สภาพแวดล้อมเชิงความร้อนฤดูร้อนและความรู้สึกสบายภายใต้ร่มเงาภายนอกอาคารและกึ่งภายนอกอาคารสำหรับการอยู่อาศัยในเขตเมืองเชียงใหม่

The Summer Thermal Environment and Human Comfort of Shaded Outdoor and Semi-Outdoor Spaces to Living in the Urban Area of Chiang Mai City

มานัส ศรีวณิช[1] และ สุดารัตน์ อุทธารัตน์[2]

Manat Srivanit[1] and Sudarat Auttarat[2]

[1] คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ จังหวัดปทุมธานี 12121

Faculty of Architecture and Planning, Thammasat University, Pathumthani 12121, Thailand

[2] สถาบันวิจัยสังคม มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ 50200

Social Research Institute (SRI), Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand

E-mail: s.manat@gmail.com[1]

บทคัดย่อ

พื้นที่ภายนอกอาคารและกึ่งภายนอกอาคารนั้นมีความสำคัญต่อการพัฒนาเมืองให้เกิดความยั่งยืนเพราะเป็นพื้นที่รองรับการพักผ่อนหย่อนใจและกิจกรรมของประชาชนในเขตเมืองที่มีส่วนทำให้เมืองเกิดความน่าอยู่และมีชีวิตชีวา โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริบททางสภาพแวดล้อมเชิงภูมิอากาศเมืองในฤดูร้อนที่ต้องการการปรับปรุงคุณภาพเพื่อการอยู่อาศัยในพื้นที่สาธารณะเมืองให้เกิดประสิทธิภาพด้านความรู้สึกสบายเชิงความร้อนต่อผู้ใช้ ดังนั้น การวิจัยนี้เป็นประยุกต์การศึกษาภาคสนามเชิงปริมาณเพื่อตรวจสอบสภาวะความสบายเชิงความร้อนภายนอกอาคารและกึ่งภายนอกอาคารในเขตสภาพภูมิอากาศเขตร้อนชื้นของเมืองเชียงใหม่ ซึ่งสภาวะเชิงความร้อนของพื้นที่ทั้งสองจะถูกประเมินโดยการตรวจวัดตัวแปรหลักด้านสภาพภูมิอากาศ ในขณะที่การรับรู้เชิงความร้อนและการยอมรับเชิงความร้อนของประชากรเป้าหมายจะถูกสำรวจไปพร้อมกันโดยใช้แบบสอบถาม โดยดัชนีความสบายเชิงความร้อนที่เรียกว่า อุณหภูมิสมดุลทางสรีรวิทยา (Physiologically Equivalent Temperature, PET) จะถูกนำมาใช้เพื่อการประเมินสภาวะความสบายเชิงความร้อนของพื้นที่ ที่ถูกดำเนินการสำรวจในช่วงกลางวันเดือนเมษายนของปี พ.ศ. 2557 ซึ่งเป็นเดือนที่ร้อนที่สุดของฤดูร้อนเมืองเชียงใหม่

แบบสอบถามทั้งสิ้น 296 ชุด ถูกสำรวจและจัดเก็บในพื้นที่ภายนอกอาคาร (ร้อยละ 72.3) และกึ่งภายนอกอาคาร (ร้อยละ 27.7) ซึ่งถูกสำรวจในวันที่มีสภาพอากาศเหมาะสมและหลีกเลี่ยงวันที่ฝนตก ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่ (ร้อยละ 99.8) จะอาศัยอยู่ภายใต้สภาพร่มเงาของต้นไม้และอาคาร ค่าความสบายเชิงความร้อนจะได้มาจากการแก้สมการเชิงเส้นอย่างง่ายสำหรับการลงคะแนนเลือกความรู้สึกเชิงความร้อนเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ ที่เกิดจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการลงคะแนนเลือกความรู้สึกเชิงความร้อนเฉลี่ย (MTSV) และค่าดัชนี PET พบ อุณหภูมิความรู้สึกสบาย (MTSV=0) ของพื้นที่ภายนอกอาคารและกึ่งภายนอกอาคารเท่ากับ 27.1 °C และ 28.5 °C PET ตามลำดับ และค่าช่วงสภาวะเชิงความร้อนที่ได้รับความยอมรับอยู่ที่ 31.0-23.1°C PET และ 32.0-22.4°C PET ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบช่วงความยอมรับเชิงความร้อนระหว่างสองพื้นที่จะเห็นได้ชัดเจนว่า ช่วงความยอมรับเชิงความร้อนในพื้นที่ที่แตกต่างกัน ความต้องการเชิงความร้อนย่อมแตกต่างกันแม้ว่าผู้ตอบจะมีความรู้สึกสบายในฤดูร้อน

Abstract:

Outdoor and semi-outdoor spaces are important to sustainable cities because they accommodate leisure and activities of citizens, and contributing to urban livability and vitality. In the urban context of climate environments especially in summer, public spaces that provide a pleasurable thermal comfort experience for citizens effectively improve the quality of urban living. Consequently, in this paper, a quantitative field study was applied to investigate outdoor and semi-outdoor thermal comfort conditions in hot and humid tropical climate of Chiang Mai, Thailand. Thermal conditions of both spaces were evaluated based upon the measurement of major climatic parameters, while the thermal perception and thermal acceptability of subjects was captured simultaneously using a questionnaire survey. Meanwhile, the Physiologically Equivalent Temperature (PET) thermal comfort index was utilized to assess the thermal comfort conditions of selected spaces. The measurement period was conducted during the daytime from 8 am to 4 pm on April within the year 2557 BE, which is the most representative a hottest month of summer in Chiang Mai city.

A total of 296 questionnaires were collected in the outdoor (72.3%) and semi-outdoor (27.7%) urban spaces during the survey, which was carried out on days with suitable weather and avoid rainy days. The majority of the respondents (99.8%) stayed under trees or buildings shaded conditions. The thermal neutrality was derived by solving the simple linear equations for a mean sensation vote of zero, which are determined by analyzing the relationship between the Mean Thermal Sensation Vote (MTSV) and PET values. The results found that, the neutral sensation PET temperatures (MTSV=0) of outdoor and semi-outdoor spaces were 27.1 °C and 28.5 °C PET, respectively. And the acceptable thermal conditions ranges were 31.0-23.1°C PET and 32.0-22.4°C PET, respectively. Compared with the thermal acceptable range between both spaces was found that the thermal acceptable range in different spaces have different thermal requirements in summer, even if they are feeling comfort.

คำสำคัญ (Keywords)

การสำรวจความรู้สึกเชิงความร้อน (Thermal Sensation Survey)
ดัชนีความสบายเชิงความร้อน (Thermal Comfort Index)
อุณหภูมิสมดุลทางสรีรวิทยา (Physiologically Equivalent Temperature, PET)
เขตอากาศร้อนชื้น (Hot and Humid Climate)
พื้นที่ภายนอกอาคารและกึ่งภายนอกอาคาร (Outdoor and Semi-Outdoor Spaces)

1. ที่มาและความสำคัญ

ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมาการศึกษาวิจัยด้านสภาวะความสบายเชิงความร้อนพื้นที่ภายนอกอาคารและกึ่งภายนอกอาคาร (Outdoor and semi-outdoor thermal comfort) ในเขตพื้นที่เมืองได้มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นในแต่ละปี อันเนื่องจากในปัจจุบันประชากรเกินครึ่งของประชากรโลกอาศัยอยู่ในเมือง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่ย่านใจกลางเมือง (Downtown areas) มีความเสี่ยงต่อสภาพอากาศที่รุนแรงขึ้นจากผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก (Global climate change) (Chen & Ng, 2012; Johansson et al., 2014) จากสถานการณ์เหล่านี้จึงมีความจำเป็นต่อการศึกษาวิจัยเพื่อสร้างองค์ความรู้ในการวางแผนและออกแบบเมือง (Urban planning and design) ปรับปรุงพื้นที่เหล่านี้ให้มีคุณภาพที่ดีต่อการอยู่อาศัยในพื้นที่เมือง ดังนั้นการศึกษาสภาพอากาศเฉพาะท้องถิ่น (Microclimate) ด้านความรู้สึกสบายเชิงความร้อนของประชาชนในแต่ละประเทศจึงเป็นเรื่องที่สำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมืองในเขตอากาศร้อนชื้น (Hot and Humid Climate) ที่มีการศึกษาประเด็นเหล่านี้น้อยมาก

ซึ่งคำว่า “ความสบายเชิงความร้อน (Thermal comfort)” ได้ให้คำนิยามจากสมาคมวิศวกรรมการปรับอากาศแห่งอเมริกา (American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers, ASHRAE) ตามมาตรฐาน ASHRAE 55-92 (ASHRAE, 1992; Athajariyakul, 2007) หมายถึง สภาวะของจิตใจที่แสดงถึงความพึงพอใจต่อสภาวะอากาศแวดล้อม อย่างไรก็ตามสภาวะอากาศหนึ่งๆ ไม่สามารถทำให้คนทุกคนรู้สึกชอบใจได้ ดังนั้น จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาสำรวจหาสภาวะอากาศที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้คนส่วนใหญ่รู้สึกสบายเชิงความร้อน ทั้งนี้ ความสบายเชิงความร้อนจะขึ้นกับตัวแปร 6 ตัวแปร ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ (Air temperature) ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity) ความเร็วลม (Air speed) อุณหภูมิการแผ่รังสี (Radiant temperature) ระดับกิจกรรม (Activity level) ที่ส่งผลต่ออัตราการเผาผลาญพลังงาน และระดับฉนวนของเสื้อผ้า (Clothing insulation) ซึ่งตัวแปรเหล่านี้นักวางแผนและนักออกแบบเมืองสามารถปรับเปลี่ยนและปรับปรุงพื้นที่เมืองได้โดยการวางแผนและออกแบบเมืองที่เหมาะสมเพื่อให้คนส่วนใหญ่รู้สึกสบายต่อการอยู่อาศัยในพื้นที่ภายนอกและกึ่งภายนอกอาคารได้

ที่ผ่านมามีการพัฒนาดัชนีความสบายเชิงความร้อน (Thermal comfort indices) ซึ่งส่วนใหญ่เป็นดัชนีที่ใช้กับการศึกษาสภาพแวดล้อมภายในอาคาร (Indoor conditions) ที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้กับการศึกษาสภาพแวดล้อมภายนอกอาคาร เกิดจากกระบวนการอธิบายการแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat exchange) ระหว่างร่างกายมนุษย์ และสภาพแวดล้อมโดยรอบ (Blazejczyk et al., 2012) โดยมีพื้นฐานการวิเคราะห์จากการถ่ายเทความร้อน (Heat transfer) ทางฟิสิกส์ ตัวอย่างการใช้สมการสมดุลพลังงานความร้อนของร่างกายมนุษย์ (Heat balance of the human body) เช่น Predicted Mean Vote (PMV) Standard Effective Temperature (SET*) และ Effective Temperature (ET*) เป็นต้น ในขณะที่ดัชนีความสบายเชิงความร้อนที่ถูกพัฒนาเพื่อใช้กับสภาพแวดล้อมภายนอกอาคารโดยตรงพบในมาตรฐานแนวทางด้านวิศวกรรมประเทศเยอรมัน (German engineering guidelines VDI 3787) ปี ค.ศ. 2008 (VDI 3787, 2008) ที่เสนอแนะวิธีการประเมินทางชีวะอุตุนิยมวิทยามนุษย์ของสภาพอากาศและคุณภาพอากาศสำหรับการวางแผนระดับเมืองและภาค (Methods of human biometeorological evaluation of climate and air quality for urban and regional planning) และได้พัฒนาดัชนีความสบายเชิงความร้อนที่เรียกว่า “อุณหภูมิสมดุลทางสรีรวิทยา (Physiologically Equivalent Temperature, PET)” ขึ้นมาใช้ และปัจจุบันถูกนำไปใช้ศึกษาความสบายเชิงความร้อนอย่างกว้างขวางในหลายประเทศ

จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาและสำรวจความสบายเชิงความร้อนในพื้นที่ภายนอกอาคารของเมืองเขตร้อนใกล้กับประเทศไทย ตัวอย่างเช่น การศึกษาในเมืองฮ่องกงช่วงฤดูร้อนสำรวจระหว่างเดือนพฤศจิกายน ค.ศ. 2006 ถึงสิงหาคม ค.ศ. 2007 (Ng & Cheng, 2012) พบว่า อุณหภูมิความสบาย (Neutral temperature) จากการประเมินค่าดัชนี PET อุณหภูมิที่ 28.1 °C PET โดยส่วนใหญ่ของผู้ถูกสำรวจจะอาศัยอยู่ภายใต้ร่มเงาและมีความเร็วลมประมาณ 0.9–1.3 m/s ขณะที่การศึกษาในประเทศสิงคโปร์ ถูกดำเนินการสำรวจในเดือนสิงหาคม ค.ศ. 2010 ถึงเดือนพฤษภาคม ค.ศ. 2011 (Yang et al., 2013) พบ อุณหภูมิความสบายที่ 28.7 °C PET และช่วงความยอมรับเชิงความร้อน (Acceptable thermal range) อยู่ระหว่าง 26.3–31.7 °C PET ในสภาพแวดล้อมภายนอกอาคารในพื้นที่เมืองของประเทศสิงคโปร์ นอกจากนี้ ยังพบอีกว่าตัวแปรด้านการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ (Solar

radiation) หรือ แสงแดด มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญต่อความรู้สึกเชิงความร้อน (Human thermal sensation) ของประชาชนชาวสิงคโปร์ จากผลการศึกษาของทั้งสองประเทศจะเห็นได้ว่าถึงแม้จะเป็นการศึกษาเมืองเขตอากาศร้อนในฤดูร้อนเหมือนกันแต่ค่าอุณหภูมิความสบายที่ได้นั้นมีความแตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับตัวแปรด้านความสบายเชิงความร้อนที่มีบริบทที่แตกต่างกันไปในแต่ละพื้นที่

จากผลการวิจัยข้างต้น ทำให้เราได้ทราบข้อมูลที่มีคุณค่าในการทำความเข้าใจผลกระทบของสภาพภูมิอากาศเมืองต่อความรู้สึกเชิงความร้อนของประชาชนที่ใช้พื้นที่สาธารณะเมือง แต่อย่างไรก็ตาม ความสบายเชิงความร้อนในเขตเมืองเป็นสิ่งที่มีความซับซ้อนในแต่ละพื้นที่เมือง ข้อมูลเชิงประจักษ์ (Empirical data) จากการสำรวจข้อมูลเกี่ยวกับการรับรู้ของประชาชนยังคงเป็นสิ่งจำเป็นที่จะเปิดมุมมองให้นักวางแผนที่จะใช้เป็นมาตรวัดเพื่อการตรวจสอบสภาวะความสบายในพื้นที่เมืองนั้นๆ จากการทบทวนวรรณกรรมด้านการศึกษาสภาวะความสบายเชิงความร้อนยังพบอีกว่า วิธีการสำรวจทางสรีรวิทยา (Physiological approach) เพียงอย่างเดียวนั้นไม่เพียงพอที่จะอธิบายลักษณะเงื่อนไขความสบายเชิงความร้อนภายนอกอาคาร (Outdoor thermal comfort conditions) การสำรวจควรดำเนินการควบคู่ไปกับการตรวจสอบการปรับตัวเชิงความร้อน (Thermal adaptation) ที่เกี่ยวกับการปรับพฤติกรรม (Behavior adjustment) ได้แก่ ลักษณะส่วนบุคคล สิ่งแวดล้อม เทคโนโลยีหรือวัฒนธรรม ปัจจัยด้านกายภาพหรือ ด้านสรีรวิทยา (Physiological factors) เช่น การปรับตัวด้านพันธุกรรม (Genetic adaptation) หรือ ความเคยชินกับสภาพการ (Acclimatization) ความอดทน (Tolerant) และปัจจัยทางจิตวิทยา (Psychological factor) เช่น ความคุ้นเคย (Habituation) หรือ ความคาดหวัง (Expectation) มีส่วนสำคัญในการประเมินสภาพแวดล้อมเชิงความร้อน

ดังนั้น เพื่อให้เกิดความเข้าใจถึงผลกระทบของสิ่งแวดล้อมเชิงความร้อนภายนอกอาคารและกึ่งภายนอกอาคารที่มีต่อการรับรู้สภาวะความสบายเชิงความร้อน (Human thermal comfort perception) โดยเฉพาะในฤดูร้อนของเมืองในประเทศไทย ที่อาจส่งผลกระทบเชิงลบต่อสภาวะความสบายเชิงความร้อนภายนอกอาคาร การศึกษานี้ได้เลือกเมืองเชียงใหม่เป็นพื้นที่ศึกษา มีลักษณะภูมิอากาศเป็นแบบร้อนชื้น (Hot-humid climate) หรือภูมิอากาศแบบทุ่งหญ้าเมืองร้อน (Tropical savanna climate หรือ Tropical wet and dry climate) ตามระบบการแบ่งเขตภูมิอากาศแบบเคิปเปน (Köppen climate classification) เพื่อทำการตรวจสอบว่ามีตัวแปรด้านสภาพภูมิอากาศตัวแปรไหนบ้างที่มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญต่อความรู้สึกเชิงความร้อน การทำความเข้าใจลักษณะของสภาพภูมิอากาศภายนอกอาคารและกึ่งภายนอกอาคารในพื้นที่เมือง และผลกระทบของความสบายของประชาชนกับพฤติกรรมการใช้พื้นที่เมืองจะเป็นข้อมูลสำคัญเพื่อปรับปรุงและพัฒนาพื้นที่โล่งว่างของเมืองเชียงใหม่ในอนาคต

2. วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1) เพื่อประเมินค่าอุณหภูมิความสบายและช่วงความยอมรับเชิงความร้อนของกลุ่มตัวอย่างชาวเชียงใหม่ที่อาศัยอยู่ในเขตเมือง โดยดัชนีความสบายเชิงความร้อนที่เรียกว่า อุณหภูมิสมดุลทางสรีรวิทยา (PET)

2) วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวชี้วัดสถานะสุขภาพกับระดับความสบายเชิงความร้อนในฤดูร้อนของกลุ่มตัวอย่างชาวเชียงใหม่

3. ขอบเขตการศึกษา

การวิจัยนี้ ต้องการจะเปรียบเทียบความรู้สึกเชิงความร้อนของประชาชนในพื้นที่เมืองเชียงใหม่ในบริเวณสองพื้นที่ที่มีเงื่อนไขที่แตกต่างกัน ได้แก่ 1) สภาพภายนอกอาคาร (Outdoor condition) เพื่อเป็นตัวแทนเงื่อนไขสิ่งแวดล้อมเชิงความร้อนบริเวณพื้นที่ที่อยู่นอกร่มชายคาของอาคาร และ 2) สภาพกึ่งภายนอกอาคาร (Semi-outdoor condition) เพื่อเป็นตัวแทนเงื่อนไขสิ่งแวดล้อมเชิงความร้อนบริเวณพื้นที่ใต้ชายคา ใต้ถุนอาคาร ใต้พื้นเรือน ซึ่งยกพื้นสูง ทางเดินที่มีหลังคาคลุม เป็นต้น

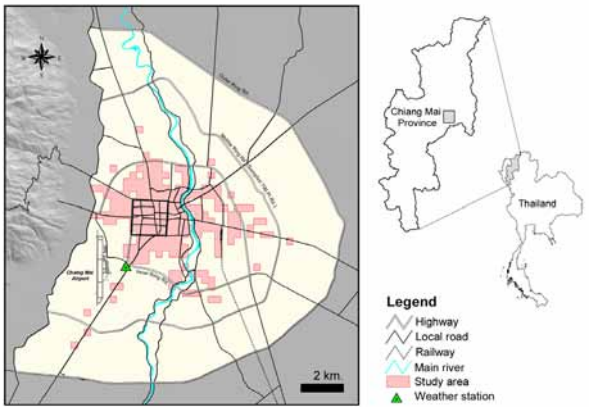
4. วิธีการดำเนินการศึกษา

4.1 วิธีการสำรวจและเก็บรวบรวมข้อมูล (User survey and data collection)

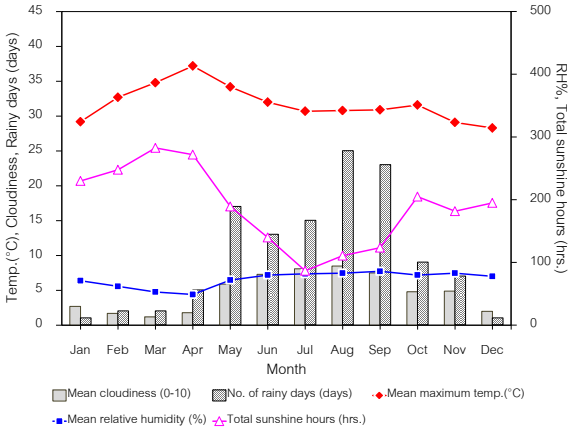
การดำเนินการศึกษาประกอบด้วย 2 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ 1) การสำรวจความรู้สึกเชิงความร้อน (Thermal sensation survey, TSS) และ 2) การประเมินอุณหภูมิความสบายและช่วงความยอมรับเชิงความร้อน (Investigating neutral temperature and thermal acceptable

range) (รูปที่ 1) การสำรวจได้ถูกดำเนินการในเขตพื้นที่เมืองเชียงใหม่ ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 20.88 ตารางกิโลเมตร (รูปที่ 2) ที่มีสภาพอุณหภูมิเมืองเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 34.49 °C ในฤดูร้อน อีกทั้งยังเป็นพื้นที่ที่มีความหนาแน่นของการพัฒนาเมืองทั้งในด้านกิจกรรมทางเศรษฐกิจและอาคารอยู่อาศัยหนาแน่นที่สุดของเมืองเชียงใหม่ โดยกำหนดขอบเขตพื้นที่ผ่านการวิเคราะห์จำแนกเขตบรรยากาศเฉพาะท้องถิ่น (Local atmospheric zones classification) (Srivanit et al., 2014; Auttarat et al., 2014) เพื่อใช้เป็นตัวแทนของพื้นที่เงื่อนไขสภาพภูมิอากาศเมือง (Urban microclimatic conditions) ที่มีบทบาทเป็นศูนย์กลางของการพัฒนาเมืองเชียงใหม่ ด้วยปัจจัยโครงสร้างสัณฐานเชิงพื้นที่ (Spatial configuration) ประกอบด้วย อัตราส่วนพื้นที่อาคารรวมต่อพื้นที่ดิน (Floor area ratio, FAR) อัตราส่วนพื้นที่อาคารคลุมดิน (Building coverage ratio, BCR) ความหนาแน่นอาคาร (Building density) ความสูงต่ำทางภูมิประเทศ (Topographic elevation) และปัจจัยด้านองค์ประกอบเชิงพื้นที่และสิ่งปกคลุมดิน (Spatial composition and land cover) ได้แก่ อัตราส่วนพื้นที่สีเขียวปกคลุมดินต่อพื้นที่ดิน (Green coverage ratio, GCR) ดัชนีความเขียว (Greenery index) ด้วยค่าดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณ (Normalized difference vegetation index, NDVI) ดัชนีความชุ่มน้ำ (Water index) ด้วยค่าดัชนีความแตกต่างของน้ำ (Normalized difference water index, NDWI) ที่ได้จากการประเมินจากเทคนิคการสำรวจระยะไกล (Remote sensing technique) ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT 8 (ณ วันที่ 20 มีนาคม พ.ศ. 2557) ที่บันทึกข้อมูลก่อนช่วงเวลาการสำรวจ ตลอดจนการพิจารณาอิทธิพลของแหล่งพื้นที่ความเย็น (Cooling potential areas) จากระยะความใกล้ไกลพื้นที่สีเขียวและพื้นที่ชุ่มน้ำขนาดใหญ่ในพื้นที่ศึกษา ด้วยการวิเคราะห์การจัดกลุ่มด้วยเทคนิค Cluster analysis (CA) ร่วมกับเครื่องมือทางระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic information system, GIS) เพื่อจัดกลุ่มพื้นที่ที่มีลักษณะเหมือนกันด้านพื้นผิวความเสถียรเชิงความร้อน (Homogeneity of thermally-stabilized surface) โดยเฉพาะภูมิอากาศเมืองในชั้นเรือนยอด (Urban canopy layer) ที่ประเมินความแตกต่างของอุณหภูมิพื้นผิว (Land surface temperature, LST) ด้วยภาพดาวเทียมช่วงคลื่นอินฟราเรดความร้อน (Thermal infrared band)

รูปที่ 1 ขั้นตอนการดำเนินการศึกษาสภาพแวดล้อมเชิงความร้อนและความรู้สึกสบายเชิงความร้อน



รูปที่ 2 ขอบเขตพื้นที่ศึกษาเมืองเชียงใหม่จากการจำแนกเขตบรรยากาศเฉพาะท้องถิ่น (Local atmospheric zones classification) ที่มีความเสถียรเชิงความร้อนในฤดูร้อน



รูปที่ 3 สภาพอากาศรายเดือนเฉลี่ยช่วง 5 ปี (ระหว่างปี พ.ศ. 2553–2557) ของศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ ณ สถานีท่าอากาศยานนานาชาติเชียงใหม่

การสำรวจถูกดำเนินการในช่วงเดือนเมษายนปี พ.ศ. 2557 ตั้งแต่เวลา 08.00 น. ถึง 16.00 น. ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่สภาพอากาศแย่ที่สุดในฤดูร้อนเมืองเชียงใหม่ ที่ทั้งอุณหภูมิอากาศและปริมาณการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ที่มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุดของปี (รูปที่ 3) สภาพอากาศดังกล่าวยังส่งผลกระทบต่อภาวะการตายในเขตเมือง (Urban mortality) ของเมืองเชียงใหม่ ที่พบว่า อัตราภาวะการตายของประชาชนที่อาศัยอยู่ในเขตเมืองจะเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 2.39 ต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศที่เพิ่มขึ้นทุกๆ หนึ่งองศาเซลเซียสในช่วงฤดูร้อนอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะผู้ที่มีความผิดปกติด้านความอดทนของระบบไหลเวียนเลือด (Cardiorespiratory endurance) ที่มักพบในผู้ที่ป่วยเป็นโรคความดันโลหิตสูง โรคหัวใจ โรคเบาหวาน และภาวะไขมันในเลือดสูง เป็นต้น (McMichael et al., 2008) การเพิ่มสูงของอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยนี้ยังส่งผลให้เกิดความต้องการใช้พลังงานเฉลี่ยสูงขึ้นถึงร้อยละ 7.49 (Santamouris et al., 2015) ทั้งนี้ ยังไม่นับรวมถึงผลกระทบด้านอื่นๆ ที่จะตามมาอีกมากมาย

เพื่อให้การสำรวจความรู้สึกเชิงความร้อน (TSS) ได้ข้อมูลตัวแทนที่เหมาะสมตามเงื่อนไขทางสภาพแวดล้อมเชิงความร้อนฤดูร้อนในเขตพื้นที่เมืองเชียงใหม่ แบบสอบถามทั้งสิ้น 410 ชุด ถูกสำรวจและจัดเก็บกับกลุ่มตัวอย่างผู้ใช้จริง (Conventional transverse survey หรือ True-experimental study) ที่อาศัยอยู่ในพื้นที่เมืองเชียงใหม่เป็นเวลาอย่างน้อยหนึ่งปี โดยมีการคัดกรองชุดแบบสอบถามที่สำรวจในวันที่สภาพอากาศไม่คงที่ (Unsuitable weather) ที่อ้างอิงข้อมูลสภาพอากาศช่วงการสำรวจ จากสถานีอุตุนิยมของศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ ณ สถานีท่าอากาศยานนานาชาติเชียงใหม่ ที่มีที่ตั้งอยู่ในเขตพื้นที่ศึกษา โดยหลีกเลี่ยงวันที่มีลมแรงและวันฝนตกออก ตลอดจนการคัดกรองผู้ตอบแบบที่นั่งหรือหยุดยืนอยู่ตรงบริเวณนั้นเป็นเวลาไม่น้อยกว่า 15 นาที และผู้ที่พึ่งออกมาจากห้องปรับอากาศจะไม่ถูกนำมาพิจารณา ทำให้เหลือแบบสอบถามที่สมบูรณ์ที่สุดเพียง 296 ชุด ซึ่งเป็นขนาดของประชากรตัวอย่างที่มีความเหมาะสมตามมาตรฐานในการใช้เป็นตัวแทนเพื่อประเมินอุณหภูมิความสบายและช่วงของการยอมรับเชิงความร้อน (Johansson et al., 2014) จำแนกเป็นบริเวณสภาพภายนอกอาคารจำนวน 214 ชุด (ร้อยละ 72.3) และสภาพกึ่งภายนอกอาคารจำนวน 82 ชุด (ร้อยละ 27.7) และกว่าร้อยละ 99 ของกลุ่มตัวอย่างจะเลือกนั่งอยู่ภายใต้ร่มเงา (Shading) ทั้งใต้ร่มเงาต้นไม้และใต้เงาของอาคาร (ตารางที่ 1 และตารางที่ 2)

ตารางที่ 1 สรุปข้อมูลสรีรวิทยา (Physiological factors) และคุณลักษณะต่างๆ ของกลุ่มตัวอย่าง

ลักษณะทางสรีรวิทยา		All (n=296)	Outdoor (n=214)	Semi-outdoor (n=82)
1. อายุ (ปี)	เฉลี่ย (Avg.)	35	35	35
	สูงสุด (Max.)	80	80	71
	ต่ำสุด (Min.)	15	15	15
	S.D.	15	15	14
2. น้ำหนัก (กิโลกรัม)	เฉลี่ย (Avg.)	57.7	57.9	57.1
	สูงสุด (Max.)	108.0	108.0	95.0
	ต่ำสุด (Min.)	34.0	34.0	35.0
	S.D.	10.5	10.0	11.7
3. สูง (เซนติเมตร)	เฉลี่ย (Avg.)	162.6	163.0	161.6
	สูงสุด (Max.)	182.0	179.0	182.0
	ต่ำสุด (Min.)	149.0	150.0	149.0
	S.D.	6.76	6.95	6.14
4. ดัชนีมวลกาย[a]	เฉลี่ย (Avg.)	21.76	21.76	21.76
(Body mass index, BMI)	สูงสุด (Max.)	35.27	35.27	33.26
	ต่ำสุด (Min.)	15.11	15.11	15.43
	S.D.	3.36	3.22	3.73
5. การแต่งกาย[b]	เฉลี่ย (Avg.)	0.55	0.56	0.53
(Clothing value, clo)	สูงสุด (Max.)	1.68	1.68	1.05
	ต่ำสุด (Min.)	0.14	0.24	0.14
	S.D.	0.20	0.21	0.18

หมายเหตุ: [a]ดัชนีมวลร่างกาย (BMI) คือ อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักต่อส่วนสูงยกกำลังสอง, [b]ASHRAE standard 55-2004

ตารางที่ 2 สรุปข้อมูลพื้นฐานของกลุ่มตัวอย่างจากการสำรวจสภาวะความสบายเชิงความร้อน

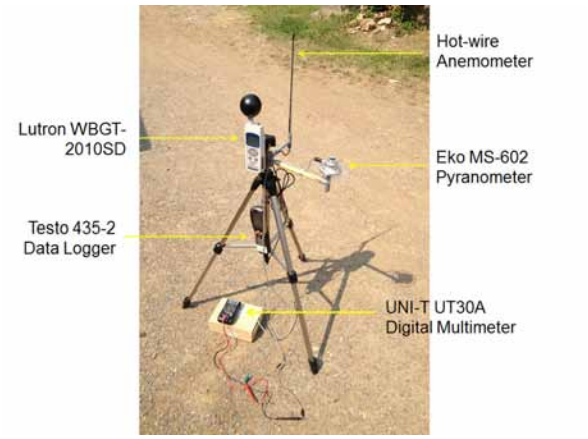
ลักษณะทั่วไป		All (n=296)	Outdoor (n=214)	Semi-outdoor (n=82)
1. เพศ	ชาย	168 (56.8%)	136 (63.6%)	32 (39.0%)
	หญิง	128 (43.2%)	78 (36.4%)	50 (61.0%)
2. ช่วงอายุ (ปี)	วัยเด็ก (น้อยกว่า 25)	92 (31.1%)	70 (32.7%)	22 (26.8%)
	ผู้ใหญ่ (25–60)	175 (59.1%)	123 (57.5%)	52 (63.4%)
	วัยชรา (มากกว่า 60)	29 (9.8%)	21 (31.3%)	8 (9.8%)
3. ดัชนีมวลกาย[a] (Body mass index, BMI)	น้ำหนักน้อย/ผอม (<=18.49)	41 (13.9%)	27 (12.6%)	14 (17.1%)
	ปกติ (18.50–22.99)	162 (54.7%)	120 (56.1%)	42 (51.2%)
	ท้วม/อ้วน (>= 23.00)	93 (31.4%)	67 (31.3%)	26 (31.7%)
4. ช่วงเวลา	เช้า (08.01–11.00 น.)	149 (50.3%)	116 (54.2%)	33 (40.2%)
	กลางวัน (11.01–14.00 น.)	90 (30.4%)	41 (19.2%)	49 (59.8%)
	เย็น (14.01–16.00 น.)	57 (19.3%)	57 (26.6%)	0 (0.0%)
5. ร่มเงา (Shading)	อยู่ใต้ร่มเงาต้นไม้	188 (63.5%)	178 (83.2%)	0 (0.0%)
	อยู่ใต้ร่มเงาอาคาร	97 (32.8%)	30 (14.0%)	67 (81.7%)
	อยู่ใต้ร่มเงาต้นไม้และอาคาร	8 (2.7%)	3 (1.4%)	15 (18.3%)
	กลางแจ้ง	3 (1.0%)	3 (1.4%)	0 (0.0%)

หมายเหตุ: [a]ดัชนีมวลร่างกาย (BMI) คือ อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักต่อส่วนสูงยกกำลังสองและจำแนกตามมาตรฐานสำหรับคนเอเชีย (Asian criteria-based BMI)

แบบสอบถามจะถูกสำรวจควบคู่ไปกับการตรวจวัดสภาพภูมิอากาศเมือง (Urban climatic parameters) ด้วยชุดเครื่องมือวัดทางอุตุนิยมวิทยา (Micrometeorological measurements) (รูปที่ 4) ที่ประกอบด้วยเครื่อง LUTRON WBGT-2010SD เพื่อใช้วัดอุณหภูมิอากาศ (Air temperature) ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity) อุณหภูมิการแผ่รังสีความร้อน (Mean radiant temperature) จะถูกคำนวณจากการใช้ Globe thermometer ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางที่ 75 มิลลิเมตร (สมการที่ 1) และวัดความเร็วลม (Wind velocity) โดยใช้ Hot-wire anemometer ที่บันทึกข้อมูลลงในเครื่อง TESTO 435-2 data logger ความสูงที่ติดตั้งเครื่องมือเพื่อตรวจวัดจะอยู่สูงจากระดับพื้นดินที่ 0.6 เมตรสำหรับการนั่ง และที่ระดับ 1.0 เมตรสำหรับการยืนของ ผู้ตอบแบบสอบถาม โดยวัดห่างไม่เกินรัศมี 3.0 เมตรจากผู้ตอบแบบสอบถาม (รูปที่ 5)

$$T_{mrt} = \left[\left(T_g + 273.15\right)^4 + \frac{1.335 \times 10^8 V_a^{0.71}}{\varepsilon D^{0.4}} \left(T_g - T_a\right) \right]^{1/4} - 273.15 \quad \text{(สมการที่ 1)}$$

โดย T_{mrt} คือ อุณหภูมิการแผ่รังสีความร้อนเฉลี่ย (Mean radiant temperature), T_g คือ อุณหภูมิโกลบ (Globe temperature) (°C), V_a คือ ความเร็วลม (Wind speed) (ms^{-1}), T_a คือ อุณหภูมิอากาศ (Air temperature) (°C), D คือ เส้นผ่าศูนย์กลางโกลบเทอร์โมมิเตอร์ (Globe diameter) (m), และ ε คือ สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน (Globe emissivity) (ε = 0.95) (ISO 7726, 1998; ASHRAE, 2010; Johansson et al., 2014; Thorsson et al., 2007)



รูปที่ 4 ชุดเครื่องมือตรวจวัดทางอุตุนิยมวิทยา (Micrometeorological measurements)

รูปที่ 5 ลักษณะของการสำรวจสภาวะความสบายเชิงความร้อน (Thermal Sensation Survey) ควบคู่กับตรวจวัดสภาพอากาศเมืองในการวิจัยในสภาพแวดล้อม (a) ภายนอกอาคาร (Outdoor spaces) และ (b) กึ่งภายนอกอาคาร (Semi-outdoor spaces)

4.2 การออกแบบแบบสอบถาม (Questionnaire design)

แบบสอบถามจะถูกออกแบบมาให้ผู้ตอบประเมินสองส่วนคือ ส่วนแรกเป็นการลงคะแนนเลือกความรู้สึกเชิงความร้อน (Thermal Sensation Vote, TSV) ผ่านมาตรวัดระดับความรู้สึกเชิงความร้อน (Thermal sensation scale) ตามวิธีการ ANSI/ASHRAE Standard 55-2004 เรื่อง Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy มาตรฐานของ ASHRAE ทั้งสิ้น 7 ระดับ ได้แก่ –3 หนาว (Cold), –2 เย็น (Cool), –1 เย็นเล็กน้อย (Slightly cool), 0 ปกติ (Neutrality), +1 ร้อนเล็กน้อย (Slightly warm), +2 ร้อน (Warm) และ +3 ร้อนมาก (Hot) และการยอมรับเชิงความร้อน (Thermal acceptability) ที่ประกอบด้วยการยอมรับได้ (Acceptable) หรือ ยอมรับไม่ได้ (Unacceptable) ต่อสภาพแวดล้อมเชิงความร้อนที่เป็นอยู่ในณ ขณะนั้นของผู้ตอบแบบสอบถาม นอกจากนี้ ยังมีการตรวจสอบความต้องการปัจจัยสภาวะสิ่งแวดล้อมความร้อน (Preferences of thermal conditions) เพื่อการปรับตัวอยู่ในสภาพแวดล้อมเชิงความร้อนนี้ต่อไปของผู้ตอบ ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ ความชื้น ความเร็วลม และปริมาณแสงแดด การประมาณอัตราการเผาผลาญพลังงาน (Metabolic rate, met) ที่ขึ้นอยู่กับกิจกรรมของผู้ตอบแบบสอบถามกำลังทำในขณะนั้น โดยการสำรวจนี้มุ่งสนใจไปยังเฉพาะผู้ตอบที่นั่ง (Sitting) และยืน (Standing) ที่มีอัตราการเผาผลาญพลังงานเท่ากับ 1.2 met และ 1.4 met ตามลำดับ (1 met = 58.15 W/m^2 และระดับฉนวนของเสื้อผ้า (Clothing insulation value, clo) ทำตามมาตรฐาน ASHRAE 55–2004 การแต่งกายในหน้าร้อนของกลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่มีค่าเฉลี่ยฉนวนของเสื้อผ้าที่ 0.55 clo (1 clo = 0.155 °C m^2/W)

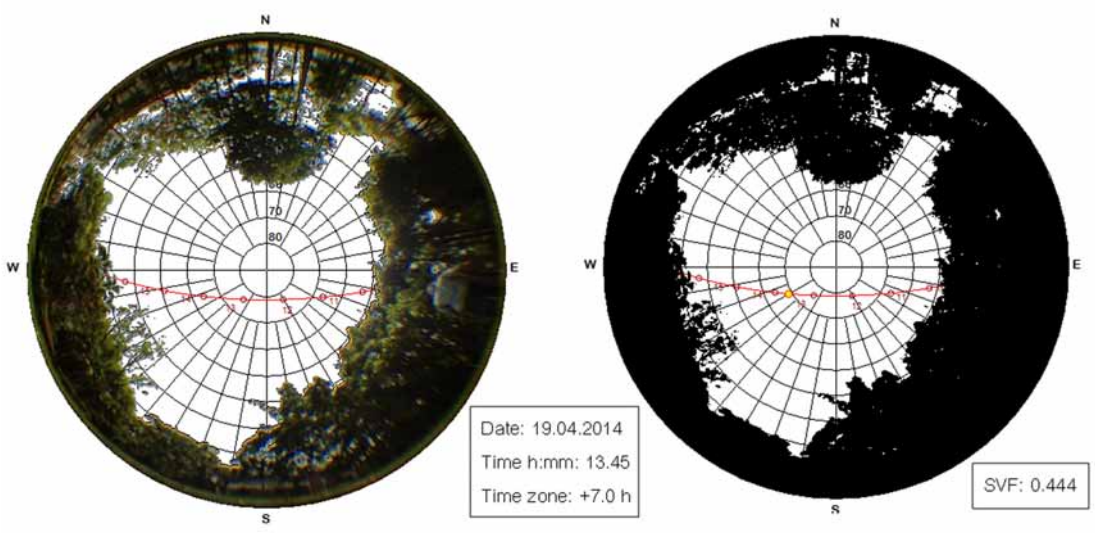
4.3 การประเมินความสบายเชิงความร้อน (Thermal comfort assessment)

ค่าตัวแปรความสบายเชิงความร้อนที่ได้จากการสำรวจความรู้สึกเชิงความร้อน (TSS) กับการประเมินระดับความรู้สึกเชิงความร้อน (TSV) จากแบบสอบถามของกลุ่มตัวอย่าง จะถูกนำมาใช้เป็นข้อมูลนำเข้าเพื่อการวิเคราะห์ดัชนีชี้วัดสำหรับการประเมินอุณหภูมิความสบาย (Neutral temperature) และช่วงความยอมรับเชิงความร้อน (Thermal acceptable range) โดยดัชนีความสบายเชิงความร้อนที่ใช้ในการศึกษานี้คือ อุณหภูมิสมดุลทางสรีรวิทยา หรือ Physiologically equivalent temperature (PET) (Mayer & Höppe, 1987) ผ่านแบบจำลองชื่อ RayMan model 1.2 (Matzarakis et al., 2010) ร่วมกับภาพถ่ายเลนส์ตาปลา (Fish-eye photograph) มุมกว้าง 180 องศา เพื่อหาสัดส่วนปริมาณท้องฟ้า (Sky view factor, SVF) (กรณีที่ SVF = 1.0 จะแสดงถึงบริเวณที่ผู้ตอบแบบสอบถามนั่งหรือยืนอยู่จะมีลักษณะเป็นที่โล่งท้องฟ้าปลอดโปร่งไม่มีเมฆ) ในวิเคราะห์ความเข้มของปริมาณรังสี (Radiation flux density) ตามมุมการรับแสงแดด (Solar path) (รูปที่ 6)

5. ผลการศึกษา

5.1 ความรู้สึกเชิงความร้อนและอุณหภูมิความสบาย (Thermal sensation and neutral temperature)

จากตารางที่ 3 สรุปสถิติข้อมูลการตรวจวัดตัวแปรด้านสภาพภูมิอากาศเมืองในระหว่างการสำรวจ แสดงเห็นได้ชัดว่าสภาพภูมิอากาศร้อนชื้น ภายนอกอาคารของพื้นที่เมืองเชียงใหม่ทั้งอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์ค่อนข้างสูง โดยอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยประมาณ 34.8±3.2 °C



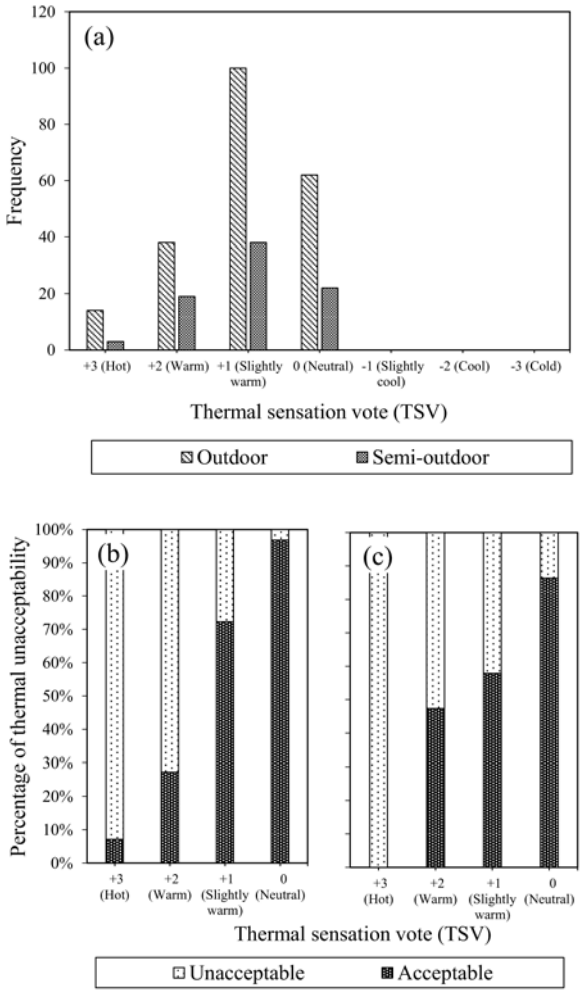
รูปที่ 6 ภาพถ่ายเลนส์ตาปลา (Fish-eye photography) กับการประเมินสัดส่วนปริมาณท้องฟ้า (Sky view factor, SVF) ผ่าน RayMan model 1.2

ตารางที่ 3 สรุปสถิติข้อมูลการตรวจวัดตัวแปรด้านสภาพภูมิอากาศเมืองในระหว่างการสำรวจ

ตัวแปรด้านสภาพภูมิอากาศเมือง		All (n=296)	Outdoor (n=214)	Semi-outdoor (n=82)
1. อุณหภูมิการแผ่รังสีความร้อน (Mean radiant temperature, Tmrt) (°C)	เฉลี่ย (Avg.)	40.3	41.6	37.2
	สูงสุด (Max.)	65.5	65.5	46.3
	ต่ำสุด (Min.)	28.8	28.8	29.6
	S.D.	8.8	9.6	5.1
2. ความเร็วลม (Wind velocity) (m/s)	เฉลี่ย (Avg.)	0.69	0.69	0.70
	สูงสุด (Max.)	1.63	1.63	1.47
	ต่ำสุด (Min.)	0.13	0.13	0.13
	S.D.	0.33	0.32	0.35
3. ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity) (%)	เฉลี่ย (Avg.)	40.7	40.6	41.0
	สูงสุด (Max.)	56.4	56.4	50.6
	ต่ำสุด (Min.)	22.6	22.6	30.1
	S.D.	7.3	7.4	7.1
4. อุณหภูมิอากาศ (Air temperature, Ta) (°C)	เฉลี่ย (Avg.)	34.8	34.4	35.6
	สูงสุด (Max.)	41.1	41.1	40.6
	ต่ำสุด (Min.)	27.6	27.6	29.7
	S.D.	3.2	3.3	3.0
5. สัดส่วนปริมาณท้องฟ้า (Sky view factor, SVF)	เฉลี่ย (Avg.)	0.25	0.29	0.16
	สูงสุด (Max.)	0.70	0.70	0.47
	ต่ำสุด (Min.)	0.04	0.09	0.04
	S.D.	0.13	0.11	0.11
6. PET (°C)[a]	เฉลี่ย (Avg.)	36.6	36.7	36.2
	สูงสุด (Max.)	51.3	51.3	41.6
	ต่ำสุด (Min.)	27.9	27.9	29.0
	S.D.	5.7	6.3	3.7

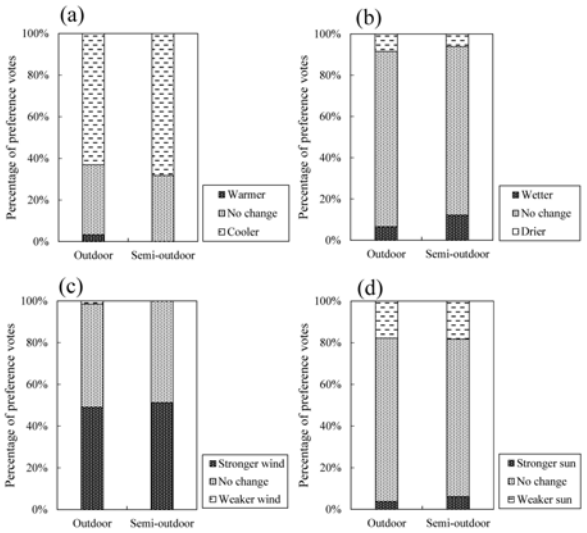
หมายเหตุ: [a]ประเมินจากแบบจำลอง RayMan model 1.2

และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยที่ร้อยละ 40.7±7.3 ความเร็วลมค่อนข้างต่ำด้วยความเร็วเฉลี่ย 0.69±0.33 m/s อุณหภูมิการแผ่รังสีความร้อนในระหว่างสำรวจค่อนข้างแปรปรวนจากปริมาณร่มเงาที่ต่างกันในแต่ละจุดโดยเฉพาะพื้นที่ภายนอกอาคารเฉลี่ยที่ประมาณ 41.6±9.6 °C มีสัดส่วนปริมาณท้องฟ้า (SVF) เฉลี่ย 0.29 มากกว่าพื้นที่กึ่งภายนอกอาคารที่มีสัดส่วนปริมาณท้องฟ้าอยู่ที่ 0.16 ทำให้อุณหภูมิการแผ่รังสีความร้อนเฉลี่ยพื้นที่กึ่งภายนอกอาคารต่ำกว่าประมาณ 37.2±5.1 °C จากการประเมินสภาวะน่าสบายเชิงความร้อนด้วยดัชนี PET พบว่า พื้นที่ภายนอกอาคารจะมีค่าเฉลี่ย PET สูงกว่าพื้นที่กึ่งภายนอกอาคารที่อุณหภูมิ 36.7±6.3 °C PET และ 36.2±3.7 °C PET ตามลำดับ



รูปที่ 7 (a) การกระจายของการลงคะแนนเลือกความรู้สึกเชิงความร้อน (Thermal sensation vote) กับความยอมรับเชิงความร้อน (Thermal acceptability) ที่ประกอบด้วยความยอมรับได้ (Acceptable) หรือยอมรับไม่ได้ (Unacceptable) ภายใต้เงื่อนสภาพแวดล้อมแบบ (b) ภายนอกอาคาร และ (c) กึ่งภายนอกอาคาร

จากรูปที่ 7 (a) แสดงการกระจายของการลงคะแนนเลือกความรู้สึกเชิงความร้อน (TSV) ตามระดับของ ASHRAE โดยพบว่า ส่วนใหญ่ของผู้ตอบแบบสอบถาม (ร้อยละ 71.62) จะเกาะกลุ่มค่อนไปทางด้านระดับร้อน (TSV>0) มีส่วนน้อยมากที่ร้อยละ 28.38 ตอบว่า “ปกติ (Neutral)” (TSV=0) ซึ่งการกระจายของผู้ตอบว่าปกติทั้งพื้นที่ภายนอกอาคารและกึ่งภายนอกอาคารนั้นไม่ค่อยแตกต่างกันมากจะอยู่ที่ร้อยละ 28.97 และ 26.83 ตามลำดับ ขณะที่การทดสอบปัจจัยทางจิตวิทยา (Psychological factors) เรื่องความยอมรับเชิงความร้อน (Thermal acceptability) (รูปที่ 7 (b) และ 7 (c)) ของผู้ตอบว่า “ยอมรับได้ (Acceptable)” ณ จุดที่ผู้ตอบนั่งหรือยืนสัดส่วนมีความแตกต่างกันน้อยมากทั้งพื้นที่ภายนอกอาคารและกึ่งภายนอกอาคารอยู่ที่ร้อยละ 63.55 และ 60.98 ตามลำดับ



รูปที่ 8 การตรวจสอบความต้องการปัจจัยสภาวะสิ่งแวดล้อมความร้อน (Preferences of thermal conditions) เพื่อการปรับตัวอยู่ในสภาพแวดล้อมเชิงความร้อนในพื้นที่นั้น; (a) อุณหภูมิอากาศ, (b) ความชื้น, (c) ความเร็วลม และ (d) แสงแดด

ด้านการตรวจสอบความต้องการปัจจัยสภาวะสิ่งแวดล้อมเชิงความร้อน (Preferences of thermal conditions) เพื่อการปรับตัวอยู่ในสภาพแวดล้อมเชิงความร้อนในพื้นที่นั้น (รูปที่ 8) พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่ (ร้อยละ 64.53) ต้องการให้อุณหภูมิอากาศลดลงอีก รวมถึงอยากให้เพิ่มลมพัดแรงขึ้น (ร้อยละ 49.66) นั่นแสดงให้เห็นว่า อุณหภูมิอากาศและความเร็วลมเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญและมีอิทธิพลต่อการรับรู้ถึงสภาวะความสบายเชิงความร้อนของประชาชนเมืองเชียงใหม่ในฤดูร้อน ยกเว้นความชื้นอากาศและปริมาณแสงแดดที่ส่วนใหญ่ตอบว่าไม่ต้องการเปลี่ยน (ร้อยละ 84.12 และ 77.70 ตามลำดับ) ทั้งนี้

อาจจะเนื่องมาจากกลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่จะนั่งหรือยืนอยู่ใต้ร่มเงาจึงไม่มีความต้องการเปลี่ยนแปลงปัจจัยดังกล่าว

ความเป็นกลางเชิงความร้อน (Thermal neutrality) จะได้จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการลงคะแนนเลือกความรู้สึกเชิงความร้อน (TSV) และค่าสภาวะน่าสบายเชิงความร้อนด้วยดัชนี PET ในการศึกษานี้ได้แบ่งดัชนี PET ออกเป็น 24 และ 12 ค่าของอุณหภูมิ PET สำหรับชุดการสำรวจภายนอกอาคารและกึ่งภายนอกอาคารตามลำดับ (ตารางที่ 4 และ 5) โดยทุกค่า PET ใหม่จะเกิดจากการสรุปช่วงอุณหภูมิ PET ระหว่าง ±0.5 °C PET (ช่วงความต่าง (Range vary) ระหว่าง −0.5 ถึง +0.49 °C PET) จากนั้นจึงสรุปการเลือกระดับความรู้สึกเชิงความร้อนของกลุ่มตัวอย่างในแต่ละพื้นที่เป็น ค่าการลงคะแนนเลือกความรู้สึกเชิงความร้อนเฉลี่ย (Mean thermal sensation vote, MTSV) จากจำนวนผู้ตอบในแต่ช่วงของ PET กระบวนการนี้เป็นการลดผลกระทบความคลาดเคลื่อนจากกลุ่มผู้ตอบในช่วงอุณหภูมิที่มีผู้ตอบจำนวนน้อย

จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple linear regression) โดยกำหนดให้ค่าอุณหภูมิ PET เป็นตัวแปรอิสระ (Predictor) กับค่าการลงคะแนนเลือกความรู้สึกเชิงความร้อนเฉลี่ย (MTSV) ที่เป็นตัวแปรตาม (Response) เพื่อหาความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงในสองบริเวณที่มีลักษณะสภาพแวดล้อมเชิงความร้อนที่แตกต่างกันดังแสดงในรูปที่ 9 ซึ่งมีสมการความสัมพันธ์เชิงเส้นในสภาพแวดล้อมภายนอกอาคาร (สมการที่ 2) และกึ่งภายนอกอาคาร (สมการที่ 3) โดยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Coefficient of determination, R^2) ทั้งสองสมการมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับค่อนข้างสูง ดังนี้;

$$MTSV = 0.1079PET - 2.9288 \quad (R^2 = 0.8904,\ p < 0.001)$$

(สมการที่ 2)

$$MTSV = 0.1447PET - 4.1241 \quad (R^2 = 0.7548,\ p < 0.001)$$

(สมการที่ 3)

ตารางที่ 4 สรุปการกระจายการลงคะแนนเลือกความรู้สึกเชิงความร้อนในพื้นที่ภายนอกอาคาร

PET (°C)[a]	Thermal Sensation Votes (TSVs) (n=214)				ความถี่		เปอร์เซ็นต์การตอบ 0	เปอร์เซ็นต์การตอบ −1 ถึง 1	MTSV[b]
	0	1	2	3	จำนวน	%			
28	12	4			16	7.48	75.00	100.00	0.25
29	13	8			21	9.81	61.90	100.00	0.38
30	6	11			17	7.94	35.29	100.00	0.65
31	1	1			2	0.93	50.00	100.00	0.50
32	3	2			5	2.34	60.00	100.00	0.40
33	6	5	1		12	5.61	50.00	91.67	0.58
34	5	6			11	5.14	45.45	100.00	0.55
35	2	1			3	1.40	66.67	100.00	0.33
36	3	20	1		24	11.21	12.50	95.83	0.92
37	5	8	2		15	7.01	33.33	86.67	0.80
38	2	15	2	1	20	9.35	10.00	85.00	1.10
39	3	8	6	1	18	8.41	16.67	61.11	1.28
40	1	2	2		5	2.34	20.00	60.00	1.20
41		1	2		3	1.40	0.00	33.33	1.67
42		1	4	2	7	3.27	0.00	14.29	2.14
43		1	1		2	0.93	0.00	50.00	1.50
44			1		1	0.47	0.00	0.00	2.00
45		1	4		5	2.34	0.00	20.00	1.80
46			1		1	0.47	0.00	0.00	2.00
47		1	5	1	7	3.27	0.00	14.29	2.00
48		1	3	2	6	2.80	0.00	16.67	2.17
49			1	2	3	1.40	0.00	0.00	2.67
50				1	1	0.47	0.00	0.00	3.00
51		3	2	4	9	4.21	0.00	33.33	2.11
รวม	62	100	38	14	214	100.00			

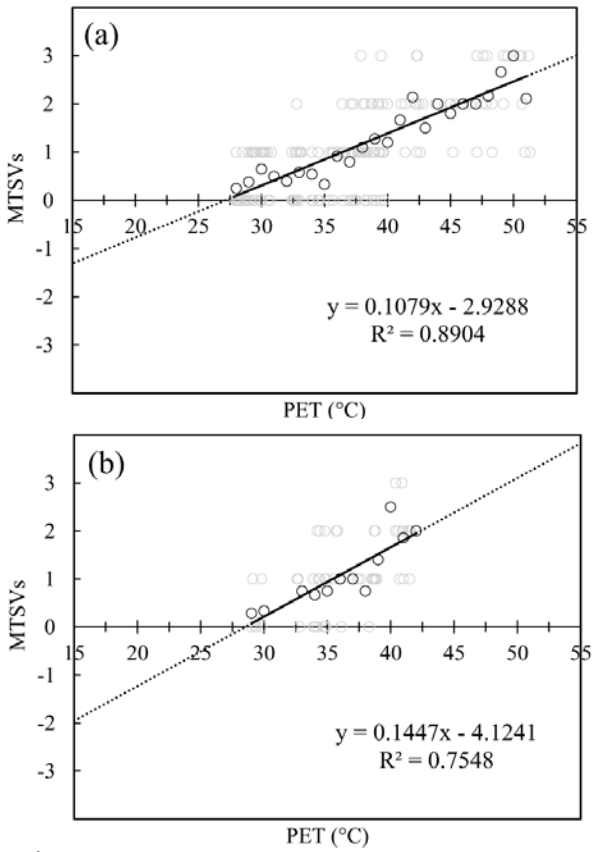
หมายเหตุ: [a]PET range is written ±0.5 for simplicity. The ranges vary, for each temperature, between -0.5 and +0.49 °C PET,

[b]Mean thermal sensation vote (MTSV)

ตารางที่ 5 สรุปการกระจายของการลงคะแนนเลือกความรู้สึกเชิงความร้อนในพื้นที่กึ่งภายนอกอาคาร

PET (°C)[a]	Thermal Sensation Votes (TSVs) (n=82)				ความถี่		เปอร์เซ็นต์การตอบ 0	เปอร์เซ็นต์การตอบ –1 ถึง 1	MTSV[b]
	0	1	2	3	จำนวน	%			
29	5	2			7	8.54	71.43	100.00	0.29
30	2	1			3	3.66	66.67	42.86	0.33
33	1	3			4	4.88	25.00	57.14	0.75
34	6	4	2		12	14.63	50.00	142.86	0.67
35	4	7	1		12	14.63	33.33	157.14	0.75
36	2	3	2		7	8.54	28.57	71.43	1.00
37		2			2	2.44	0.00	28.57	1.00
38	2	6			8	9.76	25.00	114.29	0.75
39		6	4		10	12.20	0.00	85.71	1.40
40			1	1	2	2.44	0.00	0.00	2.50
41		4	8	2	14	17.07	0.00	57.14	1.86
42			1		1	1.22	0.00	0.00	2.00
รวม	22	38	19	3	82	100.00			

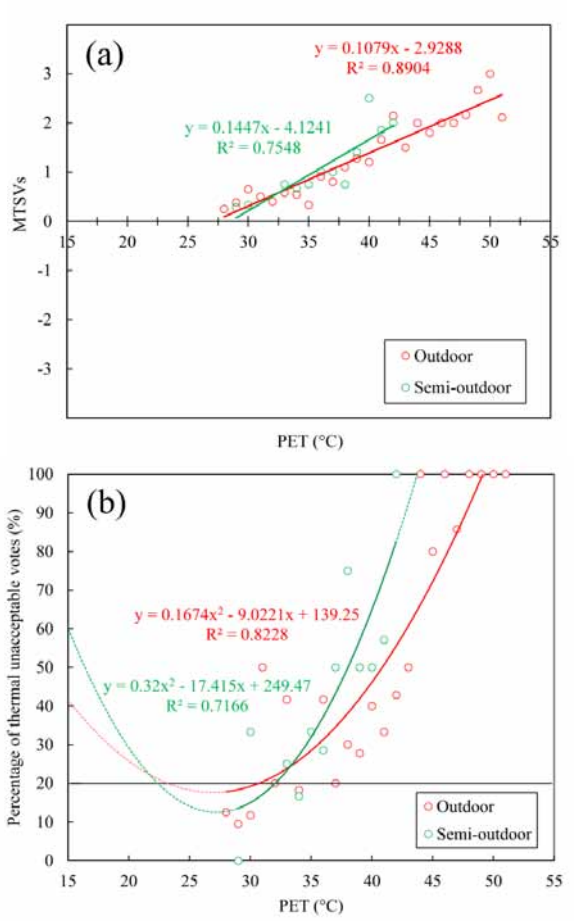
หมายเหตุ: [a]PET range is written ±0.5 for simplicity. The ranges vary, for each temperature, between -0.5 and +0.49 °C PET,
[b]Mean thermal sensation vote (MTSV)



รูปที่ 9 แผนภาพการกระจาย (Scatter Diagram) แสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างค่าอุณหภูมิ PET กับการลงคะแนนเลือกความรู้สึกเชิงความร้อนเฉลี่ย (MTSV) ในสภาพแวดล้อม; (a) ภายนอกอาคาร และ (b) กึ่งภายนอกอาคาร

โดยที่ MTSV เป็นค่าการลงคะแนนเลือกความรู้สึกเชิงความร้อนเฉลี่ย (Mean thermal sensation vote) และ PET เป็นค่าอุณหภูมิสมดุลทางสรีรวิทยา (Physiologically equivalent temperature)

จากสมการทั้งสองแทนค่าตัวแปรตามเท่ากับศูนย์ (MTSV=0) และแก้สมการ จะทำให้ได้ค่าอุณหภูมิ PET ที่แสดงสภาวะความเป็นกลางเชิงความร้อน (Thermal neutrality) หรือ อุณหภูมิความสบาย (Neutral temperature) เป็นการประเมินสภาวะความสบายอย่างง่าย (Basic method) พบว่า ค่าอุณหภูมิความสบายของกลุ่มตัวอย่างประชากรในฤดูร้อนเมืองเชียงใหม่เท่ากับ 27.1 °C PET และ 28.5 °C PET ในสภาพแวดล้อมภายนอกอาคารและกึ่งภายนอกอาคาร ตามลำดับ (รูปที่ 10(a)) การที่กลุ่มตัวอย่างที่อยู่ในสภาพแวดล้อมกึ่งภายนอกอาคารรู้สึกถึงสภาวะความเป็นกลางเชิงความร้อนที่สูงกว่าสภาพแวดล้อมภายนอกอาคาร อาจจะเนื่องมาจากผลกระทบของปัจจัยหลายๆ ปัจจัยที่ส่งผลต่อการรับรู้สภาวะความสบายเชิงความร้อน โดยเฉพาะปัจจัยทางจิตวิทยา (Psychological factor) และประสบการณ์ต่อความรู้สึกสบายของแต่ละคนไม่เหมือนกัน



รูปที่ 10 (a) เปรียบเทียบความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างค่าอุณหภูมิ PET กับ MTSV, และ (b) ช่วงความยอมรับเชิงความร้อน (Thermal acceptable range) ในฤดูร้อนเมืองเชียงใหม่

5.2 ช่วงความยอมรับเชิงความร้อน (Thermal acceptable range)

ASHRAE 55-2004 ได้เสนอแนะให้เพิ่มขั้นตอนการทดสอบปัจจัยทางจิตวิทยาด้านความยอมรับเชิงความร้อน (Thermal acceptability) โดยการลงคะแนนเลือกยอมรับเชิงความร้อน (Thermal acceptable vote) ของผู้ตอบที่ต้องมากกว่าร้อยละ 80 (หรือ การลงคะแนนเลือกไม่ยอมรับเชิงความร้อน (Thermal unacceptable vote) น้อยกว่าร้อยละ 20) จากจำนวนผู้ตอบทั้งหมด และนิยาม “ความยอมรับ (Acceptability)” เป็นความหมายเหมือนกันกับ “ความพึงพอใจ (Satisfaction)” ที่เน้นเฉพาะผู้ตอบลงคะแนนเลือกความรู้สึกเชิงความร้อน (TSV) ในระดับ เย็นเล็กน้อย (Slightly cool) ปกติ (Neutrality) และร้อนเล็กน้อย (Slightly warm) (TSV= –1, 0 และ +1 ตามลำดับ) รูปที่ 10(b) แสดงค่าร้อยละความไม่ยอมรับเชิงความร้อน (Percentage of thermal unacceptability) ประเมินโดยสร้างสมการการถดถอยโพลีโนเมียลลำดับสอง (second-order quadratic polynomial) ดังนี้

$$Y = 0.1674X^2 - 9.0221X + 139.25 \qquad (R^2 = 0.8228)$$

(สมการที่ 4)

$$Y = 0.3200X^2 - 17.415X + 249.47 \qquad (R^2 = 0.7166)$$

(สมการที่ 5)

โดยที่ Y เป็นค่าร้อยละของความไม่ยอมรับเชิงความร้อน (Percentage of thermal unacceptability), และ X เป็นค่าอุณหภูมิสมดุลทางสรีรวิทยา (PET) (°C)

ดังนั้น จากสมการทั้งสอง (สมการที่ 4 และ สมการที่ 5) แทนค่าตัวแปรตามเท่ากับ 20 (Y= 20) เพื่อแสดงความไม่ยอมรับเชิงความร้อน (Thermal unacceptable vote) น้อยกว่าร้อยละ 20 จะได้ช่วงความยอมรับเชิงความร้อนที่ 23.1–31.0 °C PET และ 22.4–32.0 °C PET ในสภาพแวดล้อมภายนอกอาคารและกึ่งภายนอกอาคาร ตามลำดับ พบว่า อุณหภูมิความแตกต่างระหว่างขีดจำกัดบน (Upper limits) กับขีดจำกัดล่าง (Lower limits) ในสภาพแวดล้อมกึ่งภายนอกอาคารช่วงอุณหภูมิแตกต่างกว้างกว่าในสภาพแวดล้อมภายนอกอาคารที่ 9.7 °C PET และ 7.9 °C PET สะท้อนถึง ความอดทนของผู้อาศัยที่อยู่ในสภาพแวดล้อมภายนอกอาคารต่อสภาวะความสบายเชิงความร้อนที่น้อยกว่าผู้อาศัยอยู่ในสภาพสภาพแวดล้อมกึ่งภายนอกอาคาร

จากเส้นโค้งโพลีโนเมียล สามารถคำนวณหาค่าตัวแปรอิสระได้หนึ่งค่า ณ จุดเปลี่ยนโค้ง (Inflection point) นั่นคือ ค่าอุณหภูมิความสบาย (Neutral temperature) ที่เกิดจากความยอมรับที่แท้จริงจากกลุ่มประชากรตัวอย่าง พบว่า ในสภาพแวดล้อมภายนอกอาคารและกึ่งภายนอกอาคารมีค่าอุณหภูมิความสบายเท่ากับ 27.0 °C PET และ 27.2 °C PET ตามลำดับ ซึ่งค่าอุณหภูมิความสบายทั้งสองสภาพแวดล้อมมีความแตกต่างน้อยมาก นั่นแสดงให้เห็นว่า ผู้ที่อาศัยภายนอกอาคารและกึ่งภายนอกอาคารมีความเป็นกลางเชิงความร้อน (Thermal neutrality) ไม่แตกต่างกัน หากเปรียบเทียบการวิเคราะห์โดยใช้สมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (ตารางที่ 6)

นอกเหนือไปจากนี้ การศึกษายังได้ทำการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ (Multiple regression analysis) ด้วยเทคนิคการเลือกตัวแปรอิสระวิธี Stepwise เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระด้านความสบายเชิงความร้อน 6 ตัวแปร ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย อัตราการเผาผลาญพลังงาน และระดับฉนวนของเสื้อผ้า ที่มีต่ออุณหภูมิสมดุล

ตารางที่ 6 เปรียบเทียบการประเมินความเป็นกลางเชิงความร้อน (Thermal neutrality) และช่วงความยอมรับเชิงความร้อน (Thermal acceptable range) ในฤดูร้อนเมืองเชียงใหม่

สภาพแวดล้อม	Thermal neutrality (°C PET)		Thermal acceptable ranges (°C PET)	Thermal uncomfortable rages (°C PET)
	Simple linear regression	Quadratic polynomial		
1. Outdoor	27.1	27.0	23.1-31.0 (range = 7.9)	<23.1 หรือ >31.0
2. Semi-outdoor	28.5	27.2	22.4-32.0 (range = 9.7)	<22.4 หรือ >32.0

ทางสรีรวิทยา (PET) ที่เป็นตัวแปรตาม เพื่อศึกษาว่าปัจจัยหรือตัวแปรอิสระตัวใดบ้างที่ส่งผลหรือมีอิทธิพลต่อตัวแปรตามในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันระหว่างพื้นที่ภายนอกอาคาร (สมการที่ 6) และกึ่งภายนอกอาคาร (สมการที่ 7) สมการแสดงความสัมพันธ์ ดังนี้

$$PET_{Outdoor} = 0.518(T_{mrt}) + 0.603(T_a) - 4.071(V_a) - 2.909 \quad (R^2 = 0.958)$$ (สมการที่ 6)

$$PET_{Semi\text{-}outdoor} = 1.201(T_a) - 6.552 \quad (R^2 = 0.979)$$ (สมการที่ 7)

โดยที่ $PET_{Outdoor}$ คือ อุณหภูมิสมดุลทางสรีรวิทยาในสภาพแวดล้อมภายนอกอาคาร (°C), $PET_{Semi\text{-}outdoor}$ คือ อุณหภูมิสมดุลทางสรีรวิทยาในสภาพแวดล้อมกึ่งภายนอกอาคาร (°C), T_{mrt} คือ อุณหภูมิการแผ่รังสีความร้อนเฉลี่ย (Mean radiant temperature) (°C), T_a คือ อุณหภูมิอากาศ (Air temperature) (°C) และ V_a คือ ความเร็วลม (Wind speed) (ms^{-1})

ผลการวิเคราะห์ทำให้พบว่า อุณหภูมิสมดุลทางสรีรวิทยาที่เป็นดัชนีความสบายเชิงความร้อน ในสภาพแวดล้อมภายนอกอาคารจะขึ้นกับความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระ 3 ตัวแปร คือ อุณหภูมิการแผ่รังสีความร้อนเฉลี่ย อุณหภูมิอากาศ และความเร็วลม ในขณะที่พื้นที่สภาพแวดล้อมกึ่งภายนอกอาคารจะขึ้นกับอุณหภูมิอากาศเพียงตัวแปรเดียว ที่ระดับความสัมพันธ์ที่ร้อยละ 95.8 และ 97.9 ตามลำดับอย่างมีนัยสำคัญที่ .01 โดยตัวแปรอิสระที่พบความสัมพันธ์เป็นบวก ได้แก่ อุณหภูมิการแผ่รังสีความร้อนเฉลี่ยและอุณหภูมิอากาศ ส่วนความเร็วลมจะพบความสัมพันธ์เป็นลบต่ออุณหภูมิสมดุลทางสรีรวิทยา ในอีกนัยนั่นแสดงให้เห็นถึงแนวทางการปรับลดอุณหภูมิสมดุลทางสรีรวิทยาเพื่อให้อยู่ในช่วงของความยอมรับเชิงความร้อนของชาวเชียงใหม่ ที่จำเป็นจะต้องสร้างมาตรการปรับปรุงสภาพแวดล้อมเมืองเพื่อลดอุณหภูมิการแผ่รังสีความร้อนเฉลี่ย และอุณหภูมิอากาศ ร่วมกับการเพิ่มการไหลเวียนของอากาศ เป็นมาตรการที่สำคัญในการกำหนดนโยบายการออกแบบและวางแผนเมืองในฤดูร้อนของเมืองเชียงใหม่ต่อไป

5.3 ภาวะสุขภาพกายและช่วงความสบายเชิงความร้อนในฤดูร้อน (State of physical health and thermal comfort ranges in summer)

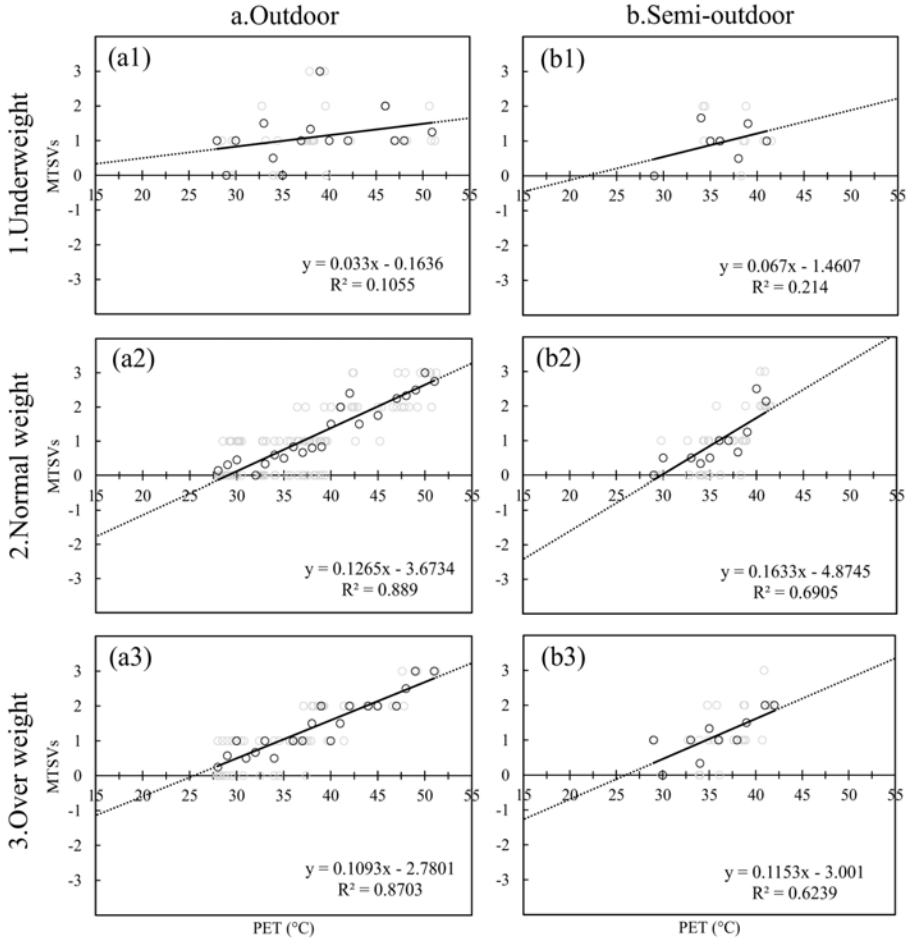
ในทางการแพทย์นั้นให้คำนิยาม สุขภาพกาย (Physical health) หมายถึง สภาวะของร่างกายที่มีความสมบูรณ์ แข็งแรง เจริญเติบโตอย่างปกติทางโครงสร้างทางร่างกาย ระบบต่างๆ ของร่างกายสามารถทำงานได้เป็นปกติและมีประสิทธิภาพ ร่างกายมีความต้านทานโรคได้ดี ปราศจากโรคภัยไข้เจ็บและความทุพพลภาพ ดังนั้น บุคคลนั้นมีความสมบูรณ์แข็งแรง ระบบและอวัยวะทุกส่วนทำงานได้ดีมีประสิทธิภาพ ร่างกายมีสมรรถภาพสูง สามารถทำงานได้นานๆ โดยไม่เหนื่อยง่าย โดยตัวชีวัดสถานะสุขภาพ (Health status indicators) ทางด้านภาวะสุขภาพกายนั้น นิยมใช้ค่าดัชนีมวลกาย (Body mass index, BMI) ที่เกี่ยวข้องกับน้ำหนักและส่วนสูง เป็นวิธีปกติที่ใช้พิจารณาว่า บุคคลนั้นที่น้ำหนักอยู่ในเกณฑ์ที่มีสุขภาพดี โดยขึ้นกับส่วนสูงของคนนั้น ค่าดัชนีมวลกายคือ น้ำหนัก (กิโลกรัม) หารด้วยส่วนสูง (เมตร) ยกกำลังสอง มีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อตารางเมตร (WHO, 1995; WPRO, 2000) โดยมาตรฐาน BMI สำหรับคนเอเชีย (Asian criteria-based BMI) แบ่งได้ดังนี้

น้อยกว่า 18.49 หมายถึง อยู่ในเกณฑ์ผอม (Underweight)

18.50–22.99	หมายถึง	อยู่ในเกณฑ์ปกติ (Normal)
23.00–24.99	หมายถึง	อยู่ในเกณฑ์อวบท้วม (Overweight)
25.00–29.99	หมายถึง	อยู่ในเกณฑ์อ้วน (Obese)
ตั้งแต่ 30.0 ขึ้นไป	หมายถึง	อ้วนมาก (Clinically obese)

จากแบบสอบถาม 296 ชุด ที่ถูกสำรวจในฤดูร้อนเมืองเชียงใหม่ (ตารางที่ 1) พบว่า ภาพรวมของน้ำหนักกลุ่มตัวอย่างเฉลี่ย (Mean±S.D.) อยู่ที่ 57.7±10.5 กิโลกรัม ความสูงเฉลี่ย 162.6±6.76 เซนติเมตร จากการคำนวณค่าดัชนีมวลกายเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างอยู่ที่ประมาณ 21.76±3.36 ซึ่งค่าดัชนีจะตกอยู่ในช่วงเกณฑ์ปกติ โดยค่าดัชนีมวลกายเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างที่อาศัยอยู่ในสภาพภายนอกอาคาร และสภาพกึ่งภายนอกอาคารมีความแตกต่างน้อยมากที่ประมาณ 21.76±3.22 และ 21.76±3.73 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาจำแนกกลุ่มตัวอย่างตามมาตรฐานค่าดัชนีมวลกายสำหรับคนเอเชีย (ตารางที่ 2) จะพบว่า เกินครึ่ง (ร้อยละ 54.7) ของประชากรกลุ่มตัวอย่างมีค่า BMI อยู่ในช่วงเกณฑ์ปกติ ในขณะที่ประมาณร้อยละ 31.4 และ 13.9 ของประชากรกลุ่มตัวอย่างค่า BMI อยู่ในช่วงเกณฑ์ท้วมถึงอ้วน และเกณฑ์ผอม ตามลำดับ

การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิ PET กับค่าเฉลี่ยการลงคะแนนเลือกความรู้สึกเชิงความร้อน (MTSVs) จำแนกตามสภาพแวดล้อมภายนอกอาคารและกึ่งภายนอกอาคาร และช่วงเกณฑ์มาตรฐาน BMI สำหรับคนเอเชีย (รูปที่ 11) สามารถคำนวณอุณหภูมิความสบาย สรุปได้ใน ตารางที่ 7 พบว่าสมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายของกลุ่มตัวอย่างที่มีค่า BMI อยู่เกณฑ์ปกติ และกลุ่มผู้ที่อยู่ในเกณฑ์ท้วมถึงอ้วน ที่อาศัยอยู่ในสภาพแวดล้อมภายนอกอาคารและกึ่งภายนอกอาคารที่มีความสัมพันธ์ระหว่าง MTSV กับ PET มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 ยกเว้น กลุ่มตัวอย่างที่มีค่า BMI ของผู้ที่อยู่ในเกณฑ์ผอม ทั้งนี้ อาจจะเนื่องมาจากภาวะสุขภาพกายที่ไม่ปกติจึงส่งผลต่อความรับรู้ต่อความรู้สึกสบายเชิงความร้อนที่ไม่สอดคล้องกันในกลุ่ม หรืออาจจะเกิดจากจำนวนกลุ่มตัวอย่างที่มีจำนวนน้อยมากจนไม่สามารถวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ได้



รูปที่ 11 ผลกระทบของภาวะสุขภาพกายต่อการลงคะแนนเลือกความสบายเชิงความร้อนในฤดูร้อนเชียงใหม่; ในสภาพแวดล้อม; (a) ภายนอกอาคาร และ (b) กึ่งภายนอกอาคาร

ตารางที่ 7 เปรียบเทียบการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple linear regression) จำแนกตามมาตรฐานการแบ่งช่วงเกณฑ์ค่าดัชนีมวลกาย สำหรับคนเอเชีย (Asian criteria-based BMI)

สภาพแวดล้อม	Body Mass Index (BMI)	จำนวนกลุ่มตัวอย่าง	Simple linear regression	Coefficient of determination
1.Outdoor	Underweight (<=18.49)	27	MTSV = 0.033PET-0.1636	0.106
	Normal (18.50-22.99)	120	MTSV = 0.1265PET-3.6734	0.889**
	Overweight (>=23.00)	67	MTSV = 0.1093PET-2.7801	0.870**
2.Semi-outdoor	Underweight (<=18.49)	14	MTSV = 0.067PET-1.4607	0.214
	Normal (18.50-22.99)	42	MTSV = 0.1633PET-4.8745	0.6905**
	Overweight (>=23.00)	26	MTSV = 0.1153PET-3.0010	0.624**

**Correlation is significant at the 0.01 level

ตารางที่ 8 เปรียบเทียบการประเมินความเป็นกลางเชิงความร้อน (Thermal neutrality) และช่วงความยอมรับเชิงความร้อน (Thermal acceptable range) ในฤดูร้อนเมืองเชียงใหม่ จำแนกตามช่วงดัชนีมวลกาย

สภาพแวดล้อม	Body Mass Index (BMI)	Thermal neutrality (°C PET)	Thermal acceptable ranges (°C PET)	Thermal uncomfortable rages (°C PET)
1.Outdoor	Underweight (<=18.49)	5.0	7.2-17.1	<7.2 หรือ >17.1
	Normal (18.50-22.99)	29.0	25.9-32.2	<25.9 หรือ >32.2
	Overweight (>=23.00)	25.4	21.8-29.1	<21.8 หรือ >29.1
2.Semi-outdoor	Underweight (<=18.49)	18.8	8.4-29.3	<8.4 หรือ >29.3
	Normal (18.50-22.99)	28.6	24.3-32.9	<24.3 หรือ >32.9
	Overweight (>=23.00)	24.3	18.2-30.4	<18.2 หรือ >30.4

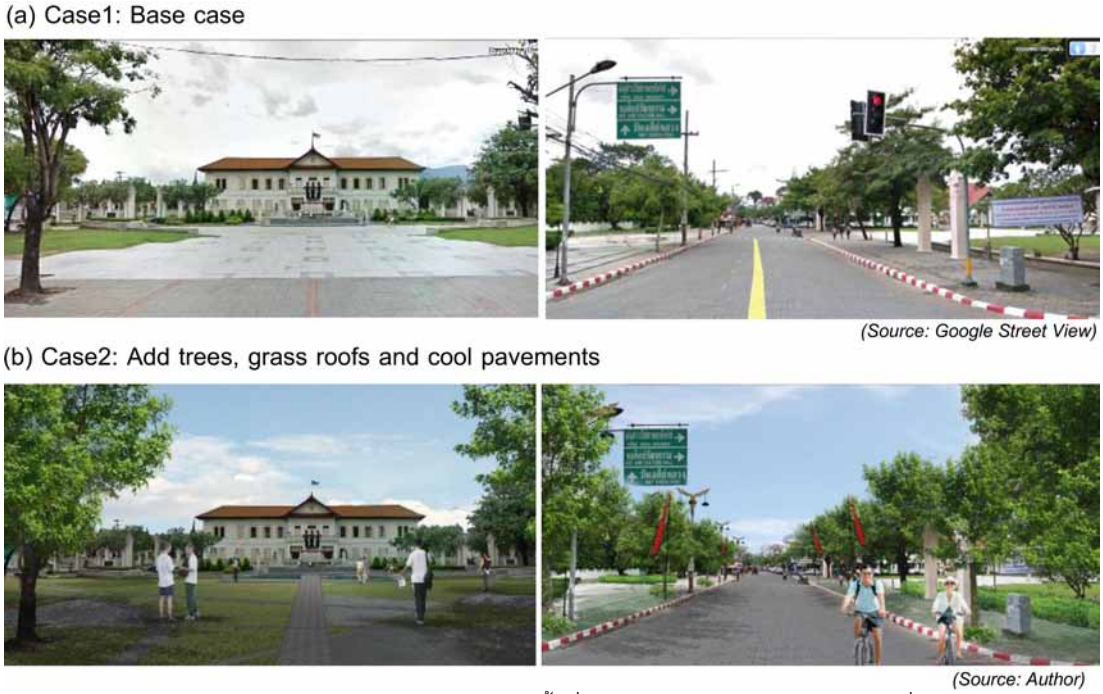
จากตารางที่ 8 เพื่อเปรียบเทียบการประเมินความเป็นกลางเชิงความร้อน และช่วงความยอมรับเชิงความร้อน จำแนกตามการแบ่งมาตรฐานดัชนีมวลกาย พบว่า ในสภาพแวดล้อมความร้อนภายนอกอาคาร กลุ่มตัวอย่างที่มี BMI อยู่ในเกณฑ์ปกติ จะมีค่าความเป็นกลางเชิงความร้อน (MTSV=0) ที่อุณหภูมิ 29.0 °C PET สูงกว่ากลุ่มตัวอย่างที่มี BMI อยู่ในเกณฑ์ท้วมถึงอ้วน ที่อุณหภูมิ 25.4 °C PET แสดงให้เห็นถึงผลกระทบของภาวะสุขภาพกายที่คนที่มีสุขภาพปกติจะมีระดับความอดทน (Tolerance level) ต่อการอาศัยอยู่ในสภาพแวดล้อมภายนอกอาคารสูงกว่าคนอ้วน หรือ สภาวะสุขภาพไม่ปกติ ที่ภาวะความสบายเชิงความร้อนแตกต่างกันถึง 3.6 °C PET ในฤดูร้อนเมืองเชียงใหม่ สอดคล้องกันกับผู้ตอบแบบสอบถามที่อาศัยอยู่ในสภาพแวดล้อมกึ่งภายนอกอาคารที่ผู้ตอบที่มี BMI อยู่ในเกณฑ์ปกติจะมีความอดทนต่อการอาศัยอยู่ในสภาพแวดล้อมกึ่งภายนอกอาคารที่สูงกว่าคนอ้วน ความแตกต่างอยู่ที่ประมาณ 4.3 °C PET (28.6–24.3 °C PET) นั่นแสดงให้เห็นว่า สภาวะความสบายเชิงความร้อนไม่ได้อยู่แค่เพียงปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมเพียงอย่างเดียว แต่ภาวะสุขภาพกายก็มีผลต่อระดับความรู้สึกสบายเชิงความร้อนที่แตกต่างกัน

6. สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

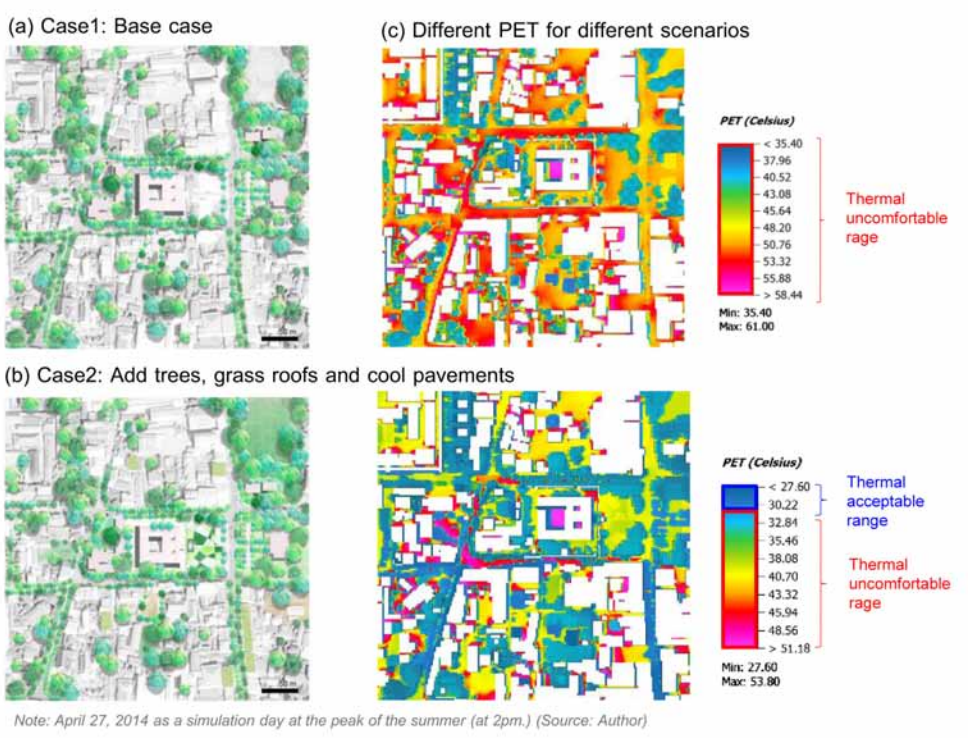
บทความนี้นำเสนอองค์ความรู้เชิงประจักษ์ (Empirical evidence) ที่ได้จากการศึกษาสำรวจความรู้เกี่ยวกับความสบายเชิงความร้อนของสภาพแวดล้อมภายนอกอาคารและกึ่งภายนอกอาคารในฤดูร้อนของเมืองเขตอากาศร้อนชื้น ผลลัพธ์ของการศึกษาในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันทั้งสองแสดงให้เห็นได้ชัดเจนว่าผู้อาศัยอยู่ในพื้นที่ที่มีสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน ความต้องการเชิงความร้อนย่อมแตกต่างกันแม้ว่าผู้ตอบจะมีความรู้สึกสบายในฤดูร้อน และพื้นที่ร่มเงา (Shaded areas) ทั้งจากต้นไม้และโครงสร้างอาคาร ตลอดจนความเร็วของการพัดของลมธรรมชาตินั้น เป็นปัจจัยที่สำคัญที่ผู้ถูกสำรวจมีความต้องการปัจจัยสภาวะสิ่งแวดล้อมความร้อน ในการปรับปรุงสภาวะความสบายเชิงความร้อนในฤดูร้อนเป็นอย่างมาก นอกจากนี้ยังพบอีกว่า ผลกระทบของภาวะสุขภาพมีผลต่อสภาวะความสบายเชิงความร้อนที่แตกต่างกัน โดยผู้ที่มีภาวะสุขภาพปกติจะมีระดับความอดทนต่อการอาศัยอยู่ในสภาพแวดล้อมทั้งภายนอกอาคารและกึ่งภายนอกอาคารสูงกว่าผู้ที่มีสภาวะสุขภาพไม่ปกติ

ดังนั้น การปรับปรุงสภาพแวดล้อมภายนอกอาคารให้เหมาะสมต่อสภาวะความสบายเชิงความร้อนในเขตเมืองเชียงใหม่จึงเป็นสิ่งสำคัญที่นักวางแผนและนักออกแบบเมืองควรคำนึงถึงในกระบวนการการวางแผนและจัดการด้านภูมิสถาปัตยกรรมเมือง (Urban landscape planning and management) ให้เหมาะสมต่อการอาศัยอยู่ในพื้นที่เมือง เช่น การวางแผนโครงสร้างพื้นฐานสีน้ำเงินและสีเขียวเมือง (Urban blue-green infrastructure planning) (Vanno, 2012) ทั้งการเพิ่มพื้นที่สีเขียวที่จะได้ประโยชน์โดยตรงจากพื้นที่ร่มเงาต้นไม้และการอนุรักษ์พื้นที่ชุมน้ำ เช่น คู คลอง แม่น้ำ ร่วมกับการออกแบบทางภูมิทัศน์ (Landscape design) ลดการใช้วัสดุพื้นดาดแข็ง (Hard-scape) ซึ่งส่วนใหญ่เป็นคอนกรีตที่มีคุณสมบัติดูดกลืนความร้อนและแผ่ความร้อนในระดับสูง (Iamtrakul et al., 2014) ตลอดจนการออกแบบจัดวางองค์ประกอบโครงสร้างอาคารและความหนาแน่น (Building form and density) การวางแนวถนน (Street alignment) ก็จะมีส่วนช่วยบรรเทาปริมาณการแผ่รังสีความร้อนจากแสงแดด (Solar radiation) ปรับปรุงศักยภาพทางการระบายความร้อน (Cooling potential) เพื่อเพิ่มการไหลเวียนของลมธรรมชาติ (Natural ventilation) (Charoentrakulpeeti, 2014)

ซึ่งมาตรการการวางแผนและออกแบบสิ่งแวดล้อมดังกล่าว นักวางแผนและนักออกแบบเมืองจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องอาศัยผลของการประเมินอุณหภูมิความสบายและช่วงความยอมรับเชิงความร้อน ร่วมกับผลการวิเคราะห์ผ่านแบบจำลองสภาพอากาศเฉพาะท้องถิ่น (Microclimate simulation models) เช่น SOLWEIG 1.0 (SOlar and LongWave Environmental Irradiance Geometry model) (Lindberg et al., 2008) และ ENVI-met (Bruse, 2011) ที่มีพื้นฐานการพัฒนาจากแบบจำลอง Computational Fluid Dynamics (CFD) เพื่อใช้ในการตรวจสอบผลกระทบของการวางแผนและออกแบบเหล่านั้นต่อสภาพแวดล้อมเชิงความร้อนเมือง ตัวอย่างเช่น การนำไปประเมินผลกระทบของการออกแบบพื้นที่สาธารณะย่านอนุสาวรีย์สามกษัตริย์ใจกลางเมืองเชียงใหม่ ที่มีนโยบายการปรับปรุงภูมิทัศน์เมืองด้วยการปลูกต้นไม้เพิ่ม การเปลี่ยนวัสดุปกคลุมพื้นผิวทางเท้าและจราจร เปลี่ยนวัสดุอาคารที่มีค่าสะท้อนแสงน้อย (Low-albedo materials) และการเพิ่มหลังคาเขียว (Green roofs) (รูปที่ 12) โดยผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์สามารถแสดงค่าอุณหภูมิสมดุลทางสรีรวิทยา (PET) เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบค่าก่อนและหลังการออกแบบปรับปรุงพื้นที่ดังกล่าวในลักษณะเชิงประจักษ์เพื่อประกอบการตัดสินใจในการออกแบบ (รูปที่ 13)



รูปที่ 12 แนวทางการปรับปรุงภูมิทัศน์เมือง (a) ก่อน และ (b) หลัง พื้นที่สาธารณะย่านอนุสาวรีย์สามกษัตริย์ที่เหมาะสมต่อสภาพแวดล้อมเชิงความร้อนฤดูร้อนเมืองเชียงใหม่



รูปที่ 13 ผลลัพธ์การประเมินอุณหภูมิสมดุลทางสรีรวิทยา (Physiologically equivalent temperature, PET) ร่วมกับช่วงความยอมรับเชิงความร้อนฤดูร้อนเมืองเชียงใหม่ ผ่านแบบจำลอง ENVI-met 1.3

การออกแบบทางภูมิทัศน์เมืองเป็นหนทางหนึ่งที่จะช่วยปรับปรุงสภาพแวดล้อมเชิงความร้อนให้เหมาะสมต่อการอยู่อาศัยในพื้นที่สาธารณะเมือง แต่ต้องดำเนินการควบคู่ไปกับการลดผลกระทบความร้อนที่เกิดขึ้นจากเนื้อมือมนุษย์ (Anthropogenic heat) จากกิจกรรมต่างๆ ในพื้นที่เมือง เช่น การใช้พลังงานเพื่อระบบปรับอากาศ มลพิษจากเครื่องยนต์ของยานพาหนะ ฯลฯ ซึ่งเป็นอีกหนึ่งในสาเหตุที่ทำให้อุณหภูมิในพื้นที่เขตเมืองสูงกว่าพื้นที่โดยรอบ ที่จำเป็นจะต้องมีมาตรการจัดการวางแผนไปพร้อมๆ กัน ทั้งนี้สภาวะความสบายเชิงความร้อนไม่ได้อยู่แค่เพียงปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมและการปรับพฤติกรรมเท่านั้น แต่ภาวะสุขภาพของประชาชนที่อาศัยอยู่ในพื้นที่เมืองก็มีผลต่อระดับความรู้สึกสบายเชิงความร้อนที่แตกต่างกันในเขตเมืองเชียงใหม่ ที่ควรมีการสร้างเสริมสุขภาพให้ประชาชนเกิดสุขภาพกายแข็งแรงไปพร้อมๆ กัน ผลการศึกษานี้ยังมีส่วนในการสร้างองค์ความรู้เพื่อนำไปสู่การปรับปรุงพื้นที่เมืองให้เกิดความสบายในบริบทเมืองเขตร้อน และยกระดับคุณภาพชีวิตของผู้อาศัยอยู่ในเมืองและการบรรลุผลของเมืองน่าอยู่เช่นเมืองเชียงใหม่ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัยประจำปี 2557 ภายใต้งานวิจัยเรื่อง “การศึกษาแนวคิดการออกแบบทางผังเมืองเพื่อสร้างองค์ความรู้สำหรับใช้เป็นแนวทางในการลดปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมืองในเขตเมืองเชียงใหม่ (A Study on Urban Planning Concepts to Create a Body of Knowledge for the Reduction of Urban Heat Island Guideline in Chiang Mai Urban Area)” และผู้เขียนขอขอบคุณเป็นพิเศษต่อ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วราจิต พะยอม และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุดาภรณ์ สุดประเสริฐ สำหรับการให้อนุญาตใช้เครื่องมือ ตลอดจนการให้ข้อเสนอแนะจากประสบการณ์การทำวิจัยที่เป็นประโยชน์ต่อการวิจัยชิ้นนี้ และขอบคุณไปยัง คุณนิเวศน์ พูนสุขเจริญ ที่ช่วยในการควบคุมและจัดการข้อมูลสำรวจในครั้งนี้เป็นอย่างยิ่ง

References

ASHRAE. (1992). ANSI/ASHRAE Standard 55-1992. *Thermal environmental conditions for human occupancy*. American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers Inc, Atlanta.

ASHRAE 55. (2010). *Thermal environmental conditions for human occupancy*. ASHRAE, Atlanta, GA.

Atthajariyakul, S. (2007). *Thermal comfort for air-conditioning in Thailand. KKU Engineering Journal, 3*4 (2), 141 –150.

Auttarat, S., Srivanit, M. & Poonsukcharoen, N. (2014). A *study on urban planning concepts to create a body of knowledge for the reduction of urban heat Island guideline in Chiang Mai urban area. Chiang Mai University*, Goodwork Media.

Blazejczyk, K., Epstein, Y., Jendritzky, G., Staiger, H. & Tinz, B. (2012). Comparison of UTCI to selected thermal indices. *International Journal of Biometeorology, 56*, 515–535.

Bruse, M. (2011). *ENVI-met model homepage*. Retrieve from http://www.envi-met.com.

Charoentrakulpeeti, W. (2014). Physical characteristics and ventilation pattern in Uthai Thani city. *Journal of Architecture/Planning Research and Studies, 11*(2), 99-112.

Chen, L. & Ng, E. (2012). Outdoor thermal comfort and outdoor activities: A review of research in the past decade. *Cities, 29*, 118–125.

Iamtrakul, P., Nusook, T. & Ubolchay, P. (2014). Impact of urban heat Island on daily life of people in Bangkok metropolitant region (BMR). *Journal of Architecture/Planning Research and Studies, 11*(2), 53-72.

ISO 7726. (1998). *Ergonomics of the thermal environment – Instruments for measuring physical quantities. International Organization for Standardization*, Geneva.

Johansson, E., Thorsson, S., Emmanuel, R. & Krüger, E. (2014). Instruments and methods in outdoor thermal comfort studies – The need for standardization. *Urban Climate, 10*(2), 346-366.

Lindberg, F., Holmer, B. & Thorsson, S. (2008). SOLWEIG 1.0 – modelling spatial variations of 3D radiant fluxes and mean radiant temperature in complex urban settings. *International Journal of Biometeorology, 52*, 697–713.

Matzarakis, A., Rutz, F. & Mayer, H. (2010). Modelling radiation fluxes in simple and complex environments: Basics of the RayMan model. *International Journal of Biometeorology, 54*(2), 131–139.

Mayer, H. & Höppe, P. (1987). Thermal comfort of man in different urban environments. *Theoretical and Applied Climatology, 38*, 43–49.

McMichael, A. J., Wilkinson, P., Kovats, R. S., Pattenden, S., Hajat, S., Armstrong, B., Vajanapoom, N., Niciu, E. M., Mahomed, H., Kingkeow, C., Kosnik, M., O'Neill, M. S., Romieu, I., Ramirez-Aguilar, M., Barreto, M. L., Gouveia, N. & Nikiforov, B. (2008). International study of temperature, heat and urban mortality: the 'ISOTHURM' project. *International Journal of Epidemiology, 37*(5), 1121-1131.

Ng, E. & Cheng, V. (2012). Urban human thermal comfort in hot and humid Hong Kong. *Energy and Buildings, 55*, 51–65.

Santamouris, M., Cartalis, C., Synnefa, A. & Kolokotsa, D. (2015). On the impact of urban heat island and global warming on the power demand and electricity consumption of buildings—A review. *Energy and Buildings, 98*, 119–124.

Srivanit, M., Hokao, K. & Iamtrakul, P. (2014). Classifying thermal climate zones to support urban environmental planning and management in the Bangkok metropolitan area. *Journal of Architectural/Planning Research and Studies, 11*(1), 73-92.

Thorsson, S., Lindberg, F., Eliasson, I. & Holmer, B. (2007). Different methods for estimating the mean radiant temperature in an outdoor urban setting. *International Journal of Climatology, 27*, 1893–1983.

Vanno, S. (2012). Bangkok's green infrastructure. *Journal of Architectural/Planning Research and Studies, 9*(2), 1-13.

VDI 3787. (2008). *Part 2, Environmental meteorology – Methods for the human biometeorological evaluation of climate and air quality for urban and regional planning at regional level; Part I: Climate. Beuth Verlag,* Berlin.

WHO. (1995). *Physical status: the use and interpretation of anthropometry*. Report of a WHO Expert Committee. WHO Technical Report Series 854. Geneva: World Health Organization.

World Health Organization, Regional Office for the Western Pacific [WPRO]. (2000). *International Association for the Study of Obesity, International Obesity Task Force*. The Asia-Pacific Perspective: Redefining obesity and its treatment; Health Communications Australia Pty Ltd: Sydney, Australia.

Yang, W., Wong, N. H. & Jusuf, S. K. (2013). Thermal comfort in outdoor urban spaces in Singapore. *Building and Environment, 59*, 426-435.