



คู่มือการใช้งาน โปรแกรม PIX4Dmapper

ถิรวัฒน์ บรรณกุลพิพัฒน์
ดร.ไพศาล สันติธรรมนนท์

ศูนย์วิจัยด้านแผนที่และตำแหน่งจากเทคโนโลยีอวกาศ (MAPS)
ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



คู่มือการใช้งาน

โปรแกรม PIX4Dmapper

พิรวัฒน์ บรรณกุลพิพัฒน์

ดร. ไพบูล สันติธรรมนนท์

ศูนย์วิจัยด้านแผนที่และตำแหน่งจากเทคโนโลยีอวกาศ

ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สิงหาคม 2567

คำนำ

คู่มือการใช้งานโปรแกรม PIX4Dmapper ฉบับนี้มีจุดประสงค์เพื่ออธิบายขั้นตอนการประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศที่ได้จากการบันทึกภาพด้วยอากาศยานไร้คนขับ เพื่อผลิตผลลัพธ์ภาพถ่ายอร์โธ (Orthophoto) และแบบจำลองระดับสูงเชิงเลข (Digital Elevation Model) ให้มีคุณภาพสามารถตรวจสอบคุณภาพในแต่ละขั้นตอน ตามคุณลักษณะของข้อมูลนำเข้าอย่างเหมาะสม ทั้งนี้ในคู่มือเล่มนี้จะมีเนื้อหาซึ่งประกอบไปด้วยขั้นตอนตั้งแต่การนำภาพถ่ายเข้าสู่โปรแกรมตลอดจนคำนวณและประมวลผลจนได้ข้อมูลภาพถ่ายอร์โธและแบบจำลองระดับสูงเชิงเลขเพื่อที่จะนำไปประยุกต์ใช้งานกับงานทางด้านอื่น ๆ ต่อไป

คณะกรรมการฯได้พัฒนาคู่มือการใช้งาน เพื่อตอบสนองต่อการพัฒนาการเทคโนโลยีสมัยใหม่ที่กำลังได้รับความสนใจในปัจจุบันและยังเป็นเรื่องที่มีความละเอียดอ่อนในการปฏิบัติขั้นตอนการประมวลผลต่าง ๆ เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่มีประสิทธิภาพและสามารถนำไปใช้งานได้ ผู้จัดทำต้องขอขอบพระคุณคณาจารย์ ผู้ให้ความรู้และข้อปฏิบัติในขั้นตอนการประมวลผลต่าง ๆ รวมไปถึงบุคลากร งานวิจัย สื่อต่าง ๆ หวังว่าคู่มือการใช้งานฉบับนี้ จะให้ความรู้ และเป็นประโยชน์แก่ผู้อ่านทุก ๆ ท่าน หากคุณมีการประมวลผลฉบับนี้มีข้อผิดพลาดประการใด คณะกรรมการฯจัดทำขออภัยมา ณ โอกาสนี้ และยินดีรับฟังข้อคิดเห็น ข้อเสนอแนะปรับปรุง สามารถติดต่อกันได้ทางช่องทางอีเมล thirawat.bannakulpihat@gmail.com

คณะกรรมการฯ

สิงหาคม 2567

ประวัติการแก้ไข

ครั้งที่	เดือน/ปี	รายละเอียด
1	08/2567	ตีพิมพ์ครั้งแรก

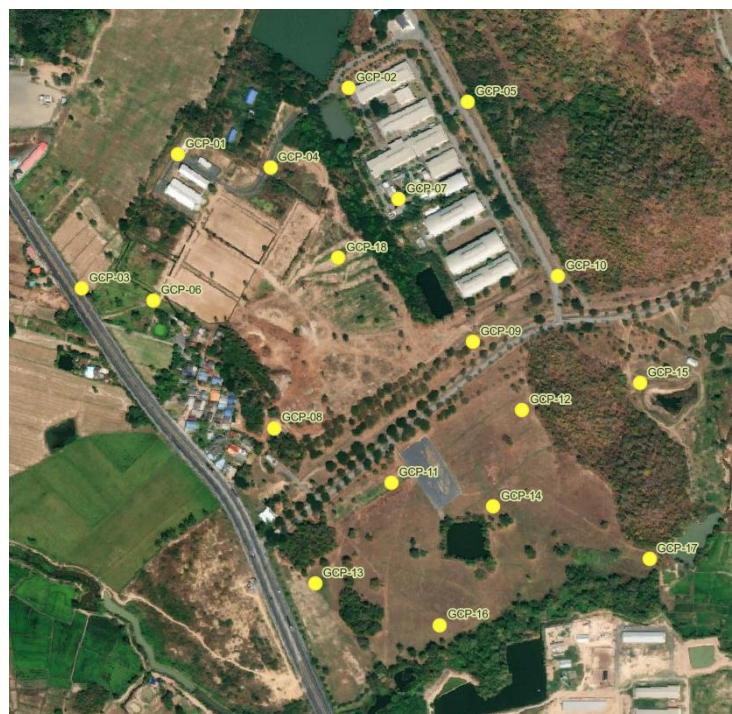
สารบัญ

คำนำ	๑
ประวัติการแก้ไข.....	ง
สารบัญ	จ
คู่มือการใช้งานโปรแกรม PIX4Dmapper	๑
การสร้างโปรเจค (New Project)	๒
ແບບເຄືອງມືອັນດູນໃນໂປຣແກຣມ PIX4Dmapper	18
ການນຳເຂົາຈຸດບັງຄັບການພື້ນດິນ (Ground Control Points; GCPs)	21
ກາປະມາລພາພຄ່າຍທາງອາກາສໃນໂປຣແກຣມ PIX4Dmapper	27
ກາປະມາລພລື້ນຕອນທີ 1 Initial Processing	29
ກາຮັດປະເກທຂອງຈຸດຄວບຄຸມການພື້ນດິນ	41
ກາປະມາລພລື້ນຕອນທີ 2 Point Cloud and Mesh.....	44
ກາປະມາລພລື້ນຕອນທີ 3 DSM, Orthomosaic and Index	51
ກາຄົນວກ	56
ກາຄົນວກ ก) ບທຄວາມແນວປົກກົດທີ່ເປັນເລີສີໃນກາປະມາລພລື້ນຕອນທີ່ຈຳກັດຄົງຫຼາຍຢູ່ເວີ.....	57
ກາຄົນວກ ข) ເຮື່ອງ ກາຮ່ອມກາພອອົຣີ	58
ກາຄົນວກ ຄ) ເຮື່ອງ ກາຮັງວັດເກີບຮາຍລະເອີຍດກູມືປະເທດດ້ວຍຈຸດກາພທລາຍມຸມມອງ (Precise 3D Measuring of Topographic Feature via UAV Multiview-Geometry)	60

คู่มือการใช้งานโปรแกรม PIX4Dmapper

คู่มือเล่มนี้เป็นคู่มือการใช้งานโปรแกรม PIX4Dmapper ในการประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศ ที่บันทึกจากอากาศยานไร้คนขับสำหรับประมวลผลเพื่อผลิตแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศหรือที่เรียกว่าภาพออร์โธ (Orthophoto) และผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ที่ได้จากการประมวลผล เช่น ข้อมูลพอยต์คลาวด์ (Point cloud), แบบจำลองระดับสูงเชิงเลข (Digital Elevation Model; DEM) คู่มือการใช้งานประมวลผลในครั้งนี้จะใช้ชุดข้อมูลที่นิยมในการปัจจุบันเป็นตัวอย่างตลอดทั้งเล่ม

ตัวอย่างข้อมูลที่ใช้ในการประมวลผล



รูป การกระจายตัวของเป้าบังคับภาคพื้นดินของภาพถ่าย (GCP)

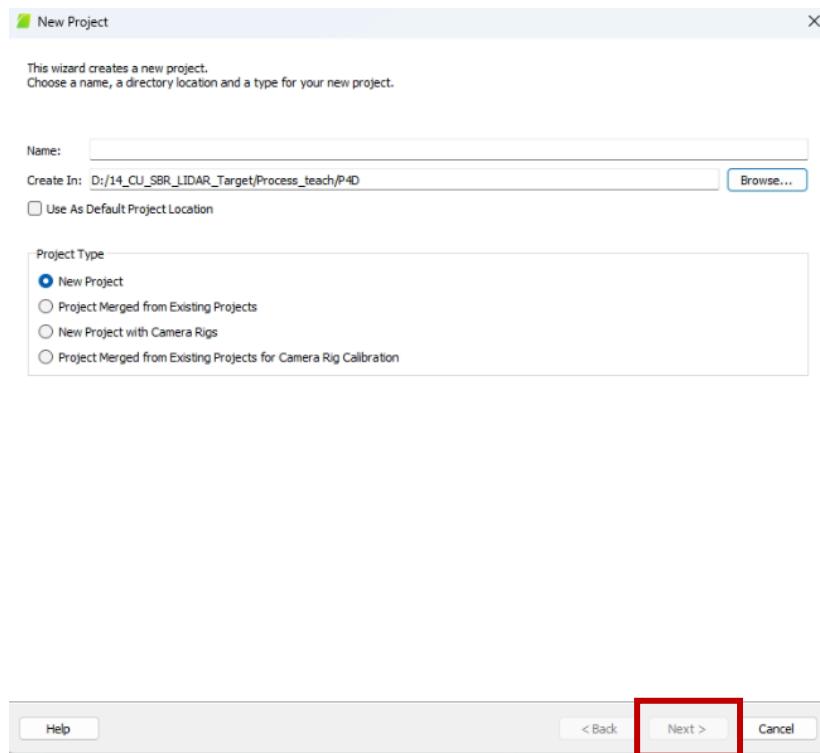
ข้อมูลที่ใช้ในการประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศสำหรับใช้เป็นตัวอย่างภายในคู่มือฉบับนี้เป็นภาพถ่ายที่บันทึกมาจากอากาศยานไร้คนขับยี่ห้อ DJI รุ่น MATRICE 300 RTK ที่ติดตั้งกล้องถ่ายภาพ DJI Zenmuse P1 กล้องถ่ายภาพสี RGB P1 นี้มีความละเอียดจุดภาพ 45 Megapixel (MP) โดยบันทึกภาพในบริเวณศูนย์เครื่อข่ายการเรียนรู้เพื่อกุมภาพ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จังหวัดสระบุรี เป็นพื้นที่สำนักทดสอบจีเอ็นເອສເວສ และยูเอวีสำหรับงานแผนที่ ภายใต้โครงการวิจัยของคณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย มีขนาดพื้นที่ประมาณ 1 ตารางกิโลเมตร โดยภายในบริเวณที่ใช้ในการประมวลผลภาพมีจุดบังคับภาคพื้นดินกระจายตัวทั่วพื้นที่เป็นจำนวน 18 หมุด

การสร้างโปรเจค (New Project)

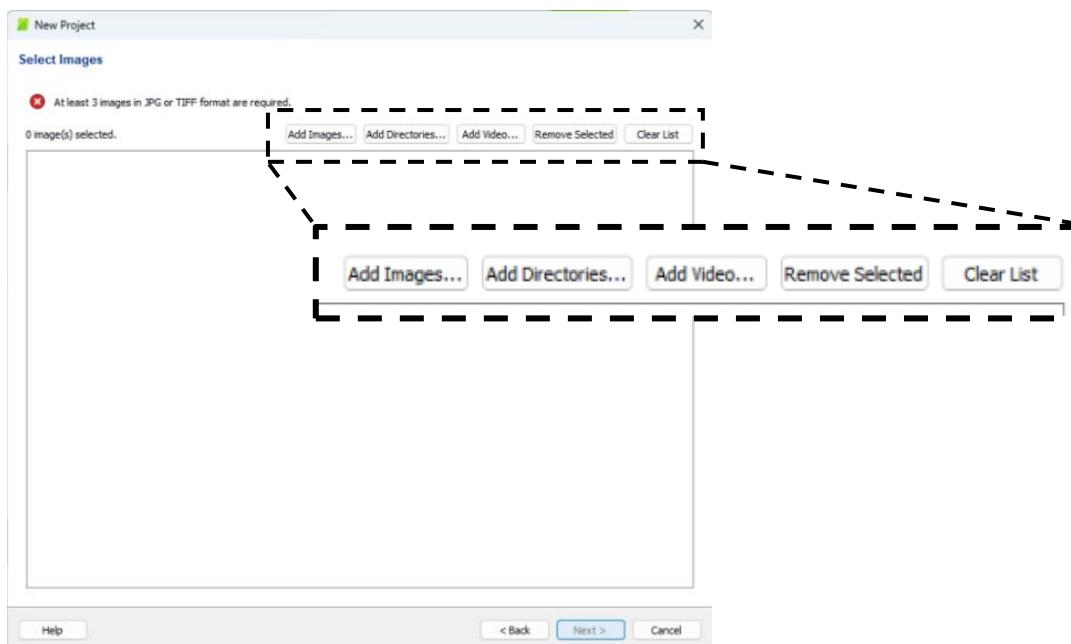
หลังจากทำการเข้าโปรแกรมมาหน้าแรกที่โปรแกรมแสดง คือ หน้าต่างที่แสดงดังรูปด้านล่าง โดยโปรแกรมจะให้ผู้ใช้งานสร้างโปรเจคขึ้นมา หรือหากมีโปรเจคที่เคยสร้างไว้แล้วก็สามารถเลือก Open Project เพื่อเปิดโปรเจคนั้น สำหรับคู่มือเล่มนี้จะสาธิตตั้งแต่ขั้นตอนการสร้างโปรเจคขึ้นมาใหม่ โดยผู้ประมวลผลสามารถสร้างโปรเจคโดยคลิกไปที่ New Project... หรือคลิกที่ Menu bar, คลิก Project > New Project...



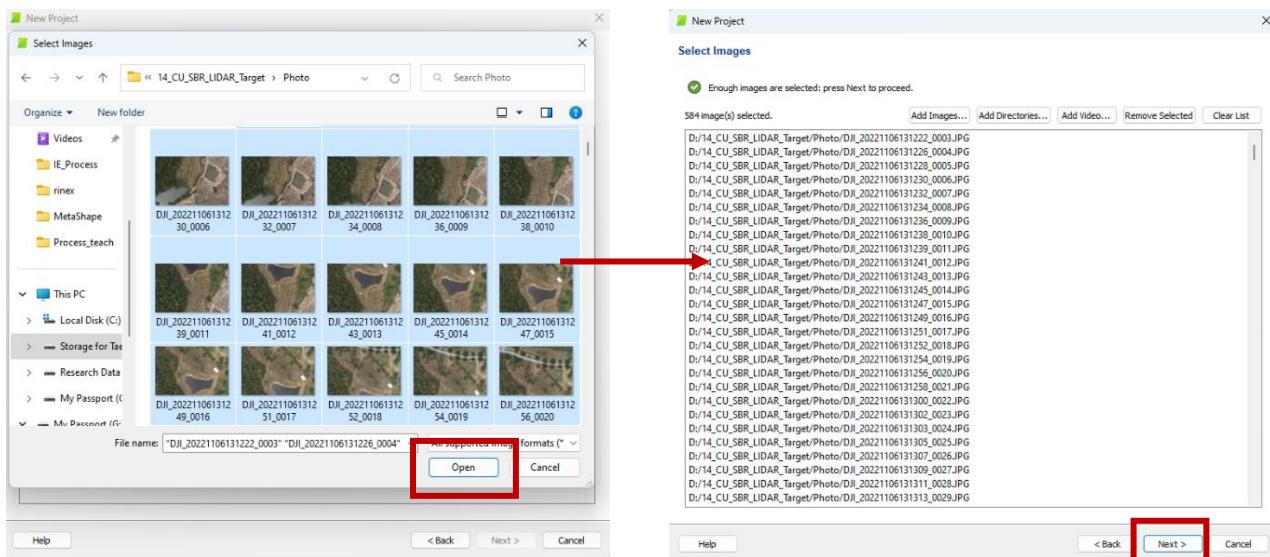
จากนั้นโปรแกรมจะปรากฏหน้าต่างใหม่ขึ้นดังภาพที่แสดงในหน้าถัดไป โดยโปรแกรมจะให้ผู้ประมวลผลกรอกชื่อของโปรเจคที่จะสร้าง เลือกโฟลเดอร์พื้นที่จัดเก็บของโปรเจคที่กำลังจะสร้าง นอกจากนั้น โปรแกรมยังให้ผู้ประมวลผลเลือกได้ว่าโปรเจคที่จะสร้างใหม่นี้เป็นโปรเจคประเภทไหน ได้แก่ โปรเจคใหม่ (New Project), โปรเจคที่ต้องการรวมกับโปรเจคที่มีอยู่แล้ว (Project Merged from Existing Projects), โปรเจคที่คำนวณตัวจับยึดกล้อง (New Project with Camera Rig) และโปรเจคที่ต้องการรวมกับโปรเจคที่มีอยู่แล้วสำหรับการวัดสอบตัวจับยึดกล้อง (Project Merged from Existing Projects for Camera Rig Calibration) โดยในเล่มคู่มือนี้จะเลือก ประเภทสร้างโปรเจคใหม่ ซึ่งเป็นรูปแบบที่มักจะเลือกในการทำงาน ประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศ ดังภาพที่แสดงในหน้าถัดไป จากนั้นกดปุ่ม Next



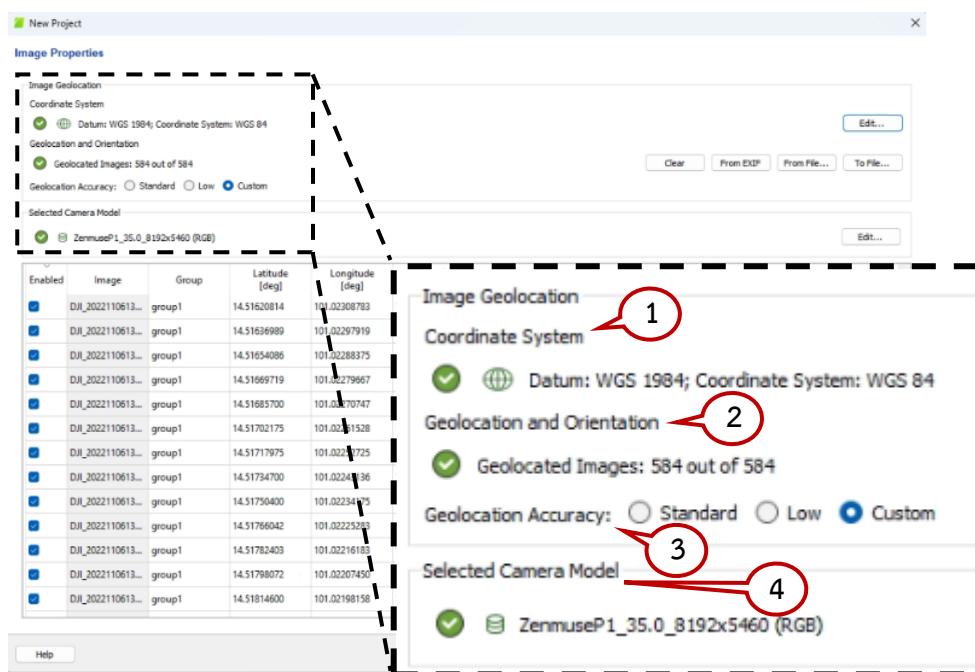
โปรแกรมจะเปลี่ยนไปเป็นหัวข้อ Select Images โดยในหน้าต่างนี้โปรแกรมจะให้ผู้ใช้งานนำเข้าข้อมูลที่ใช้ในการประมวลผลข้อมูลซึ่งสามารถนำเข้าได้ทั้งรูปแบบรายภาพ แบบไฟล์เดอร์ แบบวิดีโอ นอกจากนั้นสามารถลบภาพโดยการเลือกภาพที่อยู่ในรายชื่อภาพ หรือลบทั้งหมดที่นำเข้ามา



โดยภาพทางด้านซ้ายจะแสดงการเลือกข้อมูลภาพถ่ายที่จะใช้ในการประมวลผล หลังจากเลือกภาพได้แล้วให้ทำการกด Open จะสังเกตได้ว่าตอนนี้ข้อมูลภาพถ่ายที่ทำการเลือกทั้งหมดจะถูกลิสต์รายชื่อภาพลงมาดังรูปทางด้านขวา หลังจากนำเข้าภาพถ่ายเสร็จเรียบร้อยแล้วให้กดปุ่ม Next

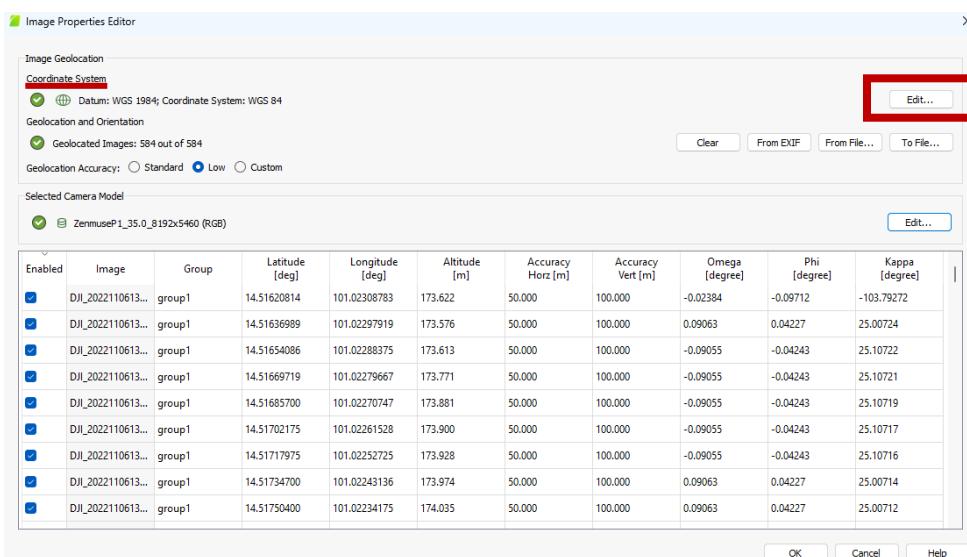


จากนั้นโปรแกรมจะแสดงหน้าต่าง Image Properties ขึ้นมา ซึ่งมีหัวข้อของพารามิเตอร์ต่าง ๆ หลายหัวข้อให้ผู้ประมวลผลกำหนดและตั้งค่าได้ โดยแต่ละหัวข้อมีความสำคัญต่อการประมวลผลเป็นอย่างมาก ดังนั้นผู้ประมวลผลควรจะใส่ใจกับหน้าต่างนี้ โดยผู้เขียนขอทำการแบ่งออกเป็น 4 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1) Coordinate System ส่วนที่ 2) Geolocation and Orientation ส่วนที่ 3) Geolocation Accuracy และ ส่วนที่ 4) Selected Camera Model

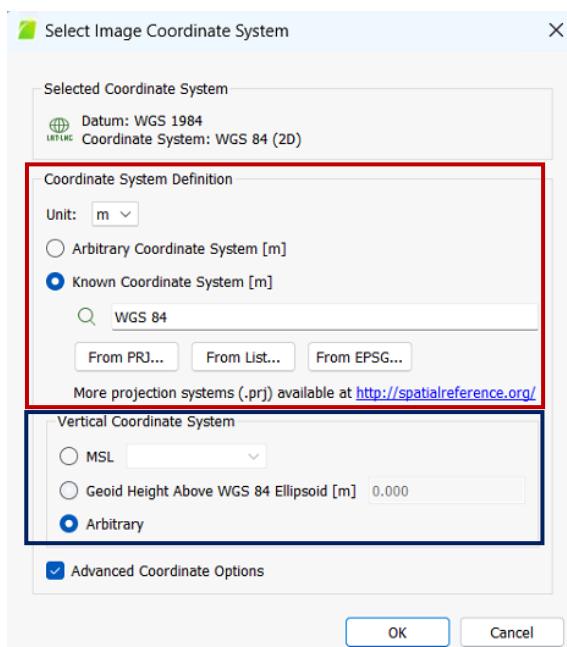


ส่วนที่ 1) Coordinate System

เป็นส่วนของการกำหนดระบบพิกัดให้กับภาพถ่ายที่นำเข้ามาประมวลผล โดยในส่วนนี้ต้องกำหนดให้สอดคล้องกับค่าพิกัดของภาพถ่ายที่นำเข้ามา ซึ่งส่วนใหญ่ค่าพิกัดที่นำเข้ามาประมวลผลจะเป็นค่าพิกัดในรูปแบบ Latitude/Longitude ดังนั้นการกำหนดระบบพิกัดจึงเป็นระบบ WGS84 โดยผู้ประมวลผลสามารถเปลี่ยนหรือกำหนดระบบพิกัดได้หากระบบพิกัดที่แสดงอยู่ไม่สอดคล้องกับข้อมูลที่ต้องการจะนำเข้าโปรแกรม สามารถทำได้โดยการกดที่ปุ่ม Edit ตามภาพที่แสดงด้านล่าง



หลังจากกดแล้วโปรแกรมจะปรากฏหน้าต่างใหม่ขึ้นมาที่ชื่อว่า Select Image Coordinate System เพื่อให้ผู้ประมวลผลกำหนดระบบพิกัดของภาพดังรูปที่แสดงด้านล่าง



โดยกรอบ Coordinate System Definition จะเป็นส่วนที่เกี่ยวข้องกับการกำหนดระบบพิกัดทางราบ สำหรับกรอบ Vertical Coordinate System ข้างล่างนี้จะเป็นส่วนที่ใช้กำหนดระบบพิกัดทางดิ่ง โดยโปรแกรมจะแสดงรายละเอียดระบบพิกัด เมื่อผู้ใช้ทำการเลือก check box Advanced Options ซึ่งหลังจากเลือก Advance Coordinate Options นี้แล้วในส่วนของการกำหนดระบบพิกัดทางดิ่งโปรแกรมจะเปิดโอกาสให้ผู้ประมวลผลสามารถเลือกรูปแบบได้ 3 รูปแบบ คือ

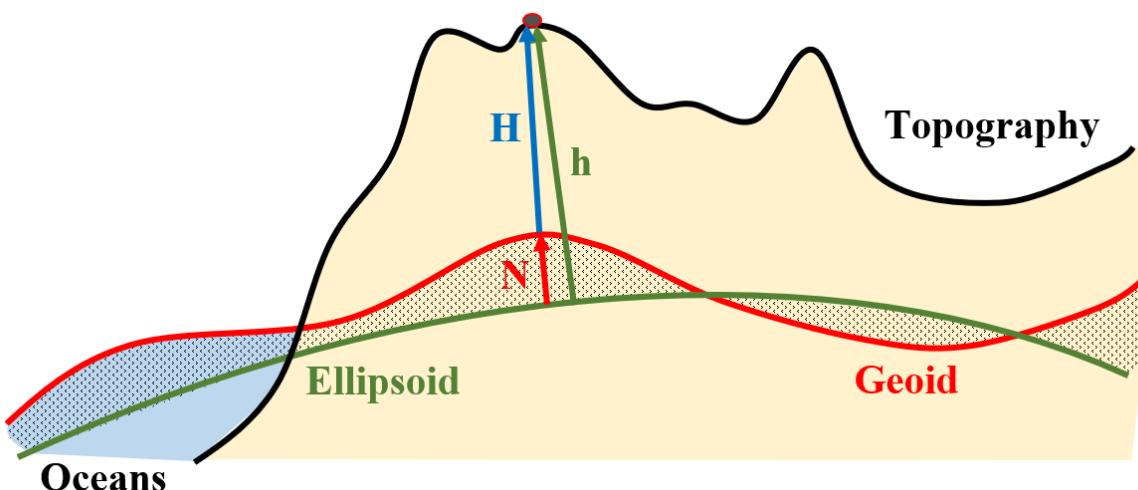
รูปแบบที่ 1 MSL: การกำหนดให้โปรแกรมผลิตข้อมูล เช่น ภาพอร์โธในระนาบที่ความสูงเป็นแบบออร์โธเมตริก (H) หรือคือ ความสูงเหนือระดับทะเลปกติ ภายใต้ในโปรแกรมจะให้ผู้ใช้งานเลือกกำหนดแบบจำลองความสูงยื่อยืด (H) เช่น EGM96, EGM2008 หรืออื่น ๆ สำหรับใช้ในการคำนวณเพื่อให้ได้ความสูงออร์โธเมตริก ดังนั้นการกำหนดในรูปแบบนี้ แปลว่า ค่าพิกัดทางดิ่ง เช่น ค่าพิกัดของ GCP ที่นำเข้ามาประมวลผลจะต้องเป็นค่าเหนือผิวทรงรี (h) เพื่อให้โปรแกรมประมวลผลได้ตามที่กล่าวไป โดยสมการแสดงความสัมพันธ์ดังกล่าวคือ

$$h = H + N$$

เมื่อ H คือ ความสูงเหนือระดับทะเลปกติ (Mean Sea Level) หรือความสูงออร์โธเมตริก (Orthometric Height)

h คือ ความสูงเหนือผิวทรงรี (Height Above Ellipsoid; HAE) หรือ Ellipsoidal Height

N คือ ความสูงยื่อยืด (Geoid Height, Geoid Undulation)



ในโปรแกรม PIX4Dmapper เวอร์ชัน 4.7.5 ที่ผู้เขียนเรียบเรียงเขียนคู่มือการประมวลผลขึ้นมา โปรแกรมยังไม่รองรับแบบจำลองยีออยด์ท้องถิ่นของประเทศไทย (Thailand Geoid Model 2017: TGM2017)

รูปแบบที่ 2 Geoid Height Above WGS 84 Ellipsoid: สำหรับรูปแบบนี้จะมีลักษณะที่คล้ายกับการกำหนดในรูปแบบก่อนหน้า คือ ค่าพิกัดทางดิ่งที่ผู้ประมวลผลกำหนดให้กับภาพถ่ายที่ใช้ในการประมวลผลต้องเป็นค่าความสูงเหนือผิวโลก โปรแกรมเปิดโอกาสให้ผู้ใช้งานสามารถกำหนดค่าความสูงยีออยด์ (N) เพื่อใช้ในการคำนวณไปเป็นค่าความสูงอัตราระยะต่างๆ ซึ่งหมายความว่าต้องคำนึงถึงความสูงของผิวโลก แต่ต้องคำนึงถึงความสูงของผิวโลกที่ไม่เท่ากัน อาจมีความไม่ถูกต้องหากใช้ค่าความสูงที่ไม่ถูกต้อง ตัวอย่างเช่น กำหนดค่าความสูง N ให้เท่ากับ 0 เมตร แต่ความสูงของผิวโลกจริงอาจไม่เท่ากับ 0 เมตร ทำให้เกิดความไม่ถูกต้องในผลลัพธ์

ในกรณีที่ความสูงอ้างอิงทางดิ่งของภาพถ่ายเป็นค่าระดับเหนือทะเล平 (M) และไม่ต้องการแปลงค่าพิกัดทางดิ่งอีก จะกำหนดค่าตัวเลขเป็น 0 เมตร นั้นคือเป็นการนำเข้าค่าพิกัดทางดิ่งในรูปแบบความสูงอัตราระยะต่างๆ ที่ไม่ได้ถูกกำหนดให้กับค่าความสูงที่ผู้ใช้ต้องคำนึงถึง

รูปแบบที่ 3 Arbitrary: รูปแบบนี้เป็นการกำหนดให้โปรแกรมทราบว่าให้ใช้ค่าพิกัดความสูงที่ผู้ประมวลผลนำเข้ามาโดยไม่ต้องทำการคำนวณอะไรเพิ่มเติม

ตั้งนั้นการกำหนดระบบพิกัดอ้างอิงทางดิ่งอาจสรุปเป็นตารางได้ดังต่อไปนี้

รูปแบบการกำหนดระบบพิกัดทางดิ่ง	ข้อมูลที่นำเข้า	ผลลัพธ์ที่ต้องการ	การกำหนดพารามิเตอร์ในรูปแบบ
รูปแบบที่ 1	ค่าระดับเหนือผิวโลก	ค่าระดับเหนือระดับทะเล平	เลือก Geoid Model
รูปแบบที่ 2	ค่าระดับเหนือผิวโลก	ค่าระดับเหนือระดับทะเล平	N เมตร (ใช้สำหรับการปฏิบัติงานในพื้นที่ขนาดเล็ก เช่น ไม่เกิน 1 ตารางกิโลเมตร)
รูปแบบที่ 3A	ค่าระดับเหนือระดับทะเล平	ค่าระดับเหนือระดับทะเล平	0 เมตร
รูปแบบที่ 3B	ค่าระดับเหนือผิวโลก	ค่าระดับเหนือผิวโลก	0 เมตร

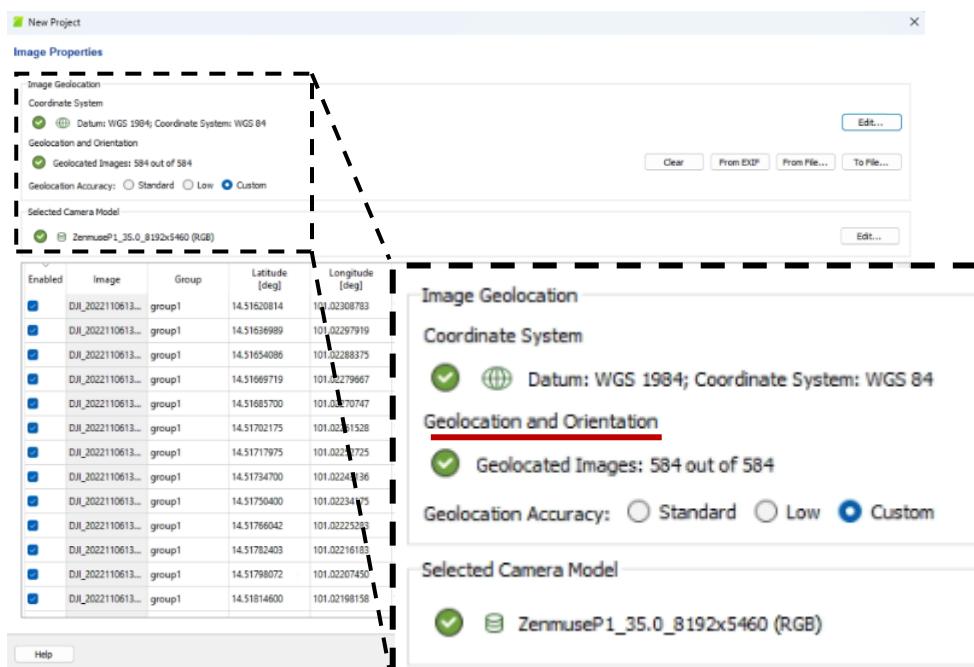
การคำนวณหาค่า Geoid Undulation สำหรับประเทศไทย กรณีต้องการคำนวณจากแบบจำลองยีออยด์ TGM-2017 ของกรมแผนที่ทหารและมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ซึ่งถือได้ว่าเป็นแบบจำลองยีออยด์สำหรับประเทศไทย

การคำนวณจากแบบจำลองยีออยด์ TGM-2017 ของกรมแผนที่ทหาร อาจใช้ซอฟต์แวร์ Geographiclib/GeoidEval ตัวอย่างคำสั่ง

```
$ GeoidEval -n tgm2017-1 --input-string "14.0000 100.00000"
-32.2897
```

ส่วนที่ 2) Geolocation and Orientation

ส่วนที่บอกถึงจำนวนภาพถ่ายที่ถูกนำเข้ามาในโปรแกรมเพื่อประมวลผล โดยตัวเลขหน้า หมายถึง จำนวนของภาพที่มีค่าพิกัดตำแหน่ง และตัวเลขด้านหลัง หมายถึง จำนวนภาพทั้งหมด ดังนั้นในตัวอย่างข้อมูลนี้ตัวเลขปรากฏ 584 / 584 หมายถึง การประมวลผลครั้งนี้มีภาพถ่ายทางอากาศทั้งหมด 584 ภาพ โดยที่ทั้ง 584 ภาพเป็นภาพที่มีค่าพิกัดทั้งหมด



ในส่วนของการที่ภาพถ่ายมีค่าพิกัดติดหรือฝังมาในภาพถ่ายบางครั้งการที่ภาพถ่ายมีค่าพิกัดฝังมาด้วยอาจได้มาจากการที่อากาศยานไร้คนขับที่ติดตั้งกล้องบนที่กากถ่ายมีการติดตั้งเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีเอ็นเอสเอส (GNSS) ไว้ด้วยบนตัวลำ ซึ่งทำให้การถ่ายภาพมีค่าพิกัดติดเข้ามา ภาพถ่ายที่มีค่าพิกัดฝังแบบนี้เรียกว่า Geotagged image ซึ่งหากเป็นการนำเข้าภาพถ่ายในรูปแบบนี้เวลานำเข้ามาในโปรแกรมแล้ว ภาพ

คู่มือการใช้งานโปรแกรม PIX4Dmapper

จะมีค่าพิกัดปรากฏและอาจมีความถูกต้องของค่าพิกัดแนบมาด้วย ซึ่งจะปรากฏบนหน้าต่างในโปรแกรมให้ผู้ประมวลผลเห็นค่าพิกัดและความถูกต้องโดย

สำหรับอิกรูปแบบของภาพถ่ายที่อาจพบเห็นได้ คือ อากาศยานไร้คนขับสามารถรังวัดและบันทึกค่าพิกัดของภาพถ่ายออกมายield ได้ เช่นกัน แต่ข้อมูลค่าพิกัดไม่ได้ถูกฝังเข้าไปในภาพ แต่นำออกมาระบบเป็นไฟล์ข้อมูลค่าพิกัดหรือค่าพารามิเตอร์การจัดภาพภายนอก ในรูปแบบไฟล์ ASCII และจัดรูปแบบเป็น CSV แบบมากับไฟล์เดอร์ของรูปภาพ ซึ่งหากเป็นรูปแบบนี้ผู้ประมวลผลสามารถนำเข้าได้โดยการกดที่ปุ่ม From File...

โดยในครั้มนี้จะมีข้อมูลที่นำมาใช้ประมวลผลเป็นตัวอย่างคือ ข้อมูลภาพถ่ายที่อยู่ในรูปแบบ Geotagged image ทำให้มีเนื้องหาเข้าข้อมูลภาพถ่ายแล้วภาพถ่ายมีค่าพิกัดและความถูกต้องปรากฏขึ้นมาโดย

ส่วนที่ 3) Geolocation Accuracy

เป็นส่วนที่บ่งบอกถึงระดับความแม่นยำของตำแหน่งของภาพถ่าย โดยที่ผู้ประมวลผลสามารถกำหนด ความแม่นยำหรือ statistic value กำกับภาพได้ในส่วนนี้ โดยหลักการในการกำหนดขึ้นอยู่กับวิธีการได้มาซึ่งค่าพิกัดของภาพถ่าย ในครั้มนี้จะยกตัวอย่างการกำหนดค่าพิกัด 2 กรณี ได้แก่ กรณีที่ 1 การกำหนดค่าพิกัดชนิด GNSS Coarse-Acquisition (C/A) และกรณีที่ 2 การกำหนดค่าพิกัดชนิดมีพิกัดแม่นยำสูง (GNSS: RTK, PPK, kinematic-PPP)

กรณีที่ 1 การกำหนดค่าพิกัดชนิด GNSS Coarse-Acquisition (C/A)

ภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับหรือยูเอวีโดยส่วนใหญ่มักจะมีค่าพิกัดติดมาด้วย ซึ่งเป็นข้อมูลค่าพิกัดชนิด Coarse-Acquisition (C/A) กล่าวคือ ภาพถ่ายที่ได้จากระบบยูเอวีที่ภายในลำตัวเครื่องบินติดตั้งเครื่องรับสัญญาณจีเอ็นເອສເອສ ชนิดประมวลผลค่าพิกัดจาก Pseudo Range โดยระหว่างการบินบันทึกภาพที่มีการรับสัญญาณจีเอ็นເອສເອສและวัดระยะจากเครื่องรับไปยังดาวเทียมแต่ละดวงด้วยเทคนิค C/A จะทำให้ได้ค่าพิกัดที่มีความแม่นยำอยู่ในเกณฑ์ที่ใช้งานในชีวิตประจำวันทั่วไประดับ 10 เมตร ซึ่งค่าความแม่นยำของพิกัดภาพถ่ายยูเอวีและค่าทางสถิติที่จะใช้กำหนดขอบเขตของพื้นที่ที่คาดว่าจะอยู่ในบริเวณที่ถ่ายภาพ อาจประมาณการสรุปได้ดังนี้

รูปแบบการประมาณผล	ความแม่นยำทางราบ	ความแม่นยำทางตั้ง
ค่าความแม่นยำของค่าพิกัดภาพถ่าย (C/A GNSS Accuracy)	± 10 m	± 30 m
ค่าทางสถิติของค่าพิกัดภาพถ่ายที่ใช้ในการประมาณผล (Standard Deviation หรือ Weight)	± 50 m	± 100 m

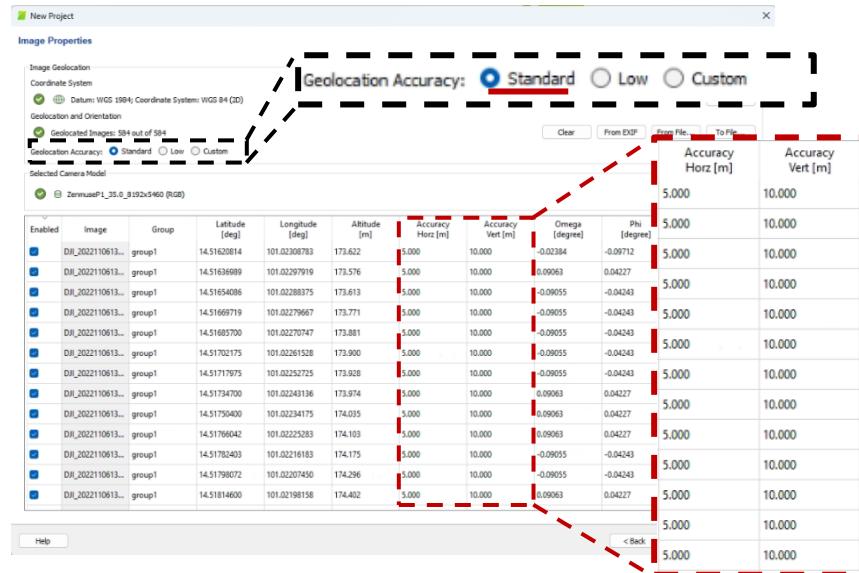
กรณีที่ 2 การกำหนดค่าพิกัดชนิดมีพิกัดแม่นยำสูง (GNSS: RTK, PPK, kinematic-PPP)

ภาพถ่ายยูเอวีชันดิมีพิกัดแม่นยำสูง คือ ภาพถ่ายที่ได้จากระบบยูเอวีที่ในลำตัวเครื่องบินติดตั้งเครื่องรับสัญญาณจีเอ็นເອສເອສນິດຮັບໄດ້ຫລາຍຄວາມຖີ່ (Multi-GNSS) ເຮືອກວ່າ Rover ຮະຫວ່າງການບິນບັນທຶກພາມມີການຮັບສัญญาณ GNSS (rover) ໃນຂະນະເຕີຍກັນບັນກາດພື້ນດິນກີ່ມີເຄື່ອງຮັບສัญญาณຈີ່ເອັນເອສເອສອືບເຕືອນໜຶ່ງເຮືອກວ່າ Base ຮັບສัญญาณ GNSS (base) ຂານກັນໄປ ຊົ້ວມຸລກາຮັບສัญญาณ raw GNSS ຈະຖືກນຳມາປະມາວລຸຜລໃນຮູບແບກຮາຕໍາແໜ່ງແບບສົມພັກ (Relative) ເຮືອກວ່າ Post-processing Kinematic (PPK) ອີ່ກີ່ ການປະມາວລຸຈາກເລືອກເປັນຮູບແບກຈຸດເຕີຍຄວາມລະເອີຍດູງຮູບແບກຈລນ໌ (Kinematic-Precise Point Positioning; Kinematic-PPP) ທຳໃຫ້ເດືອນວິທີກັບສ້າງຮັບສัญญาณຈີ່ເອັນເອສເອສ ດຳເນີນວິທີກັບສ້າງຮັບສัญญาณແມ່ນຍຳສູງ (precise orbit/ precise clock) ເຮືອກວ່າ Space-Stated Representation (SSR) ໃນຂະນະທີ່ຄ່າພິກີດທີ່ໄດ້ຈັກວິທີ Differential Kinematic ຈະມີຄວາມແມ່ນຍຳສູງກວ່າ ໂດຍຄວາມຄາດຫວັງຂອງຄວາມແມ່ນຍຳຂອງຄ່າພິກີດເປັນດັ່ງນີ້

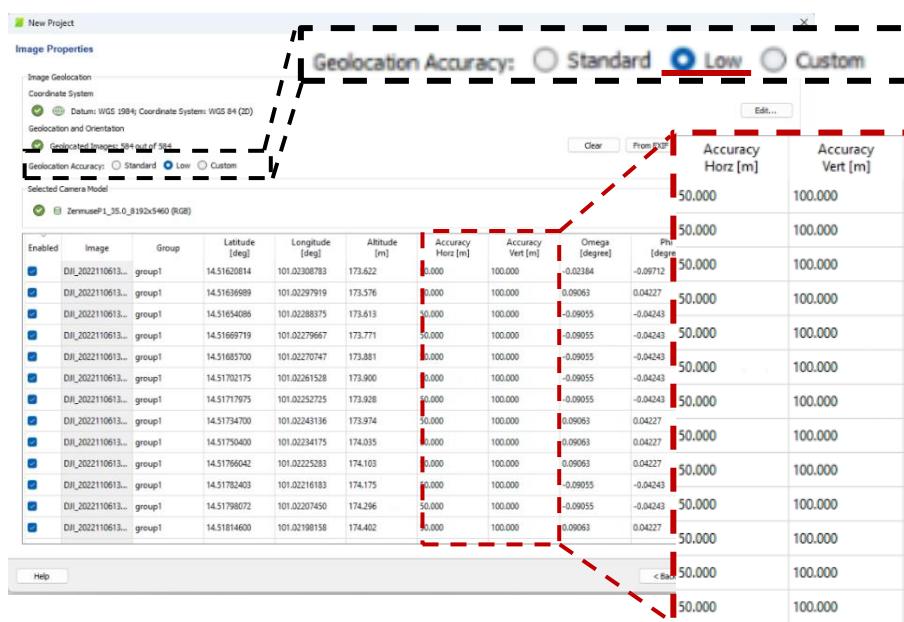
รูปแบบการประมาณผล	ความแม่นยำทางราบ	ความแม่นยำทางตั้ง
Differential Kinematic (Base + Rover) or PPK	± 5 cm	± 10 cm
Kinematic-Precise Point Positioning with SSR	± 10 cm	± 20 cm

โดยภายในโปรแกรมมีตัวเลือกให้ผู้ประมวลผลเลือกได้ 3 รูปแบบ ได้แก่

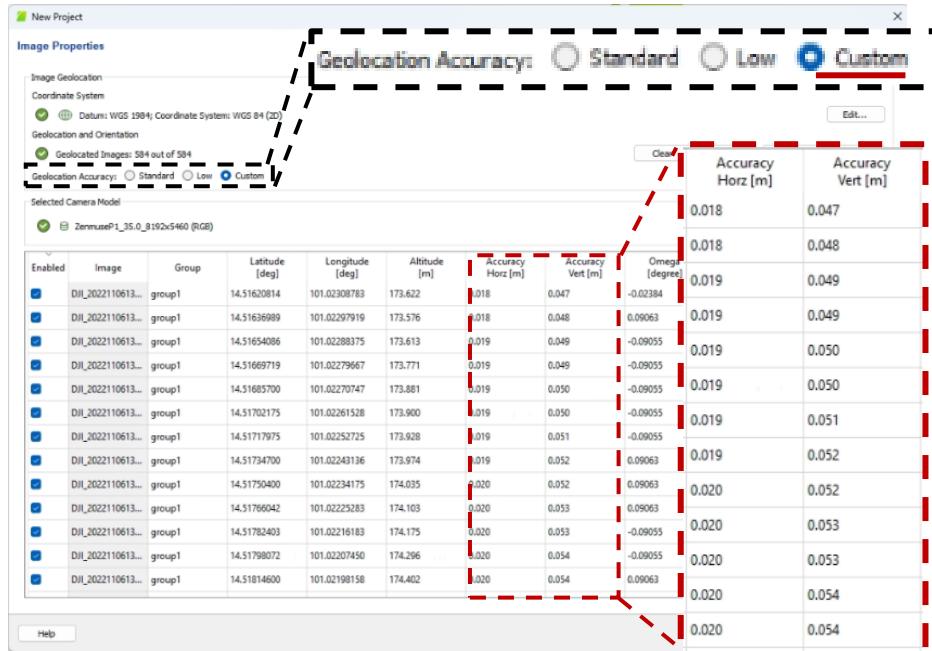
- รูปแบบ Standard เป็นตัวเลือก Default ที่โปรแกรมจะเลือกให้กับภาพถ่ายทางอากาศที่นำเข้ามาโดยจะกำหนดความถูกต้องทางราบ 5 เมตร และกำหนดความถูกต้องทางดิ่ง 10 เมตร



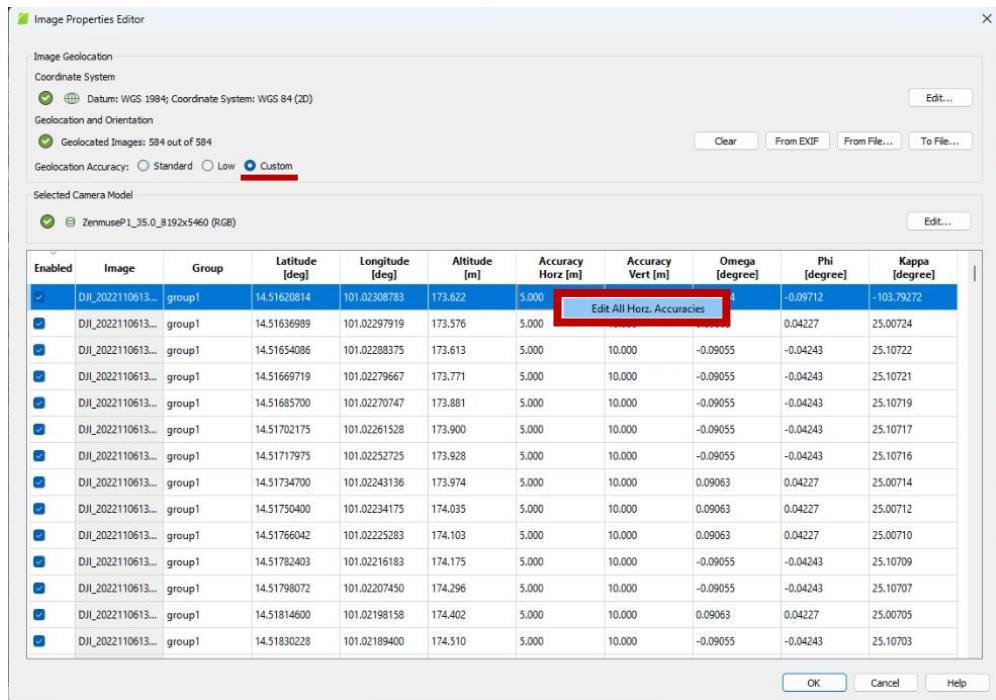
- รูปแบบ Low เป็นตัวเลือกที่จะกำหนดกำหนดความถูกต้องทางราบ 50 เมตร และกำหนดความถูกต้องทางดิ่ง 100 เมตร



3. รูปแบบ Custom เป็นตัวเลือกที่โปรแกรมอนุญาตให้ผู้ใช้สามารถกำหนดความถูกต้องทางราบและทางดิ่ง เท่าไรก็ได้ตามที่ผู้ประมวลผลต้องการ



สำหรับรูปแบบ Custom ผู้ประมวลผลสามารถกำหนดความถูกต้องได้โดยการคลิกขวาที่คอลัมน์ของภาพถ่ายที่ต้องการเปลี่ยนระดับความถูกต้อง เช่น ต้องการเปลี่ยนค่าความถูกต้องทางราบให้ทำการคลิกขวาที่คอลัมน์ Accuracy Horz [m] โปรแกรมจะขึ้นແນບให้เลือกว่า Edit All Horz. Accuracies จำกันทำการกรอกค่าที่ต้องการกำหนดความถูกต้องทางราบ โดยในตัวอย่างจะทำการกรอกค่าความถูกต้องทางราบเป็น 0.02 เมตร หากกรอกตัวเลขเสร็จแล้วให้ทำการกด Enter เป็นอันเสร็จการเปลี่ยนความถูกต้องของข้อมูลตามที่ผู้ประมวลผลต้องการ



ก่อนปรับค่าความถูกต้อง

<input checked="" type="checkbox"/>	DJI_2022110613...	group1	14.51669719	101.02279667	173.771	5.000	0.000	-0.09055	-0.04243	25.10721
<input checked="" type="checkbox"/>	DJI_2022110613...	group1	14.51685700	101.02270747	173.881	5.000	0.000	-0.09055	-0.04243	25.10719
<input checked="" type="checkbox"/>	DJI_2022110613...	group1	14.51702175	101.02261528	173.900	5.000	0.000	-0.09055	-0.04243	25.10717
<input checked="" type="checkbox"/>	DJI_2022110613...	group1	14.51717975	101.02252725	173.928	5.000	0.000	-0.09055	-0.04243	25.10716
<input checked="" type="checkbox"/>	DJI_2022110613...	group1	14.51734700	101.02243136	173.974	5.000	0.000	0.09063	0.04227	25.00714
<input checked="" type="checkbox"/>	DJI_2022110613...	group1	14.51750400	101.02234175	174.035	5.000	0.000	0.09063	0.04227	25.00712
<input checked="" type="checkbox"/>	DJI_2022110613...	group1	14.51766042	101.02225283	174.103	5.000	0.000	0.09063	0.04227	25.00710
<input checked="" type="checkbox"/>	DJI_2022110613...	group1	14.51782403	101.02216183	174.175	5.000	0.000	-0.09055	-0.04243	25.10709
<input checked="" type="checkbox"/>	DJI_2022110613...	group1	14.51798072	101.02207450	174.296	5.000	0.000	-0.09055	-0.04243	25.10707
<input checked="" type="checkbox"/>	DJI_2022110613...	group1	14.51814600	101.02198158	174.402	5.000	0.000	0.09063	0.04227	25.00705
<input checked="" type="checkbox"/>	DJI_2022110613...	group1	14.51830228	101.02189400	174.510	5.000	0.000	-0.09055	-0.04243	25.10703

หลังปรับค่าความถูกต้อง

<input checked="" type="checkbox"/>	DJI_2022110613...	group1	14.51654086	101.02288375	173.613	0.020	0.000	-0.09055	-0.04243	25.10722
<input checked="" type="checkbox"/>	DJI_2022110613...	group1	14.51669719	101.02279667	173.771	0.020	0.000	-0.09055	-0.04243	25.10721
<input checked="" type="checkbox"/>	DJI_2022110613...	group1	14.51685700	101.02270747	173.881	0.020	0.000	-0.09055	-0.04243	25.10719
<input checked="" type="checkbox"/>	DJI_2022110613...	group1	14.51702175	101.02261528	173.900	0.020	0.000	-0.09055	-0.04243	25.10717
<input checked="" type="checkbox"/>	DJI_2022110613...	group1	14.51717975	101.02252725	173.928	0.020	0.000	-0.09055	-0.04243	25.10716
<input checked="" type="checkbox"/>	DJI_2022110613...	group1	14.51734700	101.02243136	173.974	0.020	0.000	0.09063	0.04227	25.00714
<input checked="" type="checkbox"/>	DJI_2022110613...	group1	14.51750400	101.02234175	174.035	0.020	0.000	0.09063	0.04227	25.00712
<input checked="" type="checkbox"/>	DJI_2022110613...	group1	14.51766042	101.02225283	174.103	0.020	0.000	0.09063	0.04227	25.00710
<input checked="" type="checkbox"/>	DJI_2022110613...	group1	14.51782403	101.02216183	174.175	0.020	0.000	-0.09055	-0.04243	25.10709
<input checked="" type="checkbox"/>	DJI_2022110613...	group1	14.51798072	101.02207450	174.296	0.020	0.000	-0.09055	-0.04243	25.10707
<input checked="" type="checkbox"/>	DJI_2022110613...	group1	14.51814600	101.02198158	174.402	0.020	0.000	0.09063	0.04227	25.00705
<input checked="" type="checkbox"/>	DJI_2022110613...	group1	14.51830228	101.02189400	174.510	0.020	0.000	-0.09055	-0.04243	25.10703

คู่มือการใช้งานโปรแกรม PIX4Dmapper

ดังที่กล่าวไปในข้างต้น สำหรับข้อมูลภาพถ่ายที่เป็นตัวอย่างของคูมีอเลมนี้ เป็นภาพถ่ายที่มีค่าพิกัดและค่าความถูกต้องฝังมากับภาพถ่ายแล้ว ดังนั้นในขั้นตอนการประมวลผลจะอิงตามข้อมูลต่าง ๆ ที่ฝังมากับภาพถ่าย ในกรณีผู้ประมวลผลควรตรวจสอบให้ถูกต้อง การฝังพิกัดเข้าไปในไฟล์ JPEG ในมาตรฐาน EXIF จะไม่รับรองความถูกต้องของค่าพิกัดจีพีเอส และ ค่าสถิติความแม่นยำอื่นๆ

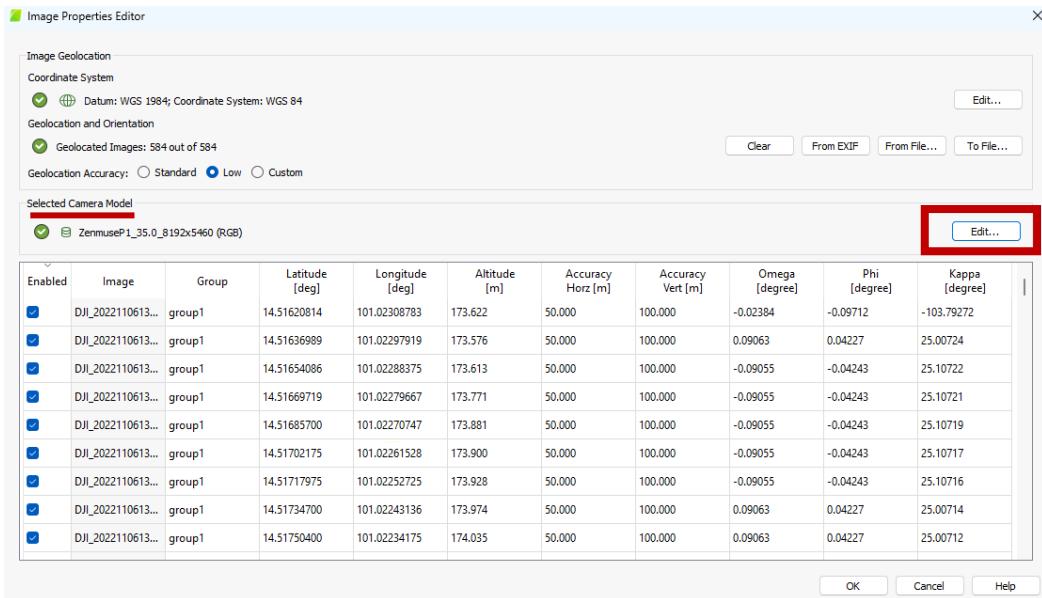
ส่วนที่ 4. Selected Camera Model:

เป็นส่วนของการกำหนดชนิดของแบบจำลองกล้องถ่ายภาพ โดยที่ไปแล้วชนิดของกล้องถ่ายภาพที่ติดตั้งบนอากาศยานไร้คนขับ อาจแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มตามความเร็วของชัตเตอร์ (Shutter) ได้แก่ Global Shutter และ Rolling Shutter โดยกล้องชนิด Global Shutter กล้องจะทำการบันทึกภาพทั้งภาพได้เร็วและทุกจุดภาพเกิดขึ้นพร้อมกัน ส่วนกล้องที่มีคุณสมบัติ Rolling Shutter คือ กล้องจะบันทึกภาพเป็นรายเส้นบันทึกภาพได้ช้าและ line read out delay มีค่าเกินกว่า 10 มิลลิวินาที (ms) ปัจจุบันกล้องมีความละเอียดจุดภาพมากกว่า 20 MP มักจะทำงานในรูปแบบ Global Shutter ในการประมวลจะต้องกำหนดชนิดของแบบจำลองกล้องให้เหมาะสมสมบูรณ์จะได้ข้อมูลแผนที่ความละเอียดถูกต้องสูงสุด หากซอฟต์แวร์ไม่สามารถแยกแยะประเภทกล้องได้เอง

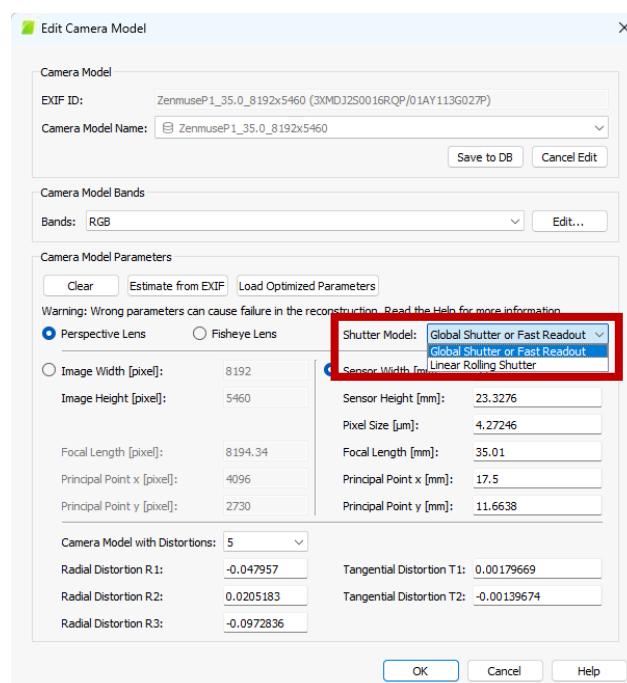
แต่อย่างไรก็ตาม สำหรับกล้องชนิด Rolling Shutter หากทำการบินช้าๆ อาจไม่จำเป็นต้องมีแบบจำลองค่าแกนนี้ ในตารางด้านล่างจะแสดงการตั้งค่ากล้องติดยูเอวี ความเร็วในการบิน และแบบจำลองชัตเตอร์กล้อง ที่นิยมใช้งาน

กล้องที่ติดยูเอวี	ความเร็วในการบิน	แบบจำลองชัตเตอร์
DJI Mavic Pro DJI Phantom4 Pro	เร็ว : 3 - 10 m/s	Rolling Shutter
DJI Maric Pro DJI Phantom4 Pro	ช้า : 1 - 2 m/s	Global Shutter
ยูเอวีสำหรับทำแผนที่ Sony Exmor CMOS 24.3 MP Sony Exmor CMOS 42 MP Sony Exmor CMOS 65 MP	ไม่กำหนด	Global Shutter

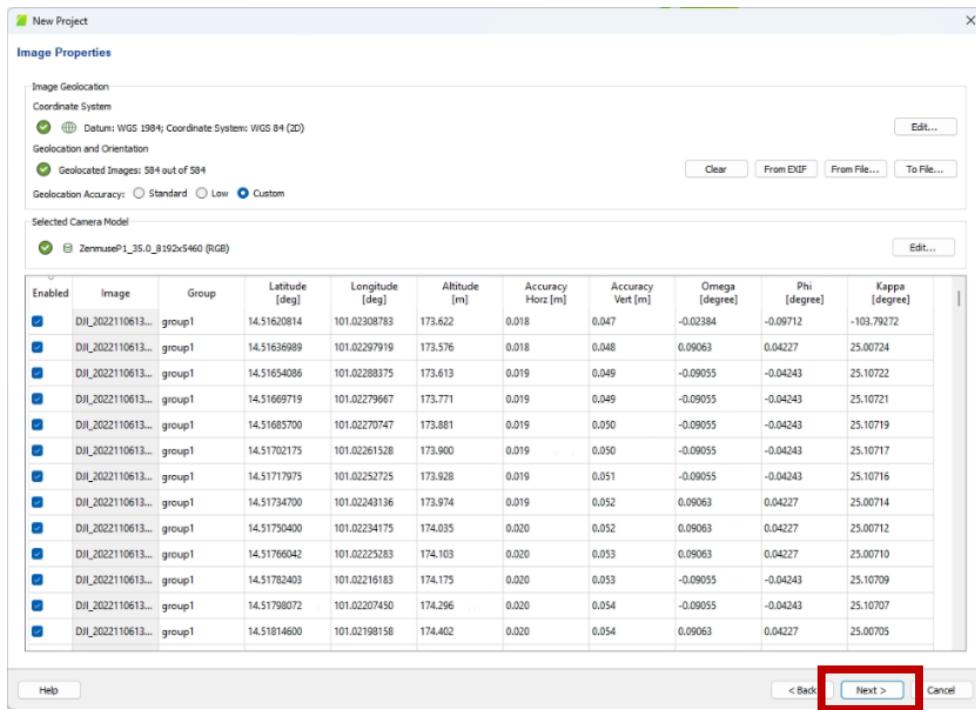
โดยผู้ประมวลผลสามารถกำหนดแบบจำลองของกล้องได้จากหน้าต่าง Image Properties Editor จากนั้นให้ผู้ประมวลผลกดเลือก Edit... ในบรรทัดที่ตรงกับชื่อของกล้องถ่ายภาพในบริเวณของ Selected Camera Model



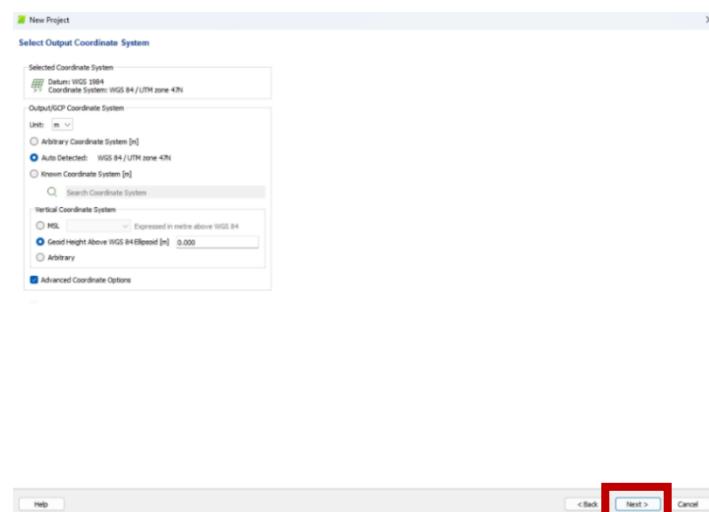
หลังจากกดแล้วโปรแกรมจะปรากฏหน้าต่าง Edit Camera Model ให้ตรวจสอบข้อมูลคุณลักษณะของกล้องที่ได้จากการอ่าน EXIF ID ... ในส่วนของ Camera Model Parameters ในหัวข้อ Shutter Model ให้เลือกตามชนิดของแบบจำลองกล้องที่ติดตั้งบนยูเอวี



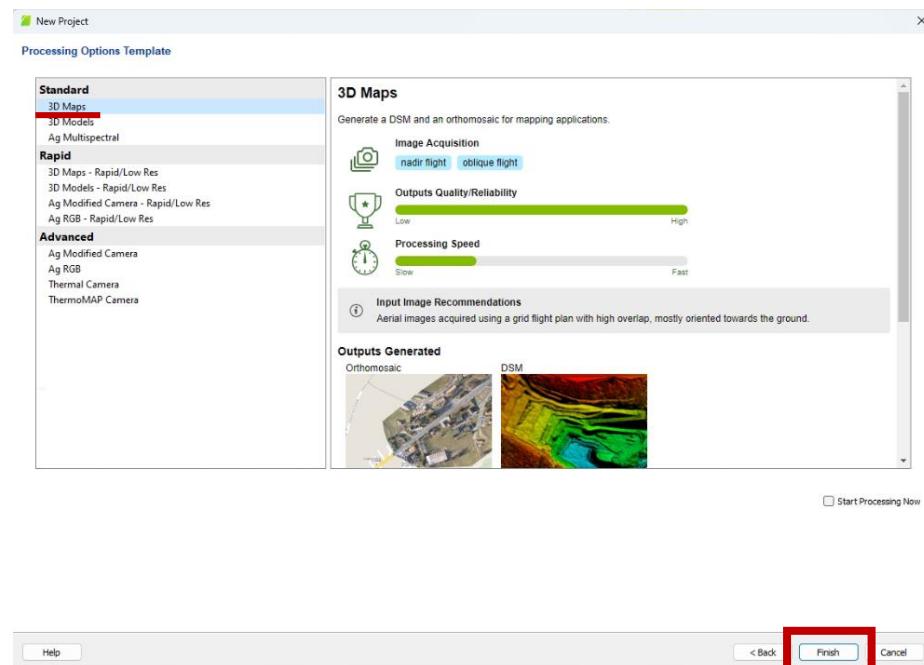
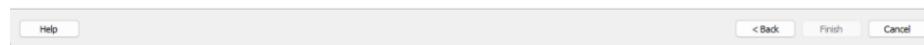
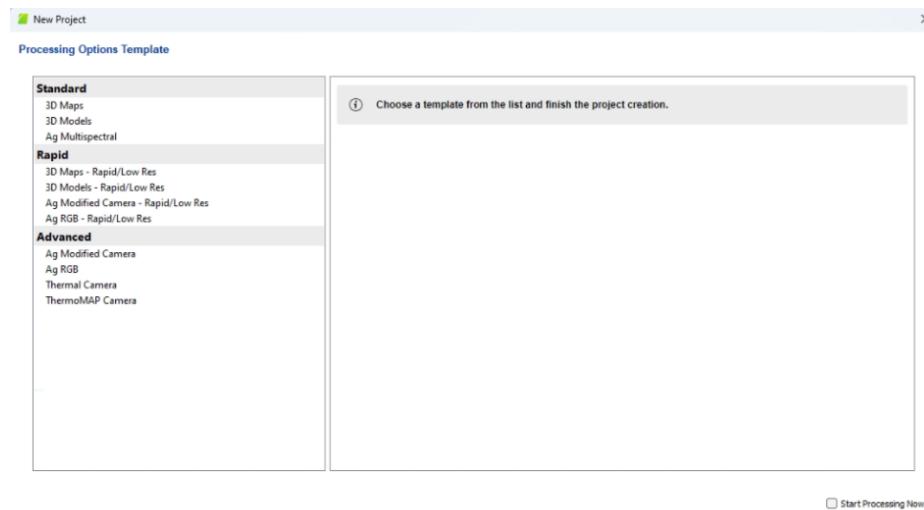
โดยกล้องที่ใช้ในการถ่ายเป็นกล้องที่ได้รับความนิยมและมีข้อมูลในฐานข้อมูลของโปรแกรมแล้ว ดังนั้นไม่ต้องทำการกำหนดอะเรเพิมเติม สามารถอิงตามที่โปรแกรมเลือกให้ได้เลย หากทำการกำหนดพารามิเตอร์ในหัวข้อต่าง ๆ เสร็จเรียบร้อยแล้วให้กดปุ่ม Next



จากนั้นโปรแกรมจะแสดงหน้าต่างใหม่ขึ้นมาให้ผู้ประมวลผลกำหนด Select Output Coordinate System การกำหนดพารามิเตอร์ต่าง ๆ จะมีลักษณะคล้ายกับขั้นตอนก่อนหน้าที่เป็นการกำหนดระบบพิกัดให้กับภาพถ่ายเพียงแต่การกำหนดในครั้งนี้คือ การกำหนดระบบพิกัดของผลลัพธ์หลังจากประมวลผลเสร็จเรียบร้อยแล้ว โดยภายในคู่มือเล่มนี้ เลือกแบบ Arbitrary จากนั้นกดปุ่ม Next



โปรแกรมจะแสดงหน้าต่างใหม่ขึ้นมา เพื่อให้ผู้ประมวลผลเลือกรูปแบบที่ใช้ในการประมวลผล โดยมีด้วยกันหลายรูปแบบขึ้นอยู่กับรูปแบบของข้อมูลและผลลัพธ์ที่จะนำไปใช้งานต่อในขั้นถัดไป หรือผู้ประมวลผลสามารถกำหนดหรือสร้างเป็นรูปแบบไว้ใช้งานในครั้งถัด ๆ ไปได้ โดยการประมวลผลครั้งนี้จะขอเลือกรูปแบบทั่วไปที่ใช้ในการประมวลผลข้อมูลคือ รูปแบบ 3D Maps



ແບບເຄືອງມື້ພື້ນຖານໃນໂປຣແກຣມ PIX4Dmapper

หลังຈາກເລືອກຮູບແບບໄດ້ແລ້ວ ກົດປຸ່ມ Finish ໂປຣແກຣມຈະແສດງໜ້າຕ່າງທີ່ໃຫ້ໃນການປະມາລັບຂຶ້ນມາດັ່ງ ກາພທີ່ແສດງດ້ານລ່າງ ຈຶ່ງຈະເຫັນໄດ້ວ່າມີແບບຂອງເຄືອງມື້ເຍືອະນຸມາດ ດັ່ງນັ້ນໃນຄູ່ມື້ອເລີ່ມນີ້ຈະກ່າວຄິງເຄືອງມື້ພື້ນຖານທີ່ຕ້ອງໃຫ້ໃນການປະມາລັບຂຶ້ນມູລເພື່ອຜົລິຕົລືຜົລັບພົໍ່ພື້ນຖານສໍາຫຼັບນໍາໄປໃຫ້ໃນການທາງດ້ານວິສະວຽກຮົມ



ສ່ວນປະກອບຂອງໂປຣແກຣມ PIX4Dmapper ປະກອບໄປດ້ວຍກັນ 3 ສ່ວນໃໝ່ ๆ ຄືອ

ສ່ວນທີ່ 1 Toolbar ຄືອ ເມນຸ່ງຈັດກາໄຟຟ້າຍໃນໂປຣແກຣມ ປະກອບດ້ວຍ

- ເມນຸ່ງ Project ໄດ້ແກ່ ການສ້າງໂປຣແກຣມໃໝ່ (New Project), ການບັນທຶກໂປຣແກຣມ (Save Project/Save Project As), ການເປີດ/ປິດໂປຣແກຣມທີ່ໄດ້ບັນທຶກໄວ້ (Open Project/Close Project), ການແກ້ໄຂຂໍ້ມູນລາພຸ່ຍແລະຂໍ້ມູນຂໍ້ມູນຄ່າພາຮັມມີເຕືອນກາຈັດກາພາຍນອກ (Image Properties Editor),

การเลือกระบบทิศทัศของผลลัพธ์จากการประมวลผล (Select Output Coordinate System),
เครื่องมือจัดการโยงยึดด้วยจุดควบคุมภาพถ่าย (GCP/MTP Manager)

- เมนู Process ได้แก่ การคำนวณปรับแก้ข้อมูลใหม่ (Reoptimize/ Rematch and Optimize), การสร้างรายงานคุณภาพของผลการประมวลผล (Generate Quality Report)
- เมนู View และเมนู Map View ได้แก่ การย่อ/ขยาย หน้าจอแสดงแผนที่ (Zoom In/Zoom Out), การกำหนดประเภทของ Base Map (Satellite/Map)
- เมนู Help ได้แก่ การให้ความช่วยเหลือในการใช้งานต่าง ๆ จาก Pix4D

ส่วนที่ 2 View Toolbar คือ เมนูจัดการมุมมองของแผนที่ ประกอบด้วย

- เมนู Home เป็นเมนูแสดงโครงการที่สร้างล่าสุด
- เมนู Map View เป็นเมนูแสดงมุมมองของแผนที่
- เมนู rayCloud เป็นเมนูที่แสดงผลการประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายและข้อมูลค่าพารามิเตอร์การจัดภาพภายนอกของแต่ละชั้นตอนตามกระบวนการของการประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศ
- เมนู Volumes เป็นเมนูจัดการเกี่ยวกับการคิดพื้นที่และปริมาตร
- เมนู Mosaic Editor เป็นเมนูที่ปรับแก้สีของภาพออร์โจริงที่ได้จากการผสมสีภาพเข้าด้วยกันโดยวิธีโมเสก (Mosaic)
- เมนู Index Calculator เป็นเมนูคำนวณข้อมูล Index จากการประมวลผล

ส่วนที่ 3 Processing Toolbar คือ เครื่องมือจัดการการประมวลผลข้อมูล ประกอบด้วย

- เมนู Processing เป็นแถบเมนูที่แสดงการประมวลผล 3 ขั้นตอน ได้แก่ 1. Initial Processing 2. Point Cloud and Mesh 3. DSM Orthomosaic and Index, แถบแสดงเปอร์เซ็นต์ของการประมวลผล (Current/Total), คำสั่งเริ่มประมวลผลข้อมูล (Start), คำสั่งยกเลิกการประมวลผลข้อมูล (Cancel)
- เมนู Log Output เป็นแถบเมนูที่แสดงคำสั่งต่าง ๆ ที่ผู้ใช้งานได้เลือก และผลของการเลือกคำสั่งหรือผลการประมวลผลข้อมูล ในรูปแบบไฟล์ Log
- เมนู Processing Options เป็นเมนูเกี่ยวกับการตั้งค่าการประมวลผล และตั้งค่าผลลัพธ์จากการประมวลผลทั้ง 3 ขั้นตอน

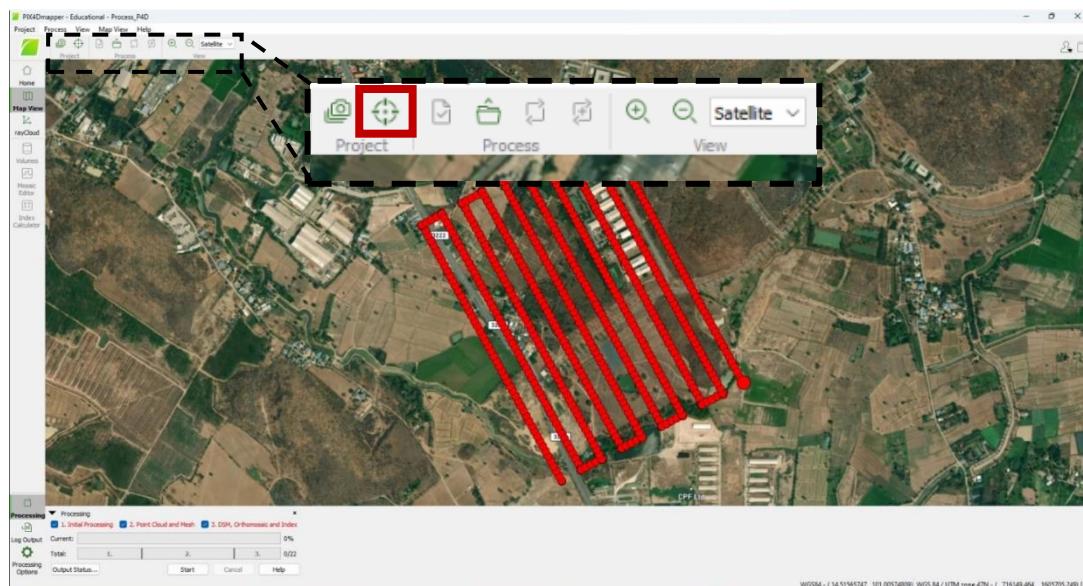
เพื่อเป็นการตรวจสอบเบื้องต้นด้วยสายตาว่าการนำเข้าข้อมูลภาพถ่ายของผู้ประมวลผลมีความถูกต้องหรือไม่ ผู้ประมวลผลสามารถดูที่หน้าจอของโปรแกรมจะเห็นได้ว่า มีจุดวงกลมสีแดงปรากฏขึ้น จุดสีแดงหมายถึง ตำแหน่งของภาพถ่ายที่ได้นำเข้ามาเพื่อเตรียมพร้อมรองรับประมวลผล และพื้นหลังของจุดสีแดงจะแสดงภาพถ่ายดาวเทียม ณ บริเวณเดียวกับตำแหน่งของภาพถ่าย ดังนั้นสำหรับในส่วนนี้ผู้ประมวลผลสามารถตรวจสอบได้คร่าว ๆ จากการที่ผู้ประมวลผลทราบอยู่แล้วว่า ได้รับมอบหมายให้ทำการประมวลผลข้อมูลบริเวณพื้นที่ไหน ดังนั้นหากตำแหน่งของภาพไม่สอดคล้องกับภาพถ่ายดาวเทียมที่ปรากฏ ผู้ประมวลผลสามารถดำเนินการแก้ไขหรือตรวจสอบข้อมูลได้เลยในขั้นตอนนี้ ก่อนที่จะเริ่มทำการประมวลผลในขั้นตอนถัดไป



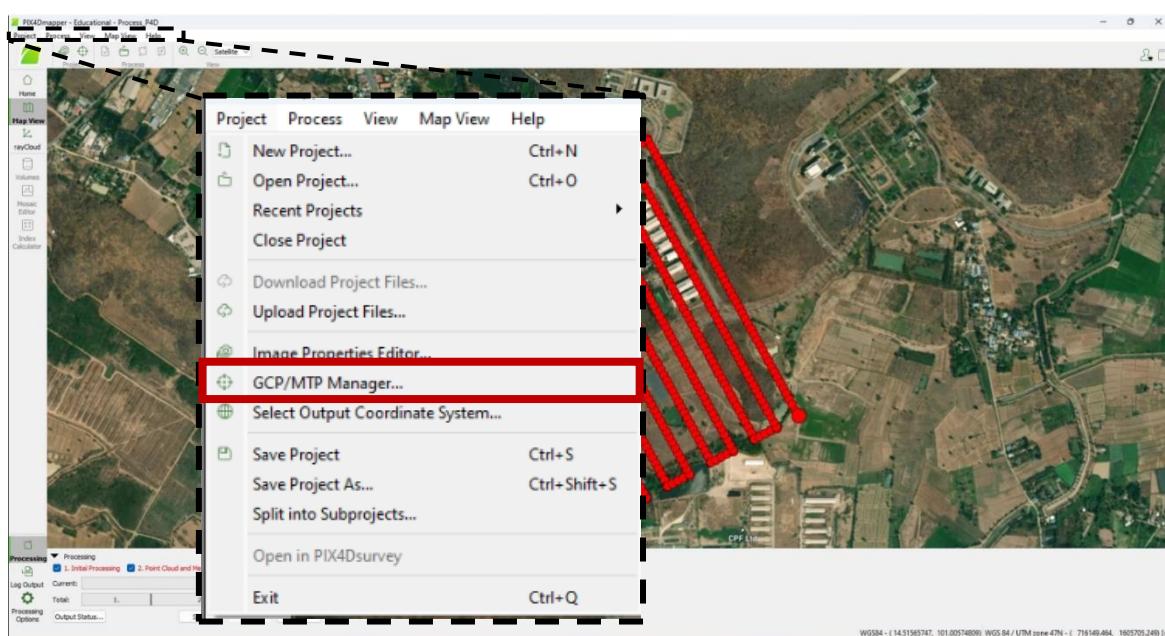
การนำเข้าจุดบังคับภาคพื้นดิน (Ground Control Points; GCPs)

หากตรวจสอบเสร็จเรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนต่อไปเป็นการนำเข้าข้อมูลจุดบังคับภาคพื้นดิน (Ground Control Points; GCPs) เข้าโปรแกรมเพื่อเตรียมพร้อมก่อนจะโยงยึดและประมวลผลในขั้นตอนถัด ๆ ไป โดยผู้ประมวลผลสามารถนำเข้าข้อมูลได้หลายวิธี ในครั้งนี้จะนำเสนอ 2 วิธี ได้แก่

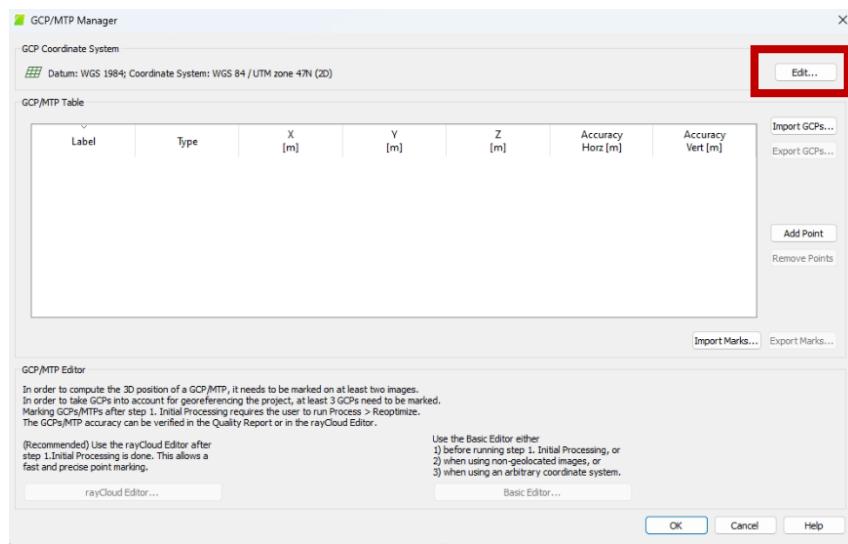
วิธีที่ 1 คลิกไปที่ไอคอน GCP/MTP Manager...กรอบสีเลือดหมู ตัวภาพที่แสดงด้านล่าง



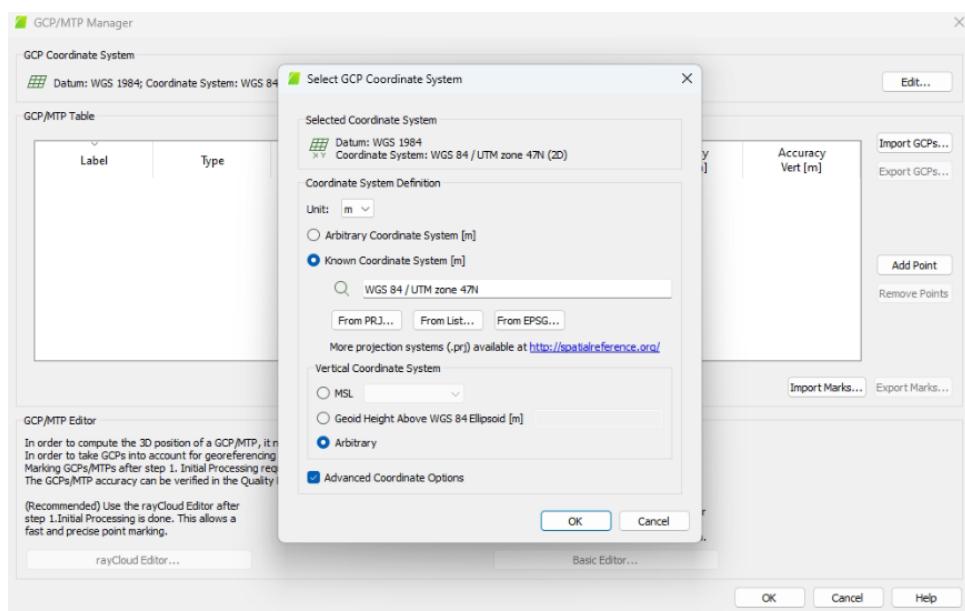
วิธีที่ 2 คลิกไปที่ Project -> GCP/MTP Manager...



จากนั้นโปรแกรมจะปรับกราฟิกหน้าต่างขึ้นมาใหม่ ที่ชื่อว่า GCP/MTP manager

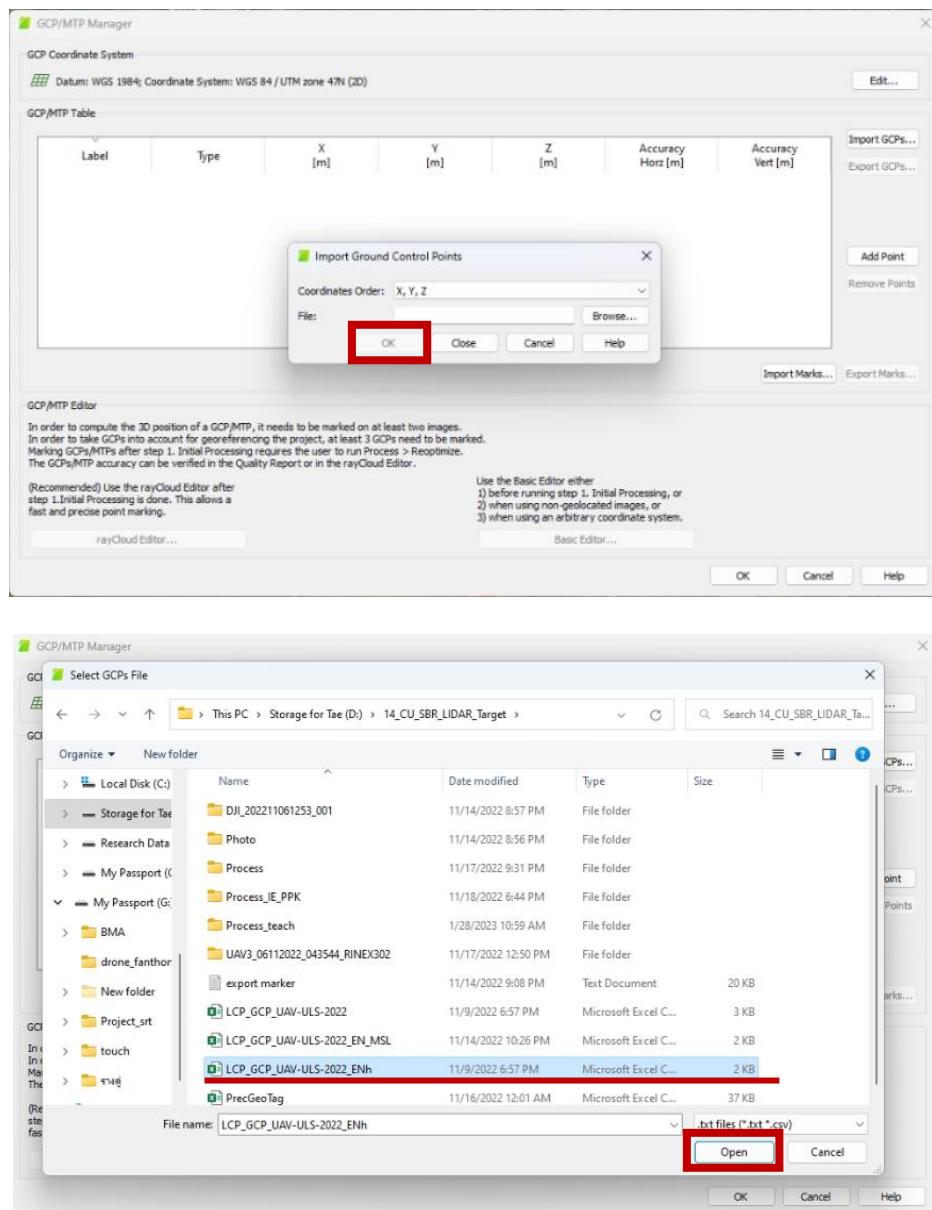


สำหรับในส่วนนี้ผู้ประมวลผลสามารถกำหนดระบบพิกัดของจุดบังคับภาพถ่ายภาคพื้นดินได้ เมื่อกับขั้นตอนก่อน ๆ หน้า ในขั้นตอนนี้ ผู้ใช้ควรศึกษาระบบที่โดยเฉพาะระบบพิกัด โดยเฉพาะระบบพิกัดอ้างอิงทางดิจิทัล ที่มักจะสับสนได้ง่าย

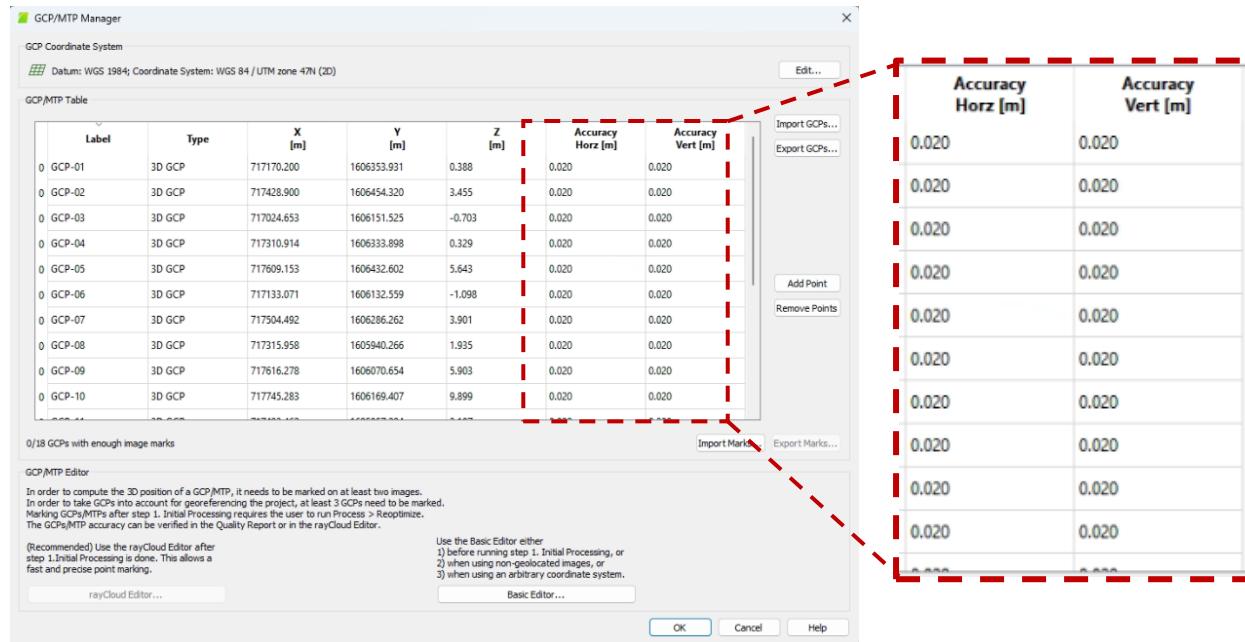


หลังจากกำหนดเสร็จแล้วขั้นตอนต่อไปคือ การนำเข้าข้อมูลจุดบังคับภาพพื้นดินตามที่ได้กำหนดระบบพิกัดเอาไว้ โดยการกดไปที่ Import GCPs... โปรแกรมจะแสดงหน้าต่างขึ้นมา จากนั้นโปรแกรมจะให้กำหนดรูปแบบข้อมูลที่นำเข้าระหว่างรูปแบบ X,Y,Z กับ รูปแบบ Y,X,Z จากนั้นให้กดนำเข้าข้อมูลโดยกดไปที่ Browse และทำการเลือกไฟล์ที่เป็นข้อมูลค่าพิกัดจุดควบคุมภาคพื้นดิน และคลิกปุ่ม OK

คู่มือการใช้งานโปรแกรม PIX4Dmapper



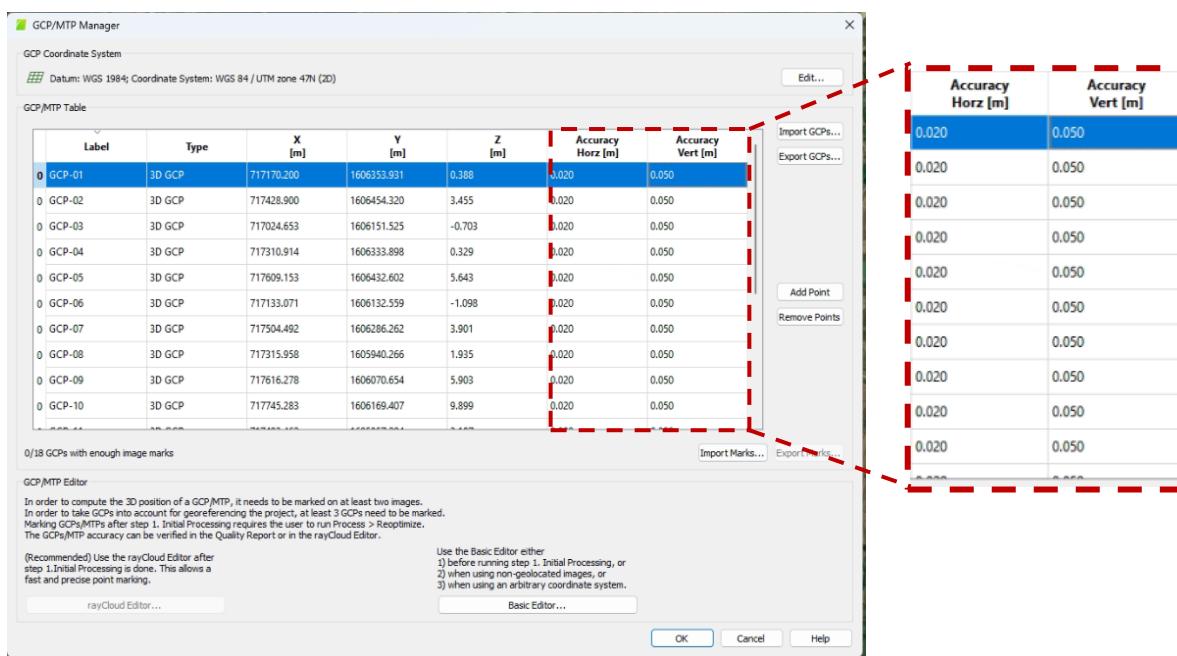
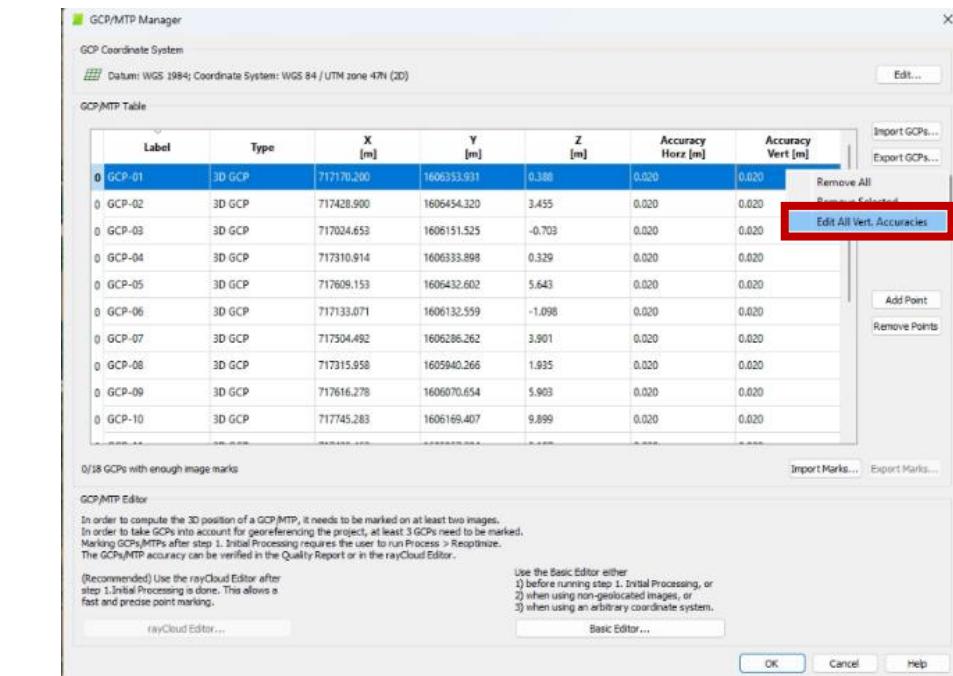
หลังจากนำเข้าข้อมูลค่าพิกัดจุดบังคับแล้ว หน้าต่างของโปรแกรมจะแสดงจุดที่ได้นำเข้ามาดังภาพที่แสดงในหน้าตัดไปให้ตรวจสอบค่าพิกัดที่นำเข้ามาว่าถูกต้องหรือไม่ หากถูกต้องแล้วในขั้นตอนต่อไปคือ การกำหนดค่าความถูกต้องของค่าพิกัดที่ได้นำเข้ามา โดยในกรณีที่โปรแกรมจะกำหนดความถูกต้องของค่าพิกัดทั้งทางราบและทางดิ่งไว้ที่ 0.02 เมตร ดังนั้นหากผู้ประมวลผลทราบว่าความถูกต้องของค่าพิกัดที่นำเข้าโปรแกรมมีค่าความถูกต้องเป็นเท่าไร ควรจะกำหนดให้สอดคล้องกับกรรมวิธีที่ได้มานะค่าพิกัด ของจุดบังคับภาคพื้นดิน



โดยทั่ว ๆ ไป จุดบังคับภาพถ่ายภาคพื้นดินมักจะรังวัดข้อมูลมาด้วยวิธีการรังวัดสัญญาณจีอีเอสเอ สตัวย์วิธีการรังวัดแบบจลนในทันที (Real Time Kinematic; RTK) หากการรังวัดข้อมูลค่าพิกัดมีคุณภาพดี สามารถกำหนดให้ความละเอียดถูกต้องของการรังวัดในรูปแบบนี้มีค่าดังตาราง

รูปแบบการประมวลผล	ความแม่นยำทางราบ	ความแม่นยำทางตั้ง
Real Time Kinematic (RTK)	± 2 cm	± 5 cm

ซึ่งในครั้มีอเล่นนี้ข้อมูลจุดบังคับภาพถ่ายภาคพื้นดินที่นำมาใช้เป็นข้อมูลสาธิการประมวลผลข้อมูลจุดบังคับรังวัดมาด้วยวิธีการรังวัดแบบจลนในทันที ดังนั้นผู้ประมวลผลข้อมูลสามารถกำหนดความถูกต้องจุดควบคุมภาคพื้นดินได้โดยคลิกที่ไอคอน GCP/MTP Manager... จากนั้นโปรแกรมจะปรากฏหน้าต่างขึ้นมาแสดงจุดควบคุมภาคพื้นดินทั้งหมดรายในโปรเจค โดยผู้ใช้งานสามารถกำหนดค่าความถูกต้องโดยคลิกไปที่ colummn Accuracy Horz [m] และ Accuracy Vert [m] เพื่อกำหนดค่าความถูกต้องให้กับจุดควบคุมภาคพื้นดิน



หลังจากกำหนดเสร็จแล้ว ให้กดปุ่ม OK โปรแกรมจะแสดงจุดบังคับภาพถ่ายที่นำเข้ามาในโปรแกรม โดยจะมีสัญลักษณ์เป็นจุดกากรบทสีน้ำเงิน ดังภาพที่ปรากฏในหน้าตัดไป โดยหากดำเนินการมาถึงส่วนนี้ ผู้ประมวลผลควรตรวจสอบอีกครั้งว่า ข้อมูลจุดควบคุมภาคพื้นดินและข้อมูลภาพถ่ายอยู่ในบริเวณเดียวกัน หรือไม่ เพื่อเป็นการตรวจสอบให้มั่นใจว่าข้อมูลที่นำเข้ามาไม่มีความผิดพลาด

คู่มือการใช้งานโปรแกรม PIX4Dmapper



คู่มือการใช้งานโปรแกรม PIX4Dmapper

การประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศในโปรแกรม PIX4Dmapper

หลังจากนำเข้าข้อมูลที่ใช้ในการประมวลผลครบแล้ว รวมถึงกำหนดระบบพิกัด ความถูกต้องของข้อมูลแล้วขั้นตอนต่อไปคือ ขั้นตอนการประมวลผลภาพถ่าย สำหรับโปรแกรมนี้มีขั้นตอนการประมวลผลหลัก ๓ ขั้นตอน คือ



ขั้นตอนที่ 1 Initial Processing

เป็นการคำนวณโครงสร้างสามเหลี่ยมทางอากาศ (Aerial Triangulation) ซึ่งจะเป็นการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์การจัดวางภาพภายนอก รวมถึงมีการวัดสอบค่าพารามิเตอร์ในการปรับแก้ค่าความคลาดเคลื่อนทางเลนส์ด้วยกระบวนการวัดสอบด้วยตัวเอง (Self-calibration) ในขั้นตอนนี้ด้วย โดยกระบวนการทางคอมพิวเตอร์วิชั่นจะมีการจับคู่ภาพเพื่อสร้าง Automatic Tie points ผ่านการสกัดหาข้อมูลจุดสำคัญที่เปรียบเสมือนจุดโยงยืดบนภาพถ่ายที่เป็นสองมิติ ซึ่งจะมีการโยงยืดค่าพิกัดจุดควบคุมภาคพื้นดินเข้าไปด้วยในการควบคุมคุณภาพค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่ง

ขั้นตอนที่ 2 Point Cloud and Mesh

เป็นขั้นตอนในการสร้างข้อมูลพื้นผิวที่แสดงลักษณะของรูปร่างในพื้นที่ โดยเป็นการเพิ่มจำนวนจุดโยงยืดช่วยให้ข้อมูลมีองค์ประกอบรายละเอียดหนาแน่นมากขึ้นและช่วยให้มีค่าความถูกต้องเชิงเรขาคณิตที่แม่นยำ ซึ่งมีความสำคัญต่อการนำไปประมวลผลสร้างแบบจำลองพื้นผิวภูมิประเทศขั้นต่อไป

คู่มือการใช้งานโปรแกรม PIX4Dmapper

ขั้นตอนที่ 3 DSM Orthomosaic and Index

เป็นขั้นตอนการประมวลผลเพื่อผลิตผลลัพธ์ไปใช้งาน โดยภาพอร์บอที่ได้จะถูกแก้ไขและจัดความผิดเพี้ยนทางลักษณะเรขาคณิตของวัตถุทั้งหมด รวมถึงสามารถผลิตแบบจำลองพื้นผิวภูมิประเทศและแบบจำลองค่าระดับความสูงเชิงเลขไปใช้งานได้

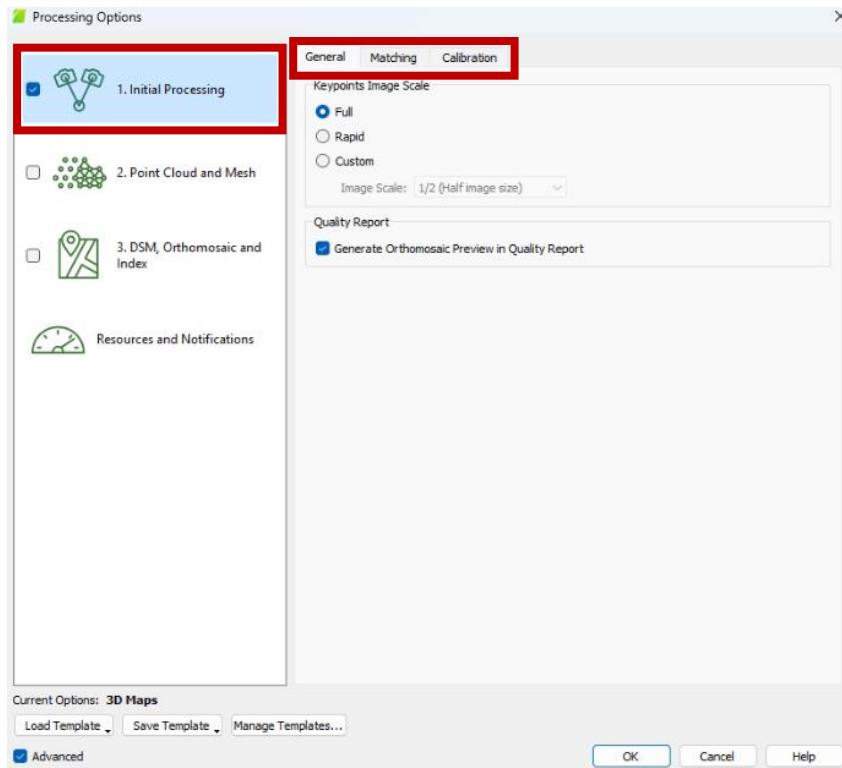
โดยในการประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศด้วยโปรแกรมนี้สามารถประมวลผลทั้ง 3 ขั้นตอนด้วยการกดเพียงครั้งเดียวเลยก็ได้ แต่เพื่อประมวลผลและผลิตผลลัพธ์ให้ได้ประสิทธิภาพ การประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศควรจะประมวลผลไปทีละขั้นตอน พร้อมตรวจสอบผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลในแต่ละขั้น

การประมวลผลขั้นตอนที่ 1 Initial Processing

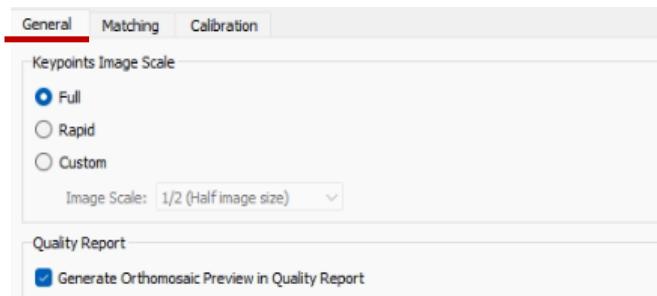
การประมวลผลขั้นที่ 1 Initial Processing ผู้ประมวลผลสามารถให้โปรแกรมประมวลผลได้ด้วยการทำเครื่องหมายถูกเฉพาะขั้นตอนที่ต้องการประมวลผล ดังนั้นในขั้นตอนนี้คือ การทำเครื่องหมายถูกในช่องของขั้นตอนที่ 1 Initial Processing เพียงขั้นตอนเดียว



จากนั้นโปรแกรมอนุญาตให้ผู้ประมวลผลสามารถตั้งค่ากำหนดพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในการประมวลผลข้อมูลในแต่ละขั้นตอน โดยการกดไปที่สัญลักษณ์รูปเพื่อที่มีข้อว่า Processing Options หลังจากกดแล้ว โปรแกรมจะแสดงหน้าต่างเพิ่มขึ้นมา ดังภาพที่แสดงในหน้าตัดไป จะเห็นได้ว่าหน้าต่างของโปรแกรมที่ปรากฏขึ้นมาใหม่จะแสดงหัวข้อต่าง ๆ ในขั้นตอนนั้น ๆ ที่ผู้ประมวลผลสามารถกำหนดได้ สำหรับขั้นตอนที่ 1 จะประกอบไปด้วยหัวข้อ General, หัวข้อ Matching และหัวข้อ Calibration ซึ่งแต่ละหัวข้อมีพารามิเตอร์ภายในให้กำหนดได้ดังต่อไปนี้ (อธิบายเฉพาะพารามิเตอร์พื้นฐานที่ต้องทราบ)



หัวข้อ General



Keypoints Image Scale

ผู้ประมวลผลสามารถเลือกได้ 3 รูปแบบ ได้แก่

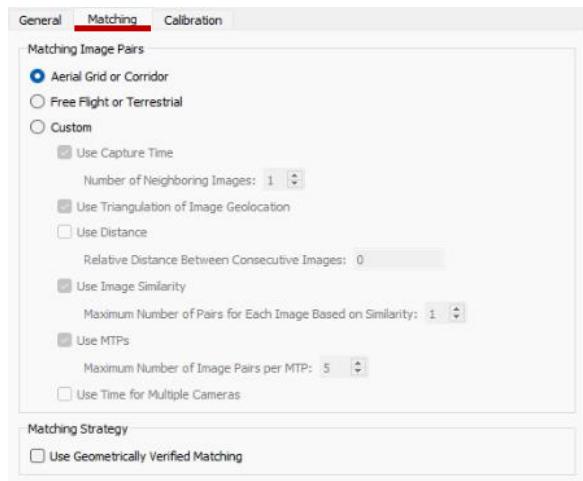
- Full: ให้ความละเอียดถูกต้องสูง และจะใช้เวลาในการประมวลผลค่อนข้างนาน (Image Scale: 1/2)
- Rapid: ประมวลผลอย่างรวดเร็ว ความถูกต้องน้อยกว่าแบบแรก (Image Scale: 1/4)
- Custom: ประมวลผลโดยผู้ประมวลผลสามารถกำหนด Image Scale ความถูกต้องได้เอง โดยระบุที่ใช้ในการประมวลผลขึ้นอยู่กับขนาดของ Image Scale ที่เลือกใช้

Quality Report

- การทำเครื่องหมายถูกที่ช่อง Generate Orthomosaic Preview in Quality Report คือ การที่ให้โปรแกรมผลิตภาพอร์โธโดยคร่าวลงในลิมาร์ยงานคุณภาพด้วย ซึ่งผู้ประมวลผลสามารถเลือกไม่ทำเครื่องหมายถูกได้ โดยหากไม่ทำเครื่องหมายถูกจะช่วยทำให้ประมวลผลข้อมูลเร็วขึ้น

คู่มือการใช้งานโปรแกรม Pix4Dmapper

หัวข้อ Matching



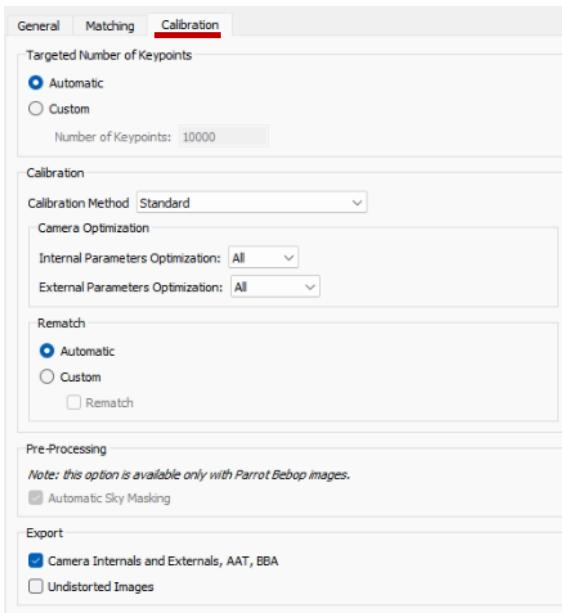
Matching Image Pairs

ผู้ประมวลผลสามารถเลือกได้ 3 รูปแบบ คือ

1. Aerial Grid or Corridor
2. Free Flight or Terrestrial
3. Custom

แต่ในการบินสำรวจเพื่อจัดทำแผนที่เป็นการบินตามแนวบินที่กำหนดและได้ออกแบบไว้แล้วที่มีการตั้งค่าความสูงบิน ส่วนซ้อนของภาพ และส่วนเกยของภาพ ทำให้ต้องเลือกแบบ Aerial Grid and Corridor ในการทำงานส่วนใหญ่ทางด้านวิศวกรรม

หัวข้อ Calibration



คู่มือการใช้งานโปรแกรม PIX4Dmapper

Targeted Number of Keypoints
คือ การกำหนด Keypoints สำหรับสร้างจุดโยงยึด (Tie Point) เพื่อใช้สร้างความสัมพันธ์ Bundle Block Adjustment (BBA) จำนวน Keypoints ที่ได้ขึ้นอยู่กับ texture ของภาพ เช่น พื้นที่เมืองจะได้เยอะ พื้นที่ป่าจะได้น้อย ส่วนพื้นที่ป่าไม้ ปีชพรรณป่าคลุ่มอาจได้ keypoints จำนวนมากแต่ไม่น่าเชื่อถือ
Calibration
คือ การกำหนดค่า Camera internal และ External parameter ให้เหมาะสมสำหรับใช้ในการประมวลผลข้อมูลภาพ

เมื่อทำการกำหนดพารามิเตอร์ในหัวข้อต่าง ๆ เสร็จเรียบร้อยแล้ว ขั้นต่อไปคือ การกดให้โปรแกรมประมวลผลตามพารามิเตอร์ที่เราได้ตั้งค่าเอาไว้สามารถทำได้โดยกดไปที่ปุ่ม Start

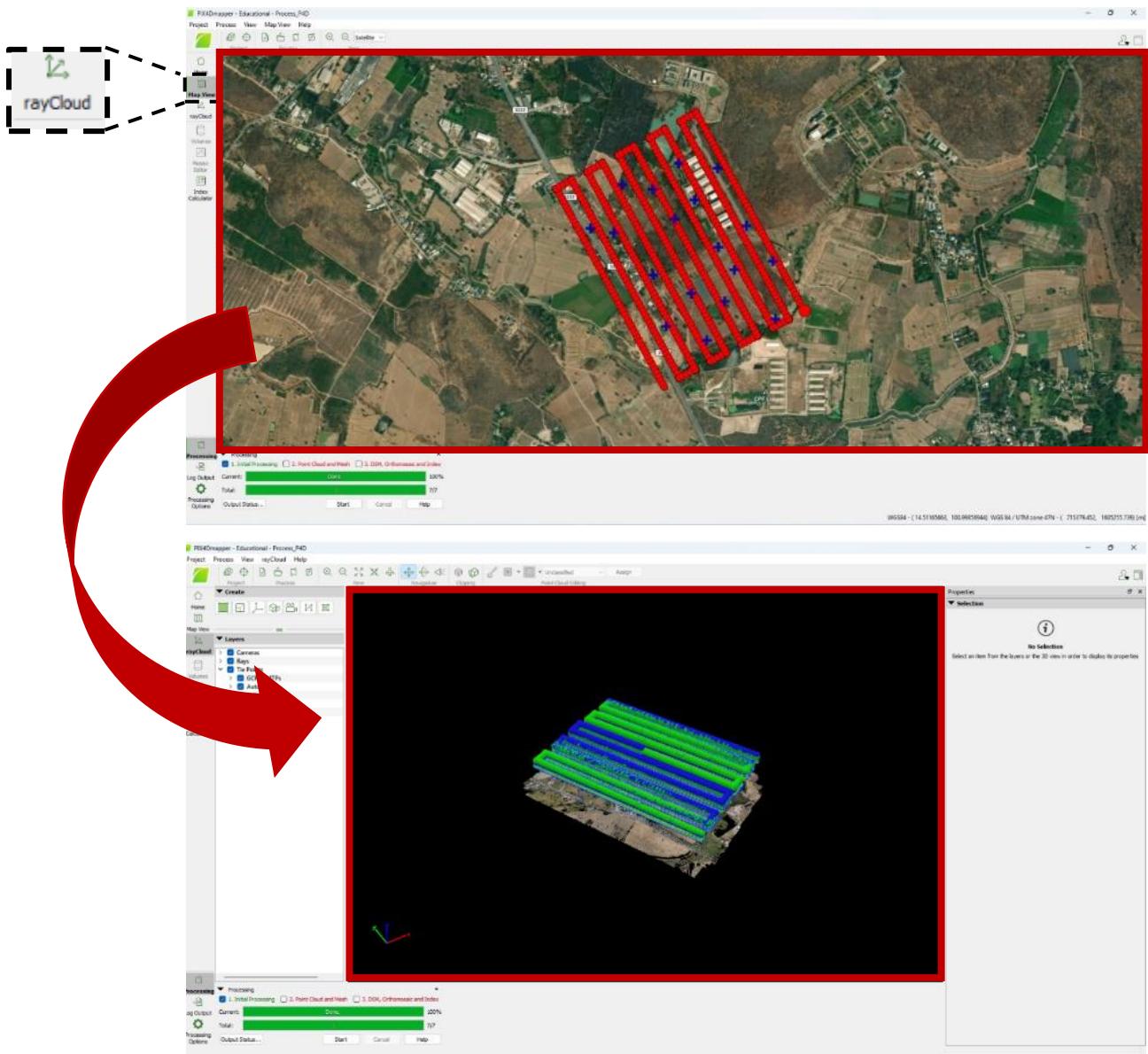


จากนั้นให้สังเกตที่หน้าโปรแกรมบริเวณทางด้านล่างซ้ายของโปรแกรมจะมีแถบสถานะ Current และ Total หลังจากกด Start แล้วแถบสถานะจะเริ่มมีการขยับที่เป็นลักษณะสีเขียว เพื่อเป็นการบอกว่าโปรแกรมกำลังประมวลผลตามที่ผู้ประมวลผลได้กำหนดค่าเอาไว้



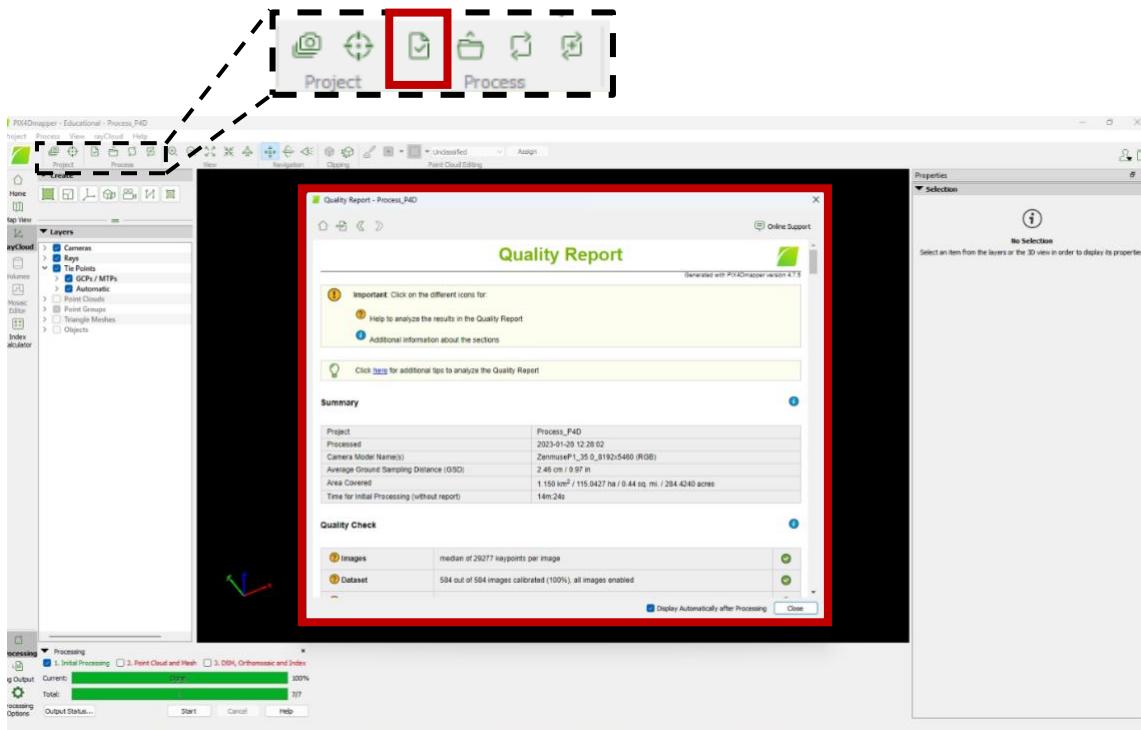
คู่มือการใช้งานโปรแกรม PIX4Dmapper

เมื่อประมวลผลเสร็จแล้วผู้ประมวลผลสามารถดูผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นได้ดังต่อไปนี้ หากต้องการดูข้อมูลพอยต์คลาวด์ที่ทำการสร้างขึ้นให้ผู้ประมวลผลกดไปที่ไอคอน rayCloud จากนั้นหน้าของการแสดงผลของโปรแกรมจะเปลี่ยนไป ดังภาพที่แสดงด้านล่าง

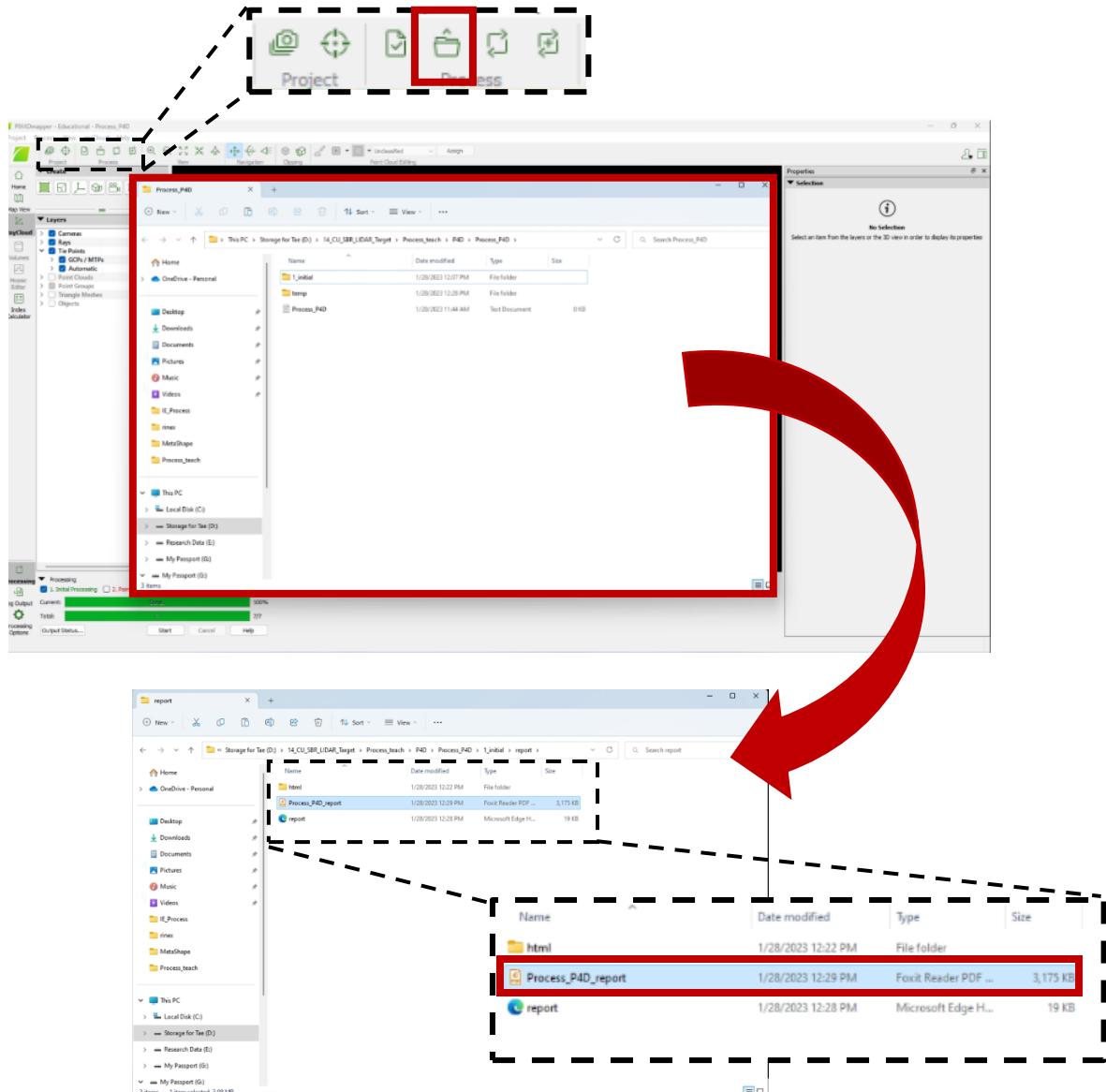


คู่มือการใช้งานโปรแกรม PIX4Dmapper

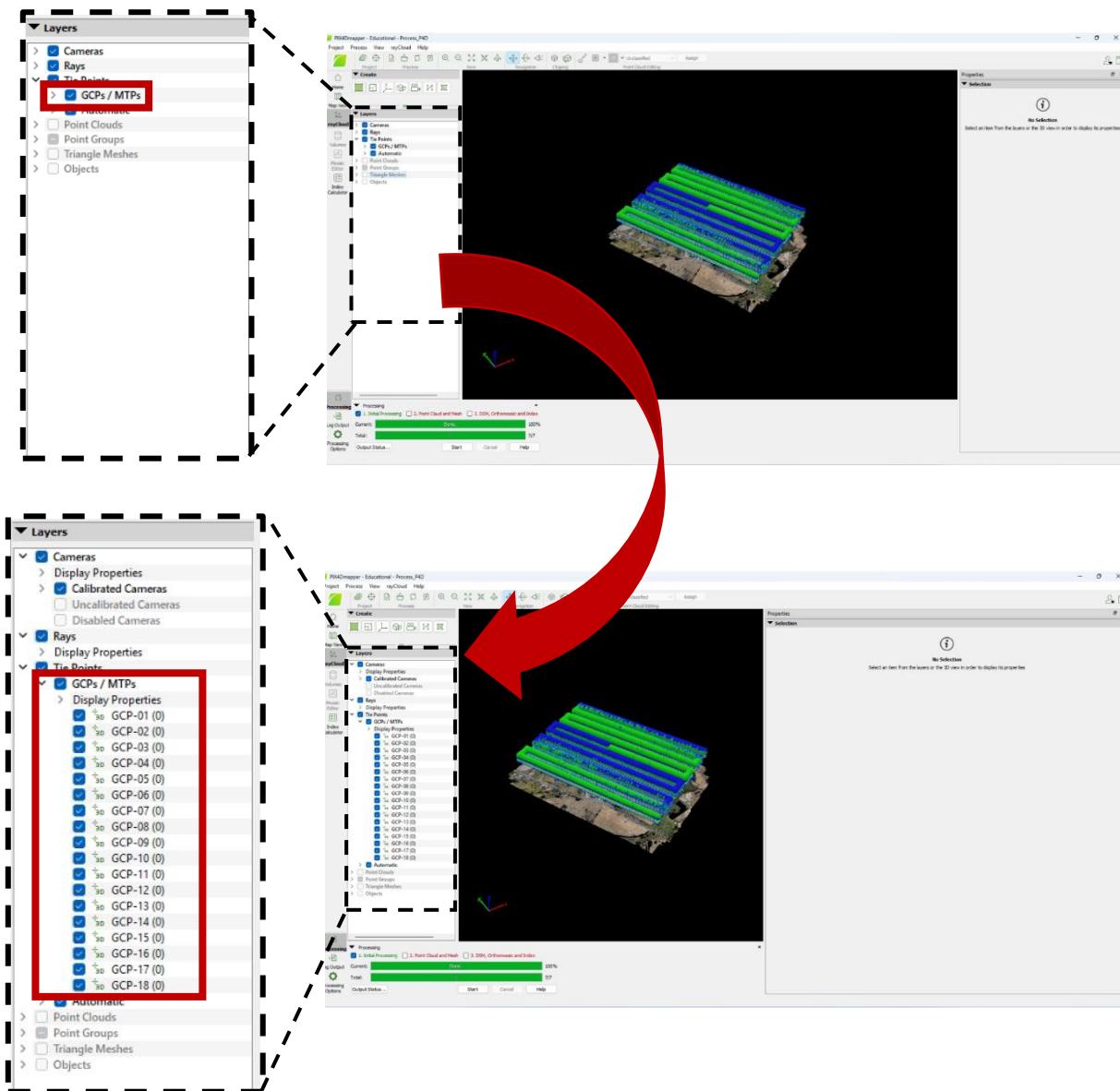
นอกจากนั้นผู้ประมวลผลยังสามารถดูรายงานผลการประมวลผลได้จากการคลิกไอคอนในกรอบสีเลือดหมู บริเวณด้านบน ดังรูปที่แสดงด้านล่าง หลังจากกดแล้วโปรแกรมจะแสดงหน้าต่างของรายงานขึ้นมาให้ผู้ประมวลผลสามารถดูผลลัพธ์ได้



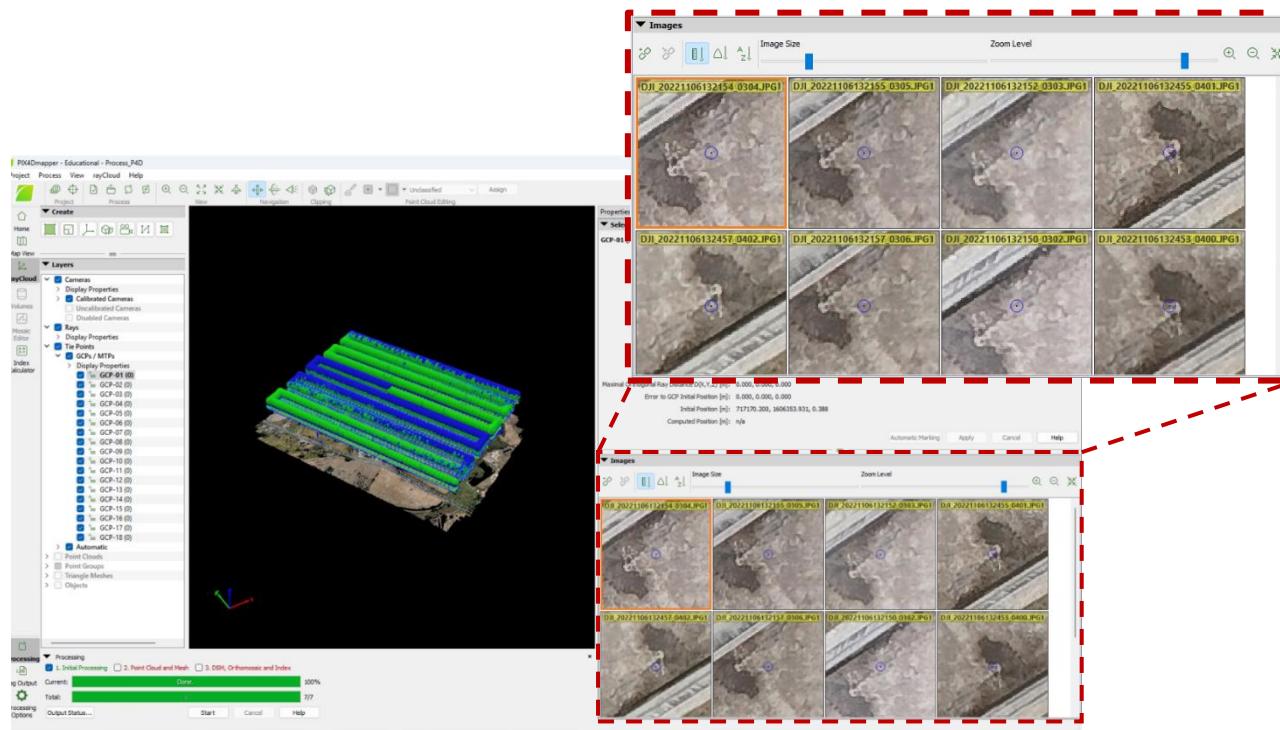
หรือในกรณีที่ผู้ประมวลผลต้องการผลลัพธ์ในรูปแบบ PDF format สามารถทำได้โดยคลิกไปที่ไอคอน Open Result Folder จะปรากฏหน้าต่างใหม่ขึ้นมาที่เป็นโฟลเดอร์ของการประมวลผลในครั้งนี้ ซึ่งสอดคล้อง กับการประมวลผล โดยในขณะนี้เป็นการประมวลผลในขั้นตอนที่ 1 ดังนั้นผลลัพธ์รายงานก็จะถูกสร้างและ บันทึกไว้ในโฟลเดอร์ของขั้นตอนที่ 1 ดังภาพในหน้าต่อไป



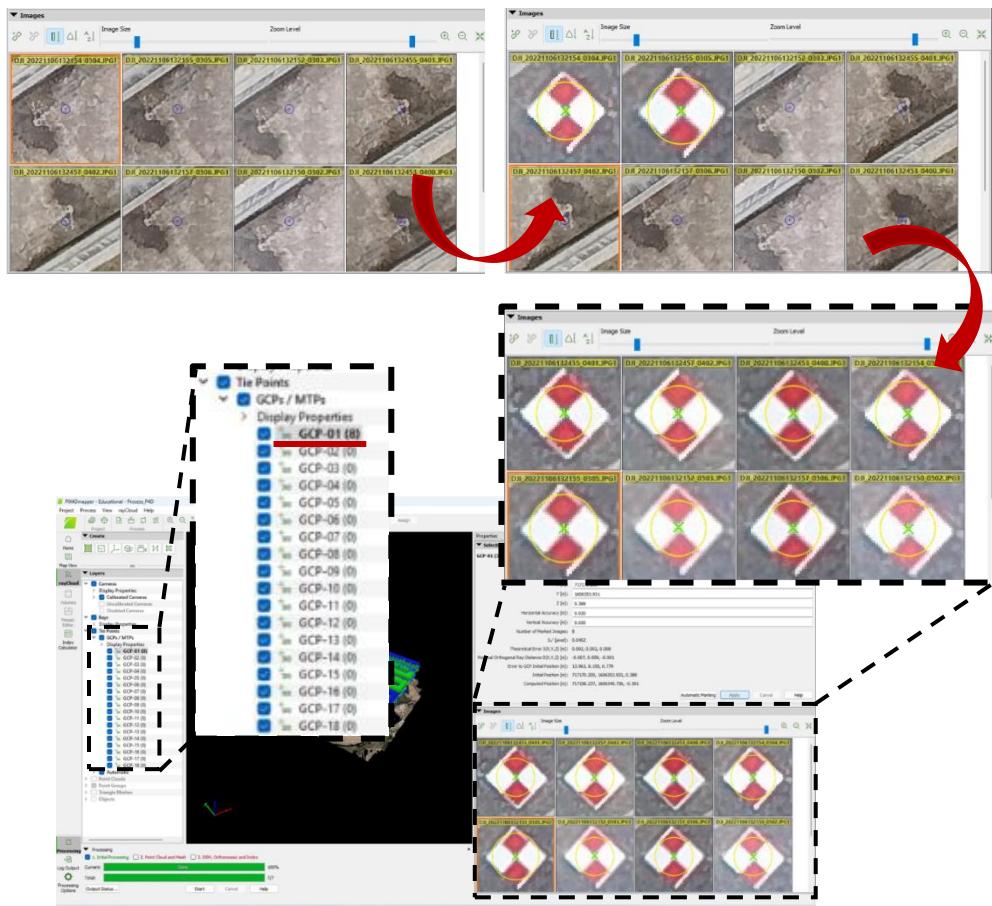
หลังจากตรวจสอบผลลัพธ์เสร็จแล้ว ขั้นตอนต่อไปเป็นขั้นตอนการโยงยึดจุดบังคับภาพถ่ายภาคพื้นดิน กับภาพถ่ายทางอากาศเพื่อเป็นการเพิ่มความถูกต้องให้กับข้อมูล โดยผู้ประมวลผลสามารถทำได้โดยคลิกไปที่ แถบด้านซ้ายดังภาพที่แสดงในหน้าตัดไป เพื่อให้โปรแกรมแสดงจุดทั้งหมดที่ปรากฏภายในการประมวลผลครั้งนี้



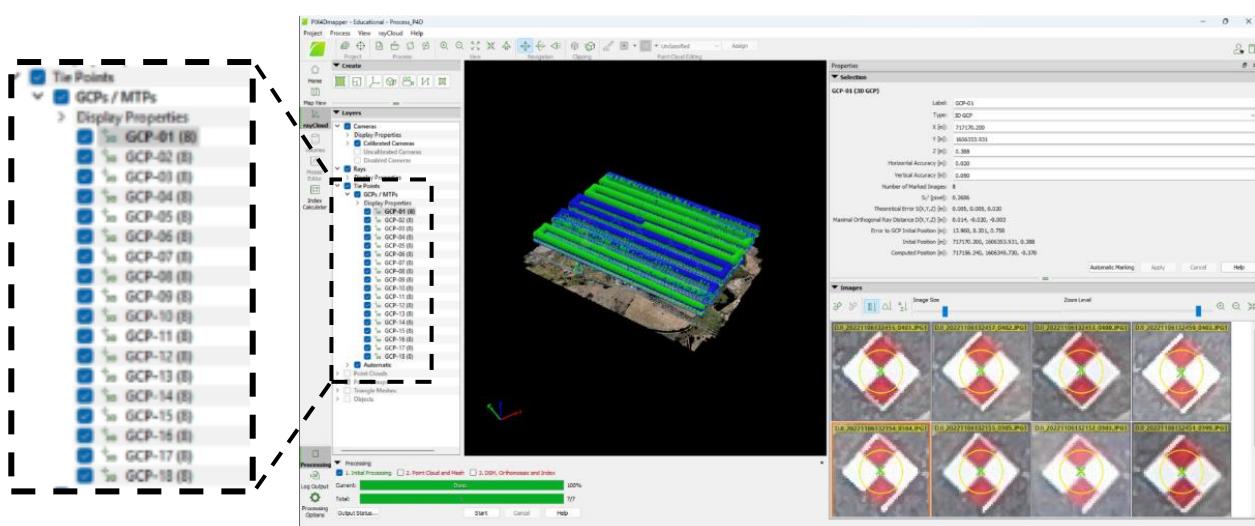
หลังจากกดแล้วโปรแกรมจะแสดงจุดขึ้นมา โดยตัวเลขที่อยู่ในวงเล็บด้านหลังชื่อแต่ละจุด คือ จำนวนของภาพถ่ายที่ใช้ในการโยงยึดจากจุดบังคับหมายเลขนั้น ๆ ซึ่งจะเห็นได้ว่าถ่ายไม่มีการโยงยึดเกิดขึ้น ตัวเลขจะเป็นเลข 0 ดังนั้นการโยงยึดจะทำได้โดยคลิกไปที่จุดที่ต้องการโยงยึด หลังจากกดแล้วบริเวณทางฝั่งขวาของหน้าต่างโปรแกรมจะปรากฏภาพถ่ายขึ้นมา



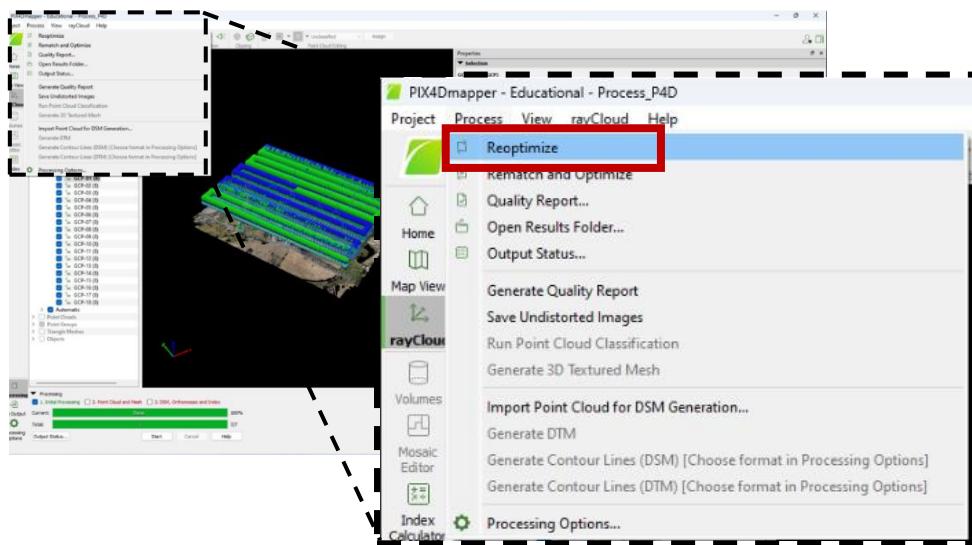
โดยจะเห็นได้ว่าบางครั้งภาพถ่ายที่ปรากฏขึ้นอาจจะไม่เห็นเป้าของจุดควบคุมภาพพื้นดิน ดังนั้นให้ผู้ประมวลผลทำการใช้มาส์เคลื่อนย้ายภาพไปยังตำแหน่งที่เป้าปรากฏบนภาพถ่าย โดยหากเลื่อนแล้วจะได้ตั้งภาพที่แสดงในหน้าตัดไป เนื่องจากเราทราบว่าจุดบังคับของเรามีลักษณะเป็นเป้าที่มีลายเป็นตารางหมากรุกสีขาวลับแดง หากเจอกับภาพจุดตรงนั้นแล้วให้ทำการโยงยึดไปยังบริเวณจุดนั้น จุดสังเกตระหว่างภาพที่ทำการเลือกแล้วกับภาพที่ยังไม่ถูกเลือกคือ หากเลือกรูปนั้นแล้วจุดสีน้ำเงินจะเปลี่ยนเป็นจุดกาบทและมีวงกลมสีเหลืองเกิดขึ้น ณ ตำแหน่งที่ทำการเลือก จากนั้นให้ทำการโยงยึดจุดบนภาพไปเรื่อย ๆ โดยหลักการในการโยงยึดควรจะโยงยึดภาพที่มีลักษณะของเป้าที่ปรากฏชัดเจน ไม่เป็นภาพที่เบลอ หรือเป็นภาพที่มีลักษณะที่โยงยึดได้ยาก หลังจากโยงยึดครบตามจำนวนที่กำหนดไว้แล้วให้กดปุ่ม **Apply** เพื่อเป็นการบันทึกการโยงยึดของจุดนั้น โดยในครั้งนี้จะทำการโยงยึดเป็นจำนวน 8 ภาพต่อ 1 จุดควบคุม



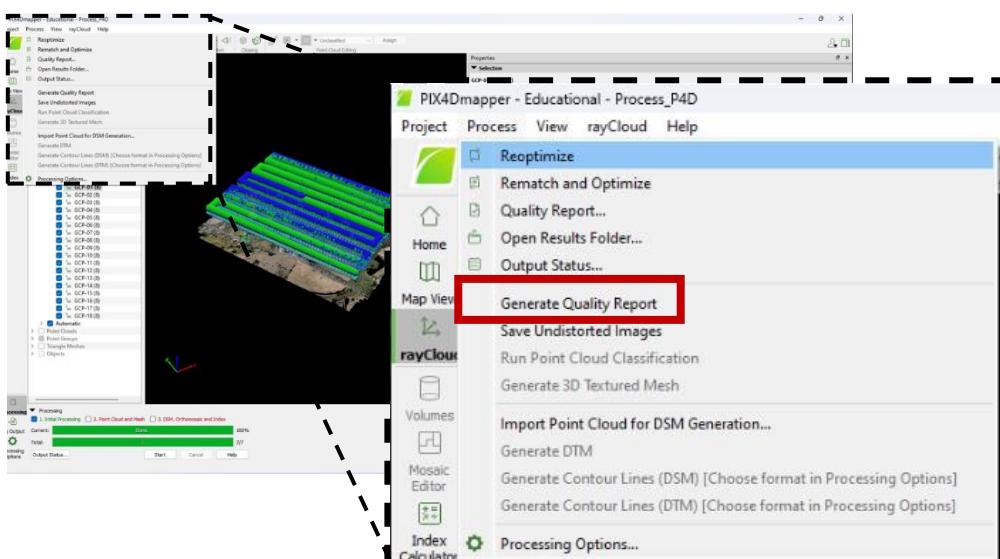
หลังจากการโถงยึดทุกจุดเสร็จเรียบร้อยแล้วให้ทำการตรวจสอบอีกครั้งว่าแต่ละจุด ได้โถงยึดครบตามที่ตั้งไว้แล้วใช่หรือไม่



หลังจากตรวจสอบเสร็จแล้วให้ทำการประมวลผลข้อมูลใหม่อีกรอบ โดยสามารถทำได้โดยกดไปที่แบบ
บริเวณด้านบนซ้ายในหัวข้อ Process และเลือกไปที่ Reoptimize จากนั้นโปรแกรมจะทำการประมวลผล
ข้อมูลโดยสังเกตได้จากແນບสถานะจะเริ่มนีกการขับอีกครั้ง



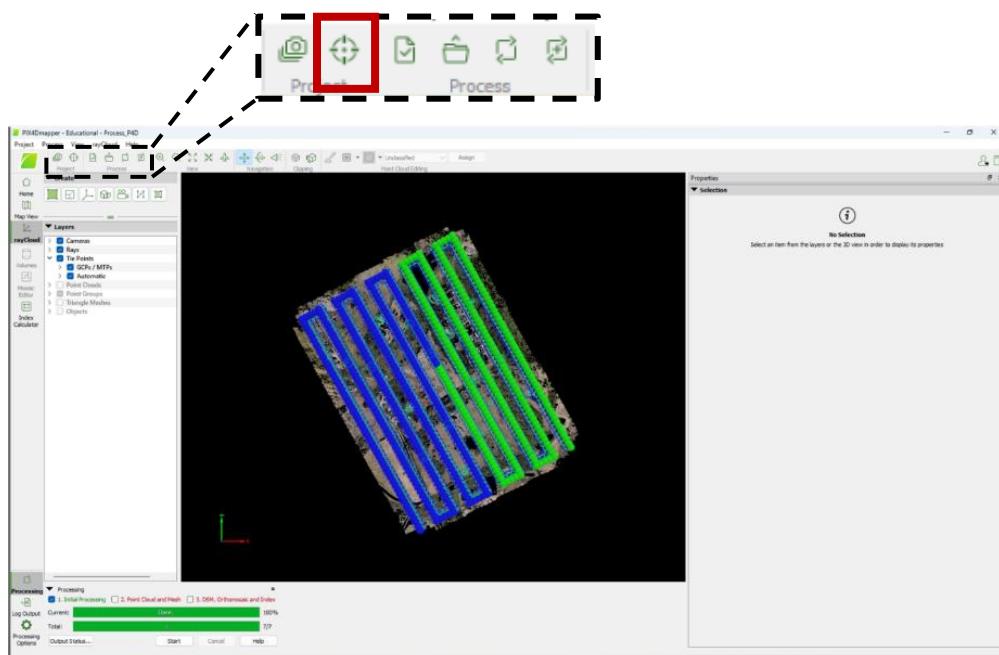
หลังจากประมวลผลเสร็จแล้ว ผู้ประมวลผลยังไม่สามารถเรียกดูรายงานใหม่ที่ได้จากการประมวลผล
ดังนั้นต้องทำการสร้างรายงานผลลัพธ์ขึ้นมาใหม่ก่อน โดยการคลิกไปที่ Process และเลือก Generate
Quality Report จากนั้นโปรแกรมจะทำการประมวลผลให้ โดยสังเกตได้จากແນບสถานะจะเริ่มนีกการขับอีก
ครั้ง หากประมวลผลเสร็จแล้วແນບสถานะจะเต็ม จากนั้นผู้ประมวลผลสามารถเรียกดูรายงานผลลัพธ์ได้ตาม
วิธีการที่ได้กล่าวไว้ในข้างต้น



การกำหนดประเภทของจุดควบคุมภาคพื้นดิน

หลังจากได้ทำการโยงยึดจุดบังคับแล้ว ในการปฏิบัติการทำงานจริงควรจะมีการทำจุดตรวจสอบภายในงานที่ได้ทำการประมวลผลเพื่อเป็นการตรวจสอบและประเมินประสิทธิภาพความถูกต้องเชิงตำแหน่งของผลลัพธ์ที่ได้ทำการผลิตขึ้น ซึ่งขั้นตอนในการกำหนดให้จุดบังคับภาคพื้นดินกล้ายเป็นจุดตรวจสอบสามารถทำได้โดยหลายวิธี ในคู่มือเล่มนี้นำเสนอ 2 วิธี ได้แก่

วิธีที่ 1 คลิกไปที่ไอคอน GCP / MTP Manage... จากนั้นโปรแกรมจะปรากฏหน้าต่างใหม่ขึ้นมา



ให้ทำการเลือกไปยังจุดที่ต้องการเปลี่ยนให้เป็นจุดตรวจสอบ สามารถทำได้โดยการคลิกขวา ณ จุดที่ต้องการเปลี่ยนแล้วเลือก Edit All Type จากนั้นหน้าต่างของโปรแกรม จะวนน์ จะสามารถเปลี่ยนประเภทของจุดได้ โดยภายในโปรแกรมสามารถกำหนดได้ 4 ประเภท ได้แก่ 1. 2D GCP 2. 3D GCP 3. Check Point 4. Manual Tie Point ดังภาพที่แสดงด้านล่าง

ประเภท	โปรแกรมรับทราบ
1. 2D GCP	จุดบังคับภาคพื้นดินเฉพาะทางราบ
2. 3D GCP	จุดบังคับภาคพื้นดินทั้งทางราบและทางดิ่ง
3. Check Point	จุดตรวจสอบ
4. Manual Tie Point	จุดโยงยึดที่กำหนดเอง

GCP/MTP Manager

GCP Coordinate System
Datum: WGS 1984; Coordinate System: WGS 84 / UTM zone 47N (2D)

GCP/MTP Table

Label	Type	X [m]	Y [m]	Z [m]	Accuracy Horz [m]	Accuracy Vert [m]
GCP-01	3D GCP	717170.200	1606353.931	0.388	0.020	0.050
GCP-02	3D GCP	717428.900	1606454.320	3.455	0.020	0.050
GCP-03	3D GCP	717024.653	1606151.525	-0.703	0.020	0.050
GCP-04	3D GCP	717110.914	1606333.898	0.329	0.020	0.050
GCP-05	3D GCP	717009.153	1606432.602	5.643	0.020	0.050
GCP-06	3D GCP	717133.071	1606132.559	-1.098	0.020	0.050
GCP-07	3D GCP	717504.492	1606286.262	3.901	0.020	0.050
GCP-08	3D GCP	717315.958	1605940.266	1.935	0.020	0.050
GCP-09	3D GCP	717616.278	1606070.654	5.903	0.020	0.050
...
...	...	717744.383	1606160.407	0.000	0.000	0.000

18/18 GCPs with enough image marks

GCP/MTP Editor

In order to compute the 3D position of a GCP/MTP, it needs to be marked on at least two images. In order to take GCPs into account for georeferencing the project, at least 3 GCPs need to be marked. Marking GCPs/MTPs after step 1. Initial Processing requires the user to run Process > Reoptimize. The GCPs/MTP accuracy can be verified in the Quality Report or in the rayCloud Editor.

(Recommended) Use the rayCloud Editor after step 1. Initial Processing is done. This allows a fast and precise point marking.

rayCloud Editor... Basic Editor...

OK Cancel Help

GCP/MTP Manager

GCP Coordinate System
Datum: WGS 1984; Coordinate System: WGS 84 / UTM zone 47N (2D)

GCP/MTP Table

Label	Type	X [m]	Y [m]	Z [m]	Accuracy Horz [m]	Accuracy Vert [m]
GCP-01	3D GCP	717170.200	1606353.931	0.388	0.020	0.050
GCP-02	3D GCP	717428.900	1606454.320	3.455	0.020	0.050
GCP-03	3D GCP	717024.653	1606151.525	-0.703	0.020	0.050
GCP-04	3D GCP	717110.914	1606333.898	0.329	0.020	0.050
GCP-05	3D GCP	717009.153	1606432.602	5.643	0.020	0.050
GCP-06	3D GCP	717133.071	1606132.559	-1.098	0.020	0.050
GCP-07	3D GCP	717504.492	1606286.262	3.901	0.020	0.050
GCP-08	3D GCP	717315.958	1605940.266	1.935	0.020	0.050
GCP-09	3D GCP	717616.278	1606070.654	5.903	0.020	0.050
...
...	...	717744.383	1606160.407	0.000	0.000	0.000

18/18 GCPs with enough image marks

GCP/MTP Editor

In order to compute the 3D position of a GCP/MTP, it needs to be marked on at least two images. In order to take GCPs into account for georeferencing the project, at least 3 GCPs need to be marked. Marking GCPs/MTPs after step 1. Initial Processing requires the user to run Process > Reoptimize. The GCPs/MTP accuracy can be verified in the Quality Report or in the rayCloud Editor.

(Recommended) Use the rayCloud Editor after step 1. Initial Processing is done. This allows a fast and precise point marking.

rayCloud Editor... Basic Editor...

OK Cancel Help

GCP/MTP Manager

GCP Coordinate System
Datum: WGS 1984; Coordinate System: WGS 84 / UTM zone 47N (2D)

GCP/MTP Table

Label	Type	X [m]	Y [m]	Z [m]	Accuracy Horz [m]	Accuracy Vert [m]
GCP-01	3D GCP	717170.200	1606353.931	0.388	0.020	0.050
GCP-02	2D GCP	717428.900	1606454.320	3.455	0.020	0.050
GCP-03	3D GCP	717024.653	1606151.525	-0.703	0.020	0.050
GCP-04	3D GCP	717110.914	1606333.898	0.329	0.020	0.050
GCP-05	3D GCP	717009.153	1606432.602	5.643	0.020	0.050
GCP-06	3D GCP	717133.071	1606132.559	-1.098	0.020	0.050
GCP-07	3D GCP	717504.492	1606286.262	3.901	0.020	0.050
GCP-08	3D GCP	717315.958	1605940.266	1.935	0.020	0.050
GCP-09	3D GCP	717616.278	1606070.654	5.903	0.020	0.050
...
...	...	717744.383	1606160.407	0.000	0.000	0.000

18/18 GCPs with enough image marks

GCP/MTP Editor

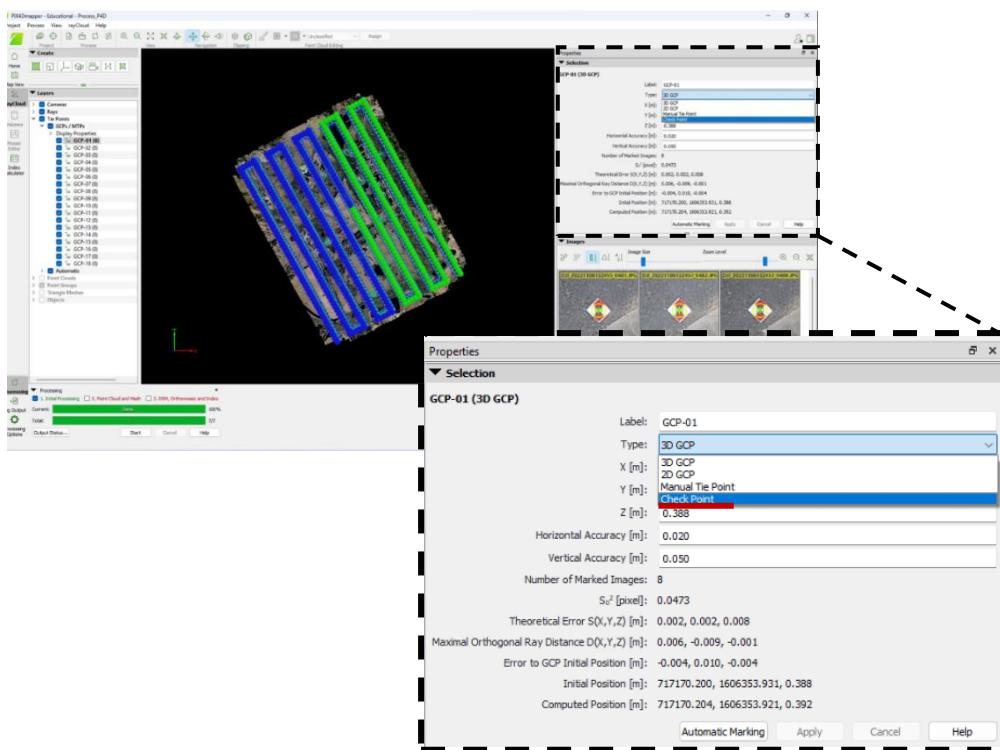
In order to compute the 3D position of a GCP/MTP, it needs to be marked on at least two images. In order to take GCPs into account for georeferencing the project, at least 3 GCPs need to be marked. Marking GCPs/MTPs after step 1. Initial Processing requires the user to run Process > Reoptimize. The GCPs/MTP accuracy can be verified in the Quality Report or in the rayCloud Editor.

(Recommended) Use the rayCloud Editor after step 1. Initial Processing is done. This allows a fast and precise point marking.

rayCloud Editor... Basic Editor...

OK Cancel Help

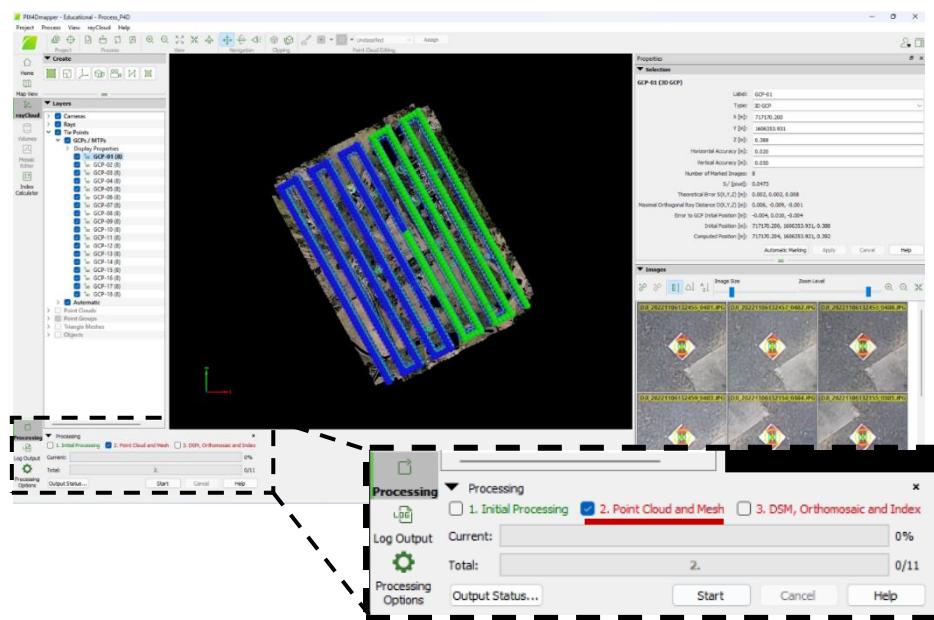
วิธีที่ 2 คือ การกดเปลี่ยนประเภทที่หน้าจอด้านขวาได้เลย ตั้งภาพที่แสดงด้านล่าง



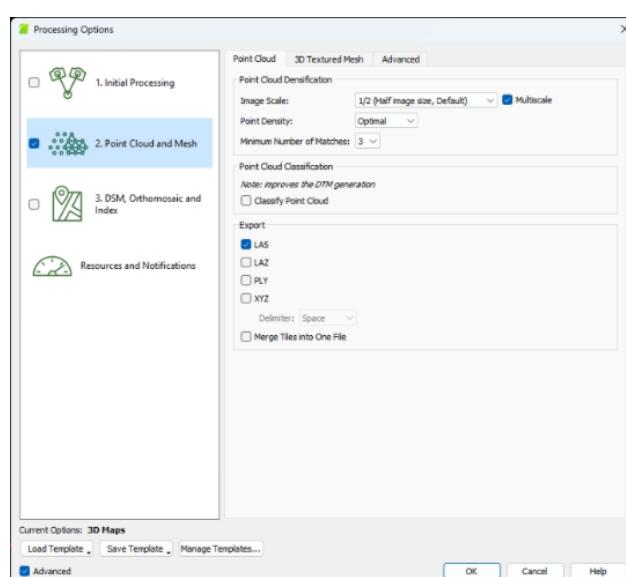
จากนั้นให้ทำการประมวลผลขั้นตอนที่ 1 ใหม่อีกรัง โดยในครั้งนี้จุดที่ถูกกำหนดให้เป็นจุดตรวจสอบจะไม่ถูกนำไปใช้ในการประมวลผลข้อมูล จุดเหล่านี้จะเป็นจุดตรวจสอบเพื่อประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่ง ให้กับงานแทน ซึ่งสามารถตรวจสอบผลลัพธ์ได้จากรายงานที่ได้ทำการสร้างขึ้น เมื่อกับขั้นตอนก่อนหน้า สำหรับหลักการในการพิจารณาการควบคุมคุณภาพการประมวลผลเป็นหัวข้อที่มีรายละเอียดซับซ้อนและมีประเด็นที่ต้องพิจารณาหลายประเด็น ผู้ประมวลผลสามารถอ่านรายละเอียดในส่วนนี้เพิ่มเติมได้จากบทความเรื่อง แนวปฏิบัติที่เป็นเลิศในการประมวลผลเพื่อผลิตข้อมูลแผนที่จากภาพถ่ายด้วยyuwee ในภาคผนวก ก)

การประมวลผลขั้นตอนที่ 2 Point Cloud and Mesh

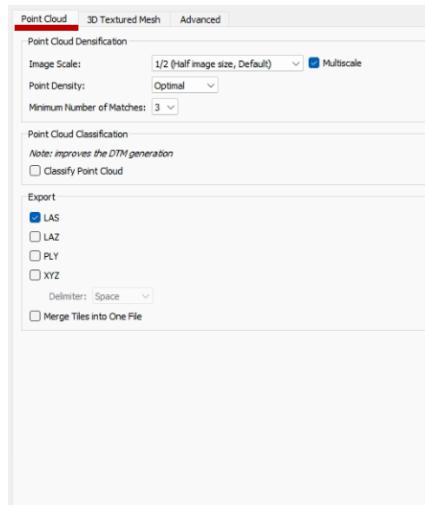
หลังจากประมวลผลและประเมินความถูกต้องในขั้นตอนที่ 1 เสร็จแล้วต่อไปเป็นขั้นตอนที่ 2 Point Cloud and Mesh เป็นขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับการสร้างข้อมูลพอยต์คลาวด์สามารถทำได้โดยการทำเครื่องหมายถูกที่ขั้นตอนที่ 2 Point Cloud and Mesh



โดยก่อนที่จะทำการกดปุ่ม Start เพื่อประมวลผลข้อมูล ในขั้นตอนนี้ผู้ประมวลผลสามารถกำหนดพารามิเตอร์ในหัวข้อต่าง ๆ ของขั้นตอนที่ 2 Point Cloud and Mesh ได้ เช่น กัน โดยทำการคลิกไปที่ปุ่มเพื่องที่ชื่อว่า Processing Options โปรแกรมจะแสดงหน้าต่างขึ้นมา โดยจะประกอบไปด้วยหัวข้อ Point Cloud 3D หัวข้อ Texture Mesh และหัวข้อ Advanced (อธิบายเฉพาะพารามิเตอร์พื้นฐานที่ต้องทราบ)



หัวข้อ Point Cloud 3D



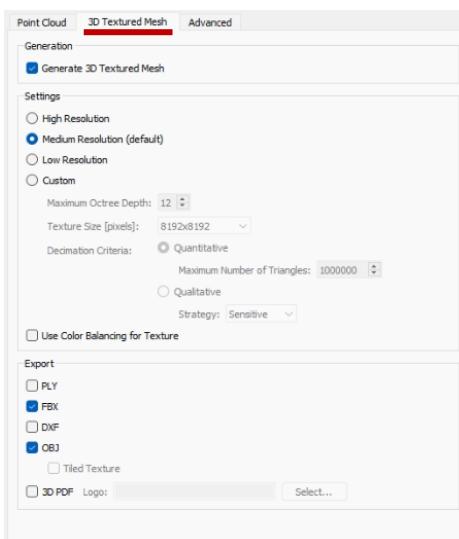
Point Cloud Densification

- Image Scale คือ การกำหนดมาตราส่วนของภาพสำหรับใช้ในการคำนวณหาพอยต์คลาวด์สามมิติทุกรายละเอียดตามสเกลที่ตั้งไว้ โดย Default คือ 1/2
- Point Density คือ ความหนาแน่นของจุดตัวอย่าง กำหนด Optimal (default) คือ ให้สร้างข้อมูลพอยต์คลาวด์ทุกๆ 4/image scale (pixel)
- Minimum Number of Matches คือ จำนวนภาพขั้นต่าสำหรับใช้ในการจับคู่จุดพอยต์คลาวด์สามมิติ

Point Cloud Classification

หากต้องการให้โปรแกรมทำการจำแนกข้อมูลพอยต์คลาวด์ให้ด้วย ต้องทำการติ๊กถูกที่ช่อง Classify Point Cloud หากผู้ประมวลผลต้องการผลิต Digital Terrain Model (DTM) ในขั้นตอนที่ 3 แนะนำให้ทำการติ๊กถูกเพื่อให้โปรแกรมทำการจำแนกข้อมูลพอยต์คลาวด์

หัวข้อ Texture Mesh



คู่มือการใช้งานโปรแกรม PIX4Dmapper

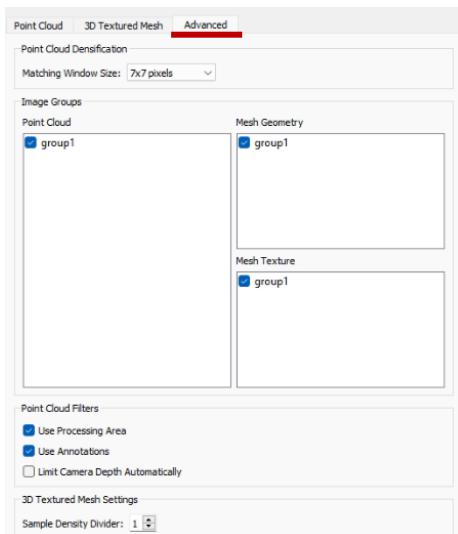
Generation

หากต้องการให้โปรแกรมประมวลผลสร้าง 3D Texture Mesh ให้ทำการติ๊กเครื่องหมายถูกที่ช่อง Generate 3D Texture Mesh

Settings

ผู้ประมวลผลสามารถเลือกระดับความละเอียดในการสร้าง 3D Texture Mesh ได้ 4 รูปแบบ คือ 1. High Resolution 2. Medium Resolution 3. Low Resolution และ 4. Custom

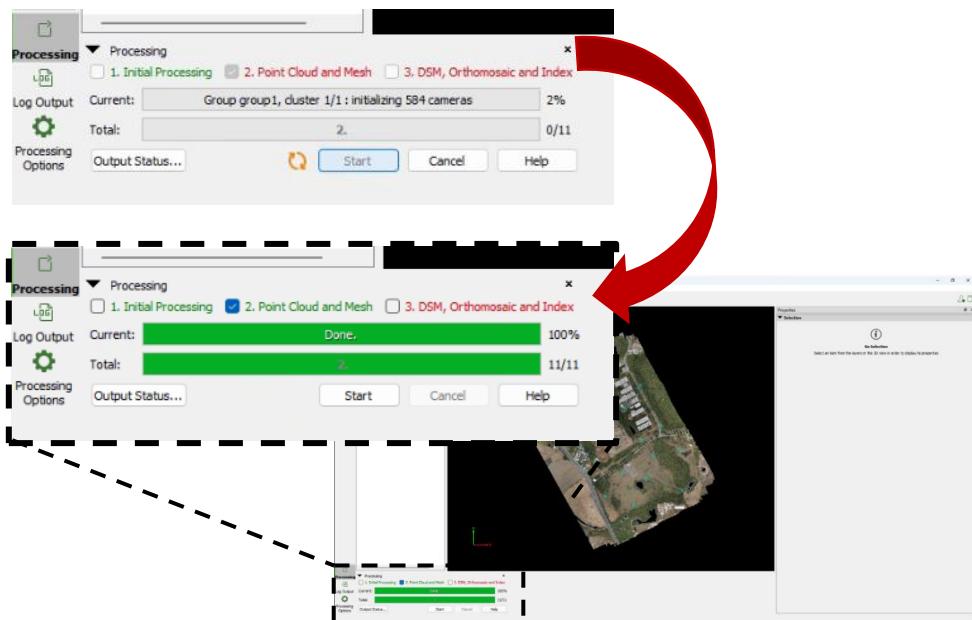
หัวข้อ Advanced



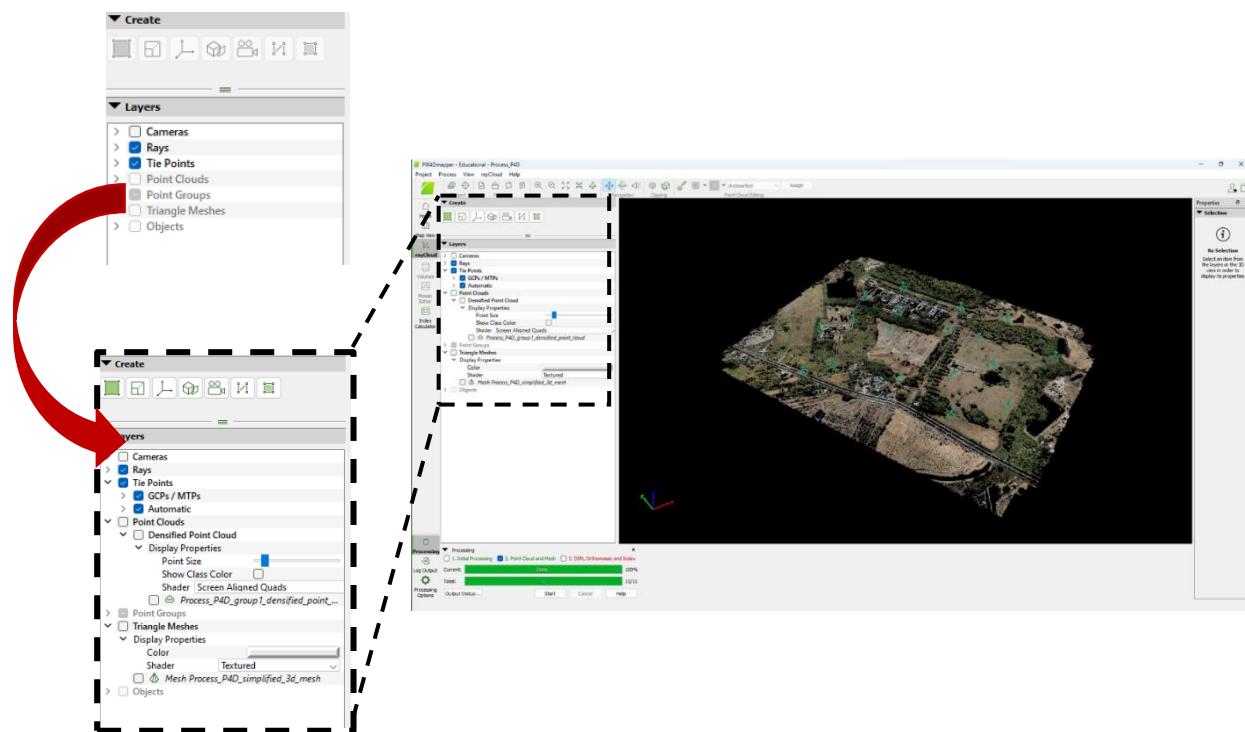
Point Cloud Filters

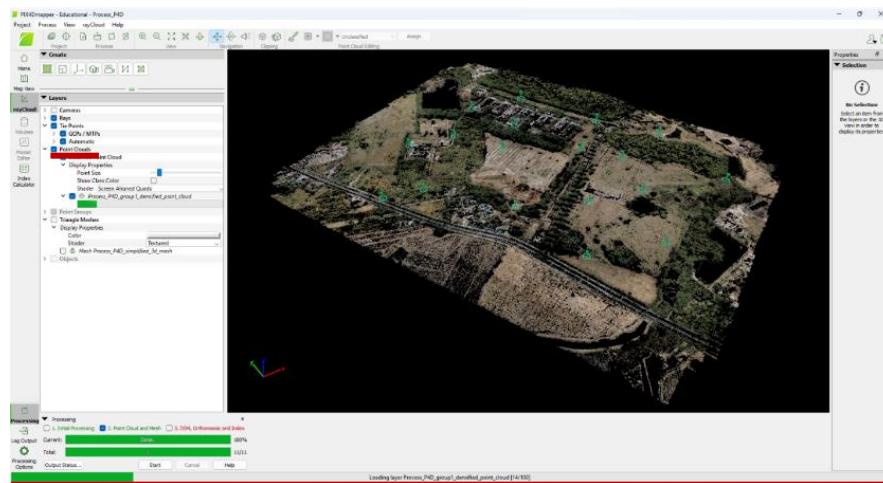
คือ การกรองข้อมูลพอยต์คลาวด์ที่ไม่ต้องการออกตามที่ผู้ประมวลผลได้กำหนดไว้ในโปรเจค

หากกำหนดพารามิเตอร์ในหัวข้อต่าง ๆ เสร็จเรียบร้อยแล้วให้กดปุ่ม Start โปรแกรมจะเริ่มทำการประมวลผล สังเกตได้จากแถบสถานะการประมวลผล เมื่อประมวลผลจนเสร็จแถบสถานะจะเปลี่ยนเป็นสีเขียว เต็มทั้งแถบ



หลังจากประมวลผลเสร็จแล้วผู้ประมวลผลสามารถให้โปรแกรมแสดงผลลัพธ์ข้อมูลพอยต์คลาวด์ที่ได้ทำการสร้างขึ้นในขั้นตอนที่ 2 ได้โดยการเลื่อนมาสู่ไปที่แบบทางด้านซ้ายมือที่ชื่อ Layer จากนั้นไปที่หัวข้อ Point Cloud ซึ่งหากยังไม่ได้ทำการประมวลผลในขั้นตอนที่ 2 ตรงบริเวณหัวข้อนี้จะไม่สามารถกดได้ จากนั้นให้ทำการทำเครื่องหมายถูกที่ช่องสี่เหลี่ยมหน้าหัวข้อ Point Clouds รอโปรแกรมโหลดข้อมูลพอยต์คลาวด์ขึ้นมาแสดงผลลัพธ์





ข้อมูลพอยต์คลาวด์จากขั้นตอนที่ 1

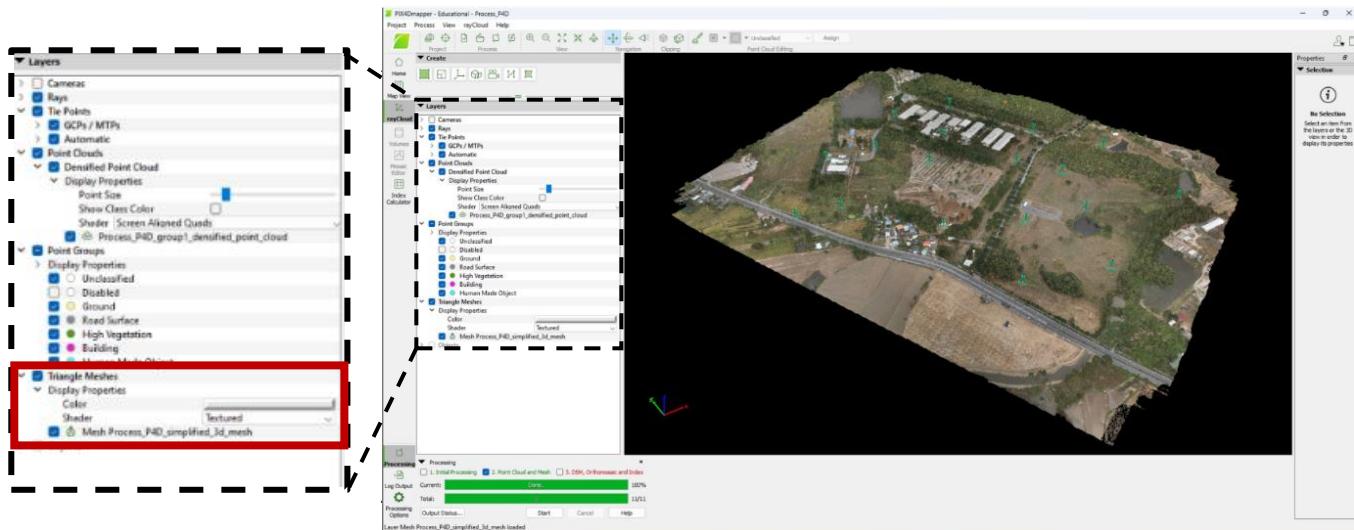


ข้อมูลพอยต์คลาวด์จากขั้นตอนที่ 2



คู่มือการใช้งานโปรแกรม PIX4Dmapper

นอกจากนั้นผู้ประมวลผลสามารถให้โปรแกรมแสดงข้อมูลในรูปแบบ Triangle Meshes ให้ทำการทำเครื่องหมายถูกที่ช่องสีเหลี่ยมหน้าหัวข้อ Triangle Meshes รอโปรแกรมโหลดข้อมูลขึ้นมาแสดงผลลัพธ์



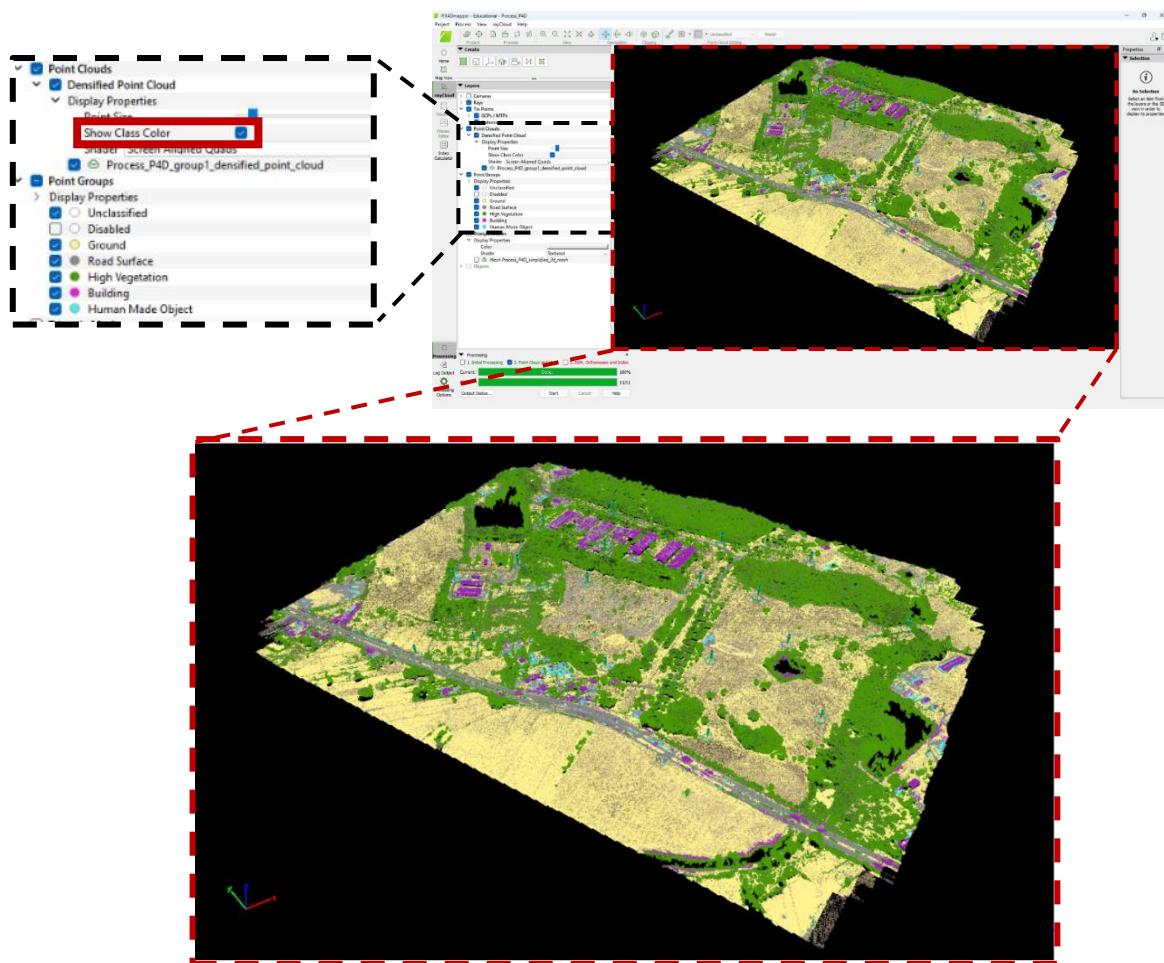
ข้อมูลก่อนทำเครื่องหมายถูกช่องสีเหลี่ยมหน้าหัวข้อ Triangle Meshes



ข้อมูลหลังทำเครื่องหมายถูกช่องสีเหลี่ยมหน้าหัวข้อ Triangle Meshes

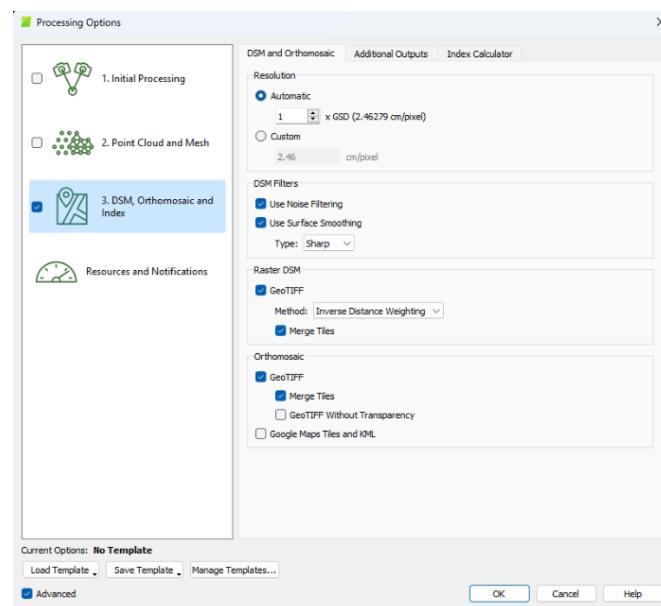
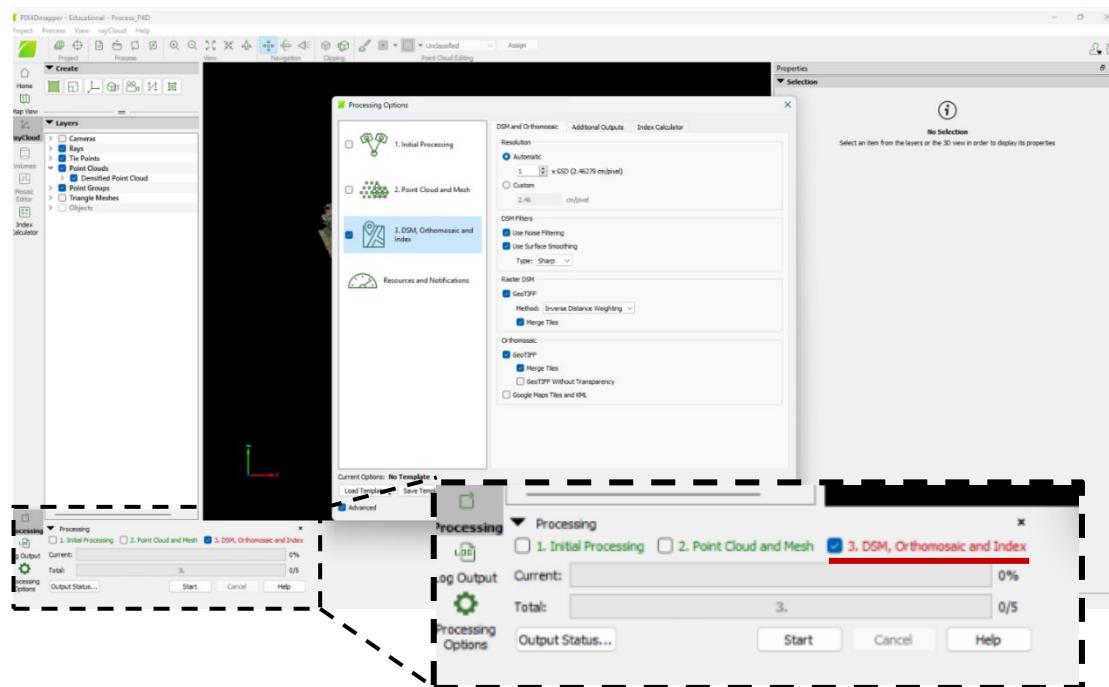


หากได้กำหนดพารามิเตอร์ในขั้นตอนที่ 2 ก่อนทำการประมวลผลหัวข้อ Point Cloud Classification โปรแกรมจะทำการจำแนกข้อมูลพอยต์คลาวด์ให้ ดังนั้นผู้ประมวลผลสามารถดูผลลัพธ์การจำแนกได้ในขั้นตอนนี้โดยการทำเครื่องหมายถูกที่ช่องสีเหลี่ยมหลังหัวข้อ Show Class Color รอโปรแกรมโหลดข้อมูลเข้ามาแสดงผลลัพธ์ ซึ่งการจำแนกอาจมีความผิดพลาดเกิดขึ้น ดังนั้นหากผู้ประมวลผลต้องการนำข้อมูลพอยต์คลาวด์ที่จำแนกประเภทแล้วไปใช้งานต่ออาจต้องทำการจำแนกด้วยตัวเองเพิ่มเติมอีกรอบ



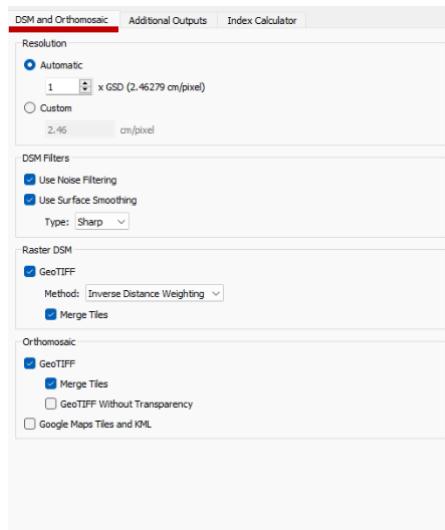
การประมวลผลขั้นตอนที่ 3 DSM, Orthomosaic and Index

สำหรับขั้นตอนที่ 3 คือ ขั้นผลิตผลลัพธ์แบบจำลองความสูงเชิงเลขและภาพอร์โทเพื่อนำไปใช้งานทางด้านวิศวกรรม โดยจะมีลักษณะเหมือนขั้นตอนทั้ง 2 ก่อนหน้านี้คือ ให้ทำเครื่องหมายถูกหน้าขั้นตอนที่ 3 จากนั้นทำการตั้งค่าพารามิเตอร์ในหัวข้อต่าง ๆ ที่อยากให้โปรแกรมประมวลผล โดยสำหรับหัวข้อที่สามารถกำหนดพารามิเตอร์ได้มีด้วยกัน 3 หัวข้อ คือ หัวข้อ DSM and Orthomosaic หัวข้อ Additional Outputs และหัวข้อ Index Calculator (อธิบายเฉพาะพารามิเตอร์พื้นฐานที่ต้องทราบ)



คู่มือการใช้งานโปรแกรม PIX4Dmapper

หัวข้อ DSM and Orthomosaic



DSM Filters

- Use Noise Filtering: ลดจำนวน noise ลง โดยดูจาก median altitude ของ neighboring points
- Use Surface Smoothing: การทำ filter ของ noise เพื่อสร้างพื้นผิว โดยผู้ใช้งานกำหนดได้ตามต้องการ

Raster DSM

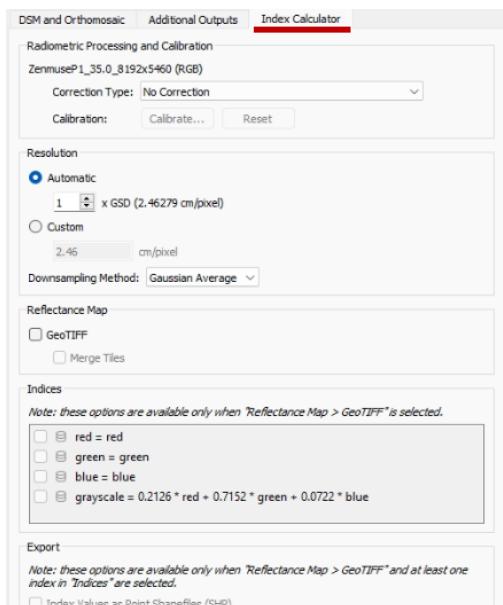
คือ การสร้าง DSM (Digital Surface Model) ประกอบด้วย GeoTIFF : สร้างไฟล์แบบ GeoTIFF Method : การกำหนดวิธีการประมาณค่าระหว่างจุด (Interpolate) ได้แก่ Inverse Distance Weighting: เมามะสำหรับอาคาร ตึก, Triangulation: เมามะสำหรับพื้นราบ หรือ พื้นที่เกษตรกรรม

หัวข้อ Additional Outputs

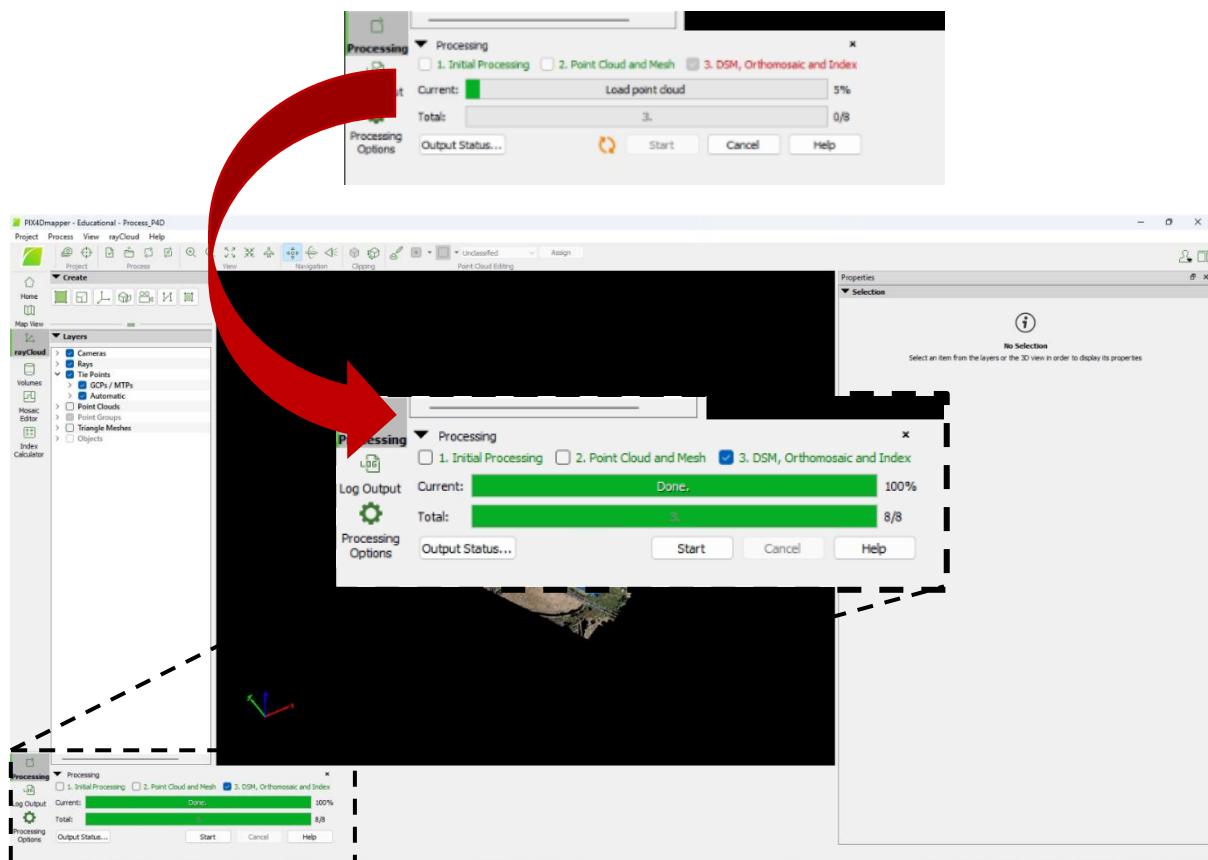


คู่มือการใช้งานโปรแกรม PIX4Dmapper

หัวข้อ Index Calculator

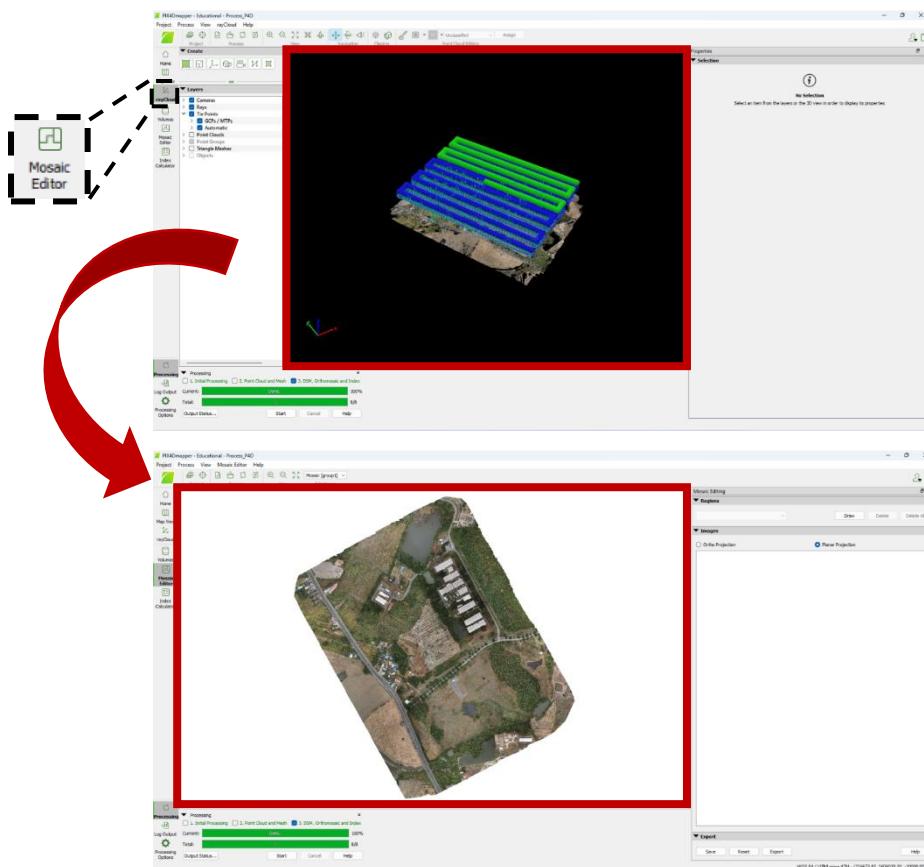


หลังจากกำหนดพารามิเตอร์ในหัวข้อต่าง ๆ เสร็จเรียบร้อยแล้วให้ทำการกดปุ่ม Start เพื่อเป็นการประมวลผลข้อมูล หากประมวลผลจนเสร็จแล้วแถบสถานะจะเป็นแบบสีเขียวเต็มแถบ

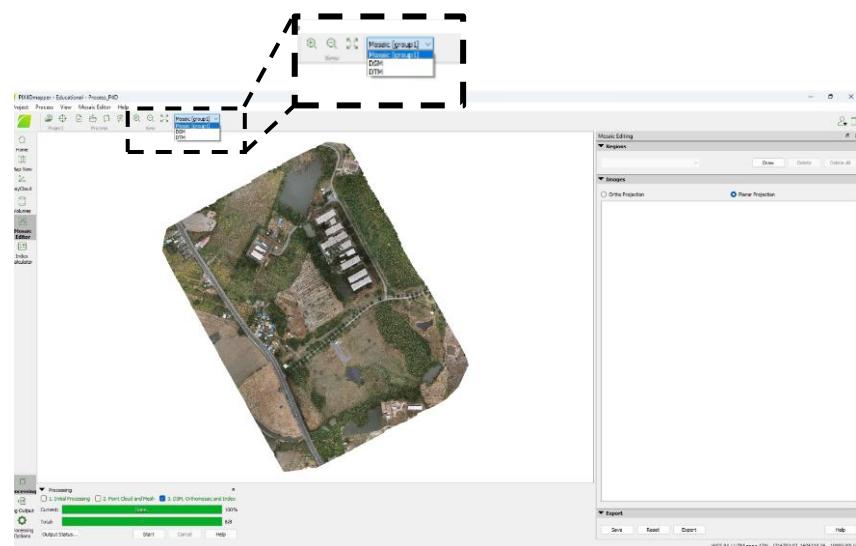


คู่มือการใช้งานโปรแกรม PIX4Dmapper

หลังจากประมวลผลเสร็จแล้ว ผู้ประมวลผลสามารถดูผลลัพธ์ได้โดย การกดไปที่ไอคอน Mosaic Editor โปรแกรมจะทำการสลับหน้าจอไปยังหน้าจอแสดงผลลัพธ์

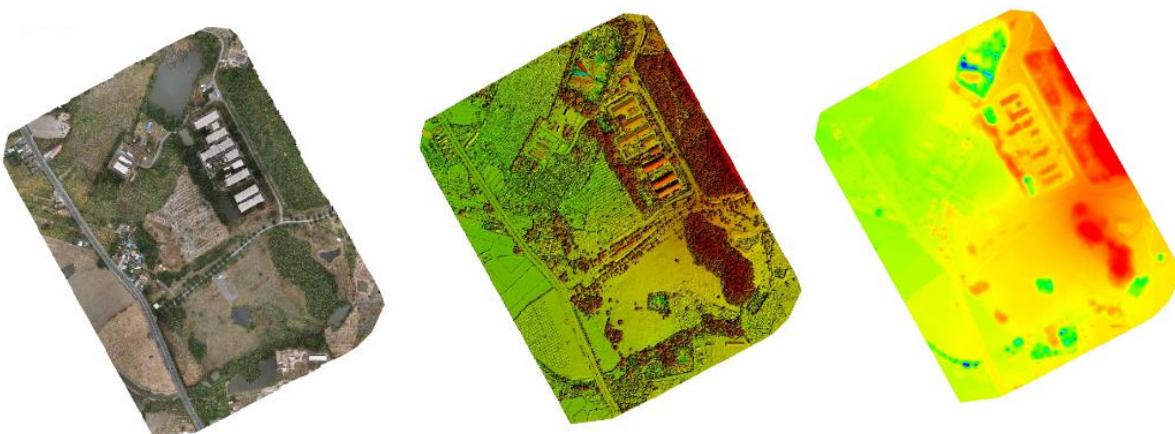


โดยผู้ประมวลผลสามารถสลับผลลัพธ์ที่ได้ทำการสร้างขึ้นมาโดยจะสามารถแสดงผลลัพธ์ได้ตามผลลัพธ์ที่เคยตั้งค่าให้โปรแกรมผลิตให้ แสดงได้ดังภาพด้านล่าง

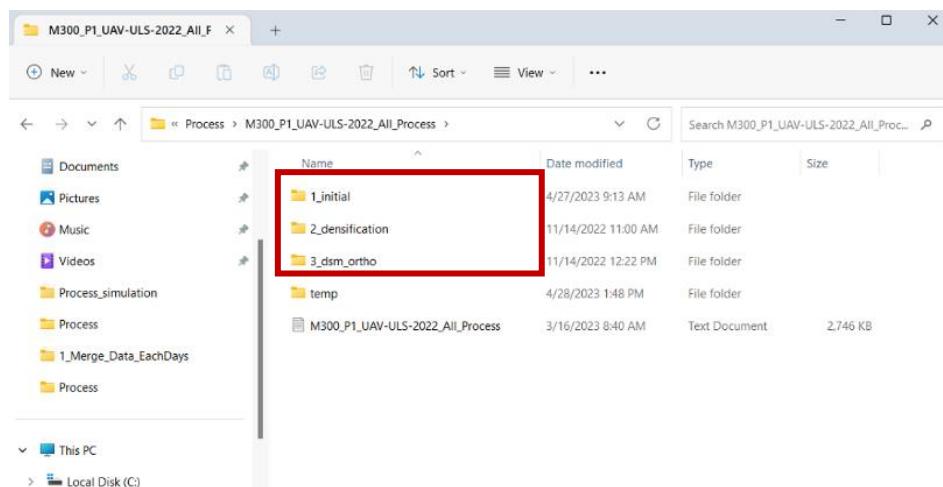


คู่มือการใช้งานโปรแกรม PIX4Dmapper

สำหรับการประมวลผลในคู่มือเล่มนี้ได้ทำการตั้งค่าให้โปรแกรมผลิตผลลัพธ์ 3 รูปแบบ คือ 1. Orthophoto 2. Digital Surface Model (DSM) 3. Digital Elevation Model (DEM) โดยผลลัพธ์ที่ได้แสดงดังภาพด้านล่างจากซ้ายไปขวา จะเห็นได้ว่าผลลัพธ์ DEM ที่ผลิตขึ้นได้ยังไม่ถูกต้องอันเนื่องมาจากหลายสาเหตุ ดังนั้นหากต้องการผลิต DEM ที่ถูกต้องและมีคุณภาพต้องทำการประมวลผลเพิ่มเติม ซึ่งในคู่มือเล่มนี้ขอไม่กล่าวถึงขั้นตอนการประมวลผลข้อมูลขั้นสูง



เมื่อทำการตรวจสอบโดยคร่าว เสร็จแล้ว ผู้ประมวลผลสามารถนำผลลัพธ์ไปใช้งานได้โดยไปยังไฟล์เดอร์ที่ทำการสร้างงานนี้ไว้ ตามที่ได้บอกไปในตอนต้นว่า การประมวลผลผ่านโปรแกรมนี้ การประมวลผลถูกแบ่งเป็นขั้นตอนทั้งหมด 3 ขั้นตอน ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ในแต่ละขั้นตอนก็จะถูกแยกเป็น 3 ไฟล์เดอร์ให้ผู้ใช้สามารถเลือกหยิบและนำไปประยุกต์ใช้งานต่อได้อย่างสะดวก ยกตัวอย่างเช่น ข้อมูลแบบจำลองความสูงภูมิประเทศ (Digital Surface Model, DSM) และ ออร์โธโฟรูฟ (True Orthophoto) จะอยู่ใน Folder “3_dsm_ortho” และ ข้อมูล Point Cloud จะอยู่ใน Folder “2_densification” เป็นต้น



វាគមនាក

គ្នាមីការិយៈណាំនៃកម្មវិធី PIX4Dmapper

ภาคผนวก ก) บทความแนวปฏิบัติที่เป็นเลิศในการประมวลผลเพื่อผลิตข้อมูลแผนที่จากภาพถ่ายด้วยยูเอวี



วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา

Engineering Journal of Research and Development

วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์

The Engineering Institute of Thailand under H.M. The King's Patronage

ปีที่ 34 ฉบับที่ 1 มกราคม-มีนาคม 2566

Volume 34 Issue 1 January-March 2023

Received 17 June 2022

Revised 7 July 2022

Accepted 22 December 2022

แนวปฏิบัติที่เป็นเลิศในการประมวลผลเพื่อผลิตข้อมูลแผนที่จากภาพถ่ายด้วยยูเอวี

BEST PRACTICE FOR MAPPING PRODUCTION FROM UAV IMAGERY

ธิรวัฒน์ บรรณกุลพิพัฒน์^{1*}, ไฟศาล สันติธรรมนนท์^{2,3}, ชีรรักษ์ มณีนาถ³ และวีระชัย วงศ์วะนิมิต³

¹*นิสิตปริญญาโท, สาขาวิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,

²รองศาสตราจารย์, สาขาวิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,

³วิศวกรอาชญา, ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านการจัดการโครงสร้างพื้นฐาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

*Corresponding author, E-Mail: thirawat.bannakulpiphat@gmail.com

ลิงก์บทความ: <https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/eit-researchjournal/article/view/246888/169254>



แนวปฏิบัติที่เป็นเลิศในการประมวลผลเพื่อผลิตข้อมูลแผนที่จากภาพถ่ายด้วยยูเอวี

BEST PRACTICE FOR MAPPING PRODUCTION FROM UAV IMAGERY

ธีรวัฒน์ บรรณกุลพิพัฒน์^{1*}, พิศาล สันติธรรมนนท์^{2,3}, ธีรรักษ์ มณีนาถ³ และวีระชัย วงศ์วีระนิมิต³

¹* นิสิตปริญญาโท, สาขาวิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,

² รองศาสตราจารย์, สาขาวิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,

³ วิศวกรอาชญา, ศูนย์ชีวชาณุภาพทางด้านการจัดการ โครงการสร้างพื้นฐาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

*Corresponding author, E-Mail: thirawat.bannakulpiphat@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้เสนอแนวปฏิบัติที่เป็นเลิศในการประมวลผลและการควบคุมคุณภาพผลผลิตข้อมูลแผนที่จากภาพถ่ายทางอากาศที่บันทึกข้อมูลมาจากอากาศยานไร้คนขับ โดยในงานวิจัยได้ใช้ตัวอย่างอากาศยานไร้คนขับที่นิยมอย่างแพร่หลายเช่น DJI รุ่น MATRICE 300 ติดตั้งกล้อง ZENMUSE P1 ความละเอียดจุดภาพบนกล้อง 45 ล้านจุดภาพ บินบันทึกภาพบนสนามทดสอบขนาด 1.4 ตารางกิโลเมตร มีจุดควบคุมภาคพื้นดินจำนวน 14 จุด การประมวลผลข้อมูลข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศและผลิตข้อมูลแผนที่ใช้โปรแกรมประมวลผลที่ได้รับความนิยมเช่น 2 โปรแกรม คือ โปรแกรม PIX4Dmapper และ โปรแกรม Agisoft Metashape ในงานวิจัยนี้ได้เสนอ แนวปฏิบัติที่เป็นเลิศในการประมวลผลควบคุมคุณภาพข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศ 2 ขั้นตอนเรียกว่า “QC-1 และ QC-2” ที่มุ่งเน้นใช้ตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่รังวัดทุกความคุณภาพในสนาม จุดที่รังวัดได้บนภาพ แบบจำลองกล้องและข่ายสามเหลี่ยมเพื่อให้ได้ผลผลิตข้อมูลแผนที่นำไปใช้ในการกิจกรรมต่าง ๆ ที่หลากหลาย ได้ด้วยความมั่นใจว่าข้อมูลที่ถูกผลิตขึ้นจะสามารถนำไปใช้ได้อย่างต่อเนื่องจนถึงปลายนา โดยมีความละเอียดความถูกต้องสูงและน่าเชื่อถือ รูปแบบที่เสนอในงานวิจัยนี้ เป็นการประมวลผลล็อกภาพถ่ายทางอากาศแบบ Bundle Block Adjustment (BBA) ร่วมกับจุดบันทึกภาคพื้นดินจำนวนหนึ่งพร้อมกับการคำนวณปรับแก้พารามิเตอร์การจัดภาพภายในของกล้อง และความเพียงของเลนส์ ($f, c_x, c_y, R1, R2, R3, T1, T2$) ซึ่งจะถูกนำไปคำนวณปรับแก้ทุกครั้งสำหรับแต่ละบล็อกภาพในโปรแกรม นอกจากนี้ในตอนท้ายของงานวิจัยนี้ได้สรุปรูปแบบฟอร์มแนะนำการปฏิบัติและแนวทางการประมวลผลผลิตข้อมูลแผนที่แบบจำลองระดับสูงเชิงเลข (DEM) โดยการปรับเปลี่ยนความละเอียดจุดสูงและรูปแบบของการจัดเก็บเพื่อให้สามารถนำข้อมูลเหล่านี้ไปใช้ประโยชน์ปลายนาสำหรับลักษณะงานต่าง ๆ ในการปฏิบัติงานในโครงการทางวิศวกรรมใด ๆ ได้อย่างเหมาะสม

คำสำคัญ: การทำแผนที่สามมิติด้วยภาพจากอากาศยานไร้คนขับ; การคำนวณปรับแก้ข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศ; ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนยกกำลังสอง; ความละเอียดจุดภาพ; การมองเห็นหล่ายมุมมอง

Thirawat Bannakulpiphat^{1*}, Phisan Santitamnont^{2,3}, Theeraruk Maneenart³ and Weerachai Wongweeranimit³

^{1*} Master Student, Department of Survey Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University, Thailand.

² Associate Professor, Department of Survey Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University, Thailand.

³ Senior Engineer, Center of Excellence in Infrastructure Management, Chulalongkorn University, Thailand.

ABSTRACT

This research defines the best practice of processing and measuring the quality of mapping data production from UAV. In this research, aerial images from the popular DJI M300, equipped with the 45 megapixel ZENMUSE P1 camera, were acquired over Chulalongkorn UAV Test Field. The test field covers 1.4 square kilometers and has 14 permanent signalized ground control points. Two software suites for UAV processing: PIX4Dmapper and Agisoft Metashape are used as processing and production platforms. By practicing and researching for years, we propose “the best practice for processing and measuring quality”. A scheme of in-situ quality control for aerial triangulation with camera interior and lens distortion parameters ($f, c_x, c_y, R1, R2, R3, T1, T2$) is called “QC-1 & QC-2”, which tangibly proposed here. The assured result of the aerial triangulation will help produce reliable and precise downstream data mapping. The UAV mapping scheme processed by using Bundle Block Adjustment (BBA) with optimal number of GCPs. In the last part of research, suggestions for data production by reducing GSD of the initial products are described. The pragmatic productions will provide convenience, speedy, and efficient workflow for downstream processes in a typical engineering project.

KEYWORDS: Unmanned Aerial Vehicle for Mapping Production; Adjustment Computation for Aerial Triangulation (AT); Root Mean Square Error (RMSE); Ground Sampling Distance (GSD); Multi View Geometry (MVG)

1. บทนำ

ปัจจุบันเทคโนโลยีด้านอากาศยานไร้คนขับ หรือ ยูเอวี (Unmanned Aerial Vehicle; UAV) ถูกนำมาประยุกต์ใช้กับงานสำรวจ รังสีดัดทำแผนที่ ภาพออร์โทและผลิตแบบจำลองภูมิประเทศเชิงตัวเลข โดยภาพถ่ายที่บันทึกบนยูเอวีจะถูกนำมาประมวลผลผ่านโปรแกรมทางด้านไฟโตแกรมเมตريเพื่อผลิตผลลัพธ์ในการนำไปใช้งาน ได้แก่ ภาพออร์โท (Orthophoto) พอยต์คลาวด์ (Point cloud) แบบจำลองระดับสูงเชิงเลข (Digital Elevation Model; DEM) และแบบจำลองพื้นผิวภูมิประเทศเชิงเลข (Digital Surface Model; DSM) เพื่อนำไปใช้ในการออกแบบก่อสร้างและอ้างอิงพิกัดทางด้านภูมิศาสตร์ของภูมิประเทศ

งานวิจัยนี้ได้เสนอแนวปฏิบัติที่เป็นเลิศในการประมวลผลและการควบคุมคุณภาพผลผลิตข้อมูลแผนที่จากภาพถ่ายทางอากาศ ที่บันทึกข้อมูลมาจากอากาศยานไร้คนขับ โดยในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ข้อมูลตัวอย่างเป็นภาพถ่ายทางอากาศที่บันทึกข้อมูลมาจากอากาศยานไร้คนขับ โดยใช้ตัวอย่างอากาศยานไร้คนขับที่นิยมอย่างแพร่หลายยี่ห้อ DJI รุ่น MATRICE 300 ที่ติดตั้งกล้อง ZENMUSE P1 ความละเอียดสูงภาพของเซนเซอร์รับภาพ 45 ล้านจุดภาพ แต่ละภาพมีจุดภาพ 8192×5460 จากนั้นจะนำเสนองานตรวจสอบความคุณภาพของผลผลิต เมื่อนำข้อมูลภาพถ่ายไปประมวลผลผ่านโปรแกรมทางด้านไฟโตแกรมเมตريที่ได้รับความนิยมในปัจจุบัน 2 โปรแกรม คือ โปรแกรม PIX4Dmapper รุ่น 4.7.5 และ โปรแกรม Agisoft Metashape 1.8.2

2. บททวนวรรณกรรม

บทความ [1] นี้ได้บรรยายแนวทางการปฏิบัติที่เหมาะสมสำหรับการใช้อากาศยานไร้คนขับสำหรับการสำรวจระยะไกลและ การประยุกต์ใช้สำหรับภาคอุตสาหกรรมแผนที่สำหรับช่วงทศวรรษที่ 2020 นี้ สิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการปฏิบัติการกิจให้มีประสิทธิภาพและความถูกต้องสูงมีอยู่หลายประเด็น ได้แก่ เรื่องการตรวจสอบเครื่องมือและการคำนึงถึงระยะห่างระหว่าง

อุปกรณ์บินอากาศยานไร้คนขับ เนื่องจากบินอากาศยานไร้คนขับตำแหน่งของกล้องถ่ายภาพกับตำแหน่งที่ติดตั้งเสารับสัญญาณ ดาวเทียมนำหน้าติดตั้งคันละตำแหน่งกัน ดังนั้นจึงต้องมีการวัดระยะห่างระหว่างสองอุปกรณ์นี้ เพื่อทำให้ข้อมูลมีความถูกต้องที่มาก ยิ่งขึ้นสำหรับใช้ในการประมวลผลเพื่อผลิตแผนที่มีความถูกต้องแม่นยำในระดับเซนติเมตร เรื่องการตรวจสอบความถูกต้องของ ข้อมูลค่าพิกัดที่รับรู้มาจากการรับสัญญาณจากดาวเทียมนำหน้า เนื่องจากในการปฏิบัติการกิจ忙งานครั้งนี้มีการเลือกใช้อากาศยานไร้ คนขับที่มีการรังสรรค์รับสัญญาณดาวเทียมหลากหลายวิธี เช่น วิธีการรังสรรค์แบบจลน์ในทันที วิธีการรังสรรค์แบบประมวลผลภายหลัง เป็นต้น ซึ่งวิธีการที่รังสรรค์รับสัญญาณมาแตกต่างกันส่งผลต่อการประมวลผลข้อมูลและผลลัพธ์ความถูกต้องความแม่นยำของข้อมูล โดยเฉพาะในส่วนของความละเอียดของข้อมูลตำแหน่งเวลาบนที่กางบินอากาศยานไร้คนขับที่เป็นส่วนสำคัญในการนำไป ประมวลเพื่อให้ได้ค่าพิกัดของตำแหน่งที่บันทึกภาพที่มีความถูกต้องสูง ดังนั้นความละเอียดของข้อมูลและรูปแบบการรับสัญญาณ เป็นอีกหนึ่งประเด็นที่สามารถเพิ่มความถูกต้องให้กับแผนที่ได้ เรื่องการมีจุดควบคุมภาคพื้นดินและจุดตรวจสอบสำหรับ ประมวลผลข้อมูล โดยการมีจุดควบคุมภาคพื้นดินจะช่วยในการ irony ค่าพิกัดระหว่างข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศกับข้อมูลค่าพิกัด ภาคพื้นดินให้สอดคล้องกันรวมถึงเพิ่มความถูกต้องในการทำแผนที่ สำหรับการมีจุดตรวจสอบจะช่วยตรวจสอบผลลัพธ์ที่ ประมวลผลขึ้นมาได้ว่ามีความสอดคล้องหรือมีความถูกต้องอยู่ในระดับไหน ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยสนับสนุนการปฏิบัติการกิจโดยใช้ อากาศยานไร้คนขับแบบวิธีการรังสรรค์แบบประมวลผลภายหลังมากกว่าวิธีการรังสรรค์แบบจลน์ในทันที โดยเฉพาะในสภาพแวดล้อม การทำงานที่เต็มไปด้วยสิ่งที่สามารถบดบังสัญญาณดาวเทียมนำหน้า เพื่อประโยชน์ต่อความปลอดภัยในการปฏิบัติงานของยูเอวีและ บริเวณพื้นที่โดยรอบและเพื่อความถูกต้องของค่าพิกัดตำแหน่งที่ได้ ดังนั้นการผลิตแผนที่ความถูกต้องสูงจำเป็นที่จะต้องคำนึงถึง ประเด็นดังๆ ที่ได้กล่าวมาในข้างต้น

3. เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาและพื้นที่การศึกษา

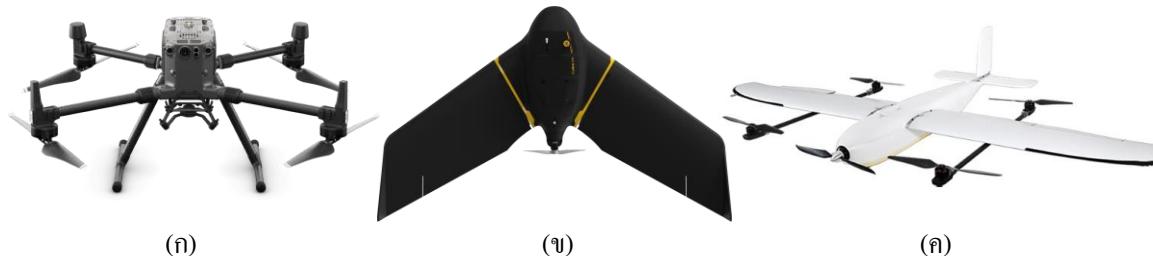
3.1 อากาศยานไร้คนขับยี่ห้อ DJI รุ่น MATRICE 300 RTK

การใช้อากาศยานไร้คนขับสำหรับถ่ายภาพทางอากาศเพื่อทำแผนที่ผู้ใช้งานเลือกใช้อากาศยานไร้คนขับชนิดหلامปีกหมุน (Multirotor; MR) ชนิดปีกตั้ง (Fixed-Wing ; FW) หรือชนิดลูกผสมเพื่อให้บินขึ้นลงแนวตั้งพร้อมกับขับเคลื่อนไปข้างหน้าด้วยปีก ยกที่เรียกว่า Vertical Take-off and Landing (VTOL) โดยที่ในแต่ละชนิดมีข้อเด่นและข้อด้อยดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อเด่นและข้อด้อยของอากาศยานไร้คนขับชนิดต่างๆ

คุณลักษณะ/ชนิดอากาศยาน	หลาຍปีกหมุน (MR)	ปีกตรึง (FW)	ถูกผสม (VTOL)
1. ระยะเวลาการบินนานา (Flight endurance)	กินไฟมากตามจำนวนใบพัด ประมาณรอบละ 20 นาที	ขับเคลื่อนด้วยแรงยกตัวของปีก ตรึงยึดนาดใหญ่ ประมาณรอบละ 1 ชั่วโมง	ใช้ห้องทึ่งสองเทคโนโลยีสูญเสียพลังงานในการยกตัวและลงจอดประมาณ 30% หรือสามารถบินได้รอบละ 40 นาที
2. ความเร็วในการบิน (Flight speed) ซึ่งมีผลต่อการบินบนทึกภาคของคลุมพื้นที่เพื่อพิสูจน์	ความเร็วเฉลี่ยน้อยกว่า 10 เมตรต่อวินาที หรือ 36 กิโลเมตรต่อชั่วโมง	ความเร็วเฉลี่ยมากกว่า 20 เมตรต่อวินาที หรือ 72 กิโลเมตรต่อชั่วโมง	ความเร็วเฉลี่ยน้อยกว่า 15 เมตรต่อวินาที หรือ 53 กิโลเมตรต่อชั่วโมง
3. ความปลอดภัยในการขึ้นบินและลงจอด (Safety of takeoff and landing)	สะتفاعมากในการนำเครื่องขึ้นและลงจอด ปฏิบัติการกิจในเมืองได้	ทำงานได้รวดเร็ว เหมาะกับพื้นที่ขนาดใหญ่ๆ ออกเมือง การขึ้นบินและลงจอด ต้องเตรียมแนวพื้นที่โล่งกว้างและยาวมากกว่า 500 เมตร และมีความเสี่ยงต่อการที่กล้องตกกระแทกเสียหาย	ทำงานได้รวดเร็วให้เกียงกับระบบปีกตรึงยึดสามารถบินขึ้นลงสะดวกเข้าใจกลับพื้นที่ปฏิบัติงานไม่มีความเสี่ยงต่อการที่กล้องตกกระแทกเสียหาย

อากาศยานไร้คนขับที่นำมาใช้สำหรับบันทึกภาพถ่ายทางอากาศคือ DJI รุ่น MATRICE 300 RTK ดังรูปที่ 1 (ก) เป็นญาณวิชนิคหลาຍปีกหมุนจำนวน 4 ใบพัด การบินขึ้นลงและเข้าสู่เส้นทางการบินตามที่กำหนดเป็นรูปแบบแผนการบิน สามารถทำได้อัตโนมัติและมีความน่าเชื่อถือสูงมาก ระบบมีเซ็นเซอร์ตรวจสอบการชนและการเลี้ยงการชนรอบตัว



รูปที่ 1 อากาศยานไร้คนขับชนิดต่างๆ (ก) หลาຍปีกหมุน ขึ้ห้อ DJI รุ่น MATRICE 300 RTK [2] (ข) ปีกตรึงขึ้ห้อ Sense Fly รุ่น eBee X [3] (ค) ถูกผสม ขึ้ห้อ FOXTECH รุ่น Loong 2160 VTOL [4]

3.2 กล้องถ่ายภาพทางอากาศ

ปัจจุบันระบบอากาศยานไร้คนขับสามารถเลือกติดตั้งกล้องถ่ายภาพที่ออกแบบและผลิตมาเพื่อใช้ถ่ายภาพทางอากาศโดยเฉพาะ กล้องถ่ายภาพทางอากาศสำหรับการทำแผนที่จะติดตั้งกล้องถ่ายภาพในทิศทางแนวตั้ง (Nadir) ความละเอียดชุดภาพของกล้องอยู่ในช่วง 20 - 61 ล้านพิกเซลภาพสามารถหาชื่อได้ทั่วไป หน่วยความจำของกล้องจะเป็นช่องเสียบการ์ดหน่วยความจำ (SD Card) สำหรับการทำแผนที่ในสมัยใหม่มีแนวโน้มจะบรรจุหน่วยความจำขนาดนิด Solid-State ภายในระบบของกล้อง ซึ่งทำให้การใช้งานกล้องมีความสะดวกมากขึ้น ประสิทธิภาพในการอ่านเขียนข้อมูลดีขึ้นและผลการบันทึกมีความน่าเชื่อถือสูง ในกรณีที่การบิน

ถ่ายภาพทางอากาศต้องการเน้นให้เห็นรายละเอียดด้านข้างอาคารและสิ่งปลูกสร้างมากขึ้น สามารถเลือกติดตั้งระบบกล้องหลายหัวที่ประกอบด้วยกล้องแนวตั้ง 1 ตัวและกล้องแนวเฉียง 4 ทิศทางตั้งจากกันอีก 4 ตัว ในการปฏิบัติภารกิจได้ดังรูปที่ 2 (ค)



รูปที่ 2 ตัวอย่างกล้อง (ก) กล้องถ่ายภาพแนวตั้ง ZENMUSE P1 [5] (ข) กล้องถ่ายภาพแนวเฉียง FOXTECH MAP-A7R [6]
(ค) กล้องถ่ายภาพหลายหัวชนิดกล้องตั้งและกล้องเฉียง 4 ทิศทาง FOXTECH 3DM V3 [7]

สำหรับกล้องถ่ายภาพทางอากาศที่มีราคาค่าใช้จ่ายสูงกว่า 10,000 บาท คือ ZENMUSE P1 ที่ติดตั้งบน DJI Phantom 3/4 กล้องสามารถเปิดรับภาพอาจเป็นชนิด Rolling Shutter กล่าวคือระหว่างการบันทึกหนึ่งเฟรมประกอบด้วยชุดภาพหลาย ๆ แฉว การอ่านแต่ละแฉวให้จบก่อนทั้งเซ็นเซอร์ใช้เวลา 30 - 74 มิลลิวินาที [8] ผลที่เกิดขึ้นคือ การบันทึกภาพจะมีการหน่วงคิดเป็นระยะทาง 0.30 – 2.22 เมตร หากอากาศยานไร้คนขับบินเร็วสัก 10 เมตรต่อวินาที ดังนั้นโปรแกรมประมวลผลจะต้องมีการสร้างแบบจำลองปรับแก้อาการ Rolling Shutter ด้วย ซึ่งโปรแกรมประมวลผลภาพอยู่ในที่ PIX4Dmapper และ Agisoft Metashape มีฟีเจอร์เหล่านี้ไว้ให้เลือกใช้แล้ว

ในงานวิจัยนี้ใช้อากาศยานไร้คนขับ DJI M300 ติดตั้งกล้อง ZENMUSE P1 มีเซ็นเซอร์รับภาพแบบฟูลเฟรม (Full frame) ขนาด 45 ล้านพิกเซล ความละเอียดของชุดภาพ 4.4 ไมโครอน ความยาวโฟกัส 35 มิลลิเมตร มีชัตเตอร์แบบเชิงกล (Mechanic shutter) แบบ Global shutter กล่าวคือการเปิดปิดรับแสงในการถ่ายภาพทุกครั้งคือว่าคราวเร็วมากจนสามารถบันทึกภาพทั้งเฟรมได้โดยไม่มีการขับคำนวณชุดภาพใด ๆ ในเฟรม นอกจากนี้ระบบอากาศยานมีการติดตั้ง Gimbal ที่เป็นกลไกขึ้นกล้องและรักษาทิศทางแนวเดิมกล้องเพื่อป้องกันอาการสั่นไหวของภาพขณะบันทึกภาพ ในการนำมาถ่ายภาพทางอากาศชนิดภาพถ่ายด้ึงจะกำหนดคุณสมบัติของกล้องให้เป็นมุมก้ม 90 องศา

3.3 เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีเอ็นเอสเอส (Global Navigation Satellite System; GNSS)

เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GNSS ที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้คือ STONEX รุ่น S900 สามารถรับสัญญาณได้หลายความถี่จากดาวเทียม GPS ดาวเทียม GLONASS ดาวเทียม GALILEO และดาวเทียม BEIDOU โดยเครื่องรับสัญญาณนี้นำไปใช้ในการสำรวจรังวัดเป็นสถานีฐานเพื่อบันทึกข้อมูลไว้ใช้ในประมวลผลร่วมกับภาพถ่ายทางอากาศในภายหลังด้วยวิธีการรังวัดแบบจลน์แล้ว ประมวลผลภายหลัง (Post-Processed Kinematic; PPK) รวมถึงนำไปใช้ในการรังวัดตำแหน่งจุดบังคับภาคพื้นดินและจุดตรวจสอบในบริเวณพื้นที่การศึกษาด้วยวิธีการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ในทันที (Real-Time Kinematic; RTK) สำหรับการประยุกต์ใช้การรังวัดดาวเทียมจีเอ็นเอสสำหรับจุดควบคุมภาคพื้นดิน (Ground Control Points; GCPs) หรือจุดตรวจสอบ (Check Points; CPs) ไม่ว่าจะเลือกใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมยี่ห้อใดและรูปแบบวิธีการรับสัญญาณประเภทไหน เช่น วิธีการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบ

จลน์ในทันที (Real-Time Kinematic; RTK) แบบสถิตอย่างเร็ว (Rapid Static) รวมถึงรูปแบบการให้บริการสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS ดาวร (Continuously Operating Reference Stations ;CORS) ค่าพิกัดที่ได้ความแม่นยำสูงต้องดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ความละเอียดถูกต้องของ การรังวัดด้วยดาวเทียมจีเอ็นเอส เอสสำหรับค่าพิกัดจุดควบคุมภาคพื้นดิน

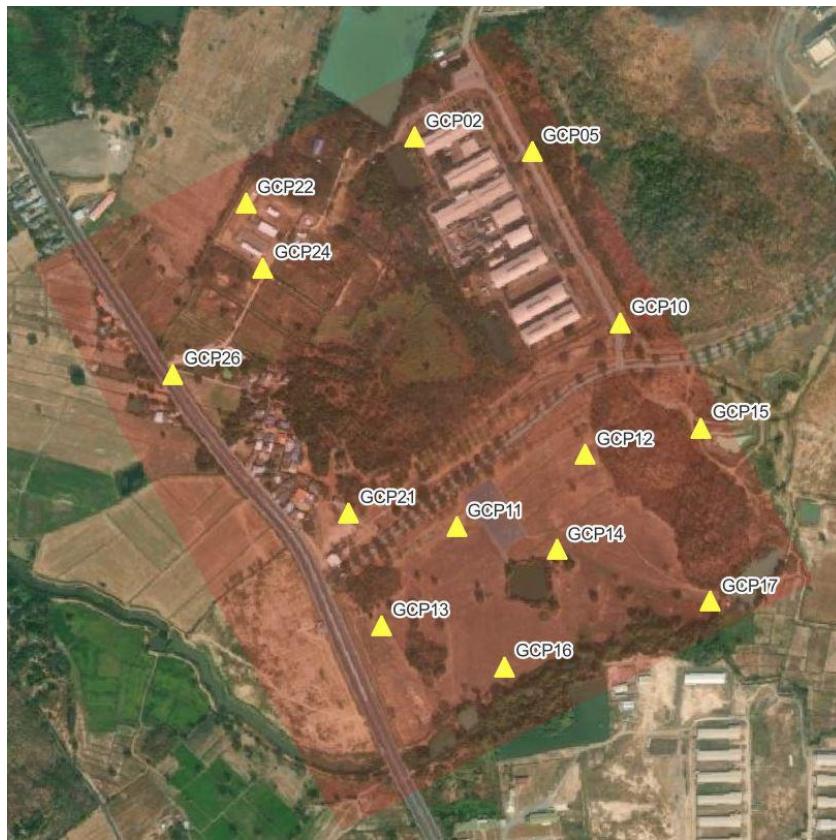
ความละเอียดถูกต้องทางราบ (Accuracy Horizontal)	+/- 2 เมตร
ความละเอียดถูกต้องทางตั่ง (Accuracy Vertical)	+/- 5 เมตร

3.4 โปรแกรมประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศ PIX4Dmapper และ Agisoft Metashape

โปรแกรม PIX4Dmapper และโปรแกรม Agisoft Metashape เป็นโปรแกรมทางด้านฟ็อกต์แกรมเมต์ที่ใช้ในการประมวลผลบล็อกของข้อมูลภาพถ่ายที่มีส่วนซ้อนทับกัน ซึ่งโปรแกรมจะมีอัลกอริทึมในการประมวลผลจับคู่ภาพอัตโนมัติ ด้วยเทคนิค Structure from Motion (SfM) และมีอัลกอริทึมในการคำนวณปรับแก้หาค่าพารามิเตอร์การจัดภาพภายนอกผ่านหลักการสภาวะร่วมเดินพร้อมกันทั้งบล็อกในลักษณะของข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศเป็นองค์ความรู้ในหลักวิชาการรังวัดด้วยภาพเรียกว่า Bundle Block Adjustment (BBA) [9] โดยผลลัพธ์ที่ได้หลังจากประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายจะประกอบไปด้วยภาพออร์โทแบบจำลองระดับสูงเชิงเลข แบบจำลองพื้นผิวภูมิประเทศเชิงเลข เส้นชั้นความสูง และข้อมูลพอยต์คลาวด์

3.5 รายละเอียดพื้นที่ศึกษา

ในการศึกษาวิจัยนี้ได้เลือกบริเวณศูนย์เครื่องข่ายการเรียนรู้เพื่อภูมิภาค จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จังหวัดสระบุรี เป็นพื้นที่สำนวนทดสอบจีเอ็นเอสและยูเอวีสำหรับงานแผนที่ (Geodetic GNSS and UAV Testing Facility) ภายใต้โครงการวิจัยของคณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ และศูนย์เชี่ยวชาญจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยบริเวณพื้นที่การวิจัยในครั้งนี้เมื่อบันทึกภาพแล้วนำมาประมวลผล ผลลัพธ์แผนที่มีขนาด 1.488 ตารางกิโลเมตร มีจุดควบคุมภาคพื้นดินกระจายตัวรอบพื้นที่เป็นจำนวน 14 จุด ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 การกระจายตัวของตำแหน่งจุดบังคับภาพถ่ายภาคพื้นดินบริเวณพื้นที่การศึกษา

4. กรรมวิธีในการดำเนินการ

วิธีปฏิบัติการเพื่อดำเนินการบินอากาศยานไร้คนขับติดกล้องถ่ายภาพเพื่อทำแผนที่และความคุ้มคุณภาพการผลิตภาพออร์โทแมปแบบจำลองพื้นผิวภูมิประเทศด้วยภาพจากอากาศยานไร้คนขับ แบ่งออกเป็น 4 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 การออกแบบรูปแบบการบินอากาศยานไร้คนขับ ส่วนที่ 2 การเก็บข้อมูลภาคสนาม ส่วนที่ 3 การประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศ และ ส่วนที่ 4 การประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่ง โดยจะมีรายละเอียดของส่วนต่าง ๆ ดังนี้

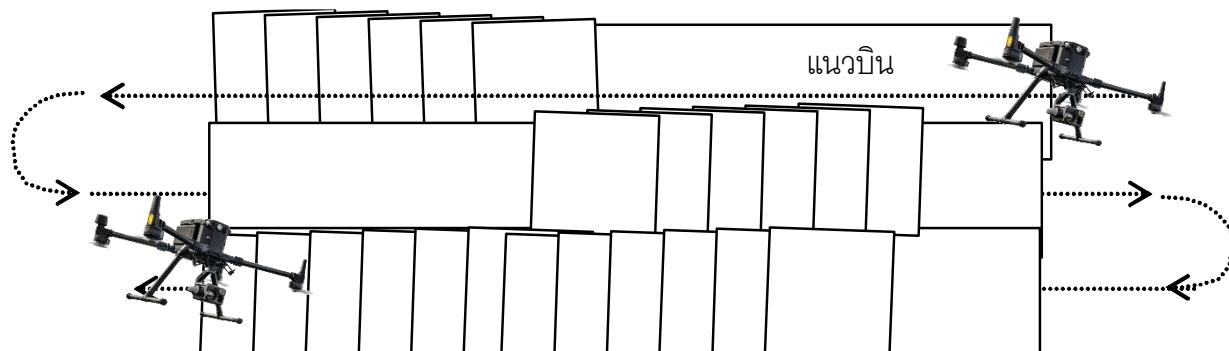
ส่วนที่ 1 การออกแบบรูปแบบการบินอากาศยานไร้คนขับ

หลักการออกแบบรูปแบบการบินอากาศยานไร้คนขับประกอบไปด้วยหลายปัจจัย ได้แก่ ตัวอากาศยาน ระบบควบคุมการบิน การสื่อสารจากเครื่องบินมาชี้แจงนักบินภาคพื้นดิน และระบบกล้องถ่ายภาพ ในงานวิจัยนี้จะกล่าวถึงปัจจัยทางด้านกล้องถ่ายภาพทางอากาศเป็นสำคัญ โดยปัจจัยที่ต้องพิจารณาเป็นลำดับแรก คือ การออกแบบแผนการบิน (Flight plan) ซึ่งประกอบไปด้วย องค์ประกอบดังต่อไปนี้ ดังที่แสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ปัจจัยที่ต้องคำนึงถึงในการออกแบบรูปแบบการบินอากาศยานไร้คนขับ

ปัจจัยการออกแบบ	ค่าที่ควรเลือกใช้
1.รูปแบบการบิน	เลือกการกิจกรรมบินขึ้นต่ำ หรือ เพื่อชดเชยสภาพเสี่ยงและเพิ่มคุณภาพมุมมอง 1. บินแบบเป็นกริด-ทิศทางเดียว ขึ้นต่ำสุด ประหดเวลาบินนั่นทึกภาพ 2. บินแบบเป็นกริด-สองทิศทางตั้งฉากกัน เพื่อป้องกันการสูญหายหรือคุณภาพบกพร่องในการถ่ายภาพ และเพิ่มความละเอียดมุมมองของภาพถ่าย
2. ความสูงบินเหนือภูมิประเทศ (Above Ground Level; AGL)	เลือกเพดานการบินสูงเพื่อความปลอดภัย 90 - 150 เมตร โดยอยู่ในเกณฑ์กำกับของสำนักการบินพลเรือน แห่งประเทศไทย ความสูงบินจะไปสัมพันธ์โดยตรงกับความละเอียดจุดภาพบนพื้นดิน
3.ความละเอียดจุดภาพบนพื้นดิน (Ground Sampling Distance; GSD)	ขนาดของ GSD ขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของบันทึกภาพ ความกว้างมุมมอง (Field of View; FOV) และความสูงบินเหนือภูมิประเทศ โดยทั่วไป GSD อาจอยู่ระหว่าง 1 ถึง 5 เซนติเมตร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความต้องการในการมองเห็นรายละเอียด (Detail) บนพื้นดิน
4. ส่วนซ้อนของการระหว่างแนวบิน โดยการกำหนดจุดเป้าถ่ายภาพตามระยะทาง (Exposure by distance)	ส่วนซ้อนภาพในเส้นทางการบิน (Overlap) หรือค่า $p = 80\%$, ส่วนซ้อนภาพระหว่างแนวบิน (Side lap) หรือค่า $q = 60\%$ ทั้งนี้เพื่อให้โปรแกรมประมาณการตรวจจับจุดสำคัญ (Keypoint) และจับคู่ระหว่างภาพได้ดีมีประสิทธิภาพ นำไปสู่การสร้างพื้นที่ภาพได้
5. ช่วงเวลาในการบิน	การเลือกช่วงเวลาที่แสงสว่างเพียงพอ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของกล้องถ่ายภาพและการกำหนดพารามิเตอร์กล้อง โดยเป้าหมายคือ “ได้ภาพสว่างและอีกด刎ชัดทั้งบล็อก”

ในภาพต่อไปนี้แสดงภาพถ่ายทางอากาศที่จะต้องครอบคลุมพื้นที่ที่จะทำแผนที่และมีส่วนซ้อนในแนวเส้นทางการบินและส่วนซ้อนด้านข้างระหว่างแนวบินเพียงพอ ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 การซ้อนทับกันระหว่างแนวบิน

โดยในงานวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ออกแบบแผนการบินเป็นแบบกริดทิศทางเดียว (Single Grid) ที่ความสูงบิน 150 เมตร (AGL) สำหรับภาพถ่ายจากยูเอวี DJI MATRICE 300 RTK มีค่าส่วนซ้อนของภาพตามแนวบิน 80 % และค่าส่วนซ้อนของภาพระหว่างแนวบิน 60% ได้ค่าความละเอียดจุดภาพบนพื้นดินประมาณ 1.87 เซนติเมตรต่อจุดภาพ มีจำนวน 1,071 ภาพ

ส่วนที่ 2 การจัดทำจุดควบคุมภาคพื้นดิน

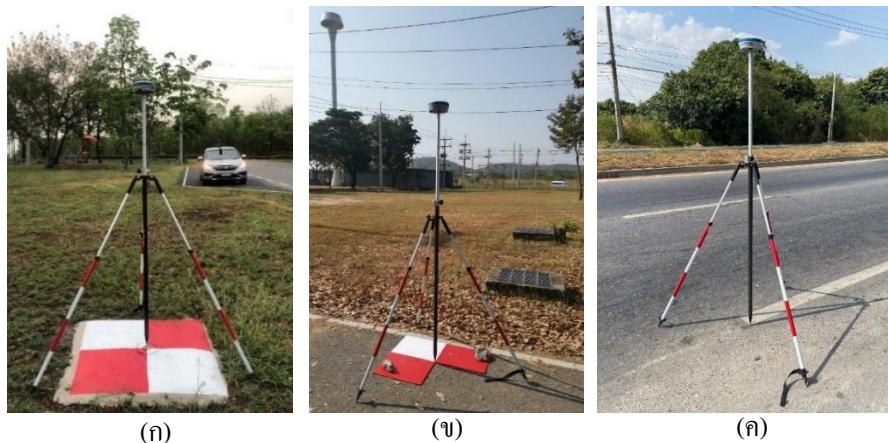
ข้อมูลการจัดทำจุดควบคุมภาคพื้นดินเป็นอีกหนึ่งส่วนที่สำคัญในการผลิตแผนที่ที่มีระบบพิกัดทั้งทางราบและทางดิ่งอยู่ในระบบเดียวกันกับระบบพิกัดทำแผนที่ภาคพื้น ดังนั้นในแต่ละการปฏิบัติการกิจกรรมจะต้องคำนึงถึงการจัดสร้างหมุดค่าพิกัดจุดบังคับภาคพื้นดิน (GCPs) และจุดตรวจสอบ (CPs) ให้กระจายตัวอยู่ในพื้นที่ปฏิบัติงาน รวมถึงรูปแบบและวิธีการรังวัดจุดบังคับภาคพื้นดินและจุดตรวจสอบให้มีความละเอียดถูกต้องตามเกณฑ์มาตรฐานชั้นงาน และสามารถลับเปลี่ยนหน้าที่กันได้เมื่อนำมาใช้ในการประมาณผลลัพธ์อกข่ายสามาหร่ายทางอากาศ ดังนั้นบางครั้งจึงเรียกว่า จุดบังคับภาพ (Photo Control Point) โดยรูปแบบของจุดบังคับผู้ใช้สามารถเลือกใช้วัสดุและดำเนินการแตกต่างกันไปสู่รูปได้ดังตารางที่ 4 และรูปที่ 5

ตารางที่ 4 ชนิดและคุณลักษณะของจุดบังคับภาพ

ชนิดจุดบังคับภาพ	คุณลักษณะ
1. จุดบังคับภาพชนิดหมายไว้ล่วงหน้า (Pre-marking) หรือ จุดบังคับภาพชนิดให้สัญญาณ (Signalized)	ทำด้วยวัสดุแผ่นบางติดตั้งในสถานที่ควรระวัง มองเห็นได้ชัดบนภาพถ่ายทางอากาศ เช่น แผ่นฟิล์มอร์บอร์ดมีขาขยายนร้านเครื่องเขียนเป็นแผ่นแข็งมีสีต่าง ๆ ให้เลือกใช้ หรือใช้การทาสีบนพื้นแผ่นเรียบโดยตรง เช่น ถนน พื้น โอดทั่วไปจะต้องมีขนาดใหญ่กว่า 10 - 50 จุดภาพ
2. จุดบังคับภาพชนิดหมายไว้ภายหลัง (Postmarking) หรือ จุดบังคับภาพชนิดจุดธรรมชาติ (Natural)	เป็นจุดหรือเครื่องหมายที่มีใช้ปรากฏอยู่แล้ว เช่น เส้นจราจร เส้นขอบสนามกีฬา สำหรับมุมหลังคาอาคารถือว่าไม่ดีนักเนื่องจากยากต่อการรังวัดและมีลักษณะเป็นก่อที่มีการยกระดับต่างไปจากสภาพแวดล้อม ซึ่งอาจส่งผลให้การรังวัดผิดพลาดได้ง่าย

จากการวิจัยภายใต้โครงการงานทางวิศวกรรมสำรวจสำหรับนิสิตวิศวกรรมบัณฑิต ได้ทดสอบปริมาณจุดบังคับภาพขั้นต่ำสำหรับบล็อกภาพถ่ายทางอากาศทำแผนที่ขนาดน้อยกว่า 1 ตารางกิโลเมตร พบว่าจำนวนจุดบังคับภาพถ่ายที่เหมาะสมที่สุดคือ 5 จุด ซึ่งจะทำให้ความคลาดเคลื่อนข่ายสามาหร่ายทางอากาศมีค่าขนาดที่เล็กลง โดยประเมินจากจุดบังคับภาพและจุดตรวจสอบ ดังรูปในภาคผนวก ก) [10] ดังนั้นจึงอาจสรุปเป็นแนวทางปฏิบัติที่ว่า สำหรับพื้นที่ 1 ตารางกิโลเมตร จำเป็นต้องมีจุดบังคับภาพอย่างน้อย 5 จุด และมีจุดตรวจสอบภาพอีกจำนวนเท่า ๆ กันคืออีก 5 จุด [11] ซึ่งจะได้กล่าวละเอียดใน แนวทางปฏิบัติประมวลผลควบคุมคุณภาพ 2 ขั้นตอน (*QC-1 & QC-2*) ภายหลังต่อไป

สำหรับการวิจัยในครั้งนี้ สำนวนทดสอบที่เป็นพื้นที่ที่ทำการศึกษาในงานวิจัยมีหมุดบังคับภาคพื้นดินกระจายตัวทั่วพื้นที่ เป็นจำนวน 14 หมุด การรังวัดเพื่อให้ได้มาของค่าพิกัดรังวัดมาจากเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมด้วยวิธีการรังวัดแบบจลน์ในทันที เป็นจำนวน 3 นาที รังวัดเป็นจำนวน 2 ครั้ง การรังวัดแต่ละรอบห่างกันเป็นเวลาประมาณ 3 - 6 ชั่วโมง ทั้งนี้เพื่อให้วงโคจรดาวเทียมเปลี่ยนผ่านแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญต่อเราคณิตการรังวัดพิกัดดาวเทียม ค่าพิกัดที่ได้สองครั้งนำมาหาความหากำเนิดของค่าพิกัดที่รังวัดมาเพื่อใช้เป็นค่าพิกัดของหมุดบังคับภาคพื้นดินและคำนวนผลต่างเพื่อคุณภาพของการรังวัดอีกด้วย



รูปที่ 5 ลักษณะจุดบังคับภาพถ่ายภาคพื้นดินที่กระจายตัวในพื้นที่การศึกษา (ก) และ (ข) เป้าแบบให้สัญญาณ (Signaled) (ค) เป้าแบบธรรมชาติ (Natural)

ส่วนที่ 3 การประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศ

การประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศร่วมกับจุดบังคับภาพพื้นดินใช้โปรแกรม PIX4Dmapper และโปรแกรม Agisoft Metashape ในงานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยที่มุ่งเน้นสรุปหารือรวมวิธีการประมวลผลและการควบคุมคุณภาพจากกล้องของภาพถ่ายทางอากาศที่เป็นภาพถ่ายดิจิตอล (Nadir) ประกอบกับข้อมูลจุดควบคุมภาคพื้นดินจำนวนหนึ่ง เพื่อผลิตข้อมูลแผนที่ภาพออร์โทและแบบจำลองระดับสูง เชิงเลข (DEM) ซึ่งเป็นงานที่มีความต้องการในการใช้งานในงานวิศวกรรมทั่วไป

ในโปรแกรมประมวลผลภาพพยุหะสมัยใหม่มีการประเมินค่าการจัดภาพภายในของกล้อง สำหรับความเพี้ยนของเลนส์ทั้ง ความเพี้ยนของเลนส์ตามแนวรัศมี (Radial lens distortion) และความเพี้ยนของเลนส์ตามแนวเส้นสัมผัส (Tangential lens distortion) จะประเมินใหม่ทุกครั้งร่วมกับความยาวโฟกัส (Focal length) และค่าการเลื่อนของจุดมุขสำคัญ (Principle point) ไปพร้อม ๆ กับ การคำนวณข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศด้วยเทคนิค Bundle Block Adjustment ดังนั้นอาจกำหนดหลักปฏิบัติได้ว่า ค่าพารามิเตอร์ของ กล้องจะต้องเลือกให้โปรแกรมคำนีนการคำนวณ ไปพร้อมกับทุกครั้งประกอบกับจุดเชิด โยง (Tie point) ที่ตรวจสอบภาพที่เรียกว่า In-Situ Calibration โดยสัญลักษณ์พารามิเตอร์การจัดภาพภายในของกล้องและความเพี้ยนของเลนส์แสดงดังตารางที่ 5 ในตัวอย่าง ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้และโดยทั่วไป พนวณการคำนวณปรับแก้แบบจำลองกล้องและความเพี้ยนของเลนส์โดยใช้โปรแกรม ประมวลผลทั้งสองมีเสถียรภาพและได้ผลดี ประกอบในกรณีพื้นที่ศึกษามีจุดเชิด โยง (Tie point) บนภาพมากถึง 10,263,890 จุดหรือ คิดเป็นจำนวนค่าสังเกตมากถึง 20,527,780 ค่า ค่าเริ่มต้นของพารามิเตอร์มีอยู่ในฐานข้อมูลภายในโปรแกรมทั้งสอง

ตารางที่ 5 สัญลักษณ์พารามิเตอร์การจัดภาพภายในของกล้องและความเพี้ยนของเลนส์

ความยาวโฟกัสและการเลื่อนของจุดมุขสำคัญ	ความเพี้ยนของเลนส์ตามแนวรัศมี	ความเพี้ยนของเลนส์ตามแนวเส้นสัมผัส
f, C_x, C_y	$K1, K2, K3$ หรือ $R1, R2, R3$	$P1, P2$ หรือ $T1, T2$

หลังจากไปปฏิบัติการกิจในภาคสนามแล้วภาพถ่ายทางอากาศที่ได้มักจะมีพิกัดของภาพฟื้นมาที่เรียกว่า Geotag photo โดยภายในตัวคำของข้อมูลจะมีการติดตั้งเครื่องรับสัญญาณจีอีเอ็นเอสเอส (GNSS) โดยระหว่างขณะบินบันทึกภาพจะมีการรับสัญญาณจีพีเออสชนิด Coarse-Acquisition (C/A) ด้วยทำให้ได้ค่าพิกัดที่มีความแม่นยำอยู่ในเกณฑ์ที่ใช้งานทั่วไป สำหรับรูปแบบการประมาณผลนี้ค่าความแม่นยำของพิกัดภาพถ่ายข้อมูลและค่าทางสถิติที่จะใช้กำหนดโปรแกรมประมาณผลอาจสรุปได้ดังตารางที่ 6 ทั้งนี้เพื่อลดบทบาทให้จุดควบคุมภาพพื้นดินเป็นสำคัญ

ตารางที่ 6 ค่าความแม่นยำของพิกัดภาพถ่ายข้อมูลและค่าทางสถิติที่จะใช้กำหนดในโปรแกรมประมาณผล

รูปแบบการประมาณผล	ความแม่นยำทางงาน	ความแม่นยำทางดึง
ค่าความแม่นยำของค่าพิกัดภาพถ่าย (C/A GPS Accuracy)	± 10 เมตร	± 30 เมตร
ค่าทางสถิติของค่าพิกัดภาพถ่ายที่ใช้ในการประมาณผล (Standard deviation หรือ Weight)	± 50 เมตร	± 100 เมตร

ในงานวิจัยนี้ขอเสนอ แนวปฏิบัติประมาณผลควบคุมคุณภาพ 2 ขั้นตอน (QC-1 & QC-2) ในแนวปฏิบัตินี้จะประกอบไปด้วย 2 ขั้นตอนคือ QC-1 และ QC-2 ในขั้นแรก QC-1 จะต้องมีการแบ่งจุดควบคุมภาพพื้นดิน n จุด ออกเป็นสองส่วน คือ n_1 และ n_2 ก่อนที่จะดำเนินการประมาณผลข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศโดยส่วนที่ 1 จะถูกกำหนดให้เป็นจุดบังคับภาพถ่ายภาพพื้นดินเหมือนเดิม จำนวน n_1 จุด และส่วนที่ 2 จะถูกกำหนดให้เป็นจุดตรวจสอบจำนวน n_2 จุด โดยที่จำนวนจุดของ n_1 มีจำนวนไม่น้อยกว่า 5 จุด และจำนวนจุดของ n_2 มีค่าเท่ากับ $n - n_1$ จากนั้นนำทั้งสองส่วนประมาณผลผ่านโปรแกรมร่วมกับข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศ

จากการวิจัย [10] ที่ผ่านมาจำนวนจุดควบคุมภาพพื้นดินตามแนวทางปฏิบัติ (QC-1 & QC-2) ได้ดังตารางที่ 7

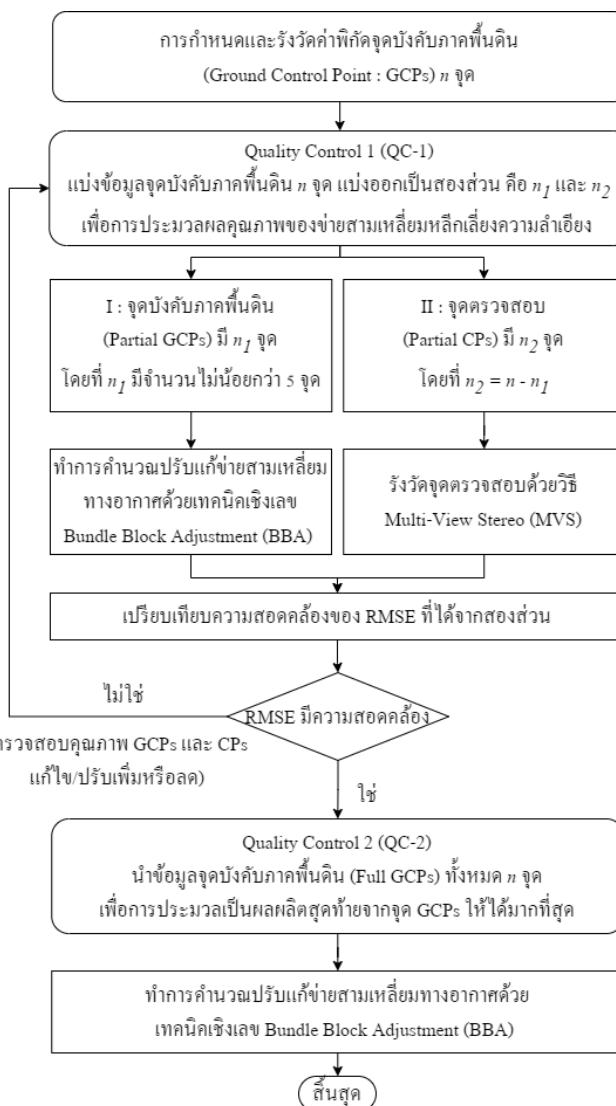
ตารางที่ 7 จำนวนจุดควบคุมภาพพื้นดินในแต่ละรูปแบบการประมาณผลที่ต้องใช้ต่อตารางกิโลเมตร

รูปแบบการประมาณผล	จำนวนจุดควบคุมภาพพื้นดิน
1. การประมาณผลประเมินคุณภาพมาตรฐาน (QC-1)	5 จุด
2. การประมาณผลประเมินคุณภาพขั้นสูง สามารถวิเคราะห์และหลักเลี้ยงความล้าเฉียง (QC-2)	10 จุด

หลังจากประมาณผลจนเสร็จสิ้น ทำการพิจารณาเบริญเทียบความแตกต่างของค่า RMSE ระหว่างจุดบังคับภาพถ่ายภาพพื้นดินและจุดตรวจสอบ โดยผลจากการคำนวณข่ายสามเหลี่ยมบังคับด้วยพิกัดจากส่วนที่ 1 จำนวน n_1 จุด เรียกว่า RMSE_PARTIAL_GCP และสำหรับส่วนที่ 2 จำนวน n_2 จุด ที่ได้จากการรังวัดด้วยวิธีมัลติวิว stereo (Multi-View Stereo; MVS) เรียกว่า RMSE_PARTIAL_CP โดยหลักการแล้วค่าต่างระหว่าง RMSE_PARTIAL_GCP และ RMSE_PARTIAL_CP ควรจะอยู่ในเกณฑ์ที่ไม่แตกต่างกันมากกันเนื่องจากทั้งสองส่วนปฏิบัติตามด้วยกระบวนการ การวิธีการรังวัด พื้นที่ 7 กันในส่วนนี้

แนวปฏิบัติประมาณผลควบคุมคุณภาพ 2 ขั้นตอน (QC-1 & QC-2) ในขั้นตอนที่ 2 เรียกว่า QC-2 จะประมาณผลข้อมูลโดยนำจุด GCP ทั้งหมดมาใช้งานร่วมกัน ทั้งนี้เพื่อให้การบังคับเกิดผลมากที่สุด ให้คุณค่ากับภาระงานสนามที่ได้จัดทำ GCP ขึ้นมาจำนวนมาก ผลที่ได้เรียกว่า RMSE_FULL_GCP ซึ่งควรจะมีค่าไม่ต่างไปจาก RMSE_PARTIAL_GCP และ RMSE_PARTIAL_CP

สามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 6 โดยความละเอียดถูกต้องของการประมาณผลข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศอาจพิจารณาว่า ค่า RMSE ไม่เกิน 2 เท่าของความละเอียดถูกต้องของการรังวัดด้วยดาวเทียมจีอีเอสเอสสำหรับค่าพิกัดจุดควบคุมภาพที่กล่าวมาแล้ว



รูปที่ 6 แผนผังแนวปฏิบัติประมาณผลควบคุมคุณภาพ 2 ขั้นตอน (QC-1 & QC-2)

ในงานวิจัยนี้ได้จัดทำ GCP เป็นจำนวนทั้งสิ้น 14 จุด ดังนั้นสำหรับแนวปฏิบัติประมาณผลควบคุมคุณภาพขั้นตอนที่ 1 (QC-1) จึงทำการแบ่ง GCP ทั้งหมดออกเป็น 2 ส่วน โดยที่เป็น GCP 7 จุด (ส่วนที่ 1) และเป็น CP อีก 7 จุด (ส่วนที่ 2) หลังจากการประมาณข่ายสามเหลี่ยมด้วยโปรแกรม PIX4Dmapper และ Agisoft MetaShape จานวนปฏิบัติตาม แนวปฏิบัติประมาณผลควบคุมคุณภาพขั้นตอนที่ 2 (QC-2) คือ การใช้ GCP ทั้งหมดในการประมาณผลข้อมูล พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนที่คำนวณได้จากทั้งสองขั้นตอนได้ผลลัพธ์ดังตารางที่ 8 และตารางที่ 9 หากคำนวณคลาดเคลื่อนมาแสดงผลเปรียบเทียบผ่านแผนภูมิแท่งจะได้ดังรูปที่ 7

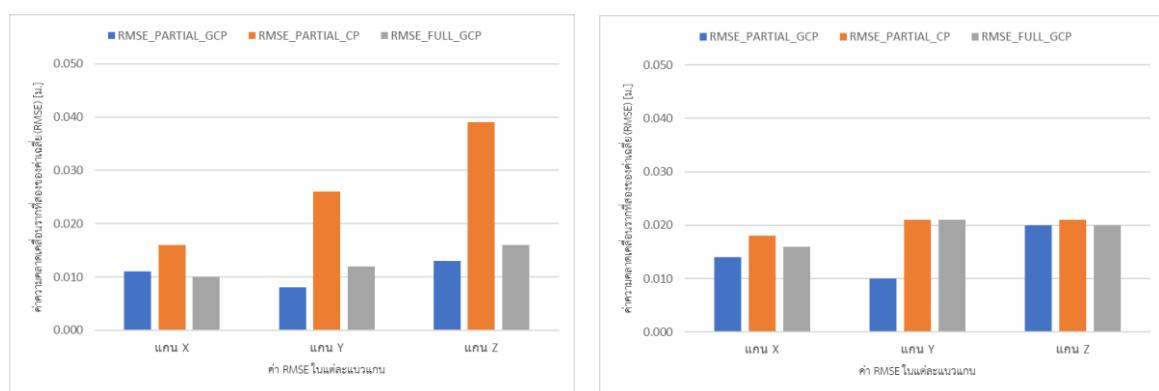
ตารางที่ 8 ความคลาดเคลื่อนของข่ายสามเหลี่ยมที่ใช้พิจารณาการควบคุมคุณภาพ 2 ขั้นตอน สำหรับโปรแกรม PIX4Dmapper

RMSE	ความคลาดเคลื่อน			
	แกน X [ม.]	แกน Y [ม.]	แกน Z [ม.]	การถ่ายกลับ [จุดภาพ]
RMSE_PARTIAL_GCP	0.011	0.008	0.013	0.147
RMSE_PARTIAL_CP	0.016	0.026	0.039	0.180
RMSE_FULL_GCP	0.010	0.012	0.016	0.164

ตารางที่ 9 ความคลาดเคลื่อนของข่ายสามเหลี่ยมที่ใช้พิจารณาการควบคุมคุณภาพ 2 ขั้นตอน สำหรับโปรแกรม Agisoft Metashape

RMSE	ความคลาดเคลื่อน			
	แกน X [ม.]	แกน Y [ม.]	แกน Z [ม.]	การถ่ายกลับ [จุดภาพ]
RMSE_PARTIAL_GCP	0.014	0.010	0.020	0.157
RMSE_PARTIAL_CP	0.018	0.021	0.021	0.183
RMSE_FULL_GCP	0.016	0.016	0.020	0.172

หากการตรวจสอบคุณภาพที่ก่อร่างข้างต้นผ่านเกณฑ์ที่เป็นที่น่าพอใจ ผู้ใช้สามารถเริ่มดำเนินการผลิตข้อมูลแผนที่ต่อไปได้

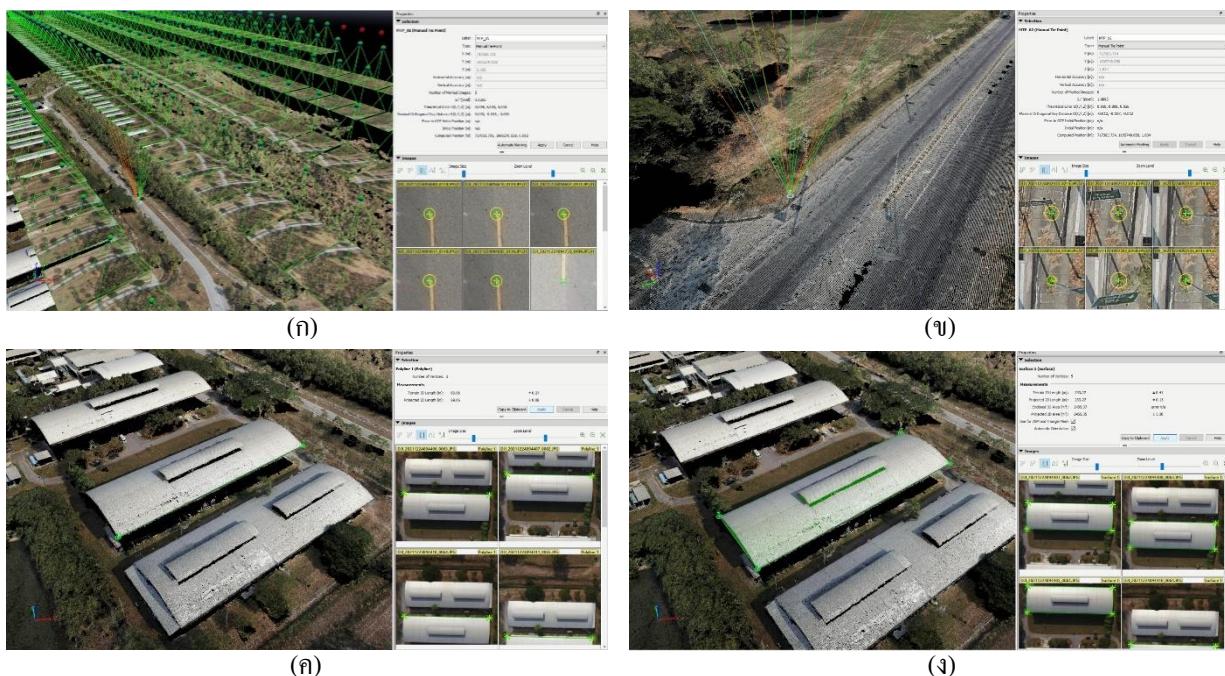


รูปที่ 7 แผนภูมิแท่งเปรียบเทียบค่า RMSE ของแต่ละแนวแกน (ก) ประมาณผลจากโปรแกรม PIX4Dmapper (ข) ประมาณผลจากโปรแกรม Agisoft Metashape

5. การผลิตข้อมูลแผนที่เพื่อการประยุกต์ใช้ที่เป็นเลิศ

เมื่อได้ทำการประมาณผลข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศ และได้ทำการควบคุมคุณภาพแล้ว ผู้ใช้สามารถที่จะผลิตข้อมูลแผนที่และแบบจำลองระดับสูงเชิงเลข (DEM) ได้ ข้อมูลเหล่านี้จะถูกนำไปใช้ประโยชน์อย่างมาก ได้หลาย ๆ แนวทาง โดยปกติข้อมูลด้านน้ำจากงานสำรวจจะถูกนำไปใช้อ้างหลักหลาย เช่น โครงการสำรวจเส้นทางเพื่อการออกแบบโครงสร้างคมนาคม กลุ่มผู้ใช้งานสำรวจจะใช้ข้อมูลละเอียดสูงสุด กลุ่มงานวิศวกรออกแบบมักจะใช้ข้อมูลละเอียดปานกลางและใช้ระบบคอมพิวเตอร์ช่วยเขียนซึ่ง

อาจเปิดอ่านข้อมูลภาพขนาดใหญ่ไม่สะดวก กลุ่มงานบริหารโครงการและการประชาสัมพันธ์การมีส่วนร่วมมักจะใช้ข้อมูลละเอียดน้อยแต่ต้องการชุดข้อมูลหลากหลายแหล่ง โดยในทางปฏิบัติงานในโครงการทางวิศวกรรมบ่อยครั้งที่ข้อมูลแผนที่เหล่านี้มีความละเอียดจุดภาพสูงเกินไปในขั้นตอนของงานวิศวกรรม เช่น การออกแบบ ดังนั้นจึงอาจมีข้อแนะนำการประยุกต์ใช้ผลผลิตข้อมูลแผนที่ตามแนวทางปฏิบัติที่เป็นเดิม การแสดงรายละเอียดชนิดข้อมูล ค่าแฟกเตอร์ลดทอนความละเอียดจุดภาพ (reduced GSD factor) กรรมวิธีการผลิต และรูปแบบการบันทึกข้อมูลในแต่ละชนิด เพื่อเป็นแนวทางการนำไปใช้ดังตารางที่ 10 นอกจากนี้ชุดข้อมูล ข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศประมวลผลพร้อมใช้ (Ready-to-use AT) สามารถทำการรังวัดค่าพิกัดรายจุด รายเส้น รายรูปปิด ดังรูปที่ 8 เพื่อการได้มาของข้อมูลตำแหน่งค่าพิกัด ปริมาณ โดยไม่ได้ลดทอนความละเอียดถูกต้องของข้อมูล



รูปที่ 8 การรังวัดข้อมูลสามมิติผ่านเทคนิคการรังวัดทางมุมมองด้วยโปรแกรม PIX4Dmapper (ก) และ (ข) รังวัดค่าพิกัดรายจุด (ค) รังวัดข้อมูลเส้น (ง) รังวัดข้อมูลพื้นที่ปิด

ตารางที่ 10 รายละเอียดชนิดข้อมูล แฟกเตอร์ลดทอน กรรมวิธีการผลิต และรูปแบบการบันทึกข้อมูลในแต่ละชนิด

ชนิดข้อมูล	อัตราลดทอน	กรรมวิธีการผลิต	รูปแบบและความละเอียด
1. ภาพถ่ายทางอากาศ (Raw Image)	GSD 2 เซนติเมตร	ในงานวิจัยบินถ่ายภาพ (RGB) มาแล้วได้ความละเอียดจุดภาพ 1.87 เซนติเมตร ภาพดีบุจังก์ ความละเอียดถูกต้องสูงสุด	บีดเซมเป็น GSD = 2 เซนติเมตร
2. แบบจำลองพื้นผิวภูมิประเทศเชิงเลข (Digital Surface Model) ในรูปแบบพolygon	1X GSD ~ 2 เซนติเมตร	เพิ่มขั้นตอนการ Densify point-cloud เพื่อแสดงภูมิประเทศและลักษณะร่องรอย และพื้นผิวถนนปึก	LAS/LAZ ความหนาแน่นจุดภาพตามที่ระบบผลิตได้ 100 - 500 จุดต่อตารางเมตร

ตารางที่ 10 รายละเอียดชนิดข้อมูล ไฟกเตอร์ลดthon กรรมวิธีการผลิต และรูปแบบการบันทึกข้อมูลในแต่ละชนิด (ต่อ)

ชนิดข้อมูล	อัตราลดthon	กรรมวิธีการผลิต	รูปแบบและความละเอียด
3. แบบจำลองระดับสูงเชิงเลขแบบละเอียด (Fine Digital Elevation Model)	5X GSD~10 เซนติเมตร	ต้องนำข้อมูลพอยต์คลาวด์มาจำแนกเป็น Ground/ Non-ground ก่อน จากนั้นจึง Resampling ให้เป็นกริด rasterขนาด 5 เมตรของ GSD	LZW-compression GeoTIFF (lossless) ใช้สำหรับงานเขียนแผนที่
4. แบบจำลองระดับสูงเชิงเลขแบบทาง (Course Digital Elevation Model)	10X - 50X GSD ~ 20 เซนติเมตร ~ 1 เมตร	นำ DEM มา Resampling ให้ทบทวนขึ้นเพื่อให้ใช้งานได้คล่องมากขึ้น เช่น การนำไปเปิดบนโปรแกรมเขียนแบบเขียนแผนที่ หรือสร้างเส้นชี้ความสูง	LZW-compression GeoTIFF (lossless) สำหรับงานเขียนแผนที่หรืองานทางด้านภูมิศาสตร์ GIS งานบริหารจัดการระบายน้ำ
5. แผนที่ภาพออร์โทสีชนิดละเอียด (Fine Orthophoto)	1X GSD ~ 2 เซนติเมตร	ทำการสร้างจากภาพถ่ายทางอากาศปรับแก้ด้วยแบบเรขาคณิต	JP2K- compression GeoTIFF (lossy rate 1:20-1:50) ใช้สำหรับการเขียนแผนที่ภูมิประเทกโดยละเอียดด้วย GIS
6. แผนที่ภาพออร์โทสีชนิดทาง (Course Orthophoto)	25X ~ 50 เซนติเมตร	ทำการสร้างจากภาพถ่ายทางอากาศปรับแก้ด้วยแบบเรขาคณิต แล้ว Resampling ขยายขึ้นเพื่อให้โอบซ้ายได้เร็ว และใช้งานทั่วๆไปได้สะดวก	JP2K- compression GeoTIFF (lossy rate 1:20-1:50) ใช้สำหรับงานวางแผน งานการจัดการสิ่งแวดล้อมและการเมืองร่วม
7. การรังวัครายจุด ข้อมูลเส้น ข้อมูลพื้นที่ปิด เพื่อการประเมินพิกัด ปริมาณ ความละเอียด ถูกต้องสูง	ไม่ลดthon / ความละเอียด ถูกต้องสูงสุด	ข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศประมวลผล พร้อมใช้ (Ready-to-use AT) พร้อมซอฟต์แวร์ไมโคร Multi-View Geometry เช่น PIX4Dmapper / Ray Cloud	ความแม่นยำ อาจจุดสูงถึงทางรบ : 5 เซนติเมตร ทางดิ่ง : 10 เซนติเมตร

6. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอแนวทางการปฏิบัติที่เป็นเลิศในการประมวลผลและแนวทางการควบคุมคุณภาพผลผลิตข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศที่บันทึกข้อมูลมาจากอากาศยานไร้คนขับ โดยในงานวิจัยได้ใช้ตัวอย่างอากาศยานไร้คนขับที่นิยมอย่างแพร่หลายยี่ห้อ DJI รุ่น MATRICE 300 ติดตั้งกล้อง ZENMUSE P1 บินบันทึกภาพบนสนามทดสอบพื้นที่เป้าหมายจะผลิตข้อมูลแผนที่ 1:4 ตารางกิโลเมตร ในพื้นที่ทดสอบมีจุดควบคุมภาคพื้นดินชนิดหมาดไว้ล่วงหน้าและชนิดจุดธรรมชาติ รวมกันจำนวน 14 จุด การประมวลผลข้อมูลใช้โปรแกรมประมวลผลที่ได้รับความนิยมในปัจจุบัน 2 โปรแกรม คือ โปรแกรม PIX4Dmapper รุ่น 4.7.5 และโปรแกรม Agisoft Metashape รุ่น 1.8.2

ในงานวิจัยได้เสนอ แนวปฏิบัติประมวลผลควบคุมคุณภาพ 2 ขั้นตอนเรียกว่า QC-1 & QC-2 ที่เป็นแนวทางปฏิบัติที่ใช้ตรวจสอบความถูกต้องเชิงตำแหน่งของการคำนวณข่ายสามเหลี่ยมด้วยเทคนิค Bundle Block Adjustment (BBA) ทั้งนี้เพื่อให้ผลผลิตข้อมูลแผนที่ที่ผลิตขึ้นสามารถนำไปใช้ในการกิจกรรมต่างๆ ได้อย่างมีความละเอียดถูกต้องสูงและน่าเชื่อถือ การกำหนดแนวทางที่เป็นเลิศในที่นี้เป็นการดำเนินการและประมวลผลอีกภาพถ่ายทางอากาศครอบคลุมแนวทางการประมวลผลข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศร่วมกับจุดบันทึกภาคพื้นดินจำนวน 10 จุดต่อตารางกิโลเมตร พร้อมกับการคำนวณปรับแก้พารามิเตอร์การจัดภาพภายในของกล้องและแบบจำลองความเพียงของเลนส์ ($f, c_x, c_y, R1, R2, R3, T1, T2$) ซึ่งการประมวลผลข้อมูลจะถูกนำมาไปคำนวณปรับแก้ทุกครั้งสำหรับแต่ละบล็อกในรอบการบิน (In-Situ Calibration)

ในตอนท้ายของงานวิจัยได้เสนอแนวทางการประมาณผลผลิตข้อมูลแผนที่และแบบจำลองระดับสูงเชิงเลข (DEM) เพื่อให้สามารถนำข้อมูลเหล่านี้ไปใช้ประโยชน์อย่างน้ำสำหรับกลุ่มงานต่าง ๆ ได้ โดยการลดความละเอียดจุดภาพ (reduce GSD) ลงไปมากสุด 50 เท่า (50X) และแนะนำรูปแบบการจัดเก็บและการบีบอัดภาพที่เหมาะสม ทั้งนี้เพื่อให้กู้ภาระที่สำคัญที่สุดเนื่องในโครงการทางวิศวกรรมได้ ได้ทำงานได้ถูกต้องแม่นยำ เรียกใช้ข้อมูลได้สะดวกรวดเร็ว และได้ใช้ข้อมูลสืบเนื่องอย่างมีประสิทธิภาพ

ผลประযุชน์ทับซ้อน

ผู้เขียนขอประกาศว่าบทความนี้ไม่มีผลประยุชน์ทับซ้อน

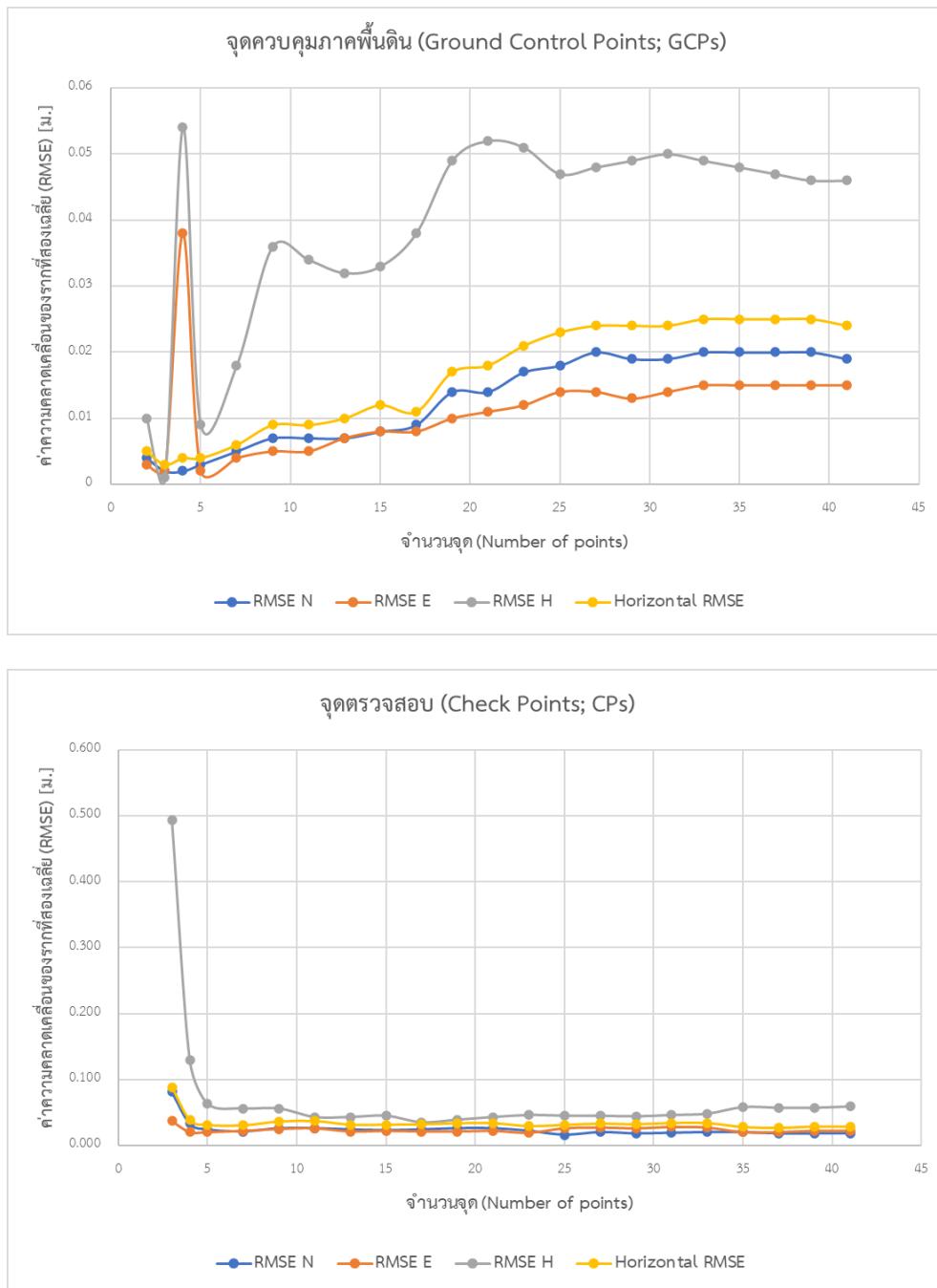
กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณ ศูนย์เชี่ยวชาญการจัดการโครงสร้างพื้นฐานแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย บริษัท อินฟราพลัส จำกัด ซึ่งเป็นผู้สนับสนุนและอนุเคราะห์ข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศ คอมพิวเตอร์ ซอฟต์แวร์ ประมาณผล มาใช้ในการประมาณผลข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูล ในการวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Nex, F. et al. UAV in the advent of the twenties: Where we stand and what is next. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2022, 184, pp.215-242. DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2021.12.006.
- [2] DJI. *DJI Matrice 300 RTK*, 2022. Available from: <https://www.dji.com/matrice-300> [Accessed 15 March 2022].
- [3] Sensefly. *senseFly eBee X*, 2022. Available from: <https://www.sensefly.com/drone/ebee-x-fixed-wing-drone/> [Accessed 15 March 2022].
- [4] Foxtechfpv. *Foxtech Loong 2160 VTOL*, 2022. Available from: <https://www.foxtchfpv.com/foxtch-loong-2160-vtol.html> [Accessed 15 March 2022].
- [5] DJI. *Zenmuse P1 - Full-frame Aerial Surveying*, 2022. Available from: <https://www.dji.com/zenmuse-p1> [Accessed 15 March 2022].
- [6] Foxtechfpv. *FOXTECH MAP-A7R*, 2022. Available from: <https://www.foxtchfpv.com/foxtch-map-a7r-full-frame-mapping-camera.html> [Accessed on 15 March 2022].
- [7] Foxtechfpv. *FOXTECH 3DM V3 Oblique Camera for Mapping and Survey*, 2022. Available from: <https://www.foxtchfpv.com/foxtch-3dm-v3-oblique-camera-for-mapping-and-survey.html> [Accessed 15 March 2022].
- [8] Vautherin, J. et al. Photogrammetric accuracy and modeling of rolling shutter cameras. *ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, 2016, III-3, pp.139-146. DOI: 10.5194/isprs-annals-III-3-139-2016.
- [9] Santitamnont, P. *Digital Photogrammetry*, 2th ed. Bangkok: Chulalongkorn University Press, 2010.
- [10] Tiptepin, N. *A study of the efficacy of ground control points and checkpoints for 3D mapping from UAV*. Survey Engineering Project, Chulalongkorn University, 2017.
- [11] Agüera-Vega, F., Carvajal-Ramírez, F., and Martínez-Carricando, P. Assessment of photogrammetric mapping accuracy based on variation ground control points number using unmanned aerial vehicle. *Measurement*, 2017, 98, pp.221-227. DOI: 10.1016/j.measurement.2016.12.002.

ภาคผนวก ก) การศึกษาประสิทธิภาพของจุดบังคับภาพและจุดตรวจสอบสำหรับการทำแผนที่สามมิติจากโดรน



รูปที่ 8 ค่าความคลาดเคลื่อนระดับต่ำที่ส่องเหลี่ยมแต่ละแกนสำหรับกรณีของจุดควบคุมภาคพื้นดินและจุดตรวจสอบ

ภาคผนวก ข) แนวปฏิบัติประมวลผลความคุณภาพ 2 ขั้นตอน (QC-1 & QC-2) สำหรับรายงานจาก PIX4Dmapper

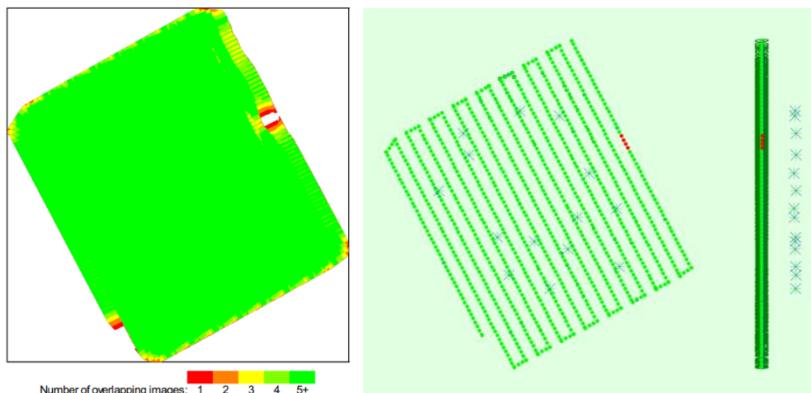
1. โครงการ การประมาณผลเพื่อผลิตข้อมูลแผนที่จากภาพถ่ายด้วยยูอี

ชื่อทีม	ศูนย์ฯ ข่าวழุ่นเพาะทางด้านการสร้างพื้นฐาน ศูนย์วิเคราะห์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	ผู้รับผิดชอบ	-
ชื่อเครื่องภาพ	CU-SBR_DJI_M300	วัน/เดือน/ปี	25/12/2564
ยูอี	DJI MATRICE 300 RTK	หมายเลข	-
กล้องภาพถ่าย	ZenmuseP1	หมายเลข	-

2. ภาพรวมบล็อกภาพถ่าย

Project	CU_SBR_M300_PPK
Processed	2022-01-31 12:17:43
Camera Model Name(s)	ZenmuseP1_35.0_8192x5460 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	1.87 cm / 0.74 in
Area Covered	1.488 km ² / 148.8017 ha / 0.57 sq. mi. / 367.8873 acres

3. จำนวนภาพที่ซ้อนกันและแผนที่แสดงตำแหน่งภาพและตำแหน่งของจุดบังคับภาพถ่ายภาคพื้นดิน



4. ผลการคำนวณปรับแก้แบบจำลองกล้อง

แบบจำลองกล้องประเภท [✓] Global shutter [....] Rolling shutter with delay milliseconds.

Internal Camera parameters								
ZenmuseP1_35.0_8192x5460 (RGB). Sensor Dimension: 35.000 [mm] x 23.358 [mm]								
EXIF ID: ZenmusePa_35.0_8192x5460								
	Focal Length	Principal Point x	Principal Point y	R1	R2	R3	T1	T2
Initial Values	8194.340 [pixel]	4096.001 [pixel]	2729.996 [pixel]	-0.048	0.021	-0.097	0.002	-0.001
	35.010 [mm]	17.500 [mm]	11.664 [mm]					
Optimized Values	8200.470 [pixel]	4074.243 [pixel]	2748.611 [pixel]	-0.049	0.017	-0.094	0.001	-0.001
	35.036 [mm]	17.407 [mm]	11.743 [mm]					
Uncertainties (Sigma)	3.115 [pixel]	0.136 [pixel]	0.118 [pixel]	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000
	0.013 [mm]	0.001 [mm]	0.001 [mm]					

5. ผลการคำนวณปรับแก้จุดบังคับภาพถ่าย (QC-1)

5.1 จุดควบคุมภาพพื้นดิน (Ground Control Points; GCPs) จำนวน 7 จุด

GCP Name	Accuracy XY/Z [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
GCP05 (3D)	0.020/ 0.050	0.021	-0.013	0.019	0.149	10/10
GCP13 (3D)	0.020/ 0.050	-0.009	0.010	0.009	0.153	10/10
GCP14 (3D)	0.020/ 0.050	0.007	0.002	-0.026	0.168	10/10
GCP15 (3D)	0.020/ 0.050	0.003	0.004	0.000	0.095	10/10
GCP17 (3D)	0.020/ 0.050	0.001	-0.001	-0.008	0.152	10/10
GCP22 (3D)	0.020/ 0.050	-0.013	-0.009	0.007	0.139	10/10
GCP26 (3D)	0.020/ 0.050	-0.010	0.007	0.000	0.175	10/10
Mean [m]		0.000	0.000	0.000		
Sigma [m]		0.011	0.008	0.013		
RMS Error [m]		0.011	0.008	0.013		

5.2 จุดตรวจสอบ (Check Points; CPs) จำนวน 7 จุด

CP Name	Accuracy XY/Z [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
GCP02		0.019	0.017	0.078	0.156	10/10
GCP10		0.028	-0.019	-0.035	0.260	9/9
GCP11		0.014	0.016	-0.053	0.224	10/10
GCP12		-0.008	0.001	-0.019	0.113	10/10
GCP16		-0.015	-0.001	-0.012	0.131	10/10
GCP21		-0.011	0.061	0.013	0.221	10/10
GCP24		0.006	0.004	0.005	0.156	10/10
Mean [m]		0.005	0.011	-0.003		
Sigma [m]		0.015	0.023	0.039		
RMS Error [m]		0.016	0.026	0.039		

5.3 ผลการเปรียบเทียบ RMSE จาก GCPs กับ CPs (RMSE_PARTIAL_GCP vs RMS_PARTIAL_CP)

	DIFF RMSE X [m]	DIFF RMSE Y [m]	DIFF RMSE Z [m]
Difference	0.005	0.018	0.026

6. ผลการคำนวณปรับแก้จุดบังคับภาพนำไปใช้ผลิต (QC-2)

จุดควบคุมภาคพื้นดิน (Ground Control Points; GCPs) จำนวน 14 จุด

GCP Name	Accuracy XY/Z [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
GCP02 (3D)	0.020/ 0.050	0.006	0.007	0.037	0.135	10/10
GCP05 (3D)	0.020/ 0.050	0.019	-0.018	0.015	0.153	10/10
GCP10 (3D)	0.020/ 0.050	0.011	-0.011	-0.008	0.260	9/9
GCP11 (3D)	0.020/ 0.050	0.011	0.005	-0.032	0.229	10/10
GCP12 (3D)	0.020/ 0.050	-0.005	0.000	-0.006	0.113	10/10
GCP13 (3D)	0.020/ 0.050	-0.006	0.002	0.012	0.149	10/10
GCP14 (3D)	0.020/ 0.050	0.007	-0.001	-0.021	0.172	10/10
GCP15 (3D)	0.020/ 0.050	0.001	0.005	0.000	0.096	10/10
GCP16 (3D)	0.020/ 0.050	-0.008	-0.004	-0.003	0.136	10/10
GCP17 (3D)	0.020/ 0.050	0.000	-0.003	-0.006	0.153	10/10
GCP21 (3D)	0.020/ 0.050	-0.009	0.036	0.009	0.226	10/10
GCP22 (3D)	0.020/ 0.050	-0.017	-0.013	0.006	0.140	10/10
GCP24 (3D)	0.020/ 0.050	0.006	-0.006	0.002	0.156	10/10
GCP26 (3D)	0.020/ 0.050	-0.016	0.002	-0.005	0.175	10/10
Mean [m]		0.000	0.000	0.000		
Sigma [m]		0.010	0.012	0.016		
RMS Error [m]		0.010	0.012	0.016		

ภาคผนวก ค) แนวปฏิบัติประมวลผลความคุ้มคุณภาพ 2 ขั้นตอน (QC-1 & QC-2) สำหรับรายงานจาก Agisoft Metashape

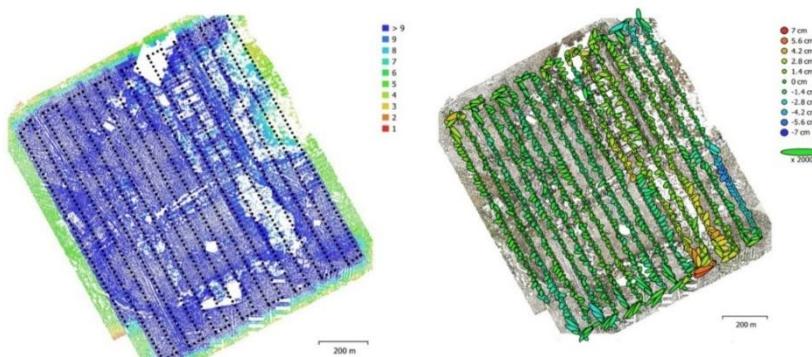
1. โครงการ การประมาณผลเพื่อผลิตข้อมูลแผนที่จากภาพถ่ายด้วยยูอาร์

ชื่อทีม	ศูนย์บริการข้อมูลทางด้านการจัดการโครงสร้างพื้นฐาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	ผู้รับผิดชอบ	-
ชื่องานถือภาพ	CU-SBR_DJI_M300	วัน/เดือน/ปี	25/12/2564
ยูอาร์	DJI MATRICE 300 RTK	หมายเลข	-
กล้องภาพถ่าย	ZenmuseP1	หมายเลข	-

2. ภาพรวมบล็อกถือภาพถ่าย

Number of images	1,071	Camera stations	1,071
Flying altitude	157 m	Tie points	889,992
Ground resolution	1.92 cm/pix	Projections	3,850,104
Coverage area	0.844 square kilometers	Reprojection error	1.16 pix

3. จำนวนภาพที่ข้อนักและแผนที่แสดงตำแหน่งของภาพและตำแหน่งของจุดบังคับภาพถ่ายภาคพื้นดิน



4. ผลการคำนวณปรับแก้แบบจำลองกล้อง

แบบจำลองกล้องประเภท [✓] Global shutter [...] Rolling shutter with delay milliseconds.

ZenmuseP1 (35mm)						1071 images				
Type		Resolution			Focal Length			Pixel Size		
Frame		8192 x 5460			35 mm			4.39 x 4.39		
	Value	Error	F	Cx	Cy	K1	K2	K3	P1	P2
F	8184.08	0.084	1.00	0.00	0.04	-0.14	0.10	-0.11	-0.01	0.01
Cx	-21.3963	0.025	1.00	0.00	0.01	0.02	-0.02	0.76	0.00	
Cy	19.6826	0.025	1.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.83		
K1	-0.049086	2.30E-05	1.00	-0.97	0.92					
K2	0.0181091	0.00014	1.00	-0.98	0.03					
K3	-0.094961	0.00025	1.00	-0.03	0.01					
P1	-0.000976	9.90E-07	1.00	0.00						
P2	0.0009592	1.00E-06	1.00							

5. ผลการคำนวณปรับแก้จุดนังคับภาพถ่าย (QC-1)

5.1 จุดควบคุมภาคพื้นดิน (Ground Control Points; GCPs) จำนวน 7 จุด

Label	X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	Total (m)	Image (pix)
GCP05	-0.031	-0.002	-0.039	0.049	0.156 (10)
GCP13	0.005	-0.005	-0.012	0.014	0.154 (10)
GCP14	-0.011	-0.004	-0.009	0.015	0.179 (10)
GCP15	-0.014	-0.020	-0.010	0.026	0.155 (10)
GCP17	-0.006	-0.017	0.025	0.031	0.173 (10)
GCP22	-0.006	0.002	0.018	0.019	0.153 (10)
GCP26	0.008	0.003	-0.006	0.010	0.124 (10)
Total	0.014	0.010	0.020	0.027	0.157

5.2 จุดตรวจสอบ (Check Points; CPs) จำนวน 7 จุด

Label	X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	Total (m)	Image (pix)
GCP02	-0.005	-0.006	0.011	0.014	0.168 (10)
GCP10	-0.037	0.001	-0.035	0.051	0.177 (9)
GCP11	-0.006	0.004	0.008	0.011	0.198 (10)
GCP12	-0.019	-0.011	0.034	0.041	0.168 (9)
GCP16	0.010	-0.012	0.003	0.016	0.197 (10)
GCP21	-0.007	-0.051	0.014	0.054	0.215 (10)
GCP24	-0.017	0.012	0.015	0.026	0.148 (10)
Total	0.018	0.021	0.021	0.035	0.183

5.3 ผลการเปรียบเทียบ RMSE จาก GCPs กับ CPs (RMSE_PARTIAL_GCP vs RMS_PARTIAL_CP)

	DIFF RMSE X [m]	DIFF RMSE Y [m]	DIFF RMSE Z [m]
Difference	0.004	0.011	0.001

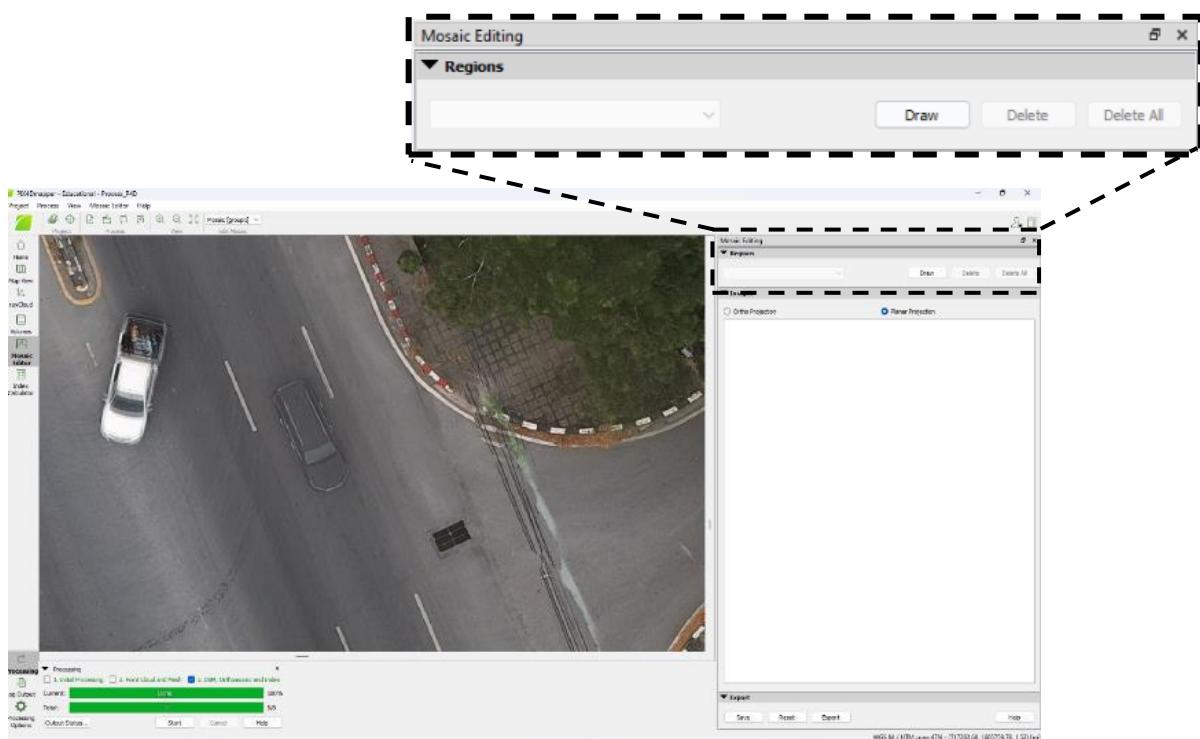
6. ผลการคำนวณปรับแก้จุดบังคับภาพ สำหรับ QC-2

จุดควบคุมภาคพื้นดิน (Ground Control Points; GCPs) จำนวน 14 จุด

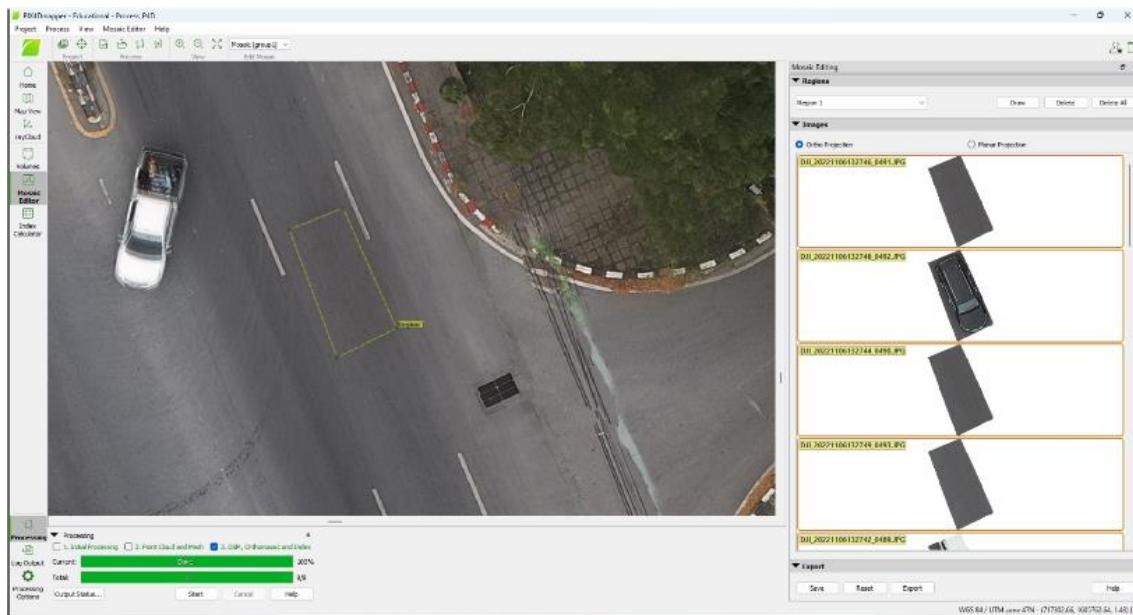
Label	X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	Total (m)	Image (pix)
GCP02	-0.005	-0.006	0.011	0.014	0.168 (10)
GCP05	-0.031	-0.002	-0.039	0.049	0.156 (10)
GCP10	-0.036	0.001	-0.034	0.049	0.184 (9)
GCP11	-0.005	0.004	0.008	0.010	0.198 (10)
GCP12	-0.019	-0.011	0.033	0.040	0.171 (9)
GCP13	0.005	-0.005	-0.012	0.014	0.154 (10)
GCP14	-0.011	-0.004	-0.009	0.015	0.179 (10)
GCP15	-0.014	-0.020	-0.010	0.026	0.155 (10)
GCP16	0.010	-0.012	0.003	0.016	0.197 (10)
GCP17	-0.006	-0.017	0.025	0.031	0.173 (10)
GCP21	-0.007	-0.050	0.014	0.053	0.223 (10)
GCP22	-0.006	0.002	0.018	0.019	0.153 (10)
GCP24	-0.017	0.011	0.015	0.025	0.150 (10)
GCP26	0.008	0.003	-0.006	0.010	0.124 (10)
Total	0.016	0.016	0.020	0.030	0.172

ภาคผนวก ข) เรื่อง การซ่อมภาพออร์โธ

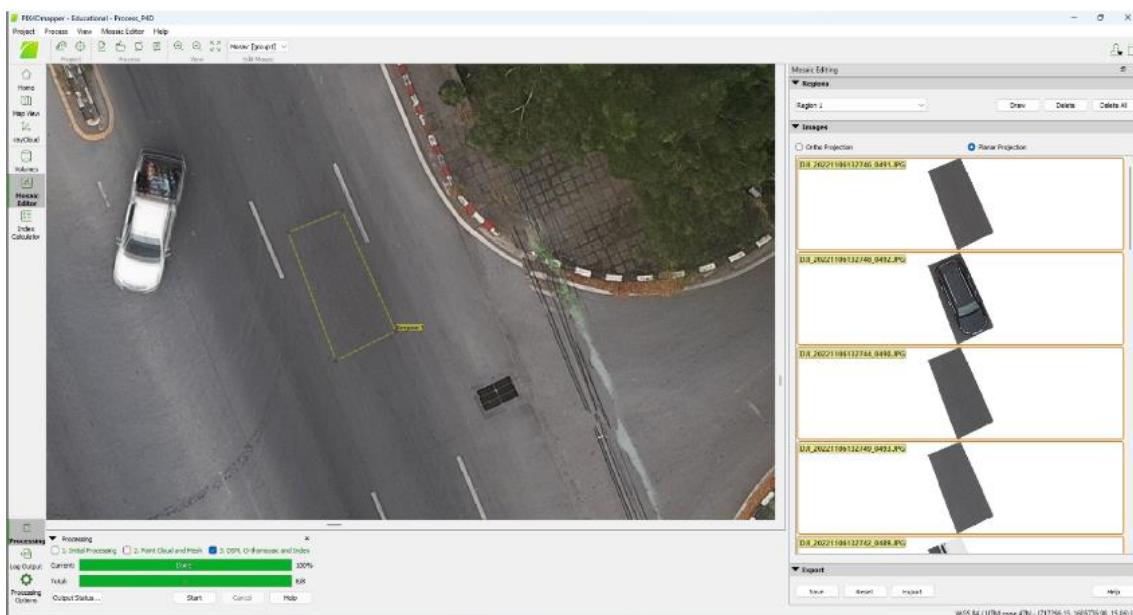
โปรแกรมมีคำสั่งเสริมเพื่ออำนวยความสะดวกให้กับผู้ประมวลผลสำหรับนำข้อมูลไปแสดงผลลัพธ์ อาทิ กรณีที่ภาพออร์โธที่สร้างได้มีรูปวัตถุ (เช่น รถ) ปรากฏอยู่ สำหรับการนำไปเสนองาน อาจไม่อยากให้มีรูปวัตถุปรากฏดังนั้นสามารถทำการซ่อมได้โดยไปดึงภาพ ณ ตำแหน่งเดียวกัน ในช่วงที่ไม่มีวัตถุ ซึ่งเป็นการไปนำภาพที่ใช้ในการประมวลผลมาซ่อม โดยสามารถเลือกการฉายบริเวณตำแหน่งที่ทำการซ่อมได้ 2 รูปแบบ คือ Ortho Projection และ Planar Projection ทำได้โดยให้ทำการเลือกติกรอบขอบเขตที่จะทำการซ่อมจาก การคลิกปุ่ม Draw และทำการตีขอบเขตบริเวณตำแหน่งที่ต้องการซ่อมภาพ จากนั้นโปรแกรมจะทำการโหลดภาพ และเสนอภาพที่ใช้ในการซ่อมได้ ให้ผู้ใช้สามารถเลือกภาพที่ชอบในการนำมาซ่อมภาพออร์โธ โดยรูปแบบ Ortho projection คือ การฉายภาพออร์โธแบบคงระยะทาง เมามากับงานที่ต้องมีการวัดระยะบนภาพ และรูปแบบ Planar projection คือ การฉายระยะนาบแบบไม่รักษาระยะทาง ดังนั้นจึงไม่แนะนำให้ใช้สำหรับงานที่ต้องมีการรังวัด โดยจุดประสงค์หลัก คือ การปรับปรุงด้านการมองเห็นของ orthomosaic



รูปแบบ Ortho projection



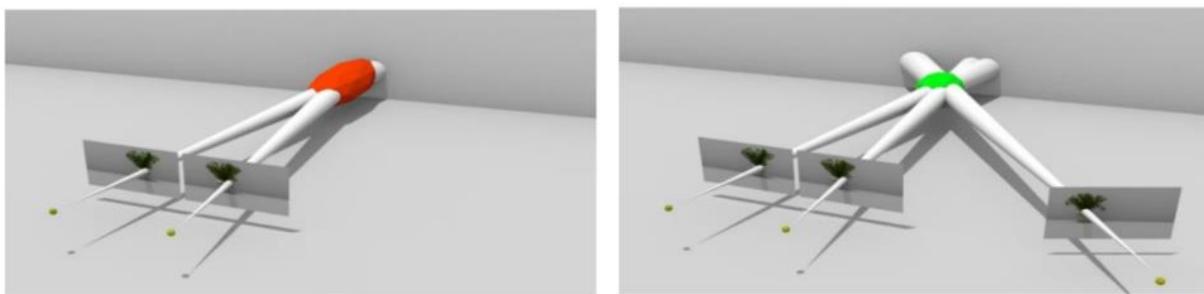
รูปแบบ Planar projection



คู่มือการใช้งานโปรแกรม PIX4Dmapper

ภาคผนวก ค) เรื่อง การรังวัดเก็บรายละเอียดภูมิประเทศด้วยชุดภาพถ่ายทางมุ่มมอง (Precise 3D Measuring of Topographic Feature via UAV Multiview-Geometry)

ในกระบวนการทำงานด้านโพโตแกรฟมเมตريที่เกี่ยวข้องกับการรังวัดด้วยภาพแบบดั้งเดิมจะใช้การรังวัดภาพถ่ายทางอากาศที่เป็นคู่ภาพสเตอโริโอด์ (Stereophotogrammetry) ในการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของ การจัดภาพภายนอก ซึ่งมีส่วนเกี่ยวข้องกับการรังวัดค่าพิกัดสามมิติของจุดที่สนใจในภาพ โดยจะใช้หลักการตัด กันของแนวรังสีที่มาจากการถ่ายภาพสเตอโริโอด์ ความถูกต้องและความแม่นยำในการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของ การจัดภาพภายนอกของกล้องถ่ายภาพจะส่งผลกระทบต่อความถูกต้องของระยะฐาน (Base) ของจุดเปิด ถ่ายภาพ และจะส่งผลกระทบต่อไปถึงการรังวัดหาค่าพิกัดสามมิติด้วย ดังนั้นจึงได้มีการคิดค้นแนวคิดเรื่องการ มองเห็นในหลายมุมมองเข้ามาช่วยแก้ปัญหาในงานด้านการรังวัดด้วยภาพสมัยใหม่ที่ใช้อัลกอริทึมของ คอมพิวเตอร์วิชั่นเป็นหลัก โดยการมองเห็นในหลาย ๆ มุมมองจะเป็นการเพิ่มแนวรังสีที่มาตัดกันให้มากกว่า 2 แนวรังสี ซึ่งสามารถทำได้โดยการเพิ่มส่วนซ้อนทับของภาพถ่ายหรือการเพิ่มมุมมองของวัตถุที่สนใจบน ภาพถ่ายให้มากยิ่งขึ้น จากการที่มีแนวรังสีเพิ่มมากขึ้นและมาจากภาพถ่ายที่มีระยะฐานที่ยาวขึ้นนั้นจะส่งผลให้ การรังวัดค่าพิกัดสามมิติของจุดสนใจในภาพถ่ายมีความถูกต้องและแม่นยำมากยิ่งขึ้น



รูป แนวรังสีของการมองเห็นเพื่อรังวัดค่าพิกัดสามมิติแบบภาพสเตอโริโอด์และแบบหลายมุมมอง

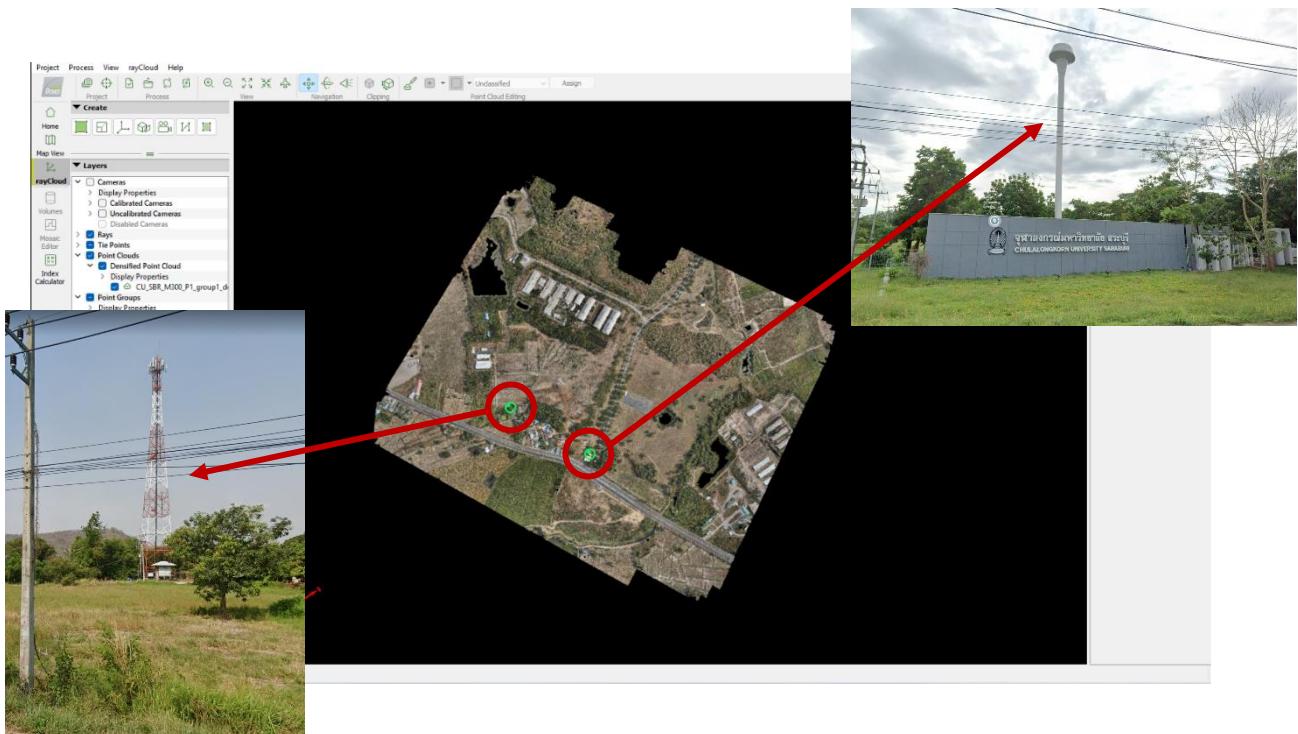
ดังนั้นจึงได้มีการนำหลักการรังวัดจุดสามมิติด้วยภาพถ่ายทางอากาศหลายมุมมองมาประยุกต์ใช้ใน การหาค่าพิกัดของวัตถุหรือสิ่งปลูกสร้าง รวมไปถึงขนาดของความยาวหรือความสูงของวัตถุ ซึ่งช่วยทำให้ผู้ รังวัดมีอิทธิพลน้อยลงเมื่อในการรังวัดหาค่าพิกัดนอกเหนือจากการรังวัดข้อมูลในรูปแบบดั้งเดิม หรือก็คือการ รังวัดสำรวจด้วยกล้องประมวลผลรวม (Total Station) ในการรังวัดค่ามุมและระยะทางเพื่อนำไปคำนวณตาม สูตรทางคณิตศาสตร์เพื่อให้ได้ค่าพิกัดและความสูงของวัตถุที่สนใจ

ในปัจจุบันซอฟต์แวร์ทางด้านโพโตแกรฟมเมตี้สำหรับใช้ในการประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศมีมาก ขึ้นและถูกใช้กันอย่างแพร่หลาย ซึ่งซอฟต์แวร์หนึ่งในซอฟต์แวร์นั้น คือ PIX4Dmapper มีคำสั่งเสริมสำหรับ การรังวัดจุดสามมิติด้วยภาพถ่ายทางอากาศหลายมุมมอง

วิธีการรังวัดค่าพิกัดสามมิติด้วยภาพถ่ายทางอากาศหลายมุมมอง

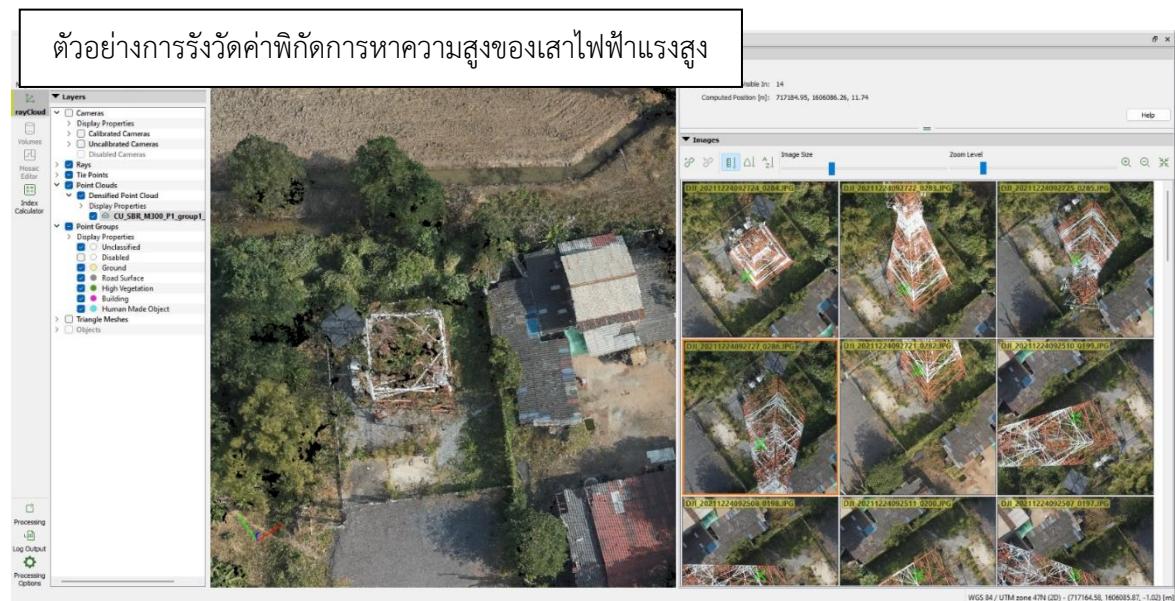
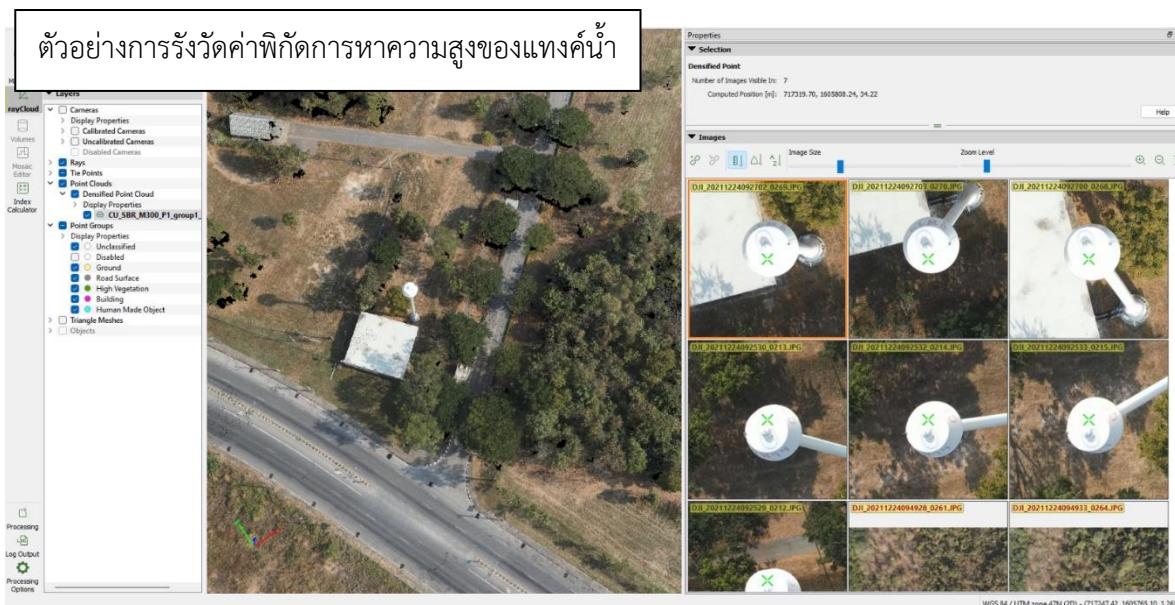
ผู้ประมวลผลจะสามารถรังวัดค่าพิกัดสามมิติด้วยภาพถ่ายทางอากาศหลายมุมมองได้ก็ต่อเมื่อ ประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศขั้นตอนที่ 1 Initial Processing ในโปรแกรม PIX4Dmapper เสร็จเรียบร้อยแล้ว โดยการประมวลผลขั้นตอนที่ 1 คือ การคำนวณปรับแก้บล็อกลำแสง (Bundle Block Adjustment) เป็นการคำนวณโครงข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศ (Aerial Triangulation) ซึ่งจะเป็นการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์การจัดวางภาพภายนอก (Exterior Orientation Parameter; EOP) รวมถึงมีการวัดสอบค่าพารามิเตอร์ในการปรับแก้ค่าความคลาดเคลื่อนทางเลนส์ด้วยกระบวนการวัดสอบด้วยตัวเอง (Self-calibration) ในขั้นตอนนี้ด้วย โดยกระบวนการทางคอมพิวเตอร์ชั้นจะมีการจับคู่ภาพเพื่อสร้าง Automatic Tie points ผ่านการสกัดหาข้อมูลจุดสำคัญที่เปรียบเสมือนจุดโยงยึดบนภาพถ่ายที่เป็นสองมิติ ซึ่งจะมีการโยงยึดค่าพิกัดจุดควบคุมภาคพื้นดินเข้าไปด้วยในการควบคุมคุณภาพค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่ง หลังจาก ประมวลผลและตรวจสอบคุณภาพผลลัพธ์การประมวลผลเสร็จเรียบร้อยแล้วผู้ใช้งานจะสามารถรังวัดค่าพิกัดสามมิติได้ โดยมีขั้นตอนการปฏิบัติดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 มองหาวัตถุหรือสิ่งปลูกสร้างที่ต้องการรังวัดหาค่าพิกัดผ่านการมองภาพรวมของบล็อกภาพถ่ายที่ประมวลผลได้ โดยในคู่มือนี้จะแสดงตัวอย่างการรังวัดค่าพิกัดการหาความสูงของแทงค์น้ำและเสาไฟฟ้าแรงสูง ซึ่งตั้งอยู่ใกล้บริเวณสนามทดสอบจีเอ็นเนอสแอลและยูเอวีสำหรับงานแผนที่ (Geodetic GNSS and UAV Testing Facility) บริเวณศูนย์เครื่องข่ายการเรียนรู้เพื่อภูมิภาคจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี

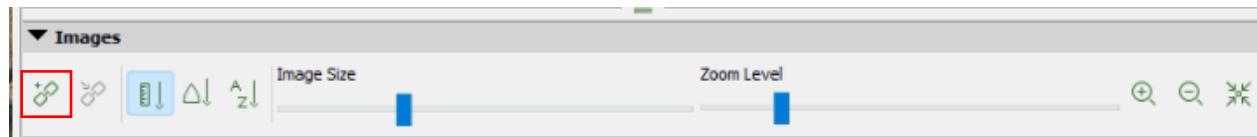


คู่มือการใช้งานโปรแกรม PIX4Dmapper

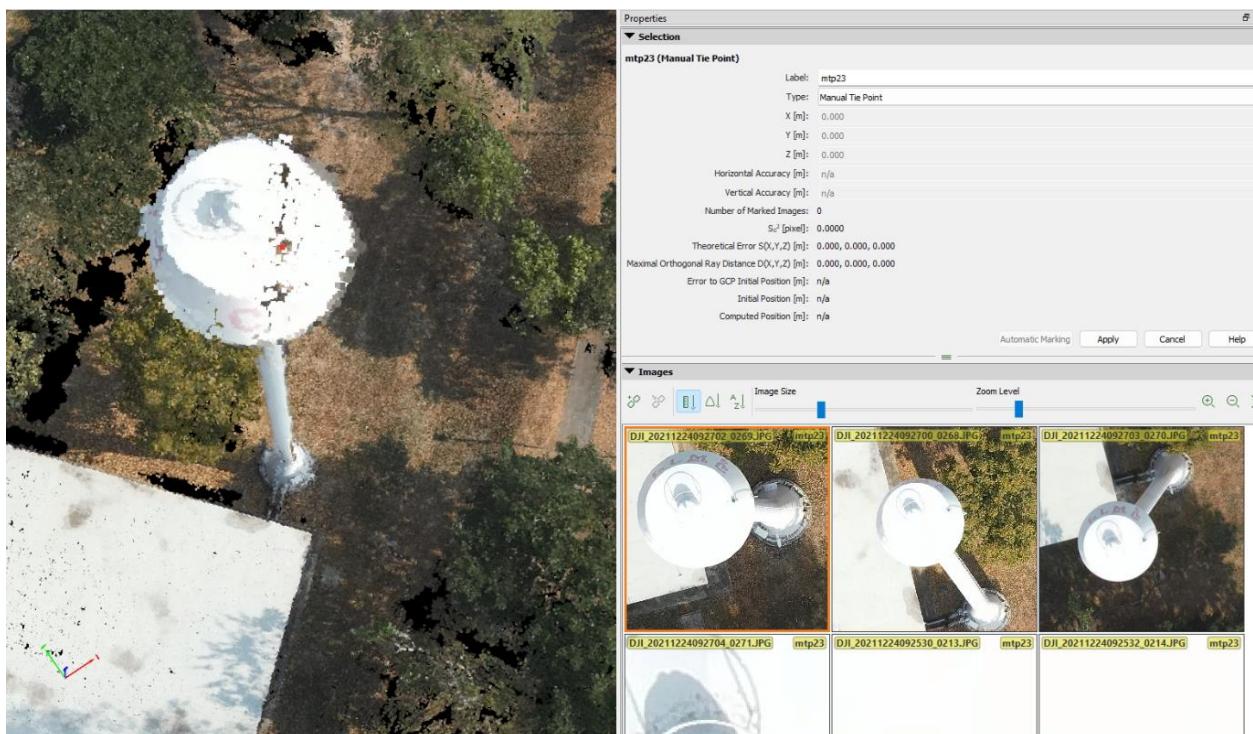
ขั้นตอนที่ 2 หลังจากเลือกวัตถุที่ต้องการรังวัดได้เรียบร้อยแล้วให้ทำการคลิกมาส์เปบริเวณตำแหน่งที่ใกล้เคียงกับวัตถุที่ต้องการรังวัด หลังจากคลิกแล้วทางด้านขวามือของโปรแกรมจะปรากฏหน้าต่างขึ้นมาที่มีชื่อว่า Properties ซึ่งจะประกอบไปด้วยหัวข้ออยู่ 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 Selection ส่วนที่ 2 Images ดังภาพที่แสดงด้านล่าง จากนั้นให้ทำการพิจารณาภาพที่ปรากฏขึ้นและมองหาว่าวัตถุที่เราสนใจมีลักษณะอะไรที่เป็นจุดเด่นเห็นได้ชัดและปรากฏบนภาพหลาย ๆ ภาพ โดยสำหรับในตัวอย่างทั้งสองวัตถุบริเวณด้านบนจะมีเส้าสัญญาณ ซึ่งในเล่มคู่มือนี้จะใช้ยอดของเสาเป็นตัวแทนของจุดสูงสุดของวัตถุที่เราอยากรับความสูง

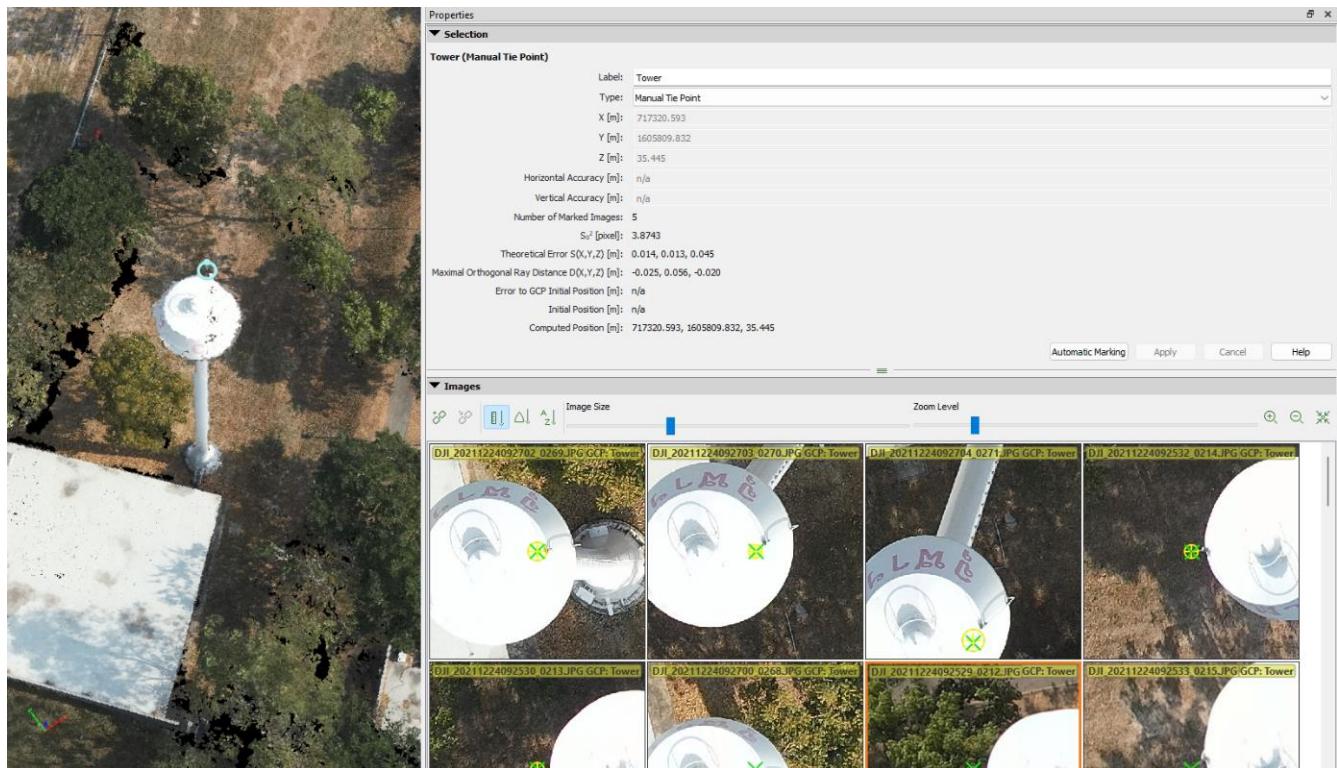


ขั้นตอนที่ 3 เมื่อเราได้จุดที่ต้องการรังวัดแล้วให้ทำการคลิกไปที่ไอคอนแรก (New Tie Point) ที่แสดงในแถบ Images [กรอบสีแดง]



หลังจากกดไอคอนแล้วตรงบริเวณแถบ Selection จะเปลี่ยนไปตามภาพที่แสดงด้านล่าง ซึ่งหน้าต่างที่เปลี่ยนไปผู้ใช้งานสามารถตั้งชื่อและเลือกประเภทของจุดที่ผู้ใช้งานต้องการรังวัดได้ หลังจากตั้งชื่อและเลือกประเภทของจุดเรียบร้อยแล้ว ให้ทำการเลือกจุดที่ต้องการรังวัดหาค่าพิกัด ซึ่งในตัวอย่างนี้เราจะทำการรังวัดตัวแทนของจุดสูงสุดของแทงค์น้ำ คือ บริเวณเสาสัญญาณ ตั้งชื่อจุดนี้ว่า Tower เลือกชนิดจุดเป็น Manual Tie Point และทำการคลิกบริเวณจุดที่ต้องการรังวัดบนภาพถ่ายอย่างน้อย 3 ภาพขึ้นไป หลังจากทำการคลิกเพื่อเลือกภาพเสร็จแล้วให้กด Apply เป็นอันเสร็จขั้นตอนการรังวัดจุดสามมิติด้วยภาพถ่ายทางอากาศหลายมุมมอง ขั้นตอนต่อไปจะเป็นขั้นตอนอ่านค่าพิกัดที่รังวัดได้

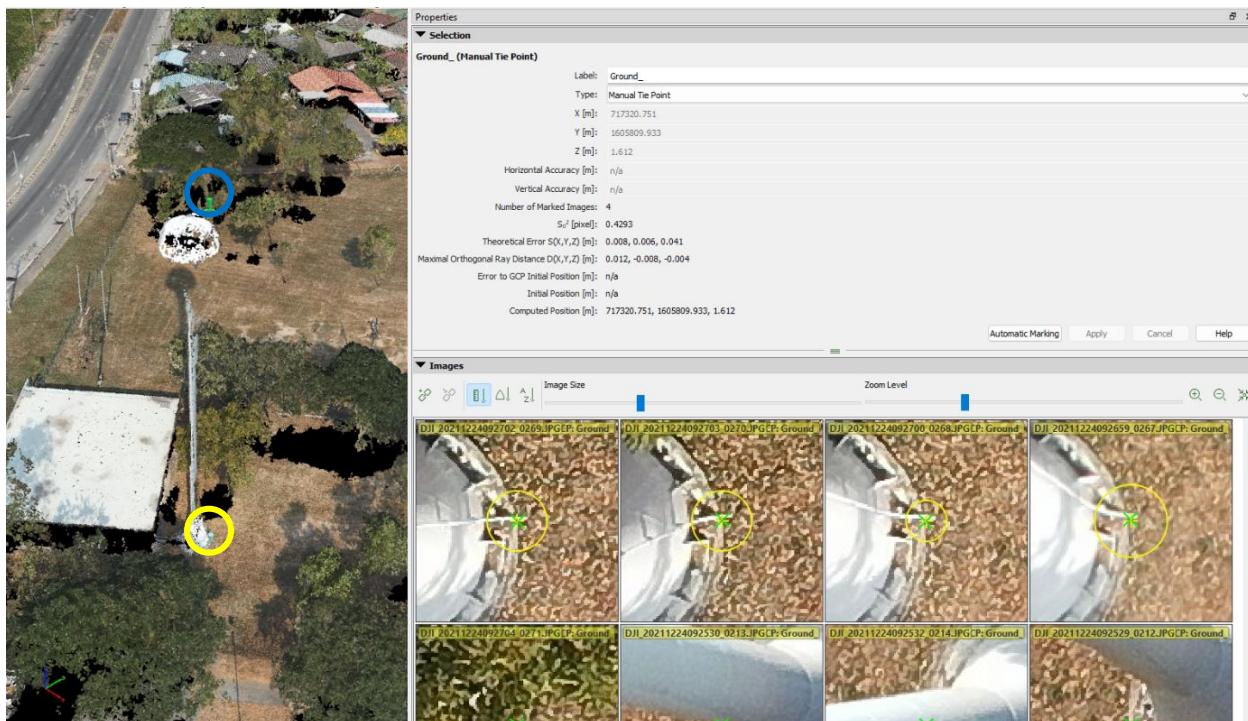




ขั้นตอนที่ 4 เป็นขั้นตอนพิจารณาผลลัพธ์ที่ได้จากการรังวัดค่าพิกัดสามมิติด้วยภาพถ่ายทางอากาศ หมายความว่า เราสามารถตรวจสอบค่าพิกัดและค่าของข้อมูลที่เกี่ยวข้องได้จากแถบ Selection ที่ปรากฏ ข้อมูลต่าง ๆ ขึ้นมา หากตรวจสอบแล้วพบว่าถูกต้องและอยู่ในเกณฑ์ของการทำงาน ในขั้นตอนต่อไปคือการ รังวัดค่าพิกัดของวัตถุอื่น ๆ ภายในโครงการต่อไป ซึ่งสำหรับคู่มือเล่มนี้ที่ต้องการทราบความสูงของวัตถุก็จะทำการรังวัดด้วยเทคนิคที่กล่าวไว้ไปข้างต้นบริเวณฐานของแท่งค้ำที่จะกล่าวต่อในลำดับถัดไป

Selection Tower (Manual Tie Point)	ชื่อจุด
Label: Tower → ค่าสถิติของพิกัด Type: Manual Tie Point X [m]: 717320.593 Y [m]: 1605809.832 Z [m]: 35.445 Horizontal Accuracy [m]: n/a Vertical Accuracy [m]: n/a Number of Marked Images: 5 S_e^2 [pixel]: 3.8743 Theoretical Error S(X,Y,Z) [m]: 0.014, 0.013, 0.045 Maximal Orthogonal Ray Distance D(X,Y,Z) [m]: -0.025, 0.056, -0.020 Error to GCP Initial Position [m]: n/a Initial Position [m]: n/a Computed Position [m]: 717320.593, 1605809.832, 35.445	
<input type="button" value="Automatic Marking"/> <input type="button" value="Apply"/> <input type="button" value="Cancel"/> <input type="button" value="Help"/>	

หลังจากที่เราทราบค่าพิกัดทางราบและทางดิ่งของแท่งคันน้ำแล้ว ลำดับถัดไปก็จะเป็นการรังวัดค่าพิกัดของฐานแท่งคันน้ำ โดยมีขั้นตอนการรังวัดเหมือนกับที่ได้กล่าวไปในข้างต้น ดังนั้นจึงขอแสดงหน้าจอผลลัพธ์ที่ได้ทำการรังวัดแล้ว ณ บริเวณฐานของแท่งคันน้ำ



จากภาพด้านบนเมื่อพิจารณาภาพทางด้านซ้ายมือ จะเห็นได้ว่าตอนนี้เราทราบค่าพิกัดของยอดแท่งคันน้ำ (วงกลมสีน้ำเงิน) และทราบค่าพิกัดของฐานแท่งคันน้ำ (วงกลมสีเหลือง) ดังนั้นหากต้องการทราบความสูงของแท่งคันน้ำ เราสามารถนำค่าพิกัดทางดิ่งของทั้งสองจุดมาลบกันเพื่อได้เป็นความสูงของแท่งคันน้ำได้

ค่าพิกัดของยอดแท่งคันน้ำ คือ 717320.593, 1605809.832, 35.445

ค่าพิกัดของฐานแท่งคันน้ำ คือ 717320.751, 1605809.933, 1.612

ดังนั้นความสูงของแท่งคันน้ำ เท่ากับ $35.445 - 1.612 = 33.833$ เมตร

ศูนย์วิจัยด้านแพนทีและตำแหน่งจากเทคโนโลยีอวกาศ (MAPS)
ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

