

การประเมินผลผลิตกาแฟด้วยเทคนิคอากาศยานไร้คนขับ

สาวิตรี จันทร์สิงห์¹

Received: November 6, 2023

Revised: December 28, 2023

Accepted: July 9, 2024

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการให้ผลผลิตกาแฟ และเพื่อพัฒนาแบบจำลองการประเมินผลผลิตกาแฟพันธุ์อาราบิกา จากข้อมูลที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับในพื้นที่หมู่บ้านสันเจริญ อำเภอน้ำหนาว จังหวัดน่าน โดยใช้แปลงตัวอย่าง 4 แปลง และมีช่วงระยะเวลาการเก็บเกี่ยวผลผลิตระหว่างปี 2564-2565 ผู้วิจัยใช้ความสูง ขนาดทรงพุ่ม เส้นรอบวงลำต้น และดัชนีพืชพรรณแสดงความเขียวของพืชในช่วงคลื่นที่ตามองเห็น (VARI) ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (regression analysis) ประเมินความน่าเชื่อถือทางสถิติด้วยค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) และค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) ผลการวิจัยพบว่า สมการการประมาณค่าผลผลิตกาแฟของทั้ง 4 แปลง จากความสูง ขนาดทรงพุ่ม เส้นรอบวงลำต้น และดัชนีพืชพรรณแสดงความเขียวของพืชในช่วงคลื่นที่ตามองเห็น (VARI) สามารถอธิบายความผันแปรของผลผลิตได้ร้อยละ 74-88 และทุกตัวแปรมีผลต่อการคาดการณ์ผลผลิตกาแฟเฉลี่ยรายต้นอย่างมีนัยสำคัญที่ 95% ปัจจัยที่ส่งผลต่อการคาดการณ์ปริมาณผลผลิตมากที่สุดคือเส้นรอบวงลำต้น (0.582) รองลงมาคือดัชนีพืชพรรณแสดงความเขียวของพืชในช่วงคลื่นที่ตามองเห็น (VARI) (0.411) ขนาดทรงพุ่ม (0.406) และความสูง (-0.401) เมื่อวิเคราะห์การประเมินจำนวนผลผลิตเฉลี่ยรายต้นของทุกแปลง จะมีค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) เท่ากับ 2.12 กิโลกรัมต่อต้น นอกจากนี้ ผู้วิจัยได้นำสมการการคาดการณ์ผลผลิตเฉลี่ยรายต้นที่ได้ไปทดสอบกับแปลงตรวจสอบ พบว่ามีค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) เท่ากับ 2.37 กิโลกรัมเฉลี่ยต่อต้น การวิจัยนี้สามารถนำไปเป็นตัวอย่างของการใช้ข้อมูลจากอากาศยานไร้คนขับเพื่อวางแผนในการคาดการณ์ผลผลิตกาแฟต่อไปได้

คำสำคัญ: การประเมินผลผลิตกาแฟ, ดัชนีพืชพรรณ, อากาศยานไร้คนขับ, แบบจำลองการประเมินผลผลิต, โฟโตแกรมเมตรี

¹ หน่วยงานผู้แต่ง: ภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะอักษรศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อีเมล: themusicc12@gmail.com

Assessment of Coffee Yields Using Unmanned Aerial Vehicle Techniques

Sawitree Chansing²

Received: November 6, 2023

Revised: December 28, 2023

Accepted: July 9, 2024

Abstract

The objective of this research is to study factors related to coffee yields 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). These variables are related to coffee yields using linear regression analysis and evaluated statistical reliability 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 visible atmospherically resistant index (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 the root mean square error (RMSE) value of 2.37 kilogram per plant on average. This research can serve as an example of using UAV data for future Arabica coffee production.

Keywords: assessment of coffee yields, vegetation index, unmanned aerial vehicle, yield assessment model, photogrammetry

² Affiliation: Department of Geography, Faculty of Arts, Chulalongkorn University
Email: themusicc12@gmail.com

1. บทนำ

การขยายพื้นที่การเกษตรเชิงเดี่ยว โดยเฉพาะการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย เป็นสาเหตุหนึ่งที่สร้างผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่น การบุกรุกพื้นที่ป่าซึ่งทำให้ระบบนิเวศถูกทำลาย และปัญหาหมอกควันจากการเผาแปลงเกษตรหลังการเก็บเกี่ยว การแก้ปัญหาดังกล่าวจำเป็นต้องได้รับความร่วมมือจากหลายภาคส่วนและปรับกระบวนการทั้งด้านคุณภาพของผลผลิตทางการเกษตรและการเพิ่มพื้นที่ป่าเพื่อการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและแหล่งต้นน้ำลำธาร การทำเกษตรแบบผสมผสานหรือวนเกษตรเป็นวิธีการหนึ่งในการบริหารจัดการพื้นที่เกษตรอย่างยั่งยืนเพื่อสามารถปลูกพืชเศรษฐกิจควบคู่กับการปลูกป่าไม้ได้ หนึ่งในพืชเศรษฐกิจซึ่งเป็นที่สนใจเกษตรกรไทยคือกาแฟ เนื่องจากเป็นพืชเศรษฐกิจที่ให้มูลค่าสูงและเป็นที่ต้องการของตลาด อีกทั้งแนวโน้มของธุรกิจผลิดกาแฟมีโอกาสขยายตัวได้อีกมาก จากความต้องการใช้กาแฟของโลกที่มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ (Department of Agriculture, n.d.)

สถานการณ์กาแฟของประเทศไทยในปัจจุบัน ผลผลิตเมล็ดกาแฟยังไม่เพียงพอต่อความต้องการบริโภคภายในประเทศ สาเหตุมาจากพื้นที่เพาะปลูกกาแฟลดลงในช่วง 5 ปีย้อนหลัง (ปี 2557-2561) ประเทศไทยผลิตเมล็ดกาแฟได้ปีละ 26,000 ตัน แต่ความต้องการใช้กาแฟมีถึง 90,000 ตัน อีกทั้งความต้องการบริโภคกาแฟของสังคมไทยในปัจจุบันมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์จึงได้จัดทำยุทธศาสตร์กาแฟ ปี 2560-2564 โดยมีเป้าหมายที่จะเพิ่มทั้งคุณภาพและปริมาณผลผลิตให้แก่อุตสาหกรรมกาแฟไทย (Office of Agricultural Economics, n.d.) ดังนั้น หากสามารถวางแผนการเพาะปลูกและประเมินผลผลิตที่คาดว่าจะเก็บเกี่ยวได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำ ก็จะสามารถนำข้อมูลดังกล่าวไปใช้ในการวางแผนเพิ่มผลผลิตจากปัจจัยที่เกี่ยวข้องได้

ปัจจุบันความก้าวหน้าของเทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับ (unmanned aerial vehicle: UAV) มีประโยชน์อย่างมากในการศึกษาพืชเพื่อการเกษตรและป่าไม้ เพราะสามารถประเมินสถานการณ์ได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ มีความสามารถในการประมาณกายวิภาคของต้นไม้ได้อย่างแม่นยำ เช่น ความสูงและขนาดทรงพุ่ม (Siwa, 2018) ข้อมูลดังกล่าวมีความสำคัญต่อการคำนวณผลผลิตของพืช ผู้วิจัยเลือกพื้นที่ศึกษา ณ หมู่บ้านสันเจริญ ตำบลผาทอง อำเภอท่าม่วง จังหวัดน่าน ซึ่งเป็นพื้นที่ปลูกกาแฟที่เก่าแก่แห่งหนึ่งของจังหวัดน่าน ประชากรในพื้นที่มีประสบการณ์การปลูกกาแฟมาเป็นเวลานาน การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการให้ผลผลิตกาแฟในอำเภอท่าม่วง จังหวัดน่าน และเพื่อประเมินผลผลิตกาแฟพันธุ์อาราบิก้าจากข้อมูลที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับ ผู้วิจัยประมาณค่าความสูงและขนาดทรงพุ่มของต้นกาแฟโดยสร้างข้อมูลแบบจำลองความสูงสิ่งปกคลุมดินจากการประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับ ซึ่งให้ความถูกต้องทางตำแหน่งสูง รวมถึงความสมบูรณ์ของพืช ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้ค่าดัชนีความเขียวของพืชที่ได้จากค่าดัชนีพืชพรรณแสดงความเขียวของพืชในช่วงคลื่นที่ตามองเห็น (visible atmospherically resistant index: VARI) จากนั้นจึงนำข้อมูลจากการสำรวจภาคสนามและข้อมูลที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับมาตรวจสอบความถูกต้องเพื่อขั้นตอนถัดไป เป็นการสร้างสมการสำหรับการประเมินผลผลิตกาแฟที่ได้จากข้อมูลจากอากาศยานไร้คนขับ และตรวจสอบความถูกต้องและความแม่นยำของสมการในแปลงตรวจสอบที่เตรียมไว้ ผลการวิจัยที่ได้จากการทดสอบนี้จะนำไปเป็นต้นแบบหรือแนวทางการคาดการณ์ผลผลิตกาแฟต่อไป

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การปลูกกาแฟเป็นพืชเศรษฐกิจของประเทศไทยนั้น เกษตรกรภาคเหนือนิยมปลูกพันธุ์อาราบิกา ส่วนภาคใต้นิยมปลูกพันธุ์โรบัสตา การปลูกกาแฟในประเทศไทยเริ่มจากแหล่งเพาะปลูกบนที่สูง ในพื้นที่ของมูลนิธิโครงการหลวงต่าง ๆ กาแฟพันธุ์อาราบิกาเป็นพืชชนิดหนึ่งเหมือนกับผลไม้ประเภทอื่น ๆ ซึ่งปัจจัยด้านความอุดมสมบูรณ์ของดิน อากาศ และพืชผลที่ปลูกโดยรอบต้นกาแฟล้วนส่งผลต่อรสชาติของกาแฟ กระบวนการในการเพาะปลูกจึงมีส่วนสำคัญที่ส่งเสริมให้เกิดรสชาติเฉพาะตัวของเมล็ดกาแฟ ดังนั้นกาแฟจึงนับเป็นพืชที่มีความสำคัญซึ่งบ่งบอกเอกลักษณ์ทางพื้นที่และสะท้อนวิถีชีวิตของคนในพื้นที่ โดยเฉพาะวัฒนธรรมการบริโภคกาแฟ ปัจจุบันกาแฟเป็นพืชที่ได้รับความนิยมมากขึ้นเรื่อย ๆ เนื่องจากจำนวนประชากร 1 ใน 4 ของโลกบริโภคกาแฟเป็นประจำ และการปลูกกาแฟสามารถกำหนดสภาวะทางเศรษฐกิจของบางประเทศได้ ส่วนแหล่งปลูกกาแฟที่เหมาะสมสำหรับพันธุ์อาราบิกาในประเทศไทย คือ ตั้งแต่ระดับจุด 17 องศาเหนือขึ้นไป ความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลางตั้งแต่ 700 เมตร และมีความลาดเอียงไม่เกินร้อยละ 30 ลักษณะดินมีความอุดมสมบูรณ์ ชั้นดินลึกไม่น้อยกว่า 50 เซนติเมตร มีความเป็นกรดต่าง 5.5-6.5 และระบายน้ำดี สภาพภูมิอากาศมีอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 15-25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์มากกว่าร้อยละ 60 แหล่งน้ำอาศัยน้ำฝนจากธรรมชาติ ปริมาณฝนไม่ต่ำกว่า 1,500 มิลลิเมตรต่อปี มีการกระจายของฝน 5-8 เดือน มีแหล่งน้ำสะอาดและมีปริมาณพอที่จะให้น้ำได้ตลอดช่วงฤดูแล้ง (Manop, 2005)

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของกาแฟพันธุ์อาราบิกาแบ่งได้เป็น 5 ประเภท ได้แก่ 1) ลำต้น ตามธรรมชาติของกาแฟมีลักษณะลำต้นตั้งตรง การเจริญเติบโตจะไม่แตกกิ่ง แต่มิใช่แตกกิ่งออกตรงข้อตรงข้ามกันเป็นคู่ ๆ ต่อมาเมื่อเจริญขึ้นเรื่อย ๆ ก็มีการแตกกิ่งออกจากลำต้น กิ่งที่แตกออกใหม่จะมีใบแตกออกเป็นคู่ ๆ อยู่ตรงข้อเช่นเดียวกันกับลำต้น 2) ดอกกาแฟ มีสีขาวบริสุทธิ์ กลิ่นหอมคล้ายดอกมะลิ รูปร่างคล้ายดาว มีก้านสั้น อยู่รวมกันเป็นกลุ่ม ส่วนใหญ่จะออกดอกจากข้อของกาแฟ เริ่มจากข้อที่อยู่ใกล้ลำต้นออกไปหาปลายกิ่ง ข้อดอกแต่ละกลุ่มของแต่ละข้ออาจมี 2-20 ดอก ดอกกาแฟที่สมบูรณ์เพศมีทั้งเกสรตัวผู้และเกสรตัวเมียรวมอยู่ในดอกเดียวกัน 3) ใบ ลักษณะของใบจะออกตรงข้ออยู่ตรงข้ามเป็นคู่ ๆ มีรูปร่างทั้งสี่เหลี่ยมผืนผ้าและรูปไข่ แตกต่างกันไปตามชนิดสายพันธุ์ ส่วนปลายใบของกาแฟจะมีคุณลักษณะเรียวยาวแหลม ก้านใบอ่อนสั้น ใบกาแฟมีผิวมันตลอดปี มีสีเขียว พันธุ์กาแฟที่มีอายุของใบยาวกว่าย่อมมีผลดีกว่าพันธุ์ที่มีใบสั้น เนื่องจากใบมีเวลาในการสร้างอาหารได้นาน ซึ่งย่อมเป็นผลดีต่อต้นกาแฟ 4) ผลกาแฟ ลักษณะของผลเป็นรูปไข่แกมรูปทรงกลม โดยผลอ่อนจะเป็นสีเขียว แต่เมื่อสุกแล้วจะเปลี่ยนเป็นสีแดง ผลกาแฟเมื่อสุกเต็มที่ที่จะปอกเอาเปลือกและเนื้อทิ้ง เหลือเฉพาะเมล็ดที่นำไปทำเป็นเครื่องดื่ม 5) เมล็ดกาแฟ มีรูปร่างค่อนข้างกลมรี ความยาวประมาณ 8.5-12.5 มิลลิเมตร หนึ่งผลมี 2 เมล็ดประกบกัน หากเป็นพันธุ์อาราบิกาก็จะมีรอยผ่ารูปคล้ายตัว S แต่หากเป็นพันธุ์โรบัสตาจะเป็นรูปเส้นตรงเหมือนตัว I หากนำเมล็ดกาแฟทั้งกะลาไปตากแห้งจะทำให้สารกาแฟแห้งและจะสูญเสียน้ำหนักประมาณร้อยละ 80 โดยทั่วไปผลกาแฟสดประมาณ 5-6 กิโลกรัม จะเปลี่ยนเป็นสารกาแฟได้ 1 กิโลกรัม (Manop, 2005)

สว่าง คำภีระ (Sawang, 2011) ศึกษาปัจจัยและเงื่อนไขที่มีอิทธิพลต่อระบบการผลิตกาแฟพันธุ์อาราบิกาแบบวนเกษตร ในพื้นที่บ้านแม่ส้าน ตำบลบ้านดง อำเภอแม่เมะ จังหวัดลำปาง จากผลการศึกษาพบว่า เกษตรกรผู้ปลูกกาแฟส่วนใหญ่มีอายุอยู่ในช่วง 30-45 ปี โดยพื้นที่ปลูกอยู่ในช่วง 1-3 ไร่ เกษตรกรส่วนใหญ่รับรู้ข่าวสารการปลูกกาแฟแบบวนเกษตรจากเจ้าหน้าที่ รวมถึงการฝึกอบรมให้ความรู้ตลอดจนการศึกษาดูงานนอกสถานที่ และที่สำคัญที่สุด การปลูกกาแฟมีตลาดรับซื้อผลผลิตของเกษตรกรในลักษณะผลสด รูปแบบการจัดการที่แตกต่างกันในการผลิตกาแฟพันธุ์อาราบิกาแบบวนเกษตรส่งผลต่อผลผลิต กล่าวคือ แบบที่มีการดูแลให้ผลผลิตที่อยู่ในรูปผลสดต่อต้น ต่อไร่มากกว่าแบบที่ไม่มีการจัดการ ด้านความอุดมสมบูรณ์ของดิน พบว่าสภาพดินในแปลงป่าธรรมชาติกับแปลงที่มีการดูแลมีความอุดมสมบูรณ์ใกล้เคียงกัน แต่เมื่อเปรียบเทียบ

ตามเกณฑ์การวิเคราะห์ความอุดมสมบูรณ์ของดินทั้ง 2 แปลง พบว่าแปลงป่าธรรมชาติมีความอุดมสมบูรณ์ของดินในระดับต่ำ ทั้งนี้เนื่องจากสภาพพื้นที่ปลูกมีความลาดชัน จึงมีโอกาสสูงที่อินทรีย์วัตถุและธาตุอาหารบนหน้าดินจะถูกชะล้างในช่วงฤดูฝน

ประครอง เชียงแรง และแหลมไทย อาษานอก (Prakrong & Lamthai, 2020) ศึกษาองค์ประกอบชนิดไม้ต้นและผลผลิตกาแฟของระบบวนเกษตร ในพื้นที่โครงการพัฒนาพื้นที่ป่าขุนแม่กวังอันเนื่องมาจากพระราชดำริ นำมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของลักษณะสังคมพืชกับลักษณะของต้นกาแฟพันธุ์อาราบิก้า และประเมินปัจจัยด้านสังคมพืชที่มีผลต่อผลผลิตกาแฟ โดยการวางแผนแปลงตัวอย่างขนาด 20×20 เมตร จำนวน 15 แปลง ให้ครอบคลุมพื้นที่วนเกษตร พร้อมกับเก็บข้อมูลด้านองค์ประกอบชนิดพืชเพื่อวิเคราะห์จำแนกลักษณะโครงสร้างสังคมพืช และเก็บข้อมูลผลผลิตเมล็ดกาแฟสดภายในแปลงตัวอย่างพร้อมกับประเมินมูลค่า แล้ววิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะสังคมพืชกับลักษณะของต้นกาแฟและผลผลิตของกาแฟ ผลการศึกษาพบว่า สังคมพืชในพื้นที่ศึกษาสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 สังคม ได้แก่ สังคมป่าดิบเขาระดับต่ำธรรมชาติ และสังคมวนเกษตรกาแฟ 2 สังคมย่อย ได้แก่ สังคมวนเกษตรกาแฟปลูกร่วมไม้ป่า และสังคมวนเกษตรกาแฟปลูกร่วมไม้ผล ดังนั้น สังคมวนเกษตรกาแฟปลูกร่วมไม้ป่าจึงมีลักษณะโครงสร้างและองค์ประกอบพรรณพืชใกล้เคียงกับป่าธรรมชาติมากกว่า สังคมวนเกษตรกาแฟปลูกร่วมไม้ผล นอกจากนี้ จำนวนต้นกาแฟมีความสัมพันธ์เชิงลบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับขนาดพื้นที่หน้าตัดของไม้ใหญ่ ($p < 0.05$) และมีความสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับจำนวนต้นไม้ใหญ่ ($p < 0.01$) ส่วนขนาดความโตของคอรากของต้นกาแฟพบว่ามีความสัมพันธ์เชิงลบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับจำนวนต้นของไม้ใหญ่ในพื้นที่ ($p < 0.05$) ส่วนผลผลิตของกาแฟพบว่ามีความสัมพันธ์เชิงลบกับความหนาแน่นและขนาดพื้นที่หน้าตัดของไม้ใหญ่ ($p < 0.05$) แต่มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับค่าดัชนีความหลากหลายของไม้ต้น ($p < 0.01$) แสดงว่าต้นกาแฟเติบโตได้ดีในพื้นที่ที่มีต้นไม้ขนาดเล็กปกคลุมอยู่จำนวนมาก และจะให้ผลผลิตสูงในพื้นที่ที่มีต้นไม้ปกคลุมอยู่น้อยแต่มีความหลากหลายสูง ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่า การทำระบบวนเกษตรกาแฟในพื้นที่ป่าขุนแม่กวังควรพิจารณาใช้ระบบวนเกษตรกาแฟปลูกร่วมไม้ป่า เพราะจะทำให้มีลักษณะสังคมใกล้เคียงกับป่าธรรมชาติ แต่ต้องพิจารณาความเหมาะสมขององค์ประกอบของชนิดไม้ต้นในพื้นที่เพื่อเป็นการเพิ่มการเติบโตและผลผลิตของต้นกาแฟ

นอกเหนือจากการศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อความสมบูรณ์ของต้นกาแฟและผลผลิตเมล็ดกาแฟสดด้วยการสำรวจทางพื้นที่และการศึกษาความสัมพันธ์ทางสถิติแล้ว ปัจจุบันยังมีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการสำรวจข้อมูลด้วยวิธีการต่าง ๆ เพื่อนำมาประเมินผลผลิตกาแฟ ตลอดจนการคาดการณ์ผลผลิตและปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อปริมาณผลผลิตกาแฟมากมาย อาทิ เทคโนโลยีการรับรู้จากระยะไกล เทคโนโลยีการใช้ภาพถ่ายทางอากาศ เทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับ และการเรียนรู้ด้วยเครื่องหรือ machine learning (Bolaños et al., 2023; Martello et al., 2022; Zanella et al., 2024)

บาร์โบซาและคณะ (Barbosa et al., 2021) ได้ประเมินศักยภาพของการประยุกต์ใช้อากาศยานไร้คนขับและศักยภาพของดัชนีพืชพรรณ (vegetation indices: VIs) จากภาพถ่ายแบบธรรมดา (red green blue: RGB) ในการตรวจสอบการปลูกกาแฟ ระยะเวลาในการทดสอบ 12 เดือน ในการศึกษาที่ใช้กล้องแบบ RGB ที่ติดตั้งบนอากาศยานไร้คนขับในการจำแนกดัชนีพืชพรรณ โดยนำค่าดัชนีดังกล่าวไปวิเคราะห์ความสัมพันธ์ด้วยการวิเคราะห์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson) แล้วนำผลการทดสอบค่า VIs ดังกล่าวไปใช้ประมาณค่าความสูงและค่าเส้นผ่าศูนย์กลางของทรงพุ่มของต้นกาแฟที่ได้จากภาพถ่ายทางอากาศไร้คนขับ นอกจากนี้ ค่า VIs ยังสามารถแยกความหลากหลายของแปลงเพาะปลูกได้ เช่น แยกวัชพืชออกจากต้นกาแฟ ซึ่งช่วยในการตัดสินใจและการจัดการเกษตร ผลการศึกษาสามารถสรุปได้ว่า การใช้อากาศยานไร้คนขับแบบราคาประหยัดที่ติดตั้งกล้องแบบ RGB มีศักยภาพในการตรวจสอบวงจรการผลิตกาแฟ และช่วยให้ผู้ปลูกได้รับข้อมูลอย่างแม่นยำ รวดเร็ว และง่ายดายขึ้น

สีวา แก้วปลั่ง (Siwa, 2018) ได้ประเมินการใช้ภาพถ่ายทางอากาศจากอากาศยานไร้คนขับสำหรับการประมาณค่าชีวมวลเหนือพื้นดินของต้นหม่อน ทำการทดลองในแปลงหม่อนของศูนย์ความเป็นเลิศทางนวัตกรรมไหม มหาวิทยาลัยมหาสารคาม มีการติดตั้งกล้องความละเอียด 12 ล้านพิกเซล บินถ่ายภาพที่ความสูง 15 เมตร และ 50 เมตร เพื่อเปรียบเทียบ

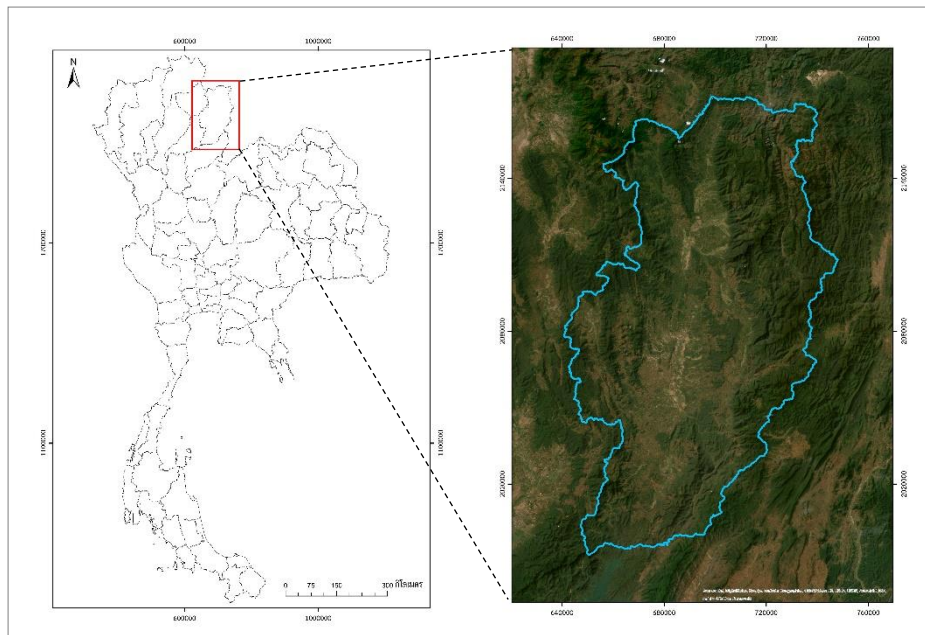
ความสามารถในการประมาณค่าชีวมวลเหนือพื้นดินของต้นหม่อน ทำรังวัดค่าพิกัดและค่าระดับเพื่อจัดทำหมุด ควบคุมภาพถ่ายและวางเป้าจุดควบคุมภาพให้กระจายอยู่ในภาพจำนวน 9 จุด เพื่อใช้สำหรับปรับแก้ภาพ วางแผนการบินด้วย PIX4D จากการวัดค่าความสูง ขนาดทรงพุ่ม และค่าชีวมวลเหนือพื้นดินของต้นหม่อนจริงจากแปลงหม่อน พบว่ากรณีบินที่ความสูง 15 เมตร มีค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (root mean square error: RMSE) เท่ากับ 0.57 และกรณีบินที่ความสูง 50 เมตร มีค่า RMSE เท่ากับ 0.70 จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลสรุปว่า ความถูกต้องของการวัดความสูงและขนาดทรงพุ่มของต้นหม่อนจะแปรผันตามกับความสูงการบิน เนื่องจากภาพจากอากาศยานไร้คนขับจะมีขนาดพื้นที่ต่อจุดภาพ (m/pixel) เพิ่มขึ้นตามความสูงของการบิน ซึ่งทำให้การวัดความสูงและการวัดระยะจากภาพมีความคลาดเคลื่อนมากขึ้นตามความสูงการบินที่เพิ่มมากขึ้น

โลเปส-การ์เซียและคณะ (López-García et al., 2022) ได้ประมาณจำนวนผลผลิตในไร่ของงาจากภาพถ่ายระยะเอียงสูงที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับในไร่ของงาทางตะวันออกเฉียงใต้ของประเทศสเปน ระหว่างปี 2019-2020 ซึ่งมีความแตกต่างกันสองกลุ่ม คือ การใช้น้ำฝนและการใช้น้ำชลประทาน งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมิน VIs และความเขียวของทรงพุ่ม (green canopy cover: GCC) โดยเปรียบเทียบระหว่างการถ่ายภาพแบบ RGB กับถ่ายภาพแบบหลายช่วงคลื่น (multispectral) เพื่อวัดค่าความสมบูรณ์ของต้นงา แล้วนำไปคาดการณ์ผลผลิตด้วยการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นเดียว และการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณ ผลการศึกษาพบว่า ค่าดัชนีความเขียวและพารามิเตอร์ทางเรขาคณิตจากพีซีมีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับจำนวนผลผลิต ในการประมาณผลผลิตมีความคลาดเคลื่อนน้อยมาก คือ 0.21-0.39 กิโลกรัมต่อต้น และผลลัพธ์จากการถ่ายภาพแบบหลายช่วงคลื่นให้ผลลัพธ์การประมาณผลผลิตได้แม่นยำ แต่การใช้เซนเซอร์แบบ RGB นั้นมีข้อได้เปรียบหลายประการกว่า เช่น อุปกรณ์ราคาไม่แพง ความละเอียดเชิงพื้นที่สูง และการจัดการโฟโตแกรมที่ง่ายกว่า

กล่าวโดยสรุป เทคนิคอากาศยานไร้คนขับนอกจากจะนำมาประยุกต์ใช้กับการศึกษาผลผลิตและค่าชีวมวลของพืชพรรณธรรมชาติแล้ว ยังนำมาใช้ประเมินปริมาณผลผลิตกาแฟได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งยังมีความคล่องตัวในการสำรวจและเก็บข้อมูลหลายช่วงเวลาเพื่อนำมาทดสอบกับปัจจัยต่าง ๆ ที่สามารถทำให้ผลลัพธ์ของการพยากรณ์ผลผลิตในแบบจำลองมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

3. พื้นที่ศึกษา

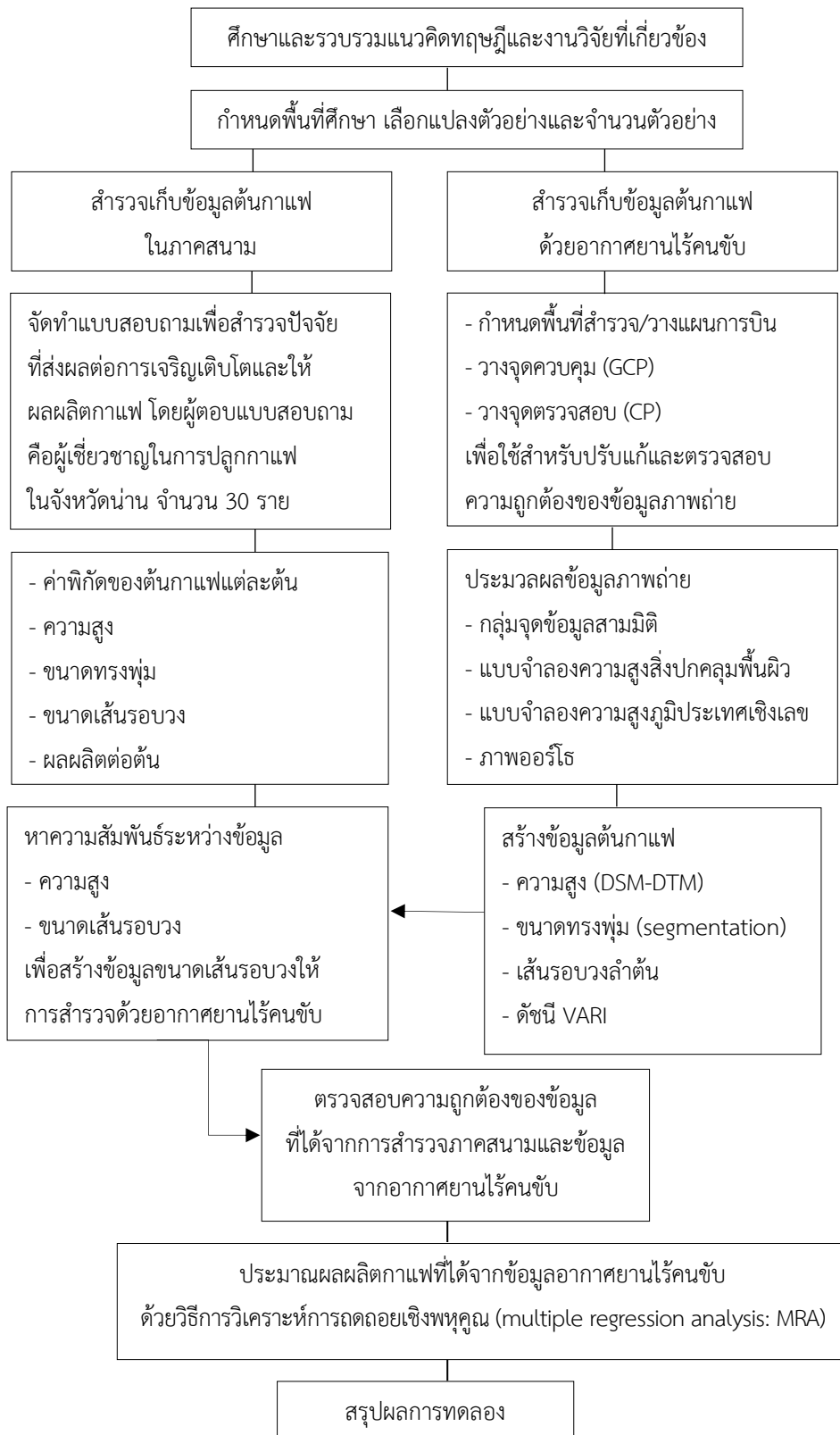
ผู้วิจัยดำเนินการศึกษาในแปลงกาแฟดอยสวนยาหลวง หมู่บ้านสันเจริญ ตำบลผาทอง อำเภอท่าวังผา จังหวัดน่าน มีพื้นที่บางส่วนอยู่ในความรับผิดชอบของหน่วยศึกษาการอนุรักษ์ต้นน้ำดอยกาด อำเภอปง จังหวัดพะเยา (ภาพที่ 1) พื้นที่ปลูกกาแฟส่วนใหญ่อยู่บนดอยสวนยาหลวง เนื้อที่ปลูกกาแฟทั้งหมดประมาณ 7,700 ไร่ เน้นปลูกกาแฟพันธุ์อาราบิกา เพราะเป็นพันธุ์ที่เหมาะสมกับพื้นที่สูงกว่าระดับน้ำทะเลปานกลางประมาณ 690-1,140 เมตร อีกทั้งยังมีอากาศหนาวเย็นตลอดปี ทำให้ต้นกาแฟเจริญเติบโตอย่างสมบูรณ์



ภาพที่ 1 พื้นที่ศึกษาลักษณะภูมิประเทศแบบสามมิติ

4. วิธีการศึกษา

งานวิจัยนี้มีวิธีการศึกษาดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ผังแสดงขั้นตอนการวิจัย

4.1 จัดทำแบบสอบถามเพื่อสำรวจปัจจัยที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตกาแฟ

ผู้วิจัยจัดทำแบบสอบถามเพื่อสำรวจปัจจัยที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตกาแฟ โดยผู้ตอบแบบสอบถามคือ เกษตรกรและผู้เชี่ยวชาญในการปลูกกาแฟในจังหวัดน่านที่มาร่วมงานเสวนาโอกาสกาแฟน่าน มีผู้ตอบแบบสอบถามจำนวน 30 ราย

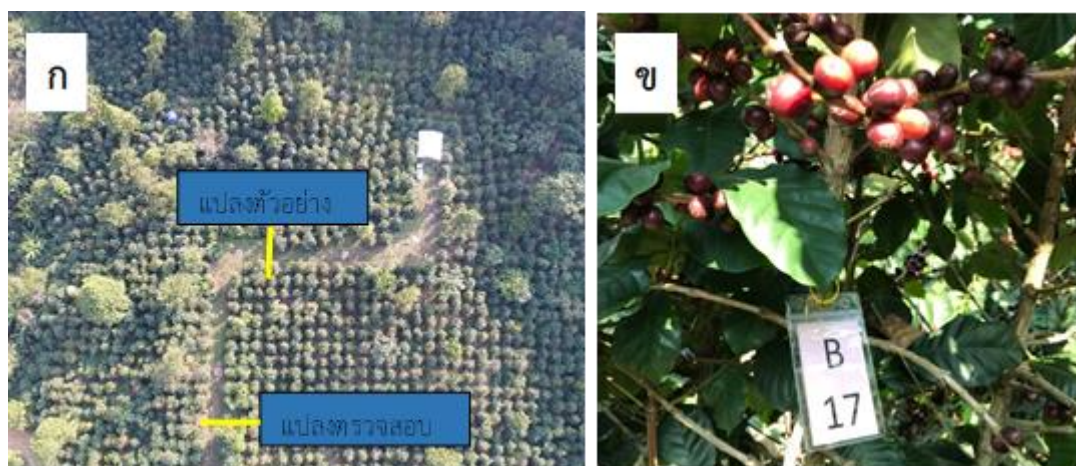
4.2 การกำหนดแปลงตัวอย่างเพื่อเก็บข้อมูลของต้นกาแฟ

การศึกษานี้ผู้วิจัยกำหนดแปลงตัวอย่างจำนวน 4 แปลง (ภาพที่ 3) กำหนดแปลงศึกษา คือ แปลง A แปลง B แปลง C และแปลง D จำนวนแปลงละ 30 ต้น และกำหนดแปลงตรวจสอบ 1 แปลง จำนวน 30 ต้น ซึ่งมีความแตกต่างกันด้านอายุของ ต้นกาแฟและความสูงของพื้นที่เหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง โดยแปลงกาแฟมีอายุ 4-7 ปี มีความสูงของพื้นที่ประมาณ 690-1,440 เมตร เหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง และพื้นที่รวมทั้งหมดประมาณ 93 ไร่



ภาพที่ 3 ตำแหน่งของแปลงปลูกกาแฟที่ใช้ในการศึกษา

ผู้วิจัยสร้างแปลงตัวอย่างและแปลงตรวจสอบสำหรับเก็บข้อมูลลักษณะทางกายวิภาคของต้นกาแฟ โดยทุกแปลง ตัวอย่างจะมีป้ายรหัสคล้องไว้กับต้นกาแฟทุกต้น ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 การกำหนดแปลงตัวอย่าง แปลงตรวจสอบ และวิธีการติดป้ายรหัสของต้นกาแฟ

4.3 การสำรวจเก็บข้อมูลต้นกาแฟในภาคสนาม

ผู้วิจัยเก็บข้อมูลลักษณะกายวิภาคของต้นกาแฟทุกต้นในแปลงตัวอย่างและแปลงตรวจสอบ ได้แก่ ข้อมูลความสูง ขนาดทรงพุ่ม และเส้นผ่านศูนย์กลางต้นกาแฟ รวมถึงข้อมูลน้ำหนักผลผลิตกาแฟ ซึ่งข้อมูลจากการสำรวจภาคสนามจะนำไปใช้ในการอ้างอิงและตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลความสูงและขนาดทรงพุ่มของต้นกาแฟที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับ

4.3.1 การเก็บข้อมูลความสูงของต้นกาแฟ

ผู้วิจัยใช้ไม้วัดระดับเพื่อวัดความสูงของต้นกาแฟในแปลงตัวอย่างและแปลงตรวจสอบ

4.3.2 การเก็บข้อมูลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นกาแฟ

ผู้วิจัยใช้สายวัดเพื่อวัดขนาดของลำต้นกาแฟในแปลงตัวอย่างและแปลงตรวจสอบ เนื่องจากต้นไม้แต่ละชนิดมีลักษณะพิเศษที่แตกต่างกัน จึงต้องพิจารณาตามลักษณะของต้นไม้ชนิดนั้น ๆ (Chingchai, 2003) การวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นกาแฟนั้นวัดจากขนาดลำต้นที่กว้างที่สุดคือบริเวณโคนต้นที่ก่อนจะแตกกิ่งแขนงที่ 1 ออกไป

4.3.3 การวัดขนาดทรงพุ่มของต้นกาแฟ

ผู้วิจัยใช้ไม้วัดระยะเพื่อวัดระยะความกว้างของทรงพุ่มต้นกาแฟในส่วนที่กว้างที่สุด เนื่องจากขนาดทรงพุ่มอาจบ่งบอกถึงความอุดมสมบูรณ์และจำนวนกิ่งของกาแฟที่สามารถให้ดอกผลกาแฟได้

4.3.4 การเก็บข้อมูลน้ำหนักผลผลิตกาแฟ

ผู้วิจัยได้ติดถุงเพื่อเก็บและบันทึกค่าน้ำหนักของผลผลิตทุกต้นในแปลงตัวอย่างและแปลงตรวจสอบ ในการเก็บข้อมูลต้นกาแฟ 1 ต้น อาจต้องเก็บผลผลิต 2-3 ครั้ง เนื่องจากแม้ว่าเมล็ดกาแฟจะมาจากต้นเดียวกัน แต่ก็อาจจะสุกไม่พร้อมกัน

4.4 การสำรวจเก็บข้อมูลด้วยอากาศยานไร้คนขับ

อากาศยานไร้คนขับสามารถเก็บข้อมูลความสูงของต้นไม้ได้ โดยอากาศยานไร้คนขับจะบันทึกข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศและสร้างข้อมูลสามมิติด้วยกระบวนการทางโฟโตแกรมเมตรี (Photogrammetry) เพื่อให้ได้ข้อมูลกลุ่มของจุดสามมิติที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองเชิงเลข (digital surface model: DSM) แบบจำลองความสูง (digital terrain model: DTM) และภาพถ่ายออร์โธรีซีเชิงเลข ซึ่งมีรายละเอียดของแต่ละขั้นตอนดังต่อไปนี้

4.4.1 การกำหนดค่าพิกัดอ้างอิงในพื้นที่ศึกษา

การกำหนดจุดควบคุมภาคพื้นดิน (ground control point: GCP) และจุดตรวจสอบ (check point: CP) จะต้องเลือกจุดที่มีลักษณะการมองเห็นจากการถ่ายภาพได้ชัดเจน เช่น มุมแปลงที่ดิน คันทนา มุมถนน เป็นต้น ควรเป็นที่โล่งแจ้ง ไม่มีสิ่งใดปกคลุมหรือกีดขวาง เพื่อไม่ให้เป็นอุปสรรคในการบินถ่ายภาพและการรับสัญญาณดาวเทียม โดยใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เป็นตัวรับสัญญาณเพื่อประมวลผลเชิงตำแหน่ง ณ จุดที่อุปกรณ์รับสัญญาณตั้งอยู่ (global navigation satellite system: GNSS) วางเป้าสำหรับสร้างจุดควบคุมภาคพื้นดินและจุดตรวจสอบ ซึ่งทำจากแผ่นพลาสติกที่มีสีส้มเห็นได้ชัดเจน มีขนาดความกว้าง 1 เมตร ความยาว 1 เมตร (ภาพที่ 5) ผู้วิจัยกำหนดจุดควบคุมภาคพื้นดิน จำนวนแปลงละ 6 จุด และจุดตรวจสอบ จำนวนแปลงละ 3 จุด วางกระจายทั่วพื้นที่



ภาพที่ 5 การกำหนดจุดควบคุมภาคพื้นดินและจุดตรวจสอบ

4.4.2 การสำรวจจริงวัดค่าพิกัดของจุดควบคุมภาคพื้นดินและจุดตรวจสอบ

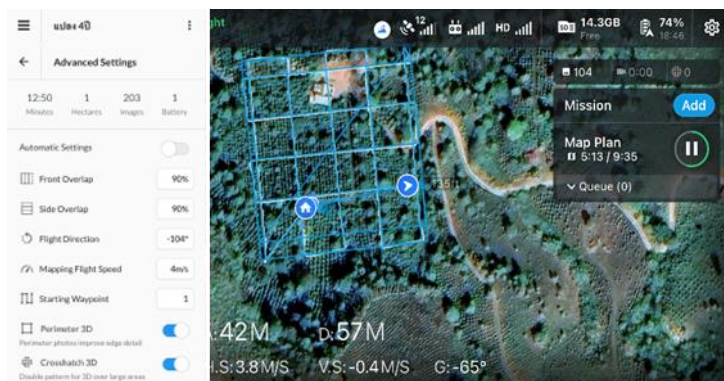
การสำรวจจริงวัดด้วยวิธีการรับวัดดาวเทียมแบบจลน์ (real time kinematics: RTK) ผู้วิจัยเชื่อมโยงค่าพิกัดจากหอดูดาวหลักฐานจากระบบโครงข่ายการรับวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ของกรมที่ดิน ค่าพิตอป (PDOP) หรือค่าที่ใช้ในการบ่งชี้ความถูกต้องของตำแหน่งของจุดที่ทำการรับสัญญาณดาวเทียมที่คำนวณได้ ณ เวลาใด ๆ ขณะทำการรับวัดไม่เกิน 5.0 ค่า RMSE ในทางราบไม่เกิน 3.0 เซนติเมตร ผลการรับวัดเป็นแบบฟิกซ์ (fixed) รับสัญญาณดาวเทียมทุก 1 วินาที และได้ข้อมูลการรับสัญญาณดาวเทียมไม่น้อยกว่า 60 วินาทีอย่างต่อเนื่อง 3 ครั้ง โดยใช้เครื่องควบคุมการบินที่ข้อมูลสัญญาณดาวเทียม (GNSS controller) CHCNAV รุ่น HCE 600 และเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม CHCNAV รุ่น i90 IMU-RTK GNSS (ภาพที่ 6)



ภาพที่ 6 การสำรวจรังวัดค่าพิกัดของจุดควบคุมภาคพื้นดินและจุดตรวจสอบ

4.4.3 การสร้างภาพถ่ายทางอากาศจากอากาศยานไร้คนขับ

การศึกษารั้วนี้ใช้อากาศยานไร้คนขับประเภทปีกหมุน (multi rotor) ยี่ห้อ DJI รุ่น Phantom 4PRO ติดตั้งกล้องถ่ายภาพที่มีความละเอียด 20 ล้านพิกเซล กำหนดให้อากาศยานบินสำรวจที่ระดับความสูง 50 เมตรจากพื้นดิน ในการถ่ายภาพกำหนดให้มีส่วนซ้อนของภาพ (overlap) ร้อยละ 90 และส่วนเกยของภาพ (sidelap) ร้อยละ 90 (ภาพที่ 7) ตอร์เรส-ซานเชสและคณะ (Torres-Sánchez et al., 2013) กล่าวว่า การทำแผนที่ด้วยอากาศยานไร้คนขับต้องถ่ายภาพด้วยการซ้อนทับภาพสูงเพื่อให้เกิดค่าความถูกต้องทางพิกัดสูงสุด และกำหนดเส้นทางการบินแบบ Double Grid ภาพถ่ายที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับจะได้รับการบันทึกด้วยไฟล์นามสกุล .JPG



ภาพที่ 7 ตัวอย่างการกำหนดระดับความสูงของการบิน ส่วนซ้อน ส่วนเกย และการบินถ่ายภาพ

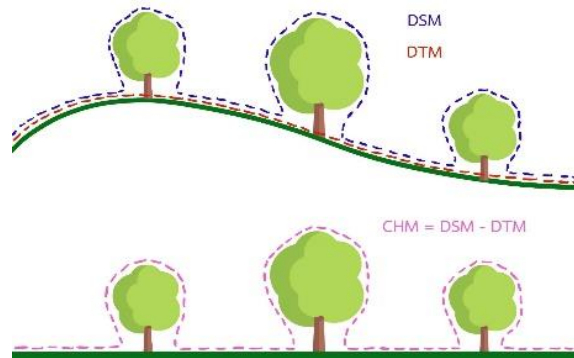
4.4.4 การประมวลผลข้อมูลที่ได้จากการถ่ายภาพทางอากาศ

การประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศด้วยโปรแกรม Pix4Dmapper เพื่อสร้างข้อมูลจุดพิกัดสามมิติ ข้อมูล DSM ข้อมูล DTM ข้อมูลภาพออร์โธ และคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนของ GCP และ CP งานวิจัยครั้งนี้ใช้มาตรฐานความถูกต้องทางตำแหน่งของข้อมูลเชิงพื้นที่ที่กำหนดโดยสมาคม American Society for Photogrammetry and Remote Sensing 2014 (ASPRS 2014) เป็นเกณฑ์ในการยอมรับความถูกต้องทั้งทางราบและทางตั้งของข้อมูลที่ได้จากภาพถ่ายทางอากาศจากการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ

4.4.5 การหาค่าความสูงของต้นกาแฟจากข้อมูลอากาศยานไร้คนขับ

ความสูงของต้นกาแฟสามารถคำนวณได้จากผลต่างของข้อมูล DSM และข้อมูล DTM (ภาพที่ 8) เพื่อสร้างแบบจำลองความสูงชั้นเรือนยอด (canopy height model: CHM) ดังนี้

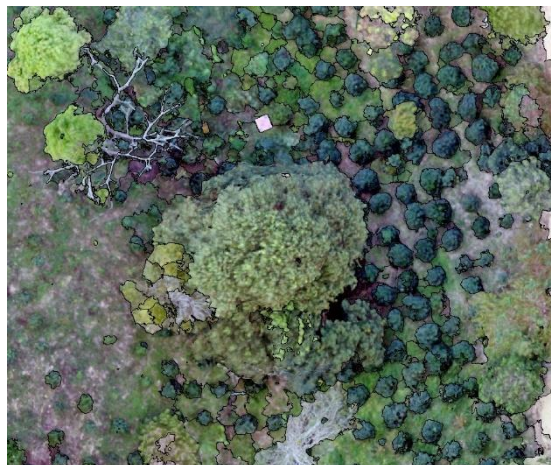
$$CHM = DSM - DTM \quad (1)$$



ภาพที่ 8 การคำนวณความสูงต้นไม้อากาศจากข้อมูลอากาศยานไร้คนขับ

4.4.6 การประมาณค่าขนาดทรงพุ่มของต้นกาแฟจากข้อมูลอากาศยานไร้คนขับ

ผู้วิจัยใช้วิธีการจำแนกข้อมูลภาพหรือแบ่งส่วนภาพ (image segmentation) ทำให้สามารถกำหนดขอบเขตของต้นกาแฟบนภาพถ่ายทางอากาศจากอากาศยานไร้คนขับได้อย่างแม่นยำด้วยโปรแกรม ArcGIS Pro กระบวนการดังกล่าวเป็นการแบ่งส่วนภาพออกเป็นหลายพื้นที่หรือหลายวัตถุ ตามลักษณะที่เป็นเนื้อเดียวกันและมีความสัมพันธ์กัน โดยเป็นการจำแนกในระดับพิกเซลว่าพิกเซลในแต่ละตำแหน่งเป็นวัตถุชนิดใด โดยพิจารณาจากมาตราส่วน สี รูปร่าง การเกาะกลุ่ม และความเรียบ (ภาพที่ 9) จึงทำให้สามารถจำแนกทรงพุ่มของต้นกาแฟได้ ทั้งทรงพุ่มที่มีขนาดเล็กและทรงพุ่มที่มีขนาดใหญ่ และจำแนกทรงพุ่มของต้นไม้อื่นแต่ละต้นได้แม้ในพื้นที่ที่มีความหนาแน่นของต้นไม้อุดม



ภาพที่ 9 การประมาณค่าขนาดทรงพุ่มโดยวิธีแบ่งส่วนภาพ (image segmentation)

4.4.7 การประมาณค่าขนาดเส้นรอบวงต้นกาแฟให้กับข้อมูลที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับ

ในการประมาณค่าขนาดเส้นรอบวงต้นกาแฟให้กับข้อมูลที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับ เป็นการหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสูงและขนาดเส้นรอบวงจากข้อมูลภาคสนาม ความสัมพันธ์ดังกล่าวจะช่วยให้การประมาณค่าขนาดเส้นรอบวงของต้นกาแฟจากอากาศยานไร้คนขับได้ ผู้วิจัยเลือกใช้วิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (linear regression)

4.5 การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลจากอากาศยานไร้คนขับ

เมื่อได้ค่าความสูง ขนาดทรงพุ่ม และขนาดเส้นรอบวงของต้นกาแฟ ทั้งจากอากาศยานไร้คนขับและจากการเก็บข้อมูลภาคสนามที่ได้จากการวัดจริงด้วยการรังวัดแบบจลน์ โดยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม CHCNAV แล้ว จากนั้นนำค่ามาคำนวณการตรวจสอบความถูกต้องด้วยค่า RMSE ดังนี้

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

โดยที่ X_{uav} คือ ค่าความสูง ขนาดทรงพุ่ม และขนาดเส้นรอบวงลำต้นที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับ
 X_{obs} คือ ค่าความสูง ขนาดทรงพุ่ม และขนาดเส้นรอบวงลำต้นจากภาคสนาม
 n คือ จำนวนต้นกาแฟทั้งหมด

ค่า RMSE เป็นการวัดค่าความแตกต่างระหว่างค่าที่ได้จากภาคสนาม (ค่าจริง) และค่าที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับ (แบบจำลอง) ยกกำลังสอง หากค่า RMSE มีค่าน้อยแสดงว่าอากาศยานไร้คนขับสามารถประมาณค่าได้ใกล้เคียงกับค่าจากภาคสนาม แต่หากมีค่าเท่ากับศูนย์หมายความว่าไม่เกิดความคลาดเคลื่อน

4.6 การหาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลจากอากาศยานไร้คนขับและการสำรวจภาคสนาม

เมื่อประมาณค่าความสูง ขนาดทรงพุ่ม และขนาดเส้นรอบวงต้นกาแฟจากข้อมูลอากาศยานไร้คนขับแล้ว จึงนำมาเปรียบเทียบกับความสูง ขนาดทรงพุ่ม และขนาดเส้นรอบวงต้นกาแฟจากภาคสนาม โดยการใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient) หรือค่า r เพื่อประเมินความสัมพันธ์เชิงเส้นของข้อมูล ดังนี้

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (3)$$

โดยที่ r คือ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient)
 x_i คือ ค่าจากอากาศยานไร้คนขับ ที่ i ถึง n
 y_i 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 มีความสอดคล้องระดับสูงมากในทางตรงกันข้าม

r มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่าตัวแปร x และ y มีความสอดคล้องระดับสูงมากในทางเดียวกัน

r มีค่าเข้าใกล้ 0 แสดงว่าตัวแปร x และ y มีความสอดคล้องระดับน้อยมาก

r มีค่าเท่ากับ 0 แสดงว่าตัวแปร x และ y ไม่มีความสอดคล้องกัน

ทั้งนี้ การวิจัยครั้งนี้ได้ใช้เกณฑ์การแปลความหมายค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของชูศรี วงศ์รัตน์ (Chusri, 2001) ซึ่งมีการแบ่งระดับความสัมพันธ์เป็น 5 ระดับ ตั้งแต่ไม่มีความสอดคล้องจนถึงมีความสอดคล้องระดับสูงมาก (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 เกณฑ์การแปลความหมายค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r)	ความหมาย
0.91-1.00	มีความสอดคล้องระดับสูงมาก
0.71-0.90	มีความสอดคล้องระดับสูง
0.31-0.70	มีความสอดคล้องระดับปานกลาง
0.01-0.30	มีความสอดคล้องระดับต่ำ
0.00	ไม่มีความสอดคล้อง

4.7 การคำนวณดัชนีความแตกต่างของดัชนีพืชพรรณ VARI

เป็นการคำนวณค่าดัชนีความเขียว โดยคำนวณจากช่วงคลื่นที่ตามองเห็น ซึ่งเหมาะสำหรับการวิเคราะห์ดัชนีพืชพรรณของพืชในระดับท้องถิ่นหรือในพื้นที่ขนาดเล็ก การวิเคราะห์ดัชนีพืชพรรณด้วยเทคนิค VARI จะใช้ช่วงคลื่นที่มองเห็นได้ในชั้นบรรยากาศ ได้แก่ ช่วงคลื่นสีแดง ช่วงคลื่นสีเขียว และช่วงคลื่นสีน้ำเงิน จากค่าสีภาพออร์โธ เพื่อดูความเขียวของต้นกาแฟในพื้นที่ศึกษาการวิเคราะห์ดัชนีพืชพรรณ VARI มีพื้นฐานมาจากดัชนี Atmospherically Resistant Vegetation เป็นดัชนีที่ต่อยอดมาจากดัชนีความแตกต่างพืชพรรณ (normalized difference vegetation index: NDVI) โดยดัชนี VARI ใช้ในการพยากรณ์สิ่งต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับพืช หรือใช้ติดตามการเปลี่ยนแปลงความสมบูรณ์ของพืชในแปลงเกษตรแบบทันที โดยเฉพาะการใช้ข้อมูลจากอากาศยานไร้คนขับ สามารถคำนวณ VARI ได้ดังนี้ (Gitelson, et al., 2002)

$$VARI = \frac{Green - Red}{Green + Red - Blue} \quad (4)$$

โดยที่

Green	คือ ค่าการสะท้อนของช่วงคลื่นสีเขียว
Red	คือ ค่าการสะท้อนของช่วงคลื่นสีแดง
Blue	คือ ค่าการสะท้อนของช่วงคลื่นสีน้ำเงิน

4.8 การประมาณค่าจำนวนผลผลิตกาแฟจากลักษณะของต้นกาแฟ

ปัจจัยทั้งหมดที่จะใช้ในการประมาณค่าจำนวนผลผลิตกาแฟในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยใช้ข้อมูลจากอากาศยานไร้คนขับ ได้แก่ ความสูง ขนาดทรงพุ่ม ขนาดเส้นรอบวง และดัชนีพืชพรรณ VARI นำมาประมาณค่าผลผลิตกาแฟ จากการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณ (สมการที่ 5) เป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม 1 ตัวแปร และตัวแปรอิสระ 2 ตัวแปร ขึ้นไป โดยใช้ข้อมูลจากแปลง A, B, C และ D ในการสร้างสมการ และใช้ข้อมูลจากแปลงตรวจสอบที่เตรียมไว้ 1 แปลงสำหรับตรวจสอบสมการที่ได้

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n \quad (5)$$

โดยที่ Y คือ น้ำหนักผลผลิตกาแฟ (กิโลกรัม)
 X_1, X_2, X_3, X_4 คือ ความสูง ขนาดทรงพุ่ม ขนาดเส้นรอบวง และ VARI ตามลำดับ (เมตร)
 $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์ที่บ่งบอกถึงความสัมพันธ์ของตัวแปร

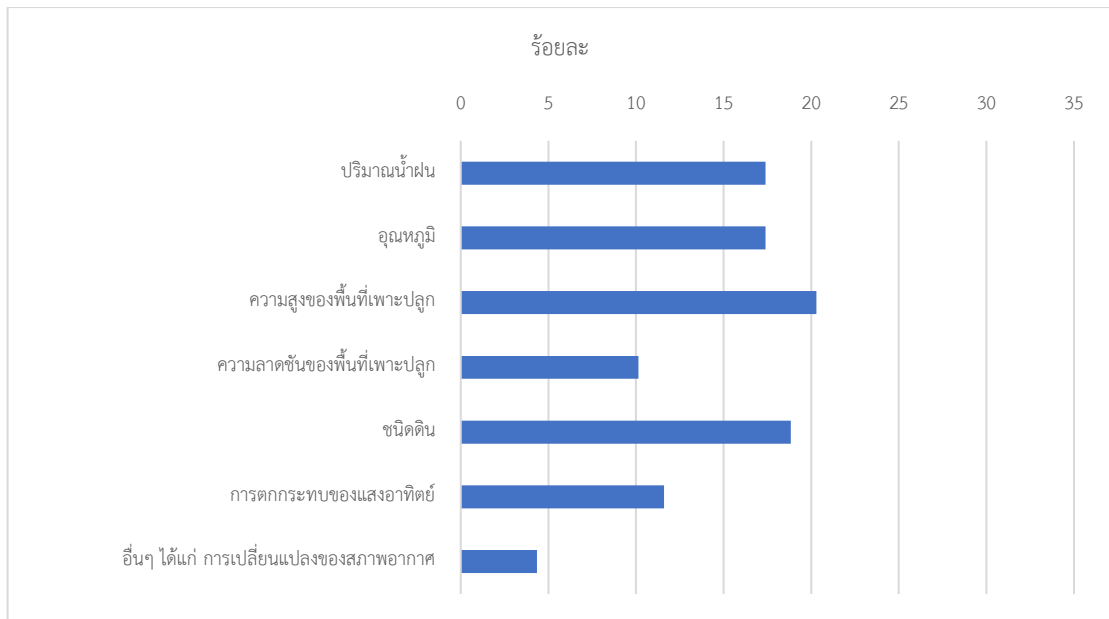
5. ผลการวิจัย

ผลการวิจัยประกอบด้วยการวิเคราะห์ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการให้ผลผลิตกาแฟ และการประเมินผลผลิตกาแฟพันธุ์อาราบิก้าจากข้อมูลอากาศยานไร้คนขับ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

5.1 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการให้ผลผลิตกาแฟ

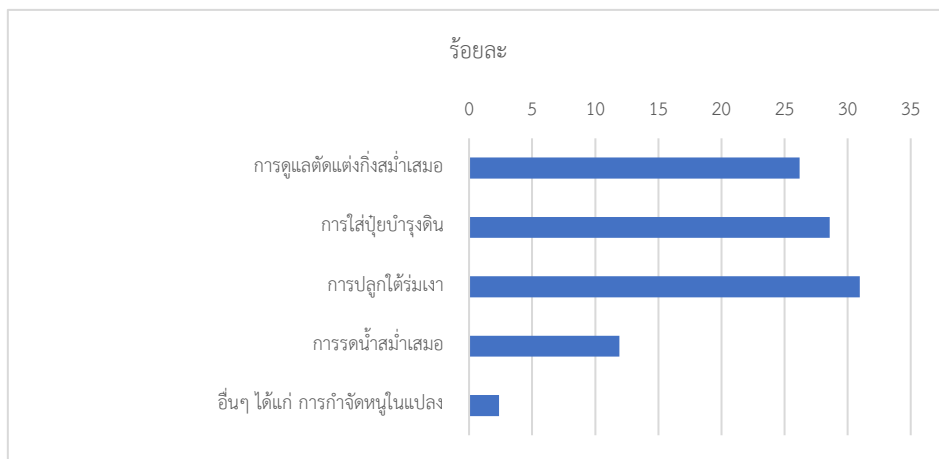
ผลการวิเคราะห์ด้านข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับการปลูกกาแฟ พบว่าเกษตรกรในอำเภอท่าวังผาส่วนใหญ่ปลูกกาแฟพันธุ์อาราบิก้า เนื้อที่เพาะปลูก 1-5 ไร่ต่อราย ประสบการณ์เกี่ยวกับการปลูกและการดูแลต้นกาแฟส่วนใหญ่รายละเอียดไม่ต่ำกว่า 1-3 ปี เหตุผลสำคัญที่กลุ่มเกษตรกรผู้ให้ข้อมูลส่วนใหญ่เลือกปลูกกาแฟคือต้องการช่วยอนุรักษ์ระบบนิเวศและเพิ่มพื้นที่ป่า รองลงมาคือมีหน่วยงานให้การสนับสนุน และปลูกเพื่อเสริมกับพืชเศรษฐกิจอื่น ตามลำดับ

ผลการวิเคราะห์ด้านปัจจัยทางธรรมชาติที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของต้นกาแฟ เกษตรกรมีความคิดเห็นว่า ความสูงของพื้นที่ปลูกส่งผลต่อการเจริญเติบโตของต้นกาแฟมากที่สุด ร้อยละ 20.29 รองลงมาคือชนิดของดิน ร้อยละ 18.84 (ภาพที่ 10)



ภาพที่ 10 ร้อยละคำตอบของปัจจัยทางธรรมชาติที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของต้นกาแฟ

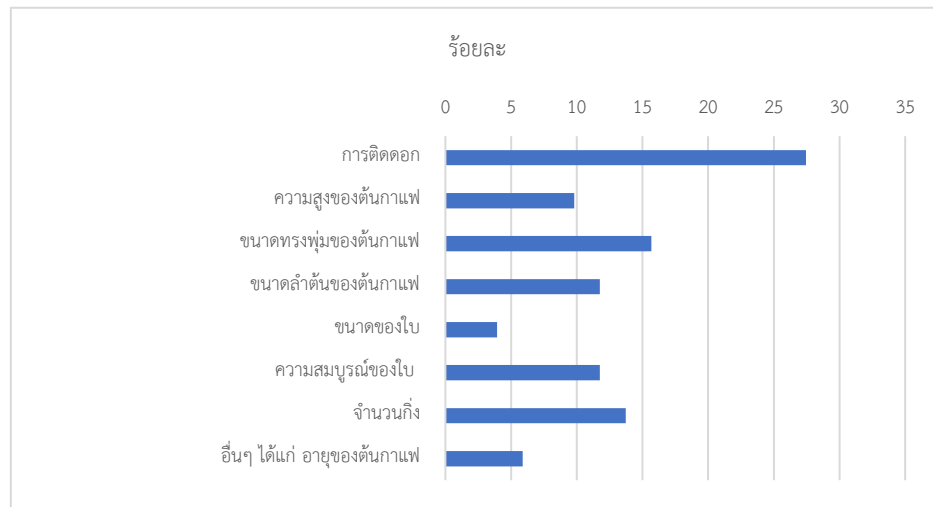
ผลการวิเคราะห์ด้านปัจจัยที่ส่งเสริมให้ต้นกาแฟให้ผลผลิตที่มีคุณภาพ เกษตรกรมีความคิดเห็นว่า การปลูกได้ร่มเงาส่งเสริมให้ต้นกาแฟให้ผลผลิตที่มีคุณภาพมากที่สุด ร้อยละ 30.95 รองลงมาคือการใส่ปุ๋ยบำรุงดิน ร้อยละ 28.59 (ภาพที่ 11)



ภาพที่ 11 ร้อยละคำตอบของปัจจัยที่ส่งเสริมให้ต้นกาแฟให้ผลผลิตที่มีคุณภาพ

ผลการวิเคราะห์ด้านปัจจัยทางกายวิภาคของต้นกาแฟที่สามารถคาดการณ์ปริมาณผลผลิตของต้นกาแฟในแต่ละปี เกษตรกรมีความคิดเห็นว่า การติดดอกเป็นปัจจัยทางกายวิภาคของต้นกาแฟที่สามารถคาดการณ์ปริมาณผลผลิตของต้นกาแฟมากที่สุด ร้อยละ 27.45 รองลงมาคือขนาดทรงพุ่มของต้นกาแฟ ร้อยละ 15.69 (ภาพที่ 12) ผู้เชี่ยวชาญในการปลูกกาแฟให้ข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับการติดดอกของต้นกาแฟว่า ดอกจะออกจากกิ่งแขนงจากข้อที่อยู่ใกล้กับลำต้นออกไปหาปลายกิ่งแขนง โดยปกติแล้วต้นกาแฟจะออกดอกเป็นกลุ่ม ๆ ตามข้อของกิ่งหรือชอกกิ่ง

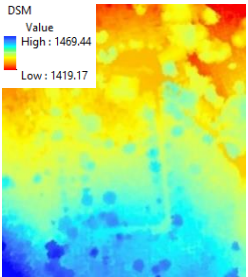
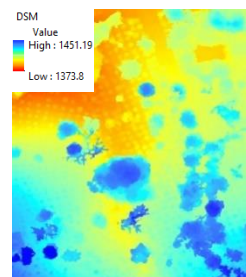
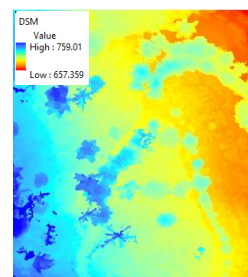
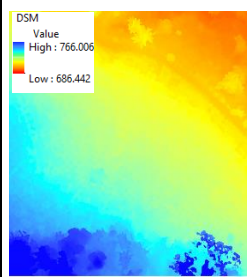
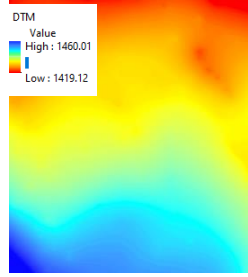
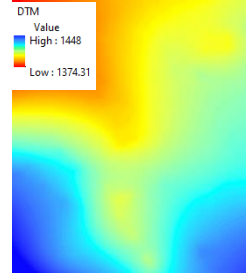
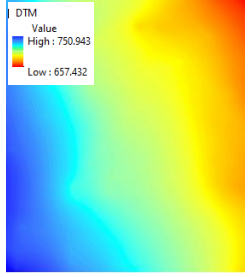
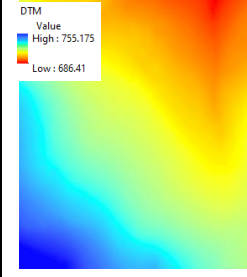
หากดอกกาแฟไม่หลุดออกจากต้นก่อน ดอกกาแฟทุกดอกจะกลายเป็นผลกาแฟเสมอ และข้อที่ออกดอกออกผลแล้วในปีต่อไปก็จะไม่ออกดอกและให้ผลอีก



ภาพที่ 12 ร้อยละคำตอบของปัจจัยทางกายวิภาคของต้นกาแฟที่สามารถคาดการณ์ปริมาณผลผลิต

5.2 การประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ

การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยใช้กระบวนการโฟโตแกรมเมตรีในการประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับด้วยโปรแกรม Pix4Dmapper เพื่อสร้างข้อมูล DSM ข้อมูล DTM และข้อมูลภาพออร์โธ เพื่อนำไปใช้หาค่ากายวิภาคต้นกาแฟ โดยแปลง A จำนวนภาพที่ใช้ประมวลผล 171 ภาพ ความละเอียดของจุดภาพ 0.0183 เมตร แปลง B จำนวนภาพที่ใช้ประมวลผล 222 ภาพ ความละเอียดของจุดภาพ 0.0167 เมตร แปลง C จำนวนภาพที่ใช้ประมวลผล 240 ภาพ ความละเอียดของจุดภาพ 0.0227 เมตร และแปลง D จำนวนภาพที่ใช้ประมวลผล 272 ภาพ ความละเอียดของจุดภาพ 0.0177 เมตร (ภาพที่ 13)

ข้อมูล	แปลง A อายุ 7 ปี	แปลง B อายุ 4 ปี	แปลง C อายุ 6 ปี	แปลง D อายุ 7 ปี
Ortho Photo	 มาตราส่วน 1: 500	 มาตราส่วน 1: 500	 มาตราส่วน 1: 500	 มาตราส่วน 1: 500
DSM	 DSM Value High : 1469.44 Low : 1419.17	 DSM Value High : 1451.19 Low : 1373.8	 DSM Value High : 759.01 Low : 657.399	 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 13 แสดงผลการประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ

สำหรับการปรับแก้ความถูกต้องของภาพถ่ายทางอากาศที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับ จากจุดควบคุมภาคพื้นดินและจุดตรวจสอบทางราบและทางตั้งด้วยโปรแกรม Pix4Dmapper ค่า RMSE (เมตร) ของแกน X, Y และ Z ดังตารางที่ 2 และตารางที่ 3 ตามลำดับ

ตารางที่ 2 ความคลาดเคลื่อนของจุดควบคุมภาคพื้นดิน

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

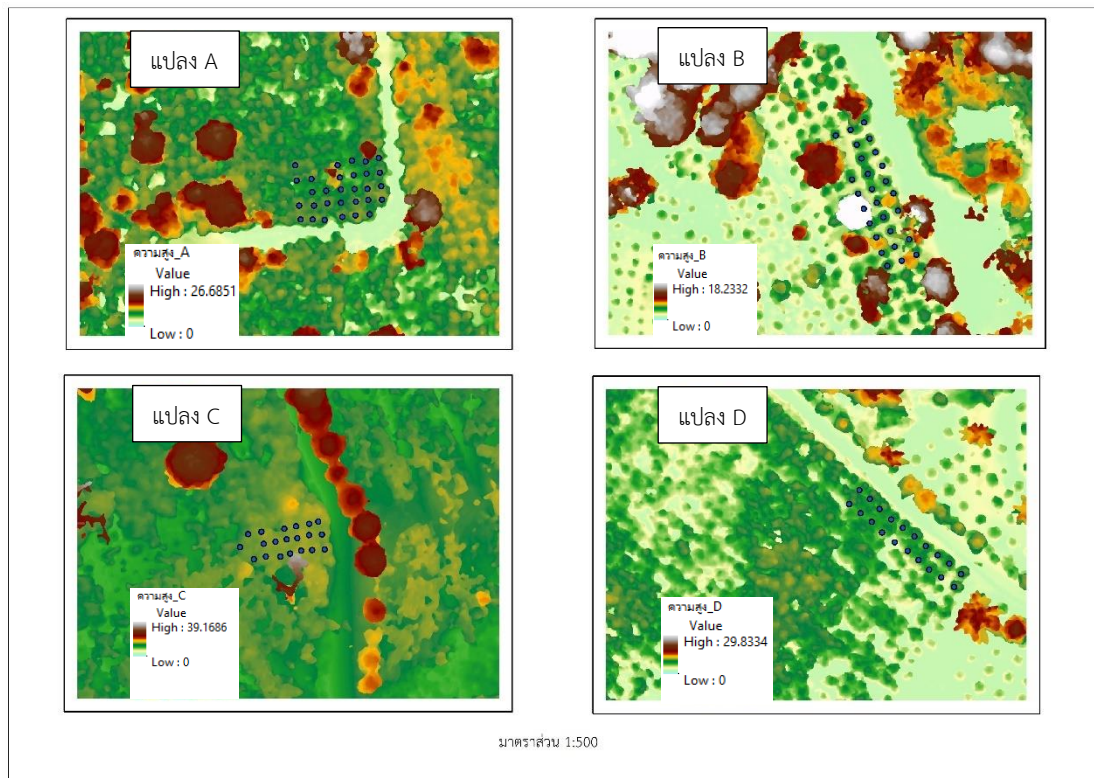
ตารางที่ 3 ความคลาดเคลื่อนของจุดตรวจสอบทางราบและทางตั้ง

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

เมื่อเปรียบเทียบความถูกต้องทางตำแหน่งกับข้อกำหนดของสมาคม ASPRS 2014 พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งของการสำรวจรังวัดจุดตรวจสอบด้วยวิธี RTK ให้ความคลาดเคลื่อนระดับเดซิเมตร และเมื่อพิจารณาความคลาดเคลื่อนทางตั้งของข้อมูลความสูงพื้นผิวที่มีพืชปกคลุมจะอยู่ในเกณฑ์ชั้นงานที่ 1 สามารถผลิตข้อมูล DSM ข้อมูล DTM และภาพถ่ายออร์โธ ซึ่งนำไปใช้ในการประมาณค่าความสูงของต้นไม้และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นไม้ได้ เพื่อใช้ในการประมาณจำนวนผลผลิตของกาแฟในลำดับถัดไป

5.3 การหาค่าความสูงจากข้อมูลอากาศยานไร้คนขับและตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล

การประมาณหาค่าความสูงต้นกาแฟได้มาจากผลต่างของ DSM กับ DTM เพื่อสร้างแบบจำลองความสูงของชั้นเรือนยอด 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 (ภาพที่ 14) จากนั้นผู้วิจัยเลือกเฉพาะข้อมูลความสูงของต้นกาแฟจากพิกัดของต้นกาแฟที่เก็บตัวอย่างข้อมูลไว้

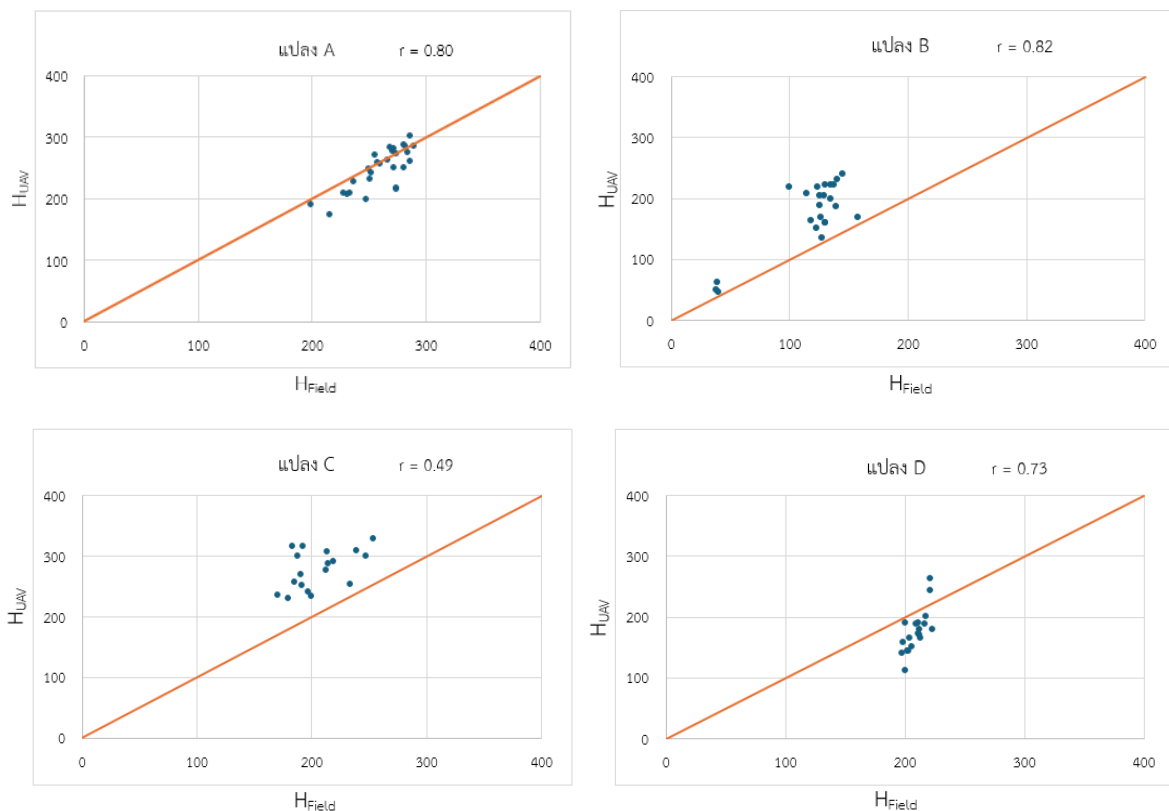


ภาพที่ 14 ความสูงของชั้นเรือนยอดจากการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ

ผู้วิจัยเก็บข้อมูลความสูงของต้นกาแฟในแปลงตัวอย่าง เพื่อนำมาวิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสองของความสูงต้นไม้ที่ได้จากการสำรวจภาคสนามและความสูงต้นไม้ที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับ พบว่าค่า RMSE อยู่ระหว่าง 0.14-0.76 เมตร (ตาราง 4) โดยแปลงที่มีค่า RMSE น้อยที่สุดคือแปลง B มีค่าเท่ากับ 0.14 เมตร แปลงที่มีค่า RMSE มากที่สุดคือแปลง C มีค่าเท่ากับ 0.76 เมตร เนื่องจากอายุของต้นกาแฟแปลง B น้อยสุด ความสูงของลำต้นกาแฟจึงยังไม่มาก อยู่ในระดับที่วัดความสูงได้ง่าย ทำให้การเก็บข้อมูลความสูงจากภาคสนามมีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด เมื่อพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของค่าความสูงต้นกาแฟในแต่ละแปลง พบว่าความสูงของต้นกาแฟที่ได้จากการสำรวจภาคสนามกับความสูงของต้นไม้ที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับมีค่า r อยู่ระหว่าง 0.49-0.82 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของข้อมูลในระดับปานกลางถึงระดับสูง (ภาพที่ 15) ทั้งนี้ผู้วิจัยพบว่าแปลงตัวอย่าง A มีความสัมพันธ์ของข้อมูลความสูงของต้นกาแฟมากที่สุด ($r = 0.82$) แปลงตัวอย่าง C มีความสัมพันธ์ของข้อมูลความสูงของต้นกาแฟน้อยที่สุด ($r = 0.49$) เมื่อพิจารณาค่าความสัมพันธ์ของข้อมูลความสูงของต้นกาแฟ แปลง A, B, D มีความสัมพันธ์กัน ยกเว้นแปลง C อาจเนื่องมาจากลักษณะการวางตัวของต้นกาแฟในแปลง C ที่ไม่เป็นระเบียบ จึงส่งผลต่อการวัดค่าความสูงจากการสำรวจภาคสนาม ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนมากกว่าแปลงอื่น

ตารางที่ 4 ความสูงของต้นกาแฟในที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับและการสำรวจภาคสนาม

แปลง	ความสูงจากการสำรวจภาคสนาม H_{Field} (เมตร) X				ความสูงจากอากาศยานไร้คนขับ H_{UAV} (เมตร) Y				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 15 ความสัมพันธ์ของความสูงต้นกาแฟจากการสำรวจภาคสนาม (H_{Field}) และจากอากาศยานไร้คนขับ (H_{UAV})

5.4 การประมาณค่าขนาดทรงพุ่มต้นกาแฟจากข้อมูลอากาศยานไร้คนขับและตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล

ในการประมาณค่าขนาดทรงพุ่มต้นกาแฟ ผู้วิจัยใช้โปรแกรม ArcGIS Pro โดยเลือกใช้วิธีการแบ่งส่วนภาพ (segmentation) ซึ่งในแต่ละแปลงต้องกำหนดค่าดัชนีการสะท้อน (spectral detail) ขนาดภาพเชิงพื้นที่ (spatial detail) และขนาดส่วนภาพขั้นต่ำ (minimum segment size) ของแต่ละจุดภาพ ในแต่ละแปลงจะกำหนดค่าดังกล่าวแตกต่างกันตามความเหมาะสมกับภาพถ่ายออร์โธรีทีนามาวิเคราะห ผู้วิจัยได้ทดลองเลือกค่าที่เหมาะสมโดยให้ผลลัพธ์ตรงกับค่าจริงมากที่สุด (ตารางที่ 5) โดยใช้

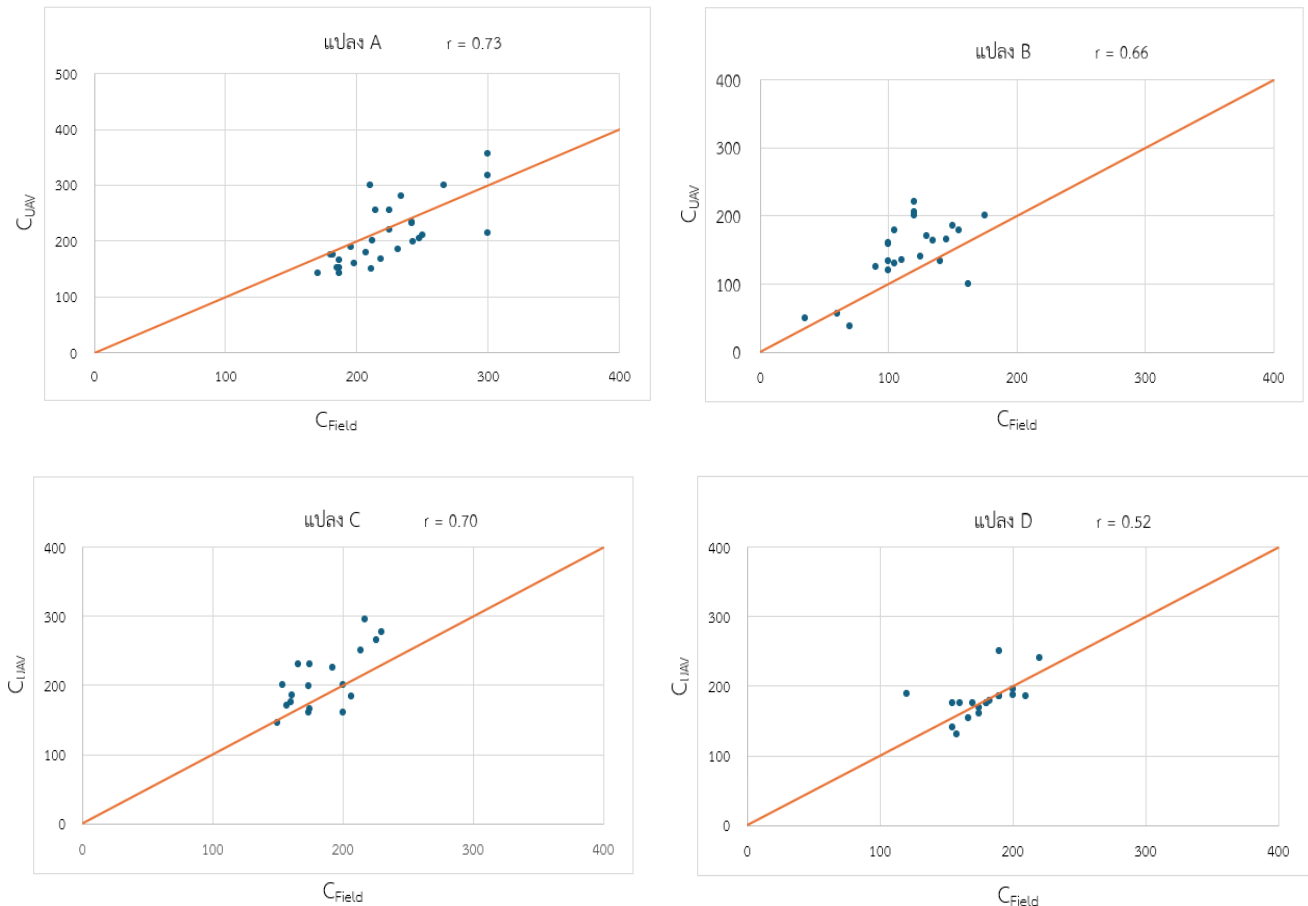
ค่าพิกัดของตำแหน่งต้นกาแฟที่ได้จากการเก็บข้อมูลภาคสนามมาช่วยในการแยกต้นกาแฟออกจากพืชชนิดอื่น ๆ เมื่อแยกทรงพุ่มของกาแฟแต่ละต้นได้แล้ว ต้องนำข้อมูลไปประมาณค่าของขนาดทรงพุ่มในแต่ละต้น ผลการวิเคราะห์พบว่า ค่า RMSE อยู่ระหว่าง 0.25-0.47 เมตร ขนาดทรงพุ่มทั้ง 4 แปลงมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสองไม่แตกต่างกันมาก (ตารางที่ 6) โดยแปลงที่มีค่า RMSE น้อยที่สุดคือแปลง D มีค่า RMSE เท่ากับ 0.25 เมตร และแปลงที่มีค่า RMSE มากที่สุดคือแปลง B มีค่า RMSE เท่ากับ 0.47 เมตร เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของขนาดทรงพุ่มต้นกาแฟในแต่ละแปลง พบว่าขนาดทรงพุ่มต้นที่ได้จากการสำรวจภาคสนามกับขนาดทรงพุ่มที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับมีค่า r อยู่ระหว่าง 0.52-0.73 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระดับปานกลางถึงความสัมพันธ์ระดับสูง (ภาพที่ 16) ทั้งนี้ ผู้วิจัยพบว่าแปลงตัวอย่าง A มีความสัมพันธ์ของข้อมูลความสูงของต้นกาแฟมากที่สุด ($r = 0.73$) แปลงตัวอย่าง D มีความสัมพันธ์ของข้อมูลขนาดทรงพุ่มของต้นกาแฟน้อยที่สุด ($r = 0.52$) เมื่อพิจารณาค่าความสัมพันธ์ของข้อมูลขนาดทรงพุ่มของต้นกาแฟ แปลง A, B, C มีความสัมพันธ์ ยกเว้นแปลง D

ตารางที่ 5 กำหนดค่าเพื่อแยกส่วนภาพของขนาดทรงพุ่มต้นกาแฟ

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 6 ขนาดทรงพุ่มของต้นกาแฟที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับและการสำรวจภาคสนาม

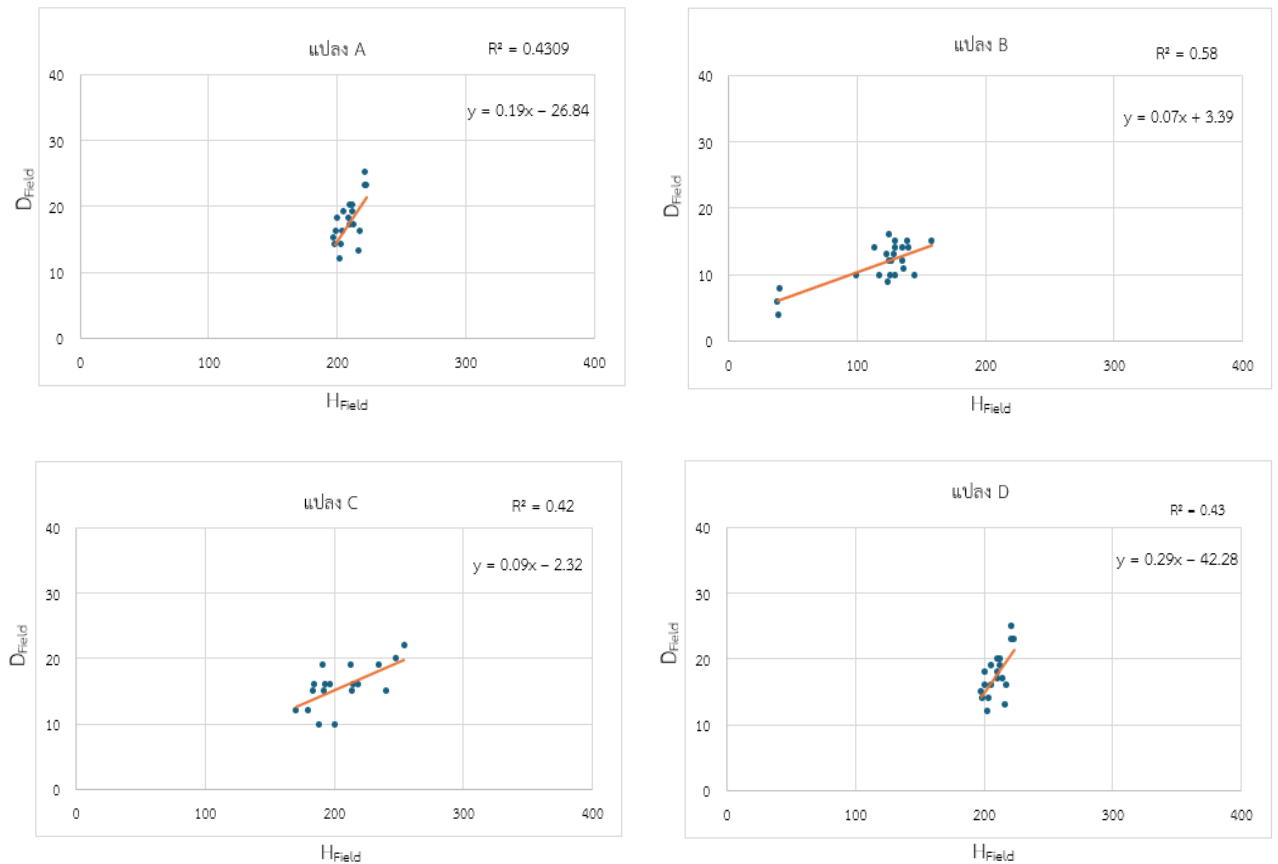
แปลง	ขนาดทรงพุ่มจากการสำรวจภาคสนาม C_{field} (เมตร) X				ขนาดทรงพุ่มจากอากาศยานไร้คนขับ C_{UAV} (เมตร) Y				r	RMSE ระหว่าง C_{field} และ C_{UAV}
	Min	Max	Mean	SD	Min	Max	Mean	SD		
A	1.70	3.00	2.23	0.36	1.42	3.57	2.11	0.57	0.73	0.41
B	0.35	1.75	1.15	0.33	0.38	2.65	1.60	0.56	0.66	0.47
C	1.50	2.30	1.85	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 16 ความสัมพันธ์ของขนาดทรงพุ่มต้นกาแฟจากการสำรวจภาคสนาม (C_{Field}) และจากอากาศยานไร้คนขับ (C_{UAV})

5.5 การประมาณค่าขนาดเส้นรอบวงต้นกาแฟจากข้อมูลอากาศยานไร้คนขับและตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล

เนื่องจากขนาดเส้นรอบวงต้นกาแฟไม่สามารถหาได้จากอากาศยานไร้คนขับ จึงต้องนำข้อมูลขนาดเส้นรอบวงลำต้นและความสูงจากข้อมูลภาคสนามไปหาค่าสัมพันธ์ในรูปแบบวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น จะได้สมการของความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลขนาดเส้นรอบวงลำต้นและความสูงของข้อมูลภาคสนาม (ภาพที่ 17) จากนั้นนำค่าความสูงต้นกาแฟจากอากาศยานไร้คนขับไปแทนค่าในสมการ (แทนค่า X รายต้น) จึงจะได้ค่าขนาดเส้นรอบวงลำต้นสำหรับเป็นข้อมูลของอากาศยานไร้คนขับ สมการผลการประมาณค่าขนาดเส้นรอบวงลำต้นพบว่า มีค่า RMSE อยู่ระหว่าง 0.05-0.51 เมตร โดยแปลงที่มีค่า RMSE น้อยที่สุดคือแปลง B มีค่าเท่ากับ 0.05 เมตร และแปลงที่มีค่า RMSE มากที่สุดคือแปลง A มีค่าเท่ากับ 0.51 เมตร เมื่อวิเคราะห์ค่าความสัมพันธ์ของขนาดเส้นรอบวงที่ได้จากการสำรวจภาคสนามและขนาดเส้นรอบวงที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับ พบว่าขนาดเส้นรอบวงของต้นกาแฟที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับมีความสัมพันธ์กับขนาดเส้นรอบวงที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม มีค่า r อยู่ระหว่าง 0.40-0.61 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์กันระดับปานกลาง โดยแปลง D มีความสัมพันธ์ของขนาดเส้นรอบวงต้นกาแฟมากที่สุด ($r = 0.61$) และแปลง C มีความสัมพันธ์ของขนาดเส้นรอบวงต้นกาแฟน้อยสุด ($r = 0.4$) ทั้ง 4 แปลงมีความสัมพันธ์กันแบบเชิงบวก หากข้อมูลขนาดเส้นรอบวงลำต้นจากภาคสนามมีค่าเพิ่มขึ้น ข้อมูลเส้นรอบวงลำต้นจากอากาศยานไร้คนขับจะเพิ่มขึ้นเช่นกัน (ตารางที่ 7)



ภาพที่ 17 ความสัมพันธ์ของความสูงต้นกาแฟและเส้นรอบวงลำต้นกาแฟจากภาคสนาม

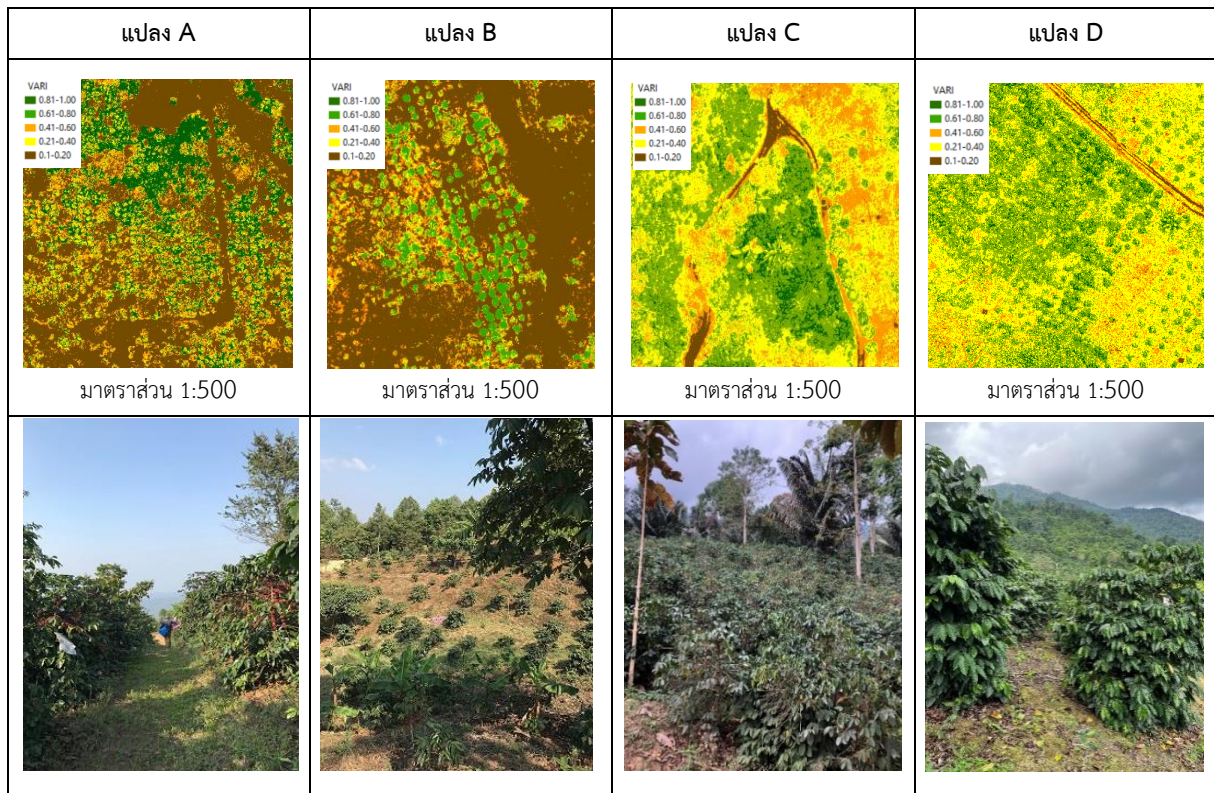
ตารางที่ 7 ขนาดเส้นรอบวงของต้นกาแฟที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับและการสำรวจภาคสนาม

แปลง	เส้นรอบวงลำต้นจากการสำรวจภาคสนาม D_{field} (เมตร) X				เส้นรอบวงลำต้นจากอากาศยานไร้คนขับ D_{UAV} (เมตร) Y				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	0.60	0.84	0.74	0.33	0.45	0.51
B	0.04	0.16	0.12	0.03	0.07	0.20	0.16	0.04	0.54	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

5.6 การคำนวณดัชนีความแตกต่างของดัชนีพืชพรรณ VARI

ผู้วิจัยใช้ค่าดัชนี VARI ในการวิเคราะห์ความเขียวของพืชจากผิวใบซึ่งช่วยประเมินความอุดมสมบูรณ์ของต้นกาแฟ โดยใช้ค่าที่ได้จากช่วงคลื่น RGB ของภาพถ่ายออร์โธที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับของแปลงตัวอย่างทั้ง 4 แปลง ผลการวิเคราะห์พบว่า แปลง B มีความสมบูรณ์ของพืชดีที่สุด รองมาคือแปลง A อาจเนื่องมาจากพื้นที่ปลูกทั้งสองแปลงอยู่บนดอยที่

สูงกว่าแปลง C และแปลง D (ภาพที่ 18) ซึ่งมีผลกับอุณหภูมิที่ต่ำกว่า อันเป็นคุณสมบัติสำคัญของการเจริญเติบโตของต้นกาแฟพันธุ์อาราบิกา โดยต้นกาแฟที่มีค่า VARI สูงจะเป็นต้นกาแฟที่มีความสมบูรณ์สูง



ภาพที่ 18 ผลการคำนวณค่าดัชนี VARI ด้วยโปรแกรม ArcGIS Pro

5.7 การประมาณค่าจำนวนผลผลิตกาแฟ

การประมาณค่าจำนวนผลผลิตกาแฟจากข้อมูลอากาศยานไร้คนขับ ผู้วิจัยแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 รูปแบบ คือ 1) การทดสอบการประมาณค่าผลผลิตกาแฟจากข้อมูลความสูง (height) ขนาดทรงพุ่ม (canopy) และเส้นรอบวงลำต้นกาแฟ (diameter) 2) การทดสอบการประมาณค่าผลผลิตกาแฟจากข้อมูลความสูง ขนาดทรงพุ่ม เส้นรอบวงลำต้นกาแฟ และดัชนีพืชพรรณ VARI โดยเป็นการทดสอบข้อมูลผลผลิตรายต้นเฉลี่ยของแต่ละแปลงและผลผลิตรวมทุกแปลง การวิเคราะห์ความสำคัญของปัจจัยต่าง ๆ ในการประมาณผลผลิตกาแฟในเชิงเปรียบเทียบโดยดูจากค่าสัมประสิทธิ์มาตรฐาน (standardized coefficient) จากผลการวิเคราะห์การถดถอย (regression) มีดังนี้

5.7.1 การประเมินจำนวนผลผลิตกาแฟจากข้อมูลอากาศยานไร้คนขับ ด้วยข้อมูลความสูง ขนาดทรงพุ่ม และเส้นรอบวงลำต้นกาแฟ

แปลง A สามารถอธิบายความผันแปรของผลผลิตได้ร้อยละ 81 และทุกตัวแปรด้านกายวิภาคของแปลง A มีผลต่อการประเมินจำนวนผลผลิตกาแฟอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 พบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อการคาดการณ์ปริมาณผลผลิตกาแฟในแปลง A มากที่สุดเรียงตามลำดับ ได้แก่ ความสูง (0.437) ขนาดทรงพุ่ม (0.385) และเส้นรอบวงลำต้น (0.243)

ในขณะที่แปลง B อธิบายความผันแปรของผลผลิตได้ร้อยละ 76 และทุกตัวแปรด้านกายวิภาคของแปลง B มีผลต่อการประเมินจำนวนผลผลิตกาแฟอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 พบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อการคาดการณ์ปริมาณผลผลิตกาแฟในแปลง B มากที่สุดเรียงตามลำดับ ได้แก่ ขนาดทรงพุ่ม (0.586) เส้นรอบวงลำต้น (0.278) และความสูง (0.104)

ส่วนแปลง C สามารถอธิบายความผันแปรของผลผลิตได้ร้อยละ 78 มีตัวแปรด้านกายวิภาคของแปลง C เพียงสองปัจจัย คือ ขนาดทรงพุ่มและเส้นรอบวงลำต้น ที่มีผลต่อการประเมินจำนวนผลผลิตกาแฟอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ซึ่งปัจจัยที่ส่งผลต่อจำนวนผลผลิตมากที่สุดคือเส้นรอบวงลำต้น (0.481) รองลงมาคือขนาดทรงพุ่ม (0.36)

แปลง D สามารถอธิบายความผันแปรของผลผลิตได้ร้อยละ 88 และทุกตัวแปรด้านกายวิภาคของแปลง D มีผลต่อการประเมินจำนวนผลผลิตกาแฟอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 พบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อการคาดการณ์ปริมาณผลผลิตกาแฟในแปลง D มากที่สุดเรียงตามลำดับ ได้แก่ เส้นรอบวงลำต้น (0.413) รองลงมาคือขนาดทรงพุ่ม (0.369) และความสูง (0.3)

จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติ สามารถสร้างสมการการทำนายผลผลิตกาแฟในแปลง A-D ดังนี้

$$\text{Crop A} = -29.56 + 0.097\text{Height} + 0.054\text{Canopy} + 0.190\text{Diameter} \quad (6)$$

$$\text{Crop B} = -5.69 + 0.012\text{Height} + 0.068\text{Canopy} + 0.353\text{Diameter} \quad (7)$$

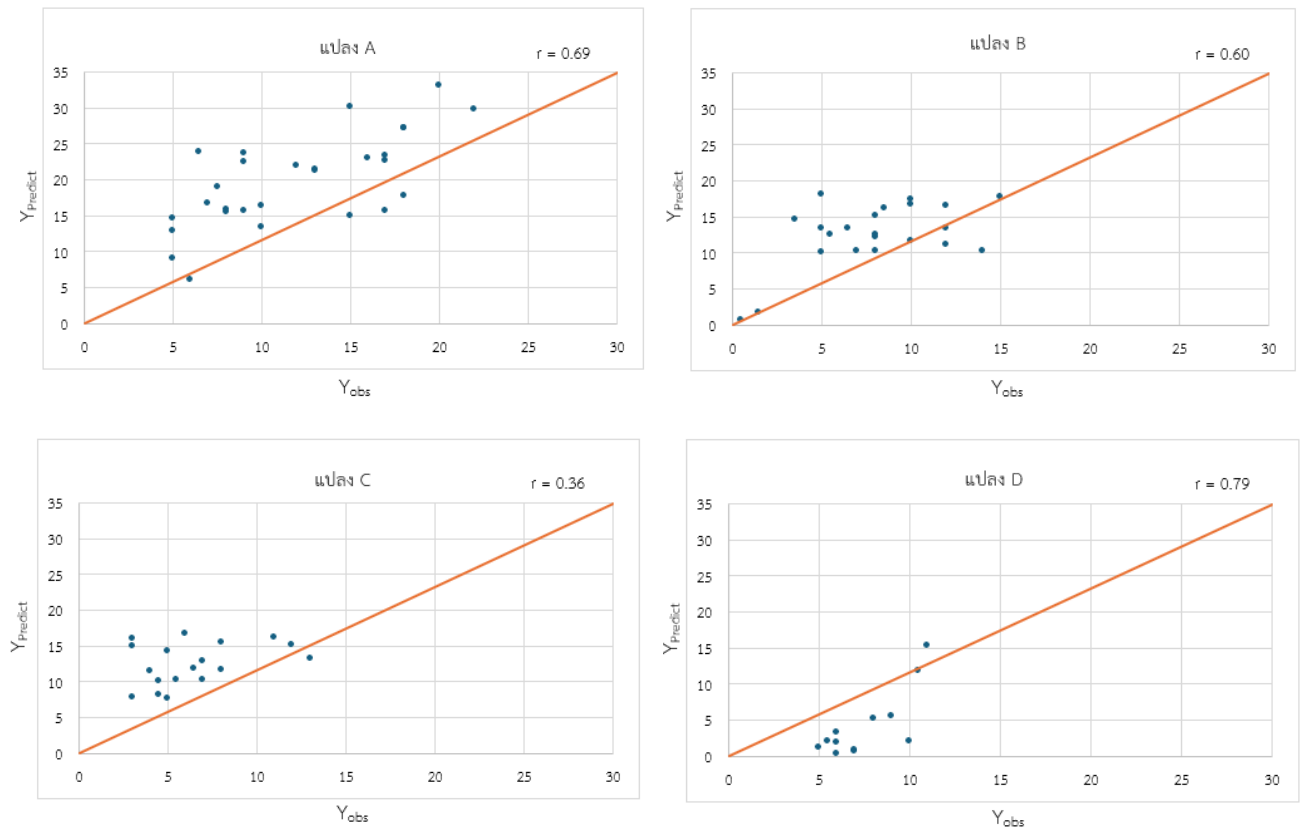
$$\text{Crop C} = -12.54 + 0.040\text{Canopy} + 0.438\text{Diameter} \quad (8)$$

$$\text{Crop D} = -21.17 + 0.081\text{Height} + 0.035\text{Canopy} + 0.257\text{Diameter} \quad (9)$$

ผลการประเมินจำนวนผลผลิตรายต้นเฉลี่ยของแต่ละแปลงพบว่า แปลงที่มีค่า RMSE ของการประมาณค่าผลผลิตน้อยที่สุดตามลำดับ ได้แก่ แปลง A โดยมีค่า RMSE เท่ากับ 4.05 กิโลกรัมเฉลี่ย/ต้น แปลง B มีค่า RMSE เท่ากับ 5.41 กิโลกรัมเฉลี่ย/ต้น แปลง C มีค่า RMSE เท่ากับ 6.11 กิโลกรัมเฉลี่ย/ต้น และแปลง D มีค่า RMSE เท่ากับ 6.64 กิโลกรัมเฉลี่ย/ต้น (ตารางที่ 8) เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของผลผลิตจากภาคสนามกับผลผลิตที่ได้จากการทำนายในแต่ละแปลงพบว่า ความสัมพันธ์ระดับปานกลางถึงความสัมพันธ์ระดับสูงแสดงถึงความสอดคล้องของข้อมูล มีค่า r อยู่ระหว่าง 0.36-0.79 โดยแปลง D มีความสอดคล้องกันมากที่สุด ($r = 0.79$) และแปลง C มีความสอดคล้องกันน้อยที่สุด ($r = 0.36$) (ภาพที่ 19)

ตารางที่ 8 ผลการทดสอบการประเมินจำนวนผลผลิตกาแฟจากข้อมูลอากาศยานไร้คนขับ
จากข้อมูลความสูง ขนาดทรงพุ่ม และเส้นรอบวงลำต้นกาแฟ (รายต้นเฉลี่ย)

แปลง	ผลผลิตจากภาคสนาม (กิโลกรัม)				ผลผลิตจากการทำนาย ด้วยสมการที่ 6-10 (กิโลกรัม)				r	RMSE (กิโลกรัม)
	Min	Max	Mean	SD	Min	Max	Mean	SD		
A	5	22	12	5	1	24	12	5	0.69	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	0.36	6.11
D	3	11	6.61	2.18	-9.46	15.21	1.29	5.60	0.79	6.64



ภาพที่ 19 ความสัมพันธ์ของจำนวนผลผลิตจากภาคสนาม (Y_{obs}) และจากสมการที่ 6-10 ($Y_{predict}$)

นอกจากนี้ ผู้วิจัยได้คำนวณสมการการแสดงความสัมพันธ์ของการประมาณค่าผลผลิตจากแฟกซ์ลักษณะกายวิภาคของต้นกาแฟโดยใช้ข้อมูลรวมทุกแปลง เมื่อพิจารณาค่าความสัมพันธ์ของข้อมูลกายวิภาคของกาแฟกับการประมาณค่าผลผลิตพบว่าสมการการประมาณค่าผลผลิตจากแฟกซ์สามารถอธิบายความผันแปรของผลผลิตได้ร้อยละ 60 และตัวแปรด้านกายวิภาคของแปลงรวมทั้งสามตัวแปรมีผลต่อการประเมินจำนวนผลผลิตกาแฟอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ซึ่งปัจจัยที่ส่งผลต่อจำนวนผลผลิตมากที่สุดคือขนาดทรงพุ่ม (0.687) รองลงมาคือเส้นรอบวงลำต้น (0.686) และความสูงลำต้น (0.608) ตามลำดับ ผลการทดสอบทางสถิติแปลงรวมสามารถสร้างสมการการทำนายผลผลิตกาแฟได้ดังนี้

$$\text{CropAll} = -1.264 - 0.047\text{Height} + 0.060\text{Canopy} + 0.489\text{Diameter} (10)$$

ผลการประเมินจำนวนผลผลิตรายต้นเฉลี่ยของแต่ละแปลงรวมพบว่ามีค่า RMSE เท่ากับ 4.42 กิโลกรัมเฉลี่ย/ต้น

ตารางที่ 9 การตรวจสอบและประเมินความถูกต้องของสมการการทำนายผลผลิตกาแฟ

แปลง	ผลผลิตกาแฟจากการสำรวจภาคสนาม (กิโลกรัม/ต้น)				ตรวจสอบการคาดการณ์ผลผลิตด้วยข้อมูลกายวิภาคของต้นกาแฟจากการสำรวจภาคสนาม (กิโลกรัม/ต้น)					ตรวจสอบการคาดการณ์ผลผลิตด้วยข้อมูลกายวิภาคของต้นกาแฟจากอากาศยานไร้คนขับ (กิโลกรัม/ต้น)				
	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	1.80	2.56	4.63	9.62	7.38	1.28	2.37

การประเมินผลผลิตกาแฟจากข้อมูลกายวิภาคของการสำรวจภาคสนามในแปลงตรวจสอบ พบว่ามีค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสองของการประมาณค่าผลผลิต (RMSE) เท่ากับ 2.56 กิโลกรัมเฉลี่ย/ต้น และการประเมินผลผลิตกาแฟจากข้อมูลกายวิภาคของการสำรวจจากอากาศยานไร้คนขับในแปลงตรวจสอบ พบว่ามีค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสองของการประมาณค่าผลผลิต (RMSE) เท่ากับ 2.37 กิโลกรัมเฉลี่ย/ต้น (ตารางที่ 9) ผลการประเมินความถูกต้องของสมการการทำนายผลผลิตกาแฟในแปลงตรวจสอบจะเห็นว่า การประเมินผลผลิตกาแฟของข้อมูลการสำรวจจากอากาศยานไร้คนขับมีความถูกต้องมากกว่าข้อมูลจากการสำรวจภาคสนาม

5.7.2 การประเมินจำนวนผลผลิตกาแฟจากข้อมูลอากาศยานไร้คนขับ ด้วยข้อมูลความสูง ขนาดทรงพุ่ม เส้นรอบวงลำต้นกาแฟ และค่าดัชนีพืชพรรณ VARI

การทดลองรูปแบบนี้ ผู้วิจัยเพิ่มตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับค่าดัชนีพืชพรรณ VARI เข้ามาร่วมในสมการการประเมินผลผลิตกาแฟ นอกเหนือจากการทดสอบโดยใช้ข้อมูลกายวิภาคต้นกาแฟเพียงอย่างเดียว ผลการทดสอบตัวแปรที่ส่งผลต่อผลผลิตกาแฟ เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงพบว่าข้อมูลความสูง ขนาดทรงพุ่ม ขนาดเส้นรอบวงลำต้น และค่าดัชนีพืชพรรณ VARI มีความสัมพันธ์กันต่ำ และไม่สามารถนำไปสร้างสมการเพื่อประเมินจำนวนผลผลิตกาแฟด้วยค่าดัชนีพืชพรรณ VARI ที่ระดับนัยสำคัญความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ได้ สามารถสร้างสมการการทำนายผลผลิตกาแฟได้ ดังนี้

$$\text{Crop A} = -29.690 + 0.098\text{Height} + 0.054\text{Canopy} + 0.189\text{Diameter} \quad (11)$$

$$\text{Crop B} = -5.806 + 0.056\text{Canopy} \quad (12)$$

$$\text{Crop C} = -29.338 + 0.360\text{Canopy} \quad (13)$$

$$\text{Crop D} = -17.501 + 0.261\text{Diameter} \quad (14)$$

แต่เมื่อพิจารณาผลการทดสอบของแปลงรวมพบว่า สมการการประมาณค่าผลผลิตกาแฟของแปลงรวมด้วยตัวแปรความสูง ขนาดทรงพุ่ม ขนาดเส้นรอบวงลำต้น และค่าดัชนีพืชพรรณ VARI สามารถอธิบายความผันแปรของผลผลิตได้ร้อยละ 74 และทุกตัวแปรด้านกายวิภาคของแปลงรวมทั้งตัวแปรที่มีผลต่อการประเมินจำนวนผลผลิตกาแฟอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ซึ่งปัจจัยที่ส่งผลต่อจำนวนผลผลิตมากที่สุดคือเส้นรอบวงลำต้น (0.582) รองลงมาคือค่าดัชนีพืชพรรณ VARI (0.411) ขนาดทรงพุ่ม (0.406) และความสูง (-0.401) ผลการทดสอบทางสถิติสามารถสร้างสมการการทำนายผลผลิตกาแฟได้ ดังนี้

$$\text{CropAll} = -3.62 - 0.031\text{Height} + 0.036\text{Canopy} + 0.415\text{Diameter} + 8.436\text{VARI} \quad (15)$$

ผลการประเมินจำนวนผลผลิตรายต้นเฉลี่ยของแปลงรวมที่เพิ่มตัวแปรค่าดัชนี VARI พบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสองของการประมาณค่าผลผลิต 2.12 กิโลกรัมรายต้นเฉลี่ย เมื่อเทียบกับการประเมินผลผลิตกาแฟจากข้อมูลตัวแปรกายวิภาคต้นกาแฟ พบว่าผลจากการทดสอบด้วยการเพิ่มตัวแปรค่าดัชนี VARI สามารถทำนายจำนวนผลผลิตได้แม่นยำมากขึ้น (ตารางที่ 10)

ตารางที่ 10 ผลการทดสอบการประเมินจำนวนผลผลิตกาแฟด้วยข้อมูลจากอากาศยานไร้คนขับ ด้วยข้อมูลความสูง ขนาดทรงพุ่ม เส้นรอบวงลำต้นกาแฟ และดัชนีพืชพรรณ VARI (รายต้นเฉลี่ยของทุกแปลง)

แปลง	ผลผลิตจากภาคสนาม (กิโลกรัม)				ผลผลิตจากการทำนายด้วย สมการที่ 15 (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

6. สรุปผลการศึกษา

การศึกษานี้เป็นการประเมินผลผลิตกาแฟพันธุ์อาราบิก้าด้วยเทคนิคอากาศยานไร้คนขับ ในพื้นที่ศึกษาหมู่บ้านสันเจริญ ตำบลผาทอง อำเภอท่าวังผา จังหวัดน่าน ผู้วิจัยกำหนดแปลงตัวอย่างทั้งหมด 4 แปลง จำนวนแปลงละ 30 ต้น และแปลงตรวจสอบ 1 แปลง จำนวนแปลงละ 30 ต้น รวมเนื้อที่ทั้งหมดประมาณ 93 ไร่ ความสูงของพื้นที่ศึกษาอยู่ระหว่าง 690-1,440 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง และแบ่งการสำรวจเก็บข้อมูลเป็น 2 แบบ ได้แก่ 1) การสำรวจภาคสนาม 2) การสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ แล้วใช้กระบวนการโฟโตแกรมเมตรีในการประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ ได้ผลลัพธ์เป็นข้อมูล DSM, DTM และข้อมูลภาพออร์โธ ที่มีค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งอยู่ในระดับสูงสุดตามมาตรฐานของสมาคม ASPRS 2014 สามารถผลิตแผนที่ชั้น 1 ได้ ผู้วิจัยได้นำข้อมูลจากอากาศยานไร้คนขับไปสร้างความสูง ขนาดทรงพุ่ม ขนาดเส้นรอบวงลำต้น และค่าดัชนีพืชพรรณ VARI โดยความสูงต้นกาแฟสร้างจากผลต่างระหว่างข้อมูล DSM และข้อมูล DTM ข้อมูลขนาดทรงพุ่มได้จากภาพถ่ายออร์โธ ส่วนขนาดเส้นรอบวงลำต้นได้จากสมการการหาความสัมพันธ์ของข้อมูลความสูงจากภาคสนามกับข้อมูลขนาดเส้นรอบวงในภาคสนาม จากนั้นตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลจากอากาศยานไร้คนขับโดยเปรียบเทียบกับข้อมูลจากการสำรวจภาคสนามจากค่า RMSE ผลการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลดังกล่าวพบว่า ข้อมูลความสูงของต้นกาแฟมีค่า RMSE ระหว่าง 0.14-0.76 เมตร ข้อมูลขนาดทรงพุ่มมีค่า RMSE ระหว่าง 0.25-0.41 เมตร ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนเกิดจากการเก็บข้อมูลในภาคสนาม เช่น ลักษณะของพื้นที่ศึกษาที่มีความลาดชัน ทรงพุ่มของต้นกาแฟมีขนาดกว้างชนกัน เป็นต้น ข้อมูลเส้นรอบวงลำต้นมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสองระหว่าง 0.05-0.13 เมตร ส่วนค่าดัชนีพืชพรรณ VARI เป็นการหาความสัมพันธ์ของพืชหรือความเขียวของใบจากภาพออร์โธ จีรวัดน์ จันทองพูนและคณะ (Jirawat et al., 2023) กล่าวว่า ค่าดัชนีพืชพรรณ VARI เป็นการคำนวณค่าสี RGB ของภาพถ่ายทางอากาศจากอากาศยานไร้คนขับ สามารถใช้ในการคาดการณ์สุขภาพและความสมบูรณ์ได้เป็นอย่างดี โดยต้นไม้ที่มีความแข็งแรงจะมีลักษณะใบเป็นโทนสีเขียว และค่าดัชนีพืชพรรณที่ได้จะมีค่าสูง ทั้งนี้ ผู้วิจัยยังพบว่าค่าดัชนีพืชพรรณมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิและความสูงของพื้นที่ปลูกกาแฟอีกด้วย จากการสำรวจภาคสนามจะเห็นว่า ต้นกาแฟที่ปลูกในพื้นที่สูงและมีอุณหภูมิต่ำจะมีใบเขียวสมบูรณ์และผลผลิตกาแฟที่ปลูกบนดอยจะได้ราคาขายสูงกว่าผลผลิตที่ปลูกด้านล่างดอย

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการให้ผลผลิตกาแฟ จากการสอบถามเกษตรกรผู้เชี่ยวชาญในการปลูกกาแฟในพื้นที่ พบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณผลผลิตของต้นกาแฟมากที่สุด คือ การติดดอก ขนาดทรงพุ่ม จำนวนกิ่ง ขนาดลำต้น และความสมบูรณ์ของใบ ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม สำหรับการวิจัยครั้งนี้ การใช้ข้อมูลที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับสามารถเก็บข้อมูลได้เพียงความสูง

และขนาดลำต้น ซึ่งจำแนกถึง ความหนาของใบ และความสมบูรณ์ของใบ สามารถคำนวณได้จากค่าคาดการณ์จากค่าดัชนี VARI ในการวัดความเขียวของพืชทดแทน

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

ผลการทดสอบรูปแบบแรกพบว่า หากพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอยที่ได้ปรับค่าให้เป็นมาตรฐานแล้ว ตัวแปรทั้งสามตัวส่งผลต่อการคาดการณ์ปริมาณผลผลิตกาแฟอย่างมีนัยสำคัญที่ 95% ยกเว้นแปลง C เมื่อผู้วิจัยนำข้อมูลต้นกาแฟของทุกแปลง (แปลง A-D) มารวมกัน แล้วสร้างสมการสำหรับแปลงรวม พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอยที่ได้ปรับค่าให้เป็นมาตรฐานแล้วของทั้งสามตัวแปรยังคงมีผลต่อการคาดการณ์ปริมาณผลผลิตกาแฟอย่างมีนัยสำคัญที่ 95% ซึ่งปัจจัยที่ส่งผลต่อจำนวนผลผลิตมากที่สุดคือขนาดทรงพุ่ม ส่วนผลการทดสอบรูปแบบที่สอง ผู้วิจัยเพิ่มตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับค่าดัชนีพืชพรรณความเขียวของพืชจากค่า VARI เข้ามาร่วมในสมการนอกเหนือจากการทดสอบ โดยใช้ข้อมูลกายวิภาคต้นกาแฟเพียงอย่างเดียว ผลการทดสอบพบว่า เมื่อพิจารณาเรียงแปลง ข้อมูลความสูง ขนาดทรงพุ่ม ขนาดเส้นรอบวงลำต้น และค่าดัชนีพืชพรรณ VARI มีความสัมพันธ์กันต่ำ ไม่สามารถนำไปสร้างสมการเพื่อประเมินจำนวนผลผลิตกาแฟที่ระดับนัยสำคัญที่ 95% ได้ แต่เมื่อพิจารณาผลการทดสอบของแปลงรวมโดยนำต้นกาแฟของทุกแปลงมารวมกัน สามารถสร้างสมการการคาดการณ์ปริมาณผลผลิตกาแฟได้ ความสูง ขนาดทรงพุ่ม ขนาดเส้นรอบวงลำต้น และค่าดัชนีพืชพรรณ VARI สามารถอธิบายความผันแปรของผลผลิตได้ร้อยละ 74 และหากพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอยที่ได้ปรับค่าให้เป็นมาตรฐานแล้ว ทั้งสี่ตัวแปรมีผลต่อการคาดการณ์ปริมาณผลผลิตกาแฟอย่างมีนัยสำคัญที่ 95% ซึ่งปัจจัยที่ส่งผลต่อจำนวนผลผลิตมากที่สุดคือเส้นรอบวงลำต้น

นอกจากนี้ ผู้วิจัยได้คำนวณการประเมินจำนวนผลผลิตเฉลี่ยรายต้นของแต่ละแปลง พบว่าแปลงที่มีค่า RMSE ของการประมาณค่าผลผลิตน้อยที่สุดคือแปลง A โดยมีค่า RMSE เท่ากับ 4.05 กิโลกรัมเฉลี่ย/ต้น รองมาคือแปลงรวม มีค่า RMSE เท่ากับ 4.42 กิโลกรัมต่อต้น และแปลงที่มีค่า RMSE ของการประมาณค่าผลผลิตมากที่สุดคือแปลง D เมื่อเพิ่มตัวแปรค่าดัชนีพืชพรรณ VARI เข้ามาคำนวณร่วมด้วยจะทำให้ความคลาดเคลื่อนลดลง โดยค่า RMSE เท่ากับ 2.12 กิโลกรัมต่อต้น จากงานวิจัยครั้งนี้ทำให้พบว่า การใช้ดัชนีพืชพรรณ VARI ในสมการการทำนายผลผลิตกาแฟสามารถทำนายจำนวนผลผลิตได้แม่นยำมากขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของเฉียวและคณะ (Qiao et al., 2022) ซึ่งได้ศึกษาความสัมพันธ์ของดัชนีพื้นที่ใบ (leaf area index: LAI) กับตัวแปรความสูงต้นข้าวโพดกับดัชนีพืชพรรณ VARI และ NDVI เพื่อประเมินการเจริญเติบโตของต้นข้าวโพดและประเมินผลผลิต ผลการศึกษาพบว่าการใช้ดัชนีพืชพรรณ VARI และ NDVI สามารถทำให้การประเมินผลผลิตข้าวโพดมีความแม่นยำมากขึ้น

ผู้วิจัยได้ทำการตรวจสอบความถูกต้องและทดสอบความแม่นยำของสมการที่ใช้ทำนายผลผลิตโดยใช้สมการแปลงรวม ทดสอบการประเมินปริมาณผลผลิตเฉลี่ยรายต้น ผลการประเมินโดยใช้ข้อมูลจากการสำรวจภาคสนามของแปลงตรวจสอบ พบว่ามีค่า RMSE เท่ากับ 2.56 กิโลกรัมต่อต้น ในขณะที่การประเมินปริมาณผลผลิตจากข้อมูลอากาศยานไร้คนขับของแปลงตรวจสอบพบว่ามีค่า RMSE เท่ากับ 2.37 กิโลกรัมต่อต้น จากผลการตรวจสอบความถูกต้องของสมการการทำนายผลผลิตข้างต้น จะเห็นได้ว่าการทำนายผลผลิตโดยใช้สมการการประเมินผลผลิตในแปลงรวมมีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยต่อต้นลดลง และค่าการตรวจสอบความถูกต้องในแปลงทดสอบมีความแม่นยำใกล้เคียงกันระหว่างค่าที่ได้จากการสำรวจและค่าที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับ ดังนั้น การทดสอบนี้จึงเป็นประโยชน์ต่อการนำสมการการคาดการณ์ปริมาณผลผลิตนี้ไปใช้ในการประเมินผลผลิตกาแฟพันธุ์อาราบิก้าในแปลงเพาะปลูกพื้นที่อื่น ๆ หรืออาจนำไปวางแผนการเพาะปลูกกาแฟในอนาคตด้วยข้อมูลจากอากาศยานไร้คนขับ

7. ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้เป็นการประเมินผลผลิตกาแฟจากข้อมูลกายวิภาคของต้นกาแฟเพียงอย่างเดียว ผู้วิจัยควรนำข้อมูลทางกายภาพของพื้นที่ เช่น ชุดดิน ความลาดชัน มาวิเคราะห์เพิ่มเติม เพื่อช่วยให้การประเมินผลผลิตมีความแม่นยำมากขึ้น และการประเมินผลผลิตกาแฟนี้ ผู้วิจัยควรประเมินผลผลิตทั้งหมดของแปลงตัวอย่าง โดยใช้อัลกอริทึมการนับจำนวนต้นไม้เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูล จึงจะช่วยให้การประเมินผลผลิตมีประโยชน์ต่อผู้นำไปใช้งานมากขึ้น นอกจากนี้ หากใช้อากาศยานไร้คนขับที่ติดกล้องถ่ายภาพแบบหลายช่วงคลื่น (multispectral) จะทำให้การวิเคราะห์สุขภาพและการเจริญเติบโตของต้นกาแฟจากค่าดัชนีพืชพรรณได้ค่าที่หลากหลายกว่านี้ เช่น ดัชนีพืชพรรณ NDVI, ดัชนี Green Normalized Difference Vegetation Index (GNDVI), ดัชนี Normalized Difference Red Edge (NDRE), ดัชนี Moisture Stress Index (MSI) และ ดัชนี Optimized Soil Adjusted Vegetation Index (OSAVI) เป็นต้น จะช่วยให้วิเคราะห์การเจริญเติบโตของพืชและความสมบูรณ์ของพืชได้ดียิ่งขึ้น งานวิจัยนี้เป็นประโยชน์ต่อเกษตรกรที่ต้องการวางแผนการเพาะปลูก การเก็บเกี่ยว และ คำนวณต้นทุนของการการผลิตและจำหน่าย อีกทั้งภาครัฐสามารถนำไปคาดการณ์ผลผลิตของกาแฟพันธุ์อาราบิก้าในพื้นที่อื่น ๆ ที่จะออกสู่ตลาดได้

8. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยและนวัตกรรมจากสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ ผู้วิจัยขอขอบคุณ นายธนวิทย์ ถมกระจำง และคณะ ที่ให้ความช่วยเหลือและให้คำแนะนำในการออกพื้นที่เก็บข้อมูลภาคสนามและการเก็บข้อมูลด้วยอากาศยานไร้คนขับ ในทำนองนี้ขอขอบคุณเจ้าของไร่กาแฟที่อนุญาตให้ใช้พื้นที่ในการเก็บข้อมูลสำหรับการวิจัยในครั้งนี้ ตลอดจนบุคคลต่าง ๆ ในพื้นที่หมู่บ้านสันเจริญ ตำบลผาทอง อำเภอท่าวังผา จังหวัดน่าน ที่มีส่วนให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- Chingchai Viriyabuncha ชิงชัย วิริยะบัญชา. (2003). *Khumue kanpraman muanchiwaphap khong mumai* คู่มือการประมาณมวลชีวภาพของหมูไม้ [Guide to estimating tree biomass]. กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่าและพันธุ์พืช.
- Chusri Wongrattana ชุศรี วงศ์รัตนะ. (2001). *Theknik kan chai sathiti phuea kan wichai* เทคนิคการใช้สถิติเพื่อการวิจัย [Statistics for research] (8th ed.). เทพเนรมิตการพิมพ์.
- Department of Agriculture กรมวิชาการเกษตร. (n.d.). *Yutthasat kafe pi 2560-2564* ยุทธศาสตร์กาแฟ ปี 2560-2564 [Coffee strategy 2560-2564 B.E.]. Retrieved December 12, 2017, from <https://www.doa.go.th/hort/wp-content/uploads/2019/11/ยุทธศาสตร์กาแฟ-ปี-2560-2564.pdf>
- Jirawat Janthongpoon, Kanokporn Intharat, Suntree Khaihun, Fareda Nissan & Ponnarai Boonrasri จิรวัดน์ จันทองพูน, กนกพร อินทร์รัตน์, สุนทรี ไช่หุน, ฟาริดา นิสัน และพนรายณ์ บุญราศรี (2023). Kanprayukchai akatsayan rai khonkhap nai kan tittam yangphara korani sueksa Tambon Namnoi Amphoe Hatyai Changwat Songkhla การประยุกต์ใช้อากาศยานไร้คนขับในการติดตามยางพารา กรณีศึกษา ตำบลน้ำน้อย อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา [Application of unmanned aerial vehicle (UAV) for rubber monitoring : A case study of Nam Noi Sub-district, Hat Yai District, Songkhla Province]. In *Kan prachum wichakan wisawakamyotha haeng chat krang thi 28 wan thi 24-26 Pruesaphakhom 2566 Changwat Phuket* การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 28 วันที่ 24-26 พฤษภาคม 2566 จ.ภูเก็ต [The 28th National Convention on Civil Engineering, May 24-26, 2023, Phuket, THAILAND] (pp. SGI08-1 - SGI08-8). Engineering Institute of Thailand; Civil and Environmental Engineering, Prince of Songkla University. <https://conference.thaince.org/index.php/ncce28/article/view/2117/1468>
- Manop Hanthewi มานพ หาญเทวี. (2005). *Teknologi kan phalit kafe Arabica* เทคโนโลยีการผลิตกาแฟอาราบิก้า [Arabica coffee production technology]. Chiang Mai Royal Agricultural Research Centre, Office of Agricultural Research and Development Region 1, Horticultural Research Institute, Department of Agriculture. <http://lib.doa.go.th/multim/e-book/EB00036.pdf>
- Office of Agricultural Economics สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (n.d.). *Khomun setthakit kankaset* ข้อมูลเศรษฐกิจการเกษตร [Agricultural economic information]. Retrieved January 5, 2018, from <https://www.oae.go.th/view/1/ตารางแสดงรายละเอียดกาแฟ/TH-TH>
- Prakrong Chiangrang & Lamthai Asanok ประครอง เชียงแรง และแหลมไทย อาษานอก. (2020). *Laksana maiphluk ruam nai rabop wanakaset kafe khong phuenthi khrongkan phatthana phuenthi pakhunmaekuang annueang ma chak phraratchadamri* ลักษณะไม้ปลูกร่วมในระบบวนเกษตรกาแฟ ของพื้นที่โครงการพัฒนาพื้นที่ป่าขุนแม่กวังอันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดเชียงใหม่ [Tree planting characteristics in coffee-agroforestry system of the royal-initiated khun mae kuang forest area development project Chiangmai province]. *Warasan wachai niwet withaya pamai mueang Thai* วารสารวิจัยนิเวศวิทยาป่าไม้เมืองไทย [Thai Forest

Ecological Research Journal], 4(2), 63-76.

https://tferj.forest.ku.ac.th/jn_file/5305012021TFERJV4N2_5_PrakrongandLamthai.pdf

Sawang Khamphila สว่าง คำภีระ. (2011). *Patchai lae ngueankhai thi mi itthiphon tor rabop phalit kafae Arabica baep wanakaset korani sueksa Banmaesan Tambon Bandong Amphoe Maemo Changwat Lampang* ปัจจัยและเงื่อนไขที่มีอิทธิพลต่อระบบผลิตกาแฟอาราบิก้าแบบวนเกษตร กรณีศึกษา บ้านแม่ส้าน ตำบลบ้านดง อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง [Factors and conditions with influence to agroforestry system of Arabica coffee production a case study of Mae San Village, Ban Dong Subdistrict, Mae Moh District, Lampang Province] [Master's thesis, Maejo University]. MJU Library.

http://webpac.library.mju.ac.th:8080/mm/fulltext/thesis/2554/sawang_khampila/abstract.pdf

Siwa Kaewplang ศิลา แก้วปลั่ง. (2018). Kanpramoen kanchai phapthai thang akat chak akatsayan raikhonkhap samrap kanpraman kha chiwamuan nua phuendin khong tonmon การประเมินการใช้ภาพถ่ายทางอากาศจากอากาศยานไร้คนขับ สำหรับการประมาณค่าชีวมวลเหนือพื้นดินของต้นหม่อน [An evaluation of UAV-derived aerial imagery for estimating the fresh ABG biomass of mulberry trees]. *Kaen Kaset* เก่นเกษตร [Khon Kaen Agriculture Journal], 46(Suppl. 1), 381-387.

<https://ag2.kku.ac.th/kaj/PDF.cfm?filename=O62%20Hor41.pdf&id=3038&keeptrack=1>

ภาษาต่างประเทศ

Barbosa, B. D. S., Silva Ferraz, G. A. e., Costa, L., Ampatzidis, Y., Vijayakumar, V., & dos Santos, L. M. (2021). UAV-based coffee yield prediction utilizing feature selection and deep learning. *Smart Agricultural Technology*, 1, Article 100010. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2021.100010>

Bolaños, J., Corrales, J. C., & Campo, L. V. (2023). Feasibility of early yield prediction per coffee tree based on multispectral aerial imagery: Case of Arabica coffee crops in Cauca-Colombia. *Remote Sensing*, 15(1), Article 282. <https://doi.org/10.3390/rs15010282>

López-García, P., Ortega, J. F., Pérez-Álvarez, E. P., Moreno, M. A., Ramírez, J. M., Intrigliolo, D. S., & Ballesteros, R. (2022). Yield estimations in a vineyard based on high-resolution spatial imagery acquired by a UAV. *Biosystems Engineering*, 224, 227-245. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2022.10.015>

Gitelson, A. A., Kaufman, Y. J., Stark, R., Rundquist D. (2002). Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction. *Remote Sensing of Environment*, 80(1), 76-87. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(01\)00289-9](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(01)00289-9)

Martello, M., Molin, J. P., Wei, M. C. F., Filho, R. C., & Nicoletti, J. V. M. (2022). Coffee-yield estimation using high-resolution time-series satellite images and machine learning. *AgriEngineering*, 4(4), 888-902. <https://doi.org/10.3390/agriengineering4040057>

Qiao, L., Gao, D., Zhao, R., Tang, W., An, L., Li, M., & Sun, H. (2022). Improving estimation of LAI dynamic by fusion of morphological and vegetation indices based on UAV imagery. *Computers and Electronics in Agriculture*, 192, Article 106603. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106603>

- Torres-Sánchez, J., López-Granados, F., de Castro, A. I., & Peña-Barragán, J. M. (2013). Configuration and specifications of an unmanned aerial vehicle (UAV) for early site specific weed management. *PLoS ONE*, 8(3), Article e58210. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0058210>
- Zanella, M. A., Martins, R. N., da Silva, F. M., Carvalho, L. C. C., de Carvalho Alves, M., & Rosas, J. T. F. (2024). Coffee yield prediction using high-resolution satellite imagery and crop nutritional status in Southeast Brazil. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 33, Article 101092. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2023.101092>