ศักยภาพในการบรรเทาปรากฏการณ์เกาะความร้อนด้วยการแพร่กระจายความเย็นของพื้นที่สีเขียว ภายในเขตเทศบาลนครเชียงใหม่

The Efficiency of Urban Heat Island Mitigation by Cooling Effects from Greenspace in Chiang Mai Municipality

พรรษวุฒิ นันทรัตน์[1]* วันเพ็ญ เจริญตระกูลปีติ[2] และ อัจฉรา วัฒนภิญโญ[3]
Patsawut Nantarat[1]*, Wanpen Charoentrakulpeeti[2] and Ajchara Wattanapinyo[3]

ภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Department of Geography, Faculty of Social Sciences, Chiang Mai University
* Corresponding author e-mail: swagenasahi@gmail.com[1]*, wanpen_charoen@yahoo.com[2], a.wattanapinyo@gmail.com[3]
Received 6/5/2020 Revised 14/7/2020 Accepted 31/7/2020

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาศักยภาพในการบรรเทาปรากฏการณ์เกาะความร้อน ด้วยการแพร่กระจายความเย็นของพื้นที่สีเขียว ในเขตเทศบาลนครเชียงใหม่ จำนวน 5 แห่งซึ่งมีขนาดที่แตกต่างกัน และศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการแพร่กระจายความเย็น ประกอบด้วย สัดส่วนของพื้นผิวภายในพื้นที่สีเขียว ปัจจัยทางด้านภูมิอากาศ และปัจจัยทางด้านอัตราการมองเห็นท้องฟ้า (Sky View Factor) ผลการศึกษาพบว่าปัจจัยทางด้านภูมิอากาศ และปัจจัยทางด้านสัดส่วนของพื้นผิวส่งผลต่อการแพร่กระจายความเย็นทำให้อุณหภูมิบริเวณโดยรอบลดลง โดยเฉพาะบริเวณสวนสุขภาพบ้านเด่นและสวนสุขภาพหนองบวกหาดที่มีพื้นที่โดยรอบเป็นพื้นที่สีเขียวจำนวนมาก สำหรับปัจจัยอัตราการมองเห็นท้องฟ้าพบว่ามีผลต่อการแพร่กระจายความเย็น และอุณหภูมิโดยรอบน้อย นอกจากนี้ยังพบว่าพื้นที่สีเขียวที่มีขนาดเล็กจะมีการแพร่กระจายความเย็นได้น้อยกว่าพื้นที่สีเขียวที่มีขนาดใหญ่ โดยพื้นที่สีเขียวสวนสาธารณะรถไฟเป็นสวนขนาด 60.15 ไร่ มีศักยภาพในการแพร่กระจายความเย็นที่รัศมีโดยรอบ 75 –100 เมตร ในขณะที่พื้นที่สีเขียวสวนสุขภาพหนองบวกหาดที่มีขนาด 12.42 ไร่ มีศักยภาพในการแพร่กระจายความเย็นที่รัศมีโดยรอบ 25 –75 เมตร การแพร่กระจายความเย็นทำให้เกิดเกาะความเย็น (Park Cool Island) ทั้งในบริเวณพื้นที่สีเขียวและพื้นที่โดยรอบด้วย รวมถึงปัจจัยสัดส่วนของพื้นผิวภายในพื้นที่สีเขียวมีผลต่ออุณหภูมิ โดยพื้นที่สีเขียวที่มีสัดส่วนของพื้นผิวดาดอ่อนมากกว่าพื้นผิวดาดแข็งจะมีอุณหภูมิที่ต่ำและช่วยเสริมการแพร่กระจายความเย็นโดยรอบพื้นที่สีเขียว ส่งผลให้อุณหภูมิในระดับย่านลดลง

คำสำคัญ
เกาะความร้อนภายในเมือง
พื้นที่สีเขียว
การแพร่กระจายความเย็น
พื้นผิวดาดแข็ง
พื้นผิวดาดอ่อน

Abstract

The objective of article is to study the efficiency of urban heat island mitigation by cooling effects from greenspace in Chiang Mai Municipality. The five public parks in different sizes were selected as the study areas. The later objective is to study the factors that affect to cooling effects. They are consisted surface ratio, surface temperature, windspeed and sky view factors (SVF). The results shew that climate factors have an influence on the cooling effects, causing decrease temperature around the area, especially the Ban Den health park area and Nong Buak Had health park, since their surrounding areas cover a lot of green space. For the sky view factor is slightly related cooling effects. It was found that the small green space had spread less cooling than the large green space. The green space of the railway park is about 60.15 rai with the potential to spread the cooling effects around 75-100 meters radius, while the green space of Nong Buak Had health park with a size of 12.42 rai has the potential to spread the cooling effects around 25 -75 meters radius. The cooling effects cause Park Cool Island (PCI) in both green space and the surrounding areas. Furthermore, the cooling effects have also depended on the proportion between soft and hard surface in the green space. The temperature decreases when the soft surface has higher proportion than the hard surface in the green space. This will further help the coolness diffusing around the green area, which can be found in Nong Buak Had Health Garden and The Railway Park. The potential of cool air spreading can cause temperatures decreasing in the neighborhood, especially with the large green spaces and highly amount of soft surface.

Keywords

Urban Heat Island
Green Space
Cooling Effects
Hard Surface
Soft Surface

1.บทนำ

ความเข้มข้นของกิจกรรมในเมืองเชียงใหม่ที่สูงขึ้นในช่วงเวลา 10 – 15 ปีที่ผ่านมา ส่งผลให้เกิดการขยายตัวของเมืองบริเวณรอบนอก ในขณะที่พื้นที่ตัวเมืองมีความหนาแน่นของการใช้ที่ดินมากขึ้นและมีการพึ่งพาการคมนาคมขนส่งด้วยยานพาหนะส่วนตัว ประกอบกับลักษณะทางภูมิประเทศที่เป็นแอ่งกระทะหรือหุบเขา จึงเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดเกาะความร้อนภายในเมือง (Urban Heat Island: UHI) (Charoentrakulpeeti & Mahawan, 2013) ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่อุณหภูมิภายในเมืองสูงกว่าบริเวณพื้นที่โดยรอบ (Oke, 1987) โดยมีสาเหตุจากคุณสมบัติการดูดซับและการคายความร้อนของพื้นผิวปกคลุมดินที่แตกต่างกัน ความร้อนที่สูงในเมืองเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์และความหนาแน่นของอาคารที่เพิ่มขึ้นเป็นอุปสรรคต่อการระบายอากาศ (Charoentrakulpeeti & Mahawan, 2013) ส่งผลต่อสภาวะความสบายของคน ทำให้เกิดการใช้พลังงานจากเครื่องปรับอากาศสูงขึ้น การเกิดขึ้นของปรากฏการณ์เกาะความร้อนภายในเมืองเชียงใหม่ โดยเฉพาะบริเวณเทศบาลนครเชียงใหม่มีการเปลี่ยนแปลงทั้งเชิงเวลา และเชิงพื้นที่ เกาะความร้อนในเมืองเชียงใหม่ในช่วง 15 ปี พ.ศ. 2545 – 2559 มีค่าความเข้มของเกาะความร้อนสูงสุดอยู่ที่ 1.12 องศาเซลเซียส ในปี พ.ศ. 2550 อีกทั้งการขยายตัวของเมืองเชียงใหม่ออกไปยังชานเมืองยังทำให้บริเวณชานเมืองมีอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้น ในปี พ.ศ. 2554 แสดงให้เห็นถึงการขยายตัวของเกาะความร้อนในเชิงพื้นที่บริเวณเมือง (Nantarat, Charoentrakulpeeti & Wattanapinyo, 2018)

การเพิ่มพื้นที่สีเขียวสามารถทำให้อุณหภูมิเมืองลดลง และช่วยแพร่กระจายความเย็น (Cooling Effects) ในย่านเมืองได้ ซึ่งเป็นอีกหนึ่งวิธีในการลดอุณหภูมิภายในเมืองลงได้ จากการศึกษาการแพร่กระจายความเย็นพบว่าพื้นที่สีเขียวอาจมีอุณหภูมิที่แตกต่างจากบริเวณพื้นที่โดยรอบ 1–2 องศาเซลเซียส และอาจแตกต่างได้ได้ถึง 5–7 องศาเซลเซียส ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมโดยรอบ (Jauregui, 1990) อีกทั้งพื้นที่สีเขียวยังส่งผลให้เกิดเกาะความเย็น (Park Cool Island) รอบบริเวณพื้นที่สีเขียว (Oliveira, Henrique & Vaz, 2011) ศักยภาพในการแพร่กระจายความเย็นนอกจากจะขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมโดยรอบ อีกหนึ่งปัจจัยที่ส่งผลต่อการแพร่กระจายความเย็นคือปัจจัยด้านขนาดของพื้นที่สีเขียว พื้นที่สีเขียวขนาดใหญ่สามารถแพร่กระจายความเย็นได้มากกว่าพื้นที่สีเขียวที่มีขนาดเล็ก (Jagamohan, Knapp, Buchmann & Schwarz, 2016; Aram, Garcia & Solgi, 2019) แต่ในขณะเดียวกันพื้นที่สีเขียวขนาดเล็กที่กระจายตัวกันหลายพื้นที่ก็สามารถเกิดการแพร่กระจายความเย็นได้ และมีประสิทธิภาพมากกว่าพื้นที่สีเขียวเพียงพื้นที่เดียว (Park, Kim, Lee, Park & Jeong, 2017) นอกเหนือจากขนาดของพื้นที่สีเขียวแล้วยังมีปัจจัยในด้านลักษณะพื้นผิวภายในพื้นที่สีเขียวที่ส่งผลต่ออุณหภูมิพื้นผิวบริเวณภายในและภายนอกพื้นที่สีเขียว เนื่องจากลักษณะพื้นผิวมีคุณสมบัติในการดูดซับ และคายความร้อนที่แตกต่างกัน พื้นผิวที่เป็นพื้นผิวดาดอ่อน เช่น หญ้า ดิน ต้นไม้ มีคุณสมบัติการดูดซับ และคายความร้อนต่ำกว่าพื้นผิวดาดแข็งอย่างเช่น อิฐ คอนกรีต ยางมะตอย (Oke, 1981; cited by Charoentrakulpeeti, 2011) อีกทั้งจำนวนต้นไม้ที่เป็นพื้นผิวดาดอ่อนภายในพื้นที่สีเขียวยังสามารถช่วยลดอุณหภูมิภายในพื้นที่สีเขียว และเพิ่มการแพร่กระจายความเย็นออกไปสู่พื้นที่โดยรอบจนเกิดเป็นเกาะความเย็น (Spronken-Smith & Oke, 1998) ปัจจัยในด้านของขนาดและลักษณะพื้นผิวภายในพื้นที่สีเขียวจึงเป็นอีกปัจจัยที่สำคัญที่ช่วยเสริมการแพร่กระจายความเย็นของพื้นที่สีเขียว พื้นที่สีเขียวที่มีขนาดใหญ่ และมีลักษณะพื้นผิวดาดอ่อนมาก สามารถแพร่กระจายความเย็นได้ดีกว่าบริเวณที่มีพื้นผิวดาดอ่อนน้อยกว่า (Monteiro, Doick, Handley & Peace, 2016)

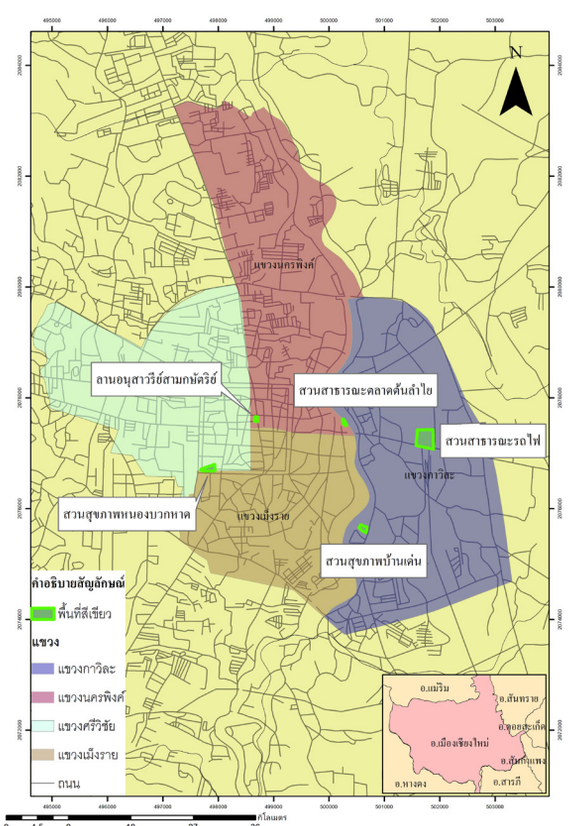
บทความนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาอิทธิพลการแพร่กระจายความเย็นของพื้นที่สีเขียวที่มีขนาดแตกต่างกัน นอกจากจะพิจารณาปัจจัยภูมิอากาศแล้ว ยังได้ศึกษาโครงสร้างของเมือง สัดส่วนพื้นผิวปกคลุมของพื้นผิวดาดแข็ง และพื้นผิวดาดอ่อน รวมถึงพิจารณาระดับความเข้มข้นของกิจกรรมต่าง ๆ ที่อยู่รอบพื้นที่สีเขียว โดยปัจจัยทั้งหมดมีอิทธิพลต่อการแพร่กระจายความเย็นของพื้นที่สีเขียว ในบางงานวิจัยได้มุ่งเน้นศึกษาถึงอิทธิพลการแพร่กระจายความเย็นของพื้นที่สีเขียวโดยพิจารณาจากปัจจัยภูมิอากาศเพียงอย่างเดียว (Taksadipong, Chuntranuluk & Rungratanaubon, 2013) นอกจากนี้ยังมีงานวิจัย (Srivanit & Iamtrakul, 2019) ที่ได้ศึกษาความเข้มข้นของพื้นที่สีเขียวที่มีปริมาณมากจะช่วยทำความเย็นให้กับเมืองได้มากกว่าพื้นที่สีเขียวที่มีปริมาณน้อยด้วยการวิเคราะห์ภาพถ่ายจากดาวเทียม ในขณะที่ (Srivanit & Hokao, 2019) ศึกษาสัดส่วนพื้นที่สีเขียวด้วยการพิจารณาจากความหนาแน่นของพื้นที่ใบไม้ของพื้นที่ชุมชนเมืองกรุงเทพมหานครในช่วงฤดูร้อนด้วยการวิเคราะห์เชิงตัวเลขผ่านแบบจำลอง ENVI-met

ผลการศึกษาพบว่าปริมาณของพื้นที่ที่ปกคลุมด้วยต้นไม้ในระดับชุมชนเมืองที่มีรูปร่างแตกต่างกันในภูมิอากาศระดับจุลภาค สามารถช่วยลดอุณหภูมิ และแพร่กระจายความเย็นได้ ซึ่งหากดูจากสามบทความยังมิได้มีการศึกษาถึงปัจจัยด้านของโครงสร้างเมือง สัดส่วนพื้นผิวของพื้นที่สีเขียว รวมถึงความเข้มข้นของกิจกรรมบริเวณโดยรอบพื้นที่สีเขียวที่มีอิทธิพลต่อการแพร่กระจายความเย็น บทความนี้จึงมีเป้าหมายในการศึกษาถึงประสิทธิภาพในการแพร่กระจายความเย็นเพื่อบรรเทาปรากฏการณ์เกาะความร้อนในเมืองเชียงใหม่ ที่มีลักษณะทางพื้นที่แตกต่างกัน ทั้งลักษณะในด้านขนาดของพื้นที่สีเขียว ลักษณะพื้นผิวภายในพื้นที่สีเขียว ร่วมกับลักษณะทางภูมิอากาศ และโครงสร้างทางกายภาพของเมือง

2.ระเบียบวิธีวิจัย

2.1 ขอบเขตด้านพื้นที่ศึกษา

เทศบาลนครเชียงใหม่ประกอบด้วยแขวงนครพิงค์ แขวงศรีวิชัย แขวงเม็งราย และแขวงกาวิละ ตั้งอยู่บริเวณแอ่งเชียงใหม่ – ลำพูน มีดอยสุเทพอยู่ทางทิศตะวันตก ด้วยลักษณะทางภูมิศาสตร์ที่เป็นแอ่งจึงทำให้การถ่ายเทของอากาศมีน้อย รวมถึงกิจกรรมการใช้ประโยชน์ที่ดินภายในเมืองที่มีความเข้มข้นของสิ่งปลูกสร้างและการใช้ยานพาหนะส่วนบุคคลที่เพิ่มขึ้น จากสถิติของกรมการขนส่งทางบก (Department of Land Transport, 2018) พบว่ามีจำนวนยานพาหนะส่วนบุคคลเพิ่มขึ้นจาก 63,329 คัน ในปี พ.ศ. 2550 เป็น 85,457 คัน ในปี พ.ศ. 2559 นอกจากนี้การขยายตัวของเมืองเชียงใหม่ส่งผลให้บริเวณเกาะความร้อนภายในเมืองมีการขยายขอบเขตเพิ่มขึ้นด้วย (Nantarat, Charoentrakulpeeti & Wattanapinyo, 2018) พื้นที่สีเขียวภายในเขตเทศบาลนครเชียงใหม่มีทั้งหมด 27 แห่ง คิดเป็นเนื้อที่ 380,800 ตารางเมตร หรือ 238 ไร่ (รูปที่ 1) รองรับจำนวนประชากรตามทะเบียนราษฎร์ 131,019 คน (Chiangmai Municipality, 2017) และยังรองรับประชากรทั่วไปภายในอำเภอเมืองเชียงใหม่อีกจำนวน 234,649 คน (National Statistical Office, 2016) พื้นที่สีเขียวภายในเทศบาลนครเชียงใหม่มีหลากหลายประเภท บางประเภทไม่สามารถประกอบกิจกรรมได้ เช่น พื้นที่สีเขียวริมถนน หรือบริเวณเกาะกลางถนน ในการศึกษาครั้งนี้ได้เลือกพื้นที่สีเขียวที่ประชาชนสามารถเข้าไปทำกิจกรรมได้ เช่น สวนสุขภาพหรือสวนสาธารณะ และใช้ข้อกำหนดพื้นที่สีเขียวตามรูปแบบสวนสาธารณะของกรุงเทพมหานคร (Department of City Planning and Urban Development, BMP Bangkok, 2011) ที่กำหนดขนาดพื้นที่สีเขียวเป็น 3 ประเภท ดังนี้ ประเภทที่ 1 สวนหย่อมขนาดเล็กย่านชุมชน (Mini Tot Park) มีขนาดพื้นที่ไม่เกิน 2 ไร่ อย่างไรก็ตามจากการสำรวจพื้นที่สีเขียวในเมืองเชียงใหม่พบว่าไม่มีพื้นที่สวนสุขภาพหรือสวนสาธารณะประเภทสวนหย่อมขนาดเล็กย่านชุมชนที่มีขนาดน้อยกว่า 2 ไร่ ขนาดของสวนสาธารณะที่เล็กที่สุดในเมืองเชียงใหม่มีเนื้อที่ 2.65 ไร่ คือ ลานอนุสาวรีย์สามกษัตริย์ และ ขนาด 2.95 ไร่ คือ สวนสาธารณะตลาดต้นลำไย ดังนั้นในการศึกษานี้จึงใช้ขนาดพื้นที่ของสวนสาธารณะทั้งสองแห่งให้อยู่ในประเภทสวนขนาดเล็กย่านชุมชน ประเภทที่ 2 สวนละแวกบ้าน (Neighborhood Park) ขนาดมากกว่า 2 ไร่ แต่ไม่เกิน 25 ไร่ คือ สวนสุขภาพบ้านเด่น และสวนสุขภาพหนองบวกหาด และพื้นที่สีเขียวประเภทที่ 3 สวนชุมชน (Community Park) ขนาดมากกว่า 25 ไร่ แต่ไม่เกิน 125 ไร่ คือ สวนสาธารณะรถไฟ (ดังแสดงในรูปที่ 1)



รูปที่ 1 แสดงพื้นที่ศึกษา (Study Area)

2.2 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

2.2.1 ข้อมูลอุณหภูมิและความเร็วลมภายในบริเวณพื้นที่สีเขียว และบริเวณโดยรอบ เก็บรวบรวมข้อมูลด้วยเครื่องมือตรวจวัดอุณหภูมิแบบเคลื่อนที่ และแบบติดตั้งเครื่องชั่วคราวในพื้นที่สีเขียวที่ทำการศึกษา โดยทำการเก็บรวบรวมข้อมูลตั้งแต่วันที่ 19 เมษายน พ.ศ. 2560 ถึงวันที่ 8 พฤษภาคม พ.ศ. 2560 ใน 2 ช่วงเวลา คือ ช่วงเวลา 17.30 – 18.50 น. เป็นช่วงก่อนเกิดเกาะความร้อน และช่วงเวลา 18.50 – 19.45 น. เป็นช่วงที่ค่าเกาะความร้อนสูงสุด (Oke, 1987) การเก็บข้อมูลอุณหภูมิภายในพื้นที่สีเขียวเก็บข้อมูลโดยใช้สถานีตรวจวัดอุณหภูมิแบบติดตั้งชั่วคราว Tycoon Wireless Pro Weather Station Data Logging Wireless Weather Station TP1080WC มีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ ±1% ทำการเก็บข้อมูลเป็นความถี่ทุก ๆ 5 นาทีในการเก็บข้อมูลภูมิอากาศ โดยทำการติดตั้งสถานีตรวจวัดอุณหภูมิบริเวณกลางพื้นที่สีเขียว ติดตั้งสูงจากพื้นดิน 1 เมตร ขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพของพื้นที่สีเขียว สำหรับการเก็บข้อมูลภูมิอากาศโดยรอบพื้นที่สีเขียวตรวจวัดด้วยเครื่องตรวจวัดอุณหภูมิเคลื่อนที่ Benetech รุ่น GM8909 สามารถทำการวัดข้อมูล อุณหภูมิและความเร็วลม มีค่าความคลาดเคลื่อนในการวัดอยู่ที่ ±5% และทำการตรวจวัดอุณหภูมิในระดับความสูง 1 เมตรจากพื้นดินเท่ากับสถานีตรวจวัดอุณหภูมิภายในพื้นที่สีเขียว ในการวัดอุณหภูมิมีทิศทางโดยรอบพื้นที่สีเขียวเป็นระยะทาง 200 เมตร ในระยะห่างทุก 25 เมตร เนื่องจากเป็นระยะทางที่เหมาะสมในการแพร่กระจายความเย็นจากพื้นที่สีเขียว (Shashua-Bar & Hoffman, 2000) ทำให้ได้จุดตรวจวัดอุณหภูมิจำนวน 6 จุดของแต่ละทิศทาง และได้พิจารณาข้อมูลร่วมกับสภาพแวดล้อมความหนาแน่นของอาคารโดยรอบ สภาพการจราจร และลักษณะพื้นผิว โดยช่วงเวลาในการเก็บอุณหภูมิภายในและภายนอกพื้นที่สีเขียวผู้ศึกษาได้ทำการจับเวลาระหว่างการเก็บข้อมูลอุณหภูมิให้เป็นช่วงเวลาเดียวกันเพื่อความถูกต้องของข้อมูลอุณหภูมิภายในและภายนอกพื้นที่สีเขียวในการศึกษาครั้งนี้

2.2.2 ข้อมูลลักษณะพื้นผิว ในการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้ข้อมูลลักษณะพื้นผิว โดยทำการแปลภาพด้วยสายตาจากภาพถ่ายดาวเทียม Google Maps Imagery ในช่วงปี พ.ศ. 2559 ทำการแยกประเภทลักษณะพื้นผิวออกเป็นสองประเภทคือ พื้นผิวดาดแข็ง (Hard Surface) และพื้นผิวดาดอ่อน (Soft Surface)

2.2.3 ข้อมูลโครงสร้างทางกายภาพของเมืองหรือเรขาคณิตเมือง ในการศึกษาครั้งนี้ใช้ค่าอัตราการมองเห็นท้องฟ้า (Sky View Factor: SVF) คำนวณได้จากข้อมูลความสูงของอาคาร (เมตร) โดยใช้ฐานข้อมูลอาคารสิ่งปลูกสร้างภายในเขตเทศบาลนครเชียงใหม่ ปี พ.ศ. 2559 (Department of Public works and Town & Country Planning, 2017) เพื่อนำมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์การการแพร่กระจายความเย็นของพื้นที่สีเขียวกับพื้นที่โดยรอบ

2.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

*2.3.1 การแพร่กระจายความเย็นของพื้นที่สีเขียวต่อบริเวณโดยรอบ*สามารถคำนวณได้จากผลต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอกพื้นที่สีเขียว (T_i) และอุณหภูมิภายในพื้นที่สีเขียว (T_o) (Shashua-Bar & Hoffman, 2000) หากผลที่ได้มีค่าติดลบแสดงให้เห็นถึงอุณหภูมิภายนอกต่ำกว่าบริเวณภายในพื้นที่สีเขียว ซึ่งอาจมีการแพร่กระจายความเย็นจากพื้นที่อื่นที่ไม่ใช่พื้นที่ศึกษา แต่หากผลที่ได้มีค่าเป็นบวก แสดงถึงอุณหภูมิที่อยู่ภายนอกพื้นที่สีเขียวสูงกว่าอุณหภูมิภายในพื้นที่สีเขียวในช่วงเวลาเดียวกัน จากผลการคำนวณทำให้สามารถวิเคราะห์ความแตกต่างกันในด้านขนาดของพื้นที่สีเขียว รวมถึงลักษณะพื้นผิวภายในพื้นที่สีเขียวที่ส่งผลต่อการแพร่กระจายความเย็นสู่พื้นที่โดยรอบ เพื่อหาว่าพื้นที่สีเขียวในขนาดใดมีการแพร่กระจายความเย็นที่เหมาะสมที่สุดกับพื้นที่ภายในเมือง ในการแสดงผลข้อมูลการแพร่กระจายความเย็นของพื้นที่สีเขียวนอกจากจะทำการแสดงผลผ่านทางแผนภูมิรูปภาพ ยังได้แสดงผลข้อมูลเป็นเชิงพื้นที่ด้วยการสร้างพื้นผิวให้มีความต่อเนื่องจากข้อมูลแบบจุดในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ในการศึกษานี้ใช้วิธีการประมาณค่าช่วงแบบ Inverse Distance Weighted (IDW) ซึ่งเป็นการประมาณค่าโดยการสุ่มจุดตัวอย่างแต่ละจุดที่สามารถส่งผลกระทบต่อกริดหรือพิกเซลที่ต้องการประมาณค่า ซึ่งหากระยะทางยิ่งไกลออกไปจะมีผลกระทบน้อยลงเรื่อย ๆ ซึ่งเป็นวิธีที่เหมาะกับการแสดงผลการแพร่กระจายความเย็นที่มีระยะทางห่างออกจากสวนสาธารณะ

2.3.2 โครงสร้างทางกายภาพของเมือง ในการศึกษาครั้งนี้ใช้อัตราการมองเห็นท้องฟ้า ซึ่งสามารถแสดงลักษณะโครงสร้างของเมือง โดยในบริเวณที่มีอาคารสูงและมีความหนาแน่นสูง จะทำให้เกิดหุบภายในเมือง (Urban Canyon) ที่มีการถ่ายเทอากาศจากอาคารโดยรอบต่ำ

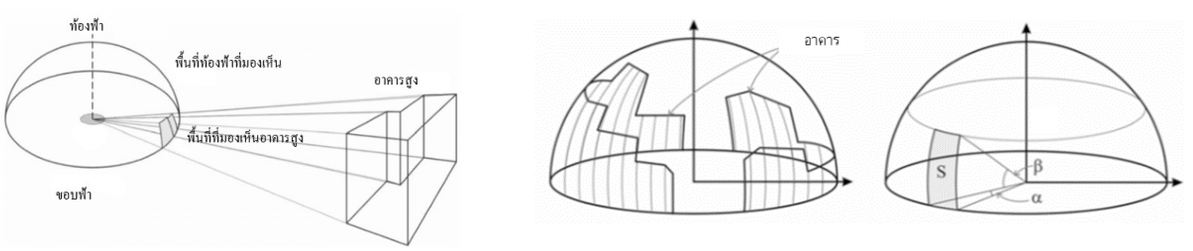
และเมื่อวัสดุพื้นผิวภายในเมืองซึ่งส่วนใหญ่เป็นคอนกรีตมีการปลดปล่อยความร้อนออกมาร่วมด้วยจะทำให้บริเวณหุบภายในเมืองมีอุณหภูมิที่สูงกว่าบริเวณอื่น จึงเป็นหนึ่งในปัจจัยที่ทำให้เกิดเกาะความร้อนภายในเมือง (Unger, 2009) ในการวัดค่าอัตราการมองเห็นท้องฟ้า เริ่มจากการคำนวณหา Sky Line และ Sky Line Graph จากข้อมูลอาคารด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ แล้วนำค่าที่ได้เข้าสู่สมการ $SVF = 1 - cos^2\beta$ (Unger, 2009) โดยเมื่อทำการคำนวณ Sky Line จะได้จุดตกกระทบระหว่างจุดตรวจวัดอุณหภูมิกับบริเวณอาคารโดยจะมีค่ามุม Zenith หรือมุมจุดเหนือศรีษะ แทนค่าด้วย β และมุม Horizontal หรือมุมขอบฟ้า แทนค่าด้วย α เนื่องจากมุมที่ได้นั้นมีทั้งแนวราบ และมุมเงย การคำนวณสมการจะต้องคำนวณค่าทั้งสองแยกกัน อธิบายได้ดังนี้ อัตราการมองเห็นในแนวราบ (View Factor Basin) = $cos^2\beta$ และ อัตราการมองเห็นในมุมเงย = $\alpha/360$ โดยจะได้สมการอัตราการมองเห็นท้องฟ้า = $1 - cos^2\beta\ \alpha/360$ ค่าอัตราการมองเห็นท้องฟ้า (SVF) ที่ได้จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 โดยค่าที่เข้าใกล้ 1 แสดงว่าบริเวณนั้นสามารถมองเห็นท้องฟ้าได้มาก กล่าวคือมีความหนาแน่นของอาคารน้อย จากนั้นนำมาหาความสัมพันธ์กับการแพร่กระจายความเย็นของจุดตรวจวัดอุณหภูมิในบริเวณเดียวกัน (ดังรูปที่ 2)

2.3.3 ลักษณะของพื้นผิว ในการศึกษาครั้งนี้ทำการศึกษาลักษณะพื้นผิวภายในพื้นที่สีเขียว โดยจะแบ่งลักษณะของพื้นผิวเป็น 2 ลักษณะ คือพื้นผิวดาดแข็ง (Hard Surface) และพื้นผิวดาดอ่อน (Soft Surface) เนื่องจากลักษณะของพื้นผิวที่แตกต่างกันส่งผลต่อการดูดซับ และการคายความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ (Oke, 1987) ชนิดของพื้นผิวส่งผลต่อการเพิ่มขึ้น และลดลงของอุณหภูมิพื้นผิว คุณสมบัติภายในของพื้นผิวอีกประการหนึ่งคือความสามารถในการสะท้อน (albedo) ซึ่งถือว่าเป็นปัจจัยพื้นฐานของวัตถุ โดยวัตถุที่มีค่าการสะท้อนสูงจะมีความสามารถในการดูดซับและคายความร้อน (thermal admittance) ที่เป็นกระบวนการสำคัญต่อการเพิ่มและลดลงของอุณหภูมิพื้นผิวที่จะส่งผลต่อปรากฏการณ์เกาะความร้อน (Oke, 1981; cited by Charoentrakulpeeti, 2011) การศึกษาครั้งนี้ได้กำหนดให้พื้นผิวประเภทคอนกรีต อาคารสิ่งปลูกสร้างยางมะตอย เป็นพื้นผิวดาดแข็ง และกำหนดให้พื้นผิวประเภท พื้นดิน ต้นไม้ สนามหญ้า แหล่งน้ำเป็นพื้นผิวดาดอ่อน โดยจะทำการแปลจากภาพถ่ายดาวเทียม Google Maps Imagery ในช่วงปี พ.ศ. 2559 ร่วมกับการตรวจสอบข้อมูลภาคสนามในการระบุลักษณะพื้นผิวภายในพื้นที่สีเขียว

2.3.4 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างทำเลที่ตั้งและขนาดของพื้นที่สีเขียวต่อการแพร่กระจายความเย็น ทดสอบโดยใช้สถิติความสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson Correlation) เพื่อทำการหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการมองเห็นท้องฟ้า อุณหภูมิ การแพร่กระจายความเย็นและความเร็วลม โดยรอบพื้นที่สีเขียว ผลลัพธ์ที่ได้นำไปวิเคราะห์ร่วมกับขนาดของพื้นที่สีเขียว เพื่อหาพื้นที่สีเขียวที่มีศักยภาพในการบรรเทาปรากฏการณ์เกาะความร้อนได้ดีที่สุดในพื้นที่ศึกษา

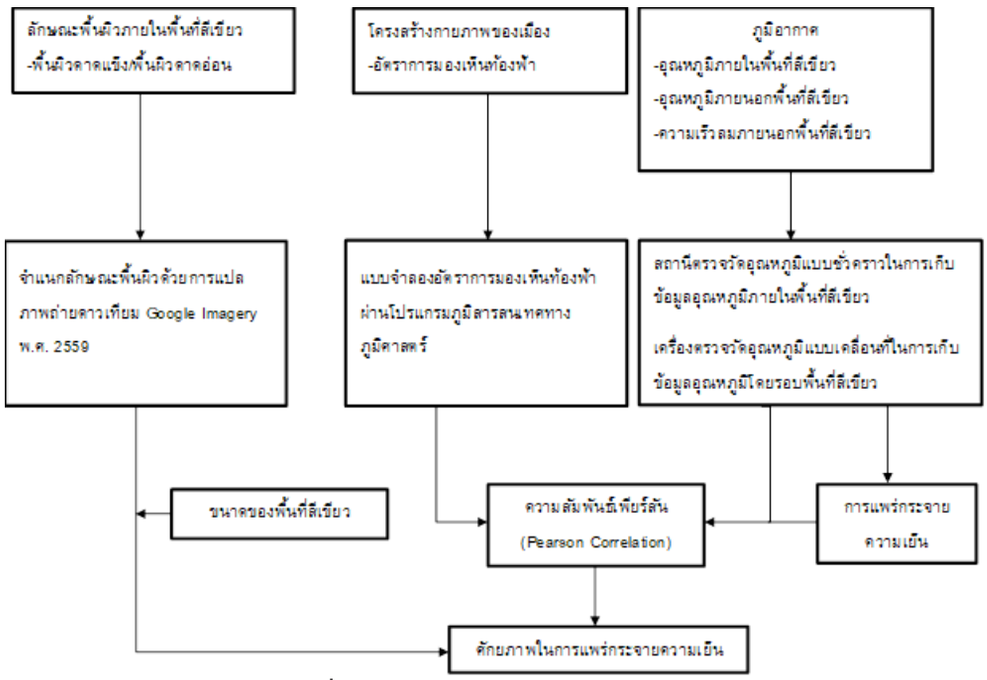
3.ผลการศึกษา

ผลการศึกษาได้แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ การแพร่กระจายความเย็นของพื้นที่สีเขียวที่มีขนาดต่างกัน และปัจจัยที่มีผลต่อการแพร่กระจายความเย็นของพื้นที่สีเขียว ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้



ที่มา: ดัดแปลงจาก (Unger, 2009)

รูปที่ 2 แสดงอัตราการมองเห็นท้องฟ้า (Sky View Factors)

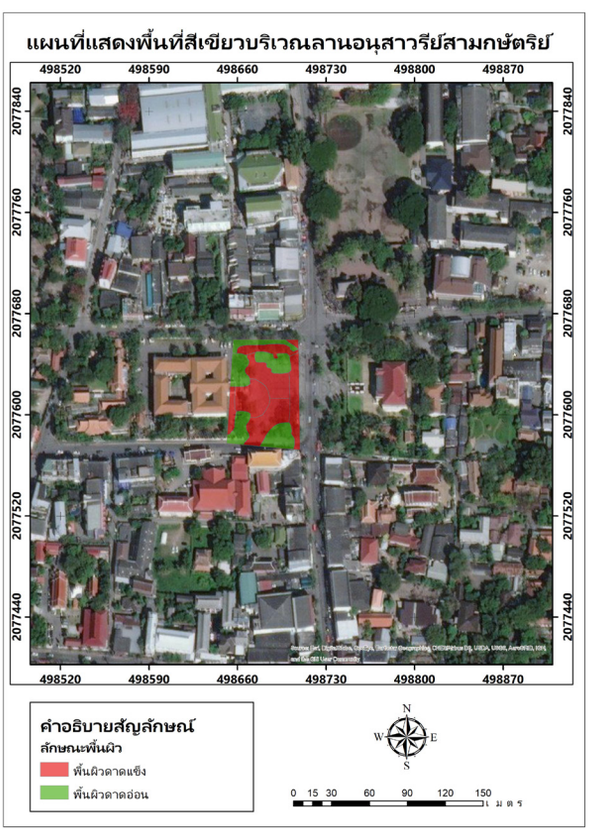


รูปที่ 3 แสดงระเบียบวิธีวิจัย (Research Method)

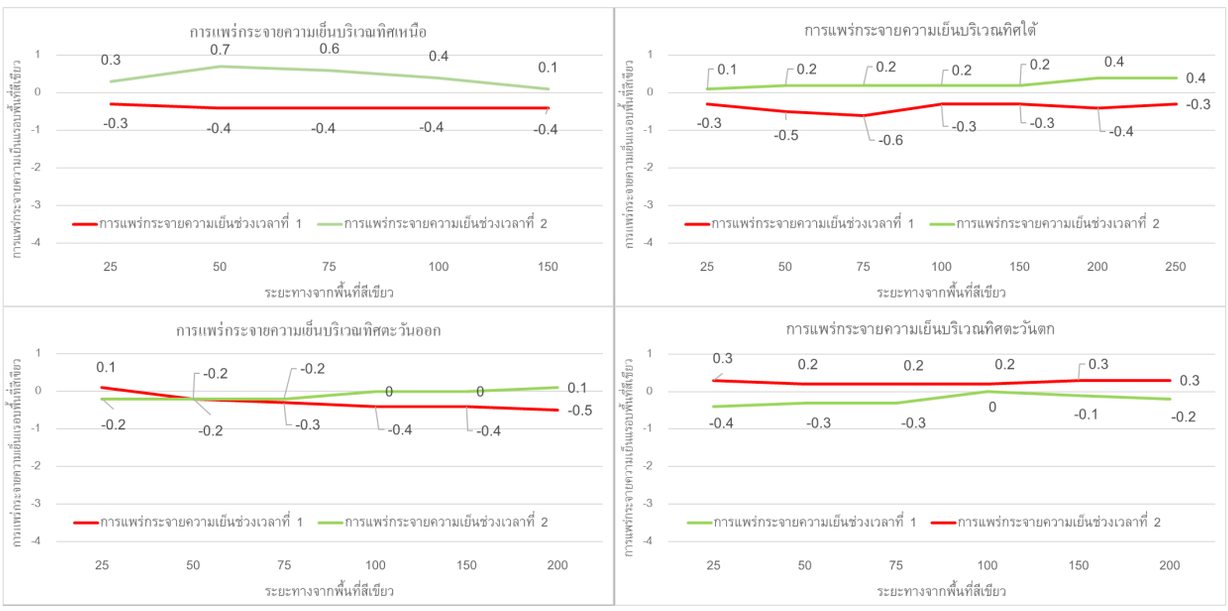
3.1 การแพร่กระจายความเย็นของพื้นที่สีเขียวในลำดับศักดิ์ที่แตกต่างกัน

ทำการศึกษาพื้นที่สีเขียวทั้งหมด 5 แห่งมีขนาดพื้นที่สีเขียวที่แตกต่างกัน 3 ขนาด มีรายละเอียดดังนี้

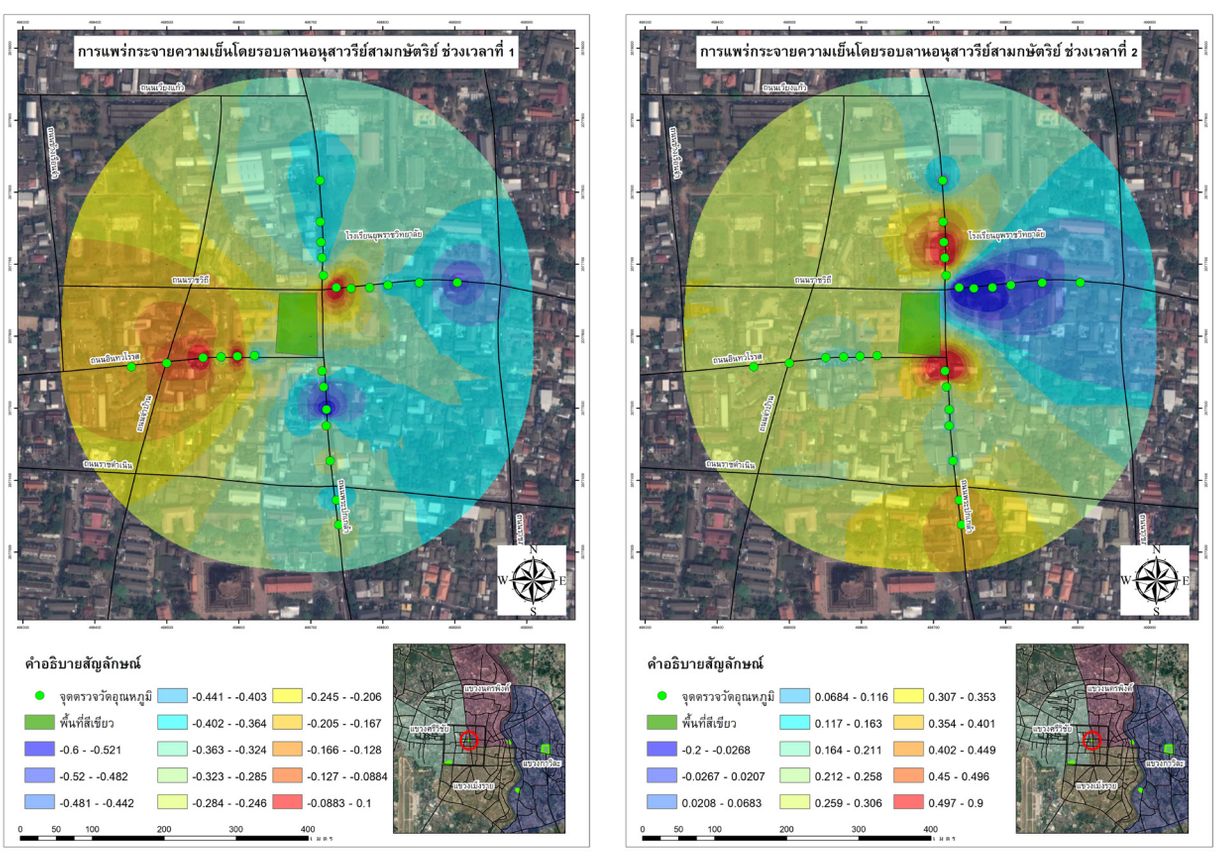
3.1.1 สวนหย่อมขนาดเล็กย่านชุมชน (Mini Park) ประกอบไปด้วยพื้นที่สีเขียวลานอนุสาวรีย์สามกษัตริย์ และพื้นที่สีเขียวสวนสาธารณะตลาดต้นลำไย ลานอนุสาวรีย์สามกษัตริย์ ตั้งอยู่บริเวณใจกลางคูเมืองเชียงใหม่ ติดกับหอประวัติศาสตร์เมืองเชียงใหม่ มีขนาดพื้นที่ 2.91 ไร่ หรือ 4,653 ตารางเมตร ลักษณะพื้นผิวภายในพื้นที่สีเขียวมีสัดส่วนของพื้นผิวดาดอ่อนร้อยละ 35.24 และพื้นผิวดาดแข็งร้อยละ 64.76 (รูปที่ 4) เนื่องจากสวนแห่งนี้ตั้งอยู่จัตุรัสใจกลางเมืองทำให้พื้นที่โดยรอบมีความเข้มข้นในการใช้ที่ดินสูง เป็นอาคารที่อยู่อาศัย และพาณิชยกรรม มีอาคารสูง 3–4 ชั้น มีพื้นที่สีเขียวแทรกอยู่บ้างตามบริเวณที่โล่งแต่ในปริมาณน้อยมาก และมีการจราจรที่หนาแน่น อุณหภูมิภายในและภายนอกพื้นที่สีเขียวมีอุณหภูมิแตกต่างกันอยู่ที่ 0.1 – 0.9 องศาเซลเซียส การแพร่กระจายความเย็นโดยรอบพื้นที่สีเขียวมีค่าเฉลี่ยในช่วงเวลาแรกอยู่ที่ –0.317 และช่วงเวลาที่สอง 0.233 พบว่าอุณหภูมิในบริเวณโดยรอบทั้งสองช่วงเวลาในแต่ละทิศทางแทบไม่มีความแตกต่างกัน แสดงให้เห็นถึงสภาพแวดล้อมโดยรอบลานอนุสาวรีย์สามกษัตริย์ที่มีความคล้ายคลึงกัน ในส่วนของการแพร่กระจายความเย็นโดยรอบพื้นที่สีเขียวแห่งนี้



รูปที่ 4 ลักษณะพื้นผิว และพื้นที่โดยรอบลานอนุสาวรีย์สามกษัตริย์ (Surface Characteristics and Surrounding Area of Three Kings Monument Square Greenspace)



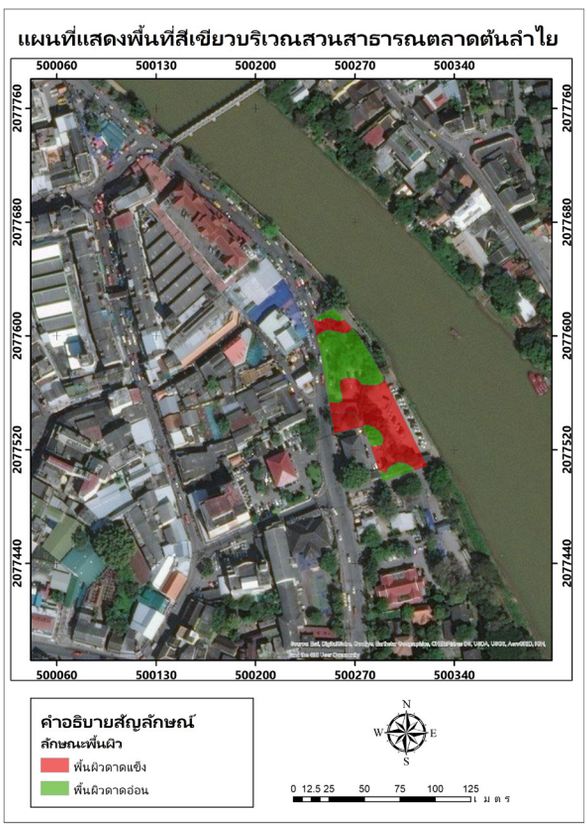
รูปที่ 5 การแพร่กระจายความเย็นบริเวณรอบลานอนุสาวรีย์สามกษัตริย์
(Cooling Effects Around Three Kings Monument Square Greenspace)



รูปที่ 6 แผนที่แสดงการแพร่กระจายความเย็นบริเวณรอบลานอนุสาวรีย์สามกษัตริย์
(Map of Cooling Effects Around Three Kings Monument Square Greenspace)

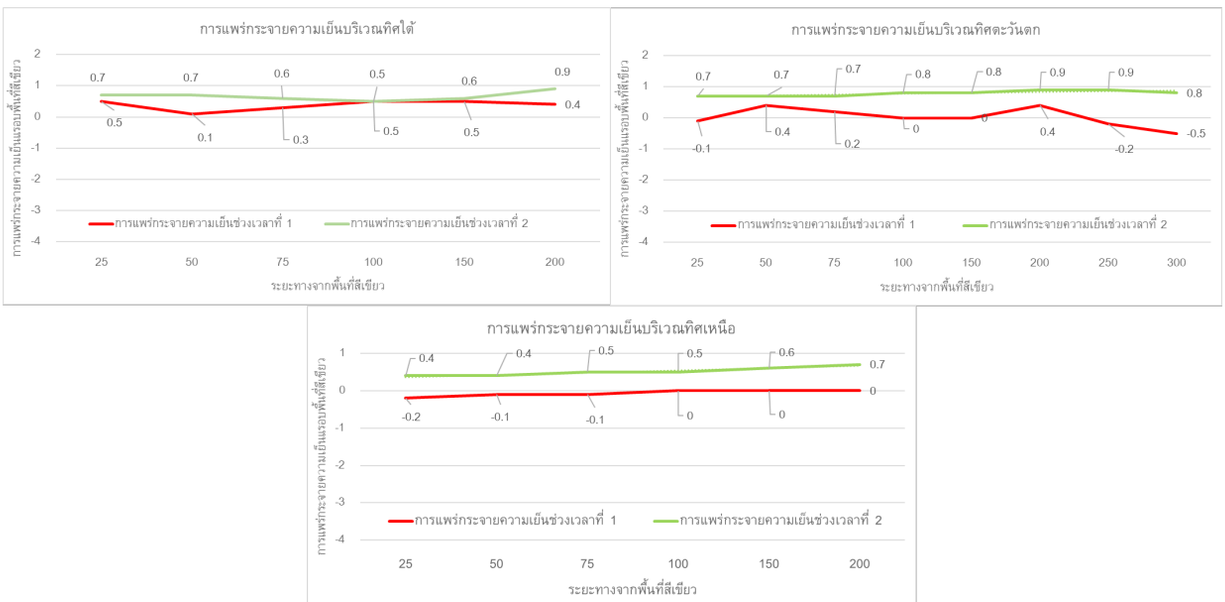
ในช่วงเวลาแรก มีค่าติดลบ แสดงถึงพื้นที่โดยรอบมีอุณหภูมิที่เย็นกว่าภายในบริเวณพื้นที่สีเขียวโดยเฉพาะบริเวณทิศเหนือ และทิศใต้ (รูปที่ 5) แต่ในช่วงเวลาที่สองเป็นช่วงเวลาที่มีการเกิดเกาะความร้อน การแพร่กระจายความเย็นรอบพื้นที่สีเขียวมีค่ามากขึ้น อุณหภูมิภายในบริเวณพื้นที่สีเขียวมีอุณหภูมิที่น้อยกว่าบริเวณโดยรอบพบในระยะ 25 – 50 เมตรจากพื้นที่สีเขียวโดยเฉพาะบริเวณทิศเหนือ ทิศตะวันตก และทิศใต้ ที่มีการเปลี่ยนแปลงของการแพร่กระจายความเย็นที่ชัดเจน (รูปที่ 6)

สวนสาธารณะตลาดต้นลำไย ตั้งอยู่บริเวณริมน้ำปิง ติดกับถนนไปรษณีย์ อยู่บริเวณทิศตะวันออกของกาดหลวง และตลาดต้นลำไยมีขนาดพื้นที่ 2.65 ไร่ หรือ 4,245 ตารางเมตร ลักษณะพื้นผิวภายในพื้นที่สีเขียวมีสัดส่วนของพื้นผิวดาดอ่อนร้อยละ 42.47 และพื้นผิวดาดแข็งร้อยละ 57.53 ของพื้นที่ทั้งหมด (รูปที่ 7) ลักษณะพื้นผิวโดยรอบส่วนใหญ่เป็นพื้นที่อาคารหนาแน่นจากกิจกรรมการค้า เช่น กาดหลวง และตลาดต้นลำไย ซึ่งเป็นย่านเศรษฐกิจสำคัญของเมืองเชียงใหม่ นอกจากนี้พบว่ามีพื้นที่สีเขียวอยู่โดยรอบรัศมี 250 เมตรน้อยมาก ยกเว้นทางทิศตะวันตกของแม่น้ำปิง สวนสาธารณะกาดต้นลำไยมีค่าเฉลี่ยการแพร่กระจายความเย็นของช่วงเวลาแรกอยู่ที่ 0.105 และช่วงเวลาที่สองเท่ากับ 0.670 องศาเซลเซียส สำหรับการแพร่กระจายความเย็นของพื้นที่สีเขียวพบว่าอุณหภูมิโดยรอบสูงกว่าอุณหภูมิภายในพื้นที่สีเขียวทั้งสองช่วงเวลา (รูปที่ 8) เนื่องด้วยพื้นที่สีเขียวสวนสาธารณะต้นลำไยมีทำเลที่ตั้งอยู่บริเวณใจกลางเมือง มีลักษณะพื้นผิวที่ทำการดูดซับ และคายความร้อนสูงอยู่มาก อุณหภูมิภายในและภายนอกพื้นที่สีเขียวบางบริเวณมีอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกัน ประกอบกับในวันที่ทำการเก็บข้อมูลไม่มีความเร็วลมในพื้นที่โดยรอบพื้นที่สีเขียว ค่าการแพร่กระจายความเย็นเพิ่มขึ้นจากระยะทางที่ห่างจากพื้นที่สีเขียวในทิศเหนือ ทิศใต้ และทิศตะวันตก (รูปที่ 7) เกิดการแพร่กระจายความเย็นเป็นระยะทาง 25 – 75 เมตรโดยเฉพาะบริเวณทิศใต้ และทิศเหนือที่มีความแตกต่างของอุณหภูมิในจุดตรวจวัดอุณหภูมิที่ 100 และ 200 เมตรที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน แต่บริเวณทิศตะวันตก ซึ่งเป็นบริเวณที่มีความหนาแน่นของอาคารมากกว่าอุณหภูมิจะไม่แตกต่างกันมากนักในระยะทาง 25 – 200 เมตร บริเวณโดยรอบพื้นที่สีเขียวมีความแตกต่างกับอุณหภูมิภายในอยู่ที่ 0.5 – 0.9 องศาเซลเซียส (รูปที่ 9)

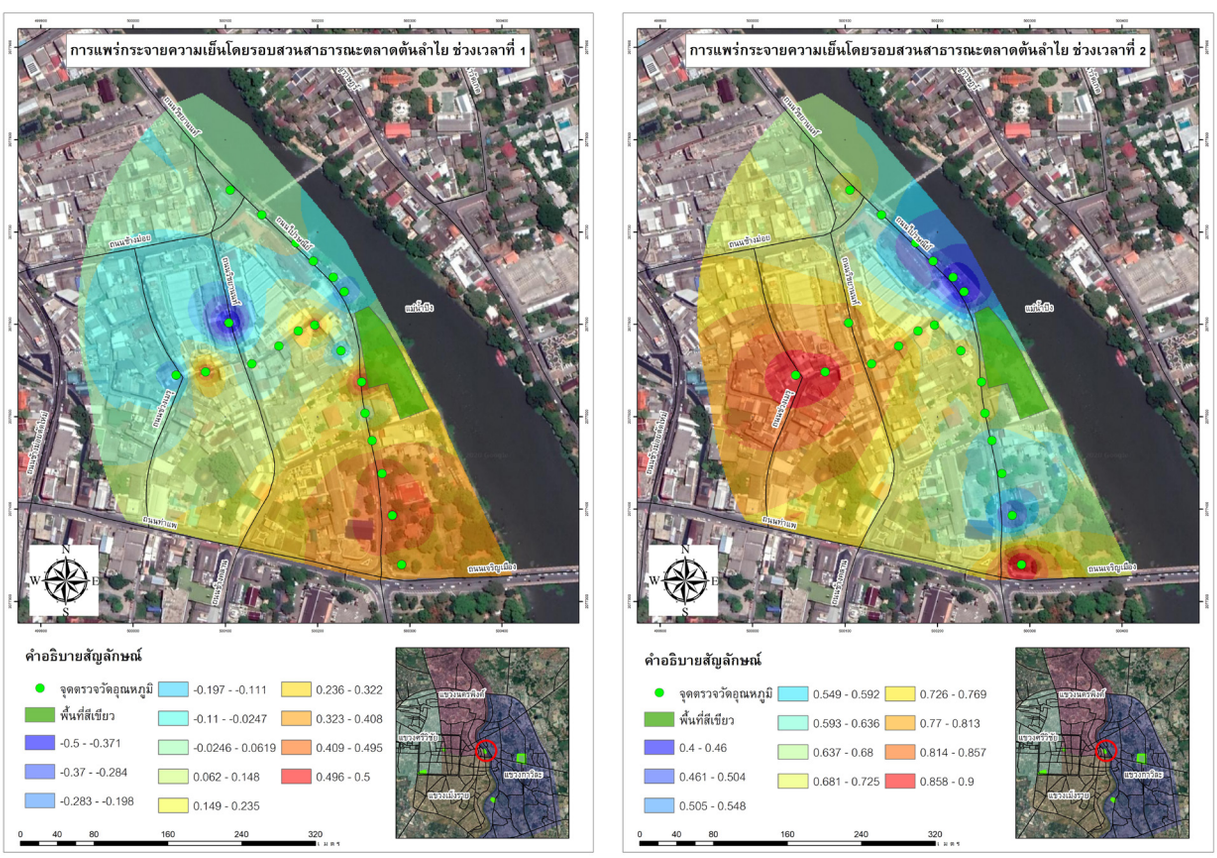


รูปที่ 7 ลักษณะพื้นผิว และพื้นที่โดยรอบสวนสาธารณะตลาดต้นลำไย (Surface Characteristics and Surrounding Area of Lamyai-Market Public Park Greenspace)

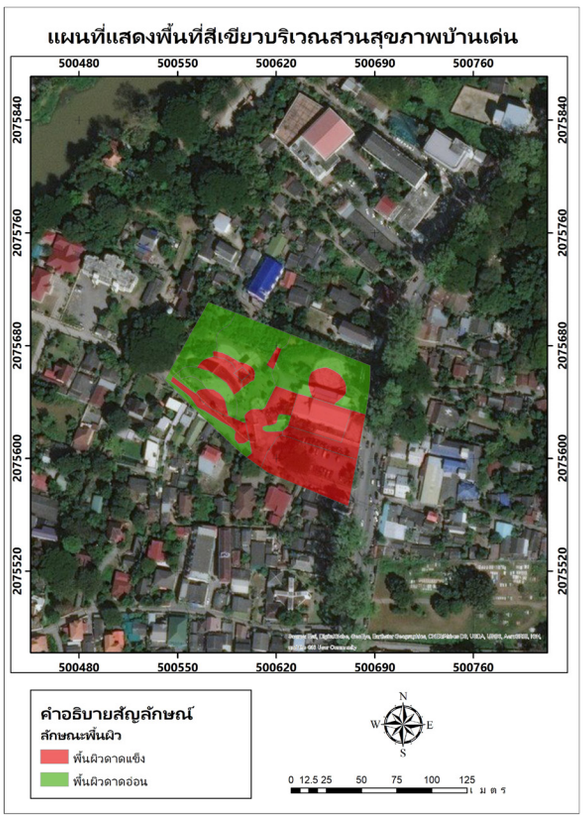
3.1.2 สวนละแวกบ้าน (Neighborhood Park) ประกอบด้วยพื้นที่สวนสุขภาพบ้านเด่น และพื้นที่สีเขียว สวนสุขภาพหนองบวกหาด สวนสุขภาพบ้านเด่น ตั้งอยู่บริเวณถนนเชียงใหม่ – ลำพูน อยู่ติดกับ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคบ้านเด่น จังหวัดเชียงใหม่ มีขนาดพื้นที่ 7.71 ไร่ หรือ 12,336.96 ตารางเมตร ลักษณะพื้นผิวภายในมีสัดส่วนของพื้นผิวดาดแข็งร้อยละ 52.27 และพื้นผิวดาดอ่อน ร้อยละ 47.73 (รูปที่ 10) บริเวณทิศใต้ และทิศตะวันตกมีอาคารที่อยู่อาศัยแทรกอยู่กับพื้นที่เปิดโล่ง มีพื้นที่สีเขียวขนาดเล็ก เช่น ต้นไม้ ต้นหญ้าบริเวณริมทางกระจายโดยรอบพื้นที่ศึกษา และทางทิศเหนือมีอาคารสูง ส่วนทางทิศตะวันออกมีอาคารที่อยู่อาศัย ในขณะที่บริเวณทิศตะวันออกเฉียงเหนือมีพื้นที่สีเขียวอยู่ใกล้เคียง เช่น สุสานบ้านเด่น และสนามกอล์ฟ นอกจากนี้บริเวณทิศตะวันออกติดกับถนนเชียงใหม่ – ลำพูนมีต้นยางนาบริเวณริมสองข้างทาง ซึ่งช่วยในการแพร่กระจายความเย็นได้ ผลการศึกษาพบว่ามีค่าความต่างของอุณหภูมิเฉลี่ยภายในพื้นที่สีเขียวและบริเวณโดยรอบในช่วงเวลาแรกเท่ากับ –0.84 และช่วงเวลาที่สองเท่ากับ –1.58 หมายถึงอุณหภูมิโดยรอบมีอุณหภูมิต่ำกว่าบริเวณพื้นที่สีเขียว (รูปที่ 11) หากพิจารณาจากรูปภาพ



รูปที่ 8 การแพร่กระจายความเย็นบริเวณรอบสวนสาธารณะตลาดต้นลำไย
(Cooling Effects Around Lamyai-Market Public Park Greenspace)

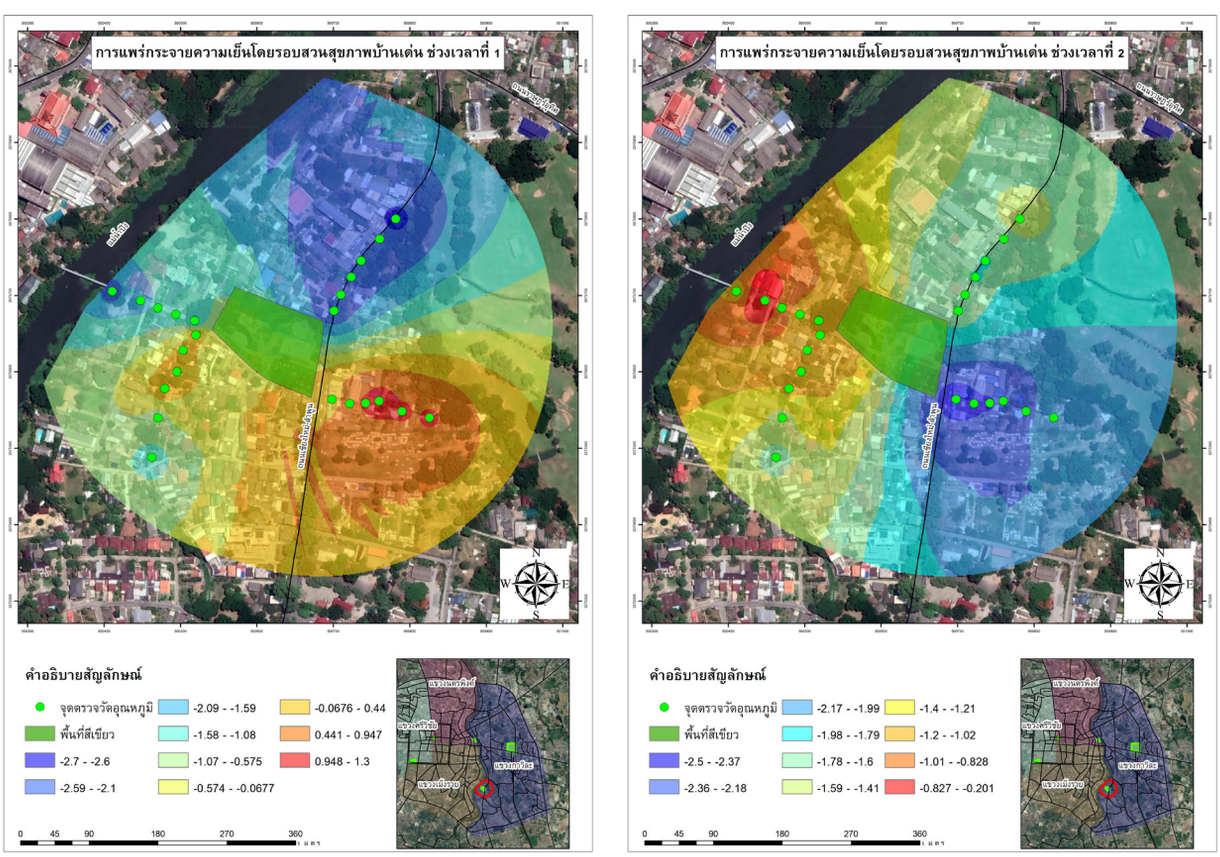


รูปที่ 9 แผนที่แสดงการแพร่กระจายความเย็นโดยรอบสวนสาธารณะตลาดต้นลำไย
(Map of Cooling Effects Around Lamyai-Market Public Park Greenspace)

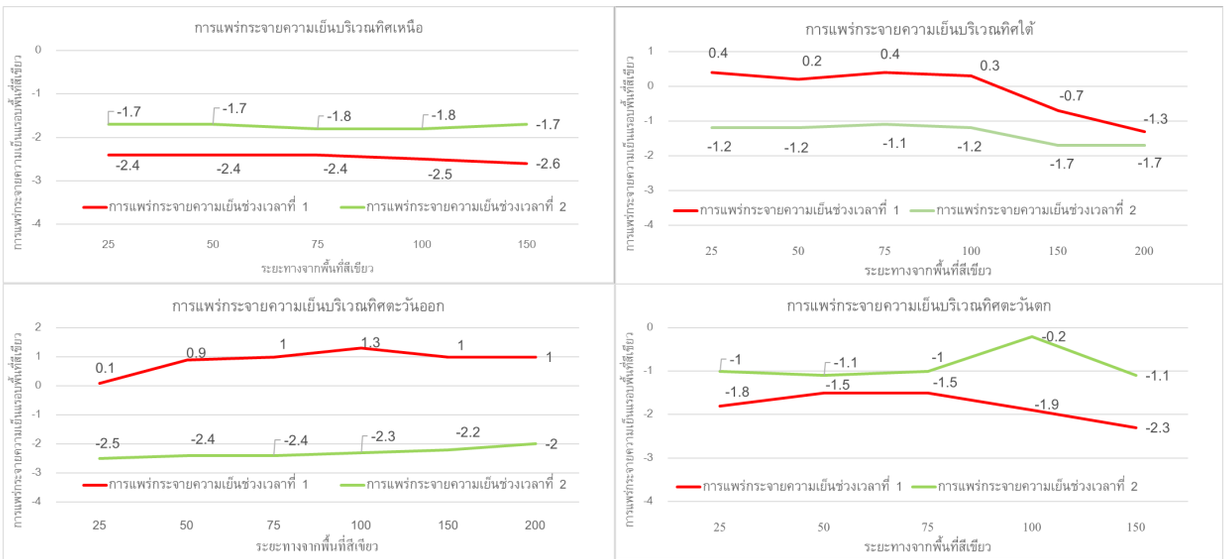


รูปที่ 10 ลักษณะพื้นผิว และพื้นที่โดยรอบสวนสุขภาพบ้านเด่น (Surface Characteristics and Surrounding Area of Banden Health Park Greenspace)

กราฟระหว่างอุณหภูมิและการแพร่กระจายความเย็นของทั้งสองช่วงเวลา (รูปที่ 12) พบว่าอิทธิพลการแพร่กระจายความเย็นของสวนสุขภาพบ้านเด่นในช่วงเวลาแรกมีน้อยมาก โดยพบในระยะ 25 – 75 เมตรทางทิศเหนือซึ่งมีความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายในและภายนอกอยู่ที่ 0.4 องศาเซลเซียส และทิศตะวันออกเท่ากับ 0.9 – 1.3 องศาเซลเซียส (ตารางที่ 1) ในขณะที่ช่วงเวลาที่ 2 ซึ่งเป็นช่วงที่เกาะความร้อนทวีความรุนแรงจากการปลดปล่อยความร้อนจากพื้นผิว พื้นที่โดยรอบพื้นที่สีเขียวกลับมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่าบริเวณภายในพื้นที่สีเขียวจึงทำให้การแพร่กระจายความเย็นไปสู่บริเวณโดยรอบในรัศมี 200 เมตรรอบพื้นที่สีเขียวน้อยมาก หรืออาจกล่าวได้ว่าสวนสุขภาพบ้านเด่นมีอิทธิพลการแพร่กระจายความเย็นต่อพื้นที่โดยรอบน้อย (รูปที่ 12) เนื่องจากภายในสวนมีพื้นที่ดาดแข็งอยู่สูง ประกอบกับบริเวณโดยรอบของสวนสุขภาพบ้านเด่นมีพื้นที่สีเขียวอยู่มาก จึงทำให้อุณหภูมิโดยรอบของสวนสุขภาพบ้านเด่นมีอุณหภูมิต่ำ จนเกิดเป็นเกาะความเย็น (Park Cool Island) ในรัศมี 200 เมตรจากพื้นที่สีเขียว

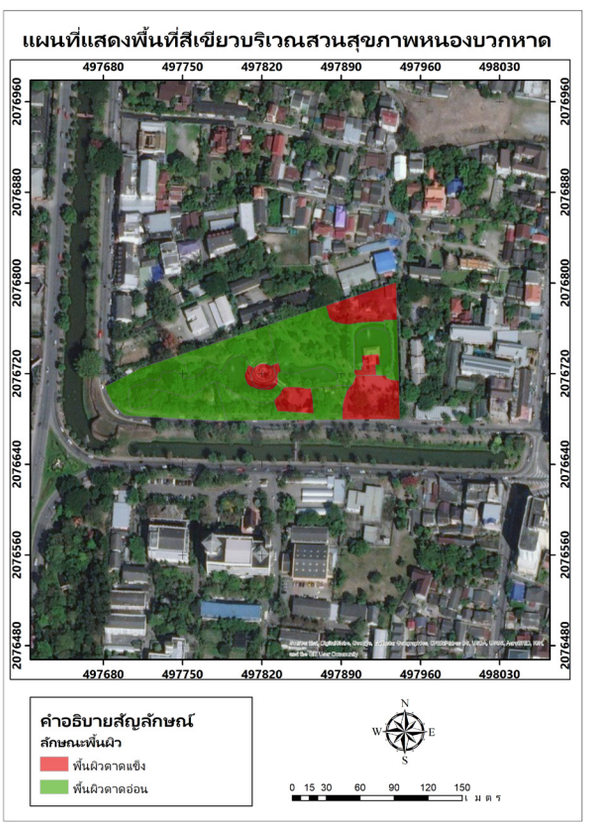


รูปที่ 11 แผนที่แสดงการแพร่กระจายความเย็นรอบสวนสุขภาพบ้านเด่น (Map of Cooling Effects Around Ban Den Health Park Greenspace)

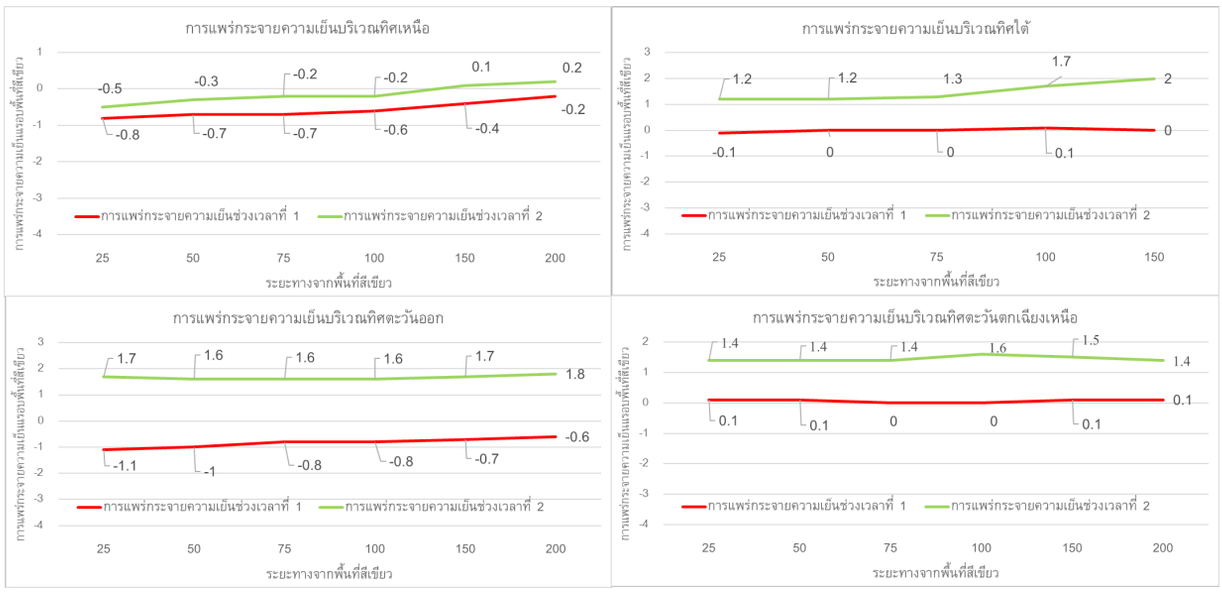


รูปที่ 12 การแพร่กระจายความเย็นบริเวณรอบสวนสุขภาพบ้านเด่น (Cooling Effects Around Ban Den Health Park Greenspace)

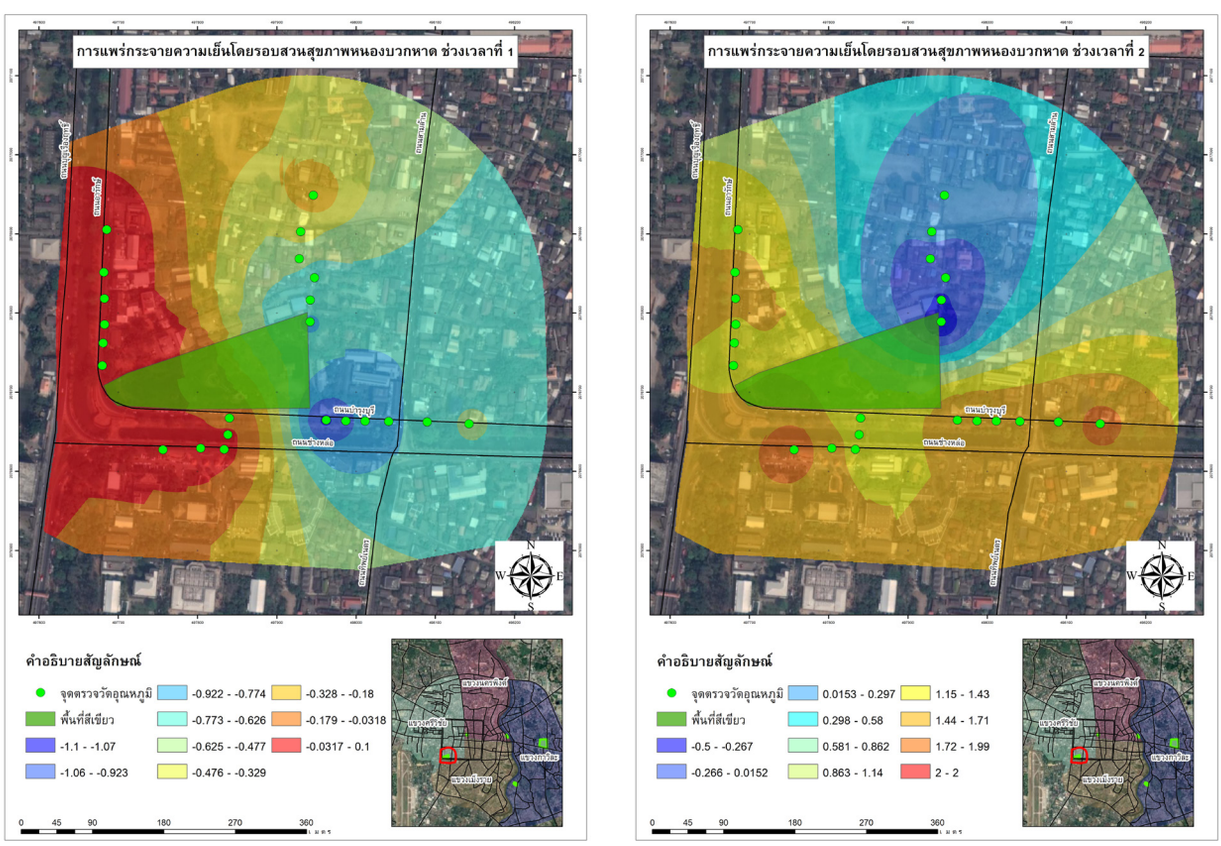
สวนสุขภาพหนองบวกหาด ตั้งอยู่บริเวณคูเมืองชั้นในทางทิศใต้ อยู่ติดกับถนนอารักษ์ ขนาดพื้นที่ทั้งหมด 12.42 ไร่ หรือ 19,875 ตารางเมตร ลักษณะพื้นผิวภายในพื้นที่สีเขียวมีสัดส่วนพื้นผิวดาดอ่อนร้อยละ 77.26 และพื้นผิวดาดแข็งร้อยละ 22.74 (รูปที่ 13) เป็นพื้นที่สีเขียวที่มีพืชพรรณอยู่มาก ลักษณะพื้นผิวโดยรอบเป็นชุมชนที่อยู่อาศัย ประกอบไปด้วยอาคารที่อยู่อาศัย และอาคารพาณิชยกรรมความสูง 3–4 ชั้น โดยทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือมีอาคารที่อยู่อาศัยและต้นไม้แทรกอยู่บ้างเล็กน้อย และอยู่ติดกับถนนอารักษ์ซึ่งพบว่ามีการจราจรหนาแน่นในช่วงเวลาเร่งด่วน ในขณะที่ทางทิศใต้มีพื้นที่สีเขียวขนาดเล็กอยู่บริเวณริมสองข้างของคูเมือง การแพร่กระจายความเย็นของพื้นที่สีเขียวมีค่าเฉลี่ยของช่วงเวลาแรกอยู่ที่ -0.348 โดยเฉพาะบริเวณทิศเหนือที่มีการแพร่กระจายความเย็นติดลบ แสดงถึงอุณหภูมิภายนอกที่ต่ำกว่าอุณหภูมิภายใน (รูปที่ 14) และช่วงเวลาที่สองอยู่ที่ 1.096 หมายถึง อุณหภูมิภายในสวนสุขภาพหนองบวกหาดมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิภายนอก ดังนั้นการแพร่กระจายความเย็นของพื้นที่สีเขียวในช่วงเวลาที่สองสูงกว่าในช่วงเวลาแรก และมีค่าที่เพิ่มขึ้นตามระยะทางที่ห่างจากพื้นที่สีเขียว แสดงถึงการแพร่กระจายความเย็นจากพื้นที่สีเขียวที่ทำให้พื้นที่โดยรอบมีอุณหภูมิลดลงเป็นระยะทาง 25 –150 เมตร (รูปที่ 15) และมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิภายในพื้นที่สีเขียวกับอุณหภูมิโดยรอบในรัศมี 25 – 200 เมตร มีมากถึง 1.1 – 1.4 องศาเซลเซียส โดยเฉพาะบริเวณทิศตะวันออก ทิศตะวันตก และทิศใต้ (รูปที่ 15)



รูปที่ 13 ลักษณะพื้นผิว และพื้นที่โดยรอบสวนสุขภาพหนองบวกหาด (Surface Characteristics and Surrounding Area of Nong Buak Had Health Park Greenspace)



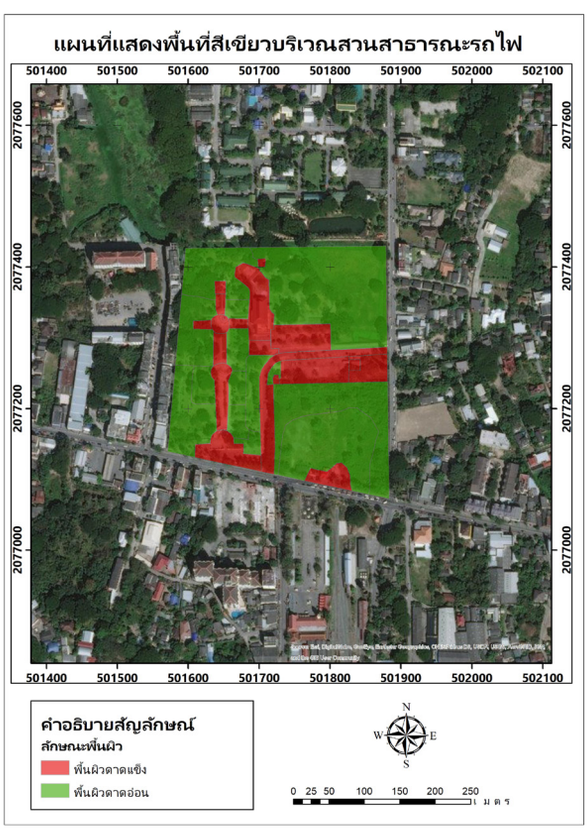
รูปที่ 14 การแพร่กระจายความเย็นบริเวณรอบสวนสุขภาพหนองบวกหาด
(Cooling Effects Around Nong Buak Had Health Park Greenspace)



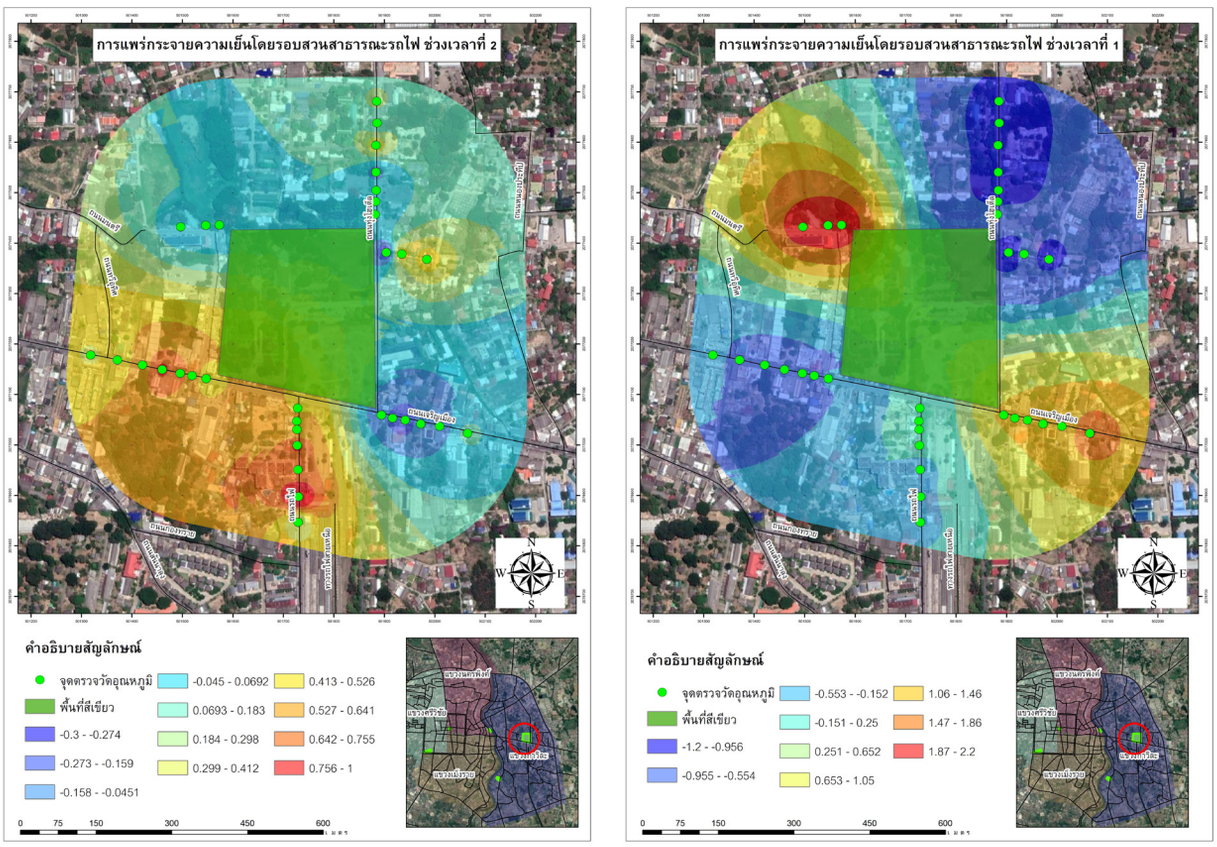
รูปที่ 15 แผนที่แสดงการแพร่กระจายความเย็นบริเวณรอบสวนสุขภาพหนองบวกหาด
(Map of Cooling Effects Around Nong Buak Had Health Park Greenspace)

3.1.3 สวนชุมชน (Community Park) ประกอบไปด้วยพื้นที่สีเขียวสวนสาธารณะรถไฟ สวนสาธารณะรถไฟ อยู่ในประเภทสวนชุมมชน (Community Park) ตั้งอยู่บริเวณทางทิศตะวันตกของเทศบาลนครเชียงใหม่ ติดกับถนนเจริญเมือง บริเวณหน้าสถานีรถไฟจังหวัดเชียงใหม่ เป็นพื้นที่สีเขียวที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในการศึกษาครั้งนี้มีขนาดพื้นที่ 60.15 ไร่ หรือ 96,251 ตารางเมตร ลักษณะพื้นผิวภายในพื้นที่สีเขียวมีสัดส่วนของพื้นผิวดาดอ่อนร้อยละ 72.17 และพื้นผิวดาดแข็งร้อยละ 27.83 (รูปที่ 16) ของพื้นที่ทั้งหมด ลักษณะพื้นผิวโดยรอบเป็นที่อยู่อาศัย และพาณิชยกรรมที่หนาแน่น โดยเฉพาะบริเวณที่ติดกับถนนเจริญเมืองที่มีอาคารพาณิชยกรรมสูง 3 – 4 ชั้น อยู่สองข้างทาง มีพื้นที่สีเขียวอื่น ๆ อยู่บริเวณโดยรอบ โดยเฉพาะบริเวณทิศเหนือ และทิศตะวันตกเฉียงเหนือ เป็นพื้นที่ที่มีการจราจรหนาแน่นในช่วงเวลาเร่งด่วน ค่าเฉลี่ยของการแพร่กระจายความเย็นของพื้นที่สีเขียวในช่วงเวลาแรกอยู่ที่ –0.48 หมายถึงอุณหภูมิภายนอกพื้นที่สีเขียวต่ำกว่าอุณหภูมิภายในพื้นที่สีเขียว เนื่องจากในบริเวณนี้เป็นบริเวณที่มีความหนาแน่นของเมืองสูงถึงแม้จะเป็นพื้นที่สีเขียวที่มีลมพัดมากกว่าพื้นที่อื่น ๆ แต่กลับมีอุณหภูมิสูงกว่าพื้นที่อื่น ๆ ในพื้นที่ศึกษา โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงเวลาแรก 34.7 องศาเซลเซียส การแพร่กระจายความเย็นในช่วงเวลาแรกพบว่า บริเวณทิศตะวันออกในช่วงเวลาแรกเป็นบริเวณที่มีการแพร่ระจายความเย็นมากที่สุด พื้นที่สีเขียวมีอุณหภูมิต่ำกว่าบริเวณโดยรอบมากถึง 1.1 – 1.5 องศาเซลเซียสในระยะทาง 25 – 150 (รูปที่ 17) แต่ในทิศทางอื่น ๆ กลับมีการแพร่กระจายความเย็นที่น้อย เนื่องจากมีอุณหภูมิภายนอกที่น้อยกว่าบริเวณพื้นที่สีเขียวเอง เนื่องจากมีการจราจรหนาแน่น และมีพื้นที่อาคารหนาแน่นอยู่โดยรอบ ในขณะที่ช่วงเวลาที่สองค่าการแพร่กระจายความเย็นเฉลี่ยเท่ากับ 0.270 หมายถึงอุณหภูมิภายนอกสูงกว่าอุณหภูมิภายในพื้นที่สีเขียว เนื่องจากเป็นช่วงเวลาที่อุณหภูมิโดยรอบลดลง แต่กลับเป็นช่วงเวลาที่เกาะความร้อนภายในเมืองทวีความรุนแรงที่สุด บริเวณพื้นที่สีเขียวมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่าพื้นที่โดยรอบ แต่ความแตกต่างของอุณหภูมินั้นไม่มากนัก มีการแพร่กระจายความเย็นจากบริเวณพื้นที่สีเขียวที่ 25 –100 เมตร การแพร่กระจายความเย็นที่มีค่ามากที่สุดจะอยู่บริเวณทิศใต้ ที่ระยะทาง 25 – 75 เมตร (รูปที่ 17) มีความแตกต่างกันของอุณหภูมิอยู่ที่ 0.5 – 1 องศาเซลเซียส เป็นบริเวณที่มีต้นไม้ หรือพื้นผิวดาดอ่อนอยู่ริมสองข้างทางน้อยกว่าในบริเวณอื่น ๆ ทำให้สวนรถไฟมีความแตกต่างของอุณหภูมิภายนอกกับภายในพื้นที่สีเขียวเฉลี่ยอยู่ที่ 0.2 – 0.8 องศาเซลเซียส

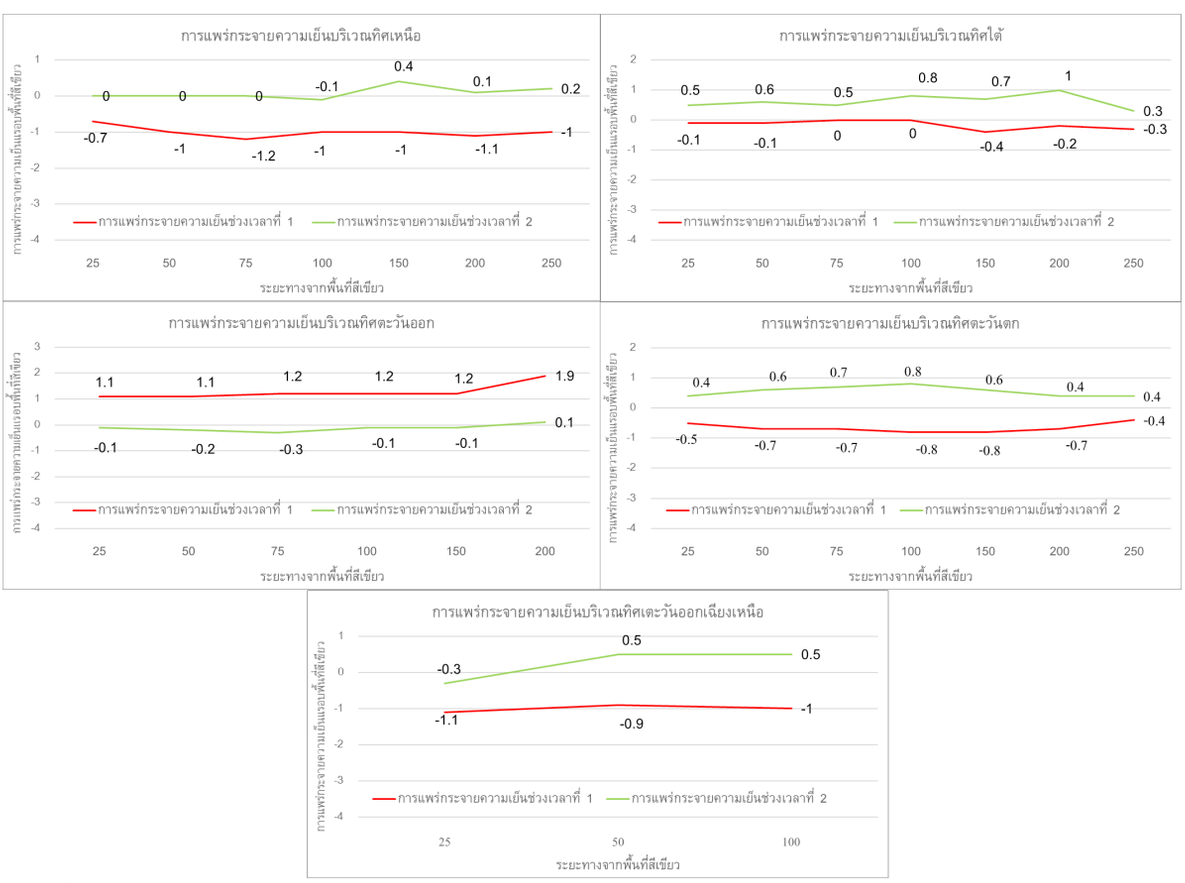
จากการศึกษาการแพร่กระจายความเย็นของพื้นที่สีเขียวที่มีขนาดแตกต่างกันทั้ง 5 แห่งของเมืองเชียงใหม่ พบว่าพื้นที่สีเขียวที่มีขนาดใหญ่สามารถแพร่กระจายความเย็นได้มากกว่าพื้นที่สีเขียวขนาดเล็ก รวมถึงสัดส่วนของพื้นผิวดาดแข็ง และพื้นผิวดาดอ่อนที่ส่งผลต่ออุณหภูมิภายในพื้นที่สีเขียว และดัชนีการแพร่กระจายความเย็น โดยพื้นที่สีเขียวที่มีสัดส่วนพื้นผิวดาดแข็งมากมักจะมีดัชนีการแพร่กระจายความเย็นน้อย เช่น สวนสุขภาพบ้านเด่นลานอนุสาวรีย์สามกษัตริย์ แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของกิจกรรมโดยรอบพื้นที่ เช่น พื้นที่สีเขียวประเภทสวนชุมชน สวนสาธารณะรถไฟ ที่มีขนาดใหญ่กว่าสวนสุขภาพบ้านเด่น ถึงแม้ว่าจะมีความแตกต่างของอุณหภูมิภายในและภายนอกพื้นที่สีเขียวที่น้อยกว่าสวนสุขภาพบ้านเด่น แต่มีดัชนีการแพร่กระจายความเย็น และระยะทางการแพร่กระจายความเย็นที่มากกว่า (ดังตารางที่ 1) อย่างไรก็ตามศักยภาพของการแพร่กระจายความเย็นขึ้นอยู่กับกิจกรรมที่อยู่โดยรอบพื้นที่สีเขียวขึ้นอยู่กับปัจจัยทางด้านของโครงสร้างทางกายภาพโดยรอบพื้นที่สีเขียว



รูปที่ 16 ลักษณะพื้นผิว และพื้นที่โดยรอบสวนสาธารณะรถไฟ (Surface Characteristics and Surrounding Area of Train Public Park Greenspace)



รูปที่ 17 แผนที่แสดงการแพร่กระจายความเย็นโดยรอบสวนสาธารณะรถไฟ (Map of Cooling Effects Around Train Public Park Greenspace)



รูปที่ 18 การแพร่กระจายความเย็นบริเวณรอบสวนสาธารณะรถไฟ (Cooling Effects Around Train Public Park Greenspace)

ตารางที่ 1 แสดงการแพร่กระจายความเย็น และลักษณะพื้นผิวของพื้นที่สีเขียว (Table of Cooling Effects and Surface Characteristics of Greenspace)

ประเภทพื้นที่สีเขียว	พื้นที่สีเขียว	ขนาด (ไร่)	ลักษณะพื้นผิว (ร้อยละ)		ลักษณะพื้นผิวโดยรอบ	ดัชนีการแพร่กระจายความเย็น		ระยะทางการแพร่กระจายความเย็น (เมตร)	Tu-Tr * (องศาเซลเซียส)
			พื้นผิวดาดแข็ง	พื้นผิวดาดอ่อน		ช่วงเวลาที่ 1	ช่วงเวลาที่ 2		
สวนหย่อมขนาดเล็กย่านชุมชน (Mini Park)	ลานอนุสาวรีย์สามกษัตริย์	2.91	64.76	35.24	ชุมชนเมืองหนาแน่นอยู่โดยรอบ	-0.317	0.233	25-50	0.1-0.9
	สวนสาธารณะตลาดต้นลำไย	2.65	57.53	42.47	แม่น้ำปิงทางทิศตะวันออก/ตลาดต้นลำไยทิศตะวันตก/พื้นที่เมืองหนาแน่น	0.105	0.670	25-75	0.5-0.9
สวนละแวกบ้าน (Neighborhood Park)	สวนสุขภาพหนองบวกหาด	12.24	22.74	77.26	คูเมืองทางทิศใต้/พื้นที่เมืองอยู่บริเวณโดยรอบ/พื้นที่สีเขียวแทรกตัวอยู่รอบพื้นที่	-0.348	1.096	25-150	1.1-1.4
	สวนสุขภาพบ้านเด่น	7.71	52.27	47.73	ชุมชนเมืองทางทิศใต้/พื้นที่สีเขียวกระจายตัวอยู่โดยรอบ	-0.840	-1.580	25-75	0.9-1.3
สวนชุมชน (Community Park)	สวนสาธารณะรถไฟ	60.15	27.83	72.17	พื้นที่เมืองหนาแน่น	-0.048	0.270	25-100	0.2-0.8
	* Tu-Tr หมายถึงความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายในพื้นที่สีเขียวและอุณหภูมิภายนอก แสดงการแพร่กระจายความเย็น และลักษณะพื้นผิวของพื้นที่สีเขียว								

3.2 ปัจจัยโครงสร้างทางกายภาพและภูมิอากาศที่ส่งผลต่อการแพร่กระจายความเย็นของพื้นที่สีเขียว

ในการศึกษานี้ได้กำหนดให้ความเร็วลมเป็นปัจจัยภูมิอากาศ (Oliveira, Henrique & Vaz, 2011; Jauregui, 1990) และใช้อัตราการมองเห็นท้องฟ้าโดยรอบพื้นที่สีเขียว เป็นปัจจัยโครงสร้างทางกายภาพที่ส่งผลต่อการแพร่กระจายความเย็น (Unger, 2009) โดยได้ทำการวิเคราะห์ปัจจัยทั้งสองดังกล่าวใน 2 ช่วงเวลา คือ ช่วงก่อนเกิดปรากฏการณ์โดมความร้อนและช่วงที่มีปรากฏการณ์โดมความร้อน โดยมีผลการศึกษาดังนี้

3.2.1 ช่วงเวลาที่ 1 ช่วงก่อนเกิดปรากฏการณ์โดมความร้อน (เวลา 17.00 น. – 18.00 น.)

ในกรณีของสวนหย่อมขนาดเล็ก (Mini Tot Park) ประกอบด้วย 2 สวนคือ พื้นที่สีเขียวลานอนุสาวรีย์สามกษัตริย์ และสวนสาธารณะตลาดต้นลำไย พบว่าการแพร่กระจายความเย็น (ค่าผลต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอกพื้นที่สีเขียว – อุณหภูมิภายในพื้นที่สีเขียว) มีความสัมพันธ์แบบแปรผันตรงกับอุณหภูมิโดยรอบอย่างมีนัยสำคัญ หมายความว่าเมื่อการแพร่กระจายความเย็นเพิ่มขึ้นส่งผลให้อุณหภูมิโดยรอบเพิ่มขึ้นตาม เนื่องจากอุณหภูมิภายนอกที่เพิ่มสูงขึ้นในขณะเดียวกันอุณหภูมิภายในพื้นที่สีเขียวกลับคงที่หรือลดลง จึงทำให้การแพร่กระจายความเย็นจากพื้นที่สีเขียวเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 2) ในขณะที่บริเวณสวนสาธารณะตลาดต้นลำไยการแพร่กระจายความเย็นมีความสัมพันธ์แบบแปรผันตรงอย่างมีนัยสำคัญกับอุณหภูมิภายในพื้นที่สีเขียวอย่างมีนัยสำคัญ หมายถึง เมื่อการแพร่กระจายความเย็นเพิ่มขึ้นส่งผลให้อุณหภูมิภายในเพิ่มขึ้น

สวนละแวกบ้าน (Neighborhood Park) ประกอบด้วย 2 สวน คือ พื้นที่สีเขียวสวนสุขภาพบ้านเด่น และสวนสุขภาพหนองบวกหาด พบว่าการแพร่กระจายความเย็นของทั้ง 2 สวน มีความสัมพันธ์แบบแปรผันตรงกับปัจจัยด้านอุณหภูมิโดยรอบอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่สวนสุขภาพบ้านเด่นปัจจัยด้านความเร็วลมมีความสัมพันธ์แบบผกผันต่อการแพร่กระจายความเย็นโดยรอบพื้นที่สีเขียวอย่างมีนัยสำคัญ สามารถอธิบายได้ว่าความเร็วลมที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้การแพร่กระจายความเย็นลดลง (ตารางที่ 2) ในส่วนของปัจจัยด้านอุณหภูมิภายในพื้นที่สีเขียว และอัตราการมองเห็นท้องฟ้า ไม่มีความสัมพันธ์ต่อการแพร่กระจายความเย็น

นอกจากนี้ผลการวิเคราะห์พบว่าสวนสุขภาพหนองบวกหาดมีการแพร่กระจายความเย็นมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิภายในพื้นที่สีเขียวแบบผกผันอย่างมีนัยสำคัญ หมายความว่า เมื่อการแพร่กระจายความเย็นเพิ่มขึ้นมีผลให้อุณหภูมิภายในลดลง ในขณะที่การแพร่กระจายความเย็นมีความสัมพันธ์แบบตรงกับอัตราการมองเห็นท้องฟ้าโดยรอบอย่างมีนัยสำคัญ หมายความว่า หากอัตราการมองเห็นท้องฟ้าเพิ่มขึ้นมีผลให้การแพร่กระจายความเย็นเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 2)

สวนชุมชน (Community Park) ประกอบด้วย พื้นที่สีเขียวในสวนสาธารณะรถไฟ การแพร่กระจายความเย็นมีความสัมพันธ์กับปัจจัยอุณหภูมิโดยรอบ เป็นความสัมพันธ์แปรผันแบบตรงอย่างมีนัยสำคัญ หมายความว่า หากการแพร่กระจายความเย็นเพิ่มขึ้นมีผลให้อุณหภูมิโดยรอบเพิ่มขึ้น ในขณะที่การแพร่กระจายความเย็นมีความสัมพันธ์แบบผกผันกับอุณหภูมิภายในพื้นที่สีเขียวที่หมายความว่า เมื่อการแพร่กระจายความเย็นเพิ่มขึ้นอุณหภูมิภายในพื้นที่สีเขียวจะลดลง (ตารางที่ 2)

3.2.2 ช่วงเวลาที่ 2 ช่วงที่มีปรากฏการณ์โดมความร้อน (เวลา 18.00 น. – 19.00 น.)

สวนหย่อมขนาดเล็ก (Mini Tot Park) ประกอบด้วย 2 สวนคือ พื้นที่สีเขียวลานอนุสาวรีย์สามกษัตริย์ และสวนสาธารณะตลาดต้นลำไย ผลการวิเคราะห์พบว่าการแพร่กระจายความเย็นมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิโดยรอบแบบแปรผันตรงอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 2) ในขณะที่ปัจจัยด้านความเร็วลม และอัตราการองเห็นท้องฟ้าไม่มีความสัมพันธ์ต่อการแพร่กระจายความเย็น

สวนละแวกบ้าน (Neighborhood Park) ประกอบไปด้วย 2 สวนคือ พื้นที่สีเขียวสวนสุขภาพบ้านเด่น และสวนสุขภาพหนองบวกหาด พบว่าการแพร่กระจายความเย็นมีความสัมพันธ์แบบตรงกับอุณหภูมิโดยรอบอย่างมีนัยสำคัญ หมายความว่า การแพร่กระจายความเย็นเพิ่มขึ้นส่งผลให้อุณหภูมิโดยรอบเพิ่มขึ้นเนื่องจากอุณหภูมิภายนอกที่เพิ่มสูงขึ้น ในขณะที่บริเวณสวนสุขภาพบ้านเด่น การแพร่กระจายความเย็นมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิภายในพื้นที่สีเขียวแบบแปรผันตรงอย่างมีนัยสำคัญ หมายความว่าเมื่อการแพร่กระจายความเย็นเพิ่มขึ้นส่งผลให้อุณหภูมิภายในพื้นที่สีเขียวเพิ่มขึ้นตาม ในขณะที่บริเวณสวนสุขภาพหนองบวกหาดการแพร่กระจายความเย็นมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิภายในพื้นที่สีเขียวแบบแปรผันผกผันกัน อย่างมีนัยสำคัญ หมายความว่า เมื่อการแพร่กระจายความเย็นเพิ่มขึ้นมีผลทำให้อุณหภูมิภายในพื้นที่สีเขียวลดลง (ตารางที่ 2)

สวนชุมชน (Community Park) ประกอบด้วยพื้นที่สีเขียว สวนสาธารณะรถไฟ ในช่วงเวลาที่สองพบว่าการแพร่กระจายความเย็นไม่มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิโดยรอบเหมือนในช่วงเวลาแรก แต่กลับมีความสัมพันธ์แบบผกผันกับอุณหภูมิภายในพื้นที่สีเขียว (ตารางที่ 2) อธิบายได้ว่า เมื่อการแพร่กระจายความเย็นเพิ่มขึ้นส่งผลให้อุณหภูมิภายในพื้นที่สีเขียวลดลง

ตารางที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการแพร่กระจายความเย็นกับปัจจัยทางด้านกายภาพ (Table of Relations of Cooling Effects and Physical Factors)

พื้นที่สีเขียว	ขนาด (ไร่)	อุณหภูมิภายนอก (องศาเซลเซียส)	ความเร็วลมภายนอก (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)	อุณหภูมิภายใน (องศาเซลเซียส)	อัตราการมองเห็นท้องฟ้า
ความสัมพันธ์ในช่วงเวลาที่ 1					
ลานอนุสาวรีย์สามกษัตริย์	2.91	.591**	−0.066	−0.044	0.166
สวนสาธารณะตลาดต้นลำไย	2.65	.878**	–	.541*	0.156
สวนสุขภาพหนองบวกหาด	12.42	.561**	−0.219	−.919**	.495*
สวนสุขภาพบ้านเด่น	7.71	.984**	−.575**	0.071	0.217
สวนสาธารณะรถไฟ	60.15	.461**	−0.286	−.745**	−0.176
ความสัมพันธ์ในช่วงเวลาที่ 2					
ลานอนุสาวรีย์สามกษัตริย์	2.91	.606**	−0.026	0.074	−0.259
สวนสาธารณะตลาดต้นลำไย	2.65	.717**	–	0.037	0.032
สวนสุขภาพหนองบวกหาด	12.42	.895**	–	−.912**	0.184
สวนสุขภาพบ้านเด่น	7.71	.976**	–	.508*	−0.014
สวนสาธารณะรถไฟ	60.15	−0.176	0.185	−.619**	−0.096
	** ความสัมพันธ์ที่ระดับความเชื่อมันที่ 0.01 * ความสัมพันธ์ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 0.05				

ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการแพร่กระจายความเย็นทั้งสองช่วงเวลาคือปัจจัยด้านอุณหภูมิภายนอก รองลงมาคือปัจจัยด้านอุณหภูมิภายในอธิบายได้ว่า ในทั้งสองช่วงเวลามีความแตกต่างกันในด้านของอุณหภูมิ เนื่องจากในช่วงเวลาที่ 1 เป็นช่วงเวลาที่ยังไม่เกิดโดมความร้อน พื้นผิวยังไม่มีการคายความร้อนที่ได้รับจากการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์มาตลอดทั้งวัน อีกทั้งยังเป็นช่วงเวลาที่ดวงอาทิตย์ลดการปล่อยรังสีความร้อนมาสู่พื้นผิว แต่ในช่วงเวลาที่ 2 เป็นช่วงเวลาที่พื้นผิวได้ทำการปลดปล่อยความร้อนที่ได้รับรังสีจากดวงอาทิตย์ ทั้งนี้การปลดปล่อยความร้อนของพื้นผิวขึ้นอยู่กับลักษณะของพื้นผิว พื้นผิวดาดแข็งและพื้นผิวดาดอ่อนในแต่ละบริเวณที่มีความแตกต่างกัน เช่นในช่วงเวลาที่ 1 ปัจจัยด้านอุณหภูมิภายในพื้นที่สีเขียวของสวนสุขภาพบ้านเด่นไม่มีความสัมพันธ์ต่อการแพร่กระจายความเย็น แต่ในช่วงเวลาที่ 2 กลับมีความสัมพันธ์ของอุณหภูมิภายในพื้นที่สีเขียวต่อการแพร่กระจายความเย็นแต่เป็นไปในลักษณะแปรผันตรง แสดงให้เห็นถึงบริเวณโดยรอบส่วนมากมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่าภายในพื้นที่สีเขียว เนื่องจากเมื่อการแพร่กระจายความเย็นเพิ่มขึ้น อุณหภูมิภายในพื้นที่สีเขียวเพิ่มขึ้น แต่จากทฤษฎีการแพร่กระจายความเย็นในข้างต้นนั้น เมื่อการแพร่กระจายความเย็นเพิ่มขึ้นส่งผลให้อุณหภูมิภายในพื้นที่สีเขียวลดลง เป็นไปในลักษณะผกผันกัน เช่นเดียวกับในกรณีของพื้นที่สีเขียวสวนสาธารณะตลาดต้นลำไย และลานอนุสาวรีย์สามกษัตริย์ ซึ่งทั้งสองแห่งมีสัดส่วนของพื้นผิวดาดแข็งมากกว่าพื้นผิวดาดอ่อน เหมือนกับสวนสุขภาพบ้านเด่น ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิภายในต่อการแพร่กระจายความเย็นมีความสัมพันธ์ในลักษณะแปรผันตรง ในอีกกรณีหนึ่งคือกรณีของสวนสาธารณะรถไฟ พบว่าในช่วงเวลาที่ 1 นั้นมีความสัมพันธ์ระหว่างการแพร่กระจายความเย็นกับอุณหภูมิภายนอกพื้นที่สีเขียว แต่ในช่วงเวลาที่ 2 กลับไม่มีความสัมพันธ์ในปัจจัยนี้แสดงถึงอุณหภูมิภายนอกในช่วงเวลาที่ 2 ไม่ส่งผลต่อการแพร่กระจายความเย็นในช่วงเวลาดังกล่าวสามารถอธิบายได้ว่าอุณหภูมิโดยรอบในช่วงเวลาที่ 2 นั้นมีความแตกต่างน้อยมากเนื่องด้วยลักษณะโดยรอบของพื้นที่ที่มีความเป็นเมืองสูง และมีกิจกรรมภายในเมืองมาก ในขณะที่อุณหภูมิภายในพื้นที่สีเขียวกลับมีความสัมพันธ์ต่อการแพร่กระจายความเย็นแบบผกผันกันทั้งสองช่วงเวลา ปัจจัยในด้านของอุณหภูมิภายใน และอุณหภูมิภายนอกจึงเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการแพร่กระจายความเย็น ลักษณะของพื้นผิวภายในพื้นที่สีเขียวเป็นอีกหนึ่งในปัจจัยเสริมที่ช่วยให้บริเวณพื้นที่สีเขียวมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่าบริเวณโดยรอบ และส่งอิทธิพลต่อศักยภาพในการแพร่กระจายความเย็นของพื้นที่สีเขียว ในส่วนของปัจจัยในด้านความเร็วลมภายนอก นั้นมีความสัมพันธ์เพียงไม่กี่แห่งในพื้นที่ศึกษา เนื่องจากในบางช่วงเวลาไม่มีลมพัดผ่าน ปัจจัยที่พบความสัมพันธ์น้อยที่สุดคือปัจจัยด้านเรขาคณิตเมืองหรืออัตราการมองเห็นท้องฟ้า ที่มีค่าความสัมพันธ์เพียงแค่บริเวณสวนสุขภาพหนองบวกหาดในช่วงเวลาที่ 1 เท่านั้น เนื่องจากบริเวณโดยรอบพื้นที่สีเขียวส่วนใหญ่มีลักษณะพื้นที่เป็นอาคาร และมีถนนที่ค่อนข้างแคบจึงทำให้อัตราการมองเห็นท้องฟ้าส่งผลต่อการแพร่กระจายความเย็น

พื้นที่สีเขียวในแต่ละแห่งที่มีขนาดแตกต่างกันมีปัจจัยที่ส่งผลต่อการแพร่กระจายความเย็นที่แตกต่างกันในสองช่วงเวลาจากผลการศึกษาจะสังเกตได้ว่า พื้นที่สีเขียวที่มีขนาดเล็ก เช่น สวนสาธารณะตลาดต้นลำไย (2.65 ไร่) ลานอนุสาวรีย์สามกษัตริย์ (2.91 ไร่) และสวนสุขภาพบ้านเด่น (7.71 ไร่) มีความสัมพันธ์ของการแพร่กระจายความเย็นต่ออุณหภูมิภายในพื้นที่สีเขียวน้อย แต่พื้นที่สีเขียวที่มีขนาดที่ใหญ่กว่าอย่างสวนสุขภาพหนองบวกหาด (12.42 ไร่) และสวนสาธารณะรถไฟ (60.15 ไร่) กลับมีความสัมพันธ์ของการแพร่กระจายความเย็นต่ออุณหภูมิภายในพื้นที่สีเขียว อุณหภูมิที่ลดต่ำลง หรือคงที่ภายในพื้นที่สีเขียว ในขณะที่บริเวณโดยรอบมีการปลดปล่อยความร้อนจากพื้นผิวทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นในช่วงเวลาที่เกิดโดมความร้อนภายในเมือง มีส่วนสำคัญที่ช่วยในการแพร่กระจายความเย็นไปสู่พื้นที่โดยรอบ แต่ทั้งนี้นอกจากขนาดของพื้นที่สีเขียวปัจจัยเสริมที่มีอิทธิพลต่อการแพร่กระจายความเย็นจากการศึกษาครั้งนี้คือลักษณะของพื้นผิวภายในพื้นที่สีเขียว พื้นที่สีเขียวที่มีขนาดใหญ่กว่าอย่างสวนสุขภาพหนองบวกหาด (12.42 ไร่) และสวนสาธารณะรถไฟ (60.15 ไร่) มีสัดส่วนของพื้นผิวดาดอ่อนมากกว่าพื้นผิวดาดแข็ง

4.อภิปราย

ผลการศึกษาศักยภาพการแพร่กระจายความเย็นของพื้นที่สีเขียวและอิทธิพลของลักษณะทางกายภาพซึ่งประกอบไปด้วยการแพร่กระจายความเย็นของพื้นที่สีเขียวที่มีขนาดแตกต่างกัน และปัจจัยที่ส่งผลต่อการแพร่กระจายความเย็นของพื้นที่สีเขียวมีความสอดคล้องกับแนวคิด และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องดังนี้

การแพร่กระจายความเย็นของพื้นที่สีเขียวที่มีขนาดแตกต่างกัน 5 แห่งภายในเมืองเชียงใหม่ พบว่าการแพร่กระจายความเย็นของพื้นที่สีเขียวขนาดใหญ่สามารถแพร่กระจายความเย็นได้มีประสิทธิภาพมากกว่าพื้นที่สีเขียวขนาดเล็ก สอดคล้องกับงานวิจัยของ (Aram, Garcia & Solgi, 2019) ที่กล่าวว่าพื้นที่สีเขียวขนาดใหญ่สามารถแพร่กระจายความเย็นได้ดีกว่าขนาดเล็ก โดยพื้นที่สีเขียวประเภทสวนชุมชนคือ สวนสาธารณะรถไฟมีระยะทางในการแพร่กระจายความเย็นอยู่ที่ 25–100 เมตร ต่างจากพื้นที่สีเขียวประเภทสวนหย่อมขนาดเล็กคือลานอนุสาวรีย์สามกษัตริย์ (2.91 ไร่) และสวนสาธารณะตลาดต้นลำไย (2.65 ไร่) ที่มีระยะทางในการแพร่กระจายความเย็น 25–50 เมตร และ ะ25–75 เมตรตามลำดับ เช่นเดียวกับพื้นที่สีเขียวประเภทสวนละแวกบ้าน อย่างไรก็ตามงานศึกษายังพบว่าการแพร่กระจายความเย็นยังมีความสัมพันธ์กับลักษณะพื้นผิวภายในพื้นที่สีเขียวซึ่งหากมีสัดส่วนพื้นผิวดาดอ่อนสูงจะส่งผลต่อการแพร่กระจายความเย็นได้ดีเช่น สวนสุขภาพหนองบวกหาด (12.42 ไร่) ที่ถึงแม้จะเป็นสวนระดับละแวกบ้านที่มีขนาดเล็กแต่มีศักยภาพในการแพร่กระจายความเย็นได้ดีเนื่องจากพื้นที่ในสวนเป็นพื้นผิวดาดอ่อนสูงส่งผลให้การปลดปล่อยความร้อนจากพื้นผิวมีน้อยกว่า (Oke, 1987) และยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Spronken-Smith & Oke (1998) และ Monteiro, Doick, Handley & Peace (2016) ที่กล่าวว่าพื้นที่สีเขียวที่มีต้นไม้เพิ่มขึ้นส่งผลต่อการลดลงของอุณหภูมิภายในพื้นที่ โดยพื้นที่สีเขียวที่มีพื้นผิวดาดอ่อนมากกว่าบริเวณโดยรอบมีอุณหภูมิภายในพื้นที่สีเขียวที่ต่ำกว่า และมีการแพร่กระจายความเย็นออกไปสู่พื้นที่โดยรอบได้ดีกว่าพื้นที่สีเขียวที่มีพื้นผิวดาดอ่อนน้อย นอกจากนี้ลักษณะพื้นที่โดยรอบก็มีผลต่อการแพร่กระจายความเย็นเช่นกัน เช่น พื้นที่สีเขียวประเภทสวนละแวกบ้านอย่างสวนสุขภาพบ้านเด่นเป็นพื้นที่สีเขียวที่มีดัชนีการแพร่กระจายความเย็นน้อยที่สุด มีค่าติดลบทั้งสองช่วงเวลา เนื่องจากพื้นที่โดยรอบของสวนสุขภาพบ้านเด่นมีพื้นที่สีเขียวอื่น ๆ แทรกตัวอยู่จำนวนมากจึงทำให้บริเวณโดยรอบนั้นมีอุณหภูมิน้อยกว่าภายในสวนสุขภาพ ส่งผลให้เกิดเกาะความเย็นบริเวณโดยรอบสวนสุขภาพ บริเวณโดยรอบในรัศมี 200 เมตร มีอุณหภูมิต่ำกว่าอย่างชัดเจน ซึ่งผลการศึกษาในส่วนนี้ได้สอดคล้องกับงานของ Park, Kim, Lee, Park & Jeong (2017) ในกรณีที่กล่าวว่าพื้นที่สีเขียวขนาดเล็กหลายแห่งในบริเวณใกล้เคียงกันในระยะที่เหมาะสมสามารถทำให้เกิดเกาะความเย็น และมีการแพร่กระจายความเย็นที่ดีกว่าพื้นที่สีเขียวขนาดใหญ่เพียงแห่งเดียว ในขณะที่พื้นที่สีเขียวสวนสาธารณะรถไฟ (60.15 ไร่) มีสัดส่วนของพื้นผิวดาดแข็งน้อยกว่าพื้นผิวดาดอ่อน แต่กลับมีดัชนีการแพร่กระจายความเย็น และระยะทางการแพร่กระจายความเย็นต่ำกว่าสวนสุขภาพหนองบวกหาด เนื่องจากลักษณะของพื้นที่โดยรอบประกอบไปด้วยพื้นที่เมืองหนาแน่น และมีกิจกรรมที่เข้มข้นสูง มีการจราจรหนาแน่นในช่วงเวลาเร่งด่วน อีกทั้งยังเป็นพื้นที่สีเขียวมีอุณหภูมิสูงที่สุดคือ 34.7 องศาเซลเซียส ต่างจากสวนสุขภาพหนองบวกหาดที่มีพื้นที่สีเขียวอื่น ๆ แทรกตัวอยู่โดยรอบมากกว่า และมีสภาพอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าจึงทำให้มีการแพร่กระจายความเย็นที่น้อยกว่าสวนสุขภาพหนองบวกหาด

ปัจจัยที่ส่งผลต่อการแพร่กระจายความเย็นของพื้นที่สีเขียวทั้ง 5 แห่ง แต่ละพื้นที่มีปัจจัยที่ส่งอิทธิพลต่อการแพร่กระจายความเย็นที่แตกต่างกัน จากผลการศึกษาพบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อการแพร่กระจายความเย็นมากที่สุดคือปัจจัยด้านอุณหภูมิโดยรอบ และอุณหภูมิภายในพื้นที่สีเขียว (ตารางที่ 2) เมื่ออุณหภูมิภายนอก และภายในพื้นที่สีเขียวมีการเปลี่ยนแปลง จะส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของการแพร่กระจายความเย็น มีเพียงพื้นที่สีเขียวขนาดใหญ่คือสวนสาธารณะรถไฟที่อุณหภูมิโดยรอบในช่วงเวลาที่สองไม่สัมพันธ์กับการแพร่กระจายความเย็น ในส่วนของปัจจัยทางด้านของภูมิอากาศ เช่น ความเร็วลมภายนอก มีพื้นที่สีเขียวแห่งเดียวที่มีความสัมพันธ์กับการแพร่กระจายความเย็นคือ สวนสุขภาพบ้านเด่น โดยบริเวณที่มีลมพัดพาสามารถทำให้เกิดการลดลงของอุณหภูมิในบริเวณดังกล่าวลงได้ ในกรณีของสวนสุขภาพบ้านเด่นในช่วงเวลาแรก อุณหภูมิภายในพื้นที่สีเขียวมีความใกล้เคียงอย่างมากกับอุณหภูมิโดยรอบ โดยในบางทิศทางมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่า เมื่อเกิดลมพัดจึงทำให้อุณหภูมิลดลงส่งผลให้ดัชนีการแพร่กระจายความเย็นนั้นลดลง สอดคล้องกับทฤษฎีที่กล่าวว่าความเร็วลมมีส่วนช่วยให้อุณหภูมิภายในเมืองลดลง (Oke, 1988) จากผลการศึกษาได้พบว่าในกรณีของความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยอุณหภูมิภายในพื้นที่สีเขียวที่ส่งผลต่อการแพร่กระจายความเย็นของพื้นที่สีเขียวในบริเวณสวนสุขภาพหนองบวกหาด และสวนสาธารณะรถไฟ ทั้งสองช่วงเวลามีความสัมพันธ์แบบผกผันกัน เมื่ออุณหภูมิภายในพื้นที่สีเขียวลดลง จะทำให้การแพร่กระจายความเย็นเพิ่มขึ้น มีความสอดคล้องกับ

ลักษณะพื้นผิวของพื้นที่สีเขียวทั้งสองแห่งนี้ เนื่องจากเป็นพื้นที่สีเขียวที่มีสัดส่วนของพื้นผิวดาดอ่อนมากกว่าอย่างชัดเจน (ตารางที่ 1) จึงทำให้อุณหภูมิภายในพื้นที่สีเขียวมีความแตกต่างจากพื้นที่ที่โดยรอบพื้นที่สีเขียวอย่างเห็นได้ชัด สอดคล้องกับทฤษฎีการปลดปล่อยความร้อนจากพื้นผิวที่มีลักษณะแตกต่างกัน (Oke, 1987) ศักยภาพการแพร่กระจายความเย็นของพื้นที่มีเขียวที่มีขนาดแตกต่างกัน ขนาดของพื้นที่สีเขียวและสัดส่วนของพื้นผิวดาดแข็งและพื้นผิวดาดอ่อน กิจกรรมที่เกิดขึ้นโดยรอบ ส่งผลต่อการแพร่กระจายความเย็น โดยพื้นที่สีเขียวที่มีประสิทธิภาพในเชิงพื้นที่คือพื้นที่สีเขียวประเภทสวนละแวกบ้านอย่างสวนสุขภาพหนองบวกหาด ที่มีขนาด 12.42 ไร่ และสวนชุมชน สวนสาธารณะรถไฟที่มีขนาด 60.15 ไร่ ที่สามารถแพร่กระจายความเย็นได้ไกลกว่าพื้นที่สีเขียวอื่น ๆ รวมถึงเป็นพื้นที่สีเขียวที่สัดส่วนพื้นผิวดาดอ่อนมากกว่าพื้นผิวดาดแข็ง แต่การแพร่กระจายความเย็นก็ขึ้นอยู่กับปัจจัยด้านของสภาพภูมิอากาศ อุณหภูมิโดยรอบและภายในพื้นที่สีเขียว ความเร็วลมโดยรอบและภายในพื้นที่สีเขียว หากพื้นที่สีเขียวตั้งอยู่ในบริเวณที่มีพื้นที่โดยรอบมีพื้นที่สีเขียวอื่น ๆ แทรกตัวอยู่มาก จะส่งผลให้บริเวณโดยรอบเกิดเกาะความเย็น (PCI) เช่นเดียวกับ สวนสุขภาพบ้านเด่นที่อุณหภูมิภายนอกและภายในใกล้เคียงกัน แต่ถ้าหากต้องการลดอุณหภูมิภายในเมืองลง การเพิ่มพื้นที่สีเขียวและเพิ่มพื้นผิวดาดอ่อนภายในพื้นที่สีเขียว สามารถช่วยเสริมการแพร่กระจายความเย็นจากพื้นที่สีเขียวออกไปได้มากขึ้น

5.สรุป

การศึกษาศักยภาพการแพร่กระจายความเย็นของพื้นที่สีเขียว และอิทธิพลของลักษณะทางกายภาพของพื้นที่สีเขียวที่มีขนาดแตกต่างกัน โดยขนาดที่แตกต่างกันของพื้นที่สีเขียวแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างในการแพร่กระจายความเย็น โดยพื้นที่สีเขียวที่มีการแพร่กระจายความเย็นที่มากที่สุดคือ พื้นที่สีเขียวประเภทที่ 2 สวนละแวกบ้าน คือ พื้นที่สีเขียวสวนสุขภาพหนองบวกหาด มีความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายใน และภายนอกพื้นที่สีเขียวมากที่สุด รองลงมาคือพื้นที่สีเขียวประเภทที่ 3 สวนชุมชน น้อยที่สุดคือ พื้นที่สีเขียวประเภทที่ 1 สวนหย่อมขนาดเล็กย่านชุมชนที่มีค่าการแพร่กระจายความเย็นน้อยที่สุดมีความแตกต่างกันระหว่างอุณหภูมิภายใน และภายนอกพื้นที่สีเขียวน้อยมาก ทั้งนี้ระดับของการแพร่กระจายความเย็นขึ้นอยู่กับอุณหภูมิภายในของพื้นที่สีเขียวเองด้วย กล่าวคือ หากในบริเวณพื้นที่สีเขียวมีพื้นผิวที่ปกคลุมด้วยพื้นผิวดาดแข็งสูงส่งผลให้อุณหภูมิภายในพื้นที่สีเขียวสูง เป็นผลให้ระดับการแพร่กระจายความเย็นต่ำลง หรืออีกนัยหนึ่งหากอุณหภูมิภายในพื้นที่สีเขียวต่ำกว่าอุณหภูมิภายนอก ทำให้เกิดเกาะความเย็นในบริเวณย่านดังกล่าว ซึ่งพบได้ในพื้นที่สีเขียวสวนสุขภาพหนองบวกหาด ที่มีอัตราส่วนของพื้นผิวดาดอ่อนมากถึง 77.26 และพื้นผิวดาดแข็งอยู่ที่ 22.74 อีกหนึ่งปัจจัยที่ส่งผลต่อการแพร่กระจายความเย็นคือ สภาพแวดล้อมและสภาพภูมิอากาศโดยรอบพื้นที่สีเขียว ที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของการแพร่กระจายความเย็นของพื้นที่สีเขียว เช่น สวนสาธารณะรถไฟ เป็นพื้นที่สีเขียวระดับชุมชน มีสัดส่วนของลักษณะพื้นผิวภายในพื้นที่สีเขียวที่เป็นพื้นผิวดาดอ่อนสูง แต่กลับมีการแพร่กระจายความเย็นที่ต่ำกว่าพื้นที่สีเขียวสวนสาธารณะตลาดต้นลำไยที่มีสัดส่วนของพื้นผิวดาดอ่อนต่ำกว่าพื้นผิวดาดแข็ง เนื่องจากบริเวณโดยรอบพื้นที่สีเขียวสวนสาธารณะรถไฟนั้น มีพื้นที่สีเขียวอื่น ๆ อยู่โดยรอบจึงทำให้ความแตกต่างกันของอุณหภูมิไม่มากนักหากเทียบกับพื้นที่สีเขียวสวนสาธารณะตลาดต้นลำไย จึงสามารถสรุปได้ว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่อการแพร่กระจายความเย็น ไม่ได้มีเพียงแค่ปัจจัยทางด้านภูมิอากาศในด้านของความเร็วลม และอัตราการมองเห็นท้องฟ้าเพียงเท่านั้น ยังประกอบไปด้วยปัจจัยในด้านของพื้นที่เช่น ขนาดของพื้นที่สีเขียว สัดส่วนพื้นผิวในพื้นที่สีเขียว ความเข้มข้นของกิจกรรมการใช้ที่ดิน สภาพแวดล้อมและสภาพอากาศโดยรอบที่จะส่งผลให้เกิดการแพร่กระจายความเย็นที่มีประสิทธิภาพ จนเกิดเป็นเกาะความเย็นในบริเวณย่านนั้น ๆ นอกจากนี้ผลการศึกษาพบว่าพื้นที่สีเขียวขนาดเล็กมีประสิทธิภาพในการแพร่กระจายความเย็นเท่ากับพื้นที่สีเขียวที่มีขนาดใหญ่กว่าได้ แต่ถ้าหากนำเอาพื้นที่สีเขียวขนาดเล็กมาอยู่ในบริเวณใกล้เคียงกันเป็นจำนวนมากจะสามารถทำให้พื้นที่โดยรอบมีอุณหภูมิที่ลดลงกว่าอุณหภูมิในบริเวณอื่น ๆ เช่น พื้นที่สีเขียวสวนสุขภาพบ้านเด่นที่ทำให้เกิดเกาะความเย็น (Park Cool Island) ในรัศมี 200 เมตรจากพื้นที่สีเขียว แต่ถ้าหากนำเอาพื้นที่สีเขียวขนาดใหญ่ขึ้นที่มีการแพร่กระจายความเย็นที่มากกว่าแต่ไม่มีพื้นที่สีเขียวโดยรอบจำนวนมากนักก็จะทำได้เพียงทำให้อุณหภูมิโดยรอบลดลงในรัศมี 100 – 150 เมตร เท่านั้น การลดอุณหภูมิของเมืองหรือ

บรรเทาปรากฏการณ์เกาะความร้อนภายในเมืองจึงสามารถทำได้โดยการเพิ่มพื้นที่สีเขียวในบริเวณที่มีอุณหภูมิภายในเมืองสูง หรือมีลักษณะพื้นผิวดาดแข็งเป็นจำนวนมาก แต่ด้วยข้อจำกัดในด้านของราคาที่ดินภายในเมือง การใช้พื้นที่สาธารณะที่แต่เดิมประชาชนสามารถเข้าไปทำกิจกรรมเพียงอย่างเดียว บางแห่งมีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ดาดอ่อนที่น้อยกว่าพื้นที่ดาดแข็ง สามารถลดอุณหภูมิและเพิ่มการแพร่กระจายความเย็นในย่านนั้น ๆ ได้ โดยการลดพื้นที่ดาดแข็ง เพิ่มพื้นที่ดาดอ่อนทั้งภายในและโดยรอบพื้นที่สาธารณะ เพิ่มต้นไม้ พื้นที่สีเขียวจะสามารถช่วยให้อุณหภูมิภายในเมืองลดลง รวมถึงการสร้างนโยบายเพิ่มพื้นที่สีเขียวในพื้นที่เมืองที่มีความหนาแน่น กำหนดอัตราส่วนของพื้นที่สีเขียวภายในบริเวณเมืองเพิ่มขึ้น และทำให้เกิดเกาะความเย็นในบริเวณเมืองได้

6.กิตติกรรมประกาศ

บทความนี้เป็นส่วนหนึ่งของวิทยานิพนธ์ระดับบัณฑิตศึกษา ได้รับการสนับสนุนในการวิจัยจาก บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และสนับสนุนอุปกรณ์ในการวิจัยจาก ภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

References

Aram, F., Garcia, E. H., & Solgi, E. (2019). *Urban green space cooling effect in cities. Heliyon, 5*(4). DOI: 10.1016/j.heliyon.2019.e01339.

Charoentrakulpeeti, W. (2011). Impact of Land Cover on Atmospheric Temperature in Bangkok. *Nida Journal of Environmental Management, 8*(1), 162-172. Retrieved from so02.tci-thaijo.org/index.php/JEM/article/view/27970

Charoentrakulpeeti, W., & Mahawan, N. (2013). Temporal and Spatial Dimension of Urban Heat Island in Chiangmai. *Journal of the Faculty of Architecture King Monkut's Institute of Technology Ladkrabang, 19*(2), 167-181. Retrieved from so04.tci-thaijo.org/index.php/archkmitl/article/view/30326

Chiangmai Municipality. (2017). Greenspace in Chiang Mai Municipality. Chiang Mai, Thailand: Author.

Department of City Planning and Urban Development, BMP Bangkok. (2011). *Greenspace in form of public space*. Retrieved from http://cpd.bangkok.go.th:90/web2/strategy/DATA54_55/9GREEN.pdf

Department of Land Transport. (2018). *Cumulative registered car quantity*. Retrieved from https://data.go.th/DatasetDetail.aspx?id=21372366-e78b-4d4a-b040-8a702ecedd5fth.

Department of Public works and Town & Country Planning. (2017). *Building Height in Chiang Mai.* Chiang Mai, Thailand: Author.

Jauregui, E. (1990). Influence of a large urban park on temperature and convective precipitation in a tropical city. *Energy and Buildings*, (15), 457-463. DOI: 10.1016/0378-7788(90)90021-A

Jagamohan, M., Knapp, S., Buchmann, C. M., & Schwarz, N. (2016). The bigger, the better? The influence of urban green space on cooling effects for residential areas. *Journal of Environment Quality, 45*(1), 134-145. DOI: 10.2134/jeq2015.01.0062.

Monteiro, M., Doick, K., Handley, P., & Peace, A. (2016). The impact of greenspace size on the extent of local nocturnal air temperature cooling in London. *Urban Forestry & Urban Greening, 16*, 160-169. DOI:10.1016/j.ufug.2016.02.008.

Nantarat, P., Charoentrakulpeeti, W., & Wattanapinyo, A. (2018). Urban heat island intensity in Chiangmai urban area in 2002 - 2017. *Urban and Regional Planning Academic Symposium 2018*, 167-181.

National Statistical Office. (2016). *Chiangmai Census Data*. Chiang Mai, Thailand: Author.

Oke, T.R. (1987). Boundary Layer Climate. Cambridge. Routledge.

Oke, T.R. (1988). Street design and urban canopy layer climate. *Energy and Building, 11*, 103-113.

Oliveira, S., Henrique, A., & Vaz, T. (2011). The cooling effect of green space as a contributetion to the mitigation of urban heat: A case study on Lisbon. *Building and Environment, 46*, 2186-2194. DOI: 10.1016/j.buildenv.2011.04.034.

Park, J., Kim, J., Lee, D., Park, C., & Jeong, S. (2017). The influence of small green space type and structure at the street level on urban heat island mitigation. *Urban Forestry & Urban Greening, 21*, 203-212. DOI: 10.1016/j.ufug.2016.12.005.

Shashua-Bar, L., & Hoffman, M. E. (2000). Vegetation as a climatic component in the design of an urban street an empirical model for predicting the cooling effect of urban green areas with trees. *Energy and Building, 31*, 221-235. DOI: 10.1016/S0378-7788(99)00018-3.

Spronken-Smith, R. A., & Oke, T. R. (1998). The thermal regime of urban parks in two cities with different summer climates. *International Journal of Remote Sensing, 19*(11), 2085-2104. DOI: 10.1080/014311698214884.

Srivanit, M., & Hokao, K. (2019). The Simulation of Cooling Effectiveness of Trees to Improve Outdoor Thermal Environment on Different Climate-Sensitive Urban Forms During a Summer of Bangkok. *International Journal of Building Urban, Interior and Landscape Technology, BUILT, 13*(2019): January-June. Retrieved from ph02.tci-thaijo.org/index.php/BUILT/article/view/185412

Srivanit, M., & Iamtrakul, P. (2019). Spatial patterns of greenspace cool islands and their relationship to cooling effectiveness in the tropical city of Chiang Mai, Thailand. *Environmental Monitoring and Assessment 191*, 580(2019). DOI: 10.1007/s10661-019-7749-9.

Taksadipong, S., Chuntranuluk, S., & Rungratanaubon, T. (2013). Investigation of cooling effect of urban green area on air temperature and relative humidity. *Asia-Pacific Journal of Science and Technology (APST), 18*(6), 2013: December. Retrieved from so01.tci-thaijo.org/index.php/APST/article/view/83027

Unger, J. (2009). Connection between urban heat island and sky view factor approximated by a software tool on a 3D urban database. *Environment and Pollution, 36*, 59-80. DOI: 10.1504/IJEP.2009.021817.