

การเปรียบเทียบดัชนีพืชพรรณระหว่างภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 กับภาพถ่ายจากอากาศยานไร้
คนขับ: กรณีศึกษาข้าวแปลงเล็ก



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสำรวจ ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2561
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

COMPARING BETWEEN VEGETATION INDICES DERIVED FROM SENTINEL-2 AND UAV
IMAGERY: A CASE STUDY OF SMALL PADDY FIELDS.



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Survey Engineering
Department of Survey Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2018
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเปรียบเทียบดัชนีพืชพรรณระหว่างภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 กับภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ: กรณีศึกษาข้าวแปลงเล็ก
โดย	นายนิรันดดอน ไสยะวง
สาขาวิชา	วิศวกรรมสำรวจ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สรรเพชญ์ ชื่อนิติไพศาล
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ดร.ชัยโชค ไวกาษา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.เฉลิมชนม์ สติระพจน์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สรรเพชญ์ ชื่อนิติไพศาล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(ดร.ชัยโชค ไวกาษา)

..... กรรมการ
(ดร.กรวิก ตันภษรานนท์)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาติชาย ไวยสุระสิงห์)

นิตินตอน ไสยะวง : การเปรียบเทียบดัชนีพืชพรรณระหว่างภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 กับภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ: กรณีศึกษาข้าวแปลงเล็ก . (COMPARING BETWEEN VEGETATION INDICES DERIVED FROM SENTINEL-2 AND UAV IMAGERY: A CASE STUDY OF SMALL PADDY FIELDS.) อ.ที่ปรึกษาหลัก : ผศ. ดร.สรพรเพชญ์ ชื่อนิติไพศาล, อ.ที่ปรึกษาร่วม : ดร.ชัยโชค ไวกาษา

ข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจ และเป็นสินค้าส่งออกที่สำคัญของประเทศไทย โดยมีแนวโน้มความต้องการมากขึ้นทุกปี แต่ผลผลิตลดลงเนื่องจากปัญหาการระบาดของโรคในระยะการเจริญเติบโต การติดตามความอุดมสมบูรณ์ และดูแล มีความสำคัญต่อผลผลิตโดยตรง ซึ่งสามารถตรวจสอบด้วยค่าดัชนีพืชพรรณที่บ่งบอกถึงระดับความเขียวพืช มีการตอบสนองที่ดีในเรื่องของคลอโรฟิลล์ในใบไม้ และสอดคล้องกับการเจริญเติบโตข้าว มีความชัดเจนในการจำแนกพืชพรรณที่ได้รับข้อมูลจากภาพถ่ายจากดาวเทียม ในปัจจุบันมีเทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับ หรือ UAV นำมาใช้ในงานด้านเกษตรกรรมอย่างแพร่หลาย เพื่อตรวจสอบความอุดมสมบูรณ์ข้าว และเก็บข้อมูลในพื้นที่แปลงนาขนาดเล็ก เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถถ่ายภาพได้ตามเวลาจริง ดังนั้น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบค่าดัชนีพืชพรรณที่ได้จาก UAV และภาพถ่ายจากดาวเทียม Sentinel-2 ด้วยวิธีดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์มัลไลซ์, ดัชนีพืชพรรณตำแหน่ง red edge และ ดัชนีพืชพรรณปรับแก้ดิน โดยได้ทดลองกับข้าวเหนียว กข6 ข้าวเหนียว กข22 และข้าวหอมมะลิ105 ในระยะข้าวแตกกอ ระยะข้าวตั้งท้อง และระยะข้าวเป็นน้ามนและสุก ด้วยการทดลองทางสถิติ t-test และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่าดัชนีพืชพรรณจากภาพถ่ายจาก UAV และ Sentinel-2 ไม่สอดคล้องกัน โดยการทดสอบทั้งสิ้น 87 ครั้ง มีเพียง 6 ครั้งเท่านั้นที่พบความสอดคล้อง คาดว่าความแตกต่างที่พบมีสาเหตุมาจากขนาดของจุดภาพของ UAV ที่มีขนาดเล็กจนทำให้ได้รับอิทธิพลของพื้นหลังในค่าการสะท้อนระหว่างขั้นตอนของการทำลดความละเอียดภาพถ่าย (Resampling) ให้จุดภาพมีขนาด 10 เมตรเท่ากับภาพดาวเทียม และ ลักษณะของการปลูกข้าวที่แตกต่างกันในพื้นที่ศึกษาที่มีทั้งนาหว่าน นาดำด้วยรถ และ นาดำด้วยคนซึ่งก่อให้เกิดพื้นหลังที่แตกต่างกัน ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาต่อเนื่องในอนาคตคือการทดลองหาขนาดของจุดภาพที่เหมาะสมสำหรับแต่ละวิธีการเพาะปลูกต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สาขาวิชา วิศวกรรมสำรวจ

ปีการศึกษา 2561

ลายมือชื่อนิติต
.....

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก
.....

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม
.....

5970490521 : MAJOR SURVEY ENGINEERING

KEYWORD: NDVI, UAV, Sebtinel-2, Small paddy fields

Nilandone Xaiyavong : COMPARING BETWEEN VEGETATION INDICES DERIVED FROM SENTINEL-2 AND UAV IMAGERY: A CASE STUDY OF SMALL PADDY FIELDS. . Advisor: Asst. Prof. Sanphet Chunithipaisan, Ph.D. Co-advisor: Dr. CHAICHOKE VAIPHASA

Rice is an essential industrial production and export of Thailand. The demand has been gradually increasing. However, rice production has decreased due to plant diseases that often occur in the rice's growing stage. Rice monitoring is necessary for managing the quality of rice's yield. In this case, the vegetation index (VI) can be used to inspect the rice variation in each stage. The VI can be acquired from remotely sensed data which responses to the chlorophyll contained in leaves. Besides, it can support the classification procedure to clarify the difference between greenness and other features. Nowadays, an unmanned aerial vehicle (UAV) can be utilized and variously applied to agricultural production. The UAV can be employed for real-time monitoring and providing the field information. The objective of this study is to compare the vegetation indices acquired from the UAV and the Sentinel-2 satellite imagery. Derived indices include the normalized difference vegetation index, (NDVI), the red edge normalized vegetation index (reNDVI), and the soil adjusted vegetation index (SAVI). The experiment has been examined with the rice varieties including *Oryza sativa* L. RD6, RD22, and Thai Jasmine 105. Moreover, there are three growing stages to be observed comprising vegetative, reproductive and ripening phase. All indices values from two sources were calculated and applied to fixed the linear relationship and t-test statistics. The result of the coefficient of determination unveiled that there was no relationship when comparing all indices from the two platforms. Only six from eighty-seven examinations exhibited a good correlation. This argument may occur regarding the high resolution of the UAV imagery influenced by the 10-meter resampling procedure. Furthermore, a complex characteristic of rice planting for instances, paddy-sown field, and seeding field could lead to the background difference. The suggestion of further study is to discover the proper image resolution for each planting method.

Field of Study: Survey Engineering

Student's Signature

Academic Year: 2018

Advisor's Signature

Co-advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สรพรเพชญ์ ชื่อนิติไพศาล ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และ ดร.ไชยโชค ไวกาษา เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ในการให้คำปรึกษา, ให้คำแนะนำการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นกับการทำวิจัย และวิธีการเรียนรู้ การเขียน การนำเสนอผลงาน ตลอดจนถึงขั้นตอนในการทำบทวิจัย พร้อมทั้งการตรวจสอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้แก่ข้าพเจ้า และขอขอบพระคุณมายังคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ประกอบด้วย ศาสตราจารย์ ดร.เฉลิมชนม์ สติระพจน์ เป็นประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์, , ดร.กรวิก ตันภษรานนท์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาติชาย ไวยสุระสิงห์ ซึ่งเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ให้แก่ข้าพเจ้า ที่ได้คำแนะนำต่าง ๆ ในการแก้ไขให้บทวิทยานิพนธ์เสร็จสมบูรณ์ และ ดียิ่งขึ้น

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่าน ที่ได้สั่งสอนวิชาความรู้และความเข้าใจต่าง ๆ ที่เป็นบทเรียนให้แก่ข้าพเจ้า ตลอดจนเจ้าหน้าที่ภาควิศวกรรมสำรวจทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือในการอำนวยความสะดวกทุกอย่าง ในระหว่างการศึกษาและทำวิจัยนี้

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณทุนการศึกษาจากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย “โครงการทุนการศึกษาแก่ชาวต่างประเทศจากประเทศในกลุ่มอาเซียน” หรือ “Scholarship Program for ASEAN Counties” ที่ให้โอกาสแก่ข้าพเจ้า ได้เรียนรู้ ได้ฝึกหัดความสามารถตนเองเป็นเวลา 2 ปี ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยแห่งนี้

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ พี่ ๆ น้อง ๆ เพื่อน ๆ นิสิตภาควิชาวิศวกรรมสำรวจทุกท่านที่ช่วยเหลือแก้ปัญหาต่าง ๆ คำแนะนำดี ๆ กำลังใจในเวลาที่ย่ำแย่ และความรู้ความเข้าใจในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวของข้าพเจ้า ที่ให้การช่วยเหลือในทุก ๆ ด้าน ทั้งในด้านกำลังใจ ค่าเล่าเรียนในระหว่างการศึกษาจนจบการศึกษา

นิตันดอน ไสยะวง

สารบัญ

	หน้า
.....	ค
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญรูปภาพ.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของการศึกษา.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 Photogrammetry	5
2.2 ดาวเทียม Sentinel-2.....	7
2.3 ภาพถ่ายจากกล้อง MicaSense Sensor.....	9
2.3.1 ระบบอากาศยานไร้คนขับสำหรับกล้อง RedEdge-M	10
2.4 ดัชนีพืชพรรณ.....	12
2.5 Atmospheric correction	14
2.6 การเปรียบเทียบค่าดัชนีพืชพรรณ.....	15

2.6.1 การทดสอบสมมติฐานทางสถิติ	15
2.6.2 การวิเคราะห์การถดถอย.....	18
2.6.2.1 เกณฑ์ทั่วไปสำหรับความแข็งแกร่งของความสัมพันธ์	19
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	19
บทที่ 3 วิธีดำเนินการศึกษา.....	21
3.1 พื้นที่ศึกษา.....	21
3.2 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา.....	23
3.2.1 รายละเอียดของข่าว	23
3.2.2 ภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 และอากาศยานไร้คนขับ	24
3.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน	27
3.3.1 การสร้างจุดควบคุมภาคพื้นดิน	27
3.3.2 การวางแผนการบิน.....	30
3.3.3 ประมวลผลภาพ Orthophoto.....	33
3.3.4 การดาวน์โหลดข้อมูลดาวเทียม	33
3.3.5 การปรับแก้ค่า Atmospheric correction	33
3.3.6 คำนวณค่าดัชนีพืชพรรณ	35
3.4 ข้อมูลภาพถ่าย	36
3.4.1 พื้นที่ศึกษา 1	36
3.4.1.1 ระยะข้าวแตกกอ	36
3.4.1.2 ระยะข้าวตั้งท้อง.....	41
3.4.1.3 ระยะข้าวเป็นนํ้านมและสุก	46
3.4.2 พื้นที่ศึกษา 2	51
3.4.2.1 ระยะข้าวแตกกอ	51
3.4.2.2 ระยะข้าวตั้งท้อง.....	56

3.4.2.3 ระยะข้าวเป็นน้ามนและสุก	61
บทที่ 4 ผลการศึกษา.....	66
4.1 ความสัมพันธ์การวิเคราะห์การถดถอย และการทดสอบสถิติ t-test	66
4.1.1 ค่าความสัมพันธ์ ข้าวเหนียว กข 6.....	67
4.1.2 ค่าความสัมพันธ์ ข้าวเหนียว กข 22.....	77
4.1.3 ค่าความสัมพันธ์ ข้าวหอมมะลิ 105.....	89
บทที่ 5 อภิปรายผล สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ	99
5.1 อภิปรายผลการศึกษา	99
5.2 สรุปผลการศึกษา	100
5.3 ข้อเสนอแนะ	101
บรรณานุกรม.....	102
ประวัติผู้เขียน.....	108

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ช่วงคลื่นที่ดาวเทียม Sentinel-2A ปฏิบัติงานได้.....	9
ตารางที่ 2.2 ช่วงคลื่นที่ MicaSense Sensor ปฏิบัติงานได้.....	10
ภาพที่ 2.3 การวิเคราะห์ผลการทดลองเปรียบเทียบโดยวิธีจับคู่	17
ตารางที่ 2.4 ตารางแจกแจงที (T distribution).....	17
ตารางที่ 3.1 รายละเอียดแปลงข้าวพื้นที่ศึกษาที่ 1	23
ตารางที่ 3.2 รายละเอียดแปลงข้าวพื้นที่ศึกษาที่ 2	24
ตารางที่ 3.3 ช่วงเวลาภาพถ่าย	25
ตารางที่ 4.1 แสดงการสรุปผลความสัมพันธ์และการทดลองสถิติ t-test ของข้าวเหนียว กข 6.....	76
ตารางที่ 4.2 แสดงการสรุปผลความสัมพันธ์และการทดลองสถิติ t-test ของข้าวเหนียว กข 22	88
ตารางที่ 4.3 แสดงการสรุปผลความสัมพันธ์และการทดลองสถิติ t-test ของข้าวหอมมะลิ 105.....	98

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
ภาพที่ 2.1 แนวการบิน	5
ภาพที่ 2.2 ส่วนซ้อนด้านหน้าและส่วนซ้อนด้านข้าง	6
ภาพที่ 2.3 แสดงแนวบินตัดขวาง.....	6
ภาพที่ 2.4 Spectral Bands (MicaSense, 2018).....	10
ภาพที่ 2.5 แพลตฟอร์มระบบกล้อง UAV.....	11
ภาพที่ 2.6 กล้อง RedEdge-M และอุปกรณ์ควบคุมแนวดิ่ง (Gimble Savox SH-1290 MG).....	11
ภาพที่ 2.7 การกระจายเชิงพื้นที่ของพืชชนิดต่าง ๆ ในประเทศจีน Cao et al. (2018).....	14
ภาพที่ 2.8 การสะท้อนพลังงานที่มีต่อชั้นบรรยากาศ (Harrison and Jupp, 1990).....	15
ภาพที่ 2.9 ช่วงความเชื่อมั่น.....	17
ภาพที่ 3.1 ภาพแสดงพื้นที่ศึกษา	21
ภาพที่ 3.2 แปลงข้าวพื้นที่ศึกษา 1.....	22
ภาพที่ 3.3 แปลงข้าวพื้นที่ศึกษา 2.....	22
ภาพที่ 3.4 ภาพแสดงระยะข้าวหลังจากปลูกข้าว รวม 160วัน	25
ภาพที่ 3.5 แสดงระยะการเจริญเติบโตข้าว (Rice Knowledge Bank)	26
ภาพที่ 3.6 แผนการดำเนินงาน	27
ภาพที่ 3.7 แสดงจุดควบคุมภาคพื้นดิน.....	28
ภาพที่ 3.8 หมุดอ้างอิงจากหมุดหลักฐานกระทรวงเกษตรและสหกรณ์.....	28
ภาพที่ 3.9 แสดงจุดควบคุมภาคพื้นดินพื้นที่ศึกษา 1	29
ภาพที่ 3.10 แสดงจุดควบคุมภาคพื้นดินพื้นที่ศึกษา 2.....	29
ภาพที่ 3.11 การรังวัดจุดภาคพื้นดิน (GCP4).....	30
ภาพที่ 3.12 แสดงการถ่ายภาพแผงสะท้อน (Calibrated reflectance panels).....	31

ภาพที่ 3.13 การวางเป้าจุดภาคพื้นดิน.....	31
ภาพที่ 3.14 แสดงแนวบินพื้นที่ศึกษา 1.....	32
ภาพที่ 3.15 แสดงแนวบินพื้นที่ศึกษา 2.....	32
ภาพที่ 3.16 การดาวน์โหลดภาพถ่ายจากฐานข้อมูล EOS	33
ภาพที่ 3.17 แสดงการนำภาพเพื่อปรับแก้ Atmospheric correction.....	34
ภาพที่ 3.18 ภาพก่อนการปรับแก้ Atmospheric correction	34
ภาพที่ 3.19 ภาพหลังการปรับแก้ Atmospheric correction.....	35
ภาพที่ 3.20 การคำนวณค่าดัชนีพืชพรรณ	35
ภาพที่ 3.21 แสดงข้อมูลภาคสนามจาก UAV	36
ภาพที่ 3.22 แสดงข้อมูลภาคสนามจาก UAV และ Sentinel-2 ที่ความละเอียดเท่ากัน.....	37
ภาพที่ 3.23 ดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์มัลไลซ์ จาก UAV และ Sentinel-2	38
ภาพที่ 3.24 ดัชนีพืชพรรณตำแหน่ง Red edge จาก UAV และ Sentinel-2.....	39
ภาพที่ 3.25 ภาพจำแนกดัชนีพืชพรรณปรับแก้ดิน จาก UAV และ Sentinel-2	40
ภาพที่ 3.26 แสดงข้อมูลภาคสนามจาก UAV	41
ภาพที่ 3.27 แสดงข้อมูลภาคสนามจาก UAV และ Sentinel-2 ที่ความละเอียดเท่ากัน.....	42
ภาพที่ 3.28 ดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์มัลไลซ์ จาก UAV และ Sentinel-2.....	43
ภาพที่ 3.29 ดัชนีพืชพรรณตำแหน่ง Red edge ระยะข้าวตั้งท้อง UAV และ Sentinel-2	44
ภาพที่ 3.30 ภาพจำแนกดัชนีพืชพรรณปรับแก้ดิน จาก UAV และ Sentinel-2	45
ภาพที่ 3.31 แสดงข้อมูลภาคสนามจาก UAV	46
ภาพที่ 3.32 แสดงข้อมูลภาคสนามจาก UAV และ Sentinel-2 ที่ความละเอียดเท่ากัน.....	47
ภาพที่ 3.33 ดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์มัลไลซ์ จาก UAV และ Sentinel-2	48
ภาพที่ 3.34 ดัชนีพืชพรรณตำแหน่ง Red edge จาก UAV และ Sentinel-2.....	49
ภาพที่ 3.35 ดัชนีพืชพรรณปรับแก้ดิน UAV และ Sentinel-2.....	50
ภาพที่ 3.36 แสดงข้อมูลภาคสนาม จาก UAV.....	51

ภาพที่ 3.37 แสดงข้อมูลภาคสนามจาก UAV และ Sentinel-2 ที่ความละเอียดเท่ากัน.....	52
ภาพที่ 3.38 ดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์แมลไลซ์ จาก UAV และ Sentinel-2	53
ภาพที่ 3.39 ดัชนีพืชพรรณตำแหน่ง Red edge จาก UAV และ Sentinel-2.....	54
ภาพที่ 3.40 ดัชนีพืชพรรณปรับแก้ดินจาก UAV และ Sentinel-2	55
ภาพที่ 3.41 แสดงข้อมูลภาคสนามจาก UAV	56
ภาพที่ 3.42 แสดงข้อมูลภาคสนามจาก UAV และ Sentinel-2 ที่ความละเอียดเท่ากัน.....	57
ภาพที่ 3.43 ดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์แมลไลซ์ จาก UAV และ Sentinel-2	58
ภาพที่ 3.44 ดัชนีพืชพรรณตำแหน่ง Red edge จาก UAV และ Sentinel-2.....	59
ภาพที่ 3.45 ดัชนีพืชพรรณปรับแก้ดินจาก UAV และ Sentinel-2	60
ภาพที่ 3.46 แสดงข้อมูลภาคสนามระยะข้าวเป็นน้ำนมและสุกจาก UAV.....	61
ภาพที่ 3.47 แสดงข้อมูลภาคสนามจาก UAV และ Sentinel-2 ที่ความละเอียดเท่ากัน.....	62
ภาพที่ 3.48 ต่างดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์แมลไลซ์ จาก UAV และ Sentinel-2	63
ภาพที่ 3.49 ดัชนีพืชพรรณตำแหน่ง Red edge จาก UAV และ Sentinel-2.....	64
ภาพที่ 3.50 ดัชนีพืชพรรณปรับแก้ดินจาก UAV และ Sentinel-2	65
ภาพที่ 4.1 ความสัมพันธ์ค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์แมลไลซ์ ข้าวเหนียว กข 6 ปักดำด้วยรถ	67
ภาพที่ 4.2 ความสัมพันธ์ค่าดัชนีพืชพรรณตำแหน่ง Red Edge ข้าวเหนียว กข 6 ปักดำด้วยรถ.....	68
ภาพที่ 4.3 ความสัมพันธ์ค่าดัชนีพืชพรรณปรับแก้ดิน ข้าวเหนียว กข 6 ปักดำด้วยรถ	69
ภาพที่ 4.4 ความสัมพันธ์ค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์แมลไลซ์ ข้าวเหนียว กข 6 ปักดำด้วยคน	70
ภาพที่ 4.5 ความสัมพันธ์ค่าดัชนีพืชพรรณตำแหน่ง Red Edge ข้าวเหนียว กข 6 ปักดำด้วยคน	71
ภาพที่ 4.6 ความสัมพันธ์ค่าดัชนีพืชพรรณปรับแก้ดิน ข้าวเหนียว กข 6 ปักดำด้วยคน.....	72
ภาพที่ 4.7 ความสัมพันธ์ค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์แมลไลซ์ ข้าวเหนียว กข 6 นาหว่าน	73
ภาพที่ 4.8 ความสัมพันธ์ค่าดัชนีพืชพรรณตำแหน่ง Red Edge ข้าวเหนียว กข 6 นาหว่าน	74
ภาพที่ 4.9 ความสัมพันธ์ค่าดัชนีพืชพรรณปรับแก้ดิน ข้าวเหนียว กข 6 นาหว่าน	75
ภาพที่ 4.10 ความสัมพันธ์ค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์แมลไลซ์ ข้าวเหนียว กข 22	77

ภาพที่ 4.11 ความสัมพันธ์ค่าดัชนีพืชพรรณตำแหน่ง Red Edge ข้าวเหนียว กข 22.....	77
ภาพที่ 4.12 ความสัมพันธ์ค่าดัชนีพืชพรรณปรับแก้ดิน ข้าวเหนียว กข 22 ปักดำด้วยรถ	78
ภาพที่ 4.13 ความสัมพันธ์ค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์แมลไลซ์ ข้าวเหนียว กข 22	79
ภาพที่ 4.14 ความสัมพันธ์ค่าดัชนีพืชพรรณตำแหน่ง Red Edge ข้าวเหนียว กข 22.....	80
ภาพที่ 4.15 ความสัมพันธ์ค่าดัชนีพืชพรรณปรับแก้ดิน ข้าวเหนียว กข 22	81
ภาพที่ 4.16 ความสัมพันธ์ค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์แมลไลซ์ ข้าวเหนียว กข 22.....	82
ภาพที่ 4.17 ความสัมพันธ์ค่าดัชนีพืชพรรณตำแหน่ง Red Edge ข้าวเหนียว กข 22	83
ภาพที่ 4.18 ความสัมพันธ์ค่าดัชนีพืชพรรณปรับแก้ดิน ข้าวเหนียว กข 22.....	84
ภาพที่ 4.19 ความสัมพันธ์ค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์แมลไลซ์ ข้าวเหนียว กข 22	85
ภาพที่ 4.20 ความสัมพันธ์ค่าดัชนีพืชพรรณตำแหน่ง Red Edge ข้าวเหนียว กข 22.....	86
ภาพที่ 4.21 ความสัมพันธ์ค่าดัชนีพืชพรรณปรับแก้ดิน ข้าวเหนียว กข 22	87
ภาพที่ 4.22 ความสัมพันธ์ค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์แมลไลซ์ ข้าวหอมมะลิ 105.....	89
ภาพที่ 4.23 ความสัมพันธ์ค่าดัชนีพืชพรรณตำแหน่ง Red Edge ข้าวหอมมะลิ 105.....	90
ภาพที่ 4.24 ความสัมพันธ์ค่าดัชนีพืชพรรณปรับแก้ดิน ข้าวหอมมะลิ 105	91
ภาพที่ 4.25 ความสัมพันธ์ค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์แมลไลซ์ ข้าวหอมมะลิ 105.....	92
ภาพที่ 4.26 ความสัมพันธ์ค่าดัชนีพืชพรรณตำแหน่ง Red Edge ข้าวหอมมะลิ 105.....	93
ภาพที่ 4.27 ความสัมพันธ์ค่าดัชนีพืชพรรณปรับแก้ดิน ข้าวหอมมะลิ 105	94
ภาพที่ 4.28 ความสัมพันธ์ค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์แมลไลซ์ ข้าวหอมมะลิ 105 นาหว่าน 95	
ภาพที่ 4.29 ความสัมพันธ์ค่าดัชนีพืชพรรณตำแหน่ง Red Edge ข้าวหอมมะลิ 105 นาหว่าน	96
ภาพที่ 4.30 ความสัมพันธ์ค่าดัชนีพืชพรรณปรับแก้ดิน ข้าวหอมมะลิ 105 นาหว่าน.....	97

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ข้าวเป็นอาหารหลักและเป็นสินค้าส่งออกที่สำคัญของประเทศไทย (Suwannachatkul et al., 2014) ประเทศไทยมีพื้นที่เกษตรกรรม 90.8 ล้านไร่ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือเป็นพื้นที่ปลูกข้าวมากที่สุดมี 42.9 ล้านไร่ ในปี 2552 มีการทำนาปีจำนวน 3,717,360 ครัวเรือน ปลูกข้าวด้วยวิธีการดำนา โดยใช้แรงงาน (กระทรวงพาณิชย์ และ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ,2555) ตามรายงานของสมาคมผู้ส่งออกข้าวไทย หรือ Thai Rice Exporters Association (2560) ในปี 2560 พบพื้นที่ปลูกข้าวในปี 58.962 ล้านไร่ ให้ผลผลิต 408 กิโลกรัมต่อไร่ และนาปรัง 10.4 ล้านไร่ ผลผลิต 663 กิโลกรัมต่อไร่ การติดตามและดูแลข้าวในระยะการเจริญเติบโตมีความสำคัญต่อผลผลิตโดยตรง เช่น การป้องกันโรคระบาด เนื่องจากสภาพอากาศในแต่ละฤดูมีความแปรปรวน ในปี 2558 สำนักงานเกษตรและสหกรณ์จังหวัดร่วมกับศูนย์วิจัยข้าวและศูนย์เมล็ดพันธุ์ข้าวรายงานว่ามี 13 จังหวัดพบการระบาดของโรคไหม้ข้าวระดับรุนแรงที่เนื้อที่ 21,257 ไร่ และไม่รุนแรง 56,956 ไร่ และมีการระบาดของโรคเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลจำนวน 5,297 ไร่ ในพื้นที่ 5 จังหวัด ในปี 2560 กลุ่มพยากรณ์และเตือนการระบาดของศัตรูพืช กองส่งเสริมการอารักขาพืชและจัดการดินปุ๋ยรายงานว่าการระบาดของโรคเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลจำนวน 1,405 ไร่ ในพื้นที่ 3 จังหวัด และเพลี้ยกระโดดหลังขาวจำนวน 4,353 ไร่ ในพื้นที่ 3 จังหวัด และโรคไหม้ข้าวจำนวน 13,051 ไร่ ในพื้นที่ 6 จังหวัด ซึ่งเป็นความท้าทายและอุปสรรคของการทำนาสร้างความเสียหายต่อผลผลิต เนื่องจากความต้องการบริโภคข้าวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปี รวมถึงปัญหาการขาดแคลนน้ำ และได้รับน้ำมากเกินไป

เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว จึงมีการตรวจสอบระยะการเจริญเติบโตข้าว เพื่อหาแนวทางป้องกันและวางแผนการดำเนินงาน เพื่อให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น ซึ่งค่าดัชนีพืชพรรณ (Vegetation Indices: VIs) สามารถบ่งบอกถึงระดับความเขียวพืชที่ปกคลุมพื้นผิวโลกได้ในระยะเวลาหนึ่ง Oguro et al. (2003) ใช้ค่า NDVI จากดาวเทียม Landsat-5TM และ Landsat-7 ETM+ เพื่อตรวจสอบพื้นที่ปลูกข้าว จากผลการทดลองพบว่าค่า NDVI สอดคล้องกับการเจริญเติบโตของข้าว การศึกษาปรากฏการณ์ทางธรรมชาติตามฤดูกาลและวัฏจักรของพืช โดยเฉพาะข้าว เช่น วันที่ปลูกข้าว ระยะข้าวเป็นน้ำนมและสุก วันที่เก็บเกี่ยว ระยะการเจริญเติบโต จากข้อมูล MODIS ด้วยวิธี EVI และเชิงอนุพันธ์ (inflexion) (Sakamoto et al., 2005) เพื่อตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงพืชทางเกษตรกรรมด้วยค่า NDVI ในอัฟกานิสถาน (Afghanistan) จากข้อมูลดาวเทียม Landsat และ MODIS พบว่าค่า NDVI ที่ 0.3 ถึง

0.45 ระบุว่าระบบชลประทานเข้าถึงพื้นที่เกษตรกรรมแสดงให้เห็นถึงแนวทางการบริหารจัดการน้ำให้กับเกษตรกรได้เป็นอย่างดี (Shahriar et al., 2014)

ค่า NDVI มีความสำคัญต่อการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของพืชข้าว Liu et al. (2018) และ Z. Zhang et al. (2018) ใช้ข้อมูลจากภาพถ่ายจากดาวเทียม Sentinel-2 ตรวจสอบปริมาณโลหะ (Heavy metal) ของข้าวโดยใช้ช่วงคลื่น Red edge ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ให้เห็นถึงปริมาณเล็กน้อยของโลหะในข้าวได้เป็นอย่างดี ซึ่งภาพถ่ายจากดาวเทียม Sentinel-2 มีช่วงคลื่น Red edge ทั้งหมด 3 ช่วงคลื่นมีความเหมาะสมในการตรวจสอบพืชชนิดสีเขียว เป็นแพลตฟอร์มการเปลี่ยนผ่านจากการดูดซึมของแสงสีแดงไปยังการกระจายตัวในหลาย ๆ ช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ ช่วงคลื่นตำแหน่ง Red edge สามารถตรวจหาโรคของข้าวโพดได้ โดยใช้ดัชนีพืชพรรณเพื่อตรวจสอบสุขภาพ และติดตามการเกิดโรคในระยะการเจริญเติบโตข้าวโพด (Dhau et al., 2018) ซึ่งการนำช่วงคลื่น Red edge มาศึกษากับพืชข้าว นั้นค่อนข้างน้อยจึงมีแนวคิดที่จะนำช่วงคลื่น Red edge มาศึกษากับพืชข้าวเพื่อดูความสัมพันธ์กับค่าดัชนีพืชพรรณตัวอื่น

ในปัจจุบันงานวิจัยหลายฉบับได้ศึกษาเกี่ยวกับพืชโดยการสำรวจระยะไกลด้วยอากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicle: UAV) หรือที่คนรู้จักกันมากในชื่อโดรน (Drone) Zhou et al. (2017) ได้ศึกษาและประมาณจำนวนผลผลิตข้าวโดยใช้ค่าดัชนีพืชพรรณจากภาพถ่าย UAV-based Multispectral ซึ่งแบ่งระยะการเจริญเติบโตข้าวออกเป็น 7 ระยะ พบว่าระยะการเจริญเติบโตข้าวที่ระยะ Booting stage (อายุข้าว 60 วัน) เป็นระยะที่สามารถทำนายผลผลิตข้าวใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด โดยค่า $NDVI_{[800,720]} = 0.75$ ซึ่งให้เห็นว่าข้าวมีสุขภาพดีและมีความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตข้าว (kg/ha) โดยใช้ Linear relationship พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์การคาดการณ์ผลผลิตข้าว $R^2 = 0.75$ ในพื้นที่ทดลองแปลงนาขนาด 30 ตารางเมตร (6x5m) Norasma et al. (2018) ใช้ข้อมูลภาพถ่าย RGB จาก UAV วิเคราะห์เชิงพื้นที่ ผลการศึกษาพบว่าพื้นที่ที่มีความสูงเสมอกันเป็นองค์ประกอบที่สำคัญต่อผลผลิตข้าว และการตรวจสอบวัชพืชรวมไปถึงการทำแผนที่การกระจายตัวของวัชพืชในแปลงข้าว (Huang et al., 2018) ภาพถ่ายจาก UAV สามารถตรวจสอบความเสียหายของข้าวได้ด้วยเซ็นเซอร์ Multi-spectral ซึ่งมีความละเอียดเชิงพื้นที่สูง (Hsuan et al., 2018) สำหรับการกำจัดวัชพืชที่ใช้สารเคมีซึ่งในบางครั้งอาจทำให้ผลผลิตลดลง รวมไปถึงส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม M. Li et al. (2018) ใช้เทคนิคการตรวจสอบพื้นที่ปลูกข้าวด้วยการสำรวจระยะไกล UAV ที่มีความแม่นยำสูง รวมถึงใช้เวลาในการทำงานหรือได้มาซึ่งข้อมูลในระยะเวลาสั้น ข้อดีของข้อมูลจาก UAV ยังสามารถนำไปประยุกต์กับงานได้หลายด้าน เช่น การเก็บข้อมูล ค่าความสูงเชิงเลข (DEM) โดยมีความถูกต้องระดับเซนติเมตร การสร้างภาพถ่ายแนวตั้งและวิธีไอโซเมตริกการวิเคราะห์พื้นที่เขื่อนการเพาะปลูกข้าวนาปี การวิเคราะห์แผ่นดินถล่ม เป็นต้น (Raju

et al., 2017) Du et al. (2018) ใช้ค่า Vegetation Indices (VIs) เพื่อศึกษาการเจริญเติบโตของข้าวโพดที่แม่น้ำ Yangtze ในพื้นที่ขนาดเล็ก จำนวน 30 แปลง โดยใช้แบบจำลอง NDVI-SPAD จากการบินสำรวจด้วย UAV พบว่าความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงการเจริญเติบโตของข้าวโพด $R^2 = 0.717$ และ ค่า RMSE = 1.878 จึงแสดงให้เห็นว่าการใช้เทคนิคนี้ทำให้การศึกษาการเจริญเติบโตของข้าวโพด ง่าย สะดวก และลดต้นทุนในการศึกษา Wan et al. (2018) ใช้ภาพถ่ายความละเอียดเชิงพื้นที่ด้วย UAV เพื่อหาค่า VIs และจำแนกจำนวนดอกไม้ Oilseed rape ตรวจสอบความถูกต้องด้วยค่าไนโตรเจน ซึ่งสามารถทำนายผลผลิตได้ดี $R^2 = 0.85$ การตรวจสอบพืชโดยใช้ Red edge NDVI (reNDVI) เพื่อคาดการณ์ค่า SPAD แปลงทดสอบข้าวโพด พบว่ามีความถูกต้องสูง เนื่องจาก reNDVI มีความไวต่อพืชและยังไม่ได้รับผลกระทบจากปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม รวมถึงค่าสะท้อนดิน และน้ำ (Deng et al., 2018) ระบบอากาศยานไร้คนขับเป็นเทคนิคที่ให้ค่าความแม่นยำสูงในการประเมินค่า LNA (Leaf Nitrogen Accumulation) โดยใช้ช่วงคลื่น Red edge จากภาพถ่าย Multispectral ได้ $R^2 = 0.81$ และค่าความคลาดเคลื่อน RMSE = 1.45 (Zheng et al., 2018)

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ประเมินค่าดัชนีพืชพรรณเปรียบเทียบ Sentinel-2 กับ UAV เพื่อทดแทนการใช้ภาพถ่ายจากดาวเทียม เนื่องจาก UAV มีความรวดเร็วในการบินถ่ายภาพ ให้ข้อมูลที่ตรงเวลาจริง (Real Time) มีรอบบินที่เร็ว ให้ความละเอียดเชิงพื้นที่ในระดับเซนติเมตรด้วยต้นทุนการทำงานที่ต่ำในพื้นที่ศึกษา บ้านหนองฮี ตำบลดอนช้าง อำเภอ เมืองขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อเปรียบเทียบค่าดัชนีพืชพรรณที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 กับ UAV โดยใช้แปลงนาข้าวขนาดเล็กในการทดสอบการเปรียบเทียบค่าดัชนีพืชพรรณ

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

ในการศึกษาครั้งนี้จะใช้ค่าดัชนีพืชพรรณที่ได้จากช่วงคลื่นตามองเห็นสีแดง ช่วงคลื่นใกล้อินฟราเรด และ ช่วงคลื่น Red edge จากภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ และภาพถ่ายจากดาวเทียม Sentinel-2 โดยใช้การวิเคราะห์การถดถอย และทดสอบค่าเฉลี่ยด้วยสถิติ t-test

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

งานวิจัยชิ้นนี้มีความคาดหวังใช้ค่า NDVI จากการสำรวจระยะไกลด้วย UAV ในพื้นที่แปลงนาขนาดเล็กทดแทนภาพถ่ายจากดาวเทียม Sentinel-2A เพื่อติดตามการเจริญเติบโตข้าว

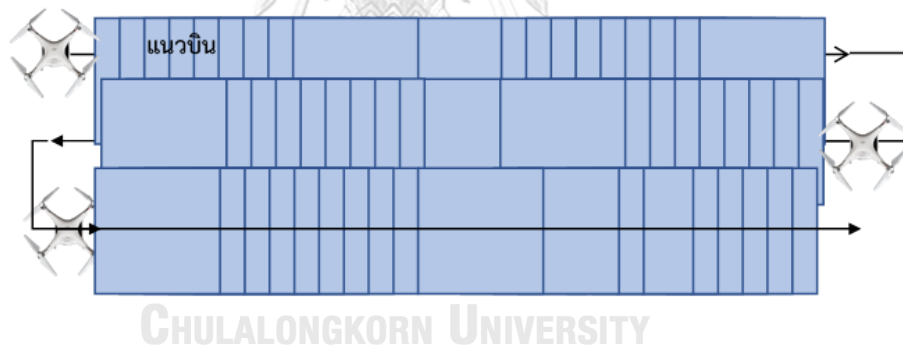


บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 Photogrammetry

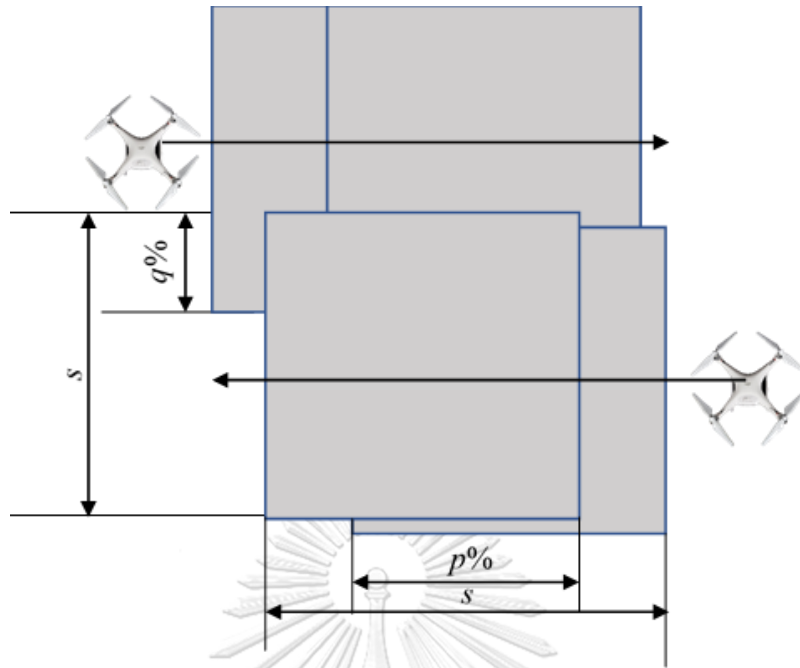
การสำรวจพื้นที่โดยใช้อุปกรณ์ในการถ่ายภาพที่ติดกับอากาศยาน เพื่อความถูกต้องและแม่นยำ จำเป็นต้องมีจุดหลักที่ปรากฏในภูมิประเทศจริงปรากฏในภาพถ่ายคู่อย่างน้อย 1 คู่ จึงจะทำให้สามารถคำนวณค่าพิกัดได้ ดังนั้นการวางแผนการบินจึงเป็นสิ่งสำคัญ ลักษณะการบินเก็บข้อมูลนั้น นิยมบินเป็นแถวอย่างเป็นระบบและปรากฏแนวบินที่ซ้อนกัน หรือจุดเปิดถ่ายจะบันทึกรูปโดยมีพื้นที่ซ้อนกัน โดยอากาศยานนั้นจะต้องบินอย่างเสถียรทำมุม 90° บนพื้นที่ศึกษาตลอดการบิน

เมื่อวางแผนการบินถ่ายภาพทางอากาศแล้ว โดยทั่วไปจะเริ่มดำเนินการบินบันทึกภาพโดยการเลือกแนวบินริมสุดด้านใดด้านหนึ่งแล้วทำการบันทึกภาพในแนวนั้น ก่อนที่จะเริ่มเข้าแนวบินในพื้นที่ศึกษาจริง การบันทึกภาพในแต่ละแนวบินมักจะบันทึกภาพเพื่อให้เกินขอบเขตที่จะบันทึกภาพเล็กน้อยเช่น 2 ถึง 3 รูปก่อนถึงแนวบินในพื้นที่และในส่วนต่อของแนวบินก่อนบินออกจากแนวบินนั้น



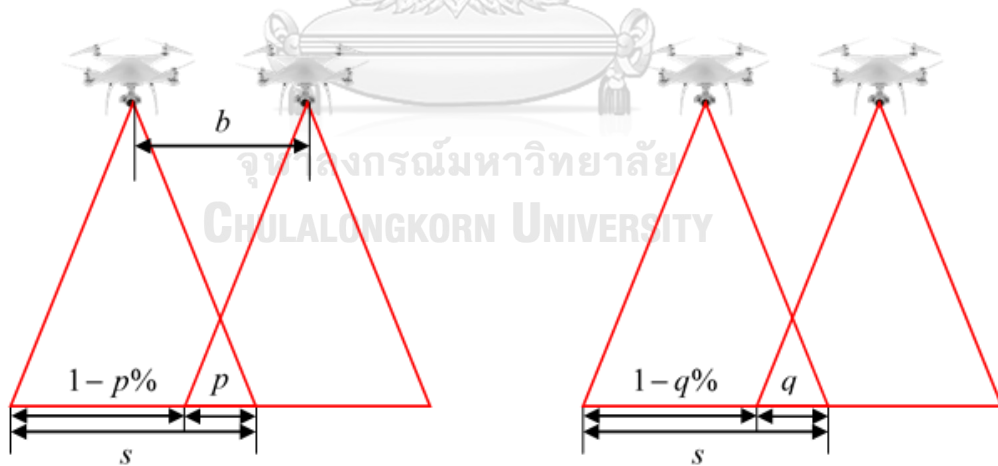
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาพที่ 2.1 แนวการบิน



ภาพที่ 2.2 ส่วนซ้อนด้านหน้าและส่วนซ้อนด้านข้าง

หากมองจากด้านข้างโดยมองขวางกับแนวบินและมองเข้าหาแนวบิน จะเห็นว่าตำแหน่งจุดบันทึกภาพทั้งสองจะห่างกันเป็นระยะทาง b ที่เรียกว่าระยะฐานบิน (Base line) ดังภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 แสดงแนวบินตัดขวาง

จากภาพจะเห็นได้ว่าเมื่อมองขวางกับแนวบิน จะเป็นระยะทางระหว่างจุดเปิดถ่าย 2 จุดที่อยู่ในแนวบินเดียวกัน ระยะนี้เรียกว่าระยะฐานบิน b ซึ่งจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับส่วนซ้อน ระยะฐาน b สามารถคำนวณได้จากสมการ (2.1)

$$b = (1 - p\%) \times s \quad (2.1)$$

เมื่อ b คือ ระยะฐานบิน

$p\%$ คือ ระยะคาบเกี่ยวภาพ

s คือ ขนาดภาพถ่ายทางอากาศ

ดังนั้นเมื่อถ่ายภาพที่มาตราส่วน $1:m$ หากให้ขนาดของภาพถ่ายทางอากาศเป็น s และขอบเขตของภาพที่ปรากฏบนพื้นดินเป็น S จะสามารถหาระยะทางส่วนซ้อนจากแนวจบ p และส่วนซ้อนระหว่างแนวจบ q บนพื้นดินเป็นระยะทาง P และ Q ได้ดังสมการ (2.2) (2.3) และ (2.4) ตามลำดับ

$$S = s \times m \quad (2.2)$$

$$P = p \times S \quad (2.3)$$

$$Q = q \times S \quad (2.4)$$

เมื่อ S คือ ขอบเขตของภาพทางอากาศ

s คือ ขนาดภาพถ่ายทางอากาศ

m คือ มาตราส่วนภาพถ่ายทางอากาศ

P คือ ระยะทางด้านหน้า

p คือ ระยะคาบเกี่ยวด้านหน้า

Q คือ ระยะทางด้านข้าง

q คือ ระยะคาบเกี่ยวด้านข้าง

2.2 ดาวเทียม Sentinel-2

ดาวเทียม sentinel-2 ดำเนินงานโดยโครงการ European Copernicus Program ภายใต้ Airbus Defense and Space for the European Space Agency (ESA) ซึ่งมีดาวเทียมสองดวง Sentinel-2A และ Sentinel-2B ดาวเทียมสองดวงนี้จะทำงานตรงข้ามกับวงโคจรโลก

Sentinel-2A ถูกปล่อยขึ้นสู่อวกาศเมื่อวันที่ 23 มิถุนายน พ.ศ. 2558 ต่อมาได้ปล่อยดาวเทียม Sentinel-2B เป็นดวงที่สอง เมื่อวันที่ 7 มิถุนายน 2560

ดาวเทียม Sentinel-2A เป็นข้อมูล Multispectral ประกอบด้วยช่วงคลื่น 13 แบนด์ ได้แก่ ช่วงคลื่นตามองเห็น (Visible) ช่วงคลื่นใกล้อินฟราเรด (Near Infrared) ช่วงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสั้น (Short wave infrared) และช่วงคลื่นความถี่ (Spectrum) ระบบดาวเทียม Sentinel-2A ครอบคลุมพื้นที่ทั่วโลกเริ่มจาก 56° S ถึง 84° N ทางชายฝั่งทะเล และรวมถึงทะเลเมดิเตอร์เรเนียน (Mediterranean Sea) จุดถ่ายซ้ำของภาพที่ซ้อนทับกันในทุก ๆ 5 วัน แต่ว่าจุดถ่ายแตกต่างกัน ความละเอียดเชิงพื้นที่ 10 m 20 m และ 60 m ความกว้างภาพ 290 km เพื่อลดเมฆที่บดบัง และได้รับแสงอย่างเหมาะสมขณะถ่ายภาพ ได้ออกแบบวงโคจรรอบดวงอาทิตย์ 14 รอบต่อวัน ที่ความสูง 786 km ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2A เป็นข้อมูลที่ไม่มีค่าใช้จ่าย

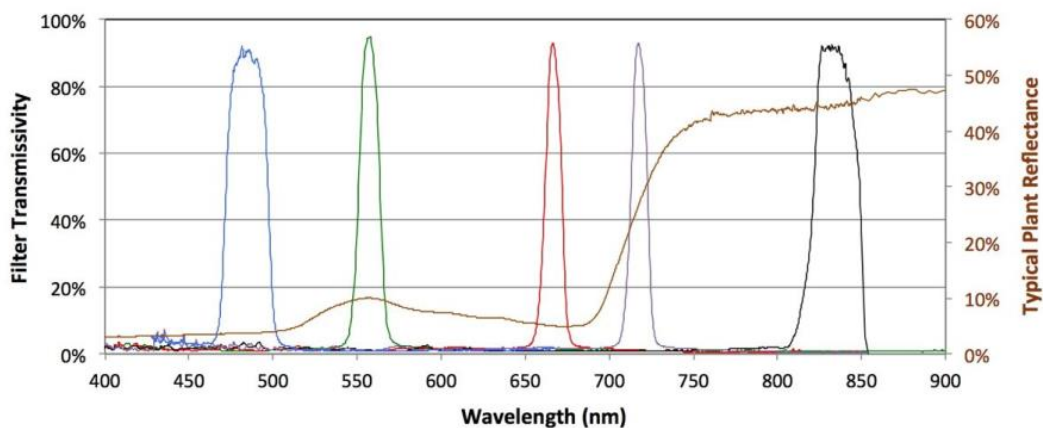
หน้าที่หลักดาวเทียม Sentinel-2A เก็บข้อมูลสำหรับการปฏิบัติงานด้านการเกษตรกร ป่าไม้ และเพื่อช่วยในการประเมินสถานการณ์ความมั่นคงด้านอาหาร กำหนดดัชนีพืชต่าง ๆ เช่น ดัชนีพื้นที่ของคลอโรฟิลล์ และดัชนีปริมาณน้ำ

ตารางที่ 2.1 ช่วงคลื่นที่ดาวเทียม Sentinel-2A ปฏิบัติงานได้

Sentinel-2 Bands	Central Wavelength (μm)	Band width (nm)	Resolution (m)
Band 1 Coastal aerosol	0.443	20	60
Band 2 Blue	0.490	65	10
Band 3 Green	0.560	35	10
Band 4 Red	0.665	30	10
Band 5 Vegetation red edge 1	0.705	15	20
Band 6 Vegetation red edge 2	0.740	15	20
Band 7 Vegetation red edge 3	0.783	20	20
Band 8 Near Infrared	0.842	115	10
Band 8A Narrow NIR	0.865	20	20
Band 9 Water vapor	0.945	20	60
Band 10 SWIR – Cirrus	1.375	30	60
Band 11 SWIR	1.610	90	20
Band 12 SWIR	2.190	180	20

2.3 ภาพถ่ายจากกล้อง MicaSense Sensor

กล้อง Multispectral MicaSense RedEdge-M ประกอบด้วยช่วงคลื่น 5 แบนด์ ดังนี้ คลื่นตามองเห็น (RGB) คลื่นใกล้อินฟราเรด (Near Infrared) และ Red Edge (RedEdge, MicaSense Inc., Seattle, USA) ข้อมูลสเปกตรัมดัชนีพืชพรรณ (Spectral Vegetation Index: SVI) สามารถแยกพืชสุขภาพดี และโรคพืชข้าวสาลีได้ และตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงดัชนีพืชพรรณต่าง ๆ ได้ดี (Su et al., 2018) ความละเอียดภาพ 1280x960 pixels น้ำหนักกล้อง 135 g ขนาดกล้อง 5.9x4.1x3.0 cm ติดตั้ง GPS ถ่ายภาพ 5 ภาพพร้อมกัน



ภาพที่ 2.4 Spectral Bands (MicaSense, 2018)

ตารางที่ 2.2 ช่วงคลื่นที่ MicaSense Sensor ปฏิบัติงานได้

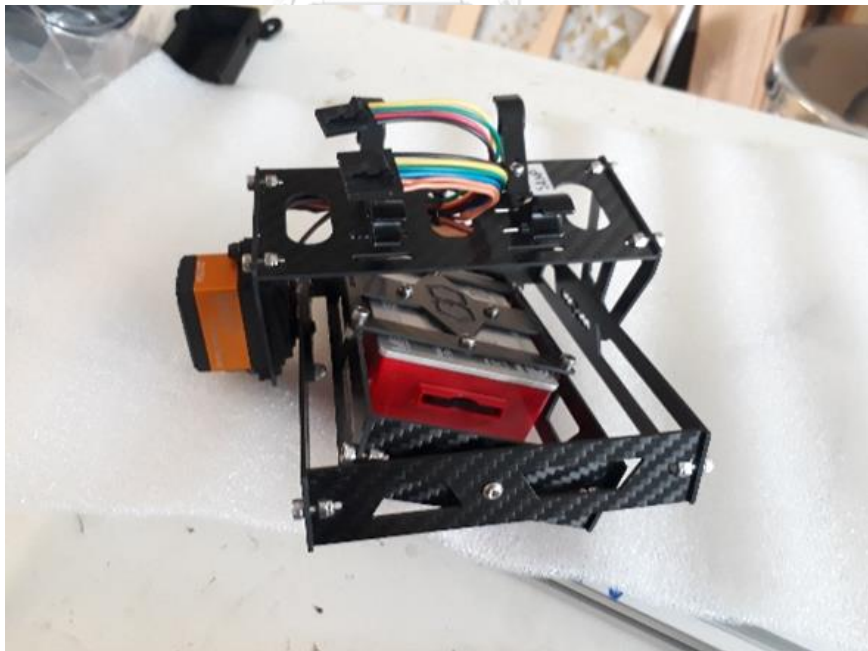
เลขช่วงคลื่น (Band Number)	ชื่อช่วงคลื่น (Band Name)	ความยาวคลื่น (nm) (Wavelength)	ความกว้างคลื่น (nm) (Bandwidth)
1	Blue	475	20
2	Green	560	20
3	Red	668	10
4	Red Edge	717	10
5	Near Infrared	840	40

2.3.1 ระบบอากาศยานไร้คนขับสำหรับกล่อง RedEdge-M

อากาศยานไร้คนขับเป็นระบบ Multicopter HG M40 ประกอบด้วย 6 ใบพัด (HiveGround Robotics Company Limited, Bangkok Thailand) สามารถบินได้ 32 นาที น้ำหนัก 4 กิโลกรัม ความเร็วสูงสุด 20 m/s ความเร็วต่ำสุด 5 m/s ความสามารถด้านทานลม 10 m/s ความสูงบินได้สูงสุด 1,200 เมตร แบตเตอรี่ 12,000 mAh หนัก 1,690 กรัม ขนาด 180x70x60 มิลลิเมตร



ภาพที่ 2.5 แพลตฟอร์มระบบกล้อง UAV



ภาพที่ 2.6 กล้อง RedEdge-M และอุปกรณ์ควบคุมแนวตั้ง (Gimble Savox SH-1290 MG)

2.4 ดัชนีพืชพรรณ

ค่าดัชนีพืชพรรณ หรือ (Vegetation Index: VI) เป็นค่าที่สามารถบ่งถึงค่าคลอโรฟิลล์พืชชนิดต่าง ๆ รวมถึงการจำแนกบริเวณที่มีปริมาณพืชพรรณปกคลุม (Biomass) และบริเวณที่ไม่ใช่พืชพรรณ ซึ่งมีคุณลักษณะของระบบนิเวศในแง่ของความผันผวนของค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์แมลไลซ์ และอุณหภูมิผิวดิน ความหลากหลายทางพันธุกรรมที่ต่างกันของพืชทำให้ค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์แมลไลซ์มีบทบาทสำคัญต่อการติดตามสภาพแปลงเกษตรเนื่องจากมีความสัมพันธ์กับการเจริญเติบโตของพืช และผลผลิต รวมถึงสิ่งที่ปกคลุมพื้นผิวโลก ค่าดัชนีพืชพรรณสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการติดตามการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ การตรวจสอบ วิเคราะห์ภัยแล้ง ฯลฯ โดยมีหลายวิธีในการคำนวณ ดังนี้

Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) หรือดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์แมลไลซ์เป็นการคำนวณค่าความแตกต่างของการสะท้อนของพืชที่มีต่อช่วงคลื่น Near-Infrared และช่วงคลื่นตามองเห็นสีแดง สามารถใช้บ่งชี้สุขภาพของพืช จำแนกประเภทพืช ตอบสนองค่าความเขียวของพืช โดยจะมีค่าระหว่าง -1 ถึง 1 ซึ่งพบเห็นในงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินพืชในระดับภูมิภาคและระดับโลก โครงสร้างสิ่งปกคลุมบนพื้นผิวโลก ดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) รวมถึงการสังเคราะห์ความเขียวของพืช NDVI มีความไวต่อความสว่างของดิน สีของดิน บรรยากาศ เมฆ และเงาของสิ่งบดบัง (Xue and Su, 2017) สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (2.5)

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (2.5)$$

เมื่อ *NDVI* คือ ค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์แมลไลซ์

NIR คือ ค่าสะท้อนพลังงานในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (Near Infrared Band)

RED คือ ค่าสะท้อนพลังงานในช่วงคลื่นตามองเห็นสีแดง (Red Band)

ข้อมูลดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์แมลไลซ์ เป็นสิ่งสำคัญสำหรับการใช้งานด้านสิ่งแวดล้อมในระดับภูมิภาคและระดับโลกสามารถบ่งชี้ถึงการเปลี่ยนแปลงสภาพความเป็นจริงของพื้นผิวโลก เป็นข้อมูลที่สำคัญสำหรับการใช้งานเป็นจำนวนมาก เช่นการประเมินกิจกรรมของพืชสังเคราะห์แสง การตรวจสอบพืช และการจำแนกประเภทสิ่งปกคลุมดิน (Cao et al., 2018)

ค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์แมลไลซ์ที่คำนวณได้จากค่าสะท้อนพลังงานในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ และค่าสะท้อนพลังงานในช่วงคลื่นตามองเห็นสีแดงยังสามารถนำค่าสะท้อนพลังงานที่

ตำแหน่ง Red edge เพื่อวิเคราะห์ภาพการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งมีความยาวคลื่นน้อยกว่าช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้

$$reNDVI = \frac{RedEdge - RED}{RedEdge + RED} \quad (2.6)$$

เมื่อ $reNDVI$ คือ ค่าดัชนีพืชพรรณตำแหน่ง Red edge

$RedEdge$ คือ ค่าสะท้อนพลังงานในช่วงคลื่นตำแหน่ง Red edge

RED คือ ค่าสะท้อนพลังงานในช่วงคลื่นตาเห็นสีแดง

Soil Adjustment Vegetation Index (SAVI) คือค่าดัชนีพืชพรรณปรับแก้ดิน เพื่อคำนวณหาปริมาณพืชในพื้นที่ที่มีสิ่งปกคลุมน้อยโดยจะมีค่าคงที่ (L) เพิ่มขึ้นเพื่อลดอิทธิพลของค่าสะท้อนจากดินที่เป็นพื้นล่างของพืชพรรณ ถ้าค่าคงที่เท่ากับศูนย์แสดงว่าดัชนี SAVI มีค่าเท่ากับดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์แมลไลซ์ แต่หากสิ่งปกคลุมของพืชพรรณมีพอสมควร ค่าคงที่มีประมาณ 0.5 คำนวณได้จากสมการที่ (2.7) (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ 2008)

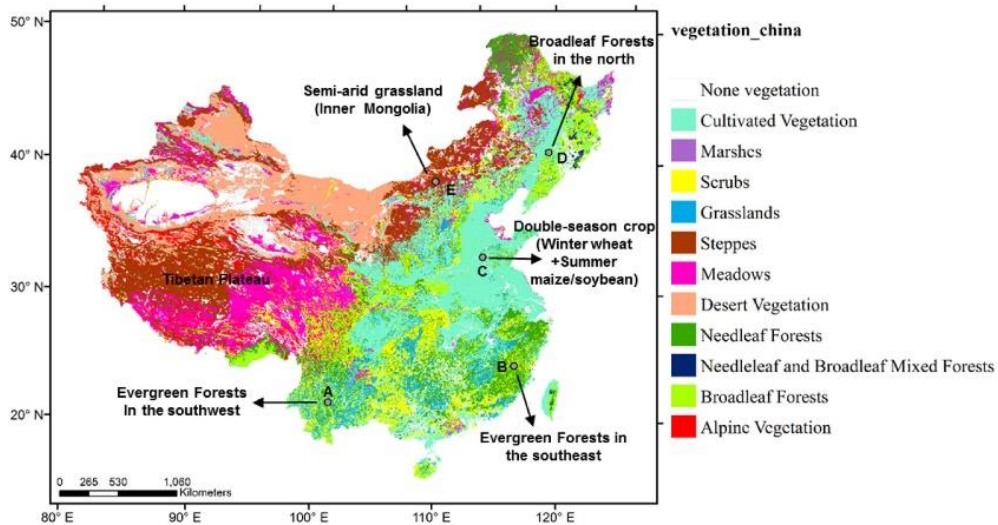
$$SAVI = \left(\frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED + L)} \right) \times (1 + L) \quad (2.7)$$

$SAVI$ คือ ค่าดัชนีพืชพรรณปรับแก้ดิน

NIR คือ ค่าสะท้อนพลังงานในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (Near Infrared Band)

RED คือ ค่าสะท้อนพลังงานในช่วงคลื่นตามองเห็นสีแดง (Red Band)

L คือ ค่าการปกคลุมของพืช โดยมีค่าเป็น 0 แสดงว่าดัชนีปรับแก้ดิน มีค่าเท่ากับดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์แมลไลซ์ มีค่าเป็น 0.5 สิ่งปกคลุมของพืชพรรณมีพอสมควร และมีค่าเป็น 1 พื้นที่ที่มีพืชปกคลุมเบาบาง



ภาพที่ 2.7 การกระจายเชิงพื้นที่ของพืชชนิดต่าง ๆ ในประเทศจีน Cao et al. (2018)

2.5 Atmospheric correction

ชั้นบรรยากาศมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาส่งผลกระทบต่อ การดูดซับ (Absorption) และการกระจัดกระจาย (Scattering) ของพลังงานจากดวงอาทิตย์ที่ตกสู่พื้นผิวโลก วัตถุต่าง ๆ ไม่เพียงแต่ได้รับการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์เพียงเท่านั้น แต่ได้รับจากการกระจัดกระจายในชั้นบรรยากาศอีกด้วย (Sky light) อุปกรณ์บันทึกข้อมูลก็เช่นกัน ไม่เพียงแต่ได้รับการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์เพียงอย่างเดียว แต่ยังบันทึกค่าสะท้อนของชั้นบรรยากาศด้วย ลักษณะของข้อมูลที่ผิดปกตินี้ มักจะพบในช่วงคลื่นสั้น (ช่วงคลื่นตามองเห็น หรือ Visible wavelength) ทำให้ภาพไม่ชัด โดยเฉพาะค่าพื้นที่บริเวณที่เป็นน้ำ และบริเวณที่เป็นเงาเนื่องจากสภาพภูมิประเทศจะมีค่าใกล้เคียงกันมาก ในการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนชนิดนี้จะยึดถือข้อมูลภาพจากช่วงคลื่นใกล้อินฟราเรด (Near Infrared) เป็นหลัก เพราะช่วงคลื่นนี้จะไม่เกิดปฏิกิริยาดังกล่าว (Harrison and Jupp, 1990)

การปรับแก้ข้อมูลชั้นบรรยากาศ หรือ Atmospheric correction ทำได้หลายวิธี ในการศึกษานี้ได้ใช้วิธี Top Of Atmosphere (TOA) เนื่องจากเป็นวิธีนิยมใช้อย่างแพร่หลายในกลุ่มผู้ใช้ภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 (Congedo, 2016)

$$\rho_p = (\pi * L_\lambda * d^2) / (ESUN_\lambda * \cos \theta_s) \quad (2.8)$$

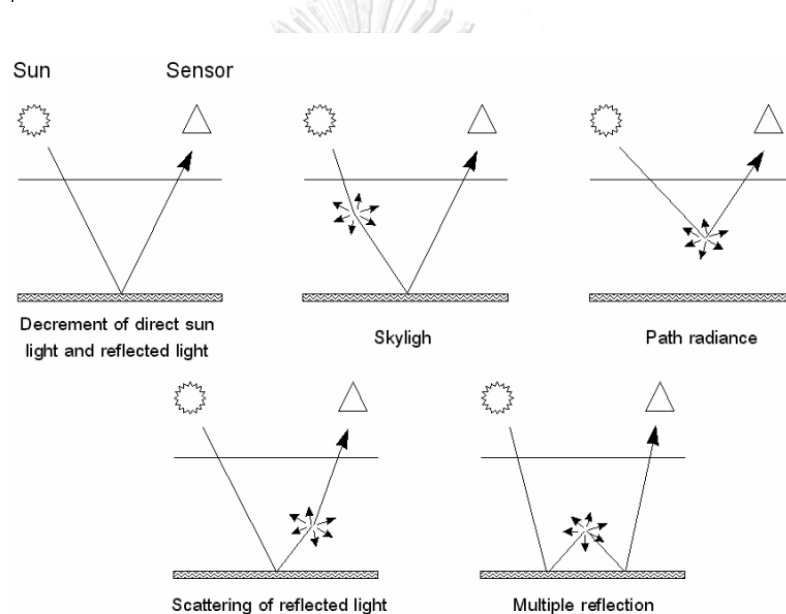
ρ_p : ค่าปรับแก้ชั้นบรรยากาศ

L_λ : ค่าความสว่างทางสเปกตรัมที่เซนเซอร์ช่องรับแสงจากดาวเทียม (Spectral radiance)

d : ระยะทางโลก - ดวงอาทิตย์ในหน่วยดาราศาสตร์ (Earth-Sun distance)

$ESUN_\lambda$: ค่าเฉลี่ยพลังงานแสงอาทิตย์บรรยากาศต่อหน่วยพื้นที่

θ_s : ค่าอะซิมุทของพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar zenith angle)



ภาพที่ 2.8 การสะท้อนพลังงานที่มีต่อชั้นบรรยากาศ (Harrison and Jupp, 1990)

2.6 การเปรียบเทียบค่าดัชนีพืชพรรณ

เพื่อทดสอบความถูกต้อง และความแตกต่างของกลุ่มตัวอย่างระหว่างค่าดัชนีพืชพรรณจากอากาศยานไร้คนขับ และภาพถ่ายจากดาวเทียมโดยใช้การทดสอบด้วยวิธีดังนี้

2.6.1 การทดสอบสมมติฐานทางสถิติ

เพื่อตรวจสอบว่าสมมติฐานทางสถิติของกลุ่มตัวอย่างมีค่าเฉพาะค่าใดค่าหนึ่ง หรือพารามิเตอร์ตัวใดตัวหนึ่งจะมีค่าต่างกันหรือไม่ ด้วยค่าเฉลี่ย μ เพราะค่าเฉลี่ยเป็นวิธีการทางสถิติที่ใช้บ่อยที่สุด เป็นตัวแทนที่ดีของกลุ่มตัวอย่าง และผลการทดสอบสมมติฐานทำให้การตัดสินใจมี

เหตุผลมากขึ้น ซึ่ง H_0 เป็นสมมติฐานเป็นจริง โดยมีค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างเท่ากัน และ H_1 เป็นสมมติฐานไม่เป็นจริง โดยมีค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างไม่เท่ากัน (ณททัย รัตรี., 2556)

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 \quad \text{ข้อมูลทั้งสองเท่ากัน}$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2 \quad \text{ข้อมูลทั้งสองแตกต่างกัน}$$

ตัวอย่างที่นำมาศึกษาในงานวิจัยนี้เป็นข้อมูลสองกลุ่มชนิดเดียวกันที่ไม่เป็นอิสระต่อกัน ซึ่งมีความแปรปรวนที่เหมือนกัน ดังนั้นจึงใช้การเปรียบเทียบแบบจำคู่สิ่งทดลอง (Paired sample test)

ช่วงความเชื่อมั่น $C = 0.950$

เลือกตัวสถิติทดสอบ t-test ด้วยวิธีการเปรียบเทียบแบบจำคู่สิ่งทดลอง

$$t = \frac{\bar{D}}{S_D} \quad (2.9)$$

$$d_i = D_i - \bar{D} \quad (2.10)$$

$$S_D^2 = \frac{\sum d_i^2}{(n-1)} \quad (2.11)$$

โดยที่

t จุดวิกฤติ

D_i ความแตกต่างระหว่างค่าดัชนีพีชพรรณจากอากาศยานไร้คนขับกับดาวเทียม

\bar{D} ค่าเฉลี่ยของ D_i

d_i ค่าเบี่ยงเบนของแต่ละความแตกต่างจากความแตกต่างเฉลี่ย

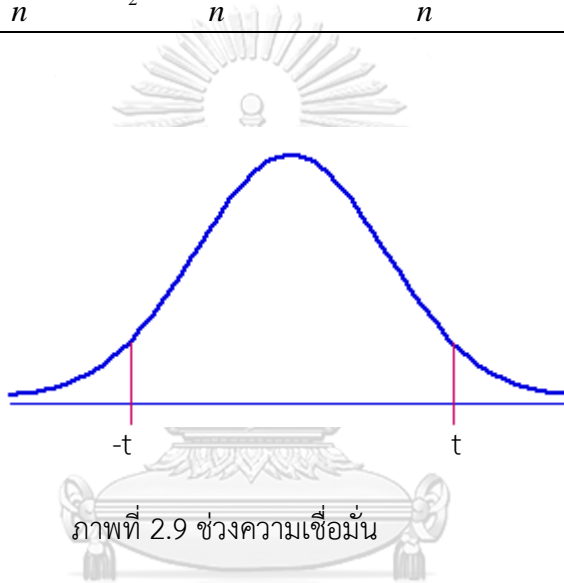
$S_D^2 = \frac{\sum d_i^2}{(n-1)}$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของ D_i

n จำนวนตัวอย่างค่าดัชนีพีชพรรณจากอากาศยานไร้คนขับ และจากดาวเทียม Sentinel-2

$df = n - 1$ Degree of freedom จำนวนค่าอิสระที่การวิเคราะห์ทางสถิตินำไปใช้ในการประมาณค่าตัวแปร (Parameter)

ภาพที่ 2.3 การวิเคราะห์ผลการทดลองเปรียบเทียบโดยวิธีจับคู่

คู่ที่	UAV	Sentinel-2	ความแตกต่าง	ส่วนเบี่ยงเบนกำลังสอง
1	X_{11}	X_{21}	$D_1 = X_{11} - X_{21}$	$d_1^2 = (D_1 - \bar{D})^2$
2	X_{12}	X_{22}	$D_2 = X_{12} - X_{22}$	$d_2^2 = (D_2 - \bar{D})^2$
:	:	:	:	:
n	X_{1n}	X_{2n}	$D_n = X_{1n} - X_{2n}$	$d_i^2 = (D_i - \bar{D})^2$
รวม	$\sum X_{1i}$	$\sum X_{2i}$	$\sum D_i$	$\sum d_i^2$
เฉลี่ย	$\bar{X}_1 = \frac{\sum X_{1i}}{n}$	$\bar{X}_2 = \frac{\sum X_{2i}}{n}$	$\bar{D} = \frac{\sum D_i}{n}$	$\frac{\sum d_i^2}{(n-1)}$



ตารางที่ 2.4 ตารางแจกแจงที (T distribution)

df	ช่วงความเชื่อมั่น $C = 0.950$
	ระดับนัยสำคัญสำหรับการทดลองสองทาง $\alpha = 0.05$
9	2.262
12	2.179
13	2.16
14	2.145
23	2.069
18	2.048
29	2.045

2.6.2 การวิเคราะห์การถดถอย

Regression analysis หรือ การวิเคราะห์การถดถอย คือการวิเคราะห์ความถดถอยเพื่อหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างสองกลุ่มตัวอย่าง และเพื่ออธิบายความแข็งแกร่งของความสัมพันธ์ คือความสัมพันธ์เชิงบวก ความสัมพันธ์เชิงลบ หรือไม่มีความสัมพันธ์กัน การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรอิสระ 1 ตัวที่มีต่อตัวแปรตาม 1 ตัวโดยใช้ลักษณะความสัมพันธ์เชิงเส้น (Linear relationship) เขียนได้ด้วยสมการเส้นตรง (2.12) และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) สามารถตัดสินใจได้ว่าแบบจำลองมีความมั่นคงมากน้อยเพียงใดต่อข้อมูลทั้งสองด้วยค่า R^2 เพิ่มขึ้นเท่าใด ความเชื่อมั่นมากขึ้นเท่านั้น และบ่งชี้ว่าใกล้เคียงกับความเป็นจริง คำนวณได้จากสมการ (2.13) (ณททัย ราตรี., 2013) หากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเข้าใกล้ 1 แสดงว่าข้อมูลทั้งสองมีความสัมพันธ์ดีมาก แต่หากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเข้าใกล้ 0 แสดงว่าข้อมูลทั้งสองไม่มีความสัมพันธ์กัน

$$Y_i = \alpha + \beta X_i + \varepsilon_i \quad (2.12)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (y_i - \bar{y}_j)^2}{\sum (y_i - y_j)^2} \quad (2.13)$$

โดยที่

Y_i ตัวแปรค่าดัชนีพืชพรรณจากภาพถ่ายจากดาวเทียม

X_i ตัวแปรค่าดัชนีพืชพรรณจากภาพถ่ายจาก UAV

α และ β ค่าสัมประสิทธิ์เส้นตรง (slop coefficient)

ε_i ค่าคลาดเคลื่อน (residuals)

R^2 ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจระหว่างข้อมูล Sentinel-2 และ UAV

y_i ดัชนีพืชพรรณจากภาพถ่ายจาก Sentinel-2

y_j ค่าดัชนีพืชพรรณจากภาพถ่ายจาก UAV ที่ประเมินได้

\bar{y}_j ค่าเฉลี่ยค่าดัชนีพืชพรรณจากภาพถ่ายจาก UAV ที่ประเมินได้

2.6.2.1 เกณฑ์ทั่วไปสำหรับความแข็งแกร่งของความสัมพันธ์

ขนาด และทิศทางของความสัมพันธ์คือค่าตัวเลขที่แสดงการกระจายตัวของกลุ่มตัวอย่างคือ ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 เป็นค่าที่วัดระดับความแข็งแกร่งของความสัมพันธ์โดยเส้นอ้างอิงจะเป็นตัวแทนของจุดทั้งหมด ซึ่งมีเกณฑ์วัดความแข็งแกร่ง (Moore et al., 2013) ดังนี้

- ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) < 0.30 ความแข็งแกร่งของความสัมพันธ์อ่อนแอมากหรือ ไม่มีความสัมพันธ์
- ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) $0.30 < 0.50$ ความแข็งแกร่งของความสัมพันธ์อ่อนแอหรือ มีความสัมพันธ์ในระดับต่ำ
- ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) $0.50 < 0.70$ ความแข็งแกร่งของความสัมพันธ์ดีหรือ มีความสัมพันธ์ในระดับกลาง
- ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) > 0.70 ความแข็งแกร่งของความสัมพันธ์ดีมากหรือ มีความสัมพันธ์ดีมาก

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อลดา เดชะพงศ์ธนา และคณะ (2559) ติดตามความแห้งแล้ง และพื้นที่นาข้าวเมื่อเกิดโรคจำนวน 4 ระยะ ได้แก่ (1) ระยะกล้า (2) ระยะแตกกอ (3) ระยะตั้งท้อง และ (4) ระยะน้ำนมและข้าวสุก ในพื้นที่อำเภอบางน้ำเปรี้ยว จังหวัดฉะเชิงเทรา โดยใช้ข้อมูลจากดาวเทียม Landsat 8 บันทึกภาพวันที่ 17 พฤศจิกายน พ.ศ 2557 โดยใช้วิธีการคำนวณอุณหภูมิพื้นผิวด้วยหลักการ Split-Window และคำนวณค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์มัลไลซ์ พบค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์มัลไลซ์ อยู่ระหว่าง -0.82 ถึง 0.87 หรือมีค่าเฉลี่ย 0.59 ค่าอุณหภูมิพื้นผิวมีค่าอยู่ระหว่าง 29.46 ถึง 34.88°C หรือมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 31.23°C เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิพื้นผิวกับค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์มัลไลซ์ โดยใช้ Linear regression พบว่ามีความสัมพันธ์กันในระดับปานกลางไปในทิศทางลบหรือแปรผกผัน ($r=-0.769$) ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ($R^2=0.592$)

Orillo et al. (2017) พัฒนาการบินสำรวจด้วย UAV ที่มีระบบกล้องช่วงคลื่นใกล้อินฟราเรด และช่วงคลื่นตามองเห็นสีแดงที่มีต้นทุนต่ำในการกำหนดค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์มัลไลซ์ ในแปลงข้าวซึ่ง เปรียบเทียบกับเครื่องวัด Greenseeker ประมวลผลด้วยโปรแกรม MATLAB จำนวนตัวอย่างแปลงข้าวมีทั้งหมด 30 จุดแต่ละจุดมีขนาด 1×1 เมตร ในการทดสอบความแปรปรวนของปริมาณค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์มัลไลซ์ ได้ใช้สถิติ F-test โดยข้อมูลทั้ง 2 ชุดมีความแปรปรวนเท่ากันที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ดังนั้นในการตรวจสอบดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบ

นอร์แมลไลซ์ สามารถใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับได้ผลดีแสดงให้เห็นถึงความสม่ำเสมอและความแม่นยำในจุดที่ได้ทดสอบ

นาข้าวในภาคใต้ของประเทศไทยมีการเปลี่ยนแปลงภูมิทัศน์ทางฟิสิกส์ที่ไม่ซ้ำกัน เช่น ดิน น้ำท่วม และระยะเวลาการเจริญเติบโตข้าวในรอบปี เพื่อช่วยสร้างเป็นฐานข้อมูลข้าวที่ปลูกได้จริง ลดปัญหาการโต้แย้งสถิติข้าวที่ไม่ตรงในระดับท้องถิ่นในเขต Poyang Lake Plain (PLP) P. Li et al. (2018) ทำแผนที่พื้นที่ปลูกข้าวด้วยวิธีอัลกอริทึม NVI จากค่า EVI และดัชนีปรับแก้ดิน จากข้อมูลดาวเทียม Landsat8 OLI เพื่อแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างสิ่งปกคลุมของพืช และดินระหว่างระยะเวลาการเจริญเติบโตที่สำคัญของระยะเวลาการปลูกข้าวในระยะที่มีอุทกภัยน้ำท่วมของระยะปักดำข้าว ไปจนถึงระยะข้าวสุก จากการประเมินเนื้อที่ 7,148.31 km² พบว่ามีความถูกต้อง 96.8% และค่าสัมประสิทธิ์ kappa เท่ากับ 0.97 และ R² = 0.88 ระหว่างพื้นที่ปลูกข้าวจริงและสถิติพื้นที่ปลูกข้าว

การกระจายพื้นที่ปลูกข้าวและข้อมูลมีความสำคัญต่อการบริหารจัดการความมั่นคงด้านอาหาร ปริมาณการใช้น้ำ และการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ซึ่งเป็นปัญหาต่อการทำแผนที่นาข้าว Tian et al. (2018) ได้นำภาพถ่ายจากดาวเทียม Sentinel-1A และ Landsat-8 มาทำแผนที่และจำแนกนาข้าวในระยะเริ่มปลูกข้าว การเจริญเติบโตข้าวในระยะกลาง และระยะก่อนการเก็บเกี่ยว ด้วยวิธีการจำแนก NDVI รวมจุดตัวอย่าง 25 จุด บนพื้นที่ 360,000 ตารางเมตร พื้นที่ปลูกข้าวที่ได้รับการปรับปรุงให้ดีขึ้น ระยะเริ่มปักดำข้าว มีเนื้อที่ 1,630.84 ตารางกิโลเมตร ระยะเจริญเติบโต 556.21 ตารางกิโลเมตร และระยะก่อนการเก็บเกี่ยวข้าว 3,138.37 ตารางกิโลเมตร โดยใช้วิธีทางสถิติ kappa เพื่อตรวจสอบความถูกต้อง โดยได้รับค่าสัมประสิทธิ์ของ kappa เท่ากับ 0.94

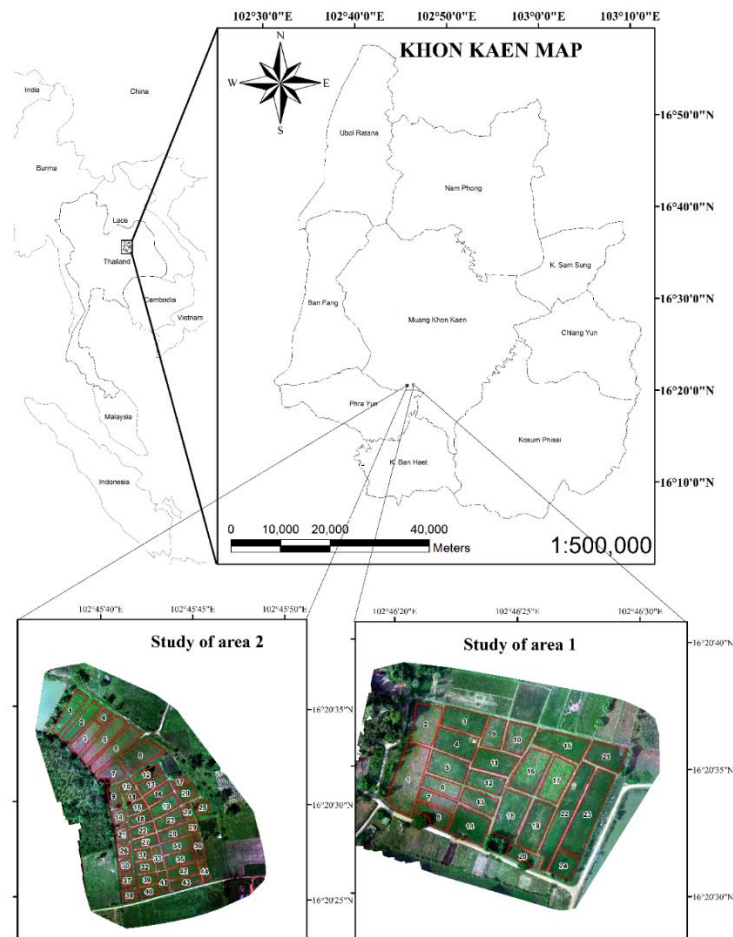
D. Zhang et al. (2018) ได้ทำการศึกษาตรวจสอบโรค Sheath blight ซึ่งเป็นโรคที่พบเห็นในพืชข้าวทั่วโลก โดยใช้ระบบอากาศยานไร้คนขับในการตรวจสอบวิเคราะห์ และประมวลผลลักษณะพื้นที่การระบาดของโรคของพันธุ์ข้าวทั้งหมด 67 สายพันธุ์ รวมไปถึงการคำนวณหาปริมาณการแพร่กระจายในระดับสีของโรคด้วยการแยกลักษณะและการเปลี่ยนแปลงของสีพืช พบว่าค่าดัชนีพืชพรรณจากอากาศยานไร้คนขับ และค่าดัชนีพืชพรรณที่ตรวจวัดจากอุปกรณ์ GreenSeeker มีความสัมพันธ์ที่ดี โดยมีค่า R² = 0.907 และค่า RMSE = 0.0854 และได้หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพืชพรรณจากอากาศยานไร้คนขับ และค่าดัชนีสีของโรค Sheath blight ซึ่งมีค่า R² = 0.627 และค่า RMSE = 0.0852 โดยข้อมูลจากอากาศยานไร้คนขับ และอุปกรณ์ GreenSeeker มีความถูกต้อง 63% ซึ่งแสดงให้เห็นว่าข้อมูลดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์แมลไลซ์ ที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับสามารถนำมาใช้การตรวจหาโรค Sheath blight

บทที่ 3

วิธีดำเนินการศึกษา

3.1 พื้นที่ศึกษา

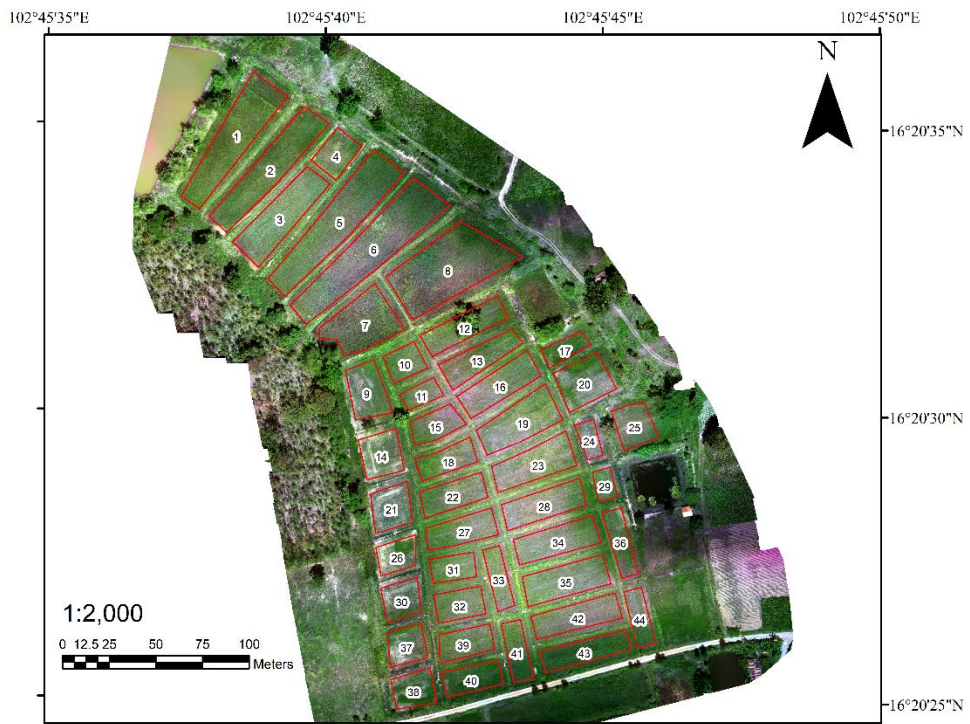
พื้นที่ศึกษาเป็นแปลงนาประกอบด้วยข้าวสามสายพันธุ์ที่มีลักษณะการปลูกที่หลากหลายในพื้นที่เดียวกัน รวมมี 2 พื้นที่คือพื้นที่ใกล้แม่น้ำ และพื้นที่ไกลจากแม่น้ำ (พื้นที่ดอน) รวมเนื้อที่ 51 ไร่ มีแปลงนาทั้งหมด 68 แปลง ตั้งอยู่ที่บ้านหนองฮี ตำบลดอนช้าง อำเภอเมืองขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น และสำรวจข้อมูลในช่วงเวลา 14 ก.ย 2561 ถึง 26 ต.ค 2561 ดังภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 ภาพแสดงพื้นที่ศึกษา



ภาพที่ 3.2 แปลงข้าวพื้นที่ศึกษา 1



ภาพที่ 3.3 แปลงข้าวพื้นที่ศึกษา 2

3.2 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

3.2.1 รายละเอียดของข้าว

ลักษณะแปลงข้าวในพื้นที่ศึกษาแบ่งออกเป็นสองส่วน พื้นที่ศึกษาที่ 1 เป็นพื้นที่ราบลุ่มใกล้แม่น้ำ แปลงนาข้าวมี ข้าวเหนียว กข22, ข้าวเหนียว กข6 และ ข้าวหอมลิ 105 และพื้นที่ศึกษาที่ 2 เป็นที่ดอน พื้นที่ไกลจากแม่น้ำ แปลงนาข้าวมี ข้าวเหนียว กข22, ข้าวเหนียว กข6 และ ข้าวหอมมะลิ 105 รายละเอียดแสดงในตารางที่ 3.1 และ 3.2

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาระยะการเจริญเติบโตข้าวใน 3 ระยะคือ ระยะข้าวแตกกอ (ข้าวมีอายุ 95วันหลังการปักดำ) ระยะข้าวตั้งท้อง (ข้าวมีอายุ 130วัน) ระยะข้าวเป็นน้านมและข้าวสุก (ข้าวมีอายุ 160วัน) ดังภาพที่ 3.5

ตารางที่ 3.1 รายละเอียดแปลงข้าวพื้นที่ศึกษาที่ 1

วันที่ปลูก	เก็บผลผลิต	ลักษณะการปลูก	พันธุ์ข้าว	พื้นที่ (ไร่)	แปลงที่
20/5/18	20/10/18	ปักดำด้วยรถ	ข้าวเหนียว กข22	3	1, 2
15/7/18	20/11/18	ปักดำด้วยคน	ข้าวเหนียว กข22	3	3,4,5,6,7,8
10/6/18	25/11/18	ปักดำด้วยรถ	หอมมะลิ 105	2	9,10,11
10/6/18	25/11/18	ปักดำด้วยรถ	ข้าวเหนียว กข6	3	12,13,14
10/6/8	20/11/18	ปักดำด้วยคน	ข้าวเหนียว กข6	7	15,16,17,18,19,20,21
13/8/8	15/11/18	ปักดำด้วยคน	ข้าวเหนียว กข22	4	22,23,24

ตารางที่ 3.2 รายละเอียดแปลงข้าวพื้นที่ศึกษาที่ 2

วันที่ ดำนา	เก็บ ผลผลิต	ลักษณะการปลูก	พันธุ์ข้าว	พื้นที่ (ไร่)	แปลงที่
01/6/18	28/10/18	ปักดำด้วยรถ	ข้าวเหนียว กข22	2	1,2
			หอมมะลิ 105	8	3,4,5,6,7,8
10/5/8	24/11/18	นาหว่าน	หอมมะลิ 105	3	9,10,11,15,18,21,2 2,24,25,26,27,29,3 0,31,32,33,36,37,3 8,39,40,41,44
					ปักดำด้วยคน
		นาหว่าน	ข้าวเหนียว	7	12,13,16,17,19,20, 23,34,35,42,43
					ปักดำด้วยคน
			กข6		

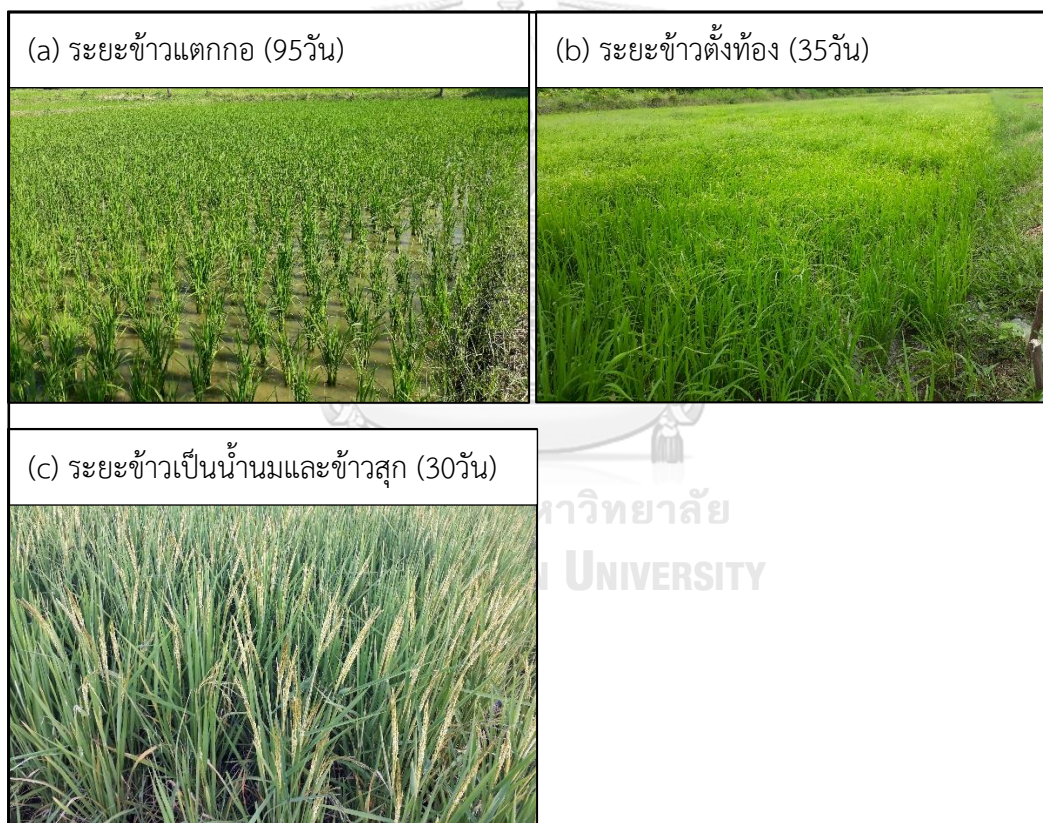
3.2.2 ภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 และอากาศยานไร้คนขับ

การเก็บข้อมูลภาพถ่ายทั้ง 2 ภาพไม่สามารถเก็บภาพให้ตรงวันเดียวกันได้เนื่องจากสภาพแวดล้อมมีฝนตก รวมถึงรายละเอียดเชิงเวลาของภาพถ่ายดาวเทียมและอุปสรรคในการสำรวจ เช่น เมฆบดบัง ทำให้ไม่สามารถใช้ข้อมูลในระยะเวลาเดียวกันได้แต่ได้สรุปข้อมูลที่เลือกใช้ดังตารางที่ 3.3

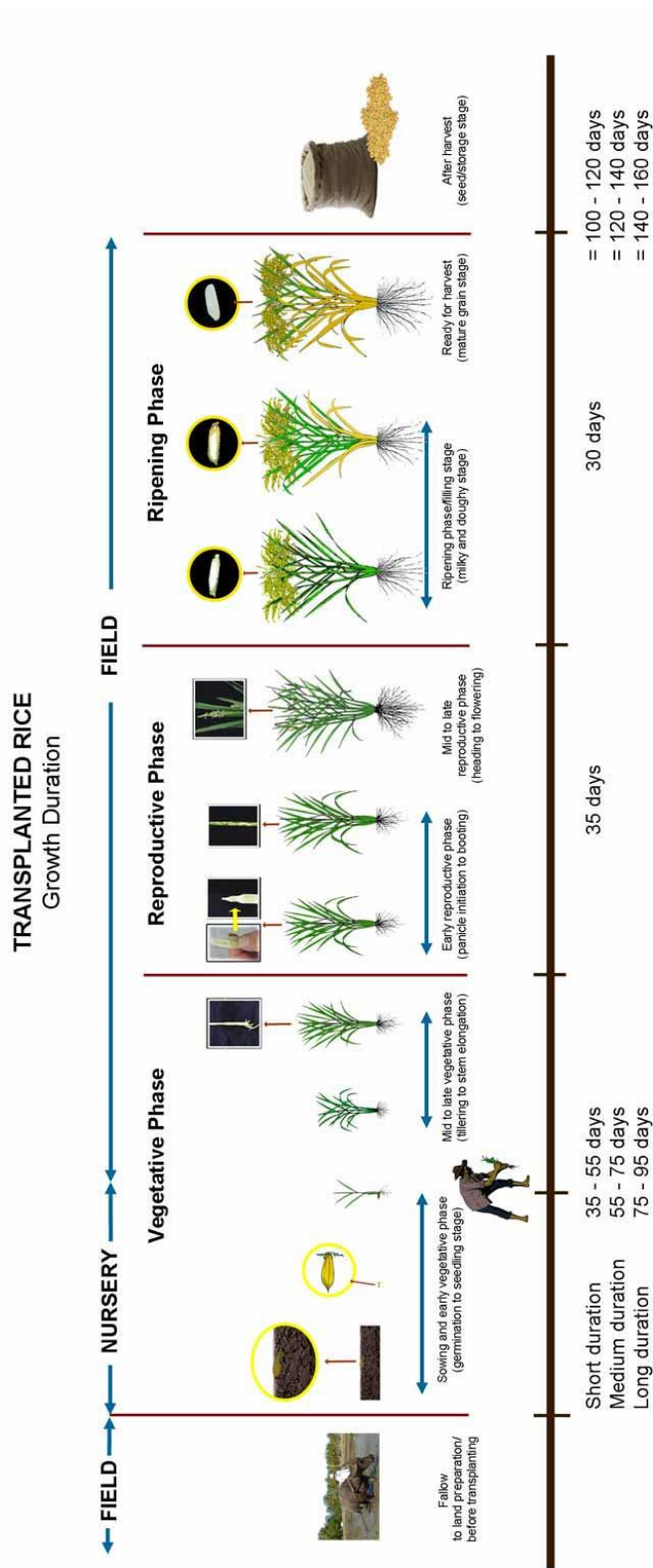
ช่วงคลื่นตำแหน่ง Red edge จากดาวเทียม Sentinel-2 มีทั้งหมด 3 ช่วงคลื่นแต่เราเลือกใช้ช่วงคลื่นที่ 5 (ความยาวคลื่น 705nm) เนื่องจากว่าความยาวคลื่นใกล้เคียงกับช่วงคลื่นตำแหน่ง Red edge จากภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ (ความยาวคลื่น 717nm)

ตารางที่ 3.3 ช่วงเวลาภาพถ่าย

พื้นที่ศึกษา	วัน เดือน ปี	วัน เดือน ปี	ค่าต่างเวลา (วัน)
	ภาพ UAV	ภาพ Sentinel-2A	
พื้นที่ศึกษา 1	14 ก.ย 2561	21 ก.ย 2561	9
พื้นที่ศึกษา 1	9 ต.ค 2561	9 ต.ค 2561	0
พื้นที่ศึกษา 1	25 ต.ค 2561	26 ต.ค 2561	1
พื้นที่ศึกษา 2	17 ก.ย 2561	21 ก.ย 2561	4
พื้นที่ศึกษา 2	10 ต.ค 2561	9 ต.ค 2561	1
พื้นที่ศึกษา 2	25 ต.ค 2561	26 ต.ค 2561	1

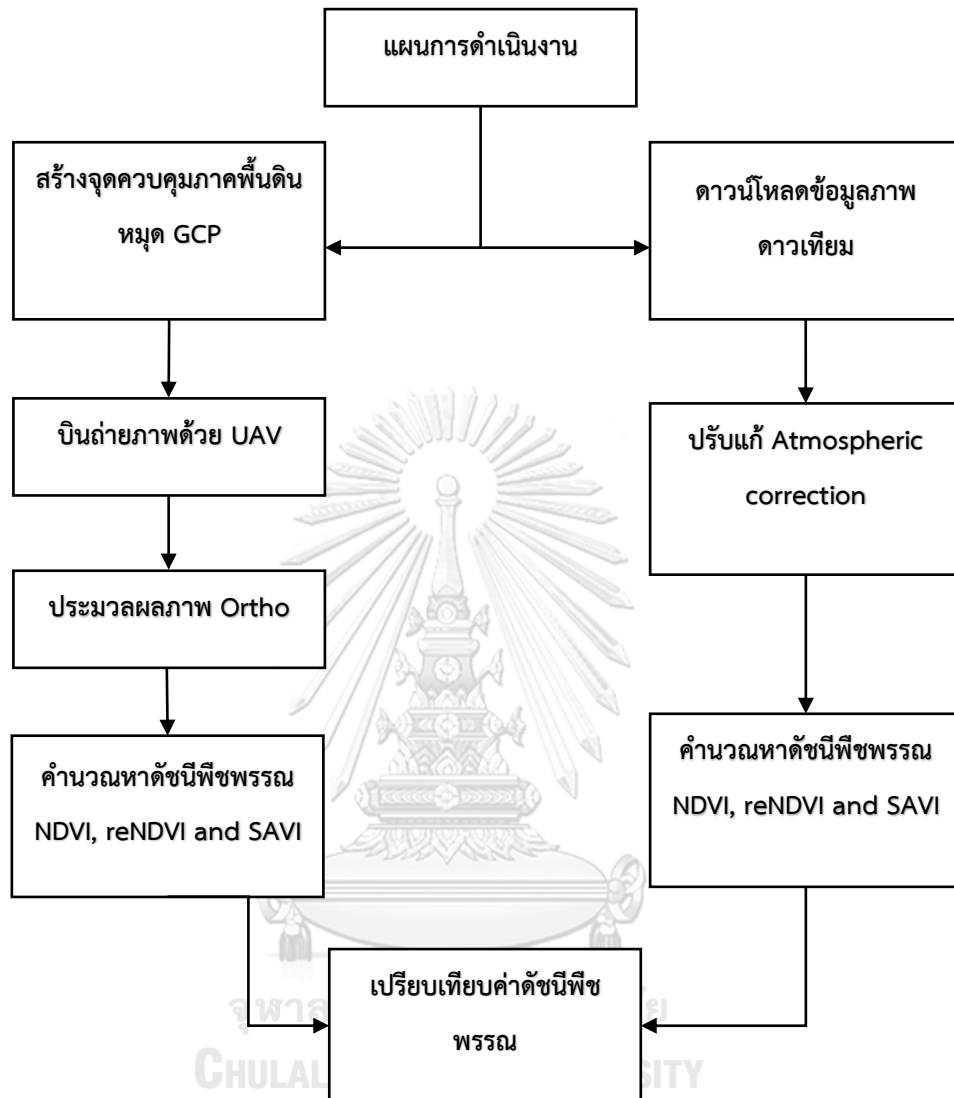


ภาพที่ 3.4 ภาพแสดงระยะข้าวหลังจากปลูกข้าว รวม 160วัน



ภาพที่ 3.5 แสดงระยะเวลาเจริญเติบโตข้าว (Rice Knowledge Bank)

3.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน



ภาพที่ 3.6 แผนการดำเนินงาน

3.3.1 การสร้างจุดควบคุมภาคพื้นดิน

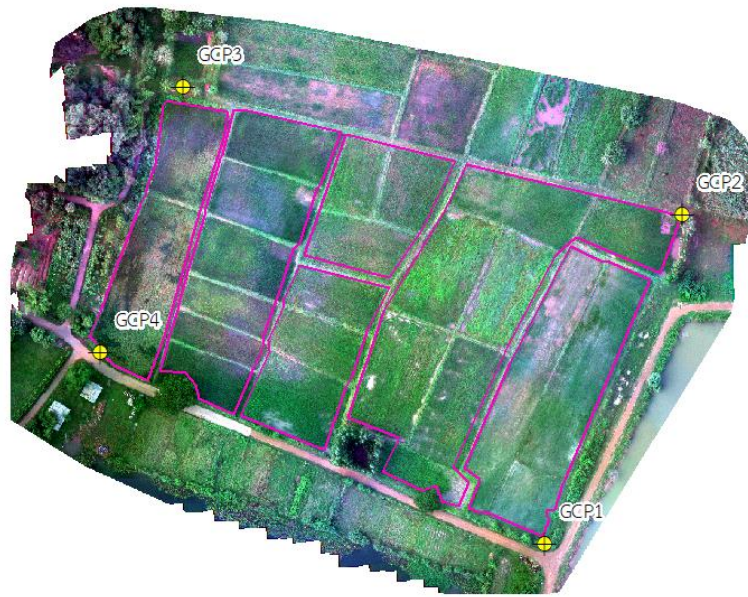
ภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับซึ่งให้ค่าพิกัดทางตำแหน่งนั้นมีความคลาดเคลื่อน เพื่อให้มีความถูกต้องทางตำแหน่งมากขึ้น ในงานวิจัยนี้จึงสำรวจภาคสนามเพื่อกำหนดจุดควบคุมภาคพื้นดิน ในวันที่ 14 ส.ค 2561 และได้ทำการรังวัดค่าพิกัดในวันที่ 23 ส.ค 2561 ใช้เวลาในการรังวัด 30 นาที ต่อสถานี (Rapid Static Survey) ทั้งพื้นที่ศึกษา 1 และ พื้นที่ศึกษา 2 ห่างจากสถานีฐาน (Based station) 3.5 กิโลเมตร และ 4.5 กิโลเมตร ตามลำดับ พื้นที่ละ 4 หมด โดยใช้เครื่องรังวัด Leica GS10 จำนวน 2 เครื่องจากห้องปฏิบัติการมหาวิทยาลัยขอนแก่น สาขาวิศวกรรมสำรวจ



ภาพที่ 3.7 แสดงจุดควบคุมภาคพื้นดิน



ภาพที่ 3.8 หมุดอ้างอิงจากหมุดหลักฐานกระทรวงเกษตรและสหกรณ์



ภาพที่ 3.9 แสดงจุดควบคุมภาคพื้นดินพื้นที่ศึกษา 1



ภาพที่ 3.10 แสดงจุดควบคุมภาคพื้นดินพื้นที่ศึกษา 2



ภาพที่ 3.11 การรังวัดจุดภาคพื้นดิน (GCP4)

3.3.2 การวางแผนการบิน

ในการวางแผนการบินถ่ายภาพทางอากาศจะพิจารณาอ้างอิงจากทิศเหนือเป็นหลักในการกำหนดแนวการบินโดยบินที่ความสูง 117 m ความละเอียดเชิงพื้นที่ 8 cm/pixel มีแนวซ้อนทับภาพ ด้านหน้า และด้านข้าง 75% จำนวนภาพถ่าย 140 ภาพ ก่อนการบินจะมีการวางเป้า (Make Point) จุดภาคพื้นดิน

โดยทั่วไปวัตถุที่มีการดูดกลืน, สะท้อน หรือส่งผ่านที่ต่างกันเป็นคุณสมบัติโดยธรรมชาติของวัตถุที่ไม่ขึ้นกับสภาพแสงเช่น พืชที่มีสุขภาพดีส่วนใหญ่จะสะท้อนแสงสีเขียวมากกว่าแสงสีแดงหรือสีน้ำเงิน (นี่คือสาเหตุที่พืชปรากฏเป็นสีเขียว) ดังนั้นเพื่อให้การสะท้อนแสงมีความแม่นยำมากขึ้นสำหรับสภาวะแสงที่ตกกระทบในพื้นที่ทำงาน การถ่ายภาพทุกครั้งจึงมีการสอบเทียบการสะท้อนแสงก่อนการบินถ่ายภาพ (ดูรูปประกอบ ภาพที่ 3.12) การถ่ายภาพแผงสอบเทียบนี้จะต้องดำเนินการอย่างระมัดระวังเพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดเงา

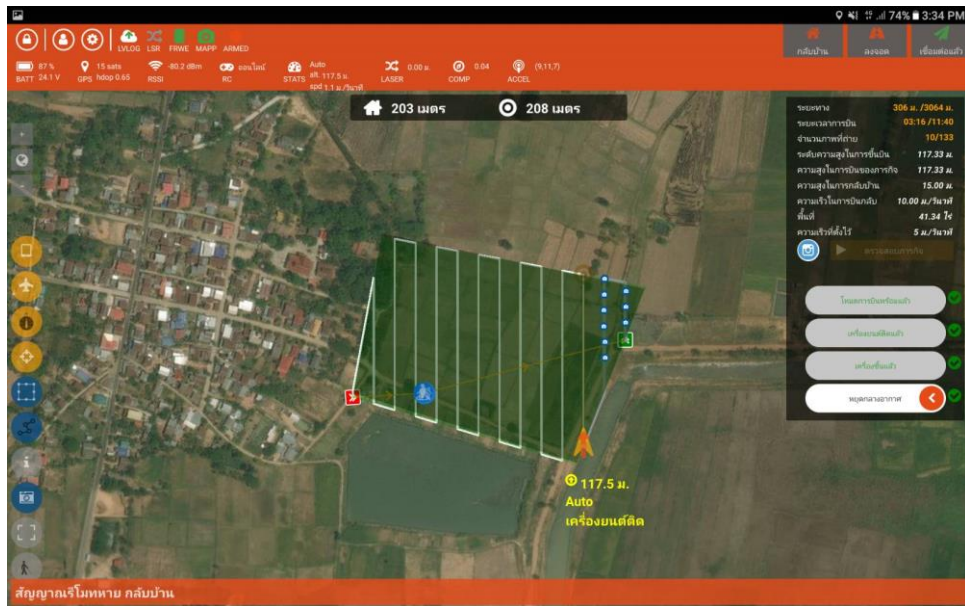


ภาพที่ 3.12 แสดงการถ่ายภาพแผงสะท้อน (Calibrated reflectance panels)

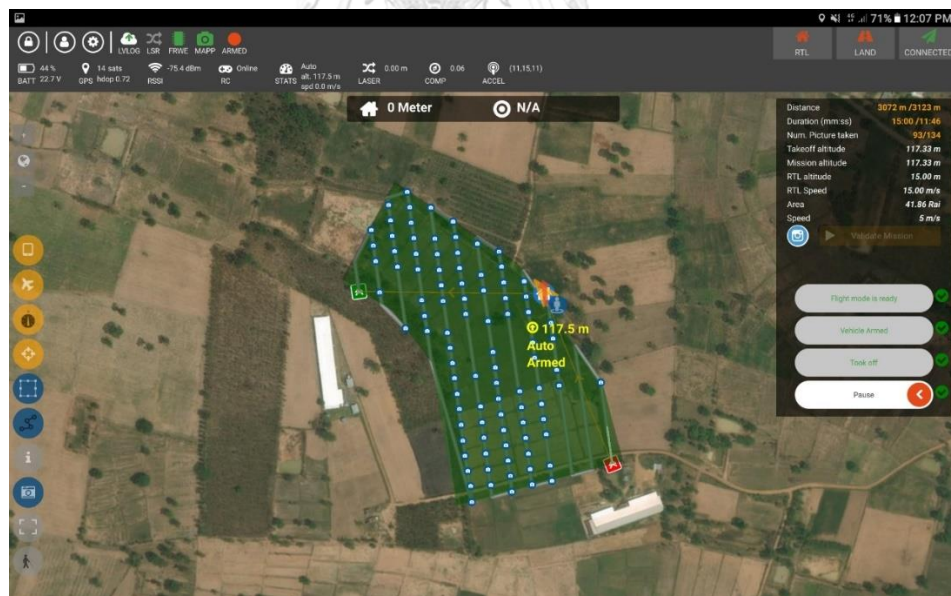


ภาพที่ 3.13 การวางเป้าจุดภาคพื้นดิน

3.3.2.3 การควบคุมการบินด้วย HGMC Application



ภาพที่ 3.14 แสดงแนวบินพื้นที่ศึกษา 1



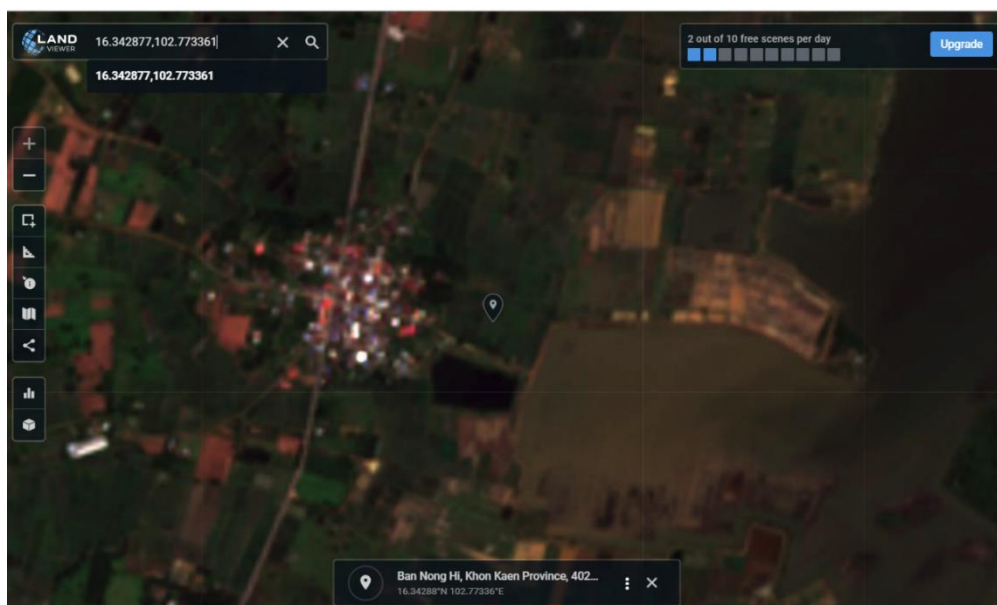
ภาพที่ 3.15 แสดงแนวบินพื้นที่ศึกษา 2

3.3.3 ประมวลผลภาพ Orthophoto

ในขั้นตอนการทำงานในส่วนนี้ได้้นำใช้โปรแกรม Pix4D mapper software เพื่อประมวลผลภาพ orthophoto และการตรึงค่าพิกัด (Georeferencing)

3.3.4 การดาวน์โหลดข้อมูลดาวเทียม

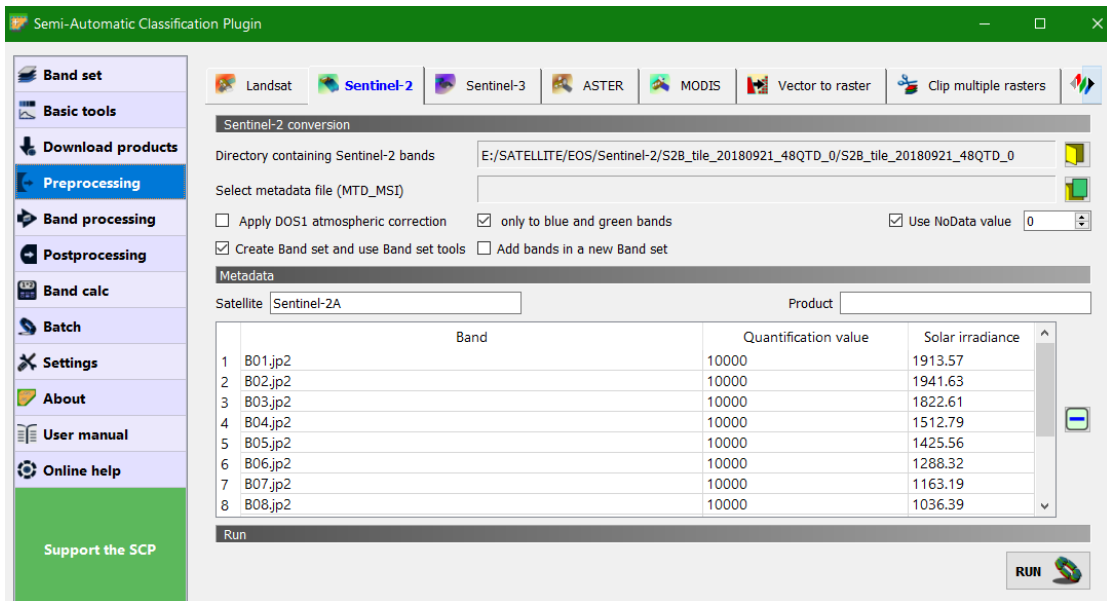
การดาวน์โหลดจากฐานข้อมูลจาก Earth Observing System (EOS) ซึ่งสมัครเป็นผู้ใช้ผ่านทางเมล จากนั้นสามารถโหลดได้โดยไม่เสียค่าใช้จ่ายสำหรับผู้ใช้งานทั่วไป



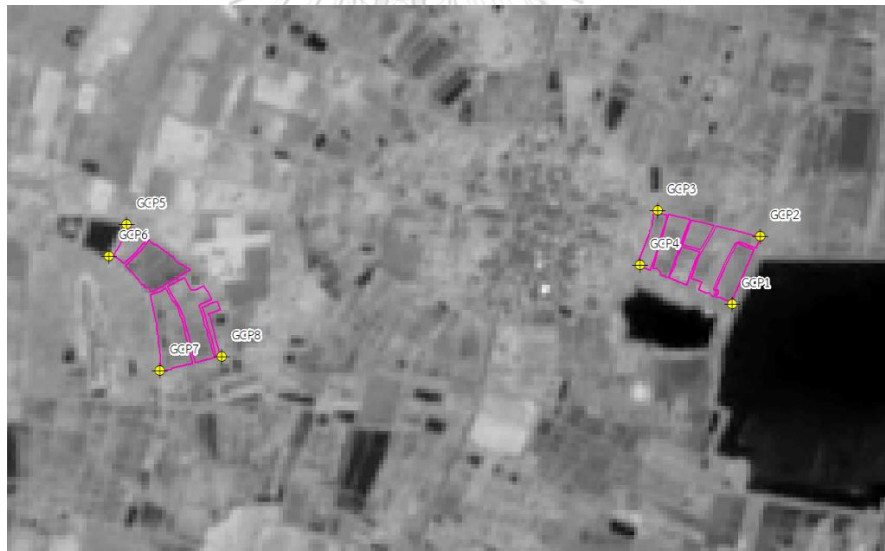
ภาพที่ 3.16 การดาวน์โหลดภาพถ่ายจากฐานข้อมูล EOS

3.3.5 การปรับแก้ค่า Atmospheric correction

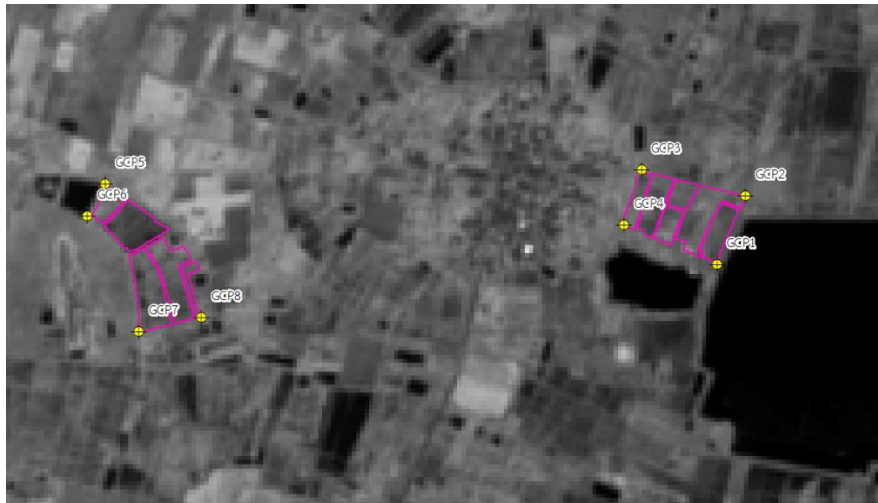
จากการดาวน์โหลดภาพถ่ายดาวเทียมจากฐานข้อมูล EOS ซึ่งไม่สามารถนำมาใช้งานได้โดยตรง เนื่องจากมีค่าสะท้อนจากมวลอากาศที่ผ่านชั้นบรรยากาศนั้นทำให้ค่าสะท้อนวัตถุบนพื้นผิวโลกมีความคลาดเคลื่อน จึงควรปรับแก้ค่า Atmospheric correction ซึ่งส่งผลต่อค่าคลาดเคลื่อนต่อการคำนวณดัชนีพืชพรรณ สาเหตุคือภาพไม่มีความคมชัดดังภาพที่ 3.18 หลังจากการปรับแก้โดยใช้แบบจำลอง TOA จากสมการ (2.8) ซึ่งใช้เครื่องมือจากโปรแกรม QGIS พบว่าภาพมีความเข้มแสง และลักษณะพื้นผิวคมชัดมากขึ้นดังภาพที่ 3.19



ภาพที่ 3.17 แสดงการนำภาพเพื่อปรับแก้ Atmospheric correction



ภาพที่ 3.18 ภาพก่อนการปรับแก้ Atmospheric correction

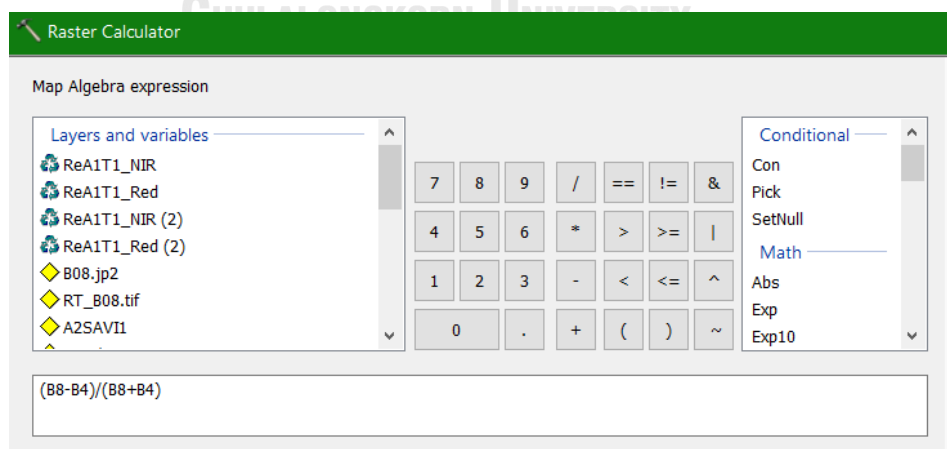


ภาพที่ 3.19 ภาพหลังการปรับแก้ Atmospheric correction

3.3.6 คำนวณค่าดัชนีพืชพรรณ

ในส่วนข้อมูลการคำนวณค่าดัชนีพืชพรรณจะใช้โปรแกรม ArcMap 10.5 เป็นเครื่องมือในการทำงาน การลดความละเอียดเชิงพื้นที่จากภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับให้เท่ากับภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ด้วยวิธี Bilinear resampling และคำนวณดัชนีพืชพรรณโดยใช้สมการ (2.5) (2.6) และ (2.7)

จากนั้นนำค่าดัชนีพืชพรรณในแต่ละพิกเซลมาทำการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ และทดสอบความแตกต่างทางสถิติ t-test ในส่วนนี้จะใช้โปรแกรม MATLAB R2018a ช่วยในการทำงานวิจัยครั้งนี้



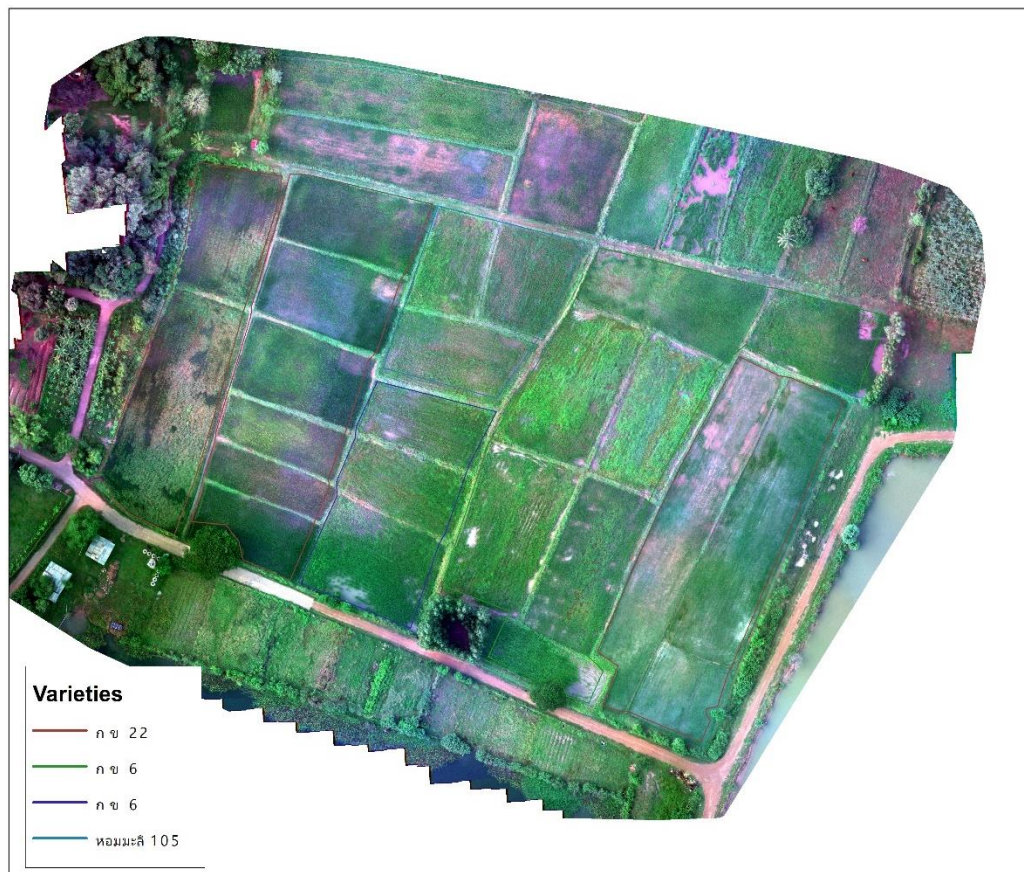
ภาพที่ 3.20 การคำนวณค่าดัชนีพืชพรรณ

3.4 ข้อมูลภาพถ่าย

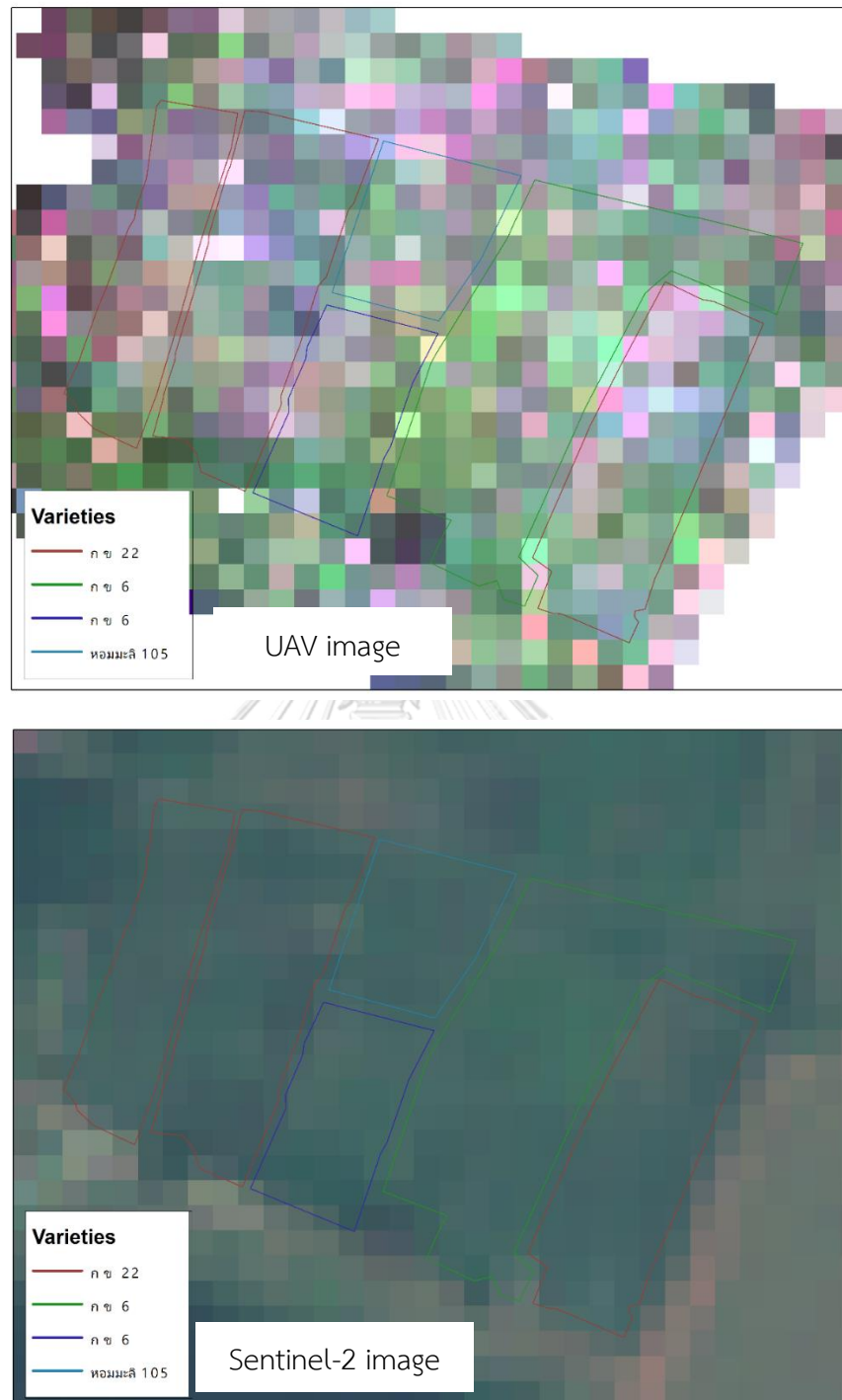
เนื้อหาในหัวข้อนี้จะเป็นข้อมูลภาพที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ประกอบด้วยภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับความละเอียดสูง และภาพลดความละเอียดเท่ากับดาวเทียม Sentinel-2 รวมถึงภาพถ่ายดาวเทียม

3.4.1 พื้นที่ศึกษา 1

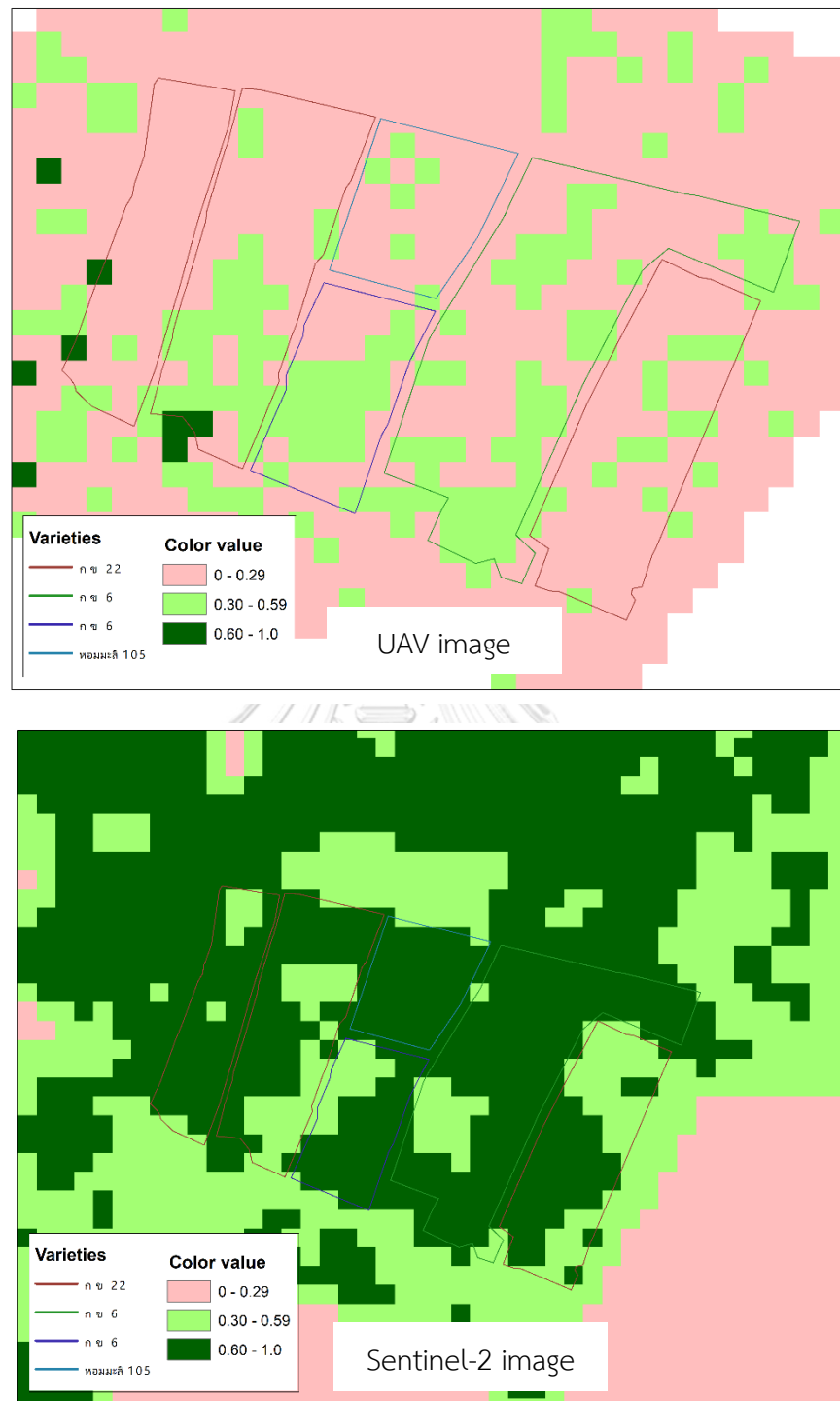
3.4.1.1 ระยะเวลาข้าวแตกกอ



ภาพที่ 3.21 แสดงข้อมูลภาคสนามจาก UAV

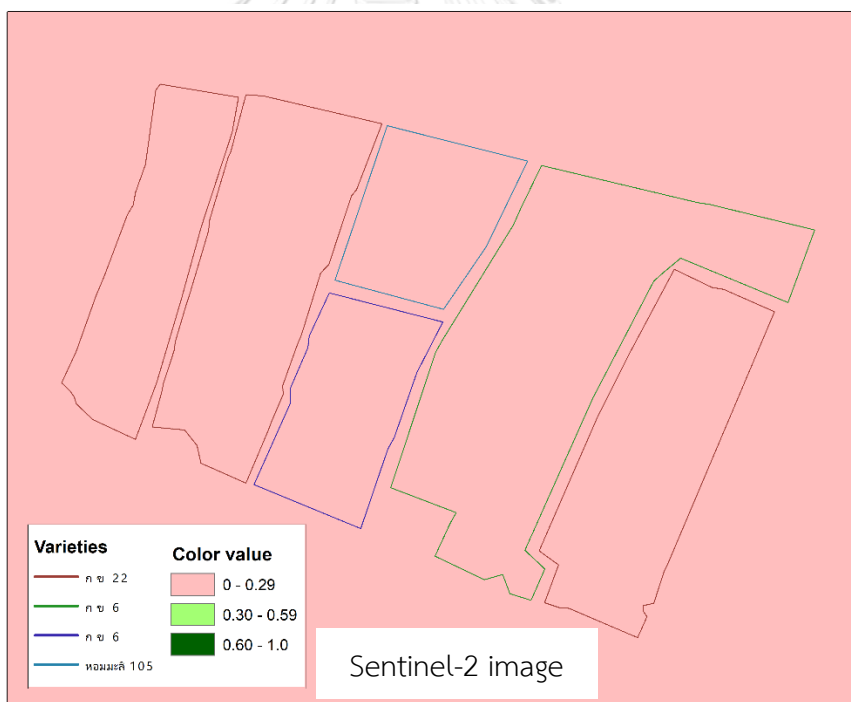
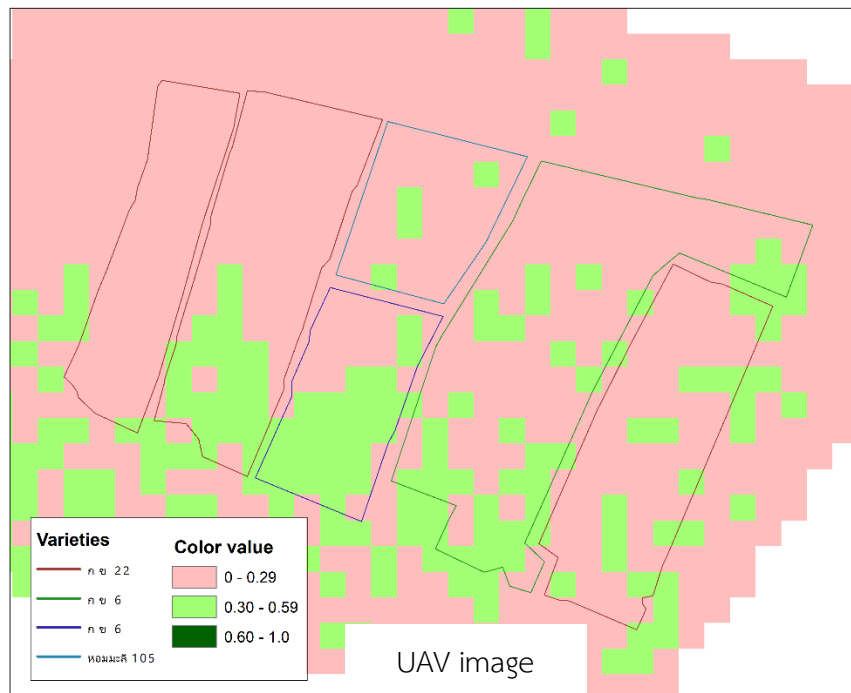


ภาพที่ 3.22 แสดงข้อมูลภาคสนามจาก UAV และ Sentinel-2 ที่ความละเอียดเท่ากัน

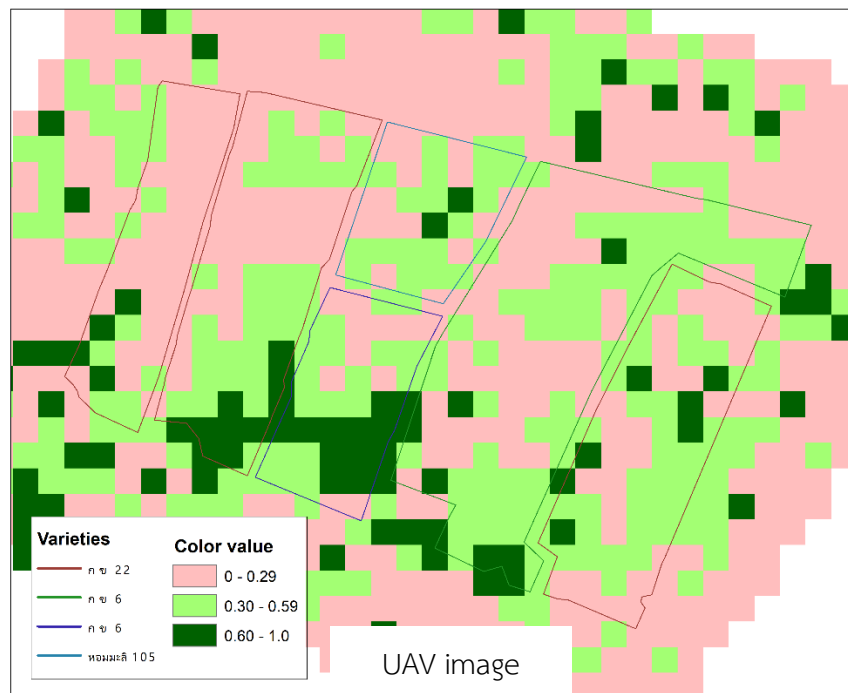


ภาพที่ 3.23 ดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์แมลไลซ์ จาก UAV และ Sentinel-2

จากภาพ 3.23 แสดงให้เห็นว่าการจำแนกพื้นผิวเชิงปริมาณของค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์แมลไลซ์อยู่ในช่วงความหนาแน่นต่างกัน โดยที่ภาพจากดาวเทียมประเมินดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์แมลไลซ์อยู่ในช่วง 0.30 ถึง 1 แต่ภาพจากอากาศยานไร้คนขับอยู่ในช่วง 0 ถึง 0.59

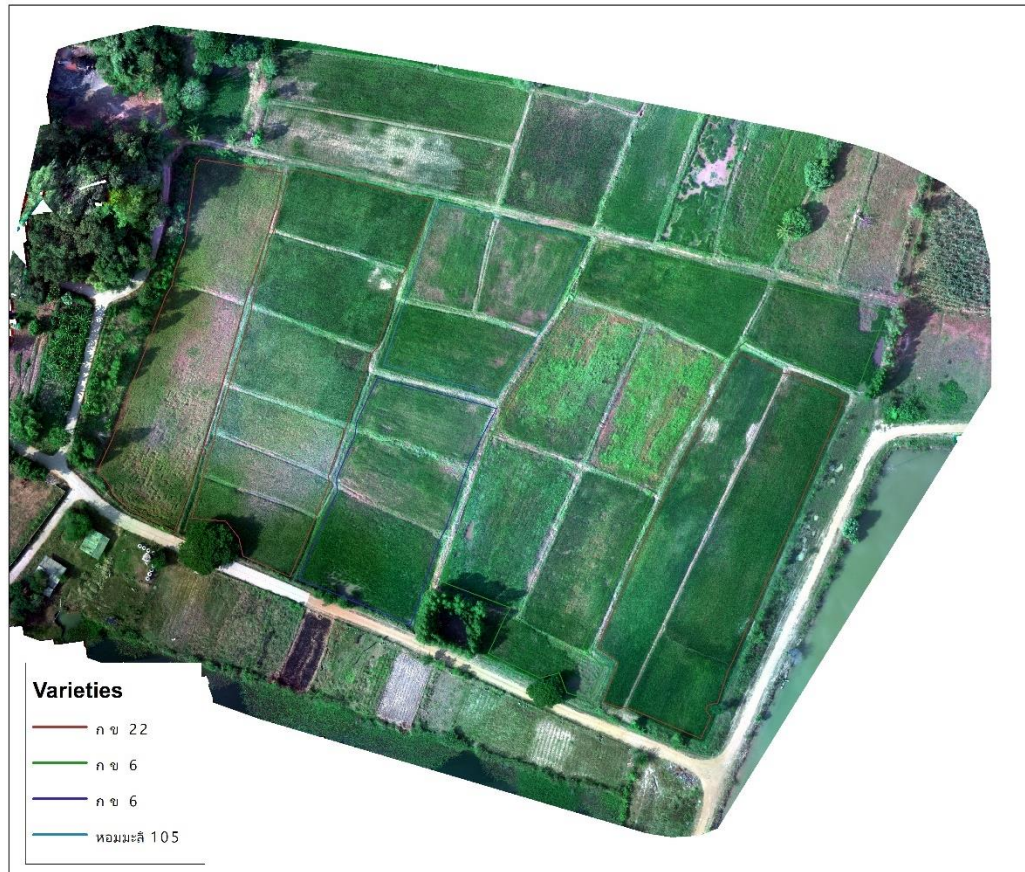


ภาพที่ 3.24 ดัชนีพืชพรรณตำแหน่ง Red edge จาก UAV และ Sentinel-2 จากภาพ 3.24 แสดงให้เห็นว่าการจำแนกพื้นผิวเชิงปริมาณของค่าดัชนีพืชพรรณตำแหน่ง Red edge อยู่ในช่วงความหนาแน่นต่างกัน โดยที่ภาพจากดาวเทียมประเมินดัชนีพืชพรรณตำแหน่ง Red edge อยู่ในช่วง 0 ถึง 0.29 แต่ภาพจากอากาศยานไร้คนขับอยู่ในช่วง 0 ถึง 0.59

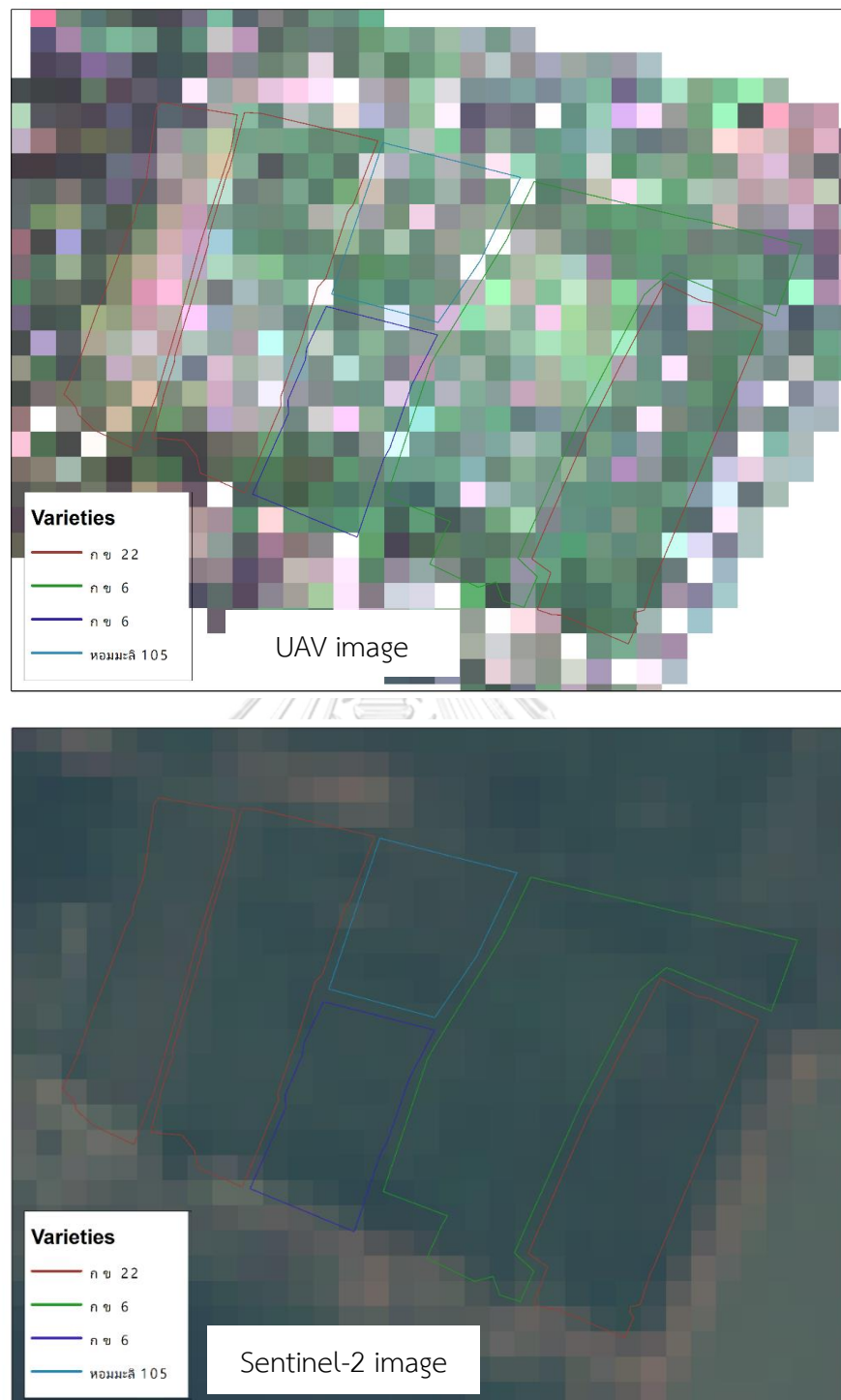


ภาพที่ 3.25 ภาพจำแนกดัชนีพืชพรรณปรับแก้ดิน จาก UAV และ Sentinel-2 จากภาพ 3.25 แสดงให้เห็นว่าการจำแนกพื้นผิวเชิงปริมาณของค่าภาพจำแนกดัชนีพืชพรรณปรับแก้ดินอยู่ในช่วงความหนาแน่นต่างกัน โดยที่ภาพจากดาวเทียมประเมินดัชนีพืชพรรณปรับแก้ดินอยู่ในช่วง 0.60 ถึง 1 แต่ภาพจากอากาศยานไร้คนขับอยู่ในช่วง 0 ถึง 1

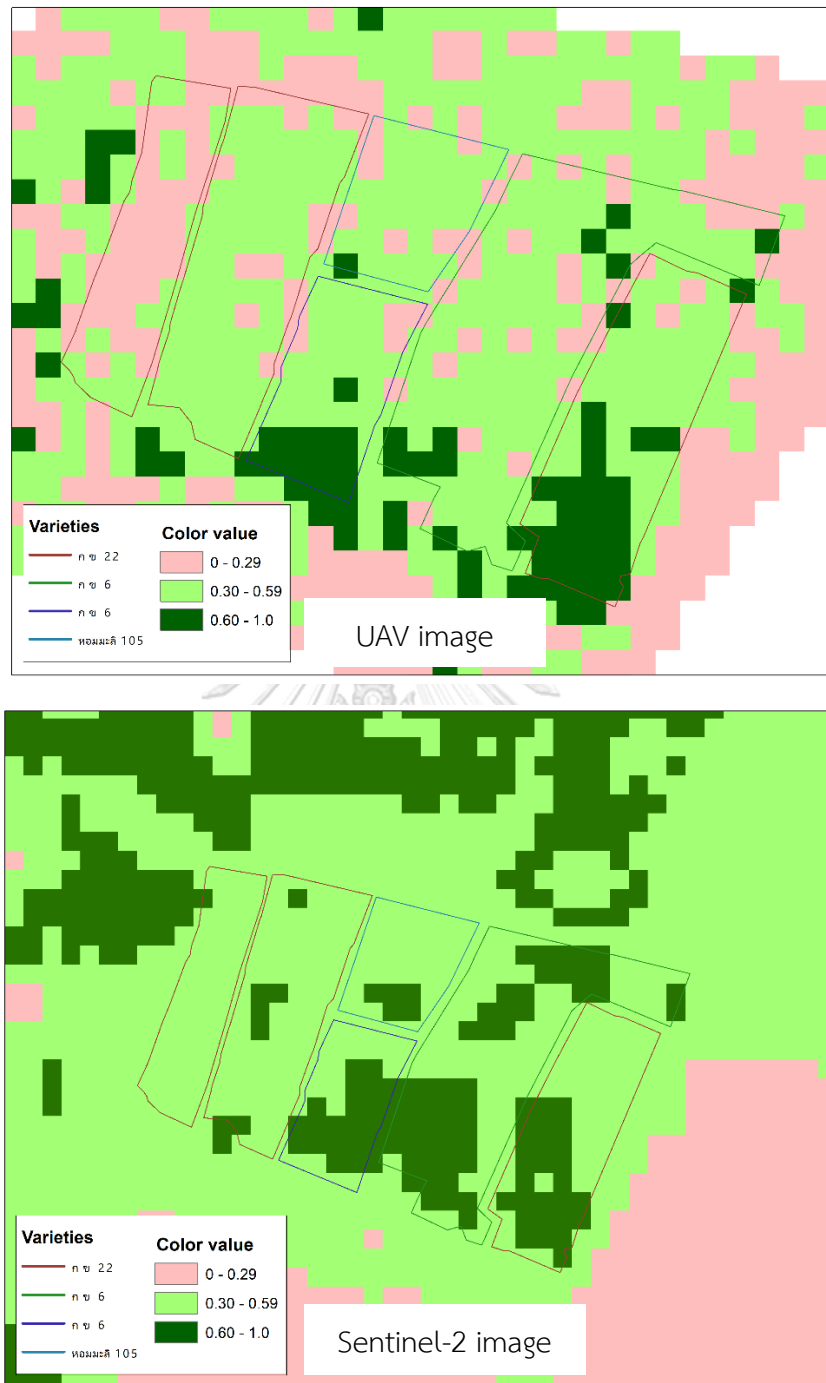
3.4.1.2 ระยะข้าวตั้งท้อง



ภาพที่ 3.26 แสดงข้อมูลภาคสนามจาก UAV

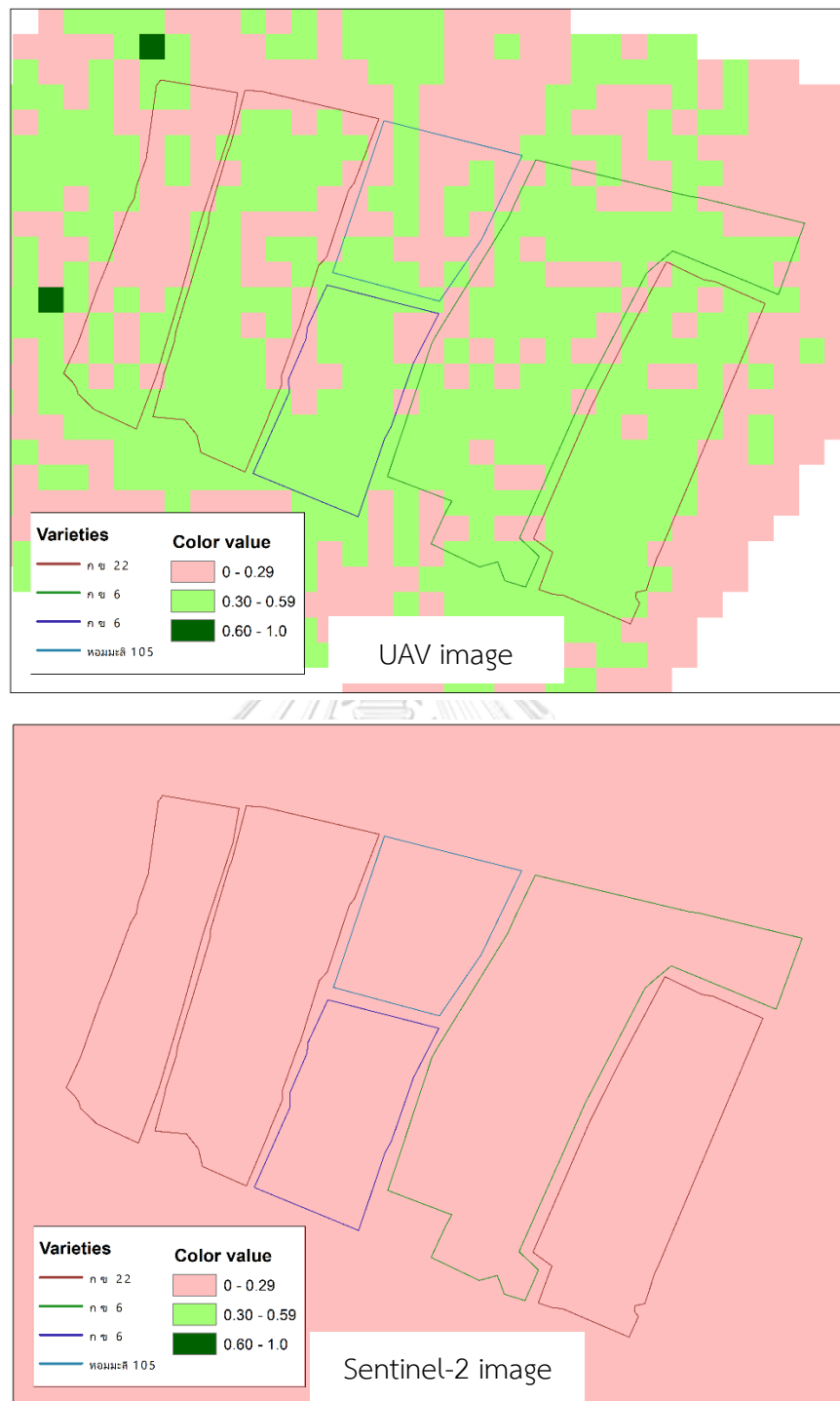


ภาพที่ 3.27 แสดงข้อมูลภาคสนามจาก UAV และ Sentinel-2 ที่ความละเอียดเท่ากัน



ภาพที่ 3.28 ดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์มัลไลซ์ จาก UAV และ Sentinel-2

จากภาพ 3.28 แสดงให้เห็นว่าพื้นผิวเชิงปริมาณของค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์มัลไลซ์อยู่ในช่วงความหนาแน่นต่างกัน โดยที่ภาพจากดาวเทียมประเมินดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์มัลไลซ์อยู่ในช่วง 0 ถึง 1 แต่ภาพจากอากาศยานไร้คนขับอยู่ในช่วง 0 ถึง 1



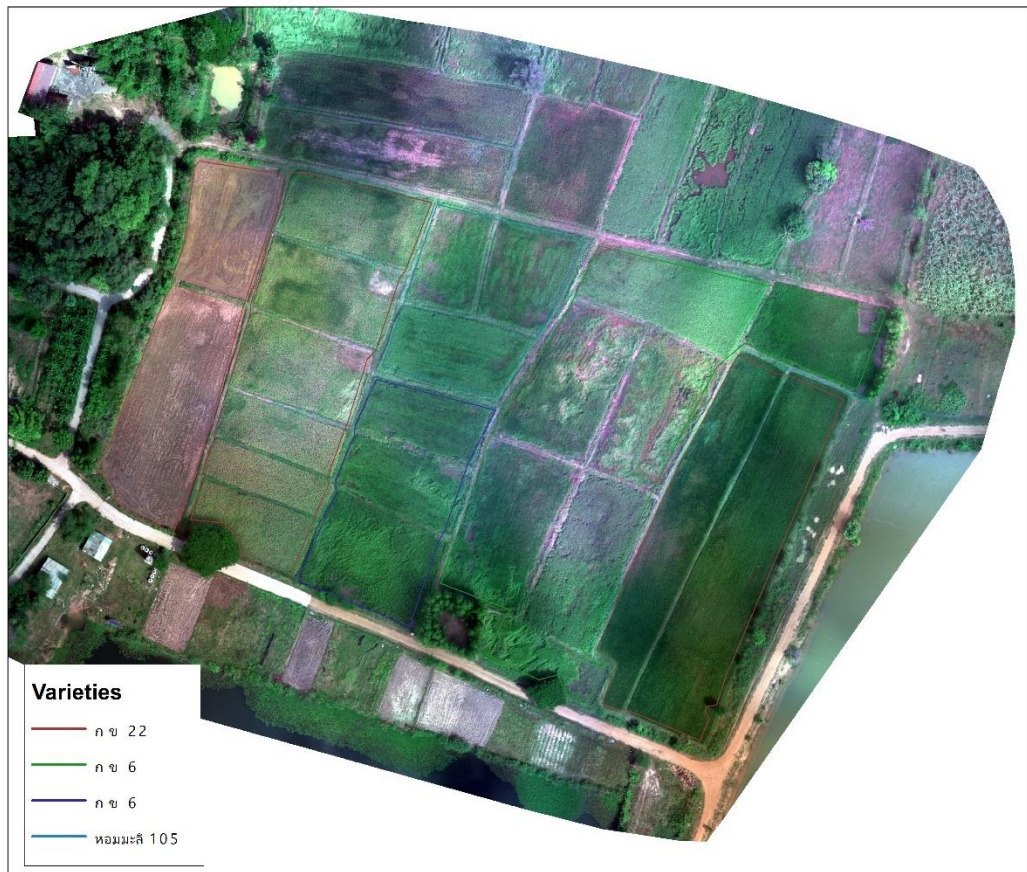
ภาพที่ 3.29 ดัชนีพืชพรรณตำแหน่ง Red edge ระยะข้าวตั้งท้อง UAV และ Sentinel-2

จากภาพ 3.29 แสดงให้เห็นว่าพื้นผิวเชิงปริมาณของค่าดัชนีพืชพรรณตำแหน่ง Red edge อยู่ในช่วงความหนาแน่นต่างกัน โดยที่ภาพจากดาวเทียมประเมินดัชนีพืชพรรณดัชนีพืชพรรณตำแหน่ง Red edge 0 ถึง 0.29 แต่ภาพจากอากาศยานไร้คนขับอยู่ในช่วง 0 ถึง 0.59

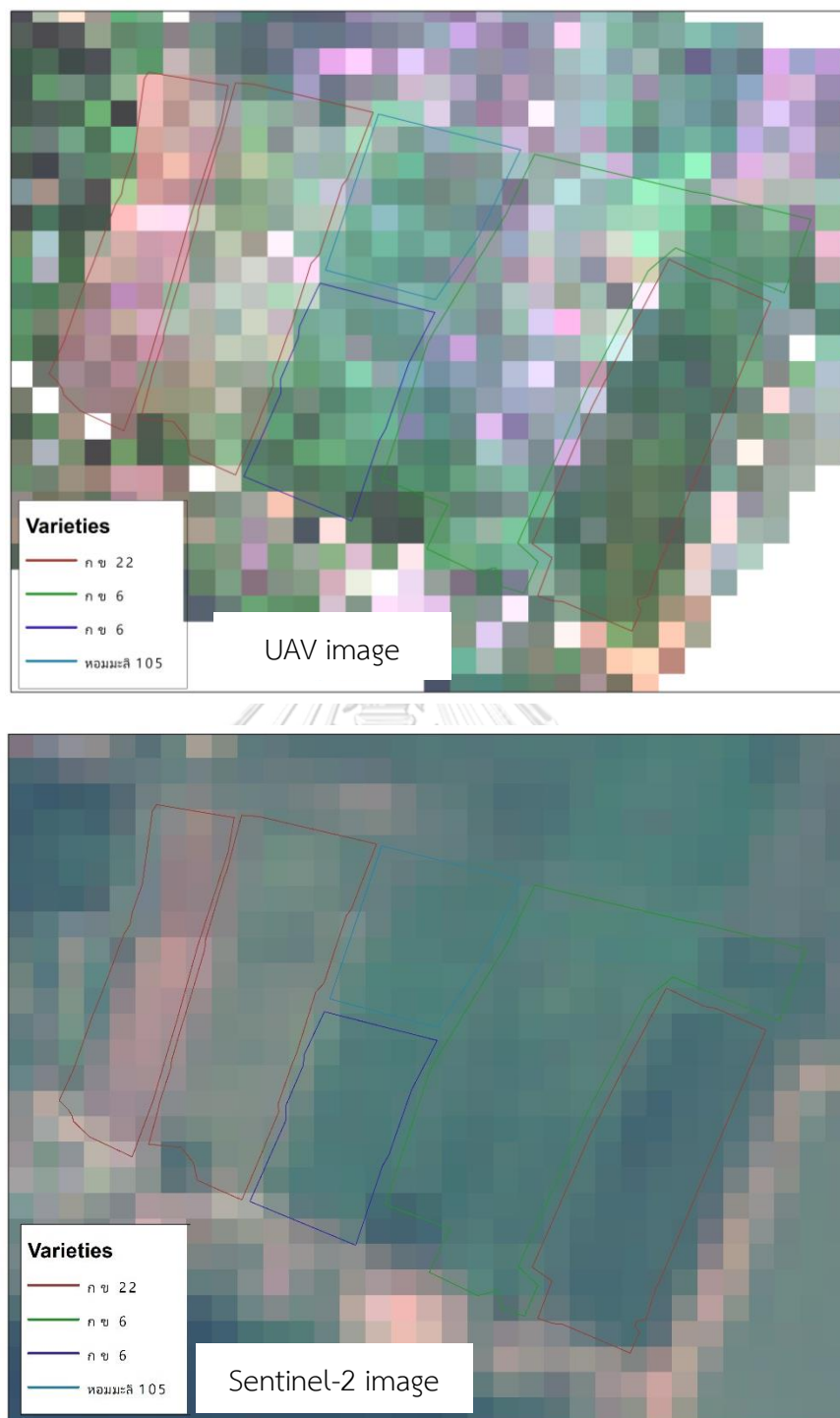


ภาพที่ 3.30 ภาพจำแนกดัชนีพืชพรรณปรับแก้ดิน จาก UAV และ Sentinel-2 จากภาพ 3.30 แสดงให้เห็นว่าค่าดัชนีพืชพรรณปรับแก้ดินในช่วงความหนาแน่นต่างกัน โดยที่ภาพจากดาวเทียมประเมินดัชนีพืชพรรณปรับแก้ดิน 0 ถึง 0.29 แต่ภาพจากอากาศยานไร้คนขับ อยู่ในช่วง 0.60 ถึง 1

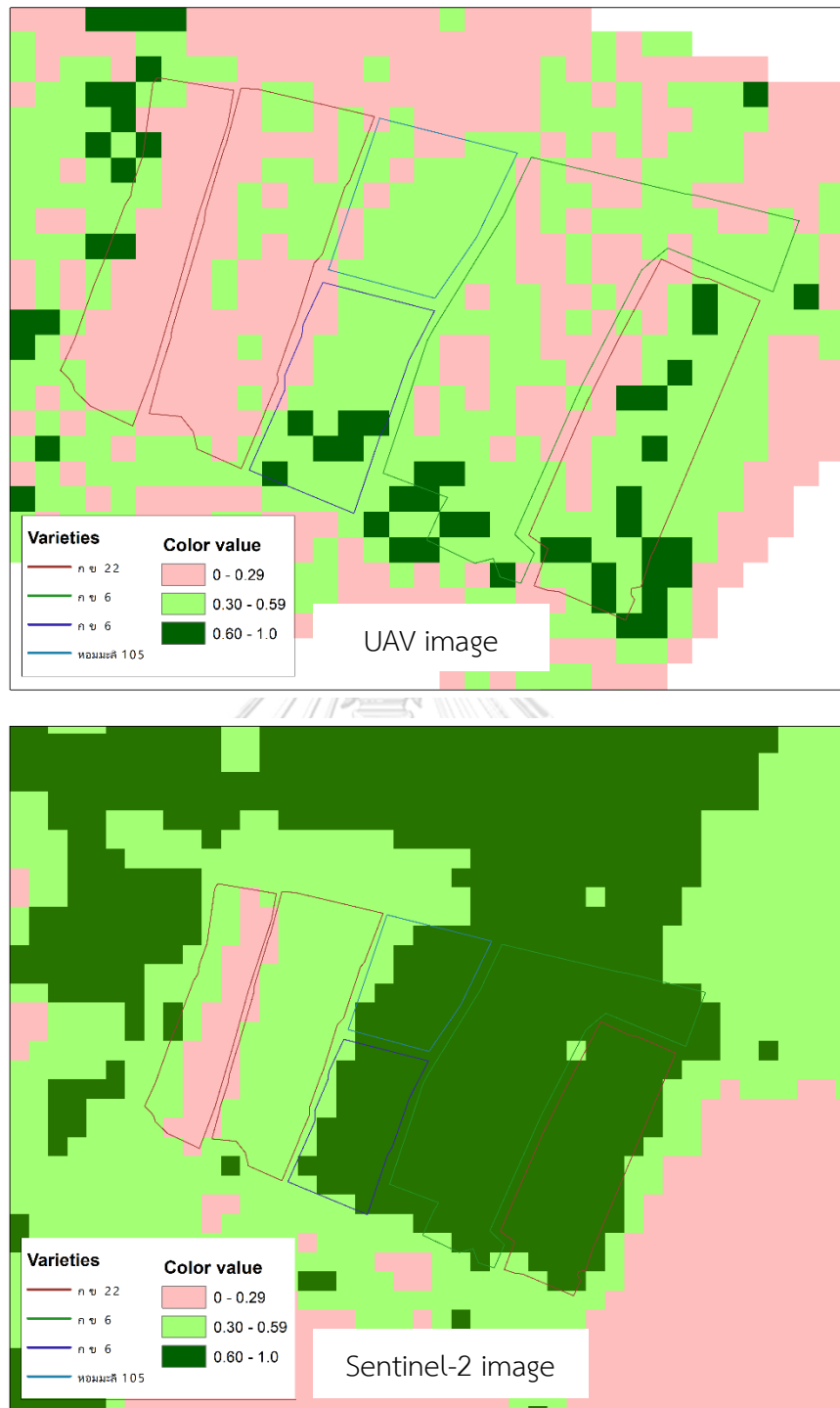
3.4.1.3 ระยะข้าวเป็นน้านมและสุก



ภาพที่ 3.31 แสดงข้อมูลภาคสนามจาก UAV
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

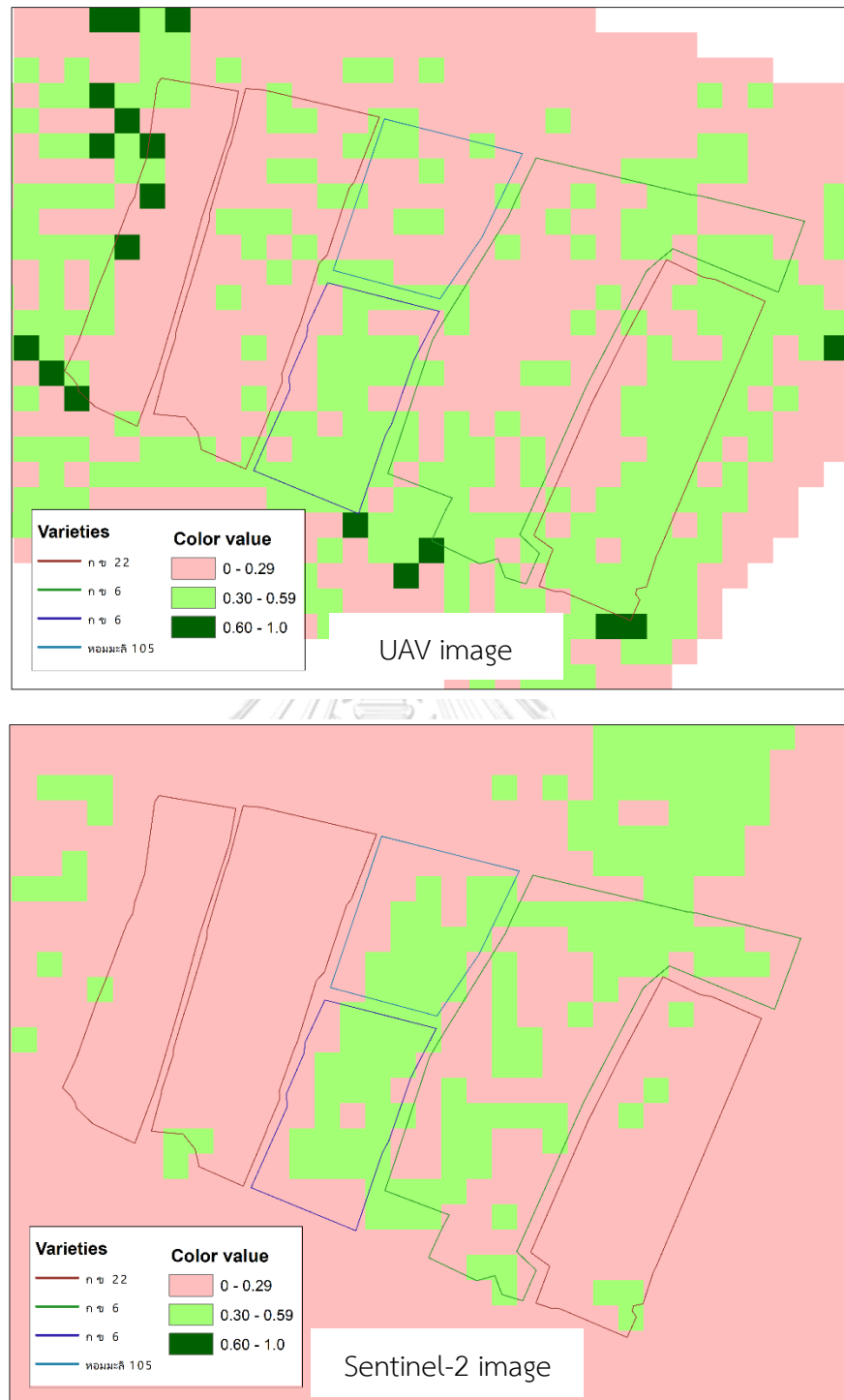


ภาพที่ 3.32 แสดงข้อมูลภาคสนามจาก UAV และ Sentinel-2 ที่ความละเอียดเท่ากัน

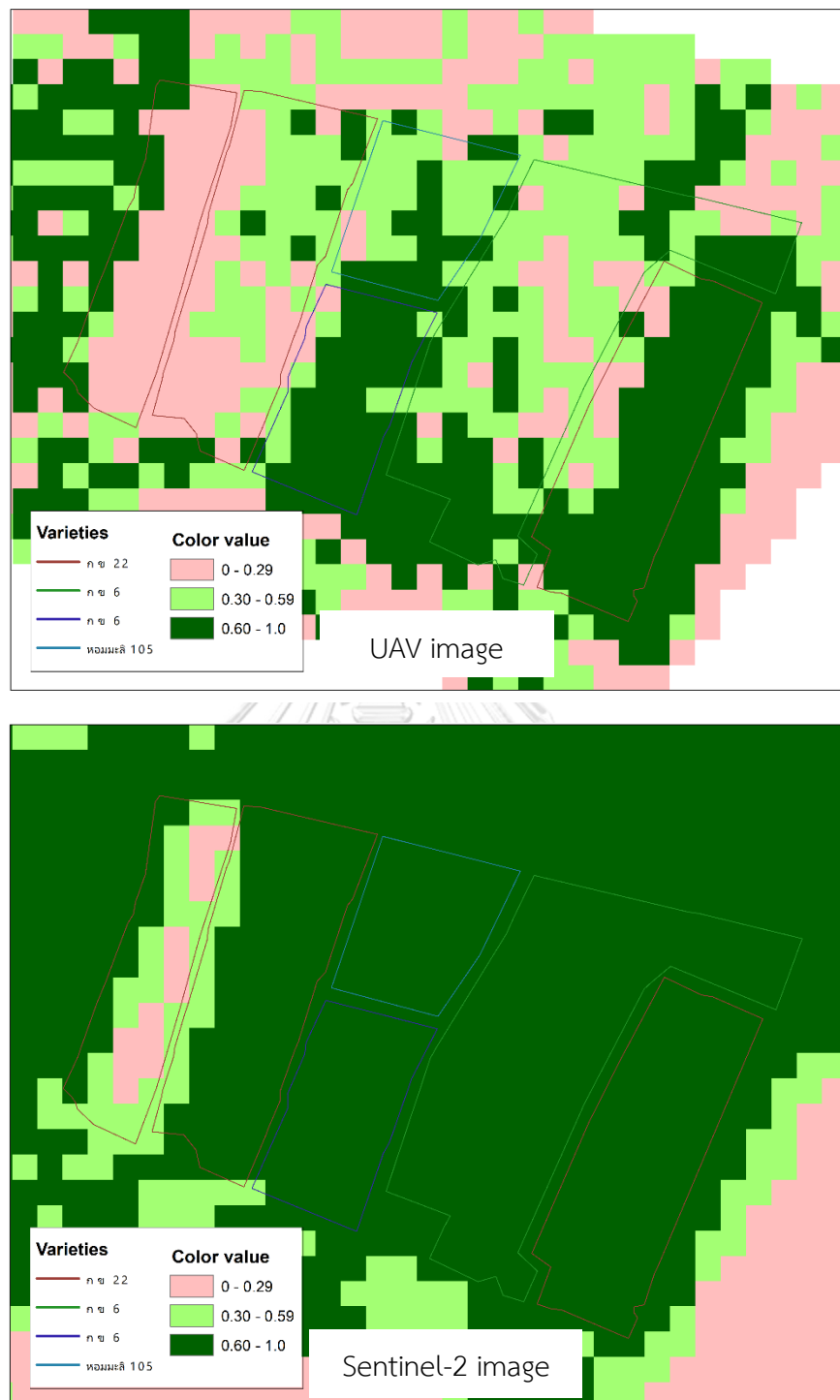


ภาพที่ 3.33 ดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์แมลไลซ์ จาก UAV และ Sentinel-2

จากภาพ 3.33 แสดงให้เห็นว่าการจำแนกพื้นผิวเชิงปริมาณของค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์แมลไลซ์อยู่ในช่วงความหนาแน่นต่างกัน โดยที่ภาพจากดาวเทียมประเมินดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์แมลไลซ์อยู่ในช่วง 0 ถึง 1 แต่ภาพจากอากาศยานไร้คนขับอยู่ในช่วง 0 ถึง 0.59



ภาพที่ 3.34 ดัชนีพืชพรรณตำแหน่ง Red edge จาก UAV และ Sentinel-2 จากภาพ 3.34 แสดงให้เห็นว่าการจำแนกพื้นผิวเชิงปริมาณของค่าดัชนีพืชพรรณตำแหน่ง Red edge อยู่ในช่วงความหนาแน่นต่างกัน โดยที่ภาพจากดาวเทียมประเมินดัชนีพืชพรรณตำแหน่ง Red edge อยู่ในช่วง 0 ถึง 0.59 แต่ภาพจากอากาศยานไร้คนขับอยู่ในช่วง 0 ถึง 0.59

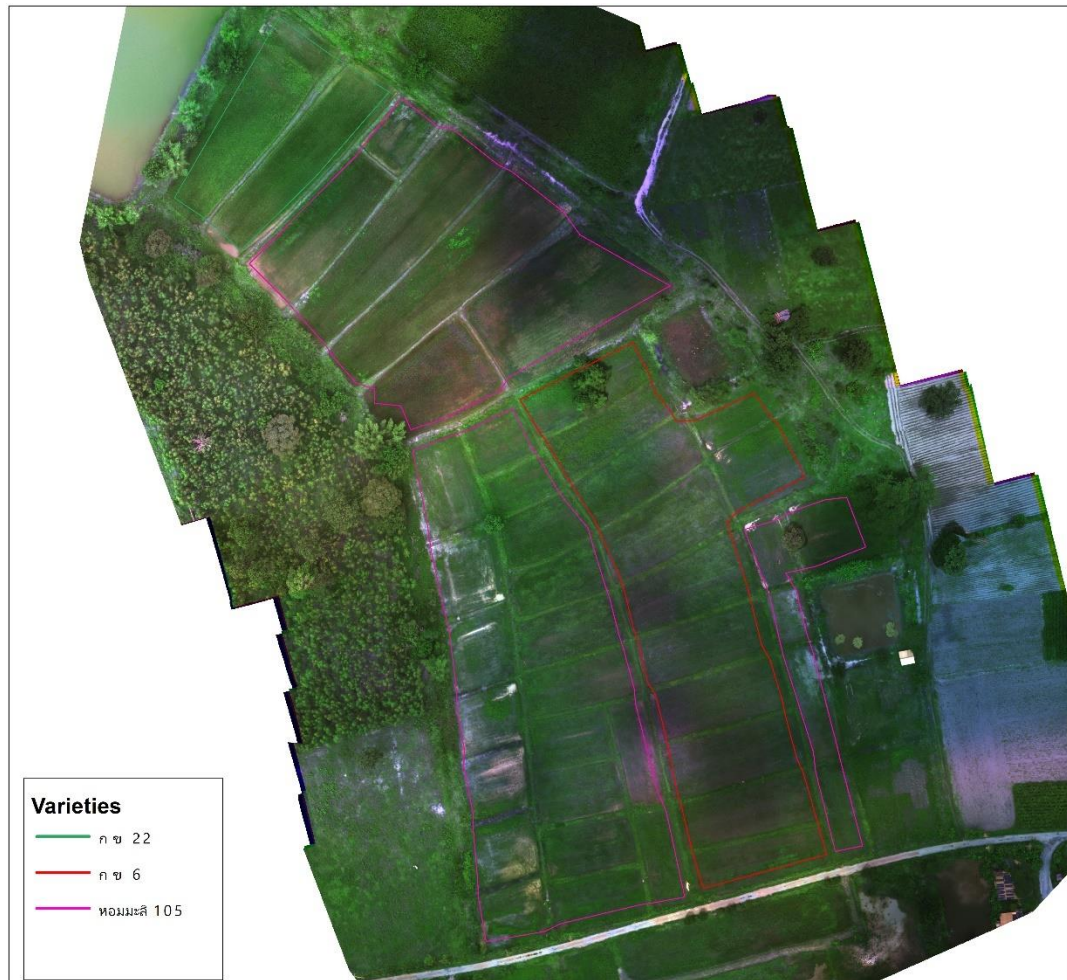


ภาพที่ 3.35 ดัชนีพืชพรรณปรับแก้ดิน UAV และ Sentinel-2

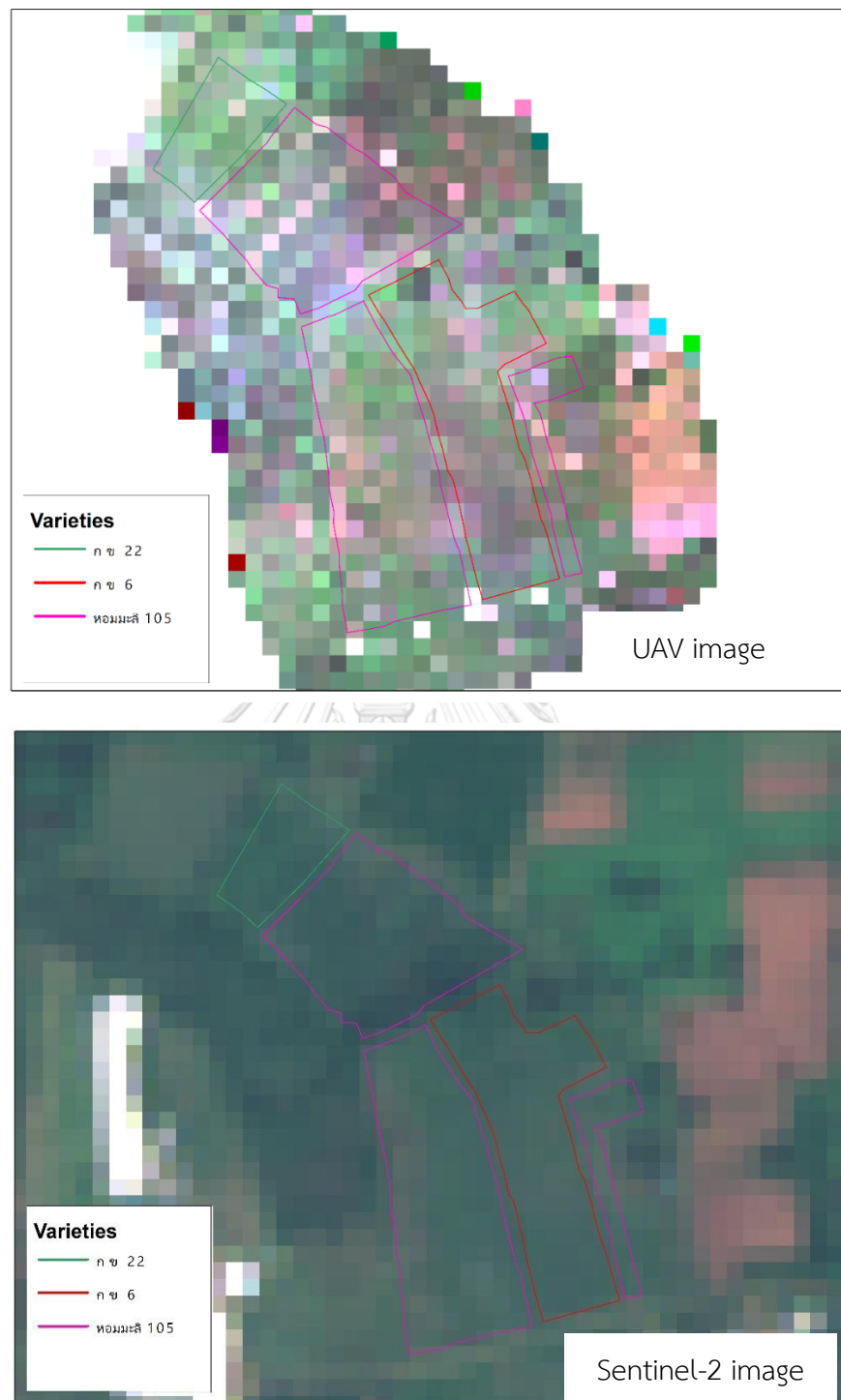
จากภาพ 3.35 แสดงให้เห็นว่าค่าดัชนีพืชพรรณปรับแก้ดินในช่วงความหนาแน่นต่างกัน โดยที่ภาพจากดาวเทียมประเมินดัชนีพืชพรรณปรับแก้ดิน 0 ถึง 1 แต่ภาพจากอากาศยานไร้คนขับอยู่ในช่วง 0 ถึง 1

3.4.2 พื้นที่ศึกษา 2

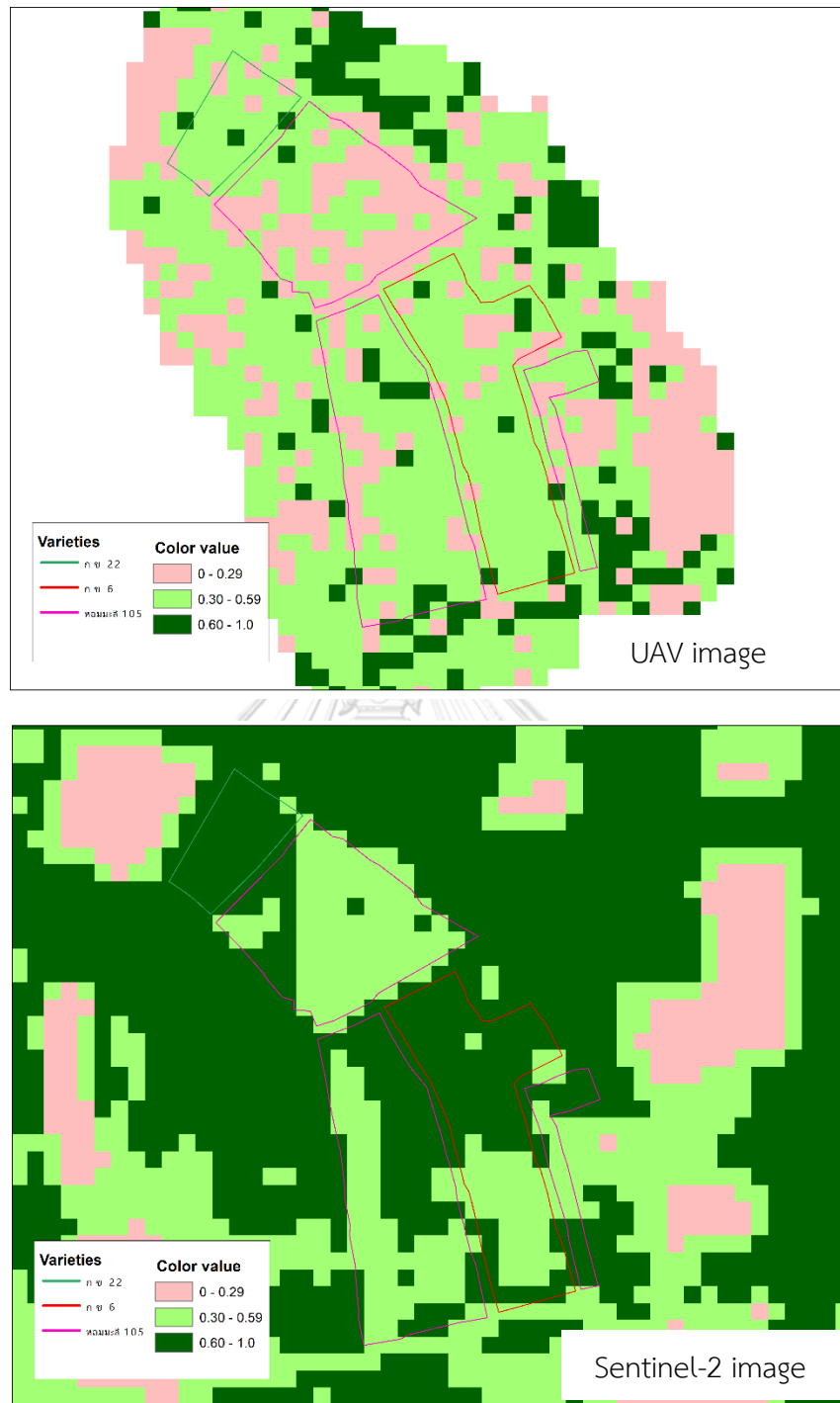
3.4.2.1 ระยะข้าวแตกกอ



ภาพที่ 3.36 แสดงข้อมูลภาคสนาม จาก UAV

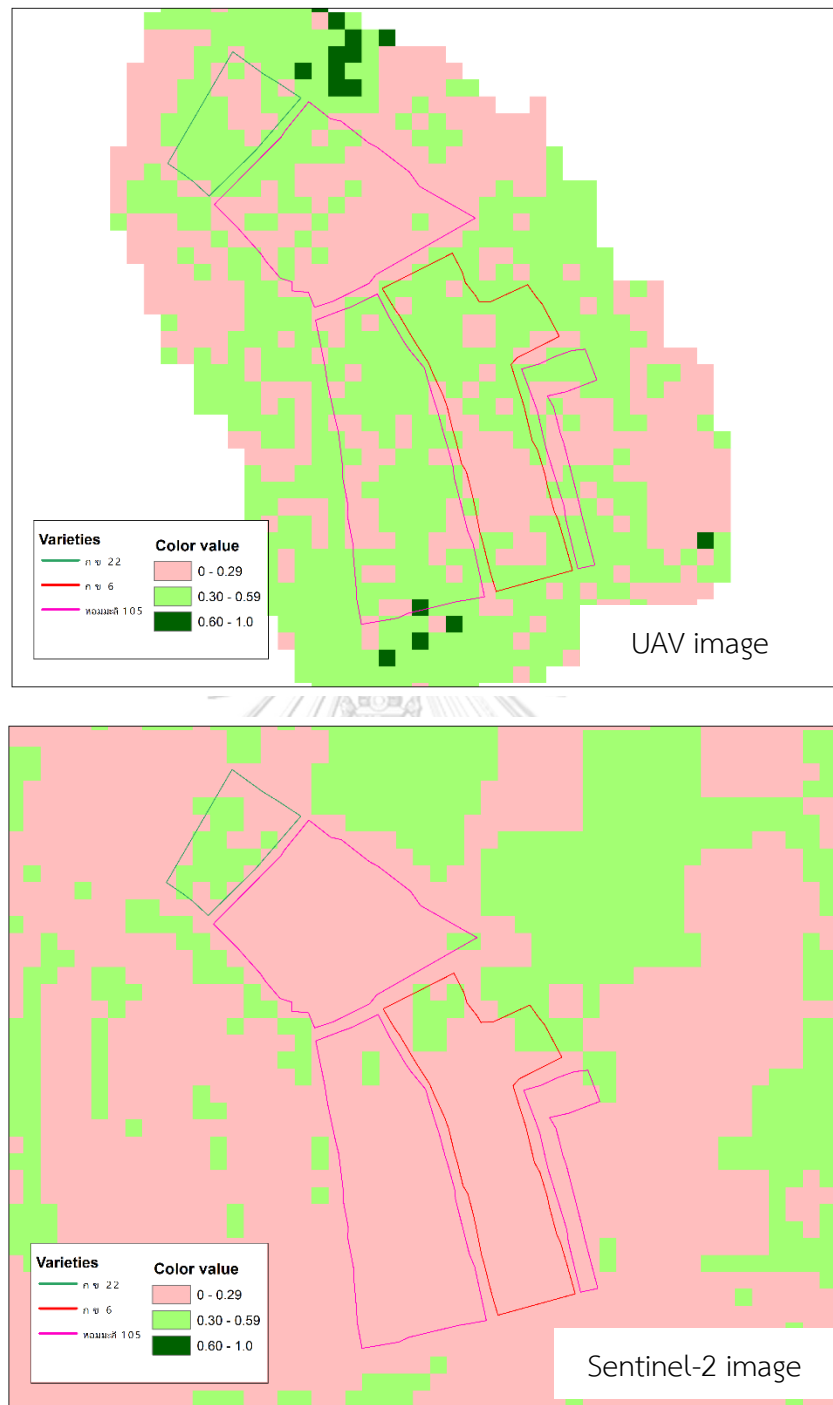


ภาพที่ 3.37 แสดงข้อมูลภาคสนามจาก UAV และ Sentinel-2 ที่ความละเอียดเท่ากัน

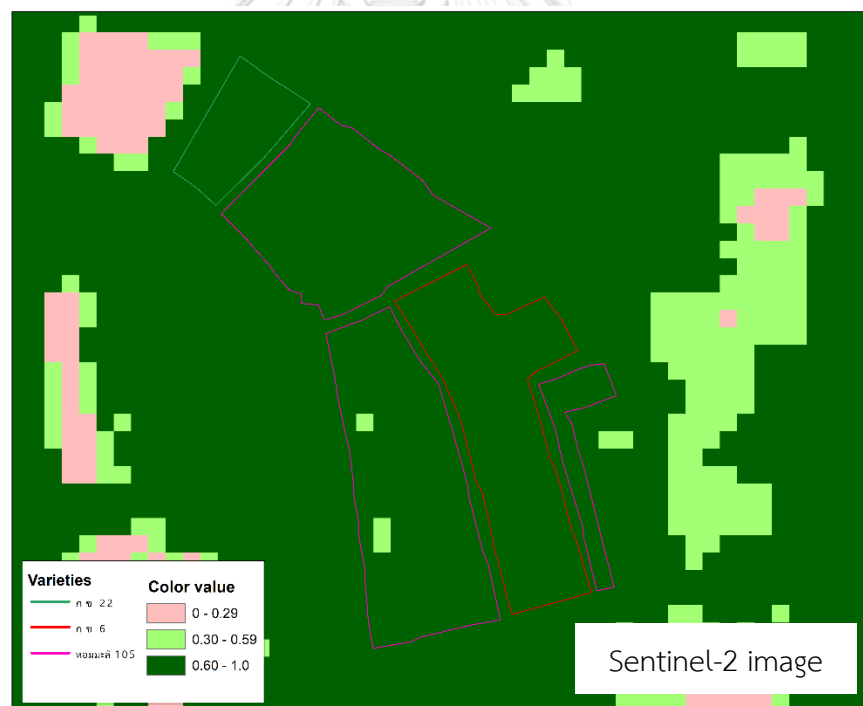
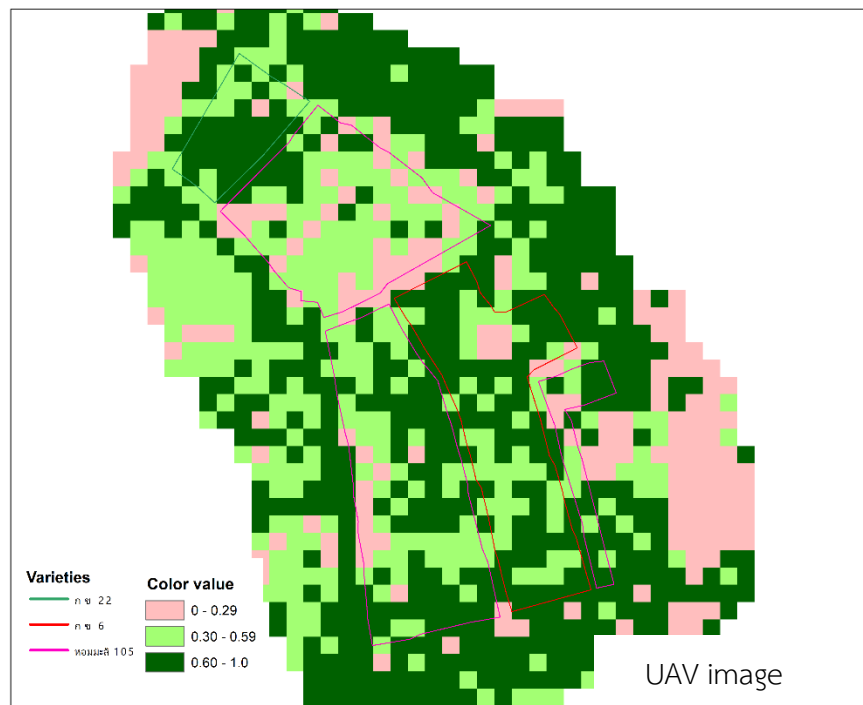


ภาพที่ 3.38 ดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์แมลไลซ์ จาก UAV และ Sentinel-2

จากภาพ 3.38 แสดงให้เห็นว่าการจำแนกพื้นผิวเชิงปริมาณของค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์แมลไลซ์อยู่ในช่วงความหนาแน่นต่างกัน โดยที่ภาพจากดาวเทียมประเมินดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์แมลไลซ์อยู่ในช่วง 0 ถึง 0.59 แต่ภาพจากอากาศยานไร้คนขับอยู่ในช่วง 0.30 ถึง 1



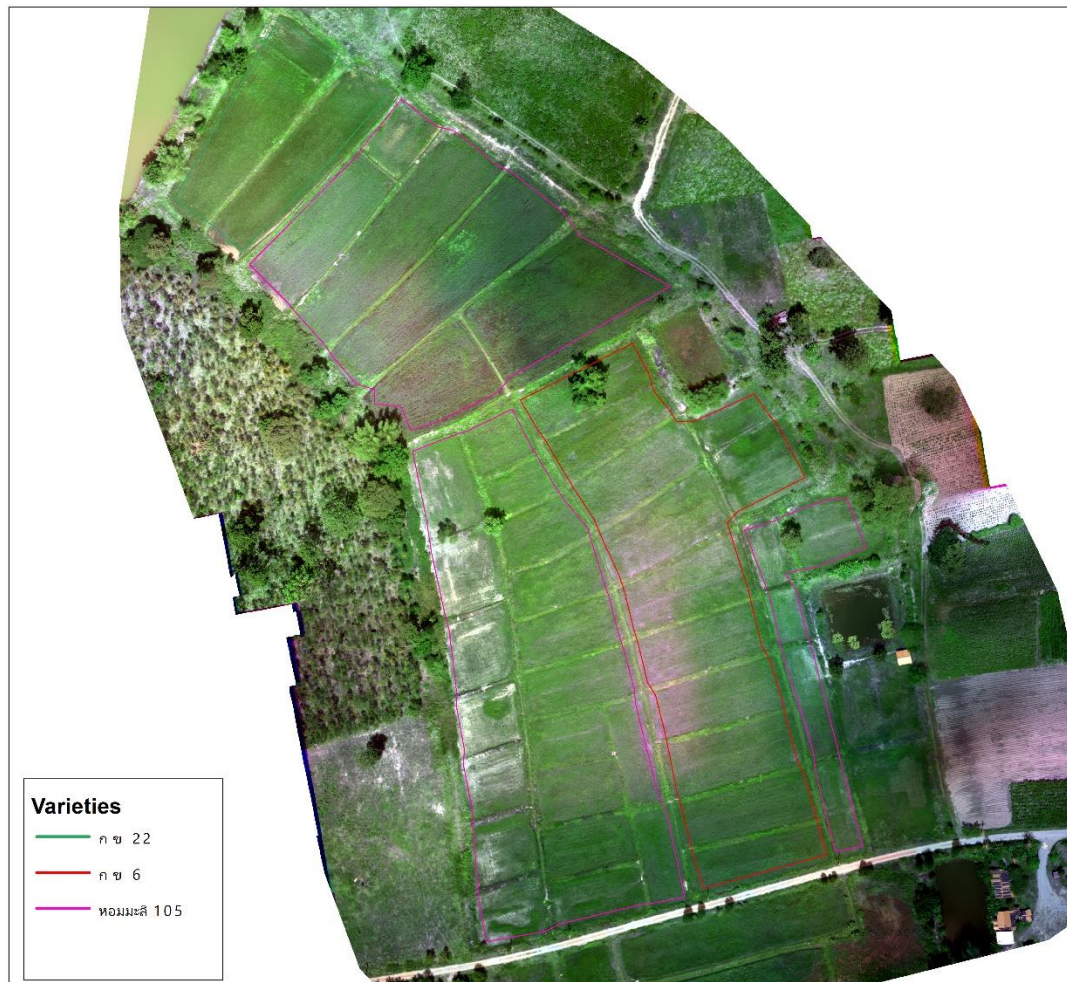
ภาพที่ 3.39 ดัชนีพืชพรรณตำแหน่ง Red edge จาก UAV และ Sentinel-2 จากภาพ 3.39 แสดงให้เห็นว่าการจำแนกพื้นผิวเชิงปริมาณของค่าดัชนีพืชพรรณตำแหน่ง Red edge อยู่ในช่วงความหนาแน่นต่างกัน โดยที่ภาพจากดาวเทียมประเมินดัชนีพืชพรรณตำแหน่ง Red edge อยู่ในช่วง 0 ถึง 0.29 แต่ภาพจากอากาศยานไร้คนขับอยู่ในช่วง 0 ถึง 0.59



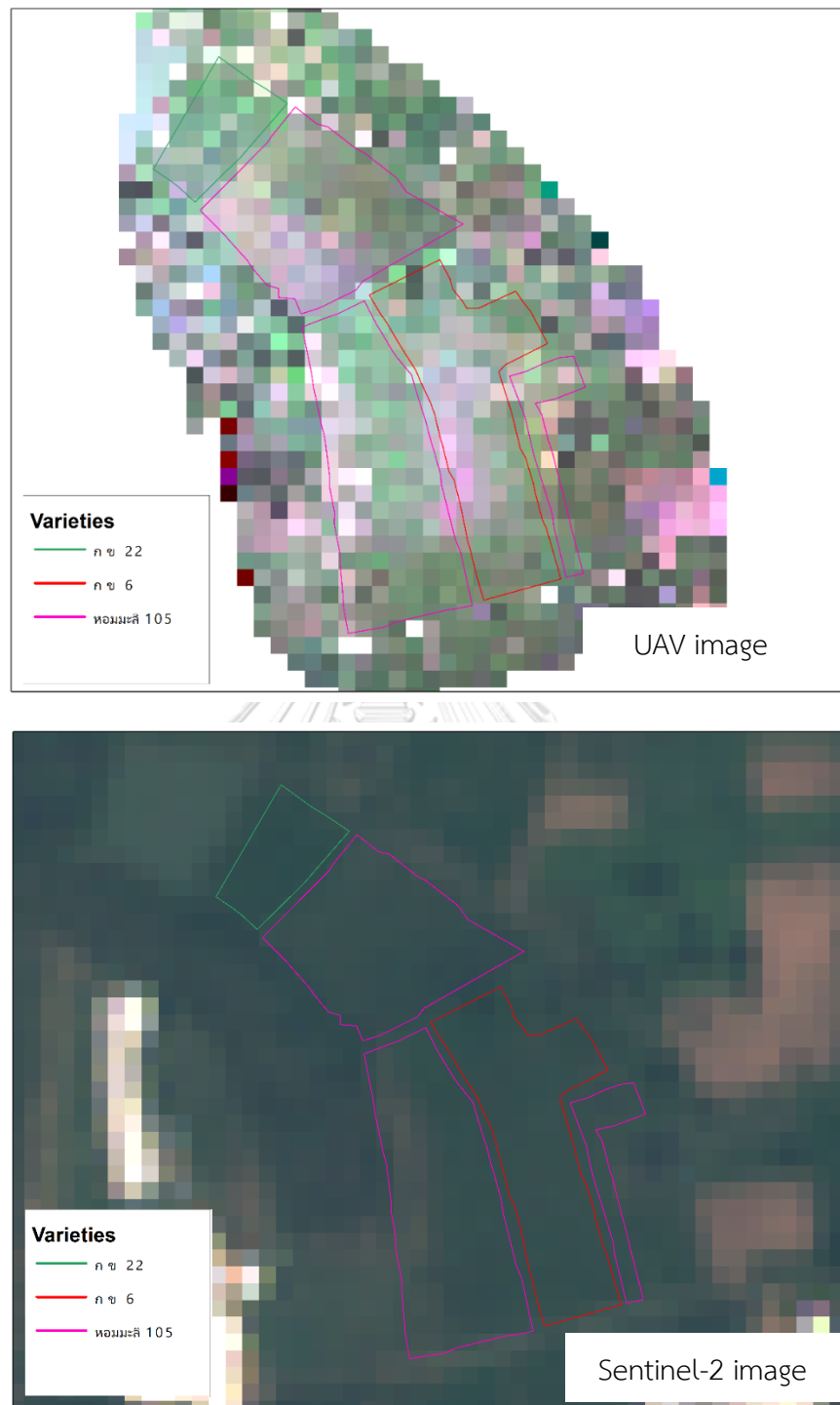
ภาพที่ 3.40 ดัชนีพืชพรรณปรับแก้ดินจาก UAV และ Sentinel-2

จากภาพ 3.40 แสดงให้เห็นว่าค่าดัชนีพืชพรรณปรับแก้ดินในช่วงความหนาแน่นต่างกัน โดยที่ภาพจากดาวเทียมประเมินดัชนีพืชพรรณปรับแก้ดิน 0.60 ถึง 1 แต่ภาพจากอากาศยานไร้คนขับ อยู่ในช่วง 0 ถึง 1

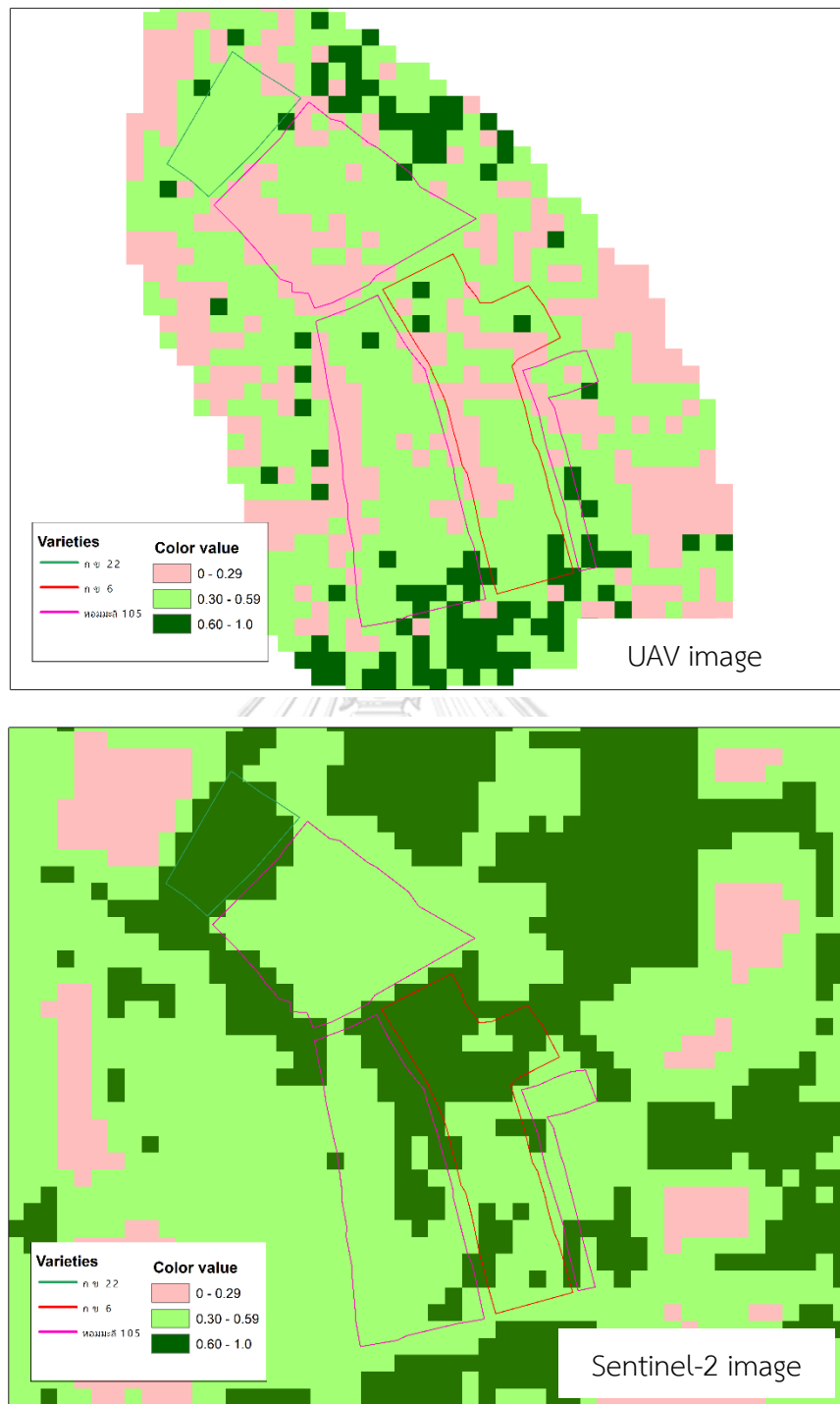
3.4.2.2 ระยะข้าวตั้งท้อง



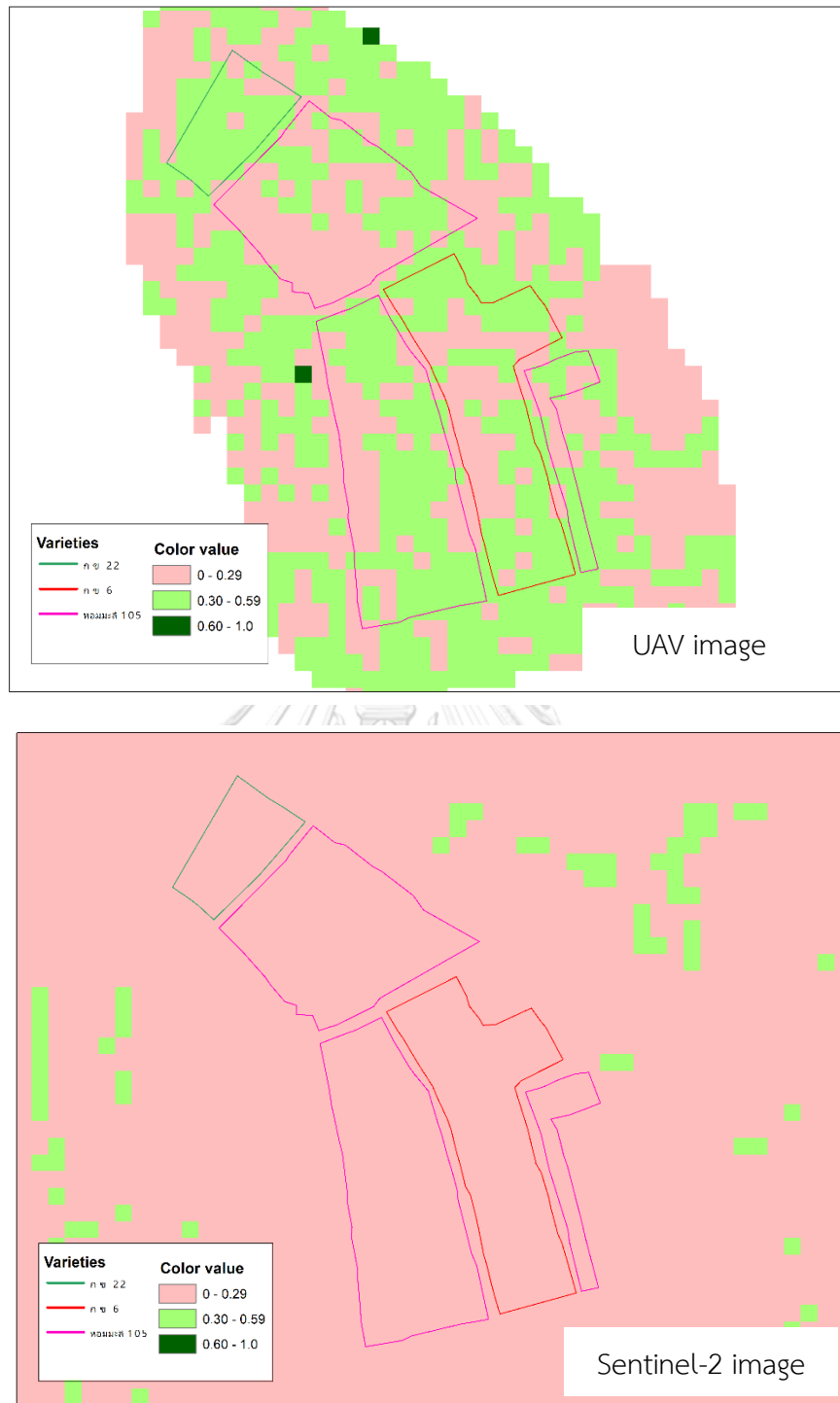
CHULALONGKORN UNIVERSITY
ภาพที่ 3.41 แสดงข้อมูลภาคสนามจาก UAV



ภาพที่ 3.42 แสดงข้อมูลภาคสนามจาก UAV และ Sentinel-2 ที่ความละเอียดเท่ากัน

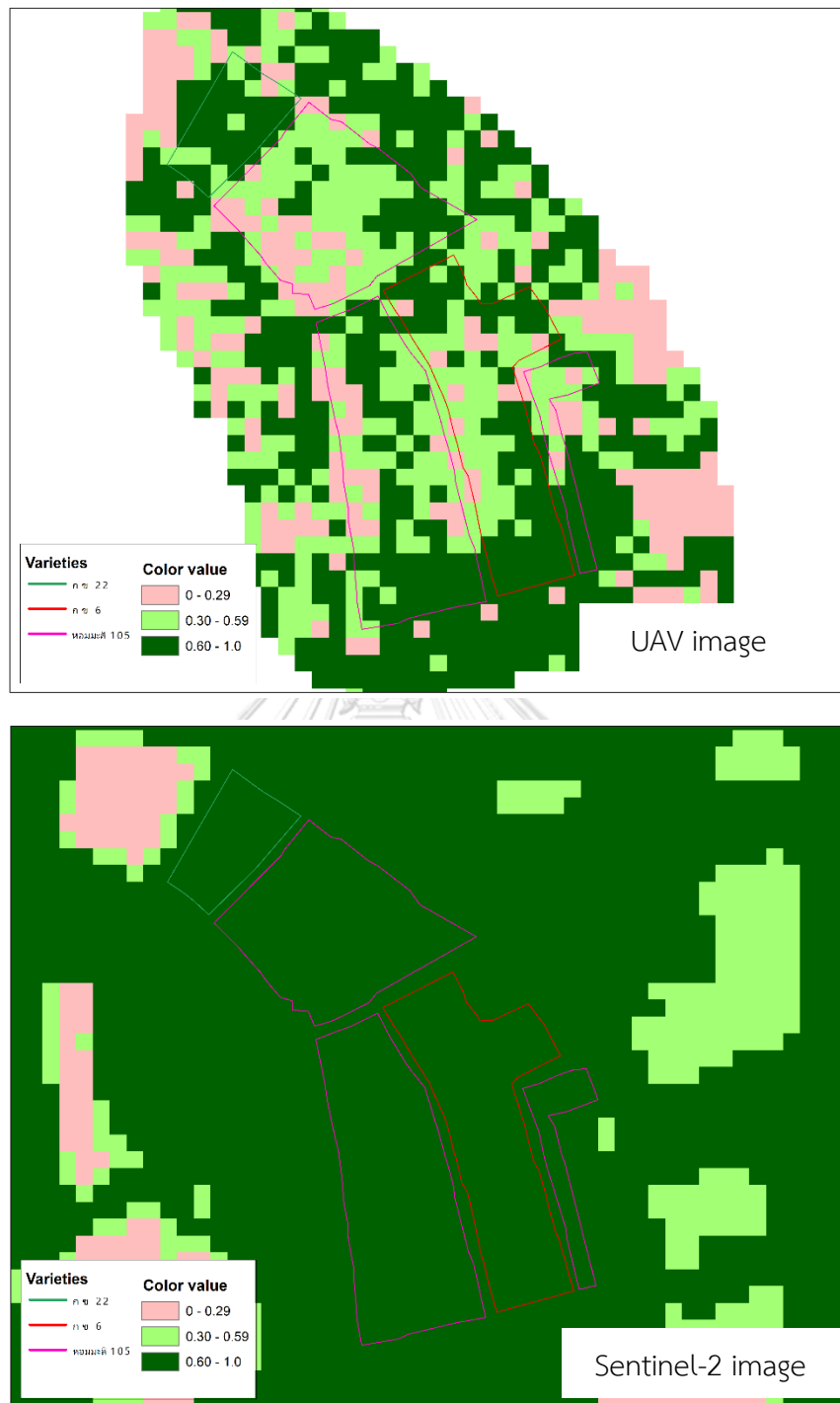


ภาพที่ 3.43 ดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์แมลไลซ์ จาก UAV และ Sentinel-2 จากภาพ 3.43 แสดงให้เห็นว่าการจำแนกพื้นผิวเชิงปริมาณของค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์แมลไลซ์ในช่วงความหนาแน่นต่างกัน โดยที่ภาพจากดาวเทียมประเมินดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์แมลไลซ์อยู่ในช่วง 0.30 ถึง 1 แต่ภาพจากอากาศยานไร้คนขับอยู่ในช่วง 0 ถึง 0.59



ภาพที่ 3.44 ดัชนีพืชพรรณตำแหน่ง Red edge จาก UAV และ Sentinel-2

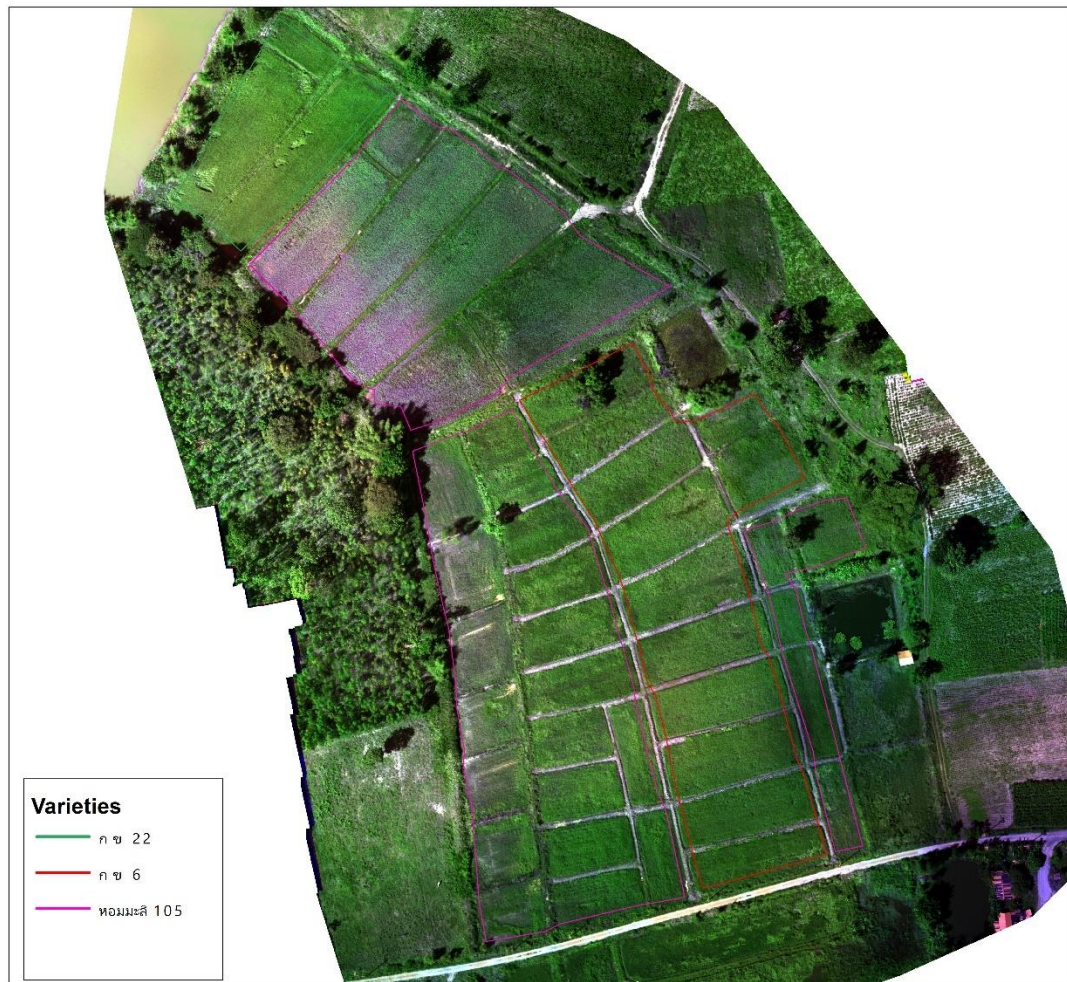
จากภาพ 3.44 แสดงให้เห็นว่าการจำแนกพื้นผิวนเขียวปริมาณของค่าดัชนีพืชพรรณตำแหน่ง Red edge อยู่ในช่วงความหนาแน่นต่างกัน โดยที่ภาพจากดาวเทียมประเมินดัชนีพืชพรรณตำแหน่ง Red edge อยู่ในช่วง 0 ถึง 0.29 แต่ภาพจากอากาศยานไร้คนขับอยู่ในช่วง 0 ถึง 0.59



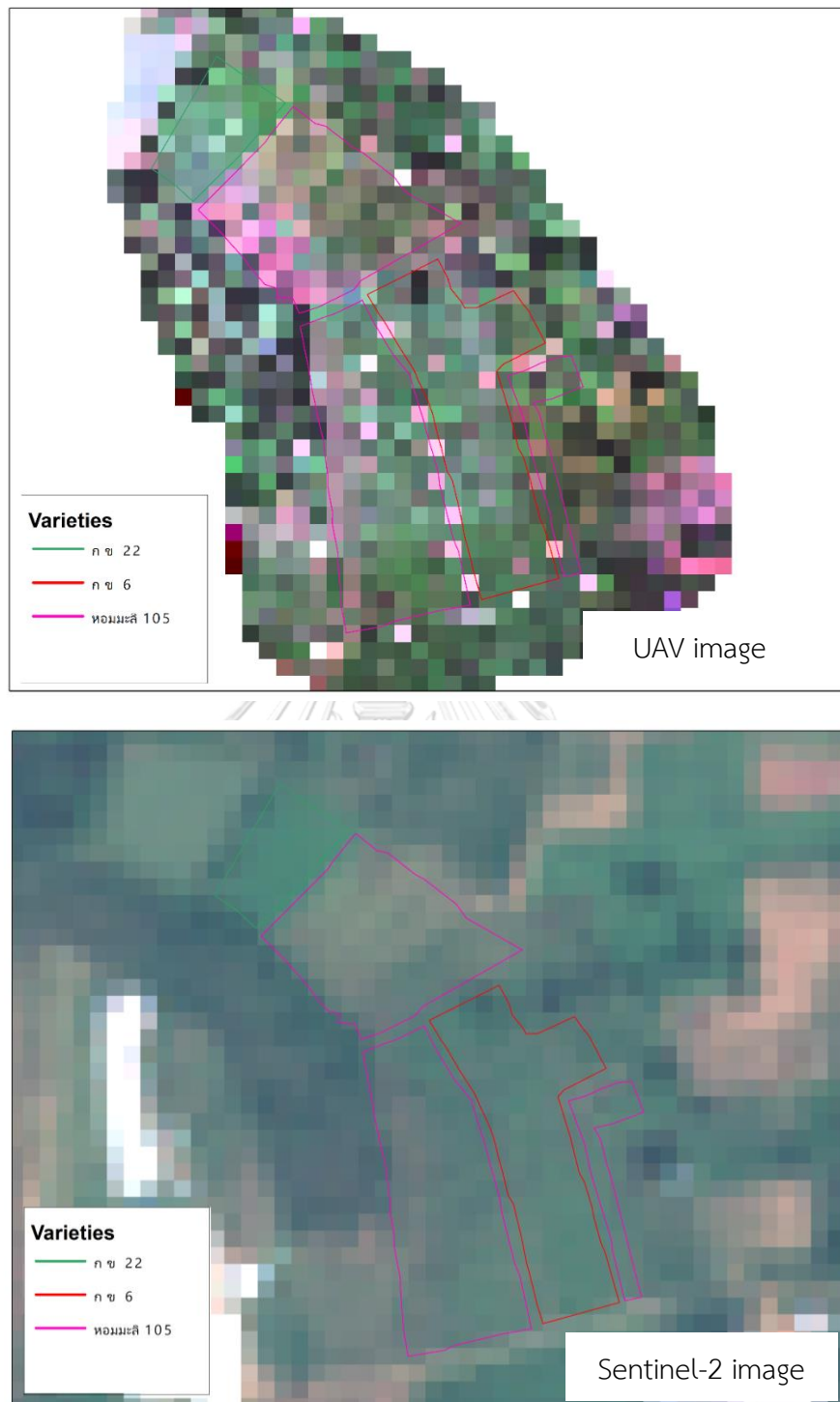
ภาพที่ 3.45 ดัชนีพืชพรรณปรับแก้ดินจาก UAV และ Sentinel-2

จากภาพ 3.45 แสดงให้เห็นว่าค่าดัชนีพืชพรรณปรับแก้ดินอยู่ในช่วงความหนาแน่นต่างกัน โดยที่ภาพจากดาวเทียมประเมินดัชนีพืชพรรณปรับแก้ดิน 0.60 ถึง 1 แต่ภาพจากอากาศยานไร้คนขับอยู่ในช่วง 0 ถึง 1

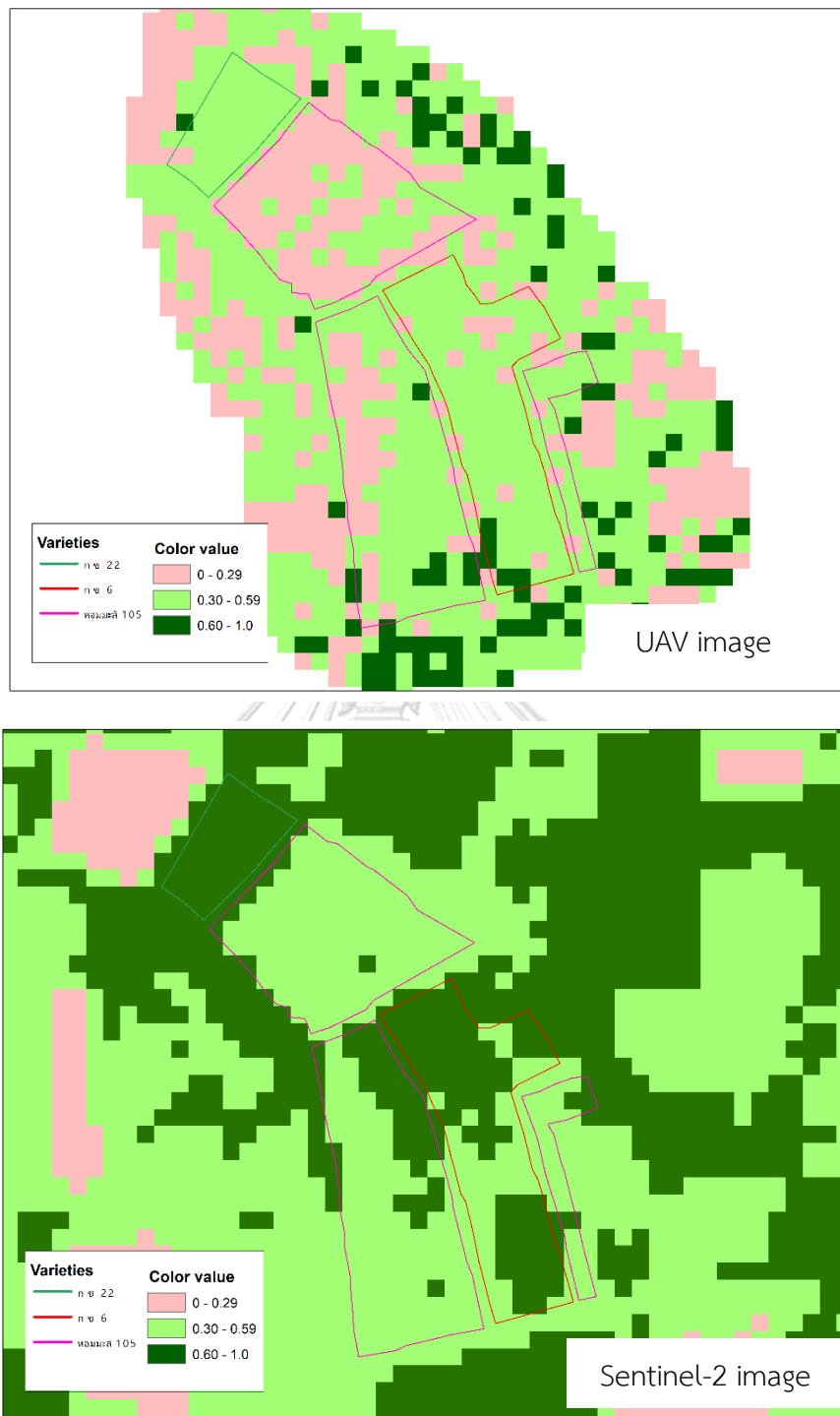
3.4.2.3 ระยะข้าวเป็นน้านมและสุก



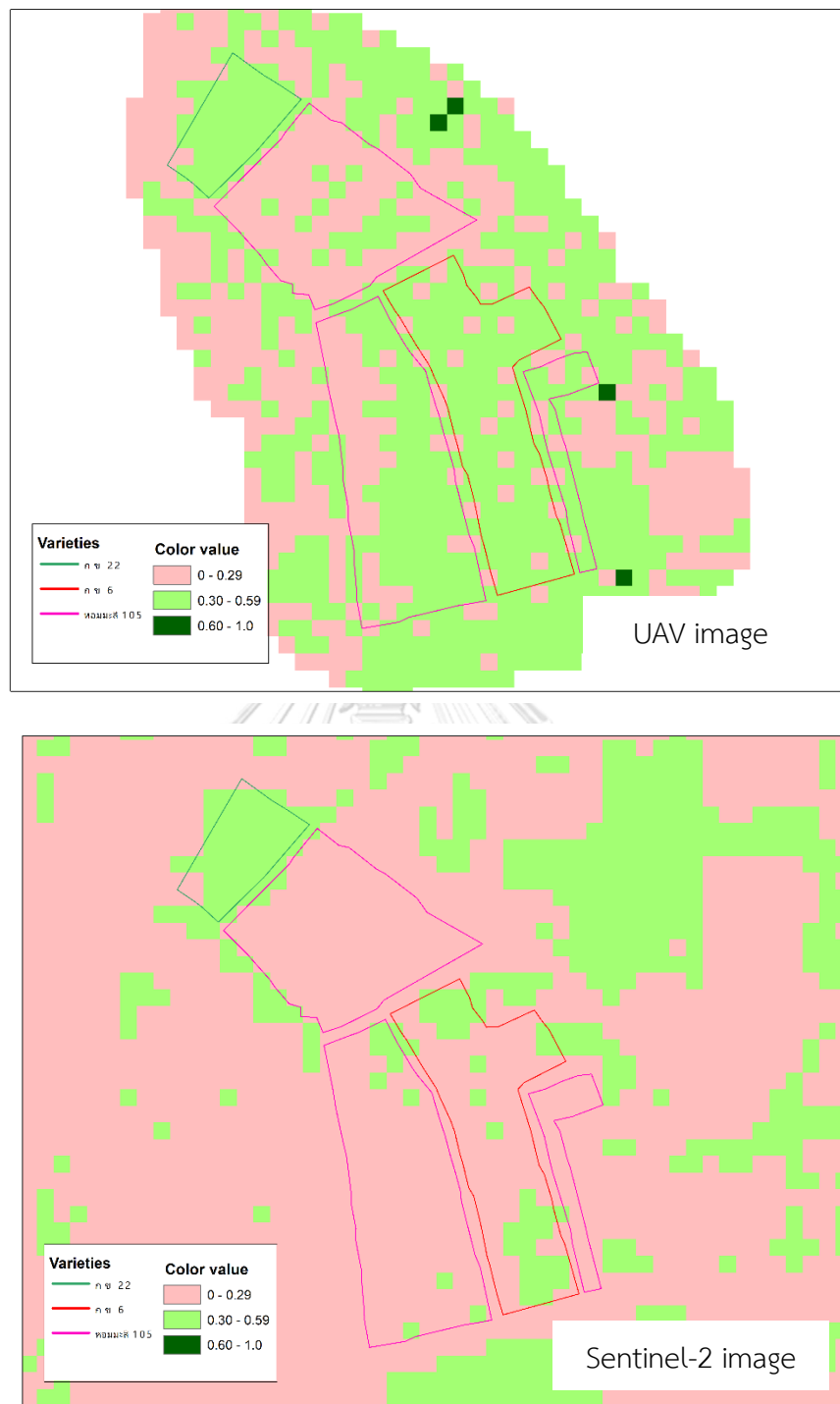
ภาพที่ 3.46 แสดงข้อมูลภาคสนามระยะข้าวเป็นน้านมและสุกจาก UAV



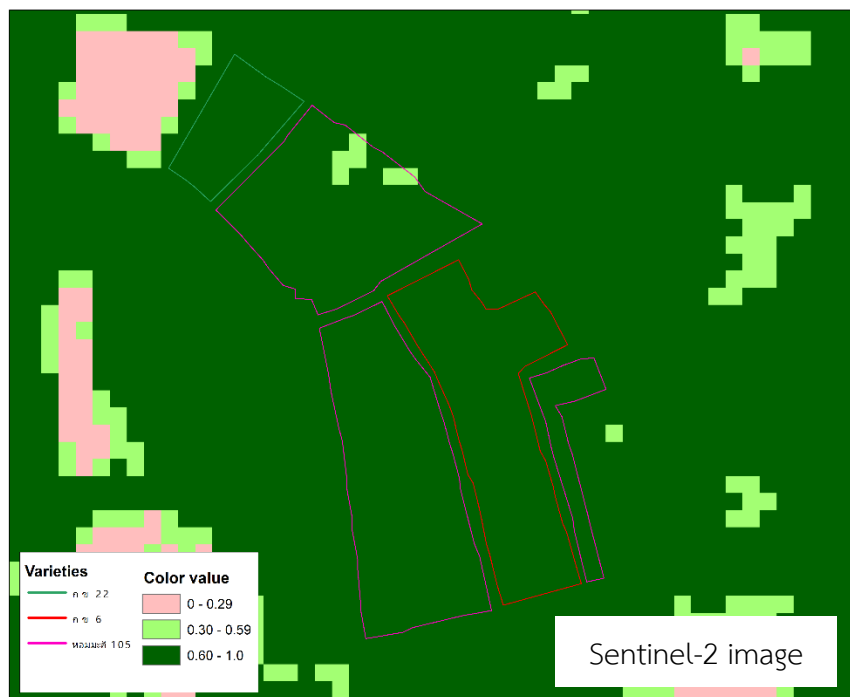
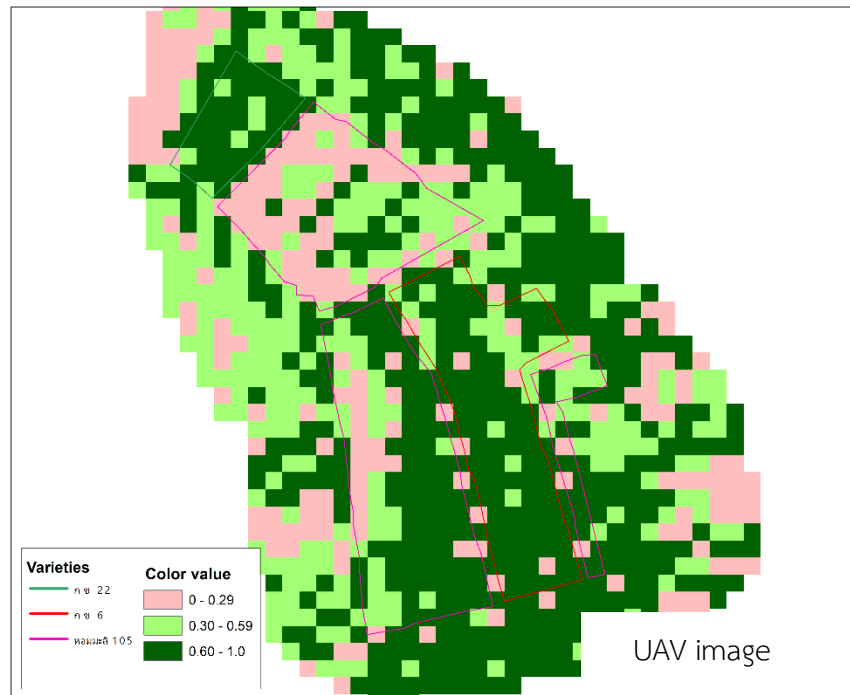
ภาพที่ 3.47 แสดงข้อมูลภาคสนามจาก UAV และ Sentinel-2 ที่ความละเอียดเท่ากัน



ภาพที่ 3.48 ต่างดัดชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์แมลไลซ์ จาก UAV และ Sentinel-2 จากภาพ 3.48 แสดงให้เห็นว่าการจำแนกพื้นผิวเชิงปริมาณของค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์แมลไลซ์อยู่ในช่วงความหนาแน่นต่างกัน โดยที่ภาพจากดาวเทียมประเมินดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์แมลไลซ์อยู่ในช่วง 0.30 ถึง 1 แต่ภาพจากอากาศยานไร้คนขับอยู่ในช่วง 0 ถึง 0.59



ภาพที่ 3.49 ดัชนีพืชพรรณตำแหน่ง Red edge จาก UAV และ Sentinel-2
 จากภาพ 3.49 แสดงให้เห็นว่าการจำแนกพื้นที่ผิวน้ำเชิงปริมาณของค่าดัชนีพืชพรรณตำแหน่ง Red edge อยู่ในช่วงความหนาแน่นต่างกัน โดยที่ภาพจากดาวเทียมประเมินดัชนีพืชพรรณตำแหน่ง Red edge อยู่ในช่วง 0 ถึง 0.59 แต่ภาพจากอากาศยานไร้คนขับอยู่ในช่วง 0 ถึง 0.59



ภาพที่ 3.50 ดัชนีพืชพรรณปรับแก้ดินจาก UAV และ Sentinel-2
 จากภาพ 3.50 แสดงให้เห็นว่าค่าดัชนีพืชพรรณปรับแก้ดินอยู่ในช่วงความหนาแน่นต่างกัน โดยที่ภาพจากดาวเทียมประเมินดัชนีพืชพรรณปรับแก้ดิน 0.60 ถึง 1 แต่ภาพจากอากาศยานไร้คนขับ อยู่ในช่วง 0 ถึง 1

บทที่ 4

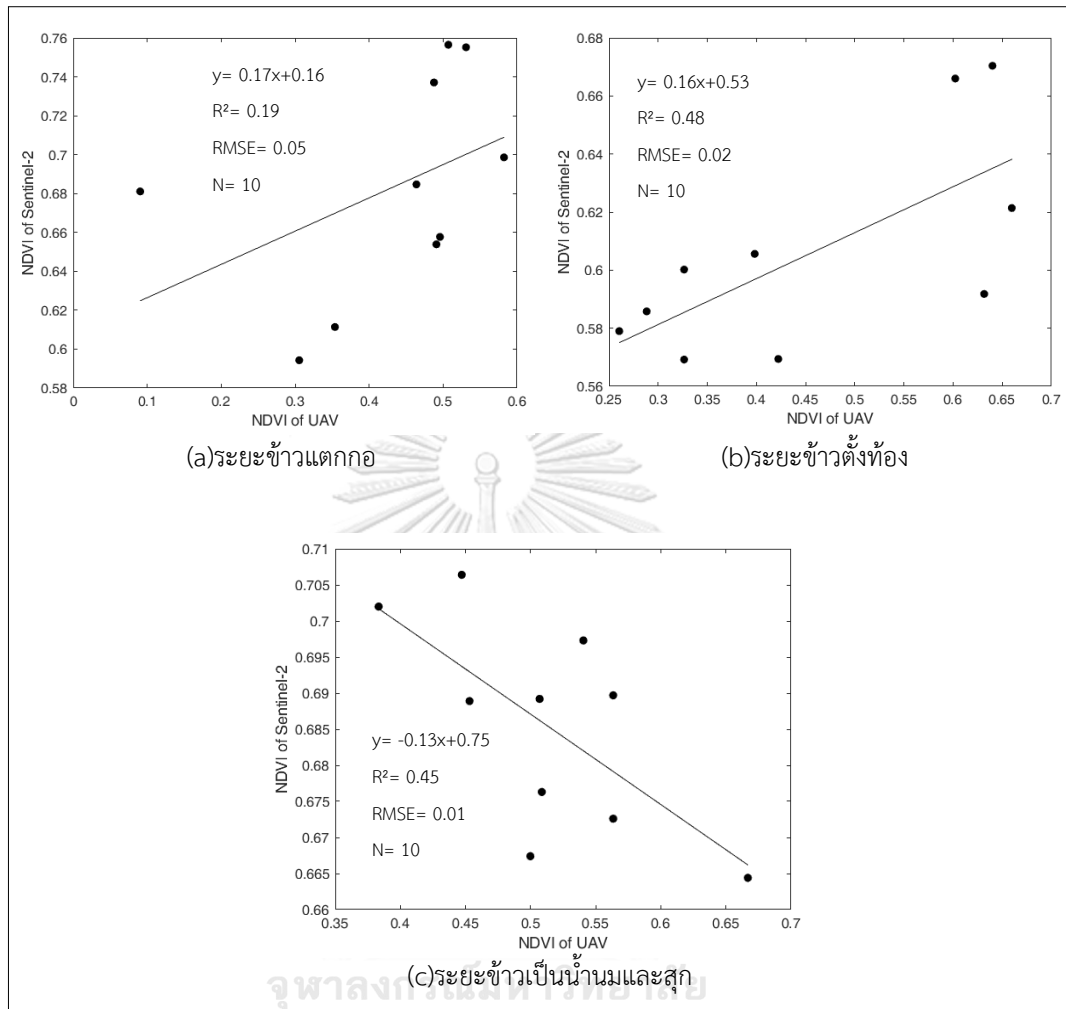
ผลการศึกษา

4.1 ความสัมพันธ์การวิเคราะห์การถดถอย และการทดสอบสถิติ t-test

ผลการเปรียบเทียบค่าดัชนีพืชพรรณข้าวเหนียว กข 6 ข้าวเหนียว กข 22 และ ข้าวหอมมะลิ 105 ใน (a)ระยะข้าวแตกกอ (b)ระยะข้าวตั้งท้อง และ (c)ระยะข้าวเป็นนํ้านมและสุก โดยใช้วิธีการวิเคราะห์การถดถอย และทดสอบค่าเฉลี่ยด้วยสถิติ t-test จากข้อมูลภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ และภาพถ่ายจากดาวเทียม Sentinel-2 จากเกณฑ์ในหัวข้อ 2.6.2.1 ผลการเปรียบเทียบแสดงให้เห็น 4 กลุ่มคือ กลุ่มที่1 ค่าดัชนีพืชพรรณมีความสัมพันธ์ $R^2 > 0.50$ และค่าเฉลี่ยดัชนีพืชพรรณเท่ากันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กลุ่มที่2 ค่าดัชนีพืชพรรณมีความสัมพันธ์ $R^2 > 0.50$ และค่าเฉลี่ยดัชนีพืชพรรณต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กลุ่มที่3 ค่าดัชนีพืชพรรณไม่มีความสัมพันธ์ $R^2 < 0.50$ และค่าเฉลี่ยดัชนีพืชพรรณเท่ากันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กลุ่มที่4 ค่าดัชนีพืชพรรณไม่มีความสัมพันธ์ $R^2 < 0.50$ และค่าเฉลี่ยดัชนีพืชพรรณต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

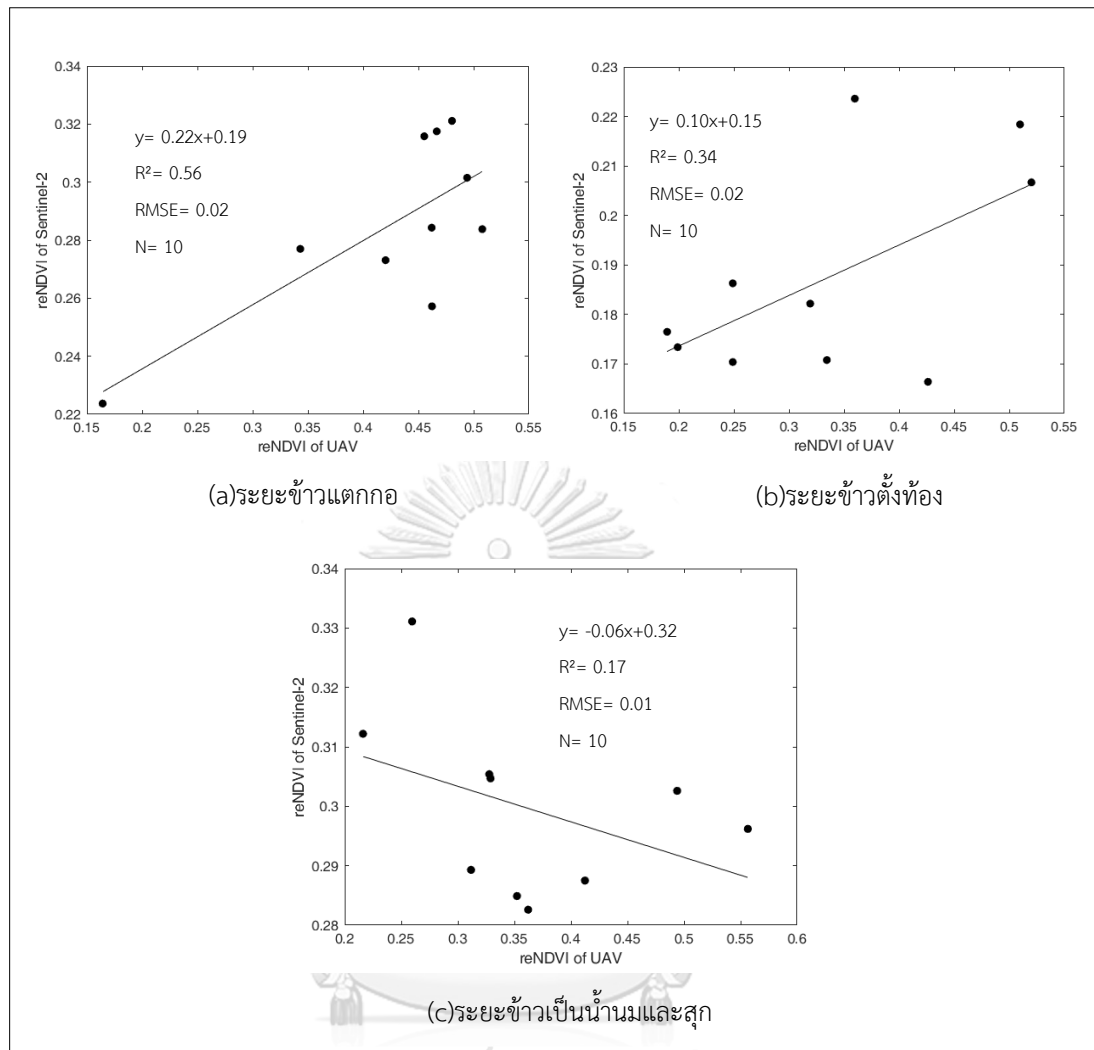
ผลการศึกษาจากการหาความสัมพันธ์ระหว่างภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ และจากดาวเทียม Sentinel-2 โดยการวิเคราะห์การถดถอยจะแสดงในรูปแบบกราฟ เพื่อให้เห็นการกระจายตัวของกลุ่มตัวอย่าง โดยจะแบ่งตามพันธุ์ข้าว ลักษณะการปลูก วันปลูกข้าว และสรุปผลความสัมพันธ์ใน - 4.3 ร่วมกับผลการเปรียบเทียบสถิติ t-test

4.1.1 ค่าความสัมพันธ์ ข้าวเหนียว กข 6



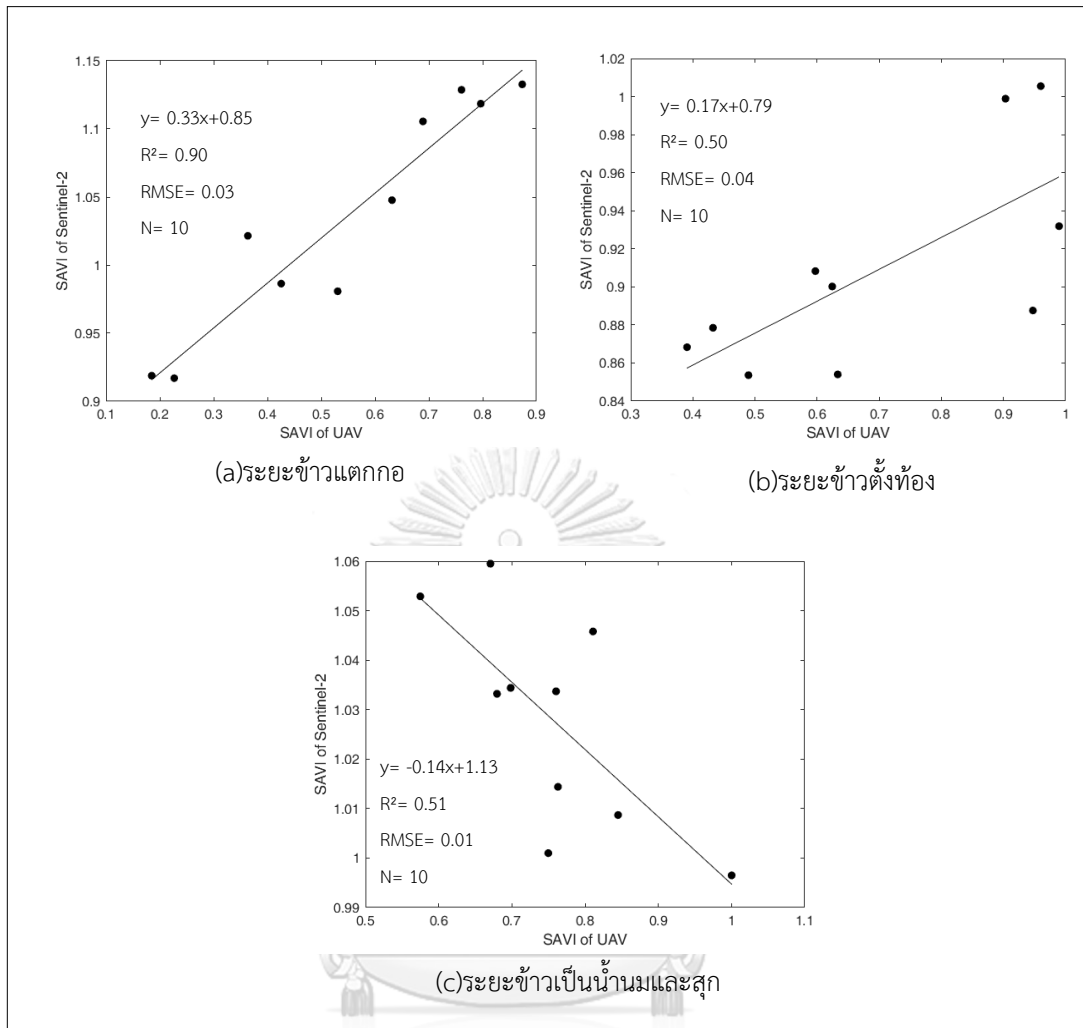
ภาพที่ 4.1 ความสัมพันธ์ค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์แมลไลซ์ ข้าวเหนียว กข 6 ปักดำด้วยรถ

จาก ภาพที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่าระยะข้าวตั้งท้อง และระยะข้าวเป็นน้านมและสุกมีความสัมพันธ์ที่ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.48 และ 0.45 ตามลำดับ แต่ระยะข้าวแตกกอไม่มีความสัมพันธ์ที่ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.19



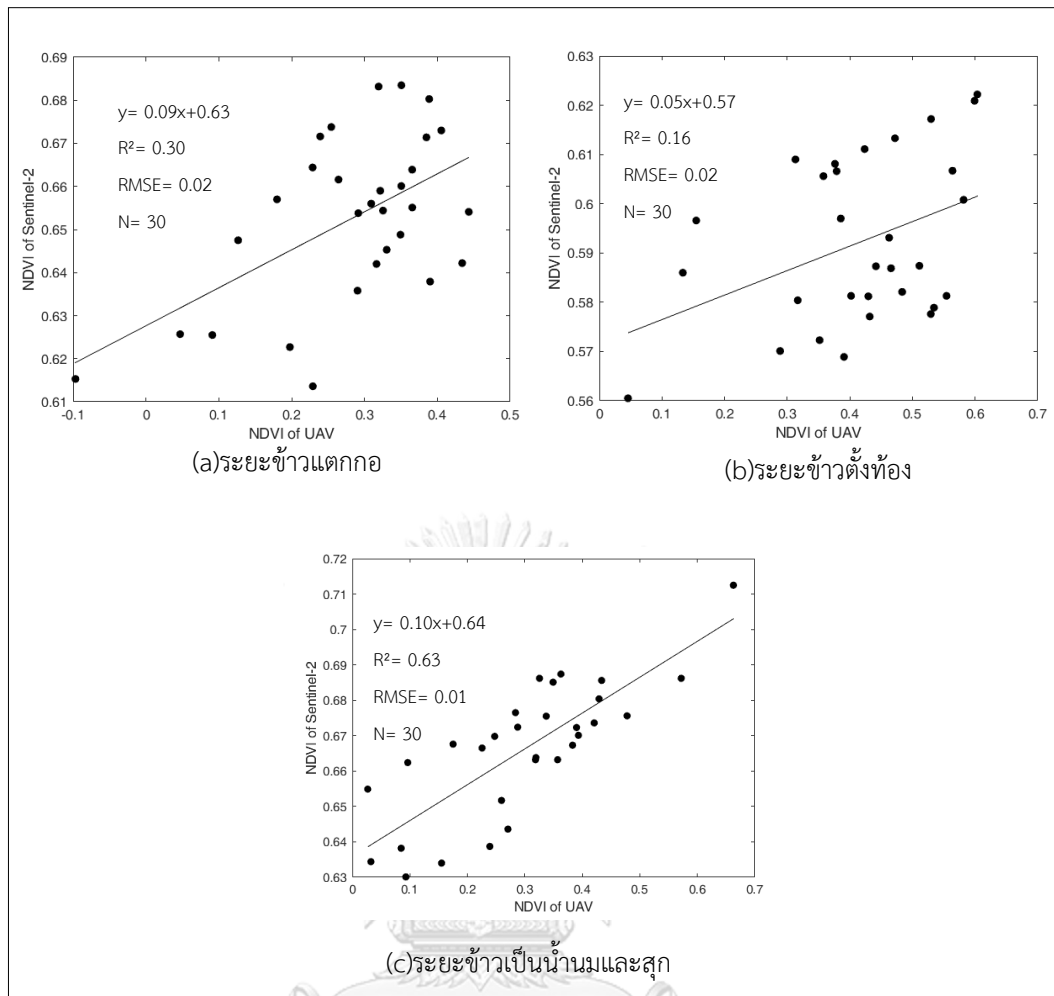
ภาพที่ 4.2 ความสัมพันธ์ค่าดัชนีพืชพรรณตำแหน่ง Red Edge ข้าวเหนียว กข 6 ปักดำด้วยรถ

จาก ภาพที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่า (a)ระยะข้าวแตกกอมีความสัมพันธ์ที่ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.56 แต่ (b)ระยะข้าวตั้งท้อง และ (c)ระยะข้าวเป็นน้านมและสุก ไม่มีความสัมพันธ์ที่ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.34 และ 0.17



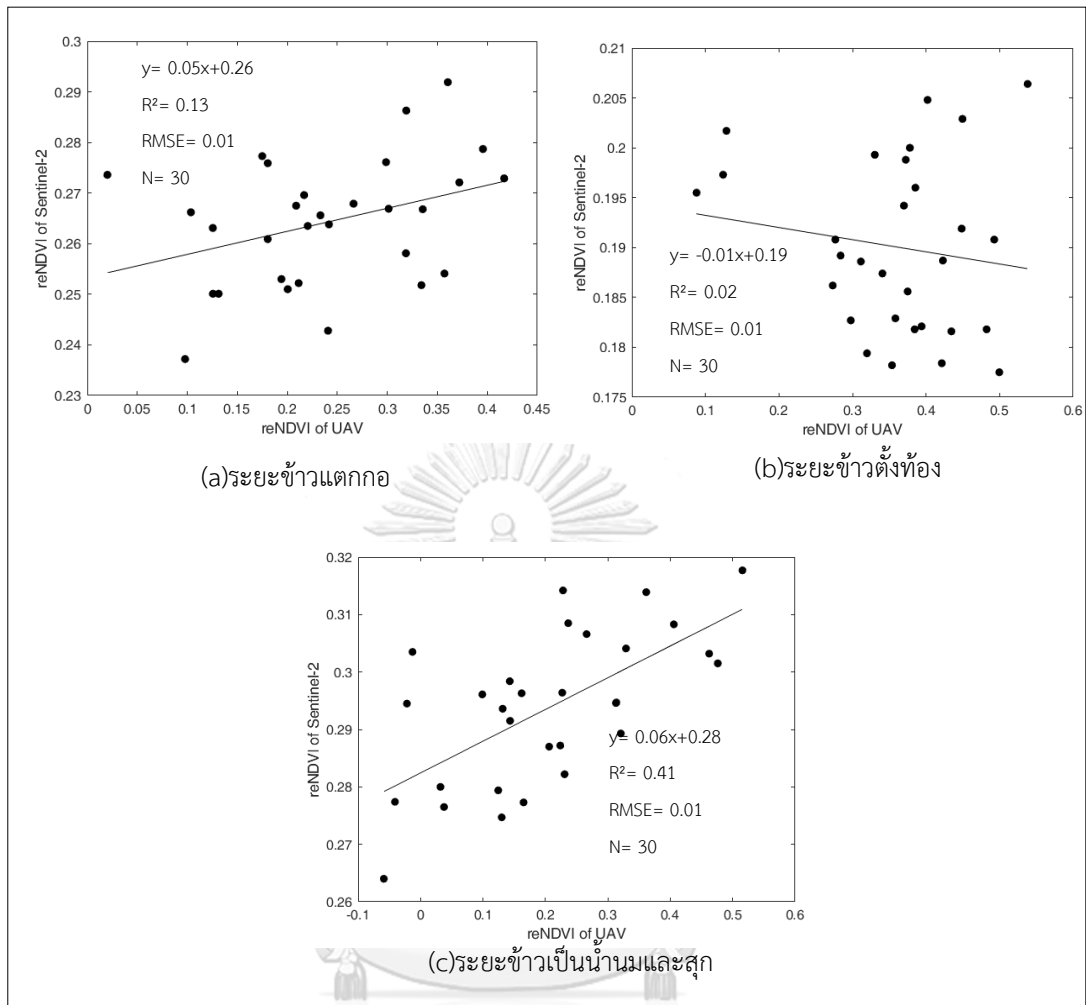
ภาพที่ 4.3 ความสัมพันธ์ค่าดัชนีพืชพรรณปรับแก้ดิน ข้าวเหนียว กข 6 ปักดำด้วยรถ

จาก ภาพที่ 4.3 แสดงให้เห็นค่าดัชนีพืชพรรณข้าวทั้ง 3 ระยะมีความสัมพันธ์ที่ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.90, 0.50 และ 0.51



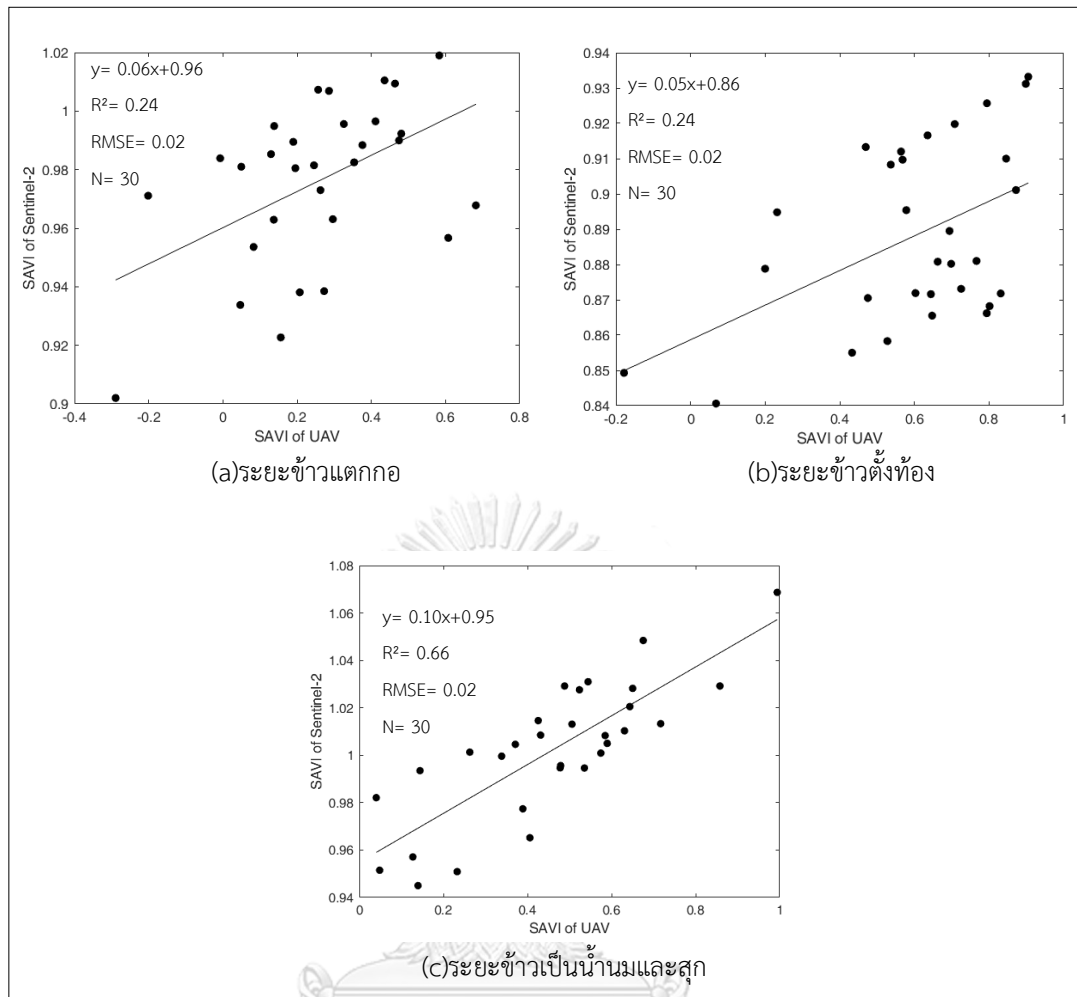
ภาพที่ 4.4 ความสัมพันธ์ค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์แมลไลซ์ ข้าวเหนียว กข 6 ปักดำด้วยคน

จาก ภาพที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่า (a)ระยะเวลาข้าวแตกกอ และ (b)ระยะเวลาข้าวตั้งท้องไม่มีความสัมพันธ์ที่ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.30 และ 0.16 ตามลำดับ แต่ (c)ระยะเวลาข้าวเป็นน้านมและสุก มีความสัมพันธ์ที่ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.63



ภาพที่ 4.5 ความสัมพันธ์ค่าดัชนีพืชพรรณตำแหน่ง Red Edge ข้าวเหนียว กข 6 ปักดำด้วยคน

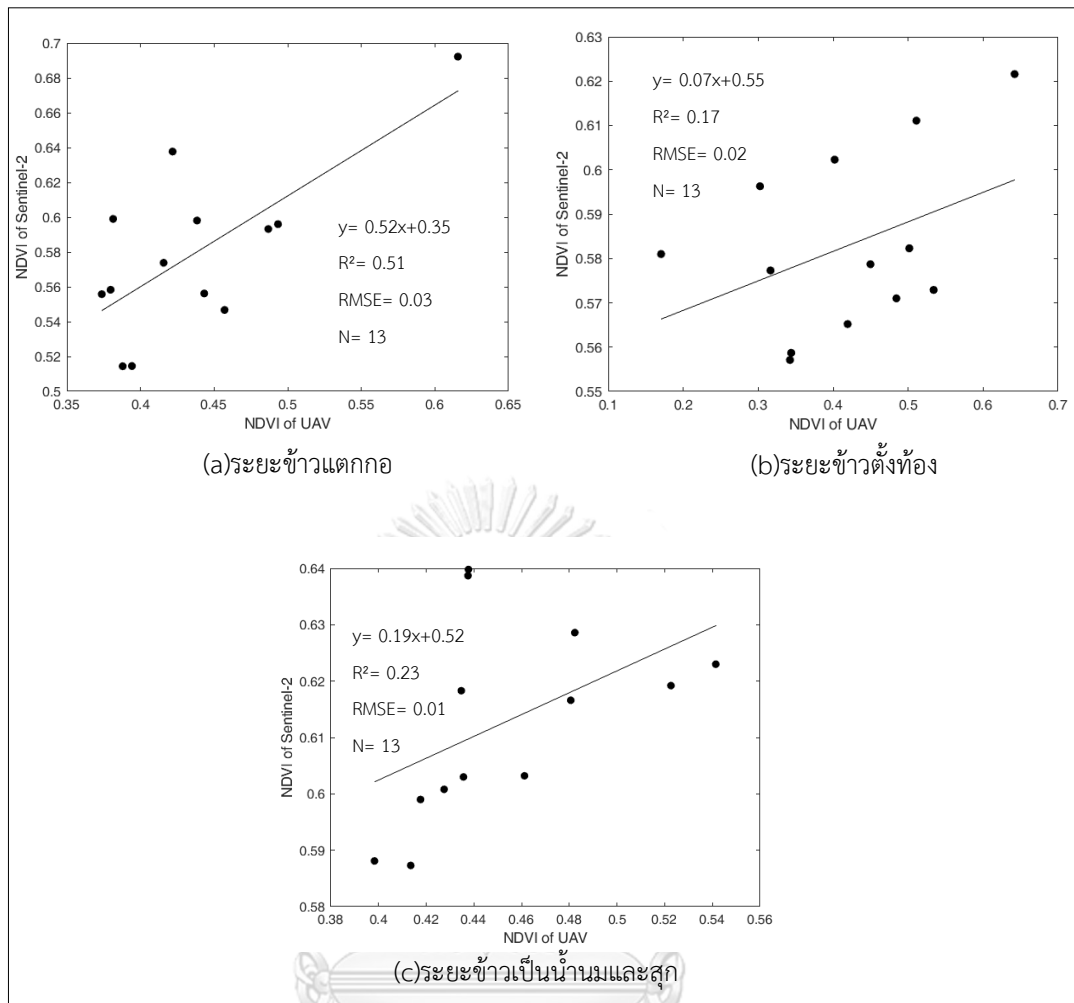
จาก ภาพที่ 4.5 แสดงให้เห็นว่า (a)ระยะข้าวแตกกอ และ (b)ระยะข้าวตั้งท้องไม่มีความสัมพันธ์ที่ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.13 และ 0.02 ตามลำดับ แต่ (c)ระยะข้าวเป็นน้านมและสุก มีความสัมพันธ์ที่ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.41



ภาพที่ 4.6 ความสัมพันธ์ค่าดัชนีพืชพรรณปรับแก้ดิน ข้าวเหนียว กข 6 ปักดำด้วยคน

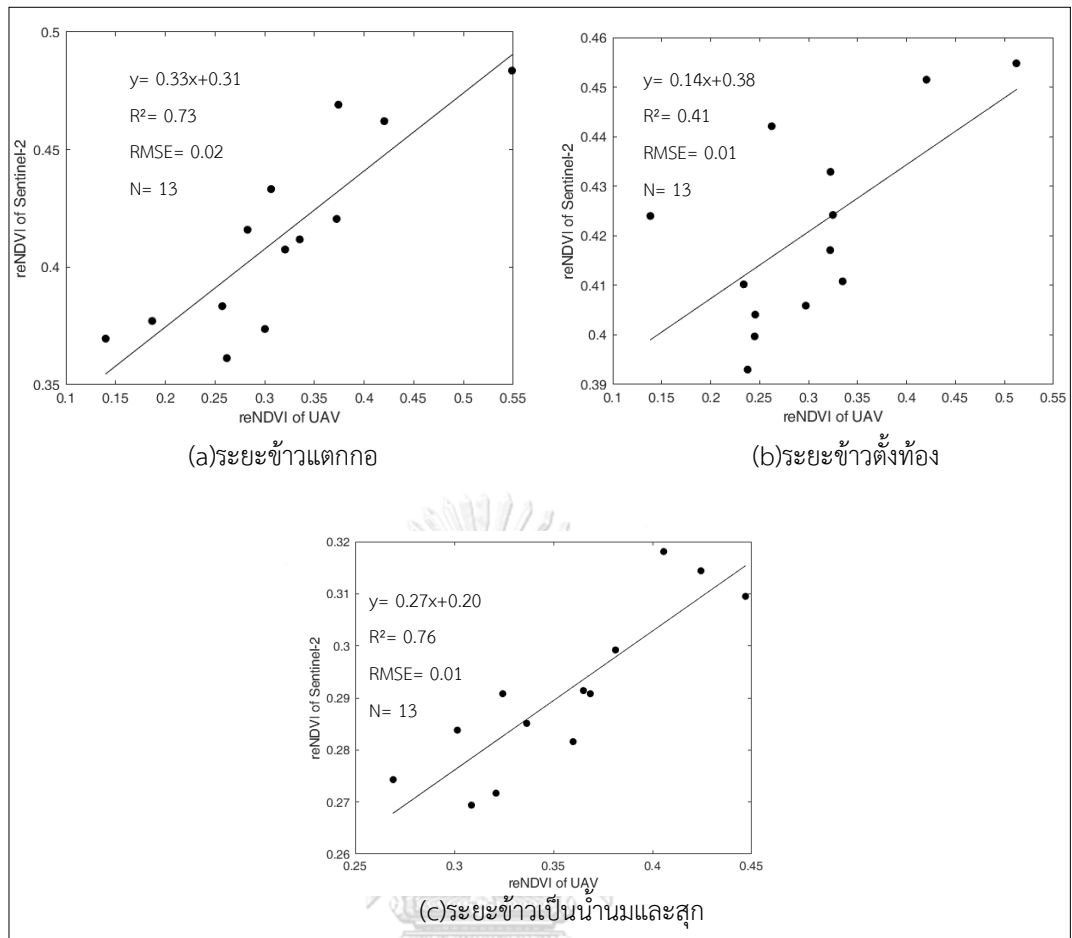
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จาก ภาพที่ 4.6 แสดงให้เห็นว่า (a)ระยะข้าวแตกกอ และ (b)ระยะข้าวตั้งท้องไม่มีความสัมพันธ์ที่ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.24 แต่ (c)ระยะข้าวเป็นน้านมและสุก มีความสัมพันธ์ที่ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.66



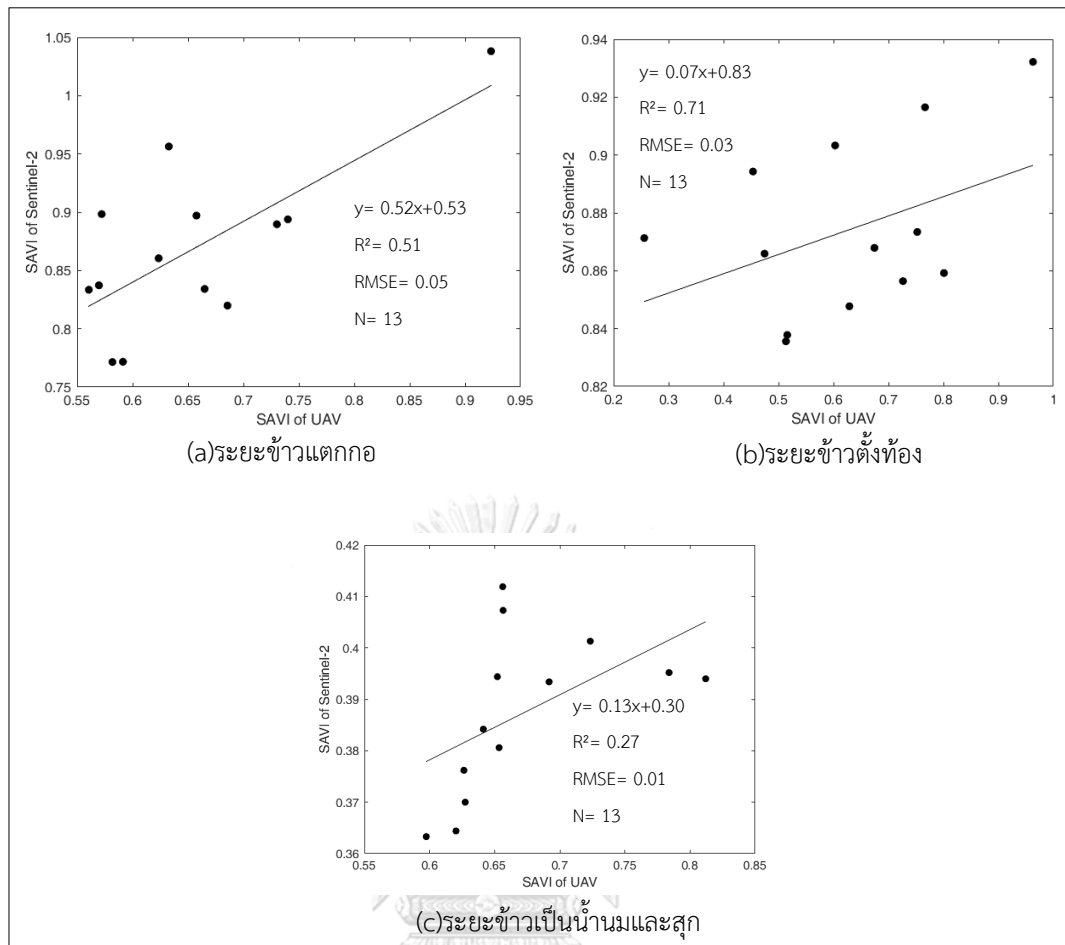
ภาพที่ 4.7 ความสัมพันธ์ค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์มัลไลซ์ ข้าวเหนียว กข 6 นาหว่าน

จาก ภาพที่ 4.7 แสดงให้เห็นว่า (a)ระยะข้าวแตกกอ มีความสัมพันธ์ที่ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.51 แต่ (b)ระยะข้าวตั้งท้อง และ (c)ระยะข้าวเป็นนํ้านมและสุก มีความสัมพันธ์ที่ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.17 และ 0.23 ตามลำดับ



ภาพที่ 4.8 ความสัมพันธ์ค่าดัชนีพืชพรรณตำแหน่ง Red Edge ข้าวเหนียว กข 6 นาหว่าน

จาก ภาพที่ 4.8 แสดงให้เห็นว่าทั้ง 3 ระยะมีความสัมพันธ์ที่ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ เท่ากับ 0.73, 0.41 และ 0.76 ตามลำดับ



ภาพที่ 4.9 ความสัมพันธ์ค่าดัชนีพืชพรรณปรับแก้ดิน ข้าวเหนียว กข 6 นาหว่าน

จาก ภาพที่ 4.9 แสดงให้เห็นว่า (a)ระยะข้าวแตกกอ และ (b)ระยะข้าวตั้งท้อง มีความสัมพันธ์ที่ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.51 และ 0.71 ตามลำดับ แต่ (c)ระยะข้าวเป็นนํ้านมและสุก ไม่มีความสัมพันธ์ที่ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.27

ตามการสรุปความสัมพันธ์ค่าดัชนีพืชพรรณของข้าวเหนียว กข6 และการทดลองด้วยสถิติ t-test แสดงใน ประกอบด้วยค่า t stat จากการคำนวณตามสมการ (2.9) เปรียบเทียบกับตารางแจกแจงค่า T distribution ที่ระดับนัยสำคัญสำหรับการทดสอบสองทาง ที่ช่วงความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 4.1 แสดงการสรุปผลความสัมพันธ์และการทดสอบสถิติ t-test ของข้าวเหนียว กข 6

แปลงนา	ดัชนีพืชพรรณ	R ²			จำนวนตัวอย่าง	t-test ระดับนัยสำคัญสำหรับการทดสอบสองทาง	t stat			ค่าเฉลี่ยดัชนีพืชพรรณ ข้าวเหนียว กข 6							
		ข้าวแตกกอ	ข้าวตั้งท้อง	ข้าวเป็นน้านและสุก			ข้าวแตกกอ	ข้าวตั้งท้อง	ข้าวเป็นน้านและสุก	ข้าวแตกกอ	ข้าวตั้งท้อง	ข้าวเป็นน้านและสุก					
ปักดำด้วยรถ	NDVI	0.19	0.48	0.45	10	2.26	ข้าวแตกกอ	-6.13	-3.45	-6.17	UAV	0.43	0.68	0.46	0.61	0.51	0.69
	reNDVI	0.56	0.34	0.17			ข้าวตั้งท้อง	5.37	4.31	1.18	UAV	0.43	0.29	0.34	0.19	0.36	0.30
	SAVI	0.90	0.51	0.51			ข้าวเป็นน้านและสุก	-9.41	-3.4	-6.54	Sentinel-2	0.55	1.04	0.70	0.91	0.76	1.03
ปักดำด้วยคน	NDVI	0.30	0.16	0.63	30	2.18	ข้าวแตกกอ	-18.23	-7.93	-14.84	UAV	0.28	0.65	0.42	0.59	0.30	0.67
	reNDVI	0.13	0.02	0.41			ข้าวตั้งท้อง	0.17	8.84	-3.34	UAV	0.24	0.26	0.36	0.19	0.20	0.29
	SAVI	0.24	0.24	0.66			ข้าวเป็นน้านและสุก	-19.04	-6.58	-14.47	Sentinel-2	0.25	0.98	0.60	0.89	0.46	1.00
นาหว่าน	NDVI	0.51	0.17	0.23	13	2.05	ข้าวแตกกอ	-10.98	-5.15	-15.27	UAV	0.44	0.58	0.42	0.58	0.45	0.61
	reNDVI	0.73	0.41	0.76			ข้าวตั้งท้อง	-4.87	-5.33	6.01	UAV	0.32	0.41	0.30	0.42	0.35	0.29
	SAVI	0.51	0.71	0.27			ข้าวเป็นน้านและสุก	-10.98	-5.15	17.8	Sentinel-2	0.66	0.87	0.63	0.87	0.67	0.39

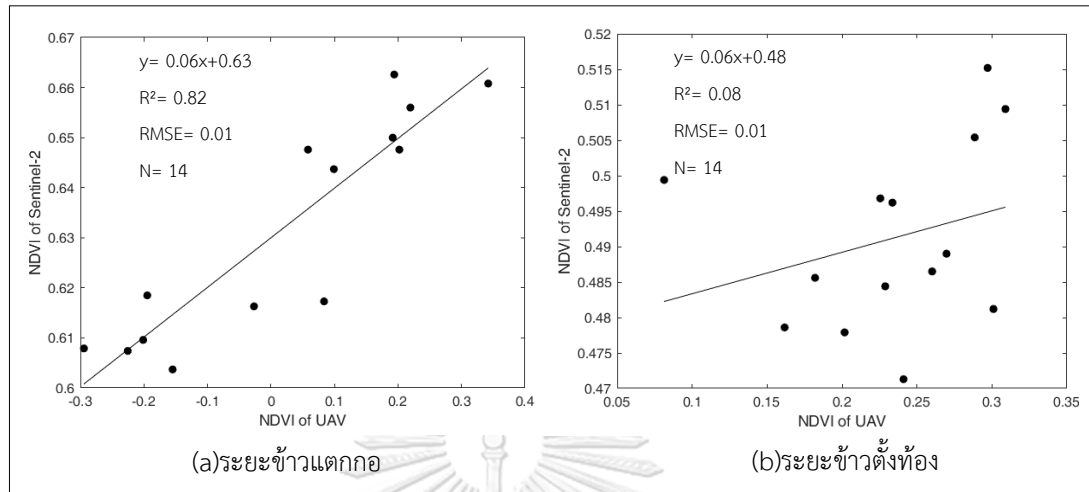
กลุ่มที่1 ค่าดัชนีพืชพรรณมีความสัมพันธ์ R² > 0.50 และค่าเฉลี่ยดัชนีพืชพรรณไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

กลุ่มที่2 ค่าดัชนีพืชพรรณมีความสัมพันธ์ R² > 0.50 และค่าเฉลี่ยดัชนีพืชพรรณต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

กลุ่มที่3 ค่าดัชนีพืชพรรณไม่มีความสัมพันธ์ R² < 0.50 และค่าเฉลี่ยดัชนีพืชพรรณไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

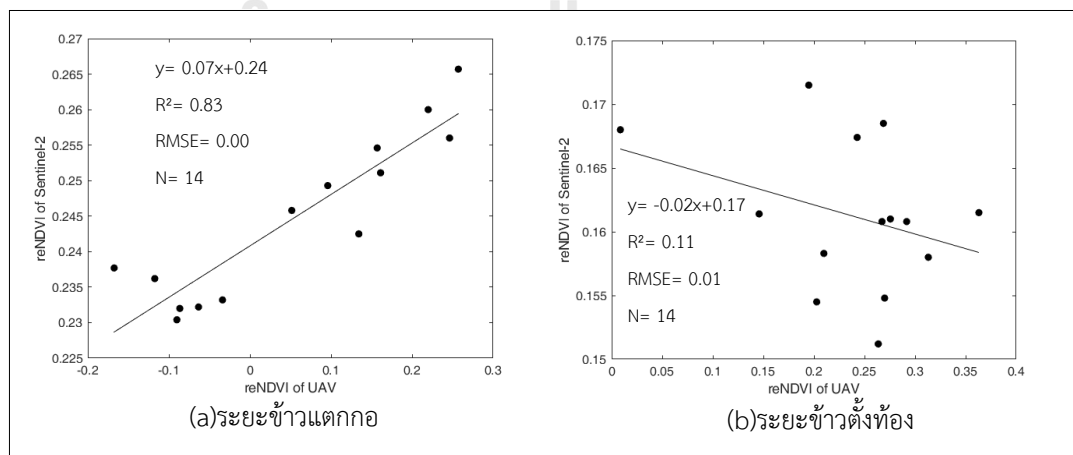
กลุ่มที่4 ค่าดัชนีพืชพรรณไม่มีความสัมพันธ์ R² < 0.50 และค่าเฉลี่ยดัชนีพืชพรรณต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

4.1.2 ค่าความสัมพันธ์ ข้าวเหนียว กข 22



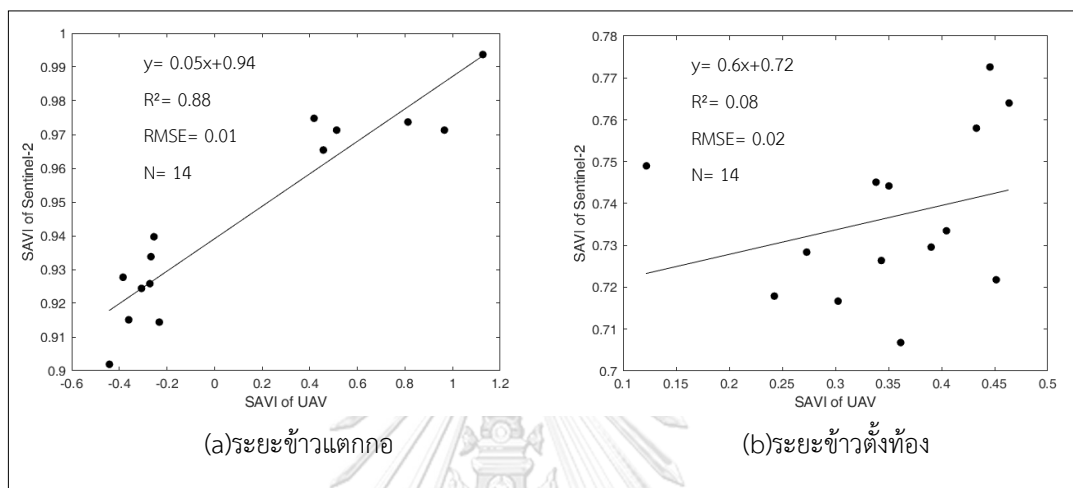
ภาพที่ 4.10 ความสัมพันธ์ค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์มัลไลซ์ ข้าวเหนียว กข 22
ปักดำด้วยรถ วันที่ปลูก 20 พ.ค. 2561 พื้นที่ศึกษา1

จาก ภาพที่ 4.10 แสดงให้เห็นว่า (a)ระยะข้าวแตกกอมีความสัมพันธ์ที่ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.82 แต่ (b)ระยะข้าวตั้งท้องไม่มีความสัมพันธ์ที่ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.08 ซึ่งข้าวแปลงนี้ไม่มี (c)ระยะข้าวเป็นนํ้านมและสุก เนื่องจากเกษตรกรเก็บผลผลิตก่อนที่จะบันทึกภาพจึงไม่มีข้อมูล



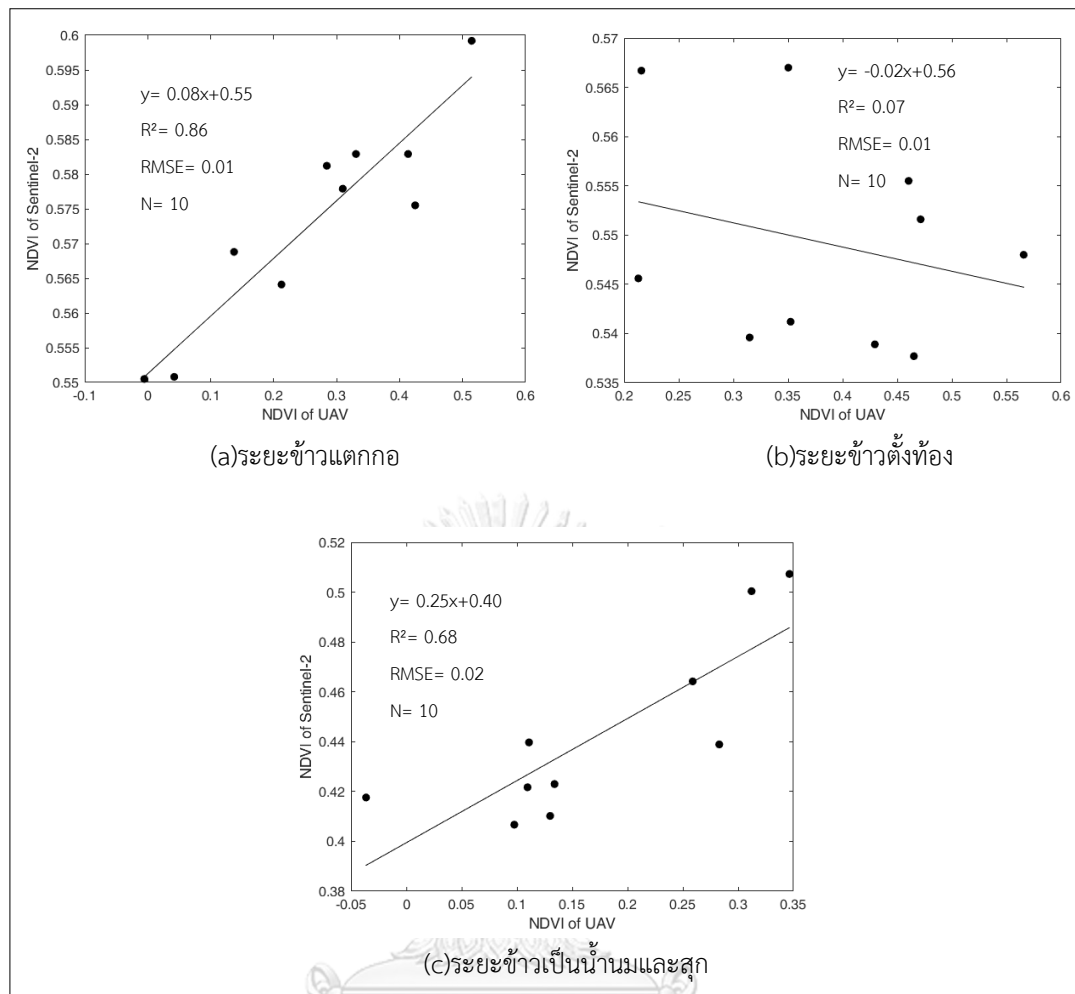
ภาพที่ 4.11 ความสัมพันธ์ค่าดัชนีพืชพรรณตำแหน่ง Red Edge ข้าวเหนียว กข 22
ปักดำด้วยรถ วันที่ปลูก 20 พ.ค. 2561 พื้นที่ศึกษา1

จาก ภาพที่ 4.11 แสดงให้เห็นว่า (a)ระยะข้าวแตกกอ มีความสัมพันธ์ที่ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.83 แต่ (b)ระยะข้าวตั้งท้อง ไม่มีความสัมพันธ์ที่ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.11



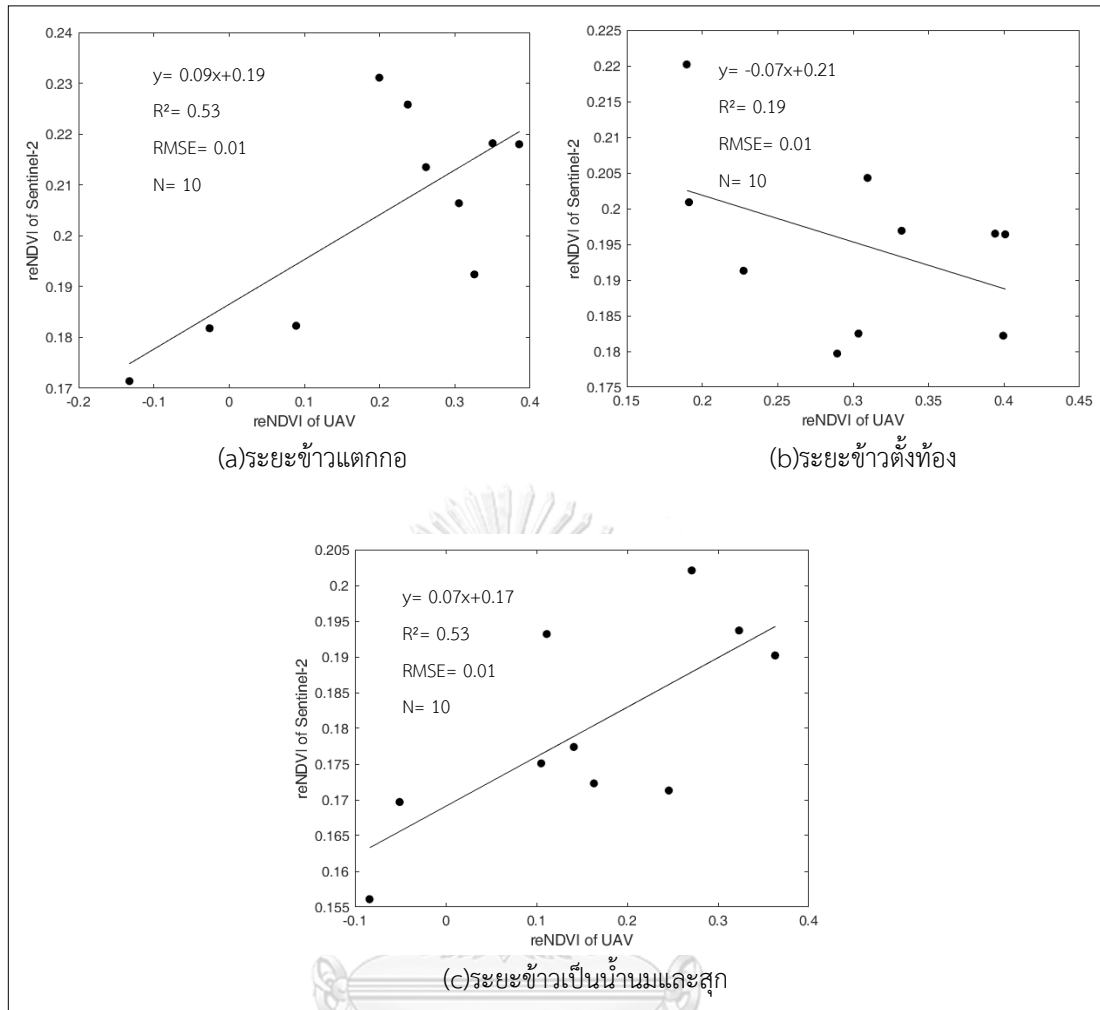
ภาพที่ 4.12 ความสัมพันธ์ค่าดัชนีพืชพรรณปรับแก้ดิน ข้าวเหนียว กข 22 ปักดำด้วยรถ วันที่ปลูก 20 พ.ค. 2561 พื้นที่ศึกษา1

จาก ภาพที่ 4.12 แสดงให้เห็นว่า (a)ระยะข้าวแตกกอ มีความสัมพันธ์ที่ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.88 แต่ (b)ระยะข้าวตั้งท้องไม่มีความสัมพันธ์ที่ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.08



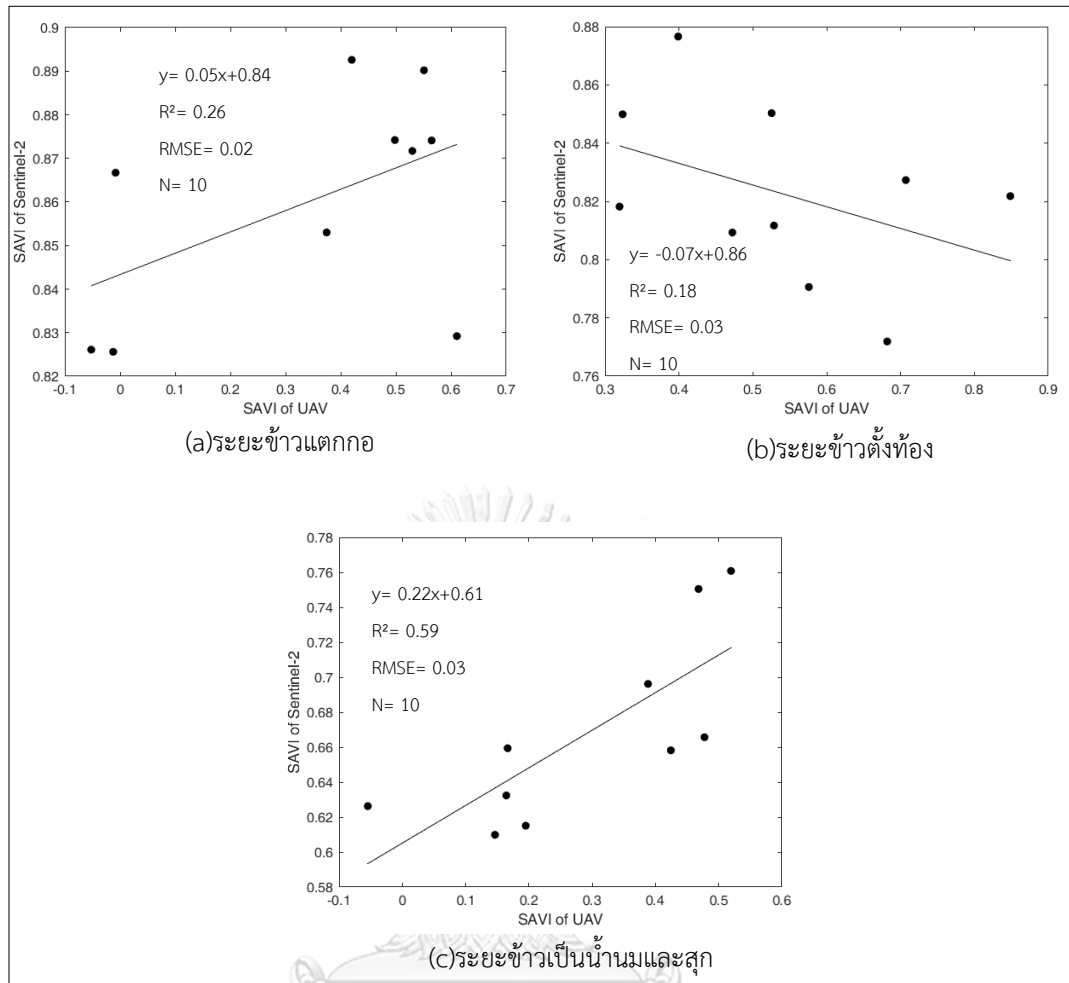
ภาพที่ 4.13 ความสัมพันธ์ค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์มัลไลซ์ ข้าวเหนียว กข 22
ปักดำด้วยคน วันที่ปลูก 15 ก.ค. 2561

จาก ภาพที่ 4.13 แสดงให้เห็นว่า (a)ระยะข้าวแตกกอ และ (c)ระยะข้าวเป็นน้านมและสุก มีความสัมพันธ์ที่ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.86 และ 0.68 ตามลำดับ แต่ (b)ระยะข้าวตั้งท้องไม่มีความสัมพันธ์ที่ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.07



ภาพที่ 4.14 ความสัมพันธ์ค่าดัชนีพืชพรรณตำแหน่ง Red Edge ข้าวเหนียว กข 22
ปักดำด้วยคน วันที่ปลูก 15 ก.ค. 2561

จาก ภาพที่ 4.14 แสดงให้เห็นว่า (a)ระยะข้าวแตกกอ และ (c)ระยะข้าวเป็นนํ้านมและสุก มีความสัมพันธ์ที่ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.53 แต่ (b)ระยะข้าวตั้งท้องไม่มีความสัมพันธ์ที่ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.19

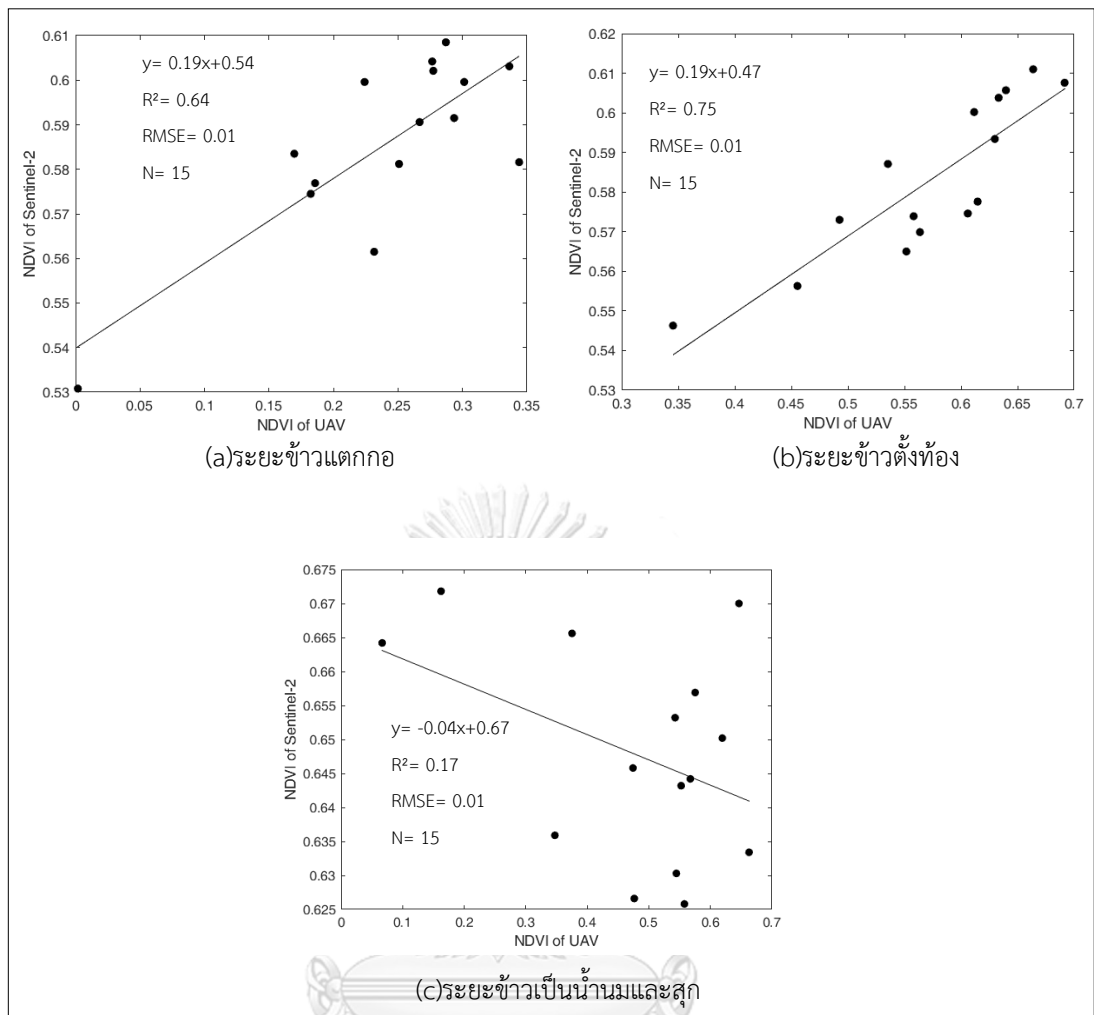


ภาพที่ 4.15 ความสัมพันธ์ค่าดัชนีพืชพรรณปรับแก้ดิน ข้าวเหนียว กข 22

ปักดำด้วยคน วันที่ปลูก 15 ก.ค. 2561

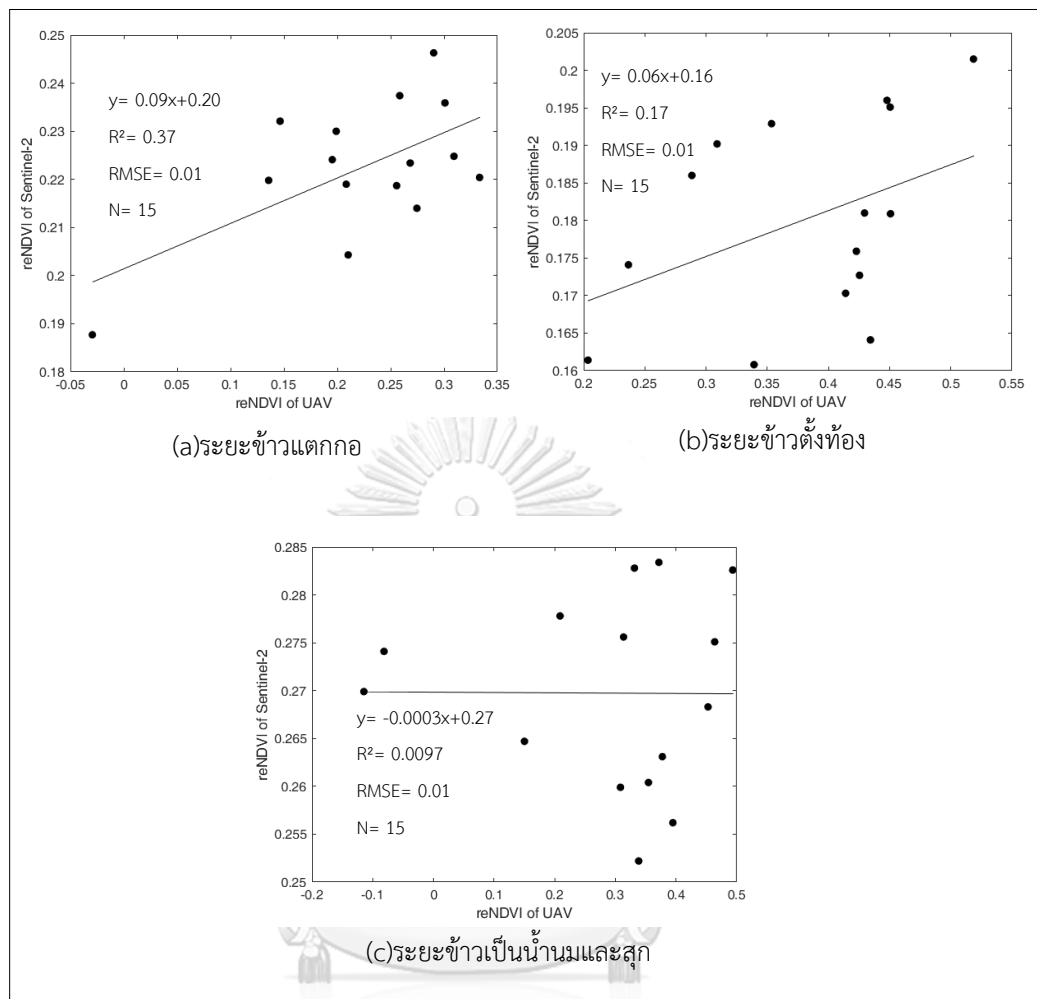
CHULALONGKORN UNIVERSITY

จาก ภาพที่ 4.15 แสดงให้เห็นว่า (a)ระยะข้าวแตกกอ และ (b)ระยะข้าวตั้งท้องไม่มีความสัมพันธ์ที่ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.26 และ 0.18 ตามลำดับ แต่ (c)ระยะข้าวเป็นน้ำนมและสุก มีความสัมพันธ์ที่ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.59



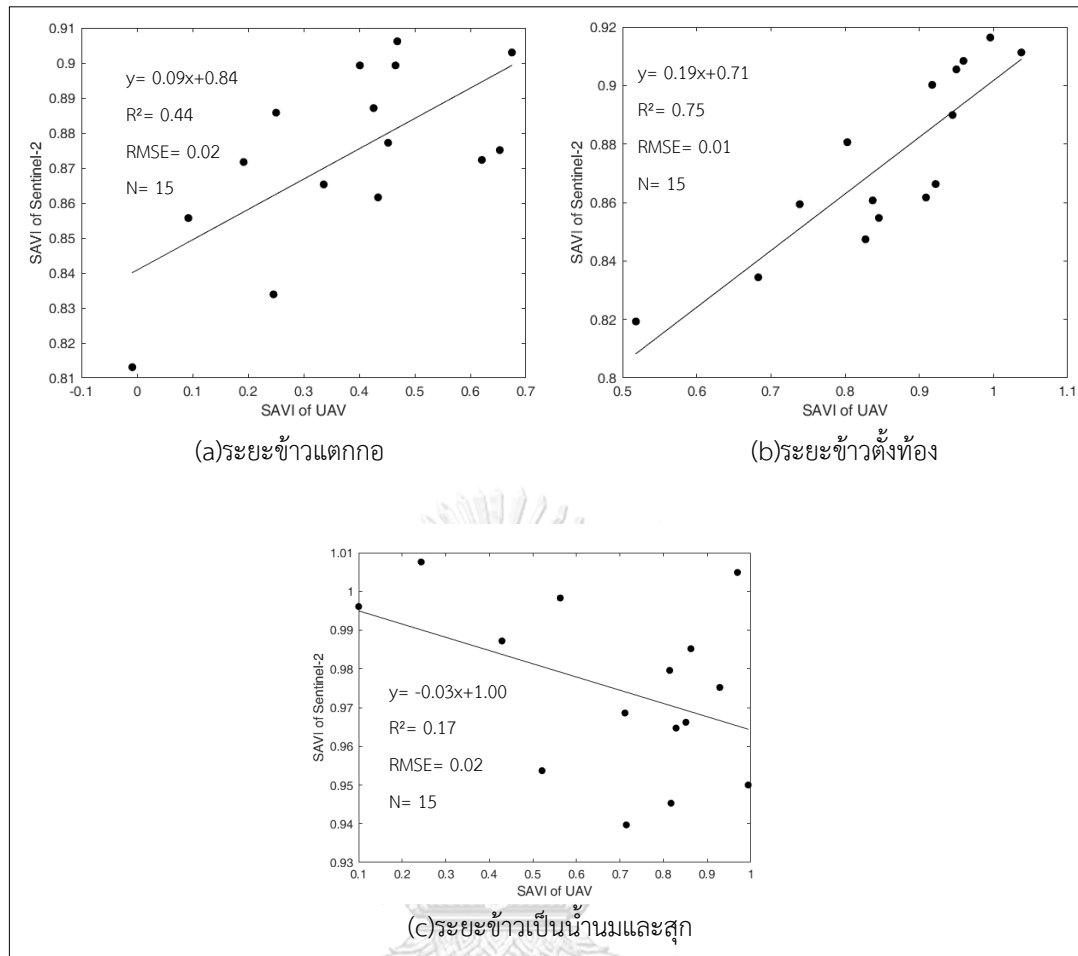
ภาพที่ 4.16 ความสัมพันธ์ค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์แมลไลซ์ ข้าวเหนียว กข 22
ปักดำด้วยคน วันที่ปลูก 13 ส.ค. 2561

จาก ภาพที่ 4.16 แสดงให้เห็นว่า (a)ระยะข้าวแตกกอ และ (b)ระยะข้าวตั้งท้องมีความสัมพันธ์ที่ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.64 และ 0.75 ตามลำดับ แต่ (c)ระยะข้าวเป็นน้านมและสุกไม่มีความสัมพันธ์ที่ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.17



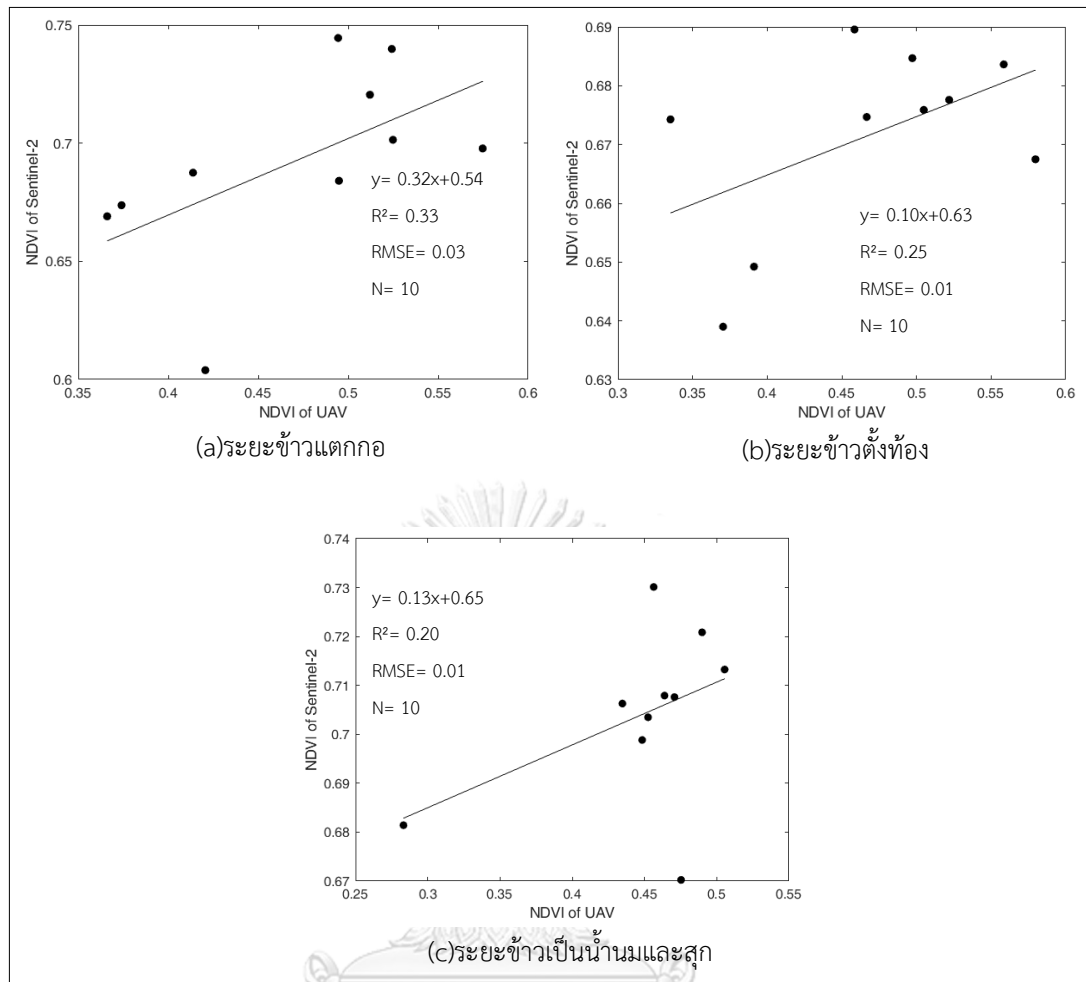
ภาพที่ 4.17 ความสัมพันธ์ค่าดัชนีพืชพรรณตำแหน่ง Red Edge ข้าวเหนียว กข 22
ปักดำด้วยคน วันที่ปลูก 13 ส.ค. 2561

จาก ภาพที่ 4.17 แสดงให้เห็นค่าดัชนีพืชพรรณข้าวทั้ง 3 ระยะไม่มีความสัมพันธ์ที่ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.37, 0.17 และ 0.0097 ตามลำดับ



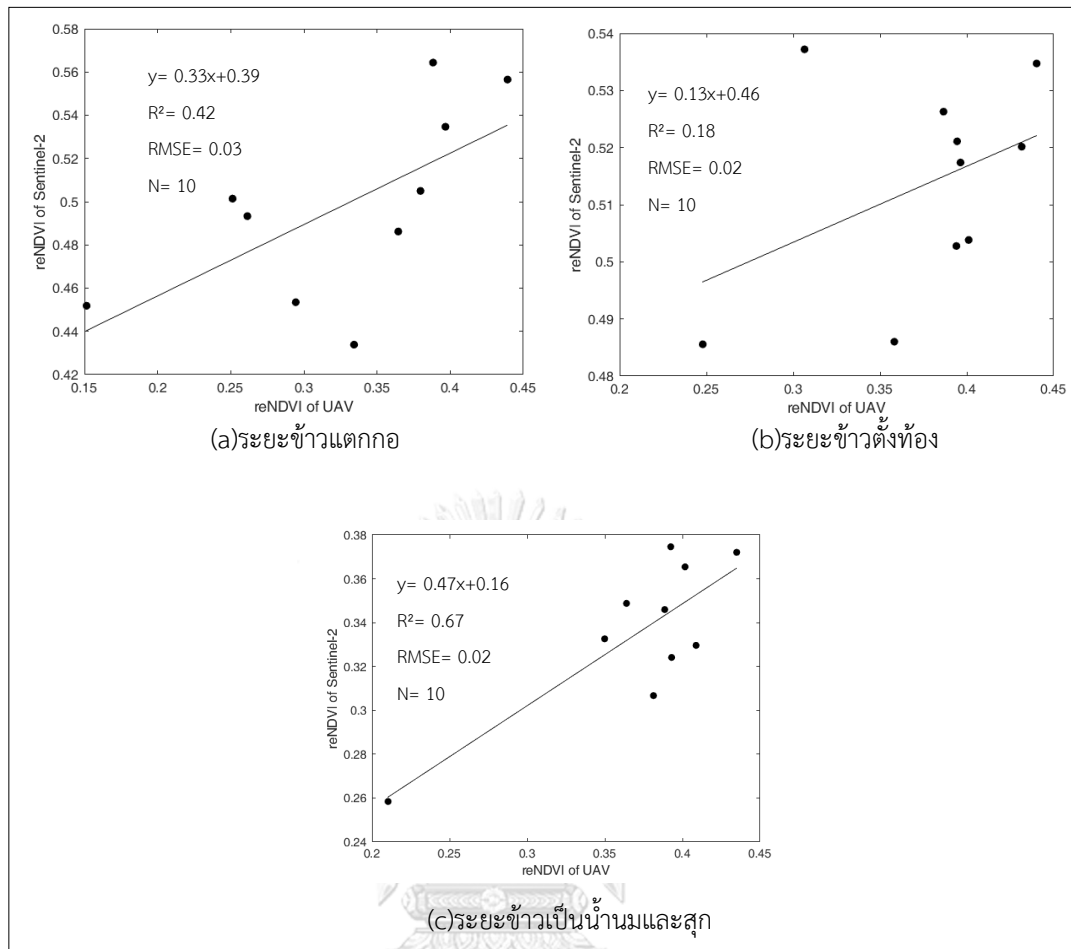
ภาพที่ 4.18 ความสัมพันธ์ค่าดัชนีพืชพรรณปรับแก้ดิน ข้าวเหนียว กข 22
ปักดำด้วยคน วันที่ปลูก 13 ส.ค. 2561

จาก ภาพที่ 4.18 แสดงให้เห็นว่า (a)ระยะข้าวแตกกอ และ (b)ระยะข้าวตั้งท้องมีความสัมพันธ์ที่ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.44 และ 0.75 ตามลำดับ แต่ (c)ระยะข้าวเป็นน้านมและสุกไม่มีความสัมพันธ์ที่ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.17



ภาพที่ 4.19 ความสัมพันธ์ค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์มัลไลซ์ ข้าวเหนียว กข 22
ปักดำด้วยรถ วันที่ปลูก 1 มิ.ย. 2561 พื้นที่ศึกษา 2

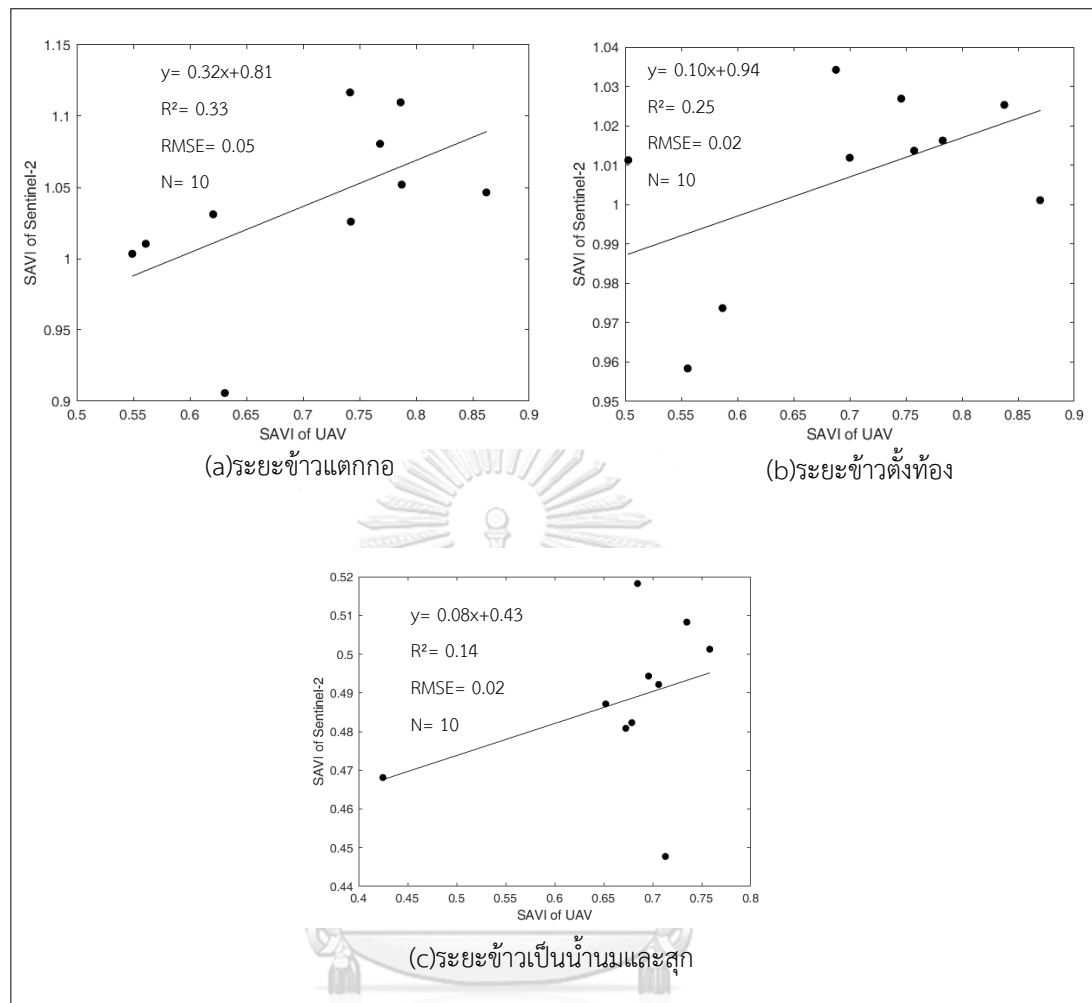
จาก ภาพที่ 4.19 แสดงให้เห็นค่าดัชนีพืชพรรณข้าวทั้ง 3 ระยะไม่มีความสัมพันธ์ที่ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.33, 0.25 และ 0.20 ตามลำดับ



ภาพที่ 4.20 ความสัมพันธ์ค่าดัชนีพืชพรรณตำแหน่ง Red Edge ข้าวเหนียว กข 22
ปักดำด้วยรถ วันที่ปลูก 1 มิ.ย. 2561 พื้นที่ศึกษา 2

CHULALONGKORN UNIVERSITY

จาก ภาพที่ 4.20 แสดงให้เห็นว่า (a)ระยะข้าวแตกกอ และ (c)ระยะข้าวเป็นนํ้านมและสุก มีความสัมพันธ์ที่ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.42 และ 0.67 ตามลำดับ แต่ (b)ระยะข้าวตั้งท้องไม่มีความสัมพันธ์ที่ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.18



ภาพที่ 4.21 ความสัมพันธ์ค่าดัชนีพืชพรรณปรับแก้ดิน ข้าวเหนียว กข 22
ปักดำด้วยรถวันที่ปลูก 1 มิ.ย. 2561 พื้นที่ศึกษา2

จาก ภาพที่ 4.21 แสดงให้เห็นค่าดัชนีพืชพรรณข้าวทั้ง 3 ระยะไม่มีความสัมพันธ์ที่ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสนใจเท่ากับ 0.33, 0.25 และ 0.14 ตามลำดับ

ตามการสรุปความสัมพันธ์ค่าดัชนีพืชพรรณของข้าวเหนียว กข22 และการทดลองด้วยสถิติ t-test แสดงใน ตารางที่ 4.2 ประกอบด้วยค่า t stat จากการคำนวณตามสมการ (2.9) เปรียบเทียบกับตารางแจกแจงค่า T distribution ที่ระดับนัยสำคัญสำหรับการทดสอบสองทาง ที่ช่วงความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 4.2 แสดงการสรุปผลความสัมพันธ์และการทดสอบสถิติ t-test ของข้าวเหนียว กข 22

แปลงนา	ดัชนีพืชพรรณ	R ²			จำนวนตัวอย่าง	t-test ระดับนัยสำคัญสำหรับการทดสอบสองทาง	t stat			ค่าเฉลี่ยดัชนีพืชพรรณ ข้าวเหนียว กข22							
		ข้าวแตกกอ	ข้าวตั้งท้อง	ข้าวเป็นน้านและสุก			ข้าวแตกกอ	ข้าวตั้งท้อง	ข้าวเป็นน้านและสุก	UAV	Sentinel-2	UAV	Sentinel-2				
ปักดำด้วยรถ	NDVI	0.82	0.08		14	2.16	ข้าวแตกกอ	-12.50	-15.88		UAV	0.02	0.63	0.24	0.49		
	reNDVI	0.83	0.11				ข้าวตั้งท้อง	-5.26	3.25		UAV	0.05	0.24	0.24	0.16		
	SAVI	0.88	0.08				ข้าวเป็นน้านและสุก	-5.72	-15.87		UAV	0.13	0.95	0.35	0.74		
ปักดำด้วยคน	NDVI	0.86	0.07	0.68	10	2.26	ข้าวแตกกอ	-6.25	-4.41	-9.19	UAV	0.27	0.57	0.38	0.55	0.17	0.44
	reNDVI	0.53	0.19	0.53			ข้าวตั้งท้อง	-0.09	3.94	-0.49	UAV	0.20	0.20	0.30	0.20	0.16	0.18
	SAVI	0.26	0.18	0.59			ข้าวเป็นน้านและสุก	-6.39	-4.39	-7.79	UAV	0.35	0.86	0.54	0.82	0.29	0.67
ปักดำด้วยคน*	NDVI	0.64	0.75	0.17	15	2.14	ข้าวแตกกอ	-19.11	-0.54	-3.66	UAV	0.24	0.59	0.57	0.58	0.48	0.65
	reNDVI	0.37	0.17	0.01			ข้าวตั้งท้อง	0.06	9.21	0.45	UAV	0.22	0.22	0.38	0.18	0.29	0.27
	SAVI	0.44	0.75	0.17			ข้าวเป็นน้านและสุก	-10.49	-0.54	-3.99	UAV	0.38	0.87	0.86	0.87	0.69	0.97
ปักดำด้วยรถ*	NDVI	0.33	0.25	0.20	10	2.26	ข้าวแตกกอ	-12.03	-8.66	-14.50	UAV	0.47	0.69	0.47	0.67	0.45	0.70
	reNDVI	0.42	0.18	0.67			ข้าวตั้งท้อง	-8.11	-8.19	13.38	UAV	0.33	0.50	0.38	0.51	0.51	0.34
	SAVI	0.33	0.25	0.14			ข้าวเป็นน้านและสุก	-12.03	-8.66	6.72	UAV	0.70	1.04	0.70	1.01	0.67	0.49

ปักดำด้วยคน วันที่ปลูก 15 ก.ค. 2561

ปักดำด้วยคน* วันที่ปลูก 13 ส.ค. 2561

ปักดำด้วยรถ วันที่ปลูก 20 พ.ค. 2561 พื้นที่ศึกษา 1

ปักดำด้วยรถ* วันที่ปลูก 1 มิ.ย. 2561 พื้นที่ศึกษา 2

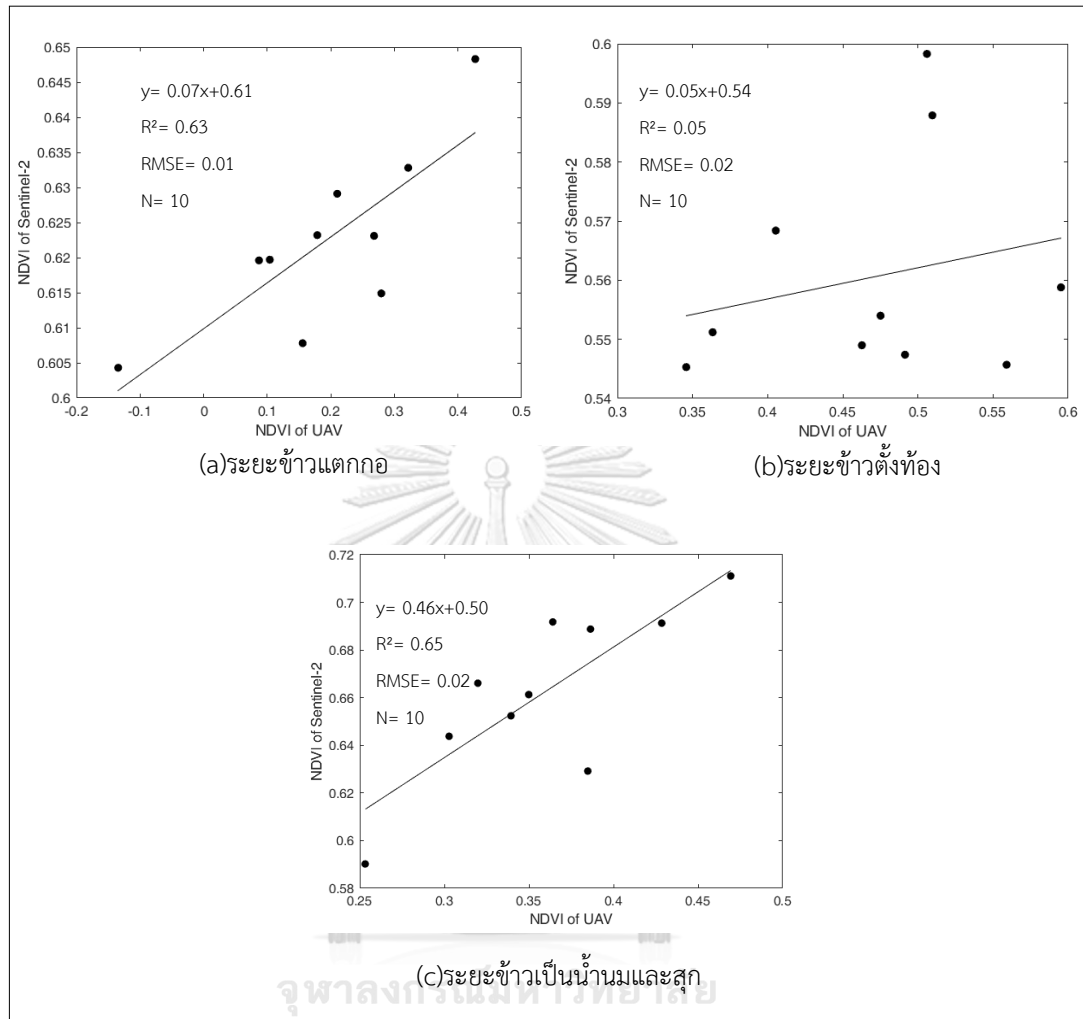
กลุ่มที่ 1 ค่าดัชนีพืชพรรณมีความสัมพันธ์ $R^2 > 0.50$ และค่าเฉลี่ยดัชนีพืชพรรณไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

กลุ่มที่ 2 ค่าดัชนีพืชพรรณมีความสัมพันธ์ $R^2 > 0.50$ และค่าเฉลี่ยดัชนีพืชพรรณต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

กลุ่มที่ 3 ค่าดัชนีพืชพรรณไม่มีความสัมพันธ์ $R^2 < 0.50$ และค่าเฉลี่ยดัชนีพืชพรรณไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

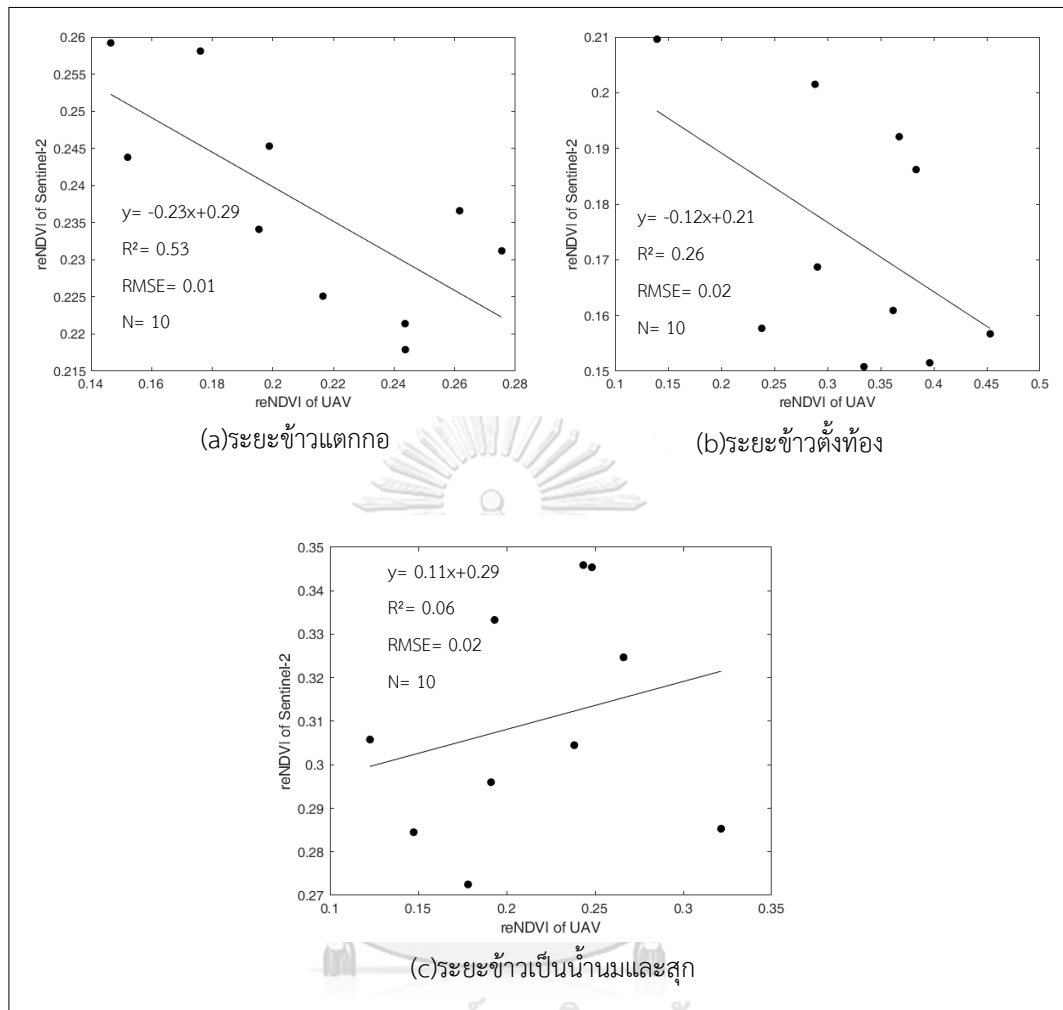
กลุ่มที่ 4 ค่าดัชนีพืชพรรณไม่มีความสัมพันธ์ $R^2 < 0.50$ และค่าเฉลี่ยดัชนีพืชพรรณต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

4.1.3 ค่าความสัมพันธ์ ข้าวหอมมะลิ 105



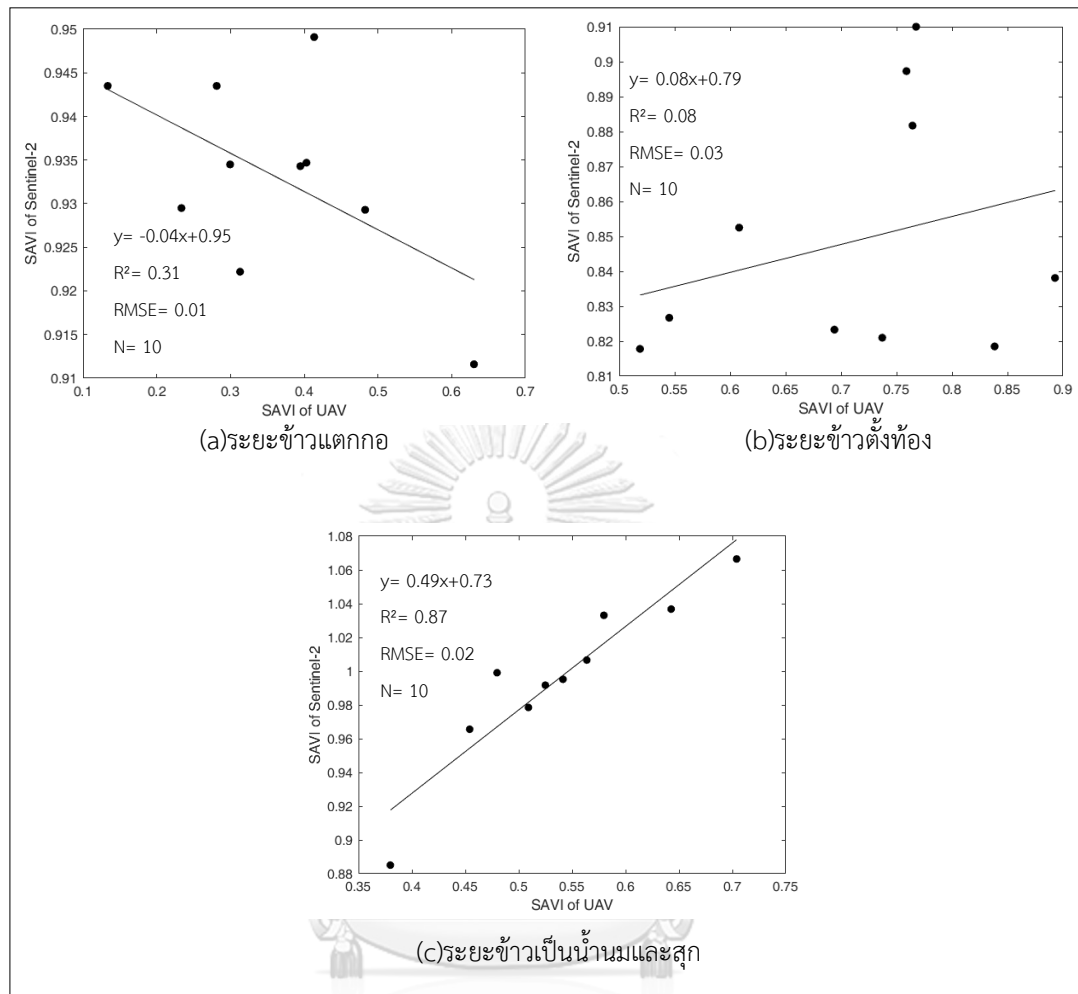
ภาพที่ 4.22 ความสัมพันธ์ค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์แมลไลซ์ ข้าวหอมมะลิ 105
ปักดำด้วยรถ วันที่ปลูก 10 มิ.ย. 2561 พื้นที่ศึกษา1

จาก ภาพที่ 4.22 แสดงให้เห็นว่า (a)ระยะข้าวแตกกอ และ (c)ระยะข้าวเป็นน้านมและสุก มีความสัมพันธ์ที่ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.63 และ 0.65 แต่ (b)ระยะข้าวตั้งท้องไม่มีความสัมพันธ์ที่ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.05



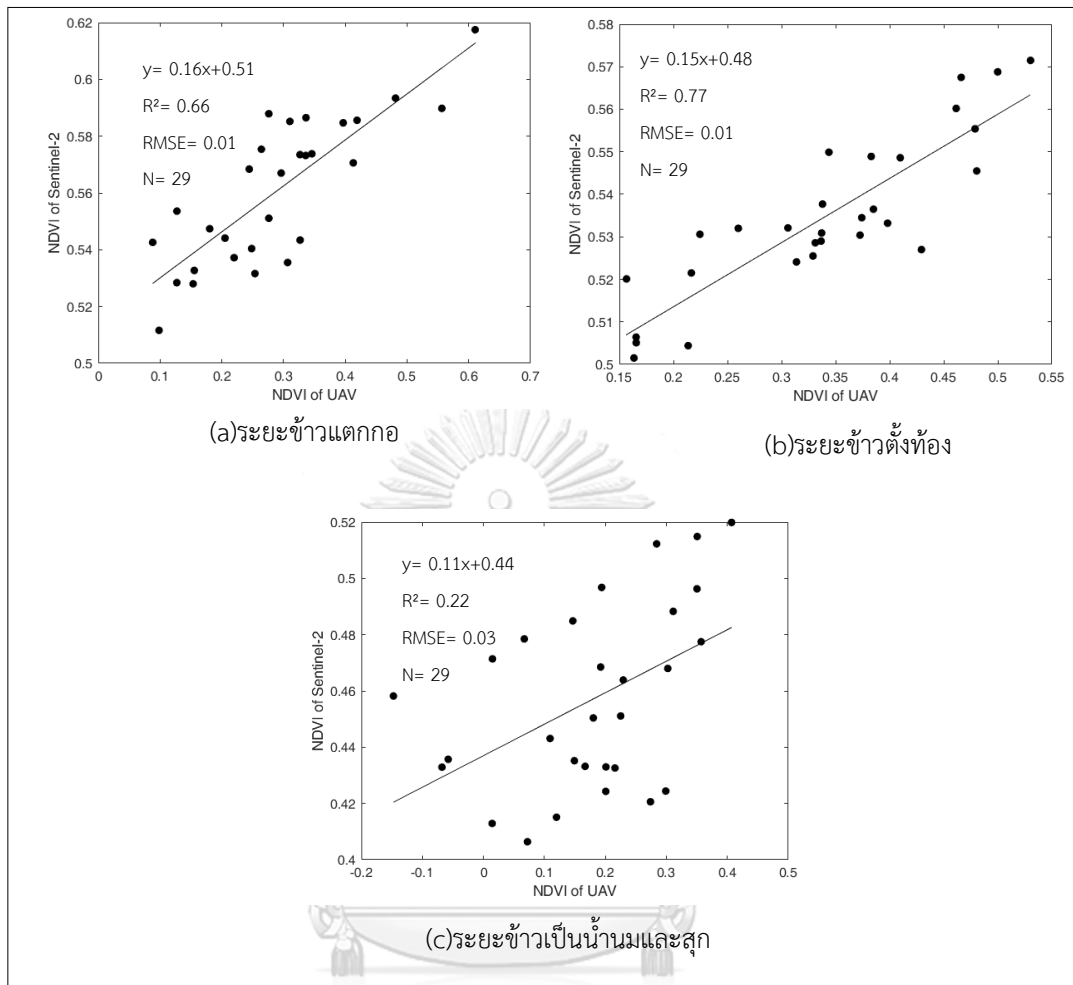
ภาพที่ 4.23 ความสัมพันธ์ค่าดัชนีพืชพรรณตำแหน่ง Red Edge ข้าวหอมมะลิ 105
ปักดำด้วยรถ วันที่ปลูก 10 มิ.ย. 2561 พื้นที่ศึกษา1

จาก ภาพที่ 4.23 แสดงให้เห็นว่า (a)ระยะข้าวแตกกอมีความสัมพันธ์ที่ค่าสัมประสิทธิ์การ
ตัดสินใจเท่ากับ 0.53 แต่ (b)ระยะข้าวตั้งท้อง และ (c)ระยะข้าวเป็นน้านมและสุกไม่มีความสัมพันธ์ที่
ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.26 และ 0.06



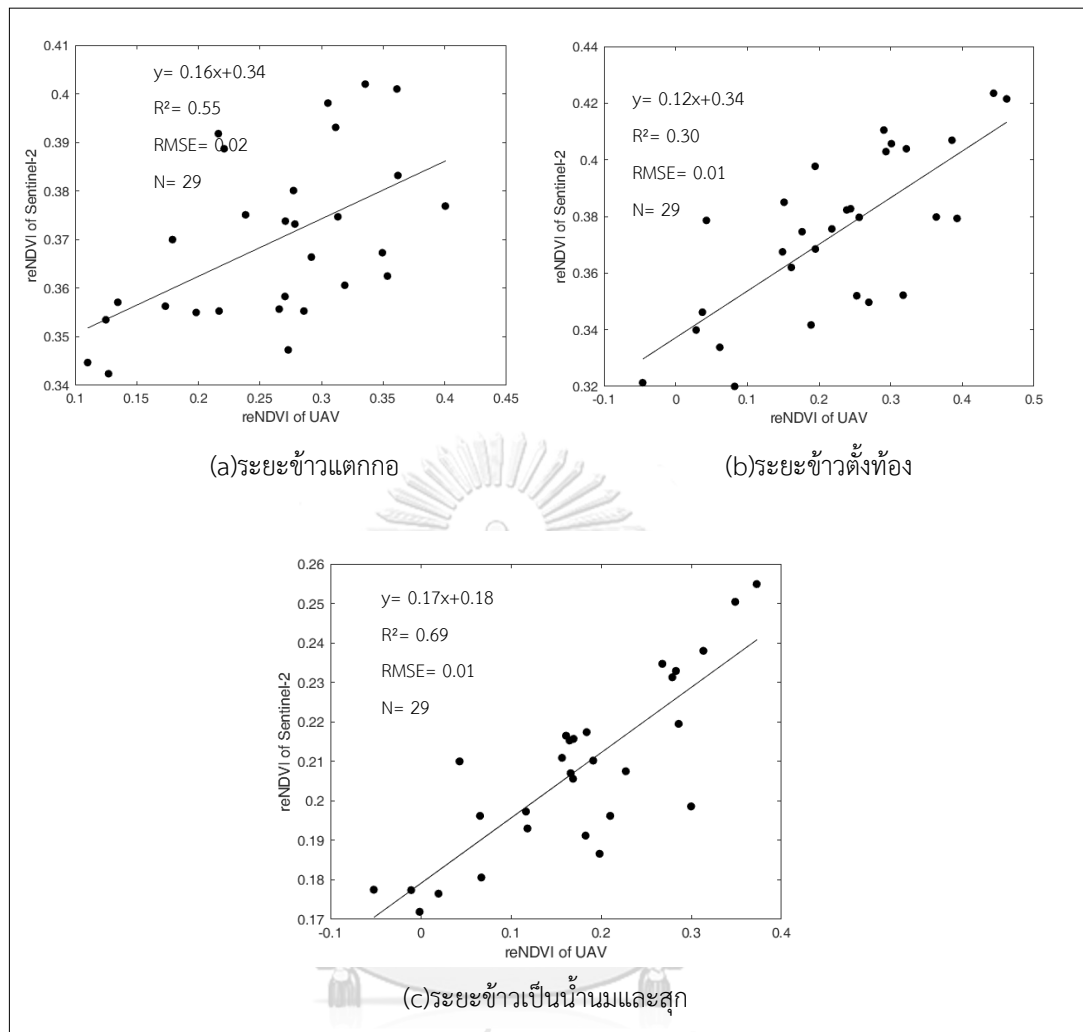
ภาพที่ 4.24 ความสัมพันธ์ค่าดัชนีพืชพรรณปรับแก้ดิน ข้าวหอมมะลิ 105
ปักดำด้วยรถ วันที่ปลูก 10 มิ.ย. 2561 พื้นที่ศึกษา1

จาก ภาพที่ 4.24 แสดงให้เห็นว่า (a)ระยะข้าวแตกกอ และ (b)ระยะข้าวตั้งท้องไม่มี
ความสัมพันธ์ที่ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.31 และ 0.08 แต่ (c)ระยะข้าวเป็นนํ้านมและสุก
มีความสัมพันธ์ที่ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.87



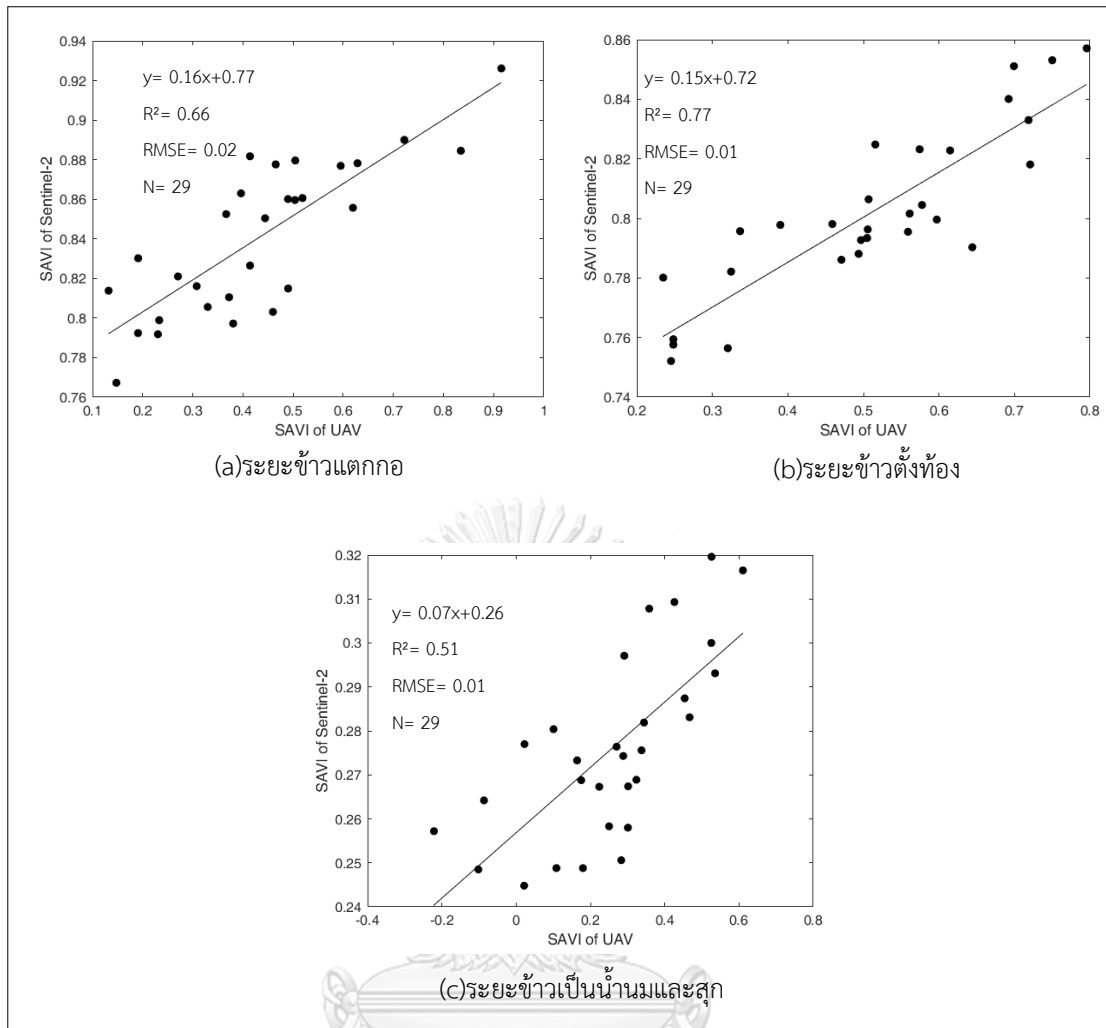
ภาพที่ 4.25 ความสัมพันธ์ค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์แมลไลซ์ ข้าวหอมมะลิ 105 ปักดำด้วยรถ วันที่ปลูก 1 มิ.ย 2561 พื้นที่ศึกษา2

จาก ภาพที่ 4.25 แสดงให้เห็นว่า (a)ระยะข้าวแตกกอ และ (b)ระยะข้าวตั้งท้องมีความสัมพันธ์ที่ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.66 และ 0.77 ตามลำดับ แต่ (c)ระยะข้าวเป็นนํ้านมและสุกไม่มีความสัมพันธ์ที่ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.22



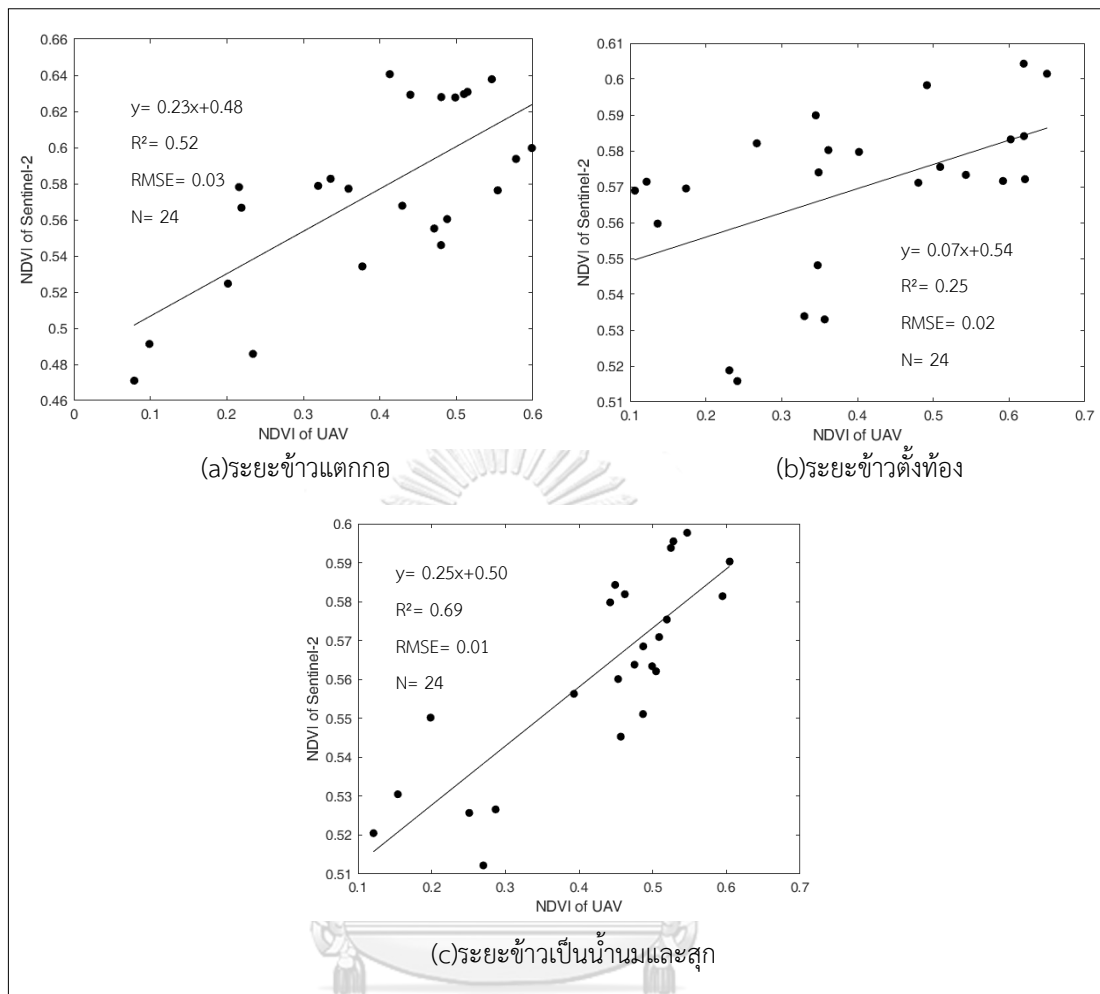
ภาพที่ 4.26 ความสัมพันธ์ค่าดัชนีพืชพรรณตำแหน่ง Red Edge ข้าวหอมมะลิ 105
ปักดำด้วยรถ วันที่ปลูก 1 มิ.ย 2561 พื้นที่ศึกษา2

จากภาพที่ 4.26 แสดงให้เห็นว่า (a)ระยะข้าวแตกกอ และ (c)ระยะข้าวเป็นน้านมและสุก มีความสัมพันธ์ที่ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.55 และ 0.69 ตามลำดับ แต่ (b)ระยะข้าวตั้งท้องไม่มีความสัมพันธ์ที่ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.30



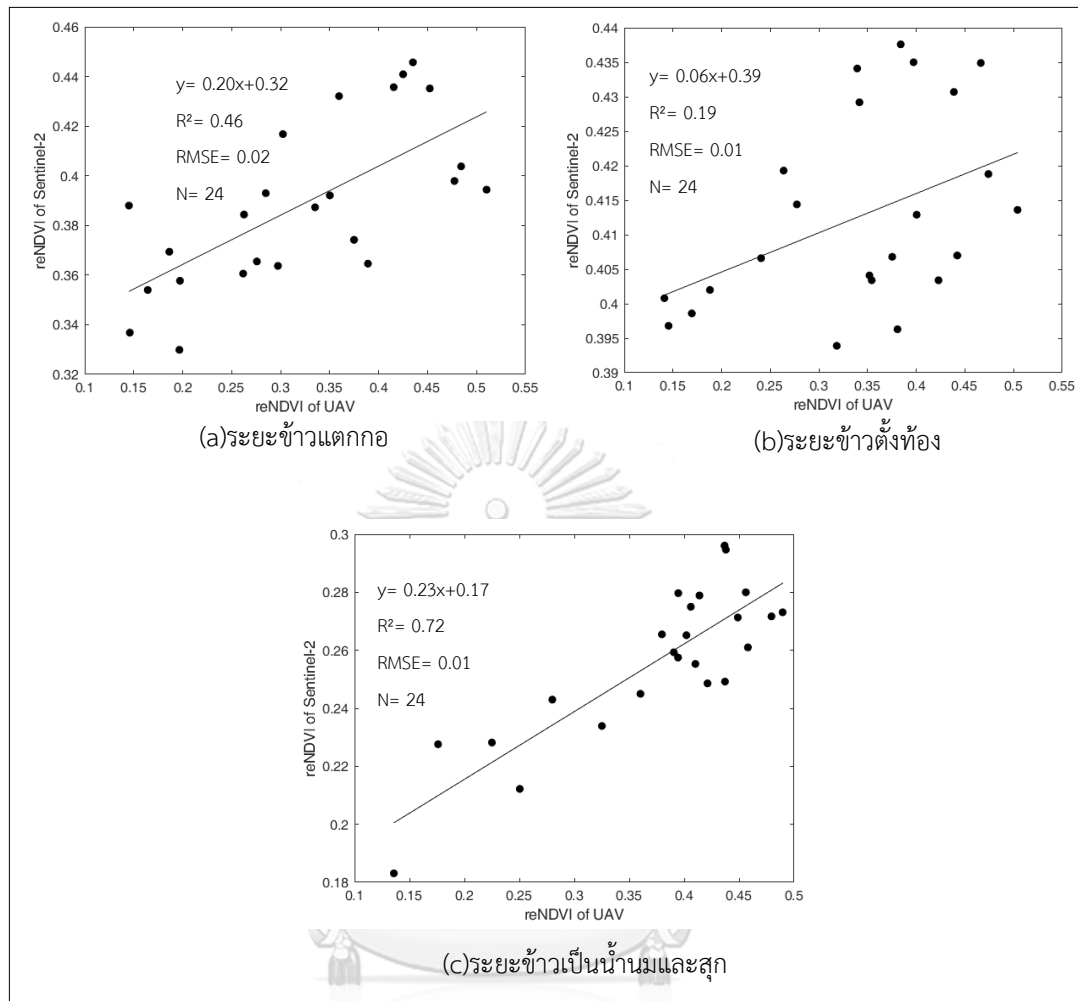
ภาพที่ 4.27 ความสัมพันธ์ค่าดัชนีพืชพรรณปรับแก้ดิน ข้าวหอมมะลิ 105
ปักดำด้วยรถ วันที่ปลูก 1 มิ.ย. 2561 พื้นที่ศึกษา 2

จาก ภาพที่ 4.27 แสดงให้เห็นค่าดัชนีพืชพรรณข้าวทั้ง 3 ระยะมีความสัมพันธ์ที่ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.66, 0.77 และ 0.51 ตามลำดับ



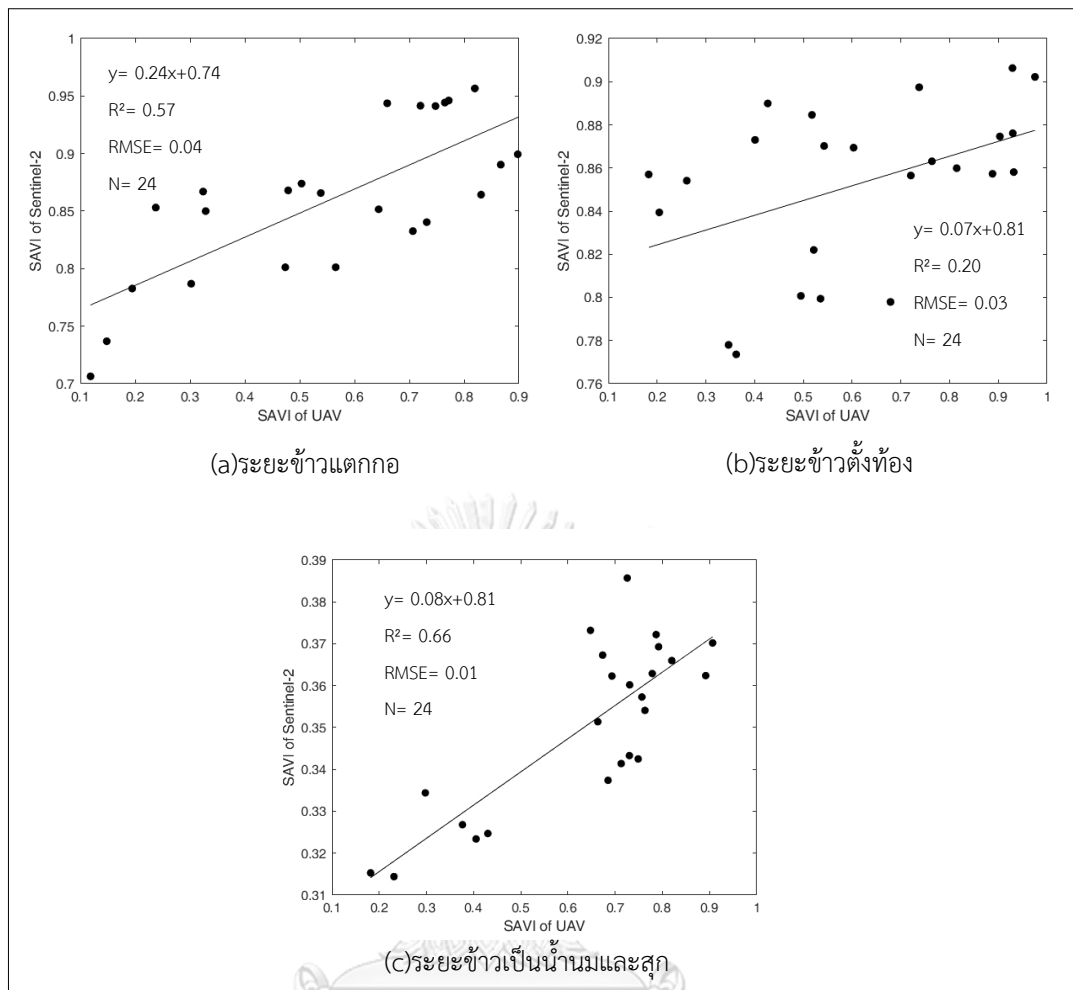
ภาพที่ 4.28 ความสัมพันธ์ค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์แมลไลซ์ ข้าวหอมมะลิ 105 นาหว่าน

จากภาพที่ 4.28 แสดงให้เห็นว่า (a)ระยะข้าวแตกกอ และ (c)ระยะข้าวเป็นน้ำนมและสุก มีความสัมพันธ์ที่ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.52 และ 0.69 ตามลำดับ แต่ (b)ระยะข้าวตั้งท้องไม่มีความสัมพันธ์ที่ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.25



ภาพที่ 4.29 ความสัมพันธ์ค่าดัชนีพืชพรรณดาวเทียม Red Edge ข้าวหอมมะลิ 105 นาหว่าน

จาก ภาพที่ 4.29 แสดงให้เห็นว่า (a)ระยะข้าวแตกกอ และ (c)ระยะข้าวเป็นนํ้านมและสุก มีความสัมพันธ์ที่ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.46 และ 0.72 ตามลำดับ แต่ (b)ระยะข้าวตั้งท้องไม่มีความสัมพันธ์ที่ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.19



ภาพที่ 4.30 ความสัมพันธ์ค่าดัชนีพืชพรรณปรับแก้ดิน ข้าวหอมมะลิ 105 นาหว่าน

จาก ภาพที่ 4.30 แสดงให้เห็นว่า (a)ระยะข้าวแตกกอ และ (c)ระยะข้าวเป็นน้ำนมและสุก มีความสัมพันธ์ที่ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.57 และ 0.66 ตามลำดับ แต่ (b)ระยะข้าวตั้งท้องไม่มีความสัมพันธ์ที่ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.20

ตามการสรุปความสัมพันธ์ค่าดัชนีพืชพรรณของข้าวหอมมะลิ 105 และการทดลองด้วยสถิติ t-test แสดงในตารางที่ 4.3 ประกอบด้วยค่า t stat จากการคำนวณตามสมการ (2.9) เปรียบเทียบกับตารางแจกแจงค่า T distribution ที่ระดับนัยสำคัญสำหรับการทดสอบสองทาง ที่ช่วงความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 4.3 แสดงการสรุปผลความสัมพันธ์และการทดลองสถิติ t-test ของข้าวหอมมะลิ 105

แปลงนา	ดัชนีพืชพรรณ	R ²			จำนวนตัวอย่าง	t-test ระดับนัยสำคัญสำหรับการทดสอบสองทาง	t stat			ค่าเฉลี่ยดัชนีพืชพรรณ หอมมะลิ 105								
		ข้าวแตกกอ	ข้าวตั้งท้อง	ข้าวเป็นน้านและสุก			ข้าวแตกกอ	ข้าวตั้งท้อง	ข้าวเป็นน้านและสุก	ข้าวแตกกอ	ข้าวตั้งท้อง	ข้าวเป็นน้านและสุก	UAV	Sentinel-2	UAV	Sentinel-2		
ปักดำด้วยรถ	NDVI	0.63	0.05	0.65	10	2.26	ข้าวแตกกอ	-9.51	-3.61	-24.23	UAV	0.19	0.62	0.47	0.56	UAV	0.36	0.66
	reNDVI	0.53	0.26	0.06			ข้าวตั้งท้อง	-1.48	4.67	-5.10	Sentinel-2	0.21	0.24	0.33	0.17	UAV	0.22	0.31
	SAVI	0.31	0.08	0.87			ข้าวเป็นน้านและสุก	-12.52	-3.68	-28.93	UAV	0.36	0.93	0.71	0.85	Sentinel-2	0.54	1.00
ปักดำด้วยรถ*	NDVI	0.66	0.77	0.22	29	2.05	ข้าวแตกกอ	-13.97	-11.24	-12.44	UAV	0.29	0.56	0.34	0.54	UAV	0.18	0.46
	reNDVI	0.55	0.30	0.69			ข้าวตั้งท้อง	-7.64	-8.51	-2.25	Sentinel-2	0.22	0.37	0.26	0.37	UAV	0.17	0.21
	SAVI	0.66	0.77	0.51			ข้าวเป็นน้านและสุก	-13.97	-11.24	-0.52	UAV	0.43	0.84	0.52	0.80	Sentinel-2	0.26	0.28
นาหว่าน	NDVI	0.52	0.25	0.69	24	2.07	ข้าวแตกกอ	-7.45	-5.17	-5.72	UAV	0.39	0.58	0.40	0.57	UAV	0.43	0.56
	reNDVI	0.46	0.19	0.72			ข้าวตั้งท้อง	-3.48	-3.33	7.84	Sentinel-2	0.32	0.39	0.34	0.41	UAV	0.38	0.26
	SAVI	0.57	0.20	0.66			ข้าวเป็นน้านและสุก	-7.52	-5.05	7.56	UAV	0.56	0.86	0.61	0.85	Sentinel-2	0.64	0.35

ปักดำด้วยรถ วันที่ปลูก 10 มิ.ย. 2561 พื้นที่ศึกษา 1

ปักดำด้วยรถ* วันที่ปลูก 1 มิ.ย. 2561 พื้นที่ศึกษา 2

กลุ่มที่ 1 ค่าดัชนีพืชพรรณมีความสัมพันธ์ $R^2 > 0.50$ และค่าเฉลี่ยดัชนีพืชพรรณไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

กลุ่มที่ 2 ค่าดัชนีพืชพรรณมีความสัมพันธ์ $R^2 > 0.50$ และค่าเฉลี่ยดัชนีพืชพรรณต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

กลุ่มที่ 3 ค่าดัชนีพืชพรรณไม่มีความสัมพันธ์ $R^2 < 0.50$ และค่าเฉลี่ยดัชนีพืชพรรณไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

กลุ่มที่ 4 ค่าดัชนีพืชพรรณไม่มีความสัมพันธ์ $R^2 < 0.50$ และค่าเฉลี่ยดัชนีพืชพรรณต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

บทที่ 5

อภิปรายผล สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 อภิปรายผลการศึกษา

งานวิจัยนี้ได้ทำการเปรียบเทียบข้อมูลจากดาวเทียม Sentinel-2 กับอากาศยานไร้คนขับ แล้วพบว่าข้อมูลทั้งสองไม่มีความสัมพันธ์กัน นั่นหมายถึงดัชนีพืชพรรณจากอากาศยานไร้คนขับยังไม่สอดคล้องกันในกรณีศึกษาข้าวแปลงเล็ก ผลจากการทดลองในตารางที่ 4.1, 4.2 และ 4.3 ช่วยยืนยันข้อเท็จจริงดังกล่าว จากการเปรียบเทียบข้อมูลทั้งสองชนิดทั้งสิ้น 87 ครั้งพบว่ามียังเพียง 6 ครั้งเท่านั้นที่ค่าดัชนีพืชพรรณมีความสัมพันธ์ $R^2 > 0.50$ และมีค่าเฉลี่ยของดัชนีพืชพรรณไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จากตัวอย่าง 4 ครั้งของข้อมูลข้าวเหนียว กข 22 ปลูกวันที่ 15 ก.ค. 2561 ที่ระยะข้าวแตกกอ และระยะข้าวเป็นน้ามนและสุก ที่ผ่านเกณฑ์ (ความสัมพันธ์ $R^2 > 0.50$ และมีค่าเฉลี่ยของดัชนีพืชพรรณไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ) ในภาพที่ 4.14 พบว่าแท้จริงแล้วเมื่อพิจารณาด้วยสายตาจะเห็นความผิดปกติได้ชัดเจนว่าข้อมูลไม่ได้มีความสัมพันธ์กัน เนื่องจากจุดข้อมูลกระจายออกจากเส้นอ้างอิงเป็นจำนวนมาก และพบว่าอีก 2 ครั้งที่เหลือของข้าวชนิดอื่นมีความผิดปกติในรูปแบบที่คล้ายกัน แม้ว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจชี้ว่าข้อมูลทั้งสองมีความสัมพันธ์กัน แต่การทดลองสถิติ t-test ด้วยระดับนัยสำคัญสำหรับการทดสอบสองทาง $\alpha = 0.050$ ตามค่าเริ่มต้น หรือช่วงความเชื่อมั่นที่ 95% เป็นเกณฑ์ตัดสินใจว่าดัชนีพืชพรรณเป็นไปตามสมมติฐาน H_0 และ H_1 ซึ่งจำนวนตัวอย่างไม่มีผลต่อการทดลอง ถึงแม้ว่าหากมีตัวอย่างข้าวในแต่ละสายพันธุ์เป็นตัวทดสอบมากกว่านี้ รวมไปถึงมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่สูงหรือเข้าใกล้ 1 แต่จะใช้ผลจากการทดลองทางสถิติ t-test ที่เป็นตัวบ่งชี้ความแตกต่างระหว่างข้อมูลที่ปรากฏในข้อมูลจาก Sentinel-2 และ อากาศยานไร้คนขับ เนื่องจากว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจได้มากกว่า 0.50 แต่มีความขัดแย้งกับการทดลองทางสถิติค่าเฉลี่ยต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ปัจจัยหลักที่ส่งผลให้ภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ และภาพถ่ายจากดาวเทียม Sentinel-2 มีค่าความสัมพันธ์ $R^2 > 0.50$ และมีค่าเฉลี่ยของดัชนีพืชพรรณต่างกันนั้น คือขนาดจุดภาพที่แตกต่างกัน ถึงแม้ว่าขนาดจุดภาพของข้อมูลที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับจะมีรายละเอียดสูง แต่เพื่อให้การศึกษาเป็นไปได้ จึงมีการลดความละเอียดภาพถ่าย (Resampling) จากอากาศยานไร้คนขับที่มีความละเอียดมากกว่าภาพถ่ายจากดาวเทียม ทั้งนี้ภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับที่มีความละเอียดสูงกว่า เมื่อมีการบันทึกข้อมูล จะบันทึกรายละเอียดได้ดีกว่าภาพถ่ายจากดาวเทียม เช่น ใน

ระยะข้าวแตกกอ เมื่อพิจารณาด้วยสายตา จะพบพื้นดิน พื้นผิวน้ำ ในพื้นที่เพาะปลูก เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้จากดาวเทียมที่มีความละเอียดต่ำกว่าและพิจารณา lay เนื้อ (Texture) จะพบว่าได้รับอิทธิพลจากเรือนยอดของต้นข้าว จึงทำให้การนำเสนอข้อมูลต่อ 1 พิกเซลไม่ตรงกับพื้นที่จริงเมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลจากอากาศยานไร้คนขับ เช่นเดียวกับในงานวิจัยของ (Khaliq et al., 2019) ใช้ภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับกับภาพถ่ายจากดาวเทียม Sentinel-2 หาความสัมพันธ์ด้วยค่าสัมประสิทธิ์ Pearson ในการเปรียบเทียบค่าดัชนีพืชพรรณ NDVI ของไร่ร่องน พบว่าค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์มัลไลซ์ไม่สอดคล้องกันซึ่งตรงกับผลการศึกษาของงานวิจัยนี้ ($r > 0.41$) เนื่องจากลักษณะการปลูกของไร่ร่องนปลูกเป็นแถว เป็นพืชยืนต้น ลักษณะใบเป็นพุ่ม มีช่องทางเดินคัน ทำให้ความหนาแน่นพื้นผิวไม่ปกคลุมพื้นดิน และพื้นผิวไร่ร่องนเบาบาง ทำให้ค่าดัชนีพืชพรรณจากข้อมูลทั้งสองมีความต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การสะท้อนพลังงานภาพถ่ายจากดาวเทียมบันทึกได้เพียงเรือนยอดที่เป็นจุดเด่นสามารถประเมินเรือนยอดได้โดยตรง ไม่มีอิทธิพลต่อการดูดกลืนจากสภาพดิน และน้ำ จากค่าสะท้อนพลังงานที่ตกกระทบ ภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับมีความละเอียดสูง จึงมีกลุ่มข้อมูลที่หลากหลาย แต่หากเลือกเฉพาะพิกเซลที่เป็นพื้นผิวของไร่ร่องนทำให้ข้อมูลทั้งสองมีความสอดคล้องเพิ่มขึ้น ค่าอุณหภูมิพื้นผิวมีผลต่อค่าดัชนีพืชพรรณเนื่องจากอุณหภูมิสูงขึ้นค่าดัชนีพืชพรรณที่ได้จะลดลง แต่อุณหภูมิพื้นผิวต่ำส่งผลให้ค่าดัชนีพืชพรรณสูง ซึ่งภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับได้รับอุณหภูมิพื้นผิวมากกว่าดาวเทียมเนื่องจากจุดถ่ายภาพต่ำ ทำให้ค่าดัชนีพืชพรรณจากอากาศยานไร้คนขับน้อยกว่าที่ได้รับจากดาวเทียมเป็นสาเหตุหนึ่ง ทำให้ค่าเฉลี่ยดัชนีพืชพรรณต่างกัน (อลดา เตชะพงษ์ธนา และคณะ, 2559) ในงานวิจัยของ สุทัศน์ สุรวาณิช และคณะ (2560) ที่ตรวจสอบความอุดมสมบูรณ์ดินในพื้นที่ปลูกยางพารา และปาล์มน้ำมัน ด้วยค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์มัลไลซ์จากดาวเทียม Landsat5 TM พบว่าความสัมพันธ์ที่ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ R^2 เท่ากับ 0.986 ด้วยลักษณะต้นยางพารา และปาล์มน้ำมัน เป็นทรงพุ่ม ผ่านคุณลักษณะการสะท้อนรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าได้ดีจากชั้นเรือนยอด จากงานวิจัยที่ได้ทบทวนแสดงให้เห็นว่าลักษณะการปลูกมีความสำคัญต่อการประเมินเรือนยอดของพืชแต่ละชนิดที่ต่างกัน รวมถึงสภาพแวดล้อมพื้นที่ศึกษา

5.2 สรุปผลการศึกษา

ผลการเปรียบเทียบค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์มัลไลซ์ ดัชนีพืชพรรณตำแหน่ง Red Edge และดัชนีพืชพรรณปรับแก้ดิน จากภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ และภาพถ่ายจากดาวเทียม Sentinel-2 โดยหาความสัมพันธ์จากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอย และสถิติ t-test ตามเกณฑ์ (ค่าความสัมพันธ์ $R^2 > 0.50$ และมีค่าเฉลี่ยดัชนีพืชพรรณไม่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ) แสดงให้เห็นว่าข้อมูลทั้งสองนั้นไม่สอดคล้องกันในการศึกษาพื้นที่แปลงนา

ขนาดเล็ก ดังตารางที่ 4.1, 4.2, 4.3 และ รูปภาพที่ 4.1 ถึง 4.30 แม้ว่าผลการศึกษางานวิจัยนี้ ได้รับผลที่ไม่เป็นไปตามความคาดหวัง ซึ่งข้อมูลที่น่ามาเปรียบเทียบนี้ได้จากดาวเทียม และจากอากาศยานไร้คนขับโดยตรง ดังนั้นวิธีการเปรียบเทียบนี้อาจจะไม่สามารถนำไปใช้ได้ เนื่องจากมีลักษณะการประเมินเรือนยอด (Top Of Canopies) ที่ให้ความละเอียดต่างกัน

5.3 ข้อเสนอแนะ

แม้ว่าผลการศึกษาในงานวิจัยนี้ ได้รับผลไม่เป็นไปตามคาดหวัง แต่เพื่อเป็นแนวทางศึกษา และนำข้อมูลภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ และภาพถ่ายจากดาวเทียม Sentinel-2 เพื่อเปรียบเทียบนั้น ควรปรับปรุง ดังนี้

- 1) ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาต่อเนื่องในอนาคตคือการทดลองหาขนาดของจุดภาพที่เหมาะสมสำหรับแต่ละวิธีการเพาะปลูกต่อไป
- 2) เนื่องจากมุมของแสงอาทิตย์จะปรับเปลี่ยนตลอดเวลา ส่งผลกระทบอย่างมากต่อค่าความสว่างของสเปกตรัม ดังนั้นควรปรับปรุงเวลาถ่ายภาพจากอากาศยานไร้คนขับให้ตรงกับภาพถ่ายดาวเทียม เพื่อให้ค่าสะท้อนพลังงานแสงอาทิตย์ให้ใกล้เคียงกันได้มากที่สุด
- 3) ควรเพิ่มการเก็บข้อมูลในภาคสนาม อย่างเช่นการรังวัดดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) หรือการรังวัดค่าสะท้อนแสง เพื่อเป็นข้อมูลอ้างอิง กรณีเกิดความผิดพลาดจากภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ และ Sentinel-2
- 4) ทดลองศึกษาโดยการเลือกเฉพาะพิกเซลบริเวณเรือนยอดโดยไม่ต้องลดความละเอียดภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับให้เท่ากับดาวเทียม
- 5) สามารถใช้ช่วงคลื่นอื่น ๆ ในการศึกษาครั้งต่อไป เนื่องจากงานวิจัยนี้ใช้ช่วงคลื่นตำแหน่ง Red edge (ช่วงคลื่นที่ 5) เพียง 1 ช่วงคลื่นจากภาพถ่ายจากดาวเทียม

บรรณานุกรม

- Cao, R., Chen, Y., Shen, M., Chen, J., Zhou, J., Wang, C., and Yang, W. (2018). A simple method to improve the quality of NDVI time-series data by integrating spatiotemporal information with the Savitzky-Golay filter. *Remote Sensing of Environment*, 217, 244-257. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.08.022>
- Congedo, L. (2016). *Semi-Automatic Classification Plugin Documentation. Release 6.0.1.1.*
- Deng, L., Mao, Z., Li, X., Hu, Z., Duan, F., and Yan, Y. (2018). UAV-based multispectral remote sensing for precision agriculture: A comparison between different cameras. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 146, 124-136. doi:<https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2018.09.008>
- Dhau, I., Adam, E., Mutanga, O., Ayisi, K., Abdel-Rahman, E. M., Odindi, J., and Masocha, M. (2018). Testing the capability of spectral resolution of the new multispectral sensors on detecting the severity of grey leaf spot disease in maize crop. *Geocarto International*, 33(11), 1223-1236. doi:10.1080/10106049.2017.1343391
- Du, S., Liu, X., Zhang, D., Zhang, X., Huang, L., Zhao, X., Xu, L., and Xu, Y. (2018). *Growth monitoring of weak gluten wheat using visible and multispectral UAV imagery.* Paper presented at the 2018 7th International Conference on Agro-Geoinformatics, Agro-Geoinformatics 2018.
- Harrison, B. A., and Jupp, D. L. B. (1990). *Introduction to image processing: Part two of the microBRIAN resource manual:* East Melbourne: CSIRO Australia.
- Hsuan, W. C., Hao, L. S., and Kuo, Y. C. (2018). *Recognition of rice damage area on UAV ortho-images.* Paper presented at the Proceedings of 4th IEEE International Conference on Applied System Innovation 2018, ICASI 2018.
- Huang, H., Deng, J., Lan, Y., Yang, A., Deng, X., and Zhang, L. (2018). A fully convolutional network for weed mapping of unmanned aerial vehicle (UAV) imagery. *PLoS ONE*, 13(4), e0196302.
- Khalig, A., Comba, L., Biglia, A., Ricauda Aimonino, D., Chiaberge, M., and Gay, P. (2019). Comparison of Satellite and UAV-Based Multispectral Imagery for Vineyard

- Variability Assessment. *Remote Sensing*, 11(4), 436.
- Li, M., Huang, Y., Li, X., Peng, D., and Xie, J. (2018). Extraction of rice planting information based on remote sensing image from UAV. *Nongye Gongcheng Xuebao/Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 34(4), 108-114. doi:10.11975/j.issn.1002-6819.2018.04.013
- Li, P., Xiao, C., and Feng, Z. (2018). Mapping Rice Planted Area Using a New Normalized EVI and SAVI (NVI) Derived From Landsat-8 OLI. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*. doi:10.1109/LGRS.2018.2865516
- Liu, M., Wang, T., Skidmore, A. K., and Liu, X. (2018). Heavy metal-induced stress in rice crops detected using multi-temporal Sentinel-2 satellite images. *Science of the Total Environment*, 637-638, 18-29. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.415>
- MicaSense, I., Seattle, WA, USA. (2018).
- Moore, D. S., Notz, W., and Fligner, M. A. (2013). *The basic practice of statistics*: WH Freeman.
- Norasma, C. Y. N., Abu Sari, M. Y., Fadzilah, M. A., Ismail, M. R., Omar, M. H., Zulkarami, B., Hassim, Y. M. M., and Tarmidi, Z. (2018). *Rice crop monitoring using multicopter UAV and RGB digital camera at early stage of growth*. Paper presented at the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.
- Oguro, Y., Suga, Y., Takeuchi, S., Ogawa, H., and Tsuchiya, K. (2003). Monitoring of a rice field using landsat-5 TM and landsat-7 ETM+ data. *Advances in Space Research*, 32(11), 2223-2228. doi:[https://doi.org/10.1016/S0273-1177\(03\)90546-1](https://doi.org/10.1016/S0273-1177(03)90546-1)
- Orillo, J. W., Bansil, G., Bernardo, J. J., Dizon, C., Imperial, H., MacAbenta, A. M., and Palima, R. (2017). Determination of green leaves density using normalized difference vegetation index via image processing of in-field drone-captured image. *Journal of Telecommunication, Electronic and Computer Engineering*, 9(2-6), 1-5.
- Raju, P. L. N., Gupta, C., Handique, B. K., Qadir, A., Saikom, V., Singh, P. S., Chutia, D., Pebam, R., and Goswami, J. (2017). *Applications of UAV remote sensing - Case examples of North Eastern Region*. Paper presented at the 38th Asian Conference on Remote Sensing - Space Applications: Touching Human Lives,

ACRS 2017.

- Sakamoto, T., Yokozawa, M., Toritani, H., Shibayama, M., Ishitsuka, N., and Ohno, H. (2005). A crop phenology detection method using time-series MODIS data. *Remote Sensing of Environment*, 96(3), 366-374.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.rse.2005.03.008>
- Shahriar, P., Md, Budde, M., and Rowland, J. (2014). Mapping irrigated areas in Afghanistan over the past decade using MODIS NDVI. *Remote Sensing of Environment*, 149, 155-165. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.04.008>
- Su, J., Liu, C., Coombes, M., Hu, X., Wang, C., Xu, X., Li, Q., Guo, L., and Chen, W.-H. (2018). Wheat yellow rust monitoring by learning from multispectral UAV aerial imagery. *Computers and Electronics in Agriculture*, 155, 157-166.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.10.017>
- Suwannachatkul, S., Kasetkasem, T., Chumkesornkulkit, K., Rakwatin, P., Chanwimaluang, T., and Kumazawa, I. (2014). *Rice cultivation and harvest date estimation using MODIS NDVI time-series data*. Paper presented at the Proceedings of the International Conference on Information and Communication Technology for Embedded Systems, Ayutthaya, Thailand.
- Tian, H., Wu, M., Wang, L., and Niu, Z. (2018). Mapping early, middle and late rice extent using Sentinel-1A and Landsat-8 data in the poyang lake plain, China. *Sensors (Switzerland)*, 18(1). doi:10.3390/s18010185
- Wan, L., Li, Y., Cen, H., Zhu, J., Yin, W., Wu, W., Zhu, H., Sun, D., Zhou, W., and He, Y. (2018). Combining UAV-based vegetation indices and image classification to estimate flower number in oilseed rape. *Remote Sensing*, 10(9).
doi:10.3390/rs10091484
- Xue, J., and Su, B. (2017). Significant remote sensing vegetation indices: A review of developments and applications. *Journal of Sensors*.
- Zhang, D., Zhou, X., Zhang, J., Lan, Y., Xu, C., and Liang, D. (2018). Detection of rice sheath blight using an unmanned aerial system with high-resolution color and multispectral imaging. *PLoS ONE*, 13(5). doi:10.1371/journal.pone.0187470
- Zhang, Z., Liu, M., Liu, X., and Zhou, G. (2018). A new vegetation index based on multitemporal Sentinel-2 images for discriminating heavy metal stress levels in

rice. *Sensors*, 18(7), 2172.

Zheng, H., Cheng, T., Li, D., Zhou, X., Yao, X., Tian, Y., Cao, W., and Zhu, Y. (2018).

Evaluation of RGB, color-infrared and multispectral images acquired from unmanned aerial systems for the estimation of nitrogen accumulation in rice.

Remote Sensing, 10(6). doi:10.3390/rs10060824

Zhou, X., Zheng, H. B., Xu, X. Q., He, J. Y., Ge, X. K., Yao, X., Cheng, T., Zhu, Y., Cao, W.

X., and Tian, Y. C. (2017). Predicting grain yield in rice using multi-temporal vegetation indices from UAV-based multispectral and digital imagery. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 130, 246-255.

doi:<https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2017.05.003>

doi:<https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2017.05.003>

กระทรวงพาณิชย์ และ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2555). บทสรุปสาระสำคัญของยุทธศาสตร์ข้าวไทย. ฉบับที่ 2 ปี 2555 – 2559.

อลดา เดชะพงศ์ธนา, สุพรรณ กาญจนสุธรรม, แก้ว นวลฉวี และ นฤมล อินทวิเชียร. (2559). ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิพื้นผิว และดัชนีความแตกต่างพืชพรรณของพื้นที่นาข้าวในแต่ละช่วงการเจริญเติบโต จากข้อมูลดาวเทียม. คณะภูมิสารสนเทศศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา.

ณททัย ราตรี. (2556). สถิติเบื้องต้นแนวคิดและทฤษฎี.

สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน), กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, สมาคมสำรวจข้อมูลระยะไกลและสารสนเทศศาสตร์แห่งประเทศไทย. (2551). ตำราเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศศาสตร์.

สุทัศน์ สุรวาณิช, ประณต มณีอินทร์, ชัยวัฒน์ นันทโชติ, และพชรอร แก้วเจริญ. (2560). สำรวจความอุดมสมบูรณ์ดินด้วยเทคนิควิเคราะห์ข้อมูลระยะไกล. การประชุมวิชาการดิน และปุ๋ยแห่งชาติ ครั้งที่ 5 ณ โรงแรมเซ็นทรา บาย เซ็นทารา แจ้งวัฒนะ กรุงเทพฯ.

พิสิษฐ สังขรัตน์, รจนา คุณพูล, ต่อลาภ การปลื้มจิตร, กวิภา สุขข, และ ปวีตร ภูิระวณิชกุล. (2560). แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่สีเขียวในเขตเมือง. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 22 จ.นครราชสีมา.



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	Mr. Nilandone XAIYAVONG
วัน เดือน ปี เกิด	
สถานที่เกิด	Vientiane Capital
วุฒิการศึกษา	2015 B.Eng. National University of Lao, Laos
ที่อยู่ปัจจุบัน	Mai Village, Sikhodtabong district Vientiane Capital, 11 Road. Telephone number (Thailand) 0649930223 E-mail address Nlddone@gmail.com
รางวัลที่ได้รับ	February 2014, Student Talent Competition in Engineering October 2013, The ASEAN Civil Engineering Student Exchange Project



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY