



อิทธิพลการแพร่กระจายความเย็นของพื้นที่สีเขียวต่อการลดอุณหภูมิในเขตเมือง
กรณีศึกษา กรุงเทพมหานคร และจังหวัดนนทบุรี ประเทศไทย

Investigation of Green Park Cooling Intensity on Urban Temperature Reduction:
A Case Study of Bangkok and Nonthaburi Province, Thailand

อดุลย์เดช ปัตไย* กิตติวรรณ กิจปรกรณ์สันติ สุรางคณา อิ่นชู และ อัศมน ลิ้มสกุล

Aduldech Patpai*, Kittiwarn Kitpakornsanti, Surangkha Ainchu and Atsamon Limsakul

ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม จ.ปทุมธานี 12120

Environmental Research and Training Center, Department of Environmental Quality Promotion, Ministry
of Natural Resources and Environment, Pathum Thani 12120, THAILAND

*Corresponding author e-mail: patpai_a@hotmail.com

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Article history:

Received: November 3, 2022

Revised: April 19, 2023

Accepted: April 19, 2023

Available online: April 28, 2023

DOI: 10.14456/jarst.2023.10

Keywords: Land surface
temperature, Heat island,
Normalized difference
vegetation index, Cooling
intensity, Green area

This article aims to study the intensity of park cooling effect on temperature reduction in urban areas. In this study, the Landsat-8 images (2015-2020) during the summer season were used to assess the Land Surface Temperature (LST) and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) data and the correlation of green area characteristics and Park Cooling Intensity (PCI) by utilizing the remote sensing and Google Earth Engine (GEE). The results of this study showed that the 3 Public Parks (i.e. Wachirabenchathat Park, Lumpini Park, and Makut Rommayasaran Park) have the average LST (average $\pm$ standard deviation; S.D.) were 27.34 ± 1.23 , 27.62 ± 1.59 and 27.86 ± 1.36 °C and the average NDVI were 0.55 ± 0.03 , 0.53 ± 0.02 and 0.42 ± 0.05 , respectively. In case of the correlation of LST and NDVI, they were negative correlation with a coefficient (R^2) of 0.8929 at a significance level of 0.01. In case of PCI analysis on green urban area, we found that the large public parks, low complexity area (shape uncertainty) and complicated shape the optimal proportion of pervious, canopy, and water area were related to the PCI of surrounding area. Therefore, the expansion of urban public parks and increasing of proportion of vegetation, pervious and water source inside the public park would be the important way to increase the cooling intensity. Moreover, another cooling sources in surrounding

area can enhance the efficiency of cooling intensity and temperature reduction inside the urban area. Lastly, this study would be the important reference for future urban planning and urban public park design to mitigate the urban heat island.

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลการแพร่กระจายความเย็นของพื้นที่สีเขียวต่อการลดอุณหภูมิความร้อนในเขตเมือง โดยการประยุกต์ใช้การรับรู้จากระยะไกลและซอฟต์แวร์ Google Earth Engine: GEE) ในการประมวลผลอุณหภูมิพื้นผิว (Land Surface Temperature; LST) และ ดัชนีพืชพรรณ (Normalized Difference Vegetation Index; NDVI) ด้วยภาพถ่ายดาวเทียม Landsat-8 ในปี พ.ศ. 2558 - 2563 ในช่วงฤดูร้อน พบว่า สวนสาธารณะทั้ง 3 แห่ง ได้แก่ สวนวชิรเบญจทัศ สวนลุมพินี และสวนอุทยานมกุฏมรณราชานุสรณ์ ซึ่งมีขนาดที่แตกต่างกัน มีค่าเฉลี่ย LST (ค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน) เท่ากับ 27.34 ± 1.23 , 27.62 ± 1.59 และ 27.86 ± 1.36 °C และมีค่าเฉลี่ย NDVI เท่ากับ 0.55 ± 0.03 , 0.53 ± 0.02 และ 0.42 ± 0.05 ตามลำดับ โดย LST มีความสัมพันธ์ทางลบกับ NDVI โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ (R^2) เท่ากับ 0.8929 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 จากการวิเคราะห์อิทธิพลต่อการแพร่กระจายความเย็นของพื้นที่สีเขียว (Park Cooling Intensity; PCI) พบว่าพื้นที่สีเขียวที่มีขนาดใหญ่ และมีรูปร่างไม่ซับซ้อน รวมถึงมีสัดส่วนของพื้นที่เปิดที่น้ำซึมผ่านได้ พื้นที่ปกคลุมด้วยเรือนยอดต้นไม้ และพื้นที่น้ำจะมีความสัมพันธ์กับการแพร่กระจายความเย็นไปยังพื้นที่โดยรอบได้ดี ซึ่งให้เห็นว่าการเพิ่มขนาดของพื้นที่สีเขียว และการเพิ่มสัดส่วนของต้นไม้ สนามหญ้า และแหล่งน้ำภายในสวนสาธารณะเป็นวิธีที่สำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพการแพร่กระจายความเย็น นอกจากนี้การมีพื้นที่สีเขียวหรือแหล่งกำเนิดความเย็นแทรกอยู่ตามพื้นที่โดยรอบยังสามารถช่วยเสริมการแพร่กระจายความเย็นของพื้นที่สีเขียวได้เช่นกัน ซึ่งเป็นประโยชน์สำหรับการวางผังเมืองและการออกแบบสวนสาธารณะเพื่อลดปัญหาเกาะความร้อนในเขตเมือง

คำสำคัญ: อุณหภูมิพื้นผิว เกาะความร้อน ดัชนีพืชพรรณ ระดับความเข้มการกระจายความเย็น พื้นที่สีเขียว

บทนำ

จากรายงานของ Intergovernmental Panel Climate Change (IPCC) พบว่า ในช่วงศตวรรษที่ผ่านมา ภาวะโลกร้อนได้รับการยอมรับว่าเป็นปัญหาระดับสากล และการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมินี้มีแนวโน้มที่จะเกิดขึ้นเร็วกว่าที่คาดการณ์ไว้ [1, 2] คาดว่าในปี ค.ศ. 2050 ประชากรโลกอาศัยอยู่ในเขตเมืองจะเพิ่มขึ้นเป็น 66% [3] ซึ่งการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรโลกส่งผลให้เกิดการขยายตัวของเมือง การขยายตัวของแหล่งที่อยู่อาศัย การก่อสร้างอาคาร บ้านเรือนและสิ่งปลูกสร้าง โดยสิ่งปลูกสร้างส่วนใหญ่สร้างขึ้นจากคอนกรีตที่มีความสามารถดูดซับความร้อนทำให้ภายในเมืองมีอุณหภูมิที่สูงขึ้น [4] นำไปสู่ปรากฏการณ์ที่เรียกว่า ปรากฏการณ์เกาะความร้อน (Urban Heat Island) ซึ่งเกิดจากการสะสมความร้อนจากดวงอาทิตย์ส่งผลให้อุณหภูมิในเขตชุมชนเมืองมีค่าเพิ่มขึ้นในทุก ๆ ปี และการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมินี้ยังส่งผลต่อทิศทางการไหลของอากาศ และมีอิทธิพลต่อการเกิดปรากฏการณ์อุณหภูมิผกผันในชั้นโทรโพสเฟียร์ ที่เป็นส่วนสำคัญต่อการแพร่กระจายของสารมลพิษทางอากาศ [5] โดยในพื้นที่เมืองพบว่า สาเหตุหลักเกิดจากการที่พื้นที่สะสมความร้อนที่มีเพิ่มขึ้นรวมถึง การลดลงของพื้นที่สีเขียวหรือส่วนที่เป็นพืช ที่ช่วยระเหยและการปล่อยความร้อนลดลง [6] ทั้งนี้ ประเทศไทยได้รับผลกระทบจากปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมืองมายาวนานหลายสิบปี โดยเฉพาะกรุงเทพมหานครและจังหวัดนนทบุรี ซึ่งตั้งอยู่ในเขตพื้นที่ภาคกลางของประเทศไทยก็ประสบกับปัญหาดังกล่าวด้วยเช่นกัน [7] ด้วยเหตุนี้จึงนำมาสู่การหาวิธีการในลดผลกระทบของปรากฏการณ์เกาะความร้อนในเมืองต่าง ๆ เช่น การเพิ่มพื้นที่สีเขียวในเมืองในรูปแบบของสวนสาธารณะและการวางผังเมืองที่เหมาะสม [8, 9] โดยอาศัยคุณสมบัติและการเพิ่มสัดส่วนของพื้นที่สีเขียว การกำหนดสัดส่วนของสิ่งปลูกสร้างต่าง ๆ ในเมือง ในการช่วยลดระดับอุณหภูมิสะสมในเขตเมือง สำหรับเมืองที่มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องอย่างกรุงเทพมหานครและจังหวัดนนทบุรี

พื้นที่สีเขียวสามารถช่วยลดอุณหภูมิอากาศได้จากอิทธิพลความเย็น “Cooling Effect” ของต้นไม้ ซึ่งเป็นการกระจายความเย็นของพื้นที่สีเขียว และส่งผลต่อการลดระดับอุณหภูมิของพื้นที่โดยรอบพื้นที่สีเขียว นั้น ๆ โดยเป็นปรากฏการณ์ที่ให้ผลตรงกันข้ามกับปรากฏการณ์เกาะความร้อนที่เกิดการกระจายความร้อนไปยังพื้นที่โดยรอบ เนื่องจากคุณสมบัติในการสังเคราะห์แสง และการคายน้ำของพื้นที่สีเขียวมีบทบาทสำคัญในการทำ ความเย็นและความชื้นให้แก่สวนสาธารณะในเมือง และยังอิทธิพลต่อพื้นที่ใกล้เคียง [9] เนื่องมาจากการเกิด เกาะความร้อน (Park Cool Island) รอบบริเวณพื้นที่ สีเขียว [10] ส่งผลให้บริเวณโดยรอบพื้นที่สีเขียวมี อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศในบริเวณชุมชนเมือง ทั่วไป [11, 12] จากการศึกษาการแพร่กระจายความเย็น พบว่า พื้นที่สีเขียวกับบริเวณพื้นที่โดยรอบอาจมีอุณหภูมิ ที่แตกต่างกัน 1-2 °C และอาจแตกต่างกันได้ถึง 5-7 °C ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมและปัจจัยของพื้นที่โดยรอบ นอกจากนี้ยังพบว่า พื้นที่สีเขียวขนาดใหญ่สามารถ แพร่กระจายความเย็นได้มากกว่าพื้นที่สีเขียวที่มี ขนาดเล็ก แต่ในขณะเดียวกันพื้นที่สีเขียวขนาดเล็กที่ กระจายตัวกันหลายพื้นที่ก็สามารถเกิดการแพร่กระจาย ความเย็นได้ และมีประสิทธิภาพมากกว่าพื้นที่สีเขียว เพียงพื้นที่เดียว [13, 14] ส่วนต้นไม้หรือแหล่งน้ำที่มีอยู่ ระหว่างพื้นที่สีเขียว ก็เป็นส่วนสำคัญในการเพิ่ม ประสิทธิภาพของการแพร่กระจายความเย็นได้เช่นกัน [15] ดังนั้น การใช้ประโยชน์จากสวนสาธารณะใน เขตเมืองที่มีข้อจำกัดทางด้านพื้นที่ และได้รับประโยชน์ สูงสุดทางนิเวศวิทยาภายใต้เขตเมืองที่มีความหนาแน่น สูงจึงเป็นหัวข้อที่น่าสนใจซึ่งมีเป้าหมายใน การศึกษาถึงลักษณะทางกายภาพของพื้นที่แตกต่างกัน รวมถึงอุณหภูมิพื้นผิว (LST) ดัชนีพืชพรรณ (NDVI) และ สัดส่วนและองค์ประกอบของพื้นที่สีเขียวที่มีอิทธิพลต่อ การแพร่กระจายความเย็น ของพื้นที่สีเขียว (Park Cooling Intensity; PCI) ในสวนสาธารณะ รวมถึงการศึกษา ความสัมพันธ์ของปัจจัยดังกล่าว ที่เกี่ยวข้องในเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานครและจังหวัดนนทบุรี ร่วมกับการใช้เทคนิค การสำรวจระยะไกลและซอฟต์แวร์ Google Earth Engine (GEE) เพื่อการศึกษาอิทธิพลการแพร่กระจายความเย็น ในพื้นที่สวนสาธารณะเพื่อลดอุณหภูมิในเขตเมือง

วิธีดำเนินการวิจัย

1. พื้นที่ศึกษา

การศึกษารั้วนี้ได้เลือกพื้นที่สีเขียว 3 แห่ง ได้แก่ สวนวชิรเบญจทัศ สวนลุมพินี และสวนอุทยานมกุฏมรยสราญ ที่มีขนาดแตกต่างกันและตั้งอยู่ในเขตกรุงเทพมหานคร และจังหวัดนนทบุรีเป็นพื้นที่ศึกษา ดังแสดงในรูปที่ 1 (ก) ซึ่งเป็นพื้นที่อยู่ในเขตพื้นที่ภาคกลางตอนล่างของประเทศไทย ตั้งอยู่บริเวณเหนือเส้นศูนย์สูตร ละติจูดที่ 13 องศา 30 ลิปดาเหนือ และ ลองจิจูดที่ 100 องศาตะวันออก จัดอยู่ในโซนที่มีภูมิอากาศแบบร้อนชื้น มีอุณหภูมิค่อนข้างสูง และอากาศร้อนอบอ้าวมากในฤดูร้อน เป็นพื้นที่ที่มี การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุม ดิน จากพื้นที่ผิวดินธรรมชาติกลายเป็นพื้นที่สิ่งปลูกสร้าง ทำให้ประสบกับปัญหาการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอย่างต่อเนื่อง [16] จากข้อมูลกรมอุตุนิยมวิทยา [7] พบว่า ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดที่มีการติดตามในกรุงเทพมหานคร โดยเฉพาะในปี พ.ศ. 2563 มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยสูงกว่า ค่าปกติ 1.04 °C และยังมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับ จากค่าอุณหภูมิปกติ 30 ปี โดยอุณหภูมิเฉลี่ยของ กรุงเทพมหานคร อยู่ระหว่าง 26 ถึง 31 °C โดยมีอากาศร้อน จัดอยู่ในเดือนเมษายนและพฤษภาคม

2. ลักษณะทางกายภาพของพื้นที่สีเขียวในเมือง

ทำการคำนวณลักษณะของพื้นที่สีเขียวที่มี อิทธิพลต่อการแพร่กระจายความเย็น ได้แก่ 1) ขนาด พื้นที่ของสวนสาธารณะ (Park Area; PA) 2) ระยะทาง รอบพื้นที่สวนสาธารณะ (Park Perimeter; PP) และ 3) ดัชนีรูปร่างของสวนสาธารณะ (Park Shape Index; PSI) คือ อัตราส่วนของระยะทางรอบพื้นที่ต่อขนาดพื้นที่ ของสวนสาธารณะ [17] แสดงดังสมการที่ 1 โดยลักษณะ เหล่านี้สามารถคำนวณและใช้อธิบายภาพรวม สวนสาธารณะในเมืองได้

$$PSI = 0.25 \times PP / \sqrt{PA} \quad (1)$$

3. สัดส่วนและองค์ประกอบของพื้นที่สีเขียว

โดยใช้ซอฟต์แวร์ i-Tree Canopy [18] ในการ แยกองค์ประกอบของพื้นที่สีเขียว โดยแบ่งเป็น 5 องค์ประกอบ ได้แก่ พื้นที่ปกคลุมด้วยเรือนยอดต้นไม้ (Canopy) พื้นที่เปิดที่น้ำซึมผ่านได้ (Pervious) พื้นที่เปิด

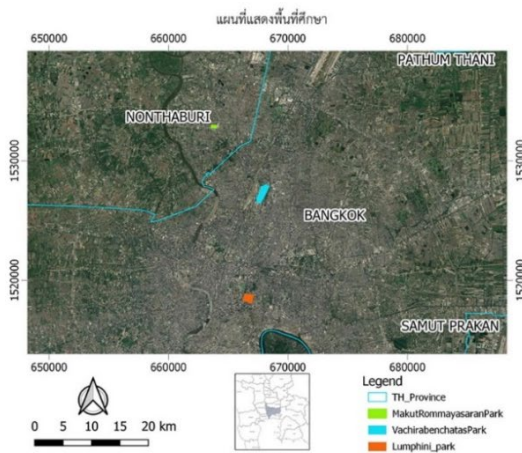
ที่น้ำไม่สามารถซึมผ่านได้ (Impervious) พื้นที่อาคาร สิ่งปลูกสร้าง (Building) และพื้นที่น้ำ (Water) เป็นการ แปลภาพถ่ายดาวเทียม Google maps ปี พ.ศ. 2563 ด้วยสายตาจากจุดตัวอย่างที่ซอฟต์แวร์กำหนดให้ โดยวิธี การสุ่มที่มีนัยสำคัญทางสถิติ จำนวน 1,000 จุด ต่อ 1 พื้นที่ศึกษา สำหรับระบุประเภทองค์ประกอบและใช้ คำนวณสัดส่วนของพื้นที่สีเขียว เพื่อนำมาวิเคราะห์ ความสัมพันธ์การแพร่กระจายความเย็นของพื้นที่สีเขียว กับพื้นที่โดยรอบ

4. วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล

การศึกษานี้ได้นำซอฟต์แวร์กูเกิลเอิร์ธเอนจิน (Google Earth Engine: GEE) มาประยุกต์ใช้ในการ วิเคราะห์และประเมินอุณหภูมิพื้นผิวของพื้นที่ สีเขียว [19] และการวิเคราะห์อนุกรมเวลาของการ เปลี่ยนแปลงความเขียวขจีของพืชจากดัชนีพืชพรรณ [20] จากโปรแกรม GEE ผ่านการเขียนโค้ดคำสั่งด้วย

ภาษา JavaScript เพื่อเรียกใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม นำมาวิเคราะห์และประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat-8 ระบบ Operational Land Imager (OLI) ในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ B5 (Near Infrared: NIR) และช่วงคลื่นสีแดง B4 (Red) และระบบอินฟราเรด ความร้อน Thermal Infrared Sensor (TIRS) ในช่วง คลื่น B10 (Thermal Infrared-TIRS 1)

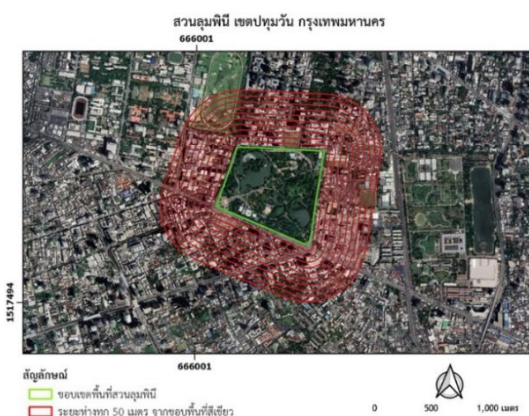
4.1 การศึกษาอุณหภูมิพื้นผิว (LST) โดย เลือกใช้อุณหภูมิความสว่าง (Brightness Temperature) เป็นอุณหภูมิพื้นผิวโลกในช่วงคลื่นอินฟราเรดความร้อน ซึ่งข้อมูลที่ตรวจวัดจากดาวเทียม Landsat-8 ที่จัดเก็บ ในรูปแบบของค่าเชิงเลข (Digital Number: DN) โดย เมื่อการแผ่รังสี (Radiance) ของวัตถุเท่ากับการแผ่รังสี ของวัตถุดำ (Black body) ทั้งนี้การแผ่รังสีของวัตถุดำ จะเป็นตัวกำหนดอุณหภูมิความสว่างของวัตถุ สามารถ คำนวณได้จากสมการที่ 2



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 1 (ก) พื้นที่สวนสาธารณะในเมืองทั้ง 3 แห่ง และระยะบัฟเฟอร์ 50-500 เมตร (ข) สวนวชิรเบญจทัศ (ค) สวนลุมพินี และ (ง) สวนอุทยานมกุฏมรยสราญ อำเภอเมือง จังหวัดนนทบุรี

$$T = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1\right)} - 273.15 \quad (2)$$

เมื่อ T คือ อุณหภูมิความสว่างหน่วยเคลวิน (K), K_1 คือ ค่าคงที่ 774.89 ในแบนด์ B10 และ 480.89 ในแบนด์ B11, K_2 คือ ค่าคงที่ 1321.08 ในแบนด์ B10 และ 1201.14 ในแบนด์ B11 และ L_λ คือ ค่าการแผ่รังสี (Radiance) เชิงสเปกตรัม

นอกจากนี้การแผ่รังสีของวัตถุจะขึ้นอยู่กับความยาวคลื่นและสัดส่วนระหว่างการดูดกลืน (Absorb) การสะท้อน (Reflectance) และการปล่อยผ่าน (Transmittance) โดยวัตถุที่มีการดูดกลืนได้ดีจะสามารถแผ่รังสีได้ดีด้วย [21-22] แสดงดังสมการที่ 3

$$L_\lambda = M_L Q_{cal} + A_L \quad (3)$$

เมื่อ M_L คือ ค่า Radiance Multi Band, A_L คือ ค่า Radiance Add Band และ Q_{cal} คือ ค่า Digital Number (DN)

การวิเคราะห์อุณหภูมิพื้นผิวจะวิเคราะห์จาก 1) ค่าอุณหภูมิความสว่างของแบนด์ B10 และแบนด์ B11 และ 2) ค่าการวิเคราะห์สภาพเปล่งรังสีของพื้นผิวโลกแบนด์ B10 และแบนด์ B11 สำหรับวิธีการวิเคราะห์แสดงดังสมการที่ 4 [23]

$$LST = (T_{10} + C_{10} - T_{11}) + (T_{10} - T_{11})^2 C_0 + (C_3 + C_4 W)(1 - \epsilon) + (C_5 + C_6 W) \Delta \epsilon \quad (4)$$

เมื่อ T_{10} และ T_{11} คือ ค่าอุณหภูมิความสว่างของแบนด์ B10 และแบนด์ B11, ϵ คือ ความแตกต่างสภาพเปล่งรังสีของแบนด์ B10 และแบนด์ B11, C_0 - C_6 คือ ค่าคงที่ของสมการและ W คือ ค่าไอน้ำในชั้นบรรยากาศ

4.2. ดัชนีพืชพรรณ (NDVI) เพื่อนำมาใช้ประเมินความสมบูรณ์ของพืชพรรณ โดยการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างของการสะท้อนของพื้นผิว ระหว่างช่วงคลื่นใกล้อินฟราเรดกับช่วงคลื่นตามองเห็นสีแดงมาทำสัดส่วนกับค่าผลบวกของทั้งสองช่วงคลื่นเพื่อปรับให้เป็นลักษณะการกระจายแบบปกติ แสดงดังสมการที่ 5 [24]

$$NDVI = NIR - RED / NIR + RED \quad (5)$$

โดยที่ NIR เป็นค่าการสะท้อนในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ และ RED เป็นค่าการสะท้อนในช่วงคลื่นตามองเห็นสีแดง

โดยที่ค่า NDVI มีค่าอยู่ระหว่าง -1 ถึง 1 ซึ่งค่า 0 ซึ่งหมายถึง บริเวณที่วิเคราะห์ไม่มีพืชพรรณใบเขียวอยู่ในพื้นที่สำรวจ ในขณะที่ค่า 0.8 หรือ 0.9 หมายถึง พื้นที่นั้น ๆ มีพืชมักพืชพรรณใบเขียวหนาแน่นมากในพื้นที่ดังกล่าว กรณีที่พื้นผิวมีพืชพรรณปกคลุมจะมีค่าการสะท้อนในช่วงคลื่นใกล้อินฟราเรดสูงกว่าช่วงคลื่นตามองเห็นสีแดง ทำให้ NDVI มีค่าเป็นบวก ในขณะที่พื้นผิวเป็นดินจะมีค่าการสะท้อนระหว่างสองช่วงคลื่นใกล้เคียงกัน ทำให้ NDVI มีค่าใกล้เคียงกับศูนย์ ส่วนกรณีที่พื้นผิว เป็นดินจะมีค่าการสะท้อนในช่วงคลื่นใกล้อินฟราเรดต่ำกว่าช่วงคลื่นตามองเห็นสีแดง ทำให้ NDVI มีค่าติดลบ

4.3 ลักษณะการเกิด Park Cooling Island เพื่อศึกษาการแพร่กระจายความเย็นของพื้นที่สีเขียวในการลดระดับอุณหภูมิของพื้นที่สีเขียวต่อบริเวณโดยรอบ [10] ของสวนวชิรเบญจทัศ สวนลุมพินี และสวนอุทยานมกุฏมรยสราญ โดยกำหนดแนวกันชนที่ระยะห่าง 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450 และ 500 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 1 (ข) - (ง) โดยคุณสมบัติของสวนสาธารณะที่มีอิทธิพลต่อการเกิดเกาะความเย็นในเมือง แบ่งออกเป็น 4 ด้าน ดังนี้

4.3.1 พื้นที่ทำความเย็นที่ของพื้นที่สีเขียว (Park Cooling Area; PCA) คือ พื้นที่ที่ใหญ่ที่สุดที่อาจได้รับอิทธิพลจากสภาพแวดล้อมโดยรอบ หรือเป็นพื้นที่กันชนที่สร้างขึ้นบนพื้นฐานของระยะทางที่ไกลที่สุดที่ได้รับอิทธิพลความเย็นจากพื้นที่สีเขียว (ระยะการระบายความร้อนที่มากที่สุด) [25-27]

4.3.2 การแพร่กระจายความเย็นของพื้นที่สีเขียว (Park Cooling Intensity, PCI) เป็นค่าความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ย LST ภายนอกพื้นที่สีเขียว (TU) และ ภายในพื้นที่สีเขียว (TP) [27] ที่ระยะแนวกันชน 500 เมตร จากขอบพื้นที่สีเขียว แสดงดังสมการที่ 6

$$PCI = TU - TP \quad (6)$$

4.3.3 ประสิทธิภาพการทำความเย็น (Park Cooling Efficiency; PCE) คืออัตราส่วนของพื้นที่ทำความเย็นสูงสุด ต่อพื้นที่สีเขียว (PA) สามารถคำนวณได้โดยใช้ค่า PCA และ PCI [25-26] แสดงดังสมการที่ 7

$$PCE = (PCI \times PCA) / PA \quad (7)$$

4.3.4 อัตราการเพิ่มอุณหภูมิตามระยะทาง (Park Cooling Gradient; PCG) คือ อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นต่อหน่วยของการเพิ่มระยะทาง (100 เมตร) จากขอบเขตของสวนสาธารณะ [26, 28] แสดงดังสมการที่ 8

$$PCG = PCI / PCD \quad (8)$$

โดยที่ PCD คือ ระยะการทำความเย็นของพื้นที่สีเขียว ซึ่งกำหนดอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นต่อหน่วยของการเพิ่มระยะทาง (100 เมตร) จากขอบเขตพื้นที่สีเขียว

ตารางที่ 1 ลักษณะทางกายภาพและสัดส่วนของสวนสาธารณะ

ลักษณะทางกายภาพ	สวนวชิรเบญจทัศ	สวนลุมพินี	สวนอุทยานมกุฏมรยสราญ
PA (km ²)	0.9233	0.5099	0.0873
PP (km)	4.3764	2.9898	1.2613
PSI	1.28	1.18	1.20
สัดส่วนของสวนสาธารณะ			
Building Canopy Impervious Previous Water			
Building	4%	5%	4%
Canopy	47%	43%	51%
Impervious	10%	13%	12%
Previous	27%	22%	11%
Water	12%	17%	22%



ผลการศึกษาและอภิปรายผล

ลักษณะทางกายภาพและสัดส่วนของพื้นที่สีเขียว

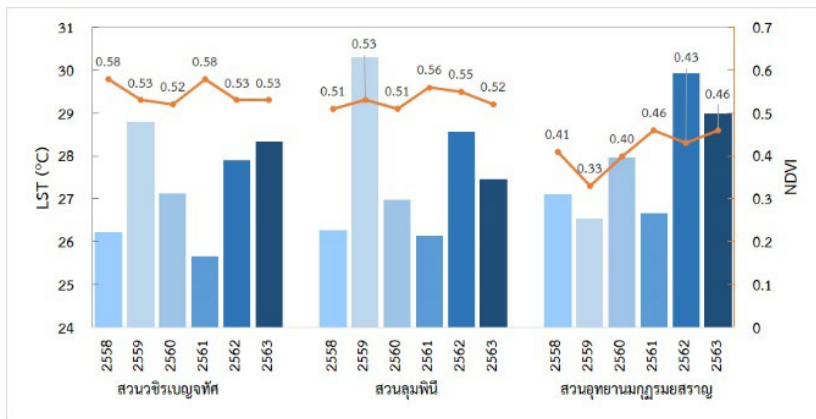
การศึกษาสวนสาธารณะในเขตเมืองจำนวน 3 แห่ง พบว่า พื้นที่เฉลี่ย 0.5068 ตารางกิโลเมตร โดยสวนวชิรเบญจทัศ ซึ่งเป็นสวนขนาดใหญ่มีขนาดพื้นที่ (0.9233 ตารางกิโลเมตร) และระยะทางรอบพื้นที่ (4.3764 กิโลเมตร) มากที่สุด รองลงมา คือ สวนลุมพินี และสวนอุทยานมกุฏมรยสราญ ตามลำดับ ส่วนดัชนีรูปร่างของสวนสาธารณะทั้ง 3 แห่ง มีรูปร่างเป็นพื้นที่สี่เหลี่ยมมีค่าอยู่ในช่วง 1.18 ถึง 1.28 ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก และผลการวิเคราะห์สัดส่วนของสวนสาธารณะด้วยซอฟต์แวร์ i-Tree Canopy ดังแสดงในตารางที่ 1 โดยมีสัดส่วนของพื้นที่ปกคลุมด้วยเรือนยอดต้นไม้ พื้นที่น่าพื้นที่เปิดที่น้ำซึมผ่านได้ พื้นที่เปิดที่น้ำไม่สามารถซึมผ่านได้ และพื้นที่อาคารสิ่งปลูกสร้างเฉลี่ยร้อยละ 47.0, 17.0, 20.0, 11.7 และ 4.3 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าพื้นที่ปกคลุมด้วยเรือนยอดต้นไม้คือสัดส่วนที่มีมากที่สุด และมีส่วนพื้นที่น้ำอยู่ในสวนสาธารณะทั้ง 3 แห่ง

ผลกระทบของสวนสาธารณะต่อระดับ LST และ NDVI

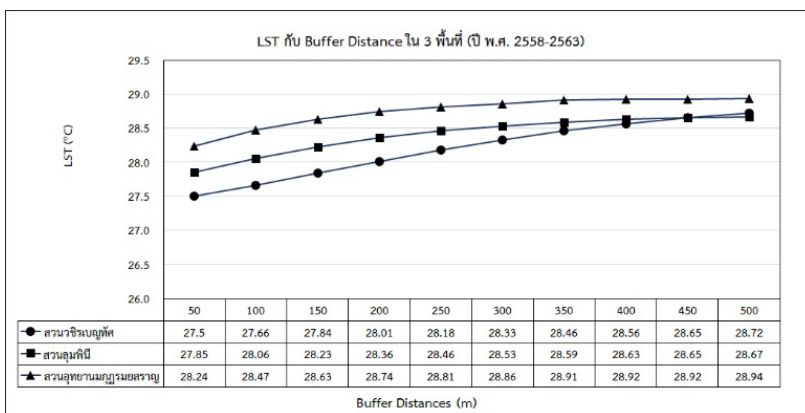
ผลการวิเคราะห์ค่า LST และ NDVI ด้วยซอฟต์แวร์ Google Earth Engine ปี พ.ศ. 2558-2563 ในช่วงเดือน มกราคม-พฤษภาคม (5 เดือน) แสดงดังรูปที่ 2 สำหรับผลกระทบของสวนสาธารณะต่อระดับ LST พบว่า สวนวชิรเบญจทัศ สวนลุมพินี และสวนอุทยานมกุฏมรยสราญ มีค่าเฉลี่ย LST เท่ากับ 27.34, 27.62 และ 27.86 °C ตามลำดับ โดยสวนอุทยานมกุฏมรยสราญ ซึ่งเป็นสวนที่มีขนาดเล็กที่สุดมีอุณหภูมิสูงที่สุด แต่ขณะเดียวกันก็มีสัดส่วนพื้นที่สีเขียวหรือปกคลุมด้วยต้นไม้และพื้นที่น้ำมากที่สุด ค่าเฉลี่ย LST ต่ำที่สุดคือสวนวชิรเบญจทัศ ซึ่งเป็นสวนที่มีขนาดใหญ่ที่สุดและมีพื้นที่เปิดที่น้ำซึมผ่านได้มากที่สุด ส่วนการวิเคราะห์ค่า NDVI ของสวนทั้ง 3 แห่ง พบว่า สวนวชิรเบญจทัศ มีค่า NDVI อยู่ในช่วง 0.52-0.58 ค่าสูงสุดในปี พ.ศ. 2558 และ 2561 มีค่าเฉลี่ย 0.55 สวนลุมพินี อยู่ในช่วง 0.51-0.56 ค่าสูงสุดในปี พ.ศ. 2561 มีค่าเฉลี่ย 0.53 สวนอุทยานมกุฏมรยสราญ อยู่ในช่วง 0.33-0.46 ค่าสูงสุดในปี พ.ศ. 2561 และ 2563 มีค่าเฉลี่ย 0.42

เมื่อทำการเปรียบเทียบค่า LST ในช่วงระยะเวลา 6 ปี พบว่า สวนอุทยานมกุฏมรยมสราญ มีค่า LST สูง ในปี พ.ศ. 2562 ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากในช่วงปี พ.ศ. 2562 ประเทศไทย มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงกว่าค่าปกติ ประมาณ 1.1°C ซึ่งเป็นอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดเป็นอันดับ 1 ของประเทศไทยในรอบ 69 ปี (พ.ศ. 2494-2562) ซึ่งเป็นปีที่ได้รับอิทธิพลจากปรากฏการณ์ ENSO โดยเฉพาะ ปี พ.ศ. 2558 ถึง 2559 และ พ.ศ. 2541 ซึ่งเป็นปีที่เกิด

ปรากฏการณ์เอลนีโญรุนแรง โดยปรากฏการณ์ เอลนีโญกำลังอ่อนได้เริ่มพัฒนาตัวมาตั้งแต่ปลายปี พ.ศ. 2561 และปรากฏต่อเนื่องมาจนถึงในช่วงครึ่งแรกของปี พ.ศ. 2562 ทำให้บริเวณประเทศไทยมีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงกว่าค่าปกติตลอดทั้งปี โดยเฉพาะฤดูร้อนในช่วงระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนพฤษภาคม และส่งผลให้ ภาควกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงกว่า ค่าปกติ 1.07°C และ 1.00°C ตามลำดับ [7]



รูปที่ 2 ระดับ LST และ NDVI พื้นที่สีเขียวทั้ง 3 แห่ง (ปี พ.ศ. 2558-2563)



รูปที่ 3 ค่า LST กับระยะบัฟเฟอร์ ของพื้นที่สีเขียวทั้ง 3 แห่ง (ปี พ.ศ. 2558-2563)

ผลกระทบของ LST ในแต่ละระยะบัฟเฟอร์

ผลการศึกษาความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศ พื้นที่สีเขียวทั้ง 3 แห่ง มีค่าต่ำกว่าระดับอุณหภูมิอากาศ เฉลี่ยภายนอกสวนในทุกระยะทางประมาณ $1.0-1.4^{\circ}\text{C}$ โดยที่ระยะบัฟเฟอร์ 500 เมตร ค่าเฉลี่ย LST ของสวน จิเบญจพัฑ สวนลุมพินี และสวนอุทยานมกุฏมรยมสราญ มีค่าเฉลี่ย LST เท่ากับ 28.72 , 28.67 และ 28.94°C ตามลำดับ เมื่อดูจากกราฟที่ได้จากรูปที่ 3 ที่ระยะบัฟเฟอร์ ต่าง ๆ พบว่า ค่า LST จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นตามระยะห่างจาก

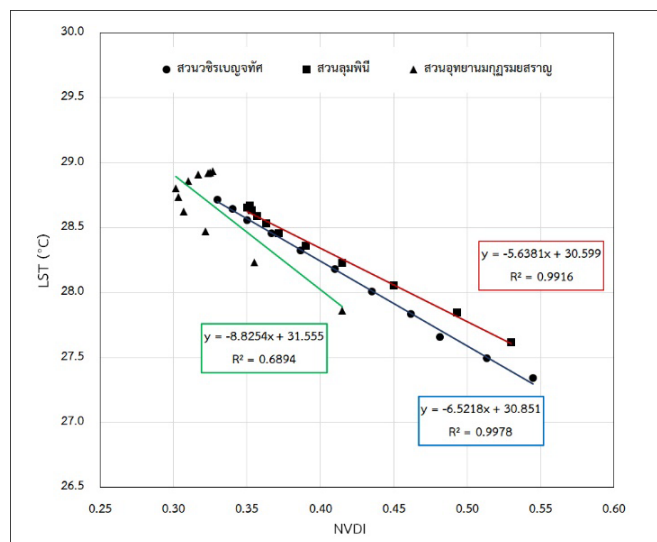
สวนสาธารณะและมีแนวโน้มคงที่ที่ระยะ 400 400 350 เมตร ตามลำดับ เนื่องจากพื้นที่สีเขียวทั้ง 3 แห่ง มีที่ตั้งอยู่เขตย่านใจกลางเมือง พื้นที่โดยรอบมีลักษณะเป็น สิ่งปลูกสร้างและที่อยู่อาศัย มีการจราจรหนาแน่นเป็น แหล่งที่มีการระบายความร้อนออกมาสู่บรรยากาศได้เป็น อย่างดี ส่งผลให้ LST มีค่าสูงขึ้นเมื่อมีระยะห่างเพิ่มมากขึ้น

ความสัมพันธ์ระหว่างค่า NDVI และ LST

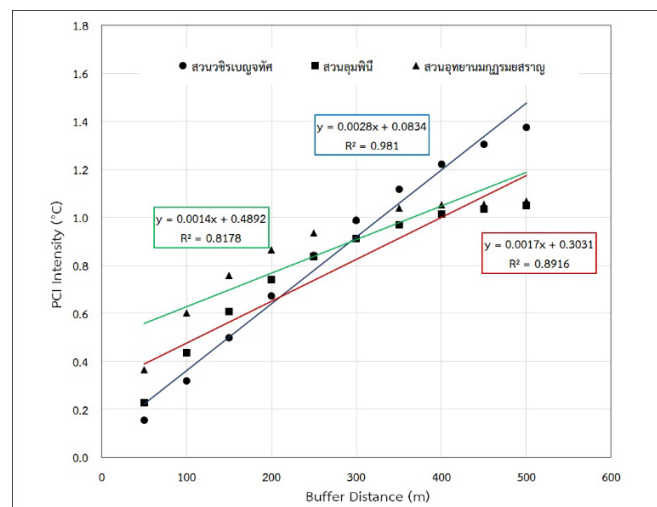
การวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์ระหว่าง 2 ตัวแปร

แบบ Correlation Coefficient (r) ระหว่างค่า LST กับ NDVI เพื่อศึกษาปัจจัยความสมบูรณ์ของพืชพรรณ ที่มีผลต่อการลดอุณหภูมิในพื้นที่ซึ่งพบความสัมพันธ์เชิงลบมากที่สุดที่สวนวชิรเบญจทัศ สวนลุมพินี และสวนอุทยานมกุฏมรยมสราญ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ R^2 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 เท่ากับ 0.689 และ 0.9916 ,0.9978 ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 4 อธิบายได้ว่าเมื่อพืชพรรณที่มีอยู่ในสวนสาธารณะมีความสมบูรณ์จะมีอิทธิพลต่อการลดลงของอุณหภูมิพื้นผิวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นเดียวกับการศึกษาของ Narathip และคณะ [29] ที่ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของพืชพรรณที่ปกคลุมดินกับอุณหภูมิพื้นผิว ซึ่งพบว่ค่าสหสัมพันธ์ (r) ระหว่างของ

ปัจจัยทั้งสองมีความสัมพันธ์ในทางลบ 0.8610 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 อธิบายได้ว่าเมื่อสัดส่วนของพืชพรรณที่ปกคลุมดินเพิ่มขึ้นจะมีอิทธิพลต่อการลดลงของอุณหภูมิพื้นผิว อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Ashwani และคณะ [30] ที่ใช้ข้อมูลดาวเทียม Landsat-8 ศึกษาอิทธิพลของพื้นที่สีเขียวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิพื้นผิวในเมืองพาราณสี ประเทศอินเดีย พบว่า NDVI มีความสัมพันธ์ต่อ LST ในทางลบ (-0.9798) และค่า NDVI จะบอกถึงความสามารถของพืชพรรณที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิพื้นผิวเมื่อพืชพรรณมีความสมบูรณ์เพิ่มขึ้น



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่าง LSI กับ NDVI ของพื้นที่สีเขียวทั้ง 3 แห่ง (ปี พ.ศ. 2558-2563)



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่าง PCI กับระยะบัฟเฟอร์ของพื้นที่สีเขียวทั้ง 3 แห่ง (ปี พ.ศ. 2558-2563)

การแพร่กระจายความเย็นของพื้นที่สีเขียวต่อบริเวณโดยรอบ

สามารถคำนวณได้จากผลต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยจากพื้นที่ภายใน และพื้นที่ภายนอกสวนสาธารณะ [31] โดยสวนทั้ง 3 แห่ง เป็นสวนที่ตั้งอยู่เขตย่านใจกลางเมืองซึ่งมีการจราจรหนาแน่น เป็นแหล่งที่อยู่อาศัย และมีสิ่งปลูกสร้างอยู่โดยรอบ ดังนี้ 1) สวนวชิรเบญจทัศ หรือสวนรถไฟ ตั้งอยู่ในเขตจตุจักร ซึ่งเป็นย่านใจกลางเมืองซึ่งมีการจราจรหนาแน่น ติดกับถนนสายหลัก เช่น ถนนพหลโยธิน ถนนวิภาวดีรังสิต และอยู่ใกล้กับสถานีกลางบางซื่อ สถานีขนส่งผู้โดยสารกรุงเทพ รวมถึงตลาดนัดจตุจักร ค่าความเข้มของ PCI เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วระหว่างช่วงพื้นที่โดยรอบ 50 ถึง 400 เมตร จาก $0.16-1.22^{\circ}\text{C}$ แสดงถึงการแพร่กระจายความเย็นจากพื้นที่สีเขียวที่ทำให้พื้นที่โดยรอบมีอุณหภูมิลดลงเป็นระยะทาง 50-400 เมตร จากนั้นค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจนถึงระยะ 500 เมตร ค่า PCI เท่ากับ 1.37°C และมีค่าเฉลี่ย 0.85°C 2) สวนลุมพินี เขตปทุมวัน มีถนนล้อมรอบทั้ง 4 ด้าน ได้แก่ ถนนสารสิน ถนนราชดำริ ถนนพระรามสี่ และถนนวิฑูรย์ รวมทั้งสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน (MRT) เป็นย่านที่มีตึกสูงอยู่เป็นจำนวนมาก ซึ่งมีผลต่อการระบายอากาศในพื้นที่ เมื่อพิจารณาค่าความเข้มของ PCI ของสวนลุมพินี พบว่าที่ระยะบัพเฟอร์ 50-400 เมตร ค่าความเข้มของ PCI เพิ่มขึ้นจาก 0.23°C เป็น 1.01°C จากนั้นความเข้มของ PCI มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยระหว่าง 400 - 500 เมตร จาก 1.02°C เป็น 1.05°C มีค่าเฉลี่ยของ PCI เท่ากับ 0.78°C และ 3) สวนอุทยานมกุฏมรณราชธานี ตั้งอยู่ในเขตศูนย์ราชการจังหวัดนนทบุรี ด้านหน้าติดกับถนนรัตนธิเบศร์ ใกล้สี่แยกแคราย และสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน (MRT) โดยรอบมีสิ่งปลูกสร้างและอาคารขนาดใหญ่ ค่าความเข้มของ PCI ที่ระยะบัพเฟอร์ 50-350 เมตร และเพิ่มขึ้นจาก 0.38°C เป็น 1.05°C จากนั้นค่า PCI มีการเปลี่ยนแปลง น้อยมากและมีแนวโน้มคงที่จนถึงระยะ 500 เมตร โดย PCI มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.88°C

จากค่าความเข้มของ PCI ในแต่ละระยะบัพเฟอร์ของสวนสาธารณะทั้ง 3 แห่ง โดยการกระจายความเย็นของสวนสาธารณะ พบว่าขอบเขตผลการทำความเย็นจะอยู่ที่ระยะ 350-500 เมตร จากเขตรอบสวนสาธารณะ ส่วนความเข้มของ PCI ที่มีการเปลี่ยนแปลงน้อยหรือมีแนวโน้มคงที่นี้

อาจเกิดจากการที่มีแหล่งกำเนิดความเย็น เช่น พื้นที่สีเขียวขนาดเล็ก สวนหย่อม แหล่งน้ำแทรกอยู่ตามระยะบัพเฟอร์ รวมถึงปัจจัยภายนอกอื่น ๆ โดยรอบสวนสาธารณะแทรกตัวอยู่ ส่งผลให้ PCI จากสวนสาธารณะถูกลดความสามารถในการแพร่กระจายความเย็นออกไป ถ้าหากต้องการลดอุณหภูมิภายในเมือง การเพิ่มพื้นที่สีเขียวและเพิ่มแหล่งกำเนิดความเย็นภายนอกเขตพื้นที่สีเขียว สามารถช่วยเสริมการแพร่กระจายความเย็นจากสวนสาธารณะออกไปได้มากขึ้น เช่นเดียวกับ Park และคณะ [32] ที่พบว่าพื้นที่สีเขียวขนาดเล็กที่มีการกระจายตัวอยู่ตามพื้นที่ในเมือง สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการแพร่กระจายความเย็นได้มากกว่าพื้นที่สีเขียวเพียงพื้นที่เดียว

ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะทางกายภาพและสัดส่วนของพื้นที่สีเขียวกับค่า PC

การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ของเพียร์สันถูกนำมาใช้เพื่อสำรวจความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะทางกายภาพและสัดส่วนของสวนสาธารณะในเมืองที่มีอิทธิพลต่อการแพร่กระจายความเย็นไปยังพื้นที่รอบนอก ดังแสดงในตารางที่ 2 ซึ่งผลปรากฏว่าขนาดพื้นที่ของสวนสาธารณะในเขตเมืองมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความเข้มข้นของ PCI ($r = 0.821$) และ PCA ($r = 0.998$) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 ($p\text{-value} < 0.01$) บ่งชี้ว่าอิทธิพลความเย็น และระยะทางการแพร่กระจายความเย็นเพิ่มขึ้นตามขนาดของพื้นที่สวนสาธารณะในเมือง ผลลัพธ์นี้ชี้ให้เห็นว่าการเพิ่มขนาดสวนสาธารณะในเมืองอาจเป็นวิธีที่สำคัญในการเพิ่มความเข้มข้นของ PCI และลดผลกระทบ UHI [32-33] เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Srivanit และ lamtrakul [34] ได้ศึกษาการเกิดเกาะความร้อนของพื้นที่สีเขียวในเมืองเชียงใหม่ โดยใช้การวิเคราะห์ภาพถ่ายจากดาวเทียมในช่วงฤดูร้อน พบว่าสัดส่วนพื้นที่สีเขียวที่ครอบคลุมทั่วพื้นที่เมืองให้ความสัมพันธ์เชิงลบกับ LST และส่งผลต่อการเกิดเกาะความร้อนให้กับเมืองได้ดีกว่า แต่ลักษณะทางกายภาพของสวนสาธารณะ ได้แก่ PA และ PP มีความสัมพันธ์เชิงลบกับ PCG ($r = -0.581$ และ $r = -0.760$ ตามลำดับ) และ PCE ($r = -0.626$ และ $r = -0.796$ ตามลำดับ) ซึ่ง PA และ PP ไม่ใช่ปัจจัยหลักต่อความสามารถในการทำความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ของสวนสาธารณะทั้ง 3 แห่งนี้ ส่วนค่า PSI ที่บ่งชี้ถึงรูปร่างของสวนสาธารณะในเมืองมีความสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมากกับความเข้มข้นของ PCI ($r = 0.991$)

ตารางที่ 2 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างลักษณะสวนสาธารณะกับอิทธิพลต่อการแพร่กระจายความเย็น

Characteristics	PCI	PCA	PCG	PCE
PA	0.821*	0.998*	-0.581**	-0.760*
PP	0.787*	0.992*	-0.626*	-0.796*
PSI	0.991	0.780	0.124**	-0.119*
Canopy	0.857**	1.000	-0.526	-0.716*
Water	0.646**	0.946*	-0.771*	-0.902*
Previous	0.869**	1.000	-0.506	-0.699*
NDVI	0.556*	0.904	-0.838**	-0.945*

** Significance at the 0.01 level; * significance at the 0.05 level

ซึ่งหมายความว่า หากสวนสาธารณะมีรูปร่างซับซ้อนน้อยเท่าใดความเข้มข้นของ PCI ก็จะยิ่งเพิ่มขึ้น [25] เนื่องจากสวนสาธารณะที่มีรูปร่างซับซ้อนมากจะมีที่ว่างให้แนวขอบของสวนสาธารณะติดต่อกับพื้นที่โดยรอบ จึงเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนได้ดีกับพื้นที่ใกล้เคียงแต่มีผลต่อระยะการแพร่กระจายอุณหภูมิจึงส่งผลต่อการลดความเข้มข้นของ PCI [35]

เมื่อศึกษาสัดส่วนและองค์ประกอบที่เป็นพื้นที่ผิวแดดอ่อนของสวนสาธารณะที่มีอิทธิพลต่อการสร้างความเย็น เช่น พื้นที่ปกคลุมด้วยเรือนยอดต้นไม้ พื้นที่น้ำ และพื้นที่เปิดที่น้ำซึมผ่านได้ พบว่า สัดส่วนของพื้นที่ปกคลุมด้วยเรือนยอดต้นไม้มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความเข้มข้นของ PCI และ PCA โดยพื้นที่เปิดที่น้ำซึมผ่านได้มีความสัมพันธ์กับค่า PCI มากที่สุด ($r = 0.869$) ลำดับต่อมาคือ พื้นที่ปกคลุมด้วยเรือนยอดต้นไม้ ($r = 0.857$) และพื้นที่น้ำ ($r = 0.646$) โดยที่พื้นที่น้ำที่มีสัดส่วนในพื้นที่สวนสาธารณะประมาณร้อยละ 17 ยังมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความเข้มข้นของ PCI ($r = 0.646$) และ PCA ($r = 0.946$) เนื่องจากในช่วงฤดูร้อนอุณหภูมิของน้ำในพื้นที่สวนสาธารณะที่สูงขึ้นจะเกิดการแลกเปลี่ยนพลังงานกลายเป็นไอน้ำลอยตัวขึ้นสู่บรรยากาศ และมีส่วนอย่างมากต่อการระบายความร้อนภายในสวนสาธารณะและกระจายความเย็นไปยังพื้นที่รอบนอก แต่ Water ไม่ใช่ปัจจัยหลักที่มีผลต่อ PCG และ PCE ส่วนค่า NDVI มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความเข้มข้นของ PCI ($r = 0.556$) และ PCA ($r = 0.904$) เช่นเดียวกัน โดย NDVI จะบอกถึงคุณสมบัติของพืชพรรณ ถ้าพื้นที่สีเขียวมีความสมบูรณ์มีพื้นที่ร่มเงาและความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้นมีส่วนช่วยให้อุณหภูมิพื้นผิวลดลงและยังช่วยลดอุณหภูมิอากาศผ่าน

กระบวนการคายระเหยน้ำของพืชและช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการกระจายความเย็นในพื้นที่โดยรอบ

สรุปผล

การศึกษาอิทธิพลการแพร่กระจายความเย็นของพื้นที่สีเขียวต่อการบรรเทาปรากฏการณ์เกาะความร้อนในเขตกรุงเทพมหานคร และจังหวัดนนทบุรี โดยการประยุกต์ใช้การรับรู้จากระยะไกลซอฟต์แวร์ Google Earth Engine ในการประมวลผลข้อมูลจากพื้นที่สีเขียว ทั้ง 3 แห่ง พบว่าสวนจิตรเบญจทัศ สวนลุมพินี และสวนอุทยานมกุฏมรยสราญมีค่าเฉลี่ย LST เท่ากับ 28.72, 28.67 และ 28.94 °C ตามลำดับ โดยที่อุณหภูมิภายในพื้นที่สีเขียวมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิจากพื้นที่รอบนอกประมาณ 1.0 - 1.4 °C จากการศึกษาครั้งนี้พบว่า LST และ NDVI มีความสัมพันธ์เชิงลบ ($R^2 = 0.8929$ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01) ซึ่งบ่งชี้ว่าพื้นที่สีเขียวมีความสมบูรณ์เป็นส่วนสำคัญที่ทำให้อุณหภูมิพื้นผิวลดลงได้ การทำความเข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ PCI กับลักษณะทางกายภาพของสวนสาธารณะ ซึ่งพบว่าขนาดที่แตกต่างกันของพื้นที่สีเขียวมีผลต่อความแตกต่างในการแพร่กระจายความเย็น จากผลการศึกษาสวนจิตรเบญจทัศ มีการแพร่กระจายความเย็นมากที่สุด เนื่องจากมีความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายในและภายนอกพื้นที่สีเขียวมากที่สุด สังเกตได้ว่าพื้นที่สีเขียวที่มีขนาดใหญ่และรูปร่างของพื้นที่สีเขียวที่มีความซับซ้อนน้อยมีความสัมพันธ์ต่อการแพร่กระจายความเย็นภายในพื้นที่สีเขียวได้ดีกว่า แต่พื้นที่สีเขียวที่มีความซับซ้อนมาก หรือมีที่ว่างให้แนวขอบเชื่อมต่อกับพื้นที่โดยรอบจะมีผลต่อประสิทธิภาพและการแลกเปลี่ยนความร้อนได้ดีกว่า ทั้งนี้ ระดับของการแพร่กระจายความเย็นนอกจากจะมีความสัมพันธ์กับ

สัดส่วนของพื้นที่เปิดที่น้ำซึมผ่านได้ ($r = 0.869$) พื้นที่ปกคลุมด้วยเรือนยอดต้นไม้ ($r = 0.857$) และพื้นที่น้ำ ($r = 0.646$) ที่มีอยู่ในสวนสาธารณะทั้ง 3 แห่งแล้ว จากผลการศึกษาค่า NDVI ที่บ่งชี้ถึงคุณสมบัติของพืชพรรณที่มีอยู่ในสวนสาธารณะที่มีอิทธิพลต่อการลดลงของอุณหภูมิพื้นผิวได้อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งการเพิ่มระดับ NDVI เป็นทางเลือกหนึ่งที่เป็นไปได้มากที่สุดและเหมาะสมกับการเพิ่มศักยภาพของสวนสาธารณะในเขตเมืองขนาดใหญ่ เช่น กรุงเทพมหานคร และจังหวัดนนทบุรี ที่มีข้อจำกัดในเรื่องการเพิ่มขนาดของพื้นที่สีเขียว นอกจากนี้การที่มีแหล่งกำเนิดความเย็นแทรกอยู่โดยรอบสวนสาธารณะยังช่วยในการแพร่กระจายความเย็นไปสู่พื้นที่โดยรอบได้เช่นกัน ผลลัพธ์ที่ได้จากการประยุกต์ใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมในการวิเคราะห์ข้อมูล LST, NDVI และสัดส่วนของพื้นที่สีเขียว สำหรับการประเมินศักยภาพพื้นที่สีเขียวที่มีอยู่เดิม และกระบวนการที่สามารถเพิ่มการแพร่กระจายความเย็นของพื้นที่สีเขียวไปยังพื้นที่โดยรอบ ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อหน่วยงานที่ทำหน้าที่ในการจัดการพื้นที่สีเขียว นำข้อมูลไปใช้เป็นแนวทางในการวางแผนและออกแบบสวนสาธารณะ หรือการพัฒนาพื้นที่ว่างเปล่าเพื่อช่วยลดอุณหภูมิของพื้นที่ในเมือง และผลกระทบจากปรากฏการณ์เกาะความร้อนในเมืองในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการ 650908000007 การศึกษาพื้นที่สีเขียวในเมืองสำหรับลดผลกระทบจากโดมความร้อนและมลพิษอากาศ (รหัสโครงการ 161426) ที่ได้รับการสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (Fundamental Fund; FF) และคณะผู้วิจัยขอขอบคุณนายเอกชัย กกแก้ว นักวิจัยจากมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตภูเก็ต ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา และขอแนะนำเกี่ยวกับซอฟต์แวร์ Google Earth Engine มาโดยตลอด ผู้วิจัยจึงขอขอบพระคุณไว้ ณ โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

1. Stocker TF, Qin D, Plattner GK, Tignor M, Allen SK, Boschung J, et al. The physical science basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the

- intergovernmental panel on climate change. J Comput Geom. 2013;18(2):95-123.
2. Brysse K, Oreskes N, O'Reilly J, Oppenheimer M. Climate change prediction: Erring on the side of least drama? Glob. Environ Chang. 2013;23(1):327-37.
3. United Nations Department of Economics and Social Affairs. World Urbanization Prospects-The 2014 Revision. vol. 41, New York: Population Division; 2015.
4. Bass B, Baskaran B. Evaluating rooftop and vertical gardens as an adaptation strategy for urban areas. Canada: National Research Council; 2003.
5. Traiphunvanich N, Vongpradubchai S, Rattanadecho P. [Study of heat transfer throughout the inverse temperature phenomena]. JARST. 2021;20(2):70-87. Thai.
6. Memon RA, Leung DY, Chunho L. A review on the generation, determination and mitigation of urban heat island. J Environ Sci. 2008;20:120-8.
7. The Thai Meteorological Department. Volatility and Climate Change 2020. Climate Center, Development Bureau of Meteorological. 2021. Thai.
8. Santamouris M. Analyzing the heat island magnitude and characteristics in one hundred Asian and Australian cities and regions. Sci Total Environ. 2015;512:582-98.
9. Morabito M, Crisci A, Guerri G, Messeri A, Congedo L, Munafo M. Surface urban heat islands in Italian metropolitan cities: Tree cover and impervious surface influences. Sci Total Environ. 2021;751:142334.
10. Oliveira S, Andrade H, Vaz T. The cooling effect of green space as a contribution to the

- mitigation of urban heat: A case study on Lisbon. *Build Environ*. 2011;46(11):2186-94.
11. Hamada S, Takeshi O. Seasonal variations in the cooling effect of urban green areas on surrounding urban areas. *Urban For Urban Gree*. 2010;9(1):15-24.
 12. Ca VT, Asaeda T, Abu EM. Reductions in air conditioning energy caused by a nearby park. *Energ Buildings*. 1998;29(1):83-92.
 13. Nantarat P, Charoentrakulpeeti W, Wattanapinyo A. [The efficiency of urban heat island mitigation by cooling effects from greenspace in Chiang Mai Municipality]. *Journal of Architectural/Planning Research and Studies*. 2021;18(1):131-52. Thai.
 14. Zhu W, Sun J, Yang C, Liu M, Xu X, Ji C. How to measure the urban park cooling island? A perspective of absolute and relative indicators using remote sensing and buffer analysis. *Remote Sens-Basel*. 2021;13:3154.
 15. Kubota T, Lee HS, Trihamdani AR, Phuong TTT, Tanaka T, Matsuo K. Impacts of land use changes from the Hanoi Master Plan 2030 on urban heat islands: Part 1. Cooling effects of proposed green strategies. *Sustain Cities Soc*. 2017;32:295-317.
 16. Charoentrakulpeeti W. [Impact of land cover on atmospheric temperature in Bangkok]. *NIDA J Environ Manage*. 2012;8(1):1-18. Thai.
 17. Xiao XD, Dong L, Yan H, Yang N, Xiong Y. The influence of the spatial characteristics of urban green space on the urban heat island effect in Suzhou Industrial Park. *Sustain Cities Soc*. 2018;40:428-39.
 18. Omodior O, Eze P, Anderson KR. Using i-tree canopy vegetation cover subtype classification to predict peri-domestic tick presence. *Ticks Tick-Borne Dis*. 2021;12(3):101684.
 19. Ermida SL, Soares P, Mantas V, Götttsche FM, Trigo IF. Google earth engine open-source code for land surface temperature estimation from the landsat series. *Remote Sens-Basel*. 2020;12(9):1471.
 20. Pironkova Z, Whaley R, Lan K. Time series analysis of Landsat NDVI composites with Google Earth Engine and R: User guide. Science and Research Branch Ministry of Natural Resources and Forestry. 2018;39:39.
 21. Du C, Ren H, Qin Q, Meng J, Zhao S. A practical split-window algorithm for estimating land surface temperature from landsat 8 data. *Remote Sens-Basel*. 2015;7:647-65.
 22. Avdan U, Jovanovska G. Algorithm for automated mapping of land surface temperature using LANDSAT 8 satellite data. *J Sensors*. 2016;1480307.
 23. Skoković D, Sobrino JA, Jimenez-Munoz JC, Soria G, Julien Y, Mattar C, et al. Calibration and validation of land surface temperature for Landsat8-TIRS sensor. *Land product validation and evolution*. 2014.
 24. Lawrence RL, Ripple WJ. Comparisons among vegetation indices and bandwise regression in a highly disturbed, heterogeneous landscape: Mount St. Helens, Washington. *Remote Sens Environ*. 1998;64(1):91-102.
 25. Cao X, Onishi A, Chen J, Imura H. Quantifying the cool island intensity of urban parks using ASTER and IKONOS data. *Landscape Urban Plan*. 2010;96(4):224-31.
 26. Peng J, Dan Y, Qiao R, Liu Y, Dong J, Wu J. How to quantify the cooling effect of urban parks? Linking maximum and accumulation

- perspectives. *Remote Sens Environ.* 2021;252: 112-35.
27. Cheng X, Wei B, Chen G, Li J, Song C. Influence of park size and its surrounding urban landscape patterns on the park cooling effect. *J Urban Plan Dev.* 2015; 141(3):A4014002.
28. Li H, Wang G, Tian G, Jombach S. Mapping and analyzing the park cooling effect on urban heat island in an expanding city: A case study in Zhengzhou City, China. *Land.* 2020;9(2):57.
29. Phengphit N, Jaisa-ard W, Uchanapai C. [Application of remote sensing for studying influence between green areas and land surface temperature, a case study of Nakhon Sawan Municipality Area]. *Thai Science and Technology Journal.* 2020; 28(8):1359-71. Thai.
30. Agnihotri AK, Ohri A, Mishra S. Impact of green spaces on the urban microclimate through Landsat 8 and TIRS data, in Varanasi, India. *International Journal of Environment and Sustainability.* 2018; 7(2):72-80.
31. Shashua-Bar L, Hoffman ME. 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. *Energ Buildings.* 2000;31(3):221-35.
32. Park J, Kim JH, Lee DK, Park CY, Jeong SG. The influence of small green space type and structure at the street level on urban heat island mitigation. *Urban For Urban Gree.* 2017;21:203-12.
33. Ren Z, He X, Zheng H, Zhang D, Yu X, Shen G, et al. Estimation of the relationship between urban park characteristics and park cool island intensity by remote sensing data and field measurement. *Forests.* 2013;4(4):868-86.
34. Srivanit M, Iamtrakul P. Spatial patterns of greenspace cool islands and their relationship to cooling effectiveness in the tropical city of Chiang Mai, Thailand. *Environ Monit Assess.* 2019;191(9):1-16.
35. Xu X, Yue W. A study on thermal environment effect of urban park landscape. *Acta Ecologica Sinica.* 2008;28:170.