

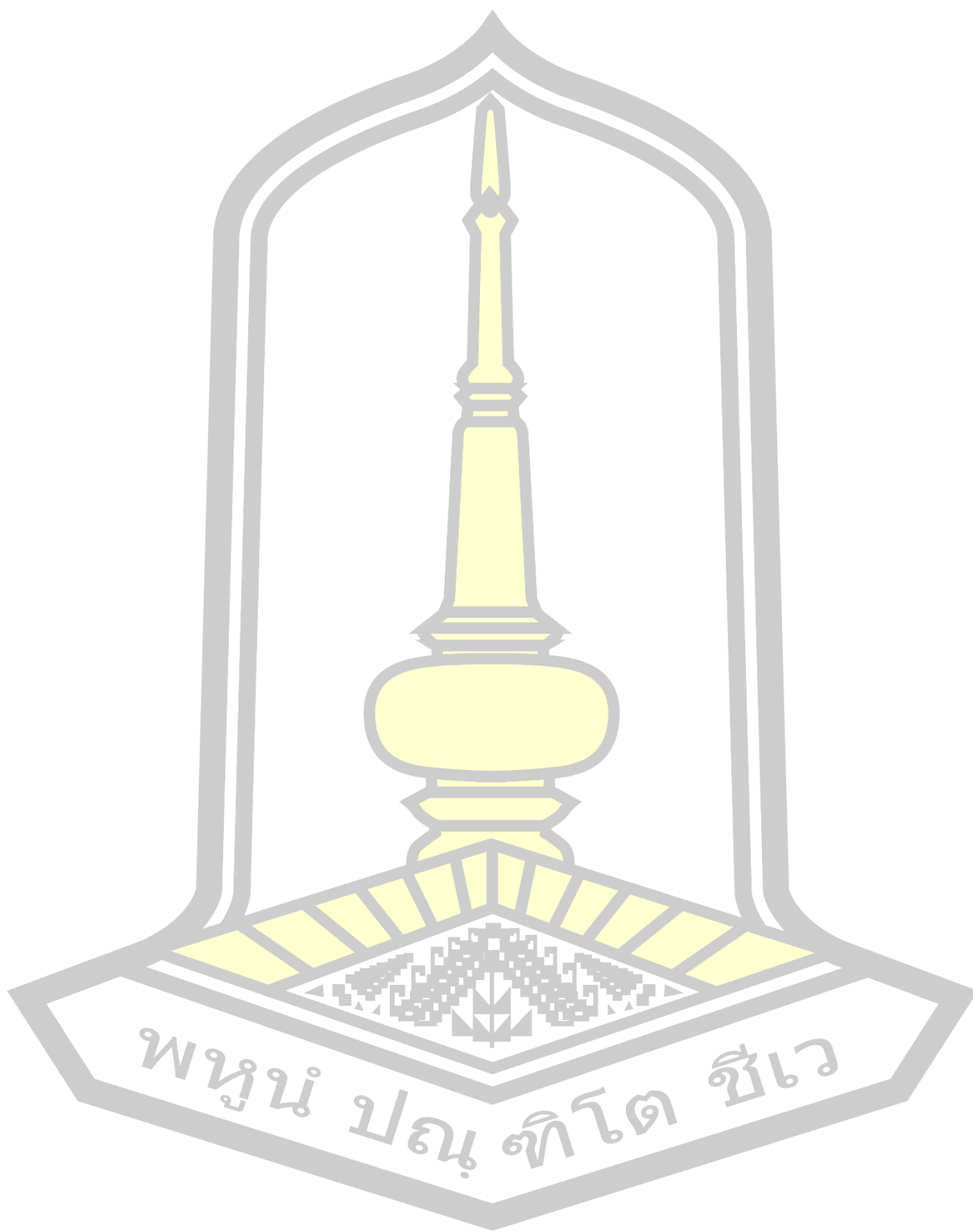


การติดตามการเจริญเติบโตของอ้อยด้วยอากาศยานไร้คนขับ

วิทยานิพนธ์
ของ
โพธิวุฒิ บุญเรือง

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
กุมภาพันธ์ 2564

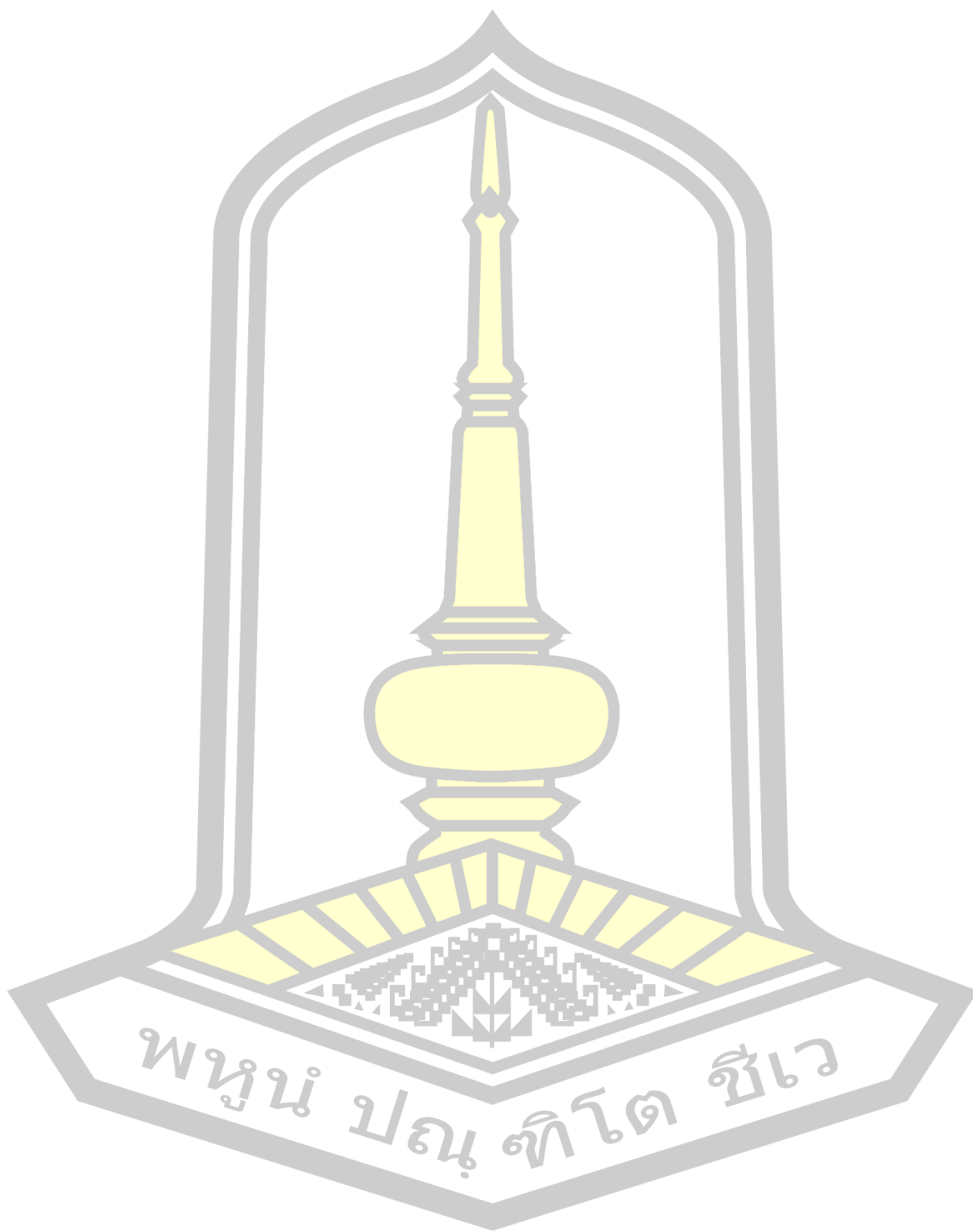
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม



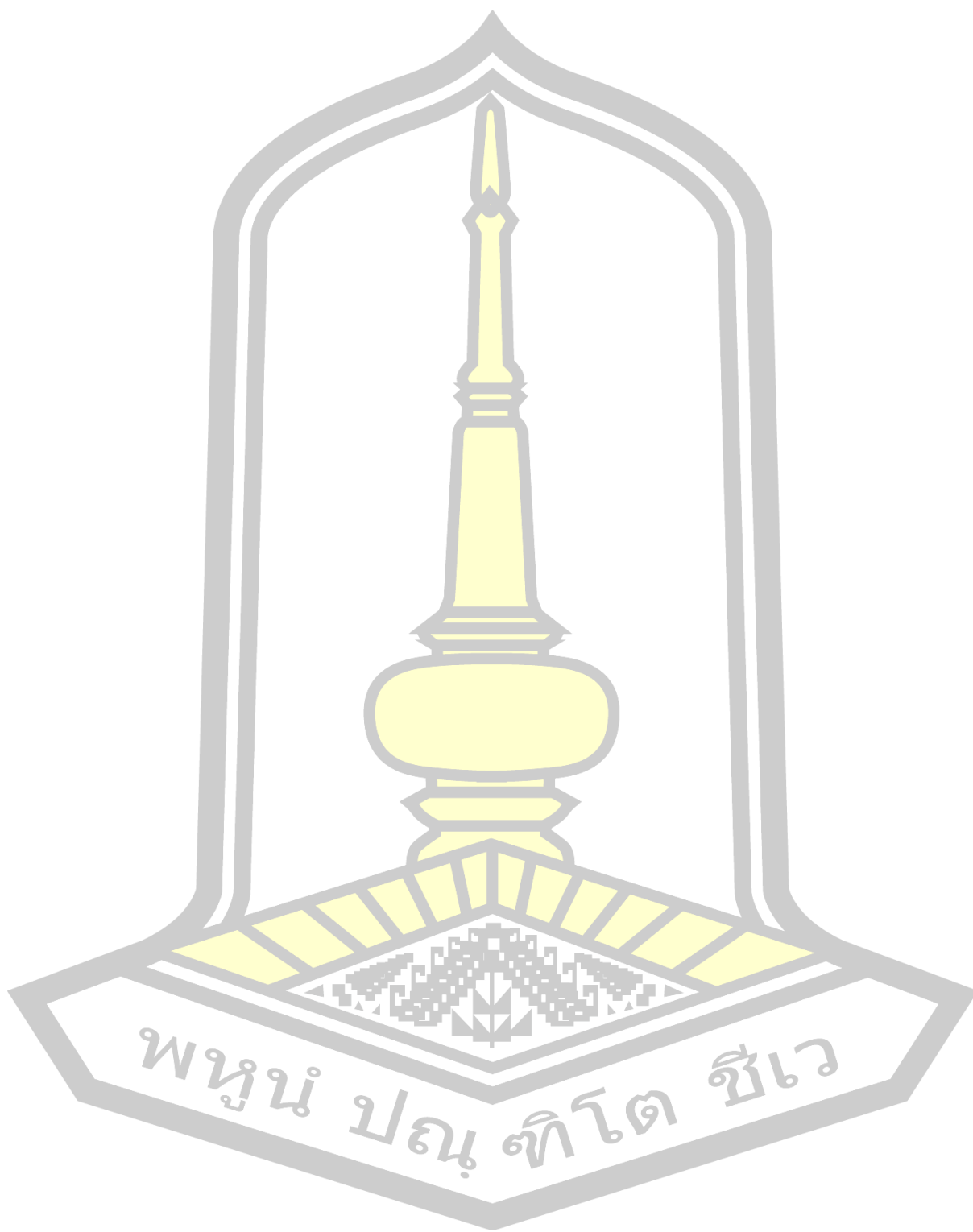
พหุ ประยูร ทิโตะ ชีวะ



พญูน์ ปณฺ ทิตฺ สีเว

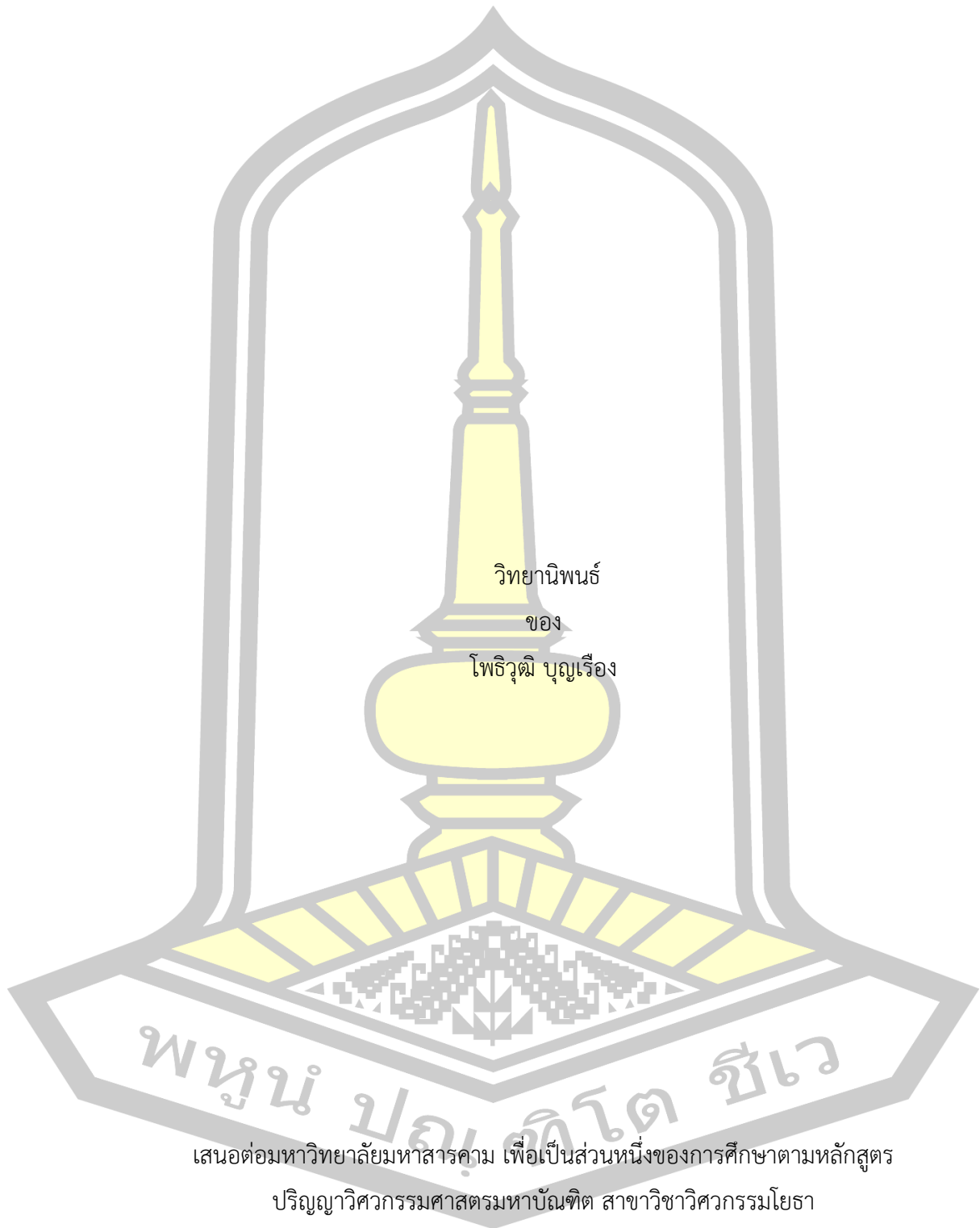


พหุณฺ์ ปณฺุ ทิโต ชีเว



พญูน์ ปณฺ ทิตฺ สีเว

การติดตามการเจริญเติบโตของอ้อยด้วยอากาศยานไร้คนขับ



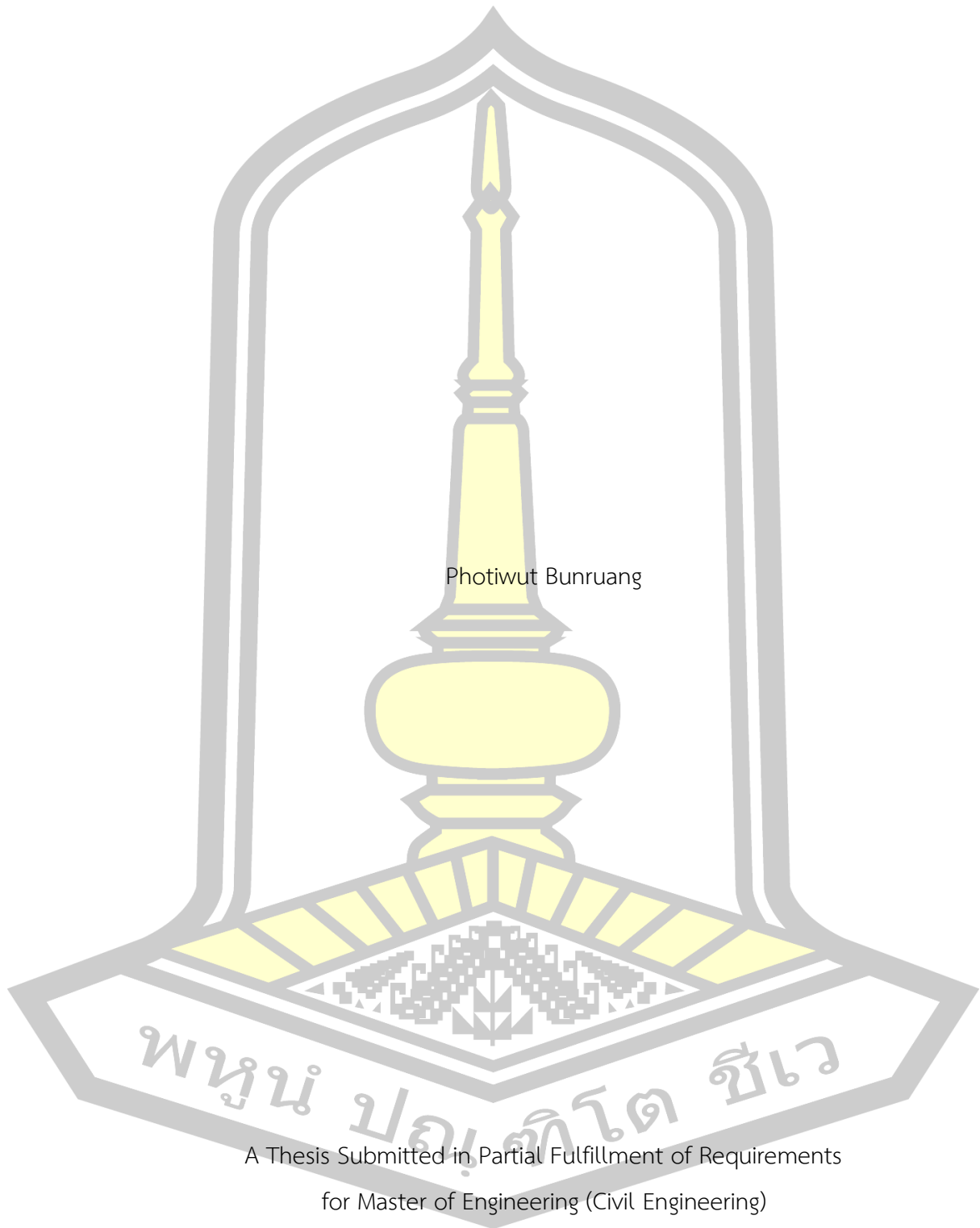
เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

กุมภาพันธ์ 2564

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

Sugarcane Growth Monitoring Using UAV Remote Sensing



Photiwut Bunruang

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of Requirements
for Master of Engineering (Civil Engineering)

February 2021

Copyright of Mahasarakham University



คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของนายโพธิวุฒิ บุญเรือง แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(ผศ. ดร. สมพินิจ เหมือนทอง)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผศ. ดร. ศีวา แก้วปลั่ง)

.....กรรมการ

(ผศ. ดร. รัตนา หอมวิเชียร)

.....กรรมการ

(ศ. ดร. อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง)

มหาวิทยาลัยอนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

.....
(รศ. ดร. เกียรติศักดิ์ ศรีประทีป)

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

.....
(รศ. ดร. กริสน์ ชัยมูล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อเรื่อง	การติดตามการเจริญเติบโตของอ้อยด้วยอากาศยานไร้คนขับ		
ผู้วิจัย	โพธิวุฒิ บุญเรือง		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศีวา แก้วปลั่ง		
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต	สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
มหาวิทยาลัย	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม	ปีที่พิมพ์	2564

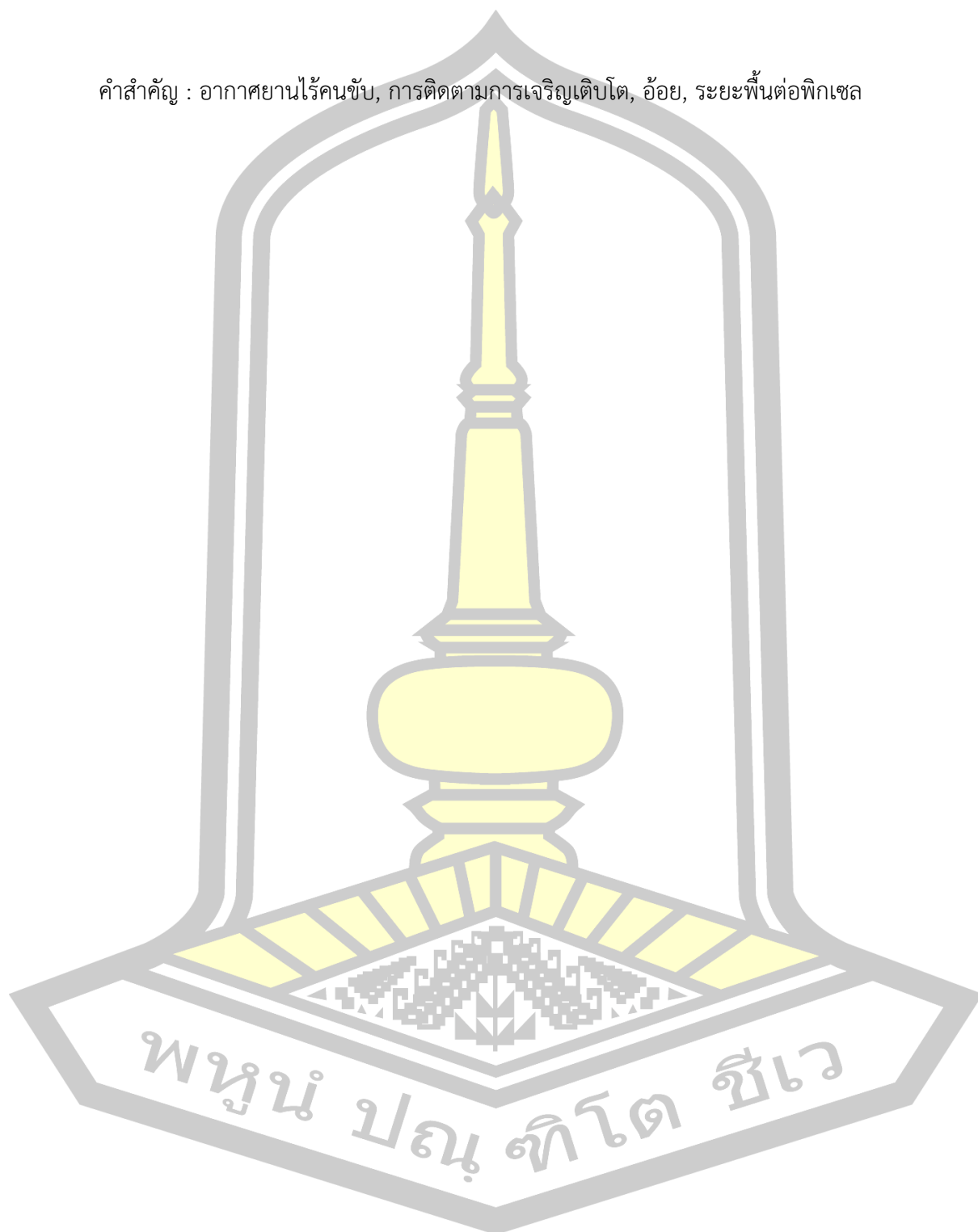
บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้เพื่อติดตามการเจริญเติบโตของอ้อย โดยใช้เทคโนโลยีการรับรู้จากระยะไกลด้วยภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ ที่ติดตั้งกล้อง RGB และติดตั้งกล้อง MAPIR Survey 3 โดยใช้ค่าการสะท้อนแสงของช่วงคลื่น Red, Green, Blue, NIR และความสูง (DEM) เพื่อศึกษาการประมาณค่าความสูง ชีวมวล ผลผลิต และค่าคลอโรฟิลล์ (SPAD unit) โดยใช้ระยะพื้นที่ต่อพิกเซลขนาด 5, 10, 25, 50 และ 100 เซนติเมตร นำมาประเมินประสิทธิภาพแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วยวิธี แบบจำลองโมเดลเชิงเส้นโดยนัยทั่วไป วิเคราะห์โครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึก และแบบจำลอง Support Vector Machine ผลการศึกษาพบว่า การประมาณค่าความสูงโดยใช้แบบจำลองวิธี Support Vector Machines ระยะพื้นที่ต่อพิกเซล 50 เซนติเมตร ให้ผลการประมาณค่าได้ดีที่สุด โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.89 และ RMSE เท่ากับ 0.22 การประมาณค่าชีวมวลในกรณีใช้ข้อมูลภาพ RGB เพียงอย่างเดียว และกรณีการใช้ข้อมูลภาพ RGB และ RGN ร่วมกัน โดยใช้แบบจำลองวิธี Support Vector Machines ระยะพื้นที่ต่อพิกเซล 25 เซนติเมตร ให้ผลการประมาณค่าได้ดีที่สุด โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.84 และ RMSE เท่ากับ 1.96 การประมาณค่าผลผลิตในกรณีใช้ข้อมูลภาพ RGB เพียงอย่างเดียว และกรณีการใช้ข้อมูลภาพ RGB และ RGN ร่วมกัน โดยใช้แบบจำลองวิธี Deep Learning ระยะพื้นที่ต่อพิกเซล 5 เซนติเมตร ให้ผลการประมาณค่าได้ดีที่สุด โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.81 และ RMSE เท่ากับ 1.54 การประมาณค่าคลอโรฟิลล์โดยใช้แบบจำลองวิธี Support Vector Machines ระยะพื้นที่ต่อพิกเซล 100 เซนติเมตร ให้ผลการประมาณค่าได้ดีที่สุด โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.42 และ RMSE เท่ากับ 3.56

ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าการใช้ภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับที่มีระยะพื้นที่ต่อพิกเซลสูง ส่งผลให้การประมาณค่าความสูง ชีวมวล ผลผลิต และค่าคลอโรฟิลล์ (SPAD unit) ได้ดียิ่งขึ้น และมีความเป็นไปได้ที่จะติดตามการเจริญเติบโตของอ้อยด้วยการสำรวจระยะไกลจากภาพถ่าย

ทางอากาศจากอากาศยานไร้คนขับ

คำสำคัญ : อากาศยานไร้คนขับ, การติดตามการเจริญเติบโต, อ้อย, ระยะพื้นที่ต่อฟริกเซล



TITLE	Sugarcane Growth Monitoring Using UAV Remote Sensing		
AUTHOR	Photiwut Bunruang		
ADVISORS	Assistant Professor Siwa Kaewplang , Ph.D.		
DEGREE	Master of Engineering	MAJOR	Civil Engineering
UNIVERSITY	Maharakham University	YEAR	2021

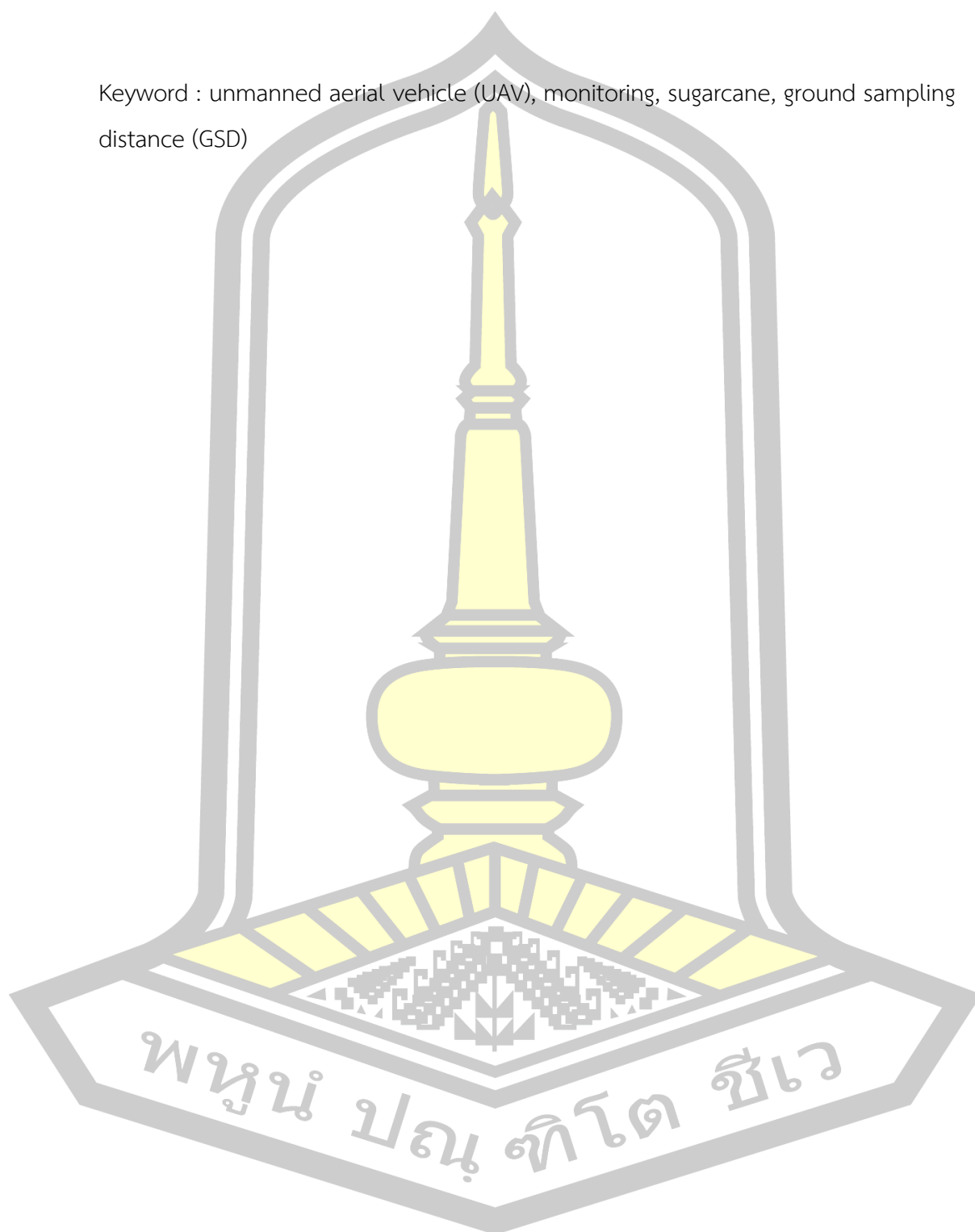
ABSTRACT

This survey aimed to monitoring of sugarcane by utilizing remote sensing technology with perception from unmanned aircraft, which equipped with a RGB and MAPIR Survey 3 camera that using reflectance spectrum of Red, Green, Blue, NIR and height (DEM) for study estimating the height, biomass, yield and chlorophyll (SPAD unit) at ground sampling distance (GSD) 5, 10, 25, 50 and 100 centimeters. Then evaluate the effective of Mathematical models: Generalized Linear Model, Deep Learning and Support Vector Machine. The estimation of height by using Support Vector Machine at GSD 50 cm , which is the best estimation of height. The decision coefficient (R^2) of 0.89 and RMSE of 0.22. The estimation of biomass when using only RGB images data case and using RGB and RGN combined case by using Support Vector Machine at GSD 25 cm , which is the best estimation of biomass. The decision coefficient (R^2) of 0.84 and RMSE of 1.96. The estimation of yield when using only RGB images data case and using RGB and RGN combined case by using Deep Learning at GSD 5 cm , which is the best estimation of yield. The decision coefficient (R^2) of 0.81 and RMSE of 1.54. The estimation of chlorophyll by using Support Vector Machine at GSD 100 cm , which is the best estimation of chlorophyll. The decision coefficient (R^2) of 0.42 and RMSE of 3.56.

The result of the research showed the images for high ground sampling distance (GSD) aerial images of unmanned aircraft give good effected of height, biomass, yield and chlorophyll (SPAD unit) that it was possible to monitoring of

sugarcane by remote sensing from aerial images of unmanned aircraft.

Keyword : unmanned aerial vehicle (UAV), monitoring, sugarcane, ground sampling distance (GSD)



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยการให้ความช่วยเหลือแนะนำของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิวา แก้วปลั่ง ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำข้อคิดเห็นตรวจสอบและแก้ไขร่างวิทยานิพนธ์มาโดยตลอด ผู้เขียนจึงขอกราบพระคุณไว้ ณ โอกาสนี้

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมพินิจ เหมืองทอง ที่กรุณาให้เกียรติเป็นประธานโดยมี ศาสตราจารย์ ดร. อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. รัตนา หอมวิเชียร เป็นกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้กรุณาตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้ถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ผู้เขียนขอขอบคุณสำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน) ที่ได้มอบทุนวิจัยสนับสนุนทุนวิจัยบัณฑิตศึกษาด้านการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตรจาก ประจำปีงบประมาณ 2563 รวมถึงบุคคลที่ให้ความช่วยเหลือในการดำเนินการวิจัยได้ นายไชยันต์ ภักดีไทย เจ้าหน้าที่โรงน้ำตาลพิมาย ศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น สถาบันวิจัยพืชไร่และพลังงานทดแทน กรมวิชาการเกษตร ที่สนับสนุนเรื่องพื้นที่การศึกษาและอำนวยความสะดวกในการเก็บข้อมูลภาคสนาม เจ้าหน้าที่บัณฑิตมหาวิทยาลัยมหาสารคาม ทุกท่านที่ให้ความสะดวกด้านอำนวยความสะดวก และประสานงาน ในการทำวิทยานิพนธ์ให้ผู้เขียนมาโดยตลอดจนค้นคว้าหาข้อมูลในการจัดทำวิทยานิพนธ์ของผู้เขียนครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ท้ายนี้ผู้เขียนขอน้อมรำลึกถึงอำนาจบารมีของคุณพระศรีรัตนตรัย และสิ่งศักดิ์สิทธิ์ทั้งหลายที่อยู่ในสากลโลก อันเป็นที่พึ่งให้ผู้เขียนมีสติปัญญาในการจัดทำวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ผู้เขียนขอให้เป็นกตเวทิตาแต่บิดา มารดา ครอบครัวของผู้เขียน ตลอดจนผู้เขียนหนังสือ และบทความต่าง ๆ ที่ให้ความรู้แก่ผู้เขียนจนสามารถให้ความรู้แก่ผู้เขียนจนสามารถให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี

โพธิ์วุฒิ บุญเรือง

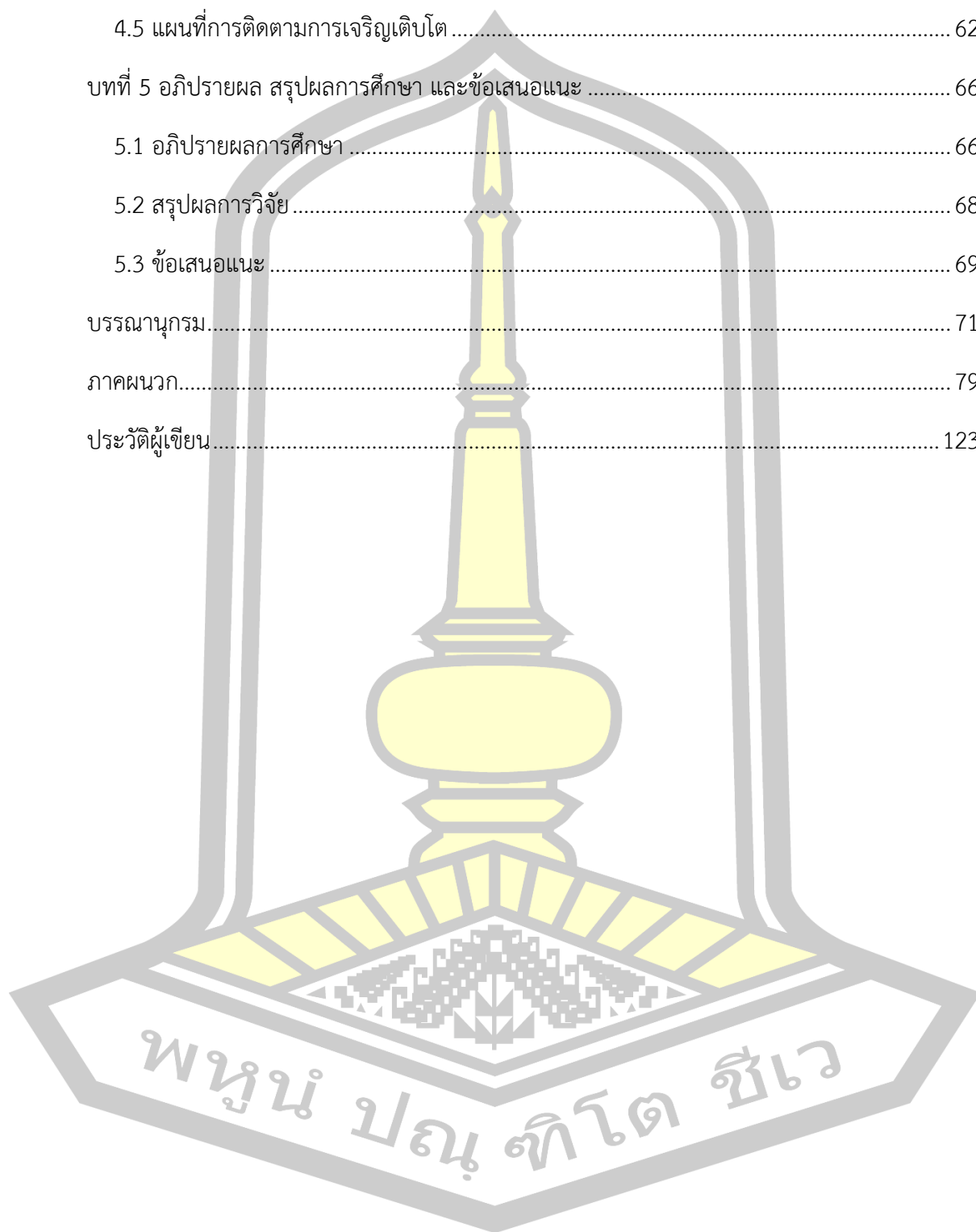
พหุณฺ ปรณฺ ทิโต ชิวเว

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ฉ
กิตติกรรมประกาศ.....	ช
สารบัญ.....	ฌ
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญภาพ.....	ท
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของการทำการศึกษา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	4
1.3 ขอบเขตและข้อจำกัดของการวิจัย.....	4
1.4 สถานที่ทำการวิจัย.....	4
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 อ้อย.....	5
2.2 การสำรวจข้อมูลจากระยะไกล (Remote Sensing).....	8
2.3 ความหมายและกระบวนการ Remote Sensing.....	9
2.4 การสำรวจด้วยภาพถ่ายทางอากาศ (Photogrammetry).....	10
2.5 ชนิดของภาพถ่าย.....	10
2.6 ดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์มัลไลซ์ (Normalized Difference Vegetation Index: NDVI).....	16
2.7 ค่าดัชนีพีชี (Green-Red Vegetation Index: GRVI).....	17

2.8 ค่าดัชนีการวิเคราะห์ภาพระดับพื้นดิน (Ground Level Image Analysis : GLI)	17
2.9 ค่าดัชนีความต้านทานบรรยากาศที่มองเห็นได้ (Visible Atmospherically Resistant Index : VARI)	18
2.10 ดัชนีสีเขียวส่วนเกิน (Excess Green Index : ExG).....	18
2.11 แบบจำลอง Generalized Linear Models: GLMs	19
2.12 แบบจำลอง Deep learning: DL	20
2.13 แบบจำลอง Support Vector Machine: SVM	21
2.14 รากกำลังสองเฉลี่ยผิดพลาด (Root Mean Square Error: RMSE).....	23
2.15 สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination: R ²).....	23
2.17 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	24
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	27
3.1 แผนการดำเนินการศึกษา.....	27
3.2 พื้นที่ศึกษา	28
3.3 อุปกรณ์เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา	29
3.4 การเก็บข้อมูลสนาม	30
3.5 การวิเคราะห์ในห้องทดลอง.....	32
3.6 คุณสมบัติกล้องที่ใช้ในการศึกษา (sensor).....	32
3.7 การวิเคราะห์ข้อมูล	32
3.8 แผนการศึกษา.....	35
3.8 งบประมาณ	37
บทที่ 4 ผลการศึกษา.....	38
4.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลค่าความสูงของอ้อย	39
4.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลค่าชีวมวลของอ้อย	42
4.3 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลค่าผลผลิตของอ้อย	50

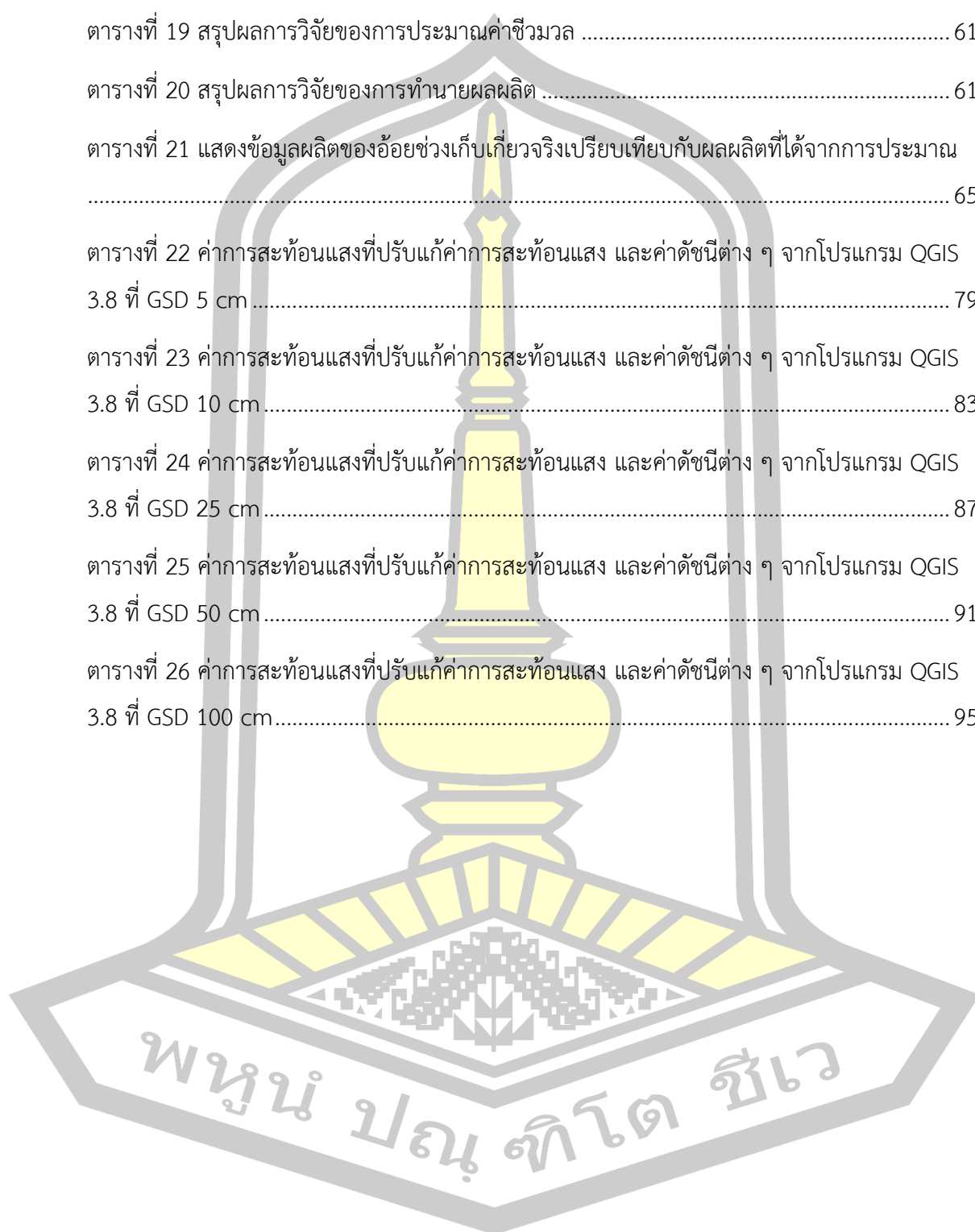
4.4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลคลอโรฟิลล์ของอ้อย.....	57
4.5 แผนที่การติดตามการเจริญเติบโต.....	62
บทที่ 5 อภิปรายผล สรุปผลการศึกษา และข้อเสนอแนะ.....	66
5.1 อภิปรายผลการศึกษา.....	66
5.2 สรุปผลการวิจัย.....	68
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	69
บรรณานุกรม.....	71
ภาคผนวก.....	79
ประวัติผู้เขียน.....	123



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 ตัวอย่างความแปรปรวนของการแจกแจงที่อยู่ในวงรีชี้กำลัง (Exponential Family).....	20
ตารางที่ 2 แสดงการbinของโทรนในการเก็บข้อมูล.....	31
ตารางที่ 3 แผนการดำเนินงานศึกษา ปี 2562.....	35
ตารางที่ 4 แผนการดำเนินงานศึกษา ปี 2563.....	36
ตารางที่ 5 ตารางแสดงงบประมาณในงานวิทยานิพนธ์.....	37
ตารางที่ 6 สมการประมาณค่าความสูงที่ได้จากความสัมพันธ์ของข้อมูลความสูงจากภาพกล้อง RGB	40
ตารางที่ 7 R^2 และ RMSE ของการประมาณค่าความสูงของต้นอ้อย.....	41
ตารางที่ 8 R^2 และ RMSE ของชีวมวลของต้นอ้อยจากข้อมูลภาพถ่ายด้วยกล้อง RGB.....	43
ตารางที่ 9 ผล R^2 และ RMSE ของผลการประมาณค่าชีวมวลของต้นอ้อยจากข้อมูลภาพถ่ายด้วย กล้อง RGB และ RGN	45
ตารางที่ 10 สมการประมาณค่าชีวมวลที่ได้จากความสัมพันธ์ของข้อมูลชีวมวลจากภาพกล้อง RGB	49
ตารางที่ 11 สมการประมาณค่าชีวมวลที่ได้จากความสัมพันธ์ของข้อมูลชีวมวลจากภาพกล้อง RGB และ RGN	49
ตารางที่ 12 ผล R^2 และ RMSE ของผลผลิตของต้นอ้อยจากข้อมูลภาพถ่ายด้วยกล้อง RGB.....	50
ตารางที่ 13 ผล R^2 และ RMSE ของผลการประมาณค่าผลผลิตของต้นอ้อยจากข้อมูลภาพถ่ายด้วย กล้อง RGB และ RGN	52
ตารางที่ 14 สมการประมาณค่าผลผลิตที่ได้จากความสัมพันธ์ของข้อมูลผลผลิตจากภาพกล้อง RGB55	56
ตารางที่ 15 สมการประมาณค่าผลผลิตที่ได้จากความสัมพันธ์ของข้อมูลผลผลิตจากภาพกล้อง RGB และ RGN.....	56
ตารางที่ 16 สมการประมาณค่าคลอโรฟิลล์ที่ได้จากความสัมพันธ์ของข้อมูลคลอโรฟิลล์จากภาพกล้อง RGB	58
ตารางที่ 17 ผล R^2 และ RMSE ของผลการประมาณค่าคลอโรฟิลล์ (SPAD unit).....	59

ตารางที่ 18	สรุปผลการวิจัยของการติดตามการเจริญเติบโต	61
ตารางที่ 19	สรุปผลการวิจัยของการประมาณค่าชีวมวล	61
ตารางที่ 20	สรุปผลการวิจัยของการทำนายผลผลิต	61
ตารางที่ 21	แสดงข้อมูลผลิตของอ้อยช่วงเก็บเกี่ยวจริงเปรียบเทียบกับผลผลิตที่ได้จากการประมาณ	65
ตารางที่ 22	ค่าการสะท้อนแสงที่ปรับแก้ค่าการสะท้อนแสง และค่าดัชนีต่าง ๆ จากโปรแกรม QGIS 3.8 ที่ GSD 5 cm	79
ตารางที่ 23	ค่าการสะท้อนแสงที่ปรับแก้ค่าการสะท้อนแสง และค่าดัชนีต่าง ๆ จากโปรแกรม QGIS 3.8 ที่ GSD 10 cm	83
ตารางที่ 24	ค่าการสะท้อนแสงที่ปรับแก้ค่าการสะท้อนแสง และค่าดัชนีต่าง ๆ จากโปรแกรม QGIS 3.8 ที่ GSD 25 cm	87
ตารางที่ 25	ค่าการสะท้อนแสงที่ปรับแก้ค่าการสะท้อนแสง และค่าดัชนีต่าง ๆ จากโปรแกรม QGIS 3.8 ที่ GSD 50 cm	91
ตารางที่ 26	ค่าการสะท้อนแสงที่ปรับแก้ค่าการสะท้อนแสง และค่าดัชนีต่าง ๆ จากโปรแกรม QGIS 3.8 ที่ GSD 100 cm	95

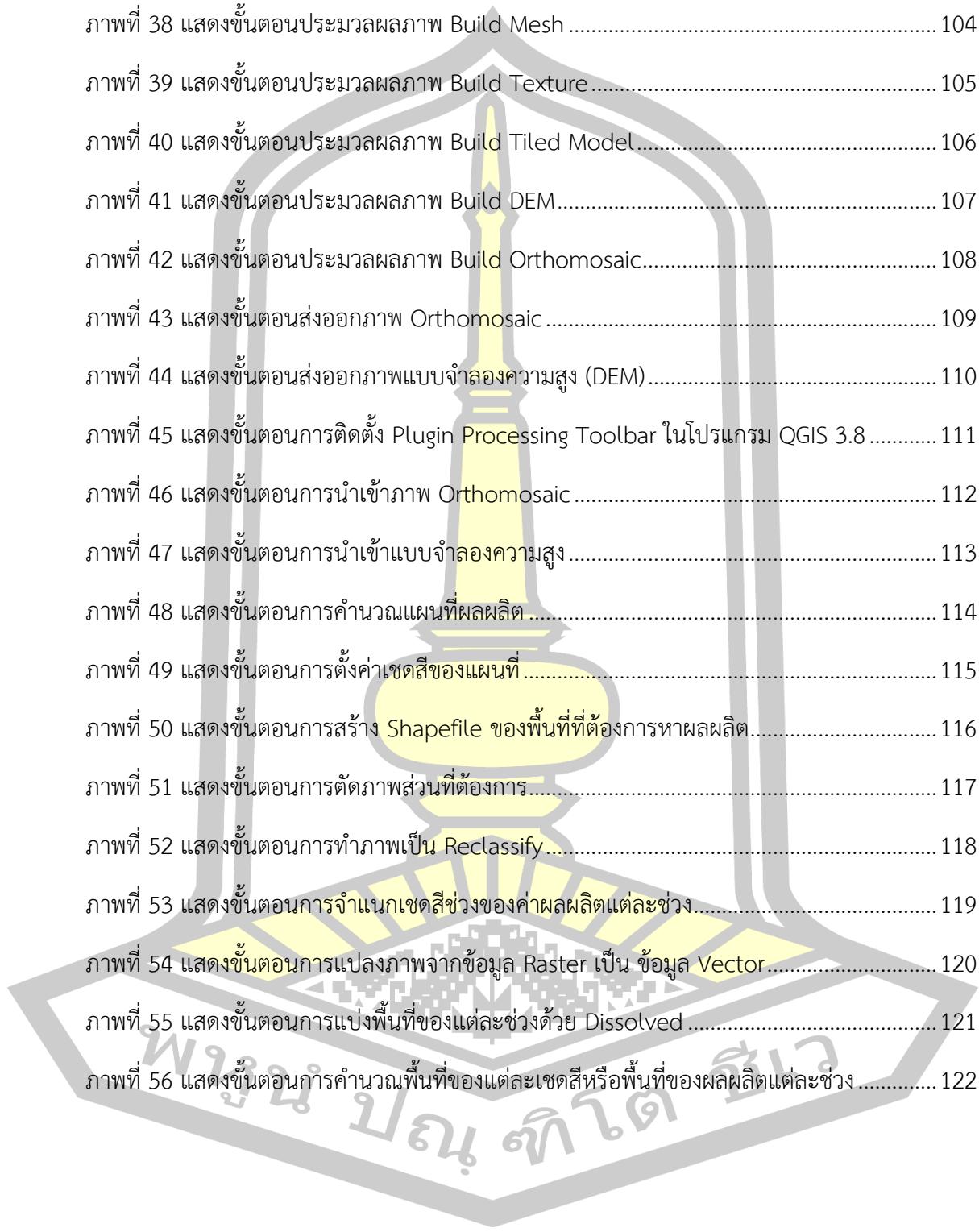


สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1 ระยะการเพาะปลูกและการเจริญเติบโตของอ้อย	8
ภาพที่ 2 กระบวนการสำรวจข้อมูลจากระยะไกล	9
ภาพที่ 3 ชนิดภาพถ่ายภาพแนวตั้ง ภาพเฉียงต่ำ ภาพเฉียงสูง	11
ภาพที่ 4 ส่วนซ้อนบริเวณที่เหลื่อมกันของภาพ	12
ภาพที่ 5 ส่วนเกยของแนวกบิน	12
ภาพที่ 6 ภาพถ่ายออร์โท (Orthophoto Map)	13
ภาพที่ 7 ตัวอย่างแบบจำลองความสูงเชิงเลข (Digital Elevation Model, DEM)	14
ภาพที่ 8 ตัวอย่างผลผลิตที่เป็นข้อมูลแบบจุดพิกัด	16
ภาพที่ 9 ชนิดของโครงข่าย Deep Learning (Types of Deep Learning Networks)	21
ภาพที่ 10 ตัวอย่างของตัวแบบจำแนก SVM บนข้อมูลขนาด 2 มิติ	22
ภาพที่ 11 การคำนวณ Maximum Margin	23
ภาพที่ 12 แผนผังขั้นตอนวิธีการศึกษา	27
ภาพที่ 13 แสดงจุดเก็บข้อมูล	28
ภาพที่ 14 ขยายพื้นที่เก็บข้อมูล	29
ภาพที่ 15 แผนผังขั้นตอนวิธีการศึกษา	33
ภาพที่ 16 ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลภาพถ่ายจาก UAV	34
ภาพที่ 17 แสดงความสัมพันธ์ของข้อมูลค่าความสูงกับข้อมูลภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับใน รูปแบบ Correlation Heatmap	40
ภาพที่ 18 แสดง Scattering plots ความสัมพันธ์ความสูงของต้นอ้อยจากการวัดกับความสูงจากการ ประมาณ	42
ภาพที่ 19 แสดง Scattering plots ความสัมพันธ์ค่าชีวมวลของต้นอ้อยจากการวัดกับค่าชีวมวลจาก การประมาณของข้อมูลจากภาพถ่ายด้วยกล้อง RGB	45

ภาพที่ 20 แสดง Scattering plots ความสัมพันธ์ค่าชีวมวลของต้นอ้อยจากการวัดกับค่าชีวมวลจากการประมาณ	47
ภาพที่ 21 แสดงความสัมพันธ์ของข้อมูลค่าชีวมวลกับข้อมูลภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับในรูปแบบ Correlation Heatmap	48
ภาพที่ 22 แสดง Scattering plots ความสัมพันธ์ค่าผลผลิตของต้นอ้อยจากการวัดกับค่าผลผลิตจากการประมาณของข้อมูลจากภาพถ่ายด้วยกล้อง RGB	51
ภาพที่ 23 แสดง Scattering plots ความสัมพันธ์ค่าผลผลิตของต้นอ้อยจากการวัดกับค่าผลผลิตจากการประมาณของข้อมูลจากภาพถ่ายด้วยกล้อง RGB และ RGN	53
ภาพที่ 24 แสดงความสัมพันธ์ของข้อมูลค่าผลผลิตกับข้อมูลภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับในรูปแบบ Correlation Heatmap	55
ภาพที่ 25 แสดงความสัมพันธ์ของข้อมูลค่าดัชนี GRVI กับ เดือนแต่ละเดือนที่ทำการเก็บข้อมูลสนาม	56
ภาพที่ 26 แสดงความสัมพันธ์ของข้อมูลค่าคลอโรฟิลล์ (SPAD unit) กับข้อมูลภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับในรูปแบบ Correlation Heatmap	58
ภาพที่ 27 แสดง Scattering plots ความสัมพันธ์ค่าคลอโรฟิลล์ (SPAD unit) ของต้นอ้อยจากการวัดกับค่าคลอโรฟิลล์ (SPAD unit) จากการประมาณ	61
ภาพที่ 28 แสดงแผนที่การประมาณความสูงของต้นอ้อยทั้ง 4 ระยะการเจริญเติบโต	62
ภาพที่ 29 แสดงแผนที่การประมาณชีวมวลของต้นอ้อยทั้ง 4 ระยะการเจริญเติบโต	63
ภาพที่ 30 แสดงแผนที่การประมาณผลผลิตของต้นอ้อยทั้ง 4 ระยะการเจริญเติบโต	63
ภาพที่ 31 แสดงแผนที่การประมาณคลอโรฟิลล์ของต้นอ้อยทั้ง 4 ระยะการเจริญเติบโต	64
ภาพที่ 32 แสดงตำแหน่งที่สุ่มเก็บผลผลิตของอ้อยช่วงเก็บเกี่ยว จำนวน 20 จุด	64
ภาพที่ 33 แสดงขั้นตอนการนำภาพที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับเข้าโปรแกรม Agisoft PhotoScan Professional	99
ภาพที่ 34 แสดงขั้นตอนประมวลผลภาพ Align Photos	100
ภาพที่ 35 แสดงขั้นตอนการนำค่าพิกัดจริงมาใช้ในการปรับแก้ค่าพิกัดของภาพ	101
ภาพที่ 36 แสดงขั้นตอนการตรึงค่าพิกัดของภาพ	102

ภาพที่ 37 แสดงขั้นตอนประมวลผลภาพ Build Dese Cloud.....	103
ภาพที่ 38 แสดงขั้นตอนประมวลผลภาพ Build Mesh	104
ภาพที่ 39 แสดงขั้นตอนประมวลผลภาพ Build Texture	105
ภาพที่ 40 แสดงขั้นตอนประมวลผลภาพ Build Tiled Model.....	106
ภาพที่ 41 แสดงขั้นตอนประมวลผลภาพ Build DEM.....	107
ภาพที่ 42 แสดงขั้นตอนประมวลผลภาพ Build Orthomosaic.....	108
ภาพที่ 43 แสดงขั้นตอนส่งออกภาพ Orthomosaic	109
ภาพที่ 44 แสดงขั้นตอนส่งออกภาพแบบจำลองความสูง (DEM).....	110
ภาพที่ 45 แสดงขั้นตอนการติดตั้ง Plugin Processing Toolbar ในโปรแกรม QGIS 3.8	111
ภาพที่ 46 แสดงขั้นตอนการนำเข้าภาพ Orthomosaic	112
ภาพที่ 47 แสดงขั้นตอนการนำเข้าแบบจำลองความสูง.....	113
ภาพที่ 48 แสดงขั้นตอนการคำนวณแผนที่ผลผลิต	114
ภาพที่ 49 แสดงขั้นตอนการตั้งค่าเขตสีของแผนที่	115
ภาพที่ 50 แสดงขั้นตอนการสร้าง Shapefile ของพื้นที่ที่ต้องการหาผลผลิต.....	116
ภาพที่ 51 แสดงขั้นตอนการตัดภาพส่วนที่ต้องการ.....	117
ภาพที่ 52 แสดงขั้นตอนการทำภาพเป็น Reclassify.....	118
ภาพที่ 53 แสดงขั้นตอนการจำแนกเขตสีช่วงของค่าผลผลิตแต่ละช่วง.....	119
ภาพที่ 54 แสดงขั้นตอนการแปลงภาพจากข้อมูล Raster เป็น ข้อมูล Vector.....	120
ภาพที่ 55 แสดงขั้นตอนการแบ่งพื้นที่ของแต่ละช่วงด้วย Dissolved	121
ภาพที่ 56 แสดงขั้นตอนการคำนวณพื้นที่ของแต่ละเขตสีหรือพื้นที่ของผลผลิตแต่ละช่วง	122



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของการทำการศึกษา

อ้อย (Sugarcane) เป็นพืชอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศไทย เนื่องจากไทยเป็นผู้ส่งออกน้ำตาลทรายรายใหญ่เป็น อันดับ 2 ของโลก รองจากประเทศบราซิล ในขณะที่อ้อยยังเป็นพืชอุตสาหกรรมที่มีผู้เกี่ยวข้องมากมายในทุกระดับ ตั้งแต่ ระดับไร่อ้อยถึง โรงงานน้ำตาลและอุตสาหกรรมต่อเนื่องอื่น ๆ เช่น การผลิตไฟฟ้า ไม้อัด กระดาษ เอทานอล เป็น เชื้อเพลิง และอาหารสัตว์ เป็นต้น ในปี พ.ศ. 2562 ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกอ้อย ประมาณ 10.9 ล้าน ไร่ มีผลผลิตอ้อยสูงถึง 131 ล้านตัน โดยเพิ่มขึ้นจากปี 2561 คิดเป็นร้อยละ 6.01 คิดเป็นมูลค่าจาก การจำหน่ายน้ำตาลประมาณ 180,000 ล้านบาท (สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย, 2562) เกษตรกรปลูกอ้อยในประเทศไทยสามารถสร้างอาชีพให้กับคนไทยมากกว่า 1.5 ล้านคน มีเกษตรกรปลูกอ้อยมากกว่า 336,800 คน และมีโรงงานน้ำตาลในประเทศมากถึง 51 โรงงาน ซึ่ง พื้นที่ปลูกอ้อยนั้นเทียบเท่ากับร้อยละ 8 ของพื้นที่ทำการเกษตรทั้งหมดของประเทศไทย (The esaan record, 2019)

การปลูกอ้อยเป็นเกษตรแปลงใหญ่ โดยจะมีการสนับสนุนให้เกษตรกรไร่อ้อยรายย่อยมีการ รวมกันผลิตสินค้าการเกษตรการบริหารจัดการ รวมถึงการจำหน่ายร่วมกัน ซึ่งจะทำให้เกษตรกรสา มารถต้นทุนการผลิต เพิ่มผลผลิตและสามารถแข่งขันในตลาดได้ (สำนักงานเลขาธิการผู้แทนราษฎร, 2561) ปัญหาหนึ่งที่เกษตรกรพบในการปลูกอ้อยคือการตรวจติดตามการเจริญเติบโตของอ้อยตลอดการ เพาะปลูกนับตั้งแต่เริ่มปลูกจนถึงการเก็บเกี่ยว โดยเฉพาะพื้นที่ปลูกที่มีขนาดใหญ่ต้องใช้ระยะเวลา แรงงาน และงบประมาณสูงมาก (Chu, Starek, Brewer, Murray, & Pruter, 2017) อีกทั้งยังไม่ สามารถตรวจติดตามทั่วทั้งพื้นที่ได้ ดังนั้น เทคโนโลยีการสำรวจระยะไกลจากอากาศยานไร้คนจึงเป็น ทางเลือกที่เหมาะสม เพราะเป็นวิธีการที่ ช่วยลดระยะเวลา แรงงาน และให้ข้อมูลรายละเอียดเชิง พื้นที่สูงในการสำรวจ (Luna & Lobo, 2016)

เป็นเวลากว่า 50 ปีแล้วที่ภาพถ่ายดาวเทียมถูกนำมาใช้เพื่อติดตามการเจริญเติบโตของพืชผล ปัจจุบันอากาศยานพาหนะไร้คนขับ (UAV) กำลังได้รับการประเมินสำหรับการวิเคราะห์ภายในความ แปรปรวนเชิงพื้นที่สำหรับการจัดการความแม่นยำทางการเกษตรเนื่องจากภาพ UAV อาจได้รับอย่าง รวดเร็วในช่วงเวลาวิกฤตของการเจริญเติบโตของพืชอย่างรวดเร็ว (Na, Park, & Lee, 2016) ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมาอากาศยานไร้คนขับ (UAVs) ถูกนำมาใช้กันทั่วไปสำหรับแอปพลิเคชันตรวจจับ

ระยะไกลที่มีความสูงต่ำและมีความละเอียดสูงเนื่องจากมีข้อได้เปรียบเช่นความคล่องตัว, น้ำหนักเบา และต้นทุนการดำเนินงานต่ำ (Garcia-ruiz et al., 2013)

หลายรายงานการศึกษาทั้งในและต่างประเทศพบว่า มีการใช้อากาศยานไร้คนขับในงานเกษตรแบบแม่นยำสูง เช่น การตรวจวัดความสูงพืช (Anthony et al., 2014; X. Han et al., 2018; Holman et al., 2016; Moeckel et al., 2018) ติดตามการเจริญเติบโต (Ballesteros, Ortega, Hernandez, & Moreno, 2018; Bendig et al., 2014; L. Han et al., 2019; Souza, Lamparelli, Rocha, & Magalhães, 2017; Suphan, Kaewplang, & Sa-Ngiamvibool, 2019; Vega, Ramirez, Saiz, & Rosúa, 2015; Yun, Park, Kim, Lee, & Lee, 2016; ศิवा แก้วปลั่ง, 2561; ศิवा แก้วปลั่ง และ เนติ ศรีหามู, 2561) การตรวจจับโรคพืช (Kerkech, Hafiane, & Canals, 2018; Raman & Muthukathan, 2015; อัครพล ไชยเสนา และ ศิवा แก้วปลั่ง, 2563) การทำนายผลผลิต (Maimaitijiang et al., 2020; Yang, Shi, Han, Zha, & Zhu, 2019; Zhou et al., 2017) หลายรายงานการวิจัยมีการใช้กล้องหรือเซนเซอร์ที่แตกต่างกัน เช่น กล้อง RGB (Bendig et al., 2014; ศิवा แก้วปลั่ง, 2561) , Multispectral (L. Han et al., 2019; Vega et al., 2015; ศิवा แก้วปลั่ง และ เนติ ศรีหามู, 2561) , Hyperspectral (Adão et al., 2017) และ Laser scan (Anthony et al., 2014)

โดยรายงานการศึกษาของ (Luna & Lobo, 2016) ได้ทำการศึกษากการสร้างแผนที่ของอ้อยจากภาพถ่าย UAV-RGB ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.9 รากกำลังสองเฉลี่ยผิดพลาด (RMSE) เท่ากับ 5.04 (Souza et al., 2017) ได้ทำการศึกษากการสร้างแผนที่ของอ้อยจากภาพถ่าย UAV-RGB และ วิธี OBIA ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.97 (Yano, Alves, Santiago, & Mederos, 2016) ศึกษาการจำแนกวัชพืชในไร่อ้อยผ่านภาพถ่าย UAV-RGB โดยใช้แบบจำลอง Random Forest ซึ่ง วิธีการแก้ปัญหานี้ให้ความแม่นยำโดยรวมร้อยละ 82 และค่าสัมประสิทธิ์ค้ำปา 0.73 (Moeckel et al., 2018) ได้ตรวจสอบความสูงของพืชโดยใช้ภาพถ่าย UAV-RGB ในช่วงระยะเวลาการเจริญเติบโตทั้งหมดส่งผลให้การประมาณการความสูงและมวลชีวภาพของพืชทั้งสามอย่างละเอียดและแม่นยำ (R^2 มีค่าตั้งแต่ 0.87 ถึง 0.97) (Yun et al., 2016) ดำเนินการตรวจสอบหลายส่วนชั่วคราวของส่วนพืชแก้วเหลืองเพื่อประเมินพืชเงื่อนไขการใช้ภาพถ่าย UAV-RGB) ในการศึกษาโดย (Geipel, Link, & Claupein, 2014) ใช้ทั้งดัชนีพืชพรรณและความสูงของพืชโดยใช้ภาพถ่าย UAV-RGB ในการทำนายผลผลิตข้าวโพด ในขณะที่ (Anthony et al., 2014) นำเสนอระบบ micro-UAV ที่ติดตั้งด้วยเครื่องสแกนเลเซอร์เพื่อวัดความสูงของพืช นอกจากนี้ (Bendig et al., 2014) ประเมินมวลชีวภาพของข้าวบาร์เลย์โดยใช้ความสูงของพืชที่ได้จากภาพถ่าย UAV และ (Vega et al., 2015) ใช้กล้อง Multispectral ประมาณการมวลชีวภาพของพืช และมีการประมาณ

พารามิเตอร์ทางเรขาคณิตของต้นไม้จากข้อมูลภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ (Díaz-varela, Rosa, León, & Zarco-tejada, 2015; Torres-sánchez et al., 2015) (Díaz-varela et al., 2015)

(Som-ard, Hossain, Ninsawat, & Veerachitt, 2018) ทำการศึกษาการประมาณผลผลิตอ้อยก่อนเก็บเกี่ยวโดยใช้ภาพถ่ายจากกล้อง RGB ที่ติดตั้งบนอากาศยานไร้คนขับและการข้อมูลการสำรวจภาคพื้นดิน โดยเริ่มจากการจำแนกพื้นที่ส่วนที่เป็นอ้อยกับพื้นที่ส่วนที่ไม่ใช่อ้อย วิเคราะห์ผ่าน 2 วิธี คือวิธี OBIA และ Pixel base ซึ่งสามารถจำแนกออกได้เป็น 14 Class (N_{Pi}) แล้วทำการวัดความสูง (H) และน้ำหนัก (W) เฉลี่ยของแต่ละ Class รวมถึงการนับจำนวนท่อนของต้นอ้อย (N_{Si}) ซึ่งผลผลิตจะคำนวณได้ตามสมการ $S_y = \sum_{n=1}^i N_{Pi} \times N_{Si} \times W \times H$ ผลการศึกษาพบว่าวิธี OBIA ให้ผลการประมาณค่าที่ดีที่สุดที่ร้อยละ 96 และวิธี Pixel base ให้ผลการประมาณค่าอยู่ที่ ร้อยละ 88

(Shendryk et al., 2020) ทำการประมาณค่าอย่างละเอียดของชีวมวลและปริมาณไนโตรเจนที่อยู่ในใบอ้อยโดยใช้ LiDAR และภาพถ่ายจากกล้อง Multispectral ที่ติดตั้งบนอากาศยานไร้คนขับ แบ่งการเก็บข้อมูลออกเป็น 2 ส่วนคือภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับและการเก็บข้อมูลภาคสนาม โดยเริ่มจากการบินถ่ายภาพที่ความสูง 30 เมตร และเก็บตัวอย่างชั่งน้ำหนัก 56 ตัวอย่าง ของแต่ละแปลงที่มีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนเท่ากับ 0, 70, 110, 150 และ 190 kg.N.ha⁻¹ ซึ่งค่าชีวมวลคำนวณได้จากค่าการสะท้อนแสงของพืช ดัชนีพืชพรรณ และน้ำหนัก ผลการศึกษาพบว่ากล้อง Multispectral ให้ผลการประมาณค่าที่ดีที่สุด R² เท่ากับ 0.57 และ LiDAR ให้ผลการประมาณค่า R² เท่ากับ 0.52

(Sofonia et al., 2019) ติดตามการตอบสนองของต้นอ้อยเพื่อหาค่าการใช้ไนโตรเจนที่แตกต่างกันโดยใช้ภาพถ่าย SLAM LiDAR (Hovermap) และกล้อง Multispectral RedEdge ที่ติดตั้งบนอากาศยานไร้คนขับ โดยออกแบบอัตราการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนเท่ากับ 0, 70, 110, 150 และ 190 kg.N.ha⁻¹ และใช้ Hovermap ในการสร้างแผนที่ชีวมวล ส่วนกล้อง RedEdge จะใช้ในการสร้างแผนที่ความสูงและแผนที่ค่าการสะท้อนแสง และเก็บอย่างวัดความสูงและน้ำหนักเฉลี่ย นำผลที่ได้จาก Hovermap และกล้อง RedEdge ไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) โดยผลการศึกษาพบว่า SLAM LiDAR ให้ผลการประมาณค่า R² เท่ากับ 0.97 และ Multispectral RedEdge ให้ผลการประมาณค่า R² เท่ากับ 0.99

จากหลายรายงานการศึกษาที่กล่าวมา พบว่ามีความเป็นไปได้ที่จะทำการศึกษาเรื่องการติดตามการเจริญเติบโตของอ้อย โดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายรายละเอียดสูงจากอากาศยานไร้คนขับ ซึ่งการศึกษานี้มีเป้าหมายเพื่อติดตามการเจริญเติบโตของอ้อย โดยใช้แบบจำลอง Generalized Linear

Model, Deep Learning และ Support Vector Machines และทำการประเมินประสิทธิภาพแบบจำลองโดยใช้ RMSE และ R^2 ซึ่งจะทำให้ข้อมูลนั้นมีค่าความถูกต้องแม่นยำมากยิ่งขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์

ติดตามการเจริญเติบโตของอ้อย ด้วยการสำรวจระยะไกลโดยใช้ภาพถ่ายระยะเยียดสูงจากอากาศยานไร้คนขับ

1.3 ขอบเขตและข้อจำกัดของการวิจัย

1. ข้อมูลภาพถ่ายความละเอียดสูงจากอากาศยานไร้คนขับแบบใบพัดหมุน Phantom 3 Advanced ที่ติดตั้งกล้อง RGB และ RGN ติดตามและประมาณค่าชีวมวลของต้นอ้อย ร่วมกับการเก็บข้อมูลสนามเพื่อพัฒนาแบบจำลอง

2. วิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยใช้อัลกอริทึม 3 วิธี คือ Generalized Linear Model, Deep Learning และ Support Vector Machines ทำการประเมินประสิทธิภาพแบบจำลองโดยใช้ ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) และรากกำลังสองเฉลี่ยผิดพลาด (RMSE)

3. พันธุ์อ้อยที่ศึกษาเป็นพันธุ์ขอนแก่น 3 ที่อาศัยน้ำฝนและน้ำตามร่องคูในการเพาะปลูก ที่แปลงทดลองของโรงงานน้ำตาลพิมาย ศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น สถาบันวิจัยพืชไร่และพลังงานทดแทนกรมวิชาการเกษตร อ.ธารละหลอด อ.พิมาย จ.นครราชสีมา

1.4 สถานที่ทำการวิจัย

1. ห้องปฏิบัติการวิศวกรรมแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

2. ไร่อ้อย 100 ไร่ ตั้งอยู่ที่ ตำบลธารละหลอด อำเภอพิมาย จังหวัดนครราชสีมา

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถติดตามผลการเจริญเติบโตของอ้อยด้วยการสำรวจระยะไกลโดยใช้ภาพถ่ายระยะเยียดสูงจากอากาศยานไร้คนขับ

2. สามารถสร้างแบบจำลองได้จากการเก็บข้อมูลในสนาม

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาเรื่องการติดตามการเจริญเติบโตของอ้อย ด้วยการสำรวจระยะไกลโดยใช้ภาพถ่ายรายละเอียดสูงจากอากาศยานไร้คนขับผู้วิจัยได้ทำการศึกษาแนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำมาเป็นกรอบแนวคิดในการศึกษา ตามหัวข้อดังต่อไปนี้

2.1 อ้อย

อ้อย (ชื่อวิทยาศาสตร์: *Saccharum officinarum*) เป็นพืชวงศ์ POACEAE วงศ์เดียวกับ ไม้หญ้าและธัญพืช เช่น ข้าวสาลี ข้าว ข้าวโพด และ ข้าวบาร์เลย์ มีถิ่นกำเนิดในเขตร้อนของทวีปเอเชีย ในลำต้นอ้อยที่นำมาใช้ทำน้ำตาลมีปริมาณซูโครสประมาณร้อยละ 17 ถึง 35 ซานอ้อย (bagasse) ที่ถูกบีบน้ำอ้อยออกไปแล้ว สามารถนำมาใช้ทำกระดาษ พลาสติก เป็นเชื้อเพลิง และอาหารสัตว์ ส่วนกากน้ำตาล (molasses) ที่แยกออกจากน้ำตาลในระหว่างการผลิต สามารถนำไปหมักเป็นเหล้ารัม (rum) ได้อีกด้วย

อ้อยเป็นพืชชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญเป็นอย่างมากเมื่อพิจารณาในแง่ของผลผลิต เพราะอ้อยสามารถใช้ปัจจัยสำหรับการเจริญเติบโต เช่น แสงแดด น้ำ อากาศ และธาตุอาหารได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้อ้อยยังเป็นพืชที่ปลูกง่าย และเมื่อปลูกครั้งหนึ่งแล้ว สามารถเก็บเกี่ยวได้หลายครั้ง อ้อยชอบอากาศร้อนและชุ่มชื้น ดังนั้นประเทศที่ปลูกอ้อย ซึ่งมีประมาณ 70 ประเทศจึงอยู่ในแถบร้อนและชุ่มชื้นในระหว่างเส้นรุ้งที่ 35 องศาเหนือ และ 35 องศาใต้ ประเทศผู้ปลูกอ้อยที่สำคัญ ได้แก่ บราซิล คิวบา อินเดีย (เกษม สุขสถาน, 2523)

2.1.1 พันธุ์อ้อย

1. อ้อยเคี้ยว คือ มีเปลือกนิ่ม ชานนิ่ม มีความหวานปานกลางถึงค่อนข้างสูง ใช้บริโภคสด ที่นิยมปลูกคือ พันธุ์อ้อยสิงคโปร์ หรืออ้อยสำลี มีชานนิ่มมาก ลำต้นสีเหลืองอมเขียว เมื่อหีบแล้วได้น้ำอ้อยสีสายนำมารับประทาน

2. อ้อยทำน้ำตาล เป็นพันธุ์อ้อยลูกผสม ที่ทางกรมวิชาการเกษตรแนะนำได้แก่ พันธุ์อุ้มทอง 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 พันธุ์ขอนแก่น พันธุ์ชัยนาท และพันธุ์มุกดาหาร ปัจจุบันนิยมใช้พันธุ์ K84-200 ในพื้นที่ภาคเหนือและภาคกลาง พันธุ์ฟิล 6607 ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และพันธุ์อุ้มทอง 1 ในภาคตะวันออก (lonique, 2014)

อ้อยขอนแก่น 3

อ้อยขอนแก่น 3 (ชื่อเดิม 94-2-200) อ้อยพันธุ์ใหม่สำหรับภาคตะวันออกเฉียงเหนือ คัดเลือกได้จากกลุ่มสมของอ้อยโคลน 85-2-352 กับพันธุ์เค 84-200 ในการประเมินผลผลิตในขั้นการเปรียบเทียบเบื้องต้น การเปรียบเทียบมาตรฐานการเปรียบเทียบในไร่เกษตรกร และการทดสอบในไร่เกษตรกรระหว่างปี พ.ศ. 2538 ถึง 2550 รวม 35 แปลงทดลอง พบว่าพันธุ์ขอนแก่น 3 ให้ผลผลิตเฉลี่ยในอ้อยปลูกและอ้อยต่อ 1 ที่ 18.1 และ 16.5 ตันต่อไร่ สูงกว่าพันธุ์อุทอง 3 ที่ระดับร้อยละ 25 และ 28 มีค่าซีซีเอสเฉลี่ยในอ้อยปลูกและอ้อยต่อ 1 ที่ 14.6 และ 15.1 ตันต่อไร่ ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับอ้อยพันธุ์อุทอง 3 และขอนแก่น 1 อ้อยพันธุ์นี้ไม่ออกดอก ส่งผลให้น้ำหนักและความหวานไม่ลดลงในช่วงปลายฤดู หนีบ กาบใบอ้า และหลวมปานกลาง ทำให้เก็บเกี่ยวได้สะดวกและรวดเร็วโดยเฉพาะการเก็บเกี่ยวอ้อยสด อ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 เป็นพันธุ์ที่มีการแตกกอดี ใบคลุมพื้นที่ได้เร็ว ทำให้การแข่งขันกับวัชพืชได้ดี ส่งผลให้ลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดวัชพืช และมีความต้านทานในระดับปานกลางต่อโรคเส้ดำและเหี่ยวเน่าแดง นอกจากนี้อ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 สามารถปลูกได้ทั่วไปในพื้นที่ที่เป็นดินร่วนปนทราย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเขตปลูกอ้อยของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ในฤดูการผลิตปี พ.ศ. 2553/54 มีพื้นที่ปลูกประมาณ 400,000 ไร่ ระยะเวลาปลูกที่เหมาะสมคือระยะระหว่างแถว 1.0 ถึง 1.5 ม. และระยะระหว่างกอ 12.5 ถึง 25.0 ซม. หรือปลูกแบบวางลำ การปลูกปลายฤดูฝนในดินชุดโคราช ในอ้อยปลูกควรใช้ปุ๋ยอัตรา 9-6-6 (N-P₂O₅-K₂O) กก.ต่อไร่ ในอ้อยต่อควรใช้อัตรา 18-6-6 (N-P₂O₅-K₂O) กก.ต่อไร่ การปลูกในฤดูฝนในดินชุดสติ๊ก ควรใช้ปุ๋ยอัตรา 18-15-9.5 (N-P₂O₅-K₂O) กก.ต่อไร่ ทั้งในอ้อยปลูกและอ้อยต่อ (วีระพล พลรักดี, 2554)

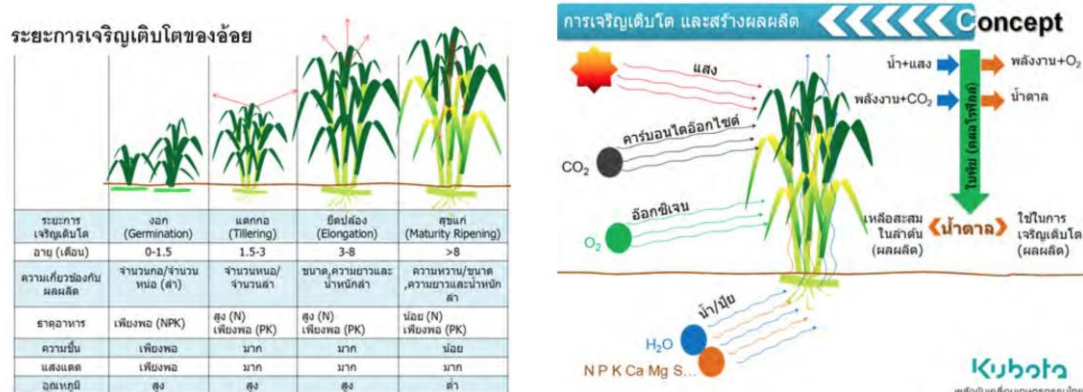
2.1.2 ระยะการเจริญเติบโตของอ้อย

ระยะที่ 1 : การงอกของตาอ้อย หลังจากเสร็จสิ้นการเพาะปลูก ขั้นตอนการงอกมาจากการงอกของตา ในสภาวะที่เหมาะสม การงอกเริ่มจาก 7 ถึง 10 วัน และสิ้นสุดที่ราว ๆ ประมาณ 30 ถึง 35 วัน การงอกของตาได้รับอิทธิพลจากภายนอกที่เป็นปัจจัย คือ ความชื้นในดิน , อุณหภูมิของดิน และอากาศ และ ปัจจัยภายใน คือ สุขภาพ ของตาอ้อย , ความชื้นภายในลำอ้อย , ปริมาณน้ำตาลที่ลดลงภายในลำอ้อย และ ปริมาณสารอาหาร อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการงอกประมาณ 28 ถึง 30 องศาเซลเซียส และ อุณหภูมิต่ำสุดที่เกิดการงอกได้ คือ ประมาณ 12 องศาเซลเซียส กล่าวคือ ลักษณะดินอบอุ่นชื้น จะทำให้อ้อย งอกอย่างรวดเร็ว การงอกจะเพิ่มขึ้นจากกระบวนการหายใจ ได้มากขึ้นของอ้อย ดังนั้นการเติมอากาศลงในดินที่ดี จึงมีความสำคัญ ดังนั้นการเปิดดินให้มี โครงสร้างเป็นรูพรุน ช่วยในการงอกได้ดีกว่า

ระยะที่ 2 : การแตกกอ การแตกกอ จะเริ่มจากราว ๆ 40 วัน หลังปลูก และ อาจนานถึง 120 วัน การแตกกอ เป็นกระบวนการทางสรีรวิทยาของ แบบการ ทำซ้ำภายใต้พื้นดิน โดยแยกออกจากข้อตาที่เป็นหน่อแม่ โดยการแตกกออ้อย ให้มีจำนวนข้อที่เหมาะสม จะทำให้ได้ผลผลิตที่ดี ปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อ การแตกกอ มีหลากหลาย ได้แก่ แสง , อุณหภูมิ, ความชื้นในดิน และปุ๋ย ซึ่ง แสงเป็น ปัจจัยภายนอก ที่สำคัญที่สุด ที่มีอิทธิพลต่อ การแตกกอของอ้อย แสงที่เพียงพอ เป็นพื้นฐาน ของอ้อยในช่วงระยะแตกกอ ที่มีความสำคัญยิ่ง อุณหภูมิ ประมาณ 30 องศาเซลเซียส ถือว่าเหมาะสมสำหรับการ แตกกอ ส่วนถ้า อุณหภูมิต่ำกว่า 20 องศาเซลเซียส จะทำให้ ชะลอ การแตกกอหน่อที่เกิดขึ้น ในช่วงต้น ก่อให้เกิด ลำที่ใหญ่และหนัก แต่หน่อ ที่เกิดขึ้น ในช่วงปลาย จะมีโอกาสทั้งตายหรือ เกิดขึ้นในระยะสั้น คือโตไม่เต็มที เท่านั้น การปลูกอ้อยในระยะการแตกกอนั้น การควบคุม น้ำ และ วัชพืช ที่มีอิทธิพลต่อ การแตกกอ ซึ่งจะช่วยกระตุ้น การแตกกอ ให้มีประมาณ หน่อลูกที่เหมาะสม ส่งผลต่อการได้ผลผลิต ต้นต่อไร่ ที่ดี

ระยะที่ 3 : ระยะการเจริญเติบโตของลำต้นอ้อย ระยะการเจริญเติบโตของลำอ้อย เริ่มจาก 120 วันหลังปลูก จนถึงเวลา 270 วัน ในการปลูกจาก 12 เดือน ซึ่งในช่วงแรกของการเพาะปลูก จากหน่อทั้งหมด จะได้ผลผลิตเพียงร้อยละ 40 ถึง 50 ที่อยู่รอด ขั้นตอนที่สำคัญที่สุดของการงอกของอ้อย และการเติบโตเป็นผลผลิต จะสร้างขึ้นในสภาวะที่ดี โดยข้ออ้อยจะเติบโตอย่างรวดเร็วเกือบ 4 ถึง 5 ปล้องต่อเดือน ปริมาณน้ำ และ สภาพภูมิอากาศอบอุ่นชื้น และแดด ช่วยในการยืดตัวของข้ออ้อย ในขณะเดียวกัน อุณหภูมิประมาณ 30 องศาเซลเซียส และมีความชื้นประมาณ 80% ที่เอื้อมากที่สุดสำหรับการเจริญเติบโตของลำอ้อย

ระยะที่ 4 : ระยะการเติบโตเต็มที่ (อ้อยสุก) ระยะการเติบโตเต็มที่ จะเริ่มใน 270 ถึง 360 วัน หลังปลูก โดยการสังเคราะห์น้ำตาล และการสะสมตัวอย่างรวดเร็วของน้ำตาลจะเกิดขึ้น ในช่วงนี้ โดยการเติบโตสูงสุดของอ้อยจะหยุดลง กลายเป็นระยะการสร้างน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (โมโนแซ็กคาไรด์ ได้แก่ ฟรุกโตส และ กลูโคส) จะถูกแปลงเป็นน้ำตาลโมเลกุลคู่ หรือน้ำตาลทราย (ซูโครสไดแซ็กคาไรด์) โดยอ้อยจะโตเต็มที่ จากข้อด้านล่างไปข้อด้านบน ดังนั้น ข้อด้านล่าง จึงมีน้ำตาลมาก กว่าข้อด้านบน ซึ่งแสงแดดที่เพียงพอ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในแต่ละวันที่เหมาะสม และสภาพอากาศที่แห้ง จะเอื้อต่อ การทำให้อ้อยโตเต็มที่ได้อย่างสมบูรณ์ (Rattanakaw, 2019)



ภาพที่ 1 ระยะการเพาะปลูกและการเจริญเติบโตของอ้อย

ที่มา: https://www.kubotasolutions.com/knowledge/sugar_cane/detail/38

2.2 การสำรวจข้อมูลจากระยะไกล (Remote Sensing)

เทคโนโลยีการสำรวจทรัพยากรจากภาพถ่ายดาวเทียม หรือการสำรวจข้อมูลจากระยะไกลในประเทศไทยได้เริ่มต้นขึ้น ตั้งแต่ ปีพ.ศ.2514 โดยได้มีการแต่งตั้งคณะกรรมการแห่งชาติเพื่อประสานงานกับกองสำรวจทรัพยากรธรรมชาติด้วยดาวเทียม ซึ่งมีผู้ทรงคุณวุฒิจากหน่วยงานต่าง ๆ ได้อนุมัติให้เข้าร่วมโครงการสำรวจทรัพยากรธรรมชาติด้วยดาวเทียมขององค์การบริหารการบินและอวกาศแห่งชาติ (NASA) ในการใช้ประโยชน์จากข้อมูลดาวเทียมเพื่อสำรวจทรัพยากรต่าง ๆ ภายในประเทศ ดาวเทียมดวงแรก ได้แก่ LANDSAT-1 โดยใช้เป็นโครงการสำรวจทรัพยากรธรรมชาติด้วยดาวเทียม ภายใต้ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ต่อมาได้มีการยกระดับขึ้นเป็นกองสำรวจทรัพยากรธรรมชาติด้วยดาวเทียม ในปี พ.ศ. 2522 โดยมีหน่วยงานต่าง ๆ ได้นำเอาข้อมูลดาวเทียมไปใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวาง ดังนั้นคณะรัฐมนตรีจึงได้อนุมัติให้ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ จัดตั้งสถานีรับสัญญาณดาวเทียมสำรวจทรัพยากร ขึ้นมาในปี พ.ศ. 2523 มีหน้าที่ในการรับและผลิตข้อมูลดาวเทียม ซึ่งเป็นสถานีรับสัญญาณแห่งแรกในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ในปัจจุบันได้โอนไปอยู่ในหน่วยงาน “สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ” ตั้งขึ้น เมื่อวันที่ 2 พฤศจิกายน พ.ศ.2543

ข้อมูลที่ได้จากดาวเทียมถูกนำไปใช้ในงานสำรวจและติดตามการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมต่าง ๆ เช่น พื้นที่ป่าไม้ การเกษตร ธรณีวิทยา อุทกวิทยา และสิ่งแวดล้อม เป็นต้น (สุพรรณิการ์ เกตุศิริ, 2557)

2.3 ความหมายและกระบวนการ Remote Sensing

Remote Sensing คือข้อมูลเกี่ยวกับวัตถุ พื้นผิว ที่ได้จากเครื่องมือบันทึกข้อมูล (Sensor) โดยเราไม่ได้เข้าไปสัมผัสกับตัววัตถุ แต่จะอาศัยคุณสมบัติคลื่นแม่เหล็กของไฟฟ้า (Electromagnetic Energy) เป็นสื่อ โดยคำที่ใช้กันอย่างแพร่หลายและเป็นทางการ คือ การสำรวจข้อมูลจากระยะไกล (พิชชาพร อุ่นผาง, 2557)

สำหรับการทำงานของ การสำรวจข้อมูลระยะไกล ประกอบด้วยสองกระบวนการหลัก

2.3.1 การรับข้อมูลและบันทึกสัญญาณข้อมูล (Data acquisition) โดยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic spectrum) จากดวงอาทิตย์เคลื่อนที่ผ่านชั้นบรรยากาศทำให้เกิดปฏิสัมพันธ์ของพลังงานกับรูปลักษณะพื้นผิวโลก และเดินทางเข้าสู่เครื่องมือบันทึกข้อมูล (Sensor) ที่ติดตั้งใน ดาวเทียม (Airborne or Space borne) ข้อมูลจะถูกบันทึก และผลิตเป็นข้อมูลในรูปแบบภาพ (Sensor Data in Pictorial หรือ Photograph) หรือรูปแบบเชิงตัวเลข (Digital Form)

2.3.2 การวิเคราะห์ข้อมูล (Data analysis) จะประกอบด้วย การแปลข้อมูลด้วยสายตา (Visual Interpretation) และการวิเคราะห์เชิงตัวเลข (Digital Analysis) (สมบัติ อยู่เมือง, 2558)



ภาพที่ 2 กระบวนการสำรวจข้อมูลจากระยะไกล

ที่มา: <http://dc356.4shared.com/doc/8AuUxLWq/preview.html>

2.4 การสำรวจด้วยภาพถ่ายทางอากาศ (Photogrammetry)

การสำรวจด้วยภาพถ่าย เป็นการสำรวจที่ประยุกต์หลักวิชา Photogrammetry มาใช้ในการสำรวจภูมิประเทศ การทำแผนที่ และการสำรวจภาคพื้นดิน (Terrestrial) และทางอากาศ (Aerial)

โฟโตแกรมเมตรีเป็นเทคโนโลยีที่ใช้ในการทำข้อมูลสารสนเทศที่มีความแม่นยำสูงเกี่ยวกับวัตถุภาพและสภาพแวดล้อมต่าง ๆ โดยผ่านกระบวนการบันทึก การรังวัด และการแปลความหมายจากภาพถ่าย และรูปแบบการแพร่ของพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และปรากฏการณ์อื่น ๆ ที่ถูกบันทึกไว้ จากคำนิยามของงานทางโฟโตแกรมเมตรี สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะคือ

1. Photogrammetry ที่เกี่ยวกับการรังวัดภาพ (Metric photogrammetry) ซึ่งรวมการวัดอย่างละเอียดและการคำนวณ เพื่อให้ได้ขนาดของวัตถุ
2. Photogrammetry ที่เกี่ยวกับการแปลภาพ (Interpretation photogrammetry) ซึ่งเป็นการปฏิบัติเกี่ยวกับการรับรู้ภาพจากระยะไกล และจำแนกวัตถุต่าง ๆ (ไพศาล สันติธรรมนนท์, 2553)

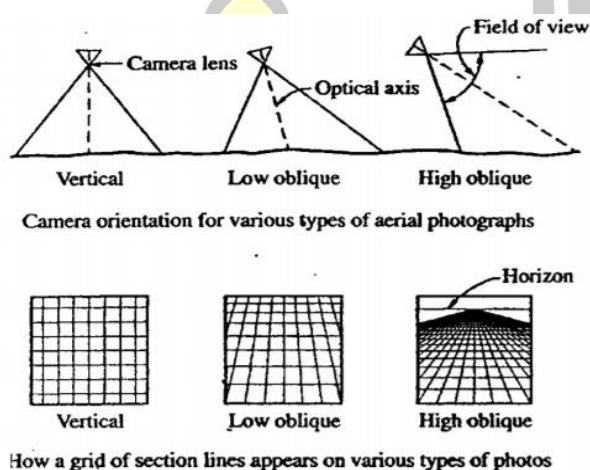
2.5 ชนิดของภาพถ่าย

ภาพถ่ายในงานทาง Photogrammetry แบ่งเป็นภาพที่ถ่ายจากภาคพื้นดิน (Terrestrial) และทางอากาศ (Aerial) ภาพถ่ายภาคพื้นดินถ่ายด้วยกล้องที่อยู่บนพื้น (Ground – based cameras) ซึ่งจะทราบตำแหน่ง (position) และการเอียงตัว (orientation) ของกล้อง ทำให้เกิดสาขาของงาน Photogrammetry ที่เรียกว่า “Terrestrial Photogrammetry” เป็นการประยุกต์การรังวัดด้วยภาพที่มีการใช้เครื่องมือและดำเนินการรังวัดบนภาคพื้นดิน การรังวัดใช้กล้องที่มีขนาดเล็กลงเพื่อให้สามารถเคลื่อนย้ายในสนามได้สะดวก การรังวัดภาพพื้นดินนิยมใช้กับการทำแผนที่ภูมิประเทศที่ขอบเขตไม่กว้างขวางนัก แต่ภูมิประเทศซับซ้อน เช่น การทำแผนที่ของเหมืองเปิด การทำแผนที่ของภูมิประเทศที่เป็นเนินเขาและหุบเขา และอีกสาขา เรียกว่า “Close-range Photogrammetry” เป็นการรังวัดด้วยภาพที่ระยะระหว่างกล้อง อยู่ห่างจากวัตถุที่จะรังวัดไม่มากนัก โดยทั่วไปจะจำกัดในระยะ 1 ถึง 100 เมตร จะมีการใช้กล้องถ่ายภาพพิเศษเพื่อการนี้โดยเฉพาะปัจจุบันมีการประยุกต์ใช้กล้องถ่ายภาพดิจิทัลที่ใช้งานอยู่ทั่วไปในท้องตลาด มักจะประยุกต์ใช้งานด้านโบราณสถาน โบราณวัตถุ งานด้านการตรวจสอบทางอุตสาหกรรม ทางด้านการแพทย์ เพื่อใช้หาขนาดและรูปร่างของวัตถุที่ซับซ้อนหรือต้องการประหยัดเวลาในการบันทึก

ภาพถ่ายทางอากาศ โดยทั่วไปแบ่งออกได้เป็นภาพตั้ง กับ ภาพเฉียง ภาพตั้ง (Vertical) คือภาพที่ถ่ายโดยให้แกนของกล้องอยู่ในแนวตั้งมากที่สุด ถ้าแกนของกล้องขณะถ่ายภาพอยู่ในแนวตั้งจริง ๆ ระนาบภาพจะขนานกับระนาบราบของพื้นหลักฐาน และภาพที่ได้เรียกว่า ตั้งจริง (Truly Vertical) ในการถ่ายภาพตั้ง อาจจะมีปัญหาเรื่องของแนวกล้องที่จะให้อยู่ในแนวตั้งอยู่ตลอดเวลา

เนื่องจากสภาพอากาศ ทำให้เครื่องบินเกิดการเอียงในขณะที่ถ่ายภาพ ถ้าแกนของกล้องเอียงไปจากแนวตั้งเพียงเล็กน้อย ภาพที่ได้เรียกว่า ภาพเอียง (Tilt) ความเอียงของแกนกล้องนี้ปกติจะน้อยกว่า 1° และไม่เกิน 3° ในการทำงานบางครั้งก็ถือเอาภาพเอียงเป็นภาพตั้งจริง เครื่องมือที่มีความละเอียดถูกต้องและวิธีการในงานโฟโตแกรมเมตรี ได้รับการพัฒนาจนทำให้การใช้ภาพเอียงไม่ทำให้ความถูกต้องของงานที่ได้ลดลง

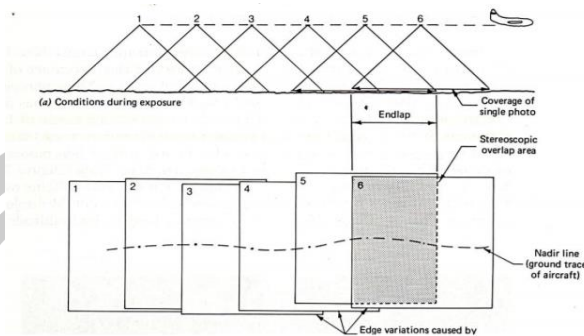
ภาพเอียง (Oblique) คือ ภาพที่ถ่ายโดยให้แกนของกล้องเอียงออกจากแนวตั้ง ภาพเอียงต่ำ (Low Oblique) จะไม่ปรากฏเส้นขอบฟ้า ส่วนภาพเอียงสูง (High Oblique) จะปรากฏแนวเส้นขอบฟ้า (กิตติศักดิ์ ศรีกลาง, 2559)



ภาพที่ 3 ชนิดภาพถ่ายภาพแนวตั้ง ภาพเอียงต่ำ ภาพเอียงสูง
ที่มา : (กิตติศักดิ์ ศรีกลาง, 2559)

2.5.1 การบินถ่ายภาพตั้ง

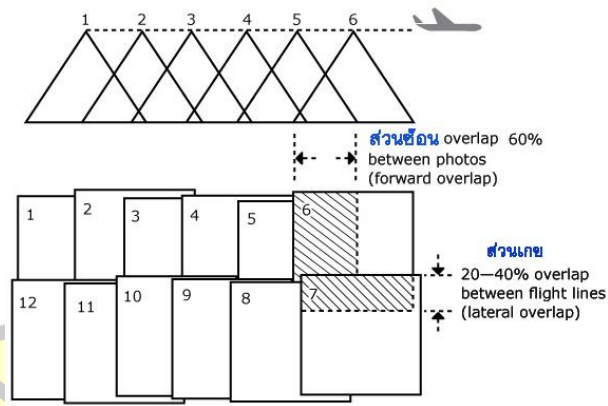
ในการถ่ายภาพตั้งด้วยกล้องถ่ายภาพทางอากาศแบบกรอบ (Framecamera) ที่ติดตั้งเครื่องบินให้คลุมพื้นที่ จะถ่ายภาพเป็นแนวขนานกัน เรียกว่า “แนวบิน” (Flight Strip) ภาพที่อยู่ประชิดกันในแต่ละแนวบินจะครอบคลุมพื้นที่เหลื่อมกันเป็นบางส่วน เรียกว่า “ส่วนซ้อน” (Endlap / Overlap) ตามปกติจะประมาณร้อยละ 55 ถึง 65 บริเวณที่เหลื่อมกันตามแนวบินของภาพคู่หนึ่ง เรียกว่า “บริเวณคู่ภาพสามมิติ” (Stereoscopic Overlap Area) และเรียกภาพคู่นี้ว่า “คู่ภาพสามมิติ” (Stereo pairs) ตำแหน่งของกล้องขณะถ่ายภาพ เรียกว่า “ตำแหน่งถ่ายภาพ” (Exposure Station) และ ความสูงของกล้องเรียกว่า “ระดับบิน” (Flying Height)



ภาพที่ 4 ส่วนซ้อนบริเวณที่เหลื่อมกันของภาพ

ที่มา : <http://natres.psu.ac.th/Department/EarthScience/remote1/chapter3.pdf>

ภาพถ่ายในแนวนบินข้างเคียงกัน จะมีบริเวณที่ซ้อนกัน เรียกว่า “ส่วนเกย” (Side lap) ประมาณร้อยละ 20 ถึง 40 ภาพถ่ายทางอากาศที่มีตั้งแต่สองแนวนบินขึ้นไป เรียกว่า “บล็อกของภาพถ่าย” (Block of photos)



ภาพที่ 5 ส่วนเกยของแนวนบิน

ที่มา : <http://www.geog.pn.psu.ac.th>

2.5.2 ผลผลิตที่เป็นภาพ (Image Products)

ผลผลิตเหล่านี้อยู่ในรูปแบบของภาพที่แสดงวัตถุเดิมที่อาจอยู่ในรูปแบบสามมิติโดยแสดงออกมาในลักษณะสองมิติต่อไปนี้เป็นตัวอย่างของผลผลิต

1. ภาพถ่ายทางอากาศใช้ในการตีความและวางแผนทั่วไป

2. ภาพขาวดำหรือภาพสีที่ได้จากการกำหนดสีให้กับแถบสเปกตรัมต่าง ๆ ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ภาพเหล่านี้สามารถนำไปใช้สำหรับการตีความและวางแผนทั่วไปในพื้นที่ ที่ถ่ายภาพมา

3. โมเสค (Mosaic) เป็นภาพต่อของภูมิประเทศ สร้างขึ้นโดยการนำภาพถ่ายแต่ละภาพมา ตัดต่อรวมเข้าด้วยกันเป็นผืนเดียว ดังนั้น โมเสคจึงเป็นการต่อภาพหลายๆภาพ และแต่ละภาพเป็นการมองภูมิประเทศจากจุดศูนย์ทิวทัศน์ (Perspective View)

4. ภาพตัดแก้ (Rectified Imagery) เป็นภาพที่ได้รับการจัดอิทธิพลของการเอียงของ กล้องในขณะที่ถ่ายภาพออกไปแต่ยังมีอิทธิพลของความสูงต่ำของภูมิประเทศ (Relief) ปรากฏอยู่ จึงทำให้มาตราส่วนที่แท้จริงในภาพแปรผันไปตามลักษณะของภูมิประเทศ เช่นเดียวกับในกรณีของภาพหรือรูปถ่ายดั้งเดิมและในกรณีของโมเสค

5. ภาพออร์โท (Orthophoto) เป็นภาพของภูมิประเทศที่สร้างจากคู่ภาพที่ซ้อนกันโดยที่มี การขจัดลักษณะเรขาคณิตแบบการฉายจากจุดศูนย์ทิวทัศน์ของภาพออกไปภาพออร์โทสามารถนำมาใช้ได้ ในลักษณะเดียวกับแผนที่ทางราบ (Planimetric Map) เนื่องจากมี มาตราส่วนคงที่ ถ้านำเส้นชั้นความสูงมาซ้อนทับบนภาพออร์โท ก็จะได้เป็นแผนที่ภาพออร์โทที่สามารถนำมาใช้ เช่นเดียวกับแผนที่ภูมิประเทศ

6. โมเสคของภาพออร์โท (Orthophotomosaic) เป็นผลผลิตที่เกิดจากการนำภาพออร์โท ในบริเวณติดกันมารวมกันเข้าเป็นภาพผืนเดียว มีมาตราส่วนคงที่ทั่วทั้งภาพสามารถ นำมาใช้ได้ดังเช่นแผนที่

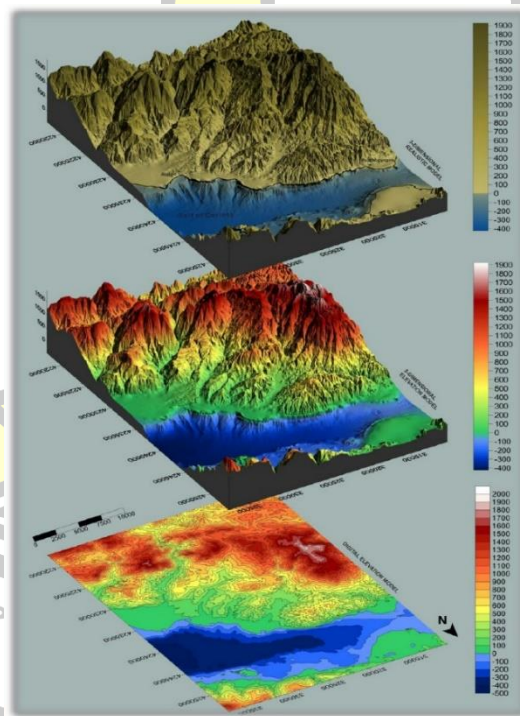


ภาพที่ 6 ภาพถ่ายออร์โท (Orthophoto Map)

2.5.3 ผลผลิตที่เป็นจุดและข้อมูลแบบจุดพิกัด (Point and Vector Products)

ผลผลิตที่เป็นจุดคือผลผลิตที่ทราบค่าพิกัดสามมิติของแต่ละจุดซึ่งค่าพิกัดอาจอยู่ในระบบพิกัดภาคพื้นดินหรือบางครั้งอาจอยู่ในระบบพิกัดอื่นผลผลิตเหล่านี้ได้แก่

1. จุดควบคุมเพิ่มเติม (Supplementary Control) ที่มักได้จากการสำรวจด้วยภาพถ่ายด้วยวิธีการถ่ายสามเหลี่ยมอากาศ (Aerotriangulation)
2. การกำหนดตำแหน่งของเป้าหมาย (Targeting) ที่สร้างหรือกำหนดขึ้นก่อนการถ่ายภาพ (Pre-marking)
3. แบบจำลองความสูงเชิงเลข (Digital Elevation Model, DEM) ที่เป็นการเก็บลักษณะ พื้นผิวของภูมิประเทศในคอมพิวเตอร์ 1) แบบจุดสุ่ม (Random Data Point) เก็บค่าพิกัด ณ ตำแหน่งที่ภูมิประเทศมีการ เปลี่ยนแปลงความสูงอย่างมีนัยสำคัญ 2) แบบกริด (Gridded Data Point) เก็บค่าพิกัด ณ ตำแหน่งที่กำหนดจากตารางกริด แบบคงที่ในระนาบ XY สำหรับแสดงค่าความสูงตรงจุดตัดแต่ละจุดของเส้นกริด



ภาพที่ 7 ตัวอย่างแบบจำลองความสูงเชิงเลข (Digital Elevation Model, DEM)

ที่มา : https://www.researchgate.net/figure/Digital-Elevation-Model-DEM-3D-Elevation-Model-and-3D-Realistic-Model-of-the-combined_fig1_268074280

ผลผลิตที่เป็นข้อมูลแบบจุดพิกัดจะใช้แสดงรายละเอียดที่อยู่ในภูมิประเทศหรือรายละเอียดของ วัตถุที่เป็นโครงสร้างที่มนุษย์สร้างขึ้น ตัวอย่างของผลผลิตนี้คือ แผนที่ลายเส้น (Line map) เช่น

ก. แผนที่ทางราบ (Planimetric Map) ที่แสดงเฉพาะตำแหน่งทางราบของรายละเอียดในภูมิประเทศผลิตขึ้นโดยมีความละเอียดถูกต้องในระดับต่าง ๆ ขึ้นอยู่กับเทคนิคทางโฟโตแกรมเมตรีที่ใช้

ข. แผนที่แสดงเส้นชั้นความสูง (Contour Map) ที่เส้นแต่ละเส้นเกิดจากการตัดกันระหว่าง พื้นผิวระดับกับภูมิประเทศ วิธีการนี้เป็นวิธีแรกๆ ที่ใช้แสดงรูปทรงของภูมิประเทศก่อนที่จะมีการนำแนวความคิดเรื่องแบบจำลองความสูงเชิงเลขมาใช้แผนที่ชนิดนี้อาจสร้างขึ้น โดยตรงจากเครื่องมือทางโฟโตแกรมเมตรีหรืออาจสร้างจากแบบจำลองความสูงเชิงเลข

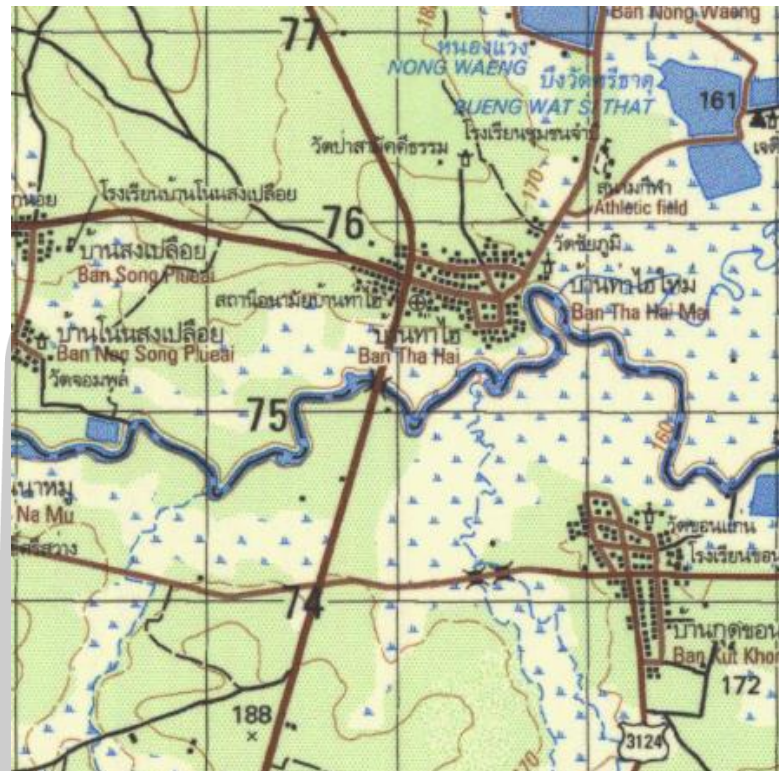
ค. แผนที่ภูมิประเทศ ที่แสดงทั้งรายละเอียดทางราบ และแสดงรูปทรงและความสูงของพื้นดิน ด้วยเส้นชั้นความสูง

ง. แผนที่เฉพาะเรื่อง (Thematic Map) ที่แสดงเรื่องใดเรื่องหนึ่งโดยเฉพาะ ในพื้นที่หนึ่ง ๆ อาจมีแผนที่เฉพาะเรื่องหลายๆ ระวางก็ได้ยกตัวอย่างเช่น การแสดงโครงข่ายคมนาคมรูปแบบทางน้ำ (Drainage Pattern) ชนิดพืชพันธุ์และความชันสามารถแยกแสดงออกมา โดยใช้แผนที่เฉพาะเรื่องจำนวน 4 ระวาง เป็นต้น แผนที่เฉพาะเรื่องเหล่านี้สามารถนำไปใช้ เป็นชั้นข้อมูลหนึ่ง (Layer) หนึ่งในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ได้

จ. โพรไฟล์ (Profile) แสดงถึงการตัดกันระหว่างระนาบ ที่มักเป็นระนาบตั้งกับพื้นผิวภูมิประเทศโพรไฟล์อาจมีการวางทิศทางอย่างไรก็ได้เมื่อเทียบกับระนาบอ้างอิงทางราบ

ฉ. แบบจำลองวัตถุสามมิติ (Three-dimensional Object Model) หรือโครงลวด (Wire frame) ผลผลิตชนิดนี้เกิดจากการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีโฟโตแกรมเมตรี ร่วมกับเครื่องมือ ทางสาขาวิชาคอมพิวเตอร์วิชันในงานทางอุตสาหกรรมการ (กรรมแผนที่ทหาร)

พหุ ประถมศึกษา



ภาพที่ 8 ตัวอย่างผลผลิตที่เป็นข้อมูลแบบจุดพิกัด

2.6 ดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์มัลไลซ์ (Normalized Difference Vegetation Index: NDVI)

(Mašková, Zemek, & Kvěť, 2008) ได้พัฒนาค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์มัลไลซ์ ขึ้นเป็นค่าดัชนีพืชพรรณที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง เพราะสามารถใช้ติดตามการเปลี่ยนแปลงของพืชในช่วงเวลาระหว่างฤดูกาลและในช่วงแต่ละปีได้ ใช้ประมาณค่ามวลชีวภาพและค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบในสังคมพืชได้ดี และในการใช้งานไม่ต้องการข้อมูลอย่างอื่นประกอบ เช่น ข้อมูลชุดดิน ข้อมูลปรับแก้ค่าต่าง ๆ ทำให้ต้องเสียเวลาในเก็บข้อมูลเพิ่ม ในการคำนวณใช้ค่าสะท้อนแสงในช่วงคลื่นสีแดงและช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ มาคำนวณดังสมการ

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$$

เมื่อ NIR คือ ค่าสะท้อนแสงในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (Near Infrared Band)

R คือ ค่าสะท้อนแสงในช่วงคลื่นสีแดง (Red Band)

ในการศึกษานี้ ใช้ค่าดัชนีผลต่างพืชพรรณ (NDVI) ซึ่งเป็นดัชนีที่ตอบสนองต่อคลอโรฟิลล์ในใบพืช โดยจะอาศัยพื้นฐานจากลักษณะทางสรีรวิทยาของต้นปาล์มน้ำมันที่จะมีการเปลี่ยนแปลง

ตอบสนองต่อความสมบูรณ์ เช่น ในใบมีปริมาณคลอโรฟิลล์สูง หรือการขาดแคลนน้ำ หรือปริมาณคลอโรฟิลล์ที่ลดลง ฯลฯ ซึ่งจะปรากฏในภาพถ่าย เป็นค่าการสะท้อนที่เปลี่ยนแปลงไปแตกต่างกันค่า NDVI เข้าใกล้ค่า 0 แสดงถึงพื้นที่แปลงปลูกป่าล้มไม้มีความอุดมสมบูรณ์น้อย และพื้นที่ที่มีแปลงปลูกยางพารามีความอุดมสมบูรณ์มากขึ้นจะยังมีค่าเข้าใกล้ +1 มากขึ้นตามลำดับ เนื่องจากคุณสมบัตินี้เราจึงใช้ NDVI เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์และทำนายการเปลี่ยนแปลงของแปลงปลูกป่าล้มไม้ที่มีผลจากการกระทบจากสิ่งแวดล้อมรอบ ๆ ได้

2.7 ค่าดัชนีพีช (Green-Red Vegetation Index: GRVI)

(Motohka, Nasahara, Oguma, & Tsuchida, 2010) ทำการประเมินการใช้ดัชนีพีช Green-Red Vegetation Index (GRVI) เป็นตัวบ่งชี้การสังเกตการณ์การสะท้อนสเปกตรัมเป็นเวลาหลายปีของระบบนิเวศหลายแห่งในประเทศญี่ปุ่น ผลการวิจัยพบว่าค่า GRVI สามารถจำแนกพืชสีเขียวกับสิ่งปกคลุมอื่น ๆ ได้และ GRVI สามารถจำแนกพืชสีเขียวได้

$$GRVI = \frac{g - r}{g + r}$$

เมื่อ $g = (G/G+R+B)$, $r = (R/G+R+B)$

G คือ ค่าสะท้อนแสงในช่วงคลื่นสีเขียว

R คือ ค่าสะท้อนแสงในช่วงคลื่นสีแดง

2.8 ค่าดัชนีการวิเคราะห์ภาพระดับพื้นดิน (Ground Level Image Analysis : GLI)

(Louhaichi, Borman, & Johnson, 2001) ทำการสังเกตค่าคลอโรฟิลล์จากพิกเซลในภาพดิจิทัล RGB ของใบและลำต้นของพืชมีตัวเลขดิจิทัลสีเขียวสูงกว่าสีแดงหรือสีน้ำเงิน ดินหินเศษขยะและใบไม้ที่ตายแล้วมักจะมีค่าสีเขียวต่ำกว่าสีแดงหรือสีน้ำเงิน คาดว่าจะเป็นเช่นนี้เนื่องจากคลอโรฟิลล์ดูดซับแสงสีแดง และสีน้ำเงิน และสะท้อนสีเขียว จึงจัดประเภทรูปภาพโดยพิจารณาว่าค่าเฉลี่ยของตัวเลขดิจิทัลสีแดงและสีน้ำเงินมากกว่าหรือน้อยกว่าตัวเลขดิจิทัลสีเขียว

$$GLI = \frac{2g - r - b}{2g + r + b}$$

เมื่อ $g = (G/G+R+B)$, $r = (R/G+R+B)$, $b = (B/G+R+B)$

G คือ ค่าสะท้อนแสงในช่วงคลื่นสีเขียว

R คือ ค่าสะท้อนแสงในช่วงคลื่นสีแดง

B คือ ค่าสะท้อนแสงในช่วงคลื่นสีน้ำเงิน

2.9 ค่าดัชนีความต้านทานบรรยากาศที่มองเห็นได้ (Visible Atmospherically Resistant Index : VARI)

(Gitelson et al., 2003) ได้ศึกษาดัชนีความต้านทานบรรยากาศที่มองเห็นได้ (VARI) ได้รับการออกแบบมาเพื่อเน้นพืชพรรณในส่วนที่มองเห็นได้ของสเปกตรัมในขณะที่ลดความแตกต่างของการส่องสว่างและผลกระทบจากบรรยากาศ เหมาะสำหรับ RGB หรือภาพสี ไข่แถบสีทั้งสามแถบ

$$VARI = \frac{g - r}{g + r - b}$$

เมื่อ $g = (G/G+R+B)$, $r = (R/G+R+B)$, $b = (B/G+R+B)$

G คือ ค่าสะท้อนแสงในช่วงคลื่นสีเขียว

R คือ ค่าสะท้อนแสงในช่วงคลื่นสีแดง

B คือ ค่าสะท้อนแสงในช่วงคลื่นสีน้ำเงิน

2.10 ดัชนีสีเขียวส่วนเกิน (Excess Green Index : ExG)

(D. M. Woebbecke, G. E. Meyer, K. Von Bargen, & D. A. Mortensen, 1995) ได้ทำการตรวจสอบดัชนีพืชสีหลายสีที่ได้มาโดยใช้พิกัดสีและสีที่ปรับเปลี่ยนในการแยกพืชสีเขียวออกจากดินเปล่า (กากข้าวโพดและเศษฟางข้าวสาลี) ดัชนีพืชสีที่มีสูตรดังนี้

$$ExG = 2g - r - b$$

เมื่อ $g = (G/G+R+B)$, $r = (R/G+R+B)$, $b = (B/G+R+B)$

G คือ ค่าสะท้อนแสงในช่วงคลื่นสีเขียว

R คือ ค่าสะท้อนแสงในช่วงคลื่นสีแดง

B คือ ค่าสะท้อนแสงในช่วงคลื่นสีน้ำเงิน

2.11 แบบจำลอง Generalized Linear Models: GLMs

ตัวแบบเชิงเส้นวางนัยทั่วไป (Generalized Linear Models: GLMs) เป็นชื่อที่ใช้เรียกกลุ่มสมมุติฐานของตัวแบบเชิงเส้นวางนัยทั่วไปมีดังนี้

1. องค์ประกอบแบบสุ่ม (Random Component) ค่าของ Y เป็นอิสระต่อกัน และมีการแจกแจงแบบใดแบบหนึ่งในวงศ์ชีก้าลิ่ง (Exponential Family)
2. องค์ประกอบแบบเป็นระบบ (Systematic Component) สามารถเขียนตัวแปรต้นให้อยู่ในรูปตัวประมาณเชิงเส้น η ได้ โดยที่ $\eta = \mathbf{X}\beta$
3. ฟังก์ชันเชื่อมโยง (Link Function) ความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบแบบสุ่มและองค์ประกอบแบบเป็นระบบถูกกำหนดด้วยฟังก์ชันเชื่อมโยง (g) โดยที่ฟังก์ชันเชื่อมโยงนั้นสามารถหาอนุพันธ์ได้ (Differentiable) และเป็นฟังก์ชันโดยที่

$$E[\underline{Y}] \equiv \underline{\mu} = g^{-1}(\underline{\eta})$$

การแจกแจงที่อยู่ในวงศ์ชีก้าลิ่ง (Exponential Family) มีคุณสมบัติ 2 ประการ ดังนี้

1. การแจกแจงสามารถเขียนได้ในรูปแบบของค่าเฉลี่ย และความแปรปรวน
2. ความแปรปรวนเป็นฟังก์ชันของค่าเฉลี่ยทางเดียว (Monotonic)

จากคุณสมบัติข้อที่ (2) เราสามารถเขียนให้อยู่ในรูปของสมการได้ดังนี้

$$Var(Y_i) = \frac{\phi V(\mu_i)}{\omega_i}$$

โดยที่ ϕ เป็นพารามิเตอร์ที่กำหนดขนาดของความแปรปรวน (Scaled Parameter) และ ω_i เป็นค่าคงที่ที่กำหนดน้ำหนักให้กับค่าสังเกต (Prior Weight) แต่ละตัว โดยการแจกแจงที่อยู่ในวงศ์ชีก้าลิ่งและความแปรปรวนของการแจกแจงต่าง ๆ (สำนักงานอตราเบี้ยประกันวินาศภัย, 2559) สามารถสรุปได้โดยย่อตาม ตารางที่ 1

พหุ ประ โท ชีเว

ตารางที่ 1 ตัวอย่างความแปรปรวนของการแจกแจงที่อยู่ในวงศ์ชี้กำลัง (Exponential Family)

การแจกแจง	ความแปรปรวน
Normal	1
Poisson	x
Gamma	x^2
Binomial	$x(1-x)$ เมื่อจำนวนการทดลองเท่ากับ 1 ครั้ง
Inverse Gaussian	x^3

ที่มา : (สำนักงานอัตราระเบียบปรักษาวิทยาศาสตร์, 2559)

2.12 แบบจำลอง Deep learning: DL

Deep learning คือ ซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ที่เลียนแบบการทำงานของระบบโครงข่ายประสาท (neurons) ในสมองมนุษย์ ถือเป็นขั้นขั้นของ machine learning Algorithm ของ deep learning ถูกสร้างขึ้นจากการนำเอา neural network หลายๆ layer มาต่อกัน โดย layer แรกสุดจะทำหน้าที่ในการรับข้อมูล (Input layer) layer สุดท้ายจะทำหน้าที่ส่งผลลัพธ์การประมวลผลออกมา (Output layer) ส่วน layer ระหว่าง layer แรกสุด และ layer สุดท้าย จะถูกเรียกว่า Hidden layer

คำว่า deep learning มีที่มาจากการใช้ layer ของ neural network หลายอันๆมาต่อกัน (มี Hidden layer มากกว่า 2 layer ก็ถือเป็น deep learning แล้ว) เนื่องจาก layer เหล่านี้เป็นโครงสร้างที่ถูกจัดเก็บแบบเป็นกองซ้อน (stack) จึงเปรียบได้ว่า layer ที่จำนวนเยอะๆ ก็จะทำให้มีโครงสร้างที่ลึกยิ่งขึ้น โดย Hidden layer ของแต่ละ layer จะประกอบด้วย เซลล์ประสาท (neural) จำนวนมาก ซึ่งมีหน้าที่ในการประมวลผลรับข้อมูลจาก layer ที่อยู่เหนือกว่า และส่งข้อมูลที่ประมวลผลเสร็จแล้วไปยัง layer ที่อยู่ต่ำกว่า, ข้อดีของการส่งข้อมูลแบบนี้ก็คือ layer แต่ละ layer สามารถที่จะมีค่าถ่วงน้ำหนัก (weight) ค่าความเอนเอียงของข้อมูล (bias) และวิธีการประมวลผลทางคณิตศาสตร์ (activation function) ที่เป็นอิสระต่อกันได้

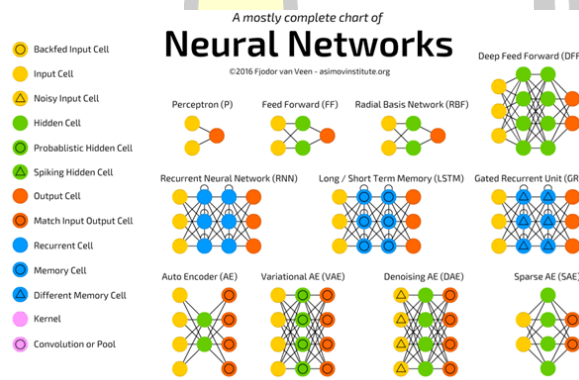
การเรียนรู้ที่ deep learning นั้นเกิดขึ้นจาก 2 เฟส เฟสแรกคือการประยุกต์ใช้ การแปลงแบบไม่เป็นเชิงเส้น (nonlinear transformation) กับข้อมูลที่ได้รับ (input) ได้ผลลัพธ์ (output)

ออกมาอยู่ในรูปของโมเดลทางสถิติ (statistical model) เฟสที่สองคือการนำโมเดลมาผ่านวิธีการทางคณิตศาสตร์อย่าง derivative

โดยทั้ง 2 เฟสนี้จะถูกทำซ้ำแล้วซ้ำอีกจนกว่าจะได้มาซึ่ง model ที่มีความแม่นยำ (accuracy) ในระดับที่น่าพอใจ ซึ่งการกระทำซ้ำ ๆ ของ 2 เฟสนี้มีชื่อว่า iteration ยิ่งเราป้อนข้อมูลให้กับ model มากเท่าไร, layer แต่ละ layer ก็จะสามารถสกัด feature ที่มีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้น (Nessence, 2018)

1. โครงข่ายประสาทแบบตื้น (Shallow neural network) : มี Hidden layer แค่ 1 layer (แต่ยังมี input layer และ output layer ประกอบเหมือนเดิม)

2. โครงข่ายประสาทแบบลึก (Deep neural network) : มี Hidden layer มากกว่า 1 layer , ยกตัวอย่างเช่น LeNet model ของ Google ที่ใช้สำหรับ การรับรู้ภาพ (image recognition) มี hidden layer มากถึง 22 layer



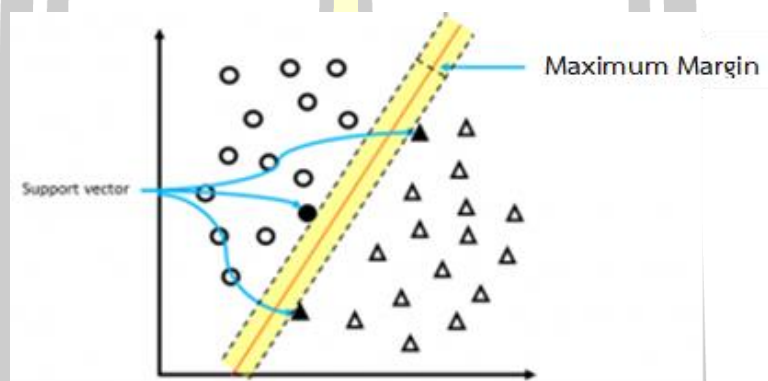
ภาพที่ 9 ชนิดของโครงข่าย Deep Learning (Types of Deep Learning Networks)

ที่มา: <https://www.thaiprogrammer.org>

2.13 แบบจำลอง Support Vector Machine: SVM

เป็นตัวจำแนกเชิงเส้น (Linear Classifier) แบบ 2 คลาส ซึ่งเป็นที่ยอมรับถึงประสิทธิภาพของการจำแนกที่เหนือกว่าวิธีการจำแนกอื่น ๆ ข้อได้เปรียบของ SVM คือมีประสิทธิภาพในการจำแนกข้อมูลที่มีมิติจำนวนมากได้ นอกจากนี้การใช้ฟังก์ชันเคอร์เนล (Kernel Function) เพื่อแปลงข้อมูลไปยังมิติที่สูงขึ้นในปริภูมิคุณลักษณะ (Feature Space) สามารถจำแนกข้อมูลที่มีความคลุมเครือได้อย่างมีประสิทธิภาพ หลักการของ SVM คือการหาเส้นตรงที่มีมาร์จินที่โตที่สุด (Maximum Margin)

ที่สามารถแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 คลาส ดังตัวอย่างในภาพที่ 10 เป็นข้อมูลขนาด 2 มิติ โดนถูกจำแนก ออกเป็น 2 คลาส ได้แก่ + (O) และคลาส - (Δ) โดยเส้นตรงที่ใช้แบ่งข้อมูลมีมาร์จินเท่ากับ $M=2w$ ซึ่ง เป็นความกว้างระหว่างเส้นตรงกับซัพพอร์ตเวกเตอร์ (Support vector) ของข้อมูลทั้ง 2 คลาส (● และ ▲) การจำแนกเชิงเส้นด้วยมาร์จินที่โตที่สุด



ภาพที่ 10 ตัวอย่างของตัวแบบจำแนก SVM บนข้อมูลขนาด 2 มิติ

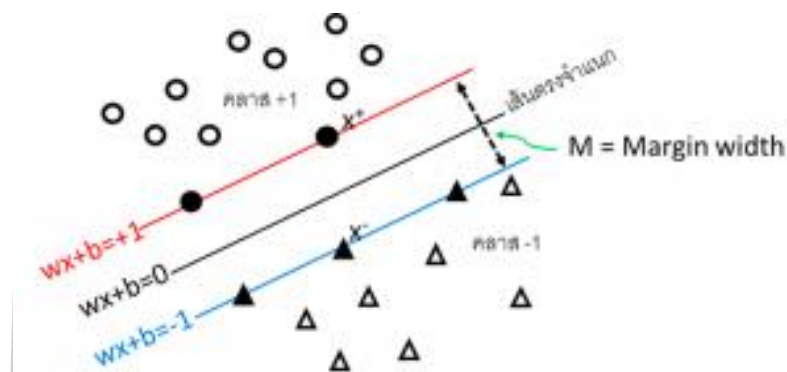
ที่มา: <https://knowledgesnu.ac.th>

การใช้เส้นตรงสำหรับแบ่งข้อมูลเป็น 2 กลุ่มด้วยมาร์จินที่โตที่สุด (Maximum Margin) เป็นวิธีที่การันตีได้ว่าจะสามารถแยกข้อมูลได้โดยมีความผิดพลาดน้อยที่สุด โดยมี support vector เป็นตัวกำหนดขนาดของ Margin ดังนั้นถ้าข้อมูลมีการเปลี่ยนแปลงใด ๆ เส้นตรงจำแนกก็ยังขึ้นอยู่กับ support vector ซึ่งจะยังเป็น Maximum Margin อยู่ ในภาพที่ 11 เป็นการหา Maximum Margin ในเชิงคณิตศาสตร์ จากภาพที่ 11 จะเห็นได้ว่าข้อมูล x จะถูกแบ่งเป็นระนาบบวก และระนาบลบ โดยมีสมการคือ $w \cdot x + b \geq 1$ สำหรับคลาส+ และ $w \cdot x + b \leq -1$ สำหรับคลาส - ดังนั้นจะสามารถจำแนกข้อมูลได้โดย

$$+1 \text{ ถ้า } w \cdot x + b \geq +1$$

$$-1 \text{ ถ้า } w \cdot x + b \leq -1$$

$$\text{ถ้า } -1 < w \cdot x + b \leq +1$$



ภาพที่ 11 การคำนวณ Maximum Margin

ที่มา: <https://knowledge.snu.ac.th>

2.14 รากกำลังสองเฉลี่ยผิดพลาด (Root Mean Square Error: RMSE)

รากกำลังสองเฉลี่ยผิดพลาด คือ การวัดค่าความแตกต่างระหว่างค่าจริงและค่าที่ได้จากการประมาณการจากแบบจำลองยกกำลังสอง ถ้าค่า RMSE มีค่าน้อยแสดงว่าแบบจำลองสามารถประมาณค่าได้ใกล้เคียงกับค่าจริง แต่ถ้ามีค่าเท่ากับศูนย์ หมายความว่าไม่เกิดความคลาดเคลื่อนในแบบจำลอง สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{x}_i - x_i)^2}$$

เมื่อ n คือ จำนวนตัวแปร
 \hat{x}_i คือ ค่าพยากรณ์
 x_i คือ ค่าจริง

2.15 สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination: R^2)

R^2 จะเป็นค่าที่บอกร้อยละของการเปลี่ยนแปลงของค่า Y ที่เกิดจากอิทธิพลของค่า X ที่ได้จากการคำนวณจากสมการ ดังนี้

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_i)^2}$$

เมื่อ y_i คือ ค่าปริมาณตะกอนแขวนลอยที่ได้จากแบบจำลอง

\bar{y}_i	คือ ค่าปริมาณตะกอนแขวนลอยที่ได้จากการสำรวจในสนาม
\hat{y}_i	คือ สมการถดถอย
n	คือ จำนวนของกลุ่มตัวอย่าง

ถ้าสมการมีค่า R^2 ยังมีค่าสูงยิ่งทำให้เกิดความแม่นยำของการนำสมการไปใช้เพื่อทำนายหรือคาดคะเนผลลัพธ์ย่อมสูงตามไปด้วย โดยทั่วไป สมการที่มักนำไปใช้ควรมีค่า R^2 อย่างน้อย 0.75 หากสูงกว่า 0.90 ถือว่าดีมาก ค่า R^2 มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 ถ้าค่าเป็น 0 แสดงว่าไม่มีความสัมพันธ์ใด ๆ ระหว่างตัวแปรตามและอิสระ แต่ถ้าค่าเป็น 1 แสดงว่ามีความสัมพันธ์กันอย่างสมบูรณ์ (สุวดี นำพาเจริญ, 2015)

2.17 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

(Luna & Lobo, 2016) ได้ทำการศึกษาการสร้างแผนที่ของอ้อยจากภาพถ่าย UAV-RGB พื้นที่การศึกษานำร่องในประเทศนิการากัวนี้ ขนาด 8.7 เฮกเตอร์ที่ความแม่นยำโดยรวมร้อยละ 92.9 Gap เชิงเส้นที่ประเมินจากแผนที่นี้สำหรับตารางที่มีเซลล์ 10 มม. x 10 มม. ทำการบินที่ความสูง 190 เมตร เหนือระดับพื้นดินซ้อนทับร้อยละ 90 และ ด้านข้างร้อยละ 50 โดยใช้วิธีการของ Stolf ในการอ้างอิง สัมพันธ์เชิงเส้นกับเปอร์เซ็นต์ช่องว่างเชิงเส้นที่ดีความด้วยภาพถ่ายพร้อมค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) = 0.9; ค่าเฉลี่ยของข้อผิดพลาด (RMSE) = 5.04; และความน่าจะเป็น (p) << 0.01 ระดับคุณภาพการเพาะปลูกพืชที่คำนวณจากช่องว่างที่ได้มาจากภาพเห็นด้วยกับที่คำนวณได้จากวิธีการแปลงที่ใช้ในปัจจุบัน (Photo Spearman สัมประสิทธิ์ = 0.92)

(Souza et al., 2017) ได้ศึกษารววิเคราะห์ภาพตามวัตถุ (OBIA) สำหรับภาพ UAV ออกแบบมาเพื่อทำแผนที่และแยกข้อมูลเกี่ยวกับการข้ามในแถวปลูกอ้อย ขั้นตอนประกอบด้วยสามขั้นตอนติดต่อกัน (1) การระบุแถวปลูกอ้อย, (2) ระบุอ้อยที่มีอยู่ภายในแถวพืชและ (3) ข้ามการสกัดและการสร้างแผนที่ปลูกพืชไร่ ผลจากการทดลองในแปลงทดลองประสบความสำเร็จในการข้ามอัตราระหว่างร้อยละ 2.29 ถึง 10.66 ซึ่งแสดงว่าการปลูกมีคุณภาพดีและดีตามลำดับ ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวโดยประมาณกับความยาวข้ามที่สังเกตได้มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.97 ซึ่งได้รับการยืนยันโดยมูลค่าของค่าสัมประสิทธิ์ความสอดคล้อง Wilmott ที่ปรับปรุงแล้วเป็น 0.92 ซึ่งบ่งบอกถึงข้อตกลงที่ดี กระบวนการ OBIA อนุญาตให้มีระบบอัตโนมัติและการปรับตัวในระดับสูงและให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์สำหรับการตัดสินใจการตรวจสอบทางการเกษตรและการลดต้นทุนการดำเนินงาน

(Yano et al., 2016) ศึกษาการจำแนกวัชพืชในไร่อ้อยผ่านภาพถ่าย UAV-RGB โดยใช้แบบจำลอง Random Forest ซึ่งวิธีการแก้ปัญหานี้ให้ความแม่นยำโดยรวมร้อยละ 82 และค่าสัมประสิทธิ์ค้ำปา 0.73

(X. Han et al., 2018) ได้ทำการศึกษาการวัดและเปรียบเทียบความสูงของต้นข้าวฟ่าง ผ่านภาพถ่าย UAV-RGB โดยทำการบินที่ 120 m บินเก็บข้อมูลภาคสนามทั้งหมด 5 ครั้ง ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การตัดสีใจ (R^2) เท่ากับ 0.85 รากกำลังสองเฉลี่ยผิดพลาด (RMSE) เท่ากับร้อยละ 20

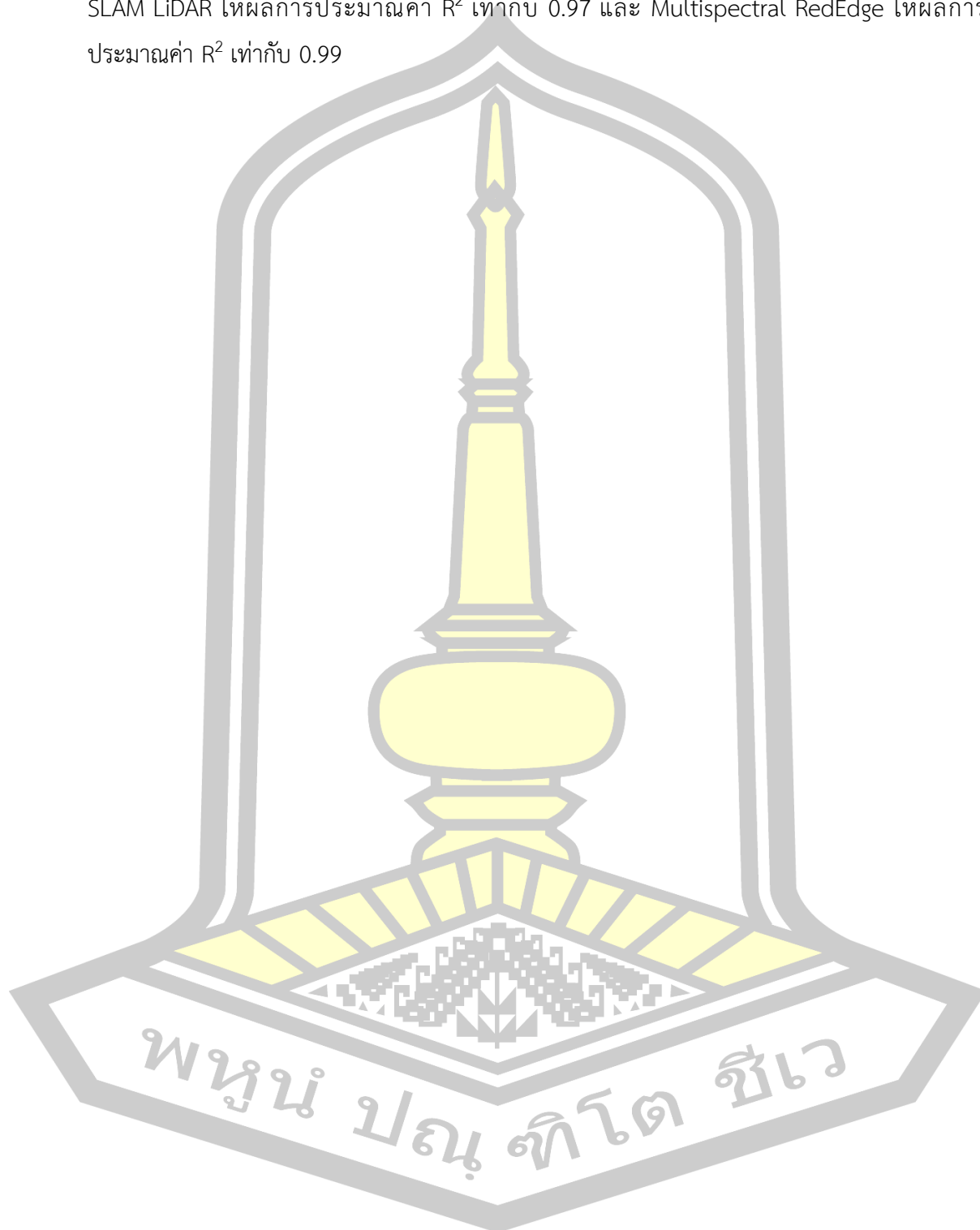
(Guo et al., 2020) ศึกษาการปรับแก้ดัชนีพืชสำหรับการประมาณค่าคลอโรฟิลล์และการทำนายผลผลิตของข้าวโพดผ่านภาพถ่าย UAV-RGB โดยใช้แบบจำลอง BP, SVM, RF และ ELM ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การตัดสีใจของคลอโรฟิลล์ (R^2) อยู่ในช่วง 0.46 ถึง 0.57

(Som-ard et al., 2018) ทำการศึกษาการประมาณผลผลิตอ้อยก่อนเก็บเกี่ยวโดยใช้ภาพถ่ายจากกล้อง RGB ที่ติดตั้งบนอากาศยานไร้คนขับและการข้อมูลการสำรวจภาคพื้นดิน โดยเริ่มจากการจำแนกพื้นที่ส่วนที่เป็นอ้อยกับพื้นที่ส่วนที่ไม่ใช่ อ้อย วิเคราะห์ผ่าน 2 วิธี คือวิธี OBIA และ Pixel base ซึ่งสามารถจำแนกออกได้เป็น 14 Class (N_{Pi}) แล้วทำการวัดความสูง (H) และน้ำหนักรวม (W) เฉลี่ยของแต่ละ Class รวมถึงการนับจำนวนท่อนของต้นอ้อย (N_{Si}) ซึ่งผลผลิตจะคำนวณได้ตามสมการ $S_y = \sum_{n=1}^n N_{Pi} \times N_{Si} \times W \times H$ ผลการศึกษาพบว่าวิธี OBIA ให้ผลการประมาณค่าที่ดีที่สุดที่ร้อยละ 96 และวิธี Pixel base ให้ผลการประมาณค่าอยู่ที่ ร้อยละ 88

(Shendryk et al., 2020) ทำการประมาณค่าอย่างละเอียดของชีวมวลและปริมาณไนโตรเจนที่อยู่ในใบอ้อยโดยใช้ LiDAR และภาพถ่ายจากกล้อง Multispectral ที่ติดตั้งบนอากาศยานไร้คนขับ แบ่งการเก็บข้อมูลออกเป็น 2 ส่วนคือภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับและการเก็บข้อมูลภาคสนาม โดยเริ่มจากการบินถ่ายภาพที่ความสูง 30 เมตร และเก็บตัวอย่างชั่งน้ำหนัก 56 ตัวอย่าง ของแต่ละแปลงที่มีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนเท่ากับ 0, 70, 110, 150 และ 190 kg.N.ha⁻¹ ซึ่งค่าชีวมวลคำนวณได้จากค่าการสะท้อนแสงของพืช ดัชนีพืชพรรณ และน้ำหนัก ผลการศึกษาพบว่ากล้อง Multispectral ให้ผลการประมาณค่าที่ดีที่สุด R^2 เท่ากับ 0.57 และ LiDAR ให้ผลการประมาณค่า R^2 เท่ากับ 0.52

(Sofonia et al., 2019) ติดตามการตอบสนองของต้นอ้อยเพื่อหาค่าการใช้ไนโตรเจนที่แตกต่างกันโดยใช้ภาพถ่าย SLAM LiDAR (Hovermap) และกล้อง Multispectral RedEdge ที่ติดตั้งบนอากาศยานไร้คนขับ โดยออกแบบอัตราการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนเท่ากับ 0, 70, 110, 150 และ 190 kg.N.ha⁻¹ และใช้ Hovermap ในการสร้างแผนที่ชีวมวล ส่วนกล้อง RedEdge จะใช้ในการสร้างแผนที่ความสูงและแผนที่ค่าการสะท้อนแสง และเก็บอย่างวัดความสูงและน้ำหนักรวมเฉลี่ย นำผลที่ได้

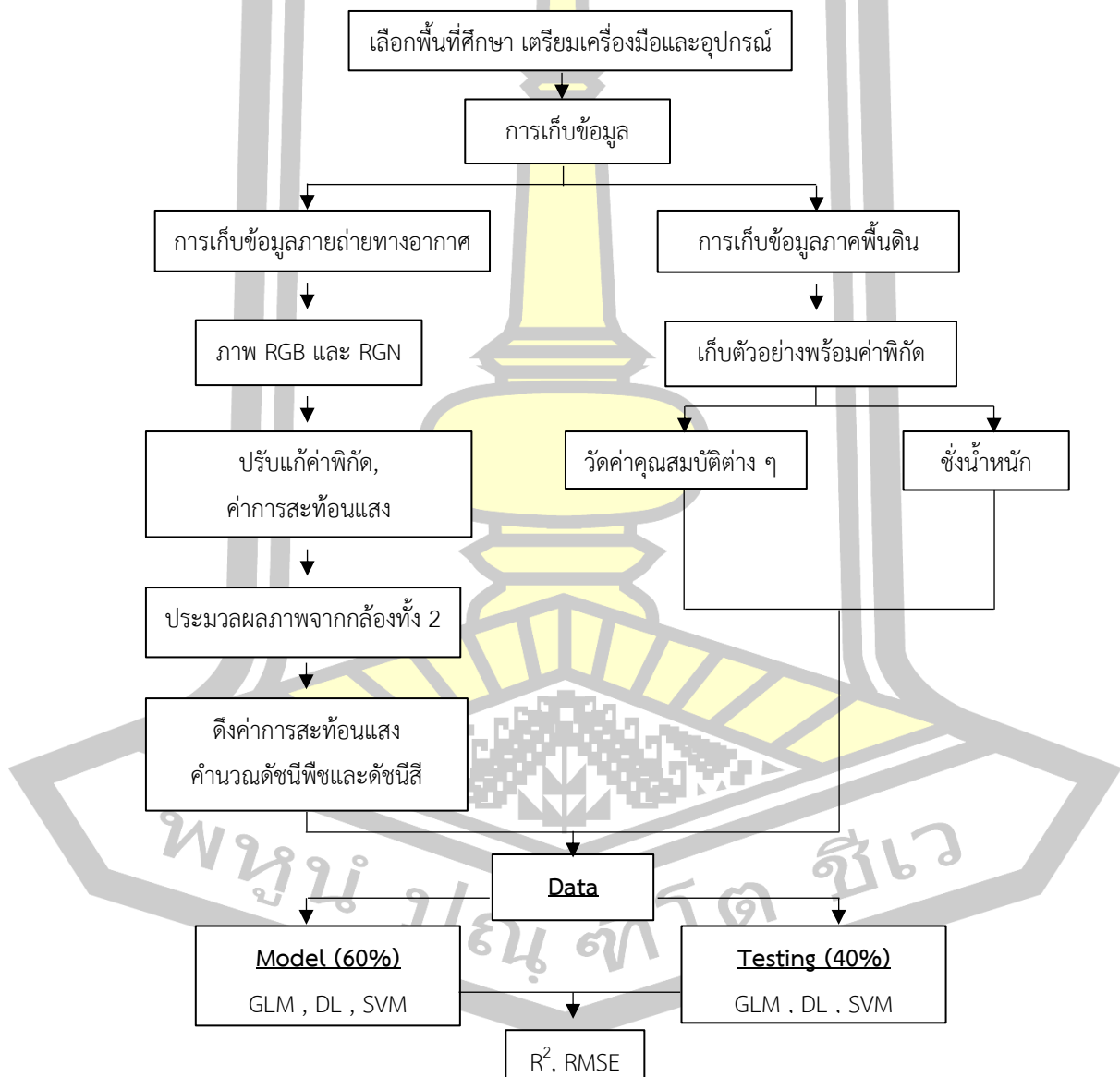
จาก Hovermap และกล้อง RedEdge ไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) โดยผลการศึกษาพบว่า SLAM LiDAR ให้ผลการประมาณค่า R^2 เท่ากับ 0.97 และ Multispectral RedEdge ให้ผลการประมาณค่า R^2 เท่ากับ 0.99



บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 แผนการดำเนินการศึกษา

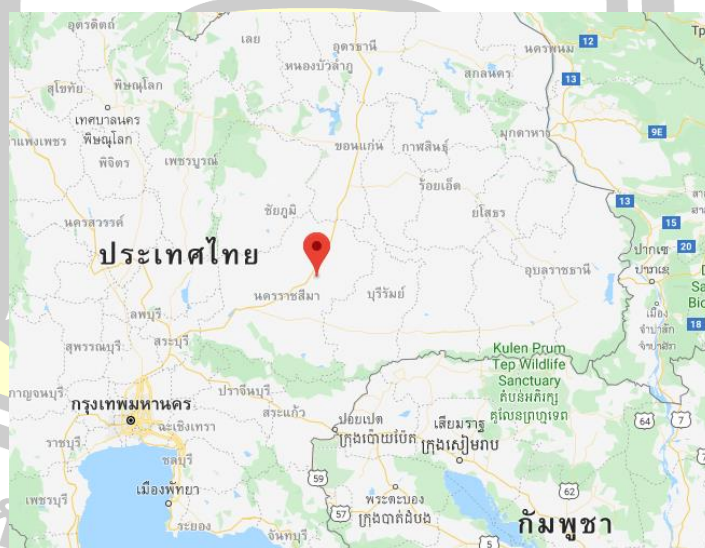
เพื่อต้องการสร้างแบบจำลองการติดตามการเจริญเติบโตของอ้อยด้วยอากาศยานไร้คนขับ โดยการเก็บข้อมูล พร้อมทั้งนำมาวิเคราะห์ผล และสร้างแบบจำลอง ซึ่งมีแผนการศึกษาดังแสดงในภาพที่ 12



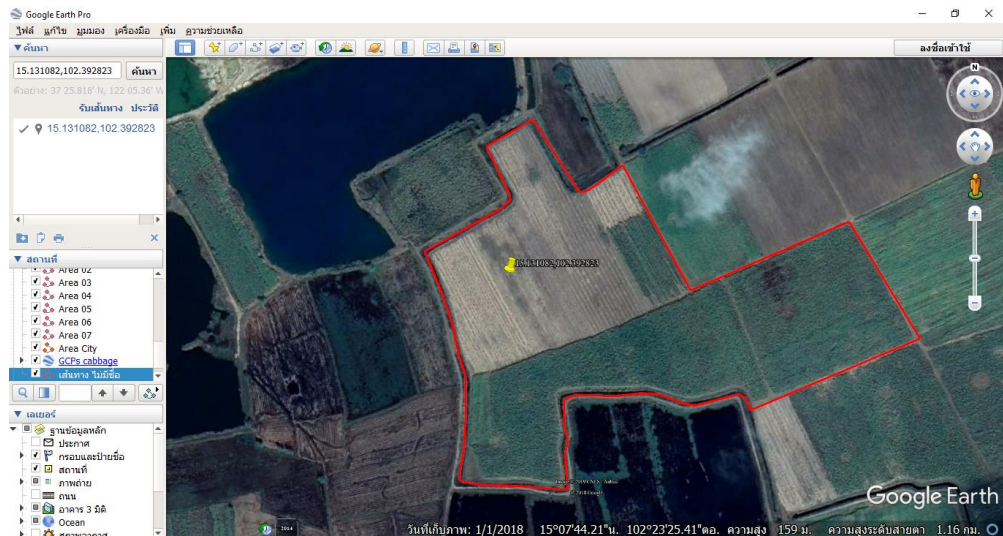
ภาพที่ 12 แผนผังขั้นตอนวิธีการศึกษา

3.2 พื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษาเป็นไร่อ้อยเนื้อที่ประมาณ 100 ไร่ ตั้งอยู่ที่ ตำบลธารละหลอด อำเภอพิมาย จังหวัดนครราชสีมา พิกัด $15^{\circ}07'44.21''$ เหนือ และ $102^{\circ}23'25.41''$ ตะวันออก พื้นที่ศึกษามีความสูงจากระดับน้ำทะเลประมาณ 159 เมตร ลักษณะภูมิประเทศเป็นพื้นที่ราบลุ่ม อากาศจึงค่อนข้างร้อนอบอ้าวในฤดูร้อน และในฤดูหนาวก็ค่อนข้างหนาวเย็น โดยฤดูฝน เริ่มตั้งแต่เดือนพฤษภาคม ถึงตุลาคม ของทุกปี เริ่มมีฝนตกชุก ตั้งแต่เดือนเมษายนจนถึงเดือนตุลาคม โดยมีปริมาณน้ำฝนสูงสุดในเดือนตุลาคม และมีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 1,037.4 ม.ม.ต่อปี (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2557) ฤดูหนาวสภาพอากาศจะเริ่มเปลี่ยนจากฤดูฝนไปสู่ฤดูหนาวตั้งแต่กลางเดือนตุลาคมถึงกลาง เดือน กุมภาพันธ์ ระยะนี้ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งเป็นลมหนาวและแห้งพัดจากประเทศจีน อุณหภูมิต่ำสุดอยู่ที่ 22.7 องศาเซลเซียส ฤดูร้อน เริ่มตั้งแต่กลางเดือนกุมภาพันธ์ ถึงกลางเดือนพฤษภาคม ช่วงที่อากาศร้อนที่สุดในเดือนมีนาคม มีอุณหภูมิสูงสุด 36.88 องศาเซลเซียส อ้อยที่ศึกษาเป็นพันธุ์ขอนแก่น 3 โดยอาศัยน้ำฝนและน้ำตามร่องในการปลูก ลักษณะดินเป็นดินเหนียว อ้อยโตแรก ระยะปลูก ทดลองปลูกอ้อย เมื่อวันที่ 15 มกราคม พ.ศ. 2562 (Date of planting : DOP) โดยลักษณะพื้นที่ศึกษา ดังแสดงในภาพที่ 13 และ 14



ภาพที่ 13 แสดงจุดเก็บข้อมูล



ภาพที่ 14 ขยายพื้นที่เก็บข้อมูล

3.3 อุปกรณ์เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา

3.3.1 :ซอฟต์แวร์

1. QGIS 3.8
2. Agisoft PhotoScan Professional
3. RapidMiner Studio

3.3.2 ฮาร์ดแวร์

1. คอมพิวเตอร์ (Computer) หรือโน้ตบุ๊ก (Notebook) สำหรับประมวลผลโดยใช้ระบบปฏิบัติการ Windows10 Ram อย่างน้อย 4 GB การ์ดจออย่างน้อย 1 GB

3.3.3. อุปกรณ์เครื่องมือที่ใช้ในภาคสนาม

1. Drone DJI Phantom 3 Advance (Sensor R, G, B)
2. หมุดเหล็ก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.9 x 15 เซนติเมตร
3. โทรศัพท์มือถือ สมาร์ทโฟน ทั้งระบบปฏิบัติการ iOS และ Android
4. แอปพลิเคชัน Handy GPS ใช้ในการบอกตำแหน่งที่ทำการศึกษา
5. ตลับเมตร (Measuring Tape)
6. GNSS RTK KQ M8pro

7. ชุดเป้าปริซึม (Prism) พร้อมขาตั้งอลูมิเนียม
8. ขาตั้งกล้อง 3 ขา
9. เครื่องมือปรับเทียบการสะท้อนของแสง
10. เป้าจุดควบคุมภาพภาคพื้นดิน ทำจากผ้าไวเนล 2 สีสลับกันเป็นตารางหมากรุก ขนาด 1x1 เมตร
11. มีด
12. แอปพลิเคชัน PIX4D Capture
13. ค้อน (Hammer)
14. เครื่องวัดค่าคลอโรฟิลล์ atLeaf
15. สมุดจดบันทึกข้อมูล
16. ไม้สต๊าฟ

3.3.4 ห้องปฏิบัติการ

1. เครื่องช่างละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง

3.4 การเก็บข้อมูลสนาม

ประกอบไปด้วย 2 ส่วน คือ การเก็บข้อมูลทางอากาศและการเก็บข้อมูลภาคพื้นดิน

3.4.1 การบินถ่ายภาพ มีขั้นตอนการทำงานดังนี้

1. การรังวัดจุดควบคุมภาคพื้นดิน (GCPs) ให้มีค่าพิกัด และค่าระดับ โดยกำหนดให้ตำแหน่งพิกัดจุดควบคุมภาพ จะกระจายอยู่ในพื้นที่อย่างน้อย 8 จุด
2. การวางแผนการบินถ่ายภาพด้วยอากาศจากอากาศยานไร้คนบิน Phantom 3 Advanced ทำการวางแผนการบินด้วย Application PIX4D บนระบบปฏิบัติการ Android กำหนดความสูงของการบิน เท่ากับ 90 เมตร ทำการถ่ายภาพให้มีระยะซ้อนด้านหน้าร้อยละ 80 และระยะซ้อนด้านข้างร้อยละ 60
3. เลือกทำการการบินถ่ายภาพ ในวันที่สภาพอากาศดี อุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 25 ถึง 35 องศาเซลเซียส ความเร็วลมไม่เกิน 5 กม.ต่อชั่วโมง มีทัศนวิสัยในการมองเห็นสูง

ครั้งที่	วัน/เดือน/ปี	ระยะการเจริญโต
1	19 กุมภาพันธ์ 2562	เริ่มเพราะปลูก
2	24 มีนาคม 2562	ระยะงอกของตา
3	27 เมษายน 2562	ระยะการแตกกอ
4	2 มิถุนายน 2562	ระยะการแตกกอ
5	30 มิถุนายน 2562	ระยะการแตกกอ
6	3 สิงหาคม 2562	ระยะการเจริญเติบโตของลำต้น
7	15 กันยายน 2562	ระยะการเจริญเติบโตของลำต้น
8	6 ตุลาคม 2562	ระยะการเจริญเติบโตของลำต้น
9	26 ตุลาคม 2562	ระยะการเจริญเติบโตของลำต้น
10	4 มกราคม 2563	ระยะเติบโตเต็มที่ (อ้อยสุก)

ตารางที่ 2 แสดงการบินของโดรนในการเก็บข้อมูล

3.4.2 การเก็บข้อมูลภาคพื้นดิน มีขั้นตอนการทำงานดังนี้

1. ทำการวางแผนพื้นที่ที่ทำการสำรวจ
2. ตั้ง Base station ที่หมุดหมายพยาน
3. สำรวจโดยใช้ GNSS RTK เพื่อนำพิกัดไปใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลภาพ
4. นำไม้สตาฟวัดความสูงของต้นอ้อยโดยวัด ความสูงของโคนลำต้นจนสุดปลายใบ โดยให้มีขนาด เล็ก ใหญ่ คละเคล้ากัน
5. วัดเส้นผ่านศูนย์กลางพุ่ม
6. วัดค่าคลอโรฟิลล์ของอ้อยด้วย เครื่องวัดค่าคลอโรฟิลล์ atLeaf
7. ตัดต้นอ้อยทั้งกอและเก็บตัวอย่างอ้อยจำนวนตามที่ได้กำหนดไว้ เพื่อนำมาวิเคราะห์ในห้องทดลอง

3.5 การวิเคราะห์ในห้องทดลอง

ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างอ้อยในห้องทดลองโดยการหาน้ำหนักของอ้อย ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

3.5.1 นำอ้อยที่ได้ทำการเก็บมาจากสนามและทำการชั่งน้ำหนักสดแบบมีใบและแบบไม่มีใบที่ละต้นด้วยตาชั่งความละเอียด 0.001

3.6 คุณสมบัติกล้องที่ใช้ในการศึกษา (sensor)

3.6.1 กล้อง Survey3W (Red+Green+NIR) มีความละเอียดจุดภาพ 12 ล้านพิกเซล HFOV 87° (19mm) f/2.8 มีตัวรับสัญญาณ USB GPS ภายนอกเพื่อให้ภาพที่ถ่ายมีค่าพิกัด โดยกล้อง Survey3W ให้ค่าการสะท้อนแสงในแต่ละช่วงคลื่น คือ Near Infrared เท่ากับ 850 nm Red เท่ากับ 660 nm และ Green เท่ากับ 550 nm

3.6.2 กล้องที่ติดตั้งบน Phantom 3 Advanced มีความละเอียด 12 ล้านพิกเซล FOV 94° 20 มิลลิเมตร (เทียบเท่ากับ 35 มิลลิเมตร) f/2.8 ให้ค่าการสะท้อนแสงในแต่ละช่วงคลื่น คือ Red เท่ากับ 660 nm Green เท่ากับ 550 nm และ BLUE เท่ากับ 475 nm

3.7 การวิเคราะห์ข้อมูล

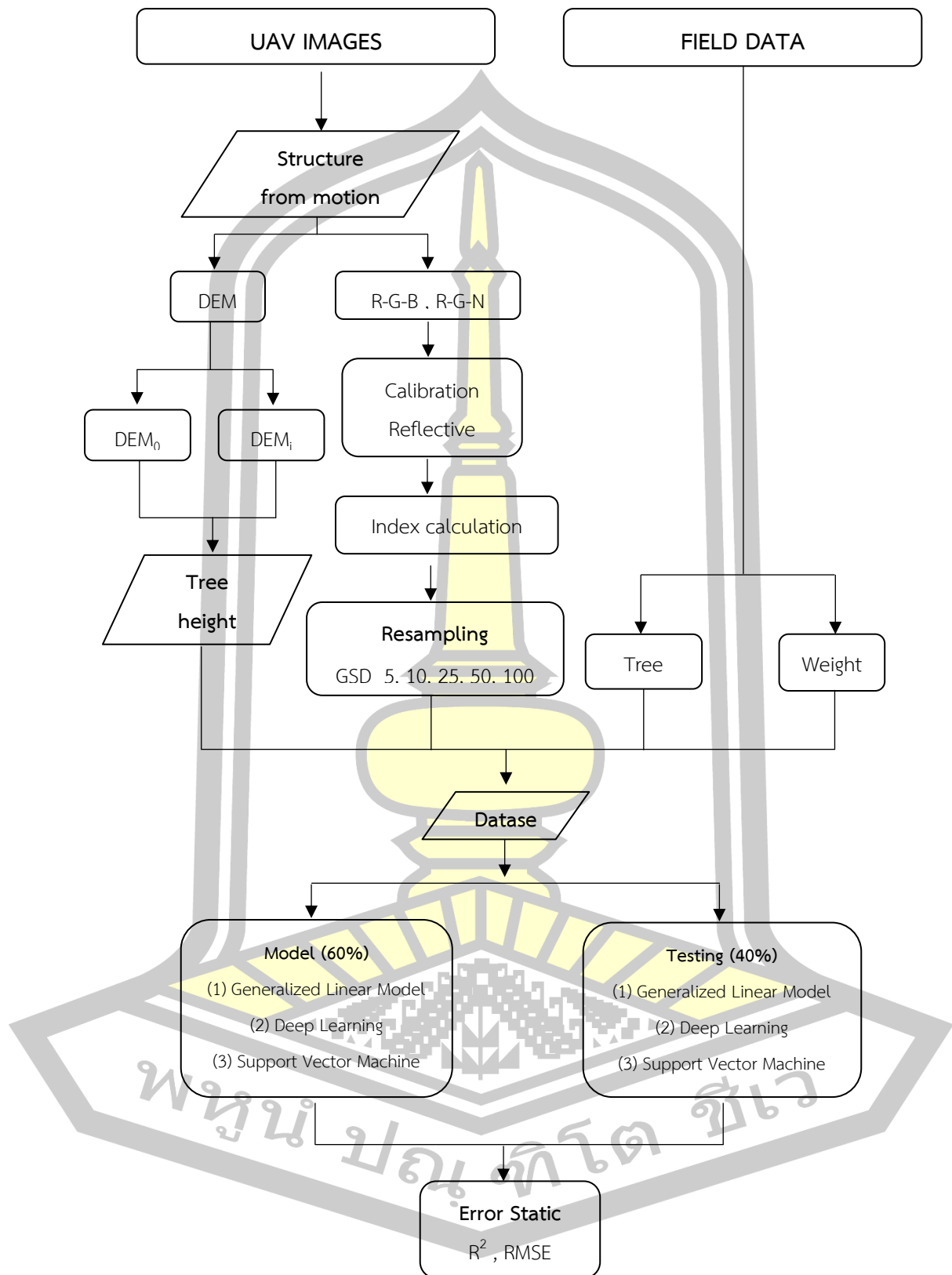
3.7.1 นำภาพที่ได้จากการบินโดรนโดยกล้อง Phantom 3 Professional RGB camera และ Survey3W Camera RGN ทำการประมวลผลภาพ โดยใช้ Agisoft Photoscan professional สร้างแผนที่ภาพออร์โธ (Orthophoto map)

3.7.2 นำภาพที่ได้จากการรวมภาพของข้อ 1 เฉพาะ Survey3W Camera RGN ไปปรับเทียบแสง (Calibration) โดยใช้ MAPIR Survey3

3. นำภาพที่ได้จากการปรับเทียบแสง (Calibration) มาคำนวณหา NDVI โดยใช้ Qgis 3.8 และหาผลผลิตของอ้อยจากข้อมูลที่ได้จากสนาม และนำข้อมูลที่ได้ทั้งหมดมาทำแบบจำลอง

ทำการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง โดยทำการแบ่งข้อมูลสนามออกเป็น 2 ชุด คือ Training Data และ Testing Data แบบ Split Half และทำ Data Rotation 200 ครั้ง จากนั้นคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) และ ค่า RMSE ของแต่ละครั้ง และทำการตรวจสอบความแตกต่างทางสถิติในระดับนัยสำคัญที่ 0.05 โดยมีขั้นตอนการวิเคราะห์ดังภาพที่ 15 และภาพที่ 16



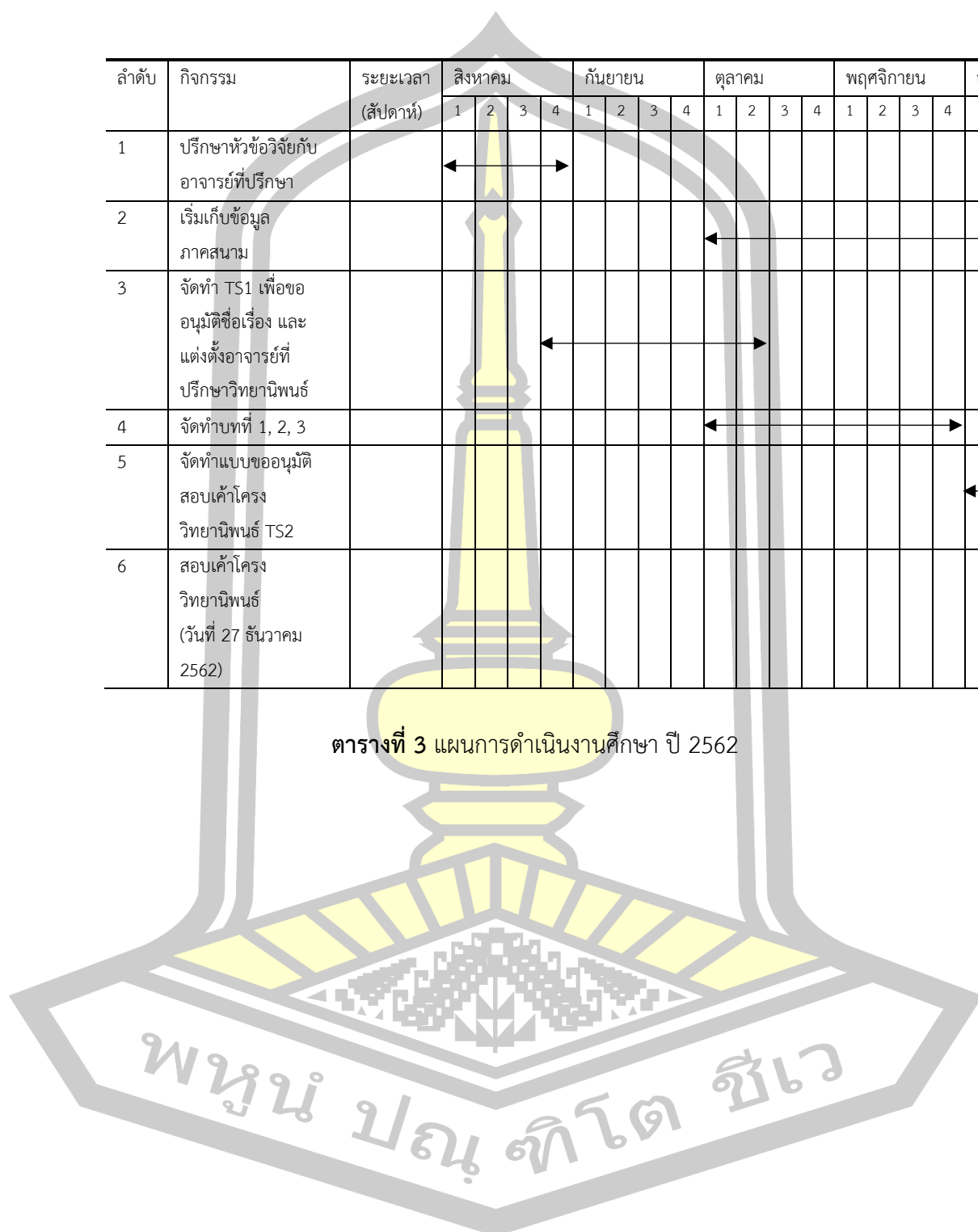


ภาพที่ 16 ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลภาพถ่ายจาก UAV

3.8 แผนการศึกษา

ลำดับ	กิจกรรม	ระยะเวลา (สัปดาห์)	สิงหาคม				กันยายน				ตุลาคม				พฤศจิกายน				ธันวาคม					
			1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4		
1	ปรึกษาหัวข้อวิจัยกับ อาจารย์ที่ปรึกษา		← →																					
2	เริ่มเก็บข้อมูล ภาคสนาม																							
3	จัดทำ TS1 เพื่อขอ อนุมัติชื่อเรื่อง และ แต่งตั้งอาจารย์ที่ ปรึกษาวิทยานิพนธ์																							
4	จัดทำบทที่ 1, 2, 3																							
5	จัดทำแบบขออนุมัติ สอบเค้าโครง วิทยานิพนธ์ TS2																							
6	สอบเค้าโครง วิทยานิพนธ์ (วันที่ 27 ธันวาคม 2562)																							

ตารางที่ 3 แผนการดำเนินงานศึกษา ปี 2562



ลำดับ	กิจกรรม	ระยะเวลา (สัปดาห์)	มกราคม				กุมภาพันธ์				มีนาคม				เมษายน				พฤษภาคม				
			1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
7	แก้ไขวิทยานิพนธ์		←	→																			
8	ส่งรายงานผลการสอบ เค้าโครงและส่ง วิทยานิพนธ์ฉบับแก้ TS3			←	→																		
9	เก็บข้อมูลภาคสนาม		←	→																			
10	วิเคราะห์ข้อมูลการ จำลอง						←	→															
11	จัดทำบทที่ 4, 5						←	→															
12	ส่งแบบขออนุมัติสอบ วิทยานิพนธ์ TS4											←	→										
13	สอบวิทยานิพนธ์ (ช่วงวันที่ 6-12 เมษายน 2563)																←	→					
14	แก้ไขวิทยานิพนธ์																			←	→		
15	ส่งรายงานผลการสอบ และส่งวิทยานิพนธ์ฉบับ แก้ไข TS5																					←	→
16	ส่งบทความวิจัย วิทยานิพนธ์ TS6																					←	→
17	ส่งรายงาน ความก้าวหน้าการทำ วิทยานิพนธ์																					←	→

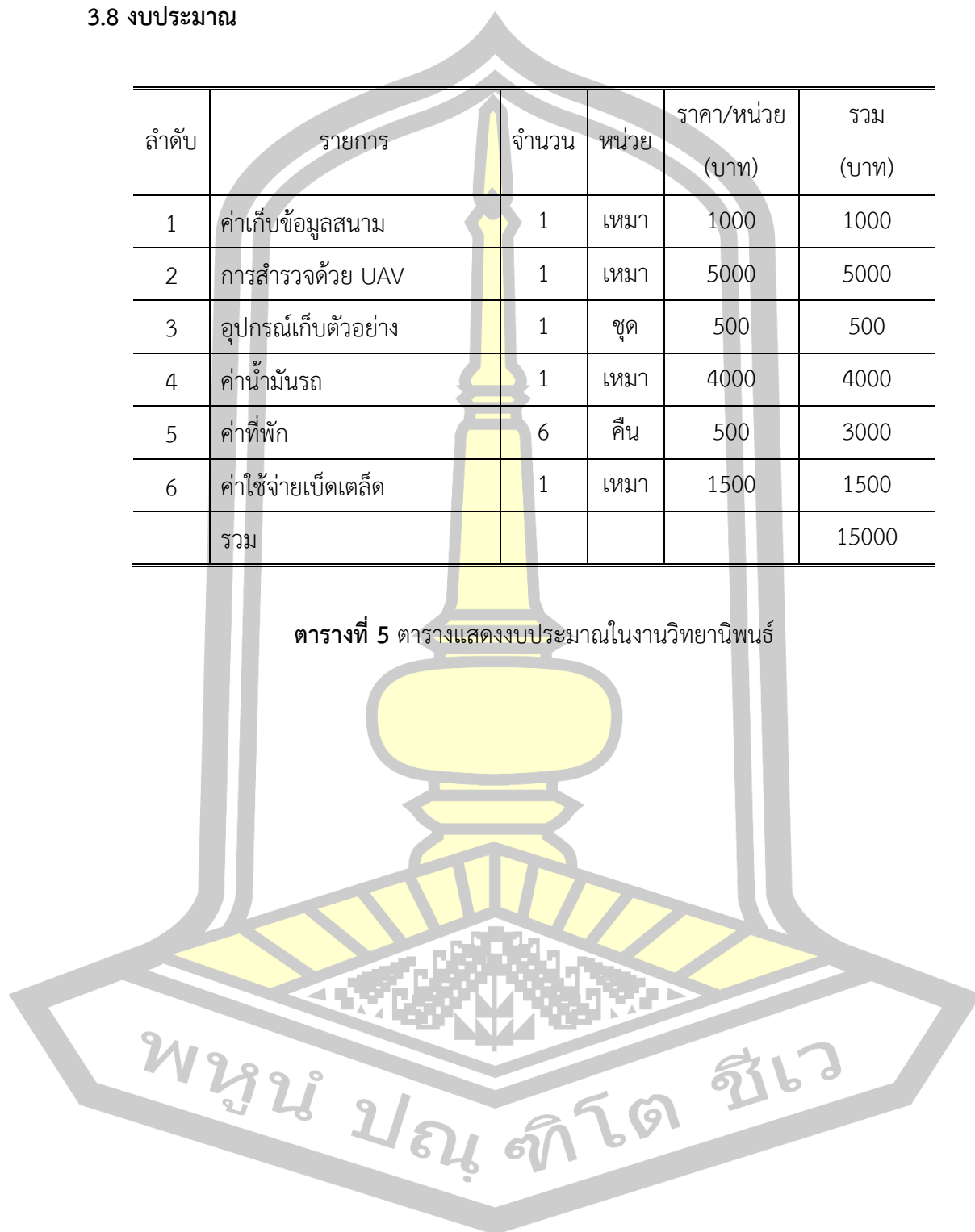
ตารางที่ 4 แผนการดำเนินงานศึกษา ปี 2563



3.8 งบประมาณ

ลำดับ	รายการ	จำนวน	หน่วย	ราคา/หน่วย (บาท)	รวม (บาท)
1	ค่าเก็บข้อมูลสนาม	1	เหมา	1000	1000
2	การสำรวจด้วย UAV	1	เหมา	5000	5000
3	อุปกรณ์เก็บตัวอย่าง	1	ชุด	500	500
4	ค่าน้ำมันรถ	1	เหมา	4000	4000
5	ค่าที่พัก	6	คืน	500	3000
6	ค่าใช้จ่ายเบ็ดเตล็ด	1	เหมา	1500	1500
	รวม				15000

ตารางที่ 5 ตารางแสดงงบประมาณในงานวิทยานิพนธ์



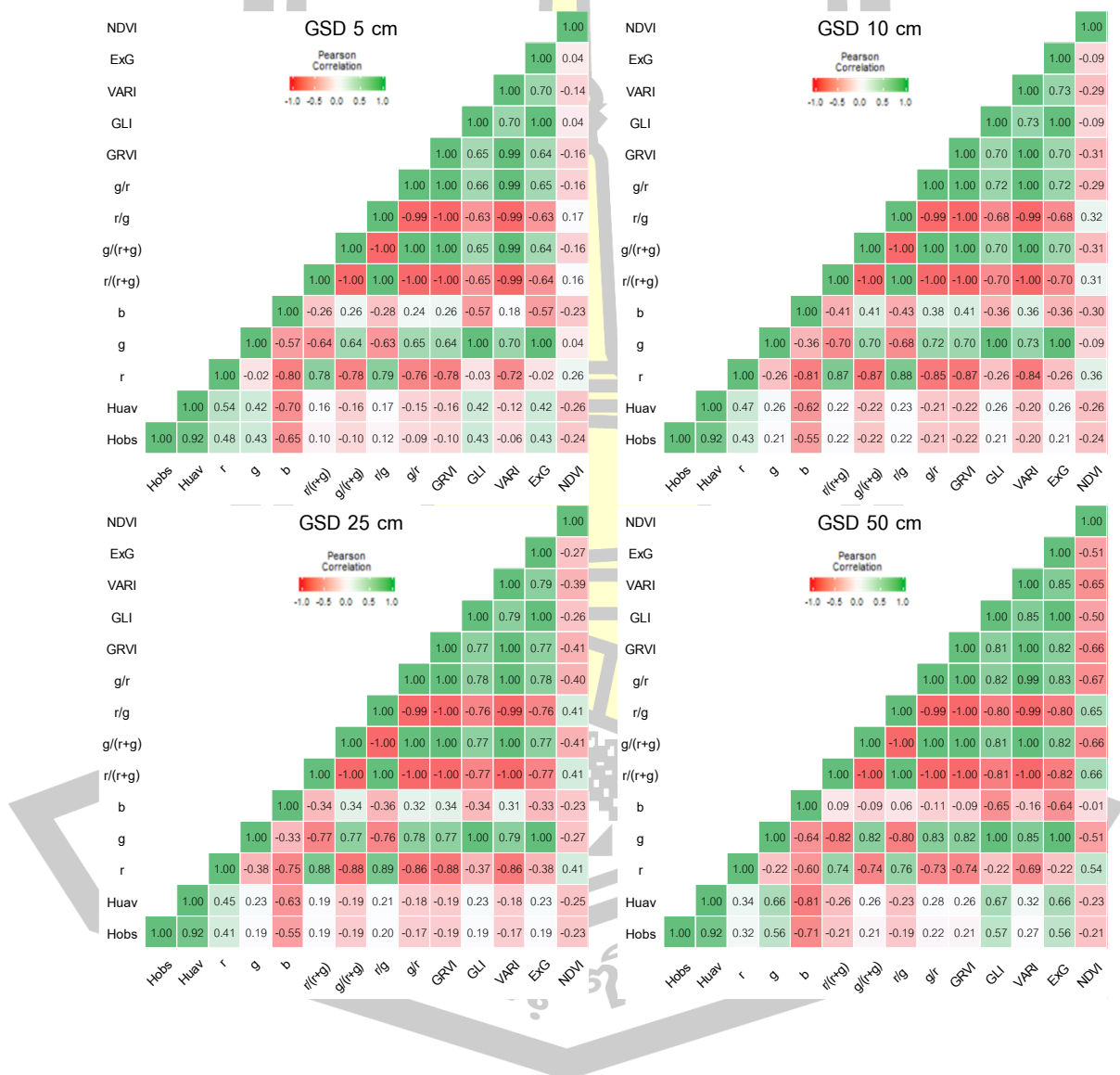
บทที่ 4

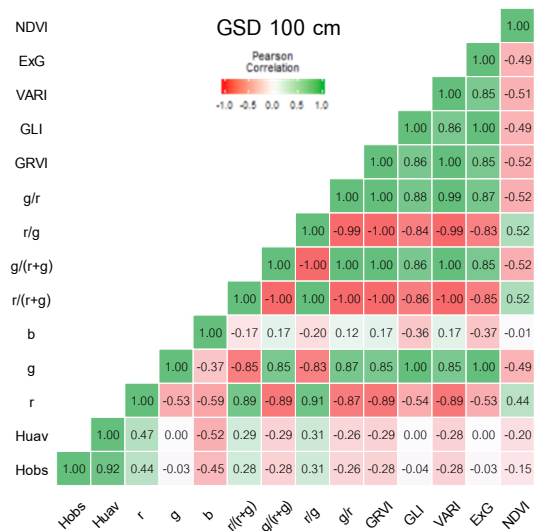
ผลการศึกษา

จากการสำรวจภาคสนามโดยใช้ภาพถ่ายรายละเอียดสูงจากอากาศยานไร้คนขับ (UAV) โดยใช้รายละเอียดจุดภาพขนาด 5, 10, 25, 50 และ 100 เซนติเมตร และทำการเก็บตัวอย่างต้นอ้อยเพื่อนำมาวิเคราะห์หาค่าความสูง ค่าชีวมวล (Biomass) ผลผลิต (Yield) และค่าคลอโรฟิลล์ (SPAD unit) จากห้องปฏิบัติการ โดยค่าการสะท้อนแสงของช่วงคลื่น Red, Green และ Blue จากพื้นที่ศึกษาที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม แสดงรายละเอียดในภาคผนวก แล้วนำมาวิเคราะห์ด้วยแบบเชิงเส้นวางนัยทั่วไป (Generalized Linear Model:) แบบเส้นตรง (Linear Function) การประมาณค่า แบบไม่ใช้พารามิเตอร์ (Non Parametric) โดยใช้วิธีโครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึก (Deep Learning) และ ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machines) ร่วมกับข้อมูลค่าความสูง ชีวมวล ผลผลิตและค่าคลอโรฟิลล์ (SPAD unit) เหนือพื้นดินของต้นอ้อย ที่ได้จากภาพถ่ายรายละเอียดสูงจากอากาศยานไร้คนขับ (UAV) ซึ่งข้อมูลจากภาพถ่ายภาพถ่ายรายละเอียดสูงจากอากาศยานไร้คนขับ (UAV) จะประกอบไปด้วยกล้องที่ติดตั้งบน Phantom 3 Advanced มี ให้ค่าการสะท้อนแสงในแต่ละช่วงคลื่นคือ Red เท่ากับ 660 nm Green เท่ากับ 550 nm และ BLUE เท่ากับ 475 nm และกล้อง Survey3W ให้ค่าการสะท้อนแสงในแต่ละช่วงคลื่น คือ Near Infrared เท่ากับ 850 nm Red เท่ากับ 660 nm และ Green เท่ากับ 550 nm ในช่วงคลื่น ของจุดภาพที่มีค่าพิกัดทางภูมิศาสตร์ตรงกันกับค่าพิกัดภูมิศาสตร์ของพื้นที่ศึกษาและทำการแปลงข้อมูลภาพที่ได้ให้เป็นข้อมูลค่าความสูง ชีวมวล ผลผลิตและค่าคลอโรฟิลล์ (SPAD unit) ที่เหมาะสม เพื่อหาความสัมพันธ์เปรียบเทียบกับค่าชีวมวล และผลผลิตของต้นอ้อย จากภาคสนาม ทำการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง โดยทำการแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มข้อมูลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง (Calibration Data Sets) จำนวนร้อยละ 60 และกลุ่มข้อมูลในการทดสอบแบบจำลอง (Evaluation Data Sets) จำนวนร้อยละ 40 กลุ่มข้อมูล โดยแต่ละแบบจำลองจะถูกคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of determination, R^2) และทำการประเมินความน่าเชื่อถือ ทางสถิติของแบบจำลอง โดยใช้ค่ารากที่สองของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) ของแต่ละครั้ง และทำการตรวจสอบความแตกต่างทางสถิติในระดับนัยสำคัญที่ 0.05

4.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลค่าความสูงของอ้อย

ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูลความสูงต้นอ้อย (H_{obs}) กับ ข้อมูลภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับซึ่งประกอบไปด้วย ค่าการสะท้อนแสง (r, g, b) อัตราส่วนค่าสะท้อนแสง ค่าความสูงของต้นอ้อย (H_{uav}) โดยแบบจำลองความสูง (DEM) นั้นใช้รายละเอียดจุดภาพ 10 เซนติเมตร และค่าดัชนีต่าง ๆ ของรายละเอียดจุดภาพขนาด 5, 10, 25, 50 และ 100 เซนติเมตร มีค่าความสัมพันธ์ดังรูปที่ 17





ภาพที่ 17 แสดงความสัมพันธ์ของข้อมูลค่าความสูงกับข้อมูลภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับในรูปแบบ Correlation Heatmap

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูลจะสามารถสรุปได้ว่าตัวแปรได้มีความสัมพันธ์กับค่าผลผลิต ซึ่งจะแสดงเป็นสมการเส้นตรงดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 สมการประมาณค่าความสูงที่ได้จากความสัมพันธ์ของข้อมูลความสูงจากภาพกล้อง RGB

GSD (cm)	สมการ (m)	R ²	RMSE (m)
5	Height = 0.999(H) + 0.018(GLI) + 0.230(VARI) + 0.025	0.86	0.23
10	Height = 0.977(H) - 0.118(g) - 0.034(g/r) - 0.012(ExG) + 0.118	0.86	0.24
25	Height = 0.997(H) + 0.022	0.87	0.23
50	Height = 1.046(H) - 0.249(g) + 0.388(b) - 0.010(g/r) + 0.049	0.85	0.26
100	Height = 0.993(H) - 0.083(VARI) + 0.030	0.82	0.29

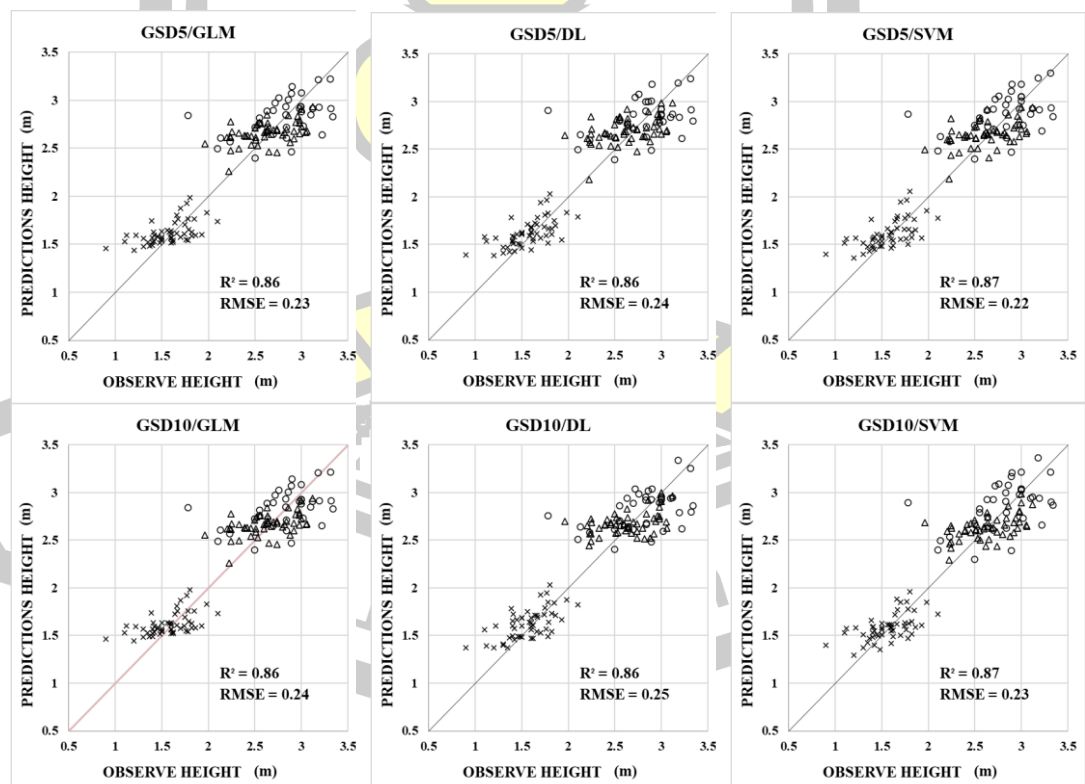
หมายเหตุ : แบบจำลองความสูง (DEM) ใช้รายละเอียดจุดภาพ 10 เซนติเมตร

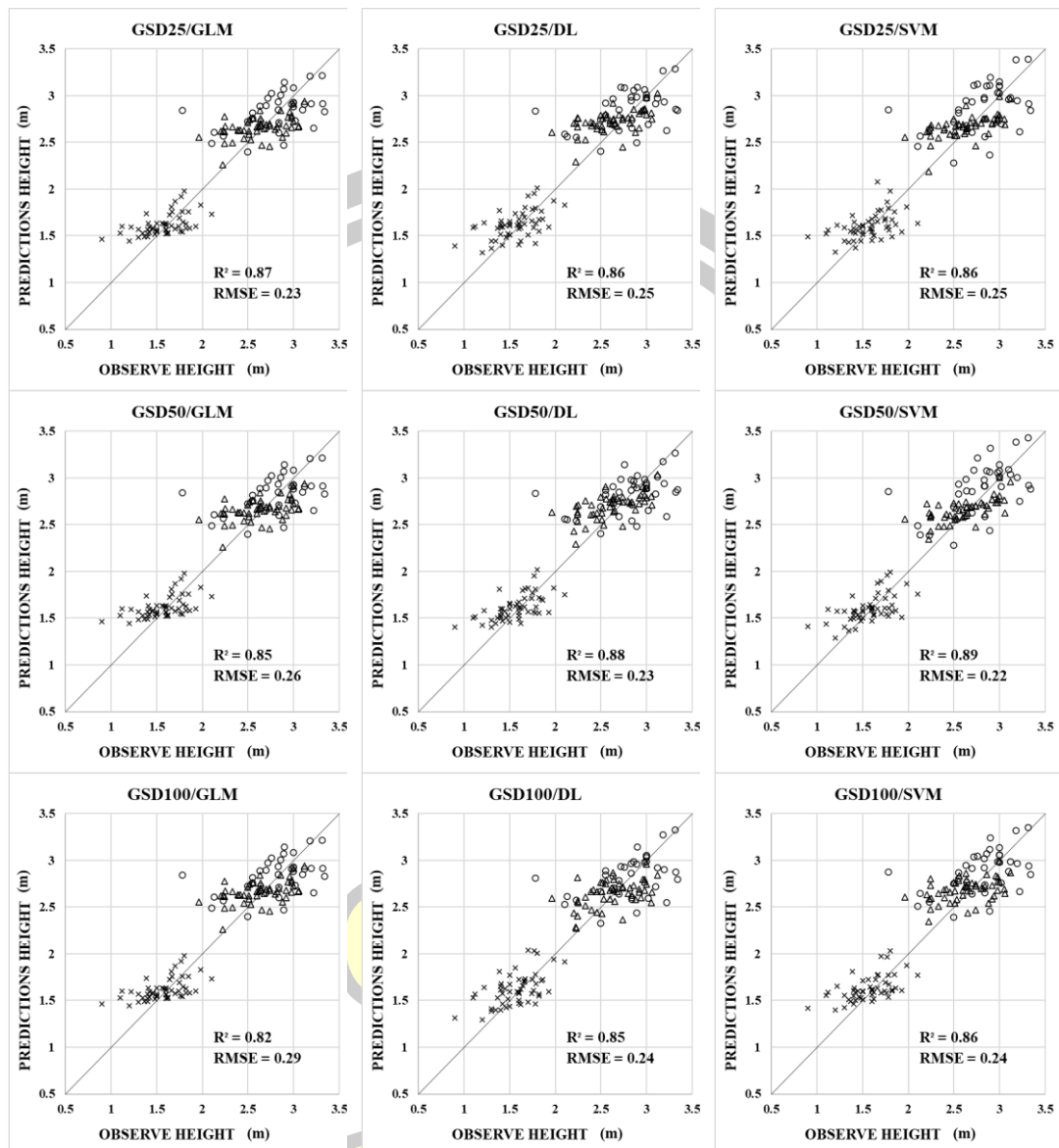
ผลการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อประเมินประสิทธิภาพการรับรู้ระยะไกลโดยใช้ภาพถ่ายรายละเอียดสูงจากอากาศยานไร้คนขับเพื่อประมาณค่าความสูงเหนือพื้นดินของต้นอ้อย ด้วยการวิเคราะห์การถดถอยตัวแปรเดียว และทำการตรวจสอบความแตกต่างทางสถิติในระดับนัยสำคัญ

ที่ 0.05 โดยทำการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองโมเดลเชิงเส้นโดยนัยทั่วไป (Generalized Linear Model) แบบจำลองวิเคราะห์ที่โครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึก (Deep Learning) และแบบจำลองซัพพอร์ทเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machines) ที่รายละเอียดจุดภาพขนาด 5, 10, 25, 50 และ 100 เซนติเมตร และทำการตรวจสอบความแตกต่างทางสถิติ ให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) มีค่าอยู่ระหว่าง 0.82 ถึง 0.89 และค่า RMSE มีค่าอยู่ระหว่าง 0.22 ถึง 0.29 ดังแสดงในตารางที่ 7 และภาพแสดง Scattering plots ภาพที่ 18 ตามลำดับ

ตารางที่ 7 R^2 และ RMSE ของการประมาณค่าความสูงของต้นอ้อย

Model	GSD 5 cm		GSD 10 cm		GSD 25 cm		GSD 50 cm		GSD 100 cm	
	R^2	RMSE	R^2	RMSE	R^2	RMSE	R^2	RMSE	R^2	RMSE
GLM	0.86	0.23	0.86	0.24	0.86	0.23	0.86	0.26	0.85	0.29
DL	0.86	0.24	0.86	0.25	0.86	0.25	0.86	0.23	0.88	0.25
SVM	0.87	0.22	0.87	0.23	0.87	0.25	0.87	0.22	0.89	0.24





x = ระยะแตกกอ (Tillering phase) Δ = ระยะยืดลำปล้อง (Stalk elongation phase)

o = ระยะสุกแก่ (Ripening phase)

ภาพที่ 18 แสดง Scattering plots ความสัมพันธ์ความสูงของต้นอ้อยจากการวัดกับความสูงจากการประมาณ

4.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลค่าชีวมวลของอ้อย

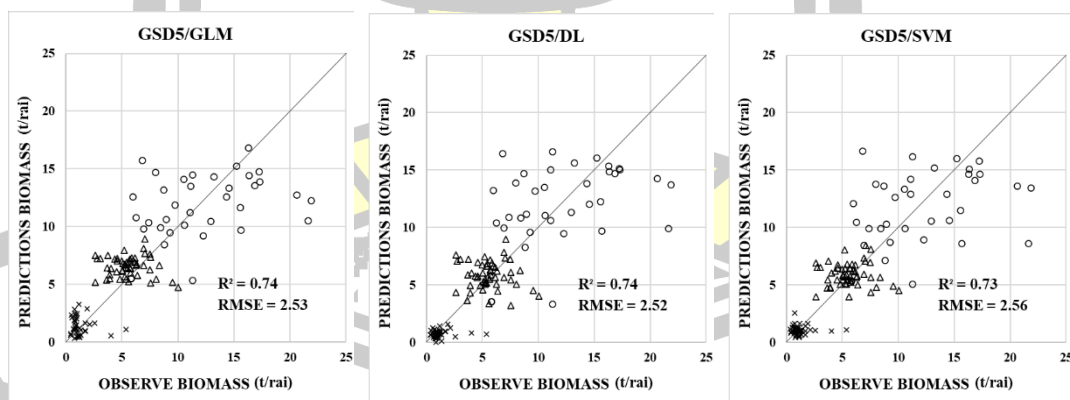
ผลการวิเคราะห์ชีวมวล (Biomass) จากการสร้างแบบจำลองการติดตามการเจริญเติบโตจากข้อมูลภาพถ่ายด้วย UAV ที่ระยะการเจริญเติบโตทั้ง 3 ระยะ ได้แก่ ระยะแตกกอ (Tillering phase), ระยะยืดลำปล้อง (Stalk elongation phase) และระยะสุกแก่ (Ripening phase) โดยทำการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองโมเดลเชิงเส้นโดยนัยทั่วไป (Generalized

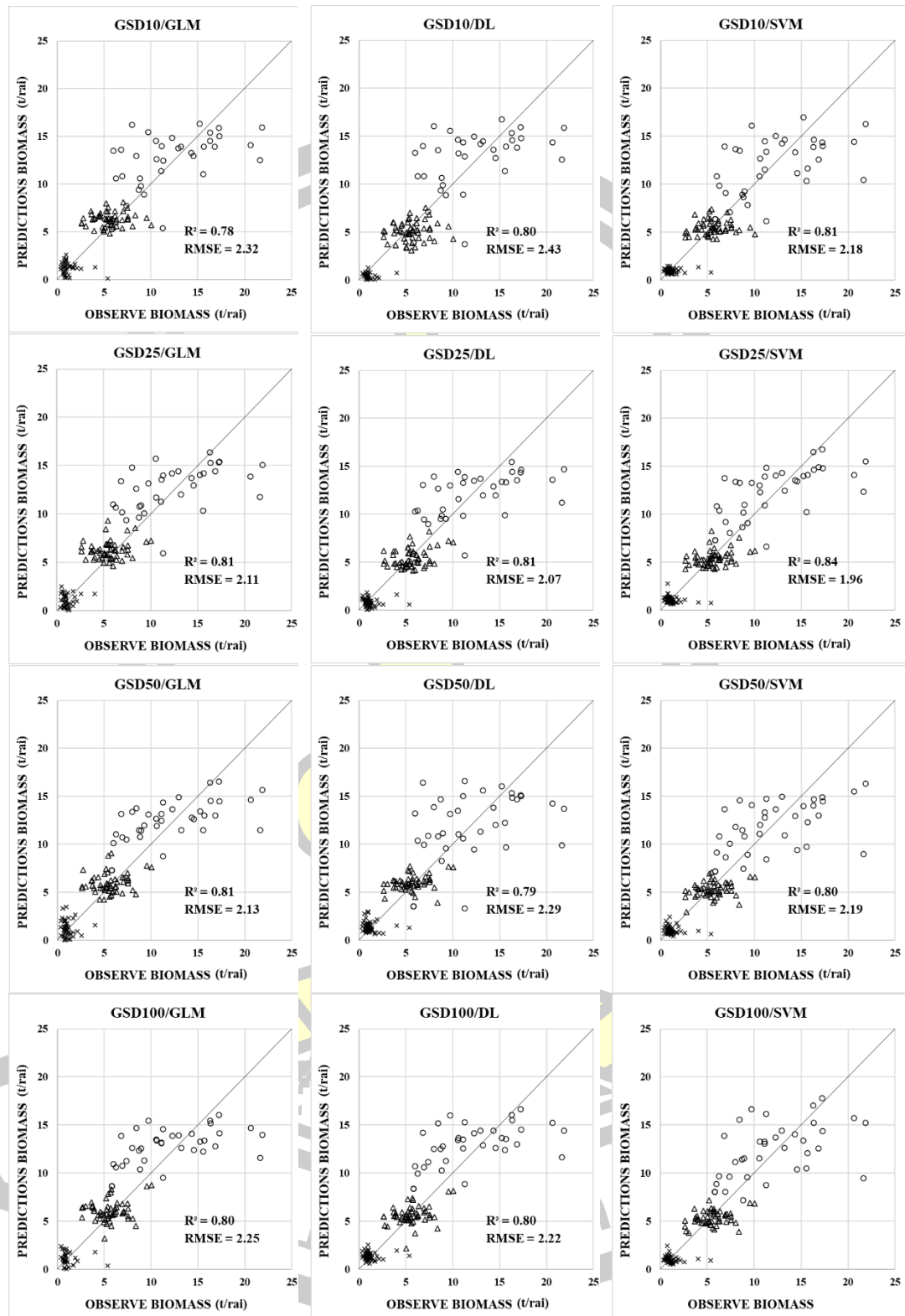
Linear Model) แบบจำลองวิเคราะห์โครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึก (Deep Learning) และแบบจำลองซัพพอร์ทเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machines) โดยการวิเคราะห์ข้อมูลนั้นจะแบ่งออกเป็นสองกรณีดังนี้

กรณีที่หนึ่ง ความสัมพันธ์ระหว่าง Biomass กับข้อมูลจากภาพถ่ายด้วยกล้อง RGB อันได้แก่ค่าการสะท้อนแสง (r, g, b) อัตราส่วนค่าสะท้อนแสง ค่าความสูงของต้นอ้อย (H) โดยแบบจำลองความสูง (DEM) นั้นใช้รายละเอียดจุดภาพ 10 เซนติเมตร และค่าดัชนีต่าง ๆ (GRVI, GLI, VARI, ExG) ซึ่งให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) มีค่าอยู่ระหว่าง 0.73 ถึง 0.84 และค่า RMSE มีค่าอยู่ระหว่าง 1.96 ถึง 2.56 ดังแสดงในตารางที่ 8 และภาพแสดง Scattering plots ภาพที่ 19

ตารางที่ 8 R^2 และ RMSE ของชีวมวลของต้นอ้อยจากข้อมูลภาพถ่ายด้วยกล้อง RGB

Model	GSD 5 cm		GSD 10 cm		GSD 25 cm		GSD 50 cm		GSD 100 cm	
	R^2	RMSE	R^2	RMSE	R^2	RMSE	R^2	RMSE	R^2	RMSE
GLM	0.74	2.53	0.78	2.32	0.81	2.11	0.81	2.13	0.80	2.25
DL	0.74	2.52	0.80	2.43	0.81	2.07	0.79	2.29	0.80	2.22
SVM	0.73	2.56	0.81	2.18	0.84	1.96	0.80	2.19	0.80	2.27





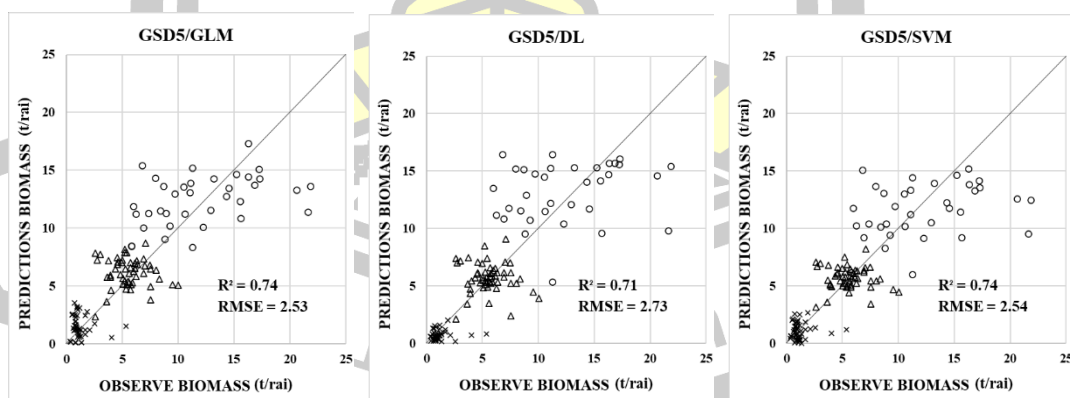
x = ระยะแตกกอ (Tillering phase) Δ = ระยะยืดลำปล้อง (Stalk elongation phase)
o = ระยะสุกแก่ (Ripening phase)

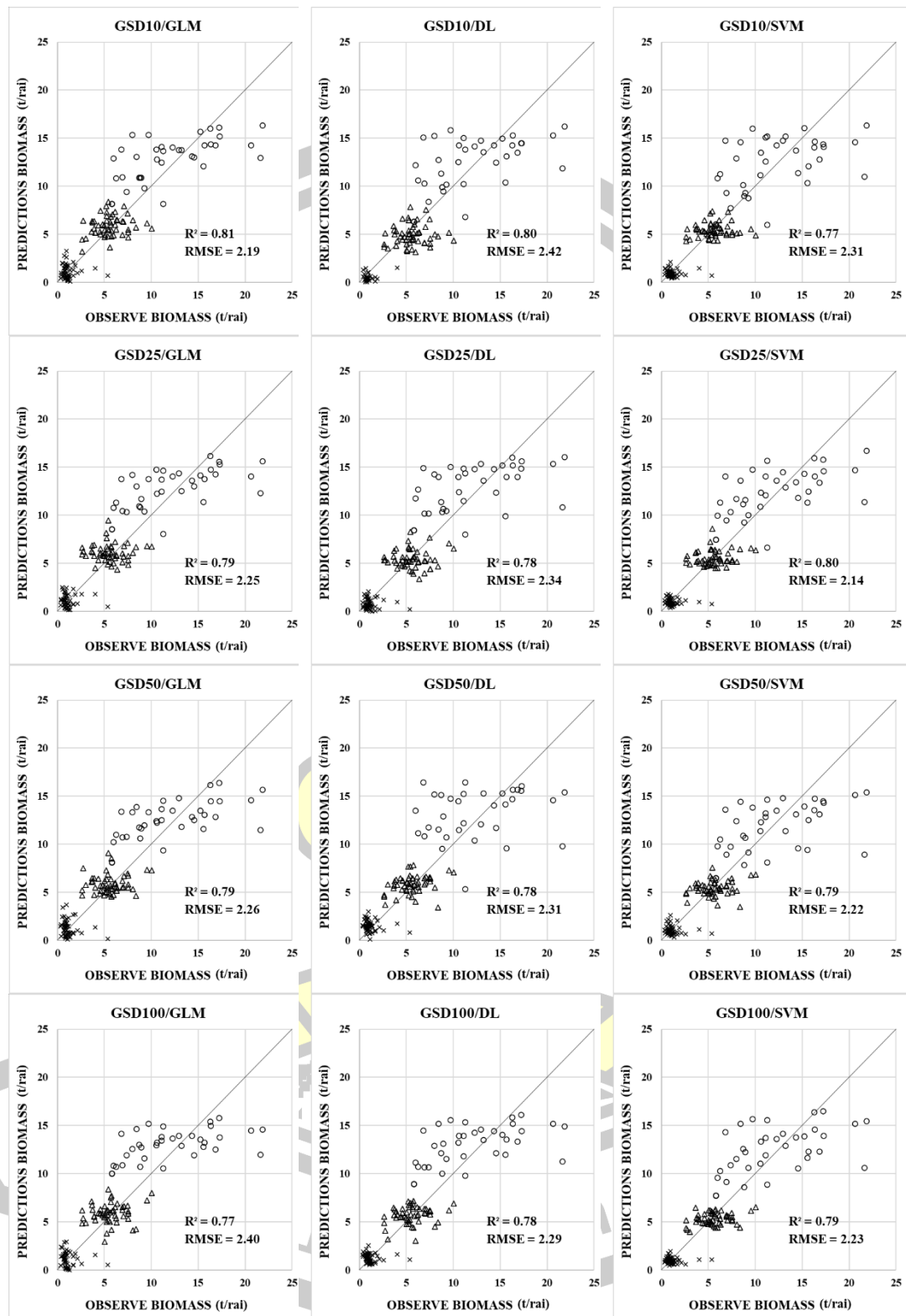
ภาพที่ 19 แสดง Scattering plots ความสัมพันธ์ค่าชีวมวลของต้นอ้อยจากการวัดกับค่าชีวมวลจากการประมาณของข้อมูลจากภาพถ่ายด้วยกล้อง RGB

กรณีที่สอง ความสัมพันธ์ระหว่าง Biomass กับข้อมูลจากภาพถ่ายด้วยกล้อง RGB และ RGN อันได้แก่ ค่าการสะท้อนแสง (r, g, b) อัตราส่วนค่าสะท้อนแสง ค่าความสูงของต้นอ้อย (H) (โดยแบบจำลองความสูงนั้นใช้รายละเอียดจุดภาพ 10 เซนติเมตร) และค่าดัชนีต่าง ๆ (GRVI, GLI, VARI, ExG, NDVI) ซึ่งให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) มีค่าอยู่ระหว่าง 0.71 ถึง 0.81 และค่า RMSE มีค่าอยู่ระหว่าง 2.14 ถึง 2.73 ดังแสดงในตารางที่ 9 และภาพแสดง Scattering plots ภาพที่ 20

ตารางที่ 9 ผล R^2 และ RMSE ของผลการประมาณค่าชีวมวลของต้นอ้อยจากข้อมูลภาพถ่ายด้วยกล้อง RGB และ RGN

Model	GSD 5 cm		GSD 10 cm		GSD 25 cm		GSD 50 cm		GSD 100 cm	
	R^2	RMSE	R^2	RMSE	R^2	RMSE	R^2	RMSE	R^2	RMSE
GLM	0.74	2.53	0.81	2.19	0.79	2.25	0.79	2.26	0.77	2.40
DL	0.71	2.73	0.80	2.42	0.78	2.34	0.78	2.31	0.78	2.29
SVM	0.74	2.54	0.77	2.31	0.80	2.14	0.79	2.22	0.79	2.23



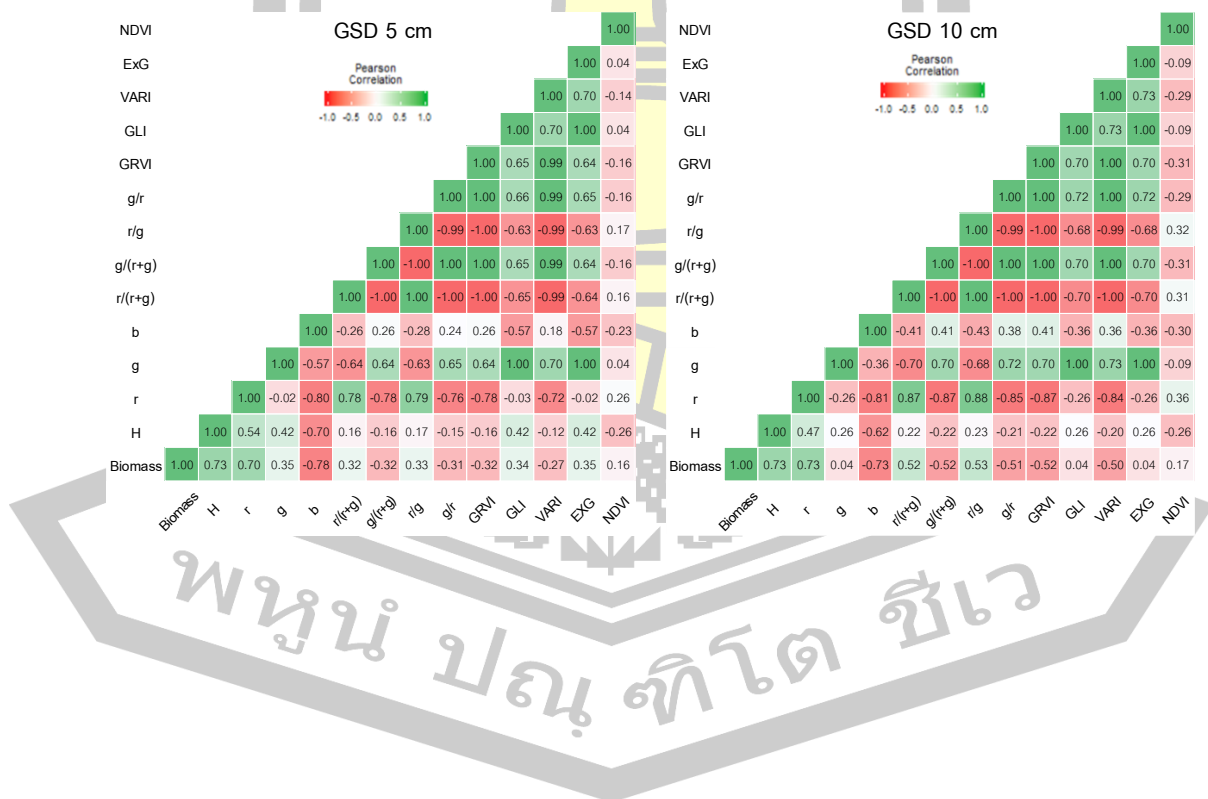


\times = ระยะแตกกอ (Tillering phase) Δ = ระยะยืดลำปล้อง (Stalk elongation phase)

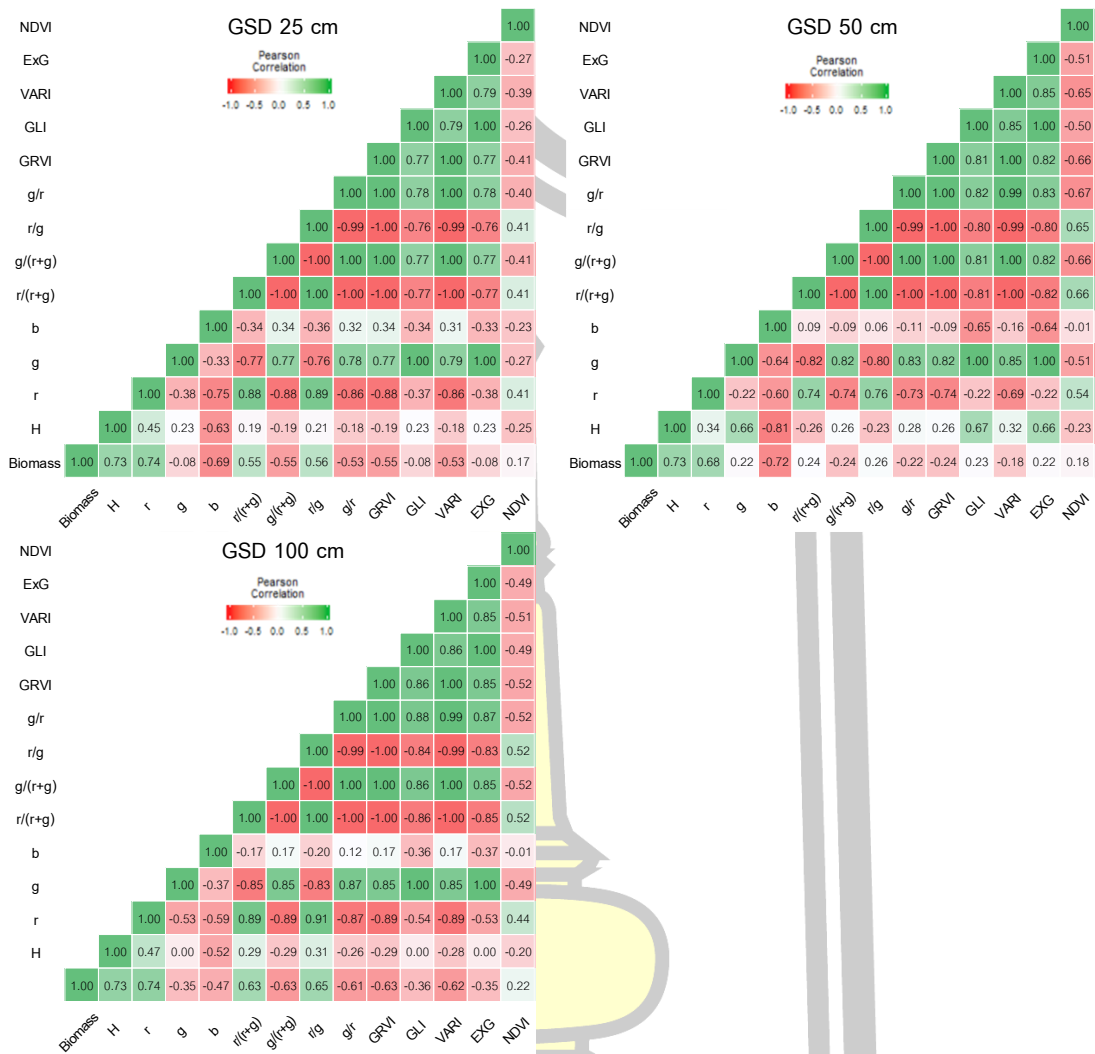
\circ = ระยะสุกแก่ (Ripening phase)

ภาพที่ 20 แสดง Scattering plots ความสัมพันธ์ค่าชีวมวลของต้นอ้อยจากการวัดกับค่าชีวมวลจากการประมาณ

เมื่อเปรียบเทียบผลของทั้งสองกรณีพบว่า การเพิ่มตัวแปร NDVI ที่ได้จากกล้อง RGN ไม่ได้ส่งผลต่อความแม่นยำของแบบจำลองมากนัก เมื่อเปรียบเทียบผลระหว่างข้อมูลที่ได้จากกล้อง RGB เพียงอย่างเดียว กับข้อมูลที่ได้จากกล้อง RGB และกล้อง RGN รวมกัน และเมื่อดูผลความสัมพันธ์ทั้งหมดของชีวมวล (Biomass) กับข้อมูลจากภาพถ่ายด้วยอากาศยานไร้คนขับ UAV ในการสร้างแบบจำลองการติดตามการเจริญเติบโต ที่ประกอบไปด้วยค่าการสะท้อนแสง (r, g, b) อัตราส่วนค่าการสะท้อนแสง ดัชนีต่าง ๆ (GRVI, GLI, VARI, ExG, NDVI) และความสูงจากภาพถ่าย (H) โดยแบบจำลองความสูง (DEM) นั้นใช้รายละเอียดจุดภาพ 10 เซนติเมตร เพื่อเปรียบเทียบแต่ละขนาดรายละเอียดจุดภาพ โดยแสดงความสัมพันธ์ของข้อมูลด้วย สหสัมพันธ์ เป็นค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) ในรูปแบบของ Correlation Heatmap ดังภาพที่ 21



พหุบัณฑิต ชีวะ



ภาพที่ 21 แสดงความสัมพันธ์ของข้อมูลค่าชีวมวลกับข้อมูลภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับใน
รูปแบบ Correlation Heatmap

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูลจะสามารถสรุปได้ว่าตัวแปรได้มีความสัมพันธ์กับ
ค่าชีวมวล โดยแบ่งออกเป็น 2 กรณีคือ กรณีที่ใช้ข้อมูลจากภาพถ่ายด้วยกล้อง RGB และ กรณีที่ใช้
ข้อมูลจากภาพถ่ายด้วยกล้อง RGB และ RGN ร่วมกัน ซึ่งจะแสดงเป็นสมการเส้นตรงดังตารางที่ 10
และ 11

ตารางที่ 10 สมการประมาณค่าชีวมวลที่ได้จากความสัมพันธ์ของข้อมูลชีวมวลจากภาพกล้อง RGB

GSD (cm)	สมการ (t/rai)	R ²	RMSE (t/rai)
5	Biomass = 2.073(H) - 21.430(b) - 11.239(g/r) + 10.868(ExG) + 10.121	0.74	2.53
10	Biomass = 2.713(H) - 29.352(b) - 6.992(g/r) + 8.729	0.78	2.32
25	Biomass = 2.954(H) + 38.620(r) - 5.229(b) - 18.844	0.81	2.11
50	Biomass = 3.803(H) + 33.400(r) - 2.571(g/r) - 17.008	0.81	2.13
100	Biomass = 3.290(H) + 30.365(r) + 0.617(r/g) - 2.779ExG - 16.709	0.80	2.25

หมายเหตุ : แบบจำลองความสูง (DEM) ใช้รายละเอียดจุดภาพ 10 เซนติเมตร

ตารางที่ 11 สมการประมาณค่าชีวมวลที่ได้จากความสัมพันธ์ของข้อมูลชีวมวลจากภาพกล้อง RGB และ RGN

GSD (cm)	สมการ (t/rai)	R ²	RMSE (t/rai)
5	Biomass = 3.025(H) - 26.0548(b) - 2.614(g/r) + 1.700(NDVI) + 2.872	0.74	2.53
10	Biomass = 3.461(H) + 20.251(r) - 8.650(b) - 1.358(g/r) + 1.550(NDVI) - 10.564	0.81	2.19
25	Biomass = 3.510(H) + 32.195(r) - 1.106(b) + 1.388(NDVI) - 18.179	0.79	2.25
50	Biomass = 3.826(H) + 31.503(r) - 1.584(g/r) + 0.731(NDVI) - 17.315	0.79	2.26
100	Biomass = 3.564(H) + 17.163(r) + 3.343(r/g) + 1.263(NDVI) - 15.379	0.77	2.40

หมายเหตุ : แบบจำลองความสูง (DEM) ใช้รายละเอียดจุดภาพ 10 เซนติเมตร

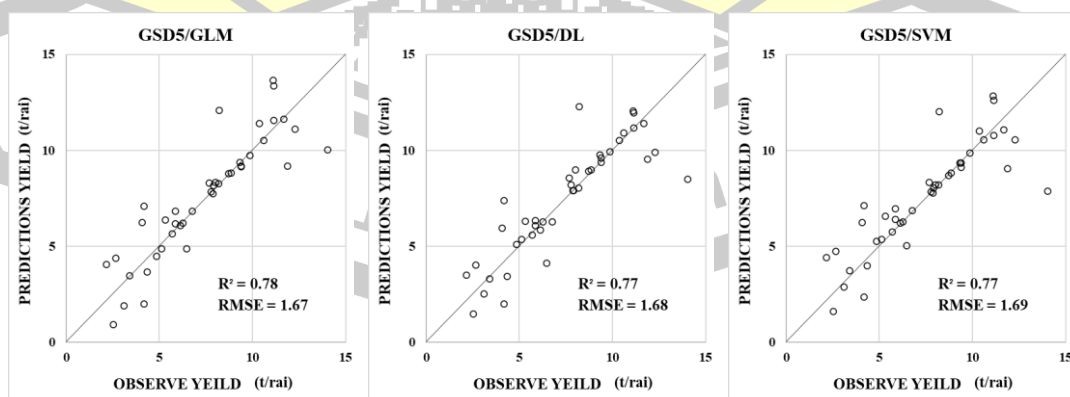
4.3 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลค่าผลผลิตของอ้อย

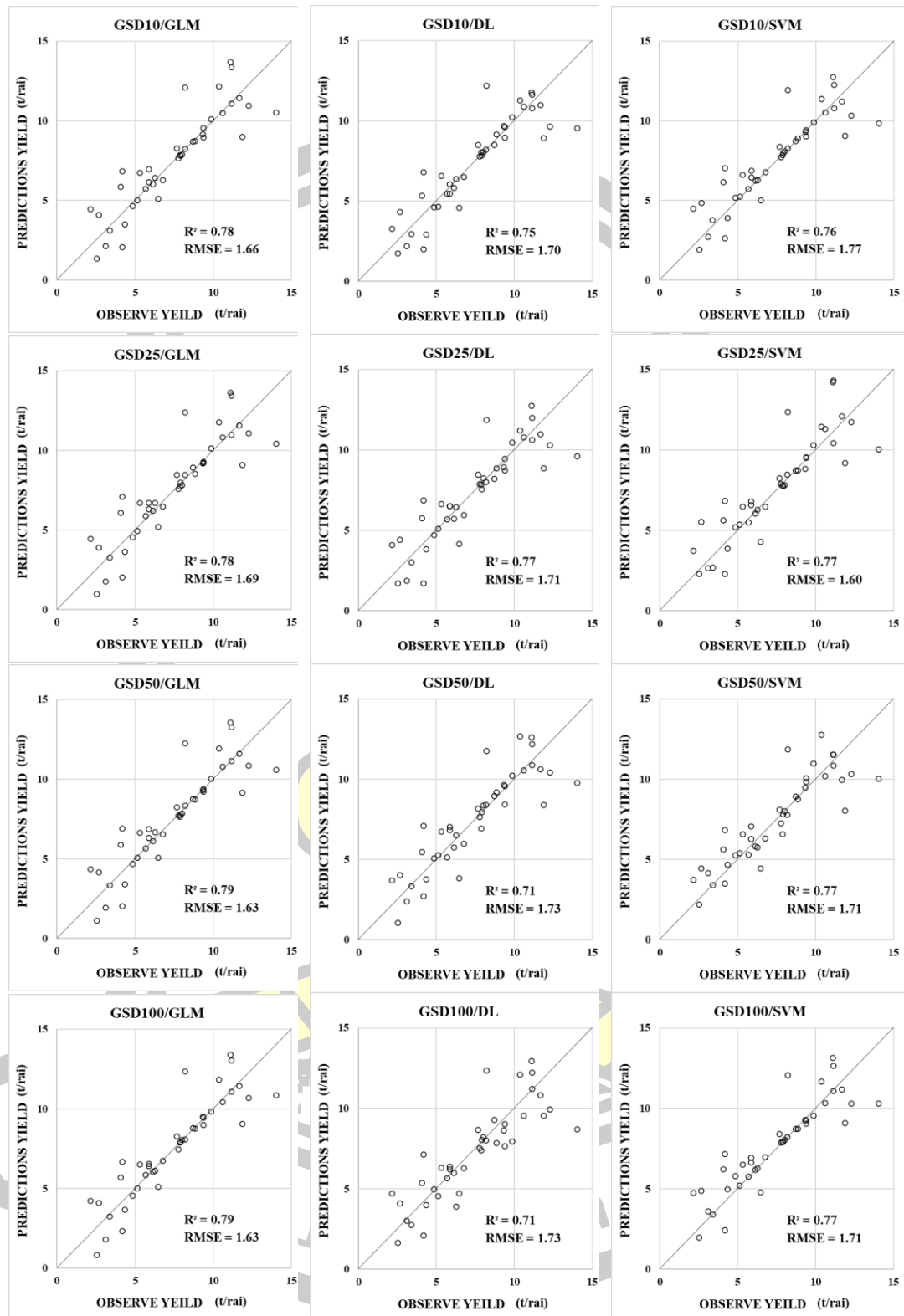
ผลการวิเคราะห์ผลผลิต (Yield) จากการสร้างแบบจำลองทำนายผลผลิตอ้อย จากข้อมูลภาพถ่ายด้วย UAV ที่ระยะการเจริญเติบโตสุกแก่ (Ripening phase) เพราะเนื่องจากอ้อยนั้นจะเริ่มสร้างผลผลิตที่ระยะการเจริญเติบโตนี้ โดยทำการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองโมเดลเชิงเส้นโดยนัยทั่วไป (Generalized Linear Model) แบบจำลองวิเคราะห์โครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึก (Deep Learning) และแบบจำลองซัพพอร์ทเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machines) โดยการวิเคราะห์ข้อมูลนั้นจะแบ่งออกเป็นสองกรณีดังนี้

กรณีที่หนึ่ง ความสัมพันธ์ระหว่าง Yield กับข้อมูลจากภาพถ่ายด้วยกล้อง RGB อันได้แก่ ค่าการสะท้อนแสง (r, g, b) อัตราส่วนค่าสะท้อนแสง ค่าความสูงของต้นอ้อย (H) โดยแบบจำลองความสูง (DEM) นั้นใช้รายละเอียดจุดภาพ 10 เซนติเมตร และค่าดัชนีต่าง ๆ (GRVI, GLI, VARI, ExG) ซึ่งให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) มีค่าอยู่ระหว่าง 0.66 ถึง 0.83 และค่า RMSE มีค่าอยู่ระหว่าง 1.47 ถึง 3.31 ดังแสดงในตารางที่ 12 และภาพแสดง Scattering plots ภาพที่ 22

ตารางที่ 12 ผล R^2 และ RMSE ของผลผลิตของต้นอ้อยจากข้อมูลภาพถ่ายด้วยกล้อง RGB

Model	GSD 5 cm		GSD 10 cm		GSD 25 cm		GSD 50 cm		GSD 100 cm	
	R^2	RMSE	R^2	RMSE	R^2	RMSE	R^2	RMSE	R^2	RMSE
GLM	0.78	1.67	0.78	1.66	0.79	1.65	0.79	1.63	0.80	1.47
DL	0.81	1.54	0.83	1.62	0.81	1.78	0.79	1.48	0.79	1.73
SVM	0.66	3.31	0.76	1.68	0.78	1.50	0.77	1.61	0.77	1.71





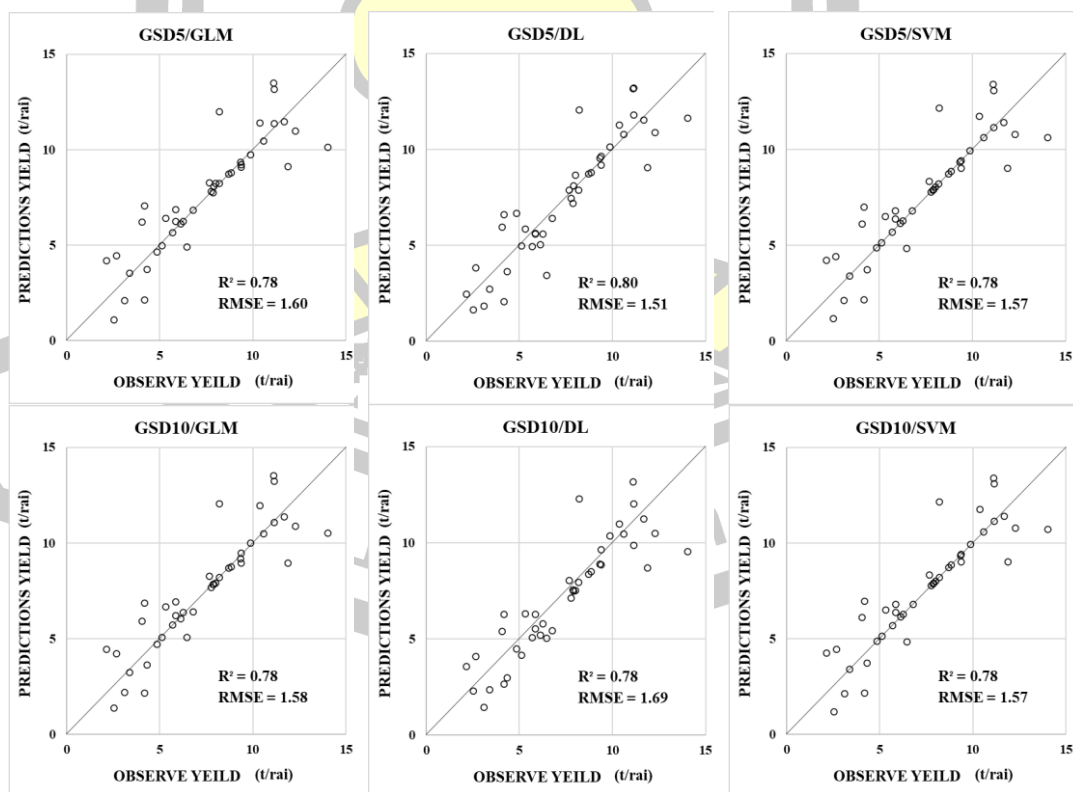
o = ระยะสุกแก่ (Ripening phase)

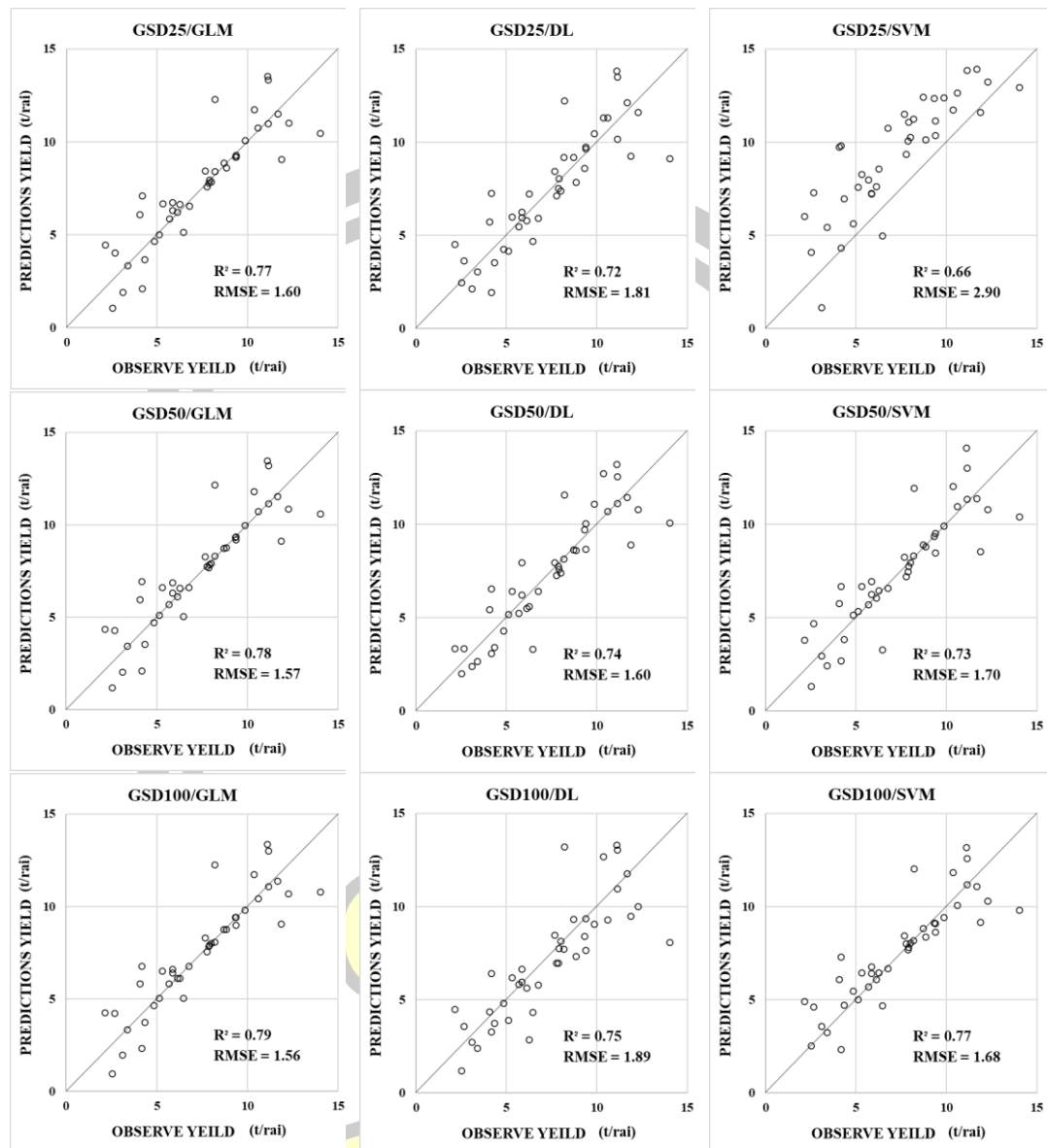
ภาพที่ 22 แสดง Scattering plots ความสัมพันธ์ค่าผลผลิตของต้นอ้อยจากการวัดกับค่าผลผลิตจากการประมาณของข้อมูลจากภาพถ่ายด้วยกล้อง RGB

กรณีที่สอง ความสัมพันธ์ระหว่าง Yield กับข้อมูลจากภาพถ่ายด้วยกล้อง RGB และ RGN อันได้แก่ ค่าการสะท้อนแสง (r, g, b) อัตราส่วนค่าสะท้อนแสง ค่าความสูงของต้นอ้อย (H) โดยแบบจำลองความสูง (DEM) นั้นใช้รายละเอียดจุดภาพ 10 เซนติเมตร และค่าดัชนีต่าง ๆ (GRVI, GLI, VARI, ExG, NDVI) ซึ่งให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) มีค่าอยู่ระหว่าง 0.66 ถึง 0.80 และค่า RMSE มีค่าอยู่ระหว่าง 1.51 ถึง 2.90 ดังแสดงในตารางที่ 13 และภาพแสดง Scattering plots ภาพที่ 23

ตารางที่ 13 ผล R^2 และ RMSE ของผลการประมาณค่าผลผลิตของต้นอ้อยจากข้อมูลภาพถ่ายด้วยกล้อง RGB และ RGN

Model	GSD 5 cm		GSD 10 cm		GSD 25 cm		GSD 50 cm		GSD 100 cm	
	R^2	RMSE	R^2	RMSE	R^2	RMSE	R^2	RMSE	R^2	RMSE
GLM	0.78	1.60	0.78	1.58	0.77	1.60	0.78	1.57	0.79	1.56
DL	0.80	1.51	0.78	1.69	0.72	1.81	0.74	1.60	0.75	1.89
SVM	0.78	1.57	0.78	1.57	0.66	2.90	0.73	1.70	0.77	1.68



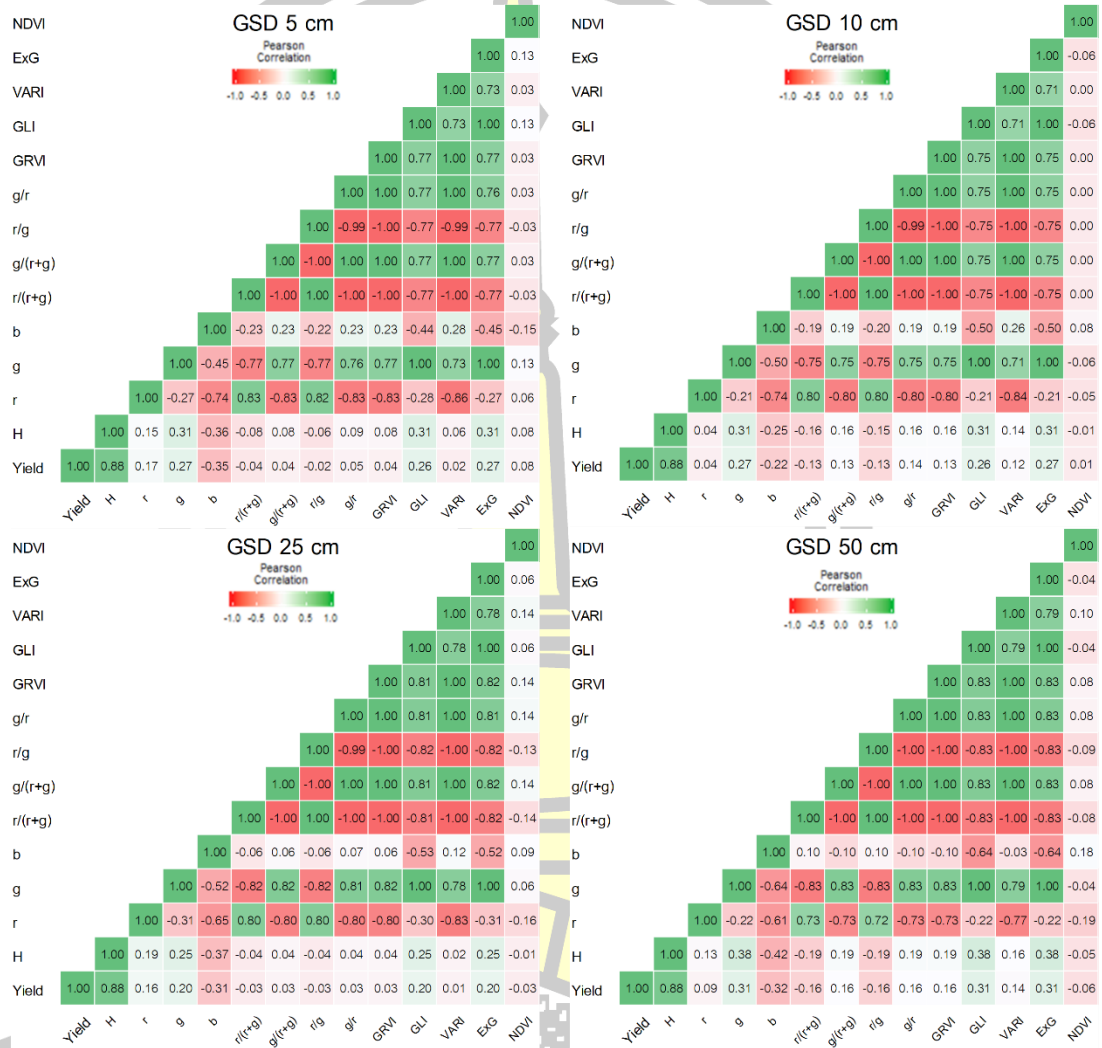


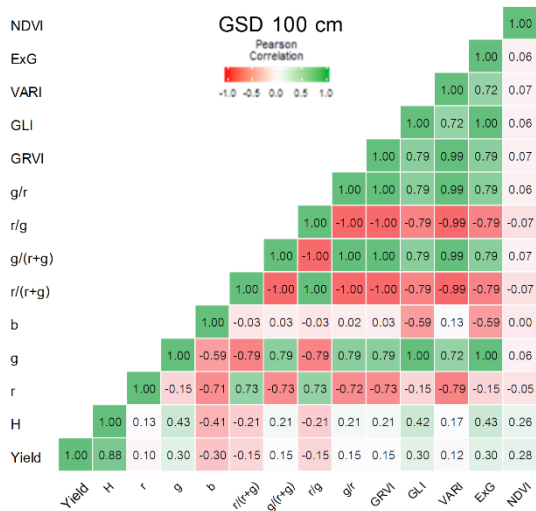
o = ระยะสุกแก่ (Ripening phase)

ภาพที่ 23 แสดง Scattering plots ความสัมพันธ์ค่าผลผลิตของต้นอ้อยจากการวัดกับค่าผลผลิตจากการประมาณของข้อมูลจากภาพถ่ายด้วยกล้อง RGB และ RGN

เมื่อเปรียบเทียบผลของทั้งสองกรณีพบว่า การเพิ่มตัวแปร NDVI ที่ได้จากกล้อง RGN ไม่ได้ส่งผลต่อความแม่นยำของแบบจำลองมากนัก เมื่อเปรียบเทียบผลระหว่างข้อมูลที่ได้จากกล้อง RGB เพียงอย่างเดียว กับข้อมูลที่ได้จากกล้อง RGB และกล้อง RGN รวมกัน และเมื่อดูผลความสัมพันธ์ทั้งหมดของผลผลิต (Yield) กับข้อมูลจากภาพถ่ายด้วยอากาศยานไร้คนขับ UAV ในการสร้างแบบจำลองทำนายผลผลิต ที่ประกอบไปด้วยค่าการสะท้อนแสง (r, g, b) อัตราส่วนค่าการสะท้อนแสง ดัชนีต่าง ๆ (GRVI, GLI, VARI, ExG, NDVI) และความสูงจากภาพถ่าย (H) โดยแบบจำลองความ

สูง (DEM) นั้นใช้รายละเอียดจุดภาพ 10 เซนติเมตร เพื่อเปรียบเทียบแต่ละขนาดรายละเอียดจุดภาพ โดยแสดงความสัมพันธ์ของข้อมูลด้วย สหสัมพันธ์ เป็นค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) ในรูปแบบของ Correlation Heatmap ดังภาพที่ 24





ภาพที่ 24 แสดงความสัมพันธ์ของข้อมูลค่าผลผลิตกับข้อมูลภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับในรูปแบบ Correlation Heatmap

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูลจะสามารถสรุปได้ว่าตัวแปรได้มีความสัมพันธ์กับค่าผลผลิต โดยแบ่งออกเป็น 2 กรณีคือ กรณีที่ใช้ข้อมูลจากภาพถ่ายด้วยกล้อง RGB และ กรณีที่ใช้ข้อมูลจากภาพถ่ายด้วยกล้อง RGB และ RGN ร่วมกัน ซึ่งจะแสดงเป็นสมการเส้นตรงดังตารางที่ 14 และ 15

ตารางที่ 14 สมการประมาณค่าผลผลิตที่ได้จากความสัมพันธ์ของข้อมูลผลผลิตจากภาพกล้อง RGB

GSD (cm)	สมการ (t/rai)	R ²	RMSE (t/rai)
5	Yield = 3.872(H) + 4.675(g) - 3.968	0.78	1.67
10	Yield = 3.986(H) - 2.235(r) + 1.603(b) - 1.193	0.78	1.66
25	Yield = 4.014(H) - 4.124(r) - 0.213	0.79	1.65
50	Yield = 4.010(H) - 4.171(r) + 0.848(b) - 0.222	0.79	1.63
100	Yield = 4.037(H) + 4.016(b) - 2.698	0.80	1.47

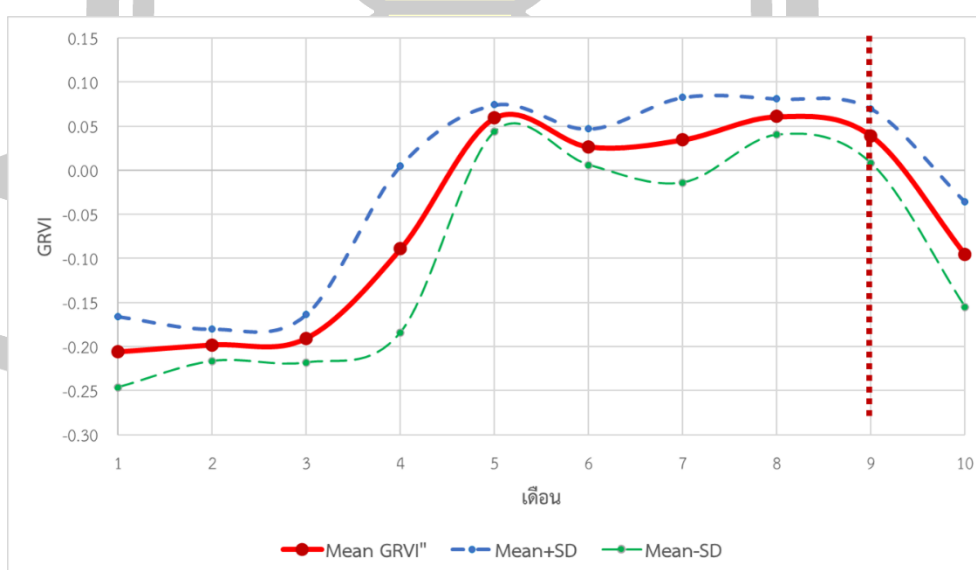
หมายเหตุ : แบบจำลองความสูง (DEM) ใช้รายละเอียดจุดภาพ 10 เซนติเมตร

ตารางที่ 15 สมการประมาณค่าผลผลิตที่ได้จากความสัมพันธ์ของข้อมูลผลผลิตจากภาพกล้อง RGB และ RGN

GSD (cm)	สมการ (t/rai)	R ²	RMSE (t/rai)
5	Yield = 3.807(H) + 1.186(ExG) - 2.197	0.78	1.60
10	Yield = 3.908(H) - 1.820(r) + 0.935(b) - 1.212	0.78	1.58
25	Yield = 3.967(H) - 3.332(r) + 0.656(NDVI) - 0.826	0.77	1.60
50	Yield = 3.934(H) - 3.607(r) - 0.291	0.78	1.57
100	Yield = 3.921(H) + 2.272(b) + 0.462(NDVI) - 2.531	0.79	1.56

หมายเหตุ : แบบจำลองความสูง (DEM) ใช้รายละเอียดจุดภาพ 10 เซนติเมตร

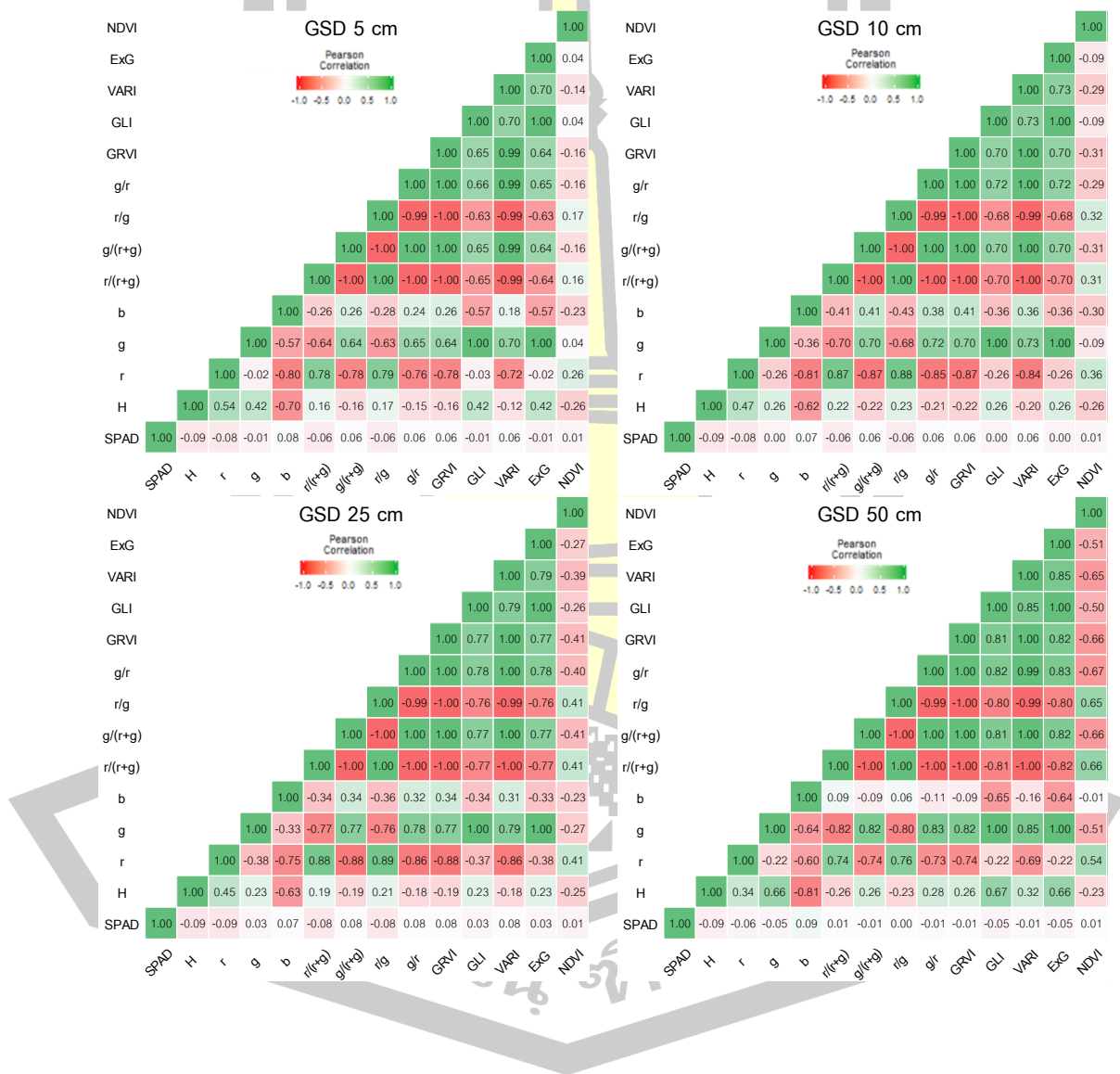
เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลของค่าดัชนี GRVI ที่ได้จากช่วงคลื่น (r,g) กับการบินเก็บข้อมูลทั้ง 10 เดือน แล้วนำค่ามาพล็อตกราฟ ดัชนี GRVI นี้คือดัชนีความเขียว ดังแสดงในภาพที่ 25 จะเห็นได้ว่า ช่วง 1 ถึง 3 เดือน ค่าจะน้อย เนื่องจากเป็นดินจึงไม่พบความเขียว เดือน 4 ถึง 8 เริ่มเขียวสมบูรณ์ แต่เดือน 9 ถึง 10 ค่าความเขียวเริ่มตก เพราะอ้อยนั้นจะทิ้งใบ แสดงว่าเริ่มสร้างความหวาน เพราะฉะนั้นเราจะสามารถติดตามความหวานจากแปลงนี้ได้ซึ่งจะได้วางแผนการเก็บเกี่ยวได้ เพราะส่วนมากในพื้นที่ขนาดใหญ่อ้อยจะไม่ได้ถูกปลูกพร้อมกันทีเดียว จึงทำให้สามารถจำแนกได้ว่าส่วนไหน ควรเก็บก่อนเก็บหลัง

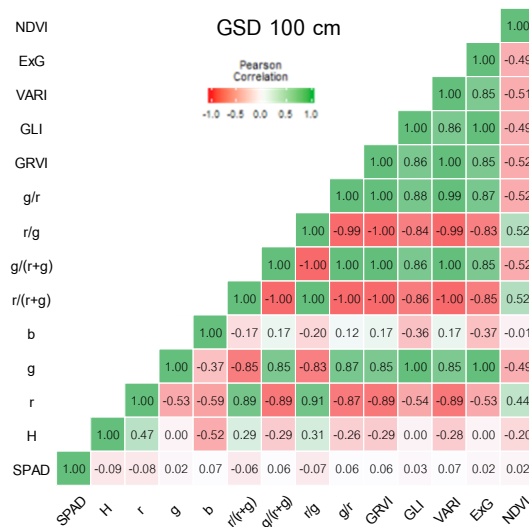


ภาพที่ 25 แสดงความสัมพันธ์ของข้อมูลค่าดัชนี GRVI กับ เดือนแต่ละเดือนที่ทำการเก็บข้อมูลสนาม

4.4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลคลอโรฟิลล์ของอ้อย

ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูลค่าคลอโรฟิลล์ (SPAD unit) กับ ข้อมูลภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับซึ่งประกอบไปด้วย ค่าการสะท้อนแสง (r, g, b) อัตราส่วนค่าสะท้อนแสง ค่าความสูงของต้นอ้อย (H) โดยแบบจำลองความสูง (DEM) นั้นใช้รายละเอียดจุดภาพ 10 เซนติเมตร และค่าดัชนีต่าง ๆ ของรายละเอียดจุดภาพขนาด 5, 10, 25, 50 และ 100 เซนติเมตร มีความสัมพันธ์ดังรูปที่ 26





ภาพที่ 26 แสดงความสัมพันธ์ของข้อมูลค่าคลอโรฟิลล์ (SPAD unit) กับข้อมูลภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับในรูปแบบ Correlation Heatmap

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูลจะสามารถสรุปได้ว่าตัวแปรได้มีความสัมพันธ์กับค่าผลผลิต ซึ่งจะแสดงเป็นสมการเส้นตรงดังตารางที่ 16

ตารางที่ 16 สมการประมาณค่าคลอโรฟิลล์ที่ได้จากความสัมพันธ์ของข้อมูลคลอโรฟิลล์จากภาพถ่ายกล้อง RGB

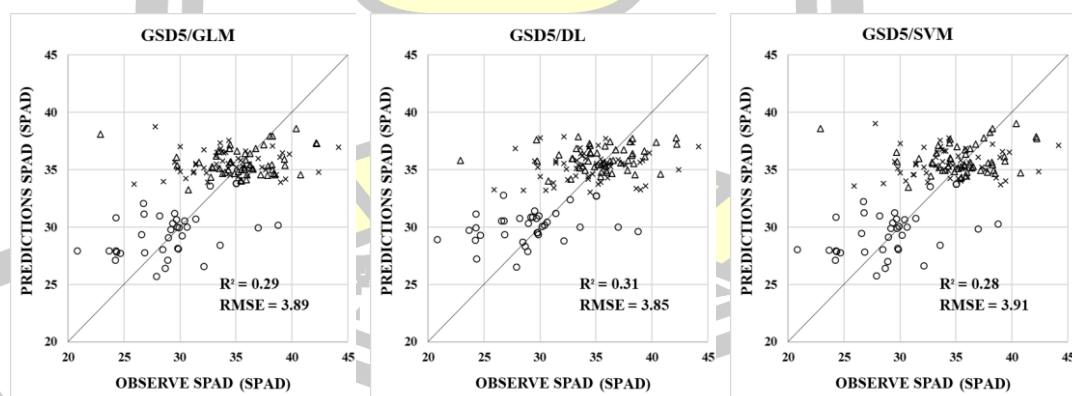
GSD (cm)	สมการ (t/rai)	R ²	RMSE (t/rai)
5	Chlorophyll = 1.143(H) – 15.472(r) + 57.646(b) + 29.485	0.29	3.39
10	Chlorophyll = -34.675(r) + 36.798(b) + 43.537	0.33	3.77
25	Chlorophyll = 54.184(b) – 10.219(r/g) + 35.557	0.38	3.68
50	Chlorophyll = -0.365(H) – 86.790(r) – 7.788(VARI) + 72.223	0.37	3.72
100	Chlorophyll = -0.167(H) – 92.593(r) -12.995(VARI) + 74.188	0.38	3.76

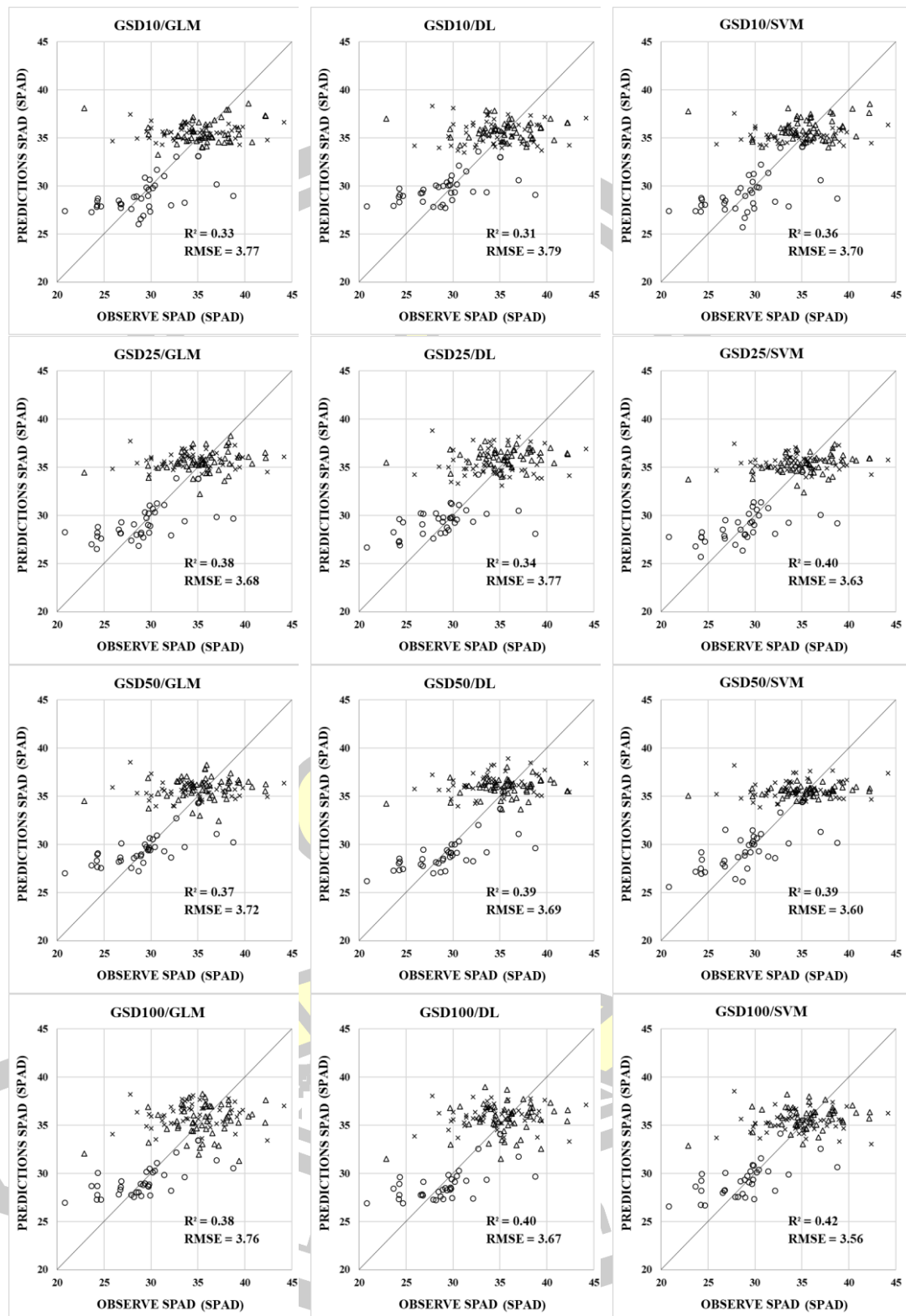
หมายเหตุ : แบบจำลองความสูง (DEM) ใช้รายละเอียดจุดภาพ 10 เซนติเมตร

ผลการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อประเมินประสิทธิภาพการรับรู้ระยะไกลโดยใช้ภาพถ่ายระยะเอียงสูงจากอากาศยานไร้คนขับเพื่อประมาณค่าคลอโรฟิลล์ (SPAD unit) เหนือพื้นดินของต้นอ้อย ด้วยการวิเคราะห์การถดถอยตัวแปรเดียว และทำการตรวจสอบความแตกต่างทางสถิติในระดับนัยสำคัญที่ 0.05 โดยทำการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองโมเดลเชิงเส้นโดยนัยทั่วไป (Generalized Linear Model) แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึก (Deep Learning) และแบบจำลองซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machines) ที่รายละเอียดจุดภาพขนาด 5, 10, 25, 50 และ 100 เซนติเมตร และทำการตรวจสอบความแตกต่างทางสถิติ ให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) มีค่าอยู่ระหว่าง 0.28 ถึง 0.42 ดังแสดงในตารางที่ 13 และค่า RMSE มีค่าอยู่ระหว่าง 3.56 ถึง 3.91 ดังแสดงในตารางที่ 17 และภาพแสดง Scattering plots ภาพที่ 27 ตามลำดับ

ตารางที่ 17 ผล R^2 และ RMSE ของผลการประมาณค่าคลอโรฟิลล์ (SPAD unit)

Model	GSD 5 cm		GSD 10 cm		GSD 25 cm		GSD 50 cm		GSD 100 cm	
	R^2	RMSE	R^2	RMSE	R^2	RMSE	R^2	RMSE	R^2	RMSE
GLM	0.29	3.89	0.33	3.77	0.38	3.68	0.37	3.72	0.38	3.76
DL	0.31	3.85	0.31	3.79	0.34	3.77	0.39	3.69	0.40	3.67
SVM	0.28	3.91	0.36	3.70	0.40	3.63	0.39	3.60	0.42	3.56





x = ระยะแตกกอ (Tillering phase) Δ = ระยะยืดลำปล้อง (Stalk elongation phase)

o = ระยะสุกแก่ (Ripening phase)

ภาพที่ 27 แสดง Scattering plots ความสัมพันธ์ค่าคลอโรฟิลล์ (SPAD unit) ของต้นอ้อยจากการวัดกับค่าคลอโรฟิลล์ (SPAD unit) จากการประมาณ

จากการวิเคราะห์ข้อมูลการติดตามเจริญเติบโต ได้แก่ ความสูง คลอโรฟิลล์ ชีวมวล และผลผลิต ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทั้ง 3 แบบ สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 18 ถึง 20

ตารางที่ 18 สรุปผลการวิจัยของการติดตามการเจริญเติบโต

แบบจำลองการประมาณค่า	GSD (cm)	แบบจำลอง	R ²	RMSE	หน่วย
ความสูง	50	Support Vector Machines	0.89	0.22	m
คลอโรฟิลล์	100	Support Vector Machines	0.42	3.56	SPAD

ตารางที่ 19 สรุปผลการวิจัยของการประมาณค่าชีวมวล

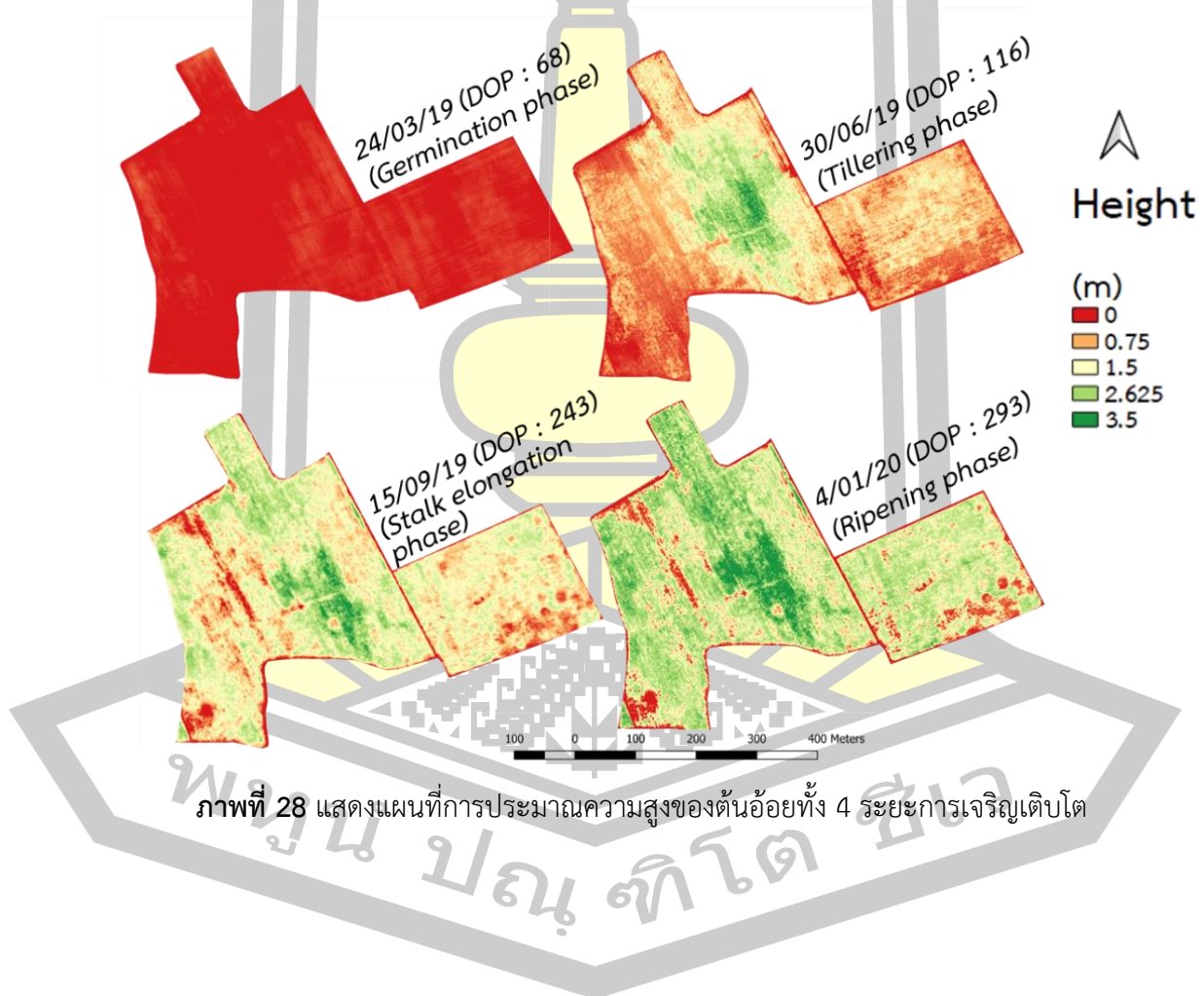
แบบจำลองประมาณค่าชีวมวล	GSD (cm)	แบบจำลอง	R ²	RMSE	หน่วย
กรณีใช้ภาพ RGB เพียงอย่างเดียว	25	Support Vector Machines	0.84	1.96	t/rai
กรณีใช้ภาพ RGB และ RGN ร่วมกัน	25	Support Vector Machines	0.80	2.14	t/rai

ตารางที่ 20 สรุปผลการวิจัยของการทำนายผลผลิต

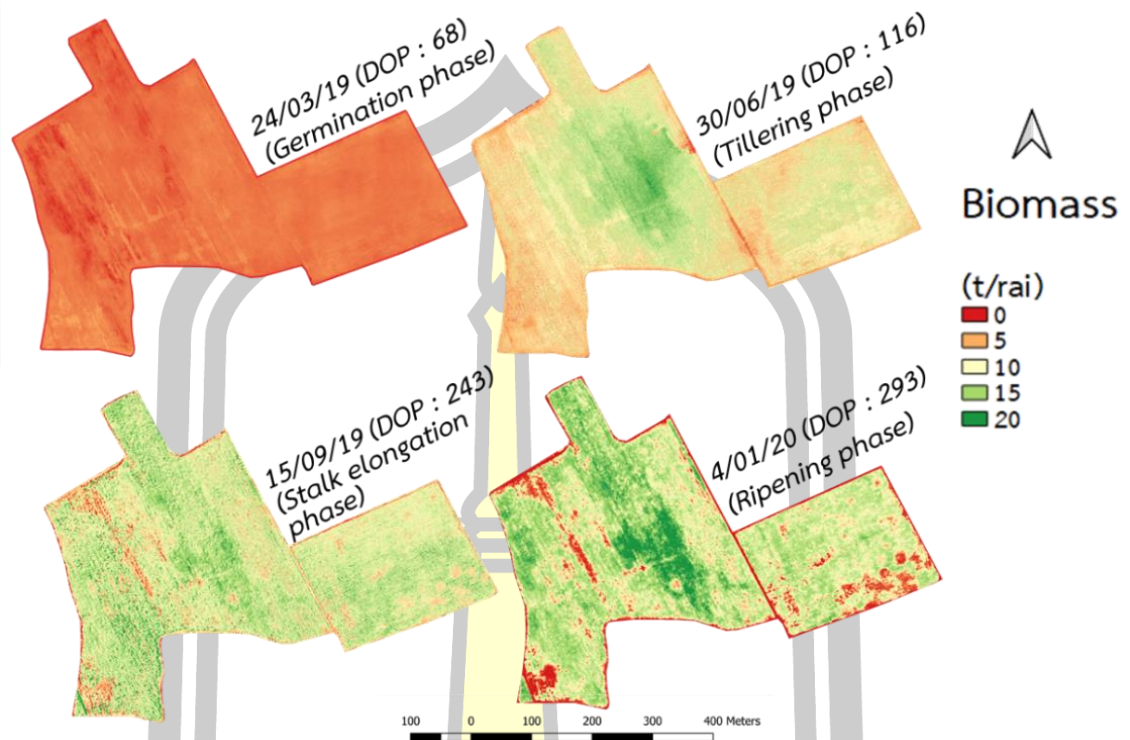
แบบจำลองทำนายผลผลิต	GSD (cm)	แบบจำลอง	R ²	RMSE	หน่วย
กรณีใช้ภาพ RGB เพียงอย่างเดียว	5	Deep Learning	0.81	1.54	t/rai
กรณีใช้ภาพ RGB และ RGN ร่วมกัน	5	Deep Learning	0.80	1.51	t/rai

4.5 แผนที่การติดตามการเจริญเติบโต

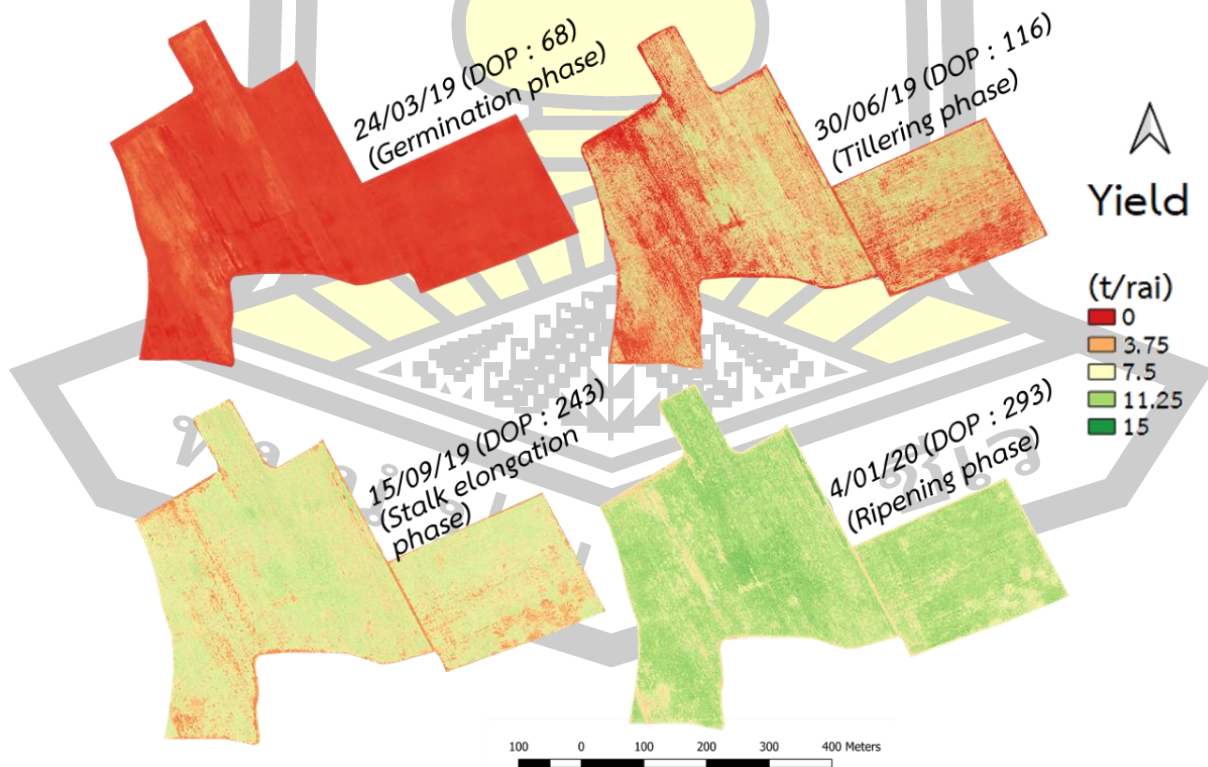
จากวิเคราะห์ข้อมูลภาคสนามร่วมกับข้อมูลที่ได้จากการอากาศยานไร้คนขับซึ่งประกอบไปด้วย ค่าการสะท้อนแสง (r, g, b) อัตราส่วนค่าการสะท้อนแสง ($r/(r+g)$, $g/(r+g)$, r/g , g/r) ดัชนีจากค่าการสะท้อนแสง (GRVI, GLI, VARI, ExG, NDVI) และความสูง (H) ด้วยแบบจำลองทั้ง 3 แบบ ทำให้สามารถสร้างแผนที่ในการติดตามการเจริญเติบโต ได้แก่ แผนที่ความสูง แผนที่ชีวมวล แผนที่ผลผลิต และแผนที่คลอโรฟิลล์ของอ้อยทั้ง 4 ระยะการเจริญเติบโต ได้แก่ ระยะเริ่มปลูก วันที่ 24 มีนาคม พ.ศ.2562 (DOP : 68วัน) ระยะการแตกกอ วันที่ 30 มิถุนายน พ.ศ.2562 (DOP : 116วัน) ระยะยืดลำปล้อง วันที่ 15 กันยายน พ.ศ.2562 (DOP : 243วัน) และระยะสุกแก่ วันที่ 4 มกราคม พ.ศ.2563 (DOP : 293วัน) ดังแสดงในภาพที่ 28 ถึง 31



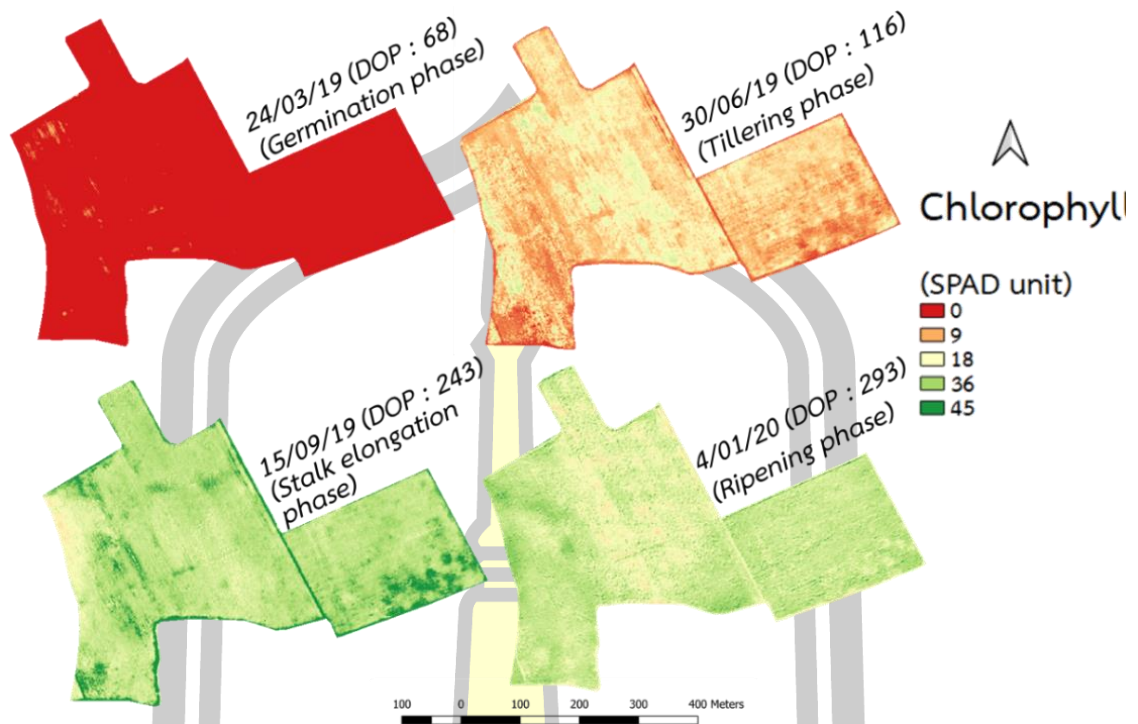
ภาพที่ 28 แสดงแผนที่การประมาณความสูงของต้นอ้อยทั้ง 4 ระยะการเจริญเติบโต



ภาพที่ 29 แสดงแผนที่การประมาณชีวมวลของต้นอ้อยทั้ง 4 ระยะการเจริญเติบโต



ภาพที่ 30 แสดงแผนที่การประมาณผลผลิตของต้นอ้อยทั้ง 4 ระยะการเจริญเติบโต



ภาพที่ 31 แสดงแผนที่การประมาณคลอโรฟิลล์ของต้นอ้อยทั้ง 4 ระยะการเจริญเติบโต

จากการเก็บข้อมูลผลผลิตภาคสนามช่วงเก็บเกี่ยว จำนวน 20 จุด ขนาด 15 x 15 เมตร ดังภาพที่ 32 และนำไปเปรียบเทียบกับผลผลิตที่ได้จากการประมาณด้วยข้อมูลภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ ของแต่ละขนาดจุดภาพ 5, 10, 25, 50 และ 100 เซนติเมตร ได้ดังตารางที่ 21



ภาพที่ 32 แสดงตำแหน่งที่สุ่มเก็บผลผลิตของอ้อยช่วงเก็บเกี่ยว จำนวน 20 จุด

ตารางที่ 21 แสดงข้อมูลผลผลิตของอ้อยช่วงเก็บเกี่ยวจริงเปรียบเทียบกับผลผลิตที่ได้จากการประมาณ

ที่	ผลผลิตจริง (kg/m ²)	ผลผลิตที่ได้จากการประมาณ (kg/m ²)					เปอร์เซ็นต์ค่าความคลาดเคลื่อน (%)				
		5cm	10cm	25cm	50cm	100cm	5cm	10cm	25cm	50cm	100cm
1	1002.64	991.82	994.17	993.98	997.25	991.68	1.08	0.85	0.86	0.54	1.09
2	974.14	1027.02	1029.37	1025.34	1032.12	1013.91	5.43	5.67	5.26	5.95	4.08
3	629.36	8.15	1000.35	1183.83	1185.45	1171.25	98.71	58.95	88.10	88.36	86.10
4	855.21	966.25	968.60	966.98	976.26	970.02	12.98	13.26	13.07	14.15	13.42
5	1301.57	1273.53	1275.88	1266.34	1272.50	1256.48	2.15	1.97	2.71	2.23	3.46
6	1064.79	1025.73	1028.08	1024.83	1025.36	1019.91	3.67	3.45	3.75	3.70	4.21
7	1317.43	987.36	989.71	976.97	975.87	965.71	25.05	24.88	25.84	25.93	26.70
8	771.43	703.73	706.08	689.18	164.58	702.69	8.78	8.47	10.66	78.67	8.91
9	830.36	1074.74	1077.09	1074.57	1083.10	1073.64	29.43	29.71	29.41	30.44	29.30
10	1218.86	1407.53	1409.88	1423.09	1428.76	1424.33	15.48	15.67	16.76	17.22	16.86
11	1324.29	1616.73	1619.08	1631.60	1634.71	1621.61	22.08	22.26	23.21	23.44	22.45
12	1426.93	1553.39	1555.74	1555.00	1552.11	1554.10	8.86	9.03	8.98	8.77	8.91
13	1297.93	1556.07	1558.42	1563.34	1577.60	1570.70	19.89	20.07	20.45	21.55	21.02
14	1247.79	1651.47	1653.82	1674.54	1664.20	1648.24	32.35	32.54	34.20	33.37	32.09
15	1507.29	1630.94	1633.29	1633.01	1627.83	1633.24	8.20	8.36	8.34	8.00	8.36
16	1687.50	1563.24	1565.59	3021.60	1561.11	1560.49	7.36	7.22	79.06	7.49	7.53
17	1178.79	1284.58	1286.93	1287.99	1295.67	1290.81	8.98	9.17	9.26	9.92	9.50
18	1161.64	1358.78	1361.13	1357.55	1369.90	1365.16	16.97	17.17	16.87	17.93	17.52
19	1080.00	1143.39	1145.74	1147.46	1145.71	1137.87	5.87	6.09	6.25	6.08	5.36
20	1185.86	1260.55	1262.90	1642.48	1267.93	1253.48	6.30	6.50	38.51	6.92	5.70
รวม	23063.79	24084.98	25121.84	27139.67	24838.01	25225.32	4.43	8.92	17.67	7.69	9.37

พหุ ประถมศึกษา

บทที่ 5

อภิปรายผล สรุปผลการศึกษา และข้อเสนอแนะ

บทนี้จะกล่าวถึงการอภิปรายผลการศึกษา สรุปผลการศึกษา ข้อจำกัดในการศึกษาและข้อเสนอแนะในการนำเสนอผลการศึกษาไปใช้ประโยชน์ในอนาคต การศึกษานี้แยกทำการวิเคราะห์ข้อมูล 3 วิธี คือการทดสอบแบบจำลองโมเดลเชิงเส้นโดยนัยทั่วไป (Generalized Linear Model: GLM) วิเคราะห์โครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึก (Deep Learning) และแบบจำลองซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machines) ทำการประเมินประสิทธิภาพแบบจำลองโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) และ Root Mean Square Error (RMSE) เพื่อทำการประมาณค่าความสูง ค่าชีวมวล ผลผลิตและค่าคลอโรฟิลล์ (SPAD unit) เหนือพื้นดินของต้นอ้อย ตามลำดับโดยจะแยกส่วนการอภิปรายและสรุปผลการศึกษา

5.1 อภิปรายผลการศึกษา

5.1.1 ผลการประมาณความสูง

ผลการศึกษาการประมาณค่าความสูง จากข้อมูลภาพถ่ายด้วยอากาศยานไร้คนขับ ที่รายละเอียดจุดขนาด 5, 10, 25, 50 และ 100 เซนติเมตร พบว่า มีค่าความแม่นยำของแบบจำลองด้วยค่า R^2 มีค่าอยู่ระหว่าง 0.82 ถึง 0.89 และค่า RMSE มีค่าอยู่ระหว่าง 0.22 ถึง 0.29 เมตร โดยที่ข้อมูลจากภาพที่พัฒนาแบบจำลองในการประมาณค่าความสูง มีค่าความถูกต้องสูงที่สุดคือภาพถ่ายที่รายละเอียดจุดภาพ 50 เซนติเมตร ที่ทำการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machines) มีค่า R^2 เท่ากับ 0.89 และ RMSE เท่ากับ 0.22 เมตร

5.1.2 ผลการประมาณค่าชีวมวล

ผลการศึกษาการประมาณค่าชีวมวลจากข้อมูลภาพถ่ายด้วยอากาศยานไร้คนขับที่รายละเอียดจุดขนาด 5, 10, 25, 50 และ 100 เซนติเมตร พบว่า

กรณีที่ใช้ข้อมูลจากภาพ RGB เพียงอย่างเดียว มีค่าความแม่นยำของแบบจำลอง ด้วยค่า R^2 มีค่าอยู่ระหว่าง 0.73 ถึง 0.84 และค่า RMSE มีค่าอยู่ระหว่าง 1.96 ถึง 2.56 ตันต่อไร่ โดยที่ข้อมูลจากภาพที่พัฒนาแบบจำลองในการประมาณค่าความสูง มีค่าความถูกต้องสูงที่สุดคือ ภาพถ่ายที่รายละเอียดจุดภาพ 25 เซนติเมตร ที่ทำการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machines) มีค่า R^2 เท่ากับ 0.84 และ RMSE เท่ากับ 1.96 ตันต่อไร่

กรณีที่ใช้ข้อมูลจากภาพ RGB และ RGN ร่วมกัน มีค่าความแม่นยำของแบบจำลอง ด้วยค่า R^2 มีค่าอยู่ระหว่าง 0.71 ถึง 0.81 และค่า RMSE มีค่าอยู่ระหว่าง 2.14 ถึง 2.73 ตันต่อไร่ โดยที่ข้อมูลจากภาพที่พัฒนาแบบจำลองในการประมาณค่าความสูง มีค่าความถูกต้องสูงที่สุดคือ ภาพถ่ายที่รายละเอียดจุดภาพ 25 เซนติเมตร ที่ทำการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machines) มีค่า R^2 เท่ากับ 0.80 และ RMSE เท่ากับ 2.14 ตันต่อไร่

5.1.3 ผลการประมาณค่าผลผลิต

ผลการศึกษการประมาณค่าผลผลิตจากข้อมูลภาพถ่ายด้วยอากาศยานไร้คนขับที่ระยะการเจริญเติบโตสุกแก่ (Ripening phase) ที่รายละเอียดจุดขนาด 5, 10, 25, 50 และ 100 เซนติเมตร พบว่า

กรณีที่ใช้ข้อมูลจากภาพ RGB เพียงอย่างเดียว มีค่าความแม่นยำของแบบจำลอง ด้วยค่า R^2 มีค่าอยู่ระหว่าง 0.66 ถึง 0.83 และค่า RMSE มีค่าอยู่ระหว่าง 1.47 ถึง 3.31 ตันต่อไร่ โดยที่ข้อมูลจากภาพที่พัฒนาแบบจำลองในการประมาณค่าความสูง มีค่าความถูกต้องสูงที่สุดคือ ภาพถ่ายที่รายละเอียดจุดภาพ 5 เซนติเมตร ที่ทำการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึก (Deep Learning) มีค่า R^2 เท่ากับ 0.81 และ RMSE เท่ากับ 1.54 ตันต่อไร่

กรณีที่ใช้ข้อมูลจากภาพ RGB และ RGN ร่วมกัน มีค่าความแม่นยำของแบบจำลอง ด้วยค่า R^2 มีค่าอยู่ระหว่าง 0.66 ถึง 0.80 และค่า RMSE มีค่าอยู่ระหว่าง 1.51 ถึง 2.90 ตันต่อไร่ โดยที่ข้อมูลจากภาพที่พัฒนาแบบจำลองในการประมาณค่าความสูง มีค่าความถูกต้องสูงที่สุดคือ ภาพถ่ายที่รายละเอียดจุดภาพ 5 เซนติเมตร ที่ทำการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม (Deep Learning) มีค่า R^2 เท่ากับ 0.80 และ RMSE เท่ากับ 1.51 ตันต่อไร่

5.1.2 ผลการประมาณค่าคลอโรฟิลล์

ผลการศึกษการประมาณค่าคลอโรฟิลล์ จากข้อมูลภาพถ่ายด้วยอากาศยานไร้คนขับ ที่รายละเอียดจุดขนาด 5, 10, 25, 50 และ 100 เซนติเมตร พบว่า มีค่าความแม่นยำของแบบจำลอง ด้วยค่า R^2 มีค่าอยู่ระหว่าง 0.28 ถึง 0.42 และค่า RMSE มีค่าอยู่ 3.56 ถึง 3.91 SPAD unit โดยที่ข้อมูลจากภาพที่พัฒนาแบบจำลองในการประมาณค่าความสูง มีค่าความถูกต้องสูงที่สุดคือ ภาพถ่ายที่รายละเอียดจุดภาพ 10 เซนติเมตร ที่ทำการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machines) มีค่า R^2 เท่ากับ 0.42 และ RMSE เท่ากับ 3.56 SPAD unit

5.2 สรุปผลการวิจัย

ทำการศึกษาความสามารถของค่าการสะท้อนแสงในแต่ละช่วงคลื่น คือ Red Green และ BLUE ทำการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง ของการประมาณค่าความสูง ชีวมวล ผลผลิตและค่าคลอโรฟิลล์ (SPAD unit) เหนือพื้นดินของต้นอ้อยด้วยการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) โดยวิธีการที่นำเสนอจะใช้การวัดความสูงของต้นอ้อยจากแบบจำลองความสูง (DEM) ร่วมกับภาพถ่ายรายละเอียดสูงจากอากาศยานไร้คนขับ (UAV) โดยใช้รายละเอียดจุดภาพขนาด 5, 10, 25, 50 และ 100 เซนติเมตร ในพื้นที่การทดลองในไร่อ้อยของเกษตรกร อำเภอพิมาย จังหวัดนครราชสีมา จากผลการศึกษาพบว่า

5.2.1 การประมาณค่าความสูงเหนือพื้นดินของต้นอ้อยที่รายละเอียดจุดภาพ 50 เซนติเมตร ด้วยการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machines) ให้ผลการประมาณค่าความสูงเหนือพื้นดินของต้นอ้อยได้ดีที่สุด โดยที่ค่า R^2 เท่ากับ 0.89 และ RMSE เท่ากับ 0.22 เมตร แสดงให้เห็นว่าการใช้ภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับที่มีรายละเอียดจุดภาพไม่สูงมากนัก ก็ยังส่งผลให้การประมาณค่าความสูงเหนือพื้นดินของต้นอ้อยได้ดี

5.2.2 การประมาณค่าชีวมวลเหนือพื้นดินของต้นอ้อย กรณีที่ใช้ข้อมูลจากภาพ RGB เพียงอย่างเดียว ที่รายละเอียดจุดภาพ 25 เซนติเมตร ด้วยการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machines) ให้ผลการประมาณค่าชีวมวลเหนือพื้นดินของต้นอ้อยได้ดีที่สุด โดยที่ค่า $R^2 = 0.84$ และ $RMSE = 1.96$ ตันต่อไร่ และ กรณีที่ใช้ข้อมูลจากภาพ RGB และ RGN ร่วมกัน ที่รายละเอียดจุดภาพ 25 เซนติเมตร ด้วยการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machines) ให้ผลการประมาณค่าชีวมวลเหนือพื้นดินของต้นอ้อยได้ดีที่สุด โดยที่ค่า $R^2 = 0.80$ และ $RMSE = 2.14$ ตันต่อไร่ แสดงให้เห็นว่าการใช้ข้อมูลภาพถ่าย RGB ให้ค่าความถูกต้องไม่ต่างจากการใช้ข้อมูลภาพถ่าย RGB และ RGN ร่วมกัน มากนัก และการใช้รายละเอียดจุดภาพสูง จะส่งผลให้การประมาณค่าชีวมวลเหนือพื้นดินของต้นอ้อยได้ดียิ่งขึ้น

5.2.3 การประมาณค่าผลผลิตเหนือพื้นดินของต้นอ้อย กรณีที่ใช้ข้อมูลจากภาพ RGB เพียงอย่างเดียว ที่รายละเอียดจุดภาพ 5 เซนติเมตร ด้วยการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึก (Deep learning) ให้ผลการประมาณค่าผลผลิตเหนือพื้นดินของต้นอ้อยได้ดีที่สุด โดยที่ค่า $R^2 = 0.81$ และ $RMSE = 1.54$ ตันต่อไร่ และ กรณีที่ใช้ข้อมูลจากภาพ RGB และ RGN ร่วมกัน ที่รายละเอียดจุดภาพ 5 เซนติเมตร ด้วยการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึก (Deep learning) ให้ผลการประมาณค่าผลผลิตเหนือพื้นดินของต้นอ้อยได้ดีที่สุด โดยที่ค่า $R^2 = 0.80$ และ $RMSE = 1.51$ ตันต่อไร่ แสดงให้เห็นว่าการใช้ข้อมูลภาพถ่าย RGB ให้ค่าความถูกต้องไม่ต่างจาก

การใช้ข้อมูลภาพถ่าย RGB และ RGN ร่วมกัน มากนัก และการใช้รายละเอียดจุดภาพสูง จะส่งผลให้การประมาณค่าผลผลิตเหนือพื้นดินของต้นอ้อยได้ดียิ่งขึ้น

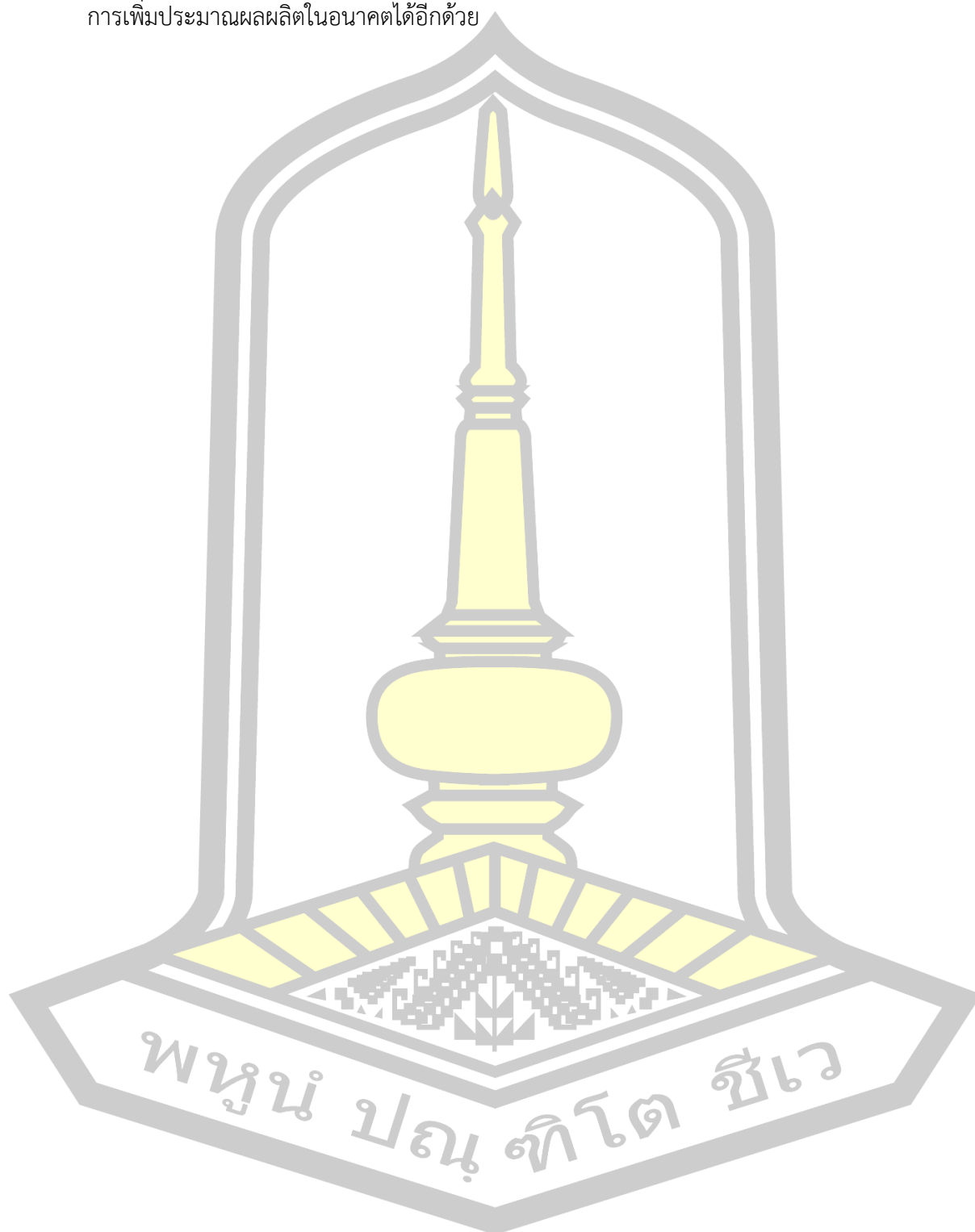
5.2.4 การประมาณค่าคลอโรฟิลล์ (SPAD unit) เหนือพื้นดินของต้นอ้อยที่รายละเอียดจุดภาพ 100 เซนติเมตร ด้วยการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองซัพพอร์ทเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machines) ให้ผลการประมาณค่าคลอโรฟิลล์ (SPAD unit) เหนือพื้นดินของต้นอ้อยได้ดีที่สุด โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ $R^2 = 0.42$ และ $RMSE = 3.56$ แสดงให้เห็นว่าการใช้ภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับที่มีรายละเอียดจุดภาพไม่สูงมากนัก ก็ยังส่งผลให้สามารถประมาณค่าคลอโรฟิลล์ (SPAD unit) เหนือพื้นดินของต้นอ้อยได้

5.3 ข้อเสนอแนะ

การศึกษาประเมินประสิทธิภาพการรับรู้ระยะไกลโดยใช้ภาพถ่ายรายละเอียดสูงจากอากาศยานไร้คนขับเพื่อประมาณค่าชีวมวล ผลผลิตและค่าคลอโรฟิลล์ (SPAD unit) ผู้วิจัยเลือกพื้นที่ไร่อ้อยเนื้อที่ประมาณ 100 ไร่ ตั้งอยู่ที่ ตำบลธารละหลอด อำเภอพิมาย จังหวัดนครราชสีมา เพื่อติดตามการเจริญเติบโตและศึกษาหาค่าชีวมวล ผลผลิตและค่าคลอโรฟิลล์ (SPAD unit) ของอ้อย โดยทำการบินถ่ายภาพที่ความสูง 90 เมตร พบว่าให้ค่าที่ถูกต้องในเกณฑ์ที่เหมาะสม แต่ถ้าหากเพิ่มความแม่นยำของข้อมูลควรทำการบินถ่ายภาพที่ระดับแตกต่างกัน เพื่อเพิ่มความละเอียดของภาพถ่ายที่ได้ และจากการศึกษาผู้วิจัยได้ใช้กล้อง RGB และ RGN ที่มีช่วงคลื่นเพียง (R, G, B, NIR) ดังนั้นควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับชนิดและคุณสมบัติของกล้อง Multispectral RedEdge และ Hyperpectral ดังรายงานการวิจัย (Adão et al., 2017; Sofonia et al., 2019) เนื่องจากกล้องทั้งสองนี้มีช่วงคลื่นที่มาก ซึ่งจะให้ค่าที่มีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น แต่อย่างไรก็ตามกล้องทั้งสองมีราคาที่สูง ไม่เหมาะสมกับคนไทย ควรศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการวิเคราะห์ภาพด้วยหลักการจำแนกข้อมูลภาพเชิงวัตถุ (object base image analysis : OBIA) ดังรายงานวิจัยของ (Som-ard et al., 2018) แต่ก็มีขั้นตอนการประมวลผลที่มากและซับซ้อน ควรมีข้อมูลผลผลิตที่ครอบคลุมทั้งพื้นที่เพื่อใช้ในการประเมินผลผลิตทั้งแปลง ควรมีการศึกษาพันธุ์ของอ้อยที่เป็นพันธุ์ที่แตกต่างออกไป เนื่องจากอ้อยแต่ละพันธุ์นั้นก็มีความสูงที่ไม่เท่ากัน รวมไปถึงการเก็บตัวอย่างข้อมูลค่าคลอโรฟิลล์เพิ่มเติมให้ครอบคลุมมากยิ่งขึ้นดังรายงานของ (Guo et al., 2020)

ผู้วิจัยเห็นว่าข้อมูลการสำรวจจากระยะไกลด้วยเทคนิคต่าง ๆ นี้มีความสำคัญต่อการศึกษาการประมาณค่าชีวมวล ผลผลิตและค่าคลอโรฟิลล์ (SPAD unit) อันจะเป็นประโยชน์ต่อนักวิชาการ นักวิทยาศาสตร์ หน่วยงานที่มีหน้าที่บริหารจัดการทรัพยากรพืชไร่สามารถนำความรู้ที่ได้ไปใช้ใน

การศึกษาวิจัยได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไปในอนาคต รวมถึงเกษตรกรที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการเพิ่มประมาณผลผลิตในอนาคตได้อีกด้วย



บรรณานุกรม

กรมอุตุนิยมวิทยา. (2557). *อุตุนิยมวิทยานำรู้เพื่อการเกษตรจังหวัดนครราชสีมา*.

กิตติศักดิ์ ศรีกลาง. (2559). เอกสารประกอบรายวิชาการสำรวจด้วยภาพถ่ายทางอากาศ. Retrieved October 12, 2019, from <http://www.rtsd.mi.th/>

เกษม สุขสถาน. (2523). *สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชนฯ* (7th ed.). Retrieved from <http://saranukromthai.or.th/sub/book/book.php?book=5 &chap=3 &page=t5 -3 - infodetail01.html>

พิชชาพร อุ้นผาง. (2557). การสำรวจจากระยะไกล (Remote Sensing). Retrieved October 18, 2019, from http://pitchaporns13.blogspot.com/2014/10/remote-sensing-1_56.html

ไพศาล สันติธรรมนนท์. (2553). *การรังวัดด้วยภาพดิจิทัล*. ม.ป.ท.: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

วีระพล พลรักดี. (2554). *ขอนแก่น 3 พันธุ์อ้อยสำหรับภาคตะวันออกเฉียงเหนือ*.

ศิวา แก้วปลั่ง. (2561). การประเมินการใช้ภาพถ่ายทางอากาศจากอากาศยานไร้คนขับสำหรับการประมาณค่าชีวมวลเหนือพื้นดินของต้นหม่อน. *วารสารแก่นเกษตร*, 46 (ฉบับพิเศษ 1), 381-387.

ศิวา แก้วปลั่ง และ เนติ ศรีหาญ. (2561). การประมาณค่าชีวมวลของต้นข้าวก่อนข้าวออกรวงโดยการสำรวจระยะไกลด้วยอากาศยานไร้คนขับจากดัชนีพืช BNDVI และ GRVI กรณีศึกษา : ข้าวนาปีในจังหวัดขอนแก่น ประเทศไทย. *วารสารสมาคมสำรวจข้อมูลระยะไกล*, (ฉบับพิเศษ), 40-47.

สมบัติ อยู่เมือง. (2558). ข้อมูลจากการสำรวจระยะไกล (Remote Sensing). Retrieved October 11, 2019, from <http://www.gisthai.org/about-gis/remote-sensing.html>

สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย. (2562). *รายงานพื้นที่ปลูกอ้อย ปีการผลิต 2562/63*.

สำนักงานเลขาธิการผู้แทนราษฎร. (2561). *เกษตรแปลงใหญ่*.

สำนักงานอัตราเบี้ยประกันวินาศภัย. (2559). *การสร้างตัวแบบเชิงเส้นวางนัยทั่วไป (Generalized*

Linear Models).

สุพรรณิการ์ เกตุศิริ. (2557). การสำรวจข้อมูลระยะไกลหรือการรับรู้ระยะไกล(Remote sensing).

Retrieved September 25, 2019, from <http://remotesensing2557.blogspot.com/2014/11/remote-sensing.html>

สุวดี นำพาเจริญ, ช. จ. (2015). การวิเคราะห์สมการถดถอย การแปลความหมายค่า R-Square และการประเมินตัวแบบว่าเหมาะสมหรือไม่. Retrieved November 9, 2019, from <https://www.solutioncenterminitab.com/blog/บทความ-3/>

อัครพล ไชยเสนา และ ศิวา แก้วปลั่ง. (2563). การตรวจจับโรคใบด่างในไร่นาสำปะหลังโดยใช้การสำรวจระยะไกล ด้วยอากาศยานไร้คนขับ. *วารสารแก่นเกษตร*, 48 (ฉบับพิเศษ 1), 298, 291–298.

Adão, T., Hruška, J., Pádua, L., Bessa, J., Peres, E., Morais, R., & Sousa, J. J. %J R. S. (2017). *Hyperspectral imaging: A review on UAV-based sensors, data processing and applications for agriculture and forestry*. 9(11), 1110.

Anthony, D., Elbaum, S., Lorenz, A., Anthony, D., Elbaum, S., Lorenz, A., & Detweiler, C. (2014). *On Crop Height Estimation with UAVs*. <https://doi.org/10.1109/IROS.2014.6943245>

Ballesteros, R., Ortega, J. F., Hernandez, D., & Moreno, M. A. (2018). Onion biomass monitoring using UAV-based RGB imaging. *Precision Agriculture*, 19(5), 840–857. <https://doi.org/10.1007/s11119-018-9560-y>

Bendig, J., Bolten, A., Bennertz, S., Broscheit, J., Eichfuss, S., & Bareth, G. (2014). *Estimating Biomass of Barley Using Crop Surface Models (CSMs) Derived from UAV-Based RGB Imaging*. 10395–10412. <https://doi.org/10.3390/rs61110395>

Chu, T., Starek, M. J., Brewer, M. J., Murray, S. C., & Pruter, L. S. (2017). Assessing lodging

- severity over an experimental maize (*Zea mays* L.) field using UAS images. *Remote Sensing*, 9(9), 1–24. <https://doi.org/10.3390/rs9090923>
- D. M. Woebbecke, G. E. Meyer, K. Von Bargen, & D. A. Mortensen. (1995). Color Indices for Weed Identification Under Various Soil, Residue, and Lighting Conditions. *Transactions of the ASAE*, 38(1), 259–269. <https://doi.org/10.13031/2013.27838>
- Díaz-varela, R. A., Rosa, R. De, León, L., & Zarco-tejada, P. J. (2015). *High-Resolution Airborne UAV Imagery to Assess Olive Tree Crown Parameters Using 3D Photo Reconstruction: Application in Breeding Trials*. 4213–4232. <https://doi.org/10.3390/rs70404213>
- Garcia-ruiz, F., Sankaran, S., Mari, J., Suk, W., Rasmussen, J., & Ehsani, R. (2013). Comparison of two aerial imaging platforms for identification of Huanglongbing-infected citrus trees. *Computers and Electronics in Agriculture*, 91, 106–115. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2012.12.002>
- Geipel, J., Link, J., & Claupein, W. (2014). *Combined Spectral and Spatial Modeling of Corn Yield Based on Aerial Images and Crop Surface Models Acquired with an Unmanned Aircraft System*. (i), 10335–10355. <https://doi.org/10.3390/rs61110335>
- Gitelson, A. A., Vina, A., Arkebauer, T. J., Rundquist, D. C., Keydan, G., & Leavitt, B. (2003). Remote estimation of leaf area index and green leaf biomass in maize canopies. *Geophysical Research Letters*, 30(5), 4–7. <https://doi.org/10.1029/2002gl016450>
- Guo, Y., Yin, G., Sun, H., Wang, H., Chen, S., Senthilnath, J., ... Fu, Y. (2020). Scaling effects on chlorophyll content estimations with RGB camera mounted on a UAV platform using machine-learning methods. *Sensors (Switzerland)*, 20(18), 1–22. <https://doi.org/10.3390/s20185130>

- Han, L., Yang, G., Dai, H., Xu, B., Yang, H., Feng, H., ... Yang, X. (2019). Modeling maize above-ground biomass based on machine learning approaches using UAV remote-sensing data. *Plant Methods*, 15(1), 1–19. <https://doi.org/10.1186/s13007-019-0394-z>
- Han, X., Thomasson, J. A., Bagnall, G. C., Pugh, N. A., Horne, D. W., Rooney, W. L., ... Cope, D. A. (2018). Measurement and Calibration of Plant-Height from Fixed-Wing UAV Images. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 18(12). <https://doi.org/10.3390/s18124092>
- Holman, F. H., Riche, A. B., Michalski, A., Castle, M., Wooster, M. J., & Hawkesford, M. J. (2016). High throughput field phenotyping of wheat plant height and growth rate in field plot trials using UAV based remote sensing. *Remote Sensing*, 8(12). <https://doi.org/10.3390/rs8121031>
- Ionique. (2014). ฟั น ฐั ้อ อ ย . Retrieved November 17, 2020, from <http://www.ionique.co.th/TH/อ้อย/16/>
- Kerkech, M., Hafiane, A., & Canals, R. (2018). Deep leaning approach with colorimetric spaces and vegetation indices for vine diseases detection in UAV images. *Computers and Electronics in Agriculture*, 155(July), 237–243. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.10.006>
- Louhaichi, M., Borman, M. M., & Johnson, D. E. (2001). Spatially located platform and aerial photography for documentation of grazing impacts on wheat. *Geocarto International*, 16(1), 65–70. <https://doi.org/10.1080/10106040108542184>
- Luna, I., & Lobo, A. (2016). Mapping Crop Planting Quality in Sugarcane from UAV Imagery : A Pilot Study in Nicaragua. 1–18. <https://doi.org/10.3390/rs8060500>

- Maimaitjiang, M., Sagan, V., Sidike, P., Hartling, S., Esposito, F., & Fritschi, F. B. (2020). Soybean yield prediction from UAV using multimodal data fusion and deep learning. *Remote Sensing of Environment*, 237, 111599. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111599>
- Mašková, Z., Zemek, F., & Kvěť, J. (2008). Normalized difference vegetation index (NDVI) in the management of mountain meadows. *Boreal Environment Research*, 13(5), 417–432.
- Moeckel, T., Dayananda, S., Nidamanuri, R. R., Nautiyal, S., Hanumaiah, N., Buerkert, A., & Wachendorf, M. (2018). Estimation of vegetable crop parameter by multi-temporal UAV-borne images. *Remote Sensing*, 10(5). <https://doi.org/10.3390/rs10050805>
- Motohka, T., Nasahara, K. N., Oguma, H., & Tsuchida, S. (2010). Applicability of Green-Red Vegetation Index for remote sensing of vegetation phenology. *Remote Sensing*, 2(10), 2369–2387. <https://doi.org/10.3390/rs2102369>
- Na, S., Park, C., & Lee, K. (2016). *Application of Highland Kimchi Cabbage Status Map for Growth Monitoring based on Unmanned Aerial Vehicle*. 6315(5), 469–479.
- Nessence. (2018). Deep learning. Retrieved October 28, 2019, from <https://www.thaiprogrammer.org/2018/12/deep-learning-คืออะไร/>
- Raman, T., & Muthukathan, G. (2015). Field suppression of Fusarium wilt disease in banana by the combined application of native endophytic and rhizospheric bacterial isolates possessing multiple functions. *Phytopathologia Mediterranea*, 54(2), 241–252. <https://doi.org/10.14601/Phytopathol>
- Rattanakaw. (2019). ระยะการเจริญเติบโตของอ้อย. Retrieved November 17, 2020, from <http://www.siamprocane.com/kn13.html#kn000>

Shendryk, Y., Sofonia, J., Garrard, R., Rist, Y., Skocaj, D., & Thorburn, P. (2020). Fine-scale prediction of biomass and leaf nitrogen content in sugarcane using UAV LiDAR and multispectral imaging. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 92(May), 102177. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2020.102177>

Sofonia, J., Shendryk, Y., Phinn, S., Roelfsema, C., Kendoul, F., & Skocaj, D. (2019). Monitoring sugarcane growth response to varying nitrogen application rates: A comparison of UAV SLAM LiDAR and photogrammetry. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 82(June), 101878. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2019.05.011>

Som-ard, J., Hossain, M. D., Ninsawat, S., & Veerachitt, V. (2018). Pre-harvest Sugarcane Yield Estimation Using UAV-Based RGB Images and Ground Observation. *Sugar Tech*, 20(6), 645–657. <https://doi.org/10.1007/s12355-018-0601-7>

Souza, C. H. W. de, Lamparelli, R. A. C., Rocha, J. V., & Magalhães, P. S. G. (2017). Mapping skips in sugarcane fields using object-based analysis of unmanned aerial vehicle (UAV) images. *Computers and Electronics in Agriculture*, 143(October), 49–56. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.10.006>

Suphan, P., Kaewplang, S., & Sa-Ngiamvibool, W. (2019). Monitoring of Rice Growth with UAV-derived aerial imagery. *Maharakham International Journal of Engineering Technology*, 5(1), 28–32. Retrieved from <https://www.tci-thaijo.org/index.php/mijet/article/view/195493>

The esaan record. (2019). ความหวานและอำนาจ ไทยกลายเป็นอู่น้ำตาลแห่งเอเชียอาคเนย์ได้
 อ ย่ า ง ไ ร . Retrieved September 10, 2020, from <https://isaanrecord.com/2019/09/11/sweetness-and-power-part-5-th/?fbclid=IwAR3B8ubREVsnqJpXWn0VkttnVnvUi1ZP1MFeT-94oIKLSWjxNpB3RvshKg>.

- Torres-sánchez, J., López-granados, F., Torres-sánchez, J., López-granados, F., Serrano, N., & Arquero, O. (2015). *High-Throughput 3-D Monitoring of Agricultural-Tree Plantations with Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Technology*. (June). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0130479>
- Vega, F. A., Ramírez, F. C., Saiz, M. P., & Rosúa, F. O. (2015). Multi-temporal imaging using an unmanned aerial vehicle for monitoring a sunflower crop. *Biosystems Engineering*, *132*, 19–27. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2015.01.008>
- Yang, Q., Shi, L., Han, J., Zha, Y., & Zhu, P. (2019). Deep convolutional neural networks for rice grain yield estimation at the ripening stage using UAV-based remotely sensed images. *Field Crops Research*, *235*(February), 142–153. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2019.02.022>
- Yano, I. H., Alves, J. R., Santiago, W. E., & Mederos, B. J. T. (2016). Identification of weeds in sugarcane fields through images taken by UAV and Random Forest classifier. *IFAC-PapersOnLine*, *49*(16), 415–420. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.10.076>
- Yun, H. S., Park, S. H., Kim, H., Lee, W. D., & Lee, K. Do. (2016). *Use of Unmanned Aerial Vehicle for Multi-temporal Monitoring of Soybean Vegetation Fraction*. *41*(2), 126–137.
- Zhou, X., Zheng, H. B., Xu, X. Q., He, J. Y., Ge, X. K., Yao, X., ... Tian, Y. C. (2017). Predicting grain yield in rice using multi-temporal vegetation indices from UAV-based multispectral and digital imagery. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, *130*, 246–255. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2017.05.003>



พหุ ประยูร ทิโตะ ชีวะ

ภาคผนวก

ตารางที่ 22 ค่าการสะท้อนแสงที่ปรับแก้ค่าการสะท้อนแสง และค่าดัชนีต่าง ๆ จากโปรแกรม QGIS 3.8 ที่ GSD 5 cm

R	G	B	r	g	b	GRVI	GLI	VARI	ExG
102	128	12	0.42	0.53	0.05	0.11	0.38	0.12	0.58
92	124	3	0.42	0.57	0.01	0.15	0.45	0.15	0.70
152	178	51	0.40	0.47	0.13	0.08	0.27	0.09	0.40
99	139	-4	0.42	0.59	-0.02	0.17	0.49	0.16	0.78
25	43	-37	0.80	1.39	-1.19	0.27	1.33	0.18	3.18
149	191	60	0.37	0.48	0.15	0.12	0.29	0.15	0.43
138	172	63	0.37	0.46	0.17	0.11	0.26	0.14	0.38
158	196	85	0.36	0.45	0.19	0.11	0.23	0.14	0.34
116	150	44	0.37	0.48	0.14	0.13	0.30	0.15	0.45
130	160	11	0.43	0.53	0.04	0.10	0.39	0.11	0.59
204	198	88	0.42	0.40	0.18	-0.02	0.15	-0.02	0.21
68	102	3	0.40	0.59	0.02	0.19	0.48	0.20	0.76
136	177	27	0.40	0.52	0.08	0.13	0.37	0.14	0.56
135	151	49	0.40	0.45	0.15	0.06	0.24	0.07	0.35
112	142	15	0.42	0.53	0.06	0.12	0.38	0.13	0.58
152	170	51	0.41	0.46	0.14	0.05	0.25	0.06	0.37
170	179	55	0.42	0.44	0.14	0.03	0.23	0.03	0.33
122	160	27	0.39	0.52	0.09	0.14	0.36	0.15	0.55
124	150	19	0.42	0.51	0.07	0.09	0.35	0.10	0.53
129	153	23	0.42	0.50	0.08	0.09	0.34	0.10	0.51
128	134	10	0.47	0.49	0.04	0.02	0.32	0.02	0.48
104	108	-8	0.51	0.53	-0.04	0.02	0.38	0.02	0.59
110	128	-19	0.50	0.58	-0.09	0.07	0.48	0.07	0.75
94	123	11	0.41	0.54	0.05	0.13	0.40	0.14	0.61

R	G	B	r	g	b	GRVI	GLI	VARI	ExG
133	120	4	0.52	0.47	0.02	-0.05	0.27	-0.05	0.40
122	137	-1	0.47	0.53	-0.01	0.06	0.39	0.06	0.60
117	120	-22	0.54	0.56	-0.10	0.01	0.43	0.01	0.68
94	118	-10	0.47	0.58	-0.05	0.11	0.47	0.10	0.74
115	121	-19	0.53	0.56	-0.09	0.03	0.44	0.03	0.68
183	152	41	0.49	0.40	0.11	-0.09	0.15	-0.10	0.21
91	104	-14	0.50	0.57	-0.08	0.07	0.46	0.06	0.72
47	61	-23	0.56	0.72	-0.28	0.12	0.67	0.10	1.15
77	97	-32	0.54	0.68	-0.22	0.11	0.62	0.10	1.04
67	85	-21	0.51	0.65	-0.16	0.12	0.57	0.10	0.94
93	134	1	0.41	0.59	0.01	0.18	0.48	0.18	0.76
76	88	-27	0.56	0.65	-0.20	0.08	0.57	0.06	0.94
131	167	27	0.40	0.51	0.08	0.12	0.36	0.13	0.54
61	74	-10	0.49	0.59	-0.08	0.09	0.48	0.09	0.77
129	137	-1	0.49	0.52	-0.01	0.03	0.37	0.03	0.56
131	163	25	0.41	0.51	0.08	0.11	0.35	0.12	0.54
188	153	60	0.47	0.38	0.15	-0.10	0.11	-0.12	0.15
122	137	0	0.47	0.53	0.00	0.06	0.39	0.06	0.59
91	110	-8	0.47	0.57	-0.04	0.10	0.45	0.09	0.71
132	165	11	0.43	0.53	0.04	0.11	0.39	0.11	0.60
99	118	-14	0.49	0.58	-0.07	0.09	0.47	0.08	0.74
129	145	1	0.47	0.53	0.00	0.06	0.38	0.06	0.58
158	188	12	0.44	0.52	0.03	0.09	0.38	0.09	0.57
151	183	32	0.41	0.50	0.09	0.10	0.33	0.11	0.50
109	118	-1	0.48	0.52	-0.01	0.04	0.37	0.04	0.57
61	64	-23	0.60	0.63	-0.23	0.02	0.54	0.02	0.88
119	142	4	0.45	0.54	0.02	0.09	0.40	0.09	0.61
78	99	-10	0.47	0.59	-0.06	0.12	0.49	0.11	0.78
117	130	-5	0.48	0.54	-0.02	0.05	0.40	0.05	0.62

R	G	B	r	g	b	GRVI	GLI	VARI	ExG
97	105	-1	0.48	0.52	-0.01	0.04	0.38	0.04	0.57
139	168	26	0.42	0.50	0.08	0.09	0.34	0.10	0.51
91	115	-10	0.46	0.59	-0.05	0.12	0.48	0.11	0.76
153	172	26	0.44	0.49	0.07	0.06	0.31	0.06	0.47
115	139	-1	0.45	0.55	-0.01	0.10	0.42	0.09	0.65
124	142	8	0.45	0.52	0.03	0.07	0.37	0.07	0.56
153	184	59	0.39	0.46	0.15	0.09	0.27	0.11	0.39
157	155	-1	0.51	0.50	0.00	-0.01	0.33	-0.01	0.50
77	103	-12	0.46	0.61	-0.07	0.14	0.52	0.14	0.84
150	153	5	0.49	0.50	0.02	0.01	0.33	0.01	0.49
87	125	-16	0.45	0.64	-0.08	0.18	0.56	0.16	0.91
118	135	-3	0.47	0.54	-0.01	0.07	0.40	0.07	0.62
106	100	-15	0.56	0.52	-0.08	-0.03	0.37	-0.03	0.57
152	168	37	0.43	0.47	0.10	0.05	0.28	0.06	0.41
171	166	25	0.47	0.46	0.07	-0.02	0.26	-0.02	0.38
157	158	12	0.48	0.48	0.04	0.00	0.30	0.00	0.45
48	58	-23	0.58	0.70	-0.28	0.09	0.65	0.08	1.10
111	128	4	0.46	0.53	0.02	0.07	0.38	0.07	0.58
133	150	4	0.46	0.52	0.01	0.06	0.37	0.06	0.56
152	162	27	0.45	0.47	0.08	0.03	0.29	0.03	0.42
81	100	-12	0.48	0.59	-0.07	0.10	0.49	0.10	0.78
109	136	-1	0.45	0.56	-0.01	0.11	0.43	0.11	0.68
131	120	-12	0.55	0.50	-0.05	-0.04	0.34	-0.04	0.51
70	100	-19	0.46	0.67	-0.13	0.18	0.60	0.16	1.00
68	76	-25	0.57	0.63	-0.21	0.05	0.55	0.04	0.90
145	151	-8	0.50	0.52	-0.03	0.02	0.38	0.02	0.57
132	152	4	0.46	0.53	0.01	0.07	0.38	0.07	0.58
111	111	-4	0.51	0.51	-0.02	0.00	0.35	0.00	0.53
139	157	29	0.43	0.48	0.09	0.06	0.30	0.07	0.45

R	G	B	r	g	b	GRVI	GLI	VARI	ExG
113	132	0	0.46	0.54	0.00	0.08	0.40	0.08	0.62
53	57	-33	0.69	0.74	-0.43	0.03	0.70	0.03	1.21
112	89	-16	0.61	0.48	-0.09	-0.11	0.30	-0.11	0.45
129	150	21	0.43	0.50	0.07	0.08	0.33	0.08	0.50
55	74	-22	0.51	0.69	-0.20	0.14	0.63	0.12	1.07
85	99	3	0.46	0.53	0.01	0.08	0.39	0.08	0.59
58	68	-12	0.51	0.60	-0.11	0.08	0.50	0.07	0.80
132	124	22	0.48	0.45	0.08	-0.03	0.23	-0.04	0.34
59	73	-29	0.57	0.71	-0.28	0.11	0.66	0.09	1.12
133	144	43	0.42	0.45	0.13	0.04	0.24	0.04	0.35
155	182	15	0.44	0.52	0.04	0.08	0.36	0.08	0.55
107	134	15	0.42	0.52	0.06	0.11	0.37	0.12	0.57
140	158	25	0.43	0.49	0.08	0.06	0.31	0.07	0.47
130	152	14	0.44	0.51	0.05	0.08	0.36	0.08	0.54
107	146	4	0.42	0.57	0.02	0.15	0.45	0.15	0.70
126	144	8	0.45	0.52	0.03	0.06	0.36	0.07	0.55
93	114	14	0.42	0.52	0.06	0.10	0.36	0.11	0.55
120	141	0	0.46	0.54	0.00	0.08	0.40	0.08	0.62
151	149	22	0.47	0.46	0.07	-0.01	0.26	-0.01	0.39
148	157	47	0.42	0.45	0.13	0.03	0.24	0.04	0.34
197	218	89	0.39	0.43	0.18	0.05	0.21	0.06	0.30
181	218	75	0.38	0.46	0.16	0.09	0.26	0.12	0.38
148	187	49	0.38	0.49	0.13	0.12	0.31	0.14	0.46
218	245	151	0.36	0.40	0.25	0.06	0.14	0.09	0.20
118	123	-4	0.50	0.52	-0.02	0.02	0.37	0.02	0.56
88	94	-24	0.56	0.59	-0.15	0.03	0.49	0.03	0.78
141	146	11	0.47	0.49	0.04	0.02	0.31	0.02	0.47
39	47	-20	0.58	0.72	-0.30	0.10	0.67	0.08	1.15
102	115	-24	0.53	0.60	-0.12	0.06	0.50	0.06	0.79

ตารางที่ 23 ค่าการสะท้อนแสงที่ปรับแก้ค่าการสะท้อนแสง และค่าดัชนีต่าง ๆ จากโปรแกรม QGIS 3.8 ที่ GSD 10 cm

R	G	B	r	g	b	GRVI	GLI	VARI	ExG
109	134	1	0.45	0.55	0.01	0.10	0.42	0.12	0.65
107	137	18	0.41	0.52	0.07	0.12	0.37	0.15	0.57
128	150	25	0.42	0.50	0.08	0.08	0.33	0.09	0.49
110	149	22	0.39	0.53	0.08	0.15	0.39	0.16	0.59
76	99	-1	0.44	0.57	-0.01	0.13	0.46	0.18	0.72
179	215	90	0.37	0.44	0.19	0.09	0.23	0.15	0.33
102	124	19	0.42	0.51	0.08	0.10	0.34	0.14	0.52
138	176	58	0.37	0.47	0.16	0.12	0.28	0.14	0.42
136	176	64	0.36	0.47	0.17	0.13	0.27	0.15	0.40
148	189	36	0.40	0.51	0.10	0.12	0.35	0.11	0.52
185	168	52	0.46	0.41	0.13	-0.05	0.17	-0.02	0.24
113	158	14	0.40	0.55	0.05	0.17	0.43	0.20	0.66
122	165	27	0.39	0.52	0.09	0.15	0.38	0.14	0.57
150	153	33	0.45	0.46	0.10	0.01	0.25	0.07	0.37
131	147	23	0.43	0.49	0.08	0.06	0.31	0.13	0.46
149	167	47	0.41	0.46	0.13	0.06	0.26	0.06	0.38
129	123	14	0.49	0.46	0.05	-0.02	0.27	0.03	0.39
90	110	4	0.44	0.54	0.02	0.10	0.40	0.15	0.62
128	145	36	0.41	0.47	0.12	0.06	0.28	0.10	0.41
112	128	0	0.47	0.53	0.00	0.06	0.39	0.10	0.60
184	157	36	0.49	0.42	0.09	-0.08	0.18	0.02	0.25
113	124	-3	0.48	0.53	-0.01	0.04	0.38	0.02	0.58
120	134	0	0.47	0.53	0.00	0.05	0.38	0.07	0.58
90	109	-8	0.47	0.57	-0.04	0.10	0.46	0.14	0.72
73	102	-19	0.47	0.65	-0.12	0.16	0.58	0.17	0.96
138	150	7	0.47	0.51	0.02	0.04	0.35	0.06	0.52

R	G	B	r	g	b	GRVI	GLI	VARI	ExG
96	119	-14	0.48	0.59	-0.07	0.11	0.49	0.06	0.78
123	116	-16	0.55	0.52	-0.07	-0.03	0.37	0.01	0.57
97	120	-11	0.47	0.58	-0.05	0.11	0.47	0.10	0.75
142	146	0	0.49	0.51	0.00	0.02	0.35	0.03	0.52
157	139	18	0.50	0.44	0.06	-0.06	0.23	-0.10	0.33
110	120	0	0.48	0.52	0.00	0.04	0.37	0.06	0.57
93	105	1	0.47	0.53	0.01	0.06	0.38	0.10	0.58
99	120	-8	0.47	0.57	-0.04	0.10	0.45	0.10	0.71
71	84	-26	0.55	0.65	-0.20	0.09	0.58	0.10	0.96
89	125	-1	0.42	0.59	-0.01	0.17	0.48	0.18	0.77
120	104	-19	0.59	0.51	-0.09	-0.07	0.35	0.06	0.52
136	170	32	0.40	0.50	0.09	0.11	0.34	0.13	0.51
63	77	-16	0.51	0.62	-0.13	0.10	0.54	0.09	0.87
162	155	38	0.46	0.44	0.11	-0.02	0.21	0.03	0.31
109	134	-4	0.46	0.56	-0.02	0.10	0.44	0.12	0.68
170	132	32	0.51	0.40	0.09	-0.12	0.14	-0.12	0.19
145	160	5	0.47	0.51	0.02	0.05	0.36	0.06	0.54
115	134	3	0.46	0.53	0.01	0.08	0.39	0.09	0.60
115	147	3	0.43	0.56	0.01	0.13	0.43	0.11	0.67
119	145	7	0.44	0.53	0.03	0.10	0.39	0.08	0.60
135	137	-1	0.50	0.51	-0.01	0.01	0.35	0.06	0.52
129	150	-8	0.48	0.55	-0.03	0.08	0.43	0.09	0.66
115	146	-3	0.44	0.57	-0.01	0.12	0.45	0.11	0.70
107	126	0	0.46	0.54	0.00	0.08	0.40	0.04	0.62
89	103	-10	0.49	0.57	-0.05	0.07	0.44	0.02	0.70
113	128	-8	0.49	0.55	-0.04	0.06	0.42	0.09	0.64
91	110	-8	0.47	0.57	-0.04	0.10	0.45	0.11	0.71
132	149	10	0.46	0.51	0.03	0.06	0.35	0.05	0.53
96	105	1	0.47	0.52	0.01	0.05	0.37	0.04	0.56

R	G	B	r	g	b	GRVI	GLI	VARI	ExG
123	132	4	0.47	0.51	0.02	0.04	0.35	0.10	0.53
104	123	-8	0.48	0.56	-0.04	0.08	0.44	0.11	0.68
148	158	25	0.45	0.48	0.07	0.04	0.30	0.06	0.44
118	142	11	0.44	0.52	0.04	0.09	0.38	0.09	0.57
115	128	-5	0.48	0.54	-0.02	0.05	0.40	0.07	0.62
150	171	47	0.41	0.46	0.13	0.07	0.27	0.11	0.39
131	131	-12	0.52	0.53	-0.05	0.00	0.38	-0.01	0.58
78	105	-3	0.43	0.58	-0.02	0.15	0.47	0.14	0.75
130	136	-4	0.50	0.52	-0.02	0.02	0.37	0.01	0.56
83	111	-15	0.46	0.62	-0.08	0.15	0.53	0.16	0.87
113	134	7	0.45	0.53	0.03	0.08	0.38	0.07	0.58
105	109	-16	0.53	0.55	-0.08	0.02	0.42	-0.03	0.65
119	142	3	0.45	0.54	0.01	0.09	0.40	0.06	0.62
133	136	4	0.49	0.50	0.02	0.01	0.33	-0.02	0.49
122	116	-10	0.53	0.51	-0.04	-0.02	0.35	0.00	0.53
83	95	-11	0.49	0.57	-0.07	0.07	0.45	0.08	0.71
129	109	3	0.54	0.45	0.01	-0.08	0.25	0.07	0.36
130	145	-3	0.48	0.53	-0.01	0.05	0.39	0.06	0.60
132	144	8	0.47	0.51	0.03	0.04	0.34	0.03	0.52
107	128	11	0.44	0.52	0.04	0.09	0.37	0.10	0.56
122	149	7	0.44	0.54	0.02	0.10	0.40	0.11	0.61
146	140	1	0.51	0.49	0.00	-0.02	0.31	-0.04	0.46
72	110	-18	0.44	0.67	-0.11	0.21	0.61	0.16	1.01
85	97	-14	0.51	0.58	-0.08	0.06	0.46	0.04	0.73
163	173	25	0.45	0.48	0.07	0.03	0.30	0.02	0.44
138	149	29	0.44	0.47	0.09	0.04	0.28	0.07	0.41
201	176	60	0.46	0.40	0.14	-0.07	0.15	0.00	0.21
120	137	21	0.43	0.49	0.07	0.07	0.32	0.07	0.48
125	132	10	0.47	0.50	0.04	0.03	0.33	0.08	0.49

R	G	B	r	g	b	GRVI	GLI	VARI	ExG
130	95	7	0.56	0.41	0.03	-0.15	0.16	0.03	0.23
135	116	4	0.53	0.46	0.02	-0.07	0.25	-0.11	0.37
126	150	16	0.43	0.51	0.06	0.08	0.35	0.08	0.54
72	88	-5	0.47	0.57	-0.04	0.10	0.45	0.12	0.71
91	93	-1	0.50	0.51	-0.01	0.01	0.35	0.08	0.53
63	76	-5	0.47	0.57	-0.04	0.09	0.45	0.07	0.71
138	129	25	0.47	0.44	0.08	-0.04	0.23	-0.04	0.32
109	130	-4	0.46	0.55	-0.02	0.09	0.43	0.09	0.66
120	144	14	0.43	0.52	0.05	0.09	0.36	0.04	0.55
130	158	0	0.45	0.55	0.00	0.10	0.42	0.08	0.65
111	141	7	0.43	0.54	0.03	0.12	0.41	0.12	0.63
132	142	5	0.47	0.51	0.02	0.04	0.35	0.07	0.52
126	150	26	0.42	0.50	0.09	0.08	0.33	0.08	0.49
105	136	18	0.41	0.53	0.07	0.13	0.38	0.15	0.58
144	151	29	0.44	0.47	0.09	0.02	0.27	0.07	0.40
99	128	18	0.41	0.52	0.07	0.13	0.37	0.11	0.56
122	126	12	0.47	0.49	0.05	0.02	0.31	0.08	0.46
194	182	58	0.45	0.42	0.13	-0.03	0.18	-0.01	0.26
126	128	25	0.45	0.46	0.09	0.00	0.26	0.04	0.37
178	186	66	0.41	0.43	0.15	0.02	0.21	0.06	0.30
169	202	58	0.39	0.47	0.13	0.09	0.28	0.12	0.41
168	197	45	0.41	0.48	0.11	0.08	0.30	0.14	0.44
177	203	93	0.37	0.43	0.20	0.07	0.20	0.09	0.29
112	110	5	0.49	0.48	0.02	-0.01	0.30	0.02	0.45
94	98	-15	0.53	0.55	-0.08	0.02	0.42	0.03	0.66
143	142	-9	0.52	0.52	-0.03	0.00	0.36	0.02	0.55
28	32	-24	0.77	0.89	-0.67	0.07	0.89	0.08	1.68
88	101	-25	0.54	0.62	-0.15	0.07	0.52	0.06	0.85
123	128	12	0.47	0.49	0.05	0.02	0.31	0.02	0.46

ตารางที่ 24 ค่าการสะท้อนแสงที่ปรับแก้ค่าการสะท้อนแสง และค่าดัชนีต่าง ๆ จากโปรแกรม QGIS 3.8 ที่ GSD 25 cm

R	G	B	r	g	b	GRVI	GLI	VARI	ExG
110	205	0	0.35	0.65	0.00	0.30	0.58	0.30	0.96
142	233	33	0.35	0.57	0.08	0.24	0.45	0.27	0.71
130	231	23	0.34	0.60	0.06	0.28	0.50	0.30	0.81
118	234	27	0.31	0.62	0.07	0.33	0.53	0.36	0.85
116	213	26	0.33	0.60	0.07	0.30	0.50	0.32	0.80
162	279	74	0.31	0.54	0.14	0.27	0.41	0.32	0.62
146	244	52	0.33	0.55	0.12	0.25	0.42	0.29	0.65
100	203	22	0.31	0.62	0.07	0.34	0.54	0.36	0.87
140	248	64	0.31	0.55	0.14	0.28	0.41	0.33	0.64
163	270	52	0.34	0.56	0.11	0.25	0.43	0.28	0.67
190	244	59	0.39	0.49	0.12	0.12	0.32	0.14	0.48
92	214	15	0.29	0.67	0.05	0.40	0.60	0.42	1.00
100	214	8	0.31	0.66	0.03	0.36	0.60	0.37	0.99
120	191	23	0.36	0.57	0.07	0.23	0.45	0.24	0.71
132	234	29	0.33	0.59	0.07	0.28	0.49	0.30	0.78
155	241	47	0.35	0.55	0.11	0.22	0.41	0.25	0.64
145	231	34	0.35	0.56	0.08	0.23	0.44	0.25	0.69
96	205	8	0.31	0.66	0.03	0.36	0.60	0.38	0.99
112	209	21	0.33	0.61	0.06	0.30	0.52	0.32	0.84
140	222	16	0.37	0.59	0.04	0.22	0.48	0.23	0.76
168	220	36	0.40	0.52	0.08	0.14	0.37	0.15	0.56
130	209	7	0.38	0.60	0.02	0.23	0.51	0.24	0.81
125	215	-4	0.37	0.64	-0.01	0.27	0.56	0.26	0.92
98	196	-4	0.34	0.68	-0.01	0.33	0.61	0.33	1.03
87	194	-14	0.33	0.73	-0.05	0.38	0.68	0.36	1.18
146	225	10	0.38	0.59	0.03	0.21	0.49	0.22	0.77

R	G	B	r	g	b	GRVI	GLI	VARI	ExG
109	212	-5	0.35	0.67	-0.02	0.32	0.61	0.32	1.02
133	219	1	0.38	0.62	0.00	0.24	0.53	0.24	0.86
113	199	-10	0.37	0.66	-0.03	0.27	0.59	0.27	0.97
139	218	-5	0.40	0.62	-0.02	0.22	0.53	0.22	0.86
194	236	38	0.41	0.50	0.08	0.10	0.34	0.11	0.51
115	198	1	0.36	0.63	0.00	0.27	0.55	0.27	0.89
117	204	10	0.35	0.62	0.03	0.27	0.53	0.28	0.85
96	193	-3	0.33	0.68	-0.01	0.34	0.61	0.33	1.03
93	175	-12	0.37	0.68	-0.05	0.30	0.62	0.29	1.05
91	204	4	0.30	0.68	0.01	0.38	0.62	0.39	1.05
118	202	-1	0.37	0.63	0.00	0.26	0.55	0.26	0.90
119	224	10	0.34	0.63	0.03	0.31	0.55	0.31	0.90
117	207	21	0.34	0.60	0.06	0.28	0.50	0.30	0.80
152	229	19	0.38	0.57	0.05	0.20	0.46	0.21	0.72
113	210	-5	0.36	0.66	-0.02	0.30	0.59	0.29	0.98
165	199	34	0.41	0.50	0.09	0.09	0.33	0.10	0.50
119	214	3	0.35	0.64	0.01	0.28	0.56	0.29	0.91
120	217	8	0.35	0.63	0.02	0.29	0.54	0.29	0.88
123	236	15	0.33	0.63	0.04	0.32	0.55	0.33	0.90
116	202	-4	0.37	0.64	-0.01	0.27	0.57	0.27	0.93
144	220	5	0.39	0.60	0.01	0.21	0.49	0.21	0.79
122	228	-12	0.36	0.68	-0.04	0.30	0.61	0.29	1.03
112	215	-3	0.35	0.66	-0.01	0.32	0.59	0.31	0.99
135	210	10	0.38	0.59	0.03	0.22	0.49	0.23	0.78
110	184	5	0.37	0.62	0.02	0.25	0.52	0.26	0.85
115	207	1	0.35	0.64	0.00	0.29	0.56	0.29	0.92
106	198	1	0.35	0.65	0.00	0.30	0.57	0.30	0.94
124	222	16	0.34	0.61	0.05	0.28	0.52	0.30	0.84
96	192	4	0.33	0.66	0.01	0.33	0.59	0.34	0.97

R	G	B	r	g	b	GRVI	GLI	VARI	ExG
149	236	11	0.38	0.60	0.03	0.23	0.50	0.23	0.79
135	220	3	0.38	0.62	0.01	0.24	0.52	0.24	0.85
130	225	12	0.35	0.61	0.03	0.27	0.52	0.28	0.84
100	199	-5	0.34	0.68	-0.02	0.33	0.62	0.32	1.03
126	213	7	0.36	0.62	0.02	0.26	0.52	0.26	0.85
138	243	36	0.33	0.58	0.09	0.27	0.47	0.30	0.75
143	213	1	0.40	0.60	0.00	0.20	0.49	0.20	0.79
98	191	3	0.34	0.65	0.01	0.32	0.58	0.32	0.96
129	214	-3	0.38	0.63	-0.01	0.25	0.55	0.25	0.89
107	218	-1	0.33	0.67	0.00	0.34	0.61	0.34	1.02
111	204	-4	0.36	0.66	-0.01	0.30	0.59	0.29	0.97
92	186	-19	0.36	0.72	-0.07	0.34	0.67	0.32	1.15
104	196	-8	0.36	0.67	-0.03	0.31	0.61	0.30	1.01
123	205	0	0.37	0.63	0.00	0.25	0.54	0.25	0.88
131	212	-1	0.38	0.62	0.00	0.24	0.53	0.23	0.86
89	176	-5	0.34	0.68	-0.02	0.33	0.62	0.32	1.04
119	205	-3	0.37	0.64	-0.01	0.27	0.56	0.26	0.91
122	217	0	0.36	0.64	0.00	0.28	0.56	0.28	0.92
106	212	4	0.33	0.66	0.01	0.33	0.59	0.34	0.97
87	188	-1	0.32	0.69	-0.01	0.37	0.63	0.36	1.06
118	218	7	0.34	0.64	0.02	0.30	0.55	0.30	0.91
145	214	7	0.40	0.58	0.02	0.19	0.48	0.20	0.75
120	219	10	0.34	0.63	0.03	0.29	0.54	0.30	0.88
122	210	5	0.36	0.62	0.02	0.27	0.54	0.27	0.87
126	217	4	0.36	0.62	0.01	0.26	0.54	0.27	0.87
157	236	25	0.38	0.57	0.06	0.20	0.44	0.22	0.70
152	224	33	0.37	0.55	0.08	0.19	0.42	0.21	0.64
138	228	27	0.35	0.58	0.07	0.24	0.47	0.26	0.74
130	219	19	0.35	0.60	0.05	0.26	0.49	0.27	0.79

R	G	B	r	g	b	GRVI	GLI	VARI	ExG
139	197	22	0.39	0.55	0.06	0.17	0.42	0.18	0.65
105	187	4	0.35	0.63	0.01	0.28	0.55	0.28	0.89
112	213	15	0.33	0.63	0.04	0.31	0.54	0.33	0.88
113	205	10	0.35	0.63	0.03	0.29	0.54	0.30	0.88
107	193	5	0.35	0.63	0.02	0.29	0.55	0.29	0.89
93	194	4	0.32	0.67	0.01	0.35	0.60	0.36	1.00
178	220	44	0.40	0.50	0.10	0.11	0.33	0.12	0.49
125	218	11	0.35	0.62	0.03	0.27	0.52	0.28	0.85
151	202	10	0.42	0.56	0.03	0.14	0.43	0.15	0.67
135	230	11	0.36	0.61	0.03	0.26	0.52	0.27	0.84
120	210	16	0.35	0.61	0.05	0.27	0.51	0.29	0.82
170	234	37	0.39	0.53	0.08	0.16	0.39	0.17	0.59
158	250	55	0.34	0.54	0.12	0.22	0.40	0.26	0.62
116	228	26	0.31	0.62	0.07	0.33	0.53	0.35	0.85
143	239	25	0.35	0.59	0.06	0.25	0.48	0.27	0.76
107	201	23	0.32	0.61	0.07	0.30	0.51	0.33	0.82
131	215	21	0.36	0.59	0.06	0.24	0.48	0.26	0.76
181	246	47	0.38	0.52	0.10	0.15	0.37	0.17	0.56
185	259	64	0.36	0.51	0.13	0.17	0.35	0.19	0.53
188	269	73	0.35	0.51	0.14	0.18	0.35	0.21	0.52
162	271	49	0.34	0.56	0.10	0.25	0.44	0.29	0.69
172	280	64	0.33	0.54	0.12	0.24	0.41	0.28	0.62
191	288	101	0.33	0.50	0.17	0.20	0.33	0.26	0.49
109	106	-15	0.54	0.53	-0.07	-0.01	0.38	-0.01	0.59
94	95	-5	0.51	0.52	-0.03	0.00	0.36	0.00	0.55
133	144	11	0.46	0.50	0.04	0.04	0.33	0.04	0.50
46	43	-23	0.70	0.65	-0.34	-0.04	0.57	-0.03	0.94
100	109	-12	0.51	0.55	-0.06	0.04	0.42	0.04	0.66
122	123	9	0.48	0.48	0.04	0.01	0.31	0.01	0.45

ตารางที่ 25 ค่าการสะท้อนแสงที่ปรับแก้ค่าการสะท้อนแสง และค่าดัชนีต่าง ๆ จากโปรแกรม QGIS 3.8 ที่ GSD 50 cm

R	G	B	r	g	b	GRVI	GLI	VARI	ExG
107	121	-3	0.48	0.54	-0.01	0.06	0.40	0.06	0.61
150	158	40	0.43	0.46	0.11	0.03	0.25	0.03	0.37
150	147	29	0.46	0.45	0.09	-0.01	0.24	-0.01	0.36
131	152	25	0.43	0.49	0.08	0.07	0.32	0.08	0.48
109	135	21	0.41	0.51	0.08	0.11	0.35	0.12	0.53
157	177	44	0.42	0.47	0.12	0.06	0.28	0.07	0.41
130	153	40	0.40	0.48	0.12	0.08	0.29	0.10	0.43
112	131	23	0.42	0.49	0.09	0.08	0.32	0.09	0.48
130	162	51	0.38	0.47	0.15	0.11	0.28	0.13	0.42
152	171	40	0.42	0.47	0.11	0.06	0.28	0.07	0.41
190	166	53	0.46	0.41	0.13	-0.07	0.15	-0.08	0.22
136	162	29	0.42	0.50	0.09	0.09	0.33	0.10	0.49
120	156	22	0.40	0.52	0.07	0.13	0.37	0.14	0.57
140	150	21	0.45	0.48	0.07	0.03	0.30	0.03	0.45
122	137	15	0.44	0.50	0.06	0.06	0.34	0.06	0.50
144	140	38	0.45	0.43	0.12	-0.01	0.21	-0.02	0.30
165	161	47	0.44	0.43	0.13	-0.01	0.21	-0.02	0.29
119	144	15	0.43	0.52	0.05	0.09	0.36	0.10	0.55
137	156	33	0.42	0.48	0.10	0.06	0.29	0.07	0.44
140	144	23	0.46	0.47	0.08	0.01	0.27	0.01	0.40
210	165	62	0.48	0.38	0.14	-0.12	0.10	-0.15	0.13
149	139	21	0.48	0.45	0.07	-0.04	0.24	-0.04	0.35
132	137	3	0.49	0.50	0.01	0.02	0.34	0.02	0.51
119	131	10	0.46	0.50	0.04	0.05	0.34	0.05	0.51
153	155	18	0.47	0.47	0.05	0.00	0.29	0.00	0.42
138	145	14	0.47	0.49	0.05	0.02	0.31	0.02	0.46

R	G	B	r	g	b	GRVI	GLI	VARI	ExG
116	128	1	0.47	0.52	0.01	0.05	0.37	0.05	0.56
156	137	15	0.51	0.45	0.05	-0.06	0.23	-0.07	0.34
118	119	10	0.48	0.48	0.04	0.00	0.30	0.00	0.45
156	144	11	0.50	0.46	0.04	-0.04	0.27	-0.04	0.39
192	161	49	0.48	0.40	0.12	-0.09	0.14	-0.10	0.20
124	137	7	0.46	0.51	0.03	0.05	0.35	0.05	0.54
128	137	16	0.45	0.49	0.06	0.04	0.31	0.04	0.47
104	125	4	0.45	0.54	0.02	0.09	0.40	0.09	0.61
130	132	4	0.49	0.50	0.02	0.01	0.33	0.01	0.49
98	120	12	0.43	0.52	0.05	0.10	0.37	0.11	0.56
153	137	10	0.51	0.46	0.03	-0.06	0.26	-0.06	0.37
146	149	19	0.47	0.47	0.06	0.01	0.28	0.01	0.42
117	129	8	0.46	0.51	0.03	0.05	0.35	0.05	0.52
149	141	21	0.48	0.45	0.07	-0.03	0.25	-0.03	0.36
166	156	11	0.50	0.47	0.03	-0.03	0.27	-0.03	0.40
166	128	29	0.52	0.40	0.09	-0.13	0.13	-0.15	0.19
111	129	3	0.46	0.53	0.01	0.07	0.39	0.07	0.59
115	137	8	0.44	0.53	0.03	0.09	0.38	0.09	0.58
105	124	4	0.45	0.53	0.02	0.08	0.39	0.08	0.59
122	128	7	0.48	0.50	0.03	0.02	0.33	0.02	0.49
133	134	8	0.48	0.49	0.03	0.00	0.31	0.00	0.46
132	151	1	0.46	0.53	0.00	0.07	0.39	0.07	0.59
115	131	-3	0.47	0.54	-0.01	0.07	0.40	0.07	0.62
138	144	12	0.47	0.49	0.04	0.02	0.31	0.02	0.46
119	116	7	0.49	0.48	0.03	-0.01	0.30	-0.01	0.44
119	134	7	0.46	0.51	0.03	0.06	0.36	0.06	0.54
116	128	3	0.47	0.52	0.01	0.05	0.37	0.05	0.56
158	158	32	0.45	0.46	0.09	0.00	0.25	0.00	0.37
151	132	29	0.48	0.42	0.09	-0.07	0.19	-0.07	0.27

R	G	B	r	g	b	GRVI	GLI	VARI	ExG
192	163	38	0.49	0.41	0.10	-0.08	0.17	-0.09	0.24
174	157	34	0.48	0.43	0.09	-0.05	0.20	-0.06	0.29
190	157	38	0.49	0.41	0.10	-0.09	0.16	-0.11	0.22
115	124	5	0.47	0.51	0.02	0.04	0.35	0.04	0.52
153	144	21	0.48	0.45	0.06	-0.03	0.25	-0.04	0.36
150	150	26	0.46	0.46	0.08	0.00	0.26	0.00	0.38
138	126	-4	0.53	0.49	-0.02	-0.04	0.31	-0.04	0.46
109	121	-4	0.48	0.54	-0.02	0.06	0.40	0.05	0.61
136	140	8	0.48	0.49	0.03	0.01	0.32	0.02	0.48
120	147	3	0.45	0.54	0.01	0.10	0.41	0.10	0.63
118	131	0	0.47	0.53	0.00	0.05	0.38	0.05	0.58
131	128	3	0.50	0.49	0.01	-0.01	0.31	-0.01	0.46
120	121	-4	0.51	0.51	-0.02	0.00	0.35	0.00	0.53
119	129	-1	0.48	0.52	-0.01	0.04	0.37	0.04	0.57
170	144	21	0.51	0.43	0.06	-0.08	0.20	-0.09	0.29
115	132	4	0.46	0.53	0.02	0.07	0.38	0.07	0.58
149	139	12	0.50	0.46	0.04	-0.04	0.27	-0.04	0.39
113	132	1	0.46	0.54	0.01	0.08	0.40	0.08	0.61
123	132	12	0.46	0.50	0.05	0.04	0.32	0.04	0.49
126	125	15	0.47	0.47	0.06	-0.01	0.28	-0.01	0.41
123	137	12	0.45	0.50	0.05	0.06	0.34	0.06	0.51
145	131	16	0.50	0.45	0.06	-0.05	0.24	-0.05	0.34
133	149	23	0.44	0.49	0.08	0.05	0.31	0.06	0.46
161	151	23	0.48	0.45	0.07	-0.03	0.24	-0.03	0.35
170	156	26	0.48	0.44	0.07	-0.04	0.23	-0.05	0.33
175	155	30	0.49	0.43	0.08	-0.06	0.20	-0.07	0.29
201	161	53	0.48	0.39	0.13	-0.11	0.12	-0.13	0.16
196	160	49	0.48	0.39	0.12	-0.10	0.13	-0.12	0.18
155	142	29	0.47	0.44	0.09	-0.04	0.22	-0.05	0.31

R	G	B	r	g	b	GRVI	GLI	VARI	ExG
155	139	36	0.47	0.42	0.11	-0.05	0.19	-0.06	0.26
157	137	27	0.49	0.43	0.09	-0.07	0.20	-0.07	0.28
140	129	14	0.50	0.46	0.05	-0.04	0.25	-0.05	0.37
132	130	19	0.47	0.46	0.07	-0.01	0.26	-0.01	0.39
140	131	22	0.48	0.45	0.07	-0.03	0.24	-0.04	0.34
126	126	21	0.46	0.46	0.08	0.00	0.26	0.00	0.39
184	146	45	0.49	0.39	0.12	-0.12	0.12	-0.13	0.17
152	152	32	0.45	0.45	0.09	0.00	0.25	0.00	0.36
132	140	15	0.46	0.49	0.05	0.03	0.31	0.03	0.46
142	150	26	0.45	0.47	0.08	0.03	0.28	0.03	0.42
125	149	14	0.44	0.52	0.05	0.09	0.36	0.09	0.55
166	145	34	0.48	0.42	0.10	-0.07	0.18	-0.08	0.26
159	166	53	0.42	0.44	0.14	0.02	0.22	0.02	0.31
165	165	51	0.43	0.43	0.13	0.00	0.21	0.00	0.30
153	167	38	0.43	0.47	0.11	0.04	0.27	0.05	0.40
106	108	18	0.46	0.46	0.08	0.01	0.27	0.01	0.39
146	146	33	0.45	0.45	0.10	0.00	0.24	0.00	0.35
166	160	38	0.46	0.44	0.11	-0.02	0.22	-0.02	0.31
169	172	59	0.42	0.43	0.15	0.01	0.20	0.01	0.29
216	198	92	0.43	0.39	0.18	-0.04	0.13	-0.06	0.17
177	193	58	0.41	0.45	0.13	0.04	0.24	0.05	0.35
172	187	58	0.41	0.45	0.14	0.04	0.24	0.05	0.35
209	201	92	0.42	0.40	0.18	-0.02	0.14	-0.03	0.20
137	108	-3	0.56	0.45	-0.01	-0.12	0.23	-0.12	0.34
102	100	-4	0.51	0.51	-0.02	-0.01	0.34	-0.01	0.52
146	134	7	0.51	0.47	0.02	-0.04	0.27	-0.04	0.40
77	75	-11	0.55	0.53	-0.08	-0.02	0.38	-0.02	0.58
102	97	-11	0.54	0.52	-0.06	-0.02	0.36	-0.02	0.55
127	122	1	0.51	0.49	0.01	-0.02	0.31	-0.02	0.46

ตารางที่ 26 ค่าการสะท้อนแสงที่ปรับแก้ค่าการสะท้อนแสง และค่าดัชนีต่าง ๆ จากโปรแกรม QGIS
3.8 ที่ GSD 100 cm

R	G	B	r	g	b	GRVI	GLI	VARI	ExG
110	126	8	0.45	0.52	0.03	0.07	0.36	0.07	0.55
135	135	25	0.46	0.46	0.08	0.00	0.26	0.00	0.38
128	126	19	0.47	0.46	0.07	0.00	0.27	-0.01	0.39
123	137	21	0.44	0.49	0.07	0.06	0.31	0.06	0.47
135	130	25	0.47	0.45	0.09	-0.02	0.24	-0.02	0.35
150	161	32	0.44	0.47	0.09	0.04	0.28	0.04	0.41
120	144	21	0.42	0.50	0.07	0.09	0.34	0.10	0.51
115	124	21	0.44	0.48	0.08	0.04	0.29	0.04	0.43
126	147	36	0.41	0.48	0.12	0.08	0.29	0.09	0.43
168	162	51	0.44	0.43	0.13	-0.02	0.20	-0.02	0.28
203	166	62	0.47	0.39	0.14	-0.10	0.11	-0.12	0.16
124	146	22	0.42	0.50	0.08	0.08	0.33	0.09	0.50
122	134	14	0.45	0.50	0.05	0.05	0.33	0.05	0.49
163	163	33	0.45	0.45	0.09	0.00	0.25	0.00	0.36
117	128	11	0.46	0.50	0.04	0.04	0.33	0.05	0.50
168	147	43	0.47	0.41	0.12	-0.06	0.17	-0.07	0.24
152	141	30	0.47	0.44	0.09	-0.04	0.21	-0.04	0.31
153	140	32	0.47	0.43	0.10	-0.05	0.20	-0.05	0.29
146	140	36	0.45	0.43	0.11	-0.02	0.21	-0.03	0.30
175	153	40	0.47	0.42	0.11	-0.06	0.18	-0.07	0.25
170	140	32	0.50	0.41	0.09	-0.10	0.16	-0.11	0.23
142	131	16	0.49	0.45	0.06	-0.04	0.25	-0.04	0.36
148	134	15	0.50	0.45	0.05	-0.05	0.24	-0.05	0.35
143	132	23	0.48	0.44	0.08	-0.04	0.23	-0.04	0.33
120	134	5	0.46	0.52	0.02	0.05	0.36	0.05	0.55
137	139	8	0.48	0.49	0.03	0.01	0.31	0.01	0.47

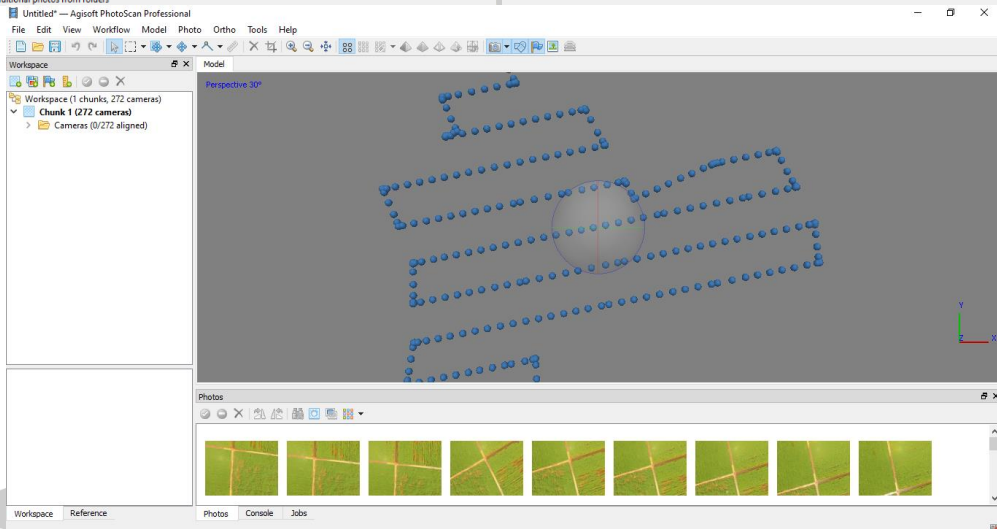
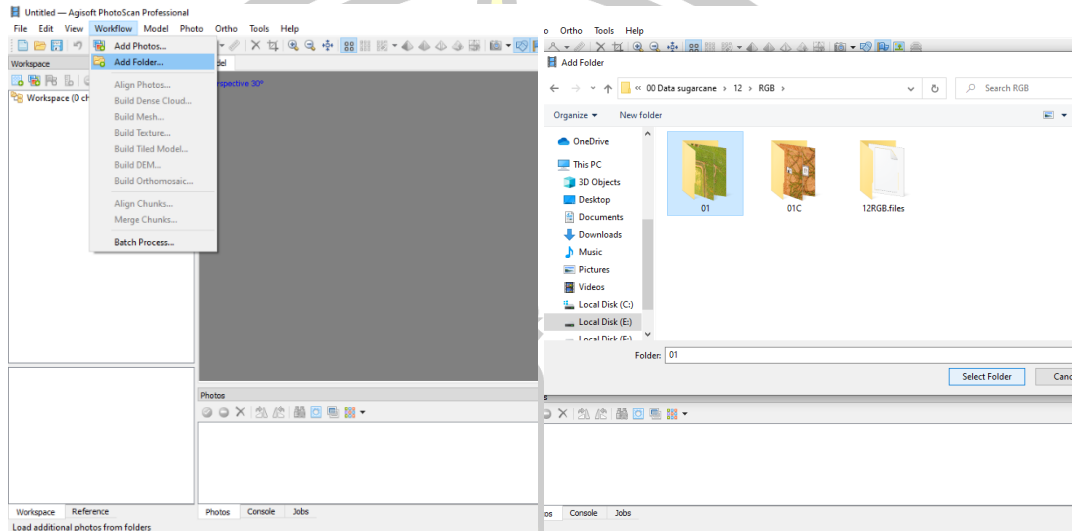
R	G	B	r	g	b	GRVI	GLI	VARI	ExG
165	155	38	0.46	0.43	0.11	-0.03	0.21	-0.04	0.30
138	126	7	0.51	0.47	0.03	-0.04	0.27	-0.05	0.40
148	124	22	0.50	0.42	0.07	-0.09	0.19	-0.10	0.27
155	125	15	0.52	0.42	0.05	-0.11	0.19	-0.11	0.27
189	161	51	0.47	0.40	0.13	-0.08	0.15	-0.09	0.21
137	137	16	0.47	0.47	0.06	0.00	0.28	0.00	0.42
150	141	26	0.47	0.45	0.08	-0.03	0.23	-0.03	0.34
125	132	14	0.46	0.49	0.05	0.03	0.31	0.03	0.46
172	149	27	0.49	0.43	0.08	-0.07	0.20	-0.08	0.28
112	116	12	0.47	0.48	0.05	0.02	0.30	0.02	0.45
135	141	8	0.47	0.50	0.03	0.02	0.33	0.02	0.49
119	121	11	0.47	0.48	0.04	0.01	0.30	0.01	0.45
156	147	30	0.47	0.44	0.09	-0.03	0.23	-0.03	0.33
137	135	12	0.48	0.47	0.04	-0.01	0.29	-0.01	0.42
153	141	16	0.49	0.45	0.05	-0.04	0.25	-0.04	0.36
163	129	25	0.52	0.41	0.08	-0.12	0.16	-0.13	0.22
107	124	-1	0.47	0.54	-0.01	0.07	0.40	0.07	0.62
106	124	4	0.45	0.53	0.02	0.08	0.38	0.08	0.59
122	124	7	0.48	0.49	0.03	0.01	0.32	0.01	0.47
130	131	7	0.48	0.49	0.03	0.01	0.31	0.01	0.47
122	125	0	0.49	0.51	0.00	0.01	0.35	0.01	0.52
135	145	10	0.47	0.50	0.03	0.04	0.34	0.04	0.50
152	130	14	0.51	0.44	0.05	-0.08	0.22	-0.08	0.32
142	132	11	0.50	0.46	0.04	-0.03	0.27	-0.04	0.39
140	125	8	0.51	0.46	0.03	-0.06	0.25	-0.06	0.37
132	124	5	0.51	0.47	0.02	-0.03	0.29	-0.03	0.42
137	116	7	0.53	0.45	0.03	-0.08	0.24	-0.08	0.34
161	147	34	0.47	0.43	0.10	-0.04	0.20	-0.05	0.29
204	163	52	0.49	0.39	0.12	-0.11	0.12	-0.13	0.17

R	G	B	r	g	b	GRVI	GLI	VARI	ExG
191	155	38	0.50	0.40	0.10	-0.11	0.15	-0.12	0.21
159	149	26	0.48	0.44	0.08	-0.04	0.23	-0.04	0.33
159	139	22	0.50	0.43	0.07	-0.07	0.21	-0.08	0.30
139	123	11	0.51	0.45	0.04	-0.06	0.24	-0.07	0.35
151	144	26	0.47	0.45	0.08	-0.03	0.24	-0.03	0.34
164	149	38	0.47	0.42	0.11	-0.05	0.19	-0.06	0.27
145	135	3	0.51	0.48	0.01	-0.04	0.29	-0.04	0.43
126	136	10	0.46	0.50	0.04	0.04	0.33	0.04	0.50
146	141	21	0.48	0.46	0.07	-0.02	0.26	-0.02	0.37
145	144	14	0.48	0.47	0.05	-0.01	0.29	-0.01	0.42
195	161	45	0.49	0.40	0.11	-0.10	0.15	-0.11	0.20
153	141	11	0.50	0.46	0.04	-0.04	0.26	-0.04	0.39
129	131	5	0.48	0.49	0.02	0.01	0.32	0.01	0.48
174	145	34	0.49	0.41	0.10	-0.09	0.16	-0.10	0.23
182	147	33	0.50	0.41	0.09	-0.10	0.16	-0.12	0.22
157	134	23	0.50	0.43	0.07	-0.08	0.19	-0.09	0.28
192	155	41	0.50	0.40	0.11	-0.11	0.14	-0.12	0.20
159	142	26	0.49	0.43	0.08	-0.06	0.21	-0.06	0.30
158	151	26	0.47	0.45	0.08	-0.02	0.24	-0.03	0.35
159	141	32	0.48	0.43	0.09	-0.06	0.19	-0.07	0.28
132	139	11	0.47	0.49	0.04	0.02	0.32	0.02	0.48
165	140	25	0.50	0.42	0.07	-0.08	0.19	-0.09	0.27
157	146	32	0.47	0.44	0.09	-0.04	0.22	-0.04	0.31
142	128	16	0.50	0.45	0.06	-0.05	0.23	-0.06	0.34
149	149	27	0.46	0.46	0.08	0.00	0.26	0.00	0.37
139	131	19	0.48	0.45	0.07	-0.03	0.25	-0.03	0.36
169	141	25	0.50	0.42	0.07	-0.09	0.19	-0.10	0.27
170	147	37	0.48	0.42	0.10	-0.07	0.17	-0.08	0.25
159	130	27	0.50	0.41	0.09	-0.10	0.16	-0.11	0.23

R	G	B	r	g	b	GRVI	GLI	VARI	ExG
162	132	26	0.51	0.41	0.08	-0.10	0.17	-0.11	0.24
187	145	41	0.50	0.39	0.11	-0.13	0.12	-0.14	0.17
143	129	14	0.50	0.45	0.05	-0.05	0.24	-0.05	0.35
137	121	14	0.50	0.45	0.05	-0.06	0.23	-0.06	0.34
143	134	22	0.48	0.45	0.07	-0.03	0.24	-0.04	0.34
120	116	10	0.49	0.47	0.04	-0.02	0.28	-0.02	0.42
166	136	33	0.50	0.41	0.10	-0.10	0.15	-0.11	0.22
122	120	22	0.46	0.46	0.08	-0.01	0.25	-0.01	0.37
137	134	16	0.48	0.47	0.06	-0.01	0.27	-0.01	0.40
144	147	23	0.46	0.47	0.07	0.01	0.28	0.01	0.40
135	134	15	0.47	0.47	0.05	0.00	0.28	0.00	0.42
151	147	29	0.46	0.45	0.09	-0.01	0.24	-0.01	0.35
150	147	41	0.44	0.44	0.12	-0.01	0.21	-0.01	0.31
142	150	36	0.43	0.46	0.11	0.03	0.26	0.03	0.37
174	158	48	0.46	0.42	0.13	-0.05	0.18	-0.05	0.25
138	141	30	0.45	0.46	0.10	0.01	0.25	0.01	0.37
151	146	29	0.46	0.45	0.09	-0.02	0.24	-0.02	0.34
204	161	64	0.48	0.37	0.15	-0.12	0.09	-0.14	0.12
192	183	74	0.43	0.41	0.16	-0.02	0.16	-0.03	0.22
197	188	66	0.44	0.42	0.15	-0.02	0.18	-0.03	0.25
177	177	59	0.43	0.43	0.14	0.00	0.20	0.00	0.29
144	157	34	0.43	0.47	0.10	0.04	0.28	0.05	0.41
191	176	74	0.43	0.40	0.17	-0.04	0.14	-0.05	0.20
145	109	12	0.55	0.41	0.04	-0.14	0.16	-0.15	0.23
132	106	12	0.53	0.42	0.05	-0.11	0.19	-0.12	0.27
146	125	9	0.52	0.44	0.03	-0.08	0.23	-0.08	0.33
99	84	-4	0.55	0.47	-0.02	-0.08	0.28	-0.08	0.41
115	94	-11	0.58	0.47	-0.05	-0.10	0.29	-0.10	0.42
115	97	-11	0.57	0.48	-0.05	-0.08	0.30	-0.08	0.45

การประมวลผลภาพที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับ มีขั้นตอนดังนี้

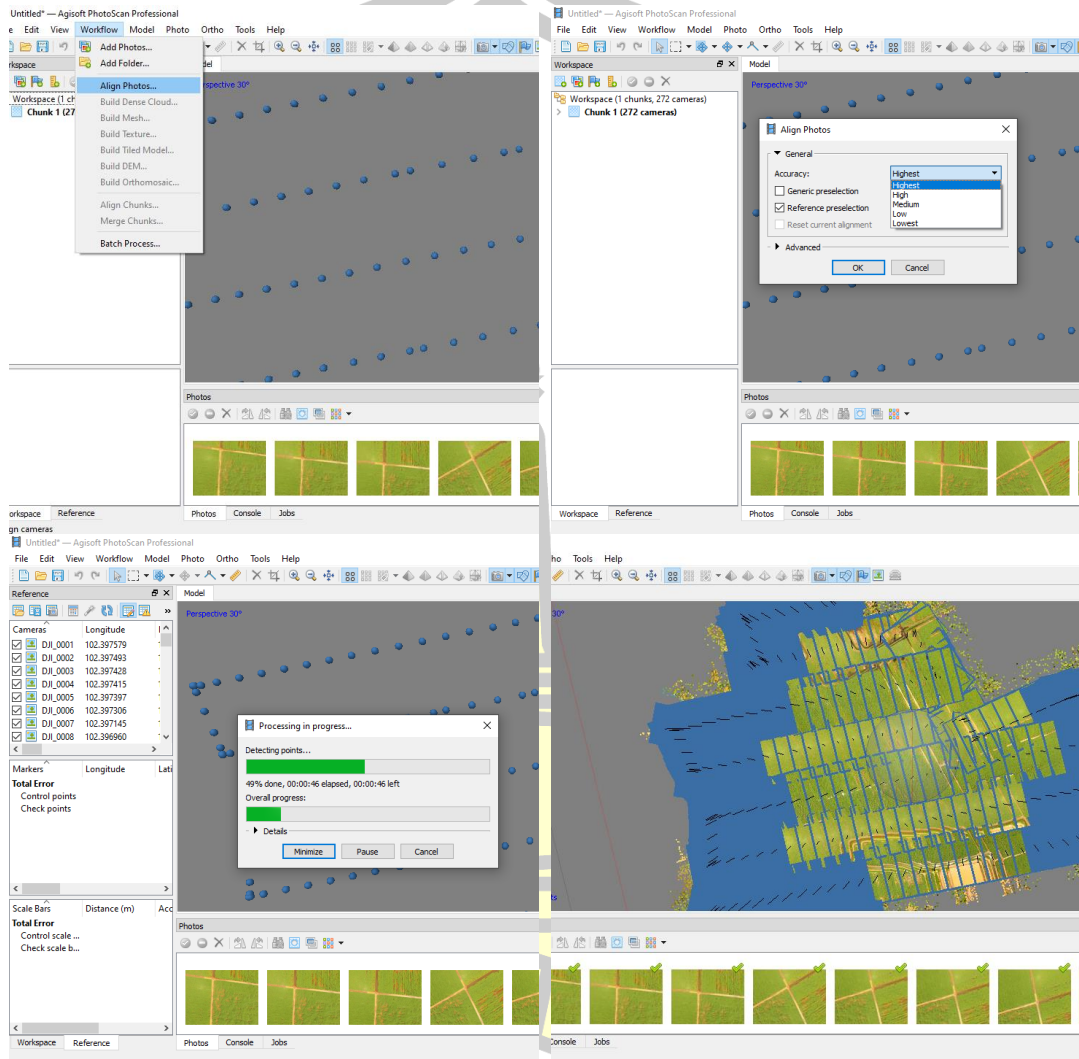
1. นำภาพที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับนำเข้าโปรแกรม Agisoft PhotoScan Professional โดยไปที่คำสั่ง Workflow → Add Folder แล้วเลือกโฟลเดอร์ที่จัดเก็บภาพ แล้วกด OK ดังภาพที่ 33



ภาพที่ 33 แสดงขั้นตอนการนำภาพที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับเข้าโปรแกรม Agisoft PhotoScan Professional

พหุ ประถมศึกษา

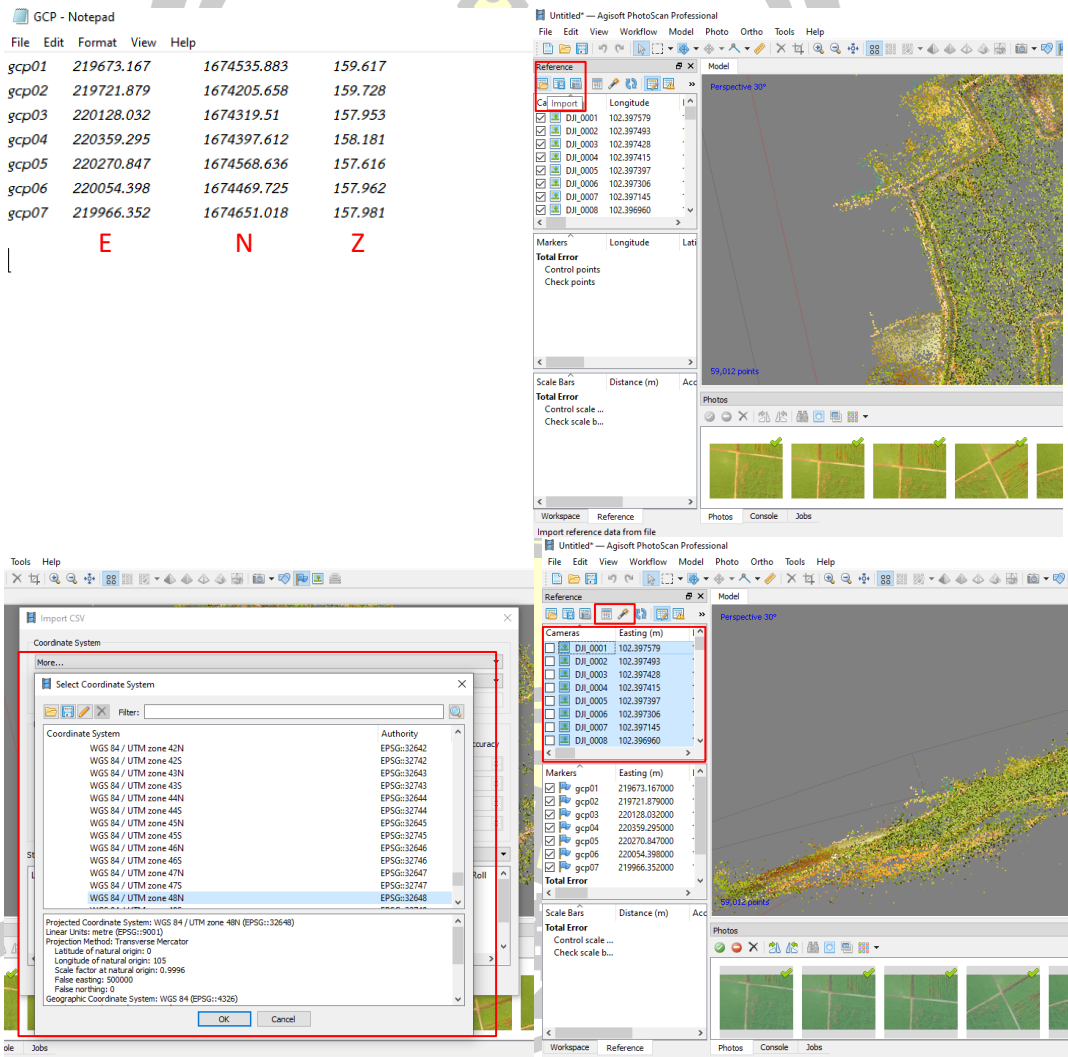
2. ทำการเริ่มประมวลผลภาพโดยไปที่คำสั่ง Workflow → Align Photos → ทำการเลือกความละเอียดในการประมวลผล แล้วกด OK จากนั้นโปรแกรมจะประมวลผลดังภาพที่ 34



ภาพที่ 34 แสดงขั้นตอนประมวลผลภาพ Align Photos

พหุบัณฑิต ชีวะ

3. นำค่าพิกัด ณ ตำแหน่งที่เราวางจุดควบคุมภาพในสนาม เพื่อใช้ในการปรับแก้ค่าพิกัดเชิงภูมิศาสตร์ โดยจัดเรียงเป็น ENZ ในไฟล์ Text และนำเข้าโปรแกรมโดยไปที่ Workspace → Input → จากนั้นเลือก Zone ให้ตรงกับพื้นที่ศึกษา (ถ้าไม่เจอเข้าไปที่ More) และนำเครื่องหมาย ที่หน้ารูปภาพออกทุกรูปและกด Optimize camera → Update เพื่อที่เราจะไม่ใช้ค่าพิกัดจากรูปแต่เราจะปรับแก้ด้วยค่าพิกัดที่จุดควบคุมมา ดังภาพที่ 35



ภาพที่ 35 แสดงขั้นตอนการนำค่าพิกัดจริงมาใช้ในการปรับแก้ค่าพิกัดของภาพ

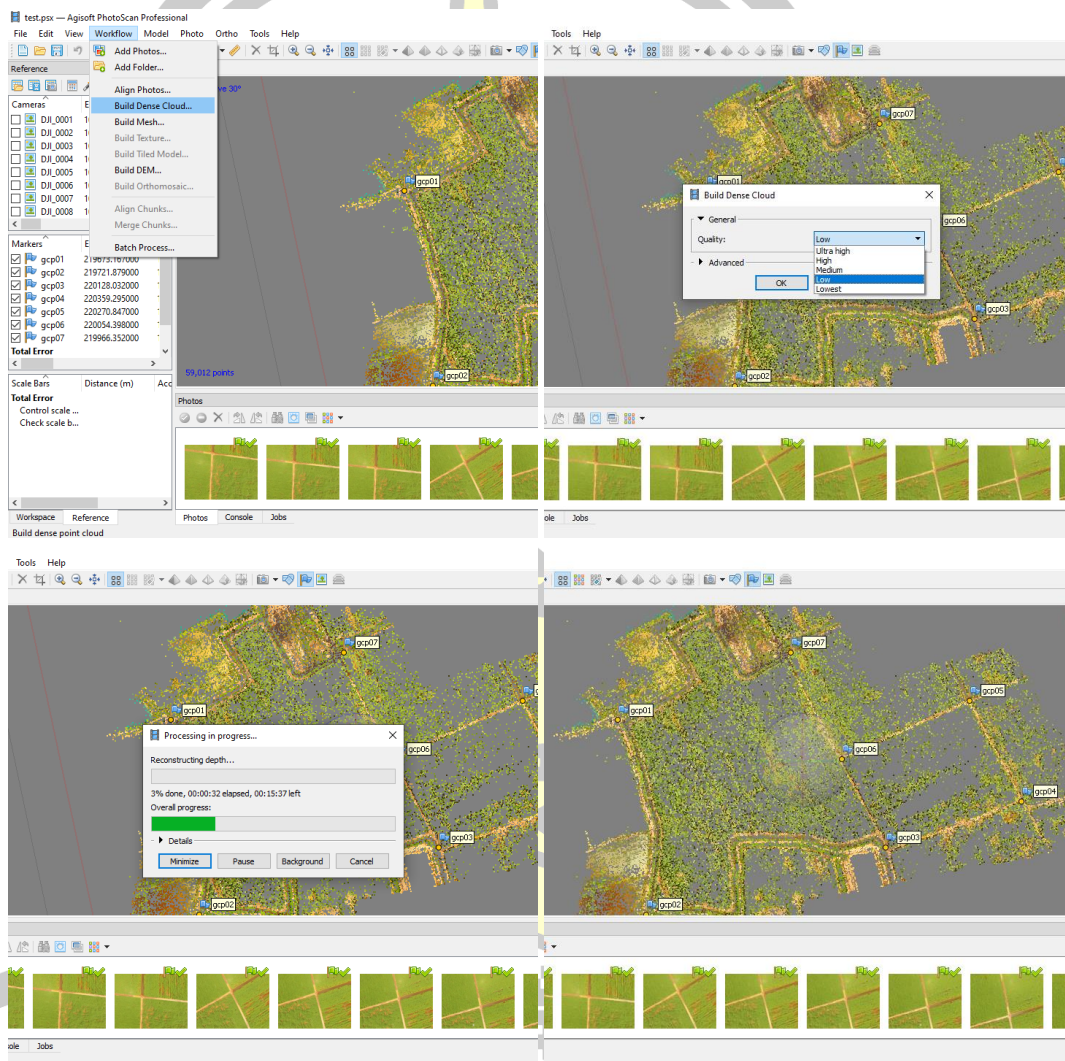
4. จากนั้นทำการตรึงค่าพิกัดให้ตรงกับจุดควบคุมภาพทั้งหมด (ถ้าขึ้นรูปตุ๊กตาสีดำแสดงว่าภาพนั้นยังไม่ได้ปรับค่าพิกัดให้ตรง ทำการลากให้เข้าจุด) ให้ครบทุกจุดที่เราเก็บค่าพิกัด เมื่อครบแล้วก็ทำการกด Optimize camera → Update อีกครั้งเพื่อเป็นการอัปเดตค่าพิกัดที่เราได้ปรับแก้ให้กับภาพ ดังภาพที่ 36



ภาพที่ 36 แสดงขั้นตอนการตรึงค่าพิกัดของภาพ

พูน ปรุ ทิโต ชเว

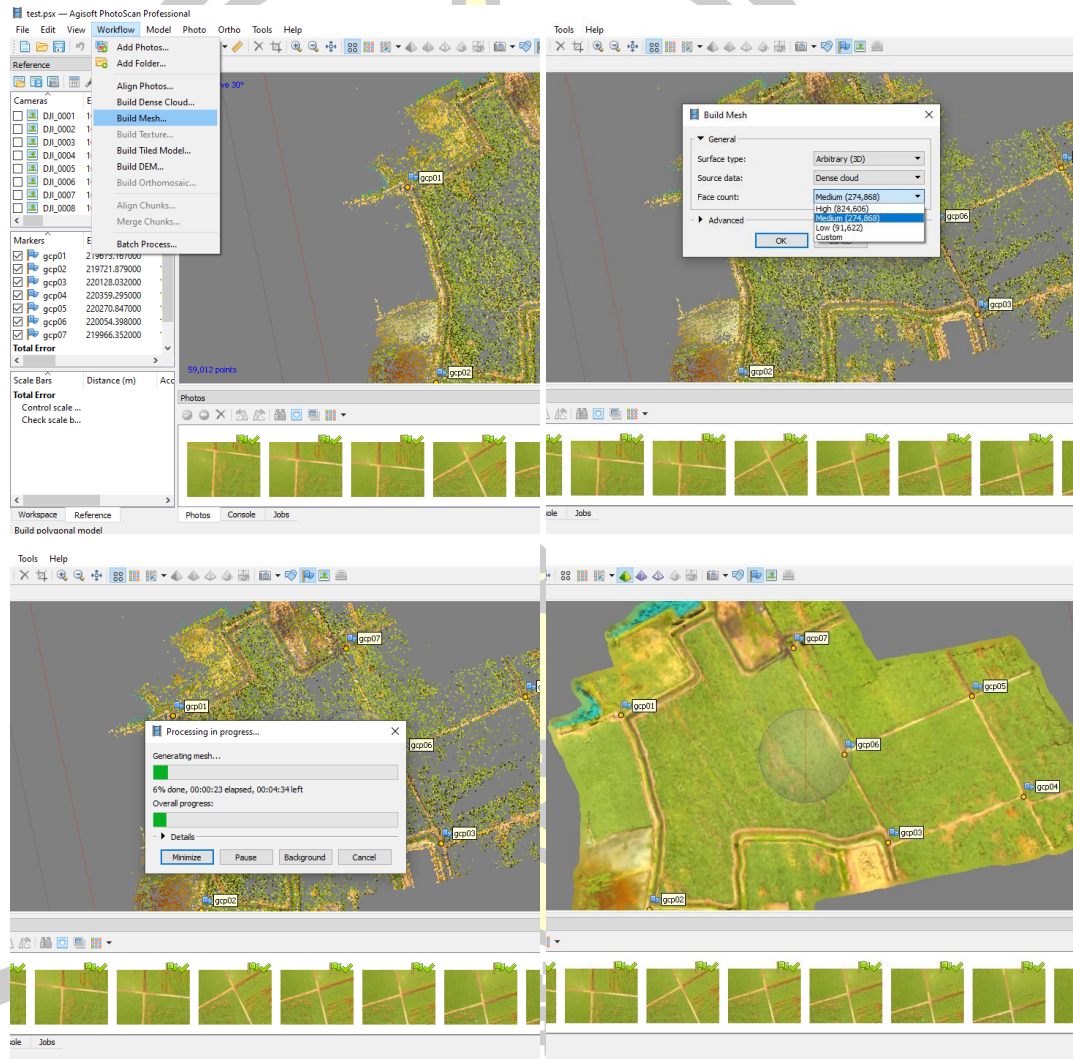
5. ทำการประมวลผลภาพต่อไปที่ คำสั่ง กด Build Dese Cloud → ทำการเลือกความละเอียดในการประมวลผล (ควรจะต้องเลือกให้สอดคล้องกับขั้นตอน Align Photos) แล้วกด OK จากนั้นโปรแกรมจะประมวลผลดังภาพที่ 37 ในขั้นตอนนี้จะใช้ระยะเวลาในการประมวลผลที่ค่อนข้างนานพอสมควร ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับสเปกของคอมพิวเตอร์ของแต่ละคน



ภาพที่ 37 แสดงขั้นตอนประมวลผลภาพ Build Dese Cloud

พหุบัณฑิต ชเว

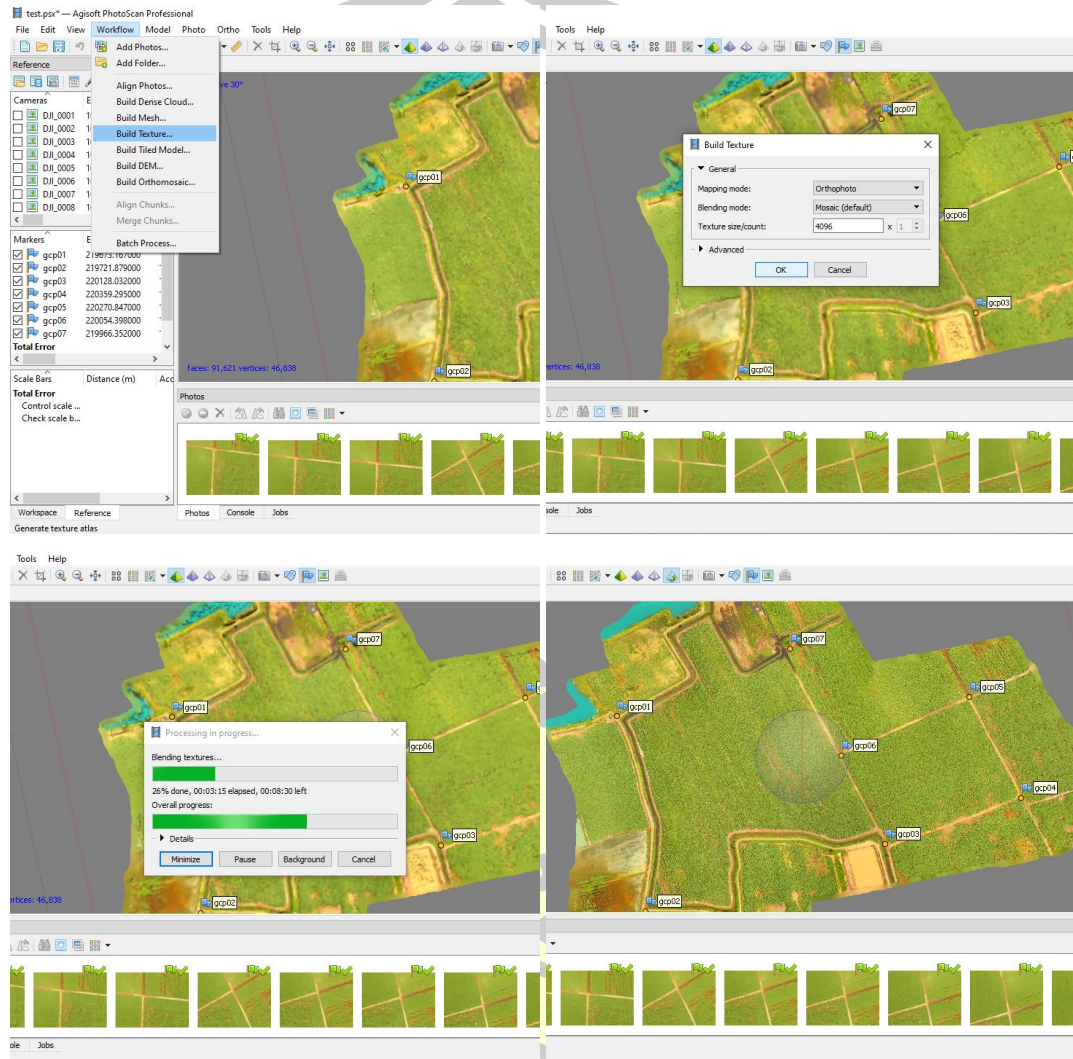
6. ทำการประมวลผลภาพต่อไปที่ คำสั่ง กด Build Mesh → เลือก Surface type เป็น Arbitrary 3D เพราะเราจะสร้างภาพ 3D และทำการเลือกความละเอียดในการประมวลผล (ควรจะเลือกให้สอดคล้องกับขั้นตอน Align Photos และ Build Dense Cloud) แล้วกด OK จากนั้นโปรแกรมจะประมวลผลดังภาพที่ 38



ภาพที่ 38 แสดงขั้นตอนประมวลผลภาพ Build Mesh

พหุบัณฑิต ชเว

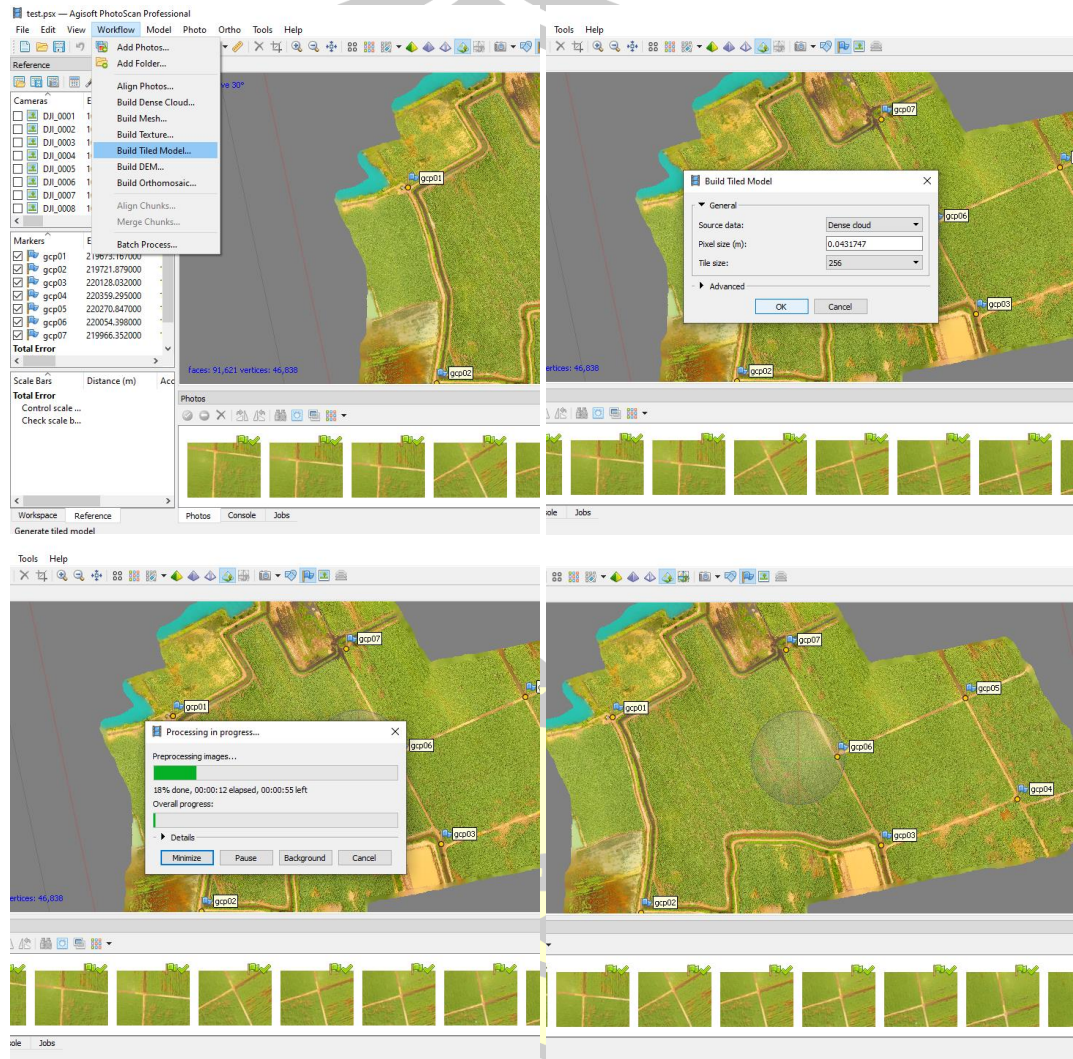
7. ทำการประมวลผลภาพต่อไปที่ คำสั่ง กด Build Texture (เป็นการสร้างลักษณะพื้นผิวให้กับแผนที่) → แล้วกด OK จากนั้นโปรแกรมจะประมวลผลดังภาพที่ 39



ภาพที่ 39 แสดงขั้นตอนประมวลผลภาพ Build Texture

พหุบัณฑิต ชีวะ

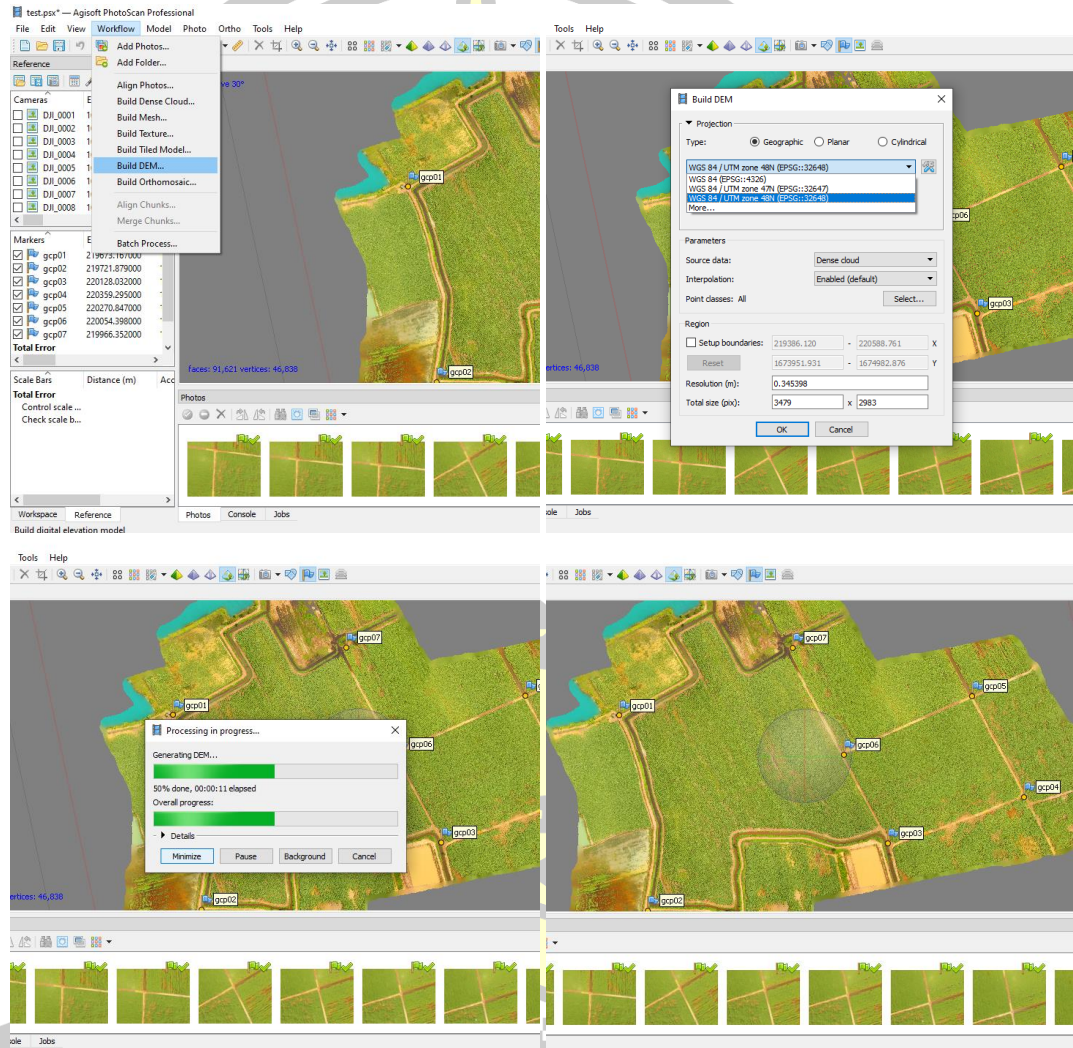
8. ทำการประมวลผลภาพต่อไปที่ คำสั่ง กด Build Tiled Model → แล้วกด OK จากนั้น โปรแกรมจะประมวลผลดังภาพที่ 40



ภาพที่ 40 แสดงขั้นตอนประมวลผลภาพ Build Tiled Model

พหุบัณฑิต ชีวะ

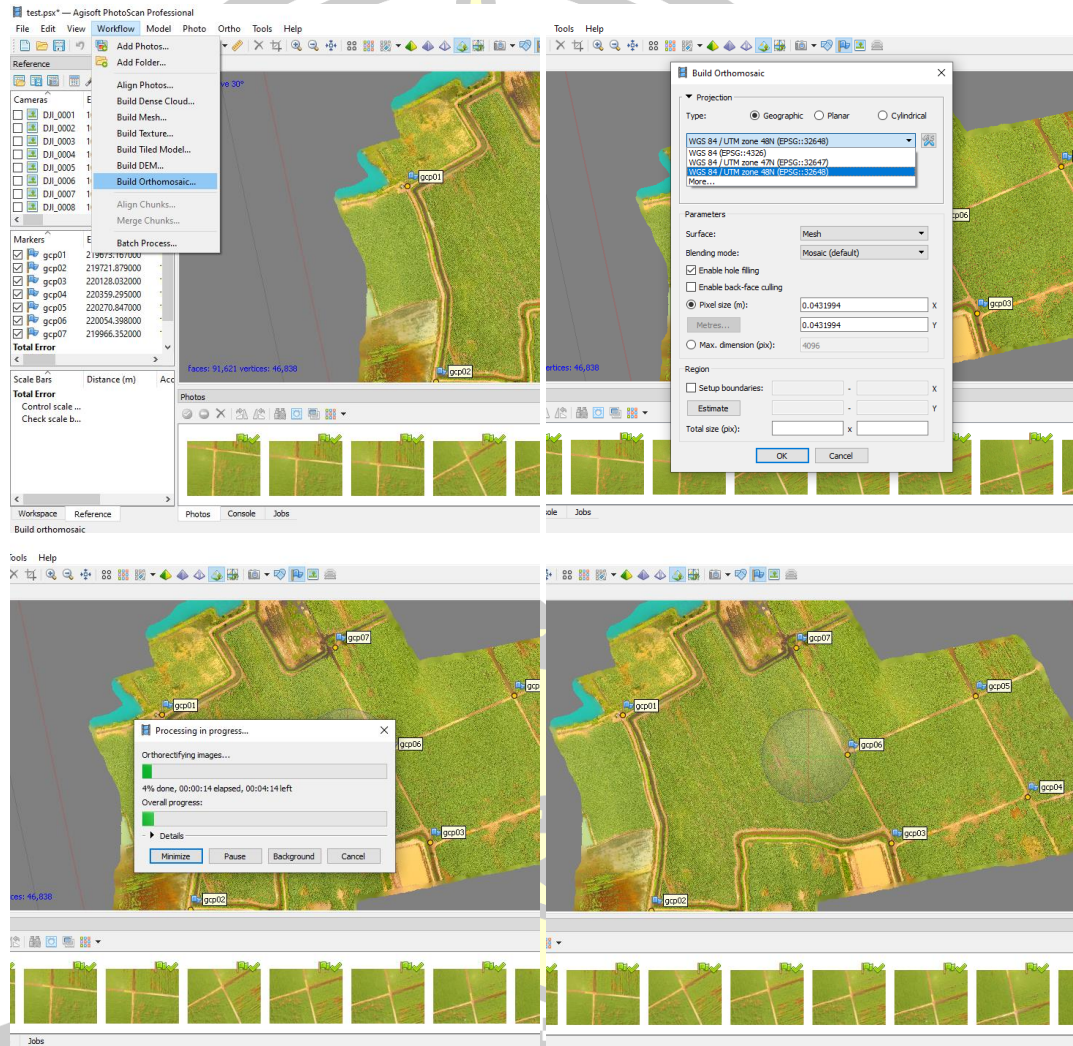
9. ทำการประมวลผลภาพต่อไปที่ คำสั่ง กด Build DEM (เพื่อสร้างแบบจำลองความสูง) → จากนั้นเลือก Zone ให้ตรงกับพื้นที่ศึกษา (ถ้าไม่เจอเข้าไปที่ More) แล้วกด OK จากนั้น โปรแกรมจะประมวลผลดังภาพที่ 41



ภาพที่ 41 แสดงขั้นตอนประมวลผลภาพ Build DEM

พหุบัณฑิต ชีวะ

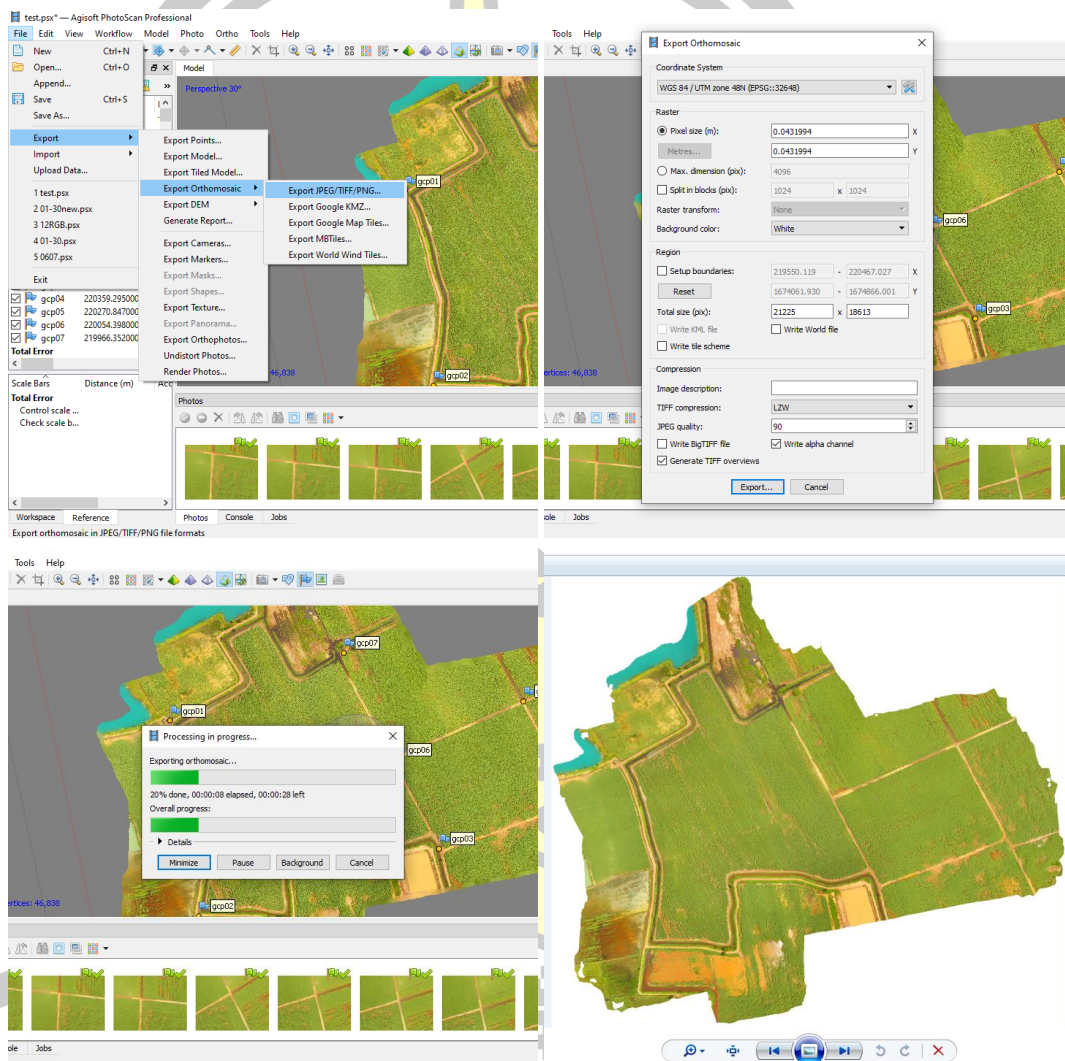
10. ทำการประมวลผลภาพต่อไปที่ คำสั่ง กด Build Orthomosaic (เพื่อสร้างแบบจำลองออร์โท) → จากนั้นเลือก Zone ให้ตรงกับพื้นที่ศึกษา (ถ้าไม่เจอเข้าไปที่ More) แล้วกด OK จากนั้น โปรแกรมจะประมวลผลดังภาพที่ 42



ภาพที่ 42 แสดงขั้นตอนประมวลผลภาพ Build Orthomosaic

พหุ ประถมศึกษา

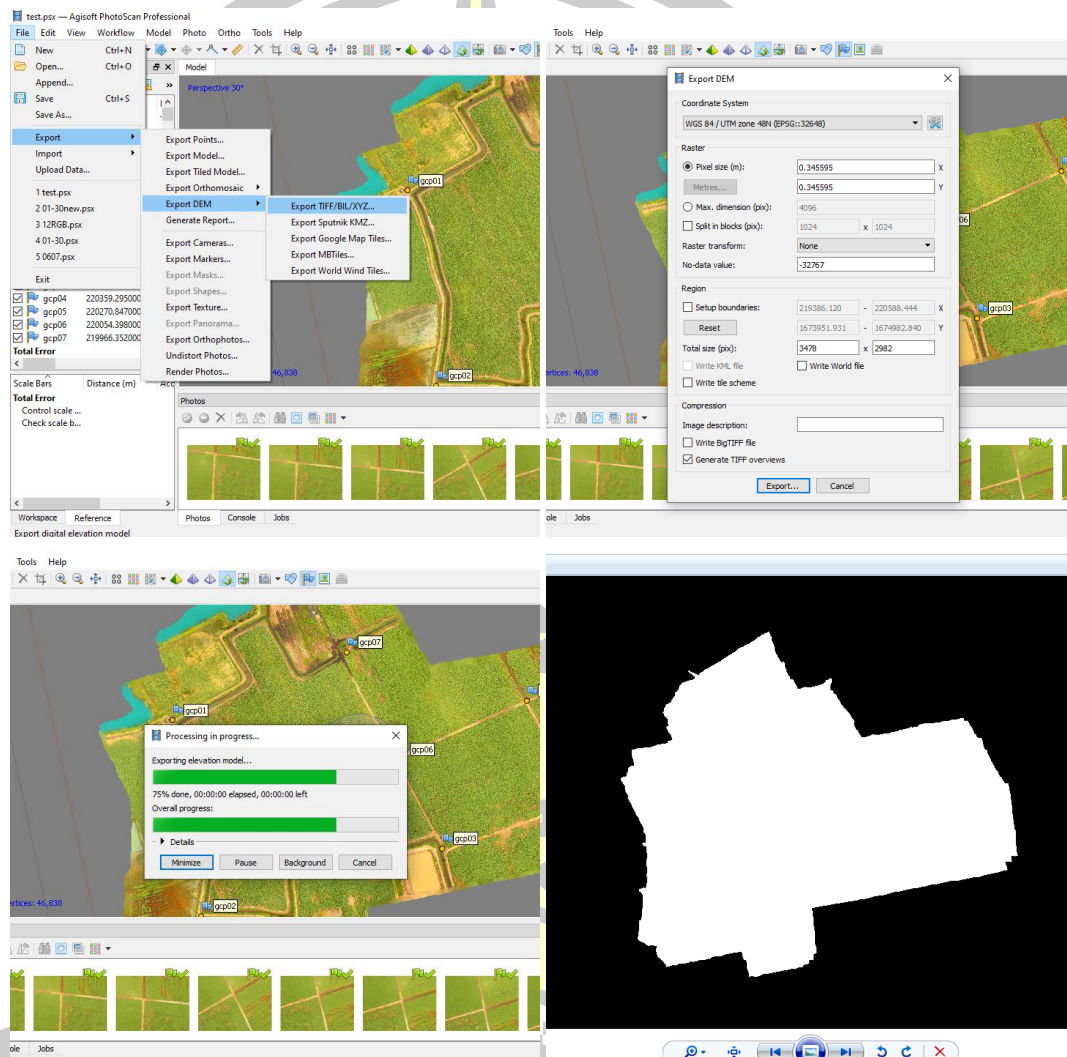
11. ทำการ Export ภาพ Orthomosaic โดยไปที่ คำสั่ง กด File → Export → Export Orthomosaic → เลือกนามสกุล .TIFF → จากนั้นเลือก Zone ให้ตรงกับพื้นที่ศึกษา (ถ้าไม่เจอ เข้าไปที่ More) → กำหนดขนาดรายละเอียดจุดภาพ → แล้วกด OK → Save ไฟล์ภาพ ดังภาพ ที่ 43



ภาพที่ 43 แสดงขั้นตอนส่งออกภาพ Orthomosaic

พหุบัณฑิต ชเว

12. ทำการ Export ภาพแบบจำลองความสูง (DEM) โดยไปที่ คำสั่ง กด File → Export → Export DEM → เลือกนามสกุล .TIFF → จากนั้นเลือก Zone ให้ตรงกับพื้นที่ศึกษา (ถ้าไม่เจอเข้าไปที่ More) → กำหนดขนาดรายละเอียดจุดภาพ → แล้วกด OK → Save ไฟล์ภาพ ดังภาพที่ 44

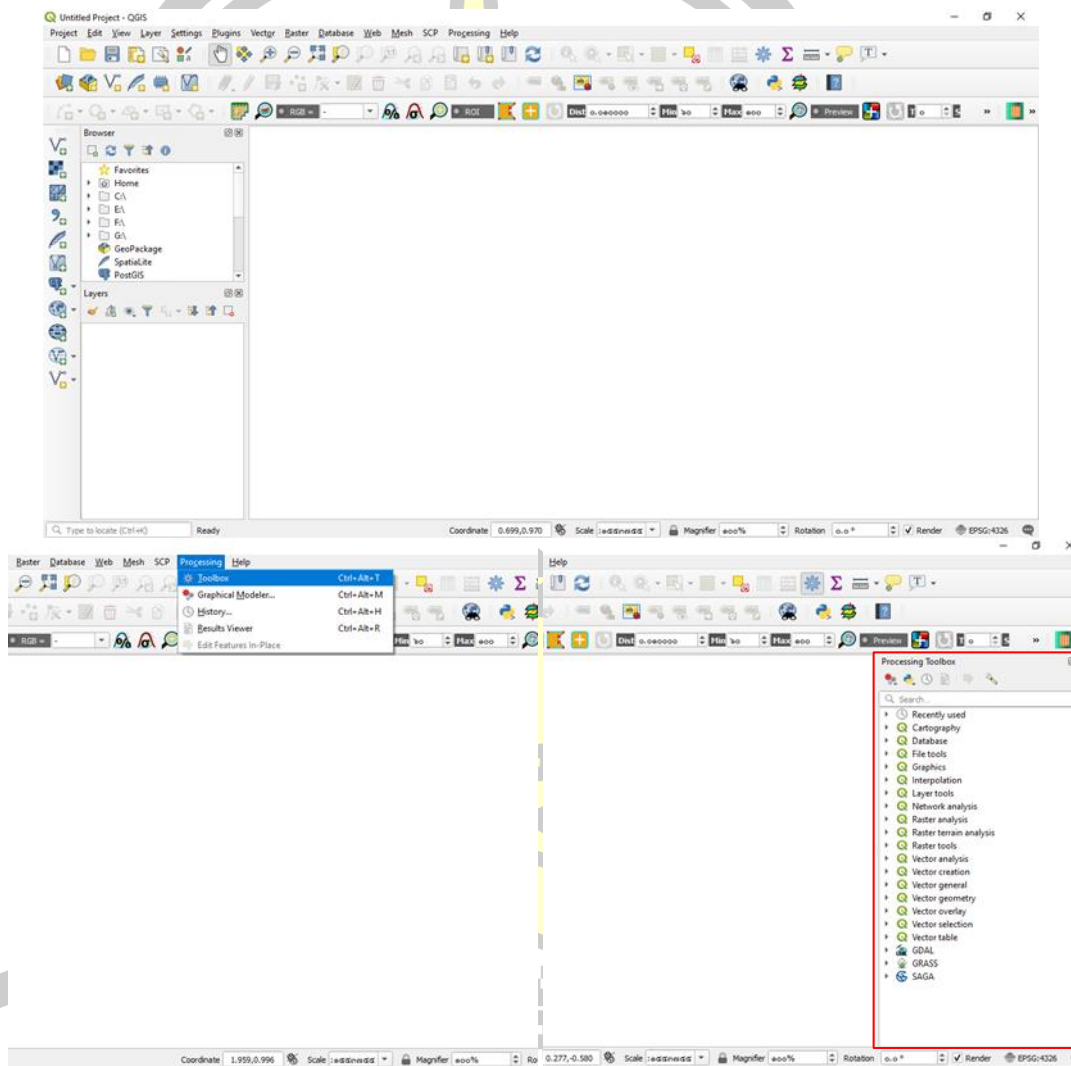


ภาพที่ 44 แสดงขั้นตอนส่งออกภาพแบบจำลองความสูง (DEM)

พหุ ประทีป ชีวะ

วิธีการคำนวณผลผลิตของอ้อยโดยใช้โปรแกรม QGIS 3.8

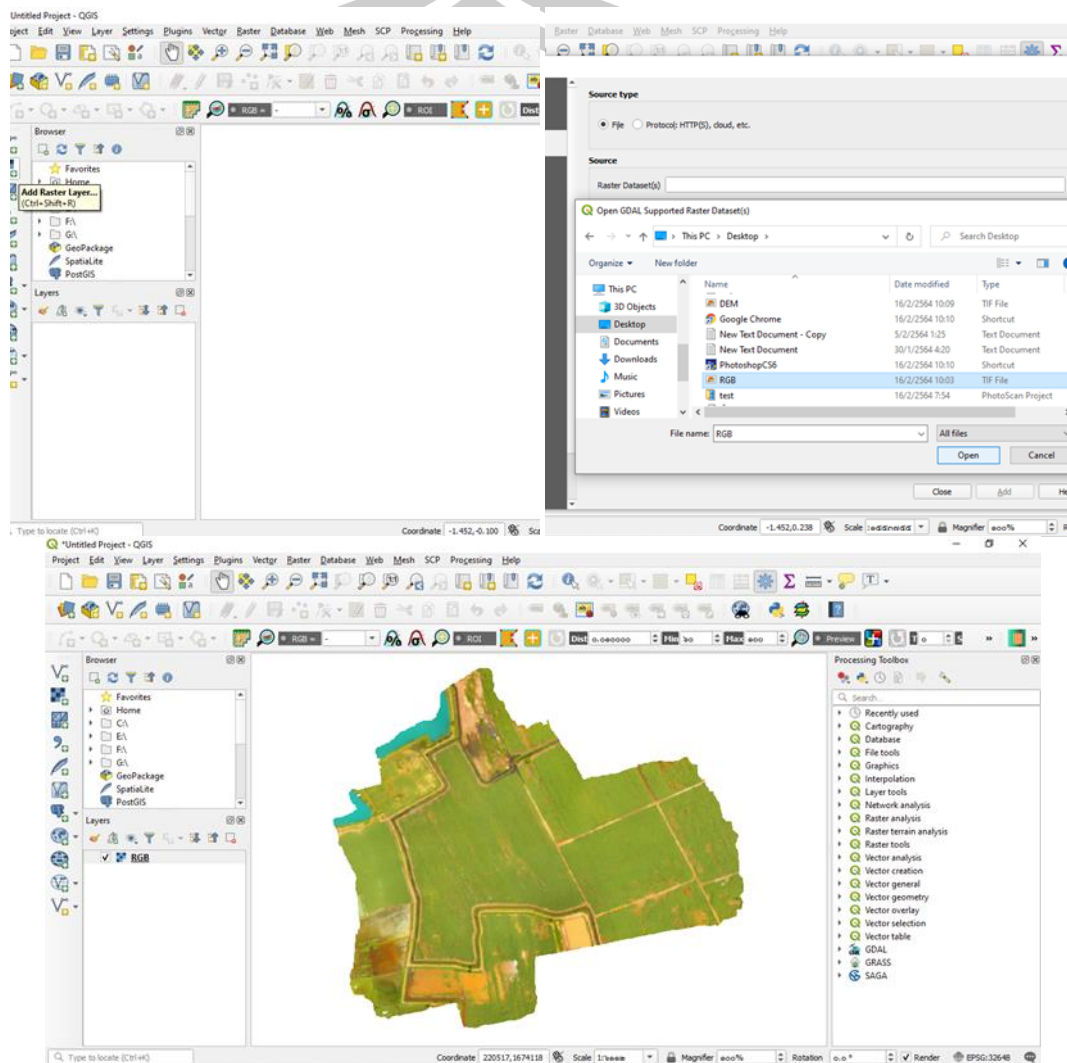
1. ทำการเปิดโปรแกรม QGIS 3.8 และทำการติดตั้ง Plugin Processing Toolbar โดยไปที่ Processing → Processing Toolbar จะได้ดังภาพที่ 45



ภาพที่ 45 แสดงขั้นตอนการติดตั้ง Plugin Processing Toolbar ในโปรแกรม QGIS 3.8

พืชน์ ปณฺ ทิโต ชโร

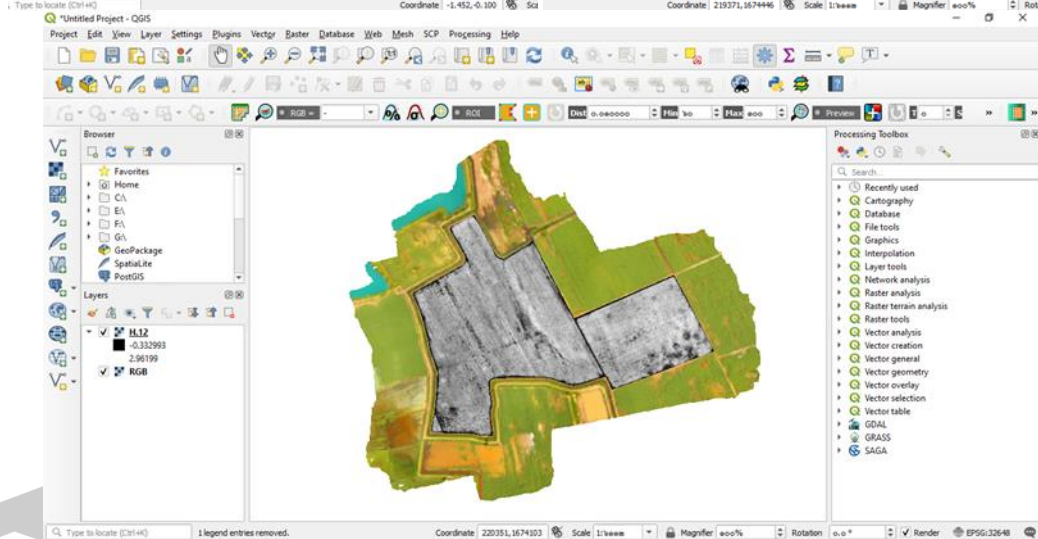
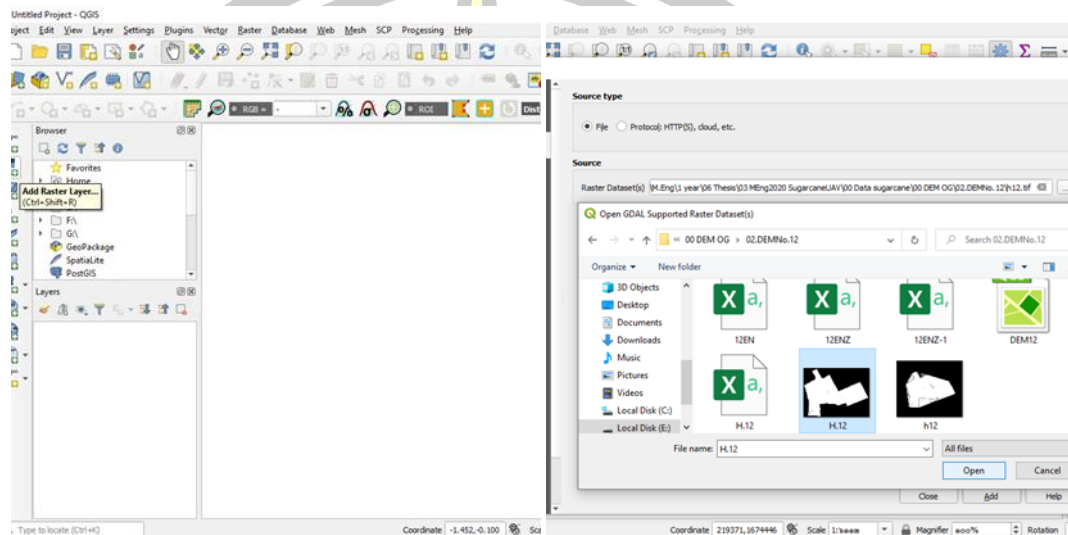
2. ทำการนำภาพ Orthomosaic ที่เราได้จากโปรแกรม Agisoft PhotoScan Professional โดยไปที่ Add Raster Layer → ทำการไปเลือกไฟล์รูป กด OK แล้วกด Add จะได้ดังภาพที่ 46



ภาพที่ 46 แสดงขั้นตอนการนำเข้าภาพ Orthomosaic

พหุบัณฑิต ชีวะ

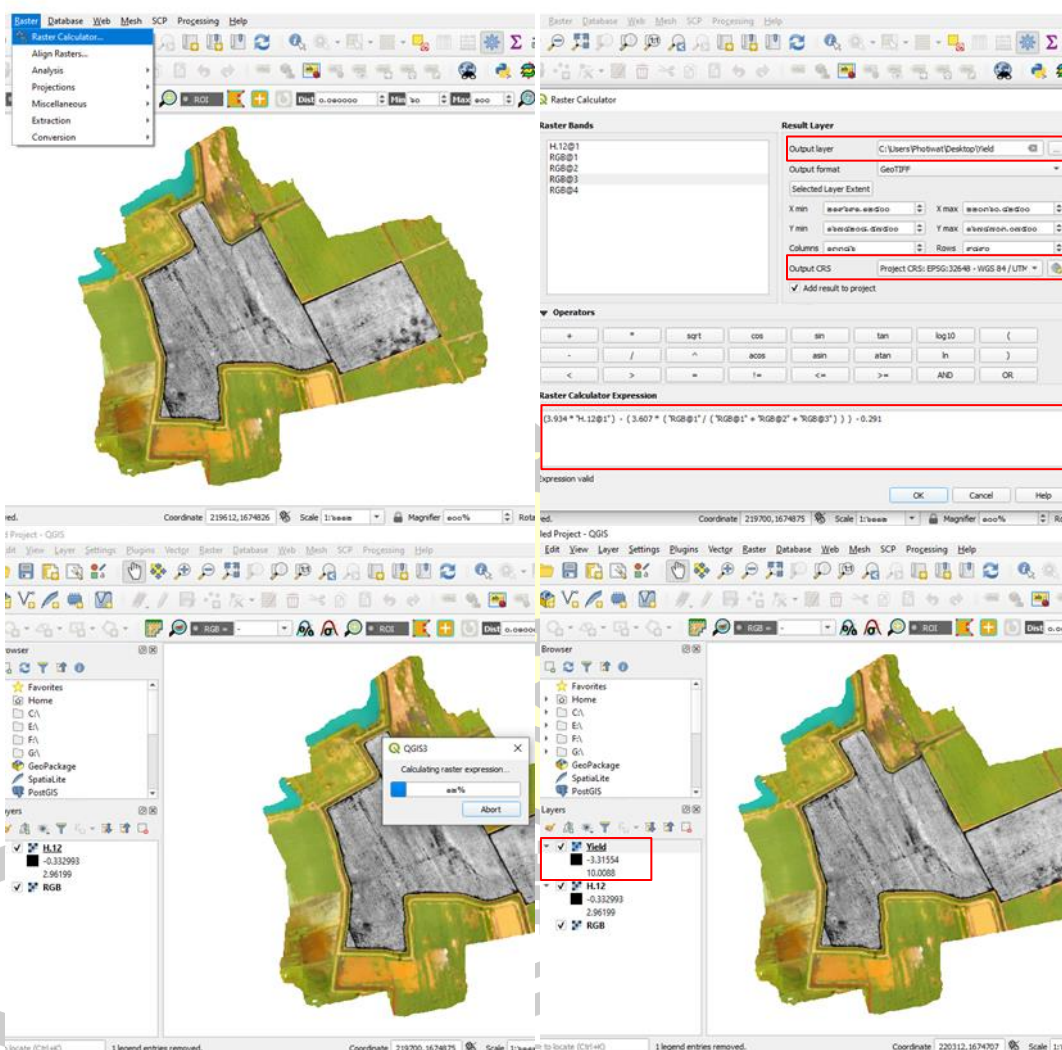
3. ทำการนำภาพแบบจำลองความสูง (H) ที่คำนวณโดย นำแบบจำลองความสูงเหนือพื้นดิน (DEM₁) ลบด้วยแบบจำลองความสูงของพื้นดิน (DEM₀) โดยไปที่ Add Raster Layer → ทำการไปเลือกไฟล์รูป กด Open แล้วกด Add จะได้ดังภาพที่ 47



ภาพที่ 47 แสดงขั้นตอนการนำเข้าแบบจำลองความสูง

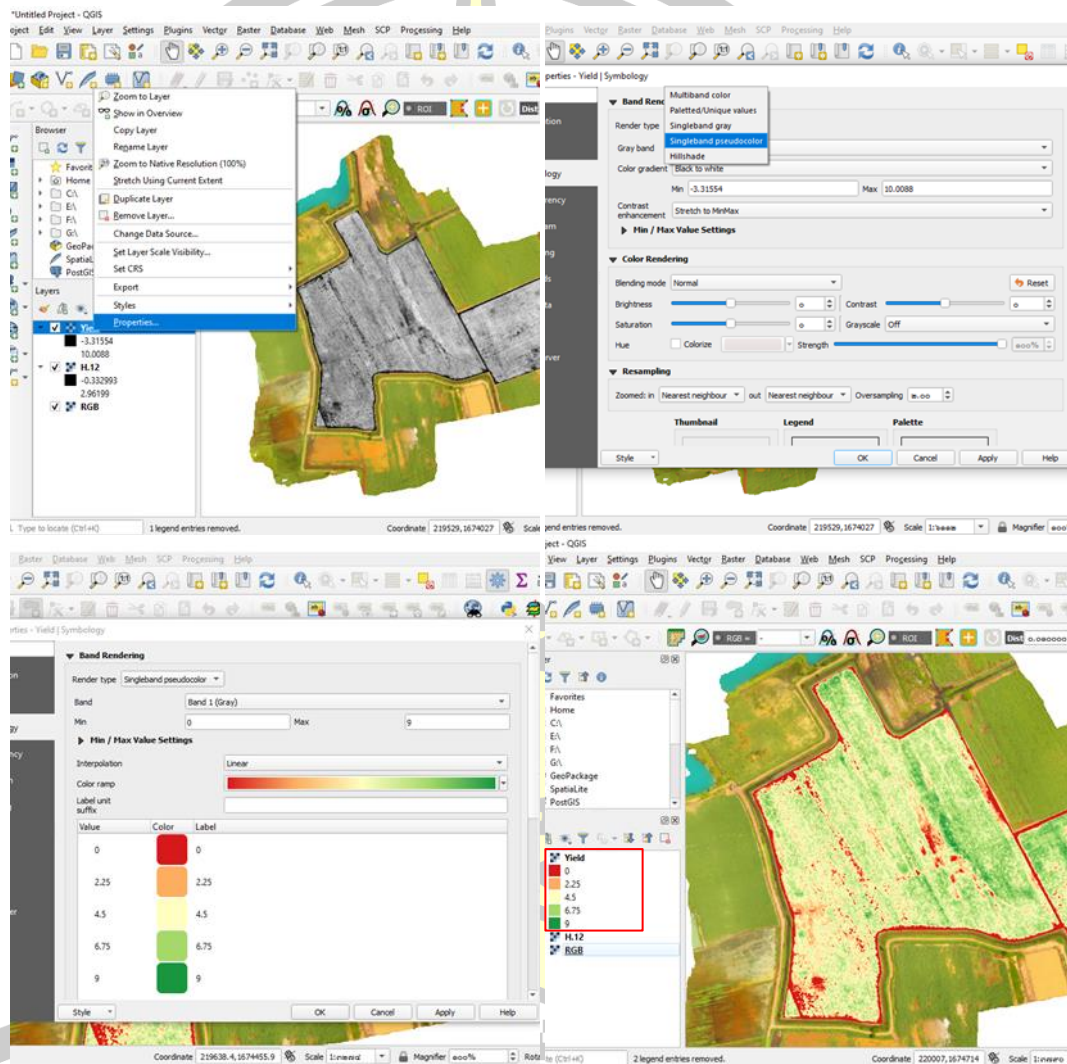
พหุ ประทีโต ชีเว

4. จากนั้นเราจะทำการคำนวณแผนที่ผลผลิตโดยนำสมการเส้นตรงที่เราได้จากการวิเคราะห์ ในที่นี้จะใช้สมการ $Yield = 3.934H - 3.607r - 0.291$ (โดยที่ $r = R/(R+G+B)$) โดยค่า H เราจะได้จากการคำนวณความสูง ในที่นี้คือ $H = H.12@1$ และค่าการสะท้อนแสงของภาพนั้น จะเรียง RGB คือค่า $R = RGB@1$, $G = RGB@2$ และ $B = RGB@3$ ดังนั้นจากสมการข้างต้น จะสามารถเขียนสมการได้ดังนี้ $(3.934 * "H.12@1") - (3.607 * ("RGB@1" / ("RGB@1" + "RGB@2" + "RGB@3"))) - 0.291$ ทำการเลือกที่ save แผนที่ และเลือก zone ให้ถูกต้อง ดังภาพที่ 48



ภาพที่ 48 แสดงขั้นตอนการคำนวณแผนที่ผลผลิต

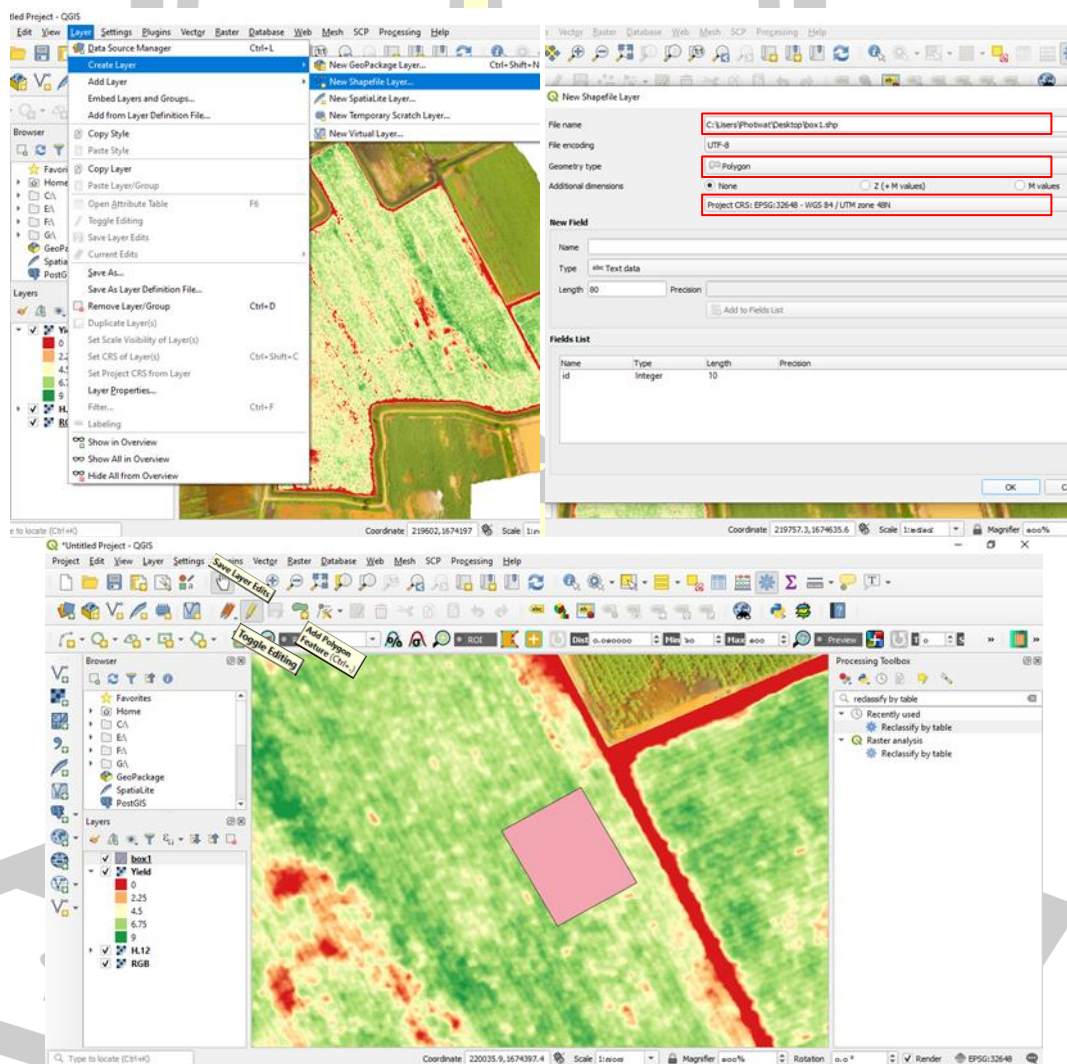
5. ทำการเปลี่ยนเขตสีของแผนที่เพื่อให้ดูได้ง่ายยิ่งขึ้น โดยไปคลิกขวาที่แผนที่ ที่เรากำหนดไว้ → Properties → เลือก Render Type เป็น Singleband pseudocolor → กด OK ซึ่งช่วงของข้อมูลจะแบ่งได้ตามเขตสี ดังภาพที่ 49



ภาพที่ 49 แสดงขั้นตอนการตั้งค่าเขตสีของแผนที่

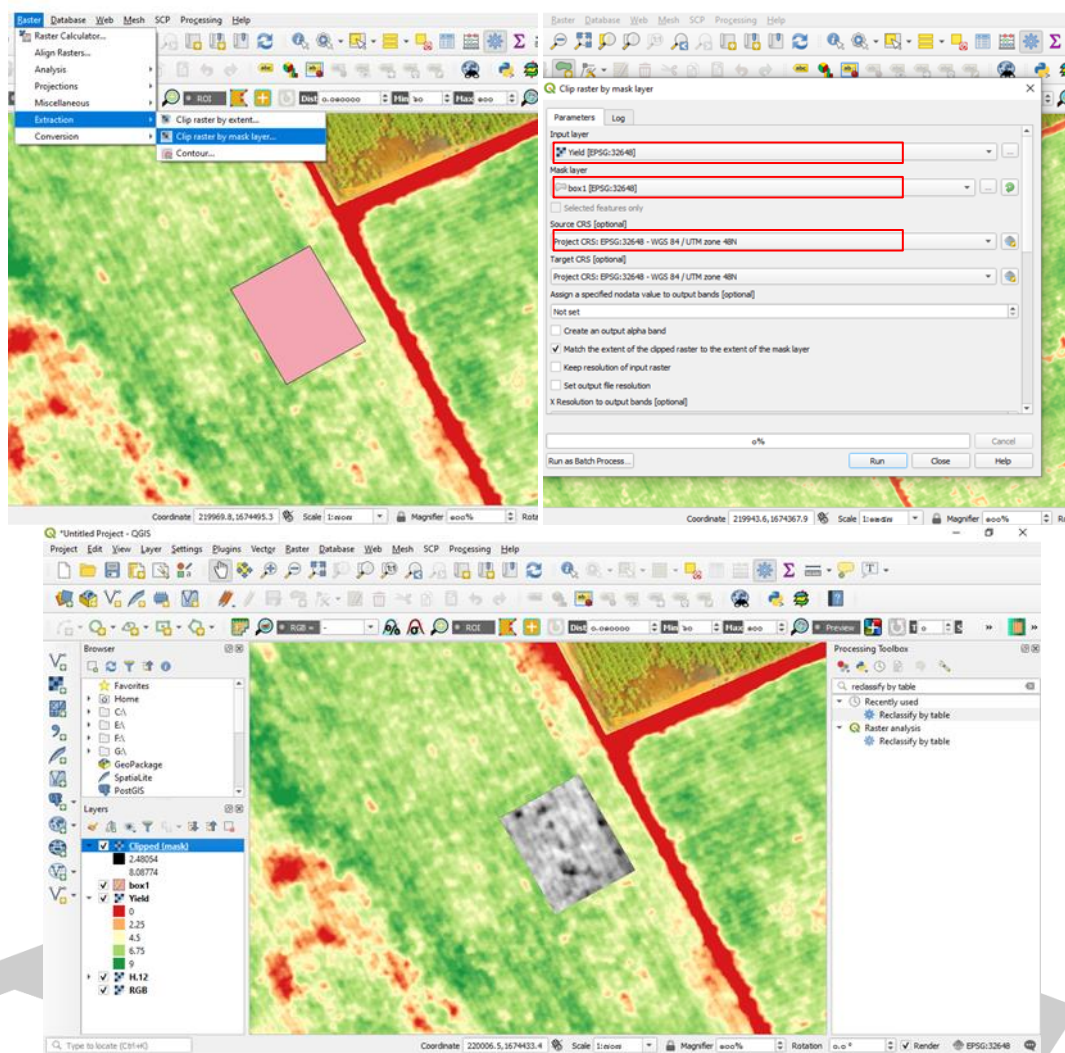
พหุ ประทีโต ชเว

6. ต่อมาจะเป็นการสร้าง Shapefile หรือ box เก็บผลผลิตให้สอดคล้องกับการเก็บผลผลิตจริงในสนาม ซึ่งทำการเก็บพื้นที่ขนาด 15m x 15m ดังนั้นจะเริ่มจากไปที่ → Layer → Create Layer → New Shapefile Layer → จากนั้นทำการตั้งชื่อไฟล์ .shs → เลือก Geometry type เป็น Polygon → เลือก Zone ถูกต้อง → กด OK จากนั้นจะมี Layer ขึ้นมา ต่อมาให้ไปที่ Toggle Editing (ดินสอสีเหลือง) → Add Point Polygon และทำการลากพื้นที่ให้สอดคล้องกับบริเวณที่เราเก็บตัวอย่าง → Save Layer Edit ดังภาพที่ 50



ภาพที่ 50 แสดงขั้นตอนการสร้าง Shapefile ของพื้นที่ที่ต้องการหาผลผลิต

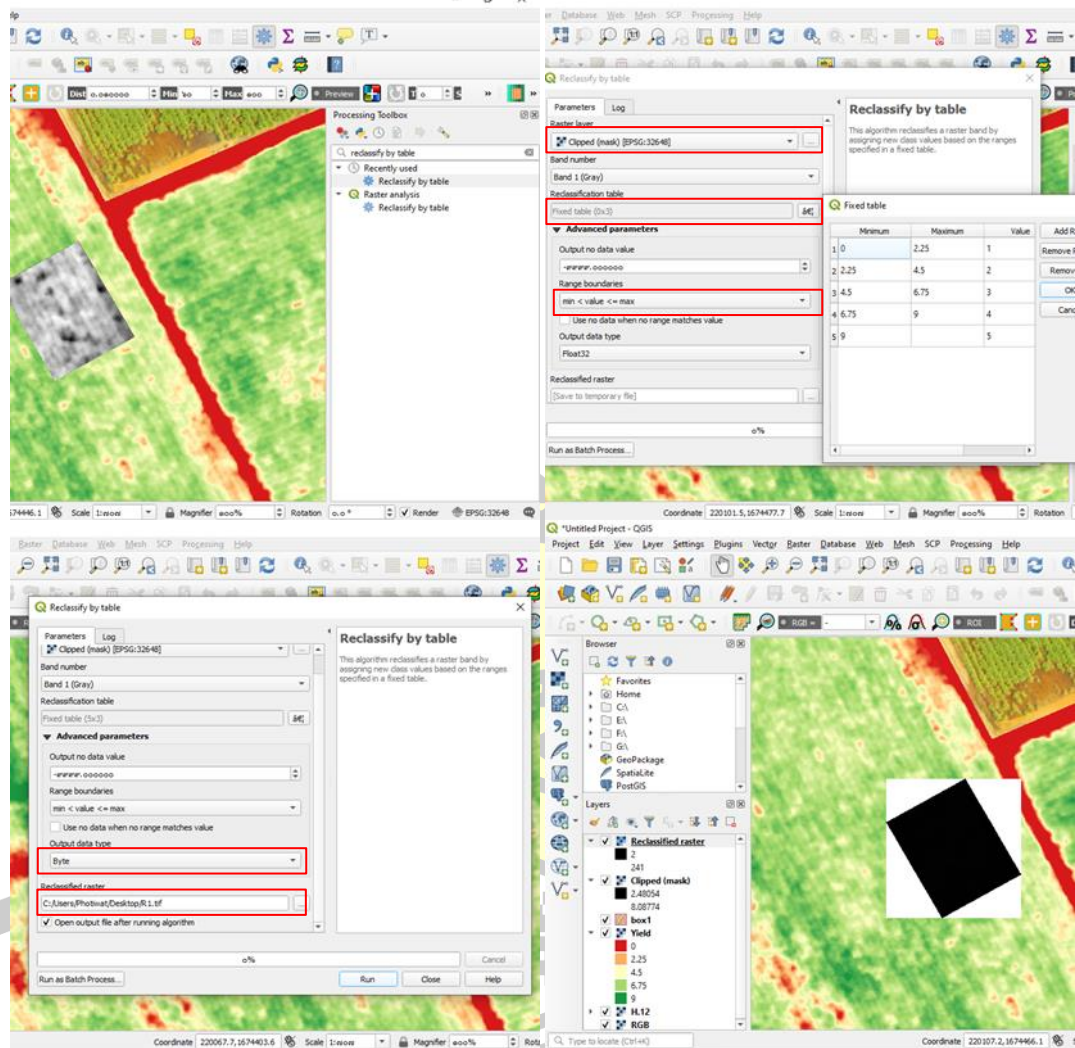
7. ต่อมาจะเป็นการตัดภาพแค่บริเวณที่เราจะทำการหาค่าผลผลิต โดยไปที่ Raster → Extraction → Clip raster by mask layer → เลือกรูปที่เราต้องการจะตัด ช่อง Input → เลือก Shapefile ที่เราต้องการจะใช้การตัด ช่อง Mask layer → และเลือก Zone ให้ถูกต้อง → Save File → Run ดังภาพที่ 51



ภาพที่ 51 แสดงขั้นตอนการตัดภาพส่วนที่ต้องการ

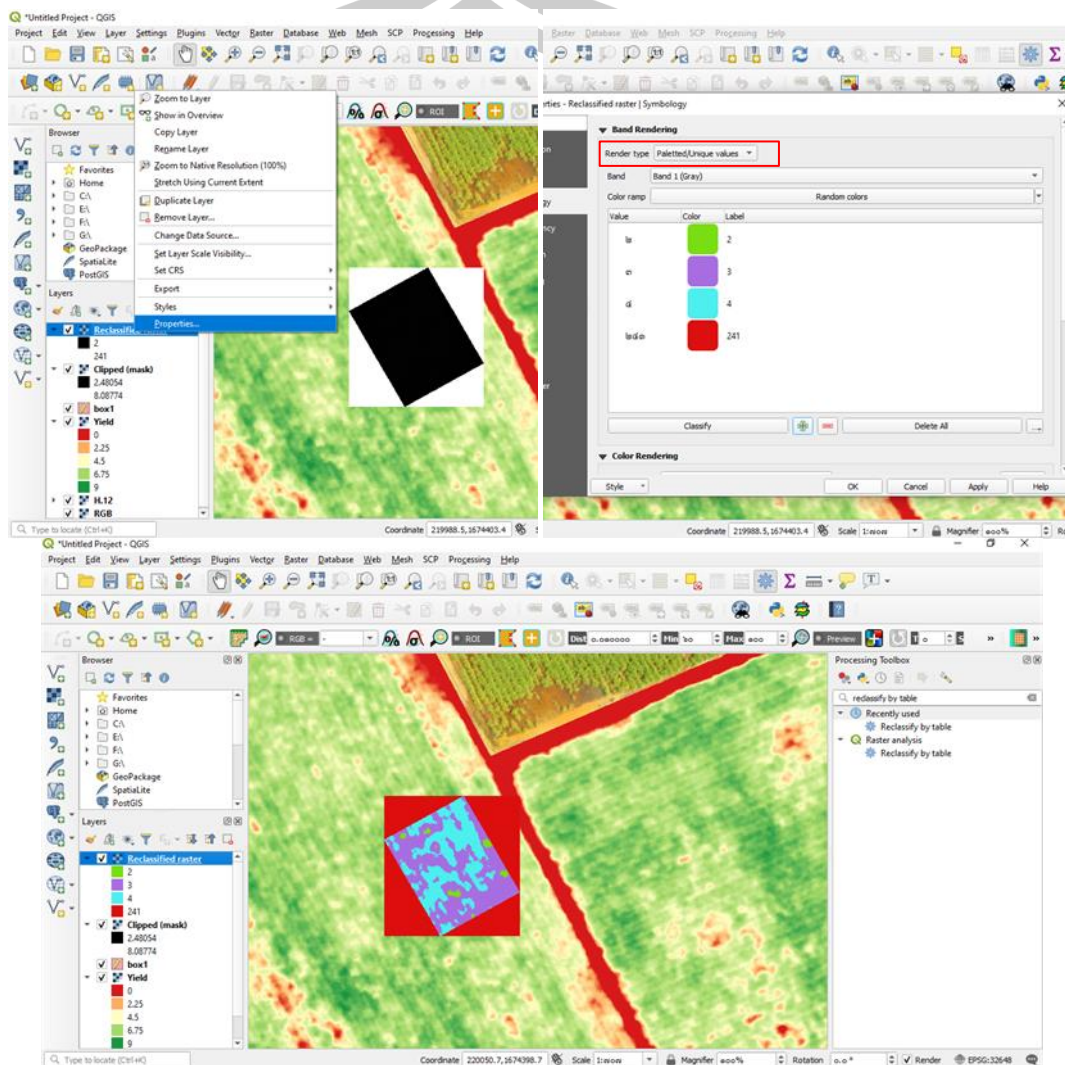
พหุ ประทีป ชเว

8. ต่อมาจะเป็นการให้โปรแกรมช่วยในการจำแนกเขตสีของผลผลิต ว่าแต่ละเขตสีคิดเป็นพื้นที่เท่าไร โดยไปที่ Processing Toolbar → พิมพ์ Reclassify by table → เลือกภาพที่เราทำการตัดมา → และทำการกำหนดช่วงของค่าผลผลิตเราในช่อง Reclassification table → เลือก Range boundaries เป็น $\text{min} < \text{value} \leq \text{max}$ → เลือก Output data เป็น Byte → Save File → Run ดังภาพที่ 52



ภาพที่ 52 แสดงขั้นตอนการทำภาพเป็น Reclassify

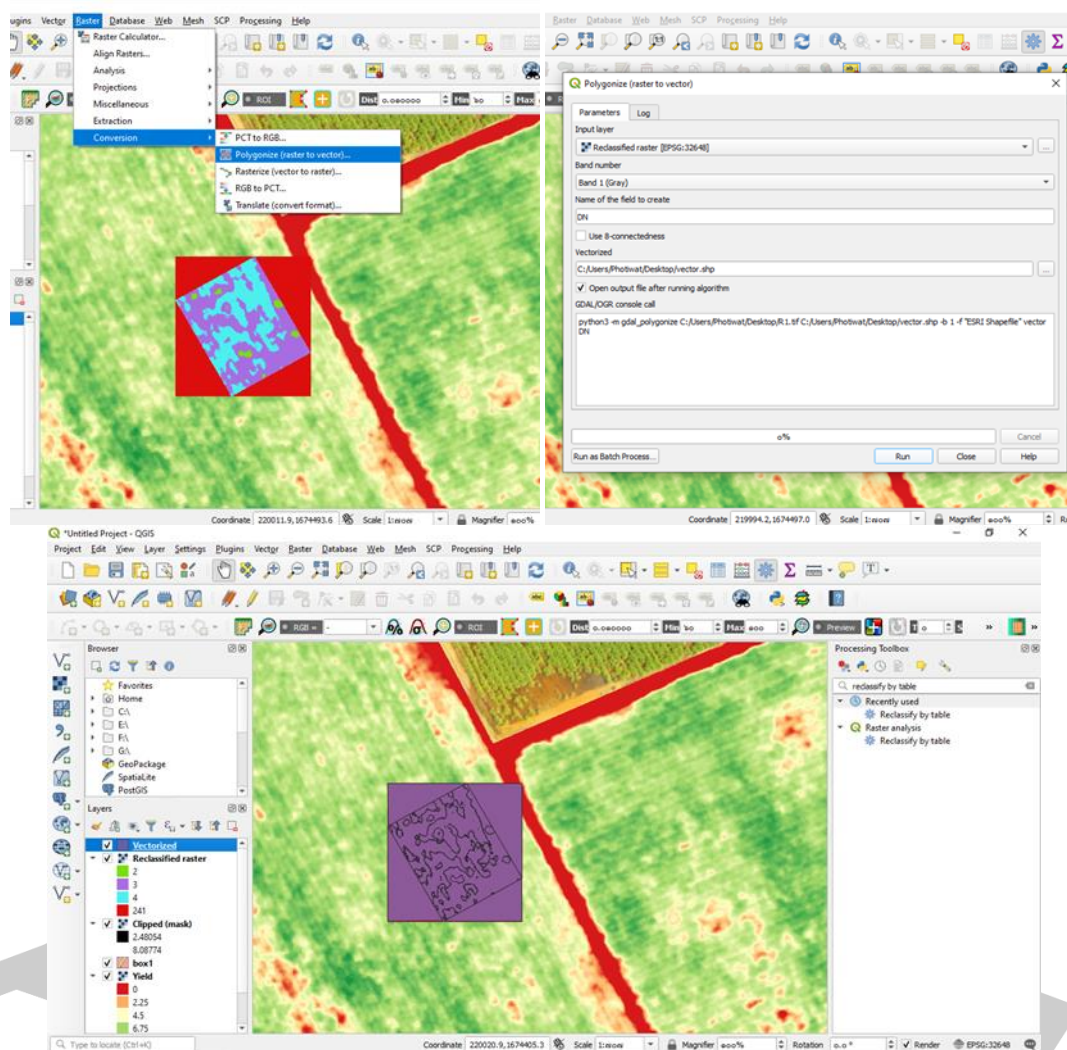
9. ทำการจำแนก เซตสีให้ชัดเจนโดยคลิกขวาที่ Layer Reclassify → Properties → เลือก Render type เป็น Paletted/Unique value → กด Classify → กด OK ดังภาพที่ 53



ภาพที่ 53 แสดงขั้นตอนการจำแนกเซตสีช่วงของค่าผลผลิตแต่ละช่วง

พหุ ประทีป ชีวะ

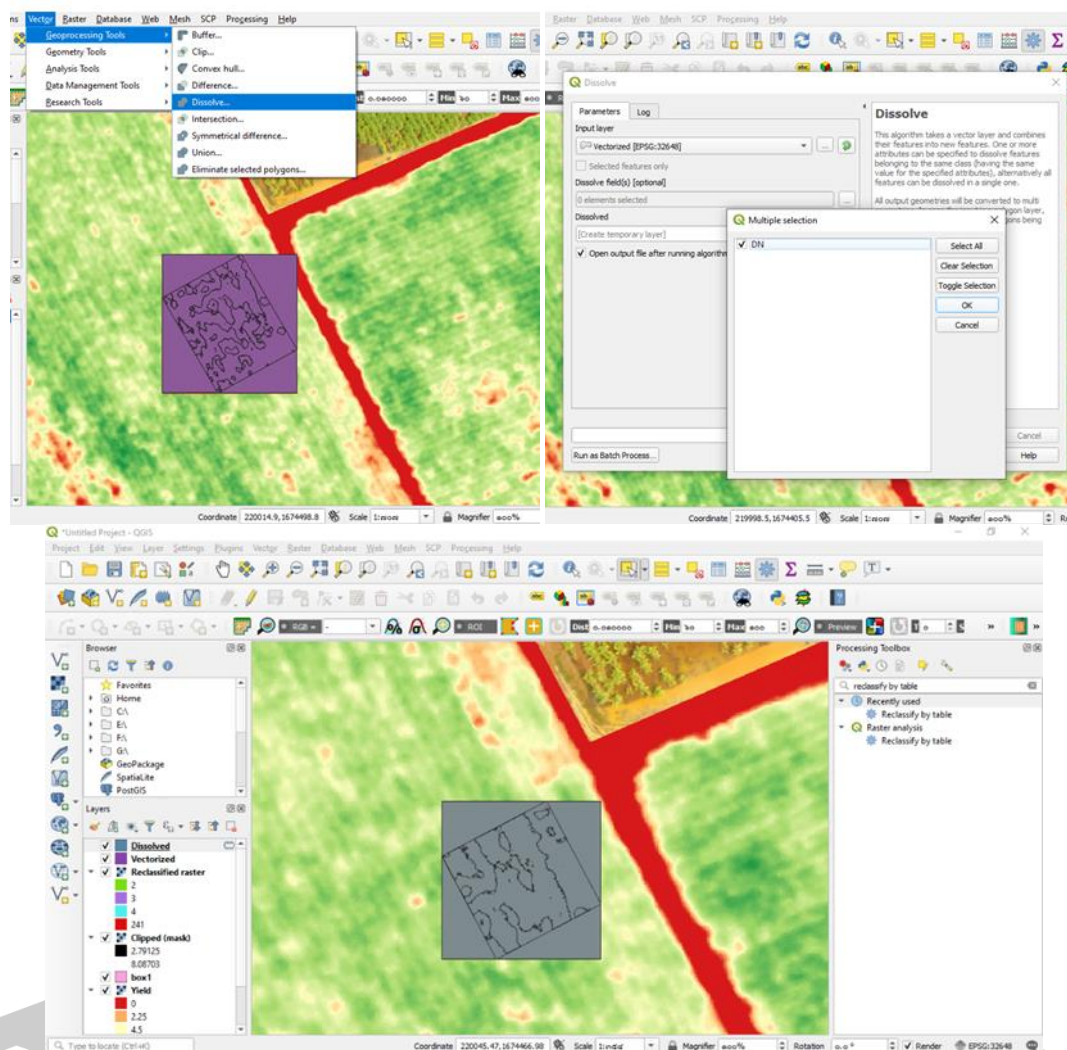
10. ณ ตอนนี้เราได้ภาพที่เป็น ไฟล์ Raster ซึ่งแต่การที่โปรแกรมจะคำนวณพื้นที่ที่เราจำแนกเป็นค่าตัวเลขได้นั้น ต้องเป็นไฟล์ Vector ดังนั้นเราต้องทำการแปลงไฟล์ Raster เป็น Vector โดยไปที่ Raster → Conversion → Polygonize (raster to vector) → เลือกภาพที่เราจะแปลง → Save file .shp → Run ดังภาพที่ 54



ภาพที่ 54 แสดงขั้นตอนการแปลงภาพจากข้อมูล Raster เป็น ข้อมูล Vector

พหุ ประถมศึกษา

11. เมื่อเราได้ไฟล์ Vector แล้วต่อไปจะเป็นการคำนวณพื้นที่ของเขตสีแต่ละส่วนว่ามีพื้นที่ขนาดเท่าไร โดยไป Vector → Geoprocessing Tools → Dissolve → เลือกไฟล์ที่คำนวณได้ → เข้าไปที่ Dissolve field และ หน้า DN และกด OK → Save file → Run ดังภาพที่ 55

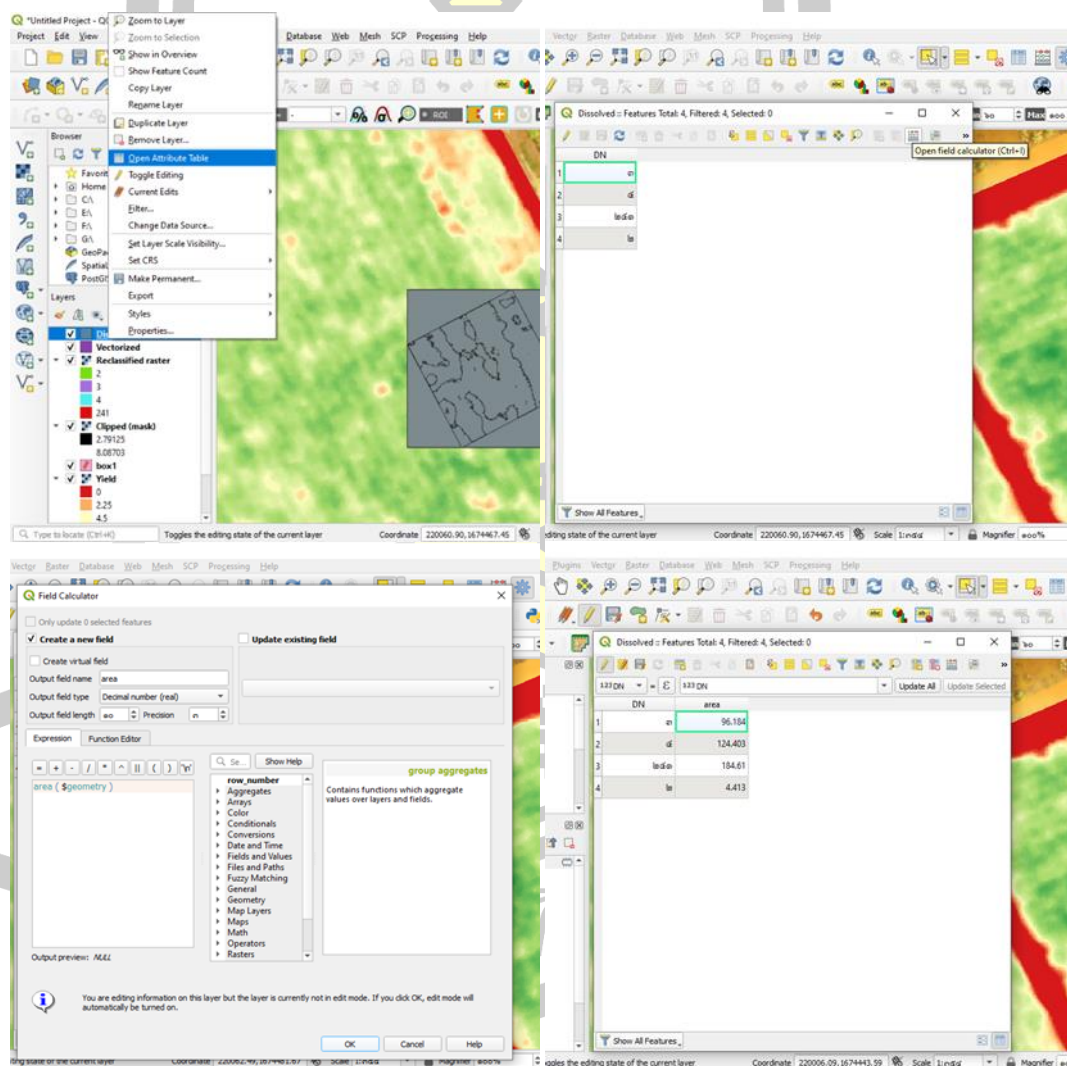


ภาพที่ 55 แสดงขั้นตอนการแบ่งพื้นที่ของแต่ละช่วงด้วย Dissolved

พหุ ประทีป ชีวะ

12. เมื่อเราได้ไฟล์ Dissolved จากนั้นทำการคลิกขวาที่ภาพ ไปแล้วที่ Open Attribute Table → Open field calculator → กรอก Output file name ว่า area → เลือก Output file type เป็น Decimal number และ พิมพ์คำสั่งในช่อง Expression ดังนี้ $area(\$geometry)$ → กด RUN และจะได้ขนาดพื้นที่ของแต่ละเขตสีต่าง ๆ ดังภาพที่ 56

โดยจะอธิบายข้อมูลได้ดังนี้ ๒ หรือ (ช่วง 2.25 ถึง 4.5 kg/m^2) เท่ากับ 4.413 m^2 ซึ่งคิดเป็น ผลผลิต เท่ากับ $3.375 \times 4.413 = 14.894$ kg , ๓ หรือ (ช่วง 4.5 ถึง 6.75 kg/m^2) เท่ากับ 96.184 m^2 ซึ่งคิดเป็นผลผลิต เท่ากับ $5.625 \times 96.184 = 541.035$ kg และ ๔ หรือ (ช่วง 6.75 ถึง 9 kg/m^2) เท่ากับ 124.403 m^2 ซึ่งคิดเป็นผลผลิต เท่ากับ $7.875 \times 124.403 = 979.674$ kg รวมผลผลิตทั้งหมดเท่ากับ 1,535.603 kg



ภาพที่ 56 แสดงขั้นตอนการคำนวณพื้นที่ของแต่ละเขตสีหรือพื้นที่ของผลผลิตแต่ละช่วง

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นายโพธิ์ฤทธิ บุญเรือง
วันเกิด	วันที่ 7 พฤษภาคม พ.ศ. 2540
สถานที่เกิด	อำเภอเมือง จังหวัดสุรินทร์
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	บ้านเลขที่ 359 หมู่ 8 ตำบลโคกม้า อำเภอประโคนชัย จังหวัดบุรีรัมย์ รหัสไปรษณีย์ 31140
ตำแหน่งหน้าที่การงาน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2558 มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนประโคนชัยพิทยาคม อำเภอประโคนชัย จังหวัดบุรีรัมย์ พ.ศ. 2562 ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม พ.ศ. 2564 ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วศ.ม.) สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ทุนวิจัย	พ.ศ. 2563 ได้รับทุนวิจัยสนับสนุนทุนวิจัยบัณฑิตศึกษาด้านการเกษตรและ อุตสาหกรรมเกษตรจาก จากสำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การ มหาชน) ประจำปีงบประมาณ 2563
ผลงานวิจัย	พ.ศ. 2564 โพธิ์ฤทธิ บุญเรือง, ชัยนันท ภัคดีไทย และ ศิวา แก้วปลั่ง. (2564). การประเมินภาพถ่ายทางอากาศจากอากาศยานไร้คนขับสำหรับประมาณผล ผลผลิตอ้อย. วารสารแก่นเกษตร, 49 (ฉบับพิเศษ 1), 306-313.

พจนัน ปณฺ ทิโต ชีเว