



อิทธิพลของโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวต่อปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมือง : กรณีศึกษา
กรุงเทพมหานคร

โดย
นางสาวมัลลิกา วิโสจสงคราม



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต

สาขาวิชาสถาปัตยกรรม แบบ 1.1

ภาควิชาสถาปัตยกรรม

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2567

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศิลปากร

อิทธิพลของโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวต่อปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมือง : กรณีศึกษา
กรุงเทพมหานคร



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาสถาปัตยกรรม แบบ 1.1
ภาควิชาสถาปัตยกรรม
มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2567
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศิลปากร

IMPACT OF GREEN INFRASTRUCTURE ON URBAN HEAT ISLAND
PHENOMENON: A CASE STUDY OF BANGKOK THAILAND



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for Doctor of Philosophy Architecture
Department of Architecture
Academic Year 2024
Copyright of Silpakorn University

หัวข้อ	อิทธิพลของโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวต่อปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมือง : กรณีศึกษากรุงเทพมหานคร
โดย	นางสาวมัลลิกา วิโสจสงคราม
สาขาวิชา	สถาปัตยกรรม แบบ 1.1
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิมลศิริ ประจessar

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต

.....คณบดีคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร. อภิรดี เกษมสุข)

พิจารณาเห็นชอบโดย

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ภัทรนันท์ ทักษะนนท์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิมลศิริ ประจessar)

.....ผู้ทรงคุณวุฒิภายใน
(อาจารย์ ดร. สัทธา ปัญญาแก้ว)

.....ผู้ทรงคุณวุฒิภายใน
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธาณิณี รามสูต)

.....ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก
(รองศาสตราจารย์ ดร. นवलวรรณ ทวยเจริญ)

61054903 : สถาปัตยกรรม แบบ 1.1

คำสำคัญ : โครงสร้างพื้นฐานสีเขียว, ปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมือง, เกาะความร้อนบนพื้นผิวเมือง, ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์, กรุงเทพมหานคร

นางสาว มัลลิกา วิโสสงคราม: อิทธิพลของโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวต่อปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมือง : กรณีศึกษากรุงเทพมหานคร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิมลศิริ ประจักษ์สาร

การศึกษาในครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเกี่ยวข้องของโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวกับปรากฏการณ์เกาะความร้อนบนพื้นผิวเมือง เป็นการศึกษาเชิงพื้นที่โดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 ร่วมกับการวิเคราะห์ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) เพื่อจำแนกประเภทและสัดส่วนของสิ่งปกคลุมดินตลอดจนการวิเคราะห์ค่าอุณหภูมิพื้นผิวและค่าความเข้มข้นของเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมืองในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานคร โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อเสนอประเภทของโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวที่สามารถบรรเทาการเกิดเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมืองได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ผลการศึกษาพบว่า ดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณ (NDVI) มีความสัมพันธ์ในเชิงผกผันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กับอุณหภูมิพื้นผิว ($r = -0.24$, $p\text{-value} < 0.001$) กล่าวคือ เมื่อดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณเพิ่มขึ้นทุกร้อยละ 10 จะทำให้อุณหภูมิพื้นผิวลดลงเท่ากับ 0.428 องศา ภายในพื้นที่ขนาด 2×2 ตารางกิโลเมตร ยกเว้นในพื้นที่สวนป่า/ ป่าชายเลน (MANG) และพื้นที่ปลูกหญ้าสำหรับเลี้ยงสัตว์ (AGRI_PA) ที่ไม่พบความสัมพันธ์ดังกล่าว จากการวิเคราะห์ยังพบว่า สัดส่วนโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวมีความสัมพันธ์ในเชิงผกผันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับอุณหภูมิพื้นผิว ($r = -0.90$, $p\text{-value} < 0.001$) โดยการเพิ่มสัดส่วนโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวในพื้นที่ศึกษาย่อยทุกร้อยละ 10 จะทำให้อุณหภูมิพื้นผิวลดลงเฉลี่ย 0.47 องศาเซลเซียส ทั้งนี้สัดส่วนโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวสามารถอธิบายการแปรผันของอุณหภูมิพื้นผิวของพื้นที่ศึกษาย่อยได้ถึงร้อยละ 81.85 ประเภทโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวที่ทำให้อุณหภูมิพื้นผิวลดลงได้มากที่สุดคือ พื้นที่สีเขียวธรรมชาติ (ประเภทพื้นที่สวนป่า/ ป่าชายเลน) รองลงมาคือพื้นที่สีเขียวธรรมชาติ (ประเภทพื้นที่แหล่งน้ำธรรมชาติหรือสร้างขึ้น) โดยเมื่อมีสัดส่วนโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวประเภทดังกล่าวเพิ่มขึ้นร้อยละ 10 จะสามารถลดอุณหภูมิพื้นผิวได้ 1.54 และ 0.63 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ส่วนประเภทโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวที่ทำให้อุณหภูมิพื้นผิวลดลงได้น้อยที่สุด คือ พื้นที่สีเขียวที่ยังไม่ใช้ประโยชน์หรือรอการพัฒนา (ประเภทพื้นที่สีเขียวที่เป็นทุ่งหญ้าธรรมชาติ/ ทุ่งหญ้าสลับไม้พุ่มไม้ละเมาะ) ซึ่งสามารถลดอุณหภูมิพื้นผิวได้เพียง 0.20 องศาเซลเซียส

ผลการศึกษานี้สะท้อนถึงความสำคัญของการจัดการและพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวให้
เหมาะสมกับบริบทพื้นที่ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการลดผลกระทบจากเกาะความร้อนในเขตเมือง



61054903 : Major Architecture

Keyword : Green Infrastructure, Urban Heat Island Phenomenon, Surface Urban Heat Island, GIS, Bangkok

MISS Mallika WISOJSONGKRAM : Impact of Green Infrastructure on Urban Heat Island Phenomenon: A Case Study of Bangkok Thailand Thesis advisor : Assistant Professor Pimolsiri Prajongsan, Ph.D.

This research aims to explore the relationship between green infrastructure and surface urban heat island phenomenon. This is a spatial study to spatial analysis utilizing Landsat 8 satellite imagery in conjunction with Geographic Information System (GIS) tools. The research examines land cover types, proportions, surface temperature and surface urban heat island intensity across the Bangkok metropolitan area. The aim is to identify green infrastructure types that effectively mitigate the surface urban heat island effects.

Results reveal a statistically significant inverse relationship between the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and surface temperature ($r = -0.24$, $p < 0.001$). Specifically, a 10% increase in NDVI corresponds to a 0.428°C decrease in surface temperature within 2×2 sq.km. grid cells in study area, except for the following green infrastructure types, where no significant relationship was found in forest plantations or mangroves and pastures and farm areas. The correlation analysis revealed a statistically significant inverse relationship between the proportion of green infrastructure and surface temperature ($r = -0.90$, $p\text{-value} < 0.001$). Specifically, for every 10% increase in green infrastructure within grid cells, the surface temperature decreased by 0.47°C . The proportion of green infrastructure explained 81.85% of the variation in surface temperature across the study area. Among the types of green infrastructure, natural green areas such as forest plantations or mangroves were found to have the greatest potential for surface area reduction, followed by natural or man-made water bodies. A 10% increase in these types of green infrastructure reduced surface temperature by 1.54°C and 0.63°C , respectively. Conversely, the green infrastructure type with the least cooling effect was undeveloped or vacant green areas

(e.g., natural grasslands or grasslands mixed with shrubs), which reduced surface temperature by only 0.20°C.

These findings highlight the critical role of specific types of green infrastructure in mitigating urban heat and support strategic planning to enhance urban climate resilience.



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ ด้วยความกรุณาอย่างยิ่งจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิมลศิริ ประจวบสาร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านสละเวลาเป็นผู้ให้คำปรึกษาในสิ่งที่ข้าพเจ้าขาดตกบกพร่องและแนะนำแนวทางที่เป็นประโยชน์ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จได้ด้วยดี รวมถึงการเป็นที่ปรึกษาในชีวิตนอกเหนือจากการเรียน เป็นแบบอย่างและมอบประสบการณ์การทำงานที่เป็นประโยชน์แก่ข้าพเจ้าได้เป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการวิทยานิพนธ์ ที่สละเวลาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์แก่ข้าพเจ้า และให้คำแนะนำในการปรับแก้วิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย และคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ ที่ให้โอกาสข้าพเจ้าในการลาศึกษาต่อ

ขอขอบพระคุณครูอาจารย์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากรทุกท่าน ที่ให้คำแนะนำที่ดีเสมอมา

ขอขอบคุณอาจารย์พิมพ์ภัช ภูทอง ฤทธิ์เดช ที่สละเวลาให้คำแนะนำและช่วยเหลือเรื่องการใช้งานโปรแกรมในช่วงท้ายของการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณพี่ ๆ ป.เอก สาขาสถาปัตยกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร ที่คอยไถ่ถามและเป็นที่กำลังใจให้กับข้าพเจ้าเสมอมา และขอบคุณหมุหวาน อาจารย์ธัญวรรณ์ ศิลวัฒน์วงศ์ ที่อยู่ทำงานเป็นเพื่อนตลอดระยะเวลาหลายปีที่ผ่านมา

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณคุณแม่ที่เป็นกำลังใจสำคัญ คอยสนับสนุน ดูแลเอาใจใส่ และให้โอกาสข้าพเจ้าตลอดมา ขอบพระคุณคุณพ่อ น้องสาว ที่เป็นกำลังใจอยู่ห่าง ๆ อย่างห่วง ๆ ขอขอบคุณเพื่อนสาว ที่อยู่เคียงข้างในช่วงเวลาที่สำคัญ ขอขอบคุณทุกท่านที่มีส่วนช่วยเหลือให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วง และขอบคุณวิทยานิพนธ์ชิ้นนี้ที่ทำให้ข้าพเจ้าได้ความรู้และประสบการณ์ใหม่ ๆ มากมาย

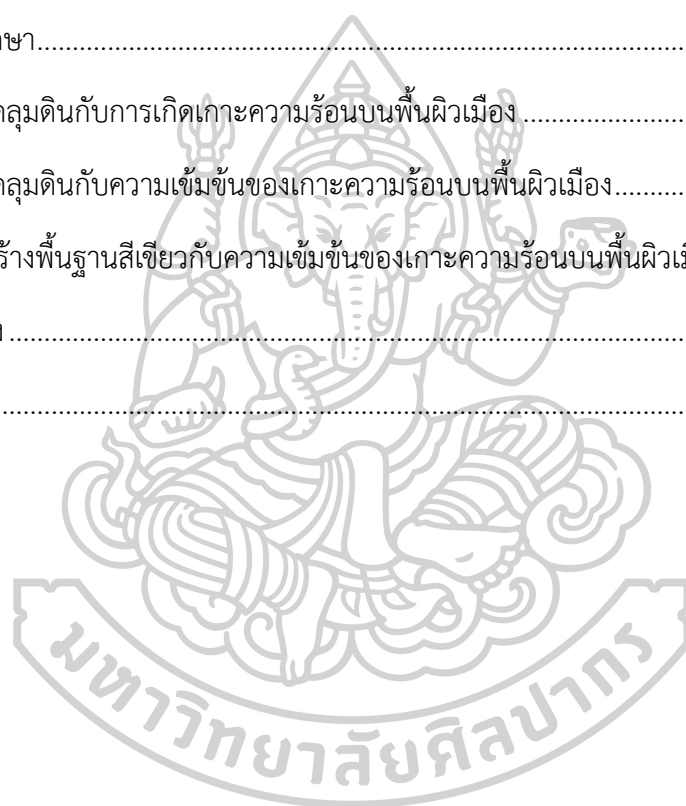
มัลลิกา วิโสจสงคราม

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ฉ
กิตติกรรมประกาศ.....	ช
สารบัญ.....	ฌ
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญภาพ.....	๗
บทที่ 1 บทนำ	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
คำสำคัญ (Keyword) ของงานวิจัย.....	6
วัตถุประสงค์	6
ขอบเขตการศึกษา	6
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	8
บทที่ 2 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	10
2.1 แนวคิดและข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาอย่างยั่งยืน	10
ความหมายและแนวคิดการพัฒนาอย่างยั่งยืน (Sustainable Development).....	10
ความยั่งยืนกับปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate Change)	13
ความหมายและแนวคิดของเมืองยั่งยืน (Sustainable City).....	15
การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศกับการพัฒนาเมืองยั่งยืน	18
2.2 ข้อมูลและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมือง	20
ความหมายปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมือง (Urban Heat Island Phenomenon)	20
การเกิดเกาะความร้อนเมืองในระดับต่างๆ (Urban heat at different scales).....	24

ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมือง	25
ผลกระทบของเกาะความร้อนเมือง	29
2.3 แนวคิดและข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างพื้นฐานสีเขียว	30
ความหมายและแนวคิดของพื้นที่สีเขียว	30
ความหมายและแนวคิดของโครงสร้างพื้นฐานสีเขียว (Green Infrastructures)	34
องค์ประกอบของโครงสร้างพื้นฐานสีเขียว	39
โครงสร้างพื้นฐานสีเขียวกับเมืองยั่งยืน	41
ความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวกับปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมือง	43
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	44
2.5 สรุปผลการทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	65
บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย	67
3.1 การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศในการศึกษา	68
3.2 พื้นที่ศึกษา	71
ข้อมูลพื้นที่ศึกษา	72
การจัดเตรียมข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม	73
การแปลตีความภาพถ่ายดาวเทียมด้วยสายตา (Visual Interpretation)	80
3.3 การวิเคราะห์ข้อมูลพื้นที่ศึกษา	91
การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล	91
การจำแนกข้อมูลสิ่งปกคลุมดินในพื้นที่ศึกษา	93
การกำหนดขอบเขตพื้นที่ศึกษา	98
3.4 การดำเนินการวิจัย	100
สิ่งปกคลุมดินกับการเกิดเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมือง	101
สิ่งปกคลุมดินกับความเข้มข้นของเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมือง	103
โครงสร้างพื้นฐานสีเขียวและความเข้มข้นของเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมือง	105

บทที่ 4	109
ผลการศึกษา	109
4.1 สิ่งปกคลุมดินกับการเกิดเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมือง	110
4.2 สิ่งปกคลุมดินกับความเข้มข้นของเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมือง.....	117
4.3 โครงสร้างพื้นฐานสีเขียวและความเข้มข้นของเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมือง.....	121
บทที่ 5	137
สรุปผลการศึกษา.....	137
5.1 สิ่งปกคลุมดินกับการเกิดเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมือง	137
5.2 สิ่งปกคลุมดินกับความเข้มข้นของเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมือง.....	139
5.3 โครงสร้างพื้นฐานสีเขียวกับความเข้มข้นของเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมือง	141
รายการอ้างอิง	149
ประวัติผู้เขียน	159



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 มาตรฐานอัตราส่วนพื้นที่สีเขียวจำแนกตามองค์กรและประเทศ	4
ตารางที่ 2 ลักษณะพื้นฐานการเกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมือง.....	21
ตารางที่ 3 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการก่อตัวของเกาะความร้อนเมือง	28
ตารางที่ 4 การจำแนกพื้นที่สีเขียวตามบทบาทหน้าที่	32
ตารางที่ 5 พัฒนาการของแนวทางในการอนุรักษ์พื้นที่ของท้องถิ่นในพื้นที่สหรัฐอเมริกา	34
ตารางที่ 6 สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในประเทศไทย	51
ตารางที่ 7 รายละเอียดช่วงความยาวคลื่นของดาวเทียม Landsat 8.....	74
ตารางที่ 8 ชุดข้อมูล Metadata ของภาพถ่ายดาวเทียม.....	77
ตารางที่ 9 แนวทางการตีความดัชนีพืชพรรณ.....	78
ตารางที่ 10 รายละเอียดการจำแนกสิ่งปกคลุมดิน (Sub class: Surface types)	83
ตารางที่ 11 คำอธิบายการจำแนกสิ่งปกคลุมดิน (Sub class: Surface types) และลักษณะการสะท้อนจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมพื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร.....	85
ตารางที่ 12 การจำแนกโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวที่ใช้ในพื้นที่ศึกษา.....	90
ตารางที่ 13 ตาราง Error Matrix การจำแนกสิ่งปกคลุมดินพื้นที่ศึกษา.....	93
ตารางที่ 14 ระดับของพื้นที่เมืองและระดับในการศึกษาสภาพอากาศ	99
ตารางที่ 15 การจัดลำดับค่าเฉลี่ยอุณหภูมิพื้นผิวประเภทต่างๆ จากอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดไปสูงสุดพื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร	110
ตารางที่ 16 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตัวแปรเดียวเพื่อทำนายอุณหภูมิพื้นผิวด้วยดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณ	117
ตารางที่ 17 การจัดลำดับค่าความเข้มข้นเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมือง (SUHI) จากอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดไปต่ำสุด และค่าอุณหภูมิพื้นผิวจำแนกตามสิ่งปกคลุมดิน พื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร.....	118

ตารางที่ 18 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตัวแปรเดียวเพื่อทำนายค่าความเข้มข้นของเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมืองด้วยอุณหภูมิพื้นผิวจากสิ่งปกคลุมดินพื้นที่ศึกษา	120
ตารางที่ 19 การจัดลำดับค่าความเข้มข้นเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมือง (SUHI) จากอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดไปสูงสุด และค่าอุณหภูมิพื้นผิวจำแนกตามโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวพื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร	122
ตารางที่ 20 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตัวแปรเดียวเพื่อทำนายค่าความเข้มข้นของเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมืองด้วยอุณหภูมิพื้นผิวของโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวในพื้นที่ศึกษา	130
ตารางที่ 21 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตัวแปรเดียวเพื่อทำนายดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณด้วยสัดส่วนโครงสร้างพื้นฐานสีเขียว	132
ตารางที่ 22 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุคูณเพื่อทำนายค่าดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณด้วยสัดส่วนโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวในพื้นที่ศึกษา	132
ตารางที่ 23 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตัวแปรเดียวเพื่อทำนายอุณหภูมิพื้นผิวด้วยสัดส่วนโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวในพื้นที่ศึกษา	134
ตารางที่ 24 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุคูณเพื่อทำนายอุณหภูมิพื้นผิวด้วยสัดส่วนโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวแต่ละประเภท	135
ตารางที่ 25 ประเภทโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวในพื้นที่ศึกษาที่สามารถลดอุณหภูมิพื้นผิวจากสูงสุดไปต่ำสุด	146

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 ความแตกต่างของอุณหภูมิเฉลี่ยทั่วโลกในปี ค.ศ.1880 – 2019.....	2
ภาพที่ 2 กรอบแนวคิดในการศึกษา.....	9
ภาพที่ 3 เป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน Sustainable Development Goals: SDGI.....	12
ภาพที่ 4 ความแปรปรวนของอุณหภูมิพื้นผิวและอุณหภูมิชั้นบรรยากาศ.....	22
ภาพที่ 5 การเปลี่ยนแปลงของเกาะความร้อนรายวันในช่วงบรรยากาศท้องฟ้าปลอดโปร่งและลมสงบ...	23
ภาพที่ 6 ผลกระทบของเกาะความร้อนในเมืองที่แตกต่างกัน.....	25
ภาพที่ 7 สาเหตุการเกิดเกาะความร้อนเมือง	28
ภาพที่ 8 องค์ประกอบโครงสร้างพื้นฐานสีเขียว	41
ภาพที่ 9 ตัวอย่างของโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวและระดับการมีส่วนร่วมเชิงพื้นที่.....	42
ภาพที่ 10 การเปรียบเทียบระดับทางภูมิอากาศวิทยากับตัวอย่างพื้นที่ในระดับเมือง.....	45
ภาพที่ 11 การแบ่งกลุ่มคุณสมบัติโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวตามลักษณะภูมิอากาศ โครงสร้าง และการรวมตัวกันขององค์ประกอบ	46
ภาพที่ 12 ผลของการศึกษาประเภทของโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวแบบ double-entry matrix	47
ภาพที่ 13 คำศัพท์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการจำแนกหมวดหมู่หลักของโครงสร้างพื้นฐานสีเขียว	48
ภาพที่ 14 แนวคิดเชิงพื้นที่สำหรับการจำแนกโครงสร้างพื้นฐานสีเขียว	50
ภาพที่ 15 กระบวนการและแนวทางในการดำเนินงานวิจัย	67
ภาพที่ 16 ภาพถ่ายดาวเทียมขอบเขตพื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร แบบสีผสมตามธรรมชาติ	72
ภาพที่ 17 ภาพแสดงผังการใช้ประโยชน์ที่ดินพื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร.....	73
ภาพที่ 18 การเลือกภาพถ่ายดาวเทียมพื้นที่ศึกษา.....	75
ภาพที่ 19 การจัดเตรียมข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมพื้นที่ศึกษาด้วยโปรแกรม QGIS	80
ภาพที่ 20 ข้อมูลการใช้ที่ดิน (Land use) กรุงเทพมหานคร ระดับ 2	82

ภาพที่ 21 การเปรียบเทียบข้อมูลเพื่อจำแนกประเภทโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวในพื้นที่ศึกษา.....	84
ภาพที่ 22 การผสมสีภาพถ่ายดาวเทียมพื้นที่ศึกษา.....	85
ภาพที่ 23 การจำแนกสิ่งปกคลุมดินพื้นที่ศึกษา.....	94
ภาพที่ 24 แผนภูมิแสดงพื้นที่สิ่งปกคลุมดิน 15 ประเภทในพื้นที่ศึกษา.....	94
ภาพที่ 25 สัดส่วนพื้นที่จำแนกตามสิ่งปกคลุมดิน 15 ประเภทในพื้นที่ศึกษา.....	95
ภาพที่ 26 การจำแนกโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวในพื้นที่ศึกษา.....	96
ภาพที่ 27 แผนภูมิแสดงพื้นที่สิ่งปลูกสร้าง พื้นที่ว่างรอการพัฒนา และโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวในพื้นที่ศึกษา.....	96
ภาพที่ 28 สัดส่วนพื้นที่จำแนกตามพื้นที่สิ่งปลูกสร้าง พื้นที่ว่างรอการพัฒนา และโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวในพื้นที่ศึกษา.....	97
ภาพที่ 29 การกำหนดขอบเขตพื้นที่ศึกษาย่อยในพื้นที่ศึกษา.....	98
ภาพที่ 30 กรอบการดำเนินการวิจัย.....	101
ภาพที่ 31 แสดงขั้นตอนในการศึกษา (Stage 1).....	102
ภาพที่ 32 ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิพื้นผิว (องศาเซลเซียส) สิ่งปกคลุมดินพื้นที่ศึกษา.....	102
ภาพที่ 33 ค่าเฉลี่ยดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณพื้นที่ศึกษา.....	103
ภาพที่ 34 แสดงขั้นตอนในการศึกษา (Stage 2).....	104
ภาพที่ 35 ความเข้มข้นเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมืองพื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร.....	104
ภาพที่ 36 แสดงขั้นตอนในการศึกษา (Stage 3).....	105
ภาพที่ 37 การกำหนดพื้นที่ศึกษาย่อยในระดับพื้นที่ขนาดเล็ก หรือ Local scale.....	106
ภาพที่ 38 การจำแนกสิ่งปกคลุมดินในระดับพื้นที่ขนาดเล็ก หรือ Local scale.....	107
ภาพที่ 39 การจำแนกโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวในระดับพื้นที่ขนาดเล็ก หรือ Local scale.....	107
ภาพที่ 40 การเตรียมภาพถ่ายดาวเทียมเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการศึกษาค่าอุณหภูมิพื้นผิว และดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณ ในระดับพื้นที่ขนาดเล็ก หรือ Local scale.....	108
ภาพที่ 41 แผนภาพกล่องแสดงค่าเฉลี่ยอุณหภูมิพื้นผิวจำแนกตามสิ่งปกคลุมดินในพื้นที่ศึกษา.....	111

ภาพที่ 42 แผนภาพกล่องแสดงค่าเฉลี่ยดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณจำแนกตามสิ่งปกคลุมดิน พื้นที่ศึกษา	112
ภาพที่ 43 แผนภาพการกระจายแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิพื้นผิวและดัชนีความแตกต่างของ พืชพรรณจำแนกตามสิ่งปกคลุมดิน 15 ประเภทในพื้นที่ศึกษา	115
ภาพที่ 44 แผนภาพการกระจายแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิพื้นผิวและดัชนีความแตกต่างของ พืชพรรณในพื้นที่ศึกษา.....	116
ภาพที่ 45 แผนภาพกล่องแสดงค่าความเข้มข้นเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมืองจำแนกตามสิ่งปกคลุมดิน พื้นที่ศึกษา	119
ภาพที่ 46 แผนภาพการกระจายแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความเข้มข้นของเกาะความ ร้อนบนพื้นผิวเมืองจำแนกตามสิ่งปกคลุมดินพื้นที่ศึกษา	120
ภาพที่ 47 แผนภาพกล่องแสดงค่าความเข้มข้นเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมืองจำแนกตามโครงสร้าง พื้นฐานสีเขียวพื้นที่ศึกษา.....	123
ภาพที่ 48 การแบ่งขอบเขตพื้นที่ศึกษาย่อยจำแนกตามสิ่งปกคลุมดินในพื้นที่ศึกษา.....	124
ภาพที่ 49 การแบ่งขอบเขตพื้นที่ศึกษาย่อยจำแนกตามโครงสร้างพื้นฐานสีเขียว พื้นที่สิ่งปลูกสร้าง และพื้นที่ว่างรกรากพัฒนาในพื้นที่ศึกษา	125
ภาพที่ 50 ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิพื้นผิวในพื้นที่การศึกษาย่อย	126
ภาพที่ 51 ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิพื้นผิวในพื้นที่การศึกษาย่อยจำแนกตามสิ่งปกคลุมดินในพื้นที่ศึกษา ...	126
ภาพที่ 52 ตัวอย่างค่าเฉลี่ยอุณหภูมิพื้นผิวในพื้นที่การศึกษาย่อยจำแนกตามสิ่งปกคลุมดินในพื้นที่ ศึกษา	127
ภาพที่ 53 ค่าเฉลี่ยดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณในพื้นที่การศึกษาย่อย	128
ภาพที่ 54 ค่าเฉลี่ยดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณในพื้นที่การศึกษาย่อยจำแนกตามสิ่งปกคลุมดินใน พื้นที่ศึกษา	128
ภาพที่ 55 ตัวอย่างค่าเฉลี่ยดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณในพื้นที่การศึกษาย่อยจำแนกตามสิ่งปก คลุมดินในพื้นที่ศึกษา	129
ภาพที่ 56 แผนภาพการกระจายแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิพื้นผิวและความเข้มข้นของเกาะ ความร้อนบนพื้นผิวเมืองจำแนกตามโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวในพื้นที่ศึกษา.....	130

ภาพที่ 57 แผนภาพการกระจายแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวและดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณ	131
ภาพที่ 58 แผนภาพการกระจายแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนสัดส่วนโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวและอุณหภูมิพื้นผิวในพื้นที่ศึกษา.....	134
ภาพที่ 59 โครงสร้างพื้นฐานสีเขียวกับการลดอุณหภูมิพื้นผิวในพื้นที่กรุงเทพมหานคร	147



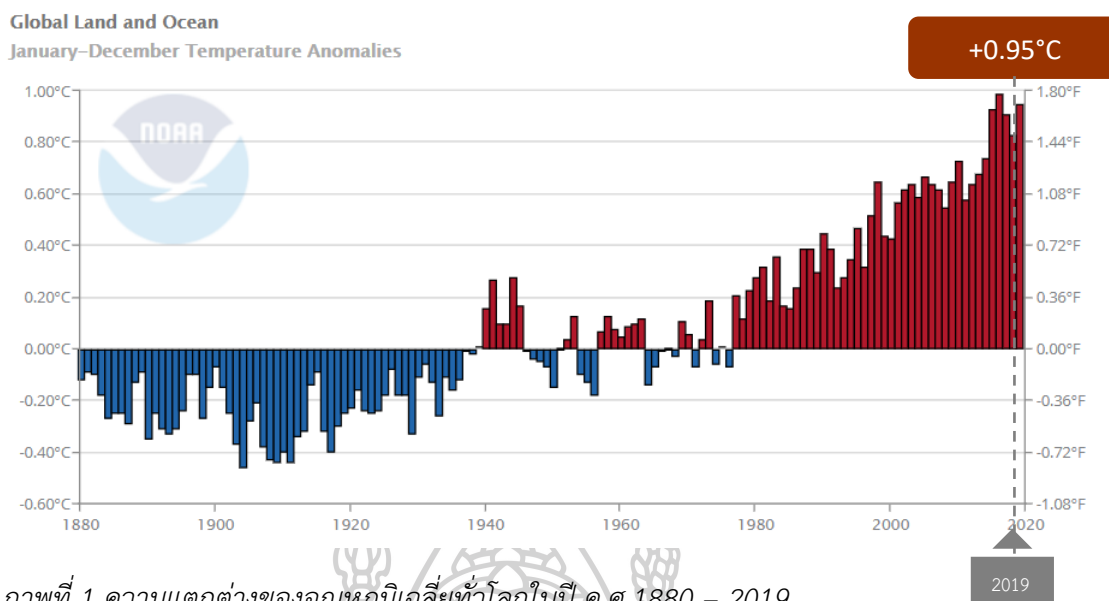
บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ (Climate Change) เป็นปัญหาสำคัญที่ส่งผลกระทบในการดำรงชีวิตของมนุษย์และสิ่งแวดล้อม ซึ่งสาเหตุหลักของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ทั้งทางตรงและทางอ้อม ส่งผลให้องค์ประกอบของบรรยากาศเปลี่ยนแปลงไป เช่น ปริมาณก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศที่เพิ่มขึ้น (Greenhouse Gases) ก่อให้เกิดภาวะเรือนกระจก (Greenhouse Effect) ที่ห่อหุ้มชั้นบรรยากาศเกินกว่าที่จำเป็น และส่งผลให้อุณหภูมิพื้นผิวโลกสูงขึ้น จนเกิดเป็นภาวะโลกร้อน (Global Warming) จากปัญหาดังกล่าวก่อให้เกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมือง (Urban Heat Island) ซึ่งเป็นผลการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเฉพาะพื้นที่ หรือ Microclimate (Ferguson et al., 2008) ลักษณะสำคัญของการเกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมือง คือความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศระหว่างในเมืองและบริเวณโดยรอบเมือง โดยอุณหภูมิในเมืองจะสูงกว่าพื้นที่บริเวณรอบนอก โดยมีปัจจัยหลักจากการเพิ่มขึ้นของสิ่งปลูกสร้างต่างๆ เป็นตัวดูดซับความร้อนจากดวงอาทิตย์ส่งผลกับอุณหภูมิภายในอาคารที่เพิ่มสูงขึ้นและส่งต่อไปยังการใช้พลังงานในการปรับอากาศเพิ่มขึ้น (อรรถพล ห่อหมก, 2553) ซึ่งเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นในเมืองใหญ่หลายๆ พื้นที่รวมถึงกรุงเทพมหานคร หลายหน่วยงานจึงเริ่มเข้ามามีบทบาทในประเมินข้อมูลและผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม เพื่อนำไปสู่ความรู้ความเข้าใจในการปรับตัวและสร้างมาตรการที่ช่วยบรรเทาเกาะความร้อนในเมืองเพื่อแก้ไขปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

ในปี ค.ศ. 2019 ปรากฏการณ์เอลนีโญ (El Niño) กำลังอ่อนถึงปานกลางในมหาสมุทรแปซิฟิกเขตร้อน อุณหภูมิผิวน้ำทะเลยังคงอุ่นกว่าค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของพื้นดินและมหาสมุทรในช่วงเกือบตลอดทั้งปี และเป็นปีที่อุณหภูมิเฉลี่ยของโลกมีค่าเฉลี่ยสูงสุดเป็นอันดับ 2 ในรอบ 140 ปี (ค.ศ. 1880 – 2019) ที่มีความแตกต่างอุณหภูมิเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 0.95°C (ในภาพที่ 1) สูงเป็นอันดับสองรองจากปี ค.ศ. 2016 ที่มีความแตกต่างอุณหภูมิเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 0.99°C (NOAA National Centers for Environmental information, 2020) และจากผลการบันทึกของกรมอุตุนิยมวิทยา พบว่า 20 อันดับปีที่อุณหภูมิโลกร้อนที่สุดนั้น เกิดในช่วง 22 ปีที่ผ่านมา (ศูนย์ภูมิอากาศ กรมอุตุนิยมวิทยา, 2561)



ภาพที่ 1 ความแตกต่างของอุณหภูมิเฉลี่ยทั่วโลกในปี ค.ศ.1880 – 2019

ที่มา: ศูนย์ข้อมูลสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ สหรัฐอเมริกา (2020)

โดยอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยทั่วโลกที่เพิ่มขึ้น 2 องศาตั้งแต่ก่อนยุคปฏิวัติอุตสาหกรรม (ค.ศ. 1880 – 1900) อาจดูเล็กน้อยแต่เป็นการเพิ่มขึ้นอย่างมากของความร้อนสะสมบนพื้นผิว ความร้อนที่เพิ่มขึ้นนั้นกำลังขับเคลื่อนอุณหภูมิในระดับภูมิภาคและฤดูกาลให้เพิ่มสูงขึ้น (Temperature extremes) พื้นที่ที่มีหิมะปกคลุมลดลง น้ำแข็งละลายในทะเล และปริมาณฝนตกลดลง เกิดการเปลี่ยนที่อยู่อาศัยของพืชและสัตว์เป็นวงกว้าง ถึงแม้ว่าภาวะโลกร้อนจะไม่เหมือนกันทั่วโลกแต่มีแนวโน้มที่อุณหภูมิเฉลี่ยทั่วโลกสูงขึ้น อุณหภูมิพื้นดินและมหาสมุทรเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 0.06°C (0.11°F) ต่อทศวรรษนับตั้งแต่ปี ค.ศ. 1850 และเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเป็นสามเท่า คือ 0.20°C (0.36°F) ต่อทศวรรษ (Lindsey R. & Dahlman L., 2024)

จากปัญหาของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และความเสื่อมโทรมของทรัพยากรสิ่งแวดล้อมที่เริ่มเสียหายอย่างชัดเจน เป็นแรงผลักดันให้เกิดแนวคิดการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development) ตามรายงานของคณะกรรมการการด้านสิ่งแวดล้อมและการพัฒนาแห่งสหประชาชาติ (WCED) ในการประชุม World Commission on Environment and Development : Our common future ค.ศ. 1987 ให้คำนิยามว่า “การพัฒนาที่ยั่งยืนคือการพัฒนาที่สอดคล้องกับความต้องการของคนในปัจจุบัน โดยไม่กระทบต่อความเป็นอยู่ที่ดีของคนในอนาคต” (United Nations, 1987) ส่วน “ความยั่งยืน” (Sustainability) ไม่มีนิยามที่เฉพาะเจาะจง แต่สามารถปรับเปลี่ยนไปตามบริบทของการนำไปใช้ในแขนงต่างๆ อาจกล่าวได้ว่า ความยั่งยืนเป็นผลของการดำเนินการใน

กิจกรรมต่างๆ ที่มุ่งเน้นการพัฒนาที่สมดุลสามองค์ประกอบหลัก คือ การปกป้องสิ่งแวดล้อม ความเป็นมิตรกับสังคม และความมั่นคงทางเศรษฐกิจ (Degree Prospects. LLC, n.d.) ซึ่งมีใช้เป็นเพียงการลดปัญหาที่เกิดขึ้นจากการดำเนินการ แต่เป็นการจัดการหรือควบคุมผลกระทบที่เกิดขึ้นกับสังคมและสิ่งแวดล้อม หากมองในสภาพการณ์ปัจจุบัน ทั้งสามองค์ประกอบในความยั่งยืนอาจไม่สามารถสมดุลกันได้พอดี เนื่องจากการปรับใช้ในบริบทต่างๆ ย่อมมีความแตกต่างกัน การดำเนินการอาจมีความต้องการองค์ประกอบความยั่งยืนมากขึ้นหรือลดลงตามเป้าหมายของกิจกรรม

“เมือง” คือพื้นที่ที่มีประชากรอาศัยอยู่อย่างหนาแน่น เป็นที่ตั้งของสาธารณูปโภค/สาธารณูปการ แหล่งงาน ศูนย์รวมเศรษฐกิจและการศึกษา รวมถึงสถานที่ที่มีความสำคัญมากมาย ด้วยเมืองมีการเติบโตอย่างต่อเนื่องตามการพัฒนาที่เกิดขึ้น มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องทำการพัฒนาเมืองให้เติบโตอย่างยั่งยืน ผ่านการพิจารณาปัจจัยต่างๆ ที่มีความสำคัญ เช่น ด้านสังคม ด้านเศรษฐกิจ ด้านสิ่งแวดล้อม และด้านการปกครองเมือง เพื่อให้เกิดความยั่งยืนอย่างรอบด้าน (จิตรบุษบา มารมย์, 2560) โครงสร้างพื้นฐานของเมืองที่ดีสะท้อนให้เห็นถึงวิธีการดำเนินชีวิตและความเป็นอยู่ที่มีคุณภาพ มีการจัดการโครงสร้างสาธารณูปโภคและสาธารณูปการที่เชื่อมส่วนต่างๆ ของเมืองอย่างเป็นระบบ โครงสร้างพื้นฐานของเมืองส่วนใหญ่ ประกอบด้วย ถนนประปา ระบบระบายน้ำ ระบบบำบัดน้ำเสีย ไฟฟ้า ระบบโทรคมนาคม และอื่นๆ แต่สำหรับเมืองที่มีการพัฒนามาก ระบบของโครงสร้างพื้นฐานของเมืองจะมีความซับซ้อนหลายชั้น ตั้งแต่ใต้ดินขึ้นมาถึงบนดินและในอากาศเพื่ออำนวยความสะดวก และตอบสนองความต้องการในการคมนาคมและสื่อสารของคนเมือง (Vanno S., 2012)

ส่วนราชการของไทยมีการตื่นตัวในการจัดการพื้นที่สีเขียวและสิ่งแวดล้อมเมืองที่ยั่งยืนขึ้น ทั้งในเชิงนโยบาย ยุทธศาสตร์ และแผนระดับต่างๆ เช่น แผนจัดการคุณภาพสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2560 – 2564 ยุทธศาสตร์ที่ 2 การจัดการคุณภาพสิ่งแวดล้อมที่ดี ได้รับการป้องกัน บำบัด และฟื้นฟู กลยุทธ์ที่ 2.3 การจัดการคุณภาพสิ่งแวดล้อมชุมชนและสิ่งแวดล้อมอื่น ตัวชี้วัดที่ 2.5 จำนวนพื้นที่สีเขียวในเมือง ไม่น้อยกว่า 10 ตารางเมตรต่อคน (พื้นที่สีเขียวในที่นี้หมายถึง พื้นที่สวนสาธารณะ 7 ประเภท) โดยมาตรฐานส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นเป็นการกำหนดพื้นที่สีเขียวในเชิงปริมาณที่สามารถวัดได้เชิงประจักษ์ (มูลนิธิสถาบันสิ่งแวดล้อมไทย, 2560) ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 มาตรฐานอัตราส่วนพื้นที่สีเขียวจำแนกตามองค์กรและประเทศ

ประเภท	มาตรฐาน	ตารางเมตร/คน	อ้างอิง
มาตรฐานสากล	องค์การอนามัยโลก	9	World Health Organization (WHO)
	องค์การสหประชาชาติ	30	United Nations (UN)
มาตรฐานนานาชาติ	สหภาพยุโรป	25	European Green Capital
	สหราชอาณาจักร	20	Natural England
	สหรัฐอเมริกา	40	The National and Recreation and Park Association (NRPA)
	ออสเตรเลีย	30	Public Green Space and Life Satisfaction in Urban Australia
	ญี่ปุ่น	15	Ministry of Land Infrastructure Transport and Tourism
	ประเทศไทย	ขนาดเล็ก 10 ขนาดกลาง 10 ขนาดใหญ่ 12	สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

สำนักผังเมืองกรุงเทพมหานคร (2555) ได้ให้นิยามของพื้นที่สีเขียวในรูปแบบสวนต่อจำนวนประชากรในประเทศไทย หมายถึงพื้นที่สวน 7 ประเภท ได้แก่ สวนหย่อมขนาดเล็ก สวนหมู่บ้าน สวนชุมชน สวนระดับย่านสวนระดับเมือง สวนถนน และ สวนเฉพาะทาง และยังหมายรวมถึง พื้นที่ใดๆ ในเขตพื้นที่ ที่ไม่เคยถูกพัฒนาเป็นสวนตามนิยามสวน 7 ประเภทมาก่อน ทั้งนี้ อาจเป็นพื้นที่ว่างเปล่า เกาะกลางถนน ริมหาด ริมคลอง ใต้ทางด่วน กำแพง ผนัง ตึก รั้ว ฯลฯ ซึ่งพื้นที่บางส่วนกลับไม่สามารถเข้าไปใช้งานเป็นสาธารณะได้จริง (สวนถนน ประกอบด้วย สวนไหล่ทางหรือจักรยาน สวนเกาะกลาง สวนทางแยก และสวนเฉพาะทาง เช่น สวนอนุสาวรีย์ชัยสมรภูมิ) (สำนักผังเมืองกรุงเทพมหานคร, 2555)

ข้อมูลสัดส่วนจำนวนพื้นที่สีเขียวของกรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2566 มีอัตราส่วน 7.79 ตารางเมตรต่อคน (สำนักสิ่งแวดล้อม กรุงเทพมหานคร, 2566) ซึ่งหมายรวมถึงพื้นที่สีเขียวขานเมือง เช่น เขตบางขุนเทียน เขตหนองจอก เขตคันนายาว เป็นต้น (นิรมล เสรีสกุล, 2562) จากแนวโน้มของปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น บทบาทพื้นที่สีเขียวต่อการพัฒนาสู่เมืองยั่งยืนจึงต้องเป็นมากกว่าการเพิ่มพื้นที่สีเขียวด้วยการปลูกต้นไม้ จากการที่ในหลายประเทศได้กล่าวถึงการเพิ่มพื้นที่ต้นไม้เพื่อให้เป็นไป

ตามข้อตกลงปารีส และ Bonn Challenge (เป็นโครงการเกิดขึ้นในเดือน กันยายน พ.ศ. 2554 ณ ประเทศเยอรมนี วัตถุประสงค์เพื่อฟื้นฟูพื้นที่ป่าเสื่อมโทรมและเพิ่มผืนป่าให้ได้ 150 ล้านเฮกเตอร์ (937.5 ล้านไร่) ภายในปี พ.ศ. 2563 และ 350 ล้านเฮกเตอร์ (2,187.5 ล้านไร่) ภายในปี พ.ศ. 2573 แต่การเพิ่มพื้นที่ต้นไม้ที่นั่นอาจไม่เพียงพอสำหรับการแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อมที่รุนแรงของโลกในขณะนี้ ถึงแม้ว่าโครงการดังกล่าวบรรลุวัตถุประสงค์แต่อาจมีความท้าทายอย่างอื่นตามมา เช่น การขาดที่ดินที่เหมาะสมอย่างชัดเจน อัตราการตัดไม้ทำลายป่าที่สูงขึ้นในปีที่ผ่านมา รวมถึงการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน ค่าใช้จ่ายในการฟื้นฟูและภาระผูกพันที่เกิดขึ้นในการดูแล (Fagan, Reid, Holland, Drew, & Zahawi, 2020) ปัญหาหนึ่งของการปลูกต้นไม้จำนวนมากคือเรื่องของพื้นที่ เนื่องจากแต่ละประเทศส่วนใหญ่ไม่มีที่ดินที่เหมาะสมในการปลูกจำนวนมาก และต้องใช้งบประมาณจำนวนมากเพื่อปรับพื้นที่ก่อนปลูก ในการปลูกต้นไม้ประมาณ 2,000 ต้น ต้องใช้พื้นที่ราว 6.25 ไร่ ดังนั้นการปลูกต้นไม้พันล้านต้นทั่วโลกจะต้องการพื้นที่ประมาณ 3,000 ล้านไร่ หรือคิดเป็นพื้นที่ 10 เท่าของประเทศไทย และงานวิจัยของสถาบันเทคโนโลยีแห่งสหพันธ์สวิสในซูริค (Federal Institute of Technology Zurich: ETH Zürich) พบว่า พื้นที่โดยประมาณของที่ดินทั่วโลกที่สามารถรองรับต้นไม้ได้อย่างต่อเนื่องได้และยังไม่ได้ถูกใช้โดยมนุษย์ มีเหลืออยู่เพียงประมาณ 5,625 ล้านไร่เท่านั้น (Bastin et al., 2019)

โครงสร้างพื้นฐานสีเขียว (Green Infrastructure) หากเป็นคำนามหมายถึง โครงข่ายพื้นที่สีเขียวที่เชื่อมต่อกัน (รวมถึงพื้นที่ธรรมชาติและภูมิประเทศ พื้นที่สาธารณะและพื้นที่อนุรักษ์ การพัฒนาที่ดินที่มีคุณค่าด้านการอนุรักษ์ และพื้นที่โล่งอื่นๆ) ที่มีการวางแผนและจัดการคุณค่าทรัพยากรธรรมชาติ และเพื่อประโยชน์ที่เกี่ยวข้องกับประชากรมนุษย์ ถ้าใช้เป็นคำคุณศัพท์ โครงสร้างพื้นฐานสีเขียว อธิบายถึงกระบวนการที่ส่งเสริมวิธีการอย่างเป็นระบบและยุทธศาสตร์ในการอนุรักษ์พื้นที่ในระดับชาติ เมือง ภูมิภาค และระดับท้องถิ่น ส่งเสริมการวางแผนการใช้ประโยชน์ที่ดิน และการปฏิบัติที่ดีต่อธรรมชาติและประชาชน (Benedict & McMahon, 2012) โครงสร้างพื้นฐานสีเขียวได้รับการยอมรับโดยทั่วไปว่า มีส่วนเพิ่มศักยภาพด้านสิ่งแวดล้อม สังคม และเศรษฐกิจให้กับชุมชน และยังสิ้นเปลืองค่าบำรุงรักษาน้อยเมื่อเทียบกับการก่อสร้างโครงสร้างพื้นฐานที่เป็นงานวิศวกรรม จึงกล่าวได้ว่าโครงสร้างพื้นฐานสีเขียว เป็นส่วนสำคัญอย่างยิ่งที่ช่วยให้ความยั่งยืนของพื้นที่เมืองและชุมชน (นิคม บุญญานุสิทธิ์, 2557) โครงสร้างพื้นฐานสีเขียวเป็นเหมือนการเชื่อมโยงโครงข่ายพื้นที่สีเขียวเข้าด้วยกันก่อให้เกิดประโยชน์หลายประการ รวมถึงการลดอุณหภูมิพื้นผิวอาคารที่ส่งผลต่อความต้องการพลังงานในการปรับอากาศ และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่น้อยลง

การศึกษาในครั้งนี้ จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเกี่ยวข้องของโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวกับการบรรเทาการเกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมือง ผ่านกรณีศึกษาพื้นที่กรุงเทพมหานคร เนื่องจากพื้นที่ดังกล่าวยังไม่มีการศึกษาการจำแนกโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวในแง่ของการบรรเทาการเกิดเกาะ

ความร้อนบนพื้นผิวเมือง ผ่านการวิเคราะห์และจำแนกโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวด้วยระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ (Geographic Information System: GIS) ร่วมกับการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการสำรวจระยะไกล (Remote Sensing) เพื่อค้นหาความเกี่ยวข้องระหว่างโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวและการเกิดเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมือง และนำเสนอประเภทโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวที่สามารถบรรเทาการเกิดเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมืองในพื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร โดยมีคำถามการวิจัย คือ “โครงสร้างพื้นฐานสีเขียวมีความเกี่ยวข้องกับการเกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมืองในพื้นที่กรุงเทพมหานครหรือไม่และอย่างไร”

คำสำคัญ (Keyword) ของงานวิจัย

โครงสร้างพื้นฐานสีเขียว (Green Infrastructure)
ปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมือง (Urban Heat Island Phenomenon)
เกาะความร้อนบนพื้นผิวเมือง (Surface Urban Heat Island)
ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ (Geographic Information System: GIS)

วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อศึกษาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมือง
- 2) เพื่อศึกษาแนวคิด รูปแบบ และลักษณะของโครงสร้างพื้นฐานสีเขียว
- 3) เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของสิ่งปกคลุมดินกับการเกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนบนพื้นผิวเมืองในพื้นที่กรุงเทพมหานคร ด้วยวิธีการวิเคราะห์ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ และการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการสำรวจระยะไกล
- 4) เพื่อนำเสนอประเภทโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวที่สามารถบรรเทาการเกิดเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมืองในพื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร

ขอบเขตการศึกษา

ขอบเขตการวิจัยด้านพื้นที่

ในการศึกษาครั้งนี้ เลือกกรุงเทพมหานครเป็นพื้นที่ศึกษา เนื่องจากเป็นพื้นที่ที่มีประชากรหนาแน่นทั้งประชากรในพื้นที่และประชากรแฝง จากข้อมูลระบบสถิติทางการทะเบียน พบว่ากรุงเทพมหานครมีประชากรรวม 5,455,020 คน มีความหนาแน่น 3,477.33 คนต่อตารางกิโลเมตร (สำนักงานสถิติแห่งชาติ, 2567) จึงเกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมขึ้นในหลายประการ อีกทั้งพื้นที่ใจกลางเมือง

(ประเภทที่อยู่อาศัยหนาแน่นสูง ศูนย์การค้า พื้นที่ประวัติศาสตร์ และพื้นที่ทางการทหาร) มีค่าเฉลี่ยความรุนแรงเกาะความร้อนพื้นผิวเมือง (Surface Urban Heat Island Intensities) สูงสุด (ประมาณ 4 องศาเซลเซียส) และพื้นที่สีเขียวส่วนใหญ่อยู่ห่างจากใจกลางเมือง (Chaiyaporn Keeratikasikorn & Stefania Bonafoni, 2018) และการจัดเก็บภาษีที่ดินประเภทที่ว่างเปล่าหรือไม่ทำประโยชน์ตามควรแก่สภาพ ยังส่งผลต่อการปรับเปลี่ยนการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ดังกล่าวอย่างไม่เหมาะสม จากปัญหาข้างต้น เพื่อรองรับการขยายตัวของเมืองที่ส่งผลต่อความสมดุลทางธรรมชาติรวมถึงผลกระทบต่อคุณภาพชีวิตของประชาชน จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาลักษณะกายภาพของพื้นที่ เพื่อเสนอแนะแนวทางการเพิ่มศักยภาพของพื้นที่ตามแนวคิดโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวที่เกี่ยวข้องกับการเกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมืองในพื้นที่กรุงเทพมหานคร

ขอบเขตการวิจัยด้านเนื้อหา

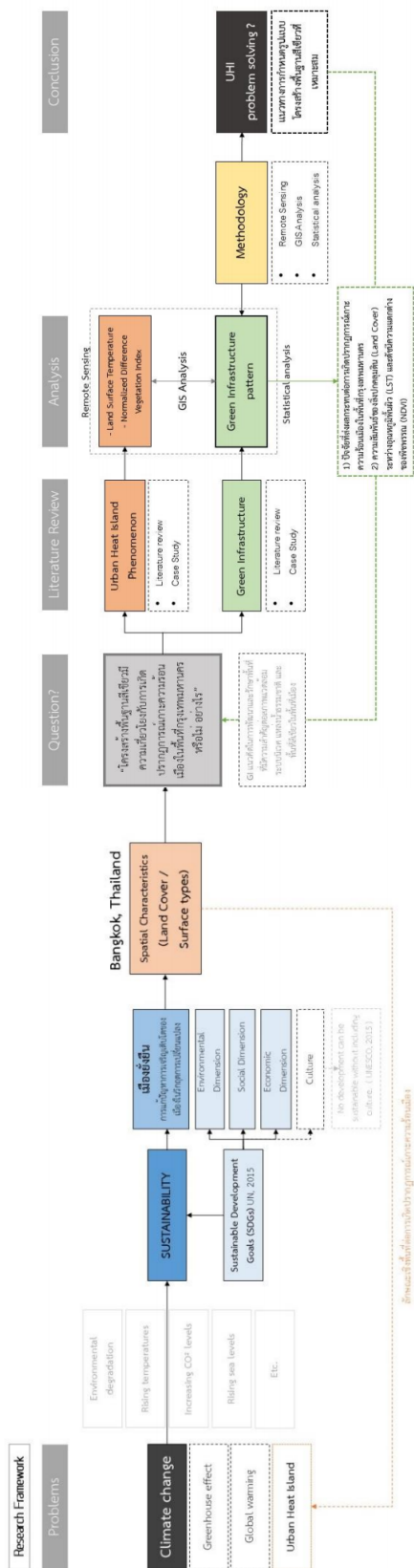
ขอบเขตการวิจัยด้านเนื้อหาประกอบด้วย 5 หัวข้อดังนี้

- 1) การศึกษาแนวคิดและข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาอย่างยั่งยืน (Sustainable Development) ซึ่งเป็นเครื่องมือและกลไกหนึ่งในการบรรเทาปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม
- 2) การศึกษาข้อมูลและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมือง (Urban Heat Island Phenomenon)
- 3) การศึกษาแนวคิดและข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างพื้นฐานสีเขียว (Green Infrastructure) ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมือง (Surface Urban Heat Island)
- 4) การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งปกคลุมดิน (Land Cover) อุณหภูมิพื้นผิว (Land Surface Temperature) และดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณ (Normalized Difference Vegetation Index) กับการเกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนบนพื้นผิวเมือง (Surface Urban Heat Island) ด้วยวิธีการวิเคราะห์ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ และการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการสำรวจระยะไกล (Remote Sensing)
- 5) การศึกษารูปแบบโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวในการบรรเทาการเกิดเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมือง (Surface Urban Heat Island)

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการศึกษาปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมืองในพื้นที่กรุงเทพมหานคร
- 2) ความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งปกคลุมดิน (Land Cover) อุณหภูมิพื้นผิว (Land Surface Temperature) และดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณ (Normalized Difference Vegetation Index) กับการศึกษาปรากฏการณ์เกาะความร้อนบนพื้นผิวเมือง (Surface Urban Heat Island) ด้วยวิธีการวิเคราะห์ผ่านระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ และการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการสำรวจระยะไกล (Remote Sensing)
- 3) ประเภทโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวที่เหมาะสมในการบรรเทาการศึกษาเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมืองของกรุงเทพมหานคร





บทที่ 2

ตอนที่ 2.1 แนวคิดและข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาอย่างยั่งยืน

- ความหมายและแนวคิดการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development)
- ความยั่งยืนกับปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate Change)
- ความหมายและแนวคิดของเมืองยั่งยืน (Sustainable City)
- การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศกับการพัฒนาเมืองยั่งยืน

ตอนที่ 2.2 ข้อมูลและงานวิจัยที่

เกี่ยวข้องกับกาเกิดปรากฏการณ์
เกาะความร้อนเมือง

- ความหมายปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมือง (Urban Heat Island Phenomenon)
- การเกิดเกาะความร้อนเมืองในระดับต่างๆ (Urban heat at different scales)
- ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมือง
- ผลกระทบของเกาะความร้อนเมือง

ตอนที่ 2.3 แนวคิดและข้อมูล

เกี่ยวข้องกับโครงสร้างพื้นฐานสีเขียว

- ความหมายและแนวคิดของพื้นที่สีเขียว (Green Space)
- ความหมายและแนวคิดของโครงสร้างพื้นฐานสีเขียว (Green Infrastructures)
- องค์ประกอบของโครงสร้างพื้นฐานสีเขียว
- โครงสร้างพื้นฐานสีเขียวกับเมืองยั่งยืน
- ความสัมพันธ์ระหว่างปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมืองกับโครงสร้าง

บทที่ 3

ตอนที่ 3.1 การประยุกต์ใช้เทคโนโลยี ภูมิสารสนเทศในการศึกษา

- การสำรวจจะละเอียด
 - ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์
- ตอนที่ 3.2 พื้นที่ศึกษา**
- ข้อมูลพื้นที่ศึกษา
 - การจัดเตรียมข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม
 - การแปลความภาพถ่ายดาวเทียมด้วยสายตา
- ตอนที่ 3.3 การวิเคราะห์ข้อมูลพื้นที่ศึกษา**

บทที่ 4 ผลการศึกษา

- 4.1 สิ่งปกคลุมดินของพื้นที่ศึกษากับการเกิดเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมือง
- 4.2 สิ่งปกคลุมดินของพื้นที่ศึกษาและความเข้มข้นของเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมือง
- 4.3 โครงสร้างพื้นฐานสีเขียวและความเข้มข้นของเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมือง

ภาพที่ 2 กรอบแนวคิดในการศึกษา

บทที่ 5
สรุปผล

บทที่ 2

วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาเรื่องอิทธิพลของโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวต่อปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมือง : กรณีศึกษากรุงเทพมหานคร ประกอบด้วยการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องดังนี้

ตอนที่ 2.1 แนวคิดและข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาอย่างยั่งยืน

- ความหมายและแนวคิดการพัฒนาอย่างยั่งยืน (Sustainable Development)
- ความยั่งยืนกับปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate Change)
- ความหมายและแนวคิดของเมืองยั่งยืน (Sustainable City)
- การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศกับการพัฒนาเมืองยั่งยืน

ตอนที่ 2.2 ข้อมูลและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมือง

- ความหมายปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมือง (Urban Heat Island Phenomenon)
- การเกิดเกาะความร้อนเมืองในระดับต่างๆ (Urban heat at different scales)
- ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมือง
- ผลกระทบของเกาะความร้อนเมือง

ตอนที่ 2.3 แนวคิดและข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างพื้นฐานสีเขียว

- ความหมายและแนวคิดของพื้นที่สีเขียว (Green Space)
- ความหมายและแนวคิดของโครงสร้างพื้นฐานสีเขียว (Green Infrastructures)
- องค์ประกอบของโครงสร้างพื้นฐานสีเขียว
- โครงสร้างพื้นฐานสีเขียวกับเมืองยั่งยืน
- ความสัมพันธ์ระหว่างปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมืองกับโครงสร้างพื้นฐานสีเขียว

ตอนที่ 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แนวคิดและข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาอย่างยั่งยืน

ความหมายและแนวคิดการพัฒนาอย่างยั่งยืน (Sustainable Development)

ภาวิณี เอี่ยมตระกูล (2561) ได้อธิบายถึงแนวคิดความยั่งยืน โดยมีจุดเริ่มต้นจากประเด็นการพัฒนาและรักษาสีเขียวแวดล้อมในปี ค.ศ. 1968 เพื่อตอบสนองปัญหาการทำลายสิ่งแวดล้อม และนำไปสู่แผนสหประชาชาติว่าด้วยเรื่องมนุษย์และชีวนธรณี (UNESCO's Man and the Biosphere Programmed) ต่อมาในปี ค.ศ. 1972 ได้มีการแสดงถึงความตระหนักถึงปริมาณการบริโภค

ทรัพยากรที่มากขึ้นตามขนาดของประชากรอันส่งผลต่อความหลากหลายทางชีวภาพของระบบนิเวศโลก และกลายมาเป็น “การพัฒนาที่ยั่งยืน” ในปัจจุบัน

ตามรายงานของคณะกรรมการด้านสิ่งแวดล้อมและการพัฒนาแห่งสหประชาชาติ (WCED) ในการประชุม World Commission on Environment and Development : Our common future ค.ศ. 1987 ระบุว่า “การพัฒนาที่ยั่งยืนคือการพัฒนาที่สอดคล้องกับความต้องการของคนในปัจจุบัน โดยไม่กระทบต่อความเป็นอยู่ที่ดีของคนในอนาคต” (United Nations, 1987) ผลการประชุมดังกล่าวพยายามชี้ให้เห็นถึงการพัฒนาและการจัดการสิ่งแวดล้อมถือเป็นเรื่องเดียวกันที่ต้องทำควบคู่กันไป โดยการปกป้องสิ่งแวดล้อมควบคู่ไปกับการพัฒนาด้านสังคมและเศรษฐกิจที่เป็นรากฐานนำไปสู่ความยั่งยืน ทั้งนี้ เพื่อให้เกิดการพัฒนาอย่างเป็นรูปธรรม ในปี ค.ศ. 1992 จึงเกิด แผนปฏิบัติการ 21 หรือ Agenda 21 เพื่อเป็นข้อตกลงร่วมกันในการพัฒนาที่ตอบสนองความต้องการพื้นฐานและยกระดับคุณภาพชีวิตพร้อมกับการจัดการและรักษาสิ่งแวดล้อมให้ดีขึ้น โดยมีหลัก 3 ประการ คือ ความเท่าเทียมของคนแต่ละรุ่นในการใช้ทรัพยากร ความเป็นธรรมทางสังคมในการใช้ทรัพยากรของคนทุกกลุ่ม และความรับผิดชอบเรื่องการก่อมลพิษหรือทำลายทรัพยากรธรรมชาติระหว่างพรหมแดน (ภาวิณี เอี่ยมตระกูล, 2561)

องค์การสหประชาชาติ หรือ United Nations: UN กำหนดเป้าหมายการพัฒนาสังคมโลกจากทศวรรษที่ผ่านมา 8 ประเด็น และได้สิ้นสุดลงในปี ค.ศ. 2015 และมีการกำหนดเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals: SDG) สำหรับสังคมโลกที่จะนำไปใช้ทศวรรษหน้า 17 ประเด็น (United Nation Thailand, 2558) คือ 1) การขจัดความยากจนทุกรูปแบบ 2) การขจัดความหิวโหยการบรรลุถึงความมั่นคงทางอาหารและเกษตรกรรมที่ยั่งยืน 3) การมีสุขภาพและความเป็นอยู่ที่ดี 4) การได้รับการศึกษาที่มีคุณภาพเท่าเทียม ทัวถึง และมีการเรียนรู้ตลอดชีวิต 5) การบรรลุความเท่าเทียมกันระหว่างเพศ การเพิ่มพลังสตรีและเด็กหญิง 6) การเข้าถึงการใช้น้ำสะอาดและสุขาภิบาลที่ดี 7) การเข้าถึงพลังงานที่มั่นคงและสะอาด 8) การมีงานที่มีคุณค่าเพื่อเพิ่มการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ 9) การส่งเสริมอุตสาหกรรม นวัตกรรมและโครงสร้างพื้นฐานที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม 10) การลดความเหลื่อมล้ำทั้งภายในและระหว่างประเทศ 11) การตั้งถิ่นฐานและชุมชนอย่างยั่งยืน 12) การส่งเสริมการผลิตและการบริโภคที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม 13) การเตรียมพร้อมรับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ 14) การใช้ประโยชน์จากทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งอย่างยั่งยืน 15) การใช้ประโยชน์จากทรัพยากรบนบกและรักษาระบบนิเวศ 16) การสร้างสังคมสันติสุข ยุติธรรมและมีสถาบันทางสังคมที่มีความเข้มแข็ง 17) การส่งเสริมการมีส่วนร่วมในทุกกระตบในการ

บรรลู่ถึงเป้าหมายของการพัฒนาที่ยั่งยืนของโลก ทั้งนี้หน่วยงานที่รับผิดชอบ เช่น United Nation ต้องกำหนดเกณฑ์และเป้าหมายของดัชนีการพัฒนาที่ยั่งยืนเพื่อประเทศต่างๆ นำไปปฏิบัติเพื่อให้เกิดความยั่งยืน (สยาม อรุณศรีมรกต & ยงยุทธ วัชรคุลย์, 2559)



ภาพที่ 3 เป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน Sustainable Development Goals: SDG

คณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ (2546) ได้กล่าวถึงการพัฒนาที่ยั่งยืนเป็นการพัฒนาร่วมกันจากทุกภาคส่วน ทั้งภาครัฐ เอกชน ชุมชน และประชาชนทั่วไป เพื่อสร้างการเปลี่ยนแปลงสู่ความยั่งยืน นิยามของการพัฒนาที่ยั่งยืน โดยคณะกรรมการเตรียมการประชุมสุดยอดฯ ของประเทศร่วมกับสถาบันสิ่งแวดล้อมไทย จัดระดมความคิดเห็นจากภาคีต่างๆ ในการจัดทำข้อเสนอของประเทศไทยในการประชุมสุดยอดของโลกว่าด้วยการพัฒนาที่ยั่งยืน ณ นครโจฮันเนสเบิร์ก ประเทศแอฟริกาใต้ เมื่อเดือนกันยายน ค.ศ. 2012 ได้ข้อยุติด้านคำนิยามของการพัฒนาที่ยั่งยืนว่า “การพัฒนาที่ยั่งยืนในบริบทไทย เป็นการพัฒนาที่ต้องคำนึงถึงความเป็นองค์รวมของทุกๆ ด้านอย่างสมดุล บนพื้นฐานของทรัพยากรธรรมชาติ ภูมิปัญญาและวัฒนธรรมไทย ด้วยการมีส่วนร่วมของประชาชนทุกกลุ่มด้วยความเอื้ออาทร เคารพซึ่งกันและกัน เพื่อความสามารถในการพึ่งตนเอง และคุณภาพชีวิตที่ดีอย่างเท่าเทียม” (สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, 2546) ความหมายของการพัฒนาที่ยั่งยืนแตกต่างกันออกไปในแต่ละพื้นที่ แต่มีหลักการที่สอดคล้องกัน 3 ประการ (พลฤทธิ์ ศิริบรรณพิทักษ์, 2553) คือ

1) การพัฒนาที่ดำเนินไปโดยคำนึงถึงขีดจำกัดของทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม และสนองความต้องการในปัจจุบันโดยไม่ส่งผลกระทบต่อความต้องการในอนาคต

2) การพัฒนาที่คำนึงถึงความเป็นองค์รวม คือ มองว่าการจะทำสิ่งใดต้องคำนึงถึงผลกระทบที่จะเกิดขึ้นกับสิ่งอื่นๆ ดังนั้น การพัฒนาแนวนี้จึงยึดหลักความรอบคอบและค่อยเป็นค่อยไป รวมทั้งเปิดโอกาสให้ภาคีการพัฒนาต่างๆ เข้ามามีส่วนร่วมในการพัฒนาด้วย

3) การพัฒนาที่ยั่งยืนไม่ได้ระบุว่าจะต้องปฏิรูกระบบเทคโนโลยี แต่ต้องคำนึงว่าเทคโนโลยีที่นำมาใช้นั้นควรเป็นไปในทางสร้างสรรค์ไม่ใช่ทำลาย

การพัฒนาที่ยั่งยืนมีแนวคิดหลัก 2 กระแส กระแสแรกเป็นแนวคิดจากคณะกรรมการด้านสิ่งแวดล้อมและการพัฒนาแห่งสหประชาชาติ ที่ให้ความสำคัญกับสิ่งแวดล้อมเป็นหลักในการพัฒนา เนื่องจากกระแสทุนนิยมที่มุ่งพัฒนาเศรษฐกิจโดยไม่คำนึงถึงการทำลายทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ดังนั้นหลักการพัฒนาใหม่จึงต้องคำนึงถึงความสมดุลระหว่างเศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อม ส่วนแนวคิดที่สอง เป็นแนวคิดจากยูเนสโกในการประชุมสมัชชาใหญ่แห่งสหประชาชาติ ในเดือนกันยายน 2015 เพื่อรับรองวาระ “2030 Agenda for Sustainable Development, with 17 ambitious, universal goals to transform our world” และยูเนสโกได้รับรองว่า “วัฒนธรรมคือสิ่งที่เราเป็นและสิ่งที่เราเป็นตัวตนของเรา ไม่มีการพัฒนาใดที่จะยั่งยืนได้หากปราศจากวัฒนธรรม... บทบาทของวัฒนธรรมได้รับการยอมรับผ่านเป้าหมายการพัฒนาอย่างยั่งยืน (SDGI) ซึ่งรวมถึงการมุ่งเน้นไปที่การศึกษาที่มีคุณภาพ เมืองที่ยั่งยืน สิ่งแวดล้อม การเติบโตทางเศรษฐกิจ การบริโภคที่ยั่งยืนและรูปแบบการผลิต ความสงบและการรวมตัวของสังคม ความเสมอภาคทางเพศและความมั่นคงด้านอาหาร” (United nations educational scientific and cultural organization, 2015)

ความยั่งยืนกับปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate Change)

การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศเป็นปัญหาสำคัญที่ส่งผลกระทบในการดำรงชีวิตของมนุษย์และสิ่งแวดล้อม ซึ่งสาเหตุหลักของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ทั้งทางตรงและทางอ้อม ส่งผลให้อุณหภูมิของบรรยากาศเปลี่ยนแปลงไป เช่น ปริมาณก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศที่เพิ่มขึ้น (Greenhouse Gases) ก่อให้เกิดภาวะเรือนกระจก (Greenhouse Effect) ที่ห่อหุ้มชั้นบรรยากาศเกินกว่าที่จำเป็น และส่งผลให้อุณหภูมิพื้นผิวโลกสูงขึ้นจนเกิดเป็นภาวะโลกร้อน (Global Warming) การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศจึงนับเป็นภัยคุกคามที่สำคัญต่อการบรรลุเป้าหมายการพัฒนาประเทศอย่างยั่งยืน ทั้งการรักษาการเติบโตทางเศรษฐกิจ การจัดการปัญหาความ

ยากจนและยกระดับคุณภาพชีวิตของประชาชนให้ดีขึ้น รวมถึงการรักษาความสมดุลของระบบนิเวศ ความสมบูรณ์ของฐานทรัพยากรธรรมชาติและคุณภาพสิ่งแวดล้อมที่ดี

ข้อมูลจากสำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (2558) ได้กล่าวถึง แผนแม่บทรองรับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ พ.ศ. 2558 – 2593 โดยในปี พ.ศ. 2537 ประเทศไทยได้ตระหนักถึงความจำเป็นในการร่วมประชาคมโลกในประเด็นปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ จึงให้สัตยาบันภายใต้กรอบอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (United Nations Framework Commission on Climate Change; UNFCCC) และจัดตั้งคณะกรรมการย่อยด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ สำหรับการเจรจาและวางแผนนโยบายกับต่างประเทศ (ได้เปลี่ยนชื่อในปี พ.ศ. 2549 เป็นคณะกรรมการนโยบายการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศแห่งชาติ หรือ National Committee on Climate Change; NCCC) และเมื่อวันที่ 22 มกราคม พ.ศ. 2551 คณะรัฐมนตรีได้มีมติเห็นชอบต่อยุทธศาสตร์แห่งชาติในการจัดการปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ พ.ศ. 2551 - 2555 (National Strategy on Climate Change Management 2008 - 2012) และกำหนดให้กระทรวง ทบวง กรม ที่เกี่ยวข้องนำไปใช้เป็นกรอบในการจัดทำแผนเพื่อนำไปสู่การปฏิบัติต่อไป นอกจากนี้ หลังจากการให้สัตยาบันร่วมกันในพิธีสารเกียวโต (The Kyoto Protocol: KP) พ.ศ. 2545 ประเทศไทยได้ดำเนินโครงการลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยใช้กลไกการผลิตที่สะอาด (Clean Development Mechanism; CDM) ส่งเสริมความพยายามในการสร้างสังคมคาร์บอนต่ำในประเทศไทย ซึ่งการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศไม่ใช่ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นโดยฉับพลัน แต่เป็นการเปลี่ยนแปลงของรูปแบบของสภาพภูมิอากาศที่มากกว่าความแปรปรวนของสภาพอากาศตามธรรมชาติโดยทั่วไป กรอบอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ได้ระบุคำจำกัดความของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศไว้ในมาตรา 1 กล่าวคือ การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ หมายถึง “การเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ ซึ่งเป็นผลโดยตรงหรือโดยอ้อมจากกิจกรรมของมนุษย์ที่เปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของชั้นบรรยากาศโลก และเป็นการเปลี่ยนแปลงที่มากกว่าการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากความแปรปรวนทางสภาพภูมิอากาศที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติในช่วงเวลาเดียวกัน” ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเป็นปรากฏการณ์ในระยะยาว การปรากฏผลเป็นรูปธรรมของการเปลี่ยนแปลง และผลกระทบที่เกิดขึ้นนั้นอาจใช้ระยะเวลายาวนานถึง 30 – 50 ปี (สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2558)

ทั้งนี้ ปัญหาที่ประเทศไทยต้องเผชิญคือการเพิ่มขึ้นของปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากรูปแบบของการพัฒนาประเทศ ที่จำเป็นต้องพึ่งพาพลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิลเป็นหลัก และ

จากการขยายตัวอย่างรวดเร็วของพื้นที่เมือง ทำให้มีความต้องการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้การเกิดปรากฏการณ์ภาวะเรือนกระจก (Greenhouse effects) ซึ่งเป็นสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ที่เกิดจากความเข้มข้นของก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศที่เพิ่มสูงขึ้น ก๊าซเรือนกระจกบางชนิดมีอายุในชั้นบรรยากาศสั้น เมื่อเราหยุดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกดังกล่าวจะสามารถทำให้ความเข้มข้นในชั้นบรรยากาศของก๊าซนั้นๆ ลดลงได้ แต่ก๊าซเรือนกระจกบางชนิด เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีอายุในชั้นบรรยากาศยาวนาน ถึงแม้จะลดการปล่อยก๊าซลงแล้ว ความเข้มข้นในชั้นบรรยากาศจะยังไม่ลดลงทันที ด้วยเหตุผลดังกล่าว เห็นได้ว่าการแก้ไขปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศซึ่งประกอบด้วยการดำเนินงานหลักใน 2 ส่วน คือ การปรับตัวต่อผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Adaptation) ซึ่งมุ่งเน้นการเพิ่มขีดความสามารถในการปรับตัวและสร้างภูมิคุ้มกันต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Mitigation) ซึ่งเกี่ยวข้องกับการปรับเปลี่ยนโครงสร้างพื้นฐานให้เป็นแบบปล่อยคาร์บอนต่ำ การปรับเปลี่ยนพฤติกรรมในการดำเนินกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมของมนุษย์นับเป็นสาเหตุหลักที่ก่อให้เกิดปรากฏการณ์ภาวะเรือนกระจกและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โดยสามารถจำแนกสาขาของกิจกรรมมนุษย์ที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจก แบ่งเป็น 7 สาขา ได้แก่ 1) การผลิตและจัดหาพลังงาน 2) การคมนาคมขนส่ง 3) อุตสาหกรรม 4) เกษตรกรรม 5) การใช้พลังงานในอาคารที่พักอาศัยและอาคารพาณิชย์ 6) ป่าไม้และการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน และ 7) ขยะและน้ำเสีย ซึ่งสาขาเหล่านี้ล้วนเป็นกิจกรรมการพัฒนาหรือเป็นผลมาจากกิจกรรมการพัฒนาทั้งสิ้น ดังนั้น การพิจารณาการแก้ไขปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศจึงมีความจำเป็นที่จะต้องคำนึงถึงทิศทางหรือรูปแบบของการพัฒนา ซึ่งมักจะได้รับอิทธิพลจากการลงทุน และนโยบายด้านโครงสร้างพื้นฐานและสาธารณูปโภคต่างๆ ของประเทศ โดยเฉพาะโครงสร้างพื้นฐานทางด้านพลังงาน การคมนาคมขนส่ง และอาคาร (สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2558)

ความหมายและแนวคิดของเมืองยั่งยืน (Sustainable City)

ปัจจุบันประเทศต่างๆ ทั่วโลกได้มีแนวโน้มในการนำกระบวนการทัศน์ของทฤษฎีการพัฒนาทางเลือก เข้ามาใช้ในการพัฒนาชุมชนเมืองมากยิ่งขึ้น โดยที่ชุมชนเมืองในตะวันตกนั้นมีแนวโน้มที่จะพัฒนาเมืองตามแนวทางของ “การพัฒนาอย่างยั่งยืน” โดยมี “ชุมชนเมืองที่ยั่งยืน” เป็นผลผลิตที่เป็นรูปธรรมจากแนวคิดการพัฒนาดังกล่าว (จักรสิน น้อยไธรม, 2551) สิงหนาท แสงสีหนาท (2545) ได้อธิบายถึงแนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับเมืองกระชับ (Compact City) และชุมชนเมืองยุคใหม่

(New Urbanism) ซึ่งเป็นแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับชุมชนเมืองยั่งยืน โดยแนวคิดเมืองกระชับที่ได้รับการศึกษาและเผยแพร่จากนักวิชาการมหาวิทยาลัย ออกฟอร์ด บรุคส์ (Oxford Brookes University) เผยแพร่ครั้งแรกในปี ค.ศ.1996 และครั้งที่ 2 ในปี ค.ศ. 2000 เป็นแนวคิดที่มีความสำคัญที่มีจุดเริ่มต้นจากความต้องการค้นหาแบบชุมชนเมืองที่สามารถตอบรับกับการพัฒนาอย่างยั่งยืน (สิงหนาท แสงสีหนาท, 2545) โดยมีรายละเอียดดังนี้

แนวคิดเมืองกระชับ (Compact City) เป็นแนวคิดหนึ่งทางการออกแบบชุมชนเมือง โดยมีความมุ่งหมายว่าแนวคิดนี้จะเป็นทางออกสำคัญที่สามารถตอบรับกับแผนปฏิบัติการในระดับสังคมโลก ซึ่งแนวคิดดังกล่าวไม่ใช่สิ่งที่เกิดขึ้นใหม่จากรูปแบบการพัฒนาเมืองในคริสต์ศตวรรษที่ 20 จึงมีการตั้งสมมุติฐานว่าเมืองควรมีรูปทรงที่กระชับเพื่อแก้ปัญหาความยั่งยืน แม้ว่าแนวคิดภายใต้ชื่อเมืองกระชับจะมีการศึกษาและนำเสนอที่แตกต่างกัน แต่มีจุดร่วมสำคัญที่ตรงกัน คือ ชุมชนเมืองที่ผ่านมามีลักษณะของรูปทรงที่กระจายตัวอย่างเบาบาง ซึ่งกลายเป็นปัญหารูปแบบการกระจายตัวนอกเมือง (Suburban Sprawl) ด้วยลักษณะปัญหาเช่นนี้ ทางออกที่เกิดขึ้นจึงมีฐานแนวคิดของชุมชนเมืองที่มีความกระชับมากขึ้น

แนวคิดด้านรูปทรงของเมืองกระชับมีแนวคิดสำคัญอย่างหลากหลายรวมถึงการศึกษาผ่านโครงการต่างๆ เช่น แนวคิด Sustainable City Implantation โครงข่ายของเมืองจากสังคม เศรษฐกิจ และนิเวศวิทยา เป็นโครงข่ายที่เชื่อมโยงหัวใจสำคัญของพื้นที่ทั้งหมด แต่โครงข่ายนี้จะไม่มีความหมายใดๆ หากผู้คนในเมืองไม่รู้และไม่ตระหนักถึงความสำคัญ แนวคิดดังกล่าวถูกนำเสนอขึ้นเพื่อเป็นโครงข่ายในการออกแบบชุมชนที่สร้างเสริมความตระหนักของผู้คนภายในชุมชนเมืองดังนี้

- Humanly scaled urban form: รูปทรงเมืองจะต้องมีส่วนที่สัมพันธ์กับสัดส่วนมนุษย์ เหมาะสมกับการเดินเท้า และความหลากหลายของโอกาสในการเข้าถึงบริการต่างๆ ของชุมชน
- Density and compactness: ความหนาแน่นและความกระชับของเมืองที่มาจากการต้องการของผู้คนที่พักอาศัยในชุมชน
- Three-dimensional fabric: ความชัดเจนของโครงข่ายเมืองใน 3 มิติ
- Physical secure publics: ความรู้สึกปลอดภัยในพื้นที่สาธารณะ
- People Oriented scale: การออกแบบชุมชนเมืองที่ส่งเสริมพื้นที่สาธารณะที่หลากหลาย มีขนาดแตกต่างกัน และมีการเชื่อมโยงด้วยทางเท้า

- Self-balancing: ความสมดุลในการใช้พลังงานระหว่างระบบนิเวศ ความยุติธรรม และผลประโยชน์ทางเศรษฐกิจ
- Complex and Flexible urban: การจัดการเมืองที่มีความซับซ้อนหลากหลาย และสามารถยืดหยุ่นปรับเปลี่ยนได้
- Space for possibilities: การออกแบบชุมชนที่ตอบรับกับความเป็นไปได้ทางด้านสังคมและเศรษฐกิจของชุมชน

แนวคิดด้านรูปทรงของเมือง เป็นความสัมพันธ์ระหว่าง รูปทรง ขนาด ความหนาแน่น และผู้ใช้งานในเมือง ที่จะมีผลต่อความยั่งยืน แต่ยังคงซ้อนทับบนลักษณะที่หลากหลาย และจากแนวคิดข้างต้นนั้น สามารถสรุปแนวคิดร่วมในด้านรูปทรง ได้แก่ เมืองที่กระชับทั้งในแบบเมืองที่รวมกลุ่มอย่างหนาแน่น (Centralization) และเมืองที่กระจายตัวเป็นกลุ่ม (Decentralize Concentration) รูปทรงที่สามารถสร้างโอกาสในการเดินเท้าที่สะดวก การจำกัดขอบเขตชุมชนเพื่อรักษาพื้นที่สีเขียวรอบนอกชุมชน การใช้พื้นที่ที่หลากหลายในชุมชน และการสนับสนุนให้มีการใช้งานการขนส่งสาธารณะแทนการใช้รถยนต์ส่วนตัว

ชุมชนเมืองยุคใหม่ (New Urbanism) เป็นแนวคิดกระแสหลักอันหนึ่งที่มีการเคลื่อนไหวในสหรัฐอเมริกา มีการเผยแพร่ขึ้นในปี ค.ศ. 1993 เพื่อแก้ไขปัญหาการเติบโตของเมืองที่กระจายออกไปสู่บริเวณรอบนอกอย่างไร้ทิศทาง ปัญหาชีวิตสังคมอเมริกาที่ขาดจากกันปราศจากปฏิสัมพันธ์แม้อยู่บ้านติดกัน ปัญหาการแบ่งแยกทางเชื้อชาติ สีผิว รายได้ ปัญหาความเสื่อมโทรมของย่านใจกลางเมือง ตัวอย่างของแนวคิดนี้ ได้แก่ ชุมชนเมืองกลุ่มย่อยที่เชื่อมกันด้วยระบบขนส่งมวลชน (Transit-Oriented Development หรือ TOD) หน่วยชุมชนย่อยแบบประเพณี ((Traditional Neighborhood Development หรือ TND) ที่มีหลักการคล้ายคลึงกับ Compact city ในความพยายามที่จะทำให้เกิดการประหยัดพลังงานด้วยระบบที่พึ่งพาตนเองได้ หาวิธีการกำจัดหรือบำบัดของเสีย และพัฒนาระบบปรับอากาศโดยไม่สิ้นเปลืองทรัพยากร ลดการเดินทางด้วยวิธีต่างๆ เช่น ระยะเดินเท้าที่สะดวก โครงข่ายระบบถนนที่ชัดเจน ระบบคมนาคมขนส่งสาธารณะที่มีประสิทธิภาพ การใช้ประโยชน์ที่ดินแบบผสมมีความสมดุลทางกิจกรรม ที่อยู่อาศัยแทรกอยู่ในพื้นที่อื่นๆ และอยู่ใกล้พื้นที่ทำงาน เน้นความสำคัญของพื้นที่สาธารณะ ในบางชุมชนมีการออกแบบสถาปัตยกรรมแบบ Neo-Traditional เพื่อให้เกิดความเชื่อมโยงถึงบรรยากาศที่ดีของชุมชนย่อยที่เคยเป็นมาในอดีต เพื่อสร้างความรู้สึกที่คุ้นเคย หรือ Sense of Place ทำให้เกิดภาพลักษณ์ใหม่ของชุมชนเมืองที่สงบร่มเย็นและน่าอยู่ สอดคล้องกับทัศนคติของคนอเมริกันและมีคุณภาพชีวิตที่ดี สิทธิพร ภิรมย์รัตน์

(2550) ได้กล่าวถึงการวิพากษ์วิจารณ์ทั้ง 2 แนวคิดดังนี้ 1) เมืองทุกเมืองมีความแตกต่างในทุกๆ ด้าน เมืองกระชับไม่ใช่สูตรสำเร็จที่จะนำมาประยุกต์ใช้ได้ทุกเมืองในโลก 2) แนวความคิดเมืองกระชับนี้สวนทางกับแนวความคิดเมืองยุคใหม่ที่ต่อต้านอาคารสูง และหาทางลดความแออัดของเมืองโดยการกระจายตัวออกไปสู่ด้านนอกที่โล่งกว้างอยู่ 3) การเพิ่มความหนาแน่นของใจกลางเมืองจะทำให้ที่โล่งว่างกลางเมืองลดลง การจราจรและมลพิษจะเลวร้ายยิ่งขึ้น ไม่ประหยัดพลังงาน และไม่ทำให้สภาพแวดล้อมและคุณภาพชีวิตดีขึ้น (สิทธิพร ภิรมย์รัตน์, 2550)

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศกับการพัฒนาเมืองยั่งยืน

ประชากรโลกกว่าครึ่งอาศัยอยู่ในเมือง แต่เมืองกลับเป็นแหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจกหลักของโลก ด้วยจำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้นควบคู่กับเศรษฐกิจที่เติบโตอย่างรวดเร็ว นำไปสู่การใช้ทรัพยากรเกินขีดจำกัด ทำให้มนุษย์กำลังเผชิญหน้ากับผลกระทบจากภาวะโลกร้อน เมืองจึงถือเป็นอีกหนึ่งภาคส่วนที่ร่วมขับเคลื่อนให้โลกได้บรรลุเป้าหมายตามข้อตกลงปารีส ว่าด้วยการควบคุมอุณหภูมิขึ้นไม่เกิน 1.5 องศาเซลเซียสจากการลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (World wide fund of nature, 2018) ชุมชนเมืองทั่วโลกมีขั้นตอนการวางแผนเมืองเพื่อลดผลกระทบด้านสภาพแวดล้อมและสร้างพื้นที่เพื่อการมีสุขภาพที่ดีของคนในชุมชน โดยเป้าหมายการวางแผนเมืองจึงมุ่งเป้าในการมีชีวิตที่ดีโดยขับเคลื่อนให้เกิดการพัฒนาอย่างยั่งยืน ซึ่งเป็นการที่ชุมชนสามารถใช้แนวทางในการพัฒนาใหม่ๆ สามารถสร้างความสมดุลของการพัฒนาทั้งในเชิงนิเวศ ร่วมกับการพัฒนาด้านสังคม รวมถึงการยกระดับเศรษฐกิจของชุมชน เช่น การมองเป้าหมายในการพัฒนาเพื่อลดผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของโลกและสภาวะที่เกิดมลพิษในเมือง ประกอบกับการวางแผนเพื่อพัฒนาพื้นที่อย่างยั่งยืนมากขึ้น ซึ่งมีรายละเอียดครอบคลุมประเด็นต่างๆ (ภาวิณี เอี่ยมตระกูล, 2561) ดังนี้

1) การอนุรักษ์และรักษาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมในเขตพื้นที่เมือง การวางแผนต้องถือหลักของการอนุรักษ์และรักษาทรัพยากรธรรมชาติเป็นสำคัญ อันรวมถึงพื้นดิน น้ำ อากาศ พืชพันธุ์ และสัตว์ โดยต้องพยายามเริ่มจากการจัดลำดับความสำคัญจากขนาดเล็กๆ (Small scale) เพื่อสงวนรักษาคุณภาพของต้นน้ำ ระหว่างนั้นนำไปสู่ท่อขนาดใหญ่สำหรับส่งน้ำเพื่อการอุปโภคหรือบริโภคในบริเวณปลายน้ำซึ่งเป็นพื้นที่ขนาดใหญ่ในเมือง อันต้องคำนึงถึงการสงวนรักษาพื้นที่โล่งและพื้นที่ทางธรรมชาติ

2) การรักษาพื้นที่สีเขียว การวางแผนชุมชนเมืองนั้น ควรเน้นการพิจารณาเรื่องการลดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม และส่งเสริมการพัฒนาเมืองในแนวทางใหม่ เพื่อสร้างความยั่งยืนมาก

ขึ้นกับประชาชนที่อาศัยอยู่ในชุมชน รวมถึงต้องพยายามที่จะรักษาความเรียบง่ายและช่วยให้ประชาชนสามารถใช้พื้นที่เพื่อการเดินทาง โดยจักรยานมากกว่ารถยนต์ส่วนตัว หรือสร้างข้อกำหนดในการวางแผนสำหรับการสร้างอาคารประหยัดพลังงาน แม้ว่าสิ่งเหล่านี้สามารถลดการใช้พลังงานได้เล็กน้อย แต่เพื่อที่จะสามารถจัดการพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และลดการใช้พลังงานของอาคารในภาพรวมของเมืองได้มากขึ้น

3) มองการวางแผนให้เป็นภาพใหญ่ หลายๆ ชุมชนเมืองควรตระหนักในเรื่องการลดผลกระทบต่อปัญหาที่โลกกำลังเผชิญอยู่โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การลดผลกระทบด้านการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลก ซึ่งในหลายพื้นที่ได้วางแผนเพื่อลดพื้นที่ลาดเชิงเขาด้วยการสร้างพื้นที่สีเขียวให้มากขึ้น รวมถึงการบริโภคให้น้อยลงซึ่งทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดควรถูกใช้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น การใช้น้ำมันเชื้อเพลิง รวมถึงการลดมลพิษในระดับภูมิภาคและระดับโลก

โดยปัจจุบันแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับที่ 12 ได้มีเป้าหมายประเทศไทยในการพัฒนา โดยการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ชนบทไปสู่ความเป็นเมืองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเพื่อลดความแออัดของเมืองหลวงและเมืองหลัก อันเป็นการกระจายความเจริญสู่พื้นที่อื่นๆ จึงจำเป็นที่จะต้องมีการลงทุนโครงสร้างพื้นฐาน การจัดบริการสาธารณะเพื่อรองรับการเติบโตของเมือง การใช้ประโยชน์ของทรัพยากรท้องถิ่น ทั้งปัจจัยการผลิตและแรงงานไปสู่ภาคการค้า บริการ และอุตสาหกรรม ตลอดจนการแสวงหาเทคโนโลยีใหม่ๆ ที่จะช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ยังพบว่า ทั่วโลกได้ให้ความสำคัญกับปัญหาโลกร้อนและการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศเนื่องจากผลกระทบเริ่มส่งผลกระทบต่อเมืองใหญ่ๆ ทั่วโลก จึงเน้นประเด็นด้านการมีประสิทธิภาพเชิงนิเวศน์เศรษฐกิจ (Eco-Efficiency) เพื่อให้เมืองมีการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีแนวทางที่ทำให้เกิดความยั่งยืนของสิ่งแวดล้อมเมือง (Environmentally Sustainable Urbanization) คือ ในเมืองนั้นต้องลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมต่างๆ ภายในเมือง ลดผลกระทบที่อาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศที่มีความร้ายแรง และสร้างให้เกิดการปรับตัวของคนและเมืองในการลดความเสี่ยงจากภัยพิบัติที่อาจเกิดขึ้น พยายามลดการขยายตัวของเมืองอย่างไม่เป็นระเบียบ (Urban Sprawl) โดยสร้างให้เกิดเมืองกระชับ (Compact City) และส่งเสริมให้ผู้คนหันมาใช้ระบบขนส่งสาธารณะที่มีความทันสมัย ในขณะเดียวกันบริบทการพัฒนาของประเทศไทยในห้วงเวลาดังกล่าวเริ่มตอบรับกับกระแสประชาคมโลกโดยมีความพยายามที่จะตั้งหน่วยงานต่างๆ ที่มีหน้าที่รับผิดชอบในด้านนี้โดยเฉพาะ ซึ่งได้แก่ สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เป็นหน่วยประสานงานหลักของประเทศไทย (National Focal Point) ในการดำเนินงานได้มีการจัดทำ

กรอบแนวทางและตัวชี้วัดในการจัดการสิ่งแวดล้อมเมืองที่ยั่งยืน แต่เนื่องด้วยการประสานงานจำเป็นต้องเกิดความร่วมมือในทุกภาคส่วน ทำให้ผลสัมฤทธิ์ของแผนและนโยบายเกิดความท้าทายในการนำไปสู่กระบวนการปฏิบัติ (จิตรบุษบา มารมย์, 2560)

2.2 ข้อมูลและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมือง

ความหมายปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมือง (Urban Heat Island Phenomenon)

เกาะความร้อนเมือง หรือ Urban Heat Island คือความร้อนที่เกิดขึ้นในเมืองจากการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะของพื้นผิวและชั้นบรรยากาศจากการพัฒนาของเมือง ได้แก่การลดลงของพื้นที่สีเขียวและการเพิ่มขึ้นของสิ่งปลูกสร้างในเมือง (ประรินทร์ บุตรดี & สิริมาส เสงรัมย์, 2562) การศึกษาปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมืองได้ถูกกล่าวถึงโดยนักอุตุนิยมวิทยา Luke Howard ในหนังสือ The Climate of London ในปี ค.ศ. 1818 ซึ่งได้อธิบายความแตกต่างของอุณหภูมิในพื้นที่เมืองลอนดอนอบอุ่นกว่าในเวลากลางวันเมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่ชานเมือง และคาดการณ์ว่าสาเหตุเกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง และรูปแบบของผู้อยู่อาศัยในเมืองที่ทำให้เกิดความร้อนสะสมมากขึ้นจึงส่งผลกระทบต่อสภาพอากาศในเมือง ซึ่งการกักเก็บความร้อนนี้สามารถส่งผลกระทบต่อรูปแบบสภาพอากาศในเมืองได้ (Carrasco, 2024) เกาะความร้อนเมืองเป็นชื่อเรียกลักษณะภูมิอากาศ ซึ่งแสดงความแตกต่างของอุณหภูมิ (Landberg, 1981 อ้างถึงใน (ชนกฤต เทียนมณี, 2545)) มีลักษณะเป็นเส้นโค้งที่ใช้แสดงความแตกต่างด้านภูมิศาสตร์ที่มีความคล้ายคลึงกับรูปเกาะ เป็นความสัมพันธ์ของอุณหภูมิที่มีความอบอุ่นกับอุณหภูมิที่มีความเย็นอยู่ระหว่างในเมืองและพื้นที่ชนบทเมื่อพื้นที่เมืองเกิดการพัฒนา การเปลี่ยนแปลงได้ปรากฏขึ้นในพื้นที่ อาคาร ถนน และโครงสร้างพื้นฐานต่างๆ ถูกแทนที่ในพื้นที่เปิดโล่งและพื้นที่สีเขียวต่างๆ พื้นผิวดินที่เคยมีความชื้นและน้ำซึมผ่านได้ กลายเป็นพื้นที่ลาดแข็งและแห้งแล้ง การพัฒนาต่างๆ นำไปสู่การก่อตัวของเกาะความร้อนในเมือง ปรากฏการณ์ดังกล่าวส่งผลให้พื้นที่เขตเมืองที่มีประชากรหนึ่งล้านคนขึ้นไป อาจมีอุณหภูมิสูงกว่าพื้นที่ชานเมืองโดยรอบ 1 – 3 องศาเซลเซียส (1.8 – 5.4 °F) (Oke, 1997) นอกจากนี้ พื้นที่แหล่งน้ำขนาดใหญ่ ยังช่วยลดผลกระทบของเกาะความร้อนในเมืองได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Meng, Yan, Tian, & Wang, 2023) โดยสามารถอธิบายลักษณะพื้นฐานการเกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมืองได้ดังนี้

ตารางที่ 2 ลักษณะพื้นฐานการเกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมือง

Feature	Surface UHI	Atmospheric UHI
Temporal development	- Present at all times of the day and night - Most intense during the day and in the summer	- May be small or non-existent during the day - Most intense at night or predawn and in the winter
Peak Intensity (Most intense UHI conditions)	More spatial and temporal variation: - Day: 18 to 27°F (10 to 15°C) - Night: 9 to 18°F (5 to 10°C)	Less variation: - Day: -1.8 to 5.4°F (-1 to 3°C) - Night: 12.6 to 21.6°F (7 to 12°C)
Typical Identification Method	Indirect measurement: - Remote sensing	Direct measurement: - Fixed weather stations - Mobile traverses
Typical Depiction	- Thermal image	- Isotherm map - Temperature graph

ที่มา: (Basics, 2011)

1) เกาะความร้อนบนพื้นผิวเมือง (Surface Urban Heat Island) ในช่วงฤดูร้อน ความร้อนจากแสงอาทิตย์สามารถทำให้พื้นผิวเมืองที่สัมผัสโดยตรง เช่น หลังคา ทางเท้า มีอุณหภูมิสูงถึง 27 – 50 องศาเซลเซียส (50 – 90 °F) ซึ่งสูงกว่าอุณหภูมิอากาศทั่วไป ในขณะที่พื้นผิวได้รับเงาหรือพื้นที่ที่มีความชื้นมักอยู่ในสภาพแวดล้อมในเมืองมีอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิอากาศทั่วไป ลักษณะการเกิดเกาะความร้อนโดยทั่วไปจะแสดงให้เห็นทั้งในกลางวันและกลางคืน และมีแนวโน้มรุนแรงขึ้นระหว่างวันที่มีแสงอาทิตย์สูง โดยเฉลี่ยแล้วความแตกต่างของอุณหภูมิพื้นผิวระหว่างพื้นที่พัฒนาและพื้นที่ชานเมืองในช่วงกลางวัน คือ 10 – 15 องศาเซลเซียส ส่วนกลางคืน 5 – 10 องศาเซลเซียส (Voogt & Oke, 2003) โดยขนาดของเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมืองจะแตกต่างกันไปตามฤดูกาล จากการเปลี่ยนแปลงความเข้มของรังสีอาทิตย์ที่พื้นผิวได้รับ ตลอดจนลักษณะของพื้นผิวดินและสภาพภูมิอากาศ ทำให้เกาะความร้อนพื้นผิวเมืองมักเกิดขึ้นมากที่สุดในช่วงฤดูร้อนที่ท้องฟ้าโปร่งและลมสงบ ทำให้รังสีอาทิตย์ทะลุผ่านชั้นบรรยากาศกระทบพื้นผิวเมืองได้มาก และไม่มีกระแสลมพาความร้อนออกจากเมือง (Oke, 1982)

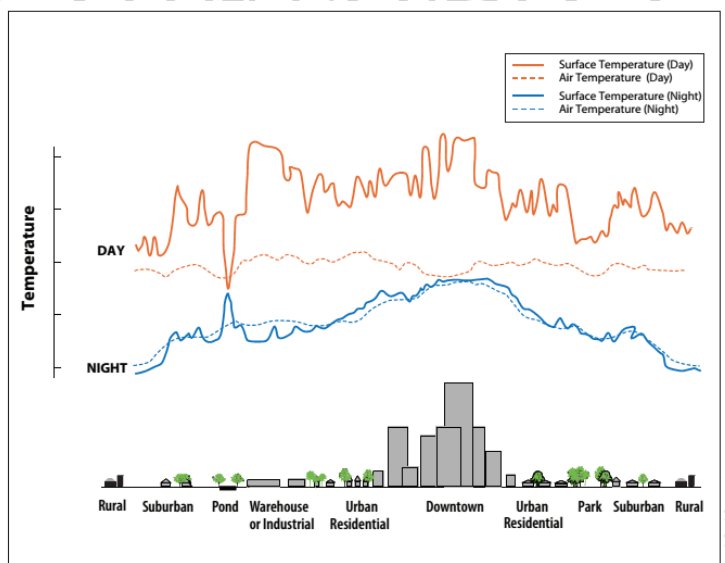
2) เกาะความร้อนชั้นบรรยากาศเมือง (Atmospheric Urban Heat Island) สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

- เกาะความร้อนบนชั้นเรือนยอดเมือง (Canopy layer urban heat islands) เกิดอยู่ในชั้นบรรยากาศที่ผู้คนอาศัยอยู่ นับจากพื้นดินถึงระดับของต้นไม้หรือหลังคา ซึ่งสามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระหว่างอุณหภูมิพื้นผิวในพื้นที่ขนาดเล็กและอุณหภูมิอากาศได้

- เกาะความร้อนที่สูงกว่าชั้นเรือนยอดเมือง (Boundary layer urban heat islands) เริ่มนับจากหลังคา ดาดฟ้า หรือเรือนยอดไม้ และขยายไปจนถึงจุดที่เขตเมืองที่ไม่มีอิทธิพลต่อชั้นบรรยากาศอีกต่อไป โดยส่วนมากขยายพื้นที่ออกไปไม่เกิน 1.5 กิโลเมตรจากพื้นผิวโลก

ความเข้มข้นของเกาะความร้อนชั้นบรรยากาศเมืองมีค่าสูงกว่าเกาะความร้อนพื้นผิวเมือง (Surface Urban Heat Island) ซึ่งค่าเฉลี่ยอุณหภูมิพื้นฐานในเมืองใหญ่อาจมีอุณหภูมิสูงกว่าพื้นที่ชานเมืองโดยรอบ 1 – 3 องศาเซลเซียส

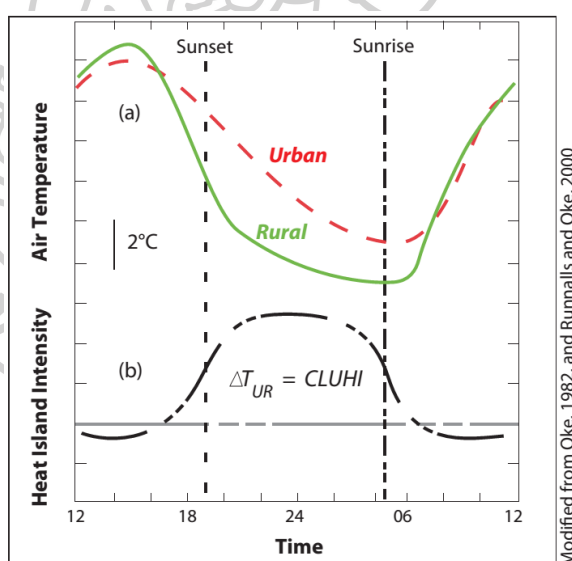
อุณหภูมิพื้นผิวไม่มีผลโดยตรงแต่มิ่นัยสำคัญต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอากาศ โดยเฉพาะในชั้นเรือนยอดซึ่งอยู่ใกล้กับพื้นผิว เช่น สวนสาธารณะ และพื้นที่เพาะปลูก ซึ่งโดยทั่วไปอุณหภูมิพื้นผิวที่เย็นกว่าทำให้อุณหภูมิอากาศเย็นลง ในทางกลับกันพื้นที่เมืองที่มีความหนาแน่นสูงส่งผลต่ออุณหภูมิที่สูงขึ้น (U.S. Environmental Protection Agency, 2008) อุณหภูมิพื้นผิวและชั้นบรรยากาศแตกต่างกันไปตามการใช้ประโยชน์ที่ดิน อุณหภูมิพื้นผิวแตกต่างจากอุณหภูมิอากาศในระหว่างวันแต่มีความคล้ายคลึงกันในเวลากลางคืน จากภาพที่ 4 อุณหภูมิพื้นผิวเหนือสระน้ำแสดงให้เห็นว่าพื้นผิวน้ำสามารถรักษาอุณหภูมิให้คงที่ทั้งกลางวันและกลางคืนเนื่องจากมีความจุความร้อนสูง (High heat capacity)



ภาพที่ 4 ความแปรปรวนของอุณหภูมิพื้นผิวและอุณหภูมิชั้นบรรยากาศ
ที่มา: (U.S. Environmental Protection Agency, 2008)

หมายเหตุ: อุณหภูมิในภาพไม่ได้แสดงค่าอุณหภูมิสัมบูรณ์ (Absolute temperature Value) หรือการวัดเกาะความร้อน ณ พื้นที่ใดพื้นที่หนึ่ง โดยอุณหภูมิจะแปรผันตามปัจจัยต่างๆ เช่น ฤดูกาล สภาพอากาศ ความชื้นของดวงอาทิตย์ และพืชคลุมดิน

เกาะความร้อนชั้นบรรยากาศเมืองเป็นผลจากอัตราการระบายความร้อนที่แตกต่างกันระหว่างพื้นที่เมืองและชนบทหรือบริเวณโดยรอบเมือง (a) อัตราอุณหภูมิที่ต่างกันชัดเจนที่สุดอยู่ในกลางวันและกลางคืนที่มีท้องฟ้าโปร่ง และพื้นที่ในชนบทสามารถลดอุณหภูมิลงได้เร็วกว่าพื้นที่ในเมือง โดยความแตกต่างระหว่างค่าอุณหภูมิอากาศในพื้นที่เมืองกับพื้นที่ชนบท เรียกว่า ค่าความเข้มข้นของเกาะความร้อนเมือง หรือ Urban heat island intensity (b) ค่าอุณหภูมิอากาศสูงสุดมักพบได้บริเวณใจกลางเมืองที่มีความหนาแน่นของกลุ่มอาคาร โดยทั่วไปจะมีความแตกต่างเพิ่มขึ้นในช่วงกลางวันถึงบ่าย และขึ้นสูงสุดในเวลาไม่กี่ชั่วโมงหลังพระอาทิตย์ตก บางกรณีเกาะความร้อนเมืองอาจไม่มีความเข้มข้นสูงสุดจนกระทั่งหลังพระอาทิตย์ตก (Basics, 2011)



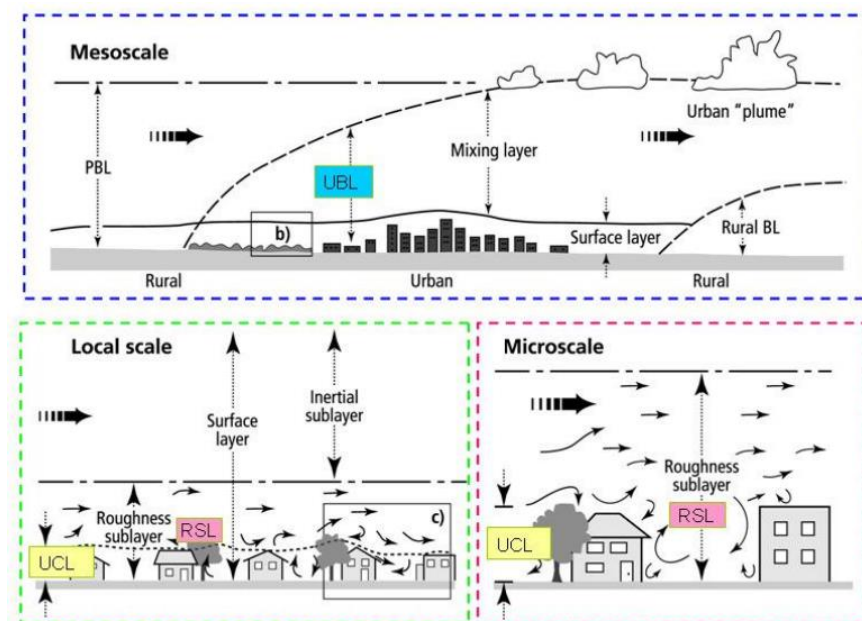
ภาพที่ 5 การเปลี่ยนแปลงของเกาะความร้อนรายวันในช่วงบรรยากาศท้องฟ้าปลอดโปร่งและลมสงบ
ที่มา: (Basics, 2011)

โดยสรุปแล้วปรากฏการณ์เกาะความร้อนบนพื้นผิวเมือง เป็นการศึกษาความแตกต่างของอุณหภูมิพื้นผิว ส่วนปรากฏการณ์เกาะความร้อนชั้นบรรยากาศเมือง เป็นการศึกษาความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศที่อยู่เหนือเมืองขึ้นไป ในการศึกษาครั้งนี้จึงเลือกศึกษาปรากฏการณ์เกาะความร้อนบนพื้นผิว

เมืองซึ่งอยู่ในระดับการใช้งานของมนุษย์ ที่สัมพันธ์กับการใช้ที่ดินประเภทต่างๆ และความเกี่ยวข้องกัน
โครงสร้างพื้นฐานสีเขียวในการบรรเทาผลกระทบจากปรากฏการณ์เกาะความร้อนบนพื้นผิวเมือง

การเกิดเกาะความร้อนเมืองในระดับต่างๆ (Urban heat at different scales)

Briony Norton และคณะ (2013) ได้รวบรวมข้อมูลของการเกิดเกาะความร้อนเมืองตาม
ขนาดของการผลิตและการกักเก็บความร้อนในพื้นที่เมือง ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญในการทำความเข้าใจที่
เกี่ยวกับเกาะความร้อนเมืองรวมถึงการปรับตัวเพื่อรองรับการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น อุณหภูมิทั่วเมือง
จะแตกต่างกันไปตามการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน การสร้างพื้นที่ถนนและ
ขนาดของย่านมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของจุดความร้อนหรือพื้นที่เสี่ยง (Hot-spots) การรับรู้ของผู้คน
เกี่ยวกับสภาพอากาศและอุณหภูมิส่วนใหญ่เกิดขึ้นในระดับจุลภาค (Microscale) ในชั้นบรรยากาศ
ระหว่างพื้นดินและด้านบนสุดของหลังคาหรือชั้นเรือนยอด (urban canopy layer: UCL) ซึ่งสภาพ
ภูมิอากาศในบริเวณดังกล่าวได้รับอิทธิพลจากสภาพแวดล้อมโดยรอบ เช่น สภาพสิ่งแวดล้อมบริเวณ
ถนน ชนิด สี วัสดุพื้นผิวที่อยู่ในพื้นที่ขนาดเล็กระหว่างอาคารไปจนถึงกลุ่มอาคาร เกิดการแลกเปลี่ยน
อากาศระหว่างพื้นที่ข้างเคียง (Norton et al., 2013) สภาพอากาศที่อยู่เหนือระดับหลังคาของอาคาร
ในพื้นที่เรียกว่า อากาศเหนือชั้นเรือนยอดเมือง (urban Boundary layer: UBL) ได้รับอิทธิพลจาก
สภาพสิ่งแวดล้อมพื้นผิวรวมกับการใช้งานของกิจกรรมในพื้นที่ ซึ่งมีการแบ่งขนาดพื้นที่ในแนวราบที่
ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงอากาศออกเป็น 4 ระดับ (Arnfield, 2003 อ้างถึงใน (วันเพ็ญ เจริญตระกูล
ปิติ, 2557)) ประกอบด้วย พื้นที่ขนาดเล็กมาก (Microscale) มีอาณาบริเวณที่เกี่ยวข้องกับผนังและ
พื้นผิวถนนหรือที่ว่างระหว่างอาคาร พื้นที่ขนาดเล็ก (Local scale) คือพื้นที่ของกลุ่มอาคารหลาย
อาคารรวมกันเป็นย่านเล็กๆ ในเมือง พื้นที่ขนาดกลาง (Mesoscale) คือพื้นที่ย่านเล็กๆ รวมกันเป็น
โซนการใช้ที่ดินในเมือง และพื้นที่ขนาดใหญ่ (Macroscale) คือพื้นที่เมืองที่รวมเอาพื้นที่ชนบทรอบ
นอกเข้าไว้ด้วย



ภาพที่ 6 ผลกระทบของเกาะความร้อนในเมืองที่แตกต่างกัน

ที่มา: (Norton et al., 2013)

วันเพ็ญ เจริญตระกูลปิติ (2557) ได้อธิบายถึงผลกระทบของเกาะความร้อนในเมืองที่แตกต่างกัน กล่าวคือในขณะที่ชั้นบรรยากาศในแนวตั้งของเมืองถูกแบ่งแยกโดยอิทธิพลของการไหลเวียนของลม โดยลมจากชนบทที่พัดเข้าสู่พื้นที่เมืองเป็นปัจจัยกำหนดความสูงของอากาศ ชั้นอากาศเหนือเรือนยอดหากแบ่งตามแนวตั้งสามารถแยกออกได้เป็น 3 ชั้น คือ จากระดับพื้นผิวขึ้นไปถึงระดับหลังคาของอาคาร ซึ่งในช่วงเวลาที่ลมอ่อนจะเกิดการถ่ายเทพลังงานจากพื้นที่ในระดับเล็กไปสู่พื้นที่ข้างเคียง รวมถึงลอยขึ้นไปผสมกับอากาศด้านบนซึ่งทำให้ชั้นอากาศในชั้นนี้สูงถึง 2.5 ถึง 3 เท่าของความสูงอาคารในพื้นที่ย่านนั้นเรียกว่า Roughness sublayer: RSL สูงขึ้นไปเหนือ Roughness sublayer คือ Surface layer เป็นผลรวมของพลังงานที่เกิดจากการผสมผสานกันของพื้นที่ขนาดเล็กหลายๆ พื้นที่รวมกัน และชั้นสุดท้ายคือชั้น Mixing layer เป็นผลรวมของพลังงานที่เกิดจากความแตกต่างของพื้นผิวในระดับกลางขึ้นไป ซึ่งชั้นนี้จะขยายตัวสูงขึ้นไปจนถึงส่วนที่สูงที่สุดของชั้นอากาศเหนือเรือนยอดเมือง (วันเพ็ญ เจริญตระกูลปิติ, 2557)

ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมือง

สาเหตุของการเกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนนั้น เกิดจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ส่องเข้ามาสู่ชั้นบรรยากาศของโลกเรานั้น อยู่ในรูปของการแผ่รังสี (Radiation) รังสีของดวงอาทิตย์ที่มีความยาวช่วงคลื่นที่ต่างกัน เมื่อพลังงานเข้าสู่ชั้นบรรยากาศโลก กระทับกับอะตอมของสสารที่มีขนาดและวัสดุ

ที่แตกต่างกัน ความยาวช่วงคลื่นของแต่ละโฟตอน จะสัมพันธ์กับขนาดและพื้นผิวของวัตถุที่ดูดกลืนไว้ บางส่วนสะท้อนกลับเมื่อกระทบเมฆหรือฝุ่นละอองในอากาศ ปริมาณการสะท้อนจะมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับชนิดของพื้นผิว (บุญยง รุจิโร, 2559) การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิพื้นผิวส่งผลกระทบต่อสภาพภูมิอากาศระดับจุลภาค (Microclimates) รวมถึงบริเวณพื้นผิว (Surface layer (building and land surfaces)) ชั้นเรือนยอด (Canopy layer (below the canopy of trees or in human scale)) และเหนือชั้นบรรยากาศ (Boundary layer (up to 1500 meters above the ground surface)) โดยปัจจัยที่สนับสนุนให้เกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนมี 4 ประการสำคัญ (Oke, 2006; วันเพ็ญ เจริญตระกูลปิติ, 2557) ได้แก่

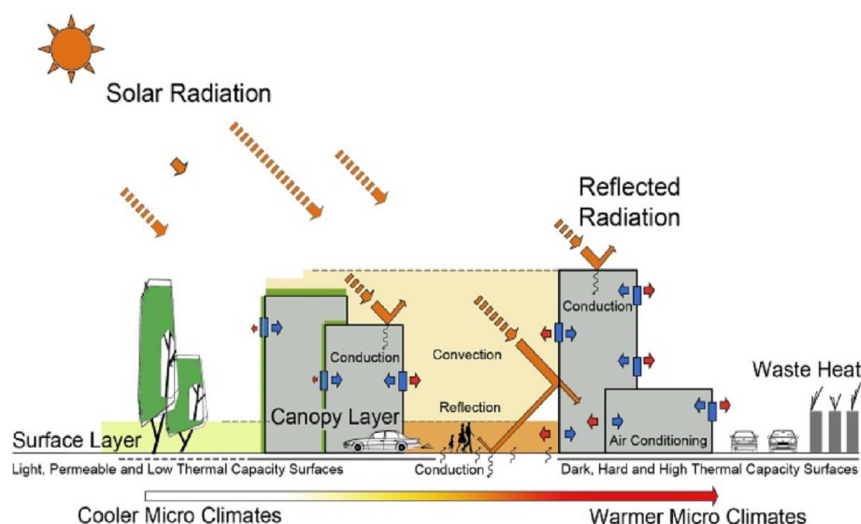
1) รูปทรงเรขาคณิตเมือง (Urban geometry) เป็นตัวบ่งชี้ความหนาแน่นของเมือง จากรูปทรง ขนาด ความสูง และที่ว่างระหว่างอาคาร ซึ่งส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมดุลการแผ่รังสีของพื้นผิว (Radiation balance) ในสภาพแวดล้อมเมือง เนื่องจากพลังงานแสงอาทิตย์มีลักษณะคลื่นสั้น (Ultraviolet) เมื่อกระทบวัตถุใดๆ จะมีลักษณะ 3 ประการคือ 1) พลังงานบางส่วนสะท้อนกลับสู่บรรยากาศในลักษณะคลื่นยาว 2) พลังงานบางส่วนถูกเก็บไว้ในตัววัตถุ และ 3) พลังงานบางส่วนถูกส่งต่อไปยังวัตถุข้างเคียง โดยเรขาคณิตเมืองส่งผลกระทบท่อร่มเงา และรูปแบบการไหลเวียนของลม มีผลต่อวัตถุที่สัมผัสแสงแดดและการกักเก็บความร้อนในมวลอุณหภาพ (Thermal mass) การแลกเปลี่ยนความร้อนที่ถูกกีดขวางระหว่างมวลอาคารและบรรยากาศที่อยู่ข้างเคียงที่สามารถเปลี่ยนความชื้นและรูปแบบการไหลของอากาศในหุบเขาเมือง (Urban canyons) ซึ่งหุบเขาเมืองเกิดจากการสะท้อนพลังงานแสงอาทิตย์คลื่นยาว (Infrared) ในพื้นที่ที่มีอาคารสูงจำนวนมาก และวางตัวขนานไปกับแนวถนนทั้งสองฝั่ง หากแนวถนนขวางกับทิศทางลมจะเพิ่มความสามารถในการกักเก็บความร้อนเนื่องจากไม่สามารถระบายออกจากหุบเขาเมืองได้ โดยเก็บพลังงานไว้ในผนังของอาคาร หากเกินความสามารถในการดูดซับความร้อนของผนังก็จะคายความร้อนออกสู่ชั้นบรรยากาศ ทำให้มีพลังงานความร้อนไหลเวียนอยู่ในบรรยากาศของพื้นที่ระหว่างอาคารมากกว่าพื้นที่โล่ง ยิ่งเพิ่มความแตกต่างของความร้อนระหว่างเมืองกับชนบทมากขึ้น

2) สิ่งปกคลุมเมืองและวัสดุพื้นผิว (Urban cover and surface materials) ซึ่งส่งผลต่อการดูดซับความร้อน และระยะเวลาการสะท้อนความร้อนในสภาพแวดล้อม คุณสมบัติทางอุณหพลศาสตร์ (Thermodynamics) สี พื้นผิว ความหนาแน่นของวัสดุ และการสัมผัสกับแสงแดด สามารถเปลี่ยนอัตราการถ่ายเทความร้อน (Heat flux) ในพื้นที่กลางแจ้งได้ ซึ่งสามารถอธิบายได้ 2 ลักษณะคือ คุณสมบัติในการดูดซับความร้อนของวัสดุพื้นผิว (Thermal Admittance) เช่น พื้นผิว

คอนกรีตสามารถดูดซับความร้อนในเวลากลางวันและปล่อยพลังงานความร้อนที่เก็บสะสมไว้ได้นาน หรือมากกว่าพื้นผิวธรรมชาติในเวลากลางคืน อีกคุณสมบัติหนึ่งที่ทำให้อุณหภูมิพื้นผิวระหว่างพื้นที่ เมืองและชนบทแตกต่างกันแม้ในช่วงเวลาหลังฝนตก คือความชื้นในพื้นผิวประเภทคอนกรีตและ ยางมะตอยจะถูกระเหยไปอย่างรวดเร็วในเวลาไม่กี่ชั่วโมง ในทางตรงกันข้ามพื้นผิวธรรมชาติจะเก็บกัก ความชื้นไว้ในตัวได้มากกว่า และจะค่อยๆ ใช้น้ำในระยะเวลาในการระเหยได้นานกว่าพื้นผิวสิ่งปลูกสร้าง ลักษณะดังกล่าวส่งผลต่อความต้องการพลังงานความร้อนที่ใช้ในการระเหยความชื้นของวัตถุ ในสิ่ง ปลูกสร้างมีความชื้นน้อยจึงต้องการปริมาณความร้อนในการระเหยน้อย พลังงานความร้อนที่เหลือจึง ถูกสะสมไว้มาก ในขณะที่วัตถุธรรมชาติมีความชื้นสูงจึงใช้พลังงานความร้อนจำนวนมากในการระเหย และเหลือความร้อนสะสมไว้น้อยกว่า ซึ่งทำให้ความร้อนสะสมในบรรยากาศของพื้นที่เมืองสูงกว่า ความร้อนสะสมในบรรยากาศของพื้นที่ชนบท (วันเพ็ญ เจริญตระกูลปิติ, 2557)

3) ภูมิทัศน์เมือง (Urban landscape) ซึ่งมีผลต่อน้ำและสมดุลการแลกเปลี่ยนความ ร้อนในสภาพแวดล้อมเมือง เมื่อเปรียบเทียบกับสภาพแวดล้อมทางธรรมชาติ กระบวนการสังเคราะห์ แสง (Photosynthesis) และการระเหย (Evaporation) ในพื้นที่สีเขียวเมืองสามารถช่วยลดอุณหภูมิ โดยรอบ การกระจายและความหนาแน่นส่งผลต่อความปั่นป่วนของอากาศ (air turbulence) ใน ระดับต่ำกว่าชั้นบรรยากาศ

4) การเป็นส่วนหนึ่งของระบบเมืองและกิจกรรมของมนุษย์ (Urban metabolism and anthropogenic (human made)) ความร้อนเหลือทิ้งในเมือง ส่วนใหญ่เกี่ยวข้องกับการใช้ พลังงานมวลรวมสำหรับเครื่องปรับอากาศในอาคาร และการขนส่งด้วยเครื่องยนต์ (Motorized transportation) ซึ่งเป็นผลที่เกิดจากการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ส่งเสริมให้อุณหภูมิในเมืองสูงกว่าชนบท



ภาพที่ 7 สาเหตุการเกิดเกาะความร้อนเมือง

ที่มา: (Sharifi & Lehmann, 2015)

นอกจากนี้ ยังมีปัจจัยภายนอกอื่นๆ ที่ส่งผลต่อการก่อตัวของเกาะความร้อนเมือง (Wong, Hogan, Rosenberg, & Denny, 2016; อนุศาสน์ สิทธิเวช, 2554) ดังนี้

ตารางที่ 3 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการก่อตัวของเกาะความร้อนเมือง

ปัจจัยที่ชุมชนกำลังให้ความสำคัญ Factors Communities are Focusing On
- การลดลงของพืชพรรณในเขตเมือง (Reduced vegetation in urban regions): ซึ่งส่งผลกระทบต่อความเย็นตามธรรมชาติที่มีอิทธิพลต่อร่มเงาและการคายระเหย (Evapotranspiration) คือการที่พืชสามารถคายน้ำสู่อากาศโดยรอบทำให้อุณหภูมิบริเวณใกล้เคียงลดลง - คุณสมบัติของวัสดุในเมือง (Properties of urban materials): ซึ่งมีส่วนในการดูดซับพลังงานแสงอาทิตย์ และกักเก็บความร้อน ทำให้พื้นผิวและอากาศเหนือพื้นผิวอุ่นขึ้นในเขตเมืองมากกว่าพื้นที่ในเขตชนบท แต่พื้นดินที่อยู่ภายใต้ร่มเงาช่วยลดส่งผลให้ความชื้นที่ช่วยให้เมืองเย็นลงก็น้อยตามไปด้วย
ปัจจัยที่ต้องพิจารณาในอนาคต Future Factors to Consider
- รูปทรงเรขาคณิตเมือง (Urban geometry): ความสูงและระยะห่างของอาคารมีผลต่อปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ได้รับ และการปล่อยออกมาจากโครงสร้างพื้นฐานของเมือง ซึ่งเรขาคณิตเมืองมีอิทธิพลต่อการไหลของลมและการดูดซับความร้อน ในเมืองที่มีความหนาแน่นเกิดสิ่งกีดขวางที่เป็นอุปสรรคต่อการไหลของลม จึงไม่สามารถระบายความร้อนได้เกิดเป็นกลุ่มความร้อนขนาดใหญ่เหนือเมือง - การปลดปล่อยความร้อนที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ (Anthropogenic heat emissions): มีส่วนทำให้อุณหภูมิอากาศสูงขึ้น ได้แก่ ความหนาแน่นของประชากร การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากรถยนต์ ความร้อนที่เกิดจากอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและระบบปรับอากาศภายในอาคาร และกระบวนการเมตาบอลิซึม (Metabolism) ซึ่งเป็นความร้อนที่ถูกปล่อยออกมาจากคนและสัตว์จากกิจกรรมต่างๆ

ปัจจัยเพิ่มเติม Additional Factors
• สภาพอากาศ (Weather): เงื่อนไขบางประการ เช่น ท้องฟ้าโปร่ง ลมสงบ ความเร็วลม ปริมาณเมฆที่ปกคลุม ความเสถียรของสภาพอากาศ และฤดูกาล สามารถส่งผลต่อการก่อตัวของเกาะความร้อนเมืองได้ • ที่ตั้งทางภูมิศาสตร์ (Geographic location): ที่ตั้งอยู่ใกล้แหล่งน้ำขนาดใหญ่และภูมิประเทศที่เป็นภูเขา สามารถส่งผลต่อรูปแบบของลมในท้องถิ่น และการก่อตัวของเกาะความร้อนเมืองได้

แม้ว่าปัจจุบันชุมชนสามารถลดการปลดปล่อยความร้อนจากกิจกรรมของมนุษย์ผ่านเทคโนโลยีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพทั้งในอาคารและยานพาหนะ ในการศึกษาครั้งนี้จึงมุ่งเน้นไปที่การปรับเปลี่ยนพืชคลุมดินและคุณสมบัติของพื้นผิววัสดุในเมือง เนื่องจากการยอมรับว่าเป็นกลยุทธ์หนึ่งในการลดเกาะความร้อนเมือง (Wong et al., 2016)

ผลกระทบของเกาะความร้อนเมือง

อุณหภูมิที่สูงขึ้นจากเกาะความร้อนเมืองโดยเฉพาะในช่วงฤดูร้อน ส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมและคุณภาพชีวิตของคนในชุมชน (U.S. Environmental Protection Agency, 2008) เช่น

1) การใช้พลังงาน (Energy Consumption) อุณหภูมิในฤดูร้อนที่เพิ่มขึ้น ส่งผลต่อความต้องการในการใช้พลังงานเพื่อระบายความร้อนและเพิ่มแรงดันให้กับสายส่งไฟฟ้า ในช่วงเวลาที่มีความต้องการสูงสุด ความต้องการไฟฟ้าในเมืองสูงขึ้น 1.5 – 2% สำหรับอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้น 1 °F (0.6 °C) ซึ่งการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในตัวเมืองอย่างต่อเนื่องตลอดหลายศตวรรษที่ผ่านมา มีการชดเชยความต้องการใช้ไฟฟ้า 5 – 10% สำหรับผลกระทบจากปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมือง

2) คุณภาพอากาศและก๊าซเรือนกระจก (Air Quality and Greenhouse Gases) เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นทำให้ความต้องการในการใช้พลังงานเพิ่มขึ้น ส่งผลต่อระดับมลพิษในอากาศและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงขึ้นตามไปด้วย ปัจจุบันกระแสไฟฟ้าส่วนใหญ่ในสหรัฐอเมริกาผลิตจากเชื้อเพลิงฟอสซิลที่เผาไหม้ (fossil fuel) ดังนั้น มลพิษจากโรงไฟฟ้าส่วนใหญ่ ได้แก่ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂), ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x), สสารฝุ่นละออง (PM), คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และปรอท (Hg) มลพิษเหล่านี้เป็นอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์และนำไปสู่ปัญหาคุณภาพอากาศ เช่น ฝนกรด นอกจากนี้โรงงานที่ใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลได้ปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยเฉพาะคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งมีส่วนสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก

3) สุขภาพและสภาวะสบาย (Human Health and Comfort) อุณหภูมิพื้นผิวกลางวันเพิ่มขึ้น ความเย็นที่ลดลงในเวลากลางคืน และระดับมลพิษทางอากาศที่สูงขึ้น เกี่ยวข้องกับ

ปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมือง ซึ่งส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ ก่อเกิดโรคต่างๆ เช่น ระบบทางเดินหายใจ (Respiratory difficulties) อาการตะคริวแดดและเพลียแดด (Heat cramps and exhaustion) โรคหลอดเลือดสมองจากความร้อนชนิดไม่ร้ายแรง (Non-fatal heat stroke) และการเสียชีวิตจากความร้อน (Heat-related mortality) เกาะความร้อนเมืองสามารถเพิ่มความรุนแรงจากผลกระทบของคลื่นความร้อน (Heat waves) ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่มีความผิดปกติของความร้อน ความชื้น และสภาพอากาศ

4) คุณภาพน้ำ (Water Quality) เกาะความร้อนบนพื้นผิวเมืองทำให้คุณภาพน้ำลดลง พื้นผิวทางเท้าและดาดฟ้ามีถึงอุณหภูมิ 50 - 90 °F (27 ถึง 50 °C) สูงกว่าอุณหภูมิอากาศ โดยถ่ายเทความร้อนส่วนเกินไปยังน้ำฝน (Stormwater) จากการศึกษาพบว่า การไหลบ่าของน้ำ (runoff) จากพื้นที่ในเมืองนั้นร้อนประมาณ 20 - 30 °F (11-17 °C) ร้อนกว่าน้ำจากพื้นที่ชนบทใกล้เคียงในฤดูร้อน เมื่ออุณหภูมิทางเท้าช่วงเที่ยงวันอยู่ที่ 20 - 35 °F (11-19 °C) เหนืออุณหภูมิอากาศ ช่วงเวลา ก่อนฝนตกทางเท้ามีโอกาสอุณหภูมิสูงขึ้น มีความแตกต่างระหว่างพื้นที่ในเมืองและชนบทอยู่ที่ 4 °F (2 °C) โดยทั่วไปน้ำฝนที่มีอุณหภูมิสูงจะระบายลงท่อระบายน้ำ และเพิ่มอุณหภูมิของน้ำเมื่อปล่อยสู่ลำธาร แม่น้ำ บ่อ และทะเลสาบ ดังเช่นการศึกษาในเมืองอาร์ลิงตัน รัฐเวอร์จิเนีย สหรัฐอเมริกา ได้บันทึกอุณหภูมิพื้นผิวน้ำเพิ่มขึ้นสูงถึง 8 °F (4 °C) ใน 40 นาทีหลังจากฝนตกหนักในช่วงฤดูร้อน (Wong et al., 2016)

2.3 แนวคิดและข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างพื้นฐานสีเขียว

ความหมายและแนวคิดของพื้นที่สีเขียว

สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (2560) ได้อธิบายถึงพื้นที่สีเขียว หรือ Green space หมายถึงพื้นที่ที่มีพรรณไม้เป็นองค์ประกอบหลัก และเมื่อกล่าวถึงพื้นที่สีเขียวยั่งยืน หมายถึงพื้นที่สีเขียวที่มีต้นไม้มากและได้รับการดูแลบำรุงรักษาให้มีความสมบูรณ์ และสามารถคงอยู่ต่อเนื่อง พื้นที่สีเขียวยั่งยืนในเมืองอาจเป็นพื้นที่ธรรมชาติหรือพื้นที่ที่มนุษย์สร้างขึ้น ในชุมชนเมือง ตั้งอยู่กลางแจ้งหรือกึ่งกลางแจ้ง ปกคลุมไปด้วยพืชพรรณบนดินที่ชุ่มน้ำได้ทั้งหมด หรือมีสิ่งก่อสร้างรวมอยู่ด้วยเป็นบางส่วน อาจเป็นพื้นที่สาธารณะหรือเอกชนที่ประชาชนเข้าไปใช้ประโยชน์ได้ ในทางผังเมืองพื้นที่สีเขียวถูกจัดให้อยู่ในประเภทของพื้นที่โล่ง (Open space) เป็นพื้นที่สำคัญอย่างยิ่งที่ทำให้เมืองมีความน่าอยู่ ช่วยสร้างสาธารณประโยชน์ให้แก่ชุมชน ทั้งในด้านสุขภาพ ความปลอดภัยและสวัสดิการ ช่วยปรับปรุงคุณภาพอากาศ ลดอุณหภูมิของเมือง ลดปรากฏการณ์เรือนกระจก กรองรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่แผ่จากชั้นบรรยากาศ ช่วยลดการพังทลายของดินริมแหล่งน้ำ

ช่วยลดความเร็วของลมหรือเปลี่ยนทิศทางลม ลดมลภาวะทางเสียง ส่งเสริมให้ระบบนิเวศสมบูรณ์ เป็นแหล่งอาหารและแหล่งที่อยู่อาศัยของสัตว์นานาชนิด (สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2560) พื้นที่สีเขียวมีหลายประเภท ทั้งนี้สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ได้กำหนดประเภทของพื้นที่สีเขียว แบ่งออกเป็น 6 ประเภท ตามคุณลักษณะและการใช้ประโยชน์ ในแนวทางปฏิบัติงานเพื่อขับเคลื่อนการจัดการพื้นที่สีเขียวอย่างยั่งยืน ระยะที่ 2 (พ.ศ. 2566 – 2570) (สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2565) สามารถจำแนกได้ดังนี้

- 1) พื้นที่สีเขียวสาธารณะ คือพื้นที่สีเขียวที่ประชาชนสามารถเข้าไปใช้บริการเพื่อคุณภาพชีวิต และในขณะเดียวกันก็ช่วยเสริมสร้างทัศนียภาพที่สวยงามให้แก่เมือง เช่น สวนสาธารณะ สนามเด็กเล่น สนามกีฬา สวนหย่อม ลายเมือง สวนสุขภาพ สวนพฤกษศาสตร์
- 2) พื้นที่สีเขียวอรรถประโยชน์ คือพื้นที่สีเขียวที่เสริมสร้างคุณค่าด้านสิ่งแวดล้อมและระบบนิเวศให้แก่ชุมชน ประกอบด้วย
 - 2.1) พื้นที่สีเขียวส่วนบุคคล เช่น สวนในโครงการพัฒนาของเอกชน สวนในบ้านและอาคารพักอาศัย
 - 2.2) พื้นที่สีเขียวในสถาบัน เช่น สถาบันราชการ สถาบันการศึกษาแหล่งประวัติศาสตร์
 - 2.3) พื้นที่สีเขียวในพื้นที่สาธารณูปการ เช่น พื้นที่ฝังกลบขยะ พื้นที่รอบรอบบำบัดน้ำเสีย และเขตท่าอากาศยาน
- 3) พื้นที่สีเขียวที่เป็นริ้วยาวตามแนวสาธารณูปการ เช่น พื้นที่ริมทางสัญจรทางบก บริเวณริมถนน เกาะกลางถนน เขตทางรถไฟ และพื้นที่ริมทางสัญจรทางน้ำ บริเวณริมแม่น้ำ คลองชลประทาน
- 4) พื้นที่สีเขียวเพื่อเศรษฐกิจของชุมชน เป็นพื้นที่สร้างมูลค่าทางเศรษฐกิจให้แก่เจ้าของ พร้อมทั้งมีคุณค่าด้านสิ่งแวดล้อม เป็นพื้นที่การผลิตทางเกษตรกรรม แหล่งอาหาร และการท่องเที่ยว เช่น พื้นที่ป่าเศรษฐกิจ พื้นที่สีเขียวที่เป็นแหล่งผลิตอาหารแก่ชุมชน ประเภท ไร่ นา สวนผลไม้ พื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ เป็นต้น
- 5) พื้นที่สีเขียวธรรมชาติ เป็นพื้นที่ที่ต้องได้รับการดูแลเพื่อรักษาสมดุลของระบบนิเวศ เป็นแหล่งที่อยู่อาศัยของพืชและสัตว์ เป็นแหล่งอาหาร รักษาสภาพบรรยากาศ สร้างความร่มรื่น เช่น พื้นที่ป่า ป่าธรรมชาติ พื้นที่สีเขียวบนเนินเขา พื้นที่ชุ่มน้ำ พรุ แหล่งน้ำ

6) พื้นที่สีเขียวที่ยังไม่มีการใช้ประโยชน์หรือรอการพัฒนา เช่น พื้นที่สีเขียวที่ปล่อยรกร้าง

ทั้งนี้ ในการพิจารณาเพิ่มเติมพื้นที่สีเขียวในเชิงกายภาพนั้น จำเป็นต้องพิจารณาด้านบทบาทหน้าที่ ที่ต้องคำนึงถึงความเหมาะสม สอดคล้องกับสภาพทางกายภาพ สุนทรียภาพ สิ่งแวดล้อมโดยรวม และการใช้งานอย่างมีคุณค่า (ศุภยวิชัยป้าไม้, 2547) โดยสามารถจำแนกได้ดังนี้

ตารางที่ 4 การจำแนกพื้นที่สีเขียวตามบทบาทหน้าที่

ลำดับ	ประเภท	ความหมาย
1	พื้นที่สีเขียวเพื่อคุณภาพชีวิตของชุมชน	พื้นที่สีเขียวในเขตเมืองเพื่อบริการชุมชน เพื่อคุณภาพชีวิตของชุมชน ได้แก่ พื้นที่สีเขียวในรูปแบบของสวนสาธารณะใจกลางเมืองที่ง่ายต่อการเข้าถึง อยู่ในย่านใจกลางเมืองที่หนาแน่น เป็นศูนย์กลางการเดินทาง เป็นพื้นที่ผ่อนคลายความหนาแน่นภายในพื้นที่ เป็นปอดใจกลางพื้นที่ที่คับคั่งเพื่อสร้างสมดุลด้านคุณภาพสิ่งแวดล้อมให้กับเมือง เป็นพื้นที่ที่สัมผัสและเข้าถึงได้ มีความเกี่ยวข้องโดยตรงกับวิถีชีวิตของชุมชน หมายรวมถึงสนามกีฬาเพื่อออกกำลังกาย สวนประดับเพื่อสุนทรียภาพของสิ่งแวดล้อมในบริเวณที่มีขนาดเล็ก ทั้งสัมผัสได้และสัมผัสไม่ได้ เป็นลักษณะการเสริมสภาพพื้นที่ให้ปลอดโปร่งเจริญตา สร้างบรรยากาศที่ดี โดยไม่จำเป็นต้องเข้าไปสัมผัสใช้สอยโดยตรง เป็นพื้นที่เชื่อมโยงระหว่างกิจกรรมภายในชุมชน
2	พื้นที่สีเขียวเพื่อคุณภาพสิ่งแวดล้อม และเพื่อพิทักษ์พื้นที่ธรรมชาติ แหล่งน้ำ และลำธาร	พื้นที่ว่างที่มีส่วนเชื่อมต่อกับพื้นที่แหล่งธรรมชาติ เช่น ทะเล แม่น้ำ บึง คู คลอง อันเป็นแหล่งธรรมชาติที่จำเป็นต้องได้ดูแลพิทักษ์ แทนการปล่อยให้เกิดการถูกล้ำหรือเข้าใช้พื้นที่ในลักษณะที่ไม่เหมาะสม เป็นการจัดการพื้นที่ให้สมดุลและเอื้อประโยชน์ต่อระบบเมือง ซึ่งพื้นที่ดังกล่าวสามารถอยู่ในรูปของพื้นที่แบบเปิดที่สามารถเข้าถึงได้ หรือพื้นที่ปิดที่สามารถชมได้จากภายนอกในลักษณะพื้นที่ทางผ่าน โดยไม่ต้องเข้าไปสัมผัสโดยตรง
3	พื้นที่สีเขียวเพื่อเศรษฐกิจชุมชน	พื้นที่สีเขียวที่ถูกกำหนดขึ้นในพื้นที่ว่างเอกชนหรือส่วนราชการ มีขนาดใหญ่หรือเล็กตามแต่กิจกรรมและกรณีที่เอื้อประโยชน์โดยตรงต่อการใช้งานหรือเข้าใช้บริการในพื้นที่ ทั้งที่เป็นส่วนตกแต่งเสริมสภาพบริเวณให้เกิดสุนทรียภาพและเป็นส่วนประกอบของกิจกรรมบริการโดยตรง เป็นลักษณะของการบริหารที่ว่างภายนอกอาคาร (Open space) เพื่อคุณภาพแวดล้อมเมือง และเพื่อประโยชน์ของกิจกรรมในขณะเดียวกัน จัดเป็นการเสริมสร้างคุณค่าด้านการใช้พื้นที่ในเมืองที่คำนึงถึงคุณภาพ

ลำดับ	ประเภท	ความหมาย
		สิ่งแวดล้อมที่ดี พื้นที่ดังกล่าวควรเป็นพื้นที่เปิดเพื่อการบริการชุมชน ซึ่งจะมีส่วนของพื้นที่ภาคเอกชน และพื้นที่ส่วนราชการ
4	พื้นที่สีเขียวริมทางสัญจรหรือเส้นทางสาธารณะ	เส้นทางสัญจร หรือเส้นทางสาธารณะ ควรได้รับการตกแต่งดูแลอย่างเป็นระเบียบ ทั้งส่วนที่เป็นของรัฐและเอกชน เพื่อเสริมสร้างคุณภาพสิ่งแวดล้อมและบริเวณโดยรอบ ที่อาจต้องใช้มาตรการด้านกฎหมายเข้าเสริมเพื่อให้เกิดผลในทางปฏิบัติ เช่น พื้นที่ถอยร่นในแต่ละอาคาร พื้นที่ว่าง ทั้งนี้ รวมถึงพื้นที่ติดทางสาธารณะขนาดใหญ่ หรือในพื้นที่อ้อมตามตรอกและซอย ซึ่งเป็นทั้งพื้นที่สีเขียวแบ่งแนวกรรมสิทธิ์ถือครองและการใช้งาน พื้นที่สีเขียวกันชนของเมือง ระหว่างพื้นที่สงบและพื้นที่เคลื่อนตัวของระบบเมือง พื้นที่เสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม และสร้างความปลอดภัยให้แก่ผู้ใช้งาน อีกทั้งเป็นพื้นที่ที่สามารถช่วยลดปัญหามลภาวะทางเสียงให้แก่เมือง จากพื้นที่สีเขียวในรูปแบบพุ่มไม้ ที่มีทรงพุ่มและใบหนาหรือละเอียด ทำหน้าที่เสมือนม่านกรองเสียงให้แก่พื้นที่ชั้นในของเมืองจนอาจได้เป็นอย่างดี

สำนักสิ่งแวดล้อมชุมชนและพื้นที่เฉพาะ กรุงเทพมหานคร (2557) ได้อธิบายถึงแนวคิดของพื้นที่สีเขียว ดังนี้ พื้นที่สีเขียวที่ยั่งยืนจะต้องมีต้นไม้ใหญ่หรือไม้ยืนต้นเป็นองค์ประกอบหลักของพื้นที่สีเขียว เนื่องจากไม้ยืนต้นมีอายุยืนนาน มีคุณค่าทางประวัติศาสตร์ทางจิตใจ และสามารถเสริมสร้างคุณค่าทางสิ่งแวดล้อมได้ดีกว่าไม้ล้มลุก ส่วนการพิจารณาคัดเลือกชนิดไม้ปลูกในพื้นที่สีเขียวที่ยั่งยืนนั้นควรเน้นบทบาทหน้าที่ของต้นไม้และความหลากหลายของชนิดพรรณเป็นสำคัญ ซึ่งควรพิจารณาเลือกไม้ท้องถิ่นมากกว่าไม้ต่างถิ่นโดยใช้ตามคำจำกัดความ คือ พื้นที่สีเขียวที่ยั่งยืน หมายถึง พื้นที่สีเขียวที่มีไม้ยืนต้นใหญ่ขนาดวัดโดยรอบไม่ต่ำกว่า 20 เซนติเมตร เป็นองค์ประกอบหลักจำนวนของต้นไม้ไม่น้อยกว่า 16 ต้นต่อไร่ ซึ่งทำให้ความเป็นพื้นที่สีเขียวของพื้นที่นั้นอยู่ได้ยาวนาน เป็นพื้นที่เป้าหมายของการพัฒนาพื้นที่สีเขียวในเมืองอย่างยั่งยืน และ พื้นที่สีเขียวในเมือง หมายถึง พื้นที่โล่งว่างในเขตเทศบาล ซึ่งมีพืชพรรณเป็นองค์ประกอบหลัก ได้รับการจัดการตามหลักวิชาวนวัฒนวิทยา และหลักการทางภูมิสถาปัตยกรรม เพื่อเสริมสร้างภูมิทัศน์ให้เอื้ออำนวยต่อการพักผ่อนหย่อนใจและเพื่อเสริมสภาพแวดล้อมของเมือง อันจะทำให้ชุมชนเมืองเป็นเมืองสีเขียวที่ร่มรื่นสวยงามและน่าอยู่ตลอดไป ทั้งนี้ อาจจะเป็นที่ดินของรัฐ เอกชน หรือที่ดินประเภทพิเศษก็ได้ โดยไม่ได้อ้างถึงพื้นที่ธรรมชาติ อันได้แก่ แม่น้ำ คูคลอง หนอง บึง ภูเขา และป่าไม้ เนื่องจากพื้นที่เหล่านี้ควรได้รับการ

ปกป้องและอนุรักษ์ให้คงอยู่ตามธรรมชาติตลอดไปโดยไม่มีการพัฒนาเพื่อประโยชน์ด้านอื่นๆ” (สำนักสิ่งแวดล้อมชุมชนและพื้นที่เฉพาะ, 2557)

ความหมายและแนวคิดของโครงสร้างพื้นฐานสีเขียว (Green Infrastructures)

นิคม บุญญานุสิทธิ์ และคณะ (2558) ได้อธิบายความหมายและแนวคิดของโครงสร้างพื้นฐานสีเขียว ดังนี้ โครงสร้างพื้นฐาน หมายถึง สิ่งปลูกสร้างหรือระบบที่รองรับหรือเป็นพื้นฐานของชุมชนที่ขยายตัวอย่างต่อเนื่อง การก่อสร้างโครงสร้างพื้นฐานของไทยในอดีต เป็นการปรับปรุงสภาพแวดล้อมเพื่อเอื้อต่อกิจกรรม และความเชื่อของสังคมเกษตรกรรม ส่วนโครงสร้างพื้นฐานเขียว คือ พื้นที่สีเขียวหรือพื้นที่แหล่งน้ำที่เชื่อมโยงถึงกันเป็นเครือข่าย ที่มีการออกแบบวางผังและการจัดการคุณค่าของทรัพยากรธรรมชาติและความสัมพันธ์ของระบบนิเวศเมือง (นิคม บุญญานุสิทธิ์, Kung, & Lin, 2558) รูปแบบการวางผังเมืองเพื่อการอนุรักษ์เกิดขึ้นในสหรัฐอเมริกาหลายรูปแบบในช่วงที่ผ่านมา โดยโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวเป็นศัพท์ด้านการอนุรักษ์พลังงาน สิ่งแวดล้อมภูมิทัศน์ และการออกแบบกายภาพ ในช่วงคริสต์ศตวรรษที่ 20 โดยมีพัฒนาการของแนวทางในการอนุรักษ์พื้นที่ของท้องถิ่นในพื้นที่สหรัฐอเมริกา (นิคม บุญญานุสิทธิ์, 2557) ดังนี้

ตารางที่ 5 พัฒนาการของแนวทางในการอนุรักษ์พื้นที่ของท้องถิ่นในพื้นที่สหรัฐอเมริกา

ช่วงเวลา	รูปแบบ	เครื่องมือที่ใช้	วัตถุประสงค์
<1980	Park and recreation planning การออกแบบสวนสาธารณะ และพื้นที่พักผ่อนหย่อนใจ	การซื้อที่ดิน การวางแผน และการจัดการ สวนสาธารณะ	เพื่อสร้างพื้นที่เพื่อการพักผ่อน หย่อนใจ เพื่อสร้างมุมมองที่ สวยงามให้กับพื้นที่
1980s	รูปแบบ Open space planning การออกแบบพื้นที่เปิดโล่ง	การซื้อที่ดิน การรอนสิทธิใน การใช้ประโยชน์ที่ดิน การ วางแผน และการบริหาร จัดการสวนสาธารณะ	เพื่อสร้างพื้นที่เพื่อการออกกำลังกาย พักผ่อนหย่อนใจ เพื่อสร้าง มุมมองที่สวยงามให้กับพื้นที่ เพื่อ อนุรักษ์พื้นที่เพื่อการเกษตรกรรม และพื้นที่ป่าในเมือง
1990s	Greenways and Open space planning การวางแผนเส้นทางสีเขียว และพื้นที่เปิดโล่ง	การซื้อที่ดิน การรอนสิทธิใน การใช้ประโยชน์ที่ดิน การ กำหนดบริเวณที่ถูกน้ำท่วม การวางแผน และการบริหาร จัดการสวนสาธารณะ	เพื่อสร้างพื้นที่เพื่อการออกกำลังกาย พักผ่อนหย่อนใจ เพื่อสร้าง มุมมองที่สวยงามให้กับพื้นที่ เพื่อ อนุรักษ์พื้นที่เพื่อการเกษตรกรรม และพื้นที่ป่าในเมืองและสัตว์พื้นถิ่น
2000+	Green infrastructure โครงสร้างพื้นฐานสีเขียว	การซื้อที่ดิน การรอนสิทธิใน การใช้ประโยชน์ที่ดิน การ	เพื่อสร้างศูนย์กลางและการ เชื่อมต่อ พื้นที่เพื่อการออกกำลังกาย

ช่วงเวลา	รูปแบบ	เครื่องมือที่ใช้	วัตถุประสงค์
		จัดการพื้นที่น้ำท่วม การ เติบโตอย่างชาญฉลาด การ พัฒนาพื้นที่เพื่อการอนุรักษ์ ความร่วมมือกับเจ้าของที่ดิน การลงทุนในที่ดิน	กาย พักผ่อนหย่อนใจ เพื่อสร้าง มุมมองที่สวยงามให้กับพื้นที่ เพื่อ อนุรักษ์พื้นที่เพื่อการเกษตรกรรม และพื้นที่ป่าในเมืองและสัตว์พื้นถิ่น รวมไปถึงการสร้างระบบนิเวศใน ระดับภูมิภาคและระดับประเทศ โดยบูรณาการเข้ากับการบริหาร จัดการพื้นที่เพื่อการอนุรักษ์ และ พื้นที่เพื่อการพัฒนา ในขั้นตอนของ การวางแผนการใช้ประโยชน์ที่ดิน

ทั้งนี้ คำว่า “โครงสร้างพื้นฐานสีเขียว” มีครั้งแรกในปี ค.ศ. 1994 ในรายงานของหน่วยงานรัฐบาลรัฐฟลอริดา เกี่ยวกับกลยุทธ์ในการอนุรักษ์ที่ดิน แสดงให้เห็นถึงความสำคัญกับระบบธรรมชาติอย่างเท่าเทียมกับโครงสร้างพื้นฐานทางวิศวกรรมทั่วไป แนวคิดนี้มุ่งหมายเพื่อส่งเสริมให้ประชาชนตระหนักถึงความสำคัญของการอนุรักษ์และฟื้นฟูระบบธรรมชาติ ในกระบวนการวางแผนและการออกแบบ (นิคม บุญญานุสิทธิ์ et al., 2558) อีกทั้ง โครงสร้างพื้นฐานสีเขียว หมายรวมถึงหลังคาเขียว (Green roof) ทางเท้าที่น้ำซึมผ่านได้ (Permeable pavements) และสวนฝน (Rain gardens) ช่วยลดโอกาสเกิดน้ำท่วมโดยการดูดซับและกักเก็บน้ำฝน โครงสร้างพื้นฐานสีเขียวช่วยเพิ่มความหลากหลายทางชีวภาพในเมืองโดยทำหน้าที่เป็นที่อยู่อาศัยของพืชและสัตว์หลากหลายสายพันธุ์ ช่วยสร้างระบบนิเวศในเมืองที่มีความสมดุลทางชีวภาพและมีความยืดหยุ่นมากยิ่งขึ้น (Pramanik, Kumar, & Paramanik, 2024)

Benedict และ McMahon (2012) ได้ให้คำจำกัดความของโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวว่า “Green infrastructure as an interconnected network of natural are and other open space that conserves natural ecosystem values and functions, sustains clean air and water, and provides a wide array of benefits of people and wildlife. Used in this context, green infrastructure is the ecological framework for environmental, social, and economic health...” (Benedict & McMahon, 2012)

โครงสร้างพื้นฐานสีเขียว คือ โครงข่ายความสัมพันธ์ของพื้นที่ทางธรรมชาติที่เชื่อมโยงถึงกันกับพื้นที่เปิดโล่งอื่นๆ ที่ทำหน้าที่รักษาคุณค่าและประโยชน์ใช้สอยของระบบนิเวศทางธรรมชาติ ดำรง

ไว้ซึ่งอากาศและน้ำที่บริสุทธิ์ และให้ประโยชน์ที่หลากหลายแก่มนุษย์และสัตว์ป่า โครงสร้างพื้นฐานสีเขียวเป็นกรอบของนิเวศวิทยาของสิ่งแวดล้อม สังคม และสุขภาพทางเศรษฐกิจ

สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (2560) ได้ให้นิยามว่า โครงสร้างพื้นฐานสีเขียว คือ โครงข่ายพื้นที่ธรรมชาติ หรือพื้นที่กึ่งธรรมชาติคุณภาพสูง ที่ได้รับการออกแบบและจัดการเพื่อก่อให้เกิดประโยชน์ด้านนิเวศบริการ (Ecosystem services) และการปกป้องระบบนิเวศ ทั้งในพื้นที่ตัวเมืองและพื้นที่ชนบท โครงสร้างพื้นฐานสีเขียว เปรียบเสมือนโครงสร้างเชิงพื้นที่ ที่นำเอาประโยชน์จากธรรมชาติมาสู่ประชาชน ลักษณะสำคัญของ โครงสร้างพื้นฐานสีเขียว คือ การสร้างนวัตกรรมในการพัฒนา และใช้ประโยชน์จากโครงสร้างพื้นฐานเมืองในลักษณะที่มีการเอื้อประโยชน์ที่หลากหลาย เช่น การสร้างสวนลอยฟ้า และสวนแนวตั้ง นอกจากช่วยเพิ่มความสวยงามของสถานที่ ยังช่วยลดความร้อนจากแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบลงบนอาคาร แนวคิดโครงสร้างพื้นฐานสีเขียว ประกอบด้วยพัฒนาองค์ประกอบ 4 ส่วน ได้แก่ 1) อาคาร (Green roofs, Green wall) 2) ส่วนประกอบโครงสร้าง (Pervious pavements, Perforated pipe and Overflow inlets) 3) พื้นดิน และการใช้พื้นดิน (Bioretention, Green Streets, Rain Gardens) 4) การจัดการน้ำ (Condensate harvesting, Rain harvesting, Grey water harvesting) (สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2560)

นิคม บุญญานุสิทธิ์ (2557) ได้ให้นิยามโครงสร้างพื้นฐานสีเขียว คือ โครงข่ายที่มีความเชื่อมโยงต่อเนื่องกันเป็นประโยชน์แก่มนุษย์ในด้านสวัสดิการและคุณภาพชีวิต เป็นประโยชน์ต่อสัตว์และพืชพันธุ์พื้นถิ่นในด้านการดำรงชีวิตและสืบทอดเผ่าพันธุ์ มีประโยชน์ต่อสภาพแวดล้อมในพื้นที่เมือง ทั้งเรื่องการลดมลพิษในอากาศ การรักษาคุณภาพน้ำ การลดอุณหภูมิในพื้นที่เมือง และรักษาความหลากหลายทางชีวภาพ อีกทั้งโครงสร้างพื้นฐานสีเขียว ยังมีศักยภาพด้านภัยพิบัติอันเนื่องมาจากภูมิอากาศเปลี่ยนแปลง เช่น น้ำท่วม น้ำแล้ง ที่เป็นปัญหาสำคัญของหลายท้องถิ่นในประเทศไทย (นิคม บุญญานุสิทธิ์, 2557)

สิรินทรา วัฒนโธ (2012) ได้ให้นิยามโครงสร้างพื้นฐานสีเขียว (green infrastructure) ว่าเป็นพื้นที่สีเขียวที่เชื่อมโยงถึงกัน เป็นเครือข่ายที่มีการออกแบบวางผัง และการจัดการคุณค่าของทรัพยากรธรรมชาติและความสัมพันธ์ของระบบนิเวศเมือง โครงสร้างพื้นฐานสีเขียวเป็นเครือข่ายที่ควรมีความยั่งยืนและสมควรได้รับการปกป้องในระยะยาว จากการขยายตัวของเมืองที่มีการเติบโตอย่างรวดเร็ว เช่น กรุงเทพมหานคร การพัฒนาเมืองอย่างที่เป็นอยู่ทำให้เราลืมข้อดีของความเป็นอยู่ที่เป็นวัฒนธรรมในอดีต ปัจจุบันแม่น้ำลำคลองได้ถูกทดแทนด้วยถนน และเรือถูกทดแทนด้วยรถยนต์

การพัฒนาเมืองที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและไร้ทิศทาง ไม่มีการวางแผนเพื่อการใช้โครงสร้างพื้นฐานสีเขียวในอนาคต ทำให้โครงสร้างพื้นฐานสีเขียวที่มีอยู่ถูกละเลย ไม่มีการใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้น จึงควรมีแนวความคิดในการพัฒนาเมือง โดยนำโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวมาใช้อย่างผสมผสานเพื่อให้เกิดเป็นเป็นเครือข่ายพื้นที่สีเขียวที่สามารถเป็นทำหน้าที่ดูแลเมืองได้อย่างยั่งยืนต่อไป (Vanno S., 2012)

จากการศึกษาข้างต้น สามารถสรุปนิยามของโครงสร้างพื้นฐานสีเขียว คือ โครงข่ายความสัมพันธ์ของพื้นที่สีเขียวและพื้นที่ทางธรรมชาติที่เชื่อมโยงถึงกันกับพื้นที่เปิดโล่งอื่นๆ ที่ทำหน้าที่ควบคุมพื้นที่ตามคุณลักษณะและการใช้ประโยชน์ของระบบนิเวศทางธรรมชาติที่แตกต่างกันไป ให้ประโยชน์ที่หลากหลายแก่สิ่งมีชีวิต และมีส่วนช่วยในการลดผลกระทบต่อการเกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมือง

Benedict และ McMahon (2002) ได้สรุปหลักการ กลยุทธ์ และกรอบแนวคิดสำหรับการอนุรักษ์ที่สามารถใช้ประโยชน์พื้นที่ได้อย่างยั่งยืน หลักการเหล่านี้เป็นเกณฑ์มาตรฐานในการผสมผสานแนวคิดโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวในการใช้ประโยชน์ที่ดินและแผนนโยบายการพัฒนาเศรษฐกิจ (Benedict & McMahon, 2002) โดยมีรายละเอียดดังนี้

Principle 1: Green infrastructure should function as the framework for conservation and development โครงสร้างพื้นฐานสีเขียวควรทำหน้าที่เป็นกรอบเพื่อการอนุรักษ์และพัฒนา โดยโครงการและนโยบายของรัฐที่เกี่ยวข้องควรคำนึงถึงกรอบแนวคิดโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวเพื่อการอนุรักษ์ ที่ชุมชนสามารถวางแผนเพื่อเชื่อมโยงระบบพื้นที่สีเขียวได้ การวางแผนด้วยกรอบโครงสร้างพื้นฐานสีเขียว ช่วยลดผลกระทบที่ไม่พึงประสงค์จากการเติบโตอย่างรวดเร็วของหน้าที่ระบบนิเวศ (Ecosystem functions) และระบบนิเวศบริการ เช่น การหยุดชะงักเส้นทางการย้ายถิ่นของสัตว์ป่า หรือการสูญเสียพื้นที่ชายฝั่งที่ดูดซับสารอาหาร

Principle 2: Design and plan green infrastructure before development การออกแบบและวางแผนโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวก่อนการพัฒนาโครงการ เนื่องจากการฟื้นฟูระบบธรรมชาตินั้นสิ้นเปลืองกว่าการป้องกันการพัฒนาพื้นที่ ที่ดินและพื้นที่ชุ่มน้ำที่มนุษย์สร้างขึ้นมักไม่เป็นผลดีกับธรรมชาติในระยะยาว หากมีการวางแผนตามกรอบของโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวจะเป็นส่วนสำคัญในการจำกัด และปกป้องศูนย์กลางของระบบนิเวศ และการเชื่อมโยงทางธรรมชาติที่สำคัญ

Principle 3: Linkage is key การเชื่อมโยงคือสิ่งสำคัญ ผลลัพธ์ที่ต้องการสำหรับโครงสร้างพื้นฐานสีเขียว คือ โครงข่ายของพื้นที่สีเขียวที่เชื่อมโยงทางกายภาพ ทำหน้าที่เป็นภาพรวมของระบบนิเวศทั้งหมด รวมถึงความเชื่อมโยงระหว่างหน่วยงานต่างๆ ทั้งภาครัฐและเอกชน

Principle 4: Green infrastructure functions across jurisdictions and at different scales หน้าที่ของโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวผ่านการควบคุมในพื้นที่ที่แตกต่างกัน ต้องมีการออกแบบระบบโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวเพื่อเชื่อมต่อผ่านเมือง ชานเมือง ชนบท และที่รกร้างว่างเปล่า และเพื่อรวมองค์ประกอบของพื้นที่สีเขียวในระดับเมือง ภูมิภาค ชุมชน และกลุ่มพื้นที่ รวมเข้าด้วยกันเพื่อเป็นระบบนิเวศเดียวกัน ระบบโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวไม่จำเป็นต้องเป็นพื้นที่เฉพาะหรือมีการระบุความเป็นเจ้าของ ทุกพื้นที่ที่สามารถมีบทบาทสำคัญในระบบพื้นที่สีเขียวได้

Principle 5: Green infrastructure is grounded in sound science and land use planning theories and practices โครงสร้างพื้นฐานสีเขียวต้องตั้งอยู่บนพื้นฐานทางวิทยาศาสตร์ และทฤษฎีการวางแผนการใช้ประโยชน์ที่ดิน ประกอบสาขาวิชาว่าด้วยการอนุรักษ์ชีววิทยาภูมิทัศน์ นิเวศวิทยาการวางแผนเมืองและการวางแผนภาค ภูมิสถาปัตยกรรม ภูมิศาสตร์และวิศวกรรมโยธา นำไปสู่ความสำเร็จในการการออกแบบและการวางแผนระบบโครงสร้างพื้นฐานสีเขียว ดังนั้นการมีส่วนร่วมจากหลายสาขาวิชาและผู้เชี่ยวชาญแขนงต่างๆ และข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ที่ทันสมัยจะเป็นประโยชน์ในการดำเนินงานร่วมกัน

Principle 6: Green infrastructure is a critical public investment โครงสร้างพื้นฐานสีเขียวเป็นการลงทุนโครงการสาธารณะที่สำคัญ ระบบพื้นที่สีเขียวที่เชื่อมโยงถึงกันเป็นประโยชน์ต่อผู้คน สัตว์ป่า และ เศรษฐกิจ การวางแผนกลยุทธ์ในโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวจะช่วยลดความจำเป็นในการใช้งบประมาณสำหรับโครงสร้างพื้นฐานทั่วไป

Principle 7: Green infrastructure engages key partners and involves diverse stakeholders โครงสร้างพื้นฐานสีเขียวเกี่ยวข้องกับผู้มีส่วนได้ส่วนเสียที่หลากหลาย ผู้มีส่วนได้เสียมีความต้องการโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวที่หลากหลาย ดังนั้นเพื่อให้ประสบความสำเร็จต้องมีความร่วมมือและสร้างเครือข่ายระหว่างองค์กรทั้งภาครัฐและเอกชน

ภาวิณี อินชมพู่ และสปีสิริ ศรีธัญรัตน์ (2017) ได้รวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ศักยภาพของพื้นที่ในการทำโครงข่ายพื้นที่สีเขียวในกรุงเทพมหานคร (Inchompoo & Srithanyarat, 2017) ผ่านกรอบแนวคิดดังนี้

1) การเชื่อมต่อ (Connectivity) กรุงเทพมหานครเป็นเมืองที่มีเครือข่ายคมนาคมที่ซับซ้อน จึงควรเชื่อมต่อโครงข่ายคมนาคมและโครงข่ายสิ่งแวดล้อมเข้าด้วยกัน ส่งเสริมการเชื่อมต่อของระบบทางจักรยานและทางเดินเท้า ทั้งในระดับพื้นดินและยกระดับ

2) การบริการโครงสร้างพื้นฐานสีเขียว (Green Infrastructure Service) คือการส่งเสริมให้มีการพิจารณานำพื้นที่โครงสร้างพื้นฐานต่างๆ มาเป็นส่วนหนึ่งของโครงข่าย และพัฒนาระบบสาธารณูปโภคและสาธารณูปการที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เช่น ระบบระบายน้ำเชิงชีวภาพ เทคโนโลยีพลังงานสะอาด

3) ประโยชน์ทางสิ่งแวดล้อม (Environment Benefits) การพัฒนาโครงข่ายพื้นที่สีเขียวควรเน้นการลดมลภาวะทางน้ำและอากาศ ส่งเสริมให้เกิดความหลากหลายทางชีวภาพ ลดปัญหาเกาะความร้อน เพิ่มสถานะสบายในการใช้ทางเท้าในเมือง

4) ความงามดึงดูดของเมือง (Urban Attractiveness) การพัฒนาให้พื้นที่โครงข่ายเกิดความงามสดชื่นตามแนวถนนและเส้นทาง ปรับสภาวะให้ผู้เดินทางในเมืองมีสุขภาวะที่ดี

5) ความเป็นไปได้ (Possibility) ความเป็นไปได้ในเชิงกายภาพ สิ่งแวดล้อม การเงิน กฎหมาย สังคม และเทคโนโลยี เป็นสิ่งจำเป็นที่ต้องพิจารณาเพื่อแก้ปัญหาความเป็นไปได้ในระบบบริหารที่ซับซ้อน ขาดผู้ควบคุมทิศทางการพัฒนาของแต่ละหน่วยงาน การไม่ปฏิบัติตามกฎหมายหรือกฎหมายที่มีอยู่ไม่เอื้อและส่งเสริมการพัฒนาโครงข่ายสีเขียว

6) การอนุรักษ์วัฒนธรรม (Cultural Preservation) ในพื้นที่อนุรักษ์ต้องมีการพิจารณาออกแบบรายละเอียดให้สอดคล้องผสมผสานหรือส่งเสริมเอกลักษณ์วัฒนธรรม

7) การมีส่วนร่วมของภาคเอกชน (Private Sector Corporation) ส่งเสริมให้ภาคเอกชนเข้ามามีบทบาท มีส่วนร่วมลงทุนในการพัฒนาโครงข่ายที่จะเกิดขึ้นทั้งในพื้นที่ของรัฐและเอกชน เพื่อแก้ปัญหาในเรื่องของการขาดการมีส่วนร่วมของประชาชนและพื้นที่เมืองมีมูลค่าสูง

องค์ประกอบของโครงสร้างพื้นฐานสีเขียว

Benedict and McMahon (2012) ได้อธิบายองค์ประกอบโครงข่ายของโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวที่สัมพันธ์กับระบบนิเวศและภูมิทัศน์ ประกอบด้วย พื้นที่หลัก เส้นทางเชื่อมต่อ และที่ตั้ง โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) **พื้นที่หลัก (Hubs)** เป็นองค์ประกอบหลักของโครงข่ายโครงสร้างพื้นฐานสีเขียว และเป็นพื้นที่เอื้อประโยชน์ต่อสัตว์และพืชพื้นถิ่น (Native plants) ตลอดจน ต้นกำเนิดและปลายทางของทั้งสัตว์ป่า มนุษย์ และกระบวนการทางนิเวศวิทยา พื้นที่หลักมีหลายรูปร่างและขนาด หมายถึง

รวมถึงพื้นที่อนุรักษ์ขนาดใหญ่ และพื้นที่ป้องกัน เช่น เขตสงวนและรักษาพันธุ์สัตว์ป่า อุทยานแห่งชาติ พื้นที่สาธารณะขนาดใหญ่ที่มีผู้ครอบครอง รวมถึงพื้นที่เขตอุทยานป่าไม้ พื้นที่ป่าไม้ชุมชน

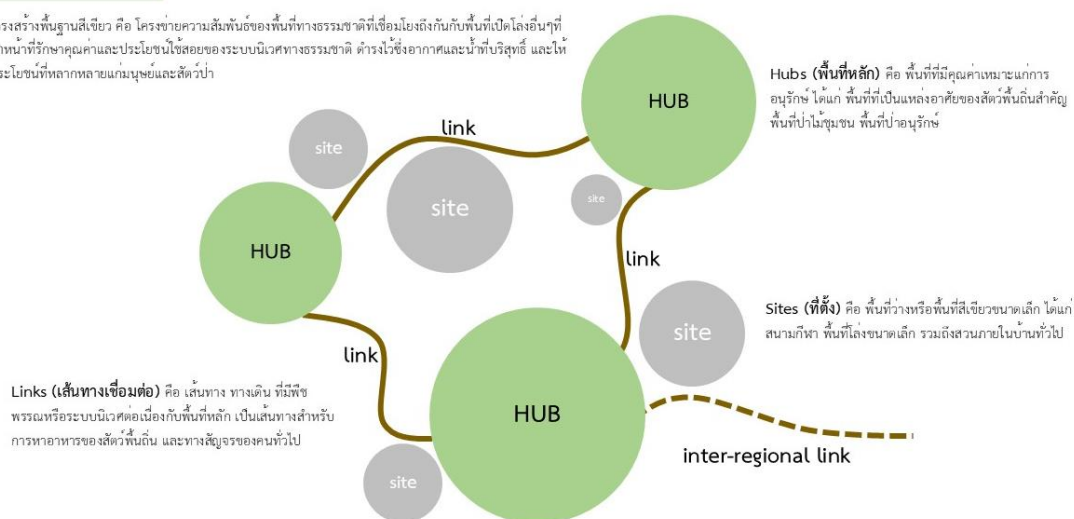
2) เส้นทางเชื่อมต่อ (Links) เป็นส่วนที่เชื่อมโยงความสัมพันธ์ในระบบเข้าด้วยกัน การเชื่อมโยงเหล่านี้มีความสำคัญต่อกระบวนการทางนิเวศวิทยา เป็นความสมบูรณ์และความหลากหลายทางชีวภาพของประชากรสัตว์ป่า การเชื่อมโยงภูมิประเทศในแนวราบที่สัมพันธ์กับสวนสาธารณะเดิม พื้นที่อนุรักษ์ หรือพื้นที่ธรรมชาติ ต้องจัดให้มีพื้นที่เพียงพอกับพืชประจำถิ่นและสัตว์สำคัญและทำหน้าที่เป็นส่วนเชื่อมต่อระบบนิเวศและภูมิทัศน์กับพื้นที่หลัก การเชื่อมโยงในแนวราบอาจเอื้อต่อการปกป้องพื้นที่ทางประวัติศาสตร์ และโอกาสในการใช้เป็นพื้นที่นันทนาการ เส้นทางเชื่อมต่อและแนวเชื่อมต่ออนุรักษ์ (Conservation corridors) เช่น แม่น้ำ ลำธาร ที่ราบน้ำท่วมถึง (Floodplains) ทำหน้าที่เป็นท่อร้อยสายทางชีวภาพสำหรับสัตว์ป่า รวมถึงการเป็นพื้นที่นันทนาการ ในขณะที่เส้นทางสีเขียวและแนวเขตพื้นที่สีเขียว (Greenway and Greenbelt) สร้างกรอบการพัฒนาและอนุรักษ์ความหลากหลายในพื้นที่ และพื้นที่นันทนาการอื่นๆ

3) ที่ตั้ง (Sites) ที่ตั้งมีขนาดเล็กกว่าพื้นที่หลัก อาจไม่ได้ถูกผนวกรวมเข้ากับชุมชน และการอนุรักษ์ในส่วนภูมิภาค แต่ทำหน้าที่เช่นเดียวกับองค์ประกอบอื่นๆ มีส่วนร่วมทางนิเวศวิทยา และคุณค่าทางสังคม ในการปกป้องที่อยู่อาศัยของสัตว์ป่าและพื้นที่นันทนาการ

การปกป้องระบบธรรมชาติและความหลากหลายทางชีวภาพเป็นเป้าหมายของโครงสร้างพื้นฐานสีเขียว อีกทั้งเส้นทางสีเขียวและเส้นทางทั่วไปเอื้อต่อการพักผ่อนหย่อนใจและมีคุณค่าทางด้านสุขภาพสำหรับมนุษย์ แหล่งท่องเที่ยวทางประวัติศาสตร์ วัฒนธรรม และโบราณคดี เป็นทรัพยากรชุมชนที่มีคุณค่า และพื้นที่ฟาร์ม สวนผลไม้ ไร่ ป่าไม้ ช่วยให้นักชนชั้นได้รับผลตอบแทนทางด้านเศรษฐกิจซึ่งสามารถเป็นองค์ประกอบหนึ่งของโครงข่ายโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวได้ (Benedict & McMahon, 2012)

Green Infrastructure

โครงสร้างพื้นฐานสีเขียว คือ โครงข่ายความเชื่อมโยงของพื้นที่ทางธรรมชาติที่เชื่อมโยงถึงกันกับพื้นที่เปิดโล่งอื่นๆ ที่ทำหน้าที่รักษาคุณค่าและประโยชน์ของระบบนิเวศทางธรรมชาติ ดำรงชีงอากาศและน้ำที่บริสุทธิ์ และให้ประโยชน์ที่หลากหลายแก่มนุษย์และสัตว์ป่า



ภาพที่ 8 องค์ประกอบโครงสร้างพื้นฐานสีเขียว

ที่มา: ปรับปรุงข้อมูลจาก: Maryland Department of Natural Resources อ้างถึงใน (Benedict & McMahon, 2012)

โครงสร้างพื้นฐานสีเขียวกับเมืองยั่งยืน

ปัจจุบันการพัฒนาเมืองตามแนวทางโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวกำลังเป็นแนวคิดที่หลายประเทศให้ความสนใจเพื่อบรรลุการพัฒนาอย่างยั่งยืน และเพื่อให้เกิดความตระหนักถึงระบบนิเวศและความยั่งยืนที่ดีของสภาพแวดล้อมรวมถึงชุมชนที่ยั่งยืนในอนาคต (M'ikiugu, QianNa, & Kinoshita, 2012) โครงสร้างพื้นฐานสีเขียว เป็นการนำเอาประโยชน์จากธรรมชาติสู่ประชาชน โดยการยกระดับคุณภาพชีวิตของประชาชนให้ดียิ่งขึ้น ด้วยการสร้างสรรค์สิ่งแวดล้อมโดยรอบที่อยู่อาศัยและสถานที่ทำงานซึ่งส่งเสริมคุณภาพเมืองให้น่าอยู่ยิ่งขึ้น เนื่องจากการเพิ่มความหลากหลายทางชีวภาพในสิ่งแวดล้อม การปกป้องผลกระทบที่มาจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และภัยพิบัติทางธรรมชาติต่างๆ เช่น การป้องกันน้ำท่วม การจัดเก็บคาร์บอน และการป้องกันการพังทลายของหน้าดิน นอกจากนี้ การพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานสีเขียว เป็นการพัฒนาการใช้ประโยชน์ที่ดินของเมืองอย่างชาญฉลาดและยั่งยืน ด้วยแนวทางการบูรณาการการใช้พื้นที่ที่มีอย่างจำกัดอย่างมีประสิทธิภาพและสอดคล้องกับพื้นที่โดยรอบ (ชมพูนุช คงพูนพิน, ดวงพร กาศาสปี, & มานัส ศรีวณิช, 2561)

โครงสร้างพื้นฐานสีเขียว ถือเป็นส่วนหนึ่งของเมืองที่เป็นการผสมผสานเชื่อมต่อกันระหว่างพื้นที่ว่าง สวนสาธารณะ ต้นไม้บนถนน พื้นที่ชุ่มน้ำ ทะเลสาบ บึงน้ำ ลำคลอง และพื้นที่สีเขียวอื่นๆ

สามารถเป็นแหล่งอาหารและพื้นที่สร้างรายได้ให้กับชุมชน ช่วยกักเก็บคาร์บอนไดออกไซด์ทำให้เกิด
อากาศสะอาด ลดมลพิษทางเสียง เป็นแหล่งสนับสนุนเชื้อเพลิงชีวมวล ส่งเสริมความหลากหลายทาง
ชีวภาพ ช่วยเพิ่มความเย็นให้พื้นที่ ลดภาวะเกาะความร้อนให้กับเมือง ลดมลพิษทางน้ำ และช่วย
ป้องกันน้ำท่วม นอกจากนี้ยังประโยชน์ทางด้านจิตใจ มีประโยชน์ต่อผู้อยู่อาศัยในชุมชน ด้วยการเป็น
แหล่งพักผ่อนหย่อนใจ ทำให้เกิดความภาคภูมิใจในท้องถิ่นของตนเอง การมีโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวที่
ยั่งยืนจะส่งเสริมให้พื้นที่เมืองมีความยืดหยุ่นต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โดย 1) เป็นการลด
อุณหภูมิของพื้นที่ 2) เป็นการเพิ่มการเชื่อมต่อของถิ่นอาศัยให้กับสัตว์พื้นถิ่น และ 3) เป็นการลด
ผลกระทบจากปัญหาน้ำท่วม (นิคม บุญญานุสิทธิ์ et al., 2558)

การดำเนินการด้านโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวในเขตพื้นที่เมืองให้มีความยั่งยืนนั้น จำเป็นต้อง
วางแผนในหลายระดับร่วมกับโครงสร้างพื้นฐานทั่วไปที่เกี่ยวข้องทั้งระบบเพื่อเชื่อมต่อระหว่างกัน
โครงสร้างพื้นฐานสีเขียวมีวิธีการรวมถึงการวางแผนหลายระดับจากท้องถิ่น ย่าน เมือง ภูมิภาค และ
ระดับชาติ โครงสร้างพื้นฐานสีเขียวประกอบด้วยองค์ประกอบตามธรรมชาติที่เอื้อประโยชน์ต่อสังคม
สิ่งแวดล้อม หรือเศรษฐกิจ สามารถระบุพื้นที่เฉพาะหรือขอบเขตคุณลักษณะด้านสิ่งแวดล้อมภายใน
และระหว่างพื้นที่ชานเมืองและพื้นที่เมืองได้ Landscape Institute (London) (2009) ได้ยกตัวอย่าง
โครงสร้างพื้นฐานสีเขียวและระดับการมีส่วนร่วมเชิงพื้นที่ ดังนี้

Typical GI assets and their associated scales		
Local, neighbourhood and village scale Town, city and district scale City-region, regional and national scale	Town, city and district scale	City-region, regional and national scale
Street trees, verges and hedges	Business settings	Regional parks
Green roofs and walls	City/district parks	Rivers and floodplains
Pocket parks	Urban canals	Shoreline
Private gardens	Urban commons	Strategic and long distance trails
Urban plazas	Forest parks	Forests, woodlands and community forests
Town and village greens and commons	Country parks	Reservoirs
Local rights of way	Continuous waterfront	Road and railway networks
Pedestrian and cycle routes	Municipal plazas	Designated greenbelt and Strategic Gaps
Cemeteries, burial grounds and churchyards	Lakes	Agricultural land
Institutional open spaces	Major recreational spaces	National Parks
Ponds and streams	Rivers and floodplains	National, regional or local landscape designations (e.g. AONBs, NSAs and AGLVs)
Small woodlands	Brownfield land	Canals
Play areas	Community woodlands	Common lands
Local nature reserves	(Former) mineral extraction sites	Open countryside
School grounds	Agricultural land	
Sports pitches	Landfill	
Swales, ditches		
Allotments		
Vacant and derelict land		

ภาพที่ 9 ตัวอย่างของโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวและระดับการมีส่วนร่วมเชิงพื้นที่

ที่มา: (Landscape Institute, 2009)

ความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวกับปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมือง

สิ่งปลูกสร้างต่างๆ ปิดกั้นการระบายความร้อนที่ได้รับจากดวงอาทิตย์ วัสดุก่อสร้างที่เป็นพื้นผิวคอนกรีตหรือกระจกจะดูดซับความร้อนไว้จำนวนมาก ทำให้เกิดการสะสมความร้อนในพื้นที่เมืองสูงกว่าบริเวณชนบทโดยรอบที่มีพื้นที่เกษตรกรรมหรือพื้นที่ว่างมากกว่าสิ่งก่อสร้าง อีกทั้งการปล่อยไอความร้อนจากการใช้เครื่องจักร สิ่งอำนวยความสะดวกทั้งภายในและภายนอกอาคาร การตัดต้นไม้ และพื้นที่สีเขียวที่ลดลง ก็มีส่วนกระตุ้นให้อุณหภูมิในเมืองยิ่งสูงขึ้น ดังนั้น ปรากฏการณ์ความร้อนเมืองจึงมีความเกี่ยวข้องกับภาวะโลกร้อนในหลายๆ ด้าน ไม่ว่าจะเป็นการใช้พลังงานของเมือง เพื่อจัดหาสิ่งอำนวยความสะดวกต่างๆ เช่น เครื่องปรับอากาศ เครื่องใช้ไฟฟ้าภายในอาคาร การใช้พลังงานไฟฟ้าดังกล่าวเป็นส่วนสนับสนุนให้เกิดการผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อตอบสนองความต้องการในเมือง เป็นผลกระทบต่อภาวะเรือนกระจก นอกจากนี้การใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่อการก่อสร้างอาคาร สิ่งก่อสร้างแทนพื้นที่สีเขียวหรือพื้นที่ว่างในเมือง ทำให้เมืองขาดแหล่งผลิตก๊าซออกซิเจน และแหล่งดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของภาวะโลกร้อน (ปริษฐา ปฏิเมธา, 2551)

โครงสร้างพื้นฐานสีเขียว ได้จำกัดความถึงการอยู่อาศัยของพรรณไม้มีชีวิตในสภาพแวดล้อมเมือง ซึ่งเป็นวิธีหนึ่งในการลดความร้อนของเมือง จากการศึกษาชี้ให้เห็นว่า การเพิ่มขึ้นของโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวที่ครอบคลุมทั่วเมืองได้ 10% จะส่งผลต่อการลดเกาะความร้อนเมืองได้สูงสุดถึง 2.5 องศาเซลเซียส โดยโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวมีความเชื่อมโยงกันกับแหล่งน้ำจำเป็นสำหรับการคายระเหย (Evapotranspiration) ที่มีประสิทธิภาพ จึงจะมีศักยภาพในการระบายความร้อน โครงสร้างพื้นฐานสีเขียวมีประโยชน์ที่หลากหลายรวมไปถึงการเพิ่มมูลค่าของพื้นที่และการมีคุณภาพชีวิตที่ดีของคนเมือง ตลอดจนการจัดการน้ำฝน คุณภาพอากาศ ความหลากหลายทางชีวภาพ และการลดการสะสมของคาร์บอนไดออกไซด์ (Trundle, Bosomworth, McEvoy, & Williams, 2014)

นิคม บุญญานุสิทธิ์ (2557) ได้กล่าวถึงการปรับปรุงพื้นที่ต่างๆ ในเมืองเพื่อการลดอุณหภูมิต่างๆ ของพื้นผิวเมือง เช่น การปลูกต้นไม้ตามแนวคิดหลังคาเขียวในพื้นที่หนาแน่น ซึ่งสามารถลดอุณหภูมิพื้นผิวได้ 10% กลยุทธ์หนึ่งที่มีผลต่อการลดอุณหภูมิในพื้นที่เมือง คือการรักษาพื้นที่สีเขียวเดิมของชุมชนไว้ และปรับปรุงพื้นที่เหล่านั้นเท่าที่สามารถทำได้ ไม่ว่าจะเป็นพื้นที่ส่วนบุคคล พื้นที่ปลูกต้นไม้เกาะกลางหรือริมถนน หรือพื้นที่สาธารณะอื่น รวมทั้งส่วนประกอบของอาคาร เช่น หลังคาผนัง ส่วนยื่นต่างๆ ในอาคารเดิม รวมถึงการเพิ่มพื้นที่สีเขียวตามแนวทางรถไฟ การปลูกต้นไม้ตามแนวถนน หรือการเปลี่ยนสภาพถนนเดิมเป็นทางสีเขียว (Green way) โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีความเปราะบางต่อผลกระทบการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ควรได้รับความสำคัญเป็นอันดับแรกในการ

จัดการพื้นที่สีเขียวดังกล่าว ซึ่งในประเทศไทยยังไม่มีท้องถิ่นใดนำแนวคิดด้านโครงสร้างพื้นฐานสีเขียว มาพิจารณาประกอบการใช้ประโยชน์ที่ดินอย่างเป็นรูปธรรม (นิคม บุญญานุสิทธิ์, 2557)

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการทบทวนวรรณกรรมตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างพื้นฐานสีเขียว (Green Infrastructure) และปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมือง (Urban Heat Island Phenomenon) ทั้งภายในประเทศและต่างประเทศ มีรายละเอียดดังนี้

งานวิจัยเรื่อง: A Green Infrastructure Typology Matrix to Support Urban Microclimate Studies (Bartesaghi Koc, Osmond, & Peters, 2016)

การศึกษาดังกล่าว เสนอการจำแนกประเภทโครงสร้างพื้นฐานสีเขียว (GI) จากมุมมองที่เกี่ยวข้องกับภูมิอากาศ (Climatological) โดยรูปแบบการจัดหมวดหมู่ ซึ่งต้องการแบ่งคุณสมบัติของโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวในแต่ละระดับ คือ ชั้นพืชผิวดิน (Vegetation layers) ชั้นผิวดิน (Ground surfaces) และระดับโครงสร้างของอาคาร (Building structures) แยกประเภทในหมวดหลักและหมวดรอง (Classes and sub-classes) จำแนกออกเป็น (a) กลุ่มไม้ยืนต้น หรือ Tree canopy, (b) พื้นที่สีเขียวเปิดโล่ง หรือ Green open spaces, (c) หลังคาเขียว หรือ Green roofs (d) ระบบสวนแนวตั้ง หรือ Vertical greenery systems การจำแนกโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวดังกล่าว ช่วยในการวิเคราะห์รูปแบบความร้อน (Thermal profiles) ของโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวในแต่ละระดับและสถานที่ต่างๆ ซึ่งช่วยให้นักวิจัยมีต้นแบบในการประเมินหรือเปรียบเทียบในเรื่องที่เกี่ยวข้องต่อไป โดยมีเกณฑ์ในการจำแนกประเภทดังนี้

- มีความยืดหยุ่นเพียงพอที่อนุญาตให้มีเพิ่มจำนวนตามประเภทที่เหมาะสม และการรวมประเภทเพิ่มเติมได้ในอนาคต
- รวบรวม Grey-to-Green spectrum โดยรวมทั้งองค์ประกอบทางวิศวกรรมและองค์ประกอบทางธรรมชาติ
- สามารถเข้าถึงได้ในวงกว้างและสามารถใช้งานได้สำหรับผู้ใช้ตั้งแต่ระดับมือใหม่จนถึงผู้เชี่ยวชาญ
- เหมาะสำหรับใช้งานกับข้อมูลการสำรวจระยะไกล (Remote sensing data)
- สามารถทำซ้ำและวัดได้อย่างเป็นกลาง

- สามารถทดสอบได้โดยทั่วไป และทดสอบได้ในพื้นที่เฉพาะ และลักษณะเมืองที่แตกต่างกัน และไม่ขึ้นอยู่กับการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทใดประเภทหนึ่ง

ในการเปรียบเทียบจากมุมมองด้านสิ่งแวดล้อมวิทยา โดยมีข้อบ่งชี้ในการจำแนกโครงสร้างพื้นฐานสีเขียว คือคุณสมบัติทางกายภาพของพื้นผิวดิน (การซึมผ่านของน้ำ, ความหยาบของพื้นผิว อัตราส่วนรังสีสะท้อน หรือ Albedo) คุณลักษณะรูปแบบของพืชพรรณ (ขนาด, พื้นที่, ความสูง, เรขาคณิต และรูปร่าง) ชนิดของใบไม้ (ผลัดใบ, เขียวตลอดปี) ความหนาแน่น (Leaf Area Index หรือ LAI) ลักษณะทางกายภาพของโครงสร้างและพื้นผิวยก (สำหรับหลังคาเขียว และระบบสวนแนวตั้ง)

Climate layers	Climatological scales	Urban scales	Built features	Dimensional ranges
UBL	Mesoscale	Region	Whole city plus its surroundings	25 km – 100 km
		City	Large urban areas and several districts	5 km – 25 km
UBL & UCL	Local scale	Neighbourhoods, LCZ, precincts	City centres, residential areas, suburban zones, etc.	100 m – 5 km
UCL	Microscale	Block	Several buildings and open spaces	100 m – 500 m
		Street canyon	Building facades, streets, roads, trees, gardens, etc.	5 m – 100 m
		Building	Single buildings	1 cm – 10 m

UBL=Urban boundary layer; UCL=Urban canopy layer.

ภาพที่ 10 การเปรียบเทียบระดับทางภูมิอากาศวิทยากับตัวอย่างพื้นที่ในระดับเมือง
ที่มา: (Bartasaghi Koc et al., 2016)

การเปรียบเทียบระดับทางภูมิอากาศวิทยากับตัวอย่างพื้นที่ในระดับเมือง โดยรวมคำอธิบายคุณลักษณะทั่วไปที่พบและช่วงระยะเวลาในการอ้างอิง จากการศึกษาได้ยืนยันความจำเป็นในการพัฒนารูปแบบในหลากหลายระดับ ที่สามารถนำไปใช้ในบริบทและสถานการณ์ที่แตกต่างกันได้ โดยผู้เชี่ยวชาญได้กำหนดและตรวจสอบลักษณะภูมิอากาศวิทยา 3 ระดับ คือ (a) Meso-scale จากระดับเมืองไปจนถึงระดับภูมิภาค (b) Local-scale เกี่ยวข้องกับย่านและขอบเขตพื้นที่ และ (c) Micro-scale พิจารณาองค์ประกอบแต่ละส่วนในระดับอาคารและระดับหุบเขาถนน (Street canyon)

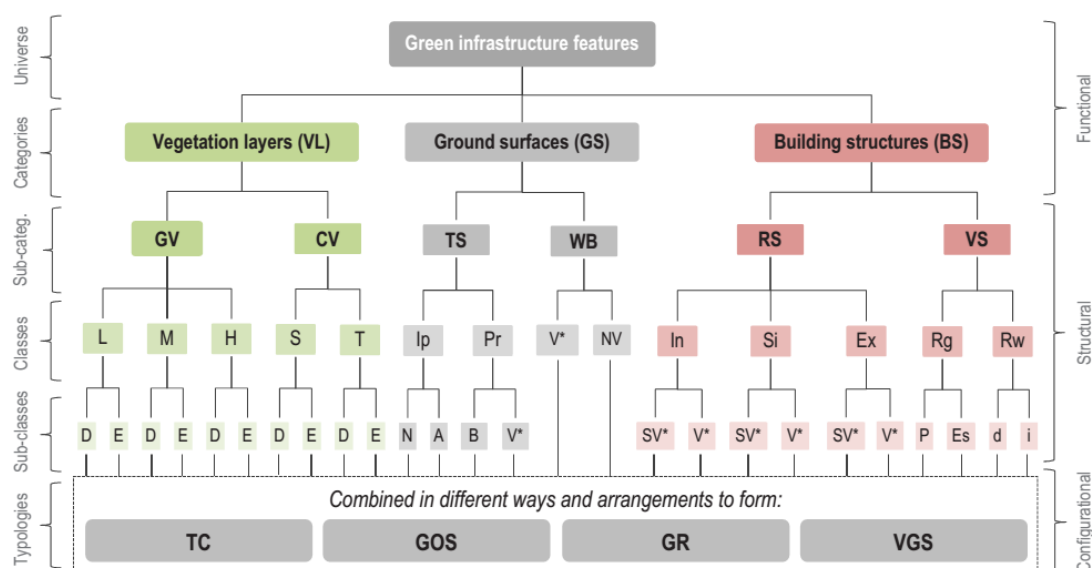


Fig 1. Logical division of GI feature according to the climatic function, structure and combination of its elements.

GV ground vegetation, CV climbing vegetation, TS terrestrial surfaces, WB water bodies, RS roof structures, VS vertical structures, L low, M medium, H high, S short, T tall, Ip impervious, Pr pervious, V vegetated, NV non-vegetated, In intensive, Si semi-intensive, Ex extensive, Rg rooted on ground, Rw rooted on wall, D deciduous, E evergreen, N natural, A artificial, B bare, V vegetated, SV semi-vegetated, P panel, Es elevated substrate, d Direct system, i Indirect system. *Vegetated and semi-vegetated surfaces can be viewed as part of vegetation layers.

ภาพที่ 11 การแบ่งกลุ่มคุณสมบัติโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวตามลักษณะภูมิอากาศ โครงสร้าง และการรวมตัวกันขององค์ประกอบ

ที่มา: (Bartasaghi Koc et al., 2016)

จากการศึกษาพบว่า โครงสร้างพื้นฐานสีเขียวสามารถแบ่งได้เป็น 3 ลักษณะของความร้อนที่แตกต่างกัน (Thermal functions) ตามสภาพภูมิอากาศในเมือง โดยแบ่งเป็น 1) ระดับพืชพรรณ (Vegetation layers: VL) ที่ประกอบด้วยโครงสร้างทางธรรมชาติ เช่น พืชคลุมดิน พุ่มไม้ ต้นไม้ และพันธุ์ไม้เลื้อย ที่มีผลกับการปรับเปลี่ยนกระแสลม อุณหภูมิอากาศ ศักยภาพในการระเหยและการบังแดด 2) ระดับผิวดิน (Ground surfaces: GI) และ 3) ระดับอาคาร (building structures: BS) โดยทั้งสองส่วนเป็นองค์ประกอบทางธรรมชาติและสิ่งที่มนุษย์สร้างขึ้น ซึ่งมีส่วนในการสนับสนุนด้านชีวฟิสิกส์สำหรับการเจริญเติบโตของพืชพรรณ ร่วมกับค่าการคายระเหยที่มีความชื้น และการซึมผ่านแตกต่างกัน ในการปรับสภาพของภูมิอากาศจุลภาค (Microclimates) ในบริเวณพื้นที่ใกล้เคียงหรือพื้นที่ผิวดินอื่นๆ

GREEN INFRASTRUCTURE TYPOLOGY (GIT)		Ground surfaces (GS)							Building structures (BS)									
		Terrestrial surfaces (TS)					Water bodies (WB)		Roof structures (RS)						Vertical Structures (VS)			
		Impervious surfaces		Pervious surfaces		Unvegetated surfaces	Vegetated	Non-vegetated	Intensive		Semi-intensive		Extensive		Living walls (modular or panel)		Green facades (modular or panel)	
		Artificial (hard surfaces & pavements)	Natural (bare rock)	Porous pavements	Grass, soils, sands & permeable soils	Unvegetated surfaces	Wetland (marsh, mangrove, seagrass)	Open water (lakes, rivers, oceans)	Intensive semi-vegetated	Intensive vegetated	Semi-intensive semi-vegetated	Semi-intensive vegetated	Extensive semi-vegetated	Extensive vegetated	Modular panel & geo-textiles	Controlled substrate (box, pot, bag)	Traditional direct system	Double-skin indirect system
		S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	R1	R2	R3	R4	R5	R6	V1	V2	V3	V4
Vegetation layers (VL)	No Vegetation																	
	L Low vegetation (Turfgrass, grassland, prairie & herbaceous ground cover < 1m)																	
	M Medium vegetation (Shrub, hedge & small trees 1-2 m)																	
	H1 High vegetation (Trees 2-10 m)																	
	H2 High vegetation (Trees > 10 m)																	
	C1 Climbing vegetation (Climber species < 5 m)																	
		GREEN OPEN SPACES (GOS)							GREEN ROOFS (GR)						VERTICAL GREENERY SYSTEMS (VGS)			

ภาพที่ 12 ผลของการศึกษาประเภทของโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวแบบ double-entry matrix
ที่มา: (Bartasaghi Koc et al., 2016)

สรุปผลงานวิจัย ผู้วิจัยได้ชี้ให้เห็นถึงความสำคัญของการเปรียบเทียบประโยชน์ทางความร้อนที่ได้จากการจำแนกโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวผ่านบริบทเมืองที่หลากหลาย อย่างไรก็ตามยังไม่มีข้อตกลงทั่วไปในการอธิบายคุณสมบัติของพืชพรรณ จึงจำเป็นต้องมีการจำแนกประเภทภูมิอากาศที่ครอบคลุม โดยงานวิจัยดังกล่าว ได้เสนอรูปแบบการจำแนกประเภทที่เป็นมาตรฐานสำหรับการระบุและวิเคราะห์ลักษณะของโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวจากมุมมองทางภูมิอากาศ โดยแบ่งประเภทของโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวเป็น 3 ประเภทหลัก คือ ชั้นพืชผิวดิน (Vegetation layers) ชั้นผิวดิน (Ground surfaces) และระดับโครงสร้างของอาคาร (Building structures) ซึ่งแบ่งเป็นหมวดหลักและหมวดย่อยรวมกันในตาราง Double-entry matrix เพื่อสร้างประเภทเฉพาะของโครงสร้างพื้นฐานสีเขียว การจำแนกประเภทนี้สามารถแสดงถึงความต่อเนื่องและความหลากหลายของภูมิทัศน์เมืองในแต่ละที่ตั้งและพื้นที่เฉพาะต่างๆ จากการศึกษายังไม่มีมีการจำแนกประเภทที่แสดงถึงลักษณะที่ซับซ้อนของภูมิทัศน์เมืองและชนบทได้อย่างแม่นยำ ดังนั้น จึงต้องมีการพัฒนาต่อโดยขึ้นอยู่กับการประยุกต์ใช้ รวมถึงการทบทวนงานวิจัยและการดำเนินการเพื่อกำหนดแนวทางในการใช้งานที่ถูกต้องผ่านการสำรวจระยะไกล (Remote sensing)

งานวิจัยเรื่อง: Toward a comprehensive green infrastructure typology: a systematic review of approaches, methods and typologies (Bartasaghi Koc, Osmond, & Peters, 2017)

ด้วยไม่มีการจำแนกโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวที่ครอบคลุม ซึ่งเป็นผลมาจากความหลากหลายของสาขาวิชา การใช้ประโยชน์ในแต่ละบริบท วิธีการ ศัพท์บัญญัติ วัตถุประสงค์ และเกณฑ์การประเมินสำหรับการจำแนกประเภทของโครงสร้างพื้นฐานสีเขียว จุดมุ่งหมายของการทบทวนวรรณกรรมนี้ คือการประเมินข้อมูลที่มีอยู่เกี่ยวกับวิธีการจัดหมวดหมู่และจำแนกโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวทั่วโลก โดยการทบทวน 85 บทความจาก 15 ประเทศ ผลการศึกษาพบว่า ไม่พบศัพท์บัญญัติที่ใช้โดยทั่วไปรวมถึงการจำแนกที่เป็นสากลที่สามารถใช้ได้ในทุกสถานการณ์ จากการวิเคราะห์พบว่าสามารถแบ่งได้เป็น 4 ประเภทหลัก คือ (a) Tree canopy, (b) Green open spaces, (c) Green roofs and (d) Vertical greenery systems (facades/walls)

Tree canopy (TC)	Green open spaces (GOS)	Green roofs (GR)	Vertical greenery systems (VGS)
Green canopy	Green belts	Eco-roofs	Bio-walls
Green streets	Green corridors	Green rooftops	Green façades
Green alleys	Green covers	Living roofs	Green walls
[Street] Trees	Greenspaces	Rooftop gardens	Living walls
Shrubs, shrubbery	Greenways		Vertical landscaping
Tree cover	[Vegetated] Ground		Vertical vegetation
Urban forestry	covers		
Urban tree canopy	Ground surfaces		
Woodland	Land covers		
[Forest]land	[Public] [Urban] open spaces		
	Urban land		
	[Urban] vegetation structures		
	Vegetative covers		

ภาพที่ 13 คำศัพท์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการจำแนกหมวดหมู่หลักของโครงสร้างพื้นฐานสีเขียว
ที่มา: (Bartasaghi Koc et al., 2017)

นักวิจัยได้กำหนดโครงสร้างพื้นฐานสีเขียว (GI) เป็นเครือข่ายเชื่อมต่อระหว่างองค์ประกอบทางธรรมชาติและกึ่งธรรมชาติที่มีความสามารถในการทำงานที่หลากหลาย และการเป็นระบบนิเวศบริการ (Ecosystem services) ครอบคลุมประโยชน์ทางนิเวศวิทยา เศรษฐกิจ และสังคม ในเชิงบวกสำหรับมนุษย์ และสัตว์สายพันธุ์อื่นๆ จากการวิเคราะห์วิธีการ แนวทาง และพารามิเตอร์ พบว่าสามารถจำแนกโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวได้จากการทบทวนวรรณกรรม 89% กรณีสึกษา 52% และ

Remote sensing (รวมถึงการสำรวจ) 37% โดยจำแนกตาม 3 หลักการ คือ: 1) Functional 2) Structural (Morphology) 3) Configurational (Spatial arrangements) มีรายละเอียดดังนี้

Functional - configurational classification โครงสร้างพื้นฐานสีเขียวส่วนใหญ่จำแนกจากมุมมองด้านการกำหนดการใช้ประโยชน์ (Functional configurational perspective) เช่น การเชื่อมต่อพื้นที่ นิเวศวิทยาภูมิทัศน์ (Landscape ecology) การใช้ประโยชน์ที่หลากหลาย (Multi functionality) ระบบนิเวศบริการ (Ecosystem services) เป็นต้น

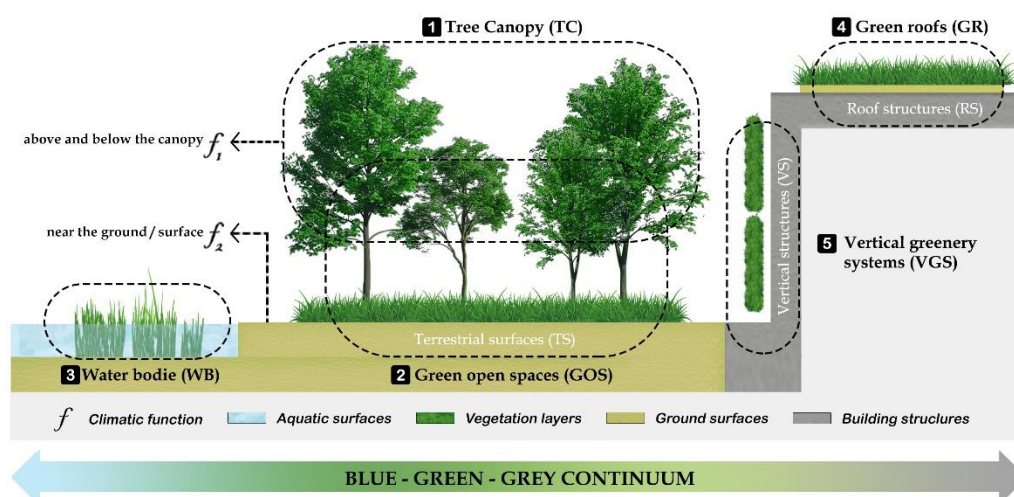
Structural - configurational classification การระบุและการศึกษาลักษณะโครงสร้างของพืชพรรณเป็นอีกหนึ่งหลักการสำคัญในการจำแนกประเภท โดยวิธีดังกล่าวได้รับการยอมรับถึงความสำคัญในการกำหนดค่าเชิงพื้นที่เพื่อทำความเข้าใจความแตกต่างของโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวสำหรับการค้นพบรูปแบบ และลักษณะทางกายภาพที่แตกต่างกัน เช่น การใช้ประโยชน์ที่ดิน พืชคลุมดิน คุณสมบัติทางสัณฐานวิทยา เป็นต้น

Configurational (Spatial arrangements) การจำแนกประเภทของกลุ่มไม้ยืนต้น หรือ Tree canopy ขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้ประโยชน์ การเติบโต การแผ่ออก สถานที่ การใช้ประโยชน์ที่ดิน และวัตถุประสงค์ ลักษณะของโครงสร้างต้นไม้ เช่น ขนาด รูปทรง ประเภทของใบไม้การจัดการเชิงพื้นที่ขององค์ประกอบพืชพรรณ (Spatial arrangements of vegetation elements) เช่น ต้นเดี่ยว มีความหนาแน่น และ อยู่ใกล้เคียงกัน โดยจำแนกประเภทของต้นไม้ผ่าน 3 ระดับพื้นที่ คือ Micro, Local and Meso scale การจำแนกประเภทของพื้นที่สีเขียวเปิดโล่ง หรือ Green open spaces ขึ้นอยู่กับระดับเชิงพื้นที่ (Hierarchy) ขนาดและตำแหน่งช่องว่าง (ใจกลางเมือง หรือ ชานเมือง) วัตถุประสงค์ของพื้นที่ (การใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน) และความหนาแน่นของการใช้งาน การเข้าถึง และการถือครองพื้นที่ (พื้นที่ส่วนบุคคล หรือ พื้นที่สาธารณะ) ลักษณะพื้นผิวทางชีวฟิสิกส์ (Biophysical surface characteristics) เช่น ความสามารถในการซึมน้ำ ปริมาณพืชปกคลุม คุณลักษณะทางความร้อน การจำแนกประเภทของหลังคาเขียว หรือ Green Roof หลังคาเขียว หรือ Green Roof มีลักษณะค่อนข้างง่ายแม้จะมีคำศัพท์ที่ทับซ้อนกันจากหลายการศึกษา เช่น Eco-roofs, Green Rooftops, Living roofs and Rooftop gardens การจำแนกลักษณะขึ้นอยู่กับส่วนแผ่ออกในพื้นที่ (Spatial extension) ความหนาของพื้นผิว ความหนาแน่นของการใช้งาน ระดับการบำรุงรักษา และขนาดของพืชพรรณ

การจำแนกประเภทของระบบสวนแนวตั้ง หรือ Vertical greenery system ประเด็นสำคัญสำหรับการจำแนกประเภทของระบบสวนแนวตั้ง คือ ลักษณะโครงสร้างที่รองรับ การเลือกประเภทของพืชและระดับการบำรุงรักษา

สรุปผลการศึกษา ในการศึกษาเพิ่มเติมในอนาคตควรพิจารณาเรื่อง Green-to-grey spectrum ขนาดเชิงพื้นที่และบริบทการวิจัย เพื่อเสนอแผนการจำแนกประเภทที่เป็นมาตรฐานมากขึ้น โดยปรับตามความต้องการและวัตถุประสงค์เฉพาะของพื้นที่ ซึ่งพบว่า โครงสร้างพื้นฐานสีเขียวมีการเชื่อมโยงอย่างใกล้ชิดกับการใช้ประโยชน์ที่ดินแม้ว่าสิ่งเหล่านี้จะไม่เกี่ยวข้องโดยตรงกับประสิทธิภาพการทำงานของพืชพรรณ จึงควรพิจารณาความหลากหลายของโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวในแต่ละระดับ และขอแนะนำวิธีการสำรวจระยะไกล (Remote sensing methods) ซึ่งเป็นวิธีแก้ปัญหาที่ประหยัดเวลาในการทำแผนที่ และสามารถประเมินค่าทางภูมิศาสตร์ที่ซับซ้อนและหลากหลาย

ทั้งนี้ หลังจากการวิจัยดังกล่าวมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการแยกประเภทของพื้นผิวดิน นอกจากจำแนกประเภทตามลักษณะพื้นผิวของการซึมผ่านน้ำแล้ว ยังสามารถแยกประเภทเป็นพื้นผิวน้ำ (Aquatic surfaces) เนื่องจากพื้นที่ดังกล่าวสามารถแยกความแตกต่างของพืชพรรณ แบบพื้นผิวที่มีพืชพรรณ เช่น พื้นที่ชุ่มน้ำ (Wetlands) บนพื้นผิวที่น้ำไม่ซึมผ่าน และพื้นผิวที่ไม่มีพืชพรรณ (Open water) จึงถูกนำมาจำแนกประเภทเพิ่มเติมในโครงสร้างพื้นฐานสีเขียว



ภาพที่ 14 แนวคิดเชิงพื้นที่สำหรับการจำแนกโครงสร้างพื้นฐานสีเขียว

ที่มา: ดัดแปลงจาก (Bartasaghi Koc, 2018; Bartasaghi Koc et al., 2017)

ตารางที่ 6 สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในประเทศไทย

ชื่องานวิจัย/ผู้วิจัย	พื้นที่ศึกษา	วัตถุประสงค์	วิธีการศึกษา	เครื่องมือ	ผลการศึกษา	ปัญหา/ข้อเสนอแนะ
THESIS: ปริญญาการณ เกาะความร่อนเมืองกับ สภาพทางกายภาพเมือง (ธนาภฤต เทียมณณ, 2545)	กรุงเทพมหานคร (เกาะรัตนโกสินทร์ , ยะวราช, สาม ย่าน, สีลม, บาง กะปิ) ขนาดพื้นที่ละ 1 ตารางกิโลเมตร มี ระบบถนนเป็น ตารางหรือ ไล่เลียง	- ทดลองเก็บข้อมูลพื้นที่ (ที่มีระดับความหนาแน่น แตกต่างกัน) หา ความสัมพันธ์ระหว่าง ความหนาแน่นเมืองกับ อุณหภูมิอากาศ โดยใช้ FAR เป็นตัวบ่งชี้ค่าความ หนาแน่น - เสนอแนวทางการในการ ออกแบบชุมชน ออกแบบชุมชน	ตัวแปรต้น ระดับความ หนาแน่นเมือง (FAR) ตัวแปรตาม อุณหภูมิอากาศ ภายในเมือง - เก็บอุณหภูมิในพื้นที่ศึกษา ทุกๆ 100 เมตร (เก็บในฤดู ฝนและฤดูหนาว) - วิเคราะห์ด้วยโปรแกรมดาวเทียม ตามด้วยวิธีการทางสถิติ (Simple Linear Regression)	- เทอร์มิเตอร์ วัด อุณหภูมิอากาศ (ใช้ ยานพาหนะในการเก็บ ข้อมูลในแต่ละจุด) - แผนที่ทบท. ของ JICA มาตราส่วน 1 ต่อ 4,000 - โปรแกรมด้าน สารสนเทศภูมิศาสตร์ ArcView GIS 3.1 เพื่อ ทำแผนที่และจัดเก็บ ข้อมูล - SPSS	- อุณหภูมิอากาศสูงและ ปรากฏการณ์เกาะความร้อน จะพบในบริเวณที่มีสิ่งก่อสร้าง รวมกันอยู่อย่างหนาแน่น ได้แก่บริเวณ ที่พักอาศัย ย่าน ธุรกิจการค้า และบริเวณที่มี การจราจรหนาแน่น - อุณหภูมิอากาศต่ำ จะพบใน บริเวณที่มีความหนาแน่นของ อาคารต่ำ และบริเวณซึ่งมี พื้นที่สีเขียวเป็นองค์ประกอบ หลัก	- ข้อมูลแผนที่ไม่สอดคล้อง กับสภาพจริง - การเลือกพื้นที่ที่ควรอยู่ใน บริเวณถนนที่สามารถใช้รถ เก็บข้อมูลในแต่ละจุดได้ - ควรศึกษาปัจจัยอื่นที่ เกี่ยวข้องกับ UHI เพิ่มเติม - ควรเพิ่มเติมการจัดเก็บ ข้อมูลในทุกฤดู
THESIS: การศึกษา ความสัมพันธ์ระหว่าง ลักษณะพื้นที่สีเขียวในเขต ชุมชนเมืองและปัจจัยที่มี ผลต่อภาวะโลกร้อน (ปรีชฐา ปฏิมะธา, 2551)	กรุงเทพมหานคร (เขตปทุมวัน)	- ศึกษาความสัมพันธ์ ระหว่างลักษณะพื้นที่สี เขียวกับอุณหภูมิที่ เปลี่ยนแปลง และ ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ สีเขียวต่อปริมาณก๊าซ มลพิษในพื้นที่ศึกษา - เสนอลักษณะพื้นที่สี เขียวที่เหมาะสมและมี	ตัวแปรต้น พื้นที่สีเขียว ตัวแปรตาม อุณหภูมิที่ เปลี่ยนแปลง และ ก๊าซ คาร์บอนมอนอกไซด์ ตัวแปรควบคุม ช่วงเวลา - สำรวจพื้นที่และวิเคราะห์ ความสัมพันธ์ของตัวแปร จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม	- ภาพถ่ายดาวเทียม LANSAT-5 (พ.ศ.2544, 2547, 2550) อยู่ในช่วง เดือนที่ตรงกันหรือ ใกล้เคียงกัน ขนาดความ ละเอียด 1 Pixel ขนาด ความกว้างไม่เกิน 25 x 25 เมตร ปริมาณเมฆอยู่ ในระดับต่ำ 8-10%	ลักษณะพื้นที่สีเขียวที่ส่งผลต่อ การลดอุณหภูมิและก๊าซ มลพิษได้ที่สุด คือการเพิ่ม ปริมาณและคุณภาพ ซึ่งปัจจัย ที่ส่งผลต่อการลดปริมาณ ความเข้มข้นของก๊าซพิษ นอกจากการเพิ่มปริมาณและ คุณภาพของพื้นที่สีเขียวแล้ว ยังประกอบด้วยปัจจัยอื่น เช่น	ข้อเสนอแนะและรูปแบบ พื้นที่สีเขียว คือ พื้นที่สีเขียว ควรมีค่า NDVI อยู่ในช่วง 0.2-1 ควรประกอบด้วยไม้ ยืนต้นที่มีความหนาแน่นเพื่อ ร่มเงาและการดูดก๊าซพิษ ส่วนหลังคาและสวนแนวตั้ง ควรพัฒนาในพื้นที่กลุ่ม อาคาร สิ่งก่อสร้าง รวมถึง การกำหนดนโยบายและ

ตารางที่ 6 (ต่อ)

ชื่องานวิจัย/ผู้วิจัย	พื้นที่ศึกษา	วัตถุประสงค์	วิธีการศึกษา	เครื่องมือ	ผลการศึกษา	ปัญหา/ข้อเสนอแนะ
		ประสิทธิภาพในการลดภาวะโลกร้อนในอนาคต	- วิเคราะห์ตัวแปรต้นตัวแปรตามด้วยวิธีการทางสถิติ (Simple Linear Regression)	ประกอบด้วยความยาว 7 ช่วงคลื่น - โปรแกรม Idrisi Andes 15.0 สำหรับ การแปลงข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม - โปรแกรมด้านสารสนเทศภูมิศาสตร์ ArcView GIS 3.3 สำหรับกรรอกค่าข้อมูล การสร้างภาพแผนที่เพื่อนำไปวิเคราะห์ - SPSS	ปริมาณการจราจร และระบบขนส่งมวลชนที่มีประสิทธิภาพ	แผนงานที่ชัดเจน ควรเพิ่มเติมการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่สีเขียวที่มีต่อพื้นที่ข้างเคียง โดยรอบ และกำหนดพื้นที่ในระดับมหภาคเพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ในระดับเมืองต่อไป
THESIS: ปัจจัยทางกายภาพกับความแตกต่างของอุณหภูมิในพื้นที่เมือง : กรณีศึกษา กรุงเทพมหานครและปริมณฑล (อรรถพล ห่อมนี่, 2553)	กรุงเทพมหานครและปริมณฑล (เขตหนองจอก, เขตสามวา, เขตบางเขน, เขตวัฒนา, เขตบางคอแหลม)	- ศึกษาองค์ประกอบทางกายภาพและสภาพความแตกต่างของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในพื้นที่เมือง - ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบทางกายภาพกับความแตกต่างของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในพื้นที่เมือง	ตัวแปรต้น ความหนาแน่นของเมือง พื้นที่ปกคลุมด้วยสิ่งปลูกสร้าง พื้นที่สีเขียว และแหล่งน้ำ ตัวแปรตาม อุณหภูมิอากาศในเมือง ตัวแปรควบคุม ช่วงเวลา	- เทอร์มิเตอร์ วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ สำรวจทุกๆ 200 เมตร - กล้องถ่ายรูปเก็บข้อมูลภาคสนามและข้อมูลด้านกายภาพ - ภาพถ่ายดาวเทียม LANSAT- 5 TM (พ.ศ.	ความสัมพันธ์ระหว่างกายภาพของอาคารกับอุณหภูมิอากาศ ได้แก่ การใช้ประโยชน์อาคาร ความสูงอาคาร วัสดุพื้นผิว โดยพบว่า เมื่อความหนาแน่นของเมือง มีปริมาณพื้นที่สิ่งปลูกสร้างปกคลุมเพิ่มขึ้น 50% อุณหภูมิจะเพิ่มขึ้น 0.19 และ 6.5 องศาเซลเซียส	- แนวทางในการแก้ปัญหาอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นในเมือง คือเพิ่มพื้นที่สีเขียวให้มีปริมาณมากขึ้น และลดความหนาแน่นของสิ่งปลูกสร้างในเมือง - ศึกษาเพิ่มเติมในปัจจัยอื่นที่เกี่ยวข้อง

ตารางที่ 6 (ต่อ)

ชื่องานวิจัย/ผู้วิจัย	พื้นที่ศึกษา	วัตถุประสงค์	วิธีการศึกษา	เครื่องมือ	ผลการศึกษา	ปัญหา/ข้อเสนอแนะ
		- เสนอแนวทางการกำหนดองค์ประกอบทางกายภาพเพื่อลดอุณหภูมิเมือง	- รวบรวมข้อมูลดาวเทียมข้อมูลอุณหภูมิภาคพื้นดิน ข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศ - วิเคราะห์ข้อมูลภูมิพินผิวจากภาพถ่ายดาวเทียม - วิเคราะห์และเปรียบเทียบอุณหภูมิพื้นผิวและวิเคราะห์ปัจจัยทางกายภาพด้วยวิธีการทางสถิติ (Simple Linear Regression)	2550) ประกอบด้วยความยาว 7 ช่วงคลื่น - โปรแกรม ERDAS IMAGIN 8.5 สำหรับการแปลงข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม - โปรแกรมด้านสารสนเทศภูมิศาสตร์ ArcView GIS 3.3 และ ArcGIS 9.2 สำหรับกรอค่าข้อมูล การสร้างภาพแผนที่ เพื่อนำไปวิเคราะห์ - ระบบ GPS บนโทรศัพท์เคลื่อนที่ - SPSS	ตามลำดับ ส่วนความสัมพันธ์ของพื้นที่สีเขียวและอุณหภูมิ นั้น มีความสัมพันธ์ในลักษณะแปรผกผันกัน คือเมื่อปริมาณของพื้นที่สีเขียวเพิ่มขึ้น 50% อุณหภูมิจะลดลง 3.5 องศาเซลเซียส หรือเมื่อความหนาแน่นของเมืองและปริมาณพื้นที่ที่มีสิ่งปลูกสร้างปกคลุมเพิ่มขึ้น อุณหภูมิอากาศจะเพิ่มขึ้น และปริมาณของพื้นที่สีเขียวเพิ่มขึ้นอุณหภูมิอากาศจะลดลงไปด้วย	- การพัฒนาเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดที่มีความแม่นยำมากขึ้น
THESIS: การศึกษาลักษณะเชิงพื้นที่ของปัญหาและปัจจัยสำคัญของกาเกิดเกาะความร้อนในพื้นที่เมืองเชียงใหม่ (อนุศาสน์ สิทธิเวช, 2554)	จ.เชียงใหม่	ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิพื้นผิวเมืองและความสัมพันธ์กับองค์ประกอบทางกายภาพเมือง ได้แก่ ลักษณะพื้นที่สีเขียว รูปแบบอาคาร	ตัวแปรต้น สิ่งปกคลุมดิน (พื้นที่สีเขียว, แหล่งน้ำ, พื้นที่โล่งที่เป็นสิ่งปลูกสร้าง, รูปแบบอาคาร (2 มิติ พื้นที่ปกคลุมดิน และ 3 มิติ ปริมาตรอาคาร)	- ภาพถ่ายดาวเทียม LANSAT-5 TM (พ.ศ. 2544, 2547, 2553) อยู่ในช่วงเดือนที่ตรงกับหรือใกล้เคียงกัน ขนาดความละเอียด 1 Pixel	- พื้นที่เมืองเชียงใหม่ มีความร้อนเมืองที่มีขนาดและระดับของอุณหภูมิเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางกายภาพเมือง และการวิเคราะห์	การพัฒนาเมืองเชียงใหม่แบบ Compact City มีผลต่อการบรรเทาการเกิด UHI เพื่อลดการใช้พื้นที่แนวราบและเพิ่มพื้นที่สีเขียวประเภทไม้ยืนต้นที่มีความอุดม

ตารางที่ 6 (ต่อ)

ชื่องานวิจัย/ผู้วิจัย	พื้นที่ศึกษา	วัตถุประสงค์	วิธีการศึกษา	เครื่องมือ	ผลการศึกษา	ปัญหา/ข้อเสนอแนะ
		พื้นที่ถ่าน และพื้นที่แหล่งน้ำ ซึ่งเป็นปัจจัยในการพัฒนาเมืองที่ส่งผลต่อปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมือง	ตัวแปรตาม: อุณหภูมิพื้นผิว ช่วงเวลาในการศึกษา ตัวแปรควบคุม: ช่วงเวลา - ศึกษาค่าอุณหภูมิพื้นผิว โดยใช้ค่าเฉลี่ยจากสถานีตรวจวัดภาคพื้นดิน และวิเคราะห์ความสัมพันธ์จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม - วิเคราะห์ตัวแปรต้นตัวแปรตามด้วยวิธีการทางสถิติ (Linear Regression และ Multiple Regression)	ขนาดความกว้างไม่เกิน 30 x 30 เมตร โดยเลือกใช้ในช่วงเดือนเมษายน ปริมาณเมฆ 0% - อนุกรมเวลา - เดือนจากสถานีตรวจวัดอากาศ - โปรแกรมสำหรับการแปลงข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม - โปรแกรมด้านสารสนเทศภูมิศาสตร์ - โปรแกรมทางสถิติ	ความสัมพันธ์ของปัจจัยในการพัฒนาเมืองด้วยวิธี Multiple Regression โดยปัจจัยที่ศึกษาสะท้อนรูปแบบการพัฒนาออกเป็น 2 รูปแบบ คือ รูปแบบการพัฒนาเมืองแบบเนวราบ (Suburbanization) และรูปแบบการพัฒนาเมืองแบบแนวดิ่ง (Compact City) เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการลดหรือเพิ่มอุณหภูมิในเชิงปริมาณ - การเพิ่มพื้นที่สีเขียวและค่า NDVI ส่งผลต่ออุณหภูมิของเมือง หากเพิ่มพื้นที่สีเขียวไม่ได้ ควรคำนึงถึงการเพิ่มค่า NDVI ของพืชพรรณที่มีอยู่เดิม - พื้นที่สีเขียวในเชิงปริมาณ และคุณภาพมีความสัมพันธ์ต่อการลดลงของอุณหภูมิ -อากาศที่ปกคลุมดินสูงส่งผลต่อการเพิ่มของอุณหภูมิ โดย	สมบูรณ์ และสนับสนุนรูปแบบอาคารที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เช่น การมีส่วนหลังคา หรือสวนแนวตั้ง เป็นต้น

ตารางที่ 6 (ต่อ)

ชื่องานวิจัย/ผู้วิจัย	พื้นที่ศึกษา	วัตถุประสงค์	วิธีการศึกษา	เครื่องมือ	ผลการศึกษา	ปัญหา/ข้อเสนอแนะ
JA: อิทธิพลของสิ่งปกคลุมดินที่มีผลต่ออุณหภูมิในบรรยากาศของกรุงเทพมหานคร กรุงเทพฯ (วันเพ็ญ เจริญตระกูลปิติ, 2555)	กรุงเทพมหานคร	ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสัดส่วนพื้นที่ต้นไม้ที่จะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในเชิงปริมาณ เพื่อกำหนดสัดส่วนการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมที่เหมาะสม	- การจัดเตรียมข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม ปรับความคลาดเคลื่อนด้านเรขาคณิตของข้อมูลภาพถ่าย และการปรับแก้ไขเชิงรังสี - การประมวลภาพถ่ายดาวเทียม โดยการจัดแนกสิ่งปกคลุมดินตามรังสีสะท้อนข้อมูลอุณหภูมิบรรยากาศ และการกำหนดพื้นที่เพื่อหาสัดส่วนพื้นที่ปกคลุมดินและอุณหภูมิเฉลี่ย - การหาความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนสิ่งปกคลุมดินกับอุณหภูมิเฉลี่ยโดยใช้สถิติ Least Square Regression	- ภาพถ่ายดาวเทียม LANSAT-7 ETM (วันที่ 9 มกราคม พ.ศ.2551) ไม่มีเมฆปกคลุม ขนาดความละเอียด 1 Pixel ขนาดความกว้างไม่เกิน 30 x 30 เมตร - อุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนจากสถานีตรวจวัดอากาศ - โปรแกรมสำหรับการแปลงข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม - โปรแกรมด้านสารสนเทศภูมิศาสตร์ - โปรแกรมทางสถิติ	ปริมาณของอากาศยิ่งมากยิ่งส่งผลต่ออุณหภูมิอย่างชัดเจน สิ่งปกคลุมดินประเภทสิ่งปลูกสร้างมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับอุณหภูมิ ในขณะที่สิ่งปกคลุมดินประเภทต้นไม้และน้ำมีความสัมพันธ์เชิงลบกับอุณหภูมิ โดยอุณหภูมิจะลดลง 0.028 องศาเซลเซียส หากเพิ่มพื้นที่ต้นไม้ 1% บนพื้นที่ขนาด 0.1 ตารางกิโลเมตร ดังนั้นในการปรับสภาพภูมิอากาศของกรุงเทพมหานครให้อยู่ในระดับสบาย จึงมีความเป็นไปได้โดยการเปลี่ยนสัดส่วนสิ่งปกคลุมดินโดยเฉพาะการเพิ่มสัดส่วนพื้นที่ต้นไม้และพื้นที่น้ำที่เหมาะสม	การเพิ่มพื้นที่สีเขียวโดยการลดพื้นที่ที่หรือรื้อถอนสิ่งปลูกสร้างเป็นไปได้นอกจากนั้นพื้นที่ว่างเปล่ารกร้างเป็นพื้นที่อ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงในการพัฒนาพื้นที่ ดังนั้นแนวทางการเพิ่มพื้นที่ต้นไม้และการเพิ่มพื้นที่ต้นไม้ในพื้นที่ปกคลุมพื้นที่โดยรอบอาคารมีความเป็นไปได้มากกว่า โดยผ่านกระบวนการส่งเสริมระบบแรงจูงใจ (Bonus system) เช่น การเพิ่มพื้นที่ต้นไม้ในระยะเวลาอันสั้น การพัฒนาพื้นที่ว่างเปล่า หรือการพัฒนาพื้นที่ชุมชนต่างๆ เป็นต้น

ตารางที่ 6 (ต่อ)

ชื่องานวิจัย/ผู้วิจัย	พื้นที่ศึกษา	วัตถุประสงค์	วิธีการศึกษา	เครื่องมือ	ผลการศึกษา	ปัญหา/ข้อเสนอแนะ
JA: มิติเชิงพื้นที่และเวลา ของสภาวะเกาะแห้งความ ร้อนในเมืองเชียงใหม่ (วันเพ็ญ เจริญตระกูลปิติ & นิกร มหาวิน, 2557)	จ.เชียงใหม่	ศึกษาปรากฏการณ์เกาะ ความร้อนเมืองเชียงใหม่ เพื่อกำหนดแนวทางการ พัฒนาเมือง	- สำรวจเกาะความร้อนของเมืองเชียงใหม่โดยใช้สถิติ T-test เพื่อทดสอบความแตกต่างของอุณหภูมิเฉลี่ยระหว่างสถานีอากาศในเมืองและสถานีชนบท - สำรวจเชิงพื้นที่จากภาพถ่ายดาวเทียมโดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม ASTER เป็นพื้นฐาน และนำไปสร้างเส้นชั้นความร้อนแต่ละจุดในโปรแกรมสารสนเทศภูมิศาสตร์ - สำรวจความเข้มข้นของเกาะความร้อนเมืองจากการเปรียบเทียบข้อมูลราย 3 ชม. จากสถานีตรวจวัดอากาศเป็นตัวแทนของพื้นที่เมืองและชนบท - ทดสอบความสัมพันธ์ของอุณหภูมิกับสิ่งปกคลุมดินเพื่อทดสอบอิทธิพลของ	- ภาพถ่ายดาวเทียม ASTER-A2B03 (วันที่ 9 พ.ย. 2553) ข้อมูลอุณหภูมิเชิงพื้นที่เมืองเชียงใหม่ ความละเอียด 90 x 90 เมตร ไม่มีเมฆปกคลุม - LANSAT-7 ETM (วันที่ 28 ม.ค.2553) ไม่มีเมฆปกคลุม ขนาดความละเอียด 1 Pixel ขนาดความกว้างไม่เกิน 30 x 30 เมตร - อุณหภูมิเฉลี่ยราย 3 ชม. จากสถานีตรวจวัดอากาศ - โปรแกรมด้านสารสนเทศภูมิศาสตร์ ArcMap - โปรแกรมทางสถิติ	ผลการวิเคราะห์ พบว่า ลักษณะเชิงพื้นที่ของเกาะความร้อนเมืองเชียงใหม่เป็นแบบศูนย์กลางเดียว ในขณะที่รูปแบบเกาะความร้อนเชิงรูปแบบเกาะความร้อนเชิงเวลาพบว่า ช่วงเวลาที่เกาะความร้อนเมืองมีความเข้มข้นสูงสุดคือในเวลากลางคืนของฤดูหนาวเท่ากับ 2 องศาเซลเซียส ความแตกต่างของลักษณะทางกายภาพของพื้นที่เมืองและพื้นที่ชนบทเป็นสาเหตุของการเกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อน ผลของการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนสิ่งปกคลุมดินกับอุณหภูมิเฉลี่ยด้วยค่า T-test พบว่า อุณหภูมิเฉลี่ยมีความสัมพันธ์กับสัดส่วนสิ่งปกคลุมดินอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 โดยสิ่งปกคลุม	แนวทางการบูรณาการด้านการวางผังเมืองร่วมกับภูมิอากาศพิจารณาได้ 2 กรณี คือ 1) หากอยู่ในระหว่างกระบวนการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน ควรคำนึงถึงความหนาแน่น ความสูง และที่ตั้งของอาคาร และที่โล่งควรมีพื้นที่ 0.1 ตร.กม.เป็นอย่างต่ำ เพื่อก่อให้เกิดการถ่ายเทอากาศสู่พื้นที่โดยรอบ 2) ในกรณีที่พื้นที่มีความเป็นเมืองสูง ควรเสี่ยงการเพิ่มความหนาแน่นของอาคารในพื้นที่ โดยเฉพาะพื้นที่ที่อาจส่งผลกระทบต่อการระบายอากาศ

ตารางที่ 6 (ต่อ)

ชื่องานวิจัย/ผู้วิจัย	พื้นที่ศึกษา	วัตถุประสงค์	วิธีการศึกษา	เครื่องมือ	ผลการศึกษา	ปัญหา/ข้อเสนอแนะ
THESIS: แนวทางการ บรรเทาผลกระทบจาก ปรากฏการณ์เกาะความ ร้อนของเมืองในพื้นที่ หนาแน่นสูง: กรณีศึกษา ถนนสีลม (ณัฏฐพร จีระวัชรพงศ์, 2558)	กรุงเทพมหานคร (ถนนสีลม)	- ศึกษาแนวทางการ บรรเทาผลกระทบจาก ปรากฏการณ์เกาะความ ร้อนที่สามารถนำไป ประยุกต์ได้จริงกับพื้นที่ ศึกษา - ศึกษาวิเคราะห์แนวทาง ในการบรรเทาผลกระทบ จากปรากฏการณ์เกาะ ความร้อนที่ได้รับการ ยอมรับจากภาคีต่างๆ	- วิจัยเชิงคุณภาพ และใช้ การบรรยายเชิงพรรณนา - สำรวจพื้นที่ทางกายภาพ สัมภาษณ์ จัดทำแผนที่ - การสัมภาษณ์เชิงลึกแบบ กึ่งโครงสร้าง (Semi- Structured Interview) กลุ่มตัวอย่างในการวิจัยเป็น การสุ่มแบบเจาะจง (Purposive Sampling) ได้แก่ ตัวแทนจากภาครัฐ ตัวแทนภาคเอกชน นักวิชาการด้านผังเมือง	- การสำรวจและทำแผนที่ประกอบ - แบบสัมภาษณ์เพื่อเก็บ ข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่าง	ดินประเภทอาคารและสิ่งปลูก สร้างมีความสัมพันธ์เชิงบวก กับอุณหภูมิเฉลี่ย ในขณะที่ พื้นที่ธรรมชาติ เช่น พื้นที่ป่า น้ำ พื้นที่เกษตรกรรม มี ความสัมพันธ์เชิงลบกับ อุณหภูมิเฉลี่ย แนวทางการบรรเทา ผลกระทบจากปรากฏการณ์ เกาะความร้อน ได้แก่ - ความหนาแน่นของเมือง เช่น FAR OSR BCR และ Set back ของอาคาร เพื่อให้ อากาศถ่ายเทสะดวกและ จัดทำพื้นที่สีเขียวคุณภาพ - ความสูงและลักษณะอาคาร อาคารสูงไม่ควรอยู่ในระนาบ เดียวกันเนื่องจากอากาศไม่ ถ่ายเท รวมถึงการใช้ระบบ หลังคาเขียว - พื้นที่ว่างเมือง คือการเพิ่ม สวนสาธารณะ การใช้วัสดุ	- ควรศึกษาประกอบกับ ข้อมูลอุณหภูมิในพื้นที่จริง - ควรศึกษาองค์ประกอบ ทางสถาปัตยกรรมที่ส่งผล ต่อการลดอุณหภูมิของ อาคารในพื้นที่เมือง - ควรศึกษาการจัดการน้ำใน พื้นที่ ที่ส่งผลต่อการลด อุณหภูมิในพื้นที่เมือง - ควรศึกษาแนวทางในการ ออกแบบพื้นที่เมือง หนาแน่นต่อไป

ตารางที่ 6 (ต่อ)

ชื่องานวิจัย/ผู้วิจัย	พื้นที่ศึกษา	วัตถุประสงค์	วิธีการศึกษา	เครื่องมือ	ผลการศึกษา	ปัญหา/ข้อเสนอแนะ
Research: การประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในการศึกษาปรากฏการณ์เกาะความร้อนในเขตเทศบาลนครหาดใหญ่และพื้นที่รอบนอก (ปณณช รุธิโรโก, 2558)	สงขลา (อ.หาดใหญ่)	- ศึกษาปรากฏการณ์เกาะความร้อนในเขตเทศบาลนครหาดใหญ่และพื้นที่โดยรอบ - ศึกษาความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ของปรากฏการณ์เกาะความร้อนกับการใช้ประโยชน์ที่ดินของพื้นที่ศึกษา - ศึกษาแนวทางการลดผลกระทบปรากฏการณ์เกาะความร้อน	- การวิจัยเชิงปริมาณ - สํารวจการใช้ประโยชน์ที่ดินและกำหนดจุดในการเก็บตัวอย่างค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ - จัดทำฐานข้อมูลสารสนเทศของค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ - วิเคราะห์ข้อมูลความเข้มข้นของปรากฏการณ์เกาะความร้อนและผลกระทบปรากฏการณ์เกาะความร้อน	- เทอร์มิมิเตอร์ วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ (เก็บข้อมูลช่วงกลางวันและกลางคืน วันที่ 25 เม.ย. 58) (ใช้ยานพาหนะในการเก็บข้อมูลในแต่ละจุด) - การแปลงภาพถ่ายดาวเทียมจาก Google map - โปรแกรมด้านสารสนเทศภูมิศาสตร์ GIS สำหรับเก็บค่าพิกัดพื้นที่ศึกษา	Cool Pavement การออกแบบถนนและทางเดินเท้า พื้นที่ศึกษาช่วงเวลากลางวัน พบพื้นที่ที่มีอุณหภูมิสูงมากกว่ากลางคืน และทั้งสองช่วงเวลามีอุณหภูมิสูงบริเวณพื้นที่เมืองและมีอุณหภูมิต่ำบริเวณรอบนอกเมือง ส่วนค่าความเข้มข้นของการเกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนมีค่า 2.5 องศาเซลเซียส และกลางคืนมีค่าเท่ากับ 5 องศาเซลเซียส ความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ของ PHI กับการใช้ประโยชน์ที่ดินพบว่า บริเวณที่มีอุณหภูมิสูงเป็นพื้นที่ใจกลางเมือง มีอาคารและสิ่งปลูกสร้างหนาแน่น มีการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นเขตพาณิชยกรรม/ที่อยู่อาศัยหนาแน่นมาก	- แนวทางการลดผลกระทบจาก UHI สามารถทำได้โดยการเพิ่มพื้นที่สีเขียวในเขตเมือง หากมีข้อจำกัดในเชิงพื้นที่ อาจเพิ่มพื้นที่สีเขียวในลักษณะสวนหย่อมหรือสวนแนวตั้ง - ผลการศึกษาเป็นข้อมูลช่วงเวลาเดียว ควรเก็บข้อมูลต่างๆตามฤดูกาลเพื่อเปรียบเทียบ และการเก็บข้อมูลเกี่ยวกับทิศทางการเปลี่ยนแปลงจากผลต่อค่าของอุณหภูมิ

ตารางที่ 6 (ต่อ)

ชื่องานวิจัย/ผู้วิจัย	พื้นที่ศึกษา	วัตถุประสงค์	วิธีการศึกษา	เครื่องมือ	ผลการศึกษา	ปัญหา/ข้อเสนอแนะ
JA: การจำแนกความคล้ายเชิงพื้นที่ทางความเสถียรเชิงความร้อนพื้นผิวเพื่อกำหนดความแตกต่างของเขตบรรยากาศประจำถิ่นในเมืองเชิงใหม่ (มานัส ศรีวณิช & สุดารัตน์ อุทธารัตน์, 2559)	จ.เชียงใหม่	- เพื่อจำแนกและอธิบายข้อมูลลักษณะความคล้ายเหมือนเชิงพื้นที่ของเขตบรรยากาศประจำถิ่นที่เกิดจากปัจจัยทางสิ่งแวดล้อม ทางธรรมชาติ และลักษณะพื้นฐานวิทยาเมือง - วิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างทางปริมาณความร้อนระหว่างเขตบรรยากาศประจำถิ่นเพื่อสร้างกฎเกณฑ์การวัดขนาดความเข้มข้นของเกาะความร้อนเมือง	- การเตรียมข้อมูลเชิงพื้นที่ด้านสิ่งแวดล้อมทางธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมเมือง โดยใช้ GIS เพื่อจำแนกภูมิอากาศความร้อนของ 1)โครงสร้างเมือง เช่น FAR BCR ความหนาแน่นอาคาร (Building density) ความสูงต่ำทางภูมิศาสตร์ (Topographic elevation) 2) สิ่งปกคลุมเมือง เช่น GCR NDVI NDWI Greenery index Water index ที่ประเมินจากเทคนิค RS และข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม - การวิเคราะห์ทางสถิติด้วยการวิเคราะห์องค์ประกอบ (Factor analysis) และอธิบายค่าความสัมพันธ์จากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation)	- ภาพถ่ายดาวเทียม LANSAT-8 TM (วันที่ 20 มี.ค.2557) ไม่มีเมฆปกคลุม ขนาดความละเอียด 1 Pixel ขนาดความกว้างไม่เกิน 30 x 30 เมตร - GIS vector data scale 1:4000 - โปรแกรมด้านสารสนเทศภูมิศาสตร์ - โปรแกรมทางสถิติ	ผลการศึกษาพบเขตบรรยากาศประจำถิ่น 8 เขตที่มีการกระจายตัวแบบลำดับขั้นต่อเนื่องจากในตัวเมืองถึงชานเมือง และพบขนาดความเข้มข้นของ UHI สูงกว่า 4.35 องศาเซลเซียสในตัวเมือง โดยพื้นที่ขนาด 20.88 ตร.กม. บริเวณแกนเมืองเป็นเขตพื้นที่ที่มีความแปรปรวนสูงทางอุณหภูมิ มีปริมาณความร้อนสูง มีอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยที่ 34.49 องศาเซลเซียส เป็นพื้นที่เร่งด่วนในการหามาตรการบรรเทาผลกระทบ	การพัฒนาที่เกินขนาดควรมีการห้ามอย่างเคร่งครัดตามเส้นทางรับลม ควรมีการวางแผนและพื้นฟูบูรณะที่เหมาะสมเพื่อบรรเทาปัญหาสภาพภูมิอากาศเมืองที่รุนแรงที่ควรนำมาพิจารณาเพิ่มเติมเพื่อหลีกเลี่ยงการทำลายสิ่งแวดล้อมเมือง เช่น การควบคุมความสูง การกระจายของอาคารเชิงพื้นที่ที่เหมาะสม รวมทั้งการควบคุมอัตราส่วนของอาคารต่อพื้นที่ถนน และการวางทิศทางแนวนอน พร้อมกับพิจารณาพื้นที่สีเขียวและการปลูกต้นไม้

ตารางที่ 6 (ต่อ)

ชื่องานวิจัย/ผู้วิจัย	พื้นที่ศึกษา	วัตถุประสงค์	วิธีการศึกษา	เครื่องมือ	ผลการศึกษา	ปัญหา/ข้อเสนอแนะ
JA: การหาดัชนี ความสัมพันธ์ของการใช้ที่ดิน เปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน กับ ปรากฏการณ์เกาะ ความร้อนของเมืองไม่ซ์ พัพยา (มลวรรณ ปริประมัย, สุรทิพย์ ขวณะเวสสกุล, & พันทิพย์ ปิยะทัศน์า นนท์, 2562)	เทศบาลเมือง พัพยา	- จำแนกการเปลี่ยนแปลงจากการใช้ประโยชน์ที่ดิน/สิ่งปกคลุมดินของพื้นที่เทศบาลเมืองพัพยา - ศึกษาอุณหภูมิพื้นผิวของการใช้ประโยชน์ที่ดิน/สิ่งปกคลุมดินต่อการเกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนพื้นที่เทศบาลเมืองพัพยา - หาดัชนีความสัมพันธ์ของการใช้ประโยชน์ที่ดิน/สิ่งปกคลุมดินกับอุณหภูมิพื้นผิวของพื้นที่เทศบาลเมืองพัพยา	- จำแนกข้อมูลการใช้ที่ดิน - สํารวจข้อมูลภาคสนามและนําคําสั่งปรับแก้ด้วยคอมพิวเตอร์ - วิเคราะห์อุณหภูมิพื้นผิวภาพถ่ายจากดาวเทียม - ศึกษาความสัมพันธ์ดัชนีพืชพรรณ NDVI ดัชนีความต่างและความปกติ - สํารวจข้อมูลภูมิอากาศ - ศึกษาความสัมพันธ์ของอุณหภูมิพื้นผิวกับค่าดัชนีพืชพรรณ NDVI และดัชนีความต่างของน้ำ NDWI	- ภาพถ่ายดาวเทียม LANSAT-5 TM (วันที่ 27 ม.ค.2550, 12 ม.ค.2555) ช่วงคลื่นความร้อนแบบ 6 และข้อมูล LANSAT-8 OLI (วันที่ 8 ก.พ.2559) ช่วงคลื่นความร้อนแบบ 10 - โปรแกรมทางสถิติ	- ผลการศึกษาพื้นที่เทศบาลเมืองพัพยา พ.ศ. 2550 – 2559 พบรูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดิน/สิ่งปกคลุมดินมีการเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพเศรษฐกิจ เพื่อให้มีศักยภาพการเป็นเมืองไม่ซ์พัพยา ที่สามารถตอบสนองความต้องการของนักธุรกิจความต้องเกี่ยวได้ในทุกรูปแบบนักท่องเที่ยวยุคใหม่และการศึกษาค่าดัชนีความสัมพันธ์ของ การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน/สิ่งปกคลุมดินกับค่าอุณหภูมิ พพบว่า ค่าดัชนีพืชพรรณ และค่าดัชนีผลต่างของน้ำ มีความสัมพันธ์แบบผกผันกับค่าอุณหภูมิ ส่วนค่าดัชนีสิ่ง	- การศึกษาครั้งนี้มีข้อจำกัดด้านพื้นที่เนื่องจากมีพื้นที่ขนาดเล็ก เพื่อให้ได้ความแม่นยำในการศึกษาอุณหภูมิพื้นผิวแนะนำให้ทำการศึกษาอุณหภูมิในพื้นที่ดิน/สิ่งปกคลุมดินในระดับที่ 3 - เนื่องด้วยข้อจำกัดทางงบประมาณและเครื่องมือที่ไม่พร้อมต่อการเก็บข้อมูลอุณหภูมิในพื้นที่ จึงทำให้การศึกษาค่าดัชนีนี้ไม่ได้ตรวจสอบค่าอุณหภูมิพื้นผิวกับพื้นที่จริง ในการศึกษาครั้งต่อไปแนะนำให้ทำการเก็บค่าอุณหภูมิจากพื้นที่จริง

ตารางที่ 6 (ต่อ)

ชื่องานวิจัย/ผู้วิจัย	พื้นที่ศึกษา	วัตถุประสงค์	วิธีการศึกษา	เครื่องมือ	ผลการศึกษา	ปัญหา/ข้อเสนอแนะ
					ปลูกสร้างมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันกับค่าอุณหภูมิ	มาตรวจสอบค่าความถูกต้อง กับผลการวิเคราะห์ - จากวิจัยในครั้งนี้นี้ได้มา ข้อมูลภาพจากดาวเทียม Landsat 5 TM และ ข้อมูลภาพจากดาวเทียม Landsat 8 OLI ซึ่งมีค่า ความละเอียดช่วง Thermal Infrared ที่ต่างกันผลการ วิเคราะห์อาจจะเกิดข้อ ขัดแย้ง จึงควรศึกษา ข้อมูลภาพจากดาวเทียมที่มี ค่าความละเอียดช่วง เดียวกันเพื่อให้ได้ผล วิเคราะห์ไปในทิศทาง เดียวกัน
JA: การคาดการณ์ ผลกระทบของเรขาคณิต ของเมืองต่อปรากฏการณ์ เกาะความร้อนเมือง: กรณีศึกษา กรุงเทพมหานคร	กรุงเทพมหานคร (ถนนเพชรบุรี และ ถนนสุวินทวงศ์)	-ศึกษาการคาดการณ์ เรขาคณิตของเมืองในการนิ ที่ก่อสร้างอาคารใหม่โดย ใช้ประโยชน์ที่ดินสูงสุดที่ สามารถก่อสร้างได้ตาม แผนผังการใช้ประโยชน์	- สร้างแบบจำลองเรขาคณิต เมืองจากข้อมูลที่เกี่ยวข้อง ของพื้นที่ศึกษา - จำลองสภาพแวดล้อมและ วัดค่าอุณหภูมิอากาศ โปรแกรม Envi-met	- โปรแกรม Envi-met สำหรับจำลอง สภาพแวดล้อม วัดค่า อุณหภูมิ และหาความ เข้มข้นของเกาะความร้อนเมือง	กรณีศึกษาหุเนชันของ พื้นที่เมือง และ พื้นที่ชนบท มี อัตราส่วนความสูงต่อความ กว้างของหุบเขาคอนตามแนว ถนนสายหลักเท่ากับ 1.7 และ 0.2 ตามลำดับ ทำการจำลอง	จากการศึกษานี้ ทำให้ สามารถค้นคว้าอย่างแนวทาง ในการกำหนดเรขาคณิตของ เมืองจากข้อกำหนด และ กฎหมายที่เกี่ยวข้อง เพื่อ เป็นพื้นฐานของการสร้าง

ตารางที่ 6 (ต่อ)

ชื่องานวิจัย/ผู้วิจัย (ประรินทร์ บุตรดี และ สิริ มาส เสงี่ยม, 2562)	พื้นที่ศึกษา	วัตถุประสงค์	วิธีการศึกษา	เครื่องมือ	ผลการศึกษา	ปัญหา/ข้อเสนอแนะ
		ที่ดิน - ศึกษาผลกระทบด้าน ภูมิอากาศ และ ความ เข้มข้นของเกาะความร้อน เมืองจากความแตกต่าง ของค่าอุณหภูมิอากาศ ระหว่างตัวแทนพื้นที่เมือง กับชนบทของเรขาคณิต เมืองที่เกิดขึ้นในอนาคต ในกรณีที่ใช้ประโยชน์ที่ดิน สูงสุด	- การศึกษาอิทธิพลของ เรขาคณิตเมืองต่อ ปรากฏการณ์เกาะความร้อน เมือง	- ข้อมูลสารสนเทศ ภูมิศาสตร์ สำนักงานผัง เมืองทพ. (Web- based Application) - โปรแกรมทางสถิติ	สภาพแวดล้อมด้วยโปรแกรม Envi-met และ วัดค่าอุณหภูมิ อากาศที่ระดับความสูง 1.50 เมตรเหนือพื้นผิวบริเวณถนน เพชรบุรี 2 จุด และ พื้นที่ ชนบทบริเวณถนนสุวินทวงศ์ 2 จุด ผลการศึกษาพบว่า เรขาคณิตของเมือง กรุงเทพมหานครภายใต้ ข้อกำหนด และ กฎหมายที่ เกี่ยวข้อง ส่งผลต่อการเกิด ปรากฏการณ์เกาะความร้อน เมืองในฤดูร้อน ทั้งช่วงเวลา กลางวัน และ กลางคืน โดย ความเข้มข้นของเกาะความร้อน เมืองสูงสุดมีค่าเท่ากับ 4.12 °C เวลา 13.00 น. เนื่องจากในพื้นที่เมืองมีการ สะท้อนความร้อนกลับสู่ชั้น บรรยากาศน้อยกว่าพื้นที่ ชนบท	เกณฑ์ในการช่วยบรรเทา ผลกระทบจากปรากฏการณ์ เกาะความร้อนเมืองได้ต่อไป

ตารางที่ 6 (ต่อ)

ชื่องานวิจัย/ผู้วิจัย	พื้นที่ศึกษา	วัตถุประสงค์	วิธีการศึกษา	เครื่องมือ	ผลการศึกษา	ปัญหา/ข้อเสนอแนะ
JA: Assessment of Urban Heat Island Patterns in Bangkok Metropolitan Area Using Time-Series of LANDSAT Thermal Infrared Data (Warisara Sanecharoen, Kanchana Nakhapakorn, Aeumphorn Mutchimwong, Supet Jirakajohnkool, & Rattapon Onchang, 2019)	กรุงเทพมหานคร	- ศึกษา time-series จากดาวเทียม LANDSAT TM/TIRS, Thermal infrared bands เพื่อศึกษาความเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิพื้นผิว (LST) และความเข้มข้นของเกาะความร้อนเมือง UHI ระหว่างปี 2008 – 2014 - ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง UHI การใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปลูกสร้าง รวมถึงการขยายตัวของเขตเมืองในกทม.	- การทดสอบข้อมูลและการควบคุมคุณภาพ โดยการใช้ข้อมูลปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิเฉลี่ยบนพื้นผิวรายเดือนจากสถานีตรวจวัดอากาศ และประเมินความถูกต้องของข้อมูลด้วยวิธีการทางสถิติ T-test และ F-test - การแปลงภาพถ่ายดาวเทียมเป็นขนาด 30 เมตร ต่อ 1 pixel - คำนวณ LST จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม - การศึกษารูปแบบ LST และ UHI เพื่อวิเคราะห์ความเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิพื้นผิว ซึ่งค่าเฉลี่ยอุณหภูมิพื้นผิวนำมาจากเมืองชั้นใน ขอบเขตเมืองและชานเมือง และ	- ภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT 5 Thematic Mapper (TM) (วันที่ 5 มี.ค. 2551, 8 พ.ค.2551, 19 ม.ค.2552, 25 เม.ย.52, 19 พ.ย.52, 25 ม.ค. 54 9 พ.ย.54) และ LANDSAT 8 Thermal Infrared Sensor (TIRS) (วันที่ 2 ก.พ. 2557, 17 พ.ย.2557) ท้องฟ้าโปร่ง	UHI กรุงเทพมหานครในฤดูหนาว มีความเข้มข้นของเกาะความร้อนสูงกว่าในฤดูร้อน ภาพถ่ายดาวเทียมถูกนำมาใช้เพื่อจำแนกประเภทของการใช้ประโยชน์ที่ดิน เช่น พื้นที่เปิดโล่งของอาคารสูง พื้นที่ที่มีอาคารหนาแน่น และอาคารสูง ค่าดัชนีพืชพรรณต่ำ พบได้มากในพื้นที่เขตเมืองและเขตเมืองชั้นในที่มีอุณหภูมิพื้นผิวสูง ส่วนค่าดัชนีพืชพรรณสูงพบได้ในพื้นที่เกษตรกรรมและบริเวณที่มีความหนาแน่นของอาคารต่ำ ปรากฏในพื้นที่ชานเมืองที่มีอุณหภูมิพื้นผิวต่ำ ผลการศึกษาพบว่า NDVI และเขตพื้นที่อาคารสูง มีอิทธิพลต่อการกระจายของอุณหภูมิพื้นผิว Land surface temperature (LST) และการ	จากการวิจัยครั้งนี้พบว่า ในการลดปรากฏการณ์ UHI ในเมืองชั้นในเขตเมืองและเขตชานเมืองของกทม.คือ การเพิ่มพื้นที่สีเขียว หากมีพื้นที่จำกัด วิธีการหนึ่งใน การเพิ่มพื้นที่สีเขียว คือการ สร้างสวนแนวตั้ง หลังคาเขียว หลังคาเย็น หน่วยงานรัฐควรพิจารณาการมีส่วนร่วมของการเพิ่มพื้นที่สีเขียวในอาคารสูง การศึกษานี้ ศึกษาเฉพาะปัจจัยของ NDVI อาคารสูง และการใช้ประโยชน์ที่ดิน ควรมีการศึกษาปัจจัยอื่นๆ เพิ่มเติม เช่น อุณหภูมิอากาศ ทิศทางและความเร็วลม และการใช้สถานที่ตรวจวัดอากาศเพิ่มเติมในระดับ Microclimate ซึ่ง

ตารางที่ 6 (ต่อ)

ชื่องานวิจัย/ผู้วิจัย	พื้นที่ศึกษา	วัตถุประสงค์	วิธีการศึกษา	เครื่องมือ	ผลการศึกษา	ปัญหา/ข้อเสนอแนะ
			เปรียบเทียบในแต่ละช่วงเวลา - การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง UHI กับ NDVI และการวิเคราะห์ความสัมพัทธ์ระหว่าง UHI กับอาคารสูง เพื่อจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดิน สิ่งปลูกสร้าง / ความสูงและความหนาแน่นของอาคาร / มีการสำรวจพื้นที่จริงเพื่อตรวจสอบและปรับปรุงความถูกต้องของข้อมูล		เกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อน	ปัจจัยเหล่านี้อาจส่งผลกระทบต่อ UHI เช่นกัน

หมายเหตุ:

JA: Journal Article

GI: Green Infrastructure

UHI: Urban Heat Island

UHII: Urban Heat Island Intensity

LST: Land Surface Temperature

FAR: Floor Area Ratio สัดส่วนพื้นที่อาคารรวมต่อพื้นที่ดิน

OSR: Open Space Ratio สัดส่วนพื้นที่เปิดโล่งต่อพื้นที่ใช้สอยรวม

BCR: Building Coverage Ratio สัดส่วนพื้นที่อาคารปกคลุมดินต่อพื้นที่ดิน

NDVI: Normalized Difference Vegetation Index ค่าดัชนีพืชพรรณ มีค่า -1 ถึง +1 ค่าใกล้ 1

หมายถึงพื้นที่มีพืชพรรณสมบูรณ์มาก เช่น พื้นที่ป่าไม้

NDWI: Normalized Difference Water Index ค่าดัชนีความแตกต่างของน้ำ

NDBI: Normalized Difference Built Index ค่าดัชนีความแตกต่างของอาคาร

GCR: Green coverage ratio อัตราส่วนพื้นที่สีเขียวปกคลุมดินต่อพื้นที่ดิน

Greenery index ดัชนีความเขียว Water index ดัชนีความชุ่มน้ำ

2.5 สรุปผลการทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า ปรากฏการเกาะความร้อนเมืองมีการศึกษาในพื้นที่เมืองที่มีความหนาแน่นสูง รวมถึงความแตกต่างระหว่างการใช้พื้นที่ในเมืองและพื้นที่ชนบท ทั้งในประเด็นของการใช้ประโยชน์ที่ดินและปริมาณสิ่งปลูกสร้างในพื้นที่ งานวิจัยที่เกี่ยวข้องส่วนใหญ่เป็นงานวิจัยเชิงคุณภาพ โดยสรุปปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการศึกษาเกาะความร้อนไว้ในหลายประเด็น สามารถแบ่งเป็น 3 กลุ่มได้แก่

1) รูปทรงเรขาคณิตเมือง (Urban geometry) เช่น รูปทรง ขนาด ความสูง ถนน ที่ว่างระหว่างอาคาร และหุบเขาเมือง (Urban canyons)

2) สิ่งปกคลุมเมืองและวัสดุพื้นผิว (Urban cover and surface materials) เช่น ค่าดัชนีพืชพรรณ (NDVI: Normalized Difference Vegetation Index) ค่าดัชนีความแตกต่างของน้ำ (NDWI: Normalized Difference Water Index) ค่าดัชนีความแตกต่างของอาคาร (NDBI: Normalized Difference Built Index) อัตราส่วนพื้นที่สีเขียวปกคลุมดินต่อพื้นที่ดิน (GCR: Green coverage ratio) ดัชนีความเขียว (Greenery index) ดัชนีความชุ่มน้ำ (Water index)

3) การใช้ที่ดิน เช่น การใช้ประโยชน์ที่ดิน (Land use) สัดส่วนพื้นที่อาคารรวมต่อพื้นที่ดิน (FAR: Floor Area Ratio) สัดส่วนพื้นที่เปิดโล่งต่อพื้นที่ดิน (OSR: Open Space Ratio) สัดส่วนพื้นที่อาคารปกคลุมดินต่อพื้นที่ดิน (BCR: Building Coverage Ratio)

ปัจจัยดังกล่าวข้างต้น มีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความเข้มข้นของการเกิดปรากฏการณ์ความร้อนเมืองในลักษณะที่แตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ โดยรูปแบบของการศึกษาหากเป็นการศึกษาเฉพาะตัวแทนของพื้นที่เมืองหรือชนบท มีการใช้การสำรวจด้วยเครื่องตรวจวัดอุณหภูมิ (เทอร์โมมิเตอร์) และ/หรือข้อมูลอุณหภูมิจากสถานีตรวจวัดอากาศ หากเป็นพื้นที่ครอบคลุมขนาดใหญ่จะทำการสำรวจข้อมูลต่างๆ โดยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ (Geoinformation technology) กับการสำรวจระยะไกล (Remote Sensing) ด้วยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม เช่น ดาวเทียม ASTER ดาวเทียม LANSAT-5, 7, 8 ตามช่วงคลื่นอินฟราเรดความร้อนต่างๆ วิเคราะห์ผ่านข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ของพื้นที่ ร่วมกับการวิเคราะห์และสังเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

จากการทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในประเทศไทย พบว่า ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ศึกษา การใช้ประโยชน์ที่ดิน และสิ่งปกคลุมดิน สัมพันธ์การเกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมือง โดยใช้ข้อมูลอุณหภูมิอากาศในพื้นที่เพื่อระบุการเกิดเกาะความร้อน

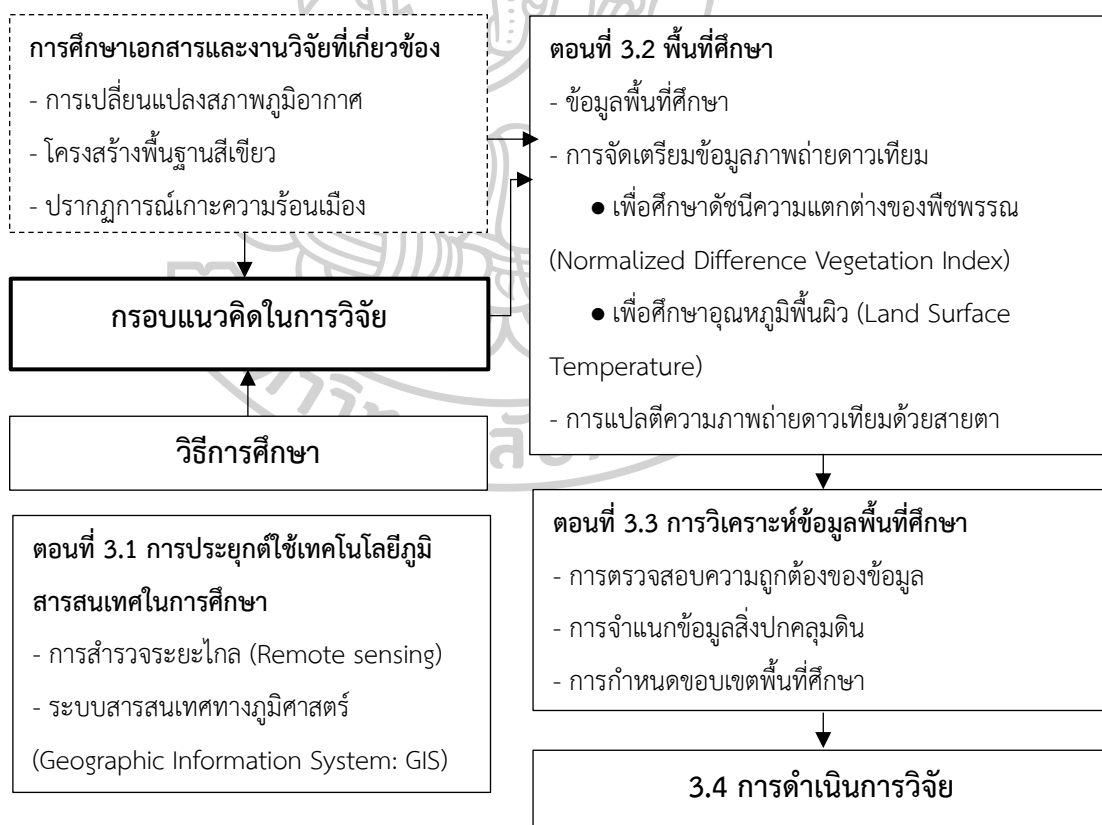
ร้อนเมืองได้โดยตรง ซึ่งจากผลการศึกษาส่วนใหญ่พบว่า พื้นที่สีเขียวส่งผลต่ออุณหภูมิอากาศ และช่วยในการลดความเข้มข้นของเกาะความร้อนเมือง (Urban Heat Island Intensity: UHII) ที่เปรียบเทียบระหว่างพื้นที่เมืองและพื้นที่ชนบท แสดงให้เห็นถึงแนวทางการใช้พื้นที่สีเขียวเพื่อบรรเทาผลกระทบการเกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมือง แต่การเพิ่มพื้นที่สีเขียวโดยการเพิ่มพื้นที่ปลูกต้นไม้ การลดพื้นที่อาคาร หรือการรื้อถอนสิ่งปลูกสร้าง เป็นไปได้ยากในทางปฏิบัติและอาจไม่เพียงพอต่อการแก้ปัญหาดังกล่าว

ทั้งนี้ การทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง การเกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมือง เป็นการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศระหว่างพื้นที่เมืองและพื้นที่ชนบท ซึ่งอาจมีข้อจำกัดในการกำหนดขอบเขตพื้นที่เมืองและพื้นที่ชนบท อีกทั้งต้องคำนึงถึงการเลือกสถานีตรวจวัด จึงมีการศึกษาการใช้อุณหภูมิพื้นผิวดิน (Land Surface Temperature: LST) ร่วมกับพื้นที่พื้นผิวที่น้ำไม่สามารถซึมผ่านได้ (Impervious surface area: ISA) ในการวัดปริมาณความเข้มข้นของเกาะความร้อนเมืองบนพื้นผิวเมือง (Surface Urban Heat Island Intensity: SUHII) ผลการศึกษาพบว่า ความเข้มข้นของเกาะความร้อนเมืองบนพื้นผิวเมืองจะมีค่าสูงสุดในฤดูร้อนและช่วงกลางวัน มากกว่าช่วงฤดูหนาวในเวลากลางคืน อีกทั้งมีการเสนอแนะการใช้ข้อมูลดาวเทียม Landsat ที่มีความละเอียดมากยิ่งขึ้นในการศึกษา (Li et al., 2018) อีกทั้งการศึกษการเกิดเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมือง (Surface Urban Heat Island) ยังพบได้น้อยในพื้นที่กรุงเทพมหานคร ซึ่งการศึกษาดังกล่าวสามารถใช้อุณหภูมิพื้นผิวดินจากการสำรวจระยะไกลในการศึกษาพื้นที่ขนาดใหญ่ได้ (Tepanosyan et al., 2021) และการศึกษาเกี่ยวกับโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวในประเทศไทยกับการเกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมืองยังพบได้น้อย ส่วนใหญ่เป็นผลการศึกษาการใช้พื้นที่สีเขียวที่ไม่ระบุรูปแบบในการลดปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมือง จึงควรมีการศึกษการจำแนกสิ่งปกคลุมดินในพื้นที่เฉพาะเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิพื้นผิวดิน (LST) และดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณ (Normalized Difference Vegetation Index: NDVI) (Khamchiangta & Dhakal, 2020) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพพื้นที่สีเขียวเดิมหรือพื้นที่โล่งรกร้างว่างเปล่า เป็นแนวทางในการพัฒนาพื้นที่สีเขียวคุณภาพที่มีศักยภาพตามแนวคิดโครงสร้างพื้นฐานสีเขียว และบรรเทาผลกระทบปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมืองในพื้นที่กรุงเทพมหานครในอนาคต

บทที่ 3

ระเบียบวิธีวิจัย

จากวัตถุประสงค์ของการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งปกคลุมดินและการเกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนบนพื้นผิวเมือง ด้วยการวิเคราะห์ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ ผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์ และการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีด้านการสำรวจระยะไกล โดยมีจุดมุ่งหมายในการศึกษาปัจจัยทางกายภาพของพื้นที่ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพพื้นที่สีเขียวเดิมหรือพื้นที่โล่งรกร้างว่างเปล่า ซึ่งสามารถเป็นแนวทางหนึ่งในการพัฒนาพื้นที่สีเขียวคุณภาพที่มีศักยภาพตามแนวคิดโครงสร้างพื้นฐานสีเขียว และสามารถนำไปสู่การกำหนดรูปแบบโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวเพื่อบรรเทาการเกิดเกาะความร้อนเมืองพื้นที่กรุงเทพมหานครในอนาคต จากการทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง จึงจำเป็นต้องจัดเตรียมข้อมูลพื้นที่ศึกษาและข้อมูลที่เกี่ยวข้องในการจำแนกประเภทสิ่งปกคลุมดิน (Subclass: Surface types) และการกำหนดพื้นที่ศึกษา โดยมีกระบวนการดังนี้



ภาพที่ 15 กระบวนการและแนวทางในการดำเนินงานวิจัย

3.1 การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศในการศึกษา

ข้อมูลจากตำราเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศศาสตร์ สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) (2552) ได้ให้ความหมายของเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ (Geo-information technology) หมายถึง การบูรณาการความรู้และเทคโนโลยีทางด้านการสำรวจระยะไกล (Remote Sensing : RS) ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System : GIS) และระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก (Global Positioning System : GPS) เพื่อประยุกต์ใช้งานในด้านต่างๆ ให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ โดยที่วิทยาการด้านการรับรู้จากระยะไกลซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่สำคัญในการศึกษาองค์ประกอบต่างๆ บนพื้นโลกและในชั้นบรรยากาศ เพื่อศึกษาและติดตามการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมทางธรรมชาติได้โดยการเลือกใช้ข้อมูลจากดาวเทียมที่มีความละเอียดของภาพและประเภทของดาวเทียมหลากหลาย ขึ้นอยู่กับการประยุกต์ใช้ในแต่ละเรื่อง นอกจากนี้ข้อมูลจากการสำรวจจากระยะไกลเป็นข้อมูลที่ได้มาอย่างรวดเร็ว สามารถตอบสนองความต้องการได้ทันทีสำหรับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ สามารถจัดการข้อมูลเชิงพื้นที่ วิเคราะห์ข้อมูลและประยุกต์ใช้ในการวางแผนจัดการทรัพยากรธรรมชาติต่างๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ระบบกำหนดตำแหน่งบนโลกสามารถนำมาใช้กำหนดตำแหน่งเชิงพื้นที่ และติดตามการเคลื่อนที่ของคนและสิ่งของได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำ เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศจึงเป็นวิทยาการที่สำคัญที่หลายหน่วยงานได้นำมาพัฒนาประเทศในหลากหลายด้าน เช่น ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เกษตร ผังเมือง การจราจรและการขนส่ง ความมั่นคงทางการทหาร ภัยธรรมชาติ และการค้าเชิงธุรกิจ ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศสามารถนำมาประกอบการวางแผนการตัดสินใจในเรื่องต่างๆ ได้อย่างถูกต้องและรวดเร็ว (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ, 2552)

ซึ่งปัจจุบันเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศเข้ามามีบทบาทสำคัญทั้งในด้านเศรษฐกิจ สุขภาพ สิ่งแวดล้อม และการศึกษา โดยเป็นการนำความรู้มาประยุกต์ใช้ในการจัดการข้อมูลเชิงพื้นที่ วิเคราะห์ข้อมูล และประยุกต์ใช้ในการวางแผนจัดการข้อมูลต่างๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ได้อธิบายรายละเอียดในการศึกษาข้อมูลเชิงพื้นที่โดยใช้เครื่องมือทางเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศมาใช้เพื่อให้เกิดความเข้าใจปรากฏการณ์ต่างๆ รวมถึงความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์กับสิ่งแวดล้อม โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) การรับรู้ระยะไกล หรือ Remote Sensing

อัญญา บุชายันต์ และคณะ (2561) ได้อธิบายถึงความหมายของการรับรู้ระยะไกล ในภาษาไทยมีคำแปลที่ใช้กันอยู่หลายคำ ได้แก่ “การรับรู้จากระยะไกล” “การสำรวจข้อมูลจากระยะไกล” “โทรสัมผัส” และ “โทรนิทัศน์” โดยราชบัณฑิตยสถานใช้คำว่า “การรับรู้จากระยะไกล” เป็นวิทยาศาสตร์และศิลปะของการได้มาซึ่งข้อมูลเกี่ยวกับวัตถุ พื้นที่และปรากฏการณ์บนพื้นโลก จากเครื่องรับรู้ (Sensor) โดยปราศจากการเข้าไปสัมผัสวัตถุเป้าหมาย ทั้งนี้อาศัยพลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic energy) เป็นสื่อในการได้มาของข้อมูลซึ่งมีคุณสมบัติ 3 ประการ คือ ลักษณะการสะท้อนช่วงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Spectral characteristics) ลักษณะเชิงพื้นที่ของวัตถุบนพื้นผิวโลก (Spatial characteristics) และลักษณะการเปลี่ยนแปลงของวัตถุตามช่วงเวลา (Temporal characteristics) (อัญญา บุชายันต์, วณมพร พาหะนิตย์, & ภูมิ สาทสินธุ์, 2561)

การรับรู้จากระยะไกล หมายถึง การได้มาของข้อมูล (Data acquisition) โดยใช้อุปกรณ์ตรวจวัดที่อยู่ไกลออกไป และทำการสกัดสารสนเทศต่างๆ (Information extraction) ข้อมูลที่ได้มาจากการตรวจวัดเพื่อทำการวิเคราะห์และประมวลผล ซึ่งองค์ประกอบทั้งสองส่วนนี้มีกระบวนการเริ่มจากการส่งพลังงานจากแหล่งพลังงานเพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูล การสกัดสารสนเทศออกมาจากข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดไปจนถึงการนำข้อมูลไปช่วยสนับสนุนการตัดสินใจในเรื่องต่างๆ (สาโรช แสงเมือง, พิชญ รัชฎาวงศ์, & กฤตยาภรณ์ เจริญผล, 2566; อัญญา บุชายันต์ et al., 2561) รายละเอียดในแต่ละองค์ประกอบมีดังนี้

- การได้มาของข้อมูล ประกอบด้วย แหล่งพลังงาน ปฏิสัมพันธ์ของพลังงานกับวัตถุต่างๆ บนผิวโลกกระบวนการตรวจวัดข้อมูล และการบันทึกข้อมูล
- การสกัดข้อมูลเพื่อทำการวิเคราะห์และประมวลผล ประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ คือ การปรับเทียบข้อมูลเบื้องต้นและการพิมพ์ภาพ (Preprocessing calibration development and printing) การแปลตีความ (Interpretation) ซึ่งต้องอาศัยพื้นฐานความรู้และความเข้าใจของผู้แปลและการตรวจสอบในภาคสนาม เพื่อทำแผนที่และจัดการสารสนเทศต่อไป

2) ระบบดาวเทียมนำทางโลก หรือ Global Navigation Satellite System: GNSS

ระบบดาวเทียมนำทางโลก คือ ระบบนำทางด้วยดาวเทียม เป็นคำมาตรฐานทั่วไปที่ใช้เรียกแทนคำว่า Satellite Navigation System (SatNav) ทำหน้าที่ให้ข้อมูลพิกัดบนผิวโลก โดยใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เป็นตัวรับสัญญาณเพื่อคำนวณ และแสดงพิกัดตำแหน่ง ณ จุดที่ตัวรับสัญญาณตั้งอยู่ จะรับสัญญาณจากดาวเทียมเพื่อหาตำแหน่ง ณ จุดใดๆ บนโลกอ้างอิงกับระบบพิกัดทาง

ภูมิศาสตร์ ได้ตลอด 24 ชั่วโมง โดยไม่จำกัดสภาพอากาศแต่อย่างใด จึงนับได้ว่าเป็นระบบนำทางที่ดี ในปัจจุบัน ระบบดาวเทียมนำทางโลกทำงานได้โดยอาศัยการรับสัญญาณจากดาวเทียมอย่างน้อย 3 ดวง ซึ่งสามารถคำนวณตำแหน่งที่อยู่ในแบบ 2 มิติ คือ เฉพาะค่าในแนวราบ และหากระบบดาวเทียมนำทางโลกรับดาวเทียมได้ 4 ดวงขึ้นไป จะทราบตำแหน่งที่อยู่ในแบบ 3 มิติ คือ ตำแหน่ง และความสูง GNSS มีหลายระบบดังนี้

- ระบบ GPS (Global Positioning System) คือ ระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก ของสหรัฐอเมริกา ที่เป็นระบบระบุพิกัดแรกของโลก ซึ่งปัจจุบันมีการใช้ในหลายประเทศ รวมถึงประเทศไทยที่คนไทยคุ้นเคยและใช้กันอย่างแพร่หลาย

- ระบบ GLONASS (Global Navigation Satellite System) ของสหพันธรัฐรัสเซีย

- ระบบ Galileo ของสหภาพยุโรป

- ระบบ Compass หรือ Beidou ของสาธารณรัฐประชาชนจีน

- ระบบ QZSS หรือ Quasi Zenith Satellite System บริหารโดยสำนักงานวิจัยพัฒนาการบินและอวกาศแห่งญี่ปุ่น (JAXA)

ปัจจุบันมีหลายประเทศที่สร้างดาวเทียมมาใช้ในการระบุพิกัดตำแหน่งบนพื้นผิวโลก เช่นเดียวกันกับ GPS และมีชื่อเรียกต่างๆ กัน ระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก หรือ จีพีเอส (Global Positioning System: GPS) อาศัยการคำนวณจากความถี่สัญญาณนาฬิกาที่ส่งมาจากดาวเทียมที่โคจรรอบโลก หรือดาวเทียมสำรวจซึ่งโคจรรอบโลก (Global Navigation Satellite System) ซึ่งทราบตำแหน่ง ทำให้ระบบนี้สามารถบอกตำแหน่ง ณ จุดที่สามารถรับสัญญาณได้ทั่วโลก

3) ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ หรือ Geographic Information System: GIS

สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) (2552) ได้อธิบายความหมายระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ คือ กระบวนการทำงานเกี่ยวกับข้อมูลในเชิงพื้นที่ด้วยระบบคอมพิวเตอร์ ที่ใช้กำหนดข้อมูลและสารสนเทศ ที่มีความสัมพันธ์กับตำแหน่งในเชิงพื้นที่ เช่น ที่อยู่ บ้านเลขที่ สัมพันธ์กับตำแหน่งในแผนที่ ตำแหน่งละติจูด ลองจิจูด ข้อมูลและแผนที่ใน GIS เป็นระบบข้อมูลสารสนเทศที่อยู่ในรูปของตารางข้อมูล และฐานข้อมูลที่มีส่วนสัมพันธ์กับข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial Data) ซึ่งรูปแบบและความสัมพันธ์ของข้อมูลเชิงพื้นที่ สามารถนำมาวิเคราะห์ด้วย GIS และทำให้สื่อความหมายในเรื่องการเปลี่ยนแปลงที่สัมพันธ์กับเวลาได้ (สาโรช แสงเมือง et al., 2566) เช่น การแพร่ขยายของโรคระบาด การเคลื่อนย้ายถิ่นฐาน การบุกรุกทำลายการเปลี่ยนแปลงของการใช้

พื้นที่ ฯลฯ ข้อมูลเหล่านี้เมื่อปรากฏบนแผนที่ทำให้สามารถแปลและสื่อความหมาย ให้ใช้งานได้ง่าย GIS เป็นระบบข้อมูลข่าวสารที่เก็บไว้ในคอมพิวเตอร์ แต่สามารถแปลความหมายเชื่อมโยงกับสภาพภูมิศาสตร์อื่นๆ สภาพท้องที่ สภาพการทำงานของระบบสัมพันธ์กับสัดส่วนระยะทางและพื้นที่จริงบนแผนที่ ข้อมูลที่จัดเก็บใน GIS มีลักษณะเป็นข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial data) ที่แสดงในรูปของภาพ (graphic) แผนที่ (map) ที่เชื่อมโยงกับข้อมูลเชิงบรรยาย (Attribute data) หรือฐานข้อมูล (Database) การเชื่อมโยงข้อมูลทั้งสองประเภทเข้าด้วยกัน จะทำให้ผู้ใช้สามารถที่จะแสดงข้อมูลทั้งสองประเภทได้พร้อมๆ และข้อมูลแบ่งเป็นชั้นข้อมูลต่างๆ ตามประเภทที่จะใช้งาน เช่น ความสูง แหล่งน้ำ เส้นทางคมนาคม ดิน ธรณีวิทยา เป็นต้น

3.2 พื้นที่ศึกษา

การเลือกพื้นที่ศึกษาพิจารณาจากการทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยมีเกณฑ์พิจารณาดังนี้

1) เลือกศึกษาพื้นที่ประเภทชุมชนเมืองขนาดใหญ่ ประเภทเทศบาลนครและเขตปกครองพิเศษ ซึ่งมีประชากรตั้งแต่ 50,000 คนขึ้นไป มีความหนาแน่นของประชากรตั้งแต่ 3,000 คนต่อ 1 ตารางกิโลเมตร (สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2560) เนื่องจากเป็นพื้นที่ที่มีการใช้ประโยชน์ที่ดินหลากหลาย และมีโอกาสเกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนสูงตามการศึกษาของ Oke (1982) ที่กล่าวถึงการเกิดเกาะความร้อนในเมืองที่มีประชากรในพื้นที่เกิน 100,000 คน รวมถึงผลกระทบของที่ตั้งทางภูมิศาสตร์ ขนาดเมือง สภาพอากาศ ฤดูกาล และภูมิอากาศ (Oke, 1982)

2) สามารถเข้าถึงข้อมูลภูมิสารสนเทศภาพถ่ายดาวเทียมสำหรับสำรวจทรัพยากรของพื้นที่ศึกษา ที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการจัดการข้อมูลเชิงพื้นที่ วิเคราะห์ข้อมูล รวมถึงการเปรียบเทียบการเกิดปรากฏการณ์ความร้อนและการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

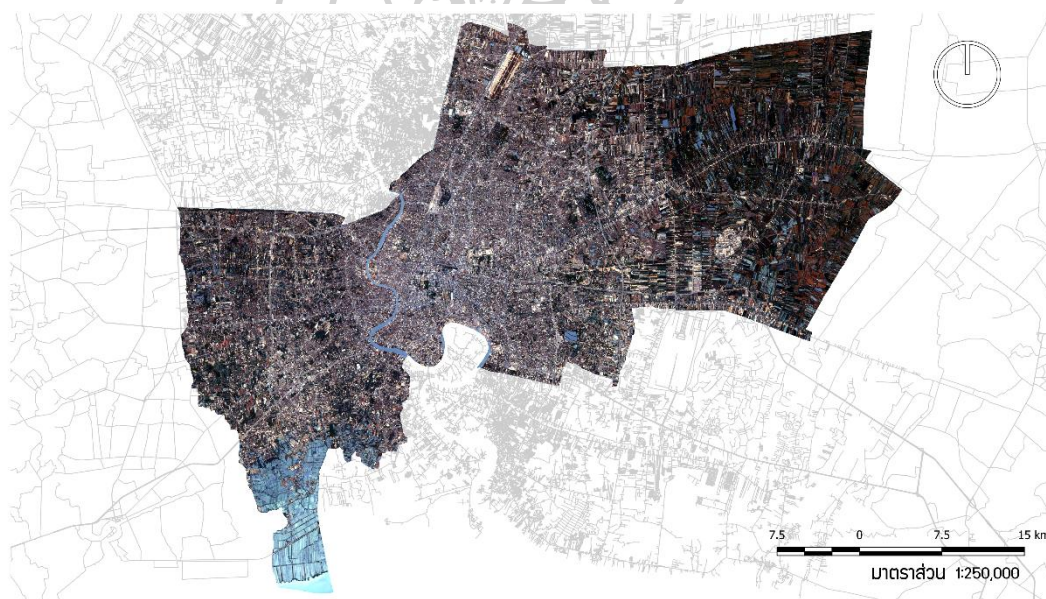
3) พื้นที่ศึกษาต้องมีพื้นที่สีเขียวที่สัมพันธ์กับแนวคิดโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวที่หลากหลาย 5 ประเภทหลัก คือ (1) Tree canopy (2) Green open spaces (3) Green roofs (4) Vertical greenery systems (Facades/ Walls) และ (5) Water bodies (Carlos Bortesaghi Koc, 2018) นำมาศึกษาเปรียบเทียบกับข้อมูลพื้นที่สีเขียว 7 ประเภท แบ่งตามคุณลักษณะและการใช้ประโยชน์ ของสำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (2560)

จากข้อพิจารณาข้างต้น พื้นที่กรุงเทพมหานครเป็นพื้นที่ที่เหมาะสม เนื่องจากเป็นพื้นที่ที่มีการปรับเปลี่ยนและมีความเปลี่ยนแปลงพื้นที่ในเมืองสูง และมีฐานข้อมูลทางภูมิศาสตร์สารสนเทศ

ของพื้นที่รองรับการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของพื้นที่สีเขียว/โครงสร้างพื้นฐานสีเขียว และปัจจัยการเกิดปรากฏการณ์ความร้อนในพื้นที่เมือง

ข้อมูลพื้นที่ศึกษา

กรุงเทพมหานคร มีพื้นที่ทั้งหมดประมาณ 1,563 ตารางกิโลเมตร เป็นพื้นที่ราบลุ่มสามเหลี่ยมปากแม่น้ำเจ้าพระยา มีแม่น้ำไหลผ่านไปสิ้นสุดที่อ่าวไทย ระดับความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลางประมาณ 1.50 - 2.00 เมตร เขตจังหวัดปริมณฑลใกล้เคียง คือ นนทบุรี ปทุมธานี สมุทรปราการ สมุทรสาคร และนครปฐม จากข้อมูลพบว่า กรุงเทพมหานครเป็นเมืองที่มีประชากรมากที่สุดในประเทศไทย ประชากรรวม 5,455,020 คน มีความหนาแน่น 3,477.33 คนต่อตารางกิโลเมตร (สำนักงานสถิติแห่งชาติ, 2567) ด้วยประชากรหนาแน่นทั้งประชากรในพื้นที่และประชากรแฝงทำให้พื้นที่สีเขียวไม่เพียงพอ จากข้อมูลพื้นที่สวนสาธารณะ 7 ประเภท กรุงเทพมหานครมีพื้นที่สีเขียวรวม 43,149,836.28 ตารางเมตร ทำให้ปัจจุบันอัตราส่วนพื้นที่สีเขียวต่อประชากรในกรุงเทพมหานคร 7.91 ตารางเมตรต่อคน (สำนักสิ่งแวดล้อมกรุงเทพมหานคร, 2568)

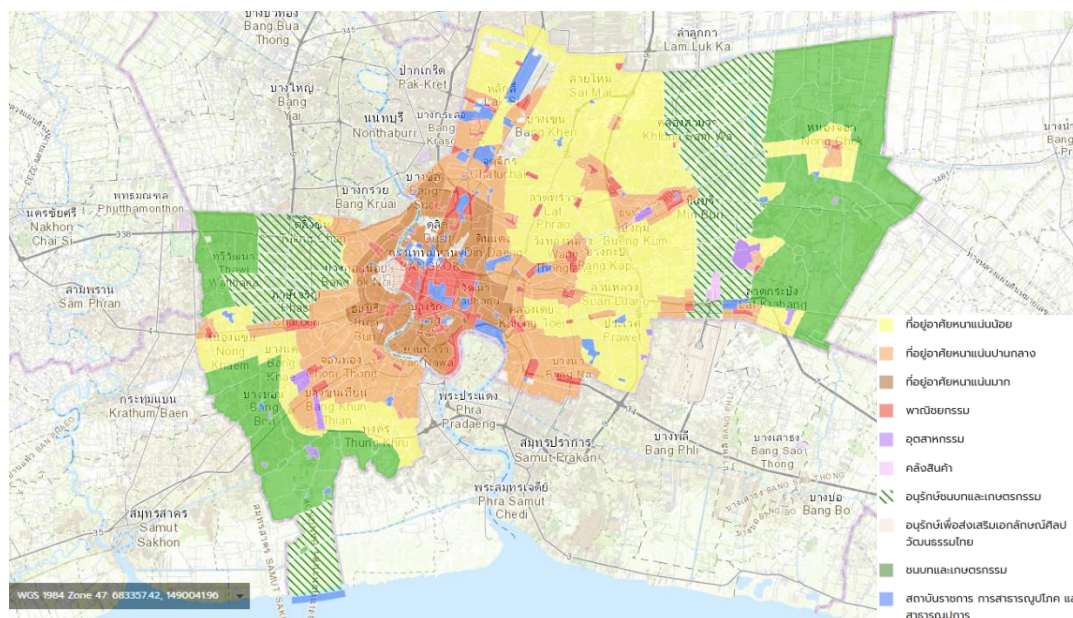


ภาพที่ 16 ภาพถ่ายดาวเทียมขอบเขตพื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร แบบสีผสมตามธรรมชาติ

ที่มา: ปรับปรุงข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 (US Geological Survey (USGS), 2021)

ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 แสดงขอบเขตพื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร ตั้งอยู่บริเวณละติจูดที่ 13.45 องศาเหนือ และลองจิจูด 100.28 องศาตะวันออก กรุงเทพมหานครมีเขตการ

ปกครองแบ่งเป็น 50 เขต และมีการกำหนดการใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2556 ที่ใช้ในปัจจุบัน ครอบคลุมทั้งพื้นที่



ภาพที่ 17 ภาพแสดงผังการใช้ประโยชน์ที่ดินพื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร
ที่มา: (สำนักการวางผังและพัฒนาเมือง กรุงเทพมหานคร, 2568)

การจัดเตรียมข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม

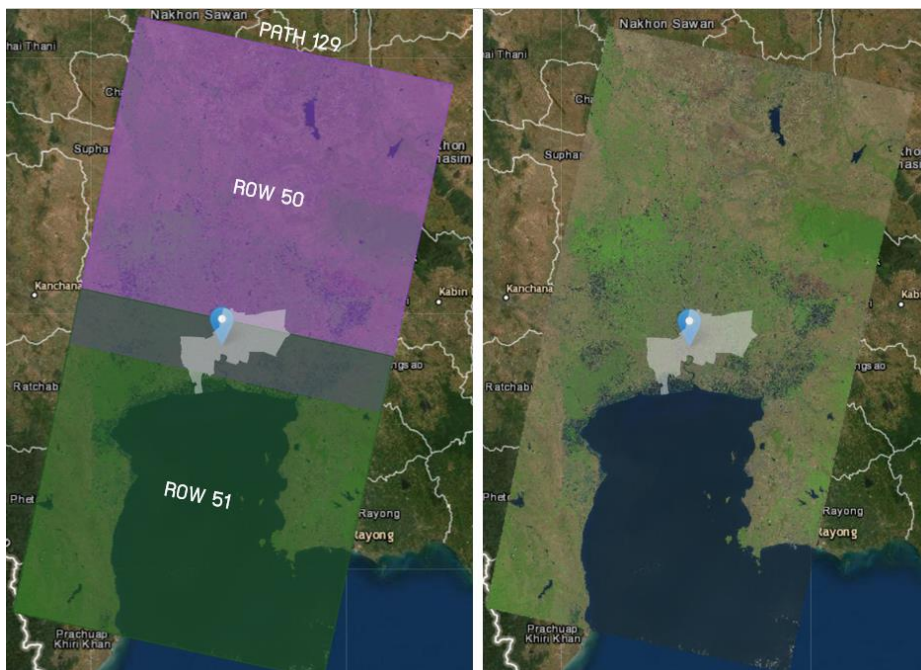
การศึกษาครั้งนี้ประยุกต์ใช้ข้อมูลดาวเทียม Landsat 8 เป็นดาวเทียมสำรวจทรัพยากรของสหรัฐอเมริกา ที่ถูกปล่อยขึ้นสู่อวกาศเมื่อวันที่ 11 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2556 โดยความร่วมมือระหว่าง NASA และ U.S. Geological Survey ให้ความละเอียดของภาพถ่ายดาวเทียมระดับปานกลาง (15 – 100 เมตร ตามความถี่ของสเปกตรัม) สามารถบันทึกข้อมูลในช่วงความยาวคลื่นต่างๆ และถ่ายภาพซ้ำในตำแหน่งเดิมทุกๆ 16 วัน ความกว้างของแนวภาพถ่าย 185 กิโลเมตร โดยประกอบด้วยภาพจากระบบ OLI (Operational land imager) และจากระบบ TIRS (Thermal infrared sensor) ที่สามารถใช้ศึกษาอุณหภูมิพื้นผิวโลกได้ ดาวเทียม Landsat 8 ครอบคลุมพื้นที่โลกด้วยความละเอียดเชิงพื้นที่ 30 เมตร (Visible, NIR, SWIR) 100 เมตร (Thermal) และ 15 เมตร (Panchromatic) ประกอบด้วยจำนวน 11 Bands ดังนี้

ตารางที่ 7 รายละเอียดช่วงความยาวคลื่นของดาวเทียม Landsat 8

Bands	Wavelength (Micrometers)	Resolution (Meters)
1	Visible-coastal aerosol (0.43 - 0.45 μm)	30
2	Visible-blue (0.450 - 0.51 μm)	30
3	Visible-green (0.53 - 0.59 μm)	30
4	Red (0.64 - 0.67 μm)	30
5	NIR-Near-Infrared (0.85 - 0.88 μm)	30
6	SWIR 1 (1.57 - 1.65 μm)	30
7	SWIR 2 (2.11 - 2.29 μm)	30
8	Panchromatic (PAN) (0.50 - 0.68 μm)	15
9	Cirrus (1.36 - 1.38 μm)	30
10	TIRS 1-thermal infrared (10.60 - 11.19 μm)	100
11	TIRS 2-thermal infrared (11.50 - 12.51 μm)	100

ที่มา: ปรับปรุงข้อมูลจาก (US Geological Survey (USGS), 2024)

การวิเคราะห์พื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร ใช้ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 ตำแหน่งข้อมูลของพื้นที่ศึกษาอยู่ที่ Path 129 / Row 50 - 51 โดยใช้ข้อมูลของวันที่ 21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2564 ซึ่งอยู่ในช่วงเริ่มต้นของฤดูร้อนไปจนถึงเดือนพฤษภาคม มรสุมตะวันออกเฉียงเหนือที่แห้งแล้งจะเกิดขึ้นระหว่างเดือนตุลาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ (Keeratikasikorn & Bonafoni, 2018) และเป็นภาพถ่ายดาวเทียมที่มีเมฆปกคลุมพื้นที่น้อยที่สุดเพื่อลดความคลาดเคลื่อนจากการสะท้อนรังสี เป็นตัวแทนในการศึกษา



ภาพที่ 18 การเลือกภาพถ่ายดาวเทียมพื้นที่ศึกษา
ที่มา: ปรับปรุงข้อมูลจาก (US Geological Survey (USGS), 2021)

ในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งปกคลุมดิน อุณหภูมิพื้นผิว และดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณ กับการเกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนบนพื้นผิวเมืองด้วยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม ข้อมูลช่วงคลื่นอินฟราเรดความร้อน (Thermal infrared band) และภาพจากระบบ OLI (Operational land imager) Band 4 - 5 เพื่อหาค่าดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณ (Normalized Difference Vegetation Index) โดยมีเครื่องมือในการวิเคราะห์ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ (Geographic Information System: GIS) ผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ ใช้โปรแกรม QGIS version 3.16.14 โดยมีขั้นตอนการจัดเตรียมข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม ดังนี้

1) ปรับแก้ความคลาดเคลื่อนเชิงรังสี (Radiometric errors) เป็นความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากความสว่างของจุดภาพ (สเปกตรัม กล้องดาว, 2550) โดยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 ในระดับ Level 1 เป็นค่าเชิงตัวเลข (Digital numbers) โดยแปลงเป็นค่าการแผ่รังสีเชิงคลื่น (Spectral radiance : $L\lambda$) ผ่านการสะท้อนเหนือชั้นบรรยากาศ (Top of atmospheric: TOA) โดยใช้ข้อมูลการแผ่รังสีเชิงคลื่นในชุดข้อมูล (Metadata file : MTL file) ของดาวเทียม Landsat 8 (US Geological Survey (USGS), 2021) ดังสมการต่อไปนี้

$$L\lambda = M_L Q_{cal} + A_L \quad \text{eq.1}$$

$L\lambda$	=	การแผ่รังสีเชิงคลื่น Spectral radiance ($\text{W/m}^2 \times \text{srad} \times \mu\text{m}$)
M_L	=	Band-specific multiplicative rescaling factor (ดูจาก MTL file) (REFLECTANCE_MULT_BAND_x, where x is the band number)
Q_{cal}	=	ค่าพิกเซลของดาวเทียมที่ผ่านมาตรฐานการวัดและปรับเทียบแล้ว (DN)
A_L	=	Band-specific additive rescaling factor (ดูจาก MTL file)

2) การประมาณค่าอุณหภูมิสัมบูรณ์ (Brightness temperature) โดยข้อมูลจากแบนด์ความร้อน สามารถแปลงจากค่าการแผ่รังสีเชิงคลื่น (Spectral radiance) เป็นอุณหภูมิสัมบูรณ์เหนือชั้นบรรยากาศ (US Geological Survey (USGS), 2021) โดยมีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส สามารถคำนวณได้ดังสมการต่อไปนี้

$$BT = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L\lambda} + 1\right)} - 273.15 \quad \text{eq.2}$$

BT	=	ค่าอุณหภูมิสัมบูรณ์จากการแผ่รังสีเชิงคลื่น ($^{\circ}\text{C}$)
$L\lambda$	=	การแผ่รังสีเชิงคลื่น Spectral radiance ($\text{W/m}^2 \times \text{srad} \times \mu\text{m}$)
K_1	=	band-specific thermal conversion constants (ดูจาก MTL file) (K1_CONSTANT_BAND_x, where x is the thermal band number)
K_2	=	band-specific thermal conversion constants (ดูจาก MTL file) (K2_CONSTANT_BAND_x, where x is the thermal band number)

ในการศึกษานี้ เลือกใช้ข้อมูลดาวเทียม TIRS Band 10 เพื่อประมาณค่าอุณหภูมิสัมบูรณ์ โดยใช้ข้อมูลในชุดข้อมูล (Metadata file : MTL file) ของดาวเทียม Landsat 8 ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 8 ชุดข้อมูล Metadata ของภาพถ่ายดาวเทียม

Thermal constant, Band 10	
K_1	1321.08
K_2	777.89
Rescaling factor, Band 10	
M_L	0.000342
A_L	0.1

ที่มา: ปรับปรุงข้อมูลจาก (Avdan & Jovanovska, 2016)

3) การประมาณค่าดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณ หรือ Normalized Difference Vegetation Index: NDVI คือ ดัชนีการประมาณปริมาณพืชพรรณที่มีอยู่ในพื้นที่ เป็นค่าที่บ่งบอกความสมบูรณ์พืชพรรณที่ปกคลุมพื้นผิว โดยการสะท้อนของช่วงคลื่นที่ตามองเห็น (RED – Band 4) และช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (NIR - Near Infrared – Band 5) ซึ่งอยู่เลยจากคลื่นที่ตามองเห็นได้ ทำให้ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า NDVI เกิดจากการสะท้อนความสมบูรณ์ของคลอโรฟิลล์ (Chlorophyll) ที่เป็นเม็ดสีในพืชพรรณ ซึ่งสามารถดูดซับพลังงานจากคลื่น RED Band และสามารถสะท้อนพลังงานจาก Near Infrared Band ได้อย่างชัดเจน ดังนั้น ยังมีคลอโรฟิลล์ในใบมาก พืชพรรณจะยิ่งเติบโตมาก และหากมีการดูดซับพลังงานมาก การสะท้อนพลังงานก็จะยิ่งมากขึ้น สะท้อนถึงความสมบูรณ์ของพืชพรรณในบริเวณนั้น ค่าที่ได้จะอยู่ในช่วง -1 ถึง 1 จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง พบว่า NDVI เป็นดัชนีที่นิยมใช้มากที่สุดสำหรับการประเมินพืชพรรณ (Huang, Tang, Hupy, Wang, & Shao, 2021) และเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลมากที่สุดในการทำนายอุณหภูมิพื้นผิว (Chen et al., 2022) สามารถแยกความแตกต่างของพืชและสิ่งปกคลุมทั่วไปจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม (Bartasaghi Koc, 2018) โดยใช้สมการ(Avdan & Jovanovska, 2016) ดังต่อไปนี้

$$NDVI = \frac{NIR(band5) - RED(band4)}{NIR(band5) + RED(band4)} \quad eq.3$$

NDVI ไม่มีการกำหนดอัตราส่วนในการตีความผลการประเมินพืชพรรณ แต่สามารถใช้ข้อมูลจากตารางเพื่อเป็นแนวทางในการตีความดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณได้ดังนี้ (Rogers, 2022)

ตารางที่ 9 แนวทางการตีความดัชนีพืชพรรณ

NDVI values	Descriptions
-1 to 0	No vegetation or dead vegetation
0 to 0.33	Unhealthy/sparse vegetation
0.33 to 0.66	Moderately healthy vegetation
0.66 to 1.0	Very healthy vegetation

ที่มา: Rogers, 2022

4) การประมาณค่าสัดส่วนของพืชพรรณ หรือ Proportion of Vegetation: P_v

สามารถคำนวณได้จากค่าดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณในแต่ละพื้นที่ โดย $NDVI_s$ คือค่าต่ำสุดของ NDVI และ $NDVI_v$ คือค่าสูงสุดของ NDVI สามารถคำนวณได้ (Avdan & Jovanovska, 2016) ดังสมการต่อไปนี้

$$P_v = \left(\frac{NDVI - NDVI_s}{NDVI_v - NDVI_s} \right)^2 \quad \text{eq.4}$$

5) การประมาณค่าการแผ่รังสีของพื้นผิว หรือ Land Surface Emissivity: LSE

(ϵ_λ) เป็นการคำนวณจากค่าสัดส่วนของพืชพรรณ (P_v) เพื่อประมาณค่าอุณหภูมิพื้นผิว ค่าการแผ่รังสีของพื้นผิว (LSE) เป็นปัจจัยตามสัดส่วนของพืชพรรณที่ส่งผลต่อการแผ่รังสีของวัตถุ มีค่าประสิทธิภาพการส่งผ่านความร้อนไปยังพื้นผิวและชั้นบรรยากาศ สามารถคำนวณได้ (Avdan & Jovanovska, 2016) ดังสมการต่อไปนี้

$$\epsilon_\lambda = \epsilon_{v\lambda} P_v + \epsilon_{s\lambda} (1 - P_v) + C_\lambda \quad \text{eq.5}$$

ϵ_v and ϵ_s = การแผ่รังสีของพืชพรรณ และการแผ่รังสีของดิน

C_λ = ความหยาบของพื้นผิว (0 = พื้นผิวเรียบเป็นเนื้อเดียวกัน)
ค่าคงที่ ≈ 0.005

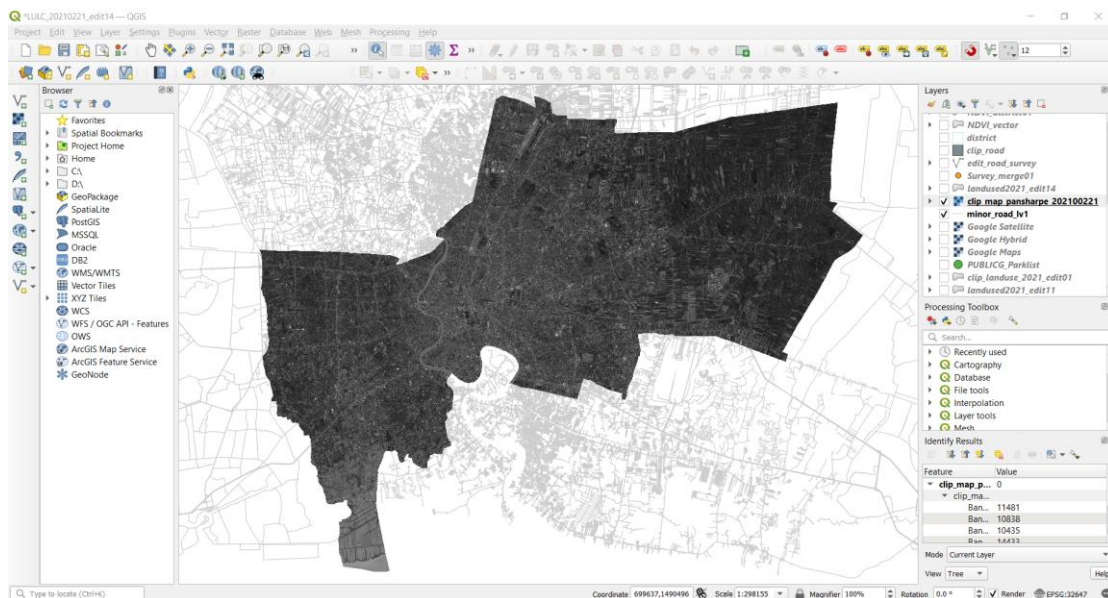
6) การประมาณค่าอุณหภูมิพื้นผิว หรือ Land surface temperature: T_s คือ อุณหภูมิการแผ่รังสีของพื้นผิวดิน โดยได้รับข้อมูลจากแบนด์ความร้อน อุณหภูมิพื้นผิวมีผลต่ออุณหภูมิอากาศในระดับการใช้งานของมนุษย์ อุณหภูมิพื้นผิวเป็นข้อมูลที่ใช้รายงานการเกิดเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมืองซึ่งแสดงผลตลอดทั้งวัน โดยมีความเข้มข้นสูงสุดในเวลากลางวันและแตกต่างกันไปตามการใช้ประโยชน์ที่ดิน (Azevedo, Chapman, & Muller, 2016; Keeratikasikorn & Bonafoni, 2018) อุณหภูมิพื้นผิวผ่านการปรับแก้การแผ่รังสีเชิงคลื่นสามารถคำนวณได้ (Avdan & Jovanovska, 2016) ดังสมการต่อไปนี้

$$T_s = \frac{BT}{(1 + [\lambda BT / \rho] \ln \epsilon_\lambda)} \quad \text{eq.6}$$

T_s	=	อุณหภูมิพื้นผิว (°C)
BT	=	ค่าอุณหภูมิสัมบูรณ์จากการแผ่รังสีเชิงคลื่น (°C)
λ	=	wavelength of emitted radiance (Landsat 8 band 10 = 10.895)
ϵ_λ	=	การแผ่รังสีของพื้นผิว (LSE)

$$\rho = h \frac{c}{\sigma} = 1.438 \times 10^{-2} m K \quad \text{eq.7}$$

σ	=	Boltzmann constant (1.38×10^{-23} J/K)
h	=	Planck's constant (6.626×10^{-34} J s)
C	=	the velocity of light (2.998×10^8 m/s)



ภาพที่ 19 การจัดเตรียมข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมพื้นที่ศึกษาด้วยโปรแกรม QGIS

การเตรียมข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมข้างต้น ใช้ระบบอ้างอิงทางภูมิศาสตร์ หรือ CRS (Coordinate Reference System) แบบ EPGI:32647 WGI 84/ UTM Zone 47N เป็นรูปแบบไฟล์ข้อมูลเชิงภาพ (Raster Data) จึงจำเป็นต้องมีการแปลงไฟล์เป็นข้อมูลเชิงเส้น (Vector Data) เพิ่มเติม เพื่อนำไปวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งปกคลุมดิน อุณหภูมิพื้นผิว และดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณ ที่เกี่ยวข้องกับการปรากฏการณ์เกาะความร้อนพื้นผิวเมืองในพื้นที่ศึกษาต่อไป

การการแปลตีความภาพถ่ายดาวเทียมด้วยสายตา (Visual Interpretation)

การแปลตีความภาพถ่ายดาวเทียมด้วยสายตา คือ วิธีการแปลความหมายจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมร่วมคอมพิวเตอร์ เพื่อให้ได้ข้อมูลตามวัตถุประสงค์ของการศึกษาร่วมกับข้อมูลอื่นๆ เช่น ข้อมูลแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม เป็นต้น โดยมีหลักในการแปลข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม (จรัณธร บุญญาณภาพ, 2551) ดังนี้

- 1) แปลตีความจากสิ่งที่เห็นชัดเจน เข้าใจวินิจฉัยง่ายที่สุดไปหายากที่สุด
- 2) แปลตีความจากสิ่งที่คุ้นเคยหรือพบเห็นในชีวิตประจำวัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับประสบการณ์และความรู้พื้นฐานของผู้แปล
- 3) แปลตีความจากกลุ่มใหญ่แล้วจึงพิจารณาแยกรายละเอียดในแต่ละประเภท โดยตีความจากหยาบไปหาละเอียด (Zone to Sub-zone) ควรเริ่มจากการใช้ประเภทที่ดินในระดับที่ 1

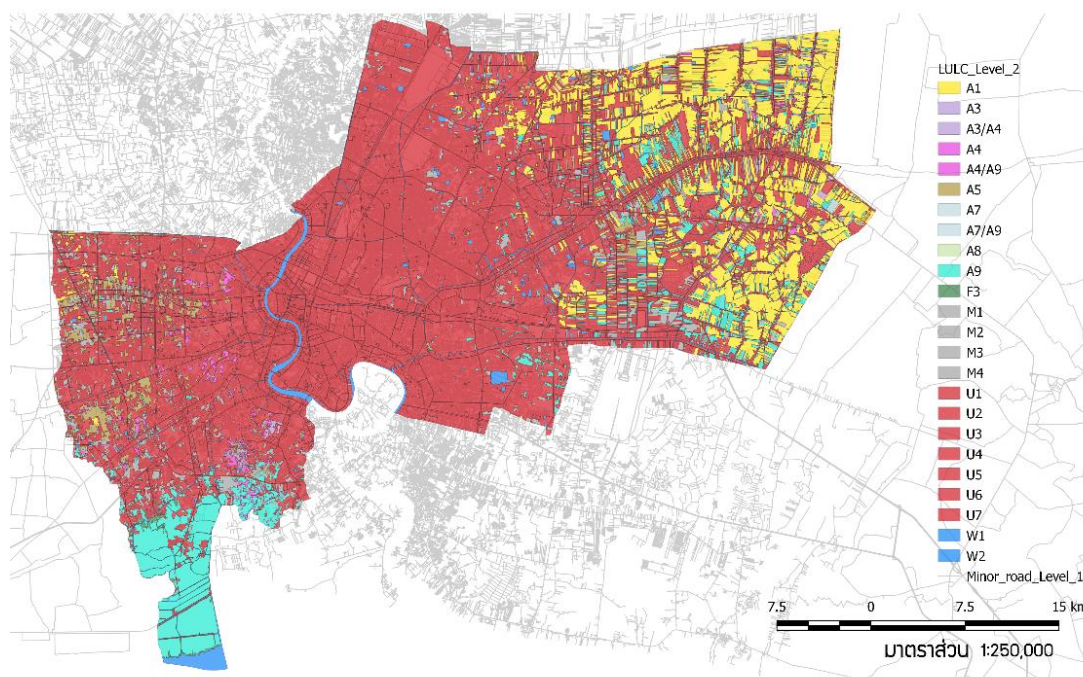
คือ พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง พื้นที่เกษตรกรรม พื้นที่ป่าไม้ พื้นที่น้ำ และพื้นที่เบ็ดเตล็ด แล้วจึงจำแนกออกเป็นระดับที่ 2 ที่มีความละเอียดมากขึ้น

4) แปลตีความเรียงลำดับในแต่ละประเภท ไม่ควรสลับไปมาจะทำให้รายละเอียดของข้อมูลไม่ต่อเนื่องกัน

5) แปลตีความโดยใช้ปัจจัยหรือข้อมูลที่มีความสัมพันธ์กัน ซึ่งเป็นพื้นฐานที่จะวินิจฉัยข้อมูลได้อย่างถูกต้อง เช่น การแปลตีความของแหล่งน้ำ ซึ่งมีวัตถุประสงค์สร้างไว้เพื่อการเพาะปลูกจะมีความสัมพันธ์กับพื้นที่ต้องการน้ำ หากเป็นเนินพื้นที่รับน้ำควรเป็นพืชสวน หากเป็นที่ราบพื้นที่รับน้ำควรเป็นนาข้าวหรือพืชผักสวนครัว เป็นไปตามวัตถุประสงค์การสร้างแหล่งน้ำ

จากวัตถุประสงค์ในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งปกคลุมดินกับการเกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมืองพื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร เลือกใช้ข้อมูลการใช้ที่ดิน (Land use) ของกรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการจำแนกสภาพการใช้ที่ดินปัจจุบัน ร่วมกับการแปลตีความภาพถ่ายดาวเทียมด้วยสายตา ซึ่งข้อมูลการใช้ที่ดินเป็นข้อมูลที่ได้จากการสำรวจตามมาตรฐานข้อกำหนดภูมิสารสนเทศพื้นฐาน (Fundamental Geographic Data Set: FGDS) ของประเทศไทย มีรายละเอียดข้อมูล (Attribute data) ประกอบด้วย

- รหัสประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินระดับ 1 ระดับ 2
- รหัสการใช้ประโยชน์ที่ดินระดับ 1 ระดับ 2
- รายละเอียดการใช้ประโยชน์ที่ดินภาษาไทย และภาษาอังกฤษ
- เนื้อที่ (ไร่ ตารางเมตร)
- ความยาวเส้นรอบวง (เมตร)



ภาพที่ 20 ข้อมูลการใช้ที่ดิน (Land use) กรุงเทพมหานคร ระดับ 2
ที่มา: ปรับปรุงข้อมูลจากกรมพัฒนาที่ดิน, 2562

ทั้งนี้ เลือกใช้ข้อมูลการใช้ที่ดินกรุงเทพมหานคร ปี พ.ศ. 2562 (ระดับ 2) ที่มีการปรับปรุงล่าสุดและมีระยะเวลาใกล้เคียงกับข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 เนื่องจากการเลือกข้อมูลของพื้นที่ศึกษา โดยนำข้อมูลการใช้ที่ดิน พ.ศ. 2562 วิเคราะห์ร่วมกับการแปลตีความภาพถ่ายดาวเทียมด้วยสายตา เพื่อจัดกลุ่มประเภทข้อมูลใหม่ (Reclassification) ตามปัจจัยการเกิดเกาะความร้อนเมือง ในประเด็นของสิ่งปกคลุมเมืองและวัสดุพื้นผิว (Urban cover and surface materials) และภูมิทัศน์เมือง (Urban landscape) นำมาจำแนกตามลักษณะทางกายภาพของสิ่งปกคลุมดิน (Sub class: Surface types) และข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการจำแนกประเภทโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวในพื้นที่ศึกษา โดยมีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 10 รายละเอียดการจำแนกสิ่งปกคลุมดิน (Sub class: Surface types)

Level 1	Level 2	LU_DES_EN	Sub_class	GI Types
U พื้นที่ชุมชน และสิ่งปลูกสร้าง (Urban and Built-up Land)	U1 ตัวเมืองและย่านการค้า	City, Town, Commercial	URBA_BU	
	U2 หมู่บ้าน	Village		
	U3 สถานที่ราชการและ สถาบันต่างๆ	Institutional land		
	U4 สถานีคมนาคมและ ขนส่ง	Communication and utility	ROAD	
	U5 พื้นที่อุตสาหกรรม	Industrial land	URBA_IL	
	U6 อื่นๆ / สถานที่พักผ่อน หย่อนใจ, สวนสาธารณะ, พื้นที่สีเขียว	Park/ Green space	PARK	GI1
	U7 สนามกอล์ฟ	Golf course	GOLF	GI2
A พื้นที่ เกษตรกรรม (Agricultural Land)	A1 พื้นที่นาข้าว	Paddy field	AGRI_PF	GI3
	A2 พืชไร่*	Field Crop		
	A3 ไม้ยืนต้น	Perennial crop	AGRI_PC	
	A4 ไม้ผล	Orchard		
	A5 พืชสวน	Horticulture	AGRI_HC	
	A6 ไร่หมุนเวียน*	Swidden cultivation		
	A7 ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์	Pasture and farm house	AGRI_PA	
	A8 พืชน้ำ	Aquacultural plant	AGRI_AL	
	A9 สถานที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ	Aquacultural land		
F พื้นที่ป่าไม้ (Forest Land)	F1 ป่าไม่ผลัดใบ*	Evergreen Forest		
	F2 ป่าผลัดใบ*	Deciduous Forest		
	F3 สวนป่า/ ป่าชายเลน	Mangrove Forest	MANG	GI4_1
W พื้นที่น้ำ (Water)	W1 แหล่งน้ำธรรมชาติ	Natural water body	WATR	GI4_2
	W2 แหล่งน้ำที่สร้างขึ้น	Artificial water body		

หมายเหตุ: *ไม่พบข้อมูลในพื้นที่ศึกษา

ตารางที่ 10 (ต่อ)

Level 1	Level 2	LU_DES_EN	Sub_class	GI Types
M พื้นที่เบ็ดเตล็ด (Miscellaneous)	M1 พืชหญ้าธรรมชาติ/ พืช หญ้าสลับไม้พุ่มไม้ละเมาะ	Rangeland	BARE_GS	GI5_1
	M2 พื้นที่ลุ่ม	Wetland	BARE_WL	GI5_2
	M3 เหมืองแร่ บ่อขุด/ เหมืองเก่า บ่อขุดเก่า บ่อดิน	Mine, Pit	BARE_BL	
	M4 พื้นที่เบ็ดเตล็ดอื่นๆ	Other miscellaneous land		



(a) Land use (2018) : GI5_1
พื้นที่สีเขียวยังไม่ใช้ประโยชน์หรือรอการพัฒนา



(b) Landsat 8 (2021) : Color Infrared band
RGB = NIR(5), R(4), G(3)



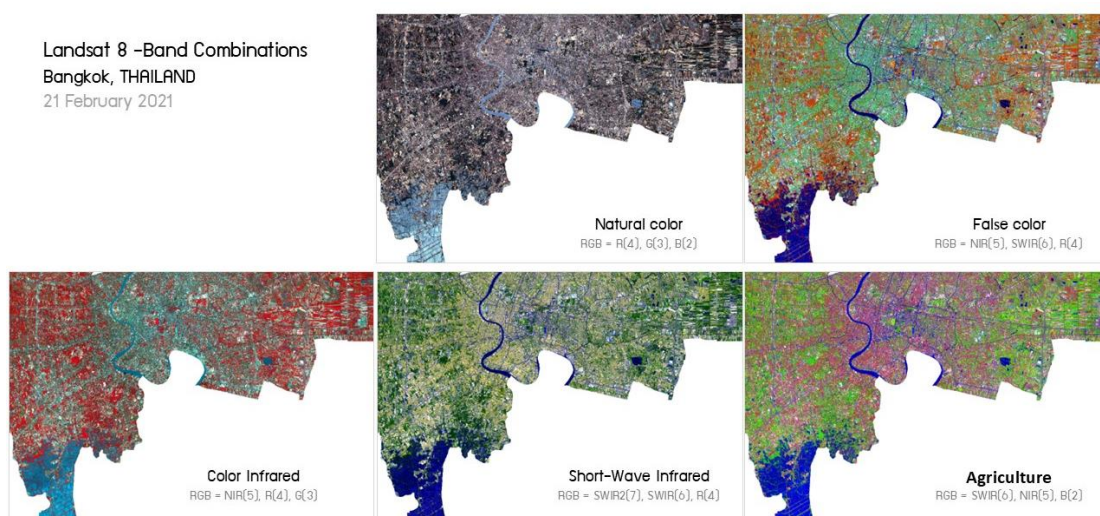
(c) Reclassification (2021) : Built-up area, GI5_1
พื้นที่สิ่งปลูกสร้างและพื้นที่สีเขียวยังไม่ใช้ประโยชน์หรือรอการพัฒนา

ภาพที่ 21 การเปรียบเทียบข้อมูลเพื่อจำแนกประเภทโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวในพื้นที่ศึกษา

หมายเหตุ: (a) ข้อมูลการใช้ที่ดิน (Land use) ของกรมพัฒนาที่ดิน พ.ศ. 2562 (b) ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 วันที่ 21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2564 (c) ภาพถ่ายทางอากาศจาก Google Earth พ.ศ. 2564

จากการศึกษาสามารถจำแนกสิ่งปกคลุมดิน (Sub class: Surface types) ออกเป็น 15 ประเภทตามลักษณะทางกายภาพและองค์ประกอบของสิ่งปกคลุมผิวดิน ร่วมกับการแปลตีความภาพถ่ายดาวเทียมด้วยสายตาและการผสมสีข้อมูลจากดาวเทียม (Band Combinations) โดยใช้แม่สีปฐมภูมิคือ สีแดง (R) สีเขียว (G) และน้ำเงิน (B) เพื่อให้เกิดการสะท้อนรังสีจากวัตถุที่ต่างกันออกไป ช่วยในการแปลตีความด้วยสายตาเพื่อศึกษาสิ่งปกคลุมดินในพื้นที่ศึกษา ทำให้สามารถเข้าใจและแยกความแตกต่างลักษณะของของสิ่งปกคลุมดินในพื้นที่ได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น ในการศึกษาเลือกใช้ภาพสีผสมเท็จ

(False color composite) เพื่อจำแนกพื้นที่เมือง ซึ่งแสดงพืชพรรณในเฉดสีเขียว เฉดสีเขียวเข้มกว่าบ่งบอกถึงพืชพรรณที่หนาแน่นกว่า พืชที่กระจายกระจายมีเฉดสีที่อ่อนกว่า พื้นที่ในเมืองเป็นสีน้ำเงิน และดินมีสีน้ำตาลหลายเฉด และภาพสีอินฟราเรด (Color Infrared composite) ใช้สำหรับจำแนกพื้นที่สีเขียว เนื่องจากคลอโรฟิลล์ในพืชสามารถสะท้อนพลังงานจาก Near Infrared Band จึงมีประโยชน์สำหรับการวิเคราะห์พืชพรรณ พืชจะปรากฏเป็นสีแดงแยกกับวัตถุชนิดอื่นๆ อย่างชัดเจน พื้นที่สีแดงเข้มแสดงถึงสุขภาพพืชที่ดี พื้นที่มืดคือน้ำ และพื้นที่สีขาวคือพื้นที่เมือง



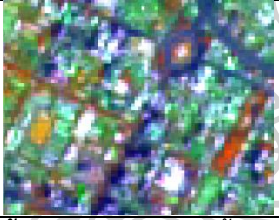
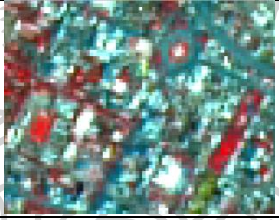
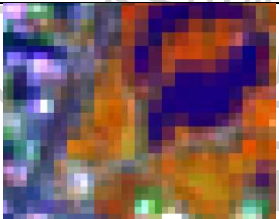
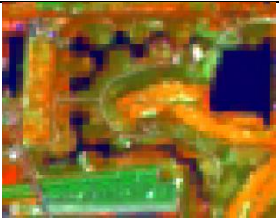
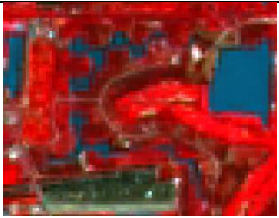
ภาพที่ 22 การผสมสีภาพถ่ายดาวเทียมพื้นที่ศึกษา

ที่มา: ปรับปรุงข้อมูลจาก US Geological Survey (USGI), 2021

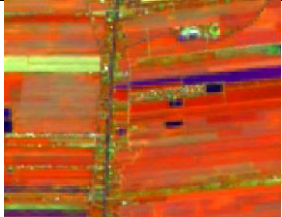
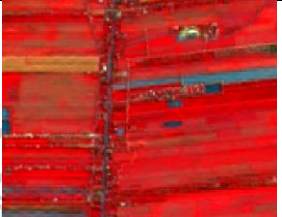
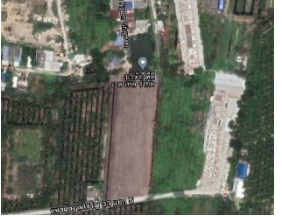
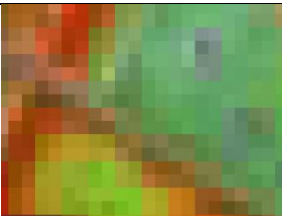
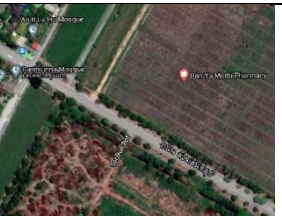
ตารางที่ 11 คำอธิบายการจำแนกสิ่งปกคลุมดิน (Sub class: Surface types) และลักษณะการสะท้อนจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมพื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร

Sub Class: Surface types	False color composite	Color Infrared composite	Google Earth
URBA_BU	พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง เป็นพื้นที่ที่มีการใช้ประโยชน์เพื่อการตั้งถิ่นฐานการอยู่อาศัย และการประกอบกิจการและกิจกรรมของมนุษย์ ประกอบด้วยเมืองและย่านการค้า ที่อยู่อาศัย สถานที่ราชการและสถาบันการศึกษา		

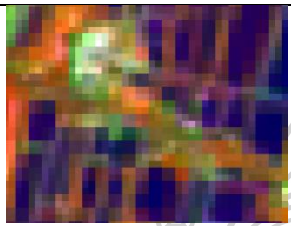
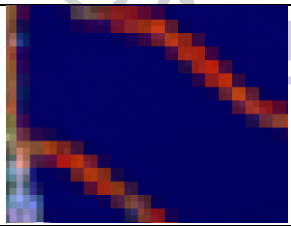
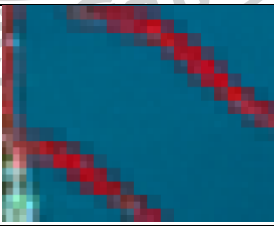
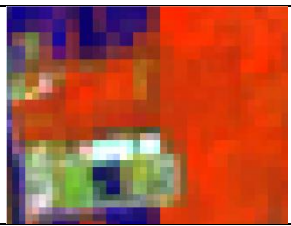
ตารางที่ 11 (ต่อ)

Sub Class: Surface types	False color composite	Color Infrared composite	Google Earth
URBA_IL	พื้นที่ย่านอุตสาหกรรม เป็นพื้นที่เพื่อสร้างโรงงานหรืออาคารเพื่อการผลิต ก่อสร้างด้วยวัสดุคงทน เช่น เหล็ก อลูมิเนียม และคอนกรีต มีการมีพื้นที่ลาดชันมากกว่าพื้นที่สีเขียว		
			
ROAD	พื้นที่ที่มีการใช้ประโยชน์เพื่อการคมนาคมขนส่ง เช่น ถนน ตรอก ซอย ประกอบด้วยพื้นผิวที่มีคุณสมบัติในการดูดซับความร้อน รวมถึงพื้นที่สาธารณูปโภคและสาธารณูปการเพื่อการคมนาคมขนส่ง ที่ประกอบด้วยอาคารและเส้นทางคมนาคม		
			
PARK	พื้นที่สีเขียวเมือง เป็นพื้นที่ที่สามารถใช้ประโยชน์เพื่อนันทนาการ พักผ่อนหย่อนใจ ประกอบด้วย พื้นหญ้า ไม้พุ่ม ไม้ยืนต้น และพื้นที่ที่น้ำซึมผ่านได้		
			
GOLF	พื้นที่สนามกอล์ฟ ประกอบด้วยพื้นที่สนามหญ้า อาจมี บ่อน้ำ หลุมทราย หรือไม้พุ่ม ไม้ยืนต้น		
			

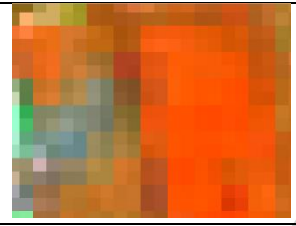
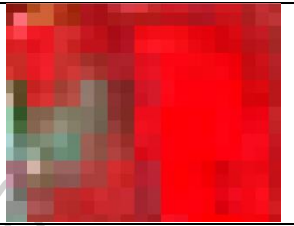
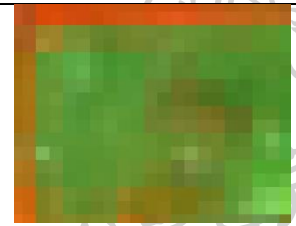
ตารางที่ 11 (ต่อ)

Sub Class: Surface types	False color composite	Color Infrared composite	Google Earth
AGRI_PF	พื้นที่เพาะปลูกข้าว ประกอบด้วย พื้นที่นาข้าว และรวมบางส่วนของที่นา เช่น คันนา ไม้พุ่มและไม้ยืนต้นที่ปลูกกระจายอยู่ในที่นา		
			
AGRI_PC	พื้นที่ปลูกไม้ยืนต้น เช่น ยางพารา ยูคาลิปตัส สัก สนประดิพัทธ์ เป็นต้น / พื้นที่ที่ใช้ในการ ปลูกไม้ผล เช่น ส้ม มะม่วง ลำไย มะพร้าว กล้วย เป็นต้น		
			
AGRI_HC	พื้นที่ปลูกพืชผัก เช่น แตงกวา ผักชี ผักกาดขาว และที่ดินที่ใช้ปลูกไม้ดอกไม้ประดับ เช่น มะลิ กล้วย ไม้เบญจมาศ พืชสมุนไพรและเกษตรผสมผสาน		
			
AGRI_PA	พื้นที่ปลูกหญ้าสำหรับเลี้ยงสัตว์ หมายถึงถึงสิ่งปลูกสร้างประเภทโรงเรือนสำหรับเลี้ยงสัตว์ บก		
			

ตารางที่ 11 (ต่อ)

Sub Class: Surface types	False color composite	Color Infrared composite	Google Earth
AGRI_AL	พื้นที่เพาะปลูกพืชน้ำ เช่น ผักกระเฉด ผักบุ้ง บัว กก กระจับ แห้ว เป็นต้น/ พื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่จัดสร้างขึ้นรวมทั้งโรงเรือน ซึ่งอาจเป็นประมงน้ำจืด หรือประมงน้ำกร่อย หรือการเพาะเลี้ยงในทะเล		
			
MANG	พื้นที่สวนป่า/ ป่าชายเลน ประกอบด้วยพันธุ์ไม้หลายชนิดทั้งที่ไม่ผลัดใบหรือมีใบเขียวชอุ่มตลอดปี เป็นระบบนิเวศที่อยู่ในแนวเชื่อมต่อระหว่างแผ่นดินกับพื้นที่น้ำทะเล พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ที่น้ำซึมผ่านได้		
			
WATR	พื้นที่แหล่งน้ำธรรมชาติและแหล่งน้ำที่สร้างขึ้น พื้นที่แหล่งน้ำที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ แม่น้ำ ลำคลอง หนองน้ำ บึง และทะเลสาบ / แหล่งน้ำที่มนุษย์สร้างขึ้น ได้แก่ อ่างเก็บน้ำ บ่อน้ำในไร่นา คลองชลประทาน เป็นต้น		
			
BARE_GS	พื้นที่สีเขียวที่เป็นทุ่งหญ้าธรรมชาติ/ ทุ่งหญ้าสลับไม้พุ่มไม้ละเมาะ คือพื้นที่ที่ประกอบด้วยพื้นที่สีเขียวที่เป็นทุ่งหญ้าธรรมชาติ หรือทุ่งหญ้าสลับไม้พุ่มไม้ละเมาะ รวมถึงพื้นที่ว่างเปล่าหรือไม่ทำประโยชน์ตามควรแก่สภาพแต่มีพืชพรรณหรือพื้นที่สีเขียวปกคลุม		
			

ตารางที่ 11 (ต่อ)

Sub Class: Surface types	False color composite	Color Infrared composite	Google Earth
BARE_WL	พื้นที่ลุ่มชื้นแฉะและพื้นที่น้ำขัง ประกอบไปด้วยพืชน้ำและพื้นที่ชุ่มน้ำ หรือมีน้ำขัง		
			
BARE_BL	พื้นที่อื่นๆ / พื้นที่ว่างเปล่าหรือไม่ทำประโยชน์ตามควรแก่สภาพ เช่น เหมืองและบ่อขุด พื้นที่กองวัสดุ พื้นที่ว่างคาดแจ้ง พื้นที่ถม พื้นที่ทิ้งขยะ รวมถึงพื้นที่ว่างเปล่าหรือไม่ทำประโยชน์ตามควรแก่สภาพ ที่ไม่มีพืชพรรณหรือพื้นที่สีเขียวปกคลุม		
			

ทั้งนี้ ผู้วิจัยได้จำแนกข้อมูลตามลักษณะทางกายภาพโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวและสิ่งปกคลุมดินในพื้นที่ศึกษา ตามการศึกษาของ Carlos Bartesaghi Koc (2018) ซึ่งได้จำแนกออกเป็น 5 ประเภทหลัก คือ 1) Tree canopy 2) Green open spaces 3) Green roofs 4) Vertical greenery systems (Facades/ Walls) และ 5) Water bodies (Bartesaghi Koc, 2018) นำมาศึกษาเปรียบเทียบกับข้อมูลพื้นที่สีเขียว 6 ประเภทจำแนกตามคุณลักษณะและการใช้ประโยชน์ ตามนิยามของสำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องและการเปรียบเทียบข้อมูลพื้นที่สีเขียวของประเทศไทย สามารถจัดกลุ่มโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวในพื้นที่ศึกษา (GI Types) รายละเอียดดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12 การจำแนกโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวที่ใช้ในพื้นที่ศึกษา

GI Types	Green Infrastructures	พื้นที่สีเขียว 6 ประเภท ตามคุณลักษณะและการ ใช้ประโยชน์	คำอธิบาย
GI1	Green open spaces/ Tree canopy	พื้นที่สีเขียวเพื่อการบริการ สาธารณะ	พื้นที่สีเขียวเมือง สามารถใช้ ประโยชน์เพื่อนันทนาการ พักผ่อน หย่อนใจ ประกอบด้วย พื้นที่หญ้า ไม้ พุ่ม ไม้ยืนต้น และพื้นที่ที่น้ำซึมผ่าน ได้
GI2	Green open spaces/ Tree canopy	พื้นที่สีเขียวอรรถประโยชน์	- พื้นที่สีเขียวในชุมชนและสิ่งปลูก สร้าง* - พื้นที่สนามกอล์ฟ ประกอบด้วย พื้นที่สนามหญ้า อาจมี บ่อน้ำ หลุม ทราย หรือไม้พุ่ม ไม้ยืนต้น
		พื้นที่สีเขียวที่เป็นริ้วทาง ตามแนวสาธารณูปการ*	พื้นที่สีเขียวบริเวณเกาะกลางถนน
GI3	Green open spaces/ Tree canopy/ Water bodies	พื้นที่สีเขียวเพื่อเศรษฐกิจ ชุมชน	พื้นที่ทางเกษตรกรรม เช่น นาข้าว พืชไร่ พืชสวน ไม้ผล ไม้ยืนต้น พื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ
GI4_1	Tree canopy/ Water bodies	พื้นที่สีเขียวธรรมชาติ	พื้นที่ป่าชายเลนประกอบด้วยพันธุ์ ไม้หลายชนิดทั้งที่ไม่ผลัดใบหรือมี ใบเขียวช่อตลอดปี เป็นระบบ นิเวศที่อยู่ในแนวเชื่อมต่อระหว่าง ผืนแผ่นดินกับพื้นน้ำทะเล พื้นที่ ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ที่น้ำซึมผ่านได้
GI4_2	Water bodies		พื้นที่แหล่งน้ำที่เกิดขึ้นเองตาม ธรรมชาติ แม่น้ำ ลำคลอง หนองน้ำ บึง และทะเลสาบ / แหล่งน้ำที่ มนุษย์สร้างขึ้น ได้แก่ อ่างเก็บน้ำ บ่อน้ำในไร่นา คลองชลประทาน เป็นต้น

ตารางที่ 12 (ต่อ)

GI Types	Green Infrastructures	พื้นที่สีเขียว 6 ประเภท ตามคุณลักษณะและการ ใช้ประโยชน์	คำอธิบาย
GI5_1	Green open spaces/ Tree canopy	พื้นที่สีเขียวที่ยังไม่ใช้ ประโยชน์หรือรอการ พัฒนา	พื้นที่ที่ประกอบด้วยพื้นที่สีเขียวที่เป็นทุ่งหญ้าธรรมชาติ/ ทุ่งหญ้า สลับไม้พุ่มไม้ละเมาะ รวมถึงพื้นที่ ว่างเปล่าหรือไม่ทำประโยชน์ตาม ควรแก่สภาพแต่มีพืชพรรณหรือ พื้นที่สีเขียวปกคลุม
GI5_2	Water bodies		พื้นที่ลุ่มชื้นแฉะและพื้นที่น้ำขัง ประกอบไปด้วยพืชน้ำและพื้นที่ชุ่ม น้ำ

หมายเหตุ: ขอบเขตในการศึกษาในครั้งนี้ ผู้วิจัยจำแนกข้อมูลตามลักษณะทางกายภาพของโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวในพื้นที่ศึกษาได้ 3 ประเภทหลัก คือ (1) Tree canopy (2) Green open spaces (3) Water bodies เนื่องจากข้อจำกัดด้านความละเอียดข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมในการจำแนกสิ่งปกคลุมดินที่มีขนาดเล็ก เช่น พื้นที่สีเขียวในชุมชน พื้นที่สีเขียวที่เป็นริ้วยาวตามแนวสาธารณูปการ ประเภทสวนบนหลังคา (Green roof) และการจำแนกโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวประเภทสวนแนวตั้งหรือสวนผนัง (Vertical greenery systems) ที่ไม่สามารถแสดงในภาพถ่ายดาวเทียมได้

3.3 การวิเคราะห์ข้อมูลพื้นที่ศึกษา

การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล

ทำการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่ได้การจำแนกสิ่งปกคลุมดินจากภาพถ่ายดาวเทียม โดยเปรียบเทียบผลที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมร่วมกับการสำรวจภาคสนาม ในการสุ่มตัวอย่างนั้นต้องระบุพิกัดหรือตำแหน่ง x, y ของตัวอย่างโดยใช้เครื่องมือค้นหาพิกัดด้วยสัญญาณดาวเทียม (GPS) ด้วยวิธีการสุ่มตัวอย่างแบบจุด เพื่อประมาณจำนวนจุดภาพตัวอย่างที่น้อยที่สุดที่สามารถนำมาตรวจสอบตามหลักการความน่าจะเป็นแบบทวินาม (Binomial Probability) และระบุขนาดของตัวอย่าง (N) ในการประเมินความถูกต้อง (กาญจน์ขจร ชูชีพ, 2561) ดังสมการต่อไปนี้

$$N = \frac{1}{E^2} [Z^2(p)(q)] \quad \text{eq.8}$$

โดย

N	=	จำนวนตัวอย่างขั้นต่ำ (จุดสำรวจ)
p	=	ความคาดหวังความถูกต้อง
q	=	โอกาสที่จะเกิดความผิดพลาด ($100 - p$)
E	=	ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้
Z	=	จากส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน Z สำหรับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($Z\text{-score} = 1.96$)

จากสมการสามารถหาขนาดของตัวอย่างได้จากความคาดหวังความถูกต้องร้อยละ 95 และความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้คือ ร้อยละ 5 ดังนั้นจำนวนตัวอย่างน้อยที่สุดที่ต้องการคือ 73 จุด ซึ่งในพื้นที่ศึกษาได้จำแนกสิ่งปกคลุมดินออกเป็น 15 ประเภท จึงควรมีจำนวนจุดตรวจสอบของการจำแนกสิ่งปกคลุมดินอย่างน้อยประเภทละ 5 จุด ทั้งนี้ในการศึกษาได้ทำการสำรวจข้อมูลภาคสนามจำนวน 2,795 จุด เพื่อให้ได้จุดข้อมูลอ้างอิงในการตรวจสอบการจำแนกที่ละเอียดมากยิ่งขึ้น

การประเมินความถูกต้องของการจำแนกสิ่งปกคลุมดิน เป็นการพิจารณาผลการจำแนกชั้นข้อมูล ณ จุดสำรวจในภาพถ่ายดาวเทียมเปรียบเทียบกับข้อมูลสำรวจภาคสนามที่ใช้เป็นข้อมูลอ้างอิง และแจกแจงในรูปแบบตาราง (Error Matrix) และคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ค่าความถูกต้องโดยรวม (Overall accuracy) (ส่วนเทคนิคภูมิสารสนเทศ, 2562) ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{Overall accuracy} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^k n_{ii} \quad \text{eq.9}$$

โดย

n_{ii}	=	จำนวนตำแหน่งที่จำแนกได้ถูกต้อง
n_{i+}	=	จำนวนตำแหน่งที่จำแนกทั้งหมดของประเภทการจำแนกสิ่งปกคลุมดิน ที่มาจากการจำแนก
n_{+j}	=	จำนวนตำแหน่งที่จำแนกทั้งหมดของประเภทการจำแนกสิ่งปกคลุมดิน ที่มาจากการสำรวจพื้นที่จริง
k	=	จำนวนประเภทการจำแนกสิ่งปกคลุมดินทั้งหมด
n	=	จำนวนตำแหน่งประเภทการจำแนกสิ่งปกคลุมดินทั้งหมด

ตารางที่ 13 ตาราง Error Matrix การจำแนกสิ่งปกคลุมดินพื้นที่ศึกษา

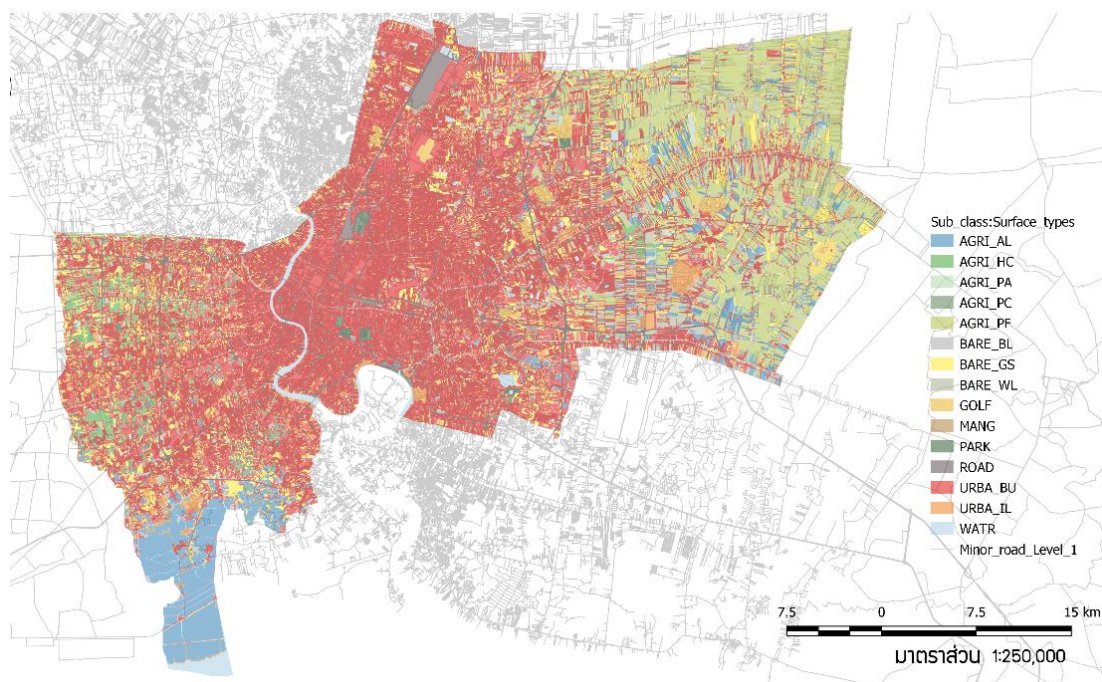
Predicted Surface Type	Reference Data (Ground Truth)															Row Totals	user's accuracy (%)
	URBA_BU	URBA_IL	ROAD	PARK	GOLF	AGRI_PF	AGRI_PC	AGRI_HC	AGRI_PA	AGRI_AL	MANG	WATR	BARE_GS	BARE_WL	BARE_BL		
URBA_BU	1557	0	2	2	0	1	0	0	0	0	0	0	6	0	2	1570	99.17
URBA_IL	2	64	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	67	95.52
ROAD	4	0	99	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	104	95.19
PARK	1	0	0	49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	51	96.08
GOLF	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	100
AGRI_PF	1	0	0	0	0	91	1	0	0	0	0	0	2	0	0	95	95.79
AGRI_PC	0	0	0	0	0	3	54	0	0	0	0	0	2	0	0	59	91.53
AGRI_HC	0	0	0	0	0	0	1	28	0	0	0	0	2	0	0	31	90.32
AGRI_PA	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	5	100
AGRI_AL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	44	0	0	0	0	0	44	100
MANG	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	5	100
WATR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	46	0	0	0	46	100
BARE_GS	6	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	447	0	3	457	97.81
BARE_WL	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	50	0	53	94.34
BARE_BL	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	1	188	197	95.43
Row Totals	1576	64	101	52	6	96	56	28	5	44	5	46	465	52	194	2795	
Producer Accuracy (%)	98.79	100	98.02	94.23	100	94.79	96.43	100	100	100	100	100	96.13	96.15	96.91		

$$\text{Overall accuracy} = \frac{(1576 + 64 + 101 + 52 + 6 + 96 + 56 + 28 + 5 + 44 + 5 + 46 + 465 + 52 + 194)}{2790} \times 100$$

จากผลการประเมินความถูกต้องโดยรวมในการจำแนกสิ่งปกคลุมดินของพื้นที่ศึกษา มีค่าร้อยละ 97.96 ซึ่งสามารถประเมินได้ว่าผลการจำแนกสิ่งปกคลุมดินเป็นไปตามเกณฑ์ความถูกต้องตามมาตรฐานข้อกำหนดของข้อมูลภูมิสารสนเทศพื้นฐาน (Fundamental Geographic Data Set: FGDS)

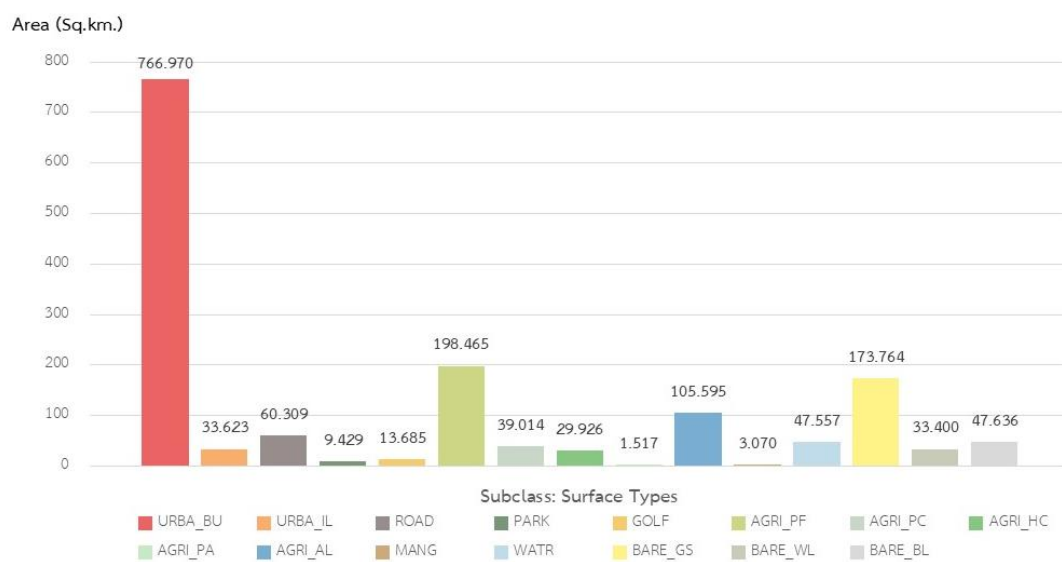
การจำแนกข้อมูลสิ่งปกคลุมดินในพื้นที่ศึกษา

จากวัตถุประสงค์ในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งปกคลุมดินกับการเกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนบนพื้นผิวเมืองในพื้นที่กรุงเทพมหานคร จากการจำแนกสิ่งปกคลุมดิน (Sub class: Surface types) ออกเป็น 15 ประเภท ตามลักษณะทางกายภาพและองค์ประกอบของสิ่งปกคลุมผิวดิน ผ่านการแปลตีความภาพถ่ายดาวเทียมด้วยสายตาและการผสมสีภาพถ่ายดาวเทียมด้วยข้อมูลหลายช่วงคลื่น มีผลศึกษาดังนี้

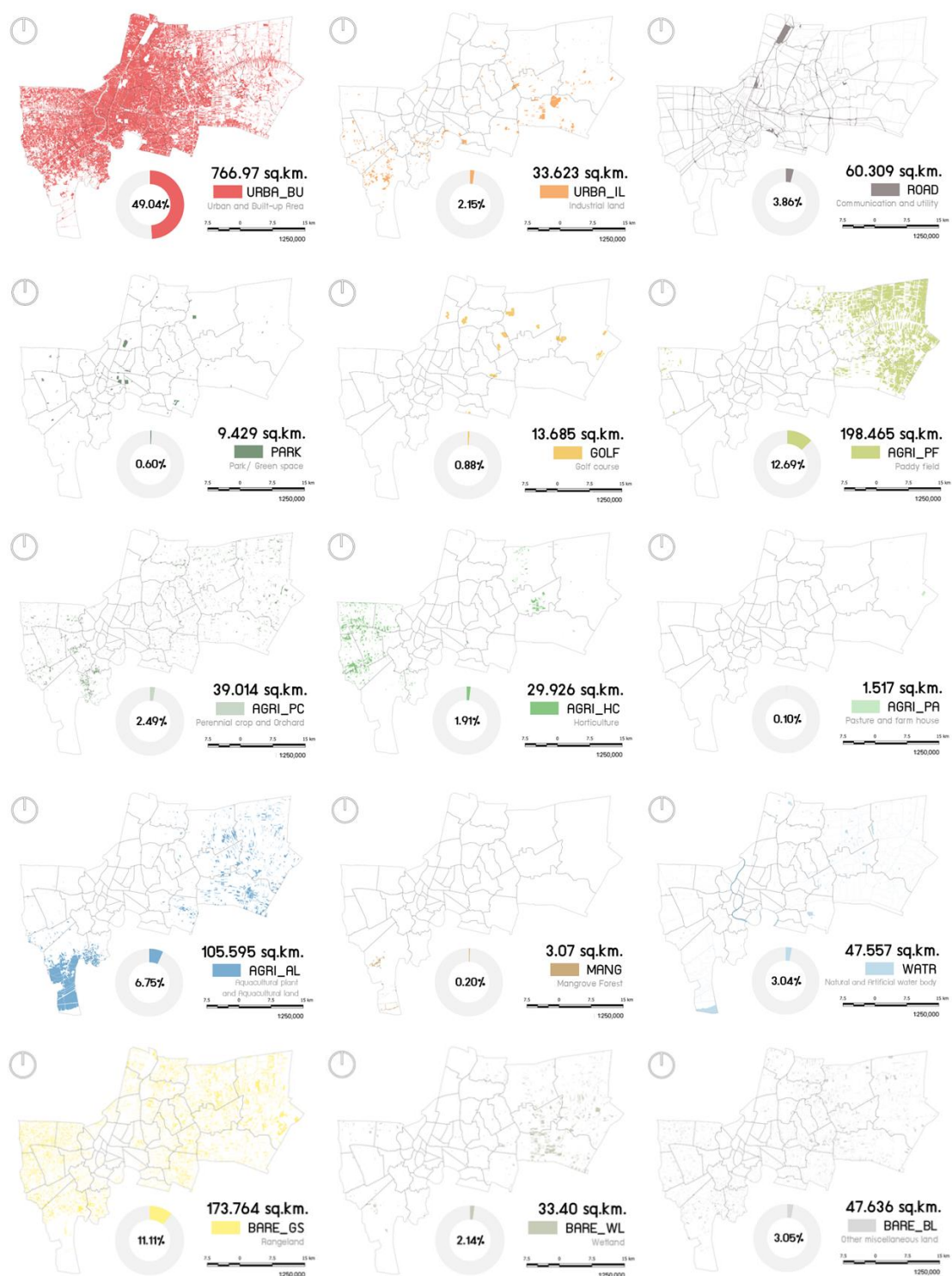


ภาพที่ 23 การจำแนกสิ่งปกคลุมดินพื้นที่ศึกษา

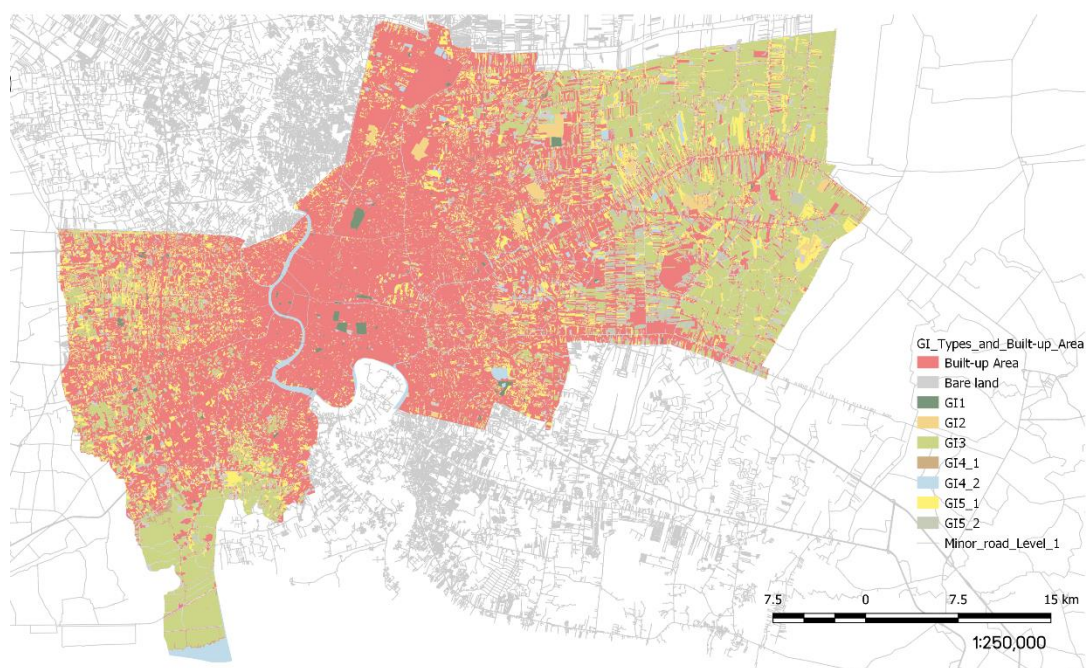
ที่มา: ปรับปรุงข้อมูลจากกรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2564



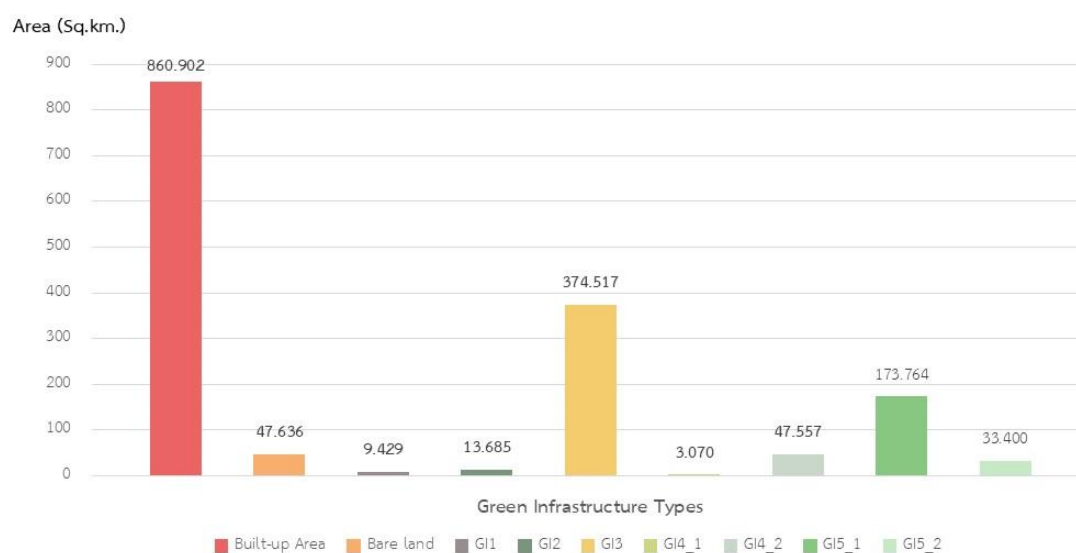
ภาพที่ 24 แผนภูมิแสดงพื้นที่สิ่งปกคลุมดิน 15 ประเภทในพื้นที่ศึกษา



ภาพที่ 25 สัดส่วนพื้นที่จำแนกตามลิ่งปกคลุมดิน 15 ประเภทในพื้นที่ศึกษา

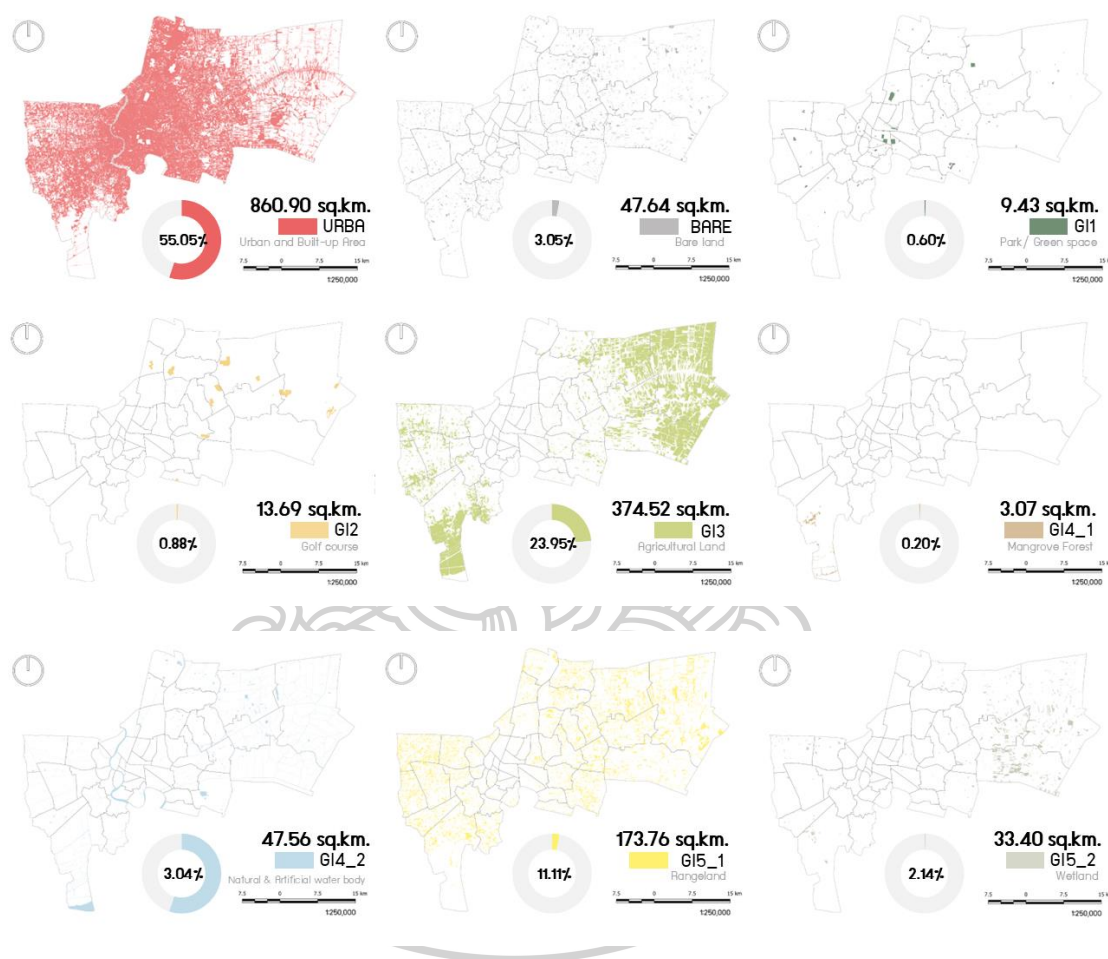


ภาพที่ 26 การจำแนกโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวในพื้นที่ศึกษา
ที่มา: ปรับปรุงข้อมูลจากกรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2564



ภาพที่ 27 แผนภูมิแสดงพื้นที่สิ่งปลูกสร้าง พื้นที่ว่างรอการพัฒนา และโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวในพื้นที่ศึกษา

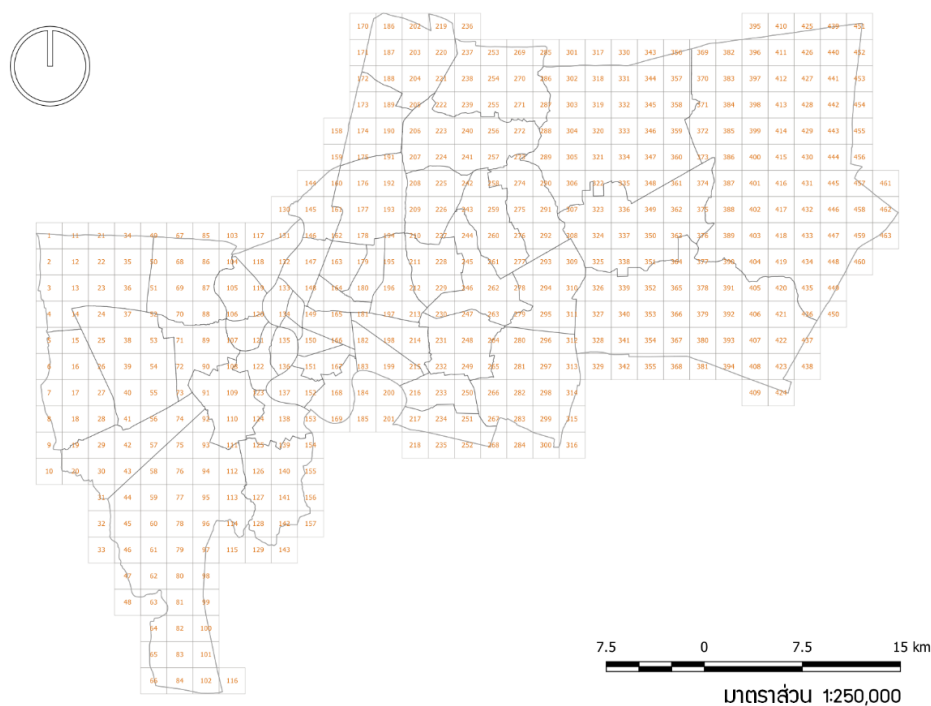
หมายเหตุ: ผู้วิจัยได้แยกประเภท Built-up area คือพื้นที่สิ่งปลูกสร้างต่างๆ และ Bare land คือพื้นที่ว่างรอการพัฒนา ที่ไม่มีองค์ประกอบของพื้นที่สีเขียว ออกจากการจำแนกโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวในพื้นที่ศึกษา



ภาพที่ 28 สัดส่วนพื้นที่จำแนกตามพื้นที่สิ่งปลูกสร้าง พื้นที่ว่างรอการพัฒนา และโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวในพื้นที่ศึกษา

การกำหนดขอบเขตพื้นที่ศึกษา

ในการศึกษาสิ่งปกคลุมดินกับการเกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนบนพื้นผิวเมือง สิ่งปกคลุมเมือง และวัสดุพื้นผิว เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีสนับสนุนการเกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมืองการเพิ่มขึ้นของ อุณหภูมิพื้นผิว ส่งผลกระทบต่อชั้นบรรยากาศระหว่างพื้นดินและด้านบนสุดของหลังคาหรือชั้นเรือน ยอดต้นไม้ (Urban canopy layer: UCL) ภายใน UCL ลักษณะระดับเชิงพื้นที่ที่สามารถใช้ได้ในการศึกษาปรากฏการณ์ทางภูมิอากาศ คือ พื้นที่ขนาดเล็กมาก (Microscale) และพื้นที่ขนาดเล็ก (Local scale) ซึ่งมนุษย์ได้รับผลกระทบจากความร้อนและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Bartasaghi Koc, 2018) เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งปกคลุมดิน อุณหภูมิพื้นผิว และดัชนี ความแตกต่างของพืชพรรณ กับการเกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนบนพื้นผิวเมือง จึงจำเป็นต้อง กำหนดขอบเขตพื้นที่ศึกษาย่อย (Grid cell) ในระดับเฉพาะของพื้นที่ ซึ่งในการศึกษาเป็นการ วิเคราะห์ผลกระทบของสิ่งปกคลุมดินในระดับพื้นที่ขนาดเล็ก (Local scale) อ้างอิงการกำหนดขนาด พื้นที่ตามระดับของพื้นที่เมืองในระดับย่าน (Neighbourhood) (Oke, Mills, Christen, & Voogt, 2017) คลอบคลุมพื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร



ภาพที่ 29 การกำหนดขอบเขตพื้นที่ศึกษาย่อยในพื้นที่ศึกษา

ตารางที่ 14 ระดับของพื้นที่เมืองและระดับในการศึกษาสภาพอากาศ

Urban Units	Built Features	Urban Climate Phenomena	Typical Horizontal Length Scales	Climate Scale
Facet	หลังคา,ผนัง,ถนน	เงา, การเก็บความร้อนสะสม,รูปแบบน้ำค้างและน้ำแข็ง	10 x 10 เมตร	Micro
Element	บ้านพักอาศัย, อาคารสูง, คลังสินค้า	การลอยตัวของอากาศ	10 x 10 เมตร	Micro
Canyon	ถนน, หุบเขาถนน	การบังเงาบริเวณถนน, กระแสลมหมุนในหุบเขาถนน, สภาพภูมิอากาศของคนเดินถนน	30 x 200 เมตร	Micro
Block	พื้นที่บล็อกเมือง, โรงงาน	ภูมิอากาศของสวนสาธารณะ	500 x 500 เมตร	Local
Neighbourhood or Local Climate Zone	พื้นที่ใจกลางเมือง, ย่านพักอาศัย, ย่านอุตสาหกรรม	สภาพอากาศของย่าน, ลมท้องถิ่น, เขตมลพิษทางอากาศ	2 x 2 กิโลเมตร	Local
City	พื้นที่สิ่งปลูกสร้าง	เกาะความร้อนเมือง, โดมฝุ่นในเมือง, รูปแบบของเมืองที่มีผลต่อความชื้นและลม	25 x 25 กิโลเมตร	Meso
Urban Region	พื้นที่เมืองและชานเมือง	Urban Plume, เมฆและความผิดปกติของปริมาณน้ำฝน	100 x 100 กิโลเมตร	Meso

ที่มา: ปรับปรุงข้อมูลจาก (Oke et al., 2017)

ทั้งนี้ ผู้วิจัยเลือกใช้พื้นที่ย่อยขนาด 2 x 2 ตารางกิโลเมตร ซึ่งสามารถกำหนดขอบเขตพื้นที่การศึกษาย่อยในพื้นที่ศึกษาได้จำนวน 463 Grid cells เพื่อใช้เป็นขอบเขตในการคำนวณและเปรียบเทียบข้อมูล แทนการเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของเกาะความร้อนเมืองระหว่างพื้นที่เมืองและพื้นที่ชนบทที่ยากต่อการกำหนดขอบเขต ทั้งนี้ขนาดพื้นที่ระดับย่านเป็นระดับของพื้นที่ที่ใช้ในการศึกษาปรากฏการณ์ทางภูมิอากาศในระดับพื้นที่เฉพาะ หรือ local scale

3.4 การดำเนินการวิจัย

จากวัตถุประสงค์ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งปกคลุมดินกับการเกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนบนพื้นผิวเมืองในพื้นที่กรุงเทพมหานคร ด้วยวิธีการวิเคราะห์ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ และการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีด้านการสำรวจระยะไกล เพื่อนำไปสู่การตอบคำถามการวิจัยหลัก คือ “โครงสร้างพื้นฐานสีเขียวมีความเกี่ยวข้องกับการเกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมืองในพื้นที่กรุงเทพมหานครหรือไม่และอย่างไร” โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อนำเสนอประเภทโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวที่สามารถบรรเทาการเกิดเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมืองของพื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร จากคำถามการวิจัยดังกล่าว ได้แบ่งการศึกษา 3 ขั้นตอนประกอบด้วย

ขั้นตอนที่ 1 สิ่งปกคลุมดินกับการเกิดเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมือง

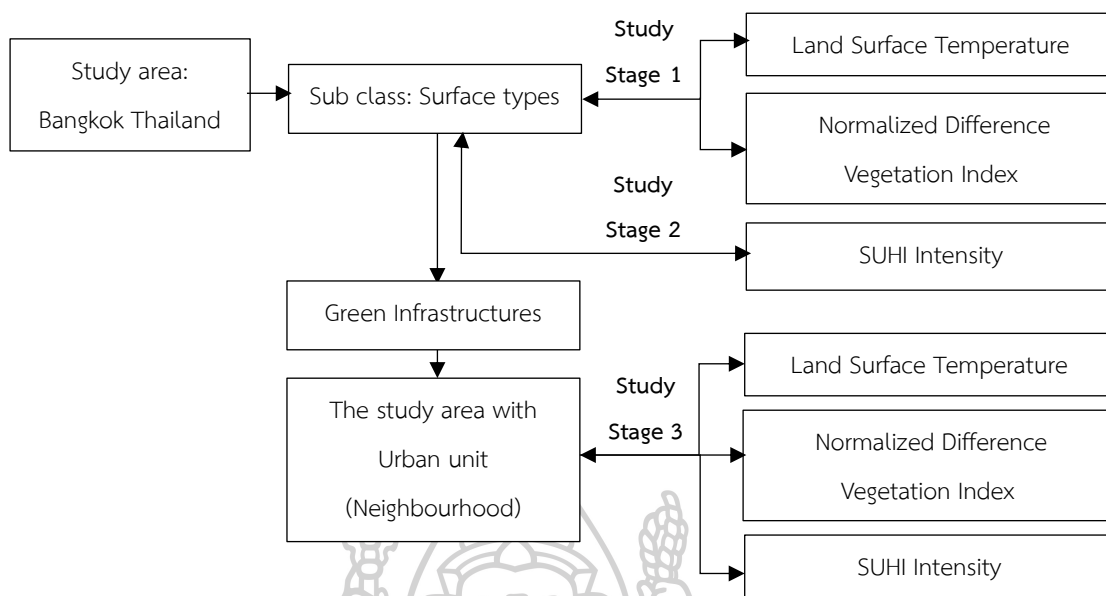
คำถามย่อยในการศึกษาคือ “สิ่งปกคลุมดิน (Sub class: Surface types) มีความเกี่ยวข้องกับอุณหภูมิพื้นผิว (Land Surface Temperature) และดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณ (Normalized Difference Vegetation Index) หรือไม่และอย่างไร”

ขั้นตอนที่ 2 สิ่งปกคลุมดินกับความเข้มข้นของเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมือง

คำถามย่อยในการศึกษาคือ “สิ่งปกคลุมดิน (Sub class: Surface types) ส่งผลต่อความเข้มข้นของเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมือง (Surface Urban Heat Island Intensity) หรือไม่และอย่างไร”

ขั้นตอนที่ 3 โครงสร้างพื้นฐานสีเขียวและความเข้มข้นของเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมือง

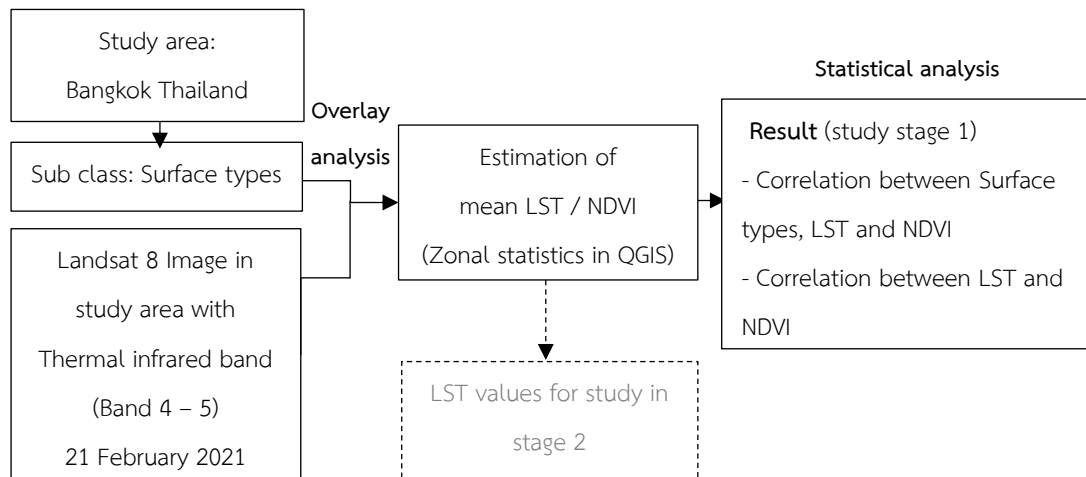
คำถามย่อยในการศึกษาคือ “โครงสร้างพื้นฐานสีเขียว (Green Infrastructures: GIs) มีความเกี่ยวข้องกับอุณหภูมิพื้นผิว (Land Surface Temperature) และดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณ (Normalized Difference Vegetation Index) อย่างไร และส่งผลต่อความเข้มข้นของเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมือง (Surface Urban Heat Island Intensity) หรือไม่และอย่างไร”



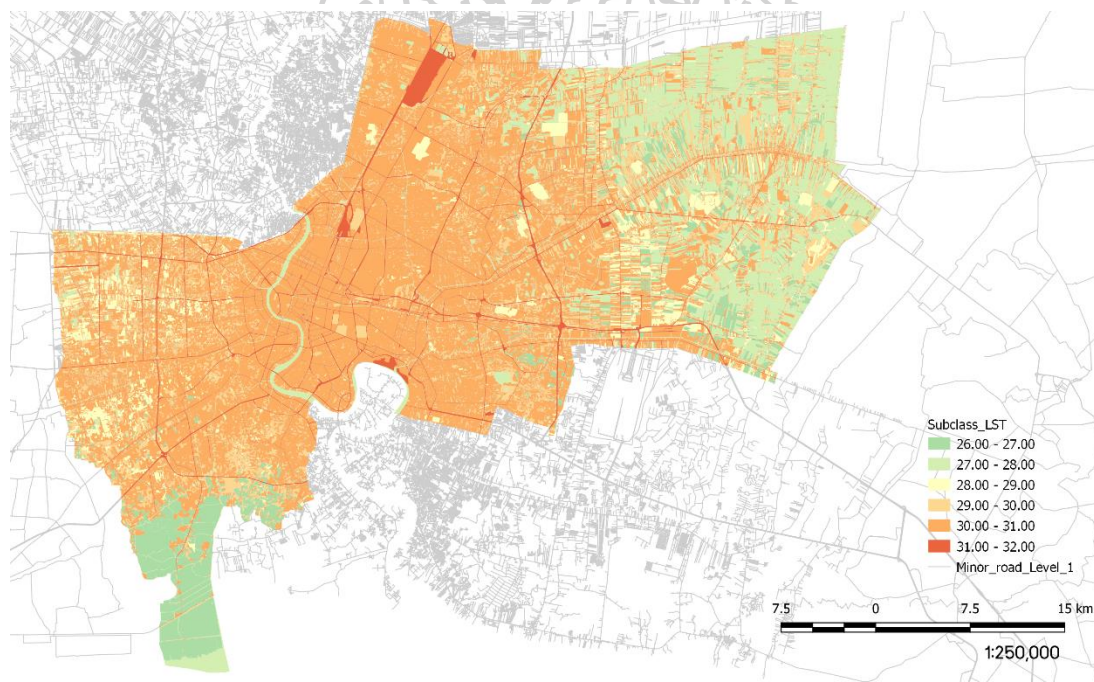
ภาพที่ 30 กรอบการดำเนินการวิจัย

สิ่งปกคลุมดินกับการเกิดเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมือง

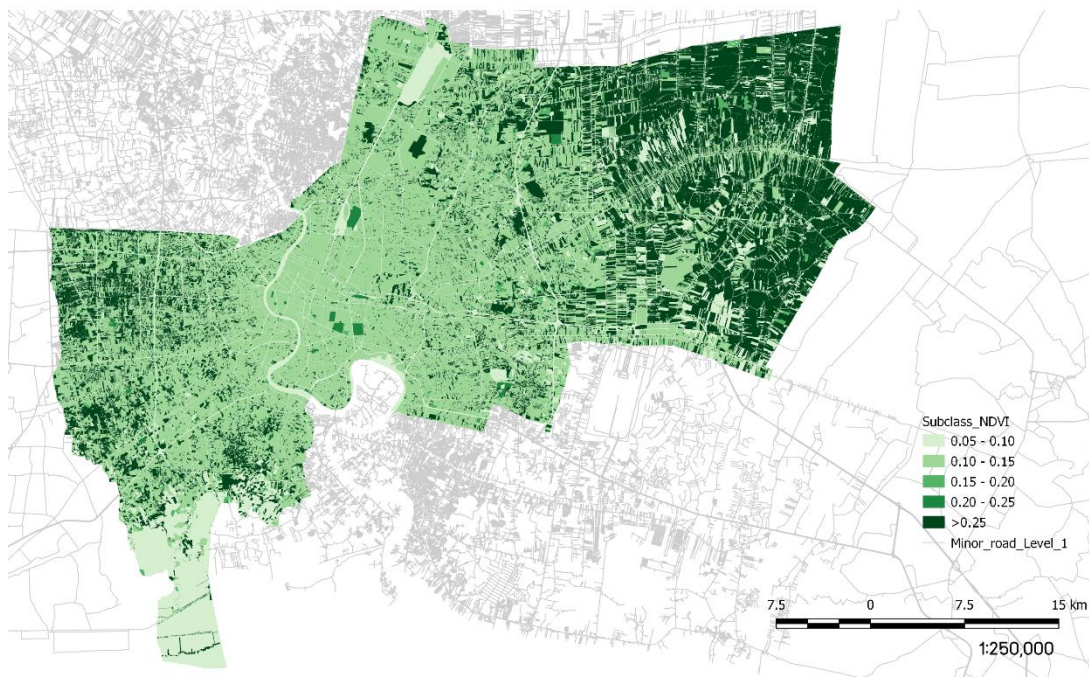
ขั้นตอนในการศึกษา เพื่อตอบคำถามย่อยในการศึกษาคือ “สิ่งปกคลุมดินมีความเกี่ยวข้องกับอุณหภูมิพื้นผิว และดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณหรือไม่และอย่างไร” จากวัตถุประสงค์ในการศึกษาศึกษาความสัมพันธ์ของสิ่งปกคลุมดินกับการเกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนบนพื้นผิวเมืองในพื้นที่กรุงเทพมหานคร ด้วยการวิเคราะห์ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ และการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีด้านการสำรวจระยะไกล เพื่อสร้างความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับความเกี่ยวข้องของสิ่งปกคลุมดินกับปัจจัยการเกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนบนพื้นผิวเมืองในพื้นที่กรุงเทพมหานคร โดยมีขั้นตอนในการดำเนินการศึกษาดังนี้



ภาพที่ 31 แสดงขั้นตอนในการศึกษา (Stage 1)



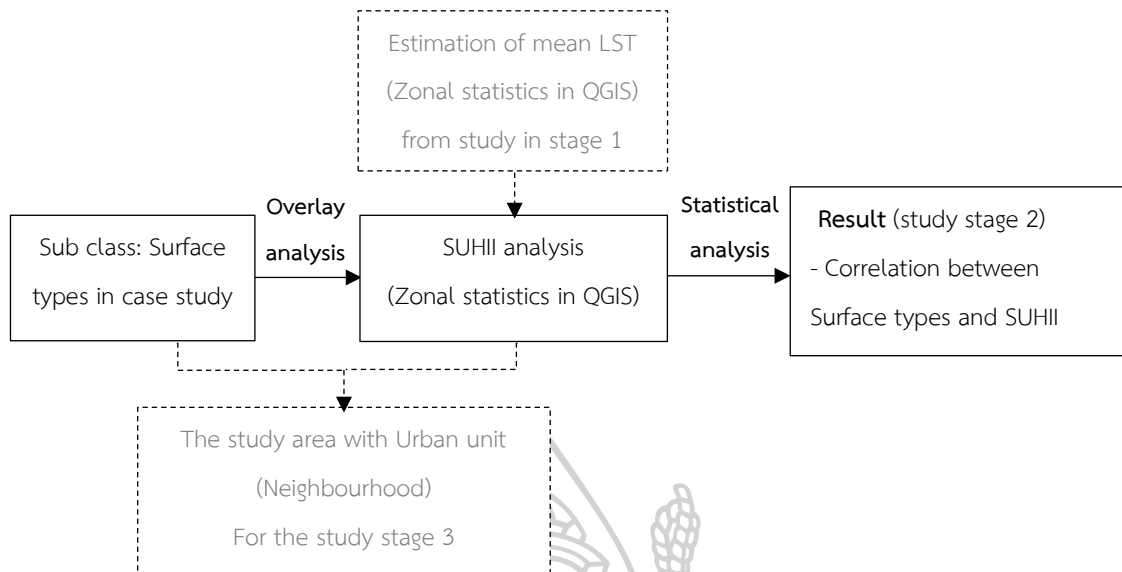
ภาพที่ 32 ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิพื้นผิว (องศาเซลเซียส) สิ่งปกคลุมดินพื้นที่ศึกษา



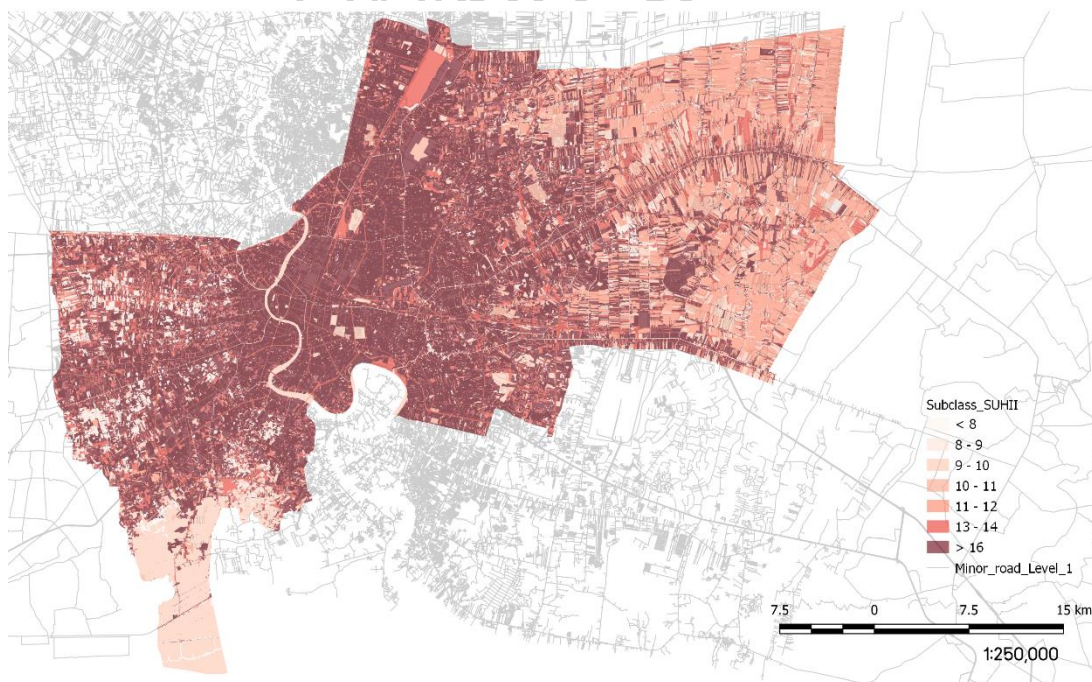
ภาพที่ 33 ค่าเฉลี่ยดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณพื้นที่ศึกษา

สิ่งปกคลุมดินกับความเข้มข้นของเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมือง

ขั้นตอนในการศึกษา เพื่อตอบคำถามย่อยในการศึกษา คือ “สิ่งปกคลุมดินส่งผลต่อความเข้มข้นของเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมืองหรือไม่และอย่างไร” จากวัตถุประสงค์ในการศึกษาความสัมพันธ์ของสิ่งปกคลุมดินกับการเกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนบนพื้นผิวเมืองในพื้นที่กรุงเทพมหานคร ด้วยการวิเคราะห์ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ และการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีด้านการสำรวจระยะไกล เพื่อสร้างความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับความเกี่ยวข้องของสิ่งปกคลุมดินกับความเข้มข้นของเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมืองในพื้นที่กรุงเทพมหานคร โดยมีขั้นตอนในการดำเนินการศึกษาดังนี้



ภาพที่ 34 แสดงขั้นตอนในการศึกษา (Stage 2)



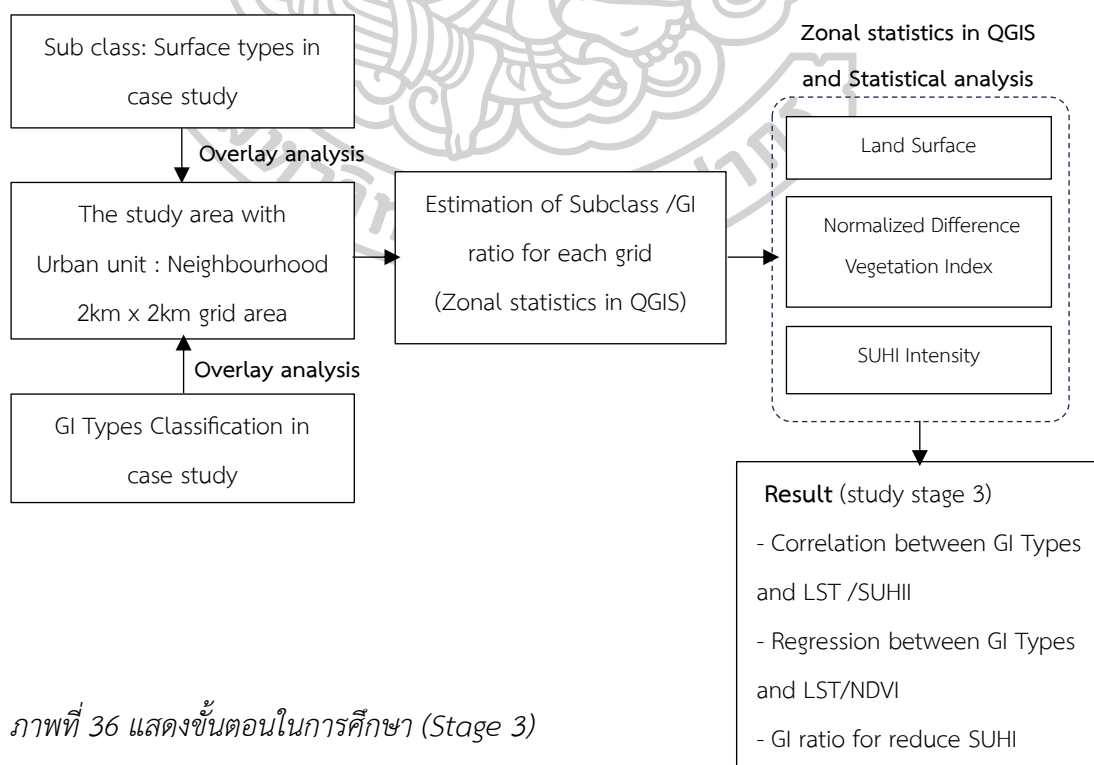
ภาพที่ 35 ความเข้มข้นเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมืองพื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร

ค่าความเข้มข้นของเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมือง (Surface Urban Heat Island Intensity: SUHII) เป็นการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศระหว่างพื้นที่เมืองและพื้นที่ชนเมือง ซึ่งอาจมีข้อจำกัดใน

การกำหนดขอบเขตของพื้นที่ รวมถึงการเลือกสถานีตรวจวัดสภาพอากาศที่เหมาะสม ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ เลือกใช้ข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 ควบคู่กับการใช้ข้อมูลอุณหภูมิพื้นผิวดินจากการสำรวจระยะไกลในการศึกษาพื้นที่ขนาดใหญ่ ซึ่งทำให้เกิดความเข้าใจการเกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมืองบนพื้นผิวเมืองได้ดียิ่งขึ้น (Li et al., 2018) จึงได้กำหนดค่าความเข้มข้นของเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมือง เป็นค่าความแตกต่างระหว่างค่าอุณหภูมิพื้นผิวต่ำสุดและสูงสุดในพื้นที่ศึกษาและประเภท

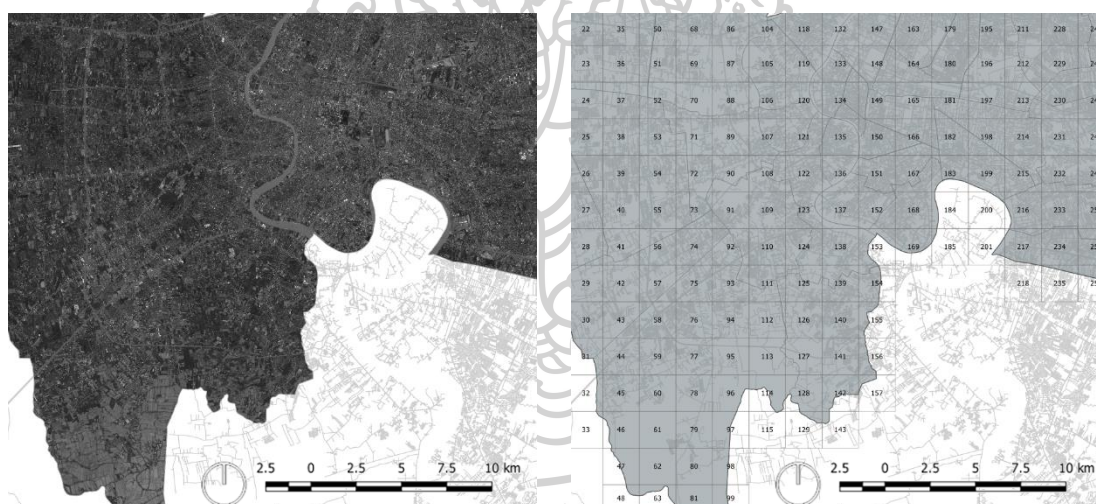
โครงสร้างพื้นฐานสีเขียวและความเข้มข้นของเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมือง

ขั้นตอนในการศึกษา เพื่อตอบคำถามย่อยในการศึกษาคือ “โครงสร้างพื้นฐานสีเขียวมีความเกี่ยวข้องกับอุณหภูมิพื้นผิว และดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณอย่างไร และส่งผลต่อความเข้มข้นของเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมือง หรือไม่และอย่างไร” เพื่อนำไปสู่การตอบคำถามการวิจัยหลัก คือ “โครงสร้างพื้นฐานสีเขียวมีความเกี่ยวข้องกับการเกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมืองในพื้นที่กรุงเทพมหานครหรือไม่และอย่างไร” โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อนำเสนอประเภทโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวที่สามารถบรรเทาการเกิดเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมืองของพื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร โดยมีขั้นตอนในการดำเนินการศึกษาดังนี้

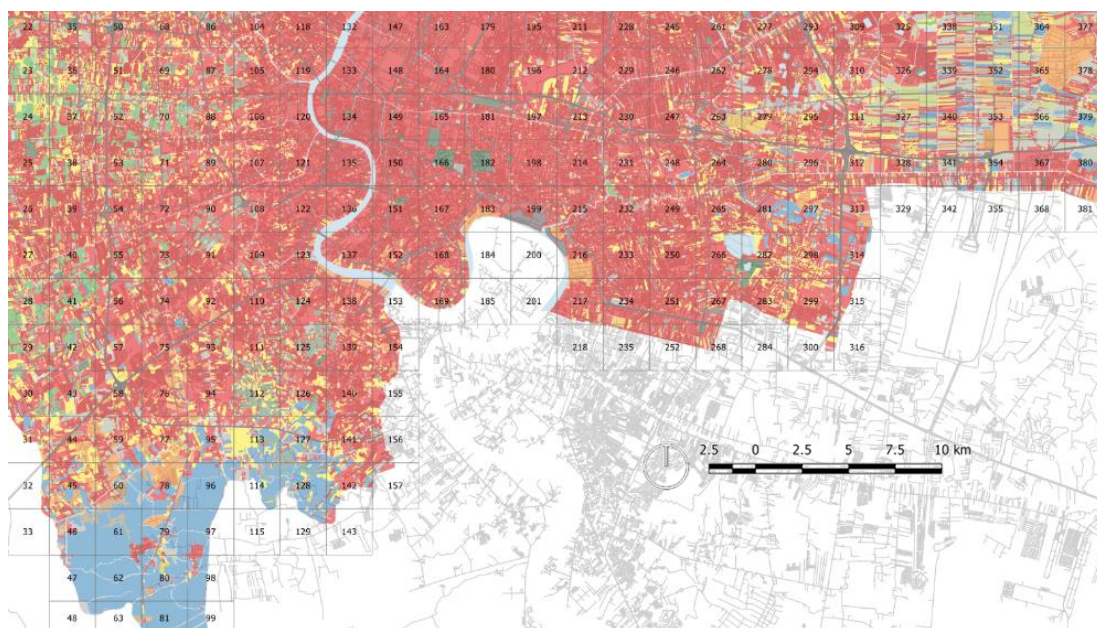


ภาพที่ 36 แสดงขั้นตอนในการศึกษา (Stage 3)

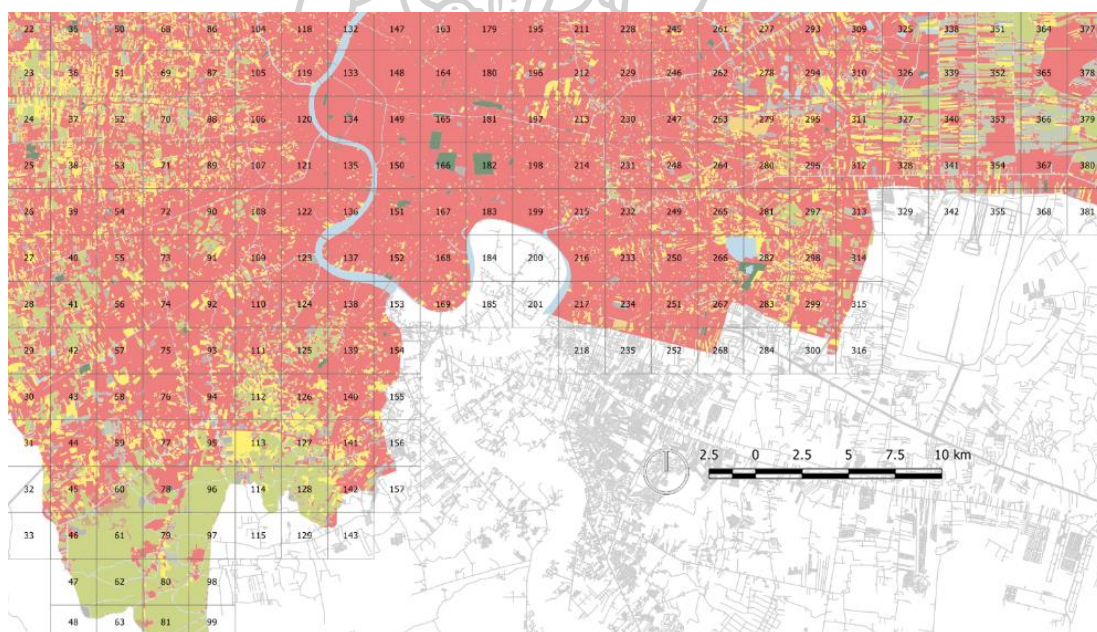
ในการศึกษาขั้นที่ 3 โครงสร้างพื้นฐานสีเขียวและความเข้มข้นของเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมือง ได้กำหนดขอบเขตในระดับย่อยของพื้นที่ศึกษาเป็นการวิเคราะห์ผลกระทบของสิ่งปกคลุมดินในระดับพื้นที่ขนาดเล็ก หรือ Local scale โดยเลือกใช้พื้นที่ศึกษาย่อยขนาด 2×2 ตารางกิโลเมตร ซึ่งเป็นขนาดพื้นที่ระดับย่าน (Neighbourhood) จากพื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานครสามารถแบ่งขอบเขตพื้นที่ศึกษาย่อยได้ 463 Grid cells จากนั้นนำไปซ้อนทับข้อมูล (Overlay analysis) และประมวลผลด้วยการใช้ Zonal Statistics ในโปรแกรม QGIS เพื่อสรุปชั้นข้อมูล ค่าอุณหภูมิพื้นผิวดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณ และความเข้มข้นของเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมืองในแต่ละพื้นที่ศึกษาย่อย นำไปวิเคราะห์ผลกระทบของสิ่งปกคลุมดินในระดับพื้นที่ขนาดเล็ก หรือ Local scale เพื่อเสนอแนะสัดส่วนพื้นที่และรูปแบบโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวที่ช่วยลดผลกระทบความเข้มข้นของเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมืองในพื้นที่ศึกษาต่อไป



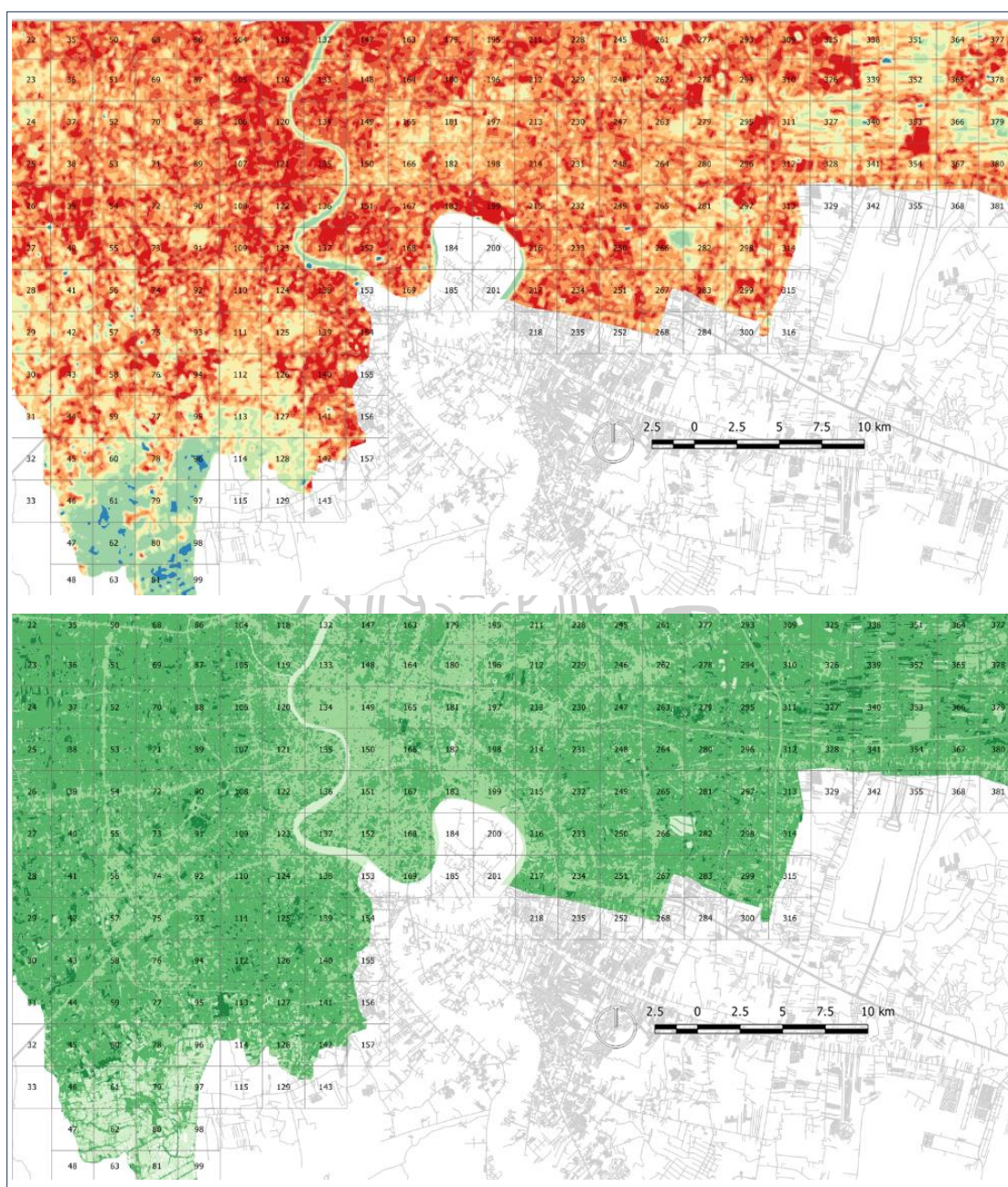
ภาพที่ 37 การกำหนดพื้นที่ศึกษาย่อยในระดับพื้นที่ขนาดเล็ก หรือ Local scale



ภาพที่ 38 การจำแนกสิ่งปกคลุมดินในระดับพื้นที่ขนาดเล็ก หรือ Local scale



ภาพที่ 39 การจำแนกโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวในระดับพื้นที่ขนาดเล็ก หรือ Local scale



ภาพที่ 40 การเตรียมภาพถ่ายดาวเทียมเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการศึกษาค่าอุณหภูมิพื้นผิว และดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณ ในระดับพื้นที่ขนาดเล็ก หรือ Local scale

บทที่ 4

ผลการศึกษา

จากวัตถุประสงค์ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งปกคลุมดินกับการเกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนบนพื้นผิวเมืองในพื้นที่กรุงเทพมหานคร เพื่อนำไปสู่การตอบคำถามการวิจัยหลัก คือ “โครงสร้างพื้นฐานสีเขียวมีความเกี่ยวข้องกับการเกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมืองในพื้นที่กรุงเทพมหานครหรือไม่และอย่างไร” โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อเสนอแนะแนวทางการเพิ่มศักยภาพของพื้นที่ตามแนวคิดโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวที่เกี่ยวข้องกับการเกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนบนพื้นผิวเมืองในพื้นที่กรุงเทพมหานคร

ผู้วิจัยได้เลือกใช้สถิติสหสัมพันธ์ (Correlation) ในการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่ออธิบายความเกี่ยวข้องของสิ่งปกคลุมดินกับการเกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมือง และหาความสัมพันธ์ด้วยการวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) เพื่อวิเคราะห์ทางสถิติและสร้างสมการทางคณิตศาสตร์ผ่านการวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Linear Regression) เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่าง 2 ตัวแปรตามขั้นตอนการศึกษา

ทั้งนี้ ใช้การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ (Multiple Linear Regression Analysis) เป็นรูปแบบที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย สามารถอธิบายความสัมพันธ์ของตัวแปรตามที่เกิดขึ้นอยู่กับตัวแปรอิสระมากกว่า 1 ตัวแปร ซึ่งทั้งตัวแปรอิสระและตัวแปรตามมีความสัมพันธ์ในรูปเชิงเส้น โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อการทำนายค่าของตัวแปรตามคือ อุณหภูมิพื้นผิว จากตัวแปรอิสระคือ โครงสร้างพื้นฐานสีเขียว 7 ประเภทในพื้นที่ศึกษา เพื่อทำนายค่าของอุณหภูมิพื้นผิว ประยูรศรี บุตรแสนคม (2555) ได้อธิบายถึงการเลือกตัวแปรโดยวิธีนำตัวแปรเข้าทั้งหมด (Enter Regression) เป็นการนำตัวแปรเข้าไปในสมการทุกตัวถึงแม้ว่าตัวแปรบางตัวจะพยากรณ์ตัวแปรเกณฑ์ได้หรือไม่ก็ตาม วิธีนี้มักจะใช้ในกรณีที่ต้องการทราบว่าตัวแปรแต่ละตัวที่ทำการศึกษาจะสามารถพยากรณ์ตัวแปรเกณฑ์ได้มากน้อยเพียงใด (ประยูรศรี บุตรแสนคม, 2555) ซึ่งเป็นประโยชน์กับการวิเคราะห์ข้อมูลที่มีตัวแปรครบทุกตัวอยู่ในสมการ และเป็นไปตามวัตถุประสงค์ในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งปกคลุมดินกับการเกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนบนพื้นผิวเมืองในพื้นที่กรุงเทพมหานคร โดยมีผลการศึกษาทั้ง 3 ขั้นตอนดังนี้

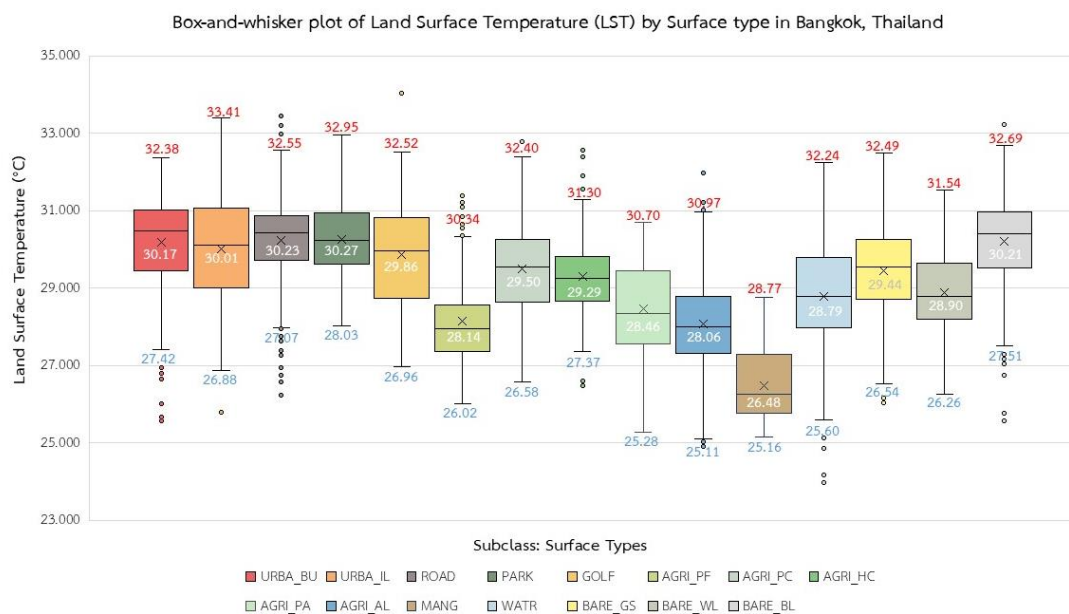
4.1 สิ่งปกคลุมดินกับการเกิดเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมือง

จากการศึกษาเพื่อตอบคำถามย่อย “สิ่งปกคลุมดินมีความเกี่ยวข้องกับอุณหภูมิพื้นผิวและดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณ หรือไม่และอย่างไร” โดยการวิเคราะห์ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 วันที่ 21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2564 อยู่ในช่วงเริ่มต้นของฤดูร้อน และภาพถ่ายดาวเทียมมีเมฆปกคลุมพื้นที่น้อยที่สุด เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของสิ่งปกคลุมดิน กับอุณหภูมิพื้นผิวและดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณในพื้นที่ศึกษา ศึกษาวิเคราะห์ด้วย Zonal statistics ในโปรแกรม QGIS สามารถจัดลำดับค่าเฉลี่ยอุณหภูมิพื้นผิวประเภทต่างๆ จากอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดไปสูงสุดพื้นที่ศึกษา กรุงเทพมหานคร ได้ดังนี้

ตารางที่ 15 การจัดลำดับค่าเฉลี่ยอุณหภูมิพื้นผิวประเภทต่างๆ จากอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดไปสูงสุดพื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร

ลำดับ	Subclass: Surface Types	Land Surface Temperature (LST) °C			Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)		
		mean	min	max	mean	min	max
1	MANG	26.479	24.433	31.443	0.268	-0.137	0.444
2	AGRI_AL	26.664	23.982	33.326	0.089	-0.159	0.499
3	WATR	27.644	23.850	33.803	0.088	-0.173	0.467
4	AGRI_PF	27.738	24.234	35.645	0.276	-0.063	0.519
5	AGRI_PA	27.809	23.932	31.887	0.294	-0.056	0.515
6	BARE_WL	28.642	24.612	36.336	0.273	-0.080	0.510
7	GOLF	28.771	25.175	35.549	0.294	-0.082	0.479
8	AGRI_HC	28.982	25.215	33.390	0.250	-0.068	0.489
9	PARK	29.669	25.324	34.889	0.220	-0.125	0.480
10	AGRI_PC	29.032	25.077	33.444	0.273	-0.051	0.466
11	BARE_GS	29.361	22.571	35.898	0.280	-0.059	0.514
12	BARE_BL	30.294	24.236	35.135	0.178	-0.189	0.481
13	URBA_IL	30.397	18.443	36.910	0.118	-0.068	0.431
14	URBA_BU	30.754	21.804	38.358	0.147	-0.152	0.502
15	ROAD	31.034	24.380	37.650	0.096	-0.083	0.414

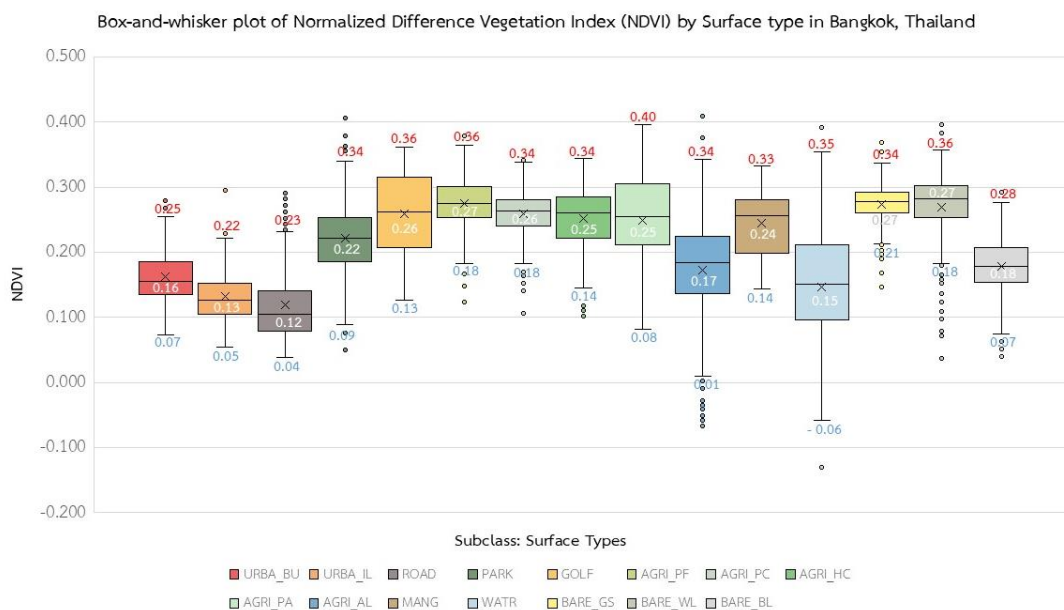
จากข้อมูลการจัดลำดับค่าเฉลี่ยอุณหภูมิพื้นผิว และข้อมูลดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณ ในพื้นที่ศึกษา ได้นำค่าเฉลี่ยของข้อมูลดังกล่าว มาวิเคราะห์ด้วยแผนภาพกล่อง เพื่อแสดงให้เห็นการกระจายของข้อมูลในพื้นที่ศึกษา สามารถสรุปได้ดังนี้



ภาพที่ 41 แผนภาพกล่องแสดงค่าเฉลี่ยอุณหภูมิพื้นผิวจำแนกตามสิ่งปกคลุมดินในพื้นที่ศึกษา

หมายเหตุ: จัดทำแผนภาพกล่องโดยใช้ข้อมูลอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยสูงสุดและเฉลี่ยต่ำสุดของสิ่งปกคลุมดินในพื้นที่ศึกษา

จากการศึกษาพบว่า ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิพื้นผิวสูงสุดในพื้นที่ศึกษาคือ พื้นที่ย่านอุตสาหกรรม (URBA_IL) มีอุณหภูมิพื้นผิว 33.41 องศาเซลเซียส และค่าเฉลี่ยอุณหภูมิพื้นผิวต่ำสุดในพื้นที่ศึกษาคือ พื้นที่แหล่งน้ำธรรมชาติและแหล่งน้ำที่สร้างขึ้น (WATR) มีอุณหภูมิพื้นผิว 25.11 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 42 แผนภาพกล่องแสดงค่าเฉลี่ยดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณจำแนกตามสิ่งปกคลุมดินพื้นที่ศึกษา

หมายเหตุ: จัดทำแผนภาพกล่องโดยใช้ข้อมูลดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณเฉลี่ยสูงสุดและเฉลี่ยต่ำสุดของสิ่งปกคลุมดินในพื้นที่ศึกษา

จากการศึกษาพบว่า ค่าเฉลี่ยดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณสูงสุดในพื้นที่ศึกษาคือ พื้นที่ปลูกหญ้าสำหรับเลี้ยงสัตว์ (AGRI_PA) มีดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณ เท่ากับ 0.41 และค่าเฉลี่ยดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณต่ำสุดในพื้นที่ศึกษา คือ พื้นที่แหล่งน้ำธรรมชาติและแหล่งน้ำที่สร้างขึ้น (WATR) มีดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณ เท่ากับ - 0.06

เมื่อนำสิ่งปกคลุมดิน 15 ประเภทที่จำแนกได้จากพื้นที่ศึกษา วิเคราะห์ความสัมพันธ์ด้วยสถิติสหสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิพื้นผิวและดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณ สามารถจำแนกเป็น 3 กลุ่มได้แก่

กลุ่มที่ 1 พบความสัมพันธ์ ระหว่างอุณหภูมิพื้นผิวและดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณในเชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.001 ได้แก่ พื้นที่เพาะปลูกพืชไร่และพื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (AGRI_AL) และ พื้นที่แหล่งน้ำธรรมชาติและแหล่งน้ำที่สร้างขึ้น (WATR) กล่าวคือเส้นการถดถอยจะมีการเอียงขึ้นจากซ้ายไปขวาแสดงให้เห็นว่า เมื่ออุณหภูมิพื้นผิวสูงขึ้นส่งผลให้ดัชนี

ความแตกต่างของพืชพรรณเพิ่มขึ้น หรือเมื่ออุณหภูมิพื้นผิวดลดลงส่งผลให้ดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณลดลงด้วยเช่นกัน

กลุ่มที่ 2 ไม่พบความสัมพันธ์ ระหว่างอุณหภูมิพื้นผิวและดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณ ได้แก่ พื้นที่สวนป่า/ ป่าชายเลน (MANG) และพื้นที่ปลูกหญ้าสำหรับเลี้ยงสัตว์ (AGRI_PA) ด้วยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมที่ใช้ในการหาค่าดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณ เป็นข้อมูลได้รับการสะท้อนของช่วงคลื่นที่ตามองเห็น (RED – Band 4) และช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (NIR – Near Infrared – Band 5) โดยการสะท้อนความสมบูรณ์ของคลอโรฟิลล์ (Chlorophyll) ที่เป็นเม็ดสีในพืชพรรณ ยังมีคลอโรฟิลล์ในใบมาก พืชพรรณจะยิ่งเติบโตมาก สะท้อนถึงความสมบูรณ์ของพืชพรรณในบริเวณนั้น ทำให้การสะท้อนดังกล่าว มีผลกระทบต่อพืชที่อยู่ในช่วงแสงหรือขาดคลอโรฟิลล์ในใบ และในพื้นที่ส่วนที่เป็นน้ำเนื่องจากพื้นที่ดังกล่าว มีการดูดกลืนช่วงคลื่น NIR และสะท้อนช่วงคลื่น RED band ได้ในปริมาณที่ต่างจากพืชพรรณ ในทางกลับกันหากบริเวณนั้นมีน้ำจะช่วยรักษาความชื้นในดินและส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืชบริเวณนั้นด้วย ซึ่งพื้นที่น้ำจะมีค่าดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณน้อยกว่า 0

ทั้งนี้ เนื่องจากพื้นที่สวนป่า/ ป่าชายเลน (MANG) (ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิพื้นผิวที่ 25.16 – 28.77 องศาเซลเซียส และดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณที่ 0.14 – 0.33) และพื้นที่ปลูกหญ้าสำหรับเลี้ยงสัตว์ (AGRI_PA) (ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิพื้นผิวที่ 25.28 – 30.70 องศาเซลเซียส ดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณที่ 0.08 – 0.40) มีพื้นที่น้ำและพืชพรรณเป็นส่วนประกอบส่งผลให้ค่าดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณไม่สามารถบ่งชี้ความสมบูรณ์ของพื้นที่บริเวณนี้ได้อย่างชัดเจน จึงทำให้ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิพื้นผิวและดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณของสิ่งปกคลุมดินทั้ง 2 ประเภท

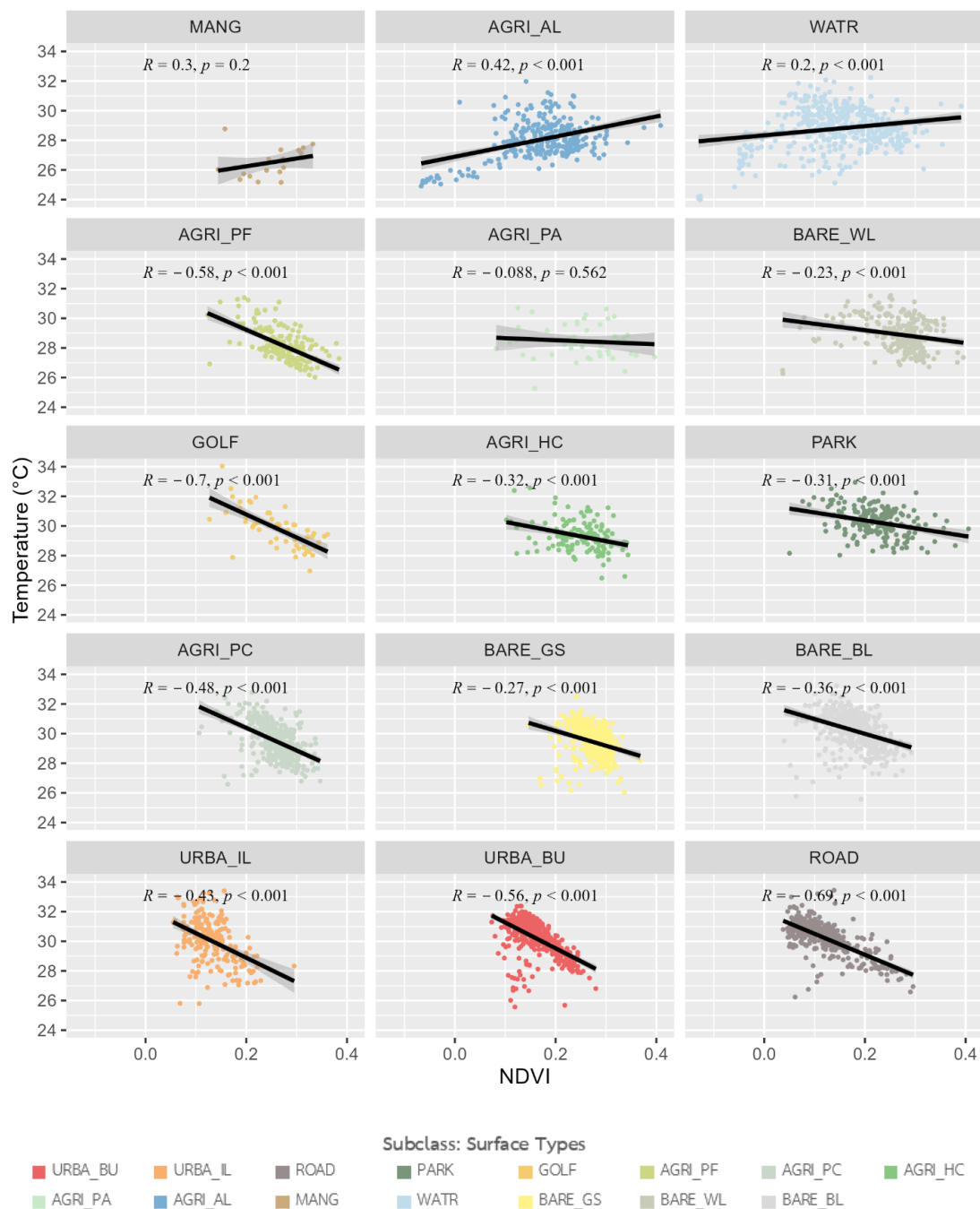
กลุ่มที่ 3 พบความสัมพันธ์ในเชิงผกผันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ 0.001 ระหว่างอุณหภูมิพื้นผิวและดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณ ได้แก่ พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง (URBA_BU), พื้นที่ย่านอุตสาหกรรม (URBS_IL), พื้นที่ที่มีการใช้ประโยชน์เพื่อการคมนาคมขนส่ง (ROAD), พื้นที่สีเขียวเมือง (PARK), พื้นที่สนามกอล์ฟ (GOLF), พื้นที่เพาะปลูกข้าว (AGRI_PF), พื้นที่ปลูกไม้ยืนต้น (AGRI_PC), พื้นที่ปลูกพืชผัก (AGRI_HC), พื้นที่สีเขียวที่เป็นทุ่งหญ้าธรรมชาติ/ ทุ่งหญ้า สลับไม้พุ่มไม้ละเมาะ (BARE_GS), พื้นที่ลุ่มชื้นแฉะและพื้นที่น้ำขัง (BARE_WL), พื้นที่อื่นๆ/ พื้นที่ว่างเปล่าหรือไม่ทำประโยชน์ตามควรแก่สภาพ (BARE_BL) กล่าวคือ เส้นการถดถอยจะมีการเอียงลงจาก

ซ้ายไปขวาหรือจากขวาไปซ้าย หมายถึง เมื่อค่าดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้อุณหภูมิลดลง หรือเมื่อค่าดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณลดลงจะส่งผลให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้น

เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ด้วยสถิติสหสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิพื้นผิวและดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณ จำแนกตามสิ่งปกคลุมดินทั้ง 15 ประเภทในพื้นที่ศึกษา ผลการศึกษาพบความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณและอุณหภูมิพื้นผิวในเชิงผกผันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.001 ทั้งนี้ ยกเว้นในพื้นที่สวนป่า/ ป่าชายเลน (MANG) และพื้นที่ปลูกหญ้าสำหรับเลี้ยงสัตว์ (AGRI_PA) ที่ไม่พบความสัมพันธ์ดังกล่าว



Correlation between LST and NDVI in study area Bangkok, Thailand

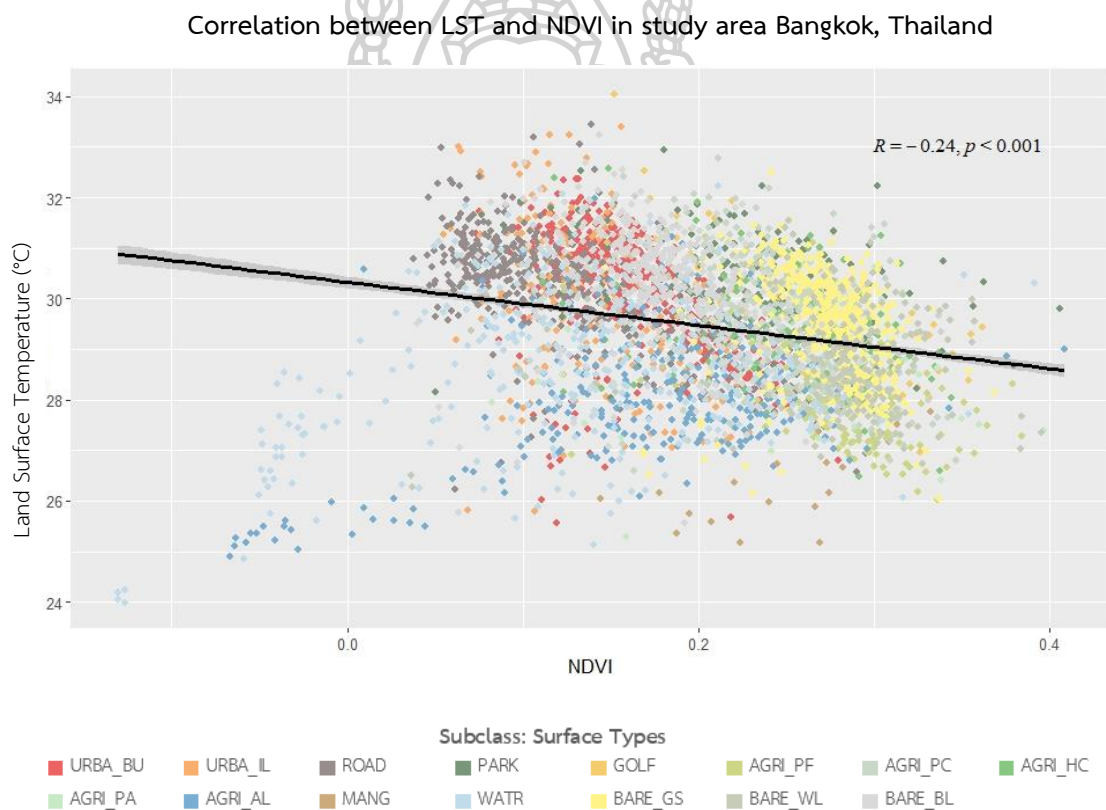


ภาพที่ 43 แผนภาพการกระจายแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิพื้นผิวและดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณจำแนกตามสิ่งปกคลุมดิน 15 ประเภทในพื้นที่ศึกษา

นอกจากนี้ยังพบความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งปกคลุมดินแต่ละประเภทกับอุณหภูมิพื้นผิวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($r = 0.49$, $p\text{-value} < 0.001$) แสดงถึงเมื่อสิ่งปกคลุมดินเปลี่ยนแปลงไปตามการ

จัดลำดับค่าเฉลี่ยอุณหภูมิพื้นผิวประเภทต่างๆ ดังตารางที่ 15 จะทำให้ค่าอุณหภูมิพื้นผิวเพิ่มขึ้น และพบความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งปกคลุมดินแต่ละประเภทกับดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($r = -0.18$, $p\text{-value} < 0.001$) แสดงถึงเมื่อสิ่งปกคลุมดินเปลี่ยนแปลงไปตามการจัดลำดับค่าเฉลี่ยอุณหภูมิพื้นผิวประเภทต่างๆ ดังตารางที่ 15 จะทำให้ค่าดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณลดลง

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ด้วยสถิติสหสัมพันธ์ ในภาพรวมพบความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิพื้นผิวและดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณในเชิงผกผัน กล่าวคือ เมื่อค่าดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณเพิ่มขึ้นจะทำให้อุณหภูมิพื้นผิวลดลง ($r = -0.24$, $p\text{-value} < 0.001$) ดังภาพที่ 44



ภาพที่ 44 แผนภาพการกระจายแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิพื้นผิวและดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณในพื้นที่ศึกษา

โดยมีรายละเอียดการวิเคราะห์การถดถอย แสดงดังตารางที่ 16

ตารางที่ 16 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตัวแปรเดียวเพื่อทำนายอุณหภูมิพื้นผิวด้วยดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณ

Variables	Coefficient	Std. Error	t value	p-value
(Intercept)	30.33089	0.05938	510.76	< 0.001
NDVI	-4.28223	0.27615	-15.51	< 0.001
R-squared = 0.05753, Adjusted R-squared = 0.0573, F-statistic = 240.5				

จากตารางที่ 16 สามารถเขียนเป็นสมการทำนายอุณหภูมิพื้นผิว ด้วยดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณได้ดังนี้

$$\text{Land Surface Temperature} = 30.33089 - 4.28223 \text{ NDVI} \quad \text{eq.10}$$

นั่นคือ เมื่อค่าดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณ เพิ่มขึ้นทุก 0.1 หน่วย จะทำให้อุณหภูมิพื้นผิวลดลงเท่ากับ 0.428 องศา โดยค่าดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณ สามารถอธิบายการแปรผันของอุณหภูมิได้ร้อยละ 5.73

4.2 สิ่งปกคลุมดินกับความเข้มข้นของเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมือง

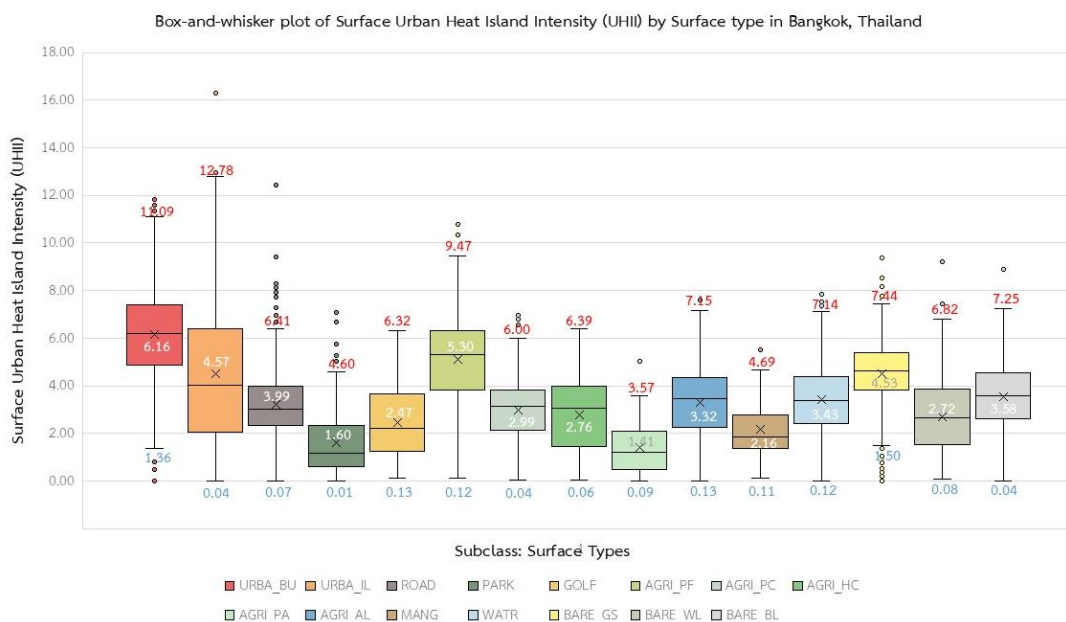
จากการศึกษาเพื่อตอบคำถามย่อย “สิ่งปกคลุมดินส่งผลต่อความเข้มข้นของเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมือง หรือไม่และอย่างไร” ซึ่งการศึกษานี้ได้เลือกใช้ข้อมูลอุณหภูมิพื้นผิวจากภาพถ่ายดาวเทียม กำหนดค่าความเข้มข้นของเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมือง เป็นค่าความแตกต่างระหว่างค่าอุณหภูมิพื้นผิวต่ำสุดและสูงสุดในพื้นที่ศึกษา โดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 ข้อมูลช่วงคลื่นอินฟราเรดความร้อน (Thermal infrared band) เพื่อหาค่าอุณหภูมิพื้นผิวและค่าความเข้มข้นของเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมือง เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของสิ่งปกคลุมดินกับการเกิดเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมืองในพื้นที่ศึกษา นำมาวิเคราะห์ด้วย Zonal statistics ในโปรแกรม QGIS สามารถจัดลำดับค่าความเข้มข้นเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมืองจากค่าเฉลี่ยสูงสุดไปต่ำสุด และค่าอุณหภูมิพื้นผิวจำแนกตามสิ่งปกคลุมดินในพื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร ได้ดังนี้

ตารางที่ 17 การจัดลำดับค่าความเข้มข้นเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมือง (SUHI) จากอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดไปต่ำสุด และค่าอุณหภูมิพื้นผิวจำแนกตามสิ่งปกคลุมดิน พื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร

ลำดับ	Sub class: Surface types	SUHI (°C)	Max of LST (°C)	Min of LST (°C)	Mean of LST (°C)
1	URBA_IL	18.40	36.91	18.44	30.40 (+1.99)
2	URBA_BU	16.50	38.36	21.80	30.75 (+1.31)
3	BARE_GI	13.30	35.90	22.57	29.36 (+1.29)
4	ROAD	13.20	37.65	24.38	31.03 (+1.41)
5	BARE_WL	11.70	36.34	24.61	28.64 (+1.22)
6	AGRI_PF	11.40	35.65	24.23	27.74 (+1.51)
7	GOLF	10.30	35.55	25.17	28.77 (+1.05)
8	BARE_BL	10.80	35.14	24.24	30.29 (+1.35)
9	WATR	9.95	33.80	23.85	27.64 (+2.03)
10	PARK	9.56	34.89	25.32	29.67 (+1.24)
11	AGRI_AL	9.34	33.33	23.98	26.66 (+1.44)
12	AGRI_PC	8.36	33.44	25.08	29.03 (+1.26)
13	AGRI_HC	8.17	33.39	25.22	28.98 (+0.99)
14	AGRI_PA	7.95	31.89	23.93	27.81 (+1.24)
15	MANG	7.01	31.44	24.43	26.48 (+1.10)
All Surface types		19.92	38.36	18.44	29.68 (+1.97)

จากการศึกษาพบว่า ความเข้มข้นของเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมืองในพื้นที่ศึกษามีค่าสูงสุดคือ พื้นที่ย่านอุตสาหกรรม (URBA_IL) และพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง (URBA_BU) มีค่า 18.40 องศาเซลเซียส และ 16.50 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และความเข้มข้นของเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมืองพื้นที่ศึกษาในปี พ.ศ. 2564 มีค่าเฉลี่ย 19.92 องศาเซลเซียส ทั้งนี้ จากค่าการเบี่ยงเบนมาตรฐานของสิ่งปกคลุมดินประเภทพื้นที่แหล่งน้ำธรรมชาติและแหล่งน้ำที่สร้างขึ้น (WATR) และพื้นที่ย่านอุตสาหกรรม (URBA_IL) มีค่าการเบี่ยงเบนมาตรฐานค่าสูงกว่าค่าเฉลี่ย ซึ่งสื่อให้เห็นถึงความหลากหลายของสิ่งปกคลุมดินที่นำไปสู่ความแตกต่างของอุณหภูมิพื้นผิวที่สูงกว่าประเภทอื่นๆ

จากค่าความเข้มข้นของเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมืองในพื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร ได้นำค่าเฉลี่ยของข้อมูลดังกล่าว มาวิเคราะห์ด้วยแผนภาพกล่อง เพื่อแสดงการกระจายของข้อมูลในพื้นที่ศึกษา สามารถสรุปได้ดังนี้



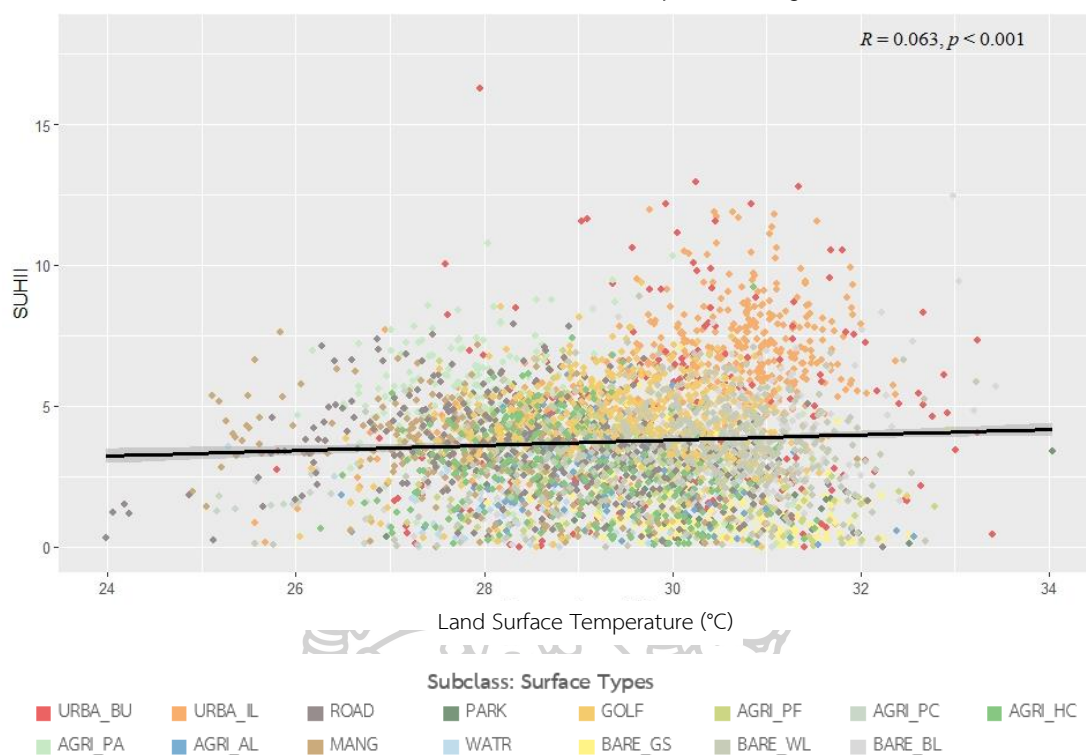
ภาพที่ 45 แผนภาพกล่องแสดงค่าความเข้มข้นเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมืองจำแนกตามสิ่งปกคลุมดินในพื้นที่ศึกษา

หมายเหตุ: จัดทำแผนภาพกล่องโดยใช้ข้อมูลอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยสูงสุดและเฉลี่ยต่ำสุดของสิ่งปกคลุมดินในพื้นที่ศึกษา

จากการศึกษาพบว่า ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมืองสูงสุดในพื้นที่ศึกษาคือ พื้นที่ย่านอุตสาหกรรม (URBA_IL) มีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมือง 12.78 องศาเซลเซียส และค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมืองต่ำสุดในพื้นที่ศึกษาคือ พื้นที่สีเขียวเมือง (PARK) มีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมือง 0.01 องศาเซลเซียส

เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ด้วยสถิติสหสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิพื้นผิวและความเข้มข้นของเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมืองจำแนกตามสิ่งปกคลุมดินออกเป็น 15 ประเภท มีผลการศึกษา ดังนี้

Correlation between LST and SUHI in study area Bangkok, Thailand



ภาพที่ 46 แผนภาพการกระจายแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความเข้มข้นของเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมืองจำแนกตามสิ่งปกคลุมดินพื้นที่ศึกษา

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ด้วยสถิติสหสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิพื้นผิวและความเข้มข้นของเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมืองโดยมีการจำแนกสีตามสิ่งปกคลุมดิน พบว่า ในภาพรวมมีความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิพื้นผิวและความเข้มข้นของเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมืองในเชิงแปรผันตรง กล่าวคือ เมื่อค่าอุณหภูมิพื้นผิวเพิ่มขึ้น จะทำให้ความเข้มข้นของเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมืองเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ($r = 0.063$, $p\text{-value} < 0.001$) ดังภาพที่ 46

ตารางที่ 18 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตัวแปรเดียวเพื่อทำนายค่าความเข้มข้นของเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมืองด้วยอุณหภูมิพื้นผิวจากสิ่งปกคลุมดินพื้นที่ศึกษา

Variables	Coefficient	Std. Error	t value	p-value
(Intercept)	0.982560	0.699300	1.405	0.16
LST	0.093860	0.023700	3.960	<0.001
R-squared = 0.003966, Adjusted R-squared = 0.003713 =, F-statistic = 15.68				

จากตารางที่ 18 สามารถเขียนเป็นสมการทำนายค่าความเข้มข้นของเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมือง (SUHII) จากอุณหภูมิพื้นผิวจากสิ่งปกคลุมดินในพื้นที่ศึกษา ได้ดังนี้

$$\text{SUHII} = 0.982560 + 0.093860 \text{ LST} \quad \text{eq.11}$$

นั่นคือ เมื่อค่าของอุณหภูมิพื้นผิวจำแนกตามสิ่งปกคลุมดินในพื้นที่ศึกษาเพิ่มขึ้นทุกร้อยละ 10 จะทำให้ค่าความเข้มข้นของเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมืองเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.94 องศาเซลเซียส โดยค่าอุณหภูมิพื้นผิวจากสิ่งปกคลุมดินแต่ละประเภทสามารถอธิบายการแปรผันของค่าความเข้มข้นของเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมืองได้เพียงร้อยละ 0.40 เท่านั้น

4.3 โครงสร้างพื้นฐานสีเขียวและความเข้มข้นของเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมือง

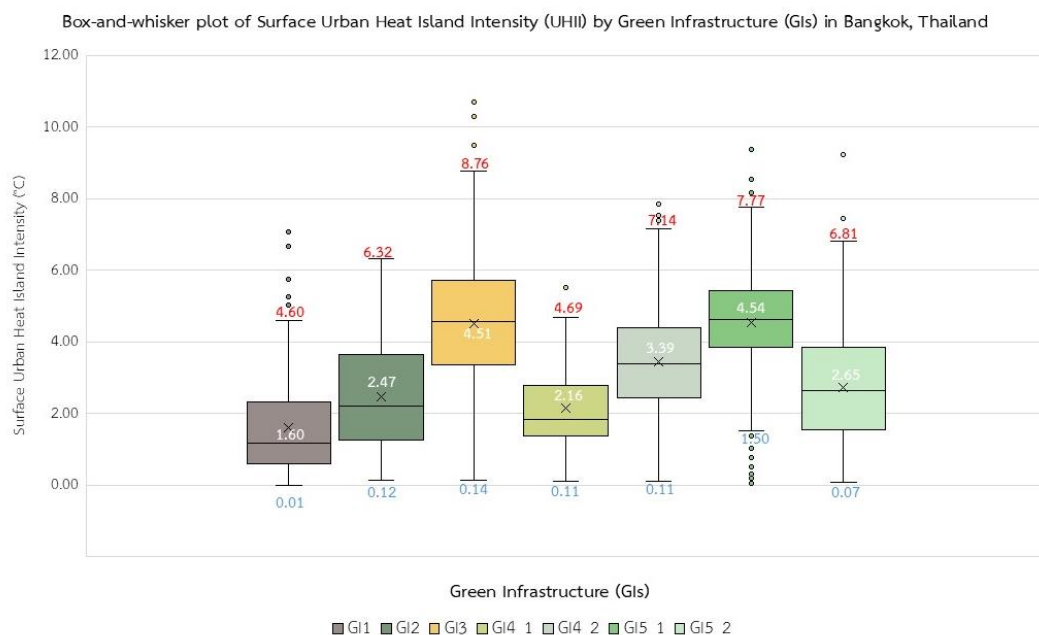
จากการศึกษาเพื่อตอบคำถามย่อย “โครงสร้างพื้นฐานสีเขียวมีความเกี่ยวข้องกับอุณหภูมิพื้นผิว และดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณอย่างไร และส่งผลต่อความเข้มข้นของเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมืองหรือไม่และอย่างไร” จากการจำแนกโครงสร้างพื้นฐานสีเขียว ได้นำข้อมูลมาวิเคราะห์ร่วมกับภาพถ่ายดาวเทียมโดยใช้ข้อมูลช่วงคลื่นอินฟราเรดความร้อน (Thermal infrared band) เพื่อหาค่าอุณหภูมิพื้นผิว และค่าความเข้มข้นเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมือง ซึ่งเป็นค่าความแตกต่างระหว่างค่าอุณหภูมิพื้นผิวต่ำสุดและสูงสุดในพื้นที่ศึกษา ประมวลผลด้วย Zonal statistics ในโปรแกรม QGIS สามารถจัดลำดับค่าความเข้มข้นเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมืองจากอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดไปสูงสุด และค่าอุณหภูมิพื้นผิวจำแนกตามโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวในพื้นที่ศึกษา กรุงเทพมหานคร ได้ดังนี้

ตารางที่ 19 การจัดลำดับค่าความเข้มข้นเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมือง (SUHI) จากอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดไปสูงสุด และค่าอุณหภูมิพื้นผิวจำแนกตามโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวในพื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร

ลำดับ	GI types	SUHI (°C)	Max of LST (°C)	Min of LST (°C)	Mean of LST (°C)
1	GI4_1	7.01	31.44	24.43	30.40 (+-1.10)
2	GI1	9.56	34.89	25.32	30.75 (+-1.24)
3	GI4_2	9.95	33.80	23.85	29.36 (+-2.03)
4	GI2	10.37	35.55	25.17	31.03 (+-1.05)
5	GI3	11.714	35.65	23.93	28.64 (+-1.63)
6	GI5_2	11.724	36.34	24.61	27.74 (+-1.22)
7	GI5_1	13.33	35.90	22.57	28.77 (+-1.29)
All GI types		10.52	36.34	22.57	29.68 (+-1.37)

จากข้อมูลพบว่า ค่าความเข้มข้นของเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมืองจำแนกตามโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวในพื้นที่ศึกษามีค่าสูงสุดคือ พื้นที่สีเขียวที่ยังไม่ใช้ประโยชน์หรือรอการพัฒนา (พื้นที่สีเขียวที่เป็นทุ่งหญ้าธรรมชาติ/ ทุ่งหญ้าสลับไม้พุ่มไม้ละเมาะ: GI5_1) พื้นที่สีเขียวที่ยังไม่ใช้ประโยชน์หรือรอการพัฒนา (พื้นที่ลุ่มชื้นแฉะและพื้นที่น้ำขัง: GI5_2) มีค่า 13.33 และ 11.724 องศาเซลเซียสตามลำดับ ทั้งนี้จากค่าการเบี่ยงเบนมาตรฐานโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวประเภทพื้นที่สีเขียวธรรมชาติ (พื้นที่แหล่งน้ำธรรมชาติหรือสร้างขึ้น: GI4_2) และพื้นที่สีเขียวเพื่อเศรษฐกิจชุมชน (นาข้าว พืชไร่ พืชสวน ไม้ผล ไม้ยืนต้น พื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ: GI3) มีค่าการเบี่ยงเบนมาตรฐานค่าสูงกว่าค่าเฉลี่ย ซึ่งสื่อให้เห็นถึงความหลากหลายของสิ่งปกคลุมดินที่นำไปสู่ความแตกต่างของอุณหภูมิพื้นผิวสูงกว่าโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวประเภทอื่น

จากค่าความเข้มข้นของเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมืองจำแนกตามโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวในพื้นที่ศึกษา ได้นำค่าเฉลี่ยของข้อมูลดังกล่าว มาวิเคราะห์ด้วยแผนภาพกล่อง เพื่อแสดงการกระจายของข้อมูลในพื้นที่ศึกษา สามารถสรุปได้ดังนี้



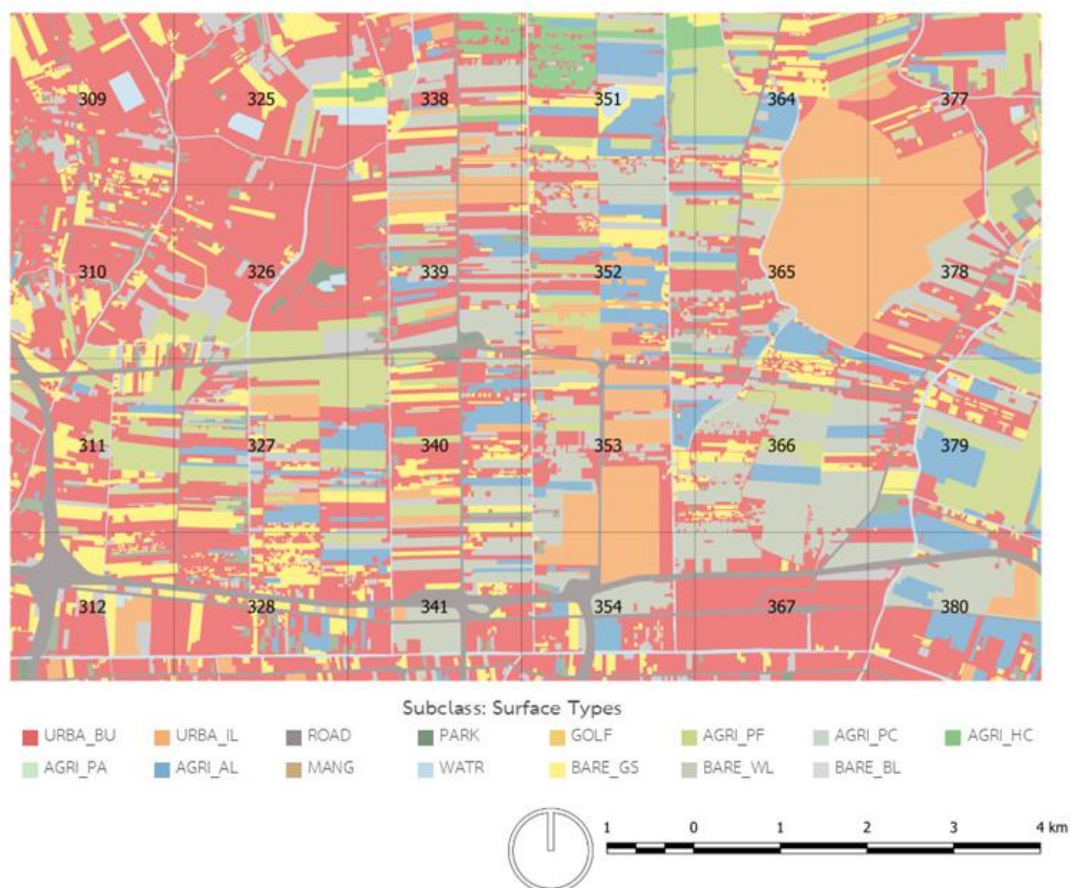
ภาพที่ 47 แผนภาพกล่องแสดงค่าความเข้มข้นเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมืองจำแนกตามโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวพื้นที่ศึกษา

หมายเหตุ: จัดทำแผนภาพกล่องโดยใช้ข้อมูลค่าความเข้มข้นเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมืองเฉลี่ยสูงสุดและเฉลี่ยต่ำสุดของโครงสร้างพื้นฐานพื้นที่สีเขียวในพื้นที่ศึกษา

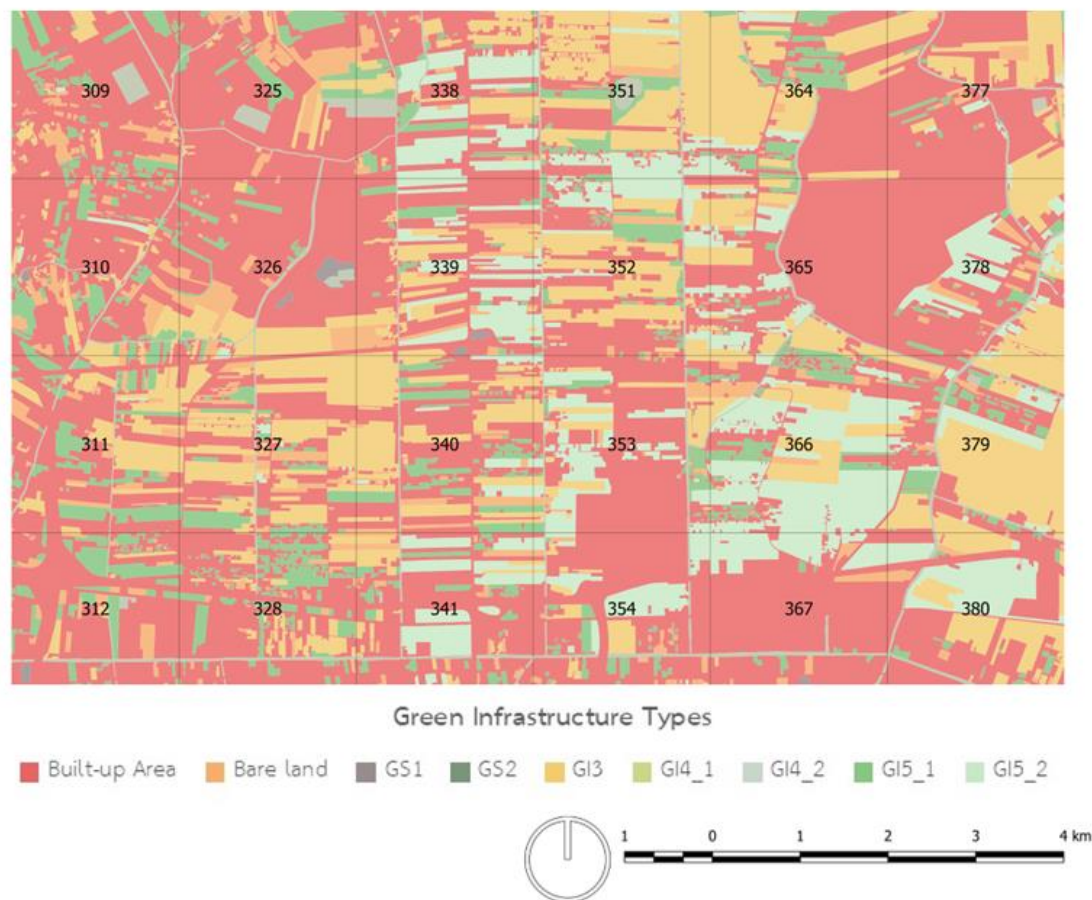
จากการศึกษาพบว่า ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมืองสูงสุดในพื้นที่ศึกษาคือ พื้นที่สีเขียวเพื่อเศรษฐกิจชุมชน (นาข้าว พืชไร่ พืชสวน ไม้ผล ไม้ยืนต้น พื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ: GI3) มีค่าเฉลี่ย 8.76 องศาเซลเซียส และค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมืองต่ำสุดในพื้นที่ศึกษาคือ พื้นที่สีเขียวเพื่อการบริการสาธารณะ (พื้นที่สีเขียวเมือง: GI1) มีค่าเฉลี่ย 0.01 องศาเซลเซียส

ในการศึกษาครั้งนี้ ได้กำหนดขอบเขตพื้นที่การศึกษาย่อยขนาด 2 x 2 ตารางกิโลเมตร เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบข้อมูลของพื้นที่ศึกษาในระดับเล็ก หรือ Local scale ซึ่งเป็นขนาดพื้นที่ระดับย่าน (Neighbourhood) แทนการเปรียบเทียบการวัดความเข้มข้นของเกาะความร้อนเมือง ระหว่างพื้นที่เมืองและพื้นที่ชนบทซึ่งไม่มีขอบเขตการเปรียบเทียบที่ชัดเจน และขนาดพื้นที่ศึกษาย่อยเป็นขนาดที่แนะนำในการศึกษาปรากฏการณ์ทางภูมิอากาศ (Climatic phenomenon) ในระดับ Local scale (Oke et al., 2017) จากพื้นที่กรุงเทพมหานครสามารถแบ่งย่อยพื้นที่ศึกษาเป็นตารางได้ 463 Grid cells จากภาพที่ 48 แสดงตัวอย่างตำแหน่งพื้นที่ย่อยที่อยู่ในเขตสะพานสูง เขตมีนบุรี และเขต

ลาดกระบ้ง และผลจำแนกตามสิ่งปกคลุมดิน และในภาพที่ 49 แสดงตัวอย่างการจำแนกสิ่งปกคลุมดินในตำแหน่งพื้นที่แต่ละ Grid cells และผลการจำแนกโครงสร้างพื้นฐานสีเขียว พื้นที่สิ่งปลูกสร้าง และพื้นที่ว่างรอการพัฒนาในพื้นที่ศึกษา

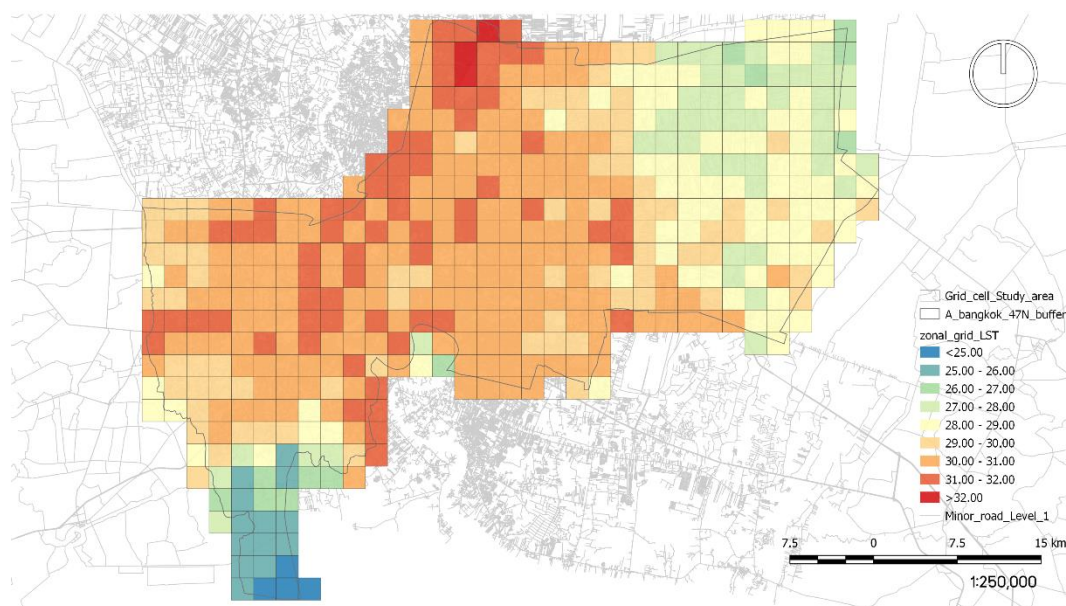


ภาพที่ 48 การแบ่งขอบเขตพื้นที่ศึกษาย่อยจำแนกตามสิ่งปกคลุมดินในพื้นที่ศึกษา

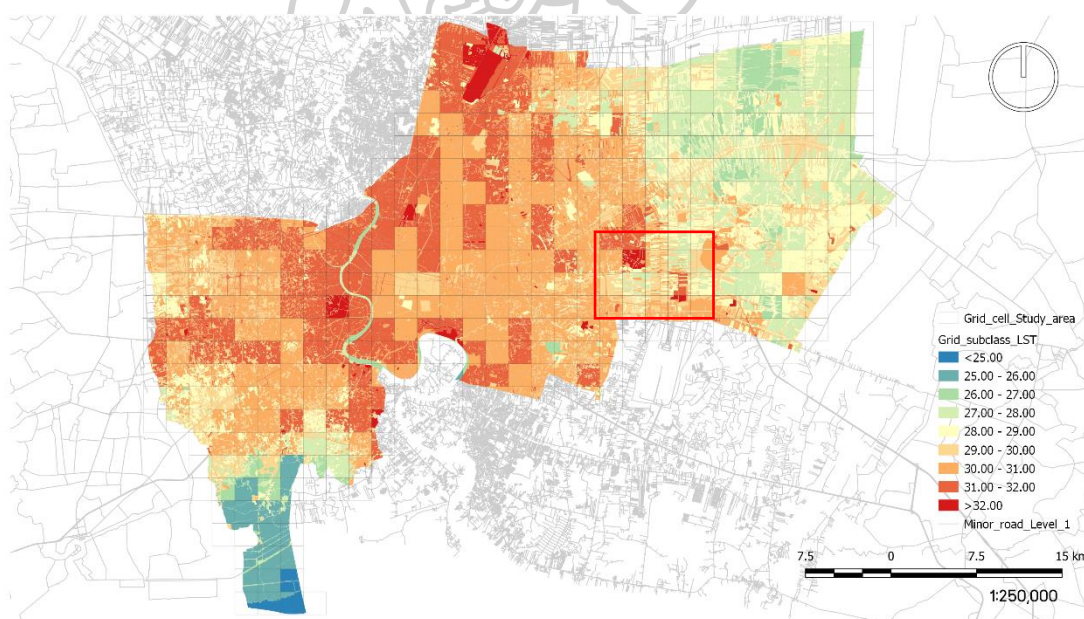


ภาพที่ 49 การแบ่งขอบเขตพื้นที่ศึกษาย่อยจำแนกตามโครงสร้างพื้นฐานสีเขียว พื้นที่สิ่งปลูกสร้าง และพื้นที่ว่างรอการพัฒนาในพื้นที่ศึกษา

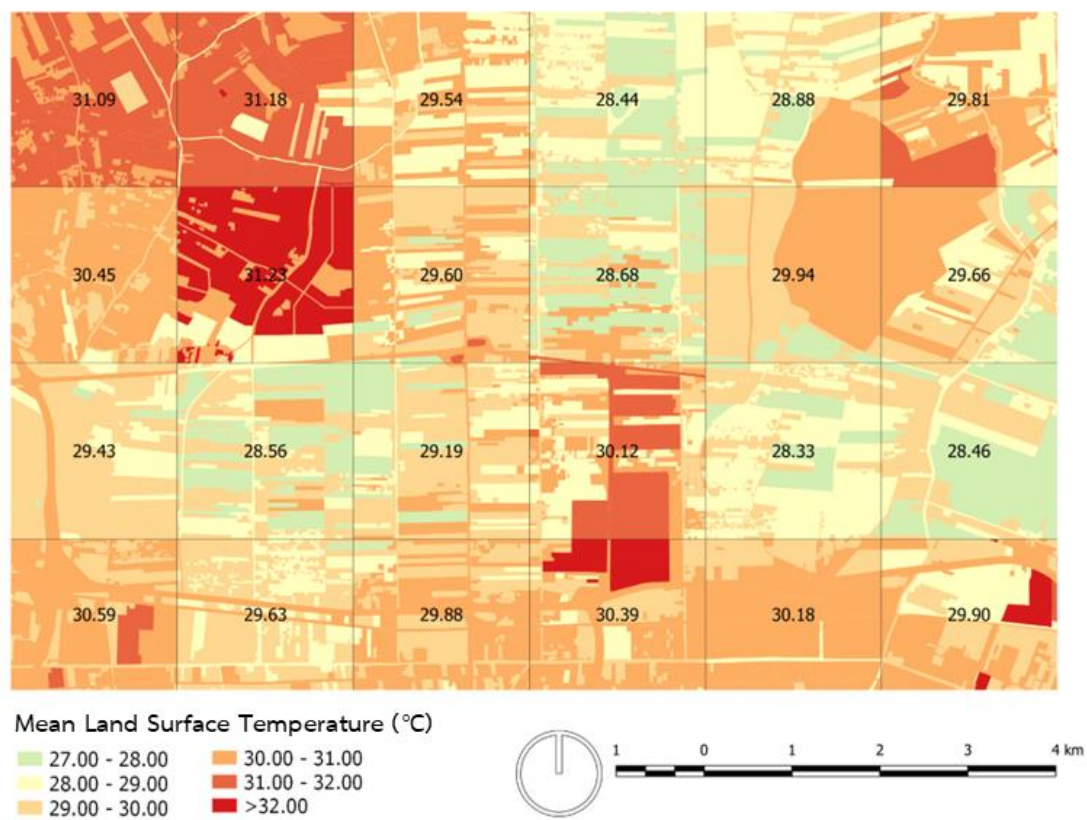
จากการจำแนกประเภทสิ่งปกคลุมดิน และการจำแนกตามโครงสร้างพื้นฐานสีเขียว พื้นที่สิ่งปลูกสร้าง และพื้นที่ว่างรอการพัฒนาในพื้นที่ศึกษา นั้น ได้นำข้อมูลดังกล่าวมาประเมินค่าเฉลี่ยอุณหภูมิพื้นผิวและดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณในพื้นที่ศึกษาย่อย โดยนำไปวิเคราะห์ด้วยวิธีการซ้อนทับข้อมูล (Overlay analysis) ในขอบเขตและตำแหน่งเดียวกันกับภาพถ่ายดาวเทียมพื้นที่ศึกษา โดยใช้ข้อมูลช่วงคลื่นอินฟราเรดความร้อน (Thermal infrared band) เพื่อหาค่าอุณหภูมิพื้นผิวและความเข้มข้นของเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมือง และภาพจากระบบ OLI (Operational land imager) Band 4 - 5 เพื่อหาค่าดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณ จากนั้นนำไปประมวลผลด้วยการใช้ Zonal Statistics ในโปรแกรม QGIS เพื่อสรุปสถิติชั้นข้อมูลค่าเฉลี่ยอุณหภูมิพื้นผิวและดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณ สามารถแสดงผลการศึกษาผ่านภาพกราฟิกได้ดังนี้



ภาพที่ 50 ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิพื้นผิวในพื้นที่การศึกษาย่อย



ภาพที่ 51 ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิพื้นผิวในพื้นที่การศึกษาย่อยจำแนกตามสิ่งปกคลุมดินในพื้นที่ศึกษา

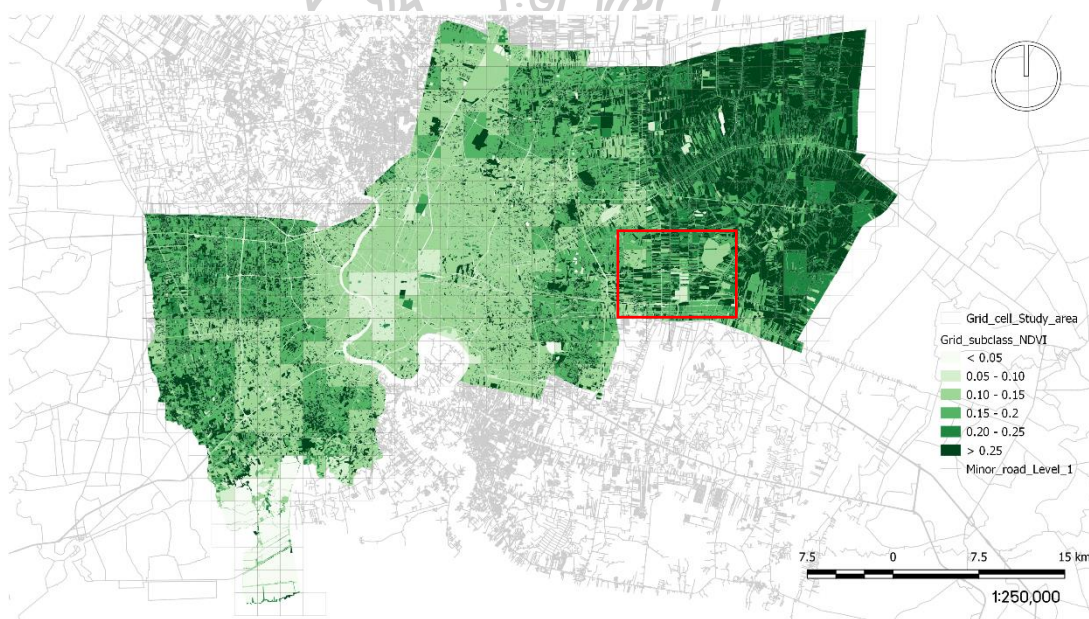


ภาพที่ 52 ตัวอย่างค่าเฉลี่ยอุณหภูมิพื้นผิวในพื้นที่การศึกษ่อย่อยจำแนกตามสิ่งปกคลุมดินในพื้นที่ศึกษา

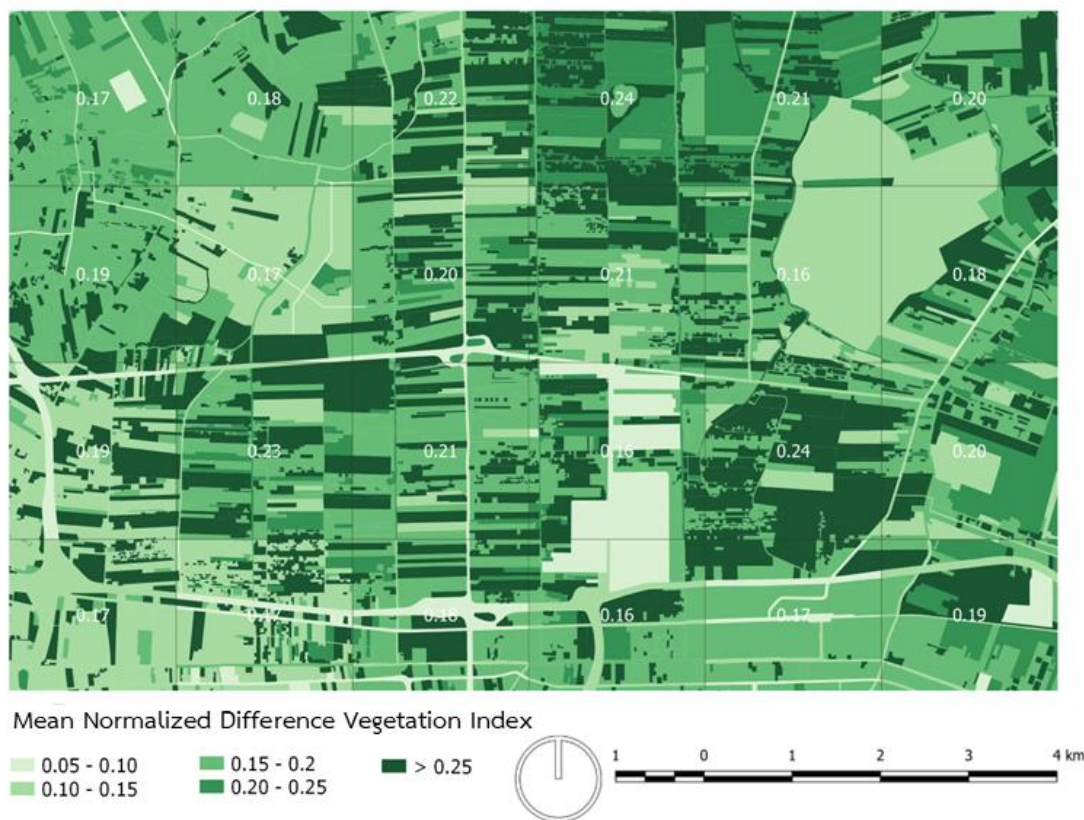




ภาพที่ 53 ค่าเฉลี่ยดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณในพื้นที่การศึกษาย่อย



ภาพที่ 54 ค่าเฉลี่ยดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณในพื้นที่การศึกษาย่อยจำแนกตามสิ่งปกคลุมดินในพื้นที่ศึกษา

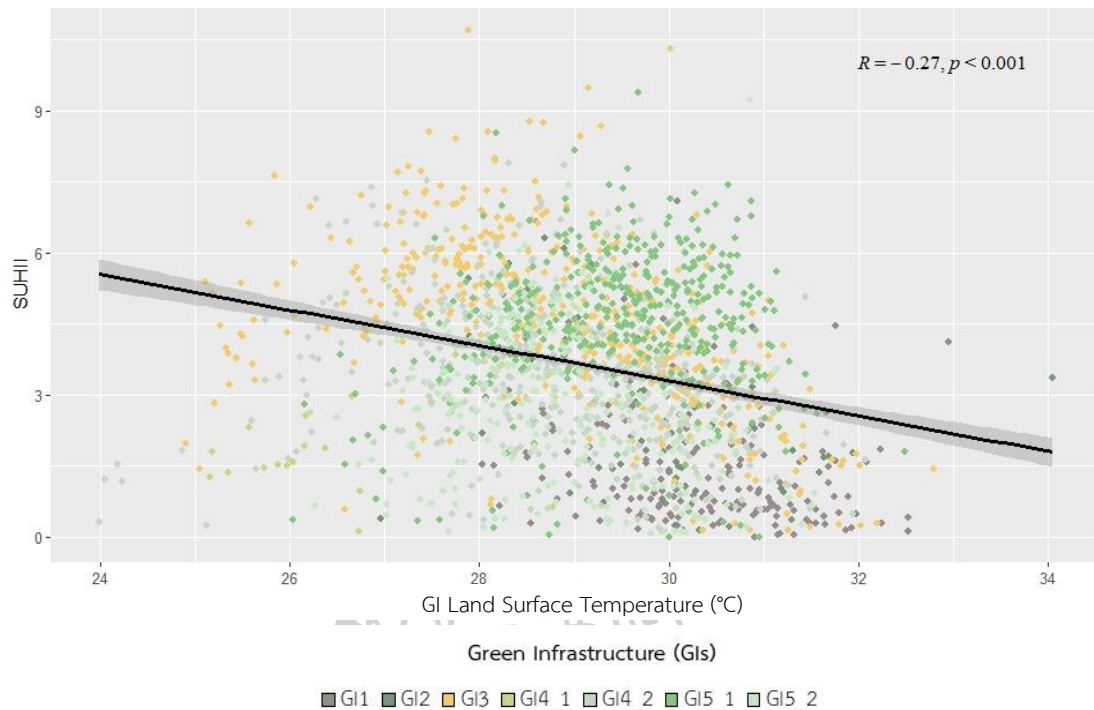


ภาพที่ 55 ตัวอย่างค่าเฉลี่ยดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณในพื้นที่การศึกษาย่อยจำแนกตามสิ่งปกคลุมดินในพื้นที่ศึกษา

จากข้อมูลค่าเฉลี่ยอุณหภูมิพื้นผิวและค่าเฉลี่ยดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณ นำมาคิดเป็นสัดส่วนของพื้นที่แต่ละประเภทต่อพื้นที่ทั้งหมดในแต่ละพื้นที่การศึกษาย่อย (2 x 2 ตารางกิโลเมตร) เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบของโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวในระดับพื้นที่ขนาดเล็ก หรือ Local scale ในพื้นที่ศึกษา

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ด้วยสถิติสหสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิพื้นผิวและความเข้มข้นของเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมือง (SUHI) โดยจำแนกสีตามโครงสร้างพื้นที่สีเขียวในพื้นที่ศึกษาพบว่า ในภาพรวมมีความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิพื้นผิวและความเข้มข้นของเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมืองในเชิงแปรผกผัน กล่าวคือ เมื่อค่าอุณหภูมิพื้นผิวเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าความเข้มข้นของเกาะความร้อนของพื้นผิวเมืองลดลง ($r = -0.27$, $p\text{-value} < 0.001$) ดังภาพที่ 56

Correlation between GI LST and SUHII in study area Bangkok, Thailand



ภาพที่ 56 แผนภาพการกระจายแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิพื้นผิวและความเข้มข้นของเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมืองจำแนกสีตามโครงสร้างพื้นที่สีเขียวในพื้นที่ศึกษา

ตารางที่ 20 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตัวแปรเดียวเพื่อทำนายค่าความเข้มข้นของเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมืองด้วยอุณหภูมิพื้นผิวของโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวในพื้นที่ศึกษา

Variables	Coefficient	Std. Error	t value	p-value
(Intercept)	14.492170	0.904110	16.030	<0.001
GI LST	-0.373020	0.030990	-12.040	<0.001
R-squared = 0.07379, Adjusted R-squared = 0.07328, F-statistic = 144.8				

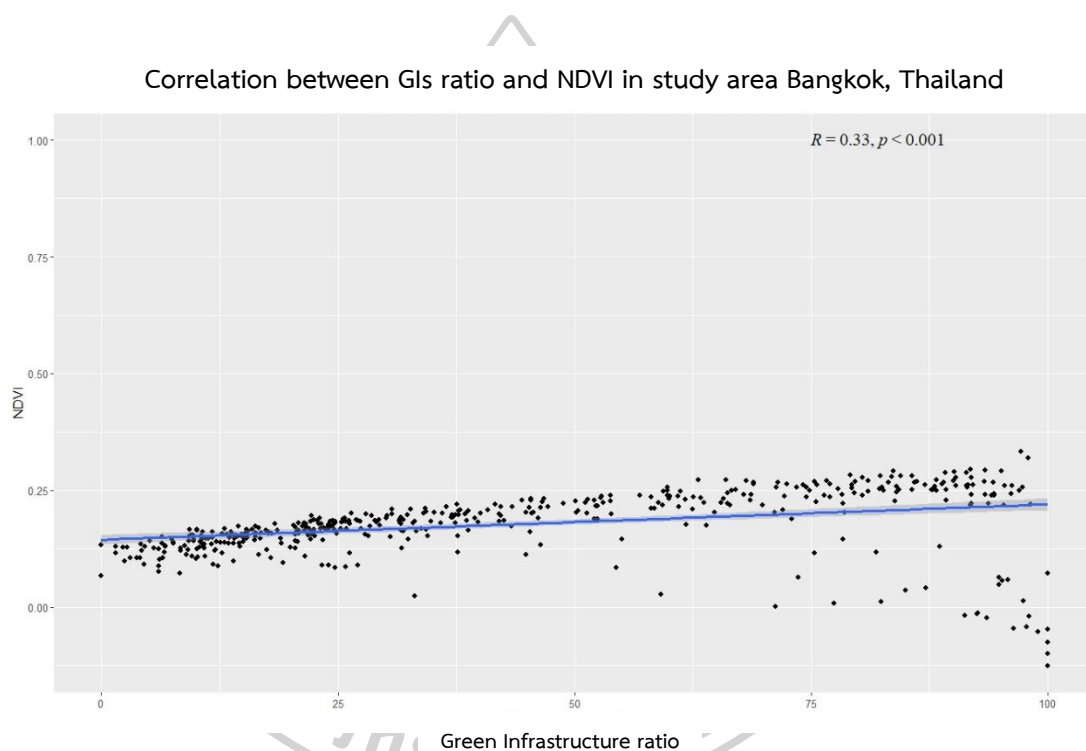
จากตารางที่ 20 สามารถเขียนเป็นสมการทำนายค่าความเข้มข้นของเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมืองด้วยอุณหภูมิพื้นผิวของโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวในพื้นที่ศึกษา ได้ดังนี้

$$\text{SUHII} = 14.492170 - 0.373020 \text{ GI LST} \quad \text{eq.12}$$

นั่นคือ เมื่อค่าของอุณหภูมิพื้นผิวของโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวเพิ่มขึ้นทุกร้อยละ 10 จะทำให้ค่าความเข้มข้นของเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมืองลดลงเท่ากับ 3.7 องศา โดยค่าอุณหภูมิพื้นผิวโครงสร้าง

พื้นฐานสีเขียวในพื้นที่ศึกษา สามารถอธิบายการแปรผันของความเข้มข้นของเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมืองได้เพียงร้อยละ 7.38 เท่านั้น

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ด้วยสถิติสหสัมพันธ์ พบความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวและดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณ ในเชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กล่าวคือ เมื่อสัดส่วนโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวเพิ่มขึ้นจะทำให้ดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณเพิ่มขึ้น ($r = 0.33$, $p\text{-value} < 0.001$) ดังภาพที่ 57



ภาพที่ 57 แผนภาพการกระจายแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวและดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณ

การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุคูณ โดยมีตัวแปรต้นคือ สัดส่วนของโครงสร้างพื้นฐานสีเขียว และตัวแปรตามคือ ดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณ (NDVI) สามารถแสดงรายละเอียดการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุคูณ ดังตารางที่ 21

ตารางที่ 21 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตัวแปรเดียวเพื่อทำนายดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณด้วยสัดส่วนโครงสร้างพื้นฐานสีเขียว

Variables	Coefficient	Std. Error	t value	p-value
(Intercept)	0.144408	0.005270	27.404	<0.001
GI Ratio	0.000758	0.000100	7.608	<0.001
R-squared = 0.1118, Adjusted R-squared = 0.1098, F-statistic = 57.88				

จากตารางที่ 21 สามารถเขียนเป็นสมการทำนายค่าดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณ (NDVI) ตามสัดส่วนของพื้นที่โครงสร้างพื้นฐานสีเขียว ได้ดังนี้

$$\text{NDVI} = 0.144408 + 0.000758 \text{ GI Ratio} \quad \text{eq.13}$$

นั่นคือ เมื่อสัดส่วนพื้นที่โครงสร้างพื้นฐานสีเขียวเพิ่มขึ้นทุกร้อยละ 10 จะทำให้ค่าดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.007 หน่วย โดยสัดส่วนโครงสร้างพื้นฐานสีเขียว สามารถอธิบายการแปรผันของค่าดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณ ได้ร้อยละ 10.98

จากการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุคูณ โดยมีตัวแปรต้นคือ สัดส่วนโครงสร้างพื้นฐานสีเขียว 7 ประเภทในพื้นที่ศึกษา และตัวแปรตามคือ ค่าดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณ สามารถแสดงรายละเอียดการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุคูณ ดังตารางที่ 22

ตารางที่ 22 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุคูณเพื่อทำนายค่าดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณด้วยสัดส่วนโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวในพื้นที่ศึกษา

Variables	Coefficient	Std. Error	t value	p-value
(Intercept)	0.118300	0.004871	24.297	< 0.001
GI1	0.000693	0.001012	0.685	0.494
GI2	0.002464	0.000563	4.376	< 0.001
GI3	0.000891	0.000078	11.432	< 0.001
GI4_1	-0.010950	0.001602	-6.834	< 0.001
GI4_2	-0.002105	0.000248	-8.490	< 0.001
GI5_1	0.003513	0.000276	12.725	< 0.001
GI5_2	0.003011	0.000460	6.551	< 0.001
R-squared = 0.5547, Adjusted R-squared = 0.5478, F-statistic = 80.79				

จากตารางที่ 22 พบว่า โครงสร้างพื้นฐานสีเขียวทั้ง 4 ประเภท ได้แก่ GI2, GI3, GI5_1 และ GI5_2 มีความสัมพันธ์ในเชิงแปรผันตรงกับดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.001 ซึ่งในทางกลับกัน พบว่า GI4_1 และ GI4_2 มีความสัมพันธ์ในเชิงผกผันกับดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.001 และไม่พบความสัมพันธ์ระหว่าง GI1 กับดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณโดยตัวแปรทุกตัวรวมกันสามารถอธิบายการแปรผันของดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณได้ร้อยละ 54.8 จะได้สมการทำนายดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณ ดังนี้

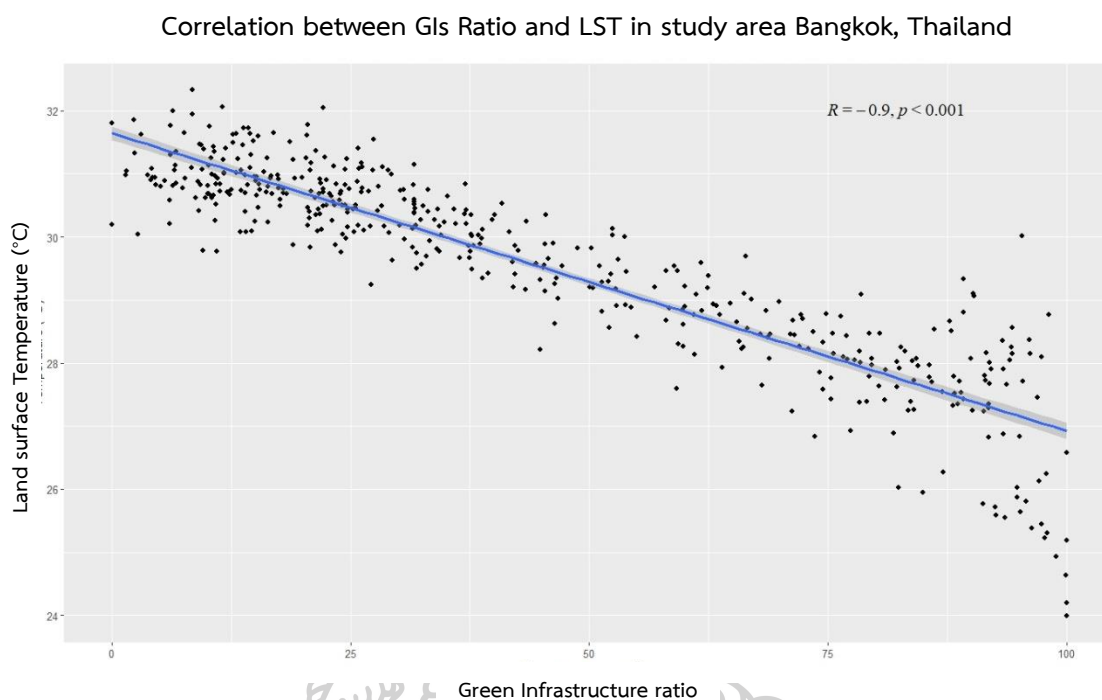
$$\begin{aligned} \text{NDVI} = & 0.118 + 0.001\text{GI1} + 0.002\text{GI2} + 0.001\text{GI3} - 0.011\text{GI4}_1 - 0.002\text{GI4}_2 \\ & + 0.004\text{GI5}_1 + 0.004\text{GI5}_2 \end{aligned} \quad \text{eq.14}$$

สามารถอธิบายได้ว่า

- เมื่อสัดส่วนโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวประเภทพื้นที่สีเขียวเพื่อการบริการสาธารณะ (พื้นที่สีเขียวเมือง: GI1 เพิ่มขึ้นทุกร้อยละ 1 จะทำให้ดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.001 หน่วย
- เมื่อสัดส่วนโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวประเภทพื้นที่สีเขียวอรรถประโยชน์ (สนามกอล์ฟ: GI2) เพิ่มขึ้นทุกร้อยละ 1 จะทำให้ดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.002 หน่วย
- เมื่อสัดส่วนโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวประเภทพื้นที่สีเขียวเพื่อเศรษฐกิจชุมชน (นาข้าว พืชไร่ พืชสวน ไม้ผล ไม้ยืนต้น พื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ: GI3) เพิ่มขึ้นทุกร้อยละ 1 จะทำให้ดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.001 หน่วย
- เมื่อสัดส่วนโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวประเภทพื้นที่สีเขียวที่ยังไม่ใช้ประโยชน์หรือรอการพัฒนา (พื้นที่สีเขียวที่เป็นทุ่งหญ้าธรรมชาติ/ ทุ่งหญ้าสลับไม้พุ่มไม้ละเมาะ GI5_1) เพิ่มขึ้นทุกร้อยละ 1 จะทำให้ NDVI เพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.004 หน่วย
- เมื่อสัดส่วนโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวประเภทพื้นที่สีเขียวที่ยังไม่ใช้ประโยชน์หรือรอการพัฒนา (พื้นที่ลุ่มชื้นแฉะและพื้นที่น้ำขัง: GI5_2) เพิ่มขึ้นทุกร้อยละ 1 จะทำให้ NDVI เพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.003 หน่วย

ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ด้วยสถิติสหสัมพันธ์ พบความสัมพันธ์ในเชิงบวกระหว่างสัดส่วนโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวและอุณหภูมิพื้นผิวในเชิงผกผันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กล่าวคือ

เมื่อสัดส่วนโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวเพิ่มขึ้นจะทำให้อุณหภูมิพื้นผิวลดลง ($r = -0.90$, $p\text{-value} < 0.001$) ดังภาพที่ 58



ภาพที่ 58 แผนภาพการกระจายแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวและอุณหภูมิพื้นผิวในพื้นที่ศึกษา

การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตัวแปรเดียวเพื่อทำนายอุณหภูมิพื้นผิวด้วยสัดส่วนโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวในพื้นที่ศึกษา สามารถแสดงรายละเอียดได้ดังตารางที่ 23

ตารางที่ 23 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตัวแปรเดียวเพื่อทำนายอุณหภูมิพื้นผิวด้วยสัดส่วนโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวในพื้นที่ศึกษา

Variables	Coefficient	Std. Error	t value	p-value
(Intercept)	31.644321	0.054718	578.32	<0.001
Green ratio	-0.047170	-0.047170	-45.61	<0.001
R-squared = 0.8189, Adjusted R-squared = 0.8185, F-statistic = 2,080				

จากตารางที่ 23 สามารถแสดงเป็นสมการทำนายอุณหภูมิพื้นผิวตามสัดส่วนโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวในพื้นที่ศึกษาได้ดังนี้

$$\text{Land Surface Temperature} = 31.644321 - 0.047170 \text{ Green ratio} \quad \text{eq.15}$$

นั่นคือ เมื่อสัดส่วนโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวเพิ่มขึ้นทุกร้อยละ 10 (ในขอบเขตพื้นที่ศึกษา 4 ตารางกิโลเมตร) จะทำให้อุณหภูมิพื้นผิวลดลงเท่ากับ 0.47 องศาเซลเซียส โดยค่าสัดส่วนโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวสามารถอธิบายการแปรผันของอุณหภูมิพื้นผิวได้สูงถึงร้อยละ 81.85

การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุคูณ มีตัวแปรต้นคือ สัดส่วนโครงสร้างพื้นฐานสีเขียว 7 ประเภทในพื้นที่ศึกษา และตัวแปรตามคือ อุณหภูมิพื้นผิว สามารถแสดงรายละเอียดการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุคูณ ดังตารางที่ 24

ตารางที่ 24 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุคูณเพื่อทำนายอุณหภูมิพื้นผิวด้วยสัดส่วนโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวแต่ละประเภท

Variables	Coefficient	Std. Error	t value	p-value
(Intercept)	31.369164	0.060532	518.225	<0.001
GI1	-0.042745	0.012571	-3.400	<0.001
GI2	-0.034680	0.006997	-4.956	<0.001
GI3	-0.046277	0.000968	-47.807	<0.001
GI4_1	-0.154539	0.019908	-7.763	<0.001
GI4_2	-0.063151	0.003081	-20.495	<0.001
GI5_1	-0.019906	0.003431	-5.801	<0.001
GI5_2	-0.034248	0.005711	-5.997	<0.001
R-squared = 0.87, Adjusted R-squared = 0.868, F-statistic = 433.9				

จากตารางที่ 24 พบว่า สัดส่วนโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวทั้ง 7 ประเภท มีความสัมพันธ์ในเชิงผกผันกับอุณหภูมิพื้นผิวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.001 โดยตัวแปรทุกตัวรวมกันสามารถอธิบายการแปรผันของอุณหภูมิพื้นผิวได้ร้อยละ 86.8 และสามารถแสดงเป็นสมการทำนายอุณหภูมิพื้นผิวได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{Land Surface Temperature} = & 31.369 - 0.043\text{GI1} - 0.035\text{GI2} - 0.046\text{GI3} - 0.154\text{GI4_1} \\ & - 0.063\text{GI4_2} - 0.020\text{GI5_1} - 0.034\text{GI5_2} \end{aligned} \quad \text{eq.16}$$

ซึ่งประเภทโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวที่ทำให้อุณหภูมิพื้นผิวลดลงมากที่สุด คือ GI4_1, GI4_2 และ GI3 ตามลำดับ สามารถอธิบายได้ดังนี้

- เมื่อสัดส่วนโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวประเภทพื้นที่สีเขียวธรรมชาติ (พื้นที่สวนป่า/ป่าชายเลน: GI4_1) เพิ่มขึ้นทุกร้อยละ 10 จะทำให้อุณหภูมิลดลงเท่ากับ 1.54 องศาเซลเซียส
- เมื่อสัดส่วนโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวประเภทพื้นที่สีเขียวธรรมชาติ (พื้นที่แหล่งน้ำธรรมชาติหรือสร้างขึ้น: GI4_2) เพิ่มขึ้นทุกร้อยละ 10 จะทำให้อุณหภูมิลดลงเท่ากับ 0.63 องศาเซลเซียส
- เมื่อสัดส่วนโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวประเภทพื้นที่สีเขียวเพื่อเศรษฐกิจชุมชน (นาข้าว พืชไร่ พืชสวน ไม้ผล ไม้ยืนต้น พื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ: GI3) เพิ่มขึ้นทุกร้อยละ 10 จะทำให้อุณหภูมิลดลงเท่ากับ 0.46 องศาเซลเซียส

สมการจากการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุคูณเพื่อทำนายอุณหภูมิพื้นผิวข้างต้น ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิเคราะห์ด้วยการนำตัวแปรต้นประเภทพื้นที่สิ่งปลูกสร้าง พื้นที่ว่างรอการพัฒนา (ที่ไม่มีองค์ประกอบของพื้นที่สีเขียว) และประเภทโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวในพื้นที่ศึกษาทั้งหมด เมื่อใส่ข้อมูลในโปรแกรมแล้วไม่สามารถประมวลผลค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยและแสดงเป็นสมการได้ เนื่องจาก ตัวแปรต้นจำนวนมากที่อยู่ในสมการถดถอยอาจทำให้เกิดปัญหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นด้วยตัวเอง (Multicollinearity) ซึ่งขัดแย้งกับวัตถุประสงค์หลักของการวิเคราะห์การถดถอยที่มุ่งค้นหากลุ่มของตัวแปรต้นที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามเพื่อให้ตัวแปรอิสระเหล่านั้นร่วมกันอธิบายความแปรผันในตัวแปรตาม (สฤษฎ์เทพ สุขแก้ว, 2565) จึงทำให้ในสมการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุคูณเพื่อทำนายอุณหภูมิพื้นผิวข้างต้น ระบุตัวแปรต้นเป็นโครงสร้างพื้นฐานสีเขียว 7 ประเภทในพื้นที่ศึกษาเท่านั้น

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษา

จากการดำเนินการศึกษาสามารถสรุปผลตามขั้นตอนการศึกษาออกแบบ 3 ส่วน ประกอบด้วย 1) สิ่งปกคลุมดินกับการเกิดเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมือง 2) สิ่งปกคลุมดินกับความเข้มข้นของเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมือง 3) โครงสร้างพื้นฐานสีเขียวและความเข้มข้นของเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมือง

5.1 สิ่งปกคลุมดินกับการเกิดเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมือง

จากคำถามในการศึกษาชั้นที่ 1 คือ “สิ่งปกคลุมดินมีความเกี่ยวข้องกับอุณหภูมิพื้นผิวและดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณ หรือไม่และอย่างไร” การศึกษาในชั้นตอนนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งปกคลุมดินกับการเกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนบนพื้นผิวเมืองในพื้นที่ศึกษา และเพื่อสร้างความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับความเกี่ยวข้องของสิ่งปกคลุมดินกับปัจจัยการเกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนบนพื้นผิวเมืองในพื้นที่กรุงเทพมหานคร โดยศึกษาผ่านภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 ช่วงข้อมูลของพื้นที่ศึกษาอยู่ที่ Path 129 / Row 50 - 51 ใช้ตัวแทนข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมพื้นที่ศึกษาวันที่ 21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2564 ซึ่งอยู่ในช่วงเริ่มต้นของฤดูร้อน และภาพถ่ายดาวเทียมมีเมฆปกคลุมพื้นที่น้อยที่สุด แปลตีความภาพถ่ายดาวเทียมร่วมกับข้อมูลการใช้ที่ดินกรุงเทพมหานคร ปี พ.ศ. 2562 (ระดับ 2) เพื่อให้ข้อมูลการใช้ที่ดินใกล้เคียงกับข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม สามารถอภิปรายผลได้ดังนี้

จากการจำแนกข้อมูลลักษณะทางกายภาพในพื้นที่ศึกษา สามารถจำแนกสิ่งปกคลุมดิน (Sub class: Surface types) ออกเป็น 15 ประเภท ตามลักษณะทางกายภาพและองค์ประกอบของสิ่งปกคลุมผิวดิน ได้แก่

กลุ่มพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง (Urban and Built-up Land) ประกอบด้วย 5 ประเภท ดังนี้

- พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง (URBA_BU)
- พื้นที่ย่านอุตสาหกรรม (URBS_IL)
- พื้นที่ที่มีการใช้ประโยชน์เพื่อการคมนาคมขนส่ง (ROAD)
- พื้นที่สีเขียวเมือง (PARK)
- พื้นที่สนามกอล์ฟ (GOLF)

กลุ่มพื้นที่เกษตรกรรม (Agricultural Land) ประกอบด้วย 5 ประเภท ดังนี้

- พื้นที่เพาะปลูกข้าว (AGRI_PF)
- พื้นที่ปลูกไม้ยืนต้น (AGRI_PC)
- พื้นที่ปลูกพืชผัก (AGRI_HC)
- พื้นที่การปลูกหญ้าสำหรับเลี้ยงสัตว์ (AGRI_PA)
- พื้นที่เพาะปลูกพืชไร่และพื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (AGRI_AL)

กลุ่มพื้นที่ป่าไม้ (Forest Land) ประกอบด้วย

- พื้นที่สวนป่า/ ป่าชายเลน (MANG)

กลุ่มพื้นที่น้ำ (Water) ประกอบด้วย

- พื้นที่แหล่งน้ำธรรมชาติและแหล่งน้ำที่สร้างขึ้น (WATR)

กลุ่มพื้นที่เบ็ดเตล็ด (Miscellaneous) ประกอบด้วย 3 ประเภท ดังนี้

- พื้นที่สีเขียวที่เป็นทุ่งหญ้าธรรมชาติ/ ทุ่งหญ้าสลับไม้พุ่มไม้ละเมาะ (BARE_GI)
- พื้นที่ลุ่มชื้นแฉะและพื้นที่น้ำขัง (BARE_WL)
- พื้นที่อื่นๆ / พื้นที่ว่างเปล่าหรือไม่ทำประโยชน์ตามควรแก่สภาพ (BARE_BL)

จากการศึกษา พบว่า ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิพื้นผิวสูงสุดในพื้นที่ศึกษา คือ พื้นที่ย่านอุตสาหกรรม (URBA_IL) มีอุณหภูมิพื้นผิว 33.41 องศาเซลเซียส และค่าเฉลี่ยอุณหภูมิพื้นผิวต่ำสุดในพื้นที่ศึกษา คือ พื้นที่แหล่งน้ำธรรมชาติและแหล่งน้ำที่สร้างขึ้น (WATR) มีอุณหภูมิพื้นผิว 25.11 องศาเซลเซียส และการศึกษาดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณ (NDVI) พบว่า ค่าเฉลี่ยดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณสูงสุดในพื้นที่ศึกษา คือ พื้นที่ปลูกหญ้าสำหรับเลี้ยงสัตว์ (AGRI_PA) มีดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณ เท่ากับ 0.41 และค่าเฉลี่ยดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณต่ำสุดในพื้นที่ศึกษา คือ พื้นที่แหล่งน้ำธรรมชาติและแหล่งน้ำที่สร้างขึ้น (WATR) มีดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณ เท่ากับ - 0.06

ผลการศึกษาดังกล่าวสามารถอธิบายได้ว่า สิ่งปกคลุมดินในพื้นที่ศึกษามีความเกี่ยวข้องระหว่างอุณหภูมิพื้นผิว (LST) และดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณ (NDVI) ในเชิงผกผันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.001 ทั้งนี้ ยกเว้นในพื้นที่สวนป่า/ ป่าชายเลน (MANG) และพื้นที่ปลูกหญ้าสำหรับเลี้ยงสัตว์ (AGRI_PA) ที่ไม่พบความสัมพันธ์ดังกล่าว

นอกจากนี้ยังพบความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งปกคลุมดินแต่ละประเภทกับอุณหภูมิพื้นผิวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($r = 0.49$, $p\text{-value} < 0.001$) กล่าวคือ เมื่อสิ่งปกคลุมดินเปลี่ยนแปลงไปตามการ

จัดลำดับค่าเฉลี่ยอุณหภูมิพื้นผิวประเภทต่างๆ จากค่าเฉลี่ยต่ำสุดไปสูงสุด ได้แก่

- 1) พื้นที่สวนป่า/ ป่าชายเลน (MANG) 2) พื้นที่เพาะปลูกพืชน้ำและพื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (AGRI_AL)
- 3) พื้นที่แหล่งน้ำธรรมชาติและแหล่งน้ำที่สร้างขึ้น (WATR) 4) พื้นที่ปลูกหญ้าสำหรับเลี้ยงสัตว์ (AGRI_PA)
- 5) พื้นที่เพาะปลูกข้าว (AGRI_PF) 6) พื้นที่ลุ่มชื้นแฉะและพื้นที่น้ำขัง (BARE_WL)
- 7) พื้นที่สนามกอล์ฟ (GOLF) 8) พื้นที่ปลูกพืชผัก (AGRI_HC) 9) พื้นที่สีเขียวเมือง (PARK) 10) พื้นที่ปลูกไม้ยืนต้น (AGRI_PC)
- 11) พื้นที่สีเขียวที่เป็นทุ่งหญ้าธรรมชาติ/ ทุ่งหญ้าสลับไม้พุ่มไม้ละเมาะ (BARE_GI)
- 12) พื้นที่อื่นๆ/ พื้นที่ว่างเปล่าหรือไม่ทำประโยชน์ตามควรแก่สภาพ (BARE_BL)
- 13) พื้นที่ย่านอุตสาหกรรม (URBS_IL) 14) พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง (URBA_BU) และ 15) พื้นที่ที่มีการใช้ประโยชน์เพื่อการคมนาคมขนส่ง (ROAD) เมื่อมีการเปลี่ยนสิ่งปกคลุมดินตามการจัดลำดับดังกล่าวจะทำให้ค่าอุณหภูมิพื้นผิวเพิ่มขึ้น อีกทั้ง พบความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งปกคลุมดินแต่ละประเภทและดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($r = -0.18$, $p\text{-value} < 0.001$) กล่าวคือ เมื่อสิ่งปกคลุมดินเปลี่ยนแปลงไปตามการจัดลำดับค่าเฉลี่ยอุณหภูมิพื้นผิวข้างต้น จะทำให้ค่าดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณลดลง

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ด้วยสถิติสหสัมพันธ์ พบความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิพื้นผิวและดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณในเชิงผกผัน กล่าวคือ เมื่อค่าดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณเพิ่มขึ้นจะทำให้อุณหภูมิพื้นผิวลดลง ($r = -0.24$, $p\text{-value} < 0.001$) สามารถเขียนเป็นสมการทำนายอุณหภูมิพื้นผิวด้วยดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณ ได้ดังนี้

$$\text{Land Surface Temperature} = 30.33089 - 4.28223 \text{ NDVI} \quad \text{eq.10}$$

นั่นคือ เมื่อค่าดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณเพิ่มขึ้นทุก 0.1 หน่วย จะทำให้อุณหภูมิพื้นผิวลดลงเท่ากับ 0.428 องศา (บนพื้นที่ขนาด 4 ตารางกิโลเมตร) โดยค่าดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณสามารถอธิบายการแปรผันของอุณหภูมิพื้นผิวได้ร้อยละ 5.73

5.2 สิ่งปกคลุมดินกับความเข้มข้นของเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมือง

จากคำถามในการศึกษาขั้นที่ 2 คือ “สิ่งปกคลุมดินส่งผลต่อความเข้มข้นของเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมืองหรือไม่และอย่างไร” การศึกษาในขั้นตอนนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งปกคลุมดินกับการเกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนบนพื้นผิวเมืองในพื้นที่กรุงเทพมหานคร โดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 ข้อมูลช่วงคลื่นอินฟราเรดความร้อน (Thermal infrared band) เพื่อหาค่าอุณหภูมิพื้นผิวและความเข้มข้นของเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมือง แปลตีความภาพถ่าย

ดาวเทียมร่วมกับข้อมูลการใช้ที่ดิน กรุงเทพมหานคร ปี พ.ศ. 2562 (ระดับ 2) สามารถจัดลำดับค่าความเข้มข้นเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมือง (SUHI) จำแนกตามสิ่งปกคลุมดินพื้นที่ศึกษา กรุงเทพมหานครจากสูงสุดไปต่ำสุด ได้แก่ 1) พื้นที่ย่านอุตสาหกรรม (URBS_IL) 2) พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง (URBA_BU) 3) พื้นที่สีเขียวที่เป็นทุ่งหญ้าธรรมชาติ/ ทุ่งหญ้าสลับไม้พุ่มไม้ละเมาะ (BARE_GI) 4) พื้นที่ที่มีการใช้ประโยชน์เพื่อการคมนาคมขนส่ง (ROAD) 5) พื้นที่ลุ่มชื้นแฉะและพื้นที่น้ำขัง (BARE_WL) 6) พื้นที่เพาะปลูกข้าว (AGRI_PF) 7) พื้นที่สนามกอล์ฟ (GOLF) 8) พื้นที่อื่นๆ/ พื้นที่ว่างเปล่าหรือไม่ทำประโยชน์ตามควรแก่สภาพ (BARE_BL) 9) พื้นที่แหล่งน้ำธรรมชาติและแหล่งน้ำที่สร้างขึ้น (WATR) 10) พื้นที่สีเขียวเมือง (PARK) 11) พื้นที่เพาะปลูกพืชไร่และพื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (AGRI_AL) 12) พื้นที่ปลูกไม้ยืนต้น (AGRI_PC) 13) พื้นที่ปลูกพืชผัก (AGRI_HC) 14) พื้นที่ปลูกหญ้าสำหรับเลี้ยงสัตว์ (AGRI_PA) และ 15) พื้นที่สวนป่า/ ป่าชายเลน (MANG) ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ ผู้วิจัยได้กำหนดค่าความเข้มข้นของเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมือง เป็นค่าความแตกต่างระหว่างค่าอุณหภูมิพื้นผิวต่ำสุดและสูงสุดในพื้นที่ศึกษา

ผลการศึกษาพบว่า สิ่งปกคลุมดินในพื้นที่ศึกษาเกี่ยวข้องกับความเข้มข้นของเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมืองในพื้นที่ศึกษา โดยมีค่าสูงสุดคือ พื้นที่ย่านอุตสาหกรรม (URBA_IL) และพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง (URBA_BU) มีค่า 18.40 องศาเซลเซียส และ 16.50 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ค่าความเข้มข้นของเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมืองพื้นที่ศึกษาในปี พ.ศ. 2564 คือ 19.92 องศาเซลเซียส มีค่าเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องเมื่อเทียบกับปี พ.ศ. 2534, 2540, 2548 และ 2559 มีค่า 11.91 12.16 12.72 และ 16.21 องศาเซลเซียส ตามลำดับ (Khamchiangta & Dhakal, 2020) ทั้งนี้ จากค่าการเบี่ยงเบนมาตรฐานของสิ่งปกคลุมดินประเภทพื้นที่แหล่งน้ำธรรมชาติและแหล่งน้ำที่สร้างขึ้น (WATR) และพื้นที่ย่านอุตสาหกรรม (URBA_IL) มีค่า $Sd.+ -2.03$ และ $Sd.+ -1.99$ ตามลำดับ สูงกว่าค่าเฉลี่ยของประเภทสิ่งปกคลุมทั้งหมด ($Sd.+ -1.97$) แสดงให้เห็นถึงความหลากหลายของสิ่งปกคลุมดินที่นำไปสู่ความแตกต่างของอุณหภูมิพื้นผิวสูงกว่าสิ่งปกคลุมดินประเภทอื่น

ทั้งนี้ ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมืองสูงสุดในพื้นที่ศึกษา คือ พื้นที่อุตสาหกรรม (URBA_IL) มีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมือง 12.78 องศาเซลเซียส ต่ำสุดในพื้นที่ศึกษา คือ พื้นที่สีเขียวเมือง (PARK) มีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมือง 0.01 องศาเซลเซียส และค่าเฉลี่ยสูงสุดของค่าความเข้มข้นของเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมือง คือ พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง (URBA_BU) มีค่า 6.16 องศาเซลเซียส (ค่า $Sd.+ -1.31$) สอดคล้องกับปัจจัยสนับสนุนให้เกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมืองในเรื่องสิ่งปกคลุมเมืองและวัสดุ

พื้นผิว (Urban cover and surface materials) ซึ่งมีส่วนในการดูดซับพลังงานแสงอาทิตย์ และกักเก็บความร้อน ซึ่งสิ่งปกคลุมดินที่อยู่ในพื้นที่ประเภทพื้นที่อุตสาหกรรม และพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง ประกอบด้วยวัสดุพื้นผิวที่มีคุณสมบัติในการดูดซับความร้อนของวัสดุพื้นผิว (Thermal Admittance) เช่น คอนกรีต อีกทั้งในสิ่งปลูกสร้างมีความชื้นน้อยจึงต้องการปริมาณความร้อนในการระเหยน้อย พลังงานความร้อนที่เหลือจึงถูกสะสมไว้มาก ในขณะที่วัสดุธรรมชาติมีความชื้นสูงจึงใช้พลังงานความร้อนจำนวนมากในการระเหยและเหลือความร้อนสะสมไว้น้อยกว่า (วันเพ็ญ เจริญตระกูลปิติ, 2557)

ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ด้วยสถิติสหสัมพันธ์จำแนกตามสิ่งปกคลุมดินพบว่า ในภาพรวมมีความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิพื้นผิวและความเข้มข้นของเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมืองในเชิงแปรผันตรง กล่าวคือ เมื่อค่าอุณหภูมิพื้นผิวเพิ่มขึ้นจะทำให้ความเข้มข้นของเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมืองเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ($r = 0.063$, $p\text{-value} < 0.001$) สามารถเขียนเป็นสมการทำนายความเข้มข้นของเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมืองตามอุณหภูมิพื้นผิวจากสิ่งปกคลุมดินในพื้นที่ศึกษา ได้ดังนี้

$$SUHII = 0.982560 + 0.093860 \text{ LST} \quad \text{eq.11}$$

นั่นคือ เมื่อค่าของอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยจำแนกตามสิ่งปกคลุมดินในพื้นที่ศึกษา เพิ่มขึ้นทุกร้อยละ 10 จะทำให้ความเข้มข้นของเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมืองเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.94 องศาเซลเซียส โดยค่าอุณหภูมิพื้นผิวจากสิ่งปกคลุมดินสามารถอธิบายการแปรผันความเข้มข้นของเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมืองได้เพียงร้อยละ 0.40 เท่านั้น

5.3 โครงสร้างพื้นฐานสีเขียวกับความเข้มข้นของเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมือง

จากคำถามในการศึกษาขั้นที่ 3 คือ “โครงสร้างพื้นฐานสีเขียวมีความเกี่ยวข้องกับอุณหภูมิพื้นผิวและดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณอย่างไร และส่งผลต่อความเข้มข้นของเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมืองหรือไม่และอย่างไร” จากการศึกษาสามารถจำแนกโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวในพื้นที่ศึกษาได้ 7 ประเภท ตามคุณลักษณะการใช้ประโยชน์และองค์ประกอบของพื้นที่สีเขียว ได้แก่

- พื้นที่สีเขียวเพื่อการบริการสาธารณะ (พื้นที่สีเขียวเมือง: GI1)
- พื้นที่สีเขียวอรรถประโยชน์ (สนามกอล์ฟ: GI2)
- พื้นที่สีเขียวเพื่อเศรษฐกิจชุมชน (นาข้าว พืชไร่ พืชสวน ไม้ผล ไม้ยืนต้น พื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ: GI3)
- พื้นที่สีเขียวธรรมชาติ (พื้นที่สวนป่า/ ป่าชายเลน: GI4_1)

- พื้นที่สีเขียวธรรมชาติ (พื้นที่แหล่งน้ำธรรมชาติหรือสร้างขึ้น: GI4_2)
- พื้นที่สีเขียวที่ยังไม่ใช้ประโยชน์หรือรอการพัฒนา (พื้นที่สีเขียวที่เป็นทุ่งหญ้าธรรมชาติ/ ทุ่งหญ้าสลับไม้พุ่มไม้ละเมาะ GI5_1)
- พื้นที่สีเขียวที่ยังไม่ใช้ประโยชน์หรือรอการพัฒนา (พื้นที่ลุ่มชื้นแฉะและพื้นที่น้ำขัง: GI5_2)

จากการจำแนกโครงสร้างพื้นฐานพื้นที่สีเขียว ได้นำข้อมูลมาวิเคราะห์ร่วมกับภาพถ่ายดาวเทียมใช้ข้อมูลช่วงคลื่นอินฟราเรดความร้อน (Thermal infrared band) เพื่อหาค่าอุณหภูมิพื้นผิว และค่าความเข้มข้นเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมือง ซึ่งเป็นค่าความแตกต่างระหว่างค่าอุณหภูมิพื้นผิวต่ำสุดและสูงสุดในพื้นที่ศึกษา ประมวลผลด้วย Zonal statistics ในโปรแกรม QGIS สามารถจัดลำดับค่าความเข้มข้นเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมืองจากเฉลี่ยต่ำสุดไปสูงสุด และค่าอุณหภูมิพื้นผิวจำแนกตามโครงสร้างพื้นฐานพื้นที่สีเขียวในพื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร ได้แก่ 1) พื้นที่สีเขียวธรรมชาติ (พื้นที่สวนป่า/ ป่าชายเลน: GI4_1) 2) พื้นที่สีเขียวเพื่อการบริการสาธารณะ (พื้นที่สีเขียวเมือง: GI1) 3) พื้นที่สีเขียวธรรมชาติ (พื้นที่แหล่งน้ำธรรมชาติหรือสร้างขึ้น: GI4_2) 4) พื้นที่สีเขียวอรรถประโยชน์ (สนามกอล์ฟ: GI2) 5) พื้นที่สีเขียวเพื่อเศรษฐกิจชุมชน (นาข้าว พืชไร่ พืชสวน ไม้ผล ไม้ยืนต้น พื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ: GI3) 6) พื้นที่สีเขียวที่ยังไม่ใช้ประโยชน์หรือรอการพัฒนา (พื้นที่ลุ่มชื้นแฉะและพื้นที่น้ำขัง: GI5_2) และ 7) พื้นที่สีเขียวที่ยังไม่ใช้ประโยชน์หรือรอการพัฒนา (พื้นที่สีเขียวที่เป็นทุ่งหญ้าธรรมชาติ/ ทุ่งหญ้าสลับไม้พุ่มไม้ละเมาะ GI5_1)

ทั้งนี้จากการศึกษาพบว่า ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมืองสูงสุดในพื้นที่ศึกษาคือ พื้นที่สีเขียวเพื่อเศรษฐกิจชุมชน (นาข้าว พืชไร่ พืชสวน ไม้ผล ไม้ยืนต้น พื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ: GI3) มีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมือง 8.76 องศาเซลเซียส และค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมืองต่ำสุดในพื้นที่ศึกษาคือ พื้นที่สีเขียวเพื่อการบริการสาธารณะ (พื้นที่สีเขียวเมือง: GI1) มีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมือง 0.01 องศาเซลเซียส

ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ด้วยสถิติสหสัมพันธ์จำแนกตามโครงสร้างพื้นฐานพื้นที่สีเขียวในพื้นที่ศึกษา พบว่า ในภาพรวมมีความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิพื้นผิวและค่าความเข้มข้นของเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมืองในเชิงแปรผกผัน กล่าวคือ เมื่อค่าอุณหภูมิพื้นผิวเพิ่มขึ้นทำให้ค่าความเข้มข้นของเกาะความร้อนของพื้นผิวเมืองลดลง ($r = -0.27$, $p\text{-value} < 0.001$) สามารถเขียนเป็นสมการทำนายค่า

ความเข้มข้นของเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมืองด้วยอุณหภูมิพื้นผิวโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวในพื้นที่ศึกษา ได้ดังนี้

$$SUHII = 14.492170 - 0.373020 \text{ GI LST} \quad \text{eq.12}$$

นั่นคือ เมื่อค่าของอุณหภูมิพื้นผิวของโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวเพิ่มขึ้นทุกร้อยละ 10 จะทำให้ค่าความเข้มข้นของเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมืองลดลงเท่ากับ 3.7 องศา โดยค่าอุณหภูมิพื้นผิวของโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวในพื้นที่ศึกษา สามารถอธิบายการแปรผันของความเข้มข้นของเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมืองได้เพียงร้อยละ 7.38 เท่านั้น

ในการศึกษาได้กำหนดขอบเขตพื้นที่ศึกษาย่อย เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบของสิ่งปกคลุมดินในระดับพื้นที่ขนาดเล็ก หรือ Local scale โดยกำหนดพื้นที่การศึกษาย่อยขนาด 2×2 ตารางกิโลเมตร เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบในระดับ Local scale แทนการเปรียบเทียบการวัดความเข้มข้นของเกาะความร้อนเมืองระหว่างพื้นที่เมืองและพื้นที่ชนบทที่ไม่มีขอบเขตการเปรียบเทียบที่ชัดเจน นำไปวิเคราะห์ซ้อนทับข้อมูล (Overlay analysis) ภาพถ่ายดาวเทียม โดยใช้ข้อมูลช่วงคลื่นอินฟราเรดความร้อน (Thermal infrared band) เพื่อหาค่าอุณหภูมิพื้นผิวและความเข้มข้นของเกาะความร้อนบนพื้นผิวเมือง และภาพจากระบบ OLI (Operational land imager) Band 4 - 5 เพื่อหาค่าดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณ ประมวลผลด้วยการใช้ Zonal statistics ในโปรแกรม QGIS เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบของโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวในระดับพื้นที่ขนาดเล็ก หรือ Local scale ในพื้นที่ศึกษา

ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ด้วยสถิติสหสัมพันธ์ พบความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวและดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณในเชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กล่าวคือ เมื่อสัดส่วนโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวเพิ่มขึ้นจะทำให้ดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณเพิ่มขึ้น ($r = 0.33$, $p\text{-value} < 0.001$) ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการทำนายค่าดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณตามสัดส่วนพื้นที่โครงสร้างพื้นฐานสีเขียว ได้ดังนี้

$$NDVI = 0.144408 + 0.000758 \text{ GI Ratio} \quad \text{eq.13}$$

นั่นคือ เมื่อสัดส่วนพื้นที่โครงสร้างพื้นฐานสีเขียวเพิ่มขึ้นทุกร้อยละ 10 จะทำให้ค่าดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณเพิ่มขึ้น เท่ากับ 0.007 หน่วย โดยสัดส่วนโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวสามารถอธิบายการแปรผันของค่าดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณ ได้ร้อยละ 10.98

จากการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุคูณ โครงสร้างพื้นฐานสีเขียว 4 ประเภท ได้แก่ พื้นที่สีเขียวอรรถประโยชน์ (สนามกอล์ฟ: GI2), พื้นที่สีเขียวเพื่อเศรษฐกิจชุมชน (นาข้าว พืชไร่ พืชสวน ไม้ผล ไม้ยืนต้น พื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ: GI3), พื้นที่สีเขียวที่ยังไม่ใช้ประโยชน์หรือรอการพัฒนา

(ประเภทพื้นที่สีเขียวที่เป็นทุ่งหญ้าธรรมชาติ/ ทุ่งหญ้าสลับไม้พุ่มไม้ละเมาะ: GI5_1) และพื้นที่สีเขียวที่ยังไม่ใช้ประโยชน์หรือรอการพัฒนา (ประเภทพื้นที่ลุ่มชื้นแฉะและพื้นที่น้ำขัง: GI5_2) มีความสัมพันธ์ในเชิงแปรผันตรงกับดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.001 ซึ่งในทางกลับกันพบว่า พื้นที่สีเขียวธรรมชาติ (ประเภทพื้นที่สวนป่า/ ป่าชายเลน: GI4_1) และพื้นที่สีเขียวธรรมชาติ (ประเภทพื้นที่แหล่งน้ำธรรมชาติหรือสร้างขึ้น: GI4_2) มีความสัมพันธ์ในเชิงผกผันกับดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.001 และไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวประเภทพื้นที่สีเขียวเพื่อการบริการสาธารณะ (พื้นที่สีเขียวเมือง: GI1) และดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณ โดยตัวแปรทุกตัวรวมกันสามารถอธิบายการแปรผันของดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณได้ร้อยละ 54.8 ได้สมการทำนายดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณ ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{NDVI} = & 0.118 + 0.001\text{GI1} + 0.002\text{GI2} + 0.001\text{GI3} - 0.011\text{GI4_1} - 0.002\text{GI4_2} \\ & + 0.004\text{GI5_1} + 0.004\text{GI5_2} \end{aligned} \quad \text{eq.14}$$

สามารถอธิบายได้ว่า

- เมื่อสัดส่วนโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวประเภทพื้นที่สีเขียวเพื่อการบริการสาธารณะ (พื้นที่สีเขียวเมือง: GI1) เพิ่มขึ้นทุกร้อยละ 10 จะทำให้ค่าดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.01 หน่วย
- เมื่อสัดส่วนโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวประเภทพื้นที่สีเขียวอรรถประโยชน์ (สนามกอล์ฟ: GI2) เพิ่มขึ้นทุกร้อยละ 10 จะทำให้ค่าดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.02 หน่วย
- เมื่อสัดส่วนโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวประเภทพื้นที่สีเขียวเพื่อเศรษฐกิจชุมชน (นาข้าว พืชไร่ พืชสวน ไม้ผล ไม้ยืนต้น พื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ: GI3) เพิ่มขึ้นทุกร้อยละ 10 จะทำให้ดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.01 หน่วย
- เมื่อสัดส่วนโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวประเภทพื้นที่สีเขียวที่ยังไม่ใช้ประโยชน์หรือรอการพัฒนา (พื้นที่สีเขียวที่เป็นทุ่งหญ้าธรรมชาติ/ ทุ่งหญ้าสลับไม้พุ่มไม้ละเมาะ GI5_1) เพิ่มขึ้นทุกร้อยละ 10 จะทำให้ NDVI เพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.04 หน่วย
- เมื่อสัดส่วนโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวประเภทพื้นที่สีเขียวที่ยังไม่ใช้ประโยชน์หรือรอการพัฒนา (พื้นที่ลุ่มชื้นแฉะและพื้นที่น้ำขัง: GI5_2) เพิ่มขึ้นทุกร้อยละ 10 จะทำให้ NDVI เพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.03 หน่วย

ในทางกลับกันคือ

- เมื่อสัดส่วนโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวประเภทพื้นที่สีเขียวธรรมชาติ (พื้นที่สวนป่า/ ป่าชายเลน: GI4_1) เพิ่มขึ้นทุกร้อยละ 10 จะทำให้ NDVI ลดลงเท่ากับ 0.1 หน่วย
- เมื่อสัดส่วนโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวประเภทพื้นที่สีเขียวธรรมชาติ (พื้นที่แหล่งน้ำธรรมชาติหรือสร้างขึ้น: GI4_2) เพิ่มขึ้นทุกร้อยละ 10 จะทำให้ NDVI ลดลงเท่ากับ 0.02 หน่วย

ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ด้วยสถิติสหสัมพันธ์ พบความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวและอุณหภูมิพื้นผิวในเชิงผกผันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กล่าวคือ เมื่อสัดส่วนโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวเพิ่มขึ้นจะทำให้อุณหภูมิพื้นผิวลดลง ($r = -0.90$, $p\text{-value} < 0.001$)

$$\text{Land Surface Temperature} = 31.644321 - 0.047170 \text{ Green ratio} \quad \text{eq.15}$$

กล่าวคือ เมื่อสัดส่วนโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวเพิ่มขึ้นทุกร้อยละ 10 (ในขอบเขตพื้นที่ศึกษา 4 ตารางกิโลเมตร) จะทำให้อุณหภูมิพื้นผิวลดลงเท่ากับ 0.47 องศาเซลเซียส โดยค่าสัดส่วนโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวสามารถอธิบายการแปรผันของอุณหภูมิพื้นผิวได้ถึงร้อยละ 81.85 เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลการศึกษารายอื่นแล้ว มีความแตกต่างกัน คือ

- 1) การศึกษาอิทธิพลของสิ่งปกคลุมดินที่มีผลต่ออุณหภูมิในบรรยากาศของกรุงเทพมหานคร (วันเพ็ญ เจริญตระกูลปิติ, 2555) สิ่งปกคลุมดินประเภทต้นไม้และน้ำมีความสัมพันธ์เชิงลบกับอุณหภูมิอากาศ โดยอุณหภูมิจะลดลง 0.028 องศาเซลเซียส หากเพิ่มพื้นที่ต้นไม้ทุกๆ ร้อยละ 1 (บนพื้นที่ขนาด 0.1 ตารางกิโลเมตร)
- 2) การศึกษาเรื่อง The surface heat island of Rotterdam and its relationship with urban surface (Klok, Zwart, Verhagen, & Mauri, 2012) พื้นที่ศึกษาเมืองรอตเตอร์ดาม ประเทศเนเธอร์แลนด์ ผลการศึกษพบว่า การเพิ่มขึ้นของพื้นที่สีเขียวร้อยละ 10 จะทำให้อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยลดลง 1.3 องศาเซลเซียส

และจากการผลการวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้นแบบพหุคูณ ประเภทของโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวทั้ง 7 ประเภท มีความสัมพันธ์ในเชิงผกผันกับอุณหภูมิพื้นผิวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.001 โดยตัว

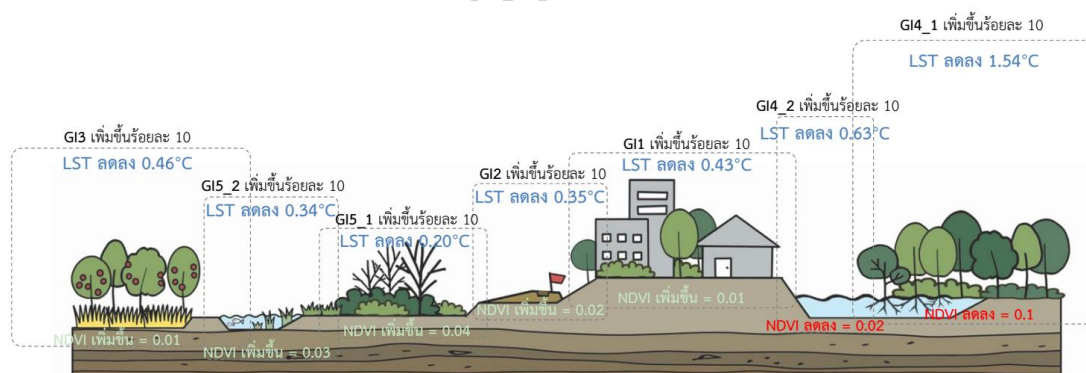
แปรทุกตัวรวมกันสามารถอธิบายการแปรผันของอุณหภูมิพื้นผิวได้ร้อยละ 86.8 สามารถแสดงเป็นสมการทำนายอุณหภูมิพื้นผิว ดังนี้

$$\text{Land Surface Temperature} = 31.369 - 0.043\text{GI1} - 0.035\text{GI2} - 0.046\text{GI3} - 0.154\text{GI4_1} - 0.063\text{GI4_2} - 0.020\text{GI5_1} - 0.034\text{GI5_2} \quad \text{eq.16}$$

ตารางที่ 25 ประเภทโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวในพื้นที่ศึกษาที่สามารถลดอุณหภูมิพื้นผิวจากสูงสุดไปต่ำสุด

ลำดับ	GI Types	สัดส่วนที่เพิ่มขึ้น (ร้อยละ)	อุณหภูมิพื้นผิวที่ลดลง (°C)
1	พื้นที่สีเขียวธรรมชาติ (ประเภทพื้นที่สวนป่า/ ป่าชายเลน: GI4_1)	10	1.54
2	พื้นที่สีเขียวธรรมชาติ (ประเภทพื้นที่แหล่งน้ำธรรมชาติหรือสร้างขึ้น: GI4_2)	10	0.63
3	พื้นที่สีเขียวเพื่อเศรษฐกิจชุมชน (นาข้าว พืชไร่ พืชสวน ไม้ผล ไม้ยืนต้น พื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ: GI3)	10	0.46
4	พื้นที่สีเขียวเพื่อการบริการสาธารณะ (พื้นที่สีเขียวเมือง: GI1)	10	0.43
5	พื้นที่สีเขียวอรรถประโยชน์ (สนามกอล์ฟ: GI2)	10	0.35
6	พื้นที่สีเขียวที่ยังไม่ใช้ประโยชน์หรือรอการพัฒนา (ประเภทพื้นที่กลุ่มชนและพื้นที่น้ำขัง: GI5_2)	10	0.34
7	พื้นที่สีเขียวที่ยังไม่ใช้ประโยชน์หรือรอการพัฒนา (ประเภทพื้นที่สีเขียวที่เป็นทุ่งหญ้าธรรมชาติ/ ทุ่งหญ้าสลับไม้พุ่มไม้ละเมาะ GI5_1)	10	0.20

ประเภทโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวในพื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร ที่ทำให้อุณหภูมิพื้นผิวลดลงมากที่สุด คือ โครงสร้างพื้นฐานสีเขียวประเภทพื้นที่สีเขียวธรรมชาติ (พื้นที่สวนป่า/ ป่าชายเลน: GI4_1), ประเภทพื้นที่สีเขียวธรรมชาติ (พื้นที่แหล่งน้ำธรรมชาติหรือสร้างขึ้น: GI4_2), ประเภทพื้นที่สีเขียวเพื่อเศรษฐกิจชุมชน (นาข้าว พืชไร่ พืชสวน ไม้ผล ไม้ยืนต้น พื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ: GI3), ประเภทพื้นที่สีเขียวเพื่อการบริการสาธารณะ (พื้นที่สีเขียวเมือง: GI1), ประเภทพื้นที่สีเขียวอรรถประโยชน์ (สนามกอล์ฟ: GI2), ประเภทพื้นที่สีเขียวที่ยังไม่ใช้ประโยชน์หรือรอการพัฒนา (พื้นที่กลุ่มชั้นแฉะและพื้นที่น้ำขัง: GI5_2) และประเภทพื้นที่สีเขียวที่ยังไม่ใช้ประโยชน์หรือรอการพัฒนา (พื้นที่สีเขียวที่เป็นทุ่งหญ้าธรรมชาติ/ ทุ่งหญ้าสลับไม้พุ่มไม้ละเมาะ GI5_1) ตามลำดับ



ภาพที่ 59 โครงสร้างพื้นฐานสีเขียวกับการลดอุณหภูมิพื้นผิวในพื้นที่กรุงเทพมหานคร

ทั้งนี้ หากมีการพัฒนาพื้นที่ตามแนวทางโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวของพื้นที่ศึกษา กรุงเทพมหานคร ควรคำนึงถึงความสมบูรณ์ของสิ่งปกคลุมดินที่เหมาะสมจากค่าดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณ (NDVI) เพิ่มเติม เนื่องจากการเมื่อสัดส่วนโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวประเภทพื้นที่สีเขียวธรรมชาติ (พื้นที่สวนป่า/ ป่าชายเลน: GI4_1) เพิ่มขึ้นทุกร้อยละ 10 จะทำให้ NDVI ลดลงเท่ากับ 0.1 หน่วย และเมื่อสัดส่วนโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวประเภทพื้นที่สีเขียวธรรมชาติ (พื้นที่แหล่งน้ำธรรมชาติหรือสร้างขึ้น: GI4_2) เพิ่มขึ้นทุกร้อยละ 10 จะทำให้ NDVI ลดลงเท่ากับ 0.02 หน่วย ซึ่งอาจส่งผลต่อความสมบูรณ์ของพืชพรรณในระบบนิเวศที่เกี่ยวข้อง การเพิ่มศักยภาพของพื้นที่ศึกษาด้วยโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวดังกล่าว สอดคล้องกับนโยบายของกรุงเทพมหานครที่มุ่งเน้นการเพิ่มพื้นที่สีเขียวและการจัดการสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน โดยตั้งเป้าเพิ่มพื้นที่สีเขียวให้ได้ 10 ตารางเมตรต่อคนภายในปี พ.ศ. 2573 ผลการศึกษาสะท้อนให้เห็นถึงความสำคัญของการวางแผนและการพัฒนาด้วยโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวให้เหมาะสมกับบริบทพื้นที่ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบรรเทาผลกระทบจากเกาะความร้อนในเขตเมืองต่อไป

ข้อจำกัดของการศึกษา

1) ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 ที่เลือกใช้ มีความละเอียดเชิงพื้นที่ของช่วงคลื่นอินฟราเรดความร้อน (Thermal infrared band) ความละเอียด 100 เมตร ทำให้รายละเอียดของข้อมูลอุณหภูมิในพื้นที่ขนาดเล็ก หรือภายในโครงสร้างเมืองที่มีความซับซ้อนสูงไม่สามารถจำแนกได้อย่างแม่นยำ และในการศึกษาเป็นข้อมูลตัวแทนของพื้นที่ศึกษา 1 ช่วงเวลาเท่านั้นเนื่องจากกรุงเทพมหานครมีเขตกлимสูงเกือบตลอดทั้งปี และมีรอบการโคจรของดาวเทียมที่ผ่านทุก ๆ 16 วัน ทำให้โอกาสในการได้ภาพที่ชัดเจนมีจำกัด ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อชั้นข้อมูลที่ได้จากการศึกษา อีกทั้งสิ่งปกคลุมดินประเภทพื้นที่สีเขียวเพื่อเศรษฐกิจชุมชน (นาข้าว พืชไร่ พืชสวน ไม้ผล ไม้ยืนต้น พื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ: GI3) อาจสะท้อนข้อมูลอุณหภูมิพื้นผิวที่ไม่สัมพันธ์กับฤดูกาลในการทำเกษตรกรรมประเภทต่าง ๆ การศึกษาในอนาคตจึงควรมีการศึกษาในช่วงเวลาอื่นเพิ่มเติมรวมถึงความถี่ในการจัดเก็บข้อมูล เพื่อได้ชั้นข้อมูลที่มีความละเอียดและสอดคล้องกับการใช้ประโยชน์ที่ดินมากยิ่งขึ้น

2) ในการศึกษาได้กำหนดขอบเขตของพื้นที่ศึกษาย่อย เป็นการวิเคราะห์ผลกระทบของสิ่งปกคลุมดินในระดับพื้นที่ขนาดเล็ก หรือ Local scale ขนาด 2×2 ตารางกิโลเมตร และข้อมูลช่วงคลื่นอินฟราเรดความร้อน (Thermal infrared band) ที่ระดับ 100 เมตร ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อความผันผวนของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในระดับย่อย การศึกษาในอนาคตจึงควรมีการศึกษาเปรียบเทียบเพิ่มเติมในประเด็นของความละเอียดของพื้นที่ศึกษาย่อยที่แตกต่างกัน

3) การจำแนกสิ่งปกคลุมดินและโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวในการศึกษา ใช้การจำแนกด้วยการแปลตีความด้วยสายตาผ่านภาพถ่ายดาวเทียมร่วมกับข้อมูลการใช้ที่ดินของกรมพัฒนาที่ดินเท่านั้น ซึ่งการศึกษาในอนาคตอาจใช้การจำแนกด้วยโปรแกรม เพื่อเปรียบเทียบความถูกต้องของข้อมูลอีกครั้ง

4) ในการศึกษาเป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งปกคลุมดิน (Subclass: Surface types) ในพื้นที่ศึกษา กับอุณหภูมิพื้นผิว (Land Surface Temperature) และดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณ (Normalized Difference Vegetation Index) เท่านั้น ทั้งนี้การศึกษาปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมืองมีความซับซ้อนซึ่งการศึกษาในอนาคตอาจมีการเพิ่มตัวแปรที่เกี่ยวข้องในการศึกษาเพื่อให้ได้ชั้นข้อมูลที่ละเอียดมากยิ่งขึ้น

รายการอ้างอิง

- Avdan, U., & Jovanovska, G. (2016). Algorithm for automated mapping of land surface temperature using LANDSAT 8 satellite data. *Journal of sensors*, 2016(1), 1480307.
- Azevedo, J. A., Chapman, L., & Muller, C. L. (2016). Quantifying the Daytime and Night-Time Urban Heat Island in Birmingham, UK: A Comparison of Satellite Derived Land Surface Temperature and High Resolution Air Temperature Observations. *Remote Sensing*, 8(2), 153. Retrieved from <https://www.mdpi.com/2072-4292/8/2/153>
- Bartesaghi Koc, C. (2018). *Assessing the thermal performance of green infrastructure on urban microclimate*. (Doctoral dissertation). UNSW Sydney,
- Bartesaghi Koc, C., Osmond, P., & Peters, A. (2016). A green infrastructure typology matrix to support urban microclimate studies. *Procedia Engineering*, 169, 183-190. doi:<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.10.022>
- Bartesaghi Koc, C., Osmond, P., & Peters, A. (2017). Towards a comprehensive green infrastructure typology: a systematic review of approaches, methods and typologies. *Urban ecosystems*, 20, 15-35. doi:<https://doi.org/10.1007/s11252-016-0578-5>
- Basics, U. H. I. (2011). Reducing urban heat islands: Compendium of strategies. *US EPA*. Available online: <http://www.epa.gov/heatisland/resources/compendium.htm>.(accessed on 14 January 2011).
- Bastin, J. F., Finegold, Y., Garcia, C., Mollicone, D., Rezende, M., Routh, D., . . . Crowther, T. W. (2019). The global tree restoration potential. *Science*, 365(6448), 76-79. doi:<https://doi.org/10.1126/science.aax0848>
- Benedict, M. A., & McMahon, E. T. (2002). Green infrastructure: smart conservation for the 21st century. *Renewable resources journal*, 20(3), 12-17.
- Benedict, M. A., & McMahon, E. T. (2012). *Green infrastructure: linking landscapes and communities*: Island press.

- Carlos Bartesaghi Koc. (2018). *Assessing the thermal performance of green infrastructure on urban microclimate*.
- Carrasco, R. S. (2024). Geographic Information Systems in Climatology. Retrieved from <https://www.ebsco.com/research-starters/earth-and-atmospheric-sciences/geographic-information-systems-climatology>
- Chaiyapon Keeratikasikorn, & Stefania Bonafoni. (2018). Urban heat island analysis over the land use zoning plan of Bangkok by means of Landsat 8 imagery. *Remote Sensing*, 10(3), 440.
- Chen, D., Zhang, F., Zhang, M., Meng, Q., Jim, C. Y., Shi, J., . . . Ma, X. (2022). Landscape and vegetation traits of urban green space can predict local surface temperature. *Science of The Total Environment*, 825, 154006.
- Degree Prospects. LLC. (n.d.). What is Sustainability? Retrieved from <https://www.sustainabilitydegrees.com/what-is-sustainability/>
- Fagan, M. E., Reid, J. L., Holland, M. B., Drew, J. G., & Zahawi, R. A. (2020). How feasible are global forest restoration commitments? *Conservation Letters*, 13(3), e12700. doi:<https://doi.org/10.1111/conl.12700>
- Ferguson, B., Fisher, K., Golden, J., Hair, L., Haselbach, L., Hitchcock, D., . . . Wayne, D. (2008). Reducing urban heat islands: compendium of strategies-cool pavements. Retrieved from <https://trid.trb.org/View/920168>. <https://trid.trb.org/View/920168>
- Huang, S., Tang, L., Hupy, J. P., Wang, Y., & Shao, G. (2021). A commentary review on the use of normalized difference vegetation index (NDVI) in the era of popular remote sensing. *Journal of Forestry Research*, 32(1), 1-6.
- Inchompoo, P., & Srithanyarat, S. (2017). Developing green network for Bangkok Metropolitan area. *Academic Journal of Architecture (AJA)*, 66, 99-120.
- Keeratikasikorn, C., & Bonafoni, S. (2018). Urban heat island analysis over the land use zoning plan of Bangkok by means of Landsat 8 imagery. *Remote Sensing*, 10(3), 440. doi:<https://doi.org/10.3390/rs10030440>
- Khamchiangta, D., & Dhakal, S. (2020). Time series analysis of land use and land cover changes related to urban heat island intensity: Case of Bangkok Metropolitan

- Area in Thailand. *Journal of urban management*, 9(4), 383-395.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.jum.2020.09.001>
- Klok, L., Zwart, S., Verhagen, H., & Mauri, E. (2012). The surface heat island of Rotterdam and its relationship with urban surface characteristics. *Resources, conservation and recycling*, 64, 23-29.
- Landscape Institute. (2009). Green infrastructure: Connected and multifunctional landscapes (Position statement). Retrieved from <https://www.landscapeinstitute.org/>
- Li, H., Zhou, Y., Li, X., Meng, L., Wang, X., Wu, S., & Sodoudi, S. (2018). A new method to quantify surface urban heat island intensity. *Science of The Total Environment*, 624, 262-272. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.360>
- Lindsey R., & Dahlman L. (2024). Climate Change: Global Temperature. Retrieved from <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-global-temperature>
- M'ikiugu, M. M., QianNa, W., & Kinoshita, I. (2012). Green Infrastructure Gauge: A tool for evaluating green infrastructure inclusion in existing and future urban areas. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 68, 815-825.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.12.269>
- Meng, F., Yan, S., Tian, G., & Wang, Y. (2023). Surface urban heat island effect and its spatiotemporal dynamics in metropolitan area: a case study in the Zhengzhou metropolitan area, China. *Frontiers in Environmental Science*, 11, 1247046.
doi:<https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1247046>
- NOAA National Centers for Environmental information (2020). Climate at a Glance: Global Time Series. Retrieved from <https://www.ncdc.noaa.gov/cag/>
- Norton, B., Bosomworth, K., Cootts, A., Williams, N., Livesley, S., Trundle, A., . . . McEvoy, D. (2013). *Planning for a cooler future: Green infrastructure to reduce urban heat*: VCCCAR.
- Oke, T. R. (1982). The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly journal of the royal meteorological society*, 108(455), 1-24.
- Oke, T. R. (1997). Urban climates and environmental global change. *Applied Climatology Principles and Practice*, 273-287.

- Oke, T. R. (2006). Towards better scientific communication in urban climate. *Theoretical and applied climatology*, 84, 179-190. doi:<https://doi.org/10.1007/s00704-005-0153-0>
- Oke, T. R., Mills, G., Christen, A., & Voogt, J. A. (2017). *Urban climates*: Cambridge university press.
- Pramanik, M., Kumar, A., & Paramanik, S. (2024). Urban green infrastructure planning for the Bangkok metropolitan region: an empirical study for greenspace expansion. doi:<https://doi.org/10.32388/15YZL3>
- Rogers, M. N. (2022). NDVI – Normalised Difference Vegetation Index. Retrieved from <https://forestryplatform.com/2022/10/03/ndvi-normalised-difference-vegetation-index/>
- Sharifi, E., & Lehmann, S. (2015). Correlation analysis of surface temperature of rooftops, streetscapes and urban heat island effect: Case study of central Sydney. *Journal of Urban and Environmental Engineering*, 9(1), 3-11. Retrieved from <https://www.jstor.org/stable/26203432>
- Tepanosyan, G., Muradyan, V., Hovsepian, A., Pinigin, G., Medvedev, A., & Asmaryan, S. (2021). Studying spatial-temporal changes and relationship of land cover and surface Urban Heat Island derived through remote sensing in Yerevan, Armenia. *Building and Environment*, 187, 107390. doi:<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107390>
- Trundle, A., Bosomworth, K., McEvoy, D., & Williams, N. (2014). *Urban Heat Reduction through Green Infrastructure (GI): Policy*. Australia: Victorian centre for climate change adaptation research Retrieved from www.vcccar.org.au
- U.S. Environmental Protection Agency. (2008). Reducing urban heat islands: Compendium of strategies. Draft. Retrieved from <https://www.epa.gov/heat-islands/heat-island-compendium>
- United Nation Thailand. (2558). เป้าหมายการพัฒนาอย่างยั่งยืนของประเทศไทย. Retrieved from <https://www.un.or.th/globalgoals/th/the-goals/>
- United Nations. (1987). Sustainable Development. Retrieved from <http://www.un.org/en/ga/president/65/issues/sustdev.shtml>

- United nations educational scientific and cultural organization. (2015). Culture for Sustainable Development. Retrieved from <https://en.unesco.org/themes/culture-sustainable-development>
- US Geological Survey (USGS). (2021). Using the USGS Landsat Level-1 Data Product. Retrieved from <https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/using-usgs-landsat-level-1-data-product>
- US Geological Survey (USGS). (2024). What are the band designations for the Landsat satellites? Retrieved from <https://www.usgs.gov/faqs/what-are-band-designations-landsat-satellites>
- Vanno S. (2012). Bangkok's green infrastructure. *Journal of Architectural/Planning Research and Studies*, 9(2), 1-14. doi:<https://doi.org/10.56261/jars.v9i2.168541>
- Voogt, J. A., & Oke, T. R. (2003). Thermal remote sensing of urban climates. *Remote sensing of environment*, 86(3), 370-384.
- Wong, E., Hogan, K., Rosenberg, J., & Denny, A. (2016). Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies Urban Heat Island Basics. *Climate Protection Partnership Division in the US Environmental Protection Agency's Office of Atmospheric Programs*.
- World wide fund of nature. (2018). WWF-Thailand Annual Report 2018. Retrieved from <http://www.wwf.or.th/>
- กาญจน์จรรยา ชูชีพ. (2561). ตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล (Accuracy Assessment) In *Remote Sensing Technical Note*. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์: คณะวนศาสตร์.
- จรัญธร บุญญานภาพ. (2551). หลักในการแปลตีความข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมด้วยสายตา. In *ความรู้พื้นฐานด้านรีโมตเซนซิง*. คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม: มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- จักรสิน น้อยไร่ภูมิ. (2551). แนวคิดชุมชนเมืองที่พอเพียง: การออกแบบชุมชนเมืองที่ยั่งยืนในรูปแบบของไทย. *NAJUA: Architecture, Design and Built Environment*, 23, 177. Retrieved from <http://so04.tci-thaijo.org/index.php/NAJUA-Arch/article/view/45093>
- จิตรบุษบา มารมย์. (2560). การประเมินองค์ความรู้ด้านเมืองยั่งยืนในประเทศไทย. นครปฐม: ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมนิเวศวิทยาอุตสาหกรรม คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.

- ชมพูนุช คงพูนพิน, ดวงพร กาศาสปิ, & มานัส ศรีวณิช. (2561). การประเมินศักยภาพการพัฒนา
โครงสร้างพื้นฐานสีเขียวเพื่อการวางแผนการใช้ประโยชน์ที่ดินอย่างยั่งยืนในจังหวัดนครนายก.
Science Journal Chandrakasem Rajabhat University, 28, 19.
- ธนกฤต เทียนมณี. (2545). ปรากฏการณ์เกาะความร้อนกับสภาพทางกายภาพของเมือง.
(สถาปัตยกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต). บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร,
- นิคม บุญญานุสิทธิ์. (2557). บทบาทของโครงสร้างพื้นฐานเขียวในการปรับตัวของท้องถิ่นไทย เพื่อการ
ตั้งรับภัยพิบัติจากภูมิอากาศเปลี่ยนแปลง. *วารสารมทร.อีสาน*, 7(2), 132.
- นิคม บุญญานุสิทธิ์, Kung, S., & Lin, H. (2558). ทางสัญจรเขียว: องค์ประกอบสำคัญในการพัฒนา
เป็นโครงสร้างพื้นฐานเขียว. *NAJUA: Architecture, Design and Built Environment*, 29,
387. Retrieved from <http://so04.tci-thaijo.org/index.php/NAJUA-Arch/article/view/44278>
- นิรมล เสรีสกุล. (2562). ในวิกฤตมีโอกาส : สร้าง กรุงเทพฯ เมืองสีเขียว จากโครงสร้างทิ้งร้างใจกลาง
เมือง. Retrieved from <https://theurbanis.com/public-realm/2019/11/13/2081/>
- ประยูรศรี บุตรแสนคม. (2555). การคัดเลือกตัวแปรพยากรณ์เข้าในสมการถดถอยพหุคูณ. *Journal of
Educational Measurement Mahasarakham University*, 17(1), 43-60.
- ประรินทร์ บุตรดี, & สิริมาส เสงี่ยม. (2562). การคาดการณ์ผลกระทบของเรขาคณิตของเมืองต่อ
ปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมือง: กรณีศึกษากรุงเทพมหานคร. *Journal of
Architectural/Planning Research and Studies (JARS)*, 16(1), 107-124.
- ปรีชญา ปฏิเมธา. (2551). การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะพื้นที่สีเขียวในเขตชุมชนเมืองและ
ปัจจัยที่มีผลต่อภาวะโลกร้อน. (การวางแผนชุมชนเมืองและสภาพแวดล้อมมหาบัณฑิต). บัณฑิต
วิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร, กรุงเทพมหานคร.
- บุญยณัฐ รุจิโรโก. (2559). การประยุกต์เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศในการศึกษาปรากฏการณ์เกาะความร้อน.
Journal of Food Health and Bioenvironmental Science, 9(3), 147-163.
Retrieved from <https://www.thaiscience.info/journals/Article/SDUJ/10984859.pdf>
- พทธี ศิริบรรณพิทักษ์. (2553). การจัดการศึกษาเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน: พื้นฐานการศึกษาด้าน
เศรษฐกิจ สังคม สิ่งแวดล้อม. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์ไทยสัมพันธ์.
- ภาวิณี เอี่ยมตระกูล. (2561). การวางแผนโครงสร้างพื้นฐานเพื่อการพัฒนาเมืองอย่างยั่งยืน (พิมพ์ครั้งที่
1 ed.). กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- มูลนิธิสถาบันสิ่งแวดล้อมไทย. (2560). แนวทางการจัดการพื้นที่สีเขียวสำหรับชุมชนเมืองในประเทศไทย
(พิมพ์ครั้งที่ 1 ed.). กรุงเทพมหานคร.

- วันเพ็ญ เจริญตระกูลปิติ. (2555). อิทธิพลของสิ่งปกคลุมดินที่มีผลต่ออุณหภูมิในบรรยากาศของ กรุงเทพมหานคร. *NIDA Journal of Environmental Management*, 8(January - June).
- วันเพ็ญ เจริญตระกูลปิติ. (2557). ลักษณะทางกายภาพและรูปแบบการระบายอากาศของเมือง อุทัยธานี. *Journal of Architectural/Planning Research and Studies*, 11(2), 99-112.
- ศูนย์ภูมิอากาศ กรมอุตุนิยมวิทยา. (2561). ความผันแปรและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ พ.ศ. 2561.
- ศูนย์วิจัยป่าไม้. (2547). มาตรการในการเพิ่มและการจัดการพื้นที่สีเขียวในเขตชุมชนอย่างยั่งยืน: รายงานฉบับสมบูรณ์. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ คณะวนศาสตร์ ศูนย์วิจัยป่าไม้.
- สยาม อรุณศรีมรกต, & ยงยุทธ วัชรกุลย์. (2559). เป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน 17 ประการของสหประชาชาติเพื่อโลกอนาคต. *วารสารวิจัยสหวิทยาการไทย*, 11(3), 1-7.
- สรศักดิ์ กลิ่นดาว. (2550). การสำรวจจากระยะไกล :การประมวลผลภาพเชิงเลขเบื้องต้น. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์.
- สถัญญ์เทพ สุขแก้ว. (2565). วิธีการคัดเลือกตัวแปรอิสระเข้าสู่สมการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ. *วารสารการวัดประเมินผลสถิติและการวิจัยทางสังคมศาสตร์*, 3(1), 1-10.
- ส่วนเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ. (2562). การสำรวจทำแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน. กรมชลประทาน: สำนักสำรวจด้านวิศวกรรมและธรณีวิทยา.
- สาโรช แสงเมือง, พิชญ รัชฎาวงศ์, & กฤตยาภรณ์ เจริญผล. (2566). การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศในการวิเคราะห์ความเปลี่ยนแปลง การใช้ที่ดินด้วยข้อมูลดาวเทียม. *วารสารวิชาการโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า*, 21(1), 12-27. Retrieved from <https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/crma-journal/article/view/249649>
- สำนักการวางผังและพัฒนาเมือง กรุงเทพมหานคร. (2568). ระบบตรวจสอบผังเมืองรวมและข้อบัญญัติ กรุงเทพมหานคร. Retrieved from https://cityplangis.bangkok.go.th/bma_cpudd/cmpweb
- สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. (2546). การพัฒนาที่ยั่งยืนในบริบทไทย.
- สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2558). แผนแม่บทรองรับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ พ.ศ.2558 – 2593.
- สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2560). พื้นที่สีเขียว วิถีชีวิตคนเมือง (พิมพ์ครั้งที่ 1 ed., pp. 144). Retrieved from <https://www.onep.go.th/ebook/urban/urban-publication-green-area.pdf>

- สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2565). แนวทางปฏิบัติงานเพื่อขับเคลื่อนการจัดการพื้นที่สีเขียวอย่างยั่งยืน ระยะที่ 2 (พ.ศ. 2566 – 2570) Retrieved from <https://www.onep.go.th/ebook/urban/urban-publication-20230322-1.pdf>
- สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ. (2552). ตำราเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศศาสตร์. กรุงเทพมหานคร: อมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง.
- สำนักงานสถิติแห่งชาติ. (2567). จำนวนประชากรจากการทะเบียน ชาย หญิง เนื้อที่ ความหนาแน่น และบ้าน จำแนกเป็นรายภาค และจังหวัด พ.ศ. 2555-2567. Retrieved from https://www.nso.go.th/nsoweb/nso/statistics_and_indicators?impt_branch=300. Retrieved 6 มีนาคม 2568
- https://www.nso.go.th/nsoweb/nso/statistics_and_indicators?impt_branch=300
- สำนักผังเมือง กรุงเทพมหานคร. (2555). พื้นที่สีเขียวในรูปแบบสวนสาธารณะกรุงเทพมหานคร. Retrieved from http://cpd.bangkok.go.th:90/web2/strategy/DATA54_55/9GREEN.pdf
- สำนักสิ่งแวดล้อม กรุงเทพมหานคร. (2566). สัดส่วนจำนวนพื้นที่สีเขียวของกรุงเทพมหานคร ปี 2566. Retrieved from <https://lookerstudio.google.com/u/0/reporting/33a59239-04de-4d22-8e9d-5b0a613c3e37/page/J1JbD?s=nOWkSWvNhoY>
- สำนักสิ่งแวดล้อมกรุงเทพมหานคร. (2568). ฐานข้อมูลติดตามประเมินผลการเพิ่มพื้นที่สีเขียวของกรุงเทพมหานคร. Retrieved from <http://203.155.220.118/green-parks-admin/>
- <http://203.155.220.118/green-parks-admin/>
- สำนักสิ่งแวดล้อมชุมชนและพื้นที่เฉพาะ. (2557). ฐานข้อมูลพรรณไม้ที่เหมาะสมกับพื้นที่สีเขียวและภูมิภาค. Retrieved from <http://www.onep.go.th/urban/plant/index.php>
- สิงหนาท แสงสีหนาท. (2545). หลักการทางแนวคิดชุมชนเมืองที่ยั่งยืนในบริบทของไทย. (สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต). บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร,
- สิทธิพร ภิรมย์รัตน์. (2550). การออกแบบชุมชนเมืองที่น่าอยู่ และยั่งยืน : ทฤษฎีและ ประสบการณ์. *NAJUA: Architecture, Design and Built Environment*, 22(1), 111.
- อนุศาสน์ สิทธิเวช. (2554). การศึกษาลักษณะเชิงพื้นที่ของปัญหาและปัจจัยสำคัญของกาเกิดเกาะความร้อนในพื้นที่เมืองเชียงใหม่. (การวางแผนชุมชนเมืองและสภาพแวดล้อมมหาบัณฑิต). บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร, กรุงเทพมหานคร.
- อรรถพล ห่อมนี่. (2553). ปัจจัยทางกายภาพกับความแตกต่างของอุณหภูมิในพื้นที่เมือง : กรณีศึกษา กรุงเทพมหานครและปริมณฑล. (การวางแผนภาคและเมืองมหาบัณฑิต). บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,

อัญญา บุชยันต์, วณมพร พาหะนิชย์, & ภูมิ สาทสินธุ์. (2561). เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศกับการรู้เรื่อง
ภูมิศาสตร์. *JOURNAL OF HUMANITIES AND SOCIAL SCIENCES SURIN RAJABHAT
UNIVERSITY*, 20(2), 385-397.





ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล

มัลลิกา วิโสจสงคราม

วุฒิการศึกษา

30 เมษายน 2530

