

การประยุกต์หลักการถ่ายโอนพลังงานความร้อนสำหรับการประเมิน ความเข้มของเกาะความร้อนเมือง

Application of Heat Transfer for Evaluated Urban Heat Island Intensity

Received: August 26, 2018

Revised: February 28, 2019

Accepted: March 1, 2019

อติรัฐ มากสุวรรณ (Atirat Maksuwan)*

บทคัดย่อ

จุดประสงค์ของงานวิจัยคือการประยุกต์หลักการถ่ายโอนพลังงานความร้อนเพื่อสร้างแบบจำลองของสถานะเกาะความร้อนเมืองสำหรับการประเมินค่าความเข้มของเกาะความร้อน โดยวิธีดำเนินการวิจัยนี้ใช้หลักพื้นฐานทางฟิสิกส์เกี่ยวกับการถ่ายโอนพลังงานความร้อนทั้ง 3 รูปแบบคือ การนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อน ของท่อทรงกระบอกเมื่อภายในมีของไหลอุณหภูมิสูง เคลื่อนที่จากปลายข้างหนึ่งไปสู่ปลายอีกข้างหนึ่ง ภายใต้เงื่อนไขการควบแน่นหรือการระเหยของของไหลที่เกิดขึ้นภายในท่อทรงกระบอกนั้นมีค่าคงที่ ผลการวิจัยพบว่า แบบจำลองที่ได้จากการประยุกต์หลักการถ่ายโอนพลังงานความร้อนนี้ ทำให้ได้วิธีการประเมินค่าความเข้มของเกาะความร้อนแบบใหม่ซึ่งแตกต่างจากวิธีที่ใช้กันโดยทั่วไป โดยพบว่าปัจจัยเกี่ยวกับการพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อนมีผลต่อความแตกต่างของการประเมินค่าความเข้มของเกาะความร้อนเพื่อแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของแบบจำลองของสถานะเกาะความร้อนเมืองที่ได้จากการวิจัยนี้ จึงได้มีการนำวิธีการประเมินค่าความเข้มของเกาะความร้อนแบบใหม่นี้ไปทดสอบกับข้อมูลงานวิจัยที่เกี่ยวกับการประเมินความเข้มของเกาะความร้อนในเมืองเชียงใหม่ ปรากฏว่าวิธีการประเมินค่าความเข้มของเกาะความร้อนแบบใหม่นี้ สอดคล้องกับผลการวิจัยการประเมินความเข้มของเกาะความร้อนโดยวิธีที่ใช้กันโดยทั่วไปเป็นอย่างดี

คำสำคัญ : สถานะเกาะความร้อนเมือง ความเข้มของเกาะความร้อน การถ่ายโอนพลังงานความร้อน

* อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม (ฟิสิกส์) คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน, email: atirat.maksuwan@gmail.com

Lecturer in Environmental Science and Technology (Physics), Faculty of Science and Technology,
Pathumwan Institute of Technology, email: atirat.maksuwan@gmail.com

Abstract

The purpose of this research was application of the heat transfer to generate urban heat island (UHI) model for evaluated urban heat island intensity (UHII). The methodology of this research was combination heat transfer via conduction, convection and radiation in a cylindrical tube through which a given thermal fluid is transported from one end to the other. Thermal fluid is assumed that condensation or evaporation takes place inside the cylindrical tube such that the bulk fluid temperature inside the tube remains constant. The purpose of this methodology was to generate model of UHI area for evaluated UHII. According to the result was found that model of UHI area from application of the heat transfer lead to new methodology, which different from general methodology for evaluated UHII. The new methodology was found that the convection and radiation parameters significantly affected the formation of differential and integral characteristics of evaluation on UHII. To illustrate the effectiveness of the application, this research investigated the situation involving the UHI on the evaluation of UHII in Chiang Mai City was investigated. According to the situation was found that new methodology consistency with general methodology for evaluated UHII well.

Keywords: urban heat island; urban heat island intensity; heat transfer

บทนำ

เกาะความร้อนเมือง (Urban Heat Island, UHI) คือ ปรากฏการณ์ที่เกิดจากพลังงานความร้อนจากการแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์มาสู่พื้นที่เขตเมือง ถูกเก็บสะสมภายในพื้นที่เขตเมือง เนื่องจาก ลักษณะภูมิสถาปัตยกรรม และมลพิษทางอากาศภายในพื้นที่เขตเมือง เช่น การก่อสร้างอาคารสูงตลอดทั้งสองฝั่งถนน และความหนาแน่นของการจราจร ทำให้พลังงานความร้อนไม่สามารถถ่ายเทออกไปจากพื้นที่เขตเมืองได้ จนทำให้พื้นที่เขตเมืองกลายเป็นพื้นที่กักเก็บพลังงานความร้อนและมลพิษขนาดใหญ่ (มนตรี ตั้งศิริมงคล, 2546) เนื่องจากสาเหตุดังกล่าวทำให้บริเวณพื้นที่เขตเมืองเกิดสภาวะที่เรียกว่าเกาะความร้อนเมือง ส่งผลให้บริเวณพื้นที่เขตเมืองมีอุณหภูมิสูงกว่าบริเวณพื้นที่เขตนอกเมือง (Mills, 2008) ส่งผลให้บริเวณพื้นที่เขตเมืองมีการเพิ่มการใช้พลังงานไฟฟ้า และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเนื่องจากการใช้เครื่องปรับอากาศ (Zhang et al., 2012) สอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิโลก (Global Warming) เนื่องจากการขยายตัวของเขตพื้นที่เมืองร่วมกับการพัฒนาทางเศรษฐกิจที่อิงกับอุตสาหกรรมอย่างรวดเร็ว (จักรสิน น้อยไร่ภูมิ, 2552) ทำให้ผู้ที่อาศัยอยู่ในพื้นที่เขตเมืองนอกจากจะได้รับผลกระทบเนื่องจากสภาวะเกาะความร้อนเมืองแล้ว ยังมีโอกาสได้รับอันตรายจากปรากฏการณ์คลื่นความร้อนด้วย (Zhou et al., 2014.; Zhou et al., 2015.; Yang et al., 2017) จากที่มาและความสำคัญของปัญหาของสภาวะเกาะความร้อนเมืองอาจทำให้เกิดอันตรายต่อผู้ที่อาศัยอยู่ในพื้นที่เขตเมืองจึงมีการทุ่มงบประมาณเพื่อการวิจัยเกี่ยวกับปัญหาสภาวะเกาะความร้อนเมืองอย่างจริงจัง (Inouye, 2015.; McDonnell & MacGregor-Fors, 2016.; Lee et al., 2015)

การประเมินความเสี่ยงจากอันตรายที่เกิดจากการสะสมของพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นจากสภาวะเกาะความร้อนเมืองนั้นสามารถบอกได้ด้วย ค่าความเข้มของเกาะความร้อน (Urban Heat Island Intensity, UHII) โดยวิธีการประเมินค่าความเข้มของเกาะความร้อนแบบที่ใช้กันโดยทั่วไปคือ การใช้ข้อมูลอุณหภูมิระหว่างสองสถานีนั่นคือ สถานีตรวจวัดอุณหภูมิในพื้นที่เขตเมือง และสถานีตรวจวัดอุณหภูมิในพื้นที่นอกเขตเมือง เพื่อคำนวณผลต่างระหว่างอุณหภูมิในพื้นที่เขตเมืองและอุณหภูมิในพื้นที่นอกเขตเมือง ซึ่งปริมาณดังกล่าวถูกใช้เพื่อเป็นแนวทางในการบริหารจัดการและพัฒนาผังเมืองต่อไป (Yang et al., 2013; Rizwan et al., 2008; Stewart, 2011) โดยถ้าผลต่างของอุณหภูมิในพื้นที่เขตเมืองกับพื้นที่นอกเขตเมืองมีค่าเป็นบวกอยู่ในช่วง $2-5^{\circ}\text{C}$ แสดงว่าอุณหภูมิในพื้นที่เขตเมืองกับพื้นที่นอกเขตเมืองมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเรียกว่า เกิดสภาวะเกาะความร้อนเมือง (Thongmeesang, 2011) ซึ่งวิธีการประเมินค่าความเข้มของเกาะความร้อนแบบที่ใช้กันโดยทั่วไปนั้นไม่ได้แสดงกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ให้เห็นว่าทำไมต้องคำนวณจากผลต่างของอุณหภูมิระหว่างสองพื้นที่ดังกล่าว

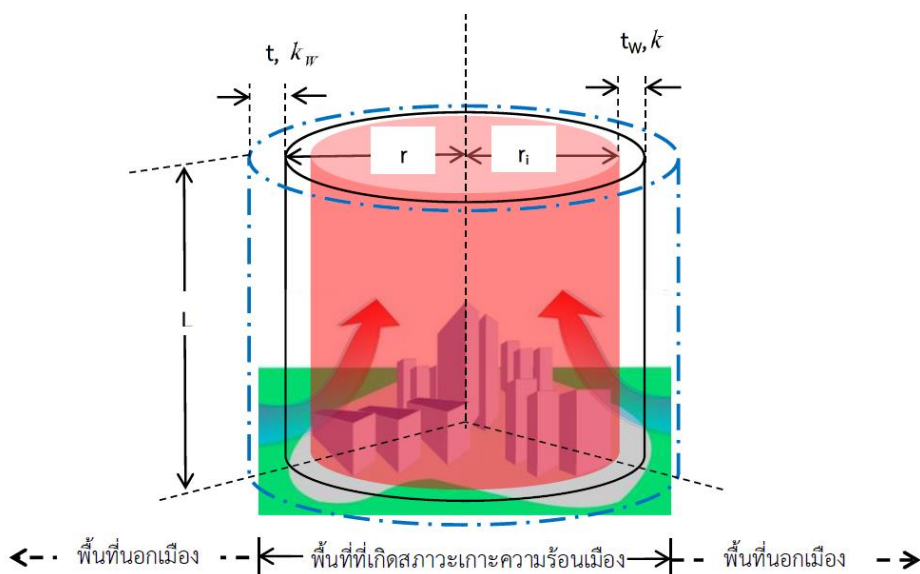
ดังนั้นจุดประสงค์ของการวิจัยในครั้งนี้คือ การแสดงกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ของการประเมินค่าความเข้มของเกาะความร้อนเมือง โดยการประยุกต์หลักการถ่ายโอนพลังงานความร้อนเพื่อสร้างแบบจำลองของสภาวะเกาะความร้อนเมืองสำหรับการประเมินค่าความเข้มของเกาะความร้อน โดยวิธีดำเนินการวิจัยนี้ใช้หลักพื้นฐานทางฟิสิกส์เกี่ยวกับการถ่ายโอนพลังงานความร้อนทั้ง 3 รูปแบบคือ การนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อน มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีดำเนินการวิจัยเพื่อสร้างแบบจำลองของสภาวะเกาะความร้อนเมืองมี 4 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1: กำหนดรูปแบบทางเรขาคณิตของสภาวะเกาะความร้อนเมือง

การศึกษาและการวิเคราะห์การถ่ายโอนพลังงานความร้อน ทั้ง 3 รูปแบบคือ การนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อนร่วมกันนี้เป็นการศึกษาบนพื้นฐานของกฎการอนุรักษ์พลังงาน (Asako & Nakamura, 1982) และได้มีการนำมาใช้ในการวิเคราะห์เพื่อศึกษาการพาความร้อนและการปฏิสัมพันธ์ของการแผ่รังสีผิวภายในวัสดุนำความร้อนรูปทรงสี่เหลี่ยมที่มีขนาดแตกต่างกัน (Akiyama & Chong, 1997; Bouafia et al., 2015) แสดงให้เห็นว่า การศึกษาและการวิเคราะห์การถ่ายโอนพลังงานความร้อนมีความสัมพันธ์กับรูปทรงของวัสดุนำความร้อน ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงสมมติให้พลังงานความร้อนที่ถูกกักเก็บภายในพื้นที่เขตเมืองนั้นเปรียบเสมือนของไหลอุณหภูมิสูงเคลื่อนที่จากปลายข้างหนึ่งไปสู่ปลายอีกข้างหนึ่งของท่อทรงกระบอกในแนวตั้ง ภายใต้เงื่อนไขการควบแน่นหรือการระเหยของของไหลที่เกิดขึ้นภายในท่อทรงกระบอกนั้นมีความคงที่ เพื่อสร้างแบบจำลองของพื้นที่ที่เกิดสภาวะเกาะความร้อนเมืองสำหรับการประเมินค่าความเข้มของเกาะความร้อน การสมมุติดังกล่าวเปรียบเทียบกับ สภาวะเกาะความร้อนเมืองซึ่งเกิดจากพลังงานความร้อนจากการแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์มาสู่พื้นที่เขตเมือง รวมทั้งลักษณะภูมิสถาปัตย์ และมลพิษทางอากาศเนื่องจากสภาพการจราจรภายในพื้นที่เขตเมือง ทำให้พื้นที่เขตเมืองกลายเป็นพื้นที่กักเก็บพลังงานความร้อนและมลพิษขนาดใหญ่ ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แสดงรูปแบบทางเรขาคณิตทรงกระบอกของสภาวะเกาะความร้อนเมือง

ดังนั้นการวิเคราะห์หารูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างการส่งผ่านความร้อนทั้ง 3 ลักษณะ คือการนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสี ร่วมกับแบบจำลองสภาวะเกาะความร้อนเมืองนั้นถูกพิจารณาภายใต้ขอบเขตของกฎการอนุรักษ์พลังงาน คือ

$$\begin{aligned} \text{อัตราการไหลของพลังงานความร้อนทั้งหมดในสภาวะเกาะความร้อนเมือง} &= \text{อัตราการไหลของพลังงานความร้อนในลักษณะ การนำและการพาความร้อนตามแนวรัศมีภายในเกาะความร้อนเมือง} \\ &= \text{อัตราการไหลของพลังงานความร้อนในลักษณะ การพา และการแผ่รังสีความร้อนตามแนวรัศมีภายนอกนับจากขอบของเกาะความร้อนเมืองสู่สิ่งแวดล้อม} \end{aligned} \quad (1)$$

ขั้นตอนที่2: กำหนดเงื่อนไขและขอบเขตของงานวิจัย

ในการศึกษาสภาวะเกาะความร้อนเมืองนี้กำหนดขอบเขตของ มวลอากาศ 2 ประการคือ

1. พิจารณามวลอากาศด้วยสมบัติของก๊าซในระดับมหภาค (macroscopic level) เพื่อลดอิทธิพลของความแปรปรวนภายในเนื่องจากการชนกันระหว่างโมเลกุลก๊าซ
2. พิจารณาการเคลื่อนที่ของมวลอากาศในระดับ Mesoscale คือระดับความสูงในช่วง 2- 20 กิโลเมตร จากพื้นผิว เพื่อเป็นการลดอิทธิพลของความแปรปรวน (Turbulence) ของบรรยากาศรอบ มวลอากาศ ดังนั้นเราสามารถพิจารณา มวลอากาศ เป็นของไหล ที่มีการไหลแบบคงตัว (steady flow) ที่มีความต่อเนื่องได้

ขั้นตอนที่3: การประยุกต์หลักการถ่ายโอนพลังงานความร้อนเพื่อสร้างแบบจำลองของสภาวะเกาะความร้อนเมือง

จากผลการดำเนินการวิจัยในขั้นตอนที่ 1 ถึงขั้นตอนที่ 2 ทำให้ได้ รูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างการส่งผ่านความร้อนทั้ง 3 ลักษณะ เพื่ออธิบายแบบจำลองสภาวะเกาะความร้อนเมืองในภาพที่1 ดังสมการที่ (2)

$$Q = \frac{(T_{in} - T_s)}{\frac{1}{2\pi r_i h_i} + \frac{1}{2\pi k_w} \ln\left(\frac{r}{r_i}\right) + \frac{1}{2\pi k} \ln\left(\frac{r_0}{r_i}\right)} = \frac{(T_s - T_{out})}{\frac{1}{2\pi r_0 (h_0 + h_{rad})}} \quad (2)$$

จากสมการที่ (2) กำหนดให้ $Q = \frac{1}{2\pi k T_{in}} \frac{dq}{dL}$, $R_C = \frac{k}{r_i h_i} + \frac{k}{k_w} \ln\left(\frac{r}{r_i}\right)$, $h_{rad} = \epsilon(T_s^2 + T_{out}^2)(T_s + T_{out})$, $\rho = \frac{r_0}{r}$, $\tau = \frac{T_s}{T_{in}}$, $\lambda = \frac{h_0 r}{k}$, $A = \frac{\epsilon \sigma T_{in}^3}{k}$ และ $b = \frac{T_{out}}{T_{in}}$ สามารถจัด สมการที่ (2) ให้อยู่ในรูปแบบอย่างง่าย ดังสมการที่ (3)

$$Q = \frac{1 - \tau}{R_C + \ln \rho} = \lambda \rho (\tau - b) + A \rho (\tau^4 - b^4) \quad (3)$$

โดยที่ตัวแปรแต่ละตัวมีความหมายต่างๆ ดังต่อไปนี้

Q คือ ความสัมพันธ์ที่เป็นตัวแทนของ อัตราการไหลของพลังงานความร้อนต่อหนึ่งหน่วยความยาวในสถานะเกาะความร้อนเมือง (Dimensionless heat transfer rate, $dq/2\pi k T_{in} dL$)

R_C คือ ค่าคงที่ของความต้านของการส่งผ่านความร้อนรวมระหว่าง การพาความร้อนจากตัวนำตามแนวรัศมีไปยังบริเวณภายในเกาะความร้อนเมือง และการนำความร้อนจากตัวนำตามแนวรัศมีไปยัง พื้นที่ผิวทรงกระบอกที่สมมุติขึ้น (Constant terms in the thermal resistance, $\frac{k}{r_i h_i} + \frac{k}{k_w} \ln(r/r_i)$)

A คือ ความสัมพันธ์ที่เป็นตัวแทนของ การแผ่รังสีความร้อน จากพื้นที่ผิวทรงกระบอกสมมุติ ไปยังสิ่งแวดล้อม (Dimensionless radiation parameter, $\epsilon \sigma T_{in}^3/k$)

λ คือ ความสัมพันธ์ที่เป็นตัวแทนของ การพาความร้อน จากพื้นที่ผิวทรงกระบอกสมมุติ ไปยังสิ่งแวดล้อม (Dimensionless convection parameter, $h_0 r/k$)

k คือ สภาพการนำความร้อนของวัสดุ (เกาะความร้อนเมือง) (W/mK)

k_w คือ สภาพการนำความร้อนของวัสดุ (พื้นที่ผิวทรงกระบอกสมมุติ) (W/mK)

r_i คือ ผลต่างของรัศมีของทรงกระบอกของวัสดุ (เกาะความร้อนเมือง) กับความหนาของพื้นที่ผิวทรงกระบอกสมมุติ นั่นคือ $r_i = r - t_w$, (m)

r_0 คือ ผลรวมของรัศมีของทรงกระบอกภายนอก กับความหนาของพื้นที่ผิวทรงกระบอกสมมุติ นั่นคือ $r_0 = r + t$, (m)

r คือ รัศมีของทรงกระบอกภายนอก (m)

h_i คือ ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนตามแนวรัศมีภายในเกาะความร้อนเมือง ($W/m^2 K$)

h_0 คือ ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนตามแนวรัศมีภายนอกนับจากขอบของเกาะความร้อนเมืองสู่สิ่งแวดล้อมรอบข้าง ($W/m^2 K$)

h_{rad} คือ ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนเนื่องจากการแผ่รังสีความร้อนของวัสดุ (เกาะความร้อนเมือง)
(W/m^2K)

T_{in} คือ อุณหภูมิของเกาะความร้อนเมือง ภายในทรงกระบอกชั้นใน (K)

T_s คือ อุณหภูมิของพื้นที่ผิวทรงกระบอกสมมุติ (K)

T_{out} คือ อุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม (K)

ε คือ สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน (emissivity) (Dimensionless ratio)

σ คือ ค่าคงที่การแผ่รังสี ($5.67 \times 10^{-8} J/s \cdot m^2 \cdot K^4$)

τ และ b คือ Dimensionless temperature ratio ของอุณหภูมิ

ρ คือ Dimensionless radius ของทรงกระบอก

ขั้นตอนที่ 4 : สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ แบบจำลองสภาวะเกาะความร้อนเมือง

จากแนวคิดทางอุณหพลศาสตร์ กล่าวคือ พลังงานความร้อนจะเริ่มมีการถ่ายเทจากวัสดุตัวนำความร้อน (เกาะความร้อนเมือง) ซึ่งมีอุณหภูมิสูงไปยัง พื้นที่ผิวทรงกระบอกสมมุติ ซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่าจนการถ่ายเทพลังงานความร้อนนี้ จะหยุดเมื่ออุณหภูมิของวัตถุทั้ง 2 วัตถุเท่ากัน (สมดุลความร้อน) นั่นคือเกาะความร้อนเมือง จะอยู่ในสภาวะสมดุลความร้อนกับ พื้นที่ผิวทรงกระบอกสมมุติ แต่อย่างไรก็ตาม พื้นที่ผิวทรงกระบอกสมมุติก็มี อุณหภูมิ สูงกว่า อุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม ดังนั้น พลังงานความร้อนจะเริ่มมีการถ่ายเทจากพื้นที่ผิวทรงกระบอกสมมุติ ซึ่งมีอุณหภูมิสูงไปยัง สิ่งแวดล้อม ซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่า ต่อไป ดังนั้น จาก กฎข้อที่ศูนย์ของอุณหพลศาสตร์ ทำให้ทราบว่า อัตราการไหลของพลังงานความร้อนทั้งหมดในสภาวะเกาะความร้อนเมือง มีค่า แปรผันตาม กับ ค่ารัศมีของทรงกระบอก จาก บริเวณที่เกิดสภาวะเกาะความร้อนเมือง ไปยัง พื้นที่ผิวทรงกระบอกสมมุติ และมี ค่า แปรผกผัน กับระยะทางจากพื้นที่ผิวทรงกระบอกสมมุติ ไปยัง สิ่งแวดล้อม รอบๆบริเวณที่เกิดสภาวะเกาะความร้อนเมือง ดังนั้นอัตราการไหลของพลังงานความร้อนทั้งหมดในสภาวะเกาะความร้อนเมืองจะมี ค่ามากที่สุด ที่ค่ารัศมีของทรงกระบอกมีค่าเท่ากับค่าหนึ่ง เรียกว่านี้ว่า ค่ารัศมีวิกฤติ และที่ค่าดังกล่าวนี้ เมื่ออุณหภูมิของ บริเวณทั้ง 2 เท่ากัน (สมดุลความร้อน) หรือกล่าวได้อีกอย่างว่า ที่ค่ารัศมีวิกฤตินี้ พลังงานความร้อนมีค่าสูงสุด และคงที่ ดังนั้น อัตราการไหลของพลังงานความร้อน ณ บริเวณรัศมีวิกฤตินี้ เท่ากับศูนย์ สามารถเขียนความสัมพันธ์ดังกล่าวได้ดังสมการที่ (4) ดังนี้

$$\left. \frac{dQ}{d\rho} \right|_{\rho=\rho_{crit}} = 0 \quad (4)$$

เทอมทางขวาของสมการที่ (3) ถูกพิจารณาร่วมกับ เงื่อนไข อัตราการไหลของพลังงานความร้อน ณ บริเวณรัศมีวิกฤติ ในสมการที่ (4) ทำให้ได้ความสัมพันธ์ตามสมการที่ (5) คือ

$$\rho_{crit} = (4A\tau^3 + \lambda)^{-1} \quad (5)$$

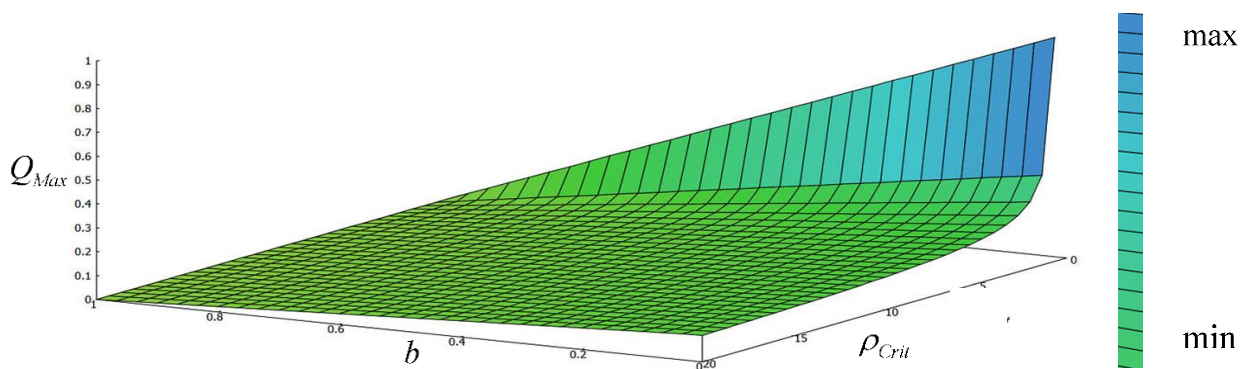
ความสัมพันธ์ตามสมการที่ (5) ถูกพิจารณาร่วมกับ สมการที่ (3) สามารถเขียนให้อยู่ในรูปอย่างง่ายของ พลังงานความร้อนมีค่าสูงสุด ณ ค่ารัศมีวิกฤติ ได้ดังสมการที่ (6) คือ

$$Q_{Max} = \frac{1-\tau}{R_C - \ln(4A\tau^3 + \lambda)} = \frac{\lambda(\tau - b) + A(\tau^4 - b^4)}{4A\tau^3 + \lambda} \quad (6)$$

สมการที่ (6) อธิบายว่า บริเวณที่เกิดสภาวะเกาะความร้อนเมื่อนั้นเปรียบได้กับบริเวณนั้นเป็นตัวนำความร้อนทรงกระบอกขนาดใหญ่ และมีการนำความร้อนมาสู่ผิวทรงกระบอก โดยค่าพลังงานความร้อนมีค่าสูงสุด ณ ค่ารัศมีวิกฤติ จะถูกส่งผ่านไปยังสิ่งแวดล้อม สามารถอธิบายได้ด้วย ความสัมพันธ์ที่เป็นตัวแทนของการแผ่รังสี จากพื้นที่ผิวทรงกระบอกสมมุติ ไปยังสิ่งแวดล้อม คือ A และความสัมพันธ์ที่เป็นตัวแทนของการพาความร้อน จากพื้นที่ผิวทรงกระบอกสมมุติ ไปยังสิ่งแวดล้อม คือ λ ดังนั้นจากสมการที่ (6) แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ แบ่งการพิจารณาออกเป็น 2 กรณี โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

กรณีที่ 1: การถ่ายโอนพลังงานความร้อนแบบพาความร้อน จากสมการที่ (5) และสมการที่ (6) กำหนดให้ค่า $A=0$ จะได้ว่า $\rho_{Crit} = (\lambda)^{-1}$ และ พลังงานความร้อนมีค่าสูงสุด ณ ค่ารัศมีวิกฤติ ในลักษณะการพาความร้อนตามแนวรัศมีภายนอกนับจากขอบของเกาะความร้อนเมืองสู่สิ่งแวดล้อม จากสมการที่ (7) โดยกำหนดให้ R_C เป็นค่าคงที่เท่ากับ 1 สามารถสร้างเป็นกราฟได้ ดังภาพที่ 2

$$Q_{Max} = \frac{1-b}{1 + \ln \rho_{Crit} + R_C} \quad (7)$$

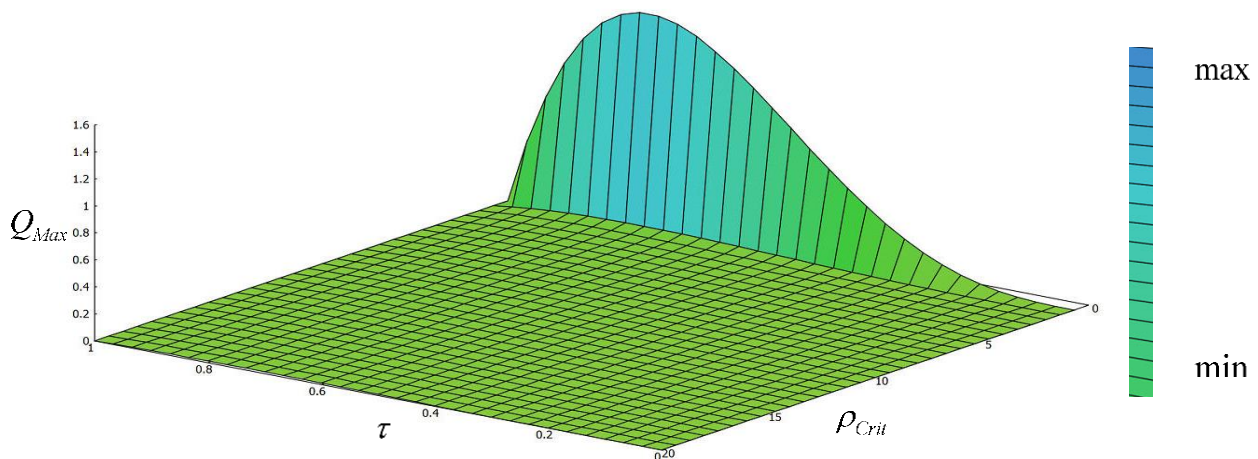


ภาพที่ 2 แสดงสภาวะการส่งผ่านความร้อนแบบพาความร้อนของลมหรือก้อนมวลอากาศที่เคลื่อนที่ในบริเวณที่เกิดสภาวะเกาะความร้อนเมือง

กรณีที่ 2: การถ่ายโอนพลังงานความร้อนแบบการแผ่รังสีความร้อน จากสมการที่ (5) และสมการที่ (6) กำหนดให้ค่า $\lambda = 0$ จะได้ว่า $\rho_{Crit} = (4A\tau^3)^{-1}$ และ พลังงานความร้อนมีค่าสูงสุด ณ ค่ารัศมีวงกฤติ ในลักษณะการแผ่รังสีความร้อน ตามแนวรัศมีภายนอกนับจากขอบของเกาะความร้อนเมืองสู่สิ่งแวดล้อมโดยรอบคือ

$$Q_{Max} = 4A\rho \frac{\tau^3(1-\tau)}{R_C + \ln \rho_{Crit}} \quad (8)$$

จากสมการที่ (8) กำหนดให้ R_C และประมาณผลคูณระหว่าง $4A\rho$ เป็นค่าคงที่เท่ากับ 1 สามารถสร้างเป็นกราฟได้ ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 แสดงการถ่ายโอนพลังงานความร้อนแบบการแผ่รังสีความร้อนของเขตพื้นที่เมืองสู่เขตนอกพื้นที่เมือง

ผลการวิจัย

ผลการวิจัยพบว่า แบบจำลองที่ได้จากการประยุกต์หลักการถ่ายโอนพลังงานความร้อนนี้ ทำให้ได้วิธีการประเมินค่าความเข้มของเกาะความร้อนแบบใหม่ ซึ่งคำนวณจากอัตราส่วนระหว่างอุณหภูมิในพื้นที่นอกเขตเมืองและอุณหภูมิในพื้นที่เขตเมืองซึ่งแตกต่างจากวิธีที่ใช้กันโดยทั่วไป เพื่อแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของแบบจำลองของสภาวะเกาะความร้อนเมืองที่ได้จากการวิจัยนี้ จึงได้มีการนำวิธีการประเมินค่าความเข้มของเกาะความร้อนแบบใหม่นี้ไปทดสอบกับข้อมูลงานวิจัยที่เกี่ยวกับการประเมินความเข้มของเกาะความร้อนในเมืองเชียงใหม่ของ Sangnum et al. (2014) ปรากฏว่าวิธีการประเมินค่าความเข้มของเกาะความร้อนแบบใหม่นี้สอดคล้องกับผลการวิจัยการประเมินความเข้มของเกาะความร้อนโดยวิธีที่ใช้กันทั่วไป โดยมีรายละเอียดของผลการวิจัยดังต่อไปนี้

ผลการวิจัยจากการสร้างแบบจำลองสภาวะเกาะความร้อนเมืองแบ่งการพิจารณาเป็น 2 กรณี ดังนี้

กรณีที่ 1: พิจารณาสาเหตุภายในของเขตพื้นที่เมืองที่ทำให้เกิดสภาวะเกาะความร้อนเมืองนั้นคือ ตัวกลางสำหรับการถ่ายโอนพลังงานความร้อน ได้แก่ ลมหรือก้อนมวลอากาศ ดังนั้นการถ่ายโอนความร้อนในกรณีนี้ จึงพิจารณาสภาวะการส่งผ่านความร้อนแบบพาความร้อนโดยมีลมหรือก้อนมวลอากาศที่เคลื่อนที่ ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวกลางสำหรับการถ่ายโอนพลังงานความร้อนภายในทรงกระบอก (เขตพื้นที่เมือง) ดังนั้นจึงกำหนดให้ $A=0$ จากภาพที่ 2 แสดงให้เห็นว่า ค่าพลังงานความร้อน $Q_{\max}$ ของสภาวะเกาะความร้อนเมืองจะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อ

1. ค่า $\rho_{\text{Crit}} \rightarrow 0$ เพราะค่า λ แปรผันตามค่ารัศมีพื้นที่ผิวทรงกระบอกภายนอก หรือระยะห่างระหว่างสภาวะเกาะความร้อนเมืองกับสิ่งแวดล้อม (r) หมายความว่า ยิ่งเข้าใกล้ เขตพื้นที่เมือง (r ลดลง) ค่าพลังงานความร้อน $Q_{\max}$ ของลมหรือก้อนมวลอากาศที่เคลื่อนที่ ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวกลางสำหรับการถ่ายโอนพลังงานความร้อนภายในทรงกระบอก (เขตพื้นที่เมือง) จะมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากการสะสมของอนุภาคแขวนลอย เช่นฝุ่นที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่า 2.5 ไมครอน สามารถอยู่ในอากาศได้นาน (อังกศิริ ทิพย์ารมณ, ญัฐพล วรกุล, 2559) รวมถึงมลพิษทางอากาศ จากสภาวะบรรยากาศกลางแจ้งที่มีสิ่งเจือปน (contaminant) เช่น ไอควัน (flumes) ก๊าซต่างๆ (gases) ละอองไอน้ำ (mist) กลิ่น (odors) ควัน (smoke) ไอน้ำ (vapor) ฯลฯ หรือกล่าวได้อีกอย่างว่า ค่า $Q_{\max}$ มีความสัมพันธ์แบบแปรผกผันกับค่า ρ_{Crit} , λ และค่า r

2. ค่า $b \rightarrow 0$ เพราะค่า $T_{in} \gg T_{out}$ หมายความว่า ลมหรือก้อนมวลอากาศที่เคลื่อนที่ ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวกลางสำหรับการถ่ายโอนพลังงานความร้อนภายในทรงกระบอก (เขตพื้นที่เมือง) มีพลังงานความร้อนสูงกว่าลมหรือก้อนมวลอากาศที่เคลื่อนที่ ซึ่งเป็นตัวกลางสำหรับการถ่ายโอนพลังงานความร้อนภายนอกทรงกระบอก (เขตพื้นที่นอกเมือง) เนื่องจากการสะสมของ มลพิษทางอากาศ จากสภาวะบรรยากาศกลางแจ้งที่มีสิ่งเจือปน และยิ่งลมหรือก้อนมวลอากาศที่เคลื่อนที่ภายในทรงกระบอก (เขตพื้นที่เมือง) มีพลังงานความร้อนสูงมากขึ้นเท่าไร ก็จะทำให้ค่า $b \rightarrow 0$ และทำให้ค่า $Q_{\max}$ มีค่ามากขึ้นตามไปด้วย

ดังนั้นจากภาพที่ 2 แสดงให้เห็นว่า แนวทางการลดสภาวะเกาะความร้อนเมือง คือ ทำให้ค่า $Q_{\max}$ มีค่าลดลง โดยการลดค่า T_{in} ให้มีค่าใกล้เคียงกับ T_{out} เพราะจะทำให้ $b \rightarrow 1$ หมายความว่า การลดค่า T_{in} เพื่อให้ค่า $Q_{\max}$ มีค่าลดลง สามารถทำได้โดยการลดการสะสมของ มลพิษทางอากาศ จากสภาวะบรรยากาศกลางแจ้งที่มีสิ่งเจือปน ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้ลมหรือก้อนมวลอากาศที่เคลื่อนที่ ซึ่งเป็นตัวกลางสำหรับการถ่ายโอนพลังงานความร้อนภายในทรงกระบอก (เขตพื้นที่เมือง) มีพลังงานความร้อนสูงนั่นเอง

กรณีที่ 2: พิจารณาผลกระทบจาก กรณีที่ 1 คือ พลังงานความร้อนจากเขตพื้นที่เมือง ที่มีอุณหภูมิสูงและเป็นแหล่งเก็บกักพลังงานความร้อนนั้นถ่ายโอนพลังงานความร้อนออกมาในลักษณะการแผ่รังสีความร้อนสู่นอกเขตพื้นที่เมืองซึ่งเป็นพื้นที่สิ่งแวดล้อมซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่า ดังนั้นจึงกำหนดให้ $\lambda = 0$

เนื่องจากการสะสมของ มลพิษทางอากาศ จากสภาวะบรรยากาศกลางแจ้งที่มีสิ่งเจือปน เป็นสาเหตุที่ทำให้ลมหรือก้อนมวลอากาศที่เคลื่อนที่ ซึ่งเป็นตัวกลางสำหรับการถ่ายโอนพลังงานความร้อนภายในทรงกระบอก (เขตพื้นที่เมือง) มีพลังงานความร้อนสูง ถูกถ่ายเทจากภายในทรงกระบอก (เขตพื้นที่เมือง) ซึ่งมีอุณหภูมิสูง (T_{in}) ไปยัง พื้นที่ผิวทรงกระบอกสมมติ จากกฎข้อที่ศูนย์ของอุณหพลศาสตร์ พลังงานความร้อนจาก

พื้นที่ผิวทรงกระบอกสมมุติ ถูกถ่ายโอนไปยังสิ่งแวดล้อม จนพื้นที่ผิวทรงกระบอกสมมุติ จะอยู่ในสภาวะสมดุล ความร้อนกับสิ่งแวดล้อม ($T_s = T_{out}$) ดังนั้นจากภาพที่ 3 แสดงให้เห็นว่า Dimensionless temperature ratio τ คืออัตราส่วนระหว่าง T_s หมายถึง อุณหภูมิของพื้นที่ผิวทรงกระบอกสมมุติเปรียบเทียบกับอุณหภูมิของพื้นที่นอกเขตเมือง และ T_{in} หมายถึง อุณหภูมิของเกาะความร้อนเมือง ภายในทรงกระบอกชั้นในเปรียบเทียบกับอุณหภูมิในพื้นที่เขตเมือง สามารถใช้เป็นค่าประเมินบอกถึงสภาวะเกาะความร้อนเมืองได้ เพราะเป็นค่าที่ไม่ขึ้นกับลักษณะของพื้นที่ ภูมิประเทศ หรือตำแหน่งที่ตั้ง แต่ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนระหว่าง T_s และ T_{in} เช่นเดียวกันกับการประเมินค่า UHI แบบที่ใช้กันโดยทั่วไปใน Thongmeesang J., 2011 และ Sangnum et al. 2014 เป็นค่าที่ไม่ขึ้นกับลักษณะของพื้นที่ ภูมิประเทศ หรือตำแหน่งที่ตั้งเช่นกัน แต่ขึ้นอยู่กับผลต่างของอุณหภูมิในพื้นที่นอกเขตเมืองและพื้นที่เขตเมืองเท่านั้น จากภาพที่ 3 ค่า τ ในช่วง 0 - 0.78 หมายความว่า ผลจากการสะสมของ มลพิษทางอากาศ ของสภาวะบรรยากาศกลางแจ้งที่มีสิ่งเจือปน เป็นสาเหตุที่ทำให้ลมหรือก่อนมวลอากาศที่เคลื่อนที่ ซึ่งเป็นตัวกลางสำหรับการถ่ายโอนพลังงานความร้อนภายในทรงกระบอก (เขตพื้นที่เมือง) มีพลังงานความร้อนสูง ถูกถ่ายเทจากภายในทรงกระบอก (เขตพื้นที่เมือง) ซึ่งมีอุณหภูมิสูง (T_{in}) ไปยัง พื้นที่ผิวทรงกระบอกสมมุติ (T_s) และจากภาพที่ 3 ค่า τ ในช่วง 0.78 - 1 หมายความว่า พลังงานความร้อนจากพื้นที่ผิวทรงกระบอกสมมุติอันเนื่องมาจากพลังงานความร้อนถูกถ่ายเทจากภายในทรงกระบอก (เขตพื้นที่เมือง) ซึ่งมีอุณหภูมิสูง (T_{in}) ถูกถ่ายโอนไปยังสิ่งแวดล้อม (T_{out})

เนื่องจาก ค่า τ ในช่วง 0 - 0.78 คือสาเหตุภายในของเขตพื้นที่เมืองที่ทำให้เกิดสภาวะเกาะความร้อนเมืองนั้นคือ ตัวกลางสำหรับการถ่ายโอนพลังงานความร้อน ดังนั้นผลกระทบจากสาเหตุดังกล่าวต่อสิ่งแวดล้อมจึงอธิบายได้ด้วยค่า τ ในช่วง 0.78 - 1 หรือกล่าวได้อีกอย่างว่า ผลกระทบจากสาเหตุภายในของเขตพื้นที่เมืองที่ทำให้เกิดสภาวะเกาะความร้อนเมืองนั้นสามารถประเมินค่าบอกถึงสภาวะเกาะความร้อนเมืองได้ด้วยค่า τ ในช่วง 0.78 - 1 นั้นเอง ดังนั้นเพื่อแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของแบบจำลองของสภาวะเกาะความร้อนเมืองที่ได้จากการวิจัยนี้ จึงได้มีการนำความสัมพันธ์ที่ได้จากภาพที่ 3 ไปสร้างเป็นวิธีการประเมินค่าความเข้มของเกาะความร้อนแบบใหม่ โดยใช้ค่า Dimensionless temperature ratio, (τ) เป็นตัวบอกถึงสภาวะการที่พลังงานความร้อนจากชุมชนเมืองมีค่ามากกว่าสภาวะปกติอย่างมีนัยสำคัญนี้ไปทดสอบกับข้อมูลงานวิจัยที่เกี่ยวกับการประเมินความเข้มของเกาะความร้อนในเมืองเชียงใหม่ จาก Sangnum et al. (2014) โดยมีขั้นตอนทั้งหมด 3 ขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่1: จาก Thongmeesang (2011) บริเวณที่มีค่า Urban Heat Island Index (UHI) ผลต่างของอุณหภูมิในพื้นที่เขตเมืองกับพื้นที่นอกเขตเมืองซึ่งถ้าผลต่างของอุณหภูมินี้มีค่าเป็นบวกอยู่ในช่วง 2-5 °C แสดงว่าในพื้นที่เขตเมืองมีอุณหภูมิสูงกว่าพื้นที่นอกเขตเมืองอย่างมีนัยสำคัญหรือเรียกว่าเกิดสภาวะเกาะความร้อน (Urban Heat Island) โดยงานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลอุณหภูมิระหว่างพื้นที่เมือง กับสถานีอ้างอิงในชนบท (พื้นที่นอกเมือง) เพื่อประเมินความเข้มของเกาะความร้อนในเมืองเชียงใหม่จาก Sangnum et al. (2014)

โดย Sangnum et al. (2014) ได้ทำการติดตั้งสถานีวัดอุณหภูมิ และรถยนต์เคลื่อนที่เพื่อศึกษาเปรียบเทียบอุณหภูมิในเขตเมือง 3 บริเวณคือ บริเวณถนนสุขเทพ (หลัง มข.), บริเวณถนนช้างคลาน (ย่านไนท์บาร์ซ่า) และบริเวณถนนนิมมานเหมินท์ กับสถานีอ้างอิงในชนบท (อำเภอหางดง) ซึ่งการติดตั้งสถานีวัดอุณหภูมินี้ทำการติดตั้งเทอร์โมมิเตอร์แบบดิจิตอล โดยแต่ละพื้นที่การศึกษาจะทำการติดตั้งเทอร์โมมิเตอร์แบบดิจิตอลพื้นที่ละ 1 จุด ติดตั้งสูงจากพื้น 2 เมตร และติดตั้งอยู่นอกอาคารโดยไม่ให้สัมผัสกับแสงแดด และทำการวัดอุณหภูมิอากาศ แล้วบันทึกค่าข้อมูลอุณหภูมิอากาศทุกชั่วโมง และการใช้วิธีรถยนต์เคลื่อนที่นั้น จะเลือกวันที่มีสภาพอากาศปลอดโปร่งในช่วงฤดูหนาว 1 วันและช่วงฤดูร้อน 1 วัน เพื่อทำการเก็บข้อมูลในเส้นทางที่จะศึกษา 3 เส้นทาง โดยทำการขับรถยนต์ที่มีการติดตั้งเทอร์โมมิเตอร์แบบดิจิตอลบนรถยนต์แล้วขับรถยนต์บนถนนนิมมานเหมินท์ ใช้เวลาประมาณ 4 นาที ถนนสุขเทพ (หลัง มข.) ใช้เวลาประมาณ 4 นาที ถนนช้างคลาน(ย่านไนท์บาร์ซ่า) ใช้เวลาประมาณ 3 นาทีแล้วทำการบันทึกค่าอุณหภูมิดังกล่าว โดยกำหนดความเร็วในการเคลื่อนที่ประมาณ 20-30 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และจะทำการเก็บข้อมูลอุณหภูมิอากาศในเวลา 24.00 น., 07.00 น. และ 16.00 น. แสดงข้อมูลดังตารางที่ 1

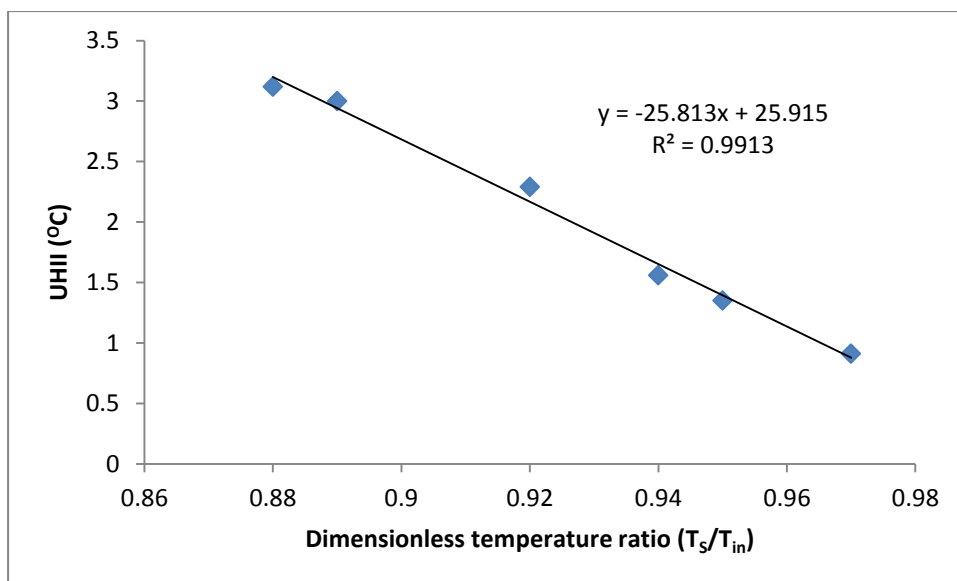
ตารางที่ 1 แสดงข้อมูลอุณหภูมิระหว่างพื้นที่เมือง กับสถานีอ้างอิงในชนบท จาก Sangnum et al. (2014)

พื้นที่การศึกษา	ช่วงเวลารับข้อมูลฤดูหนาว	ช่วงเวลารับข้อมูลฤดูร้อน	อุณหภูมิเฉลี่ย ($^{\circ}\text{C}$)	
			ฤดูร้อน	ฤดูหนาว
ถนนนิมมานเหมินท์	1-28 กพ.	1 มี.ค.-31 พ.ค.	28.03	27.59
ถนนช้างคลาน	1-28 กพ.	1 มี.ค.-31 พ.ค.	27.59	26.67
ถนนสุขเทพ (หลัง มข.)	1-28 กพ.	1 มี.ค.-31 พ.ค.	28.24	27.47
สถานีอ้างอิงในชนบท (อำเภอหางดง)	1-28 กพ.	1 มี.ค.-31 พ.ค.	26.68	24.47

ขั้นตอนที่2: เปลี่ยนค่าข้อมูลอุณหภูมิระหว่างพื้นที่เมือง กับสถานีอ้างอิงในชนบท (พื้นที่นอกเขตเมือง) ในตารางที่ 1 ให้อยู่ในรูปของ Dimensionless temperature ratio (τ) โดยคำนวณมาจากอัตราส่วนระหว่าง T_s คือ อุณหภูมิของพื้นที่ผิวทรงกระบอกสมมุติเปรียบเทียบกับอุณหภูมิของพื้นที่นอกเขตเมือง และ T_{in} คือ อุณหภูมิของเกาะความร้อนเมือง ภายในทรงกระบอกชั้นในเปรียบเทียบกับอุณหภูมิในพื้นที่เขตเมือง หรือ $\tau = \text{อุณหภูมิในพื้นที่นอกเขตเมือง}(T_s) / \text{อุณหภูมิในพื้นที่เขตเมือง}(T_{in})$ ดังตารางที่ 2 ตารางที่ 2 แสดงการเปลี่ยนค่าข้อมูลอุณหภูมิระหว่างพื้นที่เมือง กับสถานีอ้างอิงในชนบท (พื้นที่นอกเขตเมือง) ให้อยู่ในรูปของ Dimensionless temperature ratio (τ)

พื้นที่การศึกษา	ความเข้มของเกาะความร้อนในเมือง (UHI)			
	แบบทั่วไป ($^{\circ}\text{C}$) (อุณหภูมิในพื้นที่เขตเมือง-อุณหภูมิในพื้นที่ นอกเขตเมือง)		Dimensionless temperature ratio (τ) (อุณหภูมิในพื้นที่นอกเขตเมือง/อุณหภูมิใน พื้นที่เขตเมือง)	
	ฤดูร้อน	ฤดูหนาว	ฤดูร้อน	ฤดูหนาว
ถนนนิมมานเหมินท์	1.35	3.12	0.95	0.88
ถนนช้างคลาน	0.91	2.29	0.97	0.92
ถนนสุเทพ (หลัง มข.)	1.56	3.00	0.94	0.89

ขั้นตอนที่ 3: สร้างกราฟเพื่อหาความสัมพันธ์ของข้อมูลระหว่างการประเมินค่าความเข้มของเกาะความร้อนในเมือง (UHI) แบบเต็ม ($^{\circ}\text{C}$) และ Dimensionless temperature ratio (τ) โดยใช้ข้อมูลจากตารางที่ 2 เพื่อสร้างความสัมพันธ์ของข้อมูล ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของข้อมูลระหว่างการประเมินค่าความเข้มของเกาะความร้อนในเมือง (UHI) แบบเต็ม ($^{\circ}\text{C}$) และ Dimensionless temperature ratio (τ) โดยใช้ข้อมูลจากตารางที่ 2

จากภาพที่ 4 สมการเส้นตรง $y = -25.813x + 25.915$ แสดงให้เห็นว่า เมื่อ τ (ค่า x) เท่ากับ 0.92 ค่า UHI (ค่า y) จะมีค่าเท่ากับ 2.29°C และเมื่อ τ (ค่า x) เท่ากับ 0.78 ค่า UHI (ค่า y) จะมีค่าเท่ากับ 5.7 แสดงให้เห็นว่าการประเมินค่า UHI จาก Dimensionless temperature ratio (τ) ในช่วง 0.92 – 0.78 มีความสอดคล้องกับเกณฑ์การประเมินค่า UHI แบบเต็มโดย Thongmeesang (2011) และ Sangnum et al. (2014) ด้วยผลต่างของอุณหภูมิในพื้นที่เขตเมืองกับพื้นที่นอกเขตเมืองโดยพื้นที่เขตเมืองมีอุณหภูมิสูงกว่าพื้นที่นอกเขต

เมืองอย่างมีนัยสำคัญนั้นคือ อยู่ในช่วง $2-5^{\circ}\text{C}$ ของการเกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมือง หมายความว่า การประเมินค่า UHI จากการใช้หลักการถ่ายโอนพลังงานความร้อนเพื่อสร้างแบบจำลองของสภาวะเกาะความร้อนเมืองจากงานวิจัยนี้ โดยคำนวณจาก Dimensionless temperature ratio (τ) โดยค่าในช่วง $0.92 - 0.78$ แสดงว่าอุณหภูมิในพื้นที่เขตเมืองกับพื้นที่นอกเขตเมือง โดยพื้นที่เขตเมืองมีอุณหภูมิสูงกว่าพื้นที่นอกเขตเมืองอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นพื้นที่เขตเมืองนั้นเกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมือง นั่นเอง

สรุปผลการวิจัย

การสร้างแบบจำลองสภาวะเกาะความร้อนเมืองด้วยพื้นที่ผิวทรงกระบอกสมมุติ พื้นที่ผิวสมมุติจะไม่ มีผลกระทบใดๆ กับลักษณะทางกายภาพที่เกิดขึ้นจริง หน้าที่ของพื้นที่ผิวสมมุติ เป็นเครื่องมือสำหรับศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลกระทบต่อการเกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมือง จากผลการวิจัยดังกล่าวมี 2 ปัจจัยคือ

1. ความสัมพันธ์ที่เป็นตัวแทนของการพาความร้อน λ แสดงให้เห็นว่าแนวทางการลดสภาวะเกาะความร้อนเมือง สามารถทำได้โดยการลดการสะสมของ มลพิษทางอากาศ จากสภาวะบรรยากาศกลางแจ้งที่มี สิ่งเจือปน ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้ลมหรือก้อนมวลอากาศที่เคลื่อนที่ ซึ่งเป็นตัวกลางสำหรับการถ่ายโอนพลังงาน ความร้อนภายในทรงกระบอก (เขตพื้นที่เมือง) มีพลังงานความร้อนสูง ดังนั้น จากแบบจำลองสภาวะเกาะความร้อนเมือง ทำให้เราทราบว่าแนวทางการลดสภาวะเกาะความร้อนเมืองนั้น สามารถทำได้โดยถ้าต้องการให้ $Q_{\max}$ มีค่าลดลง ค่า ความสัมพันธ์ที่เป็นตัวแทนของ การพาความร้อน จากพื้นที่ผิวทรงกระบอกสมมุติ ไปยังสิ่งแวดล้อม (λ) จะต้องมีการเพิ่มขึ้น โดยการเพิ่มพื้นที่สีเขียว และแหล่งน้ำในบริเวณเขตพื้นที่เมือง เพื่อทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ การพาความร้อนตามแนวรัศมีภายนอกนับจากขอบของเกาะความร้อนเมืองสู่สิ่งแวดล้อมรอบข้าง (h_0) สูงขึ้น ทำให้ ค่าความสัมพันธ์ที่เป็นตัวแทนของ การพาความร้อน จากพื้นที่ผิวทรงกระบอกสมมุติ ไปยังสิ่งแวดล้อม (λ) สูงขึ้นด้วย เมื่อค่า λ สูงขึ้น ค่า $Q_{\max}$ ก็จะต่ำลง

2. ความสัมพันธ์ที่เป็นตัวแทนของการแผ่รังสีความร้อน A แสดงให้เห็นว่า การประเมินค่า UHI จาก การใช้หลักการถ่ายโอนพลังงานความร้อนเพื่อสร้างแบบจำลองของสภาวะเกาะความร้อนเมืองจาก งานวิจัยนี้ คำนวณจาก Dimensionless temperature ratio (τ) โดยค่าในช่วง $0.92 - 0.78$ แสดงว่าอุณหภูมิ ในพื้นที่เขตเมืองมีอุณหภูมิสูงกว่าพื้นที่นอกเขตเมืองอย่างมีนัยสำคัญสอดคล้องกับเกณฑ์การประเมินค่า UHI แบบเดิมโดย Thongmeesang (2011) และ Sangnum et al. (2014) ด้วยผลต่างของอุณหภูมิในพื้นที่เขตเมือง กับพื้นที่นอกเขตเมืองนั้นคือ อยู่ในช่วง $2-5^{\circ}\text{C}$ ซึ่งความสอดคล้องดังกล่าวแสดงให้เห็นได้ดังภาพที่ 4 นั่นเอง

แต่อย่างไรก็ตาม นอกจากการประเมินค่า UHI จากการใช้หลักการถ่ายโอนพลังงานความร้อนเพื่อสร้างแบบจำลองของสภาวะเกาะความร้อนเมืองจากงานวิจัยนี้แล้ว อาจใช้วิธีอื่นร่วมด้วย เช่น การ ประเมินโดยใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศโดยใช้ข้อมูลจากระบบการรับรู้จากระยะไกล (Remote Sensing : RS) เพื่อช่วยในการวิเคราะห์ภาพถ่ายของการแผ่รังสีความร้อนระหว่างพื้นที่เขตเมืองและพื้นที่นอกเขตเมือง (Stewart, 2011; Roth et al., 1989; Azevedo et al., 2016; Du et al., 2016) เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการ ปรับปรุงแบบจำลองของสภาวะเกาะความร้อนเมืองต่อไป

References

- Akiyama, M. and Chong, Q.P. (1997). Numerical Analysis of Natural Convection with Surface Radiation in a Square Enclosure, *Numerical Heat Transfer; Part A: Applications*, 32 (4), 419-433.
- Asako, Y. and Nakamura, H. (1982). Heat Transfer Across a Parallelogram Shaped Enclosure,” *Bulletin of JSME*, 25, 1412-1424.
- Azevedo, J.A., Chapman, L., and Muller, C.L.(2016). Quantifying the daytime and night-time urban heat island in Birmingham, UK: a comparison of satellite derived land surface temperature and high resolution air temperature observations. *Remote Sens.* 8:153.
- Bouafia, M., Hamimid, S. and Guellal, M. (2015). Non-Boussinesq Convection in a Square Cavity with Surface Thermal Radiation, *International Journal of Thermal Sciences*, 96, 236-247.
- Du, H., Wang, D., Wang, Y., Zhao, X., Qin, F., Jiang, H., and Cai, Y. (2016). Influences of land cover types, meteorological conditions, anthropogenic heat and urban area on surface urban heat island in the Yangtze River Delta Urban Agglomeration. *Sci. Total Environ.* 571, 461–470.
- Earl, N., Simmonds, I., and Tapper, N. (2016). Weekly cycles in peak time temperatures and urban heat island intensity. *Environ. Res. Lett.* 11 (7), 074003.
- Inouye, D.W. (2015). The next century of ecology. *Science* 349, 56.
- Lee, X., Gao, Z., Zhang, C., Chen, F., Hu, Y., Jiang, W., Liu, S., Lu, L., Sun, J., Wang, J., Zeng, Z., Zhang, Q., Zhao, M., and Zhou, M. (2015). Priorities for boundary layer meteorology research in China. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 96 (9), 149–151.
- McDonnell, M.J., and MacGregor-Fors, I. (2016). The ecological future of cities. *Science* 352, 936–938.
- Mills, G. (2008). Luke Howard and the climate of London. *Weather* 63 (6), 153–157.
- Noiraiphum, C. (2009). Application of Sufficiency Economy for Solving The Global Warming Problem in Urban Area, *Veridian E – Journal*, Silpakorn University, Vol 2 No 1, pp. 1-20.

- Rizwan, A.M., Dennis, L.Y.C., and Liu, C., 2008. A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island. *J. Environ. Sci.* 20, 120–128.
- Roth, M., Oke, T.R., and Emery, W.J. (1989). Satellite-derived urban heat islands from three coastal cities and the utilization of such data in urban climatology. *Int. J. Remote Sens.* 10 (11), 1699–1720.
- Sangnum et al. (2014). Urban Heat Island Intensity in Chiang Mai City Using Mobile Surveying Approach, *Advanced Materials Research*, Vol. 931-932, P. 605-613.
- Stewart, I.D. (2011). A systematic review and scientific critique of methodology in modern urban heat island literature. *Int. J. Climatol.* 31 (2), 200–217.
- Tangsirimongkol, M. (2003). The Effect of Urban Landscape Element Characteristics to Air Temperature Around Street: A Case Study of Charonerath Rd., Master. *Landscape Architecture (Landscape Architecture)*, Chulalongkorn University. Bangkok. (Thailand). Graduate School.
- Thongmeesang J. (2011). Parameter Analysis of Urban Heat Island in Chiang Mai, Department of Energy Engineering, Faculty of Engineering, Chiang Mai University, Chiang Mai.
- Tipayarom A. and Varigool N., (2016). Calibration of PM_{2.5} Monitoring Results between Real - Time and Gravimetric Method, *Veridian E-Journal, Science and Technology Silpakorn University*, Vol 3 No 4, pp. 1-11.
- Yang, P., Ren, G., and Liu, W. (2013). Spatial and temporal characteristics of Beijing urban heat island intensity. *J. Appl. Meteorol. Climatol.* 52, 1803–1816.
- Yang, X., Leung, L.R., Zhao, N., Zhao, C., Qian, Y., Hu, K., Liu, X., Chen, B. (2017). Contribution of urbanization to the increase of extreme heat events in an urban agglomeration in east China. *Geophys. Res. Lett.*
- Zhang, P., Imhoff, M.L., Bounoua, L., and Wolfe, R.E. (2012). Exploring the influence of impervious surface density and shape on urban heat islands in the northeast United States using MODIS and Landsat. *Can. J. Remote. Sens.* 38 (4), 441–451.

- Zhou, Y., and Gurney, K. (2010). A new methodology for quantifying on-site residential and commercial fossil fuel CO₂ emissions at the building spatial scale and hourly time scale. *Carbon Manage.* 1 (1), 45–56.
- Zhou, Y., Smith, S.J., Elvidge, C.D., Zhao, K., Thomson, A., and Imhoff, M. (2014). A cluster-based method to map urban area from DMSP/OLS nightlights. *Remote Sens. Environ.* 147, 173–185.
- Zhou, Y., Smith, S.J., Zhao, K., Imhoff, M., Thomson, A., Bond-Lamberty, B., Asrar, G.R., Zhang, X., He, C., and Elvidge, C.D. (2015). A global map of urban extent from nightlights. *Environ. Res. Lett.* 10 (5), 054011.