

การประมาณการกักเก็บคาร์บอนด้วยดัชนีพืชพรรณและการเรียนรู้ของเครื่องแบบ Gradient
Boosting

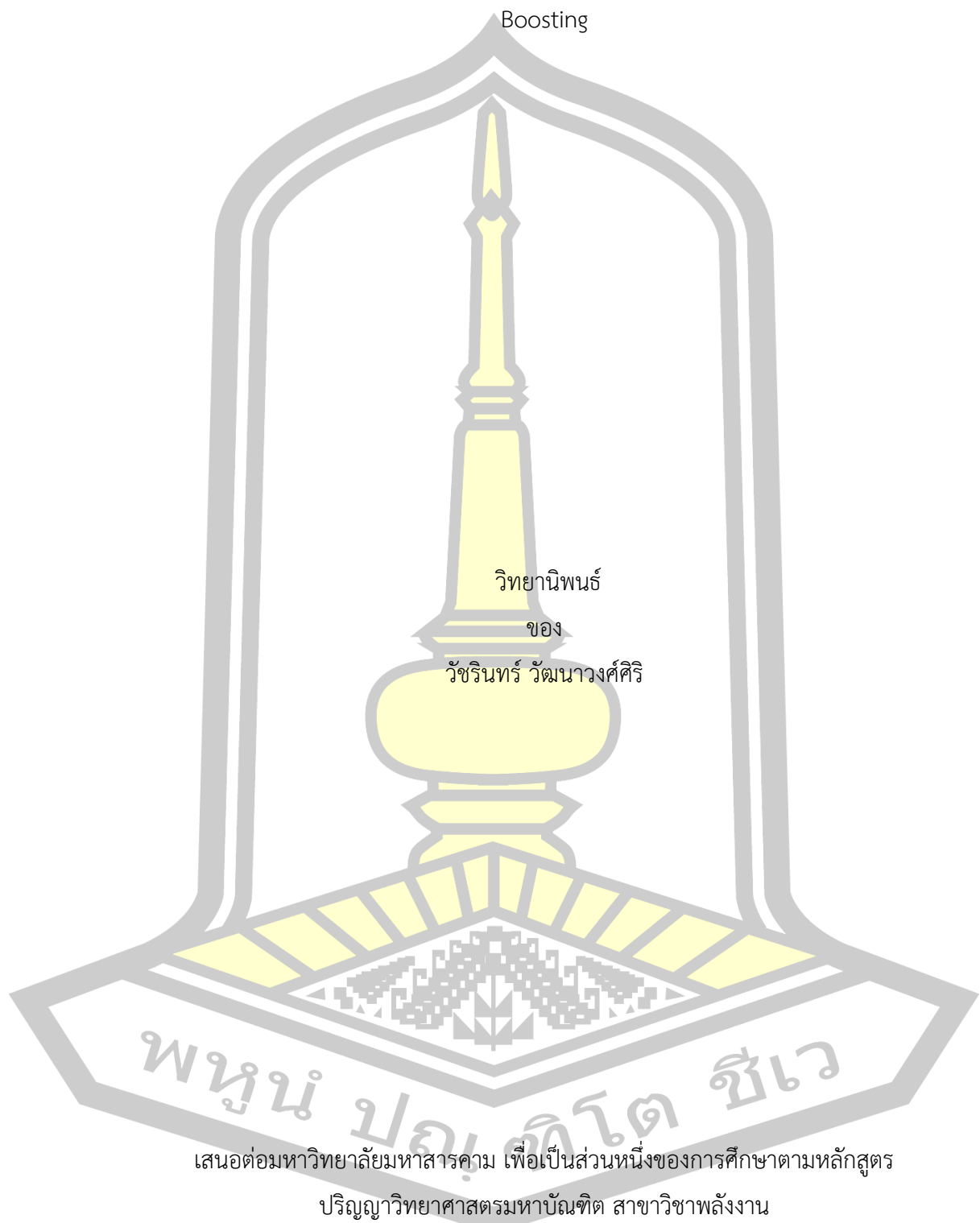
วิทยานิพนธ์
ของ
วัชรินทร์ วัฒนาวงศ์ศิริ

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาพลังงาน
กันยายน 2567

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

การประมาณการกักเก็บคาร์บอนด้วยดัชนีพืชพรรณและการเรียนรู้ของเครื่องแบบ Gradient

Boosting



เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

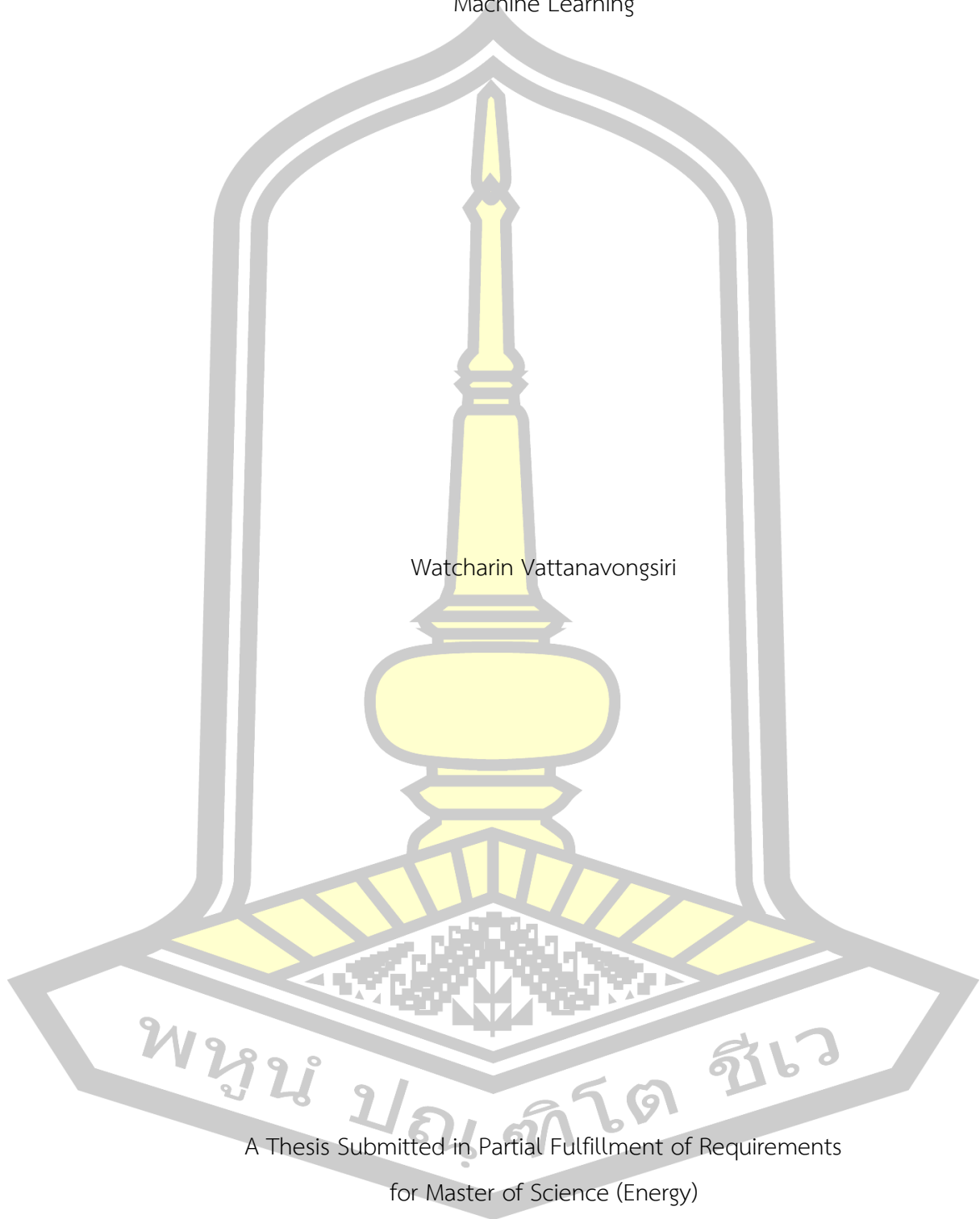
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาพลังงาน

กันยายน 2567

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

Carbon Sequestration Estimation with Vegetation Indices and Gradient Boosting
Machine Learning

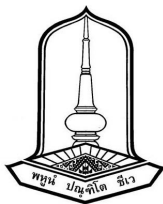
Watcharin Vattanavongsiri



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

September 2024

Copyright of Mahasarakham University



คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของนายวัชรินทร์ วัฒนวงศ์ศิริ
แล้วเห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาพลังงาน ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ประธานกรรมการ

(รศ. ดร. ไพศาล จิ์ฟู)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รศ. ดร. ชีรวงศ์ เหล่าสุวรรณ)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ผศ. ดร. สาทิต แสงประดิษฐ์)

กรรมการ

(ผศ. ดร. ประเมษฐ์ จันทร์เพ็ง)

กรรมการ

(รศ. ดร. สิริยาภรณ์ แสงอรุณ)

มหาวิทยาลัยขอนแก่นให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาพลังงาน ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

(ศ. ดร. ไพโรจน์ ประมวล)

คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(รศ. ดร. กริสน์ ชัยมูล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

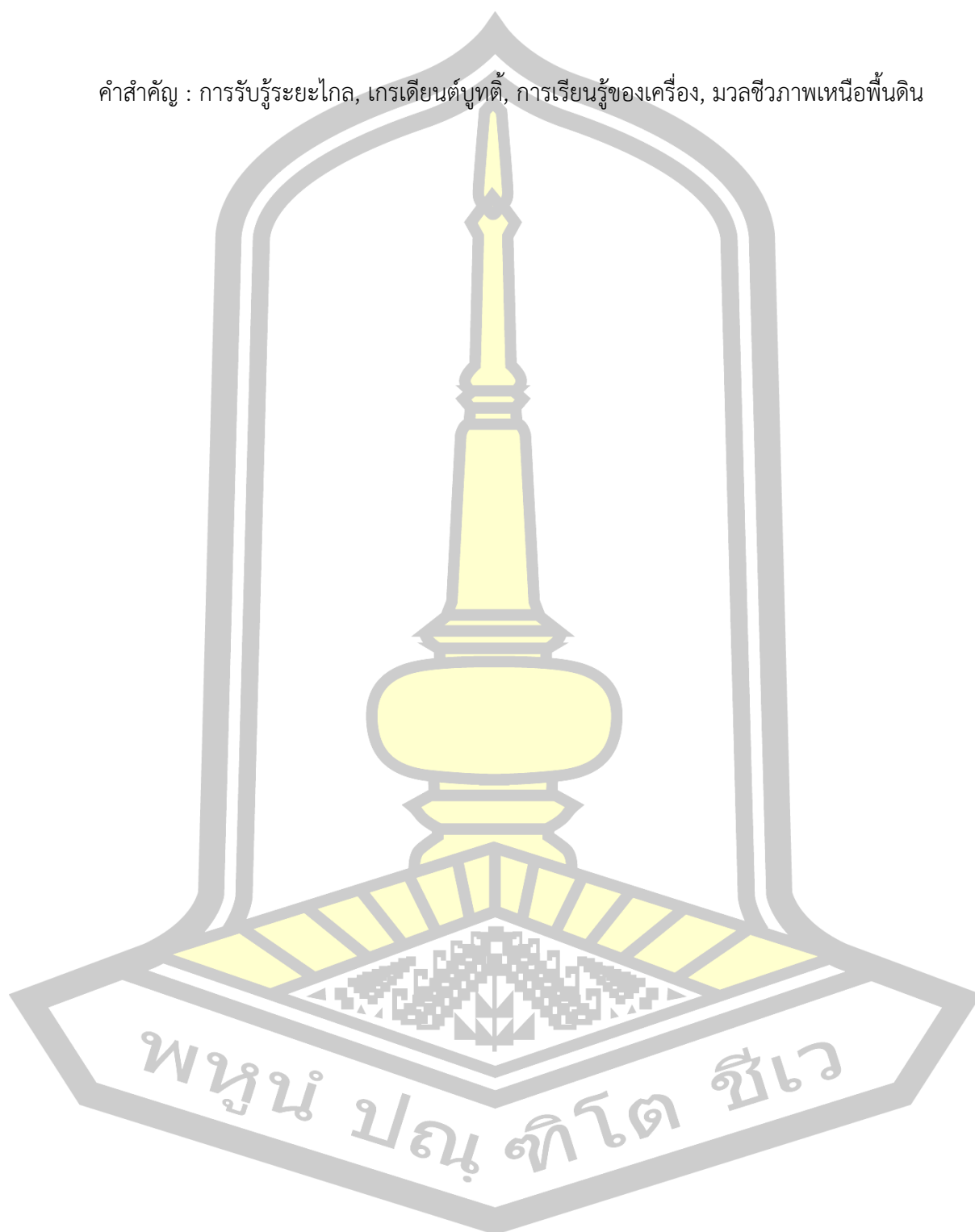
ชื่อเรื่อง	การประมาณการกักเก็บคาร์บอนด้วยดัชนีพืชพรรณและการเรียนรู้ของเครื่องแบบ Gradient Boosting		
ผู้วิจัย	วัชรินทร์ วัฒนาวงศ์ศิริ		
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. อีรวงศ์ เหล่าสุวรรณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาธิต แสงประดิษฐ์		
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต	สาขาวิชา	พลังงาน
มหาวิทยาลัย	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม	ปีที่พิมพ์	2567

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้เพื่อศึกษาปริมาณการกักเก็บคาร์บอนด้วยดัชนีพืชพรรณและการเรียนรู้เครื่องแบบ Gradient Boosting วิธีการดำเนินงาน 1) วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของดัชนีพืชพรรณด้วยวิธีการเรียนรู้เครื่องจักรด้วยเทคนิค Gradient Boosting จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม, 2) เพื่อประมาณการกักเก็บคาร์บอนด้วยสมการอัลโลเมตรีและการประเมินวิธีการเรียนรู้ด้วยเครื่องจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 และนำมาหาสัดส่วนการปกคลุมดินของพืชพรรณด้วยสมการวิเคราะห์ถดถอย ผลการศึกษาพบพรรณไม้พบ 2,186 ต้น 33 ชนิด ผลการวิเคราะห์หาค่าประมาณการกักเก็บคาร์บอนจากสมการอัลโลเมตรี พบว่ามีผลรวมค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินเท่ากับ 93,934.17 กิโลกรัม หรือ 93.93 ตัน และพบว่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้เท่ากับ 44,149.06 กิโลกรัมคาร์บอนหรือ 44.14 ตันคาร์บอน ผลการวิเคราะห์ความหนาแน่นด้วย IDW เท่ากับ 383.17 ตันคาร์บอนหรือ 0.239 ตันคาร์บอน/ไร่ หรือ 0.0023 ตันคาร์บอน/ตร.ม ผลการศึกษาความสัมพันธ์ด้วยการเรียนรู้แบบวิธีต้นไม้ตัดสินใจ พบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.81176 ค่า Mean Absolute Error (MAE) เท่ากับ 0.062 ค่า Root Mean Squared Error (RMSE) เท่ากับ 0.104 และค่า Mean Squared Error (MSE) เท่ากับ 0.053 ผลการวิเคราะห์การกักเก็บคาร์บอนเท่ากับ 2743.87 ตันคาร์บอน หรือ 1.714 ตันคาร์บอน/ไร่ หรือ 0.0171 ตันคาร์บอน/ตร.ม ผลการวิเคราะห์ Gradient Boosting พบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.9644 ค่า Mean Absolute Error (MAE) เท่ากับ 0.017 ค่า Root Mean Squared Error (RMSE) เท่ากับ 0.085 และค่า Mean Squared Error (MSE) เท่ากับ 0.062 ผลการวิเคราะห์การกักเก็บคาร์บอนเท่ากับ 2855.18 ตันคาร์บอน 1.784 ตันคาร์บอน/ไร่ หรือ 0.0178 ตันคาร์บอน/ตร.ม ผลการวิเคราะห์ XGBoost พบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.94 ค่า Mean absolute error (MAE) เท่ากับ 0.171 ค่า Root mean squared error (RMSE) เท่ากับ 0.256 และค่า Mean Squared Error (MSE) เท่ากับ 0.065 ผลการวิเคราะห์การกักเก็บคาร์บอนเท่ากับ 2384.50 ตันคาร์บอนหรือ 1.490 ตันคาร์บอน/ไร่ หรือ

0.0149 ตันคาร์บอน/ตร.ม

คำสำคัญ : การรับรู้ระยะไกล, เกรเดียนต์บูทดี้, การเรียนรู้ของเครื่อง, มวลชีวภาพเหนือพื้นดิน



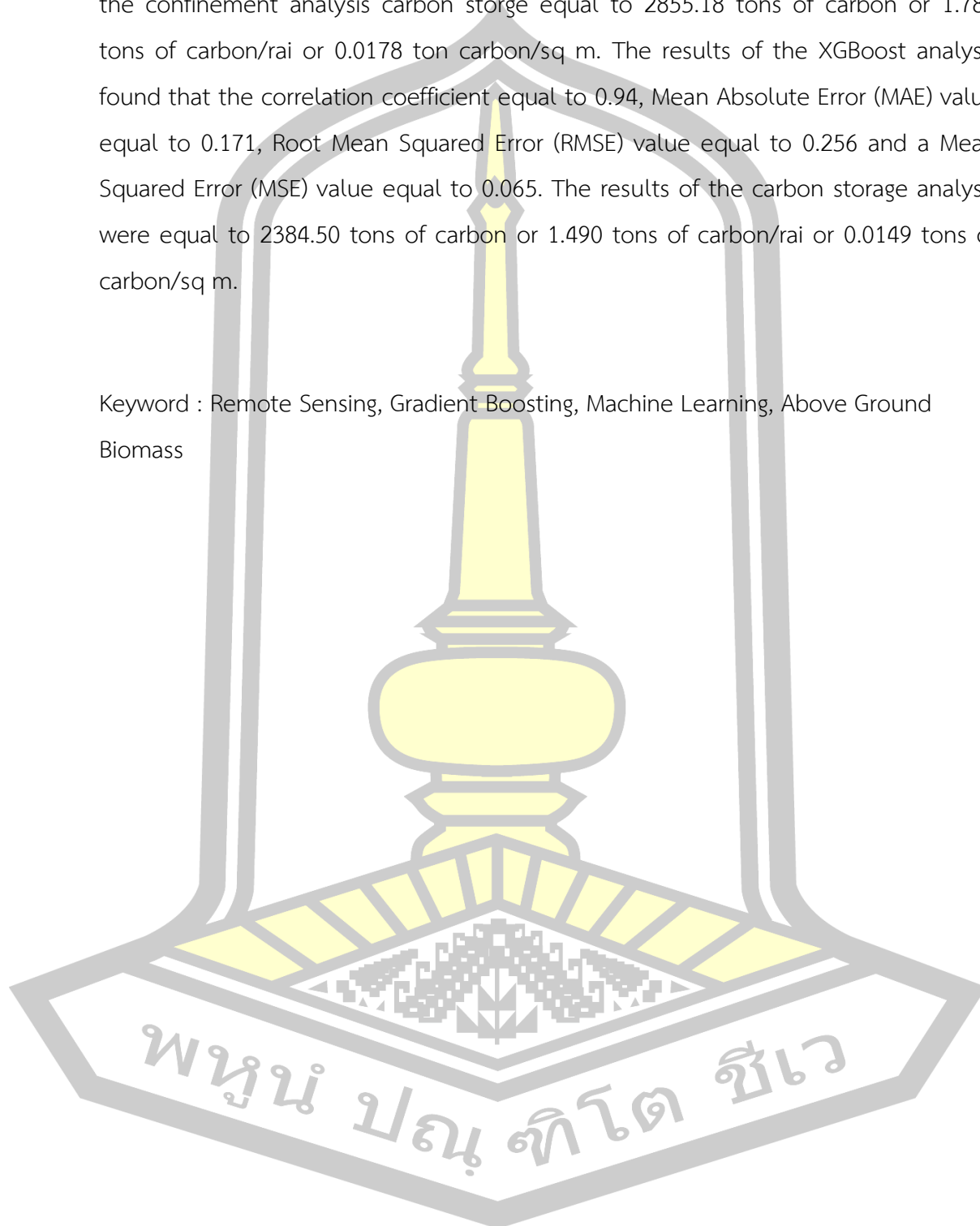
TITLE	Carbon Sequestration Estimation with Vegetation Indices and Gradient Boosting Machine Learning		
AUTHOR	Watcharin Vattanavongsiri		
ADVISORS	Associate Professor Teerawong Laosuwan , Ph.D. Assistant Professor Satith Saengpreedit , Ph.D.		
DEGREE	Master of Science	MAJOR	Energy
UNIVERSITY	Maharakham University	YEAR	2024

ABSTRACT

The objective of this study is to estimate the amount of carbon storage using the Vegetation Index and Gradient Boosting machine learning. Method of operation 1) Analyze the relationship of the Vegetation Index using Gradient Boosting machine learning techniques. Boosting from satellite image data, 2) to estimate carbon storage using allometry equations and evaluating machine learning methods from satellite image data. Sentinel-2 and find the proportion of land cover of vegetation using regression analysis equations. The results of the study found 2,186 trees, 33 species. The analysis results of the amount of carbon storage from the allometry equation found that the total above-ground biomass was 93,934.17 kilograms or 93.93 tons and found that there was the carbon storage of trees is 44,149.06. kilogram of carbon or 44.14 tons of carbon. The result of density analysis with IDW is 383.17 tons of carbon or 0.239 tons of carbon/rai or 0.0023 Tons of carbon/sq m. The results of the study of relationships using the Decision Tree method revealed that the correlation coefficient was equal to 0.81176, Mean absolute error (MAE) value equal to 0.062, Root mean squared error (RMSE) value equal to 0.104, and Mean Squared Error (MSE) value equal to 0.053. Carbon sequestration analysis results equal to 2743.87 tons of carbon or 1.714 tons of carbon/rai or 0.0171 tons of carbon/sq m. The results of the Gradient Boosting analysis found that the correlation coefficient was equal to 0.9644, the Mean Absolute Error (MAE) was equal to 0.017, the Root Mean Squared Error (RMSE) was

equal to 0.085 and the Mean Squared Error (MSE) was equal to 0.062. The results of the confinement analysis carbon storage equal to 2855.18 tons of carbon or 1.784 tons of carbon/rai or 0.0178 ton carbon/sq m. The results of the XGBoost analysis found that the correlation coefficient equal to 0.94, Mean Absolute Error (MAE) value equal to 0.171, Root Mean Squared Error (RMSE) value equal to 0.256 and a Mean Squared Error (MSE) value equal to 0.065. The results of the carbon storage analysis were equal to 2384.50 tons of carbon or 1.490 tons of carbon/rai or 0.0149 tons of carbon/sq m.

Keyword : Remote Sensing, Gradient Boosting, Machine Learning, Above Ground Biomass



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ศึกษาการประมาณค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนด้วยข้อมูลดัชนีพืชพรรณจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ผู้จัดทำต้องขอขอบพระคุณอาจารย์รองศาสตราจารย์ ดร. ชีรวงศ์ เหล่าสุวรรณ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาหลักที่คอยช่วยเหลือและให้คำแนะนำในการทำโครงการงาน และอาจารย์ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สาธิต แสงประดิษฐ์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมที่คอยให้คำแนะนำแนวทางในการวางแผนการทำงานเรื่องต่าง ๆ รวมทั้งช่วยให้ข้อคิดเห็น และช่วยแก้ไขปัญหาในระหว่างการทำโครงการให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณท่านอาจารย์ และบุคลากร คณะวิทยาศาสตร์ทุกท่านที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับโครงการครั้งนี้ ที่ได้ให้ความรู้และคำแนะนำต่าง ๆ ทำให้การดำเนินโครงการประสบความสำเร็จไปได้ด้วยดี ขอขอบคุณหน่วยวิจัยเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ ที่คอยให้กำลังใจและทั้งให้ความช่วยเหลือในทุก ๆ ด้าน ด้วยดีเสมอ

วัชรินทร์ วัฒนาวงศ์ศิริ



สารบัญ

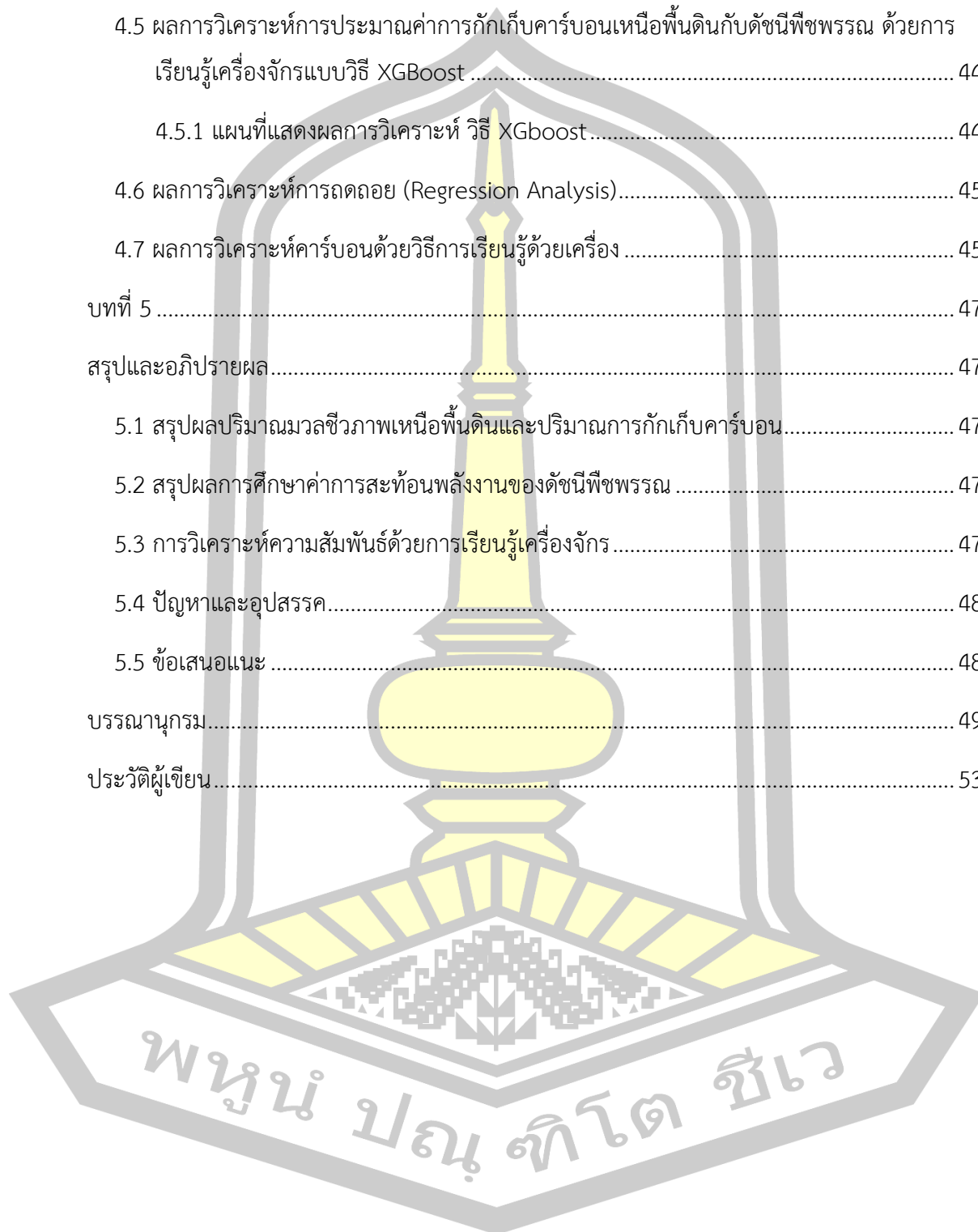
	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ฉ
กิตติกรรมประกาศ.....	ช
สารบัญ.....	ฌ
สารบัญภาพ	ถ
สารบัญตาราง.....	ธ
บทที่ 1	1
บทนำ.....	1
1.1 หลักการและเหตุผล	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.4 ผังการดำเนินงาน	3
บทที่ 2	4
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ.....	4
2.1.1 ก๊าซเรือนกระจก.....	4
2.2 การกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพ.....	4
2.2.1 วัฏจักรคาร์บอน (Carbon Cycle).....	4
2.2.2 การหมุนเวียนคาร์บอนในป่าไม้.....	5
2.3 แหล่งสะสมคาร์บอนของป่าไม้	5
2.4 การวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณคาร์บอนในต้นไม้.....	6

2.5 ป่าไม้ในประเทศไทย	7
2.5.1 ป่าไม่ผลัดใบ (Evergreen Forest)	7
2.5.2 ป่าผลัดใบ (Deciduous Forest)	7
2.6 ป่าไม้ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	7
2.7 พื้นที่ป่าผกูดป่าโป่งแดง	7
2.8 ดัชนีผลต่างพืชพรรณ (Normalized Difference Vegetation Index: NDVI)	8
2.9 ดัชนีพืชพรรณปรับแก้ดิน (Soil-Adjusted Vegetation Index: SAVI)	8
2.10 ดัชนีอัตราส่วนพืชพรรณ Ratio Vegetation Index (RVI)	8
2.11 ดัชนีวัดถึงปริมาณมวลชีวภาพ (Transformed normalized difference vegetation index: TNDVI)	9
2.12 วิธีการเรียนรู้เครื่องจักร	9
2.12.1 ต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree)	9
2.12.2 Gradient Boosting	10
2.12.3 XGBoost	10
2.13 ความรู้ด้านภูมิสารสนเทศ	10
2.14 องค์ประกอบของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์	11
2.15 เครื่องมือสำหรับวิเคราะห์	11
2.15.1 เครื่องคอมพิวเตอร์	11
2.15.2 โปรแกรม Microsoft Office	12
2.15.3 โปรแกรม Weka	12
2.16 โปรแกรมทางภูมิสารสนเทศ	13
2.17 ข้อมูลดาวเทียม Sentinel-2A	14
2.18 การรับรู้ระยะไกล หรือ รีโมตเซนซิง (Remote Sensing: RS)	15
2.18.1 แหล่งพลังงานและหลักการแผ่รังสี (Energy sources and radiation principle) ..	16

2.19 การวางแผนสำรวจ.....	17
2.19.1 ชนิดของแปลงตัวอย่าง แบ่งชนิดของแปลงตัวอย่างเป็น 2 ประเภท.....	17
2.19.2 รูปร่างของแปลงตัวอย่าง จำแนกแปลงตัวอย่างออกเป็น 5 ชนิด.....	18
2.20 การวัดความสูงของต้นไม้	18
2.21 การวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis)	19
2.22 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	20
บทที่ 3	24
ขั้นตอนการดำเนินงาน	24
3.1 พื้นที่ศึกษา	24
3.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน / วิธีการศึกษา	25
3.2.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	25
3.2.2 ศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้อง.....	25
3.2.3 กำหนดขนาดของแปลงตัวอย่าง.....	26
3.2.4 การสำรวจภาคสนาม ได้วางแผนการดำเนินการดังนี้	26
3.2.5 เครื่องมือวางแผนสำรวจ เก็บข้อมูล ที่ใช้ในการศึกษา	27
3.2.6 การรวบรวมข้อมูล	27
ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์	27
3.3. การวิเคราะห์ดัชนีพืชพรรณจากข้อมูลภาพถ่ายเทียม.....	28
3.3.1 ขั้นตอนการวิเคราะห์ดัชนีความต่างพืชพรรณ (Normalized Difference Vegetation Index: NDVI).....	28
3.3.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์ดัชนีพืชพรรณปรับแก้ดิน (Soil-Adjusted Vegetation Index: SAVI)	28
3.3.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์ดัชนีอัตราส่วนพืชพรรณ (Ratio Vegetation Index: RVI)	29
3.3.4 ขั้นตอนการวิเคราะห์ดัชนีการเปลี่ยนความต่างพืชพรรณ (Transformed Normalized Difference Vegetation Index : TNDVI)	29

3.3.5 การดึงค่าข้อมูลจากดัชนีพืชพรรณ	30
3.4 วิเคราะห์การกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน	30
3.5 การวิเคราะห์ความหนาแน่นของการประมาณค่าการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน.....	31
3.6 วิเคราะห์การประมาณค่าการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินกับดัชนีพืชพรรณ ด้วยการเรียนรู้ เครื่องจักรแบบวิธีต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree).....	32
3.7 วิเคราะห์การประมาณค่าการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินกับดัชนีพืชพรรณ ด้วยการเรียนรู้ เครื่องจักรแบบวิธี Gradient Boosting.....	33
3.8 วิเคราะห์การประมาณค่าการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินกับดัชนีพืชพรรณ ด้วยการเรียนรู้ เครื่องจักรแบบวิธี XGboost	34
บทที่ 4	36
ผลการศึกษา	36
4.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลภาคสนาม.....	36
4.1.1 ผลการวิเคราะห์ค่าคาร์บอนของพรรณไม้	36
4.1.2 ผลการวิเคราะห์ความหนาแน่นของคาร์บอน	37
4.2 ผลการวิเคราะห์ค่าดัชนีพืชพรรณ.....	38
4.2.1 ผลดัชนีความต่างพืชพรรณ (Normalized Difference Vegetation Index: NDVI) .	38
4.2.2 ผลดัชนีอัตราส่วนพืชพรรณ Ratio Vegetation Index (RVI)	39
4.2.3 ผลดัชนีพืชพรรณปรับแก้ดิน (Soil-Adjusted Vegetation Index: SAVI).....	40
4.2.4 ผลดัชนีการเปลี่ยนความต่างพืชพรรณ (Transformed Normalized Difference Vegetation Index: TNDVI).....	41
4.3 ผลการวิเคราะห์การประมาณค่าการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินกับดัชนีพืชพรรณ ด้วยการ เรียนรู้เครื่องจักรแบบวิธีต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree).....	42
4.3.1 แผนที่แสดงผลการวิเคราะห์ Decision Tree	42
4.4 ผลการวิเคราะห์การประมาณค่าการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินกับดัชนีพืชพรรณ ด้วยการ เรียนรู้เครื่องจักรแบบวิธี Gradient Boosting.....	43

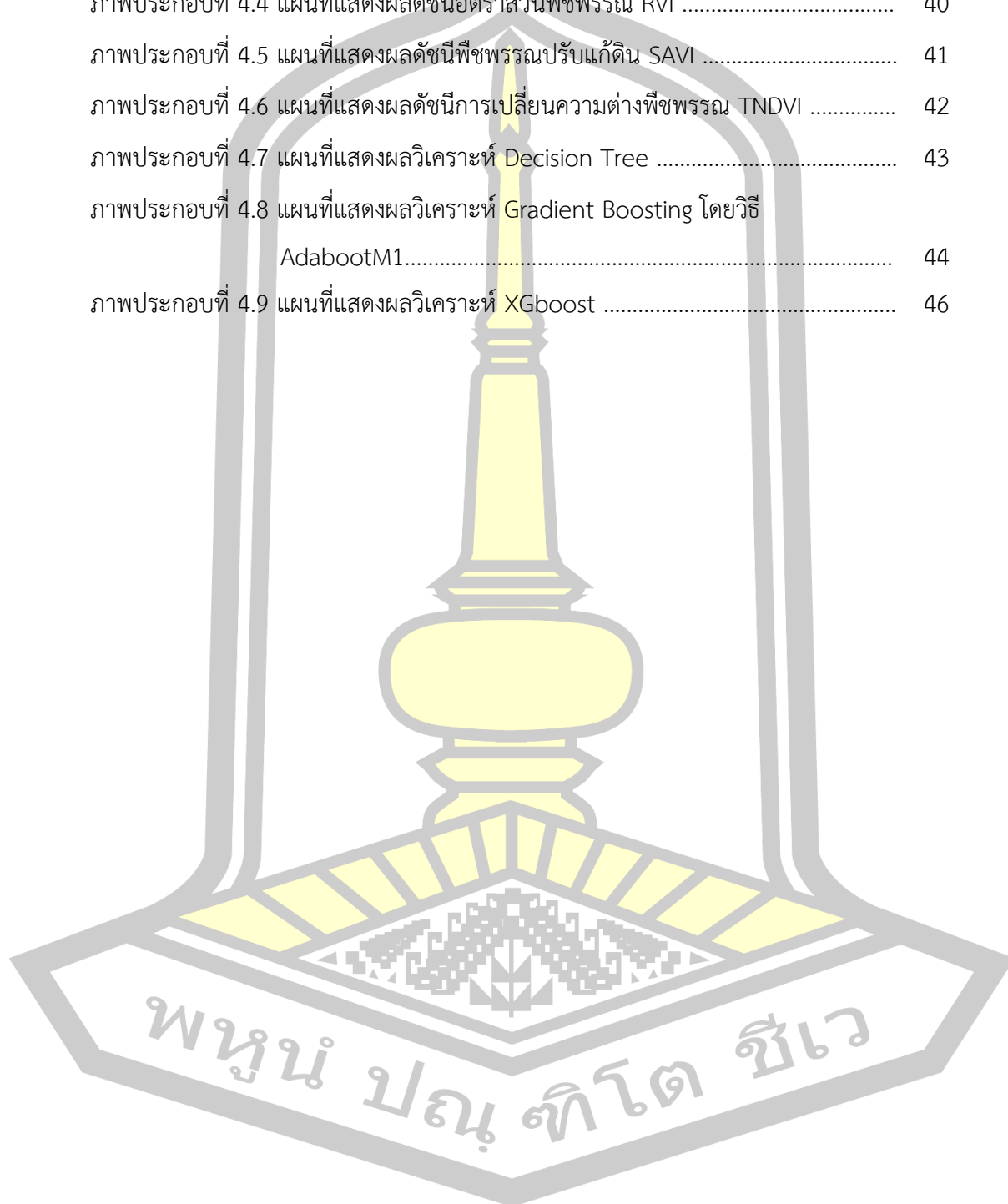
4.4.1 แผนที่แสดงผลการวิเคราะห์ วิธี Gradient Boosting.....	43
4.5 ผลการวิเคราะห์การประมาณค่าการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินกับดัชนีพืชพรรณ ด้วยการ เรียนรู้เครื่องจักรแบบวิธี XGBoost	44
4.5.1 แผนที่แสดงผลการวิเคราะห์ วิธี XGboost.....	44
4.6 ผลการวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis).....	45
4.7 ผลการวิเคราะห์คาร์บอนด้วยวิธีการเรียนรู้ด้วยเครื่อง	45
บทที่ 5	47
สรุปและอภิปรายผล.....	47
5.1 สรุปผลปริมาณมวลชีวภาพเหนือพื้นดินและปริมาณการกักเก็บคาร์บอน.....	47
5.2 สรุปผลการศึกษาค่าการสะท้อนพลังงานของดัชนีพืชพรรณ	47
5.3 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ด้วยการเรียนรู้เครื่องจักร	47
5.4 ปัญหาและอุปสรรค.....	48
5.5 ข้อเสนอแนะ	48
บรรณานุกรม.....	49
ประวัติผู้เขียน.....	53



สารบัญภาพ

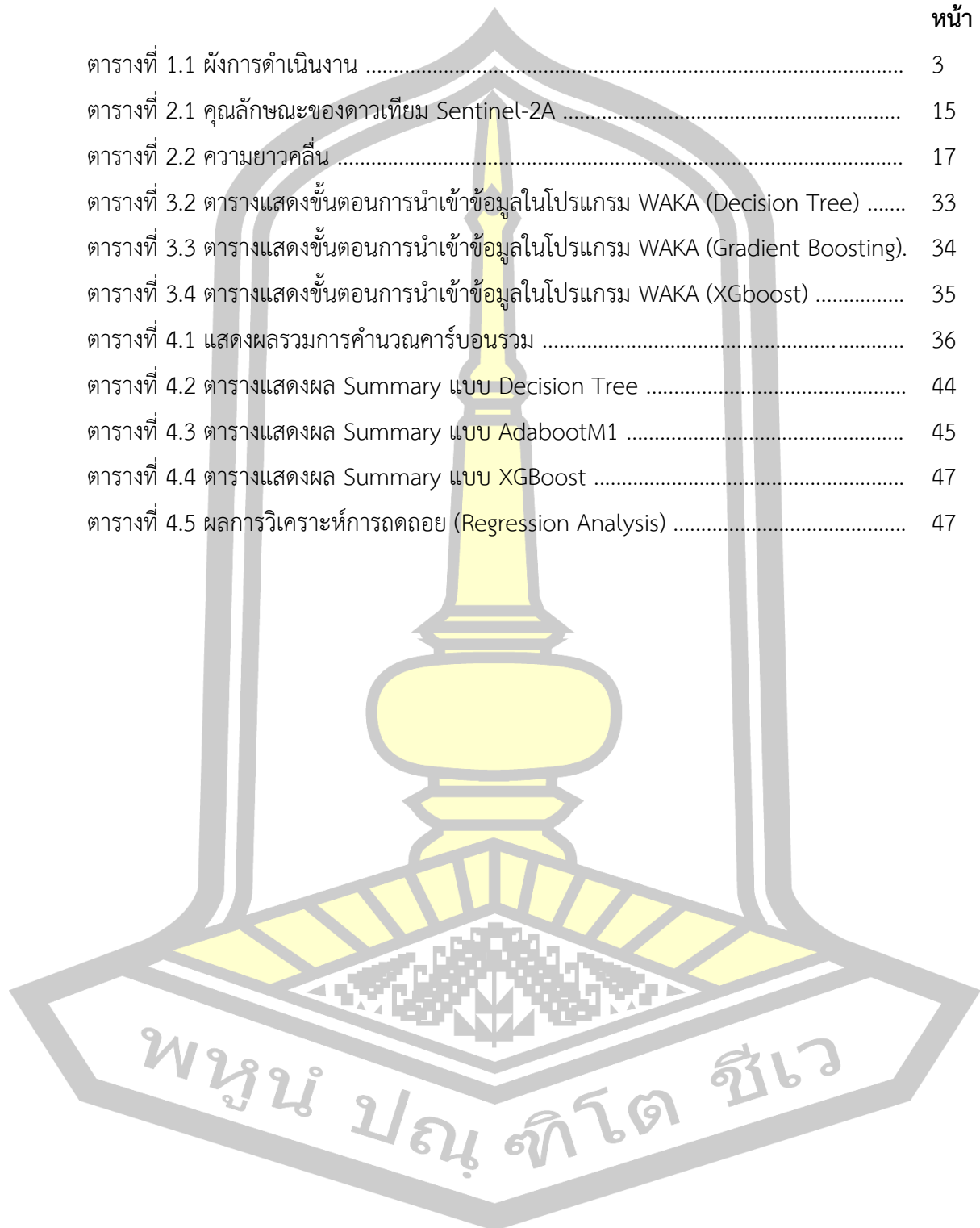
	หน้า
ภาพประกอบที่ 2.1 ตัวอย่างต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree) จากชุดข้อมูลตัวอย่าง	9
ภาพประกอบที่ 2.2 เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ	11
ภาพประกอบที่ 2.3 องค์ประกอบของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์	11
ภาพประกอบที่ 2.4 เครื่องคอมพิวเตอร์	12
ภาพประกอบที่ 2.5 โปรแกรม Microsoft Office	12
ภาพประกอบที่ 2.6 โปรแกรม Weka	13
ภาพประกอบที่ 2.7 โปรแกรม ArcGIS Desktop	14
ภาพประกอบที่ 2.8 โปรแกรม Quantum GIS	14
ภาพประกอบที่ 2.9 วิธีการวัดความสูงของต้นไม้	18
ภาพประกอบที่ 3.1 แผนที่แสดงพื้นที่ศึกษา	24
ภาพประกอบที่ 3.2 แสดงแผนผังขั้นตอนการดำเนินงาน	25
ภาพประกอบที่ 3.3 กำหนดแปลงตัวอย่าง	26
ภาพประกอบที่ 3.4 แสดงวิธีการวางแผนสำรวจพรรณไม้	27
ภาพประกอบที่ 3.5 ตัวอย่างเครื่องมือวางแผนสำรวจ/เก็บข้อมูล	27
ภาพประกอบที่ 3.6 เว็บไซต์ SEA	28
ภาพประกอบที่ 3.7 ผลการคำนวณ NDVI	29
ภาพประกอบที่ 3.8 ผลการคำนวณ SAVI	29
ภาพประกอบที่ 3.9 ผลการคำนวณ RVI	30
ภาพประกอบที่ 3.10 ผลการคำนวณ ของ TNDVI	30
ภาพประกอบที่ 3.11 แสดงผล Extract Multi Values to Points ของค่า ดัชนี	31
ภาพประกอบที่ 3.12 คำนวณคาร์บอนด้วยโปรแกรม Microsoft office Excel	32
ภาพประกอบที่ 3.13 ผลการวิเคราะห์ Interpolation เทคนิค IDW	32
ภาพประกอบที่ 2.14 ผลแบบจำลอง Random tree	33
ภาพประกอบที่ 3.15 ผลแบบจำลอง AdaboostM1	35
ภาพประกอบที่ 3.17 ผลแบบจำลอง XGboost	35
ภาพประกอบที่ 4.1 แผนที่แสดงผลความหนาแน่นของคาร์บอน (IDW)	37

ภาพประกอบที่ 4.2 แสดงแปลงย่อย ขนาด 10X10 เมตร	38
ภาพประกอบที่ 4.3 แผนที่แสดงผลดัชนีความต่างพืชพรรณ NDVI	39
ภาพประกอบที่ 4.4 แผนที่แสดงผลดัชนีอัตราส่วนพืชพรรณ RVI	40
ภาพประกอบที่ 4.5 แผนที่แสดงผลดัชนีพืชพรรณปรับแก้ดิน SAVI	41
ภาพประกอบที่ 4.6 แผนที่แสดงผลดัชนีการเปลี่ยนความต่างพืชพรรณ TNDVI	42
ภาพประกอบที่ 4.7 แผนที่แสดงผลวิเคราะห์ Decision Tree	43
ภาพประกอบที่ 4.8 แผนที่แสดงผลวิเคราะห์ Gradient Boosting โดยวิธี AdabootM1.....	44
ภาพประกอบที่ 4.9 แผนที่แสดงผลวิเคราะห์ XGboost	46



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 ผังการดำเนินงาน	3
ตารางที่ 2.1 คุณลักษณะของดาวเทียม Sentinel-2A	15
ตารางที่ 2.2 ความยาวคลื่น	17
ตารางที่ 3.2 ตารางแสดงขั้นตอนการนำเข้าสู่ข้อมูลในโปรแกรม WAKA (Decision Tree)	33
ตารางที่ 3.3 ตารางแสดงขั้นตอนการนำเข้าสู่ข้อมูลในโปรแกรม WAKA (Gradient Boosting).	34
ตารางที่ 3.4 ตารางแสดงขั้นตอนการนำเข้าสู่ข้อมูลในโปรแกรม WAKA (XGboost)	35
ตารางที่ 4.1 แสดงผลรวมการคำนวณคาร์บอนรวม	36
ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงผล Summary แบบ Decision Tree	44
ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงผล Summary แบบ AdaboostM1	45
ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงผล Summary แบบ XGBoost	47
ตารางที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis)	47



บทที่ 1

บทนำ

1.1 หลักการและเหตุผล

การเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อภาวะโลกร้อนโดยการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ ที่มีการดำเนินการจากการพัฒนาประเทศทั้งด้านอุตสาหกรรม การผลิต เช่น ทำให้เกิดการสร้างโรงงานขนาดใหญ่หรือโรงงานขนาดเล็กเพิ่มมากขึ้น ทำให้เกิดการใช้พลังงานที่มีอัตราการผลิตก๊าซเรือนกระจกสูงขึ้น การเปลี่ยนแปลงในสภาพภูมิอากาศและทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและมนุษย์ การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ สามารถทำให้เกิดภาวะโลกร้อนได้โดยตรงหรืออ้อม ภาวะโลกร้อนอาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิโลก การเปลี่ยนแปลงในระบบทางน้ำ และการเปลี่ยนแปลงในระบบสภาพภูมิอากาศทั่วโลก ซึ่งสามารถส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและมนุษย์ได้หลากหลายทาง เช่น การเพิ่มความร้อนในบริเวณเมืองที่มีอากาศที่อับชื้น เพิ่มอัตราการเกิดพายุอันตราย การเกิดสภาวะความแห้งแล้ง หรือเกิดอุทกภัย เป็นต้น

ปี 2558 ประเทศไทยได้จัดทำแผนแม่บทรองรับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ พ.ศ. 2558 – 2593 เพื่อสร้างภูมิคุ้มกันต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โดยทุกภาคส่วนทุกระดับของประเทศให้เกิด การบูรณาการแนวทางและมาตรการในการปรับตัวให้สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ และมีการกำหนดการลดอัตราการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศ เพื่อเป็นแนวทางในการสร้างกลไกให้เกิดการเติบโต แบบปล่อยคาร์บอนต่ำอย่างยั่งยืน (สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2562) มวลชีวภาพจากป่าหนึ่ง ในตัวชี้วัดที่สำคัญที่สุดของการจัดการป่าไม้อย่างยั่งยืน และการประมาณค่าที่แม่นยำนั้น มีความหมายทางด้านสิ่งแวดล้อม เศรษฐกิจ และสังคม แต่ถึงอย่างไร ปริมาณของมวลชีวภาพจากป่ายังคงเป็นความท้าทายตั้งแต่ระดับท้องถิ่นไปจนถึงระดับโลก สำหรับการศึกษาหรือการวัดปริมาณมวลชีวภาพด้วยวิธีการภาคสนามแบบดั้งเดิมนั้น ใช้แรงงานและเวลามาก รวมทั้งโดยทั่วไปมีราคาแพง มวลชีวภาพเหนือพื้นดิน (Effiom, 2018) คิดเป็น 70% ถึง 90% ของมวลชีวภาพจากป่าทั้งหมด และสามารถวิเคราะห์และสัมพันธ์กับข้อมูลการสำรวจระยะไกล (Sangpradid et al. (2022) (Uttaruk & Laosuwan, 2017)

ดัชนีพืชพรรณจากข้อมูลการสำรวจระยะไกล เป็นดัชนีที่บ่งบอกถึงสัดส่วนของพืชพรรณที่ปกคลุมดินหรือบ่งบอกถึงความสมบูรณ์ของพืชพรรณ ดังนั้นนักวิจัยจำนวนมาก นิยมใช้ดัชนีพืชพรรณมาสร้างความสัมพันธ์ร่วมกับ การสำรวจข้อมูลภาคสนามเพื่อใช้ในการประมาณค่า ของมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน เช่นดัชนีความต่างความชื้น (NDVI) (Sangpradid et al., 2022) ดัชนีอัตราส่วนพืชพรรณ (Uttaruk & Laosuwan, 2018) เป็นต้น ดัชนีพืชพรรณเป็นการหาค่าสัมประสิทธิ์ระหว่างช่วงคลื่น

เห็นได้ด้วยตาเปล่า (Visible bands) และ ช่วงความยาวคลื่นอินฟราเรดใกล้ (Near Infrared) โดยพืชที่มีค่าดัชนีพืชพรรณจะแสดงว่ามีการเจริญเติบโตและมีการสะสมคาร์บอนในต้นไม้เป็นอย่างดี ดังนั้นการใช้ดัชนีพืชพรรณด้วยภาพถ่ายดาวเทียมสามารถช่วยในการประเมินการกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่ได้ โดยพืชที่มีค่าดัชนีพืชพรรณสูงจะส่งผลต่อการดูดแลกรักษาป่าไม้หรือพื้นที่สีเขียว เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการกักเก็บคาร์บอน นอกจากนี้ การใช้ภาพถ่ายดาวเทียมในการวัดดัชนีพืชพรรณยัง ช่วยในการติดตามเปลี่ยนแปลงของพื้นที่สีเขียวเพื่อควบคุมการใช้ที่ดิน ให้เหมาะสมกับการรักษาสีเขียวและ การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอนาคตด้วย

ดังนั้นงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยมีแนวคิดของการนำเอาดัชนีพืชพรรณจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมมาประยุกต์ใช้สำหรับการประมาณค่าการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน โดยใช้วิธีการเรียนรู้เครื่องจักร ด้วยวิธีการ Gradient Boosting มาใช้สำหรับการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของดัชนีพืชพรรณ ในเขตป่าสงวนแห่งชาติป่าโคกผกูดและป่าโป่งแดง จังหวัดมหาสารคาม (สำนักงานป่าไม้จังหวัดมหาสารคาม, 2566)

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1. เพื่อศึกษาปริมาณการเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินจากการสำรวจข้อมูลที่ป่าสงวนแห่งชาติป่าโคกผกูดป่าโป่งแดง จังหวัดมหาสารคาม

1.2.2. เพื่อประมาณค่าการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินจากความสัมพันธ์ของดัชนีพืชพรรณด้วยวิธีการเรียนรู้เครื่องจักร เทคนิค Gradient Boosting จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม

1.3 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.2.3. ได้ปริมาณการเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินจากการสำรวจข้อมูลที่ป่าสงวนแห่งชาติป่าโคกผกูดป่าโป่งแดง จังหวัดมหาสารคาม

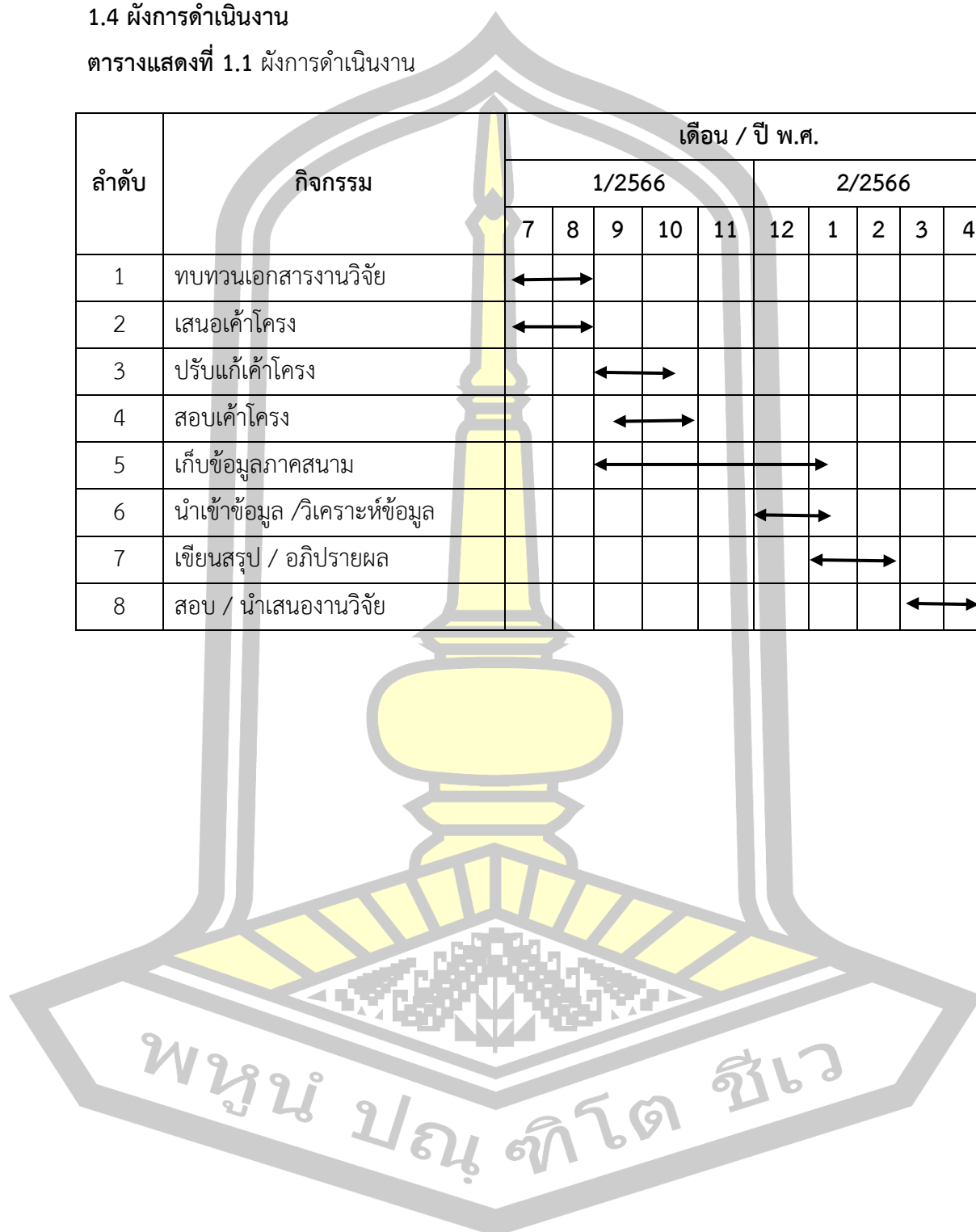
1.2.4. ได้ค่าการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินจากความสัมพันธ์ของดัชนีพืชพรรณด้วยวิธีการเรียนรู้เครื่องจักร เทคนิค Gradient Boosting จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม

พูน ปณ จิต ชเว

1.4 ผังการดำเนินงาน

ตารางแสดงที่ 1.1 ผังการดำเนินงาน

ลำดับ	กิจกรรม	เดือน / ปี พ.ศ.									
		1/2566					2/2566				
		7	8	9	10	11	12	1	2	3	4
1	ทบทวนเอกสารงานวิจัย	↔									
2	เสนอเค้าโครง	↔									
3	ปรับแก้เค้าโครง			↔							
4	สอบเค้าโครง			↔							
5	เก็บข้อมูลภาคสนาม			↔							
6	นำเข้าข้อมูล / วิเคราะห์ข้อมูล						↔				
7	เขียนสรุป / อภิปรายผล							↔			
8	สอบ / นำเสนองานวิจัย									↔	



บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

2.1.1 ก๊าซเรือนกระจก

ก๊าซเรือนกระจก หมายถึง ก๊าซที่มีคุณสมบัติในการดูดซับคลื่นรังสีความร้อนหรือรังสีอินฟราเรด ได้ดี คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์, ก๊าซมีเทน, ก๊าซไนตรัสออกไซด์, ก๊าซซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์, ก๊าซไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน, และก๊าซเพอร์ฟลูออโรคาร์บอน เป็นต้น ก๊าซเหล่านี้มีความสำคัญต่อการรักษาอุณหภูมิในบรรยากาศของโลกให้คงที่ เนื่องจากสามารถดูดซับรังสีความร้อนไว้ในตอนกลางวัน แล้วจะค่อย ๆ คายหรือแผ่รังสีความร้อนออกมาในเวลากลางคืน ทำให้อุณหภูมิในชั้นบรรยากาศของโลกไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลัน ก๊าซเหล่านี้เกิดจากปรากฏการณ์หรือกระบวนการทางธรรมชาติและกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ เช่น การเผาไหม้เชื้อเพลิง ทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ สะสมอยู่ในชั้นบรรยากาศมากที่สุด และก๊าซที่ควรเฝ้าระวังต่อมา คือ ก๊าซมีเทนที่เกิดจากการย่อยสลายของสารอินทรีย์ ก๊าซเรือนกระจก นอกจากจะดูดความร้อนไว้ในบรรยากาศโลกแล้ว ยังไปทำลายชั้นโอโซนให้บางลงด้วย ซึ่งในชั้นโอโซนมีหน้าที่ในการกรองรังสีอันตราย คือ รังสียูวี หรือ Ultraviolet (สมาคมพัฒนาคุณภาพสิ่งแวดล้อม ประเทศไทย, 2560)

2.1.1 สถานการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ Climate Change

การที่สภาพภูมิอากาศมีการเปลี่ยนแปลงในระยะยาว เป็นผลมาจากปรากฏการณ์โลกร้อน การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ปริมาณน้ำฝน ความถี่ และความรุนแรงของการเกิดพายุ รวมถึงการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเล (สมาคมพัฒนาคุณภาพสิ่งแวดล้อม ประเทศไทย, 2560)

2.2 การกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพ

2.2.1 วัฏจักรคาร์บอน (Carbon Cycle)

คือ การหมุนเวียนหรือการแลกเปลี่ยนธาตุคาร์บอน (Carbon) ในสถานะต่าง ๆ ระหว่างดิน หิน แหล่งน้ำ ชั้นบรรยากาศ และสิ่งมีชีวิต ซึ่งนับเป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอน (Reservoir) ที่สำคัญของโลก เป็นพลังงานแบบหมุนเวียนของธาตุและสารประกอบคาร์บอน ทั้งที่อยู่ในสถานะของแข็งของเหลว และก๊าซ และยังหมายถึงการเปลี่ยนถ่ายคาร์บอนระหว่างแหล่งกักเก็บต่าง ๆ ผ่านกระบวนการทางเคมีที่เกิดขึ้นจากสิ่งมีชีวิตและการเปลี่ยนแปลงของโลก เช่น กระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช การย่อยสลายของจุลินทรีย์ หรือแม้แต่การเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลก เนื่องจากโลกเป็น

ระบบปิด (Closed System) สสารต่าง ๆ จึงไม่สามารถถ่ายเทออก สู่ภายนอกระบบได้ ดังนั้น ปริมาณของคาร์บอนทั้งหมดบนโลกจึงไม่เคยเปลี่ยนแปลงมาก่อน มีเพียงการหมุนเวียนและเปลี่ยนถ่ายของคาร์บอนในสถานะต่าง ๆ ระหว่างแหล่งกักเก็บที่สำคัญเหล่านี้เท่านั้น (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี : สสวท.2566)

สำหรับการหมุนเวียนของคาร์บอนในระบบนิเวศป่าไม้เริ่มจากต้น และ พืช อื่น ๆ ในระบบนิเวศดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์จากบรรยากาศผ่านทางกระบวนการสังเคราะห์แสงของใบ เพื่อสร้างอินทรีย์สาร ซึ่งมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบนำมาเก็บไว้ในส่วนต่าง ๆ ของต้นไม้ หรือที่เรียกว่า การกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพ ทั้งในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดิน ได้แก่ ลำต้น กิ่ง และใบ ส่วนที่อยู่ใต้ดิน คือ ราก ในขณะเดียวกัน ต้นไม้มีการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์สู่บรรยากาศโดยกระบวนการหายใจส่วนต่าง ๆ (โลลูพิมาน et al., 2558)

2.2.2 การหมุนเวียนคาร์บอนในป่าไม้

คือ ทำให้ป่าไม้สามารถเป็นได้ทั้งแหล่งดูดซับหรือกักเก็บคาร์บอน (Carbon sink) รวมถึงเป็นแหล่งปล่อยคาร์บอน (Carbon source) โดยที่ป่าไม้ที่มีการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากกว่าการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เรียกว่า แหล่งกักเก็บคาร์บอน ในทางตรงข้ามป่าไม้ที่มีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากกว่าการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ เรียกว่าแหล่งปลดปล่อยคาร์บอน โดยทั่วไป ป่าไม้หรือสวนป่าที่มีต้นไม้ที่กำลังเติบโตเป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอนที่มีศักยภาพมากกว่า หรือ สามารถดูดซับคาร์บอนได้มากกว่าป่าไม้หรือสวนป่าที่มีต้นไม้ตายมากหรืออัตรา การเติบโตน้อย (โลลูพิมาน et al., 2558)

2.3 แหล่งสะสมคาร์บอนของป่าไม้

แหล่งสะสมคาร์บอน (Carbon pool) เป็นองค์ประกอบ ที่สำคัญของป่าไม้ หรือเป็นพื้นที่ที่มีต้นไม้เป็นองค์ประกอบ ได้จำแนกแหล่งสะสมคาร์บอนของพื้นที่ป่าไม้เป็น 6 แหล่ง คือ

1. มวลชีวภาพเหนือพื้นดิน (Above-ground biomass) ได้แก่ ทุกส่วนของต้นไม้ที่อยู่เหนือพื้นดินคือ ลำต้น กิ่ง ใบ ดอก และผล รวมทั้งพืชชนิดอื่น ๆ
2. มวลชีวภาพใต้ดิน (Below-ground biomass) ได้แก่ ทุกส่วนของต้นไม้ที่มีอยู่ใต้ดิน หรือราก
3. ไม้ตาย (dead organic matter in litter) ได้แก่ ส่วนต่าง ๆ ของต้นไม้ที่ร่วงหล่นสู่ดินได้แก่ กิ่ง ก้าน ใบ ดอก และผล
4. อินทรีย์วัตถุในดิน (Soil organic matter)
5. ผลิตภัณฑ์ไม้ (harvested wood product) ซึ่งได้จากการตัดฟันไม้ เพื่อนำมาใช้เป็นผลิตภัณฑ์ ต่าง ๆ ทั้งนี้อายุการกักเก็บคาร์บอนขึ้นอยู่กับประเภทของผลิตภัณฑ์

6. ทั้งนี้อาจมีการหมุนเวียน หรือแลกเปลี่ยนคาร์บอนระหว่างแหล่งสะสมคาร์บอนต่าง ๆ ในพื้นที่ป่าไม้ (ทศพร et al., 2548)

2.4 การวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณคาร์บอนในต้นไม้

การคำนวณปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน (ชิงชัย, 2563) ซึ่งได้รวบรวมสมการ แอลโลเมตรี สำหรับใช้ในการคำนวณมวลชีวภาพของต้นไม้ ในป่าธรรมชาติประเภท ต่าง ๆ โดยวิธีการคำนวณจากข้อมูลต้นไม้ที่มีขนาด DBH มากกว่า 4.5 เซนติเมตร ขึ้นไปและจำเป็นต้องทราบความสูงของต้นไม้ด้วย ดังนี้

สมการแอลโลเมตรี ที่ใช้ในการคำนวณมวลชีวภาพของต้นไม้ในป่าดิบแล้ง ป่าดิบเขา Tsutsumi et al.(1983) รูปแบบสมการ คือ

$$Ws = 0.0509 D^2H^{0.919}$$

$$Wb = 0.00893 D^2H^{0.977}$$

$$Wl = 0.010140 D^2H^{0.0669}$$

สมการแอลโลเมตรีที่ใช้ในการคำนวณมวลชีวภาพของต้นไม้ในป่าเบญจพรรณป่าเต็งรัง Ogawa et al. (1965) รูปแบบสมการ คือ

$$Ws = 0.0396 D^2H^{0.9326}$$

$$Wb = 0.003489 D^2H^{1.0270}$$

$$Wl = (28.0/Wtc + 0.025) - 1$$

สมการแอลโลเมตรีที่ใช้ในการคำนวณมวลชีวภาพของต้นไม้ในป่าดิบชื้น Ogawa et al. (1965) รูปแบบสมการ คือ

$$Ws = 0.0396 D^2H^{0.9326}$$

$$Wb = 0.006003 D^2H^{1.0270}$$

$$Wl = (28.0/Wtc + 0.025) - 1$$

โดย Ws = มวลชีวภาพส่วนของลำต้น (กิโลกรัม)

Wb = มวลชีวภาพส่วนของกิ่ง (กิโลกรัม)

Wl = มวลชีวภาพส่วนของใบ (กิโลกรัม)

Wtc = มวลชีวภาพของลำต้น+กิ่ง (กิโลกรัม)

D = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับอก (เซนติเมตร)

H = ความสูงของต้นไม้ถึงเรือนยอด (เมตร)

2.5 ป่าไม้ในประเทศไทย

ประเทศไทยเราสามารถแบ่งประเภทป่าออกได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่

2.5.1 ป่าไม้ผลัดใบ (Evergreen Forest)

ป่าประเภทนี้มองดูเขียวชอุ่มตลอดปี เนื่องจากต้นไม้แทบทั้งหมดที่ขึ้นอยู่เป็นประเภทที่ไม่ผลัดใบ ได้แก่ ป่าดิบชื้น ป่าดิบแล้ง ป่าดิบเขา ป่าสน ป่าพรุ ป่าชายเลน

2.5.2 ป่าผลัดใบ (Deciduous Forest)

ได้แก่ ป่าเบญจพรรณ ป่าเต็งรัง และป่าหญ้า (กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2564)

2.6 ป่าไม้ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ครอบคลุมพื้นที่ 20 จังหวัด พบพื้นที่ป่าไม้ คิดเป็นร้อยละ 15.03 จังหวัด ที่มีสัดส่วนพื้นที่ป่าไม้เทียบกับพื้นที่ จังหวัด มากที่สุด ได้แก่ มุกดาหาร (ร้อยละ 33.00) รองลงมาคือ เลย (ร้อยละ 32.21) ชัยภูมิ (ร้อยละ 31.36) อุบลราชธานี (ร้อยละ 17.97) สกลนคร (ร้อยละ 17.65) นครราชสีมา (ร้อยละ 15.40) นครพนม (ร้อยละ 14.00) ศรีสะเกษ (ร้อยละ 11.47) หนองบัวลำภู (ร้อยละ 11.72) ขอนแก่น (ร้อยละ 11.47) กาฬสินธุ์ (ร้อยละ 10.94) อำนาจเจริญ (ร้อยละ 9.54) อุดรธานี (ร้อยละ 10.22) ยโสธร (ร้อยละ 8.67) บุรีรัมย์ (ร้อยละ 8.80) สุรินทร์ (ร้อยละ 8.44) หนองคาย (ร้อยละ 7.10) บึงกาฬ (ร้อยละ 6.99) ร้อยเอ็ด (ร้อยละ 9.99) และมหาสารคาม (ร้อยละ 3.81) (สำนักจัดการที่ดินป่าไม้, 2565)

2.7 พื้นที่ป่าฝักกูดป่าโป่งแดง

พื้นที่ป่าโคฝักกูดและป่าโป่งแดง กรมป่าไม้ ได้ประกาศจัดตั้งเป็นป่าสงวนแห่งชาติ เมื่อปี 15 กรกฎาคม พ.ศ. 2511 อยู่ในเขตท้องที่ ตำบลลำฟ้า ตำบลโนนแดง อำเภอเบรบือ ตำบลเขวไร่ อำเภอนาเชือก และตำบลนาข่า อำเภอลำทะเมนชัย จังหวัดมหาสารคาม มีพรรณไม้ประกอบไปด้วย ไม้แดง ไม้เต็ง ไม้รัง ไม้พรวง และไม้ชนิดอื่น ๆ ซึ่งมีค่าจำนวนมากและมีของป่ามากมายกับทรัพยากรธรรมชาติอื่นด้วย ณ ปัจจุบัน มีพื้นที่คงเหลือประมาณ 1,153 ไร่ ชุมชนบริเวณรอบข้างได้มีการใช้ศักยภาพของป่าแห่งนี้ เพื่อดำรงชีพ ด้านต่าง ๆ เช่น การเก็บเห็ด พืชผัก สมุนไพร และเชื้อเพลิง (นฤเศรษฐ์ et al., 2564)

2.8 ดัชนีผลต่างพืชพรรณ (Normalized Difference Vegetation Index: NDVI)

NDVI เป็นดัชนีที่คิดค้นขึ้นโดย (Jensen, 2000:) เป็นการทำสัดส่วนระหว่างช่วงคลื่น 2 ช่วงคลื่นที่ปรับให้มีลักษณะเป็นการกระจายปกติ คือ ช่วงอินฟราเรดใกล้มาลบด้วยช่วงคลื่นตามองเห็นสีแดง แล้วหารด้วยผลบวกของช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้และช่วงคลื่นตามองเห็นสีแดง (สำนักงานเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ, 2562b) สมการดังนี้

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED) \dots\dots\dots 2.1$$

โดยที่ NDVI คือ ดัชนีพืชพรรณโดยวิธี Normalized Difference Vegetation Index

NIR คือ ค่าสะท้อนพลังงานในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้

RED คือ ค่าสะท้อนพลังงานในช่วงคลื่นตามองเห็นสีแดง

2.9 ดัชนีพืชพรรณปรับแก้ดิน (Soil-Adjusted Vegetation Index: SAVI)

เป็นดัชนีพืชพรรณที่สร้างขึ้นเพื่อการคำนวณพืชพรรณในพื้นที่ศึกษาที่มีปริมาณพืชพรรณค่อนข้างต่ำ มีสูตรการคำนวณคล้าย ๆ กับ NDVI แต่มีการให้ค่าคงที่ (L) เพิ่มขึ้นเพื่อลดอิทธิพลของการสะท้อนจากดินที่เป็นพื้นล่างของพืชพรรณ สมการดังนี้

$$SAVI = (1+L) \times (NIR - Red) / NIR + Red + L \dots\dots\dots 2.2$$

โดยที่ NIR คือ ค่าสะท้อนพลังงานในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้

RED คือ ค่าสะท้อนพลังงานในช่วงคลื่นตามองเห็นสีแดง

L คือ ค่าการปกคลุมของพืช

2.10 ดัชนีอัตราส่วนพืชพรรณ Ratio Vegetation Index (RVI)

ดัชนีพืชพรรณอย่างง่ายที่คิดค้นโดย จอร์แดน เป็นการทำสัดส่วนระหว่างสองช่วงคลื่นอย่างง่าย ๆ คือ นำเอาช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้มาหารด้วยช่วงคลื่นตามองเห็นสีแดง (ดวงรัตน์, 2556) มีสมการดังนี้

$$RVI = NIR / RED \dots\dots\dots 2.3$$

โดยที่ RVI = ดัชนีพืชพรรณ

NIR = ค่าสะท้อนพลังงานในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้

RED = ค่าสะท้อนพลังงานในช่วงคลื่นตามองเห็นสีแดง

2.11 ดัชนีวัดถึงปริมาณมวลชีวภาพ (Transformed normalized difference vegetation index: TNDVI)

เป็นการศึกษาถึงคุณภาพการปกคลุมของพืชสีเขียว โดย TNDVI จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมแล้วทำการคำนวณภายใต้ รากที่สองที่มีการนำเอาผลต่างระหว่างแบนด์อินฟราเรดกับ แบนด์สีแดงหารด้วยผลรวมระหว่างแบนด์อินฟราเรดกับแบนด์สีแดง จากนั้นนำผลหารมาบวกด้วย ค่าคงที่ 0.5 (Deering et al., 1975) การคำนวณดัชนีพืชพรรณ โดยปกติให้ค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1.2247 (ดวงรัตน์, 2556) ดังสมการต่อไปนี้

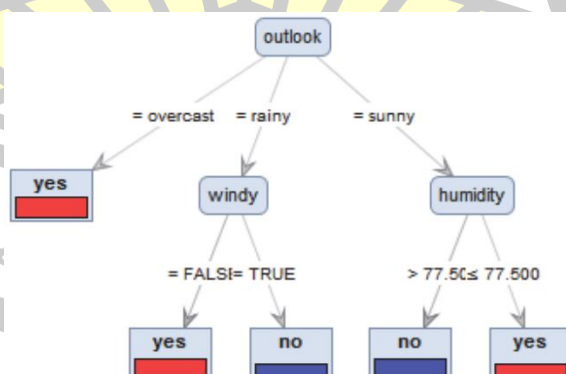
$$TNDVI = \sqrt{((NIR-RED)/(NIR+RED)) + 0.5} \dots\dots\dots 2.4$$

เมื่อ NIR = ค่าสะท้อนพลังงานในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้
RED = ค่าสะท้อนพลังงานในช่วงคลื่นตามองเห็นสีแดง

2.12 วิธีการเรียนรู้เครื่องจักร

2.12.1 ต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree)

เป็นวิธีหนึ่งในการจำแนกประเภทข้อมูลหรือจำแนก กฎโดยมีลักษณะการทำงานคล้ายกับโครงสร้างต้นไม้โดยแต่ละโหนด (Node) จะเป็นตัวแทนของคุณลักษณะ (Attribute) ที่ใช้ทดสอบข้อมูลแต่ละกิ่งแสดงผลในการทดสอบและลีฟโหนด (Leaf Node) แสดงถึงกลุ่มคลาส หรือกลุ่มคำตอบ (Class) ที่กำหนดไว้ ต้นไม้ตัดสินใจยังเป็นเทคนิคที่ค่อนข้างแพร่หลาย เนื่องจากผู้ใช้สามารถทำความเข้าใจผลลัพธ์ได้ง่าย โดยเทคนิคต้นไม้ตัดสินใจจะกำจัด ข้อมูลที่เป็นตัวแปรตาม (Dependent Variable) 1 ตัวต่อ 1 แบบจำลอง ถ้าต้องการทำนายตัวแปรตามหลาย ๆ ตัว จะต้องสร้าง แบบจำลองสำหรับตัวแปรตามแต่ละ ตัวลัทธิของเทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ (สรศักดิ์, 2564)



ภาพประกอบที่ 2.1 ตัวอย่างต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree) จากชุดข้อมูลตัวอย่าง
ที่มา : (สรศักดิ์, 2564)

2.12.2 Gradient Boosting

เป็นเทคนิคการเรียนรู้ของเครื่องมือสำหรับแก้ปัญหาการถดถอย (Regression) และการจำแนกประเภท (Classification) GBM จะสร้างโครงสร้างการถดถอยตามลำดับ ซึ่ง GBM ใช้เทคนิคการเพิ่มการรวมจำนวน Classifier ที่มีความแม่นยำต่ำ เพื่อสร้างเป็น Classifier ให้โดยต้นไม้ ในลำดับต่อไปจะถูกสร้างจากข้อผิดพลาดจากการคำนวณต้นไม้ก่อนหน้าโดยใช้อัลกอริทึม Level-Wise (Vijite, 2019)

2.12.3 XGBoost (eXtreme Gradient Boosting)

เป็นเทคนิคที่พัฒนามาจาก Gradient Boosting ซึ่ง XGBoost เป็นแบบจำลองที่นำเอาต้นไม้ตัดสินใจมาซ้อนต่อกันหลาย ๆ ต้น โดยที่ต้นไม้ตัดสินใจแต่ละต้นจะเรียนรู้จากค่าความผิดพลาดของต้นก่อนหน้า ซึ่งทำให้ความแม่นยำในการทำนายจะมากขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อมีการเรียนรู้ของต้นไม้ตัดสินใจต่อเนื่องกันจนมีความลึกมากพอ แบบจำลองจะหยุดเรียนรู้เมื่อไม่หรือ ค่าความผิดพลาดจากต้นไม้ ตัดสินใจต้นก่อนหน้าให้เรียนรู้แล้ว (Tseng, 2018)

2.13 ความรู้ด้านภูมิสารสนเทศ

ความหมายของภูมิสารสนเทศ คือ ศาสตร์สารสนเทศที่เน้นการบูรณาการเทคโนโลยีทางด้านการสำรวจการทำแผนที่ และการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่เข้าด้วยกัน เพื่อศึกษาเกี่ยวกับพื้นที่บนโลก ประกอบด้วย ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (companies, .11) การรับรู้จากระยะไกล และระบบกำหนดตำแหน่งบนพื้นโลก (GPS) เทคโนโลยีทั้งสามประเภทนี้สามารถทำงานเป็นอิสระต่อกัน หรือสามารถนำมาเชื่อมโยงร่วมกัน ทำให้ประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลายด้าน เช่น กิจการทหาร การจัดการทรัพยากรธรรมชาติ การจัดการภัยพิบัติต่าง ๆ การวางผังเมืองและชุมชน หรือแม้แต่ในเชิงธุรกิจก็ได้มีการนำเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศศาสตร์มาประยุกต์ใช้และประกอบการวางแผนการตัดสินใจในเรื่องต่าง ๆ ได้อย่างถูกต้อง รวดเร็ว และมีประสิทธิภาพ

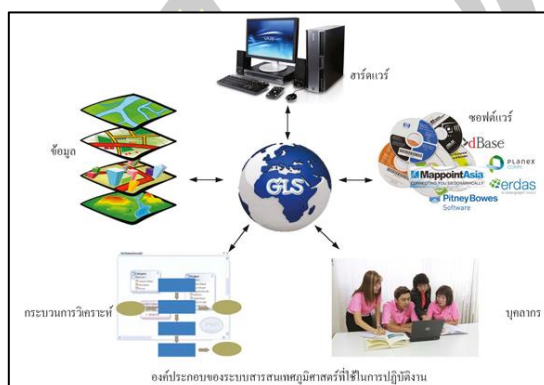


ภาพประกอบที่ 2.2 เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ

(สำนักงานเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ, 2562a)

2.14 องค์ประกอบของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์มีองค์ประกอบที่สำคัญรวม ๕ ประการ คือ ฮาร์ดแวร์ (Hardware) ซอฟต์แวร์ (companies, .11) ข้อมูล (Data) กระบวนการวิเคราะห์ (Application procedure) และบุคลากร (People ware) ซึ่งจะอธิบายพอสังเขปดังต่อไปนี้ (มูลนิธิโครงการสารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน, 2561)

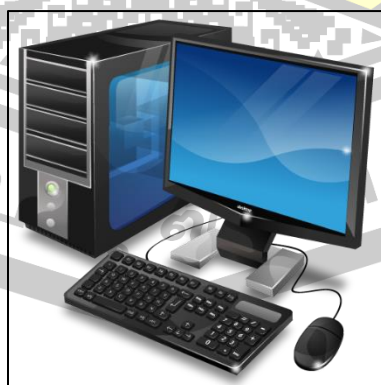


ภาพประกอบที่ 2.3 องค์ประกอบของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

2.15 เครื่องมือสำหรับวิเคราะห์

2.15.1 เครื่องคอมพิวเตอร์

อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีความสามารถในการประมวลผลแบบอัตโนมัติ เมื่อรับคำสั่งหรือข้อมูลเข้ามาทางอุปกรณ์นำเข้า ประมวลผลจนได้ผลลัพธ์หรือสารสนเทศ ตามที่ต้องการและแสดงผลลัพธ์ออกมาทางอุปกรณ์แสดงผล อีกทั้งยังสามารถจัดเก็บข้อมูลหรือ สารสนเทศเหล่านั้นลงในสื่อจัดเก็บข้อมูล เช่น ฮาร์ดดิสก์แฟลชไดรฟ์ เป็นต้น (มูลนิธิโครงการสารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน , 2561)



ภาพประกอบที่ 2.4 เครื่องคอมพิวเตอร์

2.15.2 โปรแกรม Microsoft Office

เป็นชุดโปรแกรมสำนักงานพัฒนาโดย “ไมโครซอฟท์” ซึ่งสามารถใช้งานได้ในระบบปฏิบัติการไมโครซอฟท์ วินโดวส์ และแอปเปิล แมคอินทอช ไมโครซอฟท์ ออฟฟิศยังมีการส่งเสริมให้ใช้บริการผ่านระบบเครื่องแม่ข่าย (Server) และ บริการผ่านหน้าเว็บ (Web Based) ในรุ่นใหม่ ๆ ของไมโครซอฟท์ ออฟฟิศ เราจะเรียกมันว่า ระบบสำนักงาน (Office system) แทนแบบเก่า คือ ชุดโปรแกรมสำนักงาน (Office Suite) ซึ่งการเรียกว่า ระบบสำนักงานจะรวมการทำงานกับเครื่องแม่ข่ายเอาไว้ด้วย



ภาพประกอบที่ 2.5 โปรแกรม Microsoft Office

2.15.3 โปรแกรม Weka

ย่อมาจาก Waikato Environment for Knowledge Analysis เป็นซอฟต์แวร์สำเร็จประเภทฟรีแวร์ ซึ่งโปรแกรม Weka ได้ถูกพัฒนามาจากภาษา จาวา ทั้งหมด ซึ่งเขียนมาโดยเน้นกับงานทางด้านการเรียนรู้ด้วยเครื่อง หรือ Machine Learning และ การทำเหมืองข้อมูล (Data Mining) โปรแกรมจะประกอบไปด้วยโมดูลย่อย ๆ สำหรับใช้ในการจัดการข้อมูล และเป็นโปรแกรมที่สามารถใช้ GUI หรือ Graphic User Interface และ ใช้คำสั่งในการให้ซอฟต์แวร์ประมวลผล และสามารถรันได้หลายระบบปฏิบัติการ และสามารถพัฒนาต่อยอดโปรแกรมได้ เป็นเครื่องมือที่ใช้ทำงานในด้านการทำ Data Mining ที่รวบรวมแนวคิดอัลกอริทึมมากมายซึ่งอัลกอริทึมสามารถเลือกใช้งานโดยตรงได้จาก 2 ทางคือจากชุดเครื่องมือที่มีอัลกอริทึมมาให้ หรือเลือกใช้จากอัลกอริทึมที่ได้เขียนเป็นโปรแกรมลงไปเป็นชุดเครื่องมือเพิ่มเติม และชุดเครื่องมือมีฟังก์ชันสำหรับการทำงานร่วมกับข้อมูล ได้แก่ Pre-Processing, Classification, Regression, Clustering, Association Rules, Selection และ Visualization ส่วนในเรื่องของการ Import ข้อมูล โดยข้อมูลนั้นจะต้องอยู่ในรูปแบบ ASCII อาจเป็น arff, csv, c45 (Waikato, 1997)



ภาพประกอบที่ 2.6 โปรแกรม Weka

2.16 โปรแกรมทางภูมิสารสนเทศ

Arc GIS ออกแบบมาเพื่อรองรับความต้องการของผู้ใช้ได้อย่างกว้างขวาง องค์ประกอบของ Desktop GIS ของ ArcGIS ประกอบด้วย ArcView, Arc Editor, Arc Info (Esri, 2023)

ArcGIS for Desktop เป็นซอฟต์แวร์ด้าน GIS สำหรับการสร้าง แก้ไข วิเคราะห์ จัดเก็บ และแบ่งปันข้อมูลร่วมกัน ช่วยใช้ในการตัดสินใจ เพื่อประหยัดงบประมาณ เวลา และค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานสามารถแสดงผลได้ทั้งแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ (Esri, 2023)

ArcMap เป็นเป็นส่วนหนึ่งของ ArcGIS for Desktop ใช้สำหรับแสดงภาพ ปรับแก้ข้อมูลเชิงพื้นที่ สร้างแผนที่ กราฟ และรายงาน ArcMap สามารถเรียกดูข้อมูลในแบบที่เรียกว่า "สิ่งที่เห็นเป็นสิ่งที่ได้" และสามารถลากและวางข้อมูลจาก Arc Catalog ได้โดยเปิดเอกสารแผนที่จาก ArcMap แล้ว ลากข้อมูลจาก Arc Catalog ที่เปิดอยู่ไปวางที่บริเวณแสดงภาพของ ArcMap ได้



ภาพประกอบที่ 2.7 โปรแกรม ArcGIS Desktop

(ที่มา : (Esri, 2023)

โปรแกรม Quantum GIS หรือ QGIS เป็นโปรแกรม Desktop GIS ประเภทหนึ่ง จัดอยู่ในกลุ่มของซอฟต์แวร์รหัสเปิด (Free and Open Source Software: FOSS) ที่ใช้งานง่ายลักษณะการใช้งานเป็นแบบ Graphic User Interface ซึ่งสะดวกต่อการใช้งาน ไม่ว่าจะเป็นการเรียกใช้ข้อมูลเชิงพื้นที่ ทั้งข้อมูลเชิงเส้น (Vector) และข้อมูลเชิงภาพ (Raster) และข้อมูลตาราง (Attribute Table) สามารถสืบค้นข้อมูล วิเคราะห์ข้อมูลและ นำเสนอข้อมูลได้ในรูปแบบแผนที่ ตาราง หรือกราฟ อย่างที่มีประสิทธิภาพ QGIS สามารถเรียกใช้ข้อมูลเชิงเส้น (Vector) และข้อมูลเชิงภาพ (Raster) ในรูปแบบที่เป็นมาตรฐานแพร่หลาย เช่น Shapefile และ Geo TIFF สามารถใช้งานได้หลายระบบปฏิบัติการทั้ง Window Mac Linux และ Android (companies)



ภาพประกอบที่ 2.8 โปรแกรม Quantum GIS
(ที่มา : <https://qgis.org/>)

2.17 ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2A

เป็นดาวเทียมสำรวจโลกแบบออปติคอลดวงแรก และถูกออกแบบให้ใช้งานร่วมกับจรวด Vega ซึ่งเป็นตัวขับเคลื่อนยานพาหนะ ดาวเทียม Sentinel-2A ติดตั้งเครื่องมือระบบ Multi-Spectral Instrument (MSI) ที่สามารถบันทึกภาพด้วยความละเอียดสูง ถูกออกแบบขึ้นเพื่อใช้ในการใช้งานด้านการเกษตร โดยเฉพาะช่วงคลื่น Vegetation Red Edge ที่เกี่ยวข้องกับสถานะการเปลี่ยนแปลงของพืชพรรณ ภาพถ่ายจากดาวเทียม Sentinel-2A มีมุมมองกว้างในการถ่ายภาพประมาณ 290 กิโลเมตร และสามารถบันทึกข้อมูลภาพถ่ายได้ทุก ๆ 5 วัน ข้อมูลที่ได้รับจากการบันทึกในระบบ Multi-Spectral Instrument (MSI) ประกอบด้วย 13 ช่วงคลื่น มีความยาวคลื่นระหว่าง 443 – 2190 นาโนเมตร โดยมีความละเอียดเชิงพื้นที่ที่แตกต่างกันไป ได้แก่ 10 เมตร 20 เมตร และ 60 เมตร โดยช่วงคลื่นที่ 2 , 3, 4, 8 มีความละเอียดเชิงพื้นที่ 10 เมตร ช่วงคลื่นที่ 5, 6, 7, 8A เป็นช่วงคลื่นที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่ 20 เมตร และช่วงคลื่นที่ 1, 9, 10 มีความละเอียดเชิงพื้นที่ 60 เมตร ดาวเทียม Sentinel-2A เปิดตัวเรียบร้อยแล้วเมื่อวันที่ 23 มิถุนายน 2558 ภายใต้การบริหารจัดโดย

Vega จาก Kourou เฟรนช์เกียนา โคจรสูงเหนือพื้นโลก 786 กิโลเมตร (European Space Agency, 2012) (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ, 2562)

ตารางที่ 2.1 คุณลักษณะของดาวเทียม Sentinel-2A

Sentinel-2 Bands	Central Wavelength (μm)	Resolution (M)
Band 1 - Coastal aerosol	0.443	60
Band 2 - Blue	0.490	10
Band 3 - Green	0.560	10
Band 4 - Red	0.665	10
Band 5 - Vegetation Red Edge	0.705	20
Band 6 - Vegetation Red Edge	0.740	20
Band 7 - Vegetation Red Edge	0.783	20
Band 8 - NIR	0.842	10
Band 8A - Vegetation Red Edge	0.865	20
Band 9 - Water vapor	0.945	60
Band 10 - SWIR - Cirrus	1.375	60
Band 11 - SWIR	1.610	20
Band 12 - SWIR	2.190	20

ที่มา : (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ, 2562)

2.18 การรับรู้ระยะไกล หรือ รีโมตเซนซิง (Remote Sensing: RS)

การรับรู้ระยะไกล หรือ รีโมตเซนซิง คือ การใช้ความรู้และเทคนิคทางวิทยาศาสตร์ขั้นสูงมาประยุกต์ใช้ในการสังเกตการณ์และการวิเคราะห์ข้อมูลของวัตถุหรือเป้าหมายที่สนใจ เพื่อให้รับรู้ ว่าสิ่งนั้นหรือเป้าหมายคืออะไร โดยที่เราไม่ต้องเข้าไปสัมผัสหรือมีส่วนร่วมโดยตรง เป้าหมายในที่นี้อาจจะหมายถึง พื้นที่ที่ใช้ในการสำรวจหาข้อมูล หรือบริเวณที่สนใจก็ได้ (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ, 2562)

หลักการทำงานของ รีโมตเซนซิง คือ การใช้คุณสมบัติของการสะท้อนของคลื่น และการปลดปล่อยพลังงานของวัตถุมาประยุกต์ใช้ ซึ่งวัตถุแต่ละชนิดมีการตอบสนองการสะท้อนของคลื่นและการปลดปล่อยพลังงานแตกต่างกัน

ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจระยะไกล หมายถึง ข้อมูลที่ได้จากการถ่ายภาพทางเครื่องบินในระดับต่ำ ที่เรียกว่า รูปถ่ายทางอากาศ (Aerial Photo) และข้อมูลที่ได้จากการบันทึกภาพจากดาวเทียมใน

ระดับสูงกว่า เรียกว่า ภาพถ่ายจากดาวเทียม (Satellite Image) (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ, 2562)

2.18.1 แหล่งพลังงานและหลักการแผ่รังสี (Energy sources and radiation principle)

ความยาวคลื่น หมายถึง ความยาวคลื่นของพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นพลังงานต่อเนื่องที่มีค่าความยาวของช่วงคลื่นหลายเมตรถึงเศษส่วนของพันล้านเมตร (Nanometer; 10^{-9} เมตร) โดยดวงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดพลังงานในรูปแม่เหล็กไฟฟ้าทางธรรมชาติที่สำคัญและเป็นหลักทางการรับรู้จากระยะไกล ซึ่งจะแผ่พลังงานไปตามทฤษฎีของการแผ่พลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic theory) แยกออกเป็นทฤษฎีคลื่น (Wave theory) และทฤษฎีอนุภาค (Particle theory) ซึ่งในทางการรับรู้จากระยะไกลจะใช้ทฤษฎีคลื่นเป็นหลักที่มีการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิก (Harmonic motion) มีช่วงซ้ำและจังหวะเท่ากันในเวลาหนึ่งมีความเร็วเท่าความเร็วแสง (C) ระยะทางจากยอดคลื่นถึงยอดคลื่นถัดไปเรียกว่าความยาวคลื่น (λ) และจำนวนยอดคลื่นที่เคลื่อนผ่านจุดคงที่จุดหนึ่งต่อหน่วยเวลาเรียกว่า ความถี่คลื่น (F) ซึ่งมีความสัมพันธ์ กับความเร็วคลื่น คือ

$$\lambda = C/F$$

โดยที่ λ = ความยาวคลื่น

C = ความเร็วของคลื่นมีค่าคงที่ 3×10^8 เมตร/วินาที

F = ความถี่คลื่น จำนวนรอบต่อวินาที (Cycle/sec หรือ Hertz)

จากสมการความยาวคลื่นกับความถี่คลื่น มีความสัมพันธ์กันแบบผกผัน คือ ความยาวคลื่นมากความถี่คลื่นจะน้อย ความยาวคลื่นมีหน่วยวัดเรียกว่า ไมโครเมตร (Micrometer) หรือ ไมครอน (Micron, μ) ซึ่งเท่ากับ 0.000001 เมตร หรือ 10^{-6} เมตร มีรายละเอียดของความยาวคลื่นในมาตราเมตริกดัง ตารางที่ 2.2

พหุ ประถมศึกษา

ตารางที่ 2.2 ความยาวคลื่น

หน่วย	ความยาว
กิโลเมตร (James G. C. Ball, .54 C. Ball, .54)	1,000 m
เมตร (m)	1.0 m
เซนติเมตร (cm)	$0.01 \text{ m} = 10^{-2}$
มิลลิเมตร (mm)	$0.001 \text{ m} = 10^{-3}$
ไมโครเมตร (μm)	$0.000001 \text{ m} = 10^{-6}$
นาโนเมตร (nm)	10^{-10}
อังสตรอม ($\text{\AA}$)	10^{-10}

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแบ่งตามความยาวคลื่นที่เรียกว่า ช่วงคลื่น (Band) ตั้งแต่ช่วงคลื่นที่สั้นที่สุด คือ รังสีคอสมิก (Cosmic rays) มีความยาวช่วงคลื่นน้อยกว่า 10-10 เมตร จนถึงช่วงคลื่นวิทยุที่มีความยาวคลื่นหลายกิโลเมตร สำหรับคุณสมบัติของช่วงคลื่น ประกอบด้วยช่วงคลื่นตามลำดับความยาวดังนี้ รังสีแกมมา รังสีเอกซ์ อัลตราไวโอเลต ช่วงคลื่นตามองเห็น อินฟราเรด ไมโครเวฟ และคลื่นวิทยุ (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ, 2562)

2.19 การวางแผนสำรวจ

2.19.1 ชนิดของแปลงตัวอย่าง แบ่งชนิดของแปลงตัวอย่างเป็น 2 ประเภท

1. แปลงตัวอย่างชั่วคราว (Temporary Sample Plot) เป็นแปลงตัวอย่างที่สร้างขึ้นในการเก็บสถิติข้อมูลต่าง ๆ เกี่ยวกับป่าไม้และทรัพยากรธรรมชาติอื่น ๆ เช่น ความโตของต้นไม้ นับจำนวนต้นไม้ วัดความสูง เก็บข้อมูลเกี่ยวกับการสืบพันธุ์ตามธรรมชาติ แปลงตัวอย่างประเภทนี้ไม่มีการหมายแนวหรือขอบเขตของแปลงตัวอย่าง เพียงแต่กำหนดขอบเขตเพื่อเก็บข้อมูลดังกล่าวเพียงครั้งเดียวแล้วก็เลิกไป แปลงตัวอย่างประเภทนี้ส่วนใหญ่ใช้ในการสำรวจทรัพยากรป่าไม้

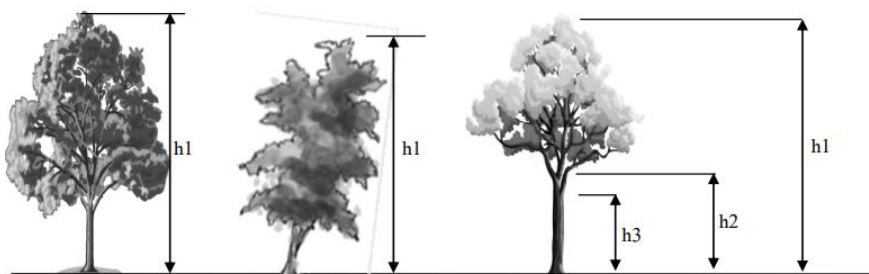
2. แปลงตัวอย่างถาวร (Permanent Sample Plot) สร้างขึ้นเพื่อเก็บสถิติข้อมูลแบบต่อเนื่อง เช่น การเก็บข้อมูลเกี่ยวกับความเจริญเติบโตของไม้ชนิดต่าง ๆ แปลงตัวอย่างที่สร้างขึ้นจึงต้องมีขอบเขตและเนื้อที่ที่แน่นอน มีการหมายขอบเขตเด่นชัด เพื่อความสะดวกในการวัดข้อมูลในคราวต่อ ๆ ไป ซึ่งแปลงตัวอย่างถาวรดังกล่าวนี้ส่วนใหญ่แล้วมีวัตถุประสงค์เพื่อการค้นคว้าศึกษาวิจัย (Research Sample Plot) และเพื่อการจัดการ (Management Sample Plot) (จุฬามาศ, 2558)

2.19.2 รูปร่างของแปลงตัวอย่าง จำแนกแปลงตัวอย่างออกเป็น 5 ชนิด

- (1) แปลงตัวอย่างรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า (Rectangular Sample Plot)
- (2) แปลงตัวอย่างรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส (Square Sample Plot)
- (3) แปลงตัวอย่างรูปวงกลม (Circular Sample Plot)
- (pix4d.com, .72) แปลงตัวอย่างเป็นแนว (Strip Sample Plot)
- (5) แปลงตัวอย่างวงกลมในแนว

2.20 การวัดความสูงของต้นไม้

การวัดความสูงของต้นไม้ การวัดความสูงทั้งหมดของต้นไม้วัดได้จาก ระยะห่างจากยอดถึง โคน ต้น โดยการวัดแนวตั้งจากยอดลงมา ถ้าหากลำต้นตั้งตรงความสูงของต้นไม้และความสูงของลำต้นจะเท่ากัน การวัดความสูงของต้นไม้จะยากกว่าการวัดความโตของต้นไม้ เพราะต้องใช้เครื่องมือและอาศัย ความชำนาญมากกว่า จึงจะได้ค่าที่มีความถูกต้อง เครื่องมือที่ใช้ในการวัดความสูงของต้นไม้ มักจะใช้ไม้วัดความสูง (measuring pole) วัดความสูงได้ไม่เกิน 15 เมตร ถ้าสูงมากกว่านี้จะใช้ฮาไกฮิโสมิเตอร์ (Haga Hypsometer) หรือซินโต ไคลโนมิเตอร์ (Santo Clinometer) การวัดความสูงต้นไม้ในป่าธรรมชาติที่มีเรือนยอดซ้อนทับกันมักจะมีคามแม่นยำน้อยกว่า เนื่องจากจะมองไม่เห็นยอดของต้นไม้ชัดเจน



ภาพประกอบที่ 2.9 วิธีการวัดความสูงของต้นไม้

- หมายเหตุ :
- h1 หมายถึง ความสูงทั้งหมด (Overall height)
 - h2 หมายถึง ความยาวของลำต้นถึงกิ่งแรก (Bole length)
 - h3 หมายถึง ความสูงที่ทำประโยชน์ได้ (Merchantable height)

ที่มา: (อิงอร, 2556)

2.21 การวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis)

การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (Correlation Analysis) เป็นการศึกษาเกี่ยวกับความสัมพันธ์ของตัวแปร วัตถุประสงค์หลักของการวิเคราะห์การถดถอยคือ เราต้องการประมาณค่าของตัวแปรตัวหนึ่ง ซึ่งเรียกว่า ตัวแปรตาม (Dependent Variable) นิยมเขียนแทนด้วย Y โดยอาศัยความรู้จากตัวแปรอื่น ซึ่งเรียกว่า ตัวแปรอิสระ (Independent Variable) นิยมเขียนแทนด้วย X หรือกล่าวอีกอย่างหนึ่งว่า เราใช้ความรู้ หรือสารสนเทศจาก X เป็นเกณฑ์ในการประมาณ Y ถ้าใช้ตัวแปร X เพียงตัวแปรเดียวในการประมาณ Y และความสัมพันธ์ของ Y และ X เป็นเชิงเส้นตรง เราเรียกว่า การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Linear Regression) (วุฒิไกร, 2553)

สำหรับการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ เป็นการศึกษาาระดับ หรือขนาดของความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างตัวแปรสองตัวแปรว่ามีมากน้อยเพียงใด เครื่องมือที่ใช้วัดเรียกว่า สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient) นิยมเขียนแทนด้วย r โดยวัดออกมาเป็นตัวเลขที่มีค่าอยู่ระหว่าง 1- กับ 1 ถ้า r มีค่าใกล้ 1 แสดงว่า ตัวแปรสองตัวนั้นมีความสัมพันธ์กันมากและมีทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ ถ้า X มีค่ามาก Y จะมีค่ามากด้วย ถ้า r มีค่าใกล้ -1 แสดงว่า ตัวแปรสองตัวนั้นมีความสัมพันธ์กันมากเช่นกันแต่มีทิศทางตรงข้ามกัน กล่าวคือ ถ้า X มีค่ามาก Y จะมีค่าน้อย หรือ X มีค่าน้อย Y จะมีค่ามาก ถ้า X และ Y มีความสัมพันธ์กันน้อย ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ r จะเข้าใกล้ 0

Mean Absolute Error (MAE) ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ค่า MAE นำผลลัพธ์ของ Absolute มาช่วยทำให้ค่า Error กลายเป็นบวก สูตรคำนวณจึงเป็นการนำค่า Error มาใส่ Absolute ก่อนที่จะนำมาหาค่าเฉลี่ยของ Error (วุฒิไกร, 2553)

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i|$$

โดย y_i คือ ค่าจากการพยากรณ์

$\hat{y}_i$ คือ ค่าจริง

n คือ ค่าจำนวนทั้งหมด

Mean Squared Error (MSE) หรือค่าเฉลี่ยความผิดพลาดกำลัง 2 เป็นการวัดค่าความคลาดเคลื่อนของแบบจำลอง โดยค่าที่ได้ยิ่งน้อยยิ่งจะแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองที่ได้มีความแม่นยำมาก โดยค่า MSE คำนวณได้จากการนำค่าความคลาดเคลื่อนมายกกำลัง แล้วนำไปหาค่าเฉลี่ย ดังสมการ คือ

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (y_t - \hat{y}_t)^2$$

โดย **n** คือ จำนวนข้อมูลที่ใช้

y_t คือ ค่าจริงที่ **t** ไต ๆ

$\hat{y}_t$ คือ ค่าที่ได้จากการทำนายที่ **t** ไต ๆ

Root Mean Squared Error (EMSE) หรือค่ารากที่ 2 ของค่าความคลาดเคลื่อนกำลัง 2 เฉลี่ย เป็นวิธีการวัดค่าความคลาดเคลื่อนแบบมาตรฐาน ที่นิยมอย่างแพร่หลาย โดยค่าที่ได้ยิ่งน้อยจะยิ่ง แสดงว่าแบบจำลองที่ได้มีความแม่นยำมาก วิธีการคำนวณคือจะเป็นการนำค่า MSE

$$RMSE = \sqrt{\sum_{t=1}^n \frac{(\hat{y}_i - y_i)^2}{n}}$$

จากค่าที่ได้ ถ้าค่า MAE และ RMSE ต่ำแสดงว่า ค่าพยากรณ์ มีความใกล้เคียงกันกับค่าจริง ซึ่ง หมายถึงแบบจำลองมีประสิทธิภาพในการพยากรณ์สูง (วุฒิไกร, 2553)

2.22 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Uttaruk & Laosuwan, (2018) ป่าชุมชนเพื่อลดภาวะโลกร้อน : เทคนิคการประเมินชีวมวล และการเก็บกักคาร์บอนเหนือพื้นดินด้วยวิธีการสำรวจระยะไกล ในพื้นที่ศึกษาของโครงการนำร่อง สำหรับผู้ได้รับเลือกป่าชุมชนจังหวัดมหาสารคาม การวิเคราะห์ข้อมูลแบ่งออก 4 ขั้นตอน (1) คือ การวิเคราะห์ภาพ Landat-8, และวิเคราะห์ผลลัพธ์เพื่อหา Fraction Cover (FC), (2) คือสำรวจภาคสนามเพื่อนำผลมาคำนวณคาร์บอนเหนือพื้นดินและชีวมวลด้วยสมการอัลโลเมตรี, (3) การสร้างสมการจากผลวิเคราะห์จากขั้นตอนที่ 1, 2 คำนวณการกักเก็บคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂), และ (pix4d.com, .72) การเปรียบเทียบวิธีการที่เหมาะสมที่สุด 6 วิธี ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ทางกายภาพทั้ง 6 ตัวพบว่า GVI สมการสหสัมพันธ์ $y = 1.8312e0.0168x$ ค่าสัมประสิทธิ์ (R²) = 0.8107. และความจุในการกักเก็บ CO₂ ของป่าชุมชนในพื้นที่เท่ากัน เป็น 106.04 ตัน CO₂e จากพื้นที่ทั้งหมด 61.24 เฮกตาร์

ชิงชัย และกันดินันท์ (2554) การปรับสมการเพื่อประเมินมวลชีวภาพเหนือพื้นดินของสวนป่าสัก ในประเทศไทย ในพื้นที่สวนป่าไม้สักขององค์กรอุตสาหกรรมป่าไม้ คือ (1) ทำการตัดไม้สักจากสวนป่าทองผาภูมิ 3 ปี 15 ตัน ป่าศรีสักขนาลย์ 3 ปี 18 ตัน (2) ทำการรวบรวมข้อมูลไม้สักจากการตรวจเอกสารของป่าแม่แจ่ม 2 ปี 20 ตัน จากสวนป่าสบพริง 14 ปี 10 ตัน รวมทั้งหมดจำนวน 63 ตัน จากการศึกษาพบว่าความสัมพันธ์ในรูปแบบของสมการแอลโลเมตริก ซึ่งมีค่าระหว่าง DBH²Ht มวล

ชีวภาพลำต้น (Ws) มวลชีวภาพเหนือพื้นดินทั้งหมด (Wt) ปริมาณของลำต้น (Vs) ของไม้สักทั้ง 4 แห่ง มีความแตกต่าง อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ยกเว้นค่าของ (Vs) คือค่าสถิติของค่า β เพียงอย่างเดียว

Sangpradid et al., (2022) ศึกษาแบบจำลองการถดถอยเชิงน้ำหนักทางภูมิศาสตร์สำหรับการประเมินชีวมวลเหนือพื้นดินจากภาพถ่ายดาวเทียมในป่าอุทยานน้ำตกตาดสูง ประเทศไทย ในการประมาณการกักเก็บคาร์บอนในรูปของมวลชีวภาพเหนือพื้นดินจากภาพความละเอียดสูง วัตถุประสงค์เพื่อประเมินในพื้นที่โดยใช้สมการอัลโลเมตริกที่ใช้ในการคำนวณจากการวัด ภาคสนาม ทั้งหมด 62 แปลงตัวอย่าง โดยแต่ละแปลงมีขนาด 40×40 ม. ดัชนี NDVI SAVI FVC จากภาพถ่าย ดาวเทียมถูกนำมาใช้ในการประเมิน โดยใช้แบบจำลองการถดถอยเชิงภูมิศาสตร์ (GWR) ซึ่ง ผลการวิจัยพบว่า จำนวนพรรณไม้ทั้งหมด 4682 ต้น ในแปลงตัวอย่าง 62 แปลง และได้คำนวณต้นไม้ ในแปลงตัวอย่าง สมการอัลโลเมตริกได้ 79.6 ต้นต่อเฮกตาร์ ผลการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ของฐาน (GWR) พบว่าค่า R^2 ค่าของการถดถอยทั่วโลกและแบบจำลอง GWR ซึ่งมีค่าประมาณ 0.366 และ 0.856 ตามลำดับ การประมาณแบบตัววัดที่เหมาะสมที่สุดสำหรับ (GWR) ของการศึกษาในครั้งนี้ 48.78 ค่า R^2 ของแบบจำลอง GWR ได้มีการปรับปรุงอย่างมีนัยสำคัญของการถดถอยจาก 0.108 เป็น 0.59

Uttaruk & Laosuwan, (2018) การประเมินการกักเก็บคาร์บอนของสวนผลไม้ โดยการใช้ ข้อมูลจากดาวเทียม การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประมาณค่าการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน จาก การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินกับดัชนีพืชพรรณ จาก ข้อมูล LANDSAT- 8 OLI ของสวนผลไม้ในพื้นที่ศึกษาตำบลสร้างค้อ อำเภอกุฉินารายณ์ จังหวัดสกลนคร พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินและดัชนีที่เหมาะสมที่สุด ที่ เกี่ยวข้องกับพืชพรรณคือ TNDVI ซึ่งมีสมการความสัมพันธ์ $y = 0.226e^{0.039x}$ และค่าสัมประสิทธิ์ $R^2 = 0.877$ นั้น ซึ่งแสดงถึงปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินในพื้นที่ศึกษาทั้งหมด 40.86 ต้นต่อ เฮกตาร์

ระวี และคณะ (2557) ศึกษาการประเมินการเก็บกักคาร์บอนและรายได้จากการชดเชย คาร์บอนในสวนยางพาราเป็นแหล่งดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และเก็บกักคาร์บอนที่สำคัญ โดยใช้ สมการความสัมพันธ์ของมวลชีวภาพและคาร์บอนอินทรีย์ในดินจากสวนยางพาราอายุ 2, 5, 12, 16 และ 26 ปี ผลการประเมิน พบว่า สวนยางพาราสามารถเก็บกักคาร์บอนทั้งหมดอยู่ในช่วง 50.68- 193.72 ตัน/เฮกตาร์ (8.11-30.99 ตัน/ไร่) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับช่วงอายุยางพาราแบบพหุนาม (r² = 0.97*) ส่วนรายได้สุทธิจากการทำสัญญาชดเชยการเก็บกักคาร์บอนตลอด 25 ปี ประเมินได้ เท่ากับ 573.39 US\$ /เฮกตาร์ (3,063.27 บาท/ไร่) ดังนั้น ศักยภาพการเก็บกักคาร์บอนในสวน ยางพาราน่าจะมีประสิทธิผลต่อการซื้อขายคาร์บอนเครดิตในตลาดแบบสมัครใจ

นิชาภัทร์ (2558) ศึกษาการกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่ป่าปกปึกอนุรักษ์พันธุ์กรรมพืชอัน เนื่องมาจากพระราชดำริ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี (อพ.สธ) บริเวณเขื่อน

สิริกิติ์ จังหวัดอุดรดิตต์ ผลการศึกษาปริมาณคาร์บอนของต้นไม้ พบว่า มีปริมาณคาร์บอนรวม เท่ากับ 16,874.93 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งพบมากในส่วนของลำต้น รองลงมาเป็นส่วนราก กิ่ง และ ใบ เท่ากับ 12,894.23, 2,219.45, 1,525.79 และ 235.40 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่า ต้นสัก มีปริมาณคาร์บอนมากที่สุด เท่ากับ 11,348.85 กิโลกรัมต่อไร่ รองลงมา คือ ต้นประดู่ ต้นแดง ต้นจันทน์ และต้นยมหิน เท่ากับ 1,418, 890.78, 674.38 และ 461.62 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ ปริมาณคาร์บอนของไม้พื้นล่าง พบว่า มีปริมาณคาร์บอนไม้พื้นล่างพืชสด เท่ากับ 747.07 กิโลกรัมต่อไร่ และปริมาณคาร์บอนซากพืชแห้ง เท่ากับ 70.04 กิโลกรัมต่อไร่ นอกจากนี้ยังพบว่า ต้นตัวขน มีปริมาณคาร์บอนมากที่สุด เท่ากับ 231.40 กิโลกรัมต่อไร่ รองลงมา คือ ต้นคนทา ต้นคำแสด ต้นตะขบฝรั่ง และ ไผ่ไร่ เท่ากับ 84.22, 74.58, 54.82 และ 43.42 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ

บุษรา และคณะ (2562) ผู้วิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา ความหลากหลายและปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของพรรณไม้บริเวณป่าชุมชน ในพื้นที่บ้านหนองเม็ก อำเภอกอสูง จังหวัดสระแก้ว โดยทำการเก็บข้อมูลแบบสุ่มตัวอย่าง ในแปลงซึ่ง สำนวณพรรณไม้ใหญ่ ไม้หนุม ก่อไม้ เส้นรอบวง DBH และความสูงต้นไม้ วิเคราะห์หาค่า IVI, F, D, Do วิเคราะห์การประเมินมวลชีวภาพ และปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของเนื้อไม้ ด้วยสมการแอลโลเมตรีและผลการสำรวพบว่า ส่วนใหญ่อยู่ในวงศ์ Fabaceae มวลชีวภาพเหนือพื้นดินเท่ากับ 54.55 ตันต่อเฮกตาร์ แบ่งออก คือ ส่วนของลำต้น กิ่ง และใบ เท่ากับ 44.45, 8.39, 1.70 ตันต่อเฮกตาร์ ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของพรรณไม้ทุกชนิดเท่ากับ 25.64 ตันต่อเฮกตาร์

วิรัชทรา (2563) ผู้วิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา การพยากรณ์การเกิดภัยแล้งในประเทศไทย ด้วยวิธีการเรียนรู้ด้วยเครื่อง และหาแบบจำลองที่ดีที่สุดสำหรับการพยากรณ์ของการเกิดภัยแล้ง โดยทำการแบบจำลองการเกิดภัยแล้งที่มีค่าใกล้เคียงกันมากที่สุด วิเคราะห์จากข้อมูลปริมาณน้ำฝน และดัชนีเสี่ยงภัยแล้ง ซึ่งแบ่งออกทั้งหมดได้ 6 แบบจำลอง จากการวิเคราะห์พบว่าแบบจำลอง Neural Network ที่ Learning Rate 0.01, Training cycle 50, momentum 0.1 เป็นการใช่วิเคราะห์ด้วย วิธีแอตทริบิวต์ จำนวน 28 ตัว เป็นแบบจำลองที่มีประสิทธิภาพดีกว่ามากกว่าวิธีแบบจำลอง อื่น ๆ ซึ่งมีค่าความของการเกิดภัยแล้ง คือ 64.43% และไม่เกิดภัยแล้ง 65.29%

ชนะวิทย์ และคณะ (2563) ผู้วิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา การทำนายเวลามาถึงท่าเรือ สำหรับเรือขนส่งมวลชน ด้วยวิธีการสร้างแบบจำลองระยะเวลาการเข้าเทียบท่าของเรือ ซึ่งนำข้อมูลการเดินทางเรือ มาสร้างแบบจำลองหาค่าใกล้เคียงกับเวลาที่เป็นจริง โดยใช้วิธีจำลองอัลกอริทึมทั้ง 6 คือ LR, RF, GB, eXGB, LGB และ CB แล้วนำไปทดสอบหาค่า Root Mean Square Error ผลวิเคราะห์ คือ แบบจำลอง CB ซึ่งมีค่า Root Mean Square Error ต่ำที่สุด 2 เทียบการเดินทางเรือ โดยแบ่งการเดินทางทั้งหมด 2 ลักษณะคือ 1) เทียบการเดินทางของท่าเรือต้นทาง - และของท่าเรือปลายทาง มีค่า Root Mean Square Error อยู่ที่ประมาณ 1 นาที 28.25 วินาที หรือ 88.25 วินาที และ 2) เทียบการ

เดินเรือท่าเรือปลายทาง – และท่าเรือต้นทาง มีค่า Root Mean Square Error อยู่ที่ประมาณ 1 นาที 30.06 วินาที หรือ 90.06 วินาที เมื่อทำการทำนายและทำการเปรียบเทียบแบบจำลอง ทั้ง 6 อัลกอริทึมคือ ได้ผลการทดลองที่ใกล้เคียงมากที่สุดคือ วิธีแบบจำลอง Catboat :CB

จากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งพบว่า มีการศึกษาการกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่ป่า รวมถึงการสร้างแบบจำลองการถดถอยเชิงน้ำหนัก ทางภูมิศาสตร์สำหรับการประเมินชีวมวลเหนือพื้นดิน รวมถึงการศึกษาป่าชุมชนเพื่อลดภาวะโลกร้อน ด้วยวิธีการสำรวจระยะไกลจากภาพถ่ายดาวเทียม จากนั้นนำมาศึกษาวิเคราะห์หาค่าดัชนีพืชพรรณ หลัก ๆ ประกอบไปด้วยดัชนี NDVI, SAVI, RVI, และ TNDVI จากนั้นสร้างแบบจำลองด้วยวิธีการเรียนรู้ด้วยเครื่อง โดยใช้วิธีจำลอง อัลกอริทึม เพื่อหาค่าที่ดีที่สุด สำหรับงานวิจัยนี้ ได้นำเอาระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์มาทำการวิเคราะห์ เพื่อให้สามารถอธิบายได้ง่ายและสามารถมองเห็นภาพได้ในรูปแบบแผนที่ ซึ่งทำให้สามารถแปลและสื่อความหมายให้ชัดเจนขึ้น

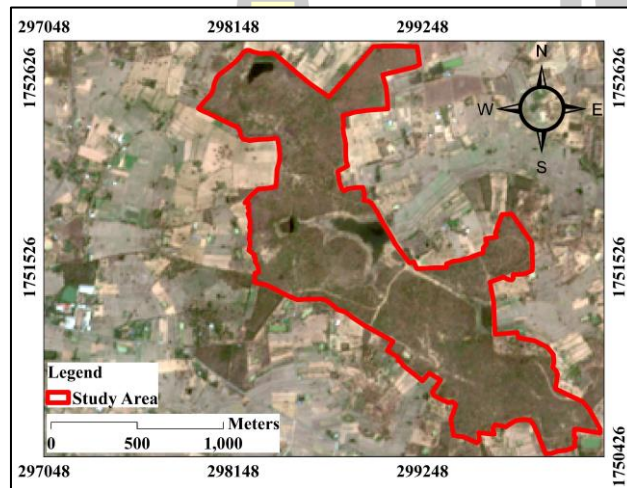


บทที่ 3

ขั้นตอนการดำเนินงาน

การประมาณค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนด้วยข้อมูลดัชนีพืชพรรณจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ เพื่อศึกษาปริมาณการเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน ด้วยวิธีการเรียนรู้เครื่องจักรเทคนิค Gradient Boosting จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม จากการสำรวจข้อมูลที่ป่าสงวนแห่งชาติป่าโคกผก กุดป่าโป่งแดง จังหวัดมหาสารคาม

3.1 พื้นที่ศึกษา

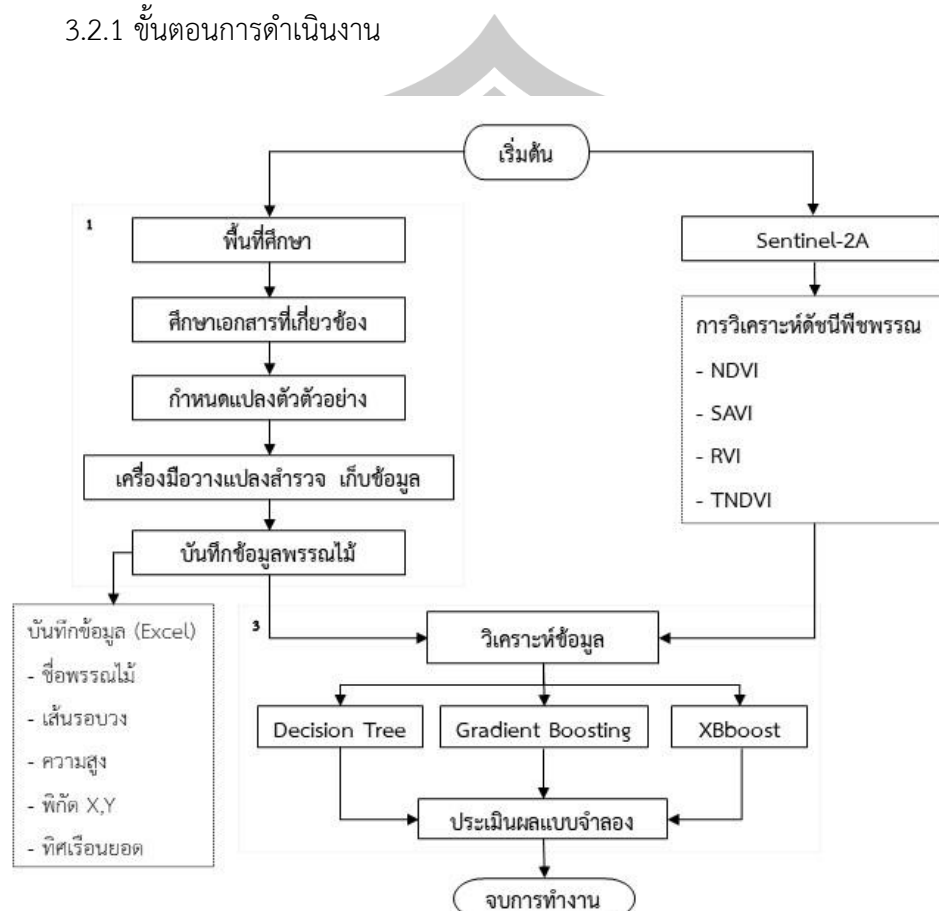


ภาพประกอบที่ 3.1 แผนที่แสดงพื้นที่ศึกษา

พูน ปณ ทิโต ชีเว

3.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน / วิธีการศึกษา

3.2.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน



ภาพประกอบที่ 3.2 แสดงแผนผังขั้นตอนการดำเนินงาน

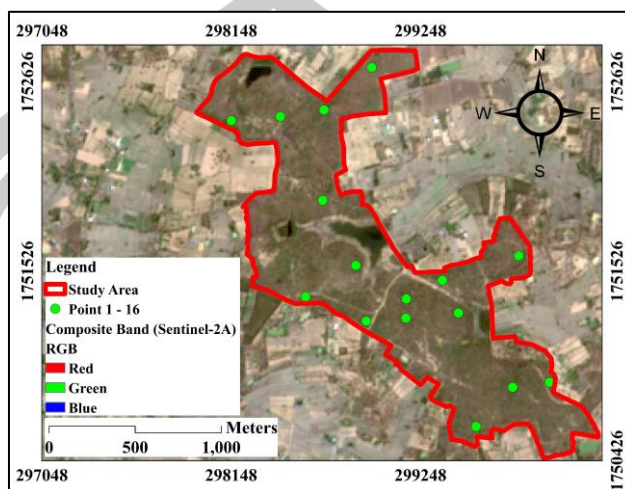
3.2.2 ศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้อง

ศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการสำรวจพรรณไม้เพื่อทราบว่าในพื้นที่ ภาคตะวันออก เฉียงเหนือ ในพื้นที่ที่ทำการศึกษาของการวิจัยและพื้นที่ใกล้เคียงมีการศึกษาพรรณไม้ สำหรับการวิเคราะห์ทางด้านคาร์บอน หรือกลุ่มใดบ้างและมีงานวิจัยใด ที่มีการศึกษาความหลากหลายทางชีวภาพสำหรับพรรณไม้ ตลอดจนงานวิจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับพืชกลุ่มนี้

ศึกษาข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับที่ตั้ง อาณาเขต ลักษณะภูมิประเทศ ลักษณะภูมิอากาศ ลักษณะพืชพรรณ เพื่อกำหนดขอบเขตพื้นที่ในการศึกษาวิจัยและเพื่อวางแผนในการดำเนินการสำรวจความหลากหลายและเก็บข้อมูล

ข้อมูลจากการลงภาคสนาม ผู้วิจัยได้ทำการลงพื้นที่ภาคสนามเพื่อทำการวางแผนสำรวจกล้วยไม้ป่าและหาพิกัด ในบริเวณพื้นที่ป่าวนอุทยานน้ำตกตาดสูง เพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

3.2.3 กำหนดขนาดของแปลงตัวอย่าง โดยกำหนดขนาดของแปลงตัวอย่าง 40x40 เมตร จำนวน 16 แปลง ดังภาพประกอบที่ 3.3



ภาพประกอบที่ 3.3 กำหนดแปลงตัวอย่าง

3.2.4 การสำรวจภาคสนาม ได้วางแผนการดำเนินการดังนี้

1. ทำการเดินสำรวจภายในป่าสงวนแห่งชาติป่าโคกผักกูด และป่าโป่งแดง เพื่อหาตำแหน่งการวางแปลงจึงตีแปลง รอบบริเวณป่าไม้ นั้นและวางแปลงเก็บและรวบรวมข้อมูล ขนาด 40 x 40 เมตร โดยหันหน้าแปลงไปทางทิศเหนือ และบันทึกตำแหน่งที่ตั้งทางภูมิศาสตร์ (UTM) ทั้ง 4 มุมของแปลงหลัก เมื่อตีแปลงหลักแล้วทำการตีแปลงย่อยภายในแปลงหลักอีก 4 แปลงขนาด 20 x 20 เมตร กระทำเช่นนี้ทั้ง 16 แปลงหลัก
2. บันทึกข้อมูลไม้ใหญ่และไม้หนุมโดยจำแนกจากขนาดเส้นรอบวง มากกว่า 30 ซม. ให้เป็นไม้ใหญ่ ส่วนไม้ที่เส้นรอบวงน้อยกว่า 30 ซม. และความสูงมากกว่า 1.30 เมตร ให้เป็นไม้หนุม
3. วิธีการวางแปลงสำรวจพรรณไม้

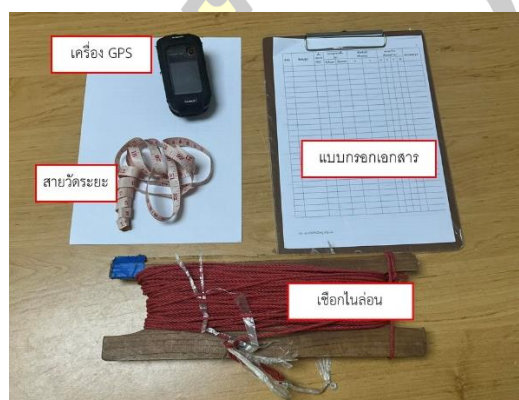


ภาพประกอบที่ 3.4 แสดงวิธีการวางแปลงสำรวจพรรณไม้

3.2.5 เครื่องมือวางแผนสำรวจ เก็บข้อมูล ที่ใช้ในการศึกษา

3.2.5.1. เครื่องมือสำหรับวิเคราะห์ และแสดงข้อมูล ได้แก่ เครื่องคอมพิวเตอร์ โปรแกรม Microsoft Office โปรแกรมทางภูมิสารสนเทศ

3.2.5.2. เครื่องมือวางแผนสำรวจ/เก็บข้อมูล ได้แก่ แผนที่แสดงพื้นที่ป่าไม้ สายวัด ระยะ อุปกรณ์ในการจดบันทึกข้อมูล แบบกรอกเอกสาร กล้องถ่ายรูป เชือกไนลอน ไม้แปลง เครื่องระบุตำแหน่งบนพื้นโลก (Global Positioning System: GPS) ดังภาพตัวอย่างที่ 3.5

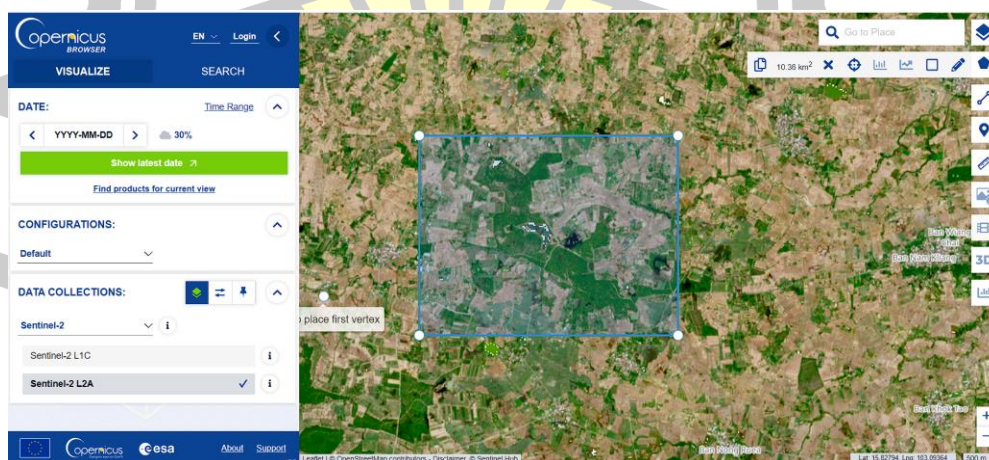


ภาพประกอบที่ 3.5 ตัวอย่างเครื่องมือวางแผนสำรวจ/เก็บข้อมูล

3.2.6 การรวบรวมข้อมูล

ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ในครั้งนี้ โดยมีชั้นข้อมูลที่ใช้ศึกษา ได้แก่

3.2.6.1 ข้อมูลภาพถ่ายทางดาวเทียม Sentinel-2A ข้อมูลวันที่ 8 สิงหาคม 2566 พิกัดทางภูมิศาสตร์ที่ Lat 15.833311 Long 103.122736 โดยมี ขั้นตอนการดาวน์โหลดภาพถ่ายดาวเทียม ดังนี้ เข้าเว็บไซต์ของ Copernicus <https://dataspace.copernicus.eu/> ดังภาพประกอบที่ 3.6

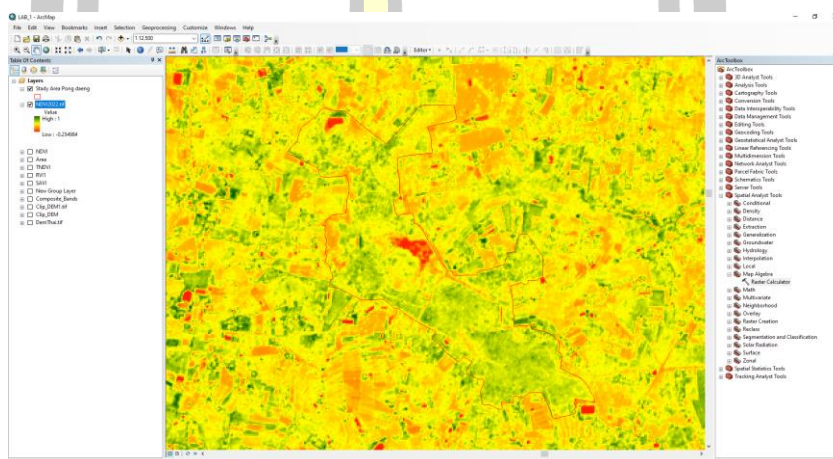


ภาพประกอบที่ 3.6 เว็บไซต์ SEA

3.3. การวิเคราะห์ดัชนีพืชพรรณจากข้อมูลภาพถ่ายเทียม

3.3.1 ขั้นตอนการวิเคราะห์ดัชนีความต่างพืชพรรณ (Normalized Difference Vegetation Index: NDVI)

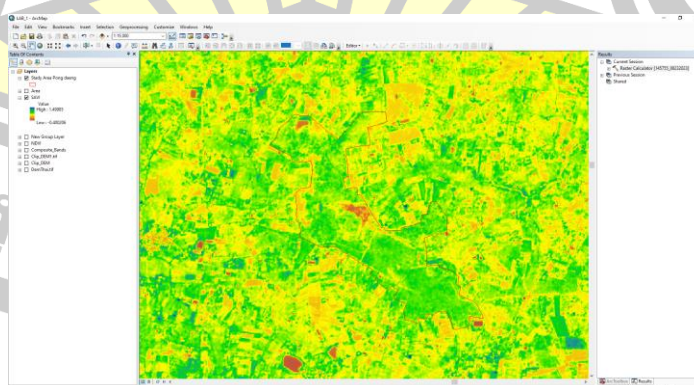
สูตรการคำนวณคือ $NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$ หรือ $NDVI = (Band\ 8 - Band\ 4) / (Band\ 8 + Band\ 4)$ จากสูตรการคำนวณ NDVI คือ Add ภาพ Band8 และ Band4 จากนั้นทำการ คำนวณภาพ Sentinel-2A จากนั้นไปที่ Output raster เพื่อทำการเลือกพื้นที่ สำหรับบันทึกผลการคำนวณ ผลดังภาพประกอบที่ 3.7



ภาพประกอบที่ 3.7 ผลการคำนวณ NDVI

3.3.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์ดัชนีพืชพรรณปรับแก้ดิน (Soil-Adjusted Vegetation Index: SAVI)

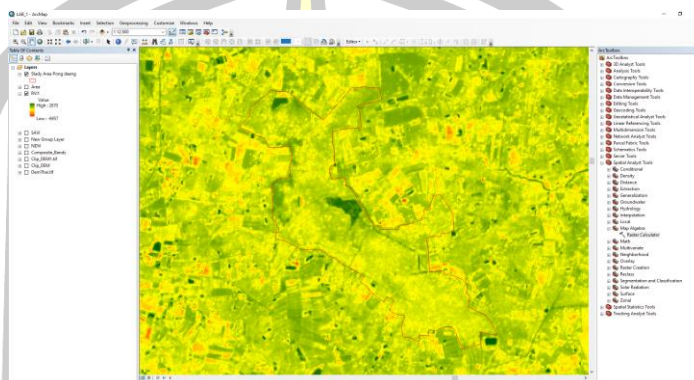
จากสูตรการคำนวณ SAVI คือ Add ภาพ Band8 และ Band4 จากนั้นทำการ คำนวณภาพ Sentinel-2A จากนั้นไปที่ Output raster เพื่อทำการเลือกพื้นที่ สำหรับบันทึกผลการคำนวณ ผลดังภาพประกอบที่ 3.8



ภาพประกอบที่ 3.8 ผลการคำนวณ SAVI

3.3.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์ดัชนีอัตราส่วนพืชพรรณ (Ratio Vegetation Index: RVI)

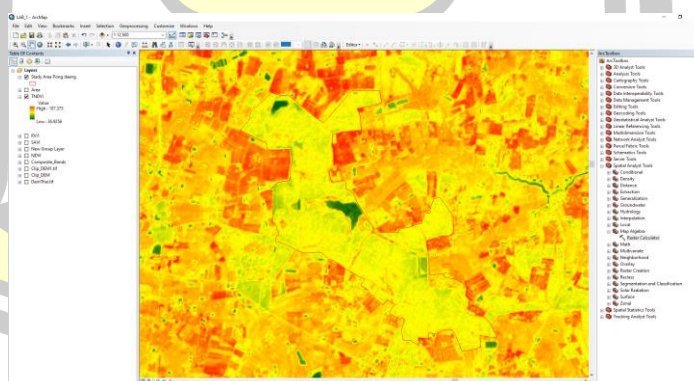
จากสูตรการคำนวณคือ $RVI = NIR / Red$ หรือ $RVI = Band8 / Band4$ จากสูตรการคำนวณ RVI คือ Add ภาพ Band8 และ Band4 ไปที่ Output raster เพื่อทำการเลือกพื้นที่ สำหรับบันทึกภาพการทำการคำนวณ (Save) ดังภาพประกอบที่ 3.9



ภาพประกอบที่ 3.9 ผลการคำนวณ RVI

3.3.4 ขั้นตอนการวิเคราะห์ดัชนีการเปลี่ยนความต่างพืชพรรณ (Transformed Normalized Difference Vegetation Index : TNDVI)

จากสูตรการคำนวณคือ $TNDVI = \sqrt{((NIR-RED)/(NIR+RED)) + 0.5}$ หรือ $TNDVI = \sqrt{((Band\ 8 - Band\ 4) / (Band\ 8 + Band\ 4)) + 0.5}$ จากสูตรการคำนวณ TNDVI คือ Add ภาพ Band 8 และ Band 4 จากนั้นทำการ คำนวณภาพ Sentinel-2A ไปที่ Output raster เพื่อทำการเลือกพื้นที่ สำหรับบันทึกภาพการทำการคำนวณ (Save) ผลดังภาพประกอบที่ 3.10



ภาพประกอบที่ 3.10 ผลการคำนวณ ของ TNDVI

3.3.5 การดึงค่าข้อมูลจากดัชนีพืชพรรณ

โดยมีข้อมูล NDVI, SAVI, RVI และ TNDVI โดยใช้ คำสั่ง Extraction รูปแบบ Extract Multi Values to Points ผลดังภาพประกอบที่ 3.11

FID	Shape	Id	P1	P1_1	ORIG_FID	NDVI	SAVI	RVI	TNDVI
16	Point	1	1.1	0	16	0.20679	0.310155	0.657289	0.5149
73	Point	1	1.1	0	73	0.206444	0.309035	0.657055	0.4956
74	Point	1	1.1	0	74	0.217544	0.326284	0.642651	0.49279
75	Point	1	1.1	0	75	0.200461	0.300062	0.666027	0.52467
18	Point	1	1.2	0	18	0.194501	0.291721	0.67434	0.41614
67	Point	1	1.2	0	67	0.254534	0.353116	0.616844	0.50141
68	Point	1	1.2	0	68	0.240148	0.360186	0.612711	0.50141
69	Point	1	1.2	0	69	0.187476	0.281187	0.684245	0.51082
14	Point	1	1.3	0	14	0.167447	0.281743	0.683718	0.45389
64	Point	1	1.3	0	64	0.193497	0.290216	0.675748	0.4313
65	Point	1	1.3	0	65	0.222262	0.333363	0.63631	0.65414
66	Point	1	1.3	0	66	0.189189	0.283758	0.681818	0.67465
17	Point	1	1.4	0	17	0.191896	0.287815	0.677999	0.49402
70	Point	1	1.4	0	70	0.214893	0.322309	0.646235	0.5582
71	Point	1	1.4	0	71	0.171912	0.257844	0.706613	0.63974
72	Point	1	1.4	0	72	0.198071	0.297078	0.66935	0.5153
19	Point	2	2.1	0	19	0.228948	0.343389	0.627408	0.50264
76	Point	2	2.1	0	76	0.220088	0.330099	0.639226	0.43801
77	Point	2	2.1	0	77	0.219664	0.329465	0.639795	0.49115
78	Point	2	2.1	0	78	0.218359	0.327507	0.641552	0.48868
21	Point	2	2.2	0	21	0.217204	0.325775	0.64331	0.48962
82	Point	2	2.2	0	82	0.214149	0.321193	0.647244	0.53359
83	Point	2	2.2	0	83	0.229375	0.34403	0.628842	0.51653
84	Point	2	2.2	0	84	0.214844	0.322234	0.646302	0.48868
13	Point	2	2.3	0	13	0.231136	0.348069	0.624516	0.45389

ภาพประกอบที่ 3.11 แสดงผล Extract Multi Values to Points ของค่า ดัชนี

3.4 วิเคราะห์การกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน

จากการสำรวจข้อมูลขอป่าสงวนแห่งชาติป่าโคกผกุกุดและป่าโป่งแดง จังหวัดมหาสารคาม วิเคราะห์ด้วยสมการอัลโลเมตรี

การคำนวณปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน ในต้นไม้โดยวิธีวัดสต็อกของคาร์บอน โดยตรง สมการในการหาน้ำหนักแห้งต้นไม้ (Ogawa et al., 1965)

สมการอัลโลเมตรี

$$W_s = 0.0396 D^2 H^{0.9326}$$

$$W_b = 0.003489 D^2 H^{1.0270}$$

$$W_{tc} = W_s + W_b$$

$$W_L = (28.0/W_{tc} + 0.025)^{-1}$$

สูตรคำนวณคาร์บอน

$$= \text{คาร์บอนทั้งสามส่วน (Effiom, .52)} = (W_s + W_b + W_L)$$

$$= \text{Carbon sequestration} = GB \times 0.47$$

โดย W_s = มวลชีวภาพส่วนของลำต้น (กิโลกรัม)

W_b = มวลชีวภาพส่วนของกิ่ง (กิโลกรัม)

W_L = มวลชีวภาพส่วนของใบ (กิโลกรัม)

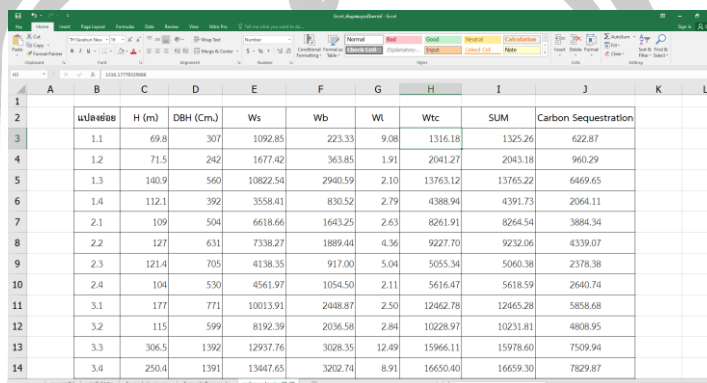
W_{tc} = มวลชีวภาพของลำต้นและกิ่ง (กิโลกรัม)

D = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับอก (เซนติเมตร)

H = ความสูงของต้นไม้เรือนยอด (เมตร)

(ก) ขั้นตอนการคำนวณคาร์บอนด้วยโปรแกรม Microsoft office Excel โดยทำการวิเคราะห์จากข้อมูลพรรณไม้ที่ทำการลงพื้นที่สำรวจภาคสนาม ซึ่งประกอบไปด้วย

- จำนวนรวมแปลงที่ใช้ในการวิเคราะห์
- ผลรวมของจำนวนเส้นรอบวงต้นไม้ คือ D มีหน่วย เป็น Cm.
- ผลรวมของจำนวนความสูงของต้นไม้ คือ H มีหน่วย เป็น m.

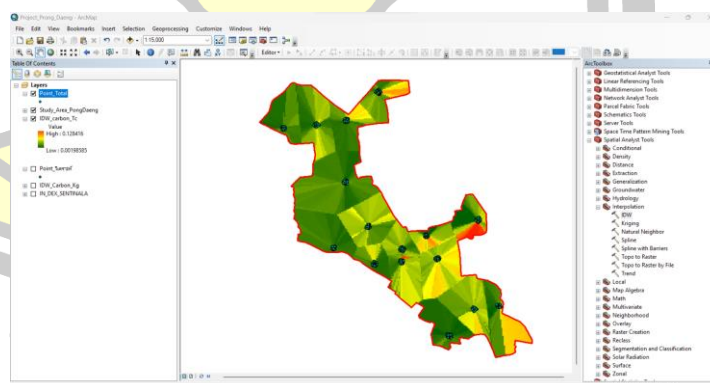


	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1												
2		แปลง	H (m)	DBH (Cm.)	Ws	Wb	Wt	Wtc	SUM	Carbon Sequestration		
3		1.1	69.8	307	1092.85	223.33	9.08	1316.18	1325.26	622.87		
4		1.2	71.5	242	1677.42	363.85	1.91	2041.27	2043.18	960.29		
5		1.3	140.9	560	10822.54	2940.59	2.10	13763.12	13765.22	6469.65		
6		1.4	112.1	392	3558.41	830.52	2.79	4388.94	4391.73	2064.11		
7		2.1	109	504	6618.66	1643.25	2.63	8261.91	8264.54	3884.34		
8		2.2	127	631	7338.27	1889.44	4.36	9227.70	9232.06	4339.07		
9		2.3	121.4	705	4138.35	917.00	5.04	5055.34	5060.38	2378.38		
10		2.4	104	530	4561.97	1054.50	2.11	5616.47	5618.59	2640.74		
11		3.1	177	771	10013.91	2488.87	2.50	12462.78	12465.28	5858.68		
12		3.2	115	599	8192.39	2036.58	2.84	10228.97	10231.81	4808.95		
13		3.3	306.5	1392	12937.76	3028.35	12.49	15966.11	15978.60	7509.94		
14		3.4	250.4	1391	13447.65	3202.74	8.91	16650.40	16659.30	7829.87		

ภาพประกอบที่ 3.12 คำนวณคาร์บอนด้วยโปรแกรม Microsoft office Excel

3.5 การวิเคราะห์ความหนาแน่นของการประมาณค่าการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน

ทำการวิเคราะห์ความหนาแน่นของคาร์บอนต่อพื้นที่ ด้วยวิธีการวิเคราะห์ Interpolation โดยใช้เทคนิค Inverse Distance Weighted (IDW) เป็นการนำผลคาร์บอนเหนือพื้นดิน ในการวิเคราะห์เป็นหน่วย ต้น/ตัน (ton/t โดยตั้งค่า Output cell size (optional) ให้มีความสอดคล้องกับข้อมูลของภาพถ่ายดาวเทียม คือ 10 เมตร ดังผลภาพประกอบที่ 3.13



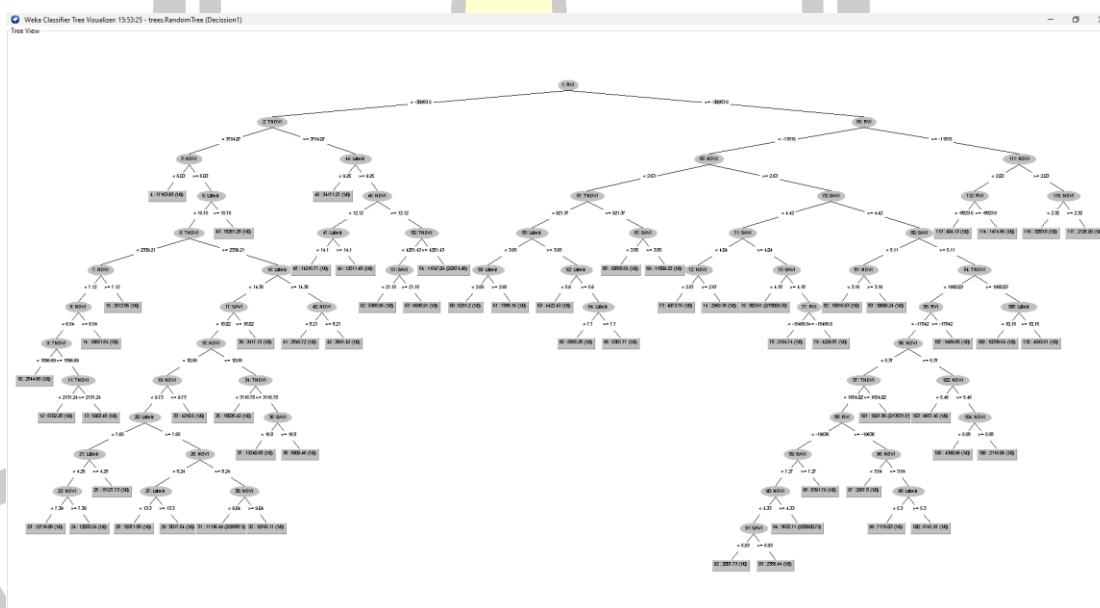
ภาพประกอบที่ 3.13 ผลการวิเคราะห์การวิเคราะห์ Interpolation เทคนิค IDW

3.6 วิเคราะห์การประมาณค่าการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินกับดัชนีพืชพรรณ ด้วยการเรียนรู้เครื่องจักรแบบวิธีต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree)

ซึ่งข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์คือ ผลคาร์บอนเหนือพื้นดิน ที่มีหน่วยเป็น ตัน/ตัน (ton/t) ทั้งหมด 256 แปลงย่อย และข้อมูลดัชนีพืชพรรณทั้ง 4 ดัชนี คือ NDVI, SAVI, RVI และ TNDVI จากนั้นนำมาวิเคราะห์การ Classifier โดยใช้โปรแกรม WEKA ในการวิเคราะห์โดยมีขั้นตอนดังนี้

ตารางที่ 3.2 ตารางแสดงขั้นตอนการนำเข้าข้อมูลในโปรแกรม WEKA (Decision Tree)

Preprocess		
Open file	ไฟล์	Decission.csv
Classify		
Choose	Tree	Random Tee
Test	ปรับเป็น	Use training set
Select the attribute to use as the Class	เลือก Class การทำนาย	Start



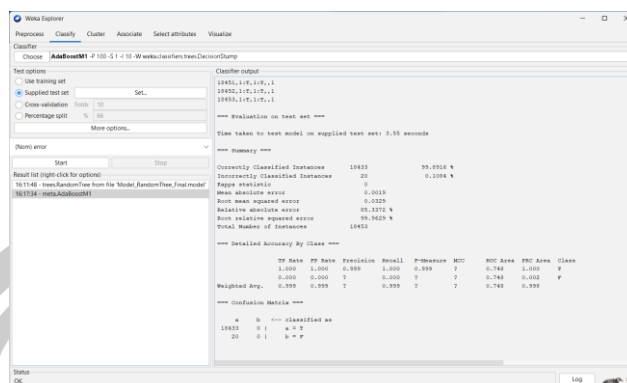
ภาพประกอบที่ 2.14 ผลแบบจำลอง Random tree

3.7 วิเคราะห์การประมาณค่าการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินกับดัชนีพืชพรรณ ด้วยการเรียนรู้เครื่องจักรแบบวิธี Gradient Boosting

การวิเคราะห์ด้วยวิธีการเรียนรู้เครื่องจักรแบบวิธี Gradient Boosting โดยใช้โปรแกรม WEKA การวิเคราะห์แบบ AdaBoostM1 คือการใช้ Classifier ที่ไม่ซับซ้อน เป็นการนำผลที่ได้ผลการ Decision Tree ของรูปแบบ Classifier Random tree ที่มีหลาย ๆ Instance มาต่อกันเป็นลูกโซ่ มาสร้างเป็น Model ซึ่งในการเรียนรู้ แต่ละรอบจะมีการกำหนดค่าน้ำหนักของข้อมูลแต่ละ รายการ Classifier Instance จะเรียนรู้จากค่าน้ำหนักเหล่านั้น ถ้าพยากรณ์ผิด ค่าน้ำหนักของรายการนั้นจะมีค่ามากขึ้น ส่งผลให้ Classifier Instance นั้นได้รับ "คะแนน" ต่ำ แต่ถ้า Instance ไหนพยากรณ์ถูก เป็นสัดส่วนที่มาก ก็จะได้คะแนนมากการพยากรณ์ของ AdaBoost คือการถ่วงคะแนนเข้ากับคำตอบของแต่ละ Instance แล้วเลือกคำตอบจาก Class ที่ได้รวมแล้วได้ค่าน้ำหนักมากที่สุด การวิเคราะห์ครั้งนี้ ใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม และข้อมูลดัชนีพืชพรรณทั้ง 4 ดัชนี คือ NDVI SAVI RVI และ TNDVI มีจำนวน 1845 Point จากนั้นนำมาวิเคราะห์ด้วย อัลกอริทึมการถดถอย Regression Algorithm สร้างแบบจำลองของค่าการกักเก็บคาร์บอนกับดัชนีพืชพรรณ ซึ่งนำมาทำเป็นแผนที่แบบจำลองของ Model Map Regression Results ภาพประกอบขั้นตอนดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3.3 ตารางแสดงขั้นตอนการนำเข้าข้อมูลในโปรแกรม WEKA (Gradient Boosting)

Preprocess		
Open file	ไฟล์ *.arff	ข้อมูล 18452 Point Carbon NDVI SAVI RVI TNDVI
Classify		
Choose	Meta	เลือกการทำนาย AdaboostM1
Test options	Set	ไฟล์ *.arff ของดัชนี
Result list (right-click for options)	เลือก Model การทำนาย Classifier Random tree	Start



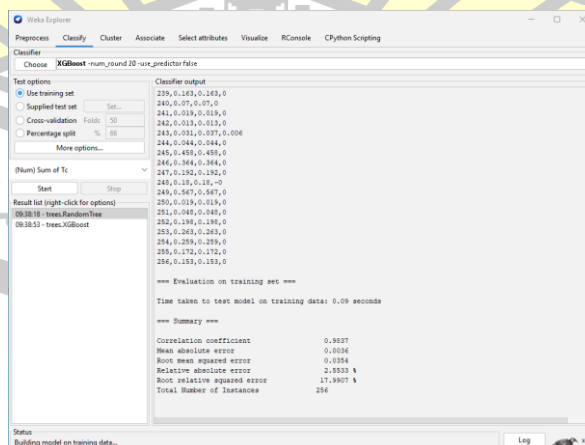
ภาพประกอบที่ 3.15 แสดงผลแบบจำลอง AdaboostM1

3.8 วิเคราะห์การประมาณค่าการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินกับดัชนีพืชพรรณ ด้วยการเรียนรู้เครื่องจักรแบบวิธี XGboost

ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์คือ ผลคาร์บอนเหนือพื้นดิน ที่มีหน่วยเป็น ตัน/ตัน (ton/t) ทั้งหมด 256 แปลงย่อย และข้อมูลดัชนีพืชพรรณทั้ง 4 ดัชนี คือ NDVI, SAVI, RVI และ TNDVI จากนั้นนำมาวิเคราะห์การ Classifier โดยใช้โปรแกรม WEKA ในการวิเคราะห์โดยมีขั้นตอนดังนี้

ตารางที่ 3.4 ตารางแสดงขั้นตอนการนำเข้าข้อมูลในโปรแกรม WEKA (XGboost)

Preprocess		
Open file	ไฟล์	Decission.csv
Classify		
Choose	Tree	XGboost
Test	ปรับเป็น	Use training set
Select the attribute to use as the Class	เลือก Class การทำนาย	Start



ภาพประกอบที่ 3.16 ผลแบบจำลอง XGboost

บทที่ 4

ผลการศึกษา

ในการศึกษาการประมาณการกักเก็บคาร์บอนด้วยดัชนีพืชพรรณและการเรียนรู้ของเครื่องแบบ Gradient Boosting วิธีการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ประยุกต์เทคนิคของงานด้านระบบภูมิสารสนเทศศาสตร์ การรับรู้ระยะไกล เข้ามาช่วยในการจัดการกับข้อมูล และวิเคราะห์เชิงข้อมูล และได้ลงพื้นที่สำรวจเก็บข้อมูล เพื่อนำมาวิเคราะห์เพื่อหาความสัมพันธ์กับปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในต้นไม้ ในเขตพื้นที่ป่าสงวนแห่งชาติป่าโคกผักกูดและป่าโป่งแดง จังหวัดมหาสารคาม โดยมีผลวิธีการดำเนินงานดังนี้

4.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลภาคสนาม

4.1.1 ผลการวิเคราะห์ค่าคาร์บอนของพรรณไม้

สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการลงภาคสนามเก็บข้อมูลโดยการวางแผนผังตัวอย่างสำรวจทั้งหมด 16 หลัก 256 แปลงย่อย ขนาด 10X10 เมตร ซึ่งคำนวณค่าน้ำหนักแห้งของต้นไม้ตามสมการอัลโลเมตรีสามารถหาน้ำหนัก ดังตารางที่ 4.1 แสดงผลรวมการคำนวณคาร์บอนดังต่อไปนี้

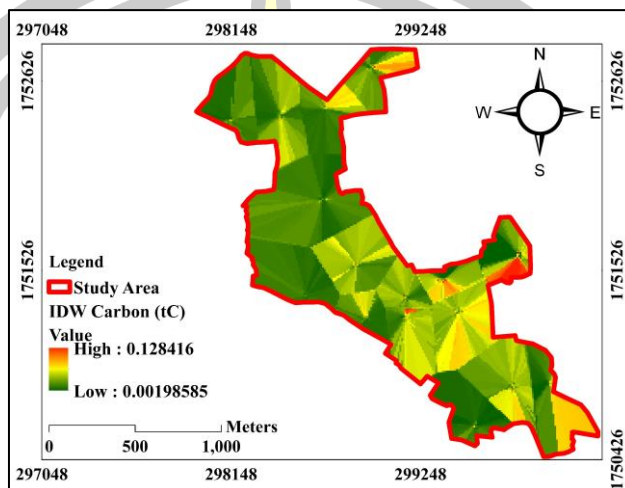
ตารางที่ 4.1 แสดงผลรวมการคำนวณคาร์บอนรวม

มวลชีวภาพส่วนของลำต้น	W_s	76334.47	กิโลกรัม
มวลชีวภาพส่วนของกิ่ง	W_b	14801.79	กิโลกรัม
มวลชีวภาพส่วนของใบ	W_l	2797.90	กิโลกรัม
มวลชีวภาพของลำต้น+กิ่ง	W_{tc}	91136.26	กิโลกรัม
AGB	W_s, W_b, W_l	93934.17	กิโลกรัม
Carbon Sequestration	$(W_s, W_b, W_l) * 0.47$	44149.06	กิโลกรัม
ผลรวม Carbon		44.14	ตันคาร์บอน

พหุ ประถมศึกษา

4.1.2 ผลการวิเคราะห์ความหนาแน่นของคาร์บอน

การวิเคราะห์โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ Interpolation โดยใช้เทคนิค Inverse Distance Weighted (IDW) เป็นการนำผลคาร์บอนเนื้อพื้นดิน ในการวิเคราะห์ที่มีหน่วย ตันคาร์บอน Output cell size (optional) ขนาด 10X10 เมตร ดังภาพประกอบที่ 4.1



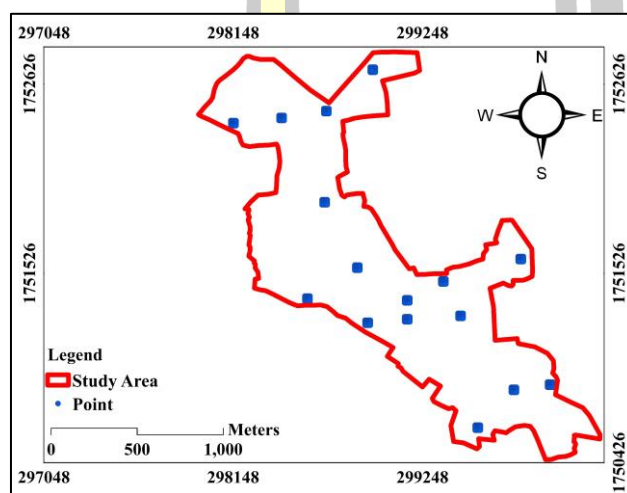
ภาพประกอบที่ 4.1 แผนที่แสดงความหนาแน่นของคาร์บอน (IDW)

จากภาพประกอบที่ 4.1 แสดงผลการวิเคราะห์ความหนาแน่นของคาร์บอน ด้วยวิธีการวิเคราะห์ Interpolation เทคนิค Inverse Distance Weighted (IDW) ผลรวมค่าของคาร์บอนในพื้นที่เท่ากับ 2743.87 ตันคาร์บอน 3180.83 ตันคาร์บอน/พื้นที่ พบค่าที่ต่ำที่สุดเป็นพื้นที่สีเขียวมีความหนาแน่นของคาร์บอน เท่ากับ Low 0.00198585 ตันคาร์บอน/ไร่/ตร.ม. พื้นที่สีเหลืองมีความหนาแน่นของคาร์บอนระดับปานกลางโดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.065200 ตันคาร์บอน/ไร่/ตร.ม. และพื้นที่สีแดงมีความหนาแน่นสูงที่สุด มีค่าเท่ากับ 0.128416 ตันคาร์บอน/ไร่/ตร.ม.

พูน ปณ จิตโต ชีเว

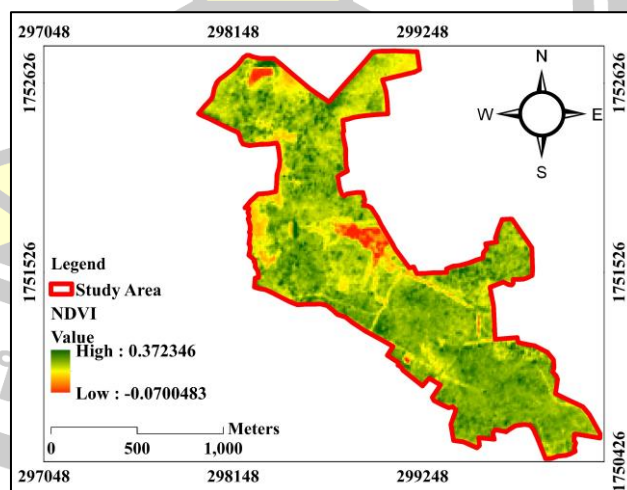
4.2 ผลการวิเคราะห์ค่าดัชนีพืชพรรณ

การวิเคราะห์หาค่าดัชนีพืชพรรณ จากข้อมูลภาพถ่ายทางดาวเทียม Sentinel-2A ข้อมูลวันที่ 8 สิงหาคม 2566 พิกัดทางภูมิศาสตร์ที่ Lat 15.833311 Long 103.122736 โดยการวิเคราะห์ดัชนี NDVI, SAVI, RVI และ TNDVI เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอน จากข้อมูลการสำรวจภาคสนาม ซึ่งค่าที่ได้จะเป็นค่าของแต่ละจุด ของการวางแผนสำรวจ ทั้งหมด 16 แปลงหลัก ประกอบไปด้วยแปลงย่อย ซึ่งมีขนาด 10X10 เมตร ทั้งหมด 256 แปลง ดังภาพประกอบที่ 4.1 แสดงค่าในแต่ละจุดของดัชนี



ภาพประกอบที่ 4.2 แสดงแปลงย่อย ขนาด 10X10 เมตร

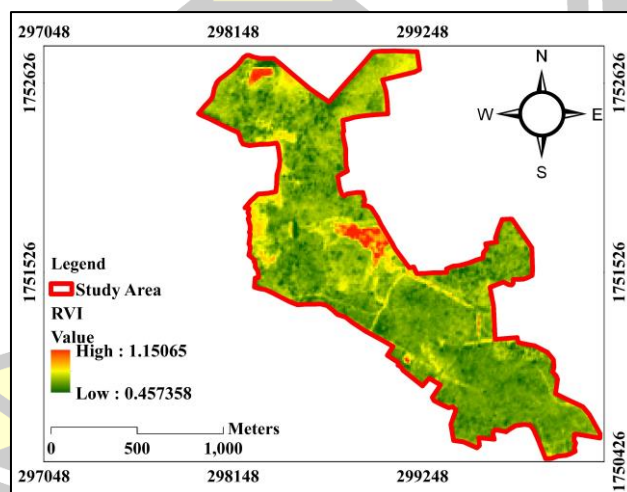
4.2.1 ผลดัชนีความต่างพืชพรรณ (Normalized Difference Vegetation Index: NDVI)



ภาพประกอบที่ 4.3 แผนที่แสดงผลดัชนีความต่างพืชพรรณ NDVI

จากภาพประกอบที่ 4.3 แผนที่แสดงผลดัชนีความต่างพืชพรรณ NDVI จากการวิเคราะห์พบว่า มีค่าต่ำสุด คือ -0.0700483 ค่าสูงสุด คือ 0.372346 และมีค่าเฉลี่ย 0.151148 โดยพื้นที่สีแดง พบพรรณไม้ค่อนข้างน้อยมากส่วนใหญ่เป็นพื้นที่โล่งหรือพืชพรรณเกิดขึ้น ณ บริเวณนั้นน้อย หรือเป็นพื้นที่แหล่งน้ำ บ่อน้ำ สีเหลืองพบพรรณไม้ค่อนข้างปานกลาง พบในบริเวณพื้นที่รอบ ๆ แนวเขตเพื่อการศึกษา หรือเป็นพื้นที่ที่พบพรรณไม้เป็นบางชนิดพรรณ จากการวิเคราะห์พบว่า ในแปลงย่อยขนาด 10X10 เมตร คือ แปลงย่อยที่ 6.2 พิกัด X 298586 พิกัด Y 1751393, แปลงย่อยที่ 8.2 พิกัด X 298876 พิกัด Y 1751565 และแปลงย่อยที่ 12.4 พิกัด X 298956 พิกัด Y 1752705 พื้นที่สีเขียวพบพรรณไม้ค่อนข้างมาก ซึ่งเป็นพื้นที่ที่ค่าความหนาแน่นของพืชหลากหลายชนิด จากการวิเคราะห์ในรายแปลงพบ ว่าแปลงย่อย ขนาด 10X10 เมตร พบในแปลงย่อยที่ 7.3 พิกัด X 298164, Y 1752386 แปลงย่อยที่ 6.3 พิกัด X 298595, Y 1751364 และ แปลงย่อยที่ 10.2 พิกัด X 299165, Y 1751375 โดยมีพรรณไม้ที่พบ หรือพบมากที่สุดในการแปลง คือ ต้นพลวง *Dipterocarpus tuberculatus* Roxb. วงศ์ Dipterocarpaceae และต้นเหมือดแอ่ *Memecylon edule* Roxb. วงศ์ Memecylaceae

4.2.2 ผลดัชนีอัตราส่วนพืชพรรณ Ratio Vegetation Index (RVI)

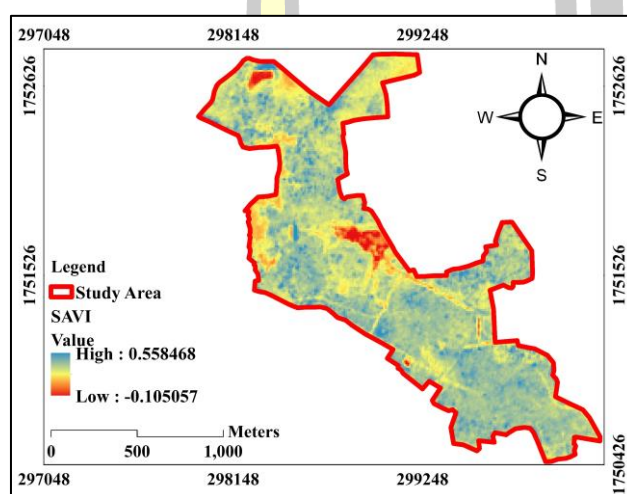


ภาพประกอบที่ 4.4 แผนที่แสดงผลดัชนีอัตราส่วนพืชพรรณ RVI

จากภาพประกอบที่ 4.4 แผนที่แสดงผลดัชนีอัตราส่วนพืชพรรณ (Ratio Vegetation Index: RVI) จากการวิเคราะห์พบว่า มีค่าต่ำสุด 0.457358 สูงสุด คือ 1.15065 และมีค่าเฉลี่ย 0.804004 โดยพื้นที่สีแดง พบพรรณไม้ค่อนข้างน้อยส่วนใหญ่เป็นพื้นที่โล่ง แหล่งน้ำ และถนน จากการวิเคราะห์ พบว่าแปลงย่อยที่ 10.2 พิกัด X 299165, พิกัด Y 1751375 แปลงย่อยที่ 6.3 พิกัด X 298595, พิกัด Y 1751375 และแปลงย่อยที่ 7.3 พิกัด X 298164, พิกัด Y 1752386 ซึ่งเป็นแปลงที่มีค่าของ อัตราส่วนพืชพรรณต่ำ พื้นที่สีเหลือง พบพรรณไม้ค่อนข้างปานกลาง พบในพื้นที่รอบ ๆ

แนวเขตพื้นที่ศึกษา และสีเขียวพบอัตราส่วนพืชพรรณค่อนข้างหนาแน่นมาก ซึ่งพบในแปลงย่อยที่ 6.2 พิกัด X 298586, พิกัด Y 1751393 แปลงย่อยที่ 8.1 พิกัด X 298865, พิกัด Y 1751565 และแปลงย่อยที่ 12.4 พิกัด X 298956, Y 1752705 พบพรรณไม้ หลัก ๆ คือ ต้นเต็ง *Shorea obtusa* Wall ต้นเหมือดแอ *Memecylon edule* Roxb. และต้นแดง *Xylocarpus arpa* Taub. Var. *Kerrii* Nielsen

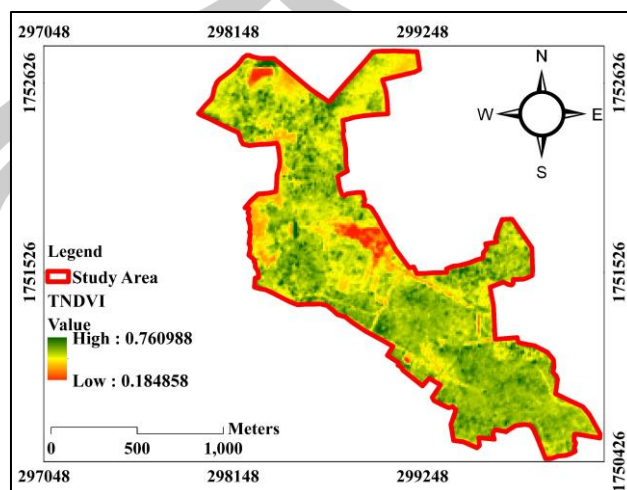
4.2.3 ผลดัชนีพืชพรรณปรับแก้ดิน (Soil-Adjusted Vegetation Index: SAVI)



ภาพประกอบที่ 4.5 แผนที่แสดงผลดัชนีพืชพรรณปรับแก้ดิน SAVI

จากภาพประกอบที่ 4.5 แผนที่แสดงผลดัชนีพืชพรรณปรับแก้ดิน (Soil-Adjusted Vegetation Index: SAVI) จากการวิเคราะห์พบว่า มีค่าต่ำสุด -0.105057 ค่าสูงสุด 0.558468 และมีค่าเฉลี่ย 0.226705 โดยพื้นที่สีแดง พบพรรณไม้ค่อนข้างน้อยส่วนใหญ่เป็นพื้นที่โล่ง แหล่งน้ำ และถนน จากการวิเคราะห์ พบว่าแปลงย่อยที่ 6.2 พิกัด X 298586, พิกัด Y 1751393 แปลงย่อยที่ 8.1 พิกัด X 298865, พิกัด Y 1751565 และแปลงย่อยที่ 12.4 พิกัด X 298956, พิกัด Y 1752705 พื้นที่สีเหลืองพบพรรณไม้ค่อนข้างปานกลาง และพื้นที่สีฟ้า พบพรรณไม้ที่มีความหนาแน่นมาก คือแปลงย่อยที่ 6.3 พิกัด X 298595, พิกัด Y 1751375 แปลงย่อยที่ 7.3 พิกัด X 298164, พิกัด Y 1752386 และแปลงย่อยที่ 10.2 พิกัด X 299165, พิกัด Y 1751375 ซึ่งพบพรรณไม้ หลัก ๆ คือ ต้นเต้ *Sindora siamensis* Miq. และต้นตานกกด *Ellipanthus tomentosus* Kuze var. *tomentosus*

4.2.4 ผลดัชนีการเปลี่ยนความต่างพืชพรรณ (Transformed Normalized Difference Vegetation Index: TNDVI)



ภาพประกอบที่ 4.6 แผนที่แสดงผลดัชนีการเปลี่ยนความต่างพืชพรรณ TNDVI

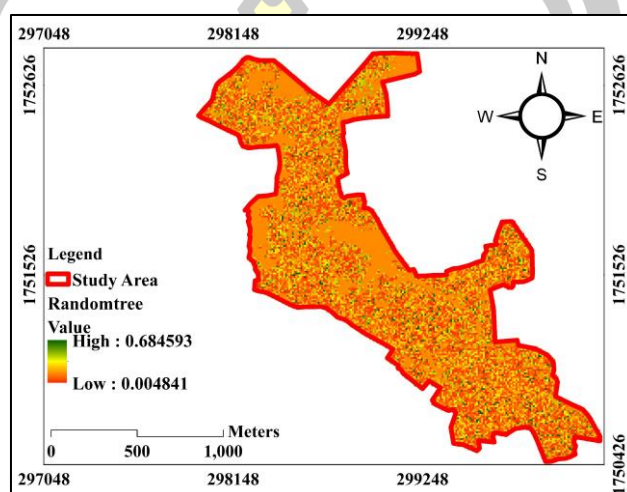
จากภาพประกอบที่ 4.6 แผนที่แสดงผลดัชนีการเปลี่ยนความต่างพืชพรรณ (Transformed Normalized Difference Vegetation Index: TNDVI) จากการวิเคราะห์พบว่า มีค่าต่ำสุด 0.184858 ค่าสูงสุด คือ 0.760988 และมีค่าเฉลี่ย 0.472923 โดยพื้นที่สีแดง พบพรรณไม้ค่อนข้างน้อย ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่โล่ง แหล่งน้ำ และถนน จากการวิเคราะห์ พบว่าแปลงย่อยที่ 6.2 พิกัด X 298586, พิกัด Y 1751393 แปลงย่อยที่ 8.1 พิกัด X 298865, พิกัด Y 1751565 และแปลงย่อยที่ 12.4 พิกัด X 298956, พิกัด Y 1752705 พื้นที่สีเหลือง พื้นที่สีเหลืองพบพรรณไม้ค่อนข้างปานกลาง และพื้นที่สีเขียว พบพรรณไม้ที่มีความหนาแน่นมาก พบในแปลงย่อยที่ 6.3 พิกัด X 298595, พิกัด Y 1751364 แปลงย่อยที่ 7.3 พิกัด X 298164, พิกัด Y 1752386 และแปลงย่อยที่ 10.2 พิกัด X 299165, พิกัด Y 1751375 พบพรรณไม้หลัก ๆ คือ ต้นแดง *Xylocarpus tau* b.var. *Kerrii* Nielsen ต้นพลวง *Dipterocarpus tuberculatus* Roxb. และต้นเต็ง *Shorea obtusa* Wall.

พหุ ปณ จิต ชีเว

4.3 ผลการวิเคราะห์การประมาณค่าการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินกับดัชนีพืชพรรณ ด้วยการเรียนรู้เครื่องจักรแบบวิธีต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree)

ผลการวิเคราะห์เครื่องจักรแบบ วิธีต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree) โดยมีค่าสรุปการตัดสินใจในรูปแบบของต้นไม้ จำนวน 183000 point ประกอบไปด้วยตัวแปรต้น คือ ค่า IDW ตัวแปรตามคือ ค่าดัชนี NDVI, SAVI, RVI และ TNDVI ผลการวิเคราะห์ดังภาพประกอบที่ 4.6

4.3.1 แผนที่แสดงผลการวิเคราะห์ Decision Tree



ภาพประกอบที่ 4.7 แผนที่แสดงผลวิเคราะห์ Decision Tree

จากภาพประกอบที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์ Decision Tree ผลรวมค่าของคาร์บอนในพื้นที่เท่ากับ 2743.87 ตันคาร์บอน จากการ Classifier model ทำให้ทราบค่า Actual และค่าผล Prediction จาก Random Tree มีค่า Value high เท่ากับ 0.684593 ตันคาร์บอน/ไร่/ตร.ม. และ Low เท่ากับ 0.004841 ตันคาร์บอน/ไร่/ตร.ม. ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.144856 ตันคาร์บอน/ไร่/ตร.ม. จากภาพประกอบที่ 4.7 ทำให้ทราบถึงความหนาแน่นของค่าคาร์บอนต่อพื้นที่ได้โดย การแบ่งสีในพื้นที่คือ สีเขียว ค่าคาร์บอนมีความหนาแน่นมาก พื้นที่สีเหลืองมีค่าคาร์บอนมีความหนาแน่นปานกลาง และพื้นที่สีส้ม มีความหนาแน่นของคาร์บอนต่ำสุด โดยมีค่าทางสถิติจากการวิเคราะห์ผล ดังตารางที่ 4.5

พหุ ประสิทธิภาพ

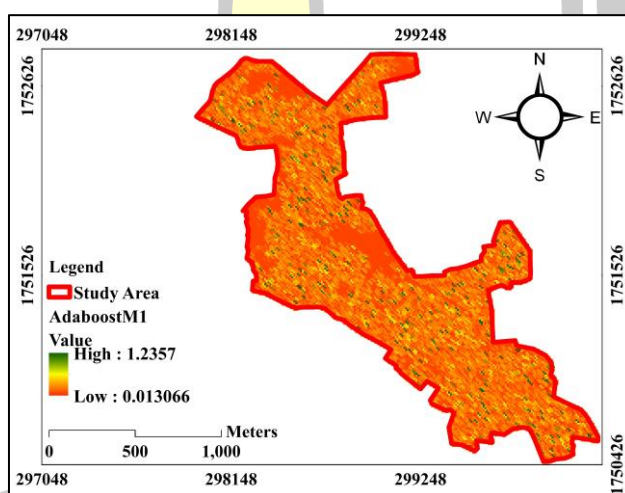
ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงผล Summary แบบ Decision Tree

Correlation coefficient	0.811
Mean absolute error (MAE)	0.062
Root mean squared error (RMSE)	0.104
Mean Squared Error (MSE)	0.053

4.4 ผลการวิเคราะห์การประมาณค่าการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินกับดัชนีพืชพรรณ ด้วยการเรียนรู้เครื่องจักรแบบวิธี Gradient Boosting

ผลการวิเคราะห์แบบ วิธี Gradient Boosting โดยวิธีการใช้ AdaboostM1 (Random Tree) ใช้ข้อมูลจำนวน 183000 point ประกอบไปด้วยตัวแปรต้น คือ ค่า IDW ตัวแปรตามคือ ค่าดัชนี NDVI, SAVI, RVI และ TNDVI ดังภาพประกอบที่ 4.8

4.4.1 แผนที่แสดงผลการวิเคราะห์ วิธี Gradient Boosting



ภาพประกอบที่ 4.8 แผนที่แสดงผลวิเคราะห์ Gradient Boosting โดยวิธี AdaboostM1

จากภาพประกอบที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์ Gradient Boosting ผลรวมค่าของคาร์บอนในพื้นที่เท่ากับ 2855.18 ตันคาร์บอน ซึ่งมีค่า high เท่ากับ 1.2357 ตันคาร์บอน/ไร่/ตร.ม. และ Low เท่ากับ 0.013066 ตันคาร์บอน/ไร่/ตร.ม. ซึ่งมีค่าคาร์บอนเฉลี่ยทั้งพื้นที่ศึกษามีค่าเท่ากับ 0.155198 ตันคาร์บอน/ไร่/ตร.ม. จากภาพประกอบที่ 4.8 ทำให้ทราบถึงค่าคาร์บอนต่อพื้นที่ได้ โดยการแบ่งสี คือ สีเขียว ค่าคาร์บอนมีความหนาแน่นมาก พื้นที่ที่มีลักษณะสีเหลือง มีค่าคาร์บอนที่มีความหนาแน่นปานกลาง และพื้นที่สีแดง มีความหนาแน่นของคาร์บอนต่ำสุด โดยมีค่าทางสถิติจากการวิเคราะห์ผล ดังตารางที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์ความแม่นยำโดยละเอียดตามคลาส (Detailed Accuracy by Class) ต่อไปนี้

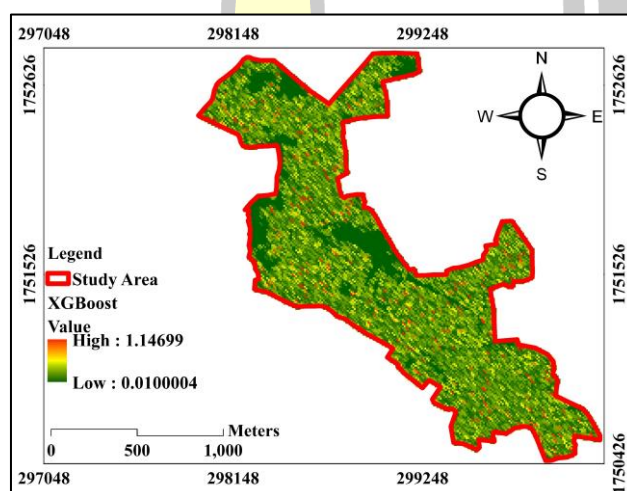
ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงผล Summary แบบ AdaboostM1

Correlation coefficient	0.964
Mean absolute error (MAE)	0.017
Root mean squared error (RMSE)	0.085
Mean Squared Error (MSE)	0.062

4.5 ผลการวิเคราะห์การประมาณค่าการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินกับดัชนีพืชพรรณ ด้วยการเรียนรู้เครื่องจักรแบบวิธี XGBoost

ผลการวิเคราะห์แบบวิธี XGboost (Random Tree) ใช้ข้อมูลจำนวน 183000 point ประกอบไปด้วยตัวแปรต้น คือ ค่า IDW ตัวแปรตามคือ ค่าดัชนี NDVI, SAVI, RVI และ TNDVI ผลการวิเคราะห์ ดังภาพประกอบที่ 4.9

4.5.1 แผนที่แสดงผลการวิเคราะห์ วิธี XGboost



ภาพประกอบที่ 4.9 แผนที่แสดงผลวิเคราะห์ XGboost

จากภาพประกอบที่ 4.9 ผลการวิเคราะห์ XGboost ผลรวมค่าของคาร์บอนในพื้นที่เท่ากับ 2529.16 ตันคาร์บอน ซึ่งมีค่า Value high เท่ากับ 1.14699 ตันคาร์บอน/ไร่/ตร.ม. และ Low เท่ากับ 0.01 ตันคาร์บอน/ไร่/ตร.ม. ซึ่งมีค่าเฉลี่ยทั้งพื้นที่ศึกษามีค่าเท่ากับ 0.129144 ตันคาร์บอน/ไร่/ตร.ม. จากภาพประกอบที่ 4.9 ทำให้ทราบถึงความหนาแน่นของค่าคาร์บอนต่อพื้นที่ได้โดยพื้นที่สีเขียว ค่าคาร์บอนมีความหนาแน่นมาก พื้นที่สีเหลือง ค่าคาร์บอนมีความหนาแน่นปานกลาง และพื้นที่เป็นสีแดง คาร์บอนมีความหนาแน่นต่ำ โดยมีค่าทางสถิติจากการวิเคราะห์ผล ดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงผล Summary แบบ XGboost

Correlation coefficient	0.943
Mean absolute error (MAE)	0.171
Root mean squared error (RMSE)	0.256
Mean Squared Error (MSE)	0.065

4.6 ผลการวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis)

ผลการวิเคราะห์ ทั้ง 3 แบบ คือ วิธีต้นไม้ตัดสินใจ Decision Tree ด้วยเทคนิค Random Tree วิธีวิเคราะห์ Gradient Boosting (AdaboostM1.) และ XGboost มีดัชนีประกอบไปด้วยดัชนี NDVI, SAVI, RVI และ TNDVI ผลการวิเคราะห์การถดถอยสถิติ (Regression Analysis) ประกอบไปด้วย ค่า Correlation coefficient (R^2), Mean absolute error (MAE), Root mean squared error (RMSE), และ Mean Squared Error (MSE) มีผลการวิเคราะห์ของตัวแปร ดังตารางที่ 4.7

ตารางแสดงที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis)

Regression Analysis	Random Tree	AdaboostM1.	XGboost
Correlation coefficient	0.811	0.964	0.943
Mean absolute error (MAE)	0.062	0.017	0.171
Root mean squared error (RMSE)	0.104	0.085	0.256
Mean Squared Error (MSE)	0.053	0.062	0.065

4.7 ผลการวิเคราะห์คาร์บอนด้วยวิธีการเรียนรู้ด้วยเครื่อง

หน่วย	ความหนาแน่น Carbon เข่งพื้นที่	IDW	Random tree	Gradient Boosting Adaboost	XGboost
ตันคาร์บอน	3,180.179	383.179	2,743.874	2,855.181	2,384.509
ตันคาร์บอน/ไร่	1.988	0.239	1.714	1.784	1.490
ตันคาร์บอน/ตร.ม	0.019	0.002	0.0171	0.0178	0.0149
ความคลาดเคลื่อน (%)	-	383.95%	13.74%	10.24%	25.04%

บทที่ 5

สรุปและอภิปรายผล

5.1 สรุปผลปริมาณมวลชีวภาพเหนือพื้นดินและปริมาณการกักเก็บคาร์บอน

จากการศึกษา โดยทำการศึกษาในแปลงตัวอย่างทั้งหมด 16 แปลงหลัก 256 แปลงย่อย ในพื้นที่แปลงตัวอย่างมีจำนวนต้นไม้ 2186 ต้น 33 ชนิด พรรณไม้ที่พบที่สุด ได้แก่ พลอง *Dipterocarpus tuberculatus* Roxb, แดง *Xylia xylocarpa* Taub. var, เต็ง *Shorea Obtusa* Wall, หมือดแอ *Cratoxylum cochinchinense* (Lour.) Bl, มะกอกเหลี่ยม *Canarium subulatum* Guill, หนามแท่ง *Catunaregam tomentosum* (Kurz) Bakh.f, ตั้วแดง *Cratoxylum cochinchinense* (Lour.) Bl. และรัง *Shorea Siamensis* Miq. รวมถึงพรรณไม้ชนิดอื่น ๆ เพื่อหาค่าปริมาณมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน (Above Ground Biomass) โดยการใช้สมการแอลโลเมตรี คือ น้ำหนักของส่วนลำต้น (W_s) = 76,334.47 กิโลกรัม หรือ 676.33 ตัน น้ำหนักของส่วนกิ่ง (W_b) = 14,801.79 กิโลกรัม หรือ 14.80 ตัน น้ำหนักของส่วนใบ (W_l) = 2,797.90 กิโลกรัม หรือ 2.79 ตัน และผลรวมค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดิน ($Effiom$, .52) = 93,934.17 กิโลกรัม หรือ 93.93 ตัน ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้ (C_s) = ค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดิน $\times$ 0.47 จะได้ ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้ ทั้งหมด = 44,149.06 กิโลกรัมคาร์บอน หรือ 44.14 ตันคาร์บอน

5.2 สรุปผลการศึกษาค่าการสะท้อนพลังงานของดัชนีพืชพรรณ

จากการวิเคราะห์ดัชนีพืชพรรณที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2A เพื่อนำมาวิเคราะห์หาค่าดัชนีพืชพรรณ NDVI, SAVI, RVI และ TNDVI พบว่า ดัชนีพืชพรรณ NDVI มีค่าสูงสุด 0.372346 ค่าต่ำสุด -0.0700483 , SAVI มีค่าสูงสุด 0.558468 ค่าต่ำสุด -0.105057, RVI มีค่าสูงสุด 1.15065 ค่าต่ำสุด 0.457358 และ TNDVI มีค่าสูงสุด 0.760988 ค่าต่ำสุด 0.184858 เมื่อนำค่าดัชนีพืชพรรณมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์กับปริมาณการกักเก็บคาร์บอนจากข้อมูลภาคสนาม

5.3 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ด้วยการเรียนรู้เครื่องจักร

ผลการวิเคราะห์ พบว่า การเรียนรู้เครื่องจักร ด้วยวิธีต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree) วิเคราะห์ 256 แปลง โดยมีแปลงย่อยขนาด 10X10 เมตร พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ Correlation coefficient เท่ากับ 0.81176 Mean absolute error (MAE) เท่ากับ 0.062 Root mean squared error (RMSE) เท่ากับ 0.104 และ Mean Squared Error (MSE) เท่ากับ 0.053 ค่าคาร์บอน เท่ากับ 2,743.874 ตันคาร์บอน 1.714 ตันคาร์บอน/ไร่ และ 0.017 ตันคาร์บอน/ตารางเมตร

ผลการวิเคราะห์ Gradient Boosting พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ Correlation coefficient เท่ากับ 0.9644 Mean absolute error (MAE) เท่ากับ 0.017 Root mean squared error (RMSE) เท่ากับ 0.085 และ Mean Squared Error (MSE) เท่ากับ 0.062 ค่าคาร์บอน เท่ากับ 2,855.181 ตันคาร์บอน 1.784 ตันคาร์บอน/ไร่ และ 0.017 ตันคาร์บอน/ตารางเมตร

ผลการวิเคราะห์ XGBoost พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ Correlation coefficient เท่ากับ 0.94 Mean absolute error (MAE) เท่ากับ 0.171 Root mean squared error (RMSE) เท่ากับ 0.256 และ Mean Squared Error (MSE) เท่ากับ 0.065 ค่าคาร์บอน เท่ากับ 2,384.509 ตันคาร์บอน 1.490 ตันคาร์บอน/ไร่ และ 0.014 ตันคาร์บอน/ตารางเมตร

การศึกษาในครั้งนี้พบว่า การวิเคราะห์ด้วยวิธีการเรียนรู้ด้วยเครื่องจักรแบบวิธี Gradient Boosting มีค่าความสัมพันธ์กับค่าคาร์บอนเชิงพื้นที่ค่อนข้างสูง ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เท่ากับ 0.96 และค่าความคลาดเคลื่อนค่อนข้างน้อย ซึ่งคิดเป็น 10.24% เมื่อเทียบกับค่าคาร์บอนเชิงพื้นที่

5.4 ปัญหาและอุปสรรค

- 1.ในการลงพื้นที่จะมีอุปสรรคคือสภาพอากาศฝนตก ทำให้ GPS อาจมีค่าพิกัดคลาดเคลื่อนของพิกัดและภาพถ่ายดาวเทียมมีค่าสะท้อนที่ไม่สอดคล้องกับสภาพจริงหรือ มีค่าสะท้อน Error เกิน
- 2.วางแผนไม่ตรง ทำให้ต้องขยับการวางแผน ป่าส่วนใหญ่ค่อนข้างรก และมีหนามแหลมคม
- 3.ควรเลือกช่วงเวลาสำรวจให้เหมาะสมกับข้อมูลที่จะลงเก็บสำรวจ พืชบางชนิดเป็นพืชล้มลุก ควรเก็บช่วงฤดูฝน จะได้พบพืชที่มีความหลากหลายมากขึ้น

5.5 ข้อเสนอแนะ

- 1.ในการวิเคราะห์หาปริมาณการกักเก็บคาร์บอนพบว่า มีวิธีการวิเคราะห์อีกรูปแบบหนึ่ง คือ การทำ IDW เป็นการหาความหนาแน่นของการสะสมคาร์บอน ทั้งนี้ผู้ใช้งานต้องอาศัยประสบการณ์ทางด้านนี้ในการทำ ประกอบกับความเข้าใจ หรือมีโปรแกรมที่มีเครื่องมือในการวิเคราะห์เพื่อให้ได้ค่าที่มีความถูกต้องมากที่สุด
- 2.ควรเผยแพร่ข้อมูลแก่ผู้นำชุมชนที่มีส่วนในการอนุรักษ์หรือการปลูกป่าที่ยั่งยืนแก่ชุมชนเพื่อศึกษาพรรณไม้ในการวิเคราะห์ศึกษาแหล่งเก็บของคาร์บอน
- 3.ควรมีเจ้าหน้าที่ ที่เชี่ยวชาญทางด้านพรรณไม้ในการลงพื้นที่ที่ทำการสำรวจ เพื่อให้การเก็บข้อมูลได้มีความถูกต้องและแม่นยำมากขึ้น เพราะพรรณไม้บางชนิดไม่ทราบชื่อที่แน่ชัด
- 4.ควรวางแผนในการกำหนดตำแหน่งการวางแผนให้ดี เพื่อความสะดวก และความรวดเร็วต่อการเดินทางเข้าไปสำรวจพรรณไม้ ให้ตรงตามตำแหน่งการวางแผนที่กำหนดไว้
- 5.ในการจำแนกประเภทข้อมูล ควรตรวจสอบข้อมูลภาคพื้นที ควบคู่กับการลงสำรวจพื้นที่ศึกษา ซึ่งจะทำให้การจำแนกประเภทของข้อมูลมีความถูกต้องตามสภาพพื้นที่จริง

บรรณานุกรม

- ทิตา โลลูพิมาน, กาญจนา นาคะภากร และอัจฉรา อัครจุฑิลชัย. (2558). กักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของสวนยางพารา. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 24(6): 914-926
- กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, ส. ก. (2564). โครงการจัดทำข้อมูลสภาพพื้นที่ป่าไม้ ปี พ.ศ. 2561 – 2562 <https://forestinfo.forest.go.th/>
- จุฑามาศ เรืองรัมย์. (2558). ค่าดัชนีพืชพรรณ (*Vegetation Index: VI*), คาร์บอนเครดิต งานวิจัยสาขาภูมิสารสนเทศ คณะวิทยาการสารสนเทศ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.
- ชิงชัย วิริยะบัญชา (2563). คู่มือการศึกษาแหล่งสะสมคาร์บอนในพื้นที่ป่าธรรมชาติ.
- ชนะวิชญ์ พชรเจริญวงศ์, กันต์กวี เทิรเมฆ, วรางคณา กัมปาน. แบบจำลองการทำนายระยะเวลาในการเข้าเทียบท่าของเรือโดยสารสาธารณะ. วารสารวิทยาศาสตร์ลาดกระบัง. 2563. 29(2): 31-44.
- ดวงรัตน์ คล้ายเดช (2556). การใช้ดัชนีพืชพรรณจากข้อมูลดาวเทียมไทยโชต สำหรับการจำแนกชนิดป่าในอุทยานแห่งชาติดอยหลวง จังหวัดเชียงราย สำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.)
- ทศพร วัชรานุกร, ชิงชัย วิริยะบัญชา, และ กันตินันท์ ผิวนาด (2548). การประมาณปริมาณการสะสมของคาร์บอนในต้นไม้ในสวนป่าเพื่อการอุตสาหกรรมในประเทศไทย รายงานการประชุมวิชาการการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศทางด้านป่าไม้: ศักยภาพของป่าไม้ในการสนับสนุนพิธีสารเกียวโต. <https://kukr.lib.ku.ac.th/>
- นฤเศรษฐ์ ประเสริฐศรี, สาธิต แสงประดิษฐ์, นุชนาฏ บัวศรี, อธิญา อุทธา, ทินกร อังคะฮาด, ปัญญา บุตะกะ (2564). การประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศสำรวจพืชวงศ์มั่งคุดป่าสงวนแห่งชาติป่าโคกผักกูดและป่าโป่งแกง จังหวัดมหาสารคาม วารสารวิทยาการสารสนเทศและเทคโนโลยีประยุกต์. tc-thaijo.org
- มูลนิธิโครงการสารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน. (2561). องค์ประกอบของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน. <https://www.saranukromthai.or.th>
- วุฒิไกร บุญคุ้ม (2553). การวิเคราะห์การถดถอย *Regression Analysis* <https://ag2.kku.ac.th/eLearning>
- สมาคมพัฒนาคุณภาพสิ่งแวดล้อม ประเทศไทย. (2560). เรื่องความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับพลังงาน <https://adeq.or.th/>
- สรศักดิ์ เดิมวุฒิ และ ธันวา ใจเที่ยง. (2564). มวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้ในพื้นที่โครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชและคืนสัตว์สู่ป่าในมหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ (พื้นที่นารมณ). วารสาร

- หน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้ ปีที่ 12 ฉบับที่ 1 (2564).
<https://ejournals.swu.ac.th/>
- สำนักงานเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ. (2562). ความรู้ด้านภูมิสารสนเทศ.
<http://learn.gistda.or.th>
- สำนักงานป่าไม้จังหวัดมหาสารคาม. (2566). เขตป่าสงวนแห่งชาติป่าโคกผักกูดและป่าโป่งแดง จังหวัดมหาสารคาม <https://forestinfo.forest.go.th/>
- สำนักจัดการที่ดินป่าไม้. (2565). ป่าไม้ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. <https://www.forest.go.th/>
- อรอิง ไชยยศ. (2556). ระบบสารสนเทศและการวิจัย เพื่อการจัดการทรัพยากรป่าไม้และสิ่งแวดล้อม <https://ebook.stou.ac.th/>
- จันทร์จิรา ตีเพชร. (2558). ความหลากหลายทางชีวภาพของพืชพรรณไม้ยืนต้นเพื่อการจัดการ และการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมใน มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ. วารสารวิชาการศิลปศาสตร์ และวิทยาศาสตร์ คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ. 33-47
- ณิชภัทร ดวงทิพย์. (2558). การกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่ป่าปกปักษ์อนุรักษ์พันธุ์กรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี (อพ.สธ) บริเวณเขื่อนสิริกิติ์ จังหวัดอุตรดิตถ์. นเรศวรวิจัย ภาควิชาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม คณะเกษตรศาสตร์ฯ มหาวิทยาลัยนเรศวร (12): 99-112
- บุษรา กันหอม บุญธิดา ม่วงศรีเมืองดี ปัญญา ไวยบุญญา ประภัสสร ยอดสง่า และปนัดดา ลากเกิน (2562) ความหลากหลายของพรรณไม้และการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของป่าชุมชนบ้านหนองเม็ก อำเภอโคกสูง จังหวัดสระแก้ว [ออนไลน์] <https://k.ukrdb.lib.ku.ac.th/>
- ระวี เจียรวิภา สุรชาติ เพชรแก้ว มนตรี แก้วดวง และวิทยา พรหมมี. (2557). การประเมินการกักเก็บคาร์บอนและรายได้จากการชดเชยคาร์บอนในสวนยางพารา. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา. 17(2): 91-102
- companies, G. s. *QGIS Documentation*. <https://www.globalpec.com/>
- Effiom, A. E. (2018). UAV-RGB and Multispectral Pleiades images for tree species identification and forest carbon estimation in Amtsvenn, Germany. DOI:10.13140/RG.2.2.13484.77444. <https://www.researchgate.net>
- Esri. (2023). *ArcGIS Desktop*. <https://www.esri.com/>
- Sangpradid, S., Prasertsri, N., & Aroonsri, I. (2022). Geographically Weighted Regression Model for Above Ground Biomass Assessment Form Satellite Imagery in Tad Sung WaterFall Park Forest, Thailand *International Journal of Conservation Science*. 2022. 13(2)695-704.

Tseng, G. (2018). Gradient Boosting and XGBoost. <https://medium.com/>

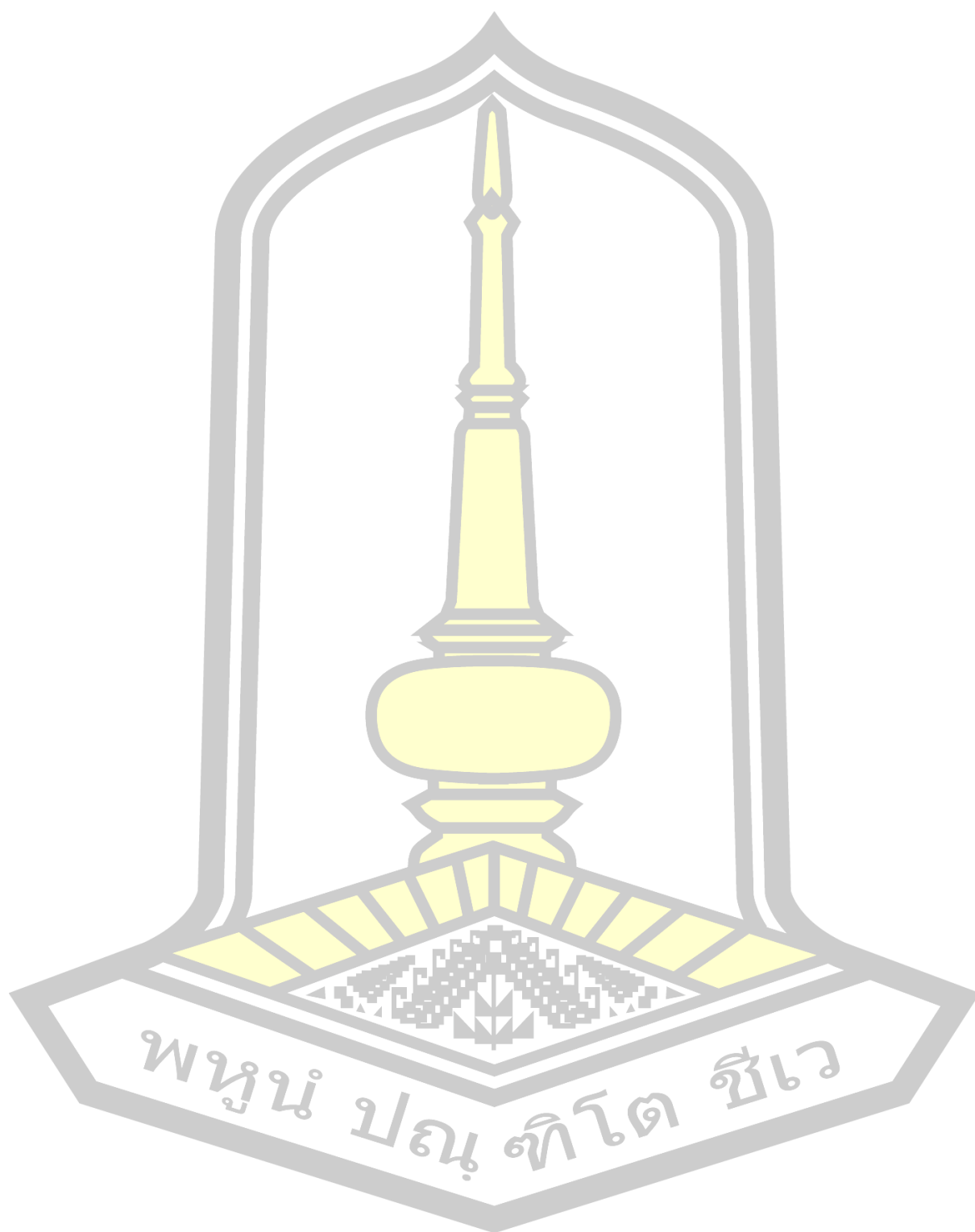
Uttaruk, Y., & Laosuwan, T. (2017). Carbon Sequestration Assessment of the Orchards using Satellite Data *Journal of Ecological Engineering*. 2017. 18(1):11-17. [xx01]Ross Quinlan.

Uttaruk, Y., & Laosuwan, T. (2018). Community Forest for Above Global Warming Mitigation: The Technique for Estimation of Biomass and Above Ground Carbon Storage using Remote Sensing. *Agriculture and Forestry*. 2018. 64(33):47-57.

Vijite, P. (2019). Machine Learning. <https://medium.com/>

Waikato, U. o. (1997). *Waikato Environment for Knowledge Analysis (WEKA)*. <https://www.waikato.ac.nz>





ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	วัชรินทร์ วัฒนาวงศ์ศิริ
วันเกิด	22 ม.ค. 2521
สถานที่เกิด	จังหวัดตรัง
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	4/1248 ซ.73 ม.สหกรณ์ คลองกุ่ม บึงกุ่ม กทม. 10240
ประวัติการศึกษา	2532-2538 โรงเรียนหาดใหญ่วิทยาลัย 2538-2543 วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะ วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ 2564 - ปัจจุบัน วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาพลังงาน คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

พูน ปณ จิโต ชีเว