -0.5 |
| 279   | ญ   | 31   | 78      | 1.76    | 2.0          | 1.38     | 23.5           | 48.7 | 0.19 | 24.1           | 0    |
| 280   | ช   | 24   | 59      | 1.66    | 1.2          | 1.06     | 23.5           | 48.7 | 0.19 | 24.1           | 0    |

ตารางที่ ค.1 ข้อมูลการสำรวจความรู้สึกเชิงอุณหภูมิ (ต่อ)

| ลำดับ | เพศ | อายุ | น้ำหนัก | ความสูง | กิจกรรมที่ทำ | เสื้อผ้า | T <sub>a</sub> | RH   | V    | T <sub>g</sub> | ASV  |
|-------|-----|------|---------|---------|--------------|----------|----------------|------|------|----------------|------|
| 281   | ช   | 24   | 59      | 1.66    | 1.2          | 1.06     | 22.5           | 51.2 | 0.17 | 24.0           | -0.5 |
| 282   | ญ   | 24   | 50      | 1.63    | 1.2          | 1.29     | 20.0           | 56.5 | 0.63 | 21.7           | 2    |
| 283   | ญ   | 29   | 45      | 1.61    | 1.0          | 1.29     | 20.0           | 56.5 | 0.63 | 21.7           | 3    |
| 284   | ช   | 24   | 59      | 1.66    | 1.2          | 1.06     | 20.0           | 56.5 | 0.63 | 21.7           | -2   |
| 285   | ญ   | 42   | 53      | 1.50    | 1.2          | 1.31     | 26.0           | 45.1 | 0.03 | 26.9           | 0    |
| 286   | ช   | 53   | 67      | 1.62    | 1.2          | 1.30     | 26.0           | 45.1 | 0.03 | 26.9           | 1    |
| 287   | ช   | 24   | 59      | 1.66    | 1.2          | 1.06     | 26.0           | 45.1 | 0.03 | 26.9           | 0    |
| 288   | ช   | 24   | 59      | 1.66    | 1.2          | 1.06     | 23.4           | 52.0 | 0.53 | 25.4           | -0.5 |
| 289   | ช   | 26   | 57      | 1.80    | 1.0          | 1.30     | 25.5           | 45.2 | 0.15 | 27.8           | 1    |
| 290   | ญ   | 33   | 48      | 1.55    | 1.2          | 1.29     | 25.5           | 45.2 | 0.15 | 27.8           | 0    |
| 291   | ช   | 24   | 59      | 1.66    | 1.0          | 1.06     | 25.5           | 45.2 | 0.15 | 27.8           | 0    |
| 292   | ญ   | 26   | 53      | 1.63    | 1.2          | 1.10     | 24.5           | 49.5 | 0.06 | 24.8           | 0    |
| 293   | ญ   | 33   | 49      | 1.50    | 1.0          | 1.38     | 23.9           | 48.7 | 0.48 | 24.1           | 0    |
| 294   | ญ   | 30   | 60      | 1.63    | 1.2          | 1.30     | 24.2           | 49.3 | 0.25 | 24.3           | 0.5  |
| 295   | ช   | 23   | 68      | 1.68    | 1.2          | 1.30     | 24.2           | 49.3 | 0.25 | 24.3           | -0.5 |
| 296   | ช   | 31   | 55      | 1.70    | 1.2          | 1.23     | 24.2           | 49.3 | 0.25 | 24.3           | 0.5  |
| 297   | ช   | 27   | 54      | 1.72    | 1.2          | 1.30     | 24.2           | 49.3 | 0.25 | 24.3           | 0    |
| 298   | ช   | 36   | 61      | 1.75    | 2.0          | 1.37     | 23.1           | 54.9 | 0.09 | 23.7           | -1   |
| 299   | ญ   | 23   | 54      | 1.65    | 1.2          | 1.10     | 23.1           | 54.9 | 0.09 | 23.7           | -3   |
| 300   | ญ   | 25   | 48      | 1.62    | 1.2          | 1.37     | 23.1           | 54.9 | 0.09 | 23.7           | 0    |
| 301   | ญ   | 31   | 60      | 1.60    | 1.0          | 1.28     | 24.1           | 51.0 | 0.21 | 24.5           | -0.5 |
| 302   | ญ   | 28   | 54      | 1.63    | 1.2          | 1.29     | 24.1           | 51.0 | 0.21 | 24.5           | -2   |
| 303   | ญ   | 41   | 53      | 1.50    | 1.2          | 1.31     | 23.9           | 49.2 | 0.07 | 23.9           | 0    |
| 304   | ญ   | 35   | 54      | 1.60    | 1.2          | 1.38     | 23.9           | 49.2 | 0.07 | 23.9           | 0.5  |
| 305   | ช   | 35   | 68      | 1.70    | 1.2          | 1.38     | 21.8           | 52.1 | 0.21 | 24.1           | -2   |
| 306   | ญ   | 32   | 49      | 1.50    | 1.2          | 1.31     | 21.8           | 52.1 | 0.21 | 24.1           | 0    |
| 307   | ญ   | 23   | 52      | 1.59    | 1.0          | 1.39     | 21.8           | 52.1 | 0.21 | 24.1           | 0    |
| 308   | ช   | 31   | 60      | 1.70    | 1.0          | 1.56     | 21.2           | 54.5 | 0.14 | 22.3           | -1   |

ตารางที่ ค.1 ข้อมูลการสำรวจความรู้สึกเชิงอุณหภูมิ (ต่อ)

| ลำดับ | เพศ | อายุ | น้ำหนัก | ความสูง | กิจกรรมที่ทำ | เสื้อผ้า | T <sub>a</sub> | RH   | V    | T <sub>g</sub> | ASV  |
|-------|-----|------|---------|---------|--------------|----------|----------------|------|------|----------------|------|
| 309   | ญ   | 30   | 60      | 1.65    | 1.0          | 1.31     | 21.2           | 54.5 | 0.14 | 22.3           | -2   |
| 310   | ญ   | 29   | 45      | 1.54    | 2.0          | 1.38     | 21.2           | 54.5 | 0.14 | 22.3           | 0    |
| 311   | ช   | 32   | 55      | 1.70    | 1.2          | 1.37     | 22.8           | 49.3 | 0.08 | 23.4           | 0    |
| 312   | ญ   | 29   | 54      | 1.60    | 1.0          | 1.24     | 22.9           | 50.7 | 0.32 | 23.4           | -1   |
| 313   | ญ   | 29   | 39      | 1.50    | 2.0          | 1.01     | 22.9           | 50.7 | 0.32 | 23.4           | -3   |
| 314   | ญ   | 28   | 45      | 1.55    | 1.0          | 1.06     | 22.9           | 50.7 | 0.32 | 23.4           | -3   |
| 315   | ญ   | 22   | 48      | 1.60    | 1.0          | 1.23     | 21.9           | 56.7 | 0.26 | 22.6           | 2    |
| 316   | ช   | 24   | 67      | 1.73    | 1.0          | 1.14     | 21.9           | 56.7 | 0.26 | 22.6           | 0    |
| 317   | ช   | 34   | 78      | 1.65    | 1.2          | 1.37     | 23.6           | 59.1 | 0.09 | 24.0           | 0    |
| 318   | ช   | 41   | 64      | 1.61    | 1.2          | 1.30     | 23.6           | 59.1 | 0.09 | 24.0           | 0    |
| 319   | ญ   | 24   | 73      | 1.68    | 1.2          | 1.06     | 21.5           | 53.2 | 0.29 | 23.4           | 0    |
| 320   | ญ   | 30   | 47      | 1.56    | 1.0          | 1.39     | 21.5           | 53.2 | 0.29 | 23.4           | -0.5 |
| 321   | ช   | 22   | 58      | 1.71    | 2.0          | 1.37     | 23.2           | 51.4 | 0.13 | 24.4           | 2    |
| 322   | ช   | 23   | 50      | 1.65    | 2.0          | 1.30     | 23.2           | 51.4 | 0.13 | 24.4           | 2    |
| 323   | ญ   | 26   | 48      | 1.60    | 1.1          | 1.29     | 23.2           | 51.4 | 0.13 | 24.4           | 0    |
| 324   | ญ   | 43   | 60      | 1.50    | 1.2          | 1.31     | 23.5           | 48.0 | 0.09 | 24.8           | 0    |
| 325   | ช   | 26   | 81      | 1.69    | 2.0          | 0.51     | 24.0           | 45.0 | 1.04 | 26.1           | 2    |
| 326   | ช   | 24   | 59      | 1.66    | 1.2          | 0.63     | 24.0           | 45.0 | 1.04 | 26.1           | 1    |
| 327   | ช   | 24   | 63      | 1.79    | 1.2          | 0.74     | 24.0           | 45.0 | 1.04 | 26.1           | 2    |
| 328   | ญ   | 23   | 70      | 1.60    | 1.2          | 0.68     | 24.0           | 45.0 | 1.04 | 26.1           | 0.5  |
| 329   | ญ   | 22   | 63      | 1.60    | 2.5          | 0.85     | 24.0           | 45.0 | 1.04 | 26.1           | 1    |
| 330   | ญ   | 23   | 70      | 1.60    | 1.2          | 0.68     | 21.3           | 48.2 | 2.46 | 24.2           | 0    |
| 331   | ช   | 26   | 81      | 1.69    | 2.0          | 0.51     | 21.3           | 48.2 | 2.46 | 24.2           | -2   |
| 332   | ช   | 24   | 63      | 1.79    | 1.2          | 0.74     | 21.3           | 48.2 | 2.46 | 24.2           | -2   |
| 333   | ช   | 24   | 59      | 1.66    | 1.2          | 0.63     | 21.3           | 48.2 | 2.46 | 24.2           | -1   |
| 334   | ช   | 26   | 81      | 1.69    | 1.2          | 0.51     | 25.4           | 44.6 | 0.74 | 26.9           | 2    |
| 335   | ช   | 24   | 63      | 1.79    | 1.0          | 0.74     | 25.4           | 44.6 | 0.74 | 26.9           | 0.5  |
| 336   | ช   | 24   | 59      | 1.66    | 1.2          | 0.63     | 25.4           | 44.6 | 0.74 | 26.9           | 1    |

ตารางที่ ค.1 ข้อมูลการสำรวจความรู้สึกเชิงอุณหภูมิ (ต่อ)

| ลำดับ | เพศ | อายุ | น้ำหนัก | ความสูง | กิจกรรมที่ทำ | เสื้อผ้า | T <sub>a</sub> | RH   | V    | T <sub>g</sub> | ASV  |
|-------|-----|------|---------|---------|--------------|----------|----------------|------|------|----------------|------|
| 337   | ญ   | 23   | 70      | 1.60    | 1.2          | 0.68     | 25.4           | 44.6 | 0.74 | 26.9           | 0.5  |
| 338   | ญ   | 25   | 48      | 1.60    | 1.2          | 1.37     | 25.4           | 44.6 | 0.74 | 26.9           | 2    |
| 339   | ช   | 26   | 81      | 1.69    | 1.2          | 0.51     | 22.1           | 51.5 | 2.72 | 24.9           | -1   |
| 340   | ช   | 24   | 63      | 1.79    | 1.0          | 0.74     | 22.1           | 51.5 | 2.72 | 24.9           | 0    |
| 341   | ช   | 24   | 59      | 1.66    | 1.2          | 0.63     | 22.1           | 51.5 | 2.72 | 24.9           | -1   |
| 342   | ญ   | 23   | 70      | 1.60    | 1.2          | 0.68     | 22.1           | 51.5 | 2.72 | 24.9           | 0    |
| 343   | ช   | 26   | 81      | 1.69    | 1.2          | 0.51     | 26.1           | 45.1 | 0.42 | 27.4           | 3    |
| 344   | ช   | 24   | 63      | 1.79    | 1.0          | 0.74     | 26.1           | 45.1 | 0.42 | 27.4           | -2   |
| 345   | ช   | 24   | 59      | 1.66    | 1.2          | 0.63     | 26.1           | 45.1 | 0.42 | 27.4           | -0.5 |
| 346   | ญ   | 35   | 48      | 1.55    | 1.2          | 1.37     | 26.1           | 45.1 | 0.42 | 27.4           | 3    |
| 347   | ช   | 26   | 81      | 1.69    | 1.2          | 0.51     | 21.6           | 58.6 | 2.19 | 24.7           | -2   |
| 348   | ช   | 24   | 63      | 1.79    | 1.0          | 0.74     | 21.6           | 58.6 | 2.19 | 24.0           | -0.5 |
| 349   | ช   | 24   | 59      | 1.66    | 1.2          | 0.63     | 21.6           | 58.6 | 2.19 | 24.7           | -1   |
| 350   | ญ   | 23   | 70      | 1.60    | 1.2          | 0.68     | 21.6           | 58.6 | 2.19 | 24.7           | 0    |
| 351   | ช   | 26   | 81      | 1.69    | 1.2          | 0.51     | 24.4           | 46.6 | 0.90 | 26.7           | 2    |
| 352   | ช   | 24   | 63      | 1.79    | 1.0          | 0.74     | 24.4           | 46.6 | 0.90 | 26.7           | 0    |
| 353   | ช   | 24   | 59      | 1.66    | 1.2          | 0.63     | 24.4           | 46.6 | 0.90 | 26.7           | 1    |
| 354   | ญ   | 23   | 70      | 1.60    | 1.2          | 0.68     | 24.4           | 46.6 | 0.90 | 26.7           | 1    |
| 355   | ช   | 26   | 81      | 1.69    | 1.2          | 0.51     | 23.6           | 43.7 | 0.65 | 26.1           | 2    |
| 356   | ญ   | 23   | 70      | 1.60    | 1.2          | 0.68     | 23.6           | 43.7 | 0.65 | 26.1           | 1    |
| 357   | ช   | 24   | 63      | 1.79    | 1.0          | 0.74     | 23.6           | 43.7 | 0.65 | 26.1           | 1    |
| 358   | ช   | 24   | 59      | 1.66    | 1.2          | 0.63     | 23.6           | 43.7 | 0.65 | 26.1           | 1    |
| 359   | ญ   | 34   | 42      | 1.53    | 1.2          | 1.40     | 23.6           | 43.7 | 0.65 | 26.1           | 3    |
| 360   | ช   | 26   | 81      | 1.69    | 1.2          | 0.51     | 21.8           | 48.0 | 2.12 | 25.1           | -0.5 |
| 361   | ช   | 24   | 63      | 1.79    | 1.0          | 0.74     | 21.8           | 48.0 | 2.12 | 25.1           | 0    |
| 362   | ช   | 24   | 59      | 1.66    | 1.2          | 0.63     | 21.8           | 48.0 | 2.12 | 25.0           | -0.5 |
| 363   | ช   | 26   | 81      | 1.69    | 1.2          | 0.51     | 21.8           | 48.0 | 2.12 | 25.1           | -0.5 |
| 364   | ญ   | 30   | 62      | 1.67    | 1.0          | 1.38     | 21.8           | 48.0 | 2.12 | 25.1           | 3    |

ตารางที่ ค.1 ข้อมูลการสำรวจความรู้สึกเชิงอุณหภูมิ (ต่อ)

| ลำดับ | เพศ | อายุ | น้ำหนัก | ความสูง | กิจกรรมที่ทำ | เสื้อผ้า | T <sub>a</sub> | RH   | V    | T <sub>g</sub> | ASV  |
|-------|-----|------|---------|---------|--------------|----------|----------------|------|------|----------------|------|
| 365   | ช   | 24   | 63      | 1.79    | 1.0          | 0.74     | 24.1           | 52.1 | 2.92 | 25.1           | 0    |
| 366   | ช   | 24   | 59      | 1.66    | 1.2          | 0.63     | 24.1           | 52.1 | 2.92 | 25.1           | 0    |
| 367   | ช   | 26   | 81      | 1.69    | 1.2          | 0.51     | 24.1           | 52.1 | 2.92 | 25.1           | 0    |
| 368   | ญ   | 23   | 70      | 1.60    | 1.2          | 0.68     | 24.1           | 52.1 | 2.92 | 25.1           | 0.5  |
| 369   | ช   | 24   | 63      | 1.79    | 1.0          | 0.74     | 24.9           | 45.5 | 1.57 | 27.8           | 0.5  |
| 370   | ช   | 24   | 59      | 1.66    | 1.2          | 0.63     | 24.9           | 45.5 | 1.57 | 27.8           | 0.5  |
| 371   | ช   | 26   | 81      | 1.69    | 2.0          | 0.51     | 24.9           | 45.5 | 1.57 | 27.8           | 1    |
| 372   | ญ   | 23   | 70      | 1.60    | 1.2          | 0.68     | 24.9           | 45.5 | 1.57 | 27.8           | 0.5  |
| 373   | ช   | 24   | 63      | 1.79    | 1.0          | 0.74     | 25.3           | 45.6 | 0.57 | 28.2           | 1    |
| 374   | ช   | 24   | 59      | 1.66    | 1.2          | 0.63     | 25.3           | 45.6 | 0.57 | 28.2           | 1    |
| 375   | ช   | 26   | 81      | 1.69    | 1.2          | 0.51     | 25.3           | 45.6 | 0.57 | 28.2           | 0.5  |
| 376   | ญ   | 23   | 70      | 1.60    | 1.2          | 0.68     | 25.3           | 45.6 | 0.57 | 28.2           | 1    |
| 377   | ช   | 24   | 63      | 1.79    | 1.0          | 0.74     | 22.3           | 50.9 | 3.15 | 24.6           | 0    |
| 378   | ช   | 24   | 59      | 1.66    | 1.2          | 0.63     | 22.3           | 50.9 | 3.15 | 24.6           | 0    |
| 379   | ช   | 26   | 81      | 1.69    | 1.2          | 0.51     | 22.3           | 50.9 | 3.15 | 24.6           | -0.5 |
| 380   | ญ   | 23   | 70      | 1.60    | 1.2          | 0.68     | 22.3           | 50.9 | 3.15 | 24.6           | -0.5 |
| 381   | ช   | 24   | 63      | 1.79    | 1.0          | 0.74     | 26.6           | 43.0 | 0.56 | 28.9           | 3    |
| 382   | ช   | 24   | 59      | 1.66    | 1.2          | 0.63     | 26.6           | 43.0 | 0.56 | 28.9           | 2    |
| 383   | ช   | 26   | 81      | 1.69    | 1.2          | 0.51     | 26.6           | 43.0 | 0.56 | 28.9           | 3    |
| 384   | ญ   | 23   | 70      | 1.60    | 1.2          | 0.68     | 26.6           | 43.0 | 0.56 | 28.9           | 2    |
| 385   | ช   | 24   | 63      | 1.79    | 1.0          | 0.74     | 25.5           | 43.7 | 0.22 | 28.4           | 3    |
| 386   | ช   | 24   | 59      | 1.66    | 1.2          | 0.63     | 25.5           | 43.7 | 0.22 | 28.4           | 2    |
| 387   | ช   | 26   | 81      | 1.69    | 1.2          | 0.51     | 25.5           | 43.7 | 0.22 | 28.4           | 3    |
| 388   | ญ   | 23   | 70      | 1.60    | 1.2          | 0.68     | 25.5           | 43.7 | 0.22 | 28.4           | 1    |
| 389   | ช   | 26   | 81      | 1.69    | 1.2          | 0.51     | 24.0           | 44.8 | 0.61 | 27.4           | 0.5  |
| 390   | ญ   | 23   | 70      | 1.60    | 1.2          | 0.68     | 24.0           | 44.8 | 0.61 | 27.4           | -0.5 |
| 391   | ช   | 26   | 81      | 1.69    | 1.2          | 0.51     | 19.7           | 53.1 | 3.86 | 24.3           | -3   |
| 392   | ญ   | 23   | 70      | 1.60    | 1.2          | 0.68     | 19.7           | 53.1 | 3.86 | 24.3           | -0.5 |

ตารางที่ ค.1 ข้อมูลการสำรวจความรู้สึกเชิงอุณหภูมิ (ต่อ)

| ลำดับ | เพศ | อายุ | น้ำหนัก | ความสูง | กิจกรรมที่ทำ | เสื้อผ้า | T <sub>a</sub> | RH   | V    | T <sub>g</sub> | ASV  |
|-------|-----|------|---------|---------|--------------|----------|----------------|------|------|----------------|------|
| 393   | ช   | 33   | 70      | 1.79    | 2.0          | 1.38     | 24.0           | 44.8 | 0.61 | 27.4           | 3    |
| 394   | ญ   | 30   | 53      | 1.63    | 1.0          | 1.28     | 24.0           | 44.8 | 0.61 | 27.4           | 3    |
| 395   | ญ   | 22   | 55      | 1.63    | 1.0          | 1.24     | 24.0           | 44.8 | 0.61 | 27.4           | 2    |
| 396   | ช   | 26   | 81      | 1.69    | 1.2          | 0.51     | 25.7           | 44.2 | 0.00 | 28.1           | 2    |
| 397   | ญ   | 23   | 70      | 1.60    | 1.2          | 0.68     | 25.7           | 44.2 | 0.00 | 28.1           | 0.5  |
| 398   | ญ   | 39   | 75      | 1.65    | 1.2          | 0.78     | 25.7           | 44.2 | 0.00 | 28.1           | 3    |
| 399   | ช   | 26   | 81      | 1.69    | 1.2          | 0.51     | 27.7           | 40.0 | 0.25 | 29.3           | 3    |
| 400   | ญ   | 23   | 70      | 1.60    | 1.2          | 0.68     | 27.7           | 40.0 | 0.25 | 29.3           | 3    |
| 401   | ญ   | 35   | 70      | 1.57    | 2.5          | 0.79     | 27.7           | 40.0 | 0.25 | 29.3           | 3    |
| 402   | ช   | 26   | 81      | 1.69    | 1.2          | 0.51     | 21.3           | 56.2 | 2.76 | 24.3           | -0.5 |
| 403   | ญ   | 23   | 70      | 1.60    | 1.2          | 0.68     | 21.3           | 56.2 | 2.76 | 24.3           | 0    |
| 404   | ญ   | 50   | 72      | 1.62    | 2.5          | 0.78     | 21.3           | 56.2 | 2.76 | 24.3           | -0.5 |
| 405   | ช   | 26   | 81      | 1.69    | 2.0          | 0.51     | 23.5           | 49.4 | 2.30 | 25.7           | 0.5  |
| 406   | ญ   | 23   | 70      | 1.60    | 1.2          | 0.68     | 23.5           | 49.4 | 2.30 | 25.7           | 0.5  |
| 407   | ช   | 24   | 59      | 1.66    | 1.2          | 0.63     | 23.5           | 49.4 | 2.30 | 25.7           | 1    |
| 408   | ช   | 26   | 81      | 1.69    | 1.2          | 0.51     | 24.0           | 44.4 | 0.43 | 26.6           | 1    |
| 409   | ญ   | 23   | 70      | 1.60    | 1.2          | 0.68     | 24.0           | 44.4 | 0.43 | 26.6           | 1    |
| 410   | ช   | 24   | 63      | 1.79    | 1.0          | 0.74     | 24.0           | 44.4 | 0.43 | 26.6           | 1    |
| 411   | ช   | 24   | 59      | 1.66    | 1.2          | 0.63     | 24.0           | 44.4 | 0.43 | 26.6           | 1    |
| 412   | ช   | 26   | 81      | 1.69    | 2.0          | 0.51     | 25.1           | 43.7 | 0.72 | 27.2           | 2    |
| 413   | ญ   | 23   | 70      | 1.60    | 1.2          | 0.68     | 25.1           | 43.7 | 0.72 | 27.2           | 0.5  |
| 414   | ช   | 35   | 60      | 1.70    | 1.0          | 0.85     | 28.9           | 39.1 | 0.30 | 31.1           | 3    |
| 415   | ช   | 30   | 75      | 1.72    | 1.0          | 0.78     | 28.9           | 39.1 | 0.30 | 31.1           | 3    |
| 416   | ญ   | 23   | 70      | 1.60    | 1.0          | 0.64     | 28.9           | 39.1 | 0.30 | 31.1           | 3    |
| 417   | ช   | 26   | 85      | 1.78    | 1.0          | 0.77     | 28.9           | 39.1 | 0.30 | 31.1           | 3    |
| 418   | ช   | 39   | 65      | 1.79    | 2.0          | 0.83     | 28.9           | 39.1 | 0.30 | 31.1           | 3    |
| 419   | ญ   | 25   | 48      | 1.61    | 1.2          | 1.29     | 28.9           | 39.1 | 0.30 | 31.1           | 3    |
| 420   | ญ   | 27   | 46      | 1.58    | 2.0          | 0.92     | 28.6           | 40.6 | 0.16 | 30.6           | 3    |

ตารางที่ ค.1 ข้อมูลการสำรวจความรู้สึกเชิงอุณหภูมิ (ต่อ)

| ลำดับ | เพศ | อายุ | น้ำหนัก | ความสูง | กิจกรรมที่ทำ | เสื้อผ้า | T <sub>a</sub> | RH   | V    | T <sub>g</sub> | ASV |
|-------|-----|------|---------|---------|--------------|----------|----------------|------|------|----------------|-----|
| 421   | ญ   | 23   | 70      | 1.60    | 1.2          | 0.64     | 28.6           | 40.6 | 0.16 | 30.6           | 3   |
| 422   | ช   | 30   | 75      | 1.81    | 2.0          | 1.08     | 28.6           | 40.6 | 0.16 | 30.6           | 3   |
| 423   | ช   | 26   | 85      | 1.78    | 1.0          | 0.77     | 28.6           | 40.6 | 0.16 | 30.6           | 3   |
| 424   | ญ   | 23   | 70      | 1.60    | 1.2          | 0.64     | 28.6           | 40.6 | 0.16 | 30.6           | 3   |
| 425   | ญ   | 32   | 50      | 1.63    | 2.0          | 0.44     | 28.6           | 40.6 | 0.16 | 30.6           | 1   |
| 426   | ช   | 26   | 85      | 1.78    | 1.2          | 0.77     | 26.0           | 42.7 | 0.31 | 29.6           | 2   |
| 427   | ญ   | 23   | 70      | 1.60    | 1.2          | 0.64     | 26.0           | 42.7 | 0.31 | 29.6           | 1   |
| 428   | ช   | 27   | 70      | 1.65    | 1.1          | 0.71     | 26.0           | 42.7 | 0.31 | 29.6           | 3   |
| 429   | ช   | 26   | 85      | 1.78    | 1.2          | 0.77     | 29.1           | 41.5 | 0.33 | 31.1           | 3   |
| 430   | ญ   | 23   | 70      | 1.60    | 1.2          | 0.64     | 29.1           | 41.5 | 0.33 | 31.1           | 3   |
| 431   | ญ   | 27   | 45      | 1.62    | 1.2          | 0.78     | 29.1           | 41.5 | 0.33 | 31.1           | 3   |
| 432   | ช   | 27   | 71      | 1.80    | 2.0          | 0.63     | 29.1           | 41.5 | 0.33 | 31.1           | 3   |
| 433   | ช   | 26   | 85      | 1.78    | 1.2          | 0.77     | 23.5           | 48.7 | 2.36 | 27.0           | 1   |
| 434   | ญ   | 23   | 70      | 1.60    | 1.2          | 0.64     | 23.5           | 48.7 | 2.36 | 27.0           | 0   |
| 435   | ญ   | 25   | 42      | 1.61    | 2.0          | 1.35     | 23.5           | 48.7 | 2.36 | 27.0           | 2   |
| 436   | ช   | 26   | 85      | 1.78    | 1.2          | 0.77     | 23.6           | 53.4 | 0.30 | 26.0           | 1   |
| 437   | ญ   | 23   | 70      | 1.60    | 1.2          | 0.64     | 23.6           | 53.4 | 0.30 | 26.0           | 0   |
| 438   | ญ   | 35   | 44      | 1.50    | 1.2          | 0.66     | 23.6           | 53.4 | 0.30 | 26.0           | 0   |
| 439   | ญ   | 38   | 48      | 1.57    | 1.2          | 0.66     | 23.6           | 53.4 | 0.30 | 26.0           | 0.5 |
| 440   | ช   | 26   | 85      | 1.78    | 1.2          | 0.77     | 19.9           | 63.0 | 2.84 | 20.9           | -3  |
| 441   | ญ   | 23   | 70      | 1.60    | 1.2          | 0.64     | 19.9           | 63.0 | 2.84 | 20.9           | -2  |
| 442   | ญ   | 37   | 50      | 1.65    | 2.0          | 0.92     | 19.9           | 63.0 | 2.84 | 20.9           | 0   |
| 443   | ญ   | 31   | 58      | 1.62    | 2.0          | 0.77     | 19.9           | 63.0 | 2.84 | 20.9           | 0   |
| 444   | ช   | 26   | 85      | 1.78    | 2.0          | 0.77     | 20.7           | 56.7 | 3.14 | 21.6           | -3  |
| 445   | ญ   | 23   | 70      | 1.60    | 1.2          | 0.64     | 20.7           | 56.7 | 3.14 | 21.6           | -2  |
| 446   | ช   | 26   | 85      | 1.78    | 1.2          | 0.77     | 20.8           | 52.2 | 3.16 | 22.9           | -2  |
| 447   | ญ   | 23   | 70      | 1.60    | 1.2          | 0.64     | 20.8           | 52.2 | 3.16 | 22.9           | 0.5 |
| 448   | ญ   | 27   | 44      | 1.59    | 1.1          | 1.31     | 24.9           | 45.2 | 0.25 | 26.7           | 0   |

ตารางที่ ค.1 ข้อมูลการสำรวจความรู้สึกเชิงอุณหภูมิ (ต่อ)

| ลำดับ | เพศ | อายุ | น้ำหนัก | ความสูง | กิจกรรมที่ทำ | เสื้อผ้า | T <sub>a</sub> | RH   | V    | T <sub>g</sub> | ASV |
|-------|-----|------|---------|---------|--------------|----------|----------------|------|------|----------------|-----|
| 449   | ญ   | 23   | 42      | 1.58    | 1.1          | 1.21     | 24.9           | 45.2 | 0.25 | 26.7           | 0   |
| 450   | ช   | 26   | 85      | 1.78    | 1.2          | 0.77     | 24.9           | 45.2 | 0.25 | 26.7           | 0   |
| 451   | ญ   | 23   | 70      | 1.60    | 1.2          | 0.64     | 24.9           | 45.2 | 0.25 | 26.7           | 0.5 |
| 452   | ช   | 26   | 85      | 1.78    | 1.0          | 0.77     | 19.6           | 56.1 | 2.54 | 22.2           | -3  |
| 453   | ญ   | 23   | 70      | 1.60    | 1.2          | 0.64     | 19.6           | 56.1 | 2.54 | 22.2           | 0   |
| 454   | ช   | 26   | 85      | 1.78    | 1.2          | 0.77     | 24.1           | 44.8 | 0.10 | 27.4           | 2   |
| 455   | ญ   | 23   | 70      | 1.60    | 1.2          | 0.64     | 24.1           | 44.8 | 0.10 | 27.4           | 0.5 |
| 456   | ญ   | 23   | 53      | 1.60    | 1.1          | 0.49     | 24.1           | 44.8 | 0.10 | 27.4           | 3   |
| 457   | ญ   | 34   | 60      | 1.64    | 1.1          | 1.01     | 24.1           | 44.8 | 0.10 | 27.4           | 3   |
| 458   | ช   | 26   | 85      | 1.78    | 1.2          | 0.77     | 25.6           | 42.5 | 0.09 | 28.2           | 3   |
| 459   | ญ   | 23   | 70      | 1.60    | 1.2          | 0.64     | 25.6           | 42.5 | 0.09 | 28.2           | 0.5 |
| 460   | ช   | 30   | 55      | 1.55    | 1.2          | 1.38     | 25.6           | 42.5 | 0.09 | 28.2           | 3   |
| 461   | ช   | 26   | 85      | 1.78    | 1.2          | 0.77     | 26.4           | 42.2 | 0.04 | 29.5           | 2   |
| 462   | ญ   | 23   | 70      | 1.60    | 1.2          | 0.64     | 26.4           | 42.2 | 0.04 | 29.5           | 1   |
| 463   | ช   | 26   | 85      | 1.78    | 1.2          | 0.77     | 26.4           | 42.2 | 0.04 | 29.5           | 2   |
| 464   | ญ   | 23   | 70      | 1.60    | 1.2          | 0.64     | 26.4           | 42.2 | 0.04 | 29.5           | 1   |
| 465   | ช   | 26   | 85      | 1.78    | 1.2          | 0.77     | 28.6           | 40.1 | 0.17 | 30.7           | 1   |
| 466   | ญ   | 23   | 70      | 1.60    | 1.2          | 0.64     | 28.6           | 40.1 | 0.17 | 30.7           | 2   |
| 467   | ช   | 32   | 80      | 1.75    | 1.0          | 0.96     | 28.6           | 40.1 | 0.17 | 30.7           | 2   |
| 468   | ช   | 26   | 85      | 1.78    | 1.2          | 0.77     | 26.1           | 43.4 | 0.00 | 29.8           | 2   |
| 469   | ญ   | 23   | 70      | 1.60    | 1.2          | 0.64     | 26.1           | 43.4 | 0.00 | 29.8           | 0.5 |
| 470   | ช   | 23   | 45      | 1.60    | 2.0          | 0.78     | 26.1           | 43.4 | 0.00 | 29.8           | 0.5 |
| 471   | ญ   | 30   | 47      | 1.57    | 2.0          | 0.71     | 26.1           | 43.4 | 0.00 | 29.8           | 3   |
| 472   | ญ   | 26   | 53      | 1.49    | 2.0          | 0.71     | 26.1           | 43.4 | 0.00 | 29.8           | 3   |
| 473   | ช   | 26   | 85      | 1.78    | 1.2          | 0.77     | 26.1           | 44.0 | 0.06 | 28.9           | 2   |
| 474   | ญ   | 23   | 70      | 1.60    | 1.2          | 0.64     | 26.1           | 44.0 | 0.06 | 28.9           | 0.5 |
| 475   | ช   | 29   | 75      | 1.75    | 1.0          | 1.38     | 26.1           | 44.0 | 0.06 | 28.9           | 2   |
| 476   | ช   | 26   | 85      | 1.78    | 1.2          | 0.77     | 23.5           | 49.1 | 0.38 | 26.5           | 2   |

ตารางที่ ค.1 ข้อมูลการสำรวจความรู้สึกเชิงอุณหภูมิ (ต่อ)

| ลำดับ | เพศ | อายุ | น้ำหนัก | ความสูง | กิจกรรมที่ทำ | เสื้อผ้า | T <sub>a</sub> | RH   | V    | T <sub>g</sub> | ASV |
|-------|-----|------|---------|---------|--------------|----------|----------------|------|------|----------------|-----|
| 477   | ญ   | 23   | 70      | 1.60    | 1.2          | 0.64     | 23.5           | 49.1 | 0.38 | 26.5           | 0.5 |
| 478   | ญ   | 24   | 52      | 1.67    | 1.1          | 1.37     | 23.5           | 49.1 | 0.38 | 26.5           | 3   |
| 479   | ช   | 33   | 78      | 1.70    | 1.2          | 1.38     | 23.5           | 49.1 | 0.38 | 26.5           | 1   |
| 480   | ช   | 26   | 85      | 1.78    | 1.0          | 0.77     | 22.7           | 50.3 | 1.73 | 26.4           | 0.5 |
| 481   | ญ   | 23   | 70      | 1.60    | 1.2          | 0.64     | 22.7           | 50.3 | 1.73 | 26.4           | 0.5 |
| 482   | ญ   | 24   | 53      | 1.70    | 1.1          | 1.31     | 22.7           | 50.3 | 1.73 | 26.4           | 0   |
| 483   | ญ   | 26   | 55      | 1.64    | 1.1          | 1.31     | 22.7           | 50.3 | 1.73 | 26.4           | 0   |
| 484   | ช   | 26   | 85      | 1.78    | 1.0          | 0.77     | 25.1           | 44.4 | 0.07 | 27.2           | 3   |
| 485   | ญ   | 23   | 70      | 1.60    | 1.2          | 0.64     | 25.1           | 44.4 | 0.07 | 27.2           | 0.5 |
| 486   | ช   | 25   | 62      | 1.75    | 1.2          | 1.5      | 25.1           | 44.4 | 0.07 | 27.2           | 3   |
| 487   | ช   | 40   | 65      | 1.78    | 1.0          | 1.16     | 25.1           | 44.4 | 0.07 | 27.2           | 2   |
| 488   | ช   | 26   | 85      | 1.78    | 1.0          | 0.77     | 28.3           | 39.0 | 0.00 | 30.1           | 2   |
| 489   | ญ   | 23   | 70      | 1.60    | 1.2          | 0.64     | 28.3           | 39.0 | 0.00 | 30.1           | 0.5 |
| 490   | ญ   | 29   | 60      | 1.55    | 2.5          | 0.79     | 28.3           | 39.0 | 0.00 | 30.1           | 2   |
| 491   | ช   | 39   | 75      | 1.70    | 1.2          | 1.38     | 28.3           | 39.0 | 0.00 | 30.1           | 1   |

ภาคผนวก ง

การคำนวณ

### ง.1 การคำนวณหาค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย

เนื่องจากพื้นที่ที่ทำการทดสอบเป็นพื้นที่ภายในอาคารที่มีขนาดใหญ่มาก ดังนั้น จึงทำการตรวจวัดโดยใช้อุปกรณ์ Globe temperature ( $t_g$ ) และใช้สมการการหาอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยด้วยวิธีดังนี้

ง.1.1 การคำนวณหาค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยในกรณีการพาความร้อนแบบธรรมชาติที่มีความเร็วลมน้อยกว่า 0.15 m/s สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.10

$$t_{mrt} = \left[ (t_g + 273)^4 + \left( \frac{0.25 \times 10^8}{\epsilon_g} \right) \times \left| \left( \frac{t_a - t_g}{d} \right)^{0.25} \right| \times (t_a - t_g) \right]^{0.25} - 273$$

จากตารางภาคผนวก ก. ลำดับที่ 74 มีค่าต่างๆ ดังนี้

|   |            |
|---|------------|
| อุณหภูมิโอบ ( $t_g$ )                   | = 24.6 °C  |
| อุณหภูมิอากาศ ( $t_a$ )                 | = 22.9 °C  |
| ความเร็วลม ( $v$ )                      | = 0.14 m/s |
| ค่าการเปล่งรังสีของโอบ ( $\epsilon_g$ ) | = 0.95     |
| เส้นผ่านศูนย์กลางของโอบ( $d$ )          | = 0.15 m   |

เมื่อแทนค่าต่างๆ ลงในสมการที่ 2.10

$$t_{mrt} = \left[ (24.6 + 273)^4 + \left( \frac{0.25 \times 10^8}{0.95} \right) \times \left( \frac{22.9 - 24.6}{0.15} \right)^{0.25} \times (22.9 - 24.6) \right]^{0.25} - 273$$

$$= 25.38 \text{ °C}$$

ง.1.2 การคำนวณหาค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยในกรณีที่มีความเร็วลมมากกว่า 0.15 สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.11

$$t_{mrt} = \left[ (t_g + 273)^4 + \left( \frac{0.11 \times 10^8 v^{0.6}}{\epsilon_g d^{0.4}} \right) \times (t_a - t_g) \right]^{1/4} - 273$$

จากตารางภาคผนวก ก. ลำดับที่ 1 มีค่าต่างๆ ดังนี้

|  |            |
|--|------------|
| อุณหภูมิโอบ (t <sub>o</sub> )            | = 23.1 °C  |
| อุณหภูมิอากาศ (t <sub>a</sub> )          | = 21.3 °C  |
| ความเร็วลม (v)                           | = 0.23 m/s |
| ค่าการเปล่งรังสีของโอบ (ε <sub>o</sub> ) | = 0.95     |
| เส้นผ่านศูนย์กลางของโอบ(d)               | = 0.15 m   |

จะได้ค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย

$$t_{mrt} = \left[ (23.1 + 273)^4 + \left( \frac{0.11 \times 10^8 \times 0.23^{0.6}}{0.95 \times 0.15^{0.4}} \right) \times (21.3 - 23.1) \right]^{1/4} - 273$$

$$= 24.86 \text{ } ^\circ\text{C}$$

### ง.1.2 การคำนวณหาค่าอุณหภูมิโอเปอร์เรทีฟ (t<sub>op</sub>)

สามารถคำนวณค่าอุณหภูมิโอเปอร์เรทีฟได้ดังสมการที่ 2.22 โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนในอิริยาบถการนั่งและการยืนได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.4

$$t_{op} = \frac{h_r t_{mrt} + h_c t_a}{h_r + h_c} \quad (2.22)$$

จากตารางภาคผนวก ก. ลำดับที่ 1 ผู้ทำการทดสอบมีอิริยาบถแบบการยืน มีค่าต่างๆ ดังนี้

|   |                              |
|---|------------------------------|
| h <sub>r</sub>                                | = 4.5 (W/m <sup>2</sup> .°C) |
| h <sub>c</sub>                                | = 3.4 (W/m <sup>2</sup> .°C) |
| อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย (t <sub>mrt</sub> ) | = 24.86 °C                   |
| อุณหภูมิอากาศ (t <sub>a</sub> )               | = 21.3 °C                    |

จะได้ค่าอุณหภูมิโอเปอร์เรทีฟ

$$t_{op} = \frac{(4.5 \times 24.86) + (3.4 \times 21.3)}{(4.5 + 3.4)}$$

$$= 23.33 \text{ W/m}^2 \cdot \text{ } ^\circ\text{C}$$

### ง.1.3 การคำนวณหาค่าการทำนายการไหลเวียน (PMV)

การคำนวณหาค่าการทำนายการไหลเวียนสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.13

$$\begin{aligned} PMV = & (0.303e^{-0.036M} + 0.028)\{(M - W) - 3.05 \times 10^{-3} [5733 - 6.99 M - W - P_a] \\ & - 0.42 \times [(M - W) - 58.15] - 1.7 \times 10^{-5} M (5867 - P_a) - 0.0014M (34 - t_a) \\ & - 3.96 \times 10^{-8} f_{cl} \times [(t_{cl} + 273)^4 - (t_{mrt} + 273)^4] - f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a)\} \end{aligned}$$

จากตารางภาคผนวก ก. ลำดับที่ 1 มีค่าในส่วนต่างๆ ดังนี้

|   |                        |
|---|------------------------|
| อัตราการเผาผลาญพลังงานของร่างกาย (M)          | = 100 W/m <sup>2</sup> |
| งานที่ทำ (W)                                  | = 0                    |
| อุณหภูมิอากาศ (t <sub>a</sub> )               | = 21.3 °C              |
| อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย (t <sub>mrt</sub> ) | = 24.86 °C             |
| ความชื้นสัมพัทธ์ (%RH)                        | = 0.581                |
| ความเร็วลม (v)                                | = 0.23 m/s             |

ความดันอากาศสามารถหาได้จากสมการที่ 2.19

$$\begin{aligned} p_a &= RH \exp\left[18.865 - \frac{4030.18}{t_a + 235}\right] \\ &= 0.581 \times \exp\left[18.865 - \frac{4030.18}{21.3 + 235}\right] \\ &= 14.84 \end{aligned}$$

อัตราส่วนของพื้นผิวของคนกรณีสวมเสื้อผ้าและกรณีไม่สวมเสื้อผ้าสามารถหาได้จากสมการที่ 2.18 เนื่องจากค่า I<sub>cl</sub> มากกว่า 0.078 m<sup>2</sup>K/W

$$f_{cl} = 1.05 + 0.645I_{cl}$$

$$f_{cl} = 1.05 + 0.645(0.0965)$$

$$f_{cl} = 1.1122 \quad \text{m}^2\text{K/W}$$

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสามารถหาได้จากสมการที่ 2.16 ซึ่งเป็นแบบการพาแบบไม่อิสระ เนื่องจากความเร็วลมมากกว่ามากกว่า 0.1 m/s

$$h_c = 2.38(t_{cl} - t_a)^{0.25}$$

ทำการแทนค่า  $h_c$  ลงในสมการ  $t_{cl}$

และอุณหภูมิผิวของเสื้อผ้าหาได้จากสมการ 2.14

$$t_{cl} = 35.7 - 0.028(M - W) - 0.155I_{cl} \{3.96 \times 10^{-8} f_{cl} [(t_{cl} + 273.15)^4 - (t_{mrt} + 273.15)^4] + f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a)\}$$

$$t_{cl} = 35.7 - 0.028(100 - 0) - 0.155I_{cl} \{3.96 \times 10^{-8} (1.1122) [(t_{cl} + 273.15)^4 - (24.86 + 273.15)^4] +$$

$$(1.1122)[2.38(t_{cl} - t_a)](t_{cl} - t_a)\} \quad (\text{ทำการ Trial \& Error เพื่อหาค่า } t_{cl})$$

$$t_{cl} = 28.4430 \text{ } ^\circ\text{C}$$

จะได้ค่าการทำนายการโหวตเฉลี่ย

$$\begin{aligned} PMV &= (0.303e^{-0.036(100)} + 0.028) \{ (100 - 0) - 3.05 \times 10^{-3} [5733 - 6.99(100) - 0 - 14.84] \\ &\quad - 0.42 \times [(100 - 0) - 58.15] - 1.7 \times 10^{-5} (100)(5867 - 14.84) - 0.0014(100) \\ &\quad (34 - 23.1) - 3.96 \times 10^{-8} (1.1122) \times [(28.4430 + 273)^4 - (24.86 + 273)^4] \\ &\quad - (1.1122)(3.8909)(28.4430 - 23.1) \} \\ &= 1.55 \end{aligned}$$

#### ง.1.4 การทำนายร้อยละของความไม่พอใจเชิงอุณหภูมิ (PPD)

การทำนายร้อยละของความไม่พอใจเชิงอุณหภูมิสามารถได้ดังสมการที่ 2.20

$$PPD = 100 - 95e^{-(0.03353(PMV)^4 + 0.2179(PMV)^2)}$$

$$= 100 - 95e^{-(0.03353(1.55)^4 + 0.2179(1.55)^2)}$$

$$= -32.07\%$$

ภาคผนวก จ  
แบบจำลองความไม่สบายเชิงคุณภาพ

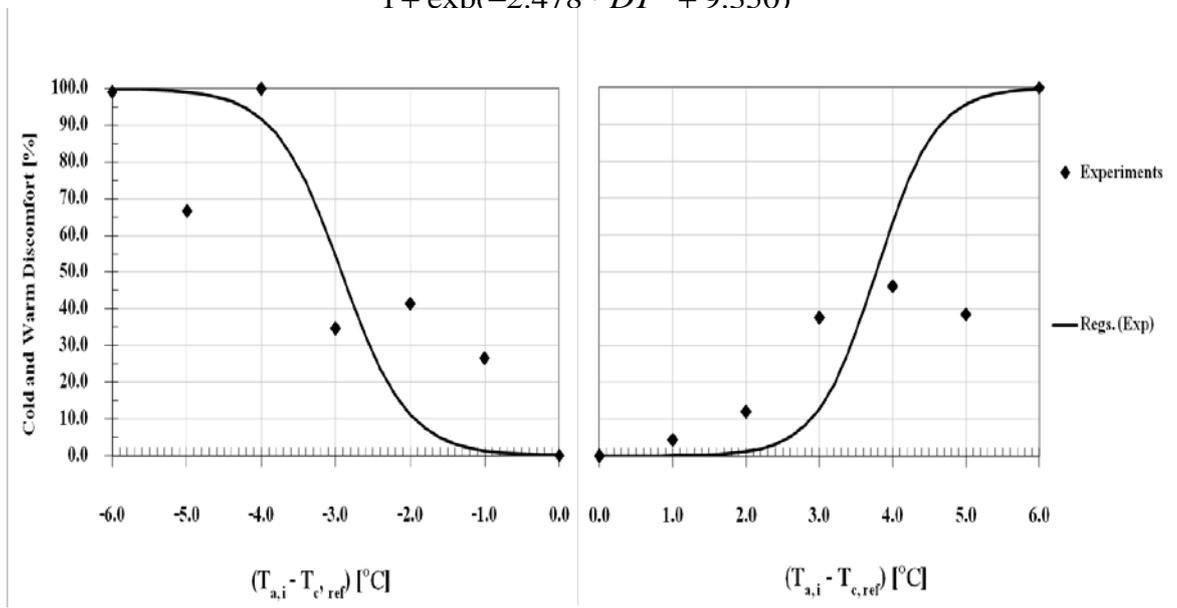
**จ.1** กรณีค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าอยู่ระหว่าง 0.70 - 0.99 clo

(1) วิเคราะห์แบบจำลองความไม่สบายของความรู้สึกเชิงอุณหภูมิอากาศจากการตรวจวัดจริง (ASV)

จากรูปที่ จ.1 แบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างความไม่สบายทางด้านเย็น (ก.) พบว่า ค่า  $C_0 = 7.646$  และ  $C_1 = 2.230$  (สมการที่ จ.1) และจากสมการที่ จ.2 เปอร์เซ็นต์ความไม่สบายทางด้านร้อน (ข.) พบว่า ค่า  $C_0 = 9.214$  และ  $C_1 = -2.595$  ซึ่งในกรณีนี้ใช้อุณหภูมิอ้างอิงที่ 24.5 °C (ตารางที่ 4.25)

$$CD = \left\{ \frac{1}{1 + \exp(2.244 * DT_c + 6.557)} \right\} * 100 \tag{จ.1}$$

$$WD = \left\{ \frac{1}{1 + \exp(-2.478 * DT + 9.350)} \right\} * 100$$



(ก.) ความไม่สบายทางด้านเย็น

(ข.) ความไม่สบายทางด้านร้อน

**รูปที่ จ.1** แบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความไม่สบายทางด้านอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย วิเคราะห์จาก ASV กรณีค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าอยู่ระหว่าง 0.70 - 0.99 clo

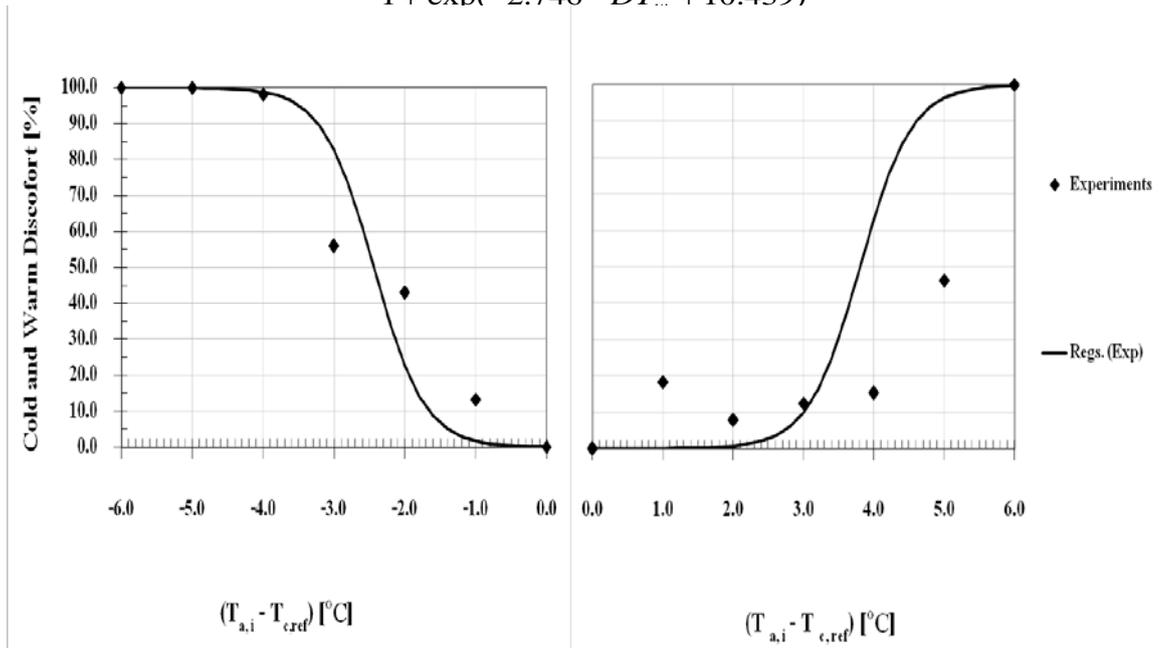
(2) วิเคราะห์แบบจำลองความไม่สบายของค่าการทำงานการไหลเวียนโลหิต (PMV)

สำหรับกรณีนี้จะใช้อุณหภูมิอ้างอิงที่ 24.5 °C เนื่องจากอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยที่ทำให้กลุ่มตัวอย่างรู้สึกสบายเมื่ออุณหภูมิอยู่ระหว่าง 24.0 – 24.9 °C ดังนั้นแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างความไม่สบายทางด้านเย็น (ก.) มีค่า  $C_0 = 6.818$  และ  $C_1 = 2.797$  (สมการที่ จ.3) เมื่ออุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยที่ทำให้กลุ่มตัวอย่างเกิดความรู้สึกไม่สบายทางด้านเย็นมีอุณหภูมิต่ำกว่า 23.9 °C แต่เปอร์เซ็นต์ความไม่

สบายทางด้านร้อน (ข.) ของกลุ่มตัวอย่างเมื่ออุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยสูงกว่า 24.9 °C เมื่อค่า  $C_0 = 10.439$  และ  $C_1 = -2.746$  (สมการที่ จ.4)

$$CD = \left\{ \frac{1}{1 + \exp(2.797 * DT_c + 6.818)} \right\} * 100 \tag{จ.3}$$

$$WD = \left\{ \frac{1}{1 + \exp(-2.746 * DT_r + 10.439)} \right\} * 100 \tag{จ.4}$$



(ก.) ความไม่สบายทางด้านเย็น

(ข.) ความไม่สบายทางด้านร้อน

**รูปที่ จ.2** แบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความไม่สบายทางด้านอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย วิเคราะห์จาก PMV กรณีค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าอยู่ระหว่าง 0.70 - 0.99 clo

รูปที่ จ.2 (ก.) จะเห็นได้ว่ามีค่าที่ได้จากการคำนวณส่วนใหญ่มีแนวโน้มไปในทางเดียวกับเส้นกราฟ S - Curve อีกทั้งยังมีความใกล้เคียงกับกราฟ เช่น ที่อุณหภูมิอากาศแตกต่างกันอยู่ -4 °C มีเปอร์เซ็นต์ของความไม่สบายเชิงอุณหภูมิอากาศของกลุ่มตัวอย่างทางด้านเย็นประมาณ 98.0% แสดงว่าข้อมูล ณ จุดนี้เป็นไปตามทฤษฎี แต่รูปที่ 4.32 (ข.)

**จ.2** กรณีค่าต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าอยู่ระหว่าง 1.00 – 1.45 clo

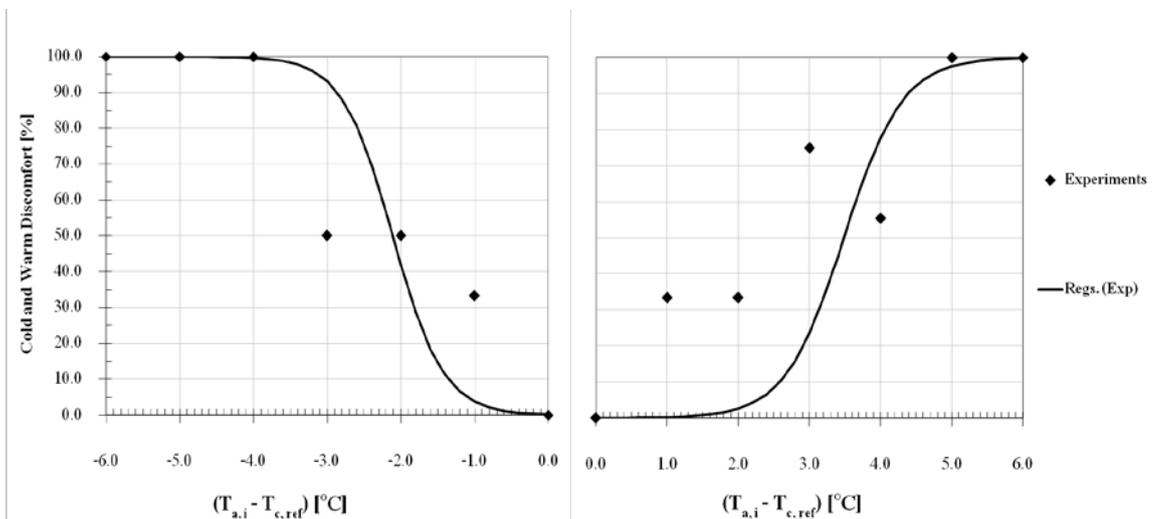
(1) วิเคราะห์แบบจำลองความไม่สบายของความรู้สึกเชิงอุณหภูมิอากาศจากการตรวจวัดจริง (ASV)

ในทำนองเดียวกันกลุ่มกันตัวอย่างเกิดความรู้สึกสบายเมื่ออุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยอยู่ในช่วง 24.0 – 24.9 °C ซึ่งอุณหภูมิอ้างอิงที่ใช้คือ 24.5 °C ดังนั้นแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างความไม่สบายทางด้านเย็น (ก.) พบว่า กลุ่มตัวอย่างเกิดความรู้สึกไม่สบายทางด้านเย็นเมื่ออุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยต่ำกว่า 24.0 °C จากสมการที่ จ.5 เมื่อค่า  $C_0 = 7.066$  และ  $C_1 = 2.132$  แต่เปอร์เซ็นต์ความไม่สบายทางด้านร้อน (ข.) พบว่า กลุ่มตัวอย่างเกิดความรู้สึกไม่สบายทางด้านเย็นเมื่ออุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยสูงกว่า 24.9 °C เมื่อค่า  $C_0 = 6.504$  และ  $C_1 = -2.737$  ดังแสดงไว้ในสมการที่ จ.6

$$CD = \left\{ \frac{1}{1 + \exp(2.132 * DT_c + 7.066)} \right\} * 100 \quad (จ.5)$$

$$WD = \left\{ \frac{1}{1 + \exp(-2.737 * DT_w + 6.504)} \right\} * 100 \quad (จ.6)$$

เมื่อพิจารณาอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยที่ได้จากการตรวจวัดจริงแสดงให้เห็นว่ากลุ่มตัวอย่างสามารถรับรู้ความรู้สึกทางด้านร้อนได้ดีกว่าทางด้านเย็น เนื่องจากจากกลุ่มตัวอย่างมีการสวมใส่เสื้อผ้าที่มีความต้านทานความร้อนต่ำ ดังแสดงในรูปที่ จ.3 จะเห็นได้ว่าค่าที่ได้จากการตรวจวัดจริงทางด้านร้อนส่วนใหญ่มีเปอร์เซ็นต์ของความไม่สบายมากกว่าทางด้านเย็น



(ก.) ความไม่สบายทางด้านเย็น

(ข.) ความไม่สบายทางด้านร้อน

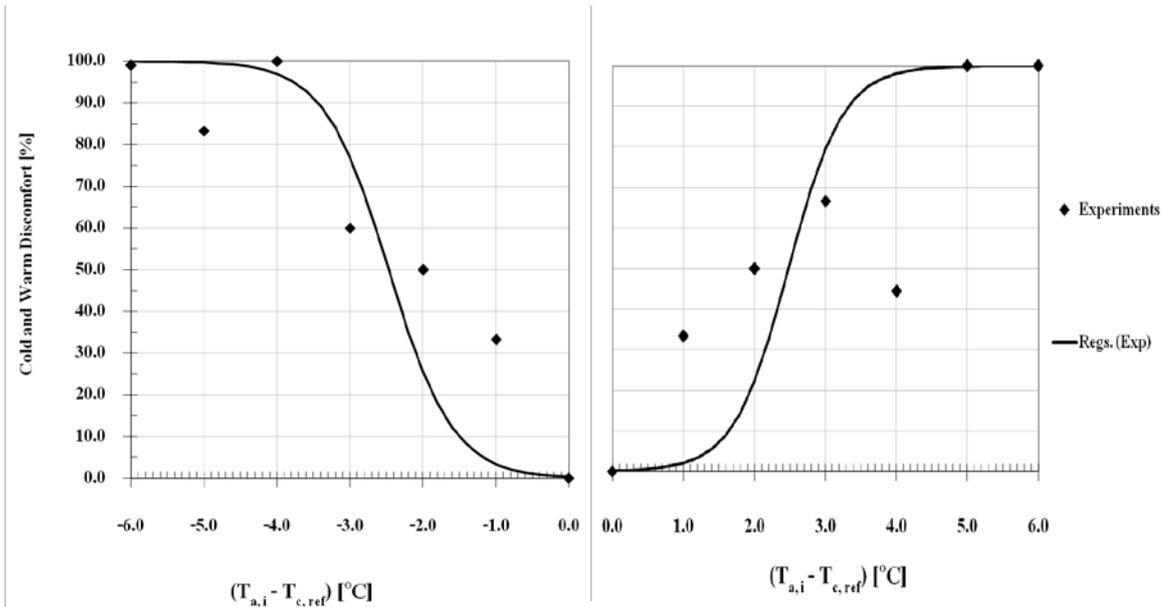
**รูปที่ จ.3** แบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความไม่สบายทางด้านอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย วิเคราะห์จาก ASV กรณีค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าอยู่ระหว่าง 1.00 - 1.45 clo

(2) วิเคราะห์แบบจำลองความไม่สบายของค่าการทํานายการโหวตเฉลี่ย (PMV)

จากรูปที่ จ.4 ใช้อุณหภูมิอ้างอิงที่ 24.5 °C เนื่องจากกลุ่มตัวอย่างรู้สึกสบายเมื่ออุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 24.0 – 24.9 °C ทำให้แบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างความไม่สบายทางด้านเย็น (ก.) มีค่า  $C_0 = 5.934$  และ  $C_1 = 2.265$  ดังแสดงไว้ในสมการที่ จ.7 ซึ่งอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยที่ทำให้กลุ่มตัวอย่างเกิดความรู้สึกไม่สบายทางด้านเย็นเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า 24.0 °C และกลุ่มตัวอย่างเกิดความรู้สึกไม่สบายทางด้านร้อนเมื่ออุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยสูงกว่า 24.9 °C เมื่อเปอร์เซ็นต์ความไม่สบายทางด้านร้อน (ข.) มีค่า  $C_0 = 8.442$  และ  $C_1 = -2.839$  ดังแสดงไว้ในสมการที่ จ.8

$$CD = \left\{ \frac{1}{1 + \exp(2.265 * DT_c + 5.934)} \right\} * 100 \tag{จ.7}$$

$$WD = \left\{ \frac{1}{1 + \exp(-2.839 * DT_w + 8.442)} \right\} * 100 \tag{จ.8}$$



(ก.) ความไม่สบายทางด้านเย็น

(ข.) ความไม่สบายทางด้านร้อน

**รูปที่ จ.4** แบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความไม่สบายทางด้านอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย วิเคราะห์จาก PMV กรณีค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าอยู่ระหว่าง 1.00 - 1.45 clo

จากรูปที่ จ.4 (ก.) จะเห็นว่าค่าที่ได้จากค่าการทํานายการโหวตเฉลี่ยเกือบทุกจุดอยู่เหนือเส้นกราฟ เช่น ที่อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยแตกต่างกันอยู่ -2 °C นั้น มีเปอร์เซ็นต์ของความไม่สบายเชิงอุณหภูมิของ กลุ่มตัวอย่างทางด้านเย็นประมาณ 50.0% ซึ่งถ้าเป็นไปตามทฤษฎีที่อุณหภูมิเดียวกันจะมีเปอร์เซ็นต์

ของกลุ่มตัวอย่างทางด้านเย็นประมาณ 25% แสดงว่าคนเราสามารถรับรู้ถึงการแผ่รังสีความร้อนได้น้อยกว่าจากทางทฤษฎี แต่ถ้าเลขอนุหภูมิที่จุดหนึ่งไปคนเราสามารถปรับตัวและสามารถอดทนกับการแผ่รังสีความร้อนได้ดีกว่าค่าจากทางทฤษฎี เช่นเดียวกับความไม่สบายทางด้านร้อนดังรูปที่รูปที่ จ.4 (จ.)

## ประวัติผู้วิจัย

|                          |  |
|--------------------------|--|
| ชื่อ-สกุล                | นางสาวสุภารัตน์ รัตนวิจิตร   |
| วัน เดือน ปีเกิด         | 21 พฤษภาคม 2531  |
| ประวัติการศึกษา          |  |
| ระดับปริญญาตรี           | วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม<br>คณะวิศวกรรมศาสตร์<br>มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี พ.ศ. 2552  |
| ระดับปริญญาโท            | วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการพลังงาน<br>คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ<br>มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี พ.ศ. 2555  |
| ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์ | สุภารัตน์ รัตนวิจิตร, กุสภานา ภูษา และพัฒนะ รักความสุข,<br>2555, “ความไม่สบายเชิงอุณหภูมิในอาคารโดยสารสาธารณะ”,<br>การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัย<br>สุโขทัยธรรมาธิราช, ครั้งที่ 2,<br>4 กันยายน 2555, นนทบุรี |