

บทที่ 2 ทฤษฎีเบื้องต้นและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความหมายของสภาวะความสบาย

สภาวะความสบายทางด้านอุณหภูมิ หมายถึงการที่ตัวเราไม่รู้สึกว่าร้อนหรือหนาวเกินไปหรือไม่รู้สึกว่าได้สูญเสียความร้อนหรือได้รับความร้อนจากสภาวะแวดล้อม ซึ่งเป็นสภาวะแวดล้อมที่สมดุลทางอุณหภูมิหรือความร้อนระหว่างกายกับสภาวะแวดล้อม ร่างกายมนุษย์มีอุณหภูมิที่ 37 องศาเซลเซียส และต้องรักษาระดับนี้ไว้ให้คงที่ ร่างกายใช้พลังงานความร้อนในการเผาผลาญอาหารประมาณ 20% ที่เหลืออีกประมาณ 80% ต้องขับสู่ภายนอกร่างกาย [1]

2.2 ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อสภาวะความสบายเชิงอุณหภูมิ

สภาวะความสบายเชิงอุณหภูมิคือ สภาวะความพึงพอใจต่อสภาพแวดล้อมที่เป็นอยู่ [2] หรือดัชนีที่อธิบายสภาพแวดล้อมต่างๆ โดยบ่งบอกถึงลักษณะความสบาย ดัชนีดังกล่าวได้กำหนดโดย ISO 7730 และ ASHRAE Standard 55 เพื่อเป็นมาตรฐานประกอบการออกแบบอาคารบ้านพักอาศัยให้มีความสบายมากที่สุด [3] โดยการศึกษาวิเคราะห์ช่วงของสภาวะความสบายจะกำหนดเป็นช่วงหรือบริเวณที่คนส่วนใหญ่รู้สึกสบายไม่ร้อนหรือหนาวเกินไป นอกจากนี้แล้วยังมีตัวแปรอื่นๆ อีกหลายตัวที่มีผลต่อสภาวะสบายของมนุษย์ เช่น ความคุ้นเคยของแต่ละบุคคล ลักษณะทางกายภาพและจิตใจ ระดับกิจกรรมที่ทำอยู่และเสื้อผ้าที่สวมใส่ ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อสภาวะความสบายเชิงอุณหภูมิของมนุษย์มีอยู่ด้วยกัน 6 ตัวแปร แบ่งเป็นตัวแปรทางด้านสภาพแวดล้อม 4 ตัวแปร ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ (Air temperature), อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย (Mean radiant temperature), ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity) และความเร็วกาย (Air velocity) ตัวแปรทางด้านบุคคล 2 ตัวแปร ได้แก่ การเผาผลาญพลังงาน (Metabolic rate) และลักษณะของเสื้อผ้าที่สวมใส่ (Clothing) [4]

2.2.1 อุณหภูมิอากาศ (Air Temperature, t_a)

อุณหภูมิอากาศเป็นตัวแปรที่คุ้นเคยและใช้กันแพร่หลายในการกำหนดสภาวะสิ่งแวดล้อม รวมถึงการบ่งบอกถึงสภาวะความสบายเชิงอุณหภูมิ เช่น ASHRAE กำหนดช่วงในอุณหภูมิ 22.2 – 26.6 °C (72-79 °F) เป็นช่วงสภาวะความสบาย นอกจากนี้ความชื้นสัมพัทธ์อากาศ ความเร็วลม และอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยจะมีผลช่วยส่งเสริมสภาวะความสบายเชิงอุณหภูมิให้ดีขึ้นหรือแย่ลงได้ [1]

2.2.2 ความชื้นสัมพัทธ์อากาศ (Relative Humidity, RH)

ความชื้นสัมพัทธ์อากาศ หมายถึง สัดส่วนของความชื้นในอากาศเมื่อเทียบกับปริมาณสูงสุดที่อากาศสามารถมีความชื้นได้โดยปราศจากการกลั่นตัวเองเป็นหยดน้ำ (condensation) ซึ่งค่าความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศแสดงในรูปของร้อยละ (%) ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศจะเป็นตัวแปรที่มีความสำคัญมากในการบ่งบอกความสบายเชิงอุณหภูมิในสภาพอากาศที่ร้อนชื้น ช่วงของความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศในสภาวะความสบายเชิงอุณหภูมิอยู่ในช่วง 20 - 80% ตัวอย่างเช่น สถานที่ทำงานบางแห่งมีความชื้นสัมพัทธ์อากาศอยู่ระหว่าง 40 - 70% ซึ่งเกิดจากการใช้งานคอมพิวเตอร์ หรือในวันที่อากาศร้อนอบอ้าวสถานที่ทำงานที่ไม่มีเครื่องปรับอากาศจะมีความชื้นสัมพัทธ์อากาศสูงกว่า 70% ซึ่งสภาพแวดล้อมที่มีความชื้นสัมพัทธ์อากาศที่สูงจะมีอิทธิพลต่อภาระของเหงื่อ หากมีความชื้นสัมพัทธ์อากาศที่เหมาะสมแล้วจะทำให้มีการระบายของเหงื่อที่ดี และจะเกิดสภาวะความสบายเชิงอุณหภูมิที่ดีขึ้น [1]

2.2.3 ความเร็วอากาศ (Air velocity, V_a)

ความเร็วอากาศหรือความเร็วลมเป็นตัวแปรที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งต่อสภาวะความสบายเชิงอุณหภูมิ ลมจะพัดพาเอาความร้อน และความชื้นออกจากรอบตัวร่างกายรอบตัวออกไปทำให้ร่างกายระบายความร้อนได้ดี และรู้สึกเย็นเนื่องจากการระเหยของน้ำ [5] ซึ่งได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและผลที่อาจเกิดขึ้นด้านอุณหภูมิและความรู้สึก [5]

ความเร็วลม (m/s)	ความเป็นไปได้ของความรู้สึกอุณหภูมิลดลง (ระหว่าง 80 - 90 °F, ตัวเลขที่มากสนองกับบริเวณที่มีความชื้นสูง)	ผลที่อาจเกิดขึ้น
0 - 0.25	ไม่มีความรู้สึกเปลี่ยนแปลงในความรู้สึกสบาย	ไม่สามารถสังเกตได้
0.25 - 0.51	ต่ำลง 2 - 3 °F	สบาย
0.51 - 1.02	ต่ำลง 4 - 5 °F	โดยทั่วไปรู้สึกสบาย แต่รับรู้ได้ว่าการเคลื่อนไหวอากาศ
1.02 - 1.52	ต่ำลง 5 - 7 °F	รู้สึกว่ามีลมพัดเล็กน้อย จนถึงรู้สึกถูกรบกวนได้
สูงกว่า 1.52	ต่ำลงมากกว่า 5 - 7 °F	ต้องการแก้ไขที่ถูกต้อง ถ้าจะให้ทำงานอย่างถูกสุขลักษณะ

อย่างไรก็ตามความเร็วลมที่เหมาะสมเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการสร้างสภาวะความสบาย หากความเร็วลมน้อยเกินไปผู้อยู่อาศัยจะรู้สึกร้อนและอึดอัด เช่น ในสถานที่ที่ไม่มีอากาศถ่ายเท เป็นต้น กล่าวคือ

ความร้อนจากร่างกายไม่สามารถถูกระบายออกไปได้เร็วเท่าที่ควร แต่หากความร้อนที่มากเกินไปก็จะทำให้ความรู้สึกรำคาญหรือรบกวนการทำงานและกิจกรรมต่างๆ ซึ่งจะก่อให้เกิดความไม่สบายที่ไม่พึงประสงค์จากลมพัดได้ซึ่งเรียกว่า คราฟต์ (Draft) [5]

2.2.4 อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย (Mean Radiant Temperature)

อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยถูกนิยามว่า คือ “อุณหภูมิเทียบเท่าของสิ่งแวดล้อมสีดำ (Black enclosure) ที่มีการแลกเปลี่ยนความร้อน โดยการแผ่รังสี ในอัตราเท่ากับร่างกายมนุษย์ที่สูญเสียความร้อนโดยการแผ่รังสีนั้น ในสภาพแวดล้อมจริง” หรืออีกแง่หนึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิผนัง เพดาน และพื้นห้องซึ่งมีผลต่อการแผ่รังสีความร้อน โดยการแผ่รังสีของทุกพื้นผิวที่กระทำกับร่างกาย และตำแหน่งของส่วนที่เปิดเผยของร่างกายเป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงอย่างมากเพราะอาจทำให้รู้สึกร้อนหรือไม่สบาย แม้ว่าอุณหภูมิของอากาศภายในอาคารจะอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมก็ตาม ตัวอย่างเช่น การเลือกใช้วัสดุที่ใช้ทำพื้น ผนัง ฝ้าเพดานของบ้านที่ไม่เหมาะสมและไม่มีการป้องกันความร้อนจากภายนอกบ้านที่ดีพอทำให้มีอุณหภูมิการแผ่รังสีที่สูง เป็นต้น หากมีการเลือกใช้วัสดุ และปรับเปลี่ยนพื้นที่การจั่ววางให้เหมาะสมและถูกทิศแล้วก็จะช่วยให้บ้านไม่ร้อนและเกิดสภาวะความสบายเชิงอุณหภูมิได้ซึ่งแบ่งการหาอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยออกเป็น 2 ประเภท คือ

อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยภายในอาคาร (Indoor Mean Radiant Temperature)

อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยนั้น ได้จากค่าถ่วงเฉลี่ยของอุณหภูมิผิวของผนังแวดล้อมนั้นๆ หรืออาจกล่าวได้ว่าเป็นการคำนวณจากอุณหภูมิพื้นผิวของด้านต่างๆ ของห้อง และค่าปัจจัยการมองเห็น (View Factor) ระหว่างตัวบุคคลกับผนังแวดล้อมของห้องซึ่งสามารถแสดงการคำนวณได้ดังสมการที่ 2.1 [1]

$$T_{mrt}^4 \varphi_{p-total} = t_1^4 \varphi_{p-1} + t_2^4 \varphi_{p-2} + \dots + t_n^4 \varphi_{p-n} \quad (K^4) \quad (2.1)$$

เมื่อ	t_{mrt}	คือ อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย (K)
	t_n	คือ อุณหภูมิพื้นผิว (K) ของพื้นผิว n (n = 1, 2, ..., N)
	φ_{p-n}	คือ View Factor ระหว่างบุคคลและพื้นผิว n
	K	คือ อุณหภูมิในหน่วยเคลวิน

หรือสามารถหาได้จากสมการที่ 2.2

$$t_r \varphi_{p-total} = 4 \sqrt{\sum_n \varphi_{p-n} (t_n + 273)^4} + 273 \quad (K) \quad (2.2)$$

อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยภายนอกอาคาร (Outdoor Mean Radiant Temperature)

การหาค่าของอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยภายนอกอาคารนั้น ต้องใช้ข้อมูลการวัดโดยอุปกรณ์ globe temperature (t_g) ซึ่งเป็นอุณหภูมิสมมติที่มีผลลัพท์จากสมดุลระหว่าง การได้รับความร้อนและสูญเสีย ความร้อนจากการแผ่รังสีและการพาความร้อน ผลที่ได้จากค่า t_g หมายถึง ค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักของการแผ่รังสี และอุณหภูมิห้อง ดังนั้นจาก ISO 7726 (1998) ค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยภายนอกอาคาร หา ได้ดังสมการที่ 2.3 และ 2.4

สำหรับกรณีการพาความร้อนแบบธรรมชาติ ($V < 0.15$ m/s)

$$t_{mrt} = \left[(t_g + 273)^4 + \left(\frac{0.25 \times 10^8}{\epsilon_g} \right) \times \left(\frac{t_a - t_g}{d} \right)^{0.25} \times (t_a - t_g) \right]^{0.25} - 273 \quad (2.3)$$

สำหรับกรณีการพาความร้อนแบบบังคับ ($V > 0.15$ m/s)

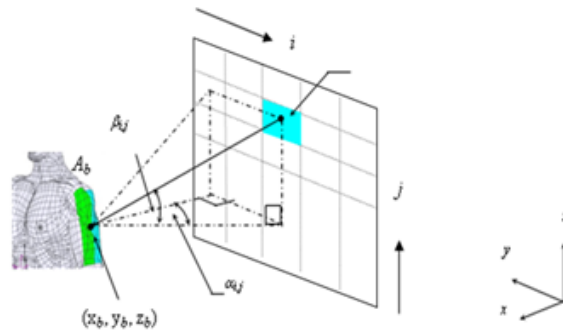
$$t_{mrt} = \left[(t_g + 273)^4 + \left(\frac{1.1 \times 10^8 V^{0.6}}{\epsilon_g d^{0.4}} \right) \times (t_a - t_g) \right]^{1/4} - 273 \quad (2.4)$$

เมื่อ t_g = globe temperature (°C)

ϵ_g = globe emissivity (0.95)

d = globe diameter (mm)

View Factor ระหว่างบุคคลและพื้นผิว n โดยคำนวณตามวิธีการเชิงตัวเลข (Numerical Method) Kubaha K. [6] ลักษณะการสุ่มกลุ่มตัวอย่างเป็นการสุ่มแบบไม่ใช้ความน่าจะเป็น (Non-probability Sampling) เนื่องจาก วิธีการดำเนินการวิจัยคือ ติดตั้งเครื่องมือวัดความสบายเชิงอุณหภูมิในตำแหน่ง กรณีนั่ง โดยมีความสูงจากพื้นประมาณ 0.6 เมตร ทำการบันทึกข้อมูลจากการสุ่มตัวอย่างโดยใช้ แบบสอบถามความสบายเชิงอุณหภูมิจากการตรวจวัดจริง (Actual Sensation Vote: ASV) ว่าใน สถานะนั้นรู้สึกอย่างไร เช่น ร้อน หรือหนาว เป็นต้น โดยอ้างอิงมาจาก ASHRAE Standard 55 [2] “View factor” (φ_{bw}) มีค่าจำกัดความเป็นสัดส่วนของรังสีความร้อนที่ออกจากพื้นผิว i ซึ่งตกกระทบ กับพื้นผิว j ในการหาสมการทั่วไปสำหรับ φ_{bw} เราพิจารณาพื้นผิว A_i และ A_j พื้นผิวทั้งสองอาจหันเห ไปในทิศทางใดๆ ก็ได้ พื้นที่เล็กๆ dA_i และ dA_j ซึ่งเป็นไปตามสมการที่ 2.5 ถึงสมการที่ 2.7



$$\varphi_{b,w} = \frac{1}{\pi} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \frac{1}{r_{i,j}^2} f_{pi,j} \cos \beta_{wi,j} \Delta A_{wi,j} \quad (2.5)$$

โดย

$$a_{i,j} = \tan^{-1} \left(\frac{y_b - y_{wi,j}}{x_b - x_{wi,j}} \right) \quad (2.6)$$

$$\beta_{i,j} = \tan^{-1} \left[\frac{z_{wi,j} - z_b}{\sqrt{(x_b - x_{wi,j})^2 + (y_b - y_{wi,j})^2 + (z_b - z_{wi,j})^2}} \right] \quad (2.7)$$

เมื่อนำเอา surface normal n_i และ n_j ของพื้นผิวทั้งสองมาหาความสัมพันธ์ ก็จะได้ความสัมพันธ์ออกมาในรูปแบบสมการที่ 2.8 และ 2.9

โดยที่

$$\cos \beta_{wi,j} = \frac{\vec{n}_{wi,j} \cdot \vec{r}_{i,j}}{|\vec{r}_{i,j}|} \quad (2.8)$$

$$|\vec{r}_i| = \sqrt{r_{xi}^2 + r_{yi}^2 + r_{zi}^2} \quad (2.9)$$

ซึ่งเมื่อกำหนดค่า View Factor ระหว่างคนกับผนังจะได้ดังสมการที่ 2.10

$$\varphi_{PA} = \frac{1}{\pi} \int_{y=0}^b \int_{x=0}^a \frac{f_p}{\left[1 + \left(\frac{x}{y} \right)^2 + \left(\frac{z}{y} \right)^2 \right]^{\frac{3}{2}}} d\left(\frac{x}{y}\right) d\left(\frac{z}{y}\right) \quad (2.10)$$

เมื่อ	φ_{PA}	= View Factor ระหว่างตัวคนกับผนัง
	a	= ความกว้างของผนัง
	b	= ความสูงของผนัง
	c	= ระยะห่างระหว่างตัวคนกับผนัง
	f_p	= projected area factor ของตัวคน
	x, y, z	= ระบบพิกัดฉาก

2.2.5 อัตราการเผาผลาญพลังงาน (Metabolic Rate, M)

ร่างกายมนุษย์นั้นมีการผลิตความร้อนออกมาตลอดเวลาและต่อเนื่อง ซึ่งในกิจกรรมประจำวันของมนุษย์จะผลิตความร้อนในอัตราเล็กน้อยขณะที่นอนหลับ และเพิ่มขึ้นเมื่อทำกิจกรรมหรือทำงานหนักขึ้น เช่น การนั่ง การเดิน การวิ่ง การทำงาน และการออกกำลังกาย ความร้อนที่ถูกปล่อยออกมานี้เพื่อรักษาสมดุลของอุณหภูมิภายในร่างกายของมนุษย์ให้คงที่ ซึ่งความต้องการพลังงานของร่างกายมนุษย์ทั้งหมดได้มาจากการบริโภค การย่อยอาหารและเครื่องดื่มนที่มนุษย์ได้บริโภคเข้าไป ขบวนการเปลี่ยนแปลงอาหารและเครื่องดื่มนที่เรบริโภคเข้าไปให้เปลี่ยนเป็นพลังงานสำหรับร่างกายคนเรานั้นเรียกว่า การเผาผลาญพลังงาน (Metabolism) [7]

ตารางที่ 2.2 อัตราการเผาผลาญอาหาร (Metabolic Rate) ที่ระดับกิจกรรมต่างๆ [7]

ระดับกิจกรรมหรืออิริยาบถ	อัตราการเผาผลาญอาหาร (หน่วย Met)	M/ADu (W/m ²)	n
นอนพักผ่อน	0.7	46	0
นั่งพักผ่อน	1.0	58	0
นั่งทำงาน (ออฟฟิศ, โรงเรียน, ห้องวิจัย)	1.2	70	0
ยืนพักผ่อน	1.4	60	0
กิจกรรมเล็กน้อย (ซื้อของ, เดินตรวจงาน)	1.7	93	0-0.1
กิจกรรมปานกลาง (พนักงานขายของหน้าร้าน, ทำงานบ้าน, ควบคุมอุปกรณ์)	2.0	100	0-0.1
กิจกรรมหนัก (ทำงานควบคุมเครื่องจักร, ทำงานในอุ้งรถยนต์)	3.0 - 4.0	110 - 300	0-0.1

อัตราความร้อนที่ร่างกายมนุษย์เราผลิตออกมาส่วนมากขึ้นอยู่กับระดับของกิจกรรมหรืออิริยาบถ (Activity level) ของร่างกาย ขึ้นกับชนิดอาหาร และเครื่องดื่มน้ำที่เรารับบริโภคเข้าไปในการดำรงชีวิตประจำวัน ความร้อนที่ร่างกายเราผลิตออกมาหรือระดับกิจกรรมที่มนุษย์กระทำได้อุณหภูมิกำหนดเป็นหน่วย Met โดย 1 Met จะเท่ากับ 58.2 W/m^2 หรือมีค่าเทียบเท่ากับอิริยาบถที่คนเรานั่งพัก ตารางที่ 2.2 แสดงระดับกิจกรรมต่างๆ ในหน่วย Met รวมถึงค่าพลังงานความร้อนที่ปล่อยออกมาจากกระบวนการเผาผลาญอาหารต่อพื้นที่ผิวร่างกายคนเฉลี่ย (M/A_{Du}) และประสิทธิภาพของกลไกภายนอก (n) จากกระบวนการเผาผลาญอาหาร [7]

2.2.6 เสื้อผ้าที่สวมใส่ (Clothing)

โดยธรรมชาติเสื้อผ้าจะเป็นเหมือนตัวที่ขัดขวางการสูญเสียความร้อนไปสู่สิ่งแวดล้อม สภาพความสบายเชิงอุณหภูมิจะขึ้นอยู่กับลักษณะของเสื้อผ้าที่สวมใส่อย่างมาก ความร้อนที่สามารถผ่านชั้นของเสื้อผ้าหรือกล่าวอีกนัยหนึ่งความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าสามารถทำให้เกิดสภาวะความสบายเชิงอุณหภูมิได้ หากคนเราปรับเปลี่ยนการใส่เสื้อผ้าตามสภาพอากาศที่เราอาศัยอยู่ ตัวอย่างเช่น ถ้าเรารู้สึกหนาวก็เพิ่มความหนาของเสื้อผ้าที่ใส่แต่ถ้ารู้สึกร้อนก็ลดจำนวนเสื้อผ้าที่สวมใส่ คนเราก็จะรู้สึกสบายได้หากเลือกสวมใส่เสื้อผ้าให้เหมาะสมกับสภาวะอากาศภายนอกหรือตามฤดูกาล [8]

2.2.6.1 ความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้า (Clothing Insulation, I_{cl}) ความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้า จะประกอบด้วย 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ ชนิดของเสื้อผ้า (Fabric) และช่องว่างของอากาศระหว่างเนื้อผ้า (Air layer) หน่วยที่ใช้วัดความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าที่ใช้กันคือ หน่วย Clo คือ ลักษณะของเสื้อผ้าที่สวมใส่ในสภาวะอากาศ 21°C ที่ $\text{RH}\% < 50\%$ และความเร็วลมเท่ากับ 0.1 m/s โดยที่คนสวมใส่นั้นมีความรู้สึกสบาย โดย 1 Clo เท่ากับ $0.155 \text{ m}^2\text{C/W}$ [1] ได้ศึกษาและพัฒนาสมการสำหรับการคำนวณค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้า (I_{cl}) แสดงดังสมการที่ 2.11

$$I_{cl} = 0.73 \times \sum_1^n i_{cl} + 0.17 \quad (2.11)$$

เมื่อ I_{cl} คือ ค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้า (Clo)
 $\sum_1^n i_{cl}$ คือ ผลรวมค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้า (Clo)

สำหรับค่าความต้านทานความร้อนของลักษณะเสื้อผ้าต่างๆ ในหน่วย Clo ดังแสดงในตารางที่ 2.3 [1]

ตารางที่ 2.3 ค่าความต้านทานความร้อนตามลักษณะการแต่งกาย [1]

ลักษณะการแต่งกาย	I_{cl} (Clo)	I_{cl} ($m^2 \cdot ^\circ C/W$)
กางเกงขาสั้น + เสื้อเชิ้ตแขนสั้น	0.41	0.064
กางเกงขายาว + เสื้อเชิ้ตแขนสั้น	0.50	0.078
กางเกงขายาว + เสื้อเชิ้ตแขนยาว	0.62	0.096
กางเกงขายาว + เสื้อเชิ้ตแขนยาว + เสื้อแจ็คเก็ต	0.96	0.015
เสื้อยืด + เสื้อแขนยาว + กางเกงขายาวหลวม + เสื้อเสวตเตอร์ แขนยาว	0.01	0.157
กระโปรงยาวถึงเข่า + เสื้อเชิ้ตแขนสั้น + รองเท้าแตะ	0.54	0.084
กระโปรงยาวถึงเข่า + เสื้อเชิ้ตแขนยาว + สลิปแบบเต็มตัว + รองเท้าแตะ	0.67	0.104
กระโปรงยาวถึงข้อเท้า + เสื้อเชิ้ตแขนยาว + สลิปแบบครึ่งตัว + ชุดสูท	1.10	0.171

นอกจากจะคำนึงถึงค่าความต้านทานของเสื้อผ้าของแต่ละบุคคลแล้วค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้ายังมีความสำคัญสำหรับการผลิตเบาะนั่งในรถยนต์หรือที่นั่งนอนอีกด้วย เพราะมีผลต่อการถ่ายเทความร้อนรวมทั้งลดการสูญเสียความร้อนของร่างกาย [1]

2.3 สมดุลความร้อนของร่างกายคน (Body heat balance)

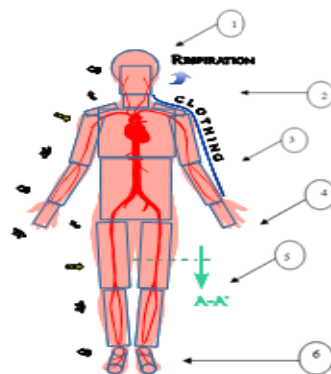
โดยปกติร่างกายคนเรามีอุณหภูมิภายในร่างกายคงที่ประมาณ $36.8 - 37^\circ C$ ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องรักษาอุณหภูมิร่างกายระดับนี้เอาไว้ ถึงแม้ว่าจะได้รับความร้อนอย่างต่อเนื่องจากกระบวนการความร้อนภายในร่างกายแต่ก็มีการสูญเสียความร้อนของร่างกายอย่างต่อเนื่องเช่นกันเพื่อเป็นการรักษาสมดุลความร้อนของร่างกายเอาไว้และความร้อนส่วนเกินจะถูกระบายออกสู่อากาศแวดล้อมไม่ว่าจะเป็นการพาความร้อนและการแผ่รังสี ร่างกายของมนุษย์จะมีกลไกควบคุมปริมาณความร้อนที่ได้รับและระบายออกสู่ภายนอกซึ่งเป็นกลไกธรรมชาติ อย่างไรก็ตามความสามารถของร่างกายคนเราในการปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมย่อมมีข้อจำกัดและถึงแม้ว่าร่างกายคนเราจะปรับตัวได้เราก็รู้สึกถึงความไม่สบายอยู่ดีสมดุลความร้อนของร่างกายมนุษย์สามารถเขียนอยู่ในรูปของสมการที่ถูกพัฒนา [1] เป็นสมการที่แสดงให้เห็นถึงตัวแปรต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายเทความร้อนระหว่างคน กับ

สิ่งแวดล้อม เช่น การสูญเสียความร้อนจากการพา ระดับกิจกรรมการทำงาน และการผลิตความร้อนจากกระบวนการเผาผลาญอาหาร เป็นต้น ซึ่งแสดงได้ดังสมการที่ 2.12

$$S = M - W - C - R - E_{sk} - C_{res} - E_{res} - K \quad (2.12)$$

เมื่อ	S	คือ ความร้อนที่เก็บรักษาในร่างกาย (W/m^2)
	M	คือ การผลิตความร้อนจากกระบวนการเผาผลาญอาหาร (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 การสูญเสียความร้อนโดยการนำ (W/m^2)

จากการศึกษาของ Stolwijk และ Hardy [1] ได้ทำการสร้างแบบจำลองเชิงอุณหภูมิภาพของมนุษย์ขึ้นดังรูปที่ 2.1 เป็นแบบจำลองที่แสดงระบบควบคุมของร่างกายมนุษย์ประกอบด้วยระบบความรู้สึกระเบิดอุณหภูมิและระบบกล้ามเนื้อ โดยแบบจำลองนี้ถูกแบ่งออกเป็น 6 ส่วนใหญ่ๆ ได้แก่ ศีรษะที่แสดงด้วยรูปทรงวงกลม (1) ส่วนลำตัว แขน มือ เท้า และขาทั้งสองข้างแสดงด้วยรูปทรงกระบอก (2), (3), (4), (5), (6) ตามลำดับ รวมถึงระบบเลือดที่แยกออกมาอีก 25 ส่วน เพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณ ค่าตัวแปรทางสมดุลความร้อน ภาพตัดขวางแสงขึ้นส่วนต่างๆ ของแกนร่างกาย ชั้นกล้ามเนื้อ และชั้นผิวหนัง ตามลำดับ



รูปที่ 2.1 แบบจำลองเชิงอุณหภูมิภาพของ Stolwijk และ Hardy (1997) [1]

ร่างกายของคนเรามีการผลิตความร้อน โดยกระบวนการออกซิเดชันซึ่งบางครั้งเปลี่ยนแปลงตามระดับการทำงานแต่โดยส่วนใหญ่แล้วจะเปลี่ยนแปลงตามความร้อนภายในร่างกายดังสมการที่ 2.13

$$H = M - W \quad (2.13)$$

เมื่อ M คือ การผลิตความร้อนจากกระบวนการเผาผลาญอาหาร

H คือ ความร้อนภายในร่างกาย

W คือ ระดับการทำงาน

สมมติ η คือ ค่าประสิทธิภาพของกลไกภายนอก; $\eta = \frac{W}{M}$ สมการ (2.13) จะสามารถเขียนใหม่ได้เป็นสมการที่ 2.14

$$H = M(1 - \eta) \quad (2.14)$$

จากสมการ (2.14) สามารถเขียนการผลิตความร้อนภายในต่อพื้นที่ผิวร่างกายคนเฉลี่ยได้ดังนี้

$$\frac{H}{A_{Du}} = \frac{M}{A_{Du}}(1 - \eta) \quad (2.15)$$

เมื่อ A_{Du} คือ พื้นที่ผิวต่อร่างกายเปลือย (DuBois area, m^2) ซึ่งหาค่าได้จากสมการที่ 2.16

$$A_{Du} = 0.202m^{0.425}h^{0.725} \quad (2.16)$$

เมื่อ m คือ น้ำหนักของคน (kg)

h คือ ความสูงของคน (m)

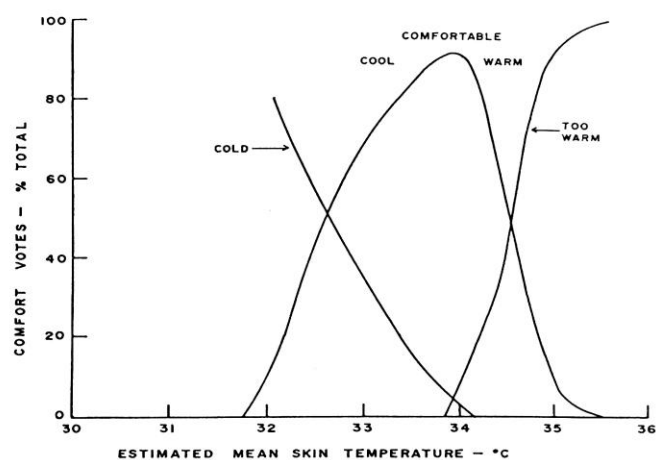
2.4 ความรู้สึกเชิงอุณหภูมิ (Thermal sensation)

ร่างกายของมนุษย์ในสภาพปกติจะมีการปรับปรุงพลังงานทางเคมีโดยใช้อาหารและออกซิเจนเป็นพลังงานความร้อนเพื่อทำให้อุณหภูมิภายในร่างกายคงที่ประมาณ 37°C และอุณหภูมิผิวหนังเฉลี่ยประมาณ 33.7°C ซึ่งจำนวนความร้อนในร่างกายจะเปลี่ยนไปตามอายุ เพศ และชนิดของการทำงาน ความรู้สึกเชิงอุณหภูมิตามธรรมชาติมาจากอุณหภูมิผิวหนังเฉลี่ย และอุณหภูมิแกน (Core

temperature) ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เกิดจากอวัยวะที่อยู่ในส่วนลึกของร่างกายโดยเฉลี่ยจะมีค่าเท่ากับ 37.1 °C (Gagge et.al., 1938) ปกติจะมีค่าเปลี่ยนแปลงน้อยมากคือไม่เกิน 1 °F หรือ 0.6 °C แม้ว่าอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมภายนอกร่างกายจะเปลี่ยนไป อุณหภูมิผิวหนังเฉลี่ยและอุณหภูมิแกนเป็นเงื่อนไขสำคัญในการรักษาภาวะความสบายเชิงอุณหภูมิ [1] สามารถที่จะแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของศูนย์ควบคุมอุณหภูมิ (hypothalamus) และส่วนของผิวหนัง ในการรับรู้ของศูนย์ควบคุมอุณหภูมิเป็นการรับรู้ความร้อนที่ทำให้การปรับร่างกายให้เย็นลงเมื่อร่างกายมีอุณหภูมิแกนเกินกว่า 37 °C ทำให้อุณหภูมิผิวหนังเฉลี่ยสูงขึ้น โดยที่เมื่อร่างกายเข้าสู่สภาวะร้อนร่างกายจะพยายามทำให้เกิดการหลั่งเหงื่อซึ่งเป็นกลไกธรรมชาติในการรักษาอุณหภูมิของร่างกายให้คงที่ ส่วนการรับรู้ที่ผิวหนังเป็นการรับรู้ความเย็น โดยการปรับร่างกายเพื่อป้องกันความเย็นที่ลดลงเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า 34 °C เมื่ออากาศภายนอกเย็นลงจนอุณหภูมิต่ำกว่าระดับปกติร่างกายจะเข้าสู่สภาวะเย็นซึ่งร่างกายจะพยายามลดปริมาณความร้อนที่สูญเสียไปและสงวนความร้อนไว้สำหรับอวัยวะที่สำคัญๆ โดยเพิ่มความร้อนจากการทำงานของกล้ามเนื้อเนื่องด้วยการสั่นสะท้านของร่างกาย และด้วยการเคลื่อนไหวของอวัยวะที่บังคับด้วยจิตใจซึ่งระบบนี้มีประสิทธิภาพมาก และเป็นการเพิ่มความร้อนให้กับร่างกายได้ทันทีทันใด ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอุณหภูมิผิวหนังเฉลี่ยกับอุณหภูมิแกนของร่างกายทำให้คนเรามีความรู้สึกเชิงอุณหภูมิเป็นธรรมชาติซึ่งเป็นพื้นฐานในการทดลองจำนวนมาก [1]

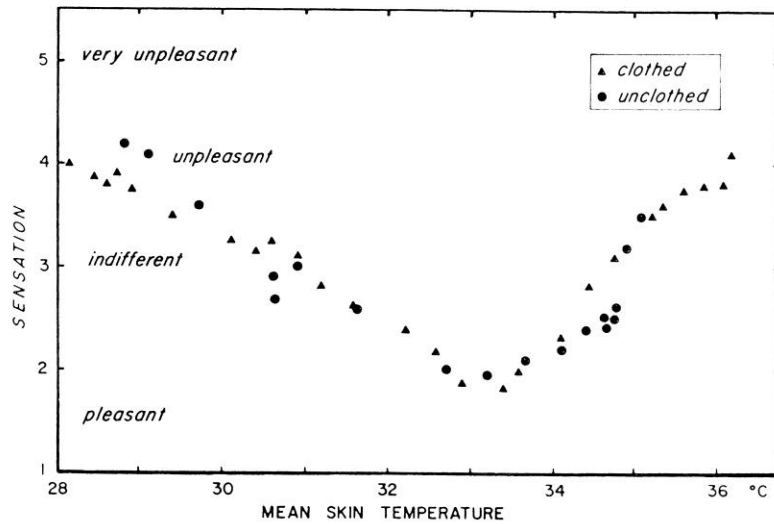
2.4.1 อุณหภูมิผิวหนังเฉลี่ย (Mean skin temperature, T_{sk})

อุณหภูมิผิวหนังเฉลี่ยมีความสำคัญกับการแสดงค่าความรู้สึกเชิงอุณหภูมิ [9] ในรูปที่ 2.2 ได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิผิวหนังเฉลี่ยกับเปอร์เซ็นต์การโหวตค่าความรู้สึกเชิงอุณหภูมิจะเห็นว่าที่อุณหภูมิผิวหนังเฉลี่ยมีค่า 34 °C คนจะรู้สึกสบายที่สุด



รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิผิวหนังเฉลี่ยกับเปอร์เซ็นต์การโหวตค่าความรู้สึกเชิงอุณหภูมิ [9]

และรูปที่ 2.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิผิวหนังเฉลี่ยกับค่าการโหวตความรู้สึกเชิงอุณหภูมิภาพในกรณีที่สวมใส่เสื้อผ้าและไม่สวมใส่เสื้อผ้าที่อุณหภูมิต่างๆ มีแนวโน้มว่าที่อุณหภูมิต่ำกรณีสวมใส่เสื้อผ้ามีความพอใจมากกว่ากรณีไม่สวมใส่เสื้อผ้าแต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นกรณีไม่สวมใส่เสื้อผ้ามีความพอใจมากกว่ากรณีใส่เสื้อผ้า



รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิผิวหนังเฉลี่ยกับค่าการโหวตความรู้สึกเชิงอุณหภูมิภาพ [1]

การคำนวณหาอุณหภูมิผิวหนังเฉลี่ยสามารถคำนวณจากอุณหภูมิผิวหนังที่วัดได้ของแต่ละส่วนของร่างกาย เช่น หลัง แขน น่อง และขา เป็นต้น ดังสมการที่ 2.17 [1]

$$T_{sk} = 0.3T_{back} + 0.3T_{upper\ arms} + 0.2T_{tights} + 0.2 T_{legs} \quad (°C) \quad (2.17)$$

- เมื่อ T_{sk} คือ อุณหภูมิผิวหนังเฉลี่ย (°C)
- T_{back} คือ อุณหภูมิผิวหนังที่หลัง (°C)
- $T_{upper\ arms}$ คือ อุณหภูมิผิวหนังที่ต้นแขน (°C)
- T_{tights} คือ อุณหภูมิผิวหนังที่น่อง (°C)
- T_{legs} คือ อุณหภูมิผิวหนังที่ขา (°C)

2.4.2 ตัวรับรู้อุณหภูมิ (Thermoreceptors)

การที่เรารับรู้ถึงความอบอุ่นหรือความหนาวเย็นได้นั้นเพราะว่าเรารับรู้ด้วยปลายประสาทของสมองเราเอง เมื่ออุณหภูมิร่างกายเกินกว่า 37 °C ตัวรับรู้อุณหภูมิจะทำการส่งสัญญาณไปที่ศูนย์ควบคุมอุณหภูมิ (hypothalamus) เช่นเดียวกับเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า 34 °C ตัวรับรู้ที่ผิวหนังจะส่งสัญญาณไปที่กระดุนที่สมองของเราและอุณหภูมิจะเริ่มสูงขึ้น ตัวรับรู้อุณหภูมิเป็นเหมือนเครื่องส่งสัญญาณชนิดหนึ่งที่บอกสภาพแวดล้อมรอบตัวเรา และทำให้เรารู้สึกตามสภาพแวดล้อมนั้นให้เป็นความรู้สึกเชิงอุณหภูมิ เช่น ตัวรับรู้ความร้อนจะอยู่ที่ปลายนิ้ว จมูก และข้อศอก เป็นต้น ส่วนตัวรับรู้ความเย็นจะอยู่ที่ริมฝีปากล่าง จมูก คาง ทรวงอก และนิ้ว เป็นต้น แต่ที่ปลายนิ้วเป็นพื้นที่ที่รับรู้การนำความร้อนมากที่สุด ส่วนพื้นที่อุ่นของร่างกายจะเป็นใบหน้าและส่วนท้อง [1]

2.4.3 การควบคุมความร้อนของร่างกาย (Thermoregulation)

การควบคุมความร้อนของร่างกายมีอยู่ 2 กรณี คือ กรณีควบคุมความร้อนของร่างกายจากสภาวะร้อนไปสภาวะเย็น (Thermoregulation Hot to cold) เป็นการเก็บรักษาอุณหภูมิแกนเพื่อเป็นการป้องกันสภาวะ Hypothermia เป็นสภาวะที่ร่างกายเกิดการสูญเสียความร้อนอาจเกิดจากอากาศที่หนาวเย็นหรือน้ำที่เย็นจัดทำให้ร่างกายไม่สามารถรักษาระดับอุณหภูมิปกติที่ประมาณ 37 °C (98.6 °F) ร่างกายจะเริ่มหนาวสั่น ผิวหนังซีดลง เริ่มพูดไม่ชัด อัตราการเต้นของหัวใจช้าลง หมดสติและอาจเสียชีวิตได้ในที่สุด หากว่าไม่ได้รับการช่วยเหลืออย่างทัน ท่วงที่การป้องกันอาจทำได้โดยเพิ่มกิจกรรมที่มีการเคลื่อนไหวเพิ่มการหายใจเข้า ให้ร่างกายได้รับแสงแดด หรือพยายามอยู่ในที่ที่มีลมพัด เป็นต้น ซึ่งส่วนใหญ่สภาวะ Hypothermia จะเกิดขึ้นในต่างประเทศเพราะมีอากาศหนาวเย็น และในกรณีที่สองคือ กรณีควบคุมความร้อนของร่างกายจากสภาวะเย็นไปสภาวะร้อน (Thermoregulation Cold to Hot) เป็นการรักษาอุณหภูมิแกนเพื่อป้องกันการเกิดสภาวะ Hyperthermia คือ สภาวะที่มีไข้สูงจากพิษของความร้อนแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะ ได้แก่ Heat exhaustion จะมีอาการหน้าซีด มือเท้าเย็น จับดูที่ผิวหนังจะเย็นๆ ซึ้นๆ (chammy skin) เหงื่อจะออกมามากกว่าปกติ ซึ่พจรจะเต้นเร็วแต่เบาจับได้ยาก การทำงานของแขนและขาเริ่มไม่สัมพันธ์กันรวมถึงมีอาการเวียนศีรษะ คลื่นไส้ และหน้ามืดเป็นลมได้ ถ้าเกิดในลักษณะนี้จะค่อนข้างอันตรายตามผิวหนังของร่างกายจะแห้งและเป็นสีแดงจับดูจะรู้สึกตัวร้อนเหมือนมีไข้สูงโดยที่อุณหภูมิของร่างกายในขณะนั้นอาจจะสูงถึง 40.6 °C ในคนที่มีอาการของ heat stroke จะถึงขั้นหมดสติเกิดลมชัก และถ้าไม่ได้รับการรักษาปฐมพยาบาลอย่างถูกต้องและทัน ท่วงที่อาจจะถึงขั้นเสียชีวิตได้ การป้องกันอาจจะทำได้โดยการลดกิจกรรมเคลื่อนไหวให้น้อยที่สุด ย้ายจากที่มีอากาศร้อนเข้ามาในที่ร่มและมีอากาศที่เย็นกว่า เป็นต้น ส่วนใหญ่เกิดในภูมิประเทศที่อยู่ในแถบร้อน [1]

2.5 ดัชนีวัดสภาวะความสบายเชิงอุณหภูมิ (Thermal Comfort Indices)

2.5.1 ดัชนีทำนายการโหวตเฉลี่ย (Predicted Mean Vote, *PMV*)

ดัชนีทำนายการโหวตเฉลี่ยหรือ *PMV* เป็นการโหวตเฉลี่ยของประชากรส่วนใหญ่ในสภาวะแวดล้อมที่มีต่อความสบายเชิงอุณหภูมิเพราะในสภาพแวดล้อมเดียวกันบางคนอาจจะบอกว่ารู้สึกสบายแต่บางคนอาจจะบอกว่ารู้สึกไม่สบาย ดัชนีทำนายการโหวตเฉลี่ยคำนวณจากตัวแปรทางด้านกายภาพ ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ ความเร็วอากาศ อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยของผนังห้องและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศร่วมกับตัวแปรของบุคคล ได้แก่ ชนิดของเสื้อผ้าที่สวมใส่และระดับกิจกรรม ได้กำหนดสมการการคำนวณ *PMV* ซึ่งมีสเกลอยู่ระหว่าง -3 ถึง +3 เป็นดังสมการที่ 2.18

$$\begin{aligned}
 PMV = & (0.303e^{-0.036M} + 0.028)\{(M - W) - 3.05 \times 10^{-3} [5733 - 6.99 M - W - P_a] \\
 & - 0.42 \times [(M - W) - 58.15] - 1.7 \times 10^{-5} M(5867 - P_a) - 0.0014M(34 - t_a) \\
 & - 3.96 \times 10^{-8} f_{cl} \times [(t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4] - f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a)\} \quad (2.18)
 \end{aligned}$$

- เมื่อ M คือ พลังงานความร้อนในร่างกายที่ปล่อยออกมาโดยกระบวนการ Metabolic rate (W/m^2)
 W คือ งานภายนอก (W/m^2)
 P_a คือ ความดันไอน้ำในอากาศ (Pa)
 t_a คือ อุณหภูมิอากาศ ($^{\circ}C$)
 t_r คือ อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย ($^{\circ}C$)
 t_{cl} คือ อุณหภูมิผิวเสื้อผ้า ($^{\circ}C$)
 f_{cl} คือ อัตราส่วนของพื้นผิวของคนกรณีสวมเสื้อผ้าและกรณีไม่สวมเสื้อผ้า (ND)
 h_c คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อน ($W/m^2 \cdot ^{\circ}C$)

เราสามารถทำนายความรู้สึกของคนที่มีต่อสภาพแวดล้อมนั้นได้จากค่าของ *PMV* กล่าวคือ เมื่อคำนวณค่า $PMV = -1$ (slightly cool) ซึ่งแสดงได้ว่าคนที่อยู่ในห้องที่ทดสอบนั้นรู้สึกเย็นเล็กน้อยหรือ $PMV = +1$ แสดงว่ามีความรู้สึกร้อนเล็กน้อย [1]

2.5.1.1 ความดันไอน้ำย่อยในอากาศ (Partial water vapor pressure, P_a) โดยทั่วไปอากาศร้อนมีความสามารถในการอุ้มปริมาณไอน้ำได้มากกว่าอากาศเย็นซึ่งจำนวนโมเลกุลของไอน้ำที่มากขึ้นจะทำให้ความดันไอน้ำมากขึ้นตามไปด้วย หากมีจำนวนไอน้ำในอากาศมากขึ้นความดันไอน้ำจะเพิ่มขึ้นและตามกฎของก๊าซของอุณหภูมิจะแปรผันตามความดันกล่าวคือ เมื่อความดันเพิ่มขึ้น อุณหภูมิของ

อากาศก็จะสูงตามไปด้วยหรืออาจสรุปได้ว่าอุณหภูมิของอากาศแปรผันตามความดันไอน้ำ (ปริมาณของไอน้ำในอากาศ) และอากาศชั้นย่อมจะมีอุณหภูมิสูงกว่าอากาศแห้ง [4]

$$P_a = e^{\left(\frac{18.956 - \frac{4030}{t_a + 235}}{t_a + 235} \right)} \times RH \quad (\text{mbar}) \quad (2.19)$$

2.5.1.2 อุณหภูมิของเสื้อผ้า (Surface temperature of clothing, t_{cl}) นอกจากอุณหภูมิผิวของคนเราที่ทำให้รู้สึกตัวร้อนหรือเย็นแล้ว เสื้อผ้าที่เราสวมใส่ก็มีผลกระทบเช่นเดียวกัน หากเราสามารถเลือกใส่เสื้อผ้าให้เข้ากับสภาพอากาศ เช่น เหมาะกับหน้าร้อนหรือเหมาะกับหน้าหนาวเสื้อผ้าสามารถช่วยลดการถ่ายเทความร้อนจากผิวได้ สมการคำนวณมีดังสมการที่ 2.20

$$t_{cl} = 35.7 - 0.028(M - W) - I_{cl} \quad (^\circ\text{C})$$

$$\{3.96 \times 10^{-8} \times f_{cl} \times [(t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4] + f_{cl} \times h_c(t_{cl} - t_a)\} \quad (2.20)$$

2.5.1.3 ตัวประกอบของพื้นที่ผิวของบุคคลกรณีสวมเสื้อผ้าและไม่สวมเสื้อผ้า (Clothing factor, f_{cl}) ในกรณีที่บุคคลสวมใส่เสื้อผ้าพื้นที่ผิวจะมากกว่ากรณีที่ไม่สวมใส่เสื้อผ้าเกิดจากความหนาของชั้นเสื้อผ้า ได้กำหนดดังสมการที่ 2.21

$$f_{cl} = \frac{A_{cl}}{A_{Du}} \quad (2.21)$$

เมื่อ A_{cl} คือ พื้นที่การต้านทานความร้อนของเสื้อผ้า (m^2)

A_{Du} คือ พื้นที่ผิวต่อร่างกายเปลือย (DuBois area, m^2)

ได้แสดงความสัมพันธ์ของ f_{cl} เป็นฟังก์ชันของ I_{cl} ดังนี้

โดยถ้ามีค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้า I_{cl} เมื่อนำไปคูณกับ 0.155 เพื่อให้มีหน่วยเป็น $\text{m}^2\text{C/W}$ มีค่าน้อยกว่า $0.078 \text{ m}^2\text{C/W}$ แล้วเราจะใช้สมการที่ 2.22 ในการคำนวณหาค่าอัตราส่วนของพื้นที่ผิวของคนกรณีสวมเสื้อผ้าและกรณีไม่สวมเสื้อผ้า f_{cl}

$$f_{cl} = 1.00 + 1.290I_{cl} \quad (2.22)$$

แต่ในทางกลับกันถ้าค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้า I_{cl} มีมากกว่า $0.078 \text{ m}^2\text{C/W}$ แล้วเราจะใช้สมการที่ 2.23 ในการคำนวณหาค่าอัตราส่วนของพื้นผิวของคนที่สวมเสื้อผ้าและ คนที่ไม่สวมเสื้อผ้า f_{cl}

$$f_{cl} = 1.05 + 0.645I_{cl} \quad (2.23)$$

2.5.1.4 สัมประสิทธิ์การพาความร้อน (Convective heat transfer coefficient, h_c) กระบวนการถ่ายเทความร้อนแบบการพาความร้อนเป็นปรากฏการณ์เคลื่อนที่ของพลังงานจากแหล่งอุณหภูมิสูงไปยังอุณหภูมิต่ำกว่า โดยที่โมเลกุลตัวกลางมีการเคลื่อนที่ไปด้วย ตัวอย่างเช่น การเคลื่อนที่ของลมที่ผ่านร่างกาย ลมดังกล่าวก็จะมีอุณหภูมิสูงตามไปด้วย ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนมีด้วยกัน 2 แบบ [1]

สัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบบังคับ

การพาความร้อนแบบบังคับ (Forced convection) เกิดขึ้นเมื่อมีแรงภายนอกมาบังคับให้ของไหลเคลื่อนที่พร้อมๆ กัน กับหน้าที่การถ่ายโอนความร้อนมักจะอาศัยอุปกรณ์ช่วย เช่น พัดลม การพาความร้อนแบบบังคับนี้จะมีประสิทธิภาพมากกว่าแบบธรรมชาติ สามารถหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบบังคับได้จากสมการที่ 2.24 โดยที่เมื่อนำค่าอุณหภูมิของเสื้อผ้า t_{cl} และอุณหภูมิอากาศ t_a แทนในสมการ 2.38 $(t_{cl} - t_a)^{0.25}$ โดยนำค่าที่ได้มาเทียบกับผลของความเร็วยานพาหนะหรือความเร็วลม V_a ที่ได้จากการนำไปแทนในสมการ $12.1 \times \sqrt{V_a}$ โดยถ้ามีค่าน้อยกว่าจะใช้สมการที่ 2.24 ในการคำนวณ เพราะจะเข้ารูปแบบการพาความร้อนแบบบังคับ

$$h_c = 12.1 \sqrt{V_a} \quad (2.24)$$

เมื่อ V_a คือ ความเร็วยานพาหนะหรือความเร็วลม (m/s)

แต่ถ้าเมื่อแทนค่าอุณหภูมิของเสื้อผ้า t_{cl} และอุณหภูมิอากาศ ในสมการ 2.38 $(t_{cl} - t_a)^{0.25}$ โดยนำค่าที่ได้มาเทียบกับผลของความเร็วยานพาหนะหรือความเร็วลม V_a ที่ได้จากการนำไปแทนในสมการ $12.1 \times \sqrt{V_a}$ โดยถ้ามีมากกว่าจะใช้สมการที่ 2.25 ในการคำนวณเพราะจะเข้ารูปแบบการพาความร้อนแบบธรรมชาติ

สัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบธรรมชาติ

การพาความร้อนแบบอิสระหรือการพาความร้อนแบบธรรมชาติ (Free or natural convection) เป็นลักษณะการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นจากการเคลื่อนที่ของของไหลที่เกิดจากแรงลอยตัวที่เนื่องจาก

ความแตกต่างของความหนาแน่นซึ่งมีผลมาจากการที่อุณหภูมิภายในของไหลแตกต่างกัน สามารถหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบธรรมชาติได้จากสมการที่ 2.25 [1]

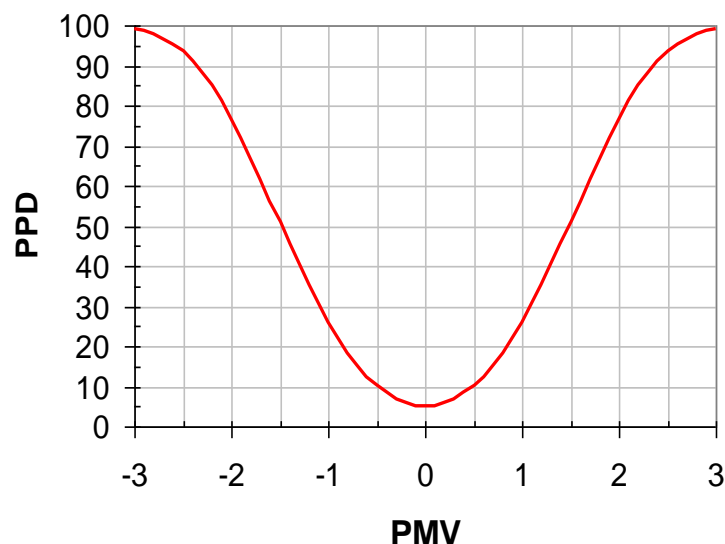
$$h_c = 2.38(t_{cl} - t_a)^{0.25} \quad (2.25)$$

2.5.2 การทำนายเปอร์เซ็นต์ความไม่พอใจ (Predicted Percentage Dissatisfied, *PPD*)

เนื่องจากความรู้สึกสบายเชิงอุณหภูมิของคนส่วนใหญ่ไม่เหมือนกันแม้จะอยู่ในสภาวะแวดล้อมเดียวกัน บางคนอาจจะพอใจหรือรู้สึกสบายในระดับที่รู้สึกเย็นเล็กน้อยแต่บางคนอาจจะไม่รู้สึกสบาย ตัวอย่างเช่น ถ้าดัชนีทำนายการไหลเวียน (PMV) มีค่าตามสเกลเท่ากับ -1 หมายความว่าทุกคนที่อยู่ในสภาพแวดล้อมนั้นมีความรู้สึกเย็นเล็กน้อย แต่ในทางปฏิบัติจริงอาจจะอธิบายค่าความรู้สึกนี้ได้ยาก จึงได้มีการกำหนดดัชนีที่บอกให้ทราบถึงเปอร์เซ็นต์ของกลุ่มคนที่รู้สึกไม่สบาย (Predicted Percentage Dissatisfied) ขึ้นมาหรือเขียนตัวย่อได้ว่า *PPD* โดยค่า *PPD* สามารถแสดงฟังก์ชันของ *PMV* ดังนี้

$$PPD = 100 - 95 e^{-(0.03353 PMV^4 + 0.2179 PMV^2)} \quad (\%) \quad (2.26)$$

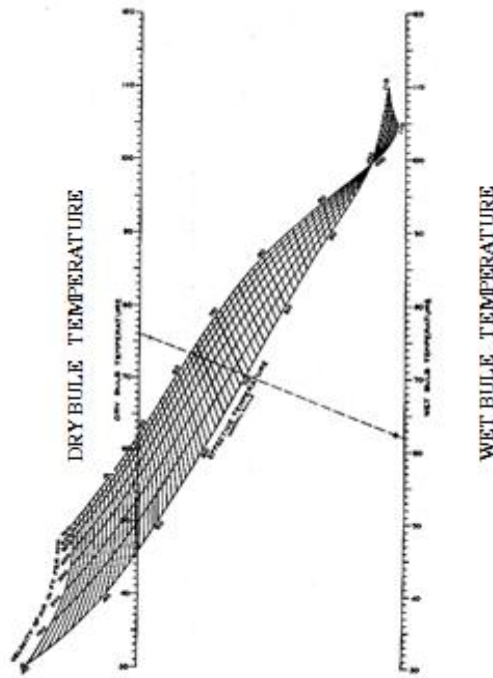
กราฟความสัมพันธ์ของ *PMV* กับ *PPD* แสดงได้ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ *PMV* กับ *PPD* [1]

จากกราฟที่ค่า $PMV = 0$ เป็นค่าที่รู้สึกสบายที่สุดจะมีค่า $PPD = 5\%$ ซึ่งเป็นจุดที่คนกลุ่มน้อยที่สุดรู้สึกไม่สบาย ส่วนค่า PMV ที่เปลี่ยนไปจากนี้กลุ่มของคน que รู้สึกไม่พอใจจะมีเปอร์เซ็นต์สูงขึ้น ตัวอย่างเช่น ค่า $PMV = -1$ จะมีค่า $PPD = 26\%$ แสดงว่าในห้องที่ทำการทดสอบมีผู้รู้สึกไม่พอใจเป็นจำนวน 26 คน จากทั้งหมด 100 คน [4]

2.5.2.1 อุณหภูมิแอฟเฟคทีฟ (Effective Temperature, ET^*) อุณหภูมิยังผลเป็นอุณหภูมิสมมติที่ทำให้คนทำงานอยู่ในอาคารซึ่งมีอากาศนิ่งและอึดตัว รู้สึกสบายเท่ากับคนทำงานอยู่ภายนอกอาคารที่อุณหภูมิและความชื้นของอากาศเคลื่อนไหวไปมา อุณหภูมิยังผลเป็นอุณหภูมิที่นิยมใช้ในการวัดอุณหภูมิของสภาพแวดล้อม และเป็นแนวทางสำคัญที่ใช้กันมากที่สุดในการพิจารณาสภาพสภาวะความสบายของมนุษย์ อุณหภูมินี้เป็นอุณหภูมิที่ไม่มีกฎเกณฑ์แน่นอนแต่พิจารณาโดยถือหลักทั่วไปของอุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ และการเคลื่อนที่ของอากาศโดยไม่พิจารณาการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ ซึ่งเกี่ยวข้องกับสัมพันธ์กับความรู้สึกร้อนหรือหนาวทางกายภาพอันเกิดขึ้นจากร่างกายของมนุษย์ แสดงดังรูปที่ 2.5 [1]



รูปที่ 2.5 แผนภูมิแสดงสเกลของอุณหภูมิยังผล [1]

Parson (1993) ได้แสดงความสัมพันธ์ของ ET^* ดังนี้

$$ET^* = 0.49T_a + 0.19P_a + 6.47 \quad (^\circ\text{C}) \quad (2.27)$$

$$P_a = e^{\left(18.956 - \frac{4030}{t_a + 235}\right)} \quad (\text{kPa}) \quad (2.28)$$

เมื่อ ET^* คือ อุณหภูมิแอฟเฟคทีฟ ($^\circ\text{C}$)

P_a คือ อุณหภูมิไอน้ำ (mbar)

t_a คือ อุณหภูมิอากาศแวดล้อม ($^\circ\text{C}$)

2.5.2.2 อุณหภูมิโอเปอเรทีฟ (Operative Temperature, T_{op}) อุณหภูมิที่คงที่ของสิ่งแวดล้อมสีดำ (Black enclosure) ที่มีการแลกเปลี่ยนความร้อนโดยการแผ่รังสีในอัตราเท่ากับร่างกายมนุษย์ที่สูญเสียความร้อนโดยการแผ่รังสีนั้นในสภาพแวดล้อมจริง และมีความเร็วอากาศกับความดันเท่ากัน การหาขอบเขตความสบายจำเป็นต้องใช้อุณหภูมิโอเปอเรทีฟเพื่อให้เราทราบว่าสภาวะอากาศขณะนั้นว่าอยู่ในขอบเขตความสบายหรือไม่ อุณหภูมิโอเปอเรทีฟมีสมการในการคำนวณดังนี้ [4]

$$T_{op} = \frac{h_r T_r + h_c T_a}{h_r + h_c} \quad (^\circ\text{C}) \quad (2.29)$$

เมื่อ h_r = สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน ($\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$)

h_c = สัมประสิทธิ์การพาความร้อน ($\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$)

ตารางที่ 2.4 สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีและการพาความร้อนของร่างกาย [5]

สัมประสิทธิ์	การนั่ง	การยืน
h_r	1.5	4.5
h_c	3.3	3.4

2.5.3 ค่าการโหวตเฉลี่ย (Actual Mean Votes)

การศึกษาในทอมนการหาค่าความรู้สึกเชิงอุณหภูมิที่คนเราศึกษากันมากเป็นการใช้สเกลการโหวต ด้วยความรู้สึกเชิงอุณหภูมิทั้งหมดของร่างกาย โมเดลที่ถูกนำมาใช้มากที่สุดในการหาค่าความรู้สึกเชิงอุณหภูมิตลอดระยะเวลา 30 ปีที่ผ่านมา คือ โมเดลของ Fanger [1] (เช่น -3 เย็น ถึง +3 ร้อน และ 0

อยู่ตรงกลางแสดงค่าพอดี) และจากการทดลองของ Fanger [1] สามารถสร้างสมการถดถอยซึ่งเป็นฟังก์ชันของค่าการโหวตเฉลี่ยกับอุณหภูมิแวดล้อมได้ดังนี้

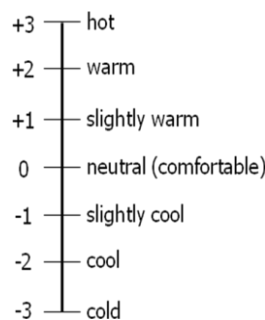
$$Y = -3.836 + 0.3048T \quad (2.30)$$

เมื่อ Y คือ ค่าเฉลี่ยการโหวตความรู้สึกเชิงอุณหภูมิ
 T คือ อุณหภูมิแวดล้อมที่ความชื้นสัมพัทธ์ 50%

โดยที่ค่าเฉลี่ยการโหวตความรู้สึกเชิงอุณหภูมิใช้สเกลชี้วัดสภาวะความสบาย [10] ซึ่งมีด้วยกัน 7 ระดับ ตั้งแต่ 1 ถึง 7 ค่าความรู้สึกสบายอยู่ที่ระดับ 4 แสดงได้ดังรูปที่ 2.6 และในประเทศไทยมีการทดลองหาค่าอุณหภูมิที่คนไทยรู้สึกสบายในอาคารสำนักงานที่มีการปรับอากาศ [7] จากผลการทดลองได้สมการถดถอย คือ

$$Y = -2.338 + 0.2499T \quad (2.31)$$

โดยค่าเฉลี่ยการโหวตความรู้สึกเชิงอุณหภูมิใช้สเกลชี้วัดสภาวะความสบาย ASHRAE [2] ซึ่งมีด้วยกัน 7 ระดับ ตั้งแต่ -3 ถึง +3 แสดงได้ดังรูปที่ 2.6



The 7-point ASHRAE scale

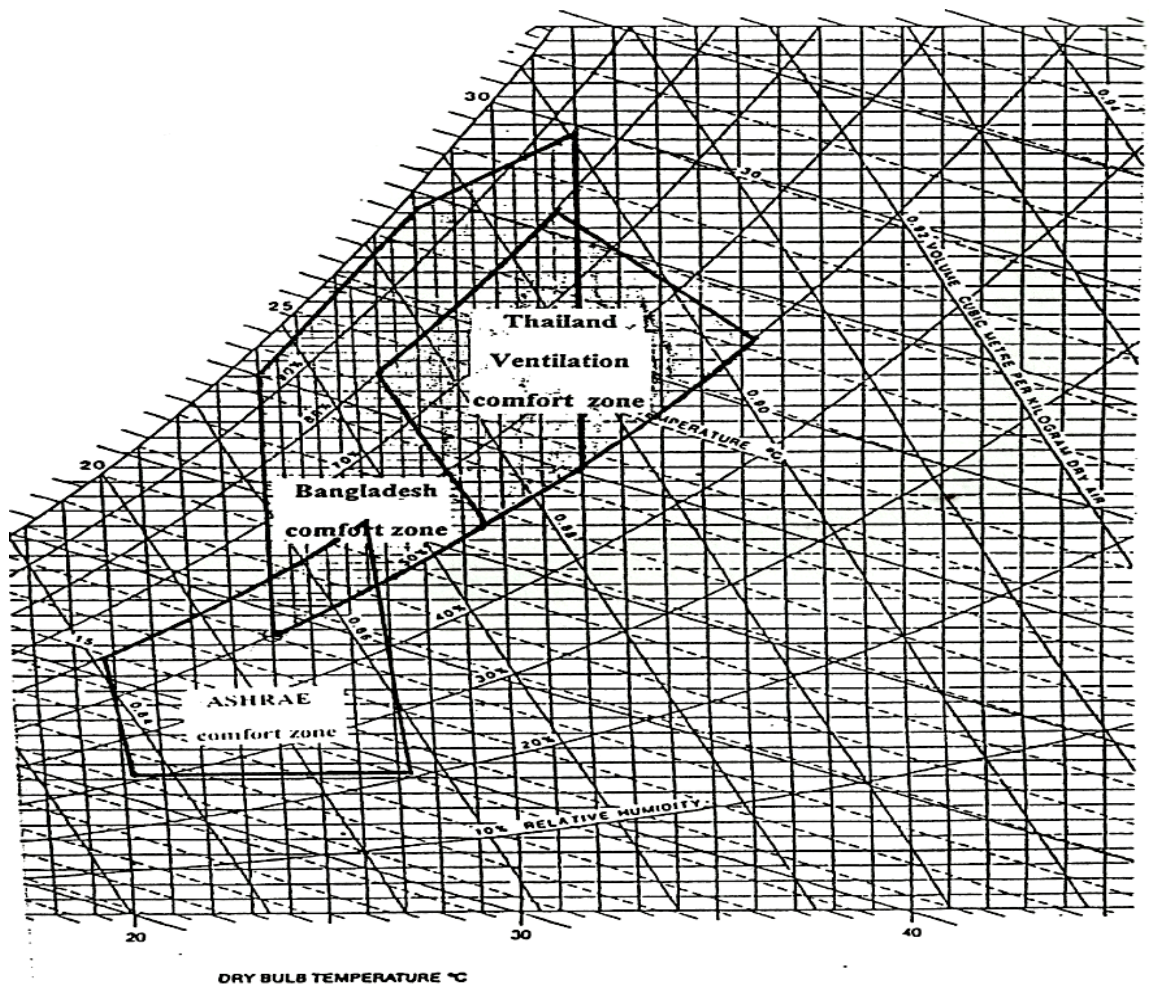
รูปที่ 2.6 สเกลชี้วัดสภาวะความสบายของ ASHRAE [2]

2.5.4 ขอบเขตความสบาย (Comfort Zone)

ในปี ค.ศ.1923 [11] ได้ทำการทดลองหาขอบเขตความสบายที่มีผลมาจากอุณหภูมิและความชื้นพร้อมทั้งได้ทำโมโนแกรม (Monogram) ขึ้นมาใช้เป็นครั้งแรก และได้ค่าดัชนีขึ้นมาตัวหนึ่งใช้แทนความหมายของภาวะอากาศห้องแรกเท่ากับห้องสองเป็นค่าของอุณหภูมิ เรียกว่า อุณหภูมิยังผล

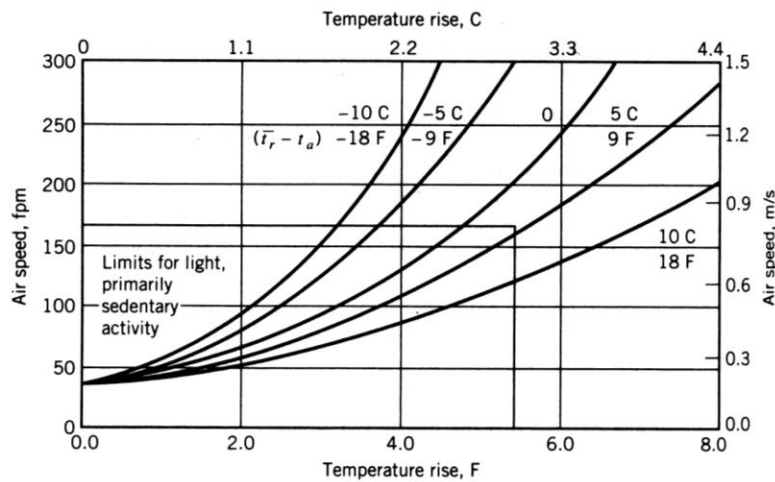
(Effective Temperature) เมื่อทดสอบหลายครั้งก็นำค่าเหล่านี้มาสร้างโมโนแกรมหรือกราฟเพื่อใช้หาอุณหภูมิความสบายที่สภาวะอากาศต่างๆ การสร้างแผนภูมิความสบายขึ้นมาใช้ไซโครเมตริกชาร์ต แผนภูมินี้ถูกนำมาใช้ตั้งแต่ปี ค.ศ.1970 ต่อมาได้มีการปรับปรุงแก้ไขให้เหมาะสมกับสภาวะปัจจุบัน ซึ่งอ้างอิงตาม ASHRAE (Standard 55-2004)

ความสบายเชิงอุณหภาพของประเทศไทยได้มีการศึกษาเช่นกัน โดยการศึกษาเพื่อสร้างแผนภูมิความสบายของการถ่ายเทอากาศของห้องเรียนที่ไม่มีการปรับอากาศสำหรับประเทศไทย ผลการศึกษาพบว่า แผนภูมิแรกๆที่สร้างขึ้นนี้มีขอบเขตความสบายของการถ่ายเทอากาศบนไซโครเมตริกชาร์ต ใช้ได้ที่มีความเร็วลมตั้งแต่ 0.2 m/s ถึง 3 m/s มีขอบเขตบนอยู่ที่อุณหภูมิกระเปาะแห้ง 27 °C ถึง 31.5 °C ระดับความชื้น 80 % ช่วงขอบเขตล่างอยู่ที่อุณหภูมิ 29.5 °C ถึง 36.5 °C ระดับความชื้น 50 % ขอบเขตความสบายเมื่อเปรียบเทียบกับประเทศบังคลาเทศซึ่งมีสภาพอากาศคล้ายกับประเทศไทย พบว่ามีตำแหน่งบนไซโครเมตริกชาร์ตใกล้เคียงกัน [12]



รูปที่ 2.7 ขอบเขตสภาวะความสบายของประเทศไทยบนไซโครเมตริกชาร์ต [12]

Oleson และ Brager ได้ศึกษาและพบว่าหากอุณหภูมิสูงขึ้นจะเกิดความต้องการความเร็วลมที่เพิ่มขึ้น เพื่อให้เกิดสภาวะความสบาย หรืออาจกล่าวได้ว่าความเร็วลมสามารถช่วยให้ผู้อาศัยทนอยู่ในสภาพที่อุณหภูมิสูงกว่าปกติได้ซึ่งรูปนี้จะใช้สำหรับระดับกิจกรรมนั่งพักผ่อน โดยมีอัตราเมตาบอลิกอยู่ระหว่าง 1.0 ถึง 1.3 met และเสื้อผ้าเป็นแบบบางที่ใส่ในฤดูร้อนมีค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าอยู่ระหว่าง 0.5 ถึง 0.7 Clo แต่ความต้องการความเร็วลมต้องไม่เกิน 0.8 m/s ตามการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิการแผ่รังสีที่ไม่เกิน 5.4 °F หรือ 3 °C ดังแสดงในรูปที่ 2.8 [1]



รูปที่ 2.8 ความต้องการความเร็วลมเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น [1]

2.5.5 การปรับตัวให้เกิดความสบาย (Adaptive Comfort)

การปรับตัวเพื่อให้เข้าใกล้กับสภาวะความสบายเชิงมุมอุณหภาพไม่ได้พิจารณาจากการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างคนกับสิ่งแวดล้อมแต่พิจารณาจากการสังเกตพฤติกรรมต่างๆ ว่าเป็นไปตามสภาวะความสบายเชิงอุณหภาพหรือไม่ หลักเกณฑ์การปรับตัวคือ “ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นกับอุณหภูมิแวดล้อมซึ่งทำให้เกิดความรู้สึกไม่สบาย ผู้คนจะ ได้ตอบในทางที่ให้เข้าถึงการคืนสภาพความสบาย” ซึ่งการปรับตัวของผู้อาศัยกับสภาวะแวดล้อมที่อยู่หรือปรับสภาวะแวดล้อมที่อยู่เข้ากับผู้อาศัยอธิบายได้ว่าความสบายสามารถบรรลุผลได้หากผู้อาศัยปรับเปลี่ยนสภาวะในอาคารหรือปรับเปลี่ยนอาคารด้วยการปรับปรุงให้มีความสบายมากขึ้น ลักษณะของพฤติกรรมปรับตัว (Adaptive behavior) เช่น การสั้นของร่างกายโดยอัตโนมัติ การเปลี่ยนเสื้อผ้าที่สวมใส่ และการเปิดหน้าต่าง เป็นต้น แต่บางครั้งก็มีข้อจำกัดสำหรับการปรับตัวของเราเพื่อหลีกเลี่ยงสภาวะไม่สบาย เช่น ลักษณะของอากาศตามฤดูกาลซึ่งถ้าอุณหภูมิภายนอกนั้นร้อนกว่าอุณหภูมิภายในเมื่อเราเปิดหน้าต่างอาจจะทำให้สภาวะความสบายเชิงอุณหภาพแย่ลง เป็นต้น

อุณหภูมิตามฤดูกาลเป็นตัวแปรที่มีผลมากที่สุดกับการเลือกใส่เสื้อผ้าซึ่งผลสะท้อนนี้เปลี่ยนผู้คนให้ใส่เสื้อผ้าตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป [9] พบว่าการสวมใส่เสื้อผ้าความสัมพันธ์กับอุณหภูมิภายนอกและอุณหภูมิภายในตามฤดูกาลเพราะอุณหภูมิภายนอกอาคารจะมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาซึ่งมีผลต่ออุณหภูมิภายใน เช่นเดียวกับหากเราต้องการออกไปทำกิจกรรมด้านนอกอาคารก็สามารถควบคุมตัวแปรที่มีผลกระทบต่อสภาวะความสบายเชิงอุณหภูมิได้ ดังนั้นการเลือกสวมใส่เสื้อผ้าให้เหมาะสมกับสภาวะอากาศภายนอกหรือตามฤดูกาลก็สามารถทำให้คนเรารู้สึกสบายได้ ซึ่งการทำสภาพแวดล้อมภายในให้เหมาะสมจะทำให้ร่างกายถ่ายเทความร้อนได้ดี เช่น อาจเลือกใช้พัดลมหรือเครื่องปรับอากาศในการทำความเย็น การเปิดหน้าต่าง การอาบน้ำ การดื่มน้ำเย็นหรือออกไปข้างนอกที่มีอากาศเย็นกว่าในบ้าน เป็นต้น ซึ่งทุกกิจกรรมที่กล่าวมาล้วนแต่เป็นวิธีการที่คนมักจะใช้ปรับตัวกับสภาวะอากาศที่เป็นอยู่เสมอ เราสามารถออกแบบอุณหภูมิภายในอาคารบ้านเรือนได้จากอุณหภูมิการปรับตัวให้เกิดความสบาย (Adaptive Comfort Temperature, ACT) หรืออุณหภูมิความสบาย (Neutral Temperature) ที่เป็นสมการถดถอยเชิงเส้นที่ได้จากความสัมพันธ์ของอุณหภูมิภายในเฉลี่ยหรืออุณหภูมิภายนอกเฉลี่ยซึ่งการใช้สมการนี้จะช่วยลดเปอร์เซ็นต์ความไม่พอใจของผู้อยู่อาศัยได้ [5]

2.6 ประเภทของกระจกแยกตามการใช้งานภายในอาคารที่ทำการสำรวจ

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงค่าสมบัติของกระจกทั้ง 3 ชนิดที่ได้ทำการศึกษา ซึ่งได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.5 อีกทั้งได้กล่าวถึงจำนวนคนและสถานที่ที่ทำการสำรวจรวมทั้งชนิดของกระจกที่ติดตั้งภายในอาคารแต่ละสถานที่

ตารางที่ 2.5 ค่าสมบัติของกระจกทั้ง 3 ชนิด

ชนิดกระจก	สมบัติของกระจกในการศึกษาวิจัย		
	ค่าการส่งผ่านพลังงานแสงอาทิตย์ (%)	ค่าการดูดกลืนพลังงานแสงอาทิตย์ (%)	ค่าสะท้อนพลังงานแสงอาทิตย์ (%)
กระจกใส	80	13	7
กระจกสีชา	43	51	6
กระจกสะท้อนรังสีอาทิตย์	10	66	24

ข้อมูลของกลุ่มตัวอย่างในการสำรวจครั้งนี้ในแต่ละสถานที่ที่ทำการวิจัยพร้อมกับการตรวจวัดค่าสภาพแวดล้อม ค่าของอุณหภูมิอากาศ เพื่อใช้ในการคำนวณค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย โดยหลังจาก

การทำการแจกแบบสอบถามได้ทำการเก็บข้อมูลรวมทั้งหมด 284 คน โดยแบ่งเป็นเพศชาย 167 คน และเพศหญิง 117 คน โดยได้แบ่งทำการสำรวจแต่ละที่ดังนี้ พื้นที่ภายในอาคารที่มีกระจกชนิดใสธรรมดา พบว่าอาคารที่มีการติดตั้งกระจกใสธรรมดา มี 3 อาคาร คือ บริเวณชั้นล่าง สำนักบรรณสาร สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์, บริเวณห้องอ่านหนังสือ อาคารเวียงผา มหาวิทยาลัยรามคำแหง และภายในธนาคารกสิกรไทย สาขาสุขุมวิท 57 ส่วนอาคารที่มีการติดตั้งกระจกสีชา ธนาคารออมสิน สาขารามคำแหง 1 และบริเวณชั้น 5 สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่มีการติดตั้งกระจกสะท้อนรังสีอาทิตย์

การสำรวจสภาพภูมิอากาศแวดล้อมของชนิดของผนังที่ทำการสำรวจ จากการได้ไปศึกษาพบว่า มีกระจกอยู่ 2 ชนิด คือ

2.6.1 กระจกธรรมดา (Float Glass)

กระจก ธรรมดาเป็นกระจกพื้นฐานที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตโดยตรง แบ่งออกเป็น 2 ชนิด ซึ่งมีรายละเอียด และข้อพิจารณาในการนำไปใช้งาน ดังนี้

1) กระจกใส (Clear Glass)

กระจกใส คือ กระจกโปร่งแสงที่สามารถมองผ่านได้อย่างชัดเจนและให้ภาพสะท้อนที่สมบูรณ์ ไม่มีบิดเบี้ยว

คุณสมบัติ

- 1) สามารถมองเห็นจากภายนอกเข้ามาภายในได้อย่างชัดเจน
- 2) มีค่าการตัดแสงประมาณ 8% สำหรับกระจกใสหนา 12 มิลลิเมตร และตัดแสงได้มากขึ้นตามความหนาของกระจก
- 3) มีค่าการสะท้อนแสงประมาณ 7%
- 4) ผิวกระจกไม่ร้อน เพราะกระจกดูดกลืนความร้อน ได้น้อยมาก

โดยได้มีการนำมาใช้ภายในอาคารของ บริเวณชั้นล่าง สำนักบรรณสาร สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์ แสดงในรูปที่ 2.8 บริเวณห้องอ่านหนังสือ อาคารเวียงผา มหาวิทยาลัยรามคำแหง แสดงในรูปที่ 2.9 และภายในธนาคารกสิกรไทย สาขาสุขุมวิท 57 แสดงดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.9 การใช้กระจกใส บริเวณชั้นล่างสำนักบรรณสาร สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์



รูปที่ 2.10 การใช้กระจกใส บริเวณห้องอ่านหนังสืออาคารเวียงผา มหาวิทยาลัยรามคำแหง



รูปที่ 2.11 การใช้กระจกใส ภายในธนาคารกสิกรไทย สาขาสุขุมวิท 57

2) กระจกสี (Tinted Glass)

ผลิตขึ้น โดยการผสมโลหะออกไซด์เข้าไปในส่วนผสม ในขั้นตอนการผลิตกระจก ทำให้กระจกมีสีส้ม โดยได้มีการนำมาใช้ภายในอาคารภายในธนาคารออมสิน สาขารามคำแหง 1 แสดงในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.12 การใช้กระจกสีชา ภายในธนาคารออมสิน สาขารามคำแหง 1

คุณสมบัติ

- 1) ผิวกระจกร้อน เนื่องจากสีของเนื้อกระจกที่เกิดจากการเติมโลหะออกไซด์ต่างๆ เป็นตัวดูดความร้อน ทำให้ความร้อนจากกระจกแผ่เข้ามาภายในอาคาร
- 2) ตัดแสงไม่ให้เข้ามาภายในอาคารมาก กระจกสีมีค่าสัมประสิทธิ์เปรียบเทียบการบังแดดต่ำกว่ากระจกใสมาก เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดต่ำมากๆ แสงเข้าน้อยทำให้ความร้อนเข้ามาได้น้อยด้วย
- 3) สามารถ สกักกั้นความร้อนจากแสงอาทิตย์ ที่ตกกระทบกระจกสีได้มากกว่ากระจกใส ปริมาณการดูดกลืนความร้อนขึ้นอยู่กับส่วนผสมของเนื้อกระจก ซึ่งสามารถผลิตให้มีการสกักกั้นรังสีอาทิตย์ได้หลายระดับ แต่ผิวกระจกจะร้อนขึ้นเมื่อมีการสกักกั้นรังสีมาก
- 4) ช่วยลดความจ้าของแสงที่ส่งผ่าน กระจกสีทำให้ได้แสงที่นุ่มนวลและเกิดความสบายตาในการมอง

2.6.2 กระจกเคลือบผิว (Surface Coated Glass)

แบ่งออกเป็น 2 ชนิดได้แก่ กระจกสะท้อนรังสีอาทิตย์ และกระจกที่มีสภาพการแผ่รังสีต่ำ

- 1) กระจกสะท้อนรังสีอาทิตย์ (Solar Reflective Glass)

กระจกสะท้อนรังสีอาทิตย์เป็นกระจกธรรมดาที่เคลือบด้วยโลหะออกไซด์ มีค่าการสะท้อนแสงค่อนข้างสูง ความโปร่งแสงค่อนข้างน้อย

ข้างน้อย มีสีสันสวยงามหลายสีที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับรูปแบบการเคลือบ และสีของกระจกที่เป็นวัตถุดิบที่นำมาเคลือบ

คุณสมบัติ

- 1) ทำให้แสงอาทิตย์และรังสีความร้อนผ่านเข้ามาในอาคารได้น้อย
- 2) ช่วยลดแสงที่แรงจ้าให้นุ่มนวลลง ทำให้เกิดความสบายตา
- 3) สร้างความเป็นส่วนตัวแก่คนภายในอาคาร เนื่องจากมองทะลุเข้ามาในตัวอาคารได้ลำบาก โดยได้มีการนำมาใช้ภายในอาคารบริเวณชั้น 5 สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ดังแสดงในรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.13 การใช้กระจกสะท้อนรังสีอาทิตย์ ภายในอาคารบริเวณชั้น 5 สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Brager et al. [11] ได้ทำการศึกษาหาขอบเขตสภาวะความสบายเชิงอุณหภูมิที่เกิดจากผลของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์และได้แสดงเป็นกราฟ (Monogram) ขึ้นมาใช้เป็นครั้งแรกโดยทำการทดลองในห้องที่สามารถควบคุมสภาวะอากาศได้ 2 ห้อง ในห้องแรกอากาศนิ่งและมีความชื้น 100% ทำการปรับค่าอุณหภูมิไว้ค่าหนึ่งแล้วให้คนเข้าไปในห้องแรก หลังจากนั้นออกมาเข้าห้องที่ 2 ทำการปรับอุณหภูมิและความชื้นต่างจากห้องแรกปรับจนกว่าในห้องทดลองจะมีความรู้สึกทางความร้อนว่าสบายเหมือนอยู่ในห้องแรก ณ จุดนี้จะได้ค่าดัชนีขึ้นมาตัวหนึ่งใช้แทนความหมายของสภาวะอากาศห้องแรกเท่ากับห้องที่สองเป็นค่าของอุณหภูมิเรียกว่า อุณหภูมิยังผล (Effective Temperature) แล้วนำค่าเหล่านี้มาสร้างเป็นโมโนแกรม หรือกราฟเพื่อใช้หาอุณหภูมิความสบายที่สภาวะอากาศต่างๆ

Fanger [1] ทำการทดลองเพื่อที่จะหาอุณหภูมิที่ชาวเดนมาร์กรู้สึกสบาย โดยใช้คนทดสอบทั้งหมด 256 คน เป็นนักศึกษาชาย 64 คน นักศึกษาหญิง 64 คน อายุเฉลี่ย 23 ปี คนสูงอายุชาย 64 คน หญิง 64 คน อายุเฉลี่ย 68 คน สวมเสื้อผ้าที่มีความต้านทานความร้อน 0.6 clo นั่งอยู่ในห้องทดสอบกว้าง 2.8 เมตร ยาว 5.6 เมตร สูง 2.8 เมตร เป็นเวลา 3 ชั่วโมงต่อ 1 การทดลอง (กลุ่มละ 8 คนต่อ 1 การทดลอง) อุณหภูมิอากาศในห้องเท่ากับอุณหภูมิการแผ่รังสีความร้อนเฉลี่ย ความเร็วอากาศในห้องทดสอบ 0.1 m/s อุณหภูมิอากาศมี 4 ระดับคือ 21.1 °C, 23.3 °C, 25.6 °C และ 27.8 °C ความชื้นสัมพัทธ์มี 2 ระดับคือ 30% และ 70% ผลจากการทดลองได้สร้างสมการถดถอยซึ่งเป็นฟังก์ชันของค่าการโหวตเฉลี่ยกับ

อุณหภูมิแวดล้อม $Y = -3.836 + 0.3048T$ เมื่อ Y คือค่าเฉลี่ยการโหวตความรู้สึกทางความร้อน และ T คือ อุณหภูมิแวดล้อมที่ความชื้นสัมพัทธ์ 50% และเมื่อแทนค่าหาอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยที่ชาวแคนมาร์ก รู้สึกสบาย คือ $25.7\text{ }^{\circ}\text{C}$

Humphreys [13] ได้ศึกษาเพื่อหาค่าอุณหภูมิความสบายในอาคารที่ไม่มีการปรับอากาศ (Freerunning building) ใช้การระบายอากาศแบบธรรมชาติ และทำการสร้างกราฟระหว่างอุณหภูมิสบายภายในอาคารกับอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดเดือนภายนอกอาคารจากกลุ่มตัวอย่างที่ทำการสำรวจ ซึ่งผลการศึกษาที่ได้พบว่าอาคารที่ไม่มีการปรับอากาศจะมีความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้น ส่วนอาคารที่มีการปรับอากาศจะมีผลลัพธ์ที่ไม่เป็นเชิงเส้น

Tanabe and Kimura [14] ทำการทดลองในห้องทดลองกับชาวญี่ปุ่นเพื่อศึกษาว่าคนที่อยู่อาศัยในเขตร้อนชื้นมีความรู้สึกต่อสภาวะความสบายเชิงอุณหภาพอย่างไร เพื่อเปรียบเทียบผลการทดลองกับของ Fanger (1970) โดยใช้นักศึกษา 172 คน ใส่เสื้อผ้าที่มีความต้านทานความร้อน 0.6 clo การทดลองหนึ่งครั้งใช้คน 15-16 คน นั่งในห้องทดลองเป็นเวลา 3 ชั่วโมงต่อครั้ง โดยทำการทดลองทั้งหมด 11 ครั้ง ความชื้นสัมพัทธ์มี 3 ค่า คือ 40%, 50% และ 60% ผลการทดลองสามารถสร้างสมการถดถอยได้ดังนี้ $Y = -5.080 + 0.3488T$ เมื่อ Y คือค่าเฉลี่ยการโหวตความรู้สึกทางความร้อน และ T คือ อุณหภูมิแวดล้อมที่ความชื้นสัมพัทธ์ 50% และเมื่อแทนค่าหาอุณหภูมิที่รู้สึกสบายของคนญี่ปุ่น จะได้อุณหภูมิอากาศเฉลี่ย $26.3\text{ }^{\circ}\text{C}$

Nicol et al. [15] จากงานวิจัยในแถบตะวันตกเฉียงเหนือของประเทศปาเกิสถานที่มีสภาพอากาศร้อน ซึ่งทำการศึกษากับคนที่ทำงานในออฟฟิศในอาคารที่มีการระบายอากาศธรรมชาติ จากการศึกษาพบว่าในฤดูร้อนสวมใส่เสื้อผ้าเบาบางและเปิดหน้าต่าง ส่วนฤดูหนาวสวมใส่เสื้อผ้าหนา ใส่หมวก และปิดหน้าต่าง สรุปว่าการสวมใส่เสื้อผ้ามีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิภายนอกและอุณหภูมิภายใน

Aren et al. [16] ได้ทำการทดลองศึกษาชาวอเมริกันเพื่อศึกษาหาสภาวะความสบายเชิงอุณหภาพจากการที่มีลมเคลื่อนที่สัมผัสร่างกายโดยการใช้พัดลมพัดาน เงื่อนไขการทดสอบ คือคนทดสอบนั่งอยู่ในที่นั่น มีระดับกิจกรรม 1-1.2 met ค่าความต้านทานทางความร้อนของเสื้อผ้า 0.4 และ 0.5 clo โดยใช้ความเร็วลมทดสอบ 2 ระดับ คือ 1 m/s และ 2 m/s จากผลการทดลองที่ความเร็วลมทดสอบเฉลี่ย 1.4 m/s เป็นความเร็วลมที่ทำให้รู้สึกสบายที่สุดและไม่ทำให้เกิดความรำคาญในการทำงาน ที่ระดับกิจกรรม 1.2 met มีอุณหภูมิความสบาย $29\text{ }^{\circ}\text{C}$ ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 50% และที่ระดับกิจกรรม 1 met มีอุณหภูมิความสบาย $31\text{ }^{\circ}\text{C}$ ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 50%

Humphreys and Nicol [17] ได้ศึกษาสภาวะความสบายของแต่ละเดือนในเมืองเตหะรานในประเทศอิหร่าน ผลการศึกษาพบว่าอุณหภูมิความสบายของอุณหภูมิเฉลี่ยภายนอกซึ่งได้มาจากอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดและต่ำสุดของทุกวันในแต่ละเดือน ซึ่งสามารถคำนวณอุณหภูมิสบายได้จากสมการ $T_{n} = 0.54 T_{o} + 12.9$ เมื่อ T_{n} คืออุณหภูมิสบายและ T_{o} คืออุณหภูมิเฉลี่ยภายนอก

Brager and De Dear [11] ได้ศึกษาอุณหภูมิภายนอกกับอุณหภูมิสบายภายในโดยใช้ดัชนีทำนายการโหวตเฉลี่ย (PMV) เปรียบเทียบการสังเกตจากการปรับตัวตามสภาวะแวดล้อมจริงในอาคารที่มีระบบการปรับอากาศและอาคารที่มีการระบายอากาศแบบธรรมชาติ จากการศึกษาพบว่าดัชนีทำนายการโหวตเฉลี่ยไม่สามารถนำมาใช้กับอาคารที่มีการระบายอากาศธรรมชาติ

Feradi and Wong [18] ได้ทำการศึกษาสภาวะความสบายเชิงอุณหภาพสำหรับบ้านที่มีการระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติในประเทศอินโดนีเซีย โดยใช้ดัชนีทำนายการโหวตเฉลี่ย (PMV) เป็นดัชนีทำนายสภาวะความสบายเชิงอุณหภาพ มีกลุ่มตัวอย่างบ้านเรือน 525 หลังคาเรือน ผลการศึกษาจากค่าดัชนีทำนายการโหวตเฉลี่ย (PMV) พบว่าภายใต้สภาพอากาศในเขตร้อนชื้น เช่น ประเทศอินโดนีเซีย ผู้คนส่วนใหญ่มีความพึงพอใจต่อสภาพที่เย็นกว่านี้ (อุณหภูมิประมาณ 26°C) เมื่อเปรียบเทียบกับสภาพอากาศจริงที่ได้จากการทดลอง 29.2°C แต่สามารถปรับตัวโดยสร้างความเคยชินให้เข้ากับสภาวะแวดล้อมที่แท้จริงด้วยการหันมาใช้พัดลมเปิดหน้าต่างหรือสวมใส่เสื้อผ้าบางๆ เป็นต้น เพื่อให้เกิดสภาวะความสบายในสุด

Yamtrapat et.al. [10] ได้ทำการศึกษาสภาวะความสบายเชิงอุณหภาพสำหรับอาคารที่มีการปรับอากาศในประเทศไทยที่มีสภาพปรับอากาศแบบร้อนชื้น พิจารณาตามปัจจัยความเคยชินกับสภาพอากาศและระดับการศึกษาจากการสำรวจสภาวะความสบายเชิงอุณหภาพโดยมีจำนวนกลุ่มทดลองเป็นประชากรไทย 1,520 คน จากบริเวณภูมิอากาศที่แตกต่างกันของประเทศไทยเป็นการศึกษาอาคารปรับอากาศของรัฐบาลและเอกชน แบ่งการพิจารณาตามปัจจัยของสภาวะความสบายเชิงอุณหภาพเป็นอุณหภูมิ กระเปาะแห้งของอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์และความเร็วอากาศ จากผลการศึกษาพบว่า อุณหภูมิเฉลี่ยภายในสูงสุดที่รับได้คือ 26°C สำหรับทุกอากาศในอาคารของประเทศไทย และช่วงความชื้นสัมพัทธ์อยู่ระหว่าง 50-60%

ประพนธ์ วงษ์ท่าเรือ [7] ได้ศึกษาหาค่าอุณหภูมิที่คนไทยรู้สึกสบายในอาคารสำนักงานที่มีการปรับอากาศ ใช้จำนวนคนทดสอบทั้งหมด 219 คน สถานที่ทำงานจริง 4 แห่ง ลักษณะงานเป็นแบบนั่งทำงาน ความเร็วอากาศเฉลี่ย 0.05 m/s การแต่งกายปกติ (0.6 clo) ความชื้นสัมพัทธ์อยู่ระหว่าง 55-70% จากผลการทดลองได้สมการถดถอย คือ $Y = -2.3380 + 0.2499T$ เมื่อ Y คือค่าเฉลี่ยการโหวตความรู้สึก

ทางความร้อน และ T คือ อุณหภูมิแวดล้อมที่ความชื้นสัมพัทธ์ 50% และเมื่อแทนค่าหาอุณหภูมิที่รู้สึกสบายของคนไทยจะได้อุณหภูมิอากาศเฉลี่ย 23.9 °C

นุภาพ เข้มไทรพัฒน์ [12] ได้ศึกษาแผนภูมิความสบายของการถ่ายเทอากาศภายใต้สภาวะอากาศของประเทศไทยโดยใช้การวิเคราะห์จากแบบสอบถามของกลุ่มตัวอย่าง ชาย 183 คน และหญิง 105 คน มีอายุเฉลี่ย 21.02 ปี สวมใส่เสื้อผ้า ห้องที่ใช้ทดลองเป็นห้องเรียนไม่มีการปรับอากาศโดยอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลองอยู่ระหว่าง 27 °C ถึง 36 °C ความชื้นสัมพัทธ์อยู่ระหว่าง 50% ถึง 70% ในการทดลองจะใช้ลมป่าวทางด้านหลังของกลุ่มคนทดลองมีค่าตั้งแต่ 0.2 ถึง 0.3 m/s ผลการทดสอบหาค่าเฉลี่ยที่ใช้ในการตอบสนองทางความร้อนจากความเร็วลมสัมพัทธ์ร่างกายพบว่าที่ความเร็วลมทดสอบต่ำสุด 0.2 m/s จะใช้เวลาเฉลี่ยนานที่สุดคือ 8.66 นาที และที่ความเร็วลม 0.3 m/s จะใช้เวลาเฉลี่ยน้อยสุด คือ 4.33 นาที ขอบเขตความสบายเชิงอุณหภูมิอากาศของการถ่ายเทอากาศบนไซโครเมตริกชาร์ตจากการทดสอบใช้ได้ที่ความเร็วลมตั้งแต่ 0.2-0.3 m/s มีขอบเขตบนอยู่ที่อุณหภูมิกระเปาะแห้ง 27 °C ถึง 31.5 °C ที่ระดับความชื้น 80% ช่วงขอบเขตล่างอยู่ที่อุณหภูมิ 29.5 °C ถึง 36.5 °C ที่ระดับความชื้น 50%

วิธดา ไชยรุ่งเรือง [4] ศึกษาถึงภาวะที่เหมาะสมสำหรับการปรับอากาศในช่วงเวลาพักผ่อนของประเทศไทย โดยใช้ดัชนีความสบายเชิงอุณหภูมิอากาศและขอบเขตความสบายที่ได้จากการสำรวจข้อมูลในบ้านพักอาศัยในเขตจังหวัดกรุงเทพมหานคร และจังหวัดอุดรธานี จากการสำรวจกลุ่มตัวอย่างจำนวน 242 คน แบ่งเป็นเพศชาย 101 คน และเพศหญิง 141 คน ซึ่งเก็บข้อมูลเกี่ยวกับอุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วลม ในขณะที่เดียวกันกลุ่มตัวอย่างตอบแบบสอบถามความพึงพอใจต่อภาวะแวดล้อมนั้นๆ การศึกษาแบ่งออกเป็น 2 กรณี กล่าวคือ กรณีที่ 1 เป็นการศึกษาสภาวะความสบายเชิงอุณหภูมิอากาศกรณีที่มีการปรับอากาศ สภาวะการณืใช้งานปกติ และกรณีที่ 2 เป็นการศึกษาสภาวะความสบายเชิงอุณหภูมิอากาศกรณีเมื่อเพิ่มอุณหภูมิปรับอากาศสูงขึ้น 1-2 °C ผลการศึกษาทั้ง 2 กรณีพบว่า โดยส่วนใหญ่ของกลุ่มตัวอย่างมีความรู้สึกสบายที่การสวมใส่เสื้อผ้า 0.57 clo ซึ่งเปอร์เซ็นต์การไหลเวียนเฉลี่ยเท่ากับ 100% และช่วงอุณหภูมิที่มีเปอร์เซ็นต์ความพอใจมากที่สุดอยู่ระหว่าง 26-28 °C โดยอุณหภูมิความสบายอยู่ประมาณ 26.2 °C

ภัททิรา พวงมาลี [5] ได้ศึกษาความสบายเชิงอุณหภูมิอากาศในสภาวะการปรับอากาศร่วมกับการใช้พัดลมช่วยในห้องเรียนสำหรับอาคารเรียนของสถาบันศึกษา ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นแนวทางในการกำหนดอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการปรับอากาศผนวกกับการใช้พัดลมช่วย และเป็นการประหยัดพลังงานในระบบปรับอากาศ ในการศึกษาครั้งนี้จะใช้การสำรวจความคิดเห็นความรู้สึกเชิงอุณหภูมิอากาศของกลุ่มตัวอย่างที่เป็นนักศึกษาจำนวน 1,142 คน ซึ่งจะพิจารณาอุณหภูมิการปรับตั้ง อุณหภูมิที่

เครื่องปรับอากาศที่ 28 °C และ 26 °C การสำรวจนี้จะกระทำใน 3 ฤดูกาล คือ ฤดูร้อน ฤดูฝน และฤดูหนาว

ชาคริต ฉัตรศาสนติกุล [8] ได้ศึกษาลักษณะสภาวะความสบายเชิงอุณหภูมิภาพ และเพื่อเป็นแนวทางในการกำหนดสภาวะความสบายที่เหมาะสมสำหรับอาคารบ้านพักอาศัยที่ไม่ใช้เครื่องปรับอากาศ ในการศึกษาจะใช้แบบสอบถามในการประเมินความสบายเชิงอุณหภูมิภาพพร้อมทั้งการบันทึกข้อมูลอุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลม จำนวนกลุ่มตัวอย่างของการศึกษานี้จำนวนทั้งหมด 355 คน มีอายุเฉลี่ย 40 ปี แบ่งการเก็บข้อมูลออกเป็น 3 ฤดู คือ ฤดูหนาว ฤดูร้อน และฤดูฝน จากผลการศึกษาวิจัยพบว่า จำนวนกลุ่มคนตัวอย่างดังกล่าวที่โหวตความรู้สึกในระดับสบายในทั้ง 3 ฤดู มีจำนวน 257 คน ซึ่งสามารถหาอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ยคือ 29.7 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 61 เปอร์เซ็นต์ และความเร็วลมเฉลี่ย 0.29 เมตรต่อวินาที ตามลำดับ และสามารถหาร้อยละของความไม่พอใจเชิงอุณหภูมิภาพได้เท่ากับ 18.7% ลักษณะการแต่งกายของกลุ่มตัวอย่างคือ การสวมใส่เสื้อแขนสั้น กางเกงยีนส์ขาสั้น และชุดชั้นใน มีค่าความต้านทานของเสื้อผ้าเทียบเท่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.48 clo การปรับเปลี่ยนพฤติกรรมเพื่อการปรับตัวให้เข้ากับสภาวะแวดล้อมของผู้อยู่อาศัย เป็นเหตุผลหลักที่ทำให้จำนวนกลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่สามารถรู้สึกถึงความสบายเชิงอุณหภูมิภาพได้ จากการศึกษาในที่นี่พบว่า การปรับเปลี่ยนชุดแต่งกายที่สวมใส่ให้เหมาะกับสภาพอากาศในขณะนั้นเป็นปัจจัยสำคัญรองลงมาคือการปรับเปลี่ยนความเร็วลมทั้งการเปิดหรือปิดประตูหน้าต่าง เป็นต้น สามารถทำให้ผู้อยู่อาศัยรู้สึกสบายในเชิงอุณหภูมิภาพได้ดี