

การสำรวจทางตั้งและการสร้างแบบจำลอง 3 มิติ ด้วยอากาศยานไร้คนขับ ประเภท Multirotor Vertical Survey and 3D Modeling with Multirotor Unmanned Aerial Vehicles (UAVs)

อังกูร ว่องตะกูล¹ นฤนาท เหมะ^{1,*} ศราวุธ เรือนศรี¹ และ ภัทรมน วงศ์ราษฎร์¹

¹ หลักสูตรวิศวกรรมโยธา สาขาวิศวกรรมและเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย

*Corresponding author; E-mail address: narunat2835@gmail.com

บทคัดย่อ

การสำรวจภายนอกอาคารเพื่อสร้างแบบจำลอง 3 มิติ ด้วยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์นิยมใช้การสำรวจด้วยการวัดระยะและกล้องสำรวจรวม (Total Station) ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้เวลาและทรัพยากรในการสำรวจเป็นจำนวนมาก ในปัจจุบันมีการนำอากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicle: UAV) เข้าช่วยในการสำรวจดังกล่าวซึ่งเป็นวิธีที่ประหยัดทั้งเวลาและทรัพยากร แต่อย่างไรก็ตามในประเทศไทยยังมีการศึกษาการสำรวจภายนอกอาคารด้วย UAV อยู่น้อย งานวิจัยนี้จึงศึกษาการสำรวจภายนอกอาคารด้วย UAV ยี่ห้อ DJI รุ่น Phantom 4 Professional แบบ 4 ใบพัด เปรียบเทียบความถูกต้องของแบบจำลอง ภายนอกอาคารแบบ 3 มิติด้วยโปรแกรม Agisoft PhotoScan กับการสำรวจด้วยกล้องสำรวจรวม (Total Station) ร่วมกับการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความถูกต้องของแบบจำลอง 3 มิติ ที่ได้จาก UAV โดยศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าระยะระหว่างจุดศูนย์กลางจุดภาพบนพื้นดิน (Ground Sample Distance, GSD) ที่ 0.400, 0.600 และ 0.800 cm/pix และจุดควบคุมภาคพื้นดิน (Ground Control Point, GCP) ที่ 4, 8 และ 12 จุด จากการศึกษาพบว่าค่าความคลาดของแบบจำลองภายนอกอาคาร 3 มิติ จากการสำรวจด้วย UAV เมื่อเปรียบเทียบกับค่าคลาดของแบบจำลองจากกล้องสำรวจรวมตามพิกัด X, Y, Z มีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง (RMSE) น้อยที่สุดเมื่อค่า GSD เท่ากับ 0.400 cm/pix และค่า GCP เท่ากับ 12 จุด โดยมีค่า RMSE เท่ากับ 0.866, 1.064 และ 1.395 เซนติเมตร ตามลำดับ

คำสำคัญ: สำรวจแนวตั้ง, อากาศยานไร้คนขับ, แบบจำลอง 3 มิติ, จุดศูนย์กลางจุดภาพบนพื้นดิน, จุดควบคุมภาคพื้นดิน

Abstract

The survey of the exterior of the building to create a 3D model using computer programs usually uses surveying with distance measurement and total station, which are methods that take a lot of time and resources to survey. Currently, there is the use of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) to help in such surveys, which is a method that saves both time and resources. However, in Thailand, there are still few studies of exterior

surveying with UAVs. This research studies the exterior survey of the building with DJI Phantom 4 Professional UAV with 4 propellers to compare the accuracy of the model. 3D exterior building model using Agisoft PhotoScan with Total Station survey along with a study of factors affecting the accuracy of the 3D model obtained from UAV by studying the change in the distance between the center of the image point on the ground (Ground Sample Distance, GSD) at 0.400, 0.600 and 0.800 cm/pix and the ground control points (GCP) at 4, 8 and 12 points. The study found that the error value of the 3D exterior building model from the UAV survey when compared to the total station survey at X, Y, Z coordinates has the least root mean square error (RMSE) when the GSD value is equal to 0.400 cm/pix and the GCP value is equal to 12 points, with RMSE values of 0.866, 1.064 and 1.395 centimeters, respectively.

Keywords: Vertical Surveying, unmanned aerial vehicle, 3D model, Ground Sample Distance, Ground Control Point

1. บทนำ

จังหวัดเชียงรายเป็นเมืองประวัติศาสตร์แห่งหนึ่งในภาคเหนือเป็นศูนย์กลางอาณาจักรล้านนายุคแรกๆ เห็นได้จากโบราณสถานเก่าแก่มากมาย ซึ่งเป็นแหล่งสะท้อนเรื่องราวประวัติศาสตร์ความเป็นมาในอดีต เป็นแหล่งเรียนรู้แหล่งศึกษาทางด้านวัฒนธรรม ที่ทรงคุณค่าและมีความภูมิใจของคน รุ่นหลังที่ต้องช่วยกันดูแลและรักษาต่อไป ปัจจุบันจึงมีการตรวจสอบ บันทึกข้อมูลเพื่อดูแลและบูรณะโบราณสถานอย่างต่อเนื่อง ซึ่งส่วนใหญ่ในการเก็บรายละเอียดของอาคารมักนิยมใช้กล้องระดับหรือกล้องสำรวจรวม (Total Station) ร่วมกับโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ในการสร้างแบบจำลองหรือผังบริเวณของอาคาร ต่อมาได้มีการนำการสำรวจด้วยภาพถ่ายทางอากาศ โดยใช้อากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicle: UAV) ดังแสดงในรูปที่ 1 เข้ามาใช้ในการสำรวจมากขึ้น [1] โดยในช่วงแรกนั้นการสำรวจด้วย UAV จะถูกนำมาใช้ในการในแนวราบ [2-6] จากการศึกษาที่ผ่านมาได้แสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการใช้ UAV ในงาน Photogrammetry ซึ่งต่อมาได้มีการศึกษาถึงระดับของความถูกต้องที่

ได้รับจากงานรังวัดแนวราบด้วยภาพถ่ายทางอากาศจาก UAV พบว่า ความถูกต้องของงานสำรวจนั้นแบ่งได้หลายระดับ [7] ขึ้นอยู่กับการ ออกแบบงานควบคุมภาพถ่ายทางอากาศ โดยต่อมาได้มีการกำหนด ระเบียบจากกรมที่ดินว่าด้วยเรื่องการทำแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศด้วย อากาศยานไร้คนขับ (UAV) ในปี พ.ศ. 2564 [8] แต่อย่างไรก็ตามระเบียบ ดังกล่าวยังไม่ครอบคลุมถึงการสำรวจในแนวตั้งหรือการสร้างแบบจำลอง 3 มิติจากภาพถ่ายทางอากาศ



รูปที่ 1 อากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicle: UAV)

ปัจจุบันในประเทศไทยได้มีการนำอากาศยานไร้คนขับ (UAV) มาใช้ในการสำรวจแนวตั้งร่วมกับการสร้างแบบจำลอง 3 มิติ สำหรับใช้ในการ ตรวจสอบอาคารหรือใช้ในการอ้างอิงผังบริเวณของอาคาร [9-12] โดย การศึกษาที่ผ่านมาได้แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการใช้งานอากาศยานไร้คนขับ (UAV) ในการสำรวจแนวตั้งและการสร้างแบบจำลอง 3 มิติ แต่อย่างไรก็ตามงานศึกษาดังกล่าวยังไม่ได้ทำการศึกษาถึงปัจจัยความ ถูกต้องในการใช้อากาศยานไร้คนขับ (UAV) มาทำการสำรวจอาคารทางตั้ง และสร้างแบบจำลองอาคารในรูปแบบ 3 มิติ ดังนั้นในการศึกษานี้จึง ทำการศึกษาการสำรวจอาคารทางตั้งของอาคารศาลากลางเชียงรายหลัง เก่า ซึ่งทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความคลาดเคลื่อนของแบบจำลอง 3 มิติ ที่ได้จากภาพถ่ายทางอากาศ โดยเปลี่ยนแปลงค่าระยะระหว่างจุด ศูนย์กลางจุดภาพบนพื้นดิน (Ground Sample Distance, GSD), จำนวน จุดควบคุมภาคพื้นดิน (Ground Control Point, GCP) และกำหนดค่าส่วน ซ้อน (Overlap) และส่วนเกย (Size Lap) ไว้ที่ร้อยละ 80 ทำการสำรวจ ด้วยอากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicle: UAV) ยี่ห้อ DJI รุ่น Phantom 4 Professional และเปรียบเทียบค่าความถูกต้องของ แบบจำลองอาคาร 3 มิติ ที่ได้จากโปรแกรม Agisoft PhotoScan กับค่าที่ ได้จากการสำรวจด้วยกล้องระดับรวม (Total Station)

2. วิธีการดำเนินงาน

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการสำรวจแบบจำลองอาคารแนวตั้งเพื่อสร้าง แบบจำลองอาคาร 3 มิติ ด้วยอากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicle: UAV) ยี่ห้อ DJI รุ่น Phantom 4 Professional ที่เป็นแบบปีก หมุนจำนวน 4 ใบพัด ติดตั้งกล้องถ่ายภาพ รุ่น FC6310 ที่มีความยาวโฟกัส

8.8 มม. ประเภทเซ็นเซอร์แบบ global มีความละเอียดของจุดภาพของภาพ 20 ล้านจุดภาพ จำนวน 1 ตัว ซึ่งเป็นอากาศยานไร้คนขับที่นำมาใช้ในการ สำรวจภาพถ่ายทางอากาศในประเทศไทย โดยการทดสอบนี้กำหนดให้ ค่าส่วนซ้อน (Overlap) และส่วนเกย (Size Lap) ของภาพที่ได้จากอากาศ ยานไร้คนขับอยู่ที่ร้อยละ 80 ทั้งสองค่า ตามระเบียบข้อแนะนำว่าด้วยการ ทำแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศอากาศยานไร้คนขับ (UAV) ของกรมที่ดิน ปี พ.ศ. 2564 [8] และกำหนดกรณีศึกษาโดยใช้ค่าระยะระหว่างจุดศูนย์กลาง จุดภาพบนพื้นดิน (Ground Sample Distance, GSD) ทั้งหมด 3 ค่า แบ่งเป็น 0.400 cm/pix, 0.600 cm/pix และ 0.800 cm/pix ตามลำดับ โดยค่า GSD จะเป็นตัวกำหนดระยะห่างในการบินสำรวจของตัวอาคารและ UAV นอกจากนี้ที่ GSD แต่ละค่าจะแบ่งจำนวนจุดควบคุมภาคพื้นดิน (Ground Control Point, GCP) เป็นจำนวน 4 จุด, 8 จุด และ 12 จุด ดัง แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงกรณีศึกษาทั้งหมดในงานวิจัย

กรณีศึกษา	Overlap	Size Lap	GSD	GCP
1	ร้อยละ 80	ร้อยละ 80	0.400 cm/pix	4 จุด
2	ร้อยละ 80	ร้อยละ 80	0.400 cm/pix	8 จุด
3	ร้อยละ 80	ร้อยละ 80	0.400 cm/pix	12 จุด
4	ร้อยละ 80	ร้อยละ 80	0.600 cm/pix	4 จุด
5	ร้อยละ 80	ร้อยละ 80	0.600 cm/pix	8 จุด
6	ร้อยละ 80	ร้อยละ 80	0.600 cm/pix	12 จุด
7	ร้อยละ 80	ร้อยละ 80	0.800 cm/pix	4 จุด
8	ร้อยละ 80	ร้อยละ 80	0.800 cm/pix	8 จุด
9	ร้อยละ 80	ร้อยละ 80	0.800 cm/pix	12 จุด

2.1 การวางแผนการบินถ่ายภาพของอากาศยานไร้คนขับ (UAV)

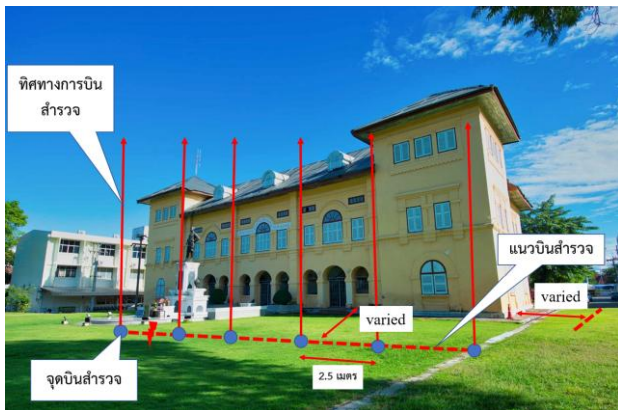


รูปที่ 2 ตำแหน่งควบคุมภาคพื้นดิน (BM) รอบอาคารศาลากลางจังหวัดเชียงราย หลังเก่า

การสำรวจอาคารแนวตั้งเพื่อสร้างแบบจำลองอาคาร 3 มิติ ใน การศึกษานี้จะทำการสำรวจอาคารศาลากลางจังหวัดเชียงรายหลังเก่าที่ตั้ง อยู่ที่ ตำบลเวียง อำเภอเมืองเชียงราย จังหวัดเชียงราย เป็นสถาปัตยกรรม ที่มีโครงสร้างก่ออิฐถือปูน เป็นอาคาร 2 ชั้น ขนาดกว้าง 15 เมตร ยาว 37 เมตร กำหนดตำแหน่งวางหมุดควบคุมภาคพื้นดิน (BM) และทำวงรอบปิด รอบอาคารเพื่อหาค่าพิกัดโดยรอบบริเวณอาคาร ดังแสดงในรูปที่ 2 และทำ

การเก็บรายละเอียดพิกัดจุดควบคุมภาคพื้นดิน (GCP) จำนวน 4, 8 และ 12 จุดบนอาคารและจุดตรวจสอบความถูกต้อง (Check point) บนตัวอาคารศาลากลางจังหวัดเชียงรายหลังเก่าโดยรอบบริเวณอาคารทั้ง 4 ด้าน จำนวน 25 จุด ด้วยกล้องสำรวจรวม (Total Station) เพื่อใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองอาคาร 3 มิติ

ในการสำรวจอาคารแนวตั้งแต่ละครั้ง จะทำการคำนวณรายละเอียดแผนการบินสำรวจอาคาร (Flight Plan Building) โดยการคำนวณแผนการบินสำรวจอาคารตามการศึกษาของ [13] กำหนดให้ค่าระดับความเชื่อถืออยู่ที่ร้อยละ 95, ใช้ค่า GSD เท่ากับ 0.400, 0.600 และ 0.800 cm/pix ขนาดพื้นที่สำรวจมีความกว้างและความยาวเท่ากับ 0.015 และ 0.037 กิโลเมตร ตามลำดับ และใช้ค่าส่วนซ้อน (Overlap) และส่วนเกย (Size Lap) ที่ร้อยละ 80 ผลการคำนวณรายละเอียดแผนการบินสำรวจอาคารแสดงในตารางที่ 2 จากการคำนวณรายละเอียดการบินอากาศยานไร้คนขับกำหนดให้ตำแหน่งการบินมีระยะห่างจากตัวอาคาร 14, 22 และ 29 เมตรตามลำดับ และมีระยะห่างระหว่างจุดการบิน 2.5 เมตร กำหนดให้ทิศทางการบินสำรวจเป็นการบินขึ้นในแนวตั้งเท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 รายละเอียดการบินสำรวจรอบอาคารศาลากลางจังหวัดเชียงรายหลังเก่าโดยสังเขป

ตารางที่ 2 แผนการบินสำรวจอาคารศาลากลางจังหวัดเชียงรายหลังเก่า

Flying Height (m)	ความกว้าง (m)	ความสูงภาพ (m)	ระยะแนวกบิน (m)	จำนวนแนวกบิน (legs)	ระยะถ่ายภาพ (m)	จำนวนภาพต่อแนวกบิน (images)	ความเร็วในการบิน (m/s)	ความเร็วชัตเตอร์ขั้นต่ำ (sec.)	ช่วงเวลาถ่ายภาพ (sec.)
8	12.312	8.208	2.462	17.00	1.642	15	0.5	0.00225	3.0

ตารางที่ 3 ค่าความถูกต้อง (RMSE) ของแบบจำลองอาคาร 3 มิติ

2.2 การสร้างแบบจำลองอาคาร 3 มิติ

GSD (cm/pix)	อากาศยานไร้คนขับ (UAV) รุ่น Phantom 4 Professional (Side lap 80% Over lap 80%)								
	GCP 4 จุด			GCP 8 จุด			GCP 12 จุด		
	RMSE _x (cm)	RMSE _y (cm)	RMSE _z (cm)	RMSE _x (cm)	RMSE _y (cm)	RMSE _z (cm)	RMSE _x (cm)	RMSE _y (cm)	RMSE _z (cm)
0.400	0.971	0.858	1.452	1.005	1.144	1.980	0.866	1.064	1.395
0.600	1.085	1.325	1.407	1.860	1.542	2.304	1.053	1.043	1.408
0.800	1.609	1.297	2.130	1.998	1.376	2.556	1.343	1.228	1.796

ในการประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศจากอากาศยานไร้คนขับ (UAV) จะทำการควบคุมการถ่ายภาพของ UAV ด้วยโปรแกรม DJI GO และทำการประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศเพื่อสร้างเป็นแบบจำลองอาคาร 3 มิติ ด้วยโปรแกรม Agisoft PhotoScan ซึ่งเป็นโปรแกรมที่มีขั้นตอนการประมวลผลที่ง่ายต่อการนำไปใช้ประโยชน์ในการต่อภาพจากอากาศยานไร้คนขับ ทั้งที่มีข้อมูลแสดงรายละเอียดการบินถ่ายภาพ และเป็นที่ยอมรับกันอย่างแพร่หลาย และแสดงผลในรูปของค่าความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่ง (Root Mean Square Error, RMSE) ทั้งทางแนวกแกน X, แกน Y และแกน Z ตามสมการที่ 1 เพื่อประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งของค่าพิกัดทางราบและทางตั้งของจุดควบคุมภาคพื้นดิน (GCP) ที่ได้จากการสร้างแบบจำลองอาคาร 3 มิติการวิเคราะห์ผลข้อมูลทำให้ทราบค่าพิกัดที่มีความถูกต้องยอมรับได้ โดยนำมาเปรียบเทียบกับ มาตรฐานความถูกต้องเชิงตำแหน่ง National Standard for Spatial Data Accuracy (NSSDA) [14] ซึ่งจะแสดงถึงคุณภาพความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางตั้งของแผนที่ ที่ความเชื่อมั่นในการวิเคราะห์อยู่ที่ร้อยละ 95 (E95) ซึ่งเป็นระดับความเชื่อมั่นที่แสดงความเป็นค่าจริงของรายละเอียดแผนการบินตามการคำนวณ โดยสามารถพิจารณาค่าความละเอียดถูกต้องทางราบและทางตั้งได้จากสมการที่ 2 และ 3 ตามลำดับ

$$RMSE_X = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(X_i - X_{check})^2}{n}}$$

$$RMSE_Y = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(Y_i - Y_{check})^2}{n}}$$

$$RMSE_Z = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(Z_i - Z_{check})^2}{n}} \quad (1)$$

$$E_{95} = 2.4477 \times 0.5 \times (RMSE_X + RMSE_Y) \quad (2)$$

$$E_{95} = 1.96 RMSE_Z \quad (3)$$

3. ผลการสำรวจอาคารทางดิ่งด้วยแบบจำลองอาคาร 3 มิติ

จากการสำรวจระดับงานวงรอบหมุดควบคุมภาคพื้นดิน (BM) ได้ค่าความถูกต้อง (Accuracy) เท่ากับ 1:35,455 และการสำรวจอาคารด้วยอากาศยานไร้คนขับ (UAV) นำมาสร้างแบบจำลองอาคาร 3 มิติ ด้วยโปรแกรม Agisoft PhotoScan โดยทำการเปลี่ยนแปลงค่าระยะระหว่างจุดศูนย์กลางจุดภาพบนพื้นดิน (GSD) และจำนวนจุดควบคุมภาคพื้นดิน (GCP) จะได้แบบจำลองอาคาร 3 มิติ ดังแสดงในรูปที่ 4 และหาพิสัยทั้ง 3 แนวแกนมาคำนวณหาความถูกต้อง (RMSE) ของการสร้างแบบจำลองอาคาร 3 มิติ ได้ค่าดังแสดงในตารางที่ 3 จากผลการคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้จากการสำรวจทางดิ่งด้วยอากาศยานไร้คนขับ (UAV) รุ่น Phantom 4 Professional พบว่าที่ค่าของส่วนซ้อน (Overlap) และส่วนเกย (Size Lap) เท่ากับร้อยละ 80 เมื่อกำหนดให้ค่าระยะระหว่างจุดศูนย์กลางจุดภาพบนพื้นดิน (GSD) เท่ากับ 0.400 cm/pix จะให้ค่าความถูกต้องมากที่สุด และจะลดลงเมื่อค่า GSD เท่ากับ 0.600 cm/pix และ 0.800 cm/pix ตามลำดับ นอกจากนี้เมื่อทำการพิจารณาจำนวนจุดควบคุมภาคพื้นดิน (GCP) ที่จำนวน 12 จุด จะได้ค่าความถูกต้องมากที่สุดและที่จำนวน 8 จุด และ 4 จุด จะได้ค่าความถูกต้องลดลงตามลำดับ และจากการคำนวณได้ค่ามาตรฐานความถูกต้องเชิงตำแหน่ง National Standard for Spatial Data Accuracy (NSSDA) ที่ความเชื่อมั่นในการวิเคราะห์ร้อยละ 95 ดังแสดงในตารางที่ 4 พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนของพิกัดจุดที่ได้จากแบบจำลอง 3 มิติ เปรียบเทียบกับค่าพิกัดของจุด GCP ที่ได้จากกล้องสำรวจรวมไม่มีจุดใดมีค่าเกินค่ามาตรฐานความถูกต้องเชิงตำแหน่ง NSSDA



รูปที่ 4 แบบจำลองอาคาร 3 มิติ GSD = 0.400 cm/pix แบบ GCP 12 จุด

ตารางที่ 4 ค่ามาตรฐานความถูกต้องเชิงตำแหน่ง NSSDA

GSD (cm/pix)	GCP 4 จุด		GCP 6 จุด		GCP 12 จุด	
	NSSDA	NSSDA	NSSDA	NSSDA	NSSDA	NSSDA
	H (cm)	V (cm)	H (cm)	V (cm)	H (cm)	V (cm)
0.400	2.238	2.846	2.630	3.881	2.362	2.734
0.600	2.949	2.758	4.164	4.516	2.565	2.760
0.800	3.557	4.175	4.129	5.010	3.147	3.520

$NSSDA_H$ = ค่ามาตรฐานความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบ

$NSSDA_V$ = ค่ามาตรฐานความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางดิ่ง

4. สรุปผลการศึกษา

การศึกษาศักยภาพการสำรวจแนวตั้งและการสร้างแบบจำลองอาคาร 3 มิติ ด้วยอากาศยานไร้คนขับ Unmanned Aerial Vehicle (UAV) รุ่น Phantom 4 Professional ที่ประมวลผลด้วยโปรแกรม Agisoft PhotoScan ที่มีค่าความถูกต้องทางตำแหน่งทั้งทางราบและทางดิ่งโดยเปรียบเทียบค่าความถูกต้องจากการสำรวจอาคารด้วยกล้องสำรวจรวม (Total Station) ของอาคารศาลากลางจังหวัดเชียงรายหลังเก่าตั้งอยู่ที่ ตำบลเวียง อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย เป็นอาคาร 2 ชั้นมีขนาดความกว้าง 15 เมตร และความยาว 37 เมตร กำหนดค่า Overlap และ Side Lap คงที่ ที่ร้อยละ 80, ค่าระยะ GSD = 0.400 cm/pix, 0.600 cm/pix และ 0.800 cm/pix และ GCP เท่ากับ 4 จุด, 8 จุด และ 12 จุด และจุดตรวจสอบความถูกต้อง (Check point) จำนวน 25 จุด

จากการศึกษาพบว่า การสำรวจแนวตั้งและการสร้างแบบจำลองอาคาร 3 มิติจากภาพถ่ายทางอากาศนั้นที่ค่าระยะระหว่างจุดศูนย์กลางจุดภาพบนพื้นดิน (GSD) เท่ากับ 0.400 cm/pix และจำนวนจุดควบคุมภาคพื้นดิน (GCP) จำนวน 12 จุด มีค่าความถูกต้องมากที่สุดโดยมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง (RMSE) ในทิศทางแกน X, แกน Y และแกน Z เท่ากับ 0.866, 1.064 และ 1.395 เซนติเมตรตามลำดับ นอกจากนี้ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่า GSD และ GCP ของแบบจำลอง 3 มิติที่ได้จากการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับพบว่าค่าความถูกต้องของแบบจำลองจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อ ค่า GSD ลดลงและจำนวนจุด GCP เพิ่มขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] Eisenbeiß, H. (2009). UAV photogrammetry, 2009, 18515.
- [2] Colomina, I. and Molina, P. (2014). Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review. *ISPRS J. Photogramm Remote Sens* 2014, 92, pp.79–97. doi: 10.1016/j.isprsjprs.2014.02.013.
- [3] Elkhachy, I. (2021). Accuracy Assessment of Low-Cost Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Photogrammetry. *Alexandria Engineering Journal* 2021, 60(6), pp.5579–5590, doi: 10.1016/j.aej.2021.04.011.
- [4] Agüera-Vega, F., Carvajal-Ramírez, F. and Martínez-Caricondo, P. (2017). Accuracy of digital surface models and orthophotos derived from unmanned aerial vehicle photogrammetry. *Journal of Surveying*, 143(2), pp. 1-8, doi: 10.1061/(ASCE)SU.1943-5428.0000206.
- [5] จุฬารัตน์ นนตะพันธ์, อนุจิตร ภูมิพันธ์ และ ศิรา แก้วปลั่ง. (2022). การคำนวณการเปลี่ยนแปลงเชิงปริมาตรสำหรับหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยโดยใช้การสำรวจด้วย ภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ, *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 27*, เชียงราย, 24-26 สิงหาคม 2565, หน้า (SGI13) 1-5.
- [6] Gasperini, D., Allemand, P., Delacourt, C. and Grandjean, P. (2014). Potential and limitation of UAV for monitoring subsidence in

- municipal landfills. *International Journal of Environmental Technology and Management*, 17(1), pp. 1-13.
- [7] Federal Geographical Data Committee. (1998). Geospatial Positioning Accuracy Standards Part 3 : National Standard for Spatial Data Accuracy. *National Spatial Data Infrastructure 1998*, p. 28
- [8] กรมที่ดิน. (2564). *ระเบียบกรมที่ดิน ว่าด้วยการทำแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศด้วยอากาศยานไร้คนขับ (UAV) พ.ศ. 2564*. ราชกิจจานุเบกษา เล่ม 139.
- [9] พลพจน์ เอี่ยมสะอาด, วิษณุภัส อภิษฎารัตน์, เสฏฐวุฒิ แจ่มจัน, ไพรัช ชูเลิศ และ อนุเผ่า ออบแพทย์. (2563). การสร้างแบบจำลองสามมิติเพื่อหาปริมาตรของต้นไม้โดยใช้อากาศยานไร้คนขับ กรณีศึกษาต้นฟ็อกเทล, *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 25*, ชลบุรี, 15-17 กรกฎาคม 2563, หน้า (SGI07) 1-7.
- [10] พีรภพ โพธิ์พงษ์ และ รุ่งโรจน์ จักภีระ. (2566) การทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองโครงสร้างอาคารสามมิติที่สร้างโดยข้อมูลจุดเมฆ, *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 28*, ภูเก็ต, 24-26 พฤษภาคม 2566, หน้า (SGI13) 1-7.
- [11] มนทิดา ชนินทรโชติก และ วุฒวัฒน์ แต่สมบัติ. (2563). ความถูกต้องของการรังวัดด้วยภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับสำหรับการสร้างแบบจำลองพื้นผิวบนระดับการบินที่แตกต่างกัน, *วารสารวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่*, ปี 2563, หน้า 1-15.
- [12] เทพนรินทร์ นาหนองตูม, ชาดิชาญไวยสุระสิงห์, พงศกร พรหมรัตนศิลป์ และ ชุติมา ไวยสุระสิงห์. (2023). การเปรียบเทียบความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางดิ่งของแบบจำลองพื้นผิวดิจิทัลจากการสำรวจด้วยภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ UAV ด้วยหมุดควบคุมที่สร้างจากการใช้แบบจำลองย้อยยท้องถิ่นและแบบจำลองย้อยยสากล: ผลกระทบสำหรับการออกแบบการทางเบื้องต้นในพื้นที่ลาดเอียงและพื้นที่ลาดชันบนภูเขาของภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย, *Engineering Journal of Research and Development*, 34(4), pp. 23-38.
- [13] วิชัย เยี่ยงวีรชน. (2558). เทคโนโลยีการสำรวจด้วยภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ UAV Photogrammetry Technology. *UNISEARCH (Unisearch Journal)*, 2(3), Article 4, หน้า 14-19
- [14] ASPRS. (2015). Positional Accuracy Standards for Digital Geospatial Data. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 81, No. 3, March 2015, pp. A1-A26.