



การประเมินความถูกต้องของการจัดทำแผนที่ด้วยอากาศยานไร้คนขับด้วยการกำหนดรูปแบบจุดควบคุมภาคพื้นดินที่โครงการแก้มลิงทุ่งปากขอ จังหวัดสุราษฎร์ธานี

Evaluation of UAV Accuracy for Mapping Based on Ground Control Point Patterns at Thung Pak Kor Detention Area Project, Suratthani Province

พัฒน์พงษ์ ทิพย์ชิต และ วิษุวัตม์ แท้สมบัติ*

Patpong Tipchit and Wisuwat Taesombat*

* ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

Department of Irrigation Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaengsaen,

Kasetsart University Kamphaengsaen Campus

Received : 8 February 2021

Revised : 16 April 2021

Accepted : 26 April 2021

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อหารูปแบบการกระจายตัวของ GCP ที่เหมาะสมต่อความถูกต้องเชิงตำแหน่งของแบบจำลองพื้นผิวเชิงเลขที่ได้จากการสำรวจจริงวัดด้วยอากาศยานไร้คนขับ โดยได้คัดเลือกพื้นที่ศึกษาเป็นโครงการแก้มลิงทุ่งปากขอ ตำบลทรัพย์ทวี อำเภอบ้านนาเดิม จังหวัดสุราษฎร์ธานี ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 0.6 km² เริ่มต้นด้วยการเก็บข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศด้วยอากาศยานไร้คนขับโดยกำหนดให้มีการ Overlap ร้อยละ 60 และ Side lap ร้อยละ 60 ของภาพถ่าย และเก็บข้อมูลภาคพื้นดินจำนวน 41 จุด แบ่งเป็นจุดควบคุมภาคพื้นดิน จำนวน 24 จุด และจุดตรวจสอบความถูกต้อง จำนวน 17 จุด จากนั้นทำการประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศโดยใช้ GCP จำนวน 6 รูปแบบ ประกอบด้วย การกระจายแบบบริเวณขอบ การกระจายแบบแนวตั้ง การกระจายแบบแนวทะแยง การกระจายแบบวงกลม การกระจายแบบสุ่ม และการกระจายแบบกลุ่ม โดยแต่ละรูปแบบใช้ GCP 8 จุด เพื่อหาความถูกต้องเชิงตำแหน่งและรูปแบบที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่ศึกษา ผลการศึกษาพบว่า รูปแบบการกระจายแบบแนวทะแยงให้ค่าความถูกต้องในทางราบและทางตั้งดีที่สุด โดยมีค่า RMSE_x เท่ากับ 0.135 ม. และมีค่า RMSE_z เท่ากับ 0.116 ม. โดยมีความน่าเชื่อถือทางราบร้อยละ 0.234 ความน่าเชื่อถือทางตั้งร้อยละ 0.227 และสามารถนำไปใช้ผลิตแผนที่ที่มีมาตราส่วน 1:400 ได้

คำสำคัญ : ภาพถ่ายทางอากาศ ; จุดควบคุมภาคพื้นดิน ; ค่าเฉลี่ยกำลังสอง ; ความถูกต้องเชิงตำแหน่ง ; แบบจำลองพื้นผิวเชิงเลข



Abstract

This research aimed to determine appropriate distribution pattern of ground control points affected on the geospatial positioning accuracy for mapping by UAV photogrammetry. Thung Pak Kor Detention Area Project, Suratchthani Province was selected as the study area which covered an area of approximately 0.6 km². It started with the data collection of aerial imagery data from UAV photogrammetry with 80% overlap and 60% side lap of the aerial imagery, and 41 ground data collection points divided into 24 ground control points and 17 accuracy check points. Aerial imagery was then processed using six distribution patterns of ground control points consisting of edge distribution, grid distribution, x-distribution, circle distribution, random distribution, and group distribution. Each pattern uses 8 ground control points to determine the geospatial positional accuracy and appropriate distribution patterns for the study area. The results showed that the x-distribution pattern provides the best horizontal and vertical accuracy with an RMSE_r of 0.135 m and an RMSE_z of 0.116 m, respectively. It has a horizontal reliability of 0.234 percent, a vertical reliability of 0.227 percent, and it can produce maps with a scale of 1:400.

Keywords : aerial photograph ; ground control point ; RMSE ; geospatial positioning accuracy ;
digital surface model

บทนำ

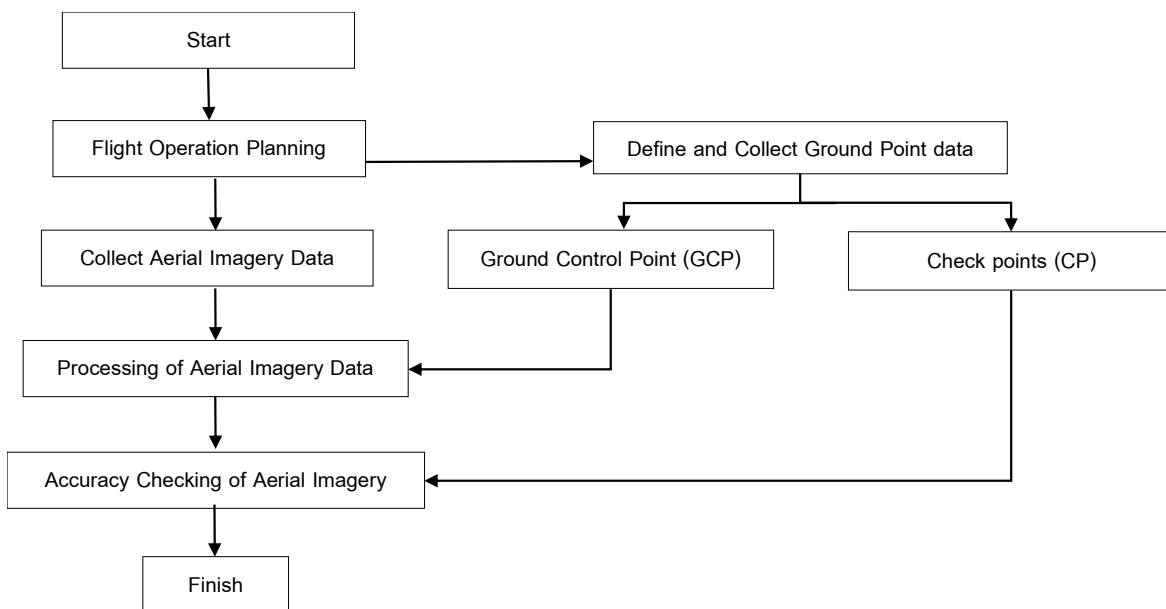
ในปัจจุบันได้นำอากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicle : UAV) เข้ามาประยุกต์ใช้ในงานสำรวจจริงวัดและการจัดทำแผนที่ เนื่องจากข้อมูลที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับมีความสะดวก รวดเร็ว ทันต่อสถานการณ์ และมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการน้อย ทำให้สามารถนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์และแก้ปัญหาได้ (Promtong, 2008) การทำแผนที่จากภาพถ่ายทางอากาศด้วยวิธีการโฟโตแกรมเมตรีจำเป็นต้องมีจุดควบคุมภาคพื้นดิน (Ground Control Point: GCP) โดยการรังวัดหาค่าพิกัดหมุดหลักฐานบนพื้นดินที่มีรายละเอียดสามารถเห็นเด่นชัดในภาพถ่ายทางอากาศ ซึ่งวิธีการสำรวจอาจกระทำโดยการรังวัดดาวเทียม GPS เมื่อได้ค่าพิกัดของจุดควบคุมภาพถ่ายในพื้นที่ที่ต้องการแล้ว จะเข้าสู่งานถ่ายสามเหลี่ยมจากภาพถ่ายทางอากาศ จากนั้นจึงทำการตัดแก้ภาพถ่ายทางอากาศ (Punyo, 2019) การนำเอาอากาศยานไร้คนขับมาประยุกต์ในงานสำรวจสภาพภูมิประเทศเพื่อทำแผนที่ภาพถ่ายเป็นการใช้วิธีการประมวลผลด้วยอัลกอริธึมทางด้านคอมพิวเตอร์วิชั่นเพื่อสร้างแผนที่ที่ต้องการ เช่น แผนที่ภาพถ่ายทางอากาศบริเวณพื้นที่น้ำท่วม หรือการสร้างแบบจำลองระดับสูงเชิงเลข (Digital Elevation Model: DEM) (Boontaweesawasdi *et al.*, 2019) ค่าความถูกต้องทางราบของอากาศยานไร้คนขับที่ใช้ระบบนำไฟล์ข้อมูลล็อก (Rinex Logs) ของ GNSS บนโดรน (Post-Processed Kinematic: PPK) เป็นการแสดงตำแหน่งของภาพถ่ายหลังจากประมวลผล จึงทำให้มีความแม่นยำน้อยกว่าอากาศยานไร้คนขับที่ไม่ใช้ PPK แต่ค่าความถูกต้องทางตั้งของอากาศยานไร้คนขับที่ใช้ระบบ PPK จะให้ค่าความถูกต้องสูงกว่าอากาศยานไร้คนขับที่ไม่ใช้ระบบ PPK ยกเว้นเมื่อความละเอียดจุดภาพบนพื้นดิน (GSD) มากขึ้นที่ 0.15 เมตร (Kaewplang, 2019) ได้ทำการศึกษาจำนวนจุดควบคุมภาคพื้นดินที่เหมาะสมสำหรับการทำแผนที่ภูมิประเทศ โดยใช้ภาพถ่ายทางอากาศจากอากาศยานไร้คนขับ และสุ่มกำหนด GCP ให้กระจายในพื้นที่ศึกษาจำนวน 3-15 จุดสำหรับพื้นที่ราบ และ 3-40 จุด สำหรับพื้นที่ลาดชัน เพื่อหาจำนวนจุดควบคุมภาพถ่าย (Photo Control) ที่เหมาะสม ผลการศึกษาพบว่าในพื้นที่ราบเมื่อใช้ GCP อย่างน้อย 4 จุด จะมีค่า RMSE ทางราบไม่เกิน 0.010 เมตร และใช้ GCP อย่างน้อย 5 จุด ความคลาดเคลื่อนทางตั้งไม่เกิน 0.050 เมตร ส่วนพื้นที่ลาดชันใช้ GCP อย่างน้อย 5 จุด จะมีค่า RMSE ทางราบไม่เกิน 0.012 เมตร และใช้ GCP อย่างน้อย 8 จุด ความคลาดเคลื่อนทางตั้งไม่เกิน 0.010 เมตร (Tahar, 2013) ซึ่ง GCP ที่แตกต่างกันในบล็อกของภาพถ่ายโดยใช้อากาศยานไร้คนขับ เพื่อรูปแบบการประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศที่ดีที่สุด โดยพิจารณาจากจำนวน GCP ที่เพิ่มขึ้น พบว่าการประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศที่มีการกำหนด GCP 9 จุดเป็นการกำหนดค่าที่ดีที่สุดในเรื่องคุณภาพ และเพื่อให้ภาพตัดแก้ที่ได้มีความสัมพันธ์กับตำแหน่งบนพื้นดินเรียกว่า ภาพถ่ายออร์โธ และเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของภาพถ่ายออร์โธจึงต้องมีจุดตรวจสอบความถูกต้อง (CP) ในการตรวจสอบความถูกต้อง โดยใช้ RMSE (Root Mean Square Error) ประเมินความความละเอียดถูกต้องเชิงตำแหน่ง และรายงานเป็นระยะบนพื้นดินที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยการใช้ค่าแฟกเตอร์ 1.7308 คูณกับค่า RMSE

จากข้อมูลข้างต้นแสดงให้เห็นว่า GCP มีความสำคัญต่อความถูกต้องแม่นยำของภาพถ่ายทางอากาศ จึงได้ทำศึกษาผลกระทบของจำนวน GCP ที่มีผลต่อความถูกต้องของภาพถ่ายทางอากาศ ในพื้นที่โครงการแก้มลิงทุ่งปากขอ ตำบลทรัพย์ทวี อำเภอบ้านนาเดิม จังหวัดสุราษฎร์ธานี ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 0.6 km² พื้นที่ศึกษาส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ราบซึ่งอยู่ในโครงการชลประทานสุราษฎร์ธานี เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบของรูปแบบ GCP ต่อความถูกต้องของการจัดทำแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศ

โดยอากาศยานไร้คนขับ จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาจัดทำแผนที่ที่มีความถูกต้องแม่นยำเพื่อนำไปประยุกต์สำหรับงานสำรวจปรับสภาพพื้นผิวและภูมิทัศน์ต่อไปในอนาคต

วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีดำเนินการวิจัยสามารถแบ่งเป็นขั้นตอนต่าง ๆ ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ขั้นตอนการศึกษาวิจัย

1. วางแผนการบิน และกำหนดจุดเก็บข้อมูลภาคพื้นดิน

ทำการวางแผนการบินในพื้นที่โครงการแก้มลิงทุ่งปากขอ ตำบลทรัพย์ทวี อำเภอบ้านนาเดิม จังหวัดสุราษฎร์ธานี ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 0.6 km² โดยใช้โปรแกรม Drone Deploy ในการกำหนดแนวมบิน (Bilgilioglu *et al.*, 2019) (Phaisarnsitthikarn & Santitamont, 2020) ตามหลักการทางโฟโตแกรมเมตรีโดยให้มีระยะทับซ้อนกันร้อยละ 80 และส่วนเกยร้อยละ 60 ของภาพถ่าย พร้อมทั้งกำหนด GCP และ CP (Sriklang, 2015) ซึ่งเป็นจุดที่ทราบค่าพิกัดในระบบพิกัดภูมิประเทศ เป็นตัวกลางที่ทำให้สามารถจัดภาพให้มีความสัมพันธ์อ้างอิงกับพื้นภูมิประเทศ แบ่งออกเป็นจุดควบคุมทางราบ (Horizontal Control Point) และจุดควบคุมทางตั้ง (Vertical Control Point) ให้กระจายทั่วพื้นที่

2. เก็บข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศ และข้อมูลภาคพื้นดิน

ทำการวางแผนปักควบคุมภาคพื้นดิน (Marker) ตามตำแหน่ง GCP และตำแหน่งตรวจสอบความถูกต้องที่ได้กำหนดไว้ จากนั้นทำการบินเก็บข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศโดยใช้อากาศยานไร้คนขับรุ่น Phantom 4 Pro ดังภาพที่ 2 พร้อมทั้งทำการ

รังวัด GCP และ CP ในงานวิจัยครั้งนี้ได้ทำการรังวัดด้วยวิธีการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ (Real Time Kinematics: RTK) โดยใช้อุปกรณ์ของ CSC รุ่น i70 ผ่านระบบโครงข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ (RTK Network) ของกรมที่ดิน/กรมแผนที่ทหารที่มีความละเอียดแม่นยำสูงในระดับดีกว่า 0.02 เมตร การรังวัด GCP และ CP ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 2 ภาพการเก็บข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศโดยใช้อากาศยานไร้คนขับ



ภาพที่ 3 ภาพการรังวัด GCP และ CP

3. ประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศ

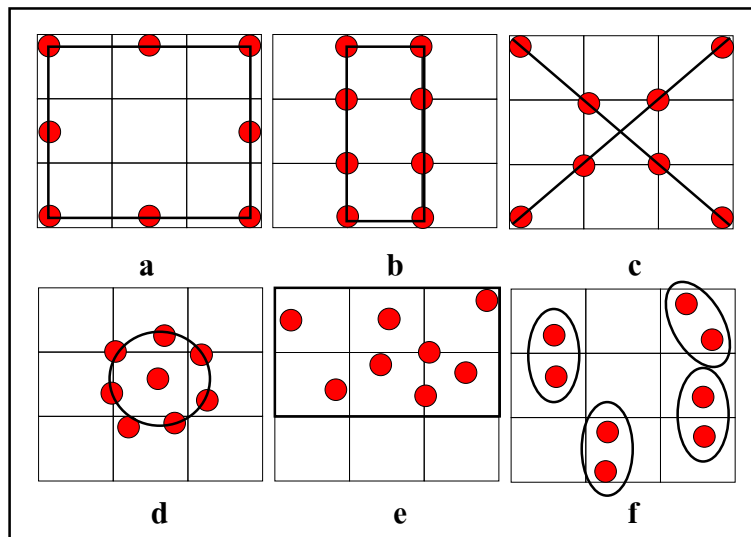
ประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับด้วยโปรแกรม Agisoft Photoscan Professional (Saponaro *et.al.*, 2020) การประมวลผลภาพถ่ายมีขั้นตอนหลัก ๆ อยู่ 6 ขั้นตอน ประกอบด้วย 1. การจัดเรียงตำแหน่งของภาพถ่าย 2. การสร้างจุดความสูงหนาแน่น 3. การสร้างแบบจำลองพื้นผิวเชิงเลข 4. การสร้างเนื้อภาพถ่าย 5. การสร้างแบบจำลองพื้นผิวเชิงเลข และ 6. การสร้างภาพ Orthophoto ซึ่งพารามิเตอร์ที่สำคัญประกอบด้วย ความยาวโฟกัส (f) การขจัดระยะจุดสำคัญ (C_x, C_y) ค่าสัมประสิทธิ์การบิดเบือนในรัศมี (k_1, k_2, k_3, k_4) และการบิดเบือนรวมถึงความคลาดที่ (p_1, p_2 ,

p3, p4) ซึ่งใช้พารามิเตอร์ในการประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศจำนวน 6 รูปแบบ ที่ใช้รูปแบบ GCP ที่แตกต่างกัน ประกอบด้วย การกระจายแบบบริเวณขอบ (a) การกระจายแบบแนวตั้ง (b) การกระจายแบบแนวทแยง (c) การกระจายแบบวงกลม (d) การกระจายแบบสุ่ม (e) และ การกระจายแบบกลุ่ม (f) ซึ่งแต่ละรูปแบบมี GCP จำนวน 8 ตำแหน่งเท่ากัน ดังภาพที่ 4 เพื่อเปรียบเทียบความถูกต้องทางตำแหน่ง ในแต่ละกรณีจะได้ผลลัพธ์ 2 ลักษณะดังนี้

1. ภาพถ่ายออร์โธโธ (Orthophoto) เป็นข้อมูลภาพถ่ายที่ขจัดผลกระทบที่เกิดจากกระบวนการบันทึกข้อมูลภาพ (Perspective view projection) ความแตกต่างทางความสูงของพื้นที่ (Relief displacement) และมีการตัดแก้เพื่อให้ภาพมีมาตราส่วนเดียวกันทั้งภาพ (Uniform scale)

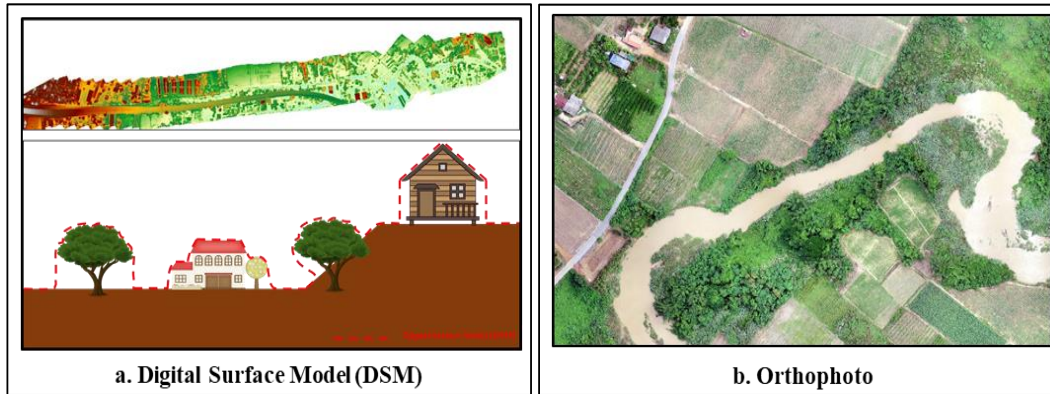
2. แบบจำลองพื้นผิวเชิงเลข (Digital Surface Model: DSM) (GISTDA, 2013) เป็นการจำลองความสูงของภูมิประเทศ และจัดเก็บให้อยู่ในรูปแบบตารางกริด หรือข้อมูลแรสเตอร์ โดยรวมความสูงของสิ่งปกคลุมพื้นผิวทางกายภาพของโลกด้วย เช่น สิ่งปลูกสร้างต้นไม้ และพุ่มไม้ เป็นต้น

ตัวอย่างผลลัพธ์จากการประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับ ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 4 รูปแบบ GCP ทั้ง 6 รูปแบบ ประกอบด้วย

- การกระจายแบบบริเวณขอบ (a) การกระจายแบบแนวตั้ง (b)
การกระจายแบบแนวทแยง (c) การกระจายแบบวงกลม (d)
การกระจายแบบสุ่ม (e) และ การกระจายแบบกลุ่ม (f)



ภาพที่ 5 ผลลัพธ์จากการประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศ

ที่มา : (Chaninchoduek & Taesombat, 2020)

4. การประเมินความถูกต้องทางตำแหน่ง

การประเมินความถูกต้องทางตำแหน่ง (Punyo, 2019) สามารถอธิบายด้วยค่าที่คลาดเคลื่อนไปจากค่าที่แท้จริง ถือเป็นความผิดพลาดทางเรขาคณิตของข้อมูล ซึ่งอาจมีผลมาจากการได้มาซึ่งข้อมูลทั้งจากระบบสำรวจและระบบการประมวลผลภาพ การประเมินความถูกต้องทางตำแหน่งของข้อมูลเป็นการสร้างความเชื่อมั่นในการนำข้อมูลไปใช้

มาตรฐานความถูกต้องทางตำแหน่งสามารถอธิบายด้วยค่าความคลาดเคลื่อนที่หาจากวิธีการทางสถิติ ดังนี้

4.1 ค่าคลาดเคลื่อนรากกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error ; RMSE)

ค่าคลาดเคลื่อนรากกำลังสองเฉลี่ยทางราบ

$$RMSE_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_{oi} - X_{GNSSi})^2}{n}} \quad (1)$$

$$RMSE_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_{oi} - Y_{GNSSi})^2}{n}} \quad (2)$$

$$RMSE_r = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_{oi} - X_{GNSSi})^2 + \sum_{i=1}^n (Y_{oi} - Y_{GNSSi})^2}{n}} \quad (3)$$

ค่าคลาดเคลื่อนรากกำลังสองเฉลี่ยตั้ง

$$RMSE_z = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Z_{oi} - Z_{GNSSi})^2}{n}} \quad (4)$$

โดยที่	X_{oi}, Y_{oi} และ Z_{oi}	คือ	ค่าพิกัดของค่าที่วัดได้จากภาพถ่าย
	X_{GNSS}, Y_{GNSS} และ Z_{GNSS}	คือ	ค่าพิกัดที่รับวัดจากระบบกำหนดตำแหน่งบนโลกด้วยดาวเทียม (GNSS) ที่มีความถูกต้องสูงและใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงสำหรับการประเมินความถูกต้องทางตำแหน่ง



4.2 การคำนวณความละเอียดถูกต้อง (Accuracy) ซึ่งตำแหน่งที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % สามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

ความละเอียดถูกต้องทางราบ

$$\text{Accuracy}_r = 1.7308 \times \text{RMSE}_r \tag{5}$$

ความละเอียดถูกต้องทางตั้ง

$$\text{Accuracy}_z = 1.9600 \times \text{RMSE}_z \tag{6}$$

ค่าความละเอียดถูกต้องทางราบอ้างอิงตามมาตรฐาน ASPRS มีความสัมพันธ์กับมาตราส่วนของแผนที่ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ความละเอียดถูกต้องของค่า RMSE_r ที่สัมพันธ์กับมาตราส่วนของแผนที่

Map Scale	Horizontal Data Accuracy Class I (m)
1: 25	0.009
1: 50	0.018
1: 100	0.035
1: 200	0.071
1: 300	0.106
1: 400	0.141
1: 500	0.177
1:600	0.212
1: 700	0.247
1: 800	0.283
1: 900	0.318
1: 1,000	0.354

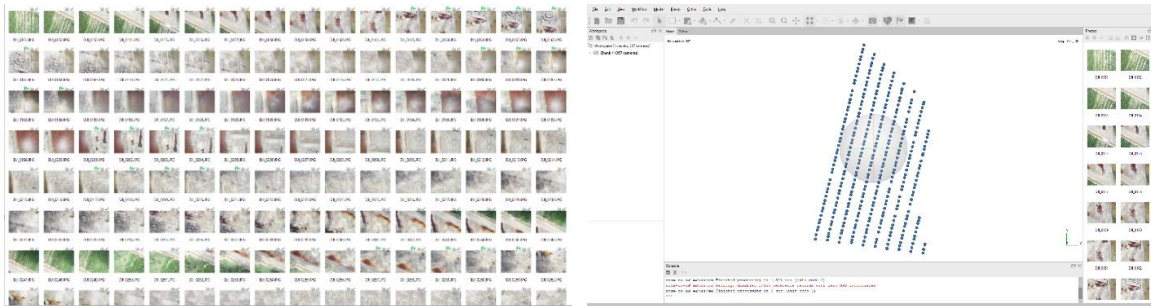
ที่มา : (ASPRS,1990)

ผลการวิจัย

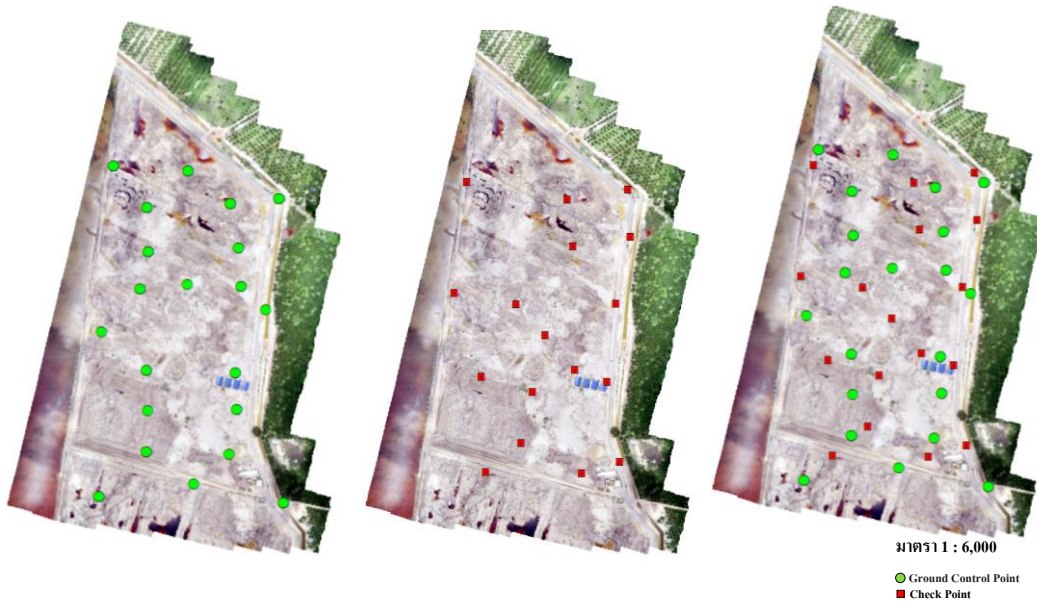
จากการศึกษาความถูกต้องเชิงตำแหน่งของรูปแบบของ GCP ในโครงการแก้มลิงทุ่งปากขอ ตำบลทรัพย์ทวี อำเภอบ้านนาเดิม จังหวัดสุราษฎร์ธานีได้ผลการศึกษาดังนี้

1. การเก็บข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศ และข้อมูลภาคพื้นดิน

ได้ทำการเก็บข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศด้วยอากาศยานไร้คนขับรุ่น DJI Phantom 4 Pro และเก็บข้อมูล GCP โดยได้ภาพถ่ายทางอากาศที่มีระยะทับซ้อนกันร้อยละ 80 และส่วนเกยร้อยละ 60 ของภาพถ่าย จำนวน 357 ภาพ มีความละเอียด (GSD) 3.29 cm/px ภาพถ่ายที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับและตำแหน่งภาพถ่าย ดังภาพที่ 5 พร้อมทั้งทำการสำรวจจริงวัดภาคพื้นดินอีกจำนวน 41 ตำแหน่ง โดยแบ่งเป็น GCP จำนวน 24 ตำแหน่ง และ CP จำนวน 17 ตำแหน่ง ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 5 ตัวอย่างภาพถ่ายทางอากาศที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับ

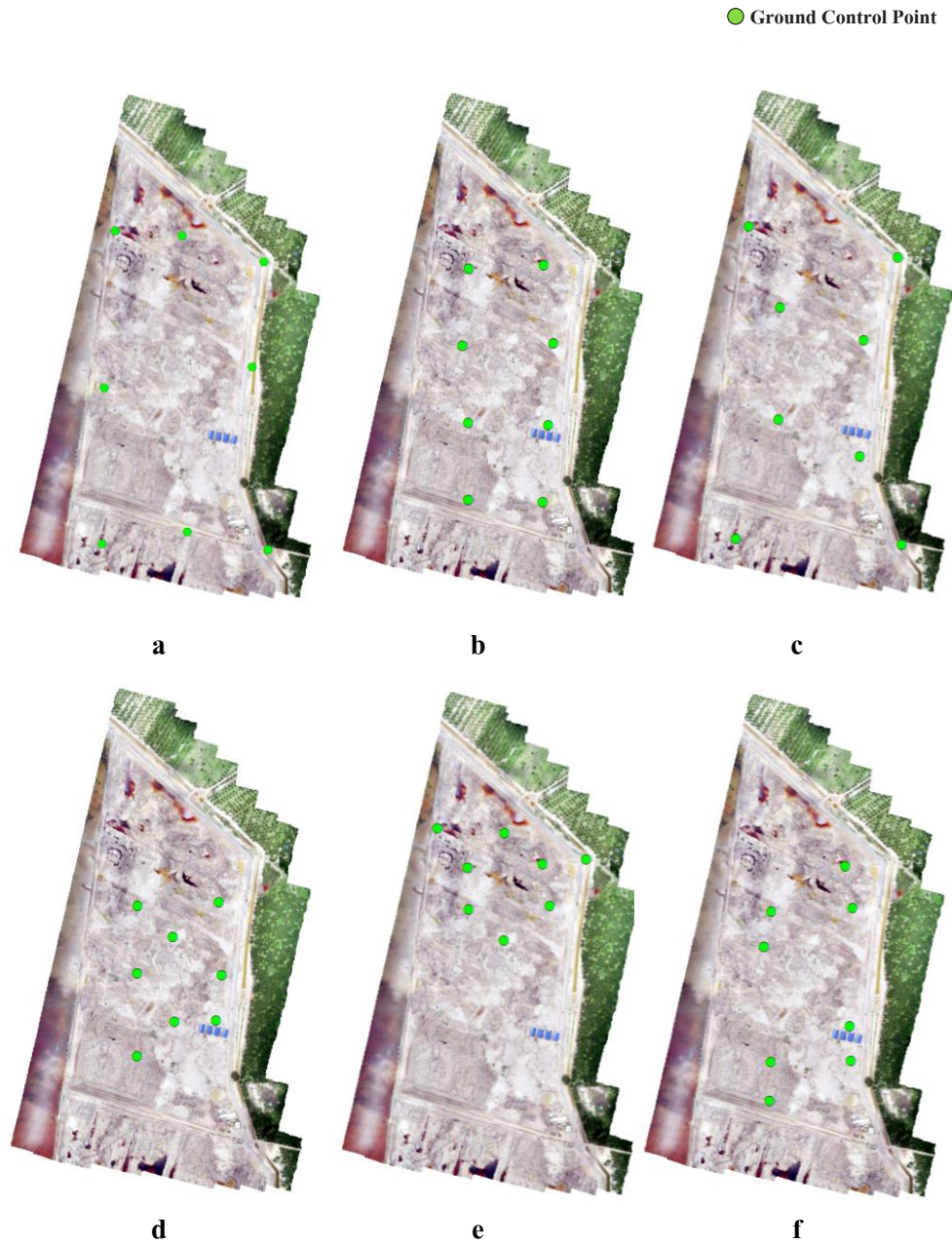


ภาพที่ 6 ตำแหน่ง GCP และ CP



2. การประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศ

จากการประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศโดยใช้ GCP ทั้ง 6 รูปแบบ ประกอบด้วย การกระจายแบบบริเวณขอบ (a) การกระจายแบบแนวตั้ง (b) การกระจายแบบแนวทแยง (c) การกระจายแบบวงกลม (d) การกระจายแบบสี่เหลี่ยม (e) และการกระจายแบบกลุ่ม (f) โดยแต่ละรูปแบบใช้ GCP จำนวน 8 ตำแหน่ง ตำแหน่งของแต่ละรูปแบบ ดังภาพที่ 7 ซึ่งแต่ละรูปแบบที่ทำการประมวลผลด้วยโปรแกรม Agisoft PhotoScan Professional ทำให้ได้ผลลัพธ์ใน 2 ลักษณะ คือ 1. ภาพถ่ายออร์โธรีโสมที่มีความละเอียดของภาพถ่ายทางอากาศขนาด 0.03×0.03 เมตร และ 2. แบบจำลองพื้นผิวเชิงเลขที่มีความละเอียดขนาด 0.13×0.13 เมตร ตัวอย่างของผลลัพธ์ดังภาพที่ 8 และเมื่อทำการตรวจสอบความถูกต้องของ GCP พบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนของ GCP โดยมีค่า $RMSE_x$ อยู่ระหว่าง $0.005 - 0.015$ เมตร และ $RMSE_y$ มีค่าอยู่ระหว่าง $0.005 - 0.060$ เมตร ทำให้ค่าความคลาดเคลื่อน $RMSE_r$ มีค่าอยู่ระหว่าง $0.008 - 0.063$ เมตร ดังภาพที่ 9 ส่วนค่าความคลาดเคลื่อน $RMSE_z$ อยู่ระหว่าง $0.27 - 1.22$ เซนติเมตร ดังภาพที่ 10

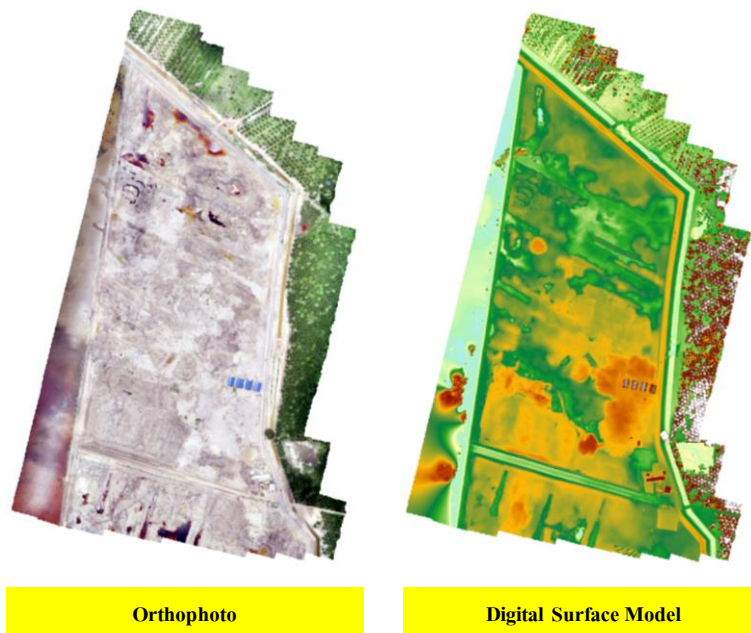


ภาพที่ 7 ตำแหน่งรูปแบบ GCP ทั้ง 6 รูปแบบ

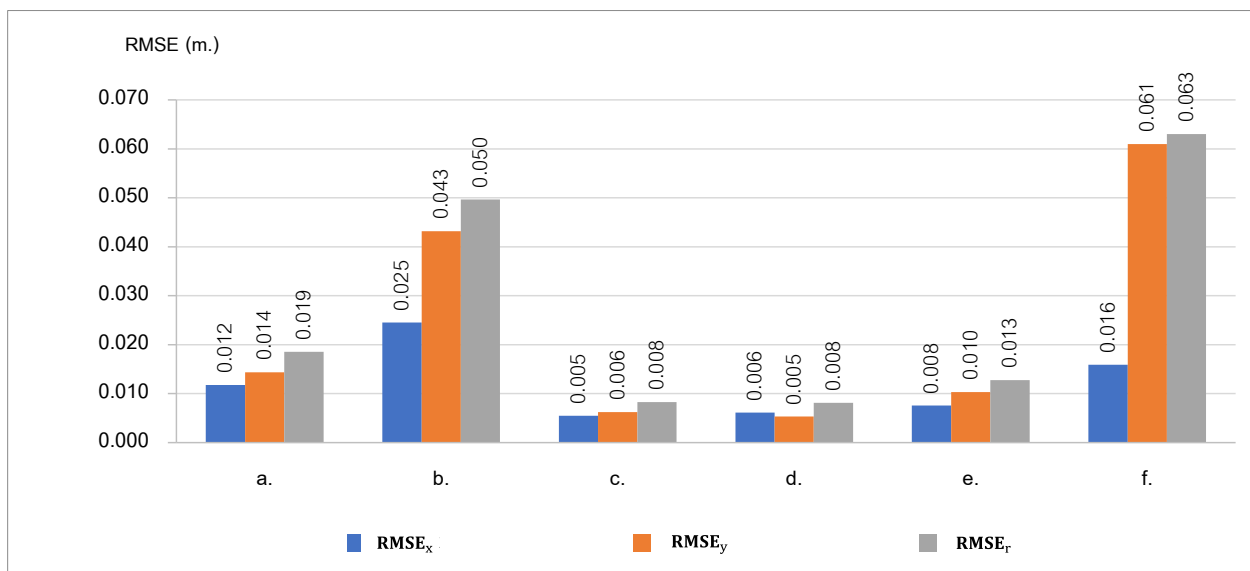
การกระจายแบบบริเวณขอบ (a) การกระจายแบบแนวตั้ง (b)

การกระจายแบบแนวทแยง (c) การกระจายแบบวงกลม (d)

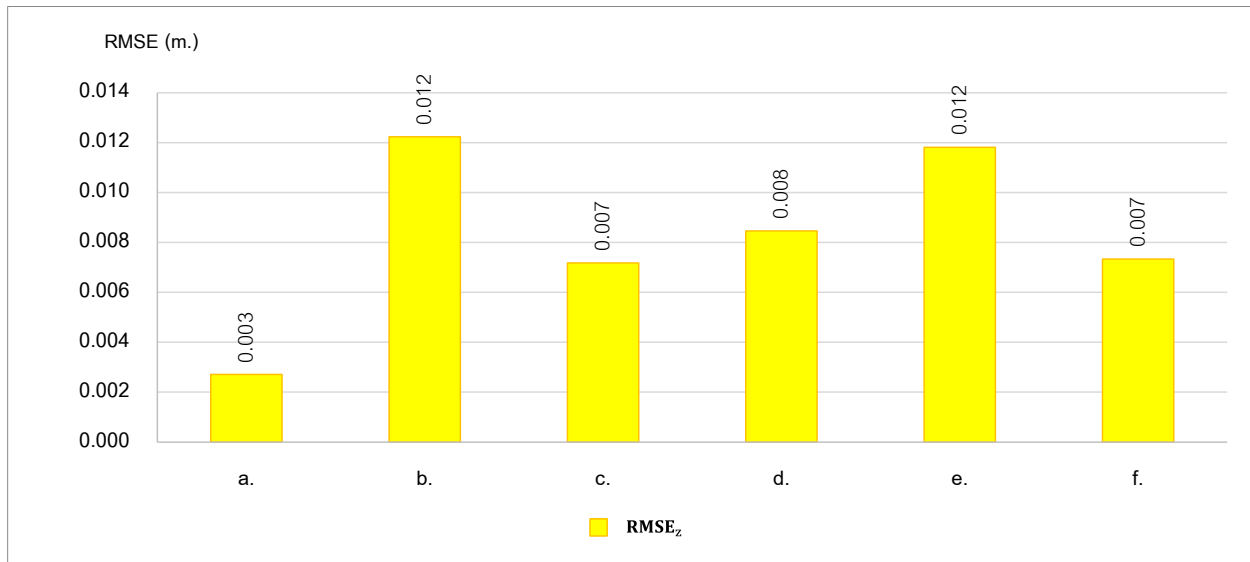
การกระจายแบบสุ่ม (e) และการกระจายแบบกลุ่ม (f)



ภาพที่ 8 ตัวอย่างผลลัพธ์จากการประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศ



ภาพที่ 9 ค่าเฉลี่ยกำลังสอง (RMSE) ค่าพิกัดทางราบระหว่าง GCP ที่ได้จากการสำรวจภาคสนามและการคำนวณด้วยเทคนิคการรังวัดด้วยภาพ



ภาพที่ 10 ค่าเฉลี่ยกำลังสอง (RMSE) ค่าพิสัยทางตั้งระหว่าง GCP ที่ได้จากการสำรวจภาคสนามและการคำนวณด้วยเทคนิคการรังวัดด้วยภาพ

3. การประเมินความถูกต้องทางตำแหน่ง

จากการประเมินความถูกต้องทางตำแหน่งด้วยวิธีทางสถิติในแต่ละรูปแบบของ GCP โดยใช้ CP ความถูกต้องจำนวน 17 ตำแหน่ง ดังภาพที่ 11 พบว่า

GCP รูปแบบการกระจายแบบบริเวณขอบ (a) มีค่าความคลาดเคลื่อน $RMSE_r$ เท่ากับ 0.142 เมตร และมีค่า $RMSE_z$ เท่ากับ 0.120 เมตร และเมื่อทำการตรวจสอบความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ของภาพถ่ายทางอากาศ พบว่ามีค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งในทางราบเท่ากับ 0.246 เมตร และทางตั้งเท่ากับ 0.234 เมตร

GCP รูปแบบการกระจายแบบแนวตั้ง (b) มีค่าความคลาดเคลื่อน $RMSE_r$ เท่ากับ 0.263 เมตร และมีค่า $RMSE_z$ เท่ากับ 0.120 เมตร และเมื่อทำการตรวจสอบความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ของภาพถ่ายทางอากาศ พบว่ามีค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งในทางราบเท่ากับ 0.455 เมตร และทางตั้งเท่ากับ 0.200 เมตร

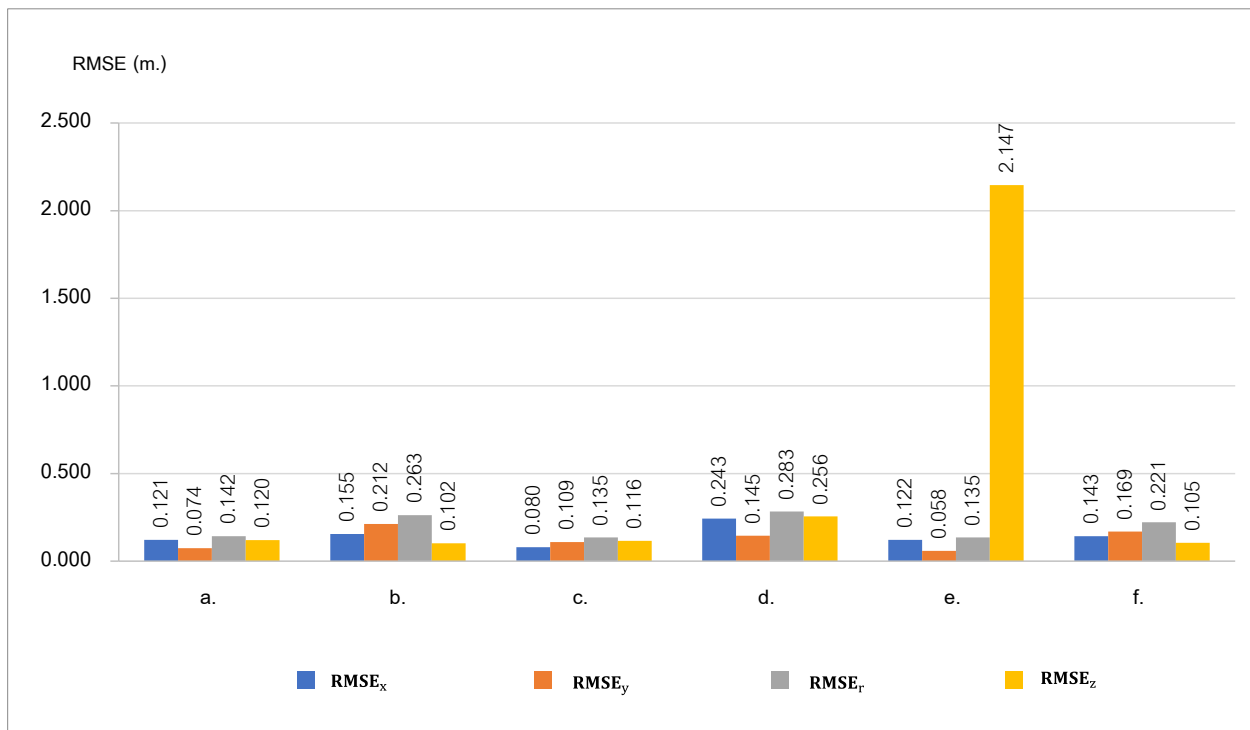
GCP รูปแบบการกระจายแบบแนวทะแยง (c) มีค่าความคลาดเคลื่อน $RMSE_r$ เท่ากับ 0.135 เมตร และมีค่า $RMSE_z$ เท่ากับ 0.116 เมตร และเมื่อทำการตรวจสอบความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ของภาพถ่ายทางอากาศ พบว่ามีค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งในทางราบเท่ากับ 0.234 เมตร และทางตั้งเท่ากับ 0.227 เมตร

GCP รูปแบบการกระจายแบบวงกลม(d) มีค่าความคลาดเคลื่อน $RMSE_r$ เท่ากับ 0.280 เมตร และมีค่า $RMSE_z$ เท่ากับ 0.25 เมตร และเมื่อทำการตรวจสอบความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ของภาพถ่ายทางอากาศ พบว่ามีค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งในทางราบเท่ากับ 0.490 เมตร และทางตั้งเท่ากับ 0.501 เมตร

GCP รูปแบบการกระจายแบบสุ่ม (e) มีค่าความคลาดเคลื่อน $RMSE_r$ เท่ากับ 0.135 เมตร และมีค่า $RMSE_z$ เท่ากับ 0.012 เมตร และเมื่อทำการตรวจสอบความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ของภาพถ่ายทางอากาศ พบว่ามีค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งในทางราบเท่ากับ 0.233 เมตร และทางตั้งเท่ากับ 4.207 เมตร

GCP รูปแบบการกระจายแบบกลุ่ม (f) มีค่าความคลาดเคลื่อน $RMSE_r$ เท่ากับ 0.221 เมตร และมีค่า $RMSE_z$ เท่ากับ 0.105 เมตร และเมื่อทำการตรวจสอบความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ของภาพถ่ายทางอากาศ พบว่ามีค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งในทางราบ เท่ากับ 0.382 เมตร และทางตั้งเท่ากับ 0.205 เมตร รายละเอียด ดังภาพที่ 11 และรายละเอียดความถูกต้องเชิงตำแหน่ง ดังตารางที่ 2

นอกจากนี้ยังสามารถเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของมาตราส่วนในแผนที่ตามมาตรฐาน ASPRS โดยการกำหนดความละเอียดถูกต้องทางราบ (Chuchip, 2018) ซึ่งการรายงานข้อมูลตามมาตรฐาน ASPRS จึงเป็นประโยชน์ต่อการนำข้อมูลเชิงพื้นที่ดังกล่าวนี้ไปจัดทำเป็นแผนที่หรือนำเสนอ พบว่าจากตารางที่ 1 ความถูกต้องของค่า $RMSE_r$ ที่สัมพันธ์กับมาตราส่วนของแผนที่ โดยรูปแบบ การกระจายแบบบริเวณขอบ (a) มีค่า $RMSE_r$ เท่ากับ 0.142 เมตร สามารถผลิตแผนที่ที่มีมาตราส่วน 1:500 การกระจายแบบแนวตั้ง (b) และการกระจายแบบวงกลม (d) มีค่า $RMSE_r$ เท่ากับ 0.263 และ 0.283 เมตร สามารถผลิตแผนที่ที่มีมาตราส่วน 1:800 การกระจายแบบแนวทะแยง (c) และการกระจายแบบสุ่ม (e) มีค่า $RMSE_r$ เท่ากับ 0.135 เมตร สามารถผลิตแผนที่ที่มีมาตราส่วน 1:400 และการกระจายแบบกลุ่ม (f) มีค่า $RMSE_r$ เท่ากับ 0.221 เมตร สามารถผลิตแผนที่ที่มีมาตราส่วน 1:700



ภาพที่ 11 ค่าความ RMSE ของ CP ความถูกต้องเชิงตำแหน่งในแต่ละรูปแบบ

**ตารางที่ 2** ความถูกต้องเชิงตำแหน่งที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

Distribution pattern	Accuracy _x Horizontal (ACCr) at 95% Confidence Level	Accuracy _z Vertical (ACCr) at 95% Confidence Level
a	0.246	0.234
b	0.455	0.200
c	0.234	0.227
d	0.490	0.501
e	0.233	4.207
f	0.382	0.205

วิจารณ์ผลการวิจัย

Leeraphan (2005) กล่าวว่าความบิดเบี้ยวและความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งของภาพถ่ายทางอากาศเกิดขึ้นได้หลายสาเหตุ เช่น การสะท้อนของคลื่นแสงในบรรยากาศ ภาพไหว การบิดเบี้ยวของเลนส์ และอื่น ๆ โดยปกติการบิดเบี้ยวของภาพจะเกิดขึ้นน้อยมากเนื่องจากวัสดุและกล้องที่มีคุณภาพดี แต่ความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากระบบการถ่ายภาพที่มีจุดโฟกัสอยู่ที่จุดกึ่งกลางเลนส์ ยังมีการเคลื่อนของตำแหน่ง ซึ่งได้ทำการปรับแก้ด้วยโปรแกรมและ GCP ในขณะที่ Kaewplang (2019) พบว่าจำนวนจุดควบคุมภาพภาคพื้นดินที่เหมาะสมสำหรับการทำแผนที่ภูมิประเทศ โดยใช้ภาพถ่ายทางอากาศจากอากาศยานไร้คนขับ สำหรับพื้นที่ราบต้องใช้จุดควบคุมภาพภาคพื้นดินอย่างน้อยจำนวน 4 จุด และยังพบว่าความแม่นยำของการทำแผนที่ภูมิประเทศขึ้นอยู่กับการกระจายตัวได้ดีของ GCP ในพื้นที่การศึกษา (Nagendran *et al.*, 2018) จากการศึกษาของ Tangpoomjit *et al.* (2020) พบว่าในการกระจายตัวของ GCP รูปแบบ กริดให้ความถูกต้องในแนวราบและแนวตั้งได้ดีที่สุดในพื้นที่บ่อฝังกบขยะมูลฝอยแบบถูกสุขาภิบาลของเทศบาลนครปฐม ขนาด 33 ไร่ โดยมีผลความถูกต้องทางตั้งของแบบจำลองระดับสูงเชิงเส้นอยู่ในชั้นความถูกต้องทางตั้งที่ 5 ซม. ซึ่งจากการศึกษาครั้งนี้ในพื้นที่ศึกษา 0.6 km² สำหรับรูปแบบของ GCP ทั้ง 6 รูปแบบ ใช้จำนวน GCP 8 จุด แต่ใช้ CP ความถูกต้อง 17 จุด เนื่องจากข้อมูลที่เก็บมาในพื้นที่มีบางส่วนไม่สมบูรณ์ จากภาพที่ 11 พบว่ารูปแบบที่มีค่าความคลาดเคลื่อน RMSE_x น้อยที่สุด คือ การกระจายแบบแนวทแยง และการกระจายแบบสุ่ม ส่วนรูปแบบที่มีค่าความคลาดเคลื่อน RMSE_z น้อยที่สุด คือ การกระจายแบบแนวตั้ง

สรุปผลการวิจัย

การสำรวจจริงวัดด้วยภาพถ่ายทางอากาศโดยใช้อากาศยานไร้คนขับนับว่าเป็นการนำเทคโนโลยีมาเพื่อลดขั้นตอนระยะเวลา และค่าใช้จ่าย ในการจัดทำข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศที่มีความถูกต้องแม่นยำและสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานได้จริง ในการทำข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศรูปแบบของ GCP ก็เป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่มีผลต่อความถูกต้องแม่นยำของภาพถ่าย



ทางอากาศ จึงได้ทำการศึกษารูปแบบของ GCP ในพื้นที่โครงการแก้มลิงทุ่งปากขอ จังหวัดสุราษฎร์ธานี จำนวน 6 รูปแบบ ประกอบด้วย การกระจายแบบบริเวณขอบ (a) การกระจายแบบแนวตั้ง (b) การกระจายแบบแนวทแยง (c) การกระจายแบบวงกลม (d) การกระจายแบบสุ่ม (e) และ การกระจายแบบกลุ่ม (f) ได้ดังนี้

1. ทำการประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศโดยใช้ GCP ทั้ง 6 รูปแบบ พบว่า GCP แต่ละรูปแบบมีค่าความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นโดยมีค่า $RMSE_r$ อยู่ระหว่าง 0.008 – 0.063 เมตร และมีค่า $RMSE_z$ อยู่ระหว่าง 0.003 – 0.012 เมตร

2. จากการประเมินความถูกต้องแม่นยำทางตำแหน่งโดยใช้ CP ภาคพื้นดินจำนวน 17 ตำแหน่ง ในการตรวจสอบพบว่าทั้ง 6 รูปแบบมีค่า $RMSE_r$ อยู่ระหว่าง 0.135 – 0.283 เมตร โดยรูปแบบการกระจายแบบแนวทแยง (c) และการกระจายแบบสุ่ม (e) มีค่า $RMSE_r$ ดีกว่ารูปแบบอื่นๆ และมีค่า $RMSE_z$ อยู่ระหว่าง 0.102 – 2.147 เมตร โดยรูปแบบการกระจายแบบแนวตั้ง (b) มีค่า $RMSE_z$ ดีกว่ารูปแบบอื่นๆ

3. ความละเอียดถูกต้องของภาพถ่ายทางอากาศที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % มีค่าทางราบอยู่ระหว่าง 0.233 – 0.490 เมตร และมีค่าทางตั้งอยู่ระหว่าง 0.200 – 4.207 เมตร

4. ภาพถ่ายทางอากาศที่ได้จากการประมวลผลด้วย GCP ทั้ง 6 รูปแบบ เมื่อนำค่าความละเอียดถูกต้องทางราบอ้างอิงตามมาตรฐาน ASPRS ซึ่งมีความสัมพันธ์กับมาตราส่วนของแผนที่ที่สามารถผลิตแผนที่ที่มีความละเอียดสูง ในมาตราส่วน 1:400, 1:500, 1:700 และ 1:800

จากการศึกษาในครั้งนี้พบว่ารูปแบบของ GCP มีผลต่อความถูกต้องทางตำแหน่ง โดยรวมรูปแบบที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่โครงการแก้มลิงทุ่งปากขอ ตำบลทรัพย์ทวี อำเภอบ้านนาเดิม จังหวัดสุราษฎร์ธานี คือ รูปแบบการกระจายแบบแนวทแยง (c) ซึ่งมีความน่าเชื่อถือทางราบร้อยละ 0.234 ความน่าเชื่อถือทางตั้งร้อยละ 0.227 และสามารถผลิตแผนที่มาตราส่วน 1:400 ได้

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสนที่สนับสนุนอุปกรณ์ในการเก็บข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศ และขอขอบคุณ นายกวีพันธ์ พรหมณะ นางสาวมนทิรา ชินินทรโชติก ในการเก็บข้อมูลภาคสนาม

เอกสารอ้างอิง

ASPRS. (1990). ASPRS Accuracy Standards for Large-Scale Maps Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 56(7), 1068- 1070.

Bilgilioglu, B. B., Ozturk, O., Sariturk, B., & Seker, D. Z. (2019). Object Based Classification of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Imagery for Forest Fires Monitoring. Feb - Fresenius Environmental Bulletin, 1011.



- Boontaweerasawadi, N. Piyatassananon, P., & Chavanavesskul, S. (2019). Spatial Accuracy of Applying Unmanned Aerial Vehicle to Produce High – Resolution Map. *Journal of Remote Sensing and GIS Association of Thailand*, 20. (in Thai)
- Chaninchoduek, M. & Taesombat, W. (2020). Accuracy of UAV based photogrammetry for DSM generation on different flying heights. *Engineering Journal Chiang Mai University* 27(3), 1-14. (in Thai)
- Chuchip, K. (2018). Assessing the accuracy of remote sensing, *Remote Sensing Technica*, Faculty of Forestry. (pp. 6-7). Kasetsart University (in Thai)
- GISTDA. (2013). Project landscape data layer (FGDS data) is in accordance with the requirements of the FGDS 15provinces standard. Bangkok. (in Thai)
- Kaewplang, S. (2019). Evaluating the Number of Suitable Ground Control Points for Topographic Mapping from UAV - derived aerial imagery. *Maharakham University Academic Conference 14th*, Maharakham University. (in Thai)
- Leeraphan, N. (2005). Remote sensing and aerial image translation. Songkla. (pp. 36-41). Prince of Songkla University (in Thai)
- Nagendran, S.K., Mohamad Ismail, M.S.B. & Tung, W.Y. (2018). Accuracy Assessment on Low Altitude UAV-borne Photogrammetry Outputs Influenced by Ground Control Point at Different Altitude. *Earth and Environmental Science*, 169.
- Phaisarnsittikarn, J., & Santitamnont, P. (2020). Application of Multi-Head Oblique Camera on UAV to Delineate of Building Footprint. *The 25th National Convention on Civil Engineering, SGI05-SGI05*. (in Thai)
- Promptong, C. (2008). The Evaluation of Positional Accuracy of Orthophoto Products from Aerial Photographs in the Test Field. *Kambanda University Graduate School*. (in Thai)



- Punyo, A. (2019). Flood area analysis by Unmanned Aerial Vehicle A case study of the Pasak river basin, Lom Sakdistrict Phetchabun province. Report of Hydrologist (professional level). In Performance Report. Royal Irrigation Department. (in Thai)
- Saponaro, M., Capolupo, A., Caporusso, G., Borgogno Mondino, E., & Tarantino, E. (2020). Predicting the Accuracy of Photogrammetric 3d Reconstruction from Camera Calibration Parameters Through a Multivariate Statistical Approach.
- Sriklang, K. (2015) Planning an aerial mapping project. Survey School, Royal Thai Survey Department. (in Thai)
- Tahar, K. N. (2013). An evaluation on different number of ground control points in unmanned aerial vehicle photogrammetric block. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XL-2/W2, 93-98
- Tangpoomjit, R., Songsaeng, S., Pasada, A., Wangyao, K. & Litwarangkul, T. (2020). The Study of UAV-Photogrammetric Accuracy for Mapping Based on Variation of Ground Control Points. In The 25th National Convention on Civil Engineering 25. Chon Buri: Ambassador Hotel. (in Thai)