



ปริญญานิพนธ์

การศึกษาเปรียบเทียบความถูกต้องเชิงตำแหน่งระหว่างข้อมูลแผนที่
ภาพถ่ายทางอากาศจากอากาศยานไร้คนขับด้วยวิธีการบินแบบ
Single Grid Mission กับข้อมูลการสำรวจภาคพื้นดิน

STUDY COMPARING THE POSITIONAL ACCURACY BETWEEN
SINGLE GRID MISSION AERIAL PHOTOGRAPHIC MAP DATA
AND GROUND SURVEY DATA.

นายประเสริฐ

นายปิยพนธ์

นายสหัสวรรษ

ชั้นรศกดี

คงทอง

เชื่อมชัยตระกูล

วิทยาลัยการชลประทาน สถาบันสมทบมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. 2564



ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

วิทยาลัยการชลประทาน สถาบันสมทบมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา – ชลประทาน)

เรื่อง การศึกษาเปรียบเทียบความถูกต้องเชิงตำแหน่งระหว่างข้อมูลแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศจาก
อากาศยานไร้คนขับด้วยวิธีการบินแบบ Single Grid Mission กับข้อมูลการสำรวจภาคพื้นดิน
THE STUDY COMPARES THE POSITIONAL ACCURACY BETWEEN THE AERIAL IMAGE
MAPPING DATA FROM THE SINGLE GRID MISSION FLIGHT METHOD AND THE
GROUND SURVEY DATA

นามผู้วิจัย นายประเสริฐ ชันธศักดิ์
นายปิยพันธ์ คงทอง
นายสหัสวรรษ เชื้อมชัยตระกูล

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ

.....
(.....อาจารย์ธวัชชัย เปาทัย.....)

กรรมการ

.....
(.....อาจารย์ไพรัช กมลรัตน์.....)

วิทยาลัยการชลประทาน สถาบันสมทบมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ รับรองแล้ว

.....
(.....อาจารย์ชัยยะ พิงโพธิ์สภ.....)

ผู้อำนวยการวิทยาลัยการชลประทาน

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง

การศึกษาเปรียบเทียบความถูกต้องเชิงตำแหน่งระหว่างข้อมูลแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศจากอากาศยานไร้คนขับด้วยวิธีการบินแบบ Single Grid Mission กับข้อมูลการสำรวจภาคพื้นดิน

STUDY COMPARING THE POSITIONAL ACCURACY BETWEEN SINGLE GRID MISSION
AERIAL PHOTOGRAPHIC MAP DATA AND GROUND SURVEY DATA.

โดย

นายประเสริฐ	ชันธศักดิ์	6180100098
นายปิยพันธ์	คงทอง	6180100101
นายสหัสวรรษ	เชื่อมชัยตระกูล	6180100624

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา - ชลประทาน
วิทยาลัยการชลประทาน สถาบันสมทบมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. 2564

ประเสริฐ ชันธศักดิ์ , ปิยพนธ์ คงทอง , สหสวรรณ เชื้อมชัยตระกูล 2565 : เรื่อง การศึกษา
เปรียบเทียบความถูกต้องเชิงตำแหน่งระหว่างข้อมูลแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศจากอากาศยานไร้คนขับด้วยวิธีการบินแบบ Single Grid Mission กับข้อมูลการสำรวจภาคพื้นดิน
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา - ชลประทาน) วิทยาลัยการชลประทาน
ประธานกรรมการที่ปรึกษา : อาจารย์ธวัชชัย เปาหุ้ย

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบความถูกต้องเชิงตำแหน่งระหว่างข้อมูล
แผนที่ภาพถ่ายทางอากาศจากอากาศยานไร้คนขับด้วยวิธีการบินแบบ Single Grid Mission กับ
ข้อมูลการสำรวจภาคพื้นดิน และเสนอแนะแนวทางการนำอากาศยานไร้คนขับมาใช้ในการสำรวจ
ควบคู่กับการสำรวจภาคพื้นดิน

จากผลการศึกษาพบว่าการบินโดรนด้วยวิธีการบินแบบ Single Grid Mission สามารถ
นำมาใช้ในการงานด้านการสำรวจได้ แต่อาจไม่สามารถใช้ในการงานที่ต้องการค่าความถูกต้องในเกณฑ์ที่
สูงกว่านี้ได้ เช่น งานก่อสร้างที่ต้องการความถูกต้องแม่นยำสูง แต่สามารถใช้การบินโดรนเพื่อสำรวจ
ก่อนการพิจารณาวางแผนโครงการก่อสร้างหากมีเหตุที่ทราบค่าอยู่ในโครงการก่อนแล้ว อีกทั้งข้อมูลที่ได้
จากงานวิจัยในครั้งนี้สามารถนำไปใช้ในการวางแผนการจัดการใช้ประโยชน์ที่ดินต่อไปได้ เนื่องจาก
ข้อมูลการสำรวจภาคพื้นดินมีค่า closure = 1 : 42,007 ซึ่งผ่านเกณฑ์งานสำรวจและข้อมูลการ
สำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับสามารถนำไปทำแผนที่ด้วยสเกลที่ละเอียดถึง 1 : 400 ได้ สำหรับงาน
ที่ต้องการความถูกต้องของข้อมูลสูง

จิณนธ์

สหสวรรณ

ประเสริฐ

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่อประธานกรรมการ

9 / พ.ธ. / 2565

Prasert Khanthasak , Piyapon Kongthong , Sahassawas Chuemchaitrakul 2022 :
A comparative study of positional accuracy between aerial photographic map data from unmanned aerial vehicles by using a Single Grid Mission flight method and the ground survey data. Bachelor of Engineering (civil engineering – irrigation). Irrigation college.

Chairman of the advisory board : Thawatchai Paotui

This thesis has a purpose to compare positional accuracy between aerial photographic map data from unmanned aerial vehicles by using a Single Grid Mission flight method and the ground survey data and suggest guidelines for use of unmanned aerial vehicles in surveying work in parallel with ground survey

From the result of study, it was found that flying drone using a Single Grid Mission flight method can be used in survey work. But may not used with work requiring higher accuracy values such as construction that require high accuracy. But flying drone can be used to survey before considering a construction project if a bench mark already exist in the project area. In additional, the information obtained from this research can be used to planning the land use management in future. Because the ground survey data closure = 1 : 42,007 which pass the survey criteria. And unmanned aerial vehicles survey data can be mapped with a scale detailed as 1 : 400 for work requiring high data accuracy.

Piyapon

Sahassawas

Prasert

Thawatchai

09 / 05 / 2022

Sign of students

Sign of President of the University

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เพราะได้รับการสนับสนุนจากทุกฝ่าย ทางคณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ชัยยะ พึ่งโพธิ์สภ ผู้อำนวยการวิทยาลัยการชลประทาน อาจารย์ธวัชชัย เปาหุ้ย ที่ปรึกษาปฏิญานิพนธ์ ผู้กรุณาช่วยเหลือ แนะนำ ให้คำปรึกษา ตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยความเอาใจใส่เป็นอย่างดี อาจารย์ไพรพล กมลรัตน์ กรรมการดูแล ที่ได้กรุณาสละเวลาในการทำงานเพื่อมาอบรมมอบความรู้ที่สำคัญยิ่งในการศึกษาครั้งนี้ รวมทั้งการสนับสนุนอุปกรณ์ต่างๆ ที่จำเป็นต่อการศึกษามาก อาจารย์ลพวรรณพลอย ชาวเรือ อาจารย์ประจำวิชาที่ได้ติดตามผลอย่างเคร่งครัด และขอบคุณวิทยาลัยการชลประทานที่ให้โอกาสจัดทำโครงการวิศวกรรมในครั้งนี้ รวมทั้งคณาจารย์ทุกท่านที่เป็นกำลังใจ และคอยช่วยเหลือจนลุล่วงไปด้วยดี

สุดท้ายนี้ประโยชน์ทั้งหมด และคุณความดีทั้งหลายอันพึงจะได้รับจากปฏิญานิพนธ์เล่มนี้ ทางคณะผู้จัดทำขอมอบแด่ผู้ให้กำเนิด ครูบาอาจารย์และผู้มีพระคุณทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ ประสาท ความรู้ความสามารถต่างๆ แก่คณะของผู้จัดทำจนประสบความสำเร็จในการศึกษา

คณะผู้จัดทำ

มีนาคม 2565

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(3)
สารบัญภาพ	(4)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหาและการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	1
1.3 คำถามในการวิจัย	2
1.4 สมมติฐานในการวิจัย	2
1.5 นิยามศัพท์ที่ใช้ในการวิจัย	2
1.6 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.8 กรอบความคิดในการวิจัย	4
1.9 แผนดำเนินการวิจัย	6
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	7
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	7
2.1.1 ทฤษฎีการสำรวจภาคพื้นดิน	7
2.1.2 ทฤษฎีการสำรวจโดยใช้อากาศยานไร้คนขับ	8
2.1.3 การตรวจสอบค่าความถูกต้อง	12
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	12
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	17
3.1 กำหนดจุดสำรวจและจุดควบคุมภาพถ่ายในพื้นที่ที่ทำการศึกษา	17
3.2 การเดินระดับ	18
3.3 การเดินวงรอบ	18
3.4 การสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับด้วยวิธีการบินแบบ Single Grid Mission	19
3.5 การบินสำรวจโดยใช้แอปพลิเคชัน Pix4D	19

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.6 การประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศด้วยโปรแกรม	20
3.7 การเปรียบเทียบการสำรวจระหว่างการสำรวจภาคพื้นดินกับอากาศยานไร้คนขับ ด้วยวิธีการบินแบบ Single Grid Mission	20
บทที่ 4 ผลและการวิจารณ์	21
4.1 ผลการเดินระดับ	21
4.2 ผลการเดินวงรอบ	26
4.3 ผลการบินสำรวจโดยใช้อากาศยานไร้คนขับด้วยวิธีการบิน แบบ Single Grid Mission	28
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	30
5.1 สรุปผลการทดลอง	30
5.2 ข้อเสนอแนะ	31
เอกสารอ้างอิงและสิ่งอ้างอิง	32
ภาคผนวก	34

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 1 ตารางงบประมาณที่ใช้ในการวิจัย	5
ตารางที่ 2 ตารางแผนการดำเนินงานในการวิจัย	6
ตารางที่ 3 ตารางแสดงผลการรังวัดระดับ (1)	21
ตารางที่ 4 ตารางแสดงผลการรังวัดระดับ (2)	22
ตารางที่ 5 ตารางแสดงผลการรังวัดระดับ (3)	23
ตารางที่ 6 ตารางแสดงผลการรังวัดระดับ (4)	24
ตารางที่ 7 ตารางแสดงผลการรังวัดระดับ (5)	25
ตารางที่ 8 ตารางแสดงผลการโยงค่าพิกัด	26
ตารางที่ 9 ตารางค่า error ของจุด Control points	28
ตารางที่ 10 ตารางค่า error ของจุด Check points	29

ตารางภาคผนวกที่	หน้า
ก1 ผลการโยงค่าพิกัดจากโปรแกรม Smart Survey	36
ข1 Cameras	38
ข2 Calibration coefficients and correlation matrix	39
ข3 Average camera location error	40
ข4 Control points RMSE	41
ข5 Check points RMSE	42
ข6 Control points	42
ข7 Check points	43
ค1 B.3 Common Horizontal Accuracy Classes According to the New Standard	49
ค2 B.4 Examples on Horizontal Accuracy for Digital Orthoimagery Interpreted from ASPRS 1990 Legacy Standard	50
ค3 B.5 Digital Orthoimagery Accuracy Examples for Current Large and Medium Format Metric Cameras	51
ค4 B.7 Vertical Accuracy/Quality Example for Digital Elevation Data	52

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
ภาพที่ 1 กรอบความคิดในการวิจัย	4
ภาพที่ 2 การอ่านค่าระดับ 3 สายใย	8
ภาพที่ 3 จุดควบคุมภาคพื้นดิน	9
ภาพที่ 4 จุดตรวจสอบ	9
ภาพที่ 5 ส่วนซ้อนและส่วนเกยของภาพ	10
ภาพที่ 6 การบินโดรนแบบ Grid	10
ภาพที่ 7 การบินโดรนแบบ Polygon	11
ภาพที่ 8 การบินโดรนแบบ Circular	11
ภาพที่ 9 การบินโดรนแบบ Double Grid	11
ภาพที่ 10 จุดควบคุมภาพถ่ายทางอากาศ	17
 ภาพผนวกที่	 หน้า
ข1 Camera locations and image overlap	38
ข2 Image residuals for FC220 (4.73mm)	39
ข3 Camera locations and error estimates	40
ข4 GCP locations and error estimates	41
ข5 Reconstructed digital elevation model	44
ง1 QR Code วิดีโอการใช้อากาศยานไร้คนขับ	54

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การสำรวจด้านงานวิศวกรรมเป็นการสำรวจเพื่อการออกแบบก่อสร้าง การสำรวจเพื่อจัดทำแผนที่ภูมิประเทศ ซึ่งจะทราบค่าพิกัดฉากและค่าระดับ ดังนั้นค่าที่ได้จากการสำรวจจะต้องมีความถูกต้อง และแม่นยำ เพื่อไม่ให้เกิดความผิดพลาด โดยวิธีที่ได้รับการยอมรับในปัจจุบันคือการสำรวจภาคพื้นดิน (Ground survey) เป็นการหาตำแหน่งของจุดใดๆ มักจะประกอบไปด้วยการวัดระยะทางระหว่างจุดและวัดมุมต่างๆของแนวพื้นที่ ซึ่งการสำรวจภาคพื้นดินจะต้องใช้ระยะเวลาในการดำเนินการเป็นระยะเวลานาน และในบางพื้นที่ที่มีสภาพภูมิประเทศที่ไม่เอื้ออำนวยแก่การสำรวจ จึงทำให้ค่าพิกัดและค่าระดับที่สำรวจได้เกิดความคลาดเคลื่อน

ในปัจจุบันเทคโนโลยีทางด้านงานวิศวกรรมได้พัฒนาไปอย่างต่อเนื่องและหนึ่งในเทคโนโลยีที่สามารถช่วยแก้ไขปัญหาดังที่กล่าวมาข้างต้นได้คือ เทคโนโลยีการใช้อากาศยานไร้คนขับ ซึ่งเทคโนโลยีนี้สามารถจัดทำแผนที่ที่มีความคมชัด ความละเอียดสูง ข้อมูลที่ได้จะถูกบันทึกเป็นแบบดิจิทัล สามารถวัดระยะพิกัดจุดระดับความสูง และเข้าถึงได้ในทุกพื้นที่ที่สำรวจด้วยระยะเวลาอันสั้น อย่างไรก็ตาม ผลที่ได้จากการสำรวจโดยใช้อากาศยานไร้คนขับนั้นยังไม่ใช่ที่ยอมรับในปัจจุบัน การวิจัยนี้จึงจัดทำขึ้นเพื่อเปรียบเทียบความถูกต้องเชิงตำแหน่งระหว่างข้อมูลแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศจากอากาศยานไร้คนขับด้วยวิธีการบินแบบ Single grid mission กับข้อมูลการสำรวจภาคพื้นดิน

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เปรียบเทียบความถูกต้องเชิงตำแหน่งระหว่างข้อมูลแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศจากอากาศยานไร้คนขับด้วยวิธีการบินแบบ Single Grid Mission กับข้อมูลการสำรวจภาคพื้นดิน

1.2.2 เพื่อเสนอแนะแนวทางการนำอากาศยานไร้คนขับมาใช้ในการสำรวจควบคู่กับการสำรวจภาคพื้นดิน

1.3 คำถามในการวิจัย

การสำรวจภาพถ่ายทางอากาศโดยใช้อากาศยานไร้คนขับแบบ Single grid mission สามารถนำมาใช้แทนการสำรวจภาคพื้นดินในเรื่องความถูกต้องเชิงตำแหน่งได้หรือไม่

1.4 สมมติฐานในการวิจัย

การสำรวจโดยใช้อากาศยานไร้คนขับด้วยวิธีการบินแบบ Single grid mission เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับ การสำรวจภาคพื้นดินแล้วจะได้ค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งที่สามารถยอมรับได้ และช่วยในงานด้านวิศวกรรมได้เป็นอย่างดี

1.5 นิยามศัพท์ที่ใช้ในการวิจัย

1.5.1 อุปกรณ์ที่ใช้リモテในการบังคับให้เคลื่อนที่ (Dynamic Remotely Operated Navigation Equipment: DRONE)

1.5.2 มาตรฐาน (Bench Mark: B.M.) เป็นจุดที่ทราบค่าระดับหรือความสูงจากพื้นหลักฐานการระดับ มักทำด้วยการฝังแท่งโลหะบนหมุดคอนกรีตที่หล่อขึ้น หรือหมุดถาวรจากธรรมชาติ เช่น บนก้อนหินขนาดใหญ่ ซึ่งจะบอกความสูง พิกัดทางราบ เป็นต้น

1.5.3 Back Sight (B.S.) หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ไม้หลัง เป็นค่าที่อ่านได้ครั้งแรกหลังจากตั้งกล้อง ส่วนมากจะตั้งอยู่บนหมุด B.M. หรือหมุดที่ทราบค่าระดับแล้ว

1.5.4 For Sight (F.S.) หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ไม้หน้า เป็นค่าที่อ่านได้ครั้งสุดท้ายก่อนที่จะย้ายกล้อง ส่วนมากตั้งอยู่ที่ที่มั่นคง ที่ต้องการทราบค่าระดับ

1.5.5 ความสูงบิน (Flight Altitude) เป็นระดับสูงบินที่มีส่วนสำคัญอย่างยิ่งต่อการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ ทำให้สามารถผลิตข้อมูลเชิงตำแหน่งที่มีความถูกต้องมากขึ้น เพื่อให้ได้ภาพที่มีส่วนซ้อนและส่วนเกย

1.5.6 การจำลองความสูงของภูมิประเทศ (Digital Elevation Model: DEM) โดยการจัดเก็บให้อยู่ในรูปแบบตารางกริดหรือข้อมูลแรสเตอร์ ซึ่งมีการกำหนดความสูงของสิ่งปกคลุมพื้นผิวทางกายภาพของโลกออก

1.5.7 การจำลองความสูงของภูมิประเทศ (Digital Surface Model: DSM) โดยการจัดเก็บให้อยู่ในรูปแบบตารางกริด หรือข้อมูลแรสเตอร์ ซึ่งรวมความสูงของสิ่งปกคลุมพื้นผิวทางกายภาพของโลกด้วย เช่น สิ่งปลูกสร้าง ต้นไม้ และพุ่มไม้ เป็นต้น

1.5.8 ความละเอียดจุดภาพ (Ground Sample Distance: GSD) คือ ตัวเลขระยะบอกขนาดตัวอย่างบนพื้นดิน 1 จุดภาพ ซึ่งโดยทั่วไปเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส เช่น ภาพถ่ายที่ GSD

10 เซนติเมตร หมายความว่า 1 จุดบนภาพถ่ายเท่ากับระยะพื้นดิน 10 เซนติเมตร เนื่องจากขนาด 1 จุดภาพ ของตัว Sensor มีขนาดคงที่

1.5.9 จุดตรวจสอบ (Check Points: CP)

1.5.10 ส่วนซ้อน (Overlap) คือ พื้นที่ที่ทับกันอยู่ของภาพประชิดในแนวนอน

1.5.11 ส่วนเกย (Sidelap) คือ พื้นที่ที่ทับกันอยู่ระหว่างแนวนอนที่ประชิดกัน

1.5.12 รูปแบบการบินแบบ แบบ Single Grid Mission เป็นการวางแผนการบินโดยสร้างกรอบ 4 เหลี่ยม เหมาะสำหรับพื้นที่ที่มีรูปร่างเป็น 4 เหลี่ยม สามารถปรับมุมกล้องได้ตั้งแต่ 90 องศา (ตั้งฉากกับพื้นโลก) ถึง 0 องศา (หันหน้ากล้องไปด้านหน้า)

1.5.13 การวิเคราะห์ผลจะวิเคราะห์ในรูปแบบของค่าความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่ง (Root Mean Square Error: RMSE)

1.5.14 ระบบที่ใช้โครงร่างแผนที่และหน่วยเป็นเมตรที่ระดับน้ำทะเล (Universal Transversal Mercator: UTM)

1.5.15 ค่าความแม่นยำในแนวดิ่ง (Vegetated Vertical Accuracy: VVA) ค่าความแม่นยำในแนวดิ่งที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ในภูมิประเทศที่มีสิ่งปกคลุมเช่น ต้นไม้ วัชพืชและพืชผลสูง พื้นที่รกร้าง และผืนป่าทั้งหมด

1.6 ขอบเขตของการวิจัย

1.6.1 พื้นที่สำรวจสถานีการทดลองการใช้น้ำด้วยเทคโนโลยีสมัยใหม่

1.6.2 การสำรวจโดยใช้อากาศยานไร้คนขับด้วยวิธีการบินแบบ Single Grid Mission

1.6.3 การสำรวจภาคพื้นดินเกณฑ์งานขั้นที่ 3

1.6.4 การสำรวจโดยพิกัด UTM

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

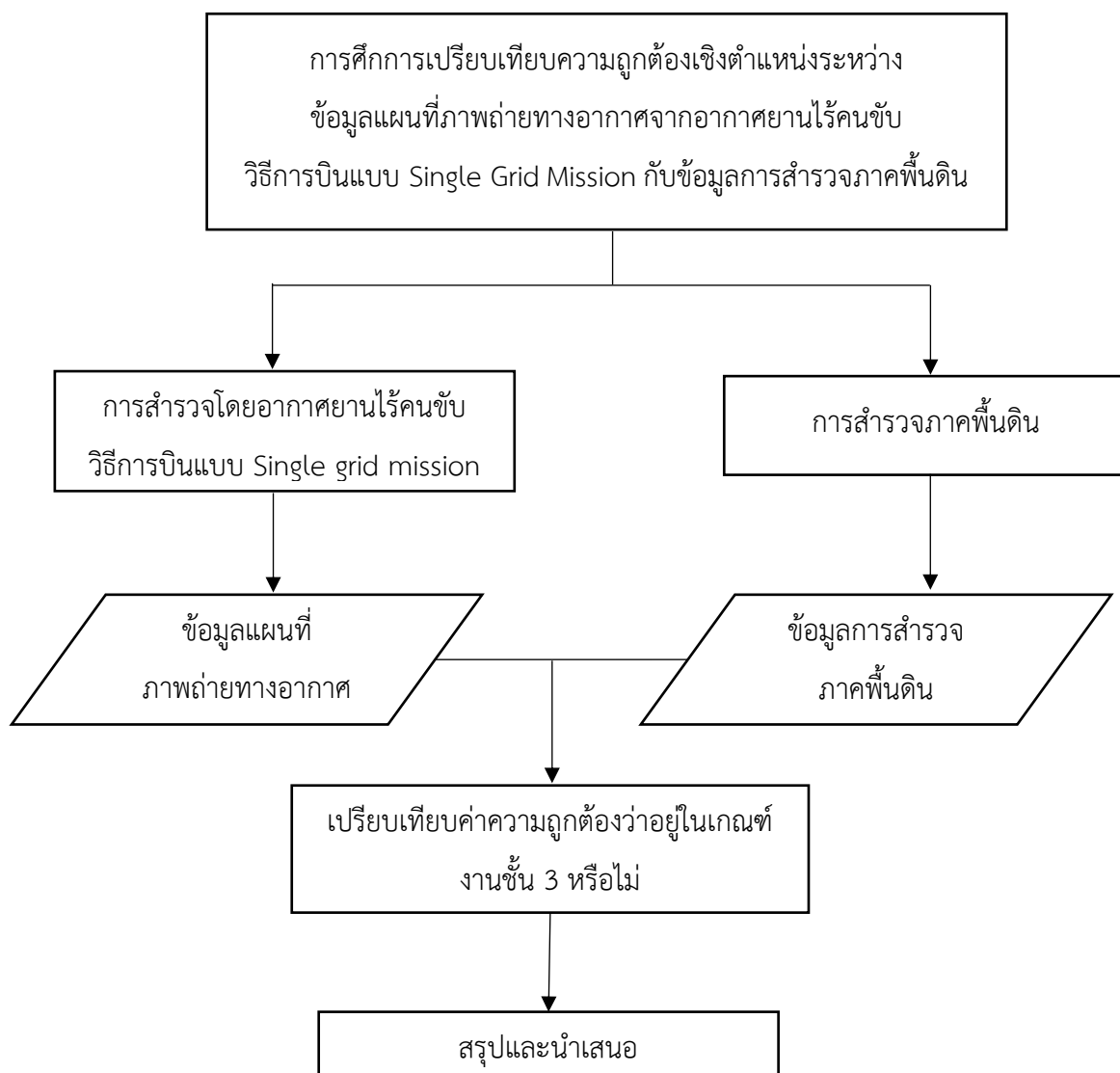
1.7.1 เพื่อได้มาซึ่งวิธีการสำรวจที่ถูกต้อง แม่นยำ ลดต้นทุน และลดระยะเวลาในการทำการสำรวจทางวิศวกรรม

1.7.2 เพื่อทราบถึงหลักการใช้อากาศยานไร้คนขับด้วยวิธีการบินแบบ Single Grid Mission

1.7.3 เพื่อให้เกิดทักษะในการใช้อากาศยานไร้คนขับ

1.8 กรอบความคิดในการวิจัย

กรอบความคิดในการวิจัย แสดงในภาพที่ 1.1 ดังต่อไปนี้



ภาพที่ 1.1 กรอบความคิดในการวิจัย

งบประมาณที่ใช้ในการวิจัย แสดงดัง ตารางที่ 1.1 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 1.1 ตารางงบประมาณที่ใช้ในการวิจัย

รายการ	จำนวน	หน่วย	ราคา/หน่วย (บาท)	จำนวนเงิน (บาท)
กระดาษ A4	1	ลัง	600	600
กระดาษกราฟ	1	เล่ม	100	100
อุปกรณ์เครื่องเขียน	4	ชุด	125	500
ค่าจัดทำรูปเล่ม	1	ครั้ง	1,000	1,000
			รวมทั้งสิ้น	2,200

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

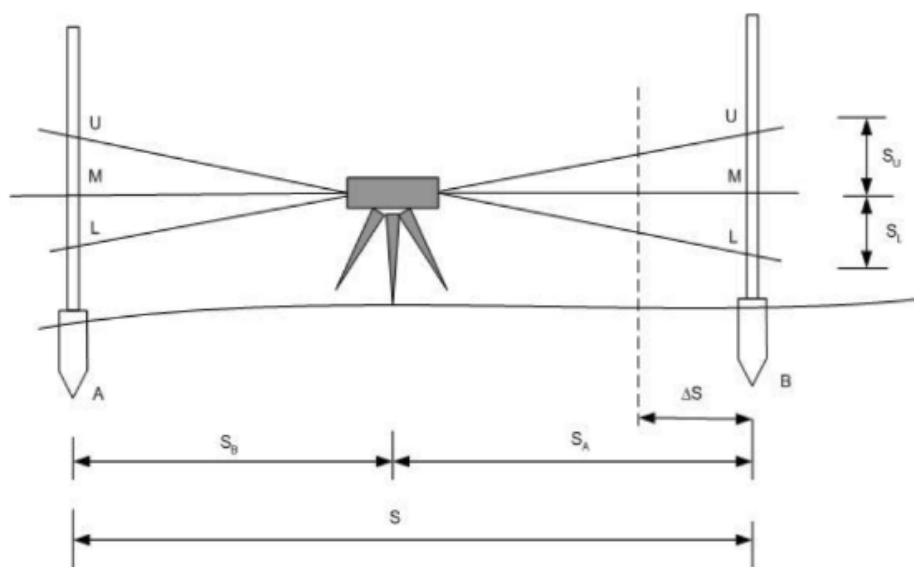
2.1.1 ทฤษฎีการสำรวจภาคพื้นดิน

เกณฑ์ชั้นงาน ความถูกต้องของการปฏิบัติงานสำรวจ ไม่ว่าจะเป็นงานวงรอบงานแผนที่ หรืองานระดับจะต้องอยู่ในเกณฑ์หรือมาตรฐานของชั้นงานที่กำหนดไว้สำหรับงานนั้น ในงานวิจัยครั้งนี้ได้กำหนดเกณฑ์ชั้นงานสำหรับการสำรวจประเภทต่างๆ ดังนี้

1) งานโยนค่าระดับโดยวิธีการระดับชั้นที่ 3

สายการระดับของงานมีความยาวไม่เกิน 40 กม. โดยแบ่งสายระดับออกเป็น ช่วง ช่วงละ 1-3 กม. กรณีที่หมุดหลักฐานออกและเข้าบรรจบงานห่างกันไม่เกิน 20 กม. จะทำระดับแบบเที่ยวเดียว แต่กรณีที่หมุดหลักฐานออกและเข้าบรรจบงานห่างกันเกิน 20 กม. จะทำระดับแบบไป – กลับ หรือกรณีไม่มีหมุดหลักฐานเข้าบรรจบงานให้ทำระดับแบบไป – กลับ โดยเดินระดับเที่ยวทำกลับ ผ่านหมุดหลักฐานทุกหมุดของเที่ยวทำไป ซึ่งหมุดออกและเข้าบรรจบงานต้องไม่เป็นหมุดเดียวกัน

การอ่านค่าระดับจะอ่านทั้ง 3 สายใยได้แก่ สายใยบน สายใยกลาง และสายใยล่างโดยผลบวกของสายใยบนและสายใยล่างเท่ากับ 2 เท่าของสายใยกลางและต้องคลาดเคลื่อนไม่เกิน 2 มม. ส่วนเรื่องของการตั้งกล้องและการวางไม้ระดับมีระยะห่างกันไกลสุดไม่เกิน 100 ม. ค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างเที่ยวทำไปกับเที่ยวทำกลับ และการเข้าบรรจบหมุดไม่เกิน ± 12 มม. $\sqrt{K}$ (K เป็นระยะทาง หน่วย กม.)



ภาพที่ 2.1 การอ่านค่าระดับ 3 สายใย

ที่มา : ธีระ ลาภิชชาญกุล (2550)

2) งานโยงค่าพิกัดด้วยวิธีงานวงรอบชั้นที่ 3

การวัดมุม ใช้กล้องวัดมุมที่มีความละเอียด 1' หรือดีกว่า กรณีที่ใช้กล้องวัดมุมอิเล็กทรอนิกส์ต้องมีความละเอียด 20" หรือดีกว่า จำนวนศูนย์ของการวัด 2 ศูนย์ความต่างของแต่ละศูนย์กับค่าปานกลางไม่เกิน 10" สถานีแรกและสถานีสุดท้ายของการวัดมุมต้องไม่重合เดียวกัน

การวัดระยะ ใช้เครื่องวัดระยะอิเล็กทรอนิกส์ หรือโซ่ลานเหล็ก (STEEL TAPE) ความละเอียดของการวัดระยะ 1/7500 หรือดีกว่า

การวัดอาซิมุท ต้องทำการรังวัดทุกๆ 30-40 มุม จำนวนศูนย์การวัดอยู่ที่ 8-12 ศูนย์ จำนวนการแก้มุมวงรอบเมื่อตรวจกับค่าอาซิมุทไม่เกิน มุมละ 5 ฟลิปดาหรือ 15 ฟลิปดา $\sqrt{N}$ (N เป็นจำนวนมุม) ส่วน Probable Error ของผลปานกลางไม่เกิน 5 ฟลิปดา และความคลาดเคลื่อนเมื่อปรับแก้มุมเรียบร้อยแล้วต้องไม่เกิน 1/5000

2.1.2 ทฤษฎีการสำรวจโดยใช้อากาศยานไร้คนขับ

กรมที่ดิน การวางแผนการบิน เป็นขั้นตอนที่กำหนดความละเอียดของภาพคุณภาพของภาพพอยต์คลาวด์ และความถูกต้องเชิงตำแหน่งโดยมีปัจจัยที่ต้องคำนึงถึงสำหรับการวางแผนการบิน ดังนี้

1) จุดควบคุมภาคพื้นดิน (Ground Control Points ,GCP) ลักษณะการทำ GCP นั้นมีอยู่ด้วยกัน 2 วิธี วิธีแรกใช้จุดที่น่าสนใจตามธรรมชาติ เช่น ขอบฟาท่อระบายน้ำ เครื่องหมายจราจรบนถนน ขอบถนน ทางแยกของถนน วิธีที่สองการทำเครื่องหมาย หรือใช้เป้า ไปวางก่อนบินสำรวจ โดยจำนวนจุด GCP ขั้นต่ำที่ใช้ในการปรับแก้ภาพถ่ายนั้นอยู่ที่ 3 จุด หรือใช้ GCP 5 จุด ต่อขนาดพื้นที่* 20 ไร่ หรือ 0.04 ตร.กม. (*ขนาดพื้นที่ที่โดรนสามารถบินสำรวจได้ ต่อแบตเตอรี่ 1 ก้อน) การเลือกตำแหน่ง GCP ที่เหมาะสม ต้องคำนึงถึงการกระจายตัวของจุด ให้ครอบคลุมทั่วทั้งพื้นที่เป็นหลัก และไม่ควรเลือกจุดที่ใกล้กับขอบแนวบิน หรือขอบของพื้นที่ที่ทำการสำรวจ ในกรณีที่พื้นที่ไม่สม่ำเสมอ มีความสูงต่ำที่ต่างกันมาก ควรวาง GCP ให้ทั่วทั้งพื้นที่ ทั้งบริเวณที่สูงและที่ต่ำ



ภาพที่ 2.2 จุดควบคุมภาคพื้นดิน

ที่มา : รัฐภูมิ ตั้งภูมิจิต และคณะฯ (2563)

2) จุดตรวจสอบ (Check Points ,CP) มีหลักการเดียวกันกับ GCP แต่มีข้อแตกต่างที่สำคัญอย่างหนึ่ง คือ GCP จะใช้เพื่อการปรับแก้โมเดล และปรับแก้ค่าพิกัดภาพหากจำเป็น ส่วน Checkpoints จะใช้เป็นจุดอ้างอิงเพิ่มเติมเพื่อใช้ในการตรวจสอบโมเดล



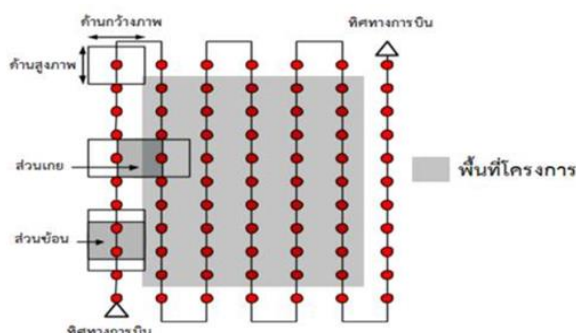
ภาพที่ 2.3 จุดตรวจสอบ

ที่มา : รัฐภูมิ ตั้งภูมิจิต และคณะฯ (2563)

3) ขนาด Ground Sample Distance (GSD) ระยะทางบนพื้นโลกระหว่างจุดศูนย์กลางของจุดภาพ (pixel) ที่อยู่ติดกัน หรือเรียกว่าความละเอียดเชิงพื้นที่ (Spatial Resolution) ของจุดภาพที่สามารถแยกแยะรายละเอียดที่เล็กที่สุด

4) ความสูงบิน (Flight Altitude) บินสูงไม่เกิน 90 เมตร นับจากพื้นดินและบินแนวราบกับบุคคล ยานพาหนะ สิ่งก่อสร้าง น้อยกว่า 30 เมตร

5) ส่วนซ้อนและส่วนเกยของภาพ (Overlap & Side lap) ส่วนซ้อนหรือพื้นที่ที่ทับกันอยู่ของภาพประชิดในแนวนอน ให้มีส่วนซ้อนกันไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 และส่วนเกยหรือพื้นที่ที่ทับกันอยู่ระหว่างแนวนอนที่ประชิดกัน ให้มีส่วนเกยกันไม่น้อยกว่าร้อยละ 80



ภาพที่ 2.4 ส่วนซ้อนและส่วนเกยของภาพ

ที่มา : รัฐภูมิ ตั้งภูมิจิต และคณะ (2563)

6) รูปแบบการบิน

การบินโดรนแบบกริด (Grid) เป็นการวางแผนการบินโดยสร้างกรอบ 4 เหลี่ยม เหมาะสำหรับพื้นที่ที่มีรูปร่างเป็น 4 เหลี่ยม สามารถปรับมุมกล้องได้ตั้งแต่ 90 องศา (ตั้งฉากกับพื้นโลก) ถึง 0 องศา (หันหน้ากล้องไปด้านหน้า) การประมวลผลจะออกมาเป็นรูปแบบ 2D คือ DSM และ Orthomosaic เหมาะกับพื้นที่งานที่มีขนาดใหญ่และพื้นที่ผิวที่ค่อนข้างราบ



ภาพที่ 2.5 การบินโดรนแบบกริด

ที่มา : กรมที่ดิน (ม.ป.ป.)

การบินโดรนแบบ Polygon สามารถตั้งค่าได้เหมือนแบบ Grid แต่มีความยืดหยุ่นของขอบเขตแผนการบินมากกว่า คือสามารถปรับรูปร่างของแผนการบินได้ตามต้องการ ในการประมวลผลออกมาเป็นรูปแบบ 2D คือ DSM และ Orthomosaic เหมาะกับพื้นที่งานที่มีขนาดใหญ่และพื้นที่ผิวที่ค่อนข้างราบเช่นเดียวกับรูปแบบ Grid



ภาพที่ 2.6 การบินโดรนแบบ Polygon

ที่มา : กรมที่ดิน (ม.ป.ป.)

การบินโดรนแบบ Circular คือ การวางแผนการบิน มีลักษณะเป็นวงกลมหรือวงรี เหมาะสำหรับการสร้างแบบจำลอง 3 มิติ โดยให้วัตถุที่สนใจอยู่กึ่งกลางเส้นทางบินการประมวลผลออกมาเป็นรูปแบบ 3D คือ point cloud และ mesh เหมาะกับพื้นที่ขนาดเล็ก



ภาพที่ 2.7 การบินโดรนแบบ Circular

ที่มา : กรมที่ดิน (ม.ป.ป.)

การบินโดรนแบบ Double Grid คือ การวางแผนการบินที่มีลักษณะการบินคล้ายแบบ Grid และ Polygon คือเป็นเป็นเส้นตรงเรียงตามแถว แต่ไม่สามารถปรับมุมกล้องได้ที่ 90 องศา มุมกล้องจะหันเข้าหาวัตถุบนพื้นเพื่อให้เห็นมากกว่าภาพมุมดิ่ง ช่วยในการสร้างแบบจำลอง 3 มิติเหมาะกับพื้นที่ขนาดเล็ก และขนาดกลางเนื่องด้วยเที่ยวบินที่เพิ่มเป็น 2 เท่า



ภาพที่ 2.8 การบินโดรนแบบ Double Grid

ที่มา : กรมที่ดิน (ม.ป.ป.)

ในส่วนของการวิจัยในครั้งนี้จะใช้รูปแบบการบินของอากาศยานไร้คนขับ แบบ Single Grid หรือ Grid เนื่องด้วยรูปแบบการบินประเภทนี้มีการทำงานที่ค่อนข้างสะดวก รวดเร็ว ประหยัดทั้งเวลา และค่าใช้จ่ายในการทำงาน

2.2.3. การตรวจค่าความถูกต้อง

การวิเคราะห์ผลจะวิเคราะห์ในรูปแบบของค่าความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่ง Root Mean Square Error (RMSE) เพื่อประเมินค่าความละเอียดที่ถูกต้องเชิงตำแหน่งของค่าพิกัดโดยมีสมการในการวิเคราะห์ดังนี้

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

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

$$RMSE_z = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (z_{(oi)} - z_{(survey)})^2} \quad (3)$$

$$RMSE_r = \sqrt{RMSE_x^2 + RMSE_y^2} \quad (4)$$

$$RMSE_T = \sqrt{RMSE_r^2 + RMSE_z^2} \quad (5)$$

โดยที่

- n คือจำนวนจุด GCP หรือ CP ที่ใช้ในการทำวิจัยนี้ทั้งหมด
- $x_{(oi)}$ $y_{(oi)}$ $z_{(oi)}$ คือ ค่าพิกัด x , y และ z ตามลำดับที่ได้จากการประมวลผลด้วยภาพ
- $x_{(survey)}$ $y_{(survey)}$ $z_{(survey)}$ คือ ค่าพิกัด x , y และ z ตามลำดับที่ได้จากการสำรวจภาคพื้นดิน

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

B. Umashankar, and R. Satish (n.d.) วิทยานิพนธ์นี้ เป็นการศึกษา การจัดหาและดำเนินงานด้านความปลอดภัยเพื่อบรรเทาอันตรายสำหรับถนนที่ติดกับอุทยานความหลากหลายทางชีวภาพที่ TSIC ไคเบอร์บัด รัฐเตลังคานา ประเทศอินเดีย โดยจะเป็นรายงานการใช้อากาศยานไร้คนขับในการสำรวจ เพื่อการวิเคราะห์ทางธรณีวิทยา แล้วนำข้อมูลที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับไปวิเคราะห์ลักษณะทางธรณีวิทยา เสถียรภาพของทางลาด เพื่อให้คำแนะนำในการทำโครงการและประมาณรายละเอียดย่างๆ โดยข้อมูลที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับจะถูกนำไปทำ Digital Elevation Model (DEM) และลักษณะของพื้นผิว จากนั้นทำ Idealized DEMs ให้เป็น

ข้อมูลที่พร้อมนำไปใช้คำนวณและวิเคราะห์ต่อไป จากผลการสำรวจทางธรณีวิทยาและวิเคราะห์ข้อมูลจาก Idealized DEMs ได้ว่า ลักษณะของหินส่วนใหญ่เป็นหินแกรนิต เรียงตัวแนวราบในทิศทางเหนือ-ใต้ มีรอยต่อปรากฏให้เห็น มีหินกระจายใกล้ๆ เขาบริเวณทางลาด มวลดินบางส่วนถูกสไลด์ลงมาจากเขา รอยแตกกว้างประมาณ 5 - 10 cm มีการรื้อซึมในรอยแตก สามารถมองเห็นได้บริเวณหน้าผา และมีการสร้างแบบจำลองเสถียรภาพของทางลาดเพื่อวิเคราะห์คุณสมบัติทางธรณีวิทยาด้านวิศวกรรมและวิทยาศาสตร์เพื่อหาบริเวณหน้าตัดถนนที่วิกฤติ

Fitzpatrick (2016) Unmanned Aerial Systems for Surveying and Mapping: Cost Comparison of UAS versus Traditional Methods of Data Acquisition การศึกษานี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการใช้ UAS ในการทำแผนที่ภูมิประเทศและทำการสำรวจเชิงปริมาณ โดยเป็นการศึกษาเปรียบเทียบการสำรวจโดยใช้ UAS กับการสำรวจภาคพื้นดินด้วยวิธี LIDAR ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบโดยใช้ข้อมูลด้านการประมวลผลและคำนวณเชิงปริมาณ ระยะเวลา และความแม่นยำประกอบการพิจารณา ผลที่ได้จากการศึกษาพบว่า การสำรวจโดยใช้ UAS นั้นจะใช้เวลาและงบประมาณในการสำรวจน้อยกว่า อีกทั้งยังมีการประมวลผลที่มีประสิทธิภาพมากกว่าหากทำการสำรวจในพื้นที่โล่ง แต่อย่างไรก็ตามหากเป็นพื้นที่ที่ไม่เปิดโล่งค่าความแม่นยำที่ได้จากการสำรวจโดยใช้ UAS ก็ยังมีค่าต่ำกว่าการสำรวจภาคพื้นดินด้วยวิธี LIDAR

Smeaton (2015) Surveying Applications of Photogrammetric UAVs a comparison with conventional Survey techniques วิทยานิพนธ์นี้เป็นการเปรียบเทียบระหว่างวิธีการใช้อากาศยานไร้คนขับหรือ UAVs ในการรังวัดด้วยภาพถ่าย กับวิธีการสำรวจแบบทั่วไปโดยสิ่งที่นำมาเปรียบเทียบกันคือ ความถูกต้อง ความแม่นยำ ข้อจำกัด และต้นทุนการดำเนินงานโดยรวมของทั้ง 2 วิธีการสำรวจ ซึ่งผลที่ได้ในเรื่องความถูกต้องและแม่นยำของการใช้อากาศยานไร้คนขับเทียบกับข้อมูลที่ทราบค่าปรากฏว่า มีความถูกต้องและแม่นยำสูงโดยมีความคลาดเคลื่อนในแนวตั้งที่ ± 52 มม. และความคลาดเคลื่อนในแนวราบที่ ± 19 มม. ด้านข้อจำกัดของการใช้อากาศยานไร้คนขับจะเป็นเรื่องของสภาพพื้นดินที่มีต้นหญ้าปกคลุมพื้นผิว อาคารสิ่งก่อสร้าง แหล่งน้ำและสัตว์ตฤซึ่งเป็นข้อจำกัดของ UAVs ส่วนการจัดสรรต้นทุนการใช้อากาศยานไร้คนขับมีการใช้ต้นทุนที่น้อยกว่าการสำรวจแบบทั่วไป

ธีระ, อภิสิทธิ์, และคมศิลป์ (2563) การประยุกต์ใช้อากาศยานไร้คนขับราคาถูกในการทำแผนที่ความละเอียดสูง กรณีศึกษาการทำแผนที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี พื้นที่การศึกษาราชบุรี ด้วยเทคนิคการสำรวจด้วยภาพถ่ายทางอากาศจากอากาศยานไร้คนขับชนิด

ราคาถูก เพื่อสร้างภาพออร์โธแบบจำลองระดับพื้นผิววัตถุ แบบจำลองระดับพื้นดินและประเมินหาค่าความถูกต้องของแผนที่และแบบจำลอง ได้ผลว่าเทคนิคการสำรวจด้วยภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับชนิดราคาถูกเป็นเทคโนโลยีที่มีความก้าวหน้า และสามารถเข้ามาเปลี่ยนรูปแบบการทำแผนที่แบบเดิม อีกทั้งยังประหยัดทั้งค่าใช้จ่าย เวลา และแรงงานในการทำงานในสนามได้มาก

ธีรชัย (2544) การประยุกต์ใช้ภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขและงานรังวัดด้วยดาวเทียมเพื่อการสำรวจและออกแบบทางหลวง : กรณีศึกษาทางเลี้ยวเมืองแม่ฮ่องสอน วัตถุประสงค์หลักเพื่อทำการศึกษานวทางการใช้วิธีการสำรวจด้วยภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข โดยผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลภาพถ่ายเชิงเลขคือ แบบจำลองระดับสูงและภาพถ่ายตัดแก้ออร์โธ ซึ่งสามารถใช้เป็นข้อมูลประกอบการออกแบบแนวทางการจัดกรรมสิทธิ์ที่ดินในเขตทาง หรือใช้ประกอบกับแบบแนวทางราบ ทั้งนี้สิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการใช้วิธีการดังกล่าวคือ ความถูกต้องของจุดพิกัดใน 3 มิติ ระยะเวลาในการทำงาน และขนาดพื้นที่ในการจัดเก็บข้อมูลดิจิทัล

ธีรพล (2561) การประยุกต์ใช้ภาพถ่ายทางอากาศและกลุ่มจุดสามมิติในการวางแผนวิธีก่อสร้าง:กรณีศึกษา โครงการก่อสร้างทางยกระดับ เนื่องจากโครงสร้างพื้นฐานถนนและทางยกระดับมีลักษณะพื้นที่ก่อสร้างขนาดใหญ่และมีระยะทางมาก การวางแผนการทำงานจึงมีความจำเป็นต้องอ้างอิงข้อมูลที่เป็นปัจจุบันและมีความละเอียดสูง เพื่อลดความเสี่ยงที่อาจเกิดความคลาดเคลื่อนในการทำงานได้ งานวิจัยนี้ได้เสนอแนวคิดการประยุกต์ใช้ต้นแบบเสมือนช่วยวางแผนวิธีทำงานก่อสร้าง โดยอ้างอิงข้อมูลสภาพพื้นที่จากแบบจำลองกลุ่มจุดสามมิติ ที่ได้จากการประมวลผลภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ ซึ่งช่วยให้สามารถวิเคราะห์และสร้างแบบจำลองพื้นที่ขนาดใหญ่ได้อย่างรวดเร็ว และต่อมาได้มีการพิสูจน์กรอบแนวคิดการประยุกต์ใช้แบบจำลองดังกล่าวในการวางแผนวิธีทำงานก่อสร้างด้วยการสร้างต้นแบบเสมือนแสดงวิธีทำงาน 3 กิจกรรมก่อสร้างในโครงการกรณีศึกษา โดยผลลัพธ์ที่ได้จากการประยุกต์ใช้กรอบแนวคิดดังกล่าวคือ ต้นแบบเสมือนวิธีการจัดการพื้นที่กองเก็บวัสดุ ต้นแบบเสมือนการทำงานของเครื่องจักร และต้นแบบเสมือนขั้นตอนการขนส่งวัสดุเข้าพื้นที่ก่อสร้าง

วรพจน์ (2561) แบบจำลองพื้นผิวภูมิประเทศเชิงตัวเลขจากอากาศยานไร้คนขับเพื่อช่วยติดตามงานดินขุดและถมในโครงการก่อสร้างโครงสร้างพื้นฐาน กระบวนการสำคัญของงานก่อสร้างพื้นฐานคือ การปรับสภาพภูมิประเทศให้เป็นไปตามที่ออกแบบไว้ แต่โดยปกตินั้นจะไม่สามารถติดตามและตรวจสอบการทำงานได้ จึงส่งผลให้เกิดการทำงานซ้ำซ้อนและสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายโดยไม่จำเป็น ซึ่งมีสาเหตุหลักมาจากการขาดระบบติดตามตรวจสอบที่เหมาะสมและ

สามารถสะท้อนภาพพื้นที่จริงได้อย่างครบถ้วน งานวิจัยนี้จึงได้นำเอาอากาศยานไร้คนขับมาประยุกต์ใช้ในการสร้างแบบจำลองพื้นผิวภูมิประเทศเชิงตัวเลขความละเอียดสูงของพื้นที่โครงการ ซึ่งมีวิธีการดำเนินงานที่ง่าย ใช้เวลาและค่าใช้จ่ายน้อย และงานวิจัยนี้ได้นำเสนอแนวคิดการพัฒนาแบบติดตามการทำงานซ้ำซ้อนของงานดินขุดและถมระหว่างกระบวนการก่อสร้างในโครงการก่อสร้างโครงสร้างพื้นฐาน ประกอบด้วย 1) ระบบสำหรับเก็บข้อมูลภาคสนาม 2) ระบบสำหรับประมวลผลภาพถ่าย 3) ระบบสำหรับใช้วิเคราะห์ข้อมูลการทำงานซ้ำซ้อน ผลการทดสอบระบบในการศึกษาพบว่า สามารถตรวจวิเคราะห์การทำงานซ้ำซ้อนได้ทั้งในส่วนกิจกรรมงานขุดดินและกิจกรรมงานถมดินที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาที่ทำการศึกษา ซึ่งปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความถูกต้องแม่นยำเชิงปริมาณในพื้นที่ทดสอบขึ้นอยู่กับระบบสำหรับเก็บข้อมูลภาคสนาม

ศูนย์ข้อมูลแผนที่รูปแปลงที่ดิน กรมที่ดิน (ม.ป.ป.) การดำเนินการโดยการถ่ายทอดแนวเขตที่ดินแปลงสุดท้ายที่ติดกับทางสาธารณประโยชน์ในการกำหนดแนวเขตโดยพิจารณาจากภาพถ่ายทางอากาศที่จัดทำโดยกรมแผนที่ทหาร หากสภาพพื้นที่มีการเปลี่ยนแปลง จำเป็นต้องบินถ่ายภาพใหม่เพื่อให้ข้อมูลเป็นปัจจุบัน ต้องใช้ระยะเวลาในการดำเนินการนานและเสียค่าใช้จ่ายในการบินจำนวนมาก กรมที่ดินจึงมีความจำเป็นต้องใช้อากาศยานไร้คนขับ (UAV) มาดำเนินการถ่ายภาพในพื้นที่ขนาดเล็ก เพื่อให้ได้ภาพถ่ายที่เป็นปัจจุบัน สำหรับใช้ในการบริหารจัดการการบุกรุกทางสาธารณประโยชน์ต่อไป

สุธิตา อ่อนนิ่ม (2561) การศึกษาเทคนิคการสกัดค่าความสูงของอาคารโดยข้อมูลอากาศยานไร้คนขับในเขตพื้นที่เมือง วิทยานิพนธ์นี้เป็นการนำข้อมูลจากอากาศยานไร้คนขับมาใช้ในเรื่องของการสกัดค่าความสูงของอาคารและการสร้าง 3D Model โดยนำมาเปรียบเทียบระหว่างโปรแกรม Agisoft Photoscan กับ โปรแกรม Pix4Dmapper เพื่อประเมินประสิทธิภาพและการประมวลผลของโปรแกรมให้ได้ว่าซึ่งค่าความสูงที่อยู่ในรูปของ DEM และ DSM ซึ่งผลที่ได้ของทั้ง 2 โปรแกรมนำมาวิเคราะห์กับค่าความสูงที่ได้จากเครื่องมือวัดความสูงในพื้นที่ศึกษามหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลกได้ผลว่าโปรแกรม Pix4Dmapper ได้ค่าความสูงใกล้เคียงกับเครื่องมือวัดความสูงมากกว่าโปรแกรม Agisoft Photoscan

สำนักงานเจ้าท่าภูมิภาคที่ 1. (ม.ป.ป.) การบินสำรวจสภาพลำน้ำด้วยอากาศยานไร้คนขับ และสร้างแผนที่จากภาพถ่ายทางอากาศ บทความนี้จะกล่าวถึงการเตรียมพร้อมก่อนการทำการบิน การวางแผน การบินภาพถ่าย การประมวลผลสำหรับการนำอากาศยานไร้คนขับมาบินสำรวจสภาพลำน้ำเพื่อที่จะสร้างแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศ และการนำข้อมูลไปใช้ในโปรแกรมอื่นๆ เช่น

Teramodel Autocad และ Qgis เป็นต้น รวมไปถึงข้อดีและข้อเสียของการใช้อากาศยานไร้คนขับในการสำรวจ

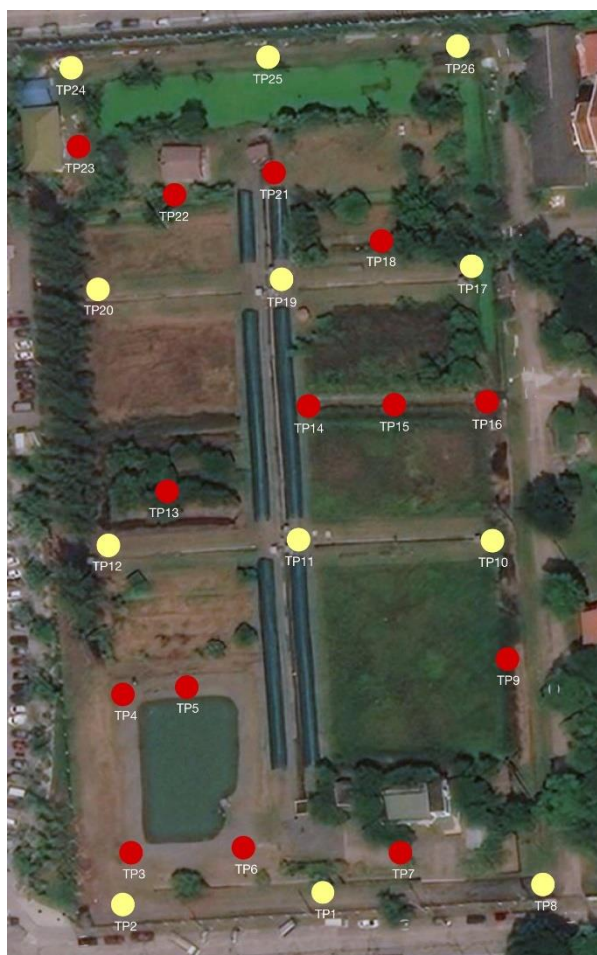
บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 กำหนดหมุดสำรวจและจุดควบคุมภาพถ่ายในพื้นที่ที่ทำการศึกษา

3.1.1 การกำหนดหมุดสำรวจ กำหนดตำแหน่งของหมุดสำรวจให้ครอบคลุมพื้นที่ที่ทำการศึกษา สามารถทำการสำรวจภาคพื้นดินได้ เพื่อหาค่าระดับและค่าพิกัดของพื้นที่ศึกษา

3.2.1 กำหนดจุดควบคุมภาพถ่ายทางอากาศ ควรกำหนดจุดควบคุมภาพถ่ายทางอากาศให้สามารถเห็นได้ชัดเจน ครอบคลุมพื้นที่การศึกษา



ภาพที่ 3.1 จุดควบคุมภาพถ่ายทางอากาศ

3.2 การเดินระดับ

3.1.1 วางไม้ staff 2 ไม้ ไว้บนหมุดหลักฐาน ผู้ที่ถือไม้ staff อาจใช้ฟองลมเป็นเครื่องมือเสริมเพื่อที่สามารถวางไม้ staff ได้ตรงยิ่งขึ้น จากนั้นติดตั้งกล้องระดับไว้ระหว่างไม้ staff ทั้ง 2 โดยเลือกที่ติดตั้งให้สามารถมองเห็นไม้ staff ได้ง่ายและชัดเจน

3.2.1 ติดตั้งกล้องระดับโดยวางไว้บนขาตั้งกล้อง ปรับขาตั้งกล้องให้ฟองลมของกล้องระดับอยู่บริเวณตรงกลางวงกลม จากนั้นค่อยๆปรับควงทั้ง 3 ของกล้องให้ฟองลมใกล้เคียงกึ่งกลางมากที่สุด

3.3.1 ทำการส่องกล้องไปยังไม้ staff เพื่อหาค่าระดับ การอ่านค่าระดับต้องอ่านสายใยกลาง สายใยล่าง และสายใยบน เพื่อตรวจสอบและลดความผิดพลาดที่จะเกิดขึ้น โดยวัดไม้ staff หน้า-หลังสลับกันไป ระยะห่างระหว่างไม้หน้ากับไม้หลังไม่ควรต่างกันเกิน 10 เมตร

3.4.1 เมื่อวัดค่าระดับเสร็จแล้ว จะทำการวัดระดับที่หมุดถัดไปโดยไม้ staff ที่เป็นไม้หลังจะไปวางไว้ที่หมุดถัดไปกลายเป็นไม้หน้า ส่วนไม้หน้าของการวัดระดับก่อนหน้านี้จะกลายเป็นไม้หลังโดยวางไว้ที่หมุดเดิม

3.5.1 ค่าความแตกต่างของสายใยบนบวกสายใยล่างคูณสองต้องไม่เกิน 2 มิลลิเมตร เพื่อลดความคลาดเคลื่อนให้ผ่านเกณฑ์งานระดับชั้นที่ 3 ที่กำหนดให้ค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน $\pm 12\sqrt{k}$ จากนั้นนำค่าระดับสายใยบนลบสายใยล่างแล้วคูณ 100 จะได้ค่าระยะทางจากกล้องระดับถึงไม้ staff

3.3 การเดินวงรอบ

3.1.1 เดินวงรอบด้วยวิธีการวงรอบแบบปิดโดยเริ่มต้นจากหมุดคู่ที่ทราบค่าไปยังหมุดที่ไม่ทราบค่าแล้วกลับมาบรรจบหมุดคู่ที่ทราบค่าหมุดเดิม ใช้วิธีการเดินวงรอบแบบเปิดกล้อง 2 หน้า

3.2.1 ติดตั้ง Reflect บนหมุดอ้างอิงทั้งหน้าและหลังกล้อง ติดตั้งกล้องไว้ระหว่าง Reflect ทั้งสองบนหมุดอ้างอิง

3.3.1 ปรับกล้องวัดมุมและ Reflect ด้วยวิธีการเดียวกันกับกล้องระดับ คือ ให้ตัวกล้องหรือ Reflect อยู่ตรงกับหมุด แล้วปรับกล้องให้อยู่ระนาบเดียวกับพื้นโดยดูฟองลม

3.4.1 ทำการส่องกล้องไปยัง Reflect โดยเริ่มจากให้หน้ากล้องอยู่ซ้ายมือ ส่องไปยัง Reflect ที่หมุดอ้างอิงหลังกล้อง เรียกว่า LB ปรับกล้องให้เส้นแนวกล้องอยู่กลาง Reflect เช็ทค่ามุมแนวราบเป็น $0^{\circ}00'00''$ จากนั้นหาระยะทางแนวราบ

3.5.1 หันกล้องไปยัง Reflect ที่หมุดอ้างอิงด้านหน้ากล้อง เรียกว่า LF จากนั้นหาหมุดแนวราบและระยะทางแนวราบ

3.6.1 กลับกล้องแล้วหันไปยังหมุดอ้างอิงด้านหน้ากล้อง เรียกว่า RF จากนั้นหาหมุดแนวราบและระยะทางแนวราบ

3.7.1 หันกล้องกลับไปยังหมุดอ้างอิงหลังกล้อง เรียกว่า RB จากนั้นหาหมุดแนวราบและระยะทางแนวราบ

3.8.1 ทำการเฉลี่ยมุมราบที่วัดได้โดยมุมที่วัดจากกล้องหน้าซ้ายกับกล้องหน้าขวา ต่างกันไม่เกิน 6°

3.4 การสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับด้วยวิธีการบินแบบ Single Grid Mission

การบินโดรนแบบกริด (Grid) เป็นการวางแผนการบินโดยสร้างกรอบ 4 เหลี่ยม เหมาะสำหรับพื้นที่ที่มีรูปร่างเป็น 4 เหลี่ยม เหมาะสำหรับการทำแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศ ใช้ความสูงในการบินสำรวจที่ระดับ +50 เมตรเหนือพื้นดิน โดยกำหนดให้มีส่วนซ้อนของภาพหรือพื้นที่ทับกันของภาพประชิดในแนวนอนร้อยละ 80 และส่วนเกยหรือพื้นที่ที่ทับกันอยู่ระหว่างแนวนอนที่ชิดกันร้อยละ 80 จุดควบคุมภาพถ่ายทั้งหมด 12 จุด กระจายครอบคลุมสามารถมองเห็นได้เด่นชัดอยู่ในพื้นที่สำรวจทั้งหมด

3.5 การบินสำรวจจะบินโดยใช้แอปพลิเคชัน Pix4D ในโทรศัพท์มือถือ

มีขั้นตอนดังนี้

3.1.1 กำหนดรูปแบบการบินเป็นแบบ Single Grid Mission

3.2.1 กำหนดพื้นที่ทำการบินที่สถานีการทดลองการใช้น้ำด้วยเทคโนโลยีสมัยใหม่

3.3.1 กำหนดระดับการบินโดรน 50 เมตร ส่วนซ้อนของภาพร้อยละ 80 ส่วนเกยของภาพร้อยละ 80

3.4.1 ตรวจสอบเวลาการบินของโดรน และสำรองเวลาในการบินไปกลับมายังจุดปล่อยโดรน

3.5.1 บันทึกแผนการบินแล้วอัปโหลดลงโดรนที่จุดปล่อยโดรนเพื่อให้โดรนบินตามแผนที่บันทึกไว้

3.6 การประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศด้วยโปรแกรม

การประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศจะใช้โปรแกรม Agisoft Metashape Photoscan

มีขั้นตอนดังนี้

- 3.1.1 นำเข้าข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศจากอากาศยานไร้คนขับด้วยวิธีการบินแบบ Single Grid Mission
- 3.2.1 จับคู่จุดที่เหมือนกันในแต่ละภาพด้วยคำสั่ง Align Photo
- 3.3.1 จำลองจุดความสูงเพื่อสร้างข้อมูล 3 มิติ
- 3.4.1 ทำโครงข่าย 3 มิติโดยการลากจุดข้อมูลต่อกันเป็นรูปสามเหลี่ยม
- 3.5.1 ทำการ Build DEM เพื่อให้ภาพมีข้อมูลความสูง
- 3.6.1 ทำการ Build Orthomosaic เป็นการนำข้อมูล DEM มาปรับแก้ค่าความสูงให้มีความถูกต้อง

3.7 การเปรียบเทียบการสำรวจระหว่างการสำรวจภาคพื้นดินกับอากาศยานไร้คนขับด้วยวิธีการบินแบบ Single Grid Mission

การเปรียบเทียบข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศกับการสำรวจภาคพื้นดินจะทำการเปรียบเทียบด้วยวิธี RMSE จะทำการเปรียบเทียบโดยยึดค่าการสำรวจภาคพื้นดินที่สำรวจได้เป็นค่าที่เชื่อถือทำการเปรียบเทียบค่า $RMSE_x$, $RMSE_y$, $RMSE_z$, $RMSE_R$ และค่า $RMSE_T$ มีความคลาดเคลื่อนเท่าใด ทำการเปรียบเทียบกับมาตรฐาน ASPRS 2014 อยู่ในเกณฑ์งานระดับใด 1) Highest accuracy work ,2) Standard Mapping and GIS work ,3) Visualization and less accurate work

บทที่ 4

ผลและการวิจารณ์

4.1 ผลการเดินระดับ

ระดับชั้นที่ 3		สาย โยจวาระระดับ		จากหมุด ช.ป.001 ถึงหมุด ช.ป.001		ผู้ดำเนินการสำรวจ : นายปิยพันธ์ คงทอง					
วันที่ 14 ธ.ค. 2564			เวลา 9.00 น.		อากาศ ร้อน						
ออก	หลัง			หน้า			ความต่างระดับHI		แก้	ค่าระดับ	
จาก	ระยะ	สถานี	สายโยกลาง	สายโยกลาง	สถานี	ระยะ	บวก(+)	ลบ(-)			
ชป 001	19.80	1.310	1.211							2.007	
		1.112									
		2.422	2.422								
A1	19.50	1.492	1.395	1.456	1.555	19.80		-0.245		1.762	
		1.297			1.357						
		2.789	2.790	2.912	2.912						
A2	20.30	1.519	1.417	1.464	1.565	20.20		-0.069		1.693	
		1.316			1.363						
		2.835	2.834	2.928	2.928						
A3	16.20	1.569	1.488	1.443	1.543	19.90		-0.026		1.667	
		1.407			1.344						
		2.976	2.976	2.886	2.887						
A4	20.00	1.499	1.399	1.481	1.564	16.60	0.007			1.674	
		1.299			1.398						
		2.798	2.798	2.962	2.962						
A5	20.00	1.495	1.395	1.480	1.580	20.00		-0.081		1.593	
		1.295			1.380						
		2.790	2.790	2.960	2.960						
A6	20.00	1.577	1.477	1.411	1.510	19.80		-0.016		1.577	
		1.377			1.312						
		2.954	2.954	2.822	2.822						
A7	19.50	1.516	1.418	1.442	1.541	19.80	0.035			1.612	
		1.321			1.343						
		2.837	2.836	2.884	2.884						

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงผลการรังวัดระดับ (1)

ระดับชั้นที่ 3		สาย โขงระการระดับ		จากหมวด ช.ป.001 ถึงหมวด ช.ป.001			ผู้ดำเนินการสำรวจ : นายปิยพันธ์ คงทอง			
วันที่ 14 ธ.ค. 2564			เวลา 9.00 น.		อากาศ ร้อน					
ออก	หลัง			หน้า			ความต่างระดับHI		แก้	ค่าระดับ
จาก	ระยะ	สถานี	สายโยกลาง	สายโยกลาง	สถานี	ระยะ	บวก(+)	ลบ(-)		
A8	22.00	1.458	1.348	1.049	1.151	20.30	0.369			1.981
		1.238			0.948					
		2.696	2.696	2.098	2.099					
TP1	22.90	1.611	1.497	1.492	1.600	21.60		-0.144		1.837
		1.382			1.384					
		2.993	2.994	2.984	2.984					
TP2	6.50	2.187	2.154	1.568	1.678	22.10		-0.071		1.766
		2.122			1.457					
		4.309	4.308	3.136	3.135					
TP3	19.00	1.714	1.619	0.257	0.283	5.00	1.897			3.663
		1.524			0.233					
		3.238	3.238	0.514	0.516					
TP4	7.80	1.563	1.524	1.512	1.607	19.00	0.107			3.770
		1.485			1.417					
		3.048	3.048	3.024	3.024					
TP5	21.30	1.569	1.462	1.469	1.507	7.50	0.055			3.825
		1.356			1.432					
		2.925	2.924	2.938	2.939					
TP6	16.10	0.216	0.135	1.639	1.746	21.30		-0.177		3.648
		0.055			1.533					
		0.271	0.270	3.278	3.279					
TP7	16.10	1.368	1.287	1.717	1.800	16.50		-1.582		2.066
		1.207			1.635					
		2.575	2.574	3.434	3.435					

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงผลการรังวัดระดับ (2)

ระดับชั้นที่ 3		สาย โยจราคาระดับ		จากหมวด ช.ป.001 ถึงหมวด ช.ป.001			ผู้ดำเนินการสำรวจ : นายปิยพนธ์ คงทอง			
วันที่ 14 ธ.ค. 2564		เวลา 9.00 น.		อากาศ ร้อน						
ออก	หลัง			หน้า			ความต่างระดับHI		แก้ไข	ค่าระดับ
จาก	ระยะ	สถานี	สายโยงกลาง	สายโยงกลาง	สถานี	ระยะ	บวก(+)	ลบ(-)		
TP8	22.70	1.138	1.024	1.625	1.709	16.70		-0.338		1.728
		0.911			1.542					
		2.049	2.048	3.250	3.251					
TP9	13.80	1.635	1.566	1.536	1.667	26.20		-0.512		1.216
		1.497			1.405					
		3.132	3.132	3.072	3.072					
TP10	21.20	1.444	1.338	0.973	1.038	13.10	0.593			1.809
		1.232			0.907					
		2.676	2.676	1.946	1.945					
TP11	20.70	1.500	1.397	1.045	1.156	22.10	0.293			2.102
		1.293			0.935					
		2.793	2.794	2.090	2.091					
TP12	12.40	1.380	1.318	1.563	1.671	21.50		-0.166		1.936
		1.256			1.456					
		2.636	2.636	3.126	3.127					
TP13	20.00	1.875	1.775	1.534	1.596	12.40		-0.216		1.720
		1.675			1.472					
		3.550	3.550	3.068	3.068					
TP14	9.80	1.529	1.480	1.687	1.790	20.50	0.088			1.808
		1.431			1.585					
		2.960	2.960	3.374	3.375					
TP15	8.20	1.396	1.355	1.498	1.557	11.80		-0.018		1.790
		1.314			1.439					
		2.710	2.710	2.996	2.996					

ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงผลการรังวัดระดับ (3)

ระดับชั้นที่ 3		สาย โยงราคาระดับ		จากหมวด ช.ป.001 ถึงหมวด ช.ป.001		ผู้ดำเนินการสำรวจ : นายปิยพงษ์ คงทอง				
วันที่ 14 ธ.ค. 2564			เวลา 9.00 น.		อากาศ ร้อน					
ออก	หลัง			หน้า			ความต่างระดับHI		แก้ไข	ค่าระดับ
จาก	ระยะ	สถานี	สายโยกกลาง	สายโยกกลาง	สถานี	ระยะ	บวก(+)	ลบ(-)		
TP16	17.20	1.587	1.501	1.413	1.446	6.70		-0.058		1.732
		1.415			1.379					
		3.002	3.002	2.826	2.825					
TP17	11.00	0.937	0.882	1.353	1.419	13.20	0.148			1.880
		0.827			1.287					
		1.764	1.764	2.706	2.706					
TP18	12.60	1.648	1.585	1.287	1.330	8.60		-0.405		1.475
		1.522			1.244					
		3.170	3.170	2.574	2.574					
TP19	23.70	1.539	1.420	1.029	1.087	11.50	0.556			2.031
		1.302			0.972					
		2.841	2.840	2.058	2.059					
TP20	32.30	1.600	1.438	1.474	1.575	20.20		-0.054		1.977
		1.277			1.373					
		2.877	2.876	2.948	2.948					
TP21	12.50	1.083	1.020	1.458	1.623	32.90		-0.020		1.957
		0.958			1.294					
		2.041	2.040	2.916	2.917					
TP22	11.00	1.633	1.578	1.570	1.630	12.00		-0.550		1.407
		1.523			1.510					
		3.156	3.156	3.140	3.140					
TP23	8.70	1.557	1.514	1.106	1.178	14.40	0.472			1.879
		1.470			1.034					
		3.027	3.028	2.212	2.212					

ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงผลการรังวัดระดับ (4)

ระดับชั้นที่ 3		สาย โยงราคาระดับ		จากหมวด ข.ป.001 ถึงหมวด ข.ป.001			ผู้ดำเนินการสำรวจ : นายปิยพงษ์ คงทอง			
วันที่ 14 ธ.ค. 2564		เวลา 9.00 น.		อากาศ ร้อน						
ออก	หลัง			หน้า			ความต่างระดับHI		แก้ไข	ค่าระดับ
จาก	ระยะ	สถานี	สายโยกกลาง	สายโยกกลาง	สถานี	ระยะ	บวก(+)	ลบ(-)		
TP24	22.60	1.570	1.457	1.496	1.554	11.70	0.018			1.897
		1.344			1.437					
		2.914	2.914	2.992	2.991					
TP25	24.10	1.630	1.509	1.542	1.654	22.50		-0.085		1.812
		1.389			1.429					
		3.019	3.018	3.084	3.083					
TP26	22.40	1.413	1.301	1.347	1.468	24.30	0.162			1.974
		1.189			1.225					
		2.602	2.602	2.694	2.693					
A9	20.00	1.497	1.397	1.493	1.601	21.60		-0.192		1.782
		1.297			1.385					
		2.794	2.794	2.986	2.986					
A10	20.10	1.542	1.441	1.529	1.627	19.60		-0.132		1.650
		1.341			1.431					
		2.883	2.882	3.058	3.058					
A11	19.90	1.533	1.433	1.378	1.477	19.80	0.063			1.713
		1.334			1.279					
		2.867	2.866	2.756	2.756					
A12	17.80	1.483	1.394	1.382	1.482	20.00	0.051			1.764
		1.305			1.282					
		2.788	2.788	2.764	2.764					
A13	0.00	0.000	0.000	1.144	1.235	18.20	0.250			2.014
		0.000			1.053					
		0.000	0.000	2.288	2.288					
	691.7		54.349	54.342		690.9	5.164	5.157		
	690.9			54.349						
	1382.6			-0.007						

ตารางที่ 4.5 ตารางแสดงผลการรังวัดระดับ (5)

4.2 ผลการเดินวงรอบ

ชื่อหมุด	มุมรังวัด	อซิมูท	ระยะ	เหนือ	ตะวันออก	หมายเหตุ	ระยะสะสม
วชป 002						Grid Factor = 0.999926888658	
วชป 001	108 34 15.75	344 21 54.52		1537228	662642.9	Total Distance = 1479.266	0.000
A1	172 42 52.25	272 56 09.80	43.099	1537230	662599.9		43.096
A2	178 31 48.25	265 39 01.58	54.316	1537226	662545.7		97.408
A3	91 27 48	264 10 49.37	57.61	1537220	662488.4		155.014
A4	179 57 55.5	175 38 36.90	40.272	1537180	662491.5		195.283
A5	180 00 34	175 36 31.93	47.673	1537132	662495.1		242.952
A6	269 49 44.25	175 37 05.46	60.035	1537072	662499.7		302.983
TP1	181 50 15.25	265 26 49.24	60.077	1537067	662439.8		363.055
TP2	299 09 28	267 17 04.03	45.117	1537065	662394.8		408.169
TP3	149 39 28.75	26 26 31.56	11.557	1537076	662399.9		419.725
TP4	267 57 57.75	356 05 59.84	38.08	1537114	662397.3		457.803
TP5	254 58 55	84 03 57.12	15.414	1537115	662412.6		473.215
TP6	111 11 35.75	159 02 51.65	40.483	1537077	662427.1		513.695
TP7	186 16 10.5	90 14 26.94	32.772	1537077	662459.9		546.465
TP8	66 31 09	96 30 36.97	32.753	1537074	662492.4		579.216
A7	191 52 46.5	343 01 45.50	21.095	1537094	662486.3		600.309
TP9	176 51 22.25	354 54 31.53	27.956	1537122	662483.8		628.263
TP10	99 52 12	351 45 53.31	26.964	1537148	662479.9		655.225
TP11	175 54 44	271 38 04.85	43.49	1537150	662436.5		698.712
TP12	328 06 14	267 32 48.38	42.282	1537148	662394.2		740.991
TP13	176 18 34.25	55 39 01.91	20.49	1537159	662411.1		761.479
TP14	215 45 10.5	51 57 35.69	35.817	1537181	662439.4		797.294
TP15	180 07 43.5	87 42 45.73	21.824	1537182	662461.2		819.116
TP16	85 09 26.25	87 50 28.76	14.917	1537183	662476.1		834.032
TP17	119 26 18	352 59 54.54	30.389	1537213	662472.4		864.419
TP18	129 32 29.25	292 26 12.07	19.592	1537220	662454.3		884.009
TP19	205 32 7.25	241 58 40.85	24.421	1537209	662432.7		908.429
TP20	323 58 4.25	267 30 47.64	43.883	1537207	662388.9		952.308

ชื่อหมุด	มุมรังวัด	อซิมูธ	ระยะ	เหนือ	ตะวันออก	หมายเหตุ	ระยะสะสม
TP21	12 46 57	51 28 51.42	54.503	1537241	662431.5		1006.807
TP22	222 22 1.25	244 15 47.95	24.441	1537230	662409.5		1031.247
TP23	242 16 01	286 37 48.73	25.526	1537238	662385		1056.771
TP24	275 03 21.25	348 53 49.26	20.428	1537258	662381.1		1077.197
TP25	183 06 08	83 57 10.05	45.088	1537262	662425.9		1122.282
TP26	254 18 16.25	87 03 17.58	48.394	1537265	662474.3		1170.672
A8	102 14 7.25	161 21 33.36	43.239	1537224	662488.1		1213.908
A9	182 01 2.25	83 35 40.14	57.077	1537230	662544.8		1270.981
A10	186 02 2.5	85 36 41.92	54.204	1537234	662598.8		1325.181
A11	254 58 50.25	91 38 43.96	46.906	1537233	662645.7	มุมปิด = 0 00 18.25	1372.084
วขป 002	357 44 21.25	166 37 33.74	107.19	1537129	662670.5	มุมเฉลี่ย = 0 00 00.47	1479.266
วขป 001		344 21 54.52		0.022	-0.027	Closure = 1:42,007	1479.266

ตารางที่ 4.6 ตารางแสดงผลการโยงค่าพิกัด

4.3 ผลการบินสำรวจโดยใช้อากาศยานไร้คนขับด้วยวิธีการบินแบบ Single Grid Mission

Label	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	XY error (cm)	Total error (cm)	Image (pix)
TP1	-0.44402	3.04296	3.95543	3.07518	5.01021	0.985 (13)
TP2	-0.46437	-0.05120	-1.84361	0.46718	1.90188	0.924 (15)
TP8	-0.97253	0.67606	0.96358	1.18443	1.52688	0.584 (11)
TP10	0.02078	1.40276	-0.08517	1.40291	1.40550	0.585 (17)
TP11	-0.71198	0.01368	0.36636	0.71211	0.80082	0.465 (24)
TP12	-0.73403	-1.42241	-1.96116	1.60064	2.53144	0.449 (22)
TP17	-0.02040	0.55496	-0.41939	0.55533	0.69591	0.179 (4)
TP19	0.24071	0.50811	0.40522	0.56224	0.69305	0.484 (26)
TP20	0.84624	-1.95914	0.51123	2.13409	2.19447	0.467 (17)
TP24	2.29243	-0.09736	2.43455	2.29450	3.34541	0.987 (20)
TP25	0.85915	-0.07564	-1.39547	0.86248	1.64049	0.792 (25)
TP26	0.11557	2.64446	-1.79138	2.64698	3.19618	0.709 (20)
Total	0.87493	1.44693	1.72350	17.49808	2.41444	0.683

ตารางที่ 4.7 ค่า error ของจุด Control points จากการประมวลผลด้วยโปรแกรม
Agisoft Metashape Photoscan โดยใช้ภาพจากการบินโดรนด้วยวิธีการบินแบบ
Single Grid Mission

Label	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	XY error (cm)	Total error (cm)	Image (pix)
TP3	-0.80461	-1.34796	-0.47065	1.56984	1.63887	0.841 (20)
TP4	0.11336	-1.07625	1.47293	1.08220	1.82776	0.398 (25)
TP5	0.07898	-0.67180	0.76709	0.67642	1.02273	0.599 (25)
TP6	-0.33212	-0.49416	-1.36922	0.59539	1.49307	0.696 (20)
TP7	2.14397	-0.38206	-12.01030	2.17775	12.20610	0.116 (2)
TP9	-0.08524	0.81923	1.20620	0.82365	1.46059	0.643 (23)
TP13	0.34012	-2.07490	-1.10857	2.10259	2.37693	0.382 (18)
TP14	0.04006	-0.13539	-0.25644	0.14119	0.29274	0.355 (30)
TP15	-0.39701	0.81398	0.96739	0.90564	1.32515	0.360 (26)
TP16	-1.46319	2.08394	1.05323	2.54632	2.75554	0.843 (12)
TP18	0.47145	0.27861	-0.43837	0.54762	0.70147	0.471 (26)
TP21	0.34000	0.12529	-0.29222	0.36235	0.46550	0.468 (21)
TP22	0.80280	-0.37926	0.00199	0.88787	0.88788	0.394 (23)
TP23	-0.03551	-1.00806	0.44812	1.00869	1.10374	0.478 (25)
Total	0.79193	1.03752	3.32065	13.53097	3.56795	0.534

ตารางที่ 4.8 ค่า error ของจุด Check points จากการประมวลผลด้วยโปรแกรม

Agisoft Metashape Photoscan โดยใช้ภาพจากการบินโดรนด้วยวิธีการบินแบบ

Single Grid Mission

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

เมื่อวิเคราะห์ในภาพรวมจะพบว่า มีค่า

GSD	=	1.67	cm/pix
RMSEX	=	0.79193	เซนติเมตร
RMSEY	=	1.03752	เซนติเมตร
RMSEXY	=	1.30522	เซนติเมตร
RMSEZ	=	3.32065	เซนติเมตร
RMSET	=	3.56795	เซนติเมตร

เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับมาตรฐาน ASPRS 2014 จะได้ผลออกมาว่า มาตรฐานของแผนที่ที่สามารถทำได้ละเอียดสูงที่สุดคือ 1:200 สามารถนำไปทำงานที่ต้องการความถูกต้องอยู่ในเกณฑ์ Highest Accuracy Work ได้ ค่าความถูกต้องในแนวราบที่ความเชื่อมั่น 95% อยู่ที่ 3.1 เซนติเมตร ค่าความถูกต้องในแนวดิ่งที่ความเชื่อมั่น 95% อยู่ที่ 15 เซนติเมตร

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยครั้งนี้ การบินโดรนด้วยวิธีการบินแบบ Single Grid Mission สามารถนำมาใช้ในงานด้านการสำรวจได้ แต่อาจไม่สามารถใช้ในงานที่ต้องการค่าความถูกต้องในเกณฑ์ที่สูงกว่านี้ได้ เช่น งานก่อสร้างที่ต้องการความถูกต้องแม่นยำสูง แต่สามารถใช้การบินโดรนเพื่อสำรวจก่อนสำหรับการพิจารณาวางแผนโครงการก่อสร้างหากมีหมุดที่ทราบค่าอยู่ในโครงการ

สำหรับงานสำรวจในครั้งนี้ วิธีการบินแบบ Single Grid Mission จะได้ค่าความถูกต้องในแนวราบใกล้เคียงกับวิธีการบินแบบ Double Grid Mission แต่ค่าความถูกต้องในแนวดิ่งจะคลาดเคลื่อนกันอย่างเห็นได้ชัด โดยแตกต่างกันประมาณ 2 เซนติเมตร

สำหรับงานที่ไม่ได้ต้องการความถูกต้องแม่นยำสูงมาก การใช้วิธีการบินแบบ Single Grid Mission จะเหมาะสมกว่า เพราะใช้ระยะเวลาในการบินไม่นาน และการประมวลผลภาพถ่ายสามารถทำได้รวดเร็วกว่าการบินแบบ Double Grid Mission ทำให้ใช้เวลาทำงานน้อยลง ลดการใช้ทรัพยากรในการประมวลผล และประหยัดงบประมาณ

สำหรับงานที่ต้องการความละเอียดถูกต้องของข้อมูลสูง มีทรัพยากรและเวลามากพอ วิธีการบินแบบ Double Grid Mission ก็เป็นวิธีที่เหมาะสมในการทำงาน เพราะข้อมูลที่ได้จะมีจำนวนมากกว่า ครอบคลุมการทำงานและประมวลผลได้แม่นยำกว่าการบินแบบ Single Grid Mission

ข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยในครั้งนี้สามารถนำไปใช้ในการวางแผนการจัดการใช้ประโยชน์ที่ดินต่อไปได้ เนื่องจากข้อมูลการสำรวจภาคพื้นดินมีค่า closure = 1 : 42,007 ซึ่งผ่านเกณฑ์งานสำรวจชั้นที่ 3 และ ข้อมูลการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับสามารถนำไปทำแผนที่ด้วยสเกลที่ละเอียดถึง 1 : 200 ได้สำหรับงานที่ต้องการความถูกต้องของข้อมูลสูง

เอกสารและสิ่งอ้างอิงอ้างอิง

American Society for Photogrammetric Engineering and Remote Sensing (ASPRS), (2015). **ASPRS positional accuracy standards for digital geospatial data (Edition 1, Version 1.0., November, 2014)**, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 81(3), A1-A26 pp.

Bryan, P. F. (2016). **Unmanned Aerial Systems for Surveying and Mapping: Cost Comparison of UAS Versus Traditional Methods of Data Acquisition.** (Doctoral dissertation). University of Southern California, California.

B. Umashankar, and R. Satish. (n.d.). Drone survey report for Project titled ‘**Providing and executing safety works to mitigate hazard for the approach road adjacent to Bio-diversity Park @TSIIC Cyberabad in the State of Telangana**’. Indian Institute of Technology, Hyderabad.

Smeaton, C. H. (2015). **Surveying Applications of Photogrammetric UAVs a comparison with conventional Survey techniques.** University of Southern Queensland, Australia.

คณะกรรมการปรับปรุงวิธีปฏิบัติงานสำรวจทำแผนที่ภูมิประเทศสำนักสำรวจด้านวิศวกรรมและธรณีวิทยา กรมชลประทาน (2548) **การสำรวจภูมิประเทศและสำรวจธรณีวิทยาในงานชลประทาน**

ธีระ ลาภิชชาญกุล, อภิสิทธิ์ ภาสตา, และคมศิลป์ วังยาว. (2563). **การประยุกต์ใช้อากาศยานไร้คนขับราคาถูกในการทำแผนที่ความละเอียดสูง กรณีศึกษาการทำแผนที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี พื้นที่การศึกษาราชบุรี.** (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ.

ธีรชัย รักวิจิตรกุล. (2544). **การประยุกต์ใช้ภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขและงานรังวัดด้วยดาวเทียมเพื่อการสำรวจและออกแบบทางหลวง : กรณีศึกษาทางเลี่ยงเมืองแม่ฮ่องสอน.** (วิทยานิพนธ์ ปริญญาโทบริหารธุรกิจ). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

- ธีรพล จิรธรรมคุณ. (2561). การประยุกต์ใช้ภาพถ่ายทางอากาศและกลุ่มจุดสามมิติในการวางแผน
วิธีก่อสร้าง : กรณีศึกษา โครงการก่อสร้างทางยกระดับ. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ).
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- รัฐภูมิ ตั้งภูมิจิต, สราวุธ ส่งแสง, อภิสิทธิ์ ภาสตา, คมศิลป์ ว่างยาว และ ชีระ ลาภิศชาญกุล. (2563)
การศึกษารูปแบบของจุดควบคุมภาพที่มีผลต่อความถูกต้องของแผนที่จากการรังวัดด้วย
อากาศยานไร้คนขับ. ในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
 คณะวิศวกรรมศาสตร์, บัณฑิตวิทยาลัยร่วมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม: การประชุมวิชาการ
 วิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 25 (น. SGI04-1-SGI04-8). ชลบุรี : ผู้แต่ง.
- วรพจน์ สีนสวัสดิ์. (2561). **แบบจำลองพื้นผิวภูมิประเทศเชิงตัวเลขจากอากาศยานไร้คนขับเพื่อ**
ช่วยติดตามงานดินขุดและถมในโครงการก่อสร้างโครงสร้างพื้นฐาน. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ).
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- ศูนย์ข้อมูลแผนที่รูปแปลงที่ดิน กรมที่ดิน. (ม.ป.ป.). **คู่มือการทำแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศเพื่อรังวัด**
ด้วยอากาศยานไร้คนขับ (UAV).
- สุธิตา อ่อนนิม. (2561). **การศึกษาเทคนิคการสกัดค่าความสูงของอาคารโดยข้อมูลอากาศยานไร้**
คนขับในเขตพื้นที่เมือง. (วิทยานิพนธ์ปริญญาตรี). มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก.
- สำนักงานเจ้าท่าภูมิภาคที่ 1. (ม.ป.ป.). **การบินสำรวจสภาพลำน้ำด้วยอากาศยานไร้คนขับและสร้าง**
แผนที่จากภาพถ่ายทางอากาศ. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก :
https://www.md.go.th/khet1/marine_office1/admin/images/upload/news/745-002.pdf, (วันที่สืบค้น: 30 สิงหาคม 2564)
- สำนักงานการบินพลเรือนแห่งประเทศไทย (8 มกราคม 2562) **เรื่องควรรู้ก่อนการใช้โดรน**
 [เว็บไซต์] สืบค้นจาก <https://www.caat.or.th/th/archives/39685>

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
ผลการโยงค่าพิกัด

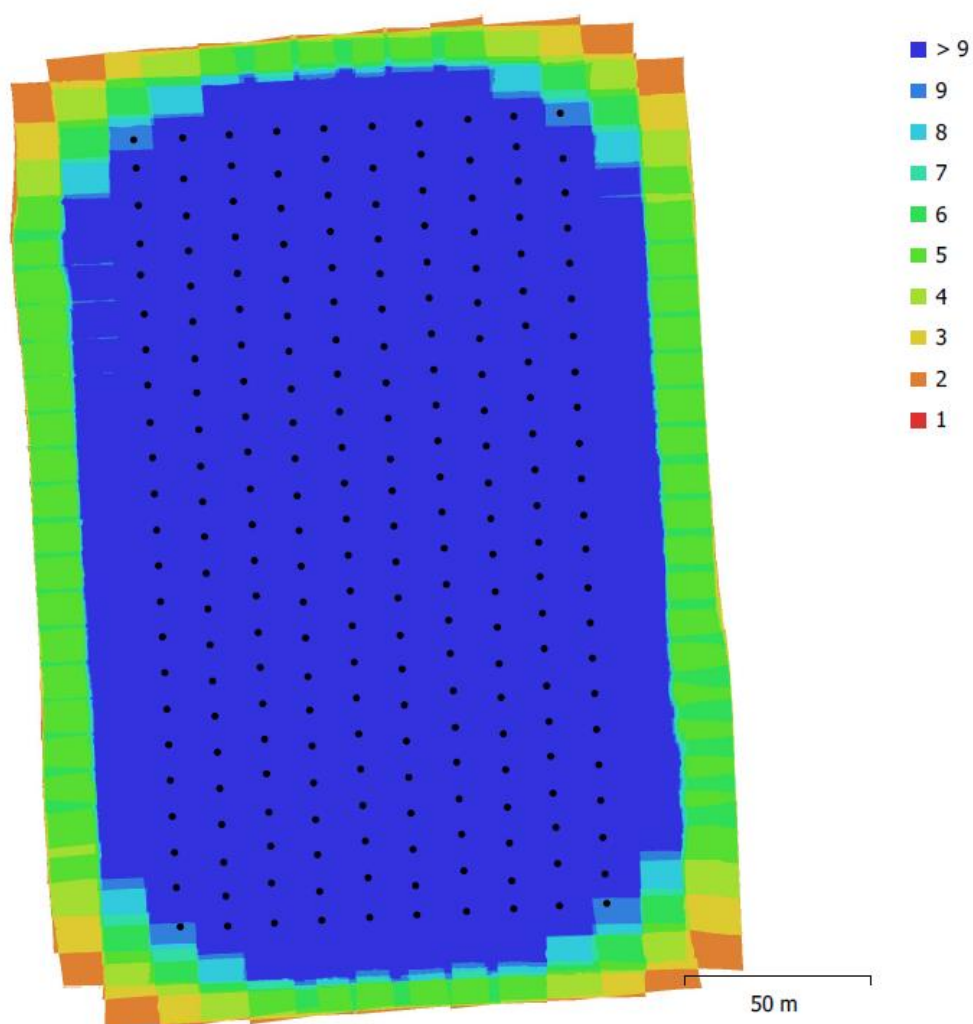
CAD View Project Data Traverse									
ชื่อ ประเภทวงรอบ ปิด									
ชื่อหนด	มุมรังวัด	อซิมุท	ระยะ	เหนือ	ตะวันออก	หมายเหตุ	ระยะสะสม	ค่าแก้ N	ค่าแก้ E
ขป002						Grid Factor = 0.999926888658			
ขป001	108 34 15.75	344 21 54.52		1537227.507	662642.909	Total Distance = 1479.266	0.000		
A1	172 42 52.25	272 56 09.80	43.099	1537229.714	662599.871		43.096	0.001	-0.001
A2	178 31 48.25	265 39 01.58	54.316	1537225.594	662545.716		97.408	0.001	-0.002
A3	91 27 48	264 10 49.37	57.61	1537219.752	662488.408		155.014	0.002	-0.003
A4	179 57 55.5	175 38 36.90	40.272	1537179.599	662491.468		195.283	0.003	-0.004
A5	180 00 34	175 36 31.93	47.673	1537132.068	662495.118		242.952	0.004	-0.004
A6	269 49 44.25	175 37 05.46	60.035	1537072.212	662499.706		302.983	0.005	-0.006
TP1	181 50 15.25	265 26 49.24	60.077	1537067.443	662439.824		363.055	0.005	-0.007
TP2	299 09 28	267 17 04.03	45.117	1537065.305	662394.762		408.169	0.006	-0.008
TP3	149 39 28.75	26 26 31.56	11.557	1537075.652	662399.908		419.725	0.006	-0.008
TP4	267 57 57.75	356 05 59.84	38.08	1537113.640	662397.319		457.803	0.007	-0.008
TP5	254 58 55	84 03 57.12	15.414	1537115.233	662412.649		473.215	0.007	-0.009
TP6	111 11 35.75	159 02 51.65	40.483	1537077.429	662427.125		513.695	0.008	-0.009
TP7	186 16 10.5	90 14 26.94	32.772	1537077.291	662459.895		546.465	0.008	-0.010
TP8	66 31 09	96 30 36.97	32.753	1537073.577	662492.435		579.216	0.009	-0.011
A7	191 52 46.5	343 01 45.50	21.095	1537093.752	662486.279		600.309	0.009	-0.011
TP9	176 51 22.25	354 54 31.53	27.956	1537121.595	662483.799		628.263	0.009	-0.012
TP10	99 52 12	351 45 53.31	26.964	1537148.279	662479.937		655.225	0.010	-0.012
TP11	175 54 44	271 38 04.85	43.49	1537149.519	662436.469		698.712	0.011	-0.013
TP12	328 06 14	267 32 48.38	42.282	1537147.708	662394.230		740.991	0.011	-0.014
TP13	176 18 34.25	55 39 01.91	20.49	1537159.268	662411.145		761.479	0.012	-0.014
TP14	215 45 10.5	51 57 35.69	35.817	1537181.337	662439.353		797.294	0.012	-0.015
TP15	180 07 43.5	87 42 45.73	21.824	1537182.208	662461.158		819.116	0.012	-0.015
TP16	85 09 26.25	87 50 28.76	14.917	1537182.769	662476.064		834.032	0.013	-0.015
TP17	119 26 18	352 59 54.54	30.389	1537212.929	662472.360		864.419	0.013	-0.016
TP18	129 32 29.25	292 26 12.07	19.592	1537220.406	662454.253		884.009	0.013	-0.016
TP19	205 32 7.25	241 58 40.85	24.421	1537208.933	662432.697		908.429	0.014	-0.017
TP20	323 58 4.25	267 30 47.64	43.883	1537207.028	662388.859		952.308	0.014	-0.018
TP21	12 46 57	51 28 51.42	54.503	1537240.968	662431.500		1006.807	0.015	-0.019
TP22	222 22 1.25	244 15 47.95	24.441	1537230.356	662409.486		1031.247	0.016	-0.019
TP23	242 16 01	286 37 48.73	25.526	1537237.660	662385.030		1056.771	0.016	-0.019
TP24	275 03 21.25	348 53 49.26	20.428	1537257.704	662381.097		1077.197	0.016	-0.020
TP25	183 06 08	83 57 10.05	45.088	1537262.453	662425.932		1122.282	0.017	-0.021
TP26	254 18 16.25	87 03 17.58	48.394	1537264.938	662474.259		1170.672	0.018	-0.022
A8	102 14 7.25	161 21 33.36	43.239	1537223.970	662488.079		1213.908	0.018	-0.022
A9	182 01 2.25	83 35 40.14	57.077	1537230.336	662544.797		1270.981	0.019	-0.023
A10	186 02 2.5	85 36 41.92	54.204	1537234.483	662598.839		1325.181	0.020	-0.024
A11	254 58 50.25	91 38 43.96	46.906	1537233.135	662645.723	มุมกึ่ง = 0 00 18.25	1372.084	0.021	-0.025
ขป002	357 44 21.25	166 37 33.74	107.19	1537128.858	662670.517	มุมกลับ = 0 00 00.47	1479.266	0.022	-0.027
ขป001		344 21 54.52		0.022	-0.027	Closure = 1:42,007	1479.266		

ตารางภาคผนวกที่ ก1 ผลการโยงค่าพิกัดจากโปรแกรม Smart Survey

ภาคผนวก ข

Agisoft Metashape Processing Report

1. Survey Data



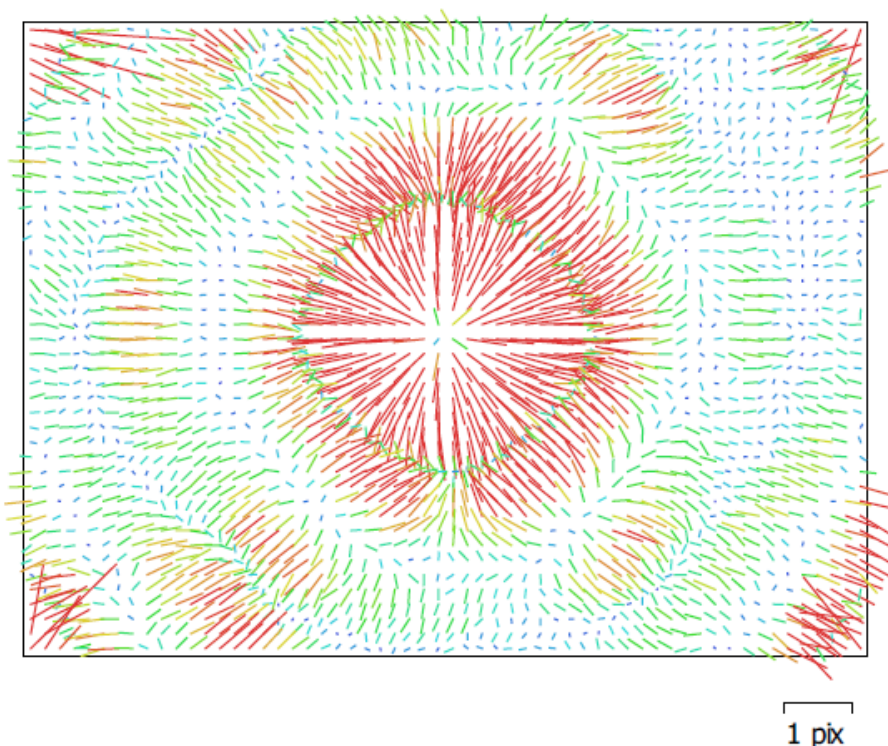
ภาพภาคผนวกที่ ข1 Camera locations and image overlap.

Number of images:	230	Camera stations:	230
Flying altitude:	56.6 m	Tie points:	169,014
Ground resolution:	1.67 cm/pix	Projections:	526,316
Coverage area:	0.0481 km ²	Reprojection error:	0.789 pix

Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
FC220 (4.73mm)	4000 x 3000	4.73 mm	1.57 x 1.57 μ m	No

ตารางภาคผนวกที่ ข1 Cameras.

2. Camera Calibration



ภาพภาคผนวกที่ ข2 Image residuals for FC220 (4.73mm)

FC220 (4.73mm)

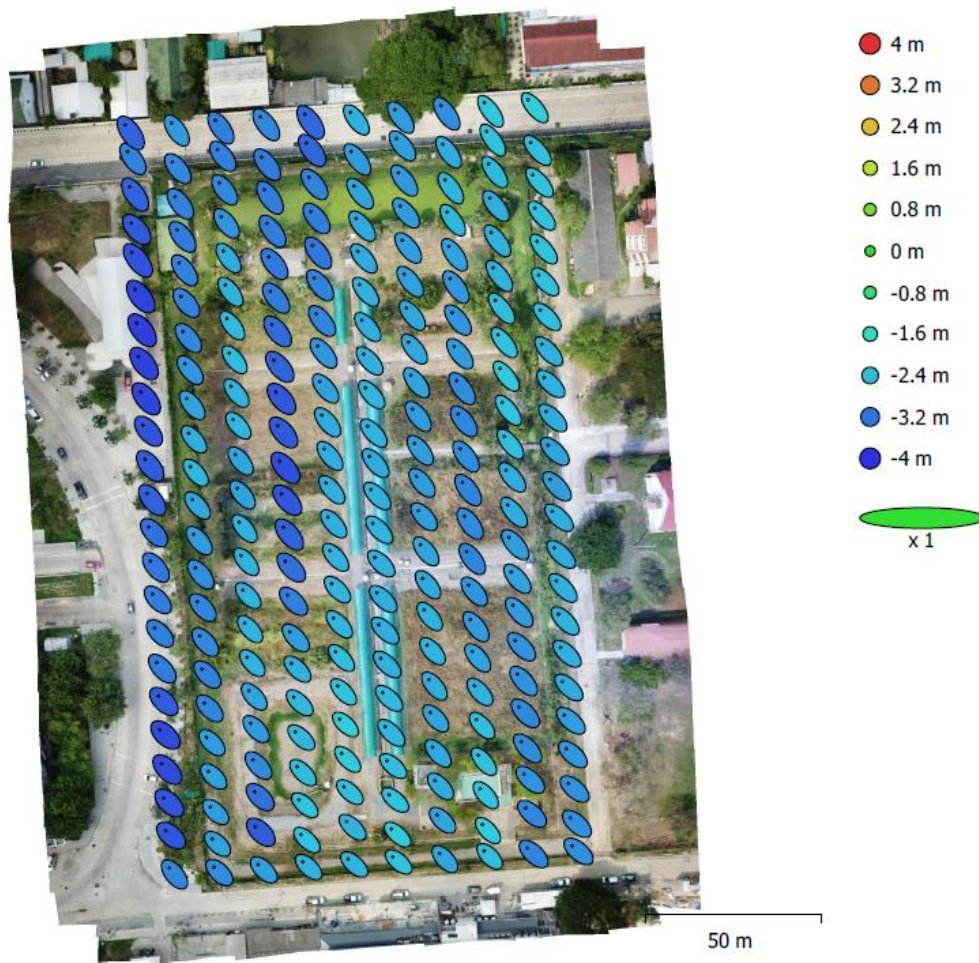
230 images

Type	Resolution	Focal Length	Pixel Size
Frame	4000 x 3000	4.73 mm	1.57 x 1.57 μm

	Value	Error	F	Cx	Cy	B1	B2	K1	K2	K3	K4	P1	P2
F	3088.15	2.2	1.00	-0.00	-0.03	-0.29	-0.00	0.07	-0.88	0.94	-0.94	0.01	0.02
Cx	3.35243	0.094		1.00	-0.01	-0.00	-0.01	0.04	-0.03	0.02	-0.02	0.28	-0.00
Cy	-20.4085	0.073			1.00	0.00	-0.01	-0.00	0.01	-0.01	0.02	-0.01	0.35
B1	-19.6025	0.047				1.00	0.00	-0.20	0.25	-0.26	0.27	0.00	0.01
B2	2.23768	0.045					1.00	0.01	-0.01	0.00	-0.00	-0.02	-0.01
K1	0.122034	0.00024						1.00	-0.94	0.89	-0.85	0.04	0.04
K2	-0.709694	0.0022							1.00	-0.99	0.97	-0.03	-0.04
K3	1.65571	0.0073								1.00	-1.00	0.03	0.03
K4	-1.3154	0.0076									1.00	-0.03	-0.03
P1	0.000140832	4.40E-06										1.00	0.02
P2	0.000116564	3.70E-06											1.00

ตารางภาคผนวกที่ ข2 Calibration coefficients and correlation matrix.

3. Camera Locations



ภาพภาคผนวกที่ ข3 Camera locations and error estimates.

Z error is represented by ellipse color. X,Y errors are represented by ellipse shape.

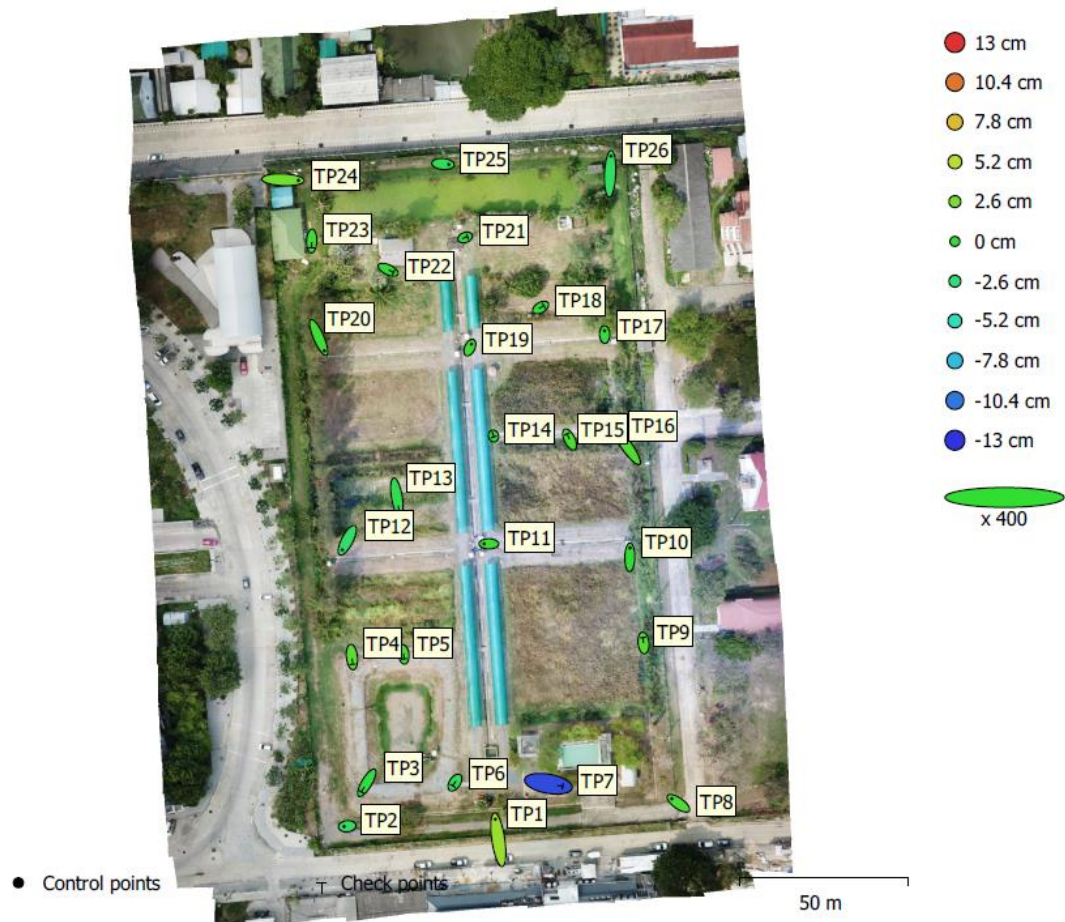
Estimated camera locations are marked with a black dot.

X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	XY error (m)	Total error (m)
3.35693	3.82855	2.79831	5.09183	5.8101

ตารางภาคผนวกที่ ข3 Average camera location error.

X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.

4. Ground Control Points



ภาพภาคผนวกที่ ข4 GCP locations and error estimates.

Z error is represented by ellipse color. X,Y errors are represented by ellipse shape.

Estimated GCP locations are marked with a dot or crossing.

Count	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	XY error (cm)	Total error (cm)
12	0.874927	1.44693	1.7235	1.69089	2.41444

ตารางภาคผนวกที่ ข4 Control points RMSE.

X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.

Count	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	XY error (cm)	Total error (cm)
14	0.791928	1.03752	3.32065	1.30522	3.56795

ตารางภาคผนวกที่ ข5 Check points RMSE.

X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.

Label	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	XY error (cm)	Total error (cm)	Image (pix)
TP1	-0.44402	3.04296	3.95543	3.07518	5.01021	0.985 (13)
TP2	-0.46437	-0.05120	-1.84361	0.46718	1.90188	0.924 (15)
TP8	-0.97253	0.67606	0.96358	1.18443	1.52688	0.584 (11)
TP10	0.02078	1.40276	-0.08517	1.40291	1.40550	0.585 (17)
TP11	-0.71198	0.01368	0.36636	0.71211	0.80082	0.465 (24)
TP12	-0.73403	-1.42241	-1.96116	1.60064	2.53144	0.449 (22)
TP17	-0.02040	0.55496	-0.41939	0.55533	0.69591	0.179 (4)
TP19	0.24071	0.50811	0.40522	0.56224	0.69305	0.484 (26)
TP20	0.84624	-1.95914	0.51123	2.13409	2.19447	0.467 (17)
TP24	2.29243	-0.09736	2.43455	2.29450	3.34541	0.987 (20)
TP25	0.85915	-0.07564	-1.39547	0.86248	1.64049	0.792 (25)
TP26	0.11557	2.64446	-1.79138	2.64698	3.19618	0.709 (20)
Total	0.87493	1.44693	1.72350	17.49808	2.41444	0.683

ตารางภาคผนวกที่ ข6 Control points.

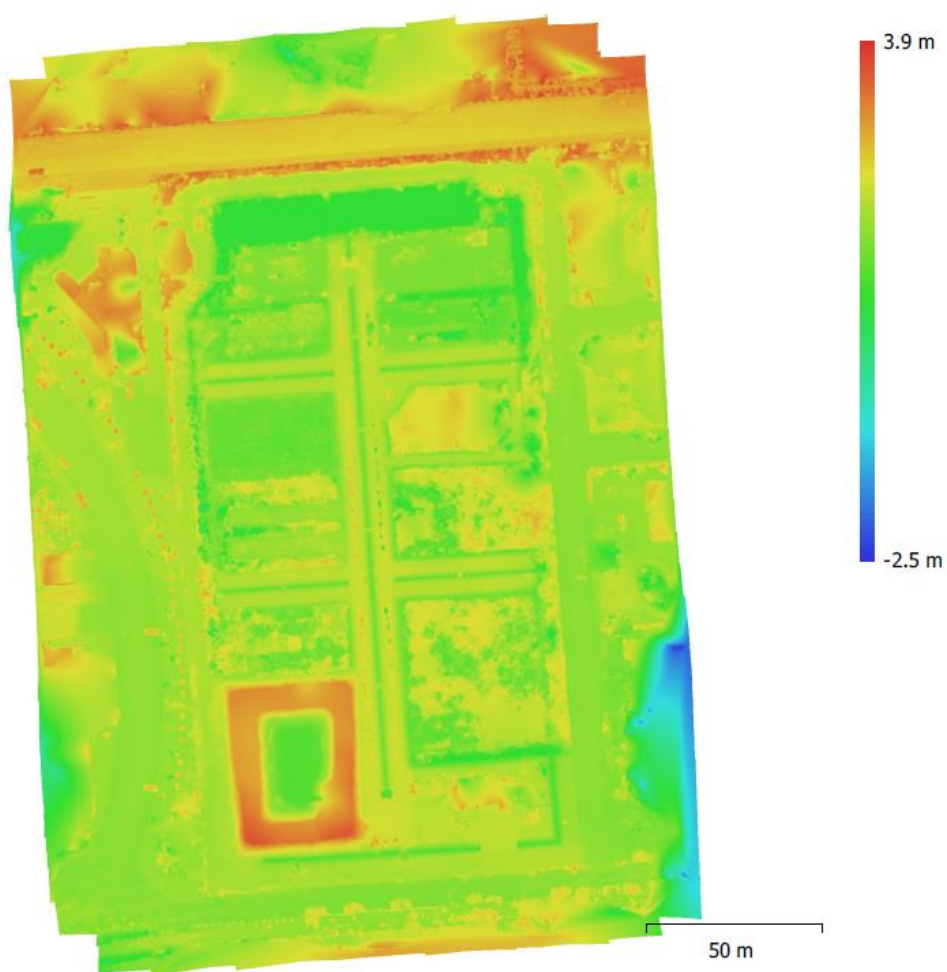
X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.

Label	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	XY error (cm)	Total error (cm)	Image (pix)
TP3	-0.80461	-1.34796	-0.47065	1.56984	1.63887	0.841 (20)
TP4	0.11336	-1.07625	1.47293	1.08220	1.82776	0.398 (25)
TP5	0.07898	-0.67180	0.76709	0.67642	1.02273	0.599 (25)
TP6	-0.33212	-0.49416	-1.36922	0.59539	1.49307	0.696 (20)
TP7	2.14397	-0.38206	-12.01030	2.17775	12.20610	0.116 (2)
TP9	-0.08524	0.81923	1.20620	0.82365	1.46059	0.643 (23)
TP13	0.34012	-2.07490	-1.10857	2.10259	2.37693	0.382 (18)
TP14	0.04006	-0.13539	-0.25644	0.14119	0.29274	0.355 (30)
TP15	-0.39701	0.81398	0.96739	0.90564	1.32515	0.360 (26)
TP16	-1.46319	2.08394	1.05323	2.54632	2.75554	0.843 (12)
TP18	0.47145	0.27861	-0.43837	0.54762	0.70147	0.471 (26)
TP21	0.34000	0.12529	-0.29222	0.36235	0.46550	0.468 (21)
TP22	0.80280	-0.37926	0.00199	0.88787	0.88788	0.394 (23)
TP23	-0.03551	-1.00806	0.44812	1.00869	1.10374	0.478 (25)
Total	0.79193	1.03752	3.32065	1.30522	3.56795	0.534

ตารางภาคผนวกที่ ข7 Check points.

X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.

5. Digital Elevation Model



ภาพภาคผนวกที่ ข5 Reconstructed digital elevation model.

Resolution : 3.33 cm/pix
Point density : 900 points/m²

6. Processing Parameters

General

Cameras	230
Aligned cameras	230
Markers	26
Coordinate system	WGS 84 / UTM zone 47N (EPSG::32647)
Rotation angles	Yaw, Pitch, Roll

Point Cloud

Points	169,014 of 186,476
RMS reprojection error	0.385208 (0.788731 pix)
Max reprojection error	5.85827 (27.7956 pix)
Mean key point size	2.37338 pix
Point colors	3 bands, uint8
Key points	No
Average tie point multiplicity	3.46351

Alignment parameters

Accuracy	Highest
Generic preselection	Yes
Reference preselection	Yes
Key point limit	20,000
Tie point limit	10,000
Adaptive camera model fitting	Yes
Matching time	2 minutes 7 seconds
Alignment time	1 minutes 33 seconds

Optimization parameters

Parameters	f, b1, b2, cx, cy, k1-k4, p1, p2
Adaptive camera model	fitting No
Optimization time	6 seconds

Depth Maps

Count	230
Reconstruction parameters	
Quality	High
Filtering mode	Aggressive
Processing time	59 minutes 43 seconds

Dense Point Cloud

Points	64,689,746
Point colors	3 bands, uint8
Reconstruction parameters	
Quality	High
Depth filtering	Aggressive
Depth maps generation time	59 minutes 43 seconds
Dense cloud generation time	33 minutes 20 seconds

Model

Faces	12,840,686
Vertices	6,424,409
Vertex colors	3 bands, uint8
Texture	4,096 x 4,096, 4 bands, uint8
Reconstruction parameters	
Surface type	Height field
Source data	Dense
Interpolation	Enabled

General

Quality	High
Depth filtering	Aggressive
Face count	12,937,949
Processing time	3 minutes 1 seconds

Texturing parameters

Mapping mode	Orthophoto
Blending mode	Mosaic
Texture size	4,096 x 4,096
Enable hole filling	Yes
Enable ghosting filter	Yes
UV mapping time	2 minutes 29 seconds
Blending time	24 minutes 27 seconds

DEM

Size	7,152 x 10,271
Coordinate system	WGS 84 / UTM zone 47N (EPSG::32647)

Reconstruction parameters

Source data	Mesh
Interpolation	Enabled
Processing time	1 minutes 27 seconds

Orthomosaic

Size	11,861 x 16,433
Coordinate system	WGS 84 / UTM zone 47N (EPSG::32647)
Colors	3 bands, uint8

Reconstruction parameters

Blending mode	Mosaic
Surface	DEM
Enable hole filling	Yes
Processing time	2 minutes 37 seconds

Software

Version	1.5.1 build 7618
Platform	Windows 64

ภาคผนวก ค

ASPRS Positional Accuracy Standards
for Digital Geospatial Data

Horizontal Accuracy Class $RMSE_x$ and $RMSE_y$ (cm)	$RMSE_r$ (cm)	Orthoimage Mosaic Seamline Maximum Mismatch (cm)	Horizontal Accuracy at the 95% Confidence Level (cm)
0.63	0.9	1.3	1.5
1.25	1.8	2.5	3.1
2.50	3.5	5.0	6.1
5.00	7.1	10.0	12.2
7.50	10.6	15.0	18.4
10.00	14.1	20.0	24.5
12.50	17.7	25.0	30.6
15.00	21.2	30.0	36.7
17.50	24.7	35.0	42.8
20.00	28.3	40.0	49.0
22.50	31.8	45.0	55.1
25.00	35.4	50.0	61.2
27.50	38.9	55.0	67.3
30.00	42.4	60.0	73.4
45.00	63.6	90.0	110.1
60.00	84.9	120.0	146.9
75.00	106.1	150.0	183.6
100.00	141.4	200.0	244.8
150.00	212.1	300.0	367.2
200.00	282.8	400.0	489.5
250.00	353.6	500.0	611.9
300.00	424.3	600.0	734.3
500.00	707.1	1000.0	1223.9
1000.00	1414.2	2000.0	2447.7

ตารางภาคผนวกที่ ค1 B.3 Common Horizontal Accuracy Classes
According to the New Standard

Common Orthoimagery Pixel Sizes	Associated Map Scale	ASPRS 1990 Accuracy Class	Associated Horizontal Accuracy According to Legacy ASPRS 1990 Standard	
			RMSE _x and RMSE _y (cm)	RMSE _x and RMSE _y in terms of pixels
0.625 cm	1:50	1	1.3	2-pixels
		2	2.5	4-pixels
		3	3.8	6-pixels
1.25 cm	1:100	1	2.5	2-pixels
		2	5.0	4-pixels
		3	7.5	6-pixels
2.5 cm	1:200	1	5.0	2-pixels
		2	10.0	4-pixels
		3	15.0	6-pixels
5 cm	1:400	1	10.0	2-pixels
		2	20.0	4-pixels
		3	30.0	6-pixels
7.5 cm	1:600	1	15.0	2-pixels
		2	30.0	4-pixels
		3	45.0	6-pixels
15 cm	1:1,200	1	30.0	2-pixels
		2	60.0	4-pixels
		3	90.0	6-pixels
30 cm	1:2,400	1	60.0	2-pixels
		2	120.0	4-pixels
		3	180.0	6-pixels
60 cm	1:4,800	1	120.0	2-pixels
		2	240.0	4-pixels
		3	360.0	6-pixels
1 meter	1:12,000	1	200.0	2-pixels
		2	400.0	4-pixels
		3	600.0	6-pixels
2 meter	1:24,000	1	400.0	2-pixels
		2	800.0	4-pixels
		3	1,200.0	6-pixels
5 meter	1:60,000	1	1,000.0	2-pixels
		2	2,000.0	4-pixels
		3	3,000.0	6-pixels

ตารางภาคผนวกที่ ค2 B.4 Examples on Horizontal Accuracy for Digital
Orthoimagery Interpreted from ASPRS 1990 Legacy Standard

Common Orthoimagery Pixel Sizes	Recommended Horizontal Accuracy Class RMSE _x and RMSE _y (cm)	Orthoimage RMSE _x and RMSE _y in terms of pixels	Recommended use ⁷
1.25 cm	≤1.3	≤1-pixel	Highest accuracy work
	2.5	2-pixels	Standard Mapping and GIS work
	≥3.8	≥3-pixels	Visualization and less accurate work
2.5 cm	≤2.5	≤1-pixel	Highest accuracy work
	5.0	2-pixels	Standard Mapping and GIS work
	≥7.5	≥3-pixels	Visualization and less accurate work
5 cm	≤5.0	≤1-pixel	Highest accuracy work
	10.0	2-pixels	Standard Mapping and GIS work
	≥15.0	≥3-pixels	Visualization and less accurate work
7.5 cm	≤7.5	≤1-pixel	Highest accuracy work
	15.0	2-pixels	Standard Mapping and GIS work
	≥22.5	≥3-pixels	Visualization and less accurate work
15 cm	≤15.0	≤1-pixel	Highest accuracy work
	30.0	2-pixels	Standard Mapping and GIS work
	≥45.0	≥3-pixels	Visualization and less accurate work
30 cm	≤30.0	≤1-pixel	Highest accuracy work
	60.0	2-pixels	Standard Mapping and GIS work
	≥90.0	≥3-pixels	Visualization and less accurate work
60 cm	≤60.0	≤1-pixel	Highest accuracy work
	120.0	2-pixels	Standard Mapping and GIS work
	≥180.0	≥3-pixels	Visualization and less accurate work
1 meter	≤100.0	≤1-pixel	Highest accuracy work
	200.0	2-pixels	Standard Mapping and GIS work
	≥300.0	≥3-pixels	Visualization and less accurate work
2 meter	≤200.0	≤1-pixel	Highest accuracy work
	400.0	2-pixels	Standard Mapping and GIS work
	≥600.0	≥3-pixels	Visualization and less accurate work
5 meter	≤500.0	≤1-pixel	Highest accuracy work
	1,000.0	2-pixels	Standard Mapping and GIS work
	≥1,500.0	≥3-pixels	Visualization and less accurate work

ตารางภาคผนวกที่ ค3 B.5 Digital Orthoimagery Accuracy Examples for Current Large and Medium Format Metric Cameras

Vertical Accuracy Class	Absolute Accuracy		
	RMSEz Non-Vegetated (cm)	NVA at 95% Confidence Level (cm)	VVA at 95th Percentile (cm)
1-cm	1.0	2.0	3
2.5-cm	2.5	4.9	7.5
5-cm	5.0	9.8	15
10-cm	10.0	19.6	30
15-cm	15.0	29.4	45
20-cm	20.0	39.2	60
33.3-cm	33.3	65.3	100
66.7-cm	66.7	130.7	200
100-cm	100.0	196.0	300
333.3-cm	333.3	653.3	1000

ตารางภาคผนวกที่ ค4 B.7 Vertical Accuracy/Quality Example for Digital Elevation Data

ภาคผนวก ง

วิธีโอการใช้อากาศบานไร่คนขับ



ภาพภาคผนวกที่ ง1 QR Code วิดีโอการใช้อากาศยานไร้คนขับ

