

2023

การประเมินผลผลิตกาแพด้วยเทคนิคอากาศยานไร้คนขับ

สาวิตรี จันทร์สิงห์
คณะอักษรศาสตร์

Follow this and additional works at: <https://digital.car.chula.ac.th/chulaetd>

 Part of the [Geography Commons](#)

Recommended Citation

จันทร์สิงห์, สาวิตรี, "การประเมินผลผลิตกาแพด้วยเทคนิคอากาศยานไร้คนขับ" (2023). *Chulalongkorn University Theses and Dissertations (Chula ETD)*. 10585.

<https://digital.car.chula.ac.th/chulaetd/10585>

This Thesis is brought to you for free and open access by Chula Digital Collections. It has been accepted for inclusion in Chulalongkorn University Theses and Dissertations (Chula ETD) by an authorized administrator of Chula Digital Collections. For more information, please contact ChulaDC@car.chula.ac.th.

การประเมินผลผลิตกาแฟด้วยเทคนิคอากาศยานไร้คนขับ



นางสาวสาวิตรี จันทร์สิงห์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาภูมิศาสตร์และภูมิสารสนเทศ ภาควิชาภูมิศาสตร์

คณะอักษรศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2566

ASSESSMENT OF COFFEE YIELDS USING UNMANNED AERIAL VEHICLE TECHNIQUES



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Geography and Geoinformatics

Department of Geography

Faculty of Arts

Chulalongkorn University

Academic Year 2023

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประเมินผลผลิตกาแฟด้วยเทคนิคอากาศยานไร้คนขับ
โดย	นางสาวสาวิตรี จันทร์สิงห์
สาขาวิชา	ภูมิศาสตร์และภูมิสารสนเทศ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฐิติรัตน์ ปั่นบำรุงกิจ

คณะอักษรศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

.....	คณบดีคณะอักษรศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุรเดช โชติอุดมพันธ์)	
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ประธานกรรมการ
.....	
(อาจารย์ ดร.เอกกมล วรรณเมธี)	
.....	อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฐิติรัตน์ ปั่นบำรุงกิจ)	
.....	กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุเทพ จิรขจรกุล)	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สาวิตรี จันทร์สิงห์ : การประเมินผลผลิตกาแฟด้วยเทคนิคอากาศยานไร้คนขับ.
(ASSESSMENT OF COFFEE YIELDS USING UNMANNED AERIAL VEHICLE
TECHNIQUES) อ.ที่ปรึกษาหลัก : ผศ. ดร.รัฐรัตน์ ปั้นบำรุงกิจ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ เพื่อศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการให้ผลผลิตกาแฟและเพื่อพัฒนาแบบจำลอง การประเมินผลผลิตกาแฟพันธุ์อาราบิก้าจากข้อมูลที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับในพื้นที่บ้านสันเจริญ อำเภอท่าวังผา จังหวัดน่าน โดยใช้แปลงตัวอย่าง 4 แปลง และมีช่วงระยะเวลาการเก็บเกี่ยวผลผลิตระหว่างปี 2021-2022 ผู้วิจัยใช้ปัจจัย ค่าความสูง ขนาดทรงพุ่ม เส้นรอบวงลำต้น และปัจจัยดัชนีความพืชพรรณความเขียวของพืชในช่วงคลื่นที่ตามองเห็น (VARI) ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์แบบจำลองสมการทางคณิตศาสตร์และการประเมินความน่าเชื่อถือทางสถิติด้วยค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) และค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) ผลการวิจัย พบว่า สมการการประมาณค่าผลผลิตกาแฟของทั้ง 4 แปลง จากความสูง ขนาดทรงพุ่ม เส้นรอบวงลำต้น และ VARI สามารถอธิบายความผันแปรของผลผลิตได้ร้อยละ 74-88 และทุกตัวแปรีผลต่อการคาดการณ์ผลผลิตกาแฟเฉลี่ยรายต้น อย่างมีนัยสำคัญที่ 95% ซึ่งปัจจัยที่ส่งผลต่อการคาดการณ์ปริมาณผลผลิตมากที่สุดคือเส้นรอบวงลำต้น (0.582) รองลงมาคือดัชนีพืชพรรณ VARI (0.411) ขนาดทรงพุ่ม (0.406) และความสูง (-0.401) เมื่อวิเคราะห์การประเมินจำนวนผลผลิตเฉลี่ยรายต้นของทุกแปลงจะมีค่า RMSE เท่ากับ 2.12 กิโลกรัมต่อต้น นอกจากนี้ผู้วิจัยได้นำสมการการคาดการณ์ผลผลิตเฉลี่ยรายต้นที่ได้ไปทดสอบกับแปลงตรวจสอบ พบว่ามีค่า RMSE เท่ากับ 2.37 กิโลกรัมเฉลี่ยต่อต้น การวิจัยนี้สามารถนำไปเป็นตัวอย่างของการใช้ข้อมูลจากอากาศยานไร้คนขับไปวางแผนผลผลิตเกษตรกรรมต่อไป

สาขาวิชา ภูมิศาสตร์และภูมิสารสนเทศ ลายมือชื่อนิสิต

ปีการศึกษา 2566 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

6180336822 : MAJOR GEOGRAPHY AND GEOINFORMATICS

KEYWORD: assessment of coffee yields, unmanned aerial vehicle

Sawitree Chansing : ASSESSMENT OF COFFEE YIELDS USING UNMANNED AERIAL VEHICLE TECHNIQUES. Advisor: Asst. Prof. Thitirat Panbamrungkij, Ph.D.

The objective of this research is to study factors related to coffee yield and to develop a model for assessing the productivity of Arabica coffee based on data obtained from unmanned aerial vehicle (UAV) in Ban San Charoen, Tha Wang Pha District, Nan Province, during the 2021-2022 harvest seasons. The researchers used variables which are plant height, canopy size, trunk circumference, and Visible Atmospherically Resistant Index (VARI). Mathematical modeling and statistical reliability assessment using the coefficient of determination (R^2) and the root mean square error (RMSE) were employed. The research findings revealed that the equations of coffee-yield estimation for all four study areas, using plant height, canopy size, trunk circumference and VARI, were able to explain 74-88% of yield variations, with all variables significantly affecting coffee-yield estimation at a 95% confidence level. The most influential factor in yield predictions was trunk circumference (0.582), followed by the VARI vegetation index (0.411), canopy size (0.406), and plant height (-0.401). When analyzing the average yield per plant for all study areas, the RMSE value was found to be 2.12 kilogram per plant. Additionally, the researchers tested the coffee yield estimation model for average yield per plant on a validation area and found an RMSE value of 2.37 kilogram per plant on average. This research can serve as an example of using UAV data for future agricultural production planning.

Field of Study: Geography and
Geoinformatics

Student's Signature

Academic Year: 2023

Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากโครงการทุนวิจัยมหาบัณฑิต วช. ด้านมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ ประจำปี พ.ศ. 2564 ผู้วิจัยจึงขอขอบคุณสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.) เป็นอย่างสูงที่ได้ให้ทุนอุดหนุนการทำวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษาวิจัย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ฐิติรัตน์ ปั่นบำรุงกิจ ที่ให้คำปรึกษาและข้อคิดเห็นต่าง ๆ ในการวิจัยมาโดยตลอด รวมทั้งช่วยแก้ไขข้อบกพร่องจนงานวิจัยนี้สำเร็จลงได้

ขอขอบคุณ นายธนวิทย์ ถมกระจำง และคณะ ที่ให้ความช่วยเหลือและให้คำแนะนำในการออกพื้นที่เก็บข้อมูลภาคสนามและเก็บข้อมูลด้วยอากาศยานไร้คนขับ

ในทำนองนี้ขอขอบคุณเจ้าของไร่กาแฟที่อนุญาตให้ใช้พื้นที่ในการเก็บข้อมูลสำหรับการวิจัยในครั้งนี้ ตลอดจนบุคคลต่าง ๆ ในพื้นที่หมู่บ้านสันเจริญ ตำบลผาทอง อำเภอท่าวังผา จังหวัดน่าน ที่มีส่วนให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สาวิตรี จันทร์สิงห์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูปภาพ.....	ฐ
บทที่ 1	15
บทนำ.....	15
1.2 วัตถุประสงค์	16
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	16
1.4 วิธีดำเนินการศึกษา.....	17
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการศึกษา.....	18
1.6 นิยามศัพท์	18
บทที่ 2	19
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	19
2.1 การปลูกกาแฟอาราบิกา.....	19
2.1.1 การปลูกกาแฟในประเทศไทย	19
2.1.2 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของกาแฟอาราบิกา	20
2.2 สถานการณ์การผลิตกาแฟอาราบิกาในประเทศไทย	22
2.3 การรังวัดด้วยภาพถ่าย.....	26
2.3.1 การสำรวจรังวัดด้วยภาพถ่ายแบบวัดภาพ.....	27

2.3.2 ประเภทของอากาศยานไร้คนขับสำหรับงานสำรวจด้วยภาพถ่าย	31
2.3.3 การแบ่งประเภทกล้องดิจิทัลและความถูกต้องเชิงตำแหน่งพิกัดจุดถ่ายภาพ	32
2.4 โคร่งข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศ	33
2.4.3 ชนิดของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GNSS.....	34
2.4.4 เทคนิคในการรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอสแบบสัมพัทธ์ (Differential or Relative GPS Positioning)	36
2.5 การประเมินผลผลิตด้วยภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ	39
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	40
บทที่ 3	44
พื้นที่ศึกษา	44
3.1 ที่ตั้งและอาณาเขตของพื้นที่ศึกษา.....	44
3.2 ลักษณะภูมิประเทศ.....	45
3.3 ลักษณะภูมิอากาศ.....	45
3.4 การใช้ประโยชน์ที่ดิน.....	46
3.5 ทรัพยากรดิน.....	48
3.6 จำนวนประชากร.....	48
3.7 ข้อมูลด้านเศรษฐกิจและอุตสาหกรรม	49
3.8 ประวัติความเป็นมาการปลูกกาแฟของพื้นที่ศึกษา	50
บทที่ 4	52
วิธีการดำเนินการวิจัย	52
4.1 การกำหนดพื้นที่ศึกษาเพื่อเก็บข้อมูลของต้นกาแฟ.....	54
4.2 การเก็บข้อมูลตำแหน่งและลักษณะทางกายภาพของต้นกาแฟในแปลงตัวอย่าง	54
4.2.1 การเก็บข้อมูลความสูงของต้นกาแฟ.....	54
4.2.2 การเก็บข้อมูลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นกาแฟ	55

4.2.3 การวัดขนาดทรงพุ่มของต้นกาแฟ	56
4.2.4 การเก็บข้อมูลน้ำหนักผลผลิตกาแฟ.....	56
4.3 การเก็บข้อมูลความสูงและขนาดทรงพุ่มต้นกาแฟ จากอากาศยานไร้คนขับ.....	57
4.3.1 การกำหนดค่าพิกัดอ้างอิงในพื้นที่ศึกษา	57
4.3.2 การสำรวจรังวัดค่าพิกัดของจุดควบคุมภาคพื้นดินและจุดตรวจสอบ	58
4.3.3 การสร้างภาพถ่ายทางอากาศจากอากาศยานไร้คนขับ.....	59
4.3.4 การประมวลผลข้อมูลที่ได้จากการถ่ายภาพทางอากาศ	60
4.3.5 การหาค่าความสูงของต้นกาแฟจากข้อมูลอากาศยานไร้คนขับ	63
4.3.6 การประมาณค่าขนาดทรงพุ่มต้นกาแฟจากข้อมูลอากาศยานไร้คนขับ	63
4.3.7 การประมาณค่าขนาดเส้นรอบวงต้นกาแฟให้กับข้อมูลที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับ	64
4.4 การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลจากอากาศยานไร้คนขับ	64
4.5 การหาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลจากข้อมูลอากาศยานไร้คนขับกับจากข้อมูลในภาคสนาม	65
4.6 การคำนวณดัชนีความแตกต่างของช่วงคลื่นที่มองเห็นได้ในชั้น (VARI)	66
4.7 การประมาณค่าจำนวนผลผลิตกาแฟ	67
บทที่ 5	68
ผลการวิจัย	68
5.1 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการให้ผลผลิตกาแฟ.....	69
5.2 การประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ.....	71
5.3 การหาค่าความสูงจากข้อมูลอากาศยานไร้คนขับและตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล.....	73
5.4 การประมาณค่าขนาดทรงพุ่มต้นกาแฟจากข้อมูลอากาศยานไร้คนขับและตรวจสอบความ ถูกต้องของข้อมูล	75
5.5 การประมาณค่าขนาดเส้นรอบวงต้นกาแฟให้กับข้อมูลที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับจากข้อมูลความ สูงและขนาดเส้นรอบวงจากข้อมูลในภาคสนามและตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล	77
5.6 การคำนวณดัชนีความแตกต่างของดัชนีพืชพรรณ VARI	79

5.7 การประมาณค่าจำนวนผลผลิตกาแฟ	80
5.8 การตรวจสอบความถูกต้องของสมการทำนายผลผลิต	90
บทที่ 6	91
สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ	91
6.1 สรุปผลการวิจัย	91
6.2 ปัญหาและอุปสรรค	94
6.3 ข้อเสนอแนะ	94
ภาคผนวก.....	95
แบบสอบถาม เรื่อง ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตกาแฟ	95
บรรณานุกรม.....	98
ประวัติผู้เขียน	99



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 จำนวนผลิตกาแฟต่อไร่ ของประเทศไทย ปี 2553/2554 - 2557/2558	22
ตารางที่ 2 ความต้องการใช้เมล็ดกาแฟพันธุ์อาราบิก้าในประเทศไทย ปี 2559 – 2563	23
ตารางที่ 3 ปริมาณและมูลค่าการส่งออกกาแฟของประเทศไทย ปี 2554 – 2558	23
ตารางที่ 4 ปริมาณและมูลค่าการนำเข้ากาแฟของประเทศไทย ปี 2554 – 2558	24
ตารางที่ 5 พื้นที่เพาะปลูกกาแฟและจำนวนผลผลิตในประเทศไทย ปี 2562	25
ตารางที่ 6 พื้นที่เพาะปลูกกาแฟและจำนวนผลผลิตในประเทศไทย ปี 2562 (ต่อ).....	26
ตารางที่ 7 การแบ่งประเภทของกล้องถ่ายภาพทางอากาศ	32
ตารางที่ 8 แสดงวิธีการรังวัดในภาคสนาม	37
ตารางที่ 9 สภาพภูมิอากาศของจังหวัดน่าน	45
ตารางที่ 10 การใช้ที่ดินของจังหวัดน่าน ในปี 2564	46
ตารางที่ 11 จำแนกกลุ่มดินที่พบในจังหวัดน่าน.....	48
ตารางที่ 12 ข้อกำหนดค่าความคลาดเคลื่อนทางราบของ AMERICAN SOCIETY FOR PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING (ASPRS, 2014).....	61
ตารางที่ 13 ข้อกำหนดค่าความคลาดเคลื่อนทางตั้งของพื้นผิวที่มีพืชปกคลุม AMERICAN SOCIETY FOR PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING (ASPRS, 2014).....	62
ตารางที่ 14 เกณฑ์การแปลความหมายค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (ชูศรี วงศ์รัตน์, 2544).....	66
ตารางที่ 15 ความคลาดเคลื่อนจุดควบคุมภาคพื้นดิน	72
ตารางที่ 16 ความคลาดเคลื่อนของจุดตรวจสอบทางราบและทางตั้ง.....	72
ตารางที่ 17 ความสูงของต้นกาแฟในที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับและการสำรวจภาคสนาม	74
ตารางที่ 18 กำหนดค่า Spectral detail, Spatial detail และ Minimum segment size in pixels	76
ตารางที่ 19 ขนาดทรงพุ่มของต้นกาแฟในที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับและการสำรวจภาคสนาม.....	76

ตารางที่ 20 แสดงสมการความสัมพันธ์ของความสูงและขนาดเส้นรอบวงจากข้อมูลภาคสนาม.....	78
ตารางที่ 21 ขนาดเส้นรอบวงของต้นกาแพที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับและการสำรวจภาคสนาม ..	78
ตารางที่ 22 ตารางแสดงความสัมพันธ์ของผลผลิตกับลักษณะของต้นกาแพ แปลง A	81
ตารางที่ 23 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของปัจจัยส่งผลต่อจำนวนผลผลิตกาแพ แปลง A	81
ตารางที่ 24 แสดงผลการวิเคราะห์ปัจจัยกายวิภาคของต้นกาแพที่ส่งผลต่อจำนวนผลผลิตกาแพ แปลง A.	82
ตารางที่ 25 ตารางแสดงความสัมพันธ์ของผลผลิตกับลักษณะของต้นกาแพ แปลง B	82
ตารางที่ 26 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของปัจจัยส่งผลต่อจำนวนผลผลิตกาแพ แปลง B	83
ตารางที่ 27 แสดงผลการวิเคราะห์ปัจจัยกายวิภาคของต้นกาแพที่ส่งผลต่อจำนวนผลผลิตกาแพ แปลง B..	83
ตารางที่ 28 ตารางแสดงความสัมพันธ์ของผลผลิตกับลักษณะของต้นกาแพ แปลง C	84
ตารางที่ 29 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของปัจจัยส่งผลต่อจำนวนผลผลิตกาแพ แปลงC	84
ตารางที่ 30 แสดงผลการวิเคราะห์ปัจจัยกายวิภาคของต้นกาแพที่ส่งผลต่อจำนวนผลผลิตกาแพ แปลง C..	84
ตารางที่ 31 ตารางแสดงความสัมพันธ์ของผลผลิตกับลักษณะของต้นกาแพ แปลง D	85
ตารางที่ 32 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของปัจจัยส่งผลต่อจำนวนผลผลิตกาแพ แปลง D	85
ตารางที่ 33 แสดงผลการวิเคราะห์ปัจจัยกายวิภาคของต้นกาแพที่ส่งผลต่อจำนวนผลผลิตกาแพ แปลง D .	86
ตารางที่ 34 แสดงผลการทดสอบการประเมินจำนวนผลผลิตกาแพข้อมูลอากาศยานไร้คนขับจากข้อมูลความสูงขนาดทรงพุ่ม และเส้นรอบวงลำต้นกาแพ (รายต้นเฉลี่ย)	86
ตารางที่ 35 ตารางแสดงความสัมพันธ์ของผลผลิตกับลักษณะของต้นกาแพ เมื่อพิจารณาข้อมูลดัชนี VARI ของข้อมูลแปลงรวม	88
ตารางที่ 36 ตารางแสดงความสัมพันธ์ของผลผลิตกับลักษณะของต้นกาแพ เมื่อพิจารณาข้อมูลดัชนี VARI ของข้อมูลแปลงรวม	88
ตารางที่ 37 ตารางแสดงความสัมพันธ์ของผลผลิตกับลักษณะของต้นกาแพ เมื่อพิจารณาข้อมูลดัชนี	89

ตารางที่ 38 แสดงผลการทดสอบการประเมินจำนวนผลผลิตกาแฟข้อมูลอากาศยานไร้คนขับจาก
ข้อมูลความสูง ขนาดทรงพุ่ม เส้นรอบวงลำต้นกาแฟ และดัชนีพืชพรรณ VARI (รายต้นเฉลี่ยของแปลงรวม)
..... 89

ตารางที่ 39 การตรวจสอบและประเมินความถูกต้องของสมการทำนายผลผลิตกาแฟ 90



สารบัญรูปภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1 แสดงที่ตั้งของแปลงปลูกกาแฟในการวิจัยครั้งนี้	17
ภาพที่ 2 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของกาแฟอาราบิกา	21
ภาพที่ 3 การเก็บบันทึกข้อมูลค่าพิกัดฉากสามมิติ (X, Y, Z)	27
ภาพที่ 4 กลุ่มจุดพิกัดสามมิติ (Point Cloud)	28
ภาพที่ 5 ข้อมูลราสเตอร์ที่เก็บความสูงของลักษณะภูมิประเทศ DSM และ DTM	29
ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่าง DSM ซึ่งมีการหักลบความสูงเพื่อผลิต DEM และ DTM	29
ภาพที่ 7 ภาพถ่ายออร์โธ	30
ภาพที่ 8 แผนที่สายเส้น	31
ภาพที่ 9 เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบมือถือ	34
ภาพที่ 10 เครื่องรับสัญญาณ GNSS แบบความถี่เดียว	35
ภาพที่ 11 เครื่องรับสัญญาณ GNSS แบบสองความถี่และหลายระบบดาวเทียมนำหน	36
ภาพที่ 12 ที่ตั้งของพื้นที่ศึกษา	44
ภาพที่ 13 การใช้ประโยชน์ที่ดินจังหวัดน่าน	47
ภาพที่ 14 แสดงจำนวนประชากรในพื้นที่การศึกษา	49
ภาพที่ 15 ผังแสดงขั้นตอนของการวิจัย	53
ภาพที่ 16 (ก) แปลงตัวอย่างและแปลงตรวจสอบ (ข) การตัดป่าเพื่อใช้ในการบันทึกข้อมูล	54
ภาพที่ 17 ไม้ระดับที่ใช้เก็บข้อมูลความสูงต้นกาแฟ	55
ภาพที่ 18 (ก) ลักษณะลำต้นของต้นกาแฟ (ข) สายวัดที่ใช้เก็บข้อมูลความสูงต้นกาแฟ	55
ภาพที่ 19 ลักษณะทรงพุ่มต้นกาแฟ	56
ภาพที่ 20 การเก็บข้อมูลน้ำหนักผลผลิตกาแฟ	57
ภาพที่ 21 การกำหนดจุดควบคุมภาคพื้นดินและจุดตรวจสอบ	58

ภาพที่ 22 การสำรวจรังวัดค่าพิกัดของจุดควบคุมภาคพื้นดินและจุดตรวจสอบ	59
ภาพที่ 23 ตัวอย่างการกำหนดความสูงบิน ส่วนซ้อนส่วนเกย และทำการบินถ่ายภาพ	59
ภาพที่ 24 ตัวอย่างการประมวลผลภาพถ่ายด้วยโปรแกรม Pix4Dmapper	62
ภาพที่ 25 แบบจำลองความสูงต้นไม้	63
ภาพที่ 26 การประมาณค่าขนาดทรงพุ่มโดยวิธี Image Segmentation.....	64
ภาพที่ 27 ปัจจัยทางธรรมชาติในที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของต้นกาแพ.....	69
ภาพที่ 28 ปัจจัยที่ส่งเสริมให้ต้นกาแพให้ผลผลิตที่มีคุณภาพ	70
ภาพที่ 29 ปัจจัยทางกายภาพของต้นกาแพที่สามารถคาดการณ์ปริมาณผลผลิตของต้นกาแพ	70
ภาพที่ 30 แสดงผลการประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ	71
ภาพที่ 31 แสดงผลลัพธ์แบบจำลองความสูงของชั้นเรือนยอด.....	73
ภาพที่ 32 แสดงความสัมพันธ์ของความสูงต้นกาแพจากการสำรวจและจากอากาศยานไร้คนขับ	75
ภาพที่ 33 แสดงความสัมพันธ์ของขนาดทรงพุ่มต้นจากการสำรวจและจากอากาศยานไร้คนขับ	77
ภาพที่ 34 แสดงความสัมพันธ์ของความสูงต้นและเส้นรอบวงลำต้น	79
ภาพที่ 35 แสดงผลการคำนวณค่าดัชนี VARI ด้วยโปรแกรม ArcGIS Pro	80

บทที่ 1

บทนำ

การขยายพื้นที่การเกษตรเชิงเดี่ยวโดยเฉพาะการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทยเป็นเหตุผลหนึ่งที่สร้างผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่น การบุกรุกพื้นที่ป่าที่ทำให้ระบบนิเวศถูกทำลายและปัญหาหมอกควันจากการเผาแปลงเกษตรหลังการเก็บเกี่ยว การแก้ปัญหาดังกล่าวจำเป็นต้องร่วมมือกัน จากหลายภาคส่วนและปรับกระบวนการคิด ทั้งด้านคุณภาพของผลผลิตทางการเกษตรและการเพิ่มพื้นที่ป่าเพื่อการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและแหล่งต้นน้ำลำธาร การทำเกษตรแบบผสมผสานหรือวนเกษตรเป็นวิธีการหนึ่งของการบริหารจัดการพื้นที่เกษตรอย่างยั่งยืนที่สามารถปลูกพืชเศรษฐกิจควบคู่กับการปลูกป่าไม้ได้ หนึ่งในพืชเศรษฐกิจที่เป็นที่สนใจเกษตรกรไทยคือกาแฟ เพราะเป็นพืชเศรษฐกิจที่ให้มูลค่าสูงและเป็นที่ต้องการของตลาด อีกทั้งแนวโน้มของธุรกิจผลิตกาแฟมีโอกาสขยายตัวได้อีกมาก จากความต้องการใช้กาแฟของโลกที่มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ (กรมวิชาการเกษตร, 2560)

สถานการณ์กาแฟของประเทศไทยในปัจจุบันผลิตเมล็ดกาแฟยังไม่เพียงพอต่อความต้องการบริโภคภายในประเทศ สาเหตุจากพื้นที่เพาะปลูกกาแฟลดลงในช่วง 5 ปี ย้อนหลัง (ปี 2557 - 2561) ประเทศไทยผลิตเมล็ดกาแฟได้ปีละ 26,000 ตัน แต่ความต้องการใช้กาแฟมีถึง 90,000 ตัน อีกทั้งความต้องการบริโภคกาแฟของสังคมไทยในปัจจุบันมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ จึงได้จัดทำยุทธศาสตร์กาแฟ ปี 2560 - 2564 โดยมีเป้าหมายที่จะเพิ่มทั้งคุณภาพและปริมาณผลผลิตให้แก่อุตสาหกรรมกาแฟไทย (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2561) ดังนั้นหากสามารถวางแผนการเพาะปลูกและประเมินผลผลิตที่คาดว่าจะเก็บเกี่ยวได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำ จะสามารถนำข้อมูลไปใช้ในการวางแผนการเพิ่มผลผลิตจากปัจจัยที่เกี่ยวข้องได้

ปัจจุบันความก้าวหน้าของเทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับ เป็นประโยชน์อย่างมากในการศึกษาพืชเพื่อการเกษตรและป่าไม้ เพราะสามารถประเมินสถานการณ์ได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ ความสามารถในการประมาณกายวิภาคของต้นไม้ได้อย่างแม่นยำ เช่น ความสูง และขนาดทรงพุ่ม (ศิวา แก้วปลั่ง, 2561) ข้อมูลดังกล่าวมีความสำคัญในการคำนวณผลผลิตของพืช ผู้วิจัยเลือกพื้นที่ศึกษาที่บ้านสันเจริญ ตำบลผาทอง อำเภอท่าวังผา จังหวัดน่าน ซึ่งเป็นพื้นที่ปลูกกาแฟที่เก่าแก่มากที่สุดแห่งหนึ่งของจังหวัดน่าน ประชากรในพื้นที่มีประสบการณ์ในการปลูกกาแฟมาเป็นเวลานาน ในการศึกษาครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการให้ผลผลิตกาแฟในอำเภอท่าวังผา จังหวัดน่าน และเพื่อประเมินผลผลิตกาแฟพันธุ์อาราบิก้า จากข้อมูลที่ได้จากอากาศยาน

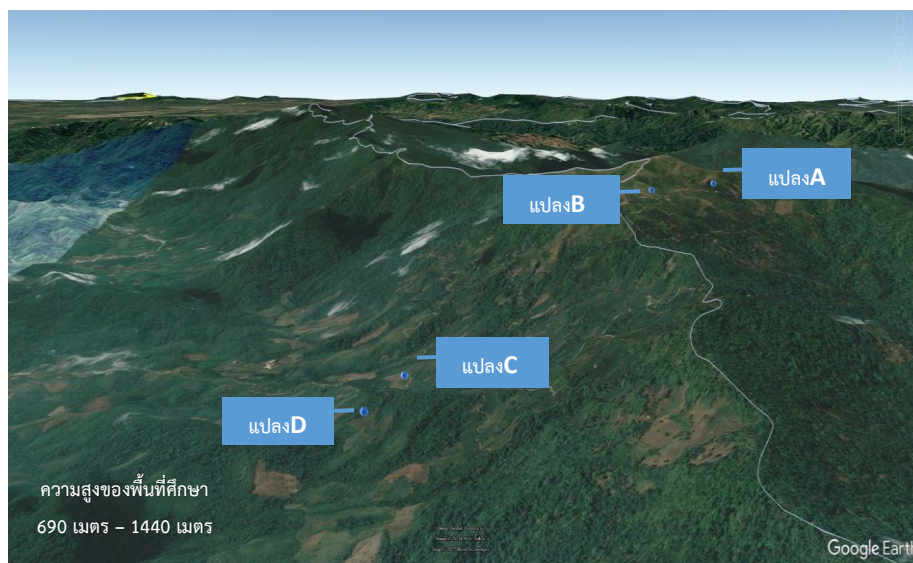
ยานไร้คนขับ ผู้วิจัยประมาณค่าความสูงและขนาดทรงพุ่มของต้นกาแฟ โดยสร้างข้อมูลแบบจำลอง ความสูงสิ่งปกคลุมดินจากการประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับซึ่งให้ความถูกต้องทางตำแหน่งสูง รวมถึงความสมบูรณ์ของพืชซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้ค่าดัชนีความเขียวของพืชที่ได้ จากค่าการสะท้อนแสงในช่วงคลื่นที่ตามองเห็น (Visible Atmospherically Resistant Index: VARI) จากนั้นจึงนำข้อมูลจากการสำรวจภาคสนามกับข้อมูลที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับมาตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลขั้นตอนถัดไป จึงสร้างสมการสำหรับการประเมินผลผลิตกาแฟที่ได้จากข้อมูลอากาศยานไร้คนขับ และตรวจสอบความถูกต้องและความแม่นยำของสมการในแปลงตรวจสอบที่เตรียมไว้ ผลการวิจัยที่ได้จากการทดสอบนี้จะนำไปเป็นต้นแบบหรือแนวทางการคาดการณ์ผลผลิตกาแฟต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการให้ผลผลิตกาแฟในอำเภอท่าวังผา จังหวัดน่าน
- 2) เพื่อประเมินผลผลิตกาแฟพันธุ์อาราบิก้า จากข้อมูลที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับ

1.3 ขอบเขตการศึกษา

ผู้วิจัยดำเนินการศึกษาในแปลงกาแฟดอยสวนยาหลวง บ้านสันเจริญ ตำบลผาทอง อำเภอท่าวังผา จังหวัดน่าน มีพื้นที่บางส่วนอยู่ในความรับผิดชอบของหน่วยศึกษาคูการอนุรักษ์ต้นน้ำดอยกาด อำเภอปาง จังหวัดพะเยา พื้นที่ปลูกกาแฟส่วนใหญ่อยู่บนดอยสวนยาหลวง เนื้อที่ปลูกกาแฟทั้งหมด ประมาณ 7,700 ไร่ เน้นปลูกกาแฟพันธุ์อาราบิก้า เพราะเป็นพันธุ์ที่เหมาะสมกับพื้นที่สูงกว่าระดับน้ำทะเลปานกลางประมาณ 690 - 1,140 เมตร อีกทั้งยังมีอากาศหนาวเย็นตลอดปี ทำให้ต้นกาแฟเจริญเติบโตอย่างสมบูรณ์ การศึกษาครั้งนี้ กำหนดแปลงตัวอย่างจำนวน 4 แปลง (ภาพที่ 1) กำหนดชื่อแปลงศึกษา A-D ซึ่งมีความแตกต่างกันด้านอายุและความสูงของพื้นที่เหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง แปลงกาแฟมีอายุ 4-7 ปี และมีพื้นที่รวมทั้งหมดประมาณ 93 ไร่



ภาพที่ 1 แสดงที่ตั้งของแปลงปลูกกาแฟในการวิจัยครั้งนี้

1.4 วิธีดำเนินการศึกษา

- 1) ศึกษาและรวบรวมแนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 2) กำหนดพื้นที่ศึกษา เลือกแปลงตัวอย่าง แปลงตรวจสอบ และจำนวนตัวอย่าง
- 3) เก็บข้อมูลความสูง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและขนาดทรงพุ่มของต้นกาแฟ
- 4) เก็บข้อมูลน้ำหนักผลผลิตกาแฟในแปลงตัวอย่างและแปลงตรวจสอบ
- 5) กำหนดจุดควบคุมและจุดตรวจสอบเพื่อใช้ในการปรับแก้และตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล
- 6) กำหนดพื้นที่สำรวจความสูงบิน ส่วนซ้อน ส่วนเกยของข้อมูล และทำการบินถ่ายภาพ
- 7) ประมวลผลข้อมูลและผลลัพธ์ภาพถ่ายทางอากาศที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับ
- 8) หาความสัมพันธ์ระหว่างความสูง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง และขนาดทรงพุ่มของกาแฟที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม
- 9) เปรียบเทียบข้อมูลความสูง และขนาดทรงพุ่มต้นกาแฟที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับและที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม
- 10) หาความสัมพันธ์ระหว่างความสูง และขนาดทรงพุ่มที่ได้จากการสำรวจภาคสนามและข้อมูลที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับ
- 11) ประเมินผลผลิตกาแฟที่ได้จากข้อมูลอากาศยานไร้คนขับและเทียบเคียงผลผลิตกับข้อมูลที่ได้จากการเก็บภาคสนามในแปลงตัวอย่างและแปลงตรวจสอบ ตลอดจนประมาณผลผลิตกาแฟรายต้นจากแปลงที่ศึกษาเทียบกับแปลงตรวจสอบ
- 12) วิเคราะห์และสรุปผลการวิจัย

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการศึกษา

- 1) แนวทางในการการประยุกต์ใช้อากาศยานไร้คนขับประเมินผลผลิตกาแฟ
- 2) เป็นแนวทางในการคาดการณ์ผลผลิตทางการเกษตรทั้งประเภทกาแฟและผลผลิตอื่นที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกันในพื้นที่อื่นต่อไป

1.6 นิยามศัพท์

อากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicle: UAV) หมายถึง เครื่องบินที่สามารถบินได้ด้วยระบบอัตโนมัติจากระบบควบคุมการบินและระบบสนับสนุนที่อยู่บนภาคพื้นดิน โดยไม่ต้องใช้นักบินประจำการอยู่บนอากาศยาน อากาศยานไร้คนขับมีรูปร่าง ขนาด รูปแบบ และเอกลักษณ์ที่แตกต่างกันออกไป การสร้างอากาศยานไร้คนขับหรือ UAV โดยทั่วไปจะคำนึงถึงหลัก 5 ประการ คือ ระยะเวลาบิน ความเร็วในการบิน รัศมีทำการ ความสูง และน้ำหนักรวม (สำนักงานคณะกรรมการป้องกันและปราบปรามยาเสพติด, 2560)

การประเมินผลผลิตกาแฟ (Assessment of Coffee yields) หมายถึง การคาดการณ์หรือการทำนายจำนวนเมล็ดกาแฟที่ได้จากการเก็บเกี่ยวผลผลิตจากต้นกาแฟ โดยผู้ปลูกกาแฟจะเรียกผลผลิตนี้ว่า ผลเซอร์รี่

กายวิภาคศาสตร์พืช (Plant Anatomy) หมายถึง ลักษณะทางกายภาพของพืช หรือโครงสร้างภายนอกของพืช เช่น ผล ดอก ลำต้น ใบ เป็นต้น

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยครั้งนี้ได้ศึกษาแนวความคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับ การปลูกกาแฟพันธุ์อาราบิกา สถานการณ์การผลิตกาแฟอาราบิกาในประเทศไทย การรังวัดด้วยภาพถ่ายทางอากาศ โคร่งข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศ และการประเมินผลผลิตด้วยภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ

2.1 การปลูกกาแฟอาราบิกา

กาแฟพันธุ์อาราบิกามีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Coffea arabica* L. อยู่ในวงศ์ Rubiaceae เจริญเติบโตในอุณหภูมิ 17 - 22 องศาเซลเซียสและต้องการความชื้นของน้ำฝนเฉลี่ยในปริมาณ 1,500 - 2,300 มิลลิเมตร กาแฟเป็นต้นไม้พุ่มขนาดเล็กความสูงถึง 5 เมตร และเป็นต้นไม้ไม่ทิ้งใบหรือผลัดใบปกติจะมีใบเขียวติดต้นตลอดปี (Evergreen) ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงคุณสมบัติของต้นกาแฟและการปลูก ดังต่อไปนี้ (พงษ์ศักดิ์ อังกสิทธิ์ และ บัณฑุรณ วาฤทธิ์, 2542)

2.1.1 การปลูกกาแฟในประเทศไทย

เกษตรกรชาวไทยปลูกกาแฟเป็นพืชเศรษฐกิจ ทางภาคเหนือนิยมปลูกพันธุ์อาราบิกา (Arabica) ส่วนภาคใต้นิยมปลูกกาแฟพันธุ์โรบัสต้า (Robusta) กาแฟอาราบิกาสายพันธุ์ต่างๆ ส่วนใหญ่กระจายไปตามแหล่งเพาะปลูกบนที่สูง โดยเฉพาะในพื้นที่ของมูลนิธิโครงการหลวง กาแฟอาราบิกาเป็นพืชชนิดหนึ่งเหมือนกับผลไม้ประเภทอื่น ๆ ที่ผลกาแฟนั้นขึ้นบนต้น รสชาติของกาแฟจะเกี่ยวข้องกับประกอบกับปัจจัยด้านความอุดมสมบูรณ์ของดิน อากาศ และพืชผลที่ปลูกโดยรอบต้นกาแฟ ดังนั้นกระบวนการในการเพาะปลูกมีส่วนสำคัญที่ส่งเสริมให้เกิดรสชาติเฉพาะตัวของเมล็ดกาแฟ นับเป็นพืชที่มีความสำคัญที่บ่งบอกเอกลักษณ์ทางพื้นที่และสะท้อนวิถีชีวิตของคนในพื้นที่ โดยเฉพาะวัฒนธรรมการบริโภคกาแฟ ปัจจุบันกาแฟเป็นพืชที่ได้รับความนิยมมากขึ้นเรื่อย ๆ เนื่องจากจำนวนประชากร 1 ใน 4 ของโลกบริโภคกาแฟเป็นประจำ กาแฟสามารถกำหนดสภาวะทางเศรษฐกิจของประเทศบางประเทศได้ ประเทศนั้น ๆ จึงถือว่ากาแฟเป็นพืชการเมืองเช่นกัน (พงษ์ศักดิ์ อังกสิทธิ์ และ บัณฑุรณ วาฤทธิ์, 2542)

แหล่งปลูกที่เหมาะสมสำหรับกาแฟอาราบิกาในประเทศไทย ตั้งแต่ละติจูด 17 องศาเหนือขึ้นไป มีความสูงจากระดับทะเลปานกลางตั้งแต่ 700 เมตรขึ้นไป และมีความลาดเอียงไม่เกิน 30 เปอร์เซ็นต์ลักษณะดินมีความอุดมสมบูรณ์ ชั้นดินลึกไม่น้อยกว่า 50 เซนติเมตร มีความเป็นกรดต่าง 5.5 - 6.5 และระบายน้ำดี สภาพภูมิอากาศมีอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 15 - 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์มากกว่า 60 เปอร์เซ็นต์ แหล่งน้ำอาศัยน้ำฝนจากธรรมชาติปริมาณฝนไม่ต่ำกว่า 1,500

มิลลิเมตรต่อปี มีการกระจายของฝน 5 - 8 เดือน มีแหล่งน้ำสะอาดและมีปริมาณพอที่จะให้น้ำได้ตลอดช่วงฤดูแล้ง (สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง, 2562)

2.1.2 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของกาแฟอาราบิก้า สามารถแบ่งได้ดังต่อไปนี้

1) ลำต้น (Stem) ตามธรรมชาติของกาแฟมีลักษณะลำต้นตั้งตรงการเจริญเติบโตจะไม่แตกกิ่งแต่มีใบแตกกิ่งออกตรงข้อตรงข้ามกันเป็นคู่ ๆ ต่อมาเมื่อเจริญขึ้นเรื่อย ๆ จะมีการแตกกิ่งออกจากลำต้นในลักษณะที่แยกออกจากกันเป็นคู่ ๆ กิ่งที่แตกออกใหม่จะมีใบแตกออกเป็นคู่ อยู่ตรงข้อเช่นเดียวกันกับลำต้น และกิ่งจะขนานกับระดับพื้นดินหรือห้อยลงดิน ซึ่งเป็นที่เกิดของดอกและผลต่อไป นอกจากนี้ควรตัดแต่งทรงพุ่มไม่ให้หนาทึบเมื่อมีการแตกหน่อจากตาของลำต้น

2) ดอก (Flowers) กาแฟมีดอกสีขาวบริสุทธิ์กลิ่นหอมคล้ายดอกมะลิรูปร่างคล้ายดาวมีก้านสั้นอยู่รวมกันเป็นกลุ่ม ส่วนใหญ่จะออกดอกจากข้อของกาแฟเริ่มจากข้อที่อยู่ใกล้ลำต้นออกไปหาปลายกิ่งข้อดอกแต่ละกลุ่มของแต่ละข้ออาจมี 2 - 20 ดอก ดอกกาแฟที่สมบูรณ์เพศมีทั้งเกสรตัวผู้และเกสรตัวเมียรวมอยู่ในดอกเดียวกัน ดอกจะออกหลังจากฝนตกประมาณ 1 เดือนขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำ ถ้าอากาศชุ่มชื้นตลอดทั้งปี กาแฟจะออกดอกสม่ำเสมอตลอดทั้งปี ดอกกาแฟจะใช้เวลาในการบานต่อเนื่องกันในช่วง 8 - 12 วัน หลังจากนั้นกลีบดอกรวมทั้งส่วนอื่นๆจะร่วงหล่นไปคงเหลือแต่รังไข่ที่จะกลายเป็นผลต่อไป

3) ใบ (Leaf) ลักษณะของใบจะออกตรงข้ออยู่ตรงข้ามเป็นคู่ ๆ ลักษณะใบจะมีรูปร่างทั้งสี่เหลี่ยมผืนผ้าและรูปไข่แตกต่างกันไปตามชนิดสายพันธุ์ ส่วนปลายใบของกาแฟจะมีคุณลักษณะเรียวแหลมก้านใบอ่อนสั้น ขอบใบเรียวหยักยาวประมาณ 4 - 6 นิ้ว ความกว้างของใบประมาณ 1 - 3 นิ้ว ใบกาแฟมีผิวมันตลอดปีสีเขียวพันธุ์กาแฟที่มีอายุของใบยาวกว่าย่อมมีผลดีกว่าพันธุ์ที่มีใบสั้น เนื่องจากใบมีเวลาในการสร้างอาหารได้นานซึ่งย่อมเป็นผลดีต่อต้นกาแฟ

4) ผลกาแฟ (Fruits) การสุกของผลกาแฟนั้นขึ้นอยู่กับความสูงของพื้นที่ที่ปลูกกาแฟด้วย การติดผลจะมีเพียง 16 - 26 เปอร์เซ็นต์ แม้ว่าดอกกาแฟจะออกดอกเป็นจำนวนมากมีลักษณะคล้ายลูกหว้า ภายในแบ่งออกเป็นสองส่วน ส่วนหนึ่งมีเมล็ดกาแฟ 1 เมล็ดลักษณะยาวๆ ส่วนเมล็ดที่สองจะมีรูปกลมยาวโค้งเป็นรูปกระบอก เมื่อสุกมีสีน้ำตาลปนแดงหนึ่งผลกาแฟจะมีสองเมล็ดกาแฟเมื่อปอกเปลือกผลกาแฟออกนำมาหมักแล้วตากแห้งเรียกว่ากาแฟกะลา (Parchment Coffee) เมื่อนำกะลาไปสีจะพบเมล็ดในลักษณะเป็นสีเขียวอมฟ้า เรียกว่า เมล็ดกาแฟหรือสารกาแฟ (Endosperm)

5) เมล็ดกาแฟ (Seed) มีรูปร่างค่อนข้างกลมรีความยาวประมาณ 8.5 - 12.5 มิลลิเมตร ผลกาแฟเมื่อสุกเต็มที่ที่จะปอกเอาเปลือกและเนื้อทิ้ง ผลหนึ่งมีเมล็ด 2 เมล็ดประกบกันอยู่ โดยมีลักษณะเป็นรอยผ่าตรงกลาง หากเป็นพันธุ์อาราบิกา จะมีรอยผ่ารูปคล้ายตัว S แต่หากเป็นพันธุ์โรบัสต้า จะเป็นรูปเส้นตรงเหมือนตัว I หากนำเมล็ดกาแฟทั้งกะลาไปตากแห้ง จะทำให้สารกาแฟแห้งจะสูญเสียน้ำหนักประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ โดยทั่วไปผลกาแฟสดประมาณ 5 - 6 กิโลกรัมจะเปลี่ยนเป็นสารกาแฟได้ 1 กิโลกรัม (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2557)



ลำต้น



ดอก



ใบ



ผลกาแฟ



เมล็ดกาแฟ

ภาพที่ 2 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของกาแฟอาราบิกา

2.2 สถานการณ์การผลิตกาแฟอาราบิกาในประเทศไทย

กาแฟพันธุ์อาราบิกาในช่วงปี พ.ศ. 2555 - 2558 เนื้อที่ให้ผลและผลผลิตเพิ่มขึ้น โดยเนื้อที่ให้ผลเพิ่มจาก 34,180 ไร่ ในปี 2553/54 เป็น 62,152 ไร่ ในปี 2557/58 หรือคิดเป็นร้อยละ 16.53 ผลผลิตเพิ่มจาก 5,339 ตัน ในปี 2553/54 เป็น 8,929 ตัน ในปี 2557/58 หรือเพิ่มขึ้นร้อยละ 13.99 เนื่องจากภาครัฐและเอกชน มีโครงการส่งเสริมให้ปลูกกาแฟเพิ่มในสวนไม้ผล ไม้ยืนต้น และพื้นที่ป่าชุมชน ส่วนกาแฟเริ่มให้ผลผลิตต่อไร่ลดลงจาก 156 กิโลกรัม ในปี 2553/54 เหลือ 144 กิโลกรัม ในปี 2557/58 หรือลดจรร้อยละ 2.10 เนื่องจากสภาพอากาศแห้งแล้งในช่วงที่กาแฟกำลังออกดอก ทำให้กาแฟติดผลลดลง (ตารางที่ 1)

แหล่งปลูกกาแฟพันธุ์อาราบิกาที่สำคัญอยู่ทางภาคเหนือ ได้แก่ จังหวัดเชียงราย เชียงใหม่ แม่ฮ่องสอน และน่าน โดยมีสัดส่วนร้อยละ 25 เมื่อเทียบกับเนื้อที่ปลูกทั้งหมด

ตารางที่ 1 จำนวนผลิตกาแฟต่อไร่ ของประเทศไทย ปี 2553/2554 - 2557/2558

(ศูนย์สารสนเทศการเกษตร, 2561)

ปี	เนื้อที่ให้ผลผลิต (ไร่)			ผลผลิต (ตัน)			ผลผลิตต่อไร่ (กก.)	
	ไรบัสต้า	อาราบิกา	รวม	ไรบัสต้า	อาราบิกา	รวม	ไรบัสต้า	อาราบิกา
2553/2554	288,716	34,180	322,896	37,055	5,339	42,394	128	156
2554/2555	267,227	38,885	306,112	35,316	6,145	41,461	132	158
2555/2556	246,748	50,277	297,025	29,680	7,795	37,475	120	154
2556/2557	206,405	54,298	260,703	29,794	8,136	37,930	145	150
2557/2558	189,281	62,152	251,433	17,160	8,929	26,089	91	144
อัตราเพิ่ม (ร้อยละ)	-10.44	16.53	-6.40	-15.72	13.99	10.06	-5.71	-2.10

สำหรับความต้องการใช้เมล็ดกาแฟในประเทศไทยปี 2559 -2563 มีอัตราเพิ่มขึ้นร้อยละ 5.42 ต่อปี พันธุ์อาราบิกามีความต้องการเพิ่มขึ้นจาก 7,500 ตันในปี 2559 เป็น 9,500 ตันในปี 2563 หรือเพิ่มขึ้นร้อยละ 6.08 ต่อปี (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ความต้องการใช้เมล็ดกาแฟพันธุ์อาราบิก้าในประเทศไทย ปี 2559 – 2563
(ศูนย์สารสนเทศการเกษตร, 2561)

* ประมาณการโดยผู้ประกอบการ

ปี	ความต้องการใช้ (ตัน)*
2559	7,500
2560	8,000
2561	8,500
2562	9,000
2563	9,500
อัตราเพิ่ม (ร้อยละ)	6.08

ในช่วงปี 2555 - 2558 การส่งออกเมล็ดกาแฟดิบของไทยลดลง จาก 720 ตัน ในปี 2554 เหลือ 450 ตัน ในปี 2558 หรือลดลงร้อยละ 22.40 เนื่องจากความต้องการบริโภคภายในประเทศเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้การส่งออกลดลง สำหรับเมล็ดกาแฟคั่วเพิ่มขึ้นจาก 137 ตัน ในปี 2554 เป็น 177 ตัน ในปี 2558 หรือเพิ่มขึ้นร้อยละ 9.23 และกาแฟสำเร็จรูป เพิ่มขึ้นจาก 5,263 ตัน ในปี 2554 เป็น 7,595 ตัน ในปี 2558 หรือเพิ่มขึ้นร้อยละ 6.12 เนื่องจากความต้องการบริโภคเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 ปริมาณและมูลค่าการส่งออกกาแฟของประเทศไทย ปี 2554 – 2558
(ศูนย์สารสนเทศการเกษตร, 2561)

ปี	เมล็ดกาแฟดิบ		เมล็ดกาแฟคั่ว		กาแฟสำเร็จรูป		กาแฟสำเร็จรูปอื่นๆ	
	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า
2554	720	102	137	30	5,263	906	36,719	3,806
2555	1969	161	116	33	7,260	1,130	40,142	4,468
2556	270	45	98	31	1,621	303	51,548	5,389
2557	399	63	168	47	6,316	860	57,624	5,933
2558	450	79	177	46	7,595	1,007	46,823	4,874
อัตราเพิ่ม (ร้อยละ)	-22.40	-13.49	9.23	12.85	6.12	-0.61	8.85	8.09

*ปริมาณ : ตัน/มูลค่า : ล้านบาท

ในช่วงปี พ.ศ. 2555 - 2558 การนำเข้าเมล็ดกาแฟดิบเพิ่มขึ้นจาก 34,374 ตัน ในปี 2554 เป็น 57,115 ตัน ในปี 2558 หรือเพิ่มขึ้นร้อยละ 16.15 ต่อปี และเมล็ดกาแฟคั่วเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน โดยเพิ่มขึ้นร้อยละ 32.67 ต่อปี เนื่องจากผลผลิตในประเทศไม่เพียงพอต่อความต้องการของโรงงานแปรรูป สำหรับกาแฟสำเร็จรูปมีการนำเข้าเพิ่มขึ้นจาก 4,446 ตัน ในปี 2554 เป็น 6,972 ตัน ในปี 2558 หรือเพิ่มขึ้นร้อยละ 10.20 ต่อปี (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 ปริมาณและมูลค่าการนำเข้ากาแฟของประเทศไทย ปี 2554 – 2558
(ศูนย์สารสนเทศการเกษตร, 2561)

ปี	เมล็ดกาแฟดิบ		เมล็ดกาแฟคั่ว		กาแฟสำเร็จรูป		กาแฟสำเร็จรูปอื่นๆ	
	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า
2554	34,374	2,528	447	206	4,446	1,314	6,261	879
2555	28,612	1,995	380	171	6,531	1,972	7,650	1,115
2556	34,356	2,201	551	216	6,427	2,041	6,706	984
2557	46,305	3,095	1,108	316	7,015	2,124	5,761	885
2558	57,115	3,679	1,076	362	6,972	2,116	7,003	1,041
อัตราเพิ่ม (ร้อยละ)	16.15	12.63	32.67	19.02	10.20	10.82	-0.59	1.08

*ปริมาณ : ตัน/มูลค่า : ล้านบาท

จากข้อมูลสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร พบว่าจังหวัดน่านมีพื้นที่เพาะปลูกกาแฟทั้งหมด 5,218 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.10 ของพื้นที่เกษตรกรรมจังหวัดน่าน และคิดเป็นร้อยละ 1 ของการปลูกกาแฟทั้งประเทศ (ตารางที่ 5-6)

ตารางที่ 5 พื้นที่เพาะปลูกกาแฟและจำนวนผลผลิตในประเทศไทย ปี 2562
(ศูนย์สารสนเทศการเกษตร, 2561)

ประเทศ/ภาค/จังหวัด	เนื้อที่ยืนต้น (ไร่)	เนื้อที่ให้ผล (ไร่)	ผลผลิต (ตัน)	ผลผลิตต่อไร่ (กิโลกรัม)
รวมทั้งประเทศ	248,882	230,027	24,614	107
ภาคเหนือ	91,732	81,063	7,909	98
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	2,280	1,806	92	51
ภาคกลาง	2,846	1,769	176	99
ภาคใต้	152,024	145,389	16,437	113
เชียงราย	42,215	38,229	3,402	89
พะเยา	1,403	1,123	84	75
ลำปาง	5,535	5,035	599	119
เชียงใหม่	23,125	21,141	2,283	108
แม่ฮ่องสอน	5,441	4,526	643	142
ตาก	3,624	3,245	312	96
สุโขทัย	762	-	-	-
แพร่	1,756	1,341	115	86
น่าน	5,218	4,532	326	72
อุดรดิตถ์	1,527	1,159	114	98
พิษณุโลก	395	353	6	17
เพชรบูรณ์	731	379	25	66
เลย	940	594	35	59
อุดรธานี	389	351	8	23
ชัยภูมิ	76	76	1	-
นครราชสีมา	875	785	48	61
ฉะเชิงเทรา	300	50	1	10
จันทบุรี	74	-	-	-
ตราด	59	40	1	25
ระยอง	184	-	-	-
ชลบุรี	16	-	-	-
กาญจนบุรี	640	533	51	96
ราชบุรี	354	-	-	-

ตารางที่ 6 พื้นที่เพาะปลูกกาแฟและจำนวนผลผลิตในประเทศไทย ปี 2562 (ต่อ)
(ศูนย์สารสนเทศการเกษตร, 2561)

ประเทศ/ภาค/จังหวัด	เนื้อที่ยืนต้น (ไร่)	เนื้อที่ให้ผล (ไร่)	ผลผลิต (ตัน)	ผลผลิตต่อไร่ (กิโลกรัม)
ประจวบคีรีขันธ์	1,219	1,146	123	107
ชุมพร	104,326	100,320	11,537	115
ระนอง	44,080	42,820	4,667	109
สุราษฎร์ธานี	1,712	1,075	110	103
พังงา	51	23	2	87
กระบี่	1,228	1,042	110	106
ตรัง	110	-	-	-
นครศรีธรรมราช	282	109	11	101
ยะลา	235	-	-	-

2.3 การรังวัดด้วยภาพถ่าย

การรังวัดด้วยภาพถ่าย (Photogrammetry) หรือการสำรวจด้วยภาพถ่าย เป็นการทำรังวัดเพื่อให้ได้มาซึ่งตำแหน่งพิกัดของวัตถุต่างๆ จากการแปลงข้อมูลจากภาพถ่ายที่เก็บลักษณะทางกายภาพของวัตถุนั้นๆ ที่ต้องผ่านกระบวนการบันทึกเพื่อเก็บสิ่งที่วาดขึ้นจากแสงในรูปแบบของภาพถ่าย ซึ่งอาจจะเป็นการบันทึกในรูปแบบของฟิล์ม กระดาษอัดภาพ ปัจจุบันการถ่ายภาพจะถูกบันทึกบนเซนเซอร์รับภาพ และเก็บเป็นภาพถ่ายดิจิทัล ทั้งนี้ไม่ว่าจะเป็นภาพถ่ายลักษณะใดก็ตาม จำเป็นต้องเข้าสู่กระบวนการรังวัด การแปลความหมายและการประมวลผลแต่ละจุดภาพโดยใช้เทคโนโลยีการประมวลผลภาพถ่ายดิจิทัล การสำรวจด้วยภาพถ่ายนอกจากจะสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับงานแผนที่ได้อย่างดีแล้ว ยังสามารถประยุกต์ใช้กับงานทางด้านวิศวกรรมและด้านอื่นๆ ได้อย่างกว้างขวาง ในปัจจุบันเทคโนโลยีด้านการถ่ายภาพและคอมพิวเตอร์มีความก้าวหน้าอย่างมาก ควบคู่กับเทคโนโลยีการรังวัดด้วยระบบดาวเทียม (Global Navigation Satellite System: GNSS) ส่งผลให้ขีดความสามารถในการผลิตและประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายได้อย่างรวดเร็วและตรงตามความต้องการใช้งาน

การรังวัดด้วยภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ เป็นการใช้อากาศยานไร้คนขับหรืออีกชื่อหนึ่งนิยมเรียกว่า โดรน (Drone) โดยเป็นการประสานแนวคิดของการสำรวจด้วยภาพถ่ายทางอากาศ

และการสำรวจด้วยภาพถ่ายระยะใกล้ เข้ามาใช้ในกระบวนการรังวัด เนื่องจากภาพถ่ายจากโดรนที่ถูกนำมาใช้มีระยะที่ถูกถ่ายไม่เกิน 100-200 เมตร เป็นระยะที่ไม่เกินที่จะประยุกต์ใช้วิธีการและหลักการของการสำรวจโดยภาพถ่ายระยะใกล้ อีกทั้งยังสามารถถ่ายภาพทั้งแบบกริดคล้ายกับการสำรวจโดยภาพถ่ายทางอากาศและบินถ่ายแบบรอบวัตถุคล้ายกับการสำรวจภาคพื้นดิน ดังนั้นการใช้อากาศยานไร้คนขับในการสำรวจด้วยภาพถ่าย จึงสามารถประยุกต์ใช้ได้เป็นอย่างดีทั้งงานผลิตแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศ และงานสร้างแบบจำลอง 3 มิติของอาคารหรือวัตถุต่างๆ (กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2563)

2.3.1 การสำรวจรังวัดด้วยภาพถ่ายแบบวัดภาพ

การสำรวจรังวัดด้วยภาพถ่ายแบบวัดภาพเป็นการรังวัดบนภาพถ่ายที่เน้นไปที่การวัดพิกัดภาพและดำเนินการคำนวณเพื่อให้ได้ขนาดและรูปร่างของวัตถุต่างๆ ที่ต้องการวัดออกมาเพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการออกแบบหรือการพัฒนาระบบฐานข้อมูลภูมิสารสนเทศ ผลลัพธ์ที่ได้จากการวัดภาพในลักษณะต่าง ๆ มีดังนี้

1) ตัวเลข (Number) เป็นรูปแบบการเก็บบันทึกข้อมูลค่าพิกัดฉากสามมิติ (X, Y, Z) ของจุดใดๆ บนวัตถุ ซึ่งมักจะเป็นตารางแสดงค่าพิกัดฉากของตำแหน่งสำคัญต่างๆ ได้แก่ มุมชายคาตึกมุมถนน หรือตำแหน่งเสาธง เป็นต้น ข้อมูลเชิงตัวเลขนี้จะถูกนำมาใช้เป็นพื้นฐานในการสร้างแผนที่ลายเส้นต่อไป

Point	North	East	Elevation
p1-1	2130201.933	668469.482	1430.192
p1-2	2130201.929	668469.476	1430.201
p1-3	2130201.928	668469.477	1430.177
p2-1	2130250.341	668436.233	1418.674
p2-2	2130250.35	668436.239	1418.686
p2-3	2130250.357	668436.24	1418.659
p3-1	2130273.544	668420.438	1415.106
p3-2	2130273.538	668420.421	1415.067
p3-3	2130273.531	668420.426	1415.078
p4-1	2130272.609	668383.381	1407.439
p4-2	2130272.606	668383.393	1407.509
p4-3	2130272.617	668383.384	1407.514
p5-1	2130261.96	668397.543	1410.152
p5-2	2130261.96	668397.54	1410.156
p5-3	2130261.964	668397.542	1410.156
p6-1	2130314.005	668409.366	1409.202
p6-2	2130314.005	668409.354	1409.238
p6-3	2130314.001	668409.351	1409.263

ภาพที่ 3 การเก็บบันทึกข้อมูลค่าพิกัดฉากสามมิติ (X, Y, Z)

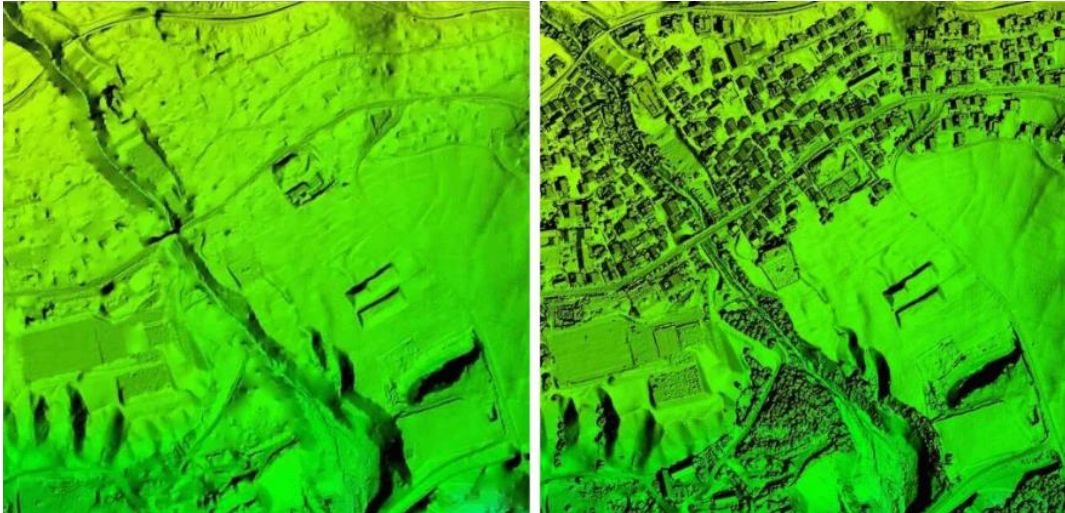
2) พอยต์คลาวด์ (Point Cloud) เป็นกลุ่มของจุดสามมิติที่เก็บข้อมูลค่าของตำแหน่งของขอบของวัตถุในพิกัดฉากสามมิติ (X, Y, Z) ซึ่งมักจะเก็บพร้อมกับค่าสีของวัตถุในรูปแบบของแม่สีแดงเขียวฟ้า (Red-Green-Blue: RGB) ควบคู่ไปด้วย โดยเก็บในรูปแบบของไฟล์ข้อมูลซึ่งในปัจจุบันจะเก็บในรูปแบบต่าง ๆ เช่น CSV, LAZ หรือ LAS เป็นต้น โดยพอยต์คลาวด์เหล่านี้เมื่อนำมาแสดงผลจะสามารถแสดงเป็นกลุ่มของจุดในลักษณะของพื้นผิวต่อเนื่องได้ สามารถแสดงการเปลี่ยนแปลงของพื้นผิวเป็นรูปทรงต่าง ๆ ของวัตถุสามมิติได้ ดังนั้นจึงนิยมนำมาใช้ในการประมวลผลรวมถึงการวิเคราะห์ระยะทาง รวมถึงการใช้เป็นต้นแบบในการขึ้นรูปทรงสามมิติของวัตถุ หรือลักษณะภูมิประเทศ เป็นต้น



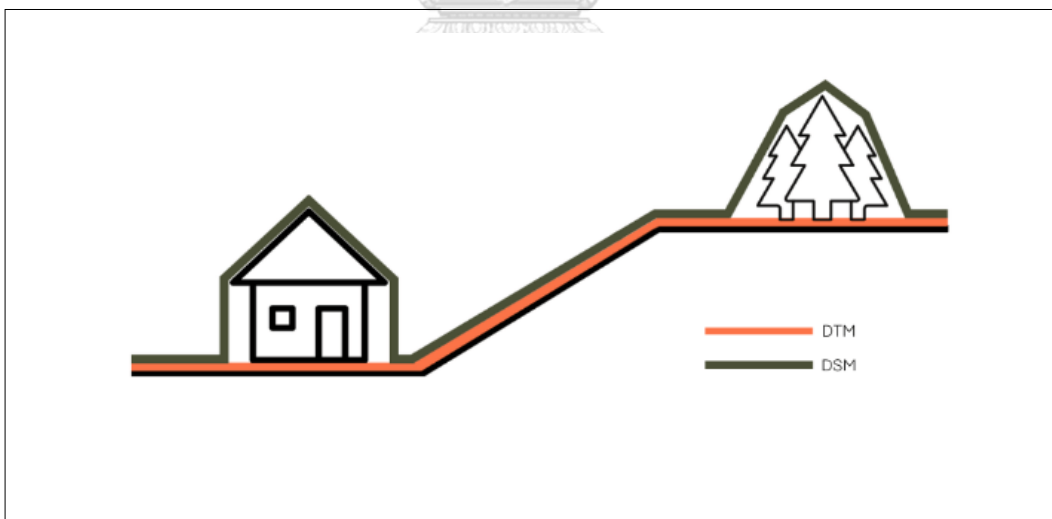
ภาพที่ 4 กลุ่มจุดพิกัดสามมิติ (Point Cloud)

3) แบบจำลองระดับพื้นผิว (Digital Surface Model: DSM) หรือ แบบจำลองความสูงเชิงตัวเลข (Digital Elevation Model: DEM) หรือ แบบจำลองลักษณะภูมิประเทศ (Digital Terrain Model: DTM) โดยผลผลิตเหล่านี้เป็นข้อมูลที่เก็บค่าความสูงต่ำและลักษณะภูมิประเทศในรูปแบบข้อมูลราสเตอร์ (Raster Data) หรือตารางกริด ซึ่งเก็บข้อมูลความสูงไว้ ทั้งนี้ DSM (ภาพที่5) จะเป็นผลลัพธ์ที่ได้จากงานรังวัดด้วยภาพถ่าย และเมื่อนำไปหักลบกับสิ่งปลูกสร้าง ความสูงต้นไม้และพืชพรรณต่างๆ ก็จะได้เป็น DEM หรือ DTM ที่เป็นความสูงที่ระดับพื้นดิน ซึ่งในการหักลบความสูง (ภาพที่6) นั้นจะเป็นการหักลบความสูงผ่านการสร้างแบบจำลองความสูงของพุ่มไม้ (Canopy Height

Model: CHM) ทั้งนี้เนื่องจากพืชพรรณในแต่ละชนิดมีความสูงของชั้นยอดเรือนที่ไม่เท่ากัน จึงจำเป็น
 อย่างยิ่งที่จะต้องมีการวิเคราะห์ร่วมกับงานแปลตีความภาพถ่ายร่วมด้วยในการสร้าง CHM



ภาพที่ 5 ข้อมูลราสเตอร์ที่เก็บความสูงของลักษณะภูมิประเทศ DSM และ DTM
<https://www.heliguy.com/blogs/posts/drones-and-dems-vs-dtms-vs-dsms>



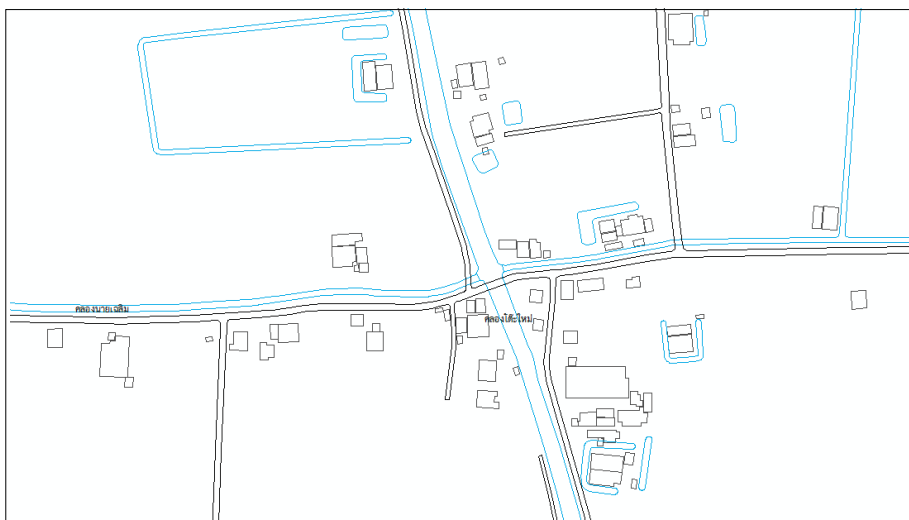
ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่าง DSM ซึ่งมีการหักลบความสูงเพื่อผลิต DEM และ DTM
<https://support.plexearth.com/hc/en-us/articles/4642425453201-Elevation-Modeling-the-differences-between-DTM-DSM-DEM>

4) แผนที่ภาพถ่ายออร์โธ (Ortho-photo Map) เป็นแผนที่ภาพถ่ายที่มีการตัดแก้ภาพถ่ายทางอากาศที่ปกติจะมีการฉายแบบศูนย์ทิวทัศน์ (Central Projection) ซึ่งทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งบนภาพถ่ายจากการเอียงของกล้องถ่ายภาพและความแตกต่างของความสูงภูมิประเทศ ดังนั้นจึงต้องใช้การฉายภาพแบบตฉากกับพื้นผิว (Orthogonal Projection) ผ่านกระบวนการปรับแก้ภาพถ่ายแบบออร์โธซึ่งจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องใช้แบบจำลองความสูงเข้ามาเป็นองค์ประกอบในการตัดแก้ร่วมด้วย เพื่อปรับแก้ความคลาดเคลื่อนจากความสูงต่ำของภูมิประเทศให้มีการจัดตำแหน่งของภาพถ่ายของวัตถุต่างๆ บนภาพให้อยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้อง ตัวอย่างของแผนที่ภาพถ่ายออร์โธสี (ภาพที่ 7)



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ภาพที่ 7 ภาพถ่ายออร์โธ
CHULALONGKORN UNIVERSITY

5) แผนที่ลายเส้น (Line Map) เป็นแผนที่หรือแผนผังที่เป็นแผนที่ทางราบ ซึ่งเป็นการขยายแผนที่ภาพถ่ายออร์โธพร้อมๆ กับการแปลภาพถ่ายแล้วลอกลายเส้นออกมาเพื่อผลิตออกมาเป็นแผนที่เฉพาะเรื่องตามที่ผู้ใช้ต้องการรายละเอียดบนภาพถ่ายนั้น นอกจากนี้ ยังอาจใช้เป็นแผนที่ภูมิประเทศ ซึ่งเป็นการนำเสนอรายละเอียดทางราบควบคู่กับการนำเสนอความสูงต่ำของลักษณะภูมิประเทศผ่านเส้นชั้นความสูง แผนที่ลายเส้นนี้นิยมที่จะจัดเก็บในรูปแบบของข้อมูลเวกเตอร์ (ชาติชาย ไวยสุระสิงห์, 2563)



ภาพที่ 8 แผนที่ลายเส้น

2.3.2 ประเภทของอากาศยานไร้คนขับสำหรับงานสำรวจด้วยภาพถ่าย

ในปัจจุบันอากาศยานไร้คนขับมีการแบ่งประเภทที่สามารถกำหนดรูปแบบการจัดได้หลายลักษณะ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความมุ่งหมายในการนำไปใช้ภารกิจ คุณสมบัติเฉพาะของอากาศยานไร้คนขับเองที่ถูกพัฒนาขึ้นสำหรับการใช้งานสำหรับภารกิจใดภารกิจหนึ่ง หรือสำหรับภูมิภาคในการนำไปใช้งาน

1) อากาศยานไร้คนขับชนิดปีกตรึง (Fixed Wing) เป็นอากาศยานที่มีลักษณะคล้ายกับเครื่องบินทั่วไป ใช้ระยะเวลาการบินประมาณ 30-60 นาที สามารถบินครอบคลุมพื้นที่ได้มากกว่าอากาศยานไร้คนขับแบบปีกหมุน ในการลงจอดจะต้องอาศัยพื้นที่โล่งกว้างพอสมควร

2) อากาศยานไร้คนขับชนิดปีกหมุน (Multirotor) เป็นอากาศยานขึ้นลงแนวตั้ง อาศัยการหมุนของใบพัดในการขึ้นลงและขับเคลื่อนไปในทิศทางต่างๆ ประกอบด้วยใบพัดจำนวน 3, 4, 6 และ 8 ใบพัด โดยทั่วไปใช้ระยะเวลาการบินประมาณ 10-20 นาที

3) อากาศยานไร้คนขับชนิดปีกหมุนเดี่ยว (Single-Rotor Helicopter) เป็นอากาศยานที่มีรูปร่างและโครงสร้างคล้ายเฮลิคอปเตอร์ ไม่เหมือนอากาศยานไร้คนขับชนิดปีกหมุน มีใบพัดขนาดใหญ่เพียงใบเดียวที่ใช้ในการเคลื่อนที่และมีใบพัดขนาดเล็กอยู่บนหางของอากาศยานเพื่อควบคุมทิศทางในการบิน ซึ่งจะมีประสิทธิภาพมากกว่าอากาศยานไร้คนขับชนิดปีกหมุนบางรุ่น

4) อากาศยานไร้คนขับชนิดปีกตรึงขึ้นลงแนวตั้ง (Fixed-Wing Hybrid) เป็นอากาศยานที่ได้รับการพัฒนาขึ้นมาใหม่ มีลำตัวอากาศยานเป็นแบบอากาศยานไร้คนขับชนิดปีกตรึงแต่

สามารถขึ้นลงแนวตั้งได้ซึ่งเป็นการนำเอาข้อดีของประเภทอากาศยานไร้คนขับชนิดปีกตรึงมารวมกับอากาศยานไร้คนขับชนิดปีกหมุน

2.3.3 การแบ่งประเภทกล้องดิจิทัลและความถูกต้องเชิงตำแหน่งพิกัดจุดถ่ายภาพ

เนื่องจากกล้องดิจิทัลมีผลโดยตรงต่อความถูกต้องเชิงตำแหน่งของการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ ดังนั้น มาตรฐานฉบับนี้จะแบ่งประเภทกล้องดิจิทัลตามความถูกต้องเชิงตำแหน่งของข้อมูลทีผลิตได้โดยมีพารามิเตอร์ที่ใช้แบ่งประกอบด้วย ประเภทของชัตเตอร์ ชนิดของเลนส์ ขนาดของเซนเซอร์ ค่าความละเอียดของภาพถ่ายและความถูกต้องเชิงตำแหน่งของพิกัดภาพถ่าย โดยกล้องแต่ละประเภทจะมีวิธีการและมาตรฐานการทำงานที่แตกต่างกัน เช่น การกำหนดตำแหน่งและจำนวนจุดควบคุมทางราบ (GCP) เป็นต้น สามารถแบ่งประเภทของกล้องดิจิทัลได้ดังนี้

(1) Consumer Grade

(2) Professional Grade

(3) Survey Grade

โดยประเภทของกล้องดิจิทัลแต่ละประเภทจะเป็นไปตามตารางที่ 7 ดังนี้

ตารางที่ 7 การแบ่งประเภทของกล้องถ่ายภาพทางอากาศ

ประเภทของกล้องถ่ายภาพ	ประเภทของชัตเตอร์	ชนิดของเลนส์	ขนาดของเซนเซอร์	ค่าความละเอียดของภาพถ่าย	การรังวัดพิกัดภาพถ่าย	ค่าความถูกต้องทางราบระดับความเชื่อมั่นที่ 95%	ค่าความถูกต้องทางตั้งระดับความเชื่อมั่นที่ 95%
Consumer grade	Rolling Shutter	N/A	< 1"	< 16 MP	DGPS	5 GSD	6 GSD
Professional grade	global Shutter	Prime Lens	≥ 1"	≥ 16 MP	DGPS	2 GSD	3.5 GSD
Survey grade	global Shutter	Prime Lens	≥ 1"	≥ 16 MP	PPK/RTK	2 GSD	3 GSD

2.4 โคร่งข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศ

โคร่งข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศ (Aerial Triangulation) เป็นกระบวนการหาค่าและปรับแก้ค่าการจับวางภายนอกของภาพ เช่น ตำแหน่งการถ่ายภาพ การหมุนแกนกล้องของภาพถ่ายพร้อมกัน ทั้งบล็อกการประมวลผล ซึ่งค่าพารามิเตอร์เหล่านี้จะมีส่วนสำคัญอย่างมากในการคำนวณหาตำแหน่งของวัตถุที่ต้องการรังวัด นอกจากนี้ยังเป็นการเพิ่มจำนวนจุดควบคุมภาพถ่าย (Photo Control Points) ในบล็อกของการถ่ายภาพทุกภาพเป็นจำนวนมาก โดยไม่ต้องทำการรังวัดจุดควบคุมเพิ่มในสนาม แต่ยังคงต้องมีการรังวัดจุดควบคุมในสนามบางส่วนเพื่อการโยงยึดและปรับแก้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ให้ถูกต้องตามเกณฑ์งานที่กำหนดและอยู่ในระบบพิกัดที่ต้องการ

2.4.1 จุดควบคุมภาพถ่าย

จุดควบคุมภาพถ่าย คือ จุดใดบนภาพถ่ายที่มีลักษณะเด่นชัด สามารถระบุจุดทางตำแหน่งได้อย่างชัดเจนทั้งในสนามและบนภาพถ่าย อาจจะเป็นจุดที่ประดิษฐ์ขึ้นแล้วนำมาวางหรือจุดที่มีความเด่นชัดตามภูมิประเทศ ในกรณีที่ต้องการผลการคำนวณปรับแก้ของโคร่งข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศให้มีคุณภาพที่ดีขึ้นและมีความละเอียดถูกต้องและน่าเชื่อถือ ซึ่งจะส่งผลทำให้การผลิตแผนที่ที่มีความละเอียดถูกต้องสูงขึ้นตามไปด้วย ในพื้นที่สำรวจจริงจำเป็นจะต้องมีจุดควบคุมภาพถ่ายที่สร้างขึ้น จุดควบคุมภาพถ่ายชนิดที่เป็นเป้าล่องหน้า (Remarking Target) หรือเป้าชนิดส่งสัญญาณ (Signalized Target) ซึ่งจะต้องเตรียมการล่องหน้าเพื่อจัดหาอุปกรณ์และวัสดุที่มีความเด่นชัดในภูมิประเทศ บนภาพถ่ายจะต้องมีความคมชัดตัดกับสภาพแวดล้อมและสามารถบ่งชี้ได้ง่ายจากภาพถ่าย ในกรณีของภาพถ่ายดิจิทัลควรจะต้องมีขนาดบนภาพมากกว่า 5-10 จุดภาพ การกำหนดจุดควบคุมภาพถ่ายชนิดเป้าล่องหน้านี้นี้จะต้องดำเนินการวางให้เสร็จและเผื่อระวางจนกว่าจะมีการบินถ่ายภาพจริงแล้วเสร็จ อีกทั้งต้องสามารถกลับมาเก็บพิกัดภาคพื้นดินภายหลังได้อีกด้วย หากต้องมีการถ่ายซ่อมภาพ

2.4.2 การรังวัดพิกัดภาคพื้นดิน

การรังวัดพิกัดภาคพื้นดินของจุดควบคุมภาพถ่ายภาคพื้นดินถือเป็นข้อมูลที่สำคัญที่ช่วยในการวิเคราะห์ค่าองค์ประกอบของภาพถ่ายภายนอกโดยจุดควบคุมภาพถ่ายนี้ควรจะต้องมีการรังวัดค่าพิกัดโดยโยงยึดเข้ากับหมุดหลักฐานต่างๆ เช่น หมุดหลักฐานของกรมแผนที่ทหาร กรมที่ดิน หรือของกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ เป็นต้น ทั้งนี้เพื่อให้ผลผลิตที่ได้จากการสำรวจด้วยภาพถ่ายสามารถเป็นข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ห้อยอดเข้ากับชั้นข้อมูลภูมิสารสนเทศของหน่วยงานอื่น ๆ ต่อไปได้อย่างเหมาะสม วิธีการรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหนพิภพ (Global Navigation Satellite System:

GNSS) เป็นวิธีการรังวัดค่าพิกัดที่นิยมนำมาใช้ในการสร้างหมุดหลักฐานสำหรับใช้เป็นค่าพิกัดจุดควบคุมในการสำรวจด้วยภาพถ่าย

2.4.3 ชนิดของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GNSS

เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GNSS สามารถแบ่งเป็น 2 ประเภทหลักคือ เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบมือถือ (Handheld GNSS Receiver) และเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบรังวัด (Surveying or Geodetic Receiver) ซึ่งเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GNSS ทั้งสองประเภทมีรายละเอียด ดังนี้

1) เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบมือถือ

เป็นเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมระบบ GNSS ที่มีขนาดที่ใกล้เคียงกับโทรศัพท์มือถือ ทำให้สามารถพกพาได้อย่างสะดวก จึงถูกเรียกว่าเครื่องรับสัญญาณ GNSS แบบมือถือ เครื่องรับสัญญาณ GNSS ประเภทนี้ใช้หลักการของการรังวัดด้วยดาวเทียม GPS แบบสัมบูรณ์โดยอาศัยข้อมูลซูโดเรนจ์มาประมวลผลเพื่อหาค่าพิกัดตำแหน่ง โดยจะให้ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งในระดับ 10-20 เมตร และเครื่องรับสัญญาณชนิดนี้มีราคาค่อนข้างถูกและใช้งานง่าย และมีด้วยกันหลายยี่ห้อ โดยยี่ห้อที่ได้รับความนิยมในปัจจุบัน คือ Garmin ดังภาพที่ 9 ซึ่งความถูกต้องทางตำแหน่งที่ได้รับนั้นเหมาะกับการใช้งานในชีวิตประจำวันและงานที่ไม่ต้องการความถูกต้องที่สูงมากนัก เช่น การเก็บตัวอย่างข้อมูลเชิงพื้นที่สำหรับการวิเคราะห์ในเชิงภูมิสารสนเทศ การเก็บข้อมูลเพื่อใช้ในการสำรวจระยะไกล (Remote Sensing) และงานสำรวจตำแหน่งแปลงที่ดิน เป็นต้น อย่างไรก็ตาม เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบมือถือไม่มีขีดความสามารถในการรังวัดพิกัดหมุดบังคับภาพสำหรับงานสำรวจตัวภาพถ่าย



ภาพที่ 9 เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบมือถือ

2) เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบรังวัดพิกัดหมุดควบคุม สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทย่อย ดังนี้

2.1) เครื่องรับสัญญาณ GNSS แบบรังวัดพิกัดหมุดควบคุมที่รับสัญญาณดาวเทียม GPS แบบความถี่เดียว (Single Frequency Receiver) เป็นเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมที่รับสัญญาณดาวเทียม GPS โดยการวัดคลื่นส่งที่ความถี่ L1 ได้เพียงความถี่เดียวเท่านั้น (ภาพที่ 10) ซึ่งเครื่องรับชนิดนี้มีราคาถูกกว่าเครื่องรับแบบสองความถี่ ทั้งนี้เพราะเมื่อนำข้อมูลรังวัดพิกัดดาวเทียมความถี่เดียวมาประมวลผลแบบเฟสของคลื่นส่งจะให้ค่าความถูกต้องที่น้อยกว่าการประมวลผลในแบบเดียวกันโดยใช้ข้อมูลรังวัดพิกัดดาวเทียมแบบสองความถี่ (L1 และ L2)



ภาพที่ 10 เครื่องรับสัญญาณ GNSS แบบความถี่เดียว

http://www.sokkia.com.sg/PRODUCTS/GNSS_SYSTEM/GSR1700_CSX/GSR1700_CSX_img/

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2) เครื่องรับสัญญาณ GNSS ที่สามารถรับสัญญาณดาวเทียม GPS แบบสองความถี่และหลายระบบดาวเทียมนำหน (Dual-Frequency Receiver and Multi-GNSS Receiver) (ภาพที่ 11) เป็นเครื่องรับสัญญาณ GNSS ที่สามารถรับสัญญาณดาวเทียม GPS ของประเทศสหรัฐอเมริกาที่ความถี่ L1 และ L2 ยิ่งไปกว่านั้น ในปัจจุบันเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมได้ถูกพัฒนาให้สามารถรับสัญญาณดาวเทียม GPS ความถี่ L5 พร้อมด้วยขีดความสามารถรับสัญญาณดาวเทียมในระบบอื่นๆ เช่น ระบบดาวเทียม GLONASS ของประเทศรัสเซีย ระบบดาวเทียม Baidu ของประเทศจีน ระบบดาวเทียม QZSS ของประเทศญี่ปุ่น และระบบดาวเทียม GALILEO ของสหภาพยุโรป เป็นต้น



ภาพที่ 11 เครื่องรับสัญญาณ GNSS แบบสองความถี่และหลายระบบดาวเทียมนำหน

<https://globalsurvey.co.nz/shop/solutions/surveying-gis/gps-gnss/surveying-gnss/leica-gs18t-smart-antenna/>

2.4.4 เทคนิคในการรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอสแบบสัมพัทธ์ (Differential or Relative GPS Positioning)

เทคนิคการรังวัดหาตำแหน่งค่าพิกัดของจุดควบคุมภาพถ่ายมักจะต้องการความถูกต้องทางตำแหน่งสูง ทั้งนี้เพราะเป็นงานรังวัดควบคุม จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องใช้การหาค่าพิกัดแบบสัมพัทธ์ ซึ่งเป็นการใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมอย่างน้อย 2 เครื่อง โดยจะเป็นการวางเครื่องรับสัญญาณ GNSS เครื่องหนึ่งอยู่ที่จุดที่ทราบค่าพิกัดแล้วซึ่งอาจจะเป็นหมุดหลักฐานกรมแผนที่ทหาร หมุดหลักฐานกรมที่ดิน หรือหมุดหลักฐานของกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ เป็นต้น ทั้งนี้เครื่องหนึ่งตั้งที่จุดทราบค่าพิกัดโดยจะถูกเรียกว่าสถานีฐาน (Base Station) ส่วนเครื่องรับอีกเครื่องจะถูกนำไปวางตรงจุดที่ต้องการทราบค่าพิกัดที่จะถูกเรียกว่าโรเวอร์ (Rover) ผลที่ได้จากการทำงานในลักษณะนี้คือ ตำแหน่งเปรียบเทียบของจุดหนึ่งกับอีกจุดหนึ่ง หรือเป็นเส้นฐานที่มีทิศทางระหว่างจุดที่นำเครื่องรับทั้งสองไปตั้งรับสัญญาณ โดยการหาค่าพิกัดแบบสัมพัทธ์เรียกว่า Differential GPS (DGPS) และใช้ข้อมูลเฟสของคลื่นส่งมาประมวลผลเพื่อหาค่าพิกัดจะให้ค่าความถูกต้องสูงในระดับเซนติเมตรและอาจสูงถึงระดับมิลลิเมตรขึ้นอยู่กับวิธีที่ใช้ในการรังวัดในปัจจุบันซอฟต์แวร์เชิงพาณิชย์ที่ใช้ในการประมวลผลข้อมูลเฟสคลื่นส่งได้โดยจะได้รับมาพร้อมกับชุดเครื่องรับสัญญาณ GNSS แบบรังวัดสำหรับการสำรวจด้วยภาพถ่ายในภาระการรังวัดพิกัดจุดควบคุมภาพในภาคพื้นดินนั้นควรจะได้รับสัญญาณด้วยเครื่องรับสัญญาณแบบรังวัดและใช้ข้อมูลเฟสคลื่นส่งในการประมวลเท่านั้น จึงจะมีความถูกต้องทางตำแหน่งของหมุดบังคับในระดับที่เหมาะสม ซึ่งวิธีการรังวัดในภาคสนามในปัจจุบันสามารถแบ่งได้ ดังแสดงในตารางที่ 8 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 8 แสดงวิธีการรังวัดในภาคสนาม

วิธี	อุปกรณ์ที่จำเป็นต่อการทำงาน	วิธีการทำงานในสนาม	ค่าความถูกต้อง
STATIC	เครื่องรับแบบรังวัด ชนิดความถี่เดียว หรือหลายความถี่	ตั้งเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมนำหนพิภพ ทั้งสองอยู่กับที่ 1-2 ชั่วโมง และในระหว่าง ทำงานต้องมีดาวเทียมอย่างน้อย 4 ดวง	5 มม. - 2.5 ซม.
RAPID STATIC	เครื่องรับแบบรังวัด ชนิดความถี่เดียว หรือหลายความถี่	ตั้งเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมนำหนพิภพ ทั้งสองอยู่กับที่ 10-20 นาทีและในระหว่าง ทำงานต้องมีจำนวนดาวเทียมอย่างน้อย 4 ดวง	1-3 ซม.
KINEMATIC	เครื่องรับแบบรังวัด ชนิดความถี่เดียว หรือหลายความถี่	สามารถเคลื่อนย้ายเครื่องรับสัญญาณ ดาวเทียมนำหนพิภพไปตามจุดที่ต้องการ หาค่าพิกัดได้แต่ต้องทำการเริ่มต้นสัญญาณ ใช้เวลาประมาณ 5-10 นาทีและในระหว่าง ทำงานต้องสามารถรับดาวเทียมอย่าง ต่อเนื่อง	1-5 ซม.
RTK	เครื่องรับแบบรังวัด ชนิดหลายความถี่เท่านั้น และอุปกรณ์สื่อสาร ใช้ได้ทั้งเครื่องรับส่งวิทยุ หรือโทรศัพท์มือถือ	สามารถเคลื่อนย้ายเครื่องรับสัญญาณ ดาวเทียมนำหนพิภพไปตามจุดที่ต้องการ หาค่าพิกัด แต่ต้องรอจุดละประมาณ 1-2 นาทีโดยในระหว่างทำงานต้องมีดาวเทียม อย่างน้อย 5 ดวงและต้องรับค่าปรับแก้ จากสถานีฐานได้	1-5 ซม.

1) การรังวัดแบบสถิต (Static Survey) เป็นวิธีพื้นฐานของการวัดระยะโดยใช้คลื่นส่งโดยใช้เครื่องรับตั้งแต่ 2 เครื่องขึ้นไป เครื่องรับเครื่องหนึ่งนำไปวางอยู่ ณ จุดที่ทราบค่าพิกัดเพื่อใช้อ้างอิง ส่วนเครื่องที่เหลือวางไว้ ณ จุดที่ต้องการหาตำแหน่งเพิ่มเติม โดยปกติจะตั้งเครื่องรับสัญญาณไว้ไม่น้อยกว่า 45 นาที แต่ถ้าจะให้ได้ผลการรังวัดที่ดีควรจะรังวัดนาน 1-2 ชั่วโมง ทั้งนี้เพื่อให้มีข้อมูลของการวัดระยะเพียงพอที่จะประมวลผลหาจำนวนคลื่นเต็มรอบที่ไม่สามารถวัดได้ โดยหลักการแล้ววิธีการนี้ใช้หาตำแหน่งสัมพัทธ์ระหว่างจุดสองจุดที่อยู่ห่างกันเป็นระยะทางยาวได้ แต่การใช้ซอฟต์แวร์

เชิงพาณิชย์หรือซอฟต์แวร์ของโรงงานผลิตเครื่องรับนั้น ระยะทางสูงสุดที่ให้ความถูกต้องได้ตามข้อกำหนดของเครื่องรับจะอยู่ประมาณ 20-30 กิโลเมตร เท่านั้น

2) การรังวัดแบบสถิตชนิดเร็ว (Rapid Static Survey) มีวิธีการทำงานเหมือนกับการรังวัดแบบสถิตข้างต้น แต่ต้องการข้อมูลน้อยกว่าเพื่อนำมาประมวลผลหาจำนวนคลื่นเต็มรอบในการหาตำแหน่งของจุดที่อยู่ห่างจากจุดอ้างอิงไม่เกิน 5 กิโลเมตร จะใช้เวลาในการเก็บข้อมูลราว 10-20 นาที อัลกอริทึมที่ใช้ในการประมวลผลวิธีรังวัดสถิตอย่างรวดเร็วจะแตกต่างจากวิธีรังวัดแบบสถิตธรรมดาตามปกติจะใช้ได้สำหรับจุดที่อยู่ห่างจากจุดอ้างอิงไม่เกิน 15 กิโลเมตร

3) การรังวัดแบบจลน์ (Kinematic Survey) ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อให้สามารถหาตำแหน่งของจุดที่ต้องการให้เร็วขึ้น คือจะใช้เวลาในการรับข้อมูล ณ จุดที่ต้องการในเวลาไม่ถึงหนึ่งนาที แต่วิธีการนี้ก็มีจุดด้อยคือ มีวิธีการเริ่มงาน (Initialization) ผ่านการรับสัญญาณเริ่มต้นซึ่งจะใช้เวลาประมาณ 5-10 นาที และในระหว่างทำงานต้องสามารถรับดาวเทียมอย่างต่อเนื่อง โดยจะเป็นวิธีการทำงานเพื่อให้สามารถประมวลผลหาจำนวนคลื่นเต็มรอบได้ สิ่งที่ต้องคำนึงถึง ณ ขณะทำงานคือ เครื่องรับจะต้องรับสัญญาณต่อเนื่องจากดาวเทียมอย่างน้อย 4 ดวงตลอดเวลา แม้กระทั่ง ในขณะที่กำลังเคลื่อนย้ายจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง ถ้าหากรับสัญญาณดาวเทียมได้น้อยกว่า 4 ดวงเมื่อใด จะต้องทำขั้นตอนของวิธีการเริ่มงานใหม่อีกครั้งหนึ่ง แล้วจึงไปรังวัดที่จุดอื่นๆ ต่อไปได้อีก ในการรังวัดแบบจลน์นี้ เครื่องรับเครื่องหนึ่งจะถูกวางไว้ที่จุดอ้างอิงที่รู้ตำแหน่งแล้วตลอดเวลาเครื่องอื่นๆ เมื่อทำขั้นตอนวิธีการเริ่มงานแล้ว จึงนำไปวางตามจุดที่ต้องการหาตำแหน่ง

4) การรังวัดแบบจลน์ทันทีทันใด (Real-time Kinematic Survey: RTK) วิธีนี้รู้จักกันในชื่อย่อว่า RTK เป็นวิธีการทำงานรังวัดแบบจลน์นั่นเอง แต่แสดงผลลัพธ์คือ ค่าพิกัดตำแหน่งได้ทันทีในสนาม โดยเหตุที่การทำงานยังเป็นการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ หมายความว่าข้อมูลจากทั้งสองจุดต้องนำมาประมวลผลร่วมกัน ดังนั้นจึงต้องใช้คลื่นวิทยุในการรับส่งข้อมูลระหว่างกัน เนื่องจากจุดอ้างอิงเป็นจุดรู้ตำแหน่งอยู่แล้ว ในการทำงานแบบ RTK นี้ จึงเป็นการส่งข้อมูลที่รับสัญญาณดาวเทียมได้ไปยังจุดที่ต้องการหาตำแหน่งเครื่องรับ ที่จุดต้องการหาตำแหน่งจะรับข้อมูลแล้วนำไปประมวลผล แล้วแสดงค่าพิกัดได้อย่างรวดเร็วในทันที ระยะห่างระหว่างจุดที่ใช้ทำงานได้ไม่เกิน 15 กิโลเมตร นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับกำลังของคลื่นวิทยุที่ใช้ ในการรับส่งข้อมูลระหว่างกัน

2.5 การประเมินผลผลิตด้วยภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ

การสำรวจและคาดการณ์ผลผลิตพืชในอดีตมีความซับซ้อนต้องใช้เวลาและแรงงานในการเก็บข้อมูลมาก เพราะต้องเดินสำรวจแปลงเพื่อสุ่มเก็บข้อมูลตัวอย่าง เช่น นับจำนวนต้น วัดความสูง วัดเส้นผ่าศูนย์กลาง วัดขนาดทรงพุ่ม วัดขนาดพื้นที่เพาะปลูก และขนาดพื้นที่เพาะปลูกที่เสียหาย แล้วนำไปเข้าสู่สูตรคำนวณเพื่อคาดการณ์ผลผลิตต่อไร่ ซึ่งเป็นวิธีการที่ไม่เหมาะสมสำหรับพื้นที่ขนาดใหญ่มาก เทคโนโลยีการสำรวจระยะไกลจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่เหมาะสมโดยเฉพาะกับพื้นที่ขนาดใหญ่ เพราะเป็นวิธีการที่ลดระยะเวลาและแรงงานในการสำรวจ (Jensen and Binford, 2010)

ในปัจจุบันวิวัฒนาการของเทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับ ช่วยให้เราสามารถใช้ประโยชน์จากการสำรวจทางอากาศด้วยความแม่นยำ อากาศยานไร้คนขับเป็นประโยชน์อย่างมากในการตรวจสอบพืชเพื่อการเกษตรและป่าไม้ ภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ มีความสามารถในการประมาณค่าพารามิเตอร์ทางเรขาคณิตของพืชเช่น ความสูง และขนาดพุ่ม ซึ่งพารามิเตอร์ดังกล่าวมีความสำคัญในการคำนวณผลผลิตของพืช

แบบจำลองพืชได้รับการพัฒนาโดยมีพื้นฐานจากความเข้าใจในกระบวนการสำคัญ ๆ ของพืชหลายกระบวนการ เช่น การสังเคราะห์แสง การเจริญเติบโต การเปลี่ยนแปลงของน้ำ และไนโตรเจนในดินและพืช เป็นต้น การจำลองการเติบโตของพืชโดยแบบจำลองเปรียบเสมือนการทำการเพาะปลูกในแปลงเพาะปลูกจริง แต่ใช้อุปกรณ์คอมพิวเตอร์ในการทดสอบต่อการตอบสนองของพืชต่อสภาพแวดล้อมและการจัดการที่ต่างกัน จึงสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในงานด้านเกษตรได้เป็นอย่างดี (สุกิจรัตน์ ศรีวิงษ์ และคณะ, 2553) และต้องประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองโดยเปรียบเทียบผลผลิตจากแปลงตัวอย่าง (Observed yield) กับผลผลิตที่ได้จากแบบจำลอง (Simulated yield) ด้วยค่า RMSE (root mean square error) ที่แสดงความแตกต่างระหว่างผลผลิตจากแบบจำลองกับผลผลิตจริง และ agreement index จากสูตร (Jones et al, 1994)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2}$$

โดยที่ S คือ ผลผลิตจากแบบจำลอง

O คือ ผลผลิตจริง

n คือ จำนวนค่าสังเกต (agreement)

ดัชนีแบบจำลองที่แสดงความใกล้เคียงระหว่างแบบจำลองกับค่าสังเกต (Willmott, 1982) แสดงได้ตามแบบจำลองด้านล่างนี้

$$d = 1 - \frac{[\sum(\text{predicted value} - \text{observed value})^2]}{[\sum((\text{predicted value} - \bar{x} \text{ observed value}) + (\text{observed value} - \bar{x} \text{ observed value}))^2]}$$

โดยที่ predicted value คือ ค่าจากแบบจำลอง

observed value คือ ค่าจากผลผลิตจริง

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สว่าง คำภีระ (2554) ได้ศึกษาปัจจัยและเงื่อนไขที่มีอิทธิพลต่อระบบผลิตกาแฟอาราบิก้าแบบวนเกษตร ในพื้นที่ บ้านแม่สำน ตำบลแม่ต๋อง อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง จากผลการศึกษาพบว่า เกษตรกรผู้ปลูกกาแฟส่วนใหญ่มีอายุอยู่ในช่วง 30-45 ปี โดยพื้นที่ปลูกของเกษตรกรอยู่ในช่วง 1-3 ไร่ เกษตรกรส่วนใหญ่สามารถรับรู้ข่าวสารการปลูกกาแฟแบบวนเกษตรจากเจ้าหน้าที่รวมถึงการฝึกอบรมให้ความรู้ตลอดจนการศึกษาดูงานนอกสถานที่ และที่สำคัญที่สุดการปลูกกาแฟมีตลาดรับซื้อผลผลิตของเกษตรกรในลักษณะผลสด รูปแบบการจัดการที่แตกต่างกันในการผลิตกาแฟอาราบิก้าแบบวนเกษตร ส่งผลต่อผลผลิต คือ แบบที่มีการดูแลให้ผลผลิตที่อยู่ในรูปผลสดต่อต้น ให้ผลตอบแทนต่อไร่มากกว่าแบบที่ไม่มีการจัดการ ด้านความอุดมสมบูรณ์ของดินพบว่า สภาพดินในแปลงป่าธรรมชาติกับแปลงที่มีการดูแลมีค่าใกล้เคียงกัน แต่เมื่อเปรียบเทียบตามเกณฑ์การวิเคราะห์ความอุดมสมบูรณ์ของดินพบว่ามีความอุดมสมบูรณ์ของดินในระดับต่ำ ทั้งนี้ เนื่องจากสภาพพื้นที่ปลูกมีความลาดชันโอกาสที่อินทรีย์วัตถุและธาตุอาหารบนหน้าดินถูกชะล้างในช่วงฤดูฝนจะมีมาก

ประครอง เชียงแรง (2564) ได้ศึกษาองค์ประกอบชนิดไม้ต้นและผลผลิตกาแฟของระบบวนเกษตร ในพื้นที่โครงการพัฒนาพื้นที่ป่าขุนแม่กวางอันเนื่องมาจากพระราชดำรินำมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของลักษณะสังคมพืชกับลักษณะของต้นกาแฟอาราบิก้า และประเมินปัจจัยด้านสังคมพืชที่มีผลต่อผลผลิตกาแฟ โดยการวางแผนแปลงตัวอย่างขนาด 20 x 20 เมตร จำนวน 15 แปลง ให้ครอบคลุมพื้นที่วนเกษตรพร้อมกับเก็บข้อมูลด้านองค์ประกอบชนิดพืชเพื่อวิเคราะห์จำแนกลักษณะโครงสร้างสังคมพืช และเก็บข้อมูลผลผลิตเมล็ดกาแฟสดภายในแปลงตัวอย่างพร้อมกับประเมินมูลค่าแล้วทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะสังคมพืชกับลักษณะของต้นกาแฟและผลผลิตของกาแฟ ผลการศึกษาพบว่า สังคมพืชในพื้นที่ศึกษาสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 สังคม ได้แก่ สังคมป่าดิบ

เขาระดับต่ำธรรมชาติ และสังคมนาเกษตรกาแพ ซึ่งประกอบด้วย 2 สังคมนาเกษตรกาแพปลูกร่วมไม้ป่า และสังคมนาเกษตรกาแพปลูกร่วมไม้ผล ดังนั้นสังคมนาเกษตรกาแพปลูกร่วมไม้ป่าจึงมีลักษณะโครงสร้างและองค์ประกอบพรรณพืชใกล้เคียงกับป่าธรรมชาติมากกว่าสังคมนาเกษตรกาแพปลูกร่วมไม้ผล นอกจากนี้ จำนวนต้นกาแพมีความสัมพันธ์ในเชิงลบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับขนาดพื้นที่หน้าตัดของไม้ใหญ่ ($p < 0.05$) และมีความสัมพันธ์ในเชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับจำนวนต้นไม้ใหญ่ ($p < 0.01$) ส่วนขนาดความโตของคอรากของต้นกาแพ พบว่า มีความสัมพันธ์ในเชิงลบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับจำนวนต้นของไม้ใหญ่ในพื้นที่ ($p < 0.05$) ส่วนผลผลิตของกาแพ พบว่ามีความสัมพันธ์ในเชิงลบกับความหนาแน่นและขนาดพื้นที่หน้าตัดของไม้ใหญ่ ($p < 0.05$) แต่มีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับค่าดัชนีความหลากหลายของไม้ต้น ($p < 0.01$) แสดงว่าต้นกาแพเติบโตได้ดีในพื้นที่ที่มีต้นไม้ขนาดเล็กปกคลุมอยู่จำนวนมาก และจะให้ผลผลิตสูงในพื้นที่ที่มีต้นไม้ปกคลุมอยู่น้อยแต่มีความหลากหลายสูง จากผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าการทำระบบวนเกษตรกาแพในพื้นที่ป่าชุมชนแม่กวางควรพิจารณาใช้ระบบวนเกษตรกาแพปลูกร่วมไม้ป่าเพราะจะทำให้มีลักษณะสังคมนาใกล้เคียงกับป่าธรรมชาติแต่ต้องพิจารณาความเหมาะสมขององค์ประกอบของชนิดไม้ต้นในพื้นที่เพื่อเป็นการเพิ่มการเติบโตและผลิตของต้นกาแพ

Barbosa et al. (2021) ได้ทำการประเมินศักยภาพของการประยุกต์ใช้อากาศยานไร้คนขับและดัชนีพืชพรรณจากภาพถ่ายแบบ RGB (Vis) ในการตรวจสอบการปลูกกาแพระยะเวลาในการทดสอบ 12 เดือน ในการศึกษาที่ใช้กล้องแบบ RGB ที่ติดตั้งบนอากาศยานไร้คนขับในการจำแนกดัชนีพืชพรรณ โดยค่าดัชนีดังกล่าวถูกนำไปวิเคราะห์ความสัมพันธ์ด้วยการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ของ Pearson ผลการทดสอบค่า Vis ดังกล่าวถูกนำไปใช้ประมาณค่าความสูงและค่าเส้นผ่าศูนย์กลางของทรงพุ่มของต้นกาแพที่ได้จากภาพถ่ายอากาศยานไร้คนขับ นอกจากนี้ค่า Vis ยังสามารถแยกความหลากหลายของแปลงเพาะปลูกได้ เช่น แยกวัชพืช ออกจากต้นกาแพ ซึ่งช่วยในการตัดสินใจและการจัดการเกษตร ผลการศึกษานี้สามารถสรุปได้ว่า การใช้อากาศยานไร้คนขับแบบราคาประหยัดที่ติดตั้งกล้องแบบ RGB มีศักยภาพในการตรวจสอบวงจรการผลิตกาแพ และช่วยให้ ผู้ปลูกได้รับข้อมูลอย่างมีความแม่นยำ รวดเร็วและง่ายตายขึ้น

ศิวา แก้วปลั่ง (2561) ได้ทำการประเมินการใช้ภาพถ่ายทางอากาศจากอากาศยานไร้คนขับสำหรับการประมาณค่าชีวมวลเหนือพื้นดินของต้นหม่อน ทำการทดลองในแปลงหม่อนของศูนย์ความเป็นเลิศทางนวัตกรรมไหม มหาวิทยาลัยมหาสารคาม มีการติดตั้งกล้องความละเอียด 12 ล้านพิกเซลบินถ่ายภาพที่ความสูง 15 เมตร และ 50 เมตร เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการประมาณค่าชี

มวลเหนือพื้นดินของต้นหม่อน ทำรังวัดค่าพิกัด และค่าระดับเพื่อจัดทำหมุด ควบคุมภาพถ่าย และวางเป้าจุดควบคุมภาพ ให้กระจายอยู่ในภาพจำนวน 9 จุด เพื่อใช้สำหรับปรับแก้ภาพ วางแผนการบินด้วย PIX4D จากการวัดค่าความสูง ขนาดทรงพุ่ม และค่าชีวมวลเหนือพื้นดินของต้นหม่อนจริงจากแปลงหม่อน พบว่า กรณีบินที่ความสูง 15 เมตร มีค่า RMSE เท่ากับ 0.57 และ 50 เมตร มีค่า RMSE เท่ากับ 0.70 จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลสรุปว่าความถูกต้องของการวัดความสูงและขนาดพุ่มของต้นหม่อนจะแปรผันตามกับความสูงการบิน เนื่องจากภาพจากอากาศยานไร้คนขับ จะมีขนาดพื้นที่ต่อจุดภาพ (m/pixel) เพิ่มขึ้นตามความสูงของการบิน ซึ่งทำให้การวัดความสูงและการวัดระยะจากภาพมีความคลาดเคลื่อนมากขึ้นตามความสูงการบินที่เพิ่มมากขึ้น

วิภารัตน์ อัมพะวัน (2561) ได้ศึกษาเทคนิคการประมาณสภาพกายภาพต้นยางพาราจากข้อมูล อากาศยานไร้คนขับ ของสวนยางพาราบริเวณ ตำบลวังนกแอ่น อำเภอวังทอง จังหวัดพิษณุโลก โดยใช้ข้อมูลแบบจำลองระดับพื้นผิว แบบจำลองความสูงเชิงเลข และภาพถ่ายออร์โธที่ผ่านกระบวนการโฟโตแกรมเมตรีจากโปรแกรม Pix4Dmapper นำไปประมาณค่าความสูง ประมาณค่าชีวมวลเหนือพื้นดิน และใช้ภาพถ่ายออร์โธเพื่อตรวจสอบค่าดัชนีความเขียว พบว่า ความสูงของต้นยางพาราจากข้อมูล CHM และจากเครื่องวัดต้นไม้ด้วยการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) สวนยางพาราที่ 1 และสวนยางพาราที่ 2 ค่าความสูงจากเครื่องวัดต้นไม้และจาก CHM มีความสัมพันธ์กันสูง การตรวจสอบข้อมูลความสูงของต้นยางพาราด้วยข้อมูลภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ มีค่า RMSE เท่ากับ 1.009 และ 1.129 ตามลำดับ จากการคำนวณค่าดัชนี VARI พบว่าภาพในสวนยางพาราที่ 1 มีค่าสีเขียวไม่สม่ำเสมอทั้งสวน บริเวณกลางแปลงที่ทำการศึกษานั้นมีค่าสีเหลืองเป็นบริเวณกว้าง ซึ่งแตกต่างจากบริเวณรอบๆ จะมีค่าความเขียวมากและมีค่าสีเหลืองเล็กน้อย และผลจากการคำนวณในสวนยางพาราที่ 2 มีค่าความเขียวสม่ำเสมอทั้งหมดทั้งสวน ซึ่งสอดคล้องกับสภาพต้นยางพาราในพื้นที่จริง ผลการวิเคราะห์สามารถสรุปได้ว่าดัชนี VARI สามารถคาดการณ์ความผิดปกติจากค่าความเขียวได้ แต่ถ้าจะคาดการณ์สุขภาพของพืชด้วย NDVI จะต้องใช้อากาศยานไร้คนขับที่มีเซนเซอร์ NIR

López-García et al. (2022) ได้ประมาณจำนวนผลผลิตในไร่ของงุ่นจากภาพถ่ายรายละเอียดสูงที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับ ในไร่ของงุ่นทางตะวันออกเฉียงใต้ ประเทศสเปน ระหว่างปี 2019-2020 ซึ่งมีความแตกต่างกันสองกลุ่มคือ การใช้น้ำฝนและการใช้น้ำชลประทาน งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินศักยภาพของดัชนีพืชพรรณ (VIs) และความเขียวของทรงพุ่ม (GCC) โดยเปรียบเทียบระหว่างภาพถ่ายแบบธรรมดา (RGB) กับภาพถ่ายแบบหลายช่วงคลื่น (Multispectral) เพื่อวัดค่าความสมบูรณ์ของต้นงุ่นแล้วนำไปสู่การคาดการณ์ผลผลิตจากการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นเดียวและ

การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณ ผลการศึกษาพบว่าค่าดัชนีความเขียวและพารามิเตอร์ทางเรขาคณิตจากพีชมีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับจำนวนผลผลิต ในการประมาณผลผลิตมีความคลาดเคลื่อนน้อยมาก คือ 0.21-0.39 กิโลกรัมต่อต้น และผลลัพธ์จากภาพถ่ายแบบหลายช่วงคลื่นให้ผลลัพธ์การประมาณผลผลิตได้แม่นยำ แต่การใช้เซนเซอร์แบบ RGB นั้นมีข้อได้เปรียบหลาย เช่น อุปกรณ์ราคาไม่แพง ความละเอียดเชิงพื้นที่สูง และการจัดการโปรแกรมที่ง่ายกว่า

จิรวุฒน์ โนดไธสง และคณะ (2562) การศึกษาความเป็นไปได้ในการทำนายผลผลิตอ้อยในแปลงโดยใช้ดัชนีพืชพรรณ NDVI, Red Edge (Cire) และปริมาตรจากแบบจำลองพื้นผิวเชิงตัวเลขในการศึกษานี้ ใช้ตัวอย่างจำนวน 30 ตัวอย่าง โดยเป็นพื้นที่ที่แตกต่างกันทั้งหมดและแต่ละตัวอย่างมีพื้นที่ขนาด 6×8 ตารางเมตร และเก็บรวบรวมภาพถ่ายอ้อยในแปลง จากกล้องถ่ายภาพหลายช่วงคลื่น แบบ 5 ช่วงคลื่น (Red, Green, Blue, NIR และ Red Edge) ซึ่งติดตั้งบนอากาศยานไร้คนขับ จากนั้นเก็บเกี่ยวอ้อยแต่ละแปลงย่อยมาชั่งน้ำหนักเพื่อหาผลผลิตต่อไร่ สำหรับใช้เป็นค่ามาตรฐานในการสร้างแบบจำลอง ภาพถ่ายอ้อยทั้งหมดจากแต่ละช่วงคลื่น จะถูกนำมาประมวลผลเป็นภาพทั้งแปลงด้วยโปรแกรม Pix4D mapper แล้วนำข้อมูลในภาพไปคำนวณดัชนี 3 ค่า ประกอบด้วย ดัชนีพืชพรรณ NDVI, Red Edge และปริมาตรจากแบบจำลองพื้นผิวเชิงตัวเลข หลังจากนั้นจึงวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีแต่ละค่ากับผลผลิตอ้อยในแปลง ด้วยวิธีสมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Linear Regression, SLR) ผลการวิเคราะห์พบว่ามีความเป็นไปได้ที่จะทำนายผลผลิตอ้อยในแปลงด้วยค่าดัชนี NDVI, Red Edge และปริมาตรจากแบบจำลองพื้นผิวเชิงตัวเลข โดยมีค่าสหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.77, 0.78 และ 0.87 ตามลำดับ และค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยระหว่างค่าจริงกับค่าทำนาย R^2 เท่ากับ 3.18, 3.11 และ 2.46 ต้น/ไร่ ตามลำดับ และมีค่าความผิดพลาดมาตรฐานของการทำ cross-validation เท่ากับ 3.37, 3.32, และ 2.61 ต้น/ไร่ ตามลำดับ การที่ค่าความคลาดเคลื่อนค่อนข้างสูงเนื่องจากการเก็บข้อมูลภาพถ่ายใกล้ช่วงเก็บเกี่ยว การวิเคราะห์ภาพถ่ายไม่มีการตัด pixel ส่วนที่ไม่ใช่อ้อยออก จึงทำให้มีความคลาดเคลื่อนค่อนข้างสูง

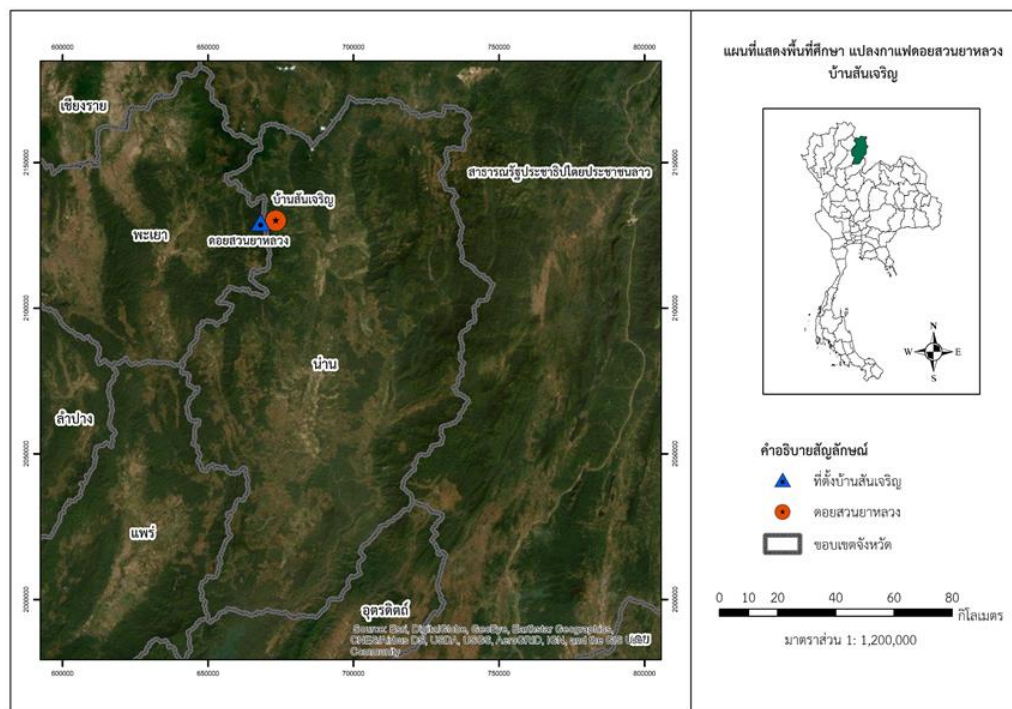
บทที่ 3 พื้นที่ศึกษา

3.1 ที่ตั้งและอาณาเขตของพื้นที่ศึกษา

จังหวัดน่านตั้งอยู่ภาคเหนือของประเทศไทย (18.778760, 100.775060) ระดับความสูงของพื้นที่สูง 2,112 เมตรจากระดับทะเลปานกลาง มีพื้นที่ 11,472.076 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 7,170,045 ไร่ โดยมีอาณาเขตติดต่อ ดังนี้ (สำนักงานจังหวัดน่าน, 2550)

ทิศเหนือ	ติดต่อกับ จังหวัดพะเยา และสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว
ทิศใต้	ติดต่อกับ จังหวัดแพร่ และจังหวัดอุตรดิตถ์
ทิศตะวันออก	ติดต่อกับ สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว
ทิศตะวันตก	ติดต่อกับ จังหวัดพะเยา และจังหวัดแพร่

แปลงกาแพดอยสวนยาหลวง (ละติจูดที่ 19.2574 องศาเหนือและลองจิจูดที่ 100.5975 องศาตะวันออก) บ้านสันเจริญ ตำบลผาทอง อำเภอท่าวังผา จังหวัดน่าน มีพื้นที่บางส่วนอยู่ในความรับผิดชอบของหน่วยศึกษาคารอนุรักษ์ ต้นน้ำดอยกาด อำเภอปง จังหวัดพะเยา (องค์การบริหารส่วนตำบลผาทอง, 2560)



ภาพที่ 12 ที่ตั้งของพื้นที่ศึกษา

3.2 ลักษณะภูมิประเทศ

จังหวัดน่านมีทิวเขาหลวงพระบางและทิวเขาฝิ่ปันน้ำวางตัวในแนวเหนือใต้ ซึ่งเป็นทิวเขาหินแกรนิต ที่มีความสูง 600 - 1,200 เมตร เหนือระดับทะเลปานกลาง ทอดผ่านทั่วจังหวัด คิดเป็นพื้นที่ประมาณร้อยละ 40 ของพื้นที่ทั้งจังหวัด พื้นที่ของจังหวัดน่านโดยทั่วไป มีสภาพพื้นที่เป็นลูกคลื่นลอนชันเกิน 30 องศาประมาณร้อยละ 85 ของพื้นที่จังหวัด ส่วนลูกคลื่นลอนลาดตามลุ่มน้ำจะเป็นที่ราบแคบ ๆ ระหว่างหุบเขาตามแนวยาวของลุ่มน้ำ น่าน สา ว้า ปัว และกอน (กรมทรัพยากรธรณี, 2540)

ลักษณะภูมิประเทศของบ้านสันเจริญนั้น โดยพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นภูเขาสูงชันซึ่งอยู่ในเทือกเขาฝิ่ปันน้ำ และบางส่วนเป็นที่ราบลุ่มสองฝั่งลำน้ำยาว บางส่วนมีแม่น้ำลำห้วยหลักไหลผ่านหลายสาย บนดอยสูงกว่าระดับน้ำทะเลปานกลาง 1,400 - 1,600 เมตร เป็นแนวสันเขารอยต่อของ 2 จังหวัด คือ จังหวัดน่าน (ต.ผาทอง อ.ท่าวังผา) และจังหวัดพะเยา (ต.ผาช้างน้อย อ.ปง) จุดสูงสุดของสันปันน้ำคือยอดดอยกาด ฝั่งหนึ่งน้ำจะไหลไปยังลุ่มน้ำยมแต่อีกฝั่งหนึ่งน้ำจะไหลไปยังลุ่มน้ำน่าน (องค์การบริหารส่วนตำบลผาทอง, 2560)

3.3 ลักษณะภูมิอากาศ

น่านเป็นจังหวัดที่มีสภาพอากาศค่อนข้างเย็นเกือบตลอดทั้งปี มีอุณหภูมิเฉลี่ยทั้งปี 26.1 องศาเซลเซียส โดยมีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 1,238.9 มิลลิเมตร สภาพภูมิอากาศจังหวัดน่านอยู่ภายใต้อิทธิพลมรสุม 2 ชนิด คือ ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ แบ่งภูมิอากาศออกได้เป็น 3 ฤดู ได้แก่ ฤดูฝน เริ่มตั้งแต่กลางเดือนพฤษภาคมจนถึงเดือนตุลาคม ฤดูหนาวเริ่มตั้งแต่เดือนพฤศจิกายนไปจนถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์ และฤดูร้อนเริ่มตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ถึงกลางเดือนพฤษภาคม โดยสามารถสรุปข้อมูลตัวแปรภูมิอากาศ ตามตารางที่ 9

ตารางที่ 9 สภาพภูมิอากาศของจังหวัดน่าน

ข้อมูลภูมิอากาศ	หน่วย	ช่วงพิสัยค่ารายปี	ค่าเฉลี่ยรายปี
อุณหภูมิอากาศ	องศาเซลเซียส	33.1 - 20.6	26.1
ความชื้นสัมพัทธ์	เปอร์เซ็นต์	93.6 - 52.7	76.8
ความเร็วลมผิวพื้น	กิโลเมตรต่อชั่วโมง	0.4 - 0.1	0.3
อัตราการระเหย	มิลลิเมตร	-	1267.8
ปริมาณฝน	มิลลิเมตร	-	1,238.90

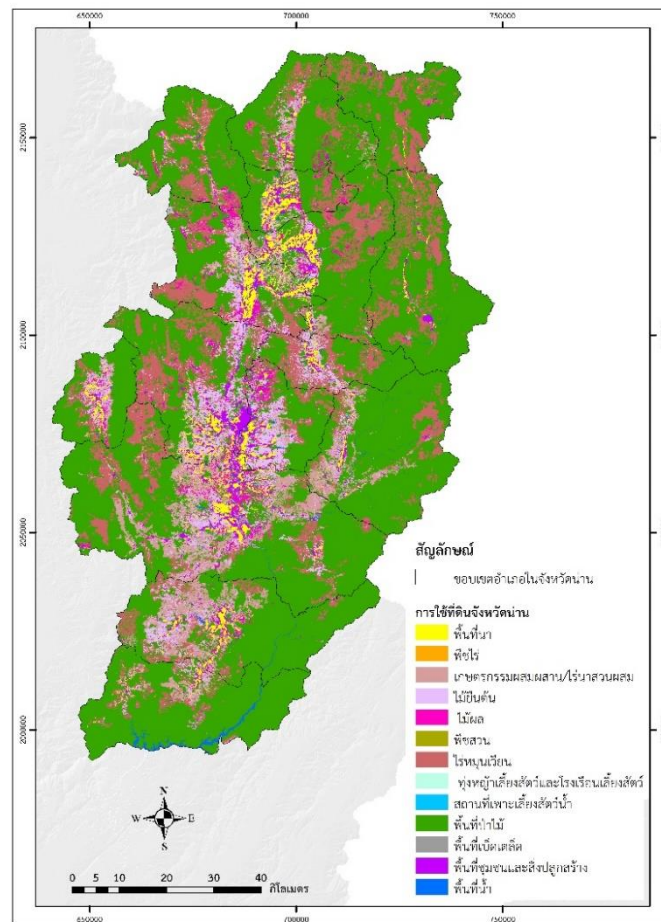
ที่มา: กรมอุตุนิยมวิทยา ปี 2560

3.4 การใช้ประโยชน์ที่ดิน

จากข้อมูลระบบแผนที่เกษตรเพื่อการบริหารจัดการเชิงรุกออนไลน์ (Agri Map Online) กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ จำแนกการใช้ที่ดินของจังหวัดน่านเป็นพื้นที่เกษตรกรรม 2,669,708 ไร่ หรือประมาณร้อยละ 35.12 ของจังหวัด ส่วนใหญ่เป็นไร่นา 16.82 ของจังหวัด หรือคิดเป็นร้อยละ 47.91 ของพื้นที่เกษตรกรรม (ตารางที่ 10) (ภาพที่ 13)

ตารางที่ 10 การใช้ที่ดินของจังหวัดน่าน ในปี 2564

ประเภท	พื้นที่ (ไร่)	ร้อยละ
พื้นที่ป่า	4,716,197	62.04
พืชไร่	569,052	7.48
พื้นที่นา	237,683	3.12
ไม้ยืนต้น	363,523	4.78
พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง	138,176	1.81
ไม้ผล	220,006	2.89
พื้นที่เปิดเตล็ด	23,082	0.31
พื้นที่น้ำ	52,206	0.68
ทุ่งหญ้าและโรงเรือนเลี้ยงสัตว์	644	0.00
ไร่นา	1,279,063	16.82
สถานที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ	73	0.00
พืชสวน	272	0.00
พื้นที่ลุ่ม	797	0.01
เกษตรผสมผสาน/ไร่นาสวนผสม	109	0.00



ภาพที่ 13 การใช้ประโยชน์ที่ดินจังหวัดน่าน

ในพื้นที่ของตำบลผาทอง ของจังหวัดน่าน ซึ่งบ้านสันเจริญอยู่ในเขตตำบลนี้ มีพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินรวมทั้งหมด 109,744.80 ไร่ โดยมีการใช้ที่ดินประเภทพื้นที่ป่าสูงสุดถึงร้อยละ 52.58 ของการใช้ที่ดินของตำบล รองลงมาเป็นการใช้ที่ดินประเภทไร่นาหมุนเวียน ร้อยละ 25.24 ไม้ยืนต้น ร้อยละ 10.30 และไม้ผล ร้อยละ 8.52 ตามลำดับ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2565) ซึ่งปริมาณการปลูกกาแฟของพื้นที่ตำบลผาทอง มีจำนวนทั้งหมดประมาณ 7,700 ไร่ โดยแบ่งเป็นกาแฟอาราบิก้า 6,500 ไร่ และโรบัสต้า 1,200 ไร่ (การให้ข้อมูลจากนายกองค์การบริหารส่วนตำบลผาทอง)

3.5 ทรัพยากรดิน

จากข้อมูลระบบแผนที่เกษตรเพื่อการบริหารจัดการเชิงรุกออนไลน์ (Agri Map Online) กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ สามารถจำแนกกลุ่มดินประเภทต่าง ๆ และพบว่าดินส่วนใหญ่เป็นประเภทดินลาดชันสูง คิดเป็นร้อยละ 83.82 รองลงมาเป็นดินในพื้นที่ดอนในเขตแห้ง แล้งคิดเป็นร้อยละ 11.62 ของจังหวัด (ตารางที่ 11)

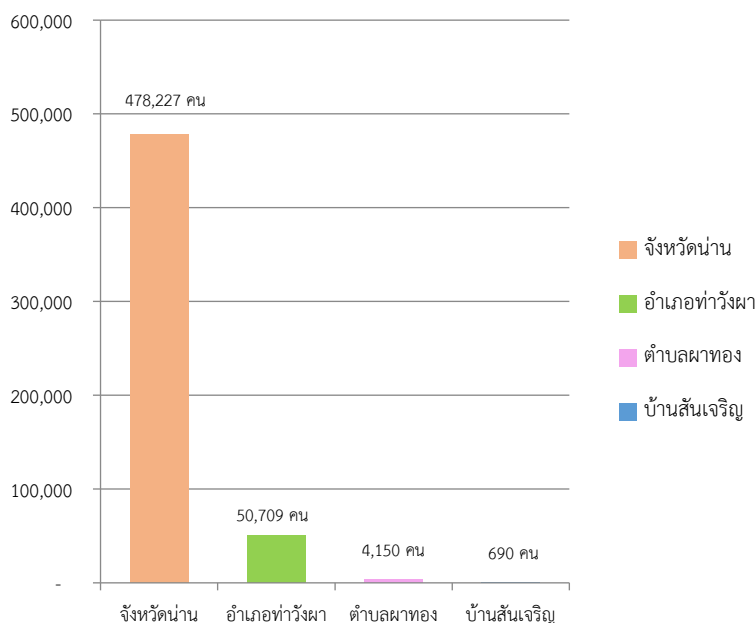
ตารางที่ 11 จำแนกกลุ่มดินที่พบในจังหวัดน่าน

ประเภท	พื้นที่ (ไร่)	ร้อยละ
ดินในพื้นที่ลาดชันสูง	6,371,526	83.82
ดินในพื้นที่ดอนในเขตดินแห้ง	883,423	11.62
ดินในพื้นที่ราบลุ่ม	204,947	2.69
พื้นที่เบ็ดเตล็ด	140,986	1.85

ที่มา: Agri Map (2561)

3.6 จำนวนประชากร

จำนวนประชากร จากข้อมูลของกรมการปกครอง กระทรวงมหาดไทย พ.ศ. 2562 พบว่า จังหวัดน่านมีจำนวนประชากร 478,227 คน แบ่งออกเป็นเพศชายจำนวน 239,661 คน เพศหญิงจำนวน 238,566 คน มีจำนวนครัวเรือน 168,476 หลัง สำหรับจำนวนประชากร บ้านสันเจริญ ตำบลผาทอง พบว่ามีจำนวนประชากรทั้งหมด 690 คน แบ่งออกเป็นเพศชาย จำนวน 371 คน เป็นเพศหญิงจำนวน 319 คน และมีจำนวนครัวเรือน 152 หลัง



ภาพที่ 14 แสดงจำนวนประชากรในพื้นที่การศึกษา

3.7 ข้อมูลด้านเศรษฐกิจและอุตสาหกรรม

เศรษฐกิจโดยรวมของจังหวัดน่านปี 2560 พิจารณาจากผลิตภัณฑ์มวลรวมจังหวัดขยายตัวร้อยละ 8.88 ต่อเนื่องจากที่ขยายตัวร้อยละ 0.19 ในปี 2559 เป็นผลมาจากการผลิตในทุกสาขาขยายตัว ผลิตภัณฑ์มวลรวมจังหวัดต่อหัว ในปี 2560 เท่ากับ 53,070.03 บาทเพิ่มขึ้นจาก 48,353.64 บาท คิดเป็นร้อยละ 9.76 ซึ่งประชากรส่วนใหญ่ของจังหวัดน่านประกอบอาชีพทางการเกษตรมีการทำนาข้าวบริเวณที่ราบลุ่มและทำการปลูกพืชไร่ เช่น กาแฟ ยาสูบ ข้าวโพด เป็นต้น สวนผลไม้ที่ทำการเพาะปลูกมาก ได้แก่ มะม่วง ลำไย มะขามหวาน และส้มสีทอง ด้านอุตสาหกรรมจังหวัดน่านในปี 2560 มีโรงงานที่ขึ้นทะเบียนกับสำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัดน่าน รวมทั้งสิ้นจำนวน 450 โรงงาน ส่วนใหญ่เป็นอุตสาหกรรมเกษตร รองลงมา คือ อุตสาหกรรมอื่น ๆ เช่น อุตสาหกรรมทอผ้าพื้นเมือง และการทำเครื่องเงิน (สำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัดน่าน, 2560)

อาชีพของประชากรบ้านสันเจริญ เกือบทั้งหมดประกอบอาชีพเกษตรกรรม ผลผลิตที่สำคัญในพื้นที่ ได้แก่ เมล็ดกาแฟ (ผลเชอร์รี่) และผลิตภัณฑ์กาแฟคั่วบด ของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนแปรรูปกาแฟสวนยาหลวง และมีรายได้เสริมจากการท่องเที่ยว โดยมีการจัดตั้งกลุ่มท่องเที่ยวชุมชนเชิงอนุรักษ์คอกสวนยาหลวงบ้านสันเจริญ ส่งเสริมให้การอนุรักษ์ทั้งธรรมชาติและสภาพแวดล้อม วัฒนธรรมและประเพณี กิจกรรมการท่องเที่ยวที่น่าสนใจเช่น บ้านพักโฮมสเตย์ในไร่กาแฟ บริการอาหารพื้นถิ่น

และซิมกาแพคั่วของสวนยาหลวง และขึ้นไปชมทัศนียภาพบนยอดดอยสวนยาหลวง ด้านวัฒนธรรม การเกษตรแบบดั้งเดิมคือการเก็บเกี่ยวข้าวไร่ มีแหล่งท่องเที่ยวทางธรรมชาติเช่น น้ำออกกู น้ำตกภูสัน รวมไปถึงการอนุรักษ์ผืนป่าของชาวบ้าน นอกจากนี้นักท่องเที่ยวยังจะได้สัมผัสกับวิถีชีวิตความเป็นอยู่ และวัฒนธรรมประเพณีของชนเผ่าเมี่ยน (สำนักงานการเกษตรจังหวัดน่าน, 2560)

3.8 ประวัติความเป็นมาการปลูกกาแฟของพื้นที่ศึกษา

จังหวัดน่านมีการปลูกกาแฟ และพัฒนาสายพันธุ์เป็นเวลานาน กาแฟจึงเป็นพืชเศรษฐกิจที่สร้างรายได้ที่สำคัญ โดยปี 2561 สร้างรายได้ให้จังหวัดประมาณ 382.5 ล้านบาท จังหวัดน่านมีพื้นที่ปลูกกาแฟเป็น 3 อันดับของประเทศ มีอัตราการเติบโตปีละ 10% ส่วนใหญ่ปลูกในพื้นที่ป่าและพื้นที่สูง ซึ่งเป็นเอกลักษณ์และทำให้กาแฟของจังหวัดน่านมีชื่อเสียง ปัจจุบันมีพื้นที่ปลูกกาแฟทั้งหมด 22,500 ไร่ เกษตรกร 2,400 ราย ครอบคลุมพื้นที่ 15 อำเภอ ปลูกมากที่สุดที่ อำเภอท่าวังผา 5,500 ไร่ รองลงมา คือ อำเภอสองแคว 3,400 ไร่ อำเภอบ่อเกลือ 2,700 ไร่ ตามลำดับ แบ่งเป็นพันธุ์อาราบิก้า 16,700 ไร่ เกษตรกร 1,700 ราย และพันธุ์โรบัสต้า 5,800 ไร่ เกษตรกร 700 ราย การส่งเสริมและสนับสนุนการปลูกกาแฟได้รับการจากสนับสนุนจากหน่วยงานต่าง ๆ อาทิ กรมวิชาการเกษตร และกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมช่วยสนับสนุนและส่งเสริมปลูกกาแฟร่วมกับป่า เช่น กรมป่าไม้ มุ่งเน้นปลูกกาแฟพันธุ์อาราบิก้าได้ร่มไม้ในเขตป่าที่อนุญาต โดยเฉพาะพื้นที่ที่มีความสูง 800 - 1,300 เมตร จากระดับน้ำทะเล รวมถึงเครื่องเจริญโภคภัณฑ์เข้ามาทำซีเอสอาร์ในอำเภอท่าวังผา ให้เกษตรกรที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ หันมาปลูกพืชยืนต้นถาวร และรับผลผลิตไปแปรรูปและจำหน่าย ปัจจุบันจังหวัดน่านมีการก่อตั้งชมรมกาแฟน่านโดยชมรมกาแฟน่านมีแนวทางสนับสนุนเกษตรกรต้นน้ำปลูกกาแฟอาราบิก้า สายพันธุ์คาติมอร์ได้ร่มไม้ใหญ่ตามธรรมชาติปลูกในที่สูงเป็นหลัก เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพผลิตภัณฑ์และเป็นโมเดลการเกษตรที่ช่วยอนุรักษ์ป่าต้นน้ำ การถ่ายทอดความรู้ในการแปรรูปกาแฟเพื่อเพิ่มมูลค่าและต่อราคาไปจนถึงการสร้างแบรนด์ของชุมชน ปัจจุบันแบรนด์กาแฟน่านที่โดดเด่นแบ่งเป็นกาแฟอาราบิก้า ได้แก่ ลาเปียนของบ้านสันเจริญ ภูสันคอฟฟี่ ซึ่งมีการทำบันทึกข้อตกลง (MOU) กับเกษตรกรที่สันเจริญ, วิสาหกิจชุมชนดอยมณีพฤกษ์ เดอแม้ง ดอยมณีพฤกษ์ Gem Forest ดอยมณีพฤกษ์ ดอยสกาต เป็นต้น ส่วนโรบัสต้ามีการทำบันทึกข้อตกลง (MOU) กับภูมิใจคอฟฟี่ฟาร์มเพียงแห่งเดียว ส่วนทิศทางในอนาคตของชมรมกาแฟจะมุ่งเน้นจัดอบรมความรู้เรื่องกาแฟ โดยให้ชุมชนที่มีการผลิตกาแฟและแปรรูปกาแฟมีศักยภาพเข้มแข็งสามารถเป็นพี่เลี้ยงให้เกษตรกรรายอื่น ๆ ที่สนใจปลูกกาแฟ เพื่อพัฒนาประสิทธิภาพของเกษตรกรอย่างทั่วถึง (ประชาชาติธุรกิจ, 2562)

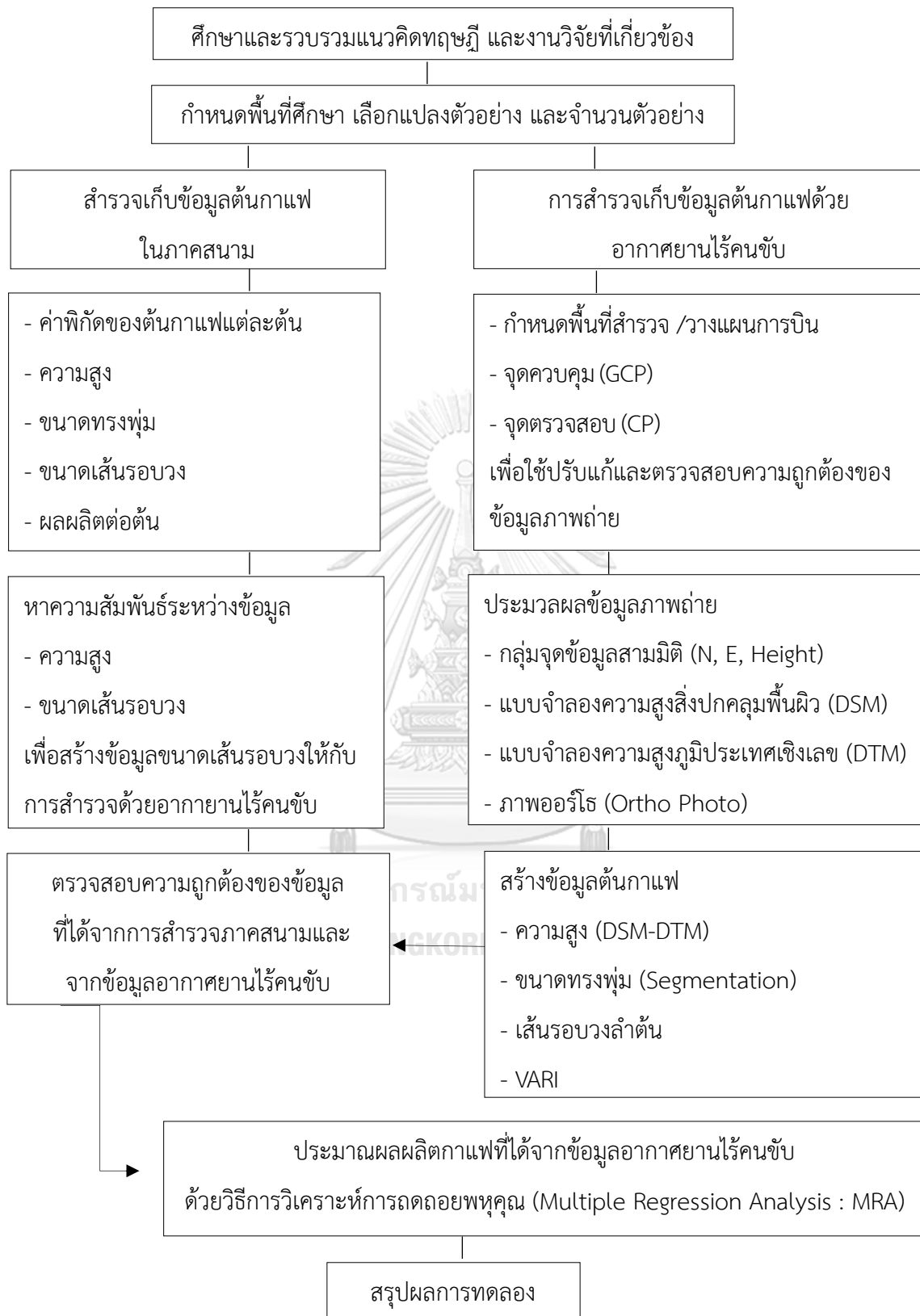
การปลูกกาแฟในพื้นที่ดอยสวนยาหลวง บ้านสันเจริญ เริ่มจากในปี 2404 ชาวเมียน อพยพมาจากมณฑลยูนนาน สาธารณรัฐประชาชนจีน ลงตอนใต้ผ่านสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว เคลื่อนย้ายตามสันดอยยาว ผ่านดอยภูแว ตำบลและ อำเภอและ ผ่านตำบลริม อำเภอท่าวังผา ผ่านขุนน้ำกาด ขุนสะละ ขุนน้ำพัน บางกลุ่มก็ตั้งรากฐานอยู่ขุนสะละและขุนน้ำพัน แต่บางกลุ่มได้เดินทางมาตั้งถิ่นฐานอยู่ที่บริเวณที่เรียกกันว่า “สวนยาหลวง” สิ่ง que สร้างรายได้มีเพียงการปลูกฝิ่นที่ชาวบ้านยึดเป็นอาชีพ ทำให้ฝิ่นกลายเป็นพืชเศรษฐกิจของหมู่บ้าน และถือเป็นพื้นที่ที่ปลูกฝิ่นกว้างใหญ่มากที่สุดในประเทศไทย ประมาณ 20,000 ไร่ ต่อมาเมื่อมีโครงการพัฒนาตามพระราชดำริในพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว รัชกาลที่ 9 ซึ่งส่งเสริมให้ชาวไทยภูเขา กลุ่มต่าง ๆ ปลูกพืชเศรษฐกิจทดแทนการปลูกฝิ่น ชาวเมียนที่นี้จึงหันมาปลูกพริก ปลูกฝ้าย ข้าวโพด รวมถึงพืชล้มลุกแทน จนกระทั่งปี 2532 ศูนย์พัฒนาและส่งเสริมชาวเขาจังหวัดน่าน (ปัจจุบันคือศูนย์พัฒนาสังคมหน่วยที่ 25 จังหวัดน่าน) ได้เข้ามาส่งเสริมการปลูกกาแฟอาราบิกา ครั้งนั้นมีชาวเมียนสนใจร่วมปลูกกาแฟเพียง 25 ราย โดยมีผู้ใหญ่บ้าน รวบรวมกาแฟเซอร์รีจากชาวบ้านนำไปขายให้พ่อค้าคนกลางในเมือง และจังหวัดอื่น แต่ต่อมาเกิดปัญหาราคากาแฟเซอร์รีตกต่ำ ในปี 2546 ผู้ใหญ่บ้านจึงพยายามรวมกลุ่มก่อตั้งกลุ่มแปรรูปกาแฟขึ้น โดยขอความช่วยเหลือจากหน่วยงานภาครัฐและเอกชน ในที่สุดจึงเกิดเป็นกลุ่มวิสาหกิจชุมชนแปรรูปกาแฟสวนยาหลวงขึ้น เพื่อคั่วและจำหน่ายเป็นผลิตภัณฑ์กาแฟคั่วบด ในชื่อกาแฟสวนยาหลวง ปัจจุบันมีชาวบ้านเข้าร่วมกลุ่มฯ และหันมาปลูกกาแฟครอบคลุมพื้นที่สวนยาหลวงเกือบ 2,000 ไร่ กาแฟจึงเป็นพืชเศรษฐกิจที่สร้างอาชีพ สร้างรายได้ รวมถึงพัฒนาคุณภาพชีวิตความเป็นอยู่ให้แก่ชาวสันเจริญอย่างยั่งยืนมาจนถึงปัจจุบัน

บทที่ 4

วิธีการดำเนินการวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของวิธีการพัฒนาแบบจำลองการประเมินผลผลิตกาแฟ จากข้อมูลอากาศยานไร้คนขับ กระบวนการวิจัยโดยสรุปแสดงผังแผนภาพ โดยมีขั้นตอนและรายละเอียดดังต่อไปนี้





ภาพที่ 15 ผังแสดงขั้นตอนของการวิจัย

4.1 การกำหนดพื้นที่ศึกษาเพื่อเก็บข้อมูลของต้นกาแฟ

การกำหนดพื้นที่ศึกษา ต้องสร้างแปลงตัวอย่างและแปลงตรวจสอบ (ภาพที่ 16) สำหรับเก็บข้อมูลลักษณะทางกายภาพของต้นกาแฟ ได้แก่ ความสูง ขนาดทรงพุ่ม และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นกาแฟ ข้อมูลจากการสำรวจภาคสนามจะนำไปใช้ในการอ้างอิงและตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลความสูง และขนาดทรงพุ่มของต้นกาแฟที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับ การศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยได้กำหนดแปลงตัวอย่างทั้งหมด 4 แปลง ได้แก่ แปลง A แปลง B แปลง C และแปลง D โดยทุกแปลงจะมีป้ายรหัสคล้องไว้กับต้นกาแฟทุกต้น ดังภาพที่ 16



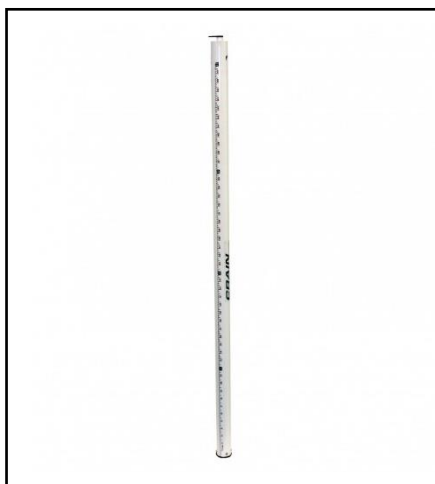
ภาพที่ 16 (ก) แปลงตัวอย่างและแปลงตรวจสอบ (ข) การติดป้ายเพื่อใช้ในการบันทึกข้อมูล

4.2 การเก็บข้อมูลตำแหน่งและลักษณะทางกายภาพของต้นกาแฟในแปลงตัวอย่าง

ผู้วิจัยเก็บข้อมูลลักษณะทางกายภาพของต้นกาแฟทุกต้นในแปลงตัวอย่างและแปลงตรวจสอบ ได้แก่ ข้อมูลความสูง ขนาดทรงพุ่ม และเส้นผ่านศูนย์กลางต้นกาแฟ รวมถึงเก็บข้อมูลน้ำหนักผลผลิตกาแฟในแปลงตัวอย่างและแปลงตรวจสอบ

4.2.1 การเก็บข้อมูลความสูงของต้นกาแฟ

ในการเก็บข้อมูลผู้วิจัยใช้ไม้ระดับเพื่อวัดความสูงของต้นกาแฟในแปลงตัวอย่างและแปลงตรวจสอบ



ภาพที่ 17 ไม้ระดับที่ใช้เก็บข้อมูลความสูงต้นกาแฟ

4.2.2 การเก็บข้อมูลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นกาแฟ

ในการเก็บข้อมูลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นผู้วิจัยใช้สายวัด (Tap Nylon Nylon) เพื่อวัดขนาดของลำต้นกาแฟในแปลงตัวอย่างและแปลงตรวจสอบ เนื่องจากต้นไม้แต่ละชนิดมีลักษณะพิเศษที่แตกต่างกัน จึงต้องพิจารณาตามลักษณะของต้นไม้นั้น ๆ (ชิงชัย วิริยะบัญชา, 2546) กรณีการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นกาแฟนั้น วัดจากขนาดลำต้นที่กว้างที่สุดคือบริเวณโคนต้นที่ก่อนจะแตกกิ่งแขนงที่ 1 ออกไป (ภาพที่ 18)



มหาวิทยาลัย
CORN UNIVERSITY



ภาพที่ 18 (ก) ลักษณะลำต้นของต้นกาแฟ (ข) สายวัดที่ใช้เก็บข้อมูลความสูงต้นกาแฟ

4.2.3 การวัดขนาดทรงพุ่มของต้นกาแฟ

ในการเก็บข้อมูลขนาดทรงพุ่มของต้นกาแฟในแปลงตัวอย่างและแปลงตรวจสอบ ผู้วิจัยได้ใช้ไม้วัดระยะเพื่อวัดระยะความกว้างของทรงพุ่มต้นกาแฟในส่วนที่กว้างที่สุด (ภาพที่ 19) เนื่องจากขนาดทรงพุ่มอาจบ่งบอกถึงความอุดมสมบูรณ์และจำนวนกิ่งของกาแฟที่สามารถให้ดอกผลกาแฟได้



ภาพที่ 19 ลักษณะทรงพุ่มต้นกาแฟ

4.2.4 การเก็บข้อมูลน้ำหนักผลผลิตกาแฟ

การเก็บข้อมูลน้ำหนักผลผลิตกาแฟ ผู้วิจัยได้ติดถุงเพื่อเก็บและบันทึกค่าน้ำหนักของผลผลิตทุกต้นในแปลงตัวอย่างและแปลงตรวจสอบในการเก็บข้อมูล (ภาพที่ 20) เนื่องจากเมล็ดกาแฟสุกไม่พร้อมกัน ในต้นกาแฟ 1 ต้นอาจจะต้องเก็บผลผลิต 2-3 ครั้ง เนื่องจากเมล็ดกาแฟต้นเดียวกันเมล็ดกาแฟอาจจะสุกไม่พร้อมกัน



ภาพที่ 20 การเก็บข้อมูลน้ำหนักผลผลิตกาแฟ

4.3 การเก็บข้อมูลความสูงและขนาดทรงพุ่มต้นกาแฟ จากอากาศยานไร้คนขับ

อากาศยานไร้คนขับสามารถเก็บข้อมูลความสูงของต้นไม้ได้ โดยอากาศยานไร้คนขับจะบันทึกข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศ และสร้างข้อมูลสามมิติด้วยกระบวนการทางโฟโตแกรมเมตรี เพื่อให้ได้ข้อมูลกลุ่มของจุดสามมิติที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองความสูงสิ่งปกคลุมพื้นผิวเชิงเลข แบบจำลองความสูงภูมิประเทศเชิงเลข และภาพถ่ายออร์โธรีซี ซึ่งมีรายละเอียดแต่ละขั้นตอนดังต่อไปนี้

4.3.1 การกำหนดค่าพิกัดอ้างอิงในพื้นที่ศึกษา

การกำหนดจุดควบคุมภาคพื้นดินและจุดตรวจสอบจะต้องเลือกจุดที่มีลักษณะการมองเห็นจากการถ่ายภาพได้ชัดเจน เช่น มุมแปลงที่ดิน คันทนา มุมถนน เป็นต้น ควรเป็นที่ที่มีความโล่งแจ้งไม่มีสิ่งใดปกคลุมหรือเป็นสิ่งกีดขวาง เพื่อให้ไม่เป็นอุปสรรคในการบินถ่ายภาพและการรับสัญญาณดาวเทียม GNSS เป้าสำหรับสร้างจุดควบคุมภาคพื้นดินและจุดตรวจสอบทำจากแผ่นพลาสติกที่มีสีสันเห็นได้ชัดเจน มีขนาดความกว้าง 1 เมตร ความยาว 1 เมตร ผู้วิจัยกำหนดจุดควบคุมภาคพื้นดินจำนวนแปลงละ 6 จุด และจุดตรวจสอบ จำนวนแปลงละ 3 จุด (ภาพที่ 21) วางกระจายทั่วพื้นที่



ภาพที่ 21 การกำหนดจุดควบคุมภาคพื้นดินและจุดตรวจสอบ

4.3.2 การสำรวจรังวัดค่าพิกัดของจุดควบคุมภาคพื้นดินและจุดตรวจสอบ

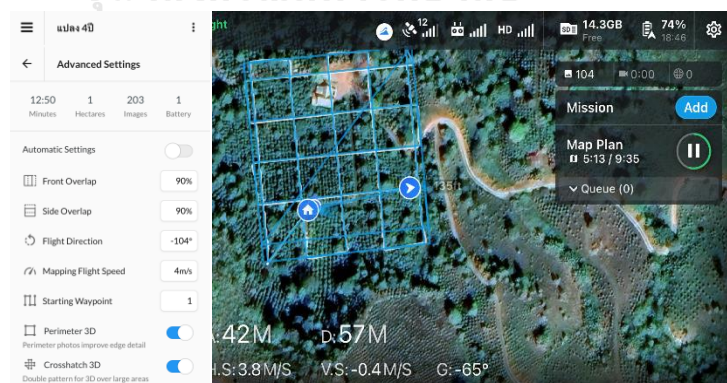
การสำรวจรังวัดด้วยวิธีการรังวัดดาวเทียมแบบจลน์ (Real Time Kinematics : RTK) ผู้วิจัยทำการเชื่อมโยงค่าพิกัดจากหมุดหลักฐานจากระบบโครงข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ของกรมที่ดิน ใช้สถานีอ้างอิงจังหวัดพะเยา ค่าพีดอป (PDOP) ขณะทำการรังวัดไม่เกิน 5.0 ค่า RMSE ในทางราบไม่เกิน 3.0 เซนติเมตร ผลการรังวัดเป็นแบบฟิกซ์ (Fixed) รับสัญญาณดาวเทียมทุก 1 วินาที และได้ข้อมูลการรับสัญญาณดาวเทียม ไม่น้อยกว่า 60 วินาที อย่างต่อเนื่อง 3 ครั้ง โดยใช้เครื่องควบคุมการบันทึกข้อมูลสัญญาณดาวเทียม (GNSS Controller) CHCNAV รุ่น HCE 600 และเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม CHCNAV รุ่น i90 IMU-RTK GNSS (ภาพที่ 22)



ภาพที่ 22 การสำรวจรังวัดค่าพิกัดของจุดควบคุมภาคพื้นดินและจุดตรวจสอบ

4.3.3 การสร้างภาพถ่ายทางอากาศจากอากาศยานไร้คนขับ

การศึกษาคั้งนี้ใช้อากาศยานไร้คนขับประเภทปีกหมุน (Multi Rotor) ยี่ห้อ DJI รุ่น Phantom 4PRO ติดตั้งกล้องถ่ายภาพมีความละเอียด 20 ล้านพิกเซล กำหนดให้อากาศยานบินสำรวจที่ระดับความสูง 50 เมตรจากพื้นดิน ในการถ่ายภาพกำหนดให้มีส่วนซ้อนของภาพ (Overlap) ร้อยละ 90 และส่วนเกยของภาพ (Sidelap) ร้อยละ 90 (ภาพที่ 6) (ภาพที่ 23) ทอร์เนส ซานเชส และคณะ กล่าวว่าการทำแผนที่ด้วยอากาศยานไร้คนขับต้องทำการถ่ายภาพด้วยการซ้อนทับภาพสูง เพื่อให้เกิดค่าความถูกต้องทางพิกัดสูงสุด การกำหนดเส้นทางการบิน แบบ Double Grid ภาพถ่ายที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับจะถูกบันทึกด้วยนามสกุล .JPG



ภาพที่ 23 ตัวอย่างการกำหนดความสูงบิน ส่วนซ้อนส่วนเกย และทำการบินถ่ายภาพ

4.3.4 การประมวลผลข้อมูลที่ได้จากการถ่ายภาพทางอากาศ

การประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศด้วยโปรแกรม Pix4Dmapper เพื่อสร้างข้อมูลจุดพิกัดสามมิติ ข้อมูลDSM ข้อมูลDTM ข้อมูลภาพออร์โธ ดั้งภาพที่ 24 และคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนของจุดควบคุมภาคพื้นดินและจุดตรวจสอบ ด้วยวิธีค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองน้อยที่สุด (Root Mean Square Error) ดังแสดงในสมการที่ 1-5 งานวิจัยครั้งนี้ใช้มาตรฐานความถูกต้องทางตำแหน่ง ของข้อมูลเชิงพื้นที่ที่กำหนดโดย American Society for Photogrammetry and Remote Sensing 2014 (ASPRS 2014) เป็นเกณฑ์ในการยอมรับความถูกต้องทั้งทางราบและทางตั้งของข้อมูลที่ได้จากภาพถ่ายทางอากาศจากการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ

$$RMSE_X = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_{oi} - X_{GNSSi})^2}{n}} \quad (1)$$

$$RMSE_Y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_{oi} - Y_{GNSSi})^2}{n}} \quad (2)$$

$$RMSE_{XY} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [(X_{oi} - X_{GNSSi})^2 + (Y_{oi} - Y_{GNSSi})^2]}{n}} \quad (3)$$

$$RMSE_Z = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Z_{oi} - Z_{GNSSi})^2}{n}} \quad (4)$$

$$RMSE_T = \sqrt{(RMSE_{XY})^2 + (RMSE_Z)^2} \quad (5)$$

โดยที่ : n คือ จำนวนจุดควบคุมภาคพื้นดิน/จุดตรวจสอบ ที่ใช้ในการทดสอบทั้งหมด

X_{oi} , Y_{oi} และ Z_{oi} คือ ค่าพิกัด ในแกน X, Y และ Z ที่ได้จากการประมวลผลภาพ

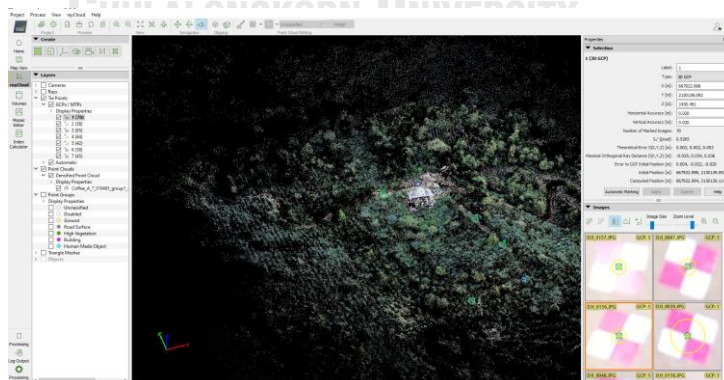
X_{GNSSi} , Y_{GNSSi} และ Z_{GNSSi} คือ ค่าพิกัดของจุดควบคุมภาคพื้นดิน/จุดตรวจสอบ ในแกน X, Y และ Z ที่ได้จากการวัดจริงด้วยการรังวัดแบบ RTK โดยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม

ตารางที่ 12 ข้อกำหนดค่าความคลาดเคลื่อนทางราบของ AMERICAN SOCIETY FOR PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING (ASPRS, 2014)

Map scale	Horizontal Data Accuracy Class	RMSEX or RMSEY (cm)	RMSEr (cm)	Horizontal Accuracy at the 95% Confidence Level (cm)
1:100	I	1.3	1.8	3.1
	II	2.5	3.5	6.1
	III	3.8	5.3	9.2
1:200	I	2.5	3.5	6.1
	II	5.0	7.1	12.2
	III	7.5	10.6	18.4
1:250	I	3.1	4.4	7.6
	II	6.3	8.8	15.3
	III	9.4	13.3	22.9
1:500	I	6.3	8.8	15.3
	II	12.5	17.7	30.6
	III	18.8	26.5	45.9
1:1,000	I	12.5	17.7	30.6
	II	25.0	35.4	61.2
	III	37.5	53	91.1
1:2,000	I	25.0	35.4	61.2
	II	50.0	70.7	122.4
	III	75.5	106.1	183.6
1:2,500	I	31.3	44.2	76.5
	II	62.5	88.4	153
	III	93.8	132.6	229.5
1:5,000	I	62.5	88.4	153
	II	125.0	176.8	306
	III	187.5	265.2	458.9
1:10,000	I	125.0	176.8	306
	II	250.0	353.6	611.9
	III	375.0	530.4	917.9
1:25,000	I	312.5	441.9	764.9
	II	625.0	884.9	1,529.8
	III	937.5	1,325.8	2,294.7

ตารางที่ 13 ข้อกำหนดค่าความคลาดเคลื่อนทางตั้งของพื้นผิวที่มีพืชปกคลุม AMERICAN SOCIETY FOR PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING (ASPRS, 2014)

Vertical Data Accuracy Class	ความ Vegetated Vertical Accuracy (VVA) at 95 th Percentile (cm)
I	2.9
II	7.4
III	14.7
IV	29.4
V	36.8
VI	58.8
VII	98
VIII	196
IX	294
X	980



ภาพที่ 24 ตัวอย่างการประมวลผลภาพถ่ายด้วยโปรแกรม Pix4Dmapper

4.3.5 การหาค่าความสูงของต้นกาแฟจากข้อมูลอากาศยานไร้คนขับ

ความสูงของต้นกาแฟสามารถคำนวณได้จากผลต่างของแบบจำลองพื้นผิวเชิงเลขกับแบบจำลองภูมิประเทศเชิงเลข เพื่อสร้างแบบจำลองความสูงชั้นเรือนยอด ดังภาพที่ 25 โดยใช้สมการ

$$CHM = DSM - DTM \quad (6)$$

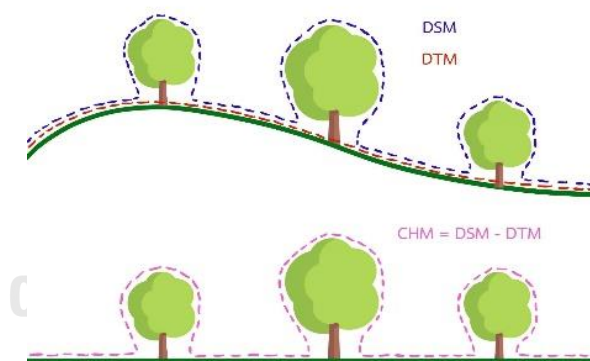
โดยที่

CHM คือ แบบจำลองความสูงชั้นเรือนยอด

DSM คือ แบบจำลองความสูงพื้นผิวเชิงเลข

DTM คือ แบบจำลองภูมิประเทศเชิงเลข

ผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นข้อมูลความสูงของต้นกาแฟในแปลงศึกษา โดยสกัดข้อมูลความสูงของต้นกาแฟแต่ละต้นจากตำแหน่งค่าพิกัดจุดกึ่งกลางลำต้นที่ได้จากการสำรวจในภาคสนาม

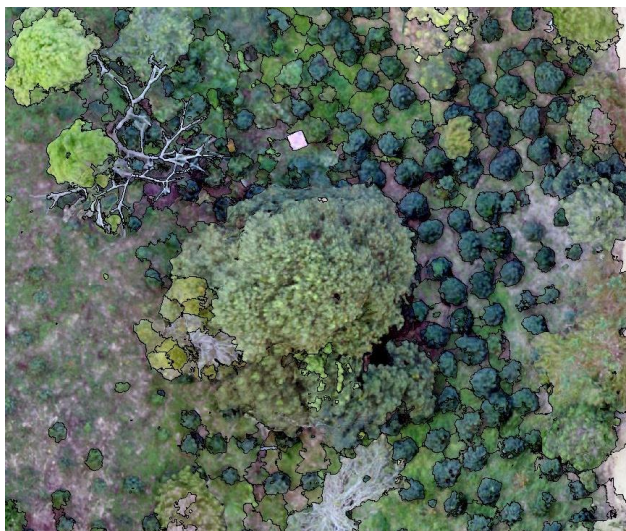


ภาพที่ 25 แบบจำลองความสูงต้นไม้

4.3.6 การประมาณค่าขนาดทรงพุ่มต้นกาแฟจากข้อมูลอากาศยานไร้คนขับ

โดยใช้วิธีการจำแนกข้อมูลภาพหรือแบ่งส่วนภาพ (Image Segmentation) ทำให้สามารถกำหนดขอบเขตของต้นกาแฟบนภาพถ่ายทางอากาศจากอากาศยานไร้คนขับได้อย่างแม่นยำด้วยโปรแกรม ArcGIS Pro กระบวนการดังกล่าวเป็นการแบ่งส่วนภาพออกเป็นหลายพื้นที่หรือหลายวัตถุตามลักษณะที่เป็นเนื้อเดียวกันและมีความสัมพันธ์กัน โดยเป็นการจำแนกในระดับพิกเซลว่าพิกเซลในแต่ละตำแหน่งเป็นวัตถุชนิดใด ซึ่งพิจารณาจากมาตราส่วน สี รูปร่าง การเกาะกลุ่ม และความเรียบ

(ภาพที่ 26) จึงทำให้สามารถจำแนกทรงพุ่มของต้นกาแพ่ได้ทั้งทรงพุ่มที่มีขนาดเล็กและทรงพุ่มมีขนาดใหญ่ และสามารถจำแนกทรงพุ่มของต้นไม้แต่ละต้นได้แม้ในพื้นที่ที่มีความหนาแน่นของต้นไม้สูง



ภาพที่ 26 การประมาณค่าขนาดทรงพุ่มโดยวิธี Image Segmentation

4.3.7 การประมาณค่าขนาดเส้นรอบวงต้นกาแพ่ให้กับข้อมูลที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับ

ในการประมาณค่าขนาดเส้นรอบวงต้นกาแพ่ให้กับข้อมูลที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับ เป็นการหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสูงและขนาดเส้นรอบวงจากข้อมูลภาคสนาม ความสัมพันธ์ดังกล่าว จะช่วยในการประมาณค่าขนาดเส้นรอบวงของต้นกาแพ่จากอากาศยานไร้คนขับได้ ผู้วิจัยเลือกการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression)

4.4 การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลจากอากาศยานไร้คนขับ

เมื่อได้ค่าความสูง ขนาดทรงพุ่ม และขนาดเส้นรอบวงของต้นกาแพ่ทั้งจากอากาศยานไร้คนขับและจากการเก็บข้อมูลภาคสนามที่ได้จากการวัดจริงด้วยด้วยการรังวัดแบบจลน์ โดยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม CHCNAV จากนั้นนำค่ามาคำนวณการตรวจสอบความถูกต้อง ด้วยสมการค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนยกกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error : RMSE)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} - \sum_{i=1}^n [X_{UAV} - X_{obs}]^2} \quad (7)$$

โดยที่ : X_{UAV} คือ ค่าความสูง ขนาดทรงพุ่ม และขนาดเส้นรอบวงลำต้นที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับ

X_{obs} คือ ค่าความสูง ขนาดทรงพุ่ม และขนาดเส้นรอบวงลำต้นจากภาคสนาม

RMSE คือ ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนยกกำลังสองเฉลี่ย (เมตร)

N คือ จำนวนต้นกาแฟทั้งหมด

ค่า RMSE เป็นการวัดค่าความแตกต่างระหว่างค่าที่ได้จากภาคสนาม (ค่าจริง) และค่าที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับ (แบบจำลอง) ยกกำลังสอง ถ้าค่า RMSE มีค่าน้อยแสดงว่าอากาศยานไร้คนขับสามารถประมาณค่าได้ใกล้เคียงกับค่าจากภาคสนาม แต่ถ้ามีค่าเท่ากับศูนย์หมายความว่าไม่เกิดความคลาดเคลื่อน

4.5 การหาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลจากข้อมูลอากาศยานไร้คนขับกับจากข้อมูลในภาคสนาม

เมื่อได้ทำการประมาณค่าความสูง ขนาดทรงพุ่ม และขนาดเส้นรอบวงต้นกาแฟจากข้อมูลอากาศยานไร้คนขับแล้ว จึงนำมาเปรียบเทียบกับความสูง ขนาดทรงพุ่ม และขนาดเส้นรอบวงต้นกาแฟจากในภาคสนาม โดยการใช้ค่าความสัมพันธ์เชิงเส้น (Correlation coefficient) หรือ ค่า r

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (8)$$

โดยที่ : r คือ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient)

x คือ ค่าจากอากาศยานไร้คนขับ ที่ i ถึง n

y คือ ค่าจากภาคสนาม i ถึง n

\bar{x} คือ ค่าเฉลี่ยจากอากาศยานไร้คนขับ

\bar{y} คือ ค่าเฉลี่ยจากภาคสนาม

สำหรับค่า r จะมีค่าอยู่ระหว่าง -1 ถึง 1

r มีค่าเข้าใกล้ +1 แสดงว่าตัวแปร x และ y มีความสัมพันธ์ระดับสูงมากในทางตรงกันข้าม

r มีค่าเข้าใกล้ -1 แสดงว่าตัวแปร x และ y มีความสัมพันธ์ระดับสูงมากในทางเดียวกัน

r มีค่าเข้าใกล้ 0 แสดงว่าตัวแปร x และ y มีความสัมพันธ์ระดับน้อยมาก

r มีค่าเท่ากับ 0 แสดงว่าตัวแปร x และ y ไม่มีความสัมพันธ์กัน

ทั้งนี้ การวิจัยครั้งนี้ ได้ใช้เกณฑ์การแปลความหมายค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของซูกรี วงศ์รัตน์ะ ซึ่งมีการแบ่งระดับความสัมพันธ์เป็น 5 ระดับ ตั้งแต่ไม่มีความสัมพันธ์จนถึงมีความสัมพันธ์ระดับสูงมาก (ตารางที่ 14)

ตารางที่ 14 เกณฑ์การแปลความหมายค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (ซูกรี วงศ์รัตน์ะ, 2544)

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r)	ระดับความสัมพันธ์
0.91 - 1.00	มีความสัมพันธ์ระดับสูงมาก
0.71 - 0.90	มีความสัมพันธ์ระดับสูง
0.31 - 0.70	มีความสัมพันธ์ระดับปานกลาง
0.01 - 0.30	มีความสัมพันธ์ระดับต่ำ
0.00	ไม่มีความสัมพันธ์

4.6 การคำนวณดัชนีความแตกต่างของช่วงคลื่นที่มองเห็นได้ในชั้น (VARI)

เป็นการคำนวณค่าดัชนีความเขียว โดยการคำนวณจากช่วงคลื่นที่ตามองเห็นซึ่งเหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ดัชนีพืชพรรณของพืชในระดับท้องถื่นหรือในพื้นที่ขนาดเล็ก การวิเคราะห์ดัชนีพืชพรรณด้วยเทคนิค VARI จะใช้ช่วงคลื่นที่มองเห็นได้ในชั้นบรรยากาศ ได้แก่ ช่วงคลื่นสีแดง ช่วงคลื่นสีเขียว และช่วงคลื่นสีน้ำเงิน จากค่าสีภาพออร์โธ เพื่อดูความเขียวของต้นกาแพในพื้นที่ศึกษาการวิเคราะห์ดัชนีพืชพรรณ VARI มีพื้นฐานมาจากดัชนี Atmospherically Resistant Vegetation เป็นดัชนีที่ถูกต่อยอดมาจากดัชนี NDVI โดยดัชนี VARI ใช้ในการพยากรณ์สิ่งต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับพืช หรือใช้ติดตามการเปลี่ยนแปลงความสมบูรณ์ของพืชในแปลงเกษตรแบบทันที โดยเฉพาะการใช้ข้อมูลจากอากาศยานไร้คนขับ สามารถคำนวณ VARI ได้ (Gitelson, Kaufman et al., 2002)

$$VARI = \frac{Green - Red}{Green + Red - Blue} \quad (9)$$

โดยที่ : Green คือ pixel values จากช่วงคลื่นสีเขียว

Red คือ pixel values จากช่วงคลื่นสีแดง

Blue คือ pixel values จากช่วงคลื่นสีน้ำเงิน

4.7 การประมาณค่าจำนวนผลผลิตกาแฟ

ปัจจัยทั้งหมดที่จะใช้ในการประมาณค่าจำนวนผลผลิตกาแฟในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยใช้ข้อมูลจากอากาศยานไร้คนขับ ได้แก่ ความสูง ขนาดทรงพุ่ม ขนาดเส้นรอบวง และดัชนีพืชพรรณ VARI นำมาประมาณค่าผลผลิตกาแฟ จากการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ (สมการที่10) เป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม 1 ตัวแปร และตัวแปรอิสระ 2 ตัวแปร ขึ้นไป

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n \quad (10)$$

โดยที่ : Y คือ น้ำหนักผลผลิตกาแฟ

X_1, X_2, X_3, X_4 คือ ความสูง ขนาดทรงพุ่ม ขนาดเส้นรอบวง และVARI ตามลำดับ

$\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์ที่บ่งบอกถึงความสัมพันธ์ของตัวแปร



บทที่ 5

ผลการวิจัย

ผลการวิจัยประกอบด้วย การวิเคราะห์ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการให้ผลผลิตกาแฟ การประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ การหาค่าความสูงจากข้อมูลอากาศยานไร้คนขับ และตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล การประมาณค่าขนาดทรงพุ่มต้นกาแฟจากข้อมูลอากาศยานไร้คนขับและตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล การประมาณค่าขนาดเส้นรอบวงต้นกาแฟให้กับข้อมูลที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับจากข้อมูลความสูงและขนาดเส้นรอบวงจากข้อมูลในภาคสนามและตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล การคำนวณดัชนีพืชพรรณ (VARI) และการประมาณค่าจำนวนผลผลิตกาแฟ โดยแต่ละหัวข้อจะอธิบายผลการวิจัยไปตามลำดับตามขั้นตอนข้างต้น



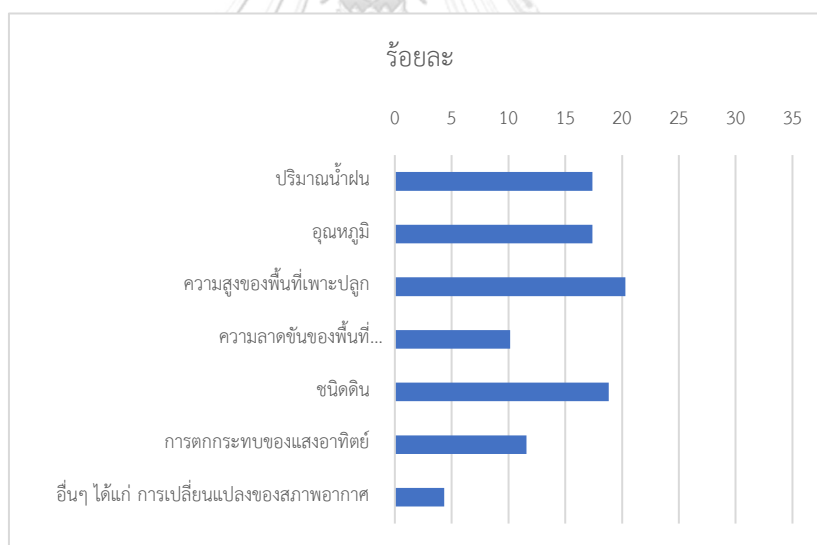
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

5.1 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการให้ผลผลิตกาแฟ

ผู้วิจัยได้จัดทำแบบสอบถามผู้เชี่ยวชาญ เรื่องปัจจัยที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตกาแฟ โดยผู้ตอบแบบสอบถามคือ กลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกกาแฟ ในอำเภอท่าวังผา จังหวัดน่าน ผู้ผลิตและแปรรูปผลผลิตกาแฟในจังหวัดน่าน รวมทั้งสิ้น 30 คน

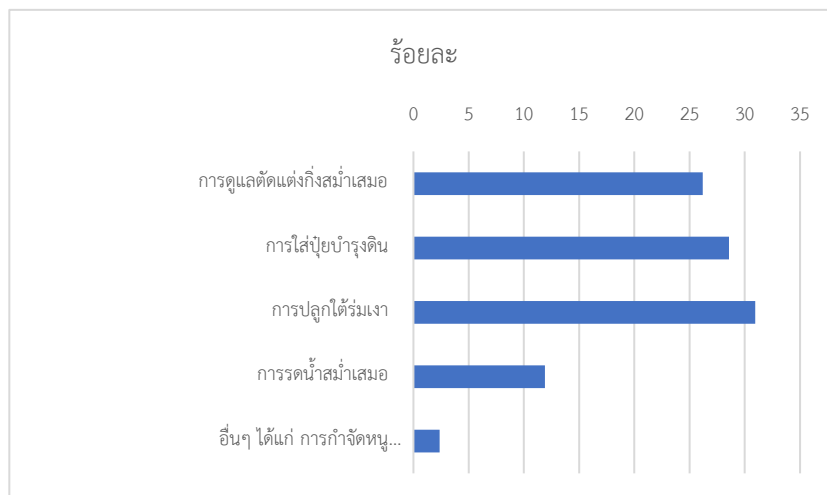
1) ผลการวิเคราะห์ด้านข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับการปลูกกาแฟ พบว่า เกษตรกรในอำเภอท่าวังผาส่วนใหญ่ปลูกกาแฟสายพันธุ์อาราบิกา เนื้อที่เพาะปลูก 1 - 5 ไร่ต่อราย ประสบการณ์เกี่ยวกับการปลูกและการดูแลต้นกาแฟ ส่วนใหญ่รายละเอียดไม่ต่ำกว่า 1-3 ปี และเหตุผลสำคัญที่กลุ่มเกษตรกรผู้ให้ข้อมูลส่วนใหญ่เลือกปลูกกาแฟ คือ ต้องการช่วยอนุรักษ์ระบบนิเวศและเพิ่มพื้นที่ป่า รองลงมาคือ มีหน่วยงานให้การสนับสนุน และการปลูกเพื่อเสริมกับพืชเศรษฐกิจอื่น ตามลำดับ

2) ผลการวิเคราะห์ด้านปัจจัยทางธรรมชาติในที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของต้นกาแฟ พบว่า ความสูงของพื้นที่ปลูกส่งผลต่อการเจริญเติบโตของต้นกาแฟมากที่สุด คือ ร้อยละ 20.29 และรองลงมา คือ ชนิดของดิน ร้อยละ 18.84



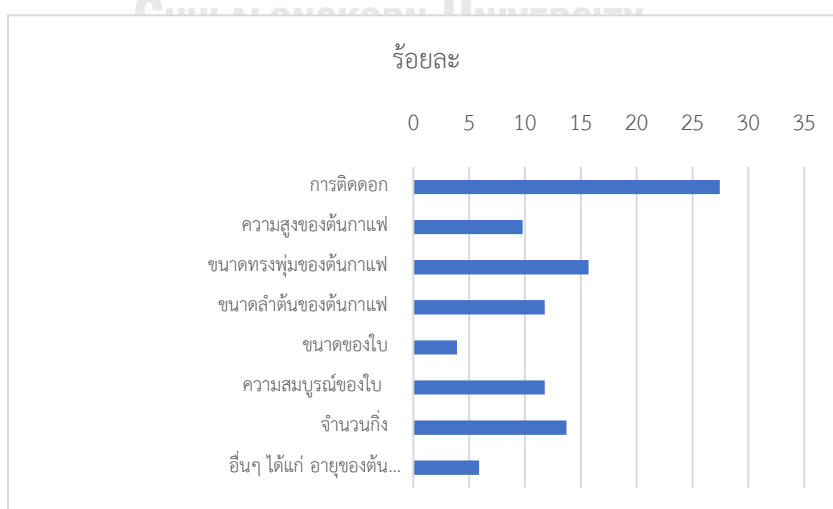
ภาพที่ 27 ปัจจัยทางธรรมชาติในที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของต้นกาแฟ

3) ผลการวิเคราะห์ด้านปัจจัยที่ส่งเสริมให้ต้นกาแฟให้ผลผลิตที่มีคุณภาพ พบว่า การปลูกใต้ร่มเงาส่งเสริมให้ต้นกาแฟให้ผลผลิตที่มีคุณภาพมากที่สุด คือ ร้อยละ 30.95 และรองลงมาคือ การใส่ปุ๋ยบำรุงดิน ร้อยละ 28.59



ภาพที่ 28 ปัจจัยที่ส่งเสริมให้ต้นกาแฟให้ผลผลิตที่มีคุณภาพ





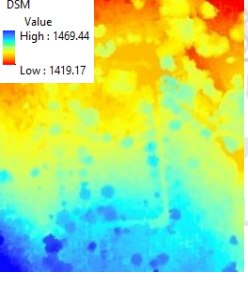
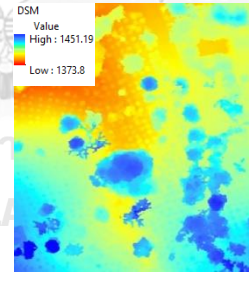
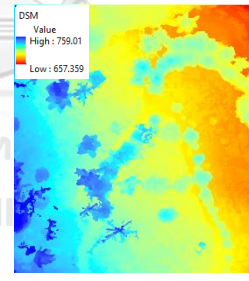
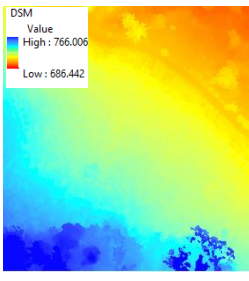
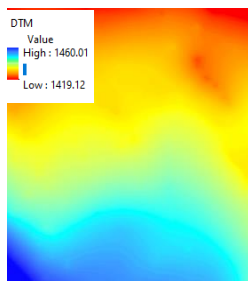
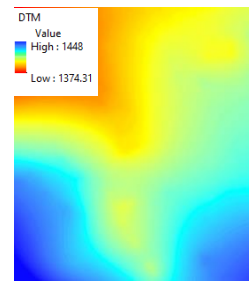
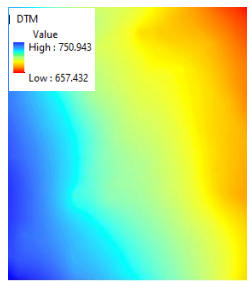
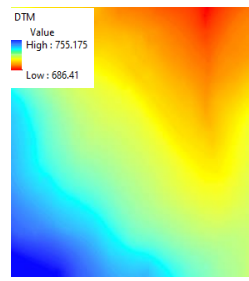
4) ผลการวิเคราะห์ด้านปัจจัยทางกายภาพของต้นกาแฟที่สามารถคาดการณ์ปริมาณผลผลิตของต้นกาแฟในแต่ละปี พบว่าการการติดดอกเป็นปัจจัยทางกายภาพของต้นกาแฟที่สามารถคาดการณ์ปริมาณผลผลิตของต้นกาแฟมากที่สุด คือ ร้อยละ 27.45 และรองลงมาคือ ขนาดทรงพุ่มของต้นกาแฟ ร้อยละ 15.69 ผู้เชี่ยวชาญในการปลูกกาแฟให้ข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับการติดดอกของต้นกาแฟว่าดอกจะออกจากกิ่งแขนงจากข้อที่อยู่ใกล้กับลำต้นออกไปหาปลายกิ่งแขนง โดยปกติแล้วต้นกาแฟจะออกดอกเป็นกลุ่ม ๆ ตามข้อของกิ่งหรือซอกกิ่ง หากดอกกาแฟไม่หลุดออกจากต้นก่อนดอกกาแฟทุกดอกจะกลายเป็นผลกาแฟเสมอ และข้อที่ออกดอกออกผลแล้วในปีต่อไปก็จะไม่ออกดอกและให้ผลอีก



ภาพที่ 29 ปัจจัยทางกายภาพของต้นกาแฟที่สามารถคาดการณ์ปริมาณผลผลิตของต้นกาแฟ

5.2 การประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ

การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยใช้กระบวนการโฟโตแกรมเมตรีในการประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ ด้วยโปรแกรม Pix4Dmapper เพื่อสร้างข้อมูลDSM ข้อมูลDTM และข้อมูลภาพออร์โธ (ภาพที่ 30) เพื่อนำไปใช้หาค่ากายวิภาคต้นกาแพ โดยแปลงที่ A จำนวนภาพที่ใช้ประมวลผล 171 ภาพ ความละเอียดของจุดภาพ 0.0183 เมตร แปลงที่ B จำนวนภาพที่ใช้ประมวลผล 222 ภาพ ความละเอียดของจุดภาพ 0.0167 เมตร แปลงที่ C จำนวนภาพที่ใช้ประมวลผล 240 ภาพ ความละเอียดของจุดภาพ 0.0227 เมตร และแปลงที่ D จำนวนภาพที่ใช้ประมวลผล 272 ภาพ ความละเอียดของจุดภาพ 0.0177 เมตร

ข้อมูล	แปลงที่ A อายุ 7 ปี	แปลงที่ B อายุ 4 ปี	แปลงที่ C อายุ 6 ปี	แปลงที่ D อายุ 7 ปี
Ortho Photo				
DSM	 DSM Value High : 1469.44 Low : 1419.17	 DSM Value High : 1451.19 Low : 1373.8	 DSM Value High : 759.01 Low : 657.359	 DSM Value High : 766.006 Low : 686.442
DTM	 DTM Value High : 1460.01 Low : 1419.12	 DTM Value High : 1448 Low : 1374.31	 DTM Value High : 750.943 Low : 657.432	 DTM Value High : 755.175 Low : 686.41

ภาพที่ 30 แสดงผลการประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ

สำหรับการปรับแก้ความถูกต้องของภาพถ่ายทางอากาศที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับจากจุดควบคุมภาคพื้นดินและจุดตรวจสอบทางราบและทางตั้ง ด้วยโปรแกรม Pix4Dmapper ค่า RMSE (เมตร) ของแกน X,Y, และ Z ดังตารางที่ 15 และ ตารางที่ 16 ตามลำดับ

ตารางที่ 15 ความคลาดเคลื่อนจุดควบคุมภาคพื้นดิน

GCP	RMSE _X (เมตร)	RMSE _Y (เมตร)	RMSE _Z (เมตร)
แปลง A	0.0239	0.0163	0.0594
แปลง B	0.0256	0.0223	0.0868
แปลง C	0.0481	0.0528	0.2230
แปลง D	0.0315	0.0103	0.0143

ตารางที่ 16 ความคลาดเคลื่อนของจุดตรวจสอบทางราบและทางตั้ง

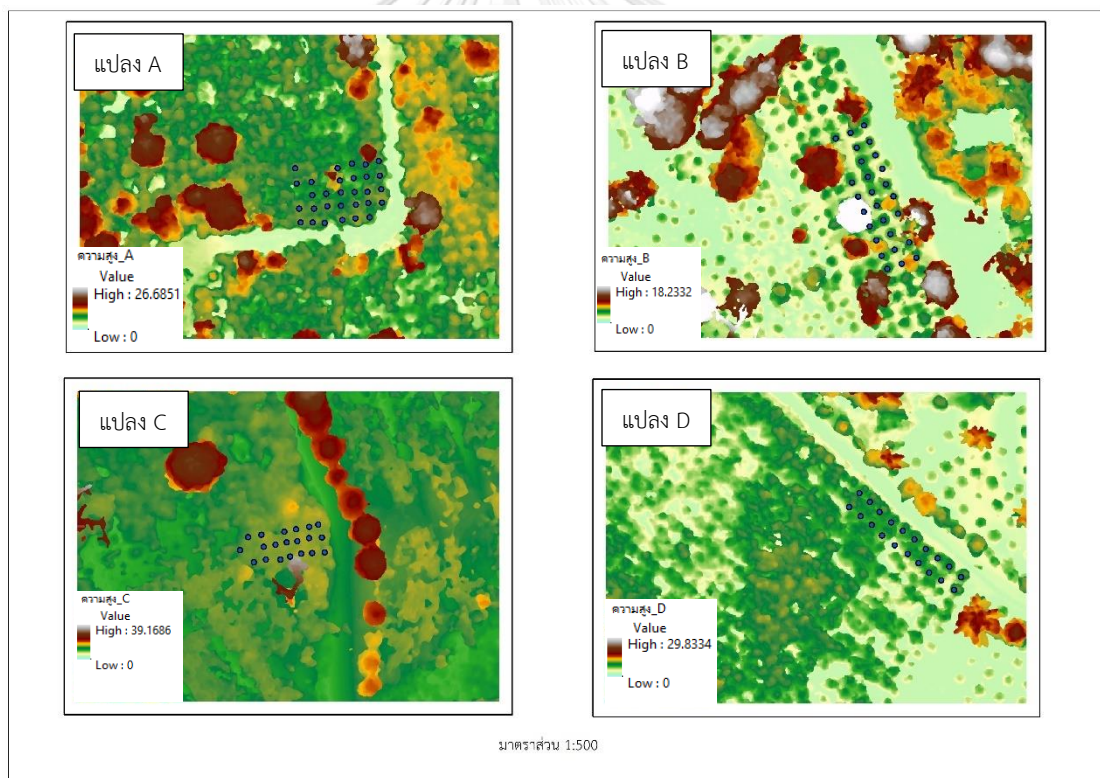
CP	RMSE _X (เมตร)	RMSE _Y (เมตร)	RMSE _Z (เมตร)
แปลง A	0.0034	0.0157	0.0161
แปลง B	0.0096	0.0153	0.0367
แปลง C	0.0428	0.0254	0.0368
แปลง D	0.0057	0.0072	0.0054

เมื่อเปรียบเทียบความถูกต้องทางตำแหน่งกับข้อกำหนดของ ASPRS 2014 พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งของการสำรวจรังวัดจุดตรวจสอบด้วยวิธีหาตำแหน่งค่าพิกัดแบบจลน์ในทันที (Real time Kinematic Survey : RTK) ที่ให้ความคลาดเคลื่อนระดับเดซิเมตร และเมื่อพิจารณาความคลาดเคลื่อนทางตั้งของข้อมูลความสูงพื้นผิวที่มีพืชปกคลุมจะอยู่ในเกณฑ์ชั้นงานที่ 1

สามารถผลิตข้อมูลDSM ข้อมูลDTM และภาพถ่ายออร์โธซึ่งสามารถนำไปใช้ในการประมาณค่าความสูงของต้นไม้ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นไม้ เพื่อใช้ในประมาณจำนวนผลผลิตของกาแฟในลำดับถัดไป

5.3 การหาค่าความสูงจากข้อมูลอากาศยานไร้คนขับและตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล

การประมาณหาค่าความสูงต้นกาแฟได้มาจากผลต่างของแบบจำลองพื้นผิวเชิงเลขกับแบบจำลองภูมิประเทศเชิงเลข เพื่อสร้างแบบจำลองความสูงของชั้นเรือน ผลที่ได้เป็นความสูงของต้นไม้ทั้งหมดของแปลงตัวอย่าง มีทั้งต้นกาแฟและต้นไม้ชนิดอื่น ๆ ดังนี้ แปลง A มีความสูงของต้นไม้ที่สูงที่สุด เท่ากับ 27 เมตร แปลง B มีความสูงของต้นไม้ที่สูงที่สุด เท่ากับ 18 เมตร แปลง C มีความสูงของต้นไม้ที่สูงที่สุด เท่ากับ 39 เมตร และแปลง D มีความสูงของต้นไม้ที่สูงที่สุด เท่ากับ 30 เมตร จากนั้นผู้วิจัยเลือกเฉพาะข้อมูลความสูงของต้นกาแฟจากพิกัดของต้นกาแฟที่เก็บตัวอย่างข้อมูลไว้ (ภาพที่ 31)

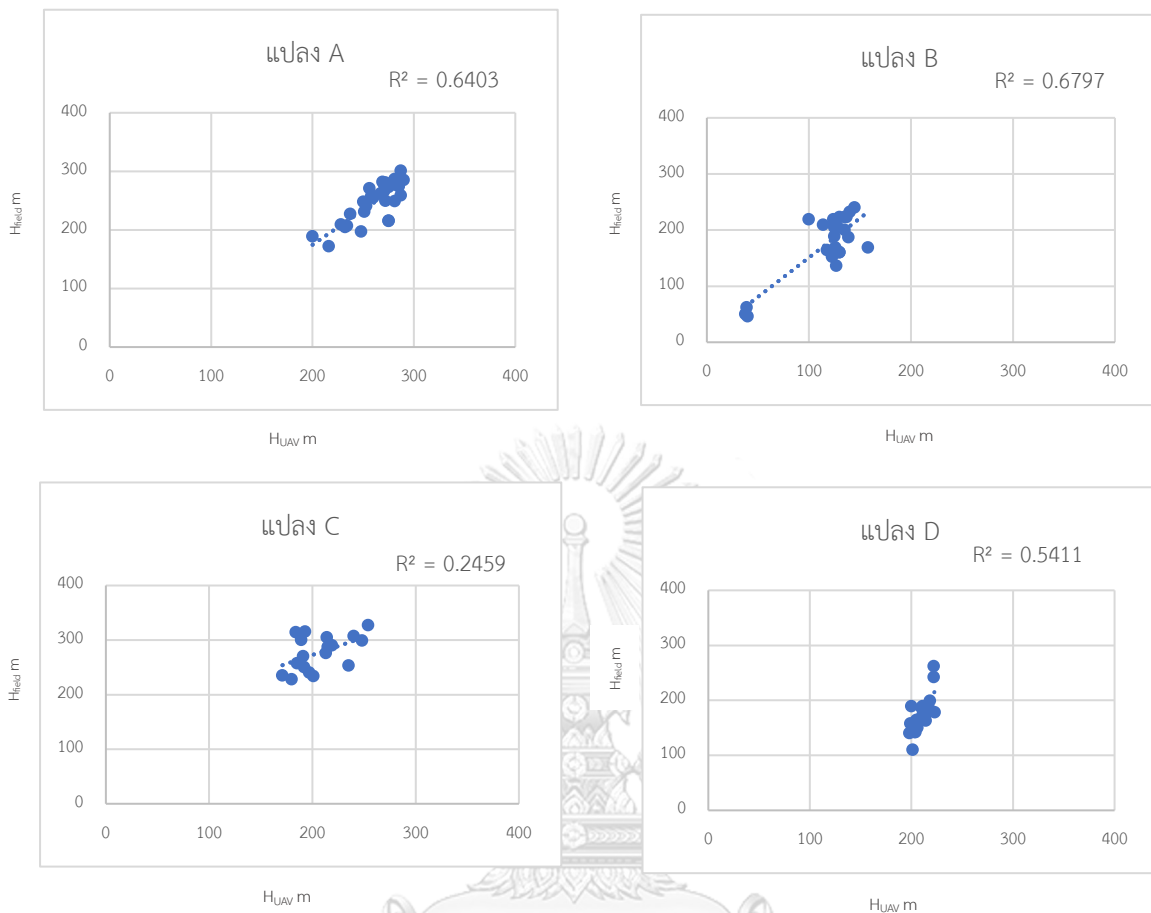


ภาพที่ 31 แสดงผลลัพธ์แบบจำลองความสูงของชั้นเรือนยอด

ผู้วิจัยเก็บข้อมูลความสูงของต้นกาแฟในแปลงตัวอย่าง เพื่อนำมาวิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสองของความสูงต้นไม้ที่ได้จากการสำรวจภาคสนามและความสูงต้นไม้ที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับพบว่า ค่า RMSE อยู่ระหว่าง 0.14 - 0.76 เมตร (ตาราง 17) โดยแปลงที่มีค่า RMSE น้อยที่สุดคือแปลง B มีค่าเท่ากับ 0.14 เมตร แปลงที่มีค่า RMSE มากที่สุดคือแปลง C มีค่าเท่ากับ 0.76 เมตร เนื่องจากอายุของต้นกาแฟแปลง B น้อยสุดความสูงของลำต้นกาแฟจึงยังไม่มากอยู่ในระดับที่วัดความสูงได้ง่าย จึงทำให้การเก็บข้อมูลความสูงจากภาคสนามมีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด เมื่อพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ค่าความสูงต้นกาแฟในแต่ละแปลง พบว่าความสูงของต้นกาแฟที่ได้จากการสำรวจภาคสนามกับความสูงของต้นไม้ที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับ มีค่า r อยู่ระหว่าง 0.49-0.82 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระดับปานกลางถึงความสัมพันธ์ระดับสูง ทั้งนี้ผู้วิจัยพบว่าแปลงตัวอย่าง A มีความสัมพันธ์ของข้อมูลความสูงของต้นกาแฟมากที่สุด (r เท่ากับ 0.82) แปลงตัวอย่าง C มีความสัมพันธ์ของข้อมูลความสูงของต้นกาแฟน้อยที่สุด (r เท่ากับ 0.49) เมื่อพิจารณาค่าความสัมพันธ์ของข้อมูลความสูงของต้นกาแฟ แปลง A, B, D มีความสอดคล้อง ยกเว้นแปลง C อาจเนื่องมาจากลักษณะการวางตัวของต้นกาแฟในแปลง C ที่ไม่เป็นระเบียบจึงส่งผลต่อการวัดค่าความสูงจากการสำรวจภาคสนามทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนมากกว่าแปลงอื่น

ตารางที่ 17 ความสูงของต้นกาแฟในที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับและการสำรวจภาคสนาม

แปลง	ความสูงจากการสำรวจภาคสนาม H_{field} (เมตร)				ความสูงจากอากาศยานไร้คนขับ H_{UAV} (เมตร)				r	RMSE ระหว่าง H_{field} และ H_{UAV}
	Min	Max	Mean	SD	Min	Max	Mean	SD		
A	2.00	2.90	2.60	0.23	1.72	3.01	2.47	0.34	0.80	0.25
B	0.38	1.58	1.17	0.33	0.46	2.40	1.76	0.56	0.82	0.14
C	1.71	2.54	2.06	0.25	2.28	3.27	2.77	0.35	0.49	0.76
D	1.98	2.23	0.21	0.81	1.10	2.62	1.75	0.35	0.73	0.45



ภาพที่ 32 แสดงความสัมพันธ์ของความสูงต้นกาแฟจากการสำรวจและจากอากาศยานไร้คนขับ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.4 การประมาณค่าขนาดทรงพุ่มต้นกาแฟจากข้อมูลอากาศยานไร้คนขับและตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล

ในการประมาณค่าขนาดทรงพุ่มต้นกาแฟ ผู้วิจัยใช้โปรแกรม ArcGIS Pro โดยเลือกใช้วิธี Segmentation ซึ่งในแต่ละแปลงต้องกำหนดค่า Spectral detail Spatial detail และ Minimum segment size ของแต่ละจุดภาพ ในแต่ละแปลงจะกำหนดค่าดังกล่าวแตกต่างกันตามความเหมาะสมกับภาพถ่ายออร์โธที่นำมาวิเคราะห์ ผู้วิจัยได้ทดลองเลือกค่าที่เหมาะสมโดยให้ผลลัพธ์ได้ตรงกับค่าจริงมากที่สุด (ตารางที่ 18) โดยใช้ค่าพิกัดของตำแหน่งต้นกาแฟที่ได้จากการเก็บข้อมูลภาคสนามมาช่วยในการแยกต้นกาแฟออกจากพืชชนิดอื่น ๆ เมื่อแยกทรงพุ่มของกาแฟแต่ละต้นได้แล้วต้องนำข้อมูลไปประมาณค่าของขนาดทรงพุ่มในแต่ละต้น ผลการวิเคราะห์ พบว่าค่า RMSE อยู่ระหว่าง 0.25 - 0.47 เมตร ขนาดทรงพุ่มทั้ง 4 แปลงมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสองระหว่างไม่

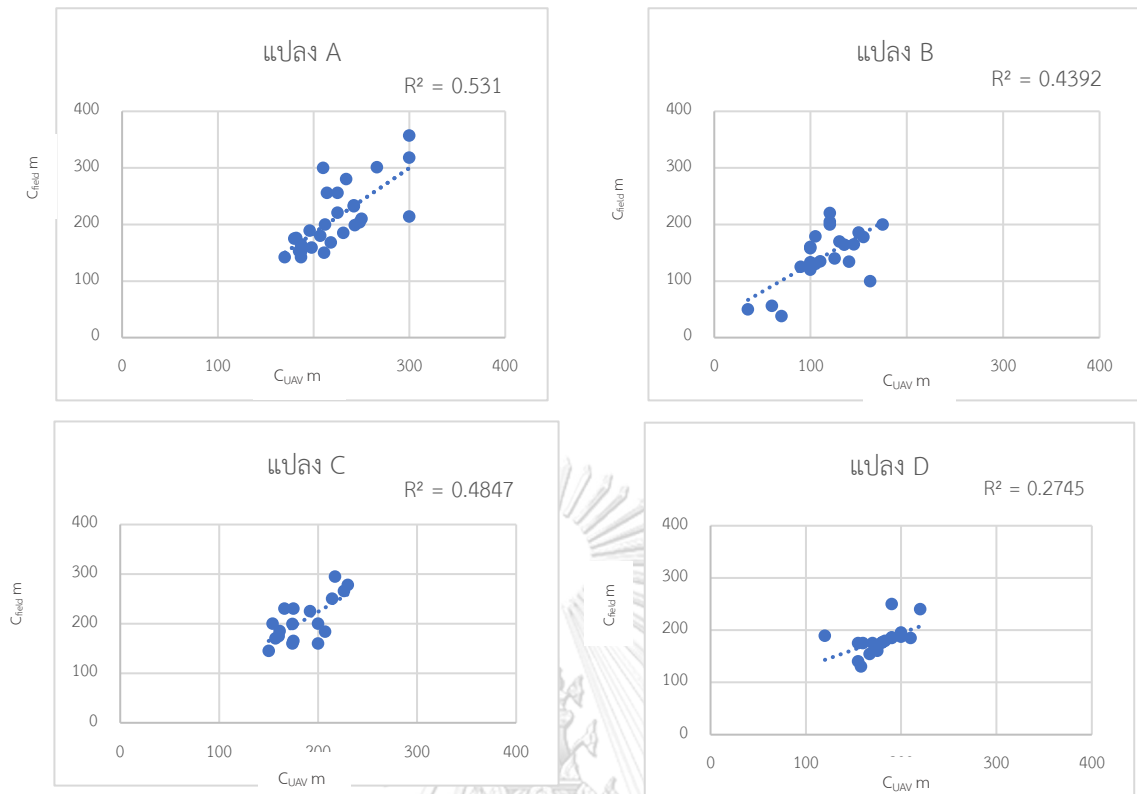
แตกต่างกันมาก (ตาราง 19) โดยแปลงที่มีค่า RMSE น้อยที่สุดคือแปลง D มีค่า RMSE เท่ากับ 0.25 เมตร และแปลงที่มีค่า RMSE มากที่สุดคือแปลง B มีค่า RMSE เท่ากับ 0.47 เมตร เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ขนาดทรงพุ่มต้นกาแพ ในแต่ละแปลง พบว่าขนาดทรงพุ่มต้นกาแพ ที่ได้จากการสำรวจภาคสนามกับขนาดทรงพุ่มที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับ มีค่า r อยู่ระหว่าง 0.52 - 0.73 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระดับปานกลางถึงความสัมพันธ์ระดับสูง ทั้งนี้ผู้วิจัยพบว่าแปลงตัวอย่าง A มีความสัมพันธ์ของข้อมูลความสูงของต้นกาแพมากที่สุด (r เท่ากับ 0.73) แปลงตัวอย่าง D มีความสัมพันธ์ของข้อมูลขนาดทรงพุ่มของต้นกาแพน้อยที่สุด (r เท่ากับ 0.52) เมื่อพิจารณาค่าความสัมพันธ์ของข้อมูลขนาดทรงพุ่มของต้นกาแพ แปลง A, B, C มีความสอดคล้อง ยกเว้นแปลง D (ตารางที่ 19)

ตารางที่ 18 กำหนดค่า Spectral detail, Spatial detail และ Minimum segment size in pixels

แปลง	Spectral detail	Spatial detail	Minimum segment size in pixels
A	10	5	10
B	10	10	5
C	10	15	5
D	10	10	10

ตารางที่ 19 ขนาดทรงพุ่มของต้นกาแพที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับและการสำรวจภาคสนาม

แปลง	ขนาดทรงพุ่มจากการสำรวจภาคสนาม C_{field} (เมตร)				ขนาดทรงพุ่มจากอากาศยานไร้คนขับ C_{UAV} (เมตร)				r	RMSE ระหว่าง C_{field} และ C_{UAV}
	Min	Max	Mean	SD	Min	Max	Mean	SD		
	A	1.70	3.00	2.23	0.36	1.42	3.57	2.11		
B	0.35	1.75	1.15	0.33	0.38	2.65	1.60	0.56	0.66	0.47
C	1.50	2.30	1.85	0.26	1.45	2.95	2.06	0.44	0.70	0.38
D	1.20	2.20	1.78	0.23	1.30	2.50	1.80	0.28	0.52	0.25



ภาพที่ 33 แสดงความสัมพันธ์ของขนาดทรงพุ่มต้นจากการสำรวจและจากอากาศยานไร้คนขับ

5.5 การประมาณค่าขนาดเส้นรอบวงต้นกาแพให้กับข้อมูลที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับจากข้อมูล ความสูงและขนาดเส้นรอบวงจากข้อมูลในภาคสนามและตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล

เนื่องจากขนาดเส้นรอบวงต้นกาแพไม่สามารถหาได้จากอากาศยานไร้คนขับ จึงต้องนำข้อมูลขนาดเส้นรอบวงลำต้นและความสูงจากข้อมูลภาคสนามไปหาค่าสัมพันธ์ในรูปแบบวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้น จะได้สมการของความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลขนาดเส้นรอบวงลำต้นและความสูงของข้อมูลภาคสนาม จากนั้นนำค่าความสูงจากอากาศยานไร้คนขับไปแทนค่าในสมการ (X) (ตารางที่ 20) จึงจะได้ค่าขนาดเส้นรอบวงลำต้นสำหรับเป็นข้อมูลของจากอากาศยานไร้คนขับสมการ ผลการประมาณค่าขนาดเส้นรอบวงลำต้น พบว่ามีค่า RMSE อยู่ระหว่าง 0.05 - 0.13 เมตร โดยแปลงที่มีค่า RMSE น้อยที่สุดคือแปลง B มีค่าเท่ากับ 0.05 เมตร และแปลงที่มีค่า RMSE มากที่สุดคือแปลง D มีค่าเท่ากับ 0.13 เมตร เมื่อวิเคราะห์ค่าความสัมพันธ์ของขนาดเส้นรอบวงที่ได้จากการสำรวจภาคสนามและขนาดเส้นรอบวงที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับ พบว่าขนาดเส้นรอบวงของต้นกาแพที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับมีความสัมพันธ์กับขนาดเส้นรอบวงที่ได้จากการสำรวจภาคสนามมีค่า r

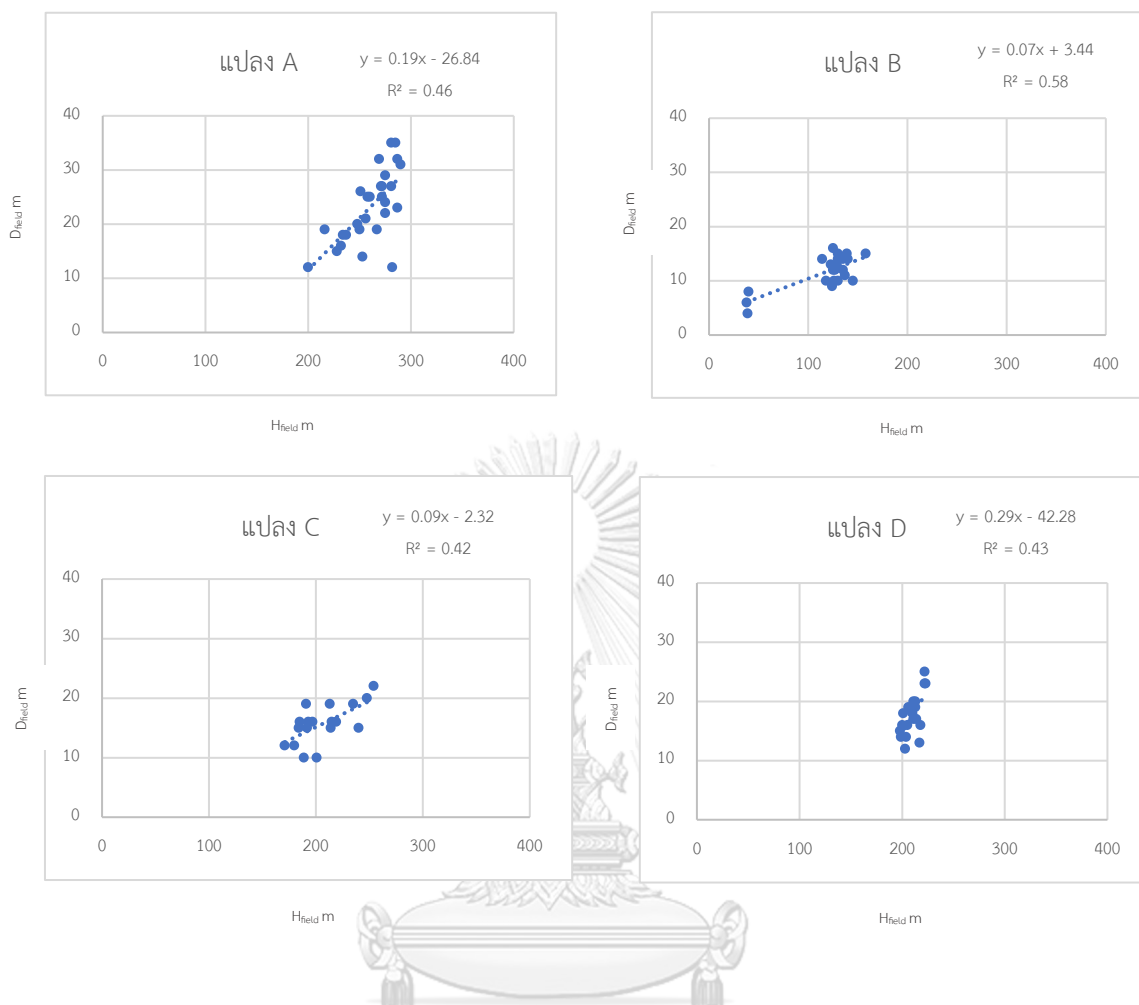
อยู่ระหว่าง 0.40 - 1 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระดับปานกลางถึงมีความสัมพันธ์กันมากที่สุด โดยแปลง A มีความสัมพันธ์ของขนาดเส้นรอบวงต้นกาแฟมากที่สุด (r เท่ากับ 1) และแปลง D มีความสัมพันธ์ของขนาดเส้นรอบวงต้นกาแฟน้อยสุด (r เท่ากับ 0.40) ทั้ง 4 แปลงมีความสัมพันธ์กันแบบเชิงบวก ถ้าข้อมูลขนาดเส้นรอบวงลำต้นจากภาคสนามมีค่าเพิ่มขึ้น ข้อมูลเส้นรอบวงลำต้นจากอากาศยานไร้คนขับจะเพิ่มขึ้นเช่นกัน (ตารางที่ 21)

ตารางที่ 20 แสดงสมการความสัมพันธ์ของความสูงและขนาดเส้นรอบวงจากข้อมูลภาคสนาม

แปลงที่	Y	R ²
1	$0.19x - 26.84$	0.46
2	$0.07x + 3.39$	0.58
3	$0.09x - 2.32$	0.42
4	$0.29x - 42.28$	0.43

ตารางที่ 21 ขนาดเส้นรอบวงของต้นกาแฟที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับและการสำรวจภาคสนาม

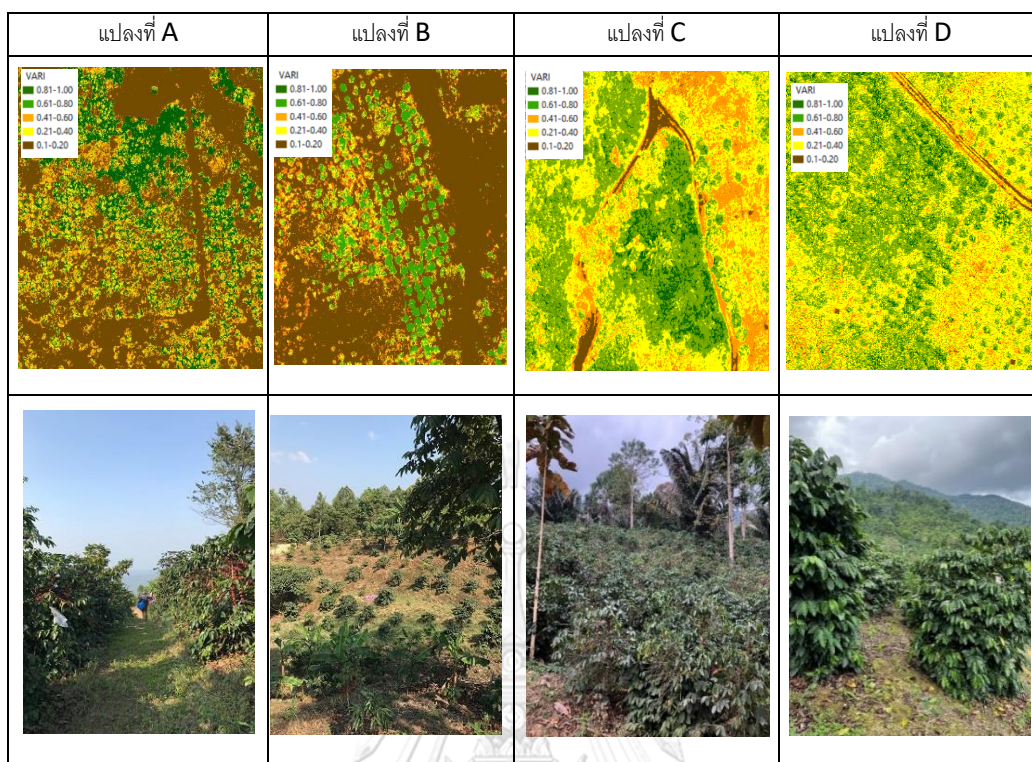
แปลง	เส้นรอบวงลำต้นจากการสำรวจภาคสนาม D_{field} (เมตร)				เส้นรอบวงลำต้นจากอากาศยานไร้คนขับ D_{UAV} (เมตร)				r	RMSE ระหว่าง D_{field} และ D_{UAV}
	Min	Max	Mean	SD	Min	Max	Mean	SD		
A	0.12	0.35	0.23	0.07	0.29	0.33	0.31	0.01	1	0.10
B	0.04	0.16	0.12	0.03	0.07	0.20	0.16	0.04	0.60	0.05
C	0.10	0.22	0.16	0.03	0.18	0.26	0.22	0.03	0.40	0.07
D	0.12	0.25	0.18	0.04	-0.11	0.32	0.08	0.10	0.61	0.13



ภาพที่ 34 แสดงความสัมพันธ์ของความสูงต้นและเส้นรอบวงลำต้น

5.6 การคำนวณดัชนีความแตกต่างของดัชนีพืชพรรณ VARI

ผู้วิจัยใช้ค่าดัชนี VARI ในการวิเคราะห์ดัชนีพืชพรรณความเขียวของพืชจากผิวใบซึ่งช่วยประเมินความอุดมสมบูรณ์ของต้นกาแฟโดยใช้ค่าที่ได้จากช่วงคลื่น RGB ของภาพถ่ายออร์โธที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับของแปลงตัวอย่างทั้ง 4 แปลง ผลการวิเคราะห์พบว่า แปลง B มีความสมบูรณ์ของพืชดีที่สุด รองมาคือแปลง A อาจเนื่องมาจากพื้นที่ปลูกทั้งสองแปลงอยู่บนดอยที่สูงกว่าแปลง C และแปลง D (ภาพที่ 35) ซึ่งมีผลกับอุณหภูมิที่ต่ำกว่าอันเป็นคุณสมบัติสำคัญของการเจริญเติบโตของต้นกาแฟพันธุ์อาราบิกา โดยต้นกาแฟที่มีค่า VARI สูงจะเป็นต้นกาแฟที่มีความสมบูรณ์สูง



ภาพที่ 35 แสดงผลการคำนวณค่าดัชนี VARI ด้วยโปรแกรม ArcGIS Pro

5.7 การประมาณค่าจำนวนผลผลิตกาแฟ

การประเมินจำนวนผลผลิตกาแฟจากข้อมูลอากาศยานไร้คนขับ ผู้วิจัยแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 รูปแบบ คือ 1) การทดสอบการประมาณค่าผลผลิตกาแฟจากข้อมูลความสูง ขนาดทรงพุ่ม และเส้นรอบวงลำต้นกาแฟ 2) การทดสอบการประมาณค่าผลผลิตกาแฟจากข้อมูลความสูง ขนาดทรงพุ่ม เส้นรอบวงลำต้นกาแฟ และดัชนีพืชพรรณ VARI โดยเป็นการทดสอบข้อมูลผลผลิตรายต้นเฉลี่ยของแต่ละแปลงและผลผลิตรวมทุกแปลง มีผลการทดสอบ ดังนี้

1) การประเมินจำนวนผลผลิตกาแฟจากข้อมูลอากาศยานไร้คนขับ ด้วยข้อมูลความสูง ขนาดทรงพุ่ม และเส้นรอบวงลำต้นกาแฟ

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของข้อมูลกายวิภาคของกาแฟกับการประมาณค่าผลผลิตพบว่า สมการการประมาณค่าผลผลิตกาแฟของแปลง A ด้วยตัวแปร ความสูง ขนาดทรงพุ่ม และเส้นรอบวงลำต้น สามารถอธิบายความผันแปรของผลผลิตได้ร้อยละ 81 (ตารางที่ 23) และทุกตัวแปรด้านกายวิภาคของแปลง A ทั้งสามตัวแปรมีผลต่อการประเมินจำนวนผลผลิตกาแฟอย่างมีนัยสำคัญที่ 95% (ตารางที่ 24)

เมื่อพิจารณาจากสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอยที่ได้ปรับค่าให้เป็นมาตรฐานแล้ว (standardized coefficient) พบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อการคาดการณ์ปริมาณผลผลิตกาแฟในแปลง A มากที่สุดเรียงตามลำดับได้แก่ ความสูง (0.437) ขนาดทรงพุ่ม (0.385) และเส้นรอบวงลำต้น (0.243) จากผลการทดสอบทางสถิติสามารถสร้างสมการทำนายผลผลิตกาแฟ แปลง A คือ

$$\text{Crop A} = -29.56 + 0.097\text{Height} + 0.054\text{Canopy} + 0.190\text{Diameter} \quad (11)$$

ตารางที่ 22 ตารางแสดงความสัมพันธ์ของผลผลิตกับลักษณะของต้นกาแฟ แปลง A

		ผลผลิต	ความสูง	ขนาดทรงพุ่ม	เส้นรอบวงลำต้น
Pearson Correlation	ผลผลิต	1.000	.844	.767	.708
	ความสูง	.844	1.000	.630	.676
	ขนาดทรงพุ่ม	.767	.630	1.000	.438
	เส้นรอบวงลำต้น	.708	.676	.438	1.000

ตารางที่ 23 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของปัจจัยส่งผลต่อจำนวนผลผลิตกาแฟ แปลง A

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Selection Criteria			
					Akaike Information Criterion	Amemiya Prediction Criterion	Mallows' Prediction Criterion	Schwarz Bayesian Criterion
1	.914 ^a	.836	.815	2.20093	47.861	.219	4.000	53.190

a. Predictors: (Constant), เส้นรอบวงลำต้น, ขนาดทรงพุ่ม, ความสูง

ตารางที่ 24 แสดงผลการวิเคราะห์ปัจจัยกายวิภาคของต้นกาแฟที่ส่งผลต่อจำนวนผลผลิตกาแฟ แปลง A

Model		Coefficients ^a										
		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Correlations			Collinearity Statistics		
		B	Std. Error				Zero-order	Partial	Part	Tolerance	VIF	
1	(Constant)	-29.560	5.346		-5.530	<.001						
	ความสูง	.097	.029	.437	3.360	.003*	.844	.566	.278	.405	2.471	
	ขนาดทรงพุ่ม	.054	.015	.385	3.613	.001*	.767	.594	.299	.603	1.659	
	เส้นรอบวงลำต้น	.190	.087	.243	2.168	.040*	.708	.405	.179	.542	1.844	

a. Dependent Variable: ผลผลิต Sig * = 0.05

ในขณะที่ แปลง B เมื่อคำนวณสมการการประมาณค่าผลผลิตกาแฟจากปัจจัยทั้งสามตัวสามารถอธิบายความผันแปรของผลผลิตได้ร้อยละ 76 (ตารางที่ 26) และทุกตัวแปรด้านกายวิภาคของแปลง B มีผลต่อการประเมินจำนวนผลผลิตกาแฟอย่างมีนัยสำคัญที่ 95% เมื่อพิจารณาจากสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอยที่ได้ปรับค่าให้เป็นมาตรฐานแล้ว (standardized coefficient) พบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อการคาดการณ์ปริมาณผลผลิตกาแฟในแปลง B มากที่สุดเรียงตามลำดับได้แก่ ขนาดทรงพุ่ม (0.586) เส้นรอบวงลำต้น (0.278) และความสูง (0.104) (ตารางที่ 27) ผลการทดสอบทางสถิติสามารถสร้างสมการทำนายผลผลิตกาแฟ แปลง B คือ

$$\text{Crop B} = -5.69 + 0.012\text{Height} + 0.068\text{Canopy} + 0.353\text{Diameter} \quad (12)$$

ตารางที่ 25 ตารางแสดงความสัมพันธ์ของผลผลิตกับลักษณะของต้นกาแฟ แปลง B

		Correlations			
		ผลผลิต	ความสูง	ขนาดทรงพุ่ม	เส้นรอบวงลำต้น
Pearson Correlation	ผลผลิต	1.000	.744	.854	.761
	ความสูง	.744	1.000	.732	.760
	ขนาดทรงพุ่ม	.854	.732	1.000	.690
	เส้นรอบวงลำต้น	.761	.760	.690	1.000

ตารางที่ 26 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของปัจจัยส่งผลต่อจำนวนผลผลิตกาแฟ แปลง B

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Selection Criteria			
					Akaike Information Criterion	Amemiya Prediction Criterion	Mallows' Prediction Criterion	Schwarz Bayesian Criterion
1	.888 ^a	.789	.756	1.91133	33.404	.300	4.000	37.946

a. Predictors: (Constant), เส้นรอบวงลำต้น, ขนาดทรงพุ่ม, ความสูง

ตารางที่ 27 แสดงผลการวิเคราะห์ปัจจัยกายวิภาคของต้นกาแฟที่ส่งผลต่อจำนวนผลผลิตกาแฟ แปลง B

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Correlations			Collinearity Statistics		
		B	Std. Error				Beta	Zero-order	Partial	Part	Tolerance	VIF
1	(Constant)	-5.694	1.690		-3.370	.003						
	ความสูง	.012	.021	.104	.574	.047*	.744	.131	.060	.341	2.935	
	ขนาดทรงพุ่ม	.068	.019	.586	3.612	.002*	.854	.638	.381	.422	2.370	
	เส้นรอบวงลำต้น	.353	.216	.278	1.634	.019*	.761	.351	.172	.384	2.607	

a. Dependent Variable: ผลผลิต Sig * = 0.05

CHULALONGKORN UNIVERSITY

ส่วนแปลง C เมื่อคำนวณสมการการประมาณค่าผลผลิตกาแฟจากปัจจัยทั้งสามตัว สามารถอธิบายความผันแปรของผลผลิตได้ร้อยละ 78 (ตารางที่ 29) มีตัวแปรด้านกายวิภาคของแปลง C เพียงสอง ปัจจัย คือ ขนาดทรงพุ่มและเส้นรอบวงลำต้นที่มีผลต่อการประเมินจำนวนผลผลิตกาแฟอย่างมีนัยสำคัญที่ 95% ซึ่งปัจจัยที่ส่งผลต่อจำนวนผลผลิตมากที่สุดคือเส้นรอบวงลำต้น (0.481) รองลงมาคือขนาดทรงพุ่ม (0.360) (ตารางที่ 30) สมการทำนายผลผลิตกาแฟ แปลง C คือ

$$\text{Crop C} = -12.54 + 0.040\text{Canopy} + 0.438\text{Diameter} \quad (13)$$

ตารางที่ 28 ตารางแสดงความสัมพันธ์ของผลผลิตกับลักษณะของต้นกาแฟ แปลง C

		Correlations			
		ผลผลิต	ความสูง	ขนาดทรงพุ่ม	เส้นรอบวงลำต้น
Pearson Correlation	ผลผลิต	1.000	.747	.773	.819
	ความสูง	.747	1.000	.668	.646
	ขนาดทรงพุ่ม	.773	.668	1.000	.587
	เส้นรอบวงลำต้น	.819	.646	.587	1.000

ตารางที่ 29 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของปัจจัยส่งผลต่อจำนวนผลผลิตกาแฟ แปลง C

Model Summary								
					Selection Criteria			
Model	R	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Akaike Information Criterion	Amemiya Prediction Criterion	Mallows' Prediction Criterion	Schwarz Bayesian Criterion	
1	.905 ^a	.819	1.37471	15.602	.278	4.000	19.380	

a. Predictors: (Constant), เส้นรอบวงลำต้น, ขนาดทรงพุ่ม, ความสูง

ตารางที่ 30 แสดงผลการวิเคราะห์ปัจจัยกายวิภาคของต้นกาแฟที่ส่งผลต่อจำนวนผลผลิตกาแฟ แปลง C


Coefficients ^a												
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Correlations			Collinearity Statistics		
		B	Std. Error	Beta			Zero-order	Partial	Part	Tolerance	VIF	
1	(Constant)	-12.535	2.746		-4.566	<.001						
	ความสูง	.023	.019	.196	1.205	.247	.747	.297	.132	.455	2.197	
	ขนาดทรงพุ่ม	.040	.017	.360	2.344	.033*	.773	.518	.258	.512	1.953	
	เส้นรอบวงลำต้น	.438	.136	.481	3.211	.006*	.819	.638	.353	.539	1.855	

a. Dependent Variable: ผลผลิต Sig * = 0.05

และแปลง D เมื่อคำนวณสมการการประมาณค่าผลผลิตกาแฟจากปัจจัยทั้งสามตัว สามารถอธิบายความผันแปรของผลผลิตได้ร้อยละ 88 (ตารางที่ 32) และทุกตัวแปรด้านกายวิภาคของแปลง D มีผลต่อการประเมินจำนวนผลผลิตกาแฟอย่างมีนัยสำคัญที่ 95% พบว่าปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการคาดการณ์ปริมาณผลผลิตกาแฟในแปลง D มากที่สุดเรียงตามลำดับได้แก่ เส้นรอบวงลำต้น (0.413) รองลงมาคือขนาดทรงพุ่ม (0.369) และความสูง (0.300) (ตารางที่ 33) ผลการทดสอบทางสถิติสามารถสร้างสมการทำนายผลผลิตกาแฟ แปลง D คือ

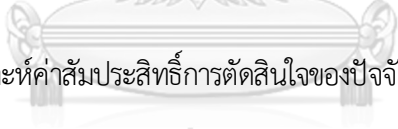
$$\text{Crop D} = -21.17 + 0.081\text{Height} + 0.035\text{Canopy} + 0.257\text{Diameter} \quad (14)$$

ตารางที่ 31 ตารางแสดงความสัมพันธ์ของผลผลิตกับลักษณะของต้นกาแฟ แปลง D


Correlations

		ผลผลิต	ความสูง	ขนาดทรงพุ่ม	เส้นรอบวงลำต้น
Pearson Correlation	ผลผลิต	1.000	.848	.824	.816
	ความสูง	.848	1.000	.747	.656
	ขนาดทรงพุ่ม	.824	.747	1.000	.556
	เส้นรอบวงลำต้น	.816	.656	.556	1.000

ตารางที่ 32 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของปัจจัยส่งผลต่อจำนวนผลผลิตกาแฟ แปลง D


จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Selection Criteria			
					Akaike Information Criterion	Amemiya Prediction Criterion	Mallows' Prediction Criterion	Schwarz Bayesian Criterion
1	.947 ^a	.896	.876	.76962	-6.442	.159	4.000	-2.664

a. Predictors: (Constant), เส้นรอบวงลำต้น, ขนาดทรงพุ่ม, ความสูง

ตารางที่ 33 แสดงผลการวิเคราะห์ปัจจัยกายวิภาคของต้นกาแฟที่ส่งผลต่อจำนวนผลผลิตกาแฟ แปลง D

Coefficients ^a											
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Correlations			Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Zero-order	Partial	Part	Tolerance	VIF
1	(Constant)	-21.165	6.211		-3.407	.004					
	ความสูง	.081	.037	.300	2.163	.047*	.848	.488	.180	.358	2.794
	ขนาดทรงพุ่ม	.035	.012	.369	2.930	.010*	.824	.603	.243	.434	2.302
	เส้นรอบวงลำต้น	.257	.069	.413	3.721	.002*	.816	.693	.309	.559	1.788

a. Dependent Variable: ผลผลิต Sig * = 0.05

ผลการประเมินจำนวนผลผลิตรายต้นเฉลี่ยของแต่ละแปลงพบว่า แปลงที่มีค่า RMSE ของการประมาณค่าผลผลิตน้อยที่สุดตามลำดับได้แก่ แปลง A โดยมีค่า RMSE เท่ากับ 4.05 กิโลกรัมเฉลี่ย/ต้น แปลง B มีค่า RMSE เท่ากับ 5.41 กิโลกรัมเฉลี่ย/ต้น แปลง C RMSE เท่ากับ 6.11 กิโลกรัมเฉลี่ย/ต้น และแปลง D RMSE เท่ากับ 6.64 กิโลกรัมเฉลี่ย/ต้น (ตารางที่ 34)

ตารางที่ 34 แสดงผลการทดสอบการประเมินจำนวนผลผลิตกาแฟข้อมูลอากาศย้อนกลับจากข้อมูลความสูงขนาดทรงพุ่ม และเส้นรอบวงลำต้นกาแฟ (รายต้นเฉลี่ย)

แปลง	ผลผลิตจากภาคสนาม (กิโลกรัม)				ผลผลิตจากการทำนาย (กิโลกรัม)				r	RMSE (กิโลกรัม)
	Min	Max	Mean	SD	Min	Max	Mean	SD		
A	5	22	12	5	1	24	12	5	1	4.05
B	0.5	15	7.84	3.91	0.18	17.70	11.48	5.12	0.60	5.41
C	3	13	6.44	3.01	6.94	15.74	11.67	2.85	0.39	6.11
D	3	11	6.61	2.18	-9.46	15.21	1.29	5.60	0.79	6.64

นอกจากนี้ ผู้วิจัยได้คำนวณสมการแสดงความสัมพันธ์ของการประมาณค่าผลผลิตกาแฟกับ ลักษณะกายวิภาคของต้นกาแฟโดยใช้ข้อมูลรวมทุกแปลง เมื่อพิจารณาค่าความสัมพันธ์ของข้อมูลกายวิภาคของกาแฟกับการประมาณค่าผลผลิต พบว่าสมการการประมาณค่าผลผลิตกาแฟของแปลง รวม ด้วยตัวแปร ความสูง ขนาดทรงพุ่ม และเส้นรอบวงลำต้น สามารถอธิบายความผันแปรของผลผลิตได้ ร้อยละ 60 และทุกตัวแปรด้านกายวิภาคของแปลงรวม ทั้งสามตัวแปรมีผลต่อการประเมินจำนวน ผลผลิตกาแฟอย่างมีนัยสำคัญที่ 95% ซึ่งปัจจัยที่ส่งผลต่อจำนวนผลผลิตมากที่สุดคือขนาดทรงพุ่ม (0.687) รองลงมาคือเส้นรอบวงลำต้น (0.686) และเส้นรอบวงลำต้น (0.608) ตามลำดับ ผลการ ทดสอบทางสถิติแปลงรวมสามารถสร้างสมการทำนายผลผลิตกาแฟ ได้ดังนี้

$$\text{Crop All} = -1.264 - 0.047\text{Height} + 0.060\text{Canopy} + 0.489\text{Diameter} \quad (15)$$

ผลการประเมินจำนวนผลผลิตรายต้นเฉลี่ยของแต่ละแปลงรวมพบว่า มีค่า RMSE เท่ากับ 4.42 กิโลกรัมเฉลี่ย/ต้น

2) การประเมินจำนวนผลผลิตกาแฟจากข้อมูลอากาศยานไร้คนขับ ด้วยข้อมูลความสูง ขนาด ทรงพุ่ม เส้นรอบวงลำต้นกาแฟ และค่าดัชนีพืชพรรณ VARI

การทดลองรูปแบบนี้ ผู้วิจัยเพิ่มตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับค่าดัชนีพืชพรรณ VARI เข้ามาร่วมใน สมการการประเมินผลผลิตกาแฟ นอกเหนือจากการทดสอบโดยใช้ข้อมูลกายวิภาคต้นกาแฟเพียง อย่างเดียว ผลการทดสอบตัวแปรที่ส่งผลต่อผลผลิตกาแฟ เมื่อพิจารณารายแปลง พบว่า ข้อมูลความ สูง ขนาดทรงพุ่ม ขนาดเส้นรอบวงลำต้น และค่าดัชนีพืชพรรณ VARI มีความสัมพันธ์กันต่ำ และไม่ สามารถนำไปสร้างสมการเพื่อประเมินจำนวนผลผลิตกาแฟที่ระดับนัยสำคัญที่ 95% ได้ แต่เมื่อ พิจารณาผลการทดสอบของแปลงรวม พบว่าสมการการประมาณค่าผลผลิตกาแฟของแปลงรวมด้วย ตัวแปรความสูง ขนาดทรงพุ่ม ขนาดเส้นรอบวงลำต้น และค่าดัชนีพืชพรรณ VARI สามารถอธิบาย ความผันแปรของผลผลิตได้ร้อยละ 74 (ตารางที่36) และทุกตัวแปรด้านกายวิภาคของแปลงรวม ทั้งสี่ ตัวแปรมีผลต่อการประเมินจำนวนผลผลิตกาแฟอย่างมีนัยสำคัญที่ 95% ซึ่งปัจจัยที่ส่งผลต่อจำนวน ผลผลิตมากที่สุดคือเส้นรอบวงลำต้น (0.582) รองลงมาคือดัชนีพืชพรรณ VARI (0.411) ขนาดทรงพุ่ม (0.406) และความสูง (-0.401) (ตารางที่37) ผลการทดสอบทางสถิติสามารถสร้างสมการทำนาย ผลผลิตกาแฟ ดังนี้

$$\text{Crop} = -3.62 - 0.031\text{Height} + 0.036\text{Canopy} + 0.415\text{Diameter} + 8.436\text{VARI} \quad (16)$$

ตารางที่ 35 ตารางแสดงความสัมพันธ์ของผลผลิตกับลักษณะของต้นกาแฟ เมื่อพิจารณาข้อมูลดัชนี VARI ของข้อมูลแปลงรวม

	ผลผลิต	ความสูง_All	ขนาดทรงพุ่ม_All	เส้นรอบวงลำต้น_All	VARI	
Pearson Correlation	ผลผลิต	1.000	.543	.660	.721	.677
	ความสูง_All	.543	1.000	.889	.789	.304
	ขนาดทรงพุ่ม_All	.660	.889	1.000	.750	.426
	เส้นรอบวงลำต้น_All	.721	.789	.750	1.000	.369
	VARI	.677	.304	.426	.369	1.000

ตารางที่ 36 ตารางแสดงความสัมพันธ์ของผลผลิตกับลักษณะของต้นกาแฟ เมื่อพิจารณาข้อมูลดัชนี VARI ของข้อมูลแปลงรวม

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Selection Criteria			
					Akaike Information Criterion	Amemiya Prediction Criterion	Mallows' Prediction Criterion	Schwarz Bayesian Criterion
1	.865 ^a	.748	.736	2.32791	151.875	.283	5.000	164.205

a. Predictors: (Constant), VARI, ความสูง_All, เส้นรอบวงลำต้น_All, ขนาดทรงพุ่ม_All

ตารางที่ 37 ตารางแสดงความสัมพันธ์ของผลผลิตกับลักษณะของต้นกาแฟ เมื่อพิจารณาข้อมูลดัชนี VARI ของข้อมูลแปลงรวม

		Coefficients ^a									
		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients			Correlations			Collinearity Statistics	
Model		B	Std. Error	Beta	t	Sig.	Zero-order	Partial	Part	Tolerance	VIF
1	(Constant)	-3.620	.993		-3.645	<.001					
	ความสูง_All	-.031	.010	-.401	-2.948	.004*	.543	-.310	-.163	.166	6.025
	ขนาดทรงพุ่ม_All	.036	.011	.406	3.111	.003*	.660	.325	.172	.181	5.528
	เส้นรอบวงลำต้น_All	.415	.066	.582	6.259	<.001*	.721	.569	.347	.356	2.810
	VARI	8.436	1.298	.411	6.500	<.001*	.677	.583	.360	.768	1.302

a. Dependent Variable: ผลผลิต Sig * = 0.05

ผลการประเมินจำนวนผลผลิตรายต้นเฉลี่ยของแปลงรวมที่เพิ่มตัวแปรค่าดัชนี VARI พบว่ามีค่า RMSE ของการประมาณค่าผลผลิต 2.12 กิโลกรัมรายต้นเฉลี่ย (ตารางที่ 38) เมื่อเทียบกับการประเมินผลผลิตกาแฟจากข้อมูลตัวแปรกายวิภาคต้นกาแฟ พบว่าผลจากการทดสอบด้วยการเพิ่มตัวแปรค่าดัชนี VARI สามารถทำนายจำนวนผลผลิตได้แม่นยำมากขึ้น

ตารางที่ 38 แสดงผลการทดสอบการประเมินจำนวนผลผลิตกาแฟข้อมูลอากาศยานไร้คนขับจากข้อมูลความสูง ขนาดทรงพุ่ม เส้นรอบวงลำต้นกาแฟ และดัชนีพืชพรรณ VARI (รายต้นเฉลี่ยของแปลงรวม)

แปลง	ผลผลิตจากภาคสนาม (กิโลกรัม)				ผลผลิตจากการทำนาย VARI (กิโลกรัม)				r	RMSE (กิโลกรัม)
	Min	Max	Mean	SD	Min	Max	Mean	SD		
All	1	22	9	4.5	2	23	11	4.3	0.60	2.12

5.8 การตรวจสอบความถูกต้องของสมการทำนายผลผลิต

เมื่อได้สมการสำหรับการประเมินผลผลิตแล้ว ผู้วิจัยได้ทำการตรวจสอบความถูกต้องและทดสอบความแม่นยำของสมการที่ใช้ทำนายผลผลิต จากสมการของแปลงรวม VARI เพื่อทำให้เกิดความมั่นใจว่าสมการจะสามารถคาดการณ์ผลผลิตได้ตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัย โดยใช้สมการแปลงรวมทดสอบการประเมินผลผลิตในแปลงที่ผู้วิจัยเตรียมไว้สำหรับการตรวจสอบโดยเฉพาะ ผลการวิเคราะห์มีดังนี้

1) การประเมินผลผลิตจากข้อมูลการสำรวจในภาคสนามของแปลงตรวจสอบ พบว่ามีค่าคลาดเคลื่อนของการประมาณค่าผลผลิต RMSE เท่ากับ 2.56 กิโลกรัมเฉลี่ย/ตัน (ตารางที่ 39)

2) การประเมินผลผลิตจากข้อมูลอากาศยานไร้คนขับของแปลงตรวจสอบ พบว่ามีค่าคลาดเคลื่อนของการประมาณค่าผลผลิต RMSE เท่ากับ 2.37 กิโลกรัมเฉลี่ย/ตัน (ตารางที่ 39)

ตารางที่ 39 การตรวจสอบและประเมินความถูกต้องของสมการทำนายผลผลิตกาแฟ

แปลง	ผลผลิตกาแฟจากการสำรวจภาคสนาม (กิโลกรัม/ตัน)				ตรวจสอบการคาดการณ์ผลผลิตด้วยข้อมูลกายวิภาคของต้นกาแฟจากการสำรวจภาคสนาม (กิโลกรัม/ตัน)					ตรวจสอบการคาดการณ์ผลผลิตด้วยข้อมูลกายวิภาคของต้นกาแฟจากอากาศยานไร้คนขับ (กิโลกรัม/ตัน)				
	Min	Max	Mean	SD	Min	Max	Mean	SD	RMSE	Min	Max	Mean	SD	RMSE
All	2	10.5	6.20	1.75	4.35	11.89	8.07	1.8	2.56	4.63	9.62	7.38	1.28	2.37

บทที่ 6

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย

การศึกษาครั้งนี้เป็นการประเมินผลผลิตกาแฟสายพันธุ์อาราบิกาด้วยเทคนิคจากอากาศยานไร้คนขับ ในพื้นที่ศึกษาบ้านสวนสันเจริญ ตำบลผาทอง อำเภอท่าวังผา จังหวัดน่าน ผู้วิจัยกำหนดแปลงตัวอย่างทั้งหมด 4 แปลง และแปลงตรวจสอบ 1 แปลง รวมเนื้อที่ทั้งหมดประมาณ 93 ไร่ ความสูงของพื้นที่ศึกษาอยู่ระหว่าง 690 - 1,440 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง และแบ่งการสำรวจเก็บข้อมูลเป็น 2 แบบคือ 1) การสำรวจจากภาคสนาม 2) การสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับแล้วใช้กระบวนการโฟโตแกรมเมตรีในการประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับได้ผลลัพธ์เป็นข้อมูลแบบจำลองพื้นผิวเชิงเลข ข้อมูลลักษณะภูมิประเทศเชิงเลข และข้อมูลภาพออร์โธที่มีค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งอยู่ในระดับสูงสุดตามมาตรฐาน ASPRS 2014 สามารถผลิตแผนที่ชั้น 1 ได้ ผู้วิจัยได้นำข้อมูลจากอากาศยานไร้คนขับไปสร้างความสูง ขนาดทรงพุ่ม ขนาดเส้นรอบวงลำต้น และค่าดัชนีพืชพรรณ VARI โดยความสูงต้นกาแฟ สร้างจากผลต่างระหว่างข้อมูล DSM ข้อมูล DTM ข้อมูลขนาดทรงพุ่มได้จากภาพถ่ายออร์โธ ส่วนขนาดเส้นรอบวงลำต้นได้จากสมการหาความสัมพันธ์ของข้อมูลความสูงจากภาคสนามกับข้อมูลขนาดเส้นรอบวงในภาคสนาม จากนั้นตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลจากอากาศยานไร้คนขับโดยการเปรียบเทียบกับข้อมูลจากการสำรวจภาคสนามจากค่า RMSE ผลการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลดังกล่าว พบว่า ข้อมูลความสูงของต้นกาแฟมีค่า RMSE ระหว่าง 0.14 - 0.76 เมตร ข้อมูลขนาดทรงพุ่มมีค่า RMSE ระหว่าง 0.25 - 0.41 เมตร ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนเกิดจากการเก็บข้อมูลในภาคสนาม เช่น ลักษณะของพื้นที่ศึกษาที่มีความลาดชันทรงพุ่มของต้นกาแฟมีขนาดกว้างชนกัน เป็นต้น ข้อมูลเส้นรอบวงลำต้นมีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสองระหว่าง 0.05 - 0.13 เมตร ส่วนค่าดัชนีพืชพรรณ VARI เป็นการหาค่าความสัมพันธ์ของพืชหรือความเขียวของใบจากภาพออร์โธ จีวีเอ็ม จันทองพูน (2566) กล่าวว่า ค่าดัชนีพืชพรรณ VARI เป็นการคำนวณค่าสี RGB ของภาพถ่ายทางอากาศจากอากาศยานไร้คนขับ สามารถใช้ในการคาดการณ์สุขภาพและความสมบูรณ์ได้เป็นอย่างดี โดยที่ต้นไม้ที่มีความแข็งแรงจะมีลักษณะใบเป็นโทสนสีเขียว และค่าดัชนีพืชพรรณที่ได้จะมีค่าสูง ทั้งนี้ผู้วิจัยยังพบว่าค่าดัชนีพืชพรรณมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิและความสูงของพืชที่ปลูกกาแฟอีกด้วย จากการสำรวจภาคสนามก็จะเห็นว่าต้นกาแฟที่ปลูกในพื้นที่สูงและมีอุณหภูมิต่ำจะมีใบเขียวสมบูรณ์ และผลผลิตกาแฟที่ปลูกบนดอยส่วนใหญ่จะได้ราคาขายสูงกว่าผลผลิตที่ปลูกด้านล่างดอย

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการให้ผลผลิตกาแฟจากการสอบถามเกษตรกรผู้เชี่ยวชาญในการปลูกกาแฟในพื้นที่ พบว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณผลผลิตของต้นกาแฟมากที่สุด คือ การติดดอก ขนาดทรงพุ่ม จำนวนกิ่ง ขนาดลำต้น และความสมบูรณ์ของใบ ตามลำดับ เกษตรกร อย่างไรก็ตาม สำหรับการวิจัยครั้งนี้การใช้ข้อมูลที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับสามารถเก็บข้อมูลได้เพียงความสูง ขนาดลำต้น ซึ่งจำนวนกิ่ง ความหนาของใบและความสมบูรณ์ของใบ สามารถคำนวณได้จากค่าคาดการณ์จากค่าดัชนี VARI ในการวัดความเขียวของพืชทดแทน

การประเมินจำนวนผลผลิตกาแฟจากข้อมูลอากาศยานไร้คนขับ ผู้วิจัยแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 รูปแบบ คือ 1) การทดสอบการประมาณค่าผลผลิตกาแฟจากข้อมูลความสูง ขนาดทรงพุ่ม และเส้นรอบวงลำต้นกาแฟ ซึ่งเป็นปัจจัยทางด้านกายวิภาคของต้นกาแฟ และ 2) การทดสอบการประมาณค่าผลผลิตกาแฟจากข้อมูลความสูง ขนาดทรงพุ่ม เส้นรอบวงลำต้นกาแฟ และดัชนีพืชพรรณ VARI โดยเป็นการทดสอบข้อมูลผลผลิตรายต้นเฉลี่ยของแต่ละแปลงและผลผลิตรวมทุกแปลง

ผลการทดสอบรูปแบบแรก พบว่า หากพิจารณาความสัมพันธ์ของสมการถดถอยที่ได้ปรับค่าให้เป็นมาตรฐานแล้ว ความสูง ขนาดทรงพุ่ม ขนาดเส้นรอบวงลำต้น ทั้งสามตัวแปรส่งผลต่อการคาดการณ์ปริมาณผลผลิตกาแฟทั้งสิ้นเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญที่ 95% ยกเว้นแปลง C ที่ความสูงของต้นกาแฟไม่มีนัยสำคัญต่อการคาดการณ์ปริมาณผลผลิตกาแฟ ทั้งนี้ ระดับความสัมพันธ์ของแต่ละตัวแปรอาจจะแตกต่างกันไปในแต่ละแปลง เมื่อผู้วิจัยนำข้อมูลต้นกาแฟของทุกแปลง (แปลง A - แปลง D) มารวมกันแล้วสร้างสมการสำหรับแปลงรวม พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอยที่ได้ปรับค่าให้เป็นมาตรฐานแล้วของทั้งสามตัวแปรยังคงมีผลต่อการคาดการณ์ปริมาณผลผลิตกาแฟอย่างมีนัยสำคัญที่ 95% ซึ่งปัจจัยที่ส่งผลต่อจำนวนผลผลิตมากที่สุดคือขนาดทรงพุ่ม (0.687) รองลงมาคือเส้นรอบวงลำต้น (0.686) และเส้นรอบวงลำต้น (0.608) ตามลำดับ

ผลการทดสอบรูปแบบที่สอง ผู้วิจัยเพิ่มตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับค่าดัชนีพืชพรรณความเขียวของพืชจากค่า VARI เข้ามาร่วมในสมการการคาดการณ์ปริมาณผลผลิตกาแฟ นอกเหนือจากการทดสอบโดยใช้ข้อมูล กายวิภาคต้นกาแฟเพียงอย่างเดียว ผลการทดสอบ พบว่า เมื่อพิจารณารายแปลง ข้อมูลความสูง ขนาดทรงพุ่ม ขนาดเส้นรอบวงลำต้น และค่าดัชนีพืชพรรณ VARI มีความสัมพันธ์กันต่ำ และไม่สามารถนำไปสร้างสมการ เพื่อประเมินจำนวนผลผลิตกาแฟที่ระดับนัยสำคัญที่ 95% ได้ แต่เมื่อพิจารณาผลการทดสอบของแปลงรวมโดยนำต้นกาแฟของทุกแปลงมารวมกัน สามารถสร้างสมการการคาดการณ์ปริมาณผลผลิตกาแฟได้ ความสูง ขนาดทรงพุ่ม ขนาดเส้นรอบวงลำต้น และค่าดัชนีพืชพรรณ VARI สามารถอธิบายความผันแปรของผลผลิตได้ร้อยละ 74 และหากพิจารณาค่า

สัมประสิทธิ์ของสมการถดถอยที่ได้ปรับค่าให้เป็นมาตรฐานแล้ว ทั้งสี่ตัวแปร มีผลต่อการคาดการณ์ปริมาณผลผลิตกาแฟอย่างมีนัยสำคัญที่ 95% ซึ่งปัจจัยที่ส่งผลต่อจำนวนผลิตมากที่สุดคือเส้นรอบวงลำต้น (0.582) รองลงมาคือดัชนีพืชพรรณ VARI (0.411) ขนาดทรงพุ่ม (0.406) และความสูง (-0.401) ตามลำดับ

นอกจากนี้ ผู้วิจัยได้คำนวณการประเมินจำนวนผลผลิตเฉลี่ยรายต้นของแต่ละแปลงพบว่าแปลงที่มีค่า RMSE ของการประมาณค่าผลผลิตน้อยที่สุด คือแปลง A โดยมีค่า RMSE เท่ากับ 4.05 กิโลกรัมเฉลี่ย/ต้น รองมาคือแปลงรวม มีค่า RMSE เท่ากับ 4.42 กิโลกรัมต่อต้น และแปลงที่มีค่า RMSE ของการประมาณค่าผลผลิตมากที่สุดที่สุด คือแปลง D เมื่อเพิ่มตัวแปรค่าดัชนีพืชพรรณ VARI เข้ามาคำนวณร่วมด้วยจะทำให้ความคลาดเคลื่อนลดลง โดยค่า RMSE เท่ากับ 2.12 กิโลกรัมต่อต้น จากงานวิจัยครั้งนี้ ทำให้พบว่าการใช้ดัชนีพืชพรรณ VARI ในสมการทำนายผลผลิตกาแฟสามารถทำนายจำนวนผลผลิตได้แม่นยำมากขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Qiao et al. (2022) ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ของดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) กับตัวแปรความสูงต้นข้าวโพดกับดัชนีพืชพรรณ VARI และ NDVI เพื่อประเมินการเจริญเติบโตของต้นข้าวโพดและประเมินผลผลิต ผลการศึกษาพบว่าการใช้ดัชนีพืชพรรณ VARI และ NDVI สามารถทำให้การประเมินผลผลิตข้าวโพดมีความแม่นยำมากขึ้น

ผู้วิจัยได้ทำการตรวจสอบความถูกต้องและทดสอบความแม่นยำของสมการที่ใช้ทำนายผลผลิตโดยใช้สมการแปลงรวมทดสอบการประเมินปริมาณผลผลิตเฉลี่ยรายต้น ผลการประเมินโดยใช้ข้อมูลจากการสำรวจในภาคสนามของแปลงตรวจสอบ พบว่ามีค่า RMSE เท่ากับ 2.56 กิโลกรัมต่อต้น ในขณะที่การประเมินปริมาณผลผลิตจากข้อมูลอากาศยานไร้คนขับของแปลงตรวจสอบ พบว่ามีค่า RMSE เท่ากับ 2.37 กิโลกรัมต่อต้น จากผลการตรวจสอบความถูกต้องของสมการทำนายผลผลิตข้างต้นจะเห็นได้ว่าการทำนายผลผลิตโดยใช้สมการการประเมินผลผลิตในแปลงรวมมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยต่อต้นลดลงและค่าการตรวจสอบความถูกต้องในแปลงทดสอบมีความแม่นยำใกล้เคียงกันระหว่างค่าที่ได้จากการสำรวจและค่าที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับ ดังนั้นการทดสอบนี้จึงเป็นประโยชน์ต่อการนำสมการคาดการณ์ปริมาณผลผลิตนี้ไปใช้ในการประเมินผลผลิตกาแฟอาราบิก้าในแปลงเพาะปลูกพื้นที่อื่นๆ ได้ หรืออาจนำไปวางแผนการเพาะปลูกกาแฟในอนาคต ด้วยข้อมูลจากอากาศยานไร้คนขับ

6.2 ปัญหาและอุปสรรค

1) เนื่องจากพื้นที่ศึกษาเป็นภูเขาและอยู่ในป่า ทำให้เป็นอุปสรรคในการกำหนดจุดควบคุมภาคพื้นดินและจุดตรวจสอบ รวมถึงทั้งพื้นที่ศึกษามีความสูงต่ำอาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการประมวลผลภาพได้ อีกทั้งการสำรวจรังวัดด้วยวิธีการรังวัดดาวเทียมแบบจลน์ทำได้ยาก เพราะพื้นที่ศึกษามีสัญญาณอินเตอร์เน็ตอ่อนมาก บางช่วงเวลาสัญญาณอินเตอร์เน็ตขาดหายไป ทำให้ต้องใช้เวลาในการสำรวจรังวัดนานกว่าปกติ

2) พื้นที่ปลูกกาแฟบ้านสันเจริญทำวนเกษตรเน้นปลูกกาแฟร่วมกับป่าทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนของข้อมูลความสูงต้นกาแฟจากอากาศยานไร้คนขับ และต้นกาแฟส่วนใหญ่มาอายุเยอะลำต้นสูงใหญ่ กิ่งก้านชนกัน ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนของการเก็บข้อมูลภาคสนามได้

3) พื้นที่เพาะปลูกบนพื้นที่สูง ๆ ผลผลิตจริงจะร่วงหล่นจากภัยธรรมชาติ เช่น ลมหรือจากคนงานเดินชนกิ่งระหว่างเก็บกาแฟ ทำให้ไม่สามารถนำข้อมูลผลผลิตส่วนนี้มาใช้ได้

6.3 ข้อเสนอแนะ

1) งานวิจัยนี้เป็นการประเมินผลผลิตกาแฟจากข้อมูลกายวิภาคเพียงอย่างเดียว ผู้วิจัยควรจะนำข้อมูลทางกายภาพของพื้นที่ เช่น ข้อมูลชุดดิน ความลาดชัน มาเพื่อช่วยให้การประเมินผลผลิตมีความแม่นยำมากขึ้น

2) การประเมินผลผลิตกาแฟผู้วิจัยควรประเมินผลผลิตทั้งหมดของแปลงตัวอย่าง โดยใช้อัลกอริทึมการนับจำนวนต้นไม้เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูล จึงจะช่วยให้การประเมินผลผลิตมีประโยชน์ต่อผู้นำไปใช้งานมากขึ้น

3) หากใช้อากาศยานไร้คนขับที่ติดกล้องถ่ายภาพมัลติสเปกตรัม ทำทำให้การวิเคราะห์สุขภาพและการเจริญเติบโตต้นกาแฟจากค่าดัชนีพืชพรรณได้ค่าที่หลากหลายกว่านี้ เช่น ดัชนีพืชพรรณ NDVI, GNDVI, NDRE, LCI, OSAVI เป็นต้น จะช่วยให้การวิเคราะห์การเจริญเติบโตของพืชและความสมบูรณ์ของพืชได้ดียิ่งขึ้น

4) งานวิจัยนี้เป็นประโยชน์ต่อเกษตรกรที่ต้องการวางแผนการเพาะปลูกการเก็บเกี่ยว และคำนวณต้นทุนของการการผลิตและจำหน่าย อีกทั้งภาครัฐสามารถนำไปคาดการณ์ผลผลิตของกาแฟอาราบิก้าในพื้นที่อื่น ๆ ที่จะออกสู่ตลาดได้

ภาคผนวก

แบบสอบถาม เรื่อง ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตกาแฟ

แบบสอบถามนี้เป็นส่วนหนึ่งของวิทยานิพนธ์เรื่อง “การประเมินผลผลิตกาแฟด้วยเทคนิคอากาศยานไร้คนขับ” ของนางสาวสาวิตรี จันทร์สิงห์ นิสิตระดับปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะอักษรศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยมี ผศ.ดร.ฐิติรัตน์ ปั่นบำรุงกิจ เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

-
1. พื้นที่ปลูกกาแฟของท่าน
หมู่บ้าน..... ตำบล.....อำเภอ.....
 2. พันธุ์กาแฟที่ท่านปลูก (เลือกได้มากกว่า 1)
 - อราบิกา (Arabica)
 - โรบัสต้า (Robusta)
 - อื่นๆ โปรดระบุ.....
 3. ขนาดแปลงกาแฟที่ท่านเป็นเจ้าของหรือรับผิดชอบดูแล
 - 1-5 ไร่
 - 6-10 ไร่
 - 11-15 ไร่
 - 16-20 ไร่
 - มากกว่า 20 ไร่
 4. ประสบการณ์ของท่านเกี่ยวกับการปลูกและการดูแลต้นกาแฟ
 - 1-3 ปี
 - มากกว่า 3 -6 ปี
 - มากกว่า 6-9 ปี
 - มากกว่า 9 ปี

5. เหตุผลที่ท่านเลือกปลูกกาแฟ

- มีคนรู้จักแนะนำให้ปลูก
- มีหน่วยงานของภาครัฐหรือเอกชนแนะนำให้ปลูก
- รายได้ดีกว่าพืชเศรษฐกิจอื่น
- ปลูกเพื่อเสริมกับพืชเศรษฐกิจอื่น
- ช่วยอนุรักษ์ระบบนิเวศและเพิ่มพื้นที่ป่า
- มีนายทุนจ้างให้ปลูก
- อื่นๆ โปรดระบุ.....

6. ท่านคิดว่าปัจจัยทางธรรมชาติในข้อใดที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของต้นกาแฟ

- ปริมาณน้ำฝน
- อุณหภูมิ
- ความสูงของพื้นที่เพาะปลูก
- ความลาดชันของพื้นที่เพาะปลูก
- ชนิดดิน
- การตกกระทบของแสงอาทิตย์
- อื่นๆ โปรดระบุ

7. ปัจจัยใดที่ส่งเสริมให้ต้นกาแฟให้ผลผลิตที่มีคุณภาพ

- การดูแลตัดแต่งกิ่งสม่ำเสมอ
- การใส่ปุ๋ยบำรุงดิน
- การปลูกได้ร่มเงา
- การรดน้ำสม่ำเสมอ
- อื่นๆ โปรดระบุ

8. ท่านคิดว่าปัจจัยทางกายภาพของต้นกาแฟในข้อใดบ้าง ที่จะทำให้ท่านคาดการณ์ปริมาณผลผลิตของต้นกาแฟในแต่ละปี (เลือกได้มากกว่า 1 ข้อ)

- การติดดอก
- ความสูงของต้นกาแฟ
- ขนาดทรงพุ่มของต้นกาแฟ
- ขนาดลำต้นของต้นกาแฟ
- ขนาดของใบ
- ความสมบูรณ์ของใบ (ไม่มีแมลงศัตรูพืชหรือโรคพืช)
- จำนวนกิ่ง
- อื่นๆ โปรดระบุ



บรรณานุกรม



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	สาวตรี จันทร์สิงห์
วัน เดือน ปี เกิด	12 สิงหาคม 2532
วุฒิการศึกษา	พ.ศ. 2555 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาภูมิศาสตร์ ภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ที่อยู่ปัจจุบัน	พ.ศ.2561 เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาภูมิศาสตร์และภูมิสารสนเทศ คณะอักษรศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY