



ลักษณะทางกายภาพของสิ่งปลูกสร้างที่ส่งผลต่อการเกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมืองใน  
บรรยากาศ

วิทยานิพนธ์

ของ

ทฤษฎี พรหมดิเรก

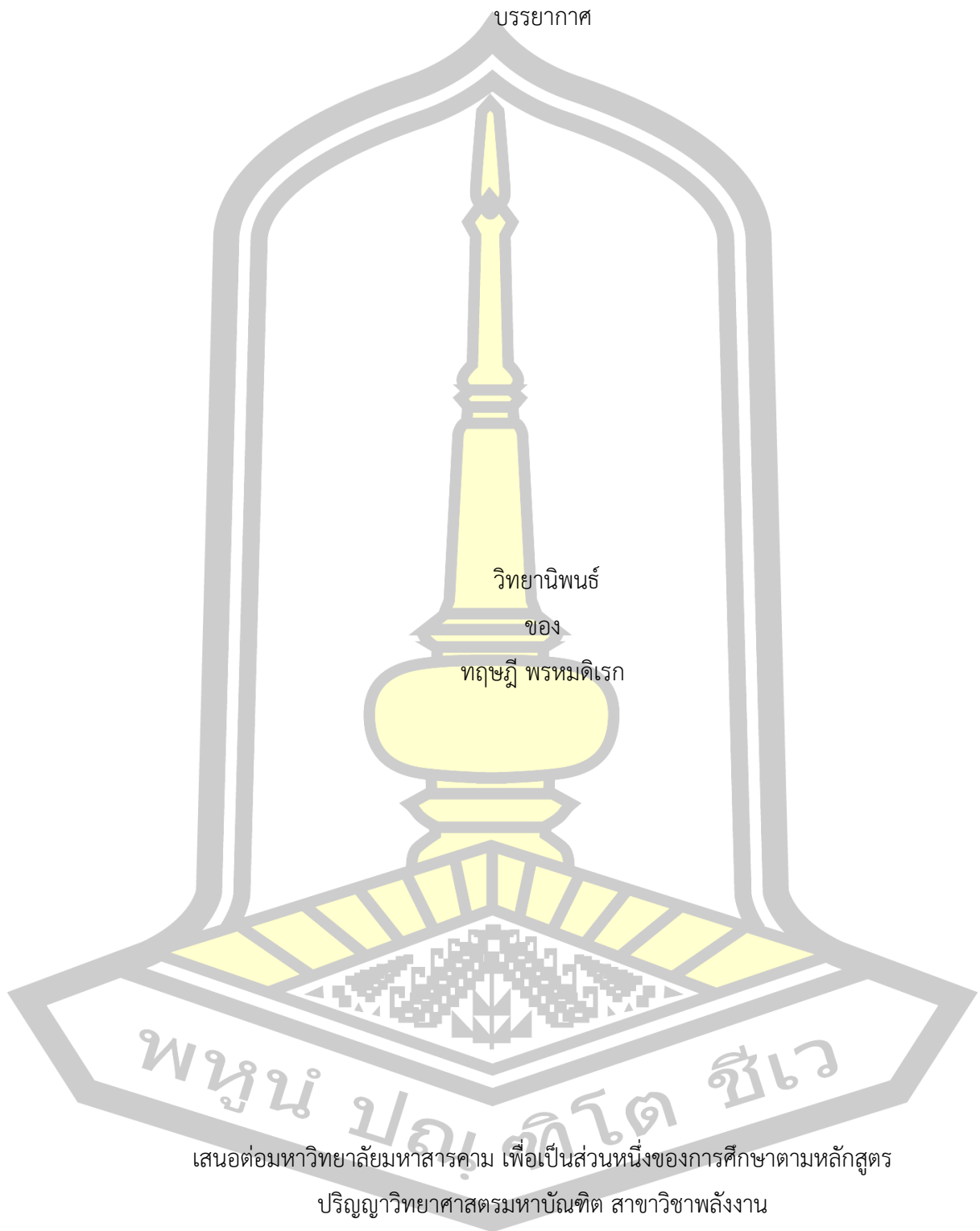
เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาพลังงาน

มิถุนายน 2566

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

ลักษณะทางกายภาพของสิ่งปลูกสร้างที่ส่งผลต่อการเกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมืองใน  
บรรยากาศ



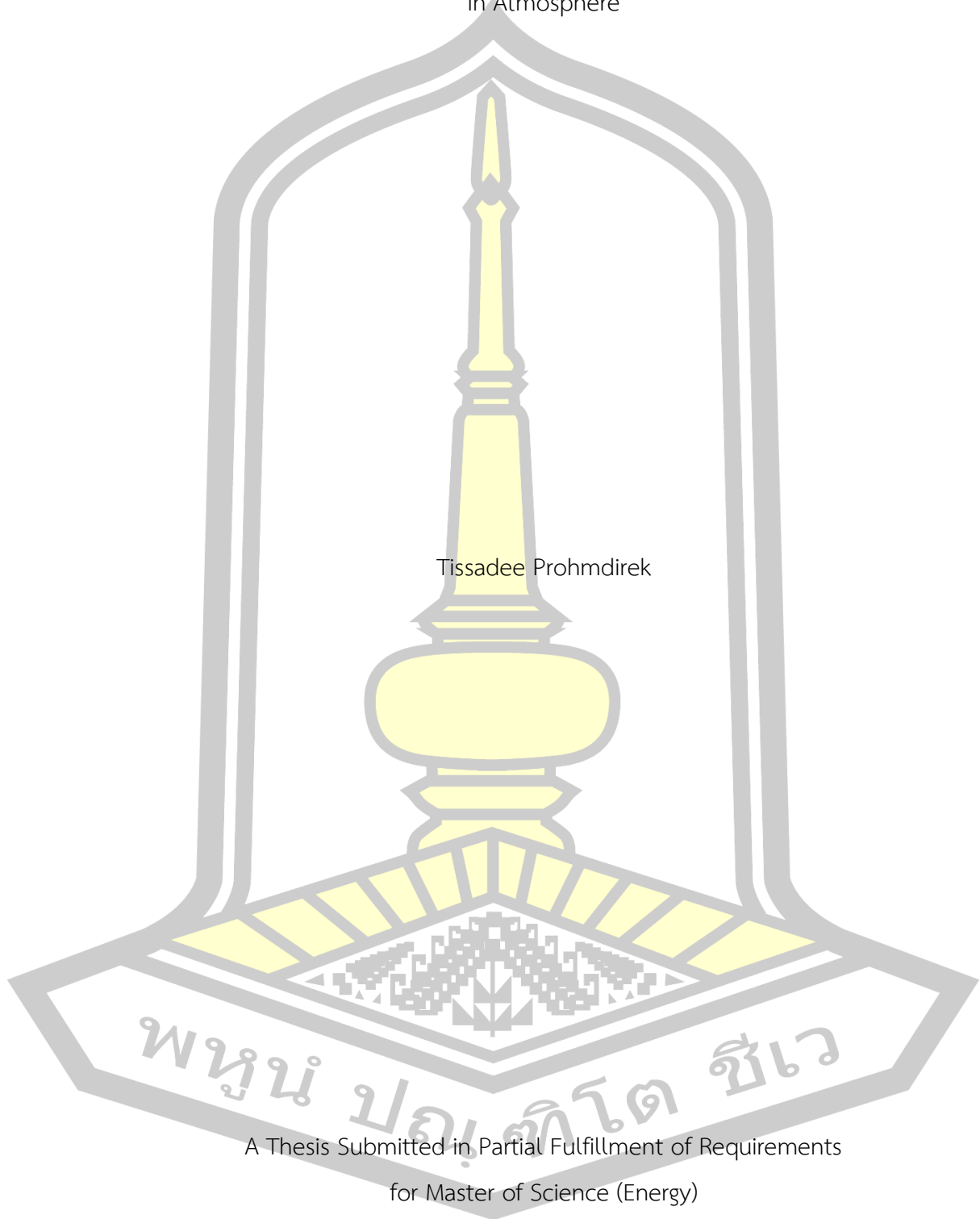
เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาพลังงาน

มิถุนายน 2566

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

Physical Characteristics of Build-up Areas Affecting to Urban Heat Island Phenomena  
in Atmosphere



Tissadee Prohmdirek

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of Requirements  
for Master of Science (Energy)

June 2023

Copyright of Mahasarakham University



คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของนายทฤษฎี พรหมดีแรก  
แล้วเห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาพลังงาน ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ประธานกรรมการ

(ผศ. ดร. ไพศาล จีฟู )

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รศ. ดร. ชีรวงศ์ เหล่าสุวรรณ )

กรรมการ

(รศ. ดร. ธนา ยีรัมย์ )

กรรมการ

(ผศ. ดร. อนุสรณ์ แสงประจักษ์ )

มหาวิทยาลัยอนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาพลังงาน ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

(ศ. ดร. ไพโรจน์ ประมวล )

คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(รศ. ดร. กริสน์ ชัยมูล )

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

พหุ บัณฑิต วิชา

ชื่อเรื่อง	ลักษณะทางกายภาพของสิ่งปลูกสร้างที่ส่งผลต่อการเกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมืองในบรรยากาศ		
ผู้วิจัย	ทฤษฎี พรหมติเรก		
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. อีรวงศ์ เหล่าสุวรรณ		
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต	สาขาวิชา	พลังงาน
มหาวิทยาลัย	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม	ปีที่พิมพ์	2566

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษารูปแบบการเกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมืองในบรรยากาศ (Atmospheric urban heat islands) และวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของค่าดัชนีพืชพรรณ (NDVI) กับอุณหภูมิบรรยากาศ ที่ระดับชั้นเรือนยอด ในเขตเมืองที่ส่งผลต่อปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมืองในบรรยากาศ เขตเทศบาลเมืองมหาสารคาม โดยการศึกษาได้เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในเขตเมืองกับบริเวณรอบนอก ซึ่งจากการใช้ประโยชน์ที่ดินภายในพื้นที่เมืองได้เป็นปัจจัยหนึ่งในการก่อให้เกิดปรากฏการณ์ดังกล่าวที่เด่นชัด และจากการใช้ประโยชน์ที่ดินเช่นนี้ได้ก่อให้เกิดการลดลงของค่าดัชนีพืชพรรณในพื้นที่เขตเมือง ที่ได้นำไปสู่ถึงสาเหตุและปัญหาของการเกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมือง โดยงานวิจัยนี้ได้แบ่งวิธีการดำเนินงานออกเป็น 3 ขั้นตอนหลัก คือ 1) วิเคราะห์ดัชนีผลต่างพืชพรรณโดยใช้ข้อมูลดาวเทียม Landsat 8 OLI/TIRS, 2) ตรวจสอบอุณหภูมิบรรยากาศระดับชั้นคาโนปีด้วยยานพาหนะ (Mobile traverses) ที่มีการติดตั้งเทอร์มิสเตอร์แบบดิจิทัลและเครื่องรับสัญญาณ GPS ที่สามารถบันทึกค่าได้แบบอัตโนมัติ และ 3) วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีผลต่างพืชพรรณกับอุณหภูมิบรรยากาศระดับชั้นคาโนปีที่มาทำการประมาณค่าในช่วงเชิงพื้นที่ (Spatial Interpolation) ด้วยวิธี Kriging จากผลการดำเนินงานพบว่า ตลอดช่วงเวลา 16.00 น. ถึง 20.00 น. อุณหภูมิอากาศภายในพื้นที่เมืองมีแนวโน้มสูงกว่าบริเวณรอบนอก ซึ่งพื้นที่รอบนอกมีพืชพรรณปกคลุมหนาแน่นมากกว่าพื้นที่ภายในเขตเมืองที่จะช่วยให้อากาศเย็นลง ในขณะที่พื้นที่ภายในเขตเทศบาลเมืองมหาสารคามได้แสดงอัตราการลดลงของอุณหภูมิน้อยกว่าอย่างเห็นได้ชัด และจากการประเมินแผนภาพอุณหภูมิอากาศด้วยกระบวนการกริกแบบออรินารี (Ordinary) พบว่าอุณหภูมิอากาศระหว่างภายในเขตเมืองกับรอบนอกมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมืองในบรรยากาศแสดงค่าสูงสุดที่ช่วงเวลา 18.00 น. และจากการศึกษาความสัมพันธ์ของค่าดัชนีพืชพรรณ (NDVI) กับอุณหภูมิอากาศภายในเขตเมืองในลักษณะแบบพื้นที่แนวกันชนเข้าหาภายในพื้นที่ศึกษา (รอบจุด Centroid) พบว่าค่าดัชนีพืชพรรณมีการลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่งผลให้แนวโน้มของอุณหภูมิ

อากาศแต่ละพื้นที่แนวกันชนมีค่าที่สูงขึ้น ซึ่งพื้นที่ขอบเขตรอบจุด Centroid ครอบคลุมพื้นที่น้อยสุด  $7 \text{ km}^2$  ได้แสดงขนาดเกาะความร้อนในบรรยากาศเท่ากับ  $5.19 \text{ }^\circ\text{C}$  และได้แสดงค่าความสัมพันธ์แบบถดถอยเชิงเส้นโดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ) เท่ากับ 0.981 ซึ่งมีความสัมพันธ์กันแบบเส้นตรงเชิงลบอย่างมีนัยสำคัญ อีกทั้งจากการศึกษาเพิ่มเติมจากการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินพบว่า หากพื้นที่เขตเทศบาลเมืองมหาสารคาม มีเนื้อที่การมีอยู่ของต้นไม้ พืชพรรณที่หนาแน่นมากพอกับสิ่งปลูกสร้างต่าง ๆ อาจช่วยทำให้อุณหภูมิอากาศหรืออุณหภูมิพื้นผิวภายในพื้นที่ศึกษาลดลง ซึ่งจะส่งผลให้ขนาดเกาะความร้อนในบรรยากาศมีค่าลดลงด้วยเช่นกัน

คำสำคัญ : เกาะความร้อนในบรรยากาศ, ดัชนีความแตกต่างพืชพรรณ, ดาวเทียมแลนด์แซท 8



**TITLE** Physical Characteristics of Build-up Areas Affecting to Urban Heat Island Phenomena in Atmosphere

**AUTHOR** Tissadee Prohmdirek

**ADVISORS** Associate Professor Teerawong Laosuwan , Ph.D.

**DEGREE** Master of Science **MAJOR** Energy

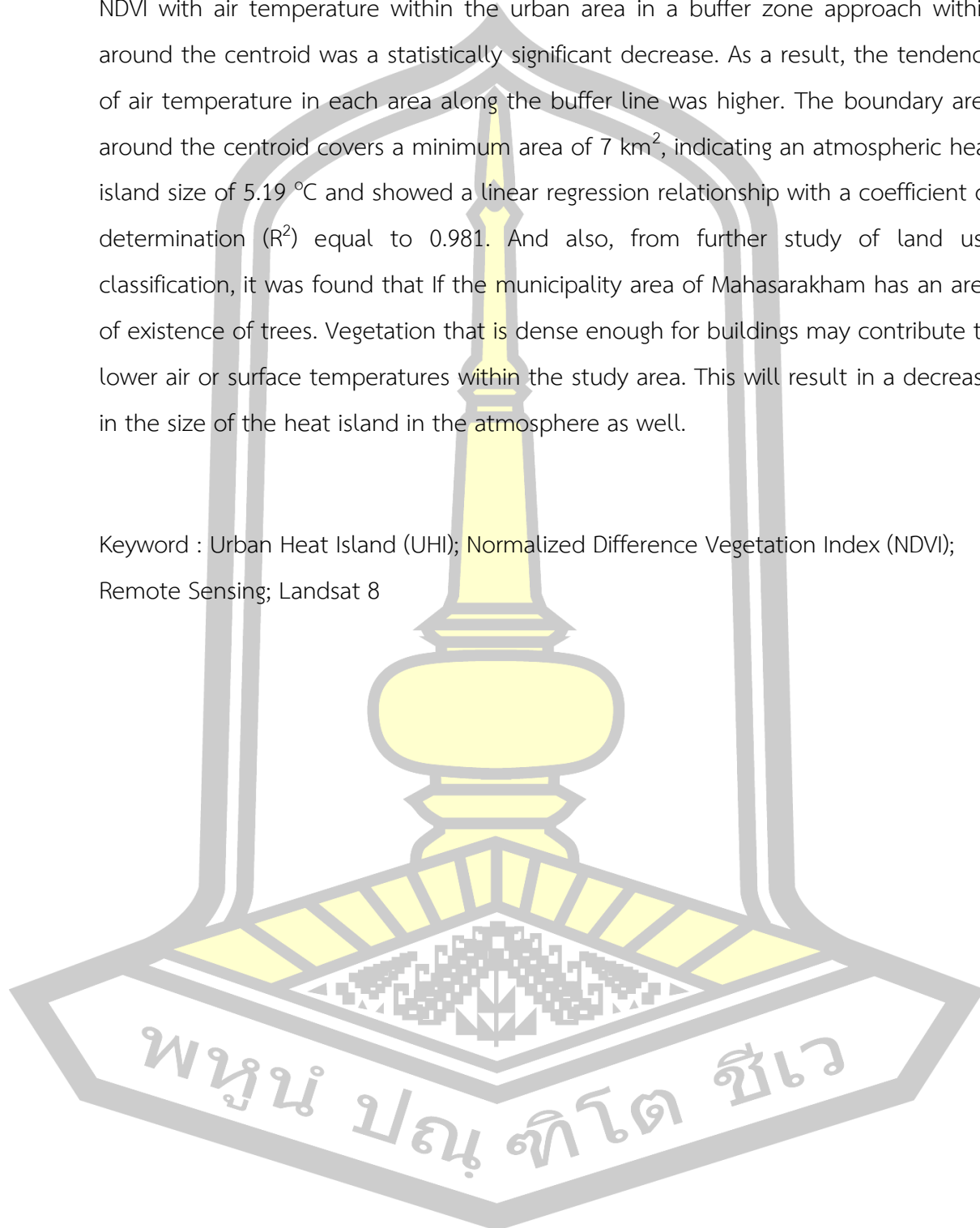
**UNIVERSITY** Mahasarakham **YEAR** 2023  
University

### ABSTRACT

The objective of this research is to study the pattern of urban heat island phenomenon in the atmosphere (AUHI) and analyze the relationship between NDVI with canopy air temperature inside city that affects the UHI phenomenon in Mueang Maha Sarakham Municipality. The comparison of air temperature in with out urban area was employed to study in this work and from land use cover within urban area is one of the factors causing the phenomenon clearly and these land use cover has led to a decrease in the vegetation index in urban. That has led to the causes and problems of the urban heat island phenomenon. This research, the operational methods were divided into three main steps: 1) Analyzing NDVI by using Landsat 8 OLI satellite data 2) Monitoring canopy temperature with mobile traverses installed with digital thermometer and auto-record GPS receiver3 )Analyzing the relationship between NDVI and canopy temperature that passed through the spatial interpolation process using the kriging method. From the results of the operational methods indicated that all periods (16.00-20.00 hrs) average atmospheric temperature the trend of in the urban area was higher than the outer area. When outer areas was more vegetation cover than urban areas to help keep the air temperature cool while the inner areas of the study area was showed decreased of temperature less than outer area clearly and result of the atmospheric temperatures diagram by using the ordinary kriging technique indicated that there are statistically significant differences in air temperature between urban and surrounding areas. From diagram of air temperature, the atmospheric urban heat island phenomenon in the

atmosphere shows the highest value at 18.00 hrs and the study of the correlation of NDVI with air temperature within the urban area in a buffer zone approach within around the centroid was a statistically significant decrease. As a result, the tendency of air temperature in each area along the buffer line was higher. The boundary area around the centroid covers a minimum area of 7 km<sup>2</sup>, indicating an atmospheric heat island size of 5.19 °C and showed a linear regression relationship with a coefficient of determination (R<sup>2</sup>) equal to 0.981. And also, from further study of land use classification, it was found that if the municipality area of Mahasarakham has an area of existence of trees. Vegetation that is dense enough for buildings may contribute to lower air or surface temperatures within the study area. This will result in a decrease in the size of the heat island in the atmosphere as well.

Keyword : Urban Heat Island (UHI); Normalized Difference Vegetation Index (NDVI); Remote Sensing; Landsat 8





## กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยเรื่อง ลักษณะทางกายภาพของสิ่งปลูกสร้างที่ส่งผลต่อการเกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมืองในบรรยากาศ สามารถดำเนินการสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์และสนับสนุนเป็นอย่างดีจากท่าน รองศาสตราจารย์ธีรพงศ์ เหล่าสุวรรณ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาหลักในการให้คำสอน คำแนะนำทางด้านวิชาการต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเรียนรู้ทั้งทางภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติ ซึ่งตลอดการศึกษาในระดับปริญญาโททำให้ผู้วิจัยได้รับองค์ความรู้ที่สามารถนำไปต่อยอดการศึกษาในขั้นต่อไปที่สูงขึ้นได้ และท่านอาจารย์ที่ปรึกษาได้ดูแลผู้วิจัยจนกระทั่งการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้สำเร็จเรียบร้อยด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณท่าน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประเมษฐ์ จันทร์เพ็ง ที่ให้คำแนะนำ หลักการต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องเพิ่มเติมในการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี และขอขอบคุณนิสิตระดับปริญญาตรีจากหน่วยปฏิบัติการวิจัยเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (Space Technology and Geo-Informatics) ที่ให้ความช่วยเหลือในการเก็บรวบรวมข้อมูลภาคสนาม จนสามารถนำมาวิเคราะห์และทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้สำเร็จเรียบร้อยด้วยดี สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณเพื่อร่วมงานทุกท่านที่คอยอำนวยความสะดวกและช่วยเหลือประสานงานด้านต่าง ๆ ที่ทำให้การทำงานวิจัยในครั้งนี้ราบรื่นและสำเร็จผ่านไปได้ด้วยดี ผู้วิจัยหวังว่างานวิจัยฉบับนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องและผู้สนใจศึกษาและนำไปต่อยอดการศึกษาในขั้นต่อไปได้

ทฤษฎี พรหมดิเรก

พูน ปณ ทิโต ชีเว

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ฉ
กิตติกรรมประกาศ.....	ช
สารบัญ.....	ฌ
สารบัญตาราง.....	ฐ
สารบัญภาพ.....	ฑ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 หลักการและเหตุผล.....	1
1.2 ความมุ่งหมายของการวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	3
1.3.1 พื้นที่ทำการศึกษา.....	3
1.3.2 วิธีการเก็บข้อมูล.....	4
1.3.3 ช่วงเวลาเก็บข้อมูล.....	4
1.3.4 การสร้างแผนที่เส้นอุณหภูมิเท่า (Isotherm map).....	5
1.3.5 การจำแนกสิ่งปกคลุมดิน.....	5
1.4 ประโยชน์ที่จะได้รับจากงานวิจัย.....	5
1.5 นิยามศัพท์เฉพาะ.....	5
1.5.1 สิ่งปกคลุมดิน.....	5
1.5.2 การใช้ประโยชน์ที่ดิน.....	5
1.5.3 พื้นที่สีเขียว.....	6
1.5.4 ชั้นเรือนยอด (Canopy layer).....	6

1.5.5 เกาะความร้อนเมืองในบรรยากาศ .....	6
บทที่ 2 บทนำทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	7
ข้อมูลทั่วไปเขตเทศบาลเมืองมหาสารคาม .....	7
2.1 เกาะความร้อนเมือง(Urban Heat Island, UHI) .....	7
2.1.1 เกาะความร้อนเมืองพื้นผิว(Surface Urban Heat Island, SUHI) .....	8
2.1.2 เกาะความร้อนเมืองในบรรยากาศ(Atmospheric Urban Heat Island, AUHI).....	9
2.2 แผนภาพความร้อนพื้นผิวและเส้นอุณหภูมิเท่า (Surface Thermal map and Isotherm map) 11	
2.2.1 แผนที่ภาพความร้อนพื้นผิว (Surface Thermal map) .....	12
2.2.2 แผนที่เส้นอุณหภูมิเท่า (Isothermal map) .....	13
2.3 ความร้อนและการแผ่รังสี.....	15
2.3.1 ความร้อน .....	15
2.3.2 ความจุความร้อนจำเพาะ (Specific heat capacity, c) .....	15
2.3.3 การแผ่รังสีของวัตถุดำ .....	16
2.4 การรับรู้ระยะไกล .....	17
2.4.1 หลักการรับรู้ระยะไกล .....	17
2.4.2 ปฏิสัมพันธ์ของพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากับสิ่งปกคลุมผิวโลก .....	18
2.4.3 การสะท้อนเชิงสเปกตรัม .....	20
2.4.4 ดัชนีผลพืชพรรณ (Vegetation Index).....	21
2.5 การวิเคราะห์การถดถอยแบบกำลังสองน้อยสุด .....	22
2.5.1 การถดถอยเชิงเส้นแบบง่าย (Simple Linear Regression Model) .....	22
2.5.2 สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of determination, R <sup>2</sup> ) .....	24
2.5.3 การประมาณค่าสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอย .....	25
2.5.4 การทดสอบสมมติฐานของค่าพารามิเตอร์ $\beta_0$ และ $\beta_1$ .....	25

2.5.5	ตัวเลือกทดสอบทางสถิติ .....	26
2.6	การแทรกค่าข้อมูล (Interpolation).....	29
2.6.1	สถิติภูมิศาสตร์ (Geostatistics).....	30
2.6.2	กระบวนการคริกกิง (Kriging) ในโปรแกรมระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (ArcGis) .....	30
2.7	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	34
บทที่ 3	วิธีดำเนินการวิจัย.....	36
3.1	ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง.....	36
3.2	การเก็บรวบรวมข้อมูล.....	37
3.2.1	สำรวจพื้นที่ที่ศึกษา.....	37
3.2.2	ตรวจสอบเครื่องมือวัดและติดตั้งอุปกรณ์.....	38
3.2.3	เงื่อนไขสำหรับการเก็บข้อมูล.....	39
3.2.4	ช่วงเวลา.....	39
3.2.5	ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 OLI&TIRS.....	39
3.3	เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	40
3.3.1	โปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับการใช้ในการจัดการข้อมูลและคำนวณ.....	40
3.3.2	เครื่องบันทึกข้อมูลอุณหภูมิแบบอัตโนมัติ.....	40
3.4	การวิเคราะห์ข้อมูล.....	41
3.4.1	การสร้างแผนที่เส้นอุณหภูมิเท่า (Isotherm map).....	41
3.4.2	คำนวณค่าดัชนีพืชพรรณ (NDVI).....	41
3.4.3	จำแนกกลุ่มการสะท้อนแบบไม่มีการกำกับ (Unsupervised Classification).....	42
บทที่ 4	ผลการศึกษาและอภิปราย.....	43
4.1	ผลประเมินการตอบสนองเครื่องตรวจวัดอุณหภูมิอากาศและเส้นทางในพื้นที่ศึกษา .....	43
4.2	ขนาดเกาะความร้อนเมืองในบรรยากาศ เขตเทศบาลเมืองมหาสารคาม .....	44

4.3 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีความแตกต่างพีชพรรณกับอุณหภูมิบรรยากาศ จาก  
 ปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมือง ..... 52

4.3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีความแตกต่างพีชพรรณและอุณหภูมิบรรยากาศกับระยะทาง  
 ในแต่ละพื้นที่ย่อย..... 52

4.3.2 ดัชนีความแตกต่างพีชพรรณกับขอบเขตพื้นที่แบบแนวกันชน..... 54

4.4 ตรวจสอบผลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศกับการจำแนกกลุ่มการสะท้อนแบบไม่มีการ  
 กำกับ (Unsupervised Classification)..... 56

บทที่ 5 สรุปผลการศึกษา ..... 59

บรรณานุกรม..... 60

ประวัติผู้เขียน..... 64



## สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 แสดงลักษณะเฉพาะพื้นฐานของเกาะความร้อนเมืองพื้นผิวและ เกาะความร้อนเมืองในบรรยากาศ .....	14
ตารางที่ 2.2 แสดงค่าความจุความร้อนจำเพาะของสสารแต่ละประเภท .....	15
ตารางที่ 2.3 แสดงเกณฑ์ดัชนีผลต่างพืชพรรณ (NDVI).....	22
ตารางที่ 2.4 แสดงระดับข้อมูล ประเภทของสถิติและตัวอย่างการเลือกใช้ตัวทดสอบสถิติ .....	26
ตารางที่ 3.1 แสดงรายละเอียดข้อมูลทั่วไปเครื่องตรวจวัดอุณหภูมิ.....	40
ตารางที่ 4.1 แสดงผลการวัดอุณหภูมิอากาศที่ทดสอบในห้องปฏิบัติการสำหรับเครื่องมือวัด ในการเก็บข้อมูลตัวอย่างภาคสนาม.....	43
ตารางที่ 4.2 แสดงค่าอุณหภูมิเฉลี่ยรอบนอกเขตเทศบาลเมืองมหาสารคาม .....	44
ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดสอบความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยภายในพื้นที่เมือง กับรอบนอก ในแต่ละช่วงเวลา ด้วยการทดสอบทางสถิติแบบ One Sample T - Test .....	45
ตารางที่ 4.4 แสดงผลการทดสอบความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยภายในพื้นที่เมือง กับรอบนอก ในแต่ละช่วงเวลา ด้วยการทดสอบทางสถิติแบบ Wilcoxon Signed Ranks Test .....	45
ตารางที่ 4.5 แสดงผลการทดสอบความแตกต่างของขนาดเกาะความร้อนเมืองในบรรยากาศ ด้วยการทดสอบทางสถิติแบบ Two – Related – Samples Tests.....	47
ตารางที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลของค่าดัชนีพืชพรรณและอุณหภูมิอากาศตาม ระยะทางจากพื้นที่กลางเมือง .....	53
ตารางที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลของค่าดัชนีพืชพรรณและอุณหภูมิอากาศ ตามพื้นที่แนวกันชน .....	56
ตารางที่ 4.8 แสดงเนื้อที่การจำแนกประเภทสิ่งปกคลุมดินจากการใช้ประโยชน์ที่ดิน ภายในเขตพื้นที่เทศบาลเมืองมหาสารคาม .....	56

## สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 1.1 แสดงพื้นที่เขตเทศบาลเมืองมหาสารคาม.....	4
รูปที่ 2.1 แสดงแนวโน้มถึงความเข้มอุณหภูมิของเกาะความร้อนเมืองที่เกิดขึ้น.....	8
รูปที่ 2.2 ภาพถ่ายระยะไกลโดยการวัดค่าความร้อนพื้นผิว (Thermal map) ช่วงเวลากลางวัน บริเวณ Salt Lake ของเมือง Utah เมื่อวันที่ 13 มิ.ย.1998 .....	9
รูปที่ 2.3 แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศในแต่ละช่วงเวลาที่แสดงการลดลงของอุณหภูมิ อากาศในเขตเมืองและรอบนอก และแสดงขนาดเกาะความร้อนเมืองที่เกิดขึ้น ณ ช่วงเวลานั้น .....	10
รูปที่ 2.4 แสดงรูปแบบการแบ่งขอบเขตระดับความสูงของชั้นเรือนยอดกับชั้นบรรณาคีสำหรับ การศึกษาเกาะความร้อนเมือง .....	11
รูปที่ 2.5 ภาพถ่ายทางอากาศที่แสดงค่าการสะท้อนหลังคาของเมือง Salt Lake และแสดง ค่าความร้อนอินฟราเรด ณ บริเวณต่าง ๆ ของภาพพื้นที่เดียวกัน .....	12
รูปที่ 2.6 เส้นสีน้ำเงินแต่ละเส้นแสดงค่าอุณหภูมิในแต่ละเส้นต่างกัน ซึ่งตำแหน่งที่อยู่บนเส้น เดียวกันจะมีค่าอุณหภูมิที่เท่ากัน .....	13
รูปที่ 2.7 เส้นอุณหภูมิเท่าที่จำแนกความแตกต่างอุณหภูมิเฉลี่ยเชิงพื้นที่ด้วยสี.....	14
รูปที่ 2.8 แสดงการปลดปล่อยค่าความเข้มของวัตถุต่าง ๆ อุณหภูมิต่าง ๆ.....	16
รูปที่ 2.9 องค์ประกอบของการรับรู้จากระยะไกล (The Peace and Collaborative Development Network).....	17
รูปที่ 2.10 การรับรู้จากระยะไกลแบบ passive remote sensing และ active remote sensing.....	18
รูปที่ 2.11 ปฏิสัมพันธ์ของพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากับพื้นผิวโลก .....	19
รูปที่ 2.12 ลักษณะพื้นผิวหน้าของวัตถุที่มีอิทธิพลต่อการสะท้อนพลังงาน .....	20
รูปที่ 2.13 แสดงรูปแบบการประมาณข้อมูลของตำแหน่งหรือเซลล์ที่ไม่ทราบค่า .....	30
รูปที่ 2.14 ตัวอย่างรูปแบบการประมาณตำแหน่งที่ไม่ทราบค่า จากจุดข้อมูลที่ทราบค่า โดยรอบตามระยะทางที่เปลี่ยนแปลงไปตามพื้นที่.....	31

รูปที่ 2.15 แสดงองค์ประกอบโดยทั่วไปสำหรับการวิเคราะห์กราฟเซมิวาริโอแกรม (Semi-Variogram) .....	32
รูปที่ 3.1 แสดงขอบเขตพื้นที่ศึกษา เขตเทศบาลเมืองมหาสารคาม ตำบล ตลาด อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม.....	36
รูปที่ 3.2 แสดงโครงข่ายถนนครอบคลุมพื้นที่ศึกษา .....	37
รูปที่ 3.3 แสดงตัวอย่างการติดตั้งชุดอุปกรณ์สำหรับการตรวจวัดอากาศกับยานพาหนะ .....	38
รูปที่ 3.4 เครื่องบันทึกอุณหภูมิแบบอัตโนมัติ รุ่น HT-3027SD ผลิตโดย Lutron .....	40
รูปที่ 3.5 กำหนดพื้นที่ย่อยตามแนวยาวของเมืองเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงที่มีความสัมพันธ์กับระยะห่างจากศูนย์กลางเมือง .....	42
รูปที่ 3.6 แสดงแผนผังขั้นตอนเบื้องต้นสำหรับการประเมินแผนภาพเกาะความร้อนเมืองและการวิเคราะห์ภาพถ่ายดาวเทียมของพื้นที่ศึกษา .....	42
รูปที่ 4.1 แสดงเส้นทางการเก็บข้อมูลตัวอย่าง ภายในและภายนอกพื้นที่ศึกษา.....	43
รูปที่ 4.2 แสดงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศในแต่ละช่วงเวลาและขนาดเกาะความร้อนในบรรยากาศ.....	47
รูปที่ 4.3 แผนภาพการกระจายค่าอุณหภูมิบรรยากาศด้วยการประมาณค่าเชิงพื้นที่แบบ kriging ordinary เขตเทศบาลเมือง ต.ตลาด อ.เมือง จ.มหาสารคาม ช่วงเวลา 16.00 น. ....	48
รูปที่ 4.4 แผนภาพการกระจายค่าอุณหภูมิบรรยากาศด้วยการประมาณค่าเชิงพื้นที่แบบ kriging ordinary เขตเทศบาลเมือง ต.ตลาด อ.เมือง จ.มหาสารคาม ช่วงเวลา 17.00 น. ....	48
รูปที่ 4.5 แผนภาพการกระจายค่าอุณหภูมิบรรยากาศด้วยการประมาณค่าเชิงพื้นที่แบบ kriging ordinary เขตเทศบาลเมือง ต.ตลาด อ.เมือง จ.มหาสารคาม ช่วงเวลา 18.00 น. ....	49
รูปที่ 4.6 แผนภาพการกระจายค่าอุณหภูมิบรรยากาศด้วยการประมาณค่าเชิงพื้นที่แบบ kriging ordinary เขตเทศบาลเมือง ต.ตลาด อ.เมือง จ.มหาสารคาม ช่วงเวลา 19.00 น. ....	49
รูปที่ 4.7 แผนภาพการกระจายค่าอุณหภูมิบรรยากาศด้วยการประมาณค่าเชิงพื้นที่แบบ kriging ordinary เขตเทศบาลเมือง ต.ตลาด อ.เมือง จ.มหาสารคาม ช่วงเวลา 20.00 น. ....	50



**รูปที่ 4.8** แผนภาพแสดงค่า NDVI และแผนภาพอุณหภูมิอากาศที่พบเกาะความร้อน  
 ในบรรยากาศมากที่สุดของพื้นที่ศึกษา ..... 51

**รูปที่ 4.9** แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า NDVI ในแต่ละพื้นที่ย่อยกับระยะที่ห่างจากบริเวณ  
 กลางเมือง และแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิบรรยากาศในแต่ละพื้นที่ย่อยกับระยะ  
 ที่ห่างจากบริเวณกลางเมืองทั้งสองข้าง ..... 52

**รูปที่ 4.10** แสดงแนวเขตพื้นที่จากการสร้างแนวกันชนสำหรับพิจารณาค่า ดัชนีพืชพรรณ  
 กับอุณหภูมิอากาศในพื้นที่ศึกษา ..... 54

**รูปที่ 4.11** แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแตกต่างดัชนีพืชพรรณกับพื้นที่ย่อย และแสดง  
 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศกับพื้นที่ย่อย ภายในพื้นที่ศึกษา ..... 54

**รูปที่ 4.12** แสดงความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีความแตกต่างพืชพรรณกับอุณหภูมิอากาศ  
 ตามพื้นที่ย่อย ..... 55

**รูปที่ 4.13** แสดงส่วนปกคลุมดินประเภท อาคาร ถนน ..... 57

**รูปที่ 4.14** แสดงอุณหภูมิพื้นผิวเขตพื้นที่ศึกษาด้วยวิธีการแบบ split window algorithm..... 58

**รูปที่ 4.15** แสดงความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศกับพื้นผิวสำหรับสิ่งปกคลุมดินต่างกัน..... 58



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 หลักการและเหตุผล

ความก้าวหน้าที่เติบโตขึ้นอย่างรวดเร็วในปัจจุบันสำหรับการพัฒนาพื้นที่เขตชุมชนเมืองให้มีความเจริญทางด้านเศรษฐกิจของมนุษย์ อาทิเช่น เขตเมืองที่เป็นแหล่งธุรกิจ อุตสาหกรรม ศูนย์สถานศึกษาที่มีชื่อเสียง เป็นต้น ก่อให้เกิดความต้องการใช้ที่ดินเพิ่มสูงขึ้น โดยเฉพาะบริเวณใจกลางเมืองหรือจุดที่มีความเจริญซึ่งมีประชากรอาศัยหนาแน่นมากเพื่อประกอบการหรือกิจกรรมต่าง ๆ การใช้ประโยชน์ที่ดินเหล่านี้ได้เกิดการสร้าง อาคาร ถนน ที่หนาแน่นมากยิ่งขึ้นจนส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมของอุณหภูมิบรรยากาศ อันเนื่องจากสิ่งปลูกสร้างดังกล่าวเมื่อได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์ตลอดช่วงเวลากลางวันและได้คลายความร้อนออกสู่บรรยากาศหลังพระอาทิตย์ตก ด้วยเหตุนี้เมื่อเปรียบเทียบระหว่างเขตพื้นที่ที่เป็นชุมชนเมืองกับเขตชนบทที่อยู่ใกล้กันจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิบรรยากาศหลังพระอาทิตย์ตกในเขตเมืองจะยังมีค่าอุณหภูมิที่สูงกว่าเขตชนบท ในเขตเมืองวัสดุที่ใช้โดยทั่วไป เช่น คอนกรีต แอสฟัลต์ มีสมบัติในการจุความร้อน การดูดซับความร้อนได้ดี อัตราการสะท้อนรังสีมีค่าต่ำ ทำให้มีการสะสมพลังงานความร้อนมากยิ่งขึ้นและมีการคลายความร้อนออกสู่บรรยากาศภายหลังพระอาทิตย์ตก ทั้งนี้ในเขตเมืองจำนวนพืชพรรณที่ช่วยให้อุณหภูมิก๊าซเรือนกระจกจากการคายน้ำของต้นไม้ลดน้อยลงจากการใช้ประโยชน์ที่ดิน (ข่าวระดับดิน สงมา 2559)

ความแตกต่างอุณหภูมิบรรยากาศระหว่างเขตเมืองกับเขตชนบทก่อให้เกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมืองในบรรยากาศ ซึ่งปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมือง สามารถจำแนกได้เป็น 2 ประเภทคือ ปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมืองพื้นผิว (Surface urban heat islands) โดยอุณหภูมิพื้นผิวในเขตเมืองจะสูงกว่าอุณหภูมิพื้นผิวในเขตชนบท เนื่องจากพื้นที่เมืองส่วนใหญ่วัสดุมีสมบัติในการดูดซับความร้อนจากรังสีต่าง ๆ จากดวงอาทิตย์มากกว่าเขตชนบท ความแตกต่างของอุณหภูมิพื้นผิวในทั้งสองบริเวณจะมากที่สุดในช่วงเวลากลางวัน เด่นชัดในฤดูร้อน (ปุณยนุช รุธิโรโก 2558) และ ปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมืองในบรรยากาศ (Atmospheric urban heat islands) โดยอุณหภูมิในบรรยากาศเขตเมืองจะยังมีอุณหภูมิมากกว่าอุณหภูมิในบรรยากาศเขตชนบทหลังพระอาทิตย์ตก เนื่องจากในเขตเมืองนั้นบรรยากาศยังคงได้รับอิทธิพลจากการคลายความร้อนของตัวอาคารหรือสิ่งปลูกสร้างต่าง ๆ ที่ดูดซับไว้ในช่วงเวลาตลอดทั้งวัน ความแตกต่างของอุณหภูมิในบรรยากาศของทั้งสองบริเวณนี้จะมีค่ามากตอนกลางคืน เด่นชัดในช่วงฤดูหนาว (บัณฑิต สิงห์จันทร์ 2555) สาเหตุของการเกิดเกาะความร้อนเมืองนั้นมีปัจจัยหลายประการอย่างเช่น ลักษณะทางเรขาคณิตของเมืองหรือปรากฏการณ์เรขาคณิต (Geometric effects) มีอิทธิพลสำหรับการเพิ่มขึ้น

ของอุณหภูมิบรรยากาศในเขตเมืองเนื่องจากจะส่งผลต่อการไหลเวียนของอากาศที่ผ่านตัวเมืองหากมีสิ่งปลูกสร้างที่เป็นอาคารสูงหนาแน่นมากกลุ่มอาคารเหล่านั้นจะทำหน้าที่กีดกันการเดินทางของลมที่จะนำพาอากาศเย็นจากบริเวณใกล้เคียงเพื่อช่วยลดอุณหภูมิในเขตเมืองนั้น ๆ (Rajagopalan, Lim, and Jamei 2014) รวมถึงสถานที่ตั้งทางภูมิศาสตร์ของเมือง หากเมืองที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ที่มีภูเขาสูงล้อมรอบ ซึ่งจะทำให้ไม่เกิดลมเย็นพัดผ่านเข้าตัวเมืองได้ง่ายอาจจะก่อให้เกิดเกาะความร้อนเมืองที่ยาวนานยิ่งขึ้นเช่นกัน นอกจากนี้แล้วมลภาวะที่เกิดจากการอาศัยอยู่ของมนุษย์ที่หนาแน่นในเขตเมืองมีส่วนในการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของอากาศในเขตเมืองด้วย เช่น การระบายความร้อนออกจากตัวอาคารอันเนื่องมาจากเครื่องปรับอากาศ ความร้อนจากเครื่องยนต์บริเวณจราจรหนาแน่น เป็นต้น ฉะนั้นปัญหาเกาะความร้อนเมืองในบรรยากาศของแต่ละพื้นที่เมืองอาจจะมีรูปแบบแตกต่างกันขึ้นอยู่กับปัจจัยภายในเขตเมืองนั้น ๆ

จากปัญหาสภาพแวดล้อมบรรยากาศในเขตเมืองเช่นนี้ มีนักวิจัยหลายคนได้ทำการศึกษถึงการก่อตัวของปรากฏการณ์นี้ในรูปแบบต่าง ๆ เพื่อหาแนวทางแก้ไขต่อผลกระทบที่เกิดขึ้นและหารูปแบบลักษณะความสัมพันธ์ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในแต่ละพื้นที่ของภูมิภาคทั้งบริเวณพื้นที่ขนาดใหญ่หรือพื้นที่ส่วนย่อย ๆ ตามแต่ลักษณะทางกายภาพที่นักวิจัยมุ่งเป้าศึกษา อย่างเช่น

- คุณลักษณะอุณหภูมิภาพตัดขวางในเขตพื้นที่เมือง ประเทศฮังการี ในการศึกษาความเชื่อมโยงระหว่างอุณหภูมิผิวกลุ่มอาคารและอุณหภูมิอากาศด้วยเงื่อนไขสภาพอากาศที่แตกต่างกันสำหรับการก่อตัวความเข้มข้นของปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมือง (Unger, J., Sümeghy Z., Zoboki 2001)
- รูปแบบการกระจายและการเปลี่ยนแปลงของปรากฏการณ์เกาะความร้อนช่วงเวลาที่ผ่านมามากหลายปีที่อาจมีสาเหตุมาจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน โดยพิจารณาถึงความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพืชพรรณและค่าความสว่างของอุณหภูมิ เขตเมืองปักกิ่ง ประเทศจีน (Zhang, Wu, and Chen 2010)
- การลดลงของขนาดเกาะความร้อนเมือง จากการเปลี่ยนแปลงสิ่งปกคลุมดินประเภทอื่น ๆ เป็นพื้นที่บริเวณสวนสาธารณะทั่วไป แสดงให้เห็นถึงค่าฟลักซ์การแผ่ความร้อนพื้นผิวในช่วงเวลากลางวันและกลางคืนลดลงประมาณ  $100-150 \text{ W/m}^2$  และ  $50 \text{ W/m}^2$  ตามลำดับ (Takebayashi and Moriyama 2009a)
- การจำแนกสิ่งปกคลุมดินที่ส่งผลต่ออุณหภูมิอากาศในพื้นที่เมืองและชนบทเพื่อระบุขนาดของเกาะความร้อนเมืองตามช่วงเวลาของวันและฤดูกาล (Yokobori and Ohta 2009)
- การศึกษาความเสี่ยงจากปรากฏการณ์เกาะความร้อนที่มีต่อสุขภาพเป็นสาเหตุให้เกิดอัตราการเสียชีวิตเพิ่มมากขึ้น โดยจะพบมากในกลุ่มประชากรที่อาศัยในบริเวณใจกลางเมือง (Johnson, Wilson, and Lubert 2009), (Kestens et al., 2011; Tomlinson et al., 2011)

- การสร้างแบบจำลองเชิงคำนวณพลศาสตร์ของไหล (CFD) เพื่อทำนายการไหลเวียนของเกาะความร้อนเมือง แสดงถึงความสัมพันธ์ของความเร็วที่เหมาะสมสำหรับปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมืองและอุณหภูมิกับความสูงภายใต้ระดับชั้นคาโนปี (Wang and Li 2016)

การได้มาของข้อมูลในการวิเคราะห์รูปแบบเกาะความร้อนเมืองอาจทำการเก็บข้อมูลภาคสนาม อาทิ การตรวจวัดอุณหภูมิอากาศโดยวิธีการใช้ยานพาหนะติดตั้งชุดเครื่องมือวัดอุณหภูมิอากาศ (Sundborg 1950) หรือใช้สำหรับการศึกษาระยะการคลายความร้อนของสิ่งปลูกสร้าง (บัณฑิต สิงห์จันทร์, 2555) และนอกจากนั้นการได้มาของกระบวนการรับรู้ระยะไกล (remote sensing) จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม เพื่อการจำแนกสิ่งปกคลุมดิน ซึ่งเป็นรูปแบบวิธีการที่เหมาะสมในการจัดการแยกแยะประเภทตามลักษณะทางกายภาพสำหรับการสะท้อนเชิงคลื่นและสามารถนำเข้ามาใช้กับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System, GIS) ที่เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ได้

## 1.2 ความมุ่งหมายของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษารูปแบบปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมืองในบรรยากาศ (Atmospheric urban heat islands) ระดับชั้นเรือนยอด (Canopy layer) บริเวณเขตเทศบาลเมืองมหาสารคาม

1.2.2 เพื่อสร้างแผนภาพอุณหภูมิอากาศ จากการใช้ประโยชน์ที่ดินสำหรับรูปแบบเกาะความร้อนเมืองในบรรยากาศ

1.2.3 เพื่อวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของค่าดัชนีพืชพรรณ (NDVI) ในเขตเมืองที่ส่งผลต่อการลดลงของปรากฏการณ์เกาะความร้อนในบรรยากาศ

## 1.3 ขอบเขตการศึกษา

### 1.3.1 พื้นที่ทำการศึกษา

บริเวณเขตเทศบาลเมืองมหาสารคาม ต.ตลาด อำเภอเมืองมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม ซึ่งตั้งอยู่ระหว่าง ละติจูด:  $16^{\circ} 11' 3''$  เหนือ และ ลองจิจูด:  $103^{\circ} 18' 4''$  ตะวันออก



รูปที่ 1.1 แสดงพื้นที่เขตเทศบาลเมืองมหาสารคาม

### 1.3.2 วิธีการเก็บข้อมูล

ใช้เครื่องมือวัดอุณหภูมิอากาศชนิดบันทึกข้อมูล (Temperature Data Logger) แบบยานพาหนะ รุ่น HT-3027SD และเครื่องระบุตำแหน่ง (GPS) ติดตั้งชุดเครื่องมือวัดอุณหภูมิอากาศเหนือระดับพื้น 1.50 – 2.00 เมตร ตามเส้นทางที่ยานพาหนะเคลื่อนที่ผ่าน

### 1.3.3 ช่วงเวลาเก็บข้อมูล

ทำการตรวจวัดอุณหภูมิอากาศในช่วงฤดูหนาวระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ.2563 โดยทำการตรวจวัดช่วงเวลาหลังพระอาทิตย์ตก ได้แก่ ช่วงเวลา 16.00 น., 17.00 น., 18.00 น., 19.00 น. และ 20.00 น.

### 1.3.4 การสร้างแผนที่เส้นอุณหภูมิเท่า (Isotherm map)

นำเข้าข้อมูลที่ต้องการในการประมาณค่าเชิงพื้นที่ด้วยวิธีการ Ordinary kriging ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป (ArcGis V. 10.5) ในการสร้างเส้นอุณหภูมิเท่า (Isotherm map) บริเวณเทศบาลเมืองมหาสารคาม

### 1.3.5 การจำแนกสิ่งปกคลุมดิน

ใช้ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 และออกสำรวจพื้นที่จริง เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของค่าดัชนีพืชพรรณ (NDVI) ภายในเขตพื้นที่ตัวเมืองที่ส่งผลต่อเกาะความร้อน

## 1.4 ประโยชน์ที่จะได้รับจากงานวิจัย

1.4.1 ทำให้ทราบถึงปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการศึกษาการเกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมืองในเขตเทศบาลเมืองมหาสารคาม โดยแผนที่อุณหภูมิเท่า (Isotherm map)

1.4.2 สามารถนำผลของงานวิจัยสนับสนุนการปรับปรุงและพัฒนาการออกแบบอาคารสีเขียวผังเมือง ในเขตเมืองหรือการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในเขตเมืองได้

## 1.5 นิยามศัพท์เฉพาะ

### 1.5.1 สิ่งปกคลุมดิน

สรรพสิ่ง กลิ่นดาว ,การสำรวจจากระยะไกล ,น.257 ได้ให้ความหมายว่า เป็นสิ่งที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เช่น ป่าไม้ ทุ่งหญ้า แหล่งน้ำ หิน ดิน เป็นต้น รวมทั้งสิ่งที่มนุษย์สร้างขึ้น เช่น ที่อยู่อาศัย มหาวิทยาลัย อ่างเก็บน้ำ เป็นต้น

### 1.5.2 การใช้ประโยชน์ที่ดิน

บุญเกียรติ แสงวัฒน์ (อ้างถึงใน พรพรรณ จันทร์แจ้ง,2549 : 20) ได้ให้ความหมายว่า การใช้ที่ดินของมนุษย์เพื่อทำกิจกรรมที่เป็นประโยชน์โดยมีขอบเขต ขนาดของที่ดินในการใช้ประโยชน์ต่าง ๆ ทำให้สภาพพื้นที่เดิมมีการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม เช่น การเกษตร พาณิชยกรรม อุตสาหกรรม บ้านเรือนที่อยู่อาศัย แหล่งน้ำ และพื้นที่ป่าไม้ เป็นต้น

### 1.5.3 พื้นที่สีเขียว

พื้นที่กลางแจ้ง และกึ่งกลางแจ้งที่มีขอบเขตที่ดินทั้งหมดหรือบางส่วนปกคลุมด้วยพืชพรรณที่ปลูกบนดินที่ซึมน้ำได้ โดยที่ดินนั้นอาจมีสิ่งปลูกสร้างหรือพื้นผิวแข็งไม่ซึมน้ำรวมอยู่หรือไม่ก็ได้ หมายรวมถึงพื้นที่สีเขียวในเขตเมืองและนอกเมือง อาจเป็นพื้นที่สาธารณะหรือเอกชน ที่สาธารณชนสามารถใช้ประโยชน์ได้

### 1.5.4 ชั้นเรือนยอด (Canopy layer)

ในทางชีววิทยาป่าไม้ คือ ค่าที่ใช้แบ่งระดับความสูงของต้นไม้ในป่าดิบชื้น หรือป่าฝนเขตร้อน (Tropical Rain Forest) โดยชั้นเรือนยอดคือบริเวณชั้นบนของป่าที่มีความสูงในช่วง 20-50 เมตรจากพื้นดิน ซึ่งเป็นชั้นที่มีสิ่งมีชีวิตอาศัยอยู่เป็นจำนวนมาก

### 1.5.5 เกาะความร้อนเมืองในบรรยากาศ

ความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศระหว่างขอบเขตภายในพื้นที่เมืองกับบริเวณโดยรอบของขอบเขตเมืองนั้นๆ ที่ปรากฏเด่นชัดในช่วงเวลาหลังพระอาทิตย์ตกดิน กล่าวได้ว่าในช่วงเวลานั้น ๆ อัตราการลดลงของอุณหภูมิอากาศทั้งสองบริเวณแตกต่างกัน อันเนื่องมาจากปัจจัยในการใช้ประโยชน์ที่ดินหรืออื่น ๆ ที่ส่งอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศ



## บทที่ 2

### บทนำทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะอธิบายถึงเนื้อหาทฤษฎีสำคัญที่เกี่ยวข้องต่อการเกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมือง แนวทางและการได้มาของข้อมูลซึ่งการวิเคราะห์ รวมถึงทฤษฎีองค์ประกอบต่าง ๆ ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการวิเคราะห์กับปรากฏการณ์ดังกล่าว โดยเนื้อหาครอบคลุม 3 ส่วนหลัก คือ ทฤษฎีของเกาะความร้อนเมือง, การรับรู้ระยะไกล และ หลักการคณิตศาสตร์คำนวณเชิงสถิติ

#### ข้อมูลทั่วไปเขตเทศบาลเมืองมหาสารคาม

เขตเทศบาลเมืองมหาสารคาม ได้ชื่อว่าเป็น เมืองแห่งการศึกษาหรือตักสิลานคร เนื่องจากมีสถาบันการศึกษามากมายหลายแห่ง เพื่อตอบสนองต่อความต้องการของประชากรเมือง การพัฒนาทางด้านเศรษฐกิจ ศูนย์การค้า ที่อยู่อาศัย และ อื่น ๆ จึงมีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน เนื้อที่ทั้งหมด 24.14 ตร.กม. แบ่งเขตชุมชนภายในทั้งหมด 30 เขต มีประชากรตามทะเบียนราษฎรจำนวน 50,606 คน (สำนักงานทะเบียนกลาง 2562) มีการใช้ประโยชน์ที่ดินบริเวณตัวเมืองและย่านการค้าในอัตราที่เพิ่มขึ้นทุกปี (กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ 2560) ลักษณะภูมิประเทศเป็นพื้นที่ราบสูงรูปกระต๊อว่า ชุมชนเมืองส่วนใหญ่จะเกาะตัวยาวในแนวทิศตะวันออกไปด้านตะวันตกมีลักษณะเป็นเนินลาด

#### 2.1 เกาะความร้อนเมือง(Urban Heat Island, UHI)

พื้นที่เขตเมืองที่พัฒนาขึ้นทำให้ลักษณะภูมิประเทศเปลี่ยนแปลงไปจากการสร้างถนนหรืออาคารต่าง ๆ ที่หนาแน่นขึ้นทำให้สิ่งปลูกสร้างเหล่านี้ได้แทนที่สิ่งปกคลุมดินที่เป็นพื้นที่สีเขียวมากยิ่งขึ้น ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อพื้นที่นั้น ๆ อย่างชัดเจน เมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิพื้นที่ระหว่างบริเวณศูนย์กลางเขตเมืองกับเขตชนบทที่อยู่ไกลออกไปที่มีพื้นที่สีเขียวมากกว่า จะเห็นได้ว่าบริเวณพื้นที่ภายในเขตเมืองนั้นจะมีแนวโน้มอุณหภูมิที่สูงกว่าบริเวณรอบนอกที่มีพื้นที่สีเขียวใกล้เคียงกัน ความแตกต่างอุณหภูมิของทั้งสองบริเวณนี้เรียกว่า ปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมือง แสดงสมการได้คือ

$$\Delta T = T_U - T_r \quad (1.1)$$

เมื่อ  $T_U$  คือ อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดในขอบเขตพื้นที่เมืองที่กำหนด

$T_r$  คือ อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดของเขตไกลร่อยต่อจากขอบเขตพื้นที่เมืองที่กำหนด

อ้างอิงจากบริเวณด้านนอกหรือแถบชนบท



โดยปกติแล้วการเปรียบเทียบอุณหภูมิจากสมการที่ (1.1) ต้องอยู่ในช่วงเวลาเดียวกันหรือใกล้เคียง จะเห็นได้ว่า ผลของความแตกต่างของอุณหภูมิทั้งสองบริเวณนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยลักษณะทางกายภาพของแต่ละบริเวณ หากพิจารณาถึงพื้นที่สีเขียวในเขตเมืองที่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของความเข้มเกาะความร้อนเมืองสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.1



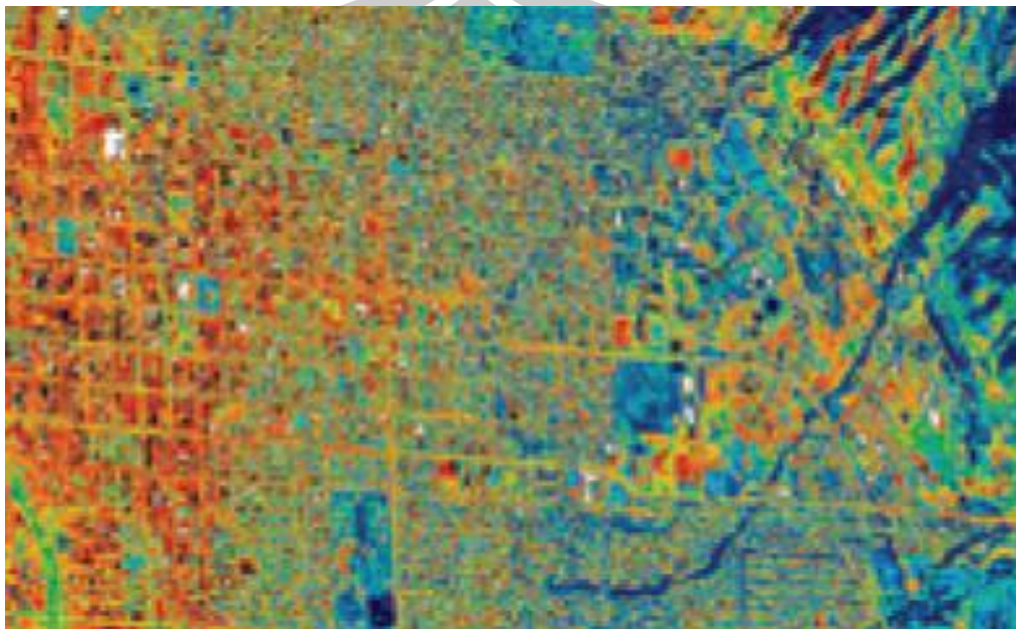
รูปที่ 2.1 แสดงแนวโน้มถึงความเข้มอุณหภูมิของเกาะความร้อนเมืองที่เกิดขึ้น

จากรูปที่ 2.1 แสดงให้เห็นว่าพื้นที่บริเวณกลางเมืองหรือจุดที่มีความหนาแน่นของสิ่งปลูกสร้างมีแนวโน้มทำให้ค่าความเข้มของอุณหภูมิเพิ่มขึ้นอันเนื่องมาจากการลดลงของพืชพรรณที่เป็นส่วนที่จะช่วยในการลดค่าความร้อนนี้ จากสมบัติทางกายภาพของวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างได้รับอิทธิพลจากพลังงานแสงอาทิตย์และส่งผลกระทบต่อโดยตรงในการก่อเกิดค่าความเข้มของเกาะความร้อนเมือง ทั้งนี้ บริเวณที่มีสิ่งปลูกสร้างหนาแน่นอาจจะมีค่าความเข้มอุณหภูมิที่ไม่สูงมากนักเมื่อเปรียบเทียบกับบริเวณรอบข้างหากวัสดุไม่มีการดูดซับความร้อน นั่นคือบางบริเวณอาจมีสิ่งปลูกสร้างที่ปกคลุมดินไม่หนาแน่นมากนักแต่วัสดุมีค่าความจุความร้อนที่สูงสามารถสะสมอุณหภูมิที่ได้รับจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบตลอดทั้งวันและมีการแผ่รังสีออกมาได้ระยะไกลจึงเกิดผลให้ค่าความเข้มอุณหภูมิของเกาะความร้อนเมืองบริเวณนั้นสูงขึ้นด้วย จากลักษณะภูมิประเทศที่เปลี่ยนแปลงในเขตเมืองนั้นสามารถจำแนกประเภทของเกาะความร้อนเมืองออกได้เป็น 2 ลักษณะดังนี้

### 2.1.1 เกาะความร้อนเมืองพื้นผิว(Surface Urban Heat Island, SUHI)

โดยทั่วไปวัตถุต่าง ๆ เมื่อมีอุณหภูมิสูงขึ้นจะปลดปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมาในปริมาณที่สัมพันธ์กับอุณหภูมิของวัตถุนั้น เรียกว่า การแผ่รังสีความร้อน หากวัตถุได้รับพลังงานความร้อนจากภายนอกเพิ่มขึ้นช่วงเวลานั้น ๆ จะส่งผลกระทบต่อความเข้มในการแผ่พลังงานเชิงพื้นผิวมากขึ้น ฉะนั้นในวันที่อากาศร้อนบริเวณเขตเมืองที่มีสิ่งปลูกสร้างหนาแน่นจะมีการแผ่รังสีความร้อนเชิงพื้นผิวมากกว่าเขตพื้นที่ชนบท เนื่องด้วยพื้นที่ชนบทส่วนใหญ่มีทรัพยากรที่ช่วยในการดูดซับความร้อนจากแสงแดดในช่วงเวลากลางวันได้ดีกว่าเขตเมืองที่มีสิ่งปลูกสร้างจำพวก คอนกรีตและแอสฟัลต์จำนวนมาก ปรากฏการณ์เกาะความร้อนเชิงพื้นผิวนี้นี้เมื่อเปรียบเทียบในช่วงเวลาหนึ่งวัน ค่าความเข้มอุณหภูมิเชิงพื้นผิวช่วงเวลากลางวันจะมีค่ามากกว่ากลางคืนและในฤดูกาลที่แตกต่างกันจะเห็นเด่นชัด

ในฤดูร้อนเพราะว่าช่วงฤดูนี้ท้องฟ้าปลอดโปร่งมีเมฆปกคลุมเบาบางทำให้พลังงานแสงอาทิตย์ตกกระทบพื้นผิวโลกได้อย่างเต็มที่ (Bartholy and Pongrácz 2009)



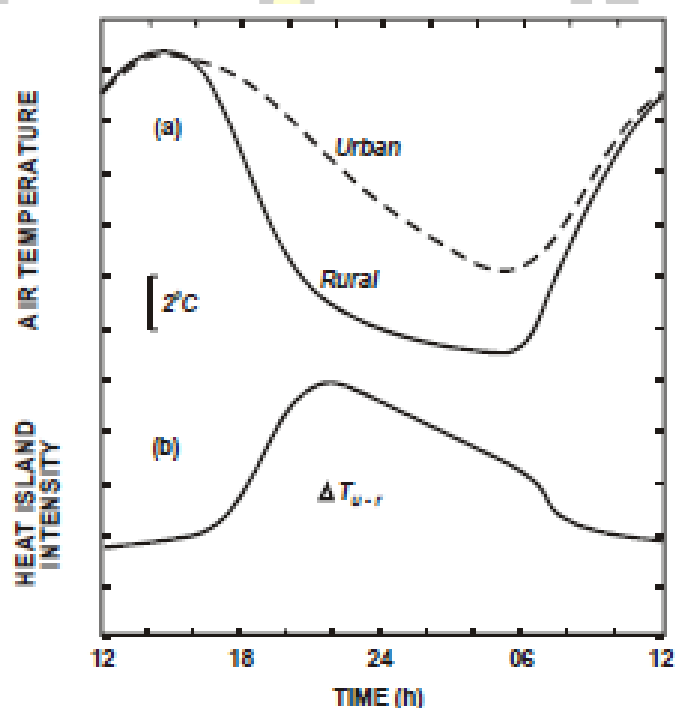
**รูปที่ 2.2** ภาพถ่ายระยะไกลโดยการวัดค่าความร้อนพื้นผิว (Thermal map) ช่วงเวลากลางวัน บริเวณ Salt Lake ของเมือง Utah เมื่อวันที่ 13 มิ.ย.1998 (ที่มา : Environmental Protection Agency, EPA)

รูปที่ 2.2 แสดงการเปรียบเทียบค่าความเข้มของอุณหภูมิพื้นผิวระหว่างพื้นที่ที่มีความหนาแน่นของสิ่งก่อสร้างต่างกัน ส่วนด้านซ้ายของภาพบริเวณพื้นที่สีขาวแสดงค่าโดยอุณหภูมิประมาณ  $160^{\circ}\text{F}$  ( $70^{\circ}\text{C}$ ) และในบริเวณที่ห่างออกมาทางด้านขวาของภาพแสดงค่าอุณหภูมิพื้นผิวที่เย็นลงกว่า โดยบริเวณใกล้สีน้ำเงินแสดงค่าอุณหภูมิประมาณ  $80^{\circ}\text{F}$  ( $30^{\circ}\text{C}$ ) ซึ่งใกล้กับที่ลาดเชิงเขา

### 2.1.2 เกาะความร้อนเมืองในบรรยากาศ (Atmospheric Urban Heat Island, AUHI)

บรรยากาศที่ยังคงอบอุ่นในเขตพื้นที่เมืองหรือมีอุณหภูมิที่สูงกว่าบริเวณรอบข้าง เนื่องจากการคลายความร้อนของสิ่งปกคลุมดินหลังพระอาทิตย์ตกที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมดุลทางด้านอุณหภูมิในบรรยากาศของบริเวณทั้งสองเช่นนี้เรียกว่า ปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมืองในบรรยากาศ ซึ่งโดยทั่วไปสำหรับพื้นที่ชนบทอุณหภูมิบรรยากาศจะลดลงอย่างรวดเร็วหลังจากพระอาทิตย์ตกดิน เนื่องจากลักษณะพื้นที่ส่วนใหญ่ในเขตชนบทหรือชานเมืองจะมีพืชพรรณจำนวนมาก

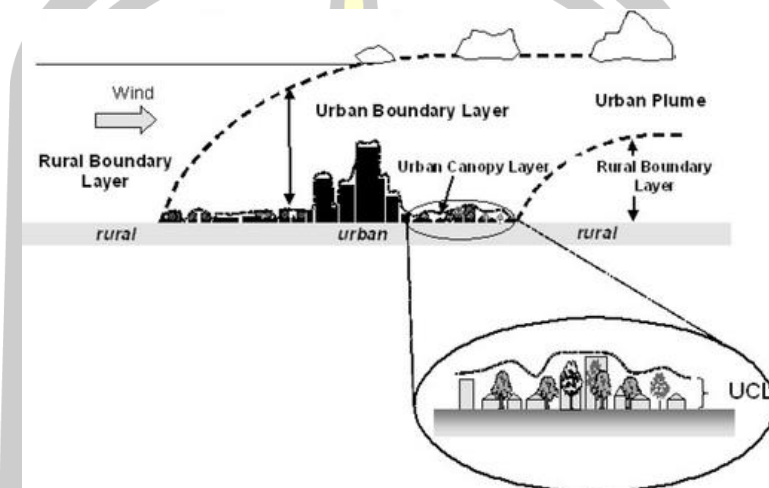
มากกว่าในเขตพื้นที่เมืองที่จะช่วยคลายน้ำออกเพื่อลดค่าความร้อนในบรรยากาศที่ยังคงมีอยู่จากช่วงเวลากลางวัน เมื่อเปรียบเทียบในช่วงเวลาหนึ่งวัน เกาะความร้อนเมืองในบรรยากาศจะปรากฏเด่นชัดในช่วงเวลาหลังจากพระอาทิตย์ตกและในช่วงฤดูกลางที่แตกต่างกันจะปรากฏเด่นชัดในช่วงฤดูหนาว (Sham, 1990) ทั้งนี้ช่วงเวลานับตั้งแต่การเริ่มเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิบรรยากาศในเขตเมืองจนกระทั่งมีความสมดุลกับอุณหภูมิบริเวณพื้นที่รอบข้าง ขึ้นอยู่กับช่วงเวลาและความสามารถในการคลายความร้อนของกลุ่มอาคาร ถนน หรือการใช้พลังงานความร้อนจากกิจกรรมของมนุษย์ รวมทั้งปัจจัยทางด้านที่ตั้งภูมิศาสตร์เมืองและลักษณะทางสภาพอากาศ



รูปที่ 2.3 แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศในแต่ละช่วงเวลา (a) แสดงการลดลงของอุณหภูมิอากาศในเขตเมืองและรอบนอก (b) แสดงความแตกต่างของอุณหภูมิทั้งสองบริเวณหรือขนาดเกาะความร้อนเมืองที่เกิดขึ้น ณ ช่วงเวลานั้น

การศึกษาเกาะความร้อนเมืองในบรรยากาศสามารถแบ่งระดับในการศึกษาออกได้เป็น 2 ประเภท คือ (1) ปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมืองในบรรยากาศชั้นเรือนยอด (Urban Canopy Layer Heat Islands) คือ การศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของบรรยากาศระดับชั้นที่มีผู้คนและสิ่งมีชีวิตอาศัยอยู่จำนวนมาก โดยขอบเขตระยะความสูงเริ่มจากพื้นดินจนถึงใกล้บริเวณยอดต้นไม้หรือหลังคาอยู่ในช่วง 30-50 เมตร

(2) ปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมืองในบรรยากาศชั้นบราวน์ดารี (Urban Boundary Layer Heat Island) คือ การศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของบรรยากาศจากระดับหลังคาและยอดต้นไม้ขึ้นไป ลักษณะภูมิประเทศที่ตั้งอยู่ในช่วงขอบเขตนี้จะไม่ส่งผลกระทบต่อสภาพบรรยากาศ โดยจะอยู่สูงจากผิวขอบเขตด้านบนของระดับชั้นเรือนยอดขึ้นไปประมาณ 1.5 กิโลเมตร



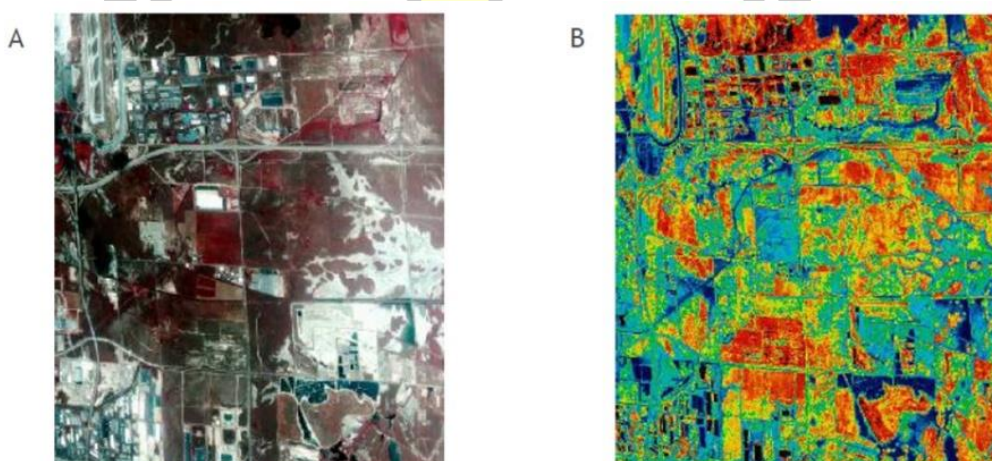
รูปที่ 2.4 แสดงรูปแบบการแบ่งขอบเขตระดับความสูงของชั้นเรือนยอดกับชั้นบราวน์ดารีสำหรับการศึกษาเกาะความร้อนเมือง ((Oke 2007), T. R. Oke, Department of Geography, University of British Columbia OBSERVING URBAN WEATHER AND CLIMATE USING 'STANDARD' STATIONS)

## 2.2 แผนภาพความร้อนพื้นผิวและเส้นอุณหภูมิเท่า (Surface Thermal map and Isotherm map)

เกาะความร้อนเมืองเป็นการศึกษาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในพื้นที่ขนาดกว้าง การวิเคราะห์และพิจารณารูปแบบเกาะความร้อนเมืองในแต่ละประเภทจึงแตกต่างกัน ตามลักษณะทางกายภาพที่เกิดขึ้น นักวิทยาศาสตร์นิยมการนำแผนภาพความร้อนพื้นผิวและเส้นอุณหภูมิเท่ามาใช้ในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและสังเกตรูปแบบปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นดังกล่าว

### 2.2.1 แผนที่ภาพความร้อนพื้นผิว (Surface Thermal map)

แผนที่ที่แสดงความแตกต่างสำหรับความเข้มในการปลดปล่อยรังสีความร้อน (Thermal- Infrared) บริเวณผิววัตถุในพื้นที่นั้น ๆ โดยปกติวัตถุจะมีการปลดปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมาที่สอดคล้องกับอุณหภูมิ เมื่อวัตถุได้รับพลังงานภายนอกทำให้มีอุณหภูมิที่สูงขึ้นจากเดิม ค่าการปลดปล่อยรังสีความร้อนจะเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย สำหรับการศึกษานี้ที่มีขนาดกว้างที่ยากต่อการสำรวจหรือเก็บผลข้อมูลให้มีความละเอียด จึงนิยมใช้ภาพถ่ายจากดาวเทียมโดยการตรวจวัดค่าการสะท้อนของวัตถุย่านแถบความยาวคลื่นอินฟราเรดในการหาความแตกต่างและสังเกตการแทนที่ของสิ่งปกคลุมดินที่เพิ่มขึ้นใหม่ในพื้นที่เดิมที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิพื้นผิว กระบวนการดังกล่าวจึงเหมาะสมต่อการศึกษารูปแบบเกาะความร้อนเมืองพื้นผิว (Surface Urban heat Island, SUHI)



Images courtesy of NASA

**รูปที่ 2.5** ภาพถ่ายทางอากาศ A แสดงค่าการสะท้อนหลังคาของเมือง Salt Lake และภาพ B แสดงค่าความร้อนอินฟราเรด ณ บริเวณต่าง ๆ ของภาพพื้นที่เดียวกัน (80,400 m<sup>2</sup>) จุดสีแดงและเหลืองบ่งบอกถึงจุดร้อน ส่วนจุดสีเขียวและสีน้ำเงินบ่งบอกถึงจุดเย็น (Images courtesy of NASA : [en.wikipedia.org/wiki/File:NASA\\_SLC\\_Urban\\_Heat\\_Island\\_Effect\\_Roof.jpg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:NASA_SLC_Urban_Heat_Island_Effect_Roof.jpg))

ในการคำนวณค่าอุณหภูมิผิวที่ได้จากกระบวนการภาพถ่ายดาวเทียมนั้น จะขึ้นกับการเลือกคุณลักษณะเฉพาะของตัวตรวจรับ (Sensor) ค่าการสะท้อนในแต่ละแบบของดาวเทียม อย่างเช่น การตรวจค่าอุณหภูมิจากดาวเทียม LANDSAT 5 ย่าน Thermal band โดยปกติค่าการสะท้อนที่ได้ในรูปแบบภาพถ่ายดาวเทียมจะบันทึกในค่าเชิงตัวเลข 0-255 (Digital Number) จากนั้นแปลงค่าให้อยู่ในรูปการแผ่รังสีเชิงคลื่น จะมีรูปแบบสมการในการคำนวณดังสมการที่ (2.2) (Ghulam, Amer, and Kusky 2010) ที่ได้มาจากการแปลงสมการของการแผ่รังสีของวัตถุดำ

$$T = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1\right)} \quad (1.2)$$

เมื่อ  $T$  คือ ค่าอุณหภูมิสมบูรณ์จากการแผ่รังสีเชิงคลื่น ในหน่วย เคลวิน (K)

$L_\lambda$  คือ ค่าการแผ่รังสีเชิงคลื่น (Spectral radiance)  $\text{w/m}^2 \cdot \text{sr} \cdot \mu\text{m}$

$K_1$  คือ ค่าคงที่ของ LANDSAT 5 TM เท่ากับ  $607.76 \text{ w/m}^2 \cdot \text{sr} \cdot \mu\text{m}$

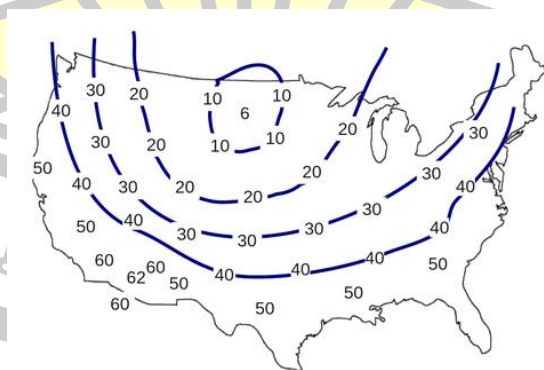
$K_2$  คือ ค่าคงที่ของ LANDSAT 5 TM เท่ากับ  $1260.56 \text{ K}$

จากที่  $K_1 = \frac{2hc^2}{\lambda^5}$ ,  $K_2 = \frac{hc}{k_B \lambda}$  โดยที่  $h$  คือ ค่าคงที่ของพลังค์ เท่ากับ  $6.626 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$

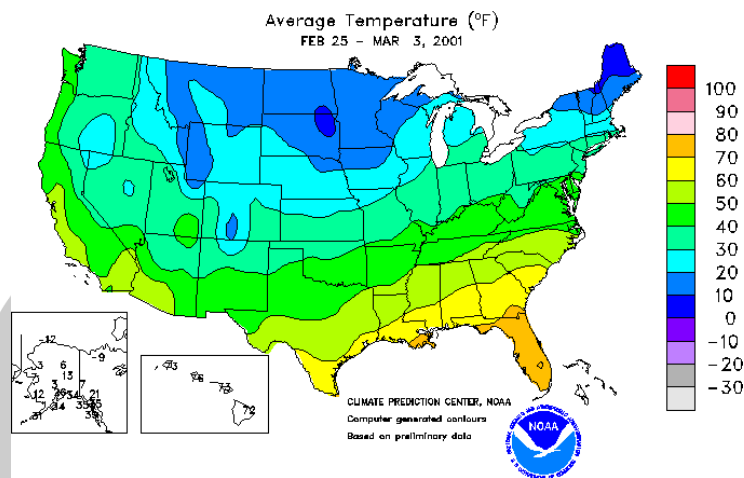
$c$  คือ ค่าอัตราเร็วแสงในสุญญากาศ เท่ากับ  $299,792.458 \text{ km/s}$  และ  $k_B$  คือ ค่าคงที่โบลทซ์มันน์ เท่ากับ  $1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$

### 2.2.2 แผนที่เส้นอุณหภูมิเท่า (Isothermal map)

เส้นสมมุติที่ลากผ่านตำแหน่งต่าง ๆ บนภูมิศาสตร์ที่มีค่าคงที่หรือมีค่าอุณหภูมิเท่ากัน มักจะใช้กับแผนที่สภาพอากาศสำหรับนักอุตุนิยมวิทยาในการสังเกตค่าอุณหภูมิของพื้นที่ขนาดใหญ่ ในการสร้างแผนที่ดังกล่าวจำเป็นต้องมีสถานีตรวจวัดในพิภคย่อยตามพื้นที่ที่ต้องการศึกษา หรือเฝ้าสังเกตการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเป็นรายวัน รายสัปดาห์ เป็นต้น การจำแนกเพื่อกำหนดแสดงความแตกต่างของเส้นอุณหภูมิเท่าในแต่ละเส้นบนแผนที่สามารถทำได้โดยการแสดงให้เห็นด้วยตัวเลขหรือการกำหนดสีพื้นที่ปิดล้อมในการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเฉลี่ยเชิงพื้นที่



รูปที่ 2.6 เส้นสีน้ำเงินแต่ละเส้นแสดงค่าอุณหภูมิในแต่ละเส้นต่างกัน ซึ่งตำแหน่งที่อยู่บนเส้นเดียวกัน จะมีค่าอุณหภูมิที่เท่ากัน (Mr.Mulroy 's Earth Science)



รูปที่ 2.7 เส้นอุณหภูมิเท่าที่จำแนกความแตกต่างอุณหภูมิเฉลี่ยเชิงพื้นที่ด้วยสี เช่น กำหนดพื้นที่ปิดล้อมสีเหลืองมีค่าเป็น 60 °F และพื้นที่ปิดล้อมสีส้มมีค่าเป็น 70 °F โดยเส้นที่แบ่งพื้นที่ปิดล้อมสีเหลืองและสีส้มคือเส้นอุณหภูมิเท่า ฉะนั้นทุก ๆ ตำแหน่งบนเส้นนี้จะมีอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 60 °F และ 70 °F (Climate Education for K-12, NC State University, Image from NOAA)

จากการพิจารณาถึงปัจจัยและความสำคัญในการวิเคราะห์ของเกาะความร้อนเมือง สามารถสรุปถึงลักษณะรูปแบบของแต่ละประเภทได้ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงลักษณะเฉพาะพื้นฐานของเกาะความร้อนพื้นผิวและเกาะความร้อนเมืองในบรรยากาศ

ลักษณะ	เกาะความร้อนพื้นผิว	เกาะความร้อนในบรรยากาศ
การก่อตัวของอุณหภูมิ	<ul style="list-style-type: none"> <li>เกิดขึ้นตลอดเวลา ทั้งกลางวันและกลางคืน</li> <li>มีค่ามากที่สุดเวลากลางวันในช่วงฤดูร้อน</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>เกิดขึ้นน้อยหรือไม่มีผลช่วงเวลากลางวัน</li> <li>มีค่ามากที่สุดเวลากลางคืนในช่วงฤดูหนาว</li> </ul>
การตรวจวัดโดยทั่วไป	<ul style="list-style-type: none"> <li>การตรวจวัดทางอ้อมด้วยกระบวนการรับรู้ระยะไกล</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>การตรวจวัดทางตรงด้วยกระบวนการติดตั้งสถานีคงที่หรือติดตั้งโดยใช้ยานพาหนะ</li> </ul>
ภาพโดยทั่วไป	<ul style="list-style-type: none"> <li>ภาพเชิงความร้อน</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>เส้นอุณหภูมิเท่า</li> <li>กราฟแท่งเปรียบเทียบอุณหภูมิ</li> </ul>

## 2.3 ความร้อนและการแผ่รังสี

### 2.3.1 ความร้อน

เป็นพลังงานรูปแบบหนึ่งที่สามารถทำงานได้และเปลี่ยนเป็นพลังงานรูปอื่นได้ ในขณะเดียวกันผลของความร้อนอาจเกิดจากการเปลี่ยนรูปมาจากพลังงานรูปอื่นได้ เช่น พลังงานเคมี พลังงานไฟฟ้า พลังงานกลหรือพลังงานจากเครื่องยนต์ เป็นต้น ( บุญเกิด ยศรุ่งเรือง, วิชาฟิสิกส์ ความร้อน, หน้า 21)

### 2.3.2 ความจุความร้อนจำเพาะ (Specific heat capacity, $c$ )

คือ ความร้อนที่ทำให้สารทั้งหมดที่พิจารณามีอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไปหนึ่งหน่วย โดยที่สถานะคงเดิม สามารถแสดงสมการได้เป็น

$$Q = mc\Delta T \quad (1.3)$$

โดยที่  $Q$  คือ ปริมาณความร้อนหรือพลังงานความร้อน มีหน่วยเป็น J

$m$  คือ มวลของสาร มีหน่วยเป็น kg

$c$  คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของสาร มีหน่วยเป็น  $J/g^{\circ}C$  หรือ  $J/kg K$

$T$  คือ ผลต่างของอุณหภูมิเริ่มต้นกับอุณหภูมิสุดท้ายในช่วงที่พิจารณาโดยที่สถานะของสารไม่เปลี่ยนแปลง มีหน่วยเป็น  $^{\circ}C$  หรือ K

ภายใต้เงื่อนไขอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่เท่ากัน ค่าความจุความร้อนจำเพาะของสารแต่ละชนิดจะมีค่าที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับสมบัติของสารนั้น ๆ ดังแสดงได้ในตารางที่ 2.2

**ตารางที่ 2.2** แสดงค่าความจุความร้อนจำเพาะของสารแต่ละประเภท (ดร.กรกช อ่อนละอ, บทที่ 1 ฟิสิกส์เบื้องต้น)

Substance	Specific heat capacity(J/kg K)
Water ( $0^{\circ}C$ to $100^{\circ}C$ )	4186
Ice ( $-10^{\circ}C$ to $0^{\circ}C$ )	2093
Aluminum	900
Glass	837
Copper	378
Mercury	138
Gold	130
Stone Concrete	653



### 2.3.3 การแผ่รังสีของวัตถุดำ

วัตถุทุกชนิดที่มีอุณหภูมิสูงกว่าศูนย์องศาสมบูรณ์จะแผ่รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมา โดยความถี่หรือความยาวคลื่นที่แผ่ออกมานั้นจะมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิตามกฎของสเตฟาน-โบทสมาน กล่าวคือ ความเข้มทั้งหมดของการแผ่รังสีจะมีสัดส่วนโดยตรงกับค่าอุณหภูมิกำลังสี่ ตามสมการที่ (2.4) (อ.วิชัย อนุรักษ์ถานนท์, ฟิสิกส์ 2 สำหรับวิศวกร, บทที่ 10)

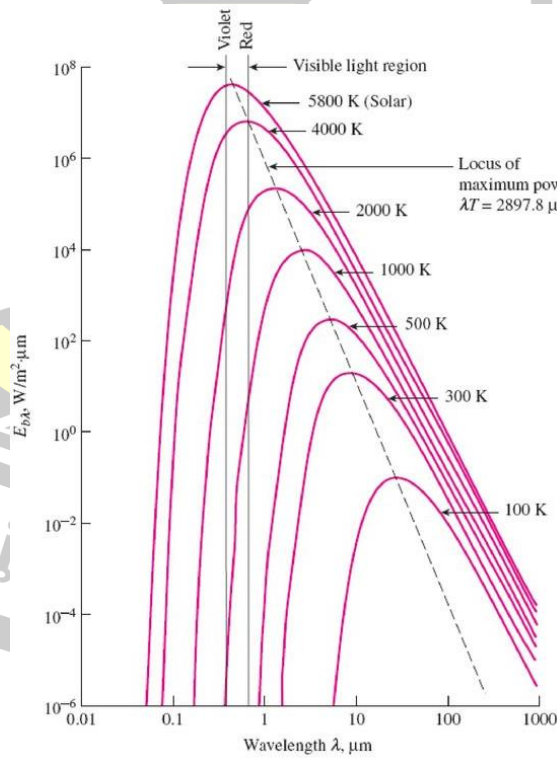
$$I \propto T^4$$

$$I = \left( \frac{2\pi^5 k^4}{15c^2 h^3} \right) T^4$$

$$I = \sigma T^4$$

(1.4)

โดยที่  $I$  คือ ค่าความเข้มในการแผ่รังสีต่อพื้นผิวของวัตถุ มีหน่วยเป็น  $W/m^2$   
 $\sigma$  คือ ค่าคงที่ของสเตฟาน-โบทสมาน มีค่าเท่ากับ  $5.67 \times 10^{-8}$  มีหน่วยเป็น  $W/m^2 K^4$



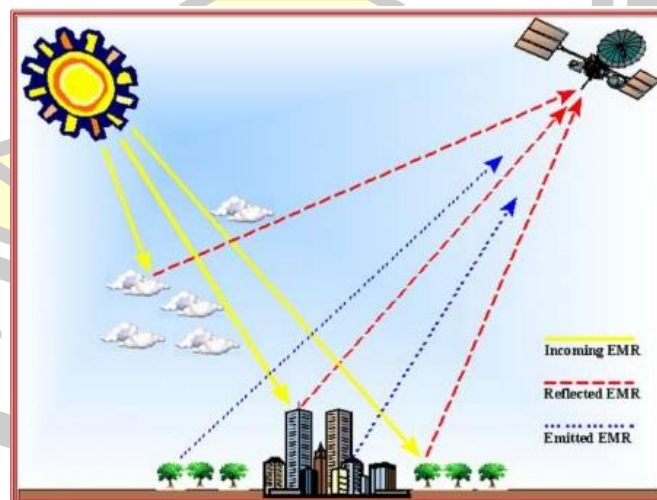
รูปที่ 2.8 แสดงการปลดปล่อยค่าความเข้มของวัตถุดำ ณ อุณหภูมิต่าง ๆ (Yunus A. Cengel, Afshin J. Ghajar, 2011)

## 2.4 การรับรู้ระยะไกล

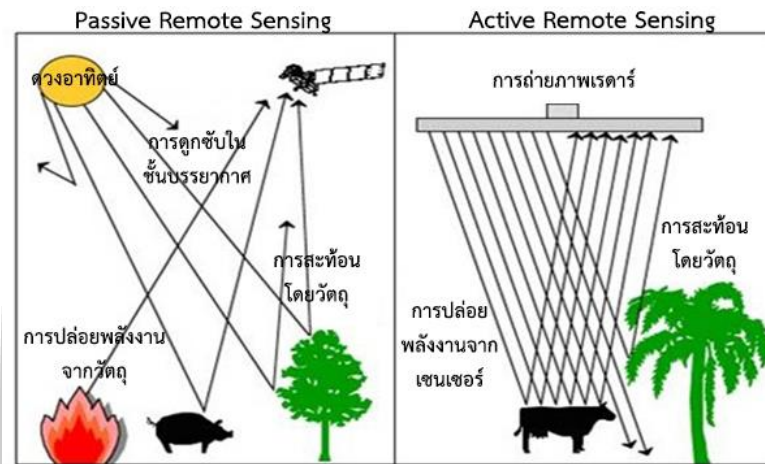
ตามศัพท์บัญญัติราชบัณฑิตยสถานในปี พ.ศ. 2544 ได้ใช้คำว่า “การรับรู้จากระยะไกล” หมายถึงการบันทึกหรือการได้มาซึ่งข้อมูลข่าวสารเกี่ยวกับวัตถุ พื้นที่เป้าหมาย ด้วยอุปกรณ์บันทึกข้อมูล (sensor) โดยปราศจากการสัมผัสกับวัตถุนั้นๆ โดยอาศัยคุณสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นสื่อในการได้มาของข้อมูลใน 3 ลักษณะ คือ ช่วงคลื่น (spectral) รูปทรงสัญญาณ (spatial) และการเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลา (temporal) ของสิ่งต่างๆ บนพื้นผิวโลก (ธีรวงศ์, 2557) โดยที่องค์ประกอบและกระบวนการรับรู้จากระยะไกลเบื้องต้นมีรายละเอียดตามหัวข้อที่กล่าวดังต่อไปนี้

### 2.4.1 หลักการรับรู้ระยะไกล

การได้มาถึงข้อมูลที่ได้ทำการตรวจวัดนั้น สามารถจำแนกได้ 2 ประเภท ตามแหล่งกำเนิดพลังงานที่สนใจ คือ พลังงานจากระบบธรรมชาติที่มีอยู่แต่เดิม และ แหล่งพลังงานที่สร้างขึ้นเอง การรับรู้จากระยะไกลที่ใช้พลังงานจากธรรมชาติเรียกว่า “passive remote sensing” (รูปที่ 2.8) ซึ่งในระบบนี้จะอาศัยพลังงานจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ที่มากกระทบกับวัตถุแล้วสะท้อนกลับไปยังเครื่องบันทึกข้อมูลซึ่งส่วนใหญ่ก็จะอยู่บนดาวเทียม นอกจากนี้ยังมีพลังงานอีกส่วนหนึ่งเป็นการเปล่งรังสีของวัตถุเอง ตามหลักทางฟิสิกส์ที่ว่าที่อุณหภูมิสูงกว่า 0 เคลวิน (K) (-273 องศาเซลเซียส) ขึ้นและส่งไปยังวัตถุเป้าหมาย เช่น ระบบเรดาร์เรียกว่า “active remote sensing” ในระบบนี้ดาวเทียมหรือเครื่อง



รูปที่ 2.9 องค์ประกอบของการรับรู้จากระยะไกล (The Peace and Collaborative Development Network)



รูปที่ 2.10 การรับรู้จากระยะไกลแบบ passive remote sensing และ active remote sensing (ธีรวงศ์ เหล่าสุวรรณ, 2557)

#### 2.4.2 ปฏิสัมพันธ์ของพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากับสิ่งปกคลุมผิวโลก

เราสามารถจำแนกวัตถุต่างๆ ออกจากกันได้ เนื่องจากความแตกต่างกันของลักษณะ ปฏิสัมพันธ์ของพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากับสิ่งปกคลุมผิวโลกได้ 3 ลักษณะ คือ การสะท้อนพลังงาน การดูดซับพลังงาน และการส่งพลังงาน อันเป็นปรากฏการณ์สำคัญในการรับรู้จากระยะไกลของวัตถุบนพื้นผิวโลก ทั้งนี้สามารถเขียนเป็นสมการความสมดุลพลังงาน (energy balance equation) ได้ดังสมการที่ (2.5)

$$E_I(\lambda) = E_R(\lambda) + E_A(\lambda) + E_T(\lambda) \quad (1.5)$$

โดยที่  $E_I(\lambda)$  คือ พลังงานตกกระทบที่ความยาวคลื่น  $\lambda$

$E_R(\lambda)$  คือ พลังงานสะท้อนที่ความยาวคลื่น  $\lambda$

$E_A(\lambda)$  คือ พลังงานดูดกลืนที่ความยาวคลื่น  $\lambda$

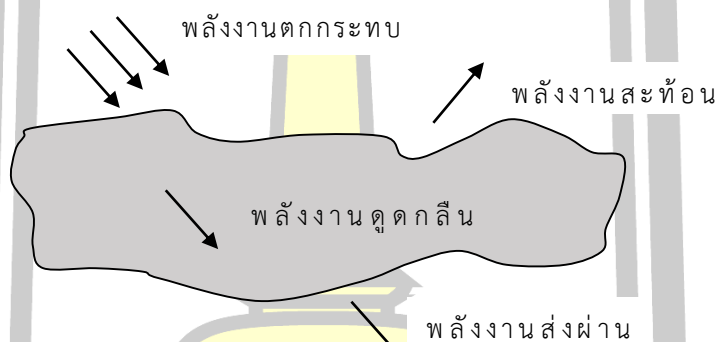
$E_T(\lambda)$  คือ พลังงานส่งผ่านที่ความยาวคลื่น  $\lambda$

สัดส่วนของการดูดกลืน การส่งผ่าน การสะท้อน พลังงานแตกต่างกันตามชนิดของสาร ทำให้สามารถแยกชนิดของวัตถุในภาพถ่ายได้ นอกจากนี้วัตถุเดียวกันสัดส่วนของการเกิดปฏิสัมพันธ์ทั้งสามนี้แตกต่างกันตามความยาวของช่วงคลื่นที่ตกกระทบอีกด้วย วัตถุสองชนิดนี้อาจไม่แตกต่างกันในช่วงคลื่นหนึ่ง แต่สามารถแยกจากกันได้ไปอีกช่วงคลื่นหนึ่ง ในช่วงคลื่นสายตามองเห็นความ

แตกต่างกันทางด้านเชิงคลื่นรังสีของวัตถุจะแสดงให้เห็นรูปของสีต่างๆ เช่น การที่เราเห็นวัตถุเป็นสีเขียว เนื่องจากวัตถุนั้นสะท้อนพลังงานในช่วงคลื่นสีเขียวมากเนื่องจากระบบบันทึกพลังงานส่วนใหญ่บันทึกพลังงานสะท้อน ดังนั้นการศึกษาเพื่อแยกชนิดของวัตถุจึงเป็นการศึกษาการสะท้อนพลังงานของวัตถุ ทั้งนี้สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังสมการที่ (2.6) และแสดงได้ดังรูปที่ 2.10

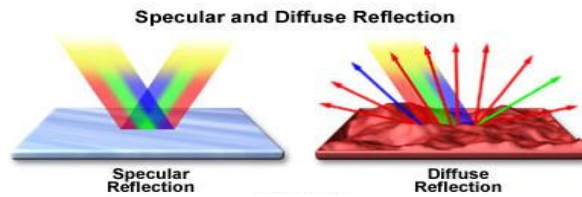
$$E_R(\lambda) = E_I(\lambda) - [E_A(\lambda) + E_T(\lambda)] \quad (1.6)$$

พลังงานสะท้อนมีค่าเท่ากับพลังงานตกกระทบวัตถุ ลบด้วยผลรวมของพลังงานดูดกลืนกับพลังงานส่งผ่านพลังงานส่งผ่าน



รูปที่ 2.11 ปฏิสัมพันธ์ของพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากับพื้นผิวโลก (ธีรวงศ์, 2557)

ลักษณะพื้นผิวหน้าของวัตถุเป็นสิ่งสำคัญที่มีอิทธิพลต่อการสะท้อนพลังงานมายังตัวตรวจจับ(sensor) เป้าหมาย หากละทิ้งค่าการสะท้อนที่ลดทอนจากชั้นบรรยากาศในระหว่างเดินทางมายังตัวตรวจจับหรือสถานีรับภาคพื้นดิน สามารถจำแนกรูปแบบการสะท้อนจากวัตถุได้เป็น 2 ประเภทคือ การสะท้อนแบบสมบรูณ์ (Specular reflection) เป็นการสะท้อนคลื่นที่เกิดเมื่อพลังงานตกกระทบวัตถุที่มีผิวเรียบเสมือนกระจกสะท้อนแสงทำให้เกิดมุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อน และการสะท้อนแบบไม่สมบรูณ์ (Diffuse reflection) เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า การสะท้อนแบบแพร่ เป็นลักษณะที่เกิดจากผลของพื้นผิววัตถุไม่ราบเรียบหรือมีรูปทรงประกอบที่ซับซ้อน ทำให้ผลการสะท้อนของคลื่นเกิดการกระจายออกไปในทุกทิศทาง ทั้งนี้การสะท้อนของคลื่นในธรรมชาติจะเกิดทั้งการสะท้อนแบบสมบรูณ์(Specular reflection)กับการสะท้อนแบบไม่สมบรูณ์พร้อมกัน



รูปที่ 2.12 ลักษณะพื้นผิวหน้าของวัตถุที่มีอิทธิพลต่อการสะท้อนพลังงาน (RADAR Basic Principle, MASS Consultant Ltd.)

นอกจากลักษณะของพื้นผิววัตถุแล้วยังต้องคำนึงถึงความยาวของช่วงคลื่นที่ตกกระทบวัตถุด้วย ถ้าเป็นพลังงานช่วงคลื่นสั้นเมื่อเปรียบเทียบกับขนาดอนุภาคของวัตถุที่ประกอบเป็นผิวหน้าวัตถุหรือความต่างระดับของผิวหน้าวัตถุ การสะท้อนแสงอาจเป็นแบบให้ลักษณะวัตถุพื้นผิวขรุขระได้ แต่ถ้าในวัตถุชนิดเดียวกันนี้ได้รับพลังงานตกกระทบในช่วงคลื่นยาว เมื่อเปรียบเทียบกับผิววัตถุ การสะท้อนแสงอาจเป็นแบบลักษณะของวัตถุที่มีพื้นผิวราบได้ ในการรับรู้จากระยะไกล เป็นการวัดสัดส่วนในการสะท้อนพลังงานของวัตถุบนผิวโลก ณ ช่วงคลื่นใดช่วงคลื่นหนึ่งคือ การสะท้อนเชิงสเปกตรัม (spectral reflectance) ซึ่งหาได้จากสมการที่ (2.7)

$$\rho(\lambda) = \frac{E_r(\lambda)}{E_i(\lambda)} \quad (1.7)$$

โดยที่  $\rho_\lambda$  คือ ความสะท้อนเชิงสเปกตรัม ที่ช่วงคลื่น  $\lambda$

ดังนั้นพลังงานที่วัดได้โดยเครื่องรับรู้จึงประกอบด้วยพลังงานที่สะท้อนหรือแผ่จากพื้นผิววัตถุ พลังงานบางส่วนจากปฏิสัมพันธ์ในชั้นบรรยากาศ พลังงานที่สะท้อนกลับโดยตรงจากก้อนเมฆ ค่าที่วัดได้นี้จะน้อยหรือมากหรือเปลี่ยนแปลงไปขึ้นอยู่กับสถานะของบรรยากาศ มุมของดวงอาทิตย์ ตำแหน่งของเครื่องรับรู้ คุณสมบัติของวัตถุในการสะท้อน การดูดกลืนและการส่งผ่านพลังงาน เป็นต้น

### 2.4.3 การสะท้อนเชิงสเปกตรัม

เนื่องจากคุณลักษณะของวัตถุแต่ละชนิดมีค่าการสะท้อนพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าต่างกัน หรือมีการตอบสนองต่อช่วงความยาวคลื่นเฉพาะ โดยช่วงความยาวคลื่นเดียวกัน วัตถุต่างชนิดกันจะให้ค่าการสะท้อนพลังงานต่างกัน ขณะที่ความยาวคลื่นต่างกัน หากเป็นวัตถุชนิดเดียวกันผลของการสะท้อนพลังงานก็แตกต่างกัน อาทิ พีชพรรณมีคลอโรฟิลล์ที่จะทำการดูดกลืนช่วงความยาว

คลื่นที่ตามองเห็นเกือบทั้งหมด โดยมีการสะท้อนค่าพลังงานในช่วงแถบความยาวคลื่นสีเขียว ถ้าคลอโรฟิลล์ลดลงหรือใบพืชเริ่มเปลี่ยนเป็นลักษณะ แห้ง เหี่ยว จะทำให้เกิดการสะท้อนในช่วงแถบความยาวคลื่นอินฟราเรดแทน นั่นคือ ในตำแหน่งต่าง ๆ กัน ตามภูมิศาสตร์ สามารถใช้หลักการรับรู้ระยะไกลในการตรวจสอบความผิดปกติแยกแยะบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงของพืชพรรณ รวมถึงวัตถุอื่น ๆ อย่างเช่น การแยกแยะกลุ่มอาคาร ถนนการจราจร แหล่งน้ำ เป็นต้น (ธีรวงศ์, 2557)

#### 2.4.4 ดัชนีผลพืชพรรณ (Vegetation Index)

เป็นค่าที่บ่งบอกถึงสัดส่วนของพืชพรรณปกคลุมดินโดยสามารถคำนวณได้จากการนำช่วงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความสัมพันธ์กับพืชพรรณมาสร้างสัดส่วนต่อกัน ซึ่งวิธีการที่นิยมใช้กันมากอย่างหนึ่งคือ ดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณ (Normalized difference Vegetation Index, NDVI) โดยเป็นการนำค่าการสะท้อนของพื้นผิวดินระหว่างช่วงคลื่นใกล้อินฟราเรดกับช่วงคลื่นที่ตามองเห็น(แถบสีแดง)ทำสัดส่วนกับค่าผลบวกของทั้งสองช่วงคลื่นเพื่อปรับให้เป็นลักษณะการกระจายแบบปกติ แสดงได้ดังสมการที่ (2.8)

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (1.8)$$

เมื่อ	NDVI	คือ ดัชนีผลต่างพืชพรรณ
	NIR	คือ แบนด์อินฟราเรดใกล้
	RED	คือ แบนด์สีแดงที่ตามองเห็น

ค่า NDVI จะแสดงค่าอยู่ระหว่าง -1 ถึง 1 ซึ่งจะช่วยให้การวิเคราะห์และแปลผลข้อมูลได้ง่ายขึ้น โดยค่าที่แสดงเท่ากับ 0 หมายถึงไม่มีพืชพรรณสีเขียวปกคลุมอยู่ในพื้นที่สำรวจ ในขณะที่ค่าที่แสดงเข้าใกล้ 1 จะหมายถึงว่าบริเวณพื้นที่นั้นมีการปกคลุมด้วยพืชพรรณอย่างหนาแน่น ในพื้นที่ที่ทำการศึกษาที่แสดงค่า NDVI เป็นบวกนั้นคือค่าการสะท้อนส่วนใหญ่ในช่วงคลื่นอินฟราเรดจะสูงกว่าช่วงคลื่นที่ตามองเห็นซึ่งแสดงให้เห็นถึงการปกคลุมของพื้นที่สีเขียวจำนวนมาก และหากพื้นที่นั้น ๆ ได้ค่า NDVI เป็นลบเนื่องจากค่าการสะท้อนของช่วงคลื่นอินฟราเรดต่ำกว่าช่วงคลื่นแถบสีแดงแสดงว่าพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นน้ำ (ภานุพันธุ์ ไมตรี 2561)

- บริเวณที่มีค่า NDVI อยู่ในช่วงค่าลบพื้นที่จะเป็นพื้นที่น้ำ
- บริเวณที่มีค่า NDVI เข้าใกล้ค่า 0 แสดงถึงพื้นที่ที่มีพืชพรรณสีเขียวน้อย
- บริเวณที่มีค่า NDVI เข้าใกล้ค่า +1 แสดงถึงพื้นที่ที่มีพืชพรรณสีเขียวปกคลุมมาก

โดยสามารถจำแนกออกเป็นเกณฑ์ดัชนีผลต่างพืชพรรณได้ดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 แสดงเกณฑ์ดัชนีผลต่างพืชพรรณ (NDVI)

ค่าดัชนี NDVI	สภาวะพืชพรรณ
-1.00 ถึง -0.60	พื้นที่ที่มีน้ำมาก
-0.60 ถึง -0.20	พื้นที่ที่มีน้ำน้อย
-0.20 ถึง 0.20	พื้นที่ที่มีพืชพรรณน้อย
0.20 ถึง 0.60	พื้นที่ที่มีพืชพรรณปานกลาง
0.60 ถึง 1.00	พื้นที่ที่มีพืชพรรณปกคลุมมาก

(Tucker, C.J., and Choudhury, B.J., 1987 อ้างโดย (Ruthamrong, Chan-in, and Pomkaew 2560))

## 2.5 การวิเคราะห์การถดถอยแบบกำลังสองน้อยสุด

หลักการวิเคราะห์แบบถดถอยเป็นวิธีการที่ใช้ศึกษาความสัมพันธ์ของข้อมูลระหว่างตัวแปรต้น (Independent Variable) และตัวแปรตาม (Dependent Variable) เพื่อที่จะทำนายหรือการคาดการณ์ถึงลักษณะที่จะเกิดขึ้นในช่วงเวลาถัดไปในระยะสั้นหรือระยะยาว แม้กระทั่งการวิเคราะห์ถึงผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจากเหตุการณ์ที่ผ่านมาในอดีตด้วยการนำเข้าจากฐานข้อมูลที่มีอยู่ในการจัดสรรตัวแปรมาใช้ในการร่วมพิจารณา ทั้งนี้ข้อมูลในลักษณะที่มีความไม่แน่นอนอาจทำให้ค่าความถูกต้องของผลลัพธ์สุดท้ายที่ได้มาลดน้อยลง ขาดความน่าเชื่อถือ ฉะนั้นการให้ความสำคัญต่อตัวแปรทั้งสองประเภทที่กำหนดขึ้นต่อการพิจารณาถึงความสัมพันธ์ใด ๆ ของการประมาณค่า (Approximation Function) จุดข้อมูลจึงเป็นประเด็นที่สำคัญในการศึกษา โดยใช้ฟังก์ชันที่เป็นเส้น (Curve) เป็นตัวแทนของกลุ่มข้อมูลระหว่างตัวแปร เพื่ออธิบายถึงแนวโน้มที่เกิดขึ้นว่าตัวแปรที่สนใจมีการเปลี่ยนแปลงไปในรูปแบบอย่างไร

### 2.5.1 การถดถอยเชิงเส้นแบบง่าย (Simple Linear Regression Model)

แสดงถึงความสัมพันธ์ของตัวแปร 2 ตัว เฉพาะตัวแปรต้นกับตัวแปรตาม ในลักษณะการแทนข้อมูลด้วยฟังก์ชันสมการเส้นตรงดังนี้

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + u_i \quad (i = 1, 2, 3 \dots n) \quad (1.9)$$

กำหนดให้  $\beta_0$  และ  $\beta_1$  เป็นสัมประสิทธิ์การถดถอย (Regression Coefficient) แสดงถึงค่าเฉลี่ยของ  $Y$  เมื่อ  $X = 0$  (Y-intercept) จากเส้นกราฟและความชันของสมการเส้นตรง ตามลำดับ  $i$  คือค่าแสดงจำนวนครั้งในการเก็บข้อมูลหรือการเฝ้าสังเกต พจน์ขวาสุดค่า  $u_i$  แสดงค่าความคาดเคลื่อนหรือความแตกต่างระหว่างจุดบนเส้นกับจุดข้อมูลจริงของการทดลอง พิจารณาค่าพารามิเตอร์  $\beta_0$  และ  $\beta_1$  โดยกำหนดสมการพยากรณ์เป็น  $\hat{Y}_i = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 X_i$  จะมีส่วนเหลือของค่าความแตกต่างระหว่างค่าจริงของตัวแปรตามกับค่าพยากรณ์ที่ได้จากสมการถดถอยที่ระดับเดียวกันของค่าตัวแปรอิสระจะได้เป็น

$$\sum_{i=1}^n u_i = \sum_{i=1}^n (Y_i - \beta_0 - \beta_1 X_i) \quad (1.10)$$

เมื่อ  $n$  คือ จำนวนจุดข้อมูลทั้งหมด และนำสมการที่ (1.10) ยกกำลังสองทั้ง 2 ข้าง จะได้ผลรวมของความคาดเคลื่อนกำลังสองน้อยสุดตลอดช่วงข้อมูลทั้งหมดที่พิจารณาจะได้เป็น

$$S_r = \sum_{i=1}^n (u_i)^2 = \sum_{i=1}^n (Y_i - \beta_0 - \beta_1 X_i)^2 \quad (1.11)$$

จากสมการที่ (1.11) เริ่มต้นพิจารณาอนุพันธ์เชิงเส้นเทียบกับ  $\beta_0$  และ  $\beta_1$  ที่มีค่าที่น้อยที่สุดเท่ากับศูนย์ ทำการกระจาย  $\sum_{i=1}^n$  เข้าไปแต่ละพจน์ของระบบสมการ พิจารณาจำนวนจุดข้อมูล ( $n$ ) ด้วยจำนวนที่เท่ากัน ฉะนั้นสามารถจัดรูปสัญลักษณ์ผลรวมทางคณิตศาสตร์  $\sum_{i=1}^n$  เป็น  $\sum$  เพื่อให้รูปแบบสมการดูง่ายขึ้น จะได้รูปแบบระบบสมการสองตัวแปรสำหรับการหาค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย  $\beta_0$  และ  $\beta_1$  ตามลำดับ ผลของการแก้สมการ ทำให้ได้มาถึงค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยทั้งสองค่าที่สามารถแทนลงในสมการเส้นตรง  $Y = \beta_0 + \beta_1 X$  หรือสมการสำหรับการพยากรณ์ ซึ่งเป็นค่าประมาณ โดยใช้  $b_0$  และ  $b_1$  แทนค่าประมาณดังกล่าว เพื่อทำการพล็อตกราฟแสดงเส้นแนวโน้ม (Trend Line) ร่วมกับการพล็อตกราฟการกระจายตัวของกลุ่มข้อมูลได้ คือ

$$b_1 = \frac{n \sum X_i Y_i - \sum X_i \sum Y_i}{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2} \quad (1.12)$$

และ

$$b_0 = \bar{Y} - b_1 \bar{X} \quad (1.13)$$

โดยที่  $\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n}$  และ  $\bar{Y} = \frac{\sum Y_i}{n}$  คือค่าเฉลี่ยของ  $x$  และ  $y$  ตามลำดับ



### 2.5.2 สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of determination, $R^2$ )

เป็นการตรวจสอบถึงสมการเส้นตรงที่สร้างขึ้นที่ใช้ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูลว่ามีความถูกต้องหรือใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุดนั้น โดยพิจารณาจากความแปรปรวนของ  $Y$  ว่ามีผลต่อ  $X$  มากน้อยเพียงใด ซึ่งสามารถพิจารณาจากผลต่างระหว่างค่าเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ยแนวแกน  $Y$  ตามสมการ

$$S_t = \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2 \quad (1.14)$$

กับผลรวมของความคาดเคลื่อนกำลังสองน้อยสุดจากสมการที่ (1.11) มีค่าเท่ากับ  $S_t - S_r$  เมื่อ  $S_t$  คือค่าความคาดเคลื่อนเบี่ยงเบนมากที่สุดของข้อมูล และ  $S_r$  คือความคาดเคลื่อนเบี่ยงเบนเฉพาะเส้นกราฟที่สร้างขึ้นของข้อมูล ทำการ Normalize กับค่า  $S_t$  จะได้สมการสำหรับ  $R^2$  ดังนี้

$$R^2 = \frac{S_t - S_r}{S_t} \quad (1.15)$$

ในกรณีเส้นแนวโน้มจากสมการถดถอยที่สร้างขึ้นผ่านทุก ๆ จุดของข้อมูลอย่างสมบูรณ์ กล่าวคือไม่มีความคาดเคลื่อน แสดงว่า  $S_r$  มีค่าเท่ากับ 0 นั่นคือ  $R^2 = 1$  แสดงว่าเส้นแนวโน้มที่ได้สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงในความสัมพันธ์ของตัวแปรทั้ง 2 ได้ทุกจุดข้อมูล และถ้า  $S_r = S_t$  ซึ่งทำให้ค่า  $R^2 = 0$  แสดงว่าความคาดเคลื่อนจากกราฟข้อมูลที่สร้างขึ้นมีค่ามาก บ่งบอกถึงความไม่สัมพันธ์กันระหว่างตัวแปร อาจกล่าวได้อีกนัยหนึ่งว่า ค่า  $R^2$  บ่งบอกถึงค่าเปอร์เซ็นต์ที่ตัวแปร  $X$  สามารถอธิบายความแปรผันในตัวแปร  $Y$  เช่น  $R^2 = 0.253$  นั่นคือ ตัวแปร  $X$  สามารถอธิบายความแปรผันในตัวแปร  $Y$  ได้ 25.3 % เป็นต้น จากสมการที่ (1.15) สามารถพิจารณาจัดรูปใหม่สำหรับรากที่สองของ  $R^2$  ได้เป็น

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n X_i Y_i - \sum_{i=1}^n X_i \sum_{i=1}^n Y_i}{\sqrt{n \sum_{i=1}^n X_i^2 - \left( \sum_{i=1}^n X_i \right)^2} \sqrt{n \sum_{i=1}^n Y_i^2 - \left( \sum_{i=1}^n Y_i \right)^2}} \quad (1.16)$$

ค่า  $R$  จากสมการที่ (1.15) คือ สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นและตัวแปรตาม จะแสดงค่าอยู่ในช่วง  $-1$  ถึง  $1$  ถ้า  $r < 0$  แสดงว่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่พิจารณามีความสัมพันธ์กันเชิงลบ  $r > 0$  แสดงว่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเชิงบวก และ  $r = 0$  แสดงว่าตัวแปรทั้งสองไม่มีความสัมพันธ์กัน

### 2.5.3 การประมาณค่าสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอย

การทำช่วงความเชื่อมั่นของตัวประมาณค่าจะบ่งบอกถึงคุณภาพของตัวประมาณค่าสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอย  $\beta_0$  และ  $\beta_1$  ตามลำดับ ตัวประมาณค่าที่ดีควรมีความเชื่อมั่นที่แคบและกำหนดให้มีการแจกแจงแบบปกติ เมื่อพิจารณาตามกระบวนการทางสถิติสามารถแสดงรูปแบบสมการในการวิเคราะห์ที่ได้ดังนี้

$$\frac{b_0 - \beta_0}{\sqrt{\text{MSE} \left[ \frac{1}{n} + \frac{\bar{X}^2}{S_{xx}} \right]}} \square t_{n-2} \quad (1.17)$$

และ

$$\frac{b_1 - \beta_1}{\sqrt{\frac{\text{MSE}}{S_{xx}}}} \square t_{n-2} \quad (1.18)$$

จะได้รูปแบบช่วงความเชื่อมั่น  $100(1-\alpha)\%$  ของ  $\beta_0$  และ  $\beta_1$  ตามสมการที่ (2.19) และ (2.20) ตามลำดับ กำหนดให้  $\alpha$  คือระดับนัยสำคัญของการแจกแจงทางสถิติ

$$b_0 - t_{\alpha/2, n-2} \sqrt{\text{MSE} \left[ \frac{1}{n} + \frac{\bar{X}^2}{S_{xx}} \right]} \leq \beta_0 \leq b_0 + t_{\alpha/2, n-2} \sqrt{\text{MSE} \left[ \frac{1}{n} + \frac{\bar{X}^2}{S_{xx}} \right]} \quad (1.19)$$

และ

$$b_1 - t_{\alpha/2, n-2} \sqrt{\frac{\text{MSE}}{S_{xx}}} \leq \beta_1 \leq b_1 + t_{\alpha/2, n-2} \sqrt{\frac{\text{MSE}}{S_{xx}}} \quad (1.20)$$

### 2.5.4 การทดสอบสมมติฐานของค่าพารามิเตอร์ $\beta_0$ และ $\beta_1$

การทดสอบสมมติฐานของค่าพารามิเตอร์ สามารถใช้การทดสอบตามกระบวนการเชิงสถิติ เพื่อให้ทราบว่าค่าตัวแปรทั้งสองมีความแตกต่างจากค่าที่สนใจหรือไม่ โดยแบ่งเป็นสองกรณี ได้แก่  $\beta_0$  จะทำการทดสอบว่าค่าตัวแปรอิสระเท่ากับ 0 แล้วค่าตัวแปรตามมีค่าที่สนใจหรือไม่และ  $\beta_1$  จะเป็นการทดสอบว่าค่าความชันเท่ากับค่าที่สนใจหรือไม่ ซึ่งค่าความชันนี้จะเป็นการบ่งบอกได้ว่าตัวแปรทั้งสองจะมีความสัมพันธ์กันแบบเชิงเส้นตรงแบบมีนัยสำคัญในทางสถิติหรือไม่ หากปฏิเสธสมมติฐานหลักที่ว่า  $\beta_1 = 0$  แสดงว่าตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์กันแบบเส้นตรงหรือสามารถบอกได้ว่าตัวแปรต้น (X) สามารถอธิบายความแปรผันในตัวแปร (Y) ได้ โดยผลการตัดสินใจสรุปข้อสมมติฐานสามารถพิจารณาได้จากค่า p - value หรือ observed level of significance นั่นคือ หากค่า p - value มีค่าน้อยกว่าค่าระดับนัยสำคัญสามารถสรุปได้ว่าเงื่อนไขนั้นจะปฏิเสธสมมติฐานหลัก และหากค่า p - value มีค่ามากกว่าค่าระดับนัยสำคัญจะสรุปได้ว่าเงื่อนไขนั้นจะยอมรับสมมติฐานหลัก

### 2.5.5 ตัวเลือกทดสอบทางสถิติ

การทดสอบทางสถิติมีไว้เพื่อทำการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับพารามิเตอร์ตัวใดของประชากรและสิ่งที่จะต้องพิจารณาเป็นอันดับต่อไปคือข้อกำหนดของตัวทดสอบสถิติที่จะนำมาใช้ว่ามี ความเหมาะสมกับข้อมูลหรือไม่ โดยสามารถจำแนกประเภทของตัวทดสอบสถิติแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ได้แก่ 1) ตัวทดสอบสถิติแบบใช้พารามิเตอร์ (Parametric test) ที่ใช้กับข้อมูลที่มี มาตรการวัดแบบช่วงหรืออัตราส่วน ประชากรของข้อมูลจะต้องมีการแจกแจงแบบปกติหรือใกล้เคียง (Normal distribution) และ (2) ตัวทดสอบสถิติแบบไม่ใช้พารามิเตอร์ (None - Parametric test) จะใช้กับข้อมูลที่ไม่มีการแจกแจงแบบปกติ (None distribution) ซึ่งระดับข้อมูลและประเภทในการ เลือกใช้ตัวทดสอบทางสถิติสามารถสรุปการใช้งานเบื้องต้นได้ตามตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 แสดงระดับข้อมูล ประเภทของสถิติและตัวอย่างการเลือกใช้ตัวทดสอบสถิติที่เหมาะสม

ระดับข้อมูล	ประเภทของตัวทดสอบ	เครื่องมือทดสอบสถิติ
อัตราส่วน, อันตรภาค	Parametric test	t-test (One sample, Pair sample), ANOVA, Regression, Pearson Correlation
เรียงลำดับ, นามบัญญัติ	None - Parametric test	Spearman Correlation, Mann-Whitney Wilcoxon

เนื่องจากการคำนวณในทางสถิติจะมีวิธีการคำนวณที่ซับซ้อน หากข้อมูลประชากรมีจำนวนมากจะทำให้การวิเคราะห์ข้อมูลสถิติเป็นเรื่องที่ยุ่งยาก ฉะนั้นการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ สามารถใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) ในการจัดการข้อมูลประชากร รวมถึงการใช้เครื่องมือทดสอบสถิติต่างๆ ที่เหมาะสมกับการวิเคราะห์ข้อมูลหรือตัวแปรต่างๆ ได้ ในที่นี้จะนำเสนอตัวอย่างการตั้งสมมติฐาน การทดสอบสมมติฐาน รวมถึงการวิเคราะห์และประเมินผล ในบางส่วนเบื้องต้นจากโปรแกรมการจัดการทางสถิติ (สำนักงานสถิติแห่งชาติ กระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร n.d.)

(1) ตัวอย่างทดสอบสถิติสำหรับข้อมูล 1 กลุ่ม แบบ One Sample T - test

ประเภทตัวทดสอบสถิติ : ใช้พารามิเตอร์

ลักษณะการทดสอบ : ใช้ทดสอบค่าเฉลี่ยสำหรับประชากร 1 กลุ่ม

ข้อกำหนด : ตัวแปรที่ต้องการศึกษาเป็นข้อมูลเชิงปริมาณที่มีระดับการวัดอยู่ในมาตรอันตรภาคหรืออัตราส่วนและมีการแจกแจงแบบปกติ

ตัวอย่าง ต้องการทราบว่าคะแนนเฉลี่ยวิชาการเขียน(write) มีค่าเท่ากับ 50 คะแนนหรือไม่

กำหนด สมมติฐานหลัก  $H_0 : \mu = 50$

สมมติฐานรอง  $H_A : \mu \neq 50$

SPSS Output

One-Sample Statistics

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
writing score	200	52.7750	9.47859	.67024

One-Sample Test

	Test Value = 50					
	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
					Lower	Upper
writing score	4.140	199	.000	2.7750	1.4533	4.0967

สรุปผล จากผลการวิเคราะห์พบว่า ค่าสถิติ  $t = 4.14$  และ P-value หรือ Sig.(2-tailed) มีค่าน้อยกว่า 0.0001 ซึ่งน้อยกว่าค่า  $\alpha = 0.05$  ดังนั้นจึงปฏิเสธสมมติฐานหลัก และยอมรับสมมติฐานรอง นั่นคือคะแนนเฉลี่ยวิชาการเขียนมีค่าไม่เท่ากับ 50 คะแนน ที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05

(2) ตัวอย่างทดสอบสถิติสำหรับข้อมูล 2 กลุ่ม แบบ Paired Samples T-test

ประเภทตัวทดสอบสถิติ : ไชพารามิเตอร์

ลักษณะการทดสอบ : ใช้ทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของประชากร 2 กลุ่มที่ไม่เป็นอิสระต่อกันหรือทดสอบผลต่างของค่าเฉลี่ยของข้อมูลจาก 1 ประชากรแต่มีการวัดซ้ำ 2 ครั้ง

ข้อกำหนด : ตัวแปรตามเป็นข้อมูลเชิงปริมาณ ที่มีระดับการวัดอยู่ในมาตราอันดับ หรืออัตราส่วน และมีการแจกแจงแบบปกติ ตัวแปรอิสระเป็นข้อมูลเชิงกลุ่มที่มีระดับการวัดอยู่ในมาตรานามบัญญัติ หรือเรียงลำดับ ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม

ตัวอย่าง ต้องการทราบว่าคะแนนสอบเฉลี่ยวิชาการอ่าน (read) และวิชาการเขียน (write) ของนักเรียน (ซึ่งวัดจากคนเดียวกัน) แตกต่างกันหรือไม่

กำหนด สมมติฐานหลัก  $H_0 : \mu_d = 50$

สมมติฐานรอง  $H_A : \mu_d \neq 50$

เมื่อ  $\mu_d$  คือ ผลต่างระหว่างคะแนนสอบเฉลี่ยวิชาการอ่านและวิชาการเขียน

## SPSS Output

## Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	reading score	52.2300	200	10.25294	.72499
	writing score	52.7750	200	9.47859	.67024

## Paired Samples Test

		Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
					Lower	Upper			
Pair 1	reading score - writing score	.545	8.887	.628	-0.694	1.784	.867	199	.387

สรุปผล จากผลการวิเคราะห์พบว่า ค่าสถิติ  $t = 0.867$  และ P-value เท่ากับ  $.387$  ซึ่งมากกว่าค่า  $\alpha = 0.05$  ดังนั้นจึงยอมรับสมมติฐานหลัก นั่นคือ คะแนนสอบเฉลี่ยวิชา การอ่านและวิชาการเขียนของนักเรียนแต่ละคนไม่แตกต่างกัน

(3) ตัวอย่างทดสอบสถิติสำหรับข้อมูล 2 กลุ่ม แบบ Wilcoxon signed rank sum test

ประเภทตัวทดสอบสถิติ : ไม่ใช่พารามิเตอร์

ลักษณะการทดสอบ : ใช้ทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของประชากร 2 กลุ่มที่ไม่เป็นอิสระต่อกันหรือทดสอบผลต่างของค่าเฉลี่ยของข้อมูลจาก 1 ประชากรแต่มีการวัดซ้ำ 2 ครั้ง

ข้อกำหนด : ตัวแปรตามเป็นข้อมูลเชิงปริมาณ ที่มีระดับการวัดอยู่ในมาตราและไม่จำเป็นต้องมีการแจกแจงแบบปกติ

ตัวอย่าง ต้องการทราบว่าคะแนนสอบเฉลี่ยวิชา การอ่าน (read) และวิชาการเขียน (write) ของนักเรียน (ซึ่งวัดจากคนเดียวกัน) แตกต่างกันหรือไม่ หมายเหตุ : ใช้ข้อมูลตัวอย่างเดียวกันเพื่อเปรียบเทียบผลของประเภทการทดสอบ

กำหนด สมมติฐานหลัก  $H_0 : m_d = 50$

สมมติฐานรอง  $H_A : m_d \neq 50$

เมื่อ  $m_d$  คือ ผลต่างระหว่างค่ามัธยฐานของคะแนนสอบวิชา การอ่าน และวิชาการเขียน

## SPSS Output

## Ranks

	N	Mean Rank	Sum of Ranks
Negative Ranks	97(a)	95.47	9261.00
Positive Ranks	88(b)	90.27	7944.00
Ties	15(c)		
Total	200		

a reading score < writing score b reading score > writing score c reading score = writing score

## Test Statistics(b)

	reading score - writing score
Z	-.903(a)
Asymp. Sig. (2-tailed)	.366

a Based on positive ranks.

b Wilcoxon Signed Ranks Test

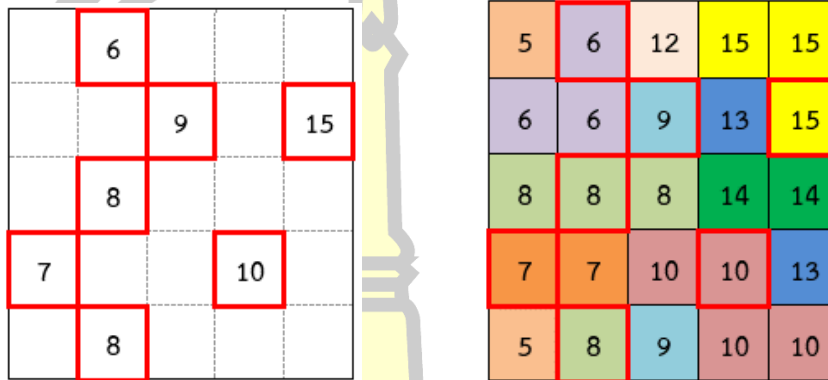
จากผลการวิเคราะห์พบว่า ค่า P-value = 0.366 ซึ่งมากกว่า  $\alpha = 0.05$  จึงยอมรับ  $H_0$  นั่นคือ คะแนนสอบวิชาการอ่านและวิชาการเขียนของนักเรียนแต่ละคนไม่แตกต่างกัน

## 2.6 การแทรกค่าข้อมูล (Interpolation)

เพื่อการทำนายหรือการประมาณค่าที่ต้องการทราบซึ่งอยู่ระหว่างจุดข้อมูลที่มีอยู่ โดยส่วนใหญ่จุดข้อมูลที่เก็บหรือจากการทดลองจะเป็นจุดที่ไม่ต่อเนื่อง (discrete points) การสร้างเส้นกราฟต่อเนื่องผ่านจุดข้อมูลที่เลือก (fit curve) จึงเป็นฟังก์ชันที่มีส่วนสำคัญในการอธิบายแนวโน้มของข้อมูล ฉะนั้นการเลือกวิธีการสำหรับการสร้างฟังก์ชันในการอธิบายจะมีความเหมาะสมแตกต่างกันไป และด้วยวิธีการแทรกค่าข้อมูล (Interpolation) นี้ เหมาะสำหรับจุดข้อมูลที่มีความถูกต้องสูงหรือเป็นข้อมูลตัวอย่างที่บันทึกค่าด้วยเครื่องมือวัดที่มีความเที่ยงตรงสูง การเก็บจำนวนตัวอย่างข้อมูลในบางครั้งอาจมีขีดจำกัดหรือได้จุดข้อมูลที่ไม่เพียงพอตามที่ต้องการ เนื่องจากอุปกรณ์หรือเครื่องมือวัดมีค่าใช้จ่ายสูง เช่น การวัดค่าการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรที่ขึ้นอยู่กับค่าความสูง ณ ตำแหน่งที่ต่างกันของพื้นที่ศึกษา เพื่อให้ได้ข้อมูลในช่วงเวลาเดียวกัน แต่ละตำแหน่งอาจจะต้องติดตั้งเครื่องมือจำนวนมาก ดังนั้นการเก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ด้วยวิธีการแทรกค่าข้อมูลของการทำนายค่าให้กับตำแหน่งที่ไม่ได้เก็บตัวอย่างข้อมูลจึงมีความเหมาะสมมากกว่า โดยฟังก์ชันทั่วไปที่ใช้สำหรับการแทรกค่าคือฟังก์ชันพหุนาม(Polynomial function) ที่ช่วงกำลังพหุนามต่างๆ ขึ้นกับจำนวนข้อมูลที่มี ซึ่งรูปแบบทั่วไปของฟังก์ชันพหุนามสามารถเขียนได้เป็น

$$P_n(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 + \dots + a_nx^n \quad (1.21)$$

ด้วยวิธีการแทรกค่าข้อมูล (Interpolation) ดังกล่าว ทำให้สามารถวิเคราะห์บริเวณที่ไม่ได้เก็บตัวอย่างข้อมูล ซึ่งมีประโยชน์อย่างมากกับการทำนายค่าให้กับเซลล์บนแผนที่ทางภูมิศาสตร์



รูปที่ 2.13 แสดงรูปแบบการประมาณข้อมูลของตำแหน่งหรือเซลล์ที่ไม่ทราบค่า

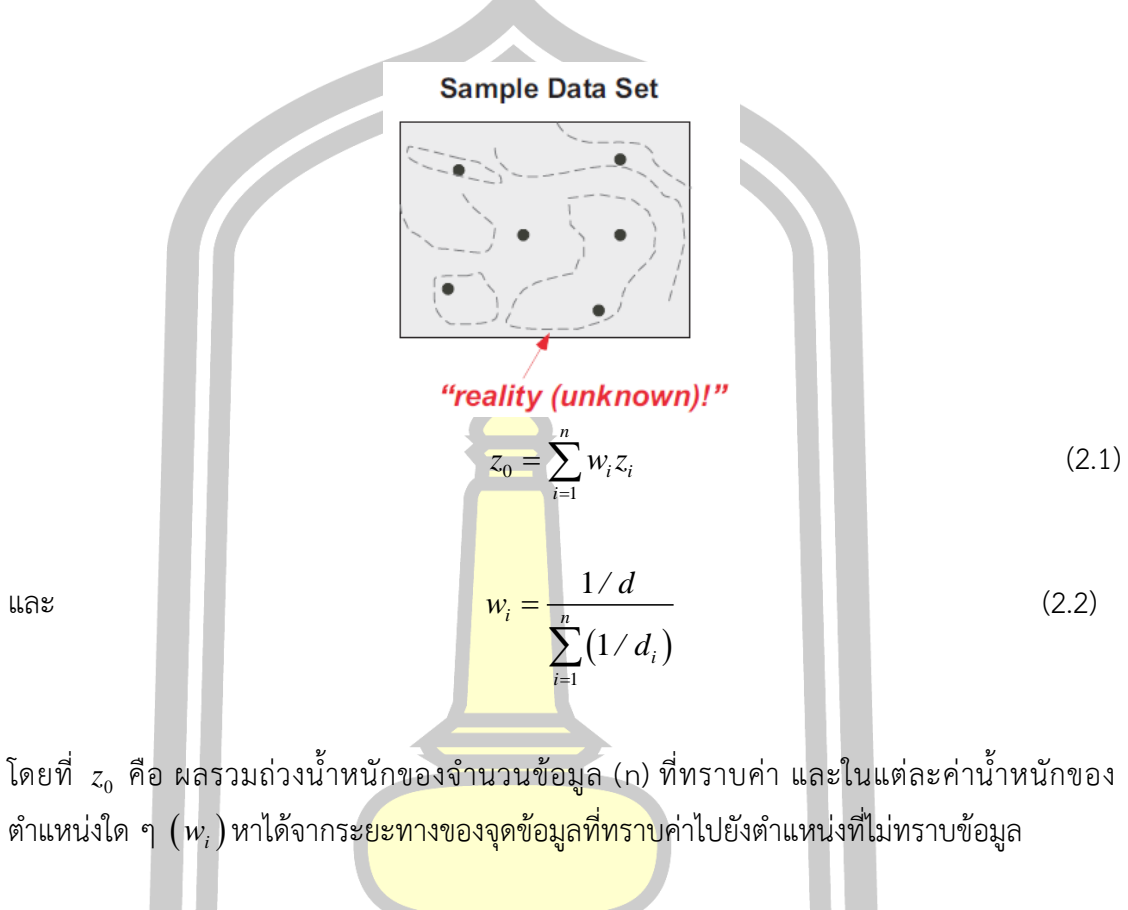
### 2.6.1 สถิติภูมิศาสตร์ (Geostatistics)

การศึกษาปรากฏการณ์ที่มีลักษณะแตกต่างกันไปในพื้นที่หรือเวลา (Deutsch, 2002) โดยข้อมูลที่มีค่าขึ้นอยู่กับตำแหน่งที่อยู่ในภูมิประเทศ เช่น ระดับความสูง ชนิดของหิน คุณภาพของอากาศ เป็นต้น จะพบว่าโดยทั่วไปแล้วข้อมูลในการสร้างทางสถิติทั่วไปไม่มีความสมบูรณ์เพียงพอในการอธิบายเนื่องจากลักษณะของข้อมูลที่ได้มาอาจไม่เพียงพอ ครอบคลุมตามต้องการ เพราะมีความสัมพันธ์เพิ่มเติมเกี่ยวข้องกันตามทิศทางและระยะทางจากตำแหน่งที่สนใจ การอธิบายความต่อเนื่องเชิงพื้นที่ของปรากฏการณ์ทางธรรมชาติและเทคนิคการปรับค่าหรือแทรกค่าแบบถดถอยที่เป็นประโยชน์ต่อการพิจารณาดังกล่าวจึงมีส่วนสำคัญอย่างยิ่ง (Isaaks and Srivastava, 1989) ด้วยฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ คือ วาริโอแกรม (Varioqram) ซึ่งเป็นฟังก์ชันที่มีสมมติฐานเชิงสถิติว่าค่าของตัวอย่างใดๆ ที่อยู่ห่างกันเป็นระยะและทิศทางเท่ากัน จะมีความแตกต่างของค่าข้อมูลคงที่สม่ำเสมอภายในขอบเขตที่กำหนด

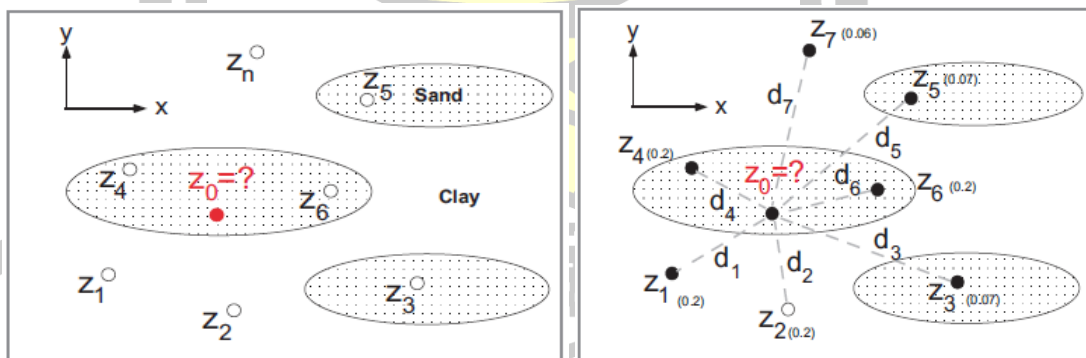
### 2.6.2 กระบวนการคริกกิง (Kriging) ในโปรแกรมระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (ArcGis)

การแทรกค่าที่เหมาะสมบนพื้นฐานด้วยวิธีการถดถอยจากจุดข้อมูลที่อยู่รอบตำแหน่งที่สนใจกับความแปรปรวนถ่วงน้ำหนักเชิงพื้นที่ ทำให้ได้ค่าการประมาณของตัวแปรที่ไม่เกิดจากการเก็บข้อมูล จากสถานีเก็บข้อมูลห่างออกไปโดยรอบ (Bohling, Scientist, and Geological

2005) หรือ เป็นวิธีการทำนายค่าของพื้นที่ในตำแหน่งที่ข้อมูลมีไม่เพียงพอหรือข้อมูลที่หายไป โดยใช้ค่าข้อมูลที่อยู่ข้างเคียงมาทำการประมาณค่าดังกล่าว



โดยที่  $z_0$  คือ ผลรวมถ่วงน้ำหนักของจำนวนข้อมูล ( $n$ ) ที่ทราบค่า และในแต่ละค่าน้ำหนักของตำแหน่งใด ๆ ( $w_i$ ) หาได้จากระยะทางของจุดข้อมูลที่ทราบค่าไปยังตำแหน่งที่ไม่ทราบข้อมูล



รูปที่ 2.14 ตัวอย่างรูปแบบการประมาณตำแหน่งที่ไม่ทราบค่า จากจุดข้อมูลที่ทราบค่าโดยรอบตามระยะทางที่เปลี่ยนแปลงไปตามพื้นที่

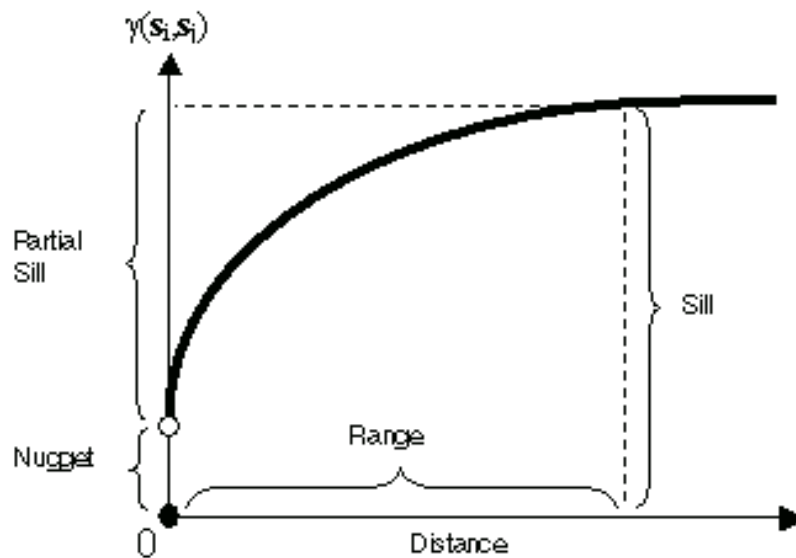
วิธีคริกกิงอาศัยการวัดระยะห่างของจุดข้อมูลทุกคู่ (Pairs of sample point) เพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกันเชิงพื้นที่ ซึ่งใช้หลักการการประมาณค่า สิ่งที่อยู่ใกล้กันจะมีความคล้ายคลึงกันมากกว่าสิ่งที่อยู่ห่างออกไป เมื่อคู่ระยะห่างของข้อมูลดังกล่าวถูกพิจารณาจากฟังก์ชันทาง



คณิตศาสตร์ด้วยแบบจำลองเซมิวาริโอแกรม (Semi-Variogram) และการประมาณด้วยวิธีนี้จะให้ผลลัพธ์ที่ค่อนข้างแม่นยำ ผลการประมาณที่ดีที่สุดจะมีค่าตรงกับข้อมูลตั้งต้น นิยามความน่าจะเป็นโดยทั่วไปสำหรับฟังก์ชันเซมิวาริโอแกรม แสดงได้เป็น

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{N(h)} [z(u) - z(u+h)]^2 \quad (2.3)$$

โดยทั่วไปการวิเคราะห์กราฟเซมิวาริโอแกรมจะพิจารณาตามองค์ประกอบรวมดังนี้



รูปที่ 2.15 แสดงองค์ประกอบโดยทั่วไปสำหรับการวิเคราะห์กราฟเซมิวาริโอแกรม (Semi-Variogram)

Sill คือ ค่าเซมิวาริโอแกรมสูงสุดที่ไม่เปลี่ยนแปลงอีกแม้ระยะทางเพิ่มขึ้น แสดงว่าความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล ณ ตำแหน่งนี้เป็นต้นไป ค่าความแปรปรวนของความแตกต่างทุกค่าไม่แปรผันตามระยะทางระหว่างจุดข้อมูล

Nugget คือ ค่าเซมิวาริโอแกรมที่ระยะทาง 0 เป็นค่าที่แสดงความคลาดเคลื่อนอิสระ (Independent error) ของชุดข้อมูล

Range คือ ระยะทางตามแนวแกน X จากตำแหน่งที่มีค่าเซมิวาริโอแกรมต่ำสุดกระทั่งมีค่าสูงสุด (ตำแหน่ง Sill) ดังนั้นช่วงระยะ Range จะแสดงให้เห็นทราบว่าช่วงระยะห่างเท่าใดของจุดข้อมูลที่ค่าความแตกต่างของจุดข้อมูลขึ้นกับระยะทาง (บัณฑิต สิงห์จันทร์, 2550)

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมกับข้อมูลต่อการวิเคราะห์ด้วยกราฟเซมิวาริโอแกรมที่นิยมใช้สำหรับการอธิบาย เช่น ทรงกลม (Spherical), เอกซ์โพเนนเชียล (Exponential), เกาส์ (Gaussian) และเส้นตรง (Linear) เป็นต้น โดยมีรูปแบบสมการสำหรับการพิจารณาดังนี้ (Geoff Bohling, 2005)

$$\begin{aligned}
 \text{Nugget:} \quad g(h) &= \begin{cases} 0 & \text{if } h = 0 \\ c & \text{otherwise} \end{cases} \\
 \text{Spherical:} \quad \gamma(h) &= \begin{cases} c \cdot \left( 1.5 \left( \frac{h}{a} \right) - 0.5 \left( \frac{h}{a} \right)^3 \right) & \text{if } h \leq a \\ c & \text{otherwise} \end{cases} \\
 \text{Exponential:} \quad \gamma(h) &= c \cdot \left( 1 - \exp\left( \frac{-3h}{a} \right) \right) \\
 \text{Gaussian:} \quad \gamma(h) &= c \cdot \left( 1 - \exp\left( \frac{-3h^2}{a^2} \right) \right) \\
 \text{Linear:} \quad \gamma(h) &= c_0 + c \left( \frac{h}{a} \right) \quad 0 < h \leq a
 \end{aligned} \tag{2.4}$$

พหุ ประ โท ชี เว

## 2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บัณฑิต สิงห์จันทร์ (2556) ได้ทำการศึกษาปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมืองในบรรยากาศบริเวณเขตเทศบาลนครเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ ได้ทำการตรวจวัดอุณหภูมิอากาศโดยใช้ยานพาหนะเคลื่อนที่ตามเส้นทางที่กำหนดขึ้นในตัวเมือง โดยทำการเก็บข้อมูลทั้งช่วงเวลากลางวันและกลางคืน อีกทั้งเก็บข้อมูลในช่วงฤดูร้อนและฤดูหนาว จากนั้นทำการสร้างเส้นอุณหภูมิเท่า (Isothermal map) จะพบว่าปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมืองในบรรยากาศจะสูงสุดของวันคือช่วงเวลาประมาณ 20.00 น. โดยมีขนาดของเกาะความร้อนสูงสุด 3.6 °C ในช่วงฤดูร้อนและ 4.1 °C ในช่วงฤดูหนาว และจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม งานวิจัยนี้ได้แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ในการทำนายขนาดของเกาะความร้อนเมืองจากร้อยละของสิ่งปกคลุมดินที่เป็นประเภทสิ่งปลูกสร้างได้เป็น  $UHII_B (^{\circ}C) = 0.0633X_B - 0.6125$  และสมการทำนายขนาดของเกาะความร้อนเมืองจากร้อยละของสิ่งปกคลุมดินประเภทพืชพรรณ ได้เป็น  $UHII_B (^{\circ}C) = -0.0632X_G + 4.3622$  จากสมการทำนายทั้งสองจะได้ค่า  $R^2$  มีค่าเท่ากับ 0.88 และ 0.85 ตามลำดับ

ปยุตน์ช รุจิโรโก (2558) ได้ทำการศึกษาปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมืองในเขตเทศบาลนครหาดใหญ่และพื้นที่รอบนอก ทำการตรวจวัดค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์แบบติดยานพาหนะ โดยทำการศึกษาในช่วงเวลากลางวันและกลางคืน ซึ่งได้นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์และประยุกต์ใช้กับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่า ความเข้มข้นของเกาะความร้อนเมืองทั้งสองช่วงเวลามีค่าเท่ากับ 2.5 °C และ 5 °C ตามลำดับ แต่บริเวณที่เป็นรอบนอกในบางบริเวณยังแสดงอุณหภูมิที่สูงอยู่

วิชญ์ ก่อพิมพ์ (2556) ได้ทำการศึกษาอุณหภูมิพื้นผิวที่มีการเปลี่ยนแปลงไปอันเนื่องมาจากการใช้ประโยชน์ที่ดินของกรุงเทพมหานครในช่วงปี พ.ศ. 2552-2557 โดยการประยุกต์ใช้จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 5 TM และ Landsat 8 OLI ซึ่งได้วิเคราะห์ในความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิพื้นผิวและสัดส่วนการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าในช่วงเวลา 5 ปีที่ผ่านมา มีการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่เมืองเพิ่มขึ้นของสิ่งปลูกสร้างจากร้อยละ 54.23 เป็น 65.39 เช่นเดียวกันพื้นที่สีเขียวจากร้อยละ 37.36 ลดลงเหลือ 24.38 ของพื้นที่ทั้งหมด และนั่นได้ชี้ให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่เมืองที่สูงขึ้นจะส่งผลต่ออุณหภูมิพื้นผิวสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

มานัส ศรีวณิช และ คาซโนริ โฮเกา (Srivanit 2012) ได้นำข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมจาก Landsat TM โดยการศึกษาจากข้อมูลความร้อน(ย่านอินฟราเรด) เพื่อทำการประเมินปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมืองที่เกิดขึ้นในเขตกรุงเทพมหานคร ซึ่งเลือกช่วงเวลาที่แตกต่างกัน 3 ปี คือ 1994, 2000 และ 2009 จากผลการวิเคราะห์ค่าอุณหภูมิพื้นผิวที่ได้แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มของแต่ละปีมี

ค่าที่สูงขึ้นตามการเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมดิน (26.01 °C, 37.76 °C และ 39.79 °C) อีกทั้งยังส่งผลกระทบต่ออุณหภูมิอากาศอย่างชัดเจน โดยงานวิจัยนี้ได้ทำการเปรียบเทียบอุณหภูมิพื้นผิวกับอุณหภูมิอากาศจากจุดสถานีตรวจวัด(เป็นจุด) ทั้งในบริเวณเขตกลางเมืองและชานเมือง ได้แสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงพื้นที่สีเขียวได้ส่งผลกระทบต่ออุณหภูมิในบรรยากาศโดยตรง

Zhang, X.X., Wu, P. F. and Chen, B. (2010) ได้ทำการศึกษาในความสัมพันธ์ของการลดลงของพืชพรรณและค่าความสว่างอุณหภูมิเชิงพื้นผิวที่ก่อให้เกิดเกาะความร้อนในเมืองในมณฑลประเทศจีน ซึ่งได้ใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมจาก Landsat TM ในการวิเคราะห์คำนวณถึงค่าดัชนีพืชพรรณ (NDVI) และ ค่าอุณหภูมิพื้นผิว (Brightness Temperature) พร้อมทั้งแบ่งพื้นที่ย่อย ๆ ในการศึกษาเพิ่มเติมโดยกำหนดทิศทางห่างจากศูนย์กลางของเมืองหลวงเป็นระยะห่างที่เท่า ๆ กัน และได้สร้างความสัมพันธ์ระหว่าง NDVI กับ  $T_b$  แบบการถดถอยเชิงเส้น พบว่ามีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญในเชิงลบตามระยะทางที่ห่างจากจุดศูนย์กลางเมืองหลวงออกไป

Zsolt et al. (Bottyán et al. 2005) ได้ทำการศึกษาพื้นที่ปกคลุมดินด้วยสิ่งปลูกสร้างต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศใกล้พื้นผิวบริเวณเมืองเดเบอร์เซน ประเทศฮังการี ซึ่งมีการเก็บข้อมูลอุณหภูมิอากาศด้วยยานพาหนะ (Mobile traverses) ตามเส้นทางที่กำหนดขึ้นในแต่ละฤดูกาลใน 1 ปี โดยนำข้อมูลมาสร้างเส้นอุณหภูมิเท่า เพื่อแสดงรูปแบบความสัมพันธ์ของเกาะความร้อนเมืองที่เกิดขึ้นกับร้อยละของสิ่งปลูกสร้างในพื้นที่เมือง ซึ่งผลที่ได้แสดงให้เห็นได้ว่าขนาดของเกาะความร้อนเมืองมีค่าเท่ากับ 2.0 °C ในช่วงฤดูร้อน และ 2.5 °C ที่ไม่ใช่ฤดูร้อน

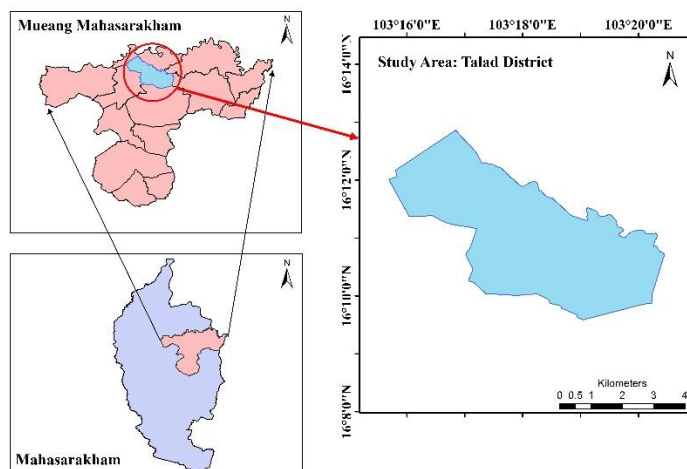
Hideki takebayashi (Takebayashi and Moriyama 2009b) ได้ทำการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงขนาดของปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมือง โดยการเปลี่ยนวัสดุที่ปกคลุมดินบริเวณลานจอดรถจากประเภทแอสฟัลต์เป็นพื้นที่สีเขียว (หญ้า) และทำการตรวจวัดค่าความร้อนพื้นผิวจากภาพความร้อนอินฟราเรด ทั้งช่วงเวลากลางวันและกลางคืน ซึ่งให้ผลขนาดของเกาะความร้อนเมืองมีแนวโน้มที่ลดลง และอุณหภูมิพื้นผิวลานจอดรถมีแนวโน้มที่ลดลงตามการเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนพื้นที่สีเขียว จากการวิเคราะห์เพิ่มเติมแสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนพื้นผิวลานจอดรถจากปกคลุมด้วยแอสฟัลต์เป็นปกคลุมด้วยหญ้าทำให้อัตราการแผ่พลังงานความร้อนของพื้นผิวลดลงประมาณ 100-150 วัตต์/ตารางเมตร ในช่วงเวลากลางวัน และลดลงประมาณ 50 วัตต์/ตารางเมตร ในช่วงเวลากลางคืน

### บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

#### 3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

เขตเทศบาลเมืองมหาสารคาม ตำบลตลาด อำเภอเมืองมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม มีเนื้อที่ประมาณ 24.14 ตารางกิโลเมตร ตั้งอยู่ที่พิกัด  $16^{\circ}10'38.1''\text{N}$   $103^{\circ}18'3.5''\text{E}$  เป็นพื้นที่ราบสูง กระจุกตัว พื้นที่โดยทั่วไปมีความสูงจากระดับน้ำทะเลประมาณ 130-230 เมตร ตามข้อมูล พ.ศ. 2549 พบว่าประชากรในเขตเทศบาลเมืองมหาสารคามมีจำนวนทั้งสิ้น 40,161 คน ความหนาแน่นของประชากร 1,660 คน/ตารางกิโลเมตร (สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่ง, 2550) และข้อมูลในปี พ.ศ. 2562 มีอัตราความหนาแน่นของประชากรที่เพิ่มขึ้นเป็น 2,096 คน/ตารางกิโลเมตร (เทศบาลเมืองมหาสารคาม, 2562) แสดงว่าเขตเทศบาลเมืองมหาสารคามมีการขยายตัวของประชากรสูง เนื่องจากมีบทบาทสำคัญในการเป็นเมืองศูนย์กลางบริการทางการศึกษา ลักษณะสภาพอากาศตลอดปี ข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยาปี พ.ศ.2553 พบว่ามีอุณหภูมิเฉลี่ย (สูงสุด-ต่ำสุด) อยู่ที่  $33.37^{\circ}\text{C}$  และ  $22.12^{\circ}\text{C}$  ตามลำดับ เทศบาลเมืองมหาสารคามมีอาณาเขตติดต่อกับตำบลข้างเคียง ดังนี้

ทิศเหนือ	ติดต่อกับตำบลเกิ้ง อำเภอเมืองมหาสารคาม
ทิศใต้	ติดต่อกับตำบลแวงนาง อำเภอเมืองมหาสารคาม
ทิศตะวันออก	ติดต่อกับตำบลเขวาสินรินทร์ อำเภอเมืองมหาสารคาม
ทิศตะวันตก	ติดต่อกับตำบลท่าสองคอน อำเภอเมืองมหาสารคาม



รูปที่ 3.1 แสดงขอบเขตพื้นที่ศึกษา เขตเทศบาลเมืองมหาสารคาม ตำบล ตลาด อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม

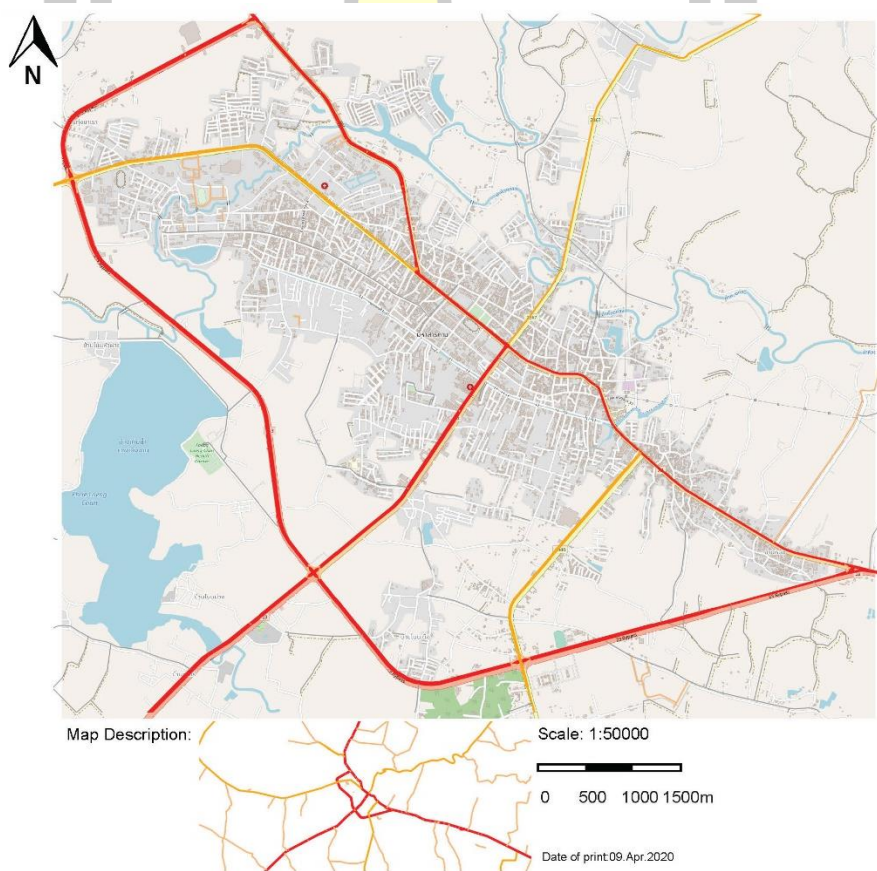
## 3.2 การเก็บรวบรวมข้อมูล

งานวิจัยนี้ ต้องการศึกษความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศที่เกิดขึ้นภายในพื้นที่เขตเมือง กับพื้นที่รอบนอกที่จะแสดงผลของปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมืองในบรรยากาศ การได้มาของข้อมูลสามารถแบ่งขั้นตอนได้ดังนี้

### 3.2.1 สำรวพื้นที่ที่ศึกษา

ศึกษาเส้นทางตามโครงข่ายถนนในเขตเทศบาลเมืองมหาสารคามพร้อมทั้งออกสำรวจพื้นที่จริง เพื่อวางแผนกำหนดเส้นทางในการเก็บข้อมูลเพื่อให้ระยะเวลามีความกระชับและครอบคลุมพื้นที่ศึกษามากที่สุด โดยกำหนดพื้นที่การเก็บข้อมูลออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่

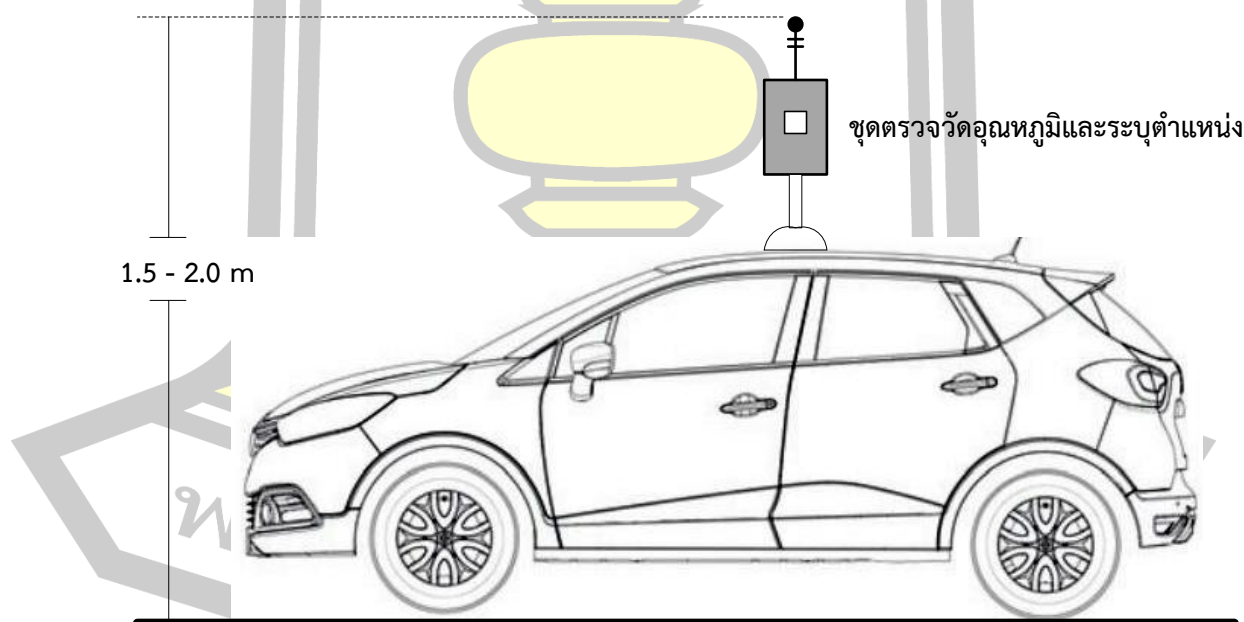
- ( 1 ) กำหนดเส้นทางในการเก็บข้อมูลอุณหภูมิอากาศภายในเขตเมือง
- ( 2 ) กำหนดเส้นทางในการเก็บข้อมูลอุณหภูมิอากาศรอบนอกเขตพื้นที่เมือง



รูปที่ 3.2 แสดงโครงข่ายถนนครอบคลุมพื้นที่ศึกษา (WFPGeoNode. (2018) n.d.)

### 3.2.2 ตรวจสอบเครื่องมือวัดและติดตั้งอุปกรณ์

จากการกำหนดเส้นทางในการเก็บข้อมูลอุณหภูมิอากาศนั้น จะต้องติดตั้งชุดวัดอุณหภูมิแบบใช้ยานพาหนะ (Mobile traverses) ที่ประกอบไปด้วยเทอร์โมมิเตอร์แบบดิจิทัลที่บันทึกค่าได้แบบอัตโนมัติ (Digital temperature data logger) และเครื่องรับสัญญาณจีพีเอส (GPS) เพื่อทำการบันทึกค่าอุณหภูมิอากาศขณะยานพาหนะเคลื่อนที่ผ่านบริเวณต่างๆ และสำหรับแสดงตำแหน่งของข้อมูลอุณหภูมิอากาศที่ตรวจวัด เนื่องจากชุดตรวจวัดอุณหภูมิจะเปลี่ยนตำแหน่งตลอดการวัดตามเส้นทาง ก่อนการติดตั้งอุปกรณ์กับยานพาหนะจะทำการทดสอบค่าการตอบสนองของเซนเซอร์ชุดตรวจที่สัมพันธ์กับความเร็วลมมากกระทบกับชุดตรวจเซนเซอร์ รวมถึงอุณหภูมิอากาศที่เปลี่ยนไป เพื่อกำหนดค่าความเร็วของยานพาหนะที่เหมาะสมต่อการเก็บข้อมูลอุณหภูมิอากาศ และเพื่อป้องกันความคลาดเคลื่อนของอุณหภูมิในการตรวจวัดเนื่องจากสาเหตุต่างๆ เช่น ความร้อนจากเครื่องยนต์ ความร้อนจากท่อไอเสียรถยนต์ ความร้อนจากพื้นผิวถนนและความร้อนจากแสงแดดโดยตรง เป็นต้น ชุดตรวจวัดอุณหภูมิอากาศจะต้องยกสูงจากพื้นประมาณ 1.50 – 2.00 เมตร หรืออยู่ห่างจากยานพาหนะขึ้นไปประมาณ 40-50 เซนติเมตร แสดงได้ดังรูปที่ 3.3 โดยข้อมูลที่ได้จากเครื่องตรวจวัดอุณหภูมิกับเครื่องแสดงตำแหน่ง (GPS) จะถูกนำมาเชื่อมโยงกันภายหลัง



รูปที่ 3.3 แสดงตัวอย่างการติดตั้งชุดอุปกรณ์สำหรับการตรวจวัดอากาศกับยานพาหนะ

### 3.2.3 เงื่อนไขสำหรับการเก็บข้อมูล

ทำการควบคุมความเร็วของยานพาหนะระหว่างตรวจวัดข้อมูลด้วยการตอบสนองที่เหมาะสม ขณะเดียวกันทำการตั้งค่าระยะเวลาในการบันทึกของชุดตรวจวัดอุณหภูมิให้ทำการเก็บข้อมูลทุก ๆ 5 วินาที โดยกำหนดจำนวนชุดตรวจวัดตัวอย่างที่ครอบคลุมพื้นที่ศึกษาที่เหมาะสมซึ่งจะต้องทำการควบคุมระยะเวลาในการตรวจวัดแต่ละเส้นทางให้เสร็จสิ้นภายใน 10-12 นาที เพื่อให้ได้ข้อมูลอุณหภูมิอากาศในช่วงเวลาที่ใกล้เคียงกัน

### 3.2.4 ช่วงเวลา

ปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมืองในบรรยากาศจะแสดงค่าที่เด่นชัดในตอนกลางคืนในช่วงฤดูหนาว (หลังพระอาทิตย์ตก) ฉะนั้นงานวิจัยนี้จึงได้เลือกเก็บข้อมูลตัวอย่างในช่วงฤดูหนาวของเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2563 ช่วงเวลาของวันได้แก่ เวลา 16.00 น., 17.00 น., 18.00 น., 19.00 น. และ 20.00 น. โดยทำการคัดกรองข้อมูลตัวอย่างเฉพาะในวันที่ลมสงบและปราศจากเมฆ มาใช้ในการคำนวณเพื่อระบุขนาดของปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมือง เนื่องจากสภาพอากาศเหล่านี้จะเป็นตัวขัดขวางการก่อตัวของปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมือง ซึ่งอาจทำให้ผลการศึกษาคิดเพี้ยนไป (Singhachantra, 2012)

### 3.2.5 ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 OLI&TIRS

เลือกใช้ข้อมูลในช่วงเวลาที่ใกล้เคียงกับการเก็บข้อมูลตัวอย่างให้มากที่สุด เพื่อลดความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการใช้ประโยชน์ที่ดินในช่วงเวลาที่แตกต่างกันหลายปี และทำการปรับแก้ค่าการสะท้อนรังสีและมุมความสูงดวงอาทิตย์ช่วงคลื่นตามสมการ เพื่อนำไปคำนวณค่าดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณ (NDVI) และอื่นๆ ต่อไป

$$P\lambda = \frac{P\lambda'}{\sin(\theta_{SE})} = \frac{M_p Q_{cal} + A_p}{\sin(\theta_{SE})}$$

เมื่อ  $P\lambda$  คือ ค่าการสะท้อนรังสี

$M_p$  คือ ค่า Reflectance Multi Band เฉพาะแบนด์ที่ศึกษา จากข้อมูล Metadata

$Q_{cal}$  คือ ค่า Digital Number (DN) ที่ตรวจวัดได้ของแบนด์ที่ศึกษา

$A_p$  คือ ค่า Reflectance Add Band เฉพาะแบนด์ที่ศึกษา จากข้อมูล Metadata

$\theta_{SE}$  คือ ค่า Sun Elevation จากข้อมูล Metadata



### 3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

#### 3.3.1 โปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับการจัดการข้อมูลและคำนวณ

ได้แก่ โปรแกรมจัดการระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ ArcGis V. 10.5, Envi V 5.0 (Vicente-Serrano, Cuadrat-Prats, and Saz-Sánchez 2005), SPSS และ OriginGraph 6.0

#### 3.3.2 เครื่องบันทึกข้อมูลอุณหภูมิแบบอัตโนมัติ

รุ่น HT-3027SD คุณลักษณะและข้อมูลจำเพาะทั่วไปของเครื่องตรวจวัดแสดงได้ดังรูปที่ 3.4 และ ตารางที่ 3.1



รูปที่ 3.4 เครื่องบันทึกอุณหภูมิแบบอัตโนมัติ รุ่น HT-3027SD ผลิตโดย Lutron

ตารางที่ 3.1 แสดงรายละเอียดข้อมูลทั่วไปเครื่องตรวจวัดอุณหภูมิ

รายการ/ประเภท	รายละเอียด
เชื่อมต่อเทอร์โมคัปเปิ้ล	Type K/J
ช่วงการวัดอุณหภูมิ	0 ถึง 50 °C
ช่วงการวัดความชื้น	5 ถึง 95%RH
ความละเอียดการแสดงผล	0.01 (°C / %RH)
ค่าความแม่นยำ	± 0.8 °C, ± 3% reading + 1%RH
Sampling Time	1 ถึง 3600 วินาที
บันทึกข้อมูล	Auto/ Manual

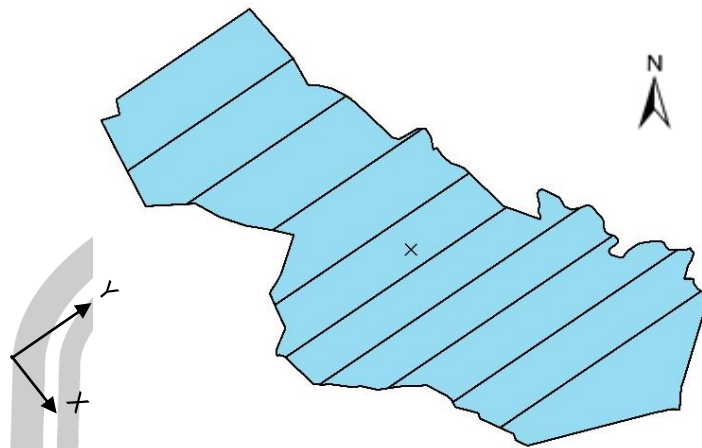
### 3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

#### 3.4.1 การสร้างแผนที่เส้นอุณหภูมิเท่า (Isotherm map)

การวิจัยครั้งนี้ จะทำการเลือกข้อมูลอุณหภูมิอากาศเฉพาะในวันที่ลมสงบและปราศจากเมฆ มาใช้ในการคำนวณเพื่อระบุขนาดของปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมือง (Urban heat island intensity, UHI) ในพื้นที่ต่างๆ ตามเส้นทางที่ยานพาหนะเคลื่อนที่ผ่าน ส่วนข้อมูลในวันที่มีสภาพอากาศที่ไม่เป็นปกติ เช่น ลมแรง ฝนตกและมีเมฆมาก เป็นต้น จะไม่ถูกนำมาพิจารณาในการศึกษา เนื่องจากสภาพอากาศเหล่านี้จะเป็นตัวขัดขวางการก่อตัวของปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมือง ซึ่งอาจทำให้ผลการศึกษาคิดเพี้ยนไป โดยขนาดของปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมืองในบรรยากาศ สามารถนำมาคำนวณได้จากผลต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยภายในเขตเมืองกับอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยรอบ ๆ เมือง ตามสมการที่ (1.1) ซึ่งข้อมูลจากการตรวจวัดอุณหภูมิกับตำแหน่งจะถูกใช้ในการประมาณค่าเพื่อกระจายค่าข้อมูลให้ทั่วพื้นที่ศึกษา เพื่อสร้างแผนที่เส้นอุณหภูมิเท่า โดยใช้การประมาณค่าเชิงพื้นที่โดยกระบวนการคริกกิงแบบออรินารี (Ordinary) ในฟังก์ชัน Geostatistical Analyst ในโปรแกรม ArcGis V. 10.5 (Vicente-Serrano et al., 2005) ซึ่งขนาดของปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมือง จะถูกประมาณค่าและบันทึกค่าในเซลล์ตาราง (Raster Data) ซึ่งสามารถสรุปขั้นตอนเบื้องต้นในการประเมินผลของข้อมูลที่ได้มาดังแผนรูปที่ 3.4

#### 3.4.2 คำนวณค่าดัชนีพืชพรรณ (NDVI)

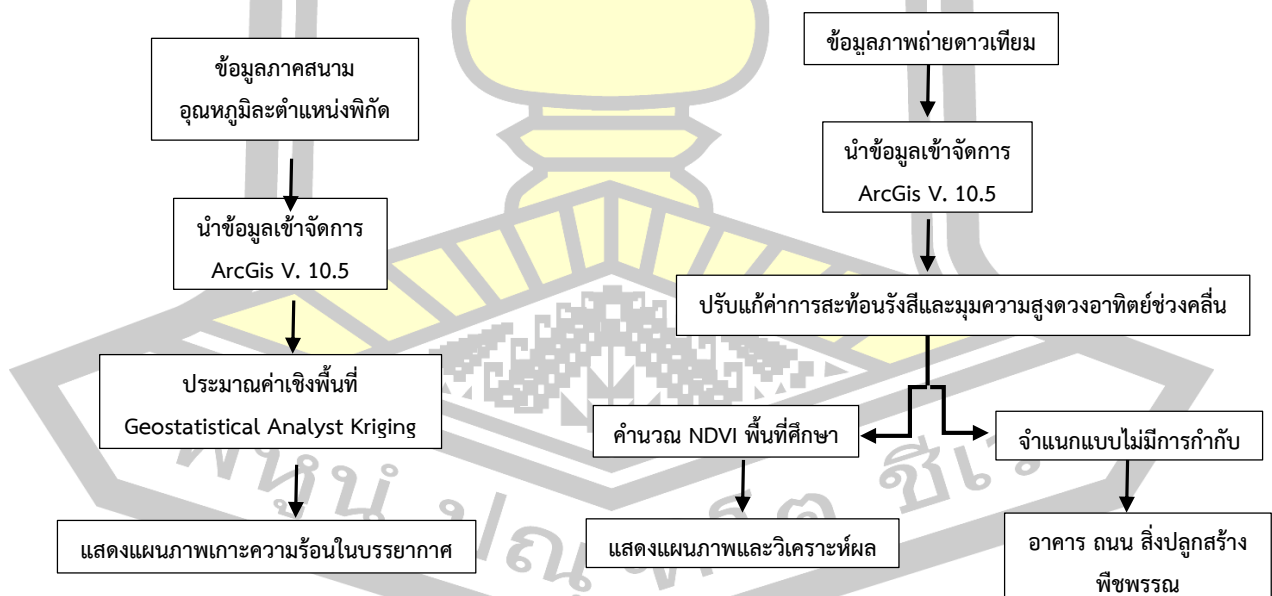
ทำการวิเคราะห์ค่า NDVI ภายในเขตพื้นที่เมืองจากภาพถ่ายดาวเทียมที่สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.8) เพื่อนำมาประกอบการวิเคราะห์ร่วมกับขนาดเกาะความร้อนเมืองในบรรยากาศ จากนั้นทำการแบ่งพื้นที่ส่วนย่อยขนาดเท่า ๆ กันภายในพื้นที่ศึกษาตามแนวทิศตะวันตกเฉียงเหนือไปยังทิศตะวันออกเฉียงใต้ผ่านใจกลางเมือง (ตามรูปที่ 3.5) และทำการวิเคราะห์ค่าดัชนีพืชพรรณกับผลอุณหภูมิอากาศหรือขนาดเกาะความร้อนที่ได้ในแต่ละพื้นที่ย่อย เพื่อพิจารณาและศึกษาถึงแนวโน้มความสัมพันธ์กับระยะที่ห่างจากจุดศูนย์กลางเมืองตามแบบวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้น (Linear regression analysis)



รูปที่ 3.5 กำหนดพื้นที่ย่อยตามแนวยาวของเมืองเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงที่มีความสัมพันธ์กับระยะห่างจากศูนย์กลางเมือง

### 3.4.3 จำแนกกลุ่มการสะท้อนแบบไม่มีการกำกับ (Unsupervised Classification)

ทำการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินจากภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 ในเขตพื้นที่ศึกษาในโปรแกรมจัดการระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ ArcGis V. 10.5 ด้วยเครื่องมือ Iso Cluster Unsupervised Classification โดยกำหนดกลุ่มตัวอย่างออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ 1) กลุ่มอาคาร ถนน สิ่งปลูกสร้าง 2) กลุ่มพืชพรรณ เพื่อนำมาวิเคราะห์และประเมินร่วมกับผลของแผนภาพเกาะความร้อนเมืองในบรรยากาศต่อไป



รูปที่ 3.6 แสดงแผนผังขั้นตอนเบื้องต้นสำหรับการประเมินแผนภาพเกาะความร้อนเมืองและการวิเคราะห์ภาพถ่ายดาวเทียมของพื้นที่ศึกษา

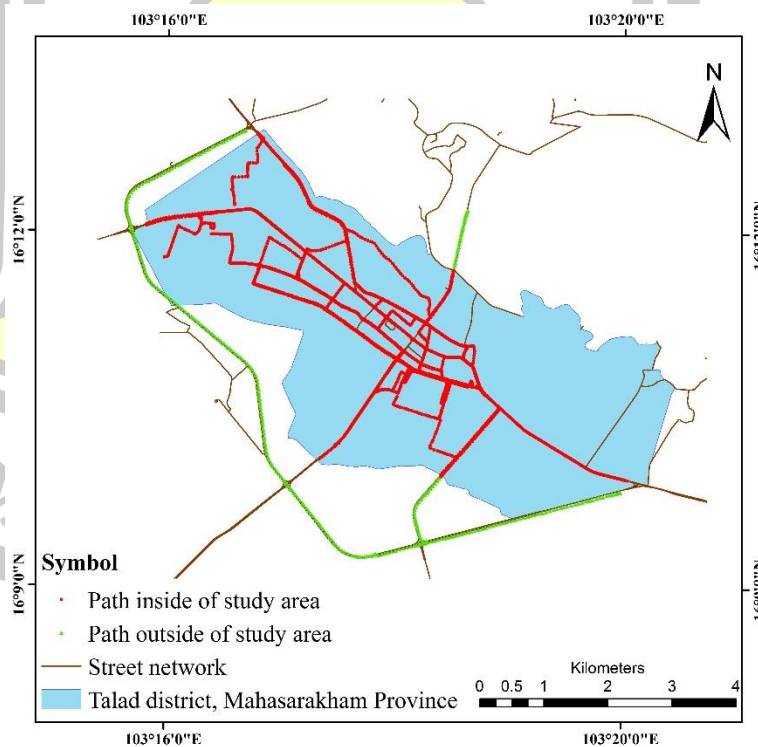
## บทที่ 4

### ผลการศึกษาและอภิปราย

#### 4.1 ผลประเมินการตอบสนองเครื่องตรวจวัดอุณหภูมิอากาศและเส้นทางในพื้นที่ศึกษา

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการวัดอุณหภูมิอากาศที่ทดสอบในห้องปฏิบัติการสำหรับเครื่องมือวัดในการเก็บข้อมูลตัวอย่างภาคสนาม

ครั้งที่	ความเร็วลมเฉลี่ย (km/hr)	อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)		ความแตกต่าง อุณหภูมิ (°C)
		เครื่องวัดมาตรฐาน	เครื่องวัด สำหรับเก็บตัวอย่าง	
1	57.42	31.50	32.50	1.00
2	45.54	33.50	34.00	0.50
3	37.98	32.50	32.50	0.00
4	30.42	31.50	31.50	0.00



รูปที่ 4.1 แสดงเส้นทางในการเก็บข้อมูลตัวอย่าง ภายในและภายนอกพื้นที่ศึกษา

จากผลการทดสอบตามตารางที่ 4.1 พบว่าความเร็วลมที่ปะทะเซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิที่ความเร็วต่ำกว่า 35 km/hr มีผลการวัดที่เที่ยงตรงเมื่อเทียบกับเครื่องมือวัดมาตรฐาน และที่ความเร็วลมปะทะในช่วง 45 – 60 km/hr มีความคลาดเคลื่อนจากเครื่องมือมาตรฐานประมาณ 1.5% – 3% จากผลการทดสอบดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงได้กำหนดความเร็วยานพาหนะสำหรับเก็บข้อมูลตัวอย่างด้วยความเร็วไม่เกิน 40 km/hr และจากการศึกษาพื้นที่ในการเก็บข้อมูล เพื่อให้ช่วงเวลาแต่ละจุดพิกัดตำแหน่งของอุณหภูมิอยู่ในช่วงเวลาที่ไม่ว่าแตกต่างกันมากนัก ได้กำหนดใช้ชุดตรวจวัดตัวอย่างแบบยานพาหนะทั้งหมด 4 ชุด แบ่งเป็นบริเวณรอบนอก 1 ชุด และ ภายใน 3 ชุด ของพื้นที่ศึกษา โดยกำหนดระยะเวลาในการตรวจวัดแต่ละพื้นที่ให้เสร็จสิ้นภายในช่วงเวลา 10-12 นาที

#### 4.2 ขนาดเกาะความร้อนเมืองในบรรยากาศ เขตเทศบาลเมืองมหาสารคาม

ตามที่งานวิจัยนี้ได้ศึกษาความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศระหว่างพื้นที่ภายในกับรอบนอกเขตเมืองในช่วงเวลาเดียวกันและทำการประมาณค่าอุณหภูมิในบรรยากาศจากกลุ่มชุดตัวอย่างด้วยเทคนิคกระบวนการคริกกิงแบบออรินารี (Ordinary) พบว่าตลอดช่วงเวลา 16.00 น. ไปจนถึง 20.00 น. อุณหภูมิเฉลี่ยบริเวณรอบนอกเขตพื้นที่ศึกษามีแนวโน้มที่ลดลงดังแสดงได้ตามตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าอุณหภูมิเฉลี่ยรอบนอกเขตเทศบาลเมืองมหาสารคามในแต่ละช่วงเวลาที่ศึกษา

เวลา	16.00	17.00	18.00	19.00	20.00
อุณหภูมิ	27.66	27.44	22.95	22.20	21.01

ผลจากการประเมินแผนภาพการกระจายค่าอุณหภูมิบรรยากาศพื้นที่เขตเทศบาลเมืองมหาสารคาม (รูปที่ 4.3 - 4.7) พบค่าอุณหภูมิในบรรยากาศสูงสุดเท่ากับ 34.14 °C ในช่วงเวลา 16.00 น. และมีค่าต่ำสุดที่อุณหภูมิ 19.60 °C ในช่วงเวลา 20.00 น. ซึ่งจากการประเมินด้วยกระบวนการคริกกิงแบบออรินารี (Ordinary) ได้แสดงค่าอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยภายในพื้นที่เมืองตลอดช่วงเวลาที่ศึกษามีแนวโน้มลดลงเช่นเดียวกับบริเวณรอบนอก เมื่อทำการตรวจสอบข้อมูลถึงค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศภายในกับพื้นที่รอบนอก โดยใช้การทดสอบทางสถิติแบบ One Sample T-test และ Wilcoxon Signed Ranks Test ที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 เพื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศและขนาดเกาะความร้อนเมืองในบรรยากาศ ได้ผลการประเมินค่าทางสถิติ ที่แสดงได้ตามตารางที่ 4.3 และ 4.4

**ตารางที่ 4.3** แสดงผลการทดสอบความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยภายในพื้นที่เมืองกับรอบนอก ในแต่ละช่วงเวลา ด้วยการทดสอบทางสถิติแบบ One Sample T - Test

ช่วงเวลา อุณหภูมิอากาศ ภายในเขต พื้นที่ศึกษา	One-Sample Statistics			One-Sample Test (95% Confidence Interval of the Difference)			
	N	Mean (°C)	Std. Error Mean	Test vale (°C)	Mean Difference (°C)	t	Sig. (2-tailed)
16.00 น.	26587	31.61	.0120421	27.66	3.96	328.154	.000
17.00 น.		30.39	.0077182	27.44	2.95	381.717	.000
18.00 น.		27.54	.0134325	22.95	4.58	342.043	.000
19.00 น.		26.29	.0122867	22.20	4.08	332.638	.000
20.00 น.		25.20	.0129766	21.01	4.18	322.878	.000

**ตารางที่ 4.4** แสดงผลการทดสอบความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยภายในพื้นที่เมืองกับรอบนอก ในแต่ละช่วงเวลา ด้วยการทดสอบทางสถิติแบบ Wilcoxon Signed Ranks Test

ช่วงเวลา	Descriptive Statistics			Ranks		Test Statistics	
	อุณหภูมิอากาศ รอบนอก	อุณหภูมิอากาศ ภายใน		Negative*	Positive*	Z	Asymp. Sig. (2-tailed)
	Mean	Mean	Percentiles (50th) Median				
16.00 น.	27.66	31.61	32.46	3233 <sup>a</sup>	23354 <sup>b</sup>	-135.922	.000
17.00 น.	27.44	30.39	30.59	1352 <sup>a</sup>	25235 <sup>b</sup>	-140.065	.000
18.00 น.	22.95	27.54	28.37	1671 <sup>a</sup>	24916 <sup>b</sup>	-139.082	.000
19.00 น.	22.20	26.29	26.96	2452 <sup>a</sup>	24132 <sup>b</sup>	-138.443	.000
20.00 น.	21.01	25.20	25.88	1032 <sup>a</sup>	25555 <sup>b</sup>	-139.246	.000

\* a : อุณหภูมิอากาศภายในพื้นที่ศึกษา < อุณหภูมิอากาศรอบนอก

b : อุณหภูมิอากาศภายในพื้นที่ศึกษา > อุณหภูมิอากาศรอบนอก

ผลการทดสอบความแตกต่างอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยจากตารางที่ 4.3 พบว่า อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยในพื้นที่เมืองมีค่าไม่เท่ากับหรือแตกต่างจากอุณหภูมิอากาศรอบนอก อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 ( $P\text{-value} < \alpha$ ) โดยค่าความแตกต่างอุณหภูมิเฉลี่ย (Mean Difference) คือค่าที่แสดงถึงขนาดเกาะความร้อนเมืองในบรรยากาศที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงเวลา ซึ่งแสดงค่ามากที่สุดที่เวลา 18.00 น. และจากข้อมูลการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ได้จากการประเมินแผนภาพด้วยกระบวนการคริกกิงแบบออรินารี (Ordinary) ในแต่ละเวลานั้น ได้แสดงการกระจายของข้อมูลที่ไม่มีการแจกแจงแบบปกติ (Non – normal Distribution) ซึ่งผลจากการทดสอบทางสถิติด้วยวิธี Wilcoxon Signed Ranks Test ตามตารางที่ 4.4 พบว่าอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยภายในพื้นที่เมืองของค่ามัธยฐาน (Median) มีลักษณะแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกันกับค่าเฉลี่ย (Mean) โดยอันดับของข้อมูล (Ranks) ที่แสดงจำนวนค่าความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศระหว่างพื้นที่เมืองกับรอบนอกนั้น ได้ผลว่าอุณหภูมิอากาศภายในพื้นที่เมืองมีกลุ่มอันดับข้อมูลมากกว่าอุณหภูมิอากาศรอบนอก (ค่า Positive) คิดเป็นค่าประมาณเฉลี่ยจากทุกช่วงเวลาเท่ากับ 92.66 % และแสดงค่าความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศระหว่างพื้นที่เมืองกับบริเวณรอบนอก อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 ( $P\text{-value} < \alpha$ )

เมื่อนำแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศทั้งสองบริเวณแสดงตามกราฟในรูปที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าทุกช่วงเวลา อุณหภูมิเฉลี่ยรอบนอกมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิเฉลี่ยภายในเขตเทศบาลเมืองมหาสารคาม แต่ช่วงเวลาหลัง 17.00 น. เป็นต้นไป บริเวณรอบนอกแสดงอัตราการลดลงของอุณหภูมิอากาศอย่างชัดเจน ขณะที่ด้านในของเขตพื้นที่ศึกษา ยังคงแสดงค่าอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยที่สูงกว่า และช่วงเวลา 17.00 น. ถึง 18.00 น. บริเวณรอบนอกมีอุณหภูมิอากาศเปลี่ยนไปประมาณ 4.5 °C ในขณะที่พื้นที่ภายในลดลง 2.8 °C ซึ่งจากกราฟได้แสดงขนาดเกาะความร้อนเมืองในบรรยากาศชัดเจนมากที่สุดในช่วงเวลา 18.00 น. มีขนาดเท่ากับ 4.58 °C (ตามตารางที่ 4.3) และเมื่อเวลาจนกระทั่ง 20.00 น. ขนาดเกาะความร้อนยังคงค่าสูง มีอัตราการลดลงไม่ถึง 1 °C ในขณะที่บริเวณรอบนอกพื้นที่ศึกษาแสดงอัตราการลดลงของอุณหภูมิโดยประมาณ 2 °C ทั้งนี้เมื่อทำการทดสอบค่าทางสถิติของข้อมูลการเปลี่ยนแปลงขนาดเกาะความร้อนเมืองในบรรยากาศ โดยเลือกพิจารณาการเปลี่ยนแปลงสองเวลานั้นคือ ช่วงเวลา 17.00 น. ถึง 18.00 น. และ 18.00 น. ถึง 19.00 น. (เป็นช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงจากเวลาที่แสดงขนาดเกาะความร้อนชัดเจน) ซึ่งกำหนดการทดสอบเป็นแบบ Two – Related – Samples Tests ที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 ได้แสดงผลตามตารางที่ 4.5 พบว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของขนาดเกาะความร้อนในบรรยากาศมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $\text{Sig.}(2\text{-tailed}) = 0.000$  หรือ  $P\text{-value} < \alpha$ ) โดยผลต่างขนาดเกาะความร้อนจากช่วงเวลา 17.00 น. ถึง 18.00 น. มีค่าเท่ากับ 1.65 °C ในขณะที่ช่วงเวลา 18.00 น. ถึง 19.00 น. ผลการเปลี่ยนแปลงได้แสดงค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเช่นกัน ซึ่งมีขนาดการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างน้อยเท่ากับ 0.50 °C

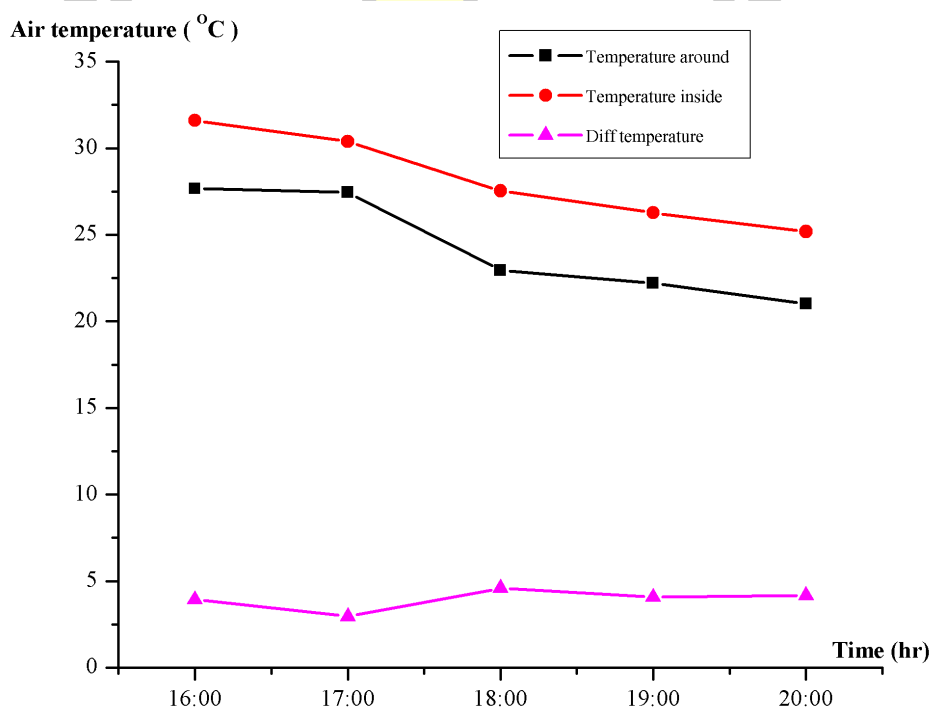
ตารางที่ 4.5 แสดงผลการทดสอบความแตกต่างของขนาดเกาะความร้อนในเมืองในบรรยากาศ ด้วย การทดสอบทางสถิติแบบ Two – Related – Samples Tests

ช่วงเวลา	Pair Sample Test			Wilcoxon Signed Ranks Test				
	Mean <sup>1*</sup> (°C)	t	Sig. (2-tailed)	Median <sup>2*</sup> (50th) (°C)	Negative Ranks**	Positive Ranks**	Z	Asymp. Sig. (2-tailed)
17.00 - 18.00	1.65	134.438	.000	1.79	4832 <sup>a</sup>	21755 <sup>b</sup>	-98.726	.000
18.00 - 19.00	0.50	71.001	.000	0.66	6292 <sup>a</sup>	20295 <sup>b</sup>	-80.523	.000

\* Mean<sup>1</sup>, Median<sup>2</sup> คือค่าความแตกต่างของขนาดเกาะความร้อนในช่วงเวลานั้นๆ

\*\* a: ค่าจุดเกาะความร้อนช่วงเวลา 18.00 น. < ค่าจุดเกาะความร้อนในช่วงเวลา 17.00, 19.00 น.

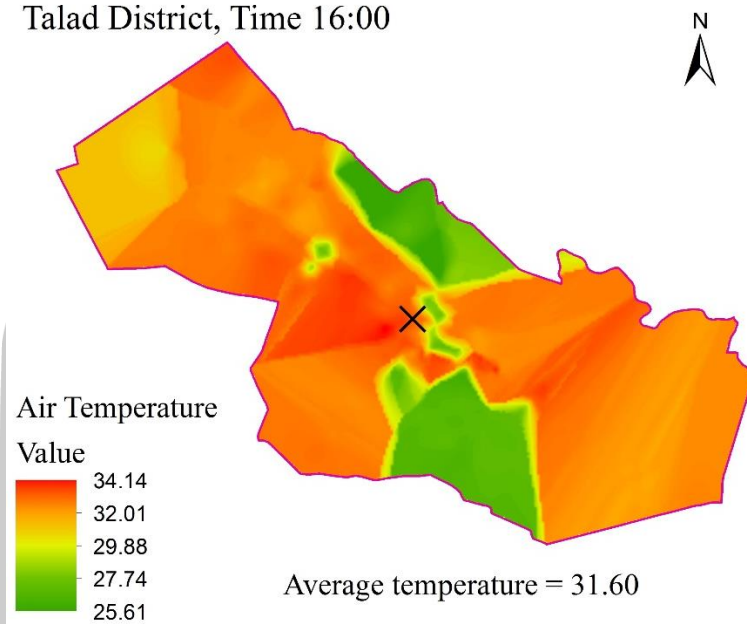
b: ค่าจุดเกาะความร้อนช่วงเวลา 18.00 น. > ค่าจุดเกาะความร้อนในช่วงเวลา 17.00, 19.00 น.



รูปที่ 4.2 แสดงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศในแต่ละช่วงเวลาและขนาดเกาะความร้อนในบรรยากาศ

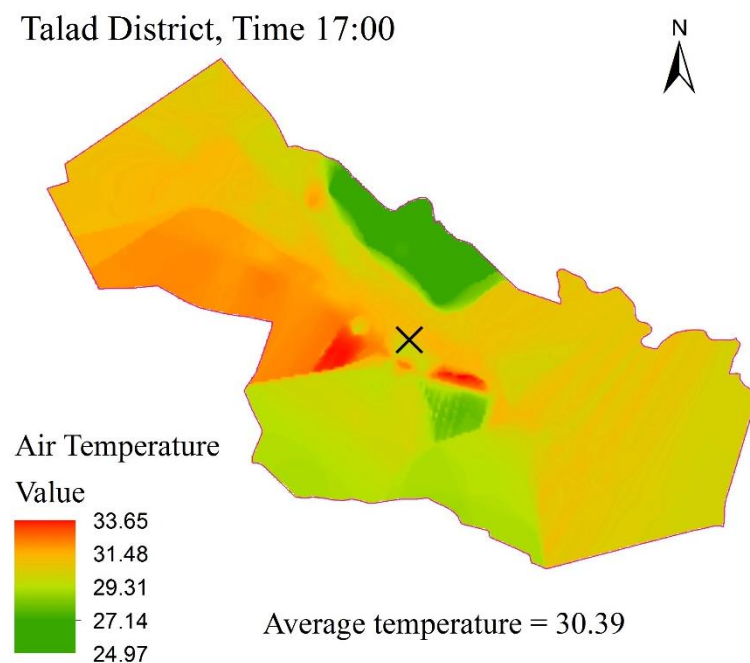


Talad District, Time 16:00



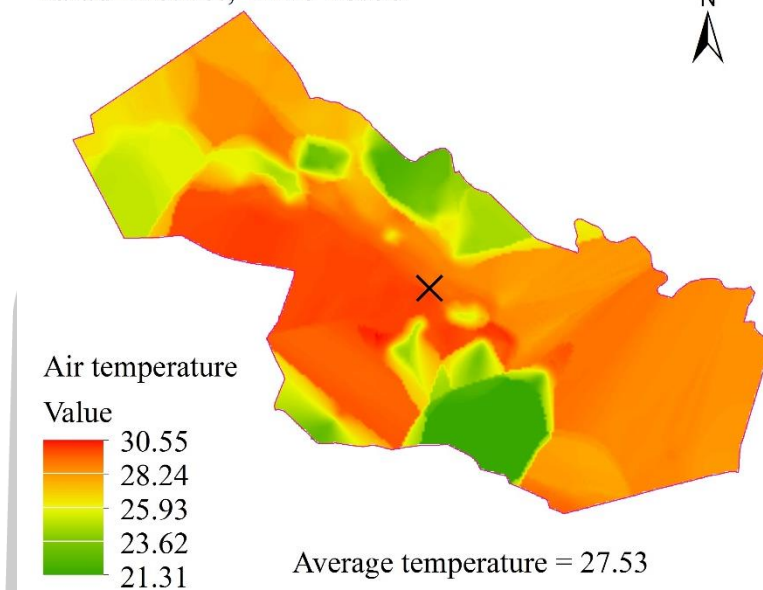
รูปที่ 4.3 แผนภาพการกระจายค่าอุณหภูมิบรรยากาศด้วยการประมาณค่าเชิงพื้นที่แบบ kriging ordinary เขตเทศบาลเมือง ต.ตลาด อ.เมือง จ.มหาสารคาม ช่วงเวลา 16.00 น.

Talad District, Time 17:00



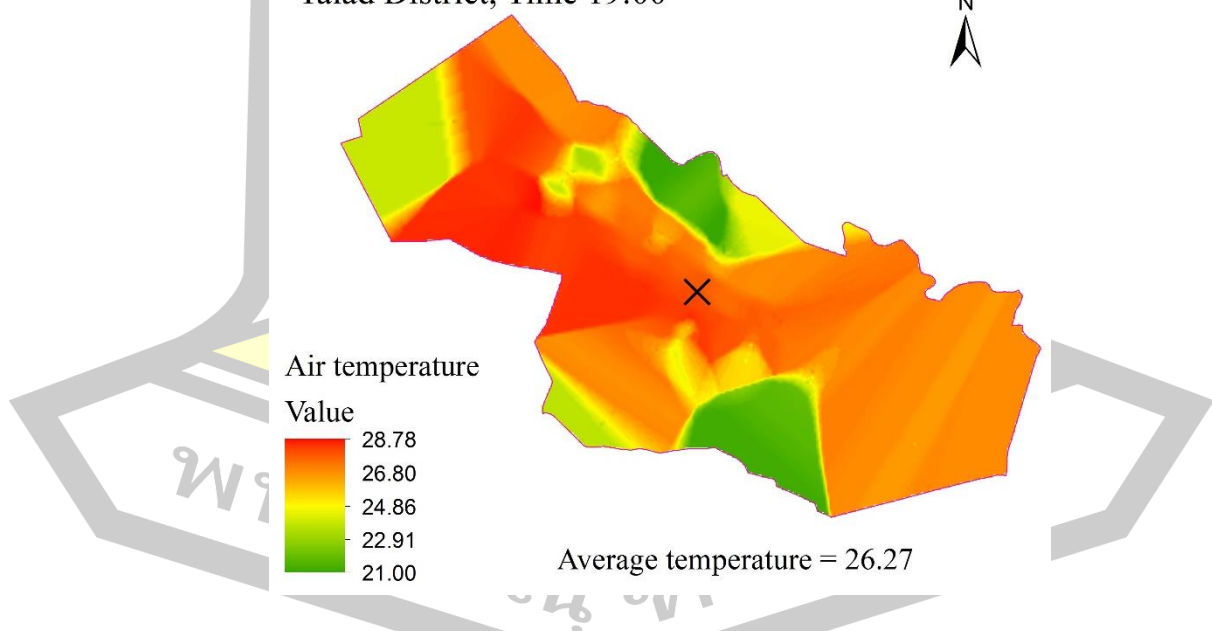
รูปที่ 4.4 แผนภาพการกระจายค่าอุณหภูมิบรรยากาศด้วยการประมาณค่าเชิงพื้นที่แบบ kriging ordinary เขตเทศบาลเมือง ต.ตลาด อ.เมือง จ.มหาสารคาม ช่วงเวลา 17.00 น.

Talad District, Time 18:00

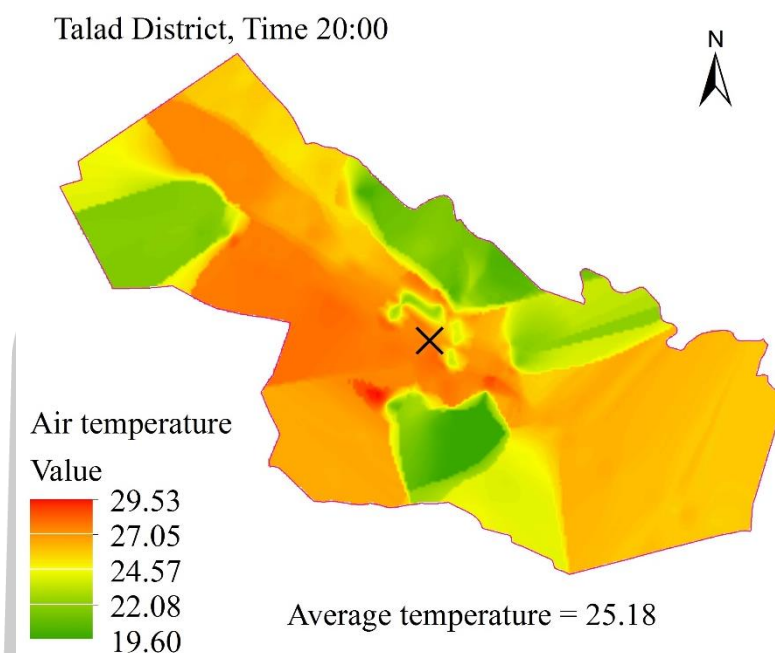


รูปที่ 4.5 แผนภาพการกระจายค่าอุณหภูมิบรรยากาศด้วยการประมาณค่าเชิงพื้นที่แบบ kriging ordinary เขตเทศบาลเมือง ต.ตลาด อ.เมือง จ.มหาสารคาม ช่วงเวลา 18.00 น.

Talad District, Time 19:00

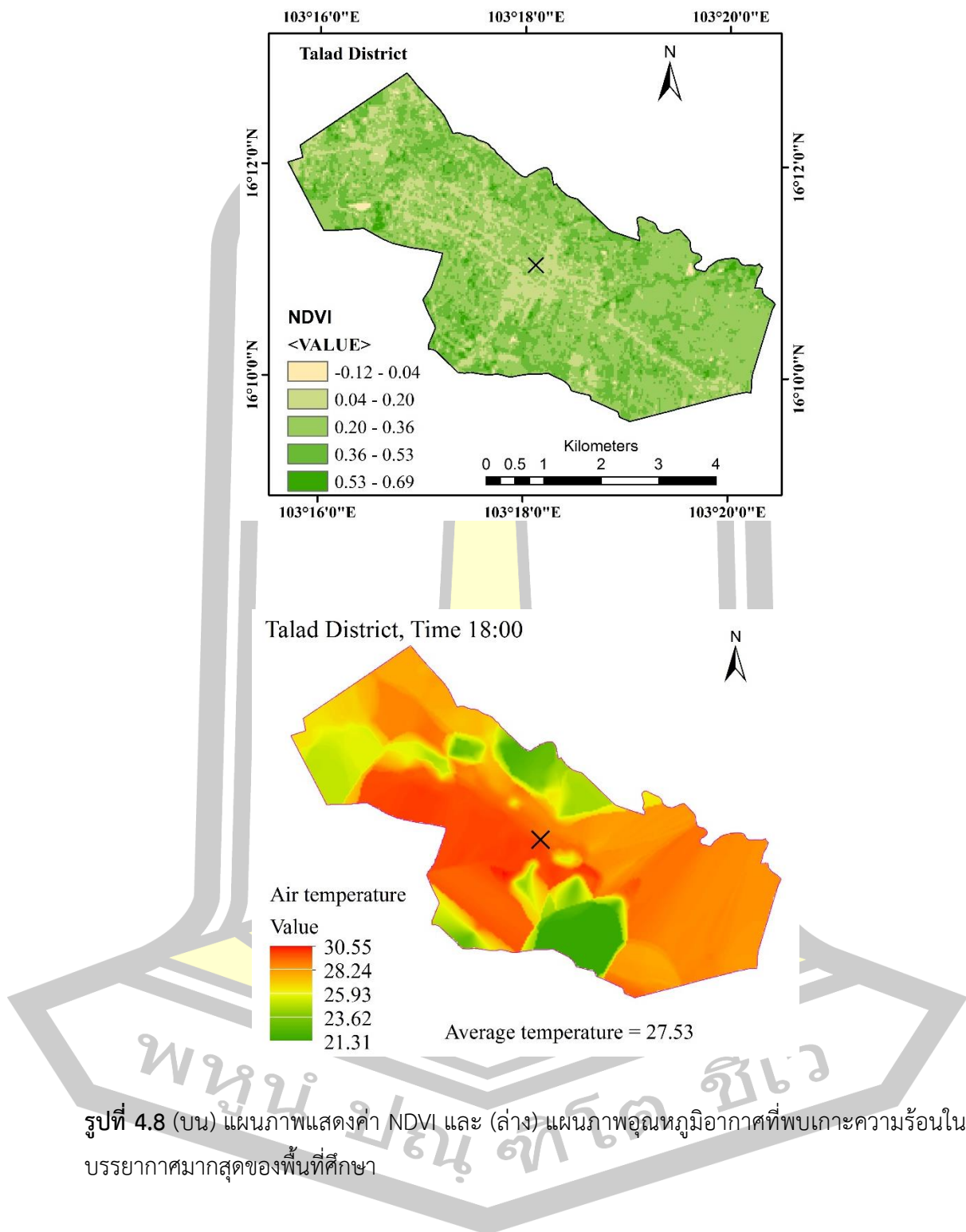


รูปที่ 4.6 แผนภาพการกระจายค่าอุณหภูมิบรรยากาศด้วยการประมาณค่าเชิงพื้นที่แบบ kriging ordinary เขตเทศบาลเมือง ต.ตลาด อ.เมือง จ.มหาสารคาม ช่วงเวลา 19.00 น.



รูปที่ 4.7 แผนภาพการกระจายค่าอุณหภูมิบรรยากาศด้วยการประมาณค่าเชิงพื้นที่แบบ kriging ordinary เขตเทศบาลเมือง ต.ตลาด อ.เมือง จ.มหาสารคาม ช่วงเวลา 20.00 น.

จากการสำรวจพื้นที่จริงกับแผนภาพดัชนีความแตกต่างพืชพรรณ เมื่อเปรียบเทียบกับผลแผนภาพในบริเวณที่มีเกาะความร้อนในบรรยากาศสูงสุด (รูปที่ 4.8) พบว่าบริเวณที่แสดงช่วงค่าอุณหภูมิต่ำ (แถบสีเขียว) เป็นบริเวณที่ใกล้กับแหล่งน้ำและต้นไม้ปกคลุม ในขณะที่บริเวณที่มีอุณหภูมิในบรรยากาศสูงเป็นบริเวณที่มีกลุ่มสิ่งปลูกสร้าง เช่น อาคารหมู่บ้านที่อยู่อาศัย อาคารเรียน มหาวิทยาลัย โรงเรียนสถานศึกษา อาคารเชิงพาณิชย์ ห้างสรรพสินค้า ถนน และ บริเวณพืชพรรณปกคลุมเบาบาง เป็นต้น เมื่อพิจารณาจากแผนภาพการกระจายค่าอุณหภูมิอากาศตั้งแต่ช่วงเวลา 16.00 น. ถึง 20.00 น. พบว่าบริเวณที่มีการใช้ประโยชน์ที่ดินดังกล่าว ยังคงมีอัตราอุณหภูมิอากาศที่สูงกว่าบริเวณที่มีต้นไม้ปกคลุมหนาแน่น โดยบริเวณที่มีต้นไม้หรือพืชพรรณปกคลุมได้แสดงค่าอุณหภูมิอากาศที่ใกล้เคียงกับบริเวณรอบนอกเขตพื้นที่เมือง ซึ่งจากรูปที่ 4.8 (ล่าง) บริเวณที่แสดงช่วงค่าอุณหภูมิอากาศโดยประมาณ 21 – 23 °C คือบริเวณที่มีค่าดัชนีพืชพรรณค่อนข้างสูง ในขณะที่อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยรอบนอกเมืองในช่วงเวลานั้นมีค่าโดยประมาณ 22 °C อีกปัจจัยเพิ่มเติมนอกเหนือจากการใช้ประโยชน์ที่ดิน ที่อาจจะส่งผลให้อุณหภูมิอากาศยังคงสูงหรือมีอัตราการลดลงต่ำในพื้นที่เมือง นั่นคือการคมนาคมตามท้องถนนที่ยังคงหนาแน่นมากกว่าบริเวณรอบนอกเมือง จึงส่งผลให้อุณหภูมิอากาศบริเวณเขตเมืองนั้นมีค่าสูงกว่าบริเวณรอบนอกและทำให้เวลาในการคลายตัวของเกาะความร้อนเมืองในบรรยากาศยาวนานขึ้น

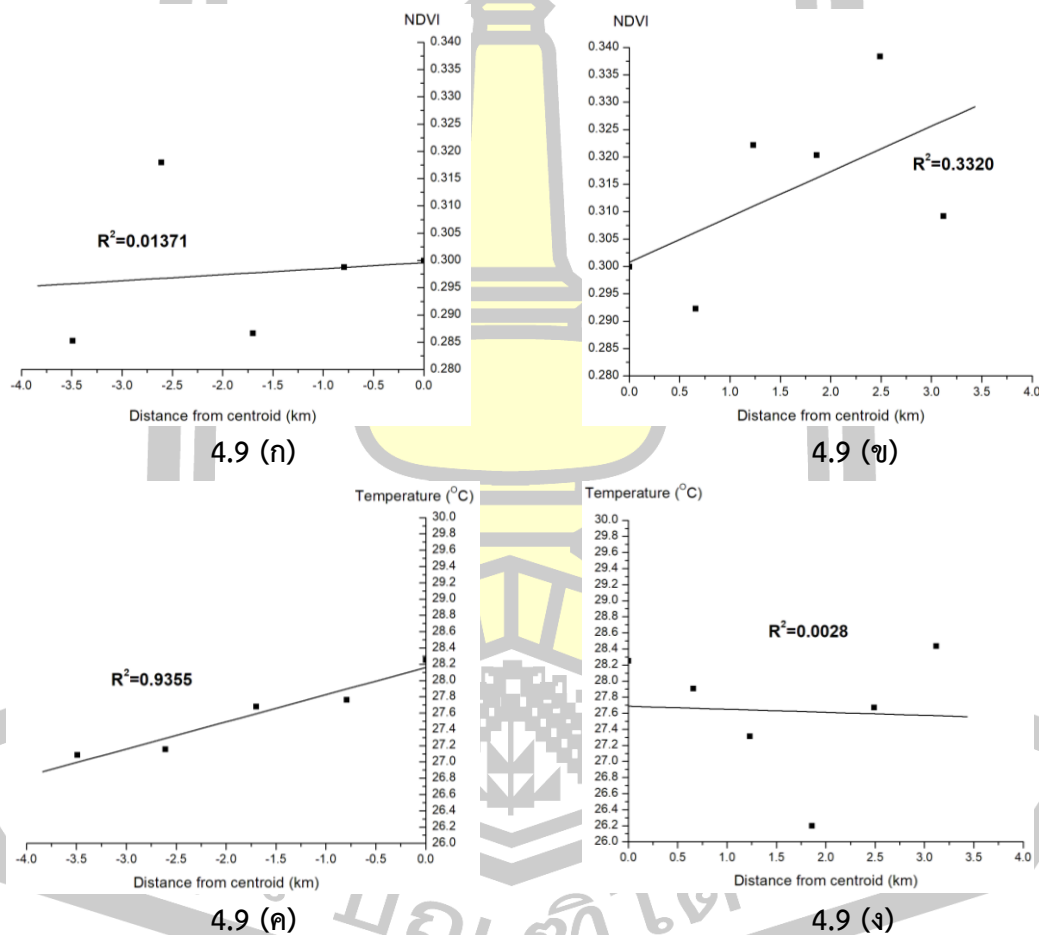


รูปที่ 4.8 (บน) แผนที่แสดงค่า NDVI และ (ล่าง) แผนที่อุณหภูมิอากาศที่พบเกาะความร้อนในบรรยากาศมากที่สุดของพื้นที่ศึกษา

#### 4.3 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีความแตกต่างพืชพรรณกับอุณหภูมิบรรยากาศ จากปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมือง

##### 4.3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีความแตกต่างพืชพรรณและอุณหภูมิบรรยากาศกับระยะทางในแต่ละพื้นที่ย่อย

จากแผนภาพแสดงผลค่าดัชนีพืชพรรณจะเห็นว่าบริเวณกลางพื้นที่เมืองจะมีพืชพรรณปกคลุมน้อยและจะเพิ่มมากขึ้นที่บริเวณห่างออกไป เมื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพืชพรรณและอุณหภูมิบรรยากาศในแต่ละพื้นที่ย่อยกับระยะทางที่ห่างออกไปจากบริเวณกลางเมือง สามารถแสดงแนวโน้มและความสัมพันธ์แบบถดถอยเชิงเส้นได้ดังกราฟรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 (ก)-(ข) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า NDVI ในแต่ละพื้นที่ย่อยกับระยะที่ห่างจากบริเวณกลางเมือง และ(ค)-(ง) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิบรรยากาศในแต่ละพื้นที่ย่อยกับระยะที่ห่างจากบริเวณกลางเมืองทั้งสองข้าง

จากผลการศึกษาพบว่า จากกราฟรูปที่ 4.9 (ข) กับ 4.9 (ง) มีอัตราการเปลี่ยนแปลงระหว่างค่า NDVI กับอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยตามระยะทางจากพื้นที่กลางเมืองที่มีความสอดคล้องกัน นั่นคือแนวโน้มของค่าดัชนีพืชพรรณมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะห่างจากบริเวณกลางเมือง ซึ่งจะส่งผลให้อุณหภูมิพื้นที่นั้นมีค่าลดลง ในขณะที่เดียวกันจากกราฟรูปที่ 4.9 (ก) กับ 4.9 (ค) พบว่าผลของดัชนีพืชพรรณมีค่าน้อยที่ระยะห่างไกลสุดและมีอัตราแนวโน้มเพิ่มขึ้นเข้าหาบริเวณกลางเมือง โดยผลของอุณหภูมิอากาศก็มีแนวโน้มสูงขึ้นเช่นกัน เมื่อพิจารณาจากแผนภาพในรูปที่ 3.5 และ 4.8 จะเห็นได้ว่าพื้นที่ย่อยๆดังกล่าวจากบริเวณกลางเมืองเป็นต้นไปจนถึงขอบเขตสุดท้ายนั้น แสดงค่าการกระจายการมีอยู่ของพืชพรรณน้อย (-0.12 ถึง 0.2) นั่นคือมีความหนาแน่นของการใช้ประโยชน์ที่ดินค่อนข้างมาก ซึ่งในช่วงเวลาหลังจากพระอาทิตย์ตกดินแล้วอุณหภูมิอากาศในบริเวณดังกล่าวยังคงแสดงค่าที่สูงขึ้น อาจเพราะเนื่องจากการคลายความร้อนของสิ่งปลูกสร้างต่างๆ ได้มีอิทธิพลต่อการลดลงของอุณหภูมิอากาศ แม้ว่าดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณจะมีแนวโน้มที่สูงก็ตามและจากตารางที่ 4.6. ได้ทดสอบและแสดงความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลในตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์กันในเชิงเส้นตรงหรือไม่ (linear regression) โดยพิจารณาผลประเมินจากค่านัยสำคัญทางสถิติ พบว่าส่วนใหญ่แล้วตัวแปรทั้งสองไม่มีความสัมพันธ์กันที่เป็นเส้นตรง ( $p\text{-value} > \alpha = 0.05$ ) อีกทั้งค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ) โดยรวมแล้วมีค่าค่อนข้างต่ำ ไม่สามารถที่จะอธิบายความสัมพันธ์ครอบคลุมพื้นที่ศึกษาได้เท่าที่ควร

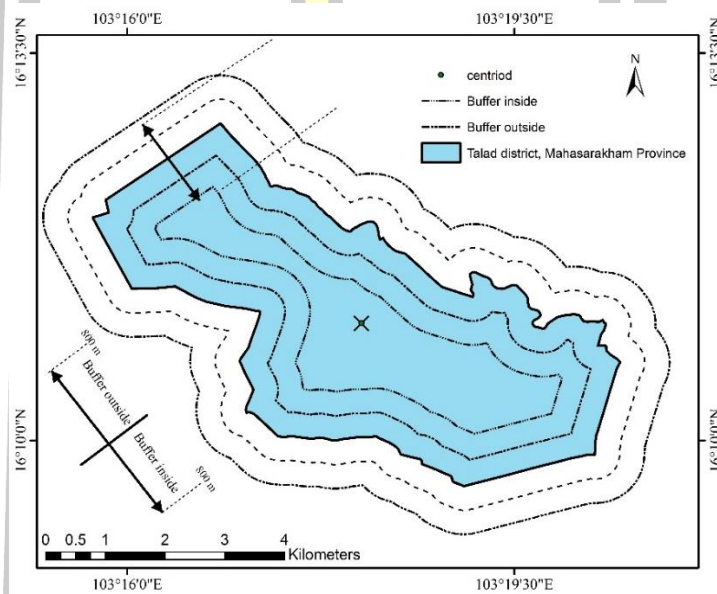
**ตารางที่ 4.6** แสดงความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลของค่าดัชนีพืชพรรณและอุณหภูมิอากาศตามระยะทางจากพื้นที่กลางเมือง

Correlations		R	R - Square	Sig.
-X*	NDVI	0.11712	0.01371	.851
	Air Temperature	0.96722	0.9355	.007
+X*	NDVI	0.57628	0.3320	.231
	Air Temperature	-0.0537	0.0028	.920

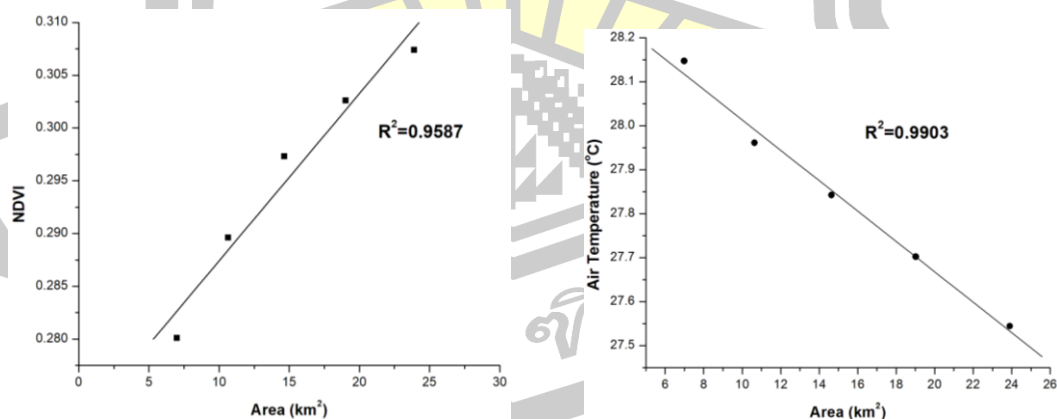
\* ระยะทางจากพื้นที่กลางเมืองอ้างอิงตามรูปที่ 3.5

#### 4.3.2 ดัชนีความแตกต่างพืชพรรณกับขอบเขตพื้นที่แบบแนวกันชน

เพื่อให้การเลือกพื้นที่ย่อยๆครอบคลุมพื้นที่ศึกษาในทุกทิศทาง งานวิจัยนี้จึงได้กำหนดพื้นที่กันชนตามระยะทางทุกๆ 200 เมตร ที่เท่ากันในทุกทิศทางของขอบเขตพื้นที่ศึกษา กำหนดระยะให้เข้าหาจากขอบเขตพื้นที่เดิมอยู่ในช่วง 200 ถึง 800 เมตร แล้วทำการประเมินดัชนีพืชพรรณกับอุณหภูมิอากาศตามพื้นที่ในแต่ละส่วน ตามความสัมพันธ์แบบถดถอยเชิงเส้น

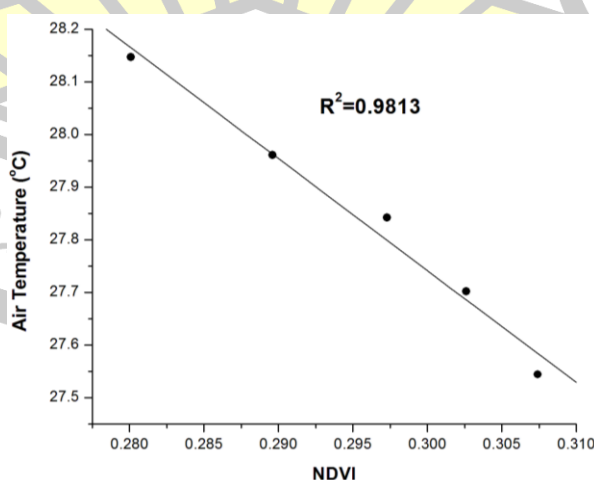


รูปที่ 4.10 แสดงแนวเขตพื้นที่จากการสร้างแนวกันชนสำหรับพิจารณาค่า ดัชนีพืชพรรณกับอุณหภูมิอากาศในพื้นที่ศึกษา



รูปที่ 4.11 (ซ้าย) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแตกต่างดัชนีพืชพรรณกับพื้นที่ย่อย และ (ขวา) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศกับพื้นที่ย่อย ภายในพื้นที่ศึกษา

จากกราฟตามรูปที่ 4.11 พบว่าบริเวณเนื้อที่ 7 km<sup>2</sup> ครอบคลุมพื้นที่ภายในมีค่าดัชนีความแตกต่างพืชพรรณน้อยกว่าบริเวณอื่นๆที่ขยายตัวออกไปและบริเวณดังกล่าวมีค่าอุณหภูมิอากาศเท่ากับ 28.15 °C เมื่อเทียบกับอุณหภูมิอากาศรอบนอกในช่วงเวลาเดียวกันพบว่าบริเวณดังกล่าวแสดงขนาดเกาะความร้อนเมืองในบรรยากาศเท่ากับ 5.19 °C อีกทั้งแนวโน้มค่าดัชนีความแตกต่างพืชพรรณมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นตามเนื้อที่ขยายตัวออกไปอย่างมีนัยสำคัญที่แสดงค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R<sup>2</sup>) เท่ากับ 0.958 (ตามตารางที่ 4.7) ขณะเดียวกันอุณหภูมิอากาศมีอัตราการเปลี่ยนแปลงที่สอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของเนื้อที่และสอดคล้องเช่นเดียวกันกับอัตราการเปลี่ยนแปลงดังกราฟตามรูปที่ 4.9 (ข) กับ 4.9 (ง) เมื่อพิจารณากับขนาดเกาะความร้อนในบรรยากาศแล้วสามารถแสดงสมการถดถอยเชิงเส้นได้เป็น  $Y = 5.40 - 0.0345 * X$  และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R<sup>2</sup>) เท่ากับ 0.9903 โดยผลจากสมการถดถอยเชิงเส้นของเกาะความร้อนกับแนวพื้นที่กันชนที่ได้นี้ ถ้ากำหนดให้ระยะเข้าหาจุด Centroid เท่ากับ 0.001 km<sup>2</sup> (น้อยมากเมื่อเทียบกับขนาดพื้นที่ศึกษาทั้งหมดหรือมีค่าเข้าใกล้ศูนย์) ในช่วงเวลา 18.00 น. จะแสดงจุดความร้อนมากที่สุดเท่ากับ 5.40 °C และจากการตรวจสอบค่าการสะท้อนของแผนภาพการมีอยู่ของพืชพรรณ พบว่าค่าเซลล์ตารางที่ครอบคลุมพิกัดเดียวกัน มีค่าดัชนีความแตกต่างพืชพรรณประมาณ 0.163 นั่นคือจุดเซลล์ตารางดังกล่าวมีสถานะปกคลุมของพืชพรรณน้อยมากและจากผลของความสัมพันธ์ดังกล่าว (รูปที่ 4.11) ได้แสดงให้เห็นว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของดัชนีความแตกต่างพืชพรรณตามเนื้อที่น้อยๆแบบแนวกันชนภายในพื้นที่ศึกษา ส่งผลให้ค่าอุณหภูมิอากาศเปลี่ยนแปลงไปและข้อมูลของตัวแปรที่สนใจมีความสัมพันธ์กันในเชิงเส้นตรง (p-value <  $\alpha$ ) เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพืชพรรณกับอุณหภูมิอากาศตามพื้นที่น้อยๆแบบแนวกันชน โดยใช้ความสัมพันธ์แบบถดถอยเชิงเส้นที่แสดงได้ตามกราฟดังรูปที่ 4.12 พบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R<sup>2</sup>) เท่ากับ 0.9813 และตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์กันแบบเส้นตรงอย่างมีนัยสำคัญดังแสดงได้ตามตารางที่ 4.7



รูปที่ 4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีความแตกต่างพืชพรรณกับอุณหภูมิอากาศตามพื้นที่น้อย



ตารางที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลของค่าดัชนีพืชพรรณและอุณหภูมิอากาศตามพื้นที่แนวกันชน

Correlations		R	R - Square	Sig.
Buffer area	NDVI	0.9791	0.9587	.004
	Air Temperature	0.9951	0.9903	.000
NDVI	Air Temperature	0.9906	0.9813	.001

\*  $\alpha = 0.05$

#### 4.4 ตรวจสอบผลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศกับการจำแนกกลุ่มการสะท้อนแบบไม่มีการกำกับ (Unsupervised Classification)

เขตเทศบาลเมืองมหาสารคามมีเนื้อที่ประมาณ 24.14 ตารางกิโลเมตร ได้มีการใช้ประโยชน์ที่ดินตามความต้องการของประชากรแตกต่างกันออกไป โดยจากการจำแนกกลุ่มการสะท้อนจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 งานวิจัยนี้ได้ผลการตัดแยกกลุ่มการสะท้อนที่เด่นชัดสองกลุ่มหลักได้แก่ กลุ่มประเภทที่เป็นอาคาร ถนน และประเภทต้นไม้ปกคลุมพื้นที่ศึกษาแสดงปริมาณในเชิงพื้นที่ดังตารางที่ 4.8

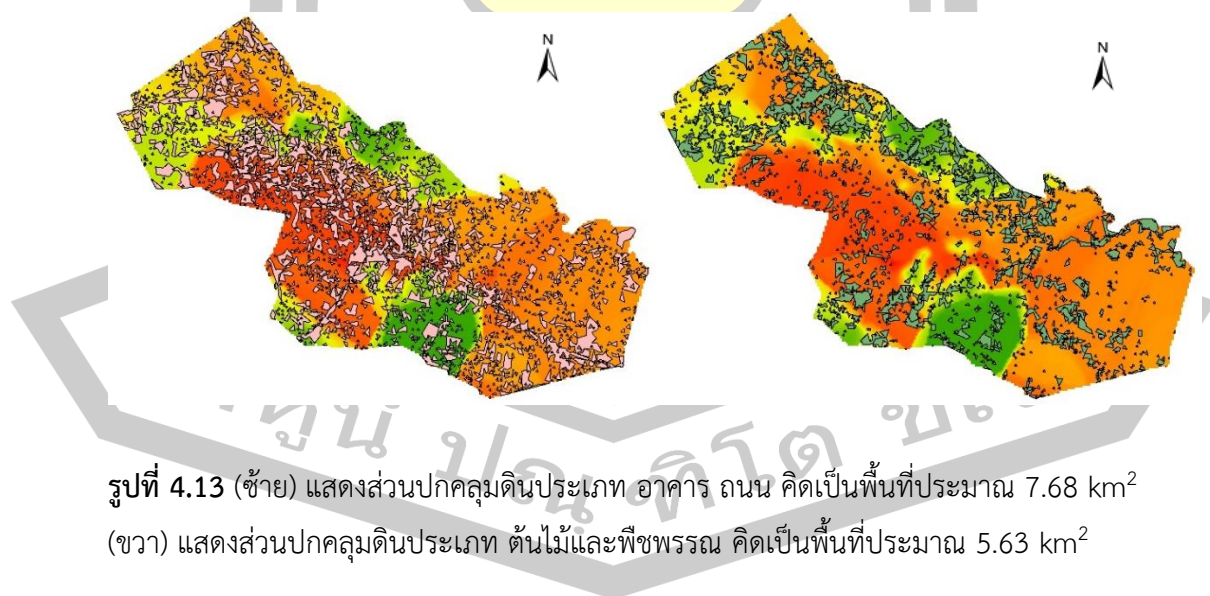
ตารางที่ 4.8 แสดงเนื้อที่การจำแนกประเภทสิ่งปกคลุมดินจากการใช้ประโยชน์ที่ดินภายในเขตพื้นที่เทศบาลเมืองมหาสารคาม

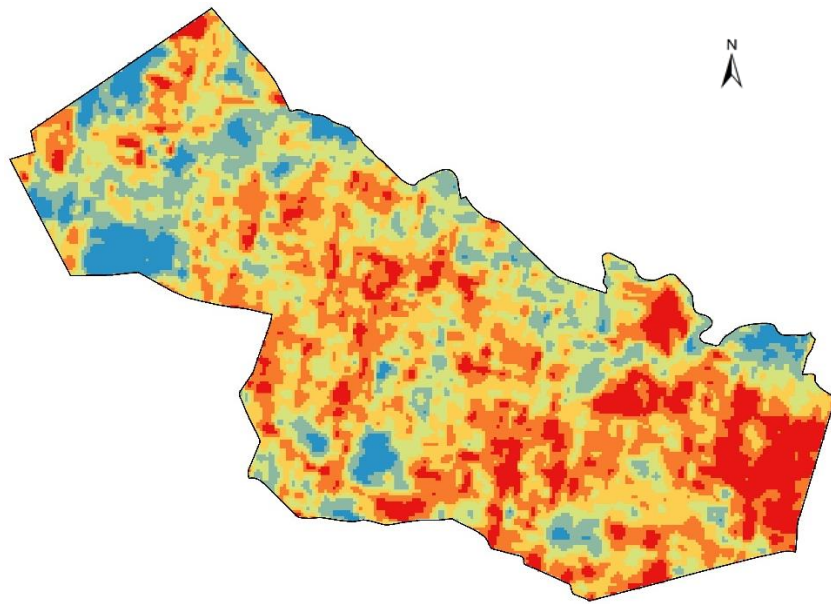
ประเภทปกคลุมดิน	เนื้อที่ (km <sup>2</sup> )
สิ่งปลูกสร้าง อาคาร ถนน	7.68
ต้นไม้และพืชพรรณ	5.63

ผลการจำแนกประเภทสิ่งปกคลุมดิน จากรูปที่ 4.13 (ซ้าย) พบว่ามีการกระจายตัวของการใช้ประโยชน์ที่ดินทั่วพื้นที่ ซึ่งความหนาแน่นส่วนใหญ่มีมากบริเวณกลางเมือง (จุด centroid) และกระจายตัวตลอดตามแนวทิศตะวันตกเฉียงเหนือจนถึงขอบเขต จากรูปที่ 4.13 (ขวา) แผนภาพอุณหภูมิอากาศแสดงบริเวณที่มีค่าอุณหภูมิอากาศสูง (แถบสีแดง ประมาณ 30 °C) เป็นบริเวณที่มีต้นไม้หรือพืชพรรณปกคลุมดินน้อย ขณะเดียวกันบริเวณที่มีต้นไม้หรือพืชพรรณปกคลุมหนาแน่น

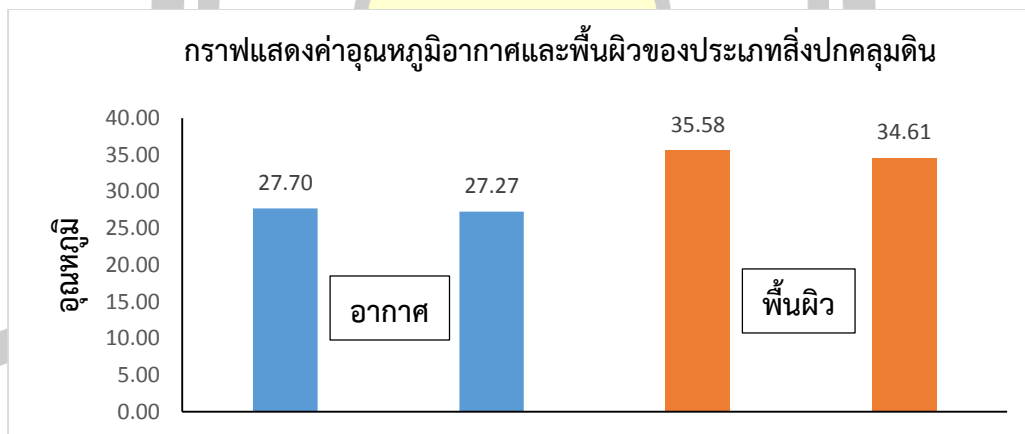
ชัดเจนก็แสดงค่าอุณหภูมิที่ลดลงจากบริเวณที่มีอุณหภูมิอากาศสูงเช่นกัน หากพิจารณาจุดข้อมูลอุณหภูมิอากาศจากการจำแนกสิ่งปกคลุมดินในพื้นที่ศึกษา พบว่าอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยที่ปกคลุมด้วยกลุ่มอาคารและต้นไม้ พืชพรรณมีค่าเท่ากับ  $27.70\text{ }^{\circ}\text{C}$  และ  $27.26\text{ }^{\circ}\text{C}$  ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าบริเวณที่มีพืชพรรณปกคลุมดินยังมีค่าอุณหภูมิอากาศที่ยังคงสูงอยู่หรือไม่แตกต่างกัน เนื่องจากอากาศยังคงได้รับอิทธิพลจากการคลายความร้อนจากกลุ่มประเภทที่เป็นสิ่งปลูกสร้าง อาคาร ถนน เป็นต้นและจากความแตกต่างของปริมาณเนื้อที่ปกคลุมดินทั้งสองประเภท หากภายในพื้นที่เขตเทศบาลเมืองมหาสารคามมีปริมาณต้นไม้และพืชพรรณเพิ่มขึ้น อาจมีแนวโน้มที่จะช่วยให้อุณหภูมิอากาศภายในเมืองลดลงหรือช่วยให้เวลาในการคลายตัวของขนาดเกาะความร้อนเมืองลดลงเร็วขึ้น

งานวิจัยนี้ได้พิจารณาผลอุณหภูมิอากาศร่วมกับการประเมินค่าอุณหภูมิพื้นผิว ด้วยวิธีการแบบ split window algorithm ซึ่งผลอุณหภูมิพื้นผิวทั่วพื้นที่ศึกษาแสดงได้ตามรูปที่ 4.14 โดยลักษณะของอุณหภูมิพื้นผิวจากการใช้ประโยชน์ที่ดินมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิไปในทิศทางเดียวกัน นั่นคืออุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยที่ปกคลุมด้วยกลุ่มอาคารมีค่าเท่ากับ  $35.58\text{ }^{\circ}\text{C}$  และที่ปกคลุมด้วยต้นไม้ พืชพรรณมีค่าเท่ากับ  $34.60\text{ }^{\circ}\text{C}$  ดังแสดงได้จากกราฟในรูปที่ 4.15 นั่นคือหากเนื้อที่เขตเทศบาลเมืองมหาสารคามมีสิ่งปกคลุมดินด้วยพืชพรรณที่มากขึ้นจากเดิม (ตารางที่ 4.8) อาจจะช่วยลดการแผ่ความร้อนที่อาจจะส่งผลทำให้อุณหภูมิอากาศมีค่าสูงขึ้นหรือลดอัตราการเกิดเกาะความร้อนเมืองในบรรยากาศได้





รูปที่ 4.14 แสดงอุณหภูมิพื้นผิวดินที่ศึกษาด้วยวิธีการแบบ split window algorithm



รูปที่ 4.15 แสดงความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศกับพื้นผิวสำหรับสิ่งปกคลุมดินต่างกัน

## บทที่ 5

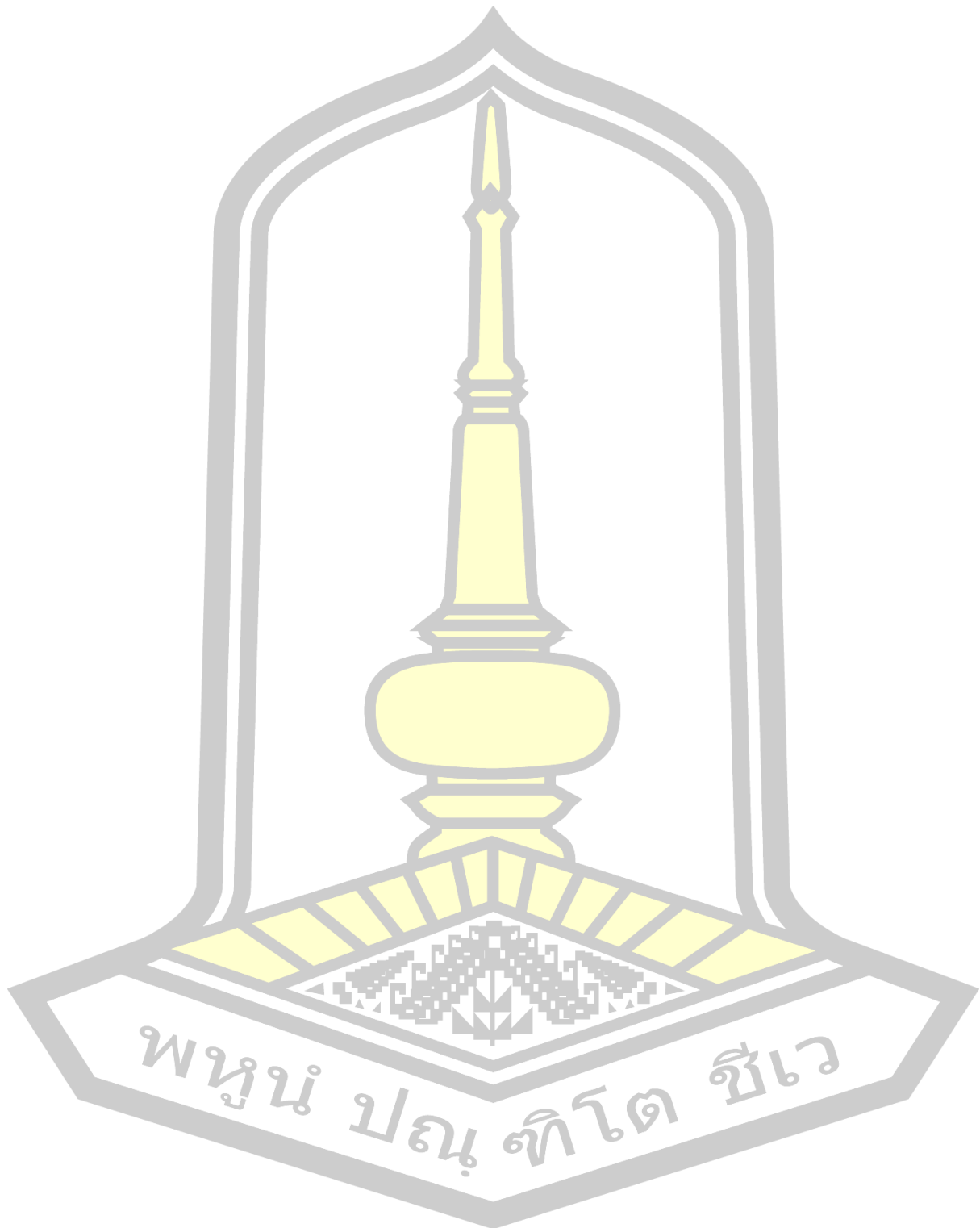
### สรุปผลการศึกษา

การศึกษาอุณหภูมิอากาศเขตเทศบาลเมืองมหาสารคาม พบว่าตลอดช่วงเวลา 16.00 น. ถึง 20.00 น. อุณหภูมิอากาศภายในพื้นที่ศึกษามีแนวโน้มสูงกว่าบริเวณรอบนอก ซึ่งพื้นที่รอบนอกมีพืชพรรณปกคลุมหนาแน่นมากกว่าพื้นที่ภายในเขตเมืองที่จะช่วยให้อากาศเย็นลง ในขณะที่พื้นที่ภายในเขตเทศบาลเมืองมหาสารคามได้แสดงการลดลงของอุณหภูมิน้อย โดยเฉพาะบริเวณพื้นที่แนวกันชนด้านในสุด จึงทำให้ช่วงเวลา 18.00 น. แสดงขนาดเกาะความร้อนในบรรยากาศสูงสุดเท่ากับ  $4.58\text{ }^{\circ}\text{C}$  ซึ่งผลแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศทั้งสองบริเวณและขนาดเกาะความร้อนเมืองที่เกิดขึ้นมีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และมีความสอดคล้องกับการศึกษาของ T.R. OKE นั่นคือช่วงเวลาหลังพระอาทิตย์ตกดิน อุณหภูมิอากาศภายในเขตเมืองมีอัตราการลดลงน้อย ทำให้พบขนาดเกาะความร้อนเมืองเด่นชัด ซึ่งจากแผนภาพอุณหภูมิอากาศในแต่ละช่วงเวลาที่ประเมินได้จากกระบวนการคริกกิงแบบออรินารี (Ordinary) กับการจำแนกสิ่งปกคลุมดินด้วยภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 พบว่า บริเวณที่มีอุณหภูมิอากาศสูงชัดเจนจะเป็นบริเวณที่มีการใช้ประโยชน์ที่ดินหนาแน่น ในขณะที่เดียวกันหากบริเวณที่ปกคลุมด้วยต้นไม้หรือพืชพรรณหนาแน่นชัดเจนก็จะแสดงช่วงค่าอุณหภูมิต่ำเช่นกัน

จากปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมืองในบรรยากาศสูงสุด ได้ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิอากาศตามแต่ละพื้นที่แนวกันชนเข้าหาภายในพื้นที่ศึกษา ที่แสดงให้เห็นถึงการลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของสภาวะพืชพรรณ ส่งผลให้แนวโน้มของอุณหภูมิอากาศแต่ละพื้นที่แนวกันชนมีค่าที่สูงขึ้น ซึ่งพื้นที่ขอบเขตรอบจุด Centroid ครอบคลุมพื้นที่น้อยสุด  $7\text{ km}^2$  ได้แสดงขนาดเกาะความร้อนในบรรยากาศเท่ากับ  $5.19\text{ }^{\circ}\text{C}$  โดยความสัมพันธ์ของข้อมูลระหว่างอุณหภูมิอากาศกับค่าดัชนีความแตกต่างพืชพรรณตามแต่ละพื้นที่ของแนวกันชน ได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลในเชิงลบ ซึ่งให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ) เท่ากับ 0.981 โดยตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์กันแบบเส้นตรงอย่างมีนัยสำคัญและผลการจำแนกสิ่งปกคลุมดินในพื้นที่ศึกษาได้แสดงให้เห็นว่าหากปริมาณเนื้อที่การมีอยู่ของต้นไม้ พืชพรรณ มีปริมาณที่มากพอ อาจช่วยทำให้อุณหภูมิอากาศหรืออุณหภูมิพื้นผิวของพื้นที่เขตเทศบาลเมืองมหาสารคามลดลง ซึ่งจะส่งผลให้ขนาดเกาะความร้อนในบรรยากาศมีค่าลดลง

ด ว ย เ ช้ น กั น

บรรณานุกรม



กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2560. Retrieved from [www.idd.go.th](http://www.idd.go.th).

ข้าวประดับดิน สงมา. 2559. “การวิเคราะห์พื้นที่ที่มีโอกาสเกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนจากอัตรา  
การมองเห็นท้องฟ้า พื้นที่เขตบางรัก กรุงเทพมหานคร.”

บัณฑิต สิงห์จันทร์. 2555. “การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งปกคลุมดินและเกาะความร้อนเมือง  
ในเขตเทศบาล.”

บุญนุช รุธิโรโก. 2558. “ในการศึกษาปรากฏการณ์ เกาะความร้อน ในเขตเทศบาลนครหาดใหญ่  
และพื้นที่รอบนอก.”

ภานุพันธุ์ ไมตรี. 2561. “การประยุกต์ใช้ดัชนีพืชพรรณ(NDVI)ในการศึกษาศักยภาพการเพาะปลูก  
ข้าวในพื้นที่ อำเภอยางชุมน้อย จังหวัดศรีสะเกษ”

สำนักงานทะเบียนกลาง. 2562. “ประกาศสำนักงานทะเบียนกลาง เรื่องจำนวนราษฎรทั่ว  
ราชอาณาจักร ตามหลักฐานการทะเบียนราษฎร 2562.” Retrieved from  
[https://stat.bora.dopa.go.th/stat/pk/pk\\_62.pdf](https://stat.bora.dopa.go.th/stat/pk/pk_62.pdf).

สำนักงานสถิติแห่งชาติ กระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร. *ตัวทดสอบสถิติการเลือกใช้  
ตัวทดสอบสถิติ*. Retrieved from [tstmeth@nso.go.th](mailto:tstmeth@nso.go.th).

Bartholy, J, and R Pongrácz. 2009. “Comparison of Urban Heat Island Effect Using  
Ground-Based and Satellite Measurements.” *Acta Climatologica et Chorologica*  
42–43:

Bohling, Geoff, Assistant Scientist, and Kansas Geological. 2005. “C&PE 940, 19  
October 2005.” *Scientist* (October): 1–20.

Bottyán, Zsolt, Andrea Kircsi, Sándor Szegedi, and János Unger. 2005. “The  
Relationship between Built-up Areas and the Spatial Development of the Mean  
Maximum Urban Heat Island in Debrecen, Hungary.” *International Journal of  
Climatology* 25(3): 405–18.

- EPA. (2008). Urban Heat Island Basics. In U.S. Environmental Protection Agency (Eds.), Reducing urban heat islands: Compendium of strategies (1st., pp. 1-16) Retrieved from <https://www.epa.gov/heat-islands/heat-island-compendium>
- Fernando, H.J. (2010). Urban Heat Islands. In Roth, M. Taylor & Francis Group (Eds.), ENVIRONMENTAL FLUID DYNAMICS SYSTEMS, POLLUTION, MODELING, AND MEASUREMENTS (2nd ed., pp. 143-159).
- Ghulam, Abduwasit, Reda Amer, and Timothy M. Kusky. 2010. "Mineral Exploration and Alteration Zone Mapping in Eastern Desert of Egypt Using Aster Data." *American Society for Photogrammetry and Remote Sensing Annual Conference 2010: Opportunities for Emerging Geospatial Technologies* 1(April): 196–205.
- Johnson, Daniel P., Jeffrey S. Wilson, and George C. Luber. 2009. "Socioeconomic Indicators of Heat-Related Health Risk Supplemented with Remotely Sensed Data." *International Journal of Health Geographics* 8: 57.
- Oke, Tim R. 2007. "Siting and Exposure of Meteorological Instruments at Urban Sites." *Air Pollution Modeling and Its Application XVII* 1: 615–31.
- Rajagopalan, Priyadarsini, Kee Chuan Lim, and Elmira Jamei. 2014. "Urban Heat Island and Urban Health.Pdf." *Solar Energy* 107: 159–70.
- Ruthamnong, Suphatphong, Rathanon Chan-in, and Suchavadee Pomkaew. 2560. "Study of Multi-temporal MODIS Normalized Difference Vegetation Index for Drought Monitoring in the East Side of Ping River, Kamphaeng Phet Province." : 621–32.
- Srivanit, Manat. 2012. "Thermal Infrared Remote Sensing for Urban Climate and Environmental Studies: Methods, Applications, and Trends." *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 64(4): 335–44.

Sundborg, Å. 1950. "Local Climatological Studies of the Temperature Conditions in an Urban Area." *Tellus* 2(3): 222–32.

Takebayashi, Hideki, and Masakazu Moriyama. 2009a. "Study on the Urban Heat Island Mitigation Effect Achieved by Converting to Grass-Covered Parking." *Solar Energy* 83(8): 1211–23. <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2009.01.019>.

———. 2009b. "Study on the Urban Heat Island Mitigation Effect Achieved by Converting to Grass-Covered Parking." *Solar Energy* 83(8): 1211–23.

Unger, J., Sümeğhy Z., Zoboki, J. 2001. "Ecosystems & Ecophysiology – Lecture 9 Extreme Aquatic Environments Extreme Aquatic Environments." *Atmospheric Research* 58: 117–27.

Vicente-Serrano, Sergio M., José M. Cuadrat-Prats, and Miguel A. Saz-Sánchez. 2005. "Spatial Patterns of the Urban Heat Island in Zaragoza (Spain)." *Climate Research* 30(1): 61–69.

Wang, Xiaoxue, and Yuguo Li. 2016. "Predicting Urban Heat Island Circulation Using CFD." *Building and Environment* 99: 82–97.

WFPGeoNode. (2018). "Thailand Road Network (main roads), Create a map using this layer." Retrieved from <https://geonode.wfp.org/maps/new?layercserver.gis.wfp.org:geonode>

Yokobori, T, and S Ohta. 2009. "Effect of Land Cover on Air Temperatures Involved in the Development of an Intra-Urban Heat Island." *Climate Research* 39(February): 61–73.

Zhang, X. X., P. F. Wu, and B. Chen. 2010. "Relationship between Vegetation Greenness and Urban Heat Island Effect in Beijing City of China." *Procedia Environmental Sciences* 2: 1438–50.



## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นายทฤษฎี พรหมดิเรก
วันเกิด	11 สิงหาคม 2531
สถานที่เกิด	อำเภอท่าคันโท จังหวัดกาฬสินธุ์
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	62 หมู่ที่ 20 ต.ขามเรียง อ.กันทรวิชัย จ.มหาสารคาม 44150
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ประวัติการศึกษา	พ.ศ.2553 ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ) สาขาวิชาฟิสิกส์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม พ.ศ.2566 ปริญญามหาบัณฑิต (วท.ม) สาขาพลังงาน ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

พูนัน ปณฺ ทิโต ชีเว