

การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาราช ครั้งที่ 2

The 2nd STOU Graduate Research Conference

ความไม่สบายเชิงอุณหภูมิในอาคารโดยสารสาธารณะ

Thermal Discomfort in a Public Terminal Building

สุภารัตน์ รัตนวิจิตร (Suparat Rattanavijit)* กุสกานา กุบาฮา (Kuskana Kubaha)**

พัฒนะ รักความสุข (Pattana Rakkwamsuk)***

บทคัดย่อ

การวิจัยเชิงสำรวจนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาตัวแปรที่ส่งผลให้เกิดสภาวะความไม่สบายเชิงอุณหภูมิในอาคารโดยสารสาธารณะ เพื่อสร้างแบบจำลองความไม่สบายเชิงอุณหภูมิของผู้อาศัยในอาคาร

โดยทำการสำรวจสภาวะแวดล้อมภายในอาคารและการตอบแบบสอบถามของบุคคล จากกลุ่มตัวอย่างจำนวน 491 กลุ่มตัวอย่าง การศึกษา แบ่งเป็น 2 ส่วน ดังนี้ ส่วนแรกทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าการโหวดความรู้สึเชิงอุณหภูมิจากการตรวจวัดจริงและค่าการทำนายการโหวดเฉลี่ยกับตัวแปรที่มีผลต่อความไม่สบายเชิงอุณหภูมิในสภาวะแวดล้อมของอาคาร ส่วนที่สองเป็นการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของความไม่สบายเชิงอุณหภูมิจากกลุ่มตัวอย่างข้างต้น

ผลการศึกษาส่วนแรกเมื่อพิจารณาจากความรู้สึเชิงอุณหภูมิจากการตรวจวัดจริงพบว่า กลุ่มตัวอย่างเกิดความไม่สบายทางด้านเย็นเมื่ออุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย และอุณหภูมิโอเปอร์เรทีฟมีค่าต่ำกว่า 23.0, 23.5 และ 23.0 °C ในทางกลับกันกลุ่มตัวอย่างมีความรู้สึไม่สบายทางด้านร้อนเมื่อมีอุณหภูมิสูงกว่า 24.5, 27.0 และ 25.0 °C ตามลำดับ ในทำนองเดียวกันสำหรับค่าการทำนายการโหวดเฉลี่ย พบว่า กลุ่มตัวอย่างเกิดความไม่สบายทางด้านเย็นเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า 23.5, 24.0 และ 23.5 °C กลุ่มตัวอย่างเกิดความไม่สบายทางด้านร้อนเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 25.0, 28.0 และ 26.0 °C ส่วนที่สองการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของความไม่สบายเชิงอุณหภูมิทั้งทางด้านเย็นและด้านร้อน โดยแบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ใส่เสื้อผ้าน้อยกว่า 1 clo และมากกว่า 1 clo ขึ้นไป ซึ่งสมการถดถอยที่ได้แสดงในรูปแบบของ Exponential จากผลการวิเคราะห์ความไม่สบายจากแบบจำลองที่พัฒนานี้แล้วพบว่า กลุ่มตัวอย่างที่มีการสวมใส่เสื้อผ้าต่ำกว่า 1 clo จะเกิดความไม่สบายทางด้านเย็นเมื่ออุณหภูมิอากาศต่ำกว่า 23.9 °C และทางด้านร้อนสูงกว่า 25.0 °C แต่อีกกลุ่มหนึ่งที่มีการสวมใส่เสื้อผ้า 1 clo ขึ้นไป กลุ่มตัวอย่างเกิดความไม่สบายทางด้านเย็นเมื่ออุณหภูมิอากาศต่ำกว่า 21.9 °C และทางด้านร้อนสูงกว่า 23.0 °C โดยที่ทั้งสองกลุ่มมีค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยที่เท่ากันคือ เมื่ออุณหภูมิทางด้านเย็นต่ำกว่า 24.9 °C และทางด้านร้อนสูงกว่า 26.0 °C จากผลการพัฒนาแบบจำลองนี้สามารถนำมาใช้ประโยชน์เพื่อเป็นแนวทางการประเมินสภาวะเชิงอุณหภูมิของบุคคลที่รู้สึไม่สบายในกรณีปรับอากาศในพื้นที่ต่างๆ ได้

คำสำคัญ ความไม่สบายเชิงอุณหภูมิ ค่าการ โหวดความรู้สึเชิงอุณหภูมิ แบบจำลองความไม่สบายเชิงอุณหภูมิ

* นักศึกษาหลักสูตรการจัดการพลังงาน คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

e-mail address s.rattanavijit@hotmail.com

** ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

e-mail address kuskana.kub@kmutt.ac.th

*** อาจารย์ คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี e-mail address pattana.ru@kmutt.ac.th

Abstract

The objective of this survey research was to study parameters influencing to thermal discomfort in a public terminal building in order to model thermal discomfort of occupants in the building.

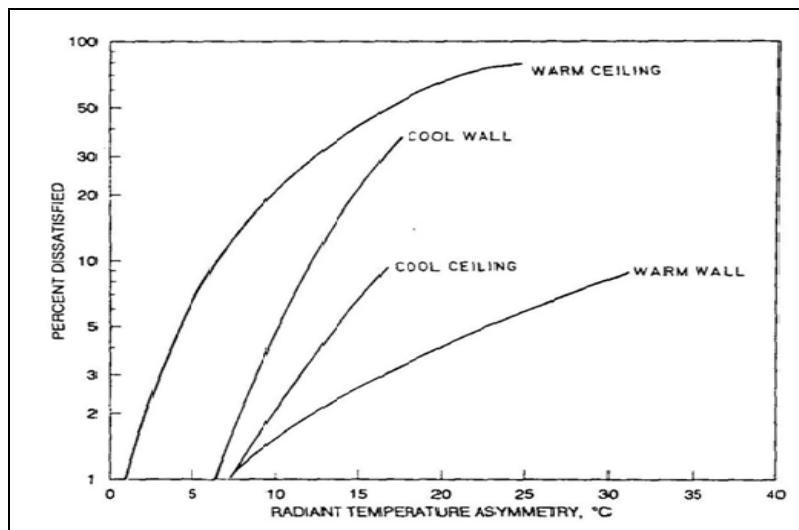
The internal environmental parameters and questionnaires of 491 samples were conducted in the study. The study was divided into two stages. The first part was to study a relationship of environmental parameters in which influencing to Actual Sensation Vote (ASV) and Predicted Mean Vote (PMV) to thermal discomfort of people in the building. The second part was to develop a mathematical model of the thermal discomfort from the above samples.

The results of the study, when considering the ASV, the samples felt cold discomfort when the air temperature, the mean radiant temperature and the operative temperature were lower than 23.0, 23.5 and 23.0°C. In the other hand, the subjects found warm discomfort when the temperatures were greater than 24.5, 27.0 and 25.0°C, respectively. Similarly, when considering the PMV the samples found cold discomfort when the temperatures were below than 23.5, 24.0 and 23.5°C. The warm discomfort of the samples performed when the temperatures were greater than 25.0, 28.0 and 26.0°C, respectively. The second part was to develop the mathematical model of thermal discomfort both cold and warm discomfort. The samples were grouped into two groups: the samples with clothing level which lower than 1 clo, and greater than 1 clo. The regression equation found as exponential equation. The analysis results from the developed equation, the subjects with clothing level lower than 1 clo performed cold discomfort was lower than 23.9 °C and performed warm discomfort when the air temperature greater than 25.0 °C. Another ground in which clothing level greater than 1 clo, the people performed cold discomfort and warm discomfort when the air temperature lower than 21.9 °C and higher than 26.0 °C, respectively. From 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: Thermal discomfort, Actual sensation vote, Thermal discomfort model

บทนำ

การปรับสภาวะแวดล้อมให้เกิดความสบาย (Thermal Comfort) โดยเฉพาะในอาคารที่มีการปรับอากาศเป็นสิ่งที่ผู้ออกแบบจำเป็นต้องคำนึงถึง เพื่อให้ผู้อยู่อาศัยรู้สึกสบายและมีประสิทธิภาพการทำงานที่ดี โดยตัวแปรที่มีผลต่อความสบายเชิงอุณหภูมิด้วยกัน 6 ตัวแปร สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนด้วยกัน คือ ส่วนแรกเป็นตัวแปรทางด้านสภาพแวดล้อม มีทั้งหมด 4 ตัวแปร ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ (Air Temperature) อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย (Mean Radiant Temperature) ความชื้นสัมพัทธ์อากาศ (Relative Humidity) และความเร็วอากาศ (Air Velocity) และส่วนที่สองเป็นตัวแปรทางด้านบุคคลมีทั้งหมด 2 ตัวแปร ได้แก่ กิจกรรมที่ทำอยู่ (Activity Level) และลักษณะของเสื้อผ้าที่สวมใส่ (Clothing) และทั้งนี้ผู้ออกแบบจะต้องหลีกเลี่ยงไม่ให้เกิดความไม่สบายเชิงอุณหภูมิที่อาจเกิดขึ้นได้ ซึ่งมีสาเหตุมาจากความไม่สบายเนื่องจากสภาวะแวดล้อมที่ไม่สมดุล (Asymmetric Environment) เกิดจากความแตกต่างระหว่างผลต่างของอุณหภูมิการแผ่รังสีระหว่างผู้อยู่อาศัยกับสิ่งแวดล้อม เช่น ผนังด้านซ้ายร้อนกับผนังด้านขวาเย็น และฝ้าเพดานร้อน (Fanger: 1970) เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 1 ผลของอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยจากสิ่งรอบด้านที่ส่งผลต่อความไม่สบายของคน เช่น เพดานร้อน (Warm Ceiling) มีเปอร์เซ็นต์ของคนที่ไม่พึงพอใจมากที่สุดรองลงมาก็คือ ผนังห้องเย็น เป็นต้น นอกจากนี้จากการศึกษาของ Melikov et al. (1989) และ Guohui (1993) ถึงความไม่สบายเชิงอุณหภูมิเฉพาะที่ (Local Thermal Discomfort) โดยมีการศึกษาในพื้นที่ที่มีการปรับอากาศ เช่น สำนักงานต่างๆ ห้องเรียน และห้องประชุม หรือแม้กระทั่งในรถยนต์ พบว่าตัวแปรต่างๆ ที่ส่งผลต่อความสบายเชิงอุณหภูมิคือ อุณหภูมิอากาศภายในห้องสำนักงานหรือห้องปรับอากาศจะมีการปรับอุณหภูมิไว้ต่ำสุดอยู่ที่ 18 – 22 °C และให้มีการระบายอากาศที่ต่ำ มีแรงลมต่ำและมีอุณหภูมิของลมที่จ่ายอยู่ที่ 2 - 4 °C ซึ่งต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายในห้อง การเกิดสภาวะไม่สบายที่เท่านี้เนื่องจากได้รับความเย็นจากลมที่จ่ายเข้ามาโดยตรง ความเร็วลมประมาณ 0.2 เมตรต่อวินาที เป็นความเร็วลมที่ยอมรับได้



รูปที่ 1 ผลต่างอุณหภูมิการแผ่รังสีระหว่างคนกับเพดานและคนกับผนังห้องที่มีต่อความรู้สึกไม่สบายเชิงอุณหภูมิ

สำหรับงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงตัวแปรที่ส่งผลให้เกิดความไม่สบายเชิงอุณหภูมิ โดยศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าการ โหวตความรู้สึกเชิงอุณหภูมิจากการตรวจวัดจริง และการทำนายค่าการ โหวตเฉลี่ยกับตัวแปรที่ทำให้เกิดความไม่สบายเชิงอุณหภูมิต่อสภาวะแวดล้อมทั่วไปของอาคาร โดยสารสาธารณะ ที่มีโครงสร้างกรอบอาคารส่วนใหญ่เป็น

กระจกทำให้แสงแดดสามารถผ่านเข้ามาในอาคาร ได้เกือบทั้งพื้นที่ของอาคาร และมีพื้นที่บางส่วนได้รับแสงแดดจากดวงอาทิตย์ตลอดทั้งวัน ซึ่งอาจส่งผลให้ผู้อยู่หรือใช้พื้นที่ในบริเวณดังกล่าวเกิดความรู้สึกไม่สบายได้

วัตถุประสงค์การวิจัย

ศึกษาตัวแปรที่ส่งผลให้เกิดสภาวะความไม่สบายเชิงอุณหภูมิในอาคาร และเพื่อสร้างแบบจำลองความไม่สบายเชิงอุณหภูมิของผู้อาศัยในอาคาร

วิธีดำเนินการวิจัย

การเก็บข้อมูลสภาวะอากาศศึกษาสภาวะแวดล้อมในอาคาร โดยการวัดอุณหภูมิของอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม และอุณหภูมิโกลบ พร้อมทั้งใช้แบบสอบถามเพื่อให้กลุ่มตัวอย่างได้โหวตความรู้สึกเชิงอุณหภูมิจากการตรวจวัดจริง (Actual Sensation Vote: ASV) ว่าในสภาวะนั้นรู้สึกอย่างไร เช่น ร้อน หรือหนาว เป็นต้น โดยอ้างอิงมาจาก ASHRAE Standard 55 (1992) ที่มีการแบ่งไว้ 7 ระดับ แต่เพื่อให้รับรู้ความรู้สึกได้ละเอียดมากขึ้น จึงเพิ่มระดับที่ -0.5 และ +0.5 ทำให้ระดับของความรู้สึกเป็น 9 ระดับ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าการโหวตความรู้สึกเชิงอุณหภูมิ

Thermal Sensation Scale	-3	-2	-1	-0.5	0	+0.5	+1	+2	+3
	หนาว	เย็น	ค่อนข้างเย็น	เย็นเล็กน้อย	พอดี	อุ่นเล็กน้อย	ค่อนข้างอุ่น	อุ่น	ร้อน

การวิเคราะห์ค่าการทำนายค่าการโหวตเฉลี่ย (Predicted Mean Vote: PMV) จากข้อมูลที่ได้จากสภาวะแวดล้อมไป วิเคราะห์ความสบายเชิงอุณหภูมิ ดังสมการที่ 1 (Fanger: 1972)

$$PMV = (0.303e^{-0.036M} + 0.028)\{(M - W) - 3.05 \times 10^{-3} [5733 - 6.99 M - W - P_a] - 0.42 \times [(M - W) - 58.15] - 1.7 \times 10^{-5} M (5867 - P_a) - 0.0014M (34 - t_a) - 3.96 \times 10^{-8} f_{cl} \times [(t_{cl} + 273)^4 - (T_{mrt} + 273)^4] - f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a)\} \quad (1)$$

โดยที่ M คือพลังงานความร้อนในร่างกายที่เกิดจากกระบวนการ Metabolic rate (W/m^2), W คือระดับการทำงาน (W/m^2), P_a คือความดันไอน้ำในอากาศ (Pa), t_a คืออุณหภูมิอากาศ ($^{\circ}C$), T_{mrt} คืออุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย ($^{\circ}C$), t_{cl} คืออุณหภูมิผิวเสื้อผ้า ($^{\circ}C$), f_{cl} คืออัตราส่วนของพื้นผิวของคนที่สวมเสื้อผ้าและกรณีไม่สวมเสื้อผ้า (ND), h_c คือสัมประสิทธิ์การพาความร้อน ($W/m^2.K$) จากค่า ASV และ PMV ที่ได้จากการสำรวจและการคำนวณจะนำมาสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อใช้ในการประเมินความไม่สบายของกลุ่มตัวอย่างที่ได้จากการสำรวจนี้

ผลการศึกษา

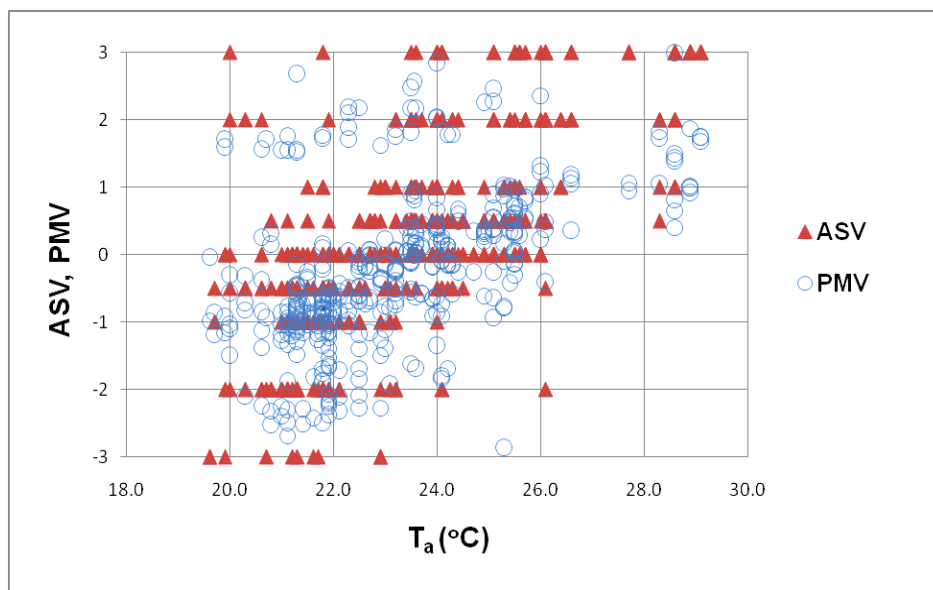
จากผลการศึกษาจากการตรวจวัดสภาพแวดล้อม และการใช้แบบสอบถามจากจำนวนกลุ่มตัวอย่าง 491 กลุ่ม ซึ่ง แบ่งเป็นผู้ชาย 279 คน และผู้หญิง 212 คน และเนื่องจากการสวมใส่เสื้อผ้าที่ค่อนข้างหลากหลาย ดังนั้น จึงแบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็น 2 กลุ่มตัวอย่างได้ดังนี้ กลุ่มที่ 1 ใส่เสื้อผ้าแบบสบายๆ เช่น เสื้อโปโลและกางเกงยีนส์ชายาวสวมชุดชั้นในและรองเท้าทั่วไป เป็นต้น ซึ่งมีค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าต่ำกว่า 1 clo (0.40 – 0.99 clo) และกลุ่มที่ 2

ใส่เสื้อผ้าที่มีค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าตั้งแต่ 1 clo ขึ้นไป (1.00 – 1.45 clo) ซึ่งในกลุ่มนี้จะใส่เสื้อคลุมเพิ่มจากการใส่เสื้อผ้าแบบปกติ เช่น มีการใส่เสื้อสูท หรือเสื้อแจ็กเกต เป็นต้น

การวิเคราะห์ค่า ASV เปรียบเทียบกับค่า PMV

อุณหภูมิอากาศ (Air Temperature: T_a)

จากรูปที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศ (T_a) กับค่าการโหวตความรู้สึกเชิงอุณหภาพจากการตรวจวัดจริง (ASV) และการทำนายค่าการโหวตเฉลี่ย (PMV) พบว่า ข้อมูลมีการกระจายตัวอย่างมากตั้งแต่ช่วงอุณหภูมิ 19.0 – 29.0 °C เนื่องจากพื้นที่อาคารมีขนาดใหญ่มากและมีการทำกิจกรรมแต่ละพื้นที่ที่แตกต่างกันไป จึงทำให้อุณหภูมิอากาศแต่ละพื้นที่ไม่เท่ากัน ดังนั้นถ้าพิจารณาช่วงของการยอมรับ ASV ระหว่าง -0.5 ถึง +0.5 พบว่า อุณหภูมิอากาศที่ทำให้กลุ่มตัวอย่างเกิดความรู้สึกไม่สบายทางด้านเย็นเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า 23.00 °C และด้านร้อนสูงกว่า 24.50 °C และถ้าพิจารณาช่วงของการยอมรับ PMV ในช่วงเดียวกันค่าที่ได้จะแตกต่างกับ AMV พอสมควร ทำให้ทราบว่าอุณหภูมิของอากาศที่ทำให้กลุ่มตัวอย่างเกิดความรู้สึกไม่สบายทางด้านเย็นเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า 23.50 °C และทางด้านร้อนสูงกว่า 25.00 °C แสดงให้เห็นว่าที่อุณหภูมิเดียวกันกลุ่มตัวอย่างที่ได้จากแบบสอบถามมีความรู้สึกไม่สบายทางด้านเย็นและด้านร้อนต่ำกว่าค่าที่ได้จากการคำนวณ

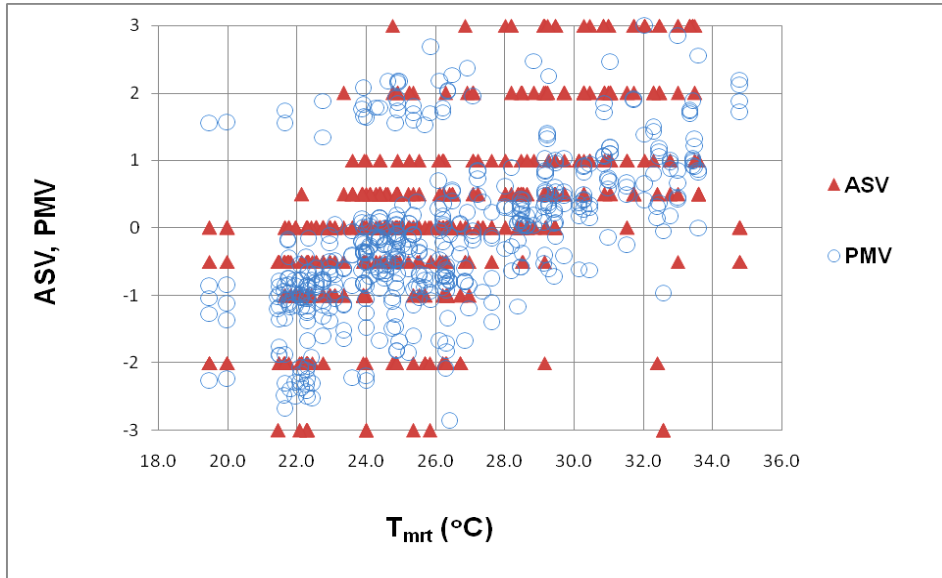


รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่าง T_a กับ ASV และ PMV

อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย (Mean Radiant Temperature: T_{mrt})

ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย (T_{mrt}) กับค่าการโหวตความรู้สึกเชิงอุณหภาพจากการตรวจวัดจริง (ASV) และการทำนายค่าการโหวตเฉลี่ย (PMV) ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3 พบว่า ข้อมูลมีการกระจายตัวอย่างมากตั้งแต่ช่วงอุณหภูมิ 19.0 – 35.0 °C เมื่อพิจารณาช่วงของการยอมรับ ASV ระหว่าง -0.5 ถึง +0.5 อุณหภูมิการแผ่รังสีที่ทำให้กลุ่มตัวอย่างรู้สึกไม่สบายนั้นอาจมีผลมาจากการแผ่รังสีความร้อนมาจากผนังหรือหลังคา เนื่องจากพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นกระจกจึงทำให้พื้นที่บริเวณนั้นได้รับความร้อนจากแสงแดดโดยตรง แต่ถ้าพิจารณาช่วงของการยอมรับ PMV

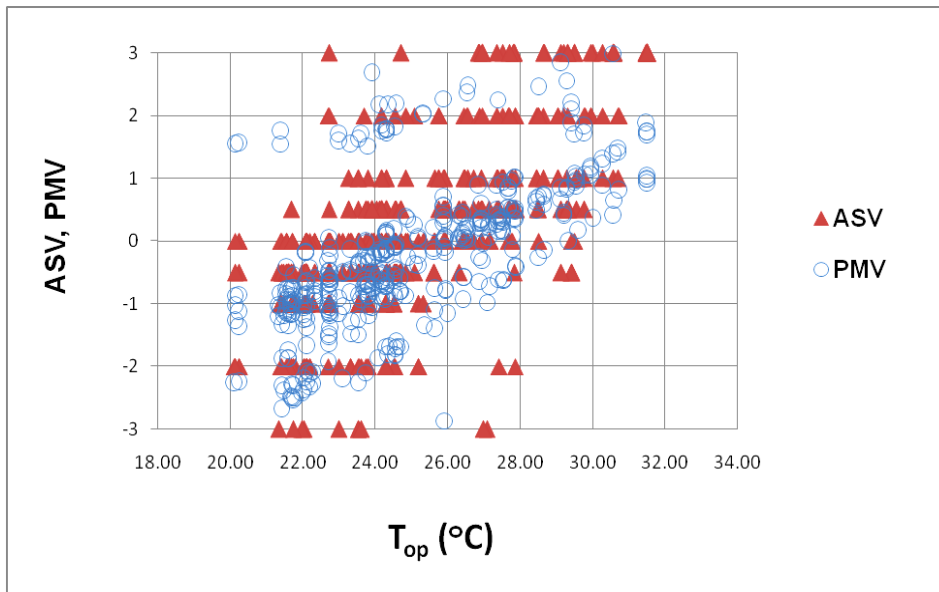
ในช่วงเดียวกับ ASV พบว่า กลุ่มตัวอย่างเกิดความรู้สึกไม่สบายทางด้านร้อนเมื่ออุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยต่ำกว่า 24.0 °C และด้านร้อนสูงกว่า 28.00 °C ดังนั้นค่าที่ได้จากแบบสอบถามของกลุ่มตัวอย่างที่อุณหภูมิเดียวกันมีค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยที่ทำให้เกิดความรู้สึกไม่สบายทั้งทางด้านเย็นและด้านร้อนต่ำกว่าค่าที่ได้จากการคำนวณ



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่าง T_{mrt} กับ ASV และ PMV

อุณหภูมิโอเปอร์เรทีฟ (Operative Temperature: T_{op})

จากความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิโอเปอร์เรทีฟ (T_{op}) กับค่าการโหวตความรู้สึกเชิงอุณหภูมิ (ASV) และการทำนายค่าการโหวตเฉลี่ย (PMV) พบว่า ข้อมูลมีการกระจายตัวในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 20.0 – 31.0 °C เมื่อพิจารณาช่วงของการยอมรับ ASV ช่วงระหว่าง -0.5 ถึง +0.5 พบว่า กลุ่มตัวอย่างเกิดความรู้สึกไม่สบายทางด้านเย็นเมื่ออุณหภูมิโอเปอร์เรทีฟต่ำกว่า 23.00 °C และทางด้านร้อนสูงกว่า 25.00 °C และถ้าพิจารณาช่วงของการยอมรับ PMV ช่วงระหว่าง -0.5 ถึง +0.5 พบว่า อุณหภูมิโอเปอร์เรทีฟที่ทำให้กลุ่มตัวอย่างเกิดความรู้สึกไม่สบายทางด้านเย็นเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า 23.50 °C และทางด้านร้อนสูงกว่า 26.00 °C จากข้อมูลข้างต้นแสดงให้เห็นว่าค่าที่ได้จากแบบสอบถามของกลุ่มตัวอย่างที่อุณหภูมิเดียวกันมีค่าอุณหภูมิโอเปอร์เรทีฟที่ทำให้เกิดความรู้สึกไม่สบายทั้งทางด้านเย็นและทางด้านร้อนต่ำกว่าค่าที่ได้จากการคำนวณ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4

รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่าง T_{op} กับ ASV และ PMV

จากการวิเคราะห์ข้างต้น พบว่าค่าของอุณหภูมิต่างๆ ที่ทำให้กลุ่มตัวอย่างรู้สึกไม่สบายทั้งทางด้านเย็นและด้านร้อนที่ได้จากแบบสอบถามทั้งหมดมีค่าอุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย และอุณหภูมิโอเปอร์เรทีฟต่ำกว่าค่าที่ได้จากการคำนวณ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ความไม่สบายเชิงอุณหภูมิเมื่อพิจารณาจาก ASV และ PMV

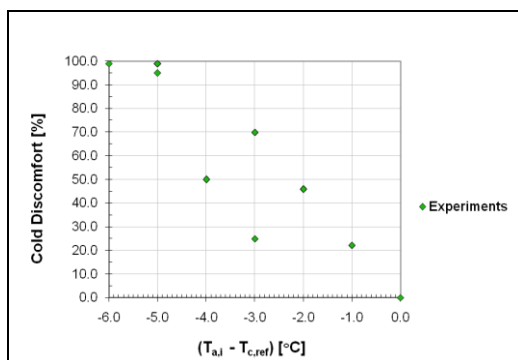
	ASV		PMV	
	เย็น	ร้อน	เย็น	ร้อน
T_a (°C)	< 23.0	> 24.5	< 23.5	> 25.0
T_{mrt} (°C)	< 23.5	> 27.0	< 24.0	> 28.0
T_{op} (°C)	< 23.0	> 25.0	< 23.5	> 26.0

การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของความรู้สึกไม่สบายเชิงอุณหภูมิ

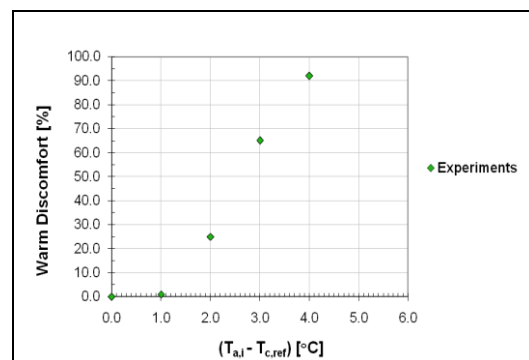
การพัฒนาแบบจำลองความไม่สบายเชิงอุณหภูมิ (Thermal Discomfort) โดยทำการวิเคราะห์จากข้อมูลที่สำรวจในเบื้องต้นและผลการสำรวจค่า ASV ของกลุ่มตัวอย่าง โดยทำการวิเคราะห์ช่วงอุณหภูมิที่กลุ่มตัวอย่างแต่ละกลุ่มแสดงความพึงพอใจเพื่อกำหนดเป็นอุณหภูมิอ้างอิง ($T_{c,ref}$) โดยอุณหภูมิที่ได้นี้เป็นอุณหภูมิอ้างอิงที่กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่เกิดความสบายเช่นเดียวกับการพัฒนาแบบจำลองความไม่สบายเชิงอุณหภูมิ Kubaha (2005) ดังนั้นความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของอากาศขณะใดๆ ($T_{a,i}$) และอุณหภูมิอ้างอิงที่ทำให้เกิดสภาวะสบายเชิงอุณหภูมิ ($T_{c,ref}$) จะเป็นอุณหภูมิที่บ่งบอกถึงความไม่สบายของกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2

$$\Delta T_{a,i} = T_{a,i} - T_{c,ref} \quad (2)$$

อุณหภูมิอ้างอิง ($T_{c,ref}$) ดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นคือ ค่าที่อุณหภูมิของอากาศอยู่ในสภาวะที่สมดุลที่ทำให้มนุษย์เกิดความรู้สึกสบาย ซึ่งจากผลการสำรวจพบว่ากรณีที่มีการสวมใส่เสื้อผ้าต่ำกว่า 1 clo อุณหภูมิอากาศที่กลุ่มตัวอย่างจะรู้สึกสบายเมื่ออุณหภูมิเท่ากับ 24.0 – 24.9 °C ซึ่งในการศึกษานี้จะอ้างอิงอุณหภูมิที่ 24.5 °C และเมื่อพิจารณาอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยที่ทำให้กลุ่มตัวอย่างรู้สึกสบายเมื่ออุณหภูมิอยู่ในช่วง 25.0 – 25.9 °C อุณหภูมิอ้างอิงที่ใช้คือ 25.5 °C สำหรับกรณีที่มีการสวมใส่เสื้อผ้าตั้งแต่ 1 clo ขึ้นไป อุณหภูมิอากาศที่กลุ่มตัวอย่างรู้สึกสบายเมื่อมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 22.0 – 22.9 °C ซึ่งอุณหภูมิอ้างอิงที่ใช้คือ 22.5 °C ทำนองเดียวกันกลุ่มตัวอย่างรู้สึกสบายเมื่ออุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยอยู่ในช่วง 23.0 – 23.9 °C ซึ่งอุณหภูมิอ้างอิงที่ใช้คือ 23.5 °C เมื่อแทนค่าอุณหภูมิอ้างอิงในสมการที่ 2 แล้วค่าที่ได้เป็น “ลบ” แสดงถึงความไม่สบายทาง “ด้านเย็น” (Cold Discomfort: CD) แต่ถ้าค่าที่ได้เป็น “บวก” แสดงถึงความไม่สบายทาง “ด้านร้อน” (Warm Discomfort: WD) (Kubaha: 2005) ดังนั้นสภาวะความไม่สบายเชิงอุณหภูมิทางด้านเย็น จึงทำให้เกิดฟังก์ชันทางด้านลบ และสภาวะความไม่สบายเชิงอุณหภูมิทางด้านร้อน จึงทำให้เกิดฟังก์ชันทางด้านบวก ซึ่งในสภาวะต่างๆ เหล่านี้แต่ละบุคคลจะรับรู้ความรู้สึกได้ไม่เท่ากัน เนื่องจากตัวแปรที่ได้กล่าวไปในข้างต้นส่งผลต่อความไม่สบาย และจากรูปที่ 5 เห็นได้ว่าข้อมูลมีความสัมพันธ์กันเมื่อดูแนวโน้มของข้อมูลแล้วจึงนำมาสร้างแบบจำลองโดยใช้ฟังก์ชันเอกซ์โพเนนเชียล (exponential function) เนื่องจากฟังก์ชันนี้สามารถกำหนดให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความไม่สบายเชิงอุณหภูมิ (%Discomfort) มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0% และสูงสุดไม่เกิน 100% ดังแสดงไว้ในสมการที่ 3



(ก.)



(ข.)

รูปที่ 5 การกระจายของเปอร์เซ็นต์ความไม่พึงพอใจจากสภาวะความไม่สบายทางด้านเย็น (ก.) และด้านร้อน (ข.)

$$\%Dis = \frac{1}{1 + \exp(C_1 * DT_c + C_0)} \quad \text{หรือ} \quad \%Dis = \frac{1}{1 + \exp(C_1 * DT_w + C_0)} \quad (3)$$

จากสมการที่ 3 ค่า C_1 และ C_0 เป็นค่าสัมประสิทธิ์ที่จะต้องทำการกำหนดจากข้อมูลที่ทำให้การจำลองและค่าที่วัดได้ โดยสามารถทำเป็นสมการถดถอยในสมการที่ 5 ได้ โดยที่ตัวแปร DT คือ ผลต่างของอุณหภูมิความไม่สบายทางด้านเย็น (Cold Discomfort Temperature: DT_c) และผลต่างของอุณหภูมิความไม่สบายทางด้านร้อน (Warm Discomfort Temperature: DT_w) ดังแสดงไว้ในสมการที่ 4

$$DT_c = T_{a,i} - T_{c,ref} \quad \text{หรือ} \quad DT_w = T_{a,i} - T_{c,ref} \quad (4)$$

$$\ln\left(\frac{100}{CD} - 1\right) = C_1 * DT_c + C_0 \quad \text{หรือ} \quad \ln\left(\frac{100}{WD} - 1\right) = C_1 * DT_w + C_0 \quad (5)$$

เมื่อผลวิเคราะห์ขึ้นกับ $Y = \ln\left(\frac{100}{CD} - 1\right)$ หรือ $Y = \ln\left(\frac{100}{WD} - 1\right)$ โดยที่ $X = CS$ หรือ $X = WS$ และ C_1 กับ C_0 เป็นค่าสัมประสิทธิ์ที่กำหนดโดยการวิเคราะห์เชิงถดถอย และสมการสุดท้ายของเปอร์เซ็นต์ความไม่พึงพอใจเนื่องมาจากสภาวะความไม่สบายเชิงอุณหภูมิอากาศทางด้านเย็น (CD) หรือด้านร้อน (WD) จะแสดงได้ดังสมการที่ 6

$$CD = \left\{ \frac{1}{1 + \exp(C_1 * DT_c + C_0)} \right\} * 100 \quad \text{หรือ} \quad WD = \left\{ \frac{1}{1 + \exp(C_1 * DT_w + C_0)} \right\} * 100 \quad (6)$$

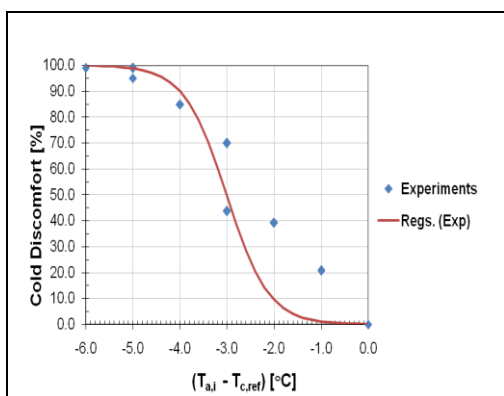
แบบจำลองความไม่สบายเชิงอุณหภูมิอากาศ

กรณีค่าด้านทานความร้อนของเสื้อผ้าน้อยกว่า 1 clo (0.40 - 0.99 clo)

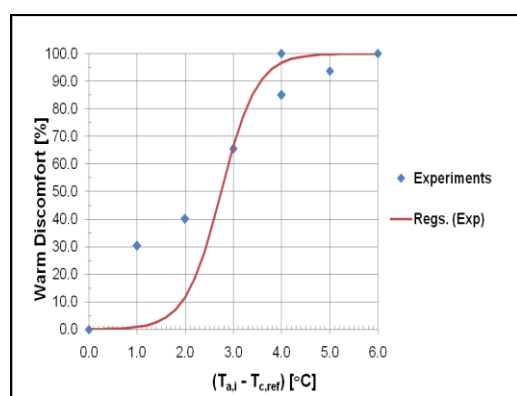
จากรูปที่ 6 แสดงแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความไม่สบายทางด้านเย็น (ก.) พบว่า ค่า $C_0 = 6.710$ และ $C_1 = 2.230$ โดยที่ค่า $R^2 = 0.890$ ดังแสดงในสมการที่ 7 ซึ่งอุณหภูมิอากาศที่ทำให้กลุ่มตัวอย่างเกิดความรู้สึกไม่สบายเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า $23.9 \text{ }^\circ\text{C}$ ในทางกลับกันสำหรับความไม่สบายทางด้านร้อน (ข.) พบว่า ค่า $C_0 = 7.429$ และ $C_1 = -2.701$ โดยที่ค่า $R^2 = 0.790$ ซึ่งกลุ่มตัวอย่างเกิดความรู้สึกไม่สบายเมื่ออุณหภูมิอากาศสูงกว่า $25.0 \text{ }^\circ\text{C}$ ดังแสดงในสมการที่ 8

$$CD = \left\{ \frac{1}{1 + \exp(2.230 * DT_c + 6.710)} \right\} * 100 \quad (7)$$

$$WD = \left\{ \frac{1}{1 + \exp(-2.701 * DT_w + 7.429)} \right\} * 100 \quad (8)$$



(ก.)



(ข.)

รูปที่ 6 แบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่าง %CD (ก.) และ %WD (ข.) กับผลต่างของอุณหภูมิความไม่สบายของอากาศ

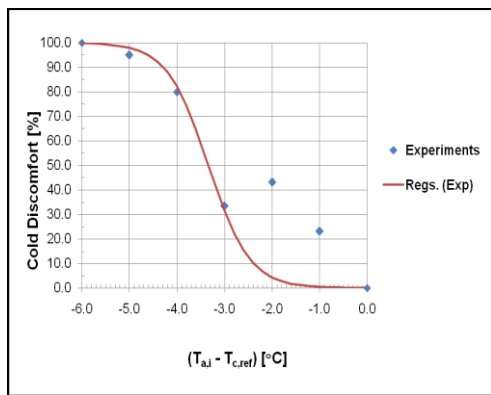
แบบจำลองความไม่สบายเชิงอุณหภูมิกับอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย

กรณีค่าด้านทานความร้อนของเสื้อผ้าน้อยกว่า 1 clo (0.40 - 0.99 clo)

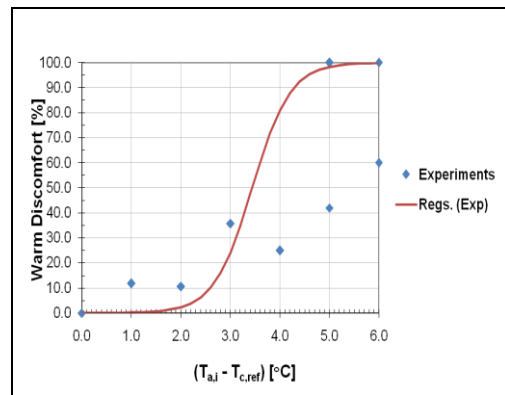
ในทำนองเดียวกันแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความไม่สบายกับอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย ดังแสดงไว้ในรูปที่ 7 พบว่า ค่า $C_0 = 7.741$ และ $C_1 = 2.318$ โดยที่ค่า $R^2 = 0.875$ (สมการที่ 9) ซึ่งอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยที่ทำให้กลุ่มตัวอย่างเกิดความรู้สึกไม่สบายทางด้านเย็น (ก.) เมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า $24.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ และอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยที่ทำให้กลุ่มตัวอย่างเกิดความรู้สึกไม่สบายทางด้านร้อน (ข.) เมื่ออุณหภูมิสูงกว่า $26.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ซึ่งจะมีค่า $C_0 = 9.592$ และ $C_1 = -2.872$ โดยที่ค่า $R^2 = 0.812$ ดังแสดงไว้ในสมการที่ 10

$$CD = \left\{ \frac{1}{1 + \exp(2.318 * DT_c + 7.741)} \right\} * 100 \quad (9)$$

$$WD = \left\{ \frac{1}{1 + \exp(-2.604 * DT_w + 8.959)} \right\} * 100 \quad (10)$$



(ก.)



(ข.)

รูปที่ 7 แบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่าง %CD (ก.) และ %WD (ข.) กับผลต่างของอุณหภูมิความไม่สบายของอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย

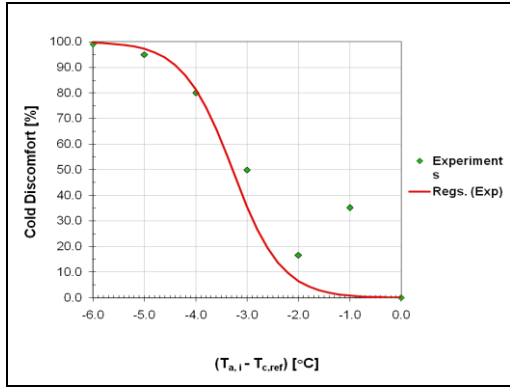
แบบจำลองความไม่สบายเชิงอุณหภูมิกับอุณหภูมิอากาศ

กรณีค่าด้านทานความร้อนของเสื้อผ้าตั้งแต่ 1 clo ขึ้นไป (1.00 - 1.45clo)

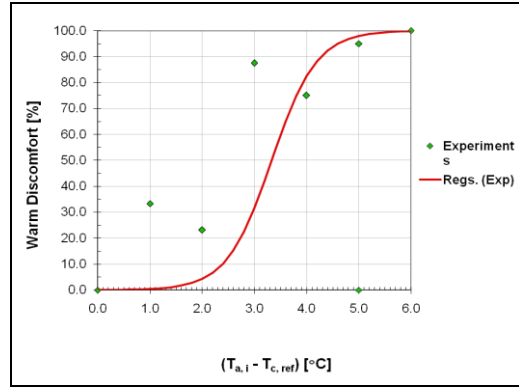
จากรูป ก. แบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความไม่สบายทางด้านเย็น พบว่า กลุ่มตัวอย่างเกิดความรู้สึกไม่สบายทางด้านเย็นเมื่ออุณหภูมิอากาศต่ำกว่า $21.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ ซึ่งมีค่า $C_0 = 6.805$ และ $C_1 = 2.072$ โดยที่ค่า $R^2 = 0.868$ ดังแสดงในสมการที่ 11 ในทางกลับกันกลุ่มตัวอย่างเกิดความรู้สึกไม่สบายทางด้านร้อน (ข.) เมื่ออุณหภูมิอากาศสูงกว่า $23.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ เมื่อค่า $C_0 = 7.772$ และ $C_1 = -2.919$ โดยที่ค่า $R^2 = 0.639$ (สมการ 12) ดังแสดงไว้ในรูปที่ 9

$$CD = \left\{ \frac{1}{1 + \exp(2.072 * DT_c + 6.805)} \right\} * 100 \quad (11)$$

$$WD = \left\{ \frac{1}{1 + \exp(-2.331 * DT_w + 7.772)} \right\} * 100 \quad (12)$$



(ก.)



(ข.)

รูปที่ 9 แบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่าง %CD (ก.) และ %WD (ข.) กับผลต่างของอุณหภูมิความไม่สบายของอากาศ

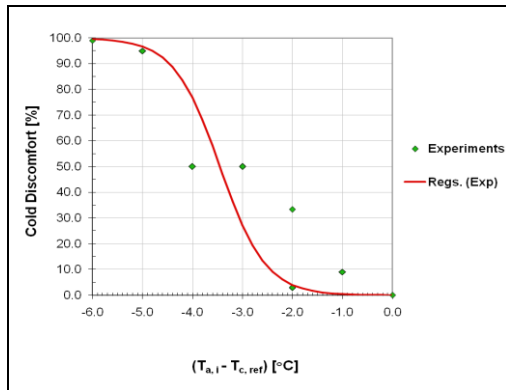
ต้นแบบจำลองความไม่สบายเชิงอุณหภูมิอากาศกับอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย

กรณีค่าต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าตั้งแต่ 1 clo ขึ้นไป (1.00 – 1.45clo)

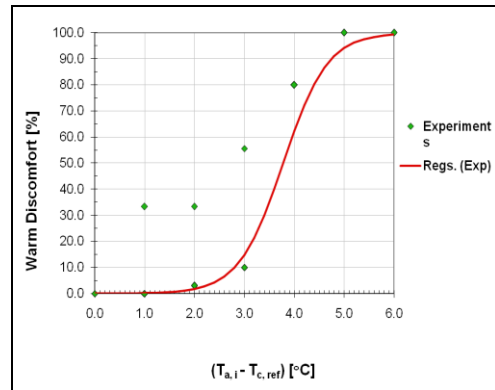
แบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างความไม่สบายทางด้านเย็น (ก.) พบว่า ค่า $C_0 = 7.536$ และ $C_1 = 2.185$ โดยที่มีค่า $R^2 = 0.902$ ดังแสดงไว้ในสมการที่ 13 ซึ่งกลุ่มตัวอย่างเกิดความรู้สึกไม่สบายทางด้านเย็นเมื่ออุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยต่ำกว่า $24.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ โดยที่เปอร์เซ็นต์ความไม่สบายทางด้านร้อน (ข.) มีค่า $C_0 = 8.537$ และ $C_1 = -2.260$ โดยที่ค่า $R^2 = 0.704$ ดังแสดงไว้ในสมการที่ 14 ซึ่งกลุ่มตัวอย่างเกิดความรู้สึกไม่สบายทางด้านเย็นเมื่ออุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยสูงกว่า $26.0\text{ }^{\circ}\text{C}$

$$CD = \left\{ \frac{1}{1 + \exp(2.185 * DT_c + 7.536)} \right\} * 100 \quad (13)$$

$$WD = \left\{ \frac{1}{1 + \exp(-2.260 * DT_w + 0.704)} \right\} * 100 \quad (14)$$



(ก.)



(ข.)

รูปที่ 10 แบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่าง %CD (ก.) และ %WD (ข.)

กับผลต่างของอุณหภูมิความไม่สบายของอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย

อภิปรายผลการวิจัย

จากผลการศึกษาความไม่สบายเชิงอุณหภูมิอากาศของกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด 491 คน ถ้าพิจารณาอุณหภูมิอากาศกับ ASV พบว่า อุณหภูมิอากาศที่ทำให้กลุ่มตัวอย่างเกิดความรู้สึกไม่สบายทางด้านเย็นเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า $23.00\text{ }^{\circ}\text{C}$ และทางด้านร้อนสูงกว่า $24.50\text{ }^{\circ}\text{C}$ แต่ถ้าพิจารณา PMV พบว่า อุณหภูมิของอากาศที่ทำให้กลุ่มตัวอย่างเกิดความรู้สึกไม่สบาย

ด้านเย็นเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า 23.50 °C และด้านร้อนสูงกว่า 25.00 °C เช่นเดียวกันเมื่อพิจารณาอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยกับ ASV แล้ว พบว่า เมื่ออุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยต่ำกว่า 23.5 °C จะทำให้กลุ่มตัวอย่างเกิดความรู้สึกไม่สบายทางด้านเย็นและทางด้านร้อนเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 27.00 °C กลุ่มตัวอย่างเกิดความรู้สึกไม่สบาย ในทำนองเดียวกันถ้าพิจารณากับ PMV พบว่า อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยที่ทำให้กลุ่มตัวอย่างเกิดความรู้สึกไม่สบายทางด้านเย็นเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า 24.0 °C และทางด้านร้อนสูงกว่า 28.00 °C แล้วเมื่อพิจารณาอุณหภูมิโอเปอร์เรทีฟกับ ASV พบว่า กลุ่มตัวอย่างเกิดความรู้สึกไม่สบายทางด้านเย็นเมื่ออุณหภูมิโอเปอร์เรทีฟต่ำกว่า 23.00 °C และทางด้านร้อนสูงกว่า 25.00 °C แต่ถ้าพิจารณากับ PMV พบว่า อุณหภูมิโอเปอร์เรทีฟที่ทำให้กลุ่มตัวอย่างเกิดความรู้สึกไม่สบายทางด้านเย็นเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า 23.50 °C และด้านร้อนสูงกว่า 26.00 °C

จากการวิเคราะห์แบบจำลองความไม่สบายเชิงอุณหภูมิภาพทั้งทางด้านเย็นและด้านร้อน พบว่า กลุ่มตัวอย่างทั้ง 2 กลุ่มเกิดความรู้สึกไม่สบายทางด้านเย็นเมื่ออุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยต่ำกว่า 24.9 °C และทางด้านร้อนสูงกว่า 26.0 °C เมื่อพิจารณาอุณหภูมิกอากาศแล้วพบว่ากลุ่มตัวอย่างที่มีการสวมใส่เสื้อผ้าที่มีการต้านทานต่ำกว่า 1 clo เกิดความรู้สึกไม่สบายทางด้านเย็นเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า 23.9 °C และทางด้านร้อนสูงกว่า 25.0 °C แต่อีกกลุ่มหนึ่งที่มีการสวมใส่เสื้อผ้าที่มีค่าความต้านทานสูงกว่าค่าปกติหรือมากกว่า 1clo ขึ้นไป เกิดความรู้สึกไม่สบายทางด้านเย็นเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า 21.9 °C และทางด้านร้อนสูงกว่า 23.0 °C ดังนั้นลักษณะการแต่งกายจึงส่งผลต่อความไม่สบายเชิงอุณหภูมิภาพที่จะขึ้นกับร่างกายของกลุ่มตัวอย่าง

แบบจำลองที่พัฒนามานี้สามารถนำไปใช้ในการประเมินเปอร์เซ็นต์ความไม่สบายเชิงอุณหภูมิภาพของบุคคลในสภาวะต่างๆ ได้ เมื่อทราบค่าอุณหภูมิกอากาศและอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย ซึ่งเป็นประโยชน์ในการออกแบบระบบปรับอากาศและเป็นแนวทางการใช้ปรับตั้งอุณหภูมิการปรับอากาศ ในพื้นที่ใช้งานต่างๆ ได้ เหมาะสมต่อการใช้งาน เป็นต้น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากโครงการส่งเสริมการวิจัยในอุดมศึกษา และการพัฒนามหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ ของสำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา ผู้วิจัยกราบขอบพระคุณ ผศ. ดร. กุสภานา ภูษา และ ดร. พัฒนะ รักความสุข ที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำ แนวทางในการทำงานและช่วยเหลือในด้านต่างๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการทำการศึกษา และผู้วิจัยขอขอบคุณเจ้าของสถานที่เก็บข้อมูลที่เอื้อเพื่อสถานที่ทำการวิจัย และผู้ตอบแบบสอบถามทุกท่านที่ทำให้งานวิจัยสำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineer, Inc. (1992). ANSI/ASHRAE Standard 55 Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, Atlanta.
- American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineer, Inc. (1987) ASHRAE Handbook Fundamentals, Physiological Principles and Thermal Comfort, Atlanta.
- 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
- Guohui G. (1993) Numerical Investigation of Local Thermal Discomfort in Offices with Displacement Ventilation, Energy and Building, 23: 73-81.
- Kubaha K. (2005) Asymmetric Radiant Fields and Human Thermal Comfort, Ph.D. Thesis, IESD, De Montfort University, Leicester, UK.
- Melikov A. K. and Nielsen, J. B.(1989). "Local Thermal Discomfort Due to Draft and Vertical Temperature Difference in Room with Displacement Ventilation", ASHRAE Transactions, 95: 1050-1057.