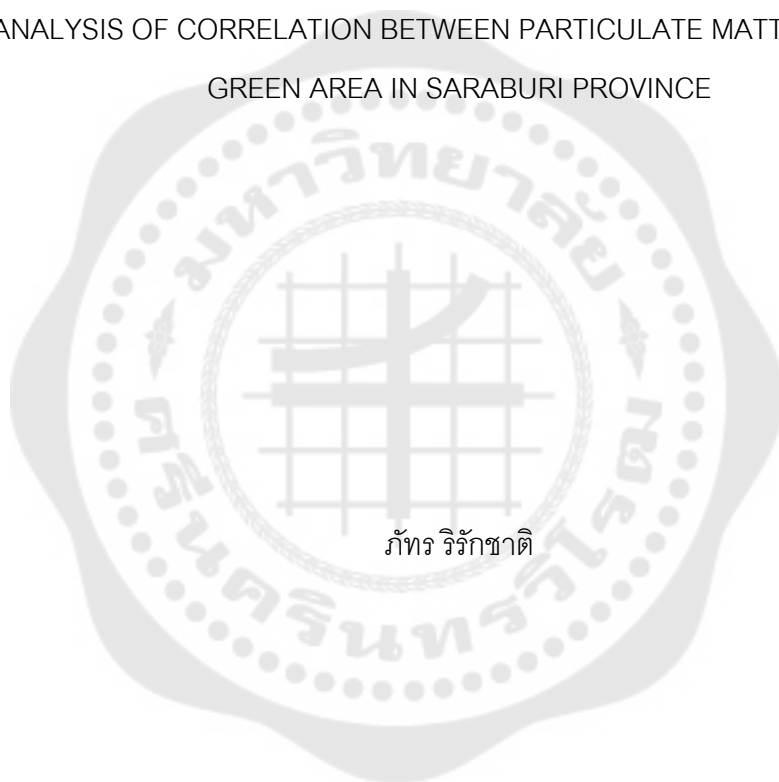




การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 กับพื้นที่สีเขียวในจังหวัดสระบุรี

AN ANALYSIS OF CORRELATION BETWEEN PARTICULATE MATTER PM2.5 AND
GREEN AREA IN SARABURI PROVINCE



ภัทร วิรัชชาติ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

2567

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 กับพื้นที่สีเขียวในจังหวัดสระบุรี



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาภูมิสารสนเทศ
คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ปีการศึกษา 2567
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

AN ANALYSIS OF CORRELATION BETWEEN PARTICULATE MATTER PM2.5 AND
GREEN AREA IN SARABURI PROVINCE



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of MASTER OF SCIENCE
(Geoinformatics)

Faculty of Social Sciences, Srinakharinwirot University

2024

Copyright of Srinakharinwirot University

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 กับพื้นที่สีเขียวในจังหวัดสระบุรี

ของ

ภัทร วัชรชาติ

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาภูมิสารสนเทศ

ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ฉัตรชัย เอกปัญญาสกุล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

คณะกรรมการสอบปากเปล่าปริญญานิพนธ์

..... ที่ปรึกษาหลัก ประธาน
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชูเดช โลศิริ) (รองศาสตราจารย์ ดร.พรรณี ชีวินศิริวัฒน์)

..... ที่ปรึกษาร่วม กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อสมารณ์ สิทธิ) (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สถาพร มนต์
ประภัสสร)

ชื่อเรื่อง	การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 กับพื้นที่สีเขียวในจังหวัดสระบุรี
ผู้วิจัย	ภัทร ธีรภักขิ
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
ปีการศึกษา	2567
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชูเดช โลศิริ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อสมภรณ์ สิทธิ

งานวิจัยนี้มุ่งวิเคราะห์รูปแบบการกระจายตัวของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 ในจังหวัดสระบุรี ประเทศไทย โดยใช้ค่าฝุ่น PM2.5 ที่ได้จากการประมาณค่าด้วยข้อมูล Aerosol Optical Depth (AOD) จากดาวเทียม MODIS ร่วมกับข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลม ผ่านการวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ (Multiple Linear Regression: MLR) พร้อมทั้งวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงพื้นที่สีเขียวด้วยข้อมูลจากดาวเทียม Sentinel-2 โดยใช้ดัชนีพืชพรรณ NDVI และศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่สีเขียวกับค่าฝุ่น PM2.5 ในพื้นที่ศึกษา ผลการวิเคราะห์แบบจำลอง MLR พบว่าตัวแปรทั้งสี่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\text{-value} < 0.05$) โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.57 และเมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลจากสถานีตรวจวัดภาคพื้นพบว่า ค่า RMSE เท่ากับ $10.65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ และ R^2 เท่ากับ 0.60 ซึ่งแสดงว่าแบบจำลองสามารถอธิบายค่าความแปรปรวนของ PM2.5 ได้ถึง 60% การกระจายตัวของ PM2.5 ระหว่างปี พ.ศ. 2561–2565 มีลักษณะเกาะกลุ่ม (cluster) โดยใช้สถิติ Getis-Ord G_i^* วิเคราะห์พบว่า Hot Spot ส่วนใหญ่อยู่ในพื้นที่เกษตรกรรม และ Cold Spot ส่วนใหญ่อยู่ในพื้นที่ป่าไม้ สำหรับแนวโน้มพื้นที่สีเขียวในช่วง 5 ปี พบว่าพื้นที่สีเขียวหนาแน่นเพิ่มขึ้น 11.30% ขณะที่พื้นที่สีเขียวเบาบางลดลง 10.85% และพื้นที่ไม่มีพืชพรรณลดลง 0.44% การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง PM2.5 กับ NDVI พบว่าทุกปีมีความสัมพันธ์เชิงลบอย่างมีนัยสำคัญ โดยในปี พ.ศ. 2565 มีความสัมพันธ์สูงสุด ($R^2 = 0.82$, ค่าสัมประสิทธิ์ = -11.31) แสดงว่า NDVI สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของ PM2.5 ได้ถึง 82% โดย NDVI เพิ่มขึ้นหนึ่งหน่วยจะช่วยลดระดับ PM2.5 เฉลี่ย $11.31 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ผลลัพธ์นี้ยืนยันถึงบทบาทของพื้นที่สีเขียวในการช่วยบรรเทามลพิษทางอากาศอย่างมีนัยสำคัญ โดยต้นไม้และพืชพรรณมีคุณสมบัติในการกรองและดูดซับฝุ่นละออง อย่างไรก็ตาม ความสัมพันธ์ดังกล่าวอาจผันผวนตามสถานการณ์ทางเศรษฐกิจ สังคม และสภาพภูมิอากาศในแต่ละปี แต่แนวโน้มระยะยาวยังคงมีความสอดคล้องอย่างชัดเจนในเชิงสถิติ

คำสำคัญ : PM2.5, AOD, MLR, NDVI

Title	AN ANALYSIS OF CORRELATION BETWEEN PARTICULATE MATTER PM2.5 AND GREEN AREA IN SARABURI PROVINCE
Author	PATTARA RIRUGCHART
Degree	MASTER OF SCIENCE
Academic Year	2024
Thesis Advisor	Assistant Professor Dr. Chudech Losiri
Co Advisor	Assistant Professor Dr. Asamaporn Sitthi

This study analyzed the spatial distribution of PM_{2.5} in Saraburi Province, Thailand, by estimating PM_{2.5} concentrations using Aerosol Optical Depth (AOD) from MODIS satellite data combined with meteorological factors (air temperature, relative humidity, and wind speed) through Multiple Linear Regression (MLR). Green space changes were assessed using Sentinel-2 imagery and NDVI thresholds, and the relationship between PM_{2.5} and vegetation cover was examined. The MLR model showed statistical significance ($P < 0.05$ for all variables), with an R^2 of 0.57; validation with ground station data yielded an R^2 of 0.60 and RMSE of 10.65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. From 2018 to 2022, PM_{2.5} exhibited a clustered spatial distribution, with hot spots in agricultural zones and cold spots in forested areas identified using Getis-Ord G_i^* analysis. Green space analysis revealed an 11.30% increase in dense vegetation and corresponding declines in sparse and non-vegetated areas (10.85% and 0.44%, respectively). A statistically significant negative correlation was observed between NDVI and PM_{2.5} in all years, with the strongest relationship in 2022 ($R^2 = 0.82$, Coef. = -11.31), indicating that increased vegetation is associated with reduced PM_{2.5} levels. These findings underscore the importance of green spaces in air pollution mitigation, reinforcing their role as natural filters that can help reduce airborne particulate concentrations over time.

Keyword : PM_{2.5}, AOD, MLR, NDVI

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้โดยได้รับคำแนะนำ และข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์จาก คณะกรรมการควบคุมปริญญานิพนธ์ ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชูเดช โลศิริ ที่ปรึกษาหลัก และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อสมภารณ์ สิทธิ ที่ปรึกษาร่วม ที่ได้ให้ความเมตตากรุณา ให้คำปรึกษาและให้ความช่วยเหลือชี้แนะแนวทางในสิ่งที่เป็นประโยชน์ต่อการศึกษาและการทำ ปริญญานิพนธ์นี้ด้วยความเอาใจใส่ตลอดมาแก่ผู้วิจัย ทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์หลักสูตรสาขาภูมิสารสนเทศ คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒทุกท่าน ที่ได้กรุณาประสิทธิประสาทความรู้ต่างๆ ให้แก่ผู้วิจัยอันเป็น ประโยชน์ต่อการทำปริญญานิพนธ์ในครั้งนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณทุนอุดหนุนการวิจัยและนวัตกรรมจากสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช) ที่ให้ การสนับสนุนทุนอุดหนุนการทำวิจัยเพื่อให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณกรมควบคุมมลพิษ ที่ให้การอนุเคราะห์ข้อมูลความเข้มข้น PM2.5 เพื่อใช้ในการ ศึกษาครั้งนี้

ขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ สาขาภูมิสารสนเทศ ที่ให้คำปรึกษา ช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจ ตลอดระยะเวลาการทำปริญญานิพนธ์

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณทุกคนในครอบครัวที่ให้กำลังใจ ให้การสนับสนุน จนเกิด แรงผลักดันให้สามารถทำปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จดังที่ตั้งใจไว้

ภัทร วิรัชชาติ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญรูปภาพ.....	ฐ
บทที่ 1 บทนำ	15
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย.....	15
1.2 วัตถุประสงค์.....	18
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	18
1.4 ขอบเขตในการดำเนินการวิจัย	18
1.4.1 ขอบเขตพื้นที่.....	18
1.4.2 ขอบเขตเนื้อหา	19
1.4.3 ขอบเขตด้านเวลา.....	20
1.5 ข้อจำกัดในการศึกษา.....	20
1.6 นิยามศัพท์เฉพาะ	20
1.5 กรอบแนวคิดการวิจัย.....	21
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	22
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับมลพิษทางอากาศ.....	22
2.1.1 ประเภทของสารมลพิษทางอากาศ.....	22
2.1.2 แหล่งกำเนิดสารมลพิษทางอากาศ	23

2.1.3 สารมลพิษทางอากาศ 7 ชนิด.....	23
2.1.4 ดัชนีคุณภาพอากาศ (Air Quality Index: AQI).....	24
2.1.5 ฝุ่นละออง (Particulate Matter: PM).....	26
2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับแนวความคิดของพื้นที่สีเขียว	28
2.2.1 ความหมายของพื้นที่สีเขียว	28
2.2.2 ประเภทของเมืองและมาตรฐานอัตราส่วนพื้นที่สีเขียว	30
2.3 เทคนิคการประมาณค่าฝุ่น PM2.5 ด้วย AOD	32
2.3.1 ข้อมูล AOD.....	32
2.3.2 ดาวเทียมระบบ MODIS	32
2.3.3 การประมาณค่าฝุ่น PM2.5	34
2.4 เทคนิคการประมวลผลข้อมูลพื้นที่สีเขียว	37
2.4.1 ดาวเทียม Sentinel-2	37
2.4.2 ดัชนีพืชพรรณ.....	38
2.4.3 การจำแนกพื้นที่สีเขียว	38
2.5 การวิเคราะห์สถิติเชิงพื้นที่	40
2.5.1 การวิเคราะห์แบบรูปเชิงพื้นที่	41
2.5.2 เทคนิควิเคราะห์ Spatial Autocorrelation (Moran's I).....	42
2.5.3 เทคนิคการวิเคราะห์ Getis-Ord Gi*	42
2.6 การประยุกต์ใช้ Google Earth Engine.....	43
2.7 ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา	44
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	45
บทที่ 3 วิธีดำเนินการศึกษา.....	50
3.1 พื้นที่ศึกษา	50

3.1.1 ลักษณะที่ตั้งภูมิศาสตร์.....	50
3.1.2 ลักษณะภูมิประเทศ	50
3.1.3 ลักษณะภูมิอากาศ.....	51
3.2 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา	52
3.2.1 ข้อมูลฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5.....	52
3.2.2 ข้อมูลพื้นที่สีเขียว.....	53
3.2.3 ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา.....	53
3.3 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา	55
3.3.1 คอมพิวเตอร์.....	55
3.3.2 โปรแกรม ArcGIS Pro.....	55
3.3.3 Google Earth Engine	55
3.4 การรวบรวมข้อมูล	55
3.4.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล	55
3.4.2 การประมาณค่าฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 ด้วย AOD	56
3.4.3 การแบ่งสัดส่วนพืชพรรณสีเขียว NDVI	58
3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล	58
3.5.1 การวิเคราะห์แบบรูปการกระจายตัวของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5	60
3.5.2 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงพื้นที่สีเขียว	60
3.5.3 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 กับพื้นที่สีเขียว	61
บทที่ 4 ผลการศึกษา	62
4.1 ผลการวิเคราะห์รูปแบบการกระจายตัวของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 ด้วย AOD จากดาวเทียมระบบ MODIS และข้อมูลอุตุนิยมวิทยาในจังหวัดสระบุรี.....	62
4.1.1 ผลการรวบรวมข้อมูล	62

4.1.2 ผลการประมาณค่าฝุ่น PM2.5 ในจังหวัดสระบุรี.....	64
4.1.3 ผลการวิเคราะห์รูปแบบการกระจายตัวของฝุ่น PM2.5 ในจังหวัดสระบุรี.....	77
4.2 ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงพื้นที่สีเขียวด้วยข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม Sentinel-2	88
4.3 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่น PM2.5 กับพื้นที่สีเขียวในจังหวัดสระบุรี	99
บทที่ 5 สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	103
5.1 สรุปผลการศึกษา	103
5.1.1 วิเคราะห์รูปแบบการกระจายตัวของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 ด้วย AOD จาก ดาวเทียมระบบ MODIS และข้อมูลอุตุนิยมวิทยาในจังหวัดสระบุรี	103
5.1.2 วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงพื้นที่สีเขียวด้วยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2	106
5.1.3 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่น PM2.5 กับพื้นที่สีเขียวในจังหวัดสระบุรี	108
5.2 อภิปรายผลการศึกษา.....	108
5.3 ข้อเสนอแนะ	111
5.3.1 ข้อเสนอแนะเชิงนโยบาย.....	112
5.3.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคต.....	112
บรรณานุกรม	114
ภาคผนวก.....	119
ประวัติผู้เขียน	125

สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 1 เกณฑ์ดัชนีคุณภาพอากาศของประเทศไทย	24
ตาราง 2 เกณฑ์มาตรฐานฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 ของประเทศไทย	27
ตาราง 3 การกำหนดขอบเขตชุมชนเมืองตามประเภทของเทศบาล	30
ตาราง 4 มาตรฐานอัตราส่วนพื้นที่สีเขียว จำแนกตามองค์กรและประเทศ	31
ตาราง 5 คุณลักษณะของ MODIS	33
ตาราง 6 รูปแบบจำลองการประมาณค่า PM2.5.....	36
ตาราง 7 ตารางคุณลักษณะของดาวเทียม Sentinel-2	37
ตาราง 8 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา	54
ตาราง 9 ข้อมูลตำแหน่งสถานีตรวจคุณภาพอากาศ กรมควบคุมมลพิษ.....	63
ตาราง 10 จำนวนข้อมูลตัวแปรต้นจากตำแหน่งสถานีตรวจคุณภาพอากาศ	64
ตาราง 11 การวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณเพื่อการประมาณค่าฝุ่น PM2.5 ปี 2561 - 2565	65
ตาราง 12 แสดงค่าทางสถิติของการทดสอบแบบจำลองของปี 2566	66
ตาราง 13 ปริมาณความเข้มข้นของฝุ่น PM2.5 รายเดือน และพื้นที่ฝุ่น PM2.5 เกินค่ามาตรฐาน ปี 2561.....	68
ตาราง 14 ปริมาณความเข้มข้นของฝุ่น PM2.5 รายเดือน และพื้นที่ฝุ่น PM2.5 เกินค่ามาตรฐาน ปี 2562.....	70
ตาราง 15 ปริมาณความเข้มข้นของฝุ่น PM2.5 รายเดือน และพื้นที่ฝุ่น PM2.5 เกินค่ามาตรฐาน ปี 2563.....	72
ตาราง 16 ปริมาณความเข้มข้นของฝุ่น PM2.5 รายเดือน และพื้นที่ฝุ่น PM2.5 เกินค่ามาตรฐาน ปี 2564.....	74
ตาราง 17 ปริมาณความเข้มข้นของฝุ่น PM2.5 รายเดือน และพื้นที่ฝุ่น PM2.5 เกินค่ามาตรฐาน ปี 2565.....	76

ตาราง 18 ผลการวิเคราะห์ Moran's I รูปแบบการกระจายตัวของฝุ่น PM2.5	78
ตาราง 19 การใช้ประโยชน์ที่ดินบริเวณพื้นที่ Hot Spot และ Cold Spot ที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ปี 2561	80
ตาราง 20 การใช้ประโยชน์ที่ดินบริเวณพื้นที่ Hot Spot และ Cold Spot ที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ปี 2562	81
ตาราง 21 การใช้ประโยชน์ที่ดินบริเวณพื้นที่ Hot Spot และ Cold Spot ที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ปี 2563	83
ตาราง 22 การใช้ประโยชน์ที่ดินบริเวณพื้นที่ Hot Spot และ Cold Spot ที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ปี 2564	85
ตาราง 23 การใช้ประโยชน์ที่ดินบริเวณพื้นที่ Hot Spot และ Cold Spot ที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ปี 2565	87
ตาราง 24 การแบ่งช่วงค่าข้อมูล NDVI เพื่อจำแนกพื้นที่สีเขียวในจังหวัดสระบุรี.....	88
ตาราง 25 การตรวจสอบความถูกต้องของการจำแนกพื้นที่สีเขียวด้วย NDVI.....	89
ตาราง 26 ปริมาณพื้นที่สีเขียวปี 2561 - 2565 ในจังหวัดสระบุรี.....	92
ตาราง 27 การเปลี่ยนแปลงพื้นที่สีเขียวแบบจับคู่จุดภาพระหว่างปี 2561 ไปเป็นปี 2562.....	93
ตาราง 28 การเปลี่ยนแปลงพื้นที่สีเขียวแบบจับคู่จุดภาพระหว่างปี 2562 ไปเป็นปี 2563.....	95
ตาราง 29 การเปลี่ยนแปลงพื้นที่สีเขียวแบบจับคู่จุดภาพระหว่างปี 2563 ไปเป็นปี 2564.....	96
ตาราง 30 การเปลี่ยนแปลงพื้นที่สีเขียวแบบจับคู่จุดภาพระหว่างปี 2564 ไปเป็นปี 2565.....	98
ตาราง 31 การเปลี่ยนแปลงพื้นที่สีเขียวแบบจับคู่จุดภาพระหว่างปี 2561 ไปเป็นปี 2565.....	99
ตาราง 32 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่น PM2.5 กับพื้นที่สีเขียวในจังหวัดสระบุรี.....	101

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
ภาพประกอบ 1 พื้นที่ศึกษา	19
ภาพประกอบ 2 กรอบแนวคิดการวิจัย	21
ภาพประกอบ 3 ตัวอย่างสภาพอากาศปกติและมีความผกผัน	44
ภาพประกอบ 4 ลักษณะภูมิประเทศจังหวัดสระบุรี	51
ภาพประกอบ 5 ตำแหน่งสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศในจังหวัดสระบุรีและสถานีข้างเคียง.....	53
ภาพประกอบ 6 ขั้นตอนการดำเนินการงานวิจัย.....	59
ภาพประกอบ 7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าฝุ่น PM2.5 จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ และการประมาณค่าฝุ่น PM2.5 จากแบบจำลอง MLR ปี 2566.....	66
ภาพประกอบ 8 แสดงปริมาณความเข้มข้นของฝุ่น PM2.5 รายเดือน ในปี 2561	68
ภาพประกอบ 9 แสดงปริมาณความเข้มข้นของฝุ่น PM2.5 รายเดือน ในปี 2562.....	70
ภาพประกอบ 10 แสดงปริมาณความเข้มข้นของฝุ่น PM2.5 รายเดือน ในปี 2563.....	72
ภาพประกอบ 11 แสดงปริมาณความเข้มข้นของฝุ่น PM2.5 รายเดือน ในปี 2564	74
ภาพประกอบ 12 แสดงปริมาณความเข้มข้นของฝุ่น PM2.5 รายเดือน ในปี 2565.....	76
ภาพประกอบ 13 แสดงผลการวิเคราะห์ Hot Spot และ Cold Spot ของค่าฝุ่น PM2.5 ปี 2561 .	79
ภาพประกอบ 14 แสดงผลการวิเคราะห์ Hot Spot และ Cold Spot ของค่าฝุ่น PM2.5 ปี 2562 .	81
ภาพประกอบ 15 แสดงผลการวิเคราะห์ Hot Spot และ Cold Spot ของค่าฝุ่น PM2.5 ปี 2563 .	83
ภาพประกอบ 16 แสดงผลการวิเคราะห์ Hot Spot และ Cold Spot ของค่าฝุ่น PM2.5 ปี 2564 .	85
ภาพประกอบ 17 แสดงผลการวิเคราะห์ Hot Spot และ Cold Spot ของค่าฝุ่น PM2.5 ปี 2565 .	87
ภาพประกอบ 18 พื้นที่สีเขียวปี 2561 – 2565 ในจังหวัดสระบุรี.....	91
ภาพประกอบ 19 การเปลี่ยนแปลงพื้นที่สีเขียวจากปี 2561 ไปเป็นปี 2562 ในจังหวัดสระบุรี.....	93
ภาพประกอบ 20 การเปลี่ยนแปลงพื้นที่สีเขียวจากปี 2562 ไปเป็นปี 2563 ในจังหวัดสระบุรี.....	95

ภาพประกอบ 21 การเปลี่ยนแปลงพื้นที่สีเขียวจากปี พ.ศ.2563 ไปเป็นปี 2564 ในจังหวัดสระบุรี	96
ภาพประกอบ 22 การเปลี่ยนแปลงพื้นที่สีเขียวจากปี พ.ศ.2564 ไปเป็นปี 2565 ในจังหวัดสระบุรี	98
ภาพประกอบ 23 การเปลี่ยนแปลงพื้นที่สีเขียวในช่วง 5 ปี 2561 ไปเป็นปี 2565 ในจังหวัดสระบุรี	99
ภาพประกอบ 24 ความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่น PM2.5 กับพื้นที่สีเขียวในจังหวัดสระบุรี	102



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

ประเทศไทยต้องเผชิญกับปัญหาฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 อย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในปี 2562 ที่สถานการณ์มีความรุนแรงและปกคลุมเป็นเวลานานกว่าทุกปีที่ผ่านมา ทำให้ทุกภาคส่วน ไม่ว่าจะเป็นหน่วยงานรัฐ สื่อมวลชน หรือประชาชน ต่างให้ความสนใจอย่างมาก แม้ว่าปัญหาฝุ่น PM2.5 จะไม่ได้เพิ่งเกิดขึ้นหรือเกินค่ามาตรฐานเป็นครั้งแรก แต่ในปี 2562 มีความโดดเด่นเนื่องจากฝุ่นปกคลุมนานเป็นพิเศษ โดยปกติแล้วประเทศไทยจะประสบปัญหาฝุ่น PM2.5 เกินค่ามาตรฐานในช่วงปลายฤดูหนาวถึงต้นฤดูร้อน ซึ่งเป็นช่วงเปลี่ยนผ่านฤดูกาล ในช่วงปลายฤดูหนาวของทุกปี บริเวณความกดอากาศสูง หรือ มวลอากาศเย็นจากประเทศจีน จะแผ่ลงมาปกคลุมเป็นระลอก ส่งผลให้ ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ที่พัดปกคลุมประเทศไทยตอนบนมีกำลังแรงขึ้น ทำให้อุณหภูมิลดลงและมีอากาศเย็นถึงหนาว อย่างไรก็ตาม หากในบางช่วงเวลาความกดอากาศสูงมีกำลังอ่อนลง จะทำให้ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนืออ่อนกำลังลงหรือเกิดภาวะ ลมสงบ นอกจากนี้ การผกผันกลับของอุณหภูมิ (Temperature Inversion) ในระดับล่างยังมีผลให้ระดับเพดานการลอยตัวและการกระจายตัวของฝุ่นละอองอยู่ในระดับต่ำ การไหลเวียนและการถ่ายเทของอากาศไม่ดี ทำให้เกิดการสะสมของฝุ่นละออง หมอก และควันในบรรยากาศเพิ่มขึ้น ซึ่งการเพิ่มขึ้นของฝุ่นละอองนี้ส่งผลกระทบต่อสุขภาพ เศรษฐกิจ และสังคม รายงานจาก Health Effects Institute (2562) ชี้ว่า มลพิษทางอากาศเป็นสาเหตุการเสียชีวิตอันดับ 7 ในประเทศไทย โดยมีผู้เสียชีวิตถึง 41,000 คนในปี 2562 (สำนักงานกองทุนสนับสนุนการส่งเสริมสุขภาพ, 2565ข, น. 12) ซึ่งฝุ่น PM2.5 ถือเป็นมลพิษทางอากาศที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพมากที่สุด ในด้านเศรษฐกิจและสังคม งานวิจัยในประเทศไทยประเมินมูลค่าผลกระทบจากมลพิษทางอากาศโดยคำนวณจากความเต็มใจจ่ายหน่วยสุดท้ายต่อปีของครัวเรือน และความเข้มข้นของ PM2.5 ที่เกินค่าแนะนำขององค์การอนามัยโลก (WHO) ก่อนการปรับปรุงในปี 2564 พบว่าในปี 2563 ผลกระทบเชิงเศรษฐกิจและสังคมจาก PM2.5 มีมูลค่าสูงถึง 1.67 ล้านล้านบาท หรือคิดเป็นร้อยละ 10.63 ของผลิตภัณฑ์มวลรวมภายในประเทศ (สำนักงานกองทุนสนับสนุนการส่งเสริมสุขภาพ, 2565ค, น. 31) ซึ่งชี้ให้เห็นว่าผลกระทบจาก PM2.5 ไม่ได้จำกัดอยู่แค่ด้านสุขภาพเท่านั้น แต่ยังส่งผลกระทบในวงกว้างต่อเศรษฐกิจและสังคม ซึ่งอาจกระทบต่อการพัฒนาประเทศโดยรวม

ปัจจุบันมีการรณรงค์ให้เพิ่มพื้นที่สีเขียวด้วยการปลูกต้นไม้เพื่อช่วยดูดซับฝุ่นละอองในอากาศ สำนักวิจัยการอนุรักษ์ป่าไม้และพันธุ์พืช กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช (2563,

น. 17) อธิบายว่าต้นไม้สามารถดูดซับกลิ่น มลพิษ และฝุ่นละออง ผ่านทางใบและเปลือกของลำต้นได้ โดยอากาศที่มีมลพิษเมื่อไหลผ่านเรือนยอดของต้นไม้จะช่วยลดปริมาณฝุ่น PM2.5 ได้ถึง 10-50% เนื่องจากฝุ่นจะเกาะแน่นที่ผิวใบชั้น Cuticle และตามเปลือกของกิ่งก้าน ลำต้น ซึ่งฝุ่นที่เกาะค้างเหล่านี้จะถูกชะล้างลงสู่พื้นดินโดยน้ำฝนหรือการรดน้ำ นอกจากนี้ยังมีการนำระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) มาใช้ในการประมาณค่าเชิงพื้นที่ (Spatial Interpolation) เพื่อคาดการณ์ค่าข้อมูลในบริเวณที่ไม่มีข้อมูลหรือข้อมูลไม่เพียงพอ เช่น งานวิจัยของ มินตรา ธาระสิทธิ์ และ ัญญรัตน์ ไชยคราม (2563) ที่ประยุกต์ใช้ภูมิสารสนเทศเพื่อประเมินคุณภาพอากาศในกรุงเทพมหานคร โดยใช้หลักการ IDW (Inverse Distance Weighting) กับข้อมูลจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ เพื่อวิเคราะห์ความเข้มข้นของการแพร่กระจายของมลพิษในอากาศและสร้างแผนที่พื้นที่เสี่ยง แต่ในปัจจุบัน เทคโนโลยี Remote Sensing (การรับรู้ระยะไกล) ได้รับการนำมาใช้ในการสำรวจโลกอย่างต่อเนื่อง เพื่อการสำรวจและติดตามการเปลี่ยนแปลงของทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม รวมถึงสภาพภูมิอากาศและคุณภาพอากาศของโลก งานวิจัยจำนวนมากเริ่มใช้ข้อมูลจากดาวเทียมในการประมาณค่าฝุ่นละอองขนาดเล็กมากขึ้น เนื่องจากให้ข้อมูลเชิงพื้นที่ที่ครอบคลุมและแม่นยำกว่าวิธีการ Interpolation เนื่องจากข้อมูลที่ได้มาจากอุปกรณ์ตรวจวัดหรือเซ็นเซอร์ที่ติดตั้งบนดาวเทียมหรืออากาศยานไร้คนขับ ทำให้สามารถนำมาวิเคราะห์และประมวลผลข้อมูลเชิงพื้นที่และเชิงเวลาได้ เช่น การตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 โดยมีงานวิจัยทั้งในและต่างประเทศได้ใช้ ความลึกเชิงแสงของอนุภาคแขวนลอยในอากาศ (Aerosol Optical Depth: AOD) ซึ่งเป็นค่าสำคัญที่บ่งชี้ถึงปริมาณละอองลอยในชั้นบรรยากาศและมีความสัมพันธ์กับการหาปริมาณความเข้มข้นของ PM2.5 เช่น Chudnovsky et al. (2013) ใช้ AOD จากอัลกอริทึม MAIAC ของ MODIS ความละเอียด 1 กิโลเมตร เปรียบเทียบกับ MYD04 ที่มีความละเอียด 10 กิโลเมตร เพื่อหาความสัมพันธ์และความเหมาะสมในการประมาณค่าฝุ่น PM2.5 กับสถานีตรวจวัดภาคพื้นดิน 84 แห่งในประเทศอังกฤษ พบว่า MAIAC และ MYD04 มีความแม่นยำใกล้เคียงกันกับสถานีตรวจวัดภาคพื้นดิน โดยมีความสัมพันธ์อยู่ที่ 0.65 และ 0.62 ตามลำดับ และในประเทศไทย กนกวรรณ ภูธรธรรม (2563) ได้ใช้ AOD จากดาวเทียม Himawari 8 ในการประมาณค่า PM2.5 บริเวณภาคเหนือของประเทศไทย ด้วยวิธี Principal Component Analysis - General Regression Neural Network (PCA-GRNN) ร่วมกับ Multiple Linear Regression (MLR) และข้อมูลจากสถานีตรวจวัดภาคพื้นดิน พบว่าวิธี PCA-GRNN สามารถประมาณค่า PM2.5 ได้ใกล้เคียงกับค่าจากสถานีตรวจวัดภาคพื้นดิน และชญานนท์ เทพแสงพราว (2563) ใช้ข้อมูล AOD จากเซ็นเซอร์ MODIS ด้วยอัลกอริทึม MAIAC

มีความละเอียด 1 กิโลเมตร จากผลิตภัณฑ์ MCD19A2 จาก Aqua และ Terra ร่วมกับข้อมูลอุตุนิยมวิทยา เพื่อทำนายปริมาณฝุ่น PM_{2.5} ในพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล ซึ่งผลการประมาณค่ามีความน่าเชื่อถือเมื่อเปรียบเทียบกับ PM_{2.5} จากสถานีภาคพื้นดิน นอกจากนี้เทคโนโลยี Remote Sensing ยังถูกนำมาใช้ในการสำรวจและติดตามการเปลี่ยนแปลงของทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม โดยมีงานวิจัยที่ประยุกต์ใช้ในการจำแนกพื้นที่สีเขียว โดยงานวิจัย พิสิษฐ สังขรัตน์ (2560) ศึกษาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่สีเขียวในเขตเทศบาลอำเภอเมืองสงขลา จังหวัดสงขลา โดยใช้ภาพถ่ายจากดาวเทียม Landsat-5 และ Landsat-8 เพื่อจำแนกพื้นที่สีเขียวด้วย ดัชนีพืชพรรณ NDVI และนราธิป เฟ่งพิศ (2563) ประยุกต์ใช้การรับรู้ระยะไกลเพื่อศึกษาอิทธิพลของพื้นที่สีเขียวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิพื้นผิวในเทศบาลนครนครสวรรค์ โดยใช้ดัชนีพืชพรรณ NDVI ในการจำแนกสัดส่วนของพืชพรรณปกคลุมดิน จากงานวิจัยข้างต้นแสดงให้เห็นว่าเทคโนโลยีการรับรู้ระยะไกลได้ถูกประยุกต์ใช้ในงานวิจัยหลากหลายด้านตามความสนใจของผู้วิจัยในแต่ละด้าน

จากสถานการณ์ปัจจุบัน จังหวัดสระบุรี ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีการเฝ้าระวังปัญหามลพิษทางอากาศอย่างต่อเนื่อง โดยแหล่งกำเนิดของฝุ่นละอองในจังหวัดสระบุรีมาจากหลายปัจจัย ได้แก่ ยานพาหนะที่ใช้เครื่องยนต์ดีเซล การเผาในที่โล่ง โรงงานอุตสาหกรรม และอุตสาหกรรมเหมืองหิน (สำนักงานป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยจังหวัดสระบุรี, ม.ป.ป., น. 4) ประกอบกับในช่วงปลายฤดูหนาวของทุกปี จังหวัดสระบุรีได้รับอิทธิพลจากความกดอากาศสูงหรือมวลอากาศเย็นจากประเทศจีนที่แผ่ลงมาปกคลุมเป็นระลอก ทำให้ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือที่พัดปกคลุมประเทศไทยตอนบนมีกำลังแรงขึ้น ส่งผลให้อุณหภูมิลดลง มีอากาศเย็นถึงหนาว และหนาวจัดในบางพื้นที่ อย่างไรก็ตาม ในบางช่วงเวลาที่ความกดอากาศสูงอ่อนกำลังลง จะทำให้ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนืออ่อนลงหรือลมสงบลง พร้อมกับการผกผันกลับของอุณหภูมิในระดับล่าง ส่งผลให้ระดับเพดานการลอยตัวและการกระจายตัวของฝุ่นละอองอยู่ในระดับต่ำ การไหลเวียนและถ่ายเทของอากาศไม่ดี ทำให้เกิดการสะสมของฝุ่นละอองในบรรยากาศและมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้น (สำนักงานป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยจังหวัดสระบุรี, ม.ป.ป., น. 4) จากข้อมูลด้านสาธารณสุขของจังหวัดสระบุรี พบว่าจำนวนผู้ป่วยที่ได้รับผลกระทบจากมลพิษทางอากาศสูงอย่างต่อเนื่อง โดยมีผู้ป่วยจำนวน 119,550 คนในปี 2563, 103,326 คนในปี 2564, และ 113,160 คนในปี 2565 ดังนั้น ผู้วิจัยจึงเล็งเห็นถึงความสำคัญของการศึกษาในครั้งนี้ เนื่องจากจังหวัดสระบุรียังคงประสบปัญหาฝุ่นละอองขนาดเล็กอย่างต่อเนื่อง และประชาชนยังคงได้รับผลกระทบต่อสุขภาพอย่างมีนัยสำคัญ อีกทั้งงานวิจัยส่วนใหญ่เกี่ยวกับฝุ่น PM_{2.5} มักจะมุ่งเน้นไปที่เมืองใหญ่

เช่น กรุงเทพมหานครหรือจังหวัดเชียงใหม่ ทำให้จังหวัดสระบุรียังขาดการศึกษาและนักวิจัยเฉพาะพื้นที่

การศึกษานี้จึงมุ่งเน้นไปที่การหารูปแบบการกระจายตัวของความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 จากข้อมูล AOD ของดาวเทียม MODIS เนื่องจากจังหวัดสระบุรีมีสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศเพียง 2 แห่ง คือ สถานีตรวจวัดอัตโนมัติบริเวณหน้าสถานีตำรวจภูธรหน้าพระลาน อำเภอเฉลิมพระเกียรติ และสถานีตรวจวัดอัตโนมัติบริเวณสถานีดับเพลิงพระลักษมณ์ ตำบลปากเพรียว อำเภอเมืองสระบุรี ซึ่งไม่เพียงพอต่อการประมาณค่าฝุ่น PM2.5 ได้อย่างแม่นยำและครอบคลุมเพียงพอ นอกจากนี้ยังมุ่งศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่น PM2.5 กับพื้นที่สีเขียวในจังหวัดสระบุรีอีกด้วย ผู้วิจัยคาดหวังว่าผลการศึกษานี้จะเป็นแนวทางให้ทั้งภาครัฐและเอกชนสามารถนำไปต่อยอดในการแก้ไขปัญหาฝุ่น PM2.5 เพื่อส่งเสริมให้ประชาชนมีคุณภาพอากาศและชีวิตความเป็นอยู่ที่ดีขึ้นในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์

1. วิเคราะห์รูปแบบการกระจายตัวของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 ด้วย AOD จากดาวเทียมระบบ MODIS และข้อมูลอุตุนิยมวิทยาในจังหวัดสระบุรี
2. วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงพื้นที่สีเขียวด้วยข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม Sentinel-2
3. วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 กับพื้นที่สีเขียวจากดัชนีพืชพรรณในจังหวัดสระบุรี

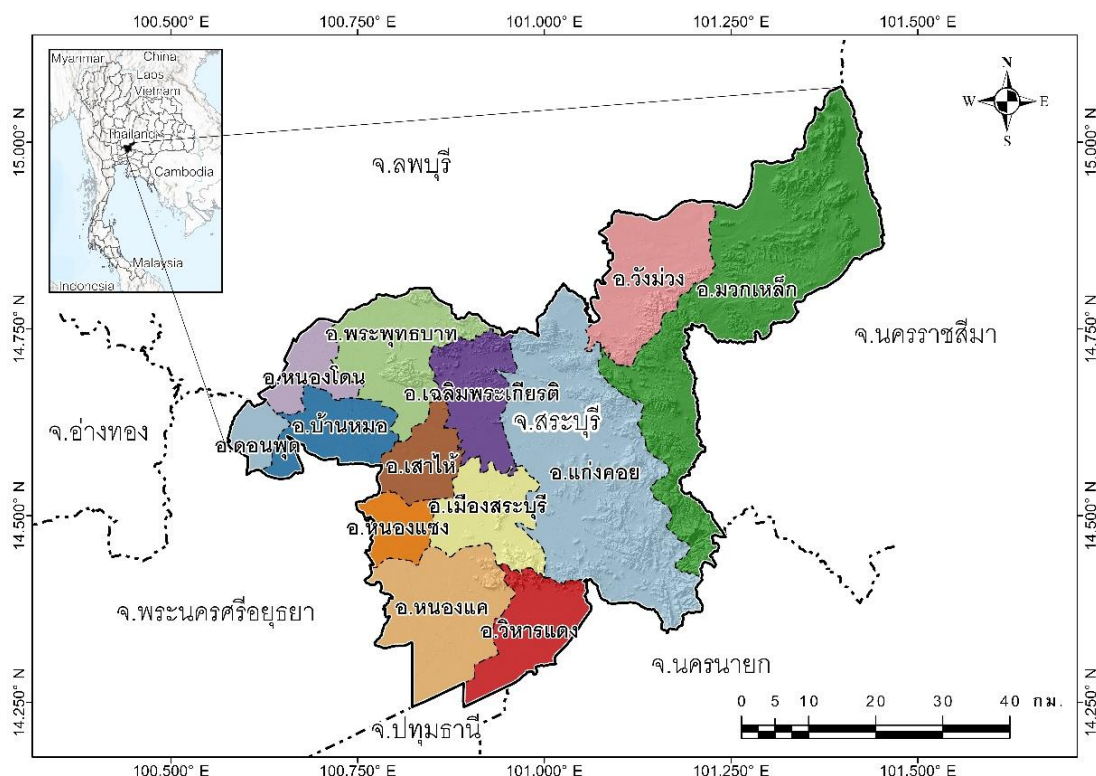
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. หารูปแบบของการกระจายตัวของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 และปริมาณความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 ในจังหวัดสระบุรี
2. หาราปริมาณและการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่สีเขียวในจังหวัดสระบุรี
3. หาราความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 กับพื้นที่สีเขียวในจังหวัดสระบุรี

1.4 ขอบเขตในการดำเนินการวิจัย

1.4.1 ขอบเขตพื้นที่

จังหวัดสระบุรีตั้งอยู่ภาคกลางของประเทศไทย มีเนื้อที่ประมาณ 3,576.49 ตารางกิโลเมตร ซึ่งจังหวัดสระบุรีได้แบ่งเขตการปกครองออกเป็น 13 อำเภอ 111 ตำบล 999 หมู่บ้าน (กรมการปกครอง. 2565: ออนไลน์) ดังภาพประกอบ 1



ภาพประกอบ 1 พื้นที่ศึกษา

1.4.2 ขอบเขตเนื้อหา

ในงานวิจัยฉบับนี้ได้ศึกษาปริมาณของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM_{2.5} ด้วยการประมาณค่าด้วยข้อมูล AOD จากดาวเทียมระบบ MODIS ร่วมกับข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลม โดยข้อมูลดังกล่าวเป็นข้อมูลจากศูนย์พยากรณ์อากาศระยะปานกลางแห่งยุโรป (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts: ECMWF) นำค่า PM_{2.5} จากการประมาณค่ามาวิเคราะห์รูปแบบการกระจายตัวเชิงพื้นที่โดยการวิเคราะห์ค่าสถิติเชิงพื้นที่ Spatial Autocorrelation (Moran's I) และมาวิเคราะห์ Getis-Ord GI* เพื่อศึกษารูปแบบการเกาะกลุ่มของข้อมูลฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM_{2.5} ในพื้นที่จังหวัดสระบุรี และการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของพื้นที่สีเขียวได้ใช้การคำนวณค่าดัชนีพืชพรรณในการจำแนกพืชปกคลุมดินได้แก่ พืชพรรณสีเขียวหนาแน่นมาก พืชพรรณสีเขียวหนาแน่นน้อย และไม่มีพืชพรรณสีเขียวปกคลุม โดยการแบ่งสัดส่วนพืชพรรณสีเขียว ด้วยดัชนีพืชพรรณ Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) จากข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม Sentinel-2

1.4.3 ขอบเขตด้านเวลา

งานวิจัยฉบับนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 และปริมาณพื้นที่สีเขียวในจังหวัดสระบุรี และได้เก็บข้อมูลเพื่อใช้ในการศึกษาไว้ ดังนี้

1. ข้อมูล AOD จากดาวเทียมระบบ MODIS ช่วงปี 2561 ถึง 2566
2. ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลม จากศูนย์พยากรณ์อากาศระยะปานกลางแห่งยุโรป (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts: ECMWF) ช่วงปี 2561 ถึง 2565
3. ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม Sentinel-2 ช่วงปี 2561 ถึง 2565

1.5 ข้อจำกัดในการศึกษา

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ได้ศึกษารูปแบบของการกระจายตัวของฝุ่น PM2.5 ในพื้นที่จังหวัดสระบุรี ในช่วงปี 2561-2565 แต่เนื่องจากจังหวัดสระบุรีไม่ได้เกิดฝุ่น PM2.5 ที่สูงเกินค่ามาตรฐานตลอดทั้งปี ผู้วิจัยจึงได้ใช้วันที่มีค่าสูงเกินค่ามาตรฐาน ของแต่ละปีในการศึกษารูปแบบการกระจายตัวของฝุ่น PM2.5 ในจังหวัดสระบุรี และการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่สีเขียวและฝุ่น PM2.5 ในพื้นที่จังหวัดสระบุรี ในช่วงปี 2561-2565 แต่เนื่องจากประเภทของพื้นที่สีเขียวของสำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (สผ.) ที่กำหนดไว้ 6 ประเภท ซึ่งมีความหลากหลายและยากในการแปลตีความ ผู้วิจัยจึงเลือกใช้การหาดัชนีพืชพรรณ NDVI ในการวิเคราะห์พื้นที่สีเขียว เพื่อแสดงถึงภาพรวมของพื้นที่สีเขียวทั้งจังหวัด และตามนิยามพื้นที่สีเขียวของงานวิจัยฉบับนี้

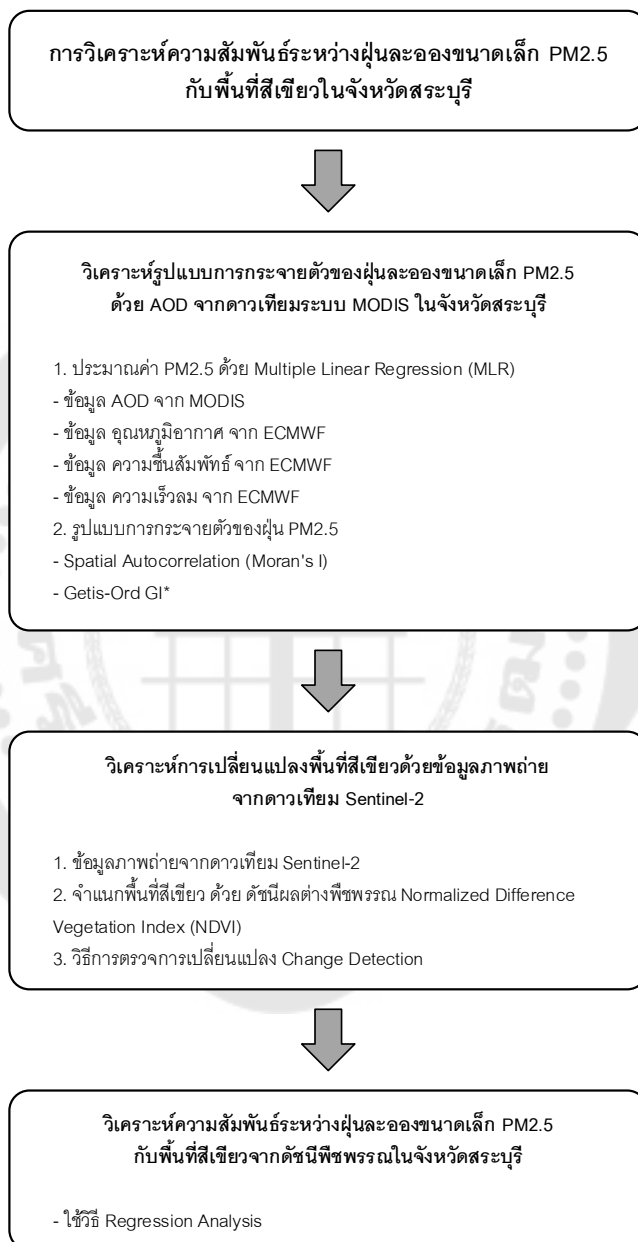
1.6 นิยามศัพท์เฉพาะ

ฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 หมายถึง ฝุ่นที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 2.5 ไมครอน เกิดจากการเผาไหม้ทั้งจากยานพาหนะ การเผาวัสดุเกษตร ไฟป่า การก่อสร้าง และกระบวนการผลิตจากอุตสาหกรรม เป็นต้น

พื้นที่สีเขียว หมายถึง พื้นที่ธรรมชาติ หรือพื้นที่ที่มนุษย์สร้างขึ้น ที่ปกคลุมไปด้วยพืชพรรณนานาชนิดที่ซึมซับน้ำและดูดซับฝุ่นละอองได้ อาจมีสิ่งปลูกสร้างอยู่ด้วย หรืออาจเป็นพื้นที่สาธารณะหรือพื้นที่เอกชน ที่ประชากรทั้งในและนอกพื้นที่สามารถเข้าใช้ประโยชน์และทำกิจกรรมต่าง ๆ ร่วมกันได้

1.5 กรอบแนวคิดการวิจัย

ในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ออกแบบกรอบแนวคิดของการวิจัย โดยสามารถแสดงแนวทางของการศึกษาเบื้องต้นไว้ ดังภาพประกอบ 2



ภาพประกอบ 2 กรอบแนวคิดการวิจัย

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อเป็นแนวทางในการแก้ปัญหาวิจัย ดังนี้

- 2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับมลพิษทางอากาศ
- 2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับแนวความคิดของพื้นที่สีเขียว
- 2.3 เทคนิคการประมาณค่าฝุ่น PM2.5 ด้วย AOD
- 2.4 เทคนิคการประมวลผลข้อมูลพื้นที่สีเขียว
- 2.5 การวิเคราะห์สถิติเชิงพื้นที่
- 2.6 เทคนิคการประยุกต์ใช้ Google Earth Engine
- 2.7 ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา
- 2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับมลพิษทางอากาศ

มลพิษทางอากาศ (Air Pollution) หมายถึง ภาวะที่บรรยากาศมีสารมลพิษเจือปนในปริมาณและระยะเวลาที่ยาวนานพอจนก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ พืช สัตว์ และทรัพย์สิน สารมลพิษเหล่านี้อาจมีสถานะเป็นแก๊ส ของเหลว หรือของแข็ง ซึ่งมีแหล่งกำเนิดทั้งจากกระบวนการทางธรรมชาติและจากกิจกรรมของมนุษย์ (กรมควบคุมมลพิษ, 2554, น. 1)

2.1.1 ประเภทของสารมลพิษทางอากาศ

สามารถจำแนกประเภทของสารมลพิษทางอากาศตามลักษณะการเกิดได้เป็น 2 ประเภทหลัก ดังนี้

1) สารมลพิษปฐมภูมิ (Primary Air Pollutants) คือ สารมลพิษที่ถูกปล่อยออกจากแหล่งกำเนิดสู่บรรยากาศโดยตรง เช่น ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_2) สารไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbons) สารอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) รวมถึงฝุ่นละอองจากธรรมชาติ และเขม่าควันจากยานพาหนะหรือโรงงานอุตสาหกรรม

2) สารมลพิษทุติยภูมิ (Secondary Air Pollutants) คือ สารมลพิษซึ่งไม่ได้ถูกปล่อยจากแหล่งกำเนิดโดยตรง แต่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาเคมีในบรรยากาศระหว่างสารมลพิษปฐมภูมิกับองค์ประกอบอื่นในอากาศ ตัวอย่างที่สำคัญ ได้แก่ ก๊าซโอโซน (O_3) ฝุ่นละอองขนาดเล็ก และ

สารมลพิษทางอากาศที่เป็นสารอนินทรีย์ (Inorganic) เช่น ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และฝุ่นตะกั่ว เป็นต้น (กรมควบคุมมลพิษ, 2554, น. 4)

2.1.2 แหล่งกำเนิดสารมลพิษทางอากาศ

แหล่งกำเนิดสารมลพิษทางอากาศสามารถจำแนกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ ได้แก่

1) แหล่งกำเนิดจากธรรมชาติ (Natural Sources) คือ แหล่งกำเนิดที่เกิดขึ้นตามกระบวนการทางชีวภาพและกายภาพของโลกโดยไม่เกี่ยวข้องกับการกิจกรรมของมนุษย์ อาทิ การระเบิดของภูเขาไฟ, ไฟป่า, พายุฝุ่น และการย่อยสลายสารอินทรีย์ตามธรรมชาติ

2) แหล่งกำเนิดจากกิจกรรมมนุษย์ (Anthropogenic Sources) คือ แหล่งกำเนิดที่เกิดจากกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ ซึ่งจำแนกย่อยได้ดังนี้

- แหล่งกำเนิดแบบจุด (Point Sources) คือ แหล่งกำเนิดที่อยู่กับที่และระบุตำแหน่งได้ชัดเจน เช่น ปล่องระบายมลพิษจากโรงงานอุตสาหกรรม โรงไฟฟ้า หรือช่องระบายไอจากคังน้ำมันเชื้อเพลิง

- แหล่งกำเนิดแบบเคลื่อนที่ (Mobile Sources) คือ แหล่งกำเนิดที่สามารถเคลื่อนที่ได้ โดยส่วนใหญ่คือการคมนาคมขนส่งและยานพาหนะประเภทต่าง ๆ ที่มีการเผาไหม้เชื้อเพลิง

- แหล่งกำเนิดแบบไม่แน่นอน (Non-point Sources) คือ แหล่งกำเนิดที่ไม่สามารถระบุเป็นจุดที่มาแน่นอนได้ แต่ครอบคลุมพื้นที่ในวงกว้าง เช่น การเผาในที่โล่งทางการเกษตร, การเผาป่า, ฝุ่นละอองจากการก่อสร้าง หรือควันไฟจากการประกอบอาหารในชุมชน (กรมควบคุมมลพิษ, 2554, น. 5)

2.1.3 สารมลพิษทางอากาศ 7 ชนิด

ประเทศไทยได้กำหนดมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศทั่วไป โดยอาศัยอำนาจตามพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 เพื่อใช้เป็นแนวทางในการควบคุมและจัดการคุณภาพอากาศ สารมลพิษทางอากาศหลักที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพและมีการกำหนดค่ามาตรฐานควบคุมไว้ มี 7 ชนิด ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์, ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์, ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์, ก๊าซโอโซน, ฝุ่นละออง, สารอินทรีย์ระเหยง่าย และสารตะกั่ว

เกณฑ์มาตรฐานดังกล่าวแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ ค่ามาตรฐานเฉลี่ยระยะสั้น (1 ชั่วโมง, 8 ชั่วโมง, และ 24 ชั่วโมง) เพื่อการเฝ้าระวังและป้องกันผลกระทบแบบเฉียบพลันต่อสุขภาพ และ ค่ามาตรฐานเฉลี่ยระยะยาว (1 เดือน และ 1 ปี) เพื่อป้องกันผลกระทบแบบเรื้อรัง (กรมควบคุมมลพิษ, 2554, น. 10)

2.1.4 ดัชนีคุณภาพอากาศ (Air Quality Index: AQI)

ดัชนีคุณภาพอากาศ (AQI) เป็นเครื่องมือสำคัญในการสื่อสารข้อมูลคุณภาพอากาศแก่สาธารณชนให้เข้าใจได้ง่าย โดยเป็นการรายงานสถานการณ์มลพิษในรูปแบบตัวเลขและสีที่เป็นสากล สำหรับประเทศไทย ดัชนีคุณภาพอากาศคำนวณจากค่าความเข้มข้นของสารมลพิษ 5 ชนิด เทียบกับค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศ ได้แก่

- ก๊าซโอโซน (O_3) เฉลี่ย 1 ชั่วโมง
- ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) เฉลี่ย 1 ชั่วโมง
- ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) เฉลี่ย 8 ชั่วโมง
- ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) เฉลี่ย 24 ชั่วโมง
- ฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอน (PM10) เฉลี่ย 24 ชั่วโมง

โดยค่าดัชนีคุณภาพอากาศของสารมลพิษชนิดที่มีค่าสูงสุด จะถูกใช้เป็นดัชนีคุณภาพอากาศของวันนั้นๆ เพื่อเป็นตัวแทนของสถานการณ์มลพิษ

ดัชนีคุณภาพอากาศของประเทศไทยแบ่งออกเป็น 5 ระดับ (0 ถึง มากกว่า 200) โดยใช้สีเป็นสัญลักษณ์เพื่อสื่อถึงระดับผลกระทบต่อสุขภาพ ค่าดัชนีที่ 100 เทียบเท่ากับค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศพอดี ดังนั้น หากดัชนีคุณภาพอากาศมีค่าสูงกว่า 100 แสดงว่าความเข้มข้นของมลพิษในวันนั้นเกินค่ามาตรฐาน และคุณภาพอากาศอยู่ในระดับที่อาจเริ่มส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนทั่วไป (กรมควบคุมมลพิษ, 2554, น. 37)

ตาราง 1 เกณฑ์ดัชนีคุณภาพอากาศของประเทศไทย

AQI	สีที่ใช้	ความหมาย	คำอธิบาย
0 - 25	ฟ้า	ดีมาก	1. ประชาชนทุกคนสามารถดำเนินชีวิตได้ตามปกติ
26 - 50	เขียว	ดี	1. ประชาชนทั่วไป สามารถทำกิจกรรมกลางแจ้งได้ตามปกติ 2. ประชาชนกลุ่มเสี่ยง ควรสังเกตอาการผิดปกติ เช่น ไอ บ่อย หายใจลำบาก หายใจถี่ หายใจไม่ออก หายใจมีเสียงวี๊ด แน่นหน้าอก เจ็บหน้าอก ใจสั่น คลื่นไส้ เมื่อมีอาการผิดปกติ หรือ วิงเวียนศีรษะ

ตาราง 1 (ต่อ)

AQI	สีที่ใช้	ความหมาย	คำอธิบาย
51 - 100	เหลือง	ปานกลาง	1. ประชาชนทั่วไป - ลดระยะเวลาการทำงานหรือออกกำลังกายกลางแจ้งที่ใช้แรงมาก 2. ประชาชนกลุ่มเสี่ยง - ใช้อุปกรณ์ป้องกันตนเอง เช่น หน้ากากป้องกัน PM2.5 ทุกครั้งที่ออกนอกอาคาร - ลดระยะเวลาการทำงานหรือออกกำลังกายกลางแจ้งที่ใช้แรงมาก - หากมีอาการผิดปกติให้รีบปรึกษาแพทย์
101 - 200	ส้ม	เริ่มมีผลกระทบต่อสุขภาพ	1. ประชาชนทั่วไป - ใช้อุปกรณ์ป้องกันตนเอง เช่น หน้ากากป้องกัน PM2.5 ทุกครั้งที่ออกนอกอาคาร - จำกัดระยะเวลาการทำงานหรือออกกำลังกายกลางแจ้งที่ใช้แรงมาก - ควรสังเกตอาการผิดปกติ เช่น ไอ หายใจลำบาก ระคายเคืองตา 2. ประชาชนกลุ่มเสี่ยง - ใช้อุปกรณ์ป้องกันตนเอง เช่น หน้ากากป้องกัน PM2.5 ทุกครั้งที่ออกนอกอาคาร - เลี่ยงการทำงานหรือการออกกำลังกายกลางแจ้งที่ใช้แรงมาก - ให้ปฏิบัติตามคำแนะนำของแพทย์ หากมีอาการผิดปกติให้รีบไปพบแพทย์
201 ขึ้นไป	แดง	มีผลกระทบต่อสุขภาพ	1. ประชาชนทุกคน -งดกิจกรรมกลางแจ้ง - หากมีความจำเป็นต้องทำกิจกรรมกลางแจ้งให้ใช้อุปกรณ์ป้องกันตนเองทุกครั้ง เช่น หน้ากากป้องกัน PM2.5

ตาราง 1 (ต่อ)

AQI	สีที่ใช้	ความหมาย	คำอธิบาย
			- ผู้มีโรคประจำตัวควรอยู่ในพื้นที่ปลอดภัยจากมลพิษทางอากาศ ให้เตรียมยาและอุปกรณ์ที่จำเป็นให้พร้อม และปฏิบัติตามคำแนะนำของแพทย์อย่างเคร่งครัด

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ. (2566ก). ประกาศกรมควบคุมมลพิษ. สืบค้นเมื่อวันที่ 6 กรกฎาคม 2566, จาก https://www.pcd.go.th/pcd_news/30028

2.1.5 ฝุ่นละออง (Particulate Matter: PM)

ฝุ่นละออง คือ อนุภาคของแข็งและหยดของเหลวที่แขวนลอยอยู่ในอากาศ ซึ่งมีองค์ประกอบทางกายภาพและเคมีแตกต่างกันไปตามแหล่งกำเนิด โดยมีที่มาทั้งจากกระบวนการทางธรรมชาติ เช่น การฟุ้งกระจายของดินและทราย และกิจกรรมของมนุษย์ ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดที่สำคัญ เช่น การเผาไหม้เชื้อเพลิงในยานพาหนะ, กระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม, และการเผาในที่โล่ง นอกจากนี้ ฝุ่นละอองยังสามารถเกิดจากการทำปฏิกิริยาทางเคมีของสารต่างๆ ในบรรยากาศได้อีกด้วย

ขนาดของฝุ่นละอองมีความหลากหลาย ตั้งแต่ขนาดใหญ่กว่า 500 ไมครอน (μm) ที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า เช่น ฝุ่นจากการก่อสร้างซึ่งมักตกสู่พื้นอย่างรวดเร็ว ไปจนถึงขนาดเล็กระดับนาโนเมตร (เล็กกว่า 0.002 ไมครอน) ซึ่งไม่สามารถมองเห็นได้และแขวนลอยในอากาศได้เป็นเวลานาน (กรมควบคุมมลพิษ, 2554, น. 16)

ฝุ่นละอองที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพอย่างมีนัยสำคัญคือ ฝุ่นละอองขนาดเล็ก ซึ่งส่วนใหญ่เกิดจากกระบวนการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ เช่น ไอเสียจากเครื่องยนต์ดีเซล ควันท่อหรือ การเผาขยะหรือเศษวัสดุทางการเกษตร และการรวมตัวทางเคมีในอากาศ โดยสามารถจำแนกตามขนาดที่ใช้เป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพอากาศได้ดังนี้

1) ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM10) เป็นฝุ่นหยาบ (Coarse Particles) ที่สามารถผ่านเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจส่วนบนของมนุษย์และก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพได้

2) ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM2.5) เป็นฝุ่นละเอียด (Fine Particles) ซึ่งเป็นอันตรายต่อสุขภาพมากกว่า PM10 เนื่องจากมีขนาดเล็กมากจึงสามารถเดิน

ทางผ่านระบบทางเดินหายใจเข้าสู่ปอดและถุงลมได้ลึกกว่า ก่อให้เกิดผลกระทบที่รุนแรงต่อระบบทางเดินหายใจและระบบไหลเวียนโลหิตกว่า (กรมควบคุมมลพิษ, 2554, น. 17)

สำหรับประเทศไทย ได้มีการกำหนดค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศสำหรับฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM2.5) ในตาราง 2 ดังนี้

ตาราง 2 เกณฑ์มาตรฐานฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 ของประเทศไทย

PM2.5I	สีที่ใช้	ความหมาย	คำอธิบาย
0 – 15.0	ฟ้า	ดีมาก	1. ประชาชนทุกคนสามารถดำเนินชีวิตได้ตามปกติ
15.1 – 25.0	เขียว	ดี	1. ประชาชนทั่วไป สามารถทำกิจกรรมกลางแจ้งได้ตามปกติ 2. ประชาชนกลุ่มเสี่ยง ควรสังเกตอาการผิดปกติ เช่น ไอบ่อย หายใจลำบาก หายใจถี่ หายใจไม่ออก หายใจมีเสียงวี๊ด แน่นหน้าอก เจ็บหน้าอก ใจสั่น คลื่นไส้ เมื่ออยู่กลางแจ้ง หรือ วิจารณ์ศีรษะ
25.1 – 37.5	เหลือง	ปานกลาง	1. ประชาชนทั่วไป - ลดระยะเวลาการทำกิจกรรมหรือออกกำลังกายกลางแจ้งที่ใช้แรงมาก 2. ประชาชนกลุ่มเสี่ยง - ใช้อุปกรณ์ป้องกันตนเอง เช่น หน้ากากป้องกัน PM2.5 ทุกครั้งที่ออกนอกอาคาร - ลดระยะเวลาการทำกิจกรรมหรือออกกำลังกายกลางแจ้งที่ใช้แรงมาก - หากมีอาการผิดปกติให้รีบปรึกษาแพทย์
37.6 – 75.0	ส้ม	เริ่มมีผลกระทบต่อสุขภาพ	1. ประชาชนทั่วไป - ใช้อุปกรณ์ป้องกันตนเอง เช่น หน้ากากป้องกัน PM2.5 ทุกครั้งที่ออกนอกอาคาร - จำกัดระยะเวลาการทำกิจกรรมหรือออกกำลังกายกลางแจ้งที่ใช้แรงมาก - ควรสังเกตอาการผิดปกติ เช่น ไอ หายใจลำบาก ระคายเคืองตา

ตาราง 2 (ต่อ)

PM2.5	สีที่ใช้	ความหมาย	คำอธิบาย
			2. ประชาชนกลุ่มเสี่ยง
			- ใช้อุปกรณ์ป้องกันตนเอง เช่น หน้ากากป้องกัน PM2.5 ทุกครั้งที่ออกนอกอาคาร
			- เลี่ยงการทำกิจกรรมหรือการออกกำลังกายกลางแจ้งที่ใช้แรงมาก
			- ให้ปฏิบัติตามคำแนะนำของแพทย์ หากมีอาการผิดปกติให้รีบไปพบแพทย์
75.1 ขึ้นไป	แดง	มีผลกระทบต่อสุขภาพ	1. ประชาชนทุกคน
			- งดกิจกรรมกลางแจ้ง
			- หากมีความจำเป็นต้องทำกิจกรรมกลางแจ้งให้ใช้
			อุปกรณ์ป้องกันตนเองทุกครั้ง เช่น หน้ากากป้องกัน PM2.5
			- หากมีอาการผิดปกติให้รีบไปพบแพทย์

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ. (2566ข). ประกาศกรมควบคุมมลพิษ. สืบค้นเมื่อวันที่ 6 กรกฎาคม 2566, จาก https://www.pcd.go.th/pcd_news/30028

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับแนวความคิดของพื้นที่สีเขียว

2.2.1 ความหมายของพื้นที่สีเขียว

พื้นที่สีเขียว หมายถึง พื้นที่ที่สามารถวัดคุณภาพชีวิตของเมือง ตามตัวชี้วัดเฉพาะกลุ่มโดยให้ความสำคัญกับพื้นที่ที่ส่งเสริมการพัฒนาคูณภาพชีวิต ในการเพิ่มประสิทธิภาพของพื้นที่ว่างเปล่า ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อประชากรทั้งปัจจุบันและอนาคต โดยเป็นพื้นที่โล่งที่มีพื้นที่ทั้งหมดหรือบางส่วนของพื้นที่ปกคลุมด้วยพรรณไม้ที่ขึ้นน้ำได้หรืออาจมีสิ่งก่อสร้างอยู่ด้วย อาจเป็นพื้นที่สาธารณะหรือเอกชนที่ประชาชนสามารถเข้าไปใช้ประโยชน์ได้ ประกอบด้วยพื้นที่สีเขียวเพื่อนันทนาการและความงามทางภูมิทัศน์ และพื้นที่อรรถประโยชน์ เช่น พื้นที่สวนสาธารณะลานออกกำลังกาย และที่โล่งเพื่อนันทนาการ (วิภาพร โตแดง, 2563)

พื้นที่สีเขียวอาจเป็นพื้นที่กลางแจ้ง และกึ่งกลางแจ้งที่มีขอบเขตที่ดินทั้งหมด หรือบางส่วนปกคลุมด้วยพรรณพืชบนดินที่ขึ้นน้ำได้หรืออาจมีสิ่งก่อสร้างอยู่ด้วย ทั้งในพื้นที่สีเขียวใน

เขตเมืองและนอกเขตเมือง อาจเป็นพื้นที่สาธารณะหรือเอกชนที่สาธารณชนสามารถเข้าไปใช้ประโยชน์ได้ (นพมาศ ทับแสง, 2561)

พื้นที่สีเขียวเป็นพื้นที่ธรรมชาติหรือพื้นที่ที่มนุษย์สร้างขึ้น ตั้งอยู่กลางแจ้งหรือกึ่งกลางแจ้ง ปกคลุมไปด้วยพืชพรรณบนดินที่ชุ่มน้ำได้ทั้งหมด หรือมีสิ่งก่อสร้างร่วมอยู่เป็นบางส่วน อาจเป็นพื้นที่สาธารณะหรือเอกชนที่มีประชาชนเข้าไปใช้ประโยชน์ได้ (สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2561)

พื้นที่สีเขียวยั่งยืน หมายถึง ขอบเขตของพื้นที่ที่ปกคลุมด้วยพืชพรรณหลากหลายชนิดและปริมาณ โดยมีไม้ยืนต้นเป็นองค์ประกอบหลักและได้รับการจัดการดูแลอย่างต่อเนื่อง เพื่อดำรงไว้ซึ่งความสมดุลของระบบนิเวศ สร้างสภาพแวดล้อมที่ดี ร่มรื่น และน่าอยู่ ทั้งยังเป็นองค์ประกอบของการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ช่วยยกระดับคุณภาพชีวิตและสภาวะของประชาชน พร้อมทั้งเสริมสร้างศักยภาพทางเศรษฐกิจให้กับชุมชนได้

ทั้งนี้ สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (2563, น. 17) ได้จำแนกประเภทของพื้นที่สีเขียวตามลักษณะและการใช้ประโยชน์ไว้ 6 ประเภท ดังนี้

- 1) พื้นที่สีเขียวสาธารณะ คือ พื้นที่ที่ประชาชนทั่วไปสามารถเข้าใช้ประโยชน์ได้ เช่น สวนสาธารณะ สวนพฤกษศาสตร์ สนามกีฬา และสนามเด็กเล่น
- 2) พื้นที่สีเขียวอรรถประโยชน์ ประกอบด้วย
 - 2.1) พื้นที่สีเขียวส่วนบุคคล เช่น สวนในโครงการพัฒนาของเอกชน หรือสวนในบริเวณบ้านและอาคารพักอาศัย
 - 2.2) พื้นที่สีเขียวในสถาบัน เช่น พื้นที่ในหน่วยงานราชการ สถาบันการศึกษา ศาสนสถาน และโบราณสถาน
 - 2.3) พื้นที่สีเขียวในพื้นที่สาธารณูปการ เช่น พื้นที่รอบโรงบำบัดน้ำเสีย สถานที่กำจัดขยะมูลฝอย และพื้นที่ว่างในเขตท่าอากาศยาน
- 3) พื้นที่สีเขียวที่เป็นริ้วราย หรือพื้นที่สีเขียวในแนวสาธารณูปโภค เช่น กะกลางถนน พื้นที่ริมทางสัญจร เขตทางรถไฟ และแนวริมตลิ่งแม่น้ำลำคลอง
- 4) พื้นที่สีเขียวเพื่อเศรษฐกิจของชุมชน หรือพื้นที่เกษตรกรรมซึ่งเป็นแหล่งผลิตอาหารให้แก่ชุมชน เช่น ไร่นา สวนผลไม้ และพื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ
- 5) พื้นที่สีเขียวตามธรรมชาติ เช่น พื้นที่ที่คงสภาพตามธรรมชาติและยังไม่ถูกรบกวน เช่น ป่าไม้บนภูเขา พื้นที่ชุ่มน้ำ และพุ่ม

6) พื้นที่สีเขียวที่ยังไม่มีการใช้ประโยชน์ หรือรอการพัฒนา เช่น พื้นที่ว่างเปล่า หรือที่ดินรกร้างที่รอการพัฒนา (สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2563, น. 17)

จากแนวคิดข้างต้น และเพื่อให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างมลพิษทางอากาศกับพื้นที่สีเขียว ผู้วิจัยจึงกำหนดนิยามศัพท์ของพื้นที่สีเขียว ในการศึกษาครั้งนี้ว่า หมายถึง พื้นที่ที่ปกคลุมด้วยพืชพรรณธรรมชาติหรือที่มนุษย์สร้างขึ้น ซึ่งมีศักยภาพในการดักจับและดูดซับมลพิษทางอากาศ โดยอาจเป็นพื้นที่สาธารณะหรือส่วนบุคคล และอาจมีสิ่งปลูกสร้างเป็นองค์ประกอบรวมด้วยได้

2.2.2 ประเภทของเมืองและมาตรฐานอัตราส่วนพื้นที่สีเขียว

เมือง หมายถึง พื้นที่ที่มีการกระจุกตัวของประชากรและกิจกรรมทางเศรษฐกิจและสังคมในระดับสูง นำไปสู่การพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานและสิ่งอำนวยความสะดวกต่างๆ ซึ่งเป็นปัจจัยเร่งให้เกิดการขยายตัวทางกายภาพของเมืองอย่างต่อเนื่องทั้งในแนวราบและแนวตั้ง (สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย, 2558) สำหรับบริบทของประเทศไทยได้นิยามความเป็นเมือง จากเกณฑ์การพิจารณาที่กำหนดไว้ ดังนี้

ตาราง 3 การกำหนดขอบเขตชุมชนเมืองตามประเภทของเทศบาล

ประเภทของชุมชนเมือง	ประเภทของเทศบาล	รายละเอียด
ชุมชนเมืองขนาดใหญ่	เทศบาลนคร และเขตปกครองพิเศษ ได้แก่ กรุงเทพมหานคร และเมืองพัทยา	มีประชากรตั้งแต่ 50,000 คนขึ้นไป มีความหนาแน่นของประชากรตั้งแต่ 3,000 คนต่อ 1 ตร.กม. และมีรายได้เพียงพอที่จะปฏิบัติหน้าที่ตามที่กฎหมายกำหนดไว้
ชุมชนเมืองขนาดกลาง	เทศบาลเมือง	ท้องถิ่นที่เป็นที่ตั้งศาลากลางจังหวัด และ/หรือมีประชากรตั้งแต่ 10,000 คนขึ้นไป มีความหนาแน่นของประชากรตั้งแต่ 3,000 คนต่อ 1 ตร.กม. และมีรายได้เพียงพอที่จะปฏิบัติหน้าที่ตามที่กฎหมายกำหนดไว้
ชุมชนเมืองขนาดเล็ก	เทศบาลตำบล	ประชากรตั้งแต่ 7,000 คนขึ้นไป และมีความหนาแน่นของประชากรตั้งแต่ 1,500 คน ต่อ 1 ตร.กม.

ที่มา: สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2560 ก). แนวทางการจัดการพื้นที่สีเขียวและมาตรฐานอัตราส่วนพื้นที่สีเขียวสำหรับชุมชนเมืองในประเทศไทย. สืบค้นเมื่อวันที่ 4 กุมภาพันธ์ 2566, จาก <http://www.onep.go.th>

การเปรียบเทียบมาตรฐานอัตราส่วนพื้นที่สีเขียวต่อประชากร ซึ่งมีเกณฑ์มาตรฐานอัตราส่วนพื้นที่สีเขียวต่อประชากร ถือเป็นตัวชี้วัดสากลที่สำคัญในการประเมินคุณภาพชีวิตของประชากรในเขตเมือง จากการทบทวนข้อกำหนดขององค์การอนามัยโลก (WHO) และเกณฑ์มาตรฐานของเมืองในนานาประเทศ พบว่ามีข้อกำหนดที่แตกต่างกันไปในแต่ละบริบท ซึ่งสามารถนำมาเปรียบเทียบได้ดังรายละเอียดในตารางที่ 4 มีรายละเอียด ดังนี้

ตาราง 4 มาตรฐานอัตราส่วนพื้นที่สีเขียว จำแนกตามองค์กรและประเทศ

มาตรฐานอัตราส่วนสีเขียว ต่อสัดส่วนประชากรเมือง	ตร.ม./ คน	อ้างอิง
องค์การอนามัยโลก	9	World Health Organization (WHO)
องค์การสหประชาชาติ	30	United Nations (UN)
สหภาพยุโรป	25	European Green Capital
สหราชอาณาจักร	20	Natural England
สหรัฐอเมริกา	40	The National and Recreation and Park Association (NRPA)
ออสเตรเลีย	30	Public Green Space and Life Sat is faction in Urban Australia
ญี่ปุ่น	15	Ministry of Land Infrastructure Transport and Tourism
ประเทศไทย	เมืองขนาดเล็ก 10 เมืองขนาดกลาง 10 เมืองขนาดใหญ่ 12	สำนักงานนโยบายและแผน ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

ที่มา: สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2560 ข). แนวทางการจัดการพื้นที่สีเขียวและมาตรฐานอัตราส่วนพื้นที่สีเขียวสำหรับชุมชนเมืองในประเทศไทย. สืบค้นเมื่อวันที่ 4 กุมภาพันธ์ 2566, จาก <http://www.onep.go.th>

2.3 เทคนิคการประมาณค่าฝุ่น PM2.5 ด้วย AOD

ในการประมาณค่าฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 สามารถประมาณค่าจากสถานีตรวจวัดภาคพื้นดินที่กระจายตัวอยู่ทั่วประเทศไทยได้ แต่ด้วยข้อจำกัดของสถานีตรวจวัดที่มีจำนวนจำกัด จึงทำให้มีการประมาณค่าฝุ่น PM2.5 จาก AOD ซึ่งได้จากดาวเทียม โดยข้อมูลที่ได้จะครอบคลุมกว่าทำให้สามารถประมาณค่า ปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 ได้

2.3.1 ข้อมูล AOD

ความลึกเชิงแสงของอนุภาคแขวนลอยในอากาศ (Aerosol Optical Depth: AOD) เป็นการวัดค่าการส่งผ่านของรังสีดวงอาทิตย์ที่ส่งผ่านอนุภาคละอองลอยมายังพื้นโลก โดยอนุภาคนี้อาจรวมถึง ฝุ่นละออง คาร์บอน และมลพิษ ที่กระจายตัวในบรรยากาศ ซึ่งอนุภาคต่าง ๆ เหล่านี้มีคุณสมบัติในการขวางกั้นรังสี โดยการดูดกลืนและสะท้อนของรังสีจากดวงอาทิตย์จะถูกขวางกั้นก่อนที่จะส่งลงมายังพื้นโลก ค่า AOD เป็นค่าแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของอนุภาคที่วัดได้เหนือพื้นดินในแนวตั้งขึ้นไป กับค่าของจำนวนอนุภาคที่วัดได้บริเวณจุดสังเกตการณ์บนพื้นดิน ค่าของ AOD จึงไม่มีหน่วย แต่ค่า AOD สามารถใช้เป็นดัชนีในการบ่งชี้ถึงสภาพอากาศได้ ด้วยคุณสมบัติเหล่านี้จึงได้มีการนำ AOD มาใช้ในการประมาณค่าคุณภาพอากาศ โดยหนึ่งในนั้นคือ ฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5

2.3.2 ดาวเทียมระบบ MODIS

โดยในปี ค.ศ.2000 องค์การบริหารการบินและอวกาศแห่งชาติสหรัฐอเมริกา (NASA) ได้จัดตั้ง AERONET (Aerosol Robotic Network) ซึ่งเป็นเครือข่ายสถานีตรวจวัดฝุ่นละอองทั่วโลก ปัจจุบันมีจำนวนทั้งสิ้น 655 สถานี เครือข่ายนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติเชิงแสง ปริมาณ ชนิด และการเปลี่ยนแปลงของฝุ่นละอองในชั้นบรรยากาศทั่วโลก ซึ่งข้อมูลภาพถ่ายนั้นได้มาจากอุปกรณ์ MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของภารกิจดาวเทียม Terra และ Aqua ของ NASA ระบบ MODIS นี้สามารถบันทึกภาพครอบคลุมพื้นที่ประเทศไทยได้ โดยมีการบันทึกข้อมูลวันละ 4 ช่วงเวลาช่วงเวลา โดยดาวเทียม TERRA ถ่ายภาพเวลากลางคืน (Descending/ Night Time) 01.00-02.00 น. และเวลากลางวัน (Ascending/ Day Time) 10.00-11.00 น. และในส่วนของดาวเทียม AQUA ถ่ายภาพเวลากลางวัน 13.00-14.00 น. และกลางคืน 22.00-23.00 น. โดย MODIS มีคุณลักษณะดังตาราง 5

ตาราง 5 คุณสมบัติของ MODIS

Primary Use	Band	Bandwidth
Land/Cloud/Aerosols Boundaries	1	620 - 670
	2	841 - 876
Land/Cloud/Aerosols Properties	3	459 - 479
	4	545 - 565
	5	1230 - 1250
	6	1628 - 1652
	7	2105 - 2155
Ocean Color/ Phytoplankton/ Biogeochemistry	8	405 - 420
	9	438 - 448
	10	483 - 493
	11	526 - 536
	12	546 - 556
	13	662 - 672
	14	673 - 683
	15	743 - 753
	16	862 - 877
Atmospheric Water Vapor	17	890 - 920
	18	931 - 941
	19	915 - 965
Surface/Cloud Temperature	20	3.660 - 3.840
	21	3.929 - 3.989
	22	3.929 - 3.989
	23	4.020 - 4.080
Atmospheric Temperature	24	4.433 - 4.498
	25	4.482 - 4.549
Cirrus Clouds Water Vapor	26	1.360 - 1.390
	27	6.535 - 6.895
	28	7.175 - 7.475
Cloud Properties	29	8.400 - 8.700

ตาราง 5 (ต่อ)

Primary Use	Band	Bandwidth
Ozone	30	9.580 - 9.880
Surface/Cloud Temperature	31	10.780 - 11.280
	32	11.770 - 12.270
Cloud Top Altitude	33	13.185 - 13.485
	34	13.485 - 13.785
	35	13.785 - 14.085
	36	14.085 - 14.385

ที่มา: National Aeronautics and Space Administration. (2566). สืบค้นเมื่อวันที่ 10 กันยายน 2566, จาก <https://modis.gsfc.nasa.gov/about/specifications.php>

2.3.3 การประมาณค่าฝุ่น PM2.5

การประมาณค่าฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 มีการประมาณค่าด้วยการใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์มาประมาณค่าในช่วงเชิงพื้นที่ (Spatial Interpolation) ซึ่งเป็นวิธีการใช้ตำแหน่งตัวอย่างที่ทราบค่ามาประมาณค่าหาตำแหน่งในพื้นที่ที่ต้องการทราบค่าข้อมูล หรือตำแหน่งที่ข้อมูลไม่เพียงพอ ด้วยการใช้ค่าข้อมูลที่ทราบค่าที่อยู่รอบ ๆ ข้างเคียงมาประมาณค่า โดยมีหลักการ คือ จุดที่อยู่บริเวณใกล้เคียงกันภายในพื้นที่ศึกษาจะมีค่าข้อมูลที่คล้ายคลึงกันมากกว่าจุดที่อยู่บริเวณไกลออกไป แต่ความถูกต้องของข้อมูลที่ได้จากการประมาณค่าจะขึ้นอยู่กับ จำนวนข้อมูลและการกระจายตัวของข้อมูลที่ทราบค่า (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ, 2552, น. 200-201) และวิธีการที่ได้รับความนิยม คือ วิธีแบบการถ่วงน้ำหนักแบบระยะทางผกผัน (Inverse Distance Weighting: IDW) ซึ่งเป็นการประมาณค่าระยะไกลออกไป โดยมีงานวิจัยที่นำวิธี IDW มาใช้ดังนี้

มินตรา ผาระสิทธิ์ และ ธัญญรัตน์ ไชยคราม (2563) ได้นำการประยุกต์ภูมิสารสนเทศเพื่อประเมินคุณภาพอากาศในพื้นที่กรุงเทพมหานคร โดยการใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์มาประมาณค่ามลพิษในอากาศด้วยหลักการ IDW โดยใช้ข้อมูลจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศที่ครอบคลุมพื้นที่กรุงเทพมหานครและเขตปริมณฑล ซึ่งการวิเคราะห์ความเข้มข้นของการแพร่กระจายของมลพิษในอากาศด้วยฟังก์ชัน Raster Interpolation และคำสั่ง IDW ที่อยู่

ในโปรแกรม ArcGIS ซึ่งผลที่ได้จะแสดงออกมาในลักษณะของข้อมูลเชิงพื้นที่ค่าเฉลี่ย และค่าสูงสุดทั้งพื้นที่ และสร้างแผนที่เสี่ยงของกรุงเทพมหานครได้

ด้วยประสิทธิภาพของ IDW ทำให้มีงานวิจัยของ ณัฐชา แดงประทุม (2565) ที่นำเอาหลักการนี้ไปประยุกต์ใช้เกี่ยวกับ การประมาณค่าผลกระทบจากมลพิษทางอากาศต่อการสีกรรอนของโบราณสถานในกรุงเทพมหานคร สำหรับการประมาณค่าเชิงพื้นที่นั้นได้เปรียบเทียบวิธีสำหรับการประมาณค่าที่เหมาะสมด้วยวิธีการ Interpolation 3 วิธี ได้แก่ 1) IDW 2) Spline และ 3) Kriging โดยข้อมูลที่ใช้ในการประมาณค่าได้จากสถานีตรวจวัดจำนวน 26 สถานี ในพื้นที่กรุงเทพมหานครและพื้นที่ใกล้เคียง วิเคราะห์ร่วมกับตัวชี้วัดทางสถิติ ซึ่งผลการวิเคราะห์จากตัวชี้วัดทางสถิติได้ระบุว่า วิธี IDW เป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุดในการประมาณค่ามลพิษทางอากาศ

และในงานวิจัยสมัยใหม่มีการนำข้อมูลจากดาวเทียมมาประมาณค่าฝุ่นละอองขนาดเล็กมากขึ้น เนื่องจากให้ข้อมูลเชิงพื้นที่ที่ครอบคลุมกว่าวิธีการ Interpolation และเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีและแม่นยำขึ้น สำหรับการประมาณค่าฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM_{2.5} ด้วยการนำค่าความลึกเชิงแสงของอนุภาคแขวนลอยในอากาศ (Aerosol Optical Depth: AOD) มาทำการประมาณค่า โดยมิงงานวิจัยทั้งในประเทศและต่างประเทศจำนวนไม่น้อยที่นำเอาข้อมูลอุตุนิยมวิทยามาร่วมในการประมาณค่าด้วย

กนกวรรณ ภูธรรม (2563) ได้นำค่า AOD จากดาวเทียม Himawari 8 และปัจจัยทางกายภาพเพื่อหาความสัมพันธ์ในการประมาณค่า PM_{2.5} ด้วยวิธี Principal Component Analysis - General Regression Neural Network (PCA - GRNN) กับ Multiple Linear Regression (MLR) และสถานีตรวจวัดภาคพื้นดิน พบว่าวิธี PCA - GRNN สามารถประมาณค่า PM_{2.5} ได้ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากสถานีตรวจวัดภาคพื้นดิน โดยข้อมูลในช่วงเดือน มกราคม - เมษายน จะให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าข้อมูล มกราคม - ธันวาคม (ทั้งปี) โดยวิธี MLR มีค่า r^2 เท่ากับ 0.15 ค่าความคลาดเคลื่อน RMSE เท่ากับ 45.79 มคก./ลบ.ม. ส่วนวิธี PCA - GRNN มีค่า r^2 เท่ากับ 0.58 และค่าความคลาดเคลื่อน RMSE เท่ากับ 20.08 มคก./ลบ.ม. จะเห็นว่าประสิทธิภาพวิธี PCA - GRNN มากกว่าวิธี MLR

ชญานนท์ เทพแสงพราว (2563) ได้ทำการศึกษาและสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อประมาณค่าความเข้มข้นของ PM_{2.5} ด้วยการวิเคราะห์เชิงพหุคูณ (MLR) โดยค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละออง AOD ด้วยข้อมูลจากดาวเทียมระบบ MODIS จากอัลกอริทึม MAIAC ซึ่งมีความละเอียดเชิงพื้นที่ 1 กิโลเมตร ร่วมกับข้อมูลอุตุนิยมวิทยาที่ได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ ของกรมควบคุมมลพิษในกรุงเทพมหานคร และปริมณฑล โดยตรงมีความสัมพันธ์

กับ PM2.5 จากสถานีภาคพื้นดินมีความน่าเชื่อถือ ซึ่งข้อมูลที่ใช้ในช่วงเดือน พฤศจิกายน - มีนาคม ในปี 2560 – 2563 มีค่าสัมประสิทธิ์ r^2 อยู่ที่ 0.377 – 0.671 โดยมีค่า RMSE เท่ากับ 9.216 – 16.116 มคก./ลบ.ม.

ในส่วนของการวิจัยของต่างประเทศมีการประมาณค่าความเข้มข้นของ PM2.5 โดย Handschuh et al. (2022) ได้ใช้ AOD จากเซนเซอร์ SLSTR ที่ติดตั้งบนดาวเทียม Sentinel-3A และเซนเซอร์ MODIS บนดาวเทียม Terra และ Aqua เพื่อศึกษาศักยภาพในการประมาณค่า PM2.5 ด้วยวิธีแบบจำลองเชิงเส้น ซึ่งพบว่าการประมาณค่าฝุ่น PM2.5 ด้วยข้อมูล AOD จาก MODIS มีความเหมาะสมที่สุด โดยมีค่าความสัมพันธ์อยู่ที่ 0.76 และค่าความคลาดเคลื่อน RMSE เท่ากับ 0.2 – 5.5 มคก./ลบ.ม.

และ Chudnovsky et al. (2013) ใช้ AOD จากอัลกอริทึม MAIAC ของ MODIS ที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่ 1 กิโลเมตร โดยการเปรียบเทียบ MYD04 ที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่ 10 กิโลเมตร เพื่อหาความสัมพันธ์และความเหมาะสมในการประมาณค่าฝุ่น PM2.5 กับสถานีตรวจวัดภาคพื้นดิน 84 แห่ง ในประเทศอังกฤษ ซึ่งผลปรากฏว่า MAIAC และ MYD04 ในการประมาณค่าฝุ่น PM2.5 มีความแม่นยำใกล้เคียงกันกับสถานีตรวจวัดภาคพื้นดิน โดยมีความสัมพันธ์อยู่ที่ 0.65 และ 0.62 ตามลำดับ แต่ค่าความคลาดเคลื่อนของผลิตภัณฑ์ MAIAC น้อยกว่า เนื่องจากความละเอียดเชิงพื้นที่ 1 กิโลเมตร ส่วนของ MYD04 มีความละเอียดเชิงพื้นที่ 10 กิโลเมตร

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเทคนิคการประมาณค่าฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 สรุปได้ว่ามีความนิยมในการใช้วิธีการวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณ (Multiple Linear Regression: MLR) ในการประมาณค่าฝุ่น PM2.5 ด้วย AOD และข้อมูลอุตุนิยมวิทยามากที่สุด โดยสรุปดังตาราง 6

ตาราง 6 สรุปแบบจำลองการประมาณค่า PM2.5

ดาวเทียม	งานวิจัย	ความละเอียดเชิงพื้นที่	แบบจำลอง
Himawari	- กนกวรรณ ภูธรธรรม (2563)	Pixel 5 x 5 km	- Principal Component Analysis (PCA) - Multiple Linear Regression (MLR)
MODIS	- ชญานนท์ เทพแสงพราว, รังทิศ ฉายากุล และ ศิริมา ปัญญาเมธากุล (2564)	Pixel 1 x 1 km	- Multiple Linear Regression (MLR)

ตาราง 6 (ต่อ)

ดาวเทียม	งานวิจัย	ความละเอียดเชิงพื้นที่	แบบจำลอง
MODIS	- J. Handschuh et al. (2022)	Pixel 1 x 1 km	- Multiple Linear Regression (MLR)
SLSTR		Pixel 0.5 x 0.5 km	
MODIS	- A. Chudnovsky et al. (2013)	Pixel 10 x 10 km	- Multiple Linear Regression (MLR)
		Pixel 1 x 1 km	

2.4 เทคนิคการประมวลผลข้อมูลพื้นที่สีเขียว

หลักการประมวลผลพื้นที่สีเขียวมีหลากหลายวิธี แต่ละวิธีขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของงานวิจัยในแต่ละด้านที่สนใจ และการนิยามพื้นที่สีเขียวของงานวิจัยฉบับนี้ได้อธิบายไว้ว่า เป็นพื้นที่ธรรมชาติหรือพื้นที่ที่มนุษย์สร้างขึ้น ที่ปกคลุมไปด้วยพืชพรรณนานาชนิด งานวิจัยฉบับนี้จึงได้หมายรวมถึงพื้นที่สีเขียวทั้งหมดในจังหวัดสระบุรี

2.4.1 ดาวเทียม Sentinel-2

เป็นดาวเทียมที่องค์การอวกาศยุโรป (European Space Agency: ESA) ได้ส่งดาวเทียม Sentinel-2 ขึ้นสู่อวกาศ 2 ดวง ในภารกิจสำรวจโลกซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของโครงการ Copernicus โดยที่ Sentinel-2A ขึ้นสู่วงโคจรเมื่อวันที่ 23 มิถุนายน 2015 และ Sentinel-2B ขึ้นสู่วงโคจรเมื่อวันที่ 7 มีนาคม 2017 โดยดาวเทียมทั้ง 2 ดวงจะโคจรในทิศทางข้ามกันทำมุม 180 องศา ซึ่ง Sentinel-2 มีเซนเซอร์แบบ Multispectral ดังตาราง 7 โดยมีความละเอียดเชิงพื้นที่ตั้งแต่ 10 – 60 เมตร

ตาราง 7 ตารางคุณลักษณะของดาวเทียม Sentinel-2

Description	Band	Pixel Size	Wavelength	
			Sentinel-2A	Sentinel-2B
Coastal Aerosol	1	60 m	442.7 nm	442.2 nm
Blue	2	10 m	492.4 nm	492.1 nm
Green	3	10 m	559.8 nm	559.0 nm
Red	4	10 m	664.6 nm	664.9 nm
Red Edge 1	5	20 m	704.1 nm	703.8 nm
Red Edge 2	6	20 m	740.5 nm	739.1 nm
Red Edge 3	7	20 m	782.8 nm	779.7 nm

ตาราง 7(ต่อ)

Description	Band	Pixel Size	Wavelength	
			Sentinel-2A	Sentinel-2B
Near Infrared (NIR)	8	10 m	832.8 nm	832.9 nm
Red Edge 4	8a	20 m	864.7 nm	864.0 nm
Water vapor	9	60 m	945.1 nm	943.2 nm
Cirrus	10	60 m	1,373.5 nm	1,376.9 nm
SWIR 1	11	20 m	1,613.7 nm	1,610.4 nm
SWIR 2	12	20 m	2,202.4 nm	2,185.7 nm

ที่มา: The European Space Agency. (2566). สืบค้นเมื่อวันที่ 17 กันยายน 2566, จาก <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2/instrument-payload/resolution-and-swath>

2.4.2 ดัชนีพืชพรรณ

ดัชนีพืชพรรณ (Vegetation Index) คือ ค่าที่บอกถึงสัดส่วนของพืชพรรณที่ปกคลุมพื้นผิว โดยการคำนวณจากการนำช่วงคลื่นที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณมาทำสัดส่วนซึ่งกันและกัน ในการระบุและการจำแนกประเภทสิ่งปกคลุมดินที่แตกต่างกันได้ ซึ่งมีประโยชน์สำหรับงานด้านต่าง ๆ เช่น การตรวจสอบพืชผลทางการเกษตร การติดตามการเปลี่ยนแปลงป่าไม้ และการติดตามการเปลี่ยนแปลงพื้นที่สีเขียว เป็นต้น ซึ่งวิธีที่นิยมใช้กันมาก คือ ดัชนีผลต่างพืชพรรณ (Normalized Difference Vegetation Index: NDVI) เป็นการนำค่าความต่างของการสะท้อนช่วงคลื่นระหว่างช่วงคลื่น Near Infrared (NIR) และช่วงคลื่นสีแดง (Red) ดังสมการต่อไปนี้

$$NDVI = \frac{(NIR-RED)}{(NIR+RED)} \quad (1)$$

จากดัชนีผลต่างพืชพรรณ หรือ NDVI สามารถนำไปประยุกต์ใช้ตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยได้ ดังนั้นในการจำแนกพื้นที่สีเขียวของงานวิจัยฉบับนี้จึงได้ใช้ NDVI ในการจำแนก เนื่องจากมีการนำไปประยุกต์ใช้ได้หลากหลายและเป็นที่นิยม

2.4.3 การจำแนกพื้นที่สีเขียว

ในการจำแนกพื้นที่สีเขียวในแต่ละวิธีแต่ละรูปแบบ จะขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของแต่ละด้าน เช่น สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม จะแบ่งพื้นที่สีเขียว

ตามคุณลักษณะการใช้ประโยชน์ โดยจะจำแนกข้อมูลเป็นเชิงปริมาณของ 6 ประเภท ตามพื้นที่เมือง ด้วยวิธีการจำแนกด้วยสายตา หรือการดิจิไทซ์ (Digitizing) ในการสร้างข้อมูลเชิงพื้นที่ของพื้นที่สีเขียวแต่ละเมือง เพื่อรวบรวมข้อมูลในการวัดมาตรฐานสัดส่วนพื้นที่สีเขียวต่อประชากรเมือง

ในส่วนของการใช้ประโยชน์ที่ดินของกรมโยธาธิการและผังเมือง (2549) ได้กำหนดกำหนดตามนิยามเขตสีเขียวประเภทต่าง ๆ ไว้ และจำแนกข้อมูลเชิงพื้นที่ด้วยการดิจิไทซ์ เช่นกัน เพื่อให้ได้ข้อมูลเพื่อจะกำหนดขอบเขตการใช้ที่ดินตามประเภทต่าง ๆ และออกกฎหมายให้ประชาชนปฏิบัติตามต่อไป

สำหรับงานวิจัยในประเทศไทยที่ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่สีเขียว ได้มีการอธิบายการจำแนกไว้หลายวิธีการด้วยกัน โดยหนึ่งในนั้นคือ พิลิษฐ์ สังขรัตน์ และคณะ (2560) ได้ศึกษาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่สีเขียวในเขตเทศบาลของอำเภอเมืองสงขลา จังหวัดสงขลา โดยการนำภาพถ่ายจากดาวเทียม Landsat-5 ในช่วงปี 2549 – 2554 และ Landsat-8 ในปี 2558 ในการจำแนกพื้นที่สีเขียวด้วยวิธีหาค่าความแตกต่างของดัชนีพืชพรรณ NDVI และแบ่งประเภทจากค่าที่ได้เป็น 3 ประเภท ดังนี้ 0.60 – 1.00 คือ พืชพรรณที่มีความหนาแน่นมาก เช่น พื้นที่ป่าไม้ 0.30 - 0.59 คือ พืชพรรณที่มีความหนาแน่นอยู่น้อย เช่น พื้นที่เกษตรกรรม และ 0 – 0.29 คือ ไม่มีพืชพรรณ เช่น พื้นที่เมือง พื้นที่ว่างเปล่า และพื้นที่แหล่งน้ำ โดยมีความน่าเชื่อถือในการจำแนกร้อยละ 82.35 และการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงพบว่า พื้นที่สีเขียวลดลงร้อยละ 24.11 และการประเมินสัดส่วนพื้นที่สีเขียวในเขตเทศบาลนครสงขลา พบว่าพื้นที่สีเขียวจะลดลงและไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานในอีก 2 ปี ข้างหน้า เทศบาลเมืองเขารูปช้าง พื้นที่สีเขียวจะลดลงและไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานใน 9 ปี ข้างหน้า เทศบาลตำบลพะวง พื้นที่สีเขียวจะลดลงและไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานใน 12 ปี ข้างหน้า และเทศบาลตำบลเกาะแก้ว พื้นที่สีเขียวจะลดลงและไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานใน 28 ปี ข้างหน้า

ในการประยุกต์ใช้การรับรู้ระยะไกลเพื่อศึกษาอิทธิพลของพื้นที่สีเขียวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิพื้นผิวในเทศบาลนครนครสวรรค์ นราธิป เฟ่งพิศ (2562) ได้นำดัชนีพืชพรรณ NDVI มาจำแนกสัดส่วนของพืชพรรณปกคลุมดิน โดยใช้ข้อมูลจากดาวเทียม Landsat-8 และศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิพื้นผิวกับสัดส่วนพืชพรรณที่ปกคลุมดิน รวมถึงศึกษาอิทธิพลของพื้นที่สีเขียวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิพื้นผิว โดยการศึกษาพบว่า พื้นที่สีเขียวมีปริมาณเพิ่มขึ้นจะทำให้อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยจะลดลงในทิศทางตรงข้ามกัน และผลการคาดการณ์จากสมการถดถอยเชิงเส้นพบว่า ถ้าหากเทศบาลนครนครสวรรค์ไม่มีพื้นที่สีเขียว อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยจะเพิ่มขึ้นเป็น 30.21 องศาเซลเซียส แต่หากมีพื้นที่สีเขียวเพิ่มขึ้นร้อยละ 60 ของพื้นที่

อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยจะลดลงเป็น 26.32 องศาเซลเซียส โดยมีค่าความคาดเคลื่อน RMSE เป็น 0.38 องศาเซลเซียส

ดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณแบบปกติ (NDVI) ถูกนำมาใช้ในการประเมินผลผลิตทางการเกษตร โดยเฉพาะอย่างยิ่งในงานวิจัยของ ภารাত্র กาญจนสุธรรม (2557) ซึ่งได้ศึกษาการประมาณผลผลิตต่อไร่ของข้าวนาปรังในพื้นที่อำเภอเมืองสุพรรณบุรี จังหวัดสุพรรณบุรี โดยใช้ข้อมูลจาก ดาวเทียมเอนกประสงค์ขนาดเล็ก (Small Multi-Mission Satellite: SMMS). งานวิจัยนี้ได้นำภาพถ่ายดาวเทียม SMMS มาใช้ติดตามการเจริญเติบโตของข้าวนาปรังในแปลงตัวอย่าง 16 แปลง และนำค่า NDVI ที่ได้มาเปรียบเทียบกับข้อมูลจากการสำรวจภาคสนาม โดยติดตามการเจริญเติบโตของข้าวใน 4 ระยะ ได้แก่ 30, 60, 90, และ 120 วัน หลังจากการวิเคราะห์ ด้วย การวิเคราะห์ความถดถอยและสหสัมพันธ์อย่างง่าย (Simple Linear Regression and Correlation) พบว่าค่าเฉลี่ยผลผลิตข้าวนาปรังต่อไร่อยู่ที่ 1,299 กิโลกรัมต่อไร่ ผลการตรวจสอบความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยร้อยละ (Mean Absolute Percentage Error: MAPE) มีค่าเท่ากับ 4.87% ซึ่งบ่งชี้ว่าการประมาณค่าผลผลิตข้าวนาปรังต่อไร่โดยใช้ NDVI จากข้อมูลดาวเทียม SMMS มีความน่าเชื่อถือสูง

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับการจำแนกพื้นที่สีเขียว พบว่า NDVI มีความน่าเชื่อถือในการจำแนกและบ่งชี้พืชพรรณสิ่งปกคลุมดินได้ โดยการแบ่งช่วงการจำแนกตามความเหมาะสมวัตถุประสงค์ในเรื่องที่สนใจศึกษา และพื้นที่ศึกษา สำหรับงานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงพื้นที่สีเขียวด้วยข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม Sentinel-2 จึงนำ NDVI มาใช้เพื่อการจำแนกประเภทพื้นที่สีเขียว 3 ประเภท จากการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินของกรมพัฒนาที่ดิน ได้แก่ 1) พื้นที่ไม่มีพื้นที่สีเขียว คือ พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง แหล่งน้ำ และพื้นที่ว่างเปล่า 2) พื้นที่สีเขียวเบาบาง คือ พื้นที่เกษตรกรรม และ 3) พื้นที่สีเขียวหนาแน่น คือ พื้นที่ป่าไม้ ตามประเภท เพื่อให้การจำแนกพื้นที่สีเขียวมีความน่าเชื่อถือ ควรจะมีการตรวจสอบความถูกต้องก่อนนำไปใช้ตามเกณฑ์การจำแนกสิ่งปกคลุมดินด้วยข้อมูลการรับรู้ระยะไกล หรือ Remote Sensing Data (Anderson et al., 1976)

2.5 การวิเคราะห์สถิติเชิงพื้นที่

ในการใช้ข้อมูลทางด้านสถิติมาวิเคราะห์เชิงพื้นที่ที่มีความสำคัญเป็นอย่างมาก เนื่องจากทำให้เข้าใจในปรากฏการณ์ที่ศึกษาในมิติเชิงพื้นที่มากขึ้น ปัจจุบันได้มีการนำวิธีการทางสถิติมาใช้งานในหลากหลายด้าน เช่น เพื่ออธิบายและสรุปข้อมูลเชิงพื้นที่ เพื่อกำหนดลักษณะทั่วไปเกี่ยวกับแบบรูปเชิงพื้นที่ที่มีความซับซ้อน เพื่อประเมินความน่าจะเป็นของผลลัพธ์สำหรับเหตุการณ์ ณ

สถานที่ที่กำหนด เพื่อใช้ตัวอย่างข้อมูลทางภูมิศาสตร์แล้วนำไปขยายความเพื่อสรุปคุณลักษณะของประชากร เพื่อตรวจสอบว่าขนาดหรือความถี่ของปรากฏการณ์บางอย่างแตกต่างจากสถานที่หนึ่งไปอีกที่หนึ่งหรือไม่ และเพื่อศึกษาว่าแบบรูปเชิงพื้นที่ที่จริงตรงกับแบบรูปที่คาดการณ์ไว้หรือไม่ (สาวิตรี รตโนภาส สุวรรณสี, 2564, น. 18-19)

2.5.1 การวิเคราะห์แบบรูปเชิงพื้นที่

ในการวิเคราะห์แบบรูปเชิงพื้นที่เป็นการศึกษาเกี่ยวกับรูปแบบการเกิดปรากฏการณ์ต่าง ๆ บนพื้นผิวโลก โดยเป็นการจำแนกลักษณะการกระจายและเปรียบเทียบปรากฏการณ์ต่าง ๆ ที่เหมือนกันหรือคุณลักษณะคล้ายกัน ทำให้เห็นความสำคัญของสิ่งต่าง ๆ บนพื้นผิวโลกชัดเจนขึ้น เช่น การนำพิกัดตำแหน่งมาใช้ในการวิเคราะห์การกระจายเชิงพื้นที่ (spatial distribution) ซึ่งสามารถใช้เพื่อการอธิบายตำแหน่ง และลักษณะเฉพาะหรือความแตกต่างของเหตุการณ์ที่สนใจ เช่น ตำแหน่งผู้ป่วย Covid-19 และตำแหน่งอาชญากรรม เป็นต้น นอกจากนี้ยังสามารถใช้เพื่ออธิบายความหนาแน่น (density) การวิเคราะห์แบบรูป (pattern analysis) โดยศึกษาข้อมูลเชิงพื้นที่ในระดับโลก (global) ภูมิภาค (region) และระดับท้องถิ่น (local) ในการวิเคราะห์แบบรูปนั้นมีหลายวิธี ได้แก่ การวิเคราะห์แบบแบ่งส่วนพื้นที่ (quadrat analysis) เป็นการวิเคราะห์ความหนาแน่นของจุดต่อหน่วยพื้นที่ การวิเคราะห์ดัชนีย่านใกล้เคียง (nearest neighbor analysis) เป็นการวิเคราะห์พื้นที่ที่อยู่ระหว่างจุด ซึ่งจะเปรียบเทียบระยะทางระหว่างจุดที่อยู่ใกล้เคียงกันมากที่สุดและระยะทางที่คาดไว้ และการวิเคราะห์สหสัมพันธ์อัตโนมัติเชิงพื้นที่ (spatial autocorrelation) เป็นการวิเคราะห์สหสัมพันธ์อัตโนมัติเชิงพื้นที่แบบครอบคลุม เป็นต้น (สาวิตรี รตโนภาส สุวรรณสี, 2564, น. 78)

การวิเคราะห์แบบรูปเชิงพื้นที่ได้มีการนำไปประยุกต์กับงานวิจัยหลากหลายสาขา เนื่องจากทำให้สามารถนำไปจำแนกการกระจายเชิงพื้นที่ เพื่อใช้ในการอธิบายลักษณะหรือปรากฏการณ์ที่สนใจได้ชัดเจนขึ้น รัชนิพร จันทรสา และอานนท์ ศักดิ์วีระชัย (2560) ได้ใช้ Spatial Autocorrelation ในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพฤติกรรมกาเลือกตั้งแบบแบ่งเขตของพรรคเพื่อไทยและพรรคประชาธิปัตย์ ในการเลือกตั้ง ส.ส. ปี 2554 โดยใช้สถิติ Moran's I และวิเคราะห์ Hot spot ของผลการเลือกตั้งด้วยวิธี Local Indicators of Spatial Association (LISA) จากตัวแปรด้านประชากร ตัวแปรด้านเศรษฐกิจและสังคม ตัวแปรด้านภูมิศาสตร์ และพฤติกรรมกาเลือกตั้งในการเลือกตั้ง 2548 และ ปี 2550 นอกจากนี้ยังมีงานวิจัย พิษญา นิมิตรกุล (2555) ได้ทำการศึกษาแบบจำลองการกระจายตัวของประชากรจากข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน โดยวิธีการสถิติเชิงพื้นที่ ในพื้นที่จังหวัดสุพรรณบุรี ด้วยวิธีการวิเคราะห์สมการถดถอยในแต่ละช่องกริด จาก

ค่าความหนาแน่นของประชากรต่อหน่วยพื้นที่ และทดสอบความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ Global Moran's I และงานวิจัยของ กฤษติกาญจน์ คะรัมย์ และเอกลักษณ์ สลักคำ (2564) ได้ทำการวิเคราะห์จุดความร้อนของปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมือง กรณีศึกษา เทศบาลเมืองนางรอง อำเภอนางรอง จังหวัดบุรีรัมย์ และได้นำ Moran's I มาวิเคราะห์รูปแบบของอุณหภูมิพื้นผิวที่ดิน และใช้เทคนิค Getis-Ord G_i^* มาวิเคราะห์หาตำแหน่งจุดความร้อนของอุณหภูมิ และตำแหน่งจุดความเย็นของอุณหภูมิ และผลลัพธ์ที่มีลักษณะเชิงพื้นที่แบบสุม

2.5.2 เทคนิควิเคราะห์ Spatial Autocorrelation (Moran's I)

เป็นวิธีการทางด้านสถิติในการวัดความสัมพันธ์อัตโนมัติเชิงพื้นที่ ซึ่งเป็นการนำมาวิเคราะห์หาลักษณะรูปแบบเชิงพื้นที่ว่าเป็นลักษณะแบบเกาะกลุ่ม (clustered) แบบกระจาย (dispersed) และแบบสุม (random) วิธีนี้เป็นที่นิยมใช้กันมายาวนาน โดยหลักการของ Moran's I จะเปรียบเทียบค่าจุดที่เกิดขึ้นในตำแหน่งที่ศึกษา ใช้การถ่วงน้ำหนักด้วยค่าเมตริกซ์ของแต่ละจุด โดยสามารถคำนวณได้ดังสมการ

$$I = \frac{n \sum \sum w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{w \sum (x_i - \bar{x})^2} \quad (2)$$

โดย I คือ ค่าสหสัมพันธ์เชิงพื้นที่ของ Global Moran's I

x_i คือ ค่าสังเกตของพื้นที่ i

x_j คือ ค่าสังเกตของพื้นที่ j ที่อยู่ใกล้กับพื้นที่ i

$\bar{x}$ คือ ค่าเฉลี่ยของค่าสังเกต

n คือ จำนวนพื้นที่ศึกษา

w_{ij} คือ ค่าถ่วงน้ำหนักเชิงพื้นที่

w คือ ผลรวมของ w_{ij} หรือ $\sum w_{ij}$

โดยค่าสถิติ Moran's I จะมีค่าระหว่าง -1 ถึง +1 โดยที่ค่าที่เข้าใกล้ 1 คือ Clustered หรือมีรูปแบบการเกาะกลุ่ม หากค่าเป็น -1 คือ Dispersed หรือมีรูปแบบการกระจายตัว และหากค่าเป็น 0 หมายถึง Random ข้อมูลเป็นแบบสุม หรือมีรูปแบบไม่แน่นอน

2.5.3 เทคนิคการวิเคราะห์ Getis-Ord G_i^*

Getis-Ord G_i^* เป็นวิธีทางด้านสถิติใช้ในการวัดสหสัมพันธ์เชิงพื้นที่แบบเฉพาะ เพื่อบอกถึงลักษณะการเกาะกลุ่มของข้อมูลที่มีค่าสูงเหมือนกัน คือ Hot spot และลักษณะการเกาะกลุ่มของข้อมูลที่มีค่าต่ำเหมือนกัน คือ Cold spot (Ord and Getis, 2010) โดยมีวิธีการคำนวณดังสมการนี้

$$G_i^* = \frac{\sum w_{ij}(d)x_i}{\sum w_j} \quad (3)$$

โดย $G_i^*(d)$ คือ ค่า G_i ระยะทาง d

x_j คือ ค่าสังเกตของพื้นที่ j (โดยที่ $\sum x_j$

เป็นผลรวมของค่าสังเกตทุกค่ารวมทั้งค่าของตำแหน่ง i ด้วย)

$w_{ij}(d)$ คือ ค่าถ่วงน้ำหนักของระยะทาง d ซึ่งจะมีค่าเท่ากับ 1 ถ้า d อยู่ในพื้นที่ j และจะมีค่าเท่ากับ 0 ถ้า d อยู่นอกพื้นที่ j

2.6 การประยุกต์ใช้ Google Earth Engine

Google Earth Engine หรือ GEE ให้บริการมาตั้งแต่ปี 2553 ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์รหัสเปิด (Open Source Software) GEE เป็นแพลตฟอร์มบนคลาวด์ของ Google ที่ช่วยให้เข้าถึงข้อมูลและประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม ที่มีข้อมูลจำนวนมากมหาศาล ครอบคลุมพื้นที่ทั่วโลก เพื่อติดตามแนวโน้มการเปลี่ยนแปลง รวมถึงการวัดค่าความแตกต่างบนพื้นผิวโลก โดยการที่ประมวลผลบนคลาวด์ของ Earth Engine จะช่วยลดขั้นตอนการทำงาน เวลาในการดาวน์โหลด และจัดเก็บข้อมูลจำนวนมากที่จะนำมาวิเคราะห์ได้

การเข้าถึงหรือเข้าใช้งานข้อมูล GEE จะเป็นในลักษณะของ Cloud Computing ซึ่งสะดวกต่อการใช้งานในการประยุกต์ใช้ในงานด้านต่าง ๆ กับข้อมูลเชิงพื้นที่ที่มีคลังข้อมูลทางภูมิสารสนเทศขนาดใหญ่ครอบคลุมพื้นที่ศึกษาทั่วโลก โดยการบริหารของ Google นั้นมีข้อดีหลายอย่าง ไม่ว่าจะเป็น การดาวน์โหลดซอฟต์แวร์ และการจัดเก็บข้อมูล ซึ่งไม่จำเป็นต้องติดตั้งซอฟต์แวร์ และไม่จำเป็นต้องจัดเก็บข้อมูลที่มีจำนวนมาก ให้เสียพื้นที่ใช้งานของทรัพยากรคอมพิวเตอร์ของผู้วิจัย โดยการทำงานของ GEE จะทำงานโดยมีตัวกลางที่เชื่อมการทำงานเข้ากับระบบปฏิบัติการ (Application Programming Interface: API) หรือผ่านการใช้งานในภาษาคอมพิวเตอร์ ดังนี้ JavaScript API, Python API และ REST API โดยชุดข้อมูลที่ GEE เก็บไว้เป็น Catalog ซึ่งมีหมวดหมู่หลักประกอบด้วยข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม (Satellite imagery) ข้อมูลสภาพภูมิอากาศ (Climate) ข้อมูลสภาพอากาศ (Weather) ข้อมูลทางธรณีฟิสิกส์ (Geophysical) โดยข้อมูลมีการอัปเดตและเพิ่มข้อมูลใหม่ ๆ อย่างต่อเนื่อง โดยรายการ Catalog และ Metadata สามารถเข้าถึงได้ผ่านทางเว็บไซต์ <https://developers.google.com/earth-engine/datasets>

2.7 ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา

ข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยามีความสัมพันธ์โดยตรงกับความเข้มข้นของ ฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 ในประเทศไทย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงเปลี่ยนผ่านฤดูกาลจากฤดูหนาวเข้าสู่ฤดูร้อน ปรากฏการณ์ฝุ่น PM2.5 มักพบได้บ่อยในช่วงปลายฤดูหนาวของทุกปี ซึ่งเป็นช่วงที่ บริเวณความกดอากาศสูง หรือ มวลอากาศเย็นจากประเทศจีน แผ่ลงมาปกคลุมประเทศไทยเป็นระลอก ๆ การแผ่ของมวลอากาศเย็นนี้ส่งผลให้ ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ที่พัดปกคลุมประเทศไทยตอนบน มีกำลังแรงขึ้น ทำให้อุณหภูมิลดลงและมีอากาศเย็นถึงหนาว อย่างไรก็ตาม ในบางช่วงเวลา หากความกดอากาศสูงมีกำลังอ่อนลง จะทำให้ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนืออ่อนกำลังลงตามไปด้วย ส่งผลให้ ลมสงบ ลง การไหลเวียนและการถ่ายเทของอากาศไม่ดี นอกจากนี้ การผกผันกลับของ อุณหภูมิ (Temperature Inversion) ในระดับต่ำยังส่งผลต่อระดับเพดานการลอยตัวและการกระจายตัวของฝุ่นละอองให้คงอยู่ในระดับต่ำ ทำให้เกิดการสะสมของฝุ่นละออง หมอก และควัน ในบรรยากาศเพิ่มสูงขึ้น แต่เมื่อมีลมร้อนพัดเข้ามา ฝุ่นละอองจะถูกพัดลอยสูงขึ้นและค่อย ๆ สลายไป (จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2562, น. 6-7) ดังภาพประกอบ 3



ภาพประกอบ 3 ตัวอย่างสภาพอากาศปกติและมีความผกผัน

ที่มา: จาก เรียนรู้ อยู่กับฝุ่น PM2.5. โดย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (<https://www.chula.ac.th/wp-content/uploads/2019/10/chula-pm25-booklet-1.pdf>) สงวนลิขสิทธิ์ 2562 โดย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ในการประมาณค่าการติดตามแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 จำเป็นต้องอาศัยข้อมูลอุตุนิยมวิทยาเป็นปัจจัยในการประมาณค่าเพื่อให้ผลลัพธ์ของแบบจำลองมีความแม่นยำมากขึ้น เนื่องจากมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประมาณค่าความเข้มข้นของฝุ่น PM2.5 ส่วนใหญ่นำข้อมูลอุตุนิยมวิทยาเข้ามาเป็นส่วนหนึ่งในการสร้างแบบจำลองด้วย และการประมาณค่าฝุ่นในงานวิจัยฉบับนี้จึงได้เล็งเห็นความสำคัญของข้อมูล จึงได้ใช้ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาจากศูนย์พยากรณ์อากาศระยะปานกลางแห่งยุโรป (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts: ECMWF) เนื่องจากข้อมูลที่ดาวนิโหลดมาจะมีลักษณะเป็นข้อมูลเชิงพื้นที่ ทำให้การนำข้อมูลอุตุนิยมวิทยาเป็นหนึ่งในตัวแปรที่สำคัญทำให้การประมาณค่าทำให้มีความละเอียดเชิงพื้นที่ถูกต้องมากขึ้น ปัจจุบัน ECMWF ได้พัฒนาเครื่องมือติดตามสภาพอากาศทั่วโลกให้มีความละเอียดขึ้น โดยได้เปิดให้ใช้ข้อมูลชุด ERA5 ที่มีความละเอียดขึ้นสามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงรายชั่วโมงได้ ซึ่งบุคคลทั่วไปสามารถเข้าถึงข้อมูลได้ฟรีผ่านเว็บไซต์ทางการของ ECMWF หรือผ่านทาง Google Earth Engine ได้เช่นกัน โดยสามารถสืบค้นข้อมูลย้อนหลังได้ตั้งแต่ปี 1940 จนถึงปัจจุบัน (ฟิอาร์นิวส์ไว้, 2559)

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Chudnovsky et al. (2013) ได้ศึกษาเกี่ยวกับ การประเมินความสำคัญความละเอียดสูงของความลึกเชิงแสงของอนุภาคแขวนลอยในอากาศ สำหรับคาดการณ์ฝุ่นละอองขนาดเล็ก เมื่อไม่นานมานี้ มีการปรับใช้การแก้ไขบรรยากาศ (MAIAC) แบบหลายมุมได้รับการพัฒนาสำหรับ MODerate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) ซึ่งให้ค่าความลึกของละอองลอยเชิงแสง (AOD) ที่ความละเอียด 1 กิโลเมตร โดยความสัมพันธ์ระหว่างผลิตภัณฑ์ (MAIAC) AOD กับ PM2.5 ที่วัดโดยสถานีตรวจติดตามภาคพื้นดินของ EPA 84 แห่งใน New England และซูเปอร์ไฮต์ของมหาวิทยาลัยฮาร์วาร์ดในช่วงปี 2545-2551 ได้รับการตรวจสอบและเปรียบเทียบกับความสัมพันธ์ AOD กับ PM2.5 โดยใช้ MODIS ทั่วไป 10 กิโลเมตร จากการดึงข้อมูล AOD จากแพลตฟอร์ม Aqua (MYD04) ในวันและสถานที่เดียวกัน ซึ่งความสัมพันธ์ของสถานีภาคพื้นดินกับ MYD04 และ MAIAC คือ $r = 0.62$ และ 0.65 ตามลำดับ ซึ่งบ่งชี้ว่า AOD เป็นค่าที่เหมาะสมสำหรับการตรวจวัดความเข้มข้นของ PM2.5 ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ของ MAIAC สูงขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากความละเอียดที่ละเอียดขึ้น ส่งผลให้ความสัมพันธ์ดีขึ้นระหว่าง AOD และ EPA จากพื้นที่ศึกษา แต่ความสัมพันธ์ของ AOD กับ PM2.5 จะแตกต่างกันไปในแต่ละวัน โดยมีปัจจัยบางประการที่ทำให้ความสัมพันธ์ดังกล่าวอาจเป็นค่าลบได้ เช่น ตำแหน่งของพื้นที่ศึกษาที่ใกล้กับถนน และการขาดข้อมูลเกี่ยวกับโปรไฟล์แนวตั้งของละอองลอย จากการตรวจสอบข้อมูล MAIAC

AOD พบว่ามีการเพิ่มขึ้นอย่างมากถึง 50-70 % ในจำนวนคู่ตัวแปรของ AOD กับ PM2.5 เมื่อเทียบกับ MYD04 ซึ่งบ่งชี้ว่าข้อมูล MAIAC AOD มีความสามารถในการตรวจจับรูปแบบเชิงพื้นที่ของ PM2.5 ได้มากกว่า และสิ่งสำคัญคือ ประสิทธิภาพในการดึงข้อมูล MAIAC AOD จะลดลงเล็กน้อย แต่ยังคงเชื่อถือได้ภายใต้สภาวะที่มีเมฆบางส่วนเมื่อไม่มีข้อมูล MYD04 และสามารถใช้ในการเพิ่มจำนวนวันสำหรับการคาดการณ์รูปแบบเชิงพื้นที่ PM2.5 ได้อย่างมีนัยสำคัญโดยอิงจากการสังเกตการณ์ของดาวเทียม

นพมาศ ทับแสง (2561) ได้ศึกษาอิทธิพลของพื้นที่สีเขียวที่มีต่อมลภาวะฝุ่นละอองในเขตชุมชนเมืองกรณีศึกษาชุมชนเมืองสมุทรปราการ ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของพื้นที่สีเขียวในเขตชุมชนเมืองต่อมลภาวะฝุ่นละอองในอากาศ โดยทำการศึกษาในสวนสาธารณะ 3 แห่งในเขตเมืองสมุทรปราการ ได้แก่ สวนสุขภาพ ร.9 สวนสาธารณะบ่อมปึกกา และสวนพฤษชาติ นครเขื่อนขันธ์ โดยทำการเก็บข้อมูลปริมาณฝุ่นละออง PM2.5 PM10 ข้อมูลอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ ในเขตพื้นที่สวนทั้งหมด 4 บริเวณ คือ บริเวณนอกสวน บริเวณตลอดแนวข้างสวน บริเวณช่วงระหว่างแนวข้างสวนถึงจุดกึ่งกลางของสวน และบริเวณจุดกึ่งกลางของสวน ทำการเก็บข้อมูลระหว่างเวลา 07.00 น. - 19.00 น. พบว่า อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ มีอิทธิพลต่อปริมาณฝุ่น PM2.5 และ PM10 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในตำแหน่งที่แตกต่างกันของแต่ละสวน โดยสวนสุขภาพ ร.9 บริเวณกึ่งกลางด้านในสวนมีอิทธิพลต่อปริมาณ PM2.5 และ PM10 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ R^2 เท่ากับ 0.387 และ 0.563 ตามลำดับ ขณะที่สวนสาธารณะบ่อมปึกกา ที่ตำแหน่งระหว่างขอบสวนถึงจุดกึ่งกลางแสดงอิทธิพลต่อปริมาณ PM2.5 และ PM10 ด้วยค่า R^2 ที่ 0.462 และ 0.411 ตามลำดับ ในส่วนของสวนพฤษชาตินครเขื่อนขันธ์ พบว่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์มีอิทธิพลต่อปริมาณ PM2.5 ที่บริเวณกึ่งกลางด้านในสวน $R^2 = 0.431$ และมีอิทธิพลต่อ PM10 ที่บริเวณด้านนอกสวน $R^2 = 0.415$ ผลการศึกษานี้บ่งชี้ว่าปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาส่งผลกระทบอย่างมากต่อความเข้มข้นของ PM2.5 และ PM10 ภายใต้สภาพอากาศเดียวกัน ซึ่งความสัมพันธ์ความเข้มข้นของ PM10 สูงกว่า PM2.5 ซึ่งอาจบ่งชี้ว่าพืชพรรณหรือต้นไม้ไม่สามารถช่วยลดมลพิษจากฝุ่นละอองอนุภาคขนาดใหญ่ได้ดีกว่า งานวิจัยนี้สอดคล้องกับแนวคิดที่ว่าความหนาแน่นของต้นไม้สามารถช่วยลดความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศได้ และพื้นที่สีเขียวขนาดใหญ่อาจมีอิทธิพลต่อปริมาณฝุ่นละอองมากกว่าสวนสาธารณะขนาดเล็ก

ลัดดาวรรณ บัวขาว (2566) ได้ศึกษาการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อประมาณค่าฝุ่นละออง PM2.5 โดยใช้ข้อมูล ความลึกเชิงแสงของฝุ่นละออง (AOD) จากเครื่องมือวัดภาคพื้นดินในอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ นอกจากนี้ยังศึกษาแนวโน้มของค่าฝุ่น PM2.5 ตลอด

ทั้งปีในพื้นที่เดียวกัน การศึกษานี้เลือกพื้นที่ในอำเภอเมืองเชียงใหม่ 2 แห่ง คือ สถานีศูนย์ราชการ จังหวัดเชียงใหม่ และสถานีโรงเรียนยุพราชวิทยาลัย โดยใช้ข้อมูล AOD ที่ความยาวคลื่น 500 นาโนเมตร จากเครื่อง Sunphotometer ยี่ห้อ Cimel electronique ในช่วง 3 ปี (1 มกราคม 2560 ถึง 31 ธันวาคม 2562) จากนั้นได้ตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองกับเครื่องตรวจวัดของกรมควบคุมมลพิษ 2 สถานี (35T และ 36T) การวิเคราะห์ที่ใช้ วิธีการถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression) เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่าง AOD และ PM_{2.5} ผลการวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นมีดังนี้ 1) สถานีศูนย์ราชการจังหวัดเชียงใหม่: $y=61.114x+10.404$ ($R^2=0.73$) และ 2) สถานีโรงเรียนยุพราชวิทยาลัย: $y=55.329x+7.4$ ($R^2=0.78$) ซึ่งทั้งสองสถานีมีความสัมพันธ์เชิงบวกที่สูง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Van Donkelaar et al. (2019), Kacenelenbogen et al. (2006) และ Leon et al. (2021) แม้ว่าค่าคงที่อาจแตกต่างกันตามสภาพพื้นที่ศึกษา จากการศึกษาแนวโน้มของฝุ่น PM_{2.5} ยังพบว่าทั้งสองสถานีมีแนวโน้มคล้ายคลึงกัน โดยค่า PM_{2.5} จะเพิ่มขึ้นตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเมษายน และ สูงสุด ในช่วงเดือนมีนาคมถึงเมษายนของทุกปี ซึ่งเป็นผลมาจากการเผาในที่โล่ง ทั้งการเผาเศษหญ้าในชุมชน การเผาเพื่อการเกษตร และไฟฟ้าในประเทศไทย และประเทศเพื่อนบ้าน ค่าฝุ่น PM_{2.5} จะลดลงในช่วงเดือนมิถุนายนถึงพฤศจิกายน ซึ่งเป็นฤดูฝนที่ฝุ่นละอองถูกชะล้างด้วยน้ำฝน และช่วงปลายปีในเดือนธันวาคม ค่าฝุ่น PM_{2.5} จะกลับมาสูงขึ้นอีกครั้งจนถึงเดือนมกราคม ซึ่งโดยรวมแล้ว อำเภอเมืองเชียงใหม่ประสบปัญหามลพิษทางอากาศจากฝุ่น PM_{2.5} สูงถึง 5 เดือน (ธันวาคม, มกราคม, กุมภาพันธ์, มีนาคม, เมษายน) จึงควรมีการวางมาตรการควบคุมและจัดการปัญหาจากแหล่งกำเนิดล่วงหน้าเพื่อลดปัญหาระยะยาว ในทางกลับกัน ช่วงเดือนมิถุนายน, กรกฎาคม, สิงหาคม, และกันยายน มีสภาพอากาศที่ดีและค่า PM_{2.5} ไม่เกินมาตรฐาน

ชฎานนท์ เทพแสงพราว (2564) ได้ทำการวิจัยเพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับประมาณค่าความเข้มข้นของ PM_{2.5} ในพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล โดยใช้การวิเคราะห์ การถดถอยเชิงพหุคูณ (Multiple Linear Regression: MLR).ซึ่งงานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละออง (AOD) จากดาวเทียม MODIS ที่ประมวลผลด้วยอัลกอริทึม MAIAC (Multi-Angle Implementation of Atmospheric Correction) ซึ่งมีความละเอียดเชิงพื้นที่ 1 กิโลเมตร และเป็นผลิตภัณฑ์ MCD19A ที่ใช้ข้อมูลจากดาวเทียม Aqua และ Terra ที่ความยาวคลื่น 550 นาโนเมตร และข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลม จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษในพื้นที่ศึกษา โดยข้อมูลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองครอบคลุมช่วงเดือนพฤศจิกายน ถึง เดือนมีนาคม ในช่วงระหว่างปี 2560 – 2563 และ

หลังจากสร้างสมการ MLR แล้ว ได้ทำการตรวจสอบความถูกต้องของการประมาณค่าโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ Coefficient of determination (r^2) และค่า Root Mean Square Error (RMSE). โดยผลการตรวจสอบความถูกต้องพบว่า ค่า r^2 ของแต่ละสถานีในกรุงเทพมหานครและปริมณฑลอยู่ระหว่าง 0.377–0.671 และค่า RMSE อยู่ระหว่าง 9.216–16.116 มกค./ลบ.ม. และผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของ PM2.5 จากสถานีตรวจวัดของกรมควบคุมมลพิษกับแบบจำลอง PM2.5 สามารถแบ่งได้ 3 ระดับ โดยสถานีที่มีความสัมพันธ์ต่ำอาจเนื่องมาจากตำแหน่งที่อยู่ห่างจากกลุ่มสถานีอื่น และมีสภาพแวดล้อมและปัจจัยอุตุนิยมวิทยาที่แตกต่างกัน สำหรับสถานีที่มีความสัมพันธ์สูงนั้น แบบจำลองนี้มีศักยภาพในการนำไปประยุกต์ใช้ในพื้นที่ที่มีข้อมูลไม่เพียงพอและใช้ในการวางแผนเพื่อบริหารจัดการ PM2.5 ในอนาคตได้

พิสิษฐ สังขรัตน์ (2560) ได้ศึกษาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่สีเขียวในเขตเมืองโดยมีวัตถุประสงค์ในการวิจัย 1) เพื่อศึกษาพื้นที่สีเขียวในเขตเทศบาล ของอำเภอเมืองสงขลา จังหวัดสงขลา ในช่วงปี 2549 – 2558 และเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงในช่วงปี 2549 – 2558 2) เพื่อประเมินสัดส่วนของพื้นที่สีเขียวต่อจำนวนประชากรในปี 2558 3) เพื่อคาดการณ์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่สีเขียวในปีที่มีพื้นที่สีเขียวไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานของพื้นที่สีเขียวจากสำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ด้วยการใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม Landsat-5 ในช่วงปี 2549 – 2554 และ Landsat-8 ในปี 2558 ในการจำแนกพื้นที่สีเขียวด้วยวิธีหาค่าความแตกต่างของดัชนีพืชพรรณ NDVI และแบ่งประเภทจากค่าที่ได้เป็น 3 ประเภท ดังนี้ 0.60 – 1.00 คือ พืชพรรณที่มีความหนาแน่นมาก เช่น พื้นที่ป่าไม้ 0.30 - 0.59 คือ พืชพรรณที่มีความหนาแน่นอยู่น้อย เช่น พื้นที่เกษตรกรรม และ 0 – 0.29 คือ ไม่มีพืชพรรณ เช่น พื้นที่เมือง พื้นที่ว่างเปล่า และพื้นที่แหล่งน้ำ และตรวจสอบความถูกต้องของการจำแนกโดยการสุ่มตัวอย่างด้วยหลักการของ Binomial Probability Theory และการสำรวจเก็บข้อมูลภาคพื้นดิน แล้วนำมาคำนวณความน่าเชื่อถือของข้อมูลแบบ two-tailed test โดยมีความน่าเชื่อถือในการจำแนกร้อยละ 82.35 และการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงพื้นที่สีเขียว 9 ปี ย้อนหลัง โดยนำพื้นที่สีเขียวปี พ.ศ.2549 และ พ.ศ.2558 มาซ้อนทับกันและแบ่งการเปลี่ยนแปลงเป็น 3 ประเภท คือ พื้นที่สีเขียวลดลง พื้นที่สีเขียวเพิ่มขึ้น และพื้นที่สีเขียวไม่มีการเปลี่ยนแปลง พบว่า 1) พื้นที่สีเขียวลดลง 2.18 ตร.กม. หรือคิดเป็นร้อยละ 19.95 ของพื้นที่ทั้งหมด 2) พื้นที่สีเขียวเพิ่มขึ้น 0.09 ตร.กม. หรือคิดเป็นร้อยละ 0.89 ของพื้นที่ทั้งหมด 3) พื้นที่สีเขียวไม่มีการเปลี่ยนแปลง 8.65 ตร.กม. หรือคิดเป็นร้อยละ 79.16 ของพื้นที่ทั้งหมด และการประเมินสัดส่วนความเพียงพอของพื้นที่สีเขียวทั้ง 4 เทศบาล 1) เขตเทศบาลนครสงขลา มีเกณฑ์มาตรฐานอยู่ที่ 12 ตร.ม./คน โดยผลการประเมิน

พบว่า ผ่านเกณฑ์ 2) เทศบาลเมืองเขารูปช้าง มีเกณฑ์มาตรฐานอยู่ที่ร้อยละ 10 ของพื้นที่ทั้งหมดของเทศบาล โดยผลการประเมินพบว่า ผ่านเกณฑ์ 3) เทศบาลตำบลพะวง มีเกณฑ์มาตรฐานอยู่ที่ร้อยละ 10 ของพื้นที่ทั้งหมดของเทศบาล โดยผลการประเมินพบว่า ผ่านเกณฑ์ 4) เทศบาลตำบลเกาะแก้ว มีเกณฑ์มาตรฐานอยู่ที่ร้อยละ 10 ของพื้นที่ทั้งหมดของเทศบาล โดยผลการประเมินพบว่า ผ่านเกณฑ์ และผลการคาดการณ์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่สีเขียวที่ไม่ผ่านเกณฑ์พบว่า ในเขตเทศบาลนครสงขลา พื้นที่สีเขียวจะลดลงและไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานในอีก 2 ปีข้างหน้า เทศบาลเมืองเขารูปช้าง พื้นที่สีเขียวจะลดลงและไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานใน 9 ปีข้างหน้า เทศบาลตำบลพะวง พื้นที่สีเขียวจะลดลงและไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานใน 12 ปีข้างหน้า และเทศบาลตำบลเกาะแก้ว พื้นที่สีเขียวจะลดลงและไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานใน 28 ปีข้างหน้า

นราธิป เพ่งพิศ และคณะ (2562) ได้ทำการศึกษาการประยุกต์ใช้การรับรู้ระยะไกลเพื่อศึกษาอิทธิพลของพื้นที่สีเขียวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิพื้นผิว กรณีศึกษา เทศบาลนครนครสวรรค์ โดยมีวัตถุประสงค์ 1) ประยุกต์การรับรู้จากระยะไกลและระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์สำหรับประมาณค่าอุณหภูมิพื้นผิวและสัดส่วนของพืชพรรณที่ปกคลุมดิน จากข้อมูลจากดาวเทียม Landsat-8 เทศบาลนครนครสวรรค์ จังหวัดนครสวรรค์ 2) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิพื้นผิวและสัดส่วนของพืชพรรณที่ปกคลุมดิน เทศบาลนครนครสวรรค์ จังหวัดนครสวรรค์ 3) ศึกษาอิทธิพลของพื้นที่สีเขียวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิพื้นผิว เทศบาลนครนครสวรรค์ จังหวัดนครสวรรค์ การศึกษาใช้ข้อมูลจากดาวเทียม Landsat-8 ในการหาค่าอุณหภูมิพื้นผิว และใช้ FVC ซึ่งเป็นอัตราส่วนของพืชที่ฉายในแนวตั้งบนพื้นดินต่อพื้นที่ทั้งหมด โดย FVC มีความสัมพันธ์เชิงประจักษ์กับค่า ดัชนีพืชพรรณ NDVI เพื่อศึกษาอิทธิพลของพื้นที่สีเขียวต่ออุณหภูมิพื้นผิว ได้นำ FVC มาหาความสัมพันธ์กับอุณหภูมิพื้นผิวด้วย การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน (Pearson Correlation) และสร้างสมการถดถอยเชิงเส้นเพื่อทำนายอุณหภูมิพื้นผิวเมื่อทราบค่า FVC ผลการศึกษาพบว่า เมื่อปริมาณพื้นที่สีเขียวเพิ่มขึ้น อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยจะลดลงในทิศทางตรงกันข้ามจากการคาดการณ์ด้วยสมการถดถอยเชิงเส้น ซึ่งหากเทศบาลนครนครสวรรค์ไม่มีพื้นที่สีเขียว อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยจะเพิ่มขึ้นเป็น 30.21 องศาเซลเซียส และหากมีพื้นที่สีเขียวเพิ่มขึ้นร้อยละ 60 ของพื้นที่ อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยจะลดลงเป็น 26.32 องศาเซลเซียส โดยค่าความคลาดเคลื่อน RMSE ของแบบจำลองอยู่ที่ 0.38 องศาเซลเซียส ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองมีความแม่นยำสูง

บทที่ 3

วิธีดำเนินการศึกษา

ในการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยมีวิธีการและขั้นตอนการศึกษาเพื่อให้บรรลุในวัตถุประสงค์ของการวิจัย โดยมีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

- 3.1 พื้นที่ศึกษา
- 3.2 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา
- 3.3 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา
- 3.4 การรวบรวมข้อมูล
- 3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

3.1 พื้นที่ศึกษา

การศึกษานี้ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาลักษณะทางกายภาพของจังหวัดสระบุรี และศึกษาปัจจัยด้านต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อการเกิดฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 โดยได้ทำการศึกษาข้อมูลดังนี้

3.1.1 ลักษณะที่ตั้งภูมิศาสตร์

จังหวัดสระบุรีตั้งอยู่ภาคกลางของประเทศไทย มีเนื้อที่ประมาณ 3,576.49 ตารางกิโลเมตร โดยจังหวัดสระบุรีแบ่งเขตการปกครองออกเป็น 13 อำเภอ 111 ตำบล 999 หมู่บ้าน (กรมการปกครอง, 2565) ซึ่งจังหวัดสระบุรีมีอาณาเขตติดต่อกับจังหวัดข้างเคียงดังนี้

ทิศเหนือ ติดกับอำเภอเมืองลพบุรี อำเภอชัยบาดาล และอำเภอพนสนธิคม จังหวัดลพบุรี

ทิศตะวันออก ติดกับอำเภอปากช่อง อำเภอสีคิ้ว จังหวัดนครราชสีมา และอำเภอบ้านนา จังหวัดนครนายก

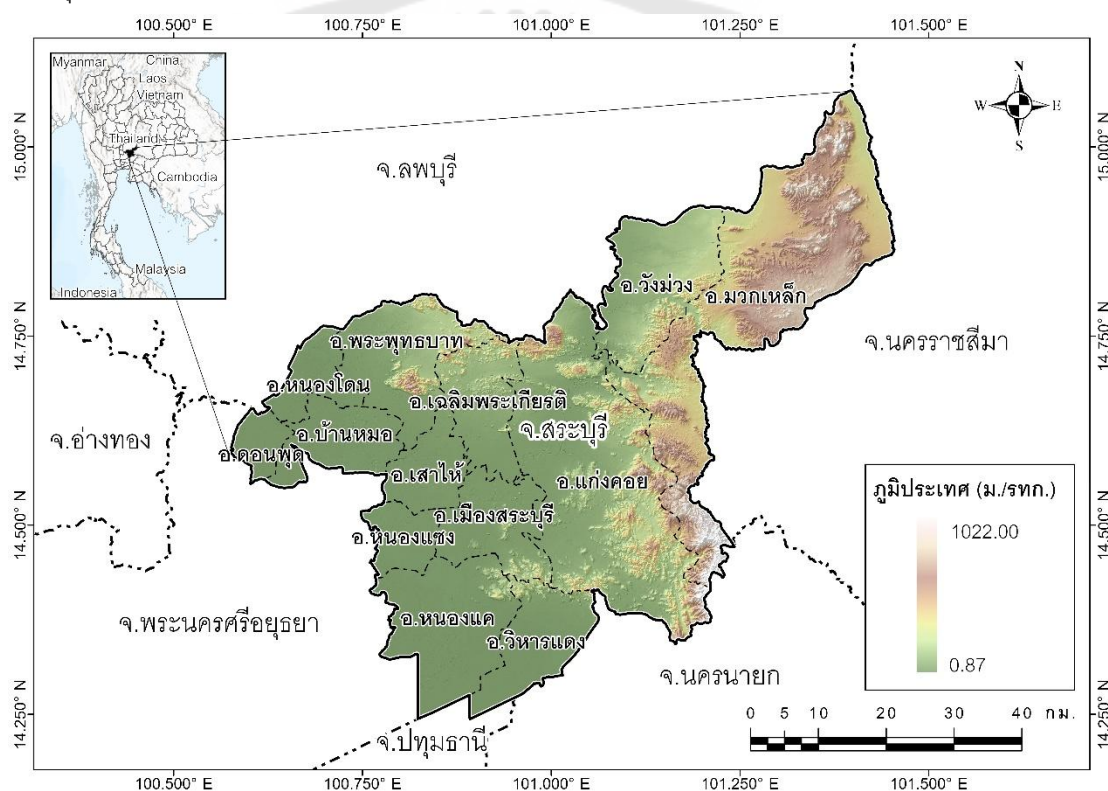
ทิศใต้ ติดกับอำเภอหนองเสือ จังหวัดปทุมธานี และอำเภอวังน้อย อำเภอกุหลาบ จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

ทิศตะวันตก ติดกับอำเภอภาชี อำเภอบางบาล จังหวัดพระนครศรีอยุธยา และอำเภอเมืองลพบุรี จังหวัดลพบุรี

3.1.2 ลักษณะภูมิประเทศ

ลักษณะภูมิประเทศของจังหวัดสระบุรี โดยบริเวณทางตอนใต้และตะวันตกของจังหวัดสระบุรีเป็นที่ราบสูงกว่าระดับน้ำทะเลปานกลาง 2 เมตร และพื้นที่ไล่ระดับความสูงชันเรื่อย ๆ ไปทางตอนเหนือ และตะวันออกเฉียงเหนือ โดยบริเวณนี้จะเป็นที่ราบเรียบสลับเนินเขาซึ่งมี

ความสูงกว่าระดับน้ำทะเลปานกลาง 8-10 เมตร และสูงขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงภูเขา โดยบริเวณทางเหนือของอำเภอเฉลิมพระเกียรติ อำเภอแก่งคอย อำเภอมวกเหล็ก อำเภอพระพุทธบาท และอำเภอวังมั่ง ส่วนมากเป็นพื้นที่ภูเขาที่มีเนินเขาสูงโดดสลับกับที่ราบสูง โดยที่บริเวณนี้มีความสูงเหนือระดับน้ำทะเลปานกลางประมาณ 100-500 เมตร โดยบริเวณนี้มีพื้นที่ประมาณร้อยละ 40 ของพื้นที่จังหวัด และบริเวณทิศตะวันตกของจังหวัด และบางส่วนทางตอนกลางและตอนใต้ของจังหวัดจะเป็นที่ราบลุ่มซึ่งบริเวณนี้ยังเป็นส่วนหนึ่งของที่ราบลุ่มเจ้าพระยา โดยมีอำเภอเมืองสระบุรี บางส่วนของอำเภอหนองแค อำเภอหนองแซง อำเภอบ้านหมอ อำเภอเสาไห้ อำเภอวิหารแดง อำเภอหนองโดน และอำเภอดอนพุด ซึ่งบริเวณนี้มีพื้นที่ประมาณร้อยละ 60 ของพื้นที่จังหวัดสระบุรี ดังภาพประกอบ 4



ภาพประกอบ 4 ลักษณะภูมิประเทศจังหวัดสระบุรี

3.1.3 ลักษณะภูมิอากาศ

จังหวัดสระบุรีมีลักษณะภูมิอากาศแบบฝนเมืองร้อนเฉพาะฤดู ซึ่งจะมีฝนน้อยแห้งแล้งในฤดูหนาว และอุณหภูมิค่อนข้างสูงในฤดูร้อนและค่อนข้างหนาวเย็นในฤดูหนาว โดยอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดปีจะอยู่ที่ 28-29 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิสูงสุดจะอยู่ที่ 33-34 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิต่ำสุดจะอยู่ที่ 23-24 องศาเซลเซียส จังหวัดสระบุรีจะมีฝนตกชุกในช่วงเดือนพฤษภาคม

ถึง เดือนตุลาคม ซึ่งฝนในจังหวัดสระบุรีส่วนใหญ่จะมาจากอิทธิพลของมรสุมตะวันตกเฉียงใต้และร่องความกดอากาศต่ำที่พัดผ่าน ซึ่งตลอดทั้งปีจะมีฝนเฉลี่ยประมาณ 70-90 วัน แต่บางปีอาจมีพายุดีเปรสชันเคลื่อนเข้ามา

3.2 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

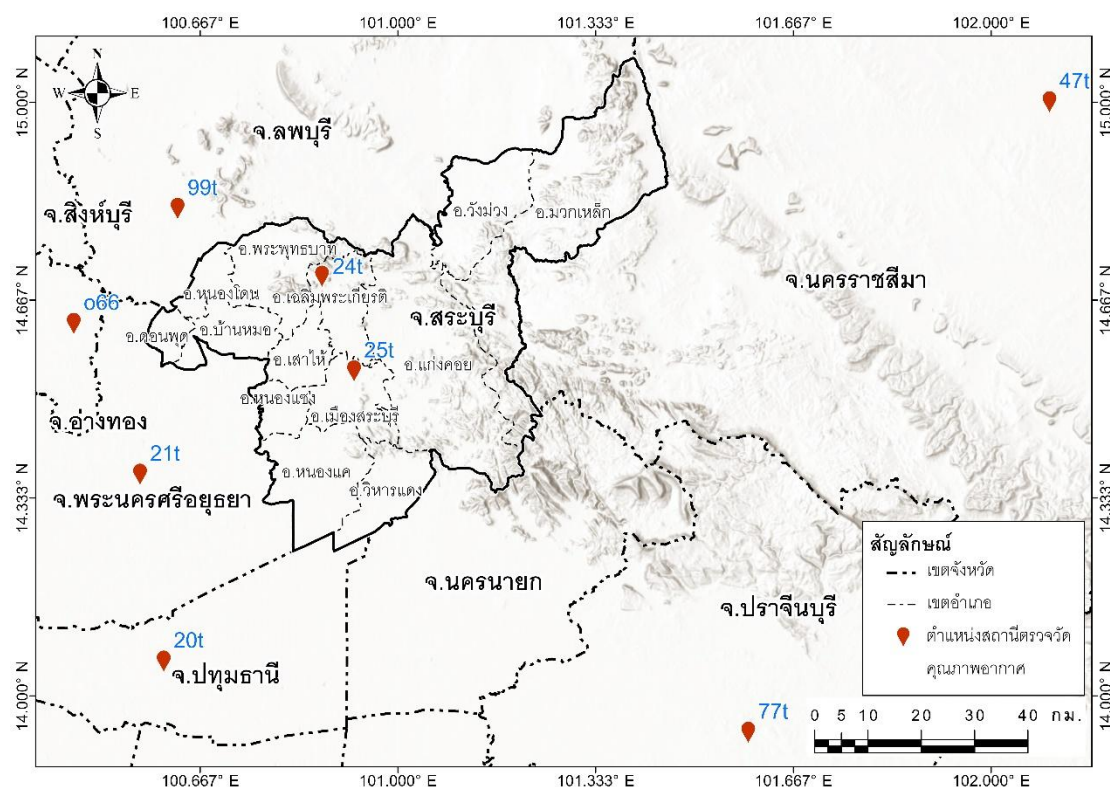
การศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลจากหน่วยงานต่างๆ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ดังนี้

3.2.1 ข้อมูลฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5

ในการประมาณค่าฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 ในงานวิจัยฉบับนี้ใช้ข้อมูล AOD ย้อนหลัง ตั้งแต่ช่วง ปี 2561-2566 จาก MODIS (MODerate resolution Imaging Spectrometer) เป็นเซ็นเซอร์ที่ติดตั้งอยู่บนดาวเทียม TERRA และ AQUA โดย MODIS มีระบบบันทึกนี้จะสามารถถ่ายภาพได้ครอบคลุมทั้งพื้นที่ประเทศไทย และสามารถเก็บบันทึกข้อมูลได้วันละ 4 ช่วงเวลา โดยดาวเทียม TERRA ถ่ายภาพเวลากลางคืน (Descending/ Night Time) 01.00-02.00 น. และเวลากลางวัน (Ascending/ Day Time) 10.00-11.00 น. และในส่วนของดาวเทียม AQUA ถ่ายภาพเวลากลางวัน 13.00-14.00 น. และกลางคืน 22.00-23.00 น. จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประมาณค่าฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 สรุปได้ว่ามีความนิยมในการใช้วิธีการวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณ (Multiple Linear Regression: MLR) ในการประมาณค่าฝุ่น PM2.5 ด้วย AOD และข้อมูลอุตุนิยมวิทยามากที่สุด ผู้วิจัยจึงใช้วิธีประมาณค่าด้วย MLR ในการประมาณค่าฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5

และข้อมูลปริมาณความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศจำนวน 8 สถานี ดังภาพประกอบ 5 โดยนำข้อมูลจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษ ในจังหวัดสระบุรีจำนวน 2 สถานี ได้แก่ 1) สถานี 24t บริเวณ สถานีตำรวจภูธรหน้าพระลาน ต.หน้าพระลาน อ.เฉลิมพระเกียรติ จ.สระบุรี และ 2) สถานี 25t บริเวณ สถานีดับเพลิงพระลักษณ์ ต.ปากเพรียว อ.เมืองสระบุรี จ.สระบุรี และจังหวัดข้างเคียงจำนวน 6 สถานี ได้แก่ 1) สถานี 20t มหาวิทยาลัยกรุงเทพ วิทยาเขตรังสิต ต.คลองหนึ่ง อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 2) สถานี 21t บริเวณโรงเรียนอยุธยาวิทยาลัย ต.ประตูลี้ อ.พระนครศรีอยุธยา จ.พระนครศรีอยุธยา 3) สถานี 47t บริเวณสถานีสูบน้ำประตูลี่แสน ต.ในเมือง อ.เมืองนครราชสีมา จ.นครราชสีมา 4) สถานี 77t บริเวณศาลาประชาคมบ้านบุยายใบ ต.ท่าตูม อ.ศรีมหาโพธิ จ.ปราจีนบุรี 5) สถานี 99t บริเวณสถานีอุตุนิยมวิทยาลพบุรี ต.ทะเลชุบศร อ.เมืองลพบุรี จ.ลพบุรี และ 6) สถานี 066 บริเวณสวนน้ำเฉลิมพระเกียรติ ต.ย่านซื่อ อ.เมืองอ่างทอง จ.อ่างทอง ทั้งนี้

ข้อมูลปริมาณความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM_{2.5} จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศทั้ง 8 สถานี เป็นข้อมูลเพื่อใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องกับแบบจำลองการประมาณค่าฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM_{2.5} เท่านั้น



ภาพประกอบ 5 ตำแหน่งสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศในจังหวัดสระบุรีและสถานีข้างเคียง

3.2.2 ข้อมูลพื้นที่สีเขียว

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาพื้นที่สีเขียวจากภาพถ่ายจากดาวเทียม Sentinel-2 โดยในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้จะดำเนินการด้วย Google Earth Engine (GEE) เพื่อดาวน์โหลดภาพถ่ายในช่วงปี 2561-2565 และคำนวณค่าดัชนีพืชพรรณในการจำแนกพืชปกคลุมดิน กับไม่ใช้พืช ด้วย NDVI เพื่อบ่งชี้พื้นที่สีเขียวของจังหวัดสระบุรี

3.2.3 ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา

การศึกษาค้นคว้าในส่วนของการประมาณค่าการติดตามแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM_{2.5} จำเป็นต้องอาศัยข้อมูลอุตุนิยมวิทยามาเป็นปัจจัยในการประมาณค่าเพื่อให้ผลลัพธ์ของแบบจำลองมีความแม่นยำมากขึ้น การรวบรวมข้อมูลอุตุนิยมวิทยาซึ่งเป็นตัวแปรในการประมาณค่า PM_{2.5} ประกอบด้วย 3 ตัวแปร คือ อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลม โดยงานวิจัยฉบับนี้ใช้ Google Earth Engine ในการรวบรวมข้อมูลสภาพภูมิอากาศ

ERA5 (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) Re-Analysis) ซึ่งเป็นข้อมูลจากศูนย์พยากรณ์อากาศระยะปานกลางแห่งยุโรป European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) โดย ERA5 เป็นโมเดลคาดการณ์ และวิเคราะห์ข้อมูล ที่ใช้ข้อมูลสภาพอากาศจากสถานีตรวจวัดทั่วโลกมาสร้างเป็นข้อมูลเชิงพื้นที่ ซึ่งมีความละเอียดเชิงพื้นที่ คือ $0.125^\circ \times 0.125^\circ$ ปัจจุบัน Google Earth Engine ได้ให้บริการข้อมูล ERA5 ทั้งรายชั่วโมง รายวัน และรายเดือน โดยให้ความละเอียดเชิงพื้นที่ 27,830 เมตร

ตาราง 8 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

ชุดข้อมูล	ตัวแปร	แหล่งข้อมูล	หน่วย	ข้อมูลเชิงเวลา	ข้อมูลเชิงพื้นที่
ข้อมูลดาวเทียม (Satellite data)	ความลึกเชิงแสงของ ฝุ่นละออง (Aerosol Optical Depth: AOD)	MODIS	ไม่มีหน่วย	ปี 2561-2566	1,000 m
	ดัชนีพืชพรรณ (Normalized Difference Vegetation Index: NDVI)	Sentinel-2	ไม่มีหน่วย	ปี 2561-2565	10 m
ข้อมูล อุตุนิยมวิทยา (Meteorological data)	อุณหภูมิอากาศ (Air Temperature)	ECMWF	องศา เซลเซียส	ปี 2561-2566	27,830 m
	ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity)	ECMWF	เปอร์เซ็นต์	ปี 2561-2566	27,830 m
	ความเร็วลม (Wind Speed)	ECMWF	เมตร ต่อ วินาที	ปี 2561-2566	27,830 m
ข้อมูล PM2.5 จากสถานี ภาคพื้น (Ground based PM2.5)	ฝุ่นละอองขนาดเล็ก กว่า 2.5 ไมโครเมตร (PM2.5)	กรมควบคุม มลพิษ	ไมโครกรัม ต่อ ลูกบาศก์ เมตร	ปี 2561-2566	-

3.3 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา

การศึกษาครั้งนี้ ผู้วิจัยได้เลือกใช้อุปกรณ์และเครื่องมือ ในการศึกษาและการวิเคราะห์ข้อมูล ดังนี้

3.3.1 คอมพิวเตอร์

- 1) หน่วยประมวลผลกลาง (CPU) แบบ intel CORE ULTRA7
- 2) หน่วยความจำหลัก (RAM) ความจุ 32 GB
- 3) หน่วยจัดเก็บข้อมูลชนิด Solid State (SSD) ความจุ 512 GB

3.3.2 โปรแกรม ArcGIS Pro

โปรแกรม ArcGIS Pro เป็นซอฟต์แวร์ประยุกต์ด้านระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เพื่อใช้ในการจัดการข้อมูล และวิเคราะห์ข้อมูลในรูปแบบข้อมูลเชิงพื้นที่

3.3.3 Google Earth Engine

เป็นซอฟต์แวร์รหัสเปิด (Open Source Software) GEE เป็นแพลตฟอร์มบนคลาวด์ของ Google ที่ช่วยให้เข้าถึงข้อมูลและประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม ที่มีข้อมูลจำนวนมาก ครอบคลุมพื้นที่ทั่วโลก เพื่อติดตามแนวโน้มการเปลี่ยนแปลง รวมถึงการวัดค่าความแตกต่างบนพื้นผิวโลก โดยการที่ประมวลผลบนคลาวด์ของ Earth Engine จะช่วยลดขั้นตอนการทำงาน เวลาในการดาวน์โหลด และจัดเก็บข้อมูลจำนวนมากที่จะนำมาวิเคราะห์ได้

3.4 การรวบรวมข้อมูล

3.4.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 กับพื้นที่สีเขียวในจังหวัดสระบุรี ผู้วิจัยได้ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลจาก 2 แหล่งเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยฉบับนี้

1) Google Earth Engine

ในการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยได้ใช้ Google Earth Engine ในการเก็บรวบรวมข้อมูลและภาพถ่ายจากดาวเทียมเพื่อศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัย โดยข้อมูลตัวแปรที่นำมาประมาณค่าฝุ่น PM2.5 ได้แก่

ข้อมูล AOD ด้วยผลิตภัณฑ์ MCD19A2 จากอัลกอริทึม Multiangle Implementation Atmospheric Correction (MAIAC) ที่เก็บรวบรวมข้อมูลของ MODIS ที่อยู่ใน Terra และ Aqua ซึ่งเป็นข้อมูลรายวันในช่วงปี 2561-2566 ซึ่งมีความละเอียดเชิงพื้นที่ 1,000 เมตร

ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ประกอบด้วย อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ และ ความเร็วลม ซึ่งเป็นข้อมูลสภาพภูมิอากาศ ERA5-Land ที่ได้จากศูนย์พยากรณ์อากาศระยะปานกลางแห่งยุโรป European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) โดยข้อมูลที่ใช้เป็นข้อมูลรายวันในช่วงปี 2561-2566 มีความละเอียดเชิงพื้นที่ 27,830 เมตร แต่เนื่องจากข้อมูล ERA5-Land มีความละเอียดเชิงพื้นที่ไม่เท่ากันกับ AOD ซึ่งเป็นตัวแปรที่นำมาประมาณค่าฝุ่น PM2.5 ร่วมกัน งานวิจัยฉบับนี้จึงได้นำเทคนิค Bicubic interpolation มาใช้ในการ Resampling ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาทั้ง 3 ตัวแปร เพื่อให้ได้ความละเอียดเชิงพื้นที่ 1,000 เมตร ซึ่งเทคนิคดังกล่าว เป็นเทคนิคการประมวลผลภาพ เพื่อปรับปรุงขนาดหรือมาตราส่วนของภาพ จากการประมาณค่าโดยอาศัยค่า pixel ข้างเคียง 4x4 เพื่อสร้าง pixel ใหม่ ทำให้ภาพมีความละเอียดเพิ่มขึ้น (Occorsio et al., 2023)

ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม Sentinel-2 ในช่วงปี 2561-2565 ซึ่งเป็นข้อมูลจากผลิตภัณฑ์ S2_SR_HARMONIZED จากโครงการ Copernicus ขององค์การอวกาศยุโรป (European Space Agency: ESA) ในงานวิจัยฉบับนี้ได้ทำการจำแนกพื้นที่สีเขียวด้วยดัชนีผลต่างพืชพรรณ (Normalized Difference Vegetation Index: NDVI) เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของพื้นที่สีเขียวในจังหวัดสระบุรี จึงได้ใช้ข้อมูลจาก Sentinel-2 จาก 2 band ได้แก่ band 4 หรือ ช่วงคลื่นสีแดง (Red) และ band 8 หรือ ช่วง Near Infrared (NIR) ซึ่งทั้ง 2 band มีความละเอียดเชิงพื้นที่ 10 เมตร

2) ข้อมูลสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ

การรวบรวมข้อมูล PM2.5 ด้วยวิธี Multiple Linear Regression (MLR) เพื่อหาสมการคำนวณการประมาณค่าฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 ในพื้นที่จังหวัดสระบุรี โดยนำข้อมูลจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษ ในจังหวัดสระบุรีจำนวน 2 สถานี และจังหวัดข้างเคียงจำนวน 6 สถานี รวมทั้งหมด 8 สถานี ซึ่งเป็นข้อมูลฝุ่น PM2.5 รายวันในช่วงปี 2561-2566

3.4.2 การประมาณค่าฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 ด้วย AOD

ในการประมาณค่าฝุ่น PM2.5 สำหรับงานวิจัยฉบับนี้เลือกใช้ข้อมูล AOD ร่วมกับข้อมูลอุตุนิยมวิทยา (อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลม) โดยใช้วิธี Multiple Linear Regression (MLR) ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้ในการประมาณค่าที่มีความสัมพันธ์กับฝุ่น PM2.5 ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ถดถอยเพื่อหาความสัมพันธ์แบบเส้นตรงระหว่างตัวแปรตาม กับตัวแปรต้น ตั้งแต่สองตัวขึ้นไป ด้วยสมการต่อไปนี้ (ชญานนท์ เทพแสงพราว ธงทิศ ฉายากุล และศรีมา ปัญญาเมธิกุล, 2564)

$$PM2.5 = a_0 + a_1 (AOD) + a_2 (T) + a_3 (WS) + a_4 (RH) \quad (4)$$

โดยที่	PM2.5	คือ ฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5
	a_0	คือ y-intercept
	a_1, a_2, a_3, a_4	คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของตัวแปรอิสระ
	AOD	คือ ความลึกเชิงแสงของอนุภาคแขวนลอยในอากาศ
	T	คือ อุณหภูมิ
	WS	คือ ความเร็วลม
	RH	คือ ความชื้นสัมพัทธ์

ในการเก็บข้อมูลตัวแปรต้น ได้แก่ AOD และข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลม ซึ่งทั้งหมดเป็นข้อมูลรายวัน โดยเก็บข้อมูลจากตำแหน่งของสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศทั้ง 8 สถานี ในช่วงปี 2561-2566 และส่งออกข้อมูลออกมาในรูปแบบตาราง csv เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้น และตัวแปรตาม คือ PM2.5 จากสถานีภาคพื้นดิน จากโปรแกรม Microsoft Excel โดยใช้คำสั่ง Regression ใน Data Analysis เพื่อสร้างสมการ MLR สำหรับการเลือกตัวแปรเพื่อนำไปวิเคราะห์ ผู้วิจัยใช้วิธีนำตัวแปรเข้าทั้งหมด (Enter Regression) ซึ่งเป็นการนำตัวแปรพร้อมกันทั้งหมด เนื่องจากการทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประมาณค่าฝุ่น PM2.5 ที่ได้บ่งชี้ว่าข้อมูล AOD อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลม มีความสัมพันธ์กับฝุ่น PM2.5 เมื่อทราบสมการที่ต้องใช้ในการประมาณค่า PM2.5 สำหรับพื้นที่ศึกษาแล้ว นำไปสมการไปแทนค่าใน Google Earth Engine โดยส่งออกข้อมูลเชิงพื้นที่ในรูปแบบ Raster files เพื่อการทำแผนที่ฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 ในการกำหนดระดับความเสี่ยงของฝุ่น PM2.5 จะกำหนดเกณฑ์ตามมาตรฐานฝุ่นละอองในบรรยากาศของประเทศไทย (กรมควบคุมมลพิษ, 2565)

สำหรับการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองหรือการประมาณค่าฝุ่น PM2.5 เป็นการนำสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศภาคพื้นดิน ในจังหวัดสระบุรี และสถานีข้างเคียง รวม 8 สถานี ด้วยวิธีสัมประสิทธิ์การกำหนด (The Coefficient of determination) ซึ่งเป็นการทดสอบความสัมพันธ์ของผลลัพธ์จากการประมาณค่าฝุ่น PM2.5 กับค่าฝุ่น PM2.5 จากสถานีตรวจวัดภาคพื้นดิน (Y) โดยสามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้ (กนกวรรณ ภูธรรม, 2563, น. 52)

$$r^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y - \bar{y})^2} \quad (5)$$

และวิธีรากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Squared Error: RMSE) เป็นการประเมินความแม่นยำของผลลัพธ์จากค่าผิดพลาดของผลลัพธ์ ซึ่งคำนวณได้ดังสมการต่อไปนี้ (กนกวรรณ ภูธรรม, 2563, น. 53)

$$RMSE = \frac{\sum_{i=1}^n (p_i - a_i)^2}{n} \quad (6)$$

โดยที่ p คือ ผลลัพธ์การประมาณค่าความเข้มข้น PM2.5

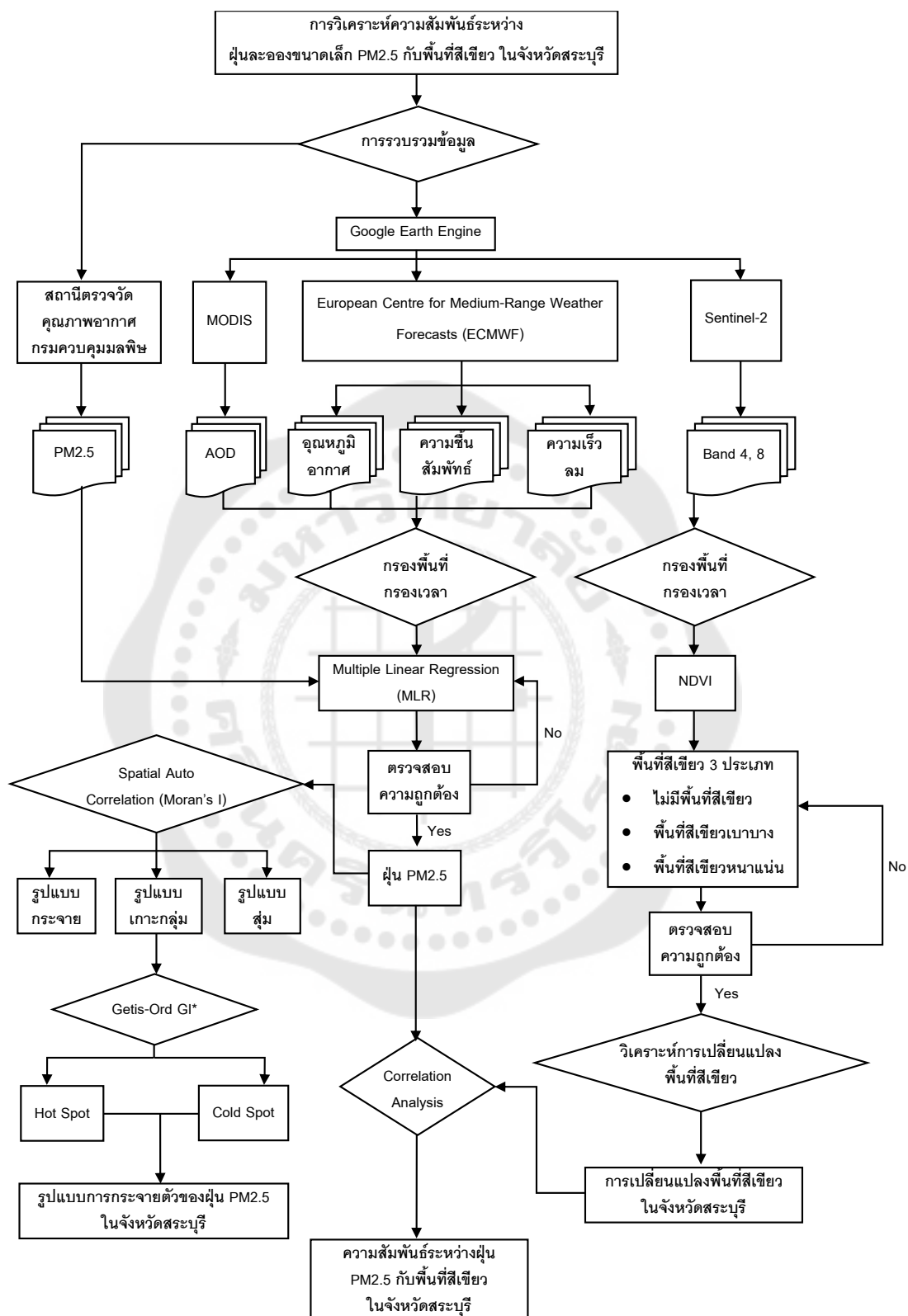
a คือ ความเข้มข้น PM2.5 จริงที่ได้จากสถานีตรวจวัดภาคพื้นดิน

3.4.3 การแบ่งสัดส่วนพืชพรรณสีเขียว NDVI

การจำแนกพื้นที่สีเขียวในจังหวัดสระบุรี ด้วยวิธีหาค่าความแตกต่างของดัชนีพืชพรรณ NDVI จากข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม Sentinel-2 ในช่วงเวลา 5 ปี (พ.ศ.2561 – 2565) เพื่อใช้วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงในแต่ละปีของพื้นที่สีเขียว โดยพื้นที่จังหวัดสระบุรีได้ปรับปรุงการแบ่งช่วงค่าข้อมูลทีละระดับต่าง ๆ จากงานวิจัยของ พิสิษฐ สังขรัตน์ (2560) เพื่อให้สอดคล้องกับพื้นที่ศึกษา ดังนี้ 1) NDVI ที่ช่วงระดับ -1.00 ถึง 0.15 คือ ไม่มีพื้นที่สีเขียว เช่น พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง พื้นที่อุตสาหกรรม และพื้นที่แหล่งน้ำ 2) NDVI ที่ช่วงระดับ 0.16 ถึง 0.55 คือ พื้นที่สีเขียวเบาบาง เช่น พื้นที่เกษตรกรรม และพื้นที่เบ็ดเตล็ด และ 3) NDVI ที่ช่วงระดับ 0.56 ถึง 1.00 คือ พื้นที่สีเขียวหนาแน่น เช่น พื้นที่ป่าไม้

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

จากการรวบรวมข้อมูลข้างต้น ผู้วิจัยได้นำมาวิเคราะห์วัตถุประสงค์ของงานวิจัยฉบับนี้ โดยมีขั้นตอน วิธีการ และรายละเอียดดังภาพประกอบ 6



ภาพประกอบ 6 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.5.1 การวิเคราะห์แบบรูปการกระจายตัวของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5

ในการวิเคราะห์แบบรูปการกระจายตัวของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ด้วย Spatial Autocorrelation (Moran's I) ซึ่งเป็นชุดเครื่องมือใน ArcGIS Pro ใช้ในการวิเคราะห์ค่าสถิติเชิงพื้นที่ เพื่อหาแบบรูปการกระจายตัวเชิงพื้นที่ โดยที่ค่าที่เข้าใกล้ 1 คือ Clustered หรือมีการเกาะกลุ่มของ PM2.5 หากค่าเป็น -1 คือ Dispersed หรือมีการกระจายตัวของ PM2.5 และหากค่าเป็น 0 หมายถึง Random ข้อมูลเป็นแบบสุ่ม หรือมีรูปแบบไม่แน่นอน จากการวิเคราะห์ Moran's I จะทำให้ทราบถึงข้อมูลฝุ่น PM2.5 มีแบบรูปการกระจายตัวในลักษณะอย่างไรในเชิงสถิติ ซึ่งหากพบว่ามีกระจายตัวในรูปแบบเกาะกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญ จะนำมาวิเคราะห์ Getis-Ord Gi* เพื่อบ่งชี้ตำแหน่งที่มีค่าผิดปกติที่ทำให้เกิดการเกาะกลุ่มของฝุ่น PM2.5 ทำให้ทราบว่าเป็น Hot Spot คือกลุ่มที่มีค่าสูงอยู่บริเวณใด และ Cold Spot คือกลุ่มที่มีค่าน้อยอยู่บริเวณใด ซึ่งการวิเคราะห์ Hot Spot และ Cold Spot จะใช้ระดับความเชื่อมั่นในการระบุพื้นที่ โดยงานวิจัยฉบับนี้ได้ใช้ระดับความเชื่อมั่น 99% ซึ่งสูงกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 ที่เป็นระดับที่สามารถยอมรับได้โดยทั่วไปที่แสดงความสัมพันธ์ในระดับปกติ เนื่องจากการบ่งชี้พื้นที่ Hot Spot และ Cold Spot ที่ชัดเจน และเหมาะสมกับการประเมินความเสี่ยงเชิงพื้นที่และต้องการความแม่นยำสูงในการระบุพื้นที่เสี่ยงภัย โดยการวิเคราะห์แบบรูปการกระจายตัวของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 เป็นการศึกษาค่าสถิติเชิงพื้นที่ ซึ่งจะได้ผลลัพธ์เป็นข้อมูลสถิติ และเป็นแผนที่ซึ่งทำให้เข้าใจบริบทของแต่ละพื้นที่ได้ชัดเจน และสามารถระบุได้ว่าพื้นที่ใดมีการเกาะกลุ่มของฝุ่น PM2.5 อยู่บริเวณใดของพื้นที่ และวิเคราะห์ได้ว่ากิจกรรมต่าง ๆ ในบริเวณนั้นทำให้เกิดกลุ่มของข้อมูลที่เป็น Hot Spot หรือ Cold Spot โดยการวัดขนาดพื้นที่ในงานวิจัยฉบับนี้ได้ใช้หน่วยวัดที่เป็นมาตรฐานสากล คือ ตารางกิโลเมตร ซึ่งจะทำให้ง่ายต่อการนำไปใช้ หรือไปประกาศเป็นพื้นที่เฝ้าระวังในอนาคตได้

3.5.2 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงพื้นที่สีเขียว

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม Sentinel-2 ด้วยแพลตฟอร์มของ Google Earth Engine ในช่วงเวลา 5 ปี 2561-2565 ด้วยการแบ่งสัดส่วนพืชพรรณสีเขียว NDVI จึงได้ข้อมูลพื้นที่สีเขียวทั้งหมด 3 ประเภท ได้แก่ 1) พื้นที่ไม่มีสีเขียว 2) พื้นที่สีเขียวเบาบาง และ 3) พื้นที่สีเขียวหนาแน่น ซึ่งเป็นข้อมูลของทั้ง 5 ปี และนำพื้นที่สีเขียวแต่ละปีมาทำการตรวจสอบความถูกต้อง หรือความน่าเชื่อถือของการจำแนกพื้นที่สีเขียวทั้ง 3 ประเภท ด้วย Confusion Matrix โดยการกำหนดกลุ่มตัวอย่างเพื่อใช้ในการตรวจสอบผู้วิจัยได้ใช้จุดภาพ (Pixel) ทั้งหมดในพื้นที่ศึกษาจังหวัดสระบุรีมาคำนวณจำนวนกลุ่มตัวอย่างโดยใช้สมการของ Yamane ปี 1973 อ้างอิงใน (ทรงชัย ทองปาน, 2566, น. 81)

$$n = \frac{N}{1 + Ne^2} \quad (7)$$

โดย n คือ ขนาดกลุ่มตัวอย่างที่ควรสุ่ม

N คือ ขนาดประชากรทั้งหมด

e คือ ความคลาดเคลื่อนของการสุ่ม

และนำกลุ่มตัวอย่างที่ได้จากการคำนวณมาดำเนินการสุ่มกลุ่มตัวอย่างแบบชั้นภูมิ (Stratified Random Sampling) เพื่อเลือกตัวอย่างที่นำมาตรวจสอบความถูกต้องของการจำแนกพื้นที่สีเขียวทั้ง 3 ประเภท ด้วย Confusion Matrix เมื่อได้ผลการจำแนกที่น่าเชื่อถือแล้วทำการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงพื้นที่สีเขียวด้วยการวิเคราะห์ Raster แบบ Pixel by Pixel ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ระหว่างจุดภาพกับจุดภาพที่ตำแหน่งเดียวกันแบบปีต่อปี

3.5.3 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 กับพื้นที่สีเขียว

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 กับพื้นที่สีเขียว ในงานวิจัยฉบับนี้ได้ใช้วิธีการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (Correlation Analysis) เป็นวิธีการทางสถิติเพื่อหาความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่าง 2 ตัวแปร คือ ฝุ่น PM2.5 กับพื้นที่สีเขียว โดยผลการวิเคราะห์จะสามารถทราบขนาด หรือระดับของความสัมพันธ์จากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient) ที่มีค่า r อยู่ระหว่าง 0 - 1 จากสมการนี้

$$r = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \sum (y_i - \bar{y})^2}} \quad (8)$$

โดย r คือ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

x_i คือ ค่าตัวแปร x ณ ชุดข้อมูลที่ i

$\bar{x}$ คือ ค่าเฉลี่ยของตัวแปร x

y_i คือ ค่าตัวแปร y ณ ชุดข้อมูลที่ i

$\bar{y}$ คือ ค่าเฉลี่ยของตัวแปร y

และทดสอบทิศทางความสัมพันธ์ว่าทั้ง 2 ตัวแปร มีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกันหรือตรงข้ามกัน โดยวิธีการทดสอบจะเป็นการสร้างกราฟ (scatter plot) ด้วยการนำค่าของข้อมูลของทั้ง 2 ตัวแปร และพิจารณาความสัมพันธ์จากการกระจายของจุดในกราฟว่าเป็นความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันหรือไม่

บทที่ 4

ผลการศึกษา

ในงานวิจัยฉบับนี้ได้ศึกษารูปแบบการกระจายตัวของฝุ่น PM2.5 ในจังหวัดสระบุรี การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงพื้นที่สีเขียวด้วยข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม Sentinel-2 และการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 กับพื้นที่สีเขียวจากดัชนีพืชพรรณในจังหวัดสระบุรี โดยมีผลลัพธ์จากการศึกษาดังนี้

4.1 ผลการวิเคราะห์รูปแบบการกระจายตัวของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 ด้วย AOD จากดาวเทียมระบบ MODIS และข้อมูลอุตุนิยมวิทยาในจังหวัดสระบุรี

4.2 ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงพื้นที่สีเขียวด้วยข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม Sentinel-2

4.3 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 กับพื้นที่สีเขียวจากดัชนีพืชพรรณในจังหวัดสระบุรี

4.1 ผลการวิเคราะห์รูปแบบการกระจายตัวของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 ด้วย AOD จากดาวเทียมระบบ MODIS และข้อมูลอุตุนิยมวิทยาในจังหวัดสระบุรี

4.1.1 ผลการรวบรวมข้อมูล

ในงานวิจัยฉบับนี้ได้นำข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมมาใช้ในการประมวลผล เพื่อให้ได้ผลการวิเคราะห์ตามวัตถุประสงค์ต่าง ๆ ของงานวิจัย โดยการประมาณค่าฝุ่น PM2.5 ในจังหวัดสระบุรีผู้วิจัยได้ใช้ตัวแปรต้นจำนวน 4 ตัวแปร ได้แก่ AOD อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลม มาทำการวิเคราะห์กับตัวแปรตาม คือ ค่าฝุ่น PM2.5 จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศเพื่อให้ได้สมการ Multiple Linear Regression (MLR) มาประมาณค่าฝุ่น PM2.5 ในจังหวัดสระบุรี ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ชญานนท์ เทพแสงพราว (2563) ซึ่งตัวแปรที่ผู้วิจัยได้นำมาวิเคราะห์ทั้งหมดเป็นข้อมูลรายวันในช่วงเวลา 5 ปี (2561-2565) ในการรวบรวมข้อมูลตัวแปรทั้ง 4 เพื่อนำมาสร้างสมการ MLR ในการประมาณค่าฝุ่น PM2.5 ผู้วิจัยได้ใช้ตำแหน่งของสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศที่อยู่โดยรอบพื้นที่จังหวัดสระบุรี จำนวน 7 สถานี ได้แก่ สถานี 20t สถานี 21t สถานี 24t สถานี 25t สถานี 47t สถานี 77t และสถานี 99t จากการรวบรวมข้อมูลตัวอย่างค่าฝุ่น PM2.5 จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศจะเห็นว่าแต่ละสถานีมีช่วงเวลาการตรวจวัดข้อมูลที่แตกต่างกัน มีเพียง 2 สถานี ได้แก่ สถานี 24t และสถานี 77t ที่ตรวจวัดข้อมูลครอบคลุมตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม พ.ศ.2561 – วันที่ 31 ธันวาคม พ.ศ.2565 นอกจากนี้มี 2 สถานี ที่ตรวจวัดข้อมูลใน

ช่วงเวลาตั้งแต่วันที่ 1 ตุลาคม พ.ศ.2561 - วันที่ 31 ธันวาคม พ.ศ.2565 ได้แก่ สถานี 21t และ สถานี 25t ในส่วนตรวจวัดอื่น ๆ ที่มีการตรวจวัดข้อมูลที่แตกต่างกัน ได้แก่ สถานี 20t มีการตรวจวัดข้อมูลในช่วงเวลาตั้งแต่วันที่ 17 ตุลาคม พ.ศ.2561 - วันที่ 31 ธันวาคม พ.ศ.2565 สถานี 47t มีการตรวจวัดข้อมูลในช่วงเวลาตั้งแต่วันที่ 28 มิถุนายน พ.ศ.2562 - วันที่ 31 ธันวาคม พ.ศ. 2565 และสถานี 99t มีการตรวจวัดข้อมูลในช่วงเวลาตั้งแต่วันที่ 8 กรกฎาคม พ.ศ.2565 - วันที่ 31 ธันวาคม พ.ศ.2565 ดังตาราง 9 และชุดข้อมูลตัวแปรต้นที่ได้รวบรวมผ่านแพลตฟอร์มของ Google Earth Engine จากตำแหน่งของสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ ได้แก่ 1) ข้อมูล AOD รายวันจาก MODIS ด้วยผลิตภัณฑ์ข้อมูล MCD19A2 V6.1 ที่มีอยู่ใน Earth Engine Data Catalog ในช่วงวันที่ 1 มกราคม พ.ศ.2561 - วันที่ 31 ธันวาคม พ.ศ.2565 จำนวนรวม 3,108 ข้อมูล จะเห็นว่าชุดตัวอย่างข้อมูล AOD ไม่สามารถเก็บข้อมูลได้ทุกวัน เนื่องจากข้อจำกัดของดาวเทียม Terra และ Aqua ซึ่งดาวเทียมทั้งสองโคจรรอบโลกในการบันทึกข้อมูลทั่วโลก 1-2 วัน ทำให้ในบางวันจะไม่สามารถเก็บข้อมูลได้ 2) ข้อมูลอุณหภูมิอากาศ (Air Temperature) รายวันจาก ECMWF ด้วยผลิตภัณฑ์ ERA5-Land ที่มีอยู่ใน Earth Engine Data Catalog ในช่วงวันที่ 1 มกราคม พ.ศ.2561 - วันที่ 31 ธันวาคม พ.ศ.2565 จำนวนรวม 12,782 ข้อมูล 3) ข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity) รายวันจาก ECMWF ด้วยผลิตภัณฑ์ ERA5-Land ที่มีอยู่ใน Earth Engine Data Catalog ในช่วงวันที่ 1 มกราคม พ.ศ.2561 - วันที่ 31 ธันวาคม พ.ศ.2565 จำนวนรวม 12,782 ข้อมูล และ 4) ข้อมูลความเร็วลม (Wind Speed) รายวันจาก ECMWF ด้วยผลิตภัณฑ์ ERA5-Land ที่มีอยู่ใน Earth Engine Data Catalog ในช่วงวันที่ 1 มกราคม พ.ศ.2561 - วันที่ 31 ธันวาคม พ.ศ.2565 จำนวนรวม 12,782 ข้อมูล ดังตาราง 10

ตาราง 9 ข้อมูลตำแหน่งสถานีตรวจคุณภาพอากาศ กรมควบคุมมลพิษ

รหัส สถานี	ชื่อสถานี	จังหวัด	พิกัด		ช่วงเวลา ข้อมูล
			ละติจูด	ลองจิจูด	
20t	มหาวิทยาลัยกรุงเทพ (วิทยา เขตรังสิต)	ปทุมธานี	14.03742	100.605216	17 ต.ค. 61- 31 ธ.ค. 65
21t	โรงเรียนอยุธยาวิทยาลัย	พระนครศรีอยุธยา	14.35222	100.565325	1 ต.ค. 61- 31 ธ.ค. 65
24t	สถานีตำรวจภูธรตำบลหน้า พระลาน	สระบุรี	14.685833	100.841996	1 ม.ค. 61- 31 ธ.ค. 65

ตาราง 9 (ต่อ)

รหัส สถานี	ชื่อสถานี	จังหวัด	พิกัด		ช่วงเวลา ข้อมูล
			ละติจูด	ลองจิจูด	
25t	สถานีดับเพลิงพระลักษณ	สระบุรี	14.526343	100.926047	1 ต.ค. 61- 31 ธ.ค. 65
47t	สถานีสูบน้ำเสียที่ 1 ห้าแยก ไฮที นครราชสีมา	นครราชสีมา	14.979537	102.098335	28 มิ.ย. 62 - 31 ธ.ค. 65
77t	ศาลาประชาคมบ้านนุยาย โบ ปราชินบุรี	ปราจีนบุรี	13.917563	101.590529	1 ม.ค. 61- 31 ธ.ค. 65
99t	สถานีอุตุนิยมวิทยาพลบุรี	ลพบุรี	14.800032	100.628548	8 ก.ค. 65- 31 ธ.ค. 65

ตาราง 10 จำนวนข้อมูลตัวแปรต้นจากตำแหน่งสถานีตรวจคุณภาพอากาศ

ข้อมูล	รูปแบบ	ช่วงเวลาข้อมูล	จำนวนข้อมูลตัวอย่าง
AOD	รายวัน	ม.ค. 61 - ธ.ค. 65	3,108
Air Temperature	รายวัน	ม.ค. 61 - ธ.ค. 65	12,782
Relative Humidity	รายวัน	ม.ค. 61 - ธ.ค. 65	12,782
Wind Speed	รายวัน	ม.ค. 61 - ธ.ค. 65	12,782

4.1.2 ผลการประมาณค่าฝุ่น PM2.5 ในจังหวัดสระบุรี

ในการประมาณค่าฝุ่น PM2.5 ในจังหวัดสระบุรี ผู้วิจัยได้นำข้อมูลตัวแปรต้นจำนวน 4 ตัวแปร ได้แก่ AOD อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลม เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม คือ ค่าฝุ่น PM2.5 จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ กรมควบคุมมลพิษ เพื่อสร้างสมการการประมาณค่าฝุ่น PM2.5 ในจังหวัดสระบุรี ด้วยวิธีการถดถอยพหุคูณ (Multiple Linear Regression: MLR) เพื่อในการหาความสัมพันธ์และการสร้างสมการการประมาณค่าฝุ่น PM2.5 โดยข้อจำกัดของวิธีการ MLR นั้นข้อมูลทุกชุดทั้งตัวแปรต้นและตัวแปรตามจำเป็นต้องมีจำนวนข้อมูลที่เท่ากัน ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ตัดข้อมูลที่ไม่มีในตัวแปรต้นทั้ง 4 ตัวแปร และตัวแปรตามที่ไม่เท่ากันออก จึงทำให้ข้อมูลที่นำเข้าโมเดลมีจำนวน 3,108 จำนวน

จากตาราง 11 พบว่าในช่วงปี 2561 - 2565 ตัวแปรต้นทั้ง 4 ตัวแปร มีความสัมพันธ์กับค่าฝุ่น PM2.5 จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ ในระดับปานกลาง โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุคูณอยู่ที่ 0.76 ซึ่งสามารถร่วมกันประมาณค่าฝุ่น PM2.5 ได้ร้อยละ 57.95 อย่างมี

นัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.001 โดยมีความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการประมาณค่าเท่ากับ ± 11.19 และเมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของโมเดลการประมาณค่าพบว่า ตัวแปร AOD อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลม สามารถประมาณค่าฝุ่น PM2.5 ได้

เมื่อนำตัวแปรทั้งหมดมาสร้างเป็นโมเดลการประมาณค่าฝุ่น PM2.5 จะได้ดังนี้

$$PM2.5 = 136.85 + 30.95 (AOD) - 1.01 (Temp) - 1.10 (RH) - 7.73 (WS) \quad (9)$$

โดย

PM2.5 คือ ปริมาณความเข้มข้นของฝุ่น PM2.5

AOD คือ ความลึกเชิงแสงของอนุภาคแขวนลอยในอากาศ

Temp คือ อุณหภูมิอากาศ

RH คือ ความชื้นสัมพัทธ์

WS คือ ความเร็วลม

ตาราง 11 การวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณเพื่อการประมาณค่าฝุ่น PM2.5 ปี 2561 - 2565

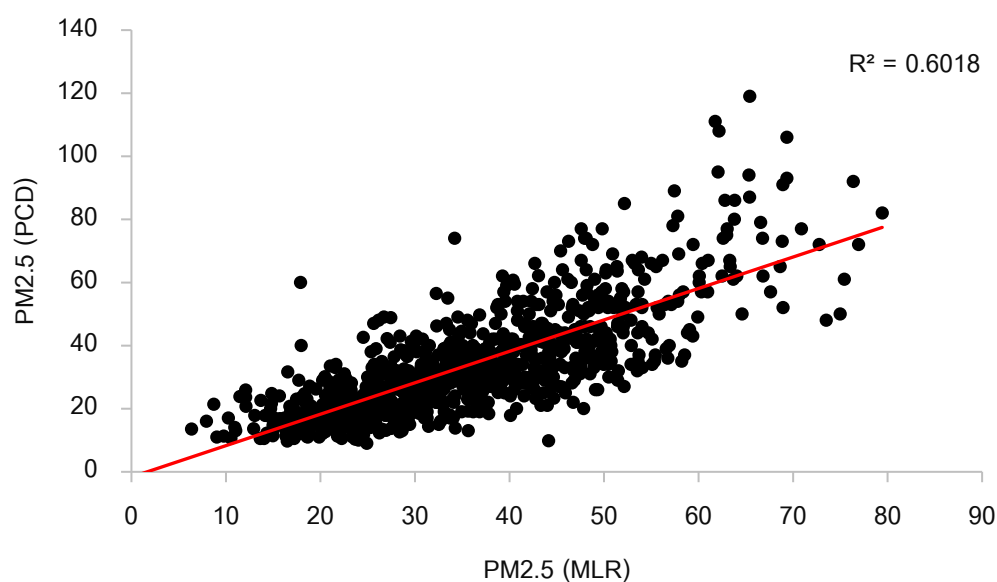
	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value
Intercept	136.85	2.76	49.54	0.00
AOD	30.95	1.07	28.73	0.00
Temp	-1.01	0.08	-11.46	0.00
RH	-1.10	0.02	-49.01	0.00
WS	-7.73	0.23	-32.99	0.00
R = 0.76; R ² = 0.57; F = 1069.47; P-value = 0.00; SE _{est} = 11.19				

แบบจำลองถดถอยพหุคูณ (Multiple Linear Regression) ถูกใช้ในการประมาณค่าฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PM2.5) จากตัวแปรต้น ได้แก่ AOD อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลม โดยนำค่าตัวแปรต้นจากปี 2566 เพื่อใช้ทดสอบความสามารถของแบบจำลองในการประมาณค่าฝุ่น PM2.5 จากตาราง 12 และภาพประกอบ 7 การทดสอบแบบจำลองพบว่า การประมาณค่าฝุ่น PM2.5 ในปี 2566 แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (MAE) เท่ากับ 8.12 มคก./ลบ.ม. และ RMSE เท่ากับ 10.65 มคก./ลบ.ม. ค่าความลำเอียง (MBE) อยู่ที่

1.79 มคก./ ลบ.ม. ซึ่งบ่งชี้ว่าแบบจำลองมีแนวโน้มพยากรณ์สูงกว่าค่าจริง และค่าความสามารถในการอธิบายผลลัพธ์ R^2 เท่ากับ 0.60 ซึ่งความสัมพันธ์อยู่ในระดับปานกลางตามเกณฑ์ของ (Bartz, 1999 อ้างอิงใน สมถวิล วิจิตรวรรณ, 2022)

ตาราง 12 แสดงค่าทางสถิติของการทดสอบแบบจำลองของปี 2566

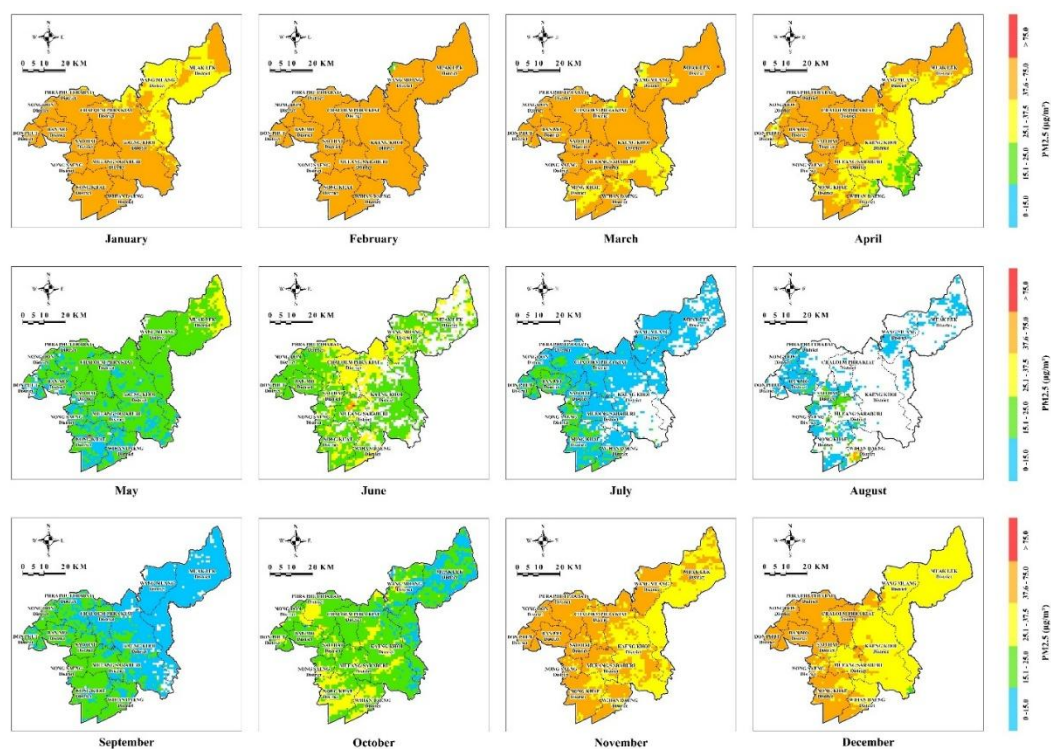
สถิติ	ความหมาย	ค่าที่คำนวณได้	หน่วย
MAE	ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยแบบสัมบูรณ์	8.12	มคก./ ลบ.ม.
RMSE	ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยแบบรากที่สอง	10.65	มคก./ ลบ.ม.
MBE	ค่าความลำเอียงของแบบจำลอง	1.79	มคก./ ลบ.ม.
R^2	ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด	0.60	-



ภาพประกอบ 7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าฝุ่น PM2.5 จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ และการประมาณค่าฝุ่น PM2.5 จากแบบจำลอง MLR ปี 2566

จากผลการวิเคราะห์การทดสอบแบบจำลองการประมาณค่าฝุ่น PM2.5 ผู้วิจัยได้นำแบบจำลองไปใช้ในการประมาณค่าฝุ่น PM2.5 ในจังหวัดสระบุรี ในช่วงเวลา 5 ปี (2561 – 2565) โดยประมาณค่าฝุ่น PM2.5 รายวัน และนำมาหาค่าเฉลี่ยในรายเดือน เพื่อศึกษาแนวโน้มที่เกิดฝุ่น PM2.5 ในระหว่างเดือนว่าสอดคล้องกับช่วงเปลี่ยนผ่านฤดูกาลอย่างไร โดยคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ได้กำหนดมาตรฐานฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ในบรรยากาศโดยทั่วไปโดยทั่วไปค่าเฉลี่ยในเวลา 24 ชั่วโมง จากเดิมต้องไม่เกิน 50 มคก./ ลบ.ม. ปัจจุบันจะต้องไม่เกิน 37.5 มคก./ ลบ.ม. ผู้วิจัยจึงใช้เกณฑ์ปัจจุบันเป็นมาตรฐานในการวัดปริมาณฝุ่น PM2.5 ในจังหวัดสระบุรี

จากการประมาณค่าฝุ่น PM2.5 ในจังหวัดสระบุรีในช่วงเวลา 5 ปี (2561-2565) พบว่าในปี 2561 จังหวัดสระบุรีมีปริมาณฝุ่น PM2.5 ตลอดปีต่ำสุดอยู่ที่ -6.0 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร หรือ มคก./ ลบ.ม. และสูงสุดอยู่ที่ 116.8 มคก./ ลบ.ม. ดังภาพประกอบ 8 และตาราง 13 ขณะที่ปีนี้พบพื้นที่ประสบปัญหาฝุ่น PM2.5 เกินค่ามาตรฐานจำนวน 10 เดือน ซึ่งครอบคลุมพื้นที่จังหวัดมากกว่าร้อยละ 50 จำนวน 5 เดือน โดยเดือนกุมภาพันธ์พบพื้นที่ประสบปัญหาฝุ่น PM2.5 เกินค่ามาตรฐานครอบคลุมพื้นที่สูงสุดประมาณ 3,491.19 ตร.กม. หรือร้อยละ 97.61 ของพื้นที่จังหวัด รองลงมา ได้แก่ เดือนมีนาคมพื้นที่ประมาณ 2,975.10 ตร.กม. หรือร้อยละ 83.12 ของพื้นที่จังหวัด เดือนมกราคมพื้นที่ประมาณ 2,621.69 ตร.กม. หรือร้อยละ 73.30 ของพื้นที่จังหวัด เดือนพฤศจิกายนประมาณ 2,112.12 ตร.กม. หรือร้อยละ 59.06 ของพื้นที่จังหวัด และเดือนเมษายนพื้นที่ประมาณ 2,047.27 ตร.กม. หรือร้อยละ 57.24 ของพื้นที่จังหวัด ตามลำดับ และพื้นที่ประสบปัญหาฝุ่น PM2.5 เกินค่ามาตรฐานครอบคลุมพื้นที่น้อยกว่าร้อยละ 50 จำนวน 5 เดือน ได้แก่ เดือนธันวาคมพื้นที่ประมาณ 1,370.33 ตร.กม. หรือร้อยละ 38.32 ของพื้นที่จังหวัด เดือนสิงหาคมพื้นที่ประมาณ 11.56 ตร.กม. หรือร้อยละ 0.32 ของพื้นที่จังหวัด เดือนมิถุนายนพื้นที่ประมาณ 10.59 ตร.กม. หรือร้อยละ 0.30 ของพื้นที่จังหวัด เดือนพฤษภาคมพื้นที่ประมาณ 5.78 ตร.กม. หรือร้อยละ 0.16 ของพื้นที่จังหวัด ตามลำดับ และเดือนตุลาคมประสบปัญหาฝุ่น PM2.5 เกินค่ามาตรฐานครอบคลุมพื้นที่น้อยสุดประมาณ 5.77 ตร.กม. หรือร้อยละ 0.16 ของพื้นที่จังหวัด



ภาพประกอบ 8 แสดงปริมาณความเข้มข้นของฝุ่น PM2.5 รายเดือน ในปี 2561

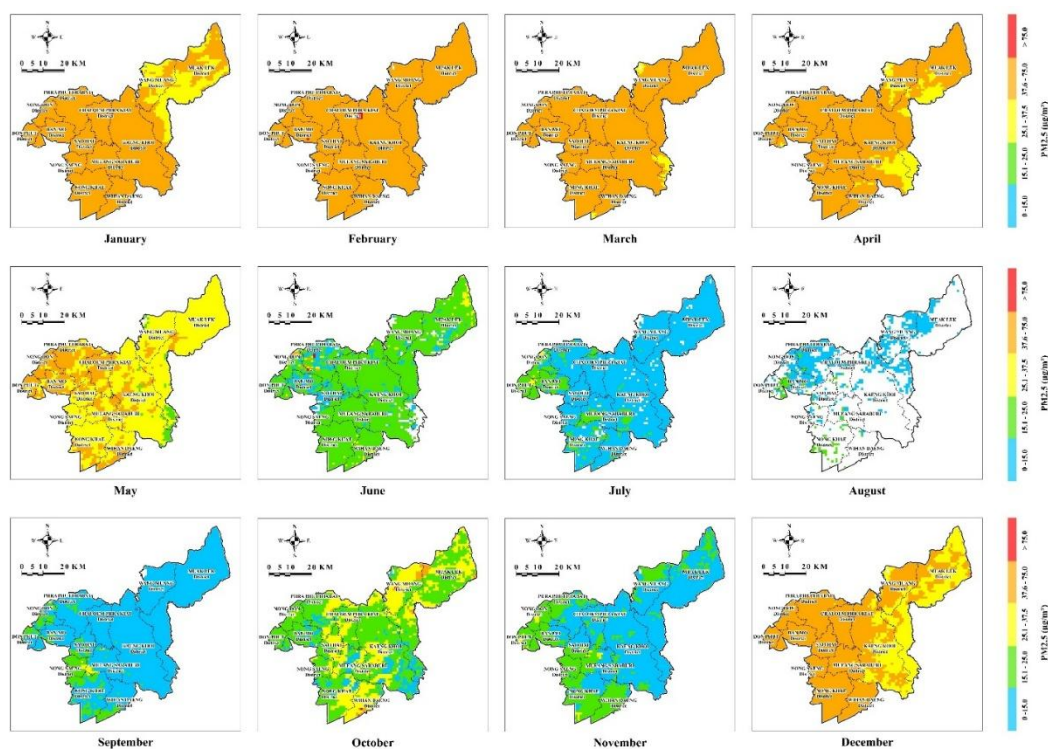
ตาราง 13 ปริมาณความเข้มข้นของฝุ่น PM2.5 รายเดือน และพื้นที่ฝุ่น PM2.5 เกินค่ามาตรฐาน ปี 2561

เดือน	PM2.5 ต่ำสุด (มคก./ลบ.ม.)	PM2.5 สูงสุด (มคก./ลบ.ม.)	พื้นที่ฝุ่น PM2.5 เกินค่ามาตรฐาน	
			พื้นที่ (ตร.กม.)	ร้อยละ
มกราคม	18.0	68.3	2,621.69	73.30
กุมภาพันธ์	26.4	70.5	3,491.19	97.61
มีนาคม	18.1	99.2	2,975.10	83.18
เมษายน	20.2	63.1	2,047.27	57.24
พฤษภาคม	5.2	101.0	5.78	0.16
มิถุนายน	12.9	93.4	10.59	0.30
กรกฎาคม	0.3	22.6	-	-

ตาราง 13 (ต่อ)

เดือน	PM2.5 ต่ำสุด (มคก./ลบ.ม.)	PM2.5 สูงสุด (มคก./ลบ.ม.)	พื้นที่ฝุ่น PM2.5 เกินค่ามาตรฐาน	
			พื้นที่ (ตร.กม.)	ร้อยละ
สิงหาคม	-6.0	116.8	11.56	0.32
กันยายน	1.9	22.4	-	-
ตุลาคม	4.4	83.9	5.77	0.16
พฤศจิกายน	26.2	57.8	2,112.12	59.06
ธันวาคม	23.5	56.6	1,370.33	38.32

ในปี 2562 จังหวัดสระบุรีมีปริมาณฝุ่น PM2.5 ตลอดปีต่ำสุดอยู่ที่ -6.1 มคก./ ลบ.ม. และสูงสุดอยู่ที่ 116.6 มคก./ ลบ.ม. ดังภาพประกอบ 9 และตาราง 14 ขณะที่ปีนี้พบพื้นที่ประสบปัญหาฝุ่น PM2.5 เกินค่ามาตรฐานจำนวน 8 เดือน ซึ่งครอบคลุมพื้นที่จังหวัดมากกว่าร้อยละ 50 จำนวน 5 เดือน โดยเดือนกุมภาพันธ์พบพื้นที่ประสบปัญหาฝุ่น PM2.5 เกินค่ามาตรฐานครอบคลุมพื้นที่สูงสุดประมาณ 3,498.88 ตร.กม. หรือร้อยละ 97.83 ของพื้นที่จังหวัด รองลงมา ได้แก่ เดือนมีนาคมพื้นที่ประมาณประมาณ 3,427.63 ตร.กม. หรือร้อยละ 95.84 ของพื้นที่จังหวัด เดือนเมษายนพื้นที่ประมาณ 3,095.60 ตร.กม. หรือร้อยละ 86.55 ของพื้นที่จังหวัด เดือนมกราคมประมาณ 2,961.26 ตร.กม. หรือร้อยละ 82.80 ของพื้นที่จังหวัด ตามลำดับ และเดือนธันวาคมพื้นที่ประมาณ 2,504.87 ตร.กม. หรือร้อยละ 70.04 ของพื้นที่จังหวัด และพื้นที่ประสบปัญหาฝุ่น PM2.5 เกินค่ามาตรฐานครอบคลุมพื้นที่น้อยกว่าร้อยละ 50 จำนวน 3 เดือน ได้แก่ เดือนพฤษภาคมพื้นที่ประมาณ 980.52 ตร.กม. หรือร้อยละ 27.42 ของพื้นที่จังหวัด เดือนตุลาคมพื้นที่ประมาณ 59.64 ตร.กม. หรือร้อยละ 1.67 ของพื้นที่จังหวัด ตามลำดับ และเดือนมิถุนายนประสบปัญหาฝุ่น PM2.5 เกินค่ามาตรฐานครอบคลุมพื้นที่น้อยสุดประมาณ 20.19 ตร.กม. หรือร้อยละ 0.56 ของพื้นที่จังหวัด



ภาพประกอบ 9 แสดงปริมาณความเข้มข้นของฝุ่น PM2.5 รายเดือน ในปี 2562

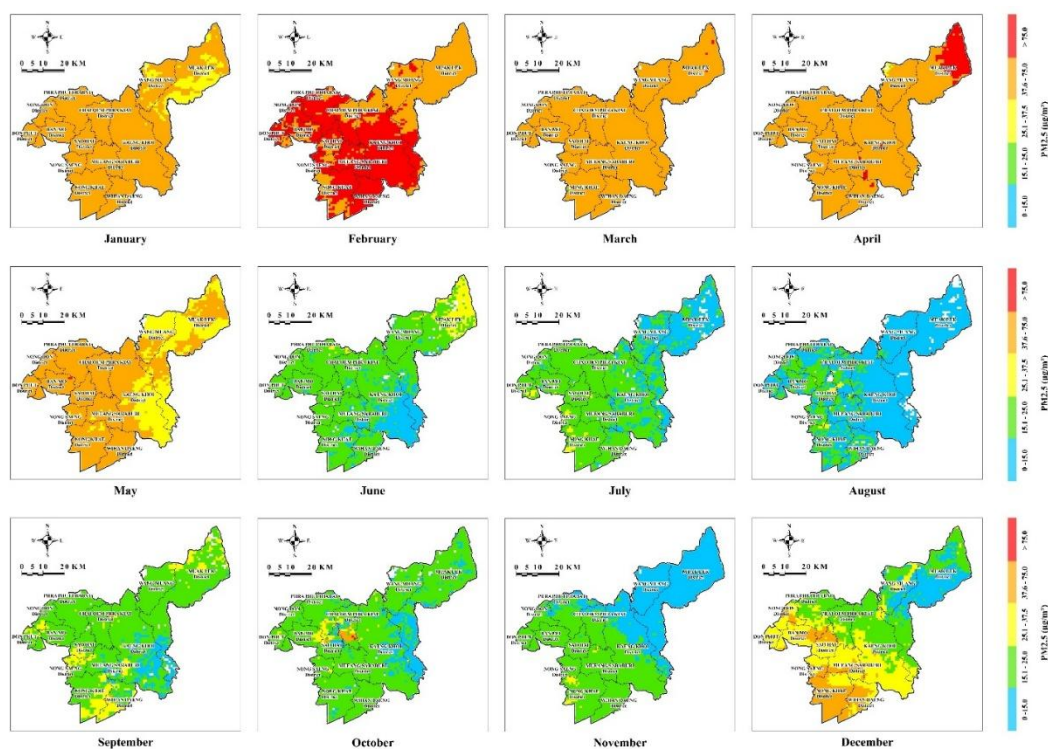
ตาราง 14 ปริมาณความเข้มข้นของฝุ่น PM2.5 รายเดือน และพื้นที่ฝุ่น PM2.5 เกินค่ามาตรฐาน ปี 2562

เดือน	PM2.5 ต่ำสุด (มคก./ลบ.ม.)	PM2.5 สูงสุด (มคก./ลบ.ม.)	พื้นที่ฝุ่น PM2.5 เกินค่ามาตรฐาน	
			พื้นที่ (ตร.กม.)	ร้อยละ
มกราคม	24.5	83.5	2,961.26	82.80
กุมภาพันธ์	39.8	77.3	3,498.88	97.83
มีนาคม	29.7	65.8	3,427.63	95.84
เมษายน	28.0	76.8	3,095.60	86.55
พฤษภาคม	16.4	66.7	980.52	27.42
มิถุนายน	7.3	94.3	20.19	0.56
กรกฎาคม	-5.3	27.0	-	-

ตาราง 14 (ต่อ)

เดือน	PM2.5 ต่ำสุด (มคก./ลบ.ม.)	PM2.5 สูงสุด (มคก./ลบ.ม.)	พื้นที่ฝุ่น PM2.5 เกินค่ามาตรฐาน	
			พื้นที่ (ตร.กม.)	ร้อยละ
สิงหาคม	-6.1	22.1	-	-
กันยายน	0.8	30.7	-	-
ตุลาคม	7.0	101.6	59.64	1.67
พฤศจิกายน	2.4	29.8	-	-
ธันวาคม	26.9	116.6	2,504.87	70.04

ในปี 2563 จังหวัดสระบุรีมีปริมาณฝุ่น PM2.5 ตลอดปีต่ำสุดอยู่ที่ -5.2 มคก./ ลบ.ม. และสูงสุดอยู่ที่ 137.6 มคก./ ลบ.ม. ดังภาพประกอบ 10 และตาราง 15 ขณะที่ปีนี้พบพื้นที่ประสบปัญหาฝุ่น PM2.5 เกินค่ามาตรฐานจำนวน 8 เดือน ซึ่งครอบคลุมพื้นที่จังหวัดมากกว่าร้อยละ 50 จำนวน 5 เดือน โดยเดือนกุมภาพันธ์ และเดือนมีนาคมพบพื้นที่ประสบปัญหาฝุ่น PM2.5 เกินค่ามาตรฐานครอบคลุมพื้นที่สูงสุดประมาณ 3,497.92 ตร.กม. หรือร้อยละ 97.80 ของพื้นที่จังหวัด รองลงมา ได้แก่ เดือนเมษายนพื้นที่ประมาณประมาณ 3,481.57 ตร.กม. หรือร้อยละ 97.35 ของพื้นที่จังหวัด เดือนมกราคมพื้นที่ประมาณ 3,199.77 ตร.กม. หรือร้อยละ 89.47 ของพื้นที่จังหวัด และเดือนพฤษภาคมประมาณ 2,503.94 ตร.กม. หรือร้อยละ 70.01 ของพื้นที่จังหวัด ตามลำดับ และพื้นที่ประสบปัญหาฝุ่น PM2.5 เกินค่ามาตรฐานครอบคลุมพื้นที่น้อยกว่าร้อยละ 50 จำนวน 3 เดือน ได้แก่ เดือนธันวาคมพื้นที่ประมาณ 595.12 ตร.กม. หรือร้อยละ 16.64 ของพื้นที่จังหวัด เดือนตุลาคมพื้นที่ประมาณ 43.30 ตร.กม. หรือร้อยละ 1.21 ของพื้นที่จังหวัด ตามลำดับ และเดือนกันยายนประสบปัญหาฝุ่น PM2.5 เกินค่ามาตรฐานครอบคลุมพื้นที่น้อยสุดประมาณ 5.78 ตร.กม. หรือร้อยละ 0.16 ของพื้นที่จังหวัด



ภาพประกอบ 10 แสดงปริมาณความเข้มข้นของฝุ่น PM2.5 รายเดือน ในปี 2563

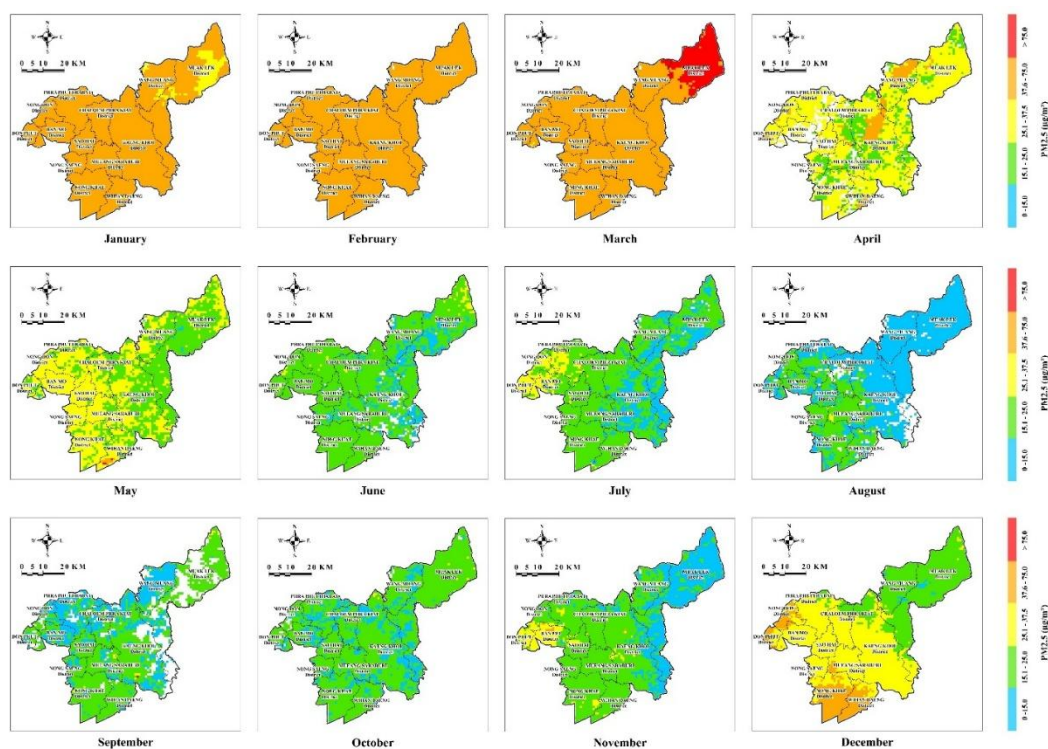
ตาราง 15 ปริมาณความเข้มข้นของฝุ่น PM2.5 รายเดือน และพื้นที่ฝุ่น PM2.5 เกินค่ามาตรฐาน ปี 2563

เดือน	PM2.5 ต่ำสุด (มคก./ลบ.ม.)	PM2.5 สูงสุด (มคก./ลบ.ม.)	พื้นที่ฝุ่น PM2.5 เกินค่ามาตรฐาน	
			พื้นที่ (ตร.กม.)	ร้อยละ
มกราคม	31.4	127.0	3,199.77	89.47
กุมภาพันธ์	44.8	137.6	3,497.92	97.80
มีนาคม	37.0	78.2	3,497.92	97.80
เมษายน	24.5	96.0	3,481.57	97.35
พฤษภาคม	21.5	89.7	2,503.94	70.01
มิถุนายน	5.6	33.1	-	-
กรกฎาคม	3.7	31.0	-	-

ตาราง 15 (ต่อ)

เดือน	PM2.5 ต่ำสุด (มคก./ลบ.ม.)	PM2.5 สูงสุด (มคก./ลบ.ม.)	พื้นที่ฝุ่น PM2.5 เกินค่ามาตรฐาน	
			พื้นที่ (ตร.กม.)	ร้อยละ
สิงหาคม	-5.2	36.2	-	-
กันยายน	9.5	48.3	5.78	0.16
ตุลาคม	8.0	77.1	43.30	1.21
พฤศจิกายน	0.9	28.9	-	-
ธันวาคม	7.3	48.0	595.12	16.64

ในปี 2564 จังหวัดสระบุรีมีปริมาณฝุ่น PM2.5 ตลอดปีต่ำสุดอยู่ที่ -5.9 มคก./ ลบ.ม. และสูงสุดอยู่ที่ 175.7 มคก./ ลบ.ม. ดังภาพประกอบ 11 และตาราง 16 ขณะที่ปีนี้พบพื้นที่ประสบปัญหาฝุ่น PM2.5 เกินค่ามาตรฐานจำนวน 8 เดือน ซึ่งครอบคลุมพื้นที่จังหวัดมากกว่าร้อยละ 50 จำนวน 3 เดือน โดยเดือนกุมภาพันธ์พบพื้นที่ประสบปัญหาฝุ่น PM2.5 เกินค่ามาตรฐานครอบคลุมพื้นที่สูงสุดประมาณ 3,498.88 ตร.กม. หรือร้อยละ 97.83 ของพื้นที่จังหวัด รองลงมา ได้แก่ เดือนมีนาคมพื้นที่ประมาณ 3,496.96 ตร.กม. หรือร้อยละ 97.78 ของพื้นที่จังหวัด และเดือนมกราคมพื้นที่ประมาณ 3,300.77 ตร.กม. หรือร้อยละ 92.29 ของพื้นที่จังหวัด ตามลำดับ และพื้นที่ประสบปัญหาฝุ่น PM2.5 เกินค่ามาตรฐานครอบคลุมพื้นที่น้อยกว่าร้อยละ 50 จำนวน 5 เดือน ได้แก่ เดือนธันวาคมพื้นที่ประมาณ 467.06 ตร.กม. หรือร้อยละ 13.06 ของพื้นที่จังหวัด เดือนเมษายนพื้นที่ประมาณ 241.47 ตร.กม. หรือร้อยละ 6.75 ของพื้นที่จังหวัด เดือนพฤษภาคมพื้นที่ประมาณ 15.42 ตร.กม. หรือร้อยละ 0.43 ของพื้นที่จังหวัด เดือนพฤศจิกายนพื้นที่ประมาณ 14.43 ตร.กม. หรือร้อยละ 0.40 ของพื้นที่จังหวัด ตามลำดับ และเดือนกันยายนประสบปัญหาฝุ่น PM2.5 เกินค่ามาตรฐานครอบคลุมพื้นที่น้อยสุดประมาณ 0.95 ตร.กม. หรือร้อยละ 0.03 ของพื้นที่จังหวัด



ภาพประกอบ 11 แสดงปริมาณความเข้มข้นของฝุ่น PM2.5 รายเดือน ในปี 2564

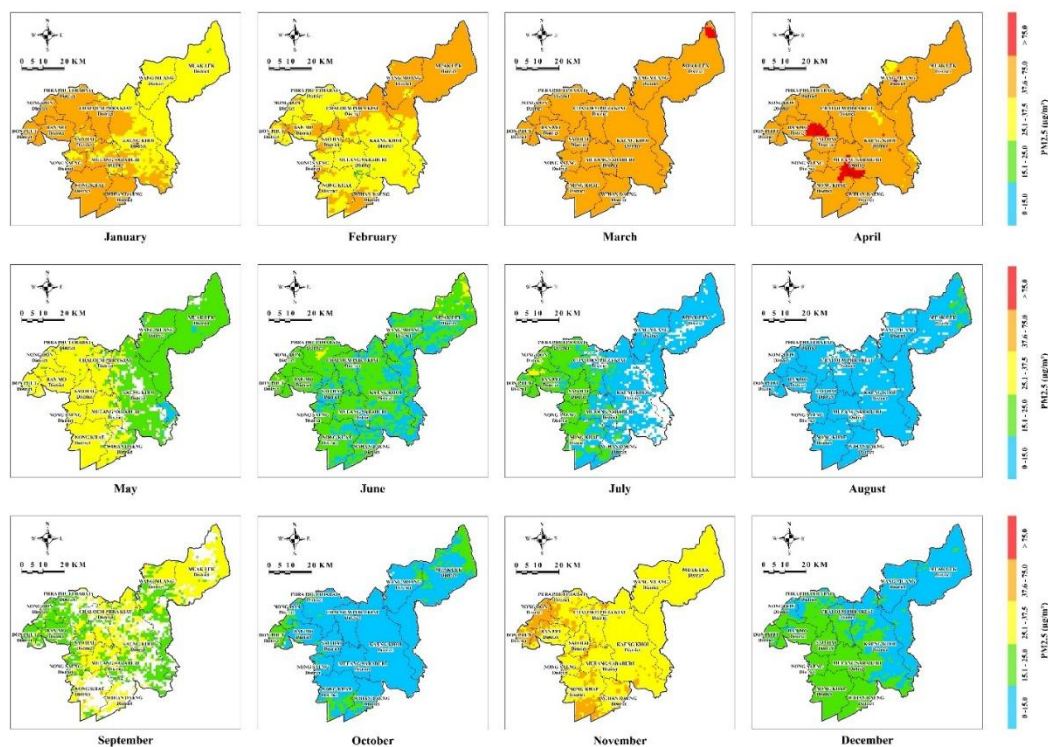
ตาราง 16 ปริมาณความเข้มข้นของฝุ่น PM2.5 รายเดือน และพื้นที่ฝุ่น PM2.5 เกินค่ามาตรฐาน ปี 2564

เดือน	PM2.5 ต่ำสุด (มคก./ลบ.ม.)	PM2.5 สูงสุด (มคก./ลบ.ม.)	พื้นที่ฝุ่น PM2.5 เกินค่ามาตรฐาน	
			พื้นที่ (ตร.กม.)	ร้อยละ
มกราคม	28.8	71.1	3,300.77	92.29
กุมภาพันธ์	40.1	86.7	3,498.88	97.83
มีนาคม	29.3	99.1	3,496.96	97.78
เมษายน	14.5	52.0	241.47	6.75
พฤษภาคม	13.7	175.7	15.42	0.43
มิถุนายน	8.4	27.4	-	-
กรกฎาคม	6.1	30.4	-	-

ตาราง 16 (ต่อ)

เดือน	PM2.5 ต่ำสุด (มคก./ลบ.ม.)	PM2.5 สูงสุด (มคก./ลบ.ม.)	พื้นที่ฝุ่น PM2.5 เกินค่ามาตรฐาน	
			พื้นที่ (ตร.กม.)	ร้อยละ
สิงหาคม	-5.9	26.7	-	-
กันยายน	7.7	99.7	0.96	0.03
ตุลาคม	7.2	26.7	-	-
พฤศจิกายน	5.3	93.2	14.43	0.40
ธันวาคม	9.5	45.1	467.06	13.06

ในปี 2565 จังหวัดสระบุรีมีปริมาณฝุ่น PM2.5 ตลอดปีต่ำสุดอยู่ที่ -6.1 มคก./ ลบ.ม. และสูงสุดอยู่ที่ 150.3 มคก./ ลบ.ม. ดังภาพประกอบ 12 และตาราง 17 ขณะที่ปีนี้พบพื้นที่ประสบปัญหาฝุ่น PM2.5 เกินค่ามาตรฐานจำนวน 8 เดือน ซึ่งครอบคลุมพื้นที่จังหวัดมากกว่าร้อยละ 50 จำนวน 2 เดือน โดยเดือนมีนาคมพบพื้นที่ประสบปัญหาฝุ่น PM2.5 เกินค่ามาตรฐานครอบคลุมพื้นที่สูงสุดประมาณ 3,499.84 ตร.กม. หรือร้อยละ 97.86 ของพื้นที่จังหวัด และเดือนมกราคมพื้นที่ประมาณ 3,430.58 ตร.กม. หรือร้อยละ 95.92 ของพื้นที่จังหวัด ตามลำดับ และพื้นที่ประสบปัญหาฝุ่น PM2.5 เกินค่ามาตรฐานครอบคลุมพื้นที่น้อยกว่าร้อยละ 50 จำนวน 6 เดือน ได้แก่ เดือนมกราคมพื้นที่ประมาณ 1,772.96 ตร.กม. หรือร้อยละ 49.57 ของพื้นที่จังหวัด เดือนกุมภาพันธ์พื้นที่ประมาณ 1,515.05 ตร.กม. หรือร้อยละ 42.36 ของพื้นที่จังหวัด เดือนพฤศจิกายนพื้นที่ประมาณ 483.14 ตร.กม. หรือร้อยละ 13.51 ของพื้นที่จังหวัด เดือนสิงหาคมพื้นที่ประมาณ 4.82 ตร.กม. หรือร้อยละ 0.13 ของพื้นที่จังหวัด เดือนกันยายนพื้นที่ประมาณ 3.85 ตร.กม. หรือร้อยละ 0.11 ของพื้นที่จังหวัด ตามลำดับ และเดือนกรกฎาคมประสบปัญหาฝุ่น PM2.5 เกินค่ามาตรฐานครอบคลุมพื้นที่น้อยสุดประมาณ 2.89 ตร.กม. หรือร้อยละ 0.08 ของพื้นที่จังหวัด



ภาพประกอบ 12 แสดงปริมาณความเข้มข้นของฝุ่น PM2.5 รายเดือน ในปี 2565

ตาราง 17 ปริมาณความเข้มข้นของฝุ่น PM2.5 รายเดือน และพื้นที่ฝุ่น PM2.5 เกินค่ามาตรฐาน ปี 2565

เดือน	PM2.5 ต่ำสุด (มคก./ลบ.ม.)	PM2.5 สูงสุด (มคก./ลบ.ม.)	พื้นที่ฝุ่น PM2.5 เกินค่ามาตรฐาน	
			พื้นที่ (ตร.กม.)	ร้อยละ
มกราคม	23.1	84.1	1,772.96	49.57
กุมภาพันธ์	23.1	63.9	1,515.05	42.36
มีนาคม	31.4	150.3	3,499.84	97.86
เมษายน	27.8	92.5	3,430.58	95.92
พฤษภาคม	9.5	33.7	-	-
มิถุนายน	7.6	37.2	-	-
กรกฎาคม	-3.0	38.0	2.89	0.08

ตาราง 17 (ต่อ)

เดือน	PM2.5 ต่ำสุด (มคก./ลบ.ม.)	PM2.5 สูงสุด (มคก./ลบ.ม.)	พื้นที่ฝุ่น PM2.5 เกินค่ามาตรฐาน	
			พื้นที่ (ตร.กม.)	ร้อยละ
สิงหาคม	-6.1	97.2	4.82	0.13
กันยายน	15.0	45.6	3.85	0.11
ตุลาคม	2.5	22.0	-	-
พฤศจิกายน	25.5	94.4	483.14	13.51
ธันวาคม	6.0	26.9	-	-

4.1.3 ผลการวิเคราะห์รูปแบบการกระจายตัวของฝุ่น PM2.5 ในจังหวัดสระบุรี

จากการศึกษาแนวโน้มฝุ่น PM2.5 ที่เกินค่ามาตรฐานในจังหวัดสระบุรี พบว่าในแต่ละปีมีช่วงเดือนที่พบค่าฝุ่นเกินค่ามาตรฐานแตกต่างกันบ้างในบางปี ในการวิเคราะห์รูปแบบการกระจายตัวของฝุ่น PM2.5 ในระหว่างปี งานวิจัยฉบับนี้จึงได้นำผลการวิเคราะห์ฝุ่น PM2.5 เฉลี่ยรายเดือน เฉพาะเดือนที่พบฝุ่น PM2.5 เกินค่ามาตรฐานที่ผ่านการศึกษามาแล้วขั้นต้น มาดำเนินการเฉลี่ยข้อมูลรายปี เพื่อศึกษารูปแบบการกระจายตัวของแต่ละปีเป็นลักษณะอย่างไร

โดยการวิเคราะห์รูปแบบการกระจายตัวของข้อมูลในงานวิจัยฉบับนี้ ผู้วิจัยได้ใช้วิธีทางสถิติ Spatial Auto Correlation (Moran's I) เพื่อประเมินรูปแบบการกระจายตัวของฝุ่น PM2.5 ในจังหวัดสระบุรี ซึ่งเป็นการศึกษาข้อมูลเชิงพื้นที่ในระดับท้องถิ่น โดยผลการวิเคราะห์ Moran's I เชิงพื้นที่ในระดับท้องถิ่นนี้ทำให้ทราบข้อมูลเบื้องต้นว่าในพื้นที่ และในช่วงเวลาที่ทำการศึกษา รูปแบบการกระจายตัวของข้อมูลเชิงพื้นที่ในลักษณะใด อย่างไรก็ตามหากผลการวิเคราะห์พบว่าพื้นที่ศึกษามีรูปแบบการกระจายตัวในลักษณะสุ่มไม่ที่รูปแบบชัดเจน หรือการกระจายตัวในลักษณะกระจุกกระจาย จะบ่งชี้ว่าพื้นที่ศึกษานี้ไม่สามารถนำไปวิเคราะห์หาตำแหน่งเชิงพื้นที่ของลักษณะการเกาะกลุ่มของฝุ่น PM2.5 ต่อได้ การวิเคราะห์ Moran's I จึงเป็นขั้นตอนเบื้องต้นในการตรวจสอบข้อมูลทางสถิติก่อนที่จะนำไปวิเคราะห์ Getis-Ord Gi* เพื่อหาตำแหน่งการเกาะกลุ่มของฝุ่น PM2.5 ในพื้นที่จังหวัดสระบุรี จากตาราง 18 ผลการวิเคราะห์ Moran's I พบว่า ข้อมูลทั้ง 5 ปี (2561 – 2565) มีรูปแบบการกระจายตัวของข้อมูลในลักษณะแบบเกาะกลุ่ม Cluster เนื่องจาก

มีค่าทางสถิติ Moran's I อยู่ระหว่าง 0.639 – 0.913 ซึ่งมากกว่า 0 บ่งชี้ถึงลักษณะการเกาะกลุ่มของข้อมูลที่มีค่า $p\text{-value} < 0.05$ ที่ระดับการกระจายตัวของข้อมูลฝุ่น PM2.5 อย่างมีนัยสำคัญ โดยปีที่มีรูปแบบการเกาะกลุ่มในระดับสูงมากตามเกณฑ์ความสัมพันธ์ของ (Bartz, 1999 อ้างอิงใน สมถวิล วิจิตรวรรณ, 2022) คือ ปี 2562 และ 2561 มีค่า Moran's I อยู่ในระดับ 0.913 และ 0.882 ตามลำดับ ขณะที่ปี 2563 ปี 2565 และปี 2564 มีรูปแบบการเกาะกลุ่มในระดับสูง และมีค่า Moran's I อยู่ที่ 0.789, 0.770 และ 0.639 ตามลำดับ

ตาราง 18 ผลการวิเคราะห์ Moran's I รูปแบบการกระจายตัวของฝุ่น PM2.5

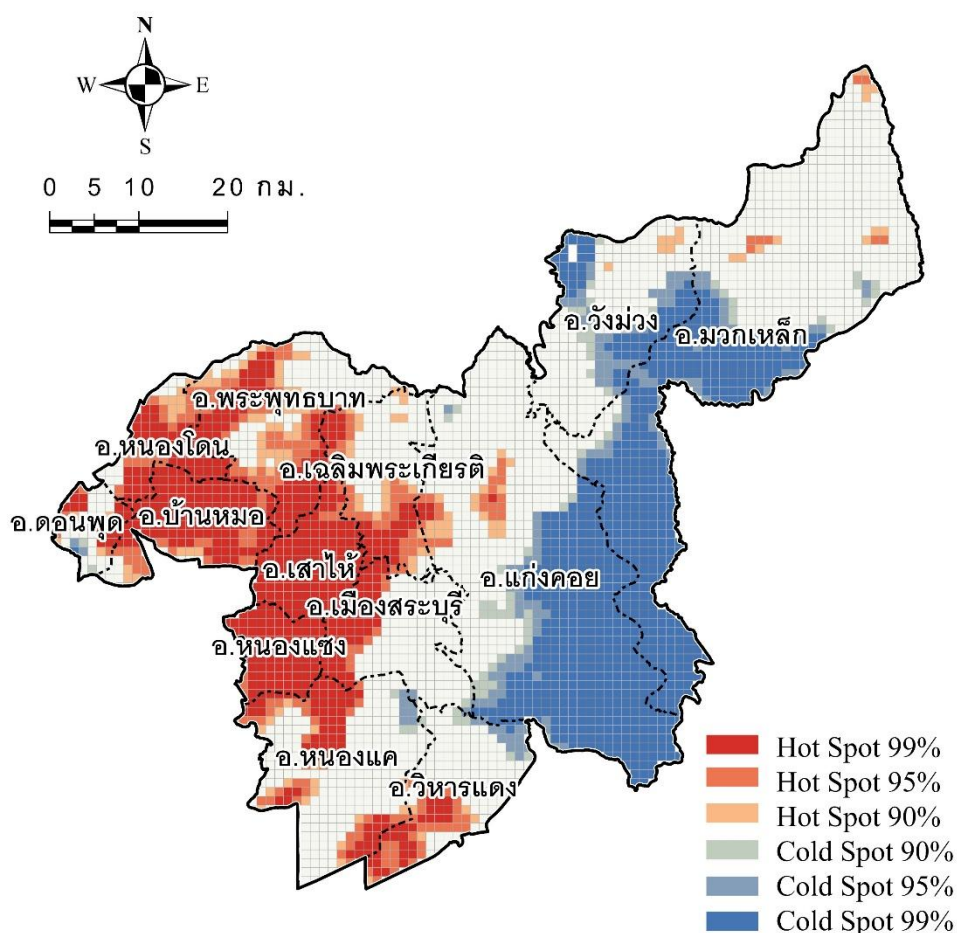
ปี	Moran's Index	Z-score	p-value	รูปแบบ
2561	0.882	97.733	0.000	เกาะกลุ่ม
2562	0.913	101.220	0.000	เกาะกลุ่ม
2563	0.789	87.449	0.000	เกาะกลุ่ม
2564	0.639	73.799	0.000	เกาะกลุ่ม
2565	0.770	92.420	0.000	เกาะกลุ่ม

จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติ Moran's I ผู้วิจัยได้นำมาวิเคราะห์ Getis-Ord G_i^* เพื่อหาตำแหน่งพื้นที่ที่มีค่าสูงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ Hot Spot สามารถอธิบายถึงแหล่งกำเนิดฝุ่น PM2.5 และตำแหน่งพื้นที่ที่มีค่าต่ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ Cold Spot สามารถอธิบายบริเวณที่พบฝุ่น PM2.5 น้อย หรือบริเวณที่ไม่มีฝุ่น PM2.5 และผู้วิจัยได้นำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ Getis-Ord G_i^* มาวิเคราะห์ร่วมกับข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินของกรมพัฒนาที่ดิน เพื่อบ่งชี้การใช้ประโยชน์หรือกิจกรรมต่าง ๆ ในพื้นที่ Hot Spot และพื้นที่ Cold Spot

โดยผลการวิเคราะห์พบว่า ปี 2561 จากภาพประกอบ 13 และตาราง 19 พบว่าบริเวณที่มี Hot Spot สูงสุดที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 99% พบการรวมกลุ่มของข้อมูลบริเวณฝั่งตะวันตก และบริเวณตอนใต้ของจังหวัด ซึ่งครอบคลุมพื้นที่รวมประมาณ 629.36 ตร.กม. หรือร้อยละ 17.30 ของพื้นที่จังหวัด บริเวณดังกล่าวส่วนใหญ่เป็นพื้นที่เกษตรกรรมที่ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 453.26 ตร.กม. หรือร้อยละ 12.46 ของพื้นที่จังหวัด รองลงมาได้แก่ พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง 86.61 ตร.กม. หรือร้อยละ 2.38 ของพื้นที่จังหวัด พื้นที่แหล่งน้ำ 31.76 ตร.กม. หรือร้อยละ

ละ 0.87 ของพื้นที่จังหวัด พื้นที่เบ็ดเตล็ด 31.75 ตร.กม. หรือร้อยละ 0.87 ของพื้นที่จังหวัด และพื้นที่อุตสาหกรรม 21.17 ตร.กม. หรือร้อยละ 0.58 ของพื้นที่จังหวัด และพื้นที่เล็กสุดคือ พื้นที่ป่าไม้ 4.81 ตร.กม. หรือร้อยละ 0.13 ของพื้นที่จังหวัด ตามลำดับ

ขณะที่บริเวณ Cold Spot ต่ำสุดที่ระดับความเชื่อมั่น 99% พบการรวมกลุ่มของข้อมูลบริเวณฝั่งตะวันออก และบางส่วนในตอนเหนือของจังหวัด ซึ่งครอบคลุมพื้นที่รวมประมาณ 723.89 ตร.กม. หรือร้อยละ 19.90 ของพื้นที่จังหวัด บริเวณส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ป่าไม้ 413.99 ตร.กม. หรือร้อยละ 11.38 ของพื้นที่จังหวัด รองลงมาได้แก่ พื้นที่เกษตรกรรม 200.20 ตร.กม. หรือร้อยละ 5.50 ของพื้นที่จังหวัด พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง 48.12 ตร.กม. หรือร้อยละ 1.32 ของพื้นที่จังหวัด พื้นที่เบ็ดเตล็ด 29.84 ตร.กม. หรือร้อยละ 0.82 ของพื้นที่จังหวัด และพื้นที่แหล่งน้ำ 22.12 ตร.กม. หรือร้อยละ 0.61 ของพื้นที่จังหวัด และพื้นที่เล็กสุดคือ พื้นที่อุตสาหกรรม 9.62 ตร.กม. หรือร้อยละ 0.26 ของพื้นที่จังหวัด ตามลำดับ



ภาพประกอบ 13 แสดงผลการวิเคราะห์ Hot Spot และ Cold Spot ของค่าฝุ่น PM2.5 ปี 2561

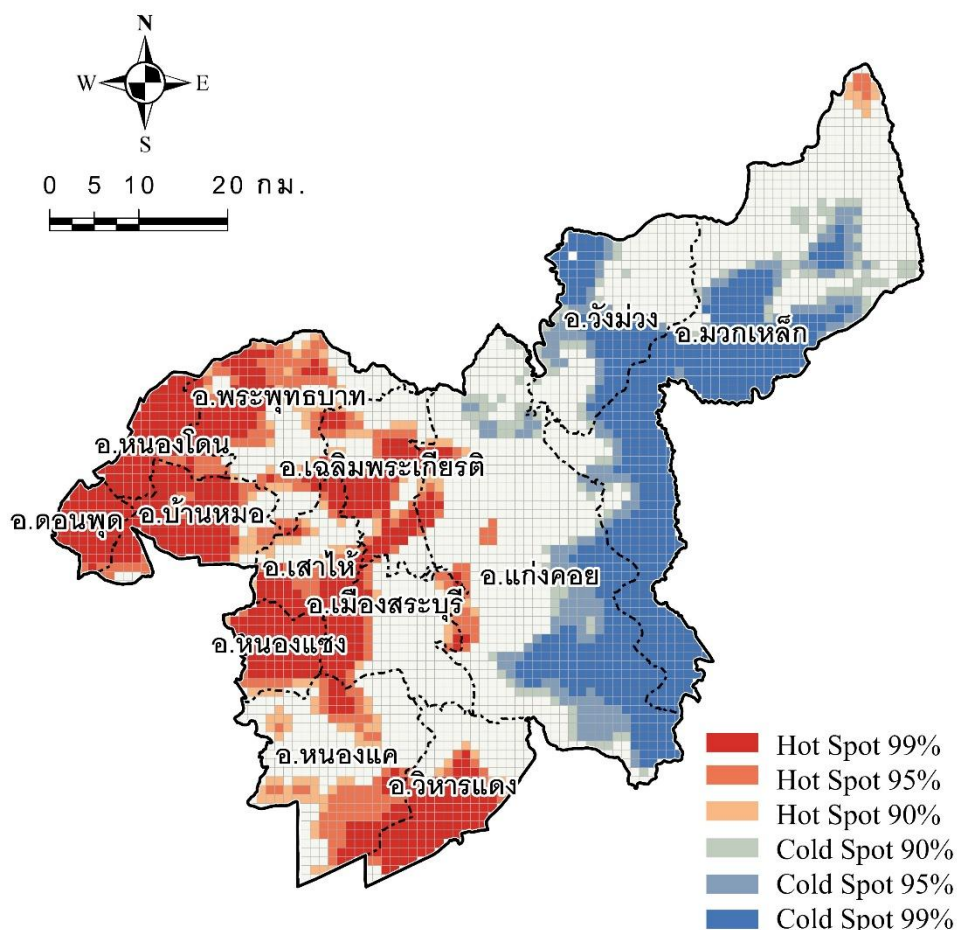
ตาราง 19 การใช้ประโยชน์ที่ดินบริเวณพื้นที่ Hot Spot และ Cold Spot ที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ปี 2561

การใช้ประโยชน์ที่ดิน	Hot Spot		Cold Spot	
	พื้นที่ (ตร.กม.)	ร้อยละ	พื้นที่ (ตร.กม.)	ร้อยละ
พื้นที่ป่าไม้	4.81	0.13	413.99	11.38
พื้นที่เกษตรกรรม	453.26	12.46	200.20	5.50
พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง	86.61	2.38	48.12	1.32
พื้นที่อุตสาหกรรม	21.17	0.58	9.62	0.26
พื้นที่แหล่งน้ำ	31.76	0.87	22.12	0.61
พื้นที่เบ็ดเตล็ด	31.75	0.87	29.84	0.82
รวม	629.36	17.30	723.89	19.90

ปี 2562 จากภาพประกอบ 14 และตาราง 20 พบว่าบริเวณที่มี Hot Spot สูงสุดที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 99% พบการรวมกลุ่มของข้อมูลบริเวณฝั่งตะวันตก และบริเวณตอนใต้ของจังหวัด ซึ่งครอบคลุมพื้นที่รวมประมาณ 675.56 ตร.กม. หรือร้อยละ 18.57 ของพื้นที่จังหวัด บริเวณดังกล่าวส่วนใหญ่เป็นพื้นที่เกษตรกรรมที่ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 521.59 ตร.กม. หรือร้อยละ 14.34 ของพื้นที่จังหวัด รองลงมาได้แก่ พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง 80.85 ตร.กม. หรือร้อยละ 2.22 ของพื้นที่จังหวัด พื้นที่เบ็ดเตล็ด 27.90 ตร.กม. หรือร้อยละ 0.77 ของพื้นที่จังหวัด พื้นที่แหล่งน้ำ 26.94 ตร.กม. หรือร้อยละ 0.74 ของพื้นที่จังหวัด และพื้นที่อุตสาหกรรม 11.55 ตร.กม. หรือร้อยละ 0.32 ของพื้นที่จังหวัด และพื้นที่เล็กสุดคือ พื้นที่ป่าไม้ 6.73 ตร.กม. หรือร้อยละ 0.19 ของพื้นที่จังหวัด ตามลำดับ

ขณะที่บริเวณ Cold Spot ต่ำสุดที่ระดับความเชื่อมั่น 99% พบการรวมกลุ่มของข้อมูลบริเวณฝั่งตะวันออก และบางส่วนในตอนเหนือของจังหวัด ซึ่งครอบคลุมพื้นที่รวมประมาณ 618.82 ตร.กม. หรือร้อยละ 17.01 ของพื้นที่จังหวัด บริเวณส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ป่าไม้ 354.24 ตร.กม. หรือร้อยละ 9.74 ของพื้นที่จังหวัด รองลงมาได้แก่ พื้นที่เกษตรกรรม 180.87 ตร.กม. หรือร้อยละ 4.97 ของพื้นที่จังหวัด พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง 43.30 ตร.กม. หรือร้อยละ 1.19 ของพื้นที่

จังหวัด พื้นที่แหล่งน้ำ 21.16 ตร.กม. หรือร้อยละ 0.58 ของพื้นที่จังหวัด และพื้นที่เล็กสุดคือ พื้นที่เบ็ดเตล็ด 19.25 ตร.กม. หรือร้อยละ 0.53 ของพื้นที่จังหวัด ตามลำดับ



ภาพประกอบ 14 แสดงผลการวิเคราะห์ Hot Spot และ Cold Spot ของค่าฝุ่น PM2.5 ปี 2562

ตาราง 20 การใช้ประโยชน์ที่ดินบริเวณพื้นที่ Hot Spot และ Cold Spot ที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ปี 2562

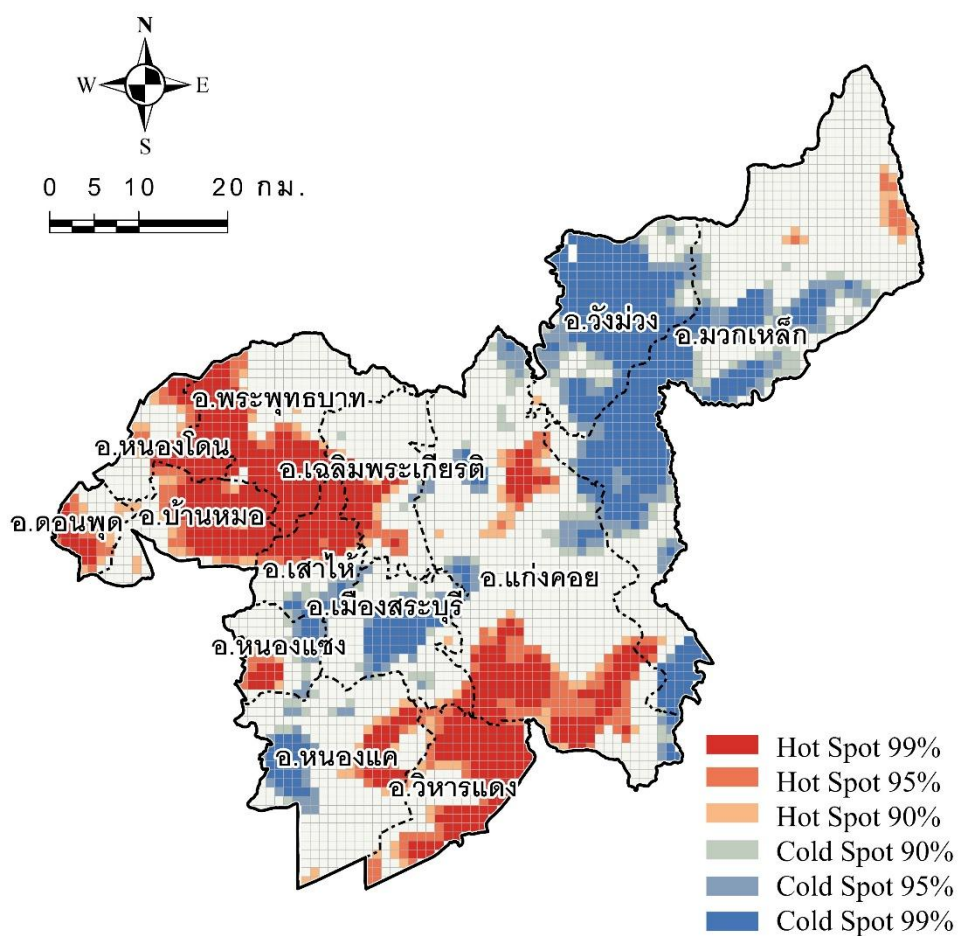
การใช้ประโยชน์ที่ดิน	Hot Spot		Cold Spot	
	พื้นที่ (ตร.กม.)	ร้อยละ	พื้นที่ (ตร.กม.)	ร้อยละ
พื้นที่ป่าไม้	6.73	0.19	354.24	9.74
พื้นที่เกษตรกรรม	521.59	14.34	180.87	4.97

ตาราง 20 (ต่อ)

การใช้ประโยชน์ที่ดิน	Hot Spot		Cold Spot	
	พื้นที่ (ตร.กม.)	ร้อยละ	พื้นที่ (ตร.กม.)	ร้อยละ
พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง	80.85	2.22	43.30	1.19
พื้นที่อุตสาหกรรม	11.55	0.32	0.00	0.00
พื้นที่แหล่งน้ำ	26.94	0.74	21.16	0.58
พื้นที่เบ็ดเตล็ด	27.90	0.77	19.25	0.53
รวม	675.56	18.57	618.82	17.01

ปี 2563 จากภาพประกอบ 15 และตาราง 21 พบว่าบริเวณที่มี Hot Spot สูงสุดที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 99% พบการรวมกลุ่มของข้อมูลบริเวณฝั่งตะวันตก และบริเวณตอนใต้ของจังหวัด ซึ่งครอบคลุมพื้นที่รวมประมาณ 571.71 ตร.กม. หรือร้อยละ 15.72 ของพื้นที่จังหวัด บริเวณดังกล่าวส่วนใหญ่เป็นพื้นที่เกษตรกรรมที่ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 351.28 ตร.กม. หรือร้อยละ 9.66 ของพื้นที่จังหวัด รองลงมาได้แก่ พื้นที่ป่าไม้ 75.10 ตร.กม. หรือร้อยละ 2.06 ของพื้นที่จังหวัด พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง 60.64 ตร.กม. หรือร้อยละ 1.67 ของพื้นที่จังหวัด พื้นที่เบ็ดเตล็ด 46.19 ตร.กม. หรือร้อยละ 1.27 ของพื้นที่จังหวัด และพื้นที่แหล่งน้ำ 20.21 ตร.กม. หรือร้อยละ 0.56 ของพื้นที่จังหวัด และพื้นที่เล็กสุดคือ พื้นที่อุตสาหกรรม 18.29 ตร.กม. หรือร้อยละ 0.50 ของพื้นที่จังหวัด ตามลำดับ

ขณะที่บริเวณ Cold Spot ต่ำสุดที่ระดับความเชื่อมั่น 99% พบการรวมกลุ่มของข้อมูลบริเวณบางส่วนในตอนเหนือ และบางส่วนในตอนกลางของจังหวัด ซึ่งครอบคลุมพื้นที่รวมประมาณ 497.42 ตร.กม. หรือร้อยละ 13.68 ของพื้นที่จังหวัด บริเวณส่วนใหญ่เป็นพื้นที่เกษตรกรรม 202.01 ตร.กม. หรือร้อยละ 5.55 ของพื้นที่จังหวัด รองลงมาได้แก่ พื้นที่ป่าไม้ 173.21 ตร.กม. หรือร้อยละ 4.76 ของพื้นที่จังหวัด พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง 62.54 ตร.กม. หรือร้อยละ 1.72 ของพื้นที่จังหวัด พื้นที่เบ็ดเตล็ด 27.90 ตร.กม. หรือร้อยละ 0.77 ของพื้นที่จังหวัด พื้นที่แหล่งน้ำ 22.12 ตร.กม. หรือร้อยละ 0.61 และพื้นที่เล็กสุดคือ พื้นที่อุตสาหกรรม 9.62 ตร.กม. หรือร้อยละ 0.26 ของพื้นที่จังหวัด ตามลำดับ



ภาพประกอบ 15 แสดงผลการวิเคราะห์ Hot Spot และ Cold Spot ของค่าฝุ่น PM2.5 ปี 2563

ตาราง 21 การใช้ประโยชน์ที่ดินบริเวณพื้นที่ Hot Spot และ Cold Spot ที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ปี 2563

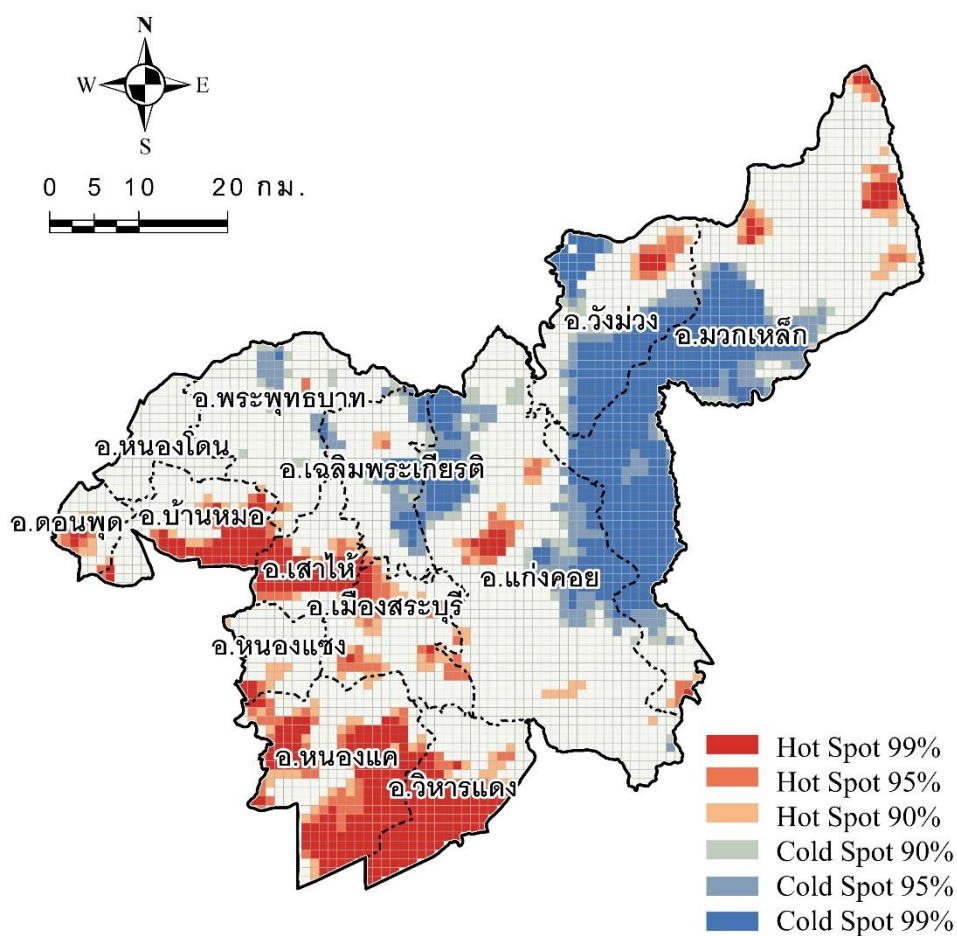
การใช้ประโยชน์ที่ดิน	Hot Spot		Cold Spot	
	พื้นที่ (ตร.กม.)	ร้อยละ	พื้นที่ (ตร.กม.)	ร้อยละ
พื้นที่ป่าไม้	75.10	2.06	173.21	4.76
พื้นที่เกษตรกรรม	351.28	9.66	202.01	5.55
พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง	60.64	1.67	62.54	1.72
พื้นที่อุตสาหกรรม	18.29	0.50	9.62	0.26

ตาราง 21 (ต่อ)

การใช้ประโยชน์ ที่ดิน	Hot Spot		Cold Spot	
	พื้นที่ (ตร.กม.)	ร้อยละ	พื้นที่ (ตร.กม.)	ร้อยละ
พื้นที่แหล่งน้ำ	20.21	0.56	22.12	0.61
พื้นที่เบ็ดเตล็ด	46.19	1.27	27.90	0.77
รวม	571.71	15.72	497.42	13.68

ปี 2564 จากภาพประกอบ 16 และตาราง 22 พบว่าบริเวณที่มี Hot Spot สูงสุดที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 99% พบการรวมกลุ่มของข้อมูลบริเวณตอนใต้ และบางส่วนในฝั่งตะวันตกของจังหวัด ซึ่งครอบคลุมพื้นที่รวมประมาณ 372.66 ตร.กม. หรือร้อยละ 10.25 ของพื้นที่จังหวัด บริเวณดังกล่าวส่วนใหญ่เป็นพื้นที่เกษตรกรรมที่ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 246.53 ตร.กม. หรือร้อยละ 6.78 ของพื้นที่จังหวัด รองลงมาได้แก่ พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง 60.66 ตร.กม. หรือร้อยละ 1.67 ของพื้นที่จังหวัด พื้นที่เบ็ดเตล็ด 24.07 ตร.กม. หรือร้อยละ 0.66 ของพื้นที่จังหวัด พื้นที่แหล่งน้ำ 23.11 ตร.กม. หรือร้อยละ 0.64 ของพื้นที่จังหวัด และพื้นที่อุตสาหกรรม 10.59 ตร.กม. หรือร้อยละ 0.29 ของพื้นที่จังหวัด และพื้นที่เล็กที่สุดคือ พื้นที่ป่าไม้ 7.70 ตร.กม. หรือร้อยละ 0.21 ของพื้นที่จังหวัด ตามลำดับ

ขณะที่บริเวณ Cold Spot ต่ำสุดที่ระดับความเชื่อมั่น 99% พบการรวมกลุ่มของข้อมูลส่วนใหญ่บริเวณฝั่งตะวันออก และบางส่วนในตอนกลางของจังหวัด ซึ่งครอบคลุมพื้นที่รวมประมาณ 520.49 ตร.กม. หรือร้อยละ 14.31 ของพื้นที่จังหวัด บริเวณส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ป่าไม้ 254.01 ตร.กม. หรือร้อยละ 6.98 ของพื้นที่จังหวัด รองลงมาได้แก่ พื้นที่เกษตรกรรม 165.46 ตร.กม. หรือร้อยละ 4.55 ของพื้นที่จังหวัด พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง 46.18 ตร.กม. หรือร้อยละ 1.27 ของพื้นที่จังหวัด พื้นที่เบ็ดเตล็ด 26.94 ตร.กม. หรือร้อยละ 0.74 ของพื้นที่จังหวัด พื้นที่แหล่งน้ำ 15.38 ตร.กม. หรือร้อยละ 0.42 และพื้นที่เล็กที่สุดคือ พื้นที่อุตสาหกรรม 12.51 ตร.กม. หรือร้อยละ 0.34 ของพื้นที่จังหวัด ตามลำดับ



ภาพประกอบ 16 แสดงผลการวิเคราะห์ Hot Spot และ Cold Spot ของค่าฝุ่น PM2.5 ปี 2564

ตาราง 22 การใช้ประโยชน์ที่ดินบริเวณพื้นที่ Hot Spot และ Cold Spot ที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ปี 2564

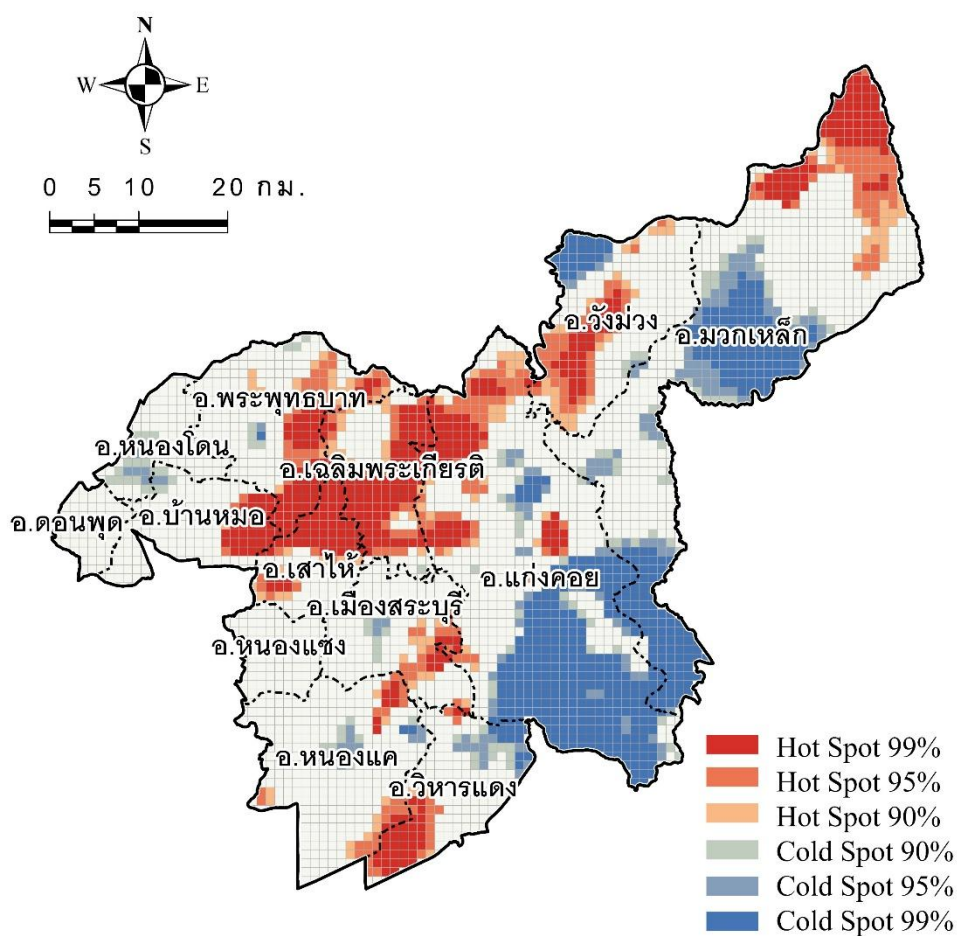
การใช้ประโยชน์ที่ดิน	Hot Spot		Cold Spot	
	พื้นที่ (ตร.กม.)	ร้อยละ	พื้นที่ (ตร.กม.)	ร้อยละ
พื้นที่ป่าไม้	7.70	0.21	254.01	6.98
พื้นที่เกษตรกรรม	246.53	6.78	165.46	4.55
พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง	60.66	1.67	46.18	1.27
พื้นที่อุตสาหกรรม	10.59	0.29	12.51	0.34

ตาราง 22 (ต่อ)

การใช้ประโยชน์ที่ดิน	Hot Spot		Cold Spot	
	พื้นที่ (ตร.กม.)	ร้อยละ	พื้นที่ (ตร.กม.)	ร้อยละ
พื้นที่แหล่งน้ำ	23.11	0.64	15.38	0.42
พื้นที่เบ็ดเตล็ด	24.07	0.66	26.94	0.74
รวม	372.66	10.25	520.49	14.31

ปี 2565 จากภาพประกอบ 17 และตาราง 23 พบว่าบริเวณที่มี Hot Spot สูงสุดที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 99% พบการรวมกลุ่มของข้อมูลบริเวณตอนกลาง และบางส่วนในตอนเหนือและตอนใต้ของจังหวัด ซึ่งครอบคลุมพื้นที่รวมประมาณ 439.65 ตร.กม. หรือร้อยละ 12.09 ของพื้นที่จังหวัด บริเวณดังกล่าวส่วนใหญ่เป็นพื้นที่เกษตรกรรมที่ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 279.01 ตร.กม. หรือร้อยละ 7.67 ของพื้นที่จังหวัด รองลงมาได้แก่ พื้นที่ป่าไม้ 73.08 ตร.กม. หรือร้อยละ 2.01 ของพื้นที่จังหวัด พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง 36.57 ตร.กม. หรือร้อยละ 1.01 ของพื้นที่จังหวัด พื้นที่เบ็ดเตล็ด 30.78 ตร.กม. หรือร้อยละ 0.85 ของพื้นที่จังหวัด และพื้นที่อุตสาหกรรม 10.58 ตร.กม. หรือร้อยละ 0.29 ของพื้นที่จังหวัด และพื้นที่เล็กที่สุดคือ พื้นที่แหล่งน้ำ 9.62 ตร.กม. หรือร้อยละ 0.26 ของพื้นที่จังหวัด ตามลำดับ

ขณะที่บริเวณ Cold Spot ต่ำสุดที่ระดับความเชื่อมั่น 99% พบการรวมกลุ่มของข้อมูลส่วนใหญ่บริเวณฝั่งตะวันออกของจังหวัด ซึ่งครอบคลุมพื้นที่รวมประมาณ 491.95 ตร.กม. หรือร้อยละ 13.53 ของพื้นที่จังหวัด บริเวณส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ป่าไม้ 279.24 ตร.กม. หรือร้อยละ 7.68 ของพื้นที่จังหวัด รองลงมาได้แก่ พื้นที่เกษตรกรรม 158.83 ตร.กม. หรือร้อยละ 4.37 ของพื้นที่จังหวัด พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง 24.05 ตร.กม. หรือร้อยละ 0.66 ของพื้นที่จังหวัด พื้นที่แหล่งน้ำ 15.39 ตร.กม. หรือร้อยละ 0.42 และพื้นที่เล็กที่สุดคือ พื้นที่เบ็ดเตล็ด 14.44 ตร.กม. หรือร้อยละ 0.40 ของพื้นที่จังหวัด ตามลำดับ



ภาพประกอบ 17 แสดงผลการวิเคราะห์ Hot Spot และ Cold Spot ของค่าฝุ่น PM2.5 ปี 2565

ตาราง 23 การใช้ประโยชน์ที่ดินบริเวณพื้นที่ Hot Spot และ Cold Spot ที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ปี 2565

การใช้ประโยชน์ที่ดิน	Hot Spot		Cold Spot	
	พื้นที่ (ตร.กม.)	ร้อยละ	พื้นที่ (ตร.กม.)	ร้อยละ
พื้นที่ป่าไม้	73.08	2.01	279.24	7.68
พื้นที่เกษตรกรรม	279.01	7.67	158.83	4.37
พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง	36.57	1.01	24.05	0.66
พื้นที่อุตสาหกรรม	10.58	0.29	0.00	0.00

ตาราง 23 (ต่อ)

การใช้ประโยชน์ที่ดิน	Hot Spot		Cold Spot	
	พื้นที่ (ตร.กม.)	ร้อยละ	พื้นที่ (ตร.กม.)	ร้อยละ
พื้นที่แหล่งน้ำ	9.62	0.26	15.39	0.42
พื้นที่เบ็ดเตล็ด	30.78	0.85	14.44	0.40
รวม	439.65	12.09	491.95	13.53

4.2 ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงพื้นที่สีเขียวด้วยข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม

Sentinel-2

ในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงพื้นที่สีเขียวในจังหวัดสระบุรี ผู้วิจัยได้นำภาพถ่ายจากดาวเทียม Sentinel-2 ในช่วงเวลา 5 ปี (2561 – 2565) เพื่อใช้วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงในแต่ละปีของพื้นที่สีเขียว และได้ใช้ดัชนีพืชพรรณ (Normalized Difference Vegetation Index: NDVI) เพื่อจำแนกพื้นที่สีเขียวในจังหวัดสระบุรี โดยปรับปรุงการแบ่งช่วงค่าข้อมูลที่ระดับต่าง ๆ จากงานวิจัยของ พิสิษฐ สังขรัตน์ (2560) เพื่อให้สอดคล้องกับพื้นที่ศึกษา ดังนี้ 1) NDVI ที่ช่วงระดับ -1.00 ถึง 0.15 คือ ไม่มีพื้นที่สีเขียว เช่น พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง พื้นที่อุตสาหกรรม และพื้นที่แหล่งน้ำ 2) NDVI ที่ช่วงระดับ 0.16 ถึง 0.55 คือ พื้นที่สีเขียวเบาบาง เช่น พื้นที่เกษตรกรรม และพื้นที่เบ็ดเตล็ด และ 3) NDVI ที่ช่วงระดับ 0.56 ถึง 1.00 คือ พื้นที่สีเขียวหนาแน่น เช่น พื้นที่ป่าไม้ ดัง

ตาราง 24

ตาราง 24 การแบ่งช่วงค่าข้อมูล NDVI เพื่อจำแนกพื้นที่สีเขียวในจังหวัดสระบุรี

Class	NDVI	ประเภท
1	-1.00 ถึง 0.15	ไม่มีพื้นที่สีเขียว
2	0.16 ถึง 0.55	พื้นที่สีเขียวเบาบาง
3	0.56 ถึง 1.00	พื้นที่สีเขียวหนาแน่น

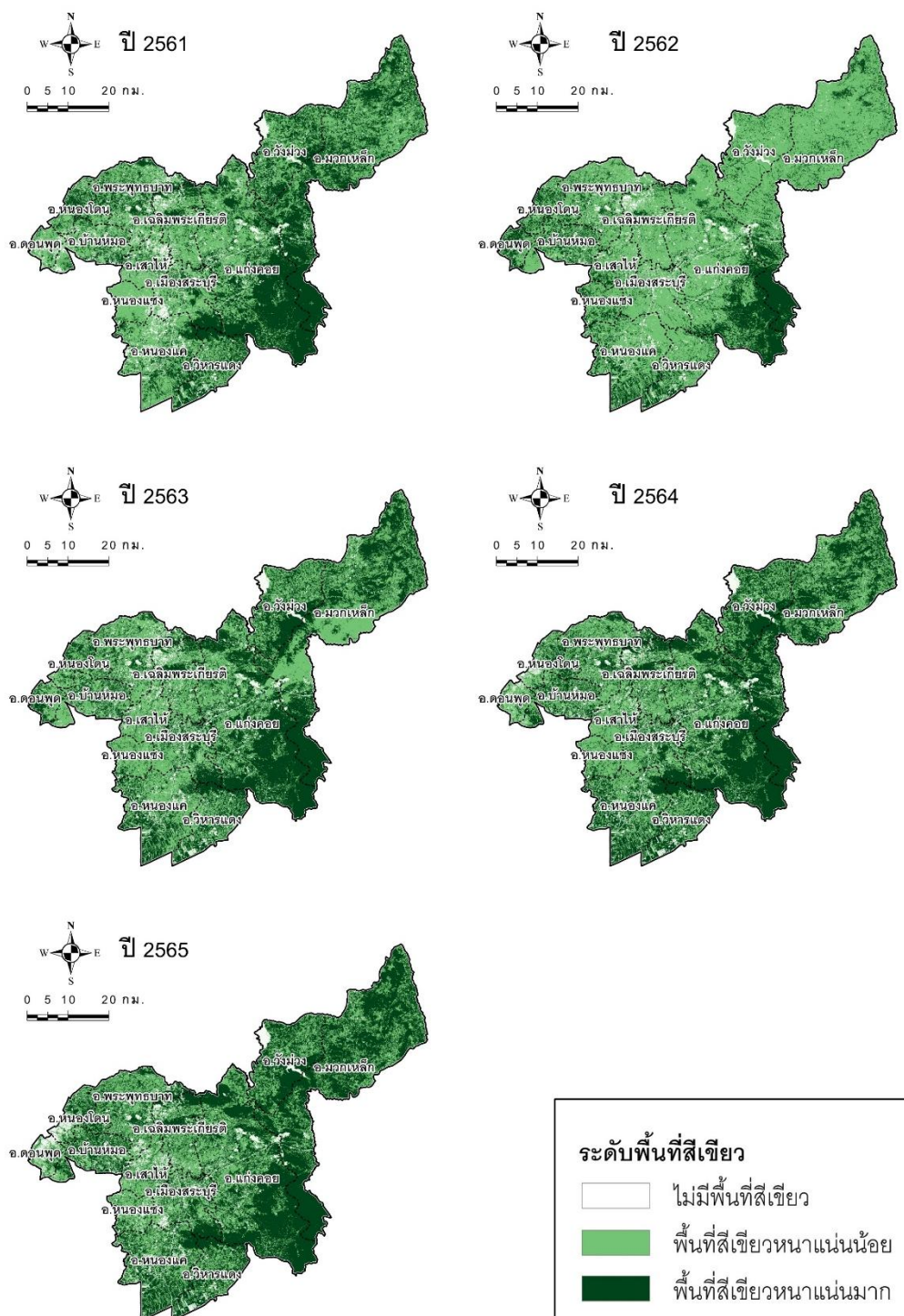
จากการจำแนกพื้นที่สีเขียวในจังหวัดสระบุรีผู้วิจัยได้ดำเนินการตรวจสอบความถูกต้องของกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการจำแนกพื้นที่สีเขียวของทั้ง 5 ปี จำนวน 500 จุดตัวอย่าง และตรวจสอบความถูกต้องด้วย Confusion Matrix ดังตาราง 25 พบว่า ความถูกต้องของผู้ผลิตในประเภทไม่มีพื้นที่สีเขียวอยู่ที่ร้อยละ 0.89 ประเภทพื้นที่สีเขียวเบาบางอยู่ที่ร้อยละ 0.71 และประเภทพื้นที่สีเขียวหนาแน่นอยู่ที่ร้อยละ 0.97 ในขณะที่ความถูกต้องของผู้ใช้งานพบว่า ประเภทไม่มีพื้นที่สีเขียวอยู่ที่ร้อยละ 0.92 ประเภทพื้นที่สีเขียวเบาบางอยู่ที่ร้อยละ 0.84 และประเภทพื้นที่สีเขียวหนาแน่นอยู่ที่ร้อยละ 0.81 สำหรับความถูกต้องของการจำแนกพื้นที่สีเขียวโดยรวมอยู่ที่ 85.60% และค่าสัมประสิทธิ์แคปปาอยู่ที่ 0.78 จากผลการตรวจสอบความถูกต้องดังกล่าวถือว่าอยู่ในระดับที่น่าเชื่อถือสามารถนำการจำแนกประเภทพื้นที่สีเขียวไปใช้เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงได้

ตาราง 25 การตรวจสอบความถูกต้องของการจำแนกพื้นที่สีเขียวด้วย NDVI

	ไม่มีพื้นที่สีเขียว	พื้นที่สีเขียวเบาบาง	พื้นที่สีเขียวหนาแน่น	รวม	User's Accuracy
ไม่มีพื้นที่สีเขียว	147	12	0	159	0.92
พื้นที่สีเขียวเบาบาง	18	121	5	144	0.84
พื้นที่สีเขียวหนาแน่น	0	37	160	197	0.81
รวม	165	170	165	500	
Producer's Accuracy	0.89	0.71	0.97		
Overall Accuracy (%) = 85.60; Kappa Coefficient = 0.78					

ผลการจำแนกพื้นที่สีเขียวในจังหวัดสระบุรีในช่วงเวลา 5 ปี 2561 – 2565 จากภาพประกอบ 18 พบว่าบริเวณที่ไม่มีพื้นที่สีเขียว ส่วนใหญ่เป็น พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง พื้นที่อุตสาหกรรม และพื้นที่แหล่งน้ำ ซึ่งกระจายอยู่ทั่วไปของจังหวัดสระบุรี และพื้นที่สีเขียวเบาบาง ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่เกษตรกรรม และบางส่วนเป็นพื้นที่เบ็ดเตล็ด ส่วนใหญ่จะพบบริเวณฝั่งตะวันตกตอนกลาง บางส่วนทางตอนบน และบางส่วนทางตอนใต้ของจังหวัด ขณะที่พื้นที่สีเขียวหนาแน่น

ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ป่าไม้ครอบคลุมบริเวณฝั่งตะวันตก บางส่วนอยู่บริเวณตอนบน และบางส่วนอยู่บริเวณตอนกลางของจังหวัด จากตาราง 26 พบว่า ปี 2561 บริเวณที่ไม่มีพื้นที่สีเขียวประมาณ 263.19 ตร.กม. หรือร้อยละ 7.27 ของจังหวัด พื้นที่สีเขียวเบาบางมีพื้นที่ประมาณ 1,818.99 ตร.กม. หรือร้อยละ 50.03 ของจังหวัด พื้นที่สีเขียวหนาแน่นมีพื้นที่ประมาณ 1,553.29 ตร.กม. หรือร้อยละ 42.73 ของจังหวัด ปี 2562 บริเวณที่ไม่มีพื้นที่สีเขียวประมาณ 188.93 ตร.กม. หรือร้อยละ 5.20 ของจังหวัด พื้นที่สีเขียวเบาบางมีพื้นที่ประมาณ 2,518.94 ตร.กม. หรือร้อยละ 69.27 ของจังหวัด พื้นที่สีเขียวหนาแน่นมีพื้นที่ประมาณ 928.48 ตร.กม. หรือร้อยละ 25.53 ของจังหวัด ปี 2563 บริเวณที่ไม่มีพื้นที่สีเขียวประมาณ 230.34 ตร.กม. หรือร้อยละ 6.33 ของจังหวัด พื้นที่สีเขียวเบาบางมีพื้นที่ประมาณ 1,771.46 ตร.กม. หรือร้อยละ 48.72 ของจังหวัด พื้นที่สีเขียวหนาแน่นมีพื้นที่ประมาณ 1,634.56 ตร.กม. หรือร้อยละ 44.95 ของจังหวัด ปี 2564 บริเวณที่ไม่มีพื้นที่สีเขียวประมาณ 229.11 ตร.กม. หรือร้อยละ 6.30 ของจังหวัด พื้นที่สีเขียวเบาบางมีพื้นที่ประมาณ 1,569.78 ตร.กม. หรือร้อยละ 43.37 ของจังหวัด พื้นที่สีเขียวหนาแน่นมีพื้นที่ประมาณ 1,837.46 ตร.กม. หรือร้อยละ 50.53 ของจังหวัด และในปี 2565 บริเวณที่ไม่มีพื้นที่สีเขียวประมาณ 247.11 ตร.กม. หรือร้อยละ 6.80 ของจังหวัด พื้นที่สีเขียวเบาบางมีพื้นที่ประมาณ 1,424.64 ตร.กม. หรือร้อยละ 39.18 ของจังหวัด พื้นที่สีเขียวหนาแน่นมีพื้นที่ประมาณ 1,964.60 ตร.กม. หรือร้อยละ 54.03 ของจังหวัด

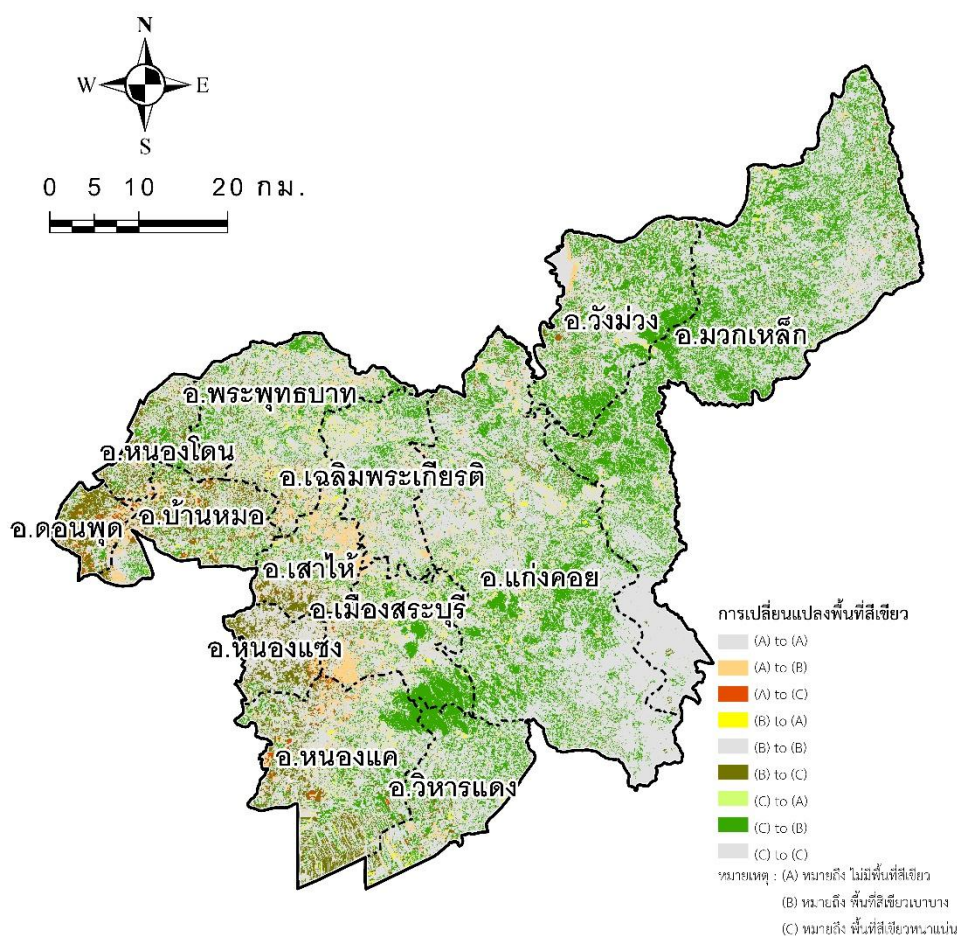


ภาพประกอบ 18 พื้นที่สีเขียวนปี 2561 – 2565 ในจังหวัดสระบุรี

ตาราง 26 ปริมาณพื้นที่สีเขียวปี 2561 - 2565 ในจังหวัดสระบุรี

ปี	ไม่มีพื้นที่สีเขียว		พื้นที่สีเขียวเบาบาง		พื้นที่สีเขียวหนาแน่น	
	พื้นที่ (ตร.กม.)	ร้อยละ	พื้นที่ (ตร.กม.)	ร้อยละ	พื้นที่ (ตร.กม.)	ร้อยละ
2561	263.19	7.24	1,818.99	50.03	1,553.29	42.73
2562	188.93	5.20	2,518.94	69.27	928.48	25.53
2563	230.34	6.33	1,771.46	48.72	1,634.56	44.95
2564	229.11	6.30	1,569.78	43.17	1,837.46	50.53
2565	247.11	6.80	1,424.64	39.18	1,964.60	54.03

สำหรับผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของพื้นที่สีเขียวระหว่างปีในจังหวัดสระบุรี ในงานวิจัยฉบับนี้ผู้วิจัยได้ใช้วิธีการจับคู่จุดภาพของพื้นที่สีเขียว เพื่ออธิบายการเปลี่ยนแปลงในเชิงพื้นที่ในระหว่างปีที่จับคู่กันซึ่งผลการวิเคราะห์พบว่า ในการเปลี่ยนแปลงพื้นที่สีเขียวระหว่างปี 2561 ไปเป็นปี 2562 ดังนี้ 1) ไม่มีพื้นที่สีเขียวในบริเวณเดิมซึ่งไม่พบการเปลี่ยนแปลงจำนวน 1,255,307 จุดภาพ หรือร้อยละ 3.45 ของพื้นที่จังหวัด แต่มีการเปลี่ยนแปลงในพื้นที่ไปเป็นพื้นที่สีเขียวเบาบางจำนวน 1,196,939 จุดภาพ หรือร้อยละ 3.29 ของพื้นที่จังหวัด และมีการเปลี่ยนแปลงเป็นพื้นที่สีเขียวหนาแน่นจำนวน 179,657 จุดภาพ หรือร้อยละ 0.49 ของพื้นที่จังหวัด 2) พื้นที่สีเขียวเบาบางในบริเวณเดิมซึ่งไม่พบการเปลี่ยนแปลงจำนวน 15,369,954 จุดภาพ หรือร้อยละ 42.28 ของพื้นที่จังหวัด แต่มีการเปลี่ยนแปลงในพื้นที่ไปเป็นไม่มีพื้นที่สีเขียวจำนวน 559,651 จุดภาพ หรือร้อยละ 1.54 ของพื้นที่จังหวัด และมีการเปลี่ยนแปลงเป็นพื้นที่สีเขียวหนาแน่นจำนวน 2,260,360 จุดภาพ หรือร้อยละ 6.22 ของพื้นที่จังหวัด 3) พื้นที่สีเขียวหนาแน่นในบริเวณเดิมซึ่งไม่พบการเปลี่ยนแปลงจำนวน 6,844,691 จุดภาพ หรือร้อยละ 18.83 ของพื้นที่จังหวัด แต่มีการเปลี่ยนแปลงในพื้นที่ไปเป็นไม่มีพื้นที่สีเขียวจำนวน 68,365 จุดภาพ หรือร้อยละ 0.19 ของพื้นที่จังหวัด และมีการเปลี่ยนแปลงเป็นพื้นที่สีเขียวเบาบางจำนวน 8,619,795 จุดภาพ หรือร้อยละ 23.71 ของพื้นที่จังหวัด ดังภาพประกอบ 19 และตาราง 27



ภาพประกอบ 19 การเปลี่ยนแปลงพื้นที่สีเขียวจากปี 2561 ไปเป็นปี 2562 ในจังหวัดสระบุรี

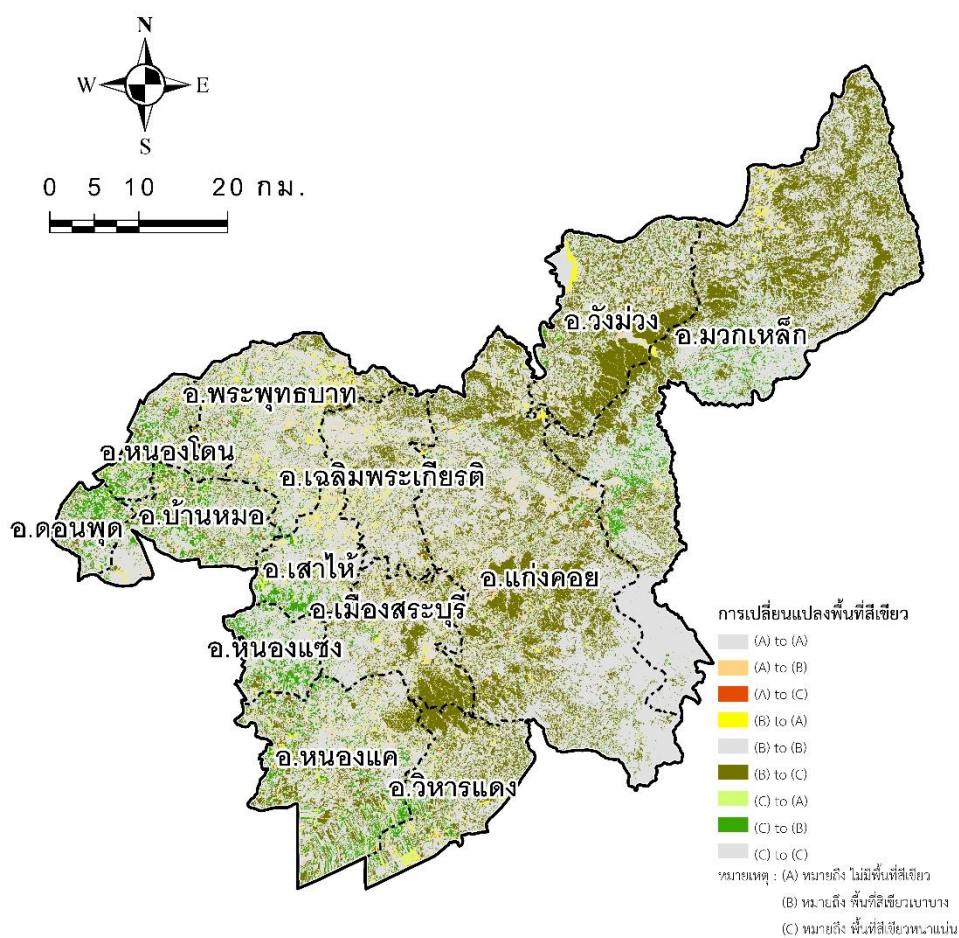
ตาราง 27 การเปลี่ยนแปลงพื้นที่สีเขียวแบบจับคู่จุดภาพระหว่างปี 2561 ไปเป็นปี 2562

		พื้นที่สีเขียวปี 2561		
		ไม่มีพื้นที่สีเขียว	พื้นที่สีเขียวเบาบาง	พื้นที่สีเขียวหนาแน่น
พื้นที่สีเขียวปี 2562	ไม่มีพื้นที่สีเขียว	1,255,307 (3.45%)	559,561 (1.54%)	68,365 (0.19%)
	พื้นที่สีเขียวเบาบาง	1,196,939 (3.29%)	15,369,954 (42.28%)	8,619,795 (23.71%)
	พื้นที่สีเขียวหนาแน่น	179,657 (0.49%)	2,260,360 (6.22%)	6,844,691 (18.83%)

การเปลี่ยนแปลงพื้นที่สีเขียวระหว่างปี 2562 ไปเป็นปี 2563 ดังนี้ 1) ไม่มีพื้นที่สีเขียวในบริเวณเดิมซึ่งไม่พบการเปลี่ยนแปลงจำนวน 1,366,380 จุดภาพ หรือร้อยละ 3.76 ของพื้นที่จังหวัด แต่มีการเปลี่ยนแปลงในพื้นที่ไปเป็นพื้นที่สีเขียวเบาบางจำนวน 471,727 จุดภาพ หรือร้อยละ

ละ 1.30 ของพื้นที่จังหวัด และมีการเปลี่ยนแปลงเป็นพื้นที่สีเขียวหนาแน่นจำนวน 51,464 จุดภาพ หรือร้อยละ 0.14 ของพื้นที่จังหวัด 2) พื้นที่สีเขียวเบาบางในบริเวณเดิมซึ่งไม่พบการเปลี่ยนแปลง จำนวน 15,245,882 จุดภาพ หรือร้อยละ 41.93 ของพื้นที่จังหวัด แต่มีการเปลี่ยนแปลงในพื้นที่ไป เป็นไม่มีพื้นที่สีเขียวจำนวน 830,021 จุดภาพ หรือร้อยละ 2.28 ของพื้นที่จังหวัด และมีการ เปลี่ยนแปลงเป็นพื้นที่สีเขียวหนาแน่นจำนวน 9,113,527 จุดภาพ หรือร้อยละ 25.06 ของพื้นที่ จังหวัด 3) พื้นที่สีเขียวหนาแน่นในบริเวณเดิมซึ่งไม่พบการเปลี่ยนแปลงจำนวน 7,180,613 จุดภาพ หรือร้อยละ 19.75 ของพื้นที่จังหวัด แต่มีการเปลี่ยนแปลงในพื้นที่ไปเป็นไม่มีพื้นที่สีเขียวจำนวน 106,973 จุดภาพ หรือร้อยละ 0.29 ของพื้นที่จังหวัด และมีการเปลี่ยนแปลงเป็นพื้นที่สีเขียวเบา บางจำนวน 1,997,246 จุดภาพ หรือร้อยละ 5.49 ของพื้นที่จังหวัด ดังภาพประกอบ 20 และตาราง 28

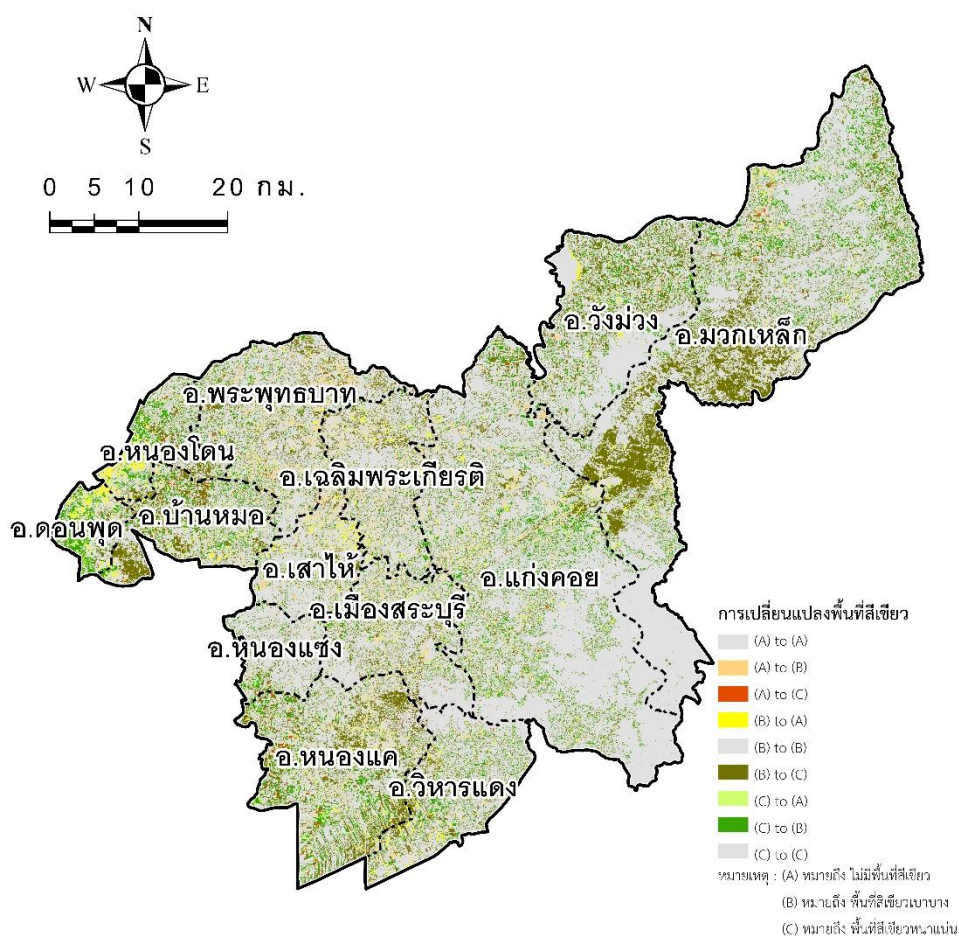
การเปลี่ยนแปลงพื้นที่สีเขียวระหว่างปี 2563 ไปเป็นปี 2564 ดังนี้ 1) ไม่มีพื้นที่สีเขียวใน บริเวณเดิมซึ่งไม่พบการเปลี่ยนแปลงจำนวน 1,338,509 จุดภาพ หรือร้อยละ 3.68 ของพื้นที่ จังหวัด แต่มีการเปลี่ยนแปลงในพื้นที่ไปเป็นพื้นที่สีเขียวเบาบางจำนวน 814,452 จุดภาพ หรือร้อย ละ 2.24 ของพื้นที่จังหวัด และมีการเปลี่ยนแปลงเป็นพื้นที่สีเขียวหนาแน่นจำนวน 150,413 จุดภาพ หรือร้อยละ 0.41 ของพื้นที่จังหวัด 2) พื้นที่สีเขียวเบาบางในบริเวณเดิมซึ่งไม่พบการ เปลี่ยนแปลงจำนวน 11,932,913 จุดภาพ หรือร้อยละ 32.82 ของพื้นที่จังหวัด แต่มีการ เปลี่ยนแปลงในพื้นที่ไปเป็นไม่มีพื้นที่สีเขียวจำนวน 756,881 จุดภาพ หรือร้อยละ 2.08 ของพื้นที่ จังหวัด และมีการเปลี่ยนแปลงเป็นพื้นที่สีเขียวหนาแน่นจำนวน 5,024,761 จุดภาพ หรือร้อยละ 13.82 ของพื้นที่จังหวัด 3) พื้นที่สีเขียวหนาแน่นในบริเวณเดิมซึ่งไม่พบการเปลี่ยนแปลงจำนวน 13,199,400 จุดภาพ หรือร้อยละ 36.30 ของพื้นที่จังหวัด แต่มีการเปลี่ยนแปลงในพื้นที่ไปเป็นไม่มี พื้นที่สีเขียวจำนวน 195,732 จุดภาพ หรือร้อยละ 0.54 ของพื้นที่จังหวัด และมีการเปลี่ยนแปลง เป็นพื้นที่สีเขียวเบาบางจำนวน 2,950,472 จุดภาพ หรือร้อยละ 8.11 ของพื้นที่จังหวัด ดัง ภาพประกอบ 21 และตาราง 29



ภาพประกอบ 20 การเปลี่ยนแปลงพื้นที่สีเขียวจากปี 2562 ไปเป็นปี 2563 ในจังหวัดสระบุรี

ตาราง 28 การเปลี่ยนแปลงพื้นที่สีเขียวแบบจับคู่จุดภาพระหว่างปี 2562 ไปเป็นปี 2563

		พื้นที่สีเขียวปี 2562		
		ไม่มีพื้นที่สีเขียว	พื้นที่สีเขียวเบาบาง	พื้นที่สีเขียวหนาแน่น
พื้นที่สีเขียวปี 2563	ไม่มีพื้นที่สีเขียว	1,366,380 (3.76%)	830,021 (2.28%)	106,973 (0.29%)
	พื้นที่สีเขียวเบาบาง	471,427 (1.30%)	15,245,882 (41.93%)	1,997,246 (5.49%)
	พื้นที่สีเขียวหนาแน่น	51,464 (0.14%)	9,113,527 (25.06%)	7,180,613 (19.75%)



ภาพประกอบ 21 การเปลี่ยนแปลงพื้นที่สีเขียวจากปี พ.ศ.2563 ไปเป็นปี 2564 ในจังหวัดสระบุรี

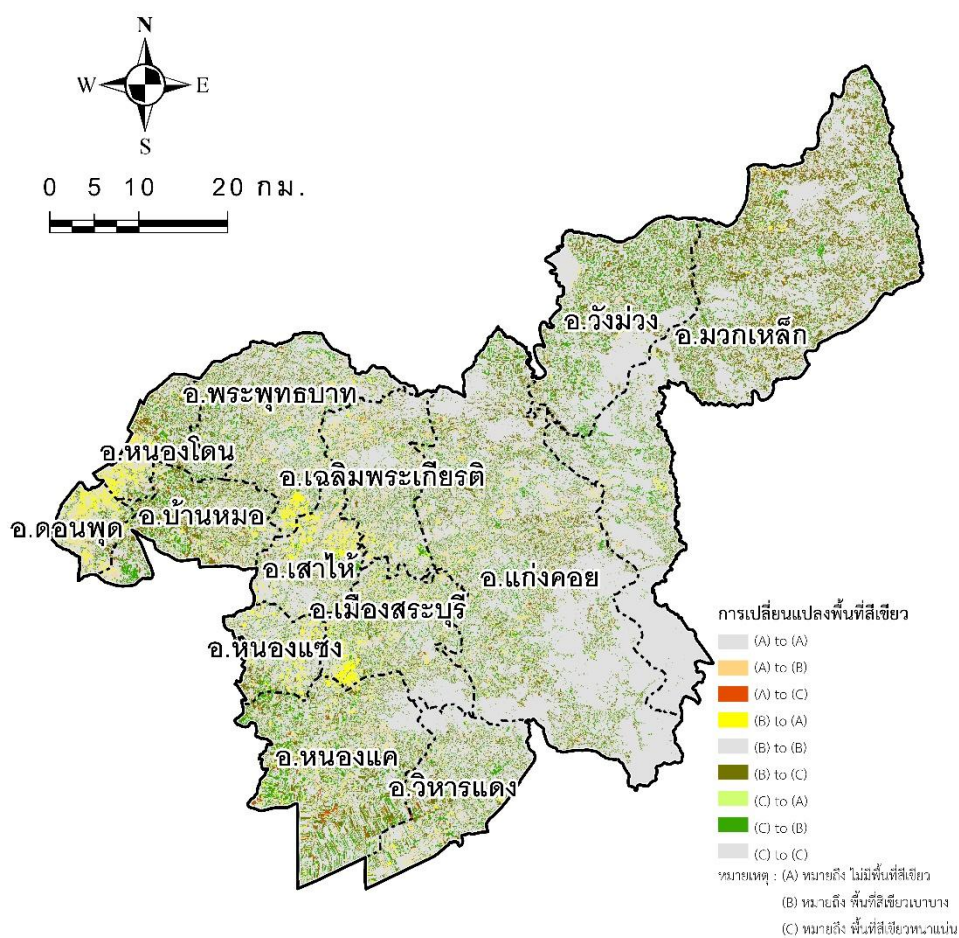
ตาราง 29 การเปลี่ยนแปลงพื้นที่สีเขียวแบบจับคู่จุดภาพระหว่างปี 2563 ไปเป็นปี 2564

		พื้นที่สีเขียวปี 2563		
		ไม่มีพื้นที่สีเขียว	พื้นที่สีเขียวเบาบาง	พื้นที่สีเขียวหนาแน่น
พื้นที่สีเขียวปี 2564	ไม่มีพื้นที่สีเขียว	1,338,509 (3.68%)	756,881 (2.08%)	195,732 (0.54%)
	พื้นที่สีเขียวเบาบาง	814,452 (2.24%)	11,932,913 (32.82%)	2,950,472 (8.11%)
	พื้นที่สีเขียวหนาแน่น	150,413 (0.41%)	5,024,761 (13.82%)	13,199,400 (36.30%)

การเปลี่ยนแปลงพื้นที่สีเขียวระหว่างปี 2564 ไปเป็นปี 2565 ดังนี้ 1) ไม่มีพื้นที่สีเขียวในบริเวณเดิมซึ่งไม่พบการเปลี่ยนแปลงจำนวน 1,362,954 จุดภาพ หรือร้อยละ 3.75 ของพื้นที่จังหวัด แต่มีการเปลี่ยนแปลงในพื้นที่ไปเป็นพื้นที่สีเขียวเบาบางจำนวน 777,484 จุดภาพ หรือร้อยละ

ละ 2.14 ของพื้นที่จังหวัด และมีการเปลี่ยนแปลงเป็นพื้นที่สีเขียวหนาแน่นจำนวน 150,684 จุดภาพ หรือร้อยละ 0.41 ของพื้นที่จังหวัด 2) พื้นที่สีเขียวเบาบางในบริเวณเดิมซึ่งไม่พบการเปลี่ยนแปลงจำนวน 10,334,074 จุดภาพ หรือร้อยละ 28.42 ของพื้นที่จังหวัด แต่มีการเปลี่ยนแปลงในพื้นที่ไปเป็นไม่มีพื้นที่สีเขียวจำนวน 981,921 จุดภาพ หรือร้อยละ 2.70 ของพื้นที่จังหวัด และมีการเปลี่ยนแปลงเป็นพื้นที่สีเขียวหนาแน่นจำนวน 4,381,842 จุดภาพ หรือร้อยละ 12.05 ของพื้นที่จังหวัด 3) พื้นที่สีเขียวหนาแน่นในบริเวณเดิมซึ่งไม่พบการเปลี่ยนแปลงจำนวน 15,113,427 จุดภาพ หรือร้อยละ 41.56 ของพื้นที่จังหวัด แต่มีการเปลี่ยนแปลงในพื้นที่ไปเป็นไม่มีพื้นที่สีเขียวจำนวน 126,268 จุดภาพ หรือร้อยละ 0.35 ของพื้นที่จังหวัด และมีการเปลี่ยนแปลงเป็นพื้นที่สีเขียวเบาบางจำนวน 3,134,879 จุดภาพ หรือร้อยละ 8.62 ของพื้นที่จังหวัด ดังภาพประกอบ 22 และตาราง 30

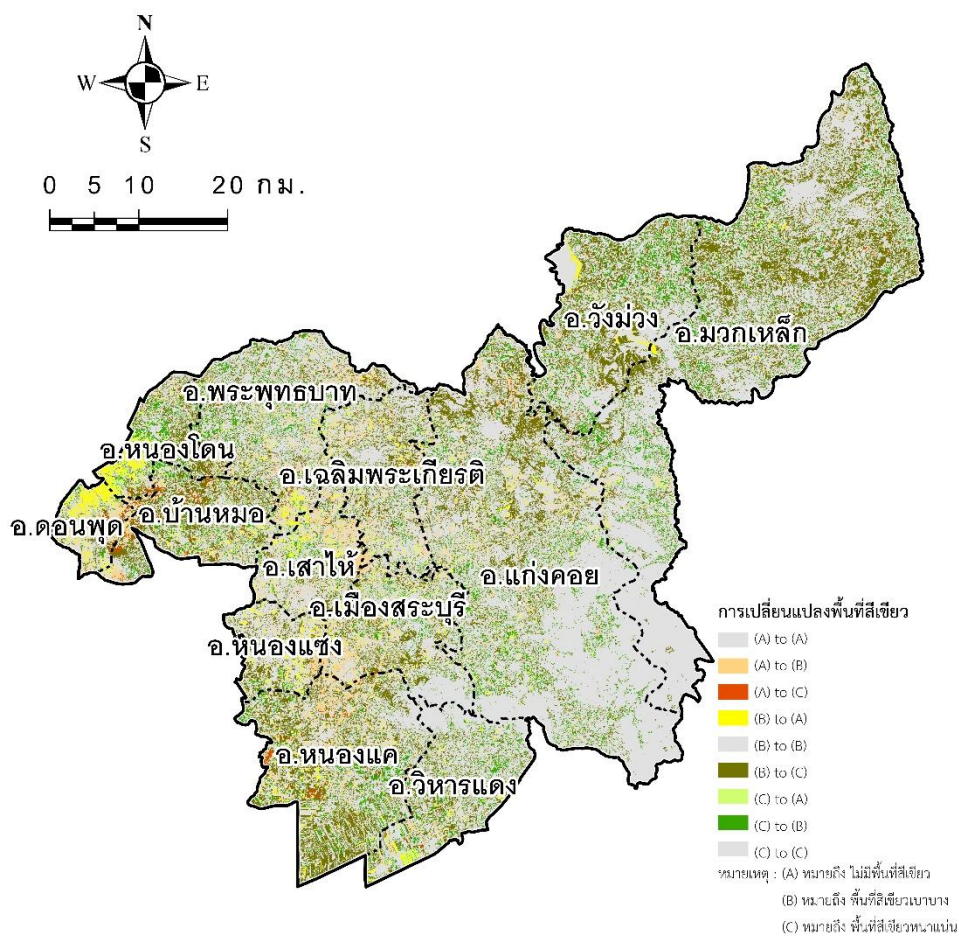
และการเปลี่ยนแปลงพื้นที่สีเขียวในช่วง 5 ปี 2561 ไปเป็นปี 2565 ดังนี้ 1) ไม่มีพื้นที่สีเขียวในบริเวณเดิมซึ่งไม่พบการเปลี่ยนแปลงจำนวน 1,250,541 จุดภาพ หรือร้อยละ 3.44 ของพื้นที่จังหวัด แต่มีการเปลี่ยนแปลงในพื้นที่ไปเป็นพื้นที่สีเขียวเบาบางจำนวน 1,128,485 จุดภาพ หรือร้อยละ 3.11 ของพื้นที่จังหวัด และมีการเปลี่ยนแปลงเป็นพื้นที่สีเขียวหนาแน่นจำนวน 252,877 จุดภาพ หรือร้อยละ 0.70 ของพื้นที่จังหวัด 2) พื้นที่สีเขียวเบาบางในบริเวณเดิมซึ่งไม่พบการเปลี่ยนแปลงจำนวน 10,428,861 จุดภาพ หรือร้อยละ 28.69 ของพื้นที่จังหวัด แต่มีการเปลี่ยนแปลงในพื้นที่ไปเป็นไม่มีพื้นที่สีเขียวจำนวน 1,008,547 จุดภาพ หรือร้อยละ 2.77 ของพื้นที่จังหวัด และมีการเปลี่ยนแปลงเป็นพื้นที่สีเขียวหนาแน่นจำนวน 6,752,467 จุดภาพ หรือร้อยละ 18.57 ของพื้นที่จังหวัด 3) พื้นที่สีเขียวหนาแน่นในบริเวณเดิมซึ่งไม่พบการเปลี่ยนแปลงจำนวน 12,639,711 จุดภาพ หรือร้อยละ 34.77 ของพื้นที่จังหวัด แต่มีการเปลี่ยนแปลงในพื้นที่ไปเป็นไม่มีพื้นที่สีเขียวจำนวน 205,977 จุดภาพ หรือร้อยละ 0.57 ของพื้นที่จังหวัด และมีการเปลี่ยนแปลงเป็นพื้นที่สีเขียวเบาบางจำนวน 2,687,163 จุดภาพ หรือร้อยละ 7.39 ของพื้นที่จังหวัด ดังภาพประกอบ 23 และตาราง 31



ภาพประกอบ 22 การเปลี่ยนแปลงพื้นที่สีเขียวจากปี พ.ศ.2564 ไปเป็นปี 2565 ในจังหวัดสระบุรี

ตาราง 30 การเปลี่ยนแปลงพื้นที่สีเขียวแบบจับคู่จุดภาพระหว่างปี 2564 ไปเป็นปี 2565

		พื้นที่สีเขียวปี 2564		
		ไม่มีพื้นที่สีเขียว	พื้นที่สีเขียวเบาบาง	พื้นที่สีเขียวหนาแน่น
พื้นที่สีเขียวปี 2565	ไม่มีพื้นที่สีเขียว	1,362,954 (3.75%)	981,921 (2.70%)	126,268 (0.35%)
	พื้นที่สีเขียวเบาบาง	777,484 (2.14%)	10,334,074 (28.42%)	3,134,879 (8.62%)
	พื้นที่สีเขียวหนาแน่น	150,684 (0.41%)	4,381,842 (12.05%)	15,113,427 (41.56%)



ภาพประกอบ 23 การเปลี่ยนแปลงพื้นที่สีเขียวในช่วง 5 ปี 2561 ไปเป็นปี 2565 ในจังหวัดสระบุรี

ตาราง 31 การเปลี่ยนแปลงพื้นที่สีเขียวแบบจับคู่จุดภาพระหว่างปี 2561 ไปเป็นปี 2565

		พื้นที่สีเขียวปี 2561		
		ไม่มีพื้นที่สีเขียว	พื้นที่สีเขียวเบาบาง	พื้นที่สีเขียวหนาแน่น
พื้นที่สีเขียวปี 2565	ไม่มีพื้นที่สีเขียว	1,250,541 (3.44%)	1,008,547 (2.77%)	205,977 (0.57%)
	พื้นที่สีเขียวเบาบาง	1,128,485 (3.11%)	10,428,861 (28.69%)	2,687,163 (7.39%)
	พื้นที่สีเขียวหนาแน่น	252,877 (0.70%)	6,752,467 (18.57%)	12,639,711 (34.77%)

4.3 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่น PM2.5 กับพื้นที่สีเขียวในจังหวัดสระบุรี

การศึกษาครั้งนี้ได้ทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ระหว่างฝุ่น PM2.5 กับพื้นที่สีเขียว (Normalized Difference Vegetation Index: NDVI) ในจังหวัดสระบุรี ครอบคลุมในช่วง

ระยะเวลา 5 ปี 2561-2565 ด้วยการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (Correlation Analysis) เพื่อตรวจสอบระดับความสัมพันธ์ ทิศทางของความสัมพันธ์ และความมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยตาราง 32 และภาพประกอบที่ 24 แสดงผลการวิเคราะห์พบว่า ปี 2561 ค่าความสัมพันธ์ระหว่าง NDVI กับ PM2.5 มีค่า R^2 เท่ากับ 0.79 และ Coefficient เท่ากับ -14.29 แสดงถึงความสัมพันธ์ในระดับสูง และมีความสัมพันธ์อยู่ในทิศทางลบ ซึ่งให้เห็นว่าตัวแปรทั้งสองมีการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางตรงข้ามกัน และเมื่อพื้นที่สีเขียวเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ค่าฝุ่น PM2.5 ลดลงเฉลี่ย 14.29 มก./ลบ.ม. ต่อหน่วย NDVI การกระจายของข้อมูลแสดงให้เห็นลักษณะเส้นตรงที่สัมพันธ์กันดี และ P-value เท่ากับ 0.00 แสดงความน่าเชื่อถือของการวิเคราะห์นี้

ปี 2562 ค่าความสัมพันธ์ระหว่าง NDVI กับ PM2.5 มีค่า R^2 เท่ากับ 0.69 และ Coefficient เท่ากับ -12.63 แสดงให้เห็นแนวโน้มที่คล้ายคลึงกันกับปี 2561 แม้ว่าความสัมพันธ์จะลดลงเล็กน้อย แต่ก็ยังมีความสัมพันธ์ในระดับสูง และมีความสัมพันธ์อยู่ในทิศทางลบ ซึ่งให้เห็นว่าตัวแปรทั้งสองมีการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางตรงข้ามกัน โดย NDVI มีผลต่อการลดลงของค่า PM2.5 ได้เฉลี่ย 12.63 มก./ลบ.ม. ต่อหน่วย NDVI ซึ่งบ่งชี้ได้ว่าพื้นที่สีเขียวยังคงมีบทบาทอย่างมากต่อการลดฝุ่น PM2.5 ในพื้นที่จังหวัดสระบุรี

แต่ผลการวิเคราะห์ ปี 2563 พบว่ามีค่าความสัมพันธ์ต่ำที่สุดในชุดข้อมูล คือ R^2 เท่ากับ 0.38 และ Coefficient เท่ากับ -5.86 ซึ่งการลดลงของค่าความสัมพันธ์อาจเป็นผลมาจากปัจจัยแวดล้อมอื่นที่เกิดขึ้นเด่นชัดในปีนี้ เช่น การเผาไหม้ที่เกิดจากการเผาในพื้นที่เกษตรกรรม และการเผาในพื้นที่ป่าไม้ โดยเฉพาะในเดือนกุมภาพันธ์ที่ค่าฝุ่น PM2.5 สูงเกินเกณฑ์มาตรฐานและครอบคลุมพื้นที่จังหวัดสระบุรีสูงสุดกว่าทุก ๆ ปี ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลจุดความร้อนของกรมป่าไม้ที่ได้เก็บข้อมูล และวิเคราะห์ข้อมูล hotspot จากดาวเทียม Terra ดาวเทียม Aqua ดาวเทียม Suomi-NPP และดาวเทียม NOAA-20 (กรมป่าไม้, ม.ป.ป.) จากข้อมูลที่เกิดขึ้นดังกล่าวส่งผลให้ฝุ่น PM2.5 สูงกว่าปกติและครอบคลุมพื้นที่โดยรอบพื้นที่จังหวัดสระบุรี จึงทำให้ความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่น PM2.5 กับ NDVI มีความสัมพันธ์ในระดับปานกลาง แต่อย่างไรก็ตามความสัมพันธ์ยังคงมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยในปีนี้แสดงถึงความสัมพันธ์ในระดับต่ำ และทิศทางความสัมพันธ์เป็นลบ ซึ่งให้เห็นว่าตัวแปรทั้งสองมีการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางตรงข้ามกัน เมื่อพื้นที่สีเขียวเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ค่าฝุ่น PM2.5 ลดลงเฉลี่ย 5.86 มก./ลบ.ม. ต่อหน่วย NDVI

สำหรับปี 2564 ค่าความสัมพันธ์กลับมาสูงขึ้นอีกครั้ง โดยมี R^2 เท่ากับ 0.77 และ Coefficient เท่ากับ -7.10 แม้ว่าความชันจะไม่สูงเท่ากับปี พ.ศ. 2561-2562 แต่ยังคงแสดงถึงความสัมพันธ์ในระดับสูง และมีทิศทางความสัมพันธ์เป็นลบอย่างมีนัยสำคัญ NDVI มีแนวโน้ม

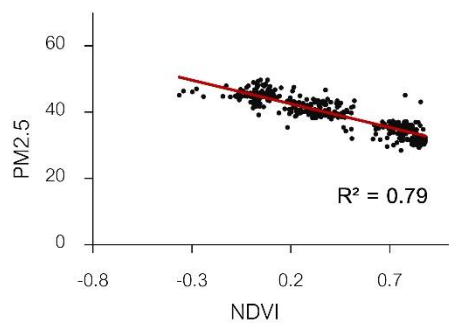
เพิ่มขึ้นจากปีที่ผ่านมา ชี้ให้เห็นว่าเมื่อพื้นที่สีเขียวเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ค่าฝุ่น PM2.5 ลดลงเฉลี่ย 7.10 มคก./ ลบ.ม. ต่อหน่วย NDVI

และปี 2565 มีค่าความสัมพันธ์สูงที่สุดในช่วง 5 ปี คือ R^2 เท่ากับ 0.82 และ Coefficient เท่ากับ -11.31 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าพื้นที่สีเขียวมีบทบาทต่อการลดลงของฝุ่น PM2.5 อย่างมีนัยสำคัญที่สุด โดยความสัมพันธ์อยู่ในระดับสูงมาก และทิศทางความสัมพันธ์ของทั้งสองตัวแปรเป็นลบ ชี้ให้เห็นว่า NDVI สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของฝุ่น PM2.5 ได้ลดลงเฉลี่ย 11.31 มคก./ ลบ.ม. ต่อหน่วย NDVI ซึ่งผลการวิเคราะห์ยืนยันบทบาทของพื้นที่สีเขียวในการบรรเทาผลกระทบทางอากาศได้อย่างชัดเจน

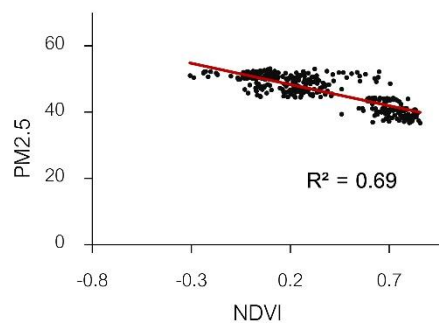
จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลทั้ง 5 ปี พบว่า NDVI มีความสัมพันธ์เชิงลบอย่างมีนัยสำคัญกับค่าฝุ่น PM2.5 ในทุกปี แสดงให้เห็นว่าการมีพื้นที่สีเขียวมากขึ้นมีแนวโน้มที่จะช่วยลดปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 ได้ โดยผลลัพธ์ของงานวิจัยฉบับนี้สอดคล้องกับงานวิจัยในระดับนานาชาติที่ระบุว่า พื้นที่สีเขียวทำหน้าที่กรองอากาศ และดูดซับฝุ่นละอองในอากาศได้โดยตรง แต่แนวโน้มของความสัมพันธ์อาจผันผวนตามสถานการณ์ทางเศรษฐกิจ กิจกรรมทางสังคม และสภาพภูมิอากาศในแต่ละปี อย่างไรก็ตามความสัมพันธ์ที่ปรากฏในระยะยาวยังคงมีความสอดคล้องเชิงทิศทางอย่างมีนัยสำคัญ

ตาราง 32 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่น PM2.5 กับพื้นที่สีเขียวในจังหวัดสระบุรี

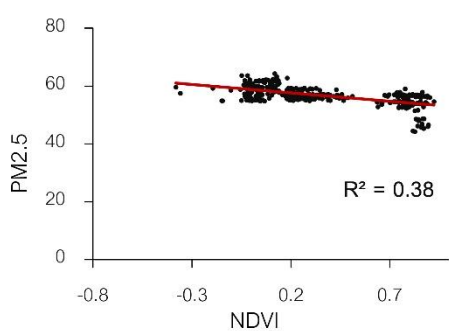
ปี	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2)	ความหมาย	P-value	Coefficient
2561	0.79	สูง	0.00	- 14.29
2562	0.69	สูง	0.00	- 12.63
2563	0.38	ต่ำ	0.00	- 5.86
2564	0.77	สูง	0.00	- 7.10
2565	0.82	สูงมาก	0.00	-11.31



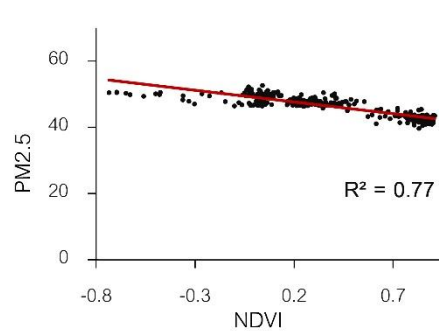
ปี 2561



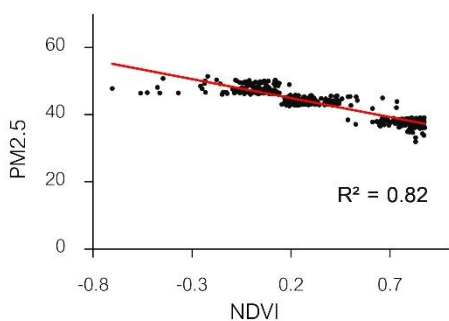
ปี 2562



ปี 2563



ปี 2564



ปี 2565

ภาพประกอบ 24 ความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่น PM2.5 กับพื้นที่สีเขียวในจังหวัดสระบุรี

บทที่ 5

สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 กับพื้นที่สีเขียวในจังหวัดสระบุรี ได้วิเคราะห์รูปแบบการกระจายตัวของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 จากดาวเทียมระบบ MODIS วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงพื้นที่สีเขียวด้วยข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม Sentinel-2 และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 กับพื้นที่สีเขียวจากดัชนีพืชพรรณในจังหวัดสระบุรี โดยการศึกษาสามารถสรุปผลด้วยหัวข้อดังต่อไปนี้

1. สรุปผลการศึกษา
2. อภิปรายผลการศึกษา
3. ข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 กับพื้นที่สีเขียวในจังหวัดสระบุรี สามารถสรุปผลการศึกษาดังต่อไปนี้

5.1.1 วิเคราะห์รูปแบบการกระจายตัวของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 ด้วย AOD จากดาวเทียมระบบ MODIS และข้อมูลอุตุนิยมวิทยาในจังหวัดสระบุรี

ในการวิเคราะห์รูปแบบการกระจายตัวของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 ด้วย AOD จากดาวเทียมระบบ MODIS และข้อมูลอุตุนิยมวิทยาในจังหวัดสระบุรี งานวิจัยฉบับนี้ได้นำข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมมาประมวลผลการประมาณค่าฝุ่น PM2.5 โดยใช้แบบจำลอง Multiple Linear Regression (MLR) มาประมาณค่าด้วยตัวแปรจำนวน 4 ตัวแปร ได้แก่ AOD คุณหมุมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลม และนำมาประมาณค่าในปี 2566 เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง ซึ่งผลการวิเคราะห์การประมาณค่าฝุ่น PM2.5 จากแบบจำลอง MLR กับสถานีตรวจวัดโดยรอบพื้นที่จังหวัดสระบุรีพบว่า แบบจำลองมีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (RMSE) อยู่ที่ 10.65 มคก./ลบ.ม. และมีความสัมพันธ์ R^2 เท่ากับ 0.60 ซึ่งความสัมพันธ์อยู่ในระดับปานกลางตามเกณฑ์ของ (Bartz, 1999 อ้างอิงใน สมถวิล วิจิตรวรรณ, 2022)

จากผลการวิเคราะห์การทดสอบแบบจำลองการประมาณค่าฝุ่น PM2.5 ผู้วิจัยได้นำแบบจำลองไปใช้ในการประมาณค่าฝุ่น PM2.5 ในจังหวัดสระบุรี ในช่วงเวลา 5 ปี (2561 – 2565) โดยประมาณค่าฝุ่น PM2.5 รายวัน และนำมาหาค่าเฉลี่ยในรายเดือน เพื่อศึกษาแนวโน้มที่เกิดฝุ่น PM2.5 ในระหว่างเดือนว่าสอดคล้องกับช่วงเปลี่ยนผ่านฤดูกาลอย่างไร พบว่า ปี 2561 มีฝุ่น

PM2.5 ตลอดปีต่ำสุดอยู่ที่ -6.0 มคก./ ลบ.ม. และสูงสุดอยู่ที่ 116.8 มคก./ ลบ.ม. ขณะที่พื้นที่ประสบปัญหาฝุ่น PM2.5 เกินค่ามาตรฐานเกือบตลอดทั้งปี โดยช่วงแรกระหว่างเดือน มกราคม – มิถุนายน ช่วงที่ 2 คือ เดือนสิงหาคม และช่วงที่ 3 ระหว่างเดือน ตุลาคม – ธันวาคม ซึ่งทั้ง 3 ช่วงนี้พบว่าเดือนกุมภาพันธ์ประสบปัญหาฝุ่น PM2.5 เกินค่ามาตรฐานครอบคลุมพื้นที่สูงสุดประมาณ 3,491.19 ตร.กม. หรือร้อยละ 97.61 ของพื้นที่จังหวัด และเดือนตุลาคมประสบปัญหาฝุ่น PM2.5 เกินค่ามาตรฐานครอบคลุมพื้นที่น้อยสุดประมาณ 5.77 ตร.กม. หรือร้อยละ 0.16 ของพื้นที่จังหวัด

ขณะที่ปี 2562 มีฝุ่น PM2.5 ตลอดปีต่ำสุดอยู่ที่ -6.1 มคก./ ลบ.ม. และสูงสุดอยู่ที่ 116.6 มคก./ ลบ.ม. และพื้นที่ประสบปัญหาฝุ่น PM2.5 เกินค่ามาตรฐานเกือบตลอดทั้งปี โดยช่วงแรกระหว่างเดือน มกราคม – มิถุนายน และในช่วงเดือนตุลาคม และเดือนธันวาคม ซึ่งเดือนกุมภาพันธ์ประสบปัญหาฝุ่น PM2.5 เกินค่ามาตรฐานครอบคลุมพื้นที่สูงสุดประมาณ 3,498.88 ตร.กม. หรือร้อยละ 97.83 ของพื้นที่จังหวัด และเดือนมิถุนายนประสบปัญหาฝุ่น PM2.5 เกินค่ามาตรฐานครอบคลุมพื้นที่น้อยสุดประมาณ 20.19 ตร.กม. หรือร้อยละ 0.56 ของพื้นที่จังหวัด

ขณะที่ปี 2563 มีฝุ่น PM2.5 ตลอดปีต่ำสุดอยู่ที่ -5.2 มคก./ ลบ.ม. และสูงสุดอยู่ที่ 137.6 มคก./ ลบ.ม. และพื้นที่ประสบปัญหาฝุ่น PM2.5 เกินค่ามาตรฐานเกือบตลอดทั้งปี โดยช่วงแรกระหว่างเดือน มกราคม – พฤษภาคม และในช่วงเดือนกันยายน - ตุลาคม และเดือนธันวาคม ซึ่งเดือนกุมภาพันธ์ และมีนาคม ประสบปัญหาฝุ่น PM2.5 เกินค่ามาตรฐานครอบคลุมพื้นที่สูงสุดประมาณ 3,497.92 ตร.กม. หรือร้อยละ 97.80 ของพื้นที่จังหวัด และเดือนกันยายนประสบปัญหาฝุ่น PM2.5 เกินค่ามาตรฐานครอบคลุมพื้นที่น้อยสุดประมาณ 5.78 ตร.กม. หรือร้อยละ 0.16 ของพื้นที่จังหวัด

ในปี 2564 มีฝุ่น PM2.5 ตลอดปีต่ำสุดอยู่ที่ -5.9 มคก./ ลบ.ม. และสูงสุดอยู่ที่ 175.7 มคก./ ลบ.ม. ขณะที่พื้นที่ประสบปัญหาฝุ่น PM2.5 เกินค่ามาตรฐานเกือบตลอดทั้งปี โดยช่วงแรกระหว่างเดือน มกราคม – พฤษภาคม และในเดือนกันยายน และช่วงเดือนพฤศจิกายน - ธันวาคม โดยในเดือนกุมภาพันธ์ประสบปัญหาฝุ่น PM2.5 เกินค่ามาตรฐานครอบคลุมพื้นที่สูงสุดประมาณ 3,498.88 ตร.กม. หรือร้อยละ 97.83 ของพื้นที่จังหวัด และเดือนกันยายนประสบปัญหาฝุ่น PM2.5 เกินค่ามาตรฐานครอบคลุมพื้นที่น้อยสุดประมาณ 0.96 ตร.กม. หรือร้อยละ 0.03 ของพื้นที่จังหวัด

และในปี 2565 มีฝุ่น PM2.5 ตลอดปีต่ำสุดอยู่ที่ -6.1 มคก./ ลบ.ม. และสูงสุดอยู่ที่ 150.3 มคก./ ลบ.ม. และพื้นที่ประสบปัญหาฝุ่น PM2.5 เกินค่ามาตรฐานเกือบตลอดทั้งปี โดยช่วงแรกระหว่างเดือน มกราคม – เมษายน และในช่วงเดือนกรกฎาคม - กันยายน และเดือนพฤศจิกายน ซึ่งเดือนมีนาคมประสบปัญหาฝุ่น PM2.5 เกินค่ามาตรฐานครอบคลุมพื้นที่สูงสุดประมาณ 3,499.84 ตร.กม. หรือ

ร้อยละ 97.86 ของพื้นที่จังหวัด และเดือนกรกฎาคมประสบปัญหาฝุ่น PM2.5 เกินค่ามาตรฐาน ครอบคลุมพื้นที่น้อยสุดประมาณ 2.89 ตร.กม. หรือร้อยละ 0.08 ของพื้นที่จังหวัด

สำหรับการวิเคราะห์รูปแบบการกระจายตัวของฝุ่น PM2.5 ในจังหวัดสระบุรีในช่วงปี 2561 - 2565 ด้วยวิธีทางสถิติ Spatial Auto Correlation (Moran's I) เพื่อวิเคราะห์รูปแบบการกระจายตัวของฝุ่น PM2.5 โดยการศึกษาพบว่า จังหวัดสระบุรีมีรูปแบบการกระจายตัวของฝุ่น PM2.5 ในลักษณะแบบเกาะกลุ่ม (Cluster) เนื่องจากทั้ง 5 ปี มีค่าทางสถิติ Moran's I อยู่ระหว่าง 0.639 – 0.913 ซึ่งมากกว่า 0 บ่งชี้ถึงลักษณะการเกาะกลุ่มของข้อมูลที่มีค่า $p\text{-value} < 0.05$ ที่ระดับการกระจายตัวของข้อมูลฝุ่น PM2.5 อย่างมีนัยสำคัญทั้ง 5 ปี จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติ Moran's I ดังกล่าวผู้วิจัยได้นำมาวิเคราะห์ Getis-Ord G_i^* เพื่อหาตำแหน่งพื้นที่ที่มีค่าสูงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ Hot Spot และตำแหน่งพื้นที่ที่มีค่าต่ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ Cold Spot สามารถอธิบายบริเวณที่พบฝุ่น PM2.5 และนำมาวิเคราะห์ร่วมกับข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินของกรมพัฒนาที่ดิน เพื่อบ่งชี้การใช้ประโยชน์หรือกิจกรรมต่าง ๆ ในพื้นที่ พบว่าปี 2561 มี Hot Spot สูงสุดที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 99% พบการรวมกลุ่มของข้อมูลบริเวณฝั่งตะวันตก และบริเวณตอนใต้ของจังหวัด ซึ่งครอบคลุมพื้นที่รวมประมาณ 629.36 ตร.กม. หรือร้อยละ 17.30 ของพื้นที่จังหวัด โดยส่วนใหญ่เป็นพื้นที่เกษตรกรรม ร้อยละ 12.46 ของพื้นที่จังหวัด ขณะที่บริเวณ Cold Spot ต่ำสุดที่ระดับความเชื่อมั่น 99% พบการรวมกลุ่มของข้อมูลบริเวณฝั่งตะวันออก และบางส่วนของตอนเหนือของจังหวัด ซึ่งครอบคลุมพื้นที่รวมประมาณ 723.89 ตร.กม. หรือร้อยละ 19.90 ของพื้นที่จังหวัด ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ป่าไม้ ร้อยละ 11.38 ของพื้นที่จังหวัด สำหรับปี 2562 พบว่าบริเวณที่มี Hot Spot สูงสุดที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 99% พบการรวมกลุ่มของข้อมูลบริเวณฝั่งตะวันตก และบริเวณตอนใต้ของจังหวัด ซึ่งครอบคลุมพื้นที่รวมประมาณ 675.56 ตร.กม. หรือร้อยละ 18.57 ของพื้นที่จังหวัด ซึ่งส่วนใหญ่เป็นพื้นที่เกษตรกรรม ร้อยละ 14.34 ของพื้นที่จังหวัด ขณะที่บริเวณ Cold Spot ต่ำสุดที่ระดับความเชื่อมั่น 99% พบการรวมกลุ่มของข้อมูลบริเวณฝั่งตะวันออก และบางส่วนของตอนเหนือของจังหวัด ซึ่งครอบคลุมพื้นที่รวมประมาณ 618.82 ตร.กม. หรือร้อยละ 17.01 ของพื้นที่จังหวัด บริเวณส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ป่าไม้ ร้อยละ 9.74 ของพื้นที่จังหวัด ในปี 2563 พบว่าบริเวณที่มี Hot Spot สูงสุดที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 99% พบการรวมกลุ่มของข้อมูลบริเวณฝั่งตะวันตก และบริเวณตอนใต้ของจังหวัด ซึ่งครอบคลุมพื้นที่รวมประมาณ 571.71 ตร.กม. หรือร้อยละ 15.72 ของพื้นที่จังหวัด ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่เกษตรกรรม ร้อยละ 9.66 ของพื้นที่จังหวัด แต่อย่างไรก็ตามบริเวณ Cold Spot ต่ำสุดที่ระดับความเชื่อมั่น 99% พบการรวมกลุ่มของข้อมูลบริเวณบางส่วนของตอนเหนือ และตอนกลางของจังหวัด ซึ่งครอบคลุมพื้นที่รวมประมาณ 497.42

ตร.กม. หรือร้อยละ 13.68 ของพื้นที่จังหวัด ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่เกษตรกรรม รองลงมาเป็นพื้นที่ป่าไม้ ร้อยละ 5.55 ของพื้นที่จังหวัด และร้อยละ 4.76 ของพื้นที่จังหวัด ตามลำดับ สำหรับปี 2564 พบว่าบริเวณที่มี Hot Spot สูงสุดที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 99% พบการรวมกลุ่มของข้อมูลบริเวณตอนใต้ และบางส่วนในฝั่งตะวันตกของจังหวัด ซึ่งครอบคลุมพื้นที่รวมประมาณ 372.66 ตร.กม. หรือร้อยละ 10.25 ของพื้นที่จังหวัด บริเวณดังกล่าวส่วนใหญ่เป็นพื้นที่เกษตรกรรม ร้อยละ 6.78 ของพื้นที่จังหวัด ขณะที่บริเวณ Cold Spot ต่ำสุดที่ระดับความเชื่อมั่น 99% พบการรวมกลุ่มของข้อมูลส่วนใหญ่บริเวณฝั่งตะวันออก และบางส่วนในตอนกลางของจังหวัด ซึ่งครอบคลุมพื้นที่รวมประมาณ 520.49 ตร.กม. หรือร้อยละ 14.31 ของพื้นที่จังหวัด บริเวณส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ป่าไม้ ร้อยละ 6.98 ของพื้นที่จังหวัด และปี 2565 พบว่าบริเวณที่มี Hot Spot สูงสุดที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 99% พบการรวมกลุ่มของข้อมูลบริเวณตอนกลาง และบางส่วนในตอนใต้ของจังหวัด ซึ่งครอบคลุมพื้นที่รวมประมาณ 439.65 ตร.กม. หรือร้อยละ 12.09 ของพื้นที่จังหวัด บริเวณดังกล่าวส่วนใหญ่เป็นพื้นที่เกษตรกรรม ร้อยละ 7.67 ของพื้นที่จังหวัด ขณะที่บริเวณ Cold Spot ต่ำสุดที่ระดับความเชื่อมั่น 99% พบการรวมกลุ่มของข้อมูลส่วนใหญ่บริเวณฝั่งตะวันออกของจังหวัด ซึ่งครอบคลุมพื้นที่รวมประมาณ 491.95 ตร.กม. หรือร้อยละ 13.53 ของพื้นที่จังหวัด ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ป่าไม้ ร้อยละ 7.68 ของพื้นที่จังหวัด จากการวิเคราะห์ Getis-Ord G_i^* ในช่วง 5 ปี (2561 – 2565) แสดงให้เห็นว่า บริเวณ Hot Spot สูงสุดที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 99% ในจังหวัดสระบุรี ซึ่งครอบคลุมพื้นที่โดยรวมในสัดส่วน ระหว่างร้อยละ 10.25 – 18.57 ของพื้นที่จังหวัด ส่วนใหญ่พบในบริเวณพื้นที่เกษตรกรรม และบริเวณ Cold Spot ต่ำสุดที่ระดับความเชื่อมั่น 99% โดยครอบคลุมพื้นที่โดยรวมในสัดส่วน ระหว่างร้อยละ 13.53 – 19.90 ของพื้นที่จังหวัด ส่วนใหญ่พบในบริเวณพื้นที่ป่าไม้ และพื้นที่เกษตรกรรมในบางปี อย่างไรก็ตามในปี 2563 พบบริเวณ Cold Spot ที่แตกต่างออกไปจากปีอื่น ๆ เนื่องจากเกิดการเผาไหม้จำนวนมากในพื้นที่เกษตรกรรม และพื้นที่ป่าไม้ ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลจุดความร้อนของกรมป่าไม้ ที่ได้เก็บข้อมูล และวิเคราะห์ข้อมูล hotspot จากดาวเทียม Terra ดาวเทียม Aqua ดาวเทียม Suomi-NPP และดาวเทียม NOAA-2 (กรมป่าไม้, ม.ป.ป.)

5.1.2 วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงพื้นที่สีเขียวด้วยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม

Sentinel-2

ในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงพื้นที่สีเขียวในจังหวัดสระบุรี จากดาวเทียม Sentinel-2 ในช่วงเวลา 5 ปี (2561 – 2565) โดยการวิเคราะห์ดัชนีพืชพรรณ (Normalized Difference Vegetation Index: NDVI) จำแนกพื้นที่สีเขียวในจังหวัดสระบุรีได้ 3 ประเภท ดังนี้ NDVI -1.00 ถึง 0.15 คือ ประเภทไม่มีพื้นที่สีเขียว เช่น บริเวณที่เป็นพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง พื้นที่อุตสาหกรรม และพื้นที่แหล่งน้ำ NDVI 0.16 ถึง 0.55 คือ ประเภทพื้นที่สีเขียวเบาบาง เช่น

บริเวณพื้นที่เกษตรกรรม และพื้นที่เบ็ดเตล็ด และ NDVI 0.56 ถึง 1.00 คือ ประเภทพื้นที่สีเขียวหนาแน่น เช่น บริเวณพื้นที่ป่าไม้ ซึ่งผลการจำแนกประเภทพื้นที่สีเขียวพบว่า ปี 2561 บริเวณส่วนใหญ่เป็นพื้นที่สีเขียวเบาบางมีพื้นที่ประมาณ 1,818.99 ตร.กม. หรือร้อยละ 50.03 ของจังหวัด รองลงมา คือ พื้นที่สีเขียวหนาแน่นมีพื้นที่ประมาณ 1,553.29 ตร.กม. หรือร้อยละ 42.73 ของจังหวัด และบริเวณที่ไม่มีพื้นที่สีเขียวประมาณ 263.19 ตร.กม. หรือร้อยละ 7.27 ของจังหวัด จากนั้นปี 2562 พบว่าพื้นที่สีเขียวเบาบางมีการลดส่วนการเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้นจากปี 2561 อยู่ที่ 19.24% ซึ่งมีพื้นที่ประมาณ 2,518.94 ตร.กม. หรือร้อยละ 69.27 ของพื้นที่จังหวัด ขณะที่พื้นที่สีเขียวหนาแน่นมีสัดส่วนการเปลี่ยนแปลงที่ลดลงมากที่สุดจากปี 2561 อยู่ที่ 17.20% ซึ่งมีพื้นที่ประมาณ 928.48 ตร.กม. หรือร้อยละ 25.53 ของพื้นที่จังหวัด และพื้นที่ไม่มีพื้นที่สีเขียวมีสัดส่วนการเปลี่ยนแปลงลดลงรองลงมา ที่ 2.04% ซึ่งมีพื้นที่ประมาณ 188.93 ตร.กม. หรือร้อยละ 5.20 ของพื้นที่จังหวัด ขณะที่ปี 2563 พบว่าพื้นที่สีเขียวหนาแน่นมีสัดส่วนการเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ.2562 มากสุดอยู่ที่ 19.42% โดยมีพื้นที่ประมาณ 1,634.56 ตร.กม. หรือร้อยละ 44.95 ของพื้นที่จังหวัด และไม่มีพื้นที่สีเขียวมีสัดส่วนการเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้นจากปี 2562 รองลงมาที่ 1.13% โดยมีพื้นที่ประมาณ 230.34 ตร.กม. หรือร้อยละ 6.33 ของพื้นที่จังหวัด ขณะที่พื้นที่สีเขียวเบาบางมีสัดส่วนการเปลี่ยนแปลงที่ลดลงจากปี 2562 ที่ 20.55% โดยมีพื้นที่ประมาณ 1,771.46 ตร.กม. หรือร้อยละ 48.72 ของพื้นที่จังหวัด สำหรับปี 2564 พบว่าพื้นที่สีเขียวหนาแน่นมีสัดส่วนการเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ.2563 อยู่ที่ 5.58% โดยมีพื้นที่ประมาณ 1,837.46 ตร.กม. หรือร้อยละ 50.53 ของพื้นที่จังหวัด ขณะที่พื้นที่สีเขียวเบาบางมีสัดส่วนการเปลี่ยนแปลงที่ลดลงจากปี 2563 มากสุดที่ 5.55% โดยมีพื้นที่ประมาณ 1,569.78 ตร.กม. หรือร้อยละ 43.17 ของพื้นที่จังหวัด และไม่มีพื้นที่สีเขียวมีสัดส่วนการเปลี่ยนแปลงลดลงจากปี 2563 รองลงมาอยู่ที่ 0.03% โดยมีพื้นที่ประมาณ 229.11 ตร.กม. หรือร้อยละ 6.30 ของพื้นที่จังหวัด และสำหรับปี 2565 พบว่าพื้นที่สีเขียวหนาแน่นมีสัดส่วนการเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้นมากที่สุดจากปี 2564 อยู่ที่ 3.50% โดยมีพื้นที่ทั้งหมดประมาณ 1,964.60 ตร.กม. หรือร้อยละ 54.03 ของพื้นที่จังหวัด รองลงมาคือพื้นที่ไม่มีพื้นที่สีเขียวมีสัดส่วนการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจากปี 2564 อยู่ที่ 0.50% ซึ่งมีพื้นที่ทั้งหมดประมาณ 247.11 ตร.กม. หรือร้อยละ 6.80 ของพื้นที่จังหวัด ขณะที่พื้นที่สีเขียวเบาบางมีสัดส่วนที่ลดลงจากปี 2564 ที่ 3.99% โดยมีพื้นที่ทั้งหมดประมาณ 1,424.64 ตร.กม. หรือร้อยละ 39.18 ของพื้นที่จังหวัด สำหรับช่วง 5 ปี ในปี 2561 – 2565 พบว่าพื้นที่สีเขียวหนาแน่นมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น 11.30% ขณะที่พื้นที่สีเขียวเบาบางมีแนวโน้มที่ลดลงมากที่สุด 10.85% รองลงมา คือ พื้นที่ไม่มีพื้นที่สีเขียวมีแนวโน้มที่ลดลง 0.44%

5.1.3 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่น PM2.5 กับพื้นที่สีเขียวในจังหวัดสระบุรี

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่น PM2.5 กับพื้นที่สีเขียว (Normalized Difference Vegetation Index: NDVI) ในจังหวัดสระบุรีด้วยการวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression) ในช่วง 5 ปี (2561-2565) พบว่า ในช่วงเวลาทั้ง 5 ปี ฝุ่น PM2.5 กับพื้นที่สีเขียวในจังหวัดสระบุรีมีความสัมพันธ์อยู่ในหลายระดับ ได้แก่ สูงมาก สูง และต่ำ ตามการแบ่งเกณฑ์ความสัมพันธ์ของ (Bartz, 1999 อ้างอิงใน สมถวิล วิจิตรวรรณ, 2022) โดยในปี 2565 NDVI กับ PM2.5 มีค่า R^2 เท่ากับ 0.82 อยู่ในเกณฑ์ความสัมพันธ์ที่สูงมาก แสดงถึงความสัมพันธ์ได้อย่างชัดเจนที่สุด สำหรับความสัมพันธ์ที่อยู่ในระดับสูง ได้แก่ ปี 2561 ปี 2564 และปี 2562 ความสัมพันธ์ระหว่าง NDVI กับ PM2.5 มีค่า R^2 เท่ากับ 0.79 0.77 และ 0.69 ตามลำดับ สำหรับปี 2563 พบว่า NDVI กับ PM2.5 มีค่า R^2 เท่ากับ 0.38 ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระดับต่ำ เนื่องจากปริมาณความเข้มข้นของ PM2.5 ในปี 2563 โดยเฉพาะเดือนกุมภาพันธ์ที่สูงเกินมาตรฐาน และครอบคลุมทั่วทั้งพื้นที่จังหวัดสระบุรี ซึ่งมากกว่าค่าสถิติในทุก ๆ ปี ซึ่งอาจเกิดจากการเผาไหม้ในพื้นที่เกษตรกรรม และพื้นที่ป่าไม้ ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลจุดความร้อนของกรมป่าไม้ที่ได้เก็บข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูล hotspot จากดาวเทียม Terra ดาวเทียม Aqua ดาวเทียม Suomi-NPP และดาวเทียม NOAA-20 (กรมป่าไม้, ม.ป.ป.) จากข้อมูลที่เกิดขึ้นส่งผลให้ความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่น PM2.5 กับ NDVI มีความสัมพันธ์ในระดับต่ำ จากผลการวิเคราะห์สรุปได้ว่า NDVI มีความสัมพันธ์เชิงลบอย่างมีนัยสำคัญกับค่าฝุ่น PM2.5 ในทุกปี ซึ่งให้เห็นว่าการมีพื้นที่สีเขียวมากขึ้นมีแนวโน้มที่จะช่วยลดปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 ได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยในระดับนานาชาติ Chen et al. (2016) ที่ระบุว่า พื้นที่สีเขียวทำหน้าที่กรองอากาศ และดักจับฝุ่นละอองในอากาศได้โดยตรง แต่แนวโน้มของความสัมพันธ์อาจผันผวนตามสถานการณ์ทางเศรษฐกิจ กิจกรรมทางสังคม และสภาพภูมิอากาศในแต่ละปี อย่างไรก็ตามความสัมพันธ์ที่ปรากฏในระยะยาวยังคงมีความสอดคล้องเชิงทิศทางอย่างมีนัยสำคัญ

5.2 อภิปรายผลการศึกษา

1. การวิเคราะห์รูปแบบการกระจายตัวของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 ด้วย AOD จากดาวเทียมระบบ MODIS ในจังหวัดสระบุรี ในช่วง 5 ปี 2561-2565 โดยการสร้างแบบจำลอง Multiple Linear Regression (MLR) พบว่า แบบจำลองสามารถอธิบายค่าฝุ่น PM2.5 ได้ในระดับปานกลาง R^2 เท่ากับ 0.60 และมีค่า RMSE เท่ากับ 10.65 มคก./ลบ.ม. สำหรับการประเมินค่าฝุ่นในระดับจังหวัด จากตัวแปรอิสระ 4 ตัวแปร ได้แก่ AOD อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลม มีความสอดคล้องกับแนวทางของ Lu et al. (2021) และ Gupta & Christopher

(2009) ซึ่งได้ระบุว่าค่าฝุ่นละออง PM2.5 มีความสัมพันธ์โดยตรงกับข้อมูล AOD และได้รับอิทธิพลจากปัจจัยสภาพอุตุนิยมวิทยาดังกล่าว

และผลการวิเคราะห์ในช่วงปี 2561-2565 บ่งชี้ว่าพื้นที่จังหวัดสระบุรี มีค่าฝุ่น PM2.5 เกินค่ามาตรฐานในหลายช่วงของปี โดยเฉพาะในเดือนกุมภาพันธ์และเดือนมีนาคม ซึ่งสอดคล้องกับงานศึกษาของ กนกวรรณ ภูธรรม (2563) ที่พบว่า ช่วงฤดูหนาวถึงต้นฤดูร้อนเป็นช่วงเวลาที่เกิดการสะสมฝุ่นละอองสูงที่สุดในหลายภูมิภาคของประเทศไทย เนื่องจากสภาพอากาศที่แห้ง ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ และลมสงบนิ่ง

สำหรับด้านการวิเคราะห์การกระจายตัวเชิงพื้นที่ ผลการวิเคราะห์ด้วย Moran's I บ่งชี้ได้ว่าการกระจายตัวของฝุ่น PM2.5 มีลักษณะเกาะกลุ่ม (Cluster) อย่างมีนัยสำคัญของทางสถิติ ซึ่งผลการวิเคราะห์ Hot Spot และ Cold Spot ด้วยสถิติ Getis-Ord Gi* แสดงให้เห็นว่า Hot Spot ของฝุ่น PM2.5 ส่วนใหญ่อยู่ในบริเวณพื้นที่เกษตรกรรม โดยเฉพาะฝั่งตะวันตกและตอนใต้ของจังหวัดสระบุรี ขณะที่ Cold Spot ส่วนใหญ่อยู่ในพื้นที่ป่าไม้บริเวณฝั่งตะวันออกและตอนเหนือของจังหวัดสระบุรี ผลการวิเคราะห์ดังกล่าวพบว่าพื้นที่เกษตรกรรมมีโอกาสเกิดฝุ่น PM2.5 สูงกว่าพื้นที่ป่าไม้อย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากกิจกรรมการเผาตอซังข้าวและพืช การใช้เครื่องจักรกล และการไถพรวนดิน ล้วนมีส่วนในการเพิ่มปริมาณฝุ่นละอองในบรรยากาศและบริเวณที่มีป่าไม้ที่มีลักษณะเป็น Cold Spot ยังคงสอดคล้องกับแนวคิดของ Nowak et al. (2014) ที่อธิบายไว้ว่าพื้นที่สีเขียวและพื้นที่ป่าไม้มีบทบาทสำคัญในการดูดซับและกรองฝุ่นละอองในอากาศ จึงช่วยลดความเข้มข้นของ PM2.5 ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

อย่างไรก็ตามข้อมูลฝุ่น PM2.5 ที่ใช้ในการศึกษานี้ได้มาจากการประมาณค่าด้วยแบบจำลอง MLR และมีความละเอียดเชิงพื้นที่ 1,000 เมตร จึงอาจเป็นข้อจำกัดในด้านความถูกต้องในระดับพื้นที่เล็ก ๆ และส่วนของในระดับความน่าเชื่อถือที่อยู่ในระดับปานกลางซึ่งในภาพรวมสามารถนำมาศึกษาแนวโน้มเชิงพื้นที่ได้ดี ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ควรนำไปตีความร่วมกับบริบทเชิงพื้นที่อื่น ๆ ด้วย เช่น ลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่ และรูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดิน

2. การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงพื้นที่สีเขียวในจังหวัดสระบุรี โดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ผ่านการคำนวณดัชนีพืชพรรณ (NDVI) ซึ่งระดับความน่าเชื่อถือโดยรวมของการจำแนกพื้นที่สีเขียวทั้ง 5 ปี อยู่ระหว่าง 0.81 – 0.93 ซึ่งอยู่ในระดับสูง สามารถนำมาติดตามการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่สีเขียวในภาพรวมได้ อย่างไรก็ตามความแม่นยำอาจได้รับผลกระทบจากเมฆ ฝุ่น หรือควันไฟที่อยู่บนชั้นบรรยากาศในระหว่างการบันทึกข้อมูลของดาวเทียม โดยจะต้องคัดกรองข้อมูลก่อนนำไปวิเคราะห์ โดยในช่วง 5 ปี (2561 – 2565) พบว่า การเปลี่ยนแปลง

พื้นที่สีเขียวเป็นสิ่งที่สำคัญ ซึ่งสามารถเชื่อมโยงกับการศึกษาอื่น ๆ ที่มีผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมและการใช้ที่ดินในพื้นที่ต่าง ๆ โดยเฉพาะในแง่ของการอนุรักษ์และการพัฒนาเมืองที่มีผลต่อพื้นที่สีเขียว ดังนี้

2.1 การเพิ่มขึ้นของพื้นที่สีเขียวหนาแน่น การเพิ่มขึ้นของพื้นที่สีเขียวหนาแน่น เช่น พื้นที่ป่าไม้ ในปี 2563 (เพิ่มขึ้นจากปี 2562 ที่ 19.42%) และในปี 2565 (เพิ่มขึ้นจากปี 2564 ที่ 3.50%) ซึ่งสอดคล้องกับนโยบายป่าไม้แห่งชาติที่ได้รับความเห็นชอบโดยที่ประชุมคณะรัฐมนตรีเมื่อวันที่ 6 พฤศจิกายน 2562 โดยมีนโยบายด้านการจัดการป่าไม้ที่เกี่ยวข้อง ดังนี้ 1) กำหนดให้มีพื้นที่ป่าไม้ทั่วประเทศอย่างน้อยในอัตราร้อยละ 40 ของพื้นที่ประเทศ 2) ส่งเสริมและสนับสนุนบทบาทและหน้าที่ของทุกภาคส่วนให้มีจิตสำนึกและมีส่วนร่วม รวมทั้งรับผิดชอบในการอนุรักษ์การจัดการ และการพัฒนาทรัพยากรป่าไม้อย่างยั่งยืน 3) หยุดยั้งและป้องกันการทำลายทรัพยากรป่าไม้ในที่ดินป่าไม้ของรัฐทุกรูปแบบให้มีประสิทธิภาพ โดยกำหนดตัวชี้วัดความสำเร็จของการดำเนินงานที่ชัดเจน 4) ฟื้นฟูป่าไม้ในพื้นที่ป่าอนุรักษ์ให้มีความสมบูรณ์ โดยกำหนดพื้นที่เป้าหมายในการฟื้นฟูอย่างชัดเจนและต่อเนื่อง มีการติดตาม ประเมินผล และเผยแพร่ผลการดำเนินงานต่อสาธารณะ บนพื้นฐานการมีส่วนร่วมของทุกภาคส่วน และกำหนดความรับผิดชอบของหน่วยงานภาครัฐ ทั้งส่วนกลาง ส่วนภูมิภาค และส่วนท้องถิ่น และ 5) ส่งเสริมและสนับสนุนการจัดการป่าชุมชนให้มีประสิทธิภาพ สามารถอำนวยความสะดวกต่อชุมชน สร้างความตระหนักในการอนุรักษ์ป่าไม้ของประชาชน เป็นส่วนส่งเสริมให้ชุมชนและท้องถิ่นเข้มแข็ง และเป็นการพัฒนาทรัพยากรป่าไม้อย่างยั่งยืน (กรมป่าไม้, 2563) ซึ่งการเพิ่มพื้นที่สีเขียวนี้ อาจเป็นผลจากความพยายามในการพัฒนาที่ยั่งยืนจากการนำนโยบายดังกล่าวมาใช้ในจังหวัดสระบุรี

2.2 การลดลงของพื้นที่สีเขียวเบาบาง ได้แก่ พื้นที่เกษตรกรรม ซึ่งมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะในช่วงปี 2563 - 2565 ซึ่งการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในเขตพื้นที่เกษตรกรรมอาจเกิดจากการขยายตัวของพื้นที่เมืองและการพัฒนาอุตสาหกรรมในจังหวัดสระบุรี และนโยบายป่าไม้แห่งชาติ ที่มีนโยบายในการหยุดยั้งและป้องกันการทำลายทรัพยากรป่าไม้ ซึ่งอาจทำให้การบุกรุกป่าไม้เพื่อทำไร่เลื่อนลอยลดลง ทำให้พื้นที่สีเขียวในเชิงการเกษตรลดลงด้วย

2.3 การเพิ่มขึ้นของพื้นที่ที่ไม่มีพื้นที่สีเขียว ในจังหวัดสระบุรีพื้นที่ที่ไม่มีพื้นที่สีเขียว (เช่น พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงปี 2563 และปี 2565 ซึ่งอาจเกิดจากการขยายตัวของพื้นที่เมือง การพัฒนาอุตสาหกรรม และการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐาน ในจังหวัดสระบุรี ซึ่งการขยายตัวของพื้นที่ที่ไม่มีพื้นที่สีเขียวในจังหวัดสระบุรี อาจส่งผลกระทบต่อปัญหาฝุ่นละออง PM2.5 ในพื้นที่จังหวัดสระบุรี

3. การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่น PM2.5 กับพื้นที่สีเขียวในจังหวัดสระบุรี (ปี 2561–2565) จากผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่สีเขียว (NDVI) และปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM2.5) ในจังหวัดสระบุรี ตลอดระยะเวลา 5 ปี พบว่า NDVI มีความสัมพันธ์เชิงลบอย่างมีนัยสำคัญกับค่าฝุ่น PM2.5 ในทุกปี และระดับความน่าเชื่อถืออยู่ระหว่าง 0.38 – 0.82 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ตั้งแต่ ต่ำ จนถึงสูงมาก สามารถนำไปศึกษาแนวโน้มภาพรวมเชิงพื้นที่ได้ งานวิจัยฉบับนี้จึงแสดงให้เห็นว่าการมีพื้นที่สีเขียวมากขึ้นมีแนวโน้มที่จะช่วยลดปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 ได้ ซึ่งพื้นที่สีเขียวทำหน้าที่กรองอากาศ และดักจับฝุ่นละอองในอากาศได้โดยตรง อย่างไรก็ตามแนวโน้มของความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่น PM2.5 กับพื้นที่สีเขียวอาจผันผวนตามสถานการณ์ทางเศรษฐกิจ อันก่อให้เกิดกิจกรรมทางสังคม ที่ส่งผลกระทบต่อสภาพภูมิอากาศในแต่ละปี เช่น การเผาขยะหรือเศษวัสดุต่าง ๆ ของภาคครัวเรือน การเผาไหม้แปลงเกษตรในภาคเกษตรกรรม การเผาไหม้จะกระบวนการผลิตในภาคอุตสาหกรรม การเผาป่าเพื่อหาของป่า และการเผาไหม้เชื้อเพลิงเพื่อให้ได้พลังงานขับเคลื่อนยานพาหนะในภาคการจราจรและการขนส่ง ล้วนแล้วแต่เป็นกิจกรรมของมนุษย์ และการเผาไหม้ที่เกิดจากธรรมชาติ แต่อย่างไรก็ตามความสัมพันธ์ที่ปรากฏในระยะยาวยังคงมีความสอดคล้องเชิงทิศทางระหว่างฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 กับพื้นที่สีเขียวอย่างมีนัยสำคัญ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Tang, Yang et al. (2023) เมื่อพื้นที่สีเขียวเพิ่มขึ้น ปริมาณ PM2.5 มีแนวโน้มลดลง ซึ่งบ่งชี้ให้เห็นถึงบทบาทสำคัญของพื้นที่สีเขียวในการควบคุมและลดมลพิษทางอากาศ

งานวิจัยฉบับนี้มีข้อจำกัดด้านข้อมูลตัวแปรที่นำมาวิเคราะห์ข้อมูล MLR เพื่อใช้ในการประมาณค่าฝุ่น PM2.5 ระหว่างข้อมูล AOD และข้อมูลอุตุนิยมวิทยาที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่ไม่เท่ากันเป็นอุปสรรคต่อการนำไปสร้างแบบจำลองและการประมาณค่า จึงต้อง Resampling ข้อมูลให้ตัวแปรทางด้านอุตุนิยมวิทยาที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่ 27,830 เมตร ให้เป็น 1,000 เมตร เพื่อให้ได้ความละเอียดเชิงพื้นที่ที่สอดคล้องกับข้อมูล AOD ด้วยวิธี Bicubic interpolation เป็นการปรับปรุงขนาดหรือมาตราส่วนของภาพ ซึ่งเป็นการสังเคราะห์ข้อมูลรอบข้างเพื่อให้ได้ข้อมูลใหม่จาก pixel ข้างเคียง 4x4 ถึงแม้ว่าข้อมูลที่ได้จะมีความละเอียดขึ้น แต่อย่างไรก็ตามการนำไปใช้วิเคราะห์ข้อมูลผลลัพธ์ที่ได้อาจจะออกมาไม่ดีเท่าที่ควร

5.3 ข้อเสนอแนะ

ด้วยบริบทของจังหวัดสระบุรี ซึ่งเป็นจังหวัดกึ่งอุตสาหกรรมที่มีทั้งกิจกรรมเกษตรกรรมและอุตสาหกรรมการผลิต จะเห็นได้ว่า พื้นที่สีเขียวมีบทบาทสำคัญในการเป็นแนวกันชนและช่วยลดผลกระทบจากแหล่งกำเนิดมลพิษ โดยเฉพาะในเขตเมืองที่มีการจราจรหนาแน่น อย่างไรก็ตาม

จากผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง PM2.5 และพื้นที่สีเขียว ยังไม่สามารถสรุปได้ว่าพื้นที่สีเขียวเป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อปริมาณฝุ่น PM2.5 ทั้งหมด เนื่องจากอาจมีปัจจัยอื่นร่วมด้วย เช่น สภาพอุตุนิยมวิทยา ปริมาณการจราจร และกิจกรรมของมนุษย์ในพื้นที่จังหวัดสระบุรี ผู้วิจัยจึงขอเสนอแนะในงานวิจัยนี้ ดังนี้

5.3.1 ข้อเสนอแนะเชิงนโยบาย

1) การจัดการฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 เชิงพื้นที่

- ควรพัฒนา แผนปฏิบัติการควบคุมฝุ่น PM2.5 รายพื้นที่ (Area-Based Action Plan) โดยเน้นพื้นที่ที่เป็น Hot Spot เช่น พื้นที่เกษตรกรรมทางฝั่งตะวันตกและตอนใต้ของจังหวัดสระบุรี

- สนับสนุนมาตรการ ลดการเผาในที่โล่ง เช่น การส่งเสริมการจัดการเศษวัสดุ การเกษตรแบบไม่เผา และมีระบบชดเชยหรือจูงใจให้เกษตรกรเลิกการเผา

2) การเพิ่มพื้นที่สีเขียวในเขตเมืองและเขตเกษตรกรรม

- กำหนดเป้าหมาย เพิ่มพื้นที่สีเขียวในระดับตำบลหรือเทศบาล โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีค่าฝุ่นสูง เช่น การปลูกแนวป่ากันชน (Green Buffer Zones) รอบพื้นที่อุตสาหกรรมและเกษตรกรรม

- ส่งเสริมโครงการ ปลูกต้นไม้เฉพาะชนิด ที่มีประสิทธิภาพสูงในการดักจับฝุ่น PM2.5 ตามแนวถนนและชุมชนเมือง

3) ควบคุมการขยายตัวของเมือง

- บังคับใช้มาตรการ ควบคุมผังเมือง และกำหนดสัดส่วนพื้นที่สีเขียวขั้นต่ำ (Green Ratio) ในการพัฒนาที่อยู่อาศัยใหม่ เพื่อป้องกันการเพิ่มพื้นที่ที่ไม่มีสีเขียวที่อาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพอากาศ

- ส่งเสริมให้เกิด นโยบายเมืองอัจฉริยะสีเขียว (Green Smart City) เช่น การใช้เทคโนโลยีตรวจวัดฝุ่นและวิเคราะห์ข้อมูลสิ่งแวดล้อมแบบเรียลไทม์

5.3.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคต

- 1) พัฒนาแบบจำลองเชิงลึกมากขึ้น ควรต่อยอดการสร้างแบบจำลอง PM2.5 โดยใช้เทคนิค Machine Learning เช่น Random Forest หรือ Neural Network เพื่อเพิ่มความแม่นยำของการพยากรณ์ (ค่า R^2 ให้สูงขึ้น)

- 2) ศึกษาอิทธิพลของปัจจัยเพิ่มเติม ควรเพิ่มตัวแปรอิสระอื่น ๆ เช่น จำนวนประชากร ความหนาแน่นของการจราจร การเผาในที่โล่ง จุดความร้อนจากการเผา หรือจุด Hot spot และ

อุตสาหกรรมเฉพาะพื้นที่ รวมถึงสภาพอุตุนิยมวิทยาด้านอื่นๆ เช่น ปริมาณฝน ความกดอากาศ เพื่อให้การวิเคราะห์ PM2.5 มีความละเอียดและรอบด้านมากขึ้น

3) การประเมินผลของพื้นที่สีเขียวเชิงคุณภาพ ควรศึกษาว่าประเภทของพื้นที่สีเขียว เช่น ป่าเบญจพรรณ ป่าเต็งรัง หรือ สวนสาธารณะ มีผลต่อการลด PM2.5 แตกต่างกันหรือไม่ และพื้นที่ใดมีประสิทธิภาพสูงสุด

4) การวิเคราะห์ในระดับจุลภาค (Micro-scale) ควรวิเคราะห์ในระดับชุมชนหรือระดับตำบล เพื่อระบุจุดที่มีปัญหาสำคัญ และจัดการได้อย่างตรงจุด และชัดเจนยิ่งขึ้น



บรรณานุกรม

- Chudnovsky, A., Tang, C., Lyapustin, A., Wang, Y., Schwartz, J., และ Koutrakis, P. (2013). A critical assessment of high-resolution aerosol optical depth retrievals for fine particulate matter predictions. *Atmos. Chem. Phys.*, 13(21), 10907-10917.
<https://doi.org/10.5194/acp-13-10907-2013>
- Getis, A. (1991). Spatial interaction and spatial autocorrelation: a cross-product approach. *Environment & Planning A*, 23(9), 1269.
<https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&AuthType=sso&db=edsgao&AN=edsgcl.11601005&site=eds-live&custid=ns016262>
- Gupta, P., และ Christopher, S. A. (2009). Particulate matter air quality assessment using integrated surface, satellite, and meteorological products: Multiple regression approach. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 114(D14).
<https://doi.org/https://doi.org/10.1029/2008JD011496>
- Hands Schuh, J., Erbertseder, T., Schaap, M., และ Baier, F. (2022). Estimating PM2.5 surface concentrations from AOD: A combination of SLSTR and MODIS [Article]. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 26.
<https://doi.org/10.1016/j.rsase.2022.100716>
- Lu, J., Zhang, Y., Chen, M., Wang, L., Zhao, S., Pu, X., และ Chen, X. (2021). Estimation of monthly 1 km resolution PM2.5 concentrations using a random forest model over “2 + 26” cities, China. *Urban Climate*, 35, 100734.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.uclim.2020.100734>
- Nowak, D. J., Hirabayashi, S., Bodine, A., และ Greenfield, E. (2014). Tree and forest effects on air quality and human health in the United States. *Environmental Pollution*, 193, 119-129. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envpol.2014.05.028>
- Occorsio, D., Ramella, G., และ Themistoclakis, W. (2023). An Open Image Resizing Framework for Remote Sensing Applications and Beyond. *Remote Sensing*, 15(16).

Ord, K., และ Getis, A. (2010). Local Spatial Autocorrelation Statistics: Distributional Issues and an Application. *Geographical Analysis*, 27, 286-306.

<https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.1995.tb00912.x>

Pongpiachan, S., Hattayanone, M., และ Cao, J. (2017). Effect of agricultural waste burning season on PM2.5-bound polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) levels in Northern Thailand. *Atmospheric Pollution Research*, 8(6), 1069-1080.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apr.2017.04.009>

Tang, P., Yang, X., Sun, X., และ Ye, H. (2023). Correlation between NDVI and PM2.5 Concentrations in a Small-Scale Urban Area. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3146587/v1>

กรมควบคุมมลพิษ. (2554). รื้ออบทิศมลพิษทางอากาศ บทเรียน แนวคิดและการจัดการ

<http://air4thai.pcd.go.th/webV2/download.php>

กรมควบคุมมลพิษ. (2565). รายงานสถานการณ์และคุณภาพอากาศประเทศไทย

<http://air4thai.pcd.go.th/webV2/>

กรมป่าไม้. (ม.ป.ป., 3 มิถุนายน). ระบบฐานข้อมูลจุดความร้อนจากภาพถ่ายดาวเทียม.

<https://wildfire.forest.go.th/firemap/index.html>

กระทรวงสาธารณสุข. (2565). จำนวนผู้ป่วยโรคที่เกี่ยวข้องกับมลพิษทางอากาศ.

<https://hdcservice.moph.go.th/hdc/reports/page.php>

กฤษฎิกากัญจน์ คะรัมย์ และเอกลักษณ์ สลักคำ. (2564). (กฤษฎิกากัญจน์ คะรัมย์ และเอกลักษณ์ สลักคำ, 2564). การประชุมวิชาการนิสิตนักศึกษาภูมิศาสตร์และภูมิสารสนเทศศาสตร์แห่งประเทศไทย, 13. <http://dspace.bru.ac.th/xmlui/handle/123456789/8119>

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (2562). เรียนรู้อยู่กับฝุ่น PM2.5 <https://www.chula.ac.th/wp-content/uploads/2019/10/chula-pm25-booklet-1.pdf>

ชฎานนท์ เทพแสงพราว. (2563). การทำนายปริมาณฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอนจากข้อมูลความถี่แสงของอนุภาคแขวนลอยในอากาศและข้อมูลอุตุนิยมวิทยาในพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย]. CHULALONGKORN UNIVERSITY THESES AND DISSERTATIONS (CHULA ETD). <http://cuir.car.chula.ac.th/handle/123456789/77291>

- ณัฐชา แดงประทุม. (2565). การประมาณค่าผลกระทบจากมลพิษทางอากาศต่อการสีกร่อนของ
โบราณสถานในกรุงเทพมหานคร [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัย
ศิลปากร]. DSpace at Silpakorn University. [http://thesis-
ir.su.ac.th/dspace/bitstream/123456789/4156/1/620720055.pdf](http://thesis-ir.su.ac.th/dspace/bitstream/123456789/4156/1/620720055.pdf)
- ทรงชัย ทองปาน. (2566). การใช้สถิติในการวิจัยทางภูมิศาสตร์ (ฉบับปรับปรุงครั้งที่ 1) (พิมพ์ครั้งที่
2.). โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- นพมาศ ทับแสง. (2561). อิทธิพลของพื้นที่สีเขียวที่มีต่อมลภาวะฝุ่นละอองในเขตชุมชนเมือง:
กรณีศึกษาชุมชนเมืองสมุทรปราการ [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์].
TU DIGITAL COLLECTION.
https://digital.library.tu.ac.th/tu_dc/frontend/Info/item/dc:163872
- บุญยง รุธิโรโก. (2557). การประเมินคุณภาพและแนวทางการจัดการพื้นที่สีเขียวในเขต
เทศบาลนครหาดใหญ่ แลเทศบาลเมืองคอหงส์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา
[วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์]. PSU Knowledge Bank.
<http://kb.psu.ac.th/psukb/handle/2010/10126>
- พิชญา นิมิตรกุล. (2555). การศึกษาแบบจำลองการกระจายตัวของประชากรจากข้อมูลการใช้
ประโยชน์ที่ดิน โดยวิธีการสถิติเชิงพื้นที่ : กรณีศึกษาจังหวัดสุพรรณบุรี [วิทยานิพนธ์
ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย]. Thai Digital Collection.
<http://cuir.car.chula.ac.th/handle/123456789/37622>
- พิสิษฐ สังขรัตน์, ร. ค., ต่อลาก การปลื้มจิต, กวิภา สุขชี, และ ปวิตร ฐิระวณิชกุล. (2560).
แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่สีเขียวในเขตเมือง. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธา
แห่งชาติ ครั้งที่ 22, 22(1). <https://riss.rmuts.ac.th/project/?id=2550>
- พีอาร์นิวส์ไวร์. (2559, 5 พฤศจิกายน). ECMWF เปิดตัวระบบ ERA5 มิติใหม่แห่งการติดตามการ
เปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศทั่วโลก. [https://boxkao.blogspot.com/2016/11/ecmwf-
era5.html](https://boxkao.blogspot.com/2016/11/ecmwf-era5.html)
- มินตรา ธาระสิทธิ์ และ ธัญญรัตน์ ไชยคราม. (2563). การประยุกต์ภูมิสารสนเทศเพื่อการประเมิน
คุณภาพอากาศในพื้นที่กรุงเทพมหานคร. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 28(5), 743-
758. [https://li01.tci-
thaijo.org/index.php/tstj/article/download/238140/162933/813995](https://li01.tci-thaijo.org/index.php/tstj/article/download/238140/162933/813995)

รัชนีพร จันทรสา และอานนท์ ศักดิ์วรวิชญ์. (2560). ภูมิภาคนิยม พฤติกรรมนิยมการเลือกตั้ง และผล
การเลือกตั้ง: การวิเคราะห์ถดถอยเชิงพื้นที่. การประชุมนำเสนอผลงานวิจัยระดับ
บัณฑิตศึกษา(12), 1025-1034.

<https://rsujournals.rsu.ac.th/index.php/rgrc/article/download/1121/875/>

วิภาพร โตแดง. (2563). การประเมินศักยภาพพื้นที่สีเขียวสาธารณะในเขตเทศบาลนครระยอง
จังหวัดระยอง [รายงานการค้นคว้าอิสระปริญญาโทบริหารบัณฑิต, สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหาร
ศาสตร์]. National Institute of Development Administration.

<https://gseda.nida.ac.th/academics/database/students/fileupload/isdocument/20210504231547.pdf>

สมถวิล วิจิตรวรรณ. (2022). สถิติความสัมพันธ์: เลือกใช้อย่างไร. วารสารมนุษยศาสตร์และ
สังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชพฤกษ์, 8(2), 1-15. [https://so03.tci-](https://so03.tci-thaijo.org/index.php/rpu/article/view/262965)
[thaijo.org/index.php/rpu/article/view/262965](https://so03.tci-thaijo.org/index.php/rpu/article/view/262965)

สาวิตรี รตโนภาส สุวรรณสี. (2564). สถิติเชิงพื้นที่สำหรับภูมิศาสตร์ = *Spatial statistics for geography* (พิมพ์ครั้งที่ 1.). มหาวิทยาลัยมหาสารคาม: ภาควิชาภูมิศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

สำนักงานจังหวัดสระบุรี. (ม.ป.ป.). แผนพัฒนาจังหวัดสระบุรี พ.ศ.2566-2570

http://www.saraburi.go.th/web2/files/com_strategy/2021-11_f8f5bfa97e21c4b.pdf

สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2558). พรรณไม้ดมดลพิษ
เสริมสร้างชีวิตชุมชนเมืองเอกสารภายใต้โครงการชุมชนอยู่คู่อุตสาหกรรม

<https://www.onep.go.th/book>

สำนักงานป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยจังหวัดสระบุรี. (ม.ป.ป.). แผนเผชิญเหตุการณ์ผู้ประสบภัย
จังหวัดสระบุรี ปี 2565 (ฉบับปรับปรุง ครั้งที่ 1)

http://minisitedemo.disaster.go.th/apiv1/apps/minisite_DPMSRI/204/sitedownload/889/download?TypeMenu=MainMenu&filename=d7d630cce60dd30dad71fc6dc8e5184.pdf

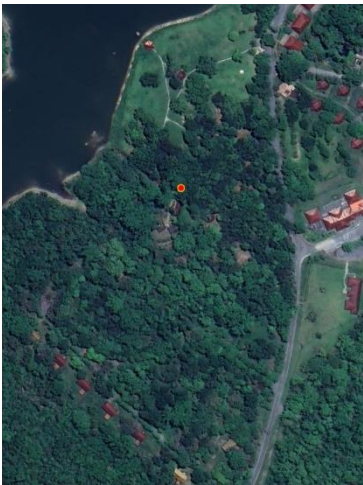
สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ. (2552). ตำราเทคโนโลยีอวกาศและภูมิ
สารสนเทศศาสตร์ [http://learn.gistda.or.th/wp-](http://learn.gistda.or.th/wp-content/uploads/book/Space%20techology%20and%20GEO-informatics.pdf)

[content/uploads/book/Space%20techology%20and%20GEO-informatics.pdf](http://learn.gistda.or.th/wp-content/uploads/book/Space%20techology%20and%20GEO-informatics.pdf)





ภาคผนวก

ภาพถ่ายดาวเทียม	ภาพถ่ายจากภาคสนาม	ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน	ตำแหน่ง	
			Latitude	Longitude
		พื้นที่ป่า	14.5066667	101.1540864
		พื้นที่ป่า	14.4947222	101.1590864

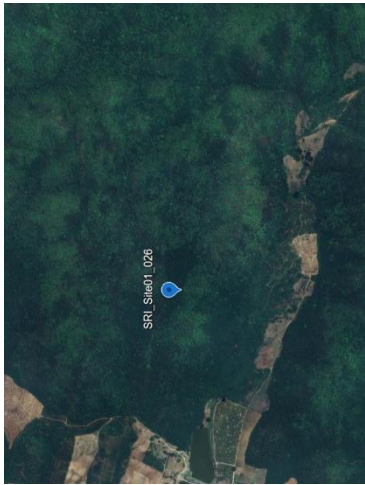
ตาราง 33 (ต่อ)

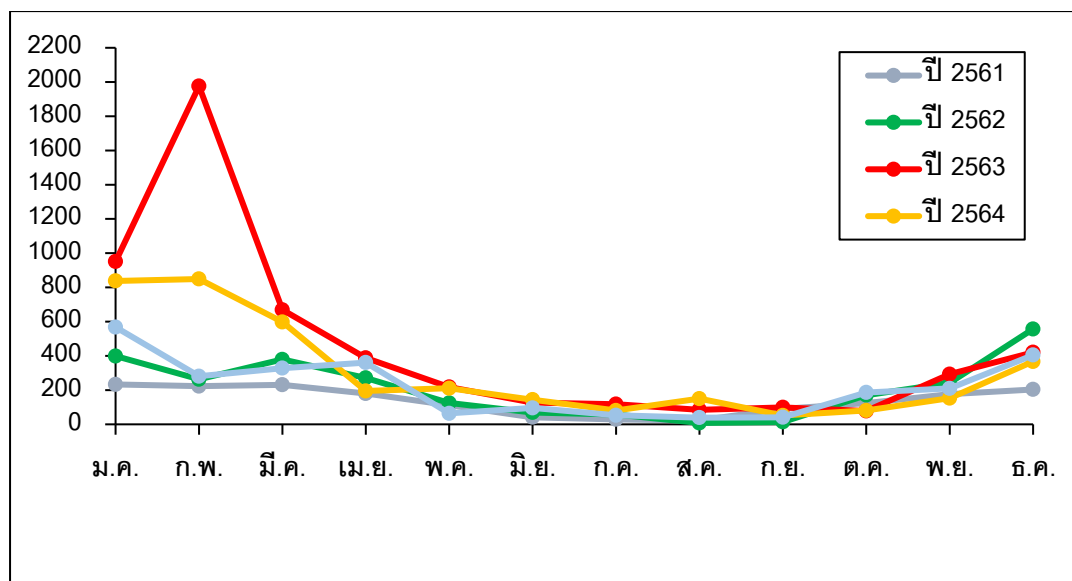
ภาพถ่ายจากดาวเทียม	ภาพถ่ายจากภาคสนาม	ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน	ตำแหน่ง	
			Latitude	Longitude
		แหล่งน้ำ	14.4952778	101.160753
		แหล่งน้ำ	14.535000	100.934722

ตาราง 33 (ต่อ)

ภาพถ่ายดาวเทียม	ภาพถ่ายจากภาคสนาม	ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน	ตำแหน่ง	
			Latitude	Longitude
		สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ 25t	14.526111	100.925833
		สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ 24t	14.685833	100.871944

ตาราง 33 (ต่อ)

ภาพถ่ายจากดาวเทียม	ภาพถ่ายจากภาคสนาม	ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน	ตำแหน่ง	
			Latitude	Longitude
		สวนพฤกษศาสตร์พุแค	14.670556	100.884167
		พื้นที่ป่าไม้	14.764167	101.137222



ภาพประกอบ 25 จำนวนจุดความร้อนจากการเผาไหม้ในจังหวัดสระบุรี

ตาราง 34 จำนวนจุดความร้อนจากการเผาไหม้ในจังหวัดสระบุรี

เดือน	ปี 2561	ปี 2562	ปี 2563	ปี 2564	ปี 2565
ม.ค.	233	399	951	838	568
ก.พ.	223	263	1,976	849	281
มี.ค.	231	379	669	598	328
เม.ย.	180	271	388	195	361
พ.ค.	112	125	218	211	64
มิ.ย.	41	69	127	144	96
ก.ค.	29	58	118	81	53
ส.ค.	23	8	85	150	39
ก.ย.	90	14	99	52	41
ต.ค.	124	170	78	81	186
พ.ย.	176	243	293	153	210
ธ.ค.	204	557	421	367	405
รวม	1,666	2,556	5,423	3,719	2,632

ประวัติผู้เขียน

