

การศึกษาประสิทธิภาพการใช้อากาศยานไร้คนขับ 2 รุ่นสำหรับการสร้างแผนที่ความละเอียดสูง
กรณีศึกษา: การทำแผนที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
Study on the Efficiency of Two Models of Unmanned Aerial Vehicle (Drones) for
Accurate Mapping: Case Study at Rajamangala University of
Technology Isan Khon Kaen Campus

ดร.ธนพล พรหมรักษา (Dr.Thanapol Promraksa)* ดร.ทรงพล ทรงแสงฤทธิ์ (Dr.Songphol Songsaengrit)^{1*}

(Received: December 2, 2024; Revised: April 16, 2025; Accepted: April 19, 2025)

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินประสิทธิภาพและความแตกต่างของแผนที่ความละเอียดสูงที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับรุ่น DJI Phantom 4 Pro และ DJI Mavic 3 Enterprise ในพื้นที่ศึกษามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 161,600 ตร.ม. ด้วยเทคนิคการถ่ายภาพที่กำหนดค่าความละเอียดของจุดภาพพื้นดิน (GSD) เท่ากับ 5 ซม. แนวการบินส่วนซ้อนทับระหว่างภาพด้านหน้าและข้างเท่ากับร้อยละ 70 กำหนดจุดควบคุมภาคพื้นดินจำนวน 13 ตำแหน่ง และจุดตรวจสอบจำนวน 7 ตำแหน่ง จากนั้นนำภาพที่ได้ทั้งหมดไปประมวลผลด้วยโปรแกรม Agisoft Photoscan และคำนวณค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (RMSE) ผลการศึกษาพบว่าภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับจำนวน 2 รุ่น สามารถสร้างแผนที่ความละเอียดสูงของพื้นที่การศึกษได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งภาพถ่ายได้จากอากาศยานไร้คนขับจำนวน 2 รุ่นสามารถสร้างแผนที่ความละเอียดสูงที่มาตรฐาน 1:300 และมีค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยในทางราบเท่ากับ 0.015 และ 0.018 ม. และทางตั้ง 0.052 และ 0.057 ม. ตามมาตรฐาน ASPRS ไม่แตกต่างกัน อากาศยานไร้คนขับเป็นเทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพในการทำแผนที่ที่สามารถเก็บข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำ ซึ่งช่วยลดระยะเวลาและงบประมาณในการดำเนินงาน

ABSTRACT

This research aimed to the efficiency and differences in accurate mapping from the DJI Phantom 4 Pro and DJI Mavic 3 Enterprise unmanned aerial vehicles (UAVs). The study area is Rajamangala University of Technology Isan Khon Kaen Campus, which covers an area of 161,600 m². The camera was set at the ground sampling distance of 5 cm/pixel with forward and side overlaps of 70%. 13 ground control points and 7 check points were scattered on the study area. The Image processing was performed by the Agisoft Photoscan software and the root mean square error (RMSE) error value was calculated. The study found that photogrammetry from 2 models of UAVs were able to efficiently create an accurate mapping of the study area. Vertical photographs from two UAVs can produce accurate mapping at a scale of 1:300 and RMSE of 0.015 and 0.018 m in horizontal direction and 0.052 and 0.057 m in vertical direction according to the ASPRS standard were not different. UAVs are an efficient mapping technology that can collect aerial photographic data quickly and accurately. Which helps reduce the time and budget of the operation.

คำสำคัญ: แผนที่ความละเอียดสูง ภาพถ่ายทางอากาศ อากาศยานไร้คนขับ

Keywords: Accurate mapping, Photogrammetry, Unmanned aerial vehicles

¹Corresponding author: songphol.so@rmu.ac.th

*อาจารย์ สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

Lecturer, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Isan, Khon Kaen Campus

บทนำ

ปัจจุบันได้มีการนำเทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicles: UAVs) มาถ่ายภาพทางอากาศมาใช้ประโยชน์ในงานหลากหลายสาขา เนื่องจากใช้งานง่ายและความคล่องตัวสูง [1] รวมถึงได้มีการนำอากาศยานไร้คนขับมาใช้ในการสำรวจเพื่อจัดทำแผนที่ด้วย โดยการใช้เทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับช่วยให้สามารถตรวจสอบพื้นที่และโครงสร้างพื้นฐานขนาดใหญ่ได้อย่างมีประสิทธิภาพภายในระยะเวลาอันสั้นเมื่อเทียบกับเทคนิคทั่วไป [2] การทำแผนที่ด้วยอากาศยานไร้คนขับใช้วิธีการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ (Real time kinematic: RTK) เป็นวิธีระบุพิกัดและค่าระดับจากการรับสัญญาณดาวเทียมซึ่งเป็นวิธีทำให้ประสิทธิภาพและความแม่นยำในระดับเซนติเมตร [3] ซึ่งหลักการการทำงานของ RTK คือ ต้องใช้เครื่องรับสัญญาณจำนวน 2 เครื่อง เครื่องแรกวางไว้ที่หมุดหลักฐาน (Base station) และเครื่องที่สองนำไปวางตามจุดที่ต้องการทราบพิกัด (Rover)

การศึกษาที่ผ่านมาได้มีการจัดทำแผนที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี พื้นที่การศึกษาราชบุรีที่มีขนาดพื้นที่ 1.6 ตร.กม. ด้วยการใช้เทคนิคภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ ผลการศึกษาทั้งภาพออร์โธ และแบบจำลองระดับพื้นผิววัตถุ มีความถูกต้องเชิงตำแหน่งอยู่ในระดับสูงสุดตามมาตรฐาน ASPRS 2014 และส่วนความถูกต้องทางดิ่งที่ 10 ซม. ถือเป็นว่ามีความถูกต้องในระดับสูง [4] นอกจากนั้นยังมีการใช้เทคนิคภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับในการสร้างแบบจำลองความสูง (Digital surface models) และภาพออร์โธ ซึ่งตรวจสอบความแม่นยำด้วยการคำนวณค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (Root Mean Square Error: RMSE) ผลการศึกษาได้แผนที่ที่มีมาตราส่วน 1:150 และมีเส้นชั้นความสูง (Contour Interval) 15 ซม. ซึ่งเพียงพอต่องานด้านวิศวกรรม [5] ในปัจจุบันอากาศยานไร้คนขับมีความหลากหลายมากขึ้นเรื่อย ๆ ไม่ว่าจะเป็นรูปทรงและคุณสมบัติที่แตกต่างกัน จึงมีการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบความสามารถของอากาศยานไร้คนขับในการถ่ายภาพเพื่อใช้สำรวจทางธรรมชาติ ซึ่งพิจารณาคุณสมบัติการบินและภาพถ่ายทางอากาศของอากาศยานไร้คนขับ ผลการศึกษพบว่าอากาศยานไร้คนขับแต่ละรุ่นมีความสามารถในการใช้งานที่มีจุดเด่นแตกต่างกันออกไป [6] จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าอากาศยานไร้คนขับมีประสิทธิภาพในการถ่ายภาพทางอากาศเพื่อใช้ในการจัดทำแผนที่ ซึ่งพื้นที่ภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตขอนแก่น มีพื้นที่ในหลายลักษณะ ได้แก่ อาคารสูง อาคารปฏิบัติการ พื้นที่สวน ถนน สนามกีฬา และพื้นที่อาศัย เป็นต้น ปัจจุบันมีการใช้พื้นที่แตกต่างไปจากอดีต ซึ่งยังไม่มีมีการรังวัดบนพื้นที่มหาวิทยาลัยอย่างถูกต้องและเป็นปัจจุบัน มากไปกว่านั้นจะเห็นได้ว่าอากาศยานไร้คนขับแต่ละรุ่นให้ข้อมูลที่แตกต่างกันไป ดังนั้นการศึกษครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินประสิทธิภาพของอากาศยานไร้คนขับในการสร้างแผนที่ความละเอียดสูง และศึกษาความแตกต่างของแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับจำนวน 2 รุ่นในพื้นที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตขอนแก่น

วิธีการวิจัย

1. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

- 1.1 โปรแกรมระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ DJI GO, Agisoft Photoscan, UAV Forecast for Drone Pilots
- 1.2 อากาศยานไร้คนขับ รุ่น DJI Phantom 4 Pro และ DJI Mavic 3 Enterprise (ตารางที่ 1)
- 1.3 อุปกรณ์รังวัดพิกัดดาวเทียมแบบจลน์ รุ่น CHC i70

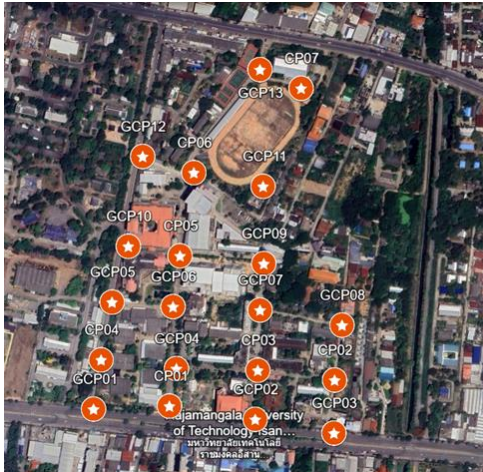
ตารางที่ 1 คุณสมบัติอากาศยานไร้คนขับรุ่น DJI Phantom 4 Pro และ DJI Mavic 3 Enterprise

คุณสมบัติ	DJI Phantom 4 Pro	DJI Mavic 3 Enterprise
กล้องและเซ็นเซอร์	- เซ็นเซอร์แสง (complementary metal oxide semiconductor: CMOS) ขนาด 1 นิ้ว ความละเอียด 20 MP	- กล้องหลัก เซ็นเซอร์แสง (CMOS) ขนาด 4/3 นิ้ว ความละเอียด 20 MP - กล้องเทเลโฟโต้ เซ็นเซอร์แสง (CMOS) ขนาด 1/2 นิ้ว ความละเอียด 12 MP
เลนส์	- ขอบเขตการมองเห็น (field of view: FOV) 84 องศา - ระยะโฟกัสเทียบเท่า 24 มม. - รูรับแสง f/2.8 ถึง f/11 - โฟกัส 1 ม. ถึง อนันต์	- ขอบเขตการมองเห็น (FOV) 84 องศา - ระยะโฟกัสเทียบเท่า 24 มม. - รูรับแสง f/2.8 ถึง f/11 - โฟกัส 1 ม. ถึง อนันต์
ขนาดภาพ	4864 × 3648 พิกเซล	5280 × 3956 พิกเซล
ระบบกำหนดตำแหน่ง (GNSS)	- GPS, GLONASS	- GPS, Galileo, BeiDou, GLONASS ร่วมกับ RTK
ความแม่นยำเชิงตำแหน่ง	GCP	GCP, RTK
ระยะเวลาการบิน	30 นาที	45 นาที

2. ขั้นตอนการวิจัย

2.1 กำหนดค่าความละเอียดของจุดภาพพื้นบนดิน (Ground sample distance: GSD) เท่ากับ 5 ซม. ต่อจุดภาพ โดยมีความละเอียดของจุดภาพพื้นบนดิน (GSD) อยู่ในช่วง 3.8 ถึง 7.5 ซม. ต่อจุดภาพ เป็นค่าที่อยู่ในช่วงมาตรฐานความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบของ American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS) ที่แผนที่มาตราส่วน 1:300 [7]

2.2 กำหนดตำแหน่งจุดควบคุมภาคพื้นดิน (Ground Control Point: GCP) จำนวน 13 ตำแหน่ง และตำแหน่งจุดตรวจสอบ (Check point) จำนวน 7 ตำแหน่ง เพื่อให้ได้พิกัดตำแหน่งทั้ง 20 จุด ครอบคลุมขอบเขตพื้นที่ศึกษา (ภาพที่ 1 ก) โดยใช้สัญญาณดาวเทียม Global Navigation Satellite System (GNSS) ด้วยวิธีการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ (RTK) (ภาพที่ 1ข)



(ก)



(ข)

ภาพที่ 1 ตำแหน่งจุดควบคุมภาคพื้นดินและหมุดตรวจสอบ (ก) และ วิธีการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ (RTK) (ข)

2.3 กำหนดแนวการบิน โดยให้ภาพถ่ายมีส่วนซ้อนทับระหว่างภาพตามแนวนินด้านหน้าและด้านข้าง เท่ากับร้อยละ 70 และความสูงแนวนินเท่ากับ 180 ม. ซึ่งจะได้ค่าความละเอียดของจุดภาพพื้นบนดิน (GSD) ตามที่กำหนด ตำแหน่งที่เริ่มการบินขึ้นและลงอยู่บริเวณกึ่งกลางพื้นที่ศึกษา เส้นทางการบินแบบตารางไขว้สองทิศทาง (double grid flight pattern) ทำการบินที่ภาพด้วยแอปพลิเคชัน Pix4D ในตำแหน่งที่ทำการวางแผนการบิน (ภาพที่ 2)



ภาพที่ 2 แนวการบินและความสูงในการบินด้วย Application Pix4D

2.4 ประมวลภาพถ่ายทางอากาศ (Orthophoto) ด้วยโปรแกรม Agisoft Photoscan เพื่อสร้างแผนที่พื้นที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี เขตขอนแก่น

2.5 คำนวณเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนด้วยค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (RMSE) ตามมาตรฐาน ASPRS และ National standard for spatial data accuracy (NSSDA) ของตำแหน่งจุดตรวจสอบ 7 ตำแหน่ง ที่ได้จากแผนที่ภาพถ่ายจากอากาศยานไว้คนขับกับค่าพิกัดที่ได้จากสัญญาณดาวเทียม GNSS ระบบ RTK ด้วยสมการที่ (1) (2) และ (3) สำหรับคำนวณค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยทางราบตามแกน x (ทิศตะวันออก) ตามแกน y (ทิศเหนือ) และค่าคลาดเคลื่อนรวมเฉลี่ยในทางราบ ตามลำดับ สมการที่ (4) สำหรับคำนวณค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยทางตั้ง จากนั้นนำมาคำนวณค่าความละเอียดถูกต้อง (Accuracy) เชิงตำแหน่งที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วยการนำ

ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (RMSE) และค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการแจกแจงปกติ ในสมการที่ (5) และ (6) สำหรับคำนวณค่าความละเอียดถูกต้องทางราบและทางตั้ง ตามลำดับ ซึ่งสามารถคำนวณได้ ดังนี้

ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยทางราบ [8]

$$RMSE_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_{data,i} - x_{check,i})^2}{n}} \quad (1)$$

$$RMSE_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_{data,i} - y_{check,i})^2}{n}} \quad (2)$$

$$RMSE_r = \sqrt{(RMSE_x)^2 + (RMSE_y)^2} \quad (3)$$

ค่าคลาดเคลื่อนรากกำลังสองเฉลี่ยทางตั้ง [8]

$$RMSE_z = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (z_{data,i} - z_{check,i})^2}{n}} \quad (4)$$

เมื่อ $RMSE_x$ คือ ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยในทางราบตามแกน x (ทิศตะวันออก)

$RMSE_y$ คือ ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยในทางราบตามแกน y (ทิศเหนือ)

$RMSE_r$ คือ ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนรวมเฉลี่ยในทางราบ

$RMSE_z$ คือ ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยในทางตั้ง

n คือ จำนวนจุดตรวจสอบ (Check point)

i คือ ลำดับของจุดตรวจสอบ ตั้งแต่ 1 ถึง n

$x_{data,i}$ $y_{data,i}$ และ $z_{data,i}$ คือ ค่าพิกัดตามแกน x y และ z ที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับ ณ จุดตรวจสอบที่ i

$x_{check,i}$ $y_{check,i}$ และ $z_{check,i}$ คือ ค่าพิกัดตามแกน x y และ z ที่ได้จากสัญญาณดาวเทียม GNSS ณ จุดตรวจสอบที่ i

ค่าความละเอียดถูกต้อง (Accuracy) เชิงตำแหน่งที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 [7]

ค่าความละเอียดถูกต้องทางราบ (Accuracy_r)

$$Accuracy_r = \frac{2.4477 \times RMSE_r}{1.4142} \quad (5)$$

$$Accuracy_r = 1.7308 \times RMSE_r$$

เมื่อ $Accuracy_r$ คือ ค่าความละเอียดถูกต้องของตำแหน่งทางราบ

$RMSE_r$ คือ ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนรวมเฉลี่ยในทางราบ

ค่าความละเอียดถูกต้องทางตั้ง $Accuracy_z$

$$Accuracy_z = 1.9600 \times RMSE_z \quad (6)$$

เมื่อ $Accuracy_z$ คือ ค่าความละเอียดถูกต้องของตำแหน่งทางตั้ง

$RMSE_z$ คือ ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยในทางตั้ง

2.6 เปรียบเทียบภาพถ่ายทางอากาศ (Orthophoto) และความถูกต้องของตำแหน่งจากอากาศยานไร้คนขับทั้ง 2 รุ่น

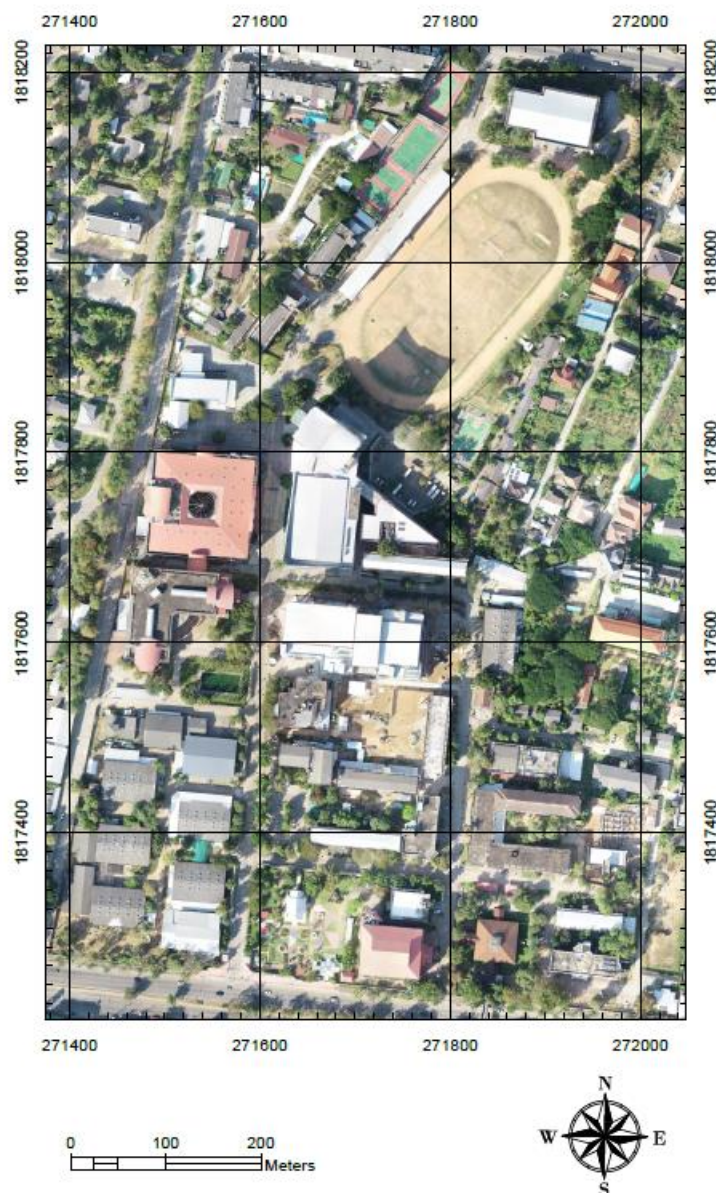
ผลการวิจัย

ผลการสำรวจและประมวลภาพถ่ายทางอากาศจากอากาศยานไร้คนขับ ในพื้นที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น สามารถแบ่งผลการวิจัยได้ 3 ส่วน ได้แก่

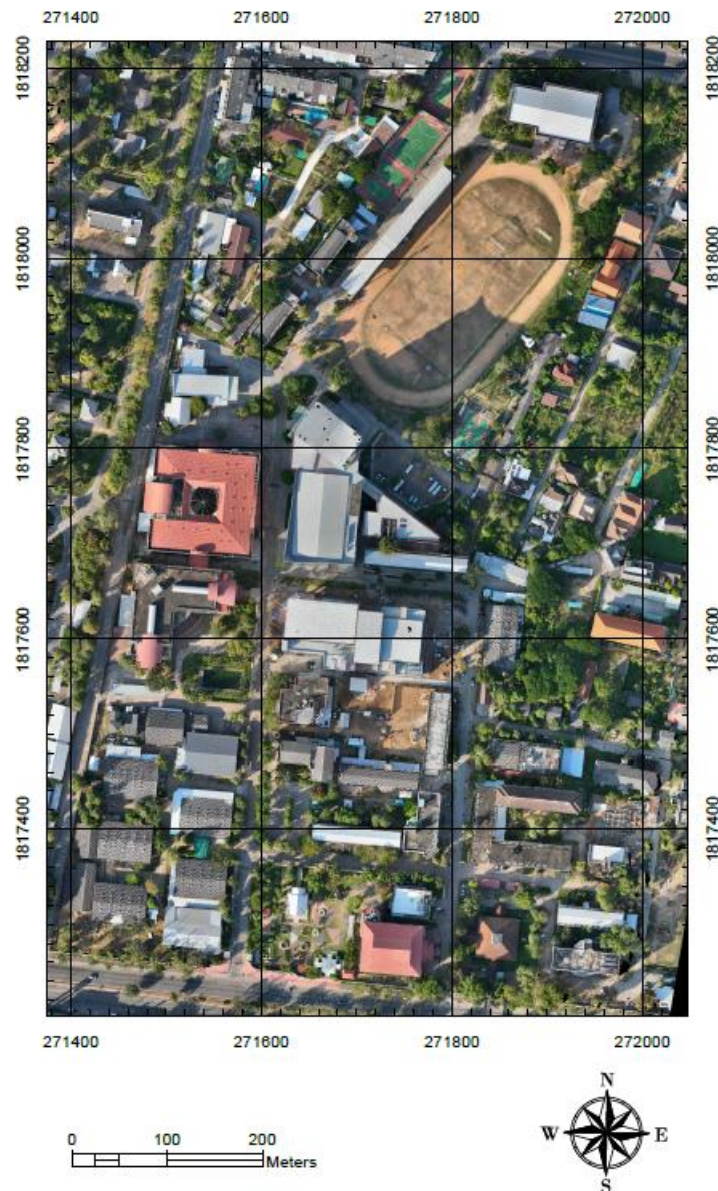
1. แผนที่ภาพถ่ายทางอากาศ (Orthophoto) ประมวลผลด้วยโปรแกรม Agisoft Photoscan โดยอากาศยานไร้คนขับ รุ่น DJI Phantom 4 Pro และ DJI Mavic 3 Enterprise

พื้นที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น ครอบคลุมพื้นที่ 161,600 ตร.ม. ตั้งอยู่บนพิกัด 1,817,600 'N, 271,800 'E ต.ในเมือง อ.เมือง จ.ขอนแก่น การวิจัยครั้งนี้ได้ภาพถ่ายทางอากาศครอบคลุมพื้นที่สำรวจจากอากาศยานไร้คนขับ การกำหนดแนวบินถ่ายภาพทั้ง 2 รุ่น คือ กำหนดความสูงในการบินเท่ากับ 180 ม. และส่วนซ้อนทับระหว่างภาพตามแนวบินด้านหน้าและด้านข้างเท่ากับร้อยละ 70 อากาศยานไร้คนขับ รุ่น DJI Phantom 4 Pro บันทึกภาพเมื่อวันที่ 10 ธันวาคม 2566 เวลา 14.00 น. มีภาพที่ใช้ประมวลทั้งหมด 210 ภาพ ส่วนอากาศยานไร้คนขับ รุ่น DJI Mavic 3 Enterprise บันทึกภาพเมื่อวันที่ 10 ธันวาคม 2566 เวลา 15.00 น. มีภาพที่ใช้ประมวลทั้งหมด 155 ภาพ ซึ่ง จำนวนภาพที่ได้แตกต่างกันจากขนาดภาพที่แตกต่างกันไปตามคุณสมบัติอากาศยานไร้คนขับ (ตารางที่ 1)

การประมวลภาพถ่ายทางอากาศด้วยโปรแกรม Agisoft Photoscan จากข้อมูลตำแหน่งจุดควบคุมภาคพื้นดินจำนวน 13 จุด และตำแหน่งจุดตรวจสอบจำนวน 7 จุด กับภาพถ่ายทางอากาศจากอากาศยานไร้คนขับ ภาพถ่ายทางอากาศที่เข้าโปรแกรมมีหลายขั้นตอนประกอบด้วย ขั้นตอนการจัดเรียงของมุมจุดภาพ (Align Photo) เป็นขั้นตอนนำภาพมาจัดเรียงแล้วเลือกเอาจุดของภาพที่เหมือนกันมาสร้างโมเดล ขั้นตอนการทำจุดควบคุมภาพตำแหน่งจุดควบคุมภาคพื้นดินและตำแหน่งจุดตรวจสอบ ขั้นตอนความหนาแน่นของจุดภาพ (Dense Cloud) เป็นการสร้างจุดจำลองในแกนสามมิติเพื่อให้ได้รูปทรงของวัตถุเป็นแบบจำลองสามมิติ ขั้นตอนการสร้างโครงข่ายพื้นผิว (Build Mesh) เป็นการสร้างพื้นผิววัตถุของจุดภาพในกลายเป็นพื้นผิววัตถุสามมิติ ขั้นตอนแบบจำลองความสูงภูมิประเทศ (DEM) และขั้นตอนการสร้างภาพตั้ง (Orthophoto) ซึ่งทำให้ได้แผนที่ภาพถ่ายทางอากาศในพื้นที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่นจาก DJI Phantom 4 Pro (ภาพที่ 3) และ DJI Mavic 3 Enterprise (ภาพที่ 4) ตามลำดับ



ภาพที่ 3 แผนที่ภาพถ่ายทางอากาศในพื้นที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่นจาก DJI Phantom 4 Pro มาตราส่วน 1:5,000



ภาพที่ 4 แผนที่ภาพถ่ายทางอากาศในพื้นที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่นจาก DJI Mavic 3 Enterprise มาตราส่วน 1:5,000

2. ความถูกต้องของตำแหน่งในแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศของอากาศยานไร้คนขับ รุ่น DJI Phantom 4 Pro และ DJI Mavic 3 Enterprise

การประเมินความถูกต้องของข้อมูลเชิงตำแหน่งของภาพถ่ายทางอากาศ ตรวจสอบด้วยค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (RMSE) จากจุดตรวจสอบจำนวน 7 จุด ที่กระจายทั่วบริเวณพื้นที่ศึกษา (ภาพที่ 1ก) ความถูกต้องของตำแหน่งในแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศของอากาศยานไร้คนขับ รุ่น DJI Phantom 4 Pro มีค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนรวมเฉลี่ยในทางราบ (RMSE_r) และทางตั้ง (RMSE_z) เท่ากับ 0.015 และ 0.052 ม. ตามลำดับ และเมื่อทำการตรวจสอบความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ของภาพถ่ายทางอากาศ พบว่ามีค่าความถูกต้องเชิง

ตำแหน่งในทางราบและทางตั้งเท่ากับ 0.026 และ 0.102 ม. ตามลำดับ ในส่วนความถูกต้องของตำแหน่งในแผนที่ภาพถ่าย
 ดิ่งทางอากาศของอากาศยานไร้คนขับ รุ่น DJI Mavic 3 Enterprise มีค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนรวมเฉลี่ยในทางราบ
 (RMSE_r) และทางตั้ง (RMSE_z) เท่ากับ 0.018 และ 0.057 ม. ตามลำดับ และความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางที่ระดับความเชื่อมั่น
 ร้อยละ 95 ของภาพถ่ายทางอากาศ พบว่ามีค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งในทางราบและทางตั้งเท่ากับ 0.032 และ 0.112 ม.
 ตามลำดับ (ตารางที่ 2) จะเห็นได้ว่าค่าความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งในการถ่ายภาพดิ่งทางอากาศของอากาศยานไร้คนขับทั้ง
 2 รุ่น มีความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งแตกต่างกันเล็กน้อย

ตารางที่ 2 ความถูกต้องเชิงตำแหน่ง (Positioning Accuracy) ภาพถ่ายดิ่งทางอากาศของอากาศยานไร้คนขับ รุ่น DJI
 Phantom 4 Pro และ รุ่น DJI Mavic 3 Enterprise

ตำแหน่ง	ค่าพิกัดของจุดตรวจสอบจากการสำรวจ (ม.)			ค่าความคลาดเคลื่อนของค่าพิกัดที่ได้จากแผนที่ภาพถ่ายดิ่งทางอากาศ (ม.)					
				DJI Phantom 4 Pro			DJI Mavic 3 Enterprise		
	x	y	z	Δx	Δy	Δz	Δx	Δy	Δz
CP1	271767.495	1817507.602	158.486	-0.0069	-0.0052	0.0033	-0.0039	-0.0306	0.0283
CP2	272033.657	1817546.197	155.568	0.0144	0.0034	-0.0090	-0.0091	0.0055	0.0095
CP3	271910.122	1817563.833	158.092	0.0021	-0.0013	-0.0453	0.0059	-0.0226	0.0725
CP4	271658.537	1817582.719	158.463	0.0148	-0.0119	0.0126	0.0000	0.0076	0.0066
CP5	271787.116	1817747.610	156.148	-0.0197	0.0047	-0.0092	-0.0066	0.0025	0.0207
CP6	271810.614	1817880.218	154.086	0.0131	0.0136	-0.0480	-0.0056	-0.0200	0.0938
CP7	271985.010	1818013.564	152.387	0.0050	0.0128	0.0866	-0.0107	-0.0102	-0.0858
ค่าเฉลี่ย (ม.)				0.0033	0.0023	-0.0080	-0.0043	-0.0097	0.0208
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ม.)				0.0119	0.0086	0.0513	0.0053	0.0141	0.0531
ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (RMSE) (ม.)				0.0123	0.0089	0.0519	0.0068	0.0171	0.0570

หมายเหตุ: CP คือ จุดตรวจสอบ

x คือ ค่าพิกัดแกน x (ทิศตะวันออก)

y คือ ค่าพิกัดแกน y (ทิศเหนือ)

z คือ ค่าพิกัดแกน z (ระดับความสูง)

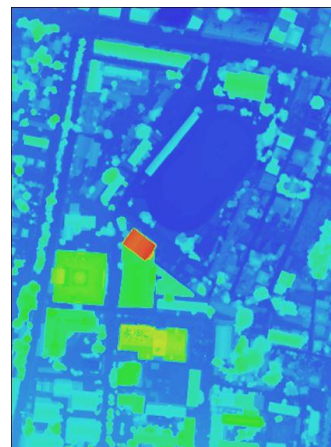
3. ความแตกต่างของภาพถ่ายดิ่งทางอากาศที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับ รุ่น DJI Phantom 4 Pro และ DJI Mavic 3 Enterprise ประมวลผลด้วยโปรแกรม Agisoft Photoscan

การวิจัยครั้งนี้พิจารณาความแตกต่างภาพถ่ายดิ่งทางอากาศที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับ รุ่น DJI Phantom 4 Pro และ DJI Mavic 3 Enterprise ใน 3 ประเด็นดังนี้ ประเด็นแรกความแตกต่างของภาพแบบจำลองความสูงภูมิประเทศ (DEM) ของพื้นที่ศึกษาโดยอากาศยานไร้คนขับ รุ่น DJI Phantom 4 Pro (ภาพที่ 5ก) และ DJI Mavic 3 Enterprise (ภาพที่ 5ข) โทนสีแดงจะอยู่ระดับสูงและโทนสีเขียวอยู่ในระดับต่ำ พบว่าแบบจำลองความสูงภูมิประเทศโดยอากาศยานไร้คนขับรุ่น DJI Mavic 3 Enterprise มีความคมชัดของโทนสีซึ่งแสดงให้เห็นถึงระดับสูงต่ำของพื้นที่ศึกษาได้อย่างมี

ประสิทธิภาพ ประเด็นที่สองความแตกต่างของภาพถ่ายทางอากาศ (Orthophoto) โดยอากาศยานไร้คนขับ รุ่น DJI Phantom 4 Pro (ภาพที่ 6ก) และ DJI Mavic 3 Enterprise (ภาพที่ 6ข) พบว่ามีความแตกต่างกันในเรื่องความสามารถในการควบคุมการรับแสง ซึ่งส่งผลต่อความสมบูรณ์ของภาพถ่าย เช่น ขอบของหลังคาจากภาพถ่ายทางอากาศ โดยอากาศยานไร้คนขับ รุ่น DJI Mavic 3 Enterprise Pro (ภาพที่ 7ข) มีความสมบูรณ์กว่า รุ่น DJI Phantom 4 Pro (ภาพที่ 7ก) ประเด็นที่สามความแตกต่างของค่าความคลาดเคลื่อนของตำแหน่ง โดยอากาศยานไร้คนขับ รุ่น DJI Phantom 4 Pro (ภาพที่ 8ก) และ DJI Mavic 3 Enterprise (ภาพที่ 8ข) พบว่ามีความแตกต่างกันเป็นไปตามคุณสมบัติของอากาศยานไร้คนขับ โดยอากาศยานไร้คนขับ รุ่น DJI Mavic 3 Enterprise มีระบบการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ (RTK) ในตัวจึงช่วยเพิ่มความแม่นยำของค่าพิกัดแบบเรียลไทม์



(ก)



(ข)

ภาพที่ 5 ภาพแบบจำลองความสูงภูมิประเทศ (DEM) ของพื้นที่ศึกษาโดยอากาศยานไร้คนขับ
รุ่น DJI Phantom 4 Pro (ก) และ DJI Mavic 3 Enterprise (ข)



(ก)

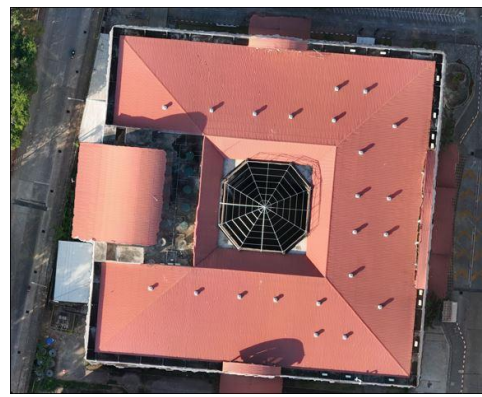


(ข)

ภาพที่ 6 ภาพถ่ายทางอากาศ (Orthophoto) โดยอากาศยานไร้คนขับ
รุ่น DJI Phantom 4 Pro (ก) และ DJI Mavic 3 Enterprise (ข)

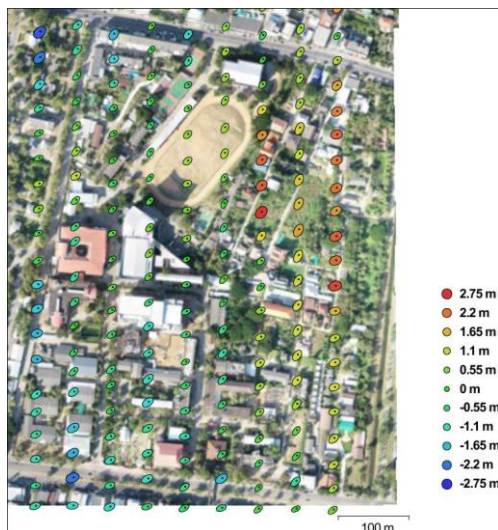


(ก)

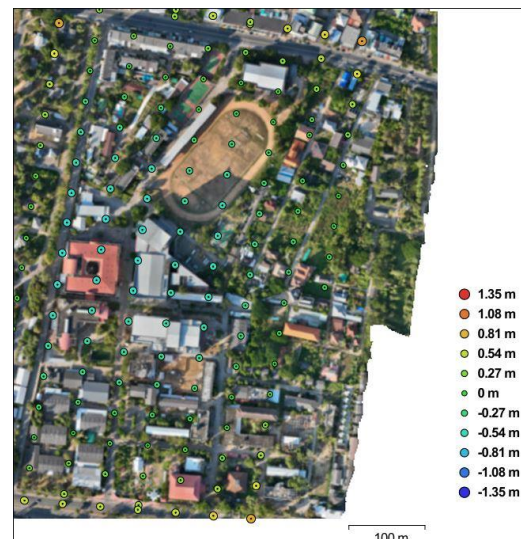


(ข)

ภาพที่ 7 ภาพถ่ายดิ่งทางอากาศ (Orthophoto) ขอบหลังคาของอาคาร โดยอากาศยานไร้คนขับ
รุ่น DJI Phantom 4 Pro (ก) และ DJI Mavic 3 Enterprise (ข)



(ก)



(ข)

ภาพที่ 8 ภาพถ่ายดิ่งทางอากาศที่แสดงค่าความคลาดเคลื่อนของตำแหน่ง โดยอากาศยานไร้คนขับ
รุ่น DJI Phantom 4 Pro (ก) และ DJI Mavic 3 Enterprise (ข)

อภิปรายผลการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ได้นำอากาศยานไร้คนขับจำนวน 2 รุ่น ในการทำแผนที่ความละเอียดสูงพื้นที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น ที่มีขนาดพื้นที่ 161,600 ตร.ม. ด้วยกำหนดรูปแบบการบินถ่ายด้วยเทคนิคเดียวกัน จากนั้นนำภาพถ่ายดิ่งทางอากาศ (Orthophoto) ประมวลผลด้วยโปรแกรม Agisoft Photoscan และประเมินความถูกต้องของตำแหน่ง ผลลัพธ์พบว่าภาพถ่ายดิ่งจากอากาศยานไร้คนขับจำนวน 2 รุ่น มีความสามารถสร้างแผนที่ความ

ละเอียดสูงของพื้นที่การศึกษาได้อย่างมีประสิทธิภาพตามเกณฑ์มาตรฐาน ASPRS ในการจัดทำแผนที่มาตราส่วน 1:300 ที่มีค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ในระดับที่ 1 (Class 1) ไม่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตามแบบจำลองความสูงภูมิประเทศ ภาพถ่ายทางอากาศ และค่าความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งมีความแตกต่างกันบ้างเป็นไปตามคุณสมบัติของเครื่อง การวิจัยครั้งนี้ได้ให้ข้อมูลที่สำคัญเกี่ยวกับการทำแผนที่เพื่อผู้สนใจสามารถเลือกอุปกรณ์ที่นำไปใช้งานในการสร้างแผนที่ได้อย่างเหมาะสมกับวัตถุประสงค์และทรัพยากรของแต่ละโครงการต่อไป

การวิจัยครั้งนี้ใช้ความละเอียดของจุดภาพพื้นบนดิน (GSD) เท่ากับ 5 ซม. ต่อจุดภาพ เป็นค่าที่อยู่ในช่วงมาตรฐานความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบของ ASPRS ที่แผนที่มาตราส่วน 1:300 [7] เพื่อให้ได้คุณภาพของภาพที่มีความละเอียดสูง และอากาศยานไร้คนขับทั้ง 2 รุ่นในการวิจัยสามารถตามแนวการบินความสูงที่ปลอดภัยและถูกต้องตามกฎหมาย มากไปกว่านั้นสอดคล้องการวิจัยที่ผ่านมาพบว่าการใช้อากาศยานไร้คนขับบินที่กำหนดแนวกบินในระดับความสูงที่มีความละเอียดของจุดภาพพื้นบนดิน (GSD) เท่ากับ 5 ซม. ต่อจุดภาพ สามารถนำไปผลิตแผนที่มหาวิทยาลัย [4] และพื้นที่บ่อฝังกลบ [9] ที่มีความละเอียดสูงได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยความละเอียดของจุดภาพพื้นบนดินมีความสำคัญในการสร้างแผนที่ที่มีความละเอียดสูง จำเป็นต้องพิจารณาปัจจัยด้านพื้นที่ ระยะเวลาเก็บข้อมูลและการประมวลผลของแต่ละโครงการร่วมด้วย นอกจากนี้ยังมีการวิจัยเกี่ยวกับตำแหน่งจุดควบคุมภาคพื้นดิน (GCP) ต่อแนวกบินของตำแหน่งแผนที่ในพื้นที่ Universiti Sains Malaysia พบว่าตำแหน่งจุดควบคุมภาคพื้นดินที่น้อยที่สุดที่ทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนน้อยอยู่ในช่วง 8-10 ตำแหน่ง แต่อย่างไรก็ตามหากพื้นที่ศึกษามีขนาดใหญ่ต้องมีตำแหน่งจุดควบคุมภาคพื้นดิน (GCP) มากกว่า 8 ตำแหน่ง และกระจายให้ครอบคลุมพื้นที่ศึกษาเพื่อให้ได้แผนที่ที่มีความแม่นยำ [10] ซึ่งการวิจัยครั้งนี้มีกำหนดตำแหน่งจุดควบคุมภาคพื้นดิน (GCP) จำนวน 13 ตำแหน่ง ครอบคลุมพื้นที่ศึกษา ตำแหน่งจุดตรวจสอบ (Check point) จำนวน 7 ตำแหน่ง เป็นไปตามคำแนะนำของ American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS) ซึ่งตำแหน่งกระจายทั่วทั้งขอบเขตพื้นที่ศึกษา โดยพิจารณาสิ่งปกคลุมดินและรูปร่างขอบเขตของพื้นที่ศึกษา [7] เมื่อพิจารณาความถูกต้องเชิงตำแหน่งในแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศของอากาศยานไร้คนขับตามเกณฑ์มาตรฐาน ASPRS ในการจัดทำแผนที่มาตราส่วน 1:300 ที่มีค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ในระดับที่ 1 (Class 1) ต้องไม่เกิน 0.184 ม. ค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งของรุ่น DJI Phantom 4 Pro มีค่าเท่ากับ 0.026 ม. และรุ่น DJI Mavic 3 Enterprise มีค่าเท่ากับ 0.032 ม. ซึ่งอยู่ในตามมาตรฐาน ASPRS ไม่แตกต่างกัน [7] อย่างไรก็ตามคุณสมบัติอากาศยานไร้คนขับทั้ง 2 รุ่น มีความแตกต่างกันส่งผลให้ภาพถ่ายทางอากาศแตกต่างกัน โดยอากาศยานไร้คนขับรุ่น DJI Mavic 3 Enterprise สร้างแบบจำลองความสูงภูมิประเทศโดยมีความคมชัดของโทนสีช่วยให้ทราบระดับสูงต่ำของพื้นที่ได้อย่างแม่นยำ ส่งผลต่อการวางแผนการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานอย่างมีประสิทธิภาพ มากไปกว่านั้นยังมีความสมบูรณ์ของภาพถ่ายที่คมชัดมากกว่าด้วย

อากาศยานไร้คนขับจำนวน 2 รุ่น มีสามารถสร้างแผนที่ความละเอียดสูงของพื้นที่การศึกษาได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งผลภาพถ่ายทางอากาศมีความแตกต่างกันไป เป็นผลจากอากาศยานไร้คนขับ รุ่น DJI Mavic 3 Enterprise ได้รับการพัฒนาเพื่อให้การทำงานมีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งสามารถกำหนดค่าความละเอียดของจุดภาพพื้นบนดิน (GSD) ได้ที่ 1 ซม. และไม่ต้องใช้อุปกรณ์รังวัดพิคตาวเทียมแบบจลน์ แต่อย่างไรก็ตามอากาศยานไร้คนขับมีราคาค่อนข้างสูง ในขณะที่อากาศยานไร้คนขับ รุ่น DJI Phantom 4 Pro มีประสิทธิภาพในการถ่ายภาพเพื่อทำแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศที่แผนที่มาตราส่วน 1:300 ได้เช่นกัน แสดงให้เห็นว่าหากมีพื้นที่ที่มีลักษณะใกล้เคียงกับพื้นที่ศึกษาที่มีพื้นที่ในหลายลักษณะสามารถเลือกใช้อากาศยานไร้คนขับได้อย่างเหมาะสม ซึ่งการใช้เทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับในการสร้างแผนที่ความละเอียดสูงมีข้อดีในการวางแผนและติดตามการใช้พื้นที่ที่สามารถทำได้ง่ายและมีความแม่นยำมากกว่าการใช้เทคโนโลยีอื่น ๆ [11] ซึ่งข้อจำกัดของการวิจัยครั้งนี้ คือ พื้นที่ศึกษามีสิ่งปกคลุมดินหลากหลาย ได้แก่ อาคาร ต้นไม้ หรือรถยนต์ รวมถึง

ช่วงเวลาในการศึกษาส่งผลทำให้ภาพที่ได้มีเงาของอาคารด้วย ดังนั้นการถ่ายภาพโดยอากาศยานไร้คนขับควรเลือกวันและเวลาที่มีสภาพอากาศที่เหมาะสมเพื่อภาพถ่ายที่เก็บรายละเอียดของวัตถุได้อย่างคมชัดและมีสีสันสวยงาม

สรุปผลการวิจัย

การใช้เทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับในการถ่ายภาพทางอากาศ และผ่านการประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์ Agisoft Photoscan พบว่าอากาศยานไร้คนขับทั้ง 2 รุ่นสามารถสร้างแผนที่ที่มีความละเอียดสูงและมีค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งในทางราบไม่แตกต่างกันตามมาตรฐาน ASPRS ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงความสามารถของอากาศยานไร้คนขับในการให้ข้อมูลที่แม่นยำเพียงพอสำหรับการใช้งานด้านการสร้างแผนที่ โดยอากาศยานไร้คนขับ รุ่น DJI Phantom 4 Pro เหมาะสมในพื้นที่สำรวจขนาดกลางและเข้าถึงง่ายเนื่องจากต้องกำหนดตำแหน่งจุดควบคุมภาคพื้นดิน (GCP) ในขณะที่อากาศยานไร้คนขับ รุ่น DJI Mavic 3 Enterprise เหมาะสมในพื้นที่สำรวจขนาดใหญ่หรือพื้นที่เข้าถึงยาก เนื่องจากอากาศยานไร้คนขับมีระบบการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ (RTK) ในตัว จะเห็นได้ว่าการใช้เทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับในงานสำรวจช่วยลดระยะเวลา อุปกรณ์ บุคลากร และงบประมาณในการดำเนินงาน จึงเป็นเทคโนโลยีทางเลือกที่มีประสิทธิภาพสำหรับงานสำรวจและทำแผนที่ในปัจจุบัน

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตขอนแก่น และสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตขอนแก่น ที่ให้ความสนับสนุนอุปกรณ์ในการดำเนินงานวิจัย และขอขอบคุณนายธีรภาพ กองหาโคตร นายพรชนะ การสะอาด และนางสาวสิริยากร มูลสาร ในการเก็บข้อมูลภาคสนาม ตลอดจนผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการวิจัยครั้งนี้ที่ไม่ได้เอ่ยนามไว้ ณ ที่นี้ ที่ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลงด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

1. Hayat S, Yanmaz E, Muzaffar R. Survey on unmanned aerial vehicle networks for civil applications: a communications viewpoint. IEEE Commun Surv Tutor. 2016;18(4):2624-61.
2. Tziavou O, Pytharouli S, Souter J. Unmanned aerial vehicle (UAV) based mapping in engineering geological surveys: considerations for optimum results. Eng Geol. 2018;232:12-21.
3. Broekman A, Gräbe PJ. A low-cost, mobile real-time kinematic geolocation service for engineering and research applications. HardwareX. 2021;10:e00203.
4. Laphitchayangkul T, Bhatsada A, Wangyao K. Application of low-cost unmanned aerial vehicle for accurate mapping: case study at King Mongkut's University of Technology Thonburi, Ratchaburi Residential College. KMUTT R&D J. 2020;43(3):311-24.
5. Agüera-Vega F, Carvajal-Ramírez F, Martínez-Carricondo P. Assessment of photogrammetric mapping accuracy based on variation ground control points number using unmanned aerial vehicle. Measurement. 2017;98:221-7.
6. Yordanov ES, Mollov IA. Comparing two models of UAVs (drones) as a monitoring tool for freshwater turtles. Ecol Balk. 2022 Jun 2.

7. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS). ASPRS positional accuracy standards for digital geospatial data. *Photogramm Eng Remote Sens.* 2015;81(3):A1-26.
8. Authority TV. Geospatial positioning accuracy standards part 3: national standard for spatial data accuracy. Virginia (NV): National Aeronautics and Space Administration; 1998.
9. Suknak P, Phetthong N, Phatsada A, Wangyao K, Laphisayangkun T. The study of flight elevation and speed of UAV photogrammetric accuracy for mapping. *Proceedings of the 25th National Convention on Civil Engineering*; 2020 Jul 15-7; Chonburi, Thailand.
10. Nagendran SK, Tung WY, Ismail MA. Accuracy assessment on low altitude UAV-borne photogrammetry outputs influenced by ground control point at different altitude. *IOP Conf Ser Earth Environ Sci.* 2018 Apr 24-5; Kuala Lumpur, Malaysia.
11. Samad AM, Kamarulzaman N, Hamdani MA, Mastor TA, Hashim KA. The potential of unmanned aerial vehicle (UAV) for civilian and mapping application. *2013 IEEE 3rd International Conference on System Engineering and Technology*; 2013 Aug 19; Shah Alam, Malaysia.