

# การประเมินความคลาดเคลื่อนการวัดระยะด้วยอากาศยานไร้คนขับขนาดเล็กราคาประหยัด โดยปราศจากจตุรัสสัญญาณดาวเทียมแบบจลน์

Error assessment of distance measurement by small, low-cost unmanned aerial vehicles without real time kinematic point

ยอชชาย สิงห์ทอง<sup>1\*</sup> และ ประพันธ์ วัฒนเดชาชาญ<sup>1</sup>  
Yodchay Singthong<sup>1\*</sup> and Prapun Wattanadechachan<sup>1</sup>

## บทคัดย่อ

การนำอากาศยานไร้คนขับมาประยุกต์ใช้ในปัจจุบันถือว่าการนำเทคโนโลยีมาใช้งานมีการยอมรับในระดับสากลในด้านต่าง ๆ ด้านงานทางด้านวิศวกรรมโยธาที่มีบทบาทมากในการทำงาน โดยเฉพาะในงานทางด้านการสำรวจที่สามารถทำงานได้อย่างรวดเร็วและใช้ทรัพยากรน้อย ในการหาขนาดพื้นที่ วัดระยะ และต้องมีความชำนาญ รวมทั้งตัวอากาศยานไร้คนขับ การสร้างจตุรัสสัญญาณดาวเทียมแบบจลน์ (RTK) ที่ต้นทุนราคาสูง ดังนั้นงานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อนำเสนอแนวทางในการประเมินความคลาดเคลื่อนการวัดระยะด้วยอากาศยานไร้คนขับขนาดเล็กที่มีราคาต่ำ โดยปราศจากจตุรัสสัญญาณดาวเทียมแบบจลน์ ที่มีความแตกต่างจากงานวิจัยที่เคยศึกษาที่จะใช้ทรัพยากรที่มากและมีความซับซ้อน โดยที่มีขั้นตอนการวิจัย 1) สร้างแบบจำลองการวัดระยะรูปทรงเรขาคณิต 3 รูปแบบ คือ สามเหลี่ยม สี่เหลี่ยม และห้าเหลี่ยม 2) กำหนดความยาวแต่ละด้าน ตั้งแต่ 34-38 เมตร ด้วยวิธีการแบบสุ่มความยาวในแต่ละด้านไม่เท่ากัน 3) ทำการวัดความยาวด้วยเทปวัดระยะเปรียบเทียบกับ การวัดระยะจากการประมวลผลจากภาพถ่ายทางอากาศ ที่ความสูง 90 เมตร โดยทำการทดสอบในพื้นที่ราบไม่มีอุปสรรคคบบังในการถ่ายภาพ จากการทดสอบเปรียบเทียบ พบว่า การวัดในรูปสามเหลี่ยม สี่เหลี่ยม และห้าเหลี่ยม มีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อน 0.12, 0.15 และ 0.14 เมตร หรือคิดเป็น ร้อยละ 0.98, 0.43 และ 0.37 ตามลำดับ ซึ่งอาจจะเกิดได้จากภาพ ฝน จุดอ้างอิงไม่ชัดเจนในบางตำแหน่ง แต่เมื่อเทียบกับการวัดด้วยบุคคลแล้ว ถือว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนที่น้อยมากจนสามารถนำไปใช้สำหรับงานสำรวจเบื้องต้นได้

**คำสำคัญ:** อากาศยานไร้คนขับ สำรวจ วัดระยะทาง จตุรัสสัญญาณดาวเทียมแบบจลน์

## Abstract

The application of unmanned aerial vehicles (UAVs) in various fields has gained global recognition, particularly in civil engineering projects where they play a significant role. In tasks such as rapid surveying and resource-efficient operations, small-sized, cost-effective UAVs have become instrumental. This research aims to propose a methodology for assessing distance measurement accuracy using small-sized, low-cost UAVs, eliminating the need for costly Real Time Kinematic (RTK) satellite signal receivers, diverging from previous studies that often required extensive resources and complex procedures. The research methodology involved three key steps: 1) Building a geometric

<sup>1</sup> คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์สุพรรณบุรี

<sup>1</sup> Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi, Suphanburi Campus

\* Corresponding author. E-mail: yc.singthong@gmail.com

shape distance measurement model consisting of three shapes: triangle, square, and pentagon 2) Defining the lengths of each side randomly, ranging from 34-38 meters and 3) Measuring the lengths using a tape measure and comparing the results with measurements obtained through image processing from aerial photographs at an altitude of 90 meters. The testing was conducted in an obstacle-free, flat terrain. The comparative analysis revealed that the average measurement errors for triangle, square, and pentagon shapes were 0.12, 0.15, and 0.14 meters, respectively, or 0.98%, 0.43%, and 0.37% in percentage terms. These discrepancies may be attributed to unclear reference points in certain positions within the images. However, when compared to human-based measurements, the UAV measurements demonstrated minimal motion, making them suitable for preliminary surveying work.

**Keywords:** unmanned aerial vehicles, survey, distance measurement, real time kinematics point

## บทนำ

อากาศยานไร้คนขับขนาดเล็ก (unmanned aerial vehicle: UAV) ที่มีความนิยมอย่างแพร่หลายในการนำมาใช้กับงานวิศวกรรมโยธาในการวางแผนการสำรวจ ออกแบบงานก่อสร้าง ควบคุมงานก่อสร้าง และส่งมอบงาน (Inthachot, & Buachart, 2021) แต่ในการประยุกต์ใช้อากาศยานไร้คนขับขนาดเล็กนั้นยังคงมีข้อจำกัดในหลาย ๆ ด้าน ทั้งในด้านข้อจำกัดการทำงานและความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่ได้ ถึงอย่างไรก็ตามการนำภาพถ่ายทางอากาศยานไร้คนขับที่ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวาง เนื่องจากข้อดีที่มีต้นทุนที่ต่ำ ควบคุมง่าย และมีความยืดหยุ่นในการทำงานในแต่ละพื้นที่ (Jitphairot, & Kruawit, 2022) ถึงอย่างนั้นการจะได้ซึ่งชุดข้อมูลที่มีความน่าเชื่อถือตามหลักวิศวกรรมโยธาแล้วนั้น จะต้องทำการสร้างจุดควบคุมภาพภาคพื้นดินเพื่อนำมาใช้ในการตรึงภาพและประเมินความถูกต้อง (Laphitchayangkul, Phasada, & Wangyao, 2022) ซึ่งเป็นวิธีการที่จำเป็นในกรณีที่ต้องการความแม่นยำสูง เช่น การสร้างแผนที่โดยใช้ระบบเครือข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ (RTK GNSS network) ที่เป็นการระบุค่าทางภูมิศาสตร์ สำรวจรังวัดด้วยดาวเทียมมีค่าพิสัยความถูกต้องสูง รวดเร็ว และได้รับความ

เชื่อถือในระดับสากล โดยใช้หลักการสถานีอ้างอิงเสมือนซึ่งทำหน้าที่รับสัญญาณดาวเทียมเมื่อทำการเชื่อมต่อระบบจะทำการส่งค่าพิกัดที่นำเชื่อถือโดยประมาณกลับมา (Mapping Technology Division, 2015) โดยใช้เทคนิคที่ใช้เพื่อปรับปรุงความแม่นยำของตำแหน่งโดยใช้ตัวรับสัญญาณ ที่ความละเอียดในระดับเซนติเมตร (Punzet, & Eibert, 2023) โดยบางครั้งไม่อาจสามารถรับสัญญาณหรือเกิดความผิดพลาดระหว่างการทำงานอันเกิดจากสภาพพื้นที่หรือสภาพอากาศ (Zhao, Meng, Qi, Wang, & Zhu, 2023) หรือเทคนิคการวิเคราะห์ประเมินความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งด้วยค่า root mean square error (RMSE) (Bhatsada et al., 2020) ซึ่งเป็นวิธีการและต้องใช้อุปกรณ์โดยผู้เชี่ยวชาญจากข้อมูลที่กำลังมาสนับสนุนสมมติฐานได้ว่าการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับนั้นต้องใช้ทรัพยากรในการดำเนินงานที่มากและมีความซับซ้อนเพื่อนำไปใช้หรือในกรณีที่ไม่สามารถเข้าถึงพื้นที่ได้โดยตรง มีพื้นที่การสำรวจกว้างมีระยะเวลาในการทำงานที่สั้นและจำกัด เช่น งานจัดทำแผนที่ด้วยอากาศยานไร้คนขับที่มีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 4 เซนติเมตร (Aobpaet, 2020) แตกต่างกับงานสำรวจเบื้องต้นที่ใช้เพื่อก่อนนำไปวิเคราะห์ก่อนได้ข้อมูลสำรวจที่ถูกต้องแม่นยำ

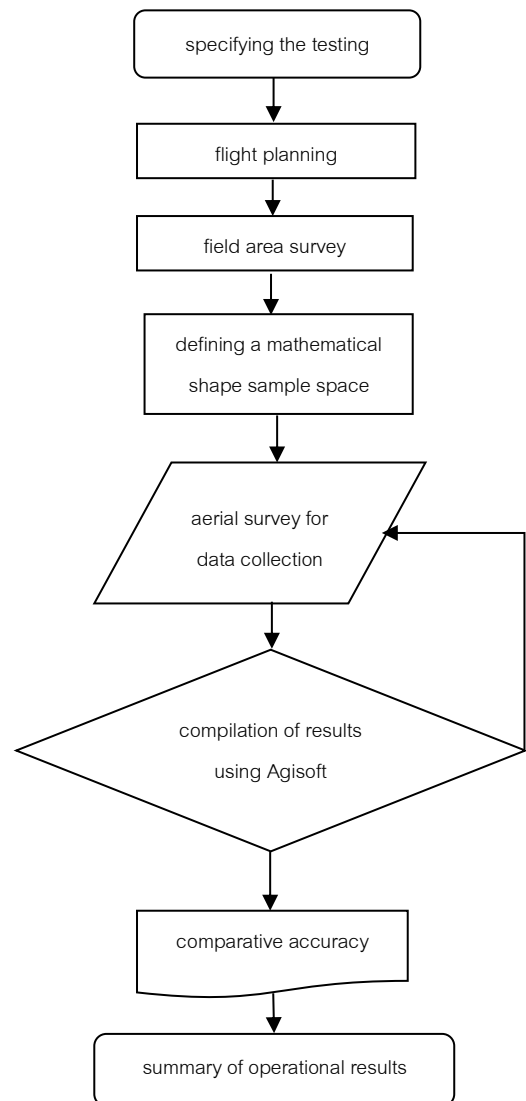
จากข้อมูลทีกล่าวนำขึ้นต้นนั้นเกิดเป็นการนำเสนอที่มีความแตกต่างจากวิธีการเดิมที่ต้องใช้ทรัพยากรที่มากจนเกิดเป็นข้อจำกัดในการทำงาน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงนำเสนอแนวทางที่นำไปสู่การหาเทคนิควิธีการเพื่อทำการเปรียบเทียบถึงความน่าเชื่อถือของข้อมูลด้วยการประเมินความคลาดเคลื่อนการวัดระยะด้วยอากาศยานไร้คนขับขนาดเล็กราคาต่ำ โดยปราศจากจุดรับสัญญาณดาวเทียมแบบจลน์ เพื่อลดทรัพยากรที่ต้องใช้ในการทำงาน อาศัยเพียงจุดควบคุมภาพอากาศยานไร้คนขับขนาดเล็กเพื่อเก็บข้อมูล และโปรแกรมที่วิเคราะห์ประมวลผลเพื่อให้ได้ประโยชน์มากที่สุดในการที่มีทรัพยากรจำกัด

### วิธีการศึกษา

Agisoft Metashape (Sanhueza, Picco, Paredes, & Iroumé, 2022) เป็นโปรแกรมประมวลผลการรังวัดด้วยภาพ ที่อ้างอิงทางภูมิศาสตร์ มีความละเอียดขนาดพิกเซล 2.10 เซนติเมตร โดยการสร้าง point cloud ที่เสมือนสร้างจุดกลุ่มก้อนเมฆ เพื่อนำไปใช้สร้างแบบจำลองระดับสูงเชิงเลข (digital elevation model: DEM) มีความละเอียดสูงสุดค่าเริ่มต้น 2.20 เซนติเมตร โดยที่มีเครื่องมือวัดขนาดและปริมาตรจากประเทศรัสเซีย ที่เป็นที่ยอมรับอย่างแพร่หลายในการประมวลผลสร้างภาพจากอากาศยานไร้คนขับทางผู้วิจัยจึงเลือกใช้โปรแกรมนี้ในการดำเนินงานวิจัยภาพถ่ายทางอากาศ (areal imagery) (Jitt-Aer, Buaphiban, & Sriprasert, 2020) เป็นการถ่ายภาพนิ่งจากอากาศยาน โดยต้องกำหนดการทับซ้อนภาพอย่างเหมาะสม โดยแต่ละแนวนบินจะต้องถ่ายภาพที่มีส่วนทับซ้อน (frontlap) ไม่น้อยกว่า 60 เปอร์เซ็นต์ และส่วนซ้อนของ

ภาพในแนวนบินข้างเคียงจะต้องมีส่วนซ้อนด้านข้าง (sidelap) อยู่ในช่วง 20-40 เปอร์เซ็นต์ ดัง (Figure 2)

จากข้อมูลขั้นต้นทางผู้วิจัยจึงนำมาใช้เพื่อนำมาออกแบบผังกรอบแนวความคิดได้ ดัง (Figure 1)



**Figure 1** Error assessment of distance measurement by small, low-cost UAV without RTK point concept process.

จาก (Figure 1) นำไปสู่ขั้นตอนวิธีการดำเนินงานวิจัยการประเมินความคลาดเคลื่อนการวัดระยะด้วยอากาศยานไร้คนขับขนาดเล็กราคาต่ำโดยปราศจากจุดรับสัญญาณดาวเทียมแบบจลน์

### วิธีการดำเนินงาน

การศึกษาค้นคว้านี้ทำการหาความถูกต้องระยะทางความยาวด้วยสายวัดระยะและนำมาเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับ โดยมีวิธีการดำเนินงานต่อไปนี้

1. กำหนดพื้นที่การทดสอบ โดยที่ในงานวิจัยฉบับนี้ใช้พื้นที่สนามฟุตบอลมาตรฐาน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์สุพรรณบุรี เขต 1

2. วางแผนการบินล่วงหน้าเพื่อกำหนดเส้นทางการบินที่ปลอดภัย และวิธีการจัดการเมื่อเกิดเหตุฉุกเฉิน (Moore et al., 2023)

3. การสำรวจพื้นที่ภาคสนามโดยรอบถึงแหล่งสัญญาณที่สามารถส่งผลกระทบต่ออากาศยานไร้คนขับ โดยที่คลื่นสัญญาณส่งผลกระทบต่อความแม่นยำและประสิทธิภาพในการทำงาน (Zhang, 2023)

4. กำหนดตัวอย่างความยาวแนบราบ ไม่มีความลาดเอียง รูปทรงสามเหลี่ยม สี่เหลี่ยม และห้าเหลี่ยม โดยกำหนดเป็นระบบพิกัด standard UTM coordinate (easting, northing) ความยาวด้านละ 34-38 เมตร เป็นตำแหน่งอ้างอิง 5 จุด (จุด A, B, C, D และ E) โดยวิธีการสุ่ม ด้วยกำหนดเทปวัดระยะหลักความยาว 50 เมตร ที่ได้รับเครื่องหมายจากสำนักงานกลางชั่งตวงวัด (Figure 2) ให้บันทึกผลเปรียบเทียบระดับเซนติเมตรด้วยคน เพื่อให้ได้ค่าที่แม่นยำสามารถตรวจสอบซ้ำได้



Figure 2 Measuring tape 50 meters certified by Central Office of Weights and Measures.

5. การกำหนดรูปแบบการบิน (Poommirat, Sengtan, Maparasop, Limpanasittichai, & Pranchai, 2021) ด้วยโปรแกรมการบินอัตโนมัติ โดยกำหนดตัวแปรความสูงที่ใช้คงที่ 90 เมตร แกนกล้องเก็บภาพถ่ายในแนวตั้งตั้งฉากกับพื้น (180 องศา) กำหนดเก็บภาพถ่ายให้มีการซ้อนทับระหว่างภาพในด้านหน้ากับด้านหลัง (overlap) และด้านข้าง (sidelap) ร้อยละ 80 ดัง (Figure 3)

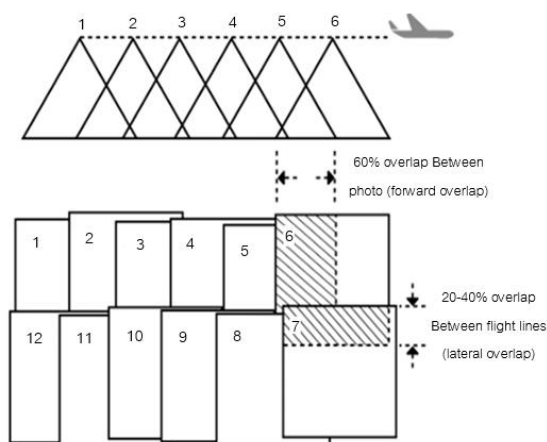


Figure 3 Displays overlapping images at least in the vertical direction (overlap) and overlays on the sides (sidelap) (Boonlue, 2018).

จาก (Figure 3) แสดงถึงรูปแบบการบินเก็บข้อมูลจากอากาศยานไร้คนขับ มีการซ้อนทับระหว่างภาพด้านหน้ากับด้านหลัง (overlap) ไม่น้อยกว่าร้อยละ 60 และด้านข้าง (sidelap) ไม่น้อยกว่าร้อยละ 20-40 ที่ความสูงไม่เกิน 90 เมตร ตามข้อกำหนดประกาศกระทรวงคมนาคม เรื่อง หลักเกณฑ์การขออนุญาตและเงื่อนไขในการบังคับหรือปล่อยอากาศยานซึ่งไม่มีนักบิน ประเภทอากาศยานที่ควบคุมการบินจากภายนอก

6. เก็บข้อมูลช่วงที่ท้องฟ้าปลอดโปร่งเพื่อให้สัญญาณชัดและมีคุณภาพที่สุด (Moore, Rymer, Glover, & Ozturk, 2023)

7. บินสำรวจเก็บข้อมูลอากาศยานไร้คนขับขนาดเล็ก (unmanned aerial vehicle; UAV) ยี่ห้อ DJI รุ่น Phantom 4 advanced สามารถรับสัญญาณ GPS/GLONASS มีค่า accuracy range แนวตั้ง  $\pm 0.50$  เมตร และแนวราบ  $\pm 1.50$  เมตร โดยรับสัญญาณ GPS เซนเซอร์ CMOS ขนาด 1 นิ้ว จำนวน 20 ล้านพิกเซล ดัง (Figure 4)



Figure 4 DJI brand Phantom 4 advanced series of UAV.

8. ประมวลผลผลด้วยโปรแกรม Agisoft Metashape

### ผลการศึกษาและอภิปรายผล

จากการเก็บข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศด้วยอากาศยานไร้คนขับความสูง 90 เมตร กำหนดให้มีการซ้อนทับระหว่างภาพในด้านหน้ากับด้านหลังและด้านข้าง ร้อยละ 80 ทั้ง 3 กรณี นำมาประมวลผลด้วยโปรแกรม Agisoft Metashape พบว่า รูปถ่ายในการวิเคราะห์ผลในแต่ละกรณีมีจำนวน 52 รูป ในแต่ละกรณี สามารถสร้างเป็นภาพถ่ายที่ประมวลผลแล้วดัง (Figure 5-7)



Figure 5 Result images in triangle case with Agisoft Metashape.



Figure 6 Result images in square case with Agisoft Metashape.



Figure 7 Result images in pentagon case with Agisoft Metashape.

Table 1 Standard UTM coordinate (easting, northing) in triangle case, square case and pentagon case.

| mark point | standard UTM coordinate (meter) |          |             |          |               |          |
|------------|---------------------------------|----------|-------------|----------|---------------|----------|
|            | triangle case                   |          | square case |          | pentagon case |          |
|            | easting                         | northing | easting     | northing | easting       | northing |
| A          | 619397                          | 1627484  | 619414      | 1627489  | 619419        | 1627489  |
| B          | 619422                          | 1627456  | 619422      | 1627456  | 619422        | 1627456  |
| C          | 619387                          | 1627447  | 619387      | 1627447  | 619387        | 1627447  |
| D          | -                               | -        | 619379      | 1627480  | 619375        | 1627483  |
| E          | -                               | -        | -           | -        | 619391        | 1627514  |

จาก (Table 1) แสดงถึงกำหนดพิกัด standard UTM coordinate (easting, northing) ที่ได้จากการประมวลผลด้วยโปรแกรม Agisoft Metashape

ในแต่ละจุดอ้างอิงโดยกำหนดเป็นจุด A ถึง E จำนวน 5 จุด ของพื้นที่สามเหลี่ยม พื้นที่สี่เหลี่ยม และพื้นที่ห้าเหลี่ยม ตามลำดับ

**Table 2** Comparative analysis of measurement results between the Agisoft Metashape program and tape measure: A case study on triangles.

| mark point | measure length (meter) |                       | error assessment |                                     |
|------------|------------------------|-----------------------|------------------|-------------------------------------|
|            | tape measure (A)       | Agisoft Metashape (B) | meter (C)        | percentage $\frac{C}{A} \times 100$ |
| 3A to 3B   | 38.80                  | 38.70                 | 0.10             | 0.26                                |
| 3B to 3C   | 36.75                  | 36.60                 | 0.15             | 0.41                                |
| 3C to 3A   | 38.82                  | 38.70                 | 0.12             | 0.31                                |
|            | average                |                       | 0.12             | 0.98                                |

จาก (Table 2) แสดงถึงการผลการประมวลผลภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ สำหรับลักษณะพื้นที่สามเหลี่ยมที่มีตำแหน่ง A, B, C เป็นพิกัดอ้างอิง พบว่า ค่าความยาวที่วัดได้จากสายวัดระยะกับโปรแกรม Agisoft Metashape มีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ระหว่าง 0.10 ถึง 0.15 เมตร โดยสามารถคิดเป็นค่าความคลาดเคลื่อนที่ร้อยละ 0.98

**Table 3** Comparative analysis of measurement results between the Agisoft Metashape program and tape measure: A case study on square.

| mark point | measure length (meter) |                       | error assessment |                                     |
|------------|------------------------|-----------------------|------------------|-------------------------------------|
|            | tape measure (A)       | Agisoft Metashape (B) | meter (C)        | percentage $\frac{C}{A} \times 100$ |
| 4A to 4B   | 34.10                  | 34.00                 | 0.10             | 0.29                                |
| 4B to 4C   | 36.75                  | 36.60                 | 0.15             | 0.41                                |
| 4C to 4D   | 34.37                  | 34.20                 | 0.17             | 0.49                                |
| 4D to 4A   | 36.19                  | 36.00                 | 0.19             | 0.53                                |
|            | average                |                       | 0.15             | 0.43                                |

จาก (Table 3) แสดงถึงการผลการประมวลผลภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ สำหรับลักษณะพื้นที่สี่เหลี่ยมด้านเท่าที่มีตำแหน่ง A, B, C เป็นพิกัดอ้างอิง พบว่า ค่าความยาวที่วัดได้จากสายวัดระยะกับโปรแกรม Agisoft Metashape มีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ระหว่าง 0.10-0.19 เมตร โดยสามารถคิดเป็นค่าความคลาดเคลื่อนที่ร้อยละ 0.43

**Table 4** Comparative analysis of measurement results between the Agisoft Metashape program and tape measure: A case study on pentagon case.

| mark point | measure length (meter) |                       | error assessment |                                     |
|------------|------------------------|-----------------------|------------------|-------------------------------------|
|            | tape measure (A)       | Agisoft Metashape (B) | Meter (C)        | percentage $\frac{C}{A} \times 100$ |
| 5A to 5B   | 34.22                  | 34.10                 | 0.12             | 0.35                                |
| 5B to 5C   | 36.75                  | 36.60                 | 0.15             | 0.41                                |
| 5C to 5D   | 38.40                  | 38.30                 | 0.10             | 0.26                                |
| 5D to 5E   | 35.44                  | 35.30                 | 0.14             | 0.39                                |
| 5E to 5A   | 38.17                  | 38.00                 | 0.17             | 0.45                                |
| average    |                        |                       | 0.14             | 0.37                                |

จาก (Table 4) แสดงถึงการผลการประมวลผลภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ สำหรับลักษณะพื้นที่ห้าเหลี่ยมด้านเท่าที่มีตำแหน่ง A, B, C เป็นพิกัดอ้างอิง พบว่า ค่าความยาวที่วัดได้จากสายวัดระยะกับโปรแกรม Agisoft Metashape มีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ระหว่าง 0.10-0.17 เมตร โดยสามารถคิดเป็นค่าความคลาดเคลื่อนที่ร้อยละ 0.37

จากการผลการศึกษาจาก (Table 2-4) พบว่าการเปรียบเทียบผลวัดระยะจากโปรแกรม Agisoft Metashape กับสายวัดระยะ โดยมาตรฐานสายวัดระยะมีความคลาดเคลื่อนตามพระราชบัญญัติมาตราซึ่งตวงวัด พ.ศ. 2546 (+/- (0.3+0.2L)) โดยมีค่าคลาดเคลื่อนอยู่ระหว่าง 7.10-7.98 มิลลิเมตร ซึ่งในงานวิจัยนี้เลือกใช้สายวัดที่ผ่านมาตรฐานได้รับเครื่องหมาย

จากสำนักงานกลางซึ่งตวงวัด เมื่อวัดความยาวรูปเรขาคณิตในแต่ละกรณีมีค่าอยู่ระหว่าง 0.10-0.19 เมตร สามารถเชื่อมโยงสอดคล้องกับการวิเคราะห์ข้อมูลงานวิจัยที่เคยผ่านมาแล้วว่าการไม่มีการใช้เครื่องรับสัญญาณ RTK GNSS ร่วมด้วยที่มีความคลาดเคลื่อนในแนวราบ 0.10 เมตร (Cho, & Lee, 2023) และงานวิจัยที่ทำการสำรวจด้วย PPP-GNSS และ UAV-Lidar อยู่ที่ 4.10 และ 3.80 เซนติเมตร (Du, Li, & Roshanianfard, 2022) และจากข้อมูลที่ได้สามารถสรุปได้ว่า เมื่อขนาดพื้นที่ของตัวอย่างทดสอบเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ความคลาดเคลื่อนลดลง เนื่องจากความสูงที่ใช้สอดคล้องกับขนาดพื้นที่ โดยที่การวัดระยะด้วยคนที่ดีควรมีการทดสอบซ้ำ (repeat) เพื่อแสดงให้เห็นความแม่นยำ และควรทำการเปรียบเทียบกับการสำรวจด้วย

**Table 5** Comparison of average camera location error in geometric figure.

| geometric figure | ground resolution (cm./pix.) | camera location error (cm.) |         |
|------------------|------------------------------|-----------------------------|---------|
|                  |                              | X error                     | Y error |
| 4                | 2.46                         | 23.64                       | 28.30   |
| 5                | 2.44                         | 32.61                       | 32.79   |
| 6                | 2.44                         | 44.67                       | 40.81   |

จาก (Table 5) แสดงถึงค่า ground resolution ที่มีความละเอียดของภาพ แสดงผลเป็นหน่วยเซนติเมตร ต่อพิกเซล (cm./pix.) พบว่า ค่า ground resolution ของรูปเรขาคณิตสามเหลี่ยม สีเหลี่ยม และห้าเหลี่ยม มีค่าต่ำสุดที่ 2.44 เซนติเมตรต่อพิกเซล และสูงที่สุดที่ 2.46 เซนติเมตรต่อพิกเซล โดยมีค่า camera location error คือ ความผิดพลาดในการเก็บภาพ พบว่า แนวราบแกน X ต่ำสุดที่ 23.64 เซนติเมตร และสูงที่สุด 44.67 เซนติเมตร โดยที่ในแนวแกน Y มีค่าต่ำสุดที่ 28.30 เซนติเมตร และสูงที่สุด 40.81 เซนติเมตร ส่วนในแนวแกน XY มีค่าต่ำสุดที่ 36.87 เซนติเมตร และสูงที่สุด 60.51 เซนติเมตร ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาการใช้อากาศยานไร้คนขับจำลองพื้นผิวโดยไม่มีจุดควบคุมภาพ (Nakata, Iwasaki, Shimoda, & Torita, 2023) ที่จะอยู่ระหว่าง 0.20-0.40 เมตร

### สรุป

จากศึกษาวิจัยครั้งนี้ด้วยการสร้างการทดลองเพื่อแสดงให้เห็นว่าการประเมินความคลาดเคลื่อนการวัดระยะด้วยอากาศยานไร้คนขับขนาดเล็กราคาต่ำโดยปราศจากจุดรับสัญญาณดาวเทียมแบบจลน์ มีค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบเปรียบเทียบพบว่า การวัดในรูปสามเหลี่ยม สีเหลี่ยม และห้าเหลี่ยม มีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อน 0.12, 0.15 และ 0.14 เมตร หรือคิดเป็น ร้อยละ 0.98, 0.43 และ 0.37 ตามลำดับ จากผลทดสอบที่ได้พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ในเกณฑ์ที่ไม่สูงมากนักสำหรับงานสำรวจเบื้องต้นในงานทางด้านวิศวกรรมโยธาสำหรับการหาข้อมูลอ้างอิงเบื้องต้น เช่น การสำรวจผังบริเวณเบื้องต้น การสำรวจแบ่งขอบเขตพื้นที่การทำงาน การหาปริมาณ

ขนาดพื้นที่เบื้องต้นในการประมาณการ ซึ่งจากผลการศึกษาและอภิปรายผลก่อนหน้านี้นั้น พบว่าสอดคล้องกับงานทฤษฎีและงานวิจัยก่อนหน้าสามารถนำไปใช้ได้เป็นที่ยอมรับ แต่มีเพียงข้อควรระวัง 2 ประการและปัจจัยที่สามารถส่งผลต่อความคลาดเคลื่อนในการวัด 1) ระดับความสูงที่ใช้ในกรณีที่ใช้ความสูงมากจะส่งผลให้กระบวนการแปลผลภาพถ่ายไม่ชัด 2) การวัดระยะเพื่อสอบเทียบความถูกต้องในโปรแกรมเลือกจุดคลาดเคลื่อนจากตำแหน่งเดียวกับการวัดด้วยเทปวัดระยะ ซึ่งสามารถชดเชยได้จากการบินในระดับความสูงที่ลดลงมาเพื่อให้ได้เห็นตำแหน่งอ้างอิงภาคพื้นดินได้ชัดเจนขึ้น โดยระยะความสูงของการบินส่งผลต่อขนาดพื้นที่ของการเก็บข้อมูล เมื่อบินที่ความสูงจะครอบคลุมพื้นที่มากกว่าการบินต่ำ ในทางกลับกันเมื่อบินสูงจะส่งผลให้สูญเสียรายละเอียดเชิงพื้นที่ลดลงตาม (Boonlua, 2014) แต่นำไปสู่การใช้ระยะเวลาในการบินและการประมวลผลที่มากขึ้น อย่างไรก็ตามในงานที่ต้องการสำรวจที่มีความแม่นยำสูงต้องทำการสำรวจด้วยกล้องวัดระยะอีกครั้งเพื่อความถูกต้องหรือใช้เทคโนโลยี GNSS network ร่วมด้วยจุดรับสัญญาณดาวเทียมแบบจลน์ RTK network หรือ PPP-GNSS ที่ต้องใช้ในการรับสัญญาณดวงเทียมไม่น้อยกว่า 5 ดวง ในระยะเวลาการตั้งรับสัญญาณตามที่กำหนดที่มีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 4 เซนติเมตรตามข้อกำหนดของกรมที่ดิน

### เอกสารอ้างอิง

- Aobpaet, A. (2020). Surveying efficiency on slope areas with GNSS technology: A case study of Laem Chabang Hospital, Chonburi Province. *Kasetsart Engineering Journal*, 33(110), 009-020.

- Bhatsada, A., Towprayoon, S., Garivait, S., Wangyao, K., Laphitchayangkul, T., Ishigaki, T., & Chiemchaisri, C. (2020). Evaluation of UAV photogrammetric accuracy for mapping of open dump based on variation of image overlaps. *KMUTT Research & Development Journal*, 2, 133-142.
- Boonlua, T. (2014). The adaptive use of unmanned aerial vehicle in aerial photography for urban design: A Case study of Mahasarakham University, Khamreing Campus. *Academic Journal of Architecture*, 63, 55-68.
- Boonlue, T. (2018). Applying drone for generated building information modeling (BIM) for urban architecture, the case study of That Phanom District, Nakhon Phanom Province. *Journal of the Faculty of Architecture King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang*, 26(1), 137-148.
- Cho, J. M., & Lee, B. K. (2023). GCP and PPK utilization plan to deal with RTK signal interruption in RTK-UAV photogrammetry. *Drones*, 7(4), 265.
- Du, M., Li, H., & Roshanianfard, A. (2022). Design and experimental study on an innovative UAV-LiDAR topographic mapping system for precision land levelling. *Drones*, 6(12), 403.
- Inthachot, I., & Buachart, C. (2021). Application of unmanned aerial vehicle for building construction inspection. *The 26<sup>th</sup> National Convention on Civil Engineering (CEM-36-1-CEM-36-6)*. Online: Engineering Institute of Thailand.
- Jitt-Aer, K., Buaphiban, T., & Sriprasert, A. (2020). Applying aerial imagery from unmanned aerial vehicle for digital maps. *Sripatum Review of Science and Technology*, 12(1), 93-105.
- Jitphairot, K., & Kruawit, P. (2022). A Stud of image processing technique by using an unmanned aerial vehicle for wearing surface assessment. *The 27<sup>th</sup> National Convention on Civil Engineering (STR53 1-STR53 8)*. Chiang Rai: Engineering Institute of Thailand.
- Laphitchayangkul, T., Phasada, A., & Wangyao, K. (2022). Application of low-cost unmanned aerial vehicle for accurate mapping: Case study at King Mongkut's University of Technology Thonburi, Ratchaburi Residential College. *KMUTT Research and Development Journal*, 43(3), 311-323.
- Mapping Technology Division. (2015). *Operation manual for kinetic satellite surveying network system (RTK Network) in individual survey work*. Retrieved 8 April 2023, from <https://www.dol.go.th/km2/Documents/book%20km%202558/rtk.pdf>
- Moore, A., Gutierrez, J., Dill, E., Logan, M., Glover, J. S., Young, S., & Hoege, N. (2023). Accuracy assessment of two GPS fidelity prediction services in urban terrain. *2023 IEEE/ION Position, Location and Navigation Symposium (PLANS)* (pp. 25-33). Monterey: IEEE.
- Moore, A., Rymer, N., Glover, J. S., & Ozturk, D. (2023). Predicting GPS fidelity in heavily forested areas. *2023 IEEE/ION Position, Location and Navigation Symposium (PLANS)* (pp. 772-780). Monterey: IEEE.
- Nakata, Y., Iwasaki, K., Shimoda, S., & Torita, H. (2023). Understanding microtopography changes in agricultural landscapes through precision assessments of digital surface models by the UAV-RTK-PPK method without ground control points. *Smart Agricultural Technology*, 5, 100269.
- Poommirat, P., Sengtana, A., Maparasop, P., Limpanasittichai, N., & Pranchai, A. (2021). Health assessment of *Avicennia* spp. forest through an unmanned aerial vehicle located at the Upper Gulf of Thailand. *Thai Journal of Forestry*, 40(2), 17-28.

- Punzet, S., & Eibert, T. F. (2023). Impact of additional antenna ground planes on RTK-GNSS positioning accuracy of UAVs. *Advances in Radio Science*, 20, 23-28.
- Sanhueza, D., Picco, L., Paredes, A., & Iroumé, A. (2022). A faster approach to quantify large wood using UAVs. *Drones*, 6(8), 218.
- Zhang, Y., & Kamargianni, M. (2023). A review on the factors influencing the adoption of new mobility technologies and services: autonomous vehicle, drone, micromobility and mobility as a service. *Transport reviews*, 43(3), 407-429.
- Zhao, X., Meng, Y., Qi, F., Wang, L., & Zhu, X. (2023). A vertical channel-enhanced fusion method based on RINS and barometric altimeter for UAVs in GNSS denial environments. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 72, 8504212.