

การศึกษากระทบของอาคารสูงต่อสิ่งแวดล้อมเชิงความร้อนเมืองและสภาวะ น่าสบายพื้นที่ภายนอกอาคาร กรณีศึกษาโครงการพัฒนาที่อยู่อาศัยชานเมือง ใกล้มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ศูนย์รังสิต

The Effects of High-Rise Building on Urban Thermal Environments and Outdoor Thermal Comfort: A Case Study of Suburban Residential Development nearby the Rangsit Campus of Thammasat University

दनैयातर प्रसित्रीरैक¹ और मानस श्रीवणित^{2*}

Danaipat Prasitreak¹ and Manat Srivanit^{2*}

^{1,2} คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ จังหวัดปทุมธานี 12121

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

² คลัสเตอร์วิจัยห้องปฏิบัติการออกแบบสถาปัตยกรรมเพื่อสภาพแวดล้อมน่าอยู่

The Research Cluster on Livable Environment & Architectural Design Laboratory (LEAD-Lab)

* Corresponding author e-mail: danaipat_pr@hotmail.com¹, s.manat@gmail.com^{2*}

Received 12/7/2020 Revised 7/10/2020 Accepted 25/11/2020

บทคัดย่อ

สภาวะน่าสบายพื้นที่ภายนอกอาคารในเขตเมือง เป็นตัวบ่งชี้ที่สำคัญของคุณภาพชีวิตในสภาพแวดล้อมเมืองโดยเฉพาะในเมืองเขตร้อนของประเทศไทย บทความนี้จะตรวจสอบสภาวะน่าสบายเชิงความร้อน จากผลกระทบของภูมิอากาศระดับจุลภาคพื้นที่ภายนอกอาคาร ที่ถูกล้อมรอบด้วยอาคารที่พักอาศัยของบริบทเมืองมหาวิทยาลัยในพื้นที่จังหวัดปทุมธานี โดยมุ่งเน้นไปที่ผลกระทบของอาคารสูงต่อสิ่งแวดล้อมเชิงความร้อนเมือง และสภาวะน่าสบายพื้นที่ภายนอกอาคาร สภาพภูมิอากาศจุลภาคของสถานการณ์ก่อนและหลังการก่อสร้างอาคารสูง ถูกกำหนดโดยการจำลองเชิงตัวเลขผ่านโปรแกรม ENVI-met และเครื่องมือหลังการประมวลผลเรียกว่า BioMet เพื่อคำนวณค่าดัชนีความร้อน ในการศึกษา อุณหภูมิเทียบเท่าทางสรีรวิทยา หรือ Physiological Equivalent Temperature (PET) ใช้เป็นดัชนีความร้อนเพื่อประเมินความสบายเชิงความร้อนพื้นที่ภายนอกอาคาร โดยการตรวจสอบเชิงปริมาณ พบว่า อุณหภูมิการแผ่รังสีความร้อนเฉลี่ยและความเร็วลมได้รับผลกระทบสูงจากการเปลี่ยนแปลง ซึ่งส่งผลกระทบต่อสภาวะน่าสบายพื้นที่ภายนอกอาคารในสภาพแวดล้อมระดับคนเดินเท้ารอบอาคาร ดังนั้นจึงควรมีการปรับปรุงสภาพแวดล้อมของลมรอบอาคารสูง และเสนอแนวทางลดการแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ ที่มีปฏิสัมพันธ์กับวัสดุคลุมพื้นผิวดินและเปลือกอาคาร เพื่อปรับปรุงพื้นที่ภายนอกอาคารให้อยู่ในขอบเขตสภาวะน่าสบายต่อไป

คำสำคัญ

การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม

ภูมิอากาศจุลภาค

สิ่งแวดล้อมเชิงความร้อนเมือง

สภาวะน่าสบายพื้นที่ภายนอกอาคาร

อุณหภูมิเทียบเท่าทางสรีรวิทยา

อาคารสูง

Abstract

Outdoor thermal comfort in urban spaces is an important indicator of the quality of life in urban environment, especially in tropical cities of Thailand. This paper attempts to investigate thermal comfort from the outdoor microclimate effects surrounded by residential buildings in the university campus town in Pathum Thani province, focusing on the effect of a high-rise building on urban thermal environments and outdoor thermal comfort. The micro-climatic conditions of pre-and post-construction scenarios were determined by the ENVI-met numerical simulation and the post-processing tool called BioMet, as a post-processing tool to calculate human thermal comfort indices. In this study, the Physiologically Equivalent Temperature (PET) was utilized as the thermal index to assess outdoor thermal comfort. It has been investigated quantitatively that the mean radiant temperature and wind velocity provided by high impact changes, which can affect outdoor thermal comfort in the pedestrian thermal environment around the tall building. Thus, it is recommended to improve pedestrian wind environment around tall buildings, to reduce radiant heat from the sun interacts with the ground surface materials and building envelope, and to create human thermal comfort outdoor.

Keywords

Environmental Impact Assessment (EIA)

Microclimate

Urban Thermal Environment

Outdoor Thermal Comfort

Physiological Equivalent Temperature (PET)

High-rise building

1. บทนำ

จากการคาดการณ์ของ World Urbanization Prospect ได้คาดการณ์ว่าในปี ค.ศ. 2050 ประเทศไทยจะมีสัดส่วนพื้นที่ชนบทเหลือเพียง 28 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่มีพื้นที่เมืองสูงถึง 72 เปอร์เซ็นต์ โดยจะส่งผลให้รูปแบบเมือง (Urban form) มีสิ่งปลูกสร้างเริ่มหนาแน่นและการใช้ประโยชน์ที่เข้มข้นขึ้น นำมาซึ่งปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะปัญหามลพิษและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเมือง (Urban climate change) ที่รุนแรงจากผลกระทบการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมเมือง โดยผลกระทบขึ้นอยู่กับลักษณะเชิงพื้นที่และช่วงเวลา เป็นผลมาจากการเติบโตของประชากรเมืองอย่างรวดเร็ว และความต้องการพัฒนาพื้นที่อยู่อาศัยเพิ่มสูงขึ้น หากกระบวนการกลายเป็นเมืองที่เกิดจากการพัฒนาพื้นที่ที่รวดเร็วจนมองข้ามมุมมองด้านสิ่งแวดล้อมจะส่งผลกระทบโดยตรงต่อทรัพยากรธรรมชาติทั้งด้านคุณภาพและปริมาณ (Wijitkosum & Sriburi, 2009) ดังนั้นรัฐบาลมีมาตรการในการบรรเทาผลกระทบหรือป้องกันปัญหา โดยใช้เครื่องมือทางกฎหมายในการควบคุมการพัฒนา ประเทศไทยมีกฎหมายพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมปี พ.ศ. 2535 กำหนดให้โครงการพัฒนาต่างๆ ที่อยู่ในข้อกำหนดและขอบเขตทั้งของรัฐและเอกชนจะต้องมีการจัดทำรายงานการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม (Environmental Impact Assessment : EIA) เพื่อเสนอต่อสำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะผลกระทบสภาพภูมิอากาศจุลภาครวมถึงสภาวะน่าสบายของเมืองที่เปลี่ยนแปลงไป (Brad & Bas, 2003; Svensson & Eliasson, 2002; Wong & Yu, 2005) ที่เกิดจากการพัฒนาโครงการอาคารขนาดใหญ่ อาคารขนาดใหญ่พิเศษ และอาคารสูง โดยผลกระทบส่วนใหญ่ได้รับอิทธิพลมาจากองค์ประกอบด้านโครงสร้างทางกายภาพของอาคาร

การวัดผลกระทบการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเมือง แบ่งได้เป็น 2 มาตรฐาน (Oke, 1984) ได้แก่ (i) มาตรฐานตามแนวนอน (Horizontal scale) จำแนกออกเป็น 3 ระดับย่อย คือ 1) Mesoscale มีขอบเขตหลายสิบกิโลเมตรครอบคลุมพื้นที่ทั้งเมือง ที่ได้รับอิทธิพลต่อสภาพอากาศและสภาพภูมิอากาศต้องใช้โครงข่ายสถานีตรวจวัดในการติดตามผลกระทบ 2) Local scale หรือภูมิอากาศระดับย่าน (The climate of neighborhood)

ขนาดทั่วไปอยู่ที่หนึ่งถึงหลายกิโลเมตรสามารถตรวจสอบได้จากสถานีภูมิอากาศมาตรฐานขององค์การอุตุนิยมวิทยาโลก (World Meteorological Organization, WMO) ที่ผลกระทบการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศมาจากการพัฒนาเมือง (เช่น วัสดุคลุมผิวดิน ขนาดและพื้นที่ของอาคาร กิจกรรมการใช้ประโยชน์) และ 3) Micro-scale หรือ ภูมิอากาศระดับจุลภาคเมือง (Urban microclimate) เกี่ยวข้องผลกระทบของ ขนาดของอาคาร ต้นไม้ ถนน สนามหญ้า สวน และอื่นๆ ต่อองค์ประกอบทางภูมิอากาศในระดับพื้นที่เฉพาะ ขนาดการวัดผลกระทบน้อยกว่า 1 เมตรถึงหลายร้อยเมตร ตัวอย่างเช่น เรขาคณิตอาคาร (Building geometry) หุบเขาถนน (Street canyon) ที่ขึ้นอยู่กับความสูงอาคารกับความกว้างของถนน (Building's height to street's width ratio หรือ H/W ratio) การวางแนวของอาคาร (Orientation) (Oke, 1987) ทั้งยังส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงปัจจัยสภาพแวดล้อมและภูมิอากาศที่ส่งผลกระทบต่อสภาวะน่าสบายในพื้นที่ภายนอกอาคาร (Outdoor thermal comfort) ในขณะที่ (ii) มาตรฐานตามแนวตั้ง (Vertical scale) จำแนกเป็น ชั้นเรือนยอดของเมือง (Urban canopy layer, UCL) ซึ่งเป็นชั้นบรรยากาศสูงจากพื้นดินสองถึงห้าเท่าของความสูงอาคารเฉลี่ย คือ ชั้นบรรยากาศจากพื้นดินถึงความสูงของอาคารโดยเฉลี่ยที่เป็นระบบสภาพแวดล้อมในเมืองส่วนใหญ่ที่มีกิจกรรมการใช้ประโยชน์อย่างเข้มข้นโดยมนุษย์ (Oke et al., 2017) ผลกระทบในระดับจุลภาคเกิดจากคุณสมบัติของแต่ละพื้นผิวและสิ่งกีดขวางการไหลเวียนอากาศ ผลกระทบสามารถเกิดขึ้นได้ทั้งแนวนอนและแนวตั้ง โดยในแนวนอนอยู่ประมาณไม่กี่ร้อยเมตร ในขณะที่แนวตั้งเกิดจากผลกระทบของ Roughness sub-layer (RSL) จากระดับพื้นไปถึงระดับความสูงของอาคาร กระแสลมเมื่อพัดผ่านจากชนบทมาสู่เมือง ที่มีตึกสูงและมีเสียดทานมากกว่า ก็จะทำให้ความเร็วลดลงและยกตัวสูงขึ้นในเมือง จึงเกิดชั้นบรรยากาศที่มีแรงเสียดทานพื้นที่เมือง (Urban Boundary layer, UBL) ส่วนชั้นที่เชื่อมต่อกันระหว่าง UCL และ UBL เรียกว่า ชั้นบรรยากาศผสม (Mixed layer) ในการศึกษาที่มุ่งให้ความสนใจวัดผลกระทบอาคารสูงต่อการเปลี่ยนแปลงสิ่งแวดล้อมเชิงความร้อนเมืองและสภาวะน่าสบายพื้นที่ภายนอกอาคารในระดับชั้นเรือนยอดของเมืองที่ระดับความสูงประมาณ 1.5–2.0 เมตร หรือ ระดับความสูงคนเดินเท้า (Pedestrian height)

1.1 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อสภาวะน่าสบายพื้นที่ภายนอกอาคาร

สภาวะน่าสบายเชิงความร้อนของมนุษย์ (Human thermal comfort) คือ สภาวะของจิตใจที่แสดงออกถึงความพึงพอใจต่อสภาพแวดล้อมทางความร้อน (ASHRAE Standard 55, 1992) นอกจากนี้การที่บุคคลจะอยู่ในสภาวะน่าสบายหรือไม่นั้น ขึ้นอยู่กับความสมดุลระหว่างความร้อนของร่างกายกับสภาพแวดล้อม (Stein, 1982) ดังนั้นการปรับปรุงสภาพแวดล้อมที่มีอิทธิพลต่อสภาวะน่าสบายจะช่วยให้มนุษย์ดำรงชีวิตอยู่ได้อย่างเหมาะสมและพึงพอใจ โดยต้องคำนึงถึงปัจจัยที่มีอิทธิพลประกอบด้วย

1) องค์ประกอบทางภูมิอากาศระดับจุลภาค โดยคำว่า Micro-climate ปรากฏครั้งแรกในปี ค.ศ.1950 จากสิ่งพิมพ์ชื่อ Climates in Miniature: A Study of Micro-Climate Environment (Franklin, 1955) ซึ่งเป็นคำที่ใช้อธิบายรูปแบบของสภาพภูมิอากาศพื้นที่เฉพาะ หรือ "The climate of a small area" ที่แตกต่างจากพื้นที่โดยรอบ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ความแตกต่างดังกล่าวส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงปัจจัยสภาพแวดล้อมและภูมิอากาศที่ส่งผลกระทบต่อสภาวะน่าสบายในพื้นที่ภายนอกอาคาร (Outdoor thermal comfort) ประกอบด้วย 4 ตัวแปรสำคัญ ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ (Air temperature, T_a) อุณหภูมิการแผ่รังสีความร้อนเฉลี่ย (Mean radiant temperature, T_{mrt}) ความเร็วลม (Wind speed, V) และความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity, RH) เนื่องจากภูมิอากาศระดับจุลภาคมีการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่และเชิงเวลาของค่าปัจจัยเชิงพื้นที่ต่างๆ โดยปัจจัยเหล่านี้จึงถูกนำมาใช้เพื่อประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้นในภูมิอากาศระดับจุลภาค (Hamdan & de Oliveira, 2019)

2) ปัจจัยส่วนบุคคล เป็นปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อสภาวะน่าสบายของมนุษย์เป็นตัวกำหนดการได้รับและการสูญเสียความร้อนจากผิวหนัง ประกอบด้วย อัตราการเผาผลาญพลังงานของร่างกาย หรือ Metabolic rate มีหน่วยเป็น Met (1 Met เท่ากับ 58.0 W/m^2 ($18.4 \text{ Btu/h}\cdot\text{ft}^2$) เท่ากับอัตราการผลิตพลังงานต่อหน่วยพื้นที่ผิวสัมผัสของมนุษย์ทั่วไปที่ทำกิจกรรมแบบนั่งพัก) โดยสามารถวัดค่าเป็นพลังงานต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ ขึ้นอยู่กับลักษณะการทำกิจกรรม เช่น การนั่ง เดิน วิ่ง นอน ออกกำลังกายหรือทำงาน ในขณะที่ฉนวนเสื้อผ้าที่สวมใส่ (Clothing insulation) หรือ Clo-value คือ ค่าความต้านทานหรือค่าความเป็นฉนวนของเสื้อผ้ามีหน่วยเป็น Clo (1 Clo จะมี

ค่าเท่ากับ $0.155 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ ($0.88 \text{ }^\circ\text{F ft}^2 \text{ h/Btu}$) เทียบเท่ากับชุดกางเกงขายาว เสื้อแขนยาวและเสื้อคลุม) ซึ่งค่า Clo ของเสื้อผ้าที่สวมใส่จะมีความแตกต่างกันและเป็นส่วนที่สำคัญต่อความรู้สึกสบาย เพราะเป็นฉนวนกันความร้อนและช่วยในการรักษาอุณหภูมิของร่างกายมนุษย์อีกชั้นหนึ่ง (de Dear & Brager, 1998)

3) การประเมินดัชนีสภาวะน่าสบายพื้นที่ภายนอกอาคาร การวัดสภาวะน่าสบายเชิงความร้อนถูกเผยแพร่เป็นครั้งแรกโดย Howard, Hill, Griffith, และ Doffon (อ้างใน Ghasemi et al., 2015) โดยปกติแล้วการประเมินสภาวะน่าสบายเชิงความร้อนภายนอกมี 2 วิธี วิธีแรกคือการประเมินโดยพิจารณาความสมดุลทางความร้อนของร่างกายมนุษย์ตามทฤษฎีสภาวะคงที่ (Steady-state model) วิธีที่สองคือ การประเมินโดยพิจารณาแบบจำลองการถดถอย (Regression model) โดยดัชนีแบบจำลองสภาวะน่าสบายเชิงความร้อนแบบคงที่ (Steady-state thermal comfort model) แบ่งเป็น 2 รูปแบบ (Lee et al., 2017) ดังนี้

3.1 ดัชนีสภาวะน่าสบายเชิงความร้อนเพื่อการประเมินพื้นที่ภายในอาคาร (Thermal comfort indices in indoor environment) อย่างเช่น Predicted Mean Vote (PMV) บ่งชี้ถึงค่าทำนายผลจากการลงมติเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างต่อความรู้สึกเชิงความร้อนที่ได้จากสิ่งแวดล้อมหรือ Effective Temperature (ET) คือ อุณหภูมิโดยรอบในสภาพแวดล้อม ณ ความชื้นสัมพัทธ์ 50% ทำให้บุคคลมีการถ่ายเทความร้อนเท่ากับเกิดขึ้นในสิ่งแวดล้อมจริง บ่งชี้ถึงความรู้สึกสบายของบุคคลที่สัมผัสกับอุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วลม ได้รับการพัฒนามาเป็น Standard Effective Temperature (SET) ที่มีค่าคำนวณค่าอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมมาตรฐานโดยใช้บุคคลมาตรฐาน (บุคคลที่สวมเสื้อผ้ามาตรฐานภายใต้กิจกรรมที่กำหนด) ดังนั้น การพิจารณาถึงค่า SET สามารถเปรียบเทียบความร้อนระหว่างสิ่งแวดล้อมที่แตกต่างกันได้

3.2 ดัชนีสภาวะน่าสบายเชิงความร้อนเพื่อการประเมินพื้นที่ภายนอกอาคาร (Thermal comfort indices in outdoor environment) เช่น Outdoor Standard Effective Temperature (OUT_SET) คือ ดัชนี SET ที่ถูกปรับปรุงเพื่อประเมินสภาวะน่าสบายกลางแจ้งพื้นที่ภายนอกอาคาร สามารถบ่งชี้ข้อมูลทางสรีรวิทยาของความสะอาดสบายทางความร้อนและความเครียดของมนุษย์ โดยเพิ่ม

ปัจจัยการแผ่รังสีแสงอาทิตย์ (Solar radiation) เข้าไปในการประเมิน และ Physiologically equivalent temperature (PET) ที่ถูกพัฒนามาจากดัชนี ET คือ ดัชนีประเมินสภาวะน่าสบายบ่งชี้อุณหภูมิที่ใช้แลกเปลี่ยนอุณหภูมิของร่างกายมนุษย์และสิ่งแวดล้อม ซึ่งมีต้นกำเนิดมาจากมาตรฐานทางวิศวกรรมของประเทศเยอรมัน และถูกนำมาศึกษาสภาวะน่าสบายพื้นที่ภายนอกอาคารในหลายงานวิจัย นอกจากนี้ยังมีดัชนี UTCI หรือ Universal Thermal Climate Index เป็นดัชนีประเมินความร้อน พัฒนามาเพื่อประเมินความร้อนของสภาพแวดล้อมต่อร่างกายมนุษย์ ดัชนี UTCI นี้สามารถประเมินการตอบสนองต่ออุณหภูมิของมนุษย์ได้ เช่น การไหลเวียนของเลือดที่ผิวหนัง การตอบสนองของเหงื่อ ตลอดจนการปรับสมดุลของร่างกายต่อความร้อน

ภายใต้สภาพแวดล้อมต่างๆ โดยแต่ละดัชนีมีรายละเอียดดังตารางที่ 1 เครื่องมือที่นิยมใช้ประเมินสภาวะน่าสบายพื้นที่ภายนอกอาคาร ตัวอย่างเช่น ENVI-met (BioMet), RayMan, OTC model, SOLWEIG และ UTCI calculator ซึ่งมีความสามารถในการประเมินดัชนีที่แตกต่างกันออกไป (ตารางที่ 2) PET ตั้งอยู่บนพื้นฐานของแบบจำลองสมดุลพลังงานของมนุษย์ที่เรียบง่าย “Munich Energy Balance Model for Individuals (MEMI)” (Hoppe, 1984) ปัจจัยกำหนดที่สำคัญที่สุดประการหนึ่งของ PET คือ อุณหภูมิการแผ่รังสีความร้อนเฉลี่ย (T_{mrt}) (Herrmann & Matzarakis, 2012) ปัจจุบัน PET เป็นหนึ่งในเครื่องมือที่ใช้กันมากที่สุด สำหรับการระบายความร้อนของมนุษย์ จึงเลือกใช้ในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้

ตารางที่ 1 ดัชนีชี้วัดสภาวะน่าสบายที่นิยมศึกษา (An overview of the indices commonly used in outdoor thermal comfort research)

ดัชนี	รูปแบบการประเมิน	ตัวแปรในการวิเคราะห์	หน่วยของดัชนี
Predicted mean vote (PMV)	สภาวะน่าสบายในร่ม	ปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิการแผ่รังสี ความเร็วลม ความชื้นสัมพัทธ์ และปัจจัยส่วนบุคคลทั้ง ฉนวนเสื้อผ้าและกิจกรรมที่กำลังทำ	อยู่ในช่วงระหว่าง -3 ถึง +3
Effective temperature (ET)	สภาวะน่าสบายในร่ม	ปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิการแผ่รังสี ความเร็วลม ฝน ความชื้นสัมพัทธ์ 50%	อุณหภูมิ องศาเซลเซียส
Standard Effective	สภาวะน่าสบายในร่ม	ปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิการแผ่รังสี ความเร็วลม ฝน ความชื้นสัมพัทธ์ 50% และปัจจัยส่วนบุคคลทั้งฉนวนเสื้อผ้าและกิจกรรมที่กำลังทำ	อุณหภูมิ องศาเซลเซียส
Outdoor Standard Effective Temperature	สภาวะน่าสบายกลางแจ้ง	พัฒนามาจาก SET โดยเพิ่มเติมใช้ค่ากิจกรรมและฉนวนเสื้อผ้าสำหรับกลางแจ้ง	อุณหภูมิ องศาเซลเซียส
Physiologically Equivalent temperature (PET)	สภาวะน่าสบายกลางแจ้ง	พัฒนามาจาก SET โดยเพิ่มเติมใช้ค่าปัจจัยส่วนบุคคลคือกิจกรรมและฉนวนเสื้อผ้าตามมาตรฐาน	อุณหภูมิ องศาเซลเซียส
UTCI Universal Thermal	สภาวะน่าสบายกลางแจ้ง	ปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิการแผ่รังสี ความเร็วลม ความชื้นสัมพัทธ์หรือความดันไอน้ำ และรูปแบบของเสื้อผ้า	อุณหภูมิ องศาเซลเซียส

ที่มา: Johansson et al., 2014

ตารางที่ 2 ซอฟต์แวร์ที่นิยมใช้ในการประเมินสภาวะน่าสบาย

โปรแกรม	PMV	PET	UTCI	SET
BioMet	/	/	/	
RayMan	/	/	/	/
OTC models		/	/	
SOLWEIG		/	/	
UTCI Calculator			/	

ที่มา: Dunjic, 2019 ปรับปรุงโดยผู้วิจัย, 2563

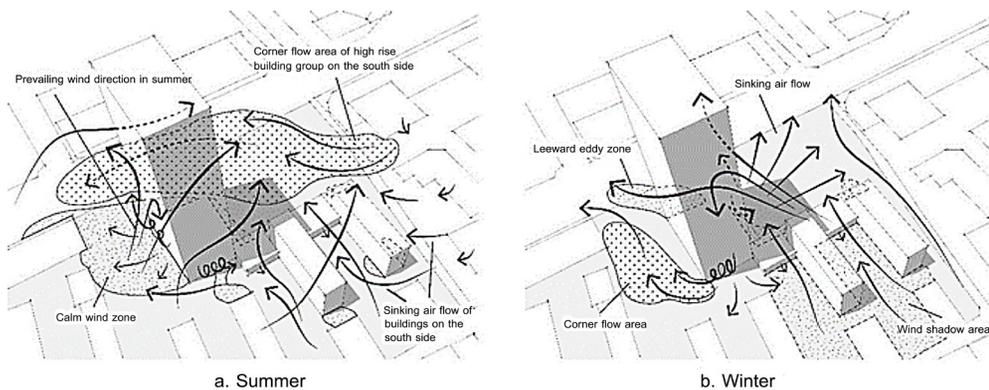
1.2 อิทธิพลของอาคารสูงต่อองค์ประกอบภูมิอากาศ

จุลภาค

อาคารสูงสามารถก่อให้เกิดผลกระทบด้านการบดบังแสงแดดต่อพื้นที่โดยรอบและกีดขวางการระบายอากาศ (Natural ventilation) ของลมประจำถิ่น ทั้งยังส่งผลกระทบต่อทางอ้อมต่อลักษณะภูมิอากาศระดับจุลภาคได้ เป็นที่รู้กันดีว่าลักษณะทางกายภาพของพื้นที่เป็นหนึ่งในปัจจัยที่สำคัญที่สุด ที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในเมือง (Rinchumphu et al., 2021; Oke 1981; Barring et al., 1985; Eliasson, 1996) ซึ่งภูมิอากาศจะแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม อาคารจึงเป็นหนึ่งในปัจจัยส่งผลกระทบต่ออุณหภูมิอากาศ คุณภาพอากาศ สภาวะน่าสบายของมนุษย์ เพราะรูปแบบอาคารสามารถส่งผลกระทบต่อความเร็วและทิศทางของลม โดยเป็นตัวเร่งหรือแนวกันลม และยังสามารถดักรังสีแสงอาทิตย์ผ่านการสะท้อนไปมาระหว่างหุบเขา เมืองทำให้มีผลโดยตรงต่อองค์ประกอบภูมิอากาศ โดยเฉพาะอาคารสูง ที่มีขนาดใหญ่จะสามารถส่งผลกระทบได้กว้างขึ้น

1) อาคารสูงทำให้มีการสะท้อนความร้อนและการดูดซับความร้อนที่มากกว่าอาคารทั่วไป ทั้งยังสามารถดักรังสีแสงอาทิตย์ผ่านการสะท้อนไปมาระหว่างอาคาร ทำให้เกิดความร้อนที่สูงขึ้น (Giannopoulou et al., 2010) ร่วมกับสภาพพื้นผิวของอาคารที่แตกต่างจากชนบท โดยพื้นผิวที่ถูกใช้แทนพืชพันธุ์นั้น เช่น คอนกรีต ยางมะตอย หิน มีความสามารถในการดูดซับและเก็บความร้อนได้ดีกว่าพืชพันธุ์ ความร้อนของพื้นผิวและวัสดุที่ถูกเก็บในเวลากลางวันจะมีปริมาณมาก จะถูกแผ่รังสีความร้อนกลับคืนสู่สภาพแวดล้อมในเวลากลางคืนทำให้อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น

2) อาคารสูงสามารถส่งผลกระทบต่อความเร็วและทิศทางของลม ด้วยการเป็นตัวเร่งหรือแนวกันลม ทำให้เกิดการขัดขวางการเคลื่อนที่ของลม หรือทำให้ความเร็วลมลดลง เวลาที่ไหลผ่านเขตเมือง ซึ่งทำให้ลดประสิทธิภาพในการระบายความร้อนที่เกิดขึ้นได้ (Detwyler, 1971) ความสูงต่ำและรูปทรงของอาคาร ส่งผลกระทบต่อผู้ใช้พื้นที่ภายนอกอาคารโดยตรง กระแสลมที่พัดผ่านช่องว่างอาคาร หรือปรากฏการณ์ช่องลม ทำให้เกิดเป็นช่องทางไหลเวียนของลม ทำให้เกิดลมกรรโชกแรง รบกวนการใช้งานและกิจกรรมบริเวณรอบอาคาร รวมถึงการเกิดพื้นที่อับลม อันเนื่องมาจากการบดบังกระแสลมของอาคารสูงหรืออาคารขนาดใหญ่ในบริเวณใกล้เคียง ส่งผลกระทบต่อทั้งในแง่ปัญหาการระบายอากาศ และสภาวะน่าสบายในบริเวณรอบ นอกจากนี้อาคารสูงมีอิทธิพลต่อการไหลของกระแสลม ในด้านที่ลมปะทะกับอาคารจะเกิดความกดอากาศสูง แต่ในด้านที่ตรงข้ามจะเกิดความกดอากาศต่ำ รวมถึงการเกิดความแปรปรวนของกระแสลม ในจุดที่ความกดอากาศสูงและความกดอากาศต่ำมาปะทะกัน (Stathopoulos & Blocken, 2016; Bennett et al., 2017; Yang & Fu, 2020) (รูปที่ 1)



ที่มา: Yang & Fu, 2020

รูปที่ 1 รูปแบบการไหลของลมรอบอาคารสูงที่ส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมของลมที่ระดับความสูงคนเดินเท้า (Wind flow pattern around a high-rise building that effect on the wind environment at pedestrian height)

ดังนั้น เมื่ออาคารแต่ละโครงการมีการพัฒนาโดยไม่คำนึงถึงบริบทด้านสภาพภูมิอากาศเมือง จะส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมโดยรอบที่ใกล้เคียงและทำให้สภาพแวดล้อมโดยเฉพาะพื้นที่ภายนอกอาคารแอ่ง (Futcher et al., 2017) และยิ่งกระทบต่อภูมิอากาศจุลภาคและสภาวะน่าสบาย ในบริเวณนั้นอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ โดยการศึกษาประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านภูมิอากาศเมืองโดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองทางภูมิอากาศจุลภาคเพื่อการประเมินผลกระทบของอาคารสูงต่อสิ่งแวดล้อมเชิงความร้อนเมืองและสภาวะน่าสบายพื้นที่ภายนอกอาคาร

2. วัตถุประสงค์การศึกษา

1) วิเคราะห์ผลกระทบของการพัฒนาโครงการอาคารสูงต่อภูมิอากาศจุลภาคผ่านแบบจำลองภูมิอากาศจุลภาคเมือง

2) ประเมินอาคารและพื้นที่ใกล้เคียงที่ได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศและสภาวะน่าสบายเชิงความร้อนจากการพัฒนาโครงการอาคารสูง

3. ระเบียบการวิจัย

การศึกษาผลกระทบของการก่อสร้างอาคาร เป็นการศึกษาผ่านพื้นที่กรณีศึกษา เพื่อประเมินขอบเขตพื้นที่และระดับความรุนแรงของผลกระทบที่เกิดขึ้น ด้วยการเปรียบเทียบการประเมินสถานการณ์ก่อนก่อสร้างโครงการ (Pre-construction evaluation) และภายหลังการดำเนินโครงการ (Post-construction evaluation) ใช้เป็นข้อมูลในการตรวจสอบผลกระทบและการเฝ้าระวังปัญหาด้านภูมิอากาศเมืองที่อาจเกิดขึ้น เพื่อนำไปสู่การเสนอแนะแนวทางการปรับปรุงและแก้ไขให้เหมาะสม

3.1 พื้นที่กรณีศึกษา

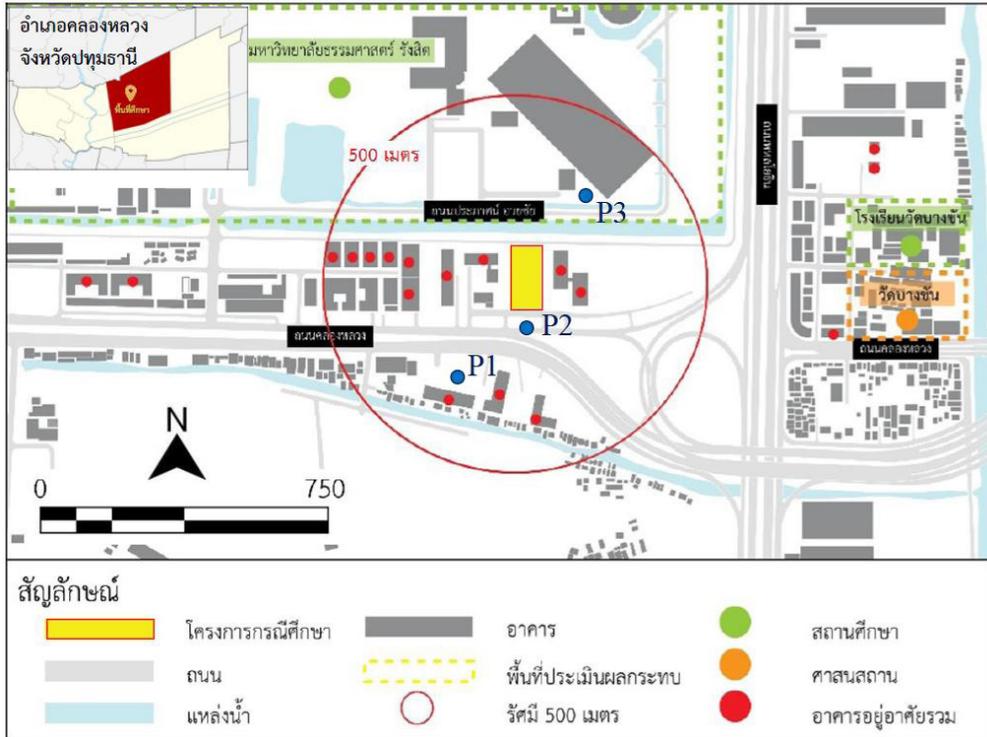
พื้นที่ศึกษาในจังหวัดปทุมธานี เป็นพื้นที่เกษตรกรรมกว้างใหญ่ถูกขนานนามว่า “ทุ่งรังสิต” ปัจจุบันได้รับผลกระทบจากกระบวนการกลายเป็นเมืองที่เปลี่ยนรูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดินจากพื้นที่เกษตรกรรมมาสู่พื้นที่รองรับการอยู่อาศัยจากกรุงเทพมหานคร โดยบริเวณมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ศูนย์รังสิตเป็นอีกพื้นที่หนึ่งที่ได้รับผลกระทบการเติบโตของที่อยู่อาศัยดังกล่าว จากการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรและความต้องการที่พักอาศัย ดึงดูดการลงทุนจากผู้ประกอบการอสังหาริมทรัพย์ทั้งภายในและทุน

ภายนอกพื้นที่ จากข้อมูลศูนย์ข้อมูลอสังหาริมทรัพย์ (Real Estate Information Center หรือ REIC) ได้ชี้ว่าเมื่อปี พ.ศ. 2561 จังหวัดปทุมธานีมีอาคารชุดสร้างแล้วเสร็จมากที่สุดในรอบ 10 ปี มีจำนวนถึง 6,005 อาคาร เมื่อเปรียบเทียบกับปี พ.ศ.2551 มีการออกใบอนุญาตก่อสร้างอาคารชุดเพียง 59 อาคาร รวมถึงพื้นที่อำเภอคลองหลวงมีการพัฒนาอาคารที่อยู่อาศัยรวมอย่างรวดเร็ว เนื่องจากเป็นเมืองมหาวิทยาลัยที่จากเดิมมีอาคารที่อยู่อาศัยรวม 4 โครงการ ในปี พ.ศ.2547 เมื่อผ่านไป 12 ปี ในปี พ.ศ.2559 มีอาคารที่อยู่อาศัยรวมถึง 38 โครงการในบริเวณใกล้เคียงจนในปัจจุบัน (พ.ศ.2562) มีการวางแผนโครงการพัฒนาอาคารสูงแห่งแรกในพื้นที่

การศึกษานี้ ทำการจำลองผลกระทบการพัฒนาโครงการอาคารสูง (สูงมากกว่า 23 เมตร) แห่งแรกในพื้นที่คลองหลวง จังหวัดปทุมธานี ติดทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 3214 (ถนนเชิงรึก) (รูปที่ 2) โดยเป็นอาคารที่มีพื้นที่ใช้สอยในอาคารรวม 34,500 ตารางเมตร สูง 31 ชั้น (อ้างอิงจากข้อมูลโครงการรายงานการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม โดยสำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม) ทั้งนี้ตามกฎหมายกระทรวงฉบับ 50 (พ.ศ.2540) ภายใต้พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 (Ratchakitcha, 1979) อนุญาตให้อาคารสูงใหญ่พิเศษที่มีพื้นที่รวมทุกชั้นใหญ่ ขนาด 30,000 ตารางเมตรขึ้นไป สามารถสร้างได้ ถ้าเขตทางสาธารณะกว้างถึง 18 เมตร นอกจากนั้นโครงการที่ถูกจำลองตั้งอยู่บนที่ดินประเภทชุมชน ตามกฎกระทรวงให้ใช้บังคับผังเมืองรวมจังหวัดปทุมธานี พ.ศ.2558 ซึ่งอนุญาตให้ใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่อการอยู่อาศัย พาณิชยกรรม เกษตรกรรม สถาบันการศึกษา สถาบันศาสนา สถาบันราชการ การสาธารณสุข โภคและสาธารณูปการ โดยในปี พ.ศ.2556 สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม (สผ.) ได้ปรับปรุงเกณฑ์การพิจารณาโดยระบุว่า ผู้ประกอบการต้องรับฟังความคิดเห็นของประชาชนที่อยู่อาศัยในระยะรัศมี 500 เมตรจากที่ตั้งโครงการ ในกระบวนการรับฟังความคิดเห็น การศึกษาคั้งนี้ จึงใช้เป็นระเบียบขอบเขตในการประเมินผลกระทบตามแนวทางของสำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม

3.2 ขอบเขตด้านเนื้อหา

การจำลองสถานการณ์ผ่านแบบจำลองภูมิอากาศจุลภาคเมืองด้วยโปรแกรม ENVI-met V4 ได้นำเข้าข้อมูลสภาพภูมิอากาศเฉลี่ยย้อนหลัง 3 ปี จากสถานีตรวจวัดอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยาอ้างอิงใกล้พื้นที่ศึกษาที่สถานี



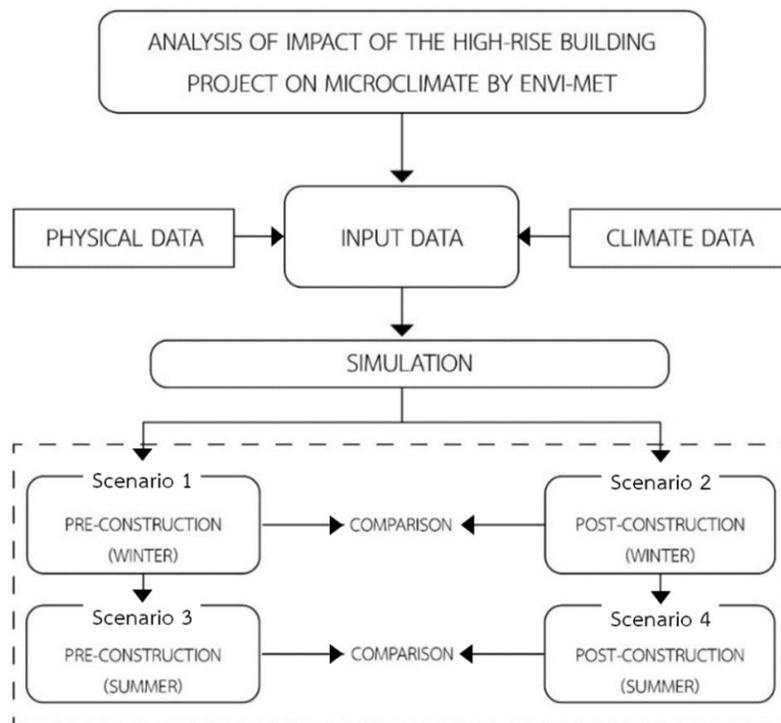
รูปที่ 2 แผนที่แสดงพื้นที่ศึกษาในอำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี และตำแหน่งจุดอ้างอิงเพื่อตรวจสอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง (Location map of the study area in Khlong Luang District, Pathumthani and reference points for simulation model validation)

อุดมศึกษาการเกษตร (สภษ.) ปทุมธานี เพื่อจำลองผลกระทบทั้งสิ้น 2 ช่วงเวลาคือ วันที่ 5 มกราคม พ.ศ. 2562 เป็นตัวแทนผลกระทบในช่วงฤดูหนาว ซึ่งได้รับอิทธิพลของลมทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ และวันที่ 3 พฤษภาคม พ.ศ.2562 ซึ่งมีอิทธิพลของลมจากทิศตะวันตกเฉียงใต้เป็นตัวแทนของฤดูร้อน เพื่อศึกษาผลกระทบของการพัฒนาโครงการอาคารสูงต่อภูมิอากาศจุลภาค และดัชนีสภาวะน่าสบายเชิงความร้อนพื้นที่ภายนอกอาคารผ่านเครื่องมือคำนวณ (Plugin tools) ชื่อ BioMet ของโปรแกรม ENVI-met สามารถประเมินค่าดัชนีอุณหภูมิเทียบเท่าทางสรีรวิทยา (Physiologically Equivalent Temperature หรือ PET) และนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงทั้งสภาพอากาศและ PET ในสถานการณ์ก่อนและหลังดำเนินการก่อสร้างต่อไป

3.3 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศผ่านโปรแกรม ENVI-met

โปรแกรม ENVI-met เป็นโปรแกรมจำลองสถานการณ์ของสภาพอากาศที่ตอบสนองต่อสภาพแวดล้อมในระดับจุลภาคของเมือง เพื่อจำลองการปฏิสัมพันธ์ระหว่างพืชและภูมิอากาศบนพื้นผิวในสภาพแวดล้อมของเมืองและยังจำลองสถานการณ์รอบอาคาร การถ่ายเทความร้อน

ที่พื้นผิวในเมือง คำนวณรายละเอียดเกี่ยวกับการแผ่รังสีคลื่นสั้นและคลื่นยาว การเกิดร่มเงา การสะท้อนกลับและการแผ่รังสีจากระบบของอาคารและพืชพรรณ ทำให้โปรแกรม ENVI-met ได้ผ่านการยอมรับและตรวจสอบอย่างกว้างขวางในปีที่ผ่านมา (Berardi & Wang, 2016) แต่ ENVI-met มีข้อด้อยด้านการจำลองสถานการณ์การปล่อยความร้อนที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น ความร้อนจากเครื่องยนต์เพื่อการจราจร หรือ การปรับอากาศ ในการศึกษานี้ ได้กำหนดขนาดของโดเมนพื้นที่จำลอง (Model domain) เพื่อทำการจำลองพื้นที่ผลกระทบขนาด 250×250×40 กริด (กว้าง×ยาว×สูง) ซึ่งแต่ละกริดมีขนาด 2×2×4 เมตร คิดเป็นพื้นที่ครอบคลุมในแนวราบที่ 500×500 เมตร เพื่อความละเอียดที่เหมาะสมต่อการประมวลผลโปรแกรมได้กำหนด โดยการจำลอง มีขั้นตอนดำเนินการดังรูปที่ 3 โดยนำเสนอ 2 กลุ่มสถานการณ์ ได้แก่ (i) สถานการณ์ก่อนก่อสร้างอาคารในฤดูหนาวและฤดูร้อน และ (ii) สถานการณ์หลังก่อสร้างอาคารในฤดูหนาวและฤดูร้อน ซึ่งมีการนำเข้าสู่ข้อมูลตั้งต้นดังตารางที่ 3 แสดงตัวแปรทางกายภาพนำเข้าในโปรแกรม ENVI-met ตารางที่ 4 แสดงตัวแปรทางภูมิอากาศที่ใช้สำหรับตั้งค่าตั้งต้น และตารางที่ 5 แสดงการจำลองสามมิติ (3D) หลังนำเข้าข้อมูลแล้ว



รูปที่ 3 แสดงขั้นตอนการวิเคราะห์ผลกระทบของอาคารสูงต่อภูมิอากาศระดับจุลภาคโดยแบบจำลอง ENVI-met (Flow diagram of assessment the impact of high-rise building on the microclimate by ENVI-met model)

ตารางที่ 3 การกำหนดลักษณะทางเลขาคณิตแบบจำลองเพื่อตรวจสอบผลกระทบก่อนและหลังก่อสร้างอาคาร (Model geometry setting to investigate the effects of pre- and post-construction)

ข้อมูลทางกายภาพ	ก่อนก่อสร้างอาคาร	หลังก่อสร้างอาคาร
ความสูงอาคารเฉลี่ย (เมตร)	11.5	13.3
ความสูงอาคารสูงสุด (เมตร)	27	93
พื้นที่อาคารคลุมดิน (ร้อยละ)	15.7	21
พื้นที่พืชพันธุ์คลุมดิน (ร้อยละ)	14.9	20.8

ที่มา: ผู้วิจัย, 2563

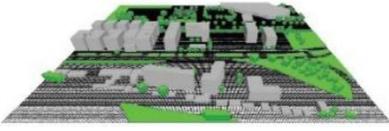
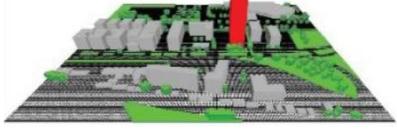
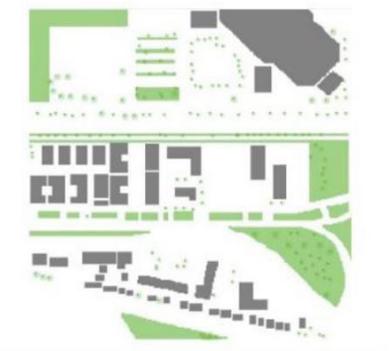
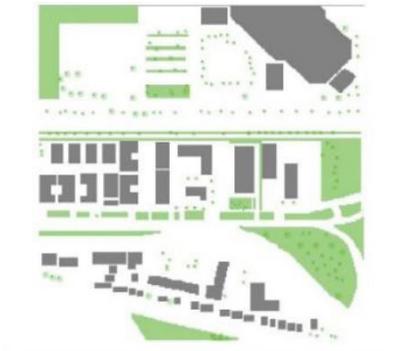
ตารางที่ 4 แสดงการจำลองข้อมูลตั้งต้นภูมิอากาศในแบบจำลองฤดูหนาวและฤดูร้อน (Initial data setting for microclimate model configurations in winter and summer)

ข้อมูลภูมิอากาศตั้งต้น	แบบจำลองฤดูหนาว	แบบจำลองฤดูร้อน
วันที่เริ่มจำลอง	5/1/2562	3/5/2562
เวลาที่เริ่มจำลอง	7.00 น.	7.00 น.
เวลาที่เข้าจำลอง	12	12
ความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)*	5	6
ทิศทางลม*	NE (45°)	WSW (220°)
อุณหภูมิอากาศ (องศาเซลเซียส)	25	32.2
ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	74	70

หมายเหตุ: * ที่ความสูง 10 เมตร ข้อมูลจากสถานีอุตุนิยมวิทยาการเกษตร (สกษ.) ปทุมธานี

ที่มา: ผู้วิจัย, 2563

ตารางที่ 5 ลักษณะสามมิติและสองมิติของเลขาคณิตแบบจำลอง ENVI-met สถานการณ์ก่อนและหลังก่อสร้าง (The ENVI-met model 2D and 3D geometry settings in pre- and post-construction scenarios)

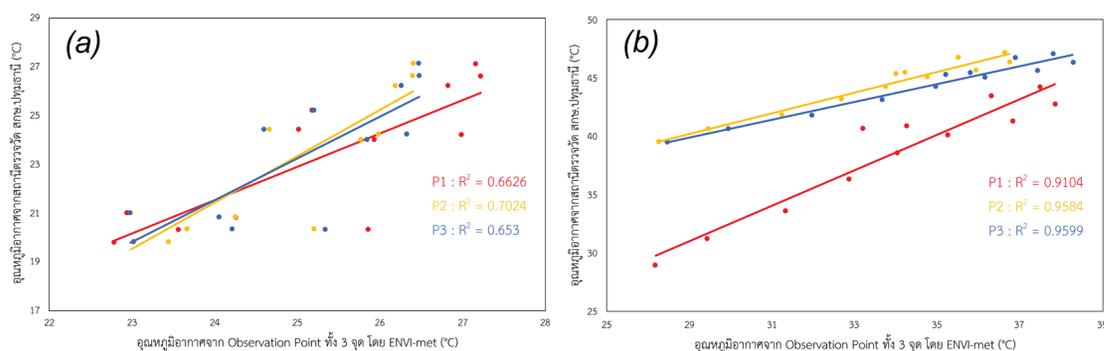
	ก่อนการก่อสร้างโครงการ	หลังการก่อสร้างโครงการ
การนำเข้าข้อมูลทางกายภาพ ของกรณีศึกษา 3D		
การนำเข้าข้อมูลทางกายภาพ ของกรณีศึกษา 2D		

ที่มา: ผู้วิจัย, 2563

ตารางที่ 6 การตรวจสอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลองจากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจในการศึกษาก่อนหน้า (Sample of the model validation using coefficient of determination from previous studies)

นักวิจัย	งานวิจัย	ค่าความสัมพันธ์ (R^2)
Berardi & Wang, 2016	The Effect of a Denser City over the Urban Microclimate: The case of Toronto	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศจาก ENVI-met และพื้นที่ศึกษาเมืองโตรอนโตประเทศแคนาดาจุดที่ 1 มีค่า R^2 เท่ากับ 0.75 จุดที่ 2 มีค่า R^2 เท่ากับ 0.88
Lee et al., 2016	Contribution of trees and glasslands to the mitigation of human heat stress in a residential district of Freiburg, Southwest Germany	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศกับอุณหภูมิการแผ่รังสีจาก ENVI-met และ พื้นที่ศึกษาเมืองไฟรบวร์ก ประเทศเยอรมัน มีค่า R^2 เท่ากับ 0.85 และ 0.86 ตามลำดับ
Jin et al., 2017	The Effects of Residential Area Building Layout on Outdoor Wind Environment at the pedestrian Level in Severe Cold Regions of China	ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมจาก ENVI-met และพื้นที่ศึกษาเมืองฮาร์บินประเทศจีน มีค่า R^2 เท่ากับ 0.68
Fahmy et al., 2018	On the Development and Optimization of an urban design Comfort Model (UDCM) on a Passive Solar Basis at Mid-Latitude Sites	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิการแผ่รังสีจาก ENVI-met และพื้นที่ศึกษาเมืองโคโรประเทศอียิปต์ มีค่า R^2 เท่ากับ 0.90

ที่มา: ผู้วิจัย, 2563



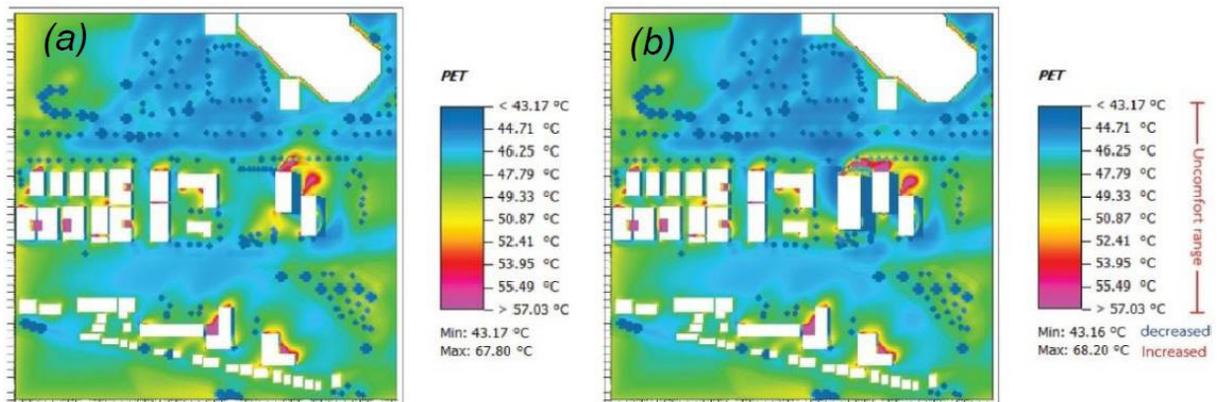
รูปที่ 4 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนดของอุณหภูมิอากาศระหว่างผลการจำลอง ENVI-met และสถานีตรวจวัดอ้างอิงใกล้พื้นที่ศึกษา (a) ฤดูหนาว และ (b) ฤดูร้อนของจุดอ้างอิง (Coefficient of determination between ENVI-met simulated results and measured air temperature from a reference monitoring station nearest the study area in (a) winter and (b) summer of reference points)

ตรวจสอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง (Model validation) คำนวณค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of determination) หรือค่า R-Squared (หรือ R^2) โดยค่า R^2 ที่เข้าใกล้ 1 แสดงถึงค่าผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองนั้นสามารถอธิบายความผันแปรของค่าที่ได้จากสถานีตรวจวัดอ้างอิงใกล้พื้นที่ศึกษาได้เป็นอย่างดี ซึ่งเป็นวิธีการตรวจสอบความน่าเชื่อถือวิธีนี้ได้รับความนิยมจากหลายงานวิจัย (ตารางที่ 6) โดยนำข้อมูลอุณหภูมิอากาศ เวลา 07.00 น. – 18.00 น. จากสถานีตรวจวัดอากาศที่สถานีตรวจอุตุนิยมวิทยาการเกษตร จังหวัดปทุมธานี (14.116 °N, 100.621 °E) กับ ข้อมูลอุณหภูมิอากาศ จากผลการวิเคราะห์โดย ENVI-met ซึ่งสำรวจ 3 จุด อ้างอิงสำหรับการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Reference points for model validation) (ตำแหน่งแสดงในรูปที่ 1) มาเปรียบเทียบกับทั้งในฤดูหนาวและฤดูร้อน พบว่าแบบจำลองฤดูหนาวมีค่าความคลาดเคลื่อน (R^2) มีค่าระหว่าง 0.65– 0.70 (รูปที่ 4a) ส่วนแบบจำลองในฤดูร้อน มีค่าความคลาดเคลื่อนค่าระหว่าง 0.91–0.96 (รูปที่ 4b) ซึ่งความน่าเชื่อถือของแบบจำลองผลใกล้เคียงกับผลการตรวจสอบความน่าเชื่อถือในการศึกษาของนักวิจัยอื่น ๆ

3.4 ผลการเฝ้าสังเกตการเปลี่ยนแปลงสภาวะน่าสบายผ่านเครื่องมือ BioMet

การศึกษานี้ประเมินการเปลี่ยนแปลงของสภาวะน่าสบายด้วยเครื่องมือ BioMet ในโปรแกรม ENVI-met คำนวณค่าดัชนีอุณหภูมิเทียบเท่าทางสรีรวิทยา (PET) โดยการนำผลลัพธ์จากการจำลองข้อมูลสภาพภูมิอากาศที่ได้จากการจำลองสถานการณ์ในขั้นตอนแรกถูกนำเข้าสู่ BioMet โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์ของมนุษย์ในขั้นตอน

การคำนวณ BioMET อ้างอิงจากผลการสำรวจความรู้สึกเชิงความร้อน (Thermal sensation survey) ในพื้นที่ศึกษา (Srivanit & Jareemit, 2016) ที่เป็นเพศชาย อายุ 35 ปี น้ำหนัก 58 กิโลกรัม ส่วนสูง 1.66 เมตร และค่าจำนวนเสื้อผ้าเฉลี่ยที่ 0.43 Clo และอัตราการเผาผลาญ 80 W/m² (สำหรับการทำกิจกรรมนั่งหรือยืน) ผลลัพธ์ที่ได้คือค่า PET รายชั่วโมงคำนวณได้จาก BioMET เป็นข้อมูลเพื่อประมาณหาช่วงอุณหภูมิสบายที่ยอมรับได้ในสภาพแวดล้อมภายนอกอาคาร (Acceptable range of thermal comfort in outdoor environment) ช่วงตั้งแต่ 25.1 –35.2 °C PET เรียกอุณหภูมิช่วงนี้ว่า สภาวะน่าสบาย (Comfort zone) ดังนั้นถ้าพื้นที่ใดพบค่า PET มากกว่า 35.2 °C (หรือ Upper limit of the comfort zone) และ PET น้อยกว่า 25.2 °C (หรือ Lower limit of the comfort zone) พื้นที่ดังกล่าวจะตกอยู่ในเขตสภาวะไม่น่าสบาย (Uncomfortable conditions) (รูปที่ 5) เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการวิเคราะห์ผลกระทบของการพัฒนาโครงการอาคารสูงต่อสภาวะน่าสบายพื้นที่ภายนอกอาคารที่ระดับความสูง 2.0 เมตร จากพื้นดิน หรือ ที่ระดับความสูงของคนเดินเท้า (Pedestrian height level) ในภูมิอากาศชั้นเรือนยอด (Canopy layer climate) ส่งผลต่อการอาศัยอยู่ของมนุษย์ และการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศจุลภาค (Micro-climatic conditions) ที่ประกอบด้วย อุณหภูมิอากาศ (Air temperature, Ta) ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity, RH) อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย (Mean radiant temperature, Tmrt) และความเร็วลม (Wind velocity, V) เปรียบเทียบผลลัพธ์แบบจำลอง ENVI-met ระหว่างสถานการณ์ก่อนและหลังก่อสร้างผ่านโปรแกรมแสดงผล LEONARDO 3.0



รูปที่ 5 ตัวอย่างผลลัพธ์ ENVI-met BioMet ในการคำนวณค่าดัชนี PET ของสถานการณ์ (a) ก่อนและ (b) หลังก่อสร้างที่เวลา 14:00 น. ช่วงฤดูร้อนที่ความสูงของคนเดินเท้า (Sample the ENVI-met BioMet tool to calculate PET values in the pre- and post-construction scenarios at 14:00 hrs. during summer at pedestrian height)

4. ผลการศึกษา

4.1 ผลกระทบของอาคารสูงต่อภูมิอากาศจุลภาค

ประเมินผลกระทบของอาคารสูงต่อภูมิอากาศจุลภาคโดยนำผลการจำลองสภาพภูมิอากาศเปรียบเทียบระหว่างสถานการณ์ก่อนและหลังก่อสร้างเพื่อแบ่งพื้นที่ผลกระทบออกเป็น 3 บริเวณ ได้แก่ (i) สีแดง หมายถึง พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบที่เพิ่มสูงขึ้น (Increasing Impacts) (ii) สีน้ำเงิน หมายถึง พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบที่ลดลง (Decreasing impacts) และ (iii) สีขาว หมายความว่า พื้นที่ที่ไม่ได้รับผลกระทบ (Not impacts) เพื่อรับรู้ผลกระทบและขอบเขตของผลกระทบต่อภูมิอากาศจุลภาคที่แตกต่างไปในแต่ละช่วงเวลาในแต่ละฤดู โดยพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ สามารถประเมินผลต่อการใช้ชีวิตประจำวันของมนุษย์ในบริเวณนั้น (ตารางที่ 7-10 และ รูปที่ 6) ได้แก่

1) *ผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศ (The impacts on changing air temperature)* ในฤดูหนาวพบพื้นที่บริเวณด้านหน้าอาคารทางด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้ได้รับผลกระทบการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศที่เพิ่มสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากเป็นฤดูที่เส้นทางวิถีวงโคจรของดวงอาทิตย์ (Sun path) จะเป็นแสงอ้อมจากทางทิศใต้ทำให้พื้นที่บริเวณดังกล่าวได้รับการตกกระทบของแสงแดดได้ดีในช่วงเช้าที่พระอาทิตย์ขึ้นทางทิศตะวันออกเฉียงใต้และช่วงเย็นที่พระอาทิตย์ตกด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้จะส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมเชิงความร้อนบริเวณดังกล่าวสูงขึ้น ในขณะที่เดียวกัน วัสดุผนังอาคารด้านทิศใต้จะส่งผลกระทบต่อรังสีจากดวงอาทิตย์ (Reflected solar radiation) และแผ่รังสีคลื่นยาวที่ปล่อยออกมาจากอาคาร (Emitted long-wave radiation from buildings) ส่งผลให้สภาพแวดล้อมเชิงความร้อนภายนอกอาคารเปลี่ยนแปลงสูงขึ้น ในฤดูร้อนวิถีวงโคจรของดวงอาทิตย์ในช่วงเช้าจะอ้อมทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือทำให้ช่วงเช้าอุณหภูมิอากาศจะเพิ่มสูงขึ้นบริเวณด้านทิศเหนือของพื้นที่อาคารสูงกลางวันดวงอาทิตย์อยู่ในตำแหน่งเกือบตั้งฉาก (Perpendicular position) ซึ่งส่งผลให้อุณหภูมิอากาศเกิดการเปลี่ยนแปลง (ตารางที่ 7)

2) *ผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย (The impacts on changing mean radiant temperature)* เป็นอุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวที่ล้อมรอบจุดใดจุดหนึ่ง โดยมีการแลกเปลี่ยนรังสีความร้อน (Exchange thermal radiation) หากเป็นพื้นที่ภายนอกอาคาร จะความ

สัมพันธ์กับรังสีจากดวงอาทิตย์ (Solar radiation) ซึ่งพบว่าในช่วงวิถีวงโคจรของดวงอาทิตย์ในฤดูหนาวจะส่งผลให้ Solar azimuth angle หรือ มุมระหว่างระนาบแนวตั้งของดวงอาทิตย์อ้อมทางทิศใต้กระทบกับวัสดุคลุมพื้นและผนังอาคารด้านใต้มีอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยเพิ่มสูงขึ้น โดยบริเวณที่อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยลดลงเกิดจากการทอดตัวของเงาอาคารในทิศเหนือทิศตรงข้ามกับวิถีวงโคจรของดวงอาทิตย์ ในขณะที่ฤดูร้อนมีแนวโน้มได้รับผลกระทบสูงกว่า อาจจะเป็นเนื่องมาจากมุมของแสงจากอาทิตย์อยู่ในตำแหน่งตั้งฉากกับพื้น หรือ Perpendicular rays of the sun ส่งผลต่อการดูดซับและสะท้อนรังสีคลื่นยาวที่แผ่กระจายออกมา (Longwave radiation emitted) จากวัสดุคลุมพื้นที่จากรังสีตกกระทบแนวตั้งฉาก (Perpendicularly incident rays) ไปสู่สภาพแวดล้อมภายนอกอาคาร (ตารางที่ 8)

3) *ผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงความเร็วลม (The impacts on changing wind velocity)* อาคารที่สูงส่งผลกระทบต่อความเร็วของความเร็วลม (Acceleration of wind speed) ในทิศทางลมเข้าปะทะอาคารสูงและรูปแบบของลมในระดับความสูงคนเดินเท้าโดยเฉาะอย่างยิ่งบริเวณพื้นที่มุมตึกส่งผลให้รูปแบบการไหลของลม (Wind flow pattern) เกิดลมไหลแรงด้านหน้าและด้านข้างอาคารในลักษณะการม้วนตัวของกระแสลมแบบ Horseshoe vortex ในขณะที่เดียวกันอาคารที่สูงเกิดการปะทะของลมสร้างลมเคลื่อนที่ไหลลง (Downflow wind) ลงมายังด้านหน้าอาคาร ผลการประเมินพบว่าความเร็วของลมเฉลี่ยสูงสุดจะพบในฤดูร้อนที่ลมพัดมาทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ทำให้ความเร็วลมเฉลี่ยเพิ่มสูงครอบคลุมพื้นที่มุมด้านข้างอาคารสูงที่ความเร็วสูงสุดประมาณ 3.5 m/s ซึ่งตกอยู่ในช่วง 3.3-5.3 m/s ตามมาตรฐานอนุสัญญามหาวิทยาลัยเรียกขนาดของลมกลุ่มนี้ว่า ลมโชย (Gentle breeze) สร้างผลกระทบเพียงใบไม้และกิ่งไม้เล็ก ๆ กระดิกขงปลิว (ตารางที่ 9)

4) *ผลกระทบด้านความชื้นสัมพัทธ์ (The impacts on changing relative humidity)* ความชื้นสัมพัทธ์คือ จำนวนไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศ ความชื้นของอากาศมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความดันอากาศและอุณหภูมิ ดังนั้นความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศแตกต่างกันไปตามสถานที่ โดยความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศที่เย็นจะสูงกว่าอากาศที่อุ่น ซึ่งจากผลการประเมินกระทบของอาคารสูงทำให้ พบว่า ระดับความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้นและลดลงจากค่าเฉลี่ยที่อยู่ราว 66%-77%

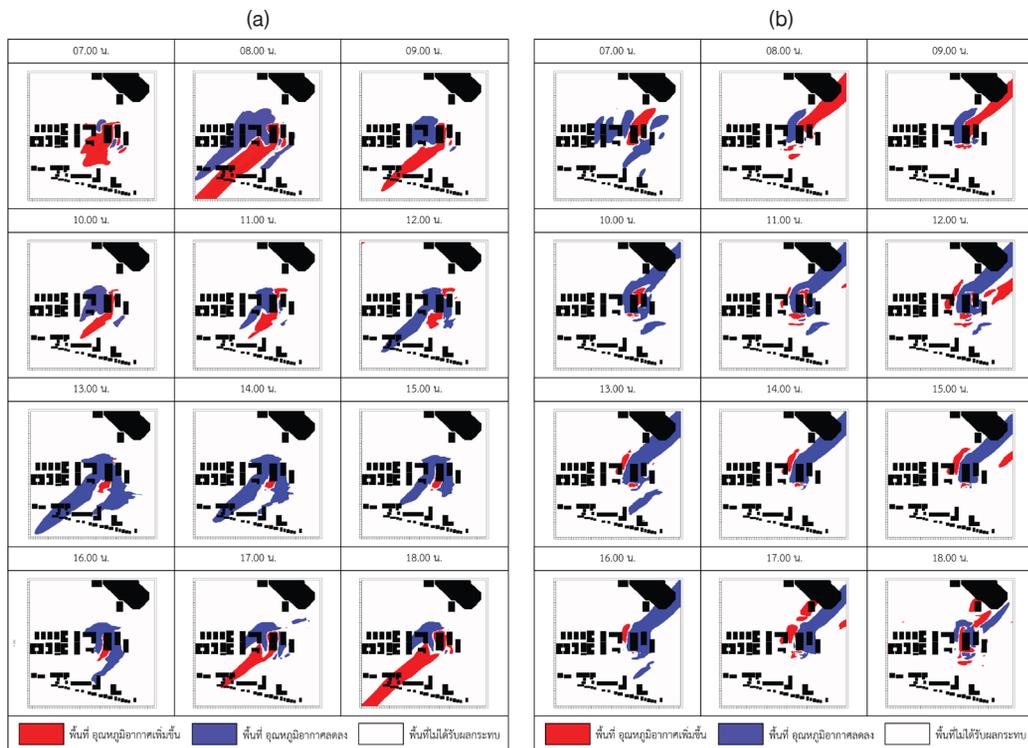
RH ทั้งสองฤดูและสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงของ อุณหภูมิอากาศ (ตารางที่ 10) โดยปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ ในอากาศที่เหมาะสมต่อสภาวะน่าสบายของคนอยู่ที่ 30%– 70% RH หรือ Limits of environment conditions for human comfort (Miu, 2015)

ในฤดูหนาวการก่อสร้างโครงการอาคารสูง ทำให้ อุณหภูมิอากาศ (Ta) (รูปที่ 7a) มีการเปลี่ยนแปลงน้อย มาก และการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นเป็นบริเวณแคบๆ รอบตัว โครงการและส่งผลออกตามแนวทิศตะวันตกเฉียงใต้ที่เป็น ผลจากลมที่มาจากทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่ง Ta มี ค่าการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วงระหว่าง $-0.70 - 0.40$ °C ส่วนความชื้นสัมพัทธ์ (RH) (รูปที่ 7d) มีการเปลี่ยนแปลง ระดับหนึ่ง เช่นเดียวกับอุณหภูมิอากาศการเปลี่ยนแปลง เกิดขึ้นเป็นบริเวณแคบๆ รอบตัวโครงการและส่งผลออก ตามตามแนวทิศตะวันตกเฉียงใต้ เป็นผลมาจากลมที่มา จากทิศตะวันออกเฉียงเหนือ โดย RH มีค่าการเปลี่ยนแปลง ระหว่าง $-3.09 - 2.29$ %RH ในขณะที่อุณหภูมิการแผ่รังสี เฉลี่ย (Tmrt) (รูปที่ 7b) ลดลงอย่างชัดเจนตามการทอดตัว ของเงาอาคาร ซึ่งมีการลดลงของ Tmrt โดยรอบสูงสุดถึง 28.99 °C บริเวณที่เงาทอดตัวในเวลา 09:00 น. นอกจากนี้ อาคารสูงยังทำให้เกิดลมวนโดยอาคารสูงทำหน้าที่เป็นทั้ง ตัวเร่งลมและตัวต้านลม เพราะมีการเปลี่ยนแปลงความเร็ว

ลม (V) มากในบริเวณรอบโครงการ มีค่าการเปลี่ยนแปลง V อยู่ที่ $-2.58 - 3.88$ m/s (รูปที่ 7c)

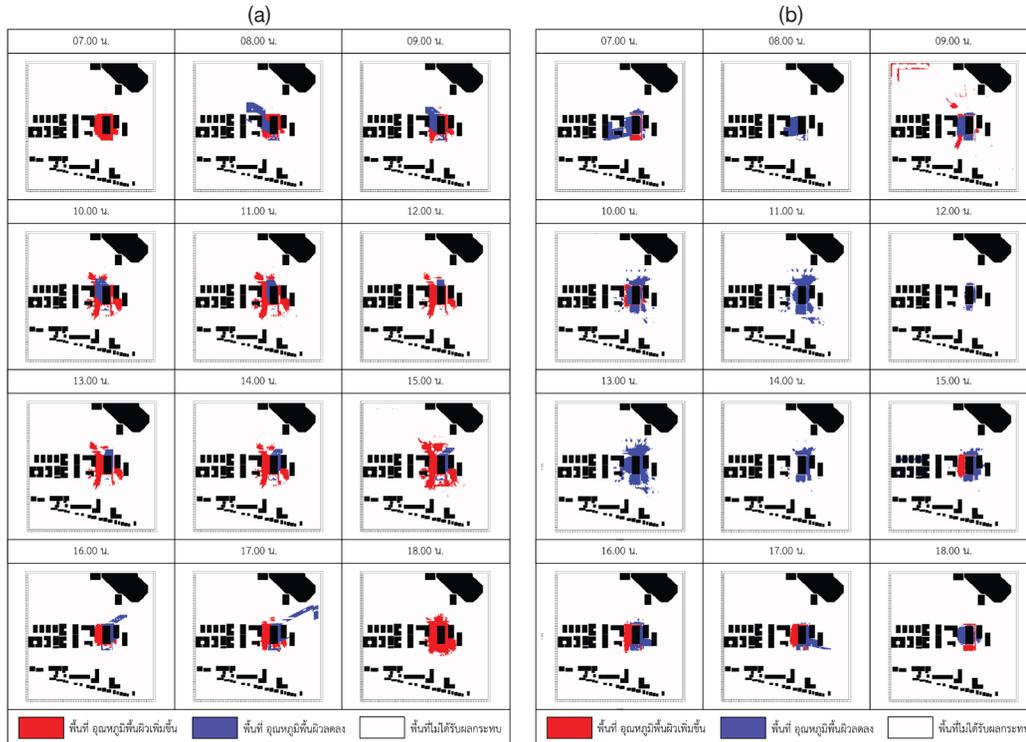
ในฤดูร้อน การก่อสร้างโครงการอาคารสูงทำให้ อุณหภูมิอากาศมีการเปลี่ยนแปลงมากกว่าฤดูหนาว แต่ การเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นเป็นบริเวณแคบๆ รอบตัวโครงการ เช่นเดียวกัน นอกจากนี้ ผลกระทบเกิดตามตามแนว ทิศตะวันออกเฉียงเหนือที่เป็นผลมาจากลมที่มาจาก ทิศตะวันตกเฉียงใต้ ซึ่ง Ta มีค่าการเปลี่ยนแปลงประมาณ $-0.85 - 1.21$ °C ส่วนความชื้นสัมพัทธ์มีการเปลี่ยนแปลง ระดับหนึ่ง เช่นเดียวกับอุณหภูมิอากาศการเปลี่ยนแปลง เกิดขึ้นเป็นบริเวณแคบๆ รอบตัวโครงการ และส่งผลออก ตามตามแนวทิศตะวันตกเฉียงใต้ที่เป็นผลมาจากลมที่มา จากทิศตะวันออกเฉียงเหนือ โดยมีค่า RH การเปลี่ยนแปลง ประมาณ $-10.30 - 4.99$ %RH ในขณะที่ Tmrt โดยรอบมี การลดลงอย่างเห็นได้ชัดตามการทอดตัวของเงาอาคาร ซึ่ง มีการลดลงของอุณหภูมิ Tmrt สูงสุดถึง 28.40 °C บริเวณ ที่เงาทอดตัวในเวลา 09:00 น. เช่นเดียวกับฤดูหนาว นอกจากนั้นอาคารสูงยังทำให้เกิดลมวนโดยอาคารสูง ทำหน้าที่เป็นทั้งตัวเร่งลมและตัวต้านลม เพราะมีการ เปลี่ยนแปลงความเร็วลมค่อนข้างมากในบริเวณรอบ โครงการ มีค่าการเปลี่ยนแปลง V อยู่ระหว่าง $-3.66 - 3.59$ m/s (รูปที่ 8)

ตารางที่ 7 การเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงค่าอุณหภูมิอากาศใน (a) ฤดูหนาว และ (b) ฤดูร้อน (Comparison of the different air temperature changes in (a) winter and (b) summer)



ที่มา: ผู้วิจัย, 2563

ตารางที่ 8 การเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยใน (a) ฤดูหนาว และ (b) ฤดูร้อน
(Comparison of the different mean radiant temperature changes in (a) winter and (b) summer)



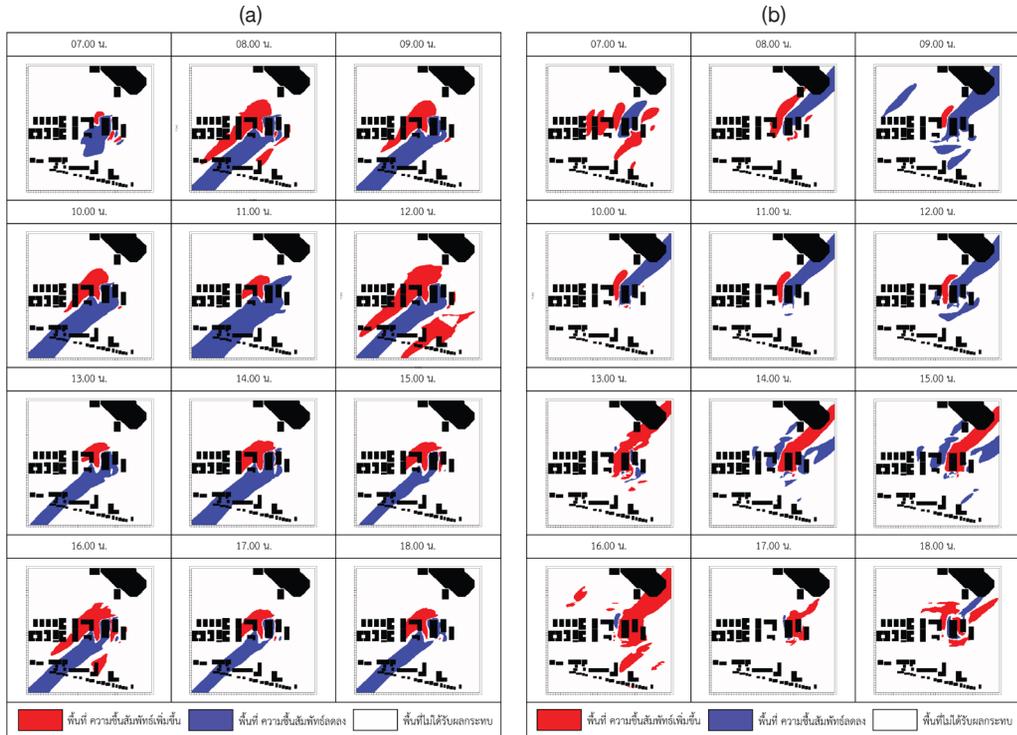
ที่มา: ผู้วิจัย, 2563

ตารางที่ 9 การเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงค่าความเร็วลมใน (a) ฤดูหนาว และ (b) ฤดูร้อน
(Comparison of the different wind speed changes in (a) winter and (b) summer)

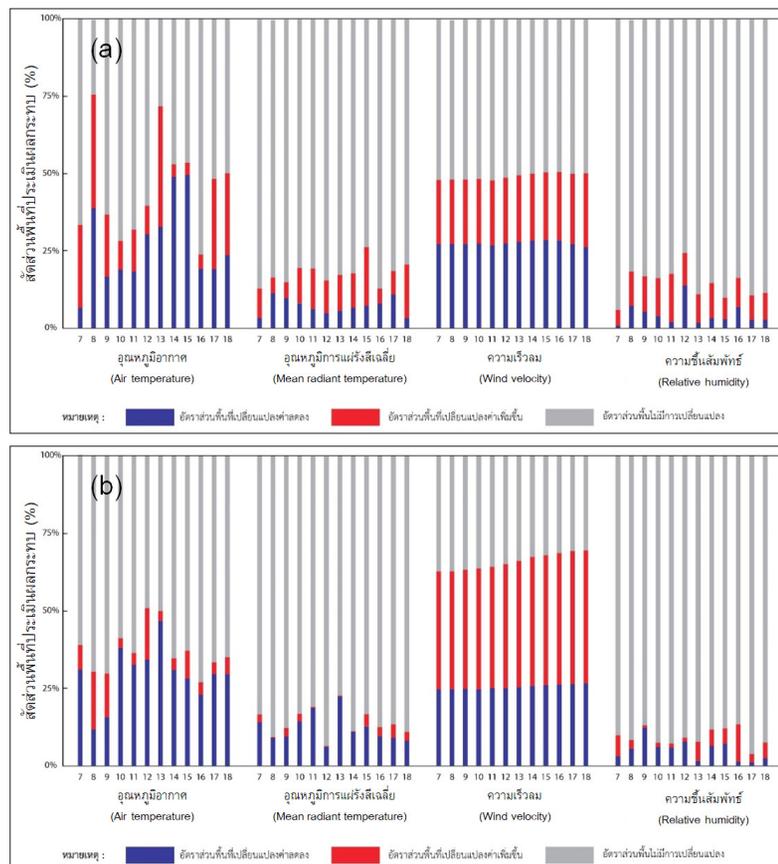


ที่มา: ผู้วิจัย, 2563

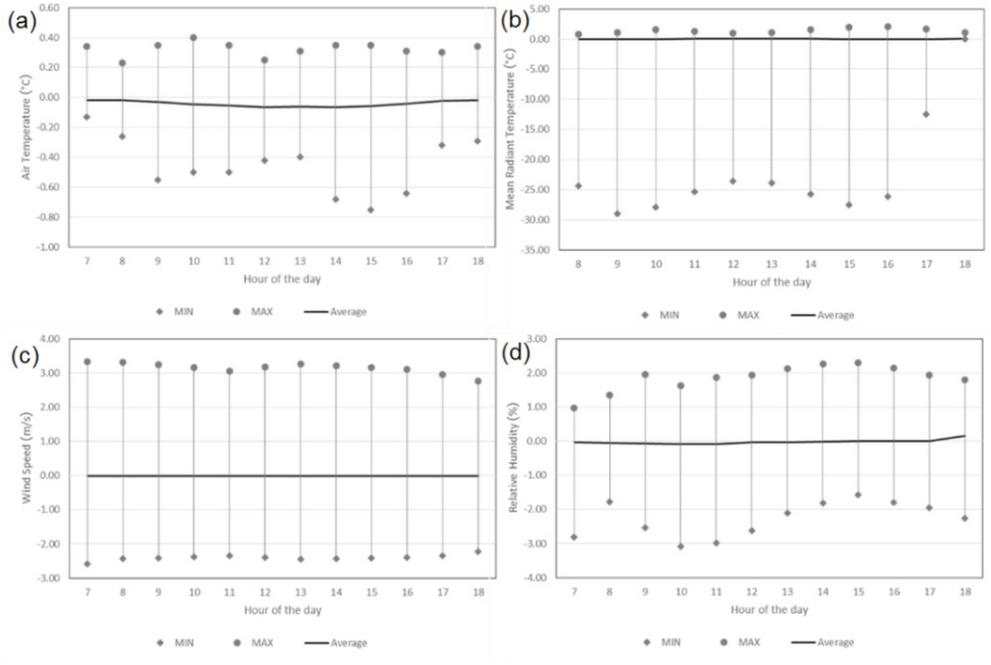
ตารางที่ 10 การเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นสัมพัทธ์ใน (a) ฤดูหนาว และ (b) ฤดูร้อน
(Comparison of the different humidity relative changes in (a) winter and (b) summer)



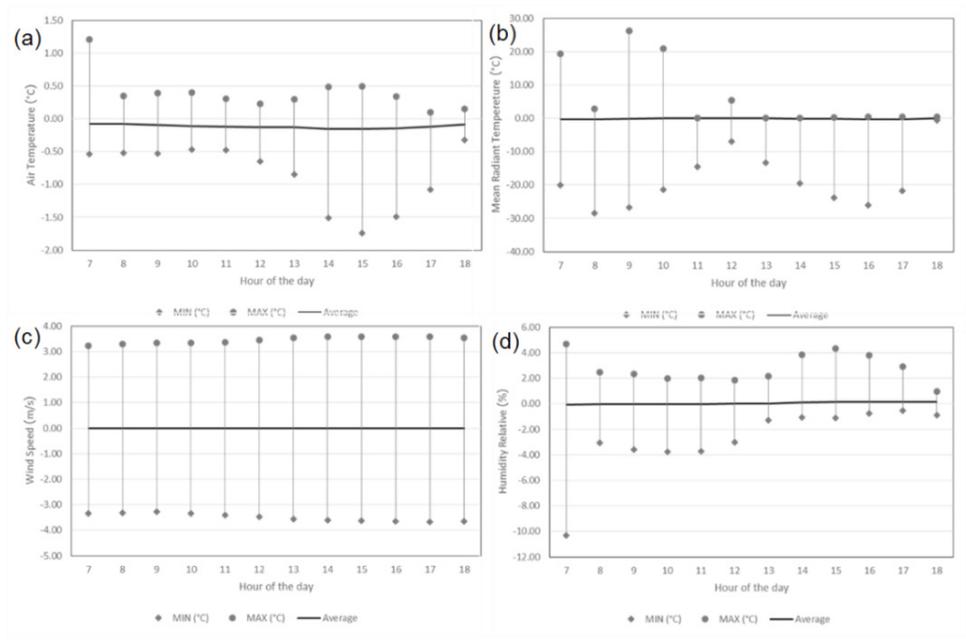
ที่มา: ผู้วิจัย, 2563



รูปที่ 6 อัตราส่วนร้อยละของพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศจุลภาคในระยรัศมี 500 เมตรจากที่ตั้งโครงการ: (a) ฤดูหนาว และ (b) ฤดูร้อน (The percentage of the area affected by microclimate changes within a radius of 500 meters from the project location: (a) winter and (b) summer)



รูปที่ 7 ความแตกต่างของสภาพภูมิอากาศจุลภาคระหว่างสถานการณ์ก่อนและหลังก่อสร้าง: (a) อุณหภูมิอากาศ (b) อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย (c) ความเร็วลม และ (d) ความชื้นสัมพัทธ์ ในฤดูหนาว (Micro-climatic conditions difference between pre- and post-construction scenarios of: (a) air temperature, (b) mean radiant temperature, (c) wind speed, and (d) humidity relative in winter)

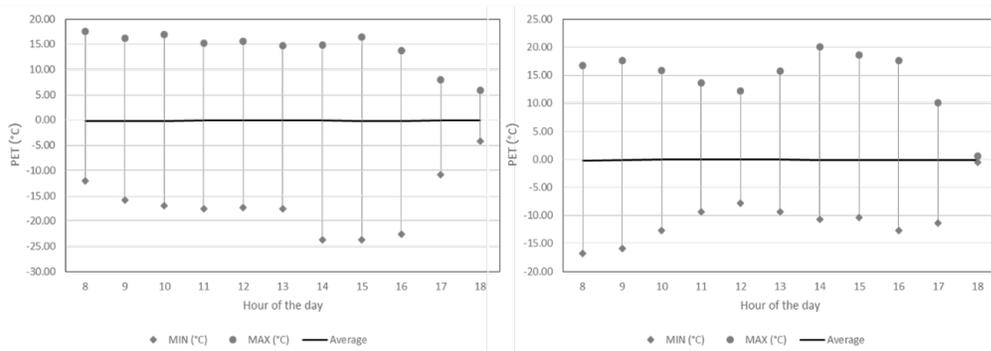


รูปที่ 8 การเปลี่ยนของสภาพภูมิอากาศจุลภาคระหว่างสถานการณ์ก่อนและหลังก่อสร้าง: (a) อุณหภูมิอากาศ (b) อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย (c) ความเร็วลม (d) ความชื้นสัมพัทธ์ ในฤดูร้อน (Changes in the micro-climatic conditions between pre- and post-construction scenarios of: (a) air temperature (b) mean radiant temperature (c) wind speed (d) relative humidity in summer)

4.2 ผลกระทบของอาคารสูงต่อสภาวะน่าสบายพื้นที่ภายนอกอาคาร

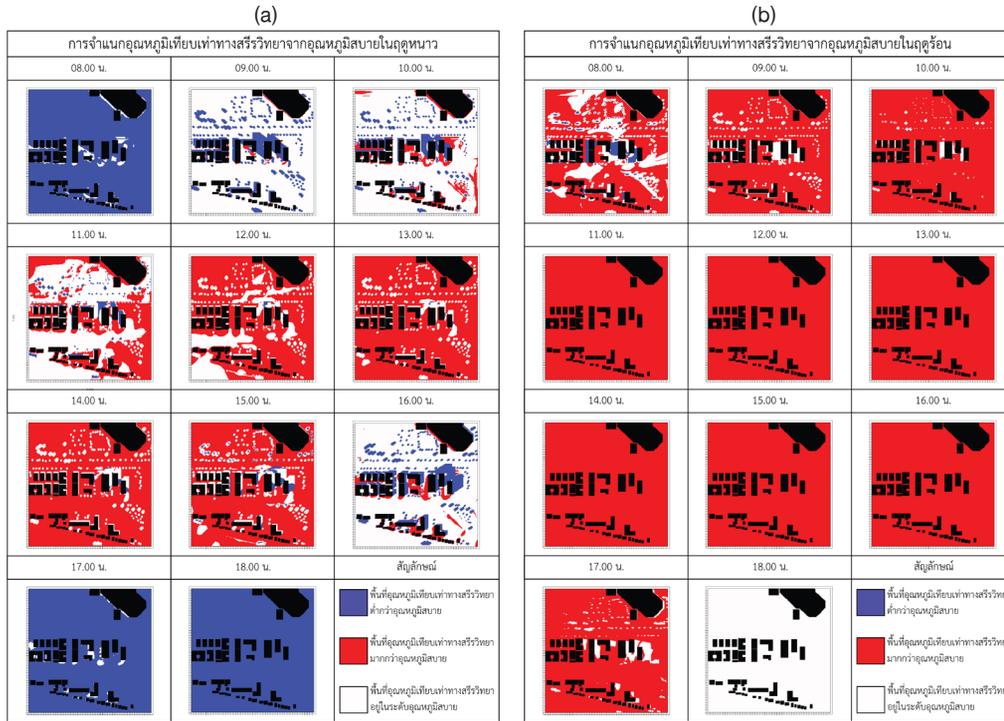
อุณหภูมิเทียบเท่าทางสรีรวิทยา (PET) หลังก่อสร้างอาคารสูงในฤดูหนาวที่ระดับความสูงจาก 2.0 เมตรจากพื้นดิน (รูปที่ 9 (ซ้าย) และ ตารางที่ 11) พบบางบริเวณมีการเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มสูงขึ้น ในช่วงเช้า เวลา 07.00 น. มีค่าเพิ่มขึ้น 17.60 °C และมี PET เปลี่ยนแปลงลดลงมากที่สุด ในเวลา 14.00 และ 15.00 น. มีค่าเพิ่มขึ้น 23.76 °C PET โดยพบบริเวณที่ PET ตกอยู่ในช่วงอุณหภูมิสบายที่ยอมรับได้ในสภาพแวดล้อมภายนอกอาคาร หรือ Acceptable range of thermal comfort in outdoor environment ช่วงตั้งแต่ 25.1 – 35.2 °C PET ครอบคลุมพื้นที่มากที่สุด ในเวลา 09.00 น. (รูปที่ 10a) นอกจากนี้ ยังพบว่าผลกระทบที่สภาพภูมิอากาศจุลภาคตกอยู่ในเขตพื้นที่ไม่น่าสบาย (Uncomfortable conditions) ที่ค่ามากกว่า 35.2 °C PET หรือ น้อยกว่า 25.2 °C PET เกิดขึ้นอยู่ในระยะรัศมีเพียง 70–80 เมตร จากที่ตั้งของอาคารสูง รวมถึงบริเวณแนวการทอดตัวของเงาอาคารมีผลต่อดัชนี PET อย่างมาก จากผลการวิเคราะห์ พบว่า ในเวลา 13.00 น. จะมีอัตราส่วนพื้นที่ไม่สบายสูงที่สุดของวันในฤดูหนาว ครอบคลุมถึงร้อยละ 52.23 ของพื้นที่ประเมินผลกระทบ และในเวลา 15.00 น. มีพื้นที่ไม่สบายมากกว่าร้อยละ 53.51 ของพื้นที่จะค่าน้อยกว่า 25.2 °C PET เนื่องจากแสงแดดลดลงช่วงใกล้พระอาทิตย์ตกดินในฤดูหนาว

ส่วนสถานการณ์หลังก่อสร้างอาคารสูงในฤดูร้อน (รูปที่ 9 ขวา) ที่เวลา 14.00 น. พื้นที่ทั้งหมดในระยะรัศมี 500 เมตร จากที่ตั้งโครงการจะไม่พบพื้นที่สภาวะน่าสบาย และการมีอาคารสูงสร้างผลกระทบให้เพิ่มขึ้นถึง 20.02 °C PET โดยพบพื้นที่สภาวะน่าสบายในเฉพาะช่วงเช้าเวลา 08.00 น. ซึ่งมีค่าลดลง 16.74 °C PET ที่เกิดจากมุมแสงแดดช่วงพระอาทิตย์ขึ้น ทำให้เกิดเงาอาคารพาดผ่านทางด้านทิศตะวันตกของอาคารสูง โดยมีการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ย PET มีค่าลดลงเพียง 0.21 °C นอกจากนั้น ยังอีกพบว่า ผลกระทบที่เกิดขึ้นอยู่ในระยะรัศมีเพียง 70–80 เมตร จากที่ตั้งอาคารสูง รวมถึงตามแนวการทอดตัวของเงาของอาคารมีผลต่อดัชนี PET เป็นอย่างมากในฤดูร้อน จากผลการวิเคราะห์พบว่า เวลา 08.00 น. อัตราส่วนพื้นที่ไม่สภาวะน่าสบายครอบคลุมสัดส่วนร้อยละ 26.66 ของพื้นที่ประเมินผลกระทบ ซึ่งเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึงเวลา 14.00 น. จะไม่พบสภาวะน่าสบายในพื้นที่ภายนอกอาคาร จนกระทั่งเวลา 17.00 น. ที่พระอาทิตย์ตก (รูปที่ 10b) ส่งผลกระทบต่ออากาศอยู่ในพื้นที่ภายนอกอาคาร และไม่สามารถทำกิจกรรมกลางแจ้งหรือพักผ่อนหย่อนใจในบริเวณนี้ได้

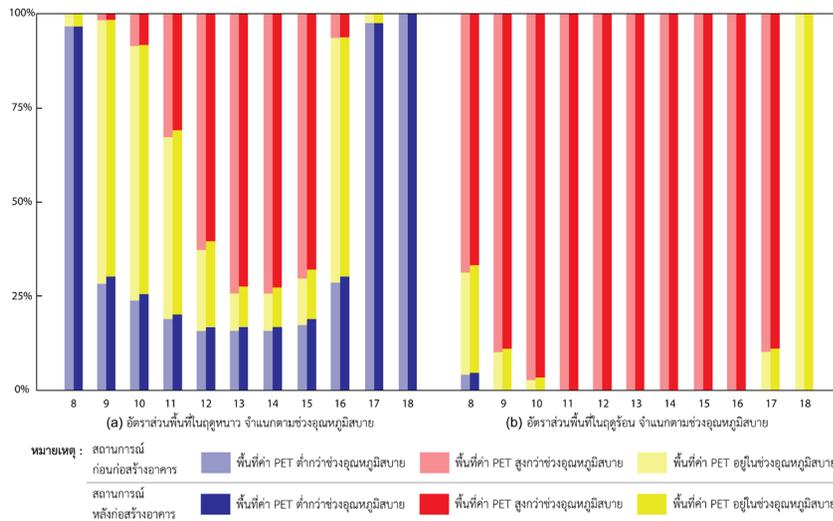


รูปที่ 9 การเปลี่ยนแปลงของของอุณหภูมิเทียบเท่าทางสรีรวิทยา (PET) ระหว่างสถานการณ์ก่อนและหลังก่อสร้าง: ใน (ซ้าย) ฤดูหนาว (ขวา) ฤดูร้อนระหว่าง 08:00 น. – 18:00 น. (Changes in the physiological equivalent temperature (PET) between pre- and post-construction scenarios in (Left) winter (Right) summer at 08:00 to 18:00 hrs.)

ตารางที่ 11 เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างสถานการณ์ก่อนและหลังการก่อสร้างของอุณหภูมิเทียบเท่าสรีรวิทยา (PET); ใน (a) ฤดูหนาว และ (b) ฤดูร้อน (Compare differences between pre- and post-construction scenarios of physiological equivalent temperature (PET); (a) in winter and (b) in summer)



ที่มา: ผู้วิจัย, 2563



รูปที่ 10 อัตราส่วนร้อยละของพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเทียบเท่าสรีรวิทยา (PET) ในระยะรัศมี 500 เมตรจากที่ตั้งโครงการ; (a) ฤดูหนาว และ (b) ฤดูร้อน (The percentage of the area affected by physiological equivalent temperature (PET) changes within a radius of 500 meters from the project location; (a) winter and (b) summer)

5. สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 ผลกระทบอาคารสูงต่อภูมิอากาศจุลภาคและสภาวะน่าสบาย

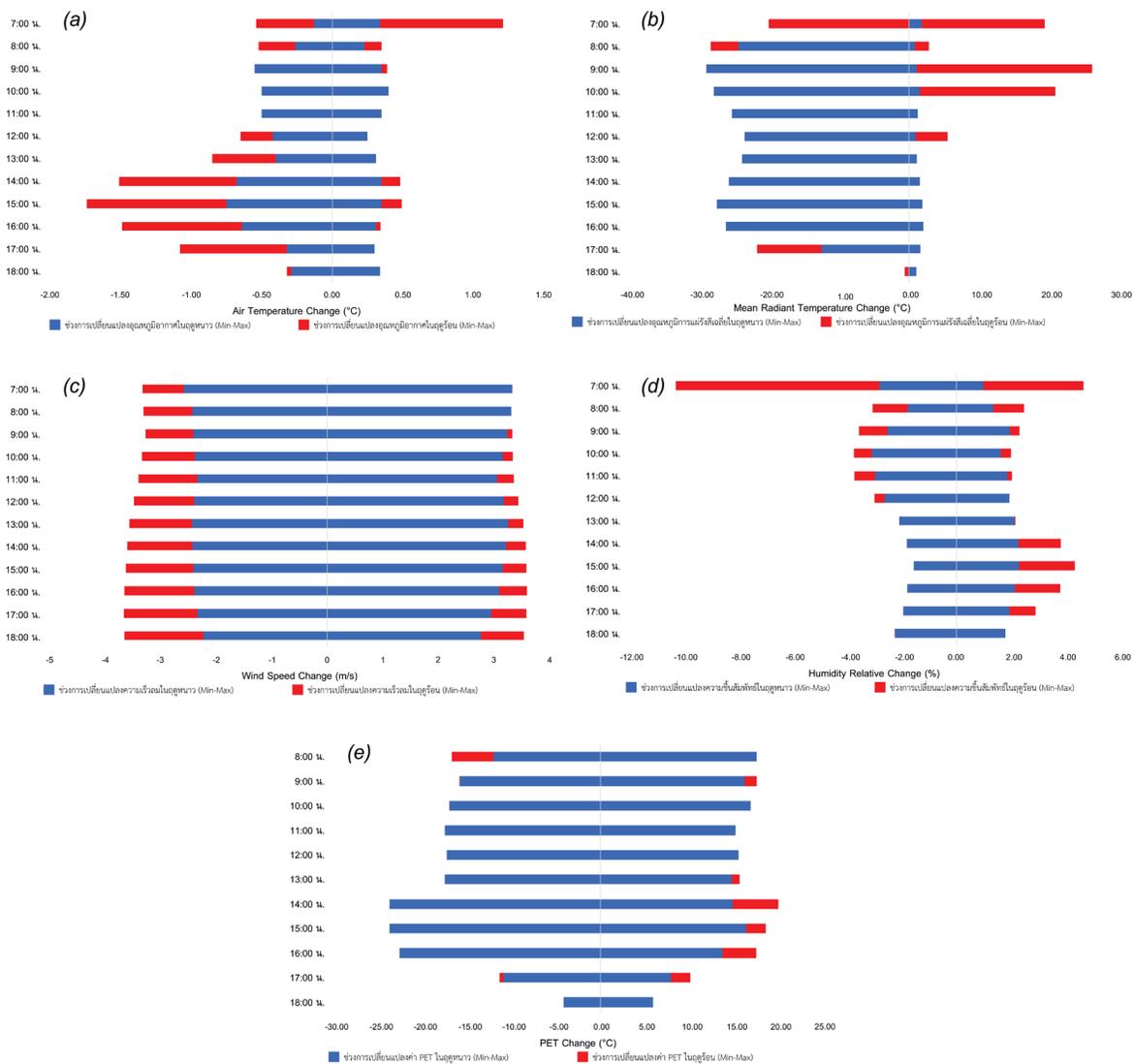
ผลกระทบของอาคารสูงต่อภูมิอากาศจุลภาคและสภาวะน่าสบาย จากกรณีศึกษาที่ถูกจำลองผ่านแบบจำลองภูมิอากาศจุลภาคในสภาพแวดล้อมเชิงความร้อน ฤดูหนาวและฤดูร้อน นำมาเปรียบเทียบระหว่างก่อนสร้างอาคารและหลังก่อสร้างอาคาร ผลการศึกษาพบว่าการก่อสร้างอาคารสูง ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศระดับจุลภาคซึ่งทุกปัจจัยส่งผลกระทบต่อสภาวะน่าสบายพื้นที่ภายนอกอาคาร โดยเฉพาะอย่างยิ่งอิทธิพลต่อความเร็วลม (V) และอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย (Tmrt) อย่างมาก (รูปที่ 11) เห็นได้ชัดจากการเกิดการเพิ่มความเร่งของความเร็วลมในทิศทางลมเข้าปะทะอาคารสูง อีกทั้งยังส่งผลกระทบต่อรูปแบบของลมในระดับความสูงคนเดินเท้าโดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณพื้นที่ มุมตึกที่เกิดลมไหลแรงด้านหน้าและด้านข้างอาคารในลักษณะการหมุนตัวของกระแสลมแบบ Horseshoe vortex ในขณะเดียวกันอาคารที่สูงเกิดการปะทะของลมสร้างลมเคลื่อนที่ไหลลงหรือ Downflow wind ลงมายังด้านหน้าอาคารสร้างผลกระทบที่ระยะ 70-80 เมตรจากที่ตั้งอาคารสูง ส่วน Tmrt เป็นอุณหภูมิที่เกิดจากการแผ่รังสีจากแสงแดดในสภาพแวดล้อมไม่ว่าจะเป็นเปลือกอาคารและวัสดุคลุมพื้นที่ เกิดจากการสะท้อนแสงแดดโดยเฉพาะอย่างยิ่งในฤดูร้อน นอกจากนี้ Tmrt ยังมีอิทธิพลอย่างมากต่อดัชนีสภาวะน่าสบายอย่าง Physiological Equivalent Temperature (PET) การลดลงของ Tmrt ส่วนใหญ่เกี่ยวข้องกับความร้อนของสิ่งปลูกสร้างและต้นไม้ ที่ช่วยลดการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ที่เข้ามาในอาคารและวัสดุคาดแข็งที่ปกคลุมโดยรอบอาคาร ดังนั้นพื้นผิวสีเขียวที่ปลูกด้วยพืชพรรณและต้นไม้ เพื่อสกัดกั้นการแผ่รังสีสามารถลดปริมาณความร้อนที่ดูดซับโดยพื้นผิววัสดุได้

นอกจากนั้น ยังพบว่าในฤดูร้อนมีอาคารสูงสร้างผลกระทบต่อสภาวะน่าสบายค่อนข้างมากกว่าฤดูหนาว อุณหภูมิอากาศ (Ta) และความชื้นสัมพัทธ์ (RH) ในฤดูร้อนช่วงบ่ายมีอัตราการเปลี่ยนแปลงพื้นที่มากกว่าฤดูหนาว ในขณะที่ความเร็วลม (V) ในฤดูร้อนมีอาคารสูงสร้างผลกระทบมากกว่าฤดูหนาวช่วงกลางวัน ในขณะที่มุมระหว่างระนาบแนวตั้งของดวงอาทิตย์ (Solar azimuth angle) อ้อมทางทิศใต้ในฤดูหนาว สร้างผลกระทบกับวัสดุคลุมพื้นที่และผนังอาคารด้านใต้มีอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย

(Tmrt) เพิ่มขึ้น โดยบริเวณที่ Tmrt ลดลงเกิดจากการทอดตัวของเงาอาคารทางทิศเหนือ ทิศตรงข้ามกับวิถีวงโคจรของดวงอาทิตย์ ในขณะที่ฤดูร้อนมีแนวโน้มได้รับผลกระทบสูงกว่าอาจจะเป็นเนื่องจากมุมของแสงจากอาทิตย์อยู่ในตำแหน่งตั้งฉากกับพื้น ส่งผลต่อการดูดซับและสะท้อนรังสีคลื่นยาวที่แผ่กระจายออกมา (Longwave radiation emitted) จากวัสดุคลุมพื้นที่จากรังสีตกกระทบแนวตั้งฉาก (Perpendicularly incident rays) ไปสู่สภาพแวดล้อมภายนอกอาคาร ปัจจัยทั้งหมดส่งผลกระทบต่อดัชนีอุณหภูมิเทียบเท่าทางสรีรวิทยา (PET) มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นมากกว่าฤดูหนาวตั้งแต่ช่วงกลางวัน

5.2 ข้อเสนอแนะแนวทางการปรับปรุงสภาพแวดล้อมน่าสบายพื้นที่ภายนอกอาคาร

การลดผลกระทบอาคารสูงต่อสภาวะน่าสบายที่เกิดขึ้นจากการก่อสร้างอาคารสูงจึงเป็นสิ่งจำเป็น โดยเฉพาะแนวทางการปรับปรุงองค์ประกอบของภูมิอากาศจุลภาค ช่วยเสริมสร้างสภาพแวดล้อมที่น่าอยู่ของผู้อาศัยอยู่ภายนอกอาคารและเมือง การลดอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบ จะช่วยทำให้ผู้ใช้พื้นที่รู้สึกสบายเนื่องจากเมื่ออุณหภูมิสิ่งที่อยู่โดยรอบต่ำกว่าอุณหภูมิผิวกาย ร่างกายจะคายความร้อนสู่สิ่งรอบข้างทำให้อุณหภูมิภายในร่างกายลดลง โดยสามารถใช้การออกแบบเพื่อควบคุมอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบให้มีอุณหภูมิต่ำกว่าผิวกาย เพื่อสร้างสภาวะน่าสบายได้ เช่น การเลือกใช้กระจกที่มีค่าการป้องกันความร้อนสูง การออกแบบพื้นที่ใช้งานให้อยู่ห่างจากแหล่งความร้อนและรังสีความร้อน การหุ้มฉนวนให้กับตัวอาคาร การแบ่งส่วนพื้นที่ใช้งาน และออกแบบแต่ละส่วน ตามลักษณะการใช้งานและสภาวะที่ต้องการ เป็นต้น ตลอดจนการใช้พืชพรรณและต้นไม้จะช่วยดูดซับความร้อนภายในพื้นที่ เนื่องจากพืชสามารถเก็บพลังงานจากแสงอาทิตย์ไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง และในกระบวนการดำรงชีวิตของพืชจะมีการคายน้ำออกมาซึ่งช่วยเพิ่มปริมาณความชื้นในอากาศ นอกจากนี้พืชยังช่วยสร้างร่มเงาให้แก่พื้นที่และลดการสะท้อนความร้อน การปลูกพืชพรรณจึงช่วยลดอุณหภูมิภายในพื้นที่โครงการ (Lin et al., 2018; Abdi et al., 2020; Srivanit & Jareemit, 2020) การเปลี่ยนวัสดุคลุมดิน เป็นการปรับปรุงพื้นผิวดาดแข็ง เป็นผิวดาดอ่อนเนื่องจากพืชผิวดาดอ่อนด้วยพืชพรรณ หรือ Cool materials มีคุณสมบัติสะท้อนแสง (Diffuse reflection of solar radiation) หรือเป็น Low albedo materials ทำให้



รูปที่ 11 สรุปการประเมินผลกระทบของอาคารสูงต่อสิ่งแวดล้อมเชิงความร้อนเมืองและสภาวะน่าสบายพื้นที่ภายนอกอาคาร: (a) อุณหภูมิอากาศ (b) การแผ่รังสีเฉลี่ย (c) ความเร็วลม (d) ความชื้นสัมพัทธ์ และ (e) PET (Summary the impact assessment of high-rise building on urban thermal environments and outdoor thermal comfort: (a) air temperature (b) mean radiant temperature (c) wind speed (d) relative humidity and (e) PET)

การกักเก็บความร้อนมีน้อยกว่า เป็นอีกหนึ่งวิธีที่ช่วยลดอุณหภูมิพื้นผิวนอกอาคารและลดผลกระทบปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมือง (Urban heat island effects) (Taleghani, 2018; Karimi et al., 2020) ตลอดจนการใช้ผนังเขียวและหลังคาเขียว เช่นเดียวกับการเปลี่ยนวัสดุคลุมดิน สามารถลดการกักเก็บความร้อนจากวัสดุอาคารที่ยังทำหน้าที่คายน้ำและช่วยปรับปรุงสภาวะน่าสบาย เช่นเดียวกับการเพิ่มพืชพรรณและต้นไม้

นอกเหนือจากนี้ การออกแบบรูปทรงเรขาคณิตอาคาร (Building geometry design) และรูปแบบแผนผังอาคาร (Building layout patterns) ที่คำนึงถึงการเพิ่มประสิทธิภาพของการระบายอากาศพื้นที่ภายนอกอาคาร

และสิ่งแวดล้อมเชิงความร้อน ในเชิงการออกแบบสถาปัตยกรรมและภูมิสถาปัตยกรรม การจัดเรียงของอาคาร (Arrangement of buildings) ได้รับการสันนิษฐานว่าเป็นมาตรการหลักในการปรับปรุงสภาพภูมิอากาศระดับจุลภาคพื้นที่ภายนอกอาคาร โดยการเปลี่ยนรูปแบบแผนผังอาคาร เช่น รูปร่างของอาคาร (Buildings shape) ความสูงอาคาร (Building height) และรูปแบบการวางแผน (Planning pattern) และอัตราส่วนการคลุมของพื้นที่อาคาร (Buildings coverage ratio หรือ BCR) (Jareemit & Srivanit, 2019; Chen et al., 2001; Ashie et al., 2002; Tantasavasdi & Jareemit, 2005; Hong & Lin, 2015) จึงต้องศึกษาเพิ่มเติมเพื่อหาแนวทางที่เหมาะสมในอนาคต

การศึกษานี้เป็นเพียงการประเมินผลกระทบด้านภูมิอากาศจุลภาคและสภาวะน่าสบายเชิงความร้อน เพื่อประมาณความรุนแรงและระบุพื้นที่ ที่คาดว่าจะได้รับผลกระทบของการมีโครงการอาคารสูง โดยกรณีศึกษาเฉพาะพื้นที่จังหวัดปทุมธานี จากการอ้างอิงข้อมูลรายงานการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม ของสำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (Office of Natural Resources and Environmental Policy and Planning, 2019) ซึ่งที่ตั้งโครงการมีลักษณะภูมิอากาศประจำถิ่นที่เฉพาะและที่ตั้งอาคารอยู่ในรูปแบบเมือง (Urban form) หรือ สัณฐานเมือง (Urban morphology) ที่เป็นพื้นที่หนาแน่นน้อย ดังนั้นควรมีการศึกษาถึงผลกระทบอาคารสูงกับการรูปแบบที่ตั้งที่มีรูปแบบเมืองหนาแน่นที่แตกต่างกัน เพื่อให้ได้ข้อเสนอแนะเชิงลึกในการปรับปรุงสภาพแวดล้อมและภูมิอากาศเมือง บริบทของเมืองต่างๆ ในประเทศไทย พร้อมทั้งควรมีการศึกษาถึงความเหมาะสมของมาตรการออกแบบอาคารและการวางแผนเมือง เพื่อลดผลกระทบที่เกิดขึ้นจากอาคารสูง ได้แก่ การเพิ่มต้นไม้ และพืชคลุมดิน การเลือกวัสดุผนังอาคาร การออกแบบรูปทรงเรขาคณิต และรูปแบบแผนผังอาคาร เป็นต้น เพื่อให้หนักออกแบบและนักวางแผน ใช้แนวทางในการออกแบบสิ่งแวดล้อมสรรค์สร้างให้เมืองยั่งยืนและน่าอยู่ต่อไป

References

- Abdi, B., Hami, A., Zarehaghi, D. (2020). Impact of small-scale tree planting patterns on outdoor cooling and thermal comfort. *Sustainable Cities and Society*, 56, 102085.
- Ashie, Y., Murakami, S., Morikawa, T., Mochida, A., Ooka, R., Oguro, M. (2002). CFD analyses on effects of wind from rivers on outdoor thermal environment, part 2: control of thermal environment based on building layout. *Annual technical meeting of architectural institute of Japan*, D, 881-882.
- Bärring, L., Mattson, J.O., Lindqvist, S. (1985). Canyon Geometry, Street Temperature and Urban Heat Island in Malmö, Sweden. *J. Climatol.* 5, 433-444.
- Bennett, V.J., Hale, A.M., Williams, D.A. (2017). When the excrement hits the fan: Fecal surveys reveal species-specific bat activity at wind turbines. *Mammalian Biology*, 87, 125-129. doi:10.1016/j.mambio.2017.08.003
- Berardi, U., Wang, Y. (2016). The Effect of a Denser City over the Urban Microclimate: The Case of Toronto. *Sustainability*, 8, 822.
- Brad, B., & Bas, B. (2003). *Evaluating Rooftop and Vertical Gardens as an Adaptation Strategy for Urban Areas*. Retrieved from <https://www.nps.gov/tps/sustainability/greendocs/bass.pdf>
- Chen, H., Ooka, R., Murakami, S. (2001). Study on air quality in urban area using scale for ventilation efficiency: the effect of building shape and its arrangement on ventilation efficiency in urban area. *Annual technical meeting of architectural institute of Japan*, D, 933-934.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ดารณี จารีมิตร สำหรับข้อเสนอแนะในการปรับปรุงงานวิจัยให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น สุดท้ายนี้ขอขอบคุณกลุ่มบริการสารสนเทศอุตุนิยมหาวิทยาลัย สำนักบริการดิจิทัลอุตุนิยมหาวิทยาลัย กรมอุตุนิยมหาวิทยาลัย ที่ให้ความช่วยเหลือข้อมูลด้านสภาพอากาศเพื่อใช้ประกอบการศึกษาในครั้งนี้

- de Dear, R.J., Brager, G.S. (1998). Towards an adaptive model of thermal comfort and preference. *ASHRAE Transactions*, 104(1), 145-167.
- Detwyler, T.R. (1971). *Man's Impact on Environment*. New York: McGraw.
- Dunjic, J. (2019). Outdoor Thermal Comfort Research in Urban Areas of Central and Southeast Europe: A Review. *Geographica Pannonica*. 23(4), 359-373.
- Eliasson, I. (1996). Urban Nocturnal Temperatures, Street Geometry and Land Use, *Atmos. Environ.* 30, 379-392.
- Fahmy, M., Kamel, H., Mokhtar, H., Elwy, I., Gimiee, A., Ibrahim, Y., Abdelalim, M. (2019). On the Development and Optimization of an Urban Design Comfort Model (UDCM) on a Passive Solar Basis at Mid-Latitude Sites. *Climate*, 7(1), 1. doi:10.3390/cli7010001
- Franklin, T.B. (1955). *Climates in Miniature: A Study of Micro-Climate and Environment*. United States: LLC.
- Futcher, J., Mills, G., Emmanuel, R., Korolija, I. (2017). Creating sustainable cities one building at a time: Towards an integrated urban design framework. *Cities*, 66, 63-71. doi:10.1016/j.cities.2017.03.009
- Giannopoulou, K., Santamouris, M., Livada, I., Georgakis, C., Caouris, Y. (2010). The Impact of Canyon Geometry on Intra Urban and Urban: Suburban Night Temperature Differences under Warm Weather Conditions. *Pure and Applied Geophysics*, 167(11), 1433-1449.
- Ghasemi, Z., Esfahani, M.A., Bisadi, M. (2015). Promotion of Urban Environment by Consideration of Human Thermal & Wind Comfort: A Literature Review. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 201, 397-408.
- Hamdan, D.M.A., de Oliveira, F.L. (2019). The impact of urban design elements on microclimate in hot arid climatic conditions: Al Ain City, UAE. *Energy and Buildings*, 200, 86-103. doi:10.1016/j.enbuild.2019.07.028
- Herrmann, J., Matzarakis, A. (2012). Mean radiant temperature in idealized urban canyons-examples from Freiburg, Germany. *Int J Biometeorol*, 56, 199-203.
- Hong, B., Lin, B. (2015). Numerical studies of the outdoor wind environment and thermal comfort at pedestrian level in housing blocks with different building layout patterns and trees arrangement. *Renewable Energy*, 73, 18-27.
- Hoppe, P. (1984). *Die energiebilanz des menschen* (PhD thesis, MÜchener Universitäts Schriften), Wissenschaft, Mittelungen Nr.49.
- Jareemit, D., Srivanit, M. (2019). Effect of Street Canyon Configurations and Orientations on Urban Wind Velocity in Bangkok Suburb Areas. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 690 (1), 012006.
- Jin, H., Liu, Z., Jin, Y., Kang, J., Liu, J. (2017). The Effects of Residential Area Building Layout on Outdoor Wind Environment at the Pedestrian Level in Severe Cold Regions of China. *Sustainability*, 9(12), 2310. doi:10.3390/su9122310
- Johansson, E., Thorsson, S., Emmanuel, R., Krüger, E.L. (2014). Instruments and methods in outdoor thermal comfort studies – The need for standardization. *Urban Climate*, 2014(10), 346-366.
- Karimi, A., Sanaieian, H., Farhadi, H., Norouzian-Maleki, S. (2020). Evaluation of the thermal indices and thermal comfort improvement by different vegetation species and materials in a medium-sized urban park. *Energy Reports*, 6, 1670-1684.
- Lee, Y.Y., Huei, L.Y., Mohammad, S., Shek, P.N., Khun, M.C. (2017). Thermal characteristics of a residential house in a new township in Johor Bahru. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 271, 012027. doi:10.1088/1757-899X/271/1/012027Materials.
- Lin, B., Li, X., Zhu, Y., Qin, Y. (2018). Numerical simulation studies of the different vegetation patterns' effects on outdoor pedestrian thermal comfort. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 96 (10-11), 1707-1718.

- Miu, P. (2015). *Combine Harvesters: Theory, Modeling and Design*. Boca Raton: CRC Press.
- Office of Natural Resources and Environmental Policy and Planning (2019). *Environmental Impact Assessment Report (EIA Report)*. Retrieved from <https://eiathailand.onep.go.th>
- Oke, T.R. (1981). Canyon geometry and the nocturnal urban heat island: comparison of scale model and field observations. *Journal of Climatology*, 1, 237-254.
- Oke, T.R. (1984). Methods in urban climatology. In: Applied Climatology (W. Kirchofer, A. Ohmura and W. Wanner, eds.). *Zürcher Geographische Schriften*, 14, 19–29.
- Oke, T.R. (1987). *Boundary Layer Climates*. United States: Routledge.
- Oke, T.R., Mills, G., Christen, A., Voogt, J.A. (2017, May 23). *URBAN CLIMATE*. United States: Sheridan Book. Real Estate Information Center (REIC). *Housing*. Retrieved from <https://www.reic.or.th/Product/Chart/1/Housing>.
- Ratchakitcha (1979). *Building Control Act B.E. 2522*. Retrieved from <http://www.ratchakitcha.soc.go.th/DATA/PDF/2522/A/080/1.PDF>
- Rinchumphu, D., Phichetkunbodee, N., Pomsurin, N., Sundaranaga, C., Tepweerakun, S., Chaichana, C. (2021). Outdoor thermal comfort improvement of campus public space. *Advances in Technology Innovation*, 6(2), 128-136.
- Srivanit, M., Jareemit, D. (2016). *Human thermal perception and outdoor thermal comfort under shaded conditions in summer – a field study in an institutional campus*. Proceeding of the 6th International Conference on Sustainable Energy and Environment (SEE 2016), 28-30 November 2016, Dusit Thani Bangkok Hotel, Thailand.
- Srivanit, M., Jareemit, D. (2020). Modeling the influences of layouts of residential townhouses and tree-planting patterns on outdoor thermal comfort in Bangkok suburb. *Journal of Building Engineering*, 30, 101262.
- Svensson, M. K., Eliasson, I. (2002). Diurnal air temperatures in built-up areas in 11 relation to urban planning. *Landscape and Urban Planning*, 61(1), 37-54.
- Stathopoulos, T., Blocken, B. (2016). Pedestrian wind environment around tall buildings. *Advanced Environmental Wind Engineering*, 101-127.
- Taleghani, M. (2018). The impact of increasing urban surface albedo on outdoor summer thermal comfort within a university campus. *Urban Climate*, 24, 175-184.
- Tantasavasdi, C., Jareemit, D. (2005). Natural ventilation: Planning design guidelines for residential high-rises. *Journal of Architectural/Planning Research and Studies (JARS)*, 3, 21-36.
- Wijitkosum, S., Sriburi, T. (2009). Evaluation of Water Resources Situation in Lam Ta Kong Watershed. *Applied Environmental Research*, 31(1), 21-34.
- Wong, N.H., Yu, C. (2005). Study of green areas and urban heat island in a tropical city. *Habitat International*, 29(3), 547-558. doi:10.1016/j.habitatint.2004.04.008
- Yang, J., Fu, X. (2020). *Coupling Analysis of Wind Environment and Space Form Unit in Xinjiekou Central Area. In The Centre of City: Wind Environment and Spatial Morphology*. Springer: Singapore.

