

มิติเชิงพื้นที่และเวลาของสภาวะเกาะแห่งความร้อนเมืองเชียงใหม่

Temporal and Spatial Dimensions of Urban Heat Island in Chiang Mai

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วันเพ็ญ เจริญตระกูลปิติ และ นิกร มหาวัน

กลุ่มวิชาการวางแผนภาคและเมือง สาขาวิชาสถาปัตยกรรมและการวางแผน

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

นักวิชาการสิ่งแวดล้อม สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

บทคัดย่อ

ปรากฏการณ์เกาะแห่งความร้อนเป็นสภาวะของความร้อนในพื้นที่เมืองที่แตกต่างจากพื้นที่ชนบท และมีการเปลี่ยนแปลงทั้งทางพื้นที่และเวลา โดยมีลักษณะเฉพาะในแต่ละเมืองซึ่งจะปรากฏชัดเจนในพื้นที่ที่มีการพัฒนา ดังนั้นบทความนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปรากฏการณ์เกาะความร้อนของเมืองเชียงใหม่ซึ่งผลการศึกษาสามารถใช้ในการกำหนดแนวทางการพัฒนาเมือง การเก็บรวบรวมข้อมูลประกอบด้วยอุณหภูมิเฉลี่ยรายวันจากสถานีตรวจวัดอากาศที่เป็นตัวแทนของพื้นที่เมืองและชนบท ข้อมูลอุณหภูมิพื้นผิวจากการแปลภาพถ่ายดาวเทียม ASTER เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ความเข้มข้นและการเปลี่ยนแปลงของสภาวะเกาะความร้อนในรอบ 24 ชั่วโมง และข้อมูลสัดส่วนพื้นที่สิ่งปกคลุมดินที่ได้จากการแปลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 7ETM+ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของสิ่งปกคลุมดินร่วมกับข้อมูลอุณหภูมิพื้นผิว

ผลการวิเคราะห์พบว่าลักษณะเชิงพื้นที่ของเกาะความร้อนของเมืองเชียงใหม่เป็นแบบศูนย์กลางเดียว ในขณะที่รูปแบบเกาะความร้อนในเชิงเวลา พบว่าช่วงเวลาที่ปรากฏการณ์เกาะความร้อนที่มีความเข้มข้นสูงสุดคือในเวลากลางคืนของฤดูหนาวเท่ากับ 2.0 องศาเซลเซียส ความแตกต่างของลักษณะกายภาพของพื้นที่เมืองและชนบทเป็นสาเหตุของการเกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อน ผลของการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนสิ่งปกคลุมดินกับอุณหภูมิเฉลี่ยด้วยค่าสถิติ t-test พบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยมีความสัมพันธ์กับสัดส่วนสิ่งปกคลุมดินอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 โดยสิ่งปกคลุมดินประเภทอาคารและสิ่งปลูกสร้างมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับอุณหภูมิเฉลี่ย ในขณะที่พื้นที่ธรรมชาติ เช่น พื้นที่ป่า พื้นที่น้ำ และพื้นที่เกษตรกรรม มีความสัมพันธ์เชิงลบกับอุณหภูมิเฉลี่ย

คำสำคัญ: เกาะแห่งความร้อน สิ่งปกคลุมดิน อุณหภูมิพื้นผิว ภาพถ่ายจากดาวเทียม

Abstract

Urban Heat Island (UHI) is the thermal phenomenon that urban areas are warmer than rural surrounding areas. This phenomenon varies in both terms of spaces and time, which make a given city characterizing a unique its atmosphere. Therefore, the paper aims to investigate the UHI of Chiang Mai city. The empirical evidences of the study contribute to development planning and intellectual land use promoting urban climate comfortable. Daily averaged temperatures recorded from ground measurement points are employed to analyze the intensity and diurnal patterns of urban heat islands. The data acquire from satellite, ASTER and Landsat 7ETM+ are used to test the relationship between the proportion of average temperature and land cover.

The result shows that the spatial pattern of urban heat island in Chiang Mai present a center heat island. Meanwhile, diurnal heat island patterns manifest the maximum heat island intensity in the night time of the winter season with the value of 2.0 degree Celsius. The result of relationship between the proportion

of land cover types and average temperature are statistical significance with the significant value of 0.05. These support argument that physical environments of urban areas are factors resulting in urban heat island. With insight information, this study found that urban structures (building and pavement areas) have positive relationship while rural structures (forest, water, and agricultural areas) have negative correlation to average temperatures.

Keywords: Urban Heat Island Land Cover Surface Temperature Satellite Image

1. บทนำ

สภาวะเกาะความร้อนเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในทุกพื้นที่ที่มีความแตกต่างของวัตถุปกคลุมดิน โดยทั่วไปแยกพื้นที่คลุมดินออกกว้างๆ เป็นสองกลุ่ม คือ พื้นที่เมือง และพื้นที่ชนบท โดยทั่วไปพื้นผิวของเมืองจะมีอุณหภูมิที่สูงกว่าพื้นที่ชนบทอยู่เสมอ ทั้งนี้เนื่องจากวัตถุปกคลุมพื้นผิวของเมืองมีคุณสมบัติในการดูดซับความร้อนในช่วงกลางวันได้ดีและปล่อยคืนสู่บรรยากาศในช่วงเวลากลางคืนได้ช้ากว่าวัตถุปกคลุมพื้นผิวของพื้นที่ชนบท อย่างไรก็ตามระดับความเข้มข้นของความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างพื้นผิวของเมืองกับชนบท ก็มีความแตกต่างกันของแต่ละเมือง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพและชีวภาพของเมืองนั้นๆ เช่น หากเมืองใดมีความหนาแน่นของสิ่งปลูกสร้างสูงและขาดแคลนต้นไม้ อุณหภูมิของเมืองก็จะมีค่าแตกต่างกับชนบทมาก ดังนั้นสภาวะเกาะความร้อนที่เกิดขึ้นในแต่ละเมืองจึงมีลักษณะที่แตกต่างกัน (Oke, 1981; Klysik and Fortuniak, 2003)

นอกจากปัจจัยด้านวัตถุปกคลุมดินที่เป็นสาเหตุให้เกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนแล้ว ลักษณะที่ตั้งทางภูมิศาสตร์และภูมิอากาศเป็นปัจจัยสำคัญในการบ่งชี้ถึงระดับความรุนแรงของปรากฏการณ์เกาะความร้อนของแต่ละพื้นที่ (Arnfield, 2003) อย่างไรก็ตามพื้นที่ที่มีลักษณะภูมิอากาศและประชากรใกล้เคียงกันแต่มีลักษณะกายภาพของเมืองที่แตกต่างกันก็อาจมีระดับความรุนแรงของเกาะความร้อนที่แตกต่างกัน เช่น ตัวเมืองคูเวตและเมืองฟีนิกซ์ซึ่งมีลักษณะภูมิประเทศแบบทะเลทรายและมีประชากรใกล้เคียงกัน แต่เมืองคูเวตมีพื้นที่ที่พัฒนาแล้วน้อยกว่าครึ่งหนึ่งของเมืองฟีนิกซ์ และอยู่ใกล้แหล่งน้ำขนาดใหญ่มากกว่า ส่งผลให้อัตราของผลกระทบจากภาวะเกาะความร้อนในเมืองคูเวต (0.07-0.12 องศาเซลเซียส/ 10 ปี) น้อยกว่าเมืองฟีนิกซ์ ซึ่งมีอัตราการเพิ่มขึ้นของภาวะเกาะความร้อนที่ 0.22 องศาเซลเซียส/ 10 ปี (Nasrallah et al., 1990) จากลักษณะดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงความจำเป็นที่ต้องเข้าใจในภาพรวมของปรากฏการณ์เกาะความร้อนซึ่งอาจอธิบายได้ใน 2 รูปแบบ คือ รูปแบบของภาวะเกาะความร้อนเชิงเวลาและเชิงพื้นที่

ความแตกต่างของอุณหภูมิเมืองกับชนบทที่มีการเปลี่ยนแปลงไปในเชิงเวลาสามารถอธิบายได้ใน 2 ลักษณะ คือ การเปลี่ยนแปลงใน 24 ชั่วโมงของแต่ละวัน และการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล โดยมีปัจจัยที่เป็นตัวกำหนดให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคือความสมดุลของพลังงานความร้อนระหว่างเมืองกับชนบท ซึ่งนำไปสู่ความแตกต่างกันของอัตราการร้อนและอัตราการเย็นของพื้นผิวในระยะเวลา 24 ชั่วโมง (Oke, 1987) ในขณะที่เงื่อนไขด้านสภาพภูมิอากาศเป็นปัจจัยที่กำหนดความแตกต่างของภาวะเกาะความร้อนในแต่ละฤดู (Jauregui, 1997)

สำหรับรูปแบบเกาะความร้อนเชิงพื้นที่ถูกนำเสนอโดย Oke (1987) ที่อธิบายลักษณะที่โดดเด่นของอุณหภูมิ 3 ลักษณะ ประกอบด้วย 1) บริเวณที่อุณหภูมิสูงสุด (Peak) 2) บริเวณที่อุณหภูมิต่ำๆ เพิ่มขึ้น/ลดลง (Plateau) และ 3) บริเวณที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้น/ลดลงอย่างรวดเร็ว (Cliff) ลักษณะโดยทั่วไปของปรากฏการณ์เกาะความร้อนบริเวณที่ร้อนที่สุดจะเกิดขึ้นในบริเวณใจกลางเมืองซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีความหนาแน่นทั้งสิ่งปลูกสร้างและกิจกรรมต่างๆ ที่ส่งเสริมให้อุณหภูมิในบริเวณดังกล่าวร้อนที่สุด ในขณะที่พื้นที่รอบๆ ศูนย์กลางเมืองอุณหภูมิจะค่อยๆ ลดลงในทิศทางออกจากใจกลางเมืองไปสู่ชนบทรอบๆ จนถึงพื้นที่รอยต่อระหว่างพื้นที่เมืองกับพื้นที่ชนบทอัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิจะสูงอย่างชัดเจน ซึ่งอาจมากกว่า 4 องศาเซลเซียส/กิโลเมตร (Oke, 1987; Yamashita, 1996; Juan, 2000) อย่างไรก็ตามอาจมีความแตกต่างของระดับความเข้มข้นของเกาะความร้อนจากอิทธิพลของแหล่งน้ำ พืชพรรณ และที่โล่ง (Oke, 1987) ซึ่งทำให้อุณหภูมิในบริเวณโดยรอบเย็นกว่าพื้นที่เมืองโดยทั่วไป

วิธีการศึกษารูปแบบของความร้อนในอดีตมีเพียงสองวิธี คือ การศึกษาจากข้อมูลที่ได้จากสถานีตรวจวัดอากาศ ซึ่งมีข้อจำกัดในเรื่องความเพียงพอของสถานีตรวจวัดที่ครอบคลุมพื้นที่มากพอจะเป็นตัวแทนของพื้นที่ทั้งเมืองได้ ดังนั้นจึงนำไปสู่วิธีการที่สอง คือการบันทึกข้อมูลจากเครื่องมือตรวจวัดอากาศที่ติดอยู่กับรถยนต์แล้ววิ่งไปตามเส้นทางสายหลักๆ ของเมือง วิธีการนี้สามารถแสดงเส้นตัดขวางของลักษณะความร้อนของเมืองที่แตกต่างกันในแต่ละลักษณะการใช้ที่ดินของเมือง อย่างไรก็ตามก็ยังไม่สามารถแก้ไขข้อจำกัดของวิธีการแรกได้ทั้งหมด และเมื่อข้อมูลความร้อนสามารถตรวจรับได้จากดาวเทียม ข้อจำกัดดังกล่าวจึงไม่ใช่ปัญหาสำหรับการสำรวจรูปแบบเชิงพื้นที่ของความร้อนในเมืองอีกต่อไป

เมืองเชียงใหม่ตั้งอยู่ทางภาคเหนือของประเทศไทย บริเวณที่ราบลุ่มแม่น้ำปิงซึ่งไหลผ่านใจกลางเมืองในแนวเหนือ-ใต้ มีอุณหภูมิเฉลี่ยทั้งปี 25.4 องศาเซลเซียส โดยมีค่าอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย 31.8 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย 20.1 องศาเซลเซียส ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ภูมิอากาศแบ่งเป็น 3 ฤดู คือ ฤดูฝน เริ่มตั้งแต่กลางเดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม ฤดูหนาวเริ่มตั้งแต่เดือนพฤศจิกายนถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์ และฤดูร้อนเริ่มตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ถึงกลางเดือนพฤษภาคม (สำนักงานจังหวัดเชียงใหม่, 2557) และจากข้อมูลอุณหภูมิมบันทึกโดยกรมควบคุมมลพิษในช่วงปี พ.ศ. 2549-2551 พบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยรายวันของเชียงใหม่ ในช่วงฤดูร้อนเท่ากับ 29.28 องศาเซลเซียส ฤดูฝนเท่ากับ 27.83 องศาเซลเซียส และฤดูหนาวเท่ากับ 24.28 องศาเซลเซียส เมืองเชียงใหม่เป็นเมืองศูนย์กลางการพัฒนาทางภาคเหนือ มีการขยายตัวของพื้นที่อาคารและสิ่งปลูกสร้างออกจากพื้นที่เมืองเก่าไปสู่พื้นที่บริเวณโดยรอบ ยกเว้นด้านทิศตะวันตกซึ่งมีภูมิประเทศเป็นเทือกเขาซึ่งอาจมีผลต่อสภาวะเกาะแห่งความร้อน ดังนั้นในการศึกษาจึงได้ประยุกต์ใช้ข้อมูลจากภาพถ่ายจากดาวเทียมและข้อมูลจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศมาเพื่อตรวจสอบสภาวะเกาะความร้อนของเมืองเชียงใหม่ทั้งมิติเวลาและมิติทางพื้นที่

2. ระเบียบวิธีวิจัย

2.1 การรวบรวมข้อมูล

ในการศึกษาสภาพความเข้มข้นของปรากฏการณ์เกาะความร้อนในพื้นที่เมืองเชียงใหม่ ได้มีการรวบรวมข้อมูลหลักประกอบด้วย ข้อมูลอุณหภูมิ และ ข้อมูลสิ่งปกคลุมดิน โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.1.1 ข้อมูลอุณหภูมิ ได้จากแหล่งข้อมูลที่บันทึกจากสถานีตรวจวัดอากาศร่วมกับข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียม โดยข้อมูลอุณหภูมิจากสถานีตรวจวัดอากาศมีข้อดีคือเป็นข้อมูลที่มีความต่อเนื่อง (Continuous Data) แต่ไม่สามารถแสดงในรูปแบบเชิงพื้นที่ได้ ในขณะที่ข้อมูลอุณหภูมิจากภาพถ่ายดาวเทียมนั้นสามารถแสดงในรูปแบบเชิงพื้นที่ได้ แต่ค่าอุณหภูมิที่นำมาใช้เป็นค่า ณ จุดเวลาที่ดาวเทียมผ่านพื้นที่ศึกษา โดยคุณลักษณะของข้อมูลอุณหภูมิจากทั้งสองแหล่งมีรายละเอียดดังนี้

ข้อมูลอุณหภูมिरายสามชั่วโมงจากสถานีตรวจวัดอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยา ช่วงปี พ.ศ. 2548-2552 เพื่อใช้ในการหาความแตกต่างของอุณหภูมิในช่วงเวลา 24 ชั่วโมงระหว่างจุดตรวจวัดที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ที่มีลักษณะสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันสองจุด ที่ถูกกำหนดให้เป็นตัวแทนของพื้นที่เมืองและชนบท อย่างไรก็ตามการเลือกตัวแทนของจุดตรวจวัดยังมีข้อจำกัด เนื่องจากความไม่เพียงพอของจุดตรวจวัดในแต่ละพื้นที่ศึกษาทำให้ไม่สามารถกำหนดจุดตรวจวัดที่เป็นตัวแทนของพื้นที่เมืองและชนบทที่มีความแตกต่างกันได้อย่างชัดเจน และข้อมูลที่ใช้เป็นข้อมูลที่บันทึกมารายสามชั่วโมง

ข้อมูลอุณหภูมิจากภาพถ่ายจากดาวเทียม ในการศึกษานี้ได้เลือกใช้ภาพถ่ายดาวเทียม Aster-A2B03 โดยได้ข้อมูลมาจากหน่วยงาน Earth Remote Sensing Data Analysis Center หรือ ERSDAC เพื่อใช้สำหรับเป็นแหล่งข้อมูลอุณหภูมิที่ให้อยู่ในเชิงพื้นที่ของเมืองเชียงใหม่ ซึ่งภาพถ่าย Aster-A2B03 เป็นภาพถ่ายระดับ L1A ที่ผ่านกระบวนการแปลงข้อมูลค่าสะท้อนความร้อนจากพื้นผิวเป็นอุณหภูมิพื้นผิวเรียบร้อยแล้ว (Surface Kinetic Temperature Product) แต่จัดเก็บในรูปแบบของ Digital Number (DN) มีความละเอียดเชิงพื้นที่ของภาพ 90 x 90 เมตร เป็นภาพวันที่ 9 พฤศจิกายน 2552 ซึ่งเป็นภาพถ่ายที่มีคุณภาพ (ไม่มีเมฆปกคลุม)

ลักษณะของข้อมูลที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียมเป็นค่าพลังงานที่สะท้อนพื้นผิวโลก ที่ถูกตรวจจับได้ โดยอุปกรณ์ตรวจจับพลังงานที่ติดตั้งบนดาวเทียม (Sensors) การนำข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมไปสู่การวิเคราะห์จำเป็นต้องมีกระบวนการก่อนการวิเคราะห์ข้อมูล (Pre-image Processing) ซึ่งประกอบด้วย การปรับแก้เชิงแสง (Radiometric and Atmospheric Correction)¹ และการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนด้านเรขาคณิต (Geometric Correction) ซึ่งการศึกษานี้ได้ทำการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนทางเรขาคณิตด้วยวิธีแผนที่สู่ภาพ (Map to Image) โดยใช้จุดควบคุมภาคพื้นดิน (Ground Control Point) จากแผนที่ภูมิประเทศ มาตราส่วน 1: 50,000 ของกรมแผนที่ทหาร ลำดับชุดที่ L7018 และการสำรวจภาคสนามเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของพิกัดทางภูมิศาสตร์ มีการกำหนดค่าพิกัดให้อยู่ในระบบ UTM (Universal Transverse Mercator) โซน 47 โดยใช้สมการในการแปลงที่อยู่ในรูปของสมการโพลีโนเมียลดีกรีที่ 1 ควบคุมความผิดพลาดเฉลี่ย (Root Mean Square Error; RMSE) ที่ไม่เกิน 1/2 จุดภาพ และใช้วิธีสุ่มซ้ำ (Resampling) แบบ Nearest Neighbor โดยกำหนดจุดภาพใหม่เท่ากับความละเอียดของภาพเดิม ซึ่งในการศึกษานี้ได้ตั้งพิกัดทางภูมิศาสตร์ของภาพโดยกำหนดจุดควบคุมภาคพื้นดิน (Ground Control Point) จำนวน 20 จุด และจุดตรวจสอบความคลาดเคลื่อน (Check Point) จำนวน 12 จุด ซึ่งผลของการกำหนดตำแหน่งพิกัดทางภูมิศาสตร์ของภาพมีค่าความคลาดเคลื่อนเรขาคณิตเฉลี่ยของภาพ Aster ณ จุดควบคุม และจุดตรวจสอบของเมืองเชียงใหม่ เท่ากับ 0.178 และ 0.132 ตามลำดับ

2.1.2 ข้อมูลสิ่งปกคลุมดิน เป็นข้อมูลที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียม Landsat-7 ETM+ Path 131 Row 47 บันทึกเมื่อวันที่ 28 มกราคม 2553 (ไม่มีเมฆปกคลุมเหนือพื้นที่ศึกษา) จัดเก็บภาพโดย The United States Geological Survey หรือ USGS มีความละเอียดเชิงพื้นที่ของภาพ 30 x 30 เมตร การปรับแก้ความคลาดเคลื่อนด้านเรขาคณิตของภาพถ่ายดาวเทียม (Geometric Correction) ใช้วิธีเกี่ยวกับการปรับแก้ข้อมูลอนุภูมิ โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนด้านเรขาคณิตเฉลี่ยของจุดควบคุมเท่ากับ 0.201 และจุดตรวจสอบเท่ากับ 0.197

หลังจากที่ทำการปรับแก้ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 7 ETM+ เชิงเรขาคณิตแล้ว จึงทำการจำแนกลักษณะสิ่งปกคลุมดิน ใช้วิธีการจำแนกแบบกำกับดูแล (Supervise Classification) โดยนำข้อมูลที่ได้ปรับแก้ความคลาดเคลื่อนด้านเรขาคณิตแล้ว รวมทั้งได้ปรับลดค่าพลังงานที่ได้รับอิทธิพลจากบรรยากาศและพลังงานที่สะท้อนจากจุดภาพอื่นออกให้ เป็นค่าเฉพาะของแต่ละจุดภาพเพื่อมาจำแนกสิ่งปกคลุมดิน จากข้อมูลแผนที่ฐานเปรียบเทียบจากแผนที่ภาพถ่ายดาวเทียม ความละเอียดสูง และการสำรวจภาคสนาม ทำให้สามารถกำหนดประเภทของสิ่งปกคลุมดินในแต่ละจุดภาพของภาพถ่ายดาวเทียม โดยการพิจารณาารูปแบบค่ารังสีสะท้อน (Spectral Signatures) ในแต่ละช่วงคลื่นของสิ่งปกคลุมดินที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียม สามารถจำแนกลักษณะสิ่งปกคลุมดินออกเป็น 5 ประเภท ประกอบด้วย 1) พื้นที่เมือง 2) พื้นที่ป่าไม้ 3) พื้นที่เกษตรกรรม 4) พื้นน้ำ และ 5) พื้นที่โล่ง

2.2 วิธีการศึกษารูปแบบและความเข้มข้นของเกาะความร้อน

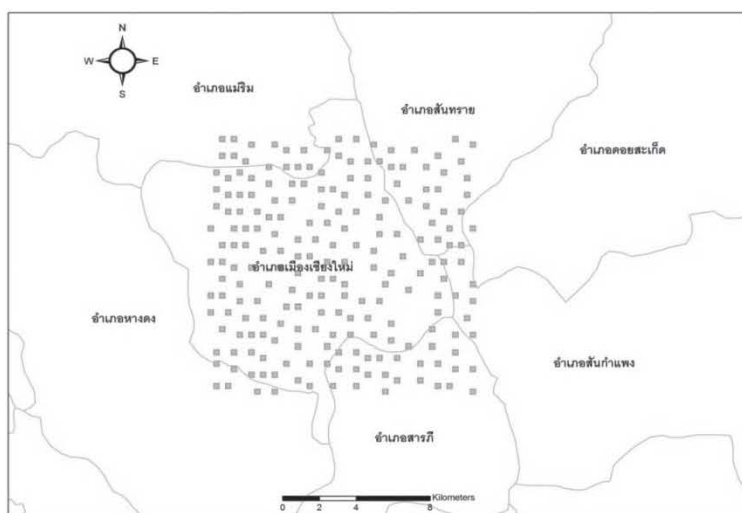
2.2.1 การสำรวจสภาวะเกาะความร้อนของเมืองเชียงใหม่ ใช้ข้อมูลอนุภูมิของสถานีโรงเรียนยุพราชกับสถานีศาลากลางเมืองวิเคราะห์โดยใช้ค่าสถิติ T-Test ในการทดสอบความแตกต่างของค่าอุณหภูมิเฉลี่ยระหว่างสถานีเมือง (โรงเรียนยุพราช) กับสถานีในชนบท (ศาลากลางเมือง) ภายใต้สมมุติฐานหลัก (H_0) ที่ว่า ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยรายวันของสถานีเมืองไม่มีความแตกต่างจากค่าอุณหภูมิเฉลี่ยรายวันของสถานีชนบทรอบนอกเมือง

2.2.2 การสำรวจรูปแบบเชิงพื้นที่ของความร้อนในเมืองหลัก ได้อาศัยข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียม (ASTER) เป็นพื้นฐาน ซึ่งเป็นข้อมูลสภาวะความร้อนในช่วงเวลาประมาณ 10.30 น. ที่ผ่านกระบวนการแปลงข้อมูลค่าสะท้อนความร้อนจากพื้นผิวเป็นอุณหภูมิพื้นผิวเรียบร้อยแล้ว ดังนั้นจึงสามารถนำไปวิเคราะห์หารูปแบบความร้อนในเมืองได้ทันที โดยการสร้างเส้นชั้นความร้อนจากข้อมูลความร้อนในแต่ละจุดภาพของภาพถ่าย ASTER ซึ่งสามารถทำได้ในโปรแกรมสารสนเทศภูมิศาสตร์ ArcMap จากเส้นชั้นความร้อนที่ได้จึงทำให้สามารถวิเคราะห์รูปแบบเชิงพื้นที่ของความร้อนได้

¹ การปรับแก้เชิงแสง (Radiometric Correction) เป็นความคลาดเคลื่อนของพลังงานที่บันทึกได้อันเนื่องมาจากความคลาดเคลื่อนของตัวอุปกรณ์เอง ซึ่งศูนย์ควบคุมดาวเทียมแต่ละดวงต้องเป็นผู้ตรวจสอบก่อนการเผยแพร่ข้อมูลไปสู่ผู้ใช้

2.2.3 การสำรวจความเข้มข้นของเกาะความร้อนเชิงเวลาในเมืองเชียงใหม่ จากการเปรียบเทียบข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยรายสามชั่วโมงในช่วงเวลา 24 ชั่วโมง ที่ได้จากการบันทึกตลอดช่วงระยะเวลาดังตั้ง ปี พ.ศ. 2548-2552 จากสถานีตรวจวัดอากาศที่เป็นตัวแทนของพื้นที่เมืองและชนบท โดยการนำข้อมูลดังกล่าวมาสร้างเส้นกราฟ และเสนอลักษณะความเข้มข้นของเกาะความร้อนใน 24 ชั่วโมงของเมืองเชียงใหม่

2.2.4 การทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับสิ่งปกคลุมดิน เพื่อทดสอบอิทธิพลของสัดส่วนสิ่งปกคลุมดินที่มีต่อความเข้มข้นเกาะความร้อนที่เกิดขึ้น ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 7ETM+ ที่ครอบคลุมพื้นที่เมืองเชียงใหม่ ใช้เป็นแหล่งข้อมูลสำหรับการจำแนกประเภทสิ่งปกคลุมเป็น 5 ประเภท (ประกอบด้วย พื้นที่เมือง พื้นที่ป่า พื้นที่น้ำ ที่โล่ง และพื้นที่เกษตรกรรม) เพื่อคำนวณค่าสัดส่วนพื้นที่ปกคลุมดิน ในขณะที่ข้อมูลอุณหภูมิของพื้นที่เมืองดังกล่าวได้มาจากข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียม ASTER แล้วจึงนำข้อมูลทั้งสองมาหาความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนสิ่งปกคลุมดินกับอุณหภูมิในการหาสัดส่วนจำเป็นต้องมีข้อมูลสัดส่วนสิ่งปกคลุมดินและค่าอุณหภูมิที่มาจากพื้นที่เดียวกัน ในการศึกษาครั้งนี้จึงใช้โปรแกรม ArcMap เพื่อสร้างตารางกริด ขึ้นครอบคลุมพื้นที่เมืองทั้งหมด โดยมีขนาดพื้นที่กริดเท่ากับ 316 x 316 เมตร การกำหนดขนาดกริด ดังกล่าวมาจากการศึกษาของ Eliasson (1996) ที่ค้นพบว่าขนาดพื้นที่ 100,000 ตารางเมตร เป็นพื้นที่ที่สามารถสร้างลักษณะภูมิอากาศเฉพาะพื้นที่ขึ้นมาได้ ซึ่งนำไปสู่การแลกเปลี่ยนอากาศกับพื้นที่ข้างเคียง ดังนั้น กริดขนาดดังกล่าวจึงถูกสร้างขึ้นเพื่อใช้เป็นกรอบของพื้นที่โดยการซ้อนทับตารางกริดลงบนแผนที่สิ่งปกคลุมดินสำหรับนับจำนวนข้อมูลสัดส่วนพื้นที่ของสิ่งปกคลุมดินแต่ละประเภทที่อยู่ภายในกริด โดยในหนึ่งกริดจะประกอบด้วยจุดภาพ (Pixel) ของสิ่งปกคลุมดินอยู่ 100 จุดภาพซึ่งเท่ากับร้อยละของสัดส่วนสิ่งปกคลุมดินในแต่ละกริด ดังนั้นในการศึกษานี้จึงทำการคัดเลือกข้อมูลกริดโดยการสุ่มแบบเฉพาะเจาะจง (Purposive Sampling) โดยการสุ่มกริดจำนวนทั้งสิ้น 210 กริด (ดังแสดงในรูปที่ 1) และทำเช่นเดียวกันกับข้อมูลอุณหภูมิ ด้วยวิธีการดังกล่าวจะทำให้ได้ค่าข้อมูลสัดส่วนสิ่งปกคลุมดินและอุณหภูมิที่อยู่ในแต่ละกริด และสามารถนำข้อมูลที่ได้ไปทดสอบหาความสัมพันธ์ด้วยสถิติ T-Test ระหว่างสัดส่วนสิ่งปกคลุมดิน (ประกอบด้วย พื้นที่เมือง พื้นที่ป่า พื้นที่น้ำ ที่โล่ง และพื้นที่เกษตรกรรม) และอุณหภูมิ



รูปที่ 1 การสุ่มกริดในเมืองเชียงใหม่

3. ผลการวิเคราะห์

ผลการวิเคราะห์แบ่งเป็นสี่ส่วนหลัก ในส่วนแรกเป็นการแสดงสถานการณ์เกาะความร้อนเมืองเชียงใหม่ ส่วนที่สองเป็นรูปแบบความเข้มข้นเกาะความร้อนเชิงพื้นที่ ส่วนที่สามเป็นรูปแบบความเข้มข้นเกาะความร้อนเชิงเวลา และส่วนสุดท้ายเป็นความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งปกคลุมดินและอุณหภูมิ

3.1 ปรากฏการณ์เกาะความร้อนของเมืองเชียงใหม่

ความเข้มข้นของปรากฏการณ์เกาะความร้อนของเมืองเชียงใหม่พบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยรายวันในช่วง ปี พ.ศ. 2549-2551 ของสถานีตรวจวัดอากาศยุพราชซึ่งตั้งอยู่บริเวณกลางตัวเมืองเชียงใหม่กับสถานีตรวจวัดอากาศศาลากลางอยู่บริเวณเชิงเขาไปทางทิศเหนือของตัวเมืองเชียงใหม่โดยแยกตามฤดูพบว่าสถานีตรวจวัดอากาศยุพราชมีอุณหภูมิเฉลี่ยรายวันสูงกว่าสถานีสถานีตรวจวัดศาลากลางอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ในทุกฤดู โดยค่าความแตกต่างของอุณหภูมิเฉลี่ยรายวันในฤดูร้อนเท่ากับ 1.27 องศาเซลเซียส ฤดูฝนค่าอุณหภูมิเฉลี่ยรายวันของสถานีตรวจวัดอากาศยุพราชสูงกว่าสถานีตรวจวัดอากาศศาลากลาง 0.74 องศาเซลเซียส และฤดูหนาวค่าอุณหภูมิเฉลี่ยรายวันของสถานีตรวจวัดอากาศยุพราชสูงกว่าสถานีตรวจวัดอากาศศาลากลาง 1.03 องศาเซลเซียส ดูรายละเอียดในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบอุณหภูมิเฉลี่ยรายวันช่วงปี พ.ศ. 2549-2551 สถานียุพราชและสถานีศาลากลางเมืองเชียงใหม่

ฤดู	สถานี	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	จำนวนชุดข้อมูล	สถิติที่ใช้ทดสอบ t		ช่วงความเชื่อมั่น 95%	
					t-value	p-value	ต่ำสุด	สูงสุด
ร้อน	ยุพราช	29.27	1.18	90	7.377	.000	0.92627	1.6028
	ศาลากลาง	28	1.11	90				
ฝน	ยุพราช	27.83	0.56	90	9.333	.000	0.58681	0.90159
	ศาลากลาง	27.09	0.49	85				
หนาว	ยุพราช	24.28	1.03	85	6.837	.000	0.7352	1.33219
	ศาลากลาง	23.25	0.94	84				

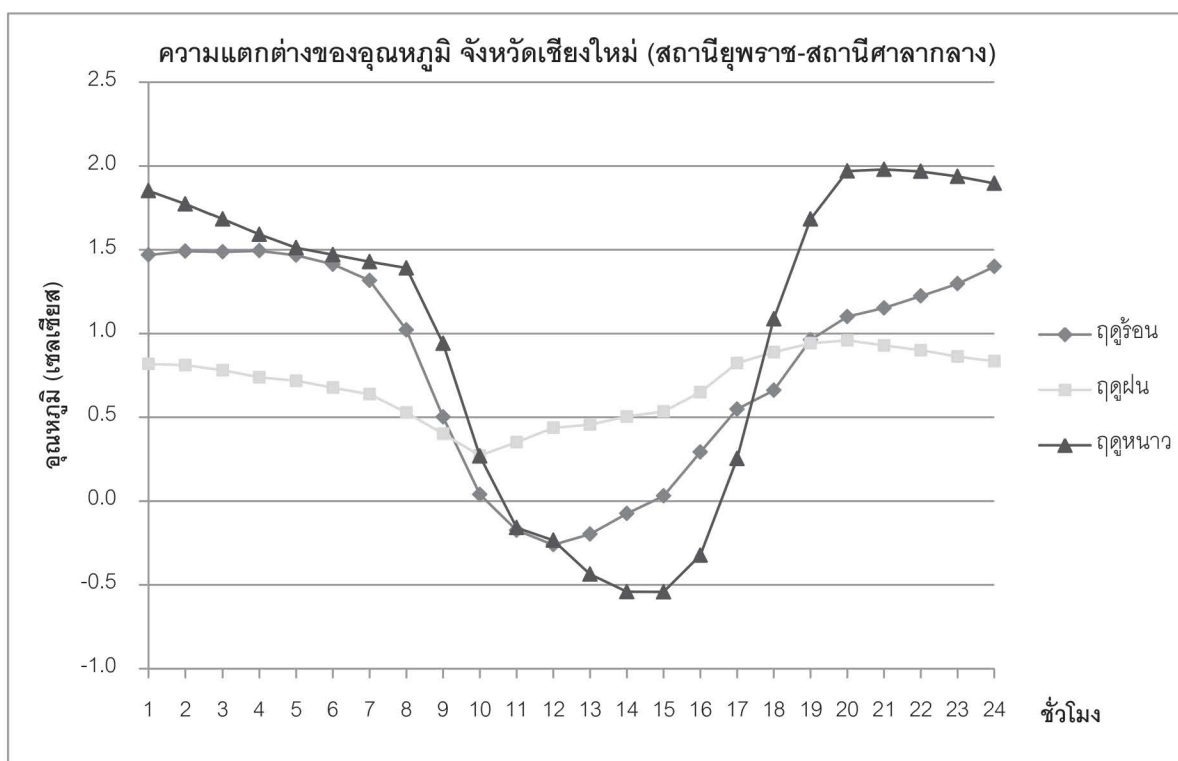
3.2 รูปแบบเกาะความร้อนเชิงพื้นที่ (Spatial Heat Island Patterns)

เมืองเชียงใหม่เป็นเมืองศูนย์กลางการพัฒนาทางภาคเหนือ มีการขยายตัวของพื้นที่อาคารสิ่งปลูกสร้างอย่างต่อเนื่องในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา การพัฒนาขยายตัวออกจากพื้นที่เมืองเก่าออกสู่พื้นที่โดยรอบด้านทิศเหนือ ทิศตะวันออก และทิศใต้ ยกเว้นด้านทิศตะวันตกเป็นอุทยานแห่งชาติดอยสุเทพ-ปุย มีลักษณะภูมิประเทศที่เป็นภูเขาสูงส่งผลให้พื้นที่การพัฒนาของตัวเมืองไม่สามารถขยายตัวออกไปได้จึงทำให้ตัวเมืองเชียงใหม่มีแหล่งธรรมชาติที่ก่อให้เกิดการหมุนเวียนของอากาศระหว่างพื้นที่เมืองกับพื้นที่ข้างเคียงด้านทิศตะวันตก ประกอบกับพื้นที่เมืองเชียงใหม่มีขนาดเล็กและพื้นที่พัฒนาค่อนข้างเกาะกลุ่ม ดังนั้นลักษณะของเส้นความร้อนที่เกิดขึ้นจากข้อมูลความร้อนที่ได้จาก ASTER (รูปที่ 2) จึงแสดงในลักษณะที่เป็นศูนย์กลางเดียว โดยมีค่าความร้อนระหว่าง 30-39 องศาเซลเซียส บริเวณที่มีอุณหภูมิสูงตั้งแต่ 39 องศาเซลเซียสขึ้นไปพบได้ในบริเวณสนามบินเชียงใหม่และที่ตั้งของตลาดต่างๆ เช่น ตลาดศรีวัฒนา ตลาดเมืองใหม่ ตลาดวโรรส และตลาดหนองหอย เป็นต้น ทั้งนี้อาจอธิบายได้ด้วยกิจกรรมในตลาดที่มีการใช้ความร้อนในการประกอบอาหาร ประกอบกับการจราจรคับคั่ง ในขณะที่บริเวณวัด โรงเรียน ที่พักอาศัยที่มีต้นไม้อยู่มากทำให้อุณหภูมิต่ำกว่า 36 องศาเซลเซียส และบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำสุดของเมืองเชียงใหม่ (30 องศาเซลเซียส) เป็นบริเวณแม่น้ำปิงที่ไหลจากทิศเหนือไปทิศใต้ทางด้านทิศตะวันออกของเมือง



3.3 รูปแบบความเข้มข้นของเกาะความร้อนเชิงเวลา

168



รูปที่ 3 รูปแบบความเข้มข้นของเกาะความร้อนในรอบ 24 ชั่วโมง ของเมืองเชียงใหม่

3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งปกคลุมดินกับอุณหภูมิ

ข้อมูลการศึกษาเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนพื้นที่ที่คลุมดินกับอุณหภูมิพบว่า อุณหภูมิของเมืองแปรผันตรงกับ การเปลี่ยนแปลงของสัดส่วนพื้นที่ผิวที่เป็นอาคารสิ่งปลูกสร้าง ในขณะที่แปรผกผันกับสัดส่วนพื้นที่ธรรมชาติ (Mahawan, 2010; วันเพ็ญ และ นิกร 2553) อย่างไรก็ตาม สภาพความร้อนในบรรยากาศของแต่ละบริเวณขึ้นอยู่กับปัจจัยทางกายภาพ และชีวภาพ รวมถึงสภาพภูมิอากาศของแต่ละพื้นที่ ซึ่งมีความแตกต่างกันในแต่ละบริเวณ ส่งผลต่อระดับความสัมพันธ์ของ สัดส่วนพื้นที่ที่คลุมดินกับอุณหภูมิในบริเวณนั้นๆ ผลการทดสอบความสัมพันธ์ด้วยค่าสถิติ T-Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ พิจารณาช่วงความเชื่อมั่นของความสัมพันธ์ ที่ระดับ 95% ดังแสดงในตารางที่ 2 พบว่า อุณหภูมิในเมืองเชียงใหม่มีความ สัมพันธ์กับทุกสิ่งปกคลุมดิน ประกอบด้วย พื้นที่เมือง พื้นที่ป่า พื้นที่น้ำ ที่โล่ง และพื้นที่เกษตรกรรม และเมื่อพิจารณาระดับ ความสัมพันธ์ด้วยค่าสัมประสิทธิ์ของเพียร์สันพบว่า พื้นที่เมืองมีความสัมพันธ์ไปในทางเดียวกันกับอุณหภูมิ กล่าวคือ เมื่อสัดส่วน พื้นที่เมืองเพิ่มขึ้น อุณหภูมิก็จะเพิ่มสูงขึ้นด้วย ในขณะที่ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิที่มีต่อสัดส่วนพื้นที่ป่า พื้นที่น้ำ ที่โล่ง และ พื้นที่เกษตรกรรมเป็นไปในลักษณะผกผัน กล่าวคืออุณหภูมิจะลดลงเมื่อสัดส่วนพื้นที่ป่า พื้นที่น้ำ ที่โล่ง หรือ พื้นที่เกษตรกรรม เพิ่มขึ้น โดยความสัมพันธ์ของอุณหภูมิที่มีต่อพื้นที่เมือง และพื้นที่ป่าพบในระดับค่อนข้างสูง 0.718 และ -0.800 ตามลำดับ

ตารางที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับสัดส่วนสิ่งปกคลุมพื้นผิวในเมืองเชียงใหม่

อุณหภูมิ (เซลเซียส)	พื้นที่เมือง		พื้นที่ป่า		พื้นที่น้ำ		ที่โล่ง		เกษตรกรรม	
	r	t-prob	r	t-prob	r	t-prob	r	t-prob	r	t-prob
เชียงใหม่	.718	.000	-.800	.000	-.427	.000	-.236	.014	-.264	.000

4. อภิปรายผล

ความแตกต่างของอุณหภูมิในพื้นที่เมืองกับพื้นที่ชนบทรอบเมืองเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นมาอย่างต่อเนื่อง ระดับความแตกต่างของอุณหภูมิขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของอาคาร และกิจกรรมในเมือง หากเมืองมีอาคารและกิจกรรมภายในเมืองมีความหนาแน่นสูง ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างเมืองกับชนบทรอบเมืองจะมีความแตกต่างมาก

ลักษณะเชิงพื้นที่ของเกาะความร้อนของเมืองเชียงใหม่เป็นแบบศูนย์กลางเดี่ยว โดยพบเกาะความร้อนบริเวณที่เป็นที่ตั้งของตลาดและสนามบิน เช่นเดียวกับรูปแบบเชิงพื้นที่เกาะความร้อนของเมืองขอนแก่น หาดใหญ่ ชลบุรี (วันเพ็ญ และนิกร, 2553) อย่างไรก็ตามรูปแบบเชิงพื้นที่สามารถมีลักษณะหลายศูนย์กลางกระจายในพื้นที่ได้ ยกตัวอย่างเมืองกรุงเทพมหานคร และเมืองใกล้เคียง ที่พบเกาะความร้อนกระจายไปตามบริเวณศูนย์กลางการเศรษฐกิจ เช่น บริเวณพระราม 3 คลองเตย และพื้นที่อุตสาหกรรมหนาแน่น บริเวณพระประแดง และเมืองสมุทรปราการ

ลักษณะปรากฏการณ์เกาะความร้อนของเมืองเชียงใหม่ในรูปแบบเชิงเวลา เป็นการศึกษาความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างพื้นที่เมืองและชนบทโดยรอบในรอบ 24 ชั่วโมง มีอิทธิพลต่อการดำเนินชีวิตของผู้คนที่อาศัยอยู่ในเมืองที่ต้องเผชิญกับสภาวะอากาศที่ร้อนมากกว่าปกติ ระดับความผิดปกติของอุณหภูมิโดยเกาะความร้อนจะมีค่าความเข้มข้นเพิ่มมากขึ้นในช่วงเวลาหลังพระอาทิตย์ตกดินซึ่งอาจแตกต่างกันในแต่ละเมืองและฤดูกาล ตัวอย่างเช่น เมืองลodz (Lodz) ประเทศโปแลนด์ พบว่าในฤดูร้อนเป็น ช่วงเวลาที่มีระดับความเข้มข้นของเกาะความร้อนสูงที่สุด 3-4 องศาเซลเซียส (Klysik and Fortuniak, 1999) เช่นเดียวกับเมืองลอนดอนที่มีช่วงเวลาที่ระดับความเข้มข้นสูงสุดในฤดูร้อน (1.6 องศาเซลเซียส) (Watkins, 1999) ในขณะที่เมือง กราเนดา ประเทศสเปน (Montavez et al., 2000) และ กรุงปักกิ่ง ประเทศจีน (Liu et al., 2007) พบว่าช่วงเวลาที่ความเข้มข้นของเกาะความร้อนพบในฤดูหนาว ด้วยค่าความเข้มข้น 2.5 องศาเซลเซียส เช่นเดียวกับผลของงานศึกษาที่พบว่า เวลาที่เกาะความร้อนในเมืองเชียงใหม่ที่มีค่าความเข้มข้นสูงที่สุดแตกต่างกันในฤดูหนาว โดยเวลาสูงสุดของความเข้มข้นของเกาะความร้อนเกิดขึ้นในช่วงเวลาประมาณ 2 ชั่วโมงหลังพระอาทิตย์ตกดิน (20.00 น.) โดยค่าความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 2 องศาเซลเซียส ในขณะที่ฤดูร้อนและฤดูฝน ค่าสูงสุดของความเข้มข้นของเกาะความร้อน เท่ากับ 1.5 และ 1 องศาเซลเซียส สาเหตุหนึ่งที่สำคัญที่ทำให้เกิดสภาวะเกาะแห่งความร้อนคือความแตกต่างของสิ่งปกคลุมดินระหว่างเมืองและชนบท จากผลการศึกษาพบว่าอุณหภูมิมีความสัมพันธ์กับสัดส่วนพื้นที่ปกคลุมดินโดยพื้นที่เมืองมีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับอุณหภูมิ ในขณะที่พื้นที่ธรรมชาติ เช่น พื้นที่ป่า พื้นที่น้ำ และพื้นที่เกษตรกรรมมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิในเชิงลบ ซึ่งสอดคล้องกับผลจากงานวิจัยอื่นที่เกี่ยวข้อง เช่น Mahawan, 2010; กนกวรรณ, 2541; ธนฤต, 2545; Kimura และ Takahashi, 1991; Eliasson, 1996; Asaeda et al., 1996; Svensson, 2002)

5. สรุปและเสนอแนะ

การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอากาศในเมืองอย่างต่อเนื่องมีสาเหตุหลักมาจากการลดลงของพื้นที่สีเขียวอย่างรวดเร็ว เนื่องจากเมืองมีการเปลี่ยนแปลงสภาพทางกายภาพที่ซับซ้อน และกิจกรรมของมนุษย์มีความเข้มข้นสูง นอกจากนี้ยังมีสาเหตุอื่น เช่น การเพิ่มขึ้นของสารมลพิษทางอากาศจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ การใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าโดยเฉพาะเครื่องปรับอากาศ การลดลงของความชื้นสัมพัทธ์ ล้วนแล้วแต่เป็นปัจจัยที่ส่งผลให้เมืองมีอุณหภูมิสูงกว่าชนบท จากข้อค้นพบของบทความนี้ที่ตรวจสอบสภาพเกาะความร้อนในพื้นที่เมืองเชียงใหม่และอิทธิพลของสิ่งปกคลุมดินที่ต่ออุณหภูมิในบรรยากาศ พบว่าเมืองมีความเข้มข้นของเกาะความร้อนสูงกว่าชนบท ซึ่งมีผลต่อสภาวะความสบายของผู้อาศัย

การบูรณาการความรู้ทางด้านภูมิอากาศควบคู่กับการวางแผนพัฒนาและการวางผังเมือง สามารถช่วยบรรเทาสภาวะเกาะแห่งความร้อนได้ โดยมีบทความต่างๆ ที่กล่าวถึงจะวางผังเมืองอย่างไรที่จะช่วยลดโลกร้อนได้ (Blakely, 2007; Eliasson, 2000; Mills, 2006; Yuen & Kong, 2009) และหน่วยงานระหว่างประเทศต่างๆ เช่น UN-Habitat ได้ให้ความสนใจเกี่ยวกับการวางผังเมืองว่าเป็นสิ่งสำคัญในการจัดการกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โดยเสนอให้มีการเพิ่มพื้นที่โล่งและสวนสาธารณะซึ่งเปรียบเสมือนแหล่งเก็บความร้อน (Urban Heat Sinks) ในพื้นที่เมือง การลดรอยเท้าทางนิเวศของเมือง

ด้วยการวางแผนให้เมืองมีการใช้ที่ดินผสมผสาน (Mixed Use) เมืองมีความกะทัดรัด (compact City) และให้มีการเดินทางโดยอยู่บนพื้นฐานของการพึ่งพาระบบขนส่งสาธารณะ

แนวทางบูรณาการด้านการวางผังเมืองร่วมกับสภาพภูมิอากาศอาจพิจารณาได้ 2 กรณีหลัก คือ 1) ในกรณีพื้นที่ที่อยู่ในระหว่างการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน ควรคำนึงถึงความหนาแน่นของอาคาร ความสูงของอาคาร ที่ตั้งของอาคาร รวมถึงความกว้างของถนนและการวางตัวของถนน และที่โล่งที่ควรมีพื้นที่ 100,000 ตารางเมตร หรือ 0.1 ตารางกิโลเมตร เป็นอย่างต่ำ เพราะจากการศึกษาของ Eliasson พบว่าขนาดพื้นที่โล่งดังกล่าวสามารถก่อให้เกิดการถ่ายเทของอากาศสู่พื้นที่โดยรอบได้ ร่วมกับปัจจัยด้านภูมิอากาศ เช่น ทิศทางลม ทิศทางของแสงแดด เพื่อช่วยในการระบายอากาศและถ่ายเทความร้อนได้ นอกจากนี้ควรพิจารณาลักษณะกายภาพของเมืองที่ส่งเสริมต่อการไหลเวียนของอากาศ เช่น ลักษณะร่องหุบเขา เขียงเขา หรือแม่น้ำ โดยกำหนดให้พื้นที่ที่มีความหนาแน่นอาคารและความสูงในระดับที่แตกต่างกัน เช่น บริเวณในแนวร่องเขา หรือริมแม่น้ำ ควรเป็นที่เปิดโล่ง หรือถ้าจะมีอาคารก็ต้องมีช่องที่สามารถถ่ายเทอากาศจากแม่น้ำกับพื้นที่ด้านในได้สะดวกเพียงพอ และ 2) ในกรณีของพื้นที่ที่มีความเป็นเมืองค่อนข้างสูง เช่น ย่านพาณิชยกรรมที่มีความหนาแน่นสูง ควรหลีกเลี่ยงการเพิ่มความหนาแน่นของอาคารในพื้นที่ โดยเฉพาะในพื้นที่ที่อาจส่งผลกระทบต่อกระบวนการระบายอากาศ และเพิ่มพื้นที่สีเขียว หรือพื้นที่น้ำในบริเวณช่องว่างระหว่างอาคาร พื้นที่ด้านหน้า-หลังอาคาร หรือพื้นที่บริเวณหลังคา เช่น การจัดสวนบนหลังคา (Green Roof Garden) หรือปลูกไม้เลื้อยบริเวณกำแพง เป็นต้น นอกจากนี้อาจรณรงค์ให้มีการเปลี่ยนสีของวัสดุในเมืองให้มีสีขาวหรือสีที่อ่อน และการเปลี่ยนวัสดุอาคารด้วยวัสดุที่มีคุณสมบัติดูดซับความร้อนต่ำ (Solecki et al. 2004) เพื่อลดการสะสมความร้อนของวัสดุ ดังนั้นนโยบายและกลยุทธ์ในการบรรเทาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนทั้งในพื้นที่เมืองขนาดใหญ่ (Mega-Cities) และพื้นที่ที่มีความเปราะบาง (Vulnerable Areas) เป็นสิ่งท้าทายและมีความจำเป็นอย่างยิ่งต่อการวางแผนพัฒนาเมือง

เอกสารอ้างอิง

- กนกวรรณ โกมลวีระเกตุ. (2541). ผลของสิ่งปกคลุมดินต่อการเกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนของเมืองในกรุงเทพมหานคร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม, บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ชนกฤต เทียนมณี. (2545). ปรากฏการณ์เกาะความร้อนกับสภาพกายภาพของเมือง. วิทยานิพนธ์สถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาบัณฑิต สาขาวิชาการออกแบบชุมชนเมือง, บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- สำนักงานจังหวัดเชียงใหม่. (2557). บรรยายสรุปจังหวัดเชียงใหม่ (ออนไลน์). 27 มีนาคม 2557. จาก http://www.chiangmai.go.th/meet_file/sarupCM2557.pdf
- วันเพ็ญ เจริญตระกูลปิติ และ นิกร มหาวาน. (2553). การประยุกต์ใช้ภาพถ่ายดาวเทียมในการกำหนดสัดส่วนพื้นที่ปกคลุมดินที่เหมาะสม เพื่อสภาวะแวดล้อมเมืองที่สบายและน่าอยู่. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพมหานคร.
- Arnfield, A. J. (2003). Two decades of urban climate research: A review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island. *International Journal of Climatology*, 23, 1-26.
- Blakely, E.J. (2007). *Urban Planning for Climate Change*. Lincoln Institute of Land Policy Working Paper no. WP07EB1.
- Asaeda, T., CA, V. T. & Wake, A. (1996). Heat storage of pavement and its effect on the lower atmosphere. *Atmospheric Environment*, 30, 413-427.
- Eliasson, I. (1996). Urban nocturnal temperatures, street geometry and land use. *Atmospheric Environment*, 30, 379-392.
- Jauregui, E. (1997). Heat island development in Mexico City. *Atmospheric Environment*, 31, 3821-3831.



- Juan, P. M., Antonio R., Juan I., J. (2000). A study of the Urban Heat Island of Granada. **International Journal of Climatology**, 20, 899-911.
- Kimura, F. & Takahashi, S. (1991). The Effects of Land-Use and Anthropogenic Heating on the Surface-temperature in the Tokyo Metropolitan-Area - a Numerical Experiment. **Atmospheric Environment Part B-Urban Atmosphere**, 25, 155-164.
- Klysik, K. & Fortuniak, K. (1999). Temporal and spatial characteristics of the urban heat island of Lodz, Poland. **Atmospheric Environment**, 33, 3885-3895.
- Klysik, K. & Fortuniak, K. (2003). **Observed UHI Intensity in Lodz – Definition and Typical Values**. Fifth International Conference on Urban Climate, 1-5 September 2003. Lodz, Poland.
- Liu, W., Ji, C., Zhong, J., Jiang, X. & Zheng, Z. (2007). Temporal characteristics of the Beijing urban heat island. **Theoretical and Applied Climatology**, 87, 213-221.
- Mahawan, N. (2010). **Ground and satellite-based Measurement of Bangkok Intra-urban Temperature Dynamics in Relation to Human Comfort and Energy Demand** (Ph.D. Thesis). School of Civil Engineering and Geosciences, Faculty of Sciences, Agriculture and Engineering, Newcastle University.
- Mills, G., (2006). Progress towards sustainable settlements: a role for urban climatology. **Theor. Appl. Climatol.** 84 (1-3), 69-76, doi: 10.1007/s00704-005-0145-0.
- Montavez, J. P., Rodriguez, A. & Jimenez, J. I. (2000). A study of the Urban Heat Island of Granada. **International Journal of Climatology**, 20, 899-911.
- Nasrallah, H. A., Brazel, A. J. & Balling, R. C. (1990). Analysis of the Kuwait-City Urban Heat-Island. **International Journal of Climatology**, 10, 401-405.
- Oke, T. R. (1981). Canyon Geometry and the Nocturnal Urban Heat-Island – Comparison of Scale Model and Field Observations. **Journal of Climatology**, 1, 237.
- Oke, T. R. (1987). **Boundary Layer Climates**, Cambridge, Routledge.
- Solecki, W. D., Rosenzweig, C., Pope, G., Chopping, M., Goldberg, R. & Polissar, A. (2004). **Urban heat Island and Climate Change: An Assessment of Interacting and Possible Adaptations in the Camden, New Jersey Region**. New Jersey, NJDEP, Division of Science, Research & Technology.
- Svensson, M. K. & Eliasson, I. (2002). Diurnal air temperatures in built-up areas in relation to urban planning. **Landscape and Urban Planning**, 61, 37-54.
- Watkins, R. (1999). **The Impact of the Urban Environment on the Energy demand for cooling buildings**. Brunel University and the Building Research Establishment Ltd.
- Yamashita, S. (1996). Detailed structure of heat island phenomena from moving observations from electric tram-cars in Metropolitan Tokyo. **Atmospheric Environment**, 30, 429-435.
- Yuen, B. and Kong, L. (2009). **Climate Change and Urban Planning in Southeast Asia**. Fifth Urban Research Symposium.