



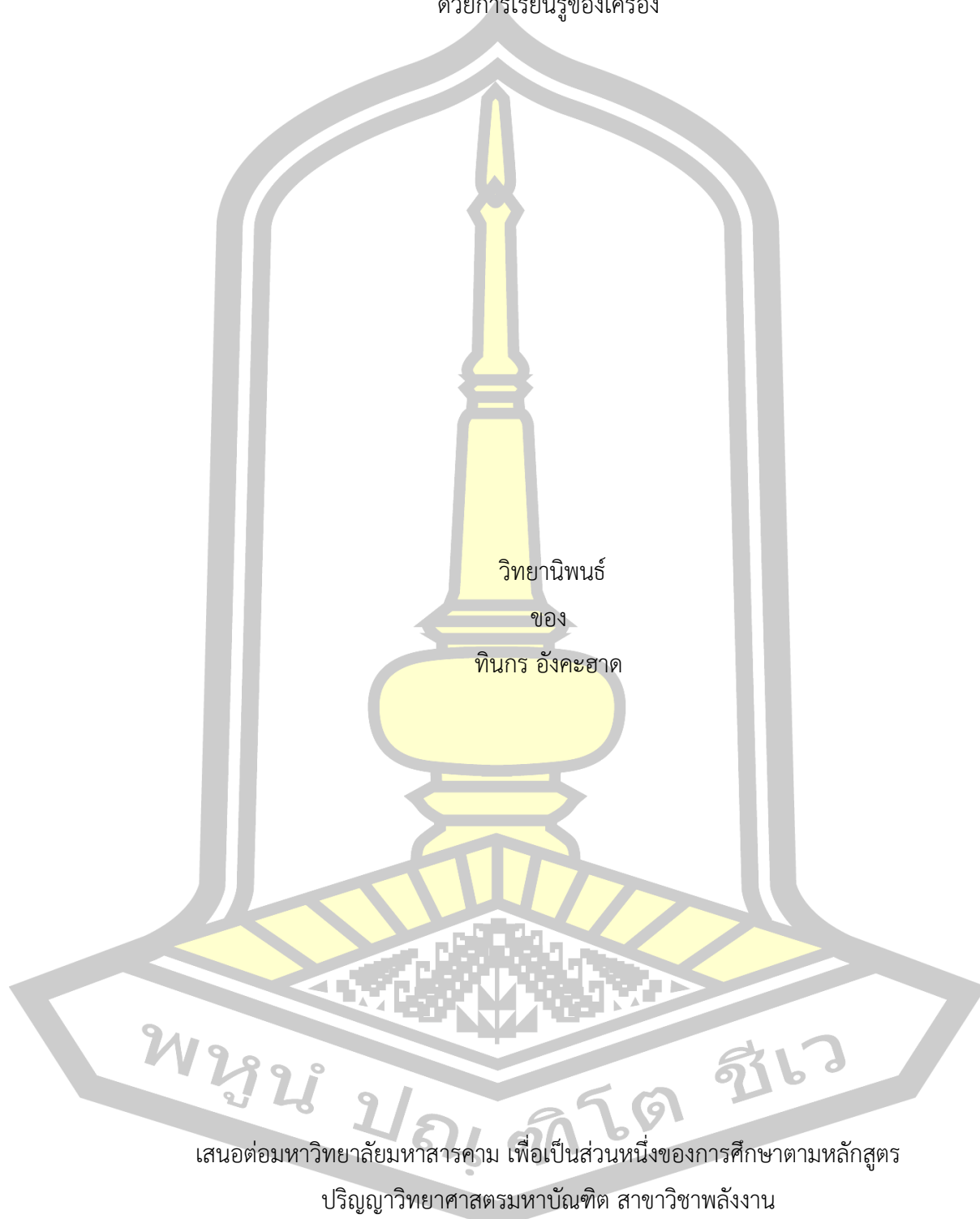
การประมาณมวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินในป่าชุมชนจากภาพถ่ายทางอากาศ
ด้วยการเรียนรู้ของเครื่อง

วิทยานิพนธ์
ของ
ทินกร อังคะฮาด

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาพลังงาน
พฤษภาคม 2567

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

การประมาณมวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินในป่าชุมชนจากภาพถ่ายทางอากาศ
ด้วยการเรียนรู้ของเครื่อง



เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

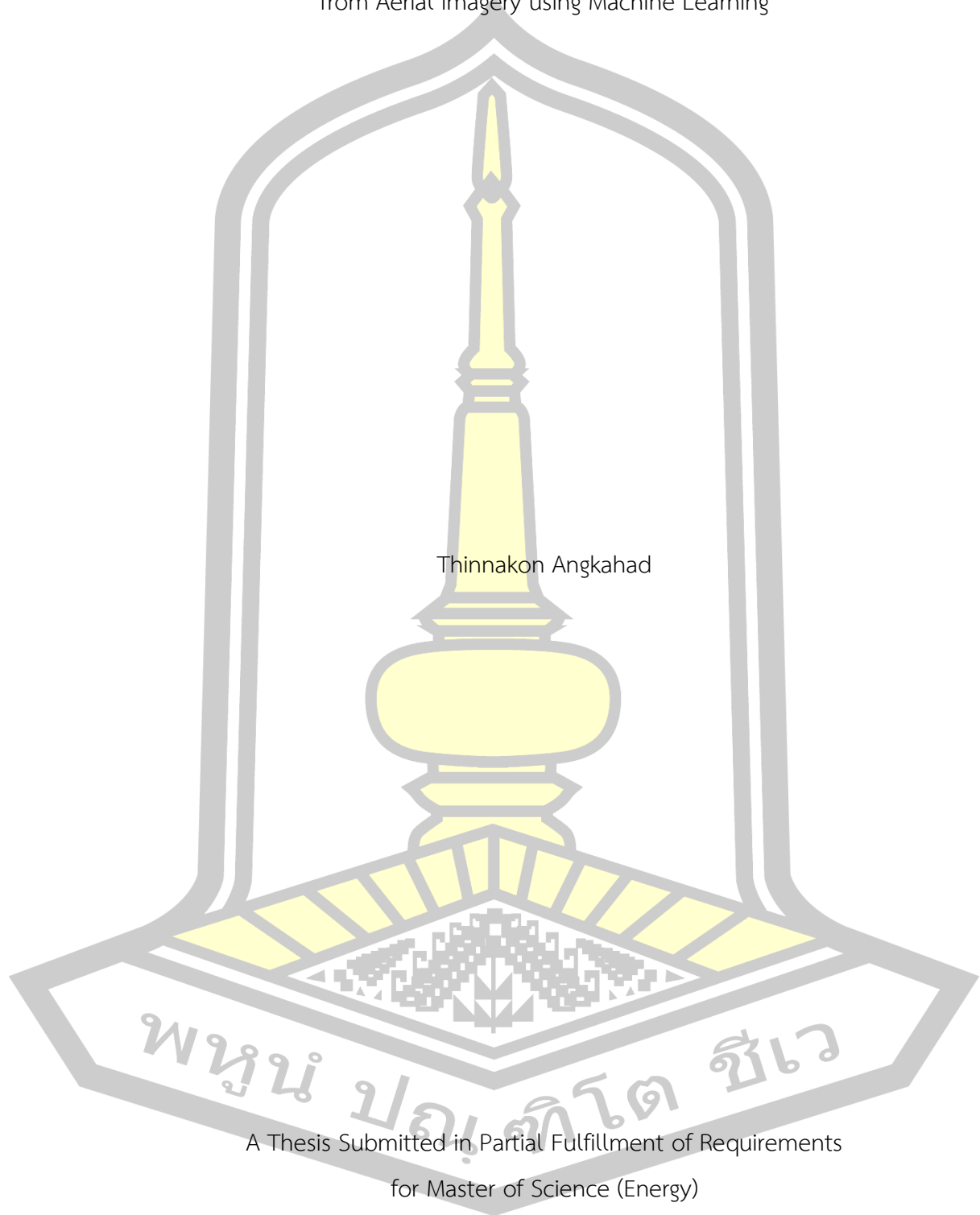
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาพลังงาน

พฤษภาคม 2567

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

Estimation of Biomass and Above Ground Carbon Sequestration in Community Forest
from Aerial Imagery using Machine Learning

Thinnakon Angkahad



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

November 2024

Copyright of Mahasarakham University



คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของนายทินกร อังคะฮาด แล้ว
เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา
พลังงาน ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รศ. ดร. ไพศาล จิ์ฟู)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รศ. ดร. ชีรวงศ์ เหล่าสุวรรณ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ผศ. ดร. สาริต แสงประดิษฐ์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ผศ. ดร. วุฒิสาสตร์ โชคแก้ว)

.....กรรมการ

(ผศ. ดร. อนุสรณ์ แสงประจักษ์)

.....กรรมการ

(รศ. ดร. สิริยาภรณ์ แสงอรุณ)

มหาวิทยาลัยขอนแก่นให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาพลังงาน ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

.....
(ศ. ดร. ไพโรจน์ ประมวล)

คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

.....
(รศ. ดร. กริสน์ ชัยมูล)

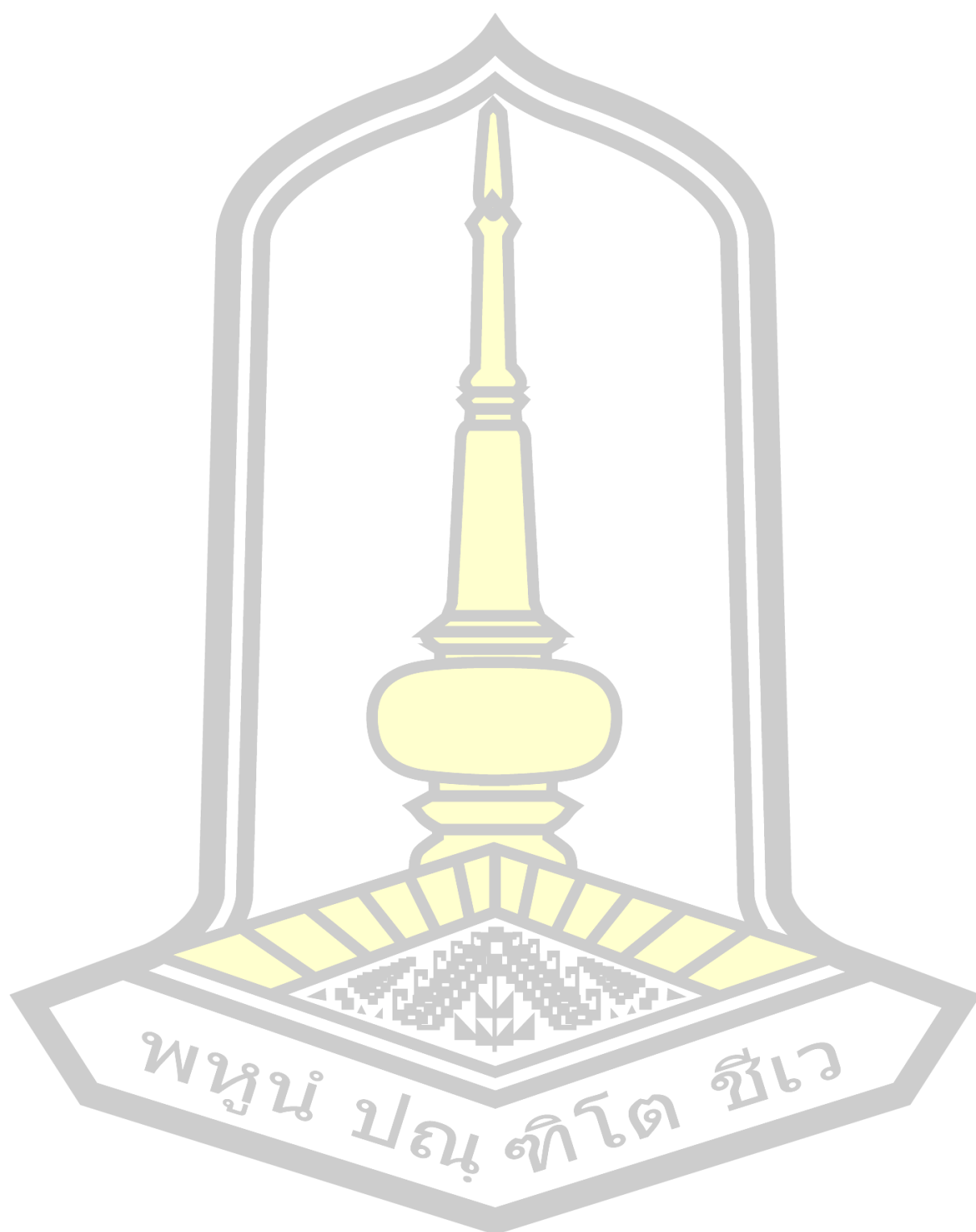
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อเรื่อง	การประมาณมวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินในป่าชุมชนจากภาพถ่ายทางอากาศด้วยการเรียนรู้ของเครื่อง		
ผู้วิจัย	ทินกร อังคะฮาด		
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. อีรวงศ์ เหล่าสุวรรณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สานิต แสงประดิษฐ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วุฒิสาสตร์ โชคเกื้อ		
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต	สาขาวิชา	พลังงาน
มหาวิทยาลัย	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม	ปีที่พิมพ์	2567

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการประมาณค่ามวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนในป่าชุมชน โดยใช้เทคโนโลยีภาพถ่ายทางอากาศจากยานไร้คนขับ (UAV) ร่วมกับการวิเคราะห์โดยใช้การเรียนรู้ของเครื่องจักร (Machine Learning) ผลการศึกษาพบว่า มีต้นไม้จำนวน 1,241 ต้นจาก 39 ชนิด ในพื้นที่การศึกษา 1)การวิเคราะห์การประมาณปริมาณการกักเก็บคาร์บอน โดยมวลชีวภาพเหนือพื้นดินรวมอยู่ที่ 454.31 ตัน จากการวิเคราะห์พบว่า ต้นไม้เหล่านี้สามารถกักเก็บคาร์บอนได้ 213.53 ตันคาร์บอน 2) การวิเคราะห์และประเมินวิธีการเรียนรู้ของเครื่องจักรจากข้อมูลภาพ UAV การวิเคราะห์ความสัมพันธ์โดยใช้ Deepness Model และ Segment Model มีผลลัพธ์ดังนี้ Deepness Model ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์: 0.8669 ($y = 0.7745x + 0.01409$) ค่า MAE: 0.6574 ค่า RMSE: 0.6804 ค่า MSE: 0.4629 ค่า Precision: 0.798 ค่า Recall: 0.699 ค่า Accuracy: 0.594 ค่า F1-Score: 0.745 ปริมาณการกักเก็บคาร์บอน: 217.93 ตันคาร์บอน หรือ 3.30 ตัน/ไร่ (0.0020626 ตัน/ตร.ม.) Segment Model ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์: 0.6554 ($y = 0.217x + 2.0972$) ค่า MAE: 0.8989 ค่า RMSE: 1.0405 ค่า MSE: 1.0827 ค่า Precision: 0.569 ค่า Recall: 0.803 ค่า Accuracy: 0.500 ค่า F1-Score: 0.666 ปริมาณการกักเก็บคาร์บอน: 207.01 ตันคาร์บอน หรือ 3.14 ตัน/ไร่ (0.0019625 ตัน/ตร.ม.) การศึกษาแสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการใช้เทคโนโลยี UAV และการเรียนรู้ของเครื่องในการประเมินมวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนในป่าชุมชนได้อย่างแม่นยำ โดยผลจากโมเดล Deepness มีความแม่นยำสูงกว่า Segment Model ซึ่งชี้ให้เห็นถึงความสัมพันธ์ที่กระหว่างข้อมูลภาพถ่าย UAV และการประมาณคาร์บอน

คำสำคัญ : อากาศยานไร้คนขับ, มวลชีวภาพเหนือพื้นดิน, การเรียนรู้ของเครื่อง

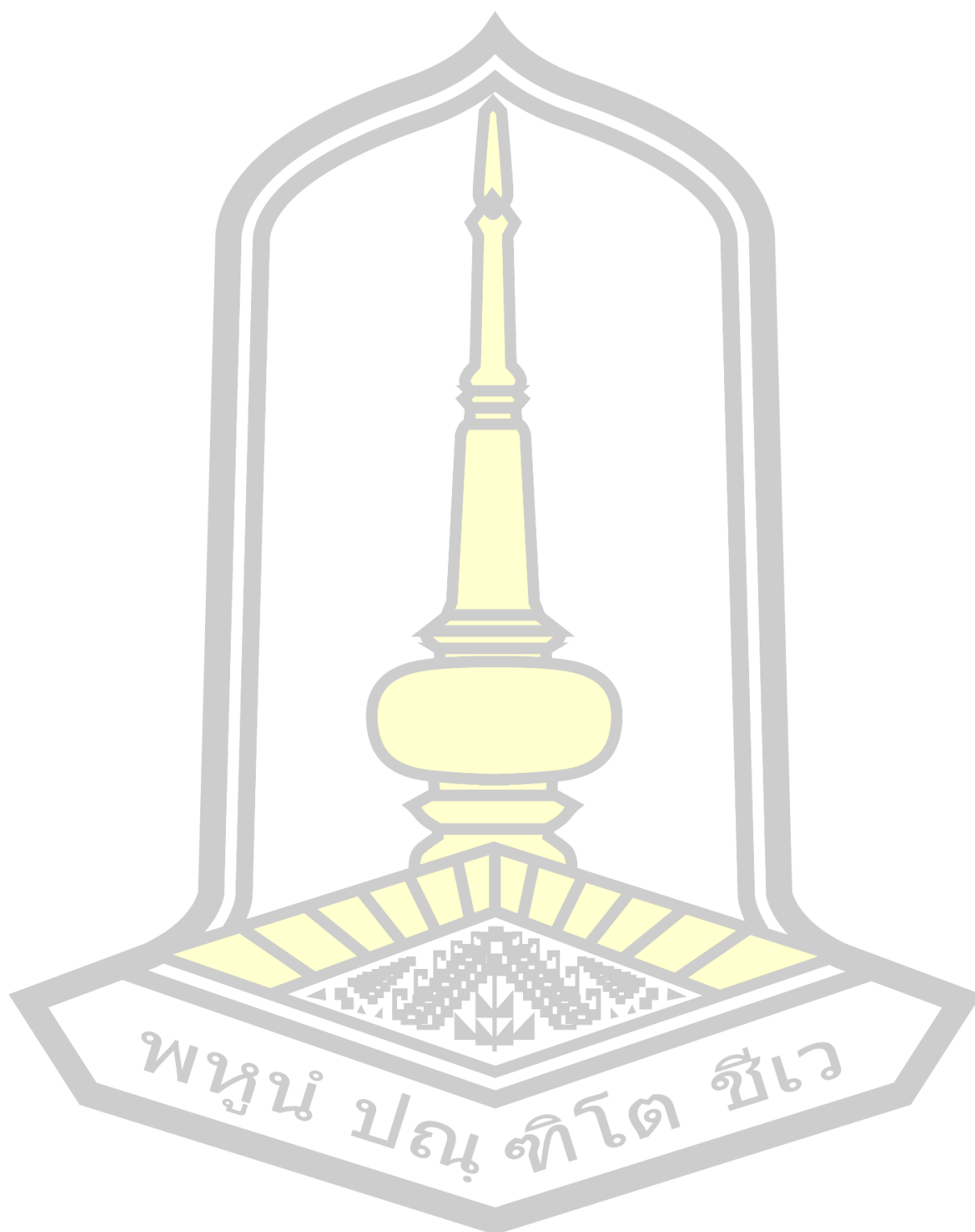


TITLE	Estimation of Biomass and Above Ground Carbon Sequestration in Community Forest from Aerial Imagery using Machine Learning		
AUTHOR	Thinnakon Angkahad		
ADVISORS	Associate Professor Teerawong Laosuwan , Ph.D. Assistant Professor Satith Saengpreedit , Ph.D. Assistant Professor Wutthisat Chokkuea , Ph.D.		
DEGREE	Master of Science	MAJOR	Energy
UNIVERSITY	Maharakham University	YEAR	2024

ABSTRACT

This research aims to estimate the biomass and carbon sequestration in community forests by utilizing aerial photography from unmanned aerial vehicles (UAVs) in conjunction with machine learning analysis. The study identified a total of 1,241 trees belonging to 39 species within the research area. The analysis of carbon sequestration revealed that the total above-ground biomass amounted to 454.31 tons, with these trees capable of sequestering 213.53 tons of carbon. Furthermore, the evaluation of machine learning methodologies based on UAV imagery data yielded the following results: for the Deepness Model, the correlation coefficient was 0.8669 ($y = 0.7745x + 0.01409$), with a Mean Absolute Error (MAE) of 0.6574, a Root Mean Square Error (RMSE) of 0.6804, a Mean Squared Error (MSE) of 0.4629, a Precision of 0.798, a Recall of 0.699, an Accuracy of 0.594, and an F1-Score of 0.745. The estimated carbon sequestration was 217.93 tons of carbon, equivalent to 3.30 tons per rai (0.0020626 tons per square meter). Research demonstrates the potential of utilizing UAV technology and machine learning for the accurate assessment of biomass and carbon sequestration in community forests. The results indicate that the Deepness model exhibits higher accuracy compared to the Segment Model, highlighting a strong correlation between UAV imagery data and carbon estimation.

Keyword : Machine learning, Above Ground Biomass, Unmanned Aerial Vehicle



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ศึกษาการประมาณมวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินในป่าชุมชนจากภาพถ่ายทางอากาศด้วยการเรียนรู้ของเครื่อง ผู้จัดทำต้องขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. อีรวงศ์ เหล่าสุวรรณ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาหลักที่คอยช่วยเหลือและให้คำแนะนำในการทำโครงการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สาธิต แสงประดิษฐ์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วุฒิสาสตร์ โชคเกื้อ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมที่คอยให้คำแนะนำแนวทาง ในการวางแผนการทำงานเรื่องต่าง ๆ รวมทั้งช่วยให้ข้อคิดเห็น และช่วยแก้ไขปัญหาระหว่างการทำโครงการให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอบคุณท่านอาจารย์ และบุคลากร คณะวิทยาศาสตร์ทุกท่านที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับโครงการครั้งนี้ ที่ได้ให้ความรู้และคำแนะนำต่าง ๆ ทำให้การดำเนินโครงการประสบความสำเร็จไปได้ด้วยดี ขอขอบคุณหน่วยวิจัยเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ ที่คอยให้กำลังใจและทั้งให้ความช่วยเหลือในทุก ๆ ด้าน ด้วยดีเสมอ

ทินกร อังคะฮาด



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ฉ
กิตติกรรมประกาศ.....	ช
สารบัญ.....	ณ
สารบัญภาพ	ฐ
สารบัญตาราง.....	ณ
บทที่ 1	1
บทนำ.....	1
1.1 หลักการและเหตุผล	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	3
1.3 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2	4
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 พลังงาน	4
2.2 การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ.....	4
2.3 แหล่งสะสมคาร์บอนของป่าไม้ (Carbon Pool).....	5
2.3.1 มวลชีวภาพ (Biomass).....	5
2.3.3 การวางแผนสำรวจ	6
2.3.4 การวัดความสูงของต้นไม้	7
2.3.5 สมการแอลโลเมตรี	7
2.4 ป่าไม้ในประเทศไทย	9

2.4.1 ป่าไม้ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	9
2.4.2 พื้นที่ป่าชุมชนบ้านหินลาดและบ้านหินลาดพัฒนา	9
2.5 การเรียนรู้ด้วยเครื่อง (Machine Learning)	10
2.5.1 Deep Learning.....	10
2.5.2 การสำรวจการตรวจจับวัตถุด้วย YOLOv9 Model	11
2.5.3 การแบ่งส่วน Segmentation.....	11
2.7 ความรู้ด้านภูมิสารสนเทศ	12
2.7.1 องค์ประกอบของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์	12
2.7.2 โปรแกรมทางภูมิสารสนเทศ	13
2.8 เทคโนโลยีสำรวจระยะไกล.....	14
2.8.1 แหล่งพลังงานหรือแสงสว่าง	14
2.8.2 การเกิดปฏิสัมพันธ์ระหว่างคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากับวัตถุ	16
2.8.2.1. การเกิดปฏิสัมพันธ์ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในชั้นบรรยากาศ	17
2.8.2.2. การเกิดปฏิสัมพันธ์ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในระดับผิวโลก	18
2.9 แบบจำลองความสูงทรงพุ่ม.....	20
2.10 ความรู้เกี่ยวกับอากาศยานไร้คนขับ.....	20
2.10.1 โดรน (Drone).....	20
2.10.2. โดรน DJI Phantom 4 Pro	21
2.10.3 สี RGB.....	21
2.10.4 Point Cloud	22
2.10.5 Digital Surface Model.....	22
2.11 ความรู้เกี่ยวกับแอปพลิเคชัน PIX4Dcapture	23
2.12 การวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis)	23
2.13 การวิเคราะห์การตรวจสอบความถูกต้อง.....	25

2.14 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	25
บทที่ 3	29
ขั้นตอนการดำเนินงาน	29
3.1 พื้นที่ศึกษา	29
3.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน / วิธีการศึกษา	30
3.2.1 ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	31
3.2.3 ข้อมูลภาพถ่ายอากาศยานไร้คนขับ	31
3.2.3.1 ขั้นตอนการประมวลผลภาพ	31
3.2.4 ขั้นตอนวิเคราะห์วิธีการเรียนรู้เครื่อง (Machine Learning)	34
3.2.4.1 ขั้นตอนวิเคราะห์ (Deepness Model)	34
3.2.4.2 ขั้นตอนวิเคราะห์ Segmentation	35
3.2.4.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์หาค่าความยาวและความสูง ของ polygons	37
3.2.5 ขั้นตอนวิเคราะห์ข้อมูล Canopy Height Model (CHM)	38
3.2.6 ข้อมูลจากภาคสนาม	40
3.2.7 ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลคาร์บอนเหนือพื้นดิน	41
3.2.8 ขั้นตอนการวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis)	42
3.2.9 ขั้นตอนการตรวจสอบความถูกต้อง	42
บทที่ 4	43
ผลการศึกษา	43
4.1 ผลการวิเคราะห์ภาพอากาศยานไร้คนขับ	43
4.2 ผลการวิเคราะห์คาร์บอนด้วยวิธีการเรียนรู้ด้วยเครื่อง	47
4.3 ผลการเก็บข้อมูลตำแหน่งและลักษณะทางกายภาพของต้นไม้	48
4.3.1 ผลการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ Regression ข้อมูลภาคสนาม	50
4.5 ผลการวิเคราะห์ความสูงทรงพุ่ม Canopy Elevation Model (CHM)	52

4.6 ผลการประเมินปริมาณมลชีวภาพและปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้	53
4.7 ผลความหนาแน่นของคาร์บอนต่อพื้นที่ จากข้อมูลอากาศยานไร้คนขับ.....	54
4.7.1 ผลความหนาแน่นคาร์บอนจากการเรียนรู้ด้วยเครื่อง แบบ Deepness Model.....	54
4.7.2 ผลความหนาแน่นคาร์บอนจากการเรียนรู้ด้วยเครื่อง แบบ Segment Model	55
8.8 ผลการวิเคราะห์การตรวจสอบความถูกต้อง	56
4.8 ผลการวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis).....	56
บทที่ 5	59
สรุปและอภิปรายผล	59
5.1 สรุปการวิเคราะห์ด้วยการเรียนรู้เครื่อง	59
5.2 สรุปผลการวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis).....	60
5.3 ปัญหาและอุปสรรค.....	60
5.4 ข้อเสนอแนะ	60
บรรณานุกรม.....	61
ประวัติผู้เขียน.....	66

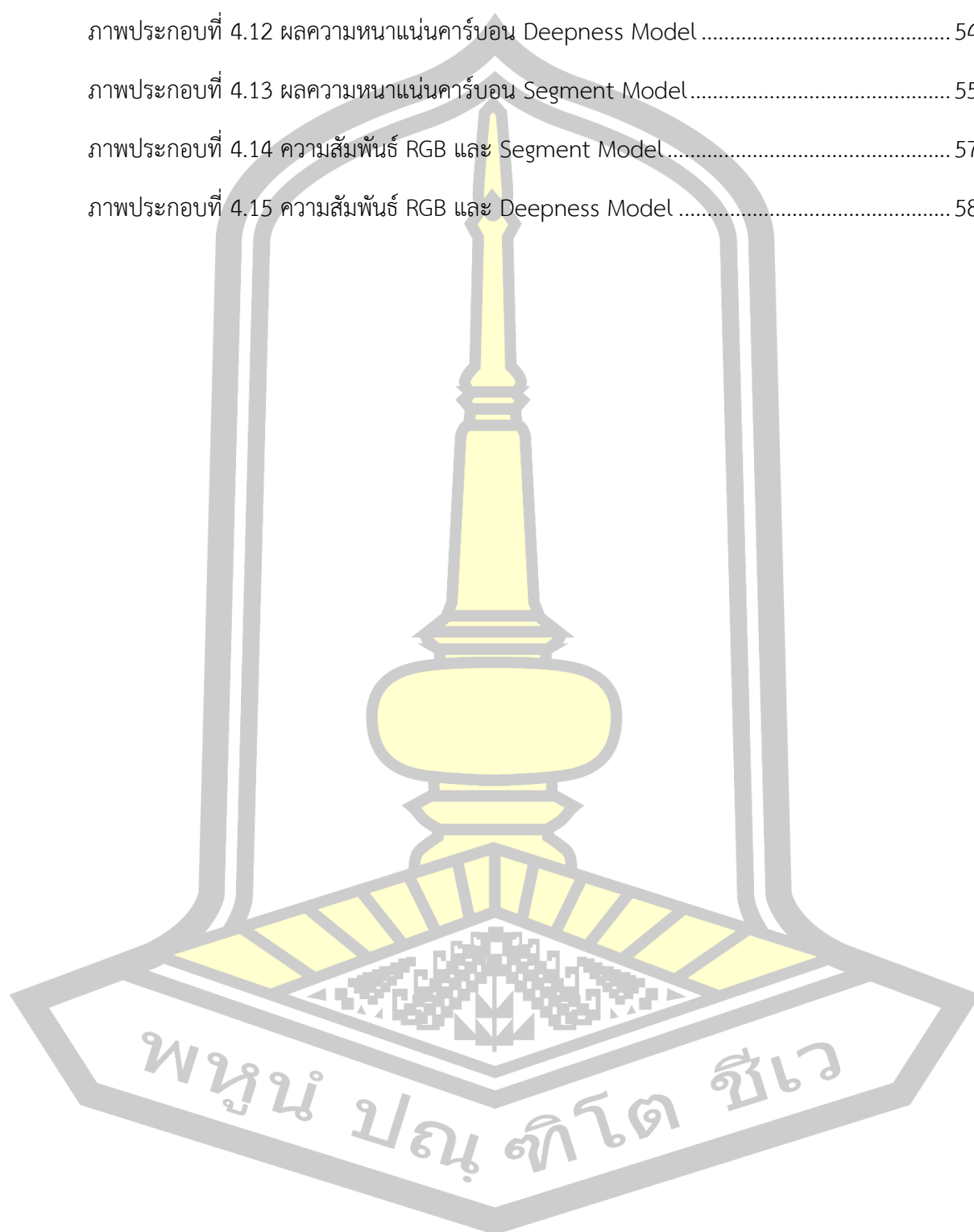


สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพประกอบที่ 2.1 การประเมินคาร์บอนในป่าธรรมชาติ.....	5
ภาพประกอบที่ 2.2 ขบวนการสังเคราะห์แสง	6
ภาพประกอบที่ 2.3 ตัวอย่างการสำรวจการตรวจจับวัตถุด้วย YOLO Model.....	11
ภาพประกอบที่ 2.4 ภาพตัวอย่างการแบ่งส่วน Segmentation.....	12
ภาพประกอบที่ 2.5 องค์ประกอบของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์	13
ภาพประกอบที่ 2.6 คุณสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า.....	14
ภาพประกอบที่ 2.7 สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า.....	16
ภาพประกอบที่ 2.8 แบบจำลองแนวคิดของกระบวนการทางกายภาพการรับรู้ระยะไกล	17
ภาพประกอบที่ 2.9 ผังการดำเนินงาน.....	18
ภาพประกอบที่ 2.10 การเกิดปฏิสัมพันธ์ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในระดับผิวโลก	19
ภาพประกอบที่ 2.11 กราฟลายเซ็นเชิงคลื่น (Spectral Singnature) ของวัตถุต่าง ๆ	19
ภาพประกอบที่ 2.12 โดรน DJI Phantom 4 Pro	21
ภาพประกอบที่ 2.13 ภาพสี RGB.....	22
ภาพประกอบที่ 2.14 แอปพลิเคชัน PIX4Dcapture	23
ภาพประกอบที่ 3.1 แผนที่แสดงพื้นที่ศึกษา.....	29
ภาพประกอบที่ 3.2 แสดงแผนผังขั้นตอนการดำเนินงาน.....	30
ภาพประกอบที่ 3.3 แอปพลิเคชัน PIX4Dcapture	31
ภาพประกอบที่ 3.4 แอปพลิเคชัน PIX4D แนวการบิน.....	32
ภาพประกอบที่ 3.5 แนวบินของโดน.....	32
ภาพประกอบที่ 3.6 ขั้นตอนโปรแกรมซอฟต์แวร์ Agisoft ProtoScan.....	33
ภาพประกอบที่ 3.7 ขั้นตอนการทำ Point cloud.....	33

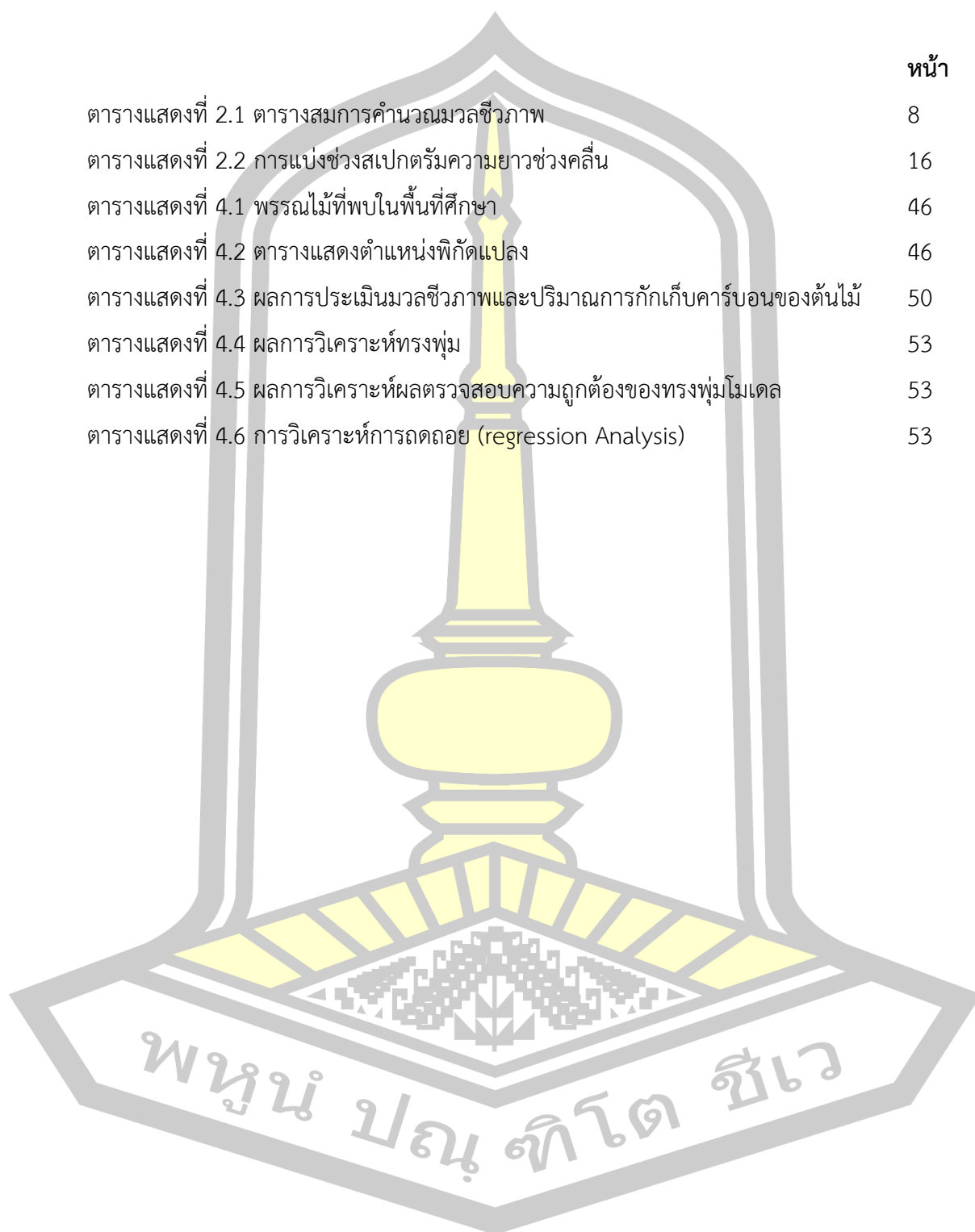
ภาพประกอบที่ 3.8 ขั้นตอนการสร้าง Digital Surface Model.....	34
ภาพประกอบที่ 3.9 ขั้นตอนการสร้างภาพ Orthomosaic (RGB).....	34
ภาพประกอบที่ 3.10 ขั้นตอนวิเคราะห์ข้อมูล Cloud Cover จาก RGB.....	35
ภาพประกอบที่ 3.11 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล Cloud Cover จาก RGB.....	35
ภาพประกอบที่ 3.12 ขั้นตอนวิเคราะห์ข้อมูล Segment Mean Shift.....	36
ภาพประกอบที่ 3.13 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล Segment จาก RGB.....	36
ภาพประกอบที่ 3.14 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลรูปทรงเรขาคณิต Segment.....	37
ภาพประกอบที่ 3.15 ผลการสร้างรูปหลายเหลี่ยม Segment.....	37
ภาพประกอบที่ 3.16 ข้อมูลภาพ DSM.....	38
ภาพประกอบที่ 3.17 ข้อมูลภาพ DSM.....	38
ภาพประกอบที่ 3.18 เครื่องมือ Raster Calculator.....	39
ภาพประกอบที่ 3.19 ผลแบบจำลองความสูงของทรงพุ่ม (CHM).....	39
ภาพประกอบที่ 3.20 ผลแบบจำลองความสูงของทรงพุ่มสุทธิ (CHM).....	39
ภาพประกอบที่ 3.21 แสดงวิธีการวางแผนสำรวจพรรณไม้.....	40
ภาพประกอบที่ 4.1 แผนที่แสดง Point Cloud	43
ภาพประกอบที่ 4.2 แผนที่แสดง DSM.....	44
ภาพประกอบที่ 4.3 แผนที่แสดง DEM.....	45
ภาพประกอบที่ 4.4 แผนที่แสดงภาพ Orthophoto	46
ภาพประกอบที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์ (Deepness Model).....	47
ภาพประกอบที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์ (Segment Model)	48
ภาพประกอบที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ Regression ข้อมูลภาคสนาม	50
ภาพประกอบที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ EW	50
ภาพประกอบที่ 4.9 ผลการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ NS	51
ภาพประกอบที่ 4.10 ผลการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ High tree.....	51

ภาพประกอบที่ 4.11 ผลการวิเคราะห์ความสูงทรงพุ่ม (CHM).....	52
ภาพประกอบที่ 4.12 ผลความหนาแน่นคาร์บอน Deepness Model	54
ภาพประกอบที่ 4.13 ผลความหนาแน่นคาร์บอน Segment Model.....	55
ภาพประกอบที่ 4.14 ความสัมพันธ์ RGB และ Segment Model.....	57
ภาพประกอบที่ 4.15 ความสัมพันธ์ RGB และ Deepness Model	58



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางแสดงที่ 2.1 ตารางสมการคำนวณมวลชีวภาพ	8
ตารางแสดงที่ 2.2 การแบ่งช่วงสเปกตรัมความยาวช่วงคลื่น	16
ตารางแสดงที่ 4.1 พรรณไม้ที่พบในพื้นที่ศึกษา	46
ตารางแสดงที่ 4.2 ตารางแสดงตำแหน่งพิกัดแปลง	46
ตารางแสดงที่ 4.3 ผลการประเมินมวลชีวภาพและปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้	50
ตารางแสดงที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์ทรงพุ่ม	53
ตารางแสดงที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์ผลตรวจสอบความถูกต้องของทรงพุ่มโมเดล	53
ตารางแสดงที่ 4.6 การวิเคราะห์การถดถอย (regression Analysis)	53



บทที่ 1

บทนำ

1.1 หลักการและเหตุผล

การเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรโลก ภาครัฐจึงมีความจำเป็นในการสร้างระบบสาธารณสุขป้อนเพื่อรองรับการขยายตัวของเมืองปัจจุบัน ทั้งความก้าวหน้าทางด้านเทคโนโลยีที่มีมากขึ้น จึงส่งผลให้โลก ประสบปัญหาทางด้านการเปลี่ยนแปลง “สภาพภูมิอากาศ” จัดเป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการเกิด “สภาวะโลกร้อน” (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2564) และยังมีการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางที่ไม่แน่นอน ผลกระทบที่เกิดมาจากกิจกรรมทางเศรษฐกิจของมนุษย์ ที่มีการใช้ทรัพยากรอย่างฟุ่มเฟือยรวมถึงการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดมากเกินไปจนความจำเป็น (สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2558) เช่น การใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล การขยายตัวของอุตสาหกรรม การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน รวมถึงการทำลายป่าไม้จึงเป็นตัวเร่งทำให้อัตราการเกิดก๊าซเรือนกระจกที่มีอยู่ในชั้นบรรยากาศสูงขึ้น ส่งผลทำให้อุณหภูมิสูงอย่างต่อเนื่อง ก่อให้เกิดปรากฏการณ์ก๊าซเรือนกระจกคือ “ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂)” (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2564) ซึ่งเป็นตัวแปรสำคัญที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาวะภูมิอากาศ โดยที่ป่าไม้มีบทบาทหน้าที่สำคัญที่รู้จักกันดี คือทำหน้าที่กักเก็บก๊าซเรือนกระจกอย่าง ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งมีความสามารถในการกักเก็บคาร์บอนไดออกไซด์ และการกักเก็บคาร์บอน ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของป่าไม้ นอกจากนี้ยังมีประโยชน์ต่อความสมดุลของป่าไม้ ถ้าหากป่าไม้ถูกทำลายย่อมส่งผลกระทบต่อสภาพภูมิอากาศทำให้เกิดสภาวะโลกร้อนทั้งทางตรงและทางอ้อม จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและมนุษย์ รวมถึงสภาพอากาศที่แปรปรวนรุนแรง เป็นภัยพิบัติทางธรรมชาติ ไม่ว่าจะเป็นพายุ น้ำท่วมภัยแล้ง และคลื่นความร้อน เป็นต้น

ประเทศไทยได้จัดทำแผนแม่บทรองรับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ พ.ศ. 2558-2593 (กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2564) เพื่อสร้างภูมิคุ้มกัน ต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโดยทุกภาคส่วนทุกระดับให้เกิดการบูรณาการแนวทาง และมาตรการในการปรับตัว เพื่อให้สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศและเป็นแนวทางในการสร้างกลไกแบบปล่อยคาร์บอนต่ำอย่างยั่งยืน (สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2558)

มวลชีวภาพจากป่าเป็นหนึ่งในตัวชี้วัด (ชิงชัย, 2563) ที่มีความสำคัญที่สุดของการจัดการด้านป่าไม้อย่างยั่งยืน รวมถึงการประมาณค่าที่แม่นยำนั้นมีความหมายทั้งด้านสิ่งแวดล้อม เศรษฐกิจถึงแม้ว่าวิธีการสำรวจในภาคสนามจะได้ข้อมูลต้นไม้ที่มีความถูกต้องสูง แต่ว่าวิธีการนี้จำเป็นต้องอาศัยบุคลากรที่มีความเชี่ยวชาญในงานสนามและยังเป็นวิธีการที่สิ้นเปลืองงบประมาณ และใช้เวลา

ค่อนข้างมาก หากพื้นที่ศึกษาปกคลุมด้วยพืชพรรณธรรมชาติหนาแน่นและอยู่ห่างไกลจากชุมชน รวมทั้งลักษณะทางกายภาพที่ไม่เอื้ออำนวยต่อการสำรวจในภาคสนาม ซึ่งอาจส่งผลให้ไม่สามารถกระทำได้ ข้อมูลที่ได้อาจมีความผิดพลาด ซึ่งปัจจุบันความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศและการสำรวจระยะไกล มีการประยุกต์ใช้ภาพถ่ายทางอากาศและภาพถ่ายดาวเทียมรายละเอียดสูงสำหรับการศึกษาลักษณะโครงสร้างและความหนาแน่นของพืชพรรณธรรมชาติของพื้นที่ป่าไม้สามารถนำไปใช้ ในการประมาณค่ามวลชีวภาพจาก “สมการแอลโลเมตรี” (Ogawa et al., 1965) และคำนวณหาปริมาณคาร์บอนที่กักเก็บอยู่ในพื้นที่ป่าต่อไปได้ (ชิงชัย, 2563) มวลชีวภาพเหนือพื้นดิน คิดเป็น 70% ถึง 90% ของมวลชีวภาพจากป่าทั้งหมด และสามารถวิเคราะห์และหาความสัมพันธ์กับข้อมูลการสำรวจระยะไกล (ชิงชัย, 2563)

ในปัจจุบันมีงานวิจัยจำนวนมากที่ทำการศึกษาก่อนการกักเก็บของคาร์บอนในพื้นที่ป่าไม้ โดยปกติแล้ว ปริมาณคาร์บอนที่กักเก็บในต้นไม้จะมีความสัมพันธ์ โดยตรงกับค่ามวลชีวภาพ (Biomass) ซึ่งเป็นค่ามวลรวม ขององค์ประกอบทุกส่วนของต้นไม้ ได้แก่ ลำต้น กิ่งใบ ราก ฯลฯ ดังนั้นข้อมูลลักษณะทางกายภาพวิภาคของต้นไม้ อาทิ เช่น ความสูง ขนาดของลำต้น ความกว้างของทรงพุ่ม จึงสามารถนำไปใช้ในการประเมินปริมาณคาร์บอนที่กักเก็บในต้นไม้ได้โดยการใช้สมการแอลโลเมตรี (Allometry equation) ซึ่งเป็นสมการความสัมพันธ์ระหว่างมวลชีวภาพและลักษณะโครงสร้างของต้นไม้ ข้อมูลลักษณะโครงสร้างต้นไม้สามารถวัดได้จากการสำรวจในภาคสนาม (Uttaruk & Laosuwan, 2017)

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์ในการประยุกต์ใช้อากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicle: UAV) เพื่อทำการศึกษาและวิเคราะห์ โดยนำเอาโมเดล Machine Learning มาร่วมประยุกต์ใช้ (Authorized, 2024) (Ekim & Sertel, 2021) ในขั้นต้น ผู้วิจัยได้เลือกพื้นที่ศึกษาซึ่งเป็นป่าชุมชน (Community Forest) เพื่อวิเคราะห์ปริมาณการกักเก็บคาร์บอน เนื่องจากป่าชุมชนมีความหลากหลายทางโครงสร้างของสังคมพืชพรรณ ซึ่งเหมาะสมสำหรับการศึกษา การศึกษานี้มีเป้าหมายที่จะพัฒนารอบขั้นตอนการประเมินคาร์บอนโดยใช้ภาพถ่ายทางอากาศ และพัฒนาวิธีการประยุกต์ใช้สำหรับพื้นที่อื่น ๆ ให้เกิดประโยชน์สูงสุด (ธนวิทย์ และ เอกกมล, 2561 Uttaruk & Laosuwan, 2018; สถาบันลูกโลกสีเขียว, 2560)

ที่มีความซับซ้อนของพืชพรรณมากขึ้น เช่น พื้นที่ป่าธรรมชาติ ผู้วิจัยทำการสร้างข้อมูลแบบจำลองความสูง สิ่งปกคลุมของพื้นผิวป่าชุมชนจากการประมวลภาพถ่ายทางอากาศที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับ ซึ่งจะช่วยให้ทราบข้อมูลตำแหน่งของวัตถุ และความสูงของสิ่งปกคลุมดินจากพื้นดิน ในกรณีนี้คือความสูงของต้นไม้ (Nasiri et al., 2022) (Sharma et al., 2022) (Mirela Beloiu, 2023)

ดังนั้นงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยมีแนวคิดของการนำข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศยานไร้คนขับ มาประยุกต์ใช้ สำหรับการประมาณค่าการกักเก็บของคาร์บอนเหนือพื้นดิน โดยใช้วิธีการเรียนรู้ด้วยเครื่อง จาก

วิธีการใช้โมเดลแบบ Machine learning มาใช้สำหรับการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ในเขตพื้นที่ศึกษา เพื่อเป็นฐานในการศึกษาต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาการประเมินปริมาณมวลชีวภาพเหนือพื้นดินจากการสำรวจข้อมูลที่ได้จากป่าชุมชนบ้านหินลาด จังหวัดมหาสารคาม

1.2.2 เพื่อประมาณค่าการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินจากความสัมพันธ์ของข้อมูลอากาศยานไร้คนขับ โดยวิธีการเรียนรู้ด้วยเครื่อง Machine learning

1.3 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 ทราบถึงผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีการเรียนรู้เครื่อง Machine learning

1.3.2 ทราบปริมาณการกักเก็บคาร์บอนจากพื้นที่ของป่าชุมชนบ้านหินลาด จังหวัดมหาสารคาม

1.3.3 สามารถทราบและแสดงแผนที่ความหนาแน่นของคาร์บอนในพื้นที่ป่าชุมชน



บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 พลังงาน

พลังงานเป็นแนวคิดที่พัฒนามาจากคำว่า “งาน (work)” ซึ่งพลังงาน (Energy) คือ ความสามารถในการทำงานของวัตถุ ที่สามารถเคลื่อนย้ายโดยการออกแรง มีหลายแบบ เช่น พลังงานศักย์ พลังงานจลน์ พลังงานความร้อน และพลังงาน อื่น ๆ สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ พลังงานสิ้นเปลือง เป็นพลังงานที่ใช้แล้วหมดไป เช่น พลังงานฟอสซิล เป็นต้น และพลังงานหมุนเวียน เป็นรูปแบบพลังงานที่เกิดทดแทนกันใหม่ได้ เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานน้ำ พลังงานลม เป็นต้น (ชูช่วย, 2563)

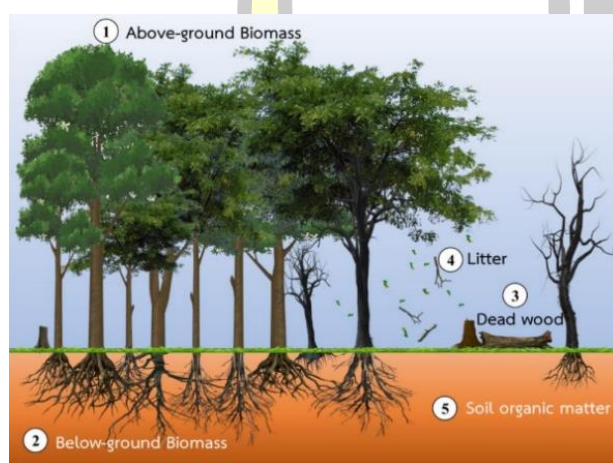
การเปลี่ยนรูปพลังงาน (Energy Transformations) โดยเปลี่ยนไปเป็นพลังงานรูปแบบอื่น ๆ โดยวัฏจักรคาร์บอน (Carbon Cycle) คือการหมุนเวียนหรือการแลกเปลี่ยนธาตุคาร์บอน (Carbon) ในสถานะต่าง ๆ ระหว่างดิน หิน แหล่งน้ำ ชั้นบรรยากาศ และสิ่งมีชีวิต ซึ่งนับเป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอน (Reservoir) วัฏจักรคาร์บอนจึงหมายถึงการหมุนเวียนของธาตุ และสารประกอบคาร์บอน ทั้งที่อยู่ในสถานะของแข็ง ของเหลว และก๊าซ ยังหมายถึงการเปลี่ยนถ่ายคาร์บอนระหว่างแหล่งกักเก็บต่าง ๆ ผ่านกระบวนการทางเคมีที่เกิดขึ้นจากสิ่งมีชีวิต และการเปลี่ยนแปลงของโลก เช่น กระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช การย่อยสลายของจุลินทรีย์ หรือแม้แต่การเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลก (ชูช่วย, 2563)

2.2 การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ หมายถึงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ และรูปแบบของสภาพอากาศในระยะยาว การเปลี่ยนแปลงเหล่านี้เกิดขึ้นได้เองตามธรรมชาติ การเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศเป็นผลมาจากการกระทำของมนุษย์โดยส่วนใหญ่ ก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจก การเผาเชื้อเพลิงฟอสซิลปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่มีลักษณะเหมือนผ้าห่มคลุมโลกไว้ ความร้อนจากดวงอาทิตย์จึงไม่ระบายออกและทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น ก๊าซเรือนกระจกที่เป็นตัวการของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ และมีเทนก๊าซ เหล่านี้เกิดจากการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงเพื่อขับเคลื่อนรถยนต์หรือการเผาถ่านหิน เพื่อทำความร้อนในอาคาร เป็นต้น การเตรียมที่ดินและ การถางป่า ก็ทำให้เกิดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เช่น กันส่วนหลุมฝังกลบขยะ นั้นเป็นแหล่งก๊าซมีเทนขนาดใหญ่ ภาคพลังงานอุตสาหกรรม การขนส่ง อาคาร การเกษตร และการใช้ที่ดินก็เป็นตัวการหลัก ส่วนหนึ่งในการปล่อยก๊าซ (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2564)

2.3 แหล่งสะสมคาร์บอนของป่าไม้ (Carbon Pool)

แหล่งสะสมคาร์บอนในระบบนิเวศป่าไม้แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม 5 แหล่ง ได้แก่ กลุ่มของมวลชีวภาพที่มีชีวิต (Living Biomass) ซึ่งประกอบด้วย (1) มวลชีวภาพเหนือพื้นดิน (Above - Ground Biomass) และมวลชีวภาพใต้พื้นดิน (Below - Ground Biomass) กลุ่มของเศษซากพืชที่ตาย (Dead Organic Matter) ประกอบด้วย (3) ต้นไม้ตาย รวมถึงไม้ล้ม ขอนนอนไพร (Dead Wood) และ ซากพืชที่ร่วงหล่น (Litter) และกลุ่มของดิน (Soils) ประกอบด้วย (5) คาร์บอนในดิน (Soil Organic Matter)



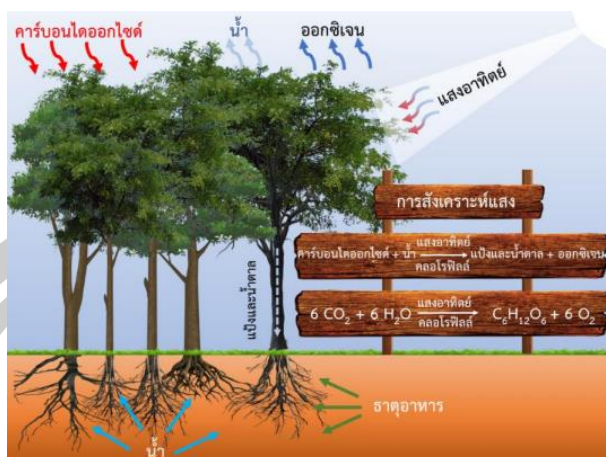
ภาพประกอบที่ 2.1 การประเมินคาร์บอนในป่าธรรมชาติ

แหล่งที่มา : (ชิงชัย, 2563)

2.3.1 มวลชีวภาพ (Biomass)

มวลของสิ่งมีชีวิตทั้งหมด ที่ปรากฏอยู่ในระบบนิเวศต่อหน่วยพื้นที่ ประกอบด้วยมวลของพืชสีเขียวที่สร้างจากกระบวนการสังเคราะห์แสง รวมกับมวลชีวภาพของสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ ที่อยู่ในระบบนิเวศ มวลชีวภาพอาจหาได้ในรูปของน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง หรือน้ำหนักเฉพาะของอินทรีย์สาร ที่ไม่รวมน้ำหนักน้ำ มีหน่วยเป็น กรัม/ตารางเมตร (g/m^2) กิโลกรัม/เฮกแตร์ (kg/ha) หรือ ตัน/เฮกแตร์ (t/ha) นอกจากนี้ยังหาได้ในรูปของพลังงาน ซึ่งมีหน่วยเป็น แคลอรี/หน่วยพื้นที่

พูน ปณ ทิโต ชเว



ภาพประกอบที่ 2.2 ขบวนการสังเคราะห์แสง

แหล่งที่มา : (ชิงชัย, 2563)

เกิดจากใบไม้ที่มีสารคลอโรฟิลล์ ทำหน้าที่เป็นโมเลกุล รับพลังงานจากแสงอาทิตย์ แล้วนำมาสร้างเป็นพลังงานเคมี โดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ และน้ำเป็นวัตถุดิบ ผลผลิตที่ได้จะเป็นคาร์โบไฮเดรต (แป้งและน้ำตาล) และก๊าซออกซิเจน ต้นไม้จะนำคาร์โบไฮเดรตที่ได้ไปสร้างเนื้อเยื่อประเภทต่าง ๆ รวมเรียกว่ามวลชีวภาพ ส่วนก๊าซออกซิเจนจะออกสู่อากาศต่อไป (ชิงชัย, 2563)

2.3.3 การวางแผนสำรวจ

คือการกระจายของแปลงตัวอย่างในพื้นที่ที่จะทำการศึกษาหมู่ไม้ จัดได้ว่าเป็นจุดสำคัญจุดหนึ่งในการตัดสินใจ เนื่องจากมีผลกระทบต่อความถูกต้องของข้อมูลรวมไปถึง ปัญหาตามวัตถุประสงค์ของการศึกษาเป้าหมายของการศึกษาบางอย่างต้องมีการวางแผนเฉพาะแบบจึงจะวิเคราะห์ได้ ชนิดของแปลงตัวอย่าง แบ่งชนิดของแปลงตัวอย่างเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ

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

(Wang, .5) แปลงตัวอย่างถาวร (Permanent Sample Plot) สร้างขึ้นเพื่อเก็บสถิติข้อมูลแบบต่อเนื่อง เช่น การเก็บข้อมูลเกี่ยวกับความเจริญเติบโตของไม้ชนิดต่าง ๆ แปลงตัวอย่างที่สร้างขึ้นจึงต้องมีขอบเขตและเนื้อที่ที่แน่นอน มีการหมายขอบเขตเด่นชัด เพื่อความสะดวกในการวัดข้อมูลในคราวต่อ ๆ ไป ซึ่งแปลงตัวอย่างถาวรดังกล่าวนี้ส่วนใหญ่แล้วมีวัตถุประสงค์เพื่อการค้นคว้าศึกษาวิจัย (Research Sample Plot) และเพื่อการจัดการ (Management Sample Plot)

(3) รูปร่างของแปลงตัวอย่าง จำแนกแปลงตัวอย่างออกเป็น 5 ชนิด

- แปลงตัวอย่างรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า (Rectangular Sample Plot)
- แปลงตัวอย่างรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส (Square Sample Plot)
- แปลงตัวอย่างรูปวงกลม (Circular Sample Plot)
- แปลงตัวอย่างเป็นแนว (Strip Sample Plot)
- แปลงตัวอย่างวงกลมในแนว (จุฬามาศ, 2558)

2.3.4 การวัดความสูงของต้นไม้

การวัดความสูงของต้นไม้ การวัดความสูงทั้งหมดของต้นไม้วัดได้จาก ระยะห่างจากยอดถึง โคนต้น โดยการวัดแนวตั้งจากยอดลงมา ถ้าหากลำต้นตั้งตรงความสูงของต้นไม้และความสูงของลำต้นจะเท่ากัน การวัดความสูงของต้นไม้จะยากกว่าการวัดความโตของต้นไม้ เพราะต้องใช้เครื่องมือและอาศัย ความชำนาญมากกว่า จึงจะได้ค่าที่มีความถูกต้อง เครื่องมือที่ใช้ในการวัดความสูงของต้นไม้ มักจะใช้ไม้วัดความ สูง (measuring pole) วัดความสูงได้ไม่เกิน 15 เมตร ถ้าสูงมากกว่านี้จะใช้ ฮากา ฮิปโซมิเตอร์ (Haga Hypsometer) หรือซินโต ไคลโนมิเตอร์ (Santo Clinometer) การวัดความสูงต้นไม้ในป่าธรรมชาติที่มีเรือนยอด ซ้อนทับกันมักจะมีคามแม่นยำน้อยกว่า เนื่องจากจะมองไม่เห็นยอดของต้นไม้ชัดเจน

- เส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับเพียกอง (Diameter at Breath Height ; DBH) คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของต้นไม้ที่วัดระดับความสูง 1.30 เมตร จากพื้นดิน
- ต้นไม้ (Tree) ไม้ยืนต้นที่มีเนื้อไม้ และอายุยืนยาวหลายปี ที่มีความสูงเกิน 1.30 เมตร และมีเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับความสูง 1.30 เมตร ตั้งแต่ 4.50 เซนติเมตรขึ้นไป
- ไม้หนุ่ม (Sapling) คือ ต้นที่เป็นไปตามคำจำกัดความของต้นไม้ ซึ่งมีลักษณะของความสูงเกิน 1.30 เมตร แต่มีเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับอก 1.30 เมตร น้อยกว่า 4.50 เซนติเมตร
- มวลชีวภาพเหนือพื้นดิน (Aboveground Biomass) คือ น้ำหนักแห้งของทุกส่วนของต้นไม้ที่อยู่เหนือดิน ได้แก่ ลำต้น ใบ ดอก และ ผลรวมถึงไม้หนุ่ม (Sapling) และไผ่

2.3.5 สมการแอลโลเมตรี

สมการแอลโลเมตรี คือ สมการหาความสัมพันธ์ระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลาง และการหาความสูงทั้งของต้นไม้ ซึ่งใช้คำนวณน้ำหนักแห้งของต้นไม้

สมการคำนวณมวลชีวภาพของต้นไม้ในป่าธรรมชาติ

ตารางแสดงที่ 2.1 ตารางสมการคำนวณมวลชีวภาพ

ชนิดป่า	สมการ	ที่มา
ป่าดิบแล้งป่าดิบเขา	$Ws = 0.0509 (D^2) H^{0.919}$ $Wb = 0.00893 (D^2) H^{0.977}$ $Wl = 0.0140 (D^2) H^{0.669}$ $Wr = 0.0313 (D^2) H^{0.805}$	Tsutsumi et al. (1983)
ป่าเบญจพรรณป่าเต็งรัง	$Ws = 0.0396 (D^2) H^{0.9326}$ $Wb = 0.003487 (D^2) H^{1.0270}$ $Wl = (28.0/Wtc + 0.025)^{-1}$ $Wr = 0.0264 (D^2) H^{0.775}$	(Ogawa et al., 1965)
ป่าดิบชื้น	$Ws = 0.0396 (D^2) H^{0.9326}$ $Wb = 0.006003 (D^2) H^{1.0270}$ $Wl = (28.0/Wtc + 0.025)^{-1}$ $Wr = 0.0264 (D^2) H^{0.7750}$	(Ogawa et al., 1965)
ป่าสนเขา (ป่าสนสองใบ)	$Ws = 0.2141 (D^2) H^{0.9814}$ $Wb = 0.00002 (D^2) H^{1.4561}$ $Wl = 0.00072 (D^2) H^{1.0138}$	สุนันทา (2531)
ป่าสนเขา (ป่าสนสามใบ)	$Ws = 0.02698 (D^2) H^{0.946}$ $Wb = 0.00018 (D^2) H^{1.455}$ $Wl = 0.00072 (D^2) H^{1.094}$	พงษ์ศักดิ์ (2524)
ไผ่รวก/ไผ่บงดำ/ไผ่ข้าวหลาม	$Wt = 0.022187 (D^2)^{2.2749}$ $Wt = 0.049522 (D^2)^{0.8726}$ $Wt = 0.17446 (D^2)^{1.0437}$ $Wt = 0.2425 (D^2)^{1.0751}$	Suwannapinunt (1983) Kutintara et al. (1995)

โดย D = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับอก (เซนติเมตร)

H = ความสูง (เมตร)

Ws = มวลชีวภาพของลำต้น (กิโลกรัม)

Wb = มวลชีวภาพของกิ่ง (กิโลกรัม)

Wl = มวลชีวภาพของใบ (กิโลกรัม)

Wtc = มวลชีวภาพส่วนของลำต้น + กิ่ง (กิโลกรัม)

การคำนวณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินโดยทั่วไปค่ามวลชีวภาพจะมีปริมาณคาร์บอนสะสมอยู่ประมาณร้อยละ 47 ของมวลชีวภาพ จึงทำการกำหนดสมการคำนวณปริมาณคาร์บอนของพื้นที่ป่าด้วยค่ามวลชีวภาพที่ได้จากสมการเอโกลเมตรี โดยใช้ค่ามวลชีวภาพคูณกับ 0.47 เพื่อทราบปริมาณการกักเก็บคาร์บอน มีสมการ (ชิงชัย, 2563) คือ

$$\text{Carbon Stock} = \text{AGB} \times 0.47$$

0.47 หมายถึง สัดส่วนปริมาณคาร์บอนในมวลชีวภาพ (Ogawa et al., 1965)

2.4 ป่าไม้ในประเทศไทย

ประเทศไทยเราสามารถแบ่งประเภทป่าออกได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่

- ป่าไม้ผลัดใบ (Evergreen Forest) ป่าประเภทนี้มองดูเขียวชอุ่มตลอดปี เนื่องจากต้นไม้ทั้งหมดที่ขึ้นอยู่เป็นประเภทที่ไม่ผลัดใบ ได้แก่ ป่าดิบชื้น ป่าดิบแล้ง ป่าดิบเขา ป่าสน ป่าพรุ ป่าชายเลน
- ป่าผลัดใบ (Deciduous Forest) ได้แก่ ป่าเบญจพรรณ ป่าเต็งรัง และป่าหุบเขา (สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2558)

2.4.1 ป่าไม้ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ป่าไม้ในเขตของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีพื้นที่ครอบคลุม 20 จังหวัด เป็นพื้นที่ป่าไม้ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 15.03 ของแต่ละจังหวัด มีสัดส่วนพื้นที่ป่าไม้ซึ่งเทียบกับพื้นที่ จังหวัด มากที่สุด ได้แก่ มุกดาหาร (ร้อยละ 33.00) รองลงมาคือ เลย (ร้อยละ 32.21) ชัยภูมิ (ร้อยละ 31.36) และมีป่าไม้ที่ครอบคลุมน้อย คือ บึงกาฬ (ร้อยละ 6.99) ร้อยเอ็ด (ร้อยละ 9.99) และมหาสารคาม (ร้อยละ 3.81) (สำนักจัดการที่ดินป่าไม้, 2565)

2.4.2 พื้นที่ป่าชุมชนบ้านหินลาดและบ้านหินลาดพัฒนา

อยู่ในพื้นที่ป่าตามพระราชบัญญัติป่าไม้ พุทธศักราช 2484 อยู่ในเขตท้องที่ ตำบลท่าสองคอน อำเภอเมืองมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม มีพรรณไม้ประกอบไปด้วย ไม้แดง ไม้เต็ง ไม้รัง ไม้พรวง และไม้ชนิดอื่น ๆ ซึ่งมีค่าจำนวนมากและมีของป่ามากมายกับทรัพยากรธรรมชาติอื่นด้วย ปัจจุบัน มีพื้นที่แบ่งเขตการดูแล บ้านหินลาด โดย ประมาณ 32 ไร่ 0 งาน 73 ตารางวา และบ้านหินลาดพัฒนา 34 ไร่ 0 งาน 13 ตารางวา ชุมชนทั้ง 2 ชุมชน รวมถึงชุมชนบริเวณรอบข้างได้มีการใช้ศักยภาพของป่าแห่งนี้ เพื่อการดำรงชีพ ด้านต่าง ๆ เช่น การเก็บเห็ด พืชผัก สมุนไพร และเชื้อเพลิง ซึ่งมีอาณาเขต ดังนี้ (สำนักงานป่าไม้จังหวัดมหาสารคาม, 2566)

ทิศเหนือ	ติดกับลำชี	อำเภอกันทรวิชัย
ทิศใต้	ติดกับตำบลแก่งเลิงจาน	อำเภอเมืองมหาสารคาม
ทิศตะวันออก	ติดกับตำบลแก้งและตำบลตลาด	อำเภอเมืองมหาสารคาม
ทิศตะวันตก	ติดกับตำบลแก้งแก	อำเภอโกสุมพิสัย

2.5 การเรียนรู้ด้วยเครื่อง (Machine Learning)

Machine Learning คือ การทำให้คอมพิวเตอร์ สามารถเรียนรู้สิ่งต่าง ๆ และพัฒนาการทำงานให้ดีขึ้นได้ ด้วยตัวเองจากข้อมูล และข้อมูลที่ได้รับจากการเรียนรู้ของระบบ โดยไม่ต้องมีมนุษย์คอยกำกับหรือเขียนโปรแกรมเพิ่มเติม คอมพิวเตอร์สามารถตีความ และตอบสนองได้ด้วยตัวเอง ซึ่งทำให้ได้เปรียบในเชิงการแข่งขันของธุรกิจอย่างมากในปัจจุบัน เพราะสามารถลดเวลาการทำงานในการวิเคราะห์ข้อมูลต่าง ๆ และลดต้นทุนแรงงานที่เกิดขึ้นได้มาก (สมาคมโปรแกรมเมอร์ไทย, 2562)

หลักการทำงานของ Machine Learning หลักการคล้ายกับมนุษย์ที่จำเป็นต้องเรียนรู้จากประสบการณ์ ลองนึกภาพถึงการสอนเด็กคนหนึ่งให้แยกความแตกต่างระหว่าง ดินสอ และปากกานั้นจำเป็นต้องสอนเด็กคนนั้นก่อน ว่าดินสอเป็นอย่างไร และปากกาเป็นอย่างไร เพื่อให้เด็กเรียนรู้และแยกความแตกต่างระหว่างของสองสิ่งได้ ซึ่ง Machine Learning ก็ทำงานในลักษณะเดียวกัน ด้วยการป้อนชุดข้อมูลพื้นฐาน และชุดคำสั่งต่าง ๆ เพื่อให้คอมพิวเตอร์ “เรียนรู้” และจำแนกแยกวัตถุต่าง ๆ รวมถึงบุคคล สิ่งของ เป็นต้น เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่แม่นยำมากขึ้น (สมาคมโปรแกรมเมอร์ไทย, 2562)

2.5.1 Deep Learning

Deep Learning เป็นเทคนิคที่มีการพัฒนาและนำมาใช้งานในงานปัจจุบันอย่างแพร่หลาย และเป็นเทคนิคที่สามารถใช้ในการแก้ไขปัญหาที่ซับซ้อน เช่น การจำแนกภาพ การแปลภาษา การตรวจจับวัตถุ และอื่น ๆ กล่าวถึงความเป็นมาของ Deep Learning (Ekim & Sertel, 2021) ซึ่งเริ่มต้นจากการพัฒนาโครงข่ายประสาทเทียม (Neural Networks) สำหรับการจำลองการทำงานของเซลล์ประสาทสมองมนุษย์ การเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) ซึ่งเป็นเทคนิคการเรียนรู้ที่ใช้โครงข่ายประสาทเทียมหลายชั้น (Deep Neural Networks) ในการประมวลผลข้อมูล การสร้างและการใช้งานโมเดล Deep Learning ซึ่งเป็นขั้นตอนการสร้างโมเดลเพื่อใช้ในการแก้ไขปัญหาที่ต้องการใช้ Deep Learning และการประมวลผลการวิเคราะห์ข้อมูลแบบ Deep Learning ซึ่งเป็นกระบวนการประมวลผลข้อมูลด้วยการใช้ในการหาความสัมพันธ์ของข้อมูล และวิเคราะห์ผลลัพธ์ในลักษณะต่าง ๆ อย่างเช่น การจำแนก การสรุป การแนะนำ และอื่น ๆ

2.5.2 การสำรวจการตรวจจับวัตถุด้วย YOLOv9 Model

สำรวจ YOLOv9 ที่เป็นที่รู้จักจากสถาปัตยกรรมใหม่ GELAN และ Reversible Network Architecture เพื่อแก้ไขปัญหาการไล่ระดับที่ไม่น่าเชื่อถือ ใน Deep Neural Network (Wang et al., 2024) โครงข่ายประสาทเทียมแบบลึกแบบดั้งเดิมประสบปัญหา เช่น การไล่ระดับสีที่หายไป และการไล่ระดับสีแบบระเบิด อย่างไรก็ตาม เทคนิคต่างๆ เช่น การทำให้เป็นมาตรฐานแบบแบตช์ และฟังก์ชันการเปิดใช้งานได้ช่วยบรรเทาปัญหานี้ได้ในระดับหนึ่ง YOLOv9 เปิดตัวโดย Chien-Yao Wang และคณะในวันที่ 21 กุมภาพันธ์ 2024 การเพิ่มล่าสุดในซีรีส์ YOLO จะเจาะลึกลงไปถึงการวิเคราะห์ปัญหาขอบของข้อมูล ปัญหานี้ไม่ได้รับการแก้ไขใน YOLO ซีรีส์ก่อนหน้านี้ มีอะไรใหม่ใน YOLO!! (Wang et al., 2024) ดังภาพประกอบที่ 2.3



ภาพประกอบที่ 2.3 ตัวอย่างการสำรวจการตรวจจับวัตถุด้วย YOLO Model

แหล่งที่มา: (Wang et al., 2024)

2.5.3 การแบ่งส่วน Segmentation

Segmentation คือ การสร้างภาพมาจากเซกเมนต์ในระดับของพิกเซลที่ระบุภายใน การแบ่งส่วนที่มีความคล้ายคลึงกัน กับทางสเปกตรัมที่เป็นเนื้อเดียวกัน ทั้งพื้นที่และแบนด์ที่วิเคราะห์ทั้งหมด โดยมีรูปแบบประเมินความคล้ายคลึงกัน และการแบ่งส่วนต่าง ๆ (Esri, 2022) จะถูกกำหนดตามเกณฑ์ความคล้ายคลึงที่ผู้ใช้กำหนด ยิ่งเกณฑ์มีขนาดเล็ก เซกเมนต์ก็จะมีรายละเอียดมากขึ้น เกณฑ์ที่มากขึ้นจะส่งผลให้ผลลัพธ์ของการแบ่งส่วนมีความไม่เป็นเนื้อเดียวกัน แตกต่างจากวิธีการจำแนกตามพิกเซลแบบดั้งเดิม การจำแนกตามส่วนเป็นแนวทางที่จำแนกภาพที่รับรู้จากระยะไกลโดยอิงตามส่วนต่าง ๆ ของภาพ การแบ่งส่วนเป็นกระบวนการในการกำหนดพิกเซลที่เป็นเนื้อเดียวกันให้เป็นส่วนต่าง ๆ ของภาพที่มีสเปกตรัมคล้ายคลึงกันเหล่านี้ เป้าหมายของกระบวนการแบ่งส่วนคือการเปลี่ยนลักษณะของภาพให้มีความหมายมากขึ้น ซึ่งช่วยให้ตีความ และจำแนกประเภทได้ง่ายขึ้น เนื่องจากส่วนต่าง ๆ ของภาพเหล่านี้แสดงวัตถุในภูมิประเทศได้ดีกว่าพิกเซลดั้งเดิม ดังนั้นแต่ละขั้นตอนของกระบวนการจำแนกประเภทตั้งแต่การกำหนดขนาด สำหรับการวิเคราะห์ไปจนถึงการ

จำแนกประเภทจากส่วนต่าง ๆ จึงง่ายขึ้น นอกจากนี้ยังสามารถบรรลุความแม่นยำที่ดีขึ้นได้อีกด้วย (Liu et al., 2021) ดังภาพประกอบที่ 2.4



ภาพประกอบที่ 2.4 ภาพตัวอย่างการแบ่งส่วน Segmentation

แหล่งที่มา : (Liu et al., 2021)

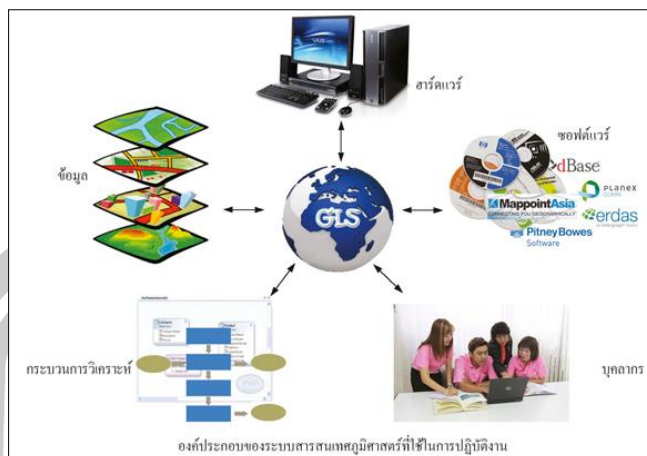
2.7 ความรู้ด้านภูมิสารสนเทศ

การบูรณาการเทคโนโลยีทางด้านการสำรวจการทำแผนที่ และการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ที่เข้าด้วยกัน เพื่อศึกษาเกี่ยวกับพื้นที่บนโลก ประกอบด้วย คือ ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) การรับรู้จากระยะไกล (RS) และระบบกำหนดตำแหน่งบนพื้นโลก (GPS)

เทคโนโลยีทั้ง 3 ประเภทนี้สามารถทำงานเป็นอิสระต่อกัน หรือสามารถนำมาเชื่อมโยงร่วมกัน ทำให้ประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลายด้าน เช่น กิจการทหาร การจัดการทรัพยากรธรรมชาติ การจัดการภัยพิบัติต่าง ๆ การวางผังเมืองและชุมชน หรือแม้แต่ในเชิงธุรกิจก็ได้มีการนำเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศศาสตร์มาประยุกต์ใช้และประกอบกรวางแผนการตัดสินใจในเรื่องต่าง ๆ ได้อย่างถูกต้องรวดเร็ว และมีประสิทธิภาพ (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ องค์การมหาชน, 2562)

2.7.1 องค์ประกอบของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์มีองค์ประกอบที่สำคัญรวม 5 ประการ คือ ฮาร์ดแวร์ (Hardware) ซอฟต์แวร์ (Software) ข้อมูล (Data) กระบวนการวิเคราะห์ (Application procedure) และบุคลากร (People ware)



ภาพประกอบที่ 2.5 องค์ประกอบของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

แหล่งที่มา : (มูลนิธิโครงการสารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน, 2561)

2.7.2 โปรแกรมทางภูมิสารสนเทศ

Arc GIS ออกแบบมาเพื่อรองรับความต้องการของผู้ใช้ได้อย่างกว้างขวาง องค์ประกอบของ Desktop GIS ของ ArcGIS ประกอบด้วย ArcView, Arc Editor, Arc Info

ArcGIS for Desktop เป็นซอฟต์แวร์ด้าน GIS สำหรับการสร้าง แก้ไข วิเคราะห์ จัดเก็บ และแบ่งปันข้อมูลร่วมกันช่วยใช้ในการตัดสินใจ เพื่อประหยัดงบประมาณ เวลา และค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานสามารถแสดงผลได้ทั้งแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ

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

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 (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ องค์การมหาชน, 2562)

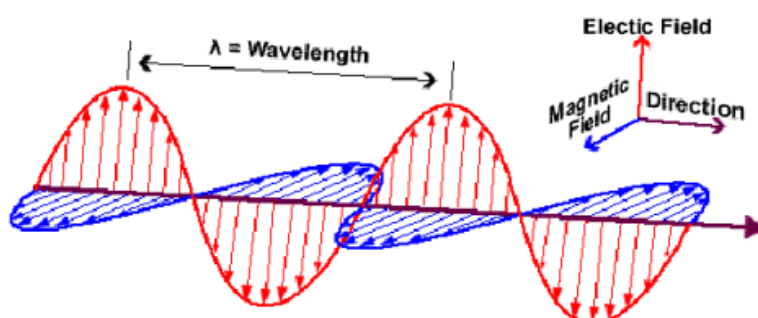
2.8 เทคโนโลยีสำรวจระยะไกล

เนื่องจากเทคโนโลยีการสำรวจระยะไกลต้องอาศัยพลังงานในรูปแบบของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Radiation) ที่ปล่อยออกมาแล้ว สะท้อนจากวัตถุไปยังเซ็นเซอร์เพื่อจัดเก็บ ซึ่งพลังงานดังกล่าวจะถูกปลดปล่อยออกมาแล้วสะท้อนกลับไปยังเซ็นเซอร์เพื่อจัดเก็บระดับปริมาณของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งจะช่วยในการระบุ และการจำแนกประเภทต่าง ๆ บนพื้นผิวโลก ทำให้วิธีการรวบรวมการประมวลผล และการตีความข้อมูลที่ได้จากการสำรวจระยะไกลมีความหลากหลาย โดยองค์ประกอบของการสำรวจระยะไกลมีดังนี้คือ (Aritra, 2023)

2.8.1 แหล่งพลังงานหรือแสงสว่าง

แหล่งพลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ปล่อยไปยังวัตถุสำหรับเทคโนโลยีสำรวจระยะไกล สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทหลัก ได้แก่ แหล่งงานตามธรรมชาติ ซึ่งโดยทั่วไปคือพลังงานที่ได้จากแสงของดวงอาทิตย์ และแหล่งพลังงานที่สร้างขึ้น จะส่งพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามาสัมผัสวัตถุต่าง ๆ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นคลื่นชนิดหนึ่งที่ต้องไม่ใช้ตัวกลางในการเคลื่อนที่

ปัจจุบันมีการใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในหลาย ๆ ด้าน เช่น การติดต่อสื่อสาร (มือถือ วิทยุ ใยแก้วนำแสง) ทางการแพทย์ (รังสีเอกซ์) การทำอาหาร (คลื่นไมโครเวฟ) การควบคุมรีโมท (รังสีอินฟราเรด) คุณสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า คือเป็นคลื่นที่เกิดจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และคลื่นแม่เหล็กตั้งฉากกัน และคลื่นที่ไปยังทิศทางเดียวกัน คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นคลื่นตามขวาง ประกอบด้วยสนามไฟฟ้า และสนามแม่เหล็กที่มีการสั่นในแนวตั้งฉากกัน และอยู่บนระนาบตั้งฉากกับทิศการเคลื่อนที่ของคลื่น คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นคลื่นที่เคลื่อนที่โดยไม่ต้องอาศัยตัวกลาง จึงสามารถเคลื่อนที่ไร้สูญญากาศ ได้ดังภาพประกอบที่ 2.6



ภาพประกอบที่ 2.6 คุณสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

ที่มา : (Aritra, 2023) <https://socratic.org>

คุณลักษณะ 2 ประเภทของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้ามีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการทำความเข้าใจการรับรู้จากระยะไกล คือ ความยาวคลื่นและความถี่ (Aritra, 2023)

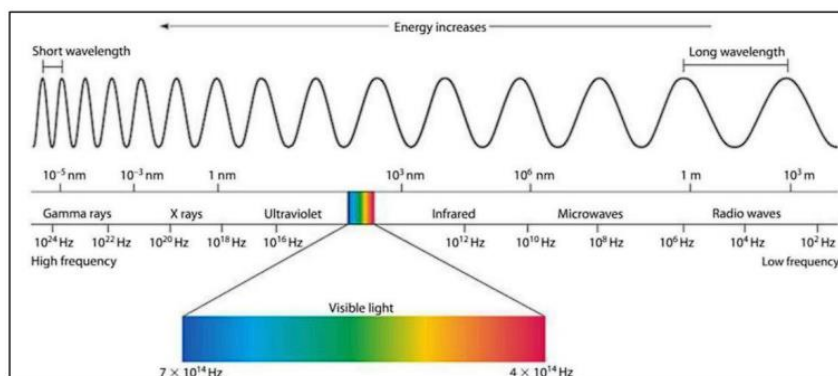
ความยาวคลื่น หมายถึง ความยาวของรอบคลื่นหนึ่งรอบหรือระยะทางจากตำแหน่งใด ๆ ในรอบหนึ่งไปยังตำแหน่งเดิมในรอบถัดไป โดยปกติจะใช้แทนด้วยตัวอักษร แลมบ์ดา (λ) ความยาวของคลื่นมักจะวัดเป็นไมโครเมตร (ไมโครเมตร 10^{-6}) และนาโนเมตร (นาโนเมตร 10^{-9} เมตร)

ความถี่ หมายถึง จำนวนยอดคลื่นที่ผ่านจุดที่กำหนดในหน่วยเวลาเฉพาะ โดยปกติจะวัดเป็นเฮิร์ตซ์ (Hz) ความยาว และความถี่ของคลื่นมีความสัมพันธ์กับสมการต่อไปนี้ (Aritra, 2023)

$$v=c/\lambda \dots\dots\dots 1$$

เมื่อ V = ความถี่
 C = ความเร็วของแสง
 (λ) = ความยาวคลื่น

สเปกตรัม (Spectrum) ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะประกอบด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่ และความยาวคลื่นแตกต่างกัน ซึ่งครอบคลุมตั้งแต่ คลื่นแสงที่ตามองเห็น อัลตราไวโอเลต อินฟราเรด คลื่นวิทยุ โทรทัศน์ ไมโครเวฟ รังสีเอกซ์ รังสีแกมมา เป็นต้น ดังนั้นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจึงมีประโยชน์มากในการสื่อสารและโทรคมนาคม ทางแพทย์ และเทคโนโลยีการสำรวจระยะไกล ความเข้าใจพื้นฐานเกี่ยวกับสเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้า โดยเฉพาะอย่างยิ่งเกี่ยวกับช่วงของความยาวคลื่น รังสีแม่เหล็กไฟฟ้า จะมีประโยชน์ในการทำความเข้าใจประเภทของพลังงานที่สามารถวัดได้โดยใช้เครื่องตรวจจับ การรับรู้จากระยะไกลที่หลากหลาย ซึ่งหน่วยพื้นฐานของปรากฏการณ์แม่เหล็กไฟฟ้าคือ โฟตอนที่ไม่มีมวลคลื่นที่ ด้วยความเร็วของแสง 300,000 กิโลเมตรต่อวินาที (186,000 ไมล์ต่อวินาที) อยู่ในรูปของคลื่นที่เรียกว่าแม่เหล็กไฟฟ้า พลังงานของโฟตอนกำหนดความยาวคลื่น และความถี่คลื่น เป็นรอบต่อวินาที เมื่อโฟตอนมีพลังงานมากขึ้นความยาวคลื่นของแสงก็จะสั้นลง และขณะเดียวกันมีความถี่สูงขึ้น และในทางกลับกันเมื่อโฟตอนมีพลังงานน้อยลงความยาวคลื่นก็จะยาวขึ้นแต่และความถี่สูงขึ้น ช่วงสเปกตรัมได้รับการแบ่งออกเป็นช่วง และมีการใช้ชื่อที่สื่อความหมายตามขนาดของพลังงาน ตามตารางที่ 2.2 โดยช่วงที่มีพลังงานมากที่สุด จะมีความถี่สูง ความยาวคลื่นสั้นคือ รังสีแกมมาและรังสีเอกซ์ การแผ่รังสีในช่วงอัลตราไวโอเลตขยายจากประมาณ 1 นาโนเมตร (10^{-9}) ถึงประมาณ 360 นาโนเมตร (0.36 ไมโครเมตร หรือ 10^{-6}) ช่วงคลื่นที่สายตามองเห็น (Visible Wavelength) อยู่ในช่วง 0.40 ถึง 0.70 ไมโครเมตร (400 ถึง 700 นาโนเมตร) ช่วงคลื่นอินฟราเรด (Infrared Wavelength) อยู่ในช่วง 0.70 ถึง 100 ไมโครเมตร เป็นต้น (Aritra, 2023)



ภาพประกอบที่ 2.7 สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

ที่มา : (Aritra, 2023) <https://socratic.org>

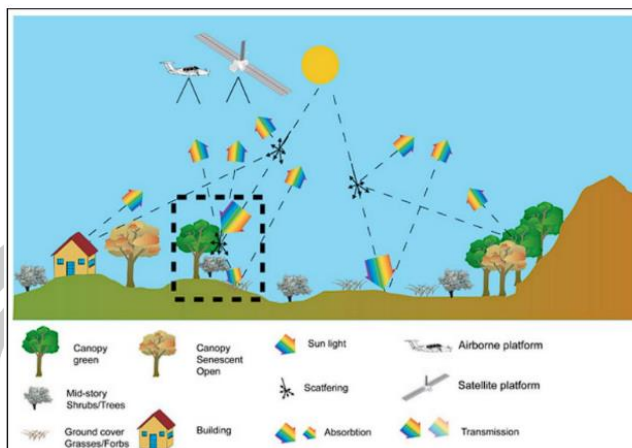
ตารางแสดงที่ 2.2 การแบ่งช่วงสเปกตรัมตามความยาวช่วงคลื่น

ช่วงคลื่น	ช่วงความยาวคลื่น μm
Ultraviolet (UV)	0.30 – 0.48
Visible light	0.40 -0.70 Blue: 0.40 -0.500 Green: 0.500 – 0.60 Red: 0.60 -0.70
Near Infrared	0.70 -1.5
Middle Infrared	1.5 – 5 SWIR (1.5 – 3) MIR (3.0 – 5.0)
Microwave	1 mm – 1m

ที่มา : (Aritra, 2023)

2.8.2 การเกิดปฏิสัมพันธ์ระหว่างคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากับวัตถุ

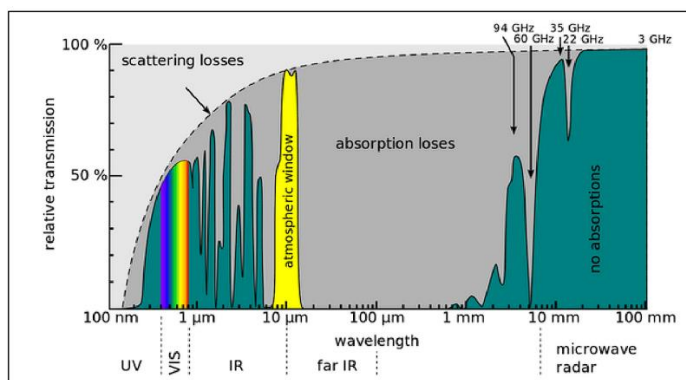
การรับรู้จากระยะไกลเป็นการวัดสัดส่วน ในการสะท้อนพลังงานของวัตถุนบนผิวโลกที่ส่งผ่านลงมา ตกกระทบกับวัตถุต่าง ๆ และสะท้อนกลับไปยังเซ็นด์เซอร์ จะมีปฏิสัมพันธ์เกิดขึ้นตั้งแต่ชั้นบรรยากาศจนถึงวัตถุ ได้แก่ การดูดซับ (Absorption) การกระจัดกระจาย (Scattering) การส่งผ่าน (Transmission) และการสะท้อนกลับ (Reflection) ภาพประกอบที่ 2.6 ซึ่งการทำความเข้าใจ และประมวลผลภาพที่ได้จากการรับรู้จากระยะไกล จำเป็นต้องมีความเข้าใจเกี่ยวกับการเกิดปฏิสัมพันธ์เหล่านี้ (Dame, 2024)



ภาพประกอบที่ 2.8 แบบจำลองแนวคิดของกระบวนการทางกายภาพการรับรู้ระยะไกล
ที่มา : (Dame, 2024)

2.8.2.1. การเกิดปฏิสัมพันธ์ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในชั้นบรรยากาศ

อาจเกิดขึ้นในชั้นบรรยากาศ และบนพื้นโลก พลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศที่มีส่วนประกอบของแก๊สชนิดต่าง ๆ จะถูกดูดกลืนไปตามสัดส่วนในช่วงความยาวคลื่นที่จำเพาะตามชนิดของแก๊สนั้น ๆ เมื่อรวมรูปแบบการดูดกลืนของแก๊สหลัก ๆ ทั้งหมดในชั้นบรรยากาศเข้าไว้ด้วยกัน จะได้รูปแบบการดูดกลืนของชั้นบรรยากาศ อย่างไรก็ตามจากรูปแบบการดูดซับดังกล่าวจะเห็นว่าชั้นบรรยากาศ ยังยินยอมให้ส่งผ่านพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าได้ในบางช่วง ซึ่งปรากฏการณ์นี้เรียกว่า หน้าต่างบรรยากาศ (Atmospheric Windows) ตามภาพประกอบที่ 2.7 ชั้นบรรยากาศเปิดให้มีการส่งผ่านพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า ได้ในสามช่วง หลักๆ ช่วงแรก ความยาวคลื่นตรงกับช่วงคลื่นแสง ที่ตามองเห็นถึงอินฟราเรดใกล้ และ ช่วงกลางซึ่งสามารถใช้ตาของมนุษย์หรือกล้องถ่ายภาพเป็นอุปกรณ์รับรู้ได้ หรือใช้เครื่องสแกนแบบหลายช่วงคลื่น (Multispectral Scanner) ก็จะสามารถตอบสนองต่อพลังงานในช่วงแคบ ๆ ได้หลายช่วง ช่วงที่สองจะเป็นช่วงความยาวคลื่นตั้งแต่ 3 ถึง 5 μm และ 8 ถึง 14 μm ซึ่งอยู่ในช่วงที่ใกล้เคียงกับการปลดปล่อยความร้อนบนผิวโลก ทั้งนี้ต้องใช้เครื่องสแกนภาพเชิงความร้อน (Thermal Scanner) และสุดท้ายช่วงเปิดกว้างอีกช่วงคือประมาณ 1 mm ถึง 1 m ซึ่งตรงกับช่วงไมโครเวฟ และความถี่วิทยุ ซึ่งมีการนำมาใช้งานทางด้านการถ่ายภาพด้วย “เรดาร์” จากความสัมพันธ์ระหว่างแหล่งพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า และหน้าต่างชั้นบรรยากาศที่เปิดออก เพื่อให้พลังงานสามารถส่งผ่านไป และยังสะท้อนมาพื้นผิวโลก การตอบสนองเชิงคลื่นของอุปกรณ์รับรู้จากระยะไกล (RS) การตอบสนองของอุปกรณ์รับรู้ที่มีให้เลือกใช้ได้ ช่วงคลื่นความยาวคลื่นที่ต้องการใช้ที่เหมาะสมกับหน้าต่างชั้นบรรยากาศแหล่งกำเนิด ขนาด และองค์ประกอบเชิงคลื่นของพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงคลื่นดังกล่าว (Cepheiden, 2009)



ภาพประกอบที่ 2.9 ผังการดำเนินงาน

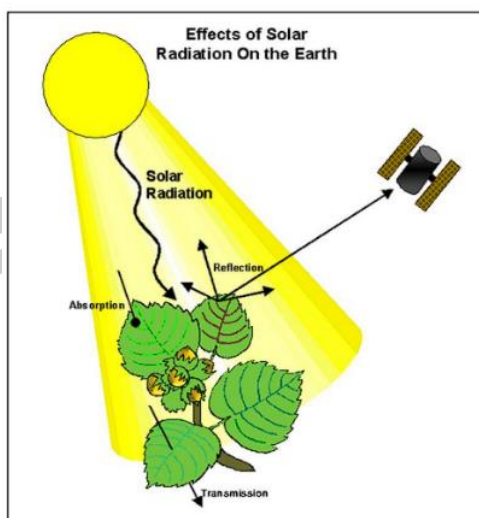
ที่มา (Cepheiden, 2009)

การกระจายกระจายในชั้นบรรยากาศเกิดจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีการเคลื่อนที่ แล้วมากระทบกับอนุภาคต่างชั้นของบรรยากาศ เช่น แก๊ส ละอองน้ำ หรือฝุ่น เป็นต้น ถ้าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามาชนกับอนุภาคในชั้นบรรยากาศที่มีขนาดเล็กกว่า ก็สามารถเคลื่อนที่ไปได้ แต่หาอนุภาคในชั้นบรรยากาศมีขนาดใหญ่กว่าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดนั้น ก็จะเกิดการกระจายขึ้น ซึ่งการกระจายการกระจายมีอยู่ 3 ลักษณะ คือ (Mānoa, 2009)

- Rayleigh Scattering
- Mie Scattering
- Non – Selective Scattering

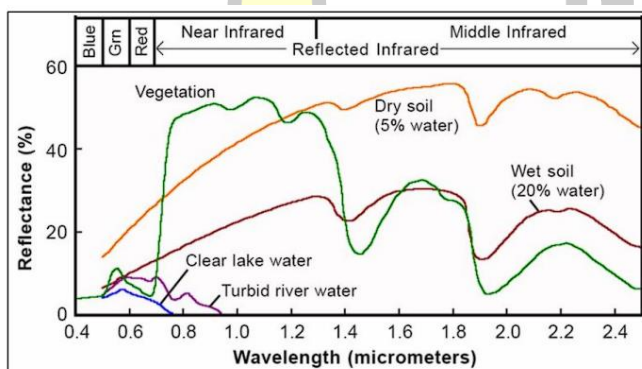
2.8.2.2. การเกิดปฏิกิริสัมพันธ์ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในระดับผิวโลก

ส่วนหนึ่งของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ส่งผ่านชั้นบรรยากาศโดยไม่ถูกดูดกลืน หรือกระจายกลับสู่อวกาศ เมื่อมาถึงพื้นผิวโลกแล้ว คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถถูกดูดซับโดยพื้นผิวโลก และวัตถุต่าง ๆ บนผิวโลก หรือสามารถสะท้อนกลับไปยังอวกาศได้ และขึ้นอยู่กับวัตถุบนพื้นผิว เช่นเดียวกับความยาวคลื่นของรังสีที่เข้ามา วัสดุพื้นผิวแต่ละชนิดมี “ลายเซ็น” เฉพาะที่กำหนดสัดส่วนของรังสีที่สะท้อน สำหรับแต่ละความยาวคลื่น เช่น น้ำจะสะท้อนความยาวคลื่นสีน้ำเงิน และสีเขียวในปริมาณเล็กน้อย โดยทั่วไปประมาณร้อยละ 5 ถึง ร้อยละ 10 ขึ้นอยู่กับความขุ่น และมีการสะท้อนน้อยกว่าความยาวคลื่นสีแดง และไม่มีค่าการสะท้อนในช่วงความยาวคลื่นอินฟราเรด ในทางกลับกัน พืชพรรณสะท้อนรังสีอินฟราเรด ครึ่งหนึ่งที่เข้ามาทั้งหมด ยกเว้นความยาวคลื่นเฉพาะที่น้ำของเหลวในใบไม้ดูดซับไว้ ซึ่งคลื่นเหล่านี้มักแสดงเป็นกราฟ โดยมีความหมายคลื่นตามแนวแกน X และการสะท้อนแสงตามแนวแกน Y ดังภาพประกอบที่ 2.8 (Mānoa, 2009)



ภาพประกอบที่ 2.10 การเกิดปฏิสัมพันธ์ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในระดับผิวโลก

ที่มา : <https://www.ctahr.hawaii.edu> (Mānoa, 2009)



ภาพประกอบที่ 2.11 กราฟลายเซ็นเชิงคลื่น (Spectral Signature) ของวัตถุต่าง ๆ

ที่มา : <https://www.ctahr.hawaii.edu> (Mānoa, 2009)

การจัดเก็บข้อมูลคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าโดยใช้เทคโนโลยีระยะไกล ข้อมูลภาพที่ได้จากเทคโนโลยีสำรวจระยะไกล สามารถให้ข้อมูลได้ทั้งการประมาณเชิงพื้นที่ เชิงคลื่น เชิงเวลา และเชิงรังสี ซึ่งแต่ละข้อมูลจะมีความละเอียด (Resolution) ของข้อมูลโดยมีรายละเอียดที่ต่างกันออกไป (Mānoa, 2009)

พูน ปณ จิต ชเว

2.9 แบบจำลองความสูงทรงพุ่ม

สำหรับการหาความสูงของต้นไม้ที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับ สามารถหาได้โดยการหาค่าความแตกต่างของความสูงระหว่างข้อมูลจาก DSM และ DEM โดยผลลัพธ์หลังจากการประมวลผลข้อมูลแบบจำลองความสูงของต้นไม้ได้ (Canopy Elevation Model: CHM) (Nasiri et al., 2022) (Sharma et al., 2022) (Mirela Beloiu, 2023) ใช้ข้อมูลแบบจำลองความสูงปกคลุมพื้นผิว (Digital Surface Model: DSM) และแบบจำลองความสูงภูมิประเทศเชิงเลข (Digital Elevation Model: DEM) ผลการวิเคราะห์ทราบถึงความสูงของวัตถุ (ใน a ป่าต้นไม้) ที่อยู่บนพื้นผิวโลก จากสมการดังต่อไปนี้

$$CHM = DSM - DEM \dots\dots\dots 2$$

2.10 ความรู้เกี่ยวกับอากาศยานไร้คนขับ

2.10.1 โดรน (Drone)

โดรน หรือ อากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicle: UAV) (Pix4d, 2024) เป็นอากาศยานที่ไม่มีนักบินประจำอยู่บนเครื่อง แต่นักบินสามารถควบคุมได้ โดยมีรูปร่างขนาด รูปแบบ และเอกลักษณ์ที่แตกต่างออกไป เป็นอากาศยานที่ควบคุมจากระยะไกล ใช้การควบคุมอัตโนมัติ มีอยู่ 2 ลักษณะ คือ การควบคุมอัตโนมัติจากระยะไกล และควบคุมโดยการใช้ระบบบินด้วยตนเอง ซึ่งต้องอาศัยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่มีระบบที่ซับซ้อน แล้วมีการติดตั้งไว้ในอากาศยาน (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ องค์การมหาชน, 2562)

โดยมีการติดตั้งกล้องถ่ายภาพคุณภาพสูง ในเวลากลางวัน (Electro Optical) และกล้องอินฟราเรด (Infrared Sensor) ที่สามารถบันทึกภาพระยะไกลได้ แล้วส่งสัญญาณภาพมายังจอภาพ ที่สถานีภาคพื้นดิน ในเวลาที่ใกล้เคียงความจริงมากที่สุด (Near Real Time: NRT) ทำให้สามารถมองเห็นภาพสนามในเวลาใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด นอกจากนั้นอากาศยานไร้คนขับยังสามารถปฏิบัติการกิจด้านข่าวกรอง การเฝ้าตรวจ การค้นหาเป้าหมาย และด้านพาณิชย์ (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ องค์การมหาชน, 2562)

2.10.2. โดรน DJI Phantom 4 Pro



ภาพประกอบที่ 2.12 โดรน DJI Phantom 4 Pro

คุณสมบัติตัวโดรน DJI Phantom 4 Pro ของถ่ายภาพมุมสูง (Authorized, 2024)

- มี Sensor กันชนรอบด้าน ง่ายต่อการหลบหลีกสิ่งกีดขวาง
- ถ่ายภาพนิ่งได้ 20 ล้านพิกเซล
- ถ่ายวิดีโอคุณภาพ 4k ที่ 60 fps
- บินได้ไกลสูงสุด 7 กิโลเมตร
- บินได้นานสูงสุด 30 นาที (Authorized, 2024)

2.10.3 สี RGB

RGB ย่อมาจาก Red, Green และ Blue คือระบบสีของแสง เกิดจากการหักเหของแสง กลายเป็นสีรุ้งด้วยกัน 7 สี ซึ่งเป็นช่วงแสงที่เราสามารถมองเห็นได้ และแสงสีม่วงจะมีความถี่สูงสุด เรียกว่า อนุตรัไวโอแรต และแสงสีแดงจะมีความถี่ต่ำสุด เรียกว่าอินฟราเรต คลื่นแสงที่มีความถี่สูงกว่าสีม่วง และต่ำ กว่าสีแดงนั้น สายตาของมนุษย์ไม่สามารถรับรู้ได้ แสงสีทั้งหมดเกิดจาก แสงสี 3 สี คือ สีแดง (Red) สีน้ำเงิน (Blue) และสีเขียว (Green) ทั้งสามสีถือเป็นแม่สีของแสง (วิจิสมิทธิ์, 2020)

พหุบัน ปณ จิตโต ชีเว



ภาพประกอบที่ 2.13 ภาพสี RGB

ที่มา : <https://www.vijismith.com> (วิจิสมิทธิ์, 2020)

2.10.4 Point Cloud

ข้อมูลที่ถูกประมวลผลแปลงจากค่าคลื่นไฟฟ้ามาเป็นค่าพิกัดจุดสามมิติ แล้วผลลัพธ์แรกที่ได้คือ Point Cloud ซึ่งจะมีการบันทึกค่าการสะท้อนว่าเป็นค่าที่เท่าใด ความเข้มของการสะท้อนค่าพิกัดสามมิติของจุดนั้น รวมถึงสีของจุดนั้น ถ้าหาก Sensor นั้นมีกล้องถ่ายภาพร่วมอยู่ด้วย หรือรองรับการทำ Colorize Point Cloud กลุ่มของจุดในรูปแบบสามมิติ ซึ่งเราสามารถใช้อัลกอริทึมเลเซอร์สแกนเนอร์ 3D เก็บค่าของตำแหน่งของวัตถุในพิกัด X,Y,Z เพื่อใช้ในการสร้างแบบจำลองสามมิติลงบนคอมพิวเตอร์ได้ (Aonic, 2022)

2.10.5 Digital Surface Model

เป็นแบบจำลองความสูงของภูมิประเทศ ที่แสดงค่าความสูงบนพื้นผิวของโลกที่ปกคลุมพืชพันธุ์ หรือวัตถุที่ยกขึ้นเหนือพื้นดินที่มนุษย์เราสร้างขึ้น และธรรมชาติสร้างขึ้น เช่น ต้นไม้พืชพรรณ และตึกอาคาร (Office of Higher Education & Royal Thai Embassy, 2022)

พูน ปณ ทิโต ชีเว

2.11 ความรู้เกี่ยวกับแอปพลิเคชัน PIX4Dcapture



ภาพประกอบที่ 2.14 แอปพลิเคชัน PIX4Dcapture

ที่มา : (Pix4d, 2024)

แอปพลิเคชันแผนการบินด้วยโดรนสำหรับการเก็บข้อมูลทางอากาศสำหรับการทำแผนที่ และการสร้างแบบจำลอง 2D และ 3D ด้วยภารกิจอัตโนมัติ โซลูชันที่ใช้งานง่ายนี้เป็นผลิตภัณฑ์ที่ปรับขนาดได้พร้อมเอาต์พุตระดับมืออาชีพ รวมถึงความเข้ากันได้กับ RTK เหมาะสำหรับทุกอุตสาหกรรม และขับเคลื่อนโดย Pix4D ซึ่งเป็นผู้นำตลาดโฟโตแกรมเมตรี นี่คือนโซลูชันที่จะทำให้คุณแตกต่าง เนื่องจากการรวบรวมข้อมูลทำได้ง่าย (Pix4d, 2024)

2.12 การวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis)

การวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) และการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (Correlation Analysis) เป็นการศึกษาเกี่ยวกับความสัมพันธ์ของตัวแปร วัตถุประสงค์หลักของการวิเคราะห์การถดถอยคือ ต้องการประมาณค่าของตัวแปรตัวหนึ่ง ซึ่งเรียกว่า ตัวแปรตาม (Dependent Variable) นิยมเขียนแทนด้วย Y โดยอาศัยความรู้จากตัวแปรอื่น ซึ่งเรียกว่า ตัวแปรอิสระ (Independent Variable) แทนด้วย X หรือกล่าวอีกอย่างหนึ่งว่า เราใช้ความรู้หรือสารสนเทศจาก X เป็นเกณฑ์ในการประมาณ Y ถ้าใช้ตัวแปร X เพียงตัวแปรเดียวในการประมาณ Y และความสัมพันธ์ของ Y และ X เป็นเชิงเส้นตรง เราเรียกว่า การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Linear Regression) (คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น)

สำหรับการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ เป็นการศึกษาในระดับ หรือขนาดของความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างตัวแปรสองตัวแปรว่ามีมากน้อยเพียงใด เครื่องมือที่ใช้วัดเรียกว่า สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient) นิยมเขียนแทนด้วย r โดยวัดออกมาเป็นตัวเลขที่มีค่าอยู่ระหว่าง -1 กับ 1 ถ้า r มีค่าใกล้ 1 แสดงว่า ตัวแปรสองตัวนั้นมีความสัมพันธ์กันมาก และมีทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ ถ้า X มีค่ามาก Y จะมีค่ามากด้วย ถ้า r มีค่าใกล้ -1 แสดงว่า ตัวแปรสองตัวนั้นมีความสัมพันธ์กันมาก

เช่นกันแต่มีทิศทางตรงข้ามกัน กล่าวคือ ถ้า X มีค่ามาก Y จะมีค่าน้อย หรือ X มีค่าน้อย Y จะมีค่ามาก ถ้า X และ Y มีความสัมพันธ์กันน้อย ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ r จะเข้าใกล้ 0

Mean Absolute Error (MAE) คือ ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ค่า MAE นำผลลัพธ์ของ Absolute มาช่วยทำให้ค่า Error กลายเป็นบวก สูตรคำนวณจึงเป็นการนำค่า Error มาใส่ Absolute ก่อนที่จะนำมาหาค่าเฉลี่ยของ Error (คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น)

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_1 - y_i| \dots\dots\dots 3$$

โดย y_1 คือ ค่าจากการพยากรณ์
 y_i คือ ค่าจริง
 n คือ ค่าจำนวนทั้งหมด

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

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_t - y_t)^2 \dots\dots\dots 4$$

โดย n คือ จำนวนข้อมูลที่ใช้
 y_t คือ ค่าจริงที่ t ใด ๆ
 y_t คือ ค่าที่ได้จากการทำนายที่ t ใด ๆ

Root Mean Squared Error (RMSE) หรือค่ารากที่ 2 ของค่าความคลาดเคลื่อนกำลัง 2เฉลี่ย เป็นวิธีการวัดค่าความคลาดเคลื่อนแบบมาตรฐาน ที่นิยมอย่างแพร่หลาย โดยค่าที่ได้ยิ่งน้อยจะยิ่งแสดงว่าแบบจำลองที่ได้มีความแม่นยำมาก วิธีการคำนวณคือจะเป็นการนำค่า MSE

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - y_i)^2}{n}} \dots\dots\dots 5$$

จากค่าที่ได้ ถ้าค่า MAE และ RMSE ต่ำแสดงว่า ค่าพยากรณ์ มีความใกล้เคียงกันกับค่าจริง ซึ่งหมายถึงแบบจำลองมีประสิทธิภาพในการพยากรณ์สูง (คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น)

2.13 การวิเคราะห์การตรวจสอบความถูกต้อง

ผลลัพธ์สำหรับข้อมูลการประเมินผลในแต่ละช่วงของค่า Histogram เกณฑ์ความน่าจะเป็นของโมเดล (Weinstein et al., 2019) (Santos et al., 2019) (Weinstein et al., 2020) (Mirela Beloiu, 2023) อธิบายถึงความแม่นยำโดยรวมโดยพิจารณาจากทั้งความแม่นยำและคะแนนการเรียกคืน เมตริกทั้งสามนี้คำนวณจากผลบวกที่แท้จริง (TP เรือนยอดต้นไม้ตรวจพบได้อย่างถูกต้อง) ผลบวกเท็จ (FP เรือนยอดต้นไม้ตรวจพบโดยผิดพลาด) และผลลบเท็จ (FN เรือนยอดต้นไม้ถูกละเว้น) สมการของความแม่นยำ คะแนนการเรียกคืน และคะแนน F1 ตามสมการดังนี้

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP} \dots\dots\dots 6$$

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN} \dots\dots\dots 7$$

$$Accuracy = \frac{TP}{TP + FN + FP} \dots\dots\dots 8$$

$$F1_Score = \frac{2PR}{P + R} \dots\dots\dots 9$$

โดยที่

TP (True Positive) คือ เรือนยอดต้นไม้ตรวจพบได้อย่างถูกต้อง

FP (False Positive) คือ เรือนยอดต้นไม้ตรวจพบโดยผิดพลาด

FN (False Negative) คือ เรือนยอดต้นไม้ถูกละเว้น

2.14 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ชิงชัย และกันตินันท์ (2554) ศึกษาการปรับสมการเพื่อประเมินมวลชีวภาพเหนือพื้นดินของสวนป่าสัก ในประเทศไทย จากการศึกษาพบว่าความสัมพันธ์ในรูปแบบของสมการแอลโลเมตริก ซึ่งมีค่าระหว่าง DBH_2Ht มวลชีวภาพลำต้น มวลชีวภาพเหนือพื้นดินทั้งหมด (Wt) ปริมาณของลำต้น ของไม้สักทั้งหมด มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ยกเว้นค่าของคือค่าสถิติของค่า β เพียงอย่างเดียว

ระวี และคณะ (2557) ศึกษาการประเมินการเก็บกักคาร์บอนและรายได้จากการชดเชยคาร์บอนในสวนยางพารา โดยใช้สมการความสัมพันธ์ของมวลชีวภาพและคาร์บอนอินทรีย์ในดิน จากสวนยางพารา ผลการศึกษาพบว่าสวนยางพาราสามารถเก็บกักคาร์บอนทั้งหมดอยู่ในช่วง 50.68-

193.72 ตัน/เฮกตาร์ มีความสัมพันธ์กับช่วงอายุยางพาราแบบโพลีโนเมียล ($r^2 = 0.97^*$) ส่วนรายได้สุทธิจากการทำสัญญาซื้อขายการเก็บกักคาร์บอนตลอด 25 ปี ประเมินได้เท่ากับ 573.39 US\$/เฮกตาร์ (3,063.27 บาท/ไร่) ดังนั้น ศักยภาพการเก็บกักคาร์บอนในสวนยางพาราน่าจะมีประสิทธิผลต่อการซื้อขายคาร์บอนเครดิตในตลาดแบบสมัครใจ

บุษรา และคณะ (2562) ศึกษาความหลากหลายและปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของพรรณไม้บริเวณป่าชุมชน ในพื้นที่บ้านหนองเม็ก อำเภอโคกสูง จังหวัดสระแก้ว ผลการศึกษาพบว่า การประเมินมวลชีวภาพ และปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของเนื้อไม้ ผลการศึกษาพบว่า ส่วนใหญ่อยู่ในวงศ์ Fabaceae มวลชีวภาพเหนือพื้นดินเท่ากับ 54.55 ตันต่อเฮกตาร์ ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของพรรณไม้ทุกชนิดเท่ากับ 25.64 ตันต่อเฮกตาร์

González-Jaramillo, (2019) ศึกษาการประมาณค่า AGB ในป่าภูเขาเขตร้อน (TMF) โดยวิธี RGB และภาพหลายสเปกตรัมโดยใช้ยานพาหนะทางอากาศไร้คนขับ (UAV) ใช้เซ็นเซอร์สองตัวที่แตกต่างกัน ศึกษาทางตอนใต้ของเอกวาดอร์ วิธีแรกใช้ภาพ RGB ใช้กระบวนการโครงสร้างการเคลื่อนไหว (SfM) ด้วยสมการแอลโลเมตริกเฉพาะสำหรับป่าเปียก วิธีที่สองใช้ภาพหลายสเปกตรัมเพื่อคำนวณดัชนีพืชพรรณ (NDVI) ผลการศึกษาพบว่า การประมาณการ AGB ที่ใช้ NDVI ที่ได้จากภาพ โดรน หลายสเปกตรัมมีความแม่นยำน้อยกว่าเนื่องจากเอฟเฟกต์ความอิ่มตัวในป่าเขตร้อนที่หนาแน่น วิธีการโฟโตแกรมเมตริกโดยใช้ภาพ RGB ให้ค่าประมาณของ AGB ที่เชื่อถือได้เทียบเท่ากับการสำรวจ LiDAR ผลที่ได้ ($R^2 = 0.85$)

Uttarak & Laosuwan, (2018) ศึกษาป่าชุมชนเพื่อลดภาวะโลกร้อนเทคนิคการประเมินชีวมวลและการเก็บกักคาร์บอนเหนือพื้นดินด้วยวิธีการสำรวจระยะไกล การวิเคราะห์ข้อมูลแบ่งออก 4 ขั้นตอน คือ การวิเคราะห์ภาพ Landsat-8, หา Fraction Cover คือสำรวจภาคสนาม, (3) การสร้างสมการจากผลวิเคราะห์จากขั้นตอนที่ 1, 2 คำนวณการกักเก็บคาร์บอนไดออกไซด์ การเปรียบเทียบวิธีการที่เหมาะสมที่สุด 6 วิธี ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ทางกายภาพทั้ง 6 ผลการศึกษาพบว่า GVI สมการสหสัมพันธ์ $y = 1.8312e^{0.0168x}$ ค่าสัมประสิทธิ์ (R^2) = 0.8107. และความจุในการกักเก็บ CO₂ ของป่าชุมชนในพื้นที่เท่ากัน เป็น 106.04 ตัน CO₂e จากพื้นที่ทั้งหมด 61.24 เฮกตาร์

Valluvan, (2023) การประมาณความสูงของทรงพุ่มโดยใช้ภาพ RGB จากโดรน สำหรับแบบจำลองชีวมวลและผลผลิตพืช พารามิเตอร์สร้างแบบจำลองการประมาณความสูงกึ่งอัตโนมัติร่วมกับภาพถ่ายทางอากาศ แบบจำลองไฮอัลกอริธึม Structure-From-Motion ตามด้วยการสร้างจุดและรูปหลายเหลี่ยมเพื่อใช้สำหรับการประมาณความสูง การทดสอบจากข้อมูลที่ใช้โดรนซึ่งรวบรวมจากแปลงปลูกข้าวโพดในช่วงฤดู Rabi ปี 2018-19 พื้นที่กึ่งแห้งแล้งในภาคกลางตอนใต้ของอินเดีย ความสูงของทรงพุ่มความจริงของพื้นดิน โดยการวัดความสูงของพืชด้วยตนภาคสนาม (เมตร)

ระดับความสูงของพื้นดิน ผลการจำลองโดยใช้ระนาบที่เหมาะสมที่สุดเชิงเส้น และพบว่าความสูงของทรงพุ่มโดยประมาณมีค่า R^2 ที่ดีที่สุดคือ 0.85 และค่า RMSE เท่ากับ 14.17 ซม.

Singh (2023) การสร้างแบบจำลองชีวมวลเหนือพื้นดินโดยใช้อัลกอริธึมการเรียนรู้ของเครื่องในป่า Terai Sal ทางตะวันตกของเนปาล แบบจำลองชีวมวลเหนือพื้นดิน (AGTB) โดยใช้ Machine Learning Algorithms (MLAs) คำนวณโดยใช้แปลงตัวอย่างจากภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2A ผลการศึกษาจากข้อมูลเมทริกซ์การเกิดร่วมระดับสีเทา (GLCM) และแถบดิบ แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพที่ดีที่สุด โดยมีค่า RMSE 78.81 ตัน/เฮกแตร์ -1 ช่วง AGTB เท่ากับ 118.34 - 425.97 ตัน/เฮกแตร์-1 การศึกษาพบว่าดัชนีแบบดั้งเดิมแถบดิบและพื้นผิว GLCM จากอินฟราเรดใกล้เป็นตัวแปรที่สำคัญสำหรับ AGTB อัลกอริธึม RF และชุดข้อมูลของ GLCM plus raw bands แสดงประสิทธิภาพที่ดีที่สุด

Bulut, (2023) การทำนายการเรียนรู้ของเครื่องของชีวมวลเหนือพื้นดินในต้นสนคาลาเบรียนบริสุทธิ์ของภูมิภาคเมดิเตอร์เรเนียน Türkiye จาก ข้อมูล Landsat 8 ใช้เทคนิค MLR และ SVM ค่าที่ดีที่สุดคือ VI (MLR Training $R^2 = 0.50$, SVM Training $R^2 = 0.67$) ในการสร้างแบบจำลอง AGB ที่ได้มาจากการวิธี SVM ($R^2 = 0.85$, การตรวจสอบความถูกต้อง $R^2 = 0.69$) พบว่าวิธี SVM ให้ความแม่นยำของแบบจำลองสูงกว่าวิธี MLR ในการทำนาย AGB โดยรวมแล้ว ข้อมูลสเปกตรัมและวิธีการ SVM สามารถนำไปสู่การปรับปรุงความแม่นยำของการประมาณการ AGB และให้แนวทางที่มีประสิทธิภาพต่อความสามารถในการตรวจสอบระบบนิเวศป่าไม้

Uttaruk & Laosuwan, (2017) ศึกษาการประเมินการกักเก็บคาร์บอนของสวนผลไม้ โดยการใช้ข้อมูลจากดาวเทียม LANDSAT- 8 OLI และการประมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน ของสวนผลไม้ ผลการศึกษาพบว่าความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน และดัชนีที่เหมาะสมที่สุด ที่เกี่ยวกับพืชพรรณคือ TNDVI ซึ่งมีสมการความสัมพันธ์ $y = 0.226e0.039x$ และค่าสัมประสิทธิ์ $R^2 = 0.877$ ซึ่งแสดงถึงปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินในพื้นที่ศึกษาทั้งหมด 40.86 ตันต่อเฮกตาร์

Martins, José Augusto Correa, et al (2021) ศึกษาการแบ่งส่วนของเรือนยอดไม้ในสภาพแวดล้อมในเมืองด้วยการเรียนรู้เชิงลึกแบบพิกเซล ป่าในเมือง จาก CNN สำหรับการแบ่งส่วนของเรือนยอดต้นไม้ จากภาพถ่ายทางอากาศ RGB การแบ่งส่วนของต้นไม้ภายในสภาพแวดล้อมในเมือง ด้วยโมเดลเครือข่ายประสาทเทียมเชิงลึก ผลลัพธ์ความแม่นยำเฉลี่ย 91.25% คะแนน F1 91.40% ค่า Kappa 82.80% และ IoU 73.89%

Sangpradid et al, (2022) ศึกษาแบบจำลองการถดถอยเชิงน้ำหนักทางภูมิศาสตร์สำหรับการประเมินชีวมวลเหนือพื้นดินจากภาพถ่ายดาวเทียมในป่าอุทยานน้ำตกตาดสูง ประเทศไทย ทั้งหมด 62 แปลงขนาด 40×40 ม. ดัชนี NDVI SAVI FVC ใช้แบบจำลองการถดถอยเชิงภูมิศาสตร์ (GWR)

จากการศึกษาพบว่า ค่าขนาดต้นไม้ในแปลงตัวอย่าง จากสมการอัลโลเมตริกได้ 79.6 ต้นต่อเฮกตาร์ พบว่าค่า R2 แบบจำลอง GWR มีค่าประมาณ 0.366 และ 0.856 การประมาณแบนด์วิดท์ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับ (GWR) คือ 48.78 ค่า R2 ของแบบจำลองได้มีการปรับปรุงอย่างมีนัยสำคัญของการถดถอยจาก 0.108 เป็น 0.59

การศึกษาเกี่ยวกับการประเมินมวลชีวภาพและการเก็บกักคาร์บอนในพืชพรรณและป่าหลายประเภท โดยมีการใช้เทคนิคและวิธีการที่หลากหลาย ทั้งการใช้สมการอัลโลเมตริก รวมการสำรวจระยะไกล การใช้ภาพถ่ายจากดาวเทียม และโดรน รวมถึงการเรียนรู้ของเครื่อง การประมาณความสูงของทรงพุ่มด้วยภาพ RGB การศึกษาทั้งหมดนี้ให้ข้อมูลที่สำคัญเกี่ยวกับการประเมินมวลชีวภาพและการเก็บกักคาร์บอน ซึ่งเป็นประโยชน์ในการจัดการป่าไม้และการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมในระดับท้องถิ่นและระดับโลก

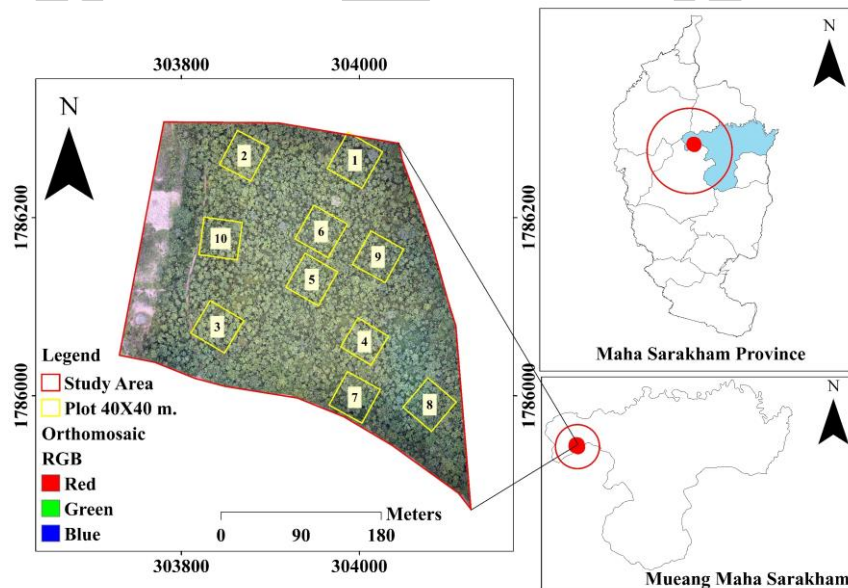


บทที่ 3

ขั้นตอนการดำเนินงาน

การประมาณมวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินในป่าชุมชนจากภาพถ่ายทางอากาศด้วยการเรียนรู้ของเครื่องร่วมกับข้อมูลการสำรวจภาคสนาม กรณีศึกษาในเขตพื้นที่ป่าชุมชนบ้านหินลาดและบ้านหินลาดพัฒนา ตำบลท่าสองคอน อำเภอเมืองมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม การทำวิจัยตามขั้นตอนต่าง ๆ และนำข้อมูลมาใช้ในการวิเคราะห์ ตามที่ศึกษาและรวบรวมข้อมูลมาดังนี้

3.1 พื้นที่ศึกษา

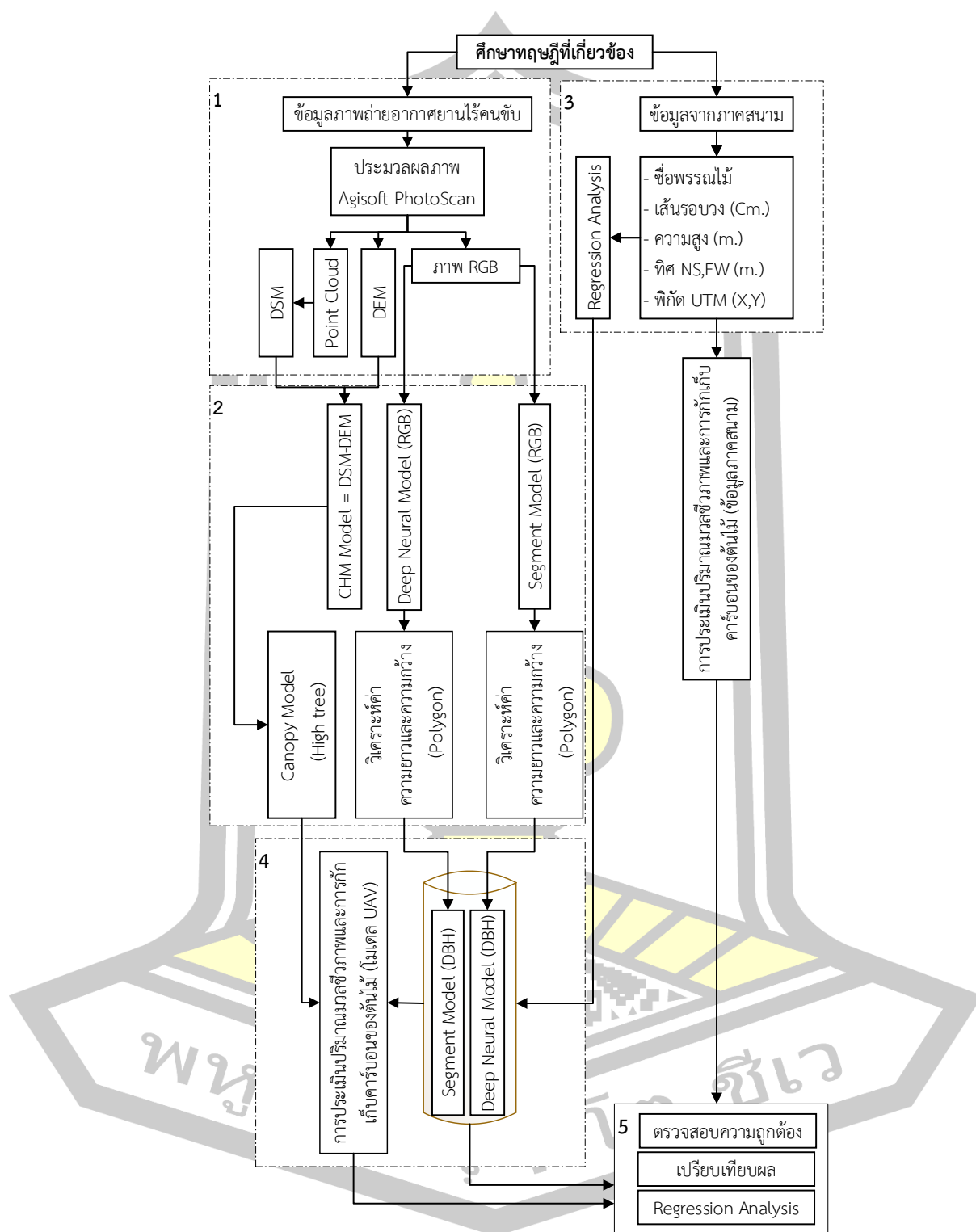


ภาพประกอบที่ 3.1 แผนที่แสดงพื้นที่ศึกษา

จากภาพประกอบที่ 3.1 แผนที่แสดงพื้นที่ศึกษาจากป่าชุมชนในเขตพื้นที่ป่าชุมชนบ้านหินลาดและบ้านหินลาดพัฒนา ตำบลท่าสองคอน อำเภอเมืองมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม

พจน ปลูกพืชโต ชั่ว

3.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน / วิธีการศึกษา



ภาพประกอบที่ 3.2 แสดงแผนผังขั้นตอนการดำเนินงาน

จากภาพที่ 3.2 แสดงแผนผังขั้นตอนการดำเนินงาน ขั้นตอนประกอบด้วยข้อมูลการใช้อากาศยานไร้คนขับ ข้อมูลทางกายภาพต้นไม้ที่ได้จากการลงสำรวจภาคสนาม และวิธีการเรียนรู้ด้วยเครื่อง (Machine learning) (Samuel, 2018) โดยใช้วิธีการเรียนรู้แบบการตรวจจำระยะไกลแบบ Deep Neural และ Segment (Beloiu et al., 2023) ของป่าชุมชน (Yuppayao et al., 2023) จากนั้นทำการคำนวณมวลชีวภาพของต้นไม้ โดยเปรียบเทียบผลของคาร์บอนที่ได้จากการใช้ข้อมูล UAV และแสดงความสัมพันธ์กับข้อมูลภาพ RGB โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.2.1 ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการสำรวจการประมาณมวลชีวภาพ และการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินในป่า พื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ รวมถึงพื้นที่ทำการวิจัยด้วยเทคนิควิธีการที่มีการศึกษาด้านประมาณมวลชีวภาพตลอดจนงานวิจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการศึกษากลุ่มนี้

ศึกษาข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับที่ตั้ง อาณาเขต ลักษณะภูมิประเทศ ลักษณะภูมิอากาศ ลักษณะพืชพรรณ เพื่อกำหนดขอบเขตพื้นที่ในการศึกษาวิจัย เพื่อวางแผนในการดำเนินการสำรวจความหลากหลาย และเก็บข้อมูลพรรณไม้ รวมถึงศึกษาข้อมูลเบื้องต้นของโดรน และศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับการวางแผน

กำหนดพื้นที่การศึกษาวิจัย ผู้วิจัยได้ทำการเลือกพื้นที่ กรณีศึกษาในเขตพื้นที่ป่าชุมชนบ้านหินลาดและบ้านหินลาดพัฒนา ตำบลท่าสองคอน อำเภอเมืองมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม ซึ่งมีพื้นที่ ประมาณ 66 ไร่ กำหนดขนาดของแปลงตัวอย่าง คือ 40x40 เมตร จำนวน 10 แปลง รวมถึงการบินสำรวจพื้นที่จริง ด้วย DJI Phantom 4 Pro ของถ่ายภาพมุมสูง

3.2.3 ข้อมูลภาพถ่ายอากาศยานไร้คนขับ

3.2.3.1 ขั้นตอนการประมวลผลภาพ

วิเคราะห์ข้อมูลภาพถ่ายอากาศยานไร้คนขับในเขตพื้นที่ศึกษา การตั้งค่าแนวการบิน ด้วย แอปพลิเคชัน PIX4D ในรูปแบบ GRID For 2D Maps



ภาพประกอบที่ 3.3 แอปพลิเคชัน PIX4Dcapture

จากภาพประกอบที่ 3.3 การแสดงแอปพลิเคชัน PIX4Dcapture สำหรับการตั้งค่าแนวการบินโดรนสำรวจ กับพื้นที่ของภาคสนาม ความสูงอยู่ที่ 100 เมตร จากพื้นดิน โดยใช้เวลาบิน ประมาณ 15 นาที ดังภาพประกอบที่ 3.4



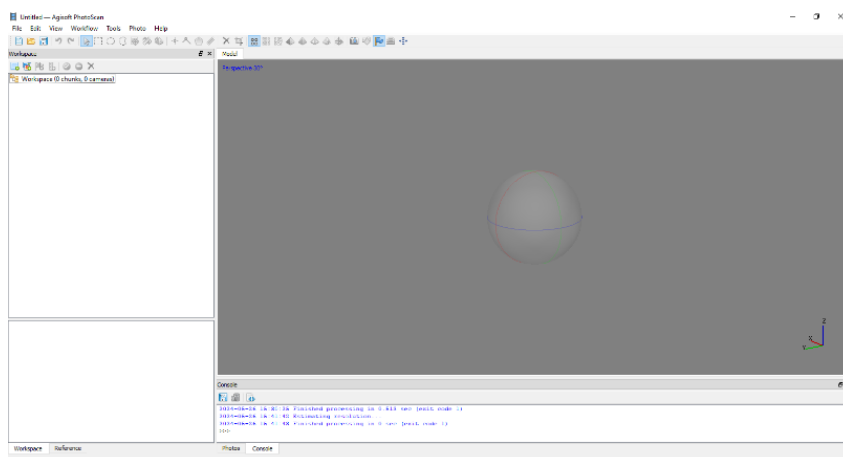
ภาพประกอบที่ 3.4 แอปพลิเคชัน PIX4D แนวการบิน

จากภาพประกอบที่ 3.4 แนวการบินโดรนสำรวจ กับพื้นที่ของภาคสนาม ความสูงอยู่ที่ 100 เมตร จากพื้นดิน โดยใช้เวลาบิน ประมาณ 15 นาที ดังภาพประกอบที่ 3.5



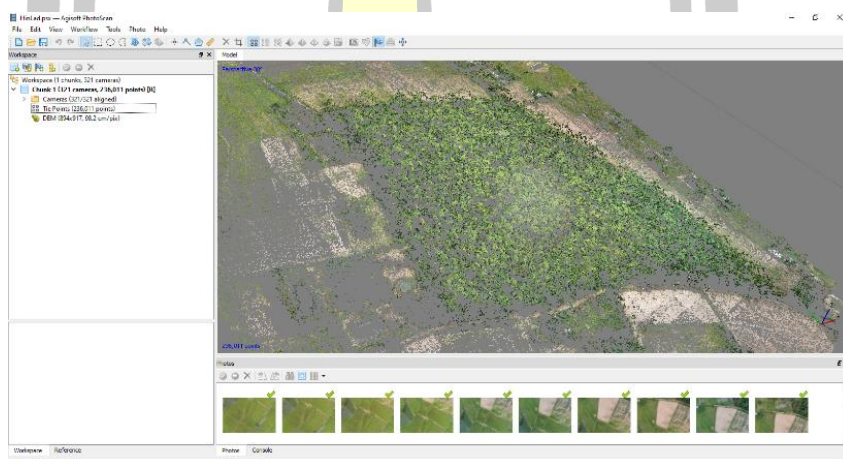
ภาพประกอบที่ 3.5 แนวบินของโดน

การวิเคราะห์ใช้ในการบันทึกภาพถ่าย สำหรับในเขตพื้นที่ศึกษา และทำการประมวลผลภาพถ่าย โดยใช้โปรแกรมซอฟต์แวร์ Agisoft ProtoScan (Aonic, 2022) ซึ่งข้อมูลภาพถ่ายที่ได้จากการประมวลผลภาพ คือ 1.Point Cloud, 2.Digital Surface Model(DSM หรือ DEM) และ 3. ภาพ RGB



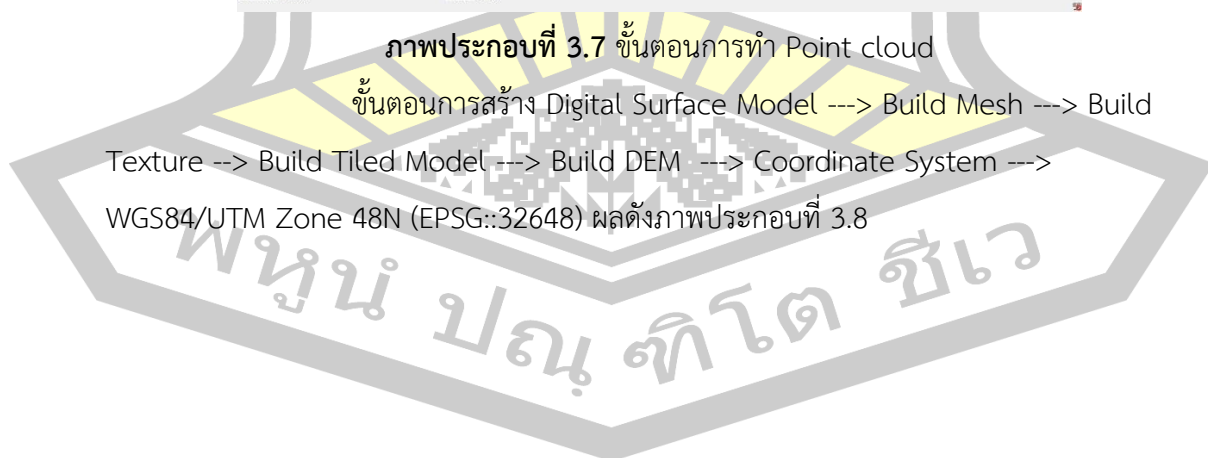
ภาพประกอบที่ 3.6 ขั้นตอนโปรแกรมซอฟต์แวร์ Agisoft ProtoScan

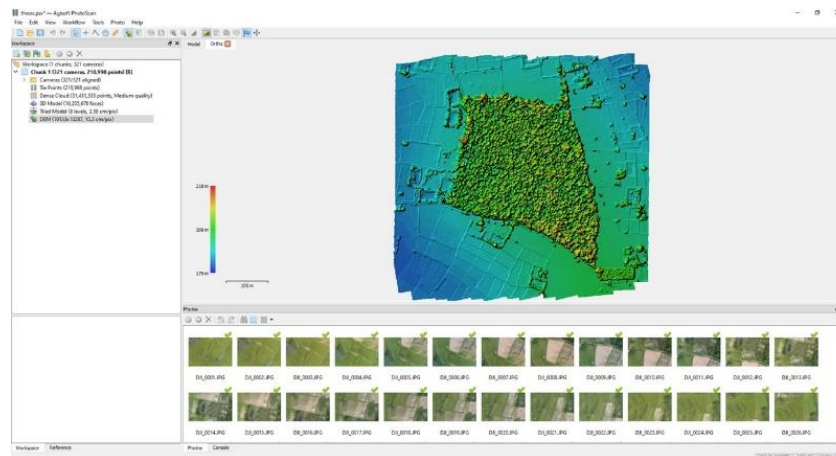
ขั้นตอนการสร้าง Point cloud ---> Align Photos ---> General --> Accuracy เท่ากับ High และ Pair preselection เท่ากับ Disabled ---> Build Dense Cloud --> General --> Quality เท่ากับ High ผลการประมวลผลดังภาพประกอบที่ 3.7



ภาพประกอบที่ 3.7 ขั้นตอนการทำ Point cloud

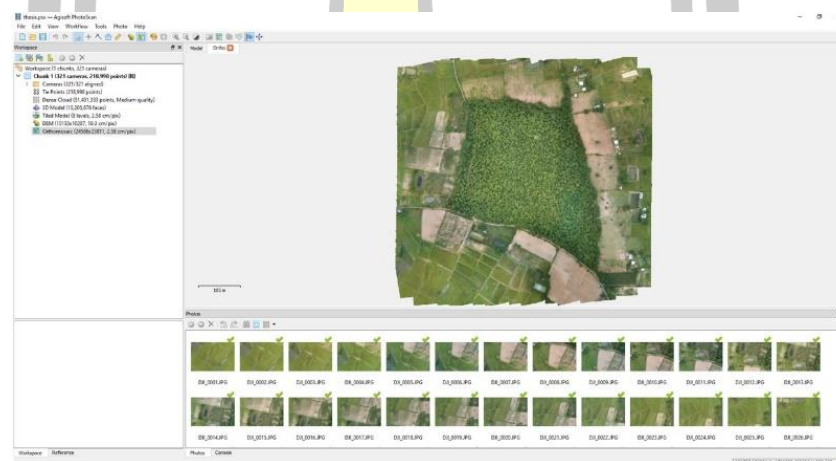
ขั้นตอนการสร้าง Digital Surface Model ---> Build Mesh ---> Build Texture --> Build Tiled Model ---> Build DEM ---> Coordinate System ---> WGS84/UTM Zone 48N (EPSG::32648) ผลดังภาพประกอบที่ 3.8





ภาพประกอบที่ 3.8 ขั้นตอนการสร้าง Digital Surface Model

ขั้นตอนการสร้างภาพ Orthomosaic หรือภาพ สี (RGB) ---> Orthomosaic
 ---> Projection ---> Geographic ---> WGS84/UTM Zone 48N (EPSG::32648) ผลดัง
 ภาพประกอบที่ 3.9



ภาพประกอบที่ 3.9 ขั้นตอนการสร้างภาพ Orthomosaic (RGB)

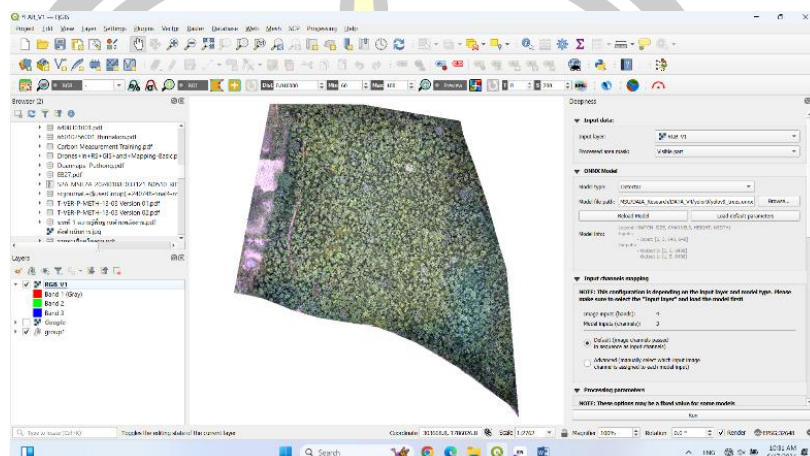
3.2.4 ขั้นตอนวิเคราะห์วิธีการเรียนรู้เครื่อง (Machine Learning)

3.2.4.1 ขั้นตอนวิเคราะห์ (Deepness Model)

ขั้นตอนวิเคราะห์ข้อมูลภาพจาก RGB การวิเคราะห์ในการประมาณค่า Cloud Cover การปกคลุมด้วยภาพถ่ายอากาศยานไร้คนขับ จากข้อมูลภาพ Orthomosaic (RGB) โดยใช้โปรแกรมซอฟต์แวร์ QGIS โดยใช้เครื่องมือ (Tool) Deepness (Wang et al., 2024)

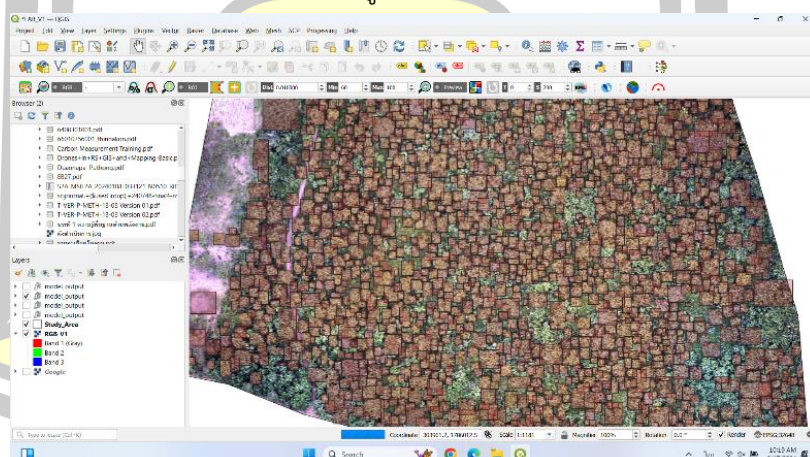
- Input data (ภาพ RGB) ---> Processed area mask (Visible part)
- ONNX Model ---> Model type (Detector)
- Processing parameters ---> Resolution [cm./px] (10) ---> Tile size [Px] (640) ---> Batch size (1)

- Tiles overlap (15%)
 - Detection parameter ---> parameter type (YoLo_v9) ---> Confidence (0.50) ---> IoU threshold (0.50)
 - Training data export (เลือกไฟล์โฟลเดอร์) ---> Run
- ดังภาพประกอบที่ 3.10



ภาพประกอบที่ 3.10 ขั้นตอนวิเคราะห์ข้อมูล Cloud Cover จาก RGB

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล Cloud Cover จาก RGB



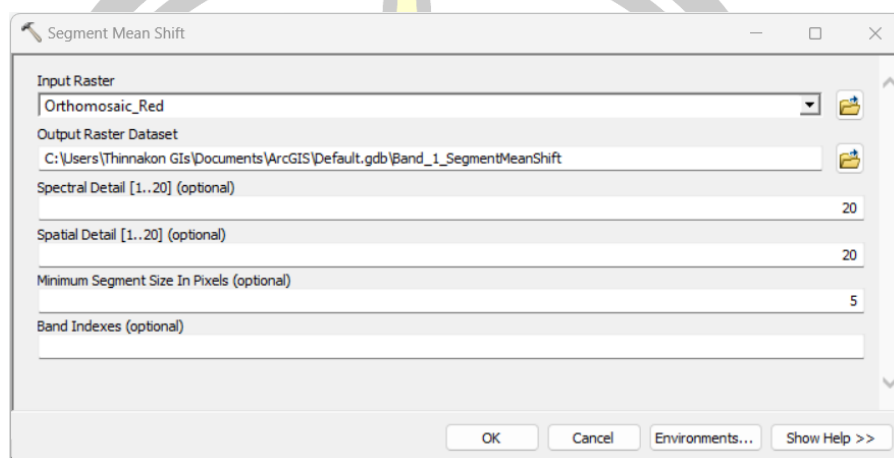
ภาพประกอบที่ 3.11 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล Cloud Cover จาก RGB

3.2.4.2 ขั้นตอนวิเคราะห์ Segmentation

ขั้นตอนวิเคราะห์ข้อมูลภาพจาก RGB การวิเคราะห์ในการประมาณค่า Cloud Cover การปกคลุมด้วยภาพถ่ายอากาศยานไร้คนขับ จากข้อมูลภาพ Orthomosaic (RGB) โดยใช้โปรแกรมซอฟต์แวร์ ArcGIS โดยใช้เครื่องมือ (Tool) Segment Mean Shift (Wang et al., 2024)

- Input Raster (ภาพ RGB)
- Output Raster Dataset (บันทึกข้อมูล)

- Spatial Detail [1-20] เท่ากับ 20 โดยที่รายละเอียดสเปกตรัมที่สูงขึ้นทำให้ประสิทธิภาพในการวิเคราะห์เพิ่มมากขึ้นเช่นกัน
- Spatial Detail [1-20] เท่ากับ 20 โดยที่รายละเอียดเชิงพื้นที่ที่มีขนาดเล็กลงหรือสามารถจำแนกอาคารและถนนเป็นชั้นที่แยกจากกันโดยใช้รายละเอียดเชิงพื้นที่ที่สูงขึ้น
- Minimum Segment Size in Pixels เท่ากับ 5 ดังภาพประกอบที่ 3.12

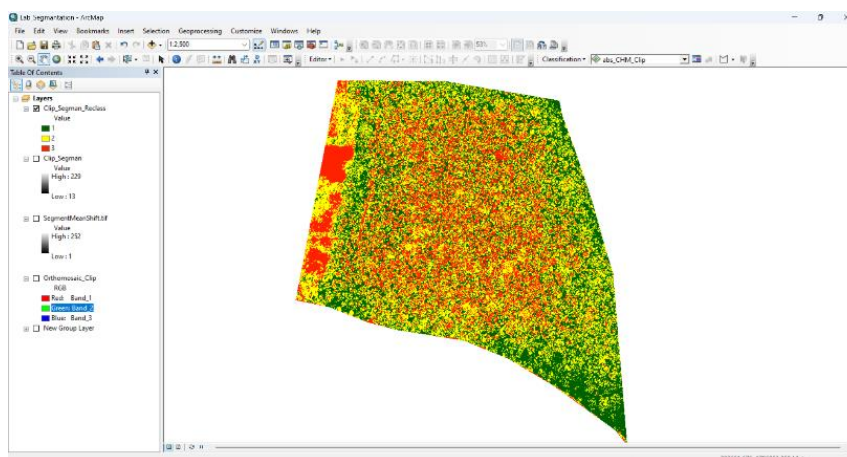


ภาพประกอบที่ 3.12 ขั้นตอนวิเคราะห์ข้อมูล Segment Mean Shift
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล Segment จาก RGB



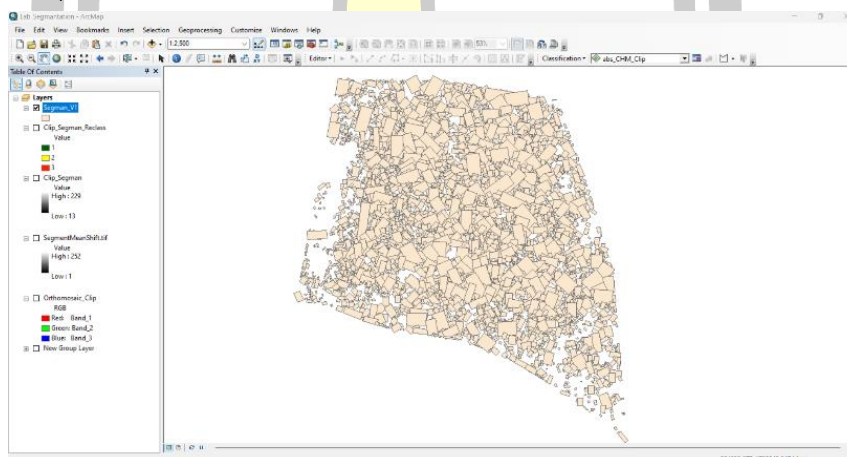
ภาพประกอบที่ 3.13 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล Segment จาก RGB

จากนั้นนำผลของโมเดล Segment จาก RGB ทำการ Reclassify ออกเป็น 3 Class และแปลงค่าของข้อมูล Raster เป็นข้อมูลรูปทรงเรขาคณิต ในรูปแบบของ Polygon ดังภาพประกอบที่ 3.14



ภาพประกอบที่ 3.14 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลรูปทรงเรขาคณิต Segment

นำผลภาพที่ 3.14 มาสร้างคลาสคุณลักษณะที่มีรูปหลายเหลี่ยม ซึ่งแสดงถึงเรขาคณิตขอบเขตขั้นต่ำที่ระบุ โดยล้อมรอบคุณลักษณะอินพุตแต่ละรายการ หรือแต่ละกลุ่มของคุณลักษณะอินพุต โดยใช้เครื่องมือ Minimum Bounding Geometry ผลดังภาพประกอบที่ 3.15



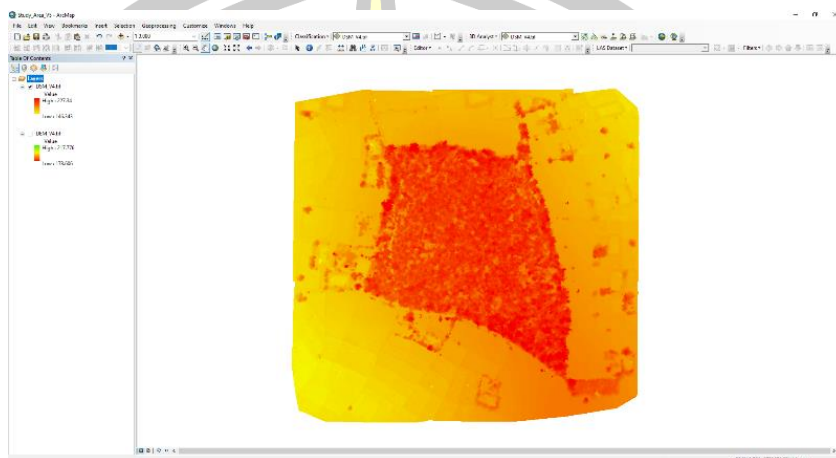
ภาพประกอบที่ 3.15 ผลการสร้างรูปหลายเหลี่ยม Segment

3.2.4.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์หาค่าความยาวและความสูง ของ polygons

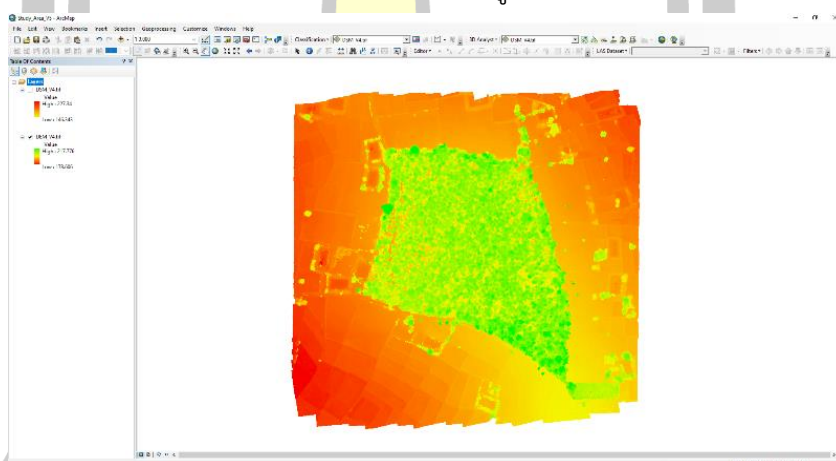
ทรงพุ่มของต้นไม้ที่ได้จาก Segment Model (Aszkowski et al., 2023) และทรงพุ่มที่ได้จากข้อมูล Segment Model โดยใช้เครื่องมือ Minimum Bounding Geometry ซึ่งเป็นการสร้างคุณลักษณะที่มีรูปหลายเหลี่ยมซึ่งแสดงถึง รูปทรงของเรขาคณิตขอบเขต (Mirela Beloiu, 2023) ผลจากการวิเคราะห์สามารถนำไปเทียบแบบจำลองรูปของ ทิศทรงพุ่มได้ (NE,EW) มีหน่วยเป็นเมตร (m) และทำการสกัดค่าของความสูงจากข้อมูล CHM ด้วยเครื่องมือ Zonal Statistics as Table

3.2.5 ขั้นตอนวิเคราะห์ข้อมูล Canopy Height Model (CHM)

นำข้อมูล Point Cloud ที่ได้จากการบินสำรวจ มาสร้างเป็นข้อมูลแบบจำลองพื้นผิวดิจิทัล (Digital Surface Model :DSM) และข้อมูลแบบจำลองระดับสูงเชิงเลข (Digital Elevation Model : DEM) ดังภาพประกอบต่อไปนี้ (Simonetti et al., 2023)



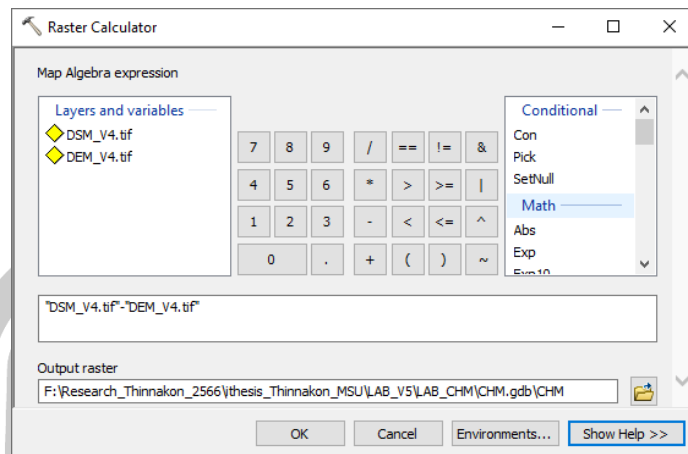
ภาพประกอบที่ 3.16 ข้อมูลภาพ DSM



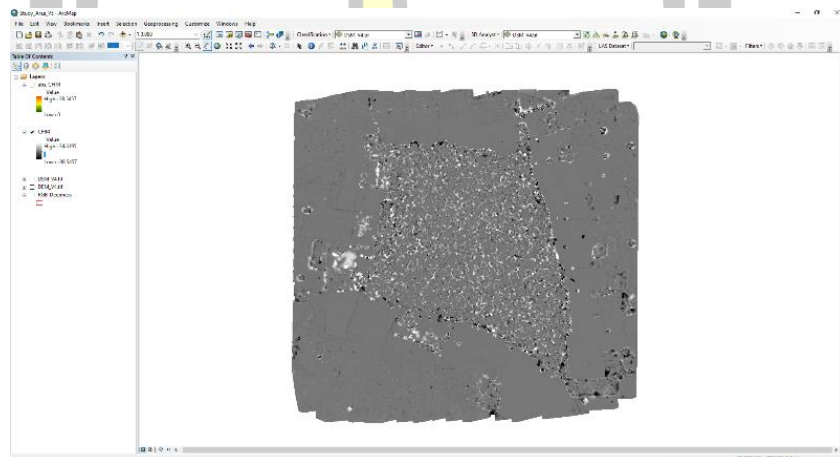
ภาพประกอบที่ 3.17 ข้อมูลภาพ DSM

สำหรับการประเมินแบบจำลองความสูงของทรงพุ่ม (CHM) โดยใช้สมการ คือ “CHM = DSM-DEM” โดยใช้เครื่องมือ Raster Calculator

พูน ปณ ทิโต ชเว

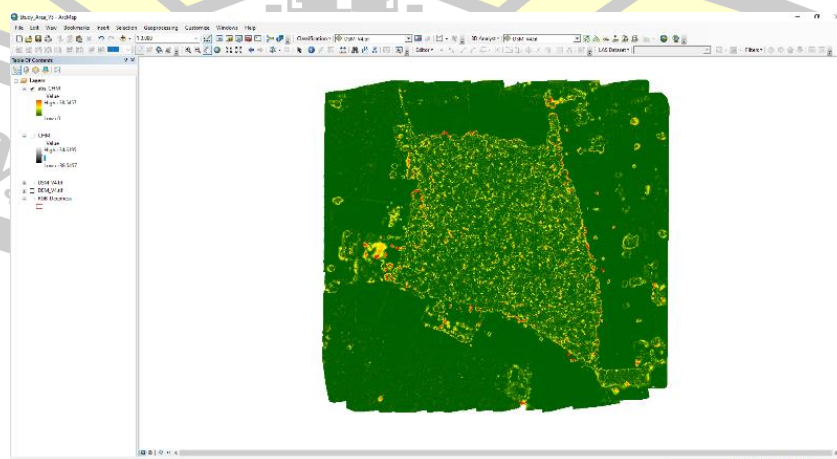


ภาพประกอบที่ 3.18 เครื่องมือ Raster Calculator



ภาพประกอบที่ 3.19 ผลแบบจำลองความสูงของทรงพุ่ม (CHM)

จากผลข้อมูลแบบจำลองความสูงของทรงพุ่ม (CHM) พบผลต่างของทรงพุ่มของต้นไม้ อยู่ที่ low : -38.54 ถึง High : 34.61 จากนั้นวิเคราะห์ค่าผลต่างของทรงพุ่มด้วยเครื่องมือ Raster Calculator (Abs("CHM")) เพื่อทำให้ค่าความสูงของทรงพุ่มสุทธิ (CHM) เท่ากับ 0 ถึง 38.54 ดังภาพประกอบต่อไปนี้

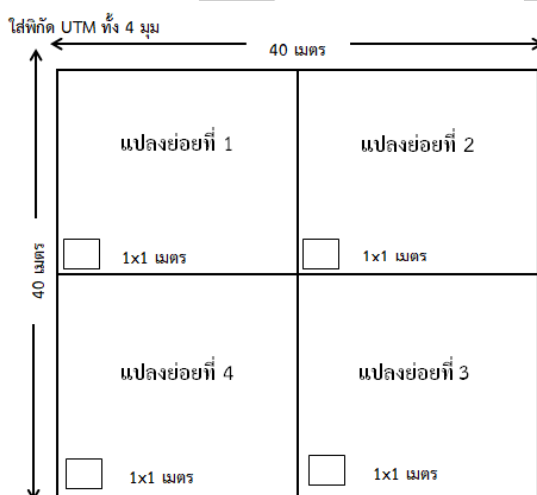


ภาพประกอบที่ 3.20 ผลแบบจำลองความสูงของทรงพุ่มสุทธิ (CHM)

3.2.6 ข้อมูลจากภาคสนาม

การเก็บรวบรวมข้อมูล จัดเตรียมอุปกรณ์ได้แก่ แบบบันทึกข้อมูล กล้องถ่ายรูปเครื่องระบุตำแหน่งบนพื้นโลก (Global Positioning System: GPS) คอมพิวเตอร์ โปรแกรม โปรแกรม Microsoft office โปรแกรมสารสนเทศภูมิศาสตร์ และโปรแกรมซอฟต์แวร์ Agisoft ProtoScan

ทำการสำรวจข้อมูลพรรณไม้ในพื้นที่ตัวอย่าง โดยสำรวจและจดบันทึกข้อมูลลงในตัวอย่างตารางบันทึกข้อมูลทางนิเวศที่สังเกตได้ในภาคสนาม เช่น ชื่อพรรณไม้ เส้นรอบวง ความสูง พิกัด UTM X,Y และทิศเรือนยอด รวมถึงลักษณะอื่น ๆ ที่ใช้ในการระบุชนิด บันทึกรายละเอียดในแบบสำรวจดังนี้ทำการวางแปลง 40 x 40 เมตร ดังภาพประกอบที่ 3.21 บันทึกข้อมูลไม้ใหญ่และไม้หนุม โดยจำแนกจากขนาดเส้นรอบวง (DBH) มากกว่า 15 ซม. ให้เป็นไม้ใหญ่ ส่วนไม้ที่เส้นรอบวงน้อยกว่า 15 ซม. จัดเป็นไม้หนุม



ภาพประกอบที่ 3.21 แสดงวิธีการวางแปลงสำรวจพรรณไม้

เนื่องจากไม่สามารถทราบจำนวนของต้นไม้ ที่อยู่นอกแปลงตัวอย่างได้ ผู้วิจัยจึงทำการวิเคราะห์ผล Regression analysis ระหว่างข้อมูลเส้นผ่านศูนย์กลางต้นไม้ DBH (Cm) ข้อมูลความสูงต้นไม้ H (m) และข้อมูลทรงพุ่มของไม้ (NE,EW) (m) เพื่อนำมาวิเคราะห์หาเส้นรอบวง DBH ของทรงพุ่มต้นไม้จากโมเดล Deepness ผู้วิจัยใช้สมการความสัมพันธ์แบบ linear Regression ดังสมการต่อไปนี้ (Nasiri et al., 2022)

$$y = \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \varepsilon$$

เมื่อ y คือ การประมาณการ DBH ของเส้นรอบวงของ ความสูงทรงพุ่ม

β คือ Coefficients ค่าสัมประสิทธิ์ของค่าการประมาณการ

x_1 คือ ค่า NS ความสูงทรงพุ่มทิศเหนือ-ใต้

x_2 คือ ค่า EW ความสูงทรงพุ่มทิศตะวันออก-ทิศตะวันตก

x_3 คือ ค่า High tree ความสูงต้นไม้

ε คือ ค่าคงที่

*หมายเหตุ สูตรการคำนวณ $y = (-16.292) + (6.633 * x_1) + (5.915 * x_2) + (2.038 * x_3)$

3.2.7 ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลคาร์บอนเหนือพื้นดิน

การประมาณการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้สามารถคำนวณได้จากมวลชีวภาพเหนือพื้นดินของต้นไม้ ทั้งหมด 10 แปลงในพื้นที่ศึกษาด้วยสมการแอลโลเมตรี (Allometry Equation) ซึ่งเป็นสมการที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างมวลชีวภาพ ของขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นไม้ระดับอก 1.30 เมตร (D) และความสูงของต้นไม้ (H) ในการศึกษาในครั้งนี้ ผู้วิจัยเลือกใช้สมการ สำหรับการคำนวณมวลชีวภาพของต้นไม้ ในประเภทของป่าเต็งรัง (Ogawa et al., 1965) คำนวณในแต่ละสัดส่วนดังรูปแบบสมการ คือ

$$W_s = 0.0396 DBH^2 H_t^{0.9326}$$

$$W_b = 0.0348 DBH^2 H_t^{1.0270}$$

$$W_l = \left[\frac{28}{(W_s + W_b)} \right] + 0.025^{-1}$$

มวลชีวภาพเหนือพื้นดินของต้นไม้ประกอบด้วยมวลชีวภาพของลำต้น กิ่ง และใบของต้นไม้ ดังนี้ Ogawa, et al.,(1965)

$$W_{ct} = W_s + W_b + W_l$$

เมื่อ w_s คือ มวลชีวภาพส่วนของลำต้น (กิโลกรัม)

w_b คือ มวลชีวภาพส่วนของกิ่ง (กิโลกรัม)

w_l คือ มวลชีวภาพส่วนของใบ (กิโลกรัม)

ปริมาณคาร์บอนที่กักเก็บในต้นไม้เป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณมวลชีวภาพ (Biomass) ซึ่งเป็นค่ามวลรวมขององค์ประกอบทางโครงสร้างของพืชทั้งส่วนที่อยู่เหนือพื้นดิน ดังนี้ Ogawa, et al.,(1965)

$$C_j = W_{ct} * FC$$

เมื่อ C_j คือ ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้ (กิโลกรัม)

W_{ct} คือ ปริมาณมวลชีวภาพเหนือพื้นดินของต้นไม้ (กิโลกรัม)

FC คือ สัดส่วนปริมาณคาร์บอนต่อมวลชีวภาพของต้นไม้
(กำหนดให้เท่ากับ 0.47)

***หมายเหตุ** กรณีสัดส่วนปริมาณคาร์บอนต่อมวลชีวภาพของต้นไม้ โดยผู้วิจัย

ทำการศึกษาโดยใช้การวิเคราะห์เทคนิคแบบ Ogawa 1965

3.2.8 ขั้นตอนการวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis)

ผู้วิจัยวิเคราะห์การถดถอยข้อมูลปริมาณมวลชีวภาพ จากการวิเคราะห์ของโมเดล จากข้อมูลภาคสนามทั้งหมด 10 แปลง โดยตั้งตัวแปรต้น X คือ ข้อมูลปริมาณมวลชีวภาพจากข้อมูลภาคสนาม ตัวแปรตาม Y คือ ข้อมูลมวลชีวภาพจากการเรียนรู้ด้วยเครื่อง ทั้ง 2 โมเดล จากนั้นแสดงผลความสัมพันธ์ข้อมูลมวลชีวภาพ

3.2.9 ขั้นตอนการตรวจสอบความถูกต้อง

ผู้วิจัยประเมินการตรวจสอบความถูกต้องของ Polygons ทรงพุ่มของต้นไม้ที่ได้จากโมเดล ที่มีหน่วยเป็นเมตร ที่พบในแปลงศึกษาทั้ง 10 แปลง ศึกษา (Weinstein et al., 2019) (Santos et al., 2019) (Weinstein et al., 2020) (Mirela Beloiu, 2023) สามารถอธิบายถึงความแม่นยำ จากสมการของความแม่นยำ คะแนนการเรียกคืน และคะแนน F1

พูน ปณ จิโต ชีเว

บทที่ 4

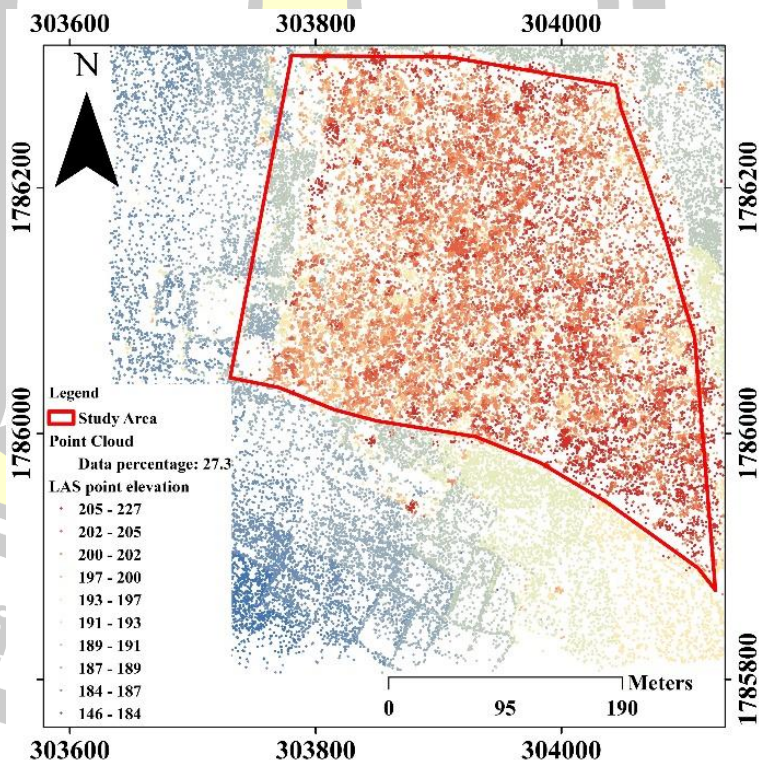
ผลการศึกษา

ในการศึกษาการประมาณมวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินในป่าชุมชนจากภาพถ่ายทางอากาศด้วยการเรียนรู้ของเครื่อง วิธีการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ประยุกต์เทคนิคของงานด้านระบบภูมิสารสนเทศศาสตร์ การรับรู้ระยะไกล เข้ามาช่วยในการจัดการกับข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์เชิงตัวเลข รวมถึงการสำรวจข้อมูล เพื่อนำมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์กับปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในต้นไม้ ในเขตพื้นที่ป่าชุมชนบ้านหินลานและบ้านหินลาดพัฒนา จังหวัดมหาสารคาม โดยมีผลวิธีการดำเนินดังนี้

4.1 ผลการวิเคราะห์ภาพอากาศยานไร้คนขับ

จากผลการประมวลผลภาพ ด้วยโปรแกรม Agisoft PhotoScan ผลดังภาพต่อไปนี้แผนที่แสดงข้อมูล คือ

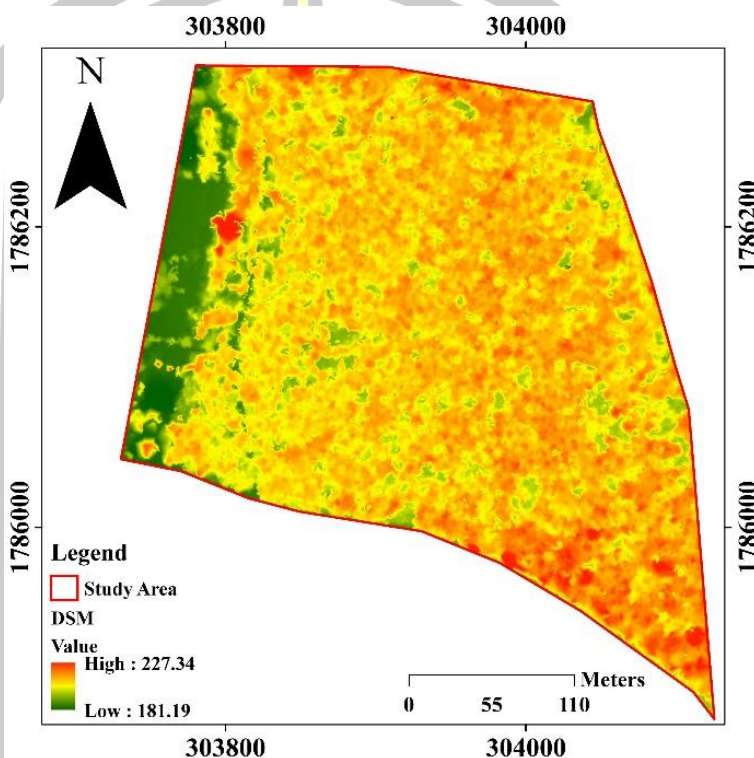
4.1.1 แผนที่แสดง Point Cloud



ภาพประกอบที่ 4.1 แผนที่แสดง Point Cloud

จากภาพประกอบที่ 4.1 แผนที่แสดง Point Cloud ผลข้อมูลจะได้ข้อมูล (Point Could) เป็นการแสดงผลข้อมูลจุด 3 มิติ ในพื้นที่ศึกษามีทั้งหมด 106,360 Point คิดเป็น 66 Point/ตารางเมตร

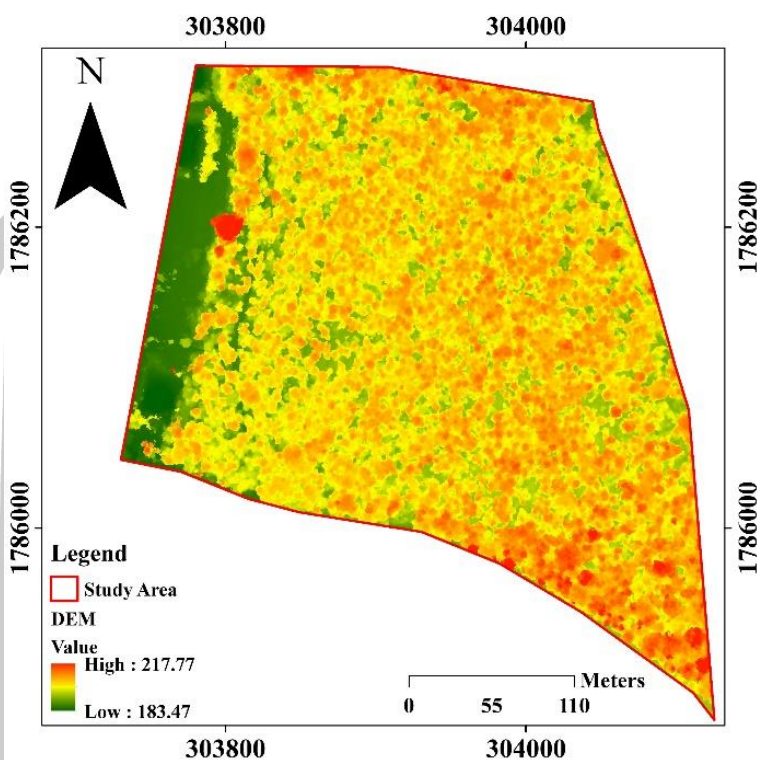
4.1.2 แผนที่แสดง DSM



ภาพประกอบที่ 4.2 แผนที่แสดง DSM

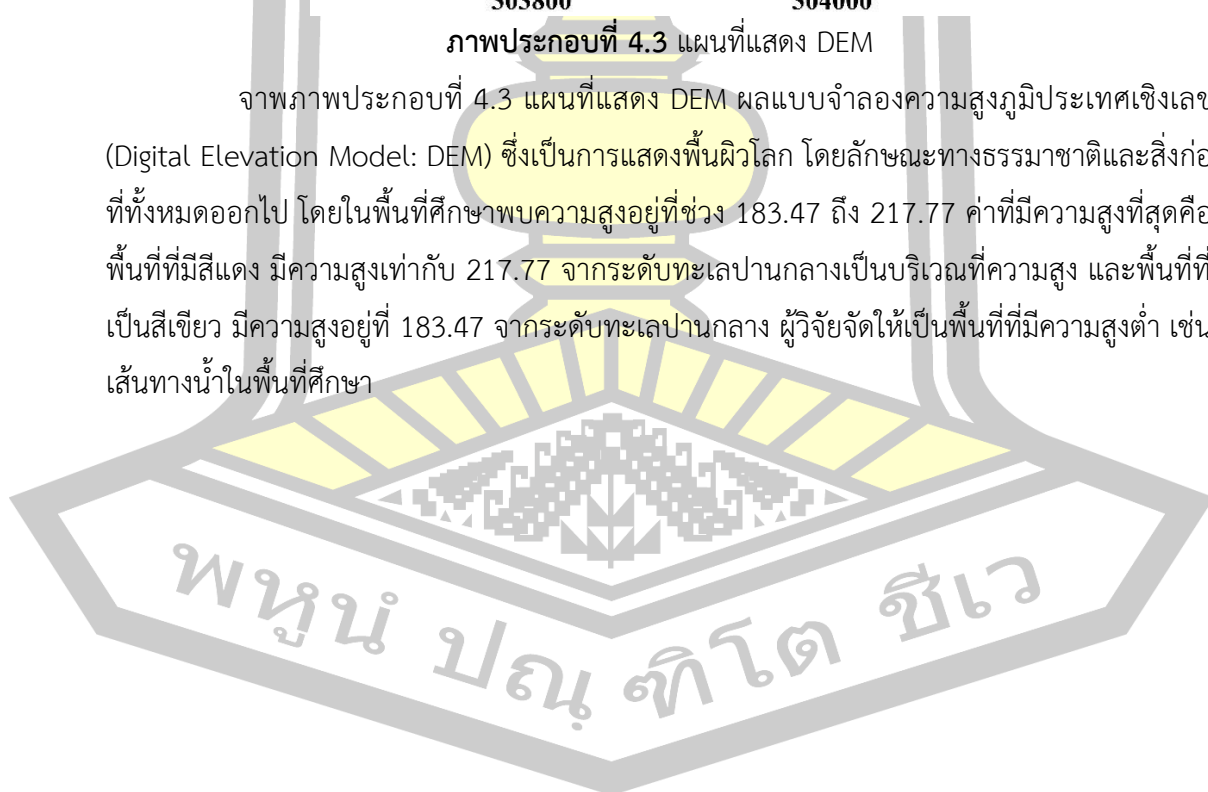
จากภาพประกอบที่ 4.2 แผนที่แสดง DSM ผลแบบจำลองความสูงปกคลุมพื้นผิว (Digital Surface Model: DSM) เป็นการแสดงผล การจับภาพทั้งคุณลักษณะทางธรรมชาติและสิ่งก่อสร้าง เป็นเทียบของสภาพแวดล้อมทั้งหมดที่อยู่เหนือพื้นดิน โดยในพื้นที่ศึกษาพบความสูงอยู่ที่ช่วง 181.19 ถึง 227.34 ค่าที่มีความสูงที่สุดคือ พื้นที่ที่มีสีแดง มีความสูงเท่ากับ 227.34 จากระดับทะเลปานกลาง เป็นบริเวณที่ปกคลุมไปด้วยความหนาแน่น ของพรรณไม้ที่มีความสูงจากระดับพื้นดิน และพื้นที่ที่เป็น สีเขียว มีความสูงอยู่ที่ 181.19 จากระดับทะเลปานกลาง ผู้วิจัยจัดให้เป็นพื้นที่ต่ำเป็นระดับพื้นดิน

4.1.3 แผนที่แสดง DEM

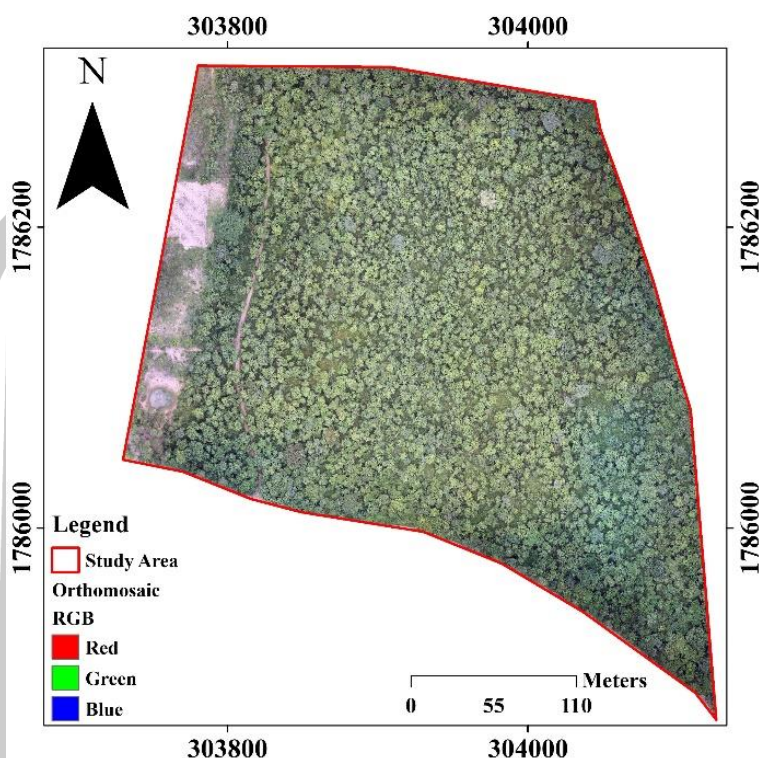


ภาพประกอบที่ 4.3 แผนที่แสดง DEM

จากภาพประกอบที่ 4.3 แผนที่แสดง DEM ผลแบบจำลองความสูงภูมิประเทศเชิงเลข (Digital Elevation Model: DEM) ซึ่งเป็นการแสดงพื้นผิวโลก โดยลักษณะทางธรรมชาติและสิ่งก่อสร้างที่ทั้งหมดออกไป โดยในพื้นที่ศึกษาพบความสูงอยู่ที่ช่วง 183.47 ถึง 217.77 ค่าที่มีความสูงที่สุดคือพื้นที่ที่มีสีแดง มีความสูงเท่ากับ 217.77 จากระดับทะเลปานกลางเป็นบริเวณที่มีความสูง และพื้นที่ที่เป็นสีเขียว มีความสูงอยู่ที่ 183.47 จากระดับทะเลปานกลาง ผู้วิจัยจัดให้เป็นพื้นที่ที่มีความสูงต่ำ เช่น เส้นทางน้ำในพื้นที่ศึกษา



4.1.4 แผนที่แสดงภาพ Orthophoto

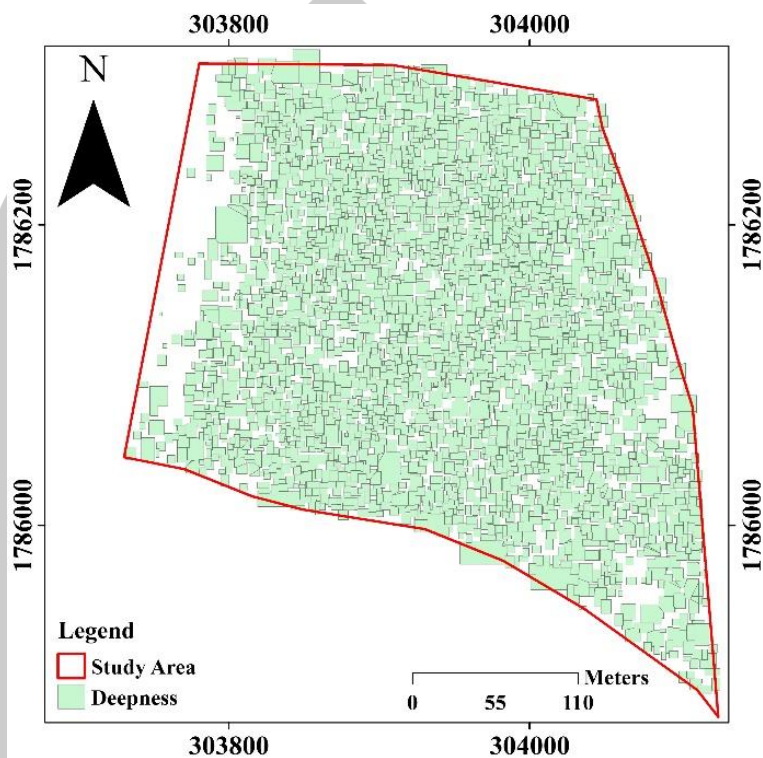


ภาพประกอบที่ 4.4 แผนที่แสดงภาพ Orthophoto

จากภาพประกอบที่ 4.4 แผนที่แสดงภาพ Orthophoto หรือ ภาพ RGB ซึ่งเป็นภาพชุดข้อมูลที่ประกอบไปด้วยช่วงค่าของสี ซึ่งมีทั้ง 3 สี ด้วยกันคือ สีแดง (Red) สีเขียว (Green) และสีน้ำเงิน (Blue) ทำให้เราสามารถมองเห็นภาพที่มีความชัดเจนเพิ่มมากขึ้นจากภาพถ่ายทางอากาศที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicles : UAV) ที่ผ่านกระบวนการปรับแก้ภาพถ่ายแบบออร์โธ (Orthorectification) ซึ่งเป็นการการปรับแก้ความผิดเพี้ยนทางตำแหน่งอันเนื่องมาจากความสูงต่ำ ของภูมิประเทศ และการเอียงของกล้องบันทึกข้อมูล โดยใช้ข้อมูลความสูงต่ำของภูมิประเทศในการปรับแก้เปลี่ยนตำแหน่ง รวมถึงอ้างอิงระบบพิกัดกริดของแผนที่โลก (Universal Transverse Mercator : UTM) ที่ทำให้ตำแหน่ง ขนาด รูปร่างของวัตถุ และภูมิประเทศที่ปรากฏบนภาพที่ปรับแก้แล้ว มีความถูกต้อง สามารถวัดตำแหน่งระยะทางที่แท้จริงได้ ซึ่งข้อมูลภาพถ่ายที่มีคุณภาพสูงในระยะเวลาย้อนหลัง สามารถนำไปวิเคราะห์โมเดลการเรียนรู้ด้วยเครื่องได้หลายรูปแบบ

4.2 ผลการวิเคราะห์คาร์บอนด้วยวิธีการเรียนรู้ด้วยเครื่อง

4.2.1 ผลการวิเคราะห์วิธีการเรียนรู้เครื่อง (Deepness Model)

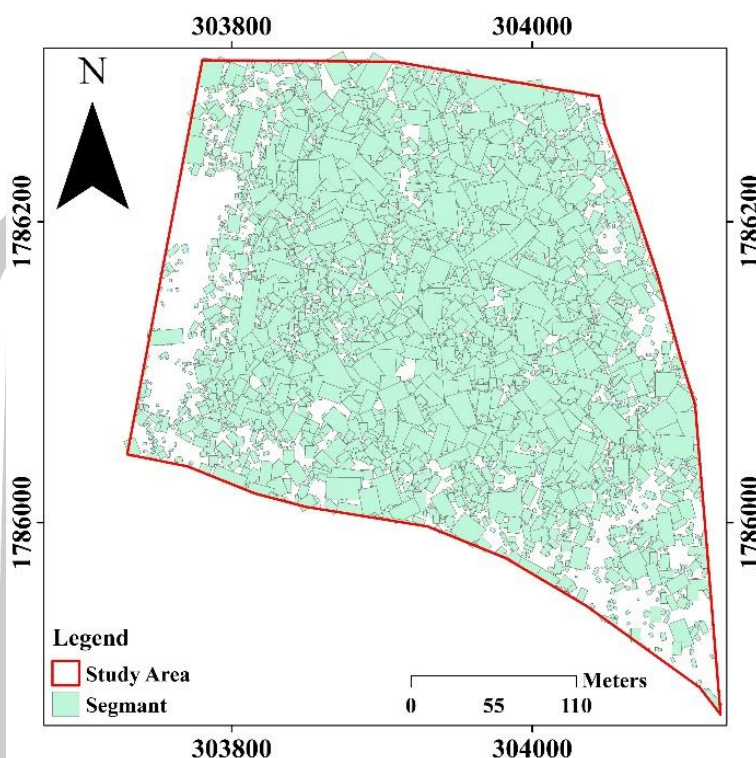


ภาพประกอบที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์ (Deepness Model)

จากภาพประกอบที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์ (Deepness Model) จากการวิเคราะห์ โมเดล การเรียนรู้ด้วยเครื่องจากข้อมูลอากาศยานไร้คนขับ UAV การตรวจจับระยะไกลของทรงพุ่มต้นไม้ แบบ Deep Neural โดยส่วนที่มองเห็นหรือพื้นที่ ที่กำหนดโดยรูปหลายเหลี่ยมของเลเยอร์ของต้นไม้ Resolution เท่ากับ 5 cm/px และกำหนดการซ้อนทับ Overlap เท่ากับ 85% ผลการตรวจจับทรง พุ่มของต้นไม้ เท่ากับ 3,244 ทรงพุ่ม/ต้น วิเคราะห์ทิศทรงพุ่ม ทิศ NS มีค่าเฉลี่ยทิศละ 5 เมตร ทิศ EW มีเฉลี่ยทิศละ 8 เมตร ความสูงของทรงพุ่มต้นไม้ High (RGB) มีความสูง เฉลี่ยอยู่ที่ 7 เมตร และ เส้นรอบวง DBH มีค่าเฉลี่ยอยู่ 72 ซม.

พหุ ประถมศึกษา

4.2.2 ผลวิเคราะห์ (Segment Model)



ภาพประกอบที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์ (Segment Model)

จากภาพประกอบที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์วิธีการเรียนรู้เครื่องจากข้อมูลอากาศยานไร้คนขับ UAV การตรวจจบบระยะใกล้ด้วยการจัดกลุ่มเป็นส่วน ๆ ของพิกเซลที่อยู่ติดกันซึ่งมีลักษณะสเปกตรัมคล้ายคลึงกันแบบ Segment Mean Shift โดยส่วนที่มองเห็น ทั้งหมด 5165 Polygon ด้วยรายละเอียดสเปกตรัมรายละเอียดเชิงพื้นที่ และขนาดเชิงเมนต์ขั้นต่ำเป็นพิกเซล ผลที่กำหนดโดยรูปหลายเหลี่ยมของเลเยอร์ของต้นไม้ H เฉลี่ยอยู่ 6 เมตร ทิศ NS เฉลี่ยอยู่ที่ 3 เมตร ทิศ EW เฉลี่ยอยู่ 5 เมตร และ เส้นรอบวง DBH เฉลี่ยอยู่ที่ 50 ซม.

4.3 ผลการเก็บข้อมูลตำแหน่งและลักษณะทางกายภาพของต้นไม้

จากการสำรวจข้อมูลภาคสนามในพื้นที่ศึกษาป่าชุมชนบ้านหินลาดและบ้านหินลาดพัฒนา มีเนื้อที่ประมาณ 0.1056 ตารางกิโลเมตร (66 ไร่) พิกัด Easting :303918, Northing 1786140 Zone 48N อยู่สูงจากระดับน้ำทะเลปานกลางประมาณ 200 เมตร อยู่ในเขตท้องที่ ตำบลท่าสองคอน อำเภอเมืองมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม (สำนักงานป่าไม้จังหวัดมหาสารคาม, 2566) ป่าชุมชนเป็นพื้นที่ที่มีความอุดมสมบูรณ์ทางทรัพยากรทางธรรมชาติ และมีของป่ามากมาย ซึ่งลักษณะทางกายภาพของป่าเป็นลักษณะป่าเต็งรัง พบพรรณไม้ทั้งหมด 1241 ต้น 39 ชนิด พรรณไม้หลัก ๆ ประกอบไปด้วย ต้นแดง ต้นเต็ง ต้นเหมือดแอ รวมถึงต้นไม้ชนิดอื่น ๆ ดังตารางที่ 4.1

ตารางแสดงที่ 4.1 พรรณไม้ที่พบในพื้นที่ศึกษา

ลำดับ	ชื่อไทย	ชื่อวิทยาศาสตร์	จำนวน
1	ต้นแดง	<i>Xylia xylocarpa</i> var. <i>kerrii</i> .	457
2	ต้นเต็ง	<i>Shorea obtusa</i> Wall. ex Blume.	224
3	ต้นพลองเหมือด	<i>Memecylon edule</i> Roxb.	56
4	ต้นอ้อยช้าง	<i>Lanea coromandelica</i> (Houtt.) Merr.	56
5	ต้นขาเป้ย	<i>Hymenopyramis brachiata</i> Wall.ex Griff.	54
6	ต้นรัง	<i>Shorea siamensis</i> Miq.	40
7	มะม่วงหาวแมงวัน	<i>Buchanania lanzan</i> Spreng	40
8	ต้นยอป่า	<i>Morinda coreia</i> Ham.	34
9	ต้นหนามคืด	<i>Catunaregam tomentosa</i> (Blume ex DC.) Triveng.	26
10	ต้นกระมอบ	<i>Gardenia obtusifolia</i> Roxb. ex Kurz	23

ที่ตั้งของป่าชุมชนเป็นที่ราบสูงไม่มีภูเขา อากาศจึงไม่ร้อนอบอ้าวมากนักในช่วงฤดูร้อน และอากาศค่อนข้างหนาวเย็นในช่วงฤดูหนาวอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดทั้งปี 27.4 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย 22.4 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย 33.7 องศาเซลเซียส เดือนเมษายนเป็นเดือนที่มีอากาศร้อน (ศูนย์ภูมิอากาศจังหวัดมหาสารคาม, 2566) จากภาพที่ 1 ผู้วิจัยทำการศึกษาและตำแหน่งตัวอย่าง ทั้งหมด 10 แปลง ซึ่งมีขนาด 40x40 เมตร ดังตารางที่ 4.2

ตารางแสดงที่ 4.2 ตารางแสดงตำแหน่งพิกัดแปลง

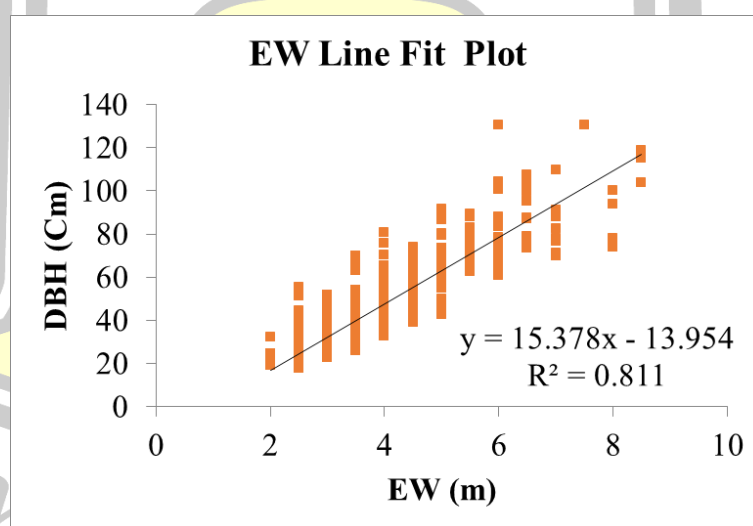
ID Plot	ระบบ พิกัด UTM	
	X	Y
1	303996	1786263
2	303869	1786270
3	303840	1786077
4	304006	1786060
5	303946	1786131
6	303957	1786184
7	303995	1785998
8	304078	1785991
9	304022	1786157
10	303843	1786177

4.3.1 ผลการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ Regression ข้อมูลภาคสนาม

SUMMARY OUTPUT								
Regression Statistics								
Multiple R	0.809111057							
R Square	0.654660703							
Adjusted R Square	0.653823178							
Standard Error	12.35636358							
Observations	1241							
ANOVA								
	df	SS	MS	F	Significance F			
Regression	3	358031.5752	119343.8584	781.6614914	5.7774E-285			
Residual	1237	188864.8148	152.679721					
Total	1240	546896.39						
	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95.0%	Upper 95.0%
Intercept	-16.27656375	1.307552208	-12.44811767	1.34269E-33	-18.84182898	-13.71129853	-18.84182898	-13.71129853
NS	6.636432338	0.435307307	15.24539614	3.19715E-48	5.782410075	7.490454601	5.782410075	7.490454601
EW	5.908540477	0.572480462	10.32094694	5.16848E-24	4.785400452	7.031680503	4.785400452	7.031680503
High_tree	2.039210137	0.190307565	10.71533931	1.10933E-25	1.665848847	2.412571427	1.665848847	2.412571427

ภาพประกอบที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ Regression ข้อมูลภาคสนาม

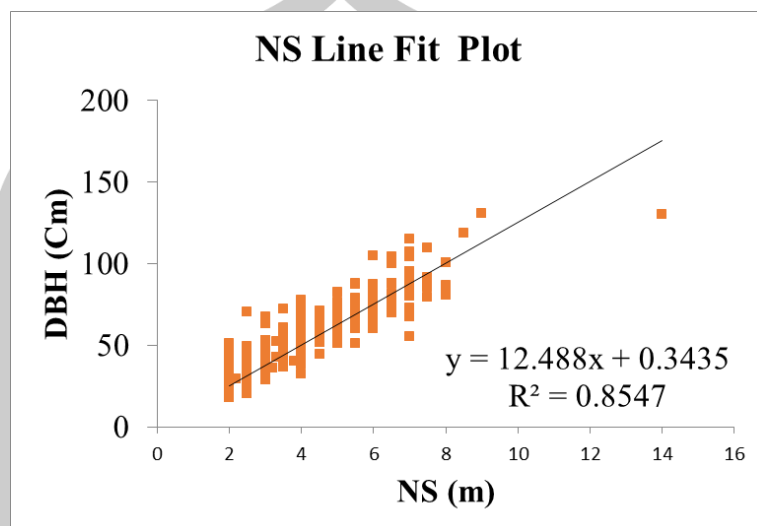
จากภาพที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ Regression ข้อมูลภาคสนาม (Nasiri et al., 2022) แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ข้อมูลภาคสนาม ระหว่างเส้นรอบวงต้นไม้ (DBH) และความสูงของต้นไม้ ทิศเรือนยอด โดยมีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ R เท่ากับ 0.6546 แสดงให้เห็นว่าข้อมูลทั้งสองชุดมีความสัมพันธ์ อธิบายเพิ่มเติมได้ว่า เมื่อต้นไม้มีอัตราการเจริญเติบโต ทำให้เส้นรอบวง DBH ขยายวงกว้างขึ้น พร้อมกับความสูงต้นไม้ ตลอดจนการขยายในส่วนของกิ่งไม้ โดยเฉลี่ยทำให้เกิดทรงพุ่มกว้างและเพิ่มขึ้นเช่นเดียว



ภาพประกอบที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ EW

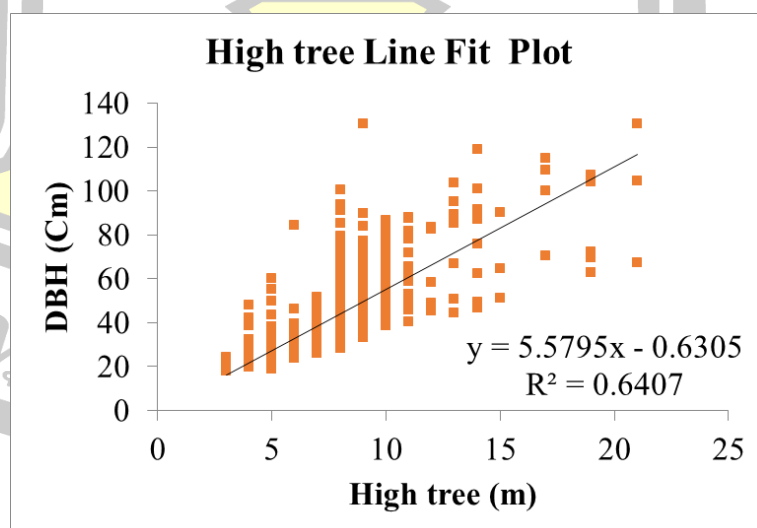
จากภาพที่ 4.8 แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ข้อมูลภาคสนาม ระหว่างเส้นรอบวงต้นไม้ (DBH) และทิศเรือนยอดทิศตะวันออก - ทิศตะวันตก (James G. C. Ball & Coomes, 2023) ของต้นไม้ โดยมีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ R เท่ากับ 0.8111 แสดงให้เห็นว่าข้อมูลทั้งสองชุดมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกันสูง นอกจากนี้ยังสามารถ อธิบายเพิ่มเติมได้ว่า เมื่อต้นไม้มีอัตราการ

เจริญเติบโต ทำให้ทิศเรือนยอด ทิศตะวันออกกับทิศตะวันตก ของหนึ่งต้นมีการขยายกว้างของทรงพุ่มกว้างขึ้นพร้อมกับเส้นรอบวงของต้นไม้ โดยเฉลี่ยก็จะ เพิ่มขึ้นในทิศทางเช่นเดียวกัน



ภาพประกอบที่ 4.9 ผลการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ NS

จากภาพที่ 4.9 แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ข้อมูลภาคสนาม ระหว่างเส้นรอบวงต้นไม้ (DBH) และทิศเรือนยอดเหนือ-ใต้ (NS) ของต้นไม้ โดยมีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ R เท่ากับ 0.8547 แสดงให้เห็นว่าข้อมูลทั้งสองชุดมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกันสูง นอกจากนี้ยังสามารถอธิบายเพิ่มเติมได้ว่า เมื่อต้นไม้มีอัตราการเจริญเติบโต ทำให้ทิศเรือนยอด ทิศเหนือกับทิศใต้ ของหนึ่งต้นมีการขยายกว้างของทรงพุ่มกว้างขึ้นพร้อมกับเส้นรอบวงของต้นไม้ โดยเฉลี่ยก็จะ เพิ่มขึ้นในทิศทางเช่นเดียวกัน

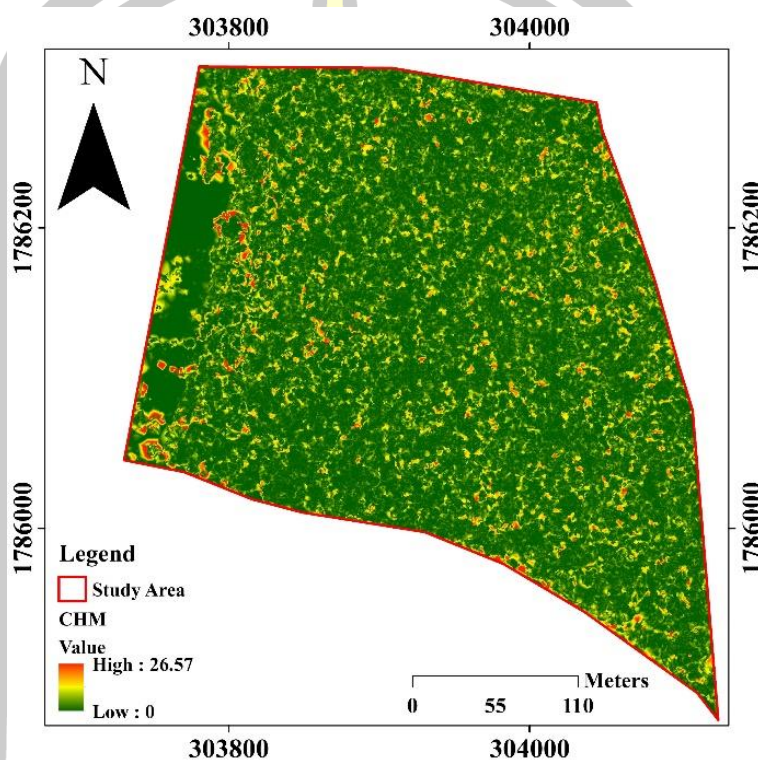


ภาพประกอบที่ 4.10 ผลการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ High tree

จากภาพที่ 4.10 แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ข้อมูลภาคสนาม ระหว่างเส้นรอบวง (DBH) และความสูงของต้นไม้ High tree โดยมีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ R เท่ากับ 0.6406 แสดงให้

เห็นว่าข้อมูลทั้งสองชุดมีความสัมพันธ์ ไปในทิศทางเดียวกันสูง นอกจากนี้ยังสามารถ อธิบายเพิ่มเติมได้ว่า เมื่อต้นไม้มีอัตราการเจริญเติบโต ทำให้เส้นรอบวง DBH ขยายวงกว้างขึ้น พร้อมกับความสูงต้นไม้ โดยเฉลี่ยก็จะ เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน

4.5 ผลการวิเคราะห์ความสูงทรงพุ่ม Canopy Elevation Model (CHM)



ภาพประกอบที่ 4.11 ผลการวิเคราะห์ความสูงทรงพุ่ม (CHM)

จากภาพประกอบที่ 4.11 แสดงโมเดลทรงพุ่มของเรือนยอด Canopy Elevation Model (CHM) ผลการศึกษาพบว่า สภาพแวดล้อมที่ความสูงอยู่ที่ช่วง 0 ถึง 26.57 เมตร ค่าที่มีความสูงที่สุดคือ พื้นที่ที่มีสีแดง มีความสูงเท่ากับ 26.57 เมตร จากระดับพื้นดิน เป็นบริเวณที่ปกคลุมไปด้วยความหนาแน่นของพรรณไม้ที่มีความสูงจากระดับพื้นดิน และพื้นที่ที่เป็นสีเขียวผู้วิจัยจัดให้เป็นพื้นที่ต่ำ เป็นระดับพื้นดิน

พหุ ประถม ชาติ ชีว

4.6 ผลการประเมินปริมาณมวลชีวภาพและปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้

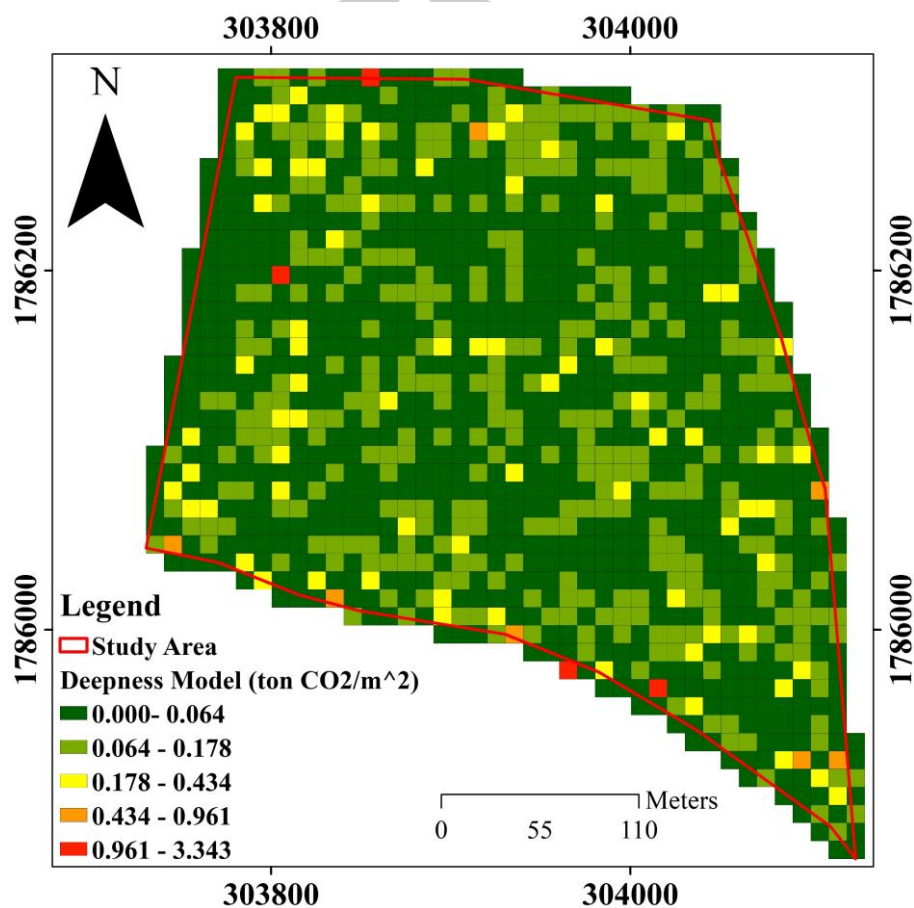
ตารางแสดงที่ 4.3 ผลการประเมินปริมาณมวลชีวภาพและปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้

ผลการศึกษาด้วยสมการ แอลโลเมตรี (Allometry equations)	ความหนาแน่นคาร์บอน ต่อพื้นที่ (ข้อมูลภาคสนาม)	ปริมาณการกักเก็บคาร์บอน จากการเรียนรู้ด้วยเครื่อง	
		Deepness	Segment
มวลชีวภาพส่วนของลำต้น (กิโลกรัม)	328,010.49	328,489.62	311,264.74
มวลชีวภาพส่วนของใบ (กิโลกรัม)	110,627.12	119,207.44	113,983.42
มวลชีวภาพส่วนของกิ่ง (กิโลกรัม)	15,672.94	15,992.08	15,192.05
ปริมาณมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน ของต้นไม้ (กิโลกรัม)	454,310.55	463,689.13	440,440.21
สัดส่วนปริมาณคาร์บอนต่อมวลชีวภาพ ของต้นไม้ (กำหนดให้เท่ากับ 0.47)	213,525.96	217,933.89	207,006.90
ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนรวม (ตันคาร์บอน)	213.53	217.93	207.01
เฉลี่ยต่อไร่	3.23	3.30	3.14
วิเคราะห์ความคลาดเคลื่อน (%)	100%	- 2.02%	- 3.15%

ผลการศึกษาจากตารางแสดงที่ 4.3 ทำให้ทราบถึงการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Machine Learning แบบโมเดล Model แล้วนำมาวิเคราะห์ด้วยสมการแอลโลเมตรี (Allometry Equation) ผลการประเมินปริมาณมวลชีวภาพและปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้ ทั้ง 3 วิธี ซึ่งพบค่าเฉลี่ยต่อไร่ ความหนาแน่นคาร์บอนต่อพื้นที่ (ข้อมูลภาคสนาม) ความหนาแน่นปริมาณการกักเก็บคาร์บอน Deepness Model และความหนาแน่น Segment Model พบค่า 3.23, 3.30, และ 3.14 ตามลำดับ สำหรับการวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อน จากทั้ง 2 วิธี เฉลี่ยเทียบเท่าอยู่ที่ 2.58%

4.7 ผลความหนาแน่นของคาร์บอนต่อพื้นที่ จากข้อมูลอากาศยานไร้คนขับ

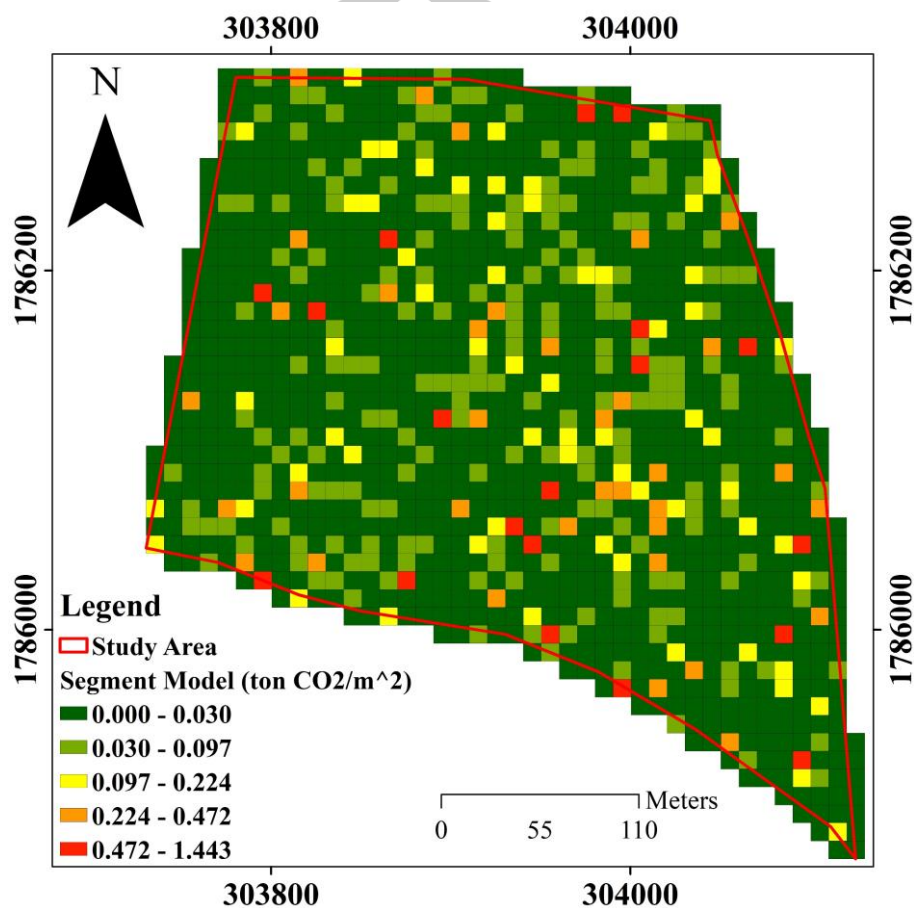
4.7.1 ผลความหนาแน่นคาร์บอนจากการเรียนรู้ด้วยเครื่อง แบบ Deepness Model



ภาพประกอบที่ 4.12 ผลความหนาแน่นคาร์บอน Deepness Model

จากภาพประกอบที่ 4.12 ผลความหนาแน่นคาร์บอนต่อพื้นที่จากการเรียนรู้ด้วยเครื่องแบบ Deepness Model ผลการศึกษาพบว่า ความหนาแน่นของคาร์บอน ในพื้นที่ศึกษาพบอยู่ที่ช่วง 0 ถึง 3.343 ตันต่อตารางเมตร ค่าที่มีความหนาแน่นสูงที่สุดคือ พื้นที่ที่มีสีแดง มีความหนาแน่นสูงเฉลี่ยเท่ากับ 2.152 ตันต่อตารางเมตร ซึ่งเป็นบริเวณที่ปกคลุมไปด้วยพรรณไม้ที่มีความสูงจากระดับพื้นดิน หรือพบลิงปกคลุมเรือนยอดสูง และพบเส้นรอบวงที่มีความสัมพันธ์กันมาก และความหนาแน่นต่ำสุด เป็นพื้นที่สีเขียว และความหนาแน่นเฉลี่ยอยู่ที่ 0.032 ตันต่อตารางเมตร

4.7.2 ผลความหนาแน่นคาร์บอนจากการเรียนรู้ด้วยเครื่อง แบบ Segment Model



ภาพประกอบที่ 4.13 ผลความหนาแน่นคาร์บอน Segment Model

จากภาพประกอบที่ 4.14 ผลความหนาแน่นคาร์บอนต่อพื้นที่จากการเรียนรู้ด้วยเครื่องแบบ Segment Model ผลการศึกษาพบว่า ความหนาแน่นของคาร์บอน ในพื้นที่ศึกษาพบอยู่ที่ช่วง 0 ถึง 1.443 ตันต่อตารางเมตร ค่าที่มีความหนาแน่นสูงที่สุดคือ พื้นที่ที่มีสีแดง มีความหนาแน่นเฉลี่ยสูงเท่ากับ 0.957 ตันต่อตารางเมตร ซึ่งเป็นบริเวณที่ปกคลุมไปด้วยพรรณไม้ที่มีความสูงจากระดับพื้นดิน หรือพบลิงปกคลุมเรือนยอดสูง และพบเส้นรอบวงที่มีความสัมพันธ์กันมาก และความหนาแน่นต่ำสุด เป็นพื้นที่สีเขียว และความหนาแน่นเฉลี่ยอยู่ที่ 0.015 ตันต่อตารางเมตร

8.8 ผลการวิเคราะห์การตรวจสอบความถูกต้อง

ตารางแสดงผลที่ 4.4 ผลวิเคราะห์ทรงพุ่มโมเดล

ผลวิเคราะห์ทรงพุ่ม		ทรงพุ่มต้นไม้ (ตร.ม.)	
		Deepness Model	Segment Model
True Positive	TP	21,096.25	50,713.58
False Negative	FP	5,336.47	38,280.51
False Positive	FN	9,073.44	12,433.07

ตารางแสดงผลที่ 4.5 ผลวิเคราะห์ผลตรวจสอบความถูกต้องของทรงพุ่มโมเดล

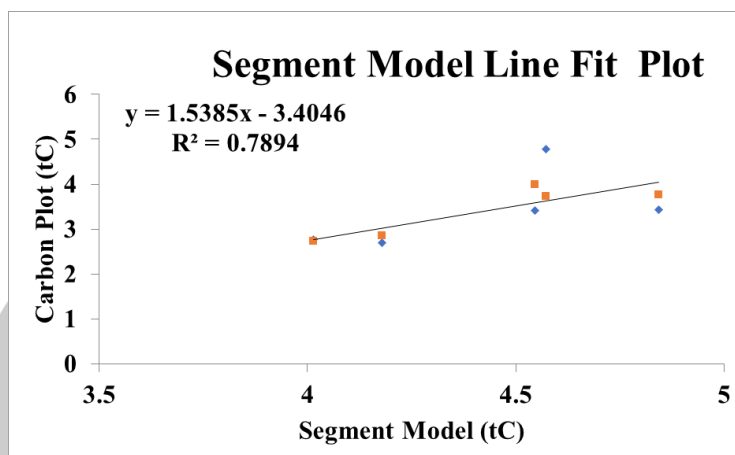
ID	Deepness Model	Segment Model
Precision	0.798	0.569
Recall	0.699	0.803
Accuracy	0.594	0.500
F1-Score	0.745	0.666

4.8 ผลการวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis)

ตารางแสดงผลที่ 4.6 การวิเคราะห์การถดถอย (regression Analysis)

Summary	Regression Analysis Model	
	Segment	Deepness
Correlation coefficient	0.7894	0.8183
Mean absolute error	0.8989	0.6574
Root mean squared error	1.0405	0.6804

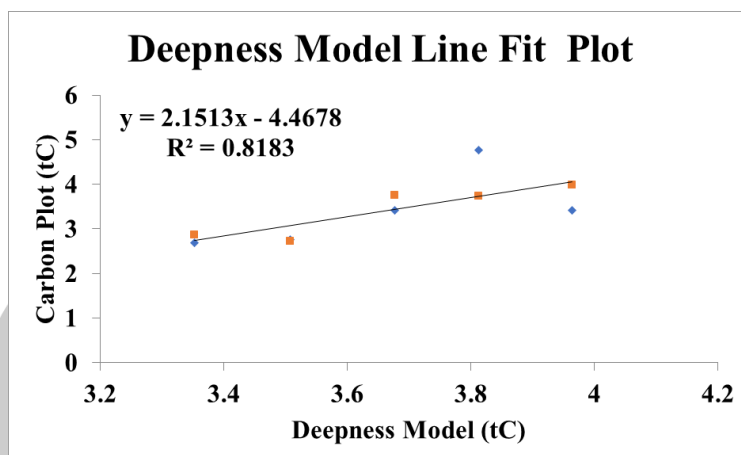
พูน ปณ ทัโต ชีเว



ภาพประกอบที่ 4.14 ความสัมพันธ์ RGB และ Segment Model

จากภาพที่ 4.16 แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ข้อมูลจากการเรียนรู้ด้วยเครื่องแบบวิธี Segment Model ของภาพสี RGB จากการประมาณมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน ของทรงพุ่มต้นไม้ในพื้นที่ป่าชุมชน โดยมีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ R เท่ากับ 0.7894 หรือ $y = 1.5385x - 3.4046$ แสดงให้เห็นว่าโมเดลที่ได้จากการเรียนรู้ด้วยเครื่องด้วย แบบวิธี Segment Mean Shift แสดงให้เห็นว่าข้อมูลทั้งสองชุด พบความสัมพันธ์กันน้อย นอกจากนี้ยังสามารถอธิบายเพิ่มเติมได้ว่า การเรียนรู้ด้วยเครื่องแบบวิธีดังกล่าว เป็นการเรียนรู้เทียบเท่าระบบประสาทของมนุษย์ จึงทำให้วิเคราะห์ทรงพุ่มในด้วยระดับสายตาที่มองเห็นด้วยระบบ AI จากเครื่องมือคือ ArcGis คือ การใช้ tool วิเคราะห์ พบค่าของระดับ Cell Size ผลเป็นไปตามลักษณะรูปทรงเรือนยอดของต้นไม้ ทำให้การวิเคราะห์ความสูงความกว้าง ของทรงพุ่ม หรือเส้นรอบวง ต่ำกว่า 15 Cm รวมถึงการสกัดค่าจาก Canopy แบบจำลองความสูง (CHM) พบค่าที่ต่ำกว่า 3 เมตร จำนวนมาก ผลการวิเคราะห์จึงพบค่าความสัมพันธ์น้อย

พูน ปณ จิต ชีเว



ภาพประกอบที่ 4.15 ความสัมพันธ์ RGB และ Deepness Model

จากภาพที่ 4.17 แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ข้อมูลจากการเรียนรู้ด้วยเครื่องแบบวิธี Deepness Model ของภาพสี RGB โดยการประยุกต์ใช้โมเดลแบบ Deepness Model ZOO แบบจำลองการตรวจจับวัตถุ YOLOv9 model การประมาณมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน ของทรงพุ่ม ต้นไม้ในพื้นที่ป่าชุมชน โดยมีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ R เท่ากับ 0.8183 หรือ $y = 2.1513x - 4.4678$ แสดงให้เห็นว่าโมเดลที่ได้จากการเรียนรู้ด้วยเครื่องด้วยแบบวิธี Deepness Model แสดงให้เห็นว่า ข้อมูลทั้งสองชุด พบความสัมพันธ์กันมาก นอกจากนี้ยังสามารถอธิบายเพิ่มเติมได้ว่า การเรียนรู้ด้วย เครื่องแบบวิธีดังกล่าว เป็นการเรียนรู้อัลกอริธึม อยู่ในเครือข่ายประสาทเทียมระดับลึก ด้วยการผสม รวม PGI และสถาปัตยกรรม GELAN จึงทำให้มีความแม่นยำและประสิทธิภาพที่ยอดเยี่ยม การ วิเคราะห์ทรงพุ่มในด้วยระดับสายตาที่มองเห็นด้วยระบบ AI จากเครื่องมือคือ QGIS สามารถทราบถึง ต้นไม้ที่มีอัตราการเจริญเติบโต ทำให้ทิศเรือนยอดของหนึ่งต้นมีการขยายกว้างของทรงพุ่มกว้างขึ้น พร้อมกับเส้นรอบวงของต้นไม้ โดยเฉลี่ยก็จะเพิ่มขึ้นในทิศทางเช่นเดียวกัน



บทที่ 5

สรุปและอภิปรายผล

จากการศึกษา โดยทำการศึกษาในแปลงตัวอย่างทั้งหมด 10 แปลงขนาด 40X40 เมตร ในพื้นที่แปลงตัวอย่างมีจำนวนต้นไม้อยู่ทั้งหมด 1241 ต้น 39 ชนิด พรรณไม้ที่พบมากที่สุด ได้แก่ ต้นแดง *Xylia xylocarpa* (Roxb.) Taub และต้นเต็ง *Shorea Obtusa* Wall รวมถึงพรรณไม้ชนิดอื่น ๆ เพื่อนำมาหาค่าปริมาณมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน (Above Ground Biomass) ด้วยการวิเคราะห์ทั้งพื้นที่ โดยการใช้สมการแอลโลเมตรี คือ น้ำหนักของส่วนลำต้น = 328,010.49 กิโลกรัม หรือ 328.01 ตัน น้ำหนักของส่วนใบ (WL) = 110,627.12 กิโลกรัม หรือ 110.63 ตัน น้ำหนักของส่วนกิ่ง (Wb) = 15,672.94 กิโลกรัม หรือ 15.67 ตัน และผลรวมค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดิน (Effiom) = 454,310.55 กิโลกรัม หรือ 454.31 ตัน ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้ (Cs) = ค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดิน $\times 0.47$ จะได้ ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้ ทั้งหมด = 213,525.96 กิโลกรัมคาร์บอน ค่าคาร์บอนต่อพื้นที่เท่ากับ 213.53 ตันคาร์บอน ซึ่งมีค่าเฉลี่ยของพื้นที่ เท่ากับ 3.23 ตันต่อไร่

5.1 สรุปการวิเคราะห์ด้วยการเรียนรู้เครื่อง

การวิเคราะห์ค่าปริมาณมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน (Above Ground Biomass) ด้วยวิธีการเรียนรู้ด้วยเครื่องแบบ Deepness Model โดยการใช้สมการแอลโลเมตรี (Aszkowski et al., 2023) คือ น้ำหนักของส่วนลำต้น = 328,489.62 กิโลกรัม หรือ 328.48 ตัน น้ำหนักของส่วนใบ (WL) = 119,207.44 กิโลกรัม หรือ 119.21 ตัน น้ำหนักของส่วนกิ่ง (Wb) = 15,992.08 กิโลกรัม หรือ 15.99 ตัน และผลรวมค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดิน = 463,689.13 กิโลกรัม หรือ 463.68 ตัน ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้ (Cs) = ค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดิน $\times 0.47$ จะได้ ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้ ทั้งหมด = 217,933.89 กิโลกรัมคาร์บอน ค่าคาร์บอนต่อพื้นที่เท่ากับ 217.93 ตันคาร์บอน ซึ่งมีค่าเฉลี่ยของพื้นที่ เท่ากับ 3.30 ตันต่อไร่ ความคลาดเคลื่อน 2.02% คิดเป็น 4.41 ตันคาร์บอนต่อไร่

การวิเคราะห์ค่าปริมาณมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน (Above Ground Biomass) ด้วยวิธีการเรียนรู้ด้วยเครื่องแบบ Segment Model โดยการใช้สมการแอลโลเมตรี (Aszkowski et al., 2023) คือ น้ำหนักของส่วนลำต้น = 311,263.74 กิโลกรัม หรือ 311.26 ตัน น้ำหนักของส่วนใบ (WL) = 113,983.42 กิโลกรัม หรือ 113.98 ตัน น้ำหนักของส่วนกิ่ง (Wb) = 15,192.05 กิโลกรัม หรือ 15.19 ตัน และผลรวมค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดิน = 440,440.21 กิโลกรัม หรือ 440.44 ตัน ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้ (Cs) = ค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดิน $\times 0.47$ จะได้ ปริมาณการ

กักเก็บคาร์บอนของต้นไม้ ทั้งหมด = 207,006.90 กิโลกรัมคาร์บอน ค่าคาร์บอนต่อพื้นที่เท่ากับ 207.01 ตันคาร์บอน ซึ่งมีค่าเฉลี่ยของพื้นที่ เท่ากับ 3.14 ตันต่อไร่ ความคลาดเคลื่อน 3.15% คิดเป็น 6.52 ตันคาร์บอน

การวิเคราะห์ปริมาณการกักเก็บของคาร์บอนทั้ง 2 วิธีความคลาดเคลื่อน จากข้อมูลภาคสนาม อยู่ที่ 2.58% ประมาณ 3.22 ตันคาร์บอนต่อไร่

5.2 สรุปผลการวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis)

ผลการวิเคราะห์การถดถอย จากการประมาณมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน ด้วยการเรียนรู้ด้วย เครื่องแบบวิธี Segment Model โดยมีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ R เท่ากับ 0.07894 หรือ $y = 1.5385x^{-3.4046}$ ผลการวิเคราะห์การตรวจสอบความถูกต้อง ระหว่างข้อมูลจากภาคสนามและ Segment Model โดยมีผล Precision เท่ากับ 0.569 ผล Recall เท่ากับ 0.803 ผล Accuracy 0.500 และผล F1-Score 0.666

ผลการวิเคราะห์การถดถอย จากการประมาณมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน ด้วยการเรียนรู้ด้วย เครื่องแบบวิธี Deepness Model โดยมีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ R เท่ากับ 0.8183 หรือ $y = 2.1513x^{-4.4678}$ ผลการวิเคราะห์การตรวจสอบความถูกต้อง ระหว่างข้อมูลจากภาคสนามและ Deepness Model โดยมีผล Precision เท่ากับ 0.798 ผล Recall เท่ากับ 0.699 ผล Accuracy เท่ากับ 0.594 และผล F1-Score เท่ากับ 0.745

การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าการใช้เทคโนโลยี UAV และ Machine Learning มีศักยภาพในการ ประเมินมวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนในป่าชุมชนได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยโมเดล Deepness มีความแม่นยำสูงกว่า Segment Model ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้สามารถนำไป ประยุกต์ใช้ในพื้นที่อื่น ๆ เพื่อการวางแผนและจัดการป่าอย่างยั่งยืนได้ (Cimburova et al., 2023)

5.3 ปัญหาและอุปสรรค

ผู้วิจัยพบปัญหาที่เกิดขึ้นในส่วนของการประมวลผลภาพถ่าย Image Processing ของภาพโดรน ซึ่งอาจจะต้องการทรัพยากรขั้นต่ำที่สูงกว่านี้ หรือทำการประมวลผลบน PC ที่มีหน่วยประมวลผลจาก CPU เป็น GPU NVIDIA Pascal โดยมีขนาดของความจุของ RAM ที่สำหรับการประมวลผล หรือ จำนวนเฟรม Fps ในการแสดงผลที่สูงขึ้นรวมถึงลดความละเอียดของ Pixel ให้น้อยลง

5.4 ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีผู้เชี่ยวชาญในการดูแลและอัปเดตซอฟต์แวร์สำหรับการประมวลผลภาพ
2. โดรนควรมีก่อนสำหรับการบันทึกภาพที่มีความละเอียดสูง และแบตเตอรี่ที่มีประสิทธิภาพ
3. ควรศึกษาสภาพอากาศอาจเป็นปัญหาต่อการสำรวจภาคสนามรวมถึงการบินสำรวจ

บรรณานุกรม

- Aonic, T. (2022). *Point Cloud* <https://www.aonic.com>
- Aritra, G. (2023). *Physics* <https://socratic.org/physicshttps>
- Aszkowski, P., Ptak, B., Kraft, M., Pieczyński, D., & Drapikowski, P. (2023). Deepness: Deep neural remote sensing plugin for QGIS. *science direct*, 23. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.softx.2023.101495>
- Authorized, D. T. D. (2024). *DJI Phantom 4 Pro*. <https://www.dji13store.com>
- Cepheiden. (2009). *Atmospheric window EN.svg*. <https://commons.wikimedia.org>
- Cimburova, Z., Blumentrath, S., & Barton, D. N. (2023). Making trees visible: A GIS method and tool for modelling visibility in the valuation of urban trees *sciencedirectassets, Urban Forestry & Urban Greening* 81 (2023) 127839(1618-8667). <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2023.127839>
- Dame, U. o. N. (2024). *Minor in Environmental Earth Sciences* <https://engineering.nd.edu>
- 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>
- Ekim, B., & Sertel, E. (2021). Deep neural network ensembles for remote sensing land cover and land use classification. *International Journal of Digital Earth*, <https://doi.org/10.1080/17538947.2021.1980125>(12), 1868-1881. <https://www.tandfonline.com/>
- Esri. (2022). *Understanding segmentation and classification*. Retrieved from <https://pro.arcgis.com/>
- James G. C. Ball, S. H. M. H., Tobias D. Jackson, Xian Jing Koay, James Hirst, William Jay, Matthew Archer, Melaine Aubry-Kientz, Gregoire Vincent &, & Coomes, D. A. (2023). Accurate delineation of individual tree crowns in tropical forests from aerial RGB imagery using Mask R-CNN *Remote Sensing in Ecology and Conservation published by John Wiley & Sons Ltd on behalf of Zoological Society of London*.
- Liu, Y., Zhang, Z., Liu, X., Wang, L., & Xia, X. (2021). Efficient image segmentation based

- on deep learning for mineral image classification. *sciencedirect*, 21(10), 3885-3903. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apl.2021.08.038>
- Mānoa, U. o. H. i. a. (2009). *Remote Sensing of Invasive Species in Makaha Valley* <https://www.ctahr.hawaii.edu>
- Mirela Beloiu, L. H., Nataliia Rehush, Arthur Gessler and Verena C. Griess. (2023). Individual Tree-Crown Detection and Species Identification in Heterogeneous Forests Using Aerial RGB Imagery and Deep Learning. *Remote Sens.* 2023, 15, 1463. <https://doi.org/10.3390/rs15051463>.
- Nasiri, V., Darvishsefat, A. A., Arefi, H., & Borz, S. A. (2022). Modeling Forest Canopy Cover: A Synergistic Use of Sentinel-2, Aerial Photogrammetry Data, and Machine Learning. *Remote Sensing* 14(6):1453, 10.3390/rs14061453. <https://doi.org/10.3390/rs14061453>
- Office of Higher Education, S., Research and Innovation, & Royal Thai Embassy, W. D. C. (2022). *Digital Surface Model* <https://www.ohesdc.org/post>
- Ogawa, H., Yoda, K., Ogino, K., & Kira, T. (1965). Comparative ecological studies on three main types of forest vegetation in Thailand. II. Plant biomass. 4, 49-80.
- Pix4d. (2024). *Pix4D used for innovative architectural design approach* <https://www.pix4d.com/>
- Santos, A. A. d., Marcato Junior, J., Araújo, M. S., Di Martini, D. R., Tetila, E. C., Siqueira, H. L., Aoki, C., Eltner, A., Matsubara, E. T., & Pistori, H. (2019). Assessment of CNN-based methods for individual tree detection on images captured by RGB cameras attached to UAVs. *Sensors*, 19(16), 3595.
- Sharma, S., Dhal, S., Rout, T., & Acharya, B. S. (2022). Drones and machine learning for estimating forest carbon storage. *researchgate*, s44246-022-00021-5. <https://doi.org/10.1007/s44246-022-00021-5>
- Simonetti, A., Araujo, R. F., Celes, C. H. S., Silva, F. R. d. S. e., Santos, J. d., Higuchi, N., Trumbore, S., & Marra, D. M. (2023). Canopy gaps and associated losses of biomass – combining UAV imagery and field data in a central Amazon forest *Biogeosciences*, 20, 3651–3666, 2023 <https://doi.org/10.5194/bg-20-3651-2023>.
- Uttaruk, Y., & Laosuwan, T. (2017). Carbon Sequestration Assessment of the Orchards

- using Satellite Data *Journal of Ecological Engineering*. 2017. 18(1):11-17. [xx x01]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.
- Wang, C.-Y., Yeh2, I.-H., & Liao, H.-Y. M. (2024). YOLOv9: Learning What You Want to Learn Using Programmable Gradient Information *arXiv*, *arXiv:2402.13616v1 [cs.CV]* 21 Feb 2024. <https://arxiv.org/> (Chung Yuan Christian University, Taiwan)
- Weinstein, B. G., Marconi, S., Bohlman, S., Zare, A., & White, E. (2019). Individual Tree-Crown Detection in RGB Imagery Using Semi-Supervised Deep Learning Neural Networks. *Remote Sensing* 11(11). <https://doi.org/10.3390/rs11111309>
- Weinstein, B. G., Marconi, S., Bohlman, S. A., Zare, A., & White, E. P. (2020). Cross-site learning in deep learning RGB tree crown detection. *Ecological Informatics*, 56, 101061.
- กรมอุตุนิยมวิทยา, (2564). เรื่องการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ (*climate change*) <http://climate.tmd.go.th>
- กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, (2564). โครงการจัดทำข้อมูลสภาพพื้นที่ป่าไม้ ปี พ.ศ. 2561 – 2562 <https://forestinfo.forest.go.th/>
- คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. เรื่อง การวิเคราะห์การถดถอยและสหสัมพันธ์ (Regression and Correlation Analysis). <https://sc.kku.ac.th>
- จุฬามาศ เรืองรัมย์. (2558). ค่าดัชนีพืชพรรณ (*Vegetation Index: VI*), คาร์บอนเครดิต งานวิจัย สาขาภูมิสารสนเทศ คณะวิทยาการสารสนเทศ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.
- ชิงชัย วิริยะปัญญา. (2563). คู่มือการศึกษาแหล่งสะสมคาร์บอนในพื้นที่ป่าธรรมชาติ.
- ชูช่วย กมลวรรณ. (2563). ความรู้ด้านพลังงาน. <https://eledu.ssru.ac.th/>
- ธนวิทย์ ถมกระจ่าง และ เอกกมล วรรณเมธี. (2561). การประเมินปริมาณคาร์บอนของป่าชุมชนด้วยเทคนิคอากาศยานไร้คนขับกรณีศึกษาป่าชุมชนบ้านบุตาตอง จังหวัดนครราชสีมา. *Journal of Energy and Environment Technology*. <https://jeet.siamtechu.net/>
- มูลนิธิโครงการสารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน (Ed.). (2561). องค์ประกอบของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (37 ed.). <https://www.saranukromthai.or.th>.
- บริษัท จำกัด วิจิสมิทธิ์ (2020). สีนงานกราฟิกและความหมาย. <https://www.vijismith.com/>

ศูนย์ภูมิอากาศจังหวัดมหาสารคาม. (2566). ภูมิอากาศจังหวัดมหาสารคาม. Retrieved from <http://climate.tmd.go.th/data/province>

สถาบันลูกโลกสีเขียว. (2560). วารสารเพื่อเครือข่ายคนรักธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ปีที่ 12 ฉบับที่ 46 มิถุนายน 2560.

สมาคมโปรแกรมเมอร์ไทย. (2562). เรื่อง การเรียนรู้ของเครื่อง (*Machine Learning*). <https://www.thaiprogrammer.org>

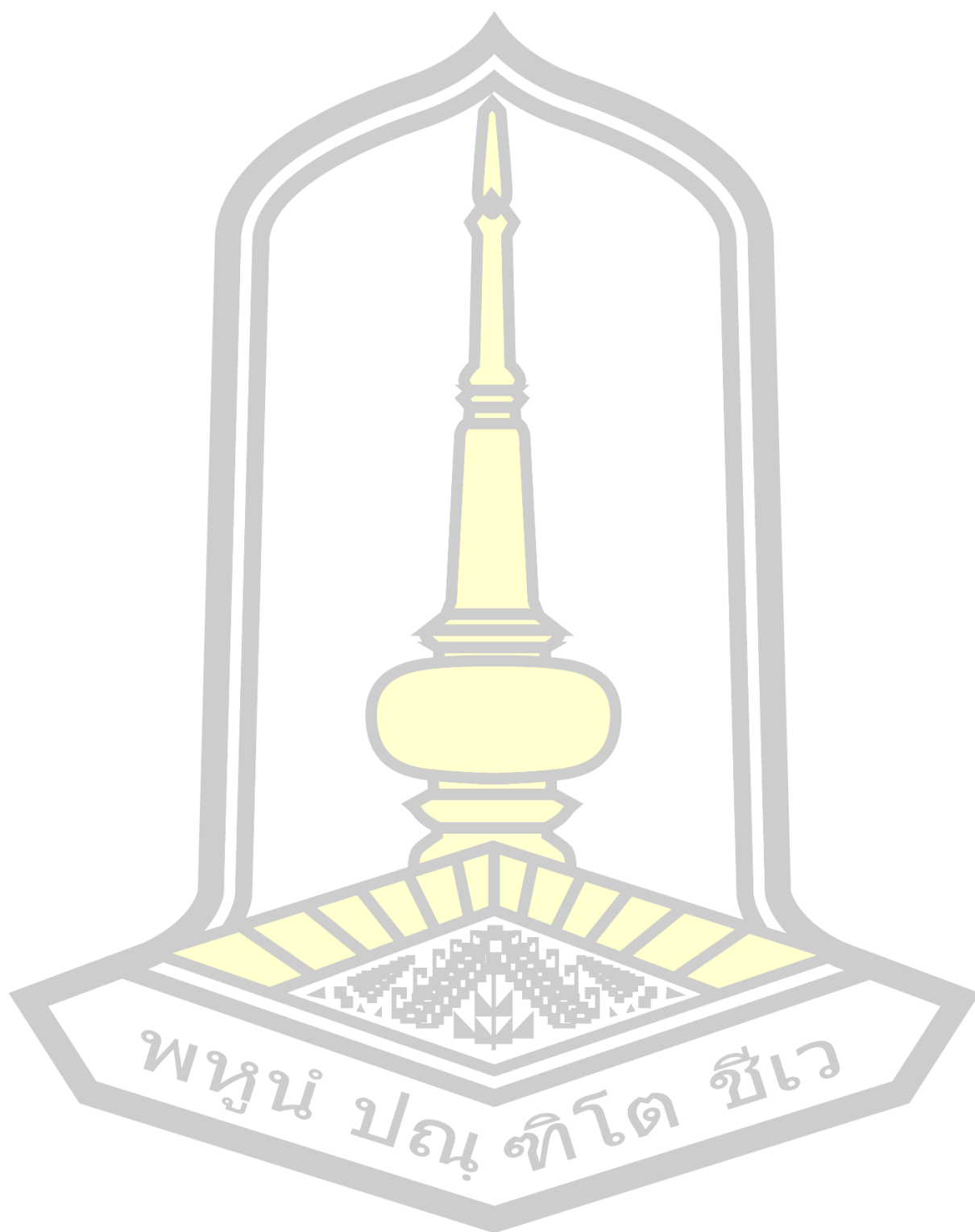
สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2558). รายงานความก้าวหน้ารายสองปี ฉบับที่ 1 ภายใต้อนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ. 2558 <https://climate.onep.go.th>

สำนักงานป่าไม้จังหวัดมหาสารคาม. (2566). พื้นที่ป่าชุมชนบ้านหินลาดและบ้านหินลาดพัฒนา. <https://forestinfo.forest.go.th/>

สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ องค์การมหาชน. (2562). เรื่อง ประโยชน์ของโดรน. <http://learn.gistda.or.th>

สำนักจัดการที่ดินป่าไม้. (2565). ป่าไม้ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. <https://www.forest.go.th/>





ประวัติผู้เขียน

ชื่อ ทินกร อังคะฮาด
วันเกิด 10 กรกฎาคม 2540
สถานที่เกิด นครพนม
สถานที่อยู่ปัจจุบัน 130 ม.3 บ้านบงคำ ต.โพนจาน อ.โพนสวรรค์ จ.นครพนม 48190
ประวัติการศึกษา 2556-2558 โรงเรียนบ้านโพนแพง เขียวร่วนทอทิศ ๕
2559-2563 วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาภูมิสารสนเทศ คณะวิทยาการ
สารสนเทศ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
2566 - ปัจจุบัน วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาพลังงาน คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

พูน ปณ ทัต ชีเว