

การประเมินภาพถ่ายทางอากาศจากอากาศยานไร้คนขับสำหรับประมาณผลผลิตอ้อย

An evaluation of UAV-derived aerial imagery for estimating the yield of sugarcane

โพธิวุฒิ บุญเรือง¹, ชยันต์ ภัคดีไทย² และ ศิवा แก้วปลั่ง^{1*}

Photiwut Bunruang¹, Chayant Pakdeethai² and Siwa Keawplang^{1*}

¹ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม

¹ Faculty of Engineering, Maha Sarakham University, Maha Sarakham Province

² ศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น สถาบันวิจัยพืชไร่และพลังงานทดแทน กรมวิชาการเกษตร

² Khon kean Field Crops Research Center Field and Renewable Energy Crops Research Institute Department of Agriculture

* Corresponding author: siwakaewplang@gmail.com

บทคัดย่อ: วัตถุประสงค์เพื่อประมาณผลผลิตของอ้อยในช่วงก่อนการเก็บเกี่ยว 3 เดือนโดยใช้ภาพถ่ายทางอากาศจากอากาศยานไร้คนขับ พื้นที่ศึกษาตั้งอยู่ที่ อำเภอเมืองพิมาย จังหวัดนครราชสีมา โดยถ่ายภาพทางอากาศของด้วยอากาศยานไร้คนขับที่ติดตั้งกล้องมีความละเอียด 12 ล้านพิกเซล บินถ่ายภาพที่ความสูง 90 เมตร การประมวลผลข้อมูลของภาพจากอากาศยานไร้คนขับดำเนินการโดยใช้คอมพิวเตอร์วิทัศน์ (CV) ที่ทันสมัย อัลกอริทึมสำหรับการประมาณความสูงของอ้อยและค่าการสะท้อนแสงที่ได้จากภาพถ่ายทางอากาศ ทำการสุ่มตัวอย่างเพื่อรวบรวมข้อมูลภาคพื้นดิน ทำการประมาณผลผลิตอ้อยโดยแบบจำลองเชิงเส้นวางนัยทั่วไป ค่าที่เหมาะสมที่สุดมีค่า R^2 คือ 0.62 และมี ค่า RMSE ต่ำสุด 2.84 ตัน / ไร่ คาดการณ์ว่า วิธีการ ที่นำเสนอในการศึกษานี้สามารถใช้เป็นแนวทางในการประมาณผลผลิตอ้อยในพื้นที่อื่น ๆ ได้

คำสำคัญ: อากาศยานไร้คนขับ; การประมาณผลผลิต; อ้อย

ABSTRACT: The objective of this study to estimate the yield of sugarcane pre-harvest 3 months using aerial imagery-derived UAV. The study area was the field-grown sugarcane in Amphoe Muang Phimai, Nakhon Ratchasima, Thailand. The sugarcane plantation aerial imagery by UAV with a 12M pixel camera was acquired by flying at an altitude of 90 meters. The data processing of UAV images was carried out using modern computer vision (CV) algorithms for estimating the height of sugarcane and spectral reflectance observed from the aerial imagery. Randomly selected for the ground data collection. The sugarcane yield was estimated by multiple linear regression. The best-fit models with R^2 values are those of 0.62 and possess the lowest RMSE values of 2.84 t/rai. It is anticipated that the methodology presented in this study can be used as a guideline for estimating the sugarcane yield in other areas, as well.

Keywords: UAV; yield estimation; sugarcane

บทนำ

อ้อย เป็นพืชอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศไทย เพราะเป็นผู้ส่งออกน้ำตาลทรายรายใหญ่เป็น อันดับ 2 ของโลกรองจากประเทศบราซิล นอกจากนั้นอ้อยยังเป็นพืชอุตสาหกรรมที่มีผู้เกี่ยวข้องมากมายในทุกระดับ ตั้งแต่ ระดับไร่จนถึงโรงงานน้ำตาลและอุตสาหกรรมต่อเนื่องอื่น ๆ เช่น การผลิตไฟฟ้า ไม้อัด กระดาษ เอทานอล สุรา ผลิตภัณฑ์อาหาร ข้าวบาร์เลย์ พลาสติก เป็นเชื้อเพลิง และอาหารสัตว์ เป็นต้น ส่วนกากน้ำตาล (molasses) ที่แยกออกจากน้ำตาลในระหว่างการผลิต สามารถนำไปหมักเป็นเหล้ารัม (rum) ได้อีกด้วย อุตสาหกรรมนี้มีส่วนช่วยสร้างงานได้มากกว่า 1 ล้านคน โดยประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกอ้อย ประมาณ 9.5 ล้านไร่ มีผลผลิตอ้อยสูงถึง 100 ล้านตัน คิดเป็นมูลค่าจากการ

จำหน่ายน้ำตาลประมาณ 180,000 ล้านบาท โดย ไม่รวมมูลค่าของผลิตภัณฑ์ต่อเนื้ออื่น ๆ (สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย, 2562) ในการเพาะปลูกอ้อยนั้นจำเป็นต้องใช้พื้นที่ขนาดใหญ่ ทำให้การติดตามการเจริญเติบโตและการทำนายผลผลิตในทางด้านการเกษตรนั้นจะขึ้นอยู่กับ การสำรวจภาคสนาม ซึ่งมีราคาค่อนข้างสูงและข้อมูลที่ได้นั้นมีความคลาดเคลื่อนค่อนข้างสูง ทั้งยังใช้ระยะเวลา แรงงาน งบประมาณที่มากในการสำรวจ (Chu et al., 2017) ดังนั้นการติดตามการเจริญเติบโตและทำนายผลผลิตพืชที่มีความถูกต้องแม่นยำ ลดระยะเวลาและแรงงานจึงเป็นเป้าหมายสำคัญเทคโนโลยีการสำรวจระยะไกลจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่เหมาะสม โดยเฉพาะกับพื้นที่ขนาดใหญ่ เพราะเป็นวิธีการที่ ลดระยะเวลาและแรงงานในการสำรวจ (Jensen and Binford, 2007)

เป็นเวลากว่า 50 ปีแล้วที่ภาพถ่ายดาวเทียมถูกนำมาใช้เพื่อติดตามการเจริญเติบโตของพืชผล ปัจจุบันอากาศยานพาหนะไร้คนขับ (UAV) กำลังได้รับการประเมินสำหรับการวิเคราะห์ภายในความแปรปรวนเชิงพื้นที่สำหรับการจัดการความแม่นยำทางการเกษตรเนื่องจากภาพ UAV อาจได้รับอย่างรวดเร็วในช่วงเวลาวิกฤตของการเจริญเติบโตของพืชอย่างรวดเร็ว (Na, Park, & Lee, 2016) ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมาอากาศยานไร้คนขับ (UAVs) ถูกนำมาใช้กันทั่วไปสำหรับแอปพลิเคชันตรวจจําระยะไกลที่มีความสูงต่ำและมีความละเอียดสูงเนื่องจากมีข้อได้เปรียบเช่นความคล่องตัว, น้ำหนักเบาและต้นทุนการดำเนินงานต่ำ (Garcia-ruiz et al., 2013)

หลายงานวิจัยได้เน้นถึงการใช้งานที่หลากหลายสำหรับ UAV และเซ็นเซอร์ที่ติดตั้งในพื้นที่เกษตรกรรม โดยรายงานการศึกษาของ Zhou et al. (2017) ทำการศึกษาการทำนายผลผลิตข้าวโดยใช้ดัชนีพืชพรรณหลายช่วงเวลา จากภาพถ่ายแบบหลายช่วงคลื่น (MS) และภาพถ่าย RGB ที่ติดตั้งกล้องบันทึกภาพบนอากาศยานไร้คนขับ (UAV) โดยวิเคราะห์แบบจำลองด้วย ฟังก์ชันการถดถอยเชิงเส้น พบว่าดัชนีที่ทำนายผลได้ดีที่สุดคือ VARI ที่ระยะสร้างรวงอ่อนและระยะตั้งท้อง ($R^2 = 0.73$) และดัชนีพืชพรรณที่ทำนายผลได้ดีที่สุดคือ NDVI ที่ระยะตั้งท้องและระยะช่อดอกโผล่จากกาบใบ ($R^2 = 0.76$) แต่ข้อจำกัดของงานวิจัยของ คือไม่ได้มีการนำความสูงของต้นข้าวมาใช้ในการทำนายผลผลิตด้วย เนื่องจากความสูงเป็นตัวแปรที่สำคัญในการใช้ประมาณผลผลิต รายงานการศึกษาของ Yang, Q. et al (2019) ทำการศึกษาการประมาณผลผลิตเมล็ดข้าวในระยะสุก จากภาพถ่ายหลายช่วงคลื่น (RedEdge, MicaSense, Seattle) และภาพถ่าย RGB โดยวิเคราะห์ด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบ Deep Convolutional และหาค่าดัชนีพืชพรรณ จากผลการศึกษาพบว่า ในการทำนายผลผลิตเมล็ดข้าว ให้ค่าความถูกต้อง โดย $R^2 = 0.585$, MAPE = 20.4% และ RMSE = 0.658 แต่จากงานวิจัยของ มีข้อจำกัดที่ว่าเป็นการประมาณผลผลิตของเมล็ดข้าวที่เพียงช่วงอายุเท่านั้น ควรมีการเก็บข้อมูลที่หลายช่วงอายุเพื่อจะได้ทำการเปรียบเทียบได้ รายงานการศึกษาของ Som-ard et al.(2018) ทำการศึกษาการประมาณผลผลิตอ้อยก่อนเก็บเกี่ยว โดยใช้ภาพถ่ายจากกล้อง RGB ที่ติดตั้งบนอากาศยานไร้คนขับและการข้อมูลการสำรวจภาคพื้นดิน จำแนกพื้นที่ส่วนที่เป็นอ้อยกับพื้นที่ส่วนที่ไม่ใช่อ้อย วิเคราะห์ผ่าน 2 วิธี คือวิธี OBIA และ Pixel base โดยทั้ง 2 วิธี ทำการคำนวณผลผลิตอ้อยโดยใช้ความสูงอ้อยที่วัดด้วยแรงงานในสนามคูณกับผลการจำแนกความหนาแน่นของอ้อย ผลการศึกษาพบว่าวิธี OBIA ให้ผลการประมาณค่าที่ดีที่สุดที่ร้อยละ 96 และวิธี Pixel base ให้ผลการประมาณค่าอยู่ที่ ร้อยละ 88

จากหลายรายงานที่กล่าวมาแล้ว พบว่ามีความเป็นไปได้ที่จะประมาณผลผลิตอ้อยจากภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ ดังนั้นในการศึกษานี้เรามีสมมติฐานว่า สามารถประมาณผลผลิตอ้อยโดยใช้ข้อมูลค่าการสะท้อนแสงและความสูงอ้อยจากภาพถ่ายทางอากาศจากอากาศยานไร้คนขับ โดยจะทำการประมาณผลผลิตอ้อยก่อนเก็บเกี่ยว 3 เดือน ทำการวิเคราะห์ด้วยอัลกอริทึมแบบจำลองเชิงเส้นวางนัยทั่วไป โดยใช้ภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับระยะพื้นที่ต่อพิกเซล (GSD) ขนาด 100 เซนติเมตร เพื่อหาค่าที่เหมาะสมทำการประเมินประสิทธิภาพแบบจำลองโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) และค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE)

วิธีการศึกษา

พื้นที่ศึกษางานวิจัยนี้ตั้งอยู่อำเภอเมืองพิมาย จังหวัดนครราชสีมา พิกัด 15°07'44.21" N 102°23'25.41" E พื้นที่ทั้งหมดประมาณ 1,600 ตารางกิโลเมตร ความสูง 159 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง อุณหภูมิเฉลี่ยรายปี 30 องศาเซลเซียส ฝนเฉลี่ยรายปี 1,037.4 มม.ระยะห่างระหว่างแถวต้นอ้อยปลูกเท่ากับ 1.5 เมตร เป็นต้น อ้อยที่ศึกษาเป็นพันธุ์

ขอนแก่น 3 โดยอาศัยน้ำฝนและน้ำคลอง อ้อยโตแรก ระยะปลูก ทดลองปลูกอ้อย เมื่อวันที่ 15 มกราคม พ.ศ. 2562 (Date of planting : DOP) ผู้วิจัยทำการเก็บข้อมูลในวันที่ 26 ตุลาคม พ.ศ. 2562 (DOP : 284 วัน) (Figure 1)

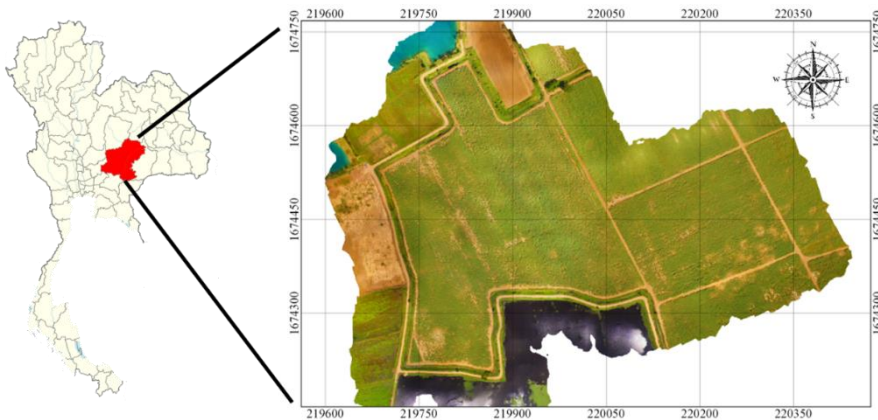


Figure 1 Study area at Muang Phimai District, Nakhon Ratchasima Province

อุปกรณ์และวิธีการศึกษา

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำการวิจัยประกอบด้วย [1] โดรนยี่ห้อ/รุ่น Phantom 3 Advance พร้อมกล้องถ่ายภาพ และ อุปกรณ์ควบคุมระยะไกล [2] โทรศัพท์ Smart Phone ระบบปฏิบัติการ Android [3] GNSS RTK KQ M8pro [4] เป้าจุดควบคุมภาพทำจากผ้าไวนิล สีดำ เหลือง สลับเป็นตราหมากรุกขนาด 1x1 เมตร เป็นหมุดควบคุมภาคพื้นดิน [5] แผ่นปรับแก้ค่าสะท้อนแสง (Figure 2)

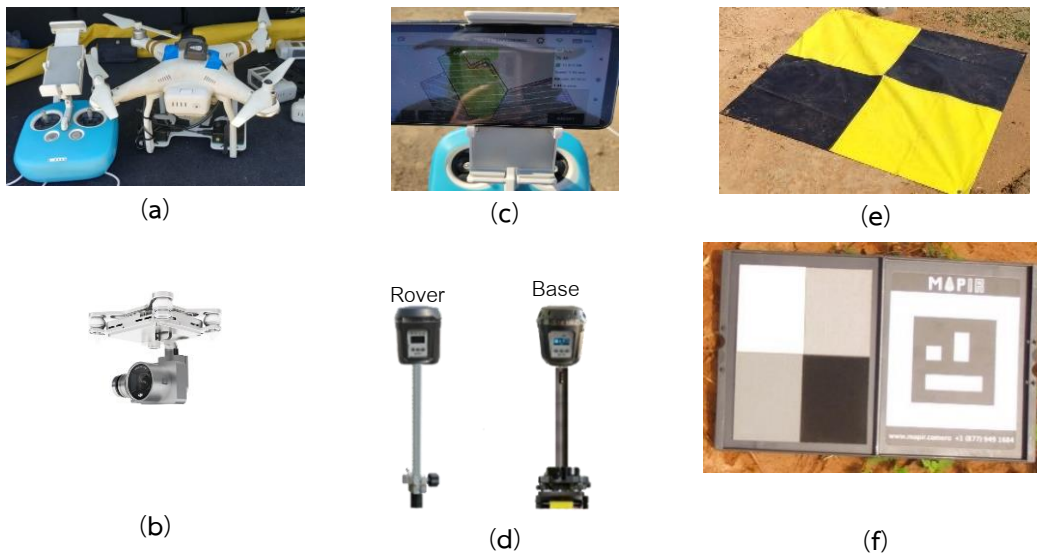


Figure 2 (a) Phantom 3 Advance; (b) RGB camera; (c) Smart Phone; (d) GNSS RTK; (e) Ground Control Point (GCPs); (f) Reflective calibrate

การเก็บข้อมูลสนาม

การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้แบ่งการเก็บข้อมูลสนามออกเป็น 2 ส่วน คือ การเก็บข้อมูลทางอากาศและการเก็บข้อมูลภาคพื้นดิน

1. การบินถ่ายภาพ มีขั้นตอนการทำงานดังนี้ในขั้นตอนแรกการรังวัดจุดควบคุมภาคพื้นดิน (GCPs) ให้มีค่าพิกัดและค่าระดับ โดยกำหนดให้ตำแหน่งพิกัดจุดควบคุมภาพ จะกระจายอยู่ในพื้นที่อย่างน้อย 8 จุดจากนั้นวางแผนการบินถ่ายภาพด้วยอากาศจากอากาศยานไร้คนบังคับ Phantom 3 Advanced ทำการวางแผนการบินด้วย Application PIX4D

บนระบบปฏิบัติการ Android กำหนดความสูงของการบิน เท่ากับ 90 เมตร ทำการถ่ายภาพให้มีระยะซ้อนด้านหน้า 80% และระยะซ้อนด้านข้าง 60 % เลือกทำการการบินถ่ายภาพ ในวันที่สภาพอากาศดี อุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 25-35 องศาเซลเซียส ความเร็วลมไม่เกิน 5 กม.ต่อชั่วโมง มีทัศนวิสัยในการมองเห็นสูง

2. การเก็บข้อมูลภาคพื้นดิน มีขั้นตอนการทำงานดังนี้ โดยใช้ GNSS RTK ในการเก็บค่าพิกัดจุดควบคุมภาคพื้นดิน (GCPs) และจุดเก็บตัวอย่างเพื่อนำพิกัดไปใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลภาพ ดังแสดงใน **Figure 3** ระยะของการเพาะปลูกต้นอ้อย เท่ากับ 1.5 x 0.6 m (แถว x กอ) ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างให้กระจายทั่วแปลงทดลอง วัดความสูงของต้นอ้อย โดยให้มีขนาดเล็ก ใหญ่ คละคล้ายกัน (**Figure 4**) จากนั้นตัดต้นอ้อยแบบทำลายทั้งกอและทำการชั่งน้ำหนักสด ทำการเก็บตัวอย่างทั้งหมด 200 ตัวอย่าง ดังแสดงใน **Figure 5**



Figure 3 Collect coordinates with GNSS RTK



Figure 4 Measure height



Figure 5 Measure weigh

การวิเคราะห์ข้อมูลภาพจากอากาศยานไร้คนขับ

การศึกษานี้ใช้ข้อมูลภาพที่ได้จากการบินโดยอากาศยานไร้คนขับที่มีการติดตั้งกล้องบันทึกภาพเซนเซอร์ RGB และข้อมูลค่าพิกัดจุดควบคุมภาคพื้นดินที่ใช้ GNSS RTK เก็บค่าพิกัด มาช่วยปรับแก้ภาพ ให้พิกัดในภาพถูกต้องมากขึ้น มาทำการประมวลผลภาพโดยใช้ WebOEM สร้างแผนที่ภาพออร์โธ (Orthophoto map) ที่ระยะพื้นต่อพิกเซล (GSD) 100 เซนติเมตร (**Figure 6**) และสร้างแบบจำลองความสูง (Digital Elevation Model ; DEM) (**Figure 7**) การคำนวณความสูงของต้นอ้อย (Sugarcane Height) ที่ได้จากการสำรวจภาพถ่ายทางอากาศด้วย UAV โดยการนำค่าพิกัดพื้นดินทั่วบริเวณพื้นที่ศึกษาเพื่อนำมาสร้างแบบจำลองความสูงของพื้นที่ปลูกอ้อย โดยใช้โปรแกรม Qgis 2.18 ในการสร้างแบบจำลองความสูงของพื้นดิน (DEM_0) และแบบจำลองความสูงเหนือพื้นดิน (DEM_1) ซึ่งสามารถหาความสูงของต้นอ้อย ได้จากการนำแบบจำลองความสูงเหนือพื้นดิน (DEM_1) ลบด้วย แบบจำลองความสูงของพื้นดิน (DEM_0)



Figure 6 Orthophoto map at GSD 100 cm

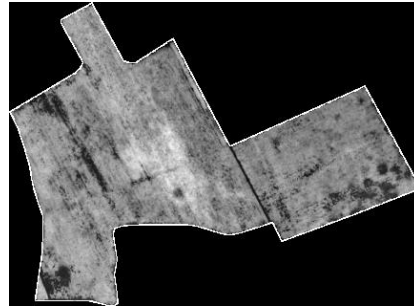


Figure 7 Digital Elevation Model

ในส่วนการวิเคราะห์ข้อมูลความสูงโดยมีการเก็บข้อมูลความสูงภาคสนามและนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบกับข้อมูลความสูงที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับ ผลที่ได้พบว่ามีค่าความถูกต้องที่เหมาะสม ดังแสดงใน Figure 8 ดังนั้นผู้วิจัยจึงนำค่าความสูงจากอากาศยานไร้คนขับไปใช้ในการวิเคราะห์ประมาณผลผลิตของอ้อย

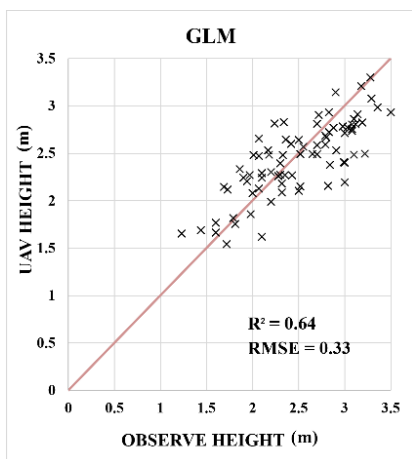


Figure 8 Scattering plot show compare observe height with UAV height

แผนการปฏิบัติงาน

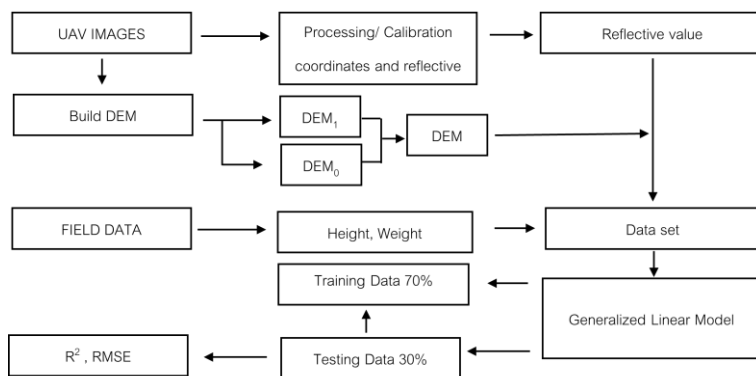


Figure 8 Flowchart plan

ผลการศึกษา

จากการหาความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตอ้อย ค่าสะท้อนแสง (r, g และ b) และความสูง (H) ที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับ สามารถวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูลด้วย สหสัมพันธ์ (Correlation) โดยแสดงเป็นค่าสัมประสิทธิ์

สหสัมพันธ์ (Coefficient of Correlation ; R) ในรูปแบบของ Correlation Heatmap ดังแสดงใน **Figure 9** โดยที่ค่า R จะไม่มีหน่วยและมีค่าตั้งแต่ -1 ถึง 1 ค่า R ค่าเข้าใกล้ -1 แสดงว่าตัวแปรมีความสัมพันธ์เชิงลบและมีความสัมพันธ์มาก ค่า R ค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่าตัวแปรมีความสัมพันธ์เชิงบวกและมีความสัมพันธ์มาก และค่า R ค่าเข้าใกล้ 0 แสดงว่าตัวแปรมีความสัมพันธ์กันน้อยหรือไม่มีความสัมพันธ์เชิงเส้น

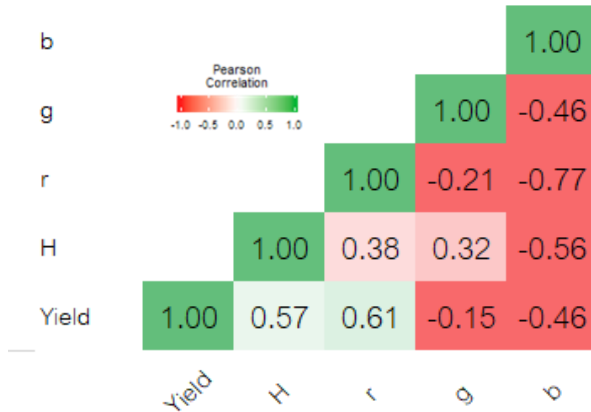


Figure 9 Correlation Heatmap

จาก **Figure 9** ผลแสดงให้เห็นว่าค่าผลผลิตอ้อยมีความสัมพันธ์กับค่าการสะท้อนแสงช่วงคลื่น r และ b และ ความสูง H ที่ค่อนข้างมาก ซึ่ง ตัวแปร g นั้นมีความสัมพันธ์ที่น้อย ดังนั้นจึงนำพารามิเตอร์ดังกล่าวไปใช้สร้างสมการเส้นตรง แสดงความสัมพันธ์ ดังสมการ

$$\text{Yield} = 2.262H + 20.925r - 13.77b - 5.22 \tag{1}$$

ผลการประมาณผลผลิตอ้อยด้วยวิธี General Linear Model (GLM) แสดงใน **Table 1** ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าผลผลิตอ้อยจากการสำรวจภาคสนามกับผลการประมาณค่าจากข้อมูลภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับแสดงในรูปแบบ ของ Scattering plot ดังแสดงใน **Figure 10** และแสดงแผนที่ใช้การประมาณผลผลิตใน **Figure 11**

Table 1 The R² values and the RMSE values of regression algorithms indicating P<0.005

Model	R ²	RMSE (t/rai)
General Linear Model	0.62	2.84

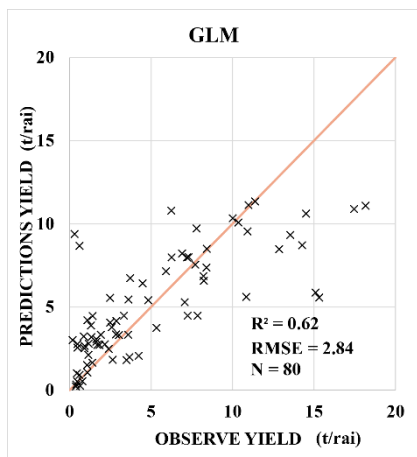


Figure 10 Scattering plot

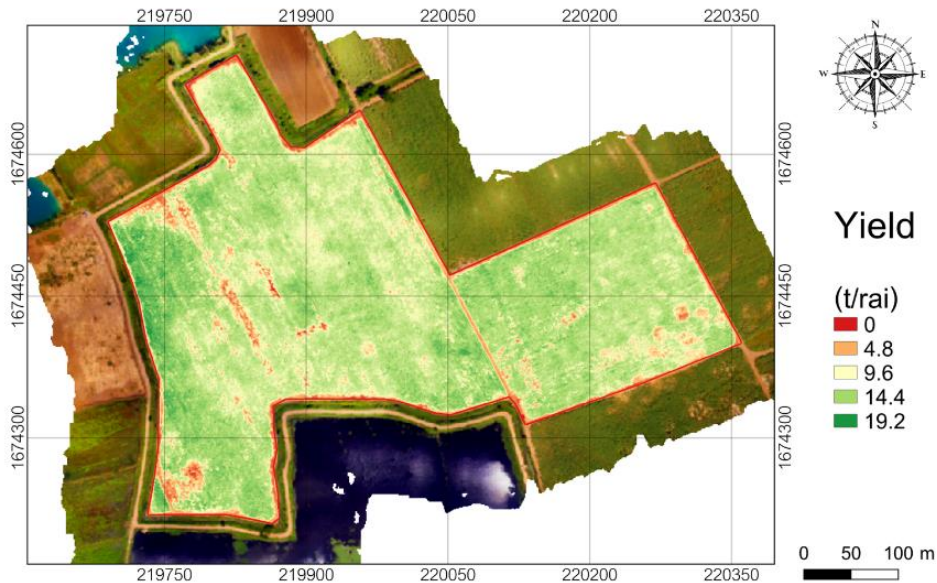


Figure 11 Map show the estimate yield sugarcane

วิจารณ์

จากการบินถ่ายภาพด้วยอากาศยานไร้คนขับเพื่อประมาณผลผลิตอ้อยในช่วงก่อนเก็บเกี่ยว 3 เดือนที่ความสูง 90 m ที่ระยะพื้นต่อพิกเซล (GSD) 100 เซนติเมตร โดยประเมินประสิทธิภาพการประมาณผลผลิตโดยรวมกับอัลกอริทึมแบบจำลองเชิงเส้นวางนัยทั่วไปให้ค่าความถูกต้อง R^2 เท่ากับ 0.62 และ RMSE เท่ากับ 2.84 จากการนำค่าการสะท้อนแสงและความสูงที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานการวิจัยของ (Som-ard et al., 2018) แต่เป็นวิธีการประมาณค่าผลผลิตด้วยวิธี Object-Based Image Analysis (OBIA) และวิธี Pixel Base ซึ่งความสูงที่ใช้เป็นการวัดความสูงเฉลี่ยจากสนาม ซึ่งทำให้มีการเก็บข้อมูลสนามมีขั้นตอนมากและมีขั้นตอนในการประมวลผลมาก

สรุป

การวิจัยนี้ทำการศึกษาความสามารถของค่าการสะท้อนแสงในแต่ละช่วงคลื่น คือ Red Green และ BLUE ที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับเพื่อนำใช้ในการประมาณค่าผลผลิตของอ้อยก่อนเก็บเกี่ยว 3 เดือน ทำการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองของการประมาณค่าผลผลิตของอ้อยด้วยแบบจำลองเชิงเส้นวางนัยทั่วไป (Generalized Linear Model) และที่ GSD 100 cm ซึ่งเหตุผลที่เลือกใช้ GSD 100 cm เพราะเนื่องจากระยะของการเพาะปลูกต้นอ้อย เท่ากับ 1.5 x 0.6 m (แถว x กอ) ทำให้ระยะพื้นต่อพิกเซล 100 cm มีความเหมาะสม ถ้าหากใช้ระยะต่ำกว่านี้จะทำให้ตรวจจับพบเป็นพื้นดินหรือวัชพืชได้มากกว่า ทำให้ค่าความถูกต้องในประมาณผลผลิตมีความคลาดเคลื่อนมาก รวมไปถึงขั้นตอนในการวิเคราะห์และประมวลผลนั้น ที่ GSD 100 cm จะทำการใช้เวลาในการวิเคราะห์และประมวลผลที่เร็ว ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกใช้ GSD 100 cm ซึ่งจากผลการศึกษาพบว่า อากาศยานไร้คนขับสามารถนำมาประมาณค่าผลผลิตอ้อยได้ดี และในการศึกษารุ่นนี้เป็นเพียงการศึกษาการประมาณค่าผลผลิตในช่วง 3 เดือนก่อนเก็บเกี่ยวเท่านั้น หากเพิ่มข้อมูลที่หลายอายุการเจริญเติบโตของอ้อยอาจจะส่งผลให้มีความถูกต้องที่แม่นยำมากยิ่งขึ้นและหากต้องการข้อมูลที่มีความละเอียดและแม่นยำสูงต้องใช้กล้องที่มีช่วงคลื่นในการตรวจวัดแบบ Hyperspectral (Adao, T. et. al, 2017) จะสามารถทำให้การประมาณค่าเพิ่มประสิทธิภาพได้มากยิ่งขึ้น และในการประเมินประสิทธิภาพการประมาณค่าด้วยอัลกอริทึมด้วยแบบจำลองเชิงเส้นวางนัยทั่วไป หากต้องการการวิเคราะห์ที่ขั้นสูงและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ควรวิเคราะห์ข้อมูลด้วยการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) (Han, L et al., 2019) ซึ่งจะทำให้การวิเคราะห์และประเมินประสิทธิภาพมีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น

คำขอบคุณ

ผู้เขียนขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม จ.มหาสารคาม สนับสนุนเครื่องมือและอุปกรณ์ในการวิจัย รวมถึงงบประมาณที่ใช้ในการนำเสนอบทความนี้ สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน) ที่ได้มอบทุนวิจัยสนับสนุนทุนวิจัยบัณฑิตศึกษาด้านการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตรจาก ประจำปีงบประมาณ 2563 และโรงน้ำตาลพิมาย ศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น สถาบันวิจัยพืชไร่และพลังงานทดแทน กรมวิชาการเกษตร ที่สนับสนุนเรื่องพื้นที่การศึกษาและอำนวยความสะดวกในการเก็บข้อมูลสาขานาม

เอกสารอ้างอิง

- สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย. 2562. โครงการจัดทำต้นทุนผลผลิตและถ่ายทอด ความรู้เพื่อลดต้นทุนการผลิตอ้อยของเกษตรกร ในปีเพาะปลูก 2562/63. แหล่งข้อมูล:
<http://www.ocsb.go.th/upload/journal/fileupload/923-1854.pdf>. ค้นเมื่อ 18 สิงหาคม 2562.
- Adão, T., J. Hruška, L. Pádua, J. Bessa, E. Peres, R. Morais, and J. J. Sousa. 2017. Hyperspectral imaging: A review on UAV-based sensors, data processing and applications for agriculture and forestry. *Remote Sensing*. 9(11): 1110.
- Bendig, J., A. Bolten, S. Bennertz, J. Broscheit, S. Eichfuss, and G. Bareth. 2014. Estimating Biomass of Barley Using Crop Surface Models (CSMs) Derived from UAV-Based RGB Imaging. 10395–10412. <https://doi.org/10.3390/rs6110395>.
- Chu, T., M. J. Starek, M. J. Brewer, S. C. Murray, and L. S. Pruter. 2017. Assessing lodging severity over an experimental maize (*Zea mays* L.) field using UAS images. *Remote Sensing*. 9(9): 923.
- Garcia-ruiz, F., S. Sankaran, J. Mari, W. Suk, J. Rasmussen, and R. Ehsani. 2013. Comparison of two aerial imaging platforms for identification of Huanglongbing-infected citrus trees. *Computers and Electronics in Agriculture*, 91, 106–115. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2012.12.002>
- Han, L., G. Yang, H. Dai, B. Xu, H. Yang, H. Feng, and X. Yang. 2019. Modeling maize above-ground biomass based on machine learning approaches using UAV remote-sensing data. *Plant Methods*, 15(1): 10.
- Jensen, J. R. 2007. Remote sensing of vegetation. *Remote sensing of the environment: an earth resource perspective*. Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.
- Luna, I., and A. Lobo. 2016. Mapping Crop Planting Quality in Sugarcane from UAV Imagery : A Pilot Study in Nicaragua.1–18. <https://doi.org/10.3390/rs8060500>.
- Na, S., C. Park, and K. Lee. 2016. Application of Highland Kimchi Cabbage Status Map for Growth Monitoring based on Unmanned Aerial Vehicle. 6315(5): 469–479.
- Som-ard, J., M. D. Hossain, S. Ninsawat, and V. Veerachitt. 2018. Pre-harvest Sugarcane Yield Estimation Using UAV-Based RGB Images and Ground Observation. *Sugar Tech*. 20(6): 645–657. <https://doi.org/10.1007/s12355-018-0601-7>.
- Yang, Q., L. Shi, J. Han, Y. Zha, and P. Zhu. 2019. Deep convolutional neural networks for rice grain yield estimation at the ripening stage using UAV-based remotely sensed images. *Field Crops Research*. 235: 142-153.
- Zhou, X., H. B. Zheng, X. Q. Xu, J. Y. He, X. K. Ge, X. Yao, and Y. C. Tian. 2017. Predicting grain yield in rice using multi-temporal vegetation indices from UAV-based multispectral and digital imagery. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 130: 246-255.