



การติดตามการเจริญเติบโตของข้าวด้วยภาพถ่ายทางอากาศจากอากาศยานไร้คนขับ

วิทยานิพนธ์

ของ

พรหมชัย สุพรรณณ

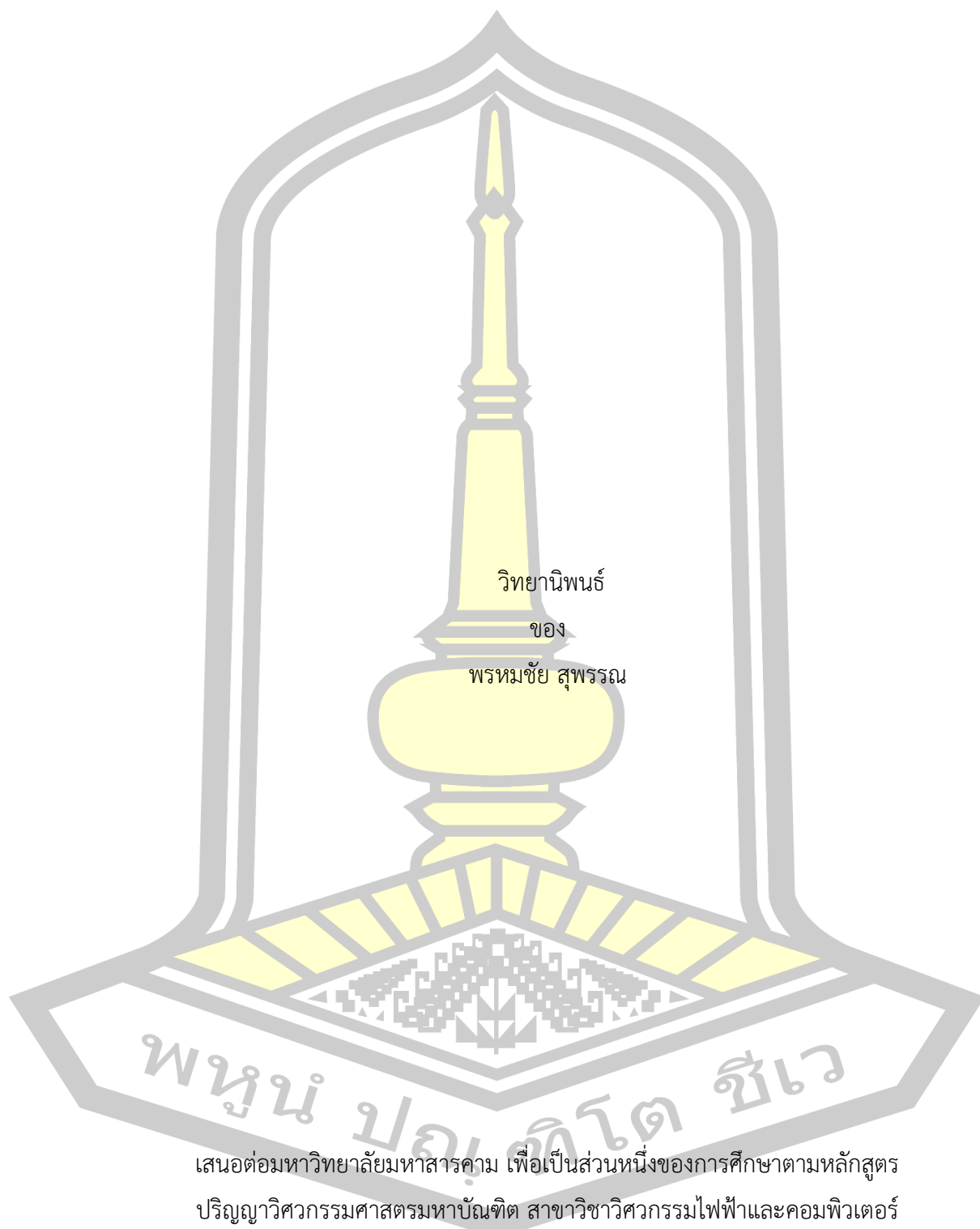
พหุ ภัณฑิโต สีเว

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

สิงหาคม 2562

สงวนลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

การติดตามการเจริญเติบโตของข้าวด้วยภาพถ่ายทางอากาศจากอากาศยานไร้คนขับ

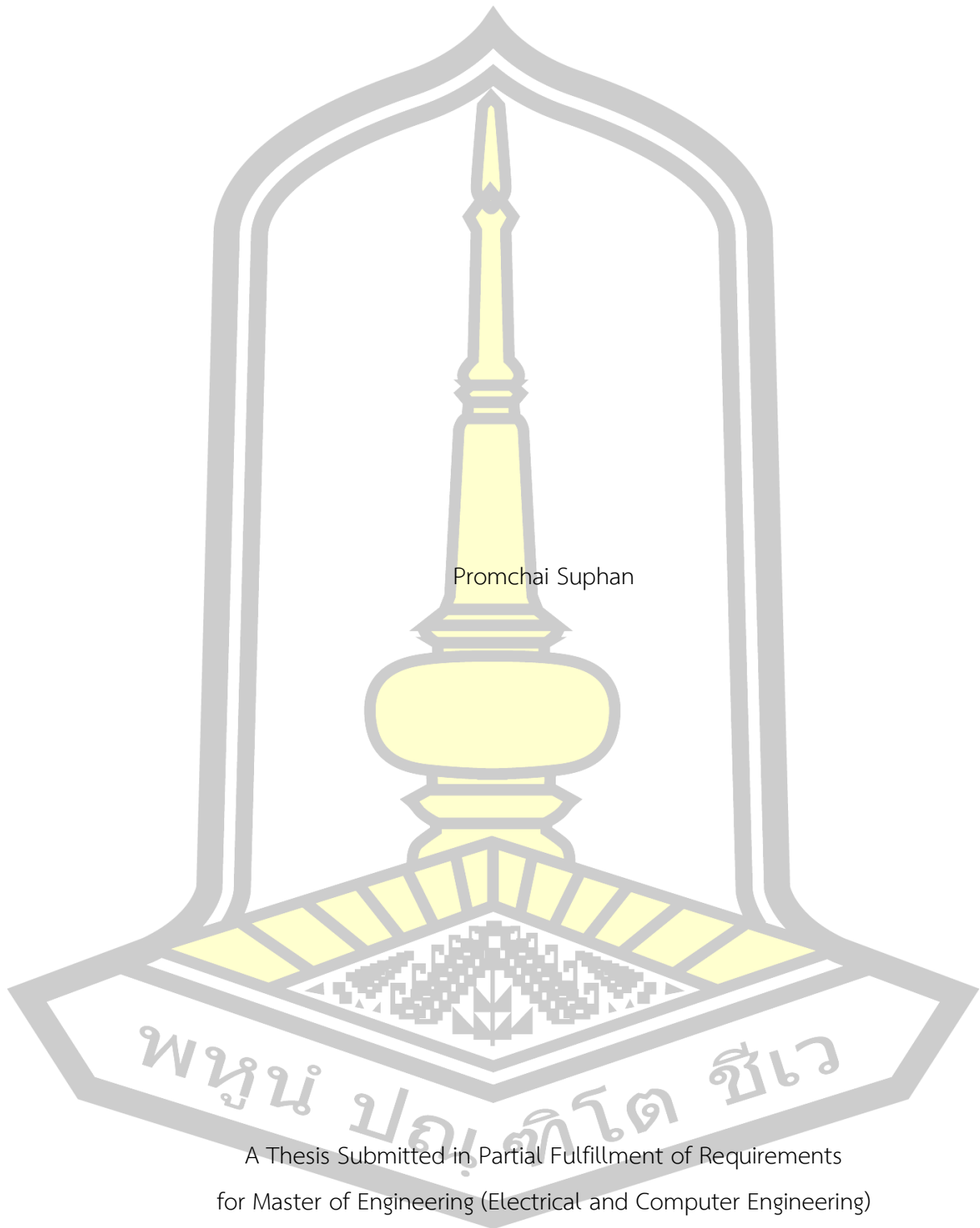


เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

สิงหาคม 2562

สงวนลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

Monitoring of Rice Growth with UAV-derived aerial imagery



Promchai Suphan

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of Requirements
for Master of Engineering (Electrical and Computer Engineering)

August 2019

Copyright of Mahasarakham University



คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของนายพรหมชัย สุพรรณ
แล้วเห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(ผศ. ดร. อนันต์ เครือทรัพย์ถาวร)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รศ. ดร. วรวัฒน์ เสี่ยงมวิบูล)

.....กรรมการ

(ผศ. ดร. นิวัตร อังควิศิษฐพันธ์)

.....กรรมการ

(ผศ. ดร. ชลธิ์ โพธิ์ทอง)

มหาวิทยาลัยขอนแก่นให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ ของมหาวิทยาลัย
มหาสารคาม

.....
(รศ. ดร. อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง)

.....
(ผศ. ดร. กริสน์ ชัยมูล)

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

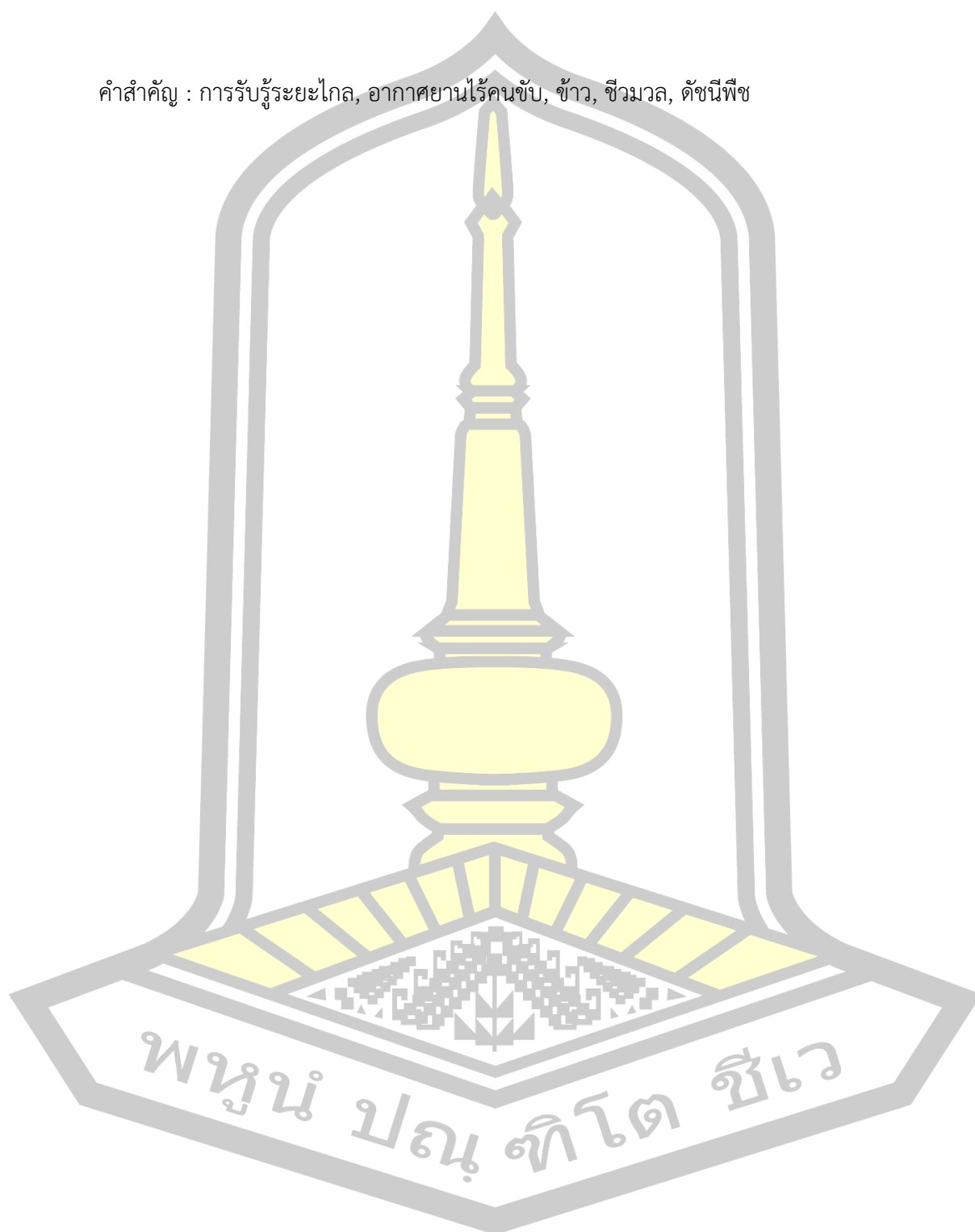
ชื่อเรื่อง	การติดตามการเจริญเติบโตของข้าวด้วยภาพถ่ายทางอากาศจากอากาศยานไร้คนขับ		
ผู้วิจัย	พรหมชัย สุพรรณ		
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. วรวัฒน์ เสงี่ยมวิบูล		
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต	สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
มหาวิทยาลัย	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม	ปีที่พิมพ์	2562

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อติดตามการเจริญเติบโตของนาข้าวโดยใช้ความสัมพันธ์ของค่าการสะท้อนแสง $(R-B)/(R+B)$ และ $R/(R+G+B)$ ประมาณค่าชีวมวลข้าว(Biomass) ช่วงก่อนออกรวง- หลังออกรวงและผลผลิตของข้าว(Yield) โดยใช้ภาพถ่ายทางอากาศจากอากาศยานไร้คนขับจากกล้อง RGB Camera ที่ติดตั้งบน UAV บินถ่ายภาพ สูง 90 เมตร ระยะช้อนด้านหน้า 90% และระยะช้อนด้านข้าง 60% เพื่อนำมาคำนวณค่าดัชนีพืช Green-Red vegetation index (GRVI)และดัชนีพืช Red Green Blue Index (RGBI) และนำข้อมูลภาคสนามมาแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือข้อมูลสร้างโมเดลและทดสอบโมเดลในโปรแกรม Rapid miner จำนวน 3 โมเดล คือ Generalized Linear Model, Deep Learning และ Random Forest จากข้อมูลค่าชีวมวลภาคสนาม 120 ชุด แบ่งข้อมูลสร้างแบบจำลอง 80 ชุดข้อมูลทดสอบแบบจำลอง 40 ชุด ประเมินค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) และค่า RMSE พบว่า ค่าชีวมวล(Biomass) ช่วงต้นข้าวก่อนออกรวง โมเดลที่ทำนายได้เหมาะสมคือ Random Forest ดัชนีพืช GRVI ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.920 และค่า RMSE เท่ากับ 0.961 และดัชนีพืช RGBI ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.918 และค่า RMSE เท่ากับ 0.697 ส่วนค่าชีวมวลต้นข้าวหลังออกรวง โมเดลที่ทำนายได้เหมาะสมคือ Random Forest ดัชนีพืช GRVI ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.854 และค่า RMSE เท่ากับ 1.648 และดัชนีพืช RGBI ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.810 และค่า RMSE เท่ากับ 1.530 และค่าผลผลิตของข้าว(Yield) พบว่าค่า GRVI สูงสุด และRGBI สูงสุด อยู่ในช่วงข้าวตั้งท้องแก่ก่อนออกรวง ในข้อมูลค่าผลผลิตข้าวภาคสนาม 100 ชุด แบ่งข้อมูลสร้างแบบจำลอง 60 ชุดข้อมูลทดสอบแบบจำลอง 40 ชุด โมเดลที่ทำนายได้เหมาะสมคือ Random Forest ดัชนีพืช GRVI สูงสุด ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.964 และค่า RMSE เท่ากับ 0.090 และRGBI สูงสุด ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.869 และค่า RMSE เท่ากับ 0.087 แสดงว่าความสัมพันธ์ของค่าการสะท้อนแสงทั้งสองสมการตามค่าดัชนีพืช GRVI และRGBI สามารถติดตามการเจริญเติบโตของ

ข้าวได้ในช่วงที่ข้าวก่อนออกรวงและหลังออกรวง

คำสำคัญ : การรับรู้ระยะไกล, อากาศยานไร้คนขับ, ข้าว, ข้าวมวล, ดัชนีพืช

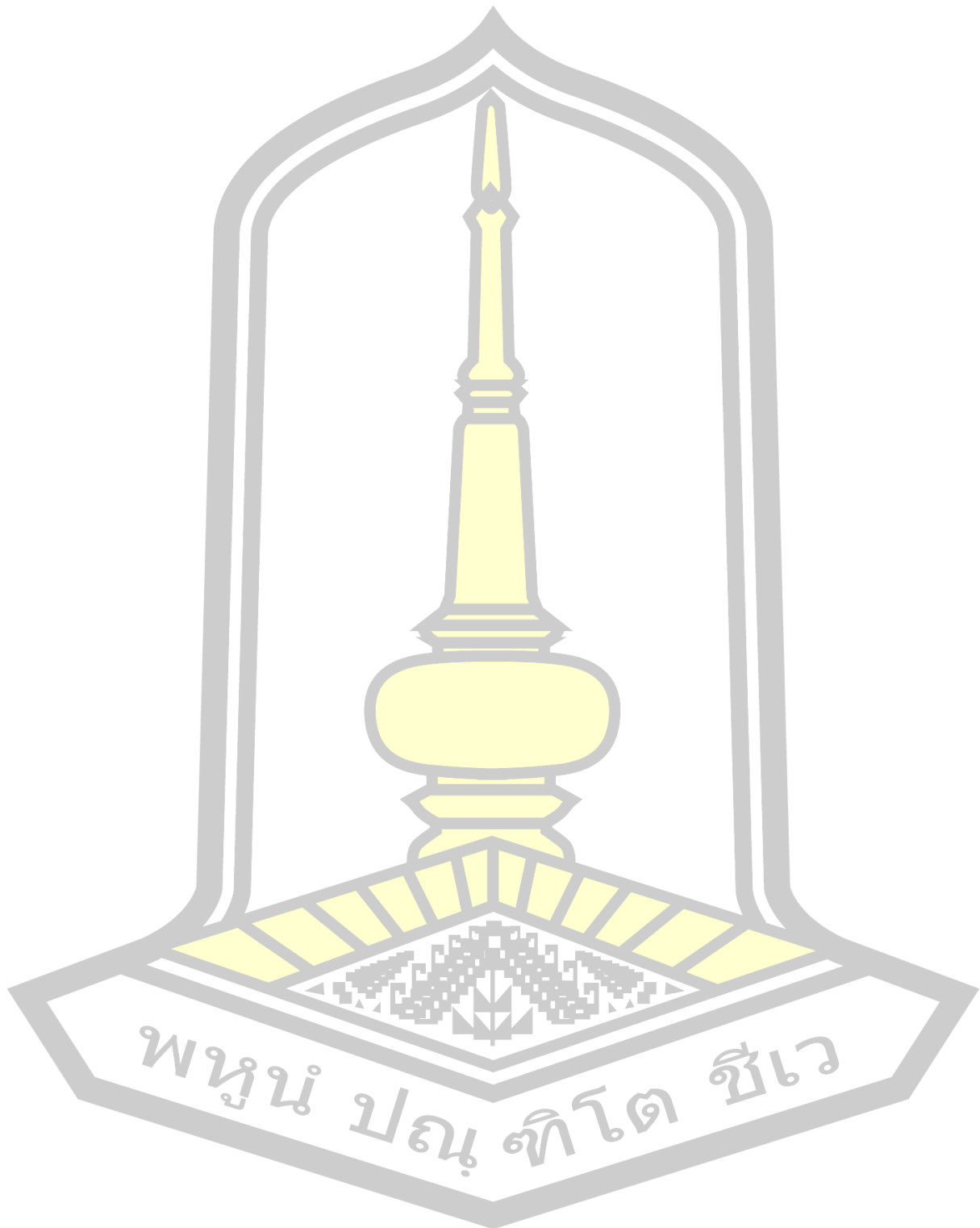


TITLE	Monitoring of Rice Growth with UAV-derived aerial imagery		
AUTHOR	Promchai Suphan		
ADVISORS	Associate Professor Worawat Sa-ngiamvibool , Ph.D.		
DEGREE	Master of Engineering	MAJOR	Electrical and Computer Engineering
UNIVERSITY	Maharakham University	YEAR	2019

ABSTRACT

This study aims to monitor rice growth by using the reflectance relation of $(R-B)/(R+B)$ and $R/(R+G+B)$ to predict rice biomass before and after the heading stage. UAV-derived aerial imagery was obtained from an RGB camera attached on the UAV, which flew to take pictures at the altitude of 90 meters, with the front-overlap of 90% and side-overlap of 60%, to be used for calculating Green-Red Vegetation Index (GRVI) and Red Green Blue Index (RGBI). In addition, the field data were divided into two parts data for calibration and data for evaluation of three models through Rapid minder Studio 9.1, namely Generalized Linear Model, Deep Learning, and Random Forest. 120 sets of field biomass data were collected, 80 of which were for calibrating the models, and 40 for evaluating the models. After the evaluation of Coefficient of Determination (R^2) and Root Mean Square Error (RMSE), for the biomass of rice before the heading stage, it was found that for GRVI, R^2 and RMSE were 0.920 and 0.961, respectively, and for RGBI, R^2 and RMSE were 0.918 and 0.697, respectively. Meanwhile, for the biomass of rice after the heading stage, it was found that for GRVI, R^2 and RMSE were 0.854 and 1.648, respectively, and for RGBI, R^2 and RMSE were 0.810 and 1.530, respectively. For both periods, the most suitable prediction model was Random Forest. This shows that the reflectance relation of both equations based on GRVI and RGBI could be used to monitor rice growth, in step Biomass Rice Before producing grains and Biomass Rice After producing grains.

Keyword : Remote Sensing, UAV, Rice, Biomass, Vegetation Index



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความกรุณาและความช่วยเหลือของบุคคลหลายท่านดังนี้
 รองศาสตราจารย์ ดร.วรวัฒน์ เสี่ยมวิบูล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่คอยให้คำชี้แนะและดูแลให้
 คำปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิวา แก้วปลั่ง ที่ให้คำปรึกษาด้านการเก็บข้อมูลและด้านอื่นๆรวมถึง
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชลธิ์ โพธิ์ทอง กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิวัตร
 อังควิศิษฐพันธ์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนันต์ เครือทรัพย์ถาวร
 ผู้ทรงคุณวุฒิมาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่คอยให้คำแนะนำเพื่อให้วิทยานิพนธ์สมบูรณ์ สำเร็จ
 ด้วยดี จึงขอขอบพระคุณอย่างสูงยิ่ง และขอขอบพระคุณพ่อ แม่ ครู อาจารย์ทุกท่านและผู้ที่มีส่วน
 เกี่ยวข้องในการสนับสนุนข้อมูลในการทำงานวิจัยจนประสบผลสำเร็จตามวัตถุประสงค์ทุกประการอย่าง
 สูงยิ่ง

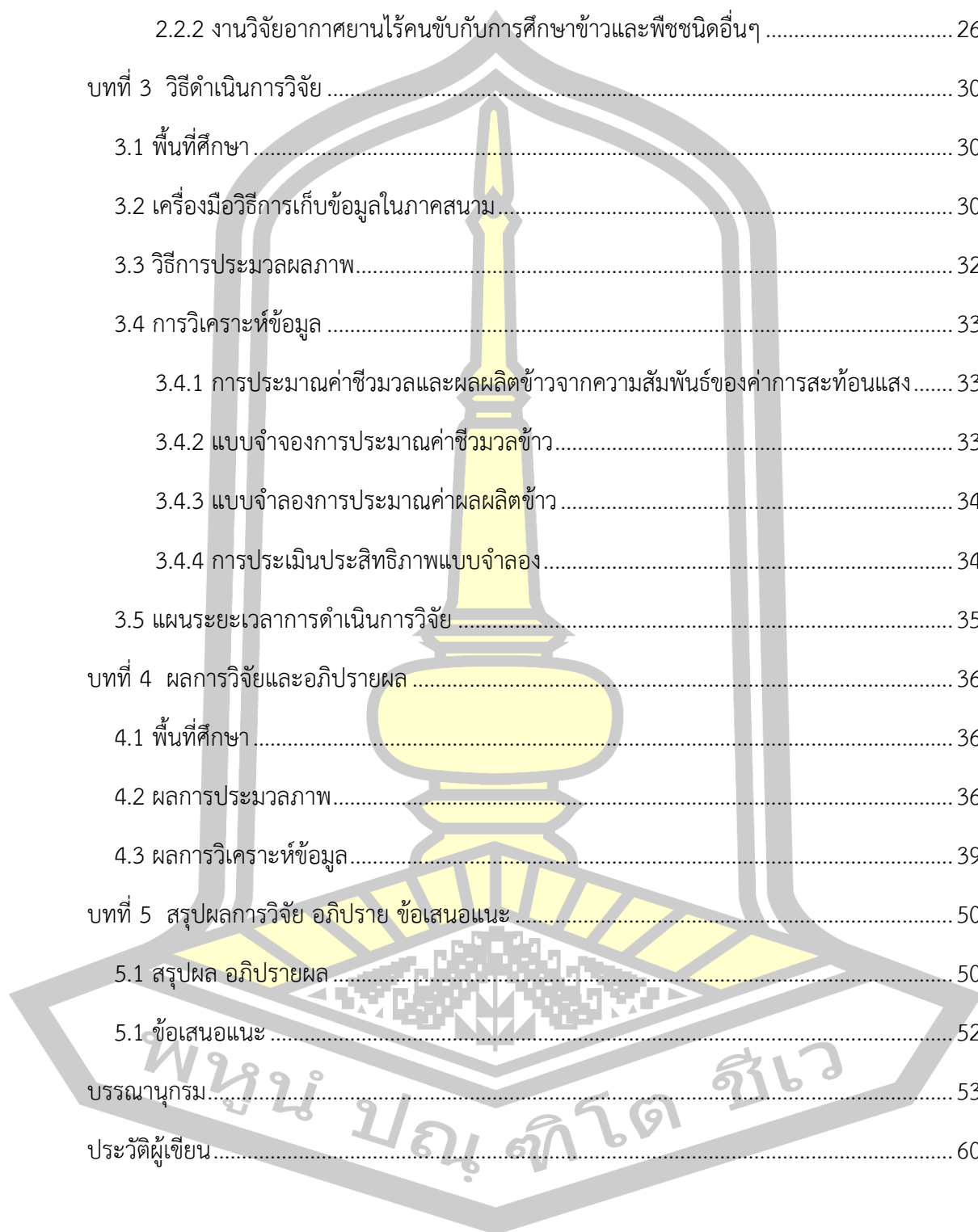
พรหมชัย สุพรรณ



สารบัญ

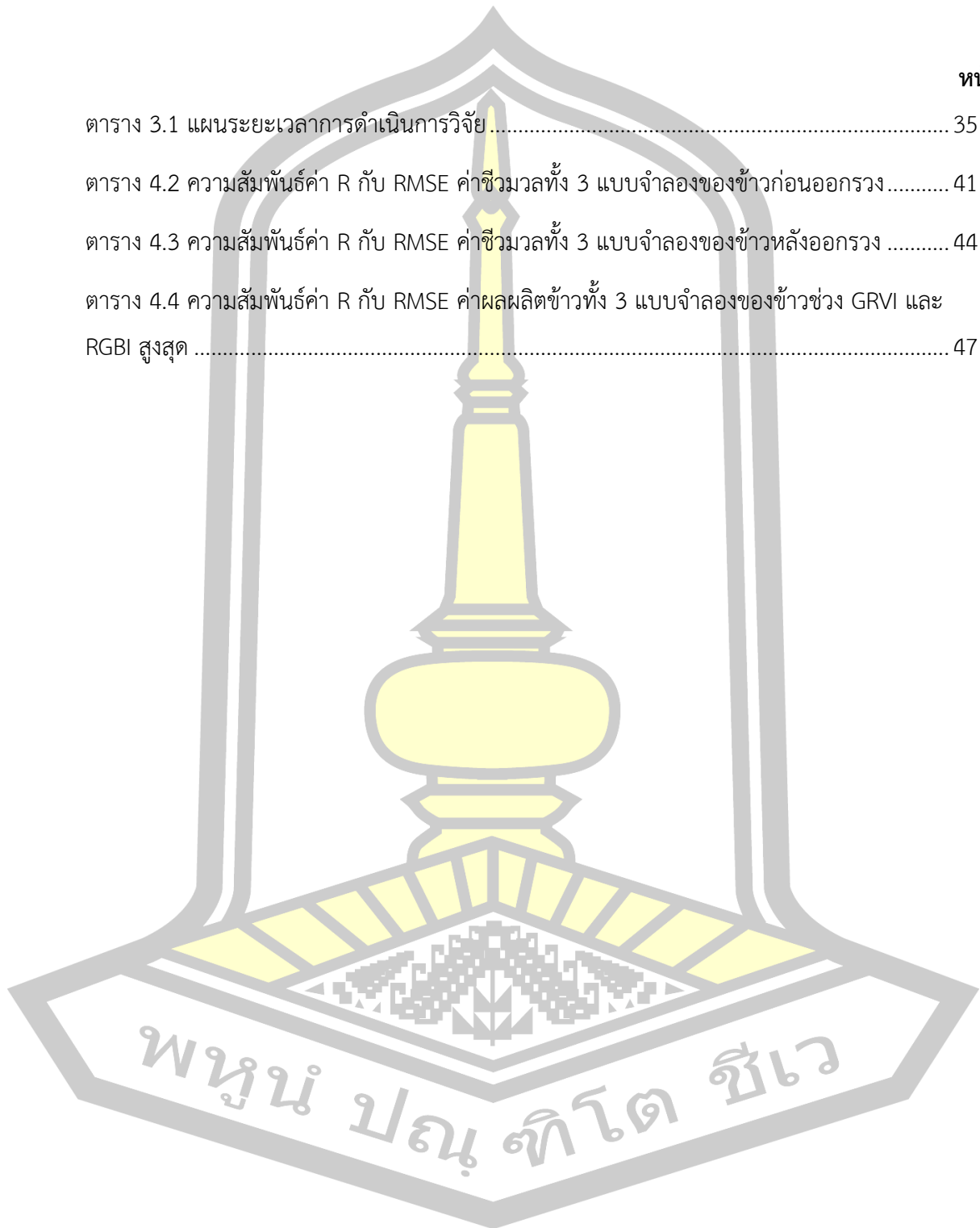
	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ฉ
กิตติกรรมประกาศ.....	ช
สารบัญ.....	ฌ
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญภาพประกอบ.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 หลักการและเหตุผล.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 สมมุติฐานการวิจัย.....	2
1.4 ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัยครั้งนี้.....	3
บทที่ 2 ปรัชญาเอกสารข้อมูล.....	4
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1.1 ซีพลักษณ์ของข้าวหอมมะลิ.....	4
2.1.2 การสำรวจระยะไกล (Remote Sensing).....	5
2.1.3 ความสัมพันธ์ของค่าการสะท้อนแสงของดัชนีพืชพรรณ.....	7
2.1.4 การทำแผนที่จากภาพถ่ายทางอากาศ (photogrammetry).....	8
2.1.5 แบบจำลองที่ใช้ในการศึกษา.....	16
2.1.6 การประเมินประสิทธิภาพแบบจำลอง RMSE.....	24
2.2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	25

2.2.1 งานวิจัยการสำรวจระยะไกลกับการศึกษาการปลูกข้าว.....	25
2.2.2 งานวิจัยอากาศยานไร้คนขับกับการศึกษาข้าวและพืชชนิดอื่นๆ	26
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	30
3.1 พื้นที่ศึกษา.....	30
3.2 เครื่องมือวิธีการเก็บข้อมูลในภาคสนาม.....	30
3.3 วิธีการประมวลผลภาพ.....	32
3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล	33
3.4.1 การประมาณค่าชีวมวลและผลผลิตข้าวจากความสัมพันธ์ของค่าการสะท้อนแสง	33
3.4.2 แบบจำลองการประมาณค่าชีวมวลข้าว.....	33
3.4.3 แบบจำลองการประมาณค่าผลผลิตข้าว	34
3.4.4 การประเมินประสิทธิภาพแบบจำลอง.....	34
3.5 แผนระยะเวลาการดำเนินการวิจัย	35
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	36
4.1 พื้นที่ศึกษา.....	36
4.2 ผลการประมวลผลภาพ.....	36
4.3 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	39
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปราย ข้อเสนอแนะ	50
5.1 สรุปผล อภิปรายผล	50
5.1 ข้อเสนอแนะ	52
บรรณานุกรม.....	53
ประวัติผู้เขียน.....	60



สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 3.1 แผนระยะเวลาการดำเนินการวิจัย.....	35
ตาราง 4.2 ความสัมพันธ์ค่า R กับ RMSE ค่าชีวมวลทั้ง 3 แบบจำลองของข้าวก่อนออกรวง.....	41
ตาราง 4.3 ความสัมพันธ์ค่า R กับ RMSE ค่าชีวมวลทั้ง 3 แบบจำลองของข้าวหลังออกรวง.....	44
ตาราง 4.4 ความสัมพันธ์ค่า R กับ RMSE ค่าผลผลิตข้าวทั้ง 3 แบบจำลองของข้าวช่วง GRVI และ RGBI สูงสุด.....	47

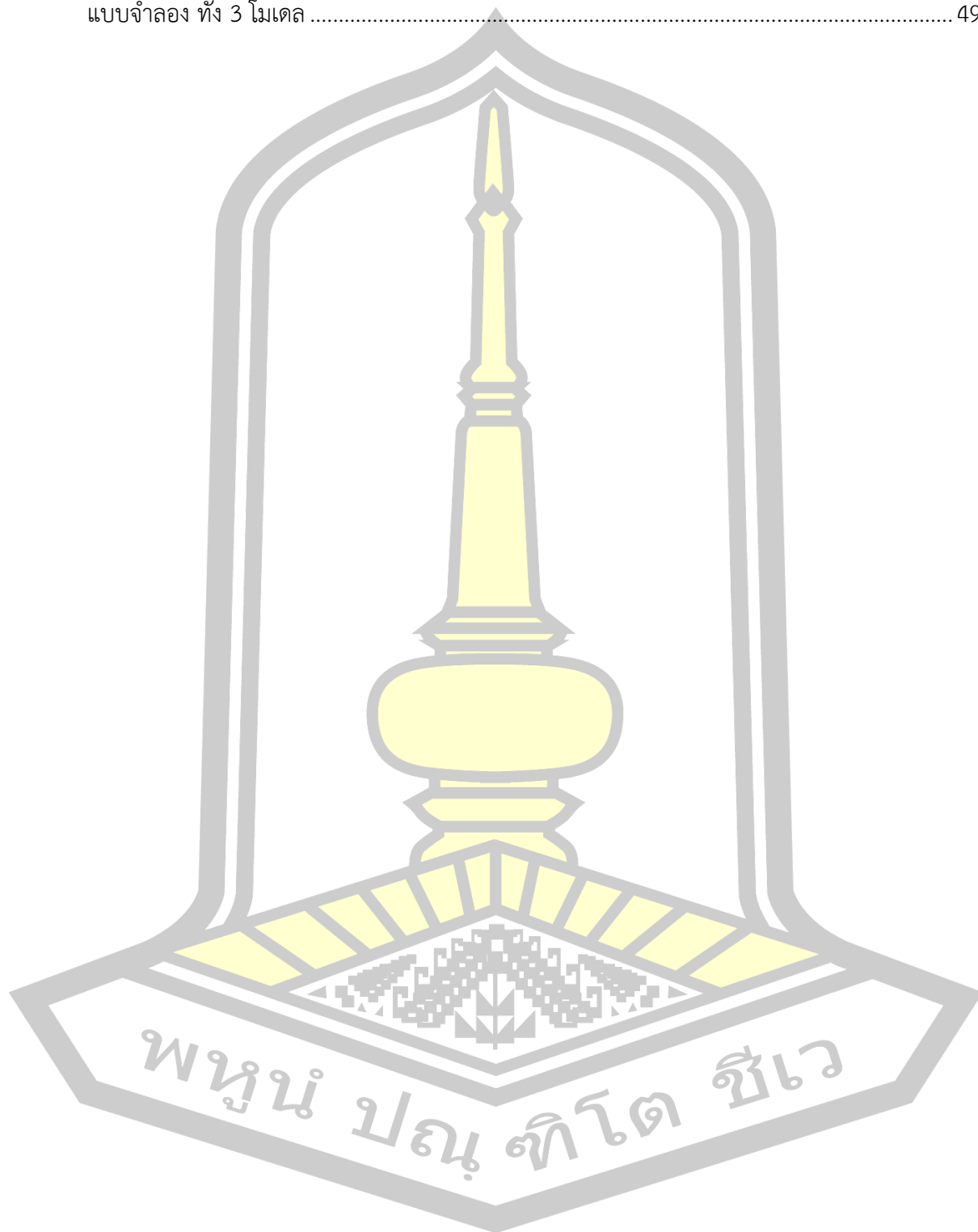


สารบัญภาพประกอบ

	หน้า
ภาพประกอบ 2.1 ช่วงการเจริญเติบโตของต้นข้าว	5
ภาพประกอบ 2.2 ลักษณะการรับส่งสัญญาณการสำรวจระยะไกล	6
ภาพประกอบ 2.3 งานทำแผนที่สภาพอากาศโดยแหล่งข้อมูลจากดาวเทียม TIROS-I.....	9
ภาพประกอบ 2.4 เครื่องมือเขียนภาพในแบบเชิงกลยุคเก่า	9
ภาพประกอบ 2.5 กล้องถ่ายภาพทางอากาศเชิงเลขแบบ Area CCD array.....	9
ภาพประกอบ 2.6 แสดงความละเอียดของวัตถุเป้าหมายและการตรวจหาของวัตถุเป้าหมาย	11
ภาพประกอบ 2.7 ความละเอียดทางภาคพื้นดินและการแยกจากกันทางภาคพื้นดินน้อยที่สุดบน ...	12
ภาพประกอบ 2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงกล้องถ่ายภาพบนพื้นดินและความยาวโฟกัสของ..	13
ภาพประกอบ 2.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของกล้องถ่ายภาพบนพื้นดินตามความระดับความสูง เหนือระดับของน้ำทะเลและความยาวโฟกัสกล้องถ่ายภาพ.....	14
ภาพประกอบ 2.10 ภาพเรขาคณิตการเคลื่อนความสูง-ต่ำของพื้นผิวโลกบนภาพถ่ายทาง	15
ภาพประกอบ 2.11 การเคลื่อนเปลี่ยนตำแหน่งความสูง-ต่ำของวัตถุบนพื้นผิวโลก	16
ภาพประกอบ 2.12 แบบ Feed forward network.....	20
ภาพประกอบ 2.13 แบบ Feedback forward network.....	20
ภาพประกอบ 2.14 แสดงโครงสร้างของระบบโครงสร้างข่ายประสาทเทียม	21
ภาพประกอบ 2.15 ขั้นตอนการสร้างโมเดลและการนำโมเดลไปใช้งาน	24
ภาพประกอบ 3.16 พื้นที่ศึกษาเป็นแปลงนาอาศัยน้ำฝนหรือนาปีข้าว	30
ภาพประกอบ 3.17 แผนภาพการเก็บข้อมูลภาคสนามในแปลงนาข้าว	31
ภาพประกอบ 3.18 คุณสมบัติการสะท้อนแสงแต่ละช่วงคลื่นของกล้อง RGB	31
ภาพประกอบ 3.19 การเก็บข้อมูลรอบเก็บตัวอย่างพื้นที่.....	32
ภาพประกอบ 3.20 แผนภาพการสร้างแบบจำลองการประมาณค่าชีวมวล (Biomass Model)	33

ภาพประกอบ 3.21 แผนภาพการคำนวณค่า RGBI สูงสุด และ GRVI สูงสุด ผลผลิตข้าว.....	34
ภาพประกอบ 4.22 ภาพแปลงนาการเก็บข้อมูล.....	36
ภาพประกอบ 4.23 ภาพการประมวลผลภาพสร้างแผนที่ภาพออร์โท(Orthophoto map).....	37
ภาพประกอบ 4.24 ภาพการประมวลผลภาพสร้างแผนที่ภาพออร์โท(Orthophoto map) ตาม สมการ.....	38
ภาพประกอบ 4.25 ภาพแสดงความสัมพันธ์ตามสมการ $(R-B)/(R+B)$, $R/(R+G+B)$	39
ภาพประกอบ 4.26 แผนที่แสดงปริมาณชีวมวลจาก RGBI และปริมาณชีวมวลจาก GRVI	40
ภาพประกอบ 4.27 แผนภาพการสร้างแบบจำลองการประมาณค่าชีวมวล (Biomass Model)	40
ภาพประกอบ 4.28 แสดงกราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ค่า R กับ RMSE ค่าชีวมวลทั้ง 3 โมเดลของ ข้าวก่อนออกรวง.....	41
ภาพประกอบ 4.29 กราฟความสัมพันธ์ดัชนีพีช GRVI กับ ค่าชีวมวล จากผลการทดสอบแบบจำลอง ทั้ง 3 โมเดล.....	42
ภาพประกอบ 4.30 กราฟความสัมพันธ์ดัชนีพีช RGBI กับ ค่าชีวมวล จากผลการทดสอบแบบจำลอง ทั้ง 3 โมเดล.....	43
ภาพประกอบ 4.31 แสดงกราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ค่า R กับ RMSE ค่าชีวมวลทั้ง 3 โมเดลของ ข้าวหลังออกรวง.....	44
ภาพประกอบ 4.32 กราฟความสัมพันธ์ดัชนีพีช GRVI กับ ค่าชีวมวล จากผลการทดสอบแบบจำลอง ทั้ง 3 โมเดล.....	45
ภาพประกอบ 4.33 กราฟความสัมพันธ์ดัชนีพีช RGBI กับ ค่าชีวมวล จากผลการทดสอบแบบจำลอง ทั้ง 3 โมเดล.....	46
ภาพประกอบ 4.34 แผนภาพกระบวนการทดสอบค่า RGBI สูงสุด และ GRVI สูงสุด ในการประมาณ ค่าผลผลิตข้าว	47
ภาพประกอบ 4.35 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ค่า R และค่า RMSE ของการทำนายผลผลิต ข้าวเปลือกทั้ง 3 โมเดล.....	48
ภาพประกอบ 4.36 กราฟแสดงความสัมพันธ์ดัชนีพีช GRVI สูงสุดกับผลผลิตข้าว จากผลทดสอบ แบบจำลอง ทั้ง 3 โมเดล	48

ภาพประกอบ 4.37 กราฟแสดงความสัมพันธ์ดัชนีพีช RGBI สูงสุด กับผลผลิตข้าว จากผลทดสอบ
แบบจำลอง ทั้ง 3 โมเดล 49



บทที่ 1

บทนำ

1.1 หลักการและเหตุผล

ข้าวเป็นพืชที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจและสังคมของประเทศไทย ความต้องการบริโภคข้าวมีสูงขึ้นในทุกปีแต่พื้นที่ในการผลิตข้าวกลับมีพื้นที่ที่จำกัด ในการทำนาแต่ละครั้งจึงจำเป็นต้องทำให้ได้ผลผลิตที่มากพร้อมทั้งมีคุณภาพ[1]-[2]-[3]การติดตามการเจริญเติบโตของข้าวตามช่วงเวลาเป็นอีกวิธีการหนึ่งที่จะทำให้ได้ทราบถึงการเจริญเติบโตของข้าวตามช่วงวัยของข้าวว่าเป็นไปตามเกณฑ์การเติบโต[4] หรือตามความเหมาะสมของช่วงอายุข้าวในแต่ละช่วงวัย และติดตามเพื่อแก้ปัญหาอย่างเหมาะสม เช่น ความเหมาะสมของน้ำในแปลงนาในแต่ละช่วง ความสม่ำเสมอของต้นข้าว ศัตรูของต้นข้าววัชพืชของข้าว ขนาดการเติบโตของข้าวสำหรับการเติมธาตุอาหารตามความเหมาะสม[6] สามารถตรวจสอบปัญหาของข้าวเป็นจุดๆได้ เช่นข้าวล้มเป็นต้น ซึ่งการติดตามการเจริญเติบโตของข้าวจะช่วยให้เกษตรกรแก้ปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นในแปลงนาได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นในทุกขั้นตอน ตั้งแต่เริ่มต้นปลูกข้าวจนถึงการเก็บเกี่ยวผลผลิต[7]-[8]การบริหารจัดการนาข้าวจึงมีความสำคัญต่อผลผลิตข้าว การสำรวจการเจริญเติบโตแต่ละช่วงอายุของพืช เช่น ข้าวเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญของการทำการเกษตรแบบความแม่นยำสูง[9]-[10]-[11]ในการสำรวจข้อมูลจากระยะไกลมีศักยภาพในการให้ข้อมูลเกี่ยวกับการเกษตรความแม่นยำสูง[12]ปัจจุบันได้มีการใช้ประโยชน์จากอากาศยานไร้คนขับในรูปแบบต่างๆ รวมไปถึงการประยุกต์ใช้ในการเกษตรแบบต้องการ ความแม่นยำสูง [13] และจากการนำเทคโนโลยีการรังวัดด้วยภาพถ่ายทางอากาศด้วยอากาศยานไร้คนขับเป็นวิธีการสำรวจพื้นที่ที่ใช้ระยะเวลาในการดำเนินการ แรงงาน และอุปกรณ์น้อย หลายรายงานการศึกษาการใช้เทคโนโลยีในการสำรวจระยะไกลศึกษาติดตามการเจริญเติบโตของพืชหรือข้าวในพื้นที่ปลูกข้าว [14] และในปัจจุบันได้มีการนำเทคโนโลยีการสำรวจระยะไกลมาประยุกต์ใช้ศึกษาเกี่ยวกับพื้นที่ปลูกข้าวทั้งในประเทศและในได้ทำการศึกษาปฏิทินการเพาะปลูกข้าวช่วงฤดูแล้งด้วยการใช้ภาพถ่ายจากดาวเทียม NOAA/AVHRR[37] ได้ทำการประมาณผลการผลิตข้าวต่อไร่ของข้าวในนาปรังด้วยการใช้ข้อมูลดาวเทียม SMMS โดยใช้ดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณ (NDVI) และมีรายงานการศึกษาการใช้เทคโนโลยีในการสำรวจระยะไกลเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการสำรวจพื้นที่เพาะปลูกข้าวและใช้ในการพยากรณ์ผลผลิตข้าวและพืชในประเทศไทย และอีกหลายรายงานผลการศึกษาจากต่างประเทศที่ใช้เทคโนโลยีการสำรวจระยะไกลมาศึกษาเกี่ยวกับพื้นที่การปลูกข้าว เพื่อใช้ในการติดตามการเจริญเติบโตของข้าวและประมาณผลผลิตข้าวในแปลงนา [14] และการติดตามการเจริญเติบโตพืชโดยใช้การเกษตรแบบความแม่นยำสูงจึงเป็นสิ่งที่มีความจำเป็นในการเกษตรเพื่อการบริหารจัดการแปลง

นา การติดตามการเพาะปลูกข้าวหรือพืชเพื่อเพิ่มผลผลิตทางการเกษตรต่อไป วิธีการสำรวจระยะไกล จึงถึงนำมาใช้เพื่อติดตามการเจริญเติบโตของพืชตามช่วงเวลาต่างๆ และมีรายงานการศึกษาการนำ อากาศยานไร้คนขับติดตั้งกล้อง มาใช้ในการสำรวจข้อมูลจากระยะไกลในการการตรวจวัดความสูง ของต้นพืช การติดตามการเจริญเติบโตพืชและการประมาณผลผลิตพืชและ นอกจากนี้ยังสามารถช่วย ในการหาค่าความต้องการให้ปุ๋ยพืชหรือ ข้าวในปริมาณที่เหมาะสมสำหรับการเพิ่มผลผลิตทาง การเกษตรและทางเศรษฐกิจและลดมลภาวะทางสิ่งแวดล้อมในปัจจุบันมีรายงานการศึกษาในช่วงคลื่น RGB ในการประมาณค่าปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบพืชโดยใช้ความสัมพันธ์ของค่าการสะท้อนแสง $(R-B)/(R+B)$ ศึกษาสถานะคลอโรฟิลล์ทางใบในข้าวสาลีและ มีรายงานการศึกษาของ [15] ใช้ ความสัมพันธ์ของค่าการสะท้อนแสง $R/(R+G+B)$ ศึกษาปริมาณคลอโรฟิลล์ในกะหล่ำปลี[16] และมี ข้อมูลจากหลายงานวิจัยที่ได้กล่าวมาแล้วพบว่า ปัจจุบันยังไม่มีการนำเทคโนโลยีการสำรวจระยะไกล โดยใช้อากาศยานไร้คนขับหรือDrone มาติดตั้งกล้องร่วมกับความสัมพันธ์ของค่าการสะท้อนแสง $(R-B)/(R+B)$ และ $R/(R+G+B)$ มาทำการศึกษาเพื่อติดตามการเจริญเติบโตของข้าว [17]-[18] ดังนั้น การศึกษาในครั้งนี้จึงเป็นการนำเทคโนโลยีการสำรวจระยะไกลโดยใช้อากาศยานไร้คนขับติดตั้งกล้อง RGB เพื่อนำภาพมาคำนวณความสัมพันธ์ของค่าการสะท้อนแสง $(R-B)/(R+B)$ และ $R/(R+G+B)$) โดย ทำการออกภาคสนามเพื่อเก็บข้อมูลสำรวจและติดตามการเจริญเติบโตของต้นข้าวเพื่อพัฒนา แบบจำลองสำหรับประมาณชีวมวลของต้นข้าวและทำการประเมินความน่าเชื่อถือทางสถิติของ แบบจำลอง โดยใช้ค่ารากที่สองของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย เพื่อทำการเปรียบเทียบค่าความ ถูกต้องจากการคำนวณ [19]-[20]-[21]

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อการติดตามการเจริญเติบโตของนาข้าวโดยใช้ความสัมพันธ์ของค่าการสะท้อนแสง $(R-B)/(R+B)$ และ $R/(R+G+B)$
2. เพื่อประมาณค่าชีวมวลและผลผลิตของข้าวโดยใช้ภาพถ่ายทางอากาศจากอากาศยานไร้คนขับ

1.3 สมมุติฐานการวิจัย

ความสัมพันธ์ของค่าการสะท้อนแสง $(R-B)/(R+B)$ และ $R/(R+G+B)$ จากภาพถ่ายทางอากาศ จากอากาศยานไร้คนขับสามารถประมาณค่าชีวมวลและผลผลิตของข้าวได้

1.4 ขอบเขตการวิจัย

1. พื้นที่ศึกษาอยู่ในจังหวัดขอนแก่น เป็นลักษณะนาขั้นน้ำฝนซึ่งปลูกข้าวนาปีพันธุ์หอมมะลิ 105 เนื้อที่ประมาณ 2 ไร่

2. ทำการถ่ายภาพโดยใช้อากาศยานไร้คนบิน Phantom 3 Advanced โดยใช้กล้องถ่ายภาพที่ติดตั้งมาจากผู้ผลิต

3. บันทึกภาพเก็บข้อมูลรวม 6 ครั้ง โดยครั้งที่ 1 ช่วงข่าวแตกกอ ครั้งที่ 2 ช่วงยี่ดต้นครั้งที่ 3 ช่วงข่าวตั้งท้อง ครั้งที่ 4 ช่วงข่าวตั้งท้องแก่ก่อนออกรวง ครั้งที่ 5 ช่วงเมล็ดน้ามนและครั้งที่ 6 ช่วงข่าวเมล็ดสุกแก่พร้อมเก็บเกี่ยว

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัยครั้งนี้

สามารถติดตามการเจริญเติบโตและประมาณผลผลิตข้าวจากภาพถ่ายทางอากาศที่ได้จากกล้อง RGB ที่ติดตั้งบนอากาศยานไร้คนขับ



บทที่ 2

ปริทัศน์เอกสารข้อมูล

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 ซีพลักษณะของข้าวหอมมะลิ

ซีพลักษณะ (phenology) คือลักษณะของการเปลี่ยนแปลงของข้าวตามฤดูกาลนาปี เช่น ช่วงการเจริญเติบโต แบ่งเป็นช่วงต้นกล้า แรกกอ การสร้างรวง การตั้งท้อง การออกดอกออกรวง ช่วงข้าวสุกพร้อมเก็บเกี่ยวผลผลิต และช่วงการร่วงโรยของข้าวหรือซากพืชและมีความสัมพันธ์กับปัจจัยทางแวดล้อม เช่น ทางสภาพภูมิอากาศทางความชื้นของดิน เป็นต้น ข้าวหอมมะลีสายพันธุ์ 105 เป็นพันธุ์ข้าวไวต่อช่วงแสงและเป็นข้าวที่คนนิยมปลูกมากรองมาจากข้าวเหนียวสายพันธุ์ต่างๆ[29]เพราะมีลักษณะเด่น คือ ในด้านการเจริญเติบโต และมีความทนต่อสภาพดินที่เค็ม ดินที่เปรี้ยว และทนทานต่อความแห้งแล้งจะมีลักษณะของเมล็ดของข้าวสาร(สีเปลือกแล้ว) มีความมันวาว เมล็ดเรียวยาวสวยงามและเมื่อหุงเสิร์ฟจะมีกลิ่นหอมและมียางของข้าว หอมนุ่ม ลักษณะด้อย คือ ไม่สามารถทนต่อโรคเพลี้ยไฟหรือเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลได้และไม่ทนต่อโรคใบไหม้เป็นต้น ลักษณะในการปลูกมี 2 แบบ คือ แบบการปลูกในช่วงฤดูนาปี(นาข้าวฝน) และแบบการปลูกช่วงนาปรัง ส่วนมากเริ่มทำนาปีในช่วงเดือนพฤษภาคม-กรกฎาคมของปีและวิธีการทำนานิยมทำกัน 2 วิธีคือวิธีการทำด้วยการหว่านเมล็ดพันธุ์และวิธีการปักดำ(ระยะต้นประมาณ 25-30 เซนติเมตร) หรือนำดำเป็นต้น มีระยะการหว่านกล้ามีช่วงเก็บเกี่ยวผลผลิตในช่วงเดือนพฤศจิกายน- ธันวาคมและนาปรังสามารถปลูกได้ตลอดฤดูขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำช่วงการเจริญเติบโตของต้นข้าวดังนี้ [21]

ช่วง 1 การงอกของเมล็ดช่วงต้นกล้า หลังจากหว่านเมล็ดลงดิน(สำหรับนาหว่าน)ข้าวใช้อาหารที่สะสมในเมล็ดตั้งแต่ข้าวงอกถึงช่วงต้นกล้าใช้เวลาประมาณ 2-3 อาทิตย์ (14-21วัน)

ช่วง 2 ต้นกล้า (ถ้าทำนาด้วยวิธีปักดำช่วงนี้เป็นช่วงที่ต้องเร่งเติบโตด้วยปุ๋ยตามเหมาะสมของต้นข้าวเพราะต้องทันต่อการปักดำ) แต่ถ้าเป็นการทำนาด้วยวิธีทำนาหว่านต้นข้าวจะเริ่มดูหาธาตุอาหารผ่านระบบราก ถ้าหากต้องการให้ต้นกล้าโตเร็วควรใส่ปุ๋ยเพิ่มเพื่อเร่งธาตุอาหารครบตามจำนวน 3 ธาตุ (NPK)คือ ไนโตรเจน, ฟอสฟอรัส และ โพแทสเซียม ปริมาณที่เหมาะสม

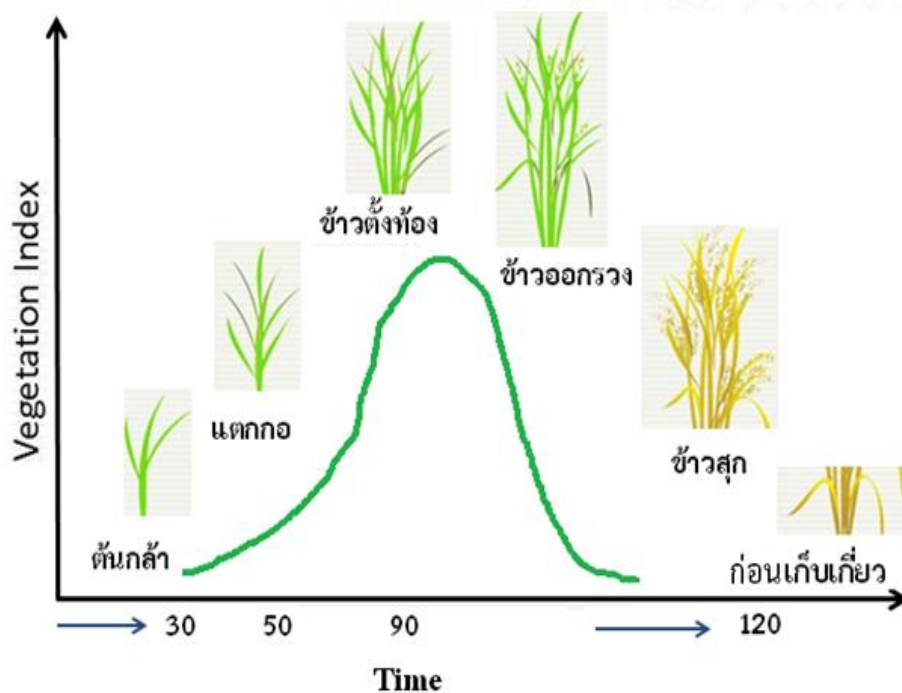
ช่วง 3 ต้นข้าวแตกกอ เป็นช่วงระยะต้นข้าวสร้างและแตกกอเพิ่มขึ้น เมื่อต้นข้าวตั้งตัวได้แล้วถ้าเป็นนาหว่านจะเห็นกอเพิ่มขึ้นหลังจากใส่ปุ๋ยแล้วประมาณ 7-10 วัน และถ้าเป็นนาดำหลังจากข้าวตั้งตัวหรือหลังดำประมาณ 7-10 วัน ช่วงนี้สมควรใส่ปุ๋ยที่มีแร่ธาตุไนโตรเจน (N) (ประมาณอัตรา 6 – 7 กิโลกรัม/ไร่) ต้นข้าวจะได้แตกกอเพิ่มขึ้นและมีความแข็งแรงและสมบูรณ์มากขึ้น

ช่วง 4 ต้นข้าวสร้างรวงอ่อน หรือ ช่วงต้นข้าวตั้งท้อง เป็นช่วงกำเนิดช่อดอกในต้นข้าวเป็นช่วงก่อนเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าว 2 เดือน หรือ 60 วัน จำเป็นต้องใช้ธาตุอาหารสำหรับสร้างรวงให้สมบูรณ์แข็งแรงมีจำนวนเมล็ดต่อรวงมากเป็นช่วงข้าวกำลังจะออกรวงหลังจากช่วงสร้างรวงอ่อนประมาณ 7 วัน ลำต้นข้าวจะเปลี่ยนจากลักษณะจากต้นแบน เป็นต้นกลม ช่วงนี้ต้นข้าวจะสะสมอาหารในลำต้นของแต่ละกอแล้ว ต้นข้าวสามารถถึงธาตุอาหารใช้ในการเจริญเติบโตของรวงและเมล็ด

ข้าวได้บางที่ข้าวไม่ไวต่อช่วงแสง การแตกกอมากอาหารที่สะสมไว้อาจมีไม่เพียงพอต่อช่วงต้นข้าวตั้ง ท้องควรต้องเพิ่มปุ๋ยไนโตรเจน (อัตรา 6 – 7 กิโลกรัม/ไร่)

ช่วง 5 ต้นข้าวออกดอกถอดตรง เป็นช่วงระยะการเจริญเติบโตเต็มที่ของต้นข้าว ซึ่งต้นข้าวจะ ออกดอกถอดตรงก่อนการเก็บเกี่ยวผลผลิตประมาณ 1 เดือนหรือประมาณ 30 วัน ช่วงนี้ต้องมีน้ำอยู่ แต่น้อย เพื่อให้ต้นข้าวได้สร้างเมล็ดให้เต็มที่ ระยะนี้ข้าวจะต้องดึงอาหารที่สะสมอยู่ที่ใบแก่(ใบ ด้านล่าง) มาใช้อย่างมากเพื่อส่งผลต่อเมล็ดในรวงข้าว

ช่วง 6 การเก็บเกี่ยวผลผลิต เป็นช่วงเวลาที่ข้าวสุกเหลืองแก่เต็มที่เมล็ดข้าวสมบูรณ์เต็มที่และ สามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้แล้ว นับได้หลังจากต้นข้าวออกดอกถอดตรงแล้วประมาณ 30 วันวิธีการดู ได้จากรวงข้าวสามส่วนจากตรงปลายรวงข้าวจะมีสีเหลืองสุก และที่โคนของรวงข้าวยังมีสีเขียวอ่อน เล็กน้อยและรวมทั้ง 6 ช่วงใช้เวลาประมาณ 120 วัน [3] ตามภาพประกอบ 2.1 วงจรอายุของข้าว [4]-[5]

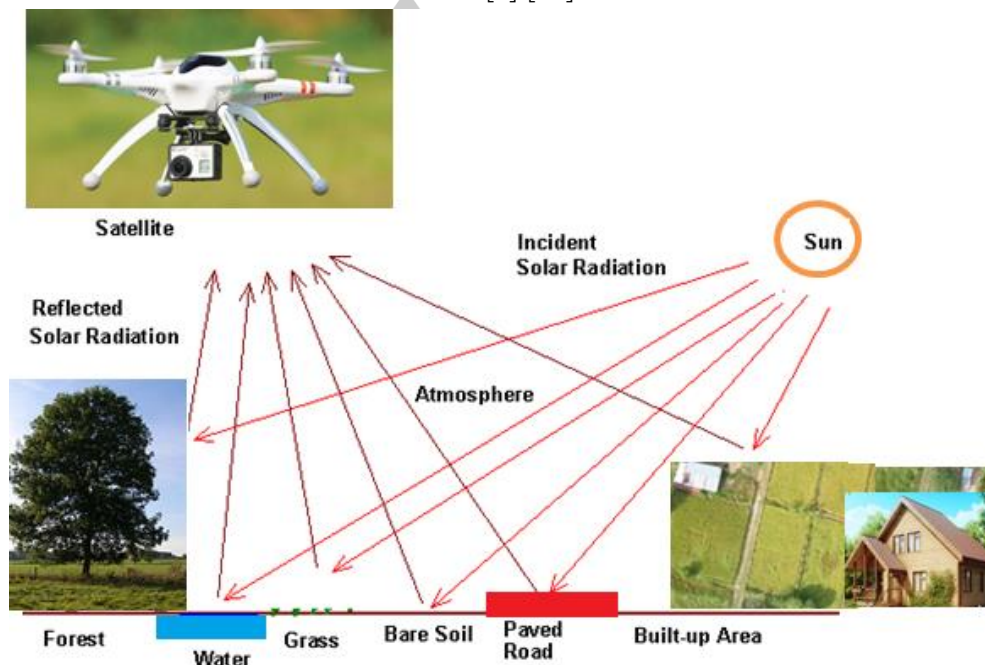


ภาพประกอบ 2.1 ช่วงการเจริญเติบโตของต้นข้าว

2.1.2 การสำรวจระยะไกล (Remote Sensing)

การรับรู้จากระยะไกล [9]-[10] คือ วิธีการสำรวจจากระยะไกล โดยที่เครื่องมือที่ใช้ไม่มีการ สัมผัสโดยตรงกับวัตถุหรือสิ่งที่ต้องการสำรวจตรวจวัด ในการสำรวจแบบนี้เครื่องมือที่ใช้อาจจะติด ตั้งอยู่ห่างจากสิ่งที่ต้องการสำรวจตรวจเช่น ติดตั้งกล้องถ่ายภาพไว้บนที่สูงหรือบินสูงอยู่บนท้องฟ้าเช่น อากาศยานไร้คนขับ (UAV) หรือ Drone หรือดาวเทียมเป็นต้น โดยอาศัยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในการ สะท้อนแสงมาจากวัตถุหรือสิ่งที่ต้องการสำรวจตรวจวัดบนพื้นผิวโลก [11]-[14] เพื่อเป็นสื่อในการ

สำรวจตรวจวัด โดยใช้วิธีนี้สามารถเก็บข้อมูลได้จำนวนมากหรือ ในบริเวณพื้นที่กว้างหรือเป็นการสำรวจภาพสนาม ในการใช้เครื่องมือสำรวจระยะไกล [9]-[10]



ภาพประกอบ 2.2 ลักษณะการรับส่งสัญญาณการสำรวจระยะไกล

ข้อมูลของการสะท้อน 3 ลักษณะ ได้แก่ คลื่นรังสี (Spectral) รูปทรงของวัตถุ (Spatial) และการเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลา (Temporal) ที่แตกต่างกันมีหลักการรับรู้จากระยะไกลประกอบด้วย 2 กระบวนการดังนี้

1. การรับข้อมูล เริ่มจากพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าในแหล่งกำเนิดของพลังงาน เช่น พระอาทิตย์ เคลื่อนที่ผ่านชั้นของบรรยากาศ, เกิดการปฏิสัมพันธ์กับวัตถุบนพื้นที่ผิวโลกและส่งเข้าสู่เครื่องสำรวจตรวจวัด หรืออากาศยานไร้คนขับ/อุปกรณ์บันทึกข้อมูลที่ติดตั้งอยู่กับอากาศยานสำรวจ (Platform) ซึ่งเคลื่อนที่ผ่านของวัตถุที่อยู่พื้นผิวโลกบันทึกข้อมูลไว้และ ส่งสัญญาณลงสู่สถานีรับภาคพื้นดิน และส่ง ข้อมูลในรูปแบบของข้อมูลเชิงอนุমান (Analog Data) และข้อมูลเชิงตัวเลข (Digital Data) เพื่อนำข้อมูลไปวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป

2. กระบวนการวิเคราะห์ข้อมูล (Data Analysis) คือ การวิเคราะห์ด้วยระดับสายตา (Visual Analysis) จากผลข้อมูลเชิงคุณภาพ (Qualitative) ซึ่งไม่สามารถวัดค่าเป็นตัวเลขที่แน่นอนได้ และการวิเคราะห์ด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ซึ่งจะสามารถแสดงผลของการวิเคราะห์ออกมาเป็นค่าตัวเลขได้ หลักการวิเคราะห์ข้อมูลหรือการจำแนกประเภทข้อมูลมีหลักการคือ

- Multispectral Approach เป็นข้อมูลในพื้นที่ในเวลาเดียวกันที่บันทึกไว้หลายช่วงของคลื่นหรือแต่ละช่วงของความยาวของคลื่นหรือ Band ที่มีลักษณะต่างกันของวัตถุบนพื้นโลกทำให้ค่าของการสะท้อนพลังงานก็ต่างกันด้วย

- Multitemporal Approach เป็นวิธีการวิเคราะห์ถึงการเปลี่ยนแปลงของเวลาซึ่งต้องใช้ข้อมูลในหลายช่วงเวลามาทำการเปรียบเทียบถึงความต่างข้อมูลที่ได้

- Multilevel Approach เป็นขั้นของความละเอียดข้อมูลของการจำแนกหรือการวิเคราะห์ข้อมูลในการประยุกต์และการทำงาน [9]-[10]

2.1.3 ความสัมพันธ์ของค่าการสะท้อนแสงของดัชนีพืชพรรณ

ดัชนีพืชพรรณ (Vegetation index, VI) [28][39]-[40] คือ เป็นอัตราส่วนในการสะท้อนแสงอินฟราเรดใกล้ (Near-infrared) ต่อการสะท้อนของแสงช่วงที่มีความยาวคลื่นที่มองเห็นด้วยสายตาได้ (Visible) ซึ่งพืชพรรณมีค่าการสะท้อนแสงได้ดีในช่วงความถี่สีแดง (Red) ตามสมการดังนี้ คือ

$$VI = \frac{NIR}{RED} \quad (2.1)$$

เมื่อ *NIR* คือ ค่าการสะท้อนแสงช่วงที่มีความยาวคลื่นแสงใกล้อินฟราเรด
RED คือ ค่าการสะท้อนแสงช่วงความยาวคลื่นของแสงสีแดง (Red)

ปัจจุบันค่าดัชนีพืชพรรณนิยมใช้ คือ *NDVI* (Normalized differential vegetation indices) ตามสมการที่ 2.2 คือ

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (2.2)$$

ส่วน RGB คือ Red, green, blue เป็นระบบสีของแสงที่เกิดจากการหักเหของแสงที่เปลี่ยนเป็นสี ลักษณะของสีรุ้งเจ็ดสีซึ่งเป็นช่วงของแสงที่สามารถมองเห็นด้วยสายตาเปล่าของคนเราได้และจะมีแสงสีม่วงที่มีค่าความถี่สูงสุดคือ แสงอุณหภูมิต่ำไวโอเล็ต และในแสงสีแดงมีค่าความถี่ต่ำสุด คือ แสงอินฟราเรด สายตาของมนุษย์ไม่สามารถรับได้และแสงสีทั้งหมดเกิดจากแสงสีแดง (Red) สีน้ำเงิน (Blue) และสีเขียว (Green) ซึ่งเป็นแม่สีแม่สีของแสงสามสี คือ สีแดง(R) ,สีเขียว(G),สีน้ำเงิน(B) และถ้ารวมกันก็จะได้สีต่างๆที่แตกต่างกันไปเช่นนำมาผสมกันตามสัดส่วนในปริมาณแสงสว่างที่เท่ากันก็จะได้เป็นแสงที่สีขาวและถ้าผสมกันของแสงระดับความสว่างที่แตกต่างกันจะได้ผลที่เป็นแสงต่างกันด้วย และการใช้สีลักษณะนี้จะใช้กับ จอภาพ กล้องดิจิทัล สแกนเนอร์ เป็นต้น ในระบบสี RGB จะการแสดงผลออกมาเป็นรูปแบบการรับแสงแสดงผลด้วยแสงที่เป็นแม่สีได้แก่ สีแดง สีเขียว สีน้ำเงิน ซึ่งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในแบบที่แตกต่างกัน ในปัจจุบันมีการศึกษาใช้ช่วงคลื่น RGB ในการประมาณค่าปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบพืชโดยใช้ความสัมพันธ์ของค่าการสะท้อนแสง(R-B)/(R+B) ศึกษาสถานะคลอโรฟิลล์ทางใบในข้าวสาลี [16] และ มีรายงานการศึกษาการใช้ความสัมพันธ์ของค่าการสะท้อนแสง R/(R+G+B) ศึกษาปริมาณคลอโรฟิลล์ในพืชกะหล่ำปลี [15] และมีข้อมูลวิจัยที่ได้กล่าวมาแล้ว

พบว่ายังไม่มีผู้นำเทคโนโลยีการสำรวจระยะไกลโดยใช้อากาศยานไร้คนขับหรือDrone มาติดตั้งกล้องร่วมกับความสัมพันธ์ของค่าการสะท้อนแสง $(R-B)/(R+B)$ และ $R/(R+G+B)$ มาทำการศึกษาเพื่อติดตามการเจริญเติบโตของข้าวในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการประมาณค่าชีวมวลและผลผลิตข้าวจากค่าอัตราส่วนการสะท้อนแสง Red Green Blue Index (RGBI) และ Green-Red vegetation index (GRVI) ตามสมการที่ 2.3 และ 2.4 เพื่อนำมาหาความสัมพันธ์กับค่าชีวมวลต้นข้าวที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม

$$RGBI = R/(R+G+B) \quad (2.3)$$

$$GRVI = (G-R)/(G+R) \quad (2.4)$$

เมื่อ	G	คือ ค่าการสะท้อนแสงในช่วงคลื่นแสงสีเขียว
	R	คือ ค่าการสะท้อนแสงในช่วงคลื่นแสงสีแดง
	B	คือ ค่าการสะท้อนแสงในช่วงคลื่นแสงสีน้ำเงิน

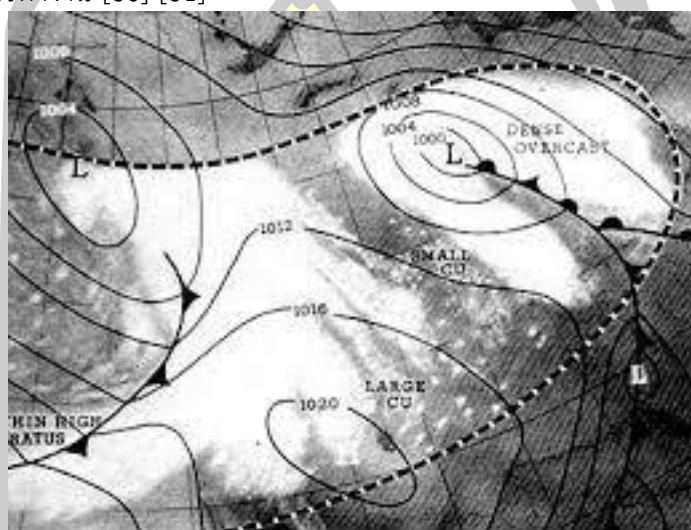
2.1.4 การทำแผนที่จากภาพถ่ายทางอากาศ (photogrammetry)

ภาพถ่ายทางอากาศ [55] คือ การบันทึกภาพจากระยะไกลที่ได้มีการพัฒนาขึ้นปัจจุบันนำมาใช้งานการใช้ประโยชน์ภาพถ่ายทางอากาศก็แพร่หลาย ส่วนใหญ่ใช้ในการทำแผนที่ เช่น แผนที่ภูมิประเทศ แผนที่ทางธรณีวิทยา แผนที่ดิน – แผนที่ป่า พืช และแหล่งน้ำ การอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและระบบทางนิเวศวิทยา เป็นศาสตร์ที่ศึกษาเกี่ยวกับภาพถ่ายทางอากาศ เรียกว่า โฟโตแกรมเมตรี (photogrammetry) ซึ่งเป็นวิทยาศาสตร์และศิลปะ เพื่อทำแบบจำลองทางภูมิประเทศจากภาพถ่ายทางอากาศ โดยมีการจำแนกตามลักษณะงานหรือประเภทที่สอดคล้องกับชนิดของรูปถ่าย หรือระบบเครื่องมือลักษณะการใช้งาน ดังนี้ [61] [64]

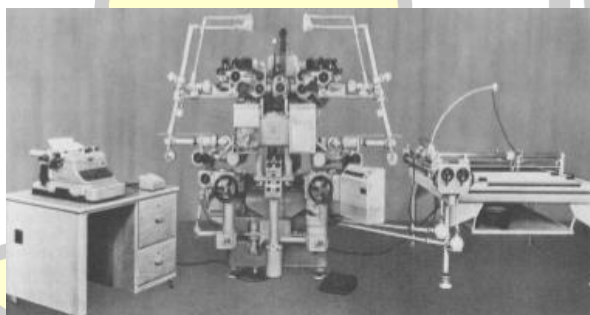
1. งานภาคพื้นดิน (terrestrial photogrammetry/ground photogrammetry) คือ การรังวัดด้วยภาพภาคพื้นดินเป็นการประยุกต์การรังวัดด้วยภาพที่มีการใช้เครื่องมือบันทึกภาพและทำการรังวัดบนภาคพื้นดินการทำแผนที่การทำแผนที่ของภูมิประเทศที่เป็นเนินเขาและหุบเขาเป็นต้น
2. งานทางราบ (horizontal photogrammetry) คือ การรังวัดในระยะราบหรือระยะตั้งฉากระหว่างเส้นตั้ง
3. งานทางอากาศ (aerial photogrammetry) คือ การรังวัดด้วยภาพถ่ายทางอากาศ เช่น การรังวัดทำแผนที่จากภาพถ่ายที่บันทึกจากกล้องที่ติดตั้งบนอากาศยานไร้คนขับ
4. งานรังสีเอ็กซ์ (x-ray photogrammetry) คือ การรังวัดด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
5. งานถ่ายรูป (cene photogrammetry) คือ การรังวัดจากภาพถ่าย
6. งานดาวเทียม (satellite photogrammetry หรือ space photogrammetry) คือ การรังวัดข้อมูลทางดาวเทียม
7. งานอนาล็อก (analog photogrammetry) คือ การรังวัดภาพถ่ายของพื้นผิวภูมิประเทศที่ได้จากการสแกนรูปถ่ายทางอากาศที่ถ่ายด้วยกล้องแอนะล็อก

8. งานเชิงวิเคราะห์ (analytical photogrammetry) คือ การรังวัดด้วยการวิเคราะห์ภาพถ่าย

9. งานเชิงเลข (digital photogrammetry) คือ การรังวัดด้วยภาพที่นำเอาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์และการประมวลผลภาพดิจิทัล (Digital Image Processing) มาใช้ในกระบวนการรังวัดและประมวลผลกระบวนการทำงานจะใช้การคำนวณเชิงวิเคราะห์โดยอาศัยการคำนวณเชิงเลขเป็นหลักการนำคอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์ มาช่วยในการรังวัดสามารถลดความผิดพลาดความเหนื่อยล้าของมนุษย์ในการทำงาน [60]-[61]



ภาพประกอบ 2.3 งานทำแผนที่สภาพอากาศโดยแหล่งข้อมูลจากดาวเทียม TIROS-I



ภาพประกอบ 2.4 เครื่องมือเขียนภาพในแบบเชิงกลยุคเก่า



(ก)

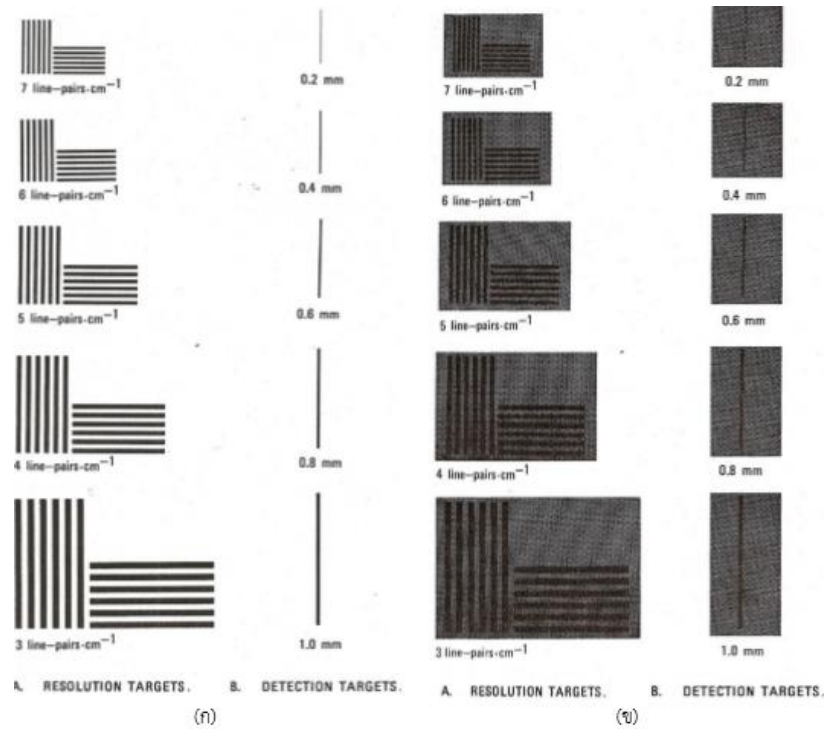


(ข)

ภาพประกอบ 2.5 กล้องถ่ายภาพทางอากาศเชิงเลขแบบ Area CCD array

ลักษณะภาพถ่ายทางอากาศ [55] รายงานไว้ว่า เหตุผลสำคัญที่ทำให้ภาพถ่ายทางอากาศได้รับความนิยมกันและการใช้งานดังต่อไปนี้คือ 1. ในมุมมองจากทางอากาศและครอบคลุมในพื้นที่กว้างใหญ่ 2. สามารถมองภาพใน 3 มิติได้ 3. ความรู้ที่ได้รับเกินขีดความสามารถรับรู้ด้วยสายตาคน และ 4. สามารถนำภาพทางประวัติศาสตร์มาใช้ในการบันทึกการเปลี่ยนแปลงได้ และ [62] ได้พบว่า ภาพถ่ายทางอากาศได้มาจากตัวกล้อง จากฟิล์มและตัวกรองจากในหลากหลายมีคุณลักษณะประจำของการถ่ายภาพจากทางอากาศที่สำคัญ ได้แก่ ความละเอียดของภาพถ่ายทางอากาศพิจารณาใน 2 ประเภทคือ 1 ความละเอียดเชิงพื้นที่ของภาพ ความละเอียดเชิงพื้นที่ (spatial resolution) แยกชัดเจน (resolving power) ของภาพถ่ายทางอากาศถูกควบคุมจากหลายปัจจัยประกอบด้วยการกระเจิงในบรรยากาศเป็นผลที่เกิดจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างรังสีของแสงกับแก๊สและอนุภาคในชั้นต่างๆของบรรยากาศ การสั่นไหวและการเคลื่อนที่ของตัวเครื่องบินการลดผลกระทบในการสั่นไหวและการเคลื่อนที่ของตัวเครื่องบินให้น้อยสุด อาศัยการ ติดกล้องถ่ายภาพกับฐานเครื่องไม่ให้เกิดการสั่นไหว และการติดตั้งอุปกรณ์ลดการเคลื่อนของตัวเครื่องบิน กำลังการแยกความชัดของเลนส์ resolving power of lens) กำลังการแยกความชัดของเลนส์ได้กำหนดโดยคุณภาพของแสงและขนาดของเลนส์ เมื่อเลนส์ถูกนำไปใช้ถ่ายภาพความละเอียดของวัตถุหรือเป้าหมายปลายทางภาพประกอบ 2.6 (ก) แสดงขีดจำกัดข้างบนของจำนวนเส้นคู่ (Line-pairs) ในหน่วยระยะทางค่าเป็นมิลลิเมตร(mm.) สามารถแยกความชัดบนภาพถ่ายที่รับ โดย จำนวนสูงสุดของเส้นคู่ต่อมิลลิเมตร(mm.) สามารถแยกความชัดได้จะแสดงถึงค่าการวัดกำลังการแยกความชัดของเลนส์กำลังการแยกความชัดของฟิล์มกำลังการแยกความชัดของฟิล์มกำหนดโดยปัจจัยสำคัญคือ สภาพการเป็นเม็ด (granularity) ของฟิล์ม มี 2 ปัจจัยที่กำหนดสภาพในการเป็นเม็ดของฟิล์มคือ การกระจายของขนาดเม็ดซิลเวอร์ฮาไลด์ในเยื่อไวแสง และสภาพทั่วไปของขั้นตอนในการล้างฟิล์มที่มีสภาพการเป็นเม็ดสูงจะมีกำลังการแยกความชัดของฟิล์มต่ำกว่าฟิล์มที่มีสภาพการเป็นเม็ดต่ำซึ่งปกติจะมีสภาวะการถ่วงดุลระหว่างสภาพการเป็นเม็ดกับความไวของฟิล์ม โดยฟิล์มที่เป็นเม็ดสูงจะไวแสงมากกว่า คือ ฟิล์มจะไวต่อแสงมาก ภาพประกอบ 2.6 (ข) แสดงวิธีการแยกความชัดของฟิล์มด้วยวิธีการถ่ายภาพความละเอียดของเป้าหมายและการตรวจสอบหาของเป้าหมายเพื่อหาจำนวนสูงสุดของเส้นคู่ ต่อมิลลิเมตร ที่สามารถแยกความชัดได้จากฟิล์มที่ล้างออกมา

พูน ปรณ ทิโต ชีเว



ภาพประกอบ 2.6 แสดงความละเอียดของวัตถุเป้าหมายและการตรวจหาของวัตถุเป้าหมาย

1. ความละเอียดทางภาคพื้นดินของภาพถ่ายความละเอียดทางภาคพื้นดิน (ground resolution) แสดงถึงความสามารถในการแยกสัญลักษณ์ทางภาคพื้นดินบนภาพถ่ายทางอากาศซึ่งความละเอียดของระบบ (system Resolution, R_s) จะถูกแปลงเป็นความละเอียดทางภาคพื้นดินโดยอาศัยสมการที่ใช้ในการคำนวณดังนี้

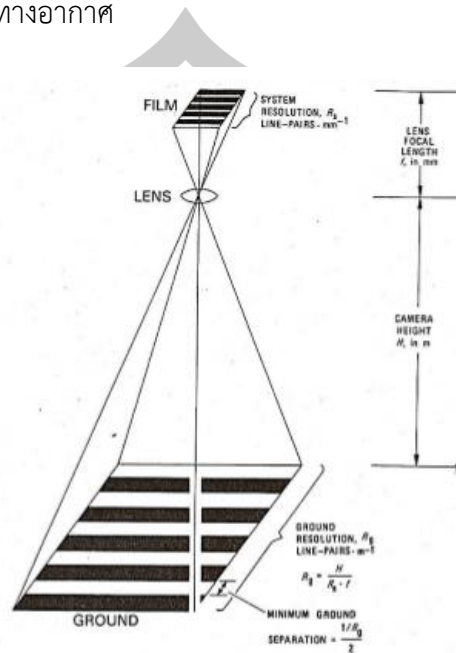
$$R_g = \frac{H}{R_s \cdot f} \quad (2.5)$$

โดยที่ R_g คือ ความละเอียดทางภาคพื้นดิน (เส้นคู่/เมตร (line-pairs/m))
 H คือ ความสูงของกล้องเหนือระดับพื้นดิน (เมตร)
 R_s คือ ความละเอียดของระบบ (เส้นคู่/มิลลิเมตร (Line-pairs/ml))
 f คือ ความยาวโฟกัสของกล้องถ่ายภาพ (มิลลิเมตร (ml))

$$\text{Minimum ground separation} = \frac{1.0 \text{ line-pairs} / R_g}{2} \quad (2.6)$$

โดยที่ R_g คือ ความละเอียดทางภาคพื้นดิน (เส้นคู่/เมตร (line-pairs/m)) ภาพประกอบ 2.7 นำมาใช้ในการคิดคำนวณค่าการแยกออกจากกันเ็นทางภาคพื้นดินน้อยที่สุด (minimum ground

separation) ของเป้าหมาย ซึ่งเป็นค่าระยะทางน้อยสุดระหว่างวัตถุ 2 ชนิดในภาคพื้นดินที่สามารถแยกออกจากกันได้ในการถ่ายภาพทางอากาศ



ภาพประกอบ 2.7 ความละเอียดทางภาคพื้นดินและการแยกจากกันทางภาคพื้นดินน้อยที่สุดบนภาพถ่ายทางอากาศ

2. มาตรฐานของภาพถ่ายโดยที่มาตรฐานของภาพถ่ายทางอากาศจะคำนวณจากความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของกล้องถ่ายภาพบนพื้นดินและความยาวโฟกัสของกล้องถ่ายภาพประกอบ 2.7 โดยสมการด้านล่างนี้

$$s = \frac{ab}{AB} \quad (2.7)$$

หรือ $s = \frac{f}{H} \quad (2.8)$

หรือ $scale = \frac{1}{H/f} \quad (2.9)$

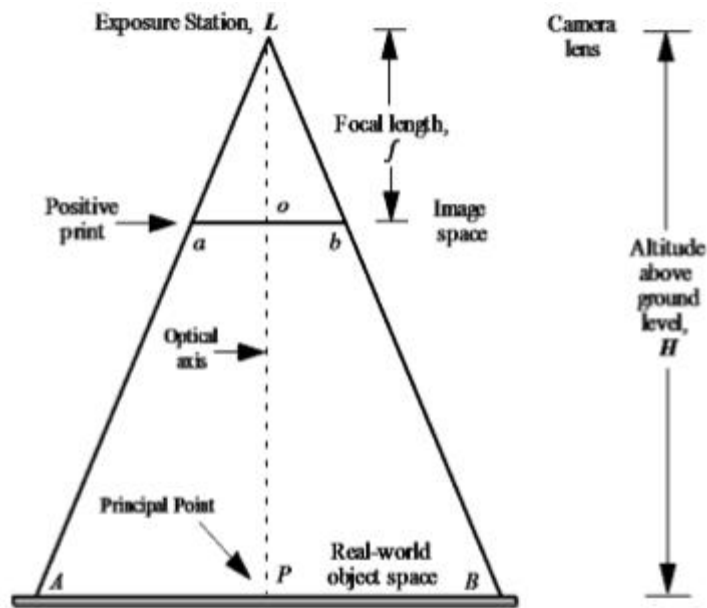
โดยที่ s คือ มาตรฐาน

ab คือ ระยะทางในภาพถ่ายทางอากาศ

AB คือ ระยะทางในภาคพื้นดิน

H คือ ความสูงของกล้องถ่ายภาพเหนือพื้นดิน

f คือ ความยาวโฟกัสของกล้องถ่ายภาพ



ภาพประกอบ 2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงกล้องถ่ายภาพบนพื้นดินและความยาวโฟกัสของกล้อง

และถ้าหากนำความสูง-ต่ำของภูมิประเทศมาพิจารณาด้วยวิธีการคำนวณหาค่ามาตรา ส่วนของภาพถ่ายทางอากาศจะสามารถนำระดับความสูงของภูมิประเทศ (h) มาพิจารณา เพื่อปรับแก้ระยะ ความสูงของกล้องถ่ายภาพให้ตรงตามความเป็นจริง แสดงดังภาพประกอบ 2.8 คำนวณค่าตามระดับ ความของสูง-ต่ำ ของภูมิประเทศตามสมการด้านล่างนี้ [63]

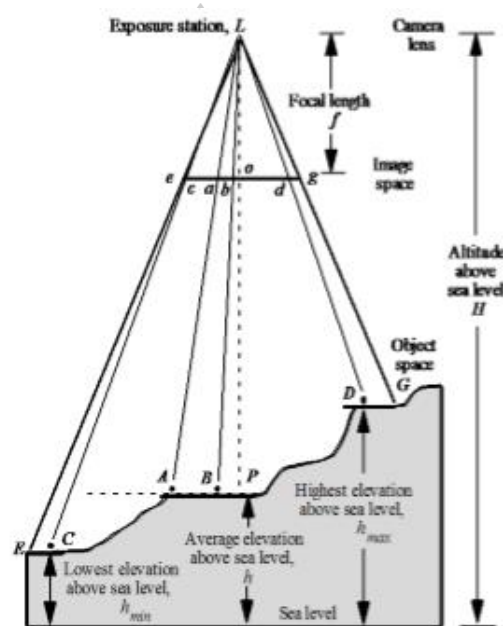
$$S_{\min} = \frac{f}{H - h_{\min}} \tag{2.10}$$

$$S_{\max} = \frac{f}{H - h_{\max}} \tag{2.11}$$

$$S_{\text{avg}} = \frac{f}{H - h_{\text{avg}}} \tag{2.12}$$

เมื่อ

- S_{\min} คือ มาตรการส่วน ณ ระดับความสูงของภูมิประเทศต่ำที่สุด เหนือระดับน้ำทะเล
- S_{\max} คือ มาตรการส่วน ณ ระดับความสูงของภูมิประเทศสูงที่สุด เหนือระดับน้ำทะเล
- S_{avg} คือ มาตรการส่วน ณ ระดับความสูงของภูมิประเทศเฉลี่ย เหนือระดับน้ำทะเล
- H คือ ความสูงของกล้องถ่ายภาพเหนือพื้นดิน
- f คือ ความยาวโฟกัสของกล้องถ่ายภาพ



ภาพประกอบ 2.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของกล้องถ่ายภาพบนพื้นดินตามความระดับความสูงเหนือระดับของน้ำทะเลและความยาวโฟกัสกล้องถ่ายภาพ

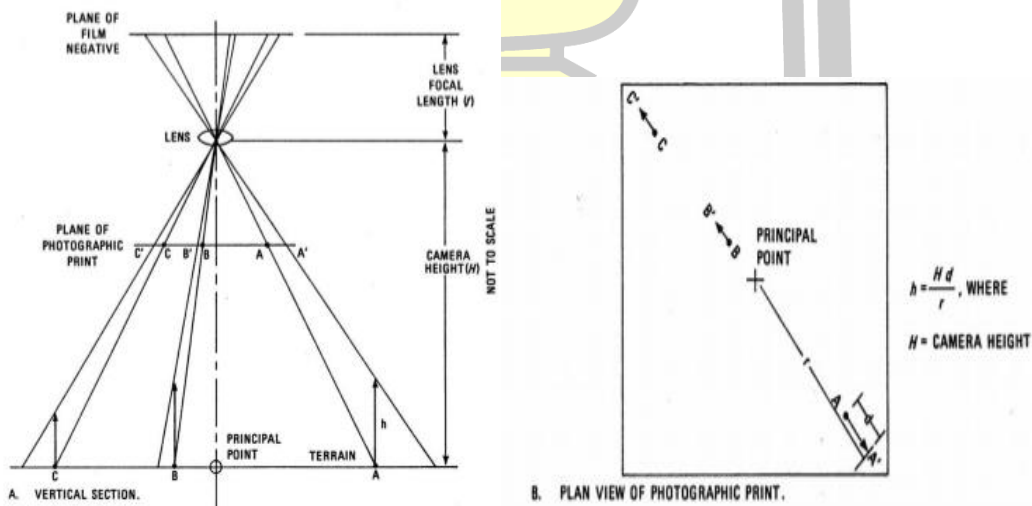
การเคลื่อนตำแหน่งจากความสูง-ต่ำของผิวโลก การเคลื่อนตำแหน่งจากความสูง-ต่ำของผิวโลก ปรากฏบนภาพถ่ายทางอากาศในแนวตั้งของการถ่ายภาพ โดยกล้องตามแนวตั้งลงด้านล่างจุดสูงสุดของวัตถุ เช่น ยอดของตึกจะเอียงออกจากจุดศูนย์กลางหรือศูนย์รับแสงของภาพถ่ายขนาดของการเคลื่อนตำแหน่งจะเพิ่มขึ้นตามระยะทางในแนวรัศมีที่เพิ่มขึ้นจากจุดศูนย์กลาง และมีขนาดสูงสุดที่มุมของภาพถ่าย [64] ภาพประกอบ 2.9 แสดงภาพเรขาคณิตของการเคลื่อนตำแหน่งจากความสูง-ต่ำของพื้นผิวโลก โดยที่รังสี ของแสงถูกส่งผ่านจากภูมิประเทศมาผ่านเลนส์ของกล้องถ่ายภาพและส่งต่อไปที่ฟิล์ม ภาพถ่ายทางอากาศที่ได้ จากฟิล์มจะปรากฏเหมือนกับว่าภาพถ่ายทางอากาศอยู่ในระนาบในการพิมพ์ภาพถ่าย (ภาพประกอบ 2.10 a) ตามแนวตั้งในสภาพภูมิประเทศแสดงแทนวัตถุที่มีความสูงในระดับที่แตกต่างกันที่ตั้งอยู่ในตำแหน่งที่มีระยะห่างจากจุดที่มีความสำคัญที่แตกต่างกัน รังสีของแสงที่สะท้อนในฐานของวัตถุ A ตัดกับ ระนาบของการจัดพิมพ์ภาพถ่ายในตำแหน่ง A และ รังสีจากยอดบนของวัตถุ (จุดปลายลูกศร) ตัดกับ ระนาบของการพิมพ์ภาพถ่ายในตำแหน่ง A' ระยะห่างระหว่างตำแหน่ง A ถึง A' คือ การเคลื่อนตำแหน่งจากความสูง-ต่ำของผิวโลกตามภาพ (d) ที่แสดงในระนาบการมอง(ภาพประกอบ 2.10b) ขนาดของการเคลื่อนตำแหน่งจากความสูงต่ำของผิวโลก (d) บนภาพถ่ายทางอากาศจะมีคุณลักษณะสำคัญ คือ 1. ขนาดของการเคลื่อนเปลี่ยนแปลงตำแหน่งจากความสูง-ต่ำของผิวโลก (d) ที่เป็นสัดส่วนตรงกับความสูง (h) ของวัตถุ ในภาพประกอบ 2.10 วัตถุ A และ C ที่มีระยะห่างจากจุดที่สำคัญที่เท่ากัน ขนาดของการเคลื่อนเปลี่ยนแปลงตำแหน่งจากความสูง-ต่ำของผิวโลก (d) ของวัตถุ A จะมากกว่าของวัตถุ C เพราะจากวัตถุ A สูงกว่า วัตถุ C 2.ขนาดของการ

เลื่อนตำแหน่งจากความสูง-ต่ำของผิวโลก (d) เป็นสัดส่วนตรงกับระยะทางตามแนวรัศมี (r) จากจุดที่สำคัญบนภาพที่มีการเคลื่อนเปลี่ยนตำแหน่งของวัตถุนั้น ในภาพประกอบ 2.10 วัตถุ A และ B ที่มีค่าความสูงเท่ากันขนาดของการเลื่อนตำแหน่งจากความสูงต่ำของผิวโลก (d) ของ วัตถุ A จะมากกว่าของวัตถุ B เนื่องจากระยะทางในแนวรัศมี (r) ของวัตถุ A มากกว่าของวัตถุ B 3. ขนาดของการเคลื่อนเปลี่ยนตำแหน่งจากความสูง-ต่ำของผิวโลก (d) เป็นสัดส่วนที่ผกผันกับความสูง (H) ของกล้องถ่ายภาพเหนือสภาพภูมิประเทศหมายถึง ขนาดของการเคลื่อนที่ปรับเปลี่ยนตำแหน่งจะลดน้อยลงตามระยะทางในแนวตั้งที่เพิ่มขึ้นมาจากความสูงของกล้องถ่ายภาพเหนือภูมิประเทศ เช่นการเคลื่อนเปลี่ยนตำแหน่งจากความสูง-ต่ำของวัตถุบนพื้นผิวโลกตามภาพประกอบ 2.11 โดยมีความสัมพันธ์เหล่านี้แสดงผลตามสมการทางคณิตศาสตร์นี้ คือ

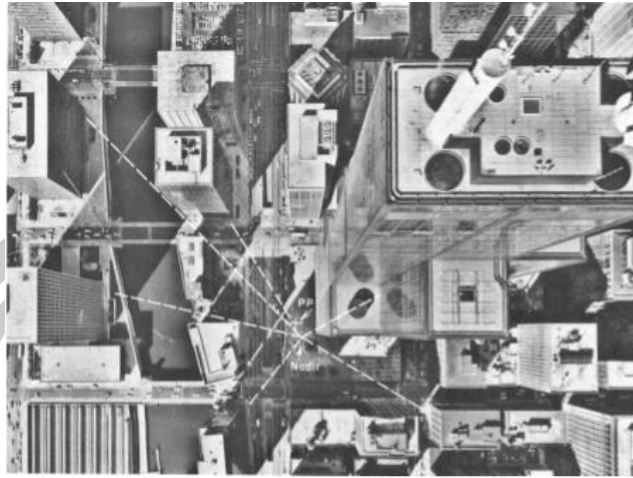
$$d = \frac{h \cdot r}{H} \tag{2.13}$$

หรือ
$$h = \frac{H \cdot d}{r} \tag{2.14}$$

เมื่อ h คือ ความสูงของวัตถุ
 H คือ ความสูงของกล้องถ่ายภาพ
 d คือ ขนาดการเคลื่อนเปลี่ยนตำแหน่งความสูง-ต่ำของพื้นผิวโลก
 r คือ ระยะทางในแนวรัศมีจากจุดสำคัญไปจุดที่มีการเคลื่อนตำแหน่งความสูง-ต่ำของพื้นผิวโลกในจุดสูงสุดของวัตถุ



ภาพประกอบ 2.10 ภาพเรขาคณิตการเคลื่อนความสูง-ต่ำของพื้นผิวโลกบนภาพถ่ายทางอากาศในแนวตั้ง



ภาพประกอบ 2.11 การเคลื่อนเปลี่ยนตำแหน่งความสูง-ต่ำของวัตถุบนพื้นผิวโลก

2.1.5 แบบจำลองที่ใช้ในการศึกษา

แบบจำลองที่ใช้ในการศึกษา คือ แบบ Generalized Linear Model, แบบ Random Forest, และแบบ Deep Learning/Non parametric (ANN) แบบจำลองที่นำมาใช้ในการประมาณค่าพารามิเตอร์ของพืช จากดัชนีพืชพรรณ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ค่าการถดถอยตัวแปรเดียว (Univariate Regression) คือ แบบเป็นเส้นตรง (Linear Function) และแบบที่ไม่เป็นเส้นตรง (Nonlinear Function) ซึ่งจะประกอบไปด้วยวิธีโพลีโนเมียลกำลังสอง (2-Degree Polynomial) วิธีลอการิทึม (Logarithm Function) วิธีเอกซ์โพเนนเชียล (Exponential Function) และวิธีฟังก์ชันยกกำลัง (Power Function) ในการหาความสัมพันธ์ระหว่าง Parameter ของข้าว กับ ดัชนีพืชพรรณที่นำมาทำการศึกษาดังแสดงตามสมการที่ 2.15-2.19

$$\text{Parameter} = a(VI) + b \quad (2.15)$$

$$\text{Parameter} = a(VI^2) + b(VI) + c \quad (2.16)$$

$$\text{Parameter} = a \ln(VI) + b \quad (2.17)$$

$$\text{Parameter} = ae^{b(VI)} + b \quad (2.18)$$

$$\text{Parameter} = a(VI)^b \quad (2.19)$$

เมื่อกำหนดให้	<i>Parameter</i>	เป็น ค่า Biomass (ชีวมวล)
	<i>a , b , c</i>	เป็น ค่าคงที่
	<i>VI</i>	คือ ค่าดัชนีพืชพรรณที่ได้จากความสัมพันธ์ของข้อมูล: UAV

สมการถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression Equation) สมการถดถอยเชิงเส้น เป็นการพยากรณ์ความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างค่าพยากรณ์กับปัจจัยอื่นๆ ซึ่งสามารถเขียนให้อยู่ในรูปของสมการได้ดังสมการที่ 2.20

$$Y = mX + b \quad (2.20)$$

เมื่อ X คือ ตัวแปรอิสระ
 Y คือ ตัวแปรตาม หรือค่าพยากรณ์
 b คือ จุดกำเนิดพิกัดซึ่งอยู่บนแกน Y (Y - Intercept)
 m คือ ความชัน (Slope)

โดยที่
$$m = \frac{(Y_2 - Y_1)}{(X_2 - X_1)}$$

วิธีนี้ให้หาค่า $\sum X_i$, $\sum Y_i$, $\sum X_i Y_i$ และ $\sum X_i^2$ แล้วนำไปแทนค่าหาความชัน m ดังสมการที่ 2.21 และจุดตัดแกน คือ b ดังสมการที่ 2.16 แล้วนำไปแทนค่าในสมการเส้นตรง $Y = mX + b$ แทนค่า X ลงในสมการเพื่อหาค่า Y ที่ดีที่สุด

$$m = \frac{N \sum_{i=1}^N X_i Y_i - \sum_{i=1}^N X_i \sum_{i=1}^N Y_i}{N \sum_{i=1}^N X_i^2 - (\sum_{i=1}^N X_i)^2} \quad (2.21)$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^N X_i^2 \sum_{i=1}^N Y_i - \sum_{i=1}^N X_i \sum_{i=1}^N X_i Y_i}{N \sum_{i=1}^N X_i^2 - (\sum_{i=1}^N X_i)^2} \quad (2.22)$$

สมการถดถอยพหุนาม (Polynomial Regression Equation) สมการถดถอยพหุนามเป็นการพยากรณ์ความสัมพันธ์พหุนามระหว่างค่าพยากรณ์กับปัจจัยอื่นๆ สามารถเขียนอยู่ในรูปของสมการได้ดังสมการที่ 2.23

$$Y = C_1 X^2 + C_2 X + b \quad (2.23)$$

เมื่อ X คือ ตัวแปรอิสระ
 Y คือ ตัวแปรตาม หรือค่าพยากรณ์
 C คือ ค่าเฉลี่ย Y (m * ค่าเฉลี่ย X)

โดยที่ X เป็นตัวแปรตาม m เป็นความชัน และ b เป็นค่าคงที่ ซึ่งสามารถคำนวณความชันได้ตามสมการที่ 2.24

$$m = \frac{(Y_2 - Y_1)}{(X_2 - X_1)} \quad (2.24)$$

b คือ จุดกำเนิดพิกัดซึ่งอยู่บนแกน Y (Y - Intercept)

วิธีนี้ให้หาค่า $\sum X_i$, $\sum Y_i$, $\sum X_i Y_i$ และ $\sum X_i^2$ แล้วนำไปแทนค่าหาความชัน m ตามสมการที่ 2.25 และจุดตัดแกน คือ b ตามสมการที่ 2.26 แล้วแทนค่าในสมการเส้นตรง $Y = C_1 X^2 + C_2 X + b$ แทนค่า X ลงในสมการเพื่อหาค่า Y ที่ดีที่สุด

$$m = \frac{N \sum_{i=1}^N X_i Y_i - \sum_{i=1}^N X_i \sum_{i=1}^N Y_i}{N \sum_{i=1}^N X_i^2 - (\sum_{i=1}^N X_i)^2} \quad (2.25)$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^N X_i^2 \sum_{i=1}^N Y_i - \sum_{i=1}^N X_i \sum_{i=1}^N X_i Y_i}{N \sum_{i=1}^N X_i^2 - (\sum_{i=1}^N X_i)^2} \quad (2.26)$$

สมการถดถอยลอการิทึม (Logarithmic Regression Equation) สมการถดถอยลอการิทึม เป็นการพยากรณ์ความสัมพันธ์ลอการิทึมระหว่างค่าพยากรณ์กับปัจจัยอื่นๆ สามารถเขียนอยู่ในรูปของสมการได้ดังสมการที่ 2.27

$$Y = m \ln(X) + b \quad (2.27)$$

เมื่อ X คือ ตัวแปรอิสระ
 Y คือ ตัวแปรตาม หรือค่าพยากรณ์
 m คือ ความชัน (Slope)

โดยที่ เป็นตัวแปรตาม และมีความชันเท่ากับ m และ $\ln(b)$ เป็นค่าคงที่ จะได้ความชัน เป็นตามสมการที่ 2.28

$$m = \frac{(\ln y_2 - \ln y_1)}{(X_2 - X_1)} \quad (2.28)$$

b คือ จุดกำเนิดพิกัดซึ่งอยู่บนแกน Y (Y - Intercept)

วิธีนี้ให้หาค่า $\ln \sum X_i$, $\ln \sum Y_i$, $\ln \sum X_i Y_i$ และ $\ln \sum X_i^2$ แล้วนำไปแทนค่าหาความชัน m ตามสมการที่ 2.29 และจุดตัดแกน คือ b ตามสมการที่ 2.24 และแทนค่าในสมการลอการิทึม $Y = m \ln(X) + b$ แทนค่า X ลงในสมการเพื่อหาค่า Y ที่ดีที่สุด

$$m = \frac{N \sum_{i=1}^N X_i Y_i - \sum_{i=1}^N X_i \sum_{i=1}^N Y_i}{N \sum_{i=1}^N X_i^2 - (\sum_{i=1}^N X_i)^2} \quad (2.29)$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^N X_i^2 \sum_{i=1}^N Y_i - \sum_{i=1}^N X_i \sum_{i=1}^N X_i Y_i}{N \sum_{i=1}^N X_i^2 - (\sum_{i=1}^N X_i)^2} \quad (2.30)$$

สมการถดถอยเอกซ์โพเนนเชียล(Exponential Regression Equation)ความสัมพันธ์สมการเอกซ์โพเนนเชียลระหว่างค่าพยากรณ์กับปัจจัยอื่นๆสามารถเขียนอยู่ในรูปสมการที่ 2.31

$$Y = ae^{mX} \quad (2.31)$$

เมื่อ X คือ ตัวแปรอิสระ
 Y คือ ตัวแปรตาม หรือค่าพยากรณ์
 a, m คือ ค่าคงที่

จะได้กราฟที่มีความสัมพันธ์เชิงเส้น ดังนี้

$$\ln Y = \ln a + mX \quad (2.32)$$

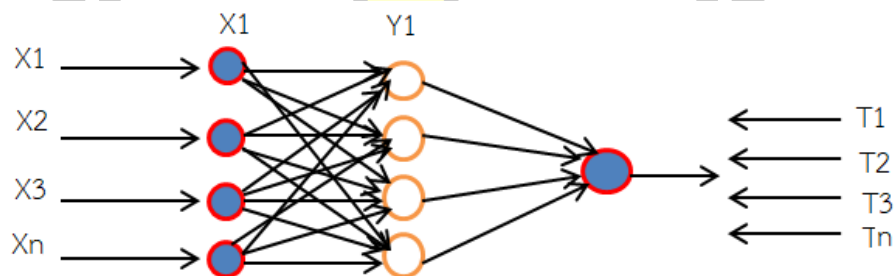
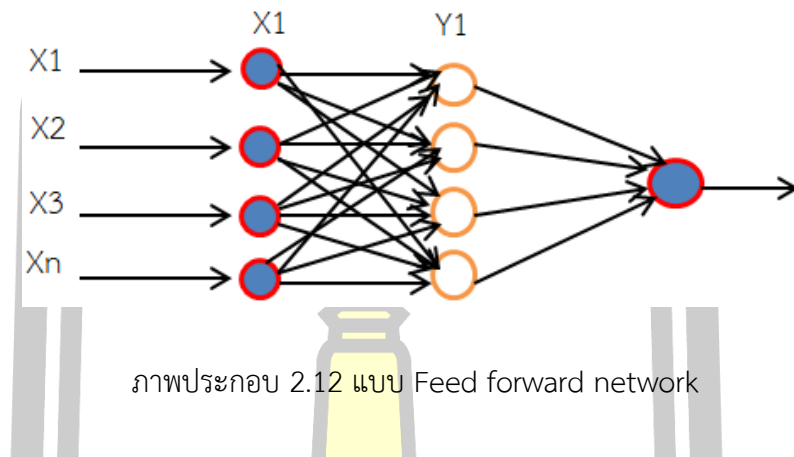
จากสมการที่ 2.31 จะพบว่าเมื่อใส่ฟังก์ชันลอการิทึมเข้าไป จะได้ตามสมการที่ 2.32 ซึ่งรูปแบบของสมการมีความสอดคล้องกับสมการเส้นตรง ($Y = mX + b$) คือ X จะเป็นตัวแปรอิสระ $\ln Y$ เป็นตัวแปรตาม และมีความชัน เท่ากับ m และ $\ln a$ เป็นค่าคงที่ ซึ่งแสดงว่าสมการ 2.32 และความชัน m สามารถคำนวณได้จากสูตรในสมการที่ 2.33

$$m = \frac{(\ln Y_2 - \ln Y_1)}{(X_2 - X_1)} \quad (2.33)$$

เทคนิคแบบNeural Network ประกอบด้วย

1. ข้อมูลป้อนเข้า (input) เป็นข้อมูลตัวเลข
 2. ข้อมูลส่งออก(output)เป็นผลที่ได้จากกระบวนการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม
 3. ค่าน้ำหนัก (weights)
 4. ฟังก์ชันรวมเป็นผลรวมข้อมูลป้อนเข้า กับ ค่าน้ำหนัก
 5. ฟังก์ชันการแปลง ซึ่งเป็นฟังก์ชันการคำนวณการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียม
- โครงข่ายประสาทเทียม (Neural Network) มี 2 แบบ คือ แบบข่ายงานประสาทแบบป้อนไปหน้า และแบบข่ายงานประสาทแบบป้อนกลับสำหรับตรวจสอบเช็คความถูกต้องของข้อมูล

1. Feed forward network ข้อมูลที่ประมวลผลในวงจรข่ายจะถูกส่งไปในทิศทางเดียวกัน จาก Input nodes ส่งต่อมาตลอดจนถึง output nodes โดยไม่มีการย้อนกลับของข้อมูลหรือแม้กระทั่ง Nodes ใน layer เดียวกันก็ไม่มีการเชื่อมต่อกัน
2. Feedback network ข้อมูลที่ประมวลผลในวงจรข่ายจะมีการป้อนกลับเข้าไปยังวงจรข่ายหลายๆ ครั้งจนกระทั่งได้คำตอบออกมา

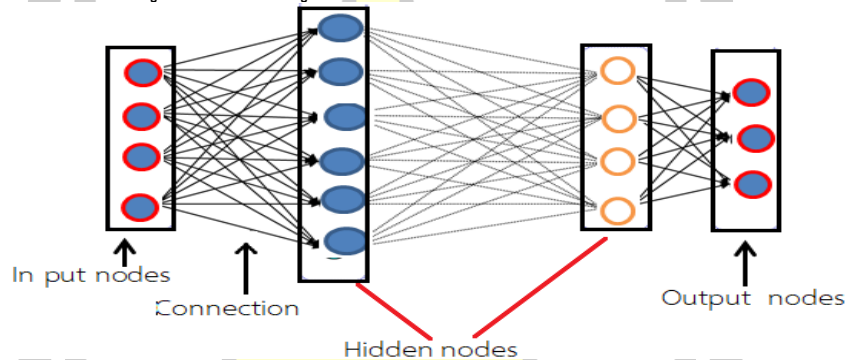


หลักการทํางานโครงข่ายของใยประสาทเทียม ANNs ข้อมูลการไหลโดยใช้แบบจำลองโครงข่ายใยประสาทเทียม เราไม่จำเป็นต้องกำหนดหรือสร้างสมการ ควบคุมการไหลแต่รวบรวมข้อมูลทางด้านอินพุต (Input) และทางด้านเอาต์พุต (Output) ไว้เป็นคู่ๆการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ หรือ แบบจำลองทางสถิติจะต้องสร้างความสัมพันธ์ระหว่างอินพุต (Input) และเอาต์พุต (Output) ซึ่งให้อยู่ในรูปของสมการ Explicit แต่โครงข่ายใยประสาทเทียมจะทำการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างอินพุต (Input) และทางเอาต์พุต (Output) ซึ่งกระบวนการในการเรียนรู้จากข้อมูลที่มีอยู่ความสัมพันธ์นี้ไม่มีการกำหนดในรูปของสมการ Explicit การจำลองระบบโครงสร้างประสาทเทียม มีการจำลองเป็นชั้นๆ โดยมีโครงสร้างที่ประกอบด้วยขั้นตอนการรับข้อมูลเข้า (Input Layer) ชั้นแฝง (Hidden Layer) และชั้นแสดงผลออก (Output Layer) ในแต่ละชั้นประกอบไปด้วยหน่วย (Node) ในชั้นแฝงประกอบไปด้วยหน่วยที่ทำหน้าที่ส่งตัวแปรด้านทางออก (Output) ในระหว่างชั้นของแต่ละชั้นจะมีการเชื่อมต่อ (Link) แต่การเชื่อมต่อจะมีค่าน้ำหนัก เฉพาะสำหรับที่ทำหน้าที่แทนค่าความแข็งแรง (Strength) ของการเชื่อมต่อของเซลล์สมองมนุษย์การทำงานของ Neural networks คือเมื่อมีข้อมูลเข้า (input)เข้ามายังโครงข่าย (network) นำข้อมูลด้านเข้าคูณกับค่าน้ำหนักของแต่ละสาขาผลที่ได้จากข้อมูลทางเข้าทุกๆสาขาของ neuron จะเอามารวมกันแล้วนำมาเทียบกับ threshold ที่กำหนดไว้ ถ้าผลรวมมีค่ามากกว่า threshold แล้ว neuron ก็จะส่ง

ออกไปที่ด้านออก(output)และก็จะถูกส่งไปยังด้านทางเข้า input ของ neuron อื่น ๆ ที่เชื่อมกันในเป็นโครงข่าย network ถ้าค่าน้อยกว่า threshold ก็จะไม่เกิดด้านออก(output) การทำงานของ neural สามารถเขียนออกมาได้ดังนี้

if (sum(input * weight) > threshold) then output

สิ่งสำคัญคือ เราต้องทราบค่าน้ำหนัก และข้อมูลที่ต้องการเพื่อให้คอมพิวเตอร์รู้และจำ ซึ่งเป็นค่าที่ไม่แน่นอนแต่สามารถกำหนดให้คอมพิวเตอร์ปรับค่าเหล่านั้นได้โดยวิธีการให้มันรู้จักแบบแผนของสิ่งที่เราต้องการให้มันรู้จัก และกระบวนการย้อนกลับของการรู้จัก ในการฝึก feed-forward neural networks มีการใช้อัลกอริทึมแบบ back-propagation เพื่อใช้ในการปรับปรุงน้ำหนักคะแนนของโครงข่าย (network weight) หลังจากใส่รูปแบบข้อมูลสำหรับโครงข่ายในแต่ละครั้งแล้วค่าที่ได้รับ (output) จากโครงข่ายจะนำไปเปรียบเทียบกับผลที่คาดหวังแล้วทำการคำนวณหาค่าความผิดพลาดซึ่งค่าความผิดพลาดนี้จะถูกส่งกลับเข้าสู่โครงข่ายเพื่อใช้แก้ไขค่าน้ำหนักคะแนนในกระบวนการต่อไป



ภาพประกอบ 2.14 แสดงโครงสร้างของระบบโครงข่ายประสาทเทียม

โครงข่ายประสาทเทียม ประกอบไปด้วย 3 ชั้น ได้แก่ ชั้นอินพุต (Input Layer) ชั้นซ่อน (Hidden Layer) และชั้นเอาต์พุต (Output Layer) ชั้นอินพุต (Input Layer) เป็นชั้นตอนที่รอรับข้อมูลเข้าสู่โครงข่ายประสาทเทียม คือ ข้อมูลที่ผ่านการเตรียมข้อมูลไว้ตามขั้นตอนการเตรียมข้อมูลของโครงข่ายประสาทเทียม ชั้นซ่อน (Hidden Layer) เป็นชั้นที่เพิ่มประสิทธิภาพการจัดกลุ่มข้อมูลตามสมการ 2.34 เพื่อส่งไปยังชั้นเอาต์พุตต่อไป

$$y_j = f\left(\sum_{i=1}^n x_i w_{ij} + \theta_j\right) \quad (2.34)$$

$$f(u) = \frac{1}{1 + e^{-u}} \quad (2.35)$$

$$P(t) = \frac{1}{1 + e^{-t}} \quad (2.36)$$

สมการ (2.36) ซึ่งเรียกว่า Sigmoid Function เป็นฟังก์ชันกระตุ้นชั้นเอาต์พุต (Output Layer) ซึ่งเป็นชั้นที่คำนวณค่าผลลัพธ์ของโครงข่ายประสาทเทียมมีสมการในการคำนวณดังสมการ เช่น ตัวอักษรและเป็นตัวเลขมีจำนวนโหนดในชั้นเอาต์พุตขึ้นอยู่กับจำนวนกลุ่มข้อมูลที่ต้องการจัด เช่น Output ของแต่ละ Node

$$O_k = f\left(\sum_{j=1}^m y_j w_{jk} + \theta_k\right) \quad (2.37)$$

เทคนิค Deep learning คือ ซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ที่เลียนแบบการทำงานของระบบโครงข่ายประสาทในสมองมนุษย์ที่ลึกลงไปอีก ถือเป็นขั้นเด็ดของ machine learning Algorithm ของ deep learning ถูกสร้างขึ้นจากการนำเอา neural network หลายๆ layer มาต่อกัน โดย layer ที่หนึ่งจะทำหน้าที่ในการรับข้อมูล (Input layer) layer สุดท้ายจะทำหน้าที่ส่งผลลัพธ์การประมวลผลออกมา (Output layer) ส่วน layer ระหว่าง layer แรกสุด และ layer สุดท้าย จะถูกเรียกว่า Hidden layer โดย deep learning มีที่มาจากการใช้ layer ของ neural network โครงข่ายประสาทเทียม (Neural Network : ANN) [47] โครงข่ายประสาทเทียม (Neural Network): ANN โครงข่ายประสาทเทียมคือ วิธีการสร้างหรือออกแบบให้ทำงานคล้ายกับสมองมนุษย์ มีทั้งหน่วยการประมวลผลหลายส่วน มีการทำหน้าที่คล้ายๆ ส่วนสมองของมนุษย์ และในแต่ละส่วนเชื่อมโยงเป็นเครือข่ายส่งข้อมูลออกในรูปแบบสัญญาณจากหลากหลายส่วนซึ่งข้อมูลผ่านกระบวนการต่างๆ ของข้อมูลและประมวลผลออกมาด้านนอก หรือด้าน Out put ซึ่งภายในส่วนต่างๆ ของข้อมูลจะรับเอาข้อมูลของหลากหลายช่องทางตามขั้นตอน ของการเชื่อมโยงเซลล์สมอง มีวิธีการประมวลผลภายใน ซึ่งเซลล์ประสาทแต่ละเซลล์มีจุดเชื่อมโยงระหว่างการทำงานเป็น 2 ลักษณะ คือ ลักษณะการกระตุ้น (Excitatory) เป็นการทำให้สัญญาณที่ส่งผ่านเข้ามา มีความถี่ลดลงซึ่งแบบจำลองของ ANN จะมีอัตราการขยายหรือการหดได้ตามกำหนดด้วยค่าถ่วงน้ำหนักสำหรับความสัมพันธ์ระหว่างเซลล์ประสาทกับเซลล์ประสาทเทียม สรุปโครงข่ายประสาทเทียม (Neural Network) คือ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่จำลองการทำงานของโครงข่ายประสาทของมนุษย์หรือสมองของเราสมองของเราจะมีหน่วยประมวลผลขนาดเล็กอยู่มาก และเชื่อมโยงกันด้วยโครงข่ายประสาทมากมาย และช่วยให้เราได้เรียนรู้ คิววิเคราะห์ได้รวดเร็วส่วนคอมพิวเตอร์ไม่ได้มีโครงข่ายที่สลับซับซ้อนเหมือนสมองของมนุษย์ จึงมีแนวความคิดจำลองแนวทางการเรียนรู้ของมนุษย์ไปสู่คอมพิวเตอร์

เทคนิค Generalized Linear Model คือ ตัวแบบเชิงเส้นวางนัยทั่วไป (Generalized Linear Models) เป็นชื่อที่ใช้เรียกกลุ่มของตัวแปร ซึ่งรวมถึงตัวแบบเชิงเส้น สมมุติฐานของตัวแบบเชิงเส้นวางนัยทั่วไปมีดังนี้ เทคนิคโมเดลเชิงเส้นโดยนัยทั่วไป Generalized Linear Model [GLM] เป็นโมเดลที่นำมาใช้ครั้งแรก Continuous data-Continuous data Regression, Continuous data-Categorical data Anova ประกอบด้วย 3 องค์ประกอบได้แก่

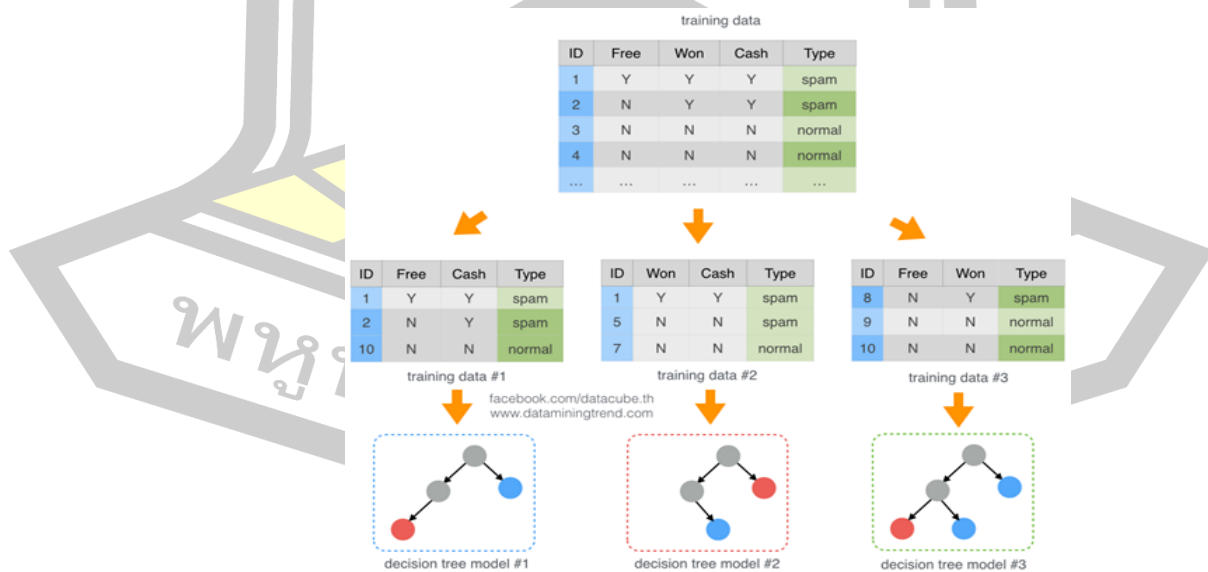
-องค์ประกอบตัวแปรสุ่ม (random component) เป็นองค์ประกอบเกี่ยวกับคุณลักษณะของการแจกแจงความน่าจะเป็นของตัวแปรตาม (response variable) หรือเรียกว่ากลุ่มของเอ็กโพเนนเชียล (type of exponential family)

$$E(Y) = \alpha + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_k x_k \tag{2.38}$$

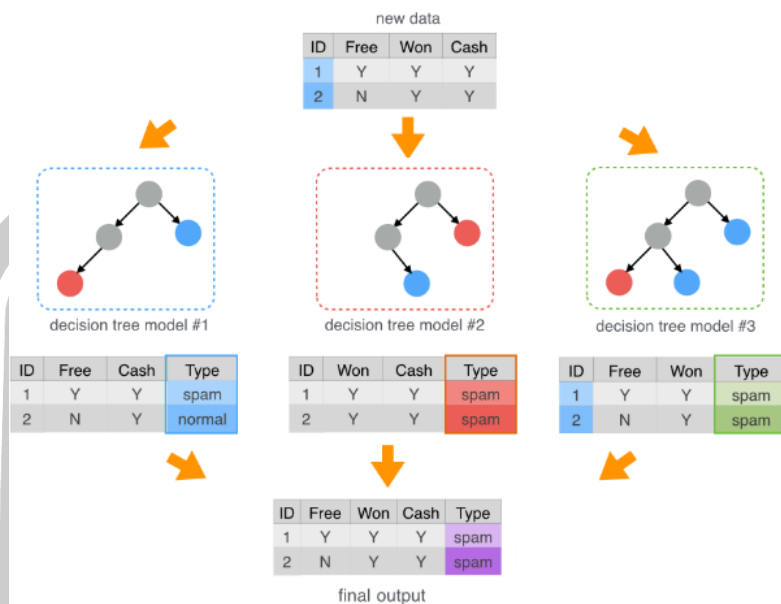
-องค์ประกอบเชิงระบบ (systematic component) เป็นการกำหนดฟังก์ชันเชิงเส้นของตัวแปรอิสระที่ใช้ในการพยากรณ์ตัวแปรตาม การรวมตัวในลักษณะเชิงเส้น (linear combination) ของตัวแปรเรียกว่า ตัวแปรพยากรณ์เชิงเส้น (linear predictor) ค่าของตัวแปรเชิงเส้น x_i ใดๆ เป็นค่าใดๆ ขึ้นกับโมเดล เช่นค่าของ $x_3 = x_i x_2$ (x_3 มีค่าเท่ากับ interaction ระหว่างตัวแปร x_i และ x_2 หรือ $x_3 = x_i^2$)

-ฟังก์ชันการเชื่อมโยง (link function) ฟังก์ชันการเชื่อมโยง (link function) เป็นส่วนที่ใช้อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบเกี่ยวกับตัวแปรสุ่มและองค์ประกอบเชิงระบบเป็นการเชื่อมโยงระหว่างตัวแปรสุ่มกับตัวแปรเชิงระบบ หมายความว่า เป็นการเชื่อมโยงระหว่าง $\mu = E(Y)$ และตัวแปรอธิบายที่กำหนดเป็นตัวพยากรณ์เชิงเส้น (linear predictor)

เทคนิค Random Forest คือวิธีการการสร้างความหลากหลายของโมเดลด้วยการสุ่มแอดทริบิวต์ด้วยแทนที่จะเป็นการสุ่มเฉพาะข้อมูลตัวอย่างเพียงอย่างเดียวเหมือน Bagging ครับ และเทคนิคที่ใช้ในการสร้างโมเดลก็เป็นเพียงแค่ Decision Tree อย่างเดียว ดังแสดงในรูปด้านล่าง ซึ่งมีการสุ่มแอดทริบิวต์ต่างๆ กันโดย เทรนนิ่ง ดาต้าชุดที่ 1 ใช้แอดทริบิวต์สองตัว คือ แอดทริบิวต์ Free และ Cash เทรนนิ่ง ดาต้าชุดที่ 2 ใช้แอดทริบิวต์สองตัว คือ แอดทริบิวต์ Won และ Cash และในการเทรนนิ่ง ดาต้าชุดที่ 3 ใช้แอดทริบิวต์สองตัว คือ แอดทริบิวต์ Free และ Won แม้ว่าจะเป็นเทคนิค Decision Tree เหมือนกันแต่ข้อมูลและแอดทริบิวต์ที่ใช้ในการสร้างโมเดลต่างกันก็ทำให้โมเดลที่สร้างขึ้นมามีลักษณะที่มีความแตกต่างกันออกไป ตามภาพประกอบ ขั้นตอนการสร้างโมเดล



ขั้นตอนการนำโมเดลไปใช้งาน



ภาพประกอบ 2.15 ขั้นตอนการสร้างโมเดลและการนำโมเดลไปใช้งาน

จากภาพมีข้อมูลใหม่ (new data) ที่ยังไม่รู้คลาสคำตอบอยู่ 2 ตัวอย่าง ซึ่งในโมเดล Decision Tree (โมเดลที่ 1) ทำนายคำตอบออกมาว่าข้อมูลใหม่ตัวอย่างที่ 1 เป็น spam และตัวอย่างที่ 2 เป็น normal โมเดล Decision Tree (โมเดลที่ 2) ทำนายคำตอบออกมาว่าข้อมูลใหม่ทั้งสองตัวอย่างเป็น spam ทั้งคู่ โมเดล Decision Tree (โมเดลที่ 3) ทำนายคำตอบออกมาว่าข้อมูลใหม่ทั้งสองตัวอย่างเป็น spam ทั้งคู่ จากผลการทำนายของทั้ง 3 โมเดลเราจะได้ว่า ข้อมูลใหม่ตัวอย่างที่ 1 จะตอบเป็น spam เนื่องจากทั้ง 3 โมเดลตอบเหมือนกันว่าเป็น spam แต่ข้อมูลใหม่ตัวอย่างที่ 2 จะตอบเป็น spam เนื่องจาก 2 ใน 3 โมเดลตอบตรงกันว่าเป็น spam เป็นต้น [65]

2.1.6 การประเมินประสิทธิภาพแบบจำลอง RMSE

ทำการประเมินความน่าเชื่อถือ ทางสถิติของแบบจำลอง โดยใช้ค่ารากที่สองของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) ซึ่งเป็นค่าสถิติที่ใช้วัดความแม่นยำของการประมาณตามสมการที่ 2.39

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2} \quad (2.39)$$

เมื่อ y_i คือ ค่าชีวมวลหรือค่าผลผลิตข้าวของต้นข้าวที่ได้จากแบบจำลอง
 \hat{y}_i คือ ค่าชีวมวลหรือค่าผลผลิตข้าวที่ได้จากการสำรวจในสนาม
 n คือ จำนวนข้อมูล

2.2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 งานวิจัยการสำรวจระยะไกลกับการศึกษาการปลูกข้าว

งานวิจัยของ [13]-[14] โดยจากผลการศึกษาจะพบว่าความสัมพันธ์ของค่าการสะท้อนแสง ($R-B$)/($R+B$) จากผลการคำนวณจะมีค่าอยู่ในช่วง 0.00 - 0.60 จะมีช่วงในการตรวจวัดกว้างกว่าความสัมพันธ์ของค่าการสะท้อนแสง $R/(R+G+B)$ ซึ่งจะมีค่าอยู่ในช่วง 0.10 - 0.30 แต่อย่างไรก็ตาม จากผลการศึกษาจะพบว่าความสัมพันธ์ของค่าการสะท้อนแสง ทั้งสองที่เลือกนำมาทดสอบสามารถใช้ ในการติดตามการเจริญเติบโตของต้นข้าวและสามารถใช้เป็นแนวทางในการทำการเกษตรแบบแม่นยำสูงได้

งานวิจัยของ [11] พบว่าข้าวเป็นพืชที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจและสังคมของประเทศไทย ความต้องการบริโภคข้าวมีสูงขึ้นในทุกปีแต่พื้นที่ในการผลิตข้าวกลับมีพื้นที่ที่จำกัด การบริหารจัดการนาข้าวจึงมีความสำคัญต่อผลผลิตข้าว การสำรวจการเจริญเติบโตแต่ละช่วงอายุของพืชเป็นขั้นตอนที่สำคัญของการเกษตรความแม่นยำสูง

งานวิจัยของ [12] พบว่าการสำรวจข้อมูลจากระยะไกล (Remote Sensing) มีศักยภาพในการให้ข้อมูลเกี่ยวกับการเกษตรความแม่นยำสูง

งานวิจัยของ [54] ได้รายงานการประมาณค่าชีวมวลของต้นข้าวก่อนข้าวออกรวงโดยการสำรวจระยะไกลด้วยอากาศยานไร้คนขับจากดัชนีพืช BNDVI และ GRVI กรณีศึกษา : ข้าวนาปีในจังหวัดขอนแก่น ประเทศไทย พบว่าค่าชีวมวลของต้นข้าวเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญที่บ่งบอกถึงการเจริญเติบโตของต้นข้าว การสำรวจระยะไกลด้วยอากาศยานไร้คนขับเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพที่ใช้ในการติดตามค่าชีวมวลของพืช อย่างไรก็ตามยังไม่เคยมีการศึกษาเกี่ยวกับการใช้ดัชนีพืช BNDVI และ GRVI ที่ได้จากข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศจาก UAV เพื่อการประมาณค่าชีวมวลของข้าวและความเข้าใจเกี่ยวกับกลไกพื้นฐานนี้ยังไม่ชัดเจน โดยจุดประสงค์ของการศึกษาคือการตรวจสอบชีวมวลของข้าวก่อนข้าวออกรวงโดยใช้ภาพถ่ายทางอากาศที่ได้จาก UAV พื้นที่ศึกษาคือพื้นที่ปลูกข้าวนาปีในจังหวัดขอนแก่น ประเทศไทย เลือกทำการทดสอบโดยใช้ดัชนีพืช 2 ชนิด คือ ดัชนีพืช blue normalized difference vegetation index (BNDVI) จากกล้อง AgroCam Pro NDVI Camera และ ดัชนีพืช green-red vegetation index (GRVI) จากกล้อง RGB Camera จากข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศที่ได้จาก UAV เพื่อเป็นข้อมูลตัวแปรอิสระในการวิเคราะห์ด้วยฟังก์ชันเส้นตรง โดยทำการสุ่มตัวอย่างข้อมูลค่าชีวมวลจริงภาคพื้นดินจำนวน 60 ตัวอย่าง ขนาด $0.30 \times 0.30 \text{ m}^2$ แบ่งเป็นข้อมูลในการสร้างแบบจำลอง 40 ชุด และทดสอบแบบจำลอง 20 ชุด จากผลการศึกษาพบว่า สามารถประมาณค่าชีวมวลของต้นข้าวโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วยฟังก์ชันเส้นตรง โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) และ ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (RMSE)) เมื่อใช้ดัชนีพืช BNDVI เท่ากับ 0.75 และ 1.94 กิโลกรัมต่อตารางเมตร และดัชนีพืช GRVI เท่ากับ 0.68 และ 3.16 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ซึ่งผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่ามีความเป็นไปได้ในการประมาณค่าชีว

มวลของข้าวโดยใช้ข้อมูลดัชนีพืชจากภาพถ่ายทางอากาศที่ได้จาก UAV โดยการใช้กล้อง AgroCam Pro NDVI Camera และกล้อง RGB Camera

2.2.2 งานวิจัยอากาศยานไร้คนขับกับการศึกษาข้าวและพืชชนิดอื่นๆ

งานวิจัยของ [17] พบว่าปัจจุบันมีการใช้ประโยชน์จากอากาศยานไร้คนขับในรูปแบบต่างๆ รวมไปถึงการประยุกต์ใช้ในการเกษตรแบบแม่นยำสูง

งานวิจัยของ [14] พบว่าเนื่องจากเทคโนโลยีการรังวัดด้วยภาพด้วยภาพถ่ายทางอากาศด้วยอากาศยานไร้คนขับเป็นวิธีการสำรวจพื้นที่ที่ใช้ระยะเวลาในการดำเนินการ แรงงาน และอุปกรณ์น้อย หลายรายงานการศึกษาใช้เทคโนโลยีการสำรวจระยะไกลศึกษาติดตามการเจริญเติบโตพื้นที่ปลูกข้าว

งานวิจัยของ [16] พบว่ามีรายงานการศึกษาใช้ช่วงคลื่น RGB ในการประมาณปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบพืชโดยใช้ความสัมพันธ์ของค่าการสะท้อนแสง $(R-B)/(R+B)$ ศึกษาสถานะคลอโรฟิลล์ทางใบในข้าวสาลี

งานวิจัยของ [15] ได้ใช้ความสัมพันธ์ของค่าการสะท้อนแสง $R/(R+G+B)$ ศึกษาปริมาณคลอโรฟิลล์ในกะหล่ำปลี

งานวิจัยของ [19] พบว่าข้อมูลแบบไฮเพอร์สเปกตรัม มีความไวต่อสิ่งรบกวน เช่น ลักษณะกิ่งก้านสาขาและลำต้น

งานวิจัยของ [20] พบว่ารายงานการวิจัยบางส่วนระบุว่าไม่มีความแตกต่างกันจากการประมาณตัวแปรทางการเกษตรโดยใช้การสำรวจแบบมัลติสเปกตรัลและไฮเพอร์สเปกตรัม จากดัชนีพืชพรรณ

งานวิจัยของ [22]-[23]-[24] พบว่ามีการนำอากาศยานไร้คนขับติดตั้งกล้อง มาใช้ในการสำรวจข้อมูลจากระยะไกลในการการตรวจวัดความสูงของพืช การติดตามการเจริญเติบโตและการประมาณผลผลิต นอกจากนี้ยังสามารถช่วยในการหาปุ๋ยที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มผลผลิตทางเศรษฐกิจและลดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม

งานวิจัยของ [13]-[14] ระบุตรงกันว่าเป็นช่วงที่ค่าชีวมวลกับดัชนีพืชแปรผันตามกัน โดยทำการออกภาคสนามเพื่อเก็บข้อมูลสำรวจและติดตามการเจริญเติบโตของต้นข้าวเพื่อพัฒนาแบบจำลองสำหรับประมาณชีวมวลของต้นข้าวและทำการประเมินความน่าเชื่อถือทางสถิติของแบบจำลอง โดยใช้ค่ารากที่สองของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย เพื่อทำการเปรียบเทียบค่าความถูกต้องจากการคำนวณตรวจสอบผลของการจำแนก

งานวิจัยของ [25] ทำการประเมินการใช้ดัชนีพืช Green-Red Vegetation Index (GRVI) เป็นตัวบ่งชี้การสังเกตการณ์การสะท้อนสเปกตรัมเป็นเวลาหลายปีของระบบนิเวศหลายแห่งในประเทศญี่ปุ่น ผลการวิจัยพบว่าค่า GRVI ของพืชสีเขียว ดิน และ น้ำ จะมีค่าเป็นบวก ลบ และ มีค่าใกล้ศูนย์ ตามลำดับ ดังนั้นจะสามารถจำแนกพืชสีเขียวกับสิ่งปกคลุมอื่นๆได้ ดังนั้น GRVI สามารถจำแนกพืชสีเขียวได้ จากหลายงานวิจัยที่กล่าวมาแล้วพบว่ายังไม่มีการนำเทคโนโลยีการสำรวจระยะไกลโดยใช้อากาศยานไร้คนขับติดตั้งกล้องร่วมกับดัชนีพืช BNDVI และ GRVI มาทำการศึกษาเกี่ยวกับชีวมวลเพื่อติดตามการเจริญเติบโตของข้าว

งานวิจัยของ [26]-[27] ได้ทำการศึกษาถึงความสัมพันธ์ของการรับรู้ระยะไกลกับค่าพารามิเตอร์ของต้นยางพาราของมาเลเซีย โดยวิธีการพัฒนาแบบจำลองสำหรับการประมาณพื้นที่ปลูกยางและการเปลี่ยนแปลงของอายุยางพาราซึ่งวิเคราะห์ข้อมูลโดยคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน Pearson's correlation coefficients (r) และทำการทดสอบ scatter plots ของตัวแปรการตอบสนอง และหาค่าความสัมพันธ์ของข้อมูลดาวเทียม ค่าดัชนีที่เกี่ยวข้องของพืชและข้อมูลของปริมาตร กับอายุของไม้ยางพารา ที่ทำการตรวจวัดในภาคสนามเพื่อสร้างแบบจำลองซึ่งดัชนีเกี่ยวกับพืชพรรณซึ่งได้แบ่งการสำรวจออกเป็น 2 ส่วน คือส่วนแรกคือ Greenness indices (GI) ประกอบไปด้วย a simple ratio , normalised difference vegetation index (NDVI) , a modified vegetation index, และ a transformed NDVI และ ส่วนที่สอง คือ Vegetation condition indices (VCI) , ใช้ TM near และ mid-infrared ของ spectrum แบบจำลองที่ถูกเลือกขึ้นอยู่กับการวิเคราะห์ตัวแปรในการทำนายที่เกี่ยวข้องกับวิธีการเลือกชุดย่อยต่างๆ เช่น R^2 ที่เลือกโดย forward selection, backward elimination, และ stepwise selection. โดยใช้เกณฑ์ 4 เกณฑ์ เพื่ออนุมานเชิงสถิติเกี่ยวกับประสิทธิภาพของแบบจำลอง โดยใช้ coefficient of determination (R^2), adjusted coefficient of determination (R_a^2), standard error of estimate (SE_E) และ significance level ($\alpha=0.05$) ประเมินและตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงานของแบบจำลองโดยคำนวณ RMSEs และ estimated correlation index squared และใช้ข้อมูลข้อมูลการรับรู้ระยะไกล มาใช้ในการสร้าง logistic regression model เพื่อทำนายตำแหน่งแปลงปลูกยางพาราที่อยู่ในพิกเซลของภาพ และในรายงานยังระบุว่าผลของการจำแนกแปลงปลูกยางพารา มีความถูกต้องของการจำแนก 87%

งานวิจัยของ [28] ได้ใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม MODIS ชุดข้อมูล NDVI ที่ให้ข้อมูลอนุกรมเวลาคุณภาพสูงอย่างต่อเนื่องเป็นตัวแทนแหล่งสำคัญของข้อมูลที่อาจเกิดขึ้นกับปกคลุมดินโดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับการตรวจสอบการกระจายของป่าธรรมชาติการศึกษาครั้งนี้เป็นการประเมินความได้เปรียบของการปรับแก้ภาพถ่าย MODIS 250 เมตร และใช้ค่า NDVI หลายช่วงเวลาในการตรวจหาการกระจายหนาแน่นพืชปกคลุมดิน ซึ่งผลการศึกษาครั้งนี้ให้การจัดหมวดหมู่ที่แม่นยำและถูกต้องเหมาะกับการใช้ในโครงการขนาดใหญ่

งานวิจัยของ [30] ได้ทำการศึกษาสหสัมพันธ์ของปริมาณน้ำฝนสะสม 4 เดือนกับ NDVI พบว่ามีค่าสหสัมพันธ์เท่ากับ 0.74 ดังนั้นปริมาณน้ำฝนสะสม 4 เดือนจึงเป็นกุญแจหลักที่สะท้อนดัชนีพืชพรรณหรือความแห้งแล้ง และความเปลี่ยนแปลงต่างๆที่เกิดขึ้นกับพืชพรรณ เนื่องจากปริมาณน้ำฝนที่ตกลงสู่พืชพรรณจะต้องใช้เวลาในการซึมผ่านลงไปชั้นดินเพื่อทำให้เกิดการเจริญเติบโต ปริมาณความชื้นในดินที่จะมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชได้มาจากน้ำฝนสะสมไม่ใช่ปริมาณน้ำฝนเฉพาะในช่วงเวลานั้นๆ

งานวิจัยของ [45] ใช้ในการประมาณราคาค่าก่อสร้างอาคารสูงโดยใช้ทฤษฎีเครือข่ายประสาทเทียม พบว่าการนำมาสร้างแบบจำลองด้วยทฤษฎีเครือข่ายประสาทเทียม เพื่อใช้ทำนายราคาค่าก่อสร้างอาคารสูง โดยได้ใช้ดัชนีราคาวัสดุก่อสร้างของกรมเศรษฐกิจพาณิชย์ มาใช้ปรับราคา ค่าก่อสร้างให้อยู่ในพื้นฐานเดียวกัน และจากการทดสอบป้อนข้อมูลและทดสอบ ผลการทำนายจากแบบจำลองพบว่า แบบจำลองทฤษฎีเครือข่ายประสาทเทียมสามารถสร้าง แบบจำลองและทำนาย

ราคาค่าก่อสร้างได้ดี โดยสามารถสร้างแบบจำลองในการทำนายราคา ค่าก่อสร้างจากการใช้ตัวแปรอิสระเพียง 6 ตัวแปร ซึ่งน้อยกว่างานวิจัยเดิม ตัวแปรอิสระที่ใช้ ได้แก่ จำนวนชั้นบนดินทั้งหมด, จำนวนชั้นใต้ดินทั้งหมด, จำนวนชั้นจอดรถทั้งหมด, ความสูง ชั้นสำนักงานที่พัก, ความสูงของชั้นจอดรถ, พื้นที่รวมในอาคาร ผลที่ได้จากการทำนายราคา ที่ได้มีค่าความแม่นยำที่ใกล้เคียงกับงานวิจัยเดิม

งานวิจัยของ [46] ได้วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัจจัย โดยใช้ Correlation และ Regression ผลการศึกษาพบว่าปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ได้แก่ ข้อมูลจังหวัด ปีการผลิต ข้อมูลปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย ผลผลิตอ้อยเฉลี่ยต่อไร่ และพื้นที่ปลูกอ้อย ซึ่งจะเป็นข้อมูลนำเข้าตัวแบบ ANN2 และจากสมมติฐานด้านพืชแข่งขันทางเศรษฐกิจของอ้อย โดยราคาพืชแข่งขันทางเศรษฐกิจน่าจะมีผลต่อปริมาณการ ปลูกอ้อยในเขตพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้เพิ่มปัจจัยด้านราคาพืชแข่งขันที่สำคัญ 3 ปัจจัยคือ ราคาอ้อยเฉลี่ย ราคาขากพาราเฉลี่ย และราคามันสำปะหลังเฉลี่ย เมื่อรวมกับปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ที่ได้จากการ วิเคราะห์ด้วยวิธีทางสถิติ ได้แก่ข้อมูลจังหวัด ปีการผลิต พื้นที่ปลูกอ้อย ผลผลิตอ้อยเฉลี่ยต่อไร่ และข้อมูลปริมาณ น้ำฝนเฉลี่ยจะเป็นข้อมูลนำเข้าของตัวแบบ ANN3 ในการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยใช้ข้อมูลระหว่างปี พ.ศ. 2547-2552 เพื่อ สร้างและเปรียบเทียบโมเดลโครงข่ายประสาทเทียมจากข้อมูลปัจจัยนำเข้าทั้ง 3 ชุด ซึ่งผลการศึกษาพบว่าตัวแบบ ANN3 ที่มีสถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียมแบบ 8:4:1 ให้ผลพยากรณ์แม่นยำสูงที่สุด มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ 0.9973 เมื่อเทียบกับ ANN1 ที่มีสถาปัตยกรรม 5:10:1 และ ANN2 ที่มีสถาปัตยกรรม 6:8:1 โดยมีค่า สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ 0.9794, 0.9822 ตามลำดับ

งานวิจัยของ [47] ได้นำวิธีโครงข่ายของประสาทเทียมมาเป็นแบบจำลองในทางคณิตศาสตร์ของการใช้ระบบประสาทเทียมในทางชีวภาพมีการใช้หน่วยปฏิบัติการหลากหลายหน่วยหรือหลายภาคส่วนมาเชื่อมโยงกันตามค่าของแต่ละข้อมูลของหน่วย และนำมาคำนวณค่าผลลัพธ์ของโครงข่ายตามระบบที่ได้ปรับเปลี่ยนไปใช้ในการหาแบบจำลองที่มีข้อมูลความสัมพันธ์ที่มีความสลับ ซับซ้อนของตัวแปรต้นกับตัวแปรตาม ทางด้านการเกษตรเช่นในการจำแนก สำหรับการหาความสัมพันธ์ของตัวแปรต้นกับตัวแปรตามในการหาค่าผลลัพธ์ตามสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไป

งานวิจัยของ [48] ทำการพัฒนาแบบจำลองพยากรณ์ แนวโน้มการสมัครงานตรงกับวุฒิการศึกษาสาขาคอมพิวเตอร์โดยใช้โครงข่ายของประสาทเทียม ซึ่งชุดข้อมูลที่นำมาใช้ คือ ข้อมูลของนักศึกษาสาขาคอมพิวเตอร์ วิธีการวิจัยประกอบด้วย 3 ขั้นตอน ดังนี้ ขั้นตอนแรก คือ การเตรียมข้อมูล นำเข้าใช้ข้อมูลของนักศึกษาสาขาคอมพิวเตอร์ ซึ่งประกอบด้วยคะแนนแบบทดสอบบุคลิกภาพที่สอดคล้องกับ คุณลักษณะบัณฑิตของสาขาคอมพิวเตอร์ ผลการเรียนรู้ในกลุ่มสาระการเรียนรู้ในระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ได้แก่ การงานอาชีพและเทคโนโลยี ภาษาไทย คณิตศาสตร์ วิทยาศาสตร์ และภาษาต่างประเทศ ขั้นตอนต่อไปสร้าง แบบจำลองพยากรณ์แนวโน้มการสมัครงานตรงกับวุฒิการศึกษาสาขาคอมพิวเตอร์ด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้นและขั้นตอนสุดท้ายทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองพยากรณ์ ผลการวิจัย พบว่า แบบจำลองที่มีค่าความถูกต้องมากที่สุด คือ 75.63%มีปัจจัยสำคัญประกอบด้วยบุคลิกภาพที่สอดคล้องกับคุณลักษณะบัณฑิตของสาขาคอมพิวเตอร์ กลุ่มสาระการเรียนรู้ ได้แก่ การงานอาชีพและเทคโนโลยี ภาษาไทย คณิตศาสตร์ วิทยาศาสตร์ และภาษาต่างประเทศ นอกจากนี้ผลจากการสังเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อ การศึกษาสาขาคอมพิวเตอร์ คือ กลุ่มสาระการเรียนรู้ภาษาไทย บุคลิกภาพที่สอดคล้องกับคุณลักษณะบัณฑิต

ของสาขาคอมพิวเตอร์ และกลุ่มสาระการเรียนรู้การงานอาชีพและเทคโนโลยี มีค่า 26.32% 21.05% และ 18.42% ตามลำดับ

งานวิจัยของ [53] ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบวิธีการวัดการเจริญเติบโตของสาหร่ายขนาดใหญ่ (Caulerpa lentillifera) ที่แตกต่างกัน 3 วิธี ได้แก่ การชั่งน้ำหนักเปียก วัดความยาว และการวัดพื้นที่ภาพถ่าย จากสาหร่ายจำนวน 500 ตัวอย่าง นำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างวิธีการวัดการเจริญเติบโตต่างๆ ด้วยสมการวิเคราะห์ความถดถอย ผลการศึกษาพบว่า สมการวิเคราะห์ความถดถอยระหว่างวิธีการชั่งน้ำหนักเปียกกับการวัดพื้นที่ ภาพถ่ายเท่ากับ $y=0.488911x+0.091231$ ($R^2=0.9099$) สมการวิเคราะห์ความถดถอยระหว่างการวัด ความยาวกับการวัดพื้นที่ภาพถ่ายเท่ากับ $y = 15.9460x + 6.8446$ ($R^2 = 0.8273$) และสมการวิเคราะห์ความ ถดถอยระหว่างวิธีการชั่งน้ำหนักเปียกกับความยาวเท่ากับ $y = 28.6909x + 11.7185$ ($R^2 = 0.7035$) สมการที่ได้สามารถนำไปประยุกต์เพื่อวัดการเจริญเติบโตของของสาหร่ายขนาดใหญ่ด้วยการวัดพื้นที่จากภาพถ่ายได้

งานวิจัยของ [57] ได้นำค่าดัชนีพืชพรรณ NDVI ในแต่ละช่วงเวลาในการแยกประเภทการเก็บเกี่ยวไร่ข้าวโพดในพื้นที่เกษตรกรรมประเทศสหรัฐอเมริกา โดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียมจากอุปกรณ์ MODIS (Resolution 50 เมตร) ในช่วงระหว่าง ปี 2002 – 2006 เพื่อวางแผนด้านการเก็บเกี่ยว ด้วย Decision tree algorithm ในการแยกพื้นที่ Non-crop และ พื้นที่ Crop จากเงื่อนไขค่า NDVI

งานวิจัยของ [58] นำค่าดัชนีพืชพรรณ NDVI ในการจำแนกความหลากหลายของพืชพรรณบริเวณแม่น้ำ Yellow River Basin (YRB) จากอุปกรณ์ NOAA/AVHRR ด้วยเทคนิค Iterative self-organizing data analysis (ISODATA) และ Unsupervised classification ประกอบไปด้วยพืชพรรณ 25 ชนิด ใน 8 กลุ่ม

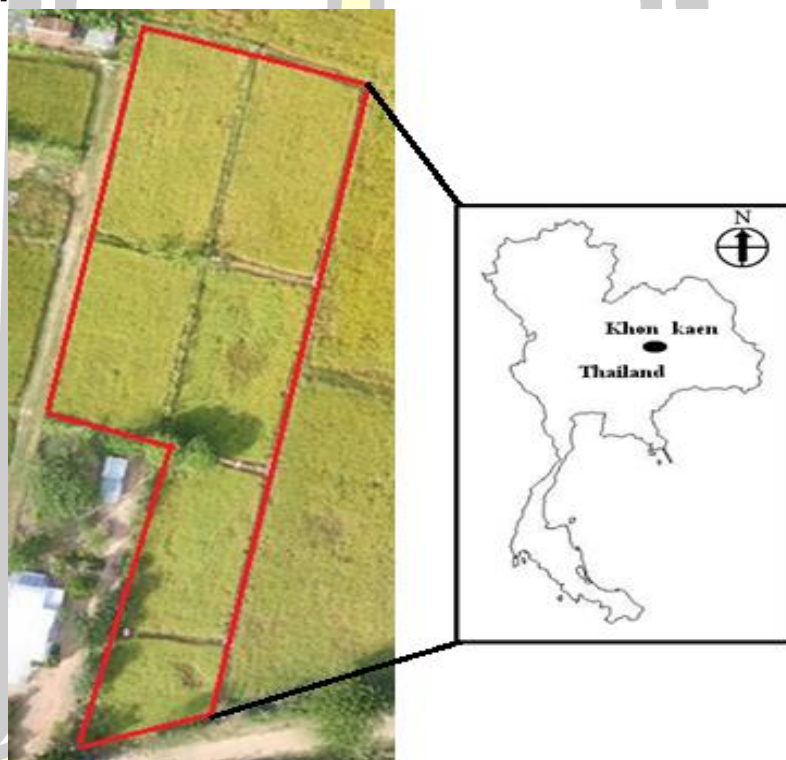
งานวิจัยของ [59] ได้ศึกษาการ Predicting พื้นที่ป่าจากภาพถ่ายดาวเทียมด้วยเทคนิค การทำเหมืองข้อมูล (Data Mining) เปรียบเทียบอัลกอริทึมต่าง ๆ ด้วยโปรแกรม Weka โดยศึกษาจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Multi-spectral ของอุปกรณ์ Landsat ETM+ ทั้งหมด 4 ภาพ ใน 2 level บนพื้นฐานค่าสถิติค่าการสะท้อนแสง 4 ค่า (ค่าต่ำสุด, ค่าสูงสุด, ค่าเฉลี่ย, และ ค่าส่วนเบี่ยงมาตรฐาน) ที่ถูกคำนวณจากแต่ละภาพ Pixel ของภาพถ่ายในช่วงย่านความถี่ (Bands) ที่ 2, 3, 4, 5, และ 7 ประกอบไปด้วยตัวแปร 160 ตัวแปร

งานวิจัยของ [56] รายงานศึกษาการประมาณการผลผลิตข้าวเปลือกโดยใช้ค่าดัชนีพืชพรรณ NDVI สูงสุด และ ผลรวมดัชนีพืชพรรณ NDVI รายวัน จากดาวเทียม MODIS ร่วมกับข้อมูลผลผลิตข้าวเปลือกที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม ใช้ข้อมูลจากดาวเทียม MODIS เป็นข้อมูลตัวแปรอิสระในการวิเคราะห์ ด้วยโครงข่ายประสาทเทียม ทำการเก็บข้อมูลภาคสนาม จำนวน 80 จุด แบ่งเป็นข้อมูลการสร้างแบบจำลอง 55 จุด และทดสอบแบบจำลอง 25 จุด ผลพบว่า การประมาณการผลผลิตข้าวเปลือกโดยใช้ค่าดัชนีพืชพรรณ NDVI รายวันด้วยโครงข่ายประสาทเทียมมีความถูกต้องสูงที่สุด โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) และค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (RMSE) เท่ากับ 0.975 และ 0.008 ต้น/ไร่

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 พื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษาเป็นแปลงนาอาศัยน้ำฝนหรือนาปีในการปลูกข้าว[31] ปลูกข้าวพันธุ์หอมมะลิ 105 บนที่นาเนื้อที่ประมาณ 2 ไร่ เริ่มทำการปักดำวันที่ 10 กรกฎาคม 2561 อยู่ที่ ตำบลบ้านทุ่ม อำเภอเมือง จังขอนแก่น อยู่ทีพิกัด 16๐28'2.208" เหนือ และ 102๐40'30.144" ตะวันออก ลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ดอน มีฝนตกทั่วไปปริมาณฝนเฉลี่ยตลอดปีของจังหวัดขอนแก่นเท่ากับ 1,230 มิลลิเมตร โดยมีอุณหภูมิสูงสุดโดยเฉลี่ย 36.5 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย 15.4 องศาเซลเซียส [54]

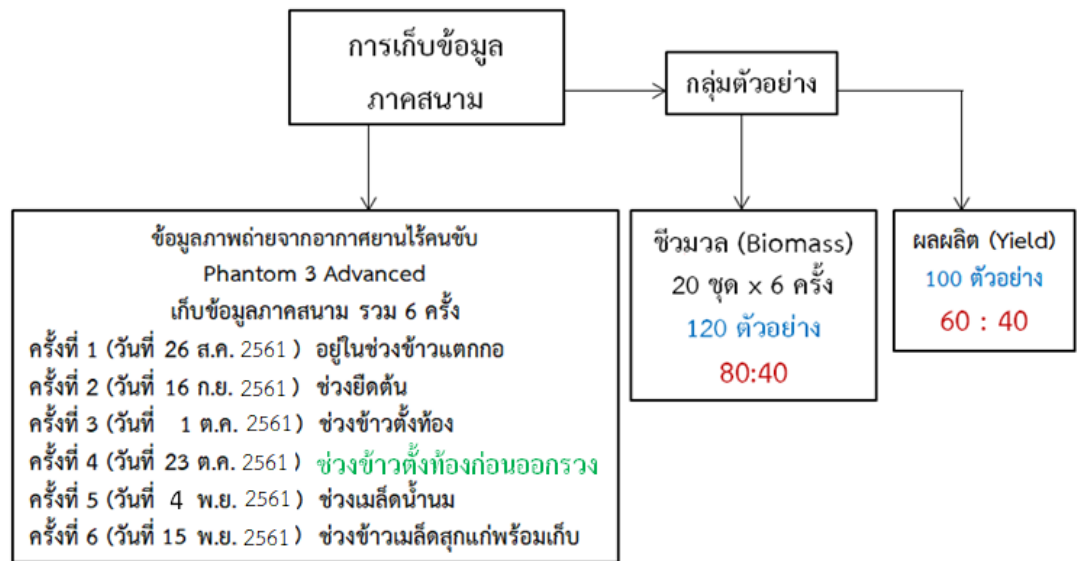


ภาพประกอบ 3.16 พื้นที่ศึกษาเป็นแปลงนาอาศัยน้ำฝนหรือนาปีข้าว

3.2 เครื่องมือวิธีการเก็บข้อมูลในภาคสนาม

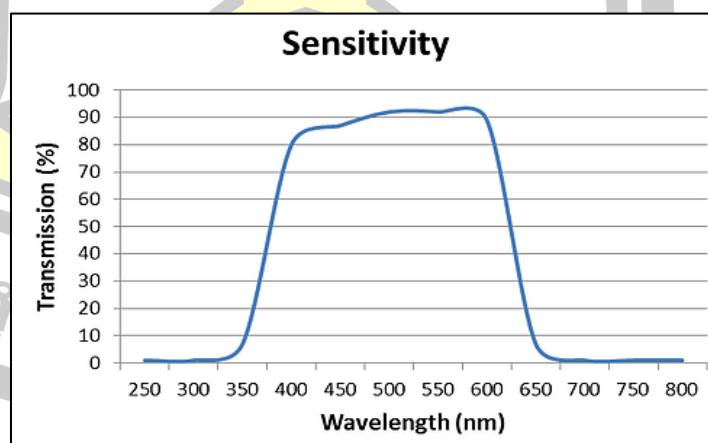
การวิจัยนี้ใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ Phantom 3 Advanced ที่บันทึกภาพเก็บข้อมูลบันทึกภาพเก็บข้อมูลรวม 6 ครั้ง โดยครั้งที่ 1 (วันที่ 26 ส.ค. 2561) อยู่ในช่วงข้าวแตกกอ ครั้งที่ 2 (วันที่ 16 ก.ย. 2561) ช่วงยี่ดต้น ครั้งที่ 3 (วันที่ 1 ต.ค. 2561) ช่วงข้าวตั้งท้อง ครั้งที่ 4 (วันที่ 23 ต.ค. 2561) ช่วงข้าวตั้งท้องแก่ก่อนออกรวง ครั้งที่ 5 (วันที่ 15 พ.ย. 2561) ช่วงเมล็ดน้านมและ ครั้งที่ 6 (วันที่ 25 พ.ย. 2561) ช่วงข้าวเมล็ดสุกแก่พร้อมเก็บเกี่ยว[32] โดยการแบ่งการทำงานเป็น 2 ส่วนคือภาพประกอบ 3.17

แผนภาพการเก็บข้อมูลภาคสนามในแปลงนาข้าว



ภาพประกอบ 3.17 แผนภาพการเก็บข้อมูลภาคสนามในแปลงนาข้าว

ส่วนที่ 1 การถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ Phantom 3 Advanced โดยกล้อง RGB Camera ที่ติดตั้งเข้ากับ Phantom 3 Advanced ที่มีความละเอียด 12 ล้านพิกเซล FOV 94° 20 มิลลิเมตร (เทียบเท่ากับ 35 มิลลิเมตร) f/2.8 โดยมีคุณสมบัติการสะท้อนแสงแต่ละช่วงคลื่นของกล้องดังภาพ 3.18 และทำการวางแผนการบินด้วย Application PIX4D โดยกำหนดความสูงของการบิน 90 เมตร ทำการถ่ายภาพให้มีระยะซ้อนด้านหน้า 90% และระยะซ้อนด้านข้าง 60%



ภาพประกอบ 3.18 คุณสมบัติการสะท้อนแสงแต่ละช่วงคลื่นของกล้อง RGB Camera ที่ติดตั้งเข้ากับ Phantom 3 Advance

ส่วนที่ 2 คือ ทำการเก็บข้อมูลภาคสนามโดยใช้ขนาดกรอบเก็บตัวอย่างที่มีพื้นที่ช่องว่างขนาด 0.3×0.3 ตารางเมตร กรอบหนา 0.1 เมตร ดังภาพที่ 3.19 สำหรับการทำให้เครื่องหมายตัวอย่างชีวมวลของต้นข้าวในแปลงนาทดลอง โดยเก็บข้อมูลครั้งละ 20 ตัวอย่าง 6 ครั้ง รวม 120 ตัวอย่าง โดยหลังจากการบันทึกภาพจะทำการชูดต้นข้าวรวมรากแล้วนำมาชั่งน้ำหนักโดยใช้ตาชั่งดิจิตอลที่บันทึกค่าได้ละเอียดในหน่วยกรัมเพื่อบันทึกค่าและคำนวณค่าชีวมวล (Biomass)[38]-[39] ต้นข้าวในหน่วยกิโลกรัมต่อตารางเมตรและในครั้งที่ 6 และทำการเก็บข้อมูลน้ำหนักข้าวเปลือกแล้วนำมาชั่งน้ำหนักคำนวณค่าผลผลิตข้าว (Yield) ช่วงที่ข้าวตั้งท้องแก่ก่อนออกรวงในกรอบพื้นที่ขนาด 1×1 ตารางเมตร มีหน่วยกิโลกรัมต่อตารางเมตร จำนวน 100 ตัวอย่าง



ภาพประกอบ 3.19 การเก็บข้อมูลกรอบเก็บตัวอย่างพื้นที่

3.3 วิธีการประมวลผลภาพ

ทำการประมวลผลภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับซึ่งจากการถ่ายภาพโดยใช้โปรแกรม Agisoft Photoscan Professional (Demo version) [35]-[36] ทำการปรับแก้พารามิเตอร์กล้องถ่ายภาพโดยใช้โปรแกรม Agisoft Lens ทำการปรับแก้ geometrically corrected โดยใช้จุดควบคุมพื้นดิน (ground control points) 6 จุดจากการรังวัดค่าพิกัดโดยใช้กล้อง Total Station และปรับแก้แสงสะท้อนโดยใช้ Calibrations Plate เพื่อให้การถ่ายภาพแต่ละช่วงเวลามีการสะท้อนแสงของวัตถุเท่ากัน หลังจากผ่านกระบวนการประมวลผลภาพ สร้างแผนที่ภาพออร์โธ (Orthophoto map) ได้ค่าความละเอียดจุดภาพ (Ground resolution) เท่ากับ 0.05 เมตร/พิกเซล [33]-[34]

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

3.4.1 การประมาณค่าชีวมวลและผลผลิตข้าวจากความสัมพันธ์ของค่าการสะท้อนแสง

ในการศึกษาครั้งนี้ทำการประมาณค่าชีวมวลและผลผลิตข้าวจากค่าอัตราส่วนการสะท้อนแสง Red Green Blue Index (RGBI) และ Green-Red vegetation index (GRVI) ตามสมการที่ 3.1 และ 3.2 เพื่อนำมาหาความสัมพันธ์กับค่าชีวมวลต้นข้าวที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม [41]

$$\text{RGBI} = R/(R+G+B) \quad (3.1)$$

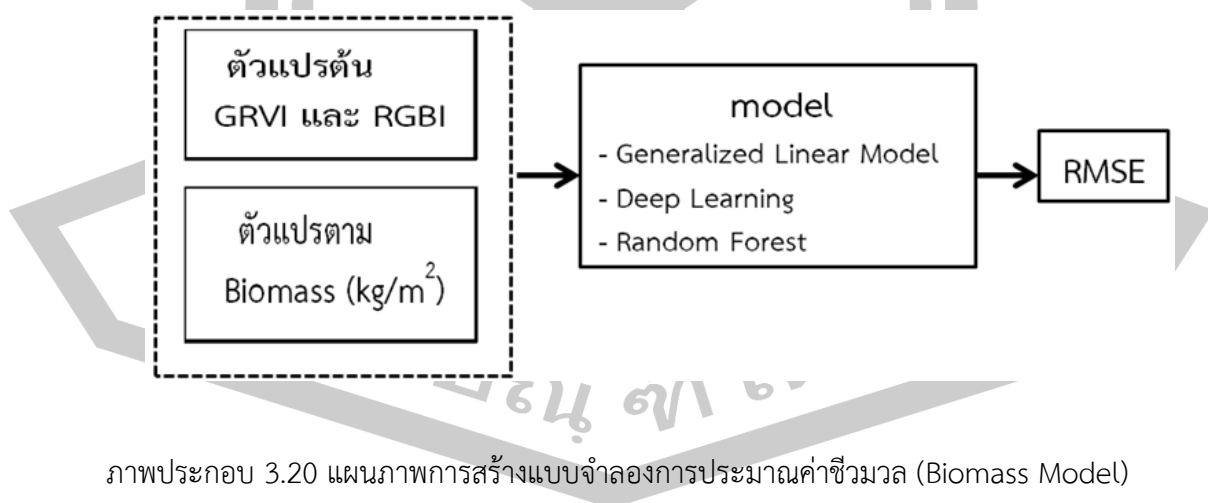
$$\text{GRVI} = (G-R)/(G+R) \quad (3.2)$$

เมื่อ

G	คือ	ค่าการสะท้อนแสงในช่วงคลื่นแสงสีเขียว
R	คือ	ค่าการสะท้อนแสงในช่วงคลื่นแสงสีแดง
B	คือ	ค่าการสะท้อนแสงในช่วงคลื่นแสงสีน้ำเงิน

3.4.2 แบบจำลองการประมาณค่าชีวมวลข้าว

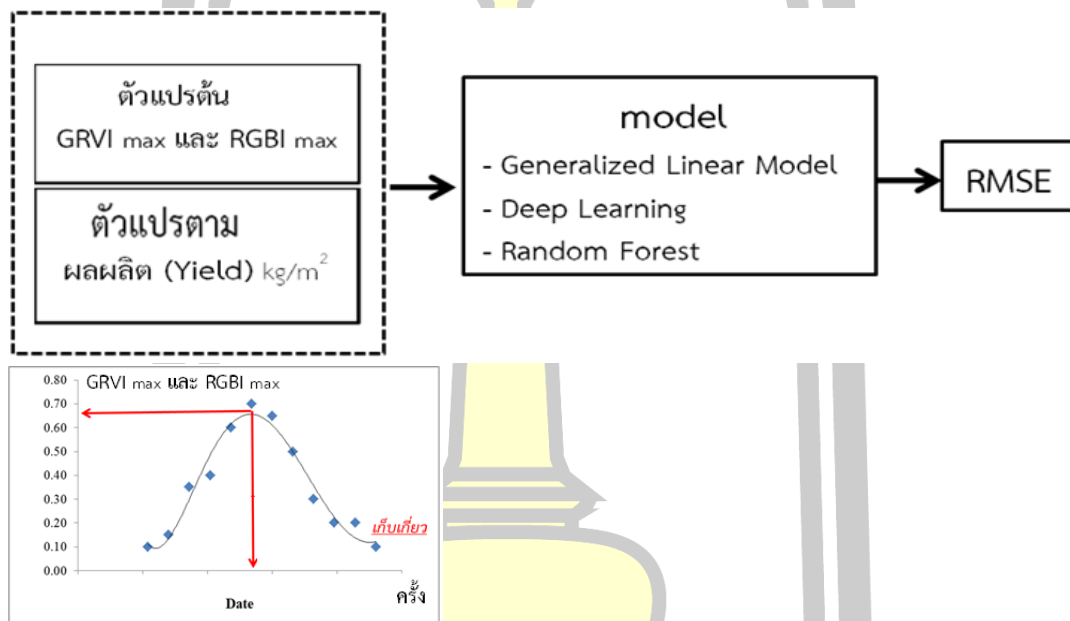
นำผลการคำนวณค่า RGBI และ GRVI แต่ละจุดภาพที่อยู่ภายในกรอบเก็บตัวอย่างชีวมวล ขนาด $0.3 \times 0.3 \text{ m}^2$ ทั้ง 120 ตัวอย่าง มาคำนวณค่า RGBI และ GRVI เฉลี่ยของแต่ละกรอบเก็บตัวอย่าง โดยขนาดความละเอียดจุดภาพที่ได้จากการประมวลผลเท่ากับ $0.05 \times 0.05 \text{ m}^2$ ข้อมูลค่าชีวมวลของต้นข้าวที่ได้จากการสำรวจภาคสนามรวมทั้งหมด 120 ตัวอย่าง จะถูกแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มข้อมูลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง (Calibration Data Sets) จำนวน 80 ตัวอย่าง และกลุ่มข้อมูลในการทดสอบแบบจำลอง (Evaluation Data Sets) จำนวน 40 ตัวอย่าง ตามภาพที่ 3.20 แผนภาพการสร้างแบบจำลองการประมาณค่าชีวมวล (Biomass Model)



ภาพประกอบ 3.20 แผนภาพการสร้างแบบจำลองการประมาณค่าชีวมวล (Biomass Model)

3.4.3 แบบจำลองการประมาณค่าผลผลิตข้าว

จากข้อมูลภาคสนามนำผลการคำนวณค่า RGBI สูงสุด และ GRVI สูงสุด แต่ละจุดภาพที่อยู่ภายในกรอบเก็บตัวอย่างซึ่งมีขนาด $0.3 \times 0.3 \text{ m}^2$ ทั้ง 100 ตัวอย่าง และแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 กลุ่มคือกลุ่มข้อมูลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง (Calibration Data Sets) จำนวน 60 ตัวอย่าง และกลุ่มข้อมูลในการทดสอบแบบจำลอง (Evaluation Data Sets) จำนวน 40 ตัวอย่าง ตามภาพประกอบ 3.21 [49]-[50]



ภาพประกอบ 3.21 แผนภาพการคำนวณค่า RGBI สูงสุด และ GRVI สูงสุด ผลผลิตข้าว

3.4.4 การประเมินประสิทธิภาพแบบจำลอง

ทำการประเมินความน่าเชื่อถือ ทางสถิติของแบบจำลอง โดยใช้ค่ารากที่สองของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) ซึ่งเป็นค่าสถิติที่ใช้วัดความแม่นยำของการประมาณตามสมการที่ 3.3 [54]

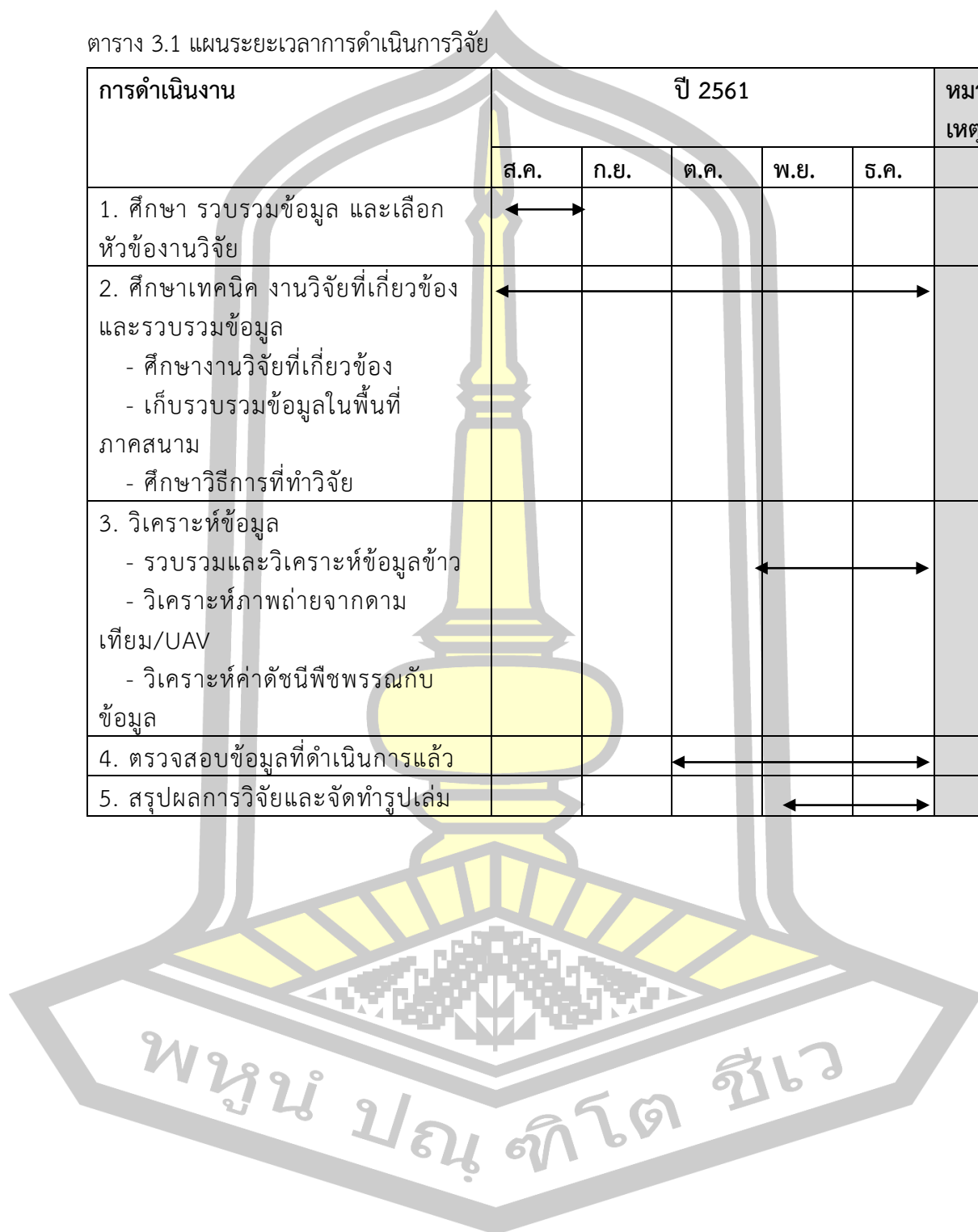
$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2} \quad (3.3)$$

เมื่อ y_i คือ ค่าชีวมวลหรือค่าผลผลิตข้าวของต้นข้าวที่ได้จากแบบจำลอง
 \hat{y}_i คือ ค่าชีวมวลหรือค่าผลผลิตข้าวที่ได้จากการสำรวจในสนาม
 n คือ จำนวนข้อมูล

3.5 แผนระยะเวลาการดำเนินการวิจัย

ตาราง 3.1 แผนระยะเวลาการดำเนินการวิจัย

การดำเนินงาน	ปี 2561					หมายเหตุ
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	
1. ศึกษา รวบรวมข้อมูล และเลือกหัวข้องานวิจัย	←→					
2. ศึกษาเทคนิค งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และรวบรวมข้อมูล - ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง - เก็บรวบรวมข้อมูลในพื้นที่ภาคสนาม - ศึกษาวิธีการที่ทำวิจัย	←	←	←	←	←	
3. วิเคราะห์ข้อมูล - รวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลซ้ำ - วิเคราะห์ภาพถ่ายจากตามเทียม/UAV - วิเคราะห์ค่าดัชนีพืชพรรณกับข้อมูล				←→	←→	
4. ตรวจสอบข้อมูลที่ดำเนินการแล้ว			←	←	←	
5. สรุปผลการวิจัยและจัดทำรูปเล่ม				←→	←→	

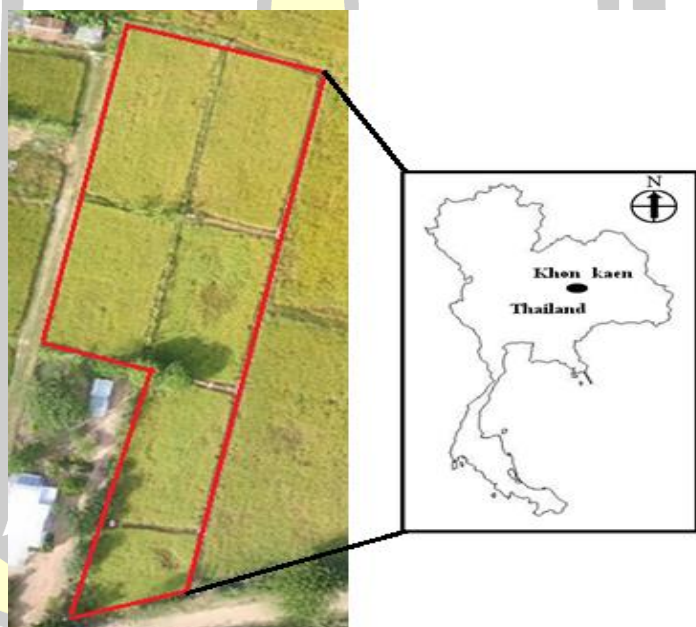


บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ในบทนี้ผลผู้วิจัยได้นำผลข้อมูลภาคสนามมาทำการวิเคราะห์ตามกระบวนการขั้นตอนและวิธีการต่างๆดังต่อไปนี้

4.1 พื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษาเป็นแปลงนาอาศัยน้ำฝนหรือนาปีในการปลูกข้าว ปลูกข้าวพันธุ์หอมมะลิ 105 บนที่นาเนื้อที่ประมาณ 2 ไร่ เริ่มทำการปักดำวันที่ 10 กรกฎาคม 2561 อยู่ที่ ตำบลบ้านทุ่ม อำเภอเมือง จังขอนแก่น อยู่ทีพิกัด $16^{\circ}28'2.208''$ เหนือ และ $102^{\circ}40'30.144''$ ตะวันออก ลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ดอน มีฝนตกทั่วไปปริมาณฝนเฉลี่ยตลอดปีของจังหวัดขอนแก่นเท่ากับ 1,230 มิลลิเมตร โดยมีอุณหภูมิสูงสุดโดยเฉลี่ย 36.5 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย 15.4 องศาเซลเซียส



ภาพประกอบ 4.22 ภาพแปลงนาการเก็บข้อมูล

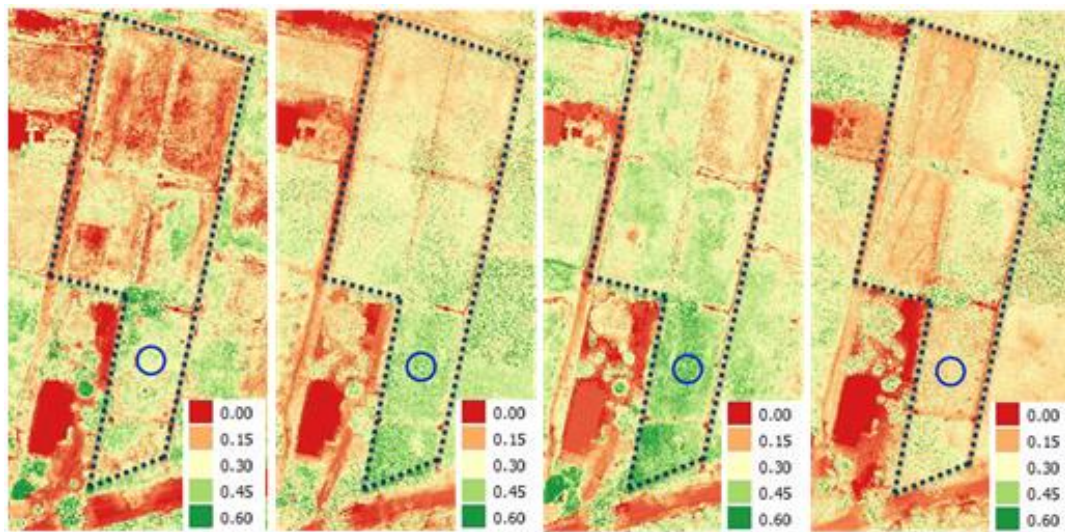
4.2 ผลการประมวลผลภาพ

ทำการประมวลผลภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับซึ่งจากการถ่ายภาพโดยใช้โปรแกรม Agisoft Photoscan Professional (Demo version) ทำการปรับแก้พารามิเตอร์กล้องถ่ายภาพโดยใช้โปรแกรม Agisoft Lens ทำการปรับแก้ geometrically corrected โดยใช้จุดควบคุมพื้นดิน (ground control points) 5 จุดจากการรังวัดค่าพิกัดโดยใช้กล้อง Total Station และปรับแก้แสงสะท้อนโดยใช้ Calibrations Plate เพื่อให้การถ่ายภาพแต่ละช่วงเวลามีการสะท้อนแสงของวัตถุ

เท่ากัน หลังจากผ่านกระบวนการประมวลผลภาพ สร้างแผนที่ภาพออร์โท (Orthophoto map)[42]-[43]-[44] ได้ค่าความละเอียดจุดภาพ (Ground resolution) เท่ากับ 0.05 เมตร/พิกเซล ข้อมูลรวม 6 ครั้ง โดยครั้งที่ 1 (26 ส.ค. 2561) อยู่ในช่วงข้าวแตกกอ ครั้งที่2 (16 ก.ย. 2561) ช่วงยี่ดต้น ครั้งที่ 3 (1 ต.ค. 2561) ช่วงข้าวตั้งท้อง ครั้งที่ 4 (23 ต.ค. 2561) ช่วงข้าวตั้งท้องแก่ก่อนออกรวง ครั้งที่ 5(4 พ.ย.2561)ช่วงเมล็ดนํ้านมและครั้งที่ 6(15พ.ย.2561) ช่วงข้าวเมล็ดสุกแก่พร้อมเก็บเกี่ยว [51]-[52]



ภาพประกอบ 4.23 ภาพการประมวลผลภาพสร้างแผนที่ภาพออร์โท(Orthophoto map)



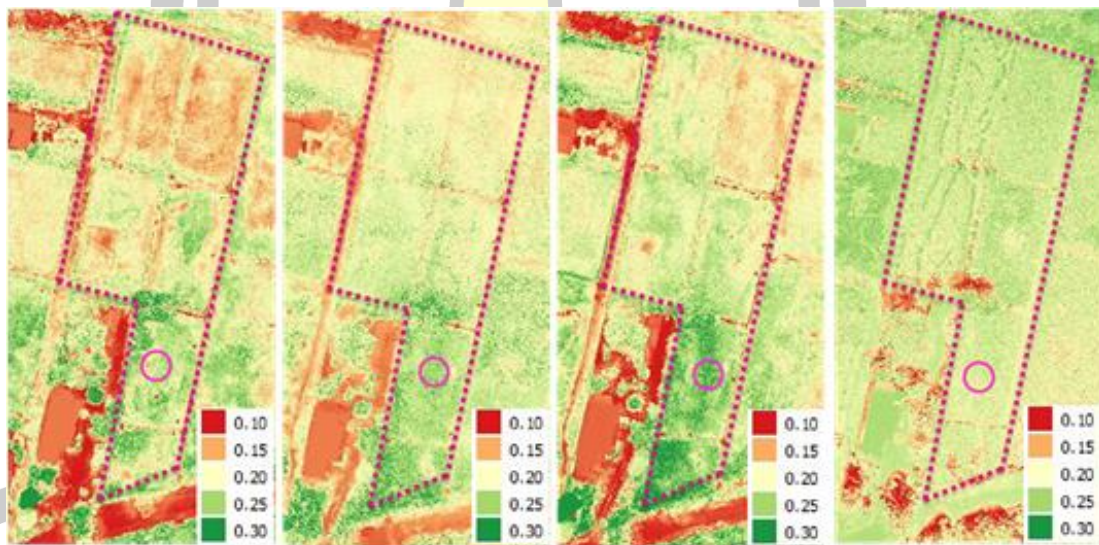
(ก) 26/08/2018

(ข) 1/10/2018

(ค) 23/10/2018

(ง) 15/11/2018

a. ภาพจากการกระบวนการประมวลผลภาพสร้างแผนที่ภาพออร์โท(Orthophoto map) ตามสมการ $(R-B)/(R+B)$



(ก) 26/08/2018

(ข) 1/10/2018

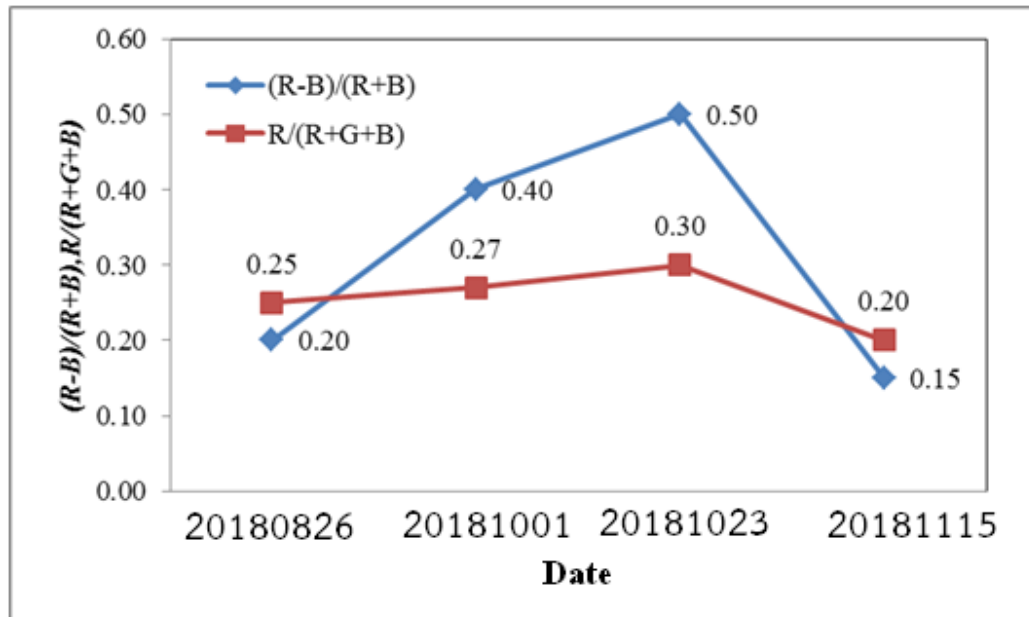
(ค) 23/10/2018

(ง) 15/11/2018

ภาพประกอบ 4.24 ภาพการประมวลผลภาพสร้างแผนที่ภาพออร์โท(Orthophoto map) ตามสมการ

a. ภาพจากการกระบวนการประมวลผลภาพสร้างแผนที่ภาพออร์โท(Orthophoto map) ตามสมการ $(R-B)/(R+B)$ และ

b. ภาพจากการกระบวนการประมวลผลภาพสร้างแผนที่ภาพออร์โท(Orthophoto map) ตามสมการ $(R-B)/(R+B)$, $R/(R+G+B)$



ภาพประกอบ 4.25 ภาพแสดงความสัมพันธ์ตามสมการ $(R-B)/(R+B)$, $R/(R+G+B)$

4.3 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.3.1 การประมาณค่าชีวมวลและผลผลิตข้าวจากความสัมพันธ์ของค่าการสะท้อนแสง ในการศึกษานี้ทำการประมาณค่าชีวมวลและผลผลิตข้าวจากค่าอัตราส่วนการสะท้อนแสง Red Green Blue Index (RGBI) และ Green-Red vegetation index (GRVI) ตามสมการที่ 3.1 และ 3.2 เพื่อนำมาหาความสัมพันธ์กับค่าชีวมวลต้นข้าวที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม

$$\text{RGBI} = R/(R+G+B) \quad (4.1)$$

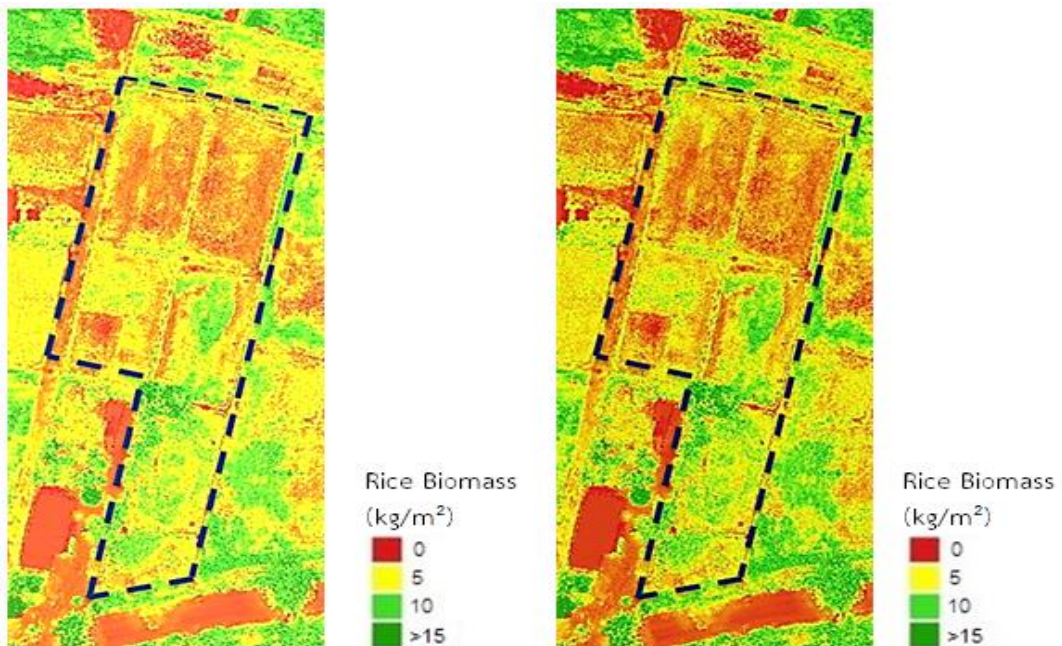
$$\text{GRVI} = (G-R)/(G+R) \quad (4.2)$$

เมื่อ G คือ ค่าการสะท้อนแสงในช่วงคลื่นแสงสีเขียว

R คือ ค่าการสะท้อนแสงในช่วงคลื่นแสงสีแดง

B คือ ค่าการสะท้อนแสงในช่วงคลื่นแสงสีน้ำเงิน

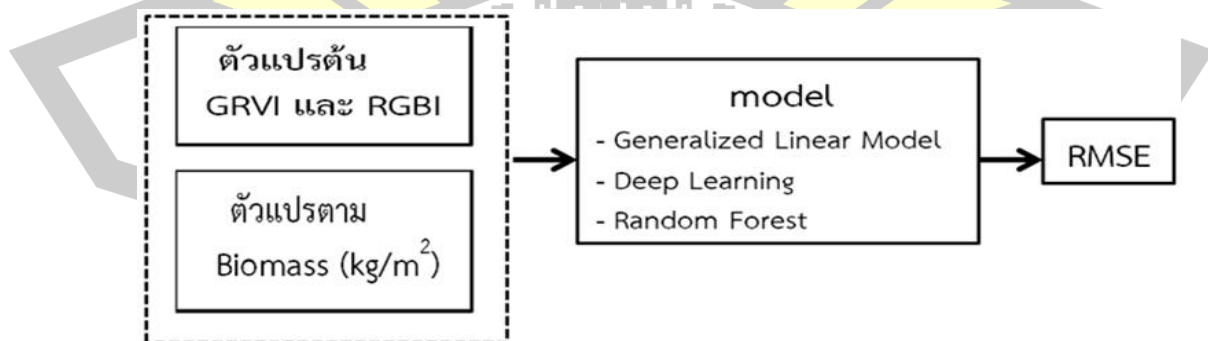
พหุบัณฑิตวิทยาลัย



ภาพประกอบ 4.26 แผนที่แสดงปริมาณชีวมวลจาก RGBI และปริมาณชีวมวลจาก GRVI

4.3.2 แบบจำลองการประมาณค่าชีวมวลข้าวก่อนออกรวงและหลังออกรวง

นำผลการคำนวณค่า RGBI และ GRVI แต่ละจุดภาพที่อยู่ภายในกรอบเก็บตัวอย่างชีวมวลขนาด $0.3 \times 0.3 \text{ m}^2$ ทั้ง 120 ตัวอย่าง มาคำนวณค่า RGBI และ GRVI เฉลี่ยของแต่ละกรอบเก็บตัวอย่าง โดยขนาดความละเอียดจุดภาพที่ได้จากการประมวลผลเท่ากับ $0.05 \times 0.05 \text{ m}^2$ ข้อมูลค่าชีวมวลของต้นข้าวที่ได้จากการสำรวจภาคสนามรวมทั้งหมด 120 ตัวอย่าง จะถูกแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มข้อมูลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง (Calibration Data Sets) จำนวน 80 ตัวอย่าง และกลุ่มข้อมูลในการทดสอบแบบจำลอง (Evaluation Data Sets) จำนวน 40 ตัวอย่าง ตามภาพที่ 4.27 แผนภาพการสร้างแบบจำลองการประมาณค่าชีวมวล (Biomass Model)



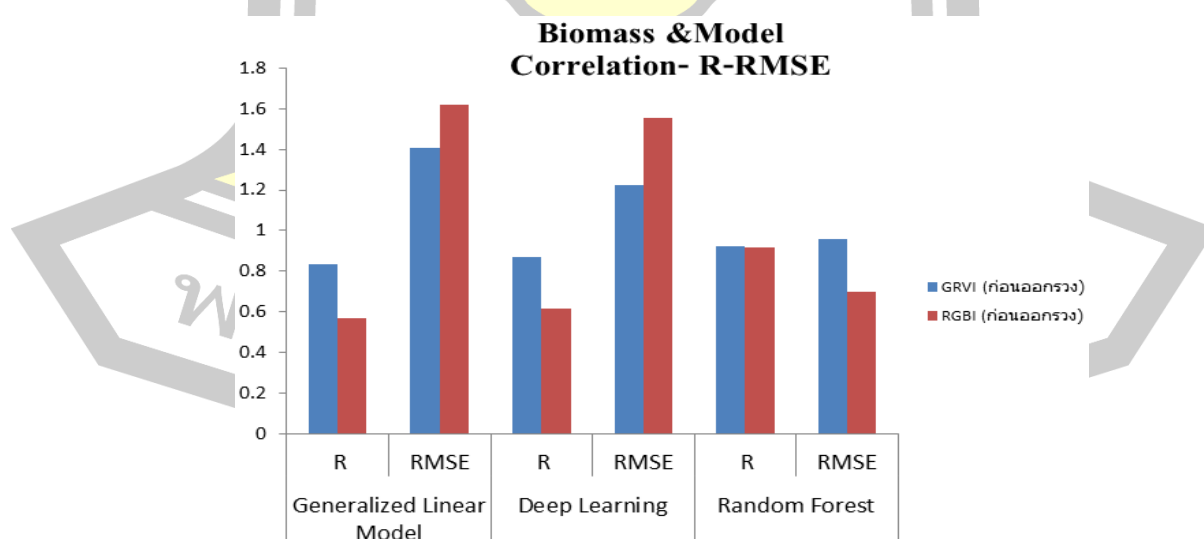
ภาพประกอบ 4.27 แผนภาพการสร้างแบบจำลองการประมาณค่าชีวมวล (Biomass Model)

ตาราง 4.2 ผลการทดสอบแบบจำลองทั้ง 3 โมเดล คือ Generalized Linear Model, Deep Learning และ Random Forest จากข้อมูลภาคสนามของค่าชีวมวลของต้นข้าวก่อนออกรวง ช่วงที่ 1-4 ด้วยค่าดัชนีพืช Green-Red vegetation index (GRVI) จากข้อมูลภาคสนาม 120 ชุด แบ่งข้อมูลเป็น 2 ชุด คือชุดสร้างแบบจำลอง (Calibration Data Sets) จำนวน 80 ชุด และทดสอบแบบจำลอง (Evaluation Data Sets) 40 ชุด ซึ่งข้อมูลค่าการทำนายชีวมวล (prediction Biomass) เป็น Dependent variable (Y) และ ค่าชีวมวล (Biomass) เป็น Independent Variable (X) ด้วยฟังก์ชันเส้นตรงตามข้อมูลดัชนีพืช GRVI พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ตามลำดับ เท่ากับ 0.836, 0.868, 0.920 และค่า RMSE มีค่าเท่ากับ 1.405, 1.221 และ 0.961 ตามลำดับ ตามตารางที่ 4.1 และแบบจำลองที่ดีที่สุดคือ แบบ Random Forest ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับเท่ากับ 0.92 และค่า RMSE มีค่าเท่ากับ 0.961 และดัชนีพืช RGBI พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ตามลำดับ เท่ากับ 0.567, 0.614, 0.918 และค่า RMSE มีค่าเท่ากับ 1.621, 1.554 และ 0.697 ตามลำดับ ตามตาราง ที่ 4.2 และแบบจำลองที่ดีที่สุดคือ แบบ Random Forest ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับเท่ากับ 0.918 และค่า RMSE มีค่าเท่ากับ 0.697 ตามภาพประกอบ 4.28- 4.30 กราฟความสัมพันธ์ค่าชีวมวลกับผลการทดสอบแบบจำลองทั้ง 3 โมเดล

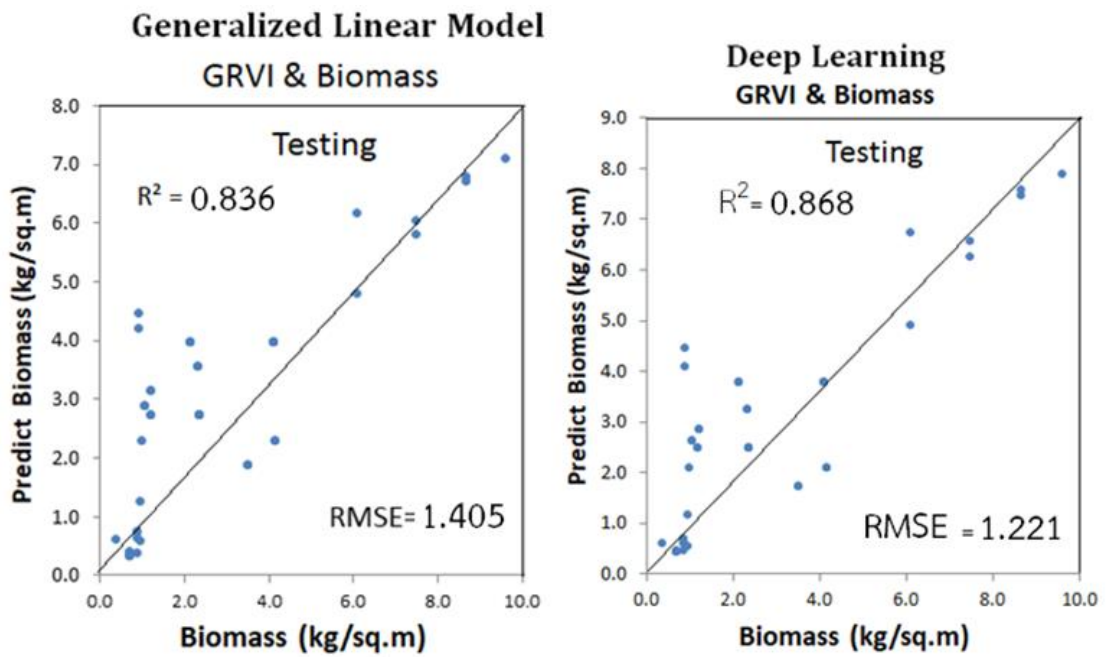
ตาราง 4.2 ความสัมพันธ์ค่า R กับ RMSE ค่าชีวมวลทั้ง 3 แบบจำลองของข้าวก่อนออกรวง

Testing Model	Generalized Linear Model		Deep Learning		Random Forest	
	R^2	RMSE	R^2	RMSE	R^2	RMSE
GRVI (ก่อนออกรวง)	0.836	1.405	0.868	1.221	0.920	0.961
RGBI (ก่อนออกรวง)	0.567	1.621	0.614	1.554	0.918	0.697

ตาราง 4.2 ความสัมพันธ์ค่า R กับ RMSE ค่าชีวมวลทั้ง 3 แบบจำลองของข้าวก่อนออกรวง

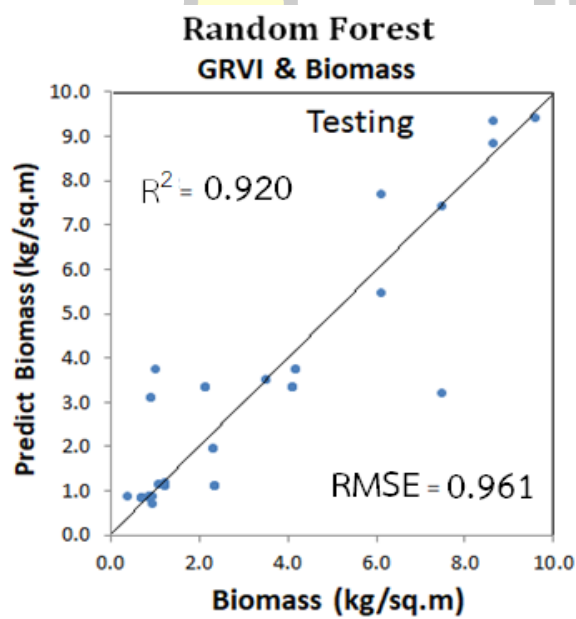


ภาพประกอบ 4.28 แสดงกราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ค่า R กับ RMSE ค่าชีวมวลทั้ง 3 โมเดลของข้าวก่อนออกรวง



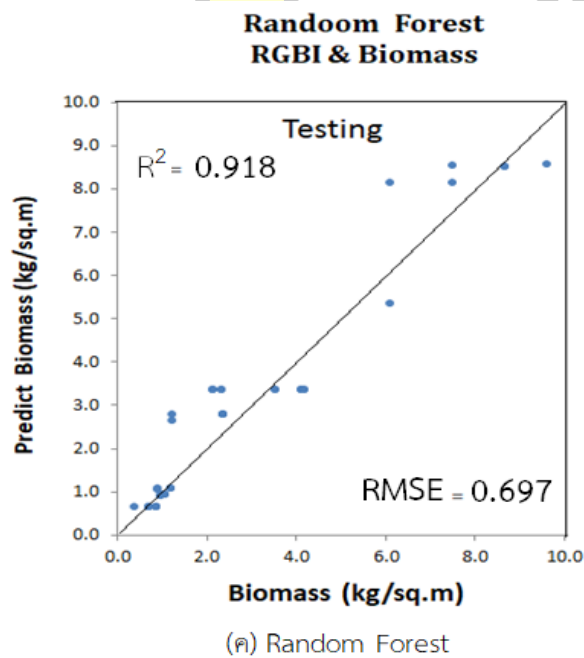
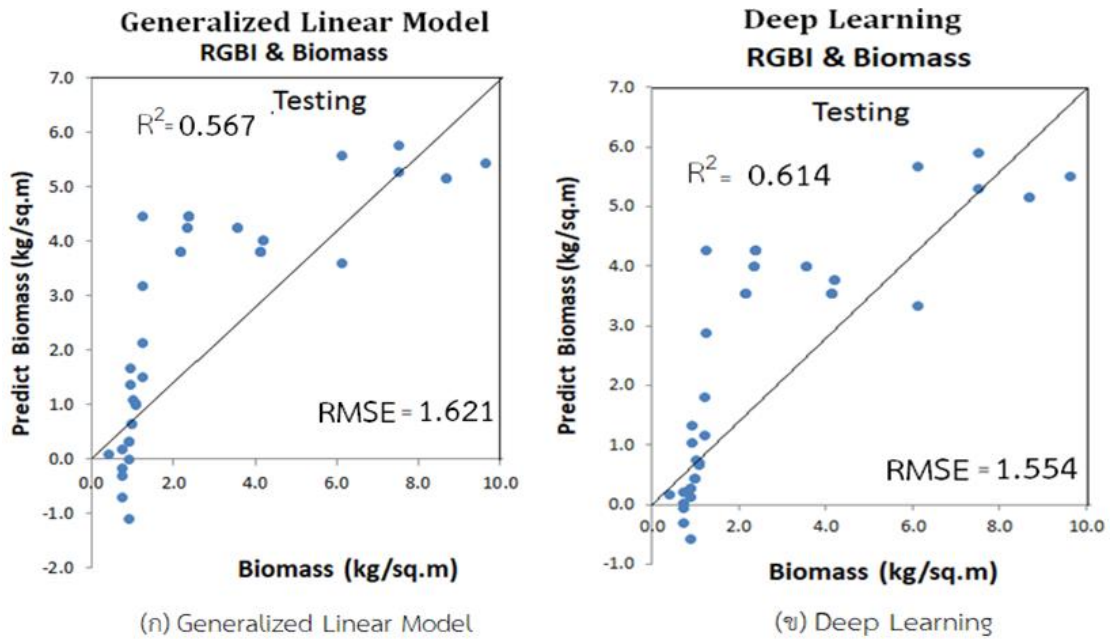
(ก) Generalized Linear Model

(ข) Deep Learning



(ค) Random Forest

ภาพประกอบ 4.29 กราฟความสัมพันธ์ดัชนีพืช GRVI กับ ค่าชีวมวล จากผลการทดสอบแบบจำลองทั้ง 3 โมเดล



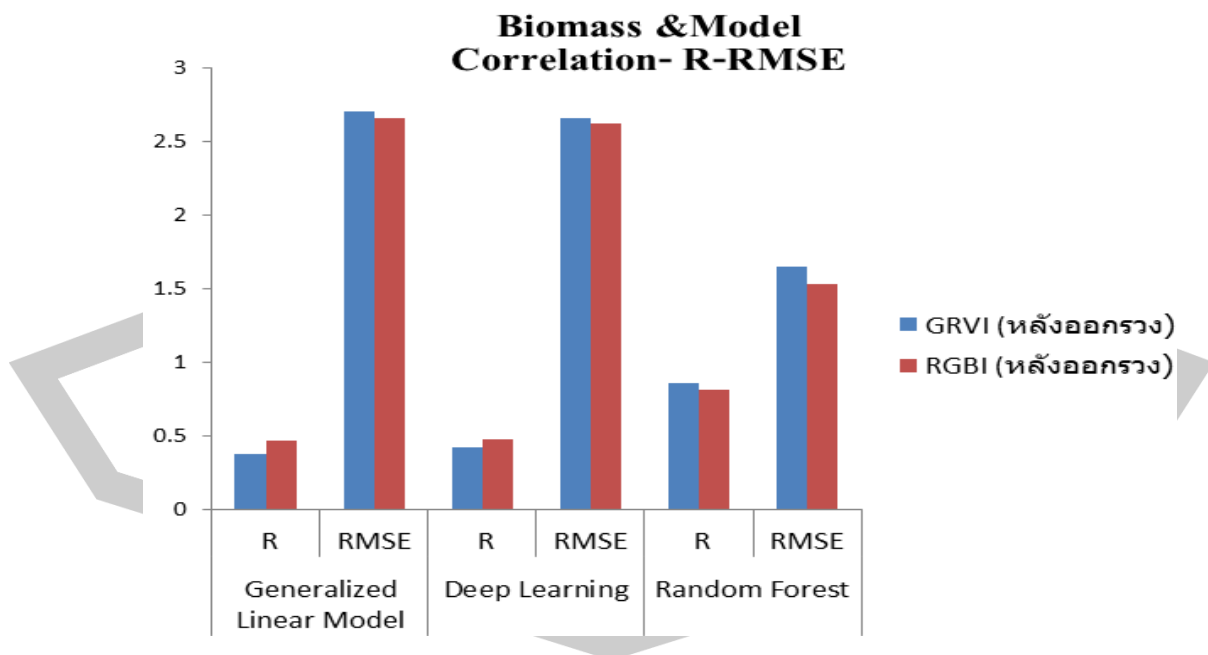
ภาพประกอบ 4.30 กราฟความสัมพันธ์ดัชนีพืช RGBI กับ ค่าชีวมวล จากผลการทดสอบแบบจำลอง ทั้ง 3 โมเดล

ตาราง 4.3 ผลการทดสอบแบบจำลองทั้ง 3 โมเดล คือ Generalized Linear Model, Deep Learning และ Random Forest จากข้อมูลภาคสนามของค่าชีวมวลของต้นข้าวหลังออกรวง ช่วงที่ 5-6 ด้วยค่าดัชนีพืช Green-Red vegetation index (GRVI) จากข้อมูลภาคสนาม 120 ชุด แบ่งข้อมูลเป็น 2 ชุด คือชุดสร้างแบบจำลอง (Calibration Data Sets) จำนวน 80 ชุด และทดสอบแบบจำลอง (Evaluation Data Sets) 40 ชุด ซึ่งข้อมูลค่าการทำนายชีวมวล (prediction Biomass)

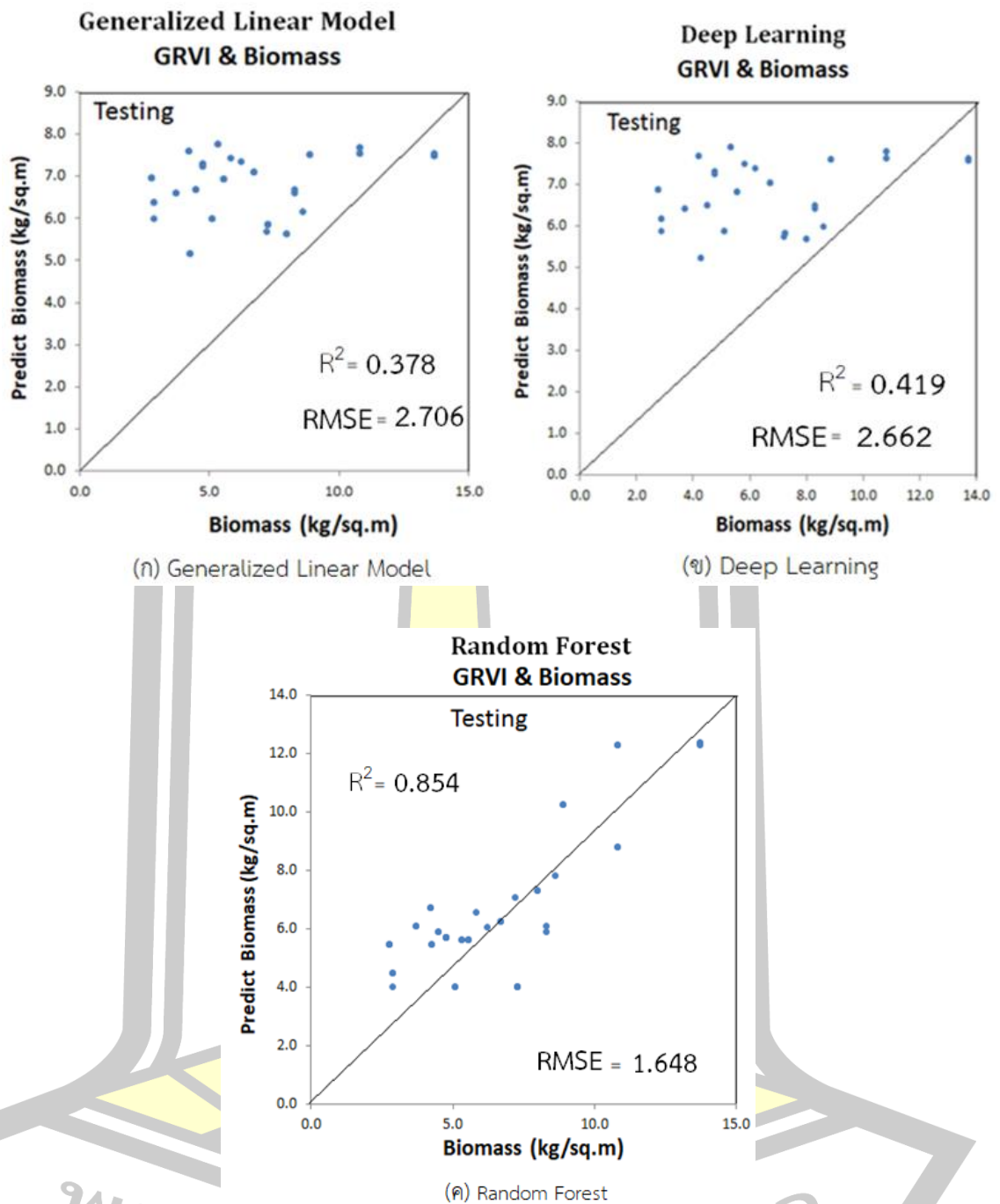
เป็น Dependent variable (Y) และ ค่าชีวมวล (Biomass) เป็น Independent Variable (X) ด้วย ฟังก์ชันเส้นตรงตามข้อมูลดัชนีพืช GRVI พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ตามลำดับ เท่ากับ 0.378, 0.419, 0.854 และค่า RMS E มีค่าเท่ากับ 2.706, 2.662 และ 1.648 ตามลำดับ ตามตาราง ที่ 4.2 และแบบจำลองที่ดีที่สุด คือ แบบ Random Forest ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.854 และค่า RMSE มีค่าเท่ากับ 1.648 และดัชนีพืช RGBI พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ตามลำดับ เท่ากับ 0.462, 0.475, 0.810 และค่า RMSE มีค่าเท่ากับ 2.654, 2.620 และ 1.530 ตามลำดับ ตามตาราง ที่ 4.2 และแบบจำลองที่ดีที่สุด คือ แบบ Random Forest ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับเท่ากับ 0.810 และค่า RMSE มีค่าเท่ากับ 1.530 ตาม ภาพประกอบ 4.31- 4.33 กราฟความสัมพันธ์ค่าชีวมวลกับผลการทดสอบแบบจำลองทั้ง 3 โมเดล ตาราง 4.3 ความสัมพันธ์ค่า R กับ RMSE ค่าชีวมวลทั้ง 3 แบบจำลองของข้าวหลังออกรวง

Testing Model	Generalized Linear Model		Deep Learning		Random Forest	
	R^2	RMSE	R^2	RMSE	R^2	RMSE
GRVI (หลังออกรวง)	0.378	2.706	0.419	2.662	0.854	1.648
RGBI (หลังออกรวง)	0.462	2.654	0.475	2.620	0.810	1.530

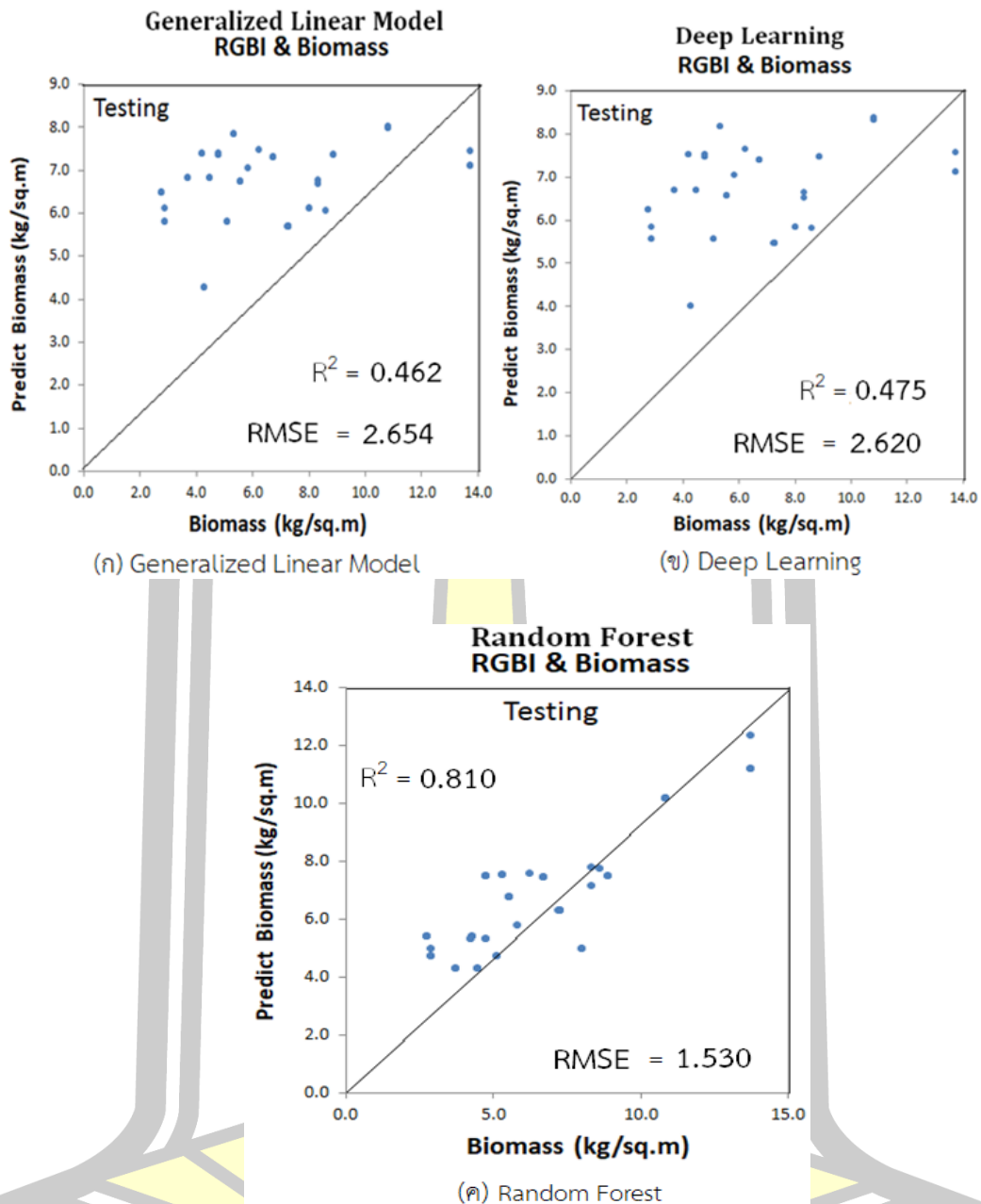
ตาราง 4.3 ความสัมพันธ์ค่า R กับ RMSE ค่าชีวมวลทั้ง 3 แบบจำลองของข้าวหลังออกรวง



ภาพประกอบ 4.31 แสดงกราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ค่า R กับ RMSE ค่าชีวมวลทั้ง 3 โมเดลของ ข้าวหลังออกรวง



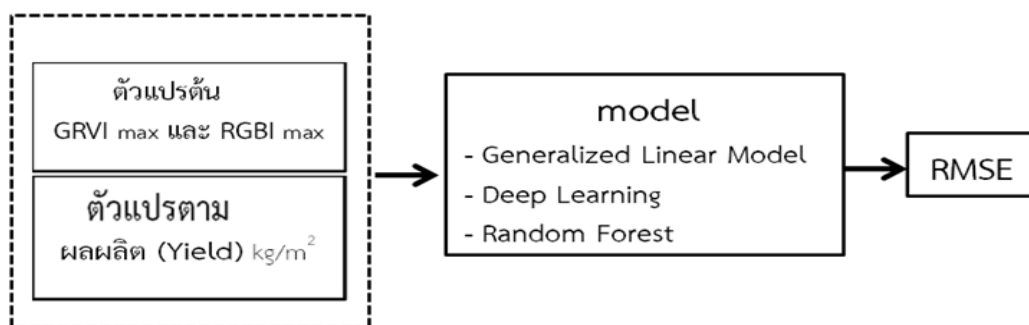
ภาพประกอบ 4.32 กราฟความสัมพันธ์ดัชนีพืช GRVI กับ ค่าชีวมวล จากผลการทดสอบแบบจำลองทั้ง 3 โมเดล



ภาพประกอบ 4.33 กราฟความสัมพันธ์ดัชนีพืช RGBI กับ ค่าชีวมวล จากผลการทดสอบแบบจำลอง ทั้ง 3 โมเดล

4.3.3 แบบจำลองการประมาณค่าผลผลิตข้าว (Yield)

จากข้อมูลภาคสนามนำผลการคำนวณค่า RGBI สูงสุด และ GRVI สูงสุด แต่ละจุดภาพที่อยู่ภายในรอบเก็บตัวอย่างชีวมวลขนาด $1 \times 1 \text{ m}^2$ จำนวน 100 ตัวอย่าง และแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 กลุ่มคือกลุ่มข้อมูลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง (Calibration Data Sets) จำนวน 60 ตัวอย่าง และกลุ่มข้อมูลในการทดสอบแบบจำลอง (Evaluation Data Sets) จำนวน 40 ตัวอย่าง ภาพประกอบ 4.34



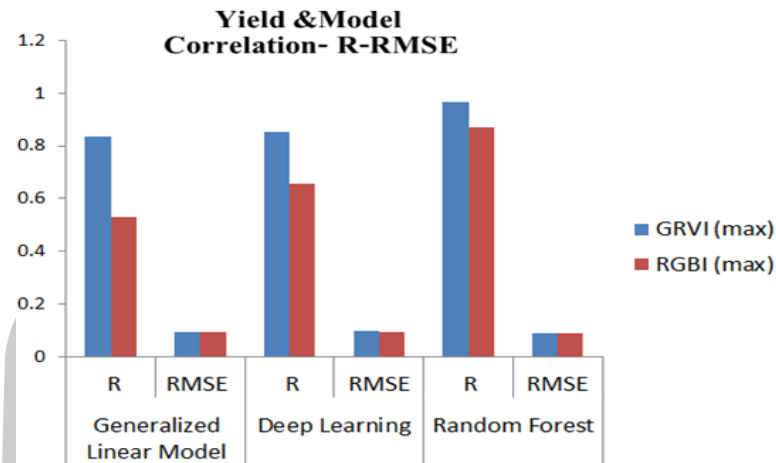
ภาพประกอบ 4.34 แผนภาพกระบวนการทดสอบค่า RGBI สูงสุด และ GRVI สูงสุด ในการประมาณค่าผลผลิตข้าว

ตาราง 4.4 ผลการสร้างแบบจำลองและผลการทดสอบแบบจำลองการประมาณค่าผลผลิตข้าว (Yield) จากดัชนีพืช GRVI สูงสุดและ RGBI สูงสุด ทั้ง 3 โมเดล คือ Generalized Linear Model, Deep Learning และ Random Forest ผลของการทดสอบแบบจำลอง (Evaluation Data Sets) พบว่า ผลของโมเดลทั้ง 3 ตามดัชนีพืช GRVI สูงสุด ให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เรียงลำดับ เท่ากับ 0.833, 0.852, 0.964 และได้ค่า RMSE เท่ากับ 0.095, 0.098 และ 0.090 และโมเดลที่ดีที่สุดคือ แบบ Random Forest ให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.964 ค่า RMSE เท่ากับ 0.090 kg/sq.m และดัชนีพืช RGBI สูงสุด ให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เรียงลำดับ เท่ากับ 0.530, 0.654, 0.869 และได้ค่า RMSE เท่ากับ 0.091, 0.091 และ 0.087 และโมเดลที่ดีที่สุดคือ แบบ Random Forest ให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.869 ค่า RMSE เท่ากับ 0.087 kg/sq.m ตามตาราง Yield Model [4] และภาพประกอบ 4.35- 4.37

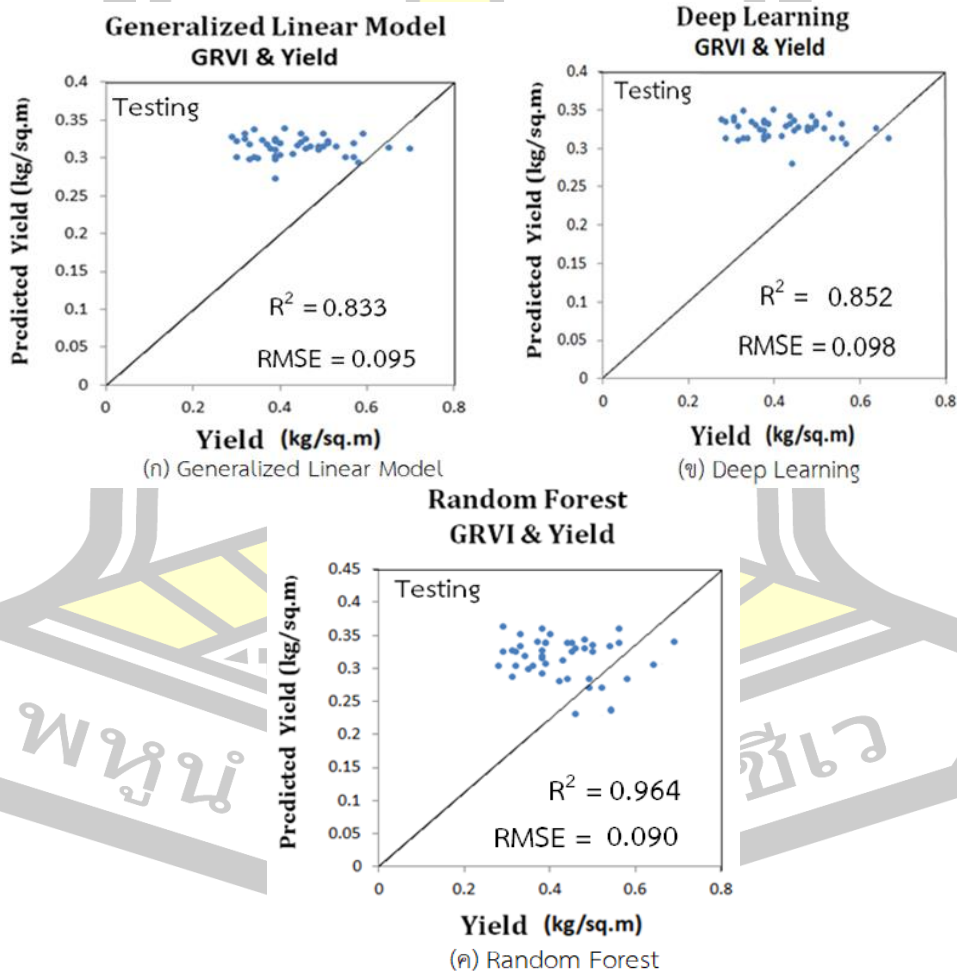
ตาราง 4.4 ความสัมพันธ์ค่า R กับ RMSE ค่าผลผลิตข้าวทั้ง 3 แบบจำลองของข้าวช่วง GRVI และ RGBI สูงสุด

Testing Model	Generalized Linear Model		Deep Learning		Random Forest	
	R^2	RMSE	R^2	RMSE	R^2	RMSE
GRVI (max)	0.833	0.095	0.852	0.098	0.964	0.090
RGBI (max)	0.530	0.091	0.654	0.091	0.869	0.087

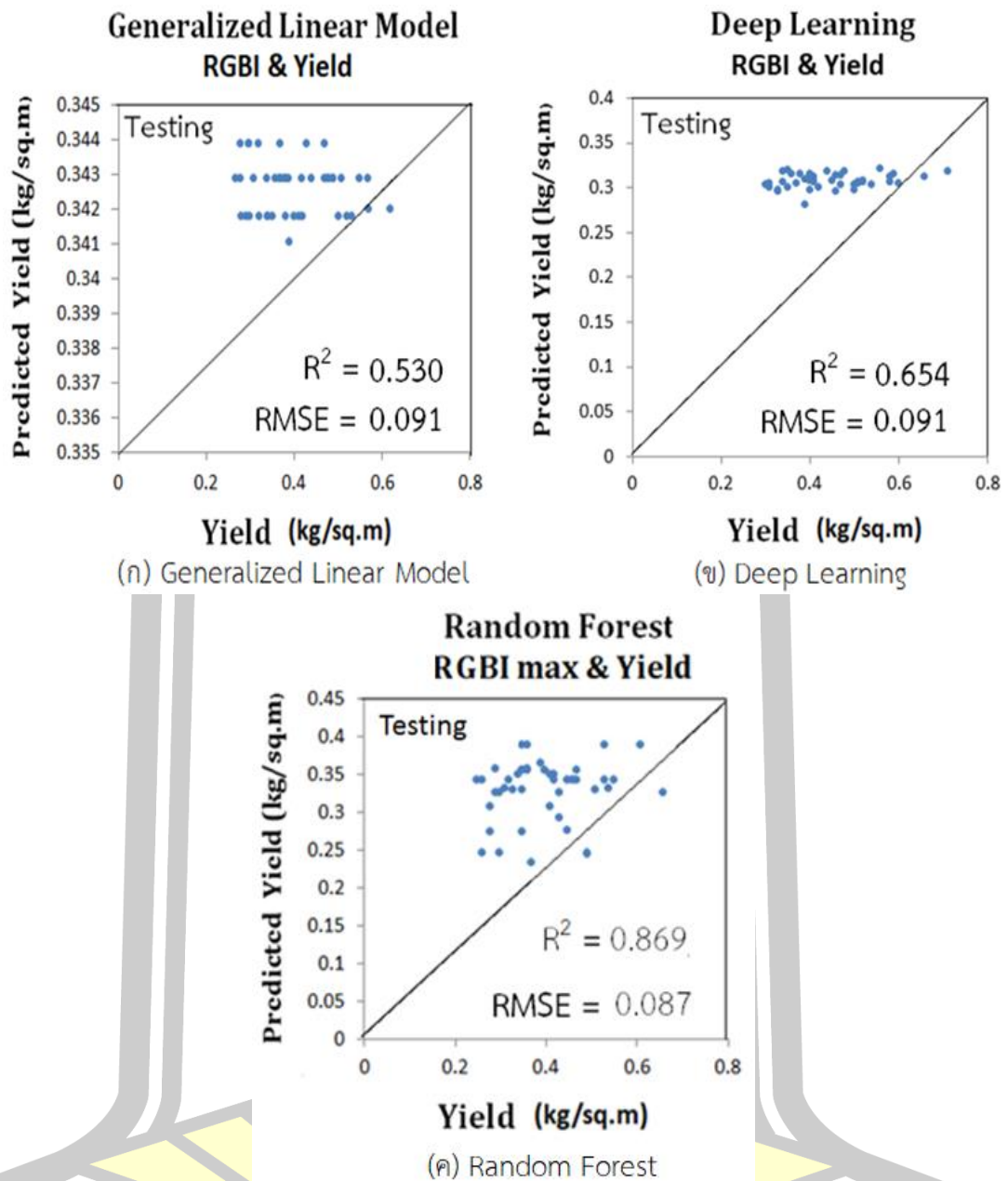
ตาราง 4.4 ความสัมพันธ์ค่า R กับ RMSE ค่าผลผลิตข้าวทั้ง 3 แบบจำลองของข้าวช่วง GRVI และ RGBI สูงสุด



ภาพประกอบ 4.35 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ค่า R และค่า RMSE ของการทำนายผลผลิตข้าวเปลือกทั้ง 3 โมเดล



ภาพประกอบ 4.36 กราฟแสดงความสัมพันธ์ดัชนีพืช GRVI สูงสุดกับผลผลิตข้าว จากผลทดสอบแบบจำลอง ทั้ง 3 โมเดล



ภาพประกอบ 4.37 กราฟแสดงความสัมพันธ์ดัชนีพืช RGBI สูงสุด กับผลผลิตข้าว จากผลทดสอบแบบจำลอง ทั้ง 3 โมเดล

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปราย ข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล อภิปรายผล

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการติดตามการเจริญเติบโตของนาข้าวโดยใช้ความสัมพันธ์ของค่าการสะท้อนแสง $(R-B)/(R+B)$ และ $R/(R+G+B)$ เพื่อประมาณค่าชีวมวลข้าว (Biomass) ช่วงก่อนออกรวง และหลังออกรวงและผลผลิตของข้าว (Yield) โดยใช้ภาพถ่ายทางอากาศจากอากาศยานไร้คนขับ Phantom 3 Advanced โดยกล้อง RGB Camera ติดตั้งบน UAV บินถ่ายภาพเพื่อนำมาคำนวณค่าดัชนีพืชพรรณ Green-Red vegetation index (GRVI) และดัชนีพืชพรรณ Red Green Blue Index (RGBI) เพื่อนำข้อมูลภาคสนามมาแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือข้อมูลสร้างโมเดลและทดสอบโมเดล จำนวน 3 โมเดล คือ Generalized Linear Model, Deep Learning และ Random Forest แล้วประเมินค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) และค่า RMSE ดังนี้

ผลการวิจัยพบว่า ค่าชีวมวลของต้นข้าวก่อนออกรวง ช่วงที่ 1-4 โดยการทดสอบแบบจำลอง ทั้ง 3 โมเดล คือ Generalized Linear Model, Deep Learning และ Random Forest ค่าดัชนีพืช Green-Red vegetation index (GRVI) จากข้อมูลภาคสนาม 120 ชุด แบ่งข้อมูลเป็น 2 ชุด คือ ชุดสร้างแบบจำลอง (Calibration Data Sets) จำนวน 80 ชุด และทดสอบแบบจำลอง (Evaluation Data Sets) 40 ชุด ซึ่งข้อมูลค่าการทำนายชีวมวล (prediction Biomass) เป็น Dependent variable (Y) และ ค่าชีวมวล (Biomass) เป็น Independent Variable (X) ด้วยฟังก์ชันเส้นตรงตามข้อมูลดัชนีพืช GRVI พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ตามลำดับ เท่ากับ 0.836, 0.868, 0.920 และค่า RMSE มีค่าเท่ากับ 1.405, 1.221 และ 0.961 ตามลำดับ และแบบจำลองที่ดีที่สุด คือ แบบ Random Forest ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.92 และค่า RMSE มีค่าเท่ากับ 0.961 รองลงมาคือ Deep Learning มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.868 และค่า RMSE มีค่าเท่ากับ 1.221 และแบบ Generalized Linear Model มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.836 และค่า RMSE มีค่าเท่ากับ 1.405 ส่วนดัชนีพืช RGBI พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ตามลำดับ เท่ากับ 0.567, 0.614, 0.918 และค่า RMSE มีค่าเท่ากับ 1.621, 1.554 และ 0.697 ตามลำดับ ตามตาราง ที่ 4.1 และแบบจำลองที่ดีที่สุด คือ แบบ Random Forest ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับเท่ากับ 0.918 และค่า RMSE มีค่าเท่ากับ 0.697 รองลงมาคือ Deep Learning มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.614 และค่า RMSE มีค่าเท่ากับ 1.554 และแบบ Generalized Linear Model มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.567 และค่า RMSE มีค่าเท่ากับ 1.621 ตามลำดับ

ผลการทดสอบค่าชีวมวลของต้นข้าวหลังออกรวง ช่วงที่ 5-6 โดยแบบจำลองทั้ง 3 โมเดล คือ Generalized Linear Model, Deep Learning และ Random Forest จากค่าดัชนีพืช Green-Red vegetation index (GRVI) จากข้อมูลภาคสนาม 120 ชุด แบ่งข้อมูลเป็น 2 ชุด คือชุดสร้าง

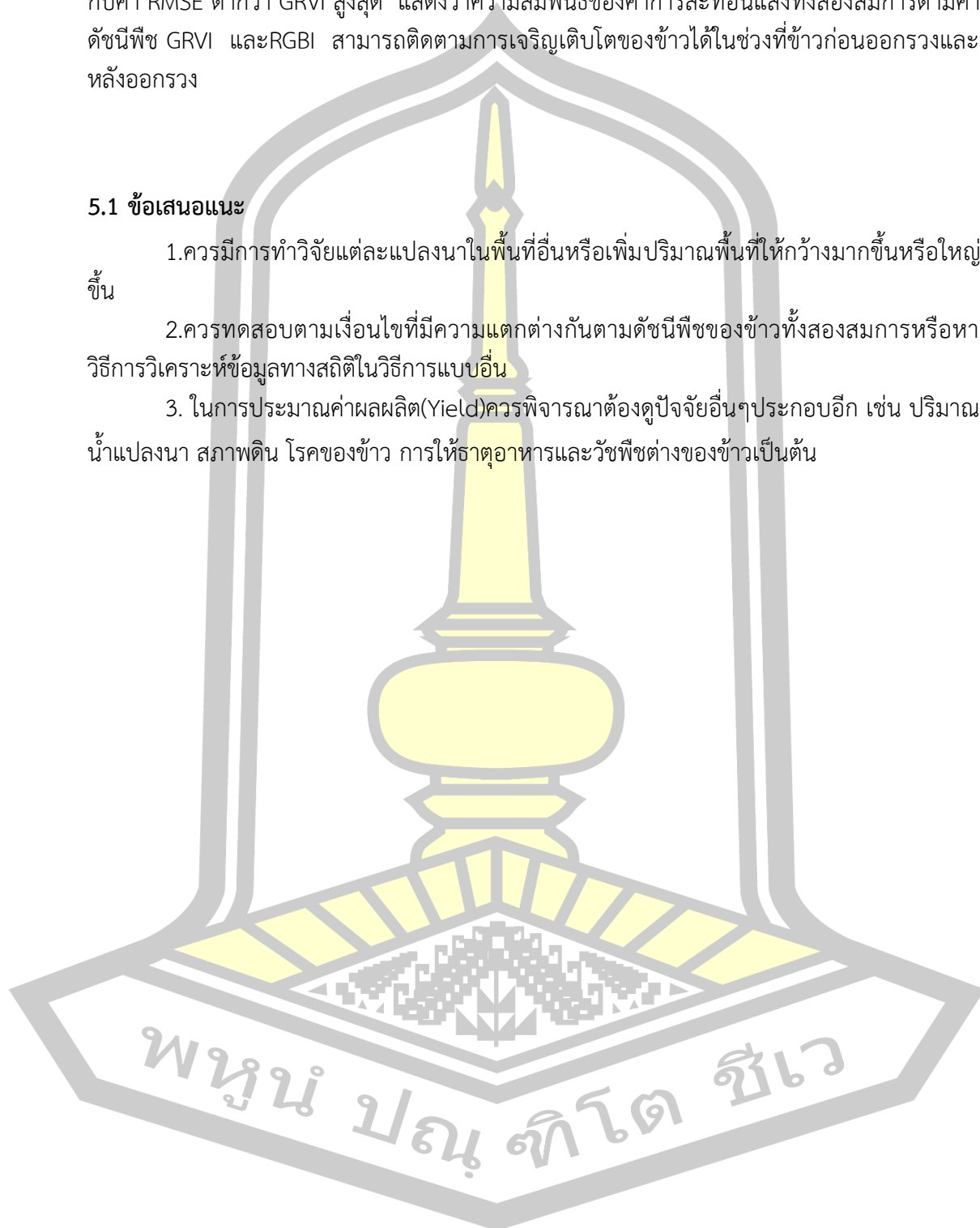
แบบจำลอง (Calibration Data Sets) จำนวน 80 ชุด และทดสอบแบบจำลอง (Evaluation Data Sets) 40 ชุด ซึ่งข้อมูลค่าการทำนายชีวมวล (prediction Biomass) เป็น Dependent variable (Y) และ ค่าชีวมวล (Biomass) เป็น Independent Variable (X) ด้วยฟังก์ชันเส้นตรงตามข้อมูลดัชนีพืช GRVI พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ตามลำดับ เท่ากับ 0.378, 0.419, 0.854 และค่า RMS E มีค่าเท่ากับ 2.706, 2.662 และ 1.648 ตามลำดับ และแบบจำลองที่ดีที่สุดคือ แบบ Random Forest ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับเท่ากับ 0.854 และค่า RMSE มีค่าเท่ากับ 1.648 รองลงมาคือ Deep Learning มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.419 และค่า RMSE มีค่าเท่ากับ 2.662 และแบบ Generalized Linear Model มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.378 และค่า RMSE มีค่าเท่ากับ 2.706 และดัชนีพืช RGBI พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ตามลำดับ เท่ากับ 0.462, 0.475, 0.810 และค่า RMSE มีค่าเท่ากับ 2.654, 2.620 และ 1.530 ตามลำดับ และแบบจำลองที่ดีที่สุดคือ แบบ Random Forest ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับเท่ากับ 0.810 และค่า RMSE มีค่าเท่ากับ 1.530 รองลงมาคือ Deep Learning มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.475 และค่า RMSE มีค่าเท่ากับ 2.620 และแบบ Generalized Linear Model มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.462 และค่า RMSE มีค่าเท่ากับ 2.654 ตามลำดับ

ผลการทำนายค่าผลผลิตข้าว (Yield) จากข้อมูลภาคสนามช่วงข้าวตั้งท้องแก่ก่อนออกรวงนำผลการคำนวณค่า RGBI สูงสุด และ GRVI สูงสุด แต่ละจุดภาพในกรอบเก็บตัวอย่างชีวมวลขนาด $1 \times 1 \text{ m}^2$ จำนวน 100 ตัวอย่าง และแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มข้อมูลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง (Calibration Data Sets) จำนวน 60 ตัวอย่าง และกลุ่มข้อมูลในการทดสอบแบบจำลอง (Evaluation Data Sets) จำนวน 40 ตัวอย่าง ผลการสร้างแบบจำลองและผลการทดสอบแบบจำลองการประมาณค่าผลผลิตข้าว (Yield) จากดัชนีพืช GRVI สูงสุดและ RGBI สูงสุด จากทั้ง 3 โมเดล คือ Generalized Linear Model, Deep Learning และ Random Forest จากผลของการทดสอบแบบจำลอง (Evaluation Data Sets) พบว่า ผลของโมเดลทั้ง 3 ตามดัชนีพืช GRVI สูงสุด ให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เรียงลำดับ เท่ากับ 0.833, 0.852, 0.964 และได้ค่า RMSE เท่ากับ 0.095, 0.098 และ 0.090 และโมเดลที่เหมาะสมที่สุดคือ แบบ Random Forest ให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.964 ค่า RMSE เท่ากับ 0.090 และดัชนีพืช RGBI สูงสุด ให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.530, 0.654, 0.869 และค่า RMSE เท่ากับ 0.091, 0.091 และ 0.087 และโมเดลที่เหมาะสมที่สุดคือ แบบ Random Forest ให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.869 ค่า RMSE เท่ากับ 0.087 และผลการวิจัยยังพบว่าดัชนีพืชพรรณ GRVI สูงสุด , RGBI สูงสุด ที่ใช้ในการศึกษา ในการประมาณค่าผลผลิตข้าวเปลี่ยนนั้นในแบบจำลองของโปรแกรมผลออกมาสามารถทำนายได้แต่ในความเป็นจริงอาจต้องดูปัจจัยอื่นๆมาพิจารณาด้วย จึงจะสามารถนำมาใช้ประมาณค่าผลผลิตข้าวเปลือกได้ชัดเจน เพราะในการประมาณค่าชีวมวลและผลผลิตข้าว จากค่าอัตราส่วนการสะท้อนแสง RGBI : Red Green Blue Index และ GRVI : Green-Red vegetation index มีข้อแตกต่างกันคือ ค่าชีวมวล (Biomass Model) ช่วงที่ต้นข้าวก่อนออกรวง ค่าดัชนีพืช GRVI ให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) กับค่า RMSE ต่ำกว่าค่าดัชนีพืช RGBI แต่ช่วงหลังต้นข้าวออกรวงค่าดัชนีพืช RGBI ให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) กับค่า RMSE ต่ำกว่าค่าดัชนีพืช

GRVI และผลทำนายผลผลิตข้าว (Yield Model) ค่า RGBI สูงสุดให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) กับค่า RMSE ต่ำกว่า GRVI สูงสุด แสดงว่าความสัมพันธ์ของค่าการสะท้อนแสงทั้งสองสมการตามค่าดัชนีพืช GRVI และ RGBI สามารถติดตามการเจริญเติบโตของข้าวได้ในช่วงที่ข้าวก่อนออกรวงและหลังออกรวง

5.1 ข้อเสนอแนะ

- 1.ควรมีการทำวิจัยแต่ละแปลงนาในพื้นที่อื่นหรือเพิ่มปริมาณพื้นที่ให้กว้างมากขึ้นหรือใหญ่ขึ้น
- 2.ควรทดสอบตามเงื่อนไขที่มีความแตกต่างกันตามดัชนีพืชของข้าวทั้งสองสมการหรือหาวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติในวิธีการแบบอื่น
3. ในการประมาณค่าผลผลิต(Yield)ควรพิจารณาต้องปัจจัยอื่นๆประกอบอีก เช่น ปริมาณน้ำแปลงนา สภาพดิน โรคของข้าว การให้ธาตุอาหารและวัชพืชต่างของข้าวเป็นต้น



บรรณานุกรม



บรรณานุกรม

- [1] คลังข้อมูลสารสนเทศข้าวเชิงลึก .[ออนไลน์]. 2558 [สืบค้นเมื่อ 2558 สิงหาคม 20]. ได้จาก :<http://www.arda.or.th/kasetinfo/rice/rice-histories.html>
- [2] สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว. “องค์ความรู้เรื่องข้าว”. [ออนไลน์]. 2558 [สืบค้นเมื่อ 2558 สิงหาคม 20]. ได้จาก :<http://www.ricethailand.go.th/Rkb/varieties/index.php-file=content.php&id=1.htm>
- [3] สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน.โดยพระราชประสงค์ในพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว. [ออนไลน์]. 2558 [สืบค้นเมื่อ 20 สิงหาคม 2558]. ได้จาก :
<http://kanchanapisek.or.th/kp6/sub/book/book.php?book=3&chap=1&page=t3-1-infodetail08.html>
- [4] สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว. “องค์ความรู้เรื่องข้าว”. [ออนไลน์]. 2558 [สืบค้นเมื่อ 20 สิงหาคม 2558]. ได้จาก : <http://www.ricethailand.go.th/Rkb/varieties/index.php-file=content.php&id=3.htm#2>
- [5] สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว. “องค์ความรู้เรื่องข้าว”. [ออนไลน์]. 2558 [สืบค้นเมื่อ 20 สิงหาคม 2558]. ได้จาก
:http://www.ricethailand.go.th/Rkb/management/index.php-file=data_004-rice_xx2-04_manage_002-6_kkn.html
- [6] ทวี บุญภิรมย์. 2558. วารสารมหาวิทยาลัยนครราชสีมา. ฉบับที่ 3 ปีที่ 7: 116-120 [ออนไลน์]. 2558 [สืบค้นเมื่อ 21 สิงหาคม 2559]. ได้จาก :
<file:///C:/Users/CPE/Downloads/52679-Article%20Text-122074-1-10-20160322.pdf>
- [7] ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว.(Postharvest Technology Innovation Center) . [ออนไลน์]. 2558 [สืบค้นเมื่อ 21 สิงหาคม 2559]. ได้จาก
:http://www.phtnet.org/research/view-abstract.asp?research_id=ag104
- [8] พรชัย ทหาระโคตร และอรุณ ทองอุ่น. 2559. ผลของการจัดการน้ำและระยะปลูกต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวพันธุ์โรซ์เบอร์รี่ภายใต้ระบบการผลิตแบบประณีต. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.ฉบับที่ 6 (พิเศษ) 24: 986-997 [ออนไลน์]. 2558 [สืบค้นเมื่อ 21 สิงหาคม 2559]. ได้จาก : <file:///C:/Users/CPE/Downloads/67025-Article%20Text-156832-1-10-20160916.pdf>
- [9] สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน). พื้นฐานการรับรู้ระยะไกล. [ออนไลน์]. 2559 [สืบค้นเมื่อ 21 สิงหาคม 2559]. ได้จาก :
<http://www.gistda.or.th/main/th/node/936>
- [10] การรับรู้ระยะไกล(Remote Sensing). [ออนไลน์]. 2557 [สืบค้นเมื่อ 21 สิงหาคม 2558]. ได้จาก :<http://remotesensing56170226.blogspot.com/>

- [11] Thenkabail, P. S., Smith, R. B., & De Pauw, E. 2000. Hyperspectral vegetation indices and their relationships with agricultural crop characteristics. *Remote sensing of Environment* 71(2): 158-182.
- [12] Mulla, D.J. 2013. Twenty five years of remote sensing in precision agriculture: Key advances and remaining knowledge gaps. *Biosystems Engineering* 114(4): 358-371.
- [13] Noureldin, N. A., Aboelghar, M. A., Saady, H. S. and Ali, A.M. 2013. Rice yield forecasting models using satellite imagery in Egypt. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences* 16: 125-131.
- [14] Nuarsa, I.W. and Nishio, F. 2007. Relationships between rice growth parameters and remotesensing data. *Journal of Remote Sensing and Earth Sciences* 4: 102-112.
- [15] Cai, H., Haixin, C., Weitang, S., and G, Lihong, G. 2006. Preliminary study on photosynthetic pigment content and color feature of cucumber initial blooms, *Trans. CSAE* 22: 34–38.
- [16] Kawashima, S., and Nakatani, M. 1998. An algorithm for estimating chlorophyll content in leaves using a video camera, *Ann. Bot.* 81: 49-54.
- [17] 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. *Remote Sensing* 6(11): 10335-10355.
- [18] Green, E.P., Mumby, P.J., Edwards, A.J. & Clark, C.D. (2000). *Remote sensing handbook for tropical coastal management*. France: UNESCO Publishing.
- [19] Kucharik, C.J., Norman, J.M. and Gower, S.T. (1998). Measurements of branch area and adjusting leaf area index indirect measurements. *Agricultural and Forest Meteorology*, 91(1-2), 69–88.
- [20] Broge, N.H. and Mortensen, J.V. (2002). Deriving green crop area index and canopy chlorophyll density of winter wheat from spectral reflectance data. *Remote Sensing of Environment*, 81(1), 45–57.
- [21] Neti S., Siwa K. (2018) Rice Yield Estimation from MODIS Data by Using Artificial Neural Networks *Journal of the Association of Remote Survey Data and Geographic information of Thailand*. 2018; Special Issue (19): 146-153.
- [22] Huang, Y., Y. Lan, W. C. Hoffmann, and B. Fritz. (2008). Development of an unmanned aerial vehicle-based remote sensing system for site-specific management in precision agriculture. In *Proc. 9th Intl. Conf. on Precision Agriculture*. Denver, Colo., Colorado State University.

- [23] Hancock, D. W.; Dougherty, C. T. (2007). Relationships between blue- and red-based vegetation indices and leaf area and yield of alfalfa
- [24] Swain, K. C., & Zaman, Q. U. (2012). Rice crop monitoring with unmanned helicopter remote sensing images. In *Remote Sensing of Biomass-Principles and Applications*. InTech.
- [25] Motohka T., Nasahara K.N., Oguma H. and Tsuchida S. (2010). Applicability of Green-Red Vegetation Index for Remote Sensing of Vegetation Phenology. *Remote Sens*, **2**, 2369-2387.
- [26] Suratman M.N., Bull G.Q., Leckie D.G., Lemay V.M., Marshall P.L., and Mispan M.R. (2004). Prediction models for estimating the area, volume, and age of rubber (*Hevea brasiliensis*) plantations in Malaysia using Landsat TM data. *International Forestry Review*, **6**(1), 1-12.
- [27] Suratman, N.M., V.M, LeMay, G.Q. Bull, D.G.Leckie, N. Walsworth and P.L. Marshall. (2005). Logistic regression modeling of thematic mapper data for rubber (*Hevea brasiliensis*) area mapping, *Science Letters*, **2**(1), 79-84.
- [28] S. Wijaya and S. Tsuyuki, (2012).Contribution of MODIS NDVI 250 m Multi-Temporal Imagery Dataset for the Detection of Natural Forest Distribution of Java Island, Indonesia.*Journal of Geographic Information System*, Vol.4.
- [29] ปฐมภรณ์ ไฉเย็น. “การทดสอบความแข็งแรงเมล็ดพันธุ์ข้าว พันธุ์ขาวดอกมะลิ105และ กข 15” [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต]. นครราชสีมา: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี; 2556.
- [30] ณกร วัฒนกิจ. (2551). การตรวจวัดความแห้งแล้งในภาคตะวันออกเฉียงเหนือด้วยดัชนีพืชพรรณ จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมหลายช่วงเวลา. [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต]. มหาวิทยาลัยขอนแก่น;
- [31] ปรียาภรณ์ แสงเรือน, เนตรนภา อินสลุต, วิชญ์ภาส สังพาลี และ จุฑามาศ อัจฉนาเสียว. วารสารแก่นเกษตร 46 ฉบับพิเศษ 1 : (2561). การเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวภายใต้ระดับปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ต่างกัน Growth and yield of rice under different phosphorus fertilizer levels. 520-525.
- [32] เมธาพร ผลวา, อังคณา จันทรพลพันธ์ และ ทัดดาว ภาชีผล. วารสารแก่นเกษตร 46 ฉบับพิเศษ 1 : (2561). คุณลักษณะทางเคมีและกายภาพของข้าวเหนียวแดงระหว่างการพัฒนาของเมล็ดข้าว 3 ระยะหลังการออกดอก Chemical and physical characteristics of red glutinous rice at three development stages after flowering 526-532
- [33] Lillesand, T.M., Kiefer, R.W. & Chipman, J.W. (2004). *Remote sensing and image interpretation*. (5th ed.). United States of America: John Wiley & Sons

- [34] Govender, M., Chetty, K. & Bulcock, H. (2007). A review of hyperspectral remote sensing and its application in vegetation and water resource studies. *Water SA*, 33(2), 145-151.
- [35] ณัฐ สุขอึ้ง อนุกุล บุรณประทีปรัตน์ และ วิชญา กันบัว. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา. 19(1) (2557). การสำรวจพรรณไม้ในป่าชายเลนและการประยุกต์ใช้ข้อมูลการสำรวจระยะไกลจากดาวเทียมเพื่อการสร้างแผนที่ป่าชายเลนบริเวณปากแม่น้ำเวฬุ อำเภอคลอง จันทบุรี; 24-36
- [36] กฤษณะ อิมสวาสดี. สื่อการเรียนการสอนวิชาการสำรวจจากระยะไกล1(Remote Sensing 1).ค่าดัชนีพืชพรรณ .[PowerPoint]. 29 ตุลาคม 2557.
- [37] ชูพันธุ์ ชมภูจันทร์. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 43: การศึกษาปฏิทินการเพาะปลูกข้าวช่วงฤดูแล้งด้วยภาพถ่ายจากดาวเทียม NOAA/AVHRR 1-4 กุมภาพันธ์ 2548. กรุงเทพฯ . 30-37
- [38] วิโรจน์ ละอองมณีและชัยโชค ไวกาษา.เทคนิคการสำรวจระยะไกลเพื่อการประมาณค่าผลผลิตมวลชีวภาพสวนป่าชายเลน. [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต]. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2554.
- [39] พระมหาปิยะ มุลทา ศิริพรรณ ทวีสุข และณัฐธา หังสพฤกษ์. เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศกับการวิเคราะห์ดัชนีพืชพรรณ (NDVI) และปริมาณตะกอนแขวนลอย. THAICID NATIONAL SYMPOSIUM. น่าน. 2555. 130-141
- [40] ภราดร กาญจนสุธรรม นิพนธ์ ตั้งธรรมและเรืองโร โตกฤษณะ. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี : 22 ฉบับที่: 1 (2557). การประมาณผลผลิตต่อไร่ของข้าวนาปรังด้วยข้อมูลดาวเทียม SMMS โดยใช้ดัชนีความแตกต่างพืชพรรณ (NDVI): กรณีศึกษาอำเภอเมืองจังหวัดสุพรรณบุรี. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 55-66
- [41] วลัยพร ศะศิประภา และคณะ. TARR DSpace. กรมวิชาการเกษตร. 30 ฉบับที่: 3 (2555) ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพืชพรรณผล ต่างแบบนอร์แมลไลซ์กับผลผลิตมันสำปะหลังในจังหวัดกำแพงเพชร.[ออนไลน์]. 2559 [สืบค้นเมื่อ 21 สิงหาคม 2559]. ได้จาก : <https://dspace.tarr.arda.or.th/handle/6622815955/26369>
- [42] เอกรัฐ สีขาว ชรัตน์ มงคลสวัสดิ์และรัศมี สุวรรณวีระการธ. การประชุมวิชาการ เทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศแห่งชาติ ประจำปี 2556. 25-27 ธันวาคม 2556 ณ อิมแพ็คฟอรัม เมืองทองธานี.
- [43] อมรรัตน์ อินทร์มัน.การประชุมวิชาการข้าวและธัญพืชเมืองหนาว ครั้งที่ 32 : การใช้เทคโนโลยีการสำรวจระยะไกลเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการสำรวจพื้นที่ปลูกข้าว และการพยากรณ์ผลผลิตข้าวในประเทศไทย 21-23 เมษายน .2558. เพชรบุรี,
- [44] ธราวุฒิ บุญเหลือ. (2556) การประยุกต์ใช้อากาศยานไร้คนขับ เพื่อจัดทำภาพถ่ายทางอากาศสำหรับการออกแบบชุมชนเมือง: กรณีศึกษาพื้นที่มหาวิทยาลัยมหาสารคามวิทยาเขตขามเริญ.

- [45] ชาญชัย วราชนสิน. การประมาณราคาค่าก่อสร้างอาคารสูงโดยใช้ทฤษฎีเครือข่ายประสาทเทียม. [วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต.] กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี; 2544.
- [46] อรณรงค์ บุเกตุและพฤษดี ศิริแสงตระกูล. วารสารวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่น; 41(1) (2556). แบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณอ้อยของภาคตะวันออกเฉียงเหนือโดยการใช้โครงข่ายประสาทเทียม. 213-225
- [47] ศุภโชค แสงสว่าง. วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าพระนครเหนือ; 26(2) (2559). การประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมกับงานทางด้านเกษตร. 319-331
- [48] ัญญา ผิวมา. วารสารปัญญาภิวัฒน์; 7 (2) (2558). การพัฒนาแบบจำลองพยากรณ์แนวโน้มการสมัครงานให้ตรงกับวุฒิการศึกษา สาขาคอมพิวเตอร์ โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม. 1-16
- [49] Li Daofeng et al. (2004) ใช้ค่า NDVI ในการจำแนกความหลากหลายของพืชพรรณบริเวณแมนYellow River Basin (YRB) จากอุปกรณ์ NOAA/AVHRR ด้วยเทคนิค Iterative self-organizing data analysis (ISODATA) และ Unsupervised classification ประกอบไปด้วยพืชพรรณ 25 ชนิดใน 8 กลุ่ม
- [50] วรณภา สุวรรณรัตน์. การพัฒนาเทคนิคการสำรวจระยะไกลภาคพื้นดินเพื่อประเมินและติดตามผลผลิตของข้าวนาปี. [วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิตสิ่งแวดล้อมมหาบัณฑิต.(สหสาขาวิชา)]. กรุงเทพมหานคร: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2550.
- [51] ธันวา สัจจาพิทักษ์วงศ์. การใช้ค่าดัชนีพืชพรรณที่ได้จากเทคนิคการสำรวจระยะไกลแบบไฮเปอร์สเปกตรัลเพื่อศึกษาตัวแปรทางชีววิทยาของป่าชายเลน. [วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต]. กรุงเทพมหานคร: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2552.
- [52] วีระพงศ์ เกิดสิน. การประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบและการจำแนกพันธุ์ไม้ป่าชายเลนด้วยเทคนิคการสำรวจระยะไกลแบบไฮเปอร์สเปกตรัล. [วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต]. กรุงเทพมหานคร: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2556.
- [53] เบ็ญจมาศ จนทะภา เบญจพร อุทัยศรี และ ชลีย์ ไพบูลย์กิจกุล. วารสารวิทยาศาสตร์ลาดกระบัง; 21(1) (2555). การพัฒนาเทคนิควัดการเจริญเติบโตของสาหร่ายช่อพริกไทย (*Caulerpa lentillifera*) โดยการวัดพื้นที่ภาพถ่าย. 76-88
- [54] ศิวา แก้วปลั่ง และ เนติสีหาม. (2561). การประมาณค่าชีวมวลของต้นข้าวก่อนข้าวออกรวงโดยการสำรวจระยะไกลด้วยอากาศยานไร้คนขับจากดัชนีพืช BNDVI และ GRVI กรณีศึกษา : ข้าวนาปีในจังหวัดขอนแก่น ประเทศไทย
- [55] ทบทอง ชั้นเจริญ. การรับรู้จากระยะไกล. สาขาภูมิสารสนเทศ คณะวิทยาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี 2558. [ออนไลน์]. 2558 [สืบค้นเมื่อ 21 สิงหาคม 2559].ได้จาก : http://www.tobthong.rbru.ac.th/wp-content/uploads/2015/09/RS1_13_pdf.

- [56] เนติสีหามู และศิลา แก้วปลั่ง (2561).วารสารวิชาการสารคามวิจัยมหาวิทยาลัยมหาสารคาม; - (2561). การประมาณการผลผลิตข้าวเปลือกโดยใช้ข้อมูลดาวเทียม MODIS ด้วยโครงข่ายประสาทเทียม.
- [57] Paul C. Doraiswamy, Alan J. Stern, and Bakhyt Akhmedov, “Crop Classification in the U.S. Corn Belt Using MODIS Imagery”, IEEE International Conference Proceeding, Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2007, pp. 809 – 812
- [58] Li Daofeng, Li Chunhui, Hao Fanghua, and Lingfang Zheng, “Complex Vegetation Cover Classification Study of The Yellow River Basin based on NDVI Data”, IEEE International Conference Proceeding, Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2004, pp. 3,360 – 3,363
- [59] Katerina Taskova, Pance Panov, Andrej Kobler, Saso Dzeroski, and Daniela Stojanova, “Predicting Forest Stand Properties from Satellite Images with Different Data Mining Techniques”, 2006
- [60] ทรงกต ทศานนท์. (2555) หลักการรับรู้จากระยะไกล (Principles of Remote Sensing). มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- [61] ดุษฎีชาญลิขิต. (2553). การทำแผนที่และการรังวัดภาพ (Mapping and hotogrammetry). มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- [62] Sabins, F. F. (1987). Remote Sensing: Principle and Interpretation. 2nd Edition. W. H. Freeman and Company. New York.
- [63] Jensen, J. R. (2007). Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective. 2nd Edition. Practice Hall.
- [64] สุวิทย์ อ่องสมหวัง. (2554). หลักการของการรับรู้จากระยะไกลและการประมวลผลภาพเชิงเลข (Principles of Remote Sensing and Digital Image Processing). มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- [65] แหล่งรวมความรู้ทางด้าน Data Mining สำหรับคนไทย.[ออนไลน์]. 2562 [สืบค้นเมื่อ 21 สิงหาคม 2562]. ได้จาก : <http://dataminingtrend.com/2014/data-mining-techniques/ensemble-model/>

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นายพรหมชัย สุพรรณ
วันเกิด	8 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2522
สถานที่เกิด	อำเภอบรบือ จังหวัดมหาสารคาม
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	บ้านเลขที่ 208/981 หมู่บ้านการเคหะ หมู่ที่ 8 ตำบลบ้านเป็ด อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40000
ตำแหน่งหน้าที่การงาน	อาจารย์
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	มหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 199/19 ถนนมิตรภาพ ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2546 ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ) สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ พ.ศ. 2551 ปริญญาบริหารธุรกิจมหาบัณฑิต (บธ.ม.) กลุ่มเทคโนโลยี สารสนเทศ มหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ พ.ศ. 2562 ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วศ.ม.) สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

พูนุ่ ปณุ่ ทิโต ชีเว