

การศึกษาสภาวะสบายเชิงความร้อนและพลังงานที่ประหยัดได้เมื่อใช้ เครื่องปรับอากาศร่วมกับพัดลม

A Study of Thermal Comfort and Energy Saving of using Air-Conditioner Combine with Electric Fan

นภาพ แยมไตรพัฒน์

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร 140 ถนนเชื่อมสัมพันธ์ แขวงกระทุ่มราย เขตหนองจอก กรุงเทพฯ 10530
Email: nuparb@mut.ac.th

และ สุมธ สติบุญนันต์

สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมพลังงาน คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ 1518 ถนนประชากรราษฎร์1 แขวงวงษ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800
Email: sumezt_k@yahoo.com

Manuscript Received December 15, 2024

Revised December 21, 2024

Accepted December 23, 2024

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ต้องการศึกษาเชิงทดลองหาความรู้สึกสบายทางความร้อนของคนในสภาพแวดล้อมแบบสำนักงาน (ช่วงทดสอบระหว่างเดือน กันยายน - พฤศจิกายน) เมื่อใช้เครื่องปรับอากาศร่วมกับพัดลม โดยการปรับอุณหภูมิอากาศในห้องทดสอบตั้งแต่ 27-30 °C ความเร็วลมเฉลี่ยของพัดลม 0.28 m/s ตำแหน่งพัดลมห่างจากผู้ทดสอบ 1.5 เมตร กลุ่มผู้ทดสอบ 50 คน แบ่งเป็นชาย 37 คน หญิง 13 คน อายุเฉลี่ย 30.53 ปี ภายใต้งี้อื่นๆที่ผู้ทดสอบอยู่ในท่านั่ง ค่าระดับกิจกรรม 1.2 met การแต่งกายปกติแบบสำนักงาน ค่าความต้านทานความร้อนเสื้อผ้าเฉลี่ย 0.44 clo ผลการทดลองพบว่า กลุ่มตัวอย่างที่ทดสอบมีระดับความรู้สึกพึงพอใจสูงสุดที่อุณหภูมิห้อง 27 °C เปิดพัดลมแบบไม่ส่าย คิดเป็น 86% ผลการทดลองค่าพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้เมื่อปรับอุณหภูมิห้องจาก 26-27 °C คิดเป็น 15.82%

คำสำคัญ: ความสบายทางความร้อน, พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้, เครื่องปรับอากาศ, พัดลม

ABSTRACT

This research aimed to study the thermal comfort of people in an office environment (September-November) when using air conditioner combined with electric fan. The temperature in the test room was adjusted from 27-30 °C, the average wind speed of the fan was 0.28 m/s, and the desk fan was 1.5 meters away from the subject. Total subjects were consisted of 50 people, 37 males and 13 females, with an average age of 30.53 years. They were in a sitting position, an activity level of 1.2 met., an average clothing value was 0.44 clo. The results showed that subjects had the highest level of satisfaction at a room temperature of 27 °C with a non-swing fan, which was 86%. The results of the experiment showed that the energy saving when adjusting the room temperature from 26-27 °C was 15.82%.

Keywords: Thermal Comfort, Electrical energy saving, Electrical Fan

1. บทนำ

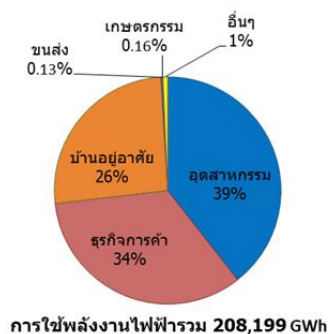
ความสบายเชิงความร้อน (Thermal comfort) ของคนในอาคาร ได้ถูกนำมาศึกษาอยู่เสมอ เนื่องจากมีผลต่อประสิทธิภาพในการทำงาน และยังผลในด้านของการใช้พลังงาน เพื่อปรับสภาพอากาศแวดล้อมให้อยู่ในสภาวะที่เหมาะสม โดยเฉพาะการใช้เครื่องปรับอากาศ ซึ่งปัจจุบันเป็นอุปกรณ์หลักที่สำคัญสำหรับการรักษาสภาพอากาศในบริเวณอาคารที่ทำงานให้เกิดสภาวะความสบายเชิงความร้อนกับผู้ปฏิบัติงาน ซึ่งเครื่องปรับอากาศต้องใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำงาน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหาความสัมพันธ์ระหว่างการสร้างสภาวะสบายเชิงความร้อนกับการใช้พลังงานให้เป็นอย่างดีเหมาะสม

จากข้อมูลรายงานการใช้พลังงานไฟฟ้าของประเทศไทยจำแนกตามสาขาเศรษฐกิจล่าสุด (ปี พ.ศ. 2565) ในรูปที่ 1 [1] ภาพรวมของทั้งประเทศรวมทุกภาคส่วน คิดเป็น 208,199 GWh แยกตามสาขาเศรษฐกิจพบว่า ภาคอุตสาหกรรมใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุดที่ 82,039 GWh คิดเป็นสัดส่วน 39% ที่น่าสนใจคือ ภาคธุรกิจการค้า ซึ่งหมายความรวมถึงพวกอาคารสำนักงานธุรกิจต่างๆมีการใช้พลังงานไฟฟ้า 70,232 คิดเป็นสัดส่วนถึง 34% ส่วนภาคบ้านอยู่อาศัยการใช้พลังงานไฟฟ้า 53,973 GWh คิดเป็นสัดส่วน 26% ส่วนภาคที่เหลือถือว่าสัดส่วนการใช้้น้อยมาก

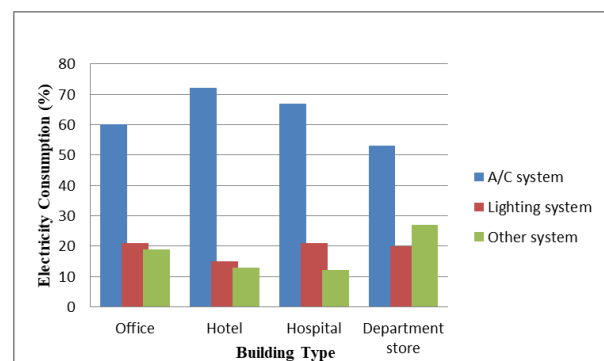
เมื่อเราพิจารณาภาคภาคธุรกิจการค้าซึ่งประกอบไปด้วยอาคารประเภทต่างๆพบว่า มีรายงานข้อมูลสถิติการใช้พลังงานไฟฟ้าแยกแต่ละประเภทของอาคาร [2] พบว่าอาคารสำนักงาน มีสัดส่วนการใช้ไฟฟ้าในระบบปรับอากาศถึง 60% โดยประมาณ ใช้กับระบบไฟฟ้าแสงสว่าง 21% ที่เหลือคือระบบอื่น ๆ (รูปที่ 2) ดังนั้นการควบคุมการใช้ระบบปรับอากาศอย่างเหมาะสมและให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด รวมถึงการหามาตรการอนุรักษ์พลังงานจึงเป็นเรื่องสำคัญ เพราะจะช่วยให้อาคารสำนักงานใช้พลังงานไฟฟ้าลดลงได้อย่างมีนัยสำคัญ

ปกติการใช้เครื่องปรับอากาศเพื่อให้เกิดความสบายกับคนในอาคารสำนักงานโดยทั่วไป มักนิยมปรับอุณหภูมิห้องระหว่าง 24-25 °C หรืออาจมีต่ำกว่านี้ แต่มีงานวิจัยที่ผ่านมาโดย N. Yamtraipat และคณะ [3,4] ได้แนะนำค่าอุณหภูมิที่คนในสำนักงานที่ปรับ

อากาศสามารถยอมรับได้ทางความร้อนสูงสุดคือ 26.2 °C (คนพึงพอใจที่จำนวน 80%) สำหรับประเทศไทย ดังนั้นหากต้องการปรับอุณหภูมิห้องเพิ่มขึ้น แต่ให้คนยังรู้สึกสบายหรือพึงพอใจ จำเป็นต้องเพิ่มความเร็วลมที่พัดผ่านร่างกายแต่ต้องไม่แรงเกินไปจนกระทบกับการทำงาน และหากเพิ่มอุณหภูมิห้องก็มีขีดจำกัดที่ทำให้ห้องเกิดความร้อนขึ้น อีกทั้งความชื้นสัมพัทธ์อากาศในห้องจะสูงขึ้นด้วย ทำให้รู้สึกอึดอัดไม่สบายทางความร้อนขึ้น ประโยชน์ของการเพิ่มอุณหภูมิอากาศคือ เครื่องปรับอากาศจะทำงานน้อยลง ประหยัดพลังงานไฟฟ้า แม้การเพิ่มพัดลมเข้ามาช่วยจะใช้พลังงานไฟฟ้าแต่ก็ถือว่าน้อยกว่ามาก ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหาความสัมพันธ์ระหว่างการสร้างสภาวะสบายเชิงความร้อนกับการประหยัดพลังงานให้เป็นอย่างดีเหมาะสม



รูปที่ 1 การใช้พลังงานไฟฟ้าจำแนกตามสาขาเศรษฐกิจ



รูปที่ 2 การใช้พลังงานไฟฟ้าจำแนกตามประเภทอาคารเชิงพาณิชย์

งานวิจัยนี้ต้องการศึกษาเชิงทดลอง เพื่อหาสภาวะความสบายทางความร้อนที่เหมาะสมของคนในสภาพแวดล้อมแบบสำนักงาน

โดยการใช้เครื่องปรับอากาศร่วมกับพัดลม โดยมีการปรับอุณหภูมิห้องให้สูงกว่าค่ากำหนดการปรับอากาศที่แนะนำจากงานวิจัยที่ผ่านมาคือ 26 °C และศึกษาค่าพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ โดยทดลองกับกลุ่มคนตัวอย่างในสถานที่ทำงานจริง เป็นผู้ชายและผู้หญิงในวัยทำงานจำนวน 50 คน อายุเฉลี่ย 30.53 ปี โดยห้องทำงานที่ทดลองมีขนาด 3m x 4m x 3.5m ใช้เครื่องปรับอากาศขนาด 18,000 Btu ช่วงเวลาทำการทดลองจะเป็นเวลาทำงานตามปกติ พัดลมที่ใช้ก็เป็นชนิดที่ใช้กันทั่วไปในครัวเรือนและสำนักงาน

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาพบว่า ปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อสภาวะสบายเชิงความร้อนของมนุษย์ได้แก่ [4], [5]

- อุณหภูมิอากาศ (กระเปาะแห้ง)
- ความดันไอน้ำในบรรยากาศหรือความชื้นสัมพัทธ์
- ความเร็วอากาศที่ผ่านร่างกาย
- อุณหภูมิการแผ่รังสีความร้อน
- ลักษณะเสื้อผ้าที่สวมใส่
- ลักษณะงานหรือกิจกรรม

ปัจจัยที่กล่าวมาทั้งหมดนี้ มีความเกี่ยวข้องกันอยู่เสมอ ในการกำหนดสภาวะความสบายเชิงความร้อนในสภาพแวดล้อมหนึ่ง ๆ ด้วยเหตุนี้จึงต้องมีการศึกษา เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมทางความร้อนของปัจจัยเหล่านี้ ให้อยู่ในสภาวะสบายที่สุด ซึ่งได้มีการศึกษาค้นคว้ามากมาย โดยเริ่มต้นจากชาวยุโรปซึ่งมีความเคยชินต่อสภาพอากาศหนาว งานวิจัยที่รู้จักกันแพร่หลายและถูกนำมาอ้างอิงถึงบ่อยที่สุดได้แก่งานวิจัยของ P.O. Fanger [5] ได้ทำการศึกษาสภาวะสบายเชิงความร้อนกับชาวเดนมาร์ก ในห้องทดลองที่มีการควบคุมสภาพอากาศ จากผลการทดลองได้สร้างสมการสำหรับทำนายค่าความรู้สึกทางความร้อนที่อุณหภูมิอากาศต่าง ๆ (ความชื้นสัมพัทธ์คงที่ ๆ 50%) เรียกว่า สมการ PMV Model หรือสมการคำนวณค่าดัชนีการโหวตเฉลี่ย (Predicted Mean Vote) ดังแสดงในสมการ (1) - (4)

$$PMV = (0.325e^{-0.042M} + 0.032) [M - 0.35(43 - 0.061M - P_v) - 0.42(M - 50)]$$

$$- 0.0023M (44 - P_v) - 0.0014M(34 - T_a) - 3.4 \times 10^{-8} f_{cl}((T_{cl} + 273)^4 - (T_{mrt} + 273)^4) - f_{cl} h_c (T_{cl} - T_a)] \quad (1)$$

$$T_{cl} = 35.7 - 0.032M - 0.18I_{cl}[3.4 \times 10^{-8} f_{cl}((T_{cl} + 273)^4 - (T_{mrt} + 273)^4) - f_{cl} h_c (T_{cl} - T_a)] \quad (2)$$

$$h_c = 10.4\sqrt{v} \text{ for } 2.38(T_{cl} - T_a)^{0.25} < 10.4\sqrt{v} \text{ หรือ}$$

$$= 2.05(T_{cl} - T_a)^{0.25} \text{ for } 2.38(T_{cl} - T_a)^{0.25} > 10.4\sqrt{v} \quad (3)$$

$$P_v = P_s r_h / 100 \quad (4)$$

เมื่อ M = อัตราเมตาบอลิซึม (kcal/h)

I_{cl} = ค่าความเป็นฉนวนของเสื้อผ้า (clo)

f_{cl} = ค่าอัตราส่วนพื้นที่ที่ปกคลุมด้วยเสื้อผ้าต่อพื้นที่เปลือย

T_a = อุณหภูมิอากาศ (°C)

T_{mrt} = อุณหภูมิการแผ่รังสีความร้อน (°C)

T_{cl} = อุณหภูมิภายนอกของเสื้อผ้า (°C)

P_v = ความดันไออากาศ (mmHg)

P_s = ความดันไออิ่มตัวที่อุณหภูมิใดๆ (mmHg)

v = ความเร็วลม (m/s)

r_h = ความชื้นสัมพัทธ์อากาศ (%)

h_c = สัมประสิทธิ์การพาความร้อน (kcal/m²hr °C)

สำหรับค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีความร้อน จะใช้ Globe Thermometer เป็นอุปกรณ์วัด ค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือเป็นค่าอุณหภูมิโกลบ จะต้องนำไปคำนวณจากสมการที่ (5) จึงจะได้ค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีความร้อน

$$T_{mrt} = [T_g^4 + 0.213 \times 10^9 (T_g - T_a)v^{0.5}]^{1/4} \quad (5)$$

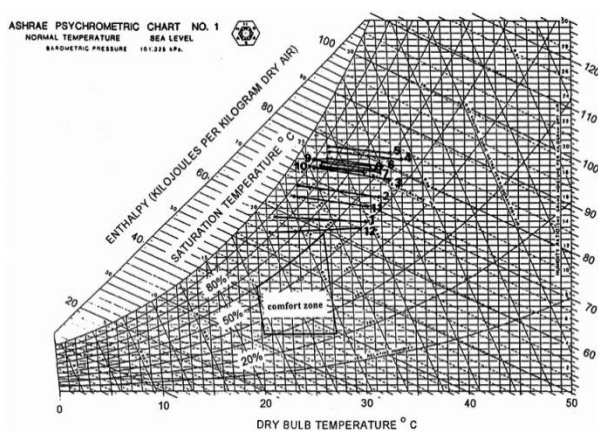
เมื่อ T_g = อุณหภูมิอ่านจากโกลบ (K)

T_a = อุณหภูมิอากาศ (K)

v = ความเร็วลม (m/s)

ค่า PMV ที่คำนวณได้จากสมการ (1)-(4) จะมีค่าอยู่ระหว่าง -3 ถึง +3 ซึ่งใช้เป็นค่าสเกลบอกระดับความรู้สึกทางความร้อนเฉลี่ยของผู้ทดสอบ (หนาว (-3) ถึงร้อน (+3))

ที่ประเทศอเมริกา สมาคมวิศวกรรม ความร้อน ความเย็น และการปรับอากาศ แห่งอเมริกัน (ASHRAE) ได้มีการสร้างและพัฒนาแผนภูมิขอบเขตความสบาย (Comfort Zone) บนไซโครเมตริกชาร์ต ซึ่งได้ถูกนำมาใช้เป็นมาตรฐานอ้างอิงกันอย่างแพร่หลาย [6] แต่อย่างไรก็ตาม การกำหนดสภาวะสบายเชิงความร้อนที่ทำโดยชาวยุโรปไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้กับคนในเขตร้อนหรือร้อนชื้น เนื่องจากมีปัจจัยเรื่องความเคยชินกับสภาพอากาศเข้ามาเกี่ยวข้อง ซึ่งได้มีงานวิจัยที่ทำการศึกษาศบายเชิงความร้อนของคนในเขตร้อนชื้น [7], [8] ในห้องทดสอบ พบว่า สมการ PMV Model ไม่สามารถนำมาใช้ทำนายกับคนในเขตร้อนชื้นได้ และอุณหภูมิสบายของคนในเขตร้อนชื้นก็มีค่าสูงกว่าคนในเขตหนาว งานวิจัยที่น่าสนใจของประเทศปากีสถาน [9] และบังกลาเทศ [10] พบว่าช่วงขอบเขตความสบายของคนในประเทศเขตร้อนกว้างกว่าขอบเขตความสบายตามมาตรฐานที่ ASHRAE กำหนดไว้



รูปที่ 3 แผนภูมิความสบายของ ASHREA เปรียบเทียบกับสภาพอากาศเฉลี่ยในประเทศไทย [11]

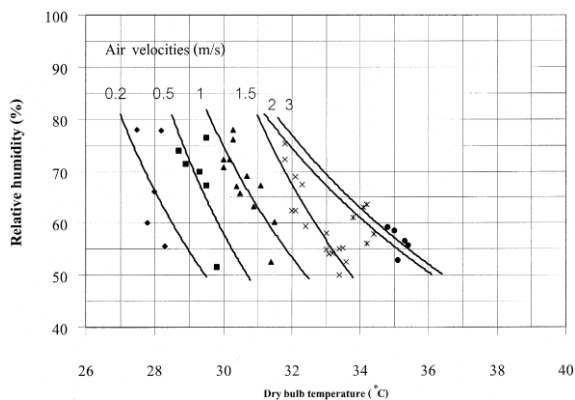
งานวิจัยของ Joseph Khedari และคณะ [11] ได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลสภาวะอากาศในกรุงเทพ ประเทศไทย 12 เดือน (ตำแหน่งเส้นที่ 1 - 12 เช่นเส้นที่ 1 คือเดือนมกราคม) ช่วงเวลาระหว่าง 7.00 น. - 13.00 น. โดยเก็บค่าอุณหภูมิอากาศภายนอก (Dry bulb temperature) และความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) แล้วนำมา

พล็อตกราฟค่าเฉลี่ยของเส้นสภาพอากาศบนไซโครเมตริกชาร์ต เพื่อเปรียบเทียบกับ comfort zone ของ ASHRAE (รูปที่ 3) พบว่าในช่วงฤดูหนาว (เดือน พฤศจิกายน-มกราคม) ซึ่งสภาพอากาศเย็นสบายโดยไม่ใช้เครื่องปรับอากาศ ยังสูงกว่าขอบเขตความสบายของ ASHRAE อีกทั้งสภาพอากาศมีความชื้นสัมพัทธ์ค่อนข้างสูง จึงมีแนวความคิดที่ว่า หากสร้างสภาวะความสบายโดยไม่ต้องใช้เครื่องปรับอากาศ ต้องใช้ปัจจัยเรื่องการระบายอากาศ หรือความเร็วอากาศมาเป็นหลัก ต่อมาจึงได้ทำการทดลองกับอาสาสมัคร 288 คน อยู่ในท่านั่งทำงานปกติ ในห้องโล่งกว้างไม่มีเครื่องปรับอากาศแต่เปิดพัดลมทาง 1.2 เมตร คนละตัว (ทดสอบครั้งละ 6 คน) มีอุปกรณ์ปรับความเร็วลมได้ แล้วให้ผู้ทดลองโหวตความรู้สึกทางความร้อนขณะทดสอบวัดอุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลมผ่านร่างกาย ข้อมูลทั้งหมดถูกนำมาสร้างแผนภูมิความสบายของการระบายอากาศสำหรับประเทศไทย (รูปที่ 4) เพื่อหาความเร็วลมที่เหมาะสมที่อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์อากาศค่าต่าง ๆ งานวิจัยของ Mohammad Zarea Allah และคณะ [12] ก็ได้ทำการศึกษาค้นคว้าในประเศมาเลเซีย โดยเปรียบเทียบความรู้สึกสบายเชิงความร้อนของคนระหว่างที่อยู่ในพื้นที่ที่มีลักษณะกึ่งเปิดแบบธรรมชาติ (semi outdoor) กับคนอยู่ในห้องปรับอากาศพบว่าในพื้นที่แบบกึ่งเปิดจะปรับตัวให้รู้สึกสบายได้ดีกว่าโดยแค่มีลมที่พัดหรือระบายผ่านร่างกายที่เร็วขึ้น นอกจากนั้นงานวิจัยยังได้สรุปว่าลักษณะของเสื้อผ้าที่สวมใส่ที่หลากหลายของผู้ทดสอบ (ค่าความเป็นฉนวน) ก็เป็นปัจจัยที่มีผลต่อความรู้สึกทางความร้อนเช่นกัน

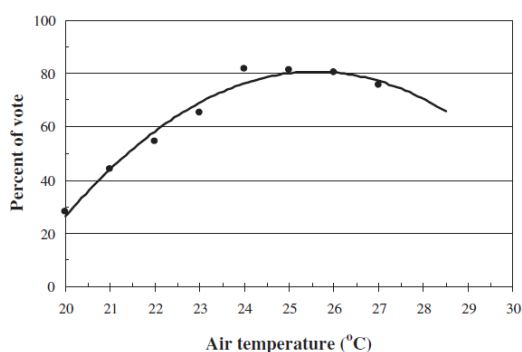
จากที่ได้กล่าวมาทั้งหมดนี้ทำให้วิเคราะห์ได้ว่า สภาวะสบายเชิงความร้อนของคน นอกจากขึ้นอยู่กับปัจจัยทางฟิสิกส์ดังที่กล่าวในเบื้องต้นแล้ว ยังขึ้นอยู่กับปัจจัยที่ไม่สามารถวัดปริมาณหรือหน่วยได้นั้นคือ ความเคยชินกับสภาพอากาศ แม้คนที่ทำงานในสภาพแวดล้อมแบบสำนักงานก็อาจมีความรู้สึกทางความร้อนต่างกับคนที่ทำงานในสภาพแวดล้อมในโรงงานอุตสาหกรรม [13]

จากงานวิจัยของ N. Yamtraipat และคณะ [3,4] ได้ทำการศึกษาค่ากำหนดการปรับอากาศที่เหมาะสมและรู้สึกสบายสำหรับคนไทย จากกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด 1,520 คน จากอาคารสำนักงานตัวอย่าง 13 แห่ง การทดลองนี้เป็นการทดลองในห้องปรับอากาศแบบสภาพแวดล้อมจริงภายใต้เงื่อนไขระดับกิจกรรม 1.2 met การแต่งกายปกติมีค่าเฉลี่ย 0.5 clo และอุณหภูมิอากาศเท่าที่อุณหภูมิการแผ่รังสีความร้อนเฉลี่ย ผลการทดลองสรุปว่า

แฟคเตอร์ทางกายภาพที่มีอิทธิพลสูงต่อความรู้สึกทางความร้อนของคนในสภาพแวดล้อมแบบสำนักงานที่มีการปรับอากาศ คือ อุณหภูมิอากาศ และความเร็วลมสัมพัทธ์ร่างกาย ส่วนความชื้นสัมพัทธ์พบว่า มีผลกระทบต่อความรู้สึกทางความร้อนน้อยมาก สำหรับอุณหภูมิอากาศจะมีอิทธิพลต่อความเร็วลมสัมพัทธ์ร่างกายที่พอใจ ส่วนค่าการยอมรับได้ทางความร้อน (Thermal Acceptability) หมายถึง ช่วงของอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยภายในห้องปรับอากาศที่คนจำนวน 80% ของทั้งหมดสามารถยอมรับได้ทางความร้อน โดยพิจารณาผลการโหวตค่าความรู้สึกทางความร้อนเพียง 3 ค่าคือ เย็นเล็กน้อยพอดี และอุ่นเล็กน้อย จากกราฟในรูปที่ 5 พบว่าค่าเฉลี่ยของการยอมรับได้ทางความร้อนของผู้ทดสอบทั้งหมดอยู่ที่ช่วงอุณหภูมิ 24.7 °C ถึง 26.2 °C



รูปที่ 4 แผนภูมิความสบายของการถ่ายเทอากาศสำหรับประเทศไทย [11]



รูปที่ 5 ช่วงอุณหภูมิการยอมรับได้ทางความร้อนจากการใช้เครื่องปรับอากาศ [3]

ผลการทดลองที่ได้นี้สามารถใช้เป็นแนวทางสำหรับการปรับอากาศในอาคารสำนักงานทั่วไปสำหรับเขตร้อนชื้นเพื่อให้เกิดความเหมาะสมที่สุดในด้านความสบายเชิงความร้อนและการประหยัดพลังงาน

3. อุปกรณ์การทดลอง

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองประกอบไปด้วย

1. Thermo-Hygrometer สำหรับวัดอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์อากาศ (ความถูกต้อง ± 0.4 °C และ $\pm 2\%$)
2. Hot Wire Anemometer สำหรับวัดความเร็วลม (ความถูกต้อง $\pm 2\%$)
3. Globe Thermometer สำหรับวัดอุณหภูมิการแผ่รังสีในห้องทดสอบ (ความถูกต้อง ± 0.01 °C)
4. พัฒนาระบบวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบพัด 0.4 m กำลังไฟฟ้า 46 watt ซึ่งเป็นพัดลมขนาดมาตรฐานที่นิยมใช้กันทั่วไปตามอาคารสำนักงานและที่อยู่อาศัย
5. แบบสอบถามเกี่ยวกับความสบายเชิงความร้อนในแบบสอบถาม ผู้ทดสอบจะต้องกรอกข้อมูลส่วนตัวได้แก่ เพศ อายุ ลักษณะเสื้อผ้าที่สวมใส่ และคำถามเกี่ยวกับความรู้สึกทางความร้อน (Thermal sensation vote) ในขณะทดสอบ ซึ่งระดับสเกล (แสดงดังรูปที่ 6) ผู้ทดสอบต้องเลือกเพียง 1 คำตอบ
6. มิเตอร์วัดไฟฟ้าสำหรับวัดหน่วยไฟฟ้าที่ใช้เครื่องปรับอากาศในระหว่างการทดลอง
7. เครื่องปรับอากาศที่ใช้ในห้องทดสอบขนาด 18,000 Btu 1 ตัว อายุใช้งาน 5 ปี

ค่าที่ใช้ในการโหวตความรู้สึกทางความร้อน (Thermal sensation vote)

-2	-1	0	1	2	3	4
เย็น	เย็นเล็กน้อย	พอดี	อุ่นเล็กน้อย	อุ่น	ร้อน	ร้อนมาก
(cool)	(slightly cool)	(neutral)	(slightly warm)	(warm)	(hot)	(very hot)

รูปที่ 6 ระดับสเกลความรู้สึกทางความร้อน

4. วิธีการทดลอง

ในการดำเนินการทดลองนี้ได้เก็บข้อมูลจากการทดสอบและทำแบบสอบถามความสบายเชิงความร้อนจากอาสาสมัครจำนวน

ทั้งหมด 50 คน (ชาย 37 คน, หญิง 13 คน) อายุเฉลี่ยของทั้งหมดคือ 30.53 ปี ส่วนการแต่งกายแบบปกติด้านสภาพที่ใส่กันในงานทั่วไป (ไม่ใส่ชุด) มีค่าความต้านทานเฉลี่ยของเสื้อผ้า 0.44 clo ($1 \text{ clo} = 0.155 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{W}$) ซึ่งเป็นผู้ที่ทำงานอยู่ในอาคารสำนักงานปรับอากาศที่เลือกมาทดลอง ข้อมูลทางสถิติของผู้ทดสอบแสดงในตารางที่ 1

ห้องที่ใช้ทดลองมีขนาด 3m x 4m x 3.5m ผนังเป็นปูนทึบ 2 ด้านกว้าง 10 cm. ส่วนที่เหลืออีก 2 ด้านเป็นกระจกหน้าต่างและกระจกประตู ลักษณะของเพดานเป็นฝ้าเพดาน มีการใช้หลอดไฟแสงสว่างขนาด 80 watt จำนวน 3 หลอด สภาพการทำงานทั่วไปในห้องมีพนักงานนั่งทำงาน 3 คน ประตุมักเปิดเข้าออกเฉลี่ย 5 ครั้ง/ชั่วโมง

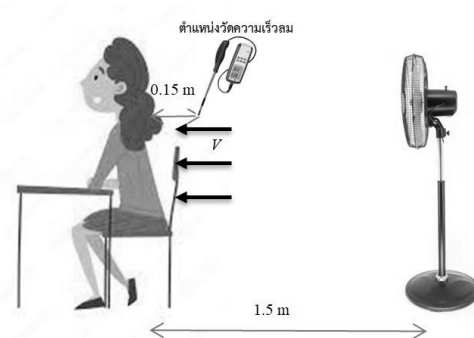
ตารางที่ 1 ข้อมูลทางสถิติของผู้ทดสอบ

Personal data	Male	Female	Total
Number of subject	37	13	50
Average Age	30.80	29.74	30.53
Average Clothing Value (clo)	0.43	0.47	0.44

ในช่วงเวลาของการดำเนินการ ผู้เข้าร่วมทดสอบจะต้องอยู่ในท่านั่งทำงานตลอดเวลา ระดับกิจกรรมมีค่าเท่ากับ 1.2 met (69.84 W/m^2) การแต่งกายปกติด้านสำนักงานทั่วไป ก่อนเริ่มทดลองจะให้นั่งพักเพื่อปรับสภาพร่างกายให้คุ้นชินกับสภาพอากาศในห้องปรับอากาศเป็นเวลา 10 นาที จากนั้นจะแจกแบบสอบถามและอธิบายวัตถุประสงค์และวิธีการกรอกข้อมูลลงแบบสอบถาม ในแบบสอบถามจะมี 2 ส่วน ส่วนที่หนึ่ง จะให้กรอกข้อมูลส่วนตัว เช่น เพศ, อายุ, ลักษณะเสื้อผ้าที่สวมใส่วันทดสอบ เป็นต้น ข้อมูลทั้งหมดรวบรวมเป็นสถิติแสดงในตารางที่ 1 สำหรับส่วนที่สอง จะให้ผู้ทดสอบตอบคำถามเกี่ยวกับความรู้สึกทางความร้อนที่มีต่ออุณหภูมิอากาศในห้องขณะนั้น และความรู้สึกที่มีต่อกระแสลมผ่านตัว ระดับสเกลความรู้สึกทางความร้อนจะแทนด้วยตัวเลขตามแบบมาตรฐานของ ASHRAE [6] โดยนำมาประยุกต์ให้เหมาะสมกับสภาพอากาศของเมืองไทยโดยตัดตัวเลือกที่ไม่จำเป็นออกไป ค่าตัวเลขต่ำสุดคือ -2 คือความรู้สึกเย็น ตัวเลข 0 คือความรู้สึกพอดี ตัวเลข 4 คือความรู้สึกร้อนมาก เป็นตัวเลขสูงสุดในแบบสอบถาม ซึ่งแสดงในรูปที่ 4 ผู้

ทดสอบจะต้องเลือกเพียง 1 คำตอบ

ช่วงเวลาทำการทดสอบคือ 6.5 ชั่วโมงต่อครั้ง (ไม่รวมเวลาพักเที่ยง) อุณหภูมิห้องปรับอากาศที่ทำการทดสอบคือ 27, 28, 29, 30 $^\circ\text{C}$ ความชื้นสัมพัทธ์ 64.9, 67.1, 68.3, 70.1 %RH ตามลำดับ โดยตำแหน่งการวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์อากาศในห้องจะวัด 4 จุดของห้อง (โดยแบ่งพื้นที่ห้องเป็น 4 ส่วนเท่าๆกันแล้วหาค่าเฉลี่ย) ส่วนตำแหน่งการวัดอุณหภูมิการแผ่รังสีจะวัดที่กึ่งกลางห้อง ตำแหน่งการวางพัดลม เปิดพัดลมตั้งโต๊ะเป่าด้านหลังผู้ทดสอบ ระยะห่าง 1.5 m (รูปที่ 7) เนื่องจากเป็นระยะทดสอบแล้วเหมาะสมที่สุด (ไม่ใกล้ตัวจนเกินไปซึ่งแรงลมอาจจะกระทบกับการทำงานเอกสาร หากเกินกว่านี้ความเร็วลมที่ผ่านร่างกายจะต่ำจนเกินไป ช่วงค่าความเร็วลมมาตรฐานสำหรับคนนั่งทำงานในห้องปรับอากาศควรอยู่ที่ 0.2-0.3 m/s) ความเร็วลมที่ผ่านร่างกายเฉลี่ยที่ตรวจวัดได้ 0.28 m/s โดยตำแหน่งวัดความเร็วลมคือบริเวณด้านหลังห่างจากตัวผู้ทดสอบเล็กน้อย (ประมาณ 15 cm.)



รูปที่ 7 ตำแหน่งการวัดความเร็วลมและการวางพัดลมกับผู้ทดสอบ

ช่วงที่ทำการทดสอบระหว่างเดือนกันยายน – พฤศจิกายน (เนื่องจากเป็นช่วงเวลาที่ได้รับการอนุญาตให้เข้าทดสอบ) อุณหภูมิอากาศภายนอกที่ตรวจวัดได้อยู่ระหว่าง 32-34 $^\circ\text{C}$ ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 70-75% ซึ่งค่อนข้างสูงเนื่องจากเป็นช่วงฤดูฝน แม้ว่าเป็นการเก็บข้อมูลช่วงเวลาสั้นแต่งานวิจัยนี้จะเก็บข้อมูลภายในห้องปรับอากาศเพื่อวิเคราะห์ผลกระทบกับคนทดสอบในห้องตามที่คุณภูมิกำหนดไว้เท่านั้นโดยไม่ได้ขึ้นกับสภาพอากาศภายนอก ข้อมูลเงื่อนไขการทดลองทั้งหมดสรุปไว้ในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ข้อมูลขอบเขตและเงื่อนไขของการทดลอง

Experimental conditions data	
Period	September-November
Outdoor temperature (°C)	32-34
Outdoor Relative Humidity (%)	70-75
Set point air temperature (°C)	27, 28, 29, 30
Relative Humidity (%)	64.9, 67.1, 68.3, 70.1
Air Velocity (m/s)	0.28
Activity (met)	1.2

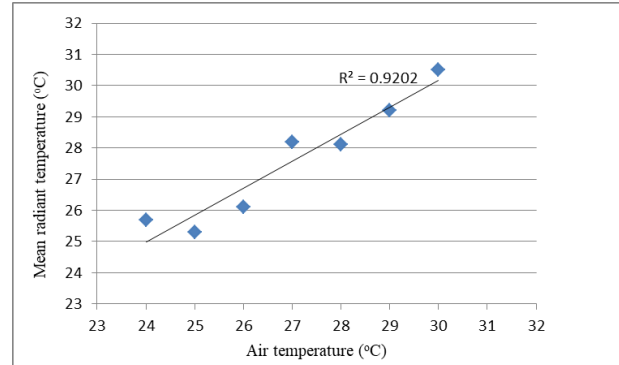
วิธีการทดสอบมีลำดับขั้นตอนคือ

- ตั้งอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศเริ่มต้นที่ 27 °C จากนั้น จากนั้น วัดอุณหภูมิอากาศ, ความชื้นสัมพัทธ์, อุณหภูมิการแผ่รังสีในห้อง
- แจกแบบสอบถามให้กลุ่มตัวอย่างกรอกข้อมูลประจำตัวและเตรียมบันทึกผลการทดสอบ
- เปิดพัดลมเป่าด้านหลังกลุ่มตัวอย่างโดยกดปุ่มที่เบาสุดของพัดลม (ปุ่มเบอร์1) เป็นเวลา 15 นาที เพื่อให้ร่างกายปรับตัวคุ้นเคยกับความเร็วลมที่ผ่านร่างกายและอุณหภูมิห้องที่ทำการปรับเปลี่ยน จากการตรวจวัดความเร็วลมที่สัมพันธ์ร่างกายเฉลี่ย 0.28 m/s โดยการทดลองช่วงแรกให้พัดลมทำงานแบบไม่ส่าย
- ให้ผู้ทดสอบโหวตเลือกความรู้สึกทางความร้อนในแบบสอบถาม
- ช่วงที่สองจะเป็นการปรับพัดลมให้ส่ายไปมาแล้วโหวตความรู้สึกทางความร้อนอีกครั้ง
- ตั้งอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศใหม่ที่ 28, 29, 30 °C ตามลำดับ จากนั้น จากนั้นวัดอุณหภูมิอากาศ, ความชื้นสัมพัทธ์, อุณหภูมิการแผ่รังสีในห้อง จากนั้นทำการทดลองซ้ำเหมือนตอนแรก
- บันทึกค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าจากมิเตอร์ทุกครั้งที่ปรับตั้งอุณหภูมิอากาศจากเครื่องปรับอากาศ

5. ผลการทดลอง

ผลการตรวจวัดค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีความร้อนภายในห้องทดสอบแสดงในรูปที่ 8 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย และอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยของห้องทดสอบทั้งหมด จากกราฟแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิทั้งสองมีความสัมพันธ์ในลักษณะเชิง

เส้นตรง ค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกัน (ค่า $R^2 = 0.9202$) ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จะใช้ดัชนีอุณหภูมิอากาศในการวิเคราะห์ผลกระทบต่อความรู้สึกทางความร้อน (อุณหภูมิอากาศเท่ากับอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย)



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิการแผ่รังสีความร้อนเฉลี่ย และอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยของห้องทดสอบ

5.1 ผลการโหวตค่าความรู้สึกทางความร้อน

เมื่อนำผลการทดสอบและผลการโหวตทั้งหมดมาวิเคราะห์ในแง่ของความรู้สึกสบายหรือพึงพอใจต่อสภาวะอากาศของกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด 50 คน ที่เปิดเครื่องปรับอากาศร่วมกับพัดลมในกรณีไม่ส่าย ดังแสดงในตารางที่ 3 ที่อุณหภูมิอากาศ 27 °C ผลการโหวต 0 (พอดี) มากที่สุดคือ 43 คนคิดเป็น 86% ที่เหลือโหวตความรู้สึกเย็นนั้นแสดงว่าที่อุณหภูมินี้ คนทดสอบยังยอมรับได้ ที่อุณหภูมิอากาศ 28 °C ผลการโหวต 0 (พอดี) และโหวตค่ารู้สึกเย็นมีค่าลดลงเหลือ 42 คนและ 3 คนตามลำดับ ส่วนผู้ที่โหวตความรู้สึกร้อนกลับเพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิอากาศ 29 °C ผลการโหวต 0 (พอดี) มีค่าลดลงเหลือ 32 คน (64%) ส่วนที่เหลือโหวตค่ารู้สึกอุ่นและร้อน ที่อุณหภูมิอากาศ 30 °C ผลการโหวต 0 (พอดี) ไม่มี ทั้งหมดโหวตความรู้สึกอุ่นถึงร้อน

ในตารางที่ 4 เป็นผลการทดสอบการโหวตในกรณีเปิดเครื่องปรับอากาศร่วมกับการเปิดพัดลมแบบให้ส่ายไปมา ผลทดสอบที่อุณหภูมิอากาศ 27 °C ผลการโหวต 0 (พอดี) มากที่สุดคือ 38 คนคิดเป็น 76% โหวตความรู้สึกเย็นเพียง 2 คนที่เหลือโหวตความรู้สึกอุ่นเล็กน้อยถึงอุ่น นั้นแสดงว่าที่อุณหภูมินี้ คนทดสอบเริ่มไม่ยอมรับมากขึ้นกว่ากรณีไม่ส่ายพัดลม ที่อุณหภูมิอากาศ 28 °C ผลการโหวต 0 (พอดี) มีค่าลดลงเหลือ 33 คิดเป็น 66% คน ส่วนผู้ที่โหวตความรู้สึกอุ่นมีมากกว่าผู้โหวตความรู้สึกเย็น ที่อุณหภูมิอากาศ 29

°C ผลการโหวต 0 (พอดี) มีค่าลดลงเหลือ 5 คน (10%) ส่วนที่เหลือโหวตค่ารู้สึกอุ่นและร้อน ที่อุณหภูมิอากาศ 30 °C ผลการโหวต 0 (พอดี) ไม่มี ทั้งหมดโหวตความรู้สึกร้อน จากผลการทดสอบที่ได้สรุปเบื้องต้นได้ว่า การปรับอุณหภูมิห้องที่ 30 °C ไม่สามารถนำมาใช้จริงได้เลยเมื่อเปิดพัดลมร่วมด้วยทั้งแบบสายและไม่สาย เนื่องจากผู้

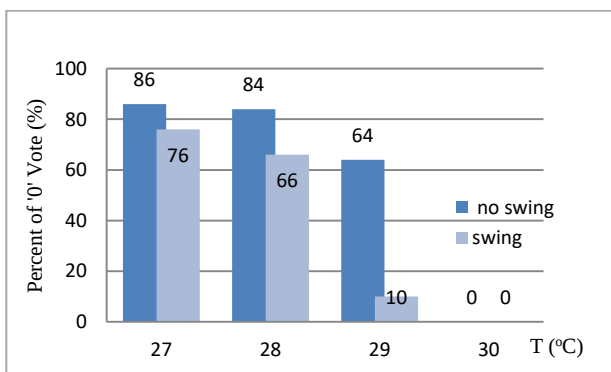
ทดสอบไม่เกิดความรู้สึกสบาย (ค่อนข้างไปทางร้อน)เมื่อนำผลการโหวตเฉพาะค่า 0 (พอดี) หรือรู้สึกสบายทั้งแบบเปิดพัดลมสายและแบบไม่สายรวมกับการใช้เครื่องปรับอากาศมาเปรียบเทียบกัน ในแต่ละอุณหภูมิอากาศในห้องทดสอบ 27 °C - 30 °C (แสดงในรูปที่ 9)

ตารางที่ 3 ผลการโหวตความรู้สึกทางความร้อนของผู้ทดสอบกรณีพัดลมไม่สาย

Temp (°C)	RH (%)	Number of Sensation Votes							Frequency Number	Percent of 0 Vote
		-2	-1	0	1	2	3	4		
27	64.9	6	1	43					50	86
28	67.1	3		42			5		50	84
29	68.3			32		14	4		50	64
30	70.1					5	45		50	0

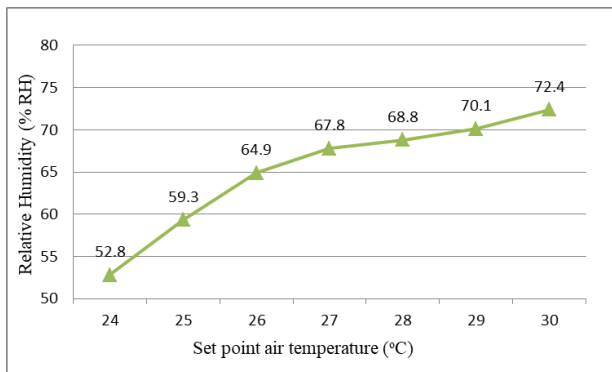
ตารางที่ 4 ผลการโหวตความรู้สึกทางความร้อนของผู้ทดสอบกรณีพัดลมสาย

Temp (°C)	RH (%)	Number of Sensation Votes							Frequency Number	Percent of 0 Vote
		-2	-1	0	1	2	3	4		
27	64.9	2		38	4	6			50	76
28	67.1	6		33		11			50	66
29	68.3			5		30	15		50	10
30	70.1						50		50	0



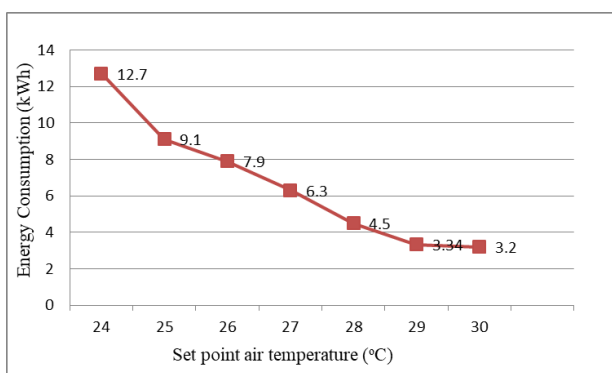
รูปที่ 9 ผลการโหวตค่าความรู้สึกทางความร้อนกรณีพัดลมสายและไม่สาย

พบว่าเปอร์เซ็นต์ความรู้สึกสบายจะสูงสุดที่การปรับอุณหภูมิ 27 °C โดยคิดเป็น 86% กรณีไม่สายพัดลม และ 76% กรณีสายพัดลม สำหรับที่อุณหภูมิ 28 °C เปอร์เซ็นต์ความสบายจะเริ่มลดลงทั้งกรณีไม่สายพัดลม (84%) และสายพัดลม (66%) สำหรับที่อุณหภูมิ 29 °C เปอร์เซ็นต์ความสบายจะลดลงอย่างมากทั้งกรณีไม่สายพัดลม (64%) และสายพัดลม (10%) ส่วนที่อุณหภูมิ 30 °C ไม่เหมาะสมที่จะเลือกใช้เพราะกลุ่มตัวอย่างไม่มีความสบายเลย จากการเปรียบเทียบทั้งหมดชี้ให้เห็นว่าอุณหภูมิที่เหมาะสม (คนรู้สึกสบายหรือยอมรับได้มากที่สุดมากกว่า 80%) อยู่ที่ช่วง 27-28 °C ของการใช้เครื่องปรับอากาศรวมกับการเปิดพัดลมแบบไม่สาย แต่หากพิจารณาการเปิดพัดลมแบบสายก็ยังถือว่าที่อุณหภูมิ 27 °C ก็มีจำนวนผู้ที่รู้สึกสบายมากที่สุดกว่าอุณหภูมิอื่นเช่นกัน แต่ไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้



รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิห้องกับความชื้นสัมพัทธ์

รูปที่ 10 เป็นผลของค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในห้องที่ตรวจวัดในแต่ละอุณหภูมิการปรับอากาศโดยในการทดลองช่วงแรก ๆ จะเปิดเครื่องปรับอากาศเพียงอย่างเดียวที่อุณหภูมิ 24 - 26 °C ค่าความชื้นสัมพัทธ์มีค่าปกติของห้องที่มีการปรับอากาศคือวัดได้ 52.8%-64.9% จากนั้นการทดลองการปรับอากาศร่วมกับพัดลมจะเริ่มที่อุณหภูมิ 27 °C ค่าความชื้นสัมพัทธ์จะสูงแปรตามกันค่าความชื้นสัมพัทธ์สูงสุดคือ 72.4% ที่อุณหภูมิ 30 °C จากผลการทดลองก็สอดคล้องกับค่าการไหลความร้อนที่ลดลงเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ที่มากขึ้นแต่ความเร็วลมสัมพัทธ์ร่างกายยังคงที่ ทำให้อัตราการระเหยของน้ำผ่านผิวหนังของร่างกายเพื่อระบายความร้อนสู่อากาศแวดล้อมจะทำได้ยากขึ้น ทำให้ผู้ทดสอบจะเริ่มรู้สึกอึดอัดและไม่สบายตัวนั่นเอง โดยเฉพาะที่ค่าความชื้นสัมพัทธ์เกิน 70% (29 - 30 °C)



รูปที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิห้องกับการใช้พลังงานไฟฟ้า

5.2 ผลการไหลต่อค่าความรู้สึกทางความร้อน

รูปที่ 11 แสดงผลความสัมพันธ์ระหว่างการปรับค่าอุณหภูมิห้องกับการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศในระหว่างทำการทดสอบ ซึ่งเป็นค่าที่บันทึกจากมิเตอร์ไฟฟ้าจากกราฟแสดงให้เห็นว่าการปรับอุณหภูมิห้องที่สูงขึ้น จะทำให้การใช้พลังงานไฟฟ้าลดลง ในช่วงแรกเป็นการใช้เครื่องปรับอากาศอย่างเดียวที่อุณหภูมิตั้งแต่ 24 - 26 °C (12.7 kWh - 7.9 kWh) ค่าเฉลี่ยการลดของพลังงานไฟฟ้าต่ออุณหภูมิที่ปรับขึ้นทุก 1 °C คือ 18.90% ช่วงต่อมาเป็นการใช้เครื่องปรับอากาศร่วมกับเปิดพัดลม ที่อุณหภูมิตั้งแต่ 27 - 30 °C (6.3 kWh - 3.2 kWh) ค่าเฉลี่ยการลดของพลังงานไฟฟ้าต่ออุณหภูมิที่ปรับขึ้นทุก 1 °C คือ 16.4% เห็นได้ชัดว่าเปอร์เซ็นต์การประหยัดพลังงานไฟฟ้าจะประหยัดได้ดีในช่วงอุณหภูมิห้องที่ปรับต่ำมากแล้วเริ่มปรับขึ้นความชื้นของกราฟจะชันมาก ในขณะที่ความชันกราฟจะชันน้อยสุดที่อุณหภูมิห้องที่ปรับสูง ๆ เข้าใกล้อุณหภูมิภายนอกห้อง ดังนั้นค่าที่เหมาะสมมาพิจารณาหาค่าเฉลี่ยของผลประหยัดพลังงานไฟฟ้าต่อ 1 องศาของอุณหภูมิที่ปรับขึ้นคือที่ 25-29 °C (9.1 kWh - 3.34 kWh) คิดเป็น 15.82% ซึ่งหากพิจารณาจากผลไหลต่อความรู้สึกทางความร้อนที่ 27 °C ของการที่ต้องเปิดพัดลมร่วมด้วยที่เพียงพอสูงสุดแล้ว ค่าผลต่างอุณหภูมิจาก 26-27 °C จึงอยู่ที่ค่าเฉลี่ย 15.82% เช่นกัน

6. สรุป

ผลการทดลองการใช้เครื่องปรับอากาศร่วมกับการเปิดพัดลมพบว่า กลุ่มตัวอย่างที่ทดสอบ มีระดับความรู้สึกพึงพอใจสูงสุดที่อุณหภูมิห้อง 27 °C เปิดพัดลมแบบไม่ส่าย คิดเป็น 86% แต่ถ้าเปิดพัดลมแบบส่ายความรู้สึกพึงพอใจสูงสุดที่อุณหภูมิเดียวกันจะลดลงเหลือ 76% ระดับผลการทดลองค่าพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้เมื่อปรับอุณหภูมิห้องจาก 26-27 °C คิดเป็นค่าเฉลี่ย 15.82% ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในสำนักงานที่เปิดเครื่องปรับอากาศและพนักงานมีลักษณะการทำงานแบบนั่งปกติ อย่างไรก็ตามผลการวิเคราะห์ที่ได้มาจากการทดลองในช่วงเดือนกันยายน ถึงพฤศจิกายน ซึ่งเป็นช่วงฤดูฝน ควรมีการเก็บข้อมูลให้ครอบคลุมทั้ง 12 เดือน และกลุ่มตัวอย่างที่มากขึ้น เพื่อให้ผลการทดลองที่ได้มีความละเอียดครอบคลุมมากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] Energy Balance of Thailand 2022, กระทรวงพลังงาน ปีที่ 9 ฉบับที่ 9, ISSN : 2408-2775, 2565.
- [2] N. Yamtraipat, J. Khedari, J. Hirunlabh, and J. Kunchornrat, "Assessment of Thailand indoor set-point impact on energy consumption and environment," *Energy Policy*, vol. 34, pp.765-770, 2006.
- [3] N. Yamtraipat, J. Khedari, and J. Hirunlabh, "Thermal comfort standards for air conditioned buildings in hot and humid Thailand considering additional factors of acclimatization and education level," *Solar Energy*, vol. 78 (4), pp.504-517, 2005.
- [4] นภาพ แยมไตรพัฒน์ โจเซฟ เคดารี และ จงจิตร์ หิรัญลาภ, "อิทธิพลของปัจจัยทางกายภาพที่มีต่อความรู้สึกทางความร้อนของคนไทยในสภาพแวดล้อมแบบสำนักงาน," *วิศวกรรมลาดกระบัง*, vol. 21, no.1, pp. 41-46, 2004.
- [5] P.O. Fanger, "Thermal Comfort Analysis and Application in Environmental Engineering," McGraw-Hill Book Company, New York, pp. 1-244, 1972.
- [6] ASHRAE, Standard 55-92, "Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy," American Society of Heating, Refrigerating, and air-conditioning Engineers, Atlanta, pp. 3-14, 1992.
- [7] S. Tanabe and K. Kimura, "Thermal Comfort Requirements under Hot and Humid Conditions," *ASHRAE Far East Conference on Air Conditioning in Hot Climates*, September 3-5, Singapore, pp. 3-21, 1987.
- [8] W. Srivajana, "Effects of Air Velocity on Thermal Comfort in Hot and Humid Climates," *Thammasat International Journal of Science and Technology*, vol. 8, No. 2, pp. 45-54, 2003.
- [9] A. Iftikhar and N. Fergus, "A Review of Climatic Conditions and Thermal Comfort Standards in Pakistan," Report, School of Architecture, Oxford Brookes University, Oxford, U.K., pp. 1350-1354, 1996.
- [10] F.H. Mallick, "Thermal comfort and building design in the tropical climates," *Energy and Buildings*, vol. 23, pp. 161-167, 1996.
- [11] Joseph Khedari, Nuparb Yamtraipat, Naris Pratintong, and Jongjit Hirunlabh, "Thailand ventilation comfort chart," *Energy and Buildings*, vol. 32, pp. 245-249, 2000
- [12] Mohammad Zaraq Allah, Haslinda Mohamed Kamar, Azian Hariri c, and Keng Yinn Wong, "Investigating adaptive thermal comfort in office settings: A case study in Johor Bahru, Malaysia," *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, vol.8, pp.1-12, 2023.
- [13] Wisanti Laohaudomchok, Wantanee Phanpravit, Pajaree Konthonbut, Chaiyanun Tangtong, Penpatra Sripaiboonkij, Tiina M. Ikäheimo, Jouni J. K. Jaakkola and Simo Näyhä, "Self-Assessed Threshold Temperature for Cold among Poultry Industry Workers in Thailand," *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol.20 ,2067, pp.1-21,2023.



ดร.นภาพ แยมไตรพัฒน์ การศึกษาระดับปริญญาตรีสาขาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ระดับปริญญาโทสาขาเทคโนโลยีการจัดการพลังงานและพลังงานและปริญญาเอก สาขาเทคโนโลยีพลังงาน ม.เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ปัจจุบันเป็นอาจารย์ประจำที่ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล



ดร.สุเมธ สติบุญอนันต์ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีสาขาวิศวกรรมเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ระดับปริญญาโทสาขาเทคโนโลยีพลังงาน ม.เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี และปริญญาเอกด้านพลังงานจาก The Joint Graduate School of Energy and Environment, King Mongkut's University of Technology Thonburi ปัจจุบันเป็นอาจารย์พิเศษที่ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ คณะวิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมพลังงาน