ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออุณหภูมิเทียบเท่าทางสรีรวิทยาและความสบายเชิงความร้อน เพื่อพัฒนาและส่งเสริมการใช้ทางเดินเท้าสีเขียว

Factors Influencing Physiological Equivalent Temperature and Thermal Comfort for Developing and Promoting Green Walkway Usage

ณัฐดนัย สุวรรณมณี[1,*] เกรียงไกร อรุโณทยานันท์[2] นพดล กรประเสริฐ[2] และ ดำรงศักดิ์ รินชุมภู[2]

[1] หลักสูตรบัณฑิตศึกษา สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
[2] ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่
**Corresponding author; E-mail address: Suwanmanee.n@hotmail.com*

บทคัดย่อ

ในช่วงหลายปีที่ผ่านมา การจัดสรรพื้นที่สีเขียวนับเป็นยุทธศาสตร์หลักในการวางแผนพัฒนาเพื่อรองรับการขยายตัวของเมืองอย่างยั่งยืน โดยทางเดินเท้าและพืชพรรณตามทางเดินจัดเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของพื้นที่สีเขียว ที่เหล่าผู้พำนักอาศัยในเขตเมืองนิยมใช้เป็นพื้นที่สำหรับการพักผ่อนและกิจกรรมนันทนาการ การเข้าสัมผัสพื้นที่ดังกล่าวยังส่งผลดีต่อสุขภาวะทางกายและจิตใจของชาวเมืองอีกด้วย การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตอบสนองทางร่างกายมนุษย์ภายหลังจากการเดินเท้าระยะสั้นบนทางเท้าภายในเขตเมือง โดยสร้างแบบจำลองเพื่อประเมินอุณหภูมิเทียบเท่าทางสรีรวิทยาจากผลการสำรวจคนเดินเท้าที่สัญจรผ่านทางเดินเท้า และได้ประเมินการตอบสนองของร่างกายของคนเดินเท้าโดยพิจารณาอิทธิพลของแต่ละปัจจัย ครอบคลุมทั้งกลุ่มปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมและกลุ่มปัจจัยด้านบุคคล และสำหรับตัวบ่งชี้ความสบายเชิงความร้อนของทางเดินเท้า ได้พิจารณาจากค่าอุณหภูมิเทียบเท่าทางสรีรวิทยา ผลการศึกษาที่ได้สามารถนำมาใช้เป็นแนวทางพัฒนาทางเดินเท้าสีเขียว ทั้งในด้านกายภาพของทางเท้าและสิ่งแวดล้อมสองข้างทาง เพื่อส่งเสริมการใช้ทางเดินเท้าให้มากยิ่งขึ้น

คำสำคัญ: ทางเดินเท้าสีเขียว, ความสบายเชิงความร้อน, อุณหภูมิเทียบเท่าทางสรีรวิทยา, การเดินทางแบบไม่ใช้เครื่องยนต์, พฤติกรรมคนเดินเท้า

Abstract

In recent years, provisioning urban green space has been highlighted as an essential strategy for urbanization planning and sustainable urban development. Walkway facilities and roadside trees are the key elements of urban green spaces for leisure and recreational activities of urban residents, of which the exposure could provide psychological and physiological health benefits to the residents. This study therefore aims to investigate the human psychological responses and their influential factors after short walks along urban walkways through a model for evaluating the Physiological Equivalent Temperature. Various environment factors and personal physiological factors were used to evaluate the psychological responses of participants. The thermal comfort condition of the selected walkway was considered using the Psychological Equivalent Temperature (PET). The results of the study can be used as a guidance to develop the physical and environmental features of the green walkways, while encouraging pedestrian usage.

Keywords: Green Walkway, Thermal Comfort, Physiological Equivalent Temperature (PET), Non-motorized Transport, Pedestrian Behavior

1. บทนำ

แม้ว่ารูปแบบการเดินทางหรือการขนส่ง ทั้งทางบก ทางน้ำ และทางอากาศ ในปัจจุบันนั้นจะมีความหลากหลายและแตกต่างกันออกไปตามองค์ประกอบและวัตถุประสงค์ของการเดินทาง ทว่าสำหรับรูปแบบของการเดินทางทางบก ยังคงนิยมใช้รถส่วนตัวหรือรถขนส่งสาธารณะ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นยานพาหนะแบบใช้เครื่องยนต์ (Motorized Vehicles) ที่ต้องพึ่งพาทรัพยากรเชื้อเพลิงฟอสซิลเพื่อให้เกิดพลังงาน อันก่อให้เกิดมลภาวะทางอากาศ ส่งผลให้คุณภาพชีวิตและสุขภาพของผู้อยู่อาศัยในเขตเมืองลดต่ำลง จากปริมาณยานพาหนะที่เพิ่มมากขึ้น อย่างไรก็ตามแนวทางหนึ่งซึ่งมีส่วนช่วยบรรเทาปัญหาดังกล่าว คือ การส่งเสริมรูปแบบการเดินทางโดยไม่ใช้เครื่องยนต์ (Non-Motorized Transport) ได้แก่ การเดินเท้าและการใช้จักรยาน ซึ่งด้วยการพัฒนารูปแบบทางเดินเท้าที่อำนวยความปลอดภัย ความสะดวก และความสบาย เอื้อต่อการเข้าถึงของผู้เดินเท้าทุกประเภท และสามารถเดินทางต่อเนื่องร่วมกับการใช้ระบบขนส่งสาธารณะ ย่อมดึงดูดผู้เดินทางให้ปรับเปลี่ยนพฤติกรรมมาสู่การเดินเท้าได้มากขึ้น

ความสะดวกและความสบายของทางเดินเท้านับเป็นสิ่งที่คนเดินเท้าต้องการมากที่สุด รองลงมาจากความปลอดภัยบนทางเดินเท้า [1] ซึ่งความสบายนั้นสามารถอธิบายได้ในหลายรูปแบบ เช่น สภาวะน่าสบายด้านการมองเห็น (Visual comfort) สภาวะน่าสบายด้านการได้ยิน (Audio comfort) และ สภาวะน่าสบายเชิงอุณหภาพ (Thermal comfort) ซึ่งสภาวะน่าสบายเชิงอุณหภาพนั้นสามารถนำมาใช้เพื่ออธิบายความสบายเชิงความร้อนได้ ซึ่งในการศึกษานี้เป็นการศึกษา [2] ความสบายเชิงความร้อนภายนอกอาคาร (Outdoor Thermal comfort) ของคนเดินเท้า โดยการวิเคราะห์อุณหภูมิเทียบเท่าทางสรีรวิทยา (Physiological Equivalent Temperature : PET) ซึ่งปัจจัยที่ส่งผลต่อความสบายเชิงความร้อนนั้นสามารถแยกออกได้เป็น ปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อม และปัจจัยทางด้านบุคคล โดยปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อมนั้นประกอบด้วย อุณหภูมิอากาศ (Air Temperature) ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity) ความเร็วลม (Wind Velocity) และอุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบ (Mean-Radiation Temperature) สำหรับปัจจัยทางด้านบุคคลนั้นประกอบด้วย อัตราการเผาผลาญของร่างกาย (Metabolic Rate) และระดับฉนวนของเสื้อผ้า (Clothing Insulation)

เชียงใหม่นั้นเป็นจังหวัดที่มีประชากรหนาแน่นมากเป็นอันดับ 5 ของประเทศไทย ซึ่งหากพิจารณาเฉพาะในเขตเมืองเชียงใหม่พบว่าประชากรที่มีรายชื่ออยู่ในทะเบียนราษฎร์ในปีล่าสุดมีจำนวนทั้งสิ้น 234,649 คน นอกจากนี้จากข้อมูลจำนวนนักท่องเที่ยวที่เข้ามาในจังหวัดเชียงใหม่ยังเพิ่มขึ้นในทุก ๆ ปีเช่นเดียวกันกับประชากร ส่งผลให้การบริการขนส่งมวลชนในจังหวัดเชียงใหม่นั้นไม่เพียงพอต่อปริมาณความต้องการเดินทาง และประชากรส่วนใหญ่จึงจำเป็นต้องพึ่งพารูปแบบการเดินทางด้วยรถจักรยานยนต์ และรถยนต์ส่วนตัว ซึ่งส่งผลกระทบต่อเนื่องไปสู่ปัญหาพื้นที่จอดรถไม่เพียงพอ และค่าใช้จ่ายการเดินทางที่เพิ่มสูงขึ้น รวมไปถึงปัญหามลพิษทางอากาศบนท้องถนนอีกด้วย การเดินเท้าจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการสัญจรไปตามสถานที่ต่าง ๆ ซึ่งการเดินเท้านั้นเป็นรูปแบบการเดินทางที่จำเป็นต้องใช้บริการทางเท้าที่สามารถเดินเท้าได้อย่างสะดวกสบายและปลอดภัย

การศึกษานี้จึงมุ่งเน้นในการสร้างแบบจำลองความสบายภายนอกอาคารและวิเคราะห์ปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเทียบเท่าทางสรีรวิทยา โดยอาศัยข้อมูลที่มีการสำรวจจากการศึกษาที่ผ่านมาภายในจังหวัดเชียงใหม่ เพื่อนำความสัมพันธ์ที่ได้จากแบบจำลองไปวางแผนการสำรวจและออกแบบทางเดินเท้าให้มีความสบายและอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อไป

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทางเท้าและคนเดินเท้า (Walkway and Pedestrians)

ทางเท้า (Walkway) หมายถึง พื้นที่ที่ทำไว้สำหรับคนเดินซึ่งอยู่ข้างใดข้างหนึ่งของทางหรือทั้งสองข้างทาง หรือส่วนที่อยู่ชิดขอบทางซึ่งใช้เป็นที่สำหรับคนเดิน

คนเดินเท้า (Pedestrians) หมายถึง คนเดินทางเท้า ไม่ว่าจะวิ่งหรือเดิน ตลอดผู้ใช้เก้าอี้ล้อสำหรับคนพิการหรือรถสำหรับเด็ก [3]

2.1.1 องค์ประกอบของทางเท้า

องค์ประกอบของทางเท้านั้นสามารถแบ่งออกเป็นได้หลายประเภทตามลักษณะบทบาทหน้าที่ ดังนี้ [4]

1. องค์ประกอบเพื่อการสัญจรบนทางเท้า ยกตัวอย่างเช่น พื้นผิวทางเท้า (Pavement) และ ทางลาด (Ramp)
2. องค์ประกอบเพื่อการสัญจรบนถนน ยกตัวอย่างเช่น ป้ายจราจร ป้ายบอกทาง และสัญญาณไฟจราจร
3. องค์ประกอบเพื่อระบบขนส่งมวลชน ยกตัวอย่างเช่น ป้ายรถประจำทาง ที่จอดจักรยาน และทางเชื่อมระหว่างขนส่งมวลชน
4. องค์ประกอบเพื่อระบบสาธารณูปโภค ยกตัวอย่างเช่น สายไฟฟ้า ท่อน้ำประปา ท่อระบายน้ำ และระบบแสงสว่างบนทางเท้าและถนน
5. องค์ประกอบเพื่ออำนวยความสะดวก ยกตัวอย่างเช่น ถังขยะ ที่นั่งสาธารณะ และตู้โทรศัพท์
6. องค์ประกอบเพื่อสุนทรียภาพ ยกตัวอย่างเช่น วัสดุพืชพรรณ และต้นไม้ข้างทาง

2.2 การส่งเสริมการเดินเท้า

การส่งเสริมการเดินเท้าหรือการส่งเสริมการเดินทางโดยไม่ใช้เครื่องยนต์ (Non-Motorized Transport) นั้น เป็นสิ่งที่ควรเกิดขึ้นเพื่อเป็นการเอื้อและดึงดูดการเดินเท้าของผู้คนในเขตเมือง ซึ่งพบว่าการส่งเสริมให้เกิดการเดินเท้าอย่างมีประสิทธิภาพนั้นสามารถทำได้ ดังนี้ [5]

1. การจัดระเบียบรถยนต์
2. การสนับสนุนการใช้ที่ดินแบบผสมผสาน
3. การจัดการพื้นที่จอดรถ
4. การสนับสนุนระบบขนส่งมวลชน
5. การป้องกันพื้นที่ทางเท้า
6. การออกแบบทางเท้าให้น่าเดิน
7. การปลูกต้นไม้
8 การสร้างบรรยากาศที่เอื้อต่อการเดินเท้า

2.3 ทางเดินเท้าสีเขียว (Green Walkways)

“เส้นทางที่ดีในมุมมองด้านสิ่งแวดล้อม โดยเป็นเส้นทางที่ไม่ได้ออกแบบเพียงเพื่อรองรับความต้องการของมนุษย์เท่านั้นและไม่ได้เพียงเพื่อมีไว้ประดับด้วยต้นไม้ทั้งสองข้างทางเท่านั้น แต่เส้นทางนั้นจะต้องดีต่อสิ่งแวดล้อม” [6]

จากคำนิยามของ Greenway ข้างต้นสามารถสรุปได้ว่า “Green Walkway” หรือทางเดินเท้าสีเขียวนั้น คือทางเดินเท้าสาธารณะที่สอดคล้องกับภูมิทัศน์และสิ่งแวดล้อม ซึ่งสามารถใช้ทางเท้านี้เป็นที่พักผ่อนหรือทำกิจกรรมต่าง ๆ และเป็นทางเดินที่ประกอบไปด้วยสีเขียวจากธรรมชาติหรือพืชพรรณไม้ รวมถึงเป็นทางเดินที่รักษาธรรมชาติ และมีความสะดวกสบายต่อคนเดินเท้า

การพัฒนาเส้นทางเดินเท้าสีเขียวนั้น เป็นการพัฒนาทางเดินเท้าที่สอดคล้องกับธรรมชาติ และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม รวมถึงการพัฒนาทางเดินเท้าให้สะดวกสบายต่อคนเดินเท้าอีกด้วย โดยวัตถุประสงค์ของการพัฒนาเส้นทางสีเขียวสมัยใหม่ หรือ Modern Greenway นั้นประกอบด้วย (1) ด้านกิจกรรมและนันทนาการ ซึ่งเป็นการป้องกันแนวภูมิทัศน์ของเส้นทางสีเขียวเพื่อใช้ประโยชน์ในด้านนันทนาการและสิ่งแวดล้อม (2) ด้านการเดินทาง เป็นการเดินทางแบบไม่ใช้เครื่องยนต์ (Non-Motorize) และ (3) ด้านการอนุรักษ์ โดยต้องเป็นเส้นทางที่อนุรักษ์ของสิ่งแวดล้อม โดยมีหลักการในการออกแบบดังนี้ [7]

1. ความปลอดภัย (Safety) โดยทางเดินนั้นต้องมีความปลอดภัยจากยานพาหนะ สัตว์ และพืชที่มีพิษ แบ่งแยกรถยนต์ออกจากทางเท้า มีความกว้างและเขตทางที่เหมาะสมต่อการเดิน

2. การป้องกันภัย (Security) การระมัดระวังภัยจากการโจรกรรม ซึ่งส่งผลต่อความปลอดภัยของผู้ใช้ทางเดินเท้า เช่น โทรทัศน์วงจรปิด หน่วยรักษาความปลอดภัย และไฟฟ้าส่องสว่าง

3. การเข้าใจทิศทาง (Way Finding) การออกแบบเพื่อความเข้าใจง่าย ทำให้ผู้ใช้ไม่สับสนทาง มีป้ายสัญลักษณ์ที่สามารถสังเกตได้ง่าย

4. การสื่อความ (Interpretation) การออกแบบที่สื่อความหมายที่เข้าใจได้ มีความสวยงามเข้ากับบริบทและพื้นที่ เพื่อความรู้สึกผ่อนคลายเพลิดเพลินตามแนวเส้นทาง

5. ความต่อเนื่อง (Continuity) ความต่อเนื่องในการเดินทางทั้งการเข้าถึงและการรับรู้ทิศทางได้อย่างน่าสนใจ โดยมีการเชื่อมโยงและรองรับกับกิจกรรมการเดินทางที่ต่อเนื่องได้ระหว่างพื้นที่

6. การสร้างแรงดึงดูดใจ (Attractiveness) เป็นการสร้างความดึงดูดใจจากสีสันและพื้นผิวของวัสดุ อุปกรณ์ประกอบทางเท้า และลานกิจกรรมหรือน้ำพุเพื่อใช้ในการประกอบกิจกรรม และเพิ่มเสน่ห์ให้กับภูมิทัศน์ของเมือง

7. ความคล่องตัว (Flow) การจัดการกับสิ่งอำนวยความสะดวกต่าง ๆ และอุปกรณ์ประกอบเส้นทางสำหรับทางเดินเท้า ให้มีความสะดวกและมีความต่อเนื่อง โดยจุดที่ทำให้เกิดการหยุดซ้ำ ๆ จะทำให้ลดความคล่องตัวและก่อให้เกิดความไม่สะดวกและลดแรงจูงใจในการใช้เส้นทางนั้น

8. การออกแบบเพื่อทุกคน (Universal Design) เป็นการออกแบบเพื่อให้เกิดความเท่าเทียมในการใช้งานที่สามารถรองรับผู้คนได้ทุกประเภทให้ได้รับความสะดวกต่อการใช้งาน

2.4 ความสบายเชิงความร้อน (Thermal Comfort)

ความสบายนั้นเป็นสิ่งที่สิ่งมีชีวิตทุกประเภทพึงปรารถนา และในมนุษย์เองก็พยายามทำในสิ่งที่ก่อให้เกิดความสบายหรือความพึงพอใจให้กับตนเอง เช่น การประดิษฐ์เครื่องนุ่งห่มเพื่อให้เกิดความอบอุ่นและความสบายแก่ร่างกายต่อสภาพแวดล้อม

ความสบายเชิงความร้อน (Thermal Comfort) ตามคำจำกัดความ “ The Condition of mind that express satisfaction with the thermal environment.” [8] สามารถเข้าใจได้ว่า ความสบายคือสภาพของจิตใจที่สามารถแสดงความพึงพอใจในความร้อนของสิ่งแวดล้อม โดยทั่วไปแล้วมนุษย์นั้นจะพยายามสร้างความสบายให้แก่ตนเองในสภาพแวดล้อม เช่น การเลือกที่นั่งใต้ร่มไม้ หรือการเลือกเดินในทางที่เป็นที่ร่ม เพื่อหลีกเลี่ยงความร้อนจากแสงอาทิตย์

2.5 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับความสบายด้านอุณหภาพ

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับความสบายนั้น ประกอบด้วยปัจจัย 2 รูปแบบ คือ 1) ปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อม ซึ่งประกอบไปด้วย อุณหภูมิอากาศ (Air temperature) ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity) ความเร็วลม (Air speed) และอุณหภูมิการแผ่รังสี (Radiant temperature) และ 2) ปัจจัยทางด้านบุคคล ประกอบด้วย อัตราการเผาผลาญของร่างกาย (Metabolic Rate) และระดับฉนวนของเสื้อผ้า (Clothing insulation) [9]

2.5.1 ปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อม

สำหรับปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อมนั้น สามารถนำมาอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างการออกแบบพื้นที่ภายนอกอาคารและความสบายของผู้ที่กระทำกิจกรรมต่าง ๆ ภายนอกอาคาร โดยสามารถอธิบายได้จากการสร้างแบบจำลองและการตรวจวัดสภาพแวดล้อมในสถานที่ที่ต้องการศึกษา ซึ่งนำมาประยุกต์ใช้ในการประเมินผลกระทบจากทางด้านอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม โดยแบบจำลองความสบายสามารถสร้างได้จากค่าพารามิเตอร์ คือ อุณหภูมิอากาศ (Air Temperature) ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity) ความเร็วลม (Wind velocity) และอุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบ (Mean-Radiation Temperature) [10]

2.5.2 ปัจจัยทางด้านบุคคล

สำหรับปัจจัยทางด้านบุคคลที่ส่งผลต่อสภาวะน่าสบายนั้น ประกอบไปด้วยสองปัจจัย คือ อัตราการเผาผลาญพลังงาน หรือ Metabolic Rate; Met (Wat/m^2) และระดับฉนวนของเสื้อผ้าที่สวมใส่ หรือ Clothing insulation; Clo (I_{cl}) ซึ่งการเผาผลาญพลังงานของร่างกายนั้นเป็นกระบวนการที่ก่อให้เกิดความร้อนในร่างกาย โดยเกิดขึ้นได้จากสองรูปแบบ คือ การเผาผลาญอาหาร และการเผาผลาญของกล้ามเนื้อ ซึ่งการเผาผลาญอาหารนั้นจะขึ้นอยู่กับชนิดและประเภทของอาหารที่รับประทานเข้าไป โดยที่อาหารแต่ละประเภทนั้นจะใช้พลังงานในการเผาผลาญที่แตกต่างกันออกไป ส่วนการเผาผลาญของกล้ามเนื้อนั้นจะเกิดจากการกระทำกิจกรรมต่าง ๆ ในชีวิตประจำวัน ซึ่งจะมีค่าการเผาผลาญพลังงานที่แตกต่างกันออกไปในแต่ละกิจกรรมดังแสดงในตารางที่ 1 และ 2 ซึ่งแสดงถึงอัตราการเผาผลาญของร่างกายในขณะทำกิจกรรมต่าง ๆ และระดับฉนวนของเสื้อผ้าตามลำดับ [11]

ตารางที่ 1 การเผาผลาญของร่างกายในขณะทำกิจกรรมต่าง ๆ

กิจกรรม	Met	W/m^2
นอนหลับ	0.7	40
พักผ่อนหรือนอนเล่นบนเตียง	0.8	45
นั่งพักผ่อนบนเก้าอี้	1.0	60
ยืน	1.2	70
เดิน (ทางราบ)	2.0	115
ทำงานหนัก เช่น ยกของ	2.1	120

กิจกรรม	Met	W/m^2
เต้นรำ หรือทำงานที่ต้องออกแรงเล็กน้อย	3.0	175
เล่นเทนนิส หรือทำงานที่ต้องออกแรงมากกว่าปกติ	3.6 - 4.0	270
เล่นบาสเกตบอล เล่นสควอช หรือทำงานหนักที่ต้องใช้แรงเต็มที่	5.0 - 7.6	440

ที่มา : ANSI/ASHRAE Standard 55-2017. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, 2017), 6.

ตารางที่ 2 ระดับค่าฉนวนของเสื้อผ้าในแต่ละชิ้น

เสื้อผ้า	องค์ประกอบของเสื้อผ้า	I_{cl}, clo
กางเกงขายาว	(1) กางเกงขายาว, เสื้อแขนสั้น	0.57
	(2) กางเกงขายาว,เสื้อแขนยาว	0.61
	(3) #2 เพิ่ม เสื้อแจ็คเก็ต	0.96
	(4) #2 เพิ่ม เสื้อแจ็คเก็ต, เสื้อกั๊ก, เสื้อยืดแขนสั้น	1.14
	(5) #2 เพิ่ม เสื้อกันหนาวแขนยาว, เสื้อยืดแขนสั้น	1.01
	(6) #5 เพิ่ม เสื้อแจ็คเก็ต, ชุดชั้นในยาว	1.30
กระโปรง/ชุดกระโปรง	(7) กระโปรงสั้น, เสื้อแขนสั้น	0.54
	(8) กระโปรงสั้น, เสื้อแขนยาว, ชุดกระโปรงยาว	0.67
	(9) กระโปรงสั้น, เสื้อแขนยาว, ชุดกระโปรงสั้น, เสื้อกันหนาวแขนยาว	1.10
	(10) กระโปรงสั้น, เสื้อแขนยาว, ชุดกระโปรงสั้น, เสื้อแจ็คเก็ต	1.04
	(11) กระโปรงยาว, เสื้อแขนยาว, เสื้อแจ็คเก็ต	1.10
กางเกงขาสั้น	(12) กางเกงขาสั้น, เสื้อแขนสั้น	0.36
ชุดเอี๊ยม/ชุดคลุม	(13) ชุดเอี๊ยมขายาว, เสื้อยืดแขนสั้น	0.72
	(14) ชุดเอี๊ยม, เสื้อแขนยาว, เสื้อยืดแขนสั้น	0.89
	(15) ชุดคลุม, ชุดชั้นในกันหนาวแขนยาว/ขายาว	1.37
ชุดกีฬา	(16) กางเกงผ้ากีฬาขาวยาว, เสื้อยืดแขนยาว	0.74
ชุดนอน	(17) ชุดนอนแขนยาว, กางเกงนอนขายาว (ไม่สวมถุงเท้า)	0.96

ที่มา : ANSI/ASHRAE Standard 55-2017. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, 2017), 7.

2.6 ดัชนีความสบายเชิงความร้อน (Thermal Comfort Indices)

ดัชนีความสบายเชิงความร้อน หรือ Thermal Comfort Indices ที่ใช้อย่างแพร่หลายนั้นมีอยู่หลายดัชนี อย่างไรก็ตามในการศึกษาส่วนใหญ่มักใช้ค่าดัชนี Physiological Equivalent Temperature (PET) [9]

อุณหภูมิเทียบเท่าทางสรีรวิทยา หรือ Physiological Equivalent Temperature (PET) นั้น ได้ถูกพัฒนาขึ้นมาจาก Munich Energy-Balance Model for Individuals (MEMI) และถูกนำมาใช้ในหลายงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสภาวะน่าสบายทางด้านอุณหภูมิ ซึ่งตัวบ่งชี้ PET นี้มีข้อเด่นหลายประการ กล่าวคือ PET สามารถนำประสบการณ์หรือความรู้เกี่ยวกับความน่าสบายทางอุณหภูมิภายในอาคารมาประยุกต์ใช้กับสภาวะน่าสบายภายนอกอาคารซึ่งมีความซับซ้อนกว่าได้ นอกจากนี้ PET นั้นยังได้รับการยอมรับในการเป็นตัวบ่งชี้ภูมิอากาศชีวภาพเนื่องจากใช้หน่วยอุณหภูมิเป็น °C ซึ่งเป็นหน่วยพื้นฐานที่ใช้กันโดยทั่วไปในการตรวจวัดค่า Thermal Stress หรือ ความเค้นทางอุณหภูมิ มากไปกว่านี้หลายๆ งานวิจัยได้ศึกษาและค้นพบว่าการใช้ PET สามารถทำให้บุคคลทั่วไปและสายงานอื่น ๆ สามารถเข้าใจในความสบายด้านอุณหภูมิได้ และประการสุดท้าย PET นั้นสามารถคำนวณและวิเคราะห์ได้ด้วยโปรแกรมที่หลากหลาย เช่น โปรแกรม Rayman และ อื่น ๆ [13]

2.7 การประเมินอุณหภูมิเทียบเท่าทางสรีรวิทยา

การวิเคราะห์ข้อมูลในงานวิจัยนี้ จะเป็นการนำข้อมูลความสบายเชิงความร้อนที่ได้จากการสำรวจความรู้สึกเชิงความร้อน หรือ Thermal Sensation Survey (TSS) และการประเมินระดับความรู้สึกเชิงความร้อน หรือ Thermal Sensation Vote (TSV) ภายนอกอาคารของจังหวัดเชียงใหม่จากการศึกษาที่ผ่านมา เพื่อนำมาสร้างแบบจำลองความน่าสบายเชิงความร้อน และวิเคราะห์ข้อมูลดัชนีความสบายเชิงความร้อน ซึ่งคืออุณหภูมิเทียบเท่าทางสรีรวิทยา หรือ Physiological Equivalent Temperature (PET) ผ่านแบบจำลอง Rayman model 1.2 ร่วมกับภาพถ่ายเลนส์ตาปลา (Fish-eye photograph) มุมกว้าง 180 องศา เพื่อหาสัดส่วนท้องฟ้า หรือ Sky view factor (SVF) ในการวิเคราะห์ความเข้มของปริมาณรังสี (Radiation flux density) ตามมุมการรับแสงแดด [9]

ค่าอุณหภูมิเทียบเท่าทางสรีรวิทยา (PET) ที่แสดงสภาวะความเป็นกลางเชิงความร้อน (Thermal Neutrality) หรือ อุณหภูมิความสบาย (Neutral Temperature) ซึ่งเป็นการประเมินสภาวะความสบายอย่างง่าย (Basic Method) สามารถคำนวณหาได้จากการแก้สมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Linear Regression) ที่มีคะแนนความรู้สึกเฉลี่ย (Mean Thermal Sensation Vote, MTSV) เป็นตัวแปรตาม และ ค่า PET ที่ได้จากการประมวลผลในโปรแกรม Rayman Model 1.2 เป็นตัวแปรอิสระ โดยการแทนค่าตัวแปรตาม หรือ MTSV เท่ากับ 0 จะทำให้ได้ค่า PET ที่แสดงสภาวะความเป็นกลางเชิงความร้อน หรือ อุณหภูมิความสบาย

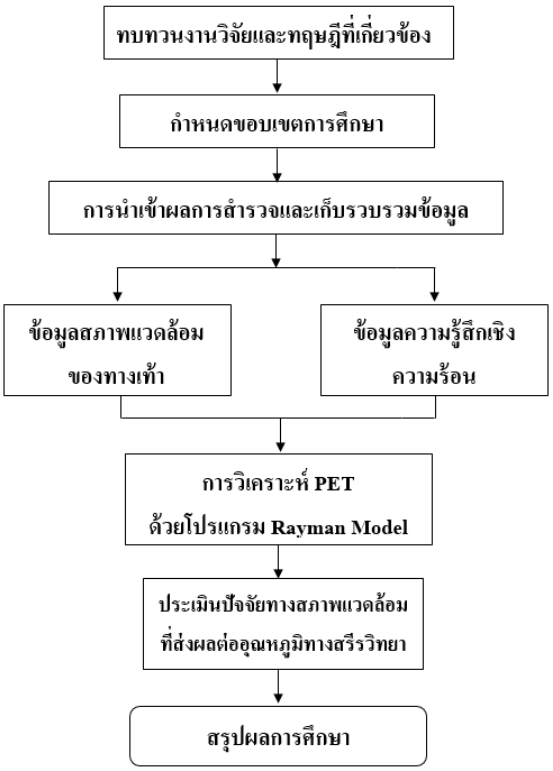
2.8 การวิเคราะห์ปัจจัยทางสภาพแวดล้อมที่ส่งผลต่ออุณหภูมิเทียบเท่าทางสรีรวิทยา

การวิเคราะห์ปัจจัยทางสภาพแวดล้อมต่าง ๆ จากการสร้างแบบจำลองนั้นโดยใช้ผลจากการสำรวจสภาพแวดล้อมภายนอกอาคารของจังหวัดเชียงใหม่จากการศึกษาที่ผ่านมานั้น สามารถช่วยประเมินได้ว่าตัวแปรใดในสิ่งแวดล้อมที่ส่งผลต่อการทำให้อุณหภูมิทางสรีรวิทยาเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นหรือลดลง ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการวางแผนการสำรวจและออกแบบทางเท้าเพื่อปรับปรุงปัจจัยเหล่านั้นให้เหมาะสมกับคนเดินเท้ามากที่สุด

การสร้างแบบจำลองเพื่อวิเคราะห์ตัวแปรทางสภาพภูมิอากาศที่ส่งผลต่ออุณหภูมิเทียบเท่าทางสรีรวิทยานั้น สามารถประเมินได้จากวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ (Multiple Regression Analysis) โดยทำการวิเคราะห์จากตัวแปรอิสระ 6 ตัวแปรอิสระ ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ (Air Temperature) ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity) อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย (Mean-Radiation Temperature) อัตราการเผาผลาญพลังงาน (Metabolic Rate) และระดับฉนวนของเสื้อผ้า (Clothing Insulation) ซึ่งส่งผลต่อตัวแปรตาม คือ อุณหภูมิเทียบเท่าทางสรีรวิทยา หรือ Physiological Equivalent Temperature (PET)

3. ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ที่ผู้วิจัยตั้งไว้ ผู้วิจัยได้กำหนดขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.1 การกำหนดขอบเขตการศึกษา

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการศึกษาความสบายในการเดินเท้าของประชากรในจังหวัดเชียงใหม่ผ่านการสร้างแบบจำลองความน่าสบายเชิงความร้อน ดังนั้นทางเท้าที่จะดำเนินการศึกษาคือทางเท้าจังหวัดเชียงใหม่

3.2 การนำเข้าข้อมูลเพื่อสร้างแบบจำลอง

ผลการสำรวจและรวบรวมข้อมูลในงานวิจัยครั้งนี้เป็นข้อมูลทุติยภูมิ โดยจะนำข้อมูลการสำรวจภายในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ที่ได้จากการศึกษาที่ผ่านมาในปี พ.ศ.2557 ของช่วงเดือนเมษายน [8] โดยข้อมูลที่นำเข้านั้นจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ 1) การสำรวจความรู้สึกเชิงความร้อน (Thermal Sensation Survey, TSS) และ 2) การตรวจวัดตัวแปรด้านสภาพภูมิอากาศ เพื่อประเมินสภาวะเชิงความร้อนของพื้นที่ ซึ่งทั้งสองส่วนนี้ได้กระทำพร้อมกันเพื่อวัดตัวแปรด้านสภาพภูมิอากาศต่าง ๆ ระหว่างทำแบบสอบถามกับกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 250 ชุด โดยการสร้างแบบจำลองนั้นจะจำลองเส้นทางเดินเท้าที่ออกเป็น 5 เส้นทางซึ่งมีความแตกต่างกันของกายภาพและสภาพแวดล้อม

3.2.1 การสำรวจความรู้สึกเชิงความร้อน (Thermal Sensation Survey, TSS)

แบบสอบถามที่ใช้ให้ผู้ตอบประเมินนั้นถูกแบ่งออกเป็นสองส่วน โดยส่วนแรกจะเป็นการเก็บข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม เช่น เพศ อายุ และช่วงเวลาที่ทำแบบสอบถาม จากนั้นจึงลงคะแนนเลือกความรู้สึกเชิงความร้อน (Thermal Sensation Vote, TSV) และการยอมรับเชิงความร้อน (Thermal acceptability) ซึ่งใช้มาตรวัดระดับความรู้สึกเชิงความร้อน และการยอมรับเชิงความร้อนจะเป็นไปตามวิธีการที่ระบุใน ANSI/ASHRAE Standard 55-2017 เรื่อง Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy ซึ่งมีระดับของความรู้สึกเชิงความร้อนนั้นแบ่งออกเป็น 7 ระดับ ได้แก่ -3 หนาว (Cold) ,-2 เย็น (Cool), -1 เย็นเล็กน้อย (Slightly Cool), 0 ปกติ (Neutrality), +1 ร้อนเล็กน้อย (Slightly Warm), +2 ร้อน (ร้อน), และ +3 ร้อนมาก (Hot) และการยอมรับเชิงความร้อนแบ่งออกเป็น สามารถยอมรับได้ (Acceptable) และไม่สามารถยอมรับได้ (Un-acceptable) ต่อสภาพแวดล้อมเชิงความร้อนที่เป็นอยู่ในขณะที่ทำการตอบแบบสอบถาม และส่วนที่สองคือการตรวจสอบความต้องการในปัจจัยสภาวะสิ่งแวดล้อมความร้อน (Preferences of Thermal Conditions) เพื่อการปรับตัวในสภาพแวดล้อมเชิงความร้อนของผู้ตอบแบบสอบถาม ประกอบไปด้วย ตัวแปรด้านสภาพภูมิอากาศ (อุณหภูมิอากาศ ความชื้น ความเร็วลม และแสงแดด) การประมาณอัตราการเผาผลาญพลังงาน (Metabolic Rate, met) และระดับฉนวนของเสื้อผ้า (Clothing Insulation Value, clo) โดยตัวแปรด้านสภาพภูมิอากาศจะให้ผู้ตอบแบบสอบถามทำการเลือกว่าต้องการให้ตัวแปรต่าง ๆ มากกว่าเดิม เท่าเดิม หรือลดน้อยลง ซึ่งการอัตราการเผาผลาญพลังงานนั้นประมาณได้จากกิจกรรมของผู้ตอบแบบสอบถามขณะนั้น โดยการสำรวจมุ่งไปยังผู้ตอบที่กำลังเดินเท้า (Walking) ซึ่งมีอัตราการเผาผลาญพลังงานเท่ากับ 2.0 met (1 met = 58.15 w/m^2) และระดับฉนวนของเสื้อผ้าและเครื่องแต่งกายในฤดูหนาวของกลุ่มตัวอย่างตามมาตรฐาน ของ ASHRAE 55-2017 คือ 0.96 clo (1 clo = 0.155 °C m^2/w)

3.2.2 การตรวจวัดตัวแปรด้านสภาพภูมิอากาศของทางเดินเท้า

การตรวจวัดสภาพภูมิอากาศ หรือ Climate Parameters นั้นได้ถูกสำรวจควบคู่ไปกับการทำแบบสอบถามกับกลุ่มตัวอย่างที่กำลังทำกิจกรรมต่าง ๆ ภายนอกอาคาร โดยมีการใช้เครื่องมือวัดทางอุตุนิยมวิทยา (Micrometeorological Measurement) ซึ่งประกอบไปด้วยเครื่อง LUTRON wbgt-2010SD เพื่อใช้วัดอุณหภูมิอากาศ (Air Temperature) ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity) ความเร็วลม (Wind velocity) และอุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบ (Mean-Radiation Temperature) โดยข้อมูลจากการสำรวจในการศึกษาที่ผ่านมานั้นได้ถูกนำมาอ้างอิงและดัดแปลงเพื่อเป็นข้อมูลสำหรับแบบจำลองของทางเดินเท้าที่มีสภาพอากาศที่แตกต่างกัน ซึ่งเป็นไปดังเป็นไปดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ข้อมูลสภาพแวดล้อมของทางเท้าทั้ง 5 เส้นทาง โดยอ้างอิงและดัดแปลงมาจากการสำรวจในการศึกษาในปี **2557**

ตัวแปรด้านสภาพภูมิอากาศ		All (n=250)	1 (50)	2 (50)	3 (50)	4 (50)	5 (50)
1. อุณหภูมิการแผ่รังสีความร้อนเฉลี่ย, Tmrt, °C)	เฉลี่ย	40.30	39.50	40.30	40.60	41.50	39.70
	สูงสุด	65.50	58.20	65.50	64.30	62.10	59.70
	ต่ำสุด	28.80	28.80	30.10	31.50	29.80	29.00
	S.D.	8.80	6.70	8.40	9.50	9.20	5.70
2. ความเร็วลม, m/s)	เฉลี่ย	0.69	0.75	0.63	0.66	0.64	0.75
	สูงสุด	1.63	1.63	1.50	1.53	1.58	1.60
	ต่ำสุด	0.13	0.17	0.15	0.17	0.13	0.15
	S.D.	0.33	0.30	0.33	0.35	0.32	0.29
3. ความชื้นสัมพัทธ์, %)	เฉลี่ย	40.70	42.50	38.40	39.60	40.10	43.10
	สูงสุด	56.40	56.40	50.10	52.50	51.60	54.60
	ต่ำสุด	22.60	23.10	22.80	22.60	23.50	22.90
	S.D.	7.30	7.40	6.90	6.40	6.70	7.50
4. อุณหภูมิอากาศ, Ta, °C)	เฉลี่ย	34.80	33.10	36.10	35.20	35.30	34.00
	สูงสุด	41.10	39.60	41.10	40.50	41.00	39.90
	ต่ำสุด	27.60	27.60	28.90	29.30	29.40	28.20
	S.D.	3.20	3.00	3.30	3.20	3.30	3.10
5. สัดส่วนปริมาณท้องฟ้า, SVF)	เฉลี่ย	0.25	0.18	0.31	0.38	0.24	0.16
	สูงสุด	0.70	0.43	0.65	0.59	0.70	0.44
	ต่ำสุด	0.04	0.04	0.12	0.11	0.09	0.06
	S.D.	0.13	0.11	0.12	0.10	0.13	0.11

3.3 การสร้างแบบจำลองและการวิเคราะห์ข้อมูล

3.3.1 การประเมินอุณหภูมิเทียบเท่าทางสรีรวิทยา

การวิเคราะห์ข้อมูลในงานวิจัยครั้งนี้ จะนำข้อมูลความสบายเชิงความร้อนที่ได้จากการข้อมูลการสำรวจความรู้สึกเชิงความร้อน หรือ Thermal Sensation Survey (TSS) และการประเมินระดับความรู้สึกเชิงความร้อน หรือ Thermal Sensation Vote (TSV) เพื่อนำมาวิเคราะห์ข้อมูลดัชนีความสบายเชิงความร้อน ซึ่งคือ อุณหภูมิสมดุลทางสรีรวิทยา หรือ Physiological Equivalent Temperature (PET) ด้วยโปรแกรม Rayman model 1.2

3.3.2 การประเมินช่วงการยอมรับเชิงความร้อน

นอกจากประเมินอุณหภูมิเทียบเท่าทางสรีรวิทยาแล้วนั้นพบว่ามีขั้นตอนการทดสอบปัจจัยทางจิตวิทยาด้านการยอมรับเชิงความร้อน (Thermal acceptability) ซึ่งได้รับการเสนอโดย ASHRAE 55-2017 จากการลงคะแนนเลือกการยอมรับเชิงความร้อน (Thermal acceptable vote) ของการยอมรับได้ และไม่สามารถยอมรับได้ โดยกำหนดให้ผู้ตอบแบบสอบถามต้องเลือกยอมรับได้มากกว่าร้อยละ 80 ซึ่งนิยามของคำว่า “ความยอมรับได้ (Acceptability)” นั้นมีความหมายเหมือนกันกับ “ความพึงพอใจ (Satisfaction)” ดังนั้นการประเมินช่วงความยอมรับเชิงความร้อนนั้นจะใช้คะแนนความรู้สึกเชิงความร้อน (TSV) จากผู้ตอบแบบสอบถามในระดับ เย็นเล็กน้อย (Slightly Cool) ปกติ (Neutrality) และร้อนเล็กน้อย (Slightly Warm) (TSV = -1, 0 และ +1 ตามลำดับ) ซึ่งสามารถประเมินได้โดยการสร้างสมการโพลีโนเมียลลำดับสอง (Second-order quadratic polynomial) โดยให้ตัวแปรอิสระคือ ค่า PET (°C) และตัวแปรตามคือ ค่าร้อยละของความไม่ยอมรับเชิงความร้อน (Percentage of thermal unacceptability) เมื่อได้สมการโพลีโนเมียลลำดับสองแล้วจึงทำการแก้สมการโดยแทนค่าตัวแปรตามเท่ากับ 20 ซึ่งหมายถึงการไม่ยอมรับเชิงความร้อนน้อยกว่าร้อยละ 20 จากนั้นจึงได้ค่าอุณหภูมิซึ่งเป็นช่วงความยอมรับเชิงความร้อน PET ที่แสดงถึงช่วงของอุณหภูมิที่ยอมรับได้ของผู้ตอบแบบสอบถาม

3.3.3 การวิเคราะห์ปัจจัยทางสภาพแวดล้อมที่ส่งผลต่ออุณหภูมิทางสรีรวิทยา

การวิเคราะห์ปัจจัยทางสภาพแวดล้อมต่าง ๆ นั้น สามารถช่วยประเมินว่าตัวแปรใดในสิ่งแวดล้อมที่ส่งผลต่อการทำให้อุณหภูมิเทียบเท่าทางสรีรวิทยา (PET) เปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นหรือลดลง ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการออกแบบทางเท้า เพื่อปรับปรุงปัจจัยเหล่านั้นให้เหมาะสมกับคนเดินเท้าและมีความสบายในการเดินเท้ามากที่สุด

การวิเคราะห์ตัวแปรทางสภาพภูมิอากาศนั้นสามารถประเมินได้จากการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ (Multiple Regression Analysis) ซึ่งมีค่านัยสำคัญทางสถิติ หรือ R^2 ที่สูง โดยการวิเคราะห์จากตัวแปรอิสระ 6 ตัวแปร ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ (Air Temperature) ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity) ความเร็วลม (Wind velocity) และอุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบ (Mean-Radiation Temperature) อัตราการเผาผลาญพลังงานของร่างกาย (Metabolic Rate) และระดับฉนวนของเสื้อผ้า (Clothing Insulation) ซึ่งส่งผลต่อตัวแปรตาม คือ อุณหภูมิเทียบเท่าทางสรีรวิทยา หรือ Physiological Equivalent Temperature (PET)

4. ผลการศึกษา

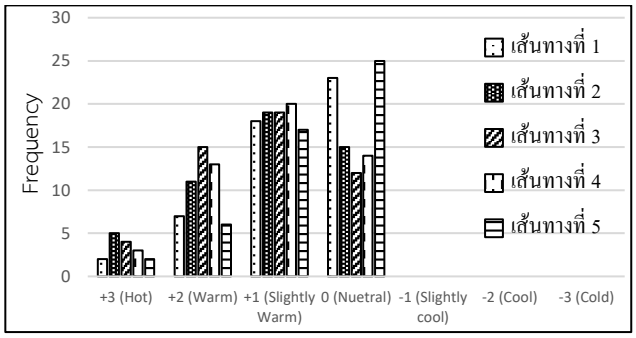
4.1 ความรู้สึกเชิงความร้อนและอุณหภูมิความสบาย (Thermal sensation and neutral temperature)

จากตารางที่ 4 สรุปข้อมูลสถิติการตรวจวัดตัวแปรด้านสภาพภูมิอากาศของเส้นทางที่จำลองทั้ง 5 เส้นทาง แสดงให้เห็นว่าสภาพภูมิอากาศของสภาพแวดล้อมนั้นเป็นแบบสภาพภูมิอากาศร้อนชื้น ซึ่งมีอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์ที่ค่อนข้างสูง โดยอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยมีค่า 34.8±3.2 °C และมีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยที่ร้อยละ 40.7±7.3 โดยมีความเร็วลมเฉลี่ย 0.69±0.33 m/s ในขณะที่การแผ่รังสีความร้อนมีค่าที่ค่อนข้างแปรปรวนโดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 41.66±9.6 °C จากปริมาณร่มเงาที่แตกต่างกันซึ่งสามารถสังเกตได้จากปริมาณสัดส่วนท้องฟ้า หรือ Sky View Factor โดยที่อุณหภูมิเทียบเท่าทางสรีรวิทยาซึ่งได้จากการวิเคราะห์โดยโปรแกรม Rayman Model 1.2 ของเส้นทางที่ 1 และ เส้นทางที่ 5 มีค่าเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกันคือ 35.3 และ 35.7 °C PET ตามลำดับ ในขณะที่เส้นทางที่ 2 3 และ 4 มีค่าเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกัน คือ 37.3 37.6 และ 36.9 °C PET ตามลำดับ

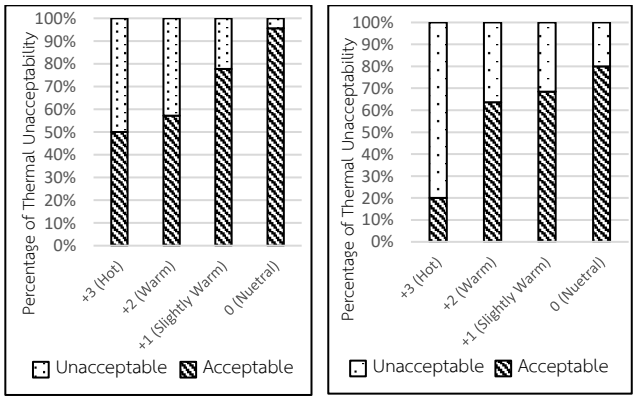
ตารางที่ 4 สรุปข้อมูลตัวแปรทางด้านสภาพแวดล้อมและผลการวิเคราะห์อุณหภูมิเทียบเท่าทางสรีรวิทยา

ตัวแปรด้านสภาพภูมิอากาศ		All (n=250)	1 (50)	2 (50)	3 (50)	4 (50)	5 (50)
1. อุณหภูมิการแผ่รังสีความร้อน (Mean radiant temperature, Tmrt (°C))	เฉลี่ย	40.30	39.50	40.30	40.60	41.50	39.70
	สูงสุด	65.50	58.20	65.50	64.30	62.10	59.70
	ต่ำสุด	28.80	28.80	30.10	31.50	29.80	29.00
	S.D.	8.80	6.70	8.40	9.50	9.20	5.70
2. ความเร็วลม (Wind velocity (m/s))	เฉลี่ย	0.69	0.75	0.63	0.66	0.64	0.75
	สูงสุด	1.63	1.63	1.50	1.53	1.58	1.60
	ต่ำสุด	0.13	0.17	0.15	0.17	0.13	0.15
	S.D.	0.33	0.30	0.33	0.35	0.32	0.29
3. ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity (%))	เฉลี่ย	40.70	42.50	38.40	39.60	40.10	43.10
	สูงสุด	56.40	56.40	50.10	52.50	51.60	54.60
	ต่ำสุด	22.60	23.10	22.80	22.60	23.50	22.90
	S.D.	7.30	7.40	6.90	6.40	6.70	7.50
4. อุณหภูมิอากาศ (Air temperature, Ta (°C))	เฉลี่ย	34.80	33.10	36.10	35.20	35.30	34.00
	สูงสุด	41.10	39.60	41.10	40.50	41.00	39.90
	ต่ำสุด	27.60	27.60	28.90	29.30	29.40	28.20
	S.D.	3.20	3.00	3.30	3.20	3.30	3.10
5. สัดส่วนปริมาณท้องฟ้า (Sky view factor, SVF)	เฉลี่ย	0.25	0.18	0.31	0.38	0.24	0.16
	สูงสุด	0.70	0.43	0.65	0.59	0.70	0.44
	ต่ำสุด	0.04	0.04	0.12	0.11	0.09	0.06
	S.D.	0.13	0.11	0.12	0.10	0.13	0.11
6. PET (°C)	เฉลี่ย	36.6	35.3	37.3	37.6	36.9	35.7
	สูงสุด	51.3	50.2	51.3	49.3	48.1	47.5
	ต่ำสุด	27.9	27.9	28.4	29.5	27.5	29.6
	S.D.	5.7	3.8	6.3	6.2	5.9	4.0

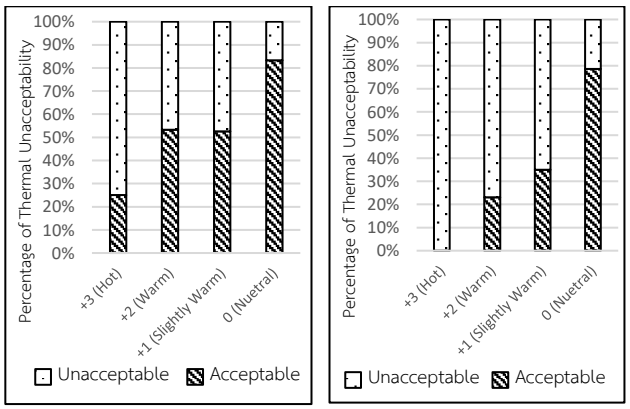
จากรูปที่ 2 แสดงการกระจายของการลงคะแนนความรู้สึกเชิงความร้อน หรือ Thermal Sensation Vote (TSV) ของแบบจำลองตามระดับของ ASHRAE ซึ่งพบว่าผู้ตอบแบบสอบถามโดยส่วนมากร้อยละ 64.40 จะลงคะแนนความรู้สึกไปทางระดับร้อน หรือ TSV มากกว่า 0 และจากข้อมูลดังรูปที่ 3 ยังพบว่า เส้นทางที่ 1 และ 5 นั้นผู้ตอบแบบสอบถามจะรู้สึกมีระดับความร้อนที่น้อยกว่า เส้นทางที่ 2 3 และ 4 ซึ่งสังเกตได้จากจำนวนผู้ตอบแบบสอบถามที่ลงคะแนนความรู้สึกเชิงความร้อนที่เป็นกลางในเส้นทางที่ 1 และ 5 ประมาณร้อยละ 48.00 ในขณะที่ เส้นทางที่ 2 3 และ 4 มีค่าเพียง ร้อยละ 27.33



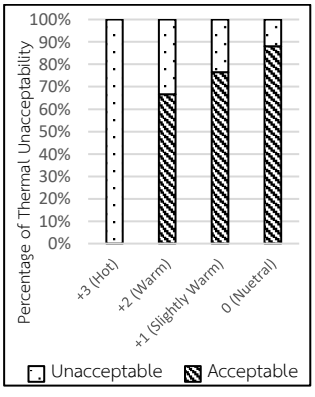
รูปที่ 2 Thermal Sensation Vote (TSV)



(a) เส้นทางที่ 1 (b) เส้นทางที่ 2



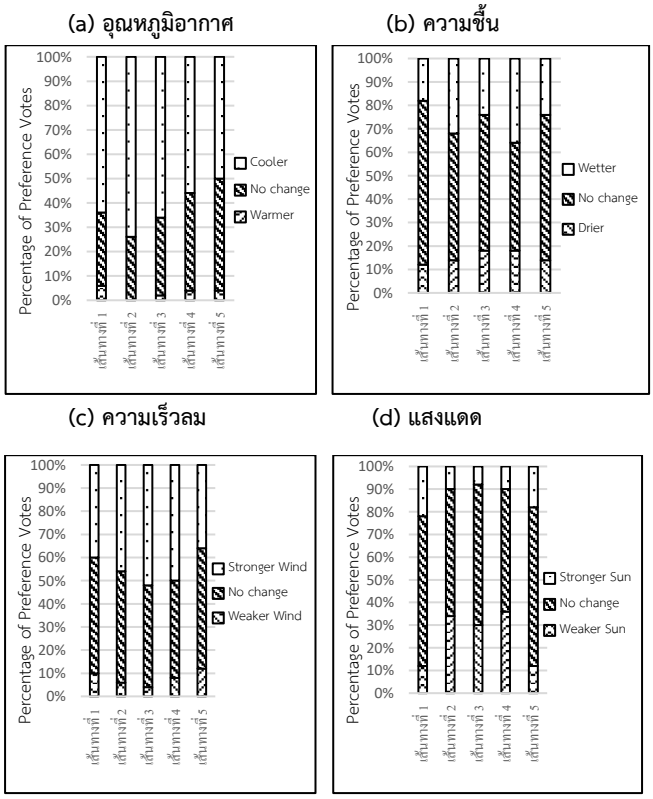
(c) เส้นทางที่ 3 (d) เส้นทางที่ 4



รูปที่ 3 ความยอมรับได้และความยอมรับไม่ได้ในสภาพแวดล้อมของแต่ละเส้นทาง

รูปที่ 3 แสดงความยอมรับได้ (Acceptable) และความยอมรับไม่ได้ (Unacceptable) ของคนเดินเท้าในสภาพแวดล้อมของทางเท้า ซึ่งตอบโดยผู้ตอบแบบสอบถามทั้ง 250 ชุด โดยที่ รูปที่ 4 (a) (b) (c) (d) และ (e) คือความยอมรับได้ของสภาพแวดล้อมในเส้นทางที่ 1 2 3 4 และ 5 ตามลำดับ ซึ่งในเส้นทางเดินเท้า ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนมากจะตอบว่าสามารถยอมรับได้ในสภาพความร้อนของทางเดินเท้าได้

จากรูปที่ 4 แสดงความต้องการของผู้ตอบแบบสอบถามในปัจจัยสภาวะสิ่งแวดล้อมความร้อน (Preferences of thermal conditions) เพื่อการปรับตัวอยู่ในสภาพแวดล้อมเชิงความร้อนในพื้นที่นั้น โดยรูปที่ 5 (a) คือความต้องการด้านอุณหภูมิอากาศ, (b) คือความต้องการด้านความชื้น, (c) คือความต้องการด้านความเร็วลม และ (d) คือความต้องการด้านแสงแดด โดยพบว่าผู้ตอบแบบสอบถามทั้ง 5 เส้นทางส่วนใหญ่ต้องการให้มีอุณหภูมิอากาศที่ลดลง ต้องการให้มีลมที่พัดแรงมากขึ้น และส่วนใหญ่พึงพอใจในระดับของความชื้นสัมพัทธ์และแสงแดด

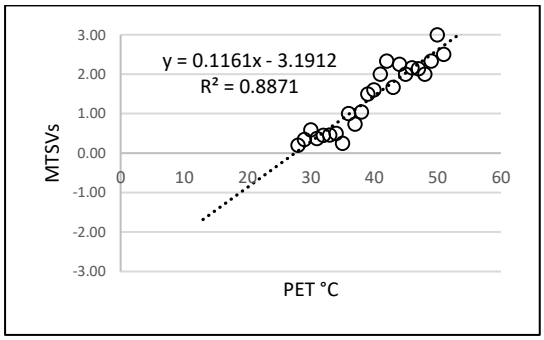


รูปที่ 4 การตรวจสอบความต้องการปัจจัยสภาวะสิ่งแวดล้อมความร้อน (Preferences of thermal conditions) เพื่อการปรับตัวอยู่ในสภาพแวดล้อมเชิงความร้อนในพื้นที่นั้น

จากนั้นจึงได้ทำการสรุปการเลือกระดับความรู้สึกเชิงความร้อนของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 250 คน เป็นค่าการลงคะแนนเลือกความรู้สึกเชิงความร้อนเฉลี่ย (Mean Thermal Sensation vote, MTSV) ซึ่งกระบวนการนี้เป็นการลดความคลาดเคลื่อนของกลุ่มตัวอย่างที่มีจำนวนน้อย และจึงทำการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Linear Regression) ซึ่งได้ค่าที่มีนัยสำคัญทางสถิติ หรือ R^2 ที่สูงที่สุด โดยทำการกำหนดให้ค่าอุณหภูมิเทียบเท่าทางสรีรวิทยาเป็นตัวแปรอิสระ และค่าการลงคะแนนความรู้สึกเชิงความร้อนเฉลี่ย (MTSV) เป็นตัวแปรตาม ซึ่งสามารถหาเป็นสมการเชิงเส้นตรงได้ดังรูปที่ 5 และสามารถสร้างเป็นสมการได้ดังสมการที่ 1 โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Coefficient of determination, R^2) มีนัยสำคัญทางสถิติที่ค่อนข้างสูง

$$\boldsymbol{MTSV = 0.1161(PET) - 3.1912} \qquad \boldsymbol{(R^2 = 0.8871)}$$

(สมการที่ 1)



รูปที่ 5 แผนภาพการกระจาย (Scatter Diagram) แสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างค่าอุณหภูมิ PET กับการลงคะแนนเลือกความรู้สึกเชิงความร้อนเฉลี่ย (MTSV)

จากสมการที่ 1 สามารถแทนค่าตัวแปรตาม หรือ MTSV เท่ากับ 0 จะทำให้ได้ค่าอุณหภูมิเทียบเท่าทางสรีรวิทยา (PET) ที่แสดงถึงความเป็นกลางทางความร้อน (Neutral Temperature) ซึ่งเป็นกระบวนการประเมินสภาวะความสบายอย่างง่าย โดยเมื่อแทนสมการแล้วพบว่า ค่าอุณหภูมิความสบายของกลุ่มตัวอย่างประชากรมีค่าเท่ากับ 27.5 °C PET

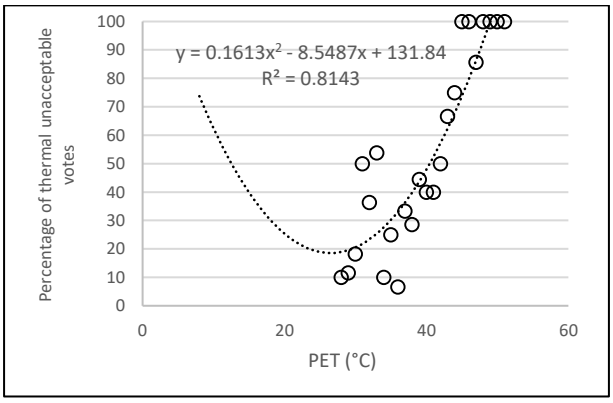
4.2 ช่วงความยอมรับเชิงความร้อน (Thermal acceptable range)

จากคำแนะนำของ ASHRAE 55-2004 นั้นเป็นการทดสอบปัจจัยทางจิตวิทยาด้านความยอมรับเชิงความร้อน (Thermal acceptability) ที่ได้จากการเลือกลงคะแนนการยอมรับเชิงความร้อนของผู้ตอบแบบสอบถามนั้น ต้องมีค่ามากกว่าร้อยละ 80 โดยสามารถนำค่าร้อยละของการไม่ยอมรับเชิงความร้อน และค่าอุณหภูมิเทียบเท่าทางสรีรวิทยามาสร้างสมการโพลีโนเมียลลำดับสอง (Second order quadratic polynomial) ดังสมการที่ 2 และรูปที่ 6

$$Y = 0.1613x^2 - 8.5487x + 131.84 \qquad (R^2 = 0.8143)$$

(สมการที่ 2)

โดยที่ Y หรือ ตัวแปรตาม เป็นค่าร้อยละของการไม่ยอมรับเชิงความร้อน (Percentage of thermal unacceptable vote) และตัวแปรอิสระเป็นอุณหภูมิเทียบเท่าทางสรีรวิทยา (PET) ดังนั้นถ้าหากแทนตัวแปรตามเท่ากับ 20 (Y=20) เพื่อแสดงความไม่ยอมรับเชิงความร้อน (Thermal Unacceptable vote) ตามคำแนะนำของ ASHRAE 55-2004 จะได้ค่าของช่วงความยอมรับเชิงความร้อนเท่ากับ 23.5 – 29.5 °C PET ในสภาพแวดล้อมของทางเดินเท้าภายในมหาวิทยาลัยเชียงใหม่



รูปที่ 6 ช่วงความยอมรับเชิงความร้อน (Thermal acceptable range) ในฤดูร้อนเมืองเชียงใหม่

4.3 ปัจจัยทางสภาพแวดล้อมที่ส่งผลต่ออุณหภูมิทางสรีรวิทยา

การวิเคราะห์ปัจจัยทางสภาพแวดล้อมที่ส่งผลต่ออุณหภูมิทางสรีรวิทยาจากแบบจำลองนั้นสามารถกระทำได้โดยการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ (Multinomial Linear Regression) ซึ่งทำให้ได้ค่านัยสำคัญทางสถิติที่ค่อนข้างสูง โดยการเลือกตัวแปรอิสระโดยวิธี Stepwise เพื่อหาความสัมพันธ์ของตัวแปรสภาพแวดล้อมทั้ง 6 ตัวแปร ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย อัตราการเผาผลาญพลังงาน และระดับฉนวนของเสื้อผ้า เพื่อให้ทราบว่าตัวแปรใดบ้างที่ส่งผลต่ออุณหภูมิทางสรีรวิทยาของผู้ตอบแบบสอบถาม ซึ่งจากการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุนั้นพบว่าเป็นไปดังสมการที่ 3

$$\boldsymbol{PET = 0.1436T_a + 0.0594T_{mrt} - 0.9912V_a + 23.8388}$$

$$\boldsymbol{(R^2 = 0.9695)} \qquad \text{(สมการที่ 3)}$$

โดยที่ PET คือ อุณหภูมิเทียบเท่าทางสรีรวิทยาในสภาพแวดล้อมของทางเดินเท้าที่ทำการสำรวจ (°C), T_{mrt} คือ อุณหภูมิการแผ่รังสีความร้อนเฉลี่ย (°C), T_a คือ อุณหภูมิอากาศ (°C) และ V_a คือ ความเร็วลม (m/s) ซึ่งจากค่าสัมประสิทธิ์หน้าแต่ละตัวแปรนั้นบ่งบอกได้ว่า หากอุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิการแผ่รังสีความร้อนเฉลี่ยมีค่าลดลง จะทำให้อุณหภูมิเทียบเท่าทางสรีรวิทยาลดลงซึ่งส่งผลให้มีความสบายต่อการเดินเท้ามากขึ้น ในขณะที่หากมีความเร็วลมเพิ่มขึ้นจะทำให้อุณหภูมิเทียบเท่าทางสรีรวิทยาลดลงและส่งผลให้มีความสบายต่อการเดินเท้ามากขึ้นเช่นกัน

5. สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมและทางด้านบุคคลที่ส่งผลต่ออุณหภูมิเทียบเท่าทางสรีรวิทยา โดยการสร้างแบบจำลองซึ่งใช้ข้อมูลจากการสำรวจในการศึกษาที่ผ่านมา ซึ่งส่งผลต่อเนื่องถึงความรู้สึกเชิงความร้อนและความน่าสบายของการเดินเท้าในเส้นทางที่จำลองขึ้นมา โดยข้อมูลนั้นได้จากการสำรวจด้วยแบบสอบถามซึ่งเน้นสอบถามไปยังความรู้สึกเชิงความร้อน และความรู้สึกต่อปัจจัยต่าง ๆ ในสภาพแวดล้อมของเดินเท้า ร่วมกับการตรวจวัดสภาพภูมิอากาศและปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ พบว่าทางเดินเท้าที่ถูกจำลองขึ้นมาทั้ง 5 เส้นทางนั้น มีความแตกต่างกันในปัจจัยด้านสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ยกตัวอย่างเช่น ทางเดินเท้าของเส้นทางที่ 1 และเส้นทางที่ 5 นั้นจะมีต้นไม้ที่ปกคลุมหนาแน่นและมีลักษณะต้นไม้ที่สูงโปร่ง ทำให้ค่าของอัตราส่วนท้องฟ้า หรือ Sky View Factor (SVF) นั้นมีค่าที่ต่ำกว่าอีก 3 เส้นทางที่ได้รับการคัดเลือกมา อย่างไรก็ตามทั้ง 5 เส้นทางนั้นผู้ตอบแบบสอบถามโดยส่วนใหญ่จะสามารถยอมรับสภาพแวดล้อมของทางเท้าได้ ซึ่งค่าอุณหภูมิเทียบเท่าทางสรีรวิทยาของคนเดินเท้าที่ได้จากการสำรวจนั้นจะมีค่าเท่ากับ 27.5 °C PET โดยจากการวิเคราะห์ช่วงการยอมรับเชิงความร้อนของผู้ตอบแบบสอบถามนั้นจะมีค่าระหว่าง 23.5 – 29.5 °C PET และจากความต้องการของผู้ตอบแบบสอบถามนั้น พบว่าโดยส่วนใหญ่ต้องการให้อุณหภูมิของอากาศเย็นลง และต้องการให้มีกระแสลมพัดแรงขึ้น ในขณะที่ไม่ต้องการให้ความชื้นและแสงแดดมีการเปลี่ยนแปลง และจากการวิเคราะห์ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมที่ส่งผลต่ออุณหภูมิเทียบเท่าทางสรีรวิทยานั้นด้วยการใช้การวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ หรือ Polynomial Regression analysis พบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่ออุณหภูมิเทียบเท่าทางสรีรวิทยาอย่างมีนัยสำคัญนั้นคือ อุณหภูมิการแผ่รังสีความร้อนเฉลี่ย, อุณหภูมิอากาศ และ ความเร็วลม โดยถ้าหากสามารถลดปริมาณอุณหภูมิการแผ่รังสีความร้อนเฉลี่ย และอุณหภูมิอากาศ หรือเพิ่มความเร็วลมได้ จะสามารถทำให้มีอุณหภูมิทางสรีรวิทยาที่ลดลง และส่งผลให้มีความน่าสบายต่อการเดินเท้าเพิ่มขึ้นได้

จากแบบจำลองการวิเคราะห์อุณหภูมิเทียบเท่าทางสรีรวิทยานั้นสามารถนำไปเป็นต้นแบบของการศึกษาต่อไป เพื่อให้ทราบถึงแนวทางในการสำรวจและเก็บรวบรวมข้อมูล พร้อมทั้งแนวโน้มของผลการศึกษาที่จะได้รับ โดยในอนาคตนั้นผู้วิจัยต้องการที่จะดำเนินการสำรวจเดินเท้าภายในมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เพื่อศึกษาตัวแปรทางสภาพแวดล้อมและตัวแปรทางด้านบุคคลของผู้ใช้บริการทางเดินเท้าในมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ซึ่งสอดคล้องกับสภาพแวดล้อมของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ในปัจจุบัน ที่ได้รับการปรับปรุงระบบนิเวศและภูมิทัศน์ตามนโยบายมหาวิทยาลัยยั่งยืน เขียว และ สะอาด (Green Clean and Sustainable University) ซึ่งสภาพแวดล้อมของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่นั้นมีลักษณะที่ร่มรื่น และมีทางเท้าที่ซึ่งถูกปกคลุมด้วยพืชพรรณไม้ต่าง ๆ และเพื่อที่จะสามารถปรับปรุงแก้ไขและออกแบบทางเท้าภายในมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ให้เหมาะสมต่อการเดินเท้าต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณศูนย์วิจัยด้านโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวและเทคโนโลยีการขนส่ง (Green Infrastructure and Transportation Technology, GITT) บัณฑิตวิทยาลัย และภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ให้การสนับสนุนการทำวิจัยมา ณ โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] ศูนย์ออกแบบและพัฒนาเมือง (UddC). (2562). *โครงการเมืองเดินได้-เมืองเดินดี*. สืบค้นจาก http://www. uddc.net/th/

[2] สมบัติ ประจญศานต์, วิสาข์ แฝงเวียง และพิพัฒน์ ประจญศานต์. (2559). *สภาวะน่าสบายในสิมอีสาน*. คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ จังหวัดบุรีรัมย์

[3] *พระราชบัญญัติจราจรทางบก พ.ศ. 2522*. (2522, 19 มกราคม). ราชกิจจานุเบกษา.

[4] พรชัย โลหะพิริยกุล (2557). แนวทางการออกแบบทางเท้าสำหรับการพัฒนาที่ดินรอบระบบขนส่งมวลชนในเมืองใหญ่ กรณีศึกษาพื้นที่รอบสถานีมักกะสัน. ภาควิชาการออกแบบและวางผังชุมชนเมือง บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร.

[5] Benfield, K. (2012). *10 Techniques for Making Cities More Walkable*. Retrieve from https://www.citylab.com/solutions/2012/12/10-techniques-making-cities-more-walkable /4047/

[6] Turner, T. (1995). *Greenway, blueway, skyway and other ways to better London*. Landscape and Planning, pp.268-282. Elsevier Science B.V.

[7] Erickson, D. L. (2004). The Relationship of historic city form and contemporary greenway implement: a comparison of Miwaukee, Wisconsin (USA) and Ottawa, Ontario (Canada).

[8] ASHRAE. (2017). *ANSI/ASHRAE Standard 55-2017. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers Inc, Atlanta.

[9] มานัส ศรีวณิช และ สุดารัตน์ อุทธารัตน์. (2558). *สภาพแวดล้อมเชิงความร้อนฤดูร้อนและความรู้สึกสบายภายใต้ร่มเงาภายนอกอาคารและกึ่งภายนอกอาคารสำหรับการอยู่อาศัยในเขตเมืองเชียงใหม่*. คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

[10] Hwang, R. L., Lin, T. P., Cheng, M. J., & Lo, J. H. (2010). *Adaptive comfort model for tree-shaded outdoors in Taiwan*. Department of Architecture, National United University.

[11] Andris Auliciems and Steven V. Szokolay, *Thermal Comfort* (Brisbane : The University of Queensland Printery, 1997), 6

[12] Fang, Z. et al. (2018). *Investigation into sensitivities of factors in outdoor thermal comfort indices*. School of Civil Engineering, Guangzhou University, Guangzhou, China.