

การประเมินความถูกต้องของข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศจากอากาศยานไร้คนขับ ด้วยการกำหนดรูปแบบจุดควบคุมภาพถ่ายภาคพื้นดินสำหรับงานเส้นทาง

Accuracy Assessment of Aerial Photographic Data from Unmanned Aerial Vehicles Using Ground Control Point Patterns for Route Mapping

พรนราญณ์ บุญราศรี¹ จิตติน ล่องเนียม² ต่อลาภ การปลื้มจิตร³ และ จิรวัดน์ จันทองพูน^{4,*}

^{1,2,3,4} หลักสูตรสาขาวิชาวิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย จ.สงขลา

^{*}Corresponding author; E-mail address: jirawat.j@rmutsv.ac.th

บทคัดย่อ

การศึกษานี้ประเมินความถูกต้องของข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศจากอากาศยานไร้คนขับ โดยใช้จุดควบคุมภาพถ่ายภาคพื้นดินและจุดตรวจสอบรวม 45 จุด จุดควบคุมบริเวณขอบถนนและริมตลิ่งเปลี่ยนแปลงตามรูปแบบการประมวลผล ขณะที่จุดควบคุมบนภูเขา 8 จุด ถูกกำหนดให้เป็นจุดตรวจสอบในทุกรูปแบบ กำหนดค่าความละเอียด 2.36 เซนติเมตรต่อจุดภาพ ส่วนซ้อนและส่วนเกยร้อยละ 80 และ 70 ตามลำดับ แบ่งการประมวลผลออกเป็น 9 รูปแบบ ตามแนวนบิน 3, 2 และ 1 โดยแต่ละแนวนบินเลือกจุดควบคุมภาพถ่ายภาคพื้นดิน 3 รูปแบบ ได้แก่ A, B และ C ดำเนินการประมวลผลด้วย Pix4D Mapper เพื่อสร้างจุดสามมิติ แบบจำลองความสูงเชิงเลข และภาพตัดแก้เชิงเลข ผลการศึกษพบว่ารูปแบบ 3-A และ 3-B ให้ความถูกต้องเชิงตำแหน่งสูงสุด สามารถใช้จัดทำแผนที่มาตราส่วน 1:100 หรือละเอียดกว่า และเป็นไปตามเกณฑ์ความถูกต้องของแผนที่ภาพถ่ายตามระเบียบกรมที่ดิน รูปแบบ A และ B ให้ค่าความถูกต้องใกล้เคียงกัน ส่วนรูปแบบ C มีความถูกต้องต่ำสุด นอกจากนี้ จำนวนแนวนบินยังมีความสัมพันธ์กับความถูกต้องเชิงตำแหน่ง โดย 3 แนวนบินให้ภาพสมบูรณ์ที่สุด รองลงมาคือ 1 แนวนบิน และ 2 แนวนบินให้ภาพสมบูรณ์น้อยที่สุด

คำสำคัญ: จุดควบคุมภาพถ่ายภาคพื้นดิน, ค่าความละเอียดต่อจุดภาพ, อากาศยานไร้คนขับ

Abstract

This study evaluates the accuracy of aerial photographic data obtained from unmanned aerial vehicles (UAVs) using a total of 45 ground control and checkpoint locations. Ground control points along roadsides and riverbanks vary according to the processing model, whereas eight points on mountainous terrain are consistently designated as checkpoints. The ground sampling distance (GSD) is set at 2.36 cm per pixel, with an overlap and sidelap of 80% and 70%, respectively. Nine processing models were analyzed, categorized by three flight path configurations (three, two, and one flight lines). Each configuration incorporated three ground control point distributions: A, B, and C. Data processing was conducted using Pix4D Mapper to generate 3D point clouds, digital elevation models, and orthorectified images. The results indicate that models 3-A and 3-B provide the

highest positional accuracy, suitable for mapping at a scale of 1:100 or smaller, meeting the accuracy criteria set by the Department of Lands. Ground control distributions A and B exhibit similar positional accuracy, while distribution C yields the lowest accuracy. Additionally, the number of flight lines directly correlates with positional accuracy, with three flight lines producing the most comprehensive imagery, followed by one flight line, and two flight lines providing the least complete image coverage.

Keywords: Ground Control Point, Ground Sample Distance, Unmanned Aerial Vehicles

1. บทนำ

การสร้างแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศ โดยประยุกต์ใช้อากาศยานไร้คนขับ ประเภทที่ควบคุมการบินจากภายนอก (Unmanned Aerial Vehicle, UAV) เป็นเครื่องมืออีกทางเลือกหนึ่งที่มีความสำคัญและเป็นประโยชน์ ผลที่ได้จากการประยุกต์ใช้อากาศยานไร้คนขับสามารถนำมาประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศ และจัดทำข้อมูลเชิงพื้นที่ นอกจากนั้นอากาศยานไร้คนขับยังเป็นความก้าวหน้าของเทคโนโลยีด้านการสำรวจด้วยภาพมุมสูงที่ถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะการทำแผนที่และข้อมูลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เพื่อช่วยในการดำเนินกิจกรรมต่าง ๆ เชิงพื้นที่ เช่น การวางแผนการทำงาน วิเคราะห์ ติดตาม และตรวจสอบ เป็นต้น

ปัจจุบันนิยมนำข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศมาใช้ในการผลิตแผนที่เนื่องจากมีความสะดวก และรวดเร็ว หนึ่งในขั้นตอนของการทำงาน คือ การถ่ายภาพด้วยอากาศยานไร้คนขับเพื่อนำมาสร้างภาพตัดแก้เชิงเลข (Orthophotos) แผนที่ หรือแบบจำลอง 3 มิติ โดยแสดงถึงความสูงนูนต่ำของลักษณะภูมิประเทศ การได้มาซึ่งข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศที่มีความถูกต้องสูงต้องมีการสร้างจุดควบคุมภาพถ่ายภาคพื้นดิน (Ground Control Point, GCP) เพื่อเป็นตัวกลางในการจัดภาพให้มีความสัมพันธ์อ้างอิงกับพื้นภูมิประเทศ ทางคณะผู้จัดทำได้พบเจอปัญหาจากการรังวัดภาพถ่ายด้วยอากาศยานไร้คนขับจากการปฏิบัติงาน ซึ่งลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่การทำงานเป็นถนน บริเวณริมถนนมีค่าระดับต่ำจากถนนลงไปประมาณ 2 เมตร พื้นที่ข้างเคียงเป็นแม่น้ำ หลังจากนำข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศมาประมวลผลผ่านโปรแกรม Pix4D Mapper ผลลัพธ์ที่ได้มีความคลาดเคลื่อนในแนวตั้ง บริเวณพื้นที่ข้างเคียงมีค่าระดับสูงกว่าถนน ซึ่งไม่เป็นไปตามลักษณะภูมิประเทศ ทำให้ข้อมูลที่ได้หลังจากการประมวลผลไม่ถูกต้องตามความเป็นจริง

ดังนั้นจึงมีการศึกษาถึงรูปแบบการวางจุดควบคุมภาพถ่ายภาคพื้นดินเพื่อให้ทราบถึงปัจจัยที่ก่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนของข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศทราบถึงปัญหา และวิธีการแก้ไขข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศบิดเบี้ยวหลังจากการประมวลผล

ในการศึกษารูปแบบการวางจุดควบคุมภาพถ่ายภาคพื้นดินลักษณะงานเป็นแนวเส้นทางทำการสร้างจุดควบคุมภาพถ่ายภาคพื้นดินทุก ๆ 50 เมตร ทั้งขอบถนนและริมตลิ่งบริเวณพื้นที่ศึกษาเป็นระยะทางประมาณ 1 กิโลเมตร บินถ่ายภาพด้วยอากาศยานไร้คนขับ และนำข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศที่ได้มาประมวลผลผ่านโปรแกรม Pix4D Mapper โดยกำหนดเงื่อนไขเพื่อนำข้อมูลมาเปรียบเทียบกัน 2 เงื่อนไข และแบ่งรูปแบบการประมวลผลออกเป็น 9 รูปแบบ นำผลลัพธ์ที่ได้หลังจากการประมวลผลมาวิเคราะห์และเปรียบเทียบ เพื่อให้ทราบถึงรูปแบบการวางจุดควบคุมภาพถ่ายภาคพื้นดิน และแนวนบินที่ให้ความถูกต้องสูงสุด ในการจัดทำแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศในลักษณะงานเส้นทาง

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 อากาศยานไร้คนขับ

อากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicle, UAV) หรือมีชื่อเรียกอีกอย่างว่า โดรน (Drone) หมายถึง อากาศยานที่ไม่มีคนขับ มีรูปร่าง ขนาด รูปแบบ และเอกลักษณ์ที่แตกต่างกันไป เป็นอากาศยานที่ควบคุมจากระยะไกล แบ่งตามลักษณะการใช้งานได้ 2 ประเภท ได้แก่ ควบคุมจากระยะไกล และบินได้ด้วยตนเองซึ่งต้องอาศัยโปรแกรมที่ซับซ้อน นอกจากนี้อากาศยานไร้คนขับยังสามารถบันทึกภาพจากระยะไกลด้วยกล้องดิจิทัลที่มีความละเอียดสูง ดังนั้นจึงมีการนำภาพถ่ายทางอากาศด้วยอากาศยานไร้คนขับมาสร้างแบบจำลองระดับสูงเชิงเลขแผนที่ หรือแบบจำลอง 3 มิติได้ โดยแสดงถึงความลึกสูงชันต่ำที่สามารถทำได้สะดวกและรวดเร็วกว่าการสำรวจภาคสนามด้วยกล้องประมวลผลรวม และในการบินอากาศยานไร้คนขับ (UAV) เพื่อให้ได้ความถูกต้องและความแม่นยำเชิงตำแหน่งควรมีการรังวัดด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GNSS มาใช้ประกอบการทำจุดควบคุมภาคพื้นดิน (GCP) เพื่อลดความผิดพลาดระดับความสูงบินของอากาศยานไร้คนขับ

2.2 การสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับเพื่องานวิศวกรรม

2.2.1 การวางแผนการบิน [1]

ความสูงบิน มีผลต่อความละเอียดและความถูกต้องของข้อมูลภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ ความสูงบินต่ำทำให้ภาพละเอียดขึ้นแต่ต้องใช้เวลาบินและจำนวนภาพมากขึ้น ส่งผลต่อระยะเวลาการประมวลผล ดังนั้นต้องคำนึงถึงความสูงของพื้นที่และเลือกระดับความสูงบินให้เหมาะสมกับการสำรวจ โดยสามารถคำนวณระดับสูงบินได้จากสมการ (2.1)

$$H = \frac{GSD \times f \times IW}{SW \times 100} \quad (1)$$

เมื่อ	H	คือ	ความสูงการบินเหนือจุดขึ้นบิน (m)
	GSD	คือ	ระยะพื้นที่ต่อจุดภาพหน่วยเซนติเมตรต่อจุดภาพ
	SW	คือ	ระยะด้านกว้างของเซนเซอร์ (mm)
	f	คือ	ทางยาวโฟกัสของเลนส์ (mm)
	IW	คือ	จำนวนจุดภาพด้านกว้าง (จุดภาพ)

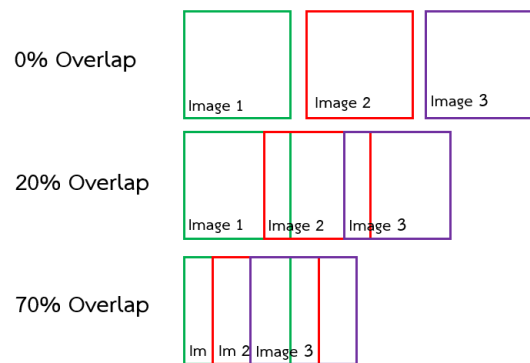
2.2.2 ค่าความละเอียดต่อจุดภาพ (Ground Sample Distance, GSD)

การกำหนดค่าความละเอียดต่อจุดภาพขึ้นอยู่กับความถูกต้องของข้อมูลเชิงตำแหน่งที่ต้องการ โดยมีการกำหนดความถูกต้องในงานวิศวกรรมด้านต่าง ๆ แบ่งตามประเภทกิจกรรมหรือการใช้งานตามแนวทางของ (Federal Geographic Data Committee, FGDC)

2.2.3 ส่วนซ้อน (Overlap) และส่วนเกย (Sidelap)

การกำหนดส่วนซ้อนและส่วนเกยสำหรับการวางแผนการบินในงานสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับมีความแตกต่างกับการสำรวจด้วยภาพถ่ายแบบดั้งเดิมเนื่องจากอากาศยานไร้คนขับมีขนาดเล็กไม่สามารถควบคุมความเร็วและทิศทางการบินได้สม่ำเสมอตลอดระยะเวลาในการถ่ายภาพ หากกำหนดส่วนซ้อนและส่วนเกยที่น้อยอาจทำให้ภาพที่ถ่ายไม่สามารถต่อกันได้ ดังรูปที่ 1 โดยมีการกำหนดส่วนซ้อนและส่วนเกยดังนี้

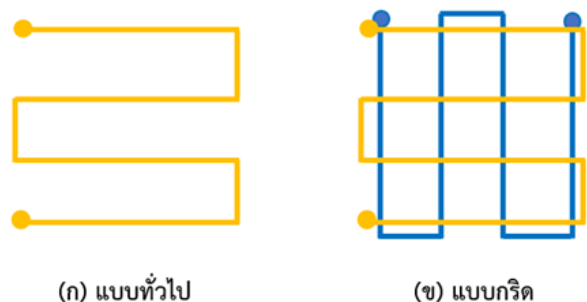
- ส่วนซ้อนหรือพื้นที่ที่ทับกันอยู่ของภาพประชิดในแนวนอน กำหนดให้การถ่ายภาพมีส่วนซ้อนกันไม่น้อยกว่าร้อยละ 75
- ส่วนเกยหรือพื้นที่ที่ทับกันอยู่ระหว่างแนวนบินที่ประชิดกัน กำหนดให้การถ่ายภาพมีส่วนเกยกันไม่น้อยกว่าร้อยละ 60



รูปที่ 1 ตัวอย่างการซ้อนทับของภาพถ่าย

2.2.4 รูปแบบการบิน

การวางแผนบล็อกการบินสำรวจ ใช้รูปแบบสี่เหลี่ยมมุมฉากเพื่อเพิ่มความแข็งแรงของโครงข่ายและลดจำนวนจุดควบคุมภาคพื้นดิน (GCP) รูปแบบการบินมีทั้งแบบทั่วไปและแบบกริด ดังรูปที่ 2 ซึ่งแบบกริดบิน 2 รอบโดยให้แนวนบินตัดกันเหมือนตาราง ทำให้ได้ข้อมูลหลายมุมมอง ช่วยเพิ่มคุณภาพการประมวลผลและความถูกต้องของโมเดล 3 มิติ แต่ใช้เวลาเพิ่มขึ้น 2 เท่า



(ก) แบบทั่วไป

(ข) แบบกริด

รูปที่ 2 รูปแบบการบินแบบ (ก) แบบทั่วไป และ (ข) แบบกริด

2.3 จุดควบคุมภาพถ่ายภาคพื้นดิน (GCP)

การสำรวจด้วยภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับจำเป็นต้องใช้จุด GCP เพื่อประมวลผลปรับแก้ โดยคำนวณค่าองค์ประกอบภายนอกของภาพ และการวางตัวของภาพถ่าย ดังนั้นจุด GCP จะต้องมีความถูกต้องเชิงตำแหน่ง และมีปริมาณการกระจายตัวอย่างเพียงพอครอบคลุมทั้งโครงการ

2.3.1 การสร้างจุดควบคุมภาพถ่ายภาคพื้นดิน [1]

จุด GCP ที่ติดตั้งมองเห็นได้ชัดเจน สามารถรังวัดได้บนภาพถ่ายและสามารถหมายตำแหน่งจุดกึ่งกลางของจุด GCP ได้ โดยจุด GCP 1 จุด จะต้องปรากฏบนภาพอย่างน้อย 9 รูป จุดควบคุมภาพถ่ายภาคพื้นดินต้องมีสีตัดกับพื้นภูมิประเทศโดยรอบ มีรูปแบบ เช่น รูปกากบาท รูปวงกลม และรูปสี่เหลี่ยม จัดทำได้โดยการทาสีหรือการใช้วัสดุอื่น ๆ ที่เป็นแผ่นสามารถถอดเก็บได้

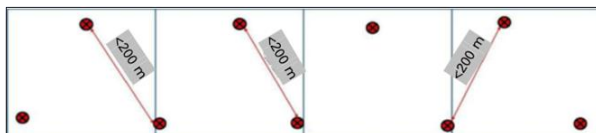
- รูปกากบาทหรือรูปวงกลม รูปร่างของกากบาทหรือวงกลมที่เหมาะสมสามารถมองเห็นได้ชัดเจนจะต้องมีความยาวไม่น้อยกว่า 25 เท่า ของค่าความละเอียดต่อจุดภาพ และมีความหนาของเส้นไม่น้อยกว่า 3 เท่า ของค่าความละเอียดต่อจุดภาพ

- รูปสี่เหลี่ยม รูปสี่เหลี่ยมที่สามารถวัดจุดโยงยึดบนภาพได้อย่างแม่นยำจะต้องมีสัดส่วนที่ตัดกันของสี่เป็นตารางหมากรุก ต้องมีขนาดด้านกว้างและด้านยาวไม่น้อยกว่า 20 เท่าของค่าความละเอียดต่อจุดภาพ

2.3.2 ตำแหน่งและการกระจายตัวของจุด GCP [1]

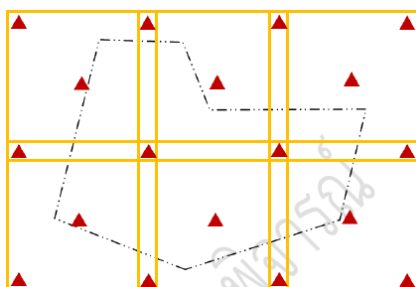
จุด GCP ต้องเป็นไปตามการแบ่งประเภทกล้องถ่ายภาพ และความถูกต้องเชิงตำแหน่งของพิกัดจุดถ่ายภาพ มีการกำหนดตำแหน่งและการกระจายตัว ดังนี้

- Consumer grade เมื่อใช้อากาศยานไร้คนขับในการถ่ายรูปทั่วไป และพิกัดจุดถ่ายภาพมีความถูกต้องต่ำ ต้องใช้จุดควบคุมภาพถ่ายภาคพื้นดินอย่างน้อย 9 จุด ต่อบล็อกการประมวลผล และจุดควบคุมภาพถ่ายภาคพื้นดินต้องกระจายอย่างสม่ำเสมอมีระยะห่างโดยประมาณไม่เกิน 200 เมตร ดังรูปที่ 3



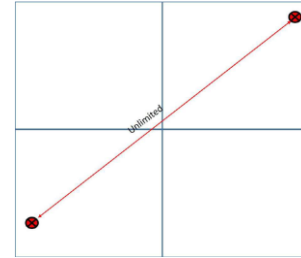
รูปที่ 3 ตัวอย่างการกระจายตัวของจุด GCP กล้องชนิด Consumer grade

- Professional grade เมื่อใช้อากาศยานไร้คนขับในการถ่ายรูปที่มีคุณภาพสูง และพิกัดจุดถ่ายภาพมีความถูกต้องต่ำ จะต้องใช้จุดควบคุมภาพถ่ายภาคพื้นดินอย่างน้อย 5 จุด ต่อบล็อกการประมวลผลภาพถ่าย และจุดควบคุมภาพถ่ายภาคพื้นดินจะต้องกระจายอย่างสม่ำเสมอ โดยมีระยะห่างโดยประมาณไม่เกิน 500 เมตร ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ตัวอย่างการกระจายตัวของจุด GCP กล้องชนิด Professional grade

- Survey grade เมื่อใช้อากาศยานไร้คนขับในการถ่ายรูปที่มีคุณภาพสูง และพิกัดจุดถ่ายภาพมีความถูกต้องสูง ต้องใช้จุดควบคุมภาพถ่ายอย่างน้อย 2 จุด ต่อบล็อกการประมวลผลภาพถ่าย ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ตัวอย่างการกระจายตัวของจุด GCP กล้องชนิด Survey grade

2.4 หลักการประมวลผลภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ

หลักการประมวลผลภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับประกอบด้วย 7 ขั้นตอน ได้แก่

2.4.1 การวัดสอบกล้องถ่ายภาพ

การวัดสอบกล้องเพื่อหาองค์ประกอบภายใน (Interior Orientation) เป็นกระบวนการกำหนดค่าการจัดวางข้อมูลภาพถ่ายที่สัมพันธ์กับแนวนบิน รวมถึงการหาค่าพารามิเตอร์เพื่อแก้ไขความคลาดเคลื่อนของเลนส์ ซึ่งมีความสำคัญต่อความถูกต้องเชิงตำแหน่งของผลลัพธ์ ทำให้สามารถควบคุมกระบวนการประมวลผลให้ได้ข้อมูลที่มีคุณภาพสูง

2.4.2 การจับคู่เพื่อสร้างจุดโยงยึด (Auto tie point)

การจับคู่ภาพเป็นขั้นตอนสำคัญในการสร้างข้อมูลจุดสามมิติและภาพตัดแก้เชิงเลข ประกอบด้วย 3 ขั้นตอนหลัก ได้แก่

- การสกัดจุดสำคัญ (Key point extraction) ใช้เทคนิคระบุจุดสนใจของภาพแต่ละใบ เพื่อให้คอมพิวเตอร์เข้าใจและแยกแยะวัตถุในภาพได้อย่างถูกต้อง
- การจับคู่ภาพ (Image matching) นำข้อมูลจุดสำคัญที่ไม่ขึ้นกับขนาดหมุน และมุมมอง มาใช้จับคู่ภาพเพื่อคำนวณตำแหน่งและทิศทางของข้อมูล
- การสร้างจุดโยงยึด (Tie points) ใช้สมการสภาวะร่วมเส้นในการคำนวณตำแหน่งและพิกัดของภาพถ่ายเปรียบเทียบกับระบบพิกัดภาคพื้นดิน

การควบคุมคุณภาพของจุดโยงยึด กระบวนการคัดกรองข้อมูลผิดพลาด เช่น ค่าความคลาดเคลื่อนจากการฉายกลับ (Reprojection error) ช่วยปรับปรุงความถูกต้องเชิงตำแหน่ง โดยขจัดจุดที่ผิดปกติหรือจุดที่จับคู่ได้ในภาพน้อยกว่า 3 ใบ

การปรับแก้บล็อกแบบลำแสง (Bundle block adjustment) เป็นกระบวนการคำนวณค่าองค์ประกอบภายนอกของภาพถ่าย (Exterior Orientation, EO) และค่าพิกัดภาคพื้นดินของจุดโยงยึด โดยใช้ Least square adjustment เพื่อลดค่าความคลาดเคลื่อน นอกจากนี้ยังมี Self-calibration เพื่อตรวจสอบค่าพารามิเตอร์ของเลนส์จากข้อมูลภาพถ่าย ซึ่งสามารถใช้ค่าจาก Pre calibration เพื่อเพิ่มความแม่นยำของการปรับแก้

2.4.3 การโยงยึดค่าพิกัดด้วยจุดควบคุมภาพถ่ายภาคพื้นดิน

การโยงยึดค่าพิกัดด้วยจุดควบคุมภาพถ่าย คือการนำเข้ารังวัดจุดควบคุมเพื่อปรับแก้และคำนวณค่าองค์ประกอบภายนอกของภาพ เมื่อดำเนินการแล้วจะเพิ่มความถูกต้องเชิงตำแหน่งของจุดโยงยึด เพื่อใช้ในการประมวลผลขั้นต่อไป

2.4.4 การสร้างจุดสามมิติ

จุดสามมิติ (Point Cloud) คือกลุ่มจุดที่เก็บค่าตำแหน่งวัตถุในพิกัด X, Y, และ Z โดยความถูกต้องของจุดขึ้นอยู่กับวิธีการคำนวณตำแหน่งกล้อง กระบวนการ

สร้างข้อมูลจุดสามมิติแบบหนาแน่นต้องเพิ่มจำนวนจุดโหนด ซึ่งการตั้งค่าความละเอียดสูงช่วยให้ข้อมูลมีรายละเอียดแม่นยำขึ้น แต่ใช้เวลาประมวลผลนาน จุดสามมิติที่ได้ต้องสร้างจากภาพอย่างน้อย 3 ใบเพื่อควบคุมคุณภาพเชิงตำแหน่ง

2.4.5 การสร้างโครงข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศ (Mesh model)

โครงข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศ เป็นโครงสร้างเวกเตอร์ที่ใช้แสดงรูปร่างโมเดล โดยนำจุดสามมิติมาสร้างโครงข่ายเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่มีความถูกต้องเชิงตำแหน่งคุณภาพของโครงข่ายขึ้นอยู่กับความละเอียดของจุดสามมิติจากขั้นตอนก่อนหน้า การกำหนดจำนวนรูปหลายเหลี่ยม (Polygon) มีผลต่อความละเอียดของโครงข่าย หากจำนวนรูปหลายเหลี่ยมน้อย โครงข่ายจะหยาบและอาจไม่เหมาะกับการใช้งาน นอกจากนี้ยังต้องมีการ Interpolate ข้อมูลโดยใช้จุดใกล้เคียงบนจุดสามมิติเพื่อเติมเต็มพื้นที่ผิวให้สมบูรณ์และนำไปประยุกต์ใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.4.6 การสร้างแบบจำลองความสูงภูมิประเทศ

การสร้างแบบจำลองความสูงภูมิประเทศ คือการจำลองความสูงของพื้นที่ในรูปแบบกริดหรือราสเตอร์ โดยรวมสิ่งปกคลุมพื้นผิว เช่น สิ่งปลูกสร้างและต้นไม้ กระบวนการนี้ใช้ข้อมูล Mesh ซึ่งมีผลต่อความแม่นยำของแบบจำลอง โปรแกรมจะประมวลผลโดยอาศัยความสัมพันธ์ของภาพถ่าย (Image correlation) และ Interpolate ข้อมูลเพื่อสร้างราสเตอร์พื้นผิวภูมิประเทศสำหรับการประมวลผลภาพถ่ายตัดแก้เชิงเลขในขั้นตอนถัดไป

2.4.7 การสร้างภาพตัดแก้เชิงเลข

เมื่อพื้นที่มีความสูงต่างกัน จะเกิด Relief displacement ทำให้จุดภาพบนภาพถ่ายคลาดเคลื่อนจากตำแหน่งจริง โดยเคลื่อนออกจากจุดมุมขั้วตามแนวรัศมีและแปรผันตามความสูง จึงต้องแก้ไขด้วยการสร้าง ภาพตัดแก้เชิงเลข ภาพตัดแก้เชิงเลข คือการแก้ไขความผิดเพี้ยนทางเรขาคณิตของวัตถุทั้งหมด โดยใช้แบบจำลองความสูงภูมิประเทศ เพื่อแก้ค่าความคลาดเคลื่อน พร้อมทั้งปรับสีของภาพด้วย Mosaic, Color balancing หรือ Histogram matching เพื่อลดความแตกต่างของระดับความสว่าง เมื่อประมวลผลเสร็จ ควรกำหนดค่าความละเอียดของจุดภาพตามความต้องการ

2.5 มาตรฐานความละเอียดถูกต้องเชิงตำแหน่ง

2.5.1 การประเมินความถูกต้อง [2]

ตัวชี้วัดความถูกต้องเชิงตำแหน่งของข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศ ได้แก่ ค่าความคลาดเคลื่อนรากที่สองของค่าเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) ใช้ประมาณค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่ง ซึ่งมีค่าเท่ากับรากที่สองของค่าเฉลี่ยผลรวมกำลังสอง ซึ่งคำนวณได้ ดังนี้

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

$$RMSE_Y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_{data\ i} - Y_{check\ i})^2}{n}} \quad (3)$$

$$RMSE_r = \sqrt{(RMSE_X)^2 + (RMSE_Y)^2} \quad (4)$$

$$RMSE_Z = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Z_{data\ i} - Z_{check\ i})^2}{n}} \quad (5)$$

เมื่อ

$X_{data\ i}, Y_{data\ i}, Z_{data\ i}$ คือ ค่าพิกัดในแนวแกน X, Y, Z ที่ได้จากข้อมูลภาพถ่ายที่ประมวลผล

$X_{check\ i}, Y_{check\ i}, Z_{check\ i}$ คือ ค่าพิกัดในแนวแกน X, Y, Z ของจุดตรวจสอบ (Checkpoint) ที่ได้จากการรังวัดจริงภาคพื้นดิน

n คือ จำนวนจุดตรวจสอบทั้งหมดที่ใช้ในการคำนวณ

$RMSE_x, RMSE_y$ คือ ค่าความคลาดเคลื่อนรากที่สองของค่าเฉลี่ยในแนวแกน X และ Y ตามลำดับ

$RMSE_r$ คือ ค่าความคลาดเคลื่อนรากที่สองรวมในแนวราบ

$RMSE_z$ คือ ค่าความคลาดเคลื่อนรากที่สองในแนวตั้ง

2.5. การเทียบมาตรฐาน

ข้อมูลภาพหรือแผนที่ที่ผ่านการปรับแก้ความผิดพลาดทางเรขาคณิตและกำหนดพิกัดแล้ว สามารถสร้างความมั่นใจให้ผู้ใช้งานได้โดยการเปรียบเทียบกับมาตรฐานความถูกต้อง ได้แก่ มาตรฐานข้อมูลเชิงพื้นที่แห่งชาติ (NSSDA), มาตรฐานความละเอียดของ ASPRS, และ ระเบียบกรมที่ดิน พ.ศ. 2564 หมวด 4 ซึ่งกำหนดเกณฑ์ความถูกต้องเชิงตำแหน่งของแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศจากอากาศยานไร้คนขับ ดังนี้

- มาตรฐานสำหรับข้อมูลเชิงพื้นที่ NSSDA [2] ข้อมูลภูมิสารสนเทศจากภาพถ่ายทางอากาศ ดาวเทียม หรือแผนที่ และวิธีรายงานค่าความถูกต้อง เป็นแนวปฏิบัติด้านการทดสอบและสถิติ มาตรฐาน NSSDA กำหนดสมการคำนวณตัวชี้วัดความถูกต้องที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ดังสมการ (6) – (7)

$$Accuracy_r = 1.7308 \times RMSE_r \quad (6)$$

$$Accuracy_z = 1.9600 \times RMSE_z \quad (7)$$

- มาตรฐาน ASPRS 2014 [3] เป็นมาตรฐานที่ใช้คำนวณความแม่นยำและมาตราส่วนแผนที่สำหรับแผนที่หรือภาพตัดแก้เชิงเลขที่กำหนด โดยนำค่า $RMSE_r$ ในหน่วยเซนติเมตรคูณด้วย 40 เพื่อคำนวณตัวประกอบมาตราส่วนของแผนที่ (Map scale factor, MSF) ดังสมการ (8)

$$Map\ scale\ factor\ (MSF) = 40 \times RMSE_r \quad (8)$$

- ตามระเบียบกรมที่ดินว่าด้วยการทำแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศด้วยอากาศยานไร้คนขับ พ.ศ.2564 หมวดที่ 4 เกณฑ์ความถูกต้องเชิงตำแหน่งของแผนที่ภาพถ่าย [4] กำหนดให้ค่าความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งทางราบ ($RMSE_r$) ของจุดตรวจสอบ มีค่าไม่เกิน 1.414 เท่าของขนาดค่าความละเอียดต่อจุดภาพ และกำหนดให้ค่าความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งทางตั้ง ($RMSE_z$) ของจุดตรวจสอบมีค่าไม่เกิน 20 เซนติเมตร

3. วิธีการดำเนินงาน

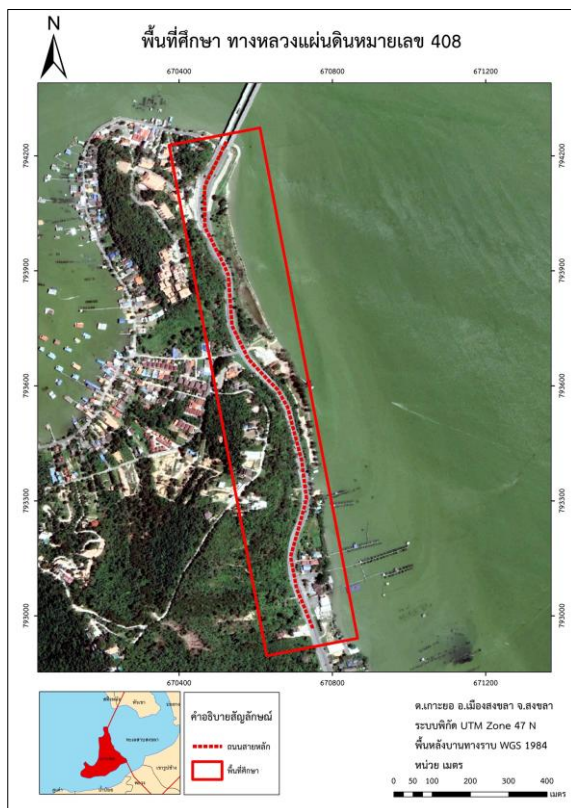
การประเมินความถูกต้องของข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศจากอากาศยานไร้คนขับด้วยการกำหนดรูปแบบจุดควบคุมภาพถ่ายภาคพื้นดินสำหรับงานเส้นทาง โดยใช้อากาศยานไร้คนขับ ยี่ห้อ Autel รุ่น EVO2 มีน้ำหนักตัวเครื่อง 1,127 กรัม กล้องมีความละเอียดสูง 48 ล้านจุดภาพ ความยาวโฟกัสของเลนส์ 25.6 มิลลิเมตร ระยะด้านกว้างของเซนเซอร์ 19.812 มิลลิเมตร มีเซ็นเซอร์ 12 ตัวตรวจจับสิ่งกีดขวาง บินได้นานสูงสุดครั้งละ 40 นาที ต่อการใช้งานกับแบตเตอรี่ 1 ก้อน ผู้ศึกษาได้วางแผนวิธีการดำเนินงานดังนี้

3.1 กำหนดขอบเขตเพื่อการศึกษา

ศึกษาข้อมูลด้านพื้นที่ เลือกพื้นที่ศึกษาที่มีความสอดคล้องกับปัญหาที่เกิดขึ้น เช่น ถนนบริเวณริมแม่น้ำ ริมคลอง ริมทะเล และริมเขาที่มีความลาดชันของพื้นที่ ข้างเคียง โดยทำการศึกษาพื้นที่บริเวณ ทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 408 หมู่ที่ 1 บ้านอ่าวทราย ตำบลเกาะยอ อำเภอเมืองสงขลา จังหวัดสงขลา เป็นระยะทาง ประมาณ 1 กิโลเมตร ดังรูปที่ 6

3.2 วางแผนปฏิบัติงาน

การศึกษาโดยใช้แอปพลิเคชัน Google Earth Pro เพื่อวางแผนการปฏิบัติงาน โดยสร้างจุดควบคุมภาพถ่ายภาคพื้นดินจำนวน 45 จุด บริเวณขอบถนนและริมตลิ่งทุก ๆ 50 เมตร ระยะทางประมาณ 1 กิโลเมตร จำนวน 37 จุด และบริเวณภูเขา จำนวน 8 จุด



รูปที่ 6 พื้นที่ศึกษา

3.3 งานภาคพื้นดิน

ประกอบด้วยสร้างหมุดอ้างอิงที่จะใช้เป็นหมุดสถานีฐานสำหรับออกงาน รั้ววัด ด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมเป็นเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที หลังจากนั้นทำการประมวลผลแบบออนไลน์ด้วยวิธีประมวลผลแบบจุดเดียวความละเอียดสูง (Precise Point Positioning, PPP) ผ่านเว็บไซต์ของศูนย์ ข้อมูลค่าอ้างอิงพิกัดแบบต่อเนื่องแห่งชาติ (National CORS Data Center, NCDC) และการรังวัดจุดควบคุมภาพถ่ายภาคพื้นดินและจุดตรวจสอบ (Check Point, CP) โดยใช้หมุดอ้างอิงที่จัดทำข้างต้นเป็นสถานีฐาน (Base Station) รังวัดด้วยวิธี RTK Radio รับสัญญาณเป็นเวลา 60 วินาที 3 ครั้ง ตามระเบียบกรมที่ดิน

3.4 การบินถ่ายภาพด้วยอากาศยานไร้คนขับ

การบินแบบทั่วไป โดยมีการตั้งค่าความละเอียดต่อจุดภาพ (Ground Sample Distance, GSD) 2.36 เซนติเมตร และส่วนซ้อน (Overlap) ร้อยละ 80 ส่วนแนวนอน (Side lap) ร้อยละ 70 ให้มีความสอดคล้องกันระหว่างแนวการบินทั้ง 3 แนวบิน และกำหนดแบบการบินถ่ายภาพด้วย Fast Mode (14 m/s)

3.5 การประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศ

มีการเลือกใช้จุดควบคุมภาพถ่ายภาคพื้นดินและ จุดตรวจสอบในแต่ละรูปแบบการประมวลผล จุดควบคุมภาพถ่ายภาคพื้นดินบริเวณขอบถนนและริมตลิ่งจำนวน 37 จุด จะเปลี่ยนแปลงสถานะไปตามรูปแบบการประมวลผล จุดควบคุมภาพถ่ายภาคพื้นดินบริเวณบนภูเขาทั้ง 8 จุด จะกำหนดให้อยู่ในสถานะจุดตรวจสอบในทุก ๆ รูปแบบการประมวลผล โดยมีการกำหนดสัญลักษณ์อักษรแทนรูปแบบการประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศเป็น 2 ส่วน ดังนี้

3.5.1 รูปแบบการกระจายตัวของจุดควบคุมภาพถ่ายภาคพื้นดิน

- การประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศโดยการเลือกใช้จุดควบคุมภาพถ่ายภาคพื้นดินทั้ง 2 ฝั่งทุก ๆ 100 เมตร ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 จุดควบคุมภาพถ่ายภาคพื้นดิน 2 ฝั่งทุก 100 เมตร

- การประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศโดยการเลือกใช้จุดควบคุมภาพถ่ายภาคพื้นดินแบบสลับฟันปลาทุก ๆ 50 เมตร ดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 จุดควบคุมภาพถ่ายภาคพื้นดินแบบสลับฟันปลาทุก 50 เมตร

- การประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศโดยการเลือกใช้จุดควบคุมภาพถ่ายภาคพื้นดินฝั่งถนนเพียงฝั่งเดียวทุก ๆ 100 เมตร ดังรูปที่ 9

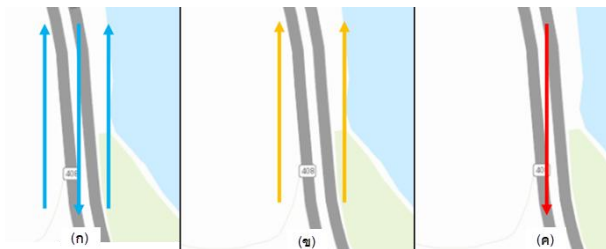


รูปที่ 9 จุดควบคุมภาพถ่ายภาคพื้นดินฝั่งถนนทุก 100 เมตร โดยใช้สัญลักษณ์อักษรในการกำหนดจุดควบคุมภาพถ่ายภาคพื้นดิน ดังนี้

- อักษร A แทนการประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศโดยการเลือกใช้จุดควบคุมภาพถ่ายภาคพื้นดินทั้ง 2 ฝั่งทุก ๆ 100 เมตร
- อักษร B แทนการประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศโดยการเลือกใช้จุดควบคุมภาพถ่ายภาคพื้นดินแบบสลับฝั่งปลาทุก ๆ 50 เมตร
- อักษร C แทนการประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศโดยการเลือกใช้จุดควบคุมภาพถ่ายภาคพื้นดินฝั่งถนนเพียงฝั่งเดียวทุก ๆ 100 เมตร

3.5.2 การเลือกใช้นาฬิกาในการประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศ ดังรูปที่ 10

- การเลือกประมวลผลภาพแนวนอน 3 แนวบิน รูปที่ 10 (ก)
- การเลือกประมวลผลภาพแนวนอน 2 แนวบิน รูปที่ 10 (ข)
- การเลือกประมวลผลภาพแนวนอน 1 แนวบิน รูปที่ 10 (ค)



รูปที่ 10 การประมวลผลภาพโดยเลือกแต่ละแนวนบิน

โดยใช้สัญลักษณ์อักษรในการกำหนดการเลือกแนวนบินในการประมวลผล ดังนี้

- หมายเลข 3 แทนการประมวลผลภาพโดยเลือกแนวนบิน 3 แนวบิน
- หมายเลข 2 แทนการประมวลผลภาพโดยเลือกแนวนบิน 2 แนวบิน
- หมายเลข 1 แทนการประมวลผลภาพโดยเลือกแนวนบิน 1 แนวบิน

ตัวอย่าง 3-A หมายถึง การประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศโดยเลือกแนวนบิน 3 แนวบิน และเลือกใช้จุดควบคุมภาพถ่ายภาคพื้นดินทั้ง 2 ฝั่งทุก ๆ 100 เมตร ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สัญลักษณ์อักษรที่ใช้กำหนดรูปแบบการประมวลผล

รูปแบบการประมวลผล		
3-A	2-A	1-A
3-B	2-B	1-B
3-C	2-C	1-C

3.5.3 การควบคุมคุณภาพจุดสามมิติ

หลังจากสร้าง Point Cloud มีการใช้กระบวนการ Denoising เพื่อตัดจุดข้อมูลผิดปกติ (Noise Points) ออกจากข้อมูล โดยตั้งค่า Threshold Filtering ผ่านซอฟต์แวร์ Pix4D Mapper เพื่อรักษาคุณภาพของจุดสามมิติให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานการประมวลผลภาพถ่าย UAV สำหรับงานทำแผนที่

3.6 ขั้นตอนการศึกษาเปรียบเทียบและวิเคราะห์ข้อมูล

3.6.1 แบ่งการวิเคราะห์ข้อมูลจุดตรวจสอบ

แบ่งการวิเคราะห์ข้อมูลออกเป็นสองเงื่อนไขดังนี้ เงื่อนไขที่ 1 ตรวจสอบความถูกต้องเชิงตำแหน่งของข้อมูลทั้งโครงการ เงื่อนไขที่ 2 ตรวจสอบความถูกต้องเชิงตำแหน่งของข้อมูลบริเวณขอบถนนถึงริมตลิ่ง

3.6.2 เปรียบเทียบข้อมูล

เปรียบเทียบข้อมูลของทั้งสองเงื่อนไข แล้วนำเงื่อนไขที่มีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าไปวิเคราะห์ผล

3.6.3 ตรวจสอบความถูกต้องเชิงตำแหน่ง

ตรวจสอบความถูกต้องเชิงตำแหน่งที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ตามมาตรฐาน NSSDA และเปรียบเทียบความถูกต้องเชิงตำแหน่งที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ของข้อมูลแต่ละรูปแบบการประมวล

3.6.4 คำนวณมาตราส่วนแผนที่

คำนวณมาตราส่วนแผนที่แต่ละรูปแบบการประมวล ตามมาตรฐาน ASPRS 1990

3.6.5 ประมวลผลเทียบเกณฑ์มาตรฐานกรมที่ดิน

นำข้อมูลความถูกต้องเชิงตำแหน่งแต่ละรูปแบบการประมวลผลเทียบเกณฑ์มาตรฐานกรมที่ดินว่าด้วยการทำแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศด้วยอากาศยานไร้คนขับ พ.ศ. 2564 หมวด 4 เกณฑ์ความถูกต้องเชิงตำแหน่งของแผนที่ภาพถ่าย เพื่อง่ายต่อการเปรียบเทียบและการนำไปใช้งานของข้อมูลจากรูปแบบการประมวลผลทั้ง 9

3.6.6 เปรียบเทียบภาพตัดแก้เชิงเลข

เปรียบเทียบภาพตัดแก้เชิงเลขที่ได้จากการเลือกแนวนบินในการประมวลผล

3.7 สรุปผลการศึกษา

4. ผลการดำเนินงาน

การประเมินความถูกต้องเพื่อศึกษารูปแบบจุดควบคุมภาคพื้นดินและแนวนบินที่เหมาะสม โดยวิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อน RMSE ของจุดตรวจสอบ (CP) ผ่าน Pix4D Mapper การศึกษาแบ่งเป็น 2 ส่วน ได้แก่ รายงานการประมวลผลภาพ 9 รูปแบบ และการวิเคราะห์เปรียบเทียบจุดตรวจสอบในแต่ละรูปแบบ

4.1 การประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศ

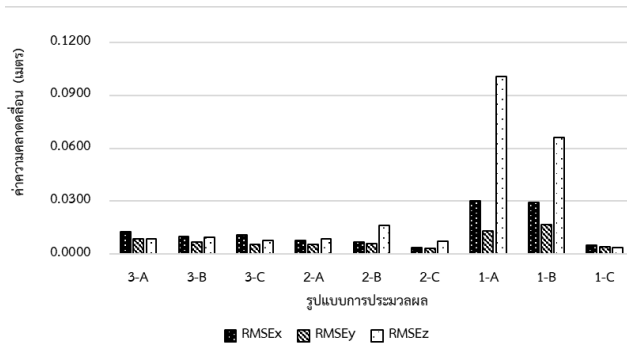
จากการประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศทั้ง 9 รูปแบบ การประมวลผลรูปแบบ 3-A 3-B และ 3-C ใช้ภาพถ่ายจำนวน 198 ภาพ รูปแบบ 2-A 2-B และ 2-C ใช้ภาพถ่ายจำนวน 132 ภาพ รูปแบบ 1-A 1-B และ 1-C ใช้ภาพถ่ายจำนวน 66 ภาพ ในการประมวลผล มีผลลัพธ์แสดงในตารางที่ 2

จากตารางที่ 2 แสดงความถูกต้องของจุดควบคุมภาพถ่ายภาคพื้นดิน ซึ่งสะท้อนคุณภาพและความเหมาะสมของการกระจายตัวสำหรับงานทำแผนที่ พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนทางราบสูงสุดในรูปแบบ 1 แนวบิน ค่าความคลาดเคลื่อนทางราบต่ำสุดใน 2 แนวบิน และค่าความคลาดเคลื่อนทางราบปานกลางใน 3 แนวบิน ขณะที่ค่าความคลาดเคลื่อนทางตั้งสูงสุดใน 1 แนวบิน ค่าความคลาดเคลื่อนทาง

ราบปานกลางใน 2 แนวบิน และค่าความคลาดเคลื่อนทางราบต่ำสุดใน 3 แนวบิน ดังรูปที่ 11

ตารางที่ 2 ค่า RMSE ทางราบและทางตั้งของจุด GCP ทั้ง 9 รูปแบบ

รูปแบบการประมวลผล	RMSE _x (เมตร)	RMSE _y (เมตร)	RMSE _z (เมตร)	จำนวน GCP (จุด)
3-A	0.0126	0.0084	0.0086	19
3-B	0.0100	0.0067	0.0096	19
3-C	0.0108	0.0054	0.0075	10
2-A	0.0076	0.0055	0.0087	19
2-B	0.0070	0.0058	0.0161	19
2-C	0.0038	0.0034	0.0072	10
1-A	0.0300	0.0130	0.1005	19
1-B	0.0294	0.0167	0.0659	19
1-C	0.0049	0.0040	0.0035	10



รูปที่ 11 การเปรียบเทียบ RMSE ทางราบและทางตั้งทั้ง 9 รูปแบบ

ทางคณะผู้จัดทำวิเคราะห์จุดตรวจสอบภายใต้ 2 เงื่อนไข (1) ตรวจสอบความถูกต้องเชิงตำแหน่งทั้งโครงการ และ (2) ตรวจสอบเฉพาะบริเวณขอบถนนถึงริมตลิ่ง (ยกเว้นพื้นที่บนเขา) โดยแต่ละเงื่อนไขมีจำนวนจุดตรวจสอบต่างกัน รูปแบบการประมวลผลที่มี ค่า RMSE ใกล้ 0 แสดงถึงความถูกต้องสูง ทั้งนี้ ความถูกต้องของจุดตรวจสอบสะท้อนความแม่นยำของพิกัดสำหรับการทำแผนที่ และเมื่อเปรียบเทียบกับ มาตรฐาน ASPRS 2014 สามารถระบุคุณภาพความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบและทางตั้งของแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศได้

ตารางที่ 3 ค่า RMSE ทางราบและตั้งของจุดตรวจสอบทั้ง 9 รูปแบบ เงื่อนไขที่ 1

รูปแบบการประมวลผล	RMSE _x (เมตร)	RMSE _y (เมตร)	RMSE _z (เมตร)	จำนวนจุด CP (จุด)
3-A	0.0577	0.0633	0.1513	26
3-B	0.0673	0.0544	0.2020	26
3-C	0.1226	0.0601	0.3443	35
2-A	0.0970	0.0953	0.1075	26
2-B	0.0796	0.0547	0.2379	26
2-C	0.1161	0.3339	0.5867	35
1-A	0.1087	0.0832	0.1664	19
1-B	0.0458	0.0225	0.1219	19
1-C	0.0575	0.0509	0.2787	28

4.1.1 ค่า RMSE ของจุดตรวจสอบทั้ง 9 รูปแบบ เงื่อนไขที่ 1

ค่า RMSE ของจุดตรวจสอบจาก Pix4D Mapper โดยใช้ข้อมูลทั้งโครงการ แสดงไว้ใน ตารางที่ 3 อย่างไรก็ตาม รูปแบบ 1-A, 1-B และ 1-C ไม่สามารถวิเคราะห์พร้อมได้ เนื่องจากใช้ 1 แนวบิน และมีเพียง 66 ภาพถ่าย ส่งผลให้ไม่มีภาพที่ครอบคลุมจุดตรวจสอบบนเขา (CP1, CP2, CP2-1, CP3, CP4, CP5, CP6 และ CP7)

4.1.2 ค่า RMSE ของจุดตรวจสอบทั้ง 9 รูปแบบ เงื่อนไขที่ 2

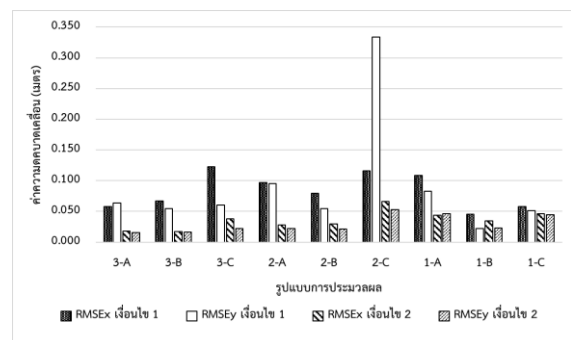
ค่า RMSE ของจุดตรวจสอบใน เงื่อนไขที่ 2 ได้จากการลบค่าความคลาดเคลื่อนของจุดตรวจสอบบนเขา (CP1, CP2, CP2-1, CP3, CP4, CP5, CP6 และ CP7) ออกจากค่าความคลาดเคลื่อนของแต่ละรูปแบบ จากนั้นคำนวณใหม่ด้วย Excel ผลลัพธ์และจำนวนจุดตรวจสอบแสดงใน ตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่า RMSE ทางราบและตั้งของจุดตรวจสอบทั้ง 9 รูปแบบ เงื่อนไขที่ 2

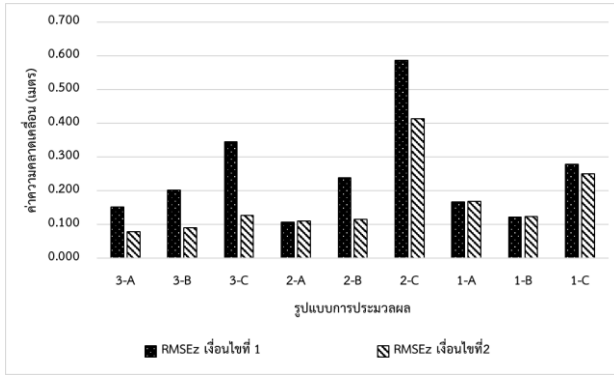
รูปแบบการประมวลผล	RMSE _x (เมตร)	RMSE _y (เมตร)	RMSE _z (เมตร)	จำนวนจุด CP (จุด)
3-A	0.0180	0.0159	0.0787	18
3-B	0.0175	0.0167	0.0905	18
3-C	0.0382	0.0221	0.1260	27
2-A	0.0277	0.0223	0.1096	18
2-B	0.0294	0.0217	0.1146	18
2-C	0.0661	0.0531	0.4132	27
1-A	0.0435	0.0464	0.1678	18
1-B	0.0348	0.0232	0.1239	18
1-C	0.0459	0.0443	0.2507	27

ผลการคำนวณค่า RMSE จากตารางที่ 3 และ 4 สามารถแสดงการเปรียบเทียบทางราบและทางตั้ง ระหว่างเงื่อนไขที่ 1 กับเงื่อนไขที่ 2 ดังรูปที่ 12-13

ซึ่งจากรูปที่ 12 และ 13 แสดงการเปรียบเทียบค่า RMSE ทางราบและทางตั้งของ เงื่อนไขที่ 1 และ 2 จาก 9 รูปแบบการประมวลผล พบว่า เงื่อนไขที่ 1 มีค่า RMSE สูงกว่า ทั้งทางราบและทางตั้ง เนื่องจากจุดควบคุมภาพถ่ายภาคพื้นดินกระจายตัวไม่สม่ำเสมอ ต่างจาก เงื่อนไขที่ 2 ที่มีการกระจายตัวทั่วโครงการ ทำให้ได้ค่าความถูกต้องสูงกว่า ดังนั้น คณะผู้จัดทำจึงเลือกใช้ข้อมูลจาก เงื่อนไขที่ 2 ในการวิเคราะห์และเปรียบเทียบต่อไป



รูปที่ 12 การเปรียบเทียบค่า RMSE ทางราบของเงื่อนไขที่ 1 และ 2



รูปที่ 13 การเปรียบเทียบค่า RMSE ทางดิ่งของเงื่อนไขที่ 1 และ 2

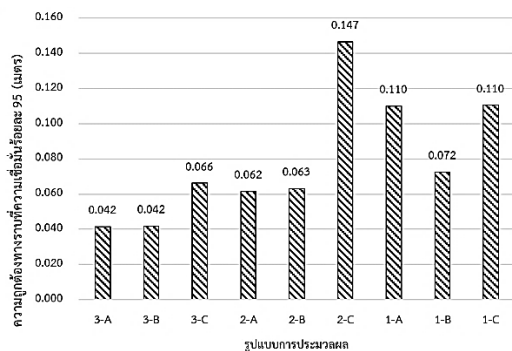
4.2 ผลการเปรียบเทียบและวิเคราะห์จุดตรวจสอบ เงื่อนไขที่ 2

4.2.1 ความถูกต้องเชิงตำแหน่งที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ผลจากการคำนวณความถูกต้องทางราบและทางดิ่งตามมาตรฐาน NSSDA ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ความถูกต้องเชิงตำแหน่งที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

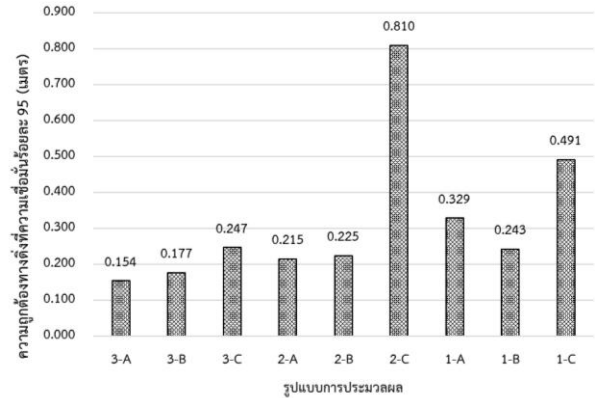
รูปแบบการประมวลผล	RMSE, (เมตร)	ความถูกต้องทางราบที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (เมตร)	ความถูกต้องทางดิ่งที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (เมตร)
3-A	0.024	0.042	0.154
3-B	0.024	0.042	0.177
3-C	0.038	0.066	0.247
2-A	0.036	0.062	0.215
2-B	0.037	0.063	0.225
2-C	0.085	0.147	0.810
1-A	0.064	0.110	0.329
1-B	0.042	0.072	0.243
1-C	0.064	0.110	0.491



รูปที่ 14 การเปรียบเทียบความถูกต้องทางราบที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากตารางที่ 5 พบว่า รูปแบบการประมวลผลที่มีค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เรียงจากมากไปน้อยทางราบ ได้แก่ 3-A, 3-B, 2-A, 2-B, 3-C, 1-B, 1-A, 1-C และ 2-C โดยมีค่าความถูกต้อง 0.024, 0.024, 0.036, 0.037, 0.038, 0.042, 0.064, 0.064 และ 0.085 เมตร ตามลำดับ ส่วนค่าทางดิ่งเรียงจากมากไปน้อย ได้แก่ 3-A, 3-B, 2-A, 2-B, 3-C, 1-B, 1-A, 1-C และ 2-C โดยมีค่า

0.154, 0.177, 0.215, 0.225, 0.247, 0.243, 0.329, 0.491 และ 0.810 เมตร ตามลำดับ ทั้งนี้ รูปแบบ 3-A และ 3-B มีความถูกต้องสูงสุด ขณะที่ 2-C มีความถูกต้องต่ำสุด ดังรูปที่ 14-15



รูปที่ 15 การเปรียบเทียบความถูกต้องทางดิ่งที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

4.2.2 มาตรฐานแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศของจุดตรวจสอบ เงื่อนไขที่ 2

นำข้อมูล RMSE, จากตารางที่ 5 คูณด้วยค่าคงที่ 40 เพื่อคำนวณมาตรฐานแผนที่ (Map Scale Factor, MSF) ตามมาตรฐาน ASPRS 1990 ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ผลการคำนวณมาตรฐานแผนที่

รูปแบบการประมวลผล	มาตรฐานแผนที่ (MSF)
3-A	96
3-B	97
3-C	153
2-A	142
2-B	146
2-C	339
1-A	254
1-B	167
1-C	255

จากตารางที่ 6 รูปแบบ 3-A และ 3-B มีความถูกต้องทางราบระดับงานชั้น 1 เหมาะสำหรับแผนที่มาตราส่วน 1:100 หรือเล็กกว่า ใช้ในงานเขียนแบบ ก่อสร้างวางผังบริเวณ และสำรวจเมือง รูปแบบ 3-C, 2-A, 2-B และ 1-B จัดเป็นงานชั้น 1 สำหรับแผนที่มาตราส่วน 1:200 หรือเล็กกว่า ใช้งานในลักษณะเดียวกัน ส่วนรูปแบบ 2-C, 1-A และ 1-C เหมาะสำหรับแผนที่มาตราส่วน 1:500 หรือเล็กกว่า ใช้ในงานก่อสร้าง วางผังบริเวณ และสำรวจเมือง แต่ไม่เหมาะสำหรับงานเขียนแบบ

4.3 ผลการประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศเทียบกับมาตรฐานกรมที่ดิน

ตามระเบียบกรมที่ดิน พ.ศ. 2564 หมวด 4 กำหนดให้ RMSE, ต้องไม่เกิน 1.414 เท่าของ GSD และ RMSE_z ไม่เกิน 20 ซม. จากข้อมูล RMSE, ในตารางที่ 5 และ RMSE_z ในตารางที่ 4 พบว่าเฉพาะรูปแบบ 3-A และ 3-B ผ่านเกณฑ์มาตรฐานดังกล่าว

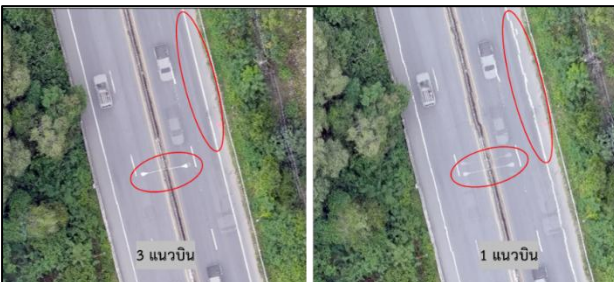
4.4 ผลการเปรียบเทียบภาพตัดแก้เชิงเลขของแต่ละแนวนบิน

จากการเปรียบเทียบลักษณะของภาพตัดแ่งเชิงเลขของรูปแบบการประมวลผลที่เลือกใช้แนวนิน 3 2 และ 1 แนวนิน เมื่อเปรียบเทียบการเลือกใช้แนวนินระหว่าง 3 และ 2 แนวนิน บริเวณผิวถนนของภาพตัดแ่งเชิงเลขที่เลือกใช้ 2 แนวนิน ภาพถนนมีลักษณะเป็นคลื่นในบางช่วง ขอบอาคารเกิดการบิดเบี้ยว และช่วงที่เป็นต้นไม้ภาพขาดหายไป ดังรูปที่ 16 เนื่องจากการเลือกใช้ 2 แนวนินในการประมวลผล ส่วนเกย (Sidelap) ระหว่างแนวนินที่ 1 และ 3 ไม่เป็นไปตามการวางแผนการบินเบื้องต้น ส่งผลให้ภาพตัดแ่งเชิงเลขที่ได้เกิดความผิดพลาด



รูปที่ 16 ความแตกต่างของภาพตัดแ่งเชิงเลข 3 แนวนิน และ 2 แนวนิน

เมื่อเปรียบเทียบการเลือกใช้แนวนินระหว่าง 3 แนวนิน กับ 1 แนวนิน ภาพตัดแ่งเชิงเลขจากการเลือกใช้ 1 แนวนิน มีความคมชัดใกล้เคียงกับการเลือกใช้ 3 แนวนิน บริเวณขอบเส้นถนนภาพมีลักษณะบิดเบี้ยว ขอบอาคารเกิดการบิดเบี้ยว และเกิดการซ้อนของภาพหลายจุด ดังรูปที่ 17 เนื่องจากการเลือกใช้ 1 แนวนินจะมีเพียงแค่ส่วนซ้อน (Overlap) ส่งผลให้ไม่มีการซ้อนทับของภาพจากด้านข้าง หรือส่วนเกยทำให้ภาพตัดแ่งเชิงเลขที่ได้เกิดความผิดพลาด



รูปที่ 17 ความแตกต่างของภาพตัดแ่งเชิงเลข 3 แนวนิน และ 1 แนวนิน

5. สรุปการศึกษา

จากผลการศึกษา สามารถให้ข้อเสนอแนะสำหรับการนำไปใช้งานจริงและการศึกษาต่อไปได้ การหาค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งของจุดตรวจสอบจากการประมวลผลผ่านโปรแกรม Pix4D Mapper มีรูปแบบการประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศ 9 รูปแบบ คือ 3-A, 3-B, 3-C, 2-A, 2-B, 2-C, 1-A, 1-B และ 1-C โดยที่ 3, 2 และ 1 คือ แนวนินที่เลือกใช้ในการประมวลผล AB และ C คือ รูปแบบการกระจายตัวของจุดควบคุมภาพถ่ายภาคพื้นดิน พบว่ารูปแบบการกระจายตัวของจุดควบคุมภาพถ่ายภาคพื้นดิน และการเลือกใช้แนวนินในการประมวลผลส่งผลต่อค่า RMSE ทางราบและทางตั้ง โดยรูปแบบการกระจายตัวของจุดควบคุมภาพถ่ายภาคพื้นดิน A และ B มีค่าต่ำสุด และใกล้เคียงกันในหลักมิลลิเมตร รูปแบบ C มีค่าสูงสุด และมีการเพิ่มหรือลดลงของค่า RMSE ที่ไม่สัมพันธ์กับแนวนิน การเลือกใช้ 3 แนวนินมีค่าต่ำสุด 2 แนวนินมีค่าปานกลาง และ 1 แนวนินมีค่าสูงสุด

ผลการประเมินค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งของแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศโดยวิเคราะห์จากจุดตรวจสอบ และภาพตัดแ่งเชิงเลขของรูปแบบการประมวลผลทั้ง 9

รูปแบบ พบว่ารูปแบบการประมวลผลแบบ 3-A และ 3-B มีความถูกต้องเชิงตำแหน่งมากที่สุด สามารถจัดทำแผนที่มาตราส่วน 1:100 หรือมาตราส่วนเล็กกว่า และอยู่ในเกณฑ์ความถูกต้องเชิงตำแหน่งของแผนที่ภาพถ่ายตามระเบียบกรมที่ดิน หมวดที่ 4 สำหรับผู้ที่สนใจจัดทำแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศด้วยอากาศยานไร้คนขับ ในกรณีที่มีลักษณะงานเกี่ยวกับงานเส้นทาง เพื่อเขียนแบบ วางผังบริเวณ และสำรวจเพื่อการก่อสร้าง จึงเป็นแนวทางในการจัดทำแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศ ที่มีความแม่นยำ และความถูกต้องสูง เหมาะสำหรับการใช้งานทางวิศวกรรม รูปแบบการประมวลผลแบบ 2-A และ 2-B มีความถูกต้องเชิงตำแหน่ง ปานกลาง สามารถจัดทำแผนที่มาตราส่วน 1:200 หรือมาตราส่วนเล็กกว่า เหมาะสำหรับงานเขียนแบบ วางผังบริเวณ และสำรวจเพื่อการก่อสร้าง แต่ลักษณะของภาพตัดแ่งเชิงเลขที่ได้มีความผิดพลาดมากที่สุดเมื่อเทียบกับการเลือกใช้แนวนินรูปแบบอื่น ๆ รูปแบบการประมวลผลแบบ 1-A และ 1-B มีความถูกต้องเชิงตำแหน่งต่ำที่สุด สามารถจัดทำแผนที่มาตราส่วน 1:500 และ 1:200 ตามลำดับสามารถใช้เป็นแนวทางในการสำรวจเพื่อการออกแบบ หรือศึกษาโครงการเนื่องจากการวางแผนการบินแบบ 1 แนวนิน มีความรวดเร็วในการทำงาน ภาพตัดแ่งเชิงเลขที่ได้จากการเลือกใช้ 1 แนวนินมีความผิดพลาดของภาพน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเลือกใช้ 2 แนวนิน ในการประมวลผล

จากการอ้างอิงลักษณะการกระจายตัวของจุดควบคุมภาพถ่ายภาคพื้นดินจากงานวิจัยของบรรชนก มณีรัตน์ [5] แต่ในการศึกษาโครงการนี้มีระยะห่างจุดควบคุมภาพถ่ายภาคพื้นดินประมาณ 100 เมตร ซึ่งใกล้กว่างานวิจัยที่อ้างอิง เมื่อคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนทางราบโดยรวมและทางตั้งผลลัพธ์ที่ได้ถูกแสดงในหน่วยจุดภาพของรูปแบบที่มีความถูกต้องสูงสุด 3-A พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนทางราบและทางตั้ง เท่ากับ 1.09 และ 3.55 จุดภาพ ตามลำดับ เทียบกับงานวิจัยอ้างอิงมีค่าทางราบและทางตั้ง เท่ากับ 1.85 และ 2.17 จุดภาพ ตามลำดับมีความถูกต้องในทางราบมากกว่า และมีความถูกต้องในทางตั้งน้อยกว่า สำหรับการอ้างอิงงานวิจัยของรัฐภูมิ ตั้งภูมิจิต [6] พบว่ารูปแบบการกระจายตัวของจุดควบคุมภาพถ่ายภาคพื้นดินมีความถูกต้องสอดคล้องกัน ซึ่งรูปแบบ A และ B ในการศึกษาโครงการนี้ถือว่าคล้ายกับการกระจายตัวของจุดควบคุมงานวิจัยที่อ้างอิง และมีความถูกต้องสูงสุดเช่นเดียวกัน

6. ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

ผลการศึกษาชี้ว่ารูปแบบการวาง GCP แบบสองฝั่งถนนทุก 100 เมตร (3-A) หรือแบบสลับฟันปลา (3-B) ร่วมกับการบิน 3 แนวนิน มีความเหมาะสมที่สุดสำหรับการทำแผนที่งานเส้นทาง เช่น ถนน ทางเท้า คลอง หรือแนวสายไฟฟ้า ดังนั้น ผู้ที่ดำเนินการสำรวจถนนหรือแนวเส้นทางด้วย UAV และการประยุกต์ใช้ UAV ที่มีฟังก์ชัน RTK/PPK เพื่อลดจำนวนจุดควบคุมที่ต้องตั้งภาคพื้นดิน รวมทั้งศึกษาผลของการใช้เทคนิคการบินแบบเฉียง (Oblique Flight) หรือการบินหลายระดับความสูงในพื้นที่ถนนที่มีความลาดชันสูง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มทร.ศรีวิชัย สำหรับการสนับสนุนเครื่องมือสำรวจ และทรัพยากรสำหรับใช้ในการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] องค์ความรู้ตามภารกิจ กรมโยธาธิการและผังเมือง. (2563). การสำรวจและจัดทำแผนที่ด้วยอากาศยานไร้คนขับ. หนังสือการจัดการความรู้ตามภารกิจด้านการผังเมือง.

- [2] Federal Geographic Data Committee. (1998). Geospatial Positioning Accuracy Standards Part 3: National Standard for Spatial Data Accuracy. American.
- [3] Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. (2014). ASPRS Accuracy Standards for Digital Geospatial Data. American.
- [4] การทำแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศด้วยอากาศยานไร้คนขับ. (2564). เกณฑ์ความถูกต้องเชิงตำแหน่งของแผนที่ภาพถ่าย. กรมที่ดิน กระทรวงมหาดไทย.
- [5] บวรชนก มณีรัตน์, วิฑิต ปานสุข, และเพชร เครือวิทย์. (2565). การศึกษาการตรวจสอบสะพานด้วยเทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับ. วิศวกรรมโครงสร้าง. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 27. ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- [6] รัฐภูมิ ตั้งภูมิจิต, สราวุธ ส่งแสง, อภิสิทธิ์ ภาสดา, คมศิลป์ ว่างยาว และ ชีระ ลาภิชัยกุล. (2563). การศึกษารูปแบบของจุดควบคุมภาพที่มีผลต่อ ความถูกต้องของแผนที่จากการรังวัดด้วยอากาศยานไร้คนขับ. วิศวกรรมสำรวจและระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 25. บัณฑิตวิทยาลัยร่วมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพฯ.