

## การตรวจสอบความถูกต้องของค่าพิกัดแผนที่จากอากาศยานไร้คนขับ

ติณณ์ ธีรกุลโตมร<sup>1</sup>, วิลาวรรณ ประสมทรัพย์<sup>2\*</sup>, อธิวัฒน์ ภิญโญยาง<sup>3</sup>

### Accuracy Assessment of Map Coordinates from Unmanned Aerial Vehicle

Tinn Thirakultomorn<sup>1</sup>, Wilawan Prasomsup<sup>2\*</sup>, Athiwat Phinyoyang<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Department of Survey Engineering, Faculty of Engineering and Technology, Rajamangala University of Technology Isan, Nakhon Ratchasima, 30000

<sup>2</sup> Rail System Institute of Rajamangala University of Technology Isan, Rajamangala University of Technology Isan, Nakhon Ratchasima, 30000

<sup>3</sup> Department of Geoinformatics, School of Science Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, 30000

\*Corresponding author: wilawan.pa@rmuti.ac.th

Received: March 31, 2022; Revised: July 5, 2022; Accepted: July 22, 2022

#### บทคัดย่อ

การสำรวจรังวัดด้วยภาพจากอากาศยานไร้คนขับในงานสำรวจและจัดทำแผนที่ยังไม่ได้ถูกกำหนดเป็นมาตรฐานค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งไว้อย่างชัดเจน ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้จึงเป็นการตรวจสอบความถูกต้องของค่าพิกัดสามมิติจากข้อมูลอากาศยานไร้คนขับ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความถูกต้องของค่าพิกัดสามมิติของแผนที่จากอากาศยานไร้คนขับโดยใช้ข้อมูลการสำรวจด้วยกล้องสำรวจ โดยที่ค่าพิกัดทางราบและทางตั้งของการรังวัดด้วยกล้องสำรวจได้จากวิธีการรังวัดด้วยงานวงรอบปิดและหลักการตรีโกณมิติ ตามลำดับ ในขณะที่ค่าพิกัดทางราบและทางตั้งจากอากาศยานไร้คนขับ ได้จากภาพถ่ายออร์โธ และผลต่างของข้อมูล DSM กับ DTM ตามลำดับ สำหรับผลการประเมินความถูกต้องของค่าพิกัดสามมิติ ประกอบด้วย การตรวจสอบความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบ (X และ Y) และทางตั้ง (Z) พบว่า ความคลาดเคลื่อนแกน X และ Y มีค่า RMSE เท่ากับ 1.22 และ 3.44 ตามลำดับ และมีค่าความคลาดเคลื่อนตามมาตรฐาน NSSDA ของตำแหน่งทางราบ เท่ากับ 3.65 เมตร ส่วนผลการประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางตั้ง พบว่า ความคลาดเคลื่อนแกน Z ระหว่างความสูงจากแบบพิมพ์เทียบกับความสูงจากรังวัดด้วยกล้องสำรวจ มีค่า RMSE เท่ากับ 1.19 และค่าตามมาตรฐาน NSSDA มีค่าคลาดเคลื่อนเท่ากับ 2.34 เมตร และความคลาดเคลื่อนแกน Z ระหว่างแบบพิมพ์เทียบกับความสูงจาก UAV พบว่า มีค่า RMSE เท่ากับ 4.19 และความคลาดเคลื่อนตามมาตรฐาน NSSDA เท่ากับ 8.21 เมตร สามารถสรุปได้ว่า การเลือกใช้ข้อมูลตำแหน่งทางราบสามารถเลือกใช้วิธีการสำรวจได้ทั้งสองรูปแบบขึ้นอยู่กับเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ สำหรับการรังวัดความสูงด้วยกล้องสำรวจมีความถูกต้องมากกว่าการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ แต่อย่างไรก็ตาม อาคารที่มีความสูงไม่มาก (ต่ำกว่า 10 เมตร) สามารถเลือกใช้การรังวัดความสูงได้ทั้งกล้องสำรวจ และอากาศยานไร้คนขับ

**คำสำคัญ:** การสำรวจภาคพื้นดิน, อากาศยานไร้คนขับ, ค่าพิกัดสามมิติ

<sup>1</sup> ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน จังหวัดนครราชสีมา 30000

<sup>2</sup> สถาบันระบบรางมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน จังหวัดนครราชสีมา 30000

<sup>3</sup> ภาควิชาภูมิสารสนเทศ สำนักวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา 30000

## Abstract

Unmanned Aerial Vehicle (UAV) surveying and mapping data have not yet been clearly defined as a positional accuracy standard. Therefore, this study verifies the three-dimensional coordinates' accuracy from the UAV data. The objective was to assess the accuracy of the three-dimensional coordinates of the UAV map using theodolite survey data. The horizontal and vertical coordinates of the theodolite were obtained by closed-loop surveying and trigonometry, respectively, while the horizontal and vertical coordinates of the UAV were obtained from orthophotograph and the difference between the DSM and DTM data, respectively. The estimation of the accuracy of the three-dimensional coordinates consisted of the horizontal (X and Y) and vertical (Z) position accuracy. As a result, it was found that the RMSE of X and Y coordinates was 1.22 and 3.44, respectively, and the NSSDA standard error of horizontal accuracy was about 3.65 meters. On the other hand, The RMSE of Z value between the blueprint height and the theodolite measurement height was 1.19, and the NSSDA standard error of vertical accuracy was about 2.34 meters. The RMSE of Z value between the blueprint height and object height from the UAV was 4.19, and the NSSDA standard error was about 8.21 meters. In conclusion, the selection of horizontal position data was performed with either of the two survey methods depending on the acceptable accuracy. The ground survey data was high vertical positions more accurate than UAV. However, buildings with low heights (lower than 10 meters) can use both theodolite and UAV surveys.

**Keyword:** ground surveying / unmanned aerial vehicle / three dimensions coordinate

## บทนำ

การสำรวจพื้นที่ด้วยอากาศยานไร้คนขับกำลังเป็นที่นิยมในปัจจุบัน โดยเฉพาะการสำรวจเพื่อสร้างแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศความละเอียดสูง และข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลข ทั้งแบบจำลองความสูงพื้นผิวเชิงเลข (Digital Surface Model: DSM) และแบบจำลองภูมิประเทศเชิงเลข (Digital Terrain Model: DTM) เพื่อประยุกต์ใช้งานเฉพาะกิจในด้านต่าง ๆ (กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2564) อย่างไรก็ตามการนำอากาศยานไร้คนขับมาใช้ในการสำรวจจำเป็นต้องมีการสร้างมาตรฐานการดำเนินงานเพื่อให้ผลิตผลที่ได้มีความถูกต้อง และมีความน่าเชื่อถือในการนำไปใช้งานอื่น ๆ ต่อไป เนื่องจากการรังวัดด้วยภาพไม่ได้เป็นการวัดโดยตรง จึงอาจจะกระทบต่อคุณภาพความถูกต้องของผลลัพธ์ที่ได้ (นภัสวรรณ บุญทวีสวัสดิ์, 2562) ส่วนการสำรวจรังวัดด้วยกล้องสำรวจ เป็นการปฏิบัติงานสำรวจรังวัดในภูมิประเทศเพื่อหาข้อมูลเชิงตำแหน่งและข้อมูลความสูงของสิ่งต่าง ๆ วิธีการรังวัดด้วยกล้องสำรวจยังถือเป็นการรังวัดที่ให้รายละเอียดและถูกต้องสูง ทั้งการรังวัดด้วยกล้องระดับ กล้องวัดมุม และกล้องประมวลผลรวม โดยใช้หลักการสามเหลี่ยม (Triangulation) และการทำวงรอบ (Traversing) อาศัยวิธีการวัดระยะ (ทั้งทางราบและทางตั้ง) และการวัดมุม แล้วนำมาคำนวณหาค่าพิกัดซึ่งมีความสัมพันธ์ต่อเนื่องกันไป โดยเริ่มออกจากหมุดหลักฐานที่ทราบค่าพิกัดไปจนถึงจุดที่ต้องการทราบค่าทางตำแหน่ง ซึ่งเมื่อได้รายละเอียดต่าง ๆ จากการวัดในภูมิประเทศแล้วนำรายละเอียดเหล่านั้นมาเขียนเป็นแผนที่ต่อไป (กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2564) วิธีการสำรวจรังวัด ยังรวมไปถึงการสำรวจรังวัดด้วยระบบนำทางด้วยดาวเทียม (Global Navigation Satellite System: GNSS) หรือระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก (Global Positioning System: GPS) ที่ปัจจุบันถูกพัฒนาด้วยความก้าวหน้าของเทคโนโลยีให้มีความแม่นยำสูงทำให้การสำรวจมีความสะดวกรวดเร็วมากยิ่งขึ้น และการสำรวจรังวัดด้วยข้อมูลการรับรู้จากระยะไกลที่มีพัฒนาการมาอย่างต่อเนื่องและเป็นที่นิยมในการประยุกต์ใช้งานเช่นกัน

วิธีการสำรวจดังกล่าวต่างมีทั้งข้อดีและข้อด้อยแตกต่างกันไป การสำรวจด้วยกล้องสำรวจอาจใช้เวลาและทีมงานในการสำรวจมาก ส่วนการสำรวจจากระยะไกลอาจพบความคลาดเคลื่อน ทั้งจากความบกพร่องของตัวระบบและจากสภาวะแวดล้อมขณะทำการตรวจวัด (กัญญารัตน์ วัลภา, 2564) หรือการสำรวจจริงวัดภาคพื้นดินด้วยกล้องสำรวจให้ความละเอียดและถูกต้องสูง แต่การสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับหรืออากาศยานเทียมนจะให้ขอบเขตของการสำรวจที่กว้างกว่าและข้อมูลที่ได้เกิดจากการเก็บตัวอย่างเพียงครั้งเดียว (สมบัติ อยู่เมือง, 2564) ส่วนในเรื่องความถูกต้องเชิงตำแหน่งของข้อมูลที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับการประยุกต์ใช้สำหรับการสำรวจจริงในแต่ละงาน เป็นต้น อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันการสำรวจจริงวัดที่ได้รับความนิยมสำหรับการสำรวจพื้นที่ ได้แก่ การสำรวจจริงวัดด้วยอากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicle: UAV) ซึ่งข้อมูลที่ได้มีความละเอียดเชิงพื้นที่สูงและมีความเป็นปัจจุบันสามารถกำหนดพื้นที่ในการเก็บข้อมูลภาพถ่าย การกำหนดแนวบิน การกำหนดจุดบินขึ้น-ร่อนลงจากผู้ใช้งานได้โดยตรง จากนั้นเป็นการประมวลผลภาพถ่ายด้วยซอฟต์แวร์เฉพาะทาง เพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศที่มีความถูกต้องเชิงตำแหน่งทั้งทางราบและทางตั้ง

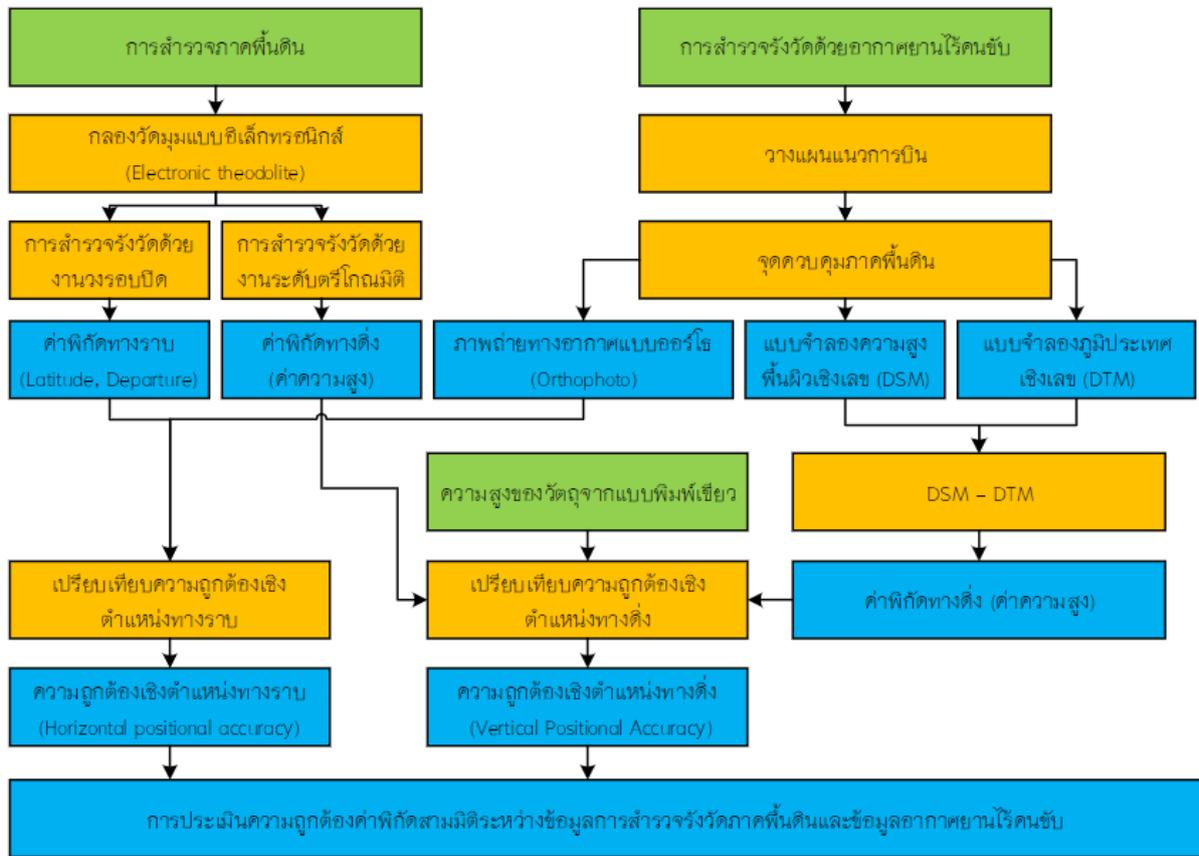
จากจุดเด่นของการสำรวจด้วยภาพถ่ายทางอากาศความละเอียดสูงจากอากาศยานไร้คนขับ ที่ได้ผลลัพธ์เป็นข้อมูลตำแหน่งทางราบและทางตั้ง จึงเป็นที่มาของการศึกษาการตรวจสอบความถูกต้องของค่าพิกัดแผนที่จากอากาศยานไร้คนขับกับข้อมูลการสำรวจภาคพื้นดินที่มีความละเอียดและถูกต้องสูง เพื่อเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้กับการสำรวจจริงวัดทั้งพิกัดทางราบและทางตั้ง ทั้งจากวิธีการสำรวจจริงวัดภาคพื้นดิน การสำรวจจากอากาศยานไร้คนขับ หรือการบูรณาการทั้งสองวิธีการเข้าด้วยกันต่อไป

## วัตถุประสงค์

1. เพื่อประเมินความถูกต้องของค่าพิกัดแผนที่จากอากาศยานไร้คนขับ

## วิธีการศึกษา

การศึกษาคือการตรวจสอบความถูกต้องของค่าพิกัดแผนที่จากอากาศยานไร้คนขับ มุ่งเน้นถึงการตรวจสอบความถูกต้องของค่าพิกัดฉาก (X และ Y) ในระบบพิกัดแบบ Universal Transverse Mercator บนพื้นหลักฐาน World Geodetic System 1984 (WGS 1984) และความถูกต้องของความสูง (Z) ของข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศความละเอียดสูงที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับ ตรวจสอบกับข้อมูลค่าพิกัด X และ Y ในระบบพิกัดและพื้นหลักฐานเดียวกัน ที่ได้จากการรังวัดงานวงรอบรูปปิด (Closed-loop Traverse) ด้วยกล้องวัดมุมแบบอิเล็กทรอนิกส์ และข้อมูล Z ที่ได้จากการรังวัดค่าทางตั้งด้วยกล้องวัดมุมแบบอิเล็กทรอนิกส์ และจากฐานข้อมูลพิมพ์เขียวที่แสดงความสูงของอาคาร สำหรับวิธีการศึกษาในแต่ละส่วนมีขั้นตอนดังต่อไปนี้ (รูปที่ 1)



รูปที่ 1 กรอบแนวคิดการศึกษา

**ข้อมูลการสำรวจรังวัดด้วยกล้องสำรวจ**

วิธีการรังวัดภาคพื้นดินที่ใช้ในการศึกษานี้ เป็นการรังวัดหมุดหลักฐานแผนที่ทางราบ ด้วยงานวงรอบปิด (Closed-loop Traverse) ซึ่งเป็นงานรังวัดควบคุม (Control Survey) ที่ประกอบด้วยเส้นที่มีการวัดทั้งระยะทางและทิศทางต่อเนื่องกันไป เครื่องมือที่ใช้ในการวัดทิศทางหรือวัดมุม ได้แก่ กล้องวัดมุมแบบอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Theodolite) ส่วนการวัดระยะจะใช้เทปวัดระยะ จากนั้นนำข้อมูลจากการรังวัด ทั้งระยะทางระหว่างหมุดและมุมไปคำนวณเพื่อหาค่าพิกัดทางราบ ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน ได้แก่ (1) การปรับแก้มุมภายใน (Interior Angle Traverse) โดยใช้เกณฑ์งานชั้นที่ 3 ของกรมที่ดิน (สมการที่ 1) (2) การปรับการภาคของทิศ (Azimuth) (3) การคำนวณระยะฉากของเส้นวงรอบที่เป็นระยะเหนือ (Latitude) หรือระยะฉายของเส้นวงรอบบนแกนเมริเดียน (สมการที่ 2) และระยะตะวันออก (Departure) หรือระยะฉายของเส้นวงรอบบนแกนขนาน (สมการที่ 3) และ (4) การปรับแก้ค่าระยะฉาก (สมการที่ 4-5) และคำนวณพิกัดฉากของหมุดวงรอบ (สมการที่ 6-7) (สิทธิพร พันธุ์ระ, 2558)

ความคลาดเคลื่อนในการวัดมุม =  $75'' * \sqrt{N}$  (สมการที่ 1)

โดยที่ 75'' คือ ค่ามุม 75 พิลิปดา, N คือ จำนวนหมุดที่ตั้งกล้องทั้งหมด

$Latitude = L * \cos(AZ)$  (สมการที่ 2)

$Departure = L * \sin(AZ)$  (สมการที่ 3)

โดยที่  $L$  คือ ระยะระหว่างหมุด,  $Az$  คือ ค่าภาคของทิศ (Azimuth) ระหว่างหมุด  
ทั้งนี้งานวงรอบปิดผลรวมของค่า Latitude และค่า Departure จะเท่ากับศูนย์

$$Correct\ Latitude = (\sum Lat * L) / \sum L \quad (\text{สมการที่ 4})$$

$$Correct\ Departure = (\sum Dep * L) / \sum L \quad (\text{สมการที่ 5})$$

โดยที่ Correct Latitude, Departure คือ ค่าปรับแก้ระยะเหนือ และตะวันออก ตามลำดับ

$$Latitude_i = Latitude + Latitude_j + Correct\ Latitude \quad (\text{สมการที่ 6})$$

$$Departure_i = Departure + Departure_j + Correct\ Departure \quad (\text{สมการที่ 7})$$

โดยที่  $Latitude_i$  คือ ค่าพิกัดเหนือที่จุดใด,  $Latitude_j$  คือ ค่าพิกัดเหนือที่จุดก่อนหน้า

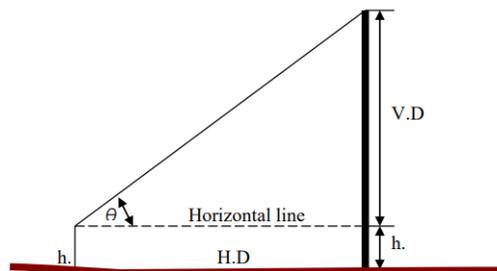
และ  $Departure_i$  คือ ค่าพิกัดตะวันออกที่จุดใด,  $Departure_j$  คือ ค่าพิกัดตะวันออกจุดก่อนหน้า

สำหรับการรังวัดค่าพิกัดทางตั้งเป็นการหาค่าความสูงของวัตถุด้วยกล้องวัดมุม โดยอาศัยหลักการตรีโกณมิติในการหาความสูงของวัตถุที่สามารถวัดระยะไปยังฐานวัตถุได้ ดังสมการ 8-9 และรูปที่ 2 ซึ่งการศึกษานี้สำรวจรังวัดค่าพิกัดทางตั้งจากอาคารสูงที่มีอยู่ในพื้นที่ศึกษาและมีฐานข้อมูลพิกัดเชิงขั้วแสดงความสูงของอาคาร (มานัส ยอดธง, 2564)

$$V.D = (H.D * \tan \theta) \quad (\text{สมการที่ 8})$$

$$\text{ความสูงของวัตถุ} = V.D + h \quad (\text{สมการที่ 9})$$

โดยที่  $V.D$  คือ ระยะตั้ง (เมตร),  $H.D$  คือ ระยะราบ (เมตร),  $h$  คือ ความสูงของกล้องสำรวจ (เมตร)



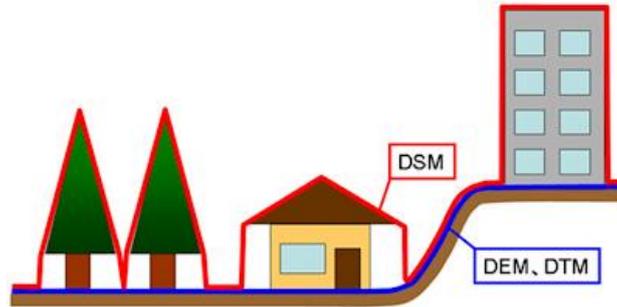
รูปที่ 2 การรังวัดความสูงของวัตถุที่สามารถวัดระยะไปยังฐานวัตถุได้ [6]

### ข้อมูลการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ

วิธีการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ (UAV) รุ่น DJI Phantom 4 ในการศึกษานี้เลือกพื้นที่สำรวจเป็นพื้นที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี นครราชสีมา โดยทำการวางแผนแนวการบินแบบ Grid ซึ่งเป็นการวางแผนการบินในรูปแบบสี่เหลี่ยมมุมฉากที่เหมาะสมสำหรับการทำแผนที่แบบ 2D และทำการกำหนดค่าความสูงบิน (Flight Height) ที่ระดับ 120 เมตร ค่ามุมมอง (Viewing Angle) ขณะถ่ายภาพ เท่ากับ 90 องศา ในขณะเดียวกันกำหนดค่าอัตราส่วนของส่วนซ้อนระหว่างแนวบิน (Side Lap) และส่วนซ้อนในแนวบิน (Overlap) อยู่ที่ร้อยละ 70 นอกจากนี้ในการสำรวจครั้งนี้กำหนดจุดควบคุมภาคพื้นดิน (Ground Control Points: GCPs) จำนวน 11 จุด (วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย, 2562) จากนั้นนำข้อมูลจากการสำรวจทั้งหมดมาประมวลผลด้วยโปรแกรม Pix4D เพื่อสร้าง

ข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศแบบออร์โธ (Orthophoto) และใช้ในการสกัดข้อมูลพิกัดทางราบ (X, Y) ณ จุดที่มีการสำรวจด้วยกล้องสำรวจ รวมถึงใช้แสดงตำแหน่งที่สกัดความสูงของอาคารเพื่อหาค่าความสูง (Z)

ทั้งนี้กระบวนการประมวลผลข้อมูลจาก UAV ด้วยโปรแกรม Pix4D จะได้ผลลัพธ์เป็นข้อมูลแบบจำลองความสูงพื้นผิวเชิงเลข (DSM) ซึ่งเป็นแบบจำลองภูมิประเทศที่แสดงพื้นผิวของโลกที่สามารถแสดงบนคอมพิวเตอร์ได้ โดยรวมความสูงของสิ่งปกคลุมพื้นผิวทางกายภาพของโลกด้วย เช่น สิ่งปลูกสร้าง ต้นไม้ และพุ่มไม้ เป็นต้น และได้ข้อมูลแบบจำลองความสูงภูมิประเทศเชิงเลข (DTM) โดยเป็นข้อมูลความสูงภูมิประเทศที่มีความหมายใกล้เคียงกับแบบจำลองความสูงเชิงเลข (Digital Elevation Model: DEM) (รูปที่ 3) อย่างไรก็ตามข้อมูล DTM จะไม่รวมค่าความสูงของพืชพันธุ์ อาคาร สิ่งปลูกสร้าง

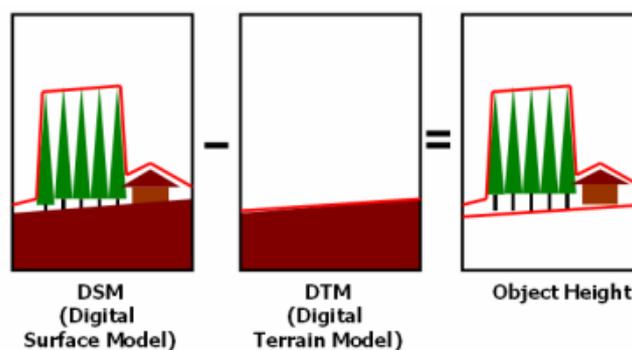


รูปที่ 3 แบบจำลองความสูง (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน), 2555)

อย่างไรก็ตามข้อมูล DSM และ DTM สามารถนำผลต่างของความสูงมาประยุกต์ใช้ในการหาความสูงของวัตถุ (Object Height Model) ได้ดังสมการ 10 และรูปที่ 4 (จนิษฐ์ ประเสริฐบุรณะกุล และคณะ, 2561) โดยตำแหน่งที่ใช้สกัดข้อมูลความสูงจะเป็นตำแหน่งเดียวกับที่สำรวจจริงวัดความสูงอาคารด้วยกล้องวัดมุม

$$\text{Object Height Model} = \text{DSM} - \text{DTM} \quad (\text{สมการที่ } 10)$$

10)



รูปที่ 4 การหาความสูงของวัตถุ [9]

### การประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งของค่าพิกัดแผนที่

การประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งของค่าพิกัดแผนที่เป็นการตรวจสอบความถูกต้องของค่าพิกัด โดยแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบ (Horizontal Positional Accuracy) และความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางตั้ง (Vertical Positional Accuracy) ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าพิกัดระหว่างข้อมูล 2 ชุด (ข้อมูล

จากการสำรวจด้วยกล้องสำรวจ และข้อมูลจากการสำรวจด้วย UAV) โดยตัวชี้วัดความถูกต้องเชิงตำแหน่งของข้อมูล จาก UAV ในการศึกษาได้แก่ ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error: RMSE) โดยค่า RMSE มีค่ายิ่งต่ำยิ่งดี ดังสมการที่ 11 และมาตรฐาน National Standard for Spatial Data Accuracy (NSSDA) ของ Federal Geographic Data Committee (FGDC) ในประเทศไทย ซึ่งใช้มาตรฐานตาม ASPRS Accuracy Standards for Large-Scale Maps ซึ่งเป็นมาตรฐานที่ใช้รายงานความถูกต้องของข้อมูลเชิงพื้นที่ที่อิงหลักการทางสถิติ แสดงค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Standard Error) ตามระดับความเชื่อมั่นหนึ่ง ๆ มีหน่วยเป็นระยะภาคพื้นดิน (กาญจน์เขจร ชูชีพ, 2561) สำหรับค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของพิกัดแกน X พิกัดแกน Y และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานทางราบ (XY) ของจุดใดๆ เป็นดังสมการที่ 12-14 ตามลำดับ

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [Estimated\ value - Observed\ value]^2} \quad (\text{สมการที่ 11})$$

โดย Estimated value คือ ค่าข้อมูลสำรวจด้วยกล้องสำรวจ, Observed value คือ ค่าข้อมูล UAV และ n คือ จำนวนจุดที่ใช้ในการทดสอบทั้งหมด

$$RMSE_x = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [Xdata - Xcheck]^2} \quad (\text{สมการที่ 12})$$

$$RMSE_y = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [Ydata - Ycheck]^2} \quad (\text{สมการที่ 13})$$

โดย  $RMSE_x$  คือ RMSE ทางแกน X,  $RMSE_y$  คือ RMSE ทางแกน Y

$$RMSE_r = \sqrt{RMSE_x^2 + RMSE_y^2} \quad (\text{สมการที่ 14})$$

โดย  $RMSE_r$  คือ ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานทางราบ

อย่างไรก็ตาม การคำนวณค่าความถูกต้อง (Accuracy) เชิงตำแหน่งทางราบตามมาตรฐาน NSSDA สามารถคำนวณได้จากสมการโดยจำแนกเป็น 2 กรณี ได้แก่ ความคลาดเคลื่อนแกน X และ Y ที่ใกล้เคียงกันกระจายตัวเป็นโค้งปกติ ( $RMSE_{min}/RMSE_{max} \approx 0.6-1.0$ ) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ค่าความถูกต้องเป็นดังสมการที่ 15 และ ความคลาดเคลื่อนแกน X และ Y ที่ไม่ใกล้เคียงกัน คือมีการเบ้ไปในทิศทางใดทางหนึ่ง ( $RMSE_{min}/RMSE_{max} < 0.6$ ) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ค่าความถูกต้องเป็นดังสมการที่ 16 ในอีกทางหนึ่ง การคำนวณความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางตั้ง ตามมาตรฐาน NSSDA ค่าความถูกต้องเป็นดังสมการที่ 17 (Authority, T. V, 1998)

$$Accuracy = 1.7308(RMSE_r) \quad (\text{สมการที่ 15})$$

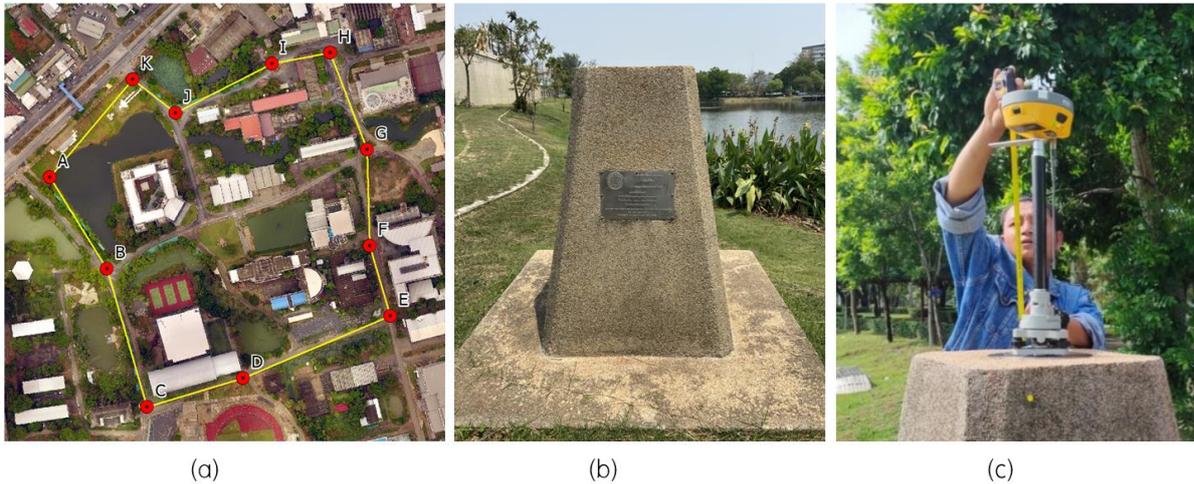
$$Accuracy = 1.22385(RMSE_r) \quad (\text{สมการที่ 16})$$

$$Accuracy = 1.96(RMSE_z) \quad (\text{สมการที่ 17})$$

## ผลการศึกษา

### ข้อมูลการสำรวจรังวัดด้วยกล้องสำรวจ

การรังวัดหมุดหลักฐานแผนที่ทางราบ ด้วยงานวงรอบปิด (Closed-loop Traverse) ด้วยกล้องวัดมุมแบบอิเล็กทรอนิกส์ จำนวน 11 หมุด ได้แก่ หมุด A-K โดยหมุดอ้างอิงเป็นหมุดของกรมที่ดินที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ศึกษา (หมุด A) และกำหนดพิกัดทางราบของหมุดอ้างอิงด้วยจีพีเอสจากการรังวัดแบบสถิต (Static Survey) (รูปที่ 5) ได้ค่าพิกัดในระบบพิกัดอ้างอิง WGS 1984 UTM Zone 48 คือ  $X = 189,878.11$  และ  $Y = 1,659,001.44$



รูปที่ 5 (a) หมุดวงรอบปิด A-K, (b) หมุดหลักฐานกรมที่ดิน (หมุด A) และ (c) การรังวัดแบบสถิตด้วยจีพีเอส

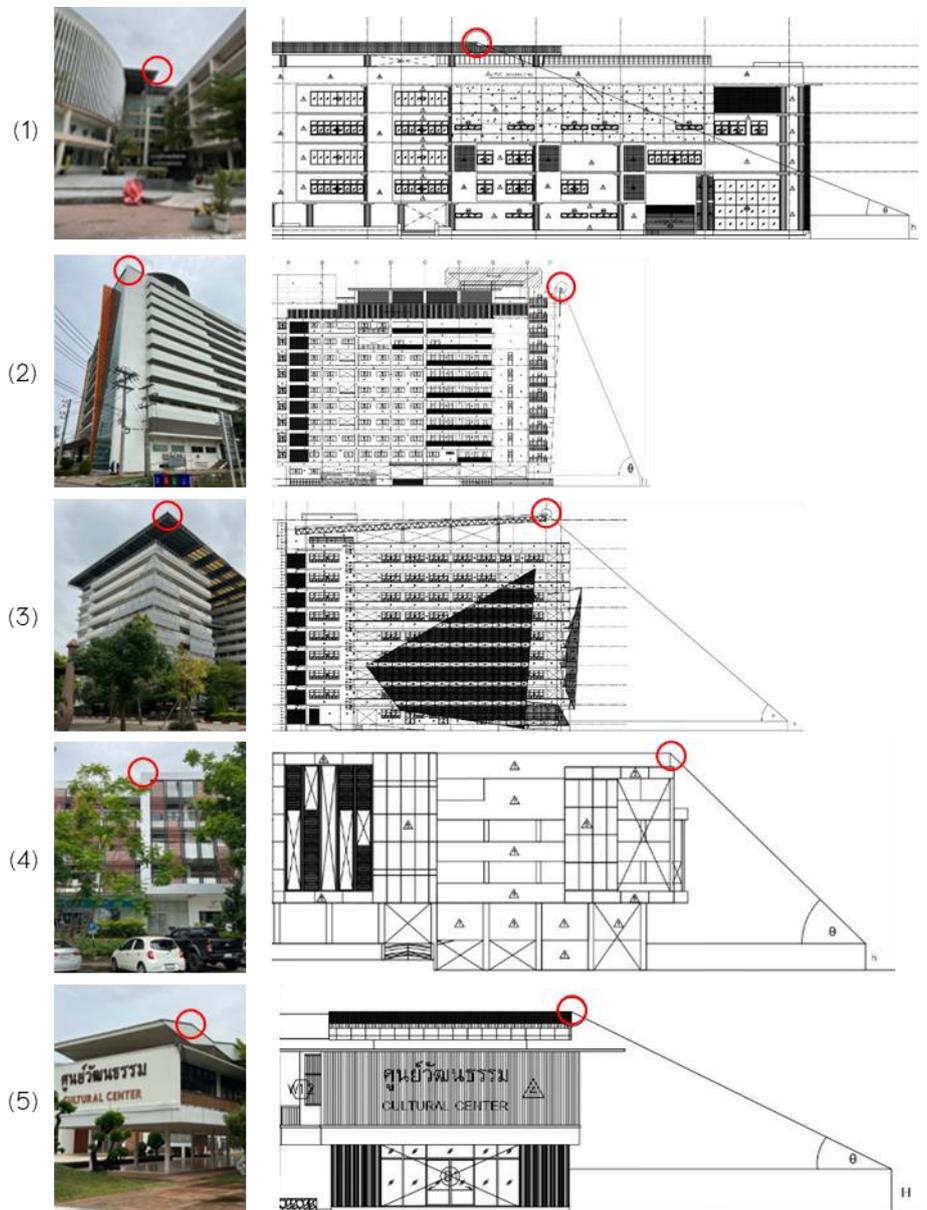
ผลการปรับแก้มุมภายในได้ความคลาดเคลื่อนของวงรอบปิด เท่ากับ 37 พิลิปดา ซึ่งไม่เกินค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ตามเกณฑ์งานชั้นที่ 3 ของกรมที่ดิน และผลการปรับแก้ภาคของทิศหรืออะซิมุท ได้ค่าอะซิมุทเข้าบรรจบเท่ากับค่าอะซิมุทเริ่มแรก ตรงตามเกณฑ์ของการปรับแก้อะซิมุทของงานวงรอบปิด สำหรับผลการคำนวณระยะฉากของเส้นวงรอบที่เป็นระยะเหนือ (Latitude) และระยะตะวันออก (Departure) รวมทั้งผลการปรับแก้ค่าระยะฉากและคำนวณพิกัดฉากของหมุดวงรอบ เพื่อให้ได้ค่าพิกัดของหมุดสำรวจทั้ง 11 หมุด เป็นดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการคำนวณค่าพิกัดของหมุดวงรอบปิด

Sta.	Dist.	Az.	Sin (Az.)	Cos (Az.)	Lat.	Corr. (Lat.)	Dep.	Corr. (Dep.)	X	Y
A									189878.11	1659001.44
B	130.72	148.81	0.52	-0.86	67.70	-0.002	-111.82	0.002	189945.80	1658889.62
C	174.78	164.58	0.27	-0.96	46.47	-0.003	-168.49	0.003	189992.27	1658721.14
D	121.13	74.21	0.96	0.27	116.56	-0.002	32.97	0.002	190108.82	1658754.11
E	194.25	67.72	0.93	0.38	179.74	-0.004	73.66	0.004	190288.56	1658827.78
F	88.86	344.35	-0.27	0.96	-23.97	-0.002	85.56	0.002	190264.59	1658913.34
G	116.49	359.15	-0.02	1.00	-1.72	-0.002	116.48	0.002	190262.87	1659029.82
H	125.94	339.95	-0.34	0.94	-43.18	-0.002	118.31	0.002	190219.68	1659148.13
I	71.90	260.28	-0.99	-0.17	-70.86	-0.001	-12.14	0.001	190148.81	1659135.99
J	131.02	243.64	-0.90	-0.44	-117.40	-0.002	-58.17	0.002	190031.42	1659077.82
K	66.16	308.51	-0.78	0.62	-51.78	-0.001	41.19	0.001	189979.64	1659119.01
A	155.34	220.84	-0.65	-0.76	-101.58	-0.003	-117.52	0.003	189878.06	1659001.49
Total	1376.57				-0.03		0.03			

โดย Sta. = หมุดสำรวจ, Dist. = ระยะทางการรังวัดระหว่างหมุด, Az. = ภาคของทิศ หรือ Azimuth,  
 Sin(Az.) = ค่า Sin(Azimuth), Cos(Az) = ค่า Cos(Azimuth), Lat. = ระยะเหนือ หรือ Latitude หาได้จาก Sin(Az.) x Dist.,  
 Dep. = ระยะตะวันออก หรือ Departure หาได้จาก Cos(Az.) x Dist.,  
 Corr.(Lat.) = ค่าปรับแก้ระยะเหนือ หาได้จากผลรวมของ Lat. x ระยะทาง / ระยะทางทั้งหมด,  
 Corr.(Dep.) = ค่าปรับแก้ระยะตะวันออก หาได้จากผลรวมของ Dep. x ระยะทาง / ระยะทางทั้งหมด,  
 X = ค่าพิกัดแกน X ในระบบ UTM หาได้จากค่าพิกัดเริ่มต้น + Lat. + Corr.(Lat.),  
 Y = ค่าพิกัดแกน Y ในระบบ UTM หาได้จากค่าพิกัดเริ่มต้น + Dep. + Corr.(Dep.)

สำหรับผลการรังวัดค่าทางตั้ง หรือค่าความสูงของอาคาร เป็นการรังวัดความสูงของอาคารจำนวน 5 อาคาร ได้แก่ (1) อาคารคณะศิลปกรรมและออกแบบ (2) อาคารคณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี (3) อาคารคณะวิทยาศาสตร์ (4) อาคารสำนักงานอธิการบดี (5) อาคารศูนย์วัฒนธรรม ซึ่งเป็นอาคารที่มีแบบพิมพ์เขียวแสดงความสูงตามแบบก่อสร้าง (รูปที่ 6) และค่าความสูงเป็นดังตารางที่ 3



รูปที่ 6 อาคารที่ทำการรังวัดความสูงและแบบพิมพ์เขียวอาคาร

### ข้อมูลการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ

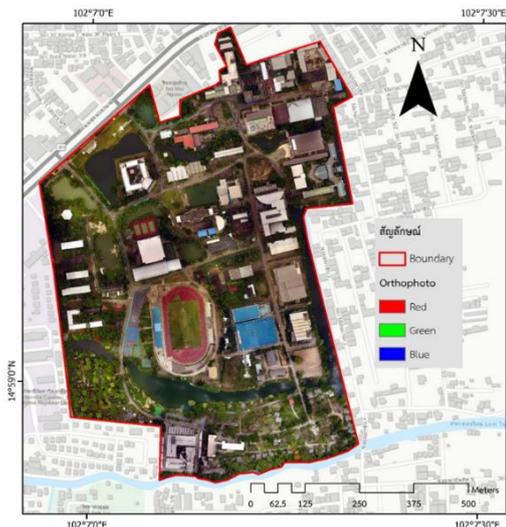
ผลการสำรวจด้วย UAV ข้อมูลที่ได้จากการบินถ่ายภาพด้วย UAV ที่ผ่านการประมวลผลด้วยโปรแกรม Pix4D จะได้ผลลัพธ์เป็นข้อมูล 3 รูปแบบ ได้แก่

1) ข้อมูลแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศความละเอียดสูง (รูปที่ 7) เป็นข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศที่บันทึกข้อมูลในช่วงคลื่นที่สายตามองเห็น (Visible Band) หรือช่วงคลื่นสีแดง เขียวและน้ำเงิน (Blue, Green, and Red: RGB) ซึ่งมีค่าพิกัดสามมิติที่ถูกต้อง หรือเรียกว่า ภาพออร์โธ (Orthophotograph)

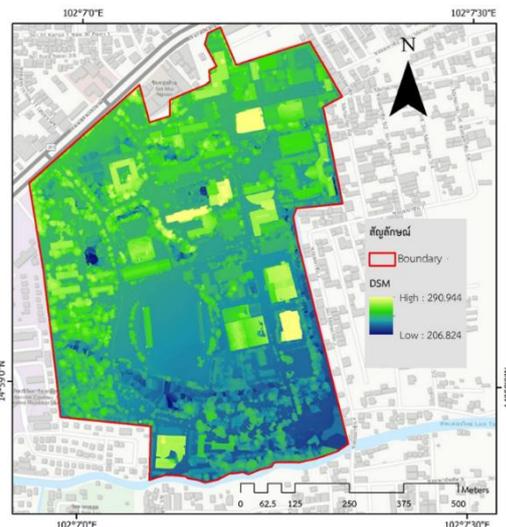
2) ข้อมูลแบบจำลองพื้นผิวเชิงเลข (DSM) เป็นข้อมูลที่ให้ค่าความสูงของสิ่งปกคลุมพื้นผิวในพื้นที่ศึกษา โดยมีค่าความสูงอยู่ระหว่าง 206.82-290.94 เมตร (รูปที่ 8)

3) ข้อมูลแบบจำลองภูมิประเทศเชิงเลข (DTM) เป็นข้อมูลความสูงที่ไม่รวมความสูงของสิ่งปกคลุมพื้นผิวในพื้นที่ศึกษา โดยมีค่าความสูงอยู่ระหว่าง 206.82-287.53 เมตร (รูปที่ 9)

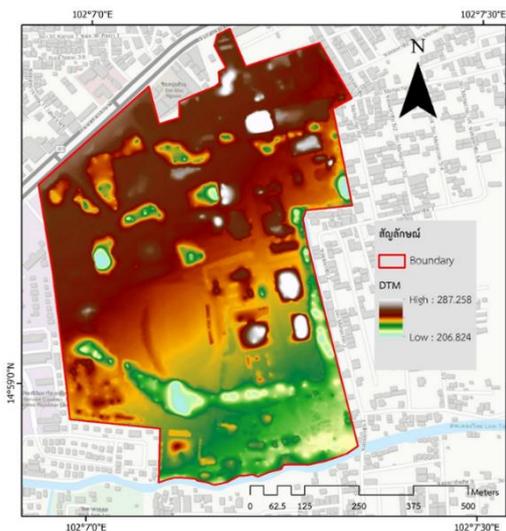
ทั้งนี้ข้อมูล DSM และ DTM สามารถประยุกต์ใช้ในการหาความสูงของวัตถุโดยใช้แบบจำลองความสูงของวัตถุ (Object Height Model) ซึ่งมีค่าความสูงของวัตถุในพื้นที่ศึกษาอยู่ระหว่าง 0-53.45 เมตร (รูปที่ 10)



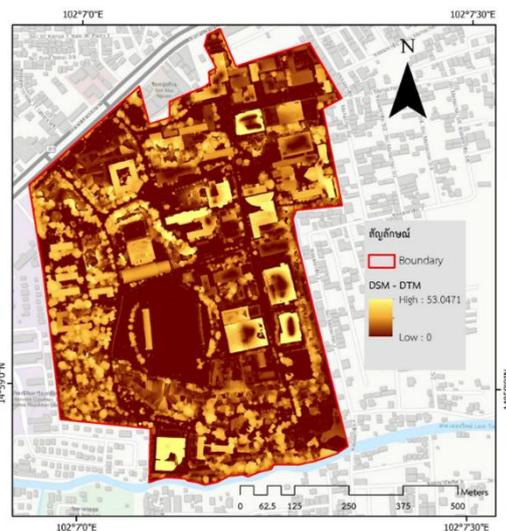
รูปที่ 7 ภาพถ่ายออร์โธ แบบภาพสีผสมจริง (RGB)



รูปที่ 8 แบบจำลองพื้นผิวเชิงเลข (DSM)



รูปที่ 9 แบบจำลองภูมิประเทศเชิงเลข (DTM)



รูปที่ 10 ข้อมูลความสูงของวัตถุ

นอกจากนี้ ข้อมูลแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศความละเอียดสูง จะถูกใช้ในการสกัดข้อมูลพิกัดทางราบ (X และ Y) ณ จุดที่มีการสำรวจด้วยกล้องสำรวจ จำนวน 11 จุด และสกัดความสูงของอาคารจากข้อมูลความสูงของวัตถุ (Z) จำนวน 5 จุด (รูปที่ 11) โดยทุกจุดต้องเป็นจุดที่ตรงกัน ตัวอย่างดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 ตำแหน่งตั้งกล้องสำรวจ และตำแหน่งสกัดค่าพิกัดจากข้อมูล UAV

### การประเมินความถูกต้องของค่าพิกัดแผนที่

ผลการประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบ (Horizontal positional accuracy) พิกัดแกน X และ Y ระหว่างข้อมูลการรังวัดด้วยกล้องสำรวจกับการรังวัดจากข้อมูล UAV เป็นดังตารางที่ 2 สำหรับผลการตรวจสอบความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบ พบว่า มีความคลาดเคลื่อนแกน X และ Y มีค่าเท่ากับ 1.22 และ 3.44 หมายถึงมีการเบี่ยงเบนในทิศทางใดทางหนึ่ง ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ค่าความถูกต้องของพิกัดทางราบระหว่างการรังวัดด้วยกล้องสำรวจกับการรังวัดจากข้อมูล UAV เท่ากับ 3.65

### ตารางที่ 2 ผลการเปรียบเทียบความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบ

Sta.	X Ground Sur.	Y Ground Sur.	X UAV	Y UAV	$\Delta x$	$\Delta y$	$\Delta x^2$	$\Delta y^2$
A	189878.06	1659001.49	189877.91	1659001.53	0.14	-0.04	0.02	0.00
B	189945.80	1658889.62	189945.97	1658890.05	-0.16	-0.43	0.03	0.18
C	189992.27	1658721.14	189993.64	1658723.13	-1.37	-1.99	1.88	3.96
D	190108.82	1658754.11	190108.76	1658756.34	0.06	-2.23	0.00	4.98
E	190288.56	1658827.78	190289.62	1658826.41	-1.06	1.37	1.12	1.87
F	190264.59	1658913.34	190264.08	1658915.62	0.51	-2.28	0.26	5.19
G	190262.87	1659029.82	190264.39	1659040.16	-1.52	-10.35	2.31	107.03
H	190219.68	1659148.13	190218.06	1659150.36	1.62	-2.24	2.61	4.99
I	190148.81	1659135.99	190147.20	1659136.66	1.62	-0.67	2.61	0.45
J	190031.42	1659077.82	190033.28	1659077.76	-1.86	0.05	3.46	0.00
K	189979.64	1659119.01	189978.18	1659120.12	1.46	-1.11	2.14	1.23
<b>Total</b>							<b>16.44</b>	<b>129.88</b>
<b>RMSE</b>							<b>1.22</b>	<b>3.44</b>
<b>RMSE<sub>r</sub></b>								<b>3.65</b>

ผลการประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางดิ่ง (Vertical Positional Accuracy) ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าพิกัดของข้อมูล 2 ชุด ระหว่างความสูงจากแบบพิมพ์เทียบกับข้อมูลจากการสำรวจด้วยกล้องสำรวจ และระหว่างข้อมูลจากแบบพิมพ์เทียบกับข้อมูลจาก UAV ดังตารางที่ 3 และมีค่าความคลาดเคลื่อน RMSE เท่ากับ 2.34 และ 8.21 ตามลำดับ

ตารางที่ 3 ผลการเปรียบเทียบความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางดิ่ง

อาคาร	(A) แบบพิมพ์เขียว	(B) กล้องสำรวจ	(C) ข้อมูล UAV	$\Delta AB$	$\Delta AC$	$\Delta AB^2$	$\Delta AC^2$
(1)	23.00	23.23	24.69	-0.23	-1.69	0.053	2.856
(2)	46.90	46.95	49.79	-0.05	-2.89	0.003	8.352
(3)	36.73	36.02	38.77	0.71	-2.04	0.504	4.162
(4)	19.60	18.67	18.14	0.93	1.46	0.865	2.132
(5)	8.20	8.25	8.39	-0.05	-0.19	0.003	0.036
Total						1.48	17.54
RMSE						1.19	4.19
RMSE <sub>z</sub>						2.34	8.21

### สรุปและอภิปรายผล

การประเมินความถูกต้องของค่าพิกัดแผนที่ (XYZ) ของข้อมูลจากอากาศยานไร้คนขับ กับข้อมูลการสำรวจรังวัดภาคพื้นดินด้วยกล้องสำรวจ สามารถสรุปและอภิปรายผลได้ดังนี้

การสำรวจและคำนวณค่าพิกัดแผนที่ด้วยกล้องสำรวจ ใช้วิธีการรังวัดมุมหลักฐานทางราบด้วยงานวงรอบปิด จากนั้นปรับแก้และคำนวณค่าพิกัดของมุมหลักฐานทางราบจำนวน 11 มุม ในขณะที่การรังวัดค่าความสูงของอาคาร จำนวน 5 อาคาร ใช้หลักการสามเหลี่ยมตรีโกณมิติในการหาความสูงของวัตถุที่สามารถวัดระยะไปยังฐานวัตถุได้ โดยผลลัพธ์ที่ได้เป็นค่าพิกัดสามมิติเพื่อใช้ประเมินค่าความคลาดเคลื่อนทางราบกับข้อมูล UAV และค่าความคลาดเคลื่อนทางดิ่งกับข้อมูลพิมพ์เขียวของอาคาร ซึ่งการใช้กล้องสำรวจรังวัดพิกัดแผนที่นี้ให้ข้อมูลที่มีความละเอียดสูงตามมาตรฐานงานสำรวจ เพียงแต่ใช้เครื่องมือ บุคลากร และเวลาในการปรับแก้และคำนวณค่าพิกัดมาก

การสำรวจและสร้างข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศด้วยอากาศยานไร้คนขับ ได้ผลลัพธ์ของการสำรวจเป็นข้อมูลแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศความละเอียดสูง ที่บันทึกข้อมูลในช่วงคลื่นที่สายตามองเห็น มีค่าพิกัดแผนที่ที่ถูกต้องจากกระบวนการสร้างภาพภาพออร์โธ ผลลัพธ์อีกประเภทหนึ่ง เป็นข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลข ประกอบด้วยแบบจำลองพื้นผิวเชิงเลข (DSM) ที่ให้ค่าความสูงของสิ่งปกคลุมพื้นผิว และแบบจำลองภูมิประเทศเชิงเลข (DTM) ที่ไม่รวมความสูงของสิ่งปกคลุมพื้นผิว ทั้งนี้ข้อมูล DSM และ DTM สามารถใช้ในการหาความสูงของวัตถุได้ โดยการหาค่าผลต่างของข้อมูล DSM และ DTM ของแต่ละจุดภาพ จะได้ค่าความสูงของวัตถุ ซึ่งผลลัพธ์ทั้งหมดนี้จะใช้ข้อมูลภาพออร์โธ กำหนดค่าพิกัดแกน X, Y เพื่อใช้เปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนทางราบกับข้อมูลการสำรวจรังวัดด้วยกล้องสำรวจ และใช้ข้อมูลความสูงของวัตถุ (Z) เปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนทางดิ่งกับข้อมูลการสำรวจรังวัดด้วยกล้องสำรวจและพิมพ์เขียวของอาคาร ซึ่งการใช้ UAV สำรวจและสร้างข้อมูลดังกล่าวนี้ได้ฐานข้อมูลที่มีความละเอียดสูง แต่ต้องผ่านการประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์เฉพาะทาง ข้อดีคือได้ข้อมูลที่ให้ขอบเขตของการสำรวจที่กว้างกว่า รวมถึงใช้บุคลากรและเวลาในการสำรวจน้อยกว่าการสำรวจภาคพื้นดิน

การตรวจสอบความถูกต้องของค่าพิกัดแผนที่ หรือการตรวจสอบความถูกต้องเชิงตำแหน่งและความสูง (XYZ) แบ่งเป็นการตรวจสอบความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบ (XY) และทางดิ่ง (Z) โดยการวัดความถูกต้องเชิง

ตำแหน่ง พบว่า ความคลาดเคลื่อนแกน X และ Y มีค่า RMSE เท่ากับ 1.22 และ 3.44 ซึ่งหมายความว่าในแกน Y มีความคลาดเคลื่อนระหว่างการสำรวจด้วยกล้องสำรวจและ UAV มากกว่าแกน X ซึ่งหากพิจารณาจากตารางที่ 3 จะพบว่าในแกน Y จะมีค่าพิสัยของมุม G ที่มีความคลาดเคลื่อนมากที่สุด หากตัดจุดนี้ออกไปค่า RMSE ของแกน Y ก็ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจากแกน X สำหรับค่าความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งทางราบ สามารถสรุปได้ว่า ในการศึกษาที่มีความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบระหว่างข้อมูลการรังวัดด้วยกล้องสำรวจและการสำรวจด้วย UAV มีความคลาดเคลื่อนระหว่างกัน เท่ากับ 3.65 เมตร ดังนั้น การเลือกใช้ข้อมูลตำแหน่งทางราบหากมีเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนไม่เกินผลการศึกษาที่ได้ ก็สามารถเลือกใช้วิธีการสำรวจได้ทั้งสองรูปแบบ

สำหรับความคลาดเคลื่อนในแกน Z หรือความสูง โดยเป็นการเปรียบเทียบความแตกต่างของความสูงระหว่างข้อมูล 2 ชุด โดยยึดความสูงของแบบพิมพ์เขียวของอาคารเป็นหลัก ได้แก่ การตรวจสอบความสูงจากแบบพิมพ์เขียวกับความสูงจากการรังวัดด้วยกล้องสำรวจ พบว่า ค่า RMSE เท่ากับ 1.19 ส่วนในมาตรฐาน NSSDA มีค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 2.34 เมตร และความสูงจากแบบพิมพ์เขียวกับความสูงจาก UAV พบว่า มีค่า RMSE เท่ากับ 4.19 และความคลาดเคลื่อนตามมาตรฐาน NSSDA เท่ากับ 8.21 เมตร ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า การรังวัดความสูงด้วยกล้องสำรวจมีความถูกต้องหรือมีความใกล้เคียงกับความสูงในแบบพิมพ์เขียวมากกว่าการสำรวจด้วย UAV แต่อย่างไรก็ตาม หากพิจารณาตามตารางที่ 3 จะพบว่า ยิ่งอาคารที่มีความสูงไม่มาก เช่น อาคาร (4) และ (5) ค่าความแตกต่างของการรังวัดด้วยกล้องสำรวจและ UAV จะมีความคลาดเคลื่อนน้อยลง หรือกล่าวอีกทางหนึ่งได้ว่า ยิ่งอาคารที่มีความสูงไม่มาก (สูงต่ำกว่า 10 เมตรลงมา) สามารถเลือกใช้การรังวัดความสูงได้ทั้งการสำรวจด้วยกล้องสำรวจ และการสำรวจด้วย UAV

## เอกสารอ้างอิง

- กรมโยธาธิการและผังเมือง. (2564). *การสำรวจและจัดทำแผนที่ด้วยอากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicle: UAV)*. สืบค้นจาก [http://oldoffice.dpt.go.th/km/images/pdf/paper\\_km\\_6\\_63.pdf](http://oldoffice.dpt.go.th/km/images/pdf/paper_km_6_63.pdf).
- กัญญารัตน์ วัลภา. (2564). *การรับรู้ระยะไกล (Remote Sensing)*. สืบค้นจาก <http://gungunyarat.blogspot.com>.
- กาญจน์เพชร ชูชีพ. (2561). การประเมินความถูกต้อง (Accuracy Assessment): Remote Sensing Technical. Note NO.3 (2018). Faculty of Forestry, Kasetsart University.
- จนิษฐ ประเสริฐบุรณะกุล, วิลาศลักษณ์ วงศ์เยาว์ฟ้า และ สุกิจ วิเศษสินธุ์. (2561). *การวิเคราะห์พื้นที่น้ำท่วมด้วย LIDAR: ข้อมูลความสูงภูมิประเทศเชิงเลขความละเอียดสูง*. กรุงเทพฯ: บริษัท ESRI (ประเทศไทย) จำกัด.
- นภัสวรรณ บุญทวีสวัสดิ์. (2562). *ความถูกต้องเชิงพื้นที่ของการใช้อากาศยานไร้คนขับเพื่อผลิตแผนที่ภาพถ่ายรายละเอียดสูง (Spatial accuracy of applying unmanned aerial vehicle to produce high – resolution map)* (บัณฑิตวิทยาลัย), มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, กรุงเทพฯ.
- มานัส ยอดธง. (2564). *การหาความสูงของวัตถุด้วยกล้องวัดมุม* [เอกสารประกอบการสอน]. ขอนแก่น: สาขาวิชาช่างสำรวจ, วิทยาลัยเทคนิคขอนแก่น.
- วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย. (2562). *มาตรฐานการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับเพื่องานวิศวกรรม (ฉบับเทคนิคพิจารณา)*. สืบค้นจาก <https://onedrive.live.com/?authkey=%21ALmUKv3xryMXbMo&cid=46DDF7F825C74B24&id=46DDF7F825C74B24%211028&parId=46DDF7F825C74B24%211027&o=OneUp>.
- สมบัติ อยู่เมือง. (2564). *ข้อมูลจากการสำรวจระยะไกล (Remote Sensing)*. สืบค้นจาก <http://www.gisthai.org/about-gis/remote-sensing.html>.

สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน). (2555). *ความหมายของข้อมูลความสูงภูมิประเทศที่ใช้บริการ การเผยแพร่และบริการข้อมูลภูมิสารสนเทศพื้นฐาน ชั้นข้อมูลความสูงภูมิประเทศ (DEM)*. กรุงเทพฯ: สำนักงานคณะกรรมการยุทธศาสตร์เพื่อวางระบบการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ (กยน.).

สิทธิพร พันธุระ. (2558). *รายวิชาวิศวกรรมสำรวจ (Survey Engineering)* [เอกสารประกอบการสอน]. อุตรธานี: สาขาวิชาเทคโนโลยีก่อสร้าง, คณะเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรธานี.

Authority, T. V. (1998). *Geospatial Positioning Accuracy Standards Part 3: National Standard for Spatial Data Accuracy. National Aeronautics and Space Administration: Virginia, NV, USA.*