

คู่มือการใช้งาน โปรแกรม Agisoft Metashape

ดร.วัฒน์ บรรณกุลพิพัฒน์
ดร.ไฟศาล สันติธรรมนนท์

ศูนย์วิจัยด้านแผนที่และตำแหน่งจากเทคโนโลยีอวกาศ (MAPS)
ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



คู่มือการใช้งาน

โปรแกรม Agisoft Metashape

ถิรวัฒน์ บรรณกุลพิพัฒน์

ดร. ไพบูลย์ สันติธรรมนนท์

ศูนย์วิจัยด้านแผนที่และตำแหน่งจากเทคโนโลยีอวกาศ

ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สิงหาคม 2567

คำนำ

คุณมีการใช้งานโปรแกรม Agisoft Metashape Professional ฉบับนี้มีจุดประสงค์เพื่อขอริบายขั้นตอน การประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศที่ได้จากการบันทึกภาพด้วยอากาศยานไร้คนขับ เพื่อผลิตผลลัพธ์ ภาพถ่ายออร์ฟิส (Orthophoto) และแบบจำลองระดับสูงเชิงเลข (Digital Elevation Model) ให้มีคุณภาพ สามารถตรวจสอบคุณภาพในแต่ละขั้นตอน ตามคุณลักษณะของข้อมูลนำเสนออย่างเหมาะสม ทั้งนี้ในคุณภาพเล่นนี้ จะมีเนื้อหาซึ่งประกอบไปด้วยขั้นตอนตั้งแต่การนำภาพถ่ายเข้าสู่โปรแกรมตลอดจนคำนวณและประมวลผลจนได้ข้อมูลภาพถ่ายออร์ฟิสและแบบจำลองระดับสูงเชิงเลขเพื่อที่จะนำไปประยุกต์ใช้งานกับงานทางด้านอื่น ๆ ต่อไป

คณะกรรมการฯได้พัฒนาคุณมีการใช้งาน เพื่อตอบสนองต่อการพัฒนาการเทคโนโลยีสมัยใหม่ที่กำลังได้รับ ความสนใจในปัจจุบันและยังเป็นเรื่องที่มีความละเอียดอ่อนในการปฏิบัติขั้นตอนการประมวลผลต่าง ๆ เพื่อให้ ได้ผลลัพธ์ที่มีประสิทธิภาพและสามารถนำไปใช้งานได้ ผู้จัดทำต้องขอขอบพระคุณคณาจารย์ ผู้ให้ความรู้และ ข้อปฏิบัติในขั้นตอนการประมวลผลต่าง ๆ รวมไปถึงบุคลากร งานวิจัย สื่อต่าง ๆ หวังว่าคุณมีการใช้งานฉบับนี้ จะให้ความรู้ และเป็นประโยชน์แก่ผู้อ่านทุก ๆ ท่าน หากคุณมีการประมวลผลฉบับนี้มีข้อผิดพลาดประการใด คณะกรรมการฯจัดทำขออภัยมา ณ โอกาสนี้ และยินดีรับฟังข้อคิดเห็น ข้อเสนอแนะปรับปรุง สามารถติดต่อกันได้ทาง ช่องทางอีเมล thirawat.bannakulpiphat@gmail.com

คณะกรรมการฯ

สิงหาคม 2567

ประวัติการแก้ไข

ครั้งที่	เดือน/ปี	รายละเอียด
1	08/2567	ตีพิมพ์ครั้งแรก

สารบัญ

หน้า

คำนำ	ค
ประวัติการแก้ไข.....	๑
สารบัญ	จ
คู่มือการใช้งานโปรแกรม Agisoft Metashape	1
การสร้างโครงงานใหม่ (New Project)	2
การตั้งค่าระบบพิกัดและการแปลงค่าพิกัด (Reference Setting & Coordinate System).....	7
การกำหนดความถูกต้องให้กับภาพถ่าย (Camera accuracy).....	15
การจัดเรียงภาพถ่าย (Align Photos)	18
การตั้งค่าในการจัดเรียงภาพถ่าย.....	19
การนำเข้าจุด Markers หรือจุดบังคับภาคพื้นดิน (Import Ground Control Points).....	21
การกำหนดความถูกต้องให้กับจุดบังคับภาคพื้นดิน (Marker accuracy)	24
การปรับให้จุดบังคับภาคพื้นดินตรงกับตำแหน่งบนภาพถ่าย	26
การอัพเดตและการหาค่าเหมาะสมที่สุดของกล้อง (Update & Optimize Cameras).....	29
การกำหนดจุดตรวจสอบ (Check points; CPs) ในการประเมินผล	31
การนำข้อมูลออกมายื่นรูปของรายงาน (Generate Report).....	33
การกำหนดขอบเขตงาน (Resize Region)	35
การแสดงตำแหน่งของจุดบังคับภาคพื้นดิน (Show Markers)	37
การสร้างข้อมูลพอยต์คลาวด์ชนิดหนาแน่น (Build Dense Cloud).....	38
การตั้งค่าในการสร้างแบบจำลองของจุดบนโมเดลสามมิติ.....	39
การสร้างพื้นผิวตามพื้นผิวสามมิติ (Build Mesh)	42
การตั้งค่าในการสร้างพื้นผิวตามพื้นผิวสามมิติ	43
การสร้างแบบจำลองระดับความสูงเชิงเลข (Build Digital Elevation Model).....	45

การสร้างภาพอร์โน (Build Orthomosaic)	48
การนำข้อมูล Orthophoto และ DEM ออกไปใช้งาน (Export Orthomosaic & Export DEM)	51
ภาคผนวก	55
ภาคผนวก ก) บทความแนวปฏิบัติที่เป็นเลิศในการประมวลผลเพื่อผลิตข้อมูลแผนที่จากภาพถ่ายด้วยยูเอวี	56
ภาคผนวก ข) การเพิ่มข้อมูลแบบจำลองยีอยด์ท้องถิ่นของประเทศไทย (Thailand Geoid Model 2017 : TGM 2017).....	57
ภาคผนวก ค) การกำหนดพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับกล้องถ่ายภาพภายใต้โปรแกรม	62
ภาคผนวก ง) การประมวลผล Reconstruction uncertainty, Projection accuracy and Reprojection error ในโครงการ	64
ภาคผนวก จ) การจับคู่จุดสำคัญ (Key point matching)	72

คู่มือการใช้งานโปรแกรม Agisoft Metashape

คู่มือเล่มนี้เป็นคู่มือการใช้งานโปรแกรม Agisoft Metashape ในการประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศที่บันทึกจากอากาศยานไร้คนขับสำหรับประมวลผลเพื่อผลิตแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศหรือที่เรียกว่าภาพออร์โธ (Orthophoto) และผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ที่ได้จากการประมวลผล เช่น ข้อมูลพอยต์คลาวด์ (Point cloud), แบบจำลองระดับสูงเชิงเลข (Digital Elevation Model; DEM) คู่มือการใช้งานประมวลผลในครั้งนี้จะใช้ชุดข้อมูลได้จากการอากาศยานไร้คนขับติดกล้องถ่ายภาพทางอากาศที่นิยมในการปัจจุบันเป็นตัวอย่างตลอดทั้งเล่ม

ตัวอย่างข้อมูลที่ใช้ในการประมวลผล



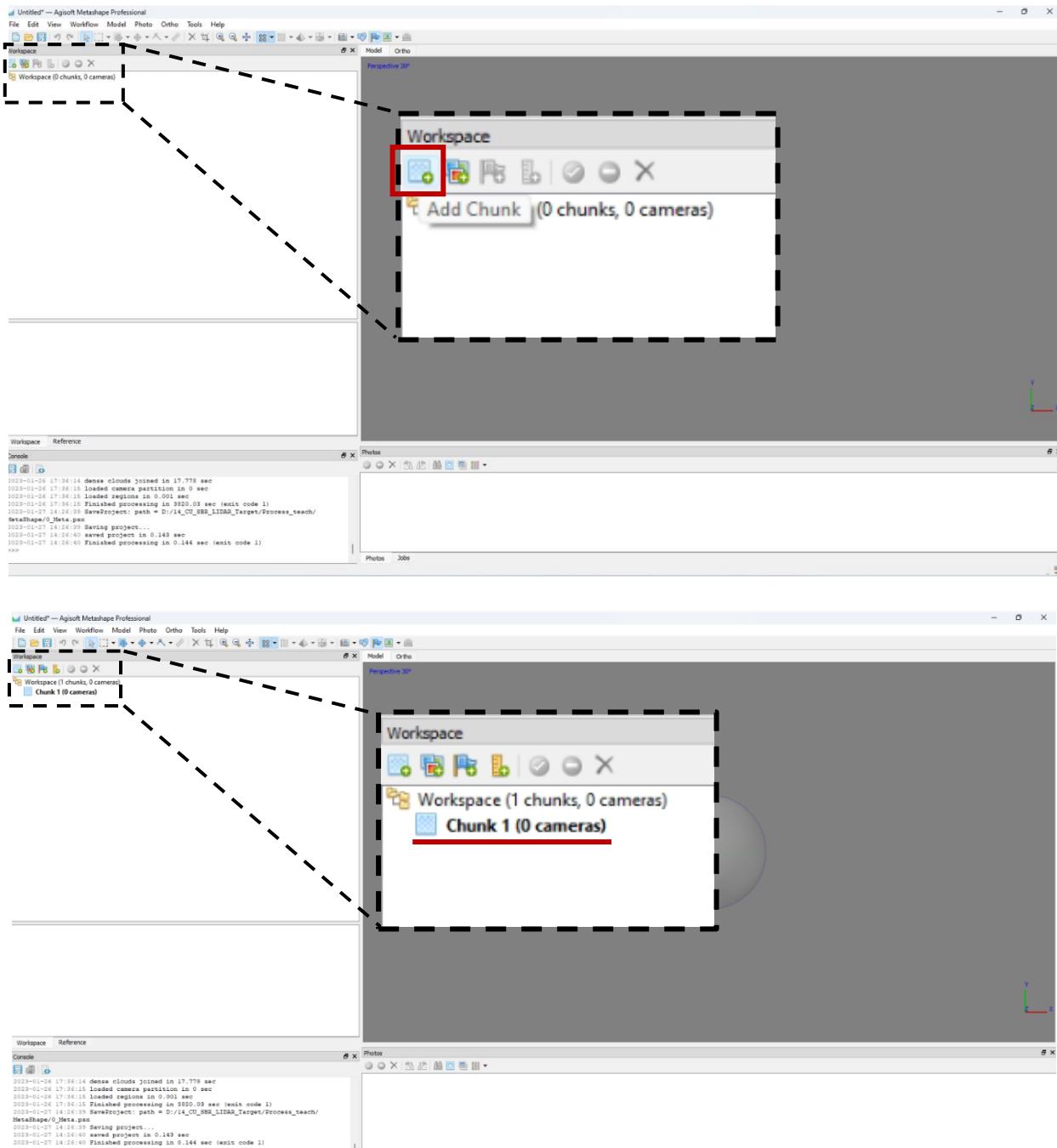
รูป การกระจายตัวของเป้าบังคับภาคพื้นดินของภาพถ่าย (GCP)

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

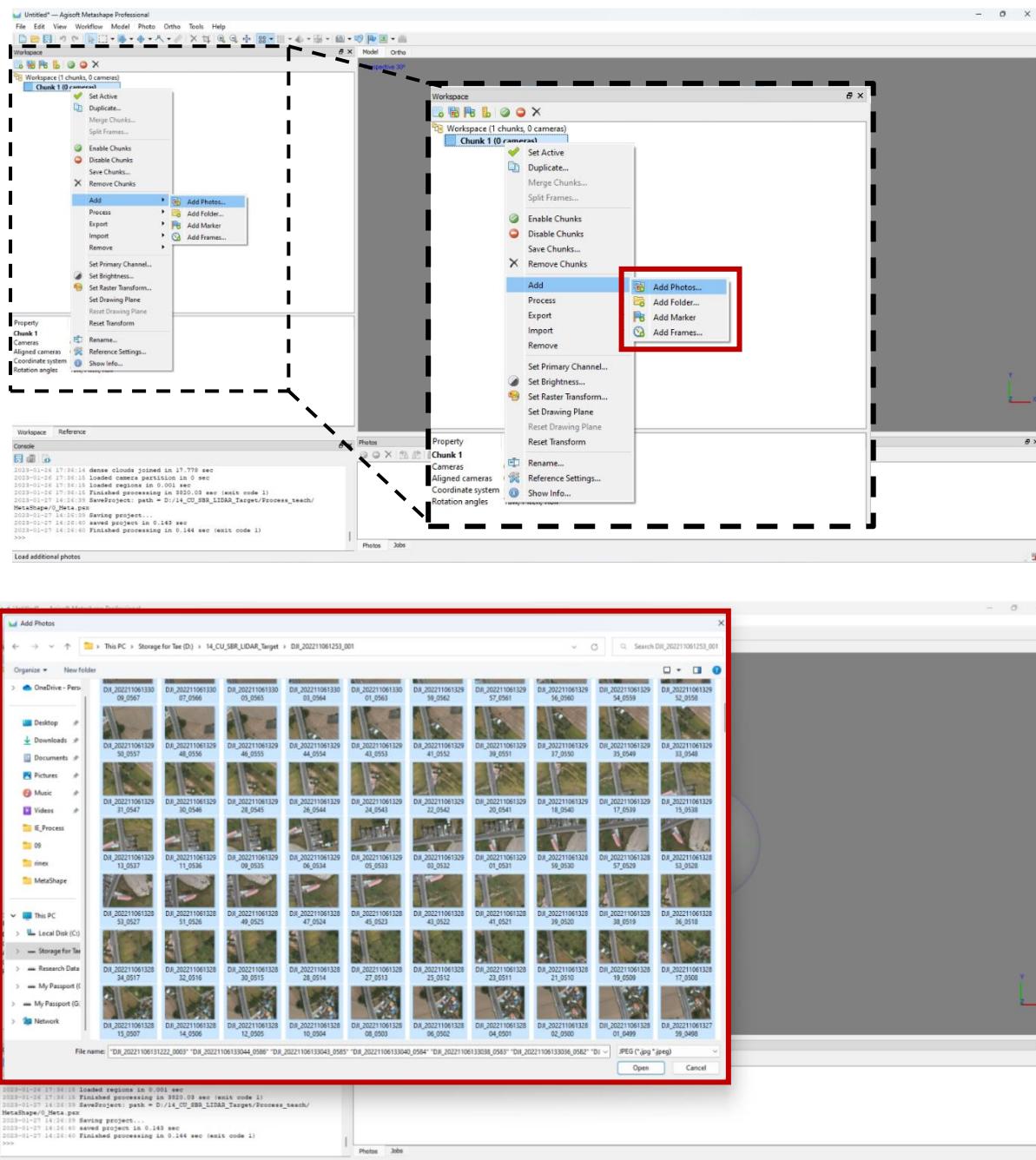
คู่มือการใช้งานโปรแกรม Agisoft Metashape

การสร้างโครงการใหม่ (New Project)

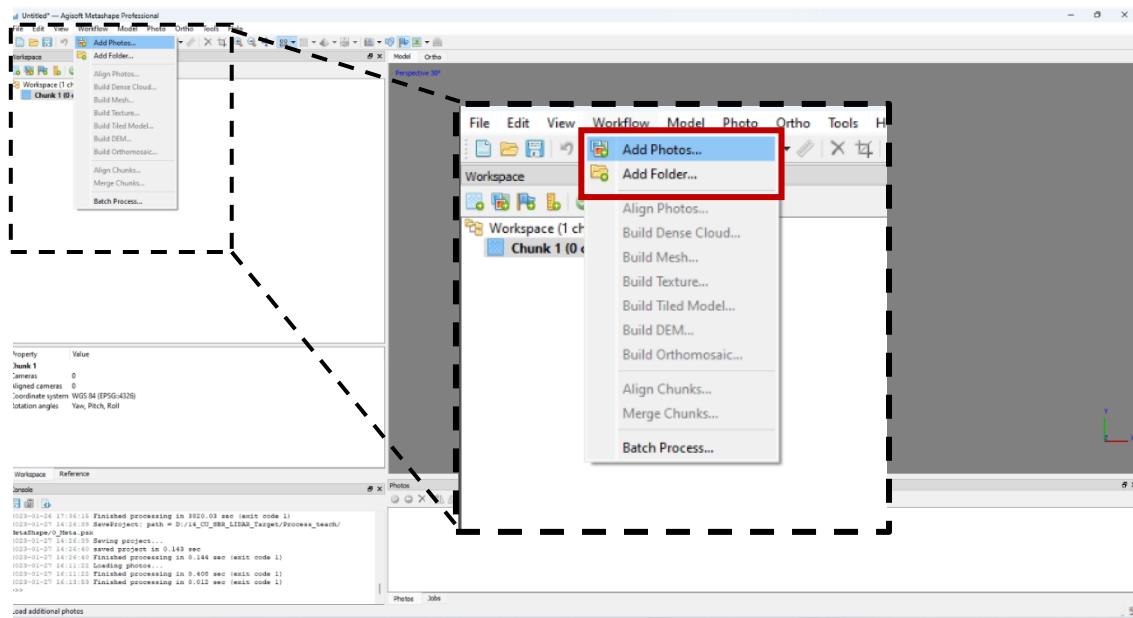
เปิดโปรแกรม Agisoft Metashape และคลิกไอคอนที่แสดงในกรอบสีเลือดหมู (Add Chunk) เพื่อเป็นการสร้างพื้นที่ทำงานไว้เก็บรวมภาพถ่าย โดยหนึ่งพื้นที่การทำงานสามารถสร้างได้หลาย Chunk ไม่จำเป็นจะต้องมีหนึ่ง Chunk เสมอไป โดยข้อมูลภาพถ่ายแต่ละ Chunk สามารถนำมาร่วมกันได้ ถ้ามีข้อมูลที่เหมือนกันหรือมีข้อมูลที่ค่าพิกัดใกล้เคียงกัน



หลังจากสร้าง Chunk เสร็จเรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนต่อไปคลิกขวาที่ Chunk แล้วกด Add Photo... เพื่อนำภาพถ่ายที่ต้องการจะประมวลผลมา添รีมไว้สำหรับประมวลผลในขั้นตอนต่อไป หรือนำเข้าข้อมูลในรูปแบบไฟล์เดอร์ได้ ถ้าหากจัดเตรียมในรูปแบบไฟล์เดอร์เอาไว้ คลิกเลือกคำสั่ง Add Folder...

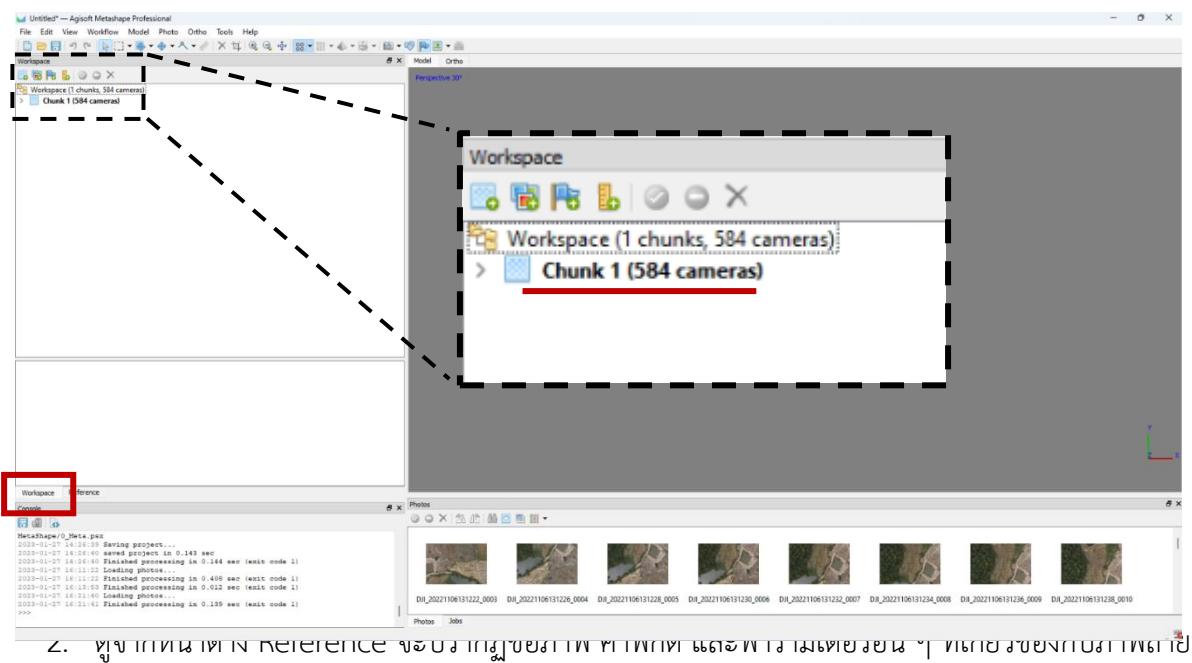


หรือจะกดเพิ่มภาพถ่ายจากแถบด้านบนที่ขึ้นว่า Workflow และเลือก Add Photos ก็เป็นการเพิ่มภาพถ่ายเข้ามาในโปรแกรมเช่นกัน

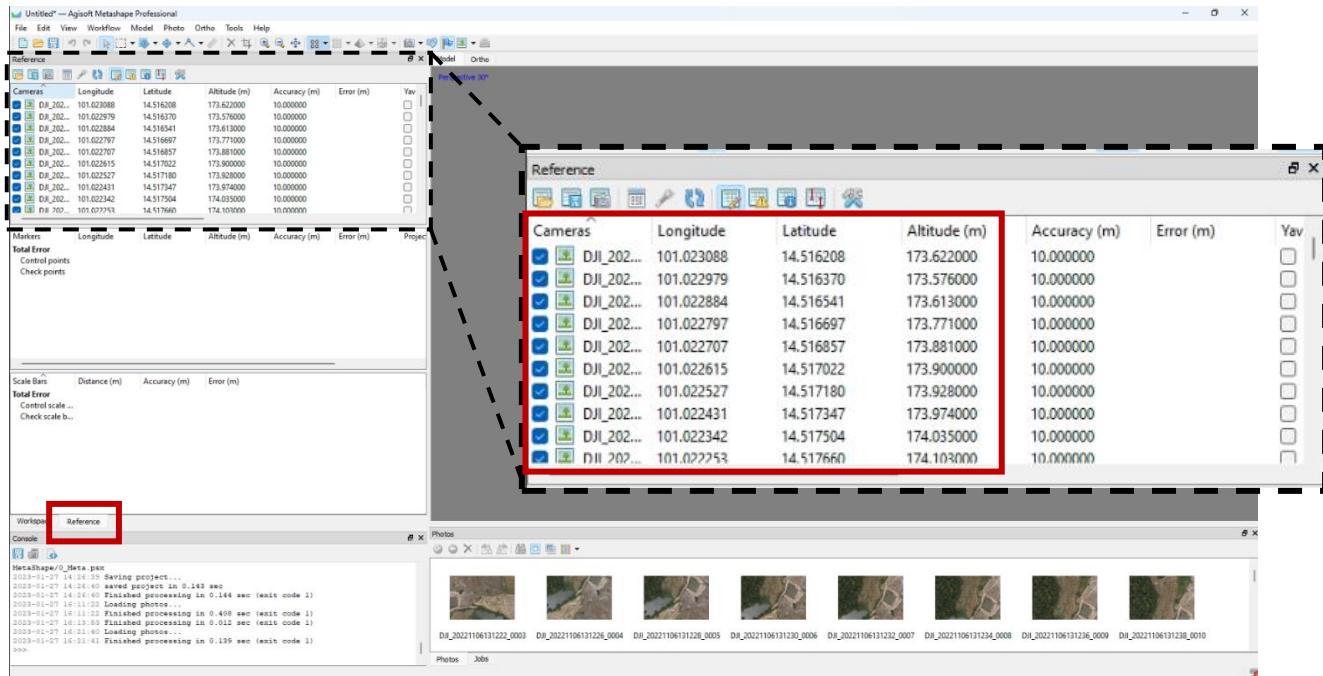


หลังจากนำเข้าภาพถ่ายแล้วสามารถตรวจสอบว่าได้ทำการเพิ่มภาพถ่ายเข้ามาในโปรแกรมได้สำเร็จผ่านการพิจารณาได้ 2 แบบด้วยกัน

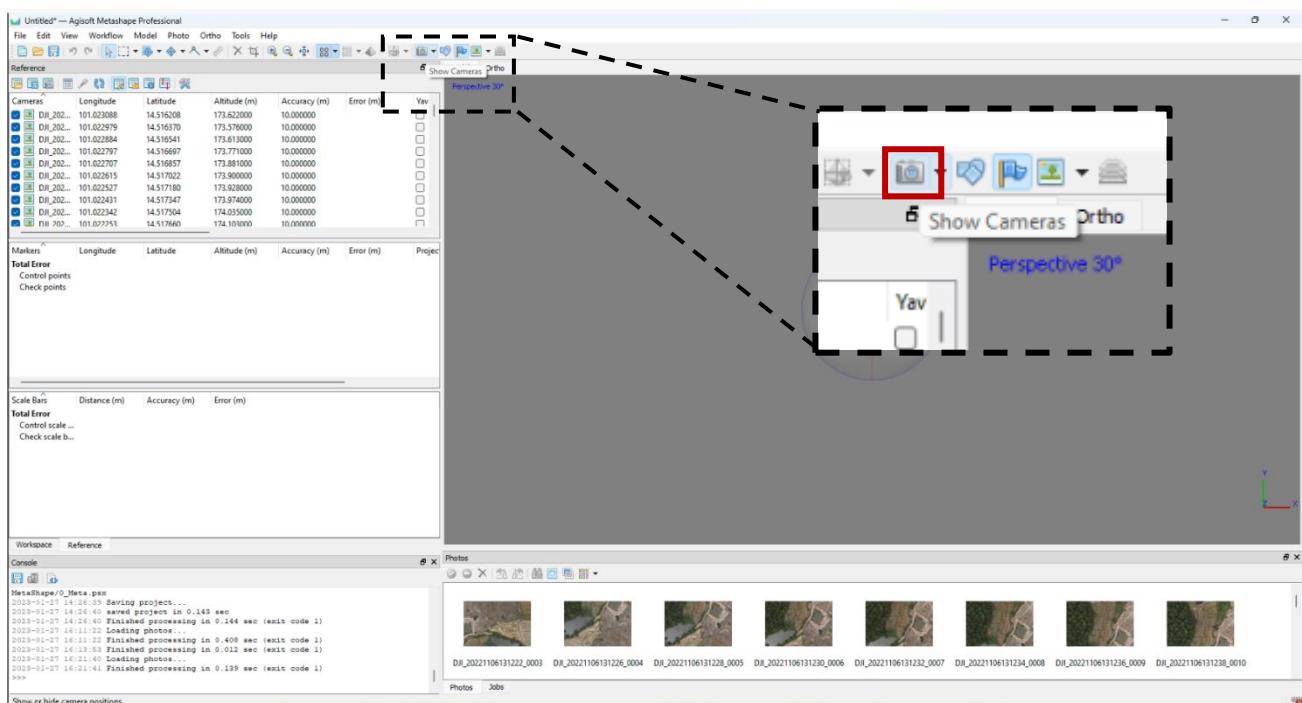
- คุ้งจากหน้าต่าง Workspace หากมีรูปภาพแล้วจะปรากฏจำนวนรูปขึ้นมาดังบริเวณเส้นสีเลือดหมู



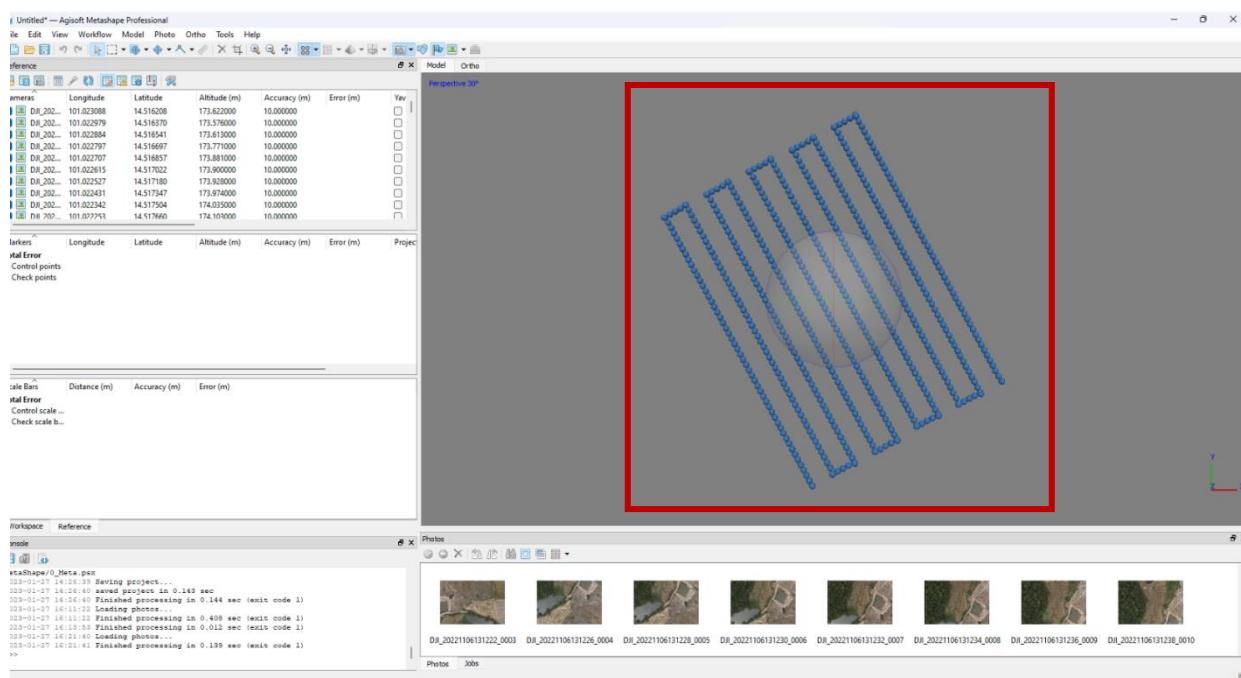
คู่มือการใช้งานโปรแกรม Agisoft Metashape



นอกจาจนันยังสามารถแสดงตำแหน่งของภาพถ่ายได้หากกดที่ไอคอน Show Cameras



คู่มือการใช้งานโปรแกรม Agisoft Metashape



คู่มือการใช้งานโปรแกรม Agisoft Metashape

การตั้งค่าระบบพิกัดและการแปลงค่าพิกัด (Reference Setting & Coordinate System)

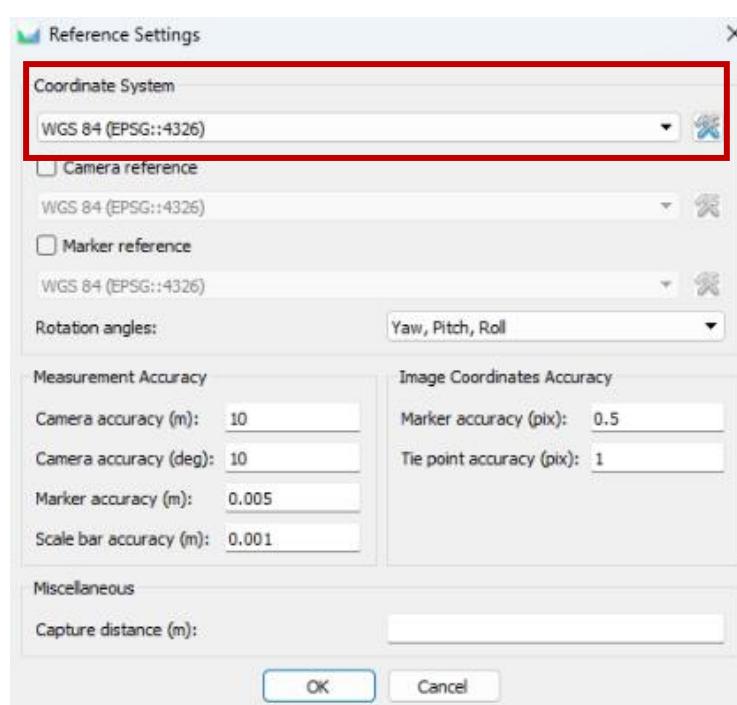
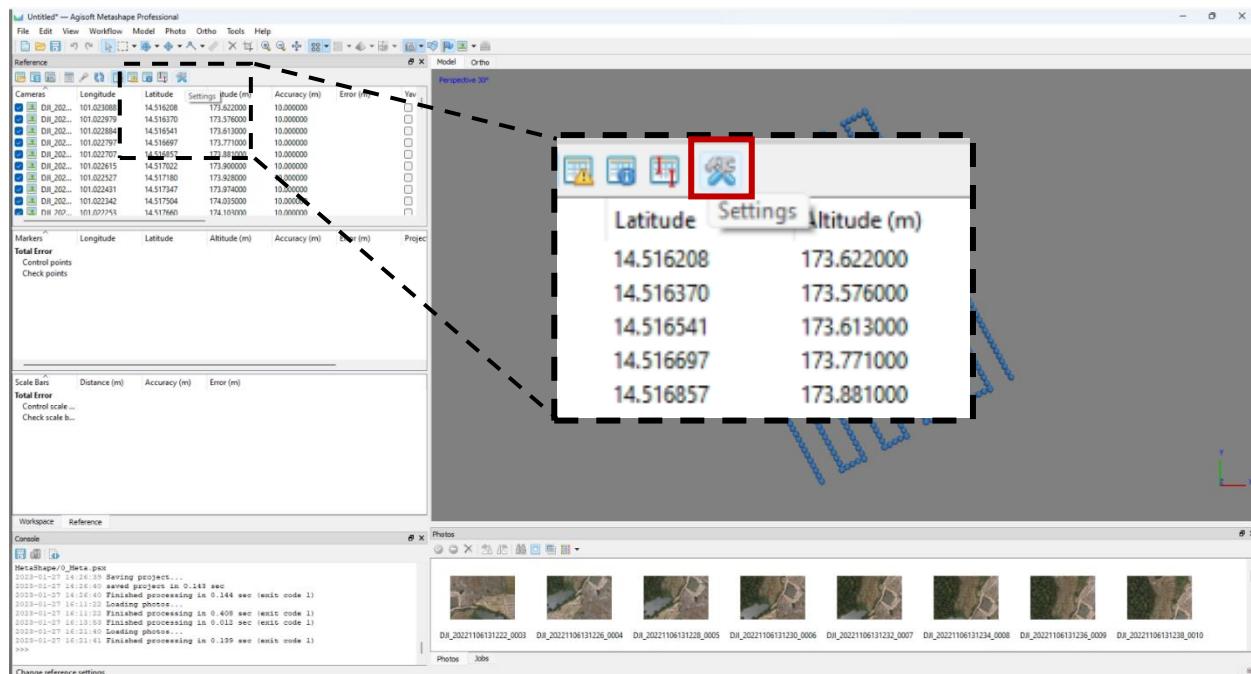
หลังจากนำเข้าภาพถ่ายเข้ามาในโปรแกรมแล้ว สิ่งที่ควรทำในขั้นตอนต่อไปคือ การตรวจสอบระบบพิกัดของภาพว่าอยู่ในระบบพิกัดใด ตรงกับค่าที่แสดงหรือไม่ ถ้าไม่ตรงต้องทำการตั้งค่าหรือแปลงให้ระบบพิกัดของโปรแกรมตรงกับระบบพิกัดภาพ สำหรับระบบพิกัดที่มักจะเจอในการประมวลผลข้อมูลภูมิประเทศในบริเวณพื้นที่ประเทศไทยแสดงดังตารางด้านล่าง

Name	Geographic CS	Vertical Reference	Map Projection
WGS 84	WGS 84 (EPSG: 4326)	Ellipsoid	Geographic
WGS 84 + GEOID	WGS 84 (EPSG: 4326)	Geoid Model	Geographic
WGS 84 / UTM Zone 47N	WGS 84 (EPSG: 32647)	Ellipsoid	Universal Transverse Mercator
WGS 84 / UTM Zone 47N + GEOID	WGS 84 (EPSG:32647)	Geoid	Universal Transverse Mercator
WGS 84 / UTM Zone 48N	WGS 84 (EPSG:32648)	Ellipsoid	Universal Transverse Mercator
WGS 84 / UTM Zone 48N + GEOID	WGS 84 (EPSG:32648)	Geoid	Universal Transverse Mercator

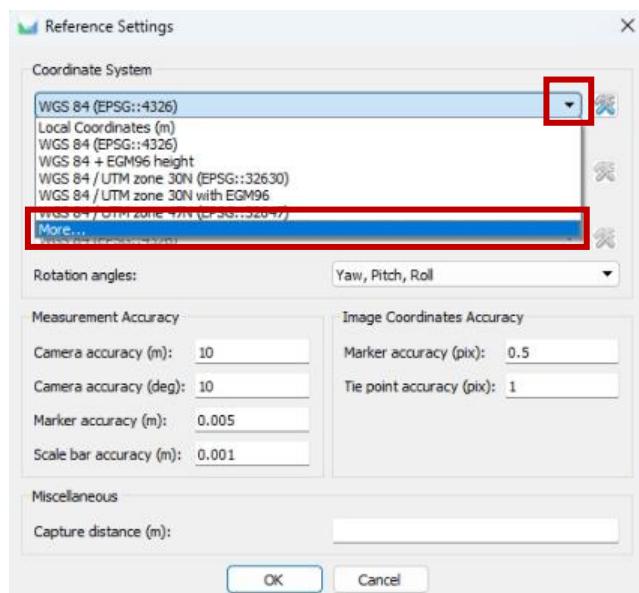
หมายเหตุ : สำหรับ Geoid Model ผู้ใช้สามารถเลือกกำหนดได้เอง โดยภายในโปรแกรมจะมีแบบจำลองพื้นดินยឈូយគ្រាល (Global geoid model) เช่น EGM2008, EGM96 เป็นต้น ให้ผู้ประมวลผลสามารถเลือกกำหนดได้ นอกจากนี้โปรแกรมยังอนุญาตให้ผู้ประมวลผลนำเข้าแบบจำลองพื้นผิวยឈូយគ្រាលตามที่ต้องการ ดังนั้นในการประมวลผลข้อมูลบางโครงการผู้ใช้สามารถนำเข้าแบบจำลองยឈូយគ្រាលของประเทศไทยที่เป็นแบบจำลองยឈូយគ្រាល (Local geoid model) เรียกว่า Thailand Geoid Model 2017 (TGM 2017) เพื่อใช้ในการประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายให้มีความถูกต้องได้ แบบจำลองยឈូយគ្រាលของประเทศไทยในรูปแบบ

ต่างๆ สามารถดาวน์โหลดได้จากบล็อกของ นายช่างประจำ เรียบร้อย <https://www.priabroy.name/download>

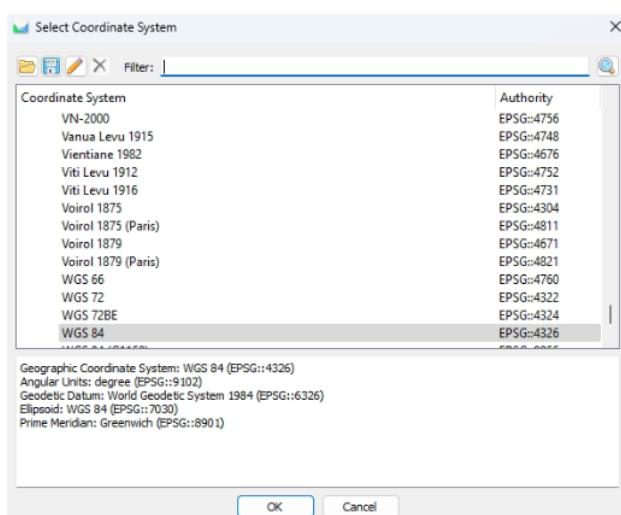
สำหรับข้อมูลที่ใช้ในการอธิบายคู่มือการใช้โปรแกรมฉบับนี้ ภาพถ่ายมีค่าพิกัดเป็นค่า Longitude, Latitude, Altitude (Ellipsoidal Height) หรือก็คือ WGS84 ดังนั้นทำการตรวจสอบผ่านการกดไอคอน Setting ซึ่งจะขึ้นหน้าต่าง Reference Settings ขึ้นมาดังภาพที่แสดงในหน้าต่อไป



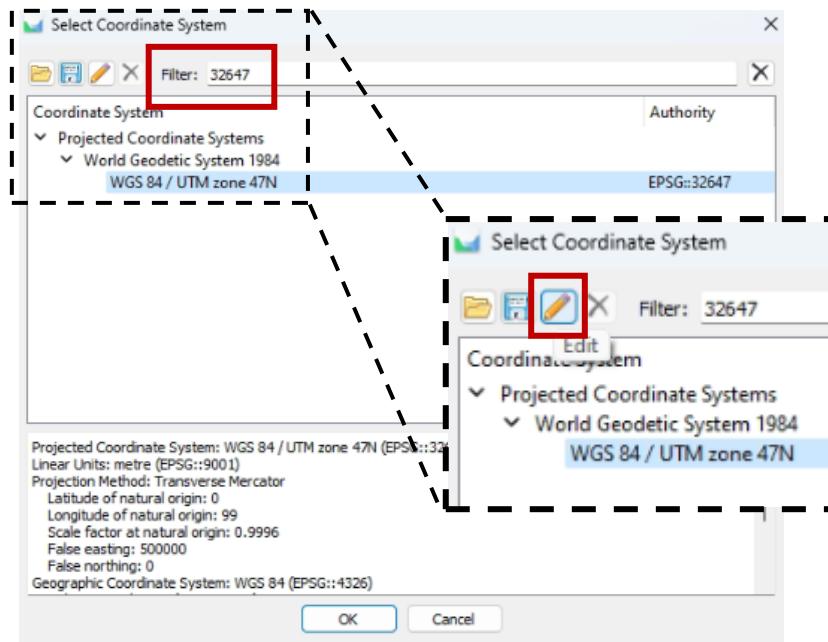
ทำการตรวจสอบระบบพิกัด สำหรับข้อมูลชุดนี้ระบบพิกัดถูกต้องแล้ว ในกรณีที่ไม่ถูกต้องผู้ใช้ต้องทำการตั้งค่าและกำหนดระบบพิกัดให้ถูกต้อง เนื่องจากหากไม่ได้กำหนดให้ระบบพิกัดมีความสอดคล้องกับข้อมูลค่าพิกัด ผลลัพธ์ที่ได้อาจจะมีความคลาดเคลื่อนและไม่สามารถนำไปใช้งานทางด้านวิศวกรรมได้ โดยผู้ประมวลผลสามารถทำได้โดยคลิกที่ไอคอนตามภาพที่แสดงด้านล่าง และตรวจสอบอีกรั้งว่าเคยได้ทำการตั้งระบบพิกัดที่ต้องการแล้วหรือยัง หากยังให้ทำการคลิกที่ More... แล้วทำการสร้างระบบพิกัดเพื่อใช้งานหรือเตรียมความพร้อมสำหรับขั้นตอนถัด ๆ ไป ในกรณีที่ต้องการแปลงระบบพิกัดจะกล่าวถึงในขั้นตอนถัดไป



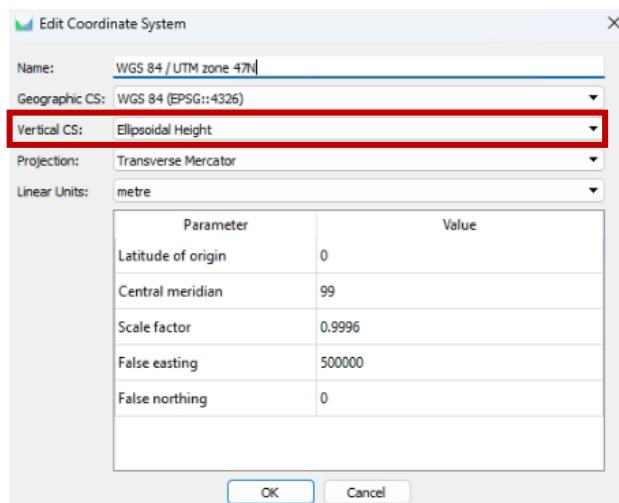
สำหรับในส่วนนี้จะจำลองการสร้างระบบพิกัด WGS 84/ UTM zone 47N + EGM2008 หลังจากคลิก More... และจะปรากฏหน้าต่างดังแสดงด้านล่าง

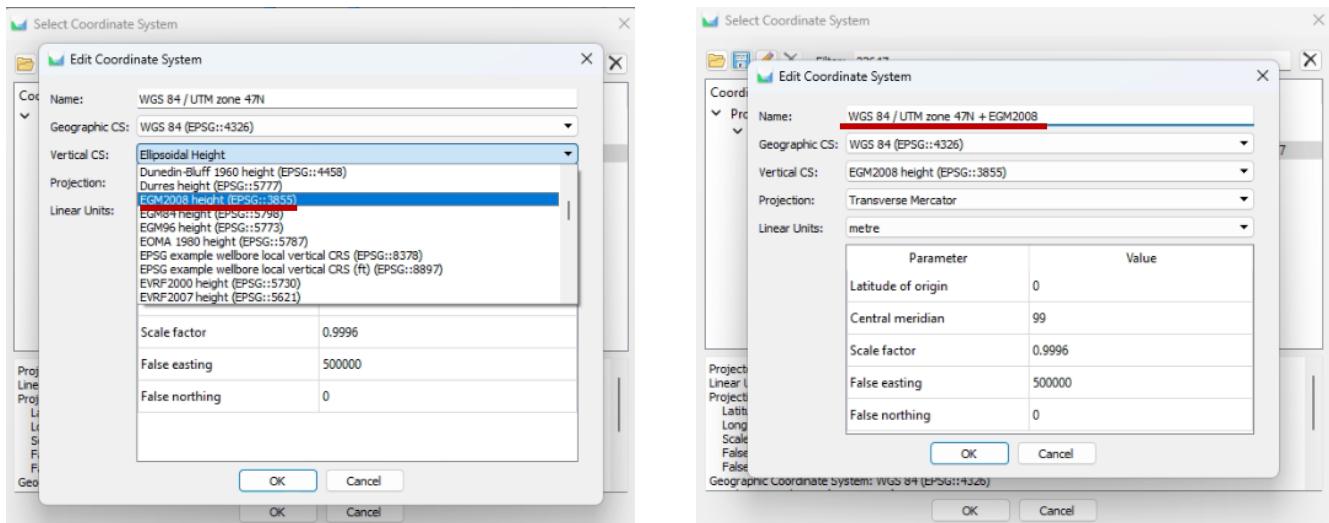


หากว่าระบบพิกัดที่ต้องการสร้างซื่ออะไร หรือมีรหัส EPSG อะไรสามารถพิมพ์ในช่อง Filter เพื่อทำให้สามารถค้นหาได้เร็วขึ้น สำหรับกรณีนี้ WGS 84/ UTM zone 47N มีรหัส EPSG คือ 32647 จึงได้ทำการกรอกลงไปในช่อง จากนั้นตรวจสอบรายละเอียดของระบบพิกัดที่ได้ทำการเลือก โดยการคลิกที่ไอคอน Edit

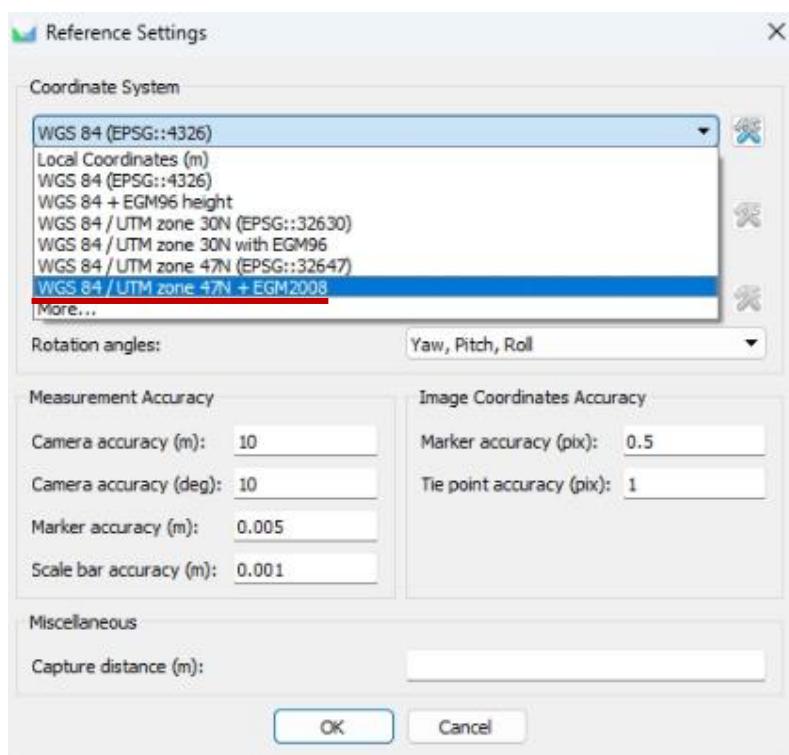


ตรวจสอบรายละเอียดพบว่าระบบพิกัดทางดิจังไม่ได้เป็น EGM2008 ให้ทำการเลือกระบบพิกัด โดยคลิกที่เครื่องหมายลงบริเวณบรรทัด Vertical CS แล้วทำการเลือกแบบจำลองที่ต้องการสำหรับกรณีเลือก EGM2008 แล้วตั้งชื่อระบบพิกัดที่ทำการสร้างโดยจะเขียนให้เป็นระบบและเป็นระบบที่ให้ความเข้าใจและการนำไปใช้งาน คือ WGS 84 / UTM zone 47 + EGM2008

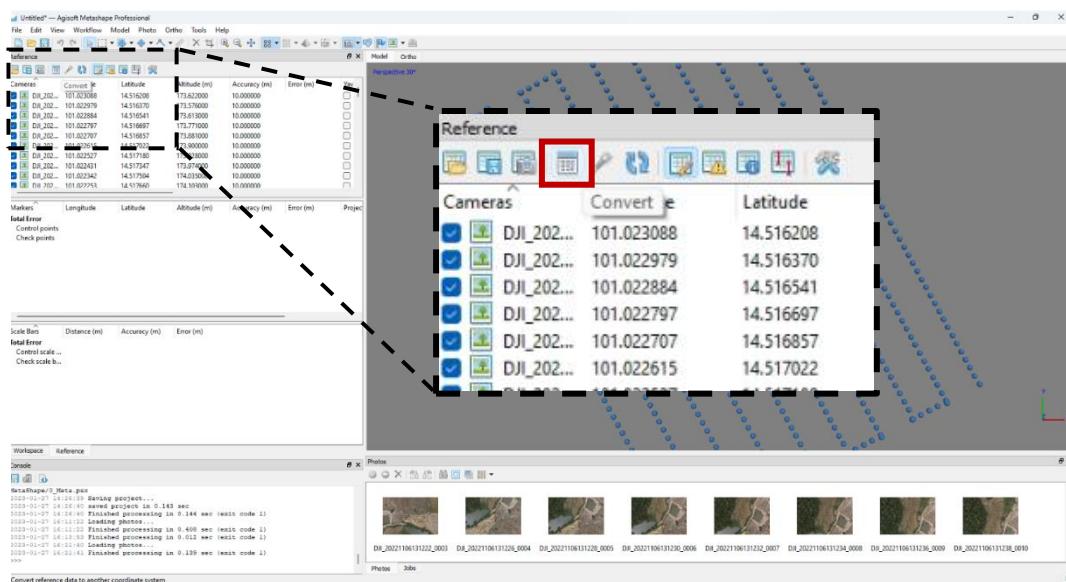




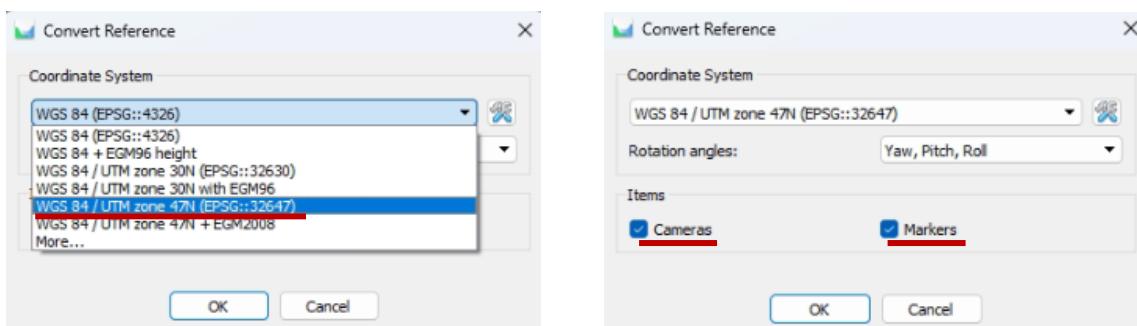
หลังจากกำหนดและตั้งค่าตัวแปรต่าง ๆ เสร็จแล้วให้ทำการตรวจสอบรายละเอียดอีกรอบ หากถูกต้องแล้วให้ทำการคลิกที่ปุ่ม OK เป็นอันเสร็จสิ้นการสร้างระบบพิกัด หลังจากนี้ระบบพิกัดที่เราสร้างขึ้นจะไปปรากฏในหน้าต่างระบบพิกัดและทำให้ผู้ใช้สามารถเลือกใช้งานได้



ขั้นตอนถัดไปคือ การแปลงค่าพิกัดให้ตรงกับค่าที่จะนำไปใช้ในงานทางด้านวิศวกรรม โดยที่ไปแล้ว จะนิยมแปลงค่าพิกัดให้อยู่ในระบบพิกัดจากยูทีเอ็ม (UTM) สำหรับคู่มือเล่มนี้จะทำการแปลงค่าพิกัด Longitude, Latitude, Altitude (Ellipsoidal Height) เป็นค่าพิกัด Easting, Northing, Altitude (Ellipsoidal Height) ซึ่งสามารถทำได้โดยการกดไอคอน Convert หลังจากนั้นจะมีหน้าต่าง Convert Reference ปรากฏขึ้นมาดังภาพที่แสดงด้านล่าง



จากนั้นทำการเลือกระบบพิกัดที่ต้องการแปลงในตัวอย่างนี้ต้องการแปลงค่าพิกัดทางราบจากค่าละติจูดและค่าลองจิจูดเป็นค่าทางตะวันออกและค่าทางเหนือ ดังนั้นจะไม่ได้เลือกในรูปแบบที่มี Geoid model เข้ามาเกี่ยวข้อง เมื่อทำการเลือกระบบพิกัดที่ต้องการแปลงแล้วโปรแกรมจะให้ผู้ใช้เลือกว่าจะแปลงระบบพิกัดของภาพถ่ายอย่างเดียว หรือข้อมูลจุดบังคับภาคพื้นดินอย่างเดียว หรือทำการแปลงระบบพิกัดทั้งสองอย่าง สำหรับในตัวอย่างนี้จะทำการแปลงระบบพิกัดของทั้งสองอย่าง เนื่องจากข้อมูลจุดบังคับภาคพื้นดินที่ได้จัดเตรียมไว้อยู่ในระบบพิกัดจากยูทีเอ็มเช่นกัน จากนั้นให้กดปุ่ม OK



หลังจากกดแล้วให้สังเกตข้อในแต่ละคอลัมน์ในแบบ Reference จะเห็นได้ว่าในส่วนของกล้อง (Camera) และจุดบังคับภาคพื้นดิน (ในโปรแกรม Agisoft Metashape จะแทนด้วย Markers)

Reference						
Cameras	Longitude	Latitude	Altitude (m)	Accuracy (m)	Error (m)	Yaw
DJI_202...	101.023088	14.516208	173.622000	10.000000		
DJI_202...	101.022979	14.516370	173.576000	10.000000		
DJI_202...	101.022884	14.516541	173.613000			
DJI_202...	101.022797	14.516697	173.771000			
DJI_202...	101.022707	14.516857	173.881000			
DJI_202...	101.022615	14.517022	173.900000			
DJI_202...	101.022527	14.517180	173.928000			
DJI_202...	101.022431	14.517347	173.974000			
DJI_202...	101.022342	14.517504	174.035000			
DJI_202...	101.022253	14.517660	174.103000	10.000000		

Reference						
Markers	Longitude	Latitude	Altitude (m)	Accuracy (m)	Error (m)	Projec
Total Error						
Control points						
Check points						

จากเดิมเป็นค่าพิกัด

Longitude, Latitude, Altitude (Ellipsoidal Height)

Reference						
Cameras	Easting (m)	Northing (m)	Altitude (m)	Accuracy (m)	Error (m)	Yaw
DJI_202...	718018.226304	1605782.667982	173.622000	10.000000		
DJI_202...	718006.355511	1605800.463843	173.576000	10.000000		
DJI_202...	717995.899260	1605819.292379	173.613000			
DJI_202...	717986.358062	1605836.509818	173.771000			
DJI_202...	717976.584945	1605854.107679	173.881000			
DJI_202...	717966.483902	1605872.250561	173.900000			
DJI_202...	717956.839132	1605889.650801	173.928000			
DJI_202...	717946.338627	1605908.066493	173.974000			
DJI_202...	717936.525709	1605925.355575	174.035000			
DJI_202...	717926.785946	1605942.578684	174.103000	10.000000		

Reference						
Markers	Easting (m)	Northing (m)	Altitude (m)	Accuracy (m)	Error (m)	Projec
Total Error						
Control points						
Check points						

เปลี่ยนเป็นค่าพิกัด

Easting, Northing, Altitude (Ellipsoidal Height)

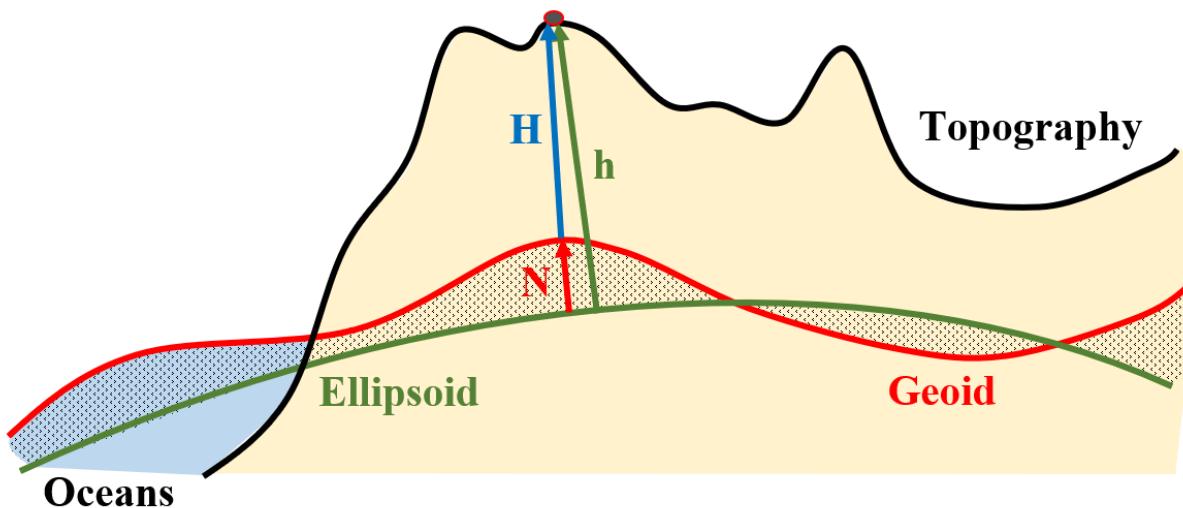
การแปลงระบบค่าพิกัดและค่าพิกัดเป็นสิ่งที่สำคัญสำหรับการประมวลผลข้อมูลเพื่อผลิตผลลัพธ์ไปใช้ในงานทางด้านวิศวกรรม สำหรับบางโครงการที่ต้องการแปลงค่าพิกัดทางดิ่งสามารถใช้ระบบพิกัดที่สร้างขึ้นก่อนหน้านี้ในการแปลงค่าพิกัดได้ โดยมักจะใช้กับงานที่ต้องการแปลงค่าทางดิ่งที่ร่วงค่าความสูงมาในรูปแบบความสูงเหนือผิวทรงรี (Ellipsoidal Height) เป็นค่าความสูงออร์โธเมตริก (Orthometric Height) ตามความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ของระบบทางดิ่งดังสมการในหน้าตัดไป

$$h = H + N$$

เมื่อ H คือ ความสูงเหนือระดับทะเลplain (Mean Sea Level) หรือความสูงอร์โตรเมติก (Orthometric Height)

h คือ ความสูงเหนือผิวทรงรี (Height Above Ellipsoid) หรือ Ellipsoidal Height

N คือ ความสูงยีอยด์ (Geoid Height, Geoid Undulation)

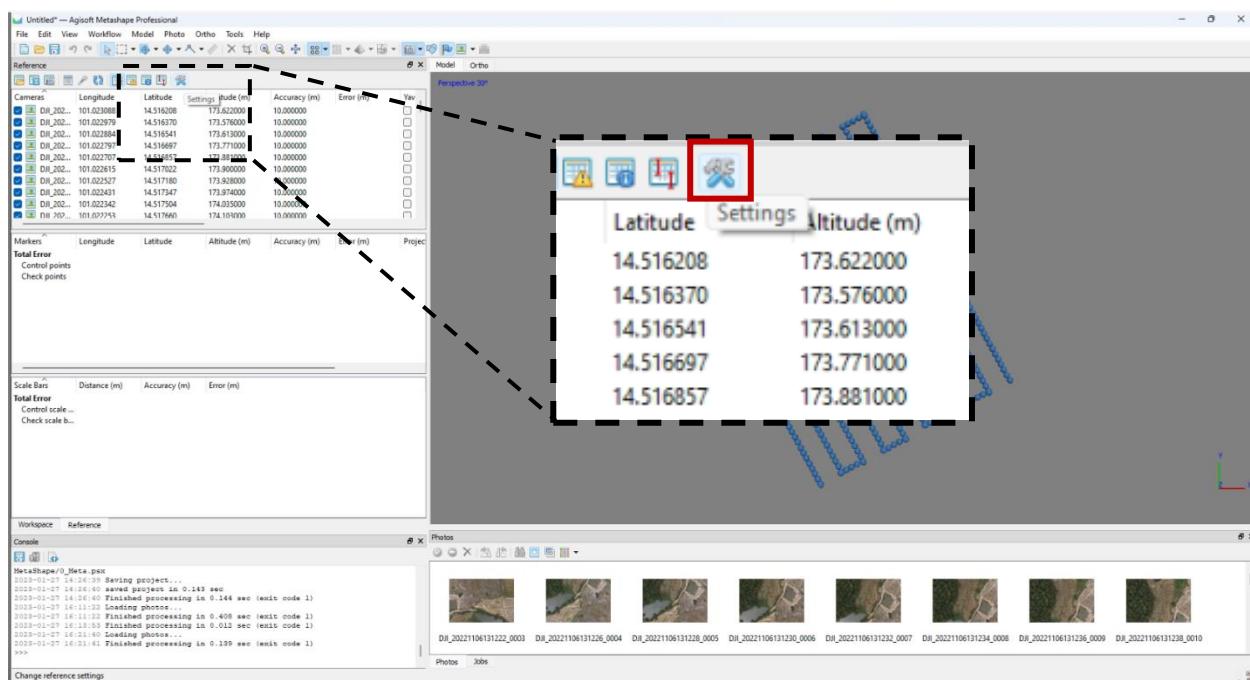


การกำหนดความถูกต้องให้กับภาพถ่าย (Camera accuracy)

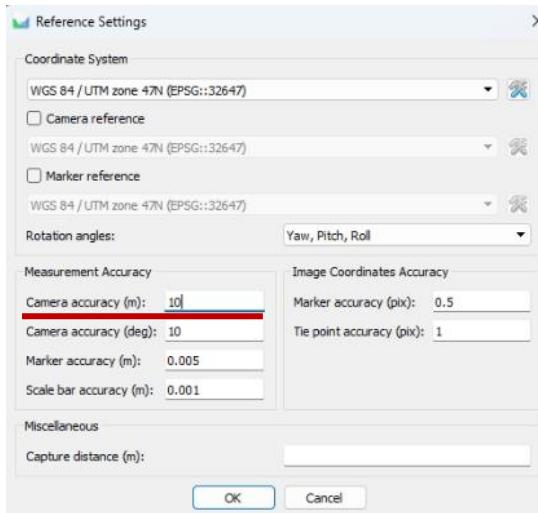
การกำหนดความถูกต้องให้กับภาพถ่ายที่ใช้ในการประมวลผลเป็นอีกหนึ่งสิ่งที่สำคัญสำหรับการประมวลผลภาพถ่าย เนื่องจากเป็นการกำหนดค่าทางสถิติให้กับข้อมูลภาพถ่ายที่ได้ทำบันทึกภาพมา ซึ่งค่าทางสถิติที่ใช้กำหนดความถูกต้องจะขึ้นอยู่กับกรรมวิธีการรังวัดเพื่อให้ได้มาซึ่งค่าพิกัดของภาพถ่าย สำหรับคู่มือเล่มนี้จะขอกล่าวถึงค่าตัวเลขที่ใช้กำหนดความถูกต้องให้กับภาพถ่าย 3 ประเภท ดังตารางที่แสดงด้านล่าง

รูปแบบการประมวลผล	ความแม่นยำทางราบ	ความแม่นยำทางดิ่ง
GNSS Coarse-Acquisition (C/A)	± 10 m	± 30 m
Differential Kinematic (Base + Rover) or PPK	± 5 cm	± 10 cm
Kinematic-Precise Point Positioning with SSR	± 2 cm	± 5 cm

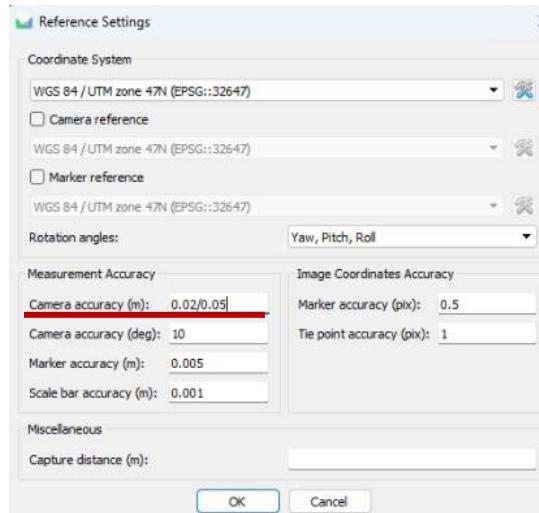
โดยผู้ประมวลผลสามารถกำหนดความถูกต้องได้โดยการคลิกที่ไอคอน Settings จากนั้นโปรแกรมจะปรากฏหน้าต่าง Reference Settings เพื่อให้ผู้ประมวลผลกรอกค่า Camera accuracy ให้กับภาพถ่าย โดยการกรอกในรูปแบบนี้จะเป็นการกรอกค่าที่จะส่งผลต่อทุกภาพถ่ายในการทำงานครั้งนี้ โดยโปรแกรมจะใช้สัญลักษณ์ / (slash) ในการแบ่งระหว่างการกำหนดความถูกต้องทางราบและการกำหนดความถูกต้องทางดิ่ง



Before

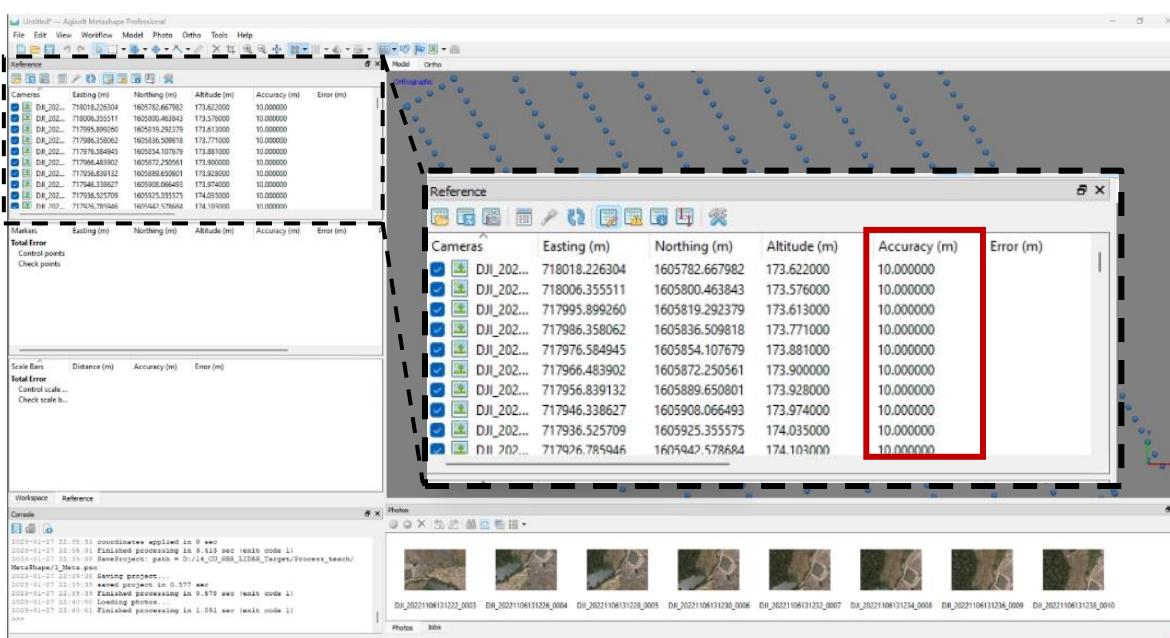


After



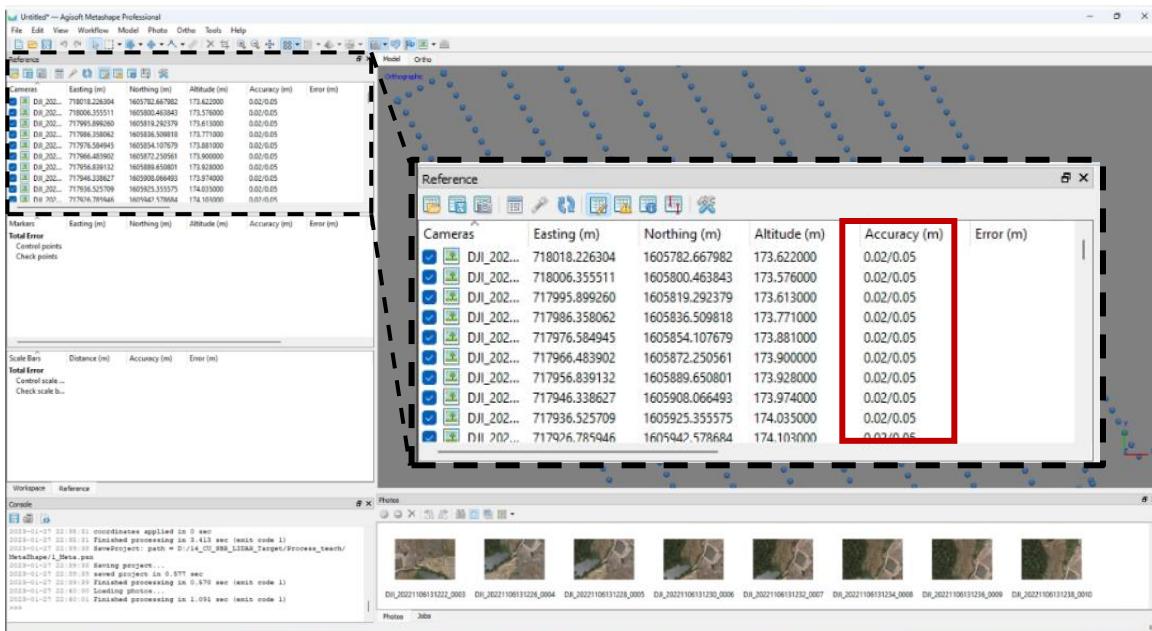
โดยในคู่มือเล่มนี้จะสาธิตการกำหนดค่าความถูกต้องทางระบ 2 เซนติเมตรและความถูกต้องทางทั้ง 5 เซนติเมตร ดังนั้นในการกรอกค่าตัวเลขจะทำการกรอก 0.02/0.05 เนื่องจากโปรแกรมให้กรอกค่าในหน่วย เมตร นอกจากค่าความถูกต้องของภาพถ่ายโปรแกรมยังอนุญาตให้ผู้ประมวลผลกำหนดค่าต่าง ๆ ได้ดังรูปภาพ ที่แสดง หากกรอกค่าเสร็จแล้ว ให้ทำการคลิกปุ่ม OK จากนั้นทำการสังเกตคอลัมน์ Accuracy ของภาพถ่ายจะพบว่า ความถูกต้องได้เปลี่ยนไปตามที่ได้กรอกไปในข้างต้น

ก่อนกำหนดค่าความถูกต้อง



คู่มือการใช้งานโปรแกรม Agisoft Metashape

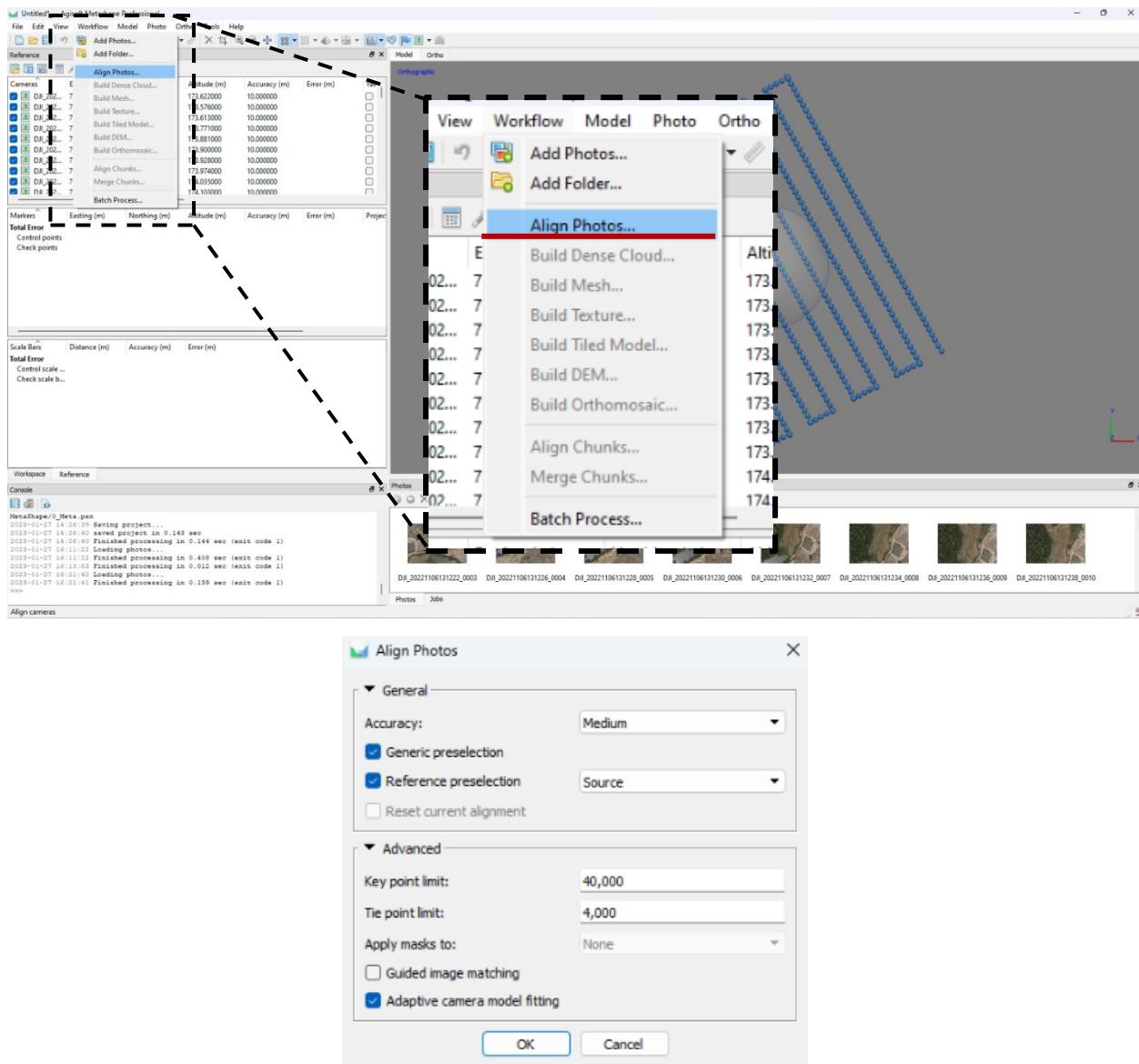
ຫລັງການດໍາເນີນຄວາມຖຸກຕ້ອງ



ຄູ່ມືການໃຊ້ຈຳນວດໂປຣແກຣມ Agisoft Metashape

การจัดเรียงภาพถ่าย (Align Photos)

เป็นขั้นตอนที่จะนำภาพถ่ายแต่ละภาพมาประมวลผลจัดเรียงภาพผ่านเทคนิคทางด้านการรับรู้เรื่องของเครื่อง (Computer Vision) การสร้างคิร์ปอยต์และมีการประมวลผลด้วยเทคนิค Structure from Motion (SfM) การจับคู่ภาพ เลือกเอาบางจุดของภาพที่สอดคล้องกัน หรือคือบริเวณที่ความซ้อนทับกัน 70% - 90% จุดภาพที่รังวัดได้อัตโนมัตินี้เรียกว่า tie-point ค่าพิกัดทั้งหมดนำมาสร้างความสัมพันธ์และประมวลผล Bundle Block Adjustment (BBA) พร้อมกันนี้จะมีการวิเคราะห์หาความคลาดเคลื่อนเลนส์ไปพร้อมกัน ผลที่ได้คือตำแหน่งและการวางตัวของกล้องถ่ายภาพแต่ละใบ โดยในขั้นตอนนี้อาจเรียกว่าเป็นการประมวลผลสร้าง Sparse Point Cloud ที่เป็นตัวแทนของภูมิประเทศอย่างหยาบๆ ซึ่งสามารถทำได้โดยการคลิกไปที่เมนู Workflow แบบด้านบนและคลิกเลือก Align Photos จะปรากฏหน้าต่างขึ้นมาเพื่อให้ทำการกำหนดพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องในการประมวลผลขั้นตอนนี้



คู่มือการใช้งานโปรแกรม Agisoft Metashape

การตั้งค่าในการจัดเรียงภาพถ่าย

จากหน้าต่างโปรแกรม Align Photos ที่ปรากฏขึ้นจะเห็นได้ว่าโปรแกรมให้ผู้ประมวลผลกำหนดพารามิเตอร์ได้หลายพารามิเตอร์ สำหรับคู่มือเล่นนี้จะขอใช้พารามิเตอร์ตามที่โปรแกรมตั้งค่าเริ่มต้นมาให้ และอธิบายเฉพาะตัวแปรที่สำคัญและมักจะต้องกำหนดในการประมวลผลในหลาย ๆ การทำงาน ได้แก่

หัวข้อ: Accuracy

การกำหนดพารามิเตอร์นี้จะเกี่ยวข้องกับความถูกต้องของตำแหน่งของกล้องถ่ายภาพที่ทำการประมวลผลได้ โดยจะแบ่งออกเป็น 5 ระดับในการย่อความละเอียดภาพถ่าย ได้แก่ ระดับ Lowest (1:16), ระดับ Low (1:8), ระดับ Medium (1:4), ระดับ High (1:2) และ ระดับ Highest (1:1) ซึ่งการเลือกระดับ Highest จะใช้เวลาประมวลผลภาพถ่ายนานที่สุด ในขณะที่การเลือกระดับ Lowest จะใช้เวลาประมวลผลภาพถ่ายที่น้อยที่สุด

หัวข้อ: Generic preselection

หากทำการเลือกเครื่องหมายถูกกับพารามิเตอร์นี้ จะเป็นการคำนวณพื้นที่ทับซ้อนกันของภาพที่ความละเอียดต่ำที่สุดที่สามารถนำภาพมาคัดเลือกจุดได้โดยไม่ต้องทราบค่าพิกัดของภาพถ่าย

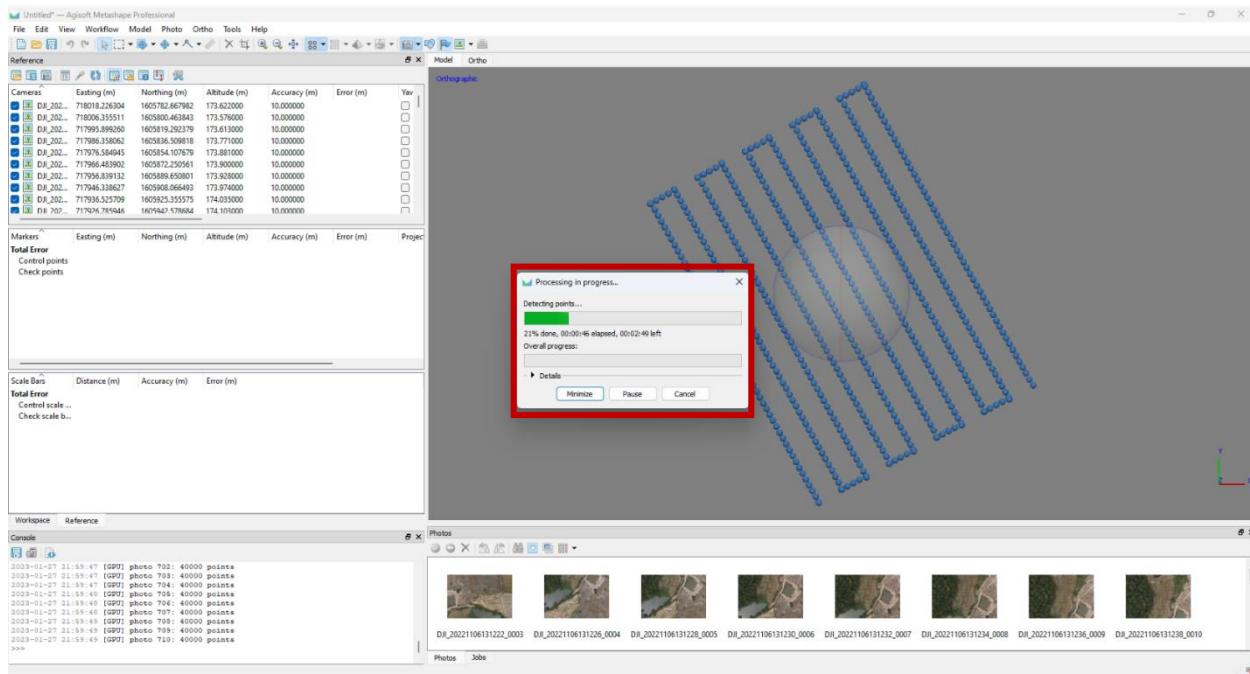
หัวข้อ: Reference preselection

หากทำการเลือกเครื่องหมายถูกกับพารามิเตอร์นี้ จะเป็นการคำนวณแบบมีค่าอ้างอิงสูงที่สุด โดยภาพนั้นต้องมีข้อมูลค่าพิกัด ซึ่งจะทำให้สามารถจัดเรียงภาพและคำนวณได้รวดเร็วขึ้น

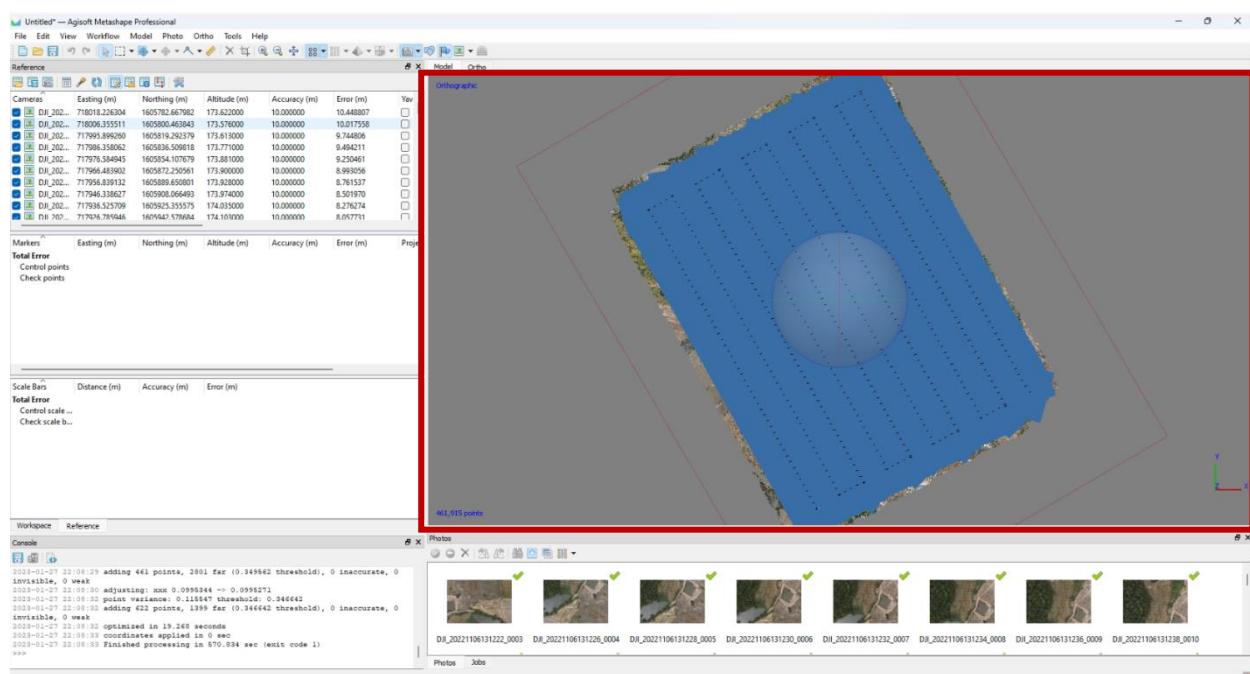
หัวข้อ: Advanced

- Key point limit คือ การกำหนดจำนวนจุดสูงสุดของจุดสนใจ หรือ Feature point ในทุก ๆ ภาพ
- Tie point limit คือ การกำหนดจำนวนจุดสูงสุดในการจับคู่สำหรับทุกภาพ โดยสามารถเรียกดูจุดสำคัญที่โปรแกรมจับคู่ให้ได้ สามารถอ่านเพิ่มเติมได้ที่ภาคผนวก จ) การจับคู่จุดสำคัญ (Key point matching) บนภาพถ่ายทางอากาศ

เมื่อกำหนดพารามิเตอร์ต่าง ๆ เสร็จเรียบร้อยแล้วคลิกปุ่ม OK โปรแกรมจะเริ่มทำการคำนวณและประมวลผลภาพถ่าย



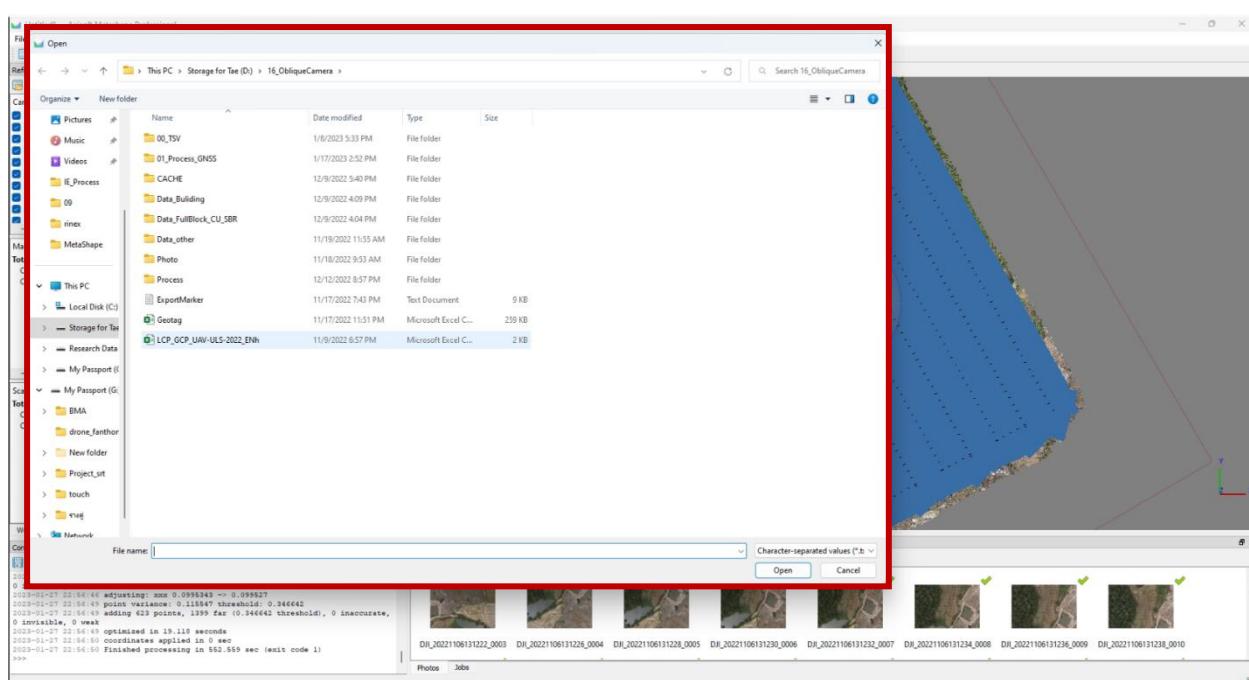
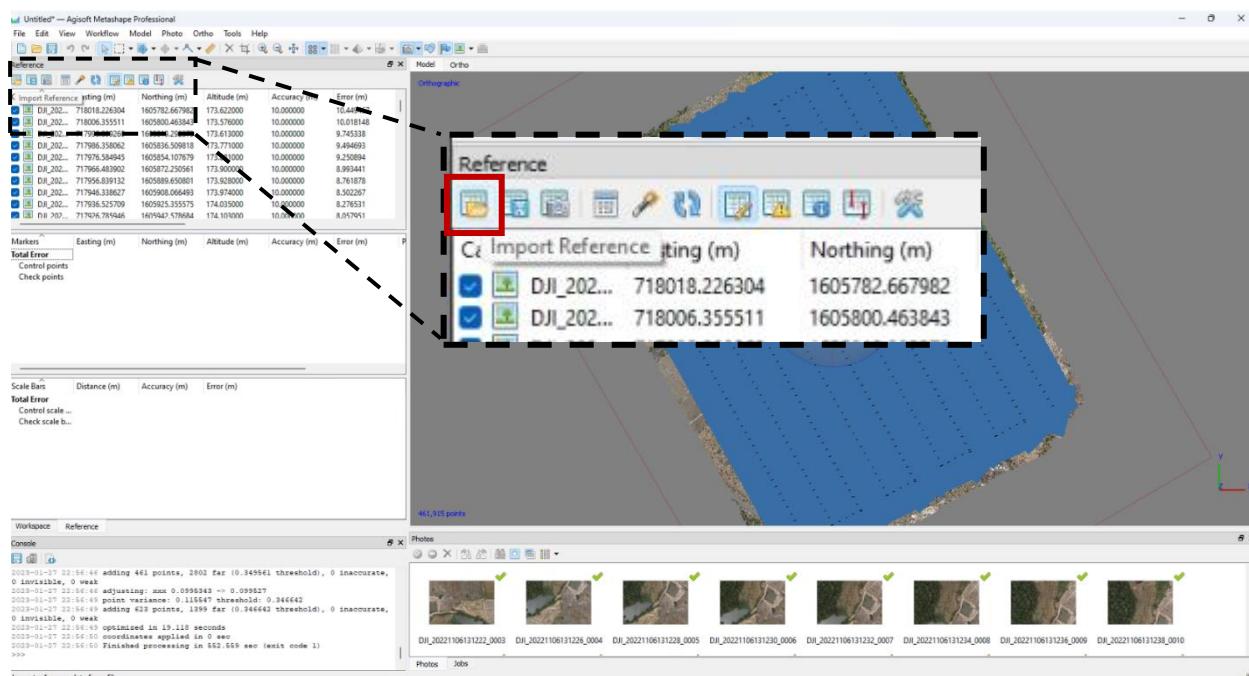
หลังจากประมวลผลจนเสร็จ หน้าต่างโปรแกรมจะปรากฏข้อมูลพอยต์คลาวด์และตำแหน่งของภาพถ่ายที่ได้จากการคำนวณ ตามรูปที่แสดงด้านล่าง



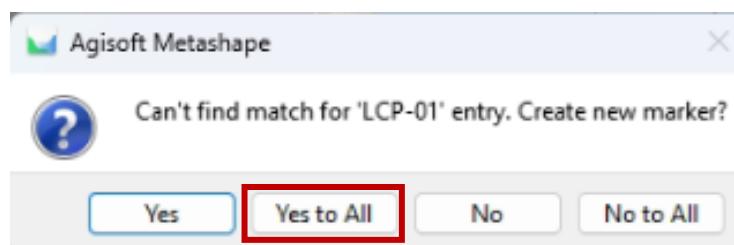
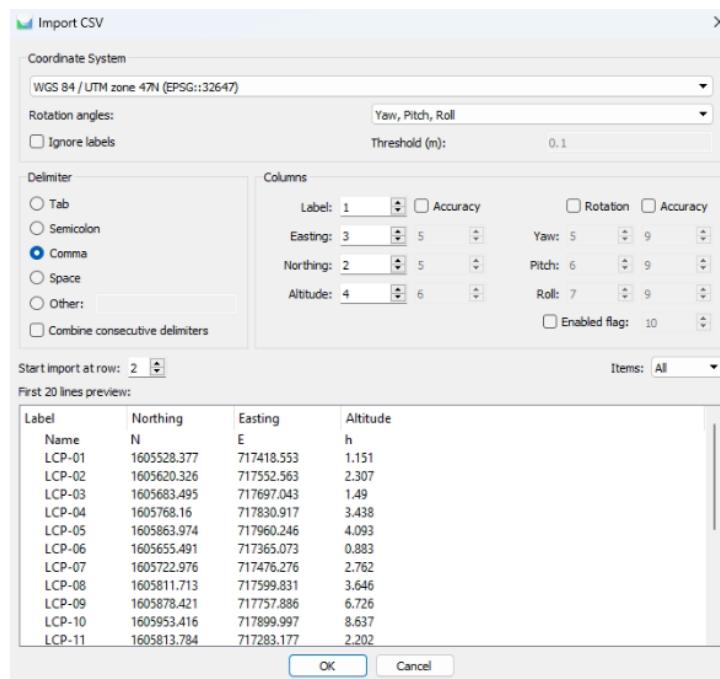
คู่มือการใช้งานโปรแกรม Agisoft Metashape

การนำเข้าจุด Markers หรือจุดบังคับภาคพื้นดิน (Import Ground Control Points)

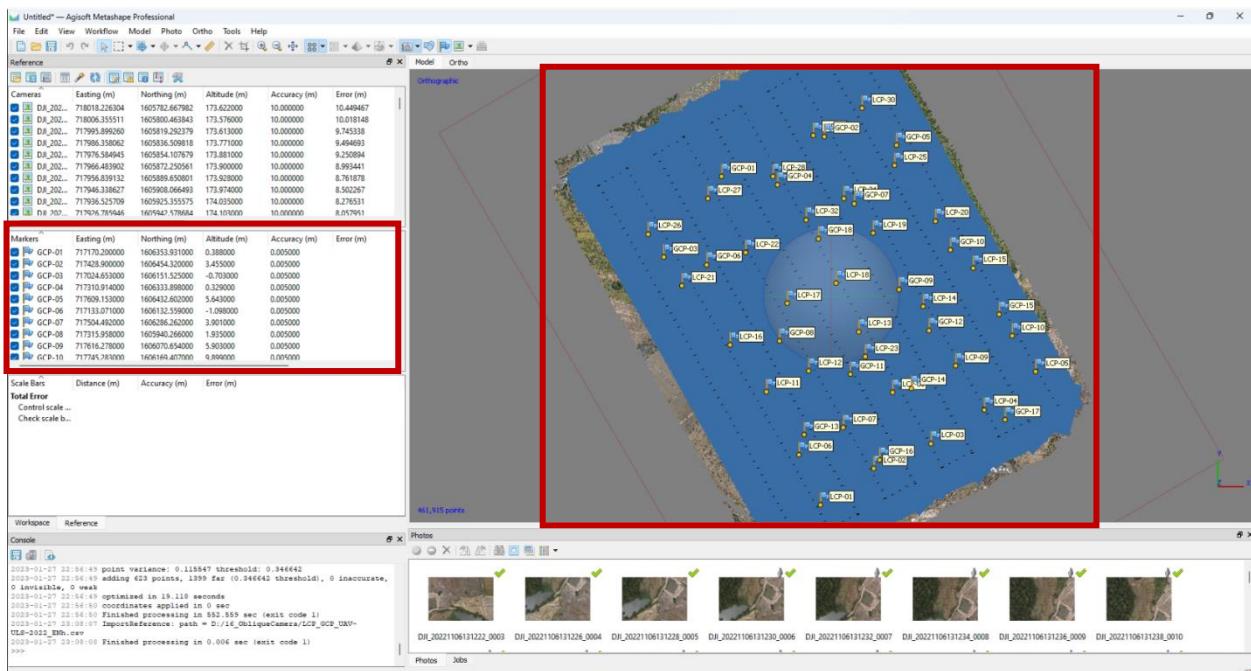
ขั้นตอนถัดมา คือ การนำเข้าจุดบังคับภาคพื้นดิน (Ground Control Points: GCPs) ที่ได้จากการไปรังวัดภาคสนาม โดยข้อมูลที่จะนำเข้าควรจัดให้อยู่ในรูปแบบของไฟล์ .csv ซึ่งวิธีการนำเข้าข้อมูลมีด้วยกันหลายวิธี โดยในเอกสารฉบับนี้จะนำเสนอวิธีการนำจุดเข้าโดยทำการเลือกไปที่ไอคอน Import Reference ซึ่งจะขึ้นหน้าต่างให้ผู้ใช้ได้เลือกไฟล์ข้อมูลจุดที่จะนำเข้า



หลังจากกดเลือกไฟล์ข้อมูลจุดแล้วโปรแกรมจะปรากฏหน้าต่างให้กำหนดรายละเอียดของข้อมูลจุดได้แก่ ระบบพิกัด รูปแบบของไฟล์ที่ใช้ในการนำเข้า รวมถึงการเลือกคอลัมน์ให้สอดคล้องกับข้อมูลจุดที่นำเข้า หากกำหนดเสร็จเรียบร้อยแล้วให้ทำการคลิกปุ่ม OK โปรแกรมจะแสดงหน้าต่างใหม่ขึ้นมาเพื่อถามผู้ใช้ว่าจะทำการเพิ่มชุดข้อมูลจุดใช่หรือไม่ ในกรณีที่โปรแกรมตรวจสอบว่าข้อมูลที่นำเข้าไม่สามารถจับคู่กับข้อมูลที่ประมวลผลได้ สำหรับหน้าต่างนี้ให้ทำการกดปุ่ม Yes to All เพื่อเป็นการนำเข้าข้อมูลทุกจุดที่ผู้ใช้ได้เพิ่มเข้ามา



จากนั้นทำการตรวจสอบว่าจุดข้อมูลเข้ามาในโปรแกรมแล้วหรือไม่ โดยสามารถดูได้จากการบริเวณแถบ Reference ในส่วนของ Marker จะปรากฏชื่อจุดและค่าพิกัดที่นำเข้ามา หรือสามารถดูได้จากการบริเวณแถบที่ใช้แสดงการประมวลผลทางด้านขวาเมื่อจะปรากฏสัญลักษณ์รูปทรงสี่เหลี่ยมขึ้นมา โดยสัญลักษณ์รูปทรงที่ปรากฏภายใต้ในโปรแกรมคือ ตำแหน่งของจุดบังคับภาพถ่ายภาคพื้นดิน



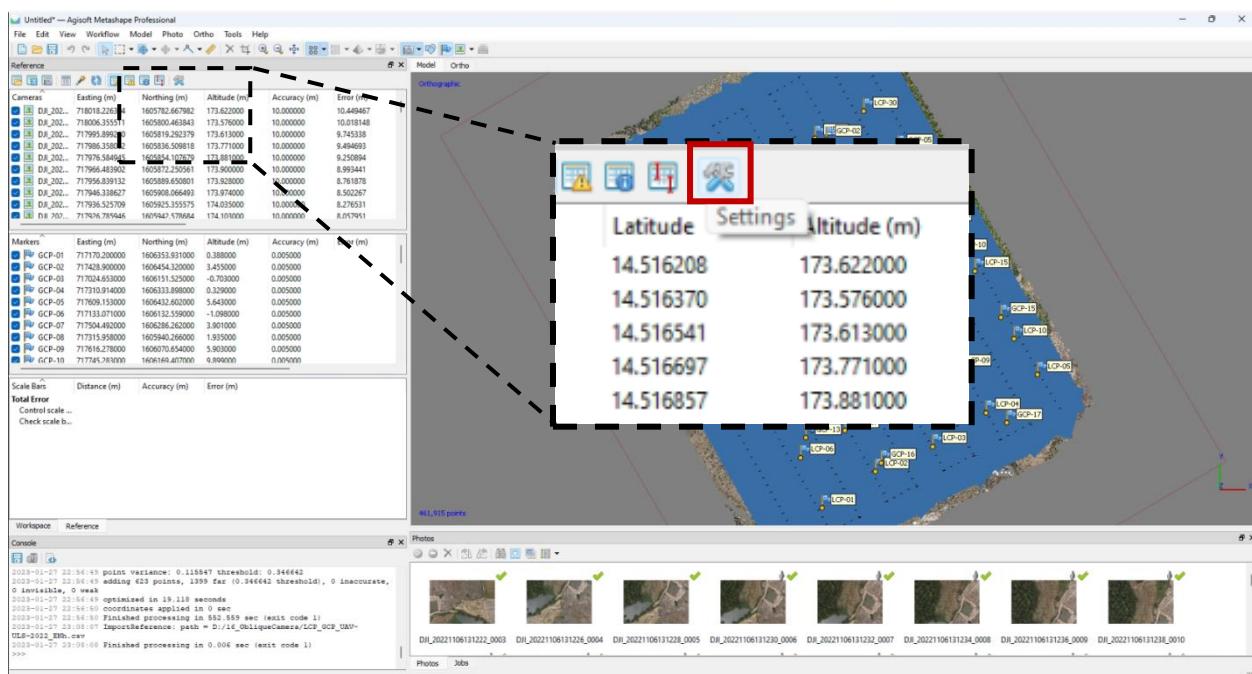
คู่มือการใช้งานโปรแกรม Agisoft Metashape

การกำหนดความถูกต้องให้กับจุดบังคับภาคพื้นดิน (Marker accuracy)

การกำหนดความถูกต้องให้กับจุดบังคับภาคพื้นดินที่ใช้ในการประมาณผลเป็นอีกหนึ่งสิ่งที่ต้องทำใน การประมาณผลภาพถ่าย เนื่องจากเป็นการกำหนดค่าทางสถิติให้กับจุดบังคับภาคพื้นดินที่ได้ทำการรังวัดมา ซึ่ง ค่าทางสถิติที่ใช้กำหนดความถูกต้องจะขึ้นอยู่กับกรรมวิธีการรังวัดเพื่อให้ได้มาซึ่งค่าพิกัดของภาพถ่าย สำหรับ การทำงานทางด้านวิศวกรรมในปัจจุบันนิยมรังวัดค่าพิกัดมาด้วยวิธีการรังวัดแบบลอนในทันที (Real Time Kinematic : RTK) หากรังวัดข้อมูลมาด้วยความไม่ถูกต้องและตรงตามมาตรฐานของวิธีการรังวัดค่าพิกัด ค่า ทางสถิติของความแม่นยำทางราบและทางดิ่งจะมีค่าต่างตารางด้านล่าง

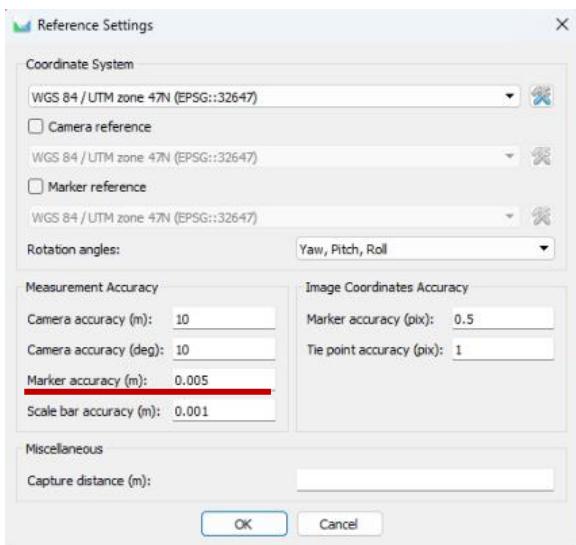
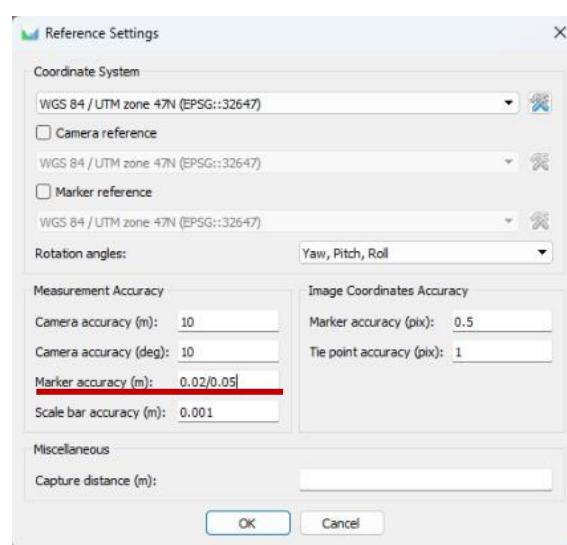
รูปแบบการประมาณ	ความแม่นยำทางราบ	ความแม่นยำทางดิ่ง
Real Time Kinematic (RTK)	± 2 cm	± 5 cm

โดยผู้ประมาณผลสามารถกำหนดความถูกต้องได้โดยการคลิกที่ไอคอน Settings จากนั้นโปรแกรมจะ ปรากฏหน้าต่าง Reference Settings เพื่อให้ผู้ประมาณผลได้กรอกค่า Marker accuracy ให้กับจุดบังคับภาค พื้นดิน โดยการกรอกในรูปแบบนี้จะเป็นการกรอกค่าที่จะส่งผลต่อทุกจุดภายในการทำงานครั้งนี้ โดยโปรแกรม จะใช้สัญลักษณ์ / (slash) ในการแบ่งระหว่างการกำหนดความถูกต้องทางราบและการกำหนดความถูกต้อง ทางดิ่ง



คู่มือการใช้งานโปรแกรม Agisoft Metashape

โดยในคู่มือเล่มนี้จะสาธิตการกำหนดค่าความถูกต้องทางระบบทั้ง 2 เชนติเมตรและความถูกต้องทางดิจิทัล 5 เชนติเมตร ดังนั้นในการกรอกค่าตัวเลขจะทำการกรอก 0.02/0.05 เนื่องจากโปรแกรมให้กรอกค่าในหน่วยเมตร นอกจากค่าความถูกต้องของภาพถ่ายโปรแกรมยังอนุญาตให้ผู้ประมวลผลกำหนดค่าต่าง ๆ ได้ดังรูปภาพที่แสดง หากกรอกค่าเสร็จแล้ว ให้ทำการปุ่ม OK จากนั้นทำการสังเกตคอลัมน์ Accuracy ของภาพถ่ายจะพบว่า ความถูกต้องได้เปลี่ยนไปตามที่ได้กรอกไปในข้างต้น

Before

After


ก่อนกำหนดความถูกต้อง

Markers	Easting (m)	Northing (m)	Altitude (m)	Accuracy (m)	Error (m)
GCP-01	717170.200000	1606353.931000	0.388000	0.005000	
GCP-02	717428.900000	1606454.320000	3.455000	0.005000	
GCP-03	717024.653000	1606151.525000	-0.703000	0.005000	
GCP-04	717310.914000	1606333.898000	0.329000	0.005000	
GCP-05	717609.153000	1606432.602000	5.643000	0.005000	
GCP-06	717133.071000	1606132.559000	-1.098000	0.005000	
GCP-07	717504.492000	1606286.262000	3.901000	0.005000	
GCP-08	717315.958000	1605940.266000	1.935000	0.005000	
GCP-09	717616.278000	1606070.654000	5.903000	0.005000	
GCP-10	717745.783000	1606169.407000	9.899000	0.005000	

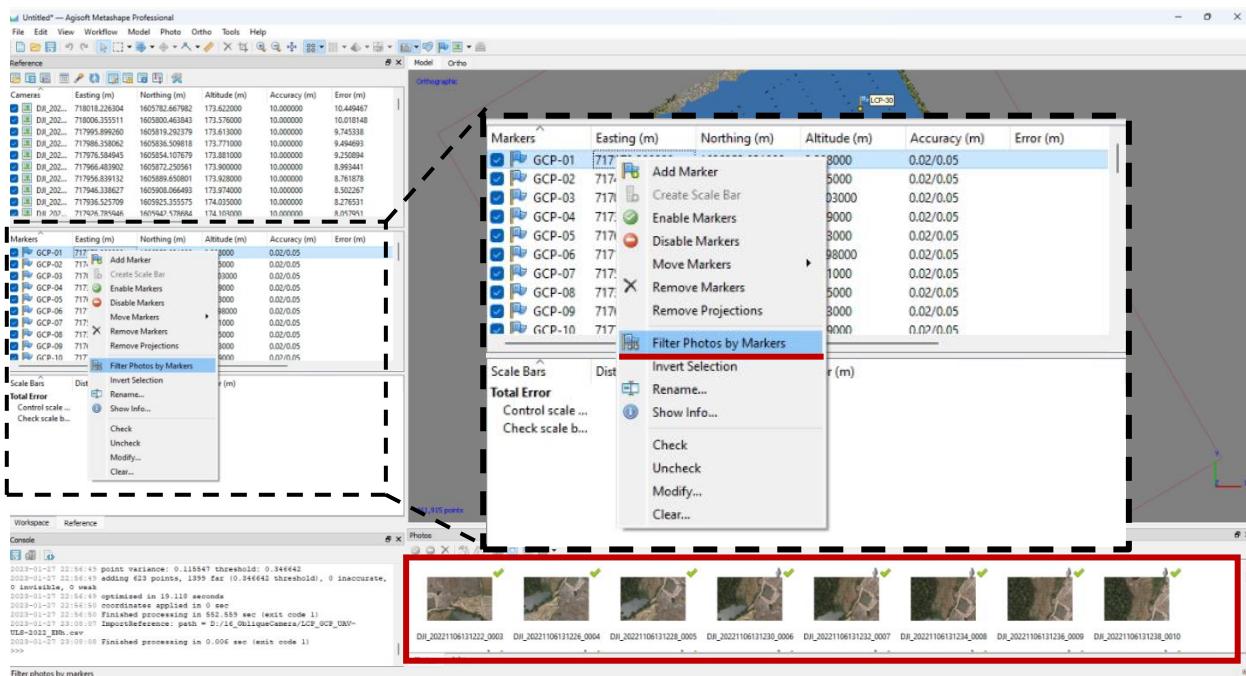
หลังกำหนดความถูกต้อง

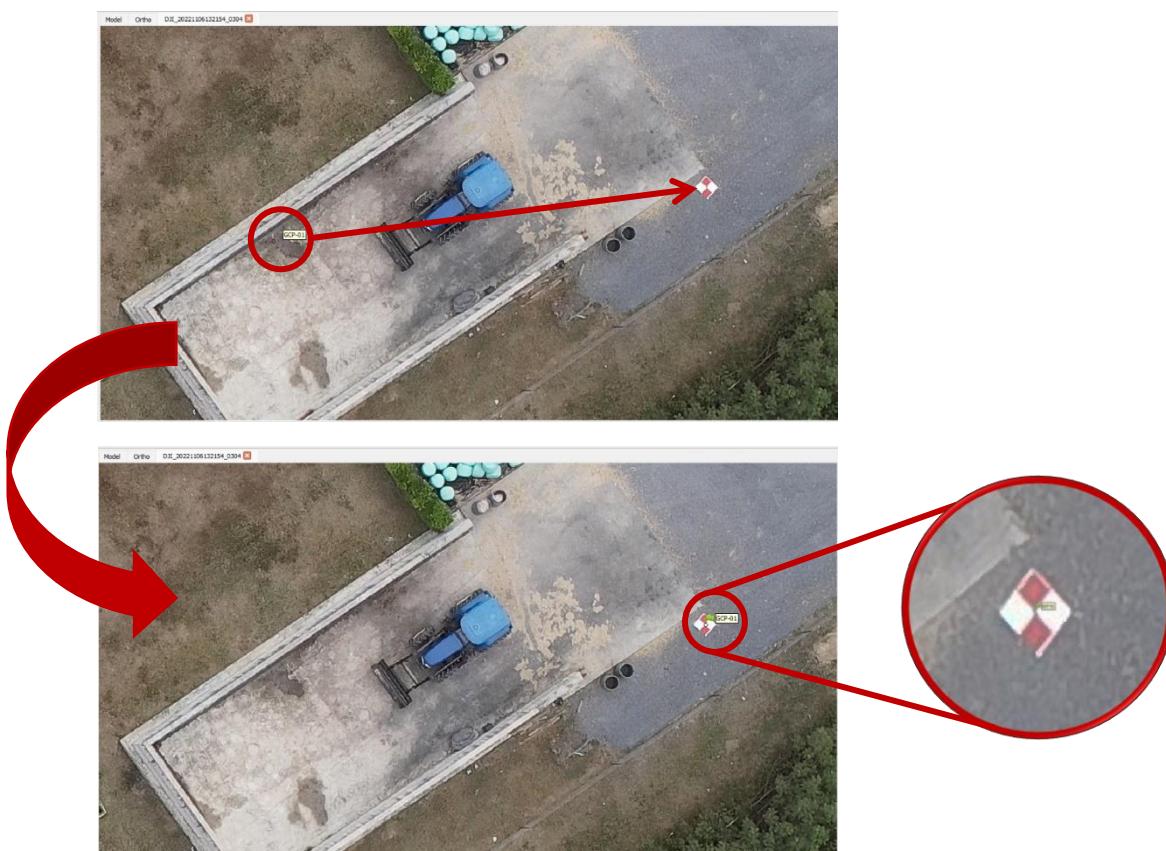
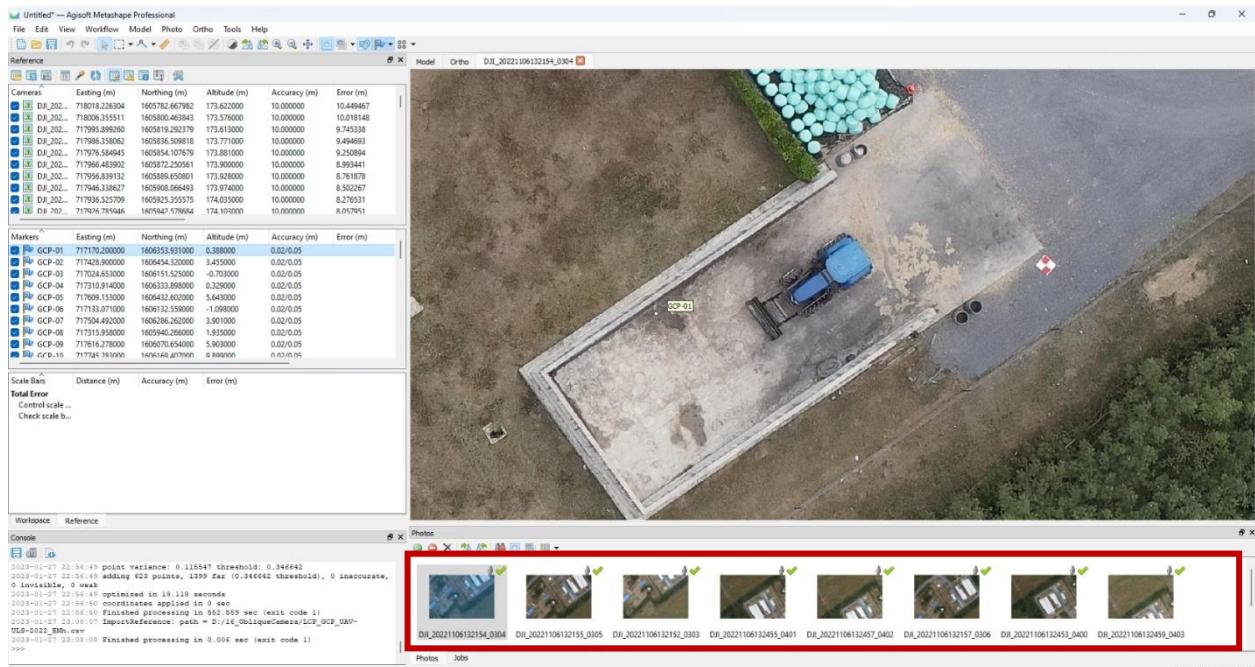
Markers	Easting (m)	Northing (m)	Altitude (m)	Accuracy (m)	Error (m)
GCP-01	717170.200000	1606353.931000	0.388000	0.02/0.05	
GCP-02	717428.900000	1606454.320000	3.455000	0.02/0.05	
GCP-03	717024.653000	1606151.525000	-0.703000	0.02/0.05	
GCP-04	717310.914000	1606333.898000	0.329000	0.02/0.05	
GCP-05	717609.153000	1606432.602000	5.643000	0.02/0.05	
GCP-06	717133.071000	1606132.559000	-1.098000	0.02/0.05	
GCP-07	717504.492000	1606286.262000	3.901000	0.02/0.05	
GCP-08	717315.958000	1605940.266000	1.935000	0.02/0.05	
GCP-09	717616.278000	1606070.654000	5.903000	0.02/0.05	
GCP-10	717745.783000	1606169.407000	9.899000	0.02/0.05	

คู่มือการใช้งานโปรแกรม Agisoft Metashape

การปรับให้จุดบังคับภาคพื้นดินตรงกับตำแหน่งบนภาพถ่าย

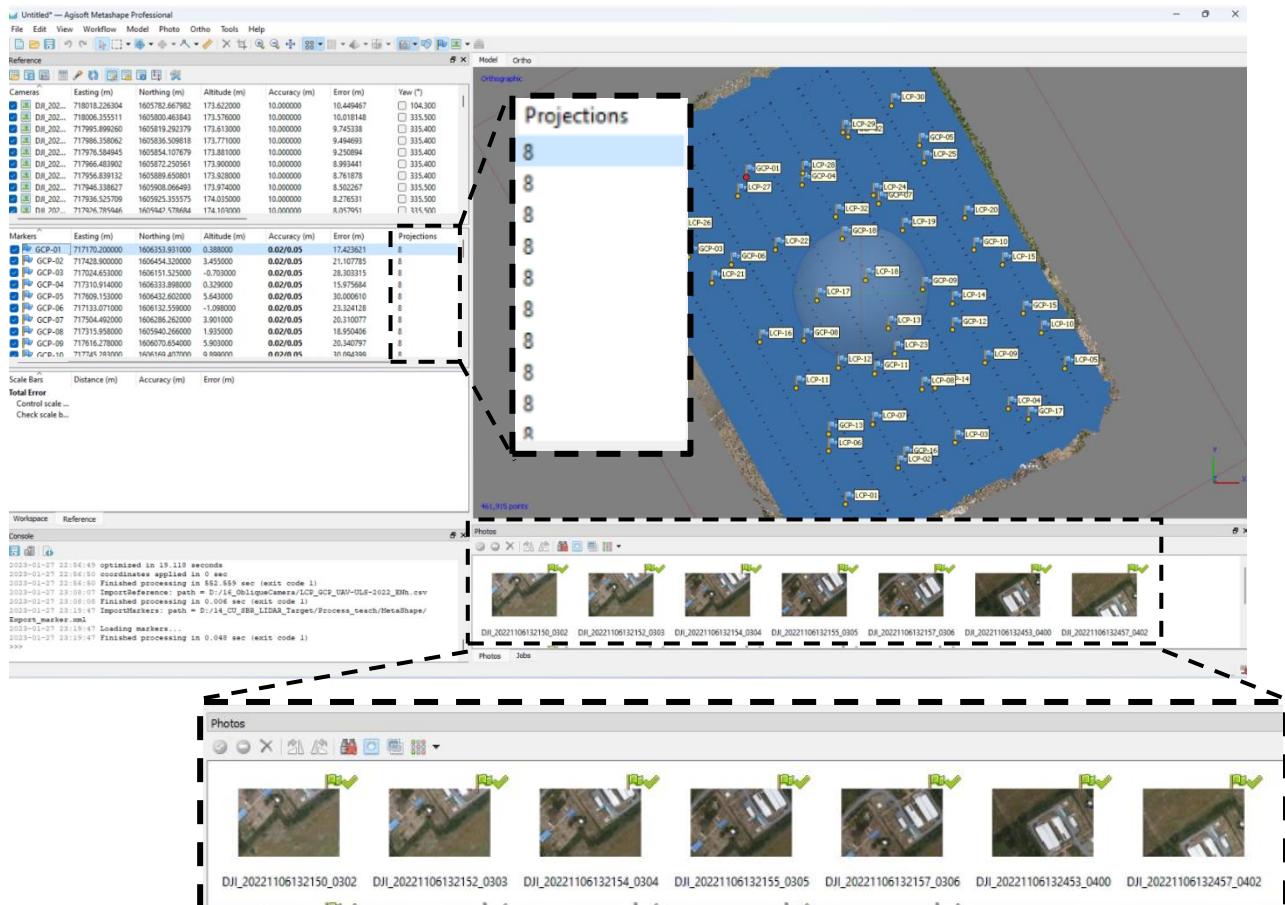
ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนการยึดโยงจุดบังคับภาคพื้นดินที่ปรากฏบนรูปภาพที่มีตำแหน่งที่ไม่ถูกต้อง โดยทำการยึปให้จุดนั้นมีตำแหน่งที่ถูกต้องบนภาพถ่าย โดยให้ผู้ใช้ทำการเลือก marker ที่จะทำการยึดโยง จากนั้นคลิกขวาแล้วทำการเลือก filter photos by markers เหตุผลที่ต้องเลือกแบบนี้เพื่อเป็นการให้โปรแกรมแสดงภาพทั้งหมดที่ใช้ในการประมวลที่มีจุด marker ที่ทำการเลือกมาแสดงเท่านั้น เพื่อจ่ายต่อการพิจารณาและปรับตำแหน่งของจุดบังคับภาคพื้นดิน โดยหลังจากคลิก filter photos by markers ในแถบ Photos จะปรากฏภาพขึ้นมาพร้อมสัญลักษณ์ของรังมุมของภาพถ่าย ซึ่งสิ่งในตอนนี้เป็นสีเทาบ่งบอกว่าภาพนี้จุดบังคับภาคพื้นดินปรากฏอยู่แต่ยังไม่ได้ทำการโยงยึด ดังนั้นต้องทำการโยงยึดด้วยการคลิกที่รังสีน้ำเงิน แล้วทำการเลื่อนลงให้ตรงกับจุดที่ปรากฏบนภาพถ่าย หลังจากที่ทำการย้ายจุดให้ตรง ระบบจะเปลี่ยนสีจากสีน้ำเงินเป็นสีเขียว ตามรูปที่แสดงด้านล่าง โดยจำนวนภาพที่ใช้ในการยึดโยงแต่ละจุดไม่ควรต่ำกว่า 5 ภาพ หากโยงยึดในจุดที่เลือกก่อนหน้าเสร็จแล้วให้ปฏิบัติแบบเดิมจนครบทุกจุดภายในพื้นที่การทำงาน





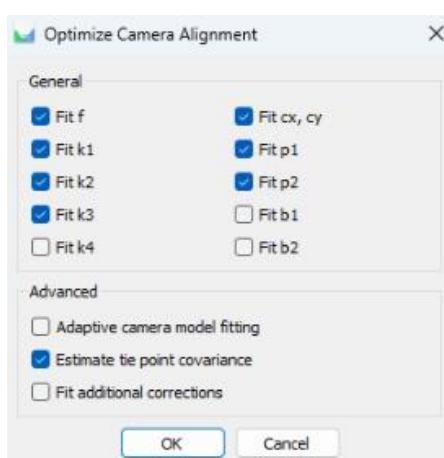
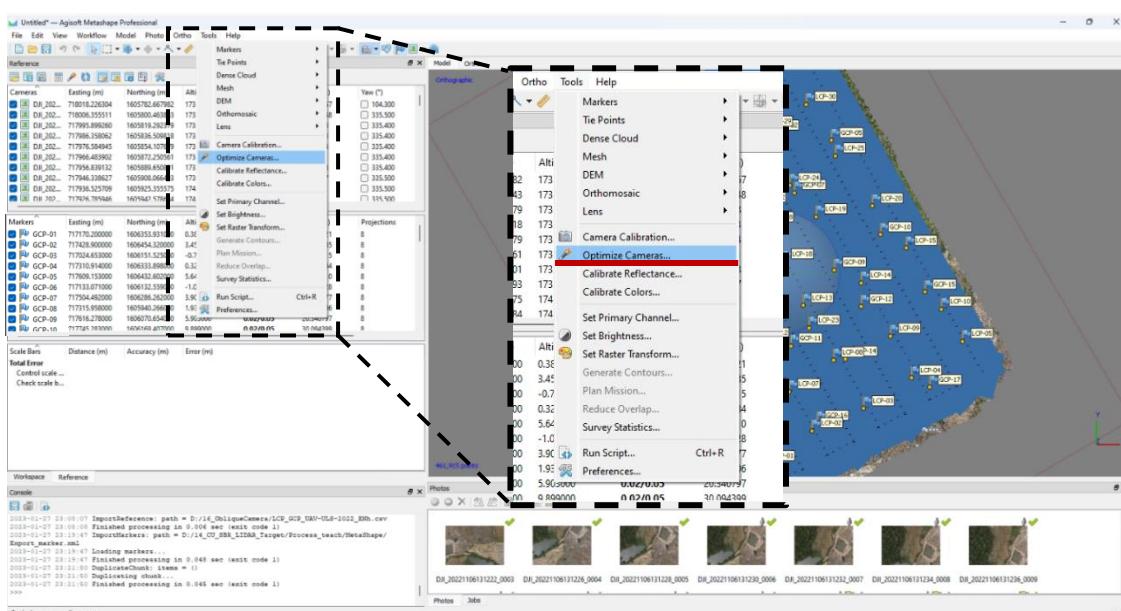
คู่มือการใช้งานโปรแกรม Agisoft Metashape

หลังจากโถงยีดครบทุกจุดแล้วผู้ประมวลผลสามารถตรวจสอบว่าแต่ละจุดได้ทำการยีดโถงเป็นจำนวนรูปเท่าไรและยีดโถงด้วยรูปอะไรบ้างได้ตามรูปภาพที่แสดงด้านล่าง โดยในตัวอย่างการประมวลผลของคู่มือเล่มนี้จะโถงยีดภาพจำนวน 8 ภาพในแต่ละจุดบังคับภาคพื้นดิน โดยปกติสำหรับบล็อกภาพถ่ายทางอากาศ ส่วนช้อนในแนวบิน $p=80\%$ และส่วนช้อนด้านข้าง $q=60\%$ จะมีโอกาสปรากฏจุดฟีเจอร์ได ๆ อาจปรากฏบนภาพโดยเฉลี่ย 12 ภาพ



การอัพเดตและการหาค่าเหมาะสมที่สุดของกล้อง (Update & Optimize Cameras)

หลังจากทำการขับตำแหน่งให้ตรงกับตำแหน่งบนภาพครบถ้วนที่ใช้ภายในพื้นที่การทำงานแล้ว ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการให้โปรแกรมคำนวณและประมวลผลปรับแก้เพื่อให้ค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าที่น้อยลง โดยการคลิกที่ปุ่ม Optimize Cameras เพื่อเป็นการปรับความถูกต้องเชิงตำแหน่งของแบบจำลองและเป็นการลดค่าความคลาดเคลื่อนโดยเมื่อกดแล้วจะมีหน้าต่างขึ้นมาเพื่อให้ผู้ประมวลผลเลือกทำเครื่องหมายถูกกับพารามิเตอร์ที่ต้องการใช้ในการปรับแก้ด้วย สำหรับกล้องถ่ายภาพทางอากาศประกอบยูเอวี มักจะเป็นชนิด non-metric ดังนั้นทุกครั้งที่มีการประมวลผล BBA จะต้องทำการคำนวณพารามิเตอร์ของกล้องและแบบจำลองความผิดเพี้ยนของเลนส์ โดยการทำเลือกให้ซอฟต์แวร์คำนวณค่าพารามิเตอร์ f , C_x , C_y , k_1 , k_2 , k_3 , p_1, p_2 และ Estimate tie point covariance จากนั้นให้กดปุ่ม OK จะปรากฏหน้าต่างใหม่ขึ้นมาซึ่งโปรแกรมจะทำการคำนวณและประมวลผลดังภาพที่แสดงด้านล่าง



คู่มือการใช้งานโปรแกรม Agisoft Metashape

หากพิจารณาที่คอลัมน์ค่าคลาดเคลื่อน จะพบว่าหลังจากการทำ Optimize แล้วค่าคลาดเคลื่อนจะมีค่าที่น้อย ซึ่งเป็นผลมาจากการยืดโยงด้วยจุดบังคับภาพพื้นดินร่วมกับภาพถ่ายทางอากาศ

ก่อนทำการ Optimize

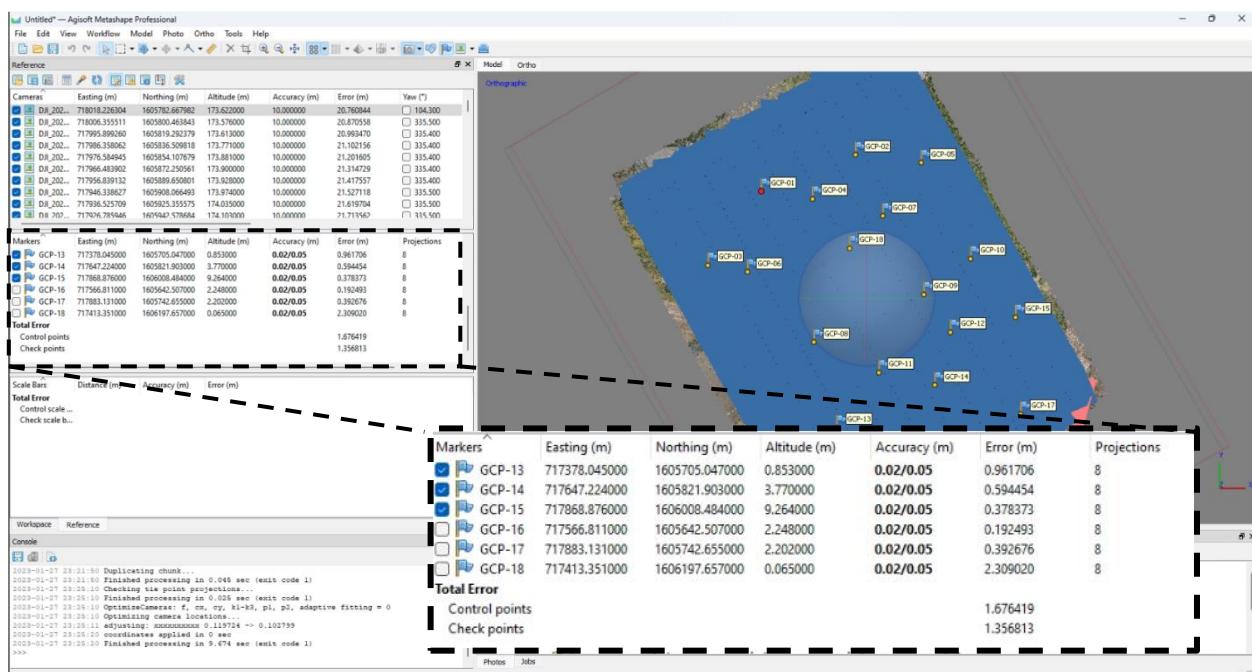
Reference						
	Easting (m)	Northing (m)	Altitude (m)	Accuracy (m)	Error (m)	Yaw (*)
Cameras						
DJI_202...	718018.226304	1605782.667982	173.622000	10.000000	10.449467	<input type="checkbox"/> 104.300
DJI_202...	718006.355511	1605800.463843	173.576000	10.000000	10.018148	<input type="checkbox"/> 335.500
DJI_202...	717995.899260	1605819.292379	173.613000	10.000000	9.745338	<input type="checkbox"/> 335.400
DJI_202...	717986.358062	1605836.509818	173.771000	10.000000	9.494693	<input type="checkbox"/> 335.400
DJI_202...	717976.584945	1605854.107679	173.881000	10.000000	9.250094	<input type="checkbox"/> 335.400
DJI_202...	717966.483902	1605872.250561	173.900000	10.000000	8.993441	<input type="checkbox"/> 335.400
DJI_202...	717956.839132	1605889.650801	173.928000	10.000000	8.761878	<input type="checkbox"/> 335.400
DJI_202...	717946.338627	1605908.066493	173.974000	10.000000	8.502267	<input type="checkbox"/> 335.500
DJI_202...	717936.525709	1605925.355575	174.035000	10.000000	8.276531	<input type="checkbox"/> 335.500
DJI_202...	717926.785946	1605942.578684	174.103000	10.000000	8.057951	<input type="checkbox"/> 335.500
Markers						
GCP-01	717170.200000	1606353.931000	0.388000	0.02/0.05	17.423621	8
GCP-02	717428.900000	1606454.320000	3.455000	0.02/0.05	21.107785	8
GCP-03	717024.653000	1606151.525000	-0.703000	0.02/0.05	28.303315	8
GCP-04	717310.914000	1606333.898000	0.329000	0.02/0.05	15.975684	8
GCP-05	717609.153000	1606432.602000	5.643000	0.02/0.05	30.000610	8
GCP-06	717133.071000	1606132.559000	-1.098000	0.02/0.05	23.324128	8
GCP-07	717504.492000	1606286.262000	3.901000	0.02/0.05	20.310077	8
GCP-08	717315.958000	1605940.266000	1.935000	0.02/0.05	18.950406	8
GCP-09	717616.278000	1606070.654000	5.903000	0.02/0.05	20.340797	8
GCP-10	717745.283000	1606169.477000	0.899000	0.02/0.05	20.004369	8

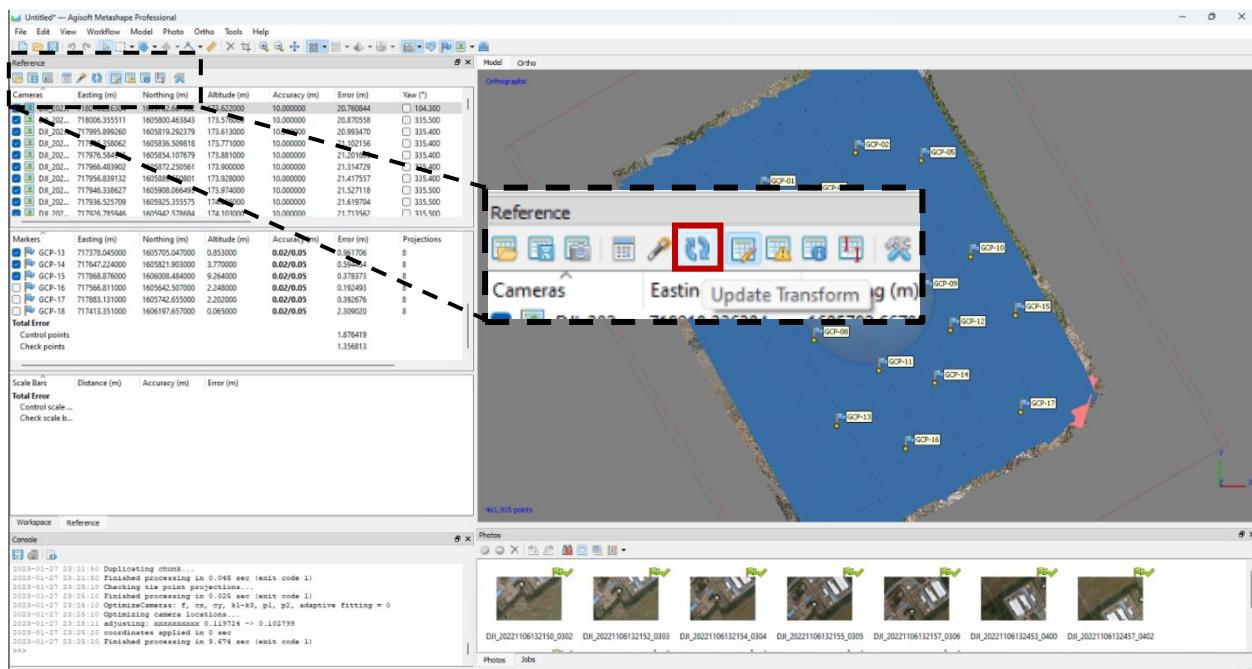
หลังทำการ Optimize

Reference						
	Easting (m)	Northing (m)	Altitude (m)	Accuracy (m)	Error (m)	Projections
Cameras						
DJI_202...	718018.226304	1605782.667982	173.622000	10.000000	20.760844	<input type="checkbox"/> 104.300
DJI_202...	718006.355511	1605800.463843	173.576000	10.000000	20.870558	<input type="checkbox"/> 335.500
DJI_202...	717995.899260	1605819.292379	173.613000	10.000000	20.993470	<input type="checkbox"/> 335.400
DJI_202...	717986.358062	1605836.509818	173.771000	10.000000	21.102156	<input type="checkbox"/> 335.400
DJI_202...	717976.584945	1605854.107679	173.881000	10.000000	21.201605	<input type="checkbox"/> 335.400
DJI_202...	717966.483902	1605872.250561	173.900000	10.000000	21.314729	<input type="checkbox"/> 335.400
DJI_202...	717956.839132	1605889.650801	173.928000	10.000000	21.417557	<input type="checkbox"/> 335.400
DJI_202...	717946.338627	1605908.066493	173.974000	10.000000	21.527118	<input type="checkbox"/> 335.500
DJI_202...	717936.525709	1605925.355575	174.035000	10.000000	21.619704	<input type="checkbox"/> 335.500
DJI_202...	717926.785946	1605942.578684	174.103000	10.000000	21.713562	<input type="checkbox"/> 335.500
Markers						
GCP-01	717170.200000	1606353.931000	0.388000	0.02/0.05	2.769887	8
GCP-02	717428.900000	1606454.320000	3.455000	0.02/0.05	2.217459	8
GCP-03	717024.653000	1606151.525000	-0.703000	0.02/0.05	2.864911	8
GCP-04	717310.914000	1606333.898000	0.329000	0.02/0.05	2.555907	8
GCP-05	717609.153000	1606432.602000	5.643000	0.02/0.05	1.784673	8
GCP-06	717133.071000	1606132.559000	-1.098000	0.02/0.05	2.736170	8
GCP-07	717504.492000	1606286.262000	3.901000	0.02/0.05	2.016284	8
GCP-08	717315.958000	1605940.266000	1.935000	0.02/0.05	1.986287	8
GCP-09	717616.278000	1606070.654000	5.903000	0.02/0.05	1.463403	8
GCP-10	717745.283000	1606169.477000	0.899000	0.02/0.05	1.122052	8

การกำหนดจุดตรวจสอบ (Check points; CPs) ในการประมวลผล

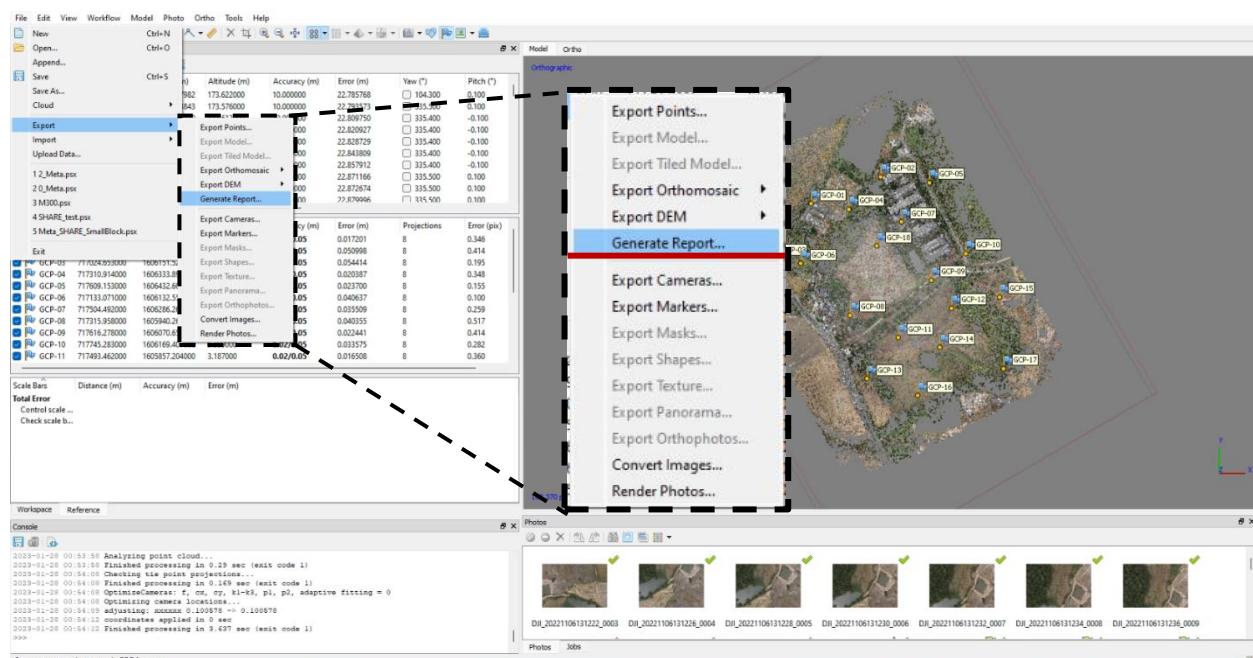
ในการประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศในทุกกล้องภาพถ่ายนั้นเพื่อเป็นการตรวจสอบผลลัพธ์ในการประมวลผลของข้อมูลที่ได้ โดยที่ว่าเป็นยมใช้จุดตรวจสอบเข้าไปประมวลผลร่วมกับภาพถ่ายและจุดบังคับภาคพื้นดิน โดยผู้ใช้สามารถกำหนดให้จุดบังคับภาคพื้นดินเป็นจุดตรวจสอบได้โดยทำการคลิกที่ช่องสีเหลี่ยมหน้าชื่อของจุด หากช่องสีเหลี่ยมไม่มีสัญลักษณ์ถูก แปลว่า จุดนั้นกำหนดให้เป็นจุดตรวจสอบ ในขณะที่ลักษณะสีเหลี่ยมมีสัญลักษณ์ถูก แปลว่า จุดนั้นเป็นจุดบังคับภาคพื้นดิน ซึ่งการเลือกให้จุดไหนเป็นจุดอะไร ผู้ประมวลผลจะต้องเป็นคนกำหนดเอง โดยส่วนมากจะกำหนดให้ข้อมูลทั้งสองประเภทรายตัวภายในพื้นที่การทำงานและในทุก ๆ พื้นที่การทำงาน 1 ตารางกิโลเมตรคร่าวมีจุดบังคับภาคพื้นดินอย่างน้อย 5 จุด โดยคุณลักษณะของจุดตรวจสอบมีความหมายว่า จุดที่เลือกนั้นจะไม่ได้เป็นจุดที่ใช้ในการคำนวนและประมวลผลในการสร้างแบบจำลองนี้ แต่จะเป็นจุดที่ใช้ในการตรวจสอบกับจุดของตัวมันเองในแบบจำลองที่ผลิตขึ้นมาจากการใช้จุดที่เหลือในการคำนวนและประมวลผลขึ้นมา ในกรณีนี้เลือกจุด Check point 3 จุด หลังจากเลือกจุดได้แล้วให้ทำการกด update เพื่อเป็นการให้โปรแกรมทราบว่าจุดที่เลือกไม่นำไปใช้ในการประมวลผล หลังจากนั้นกดปุ่ม Optimize Cameras เป็นอันเสร็จขั้นตอนนี้



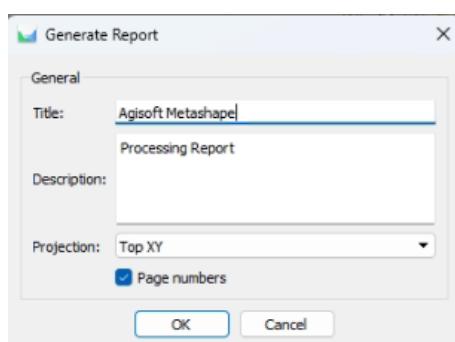


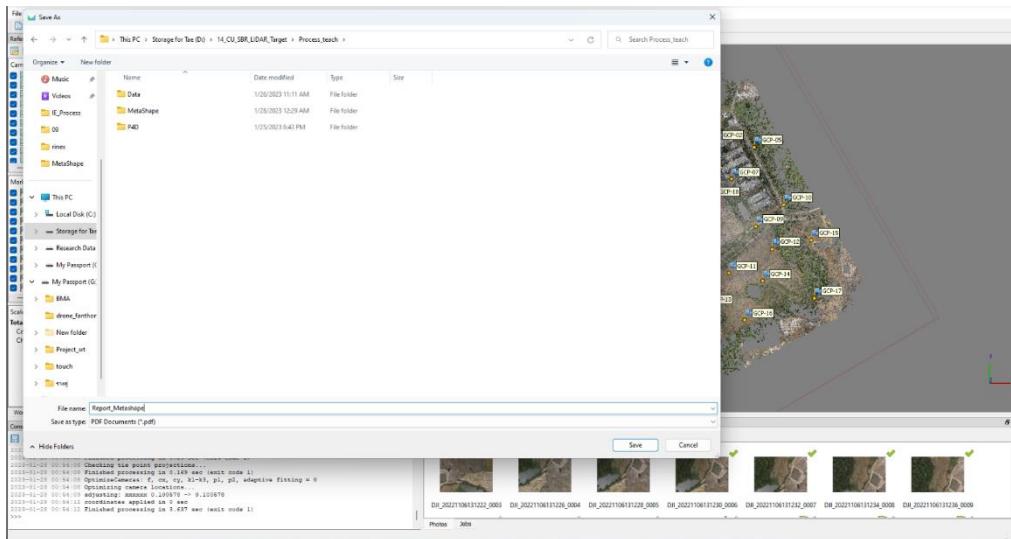
การนำข้อมูลออกมารูปของรายงาน (Generate Report)

หลังจากประมวลผลข้อมูลเสร็จในขั้นตอนข้างต้นสามารถสร้างรายงานการประมวลผลออกมาตรวจสอบและวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง รวมถึงค่าคลาดเคลื่อนต่าง ๆ ของจุดที่ใช้ในการเลือกเป็นจุดบังคับภาคพื้นดินและจุดตรวจสอบ โดยสามารถทำได้โดยคลิกไปที่ File บริเวณแท็บด้านบนจากนั้นเลือกไปที่ Export และเลือก Generate Report



หลังจากกด Generate Report และจะปรากฏหน้าต่างขึ้นมาเพื่อให้ทำการตั้งชื่อหัวข้อ, คำบรรยาย และการฉายแบบจำลองลงในเล่มรายงาน ซึ่งผู้ใช้สามารถตั้งค่าได้ตามที่ต้องการ หลังจากตั้งค่าเสร็จให้กดปุ่ม OK จะปรากฏหน้าต่างขึ้นมาอีกหน้าต่าง ซึ่งจะเป็นการเลือกโฟลเดอร์ที่ต้องการให้จัดเก็บรวมไปถึงตั้งชื่อไฟล์รายงานที่ทำการสร้าง โดยในกรณีตั้งชื่อว่า Agisoft Metashape เมื่อตั้งชื่อเสร็จแล้วให้กดปุ่ม Save

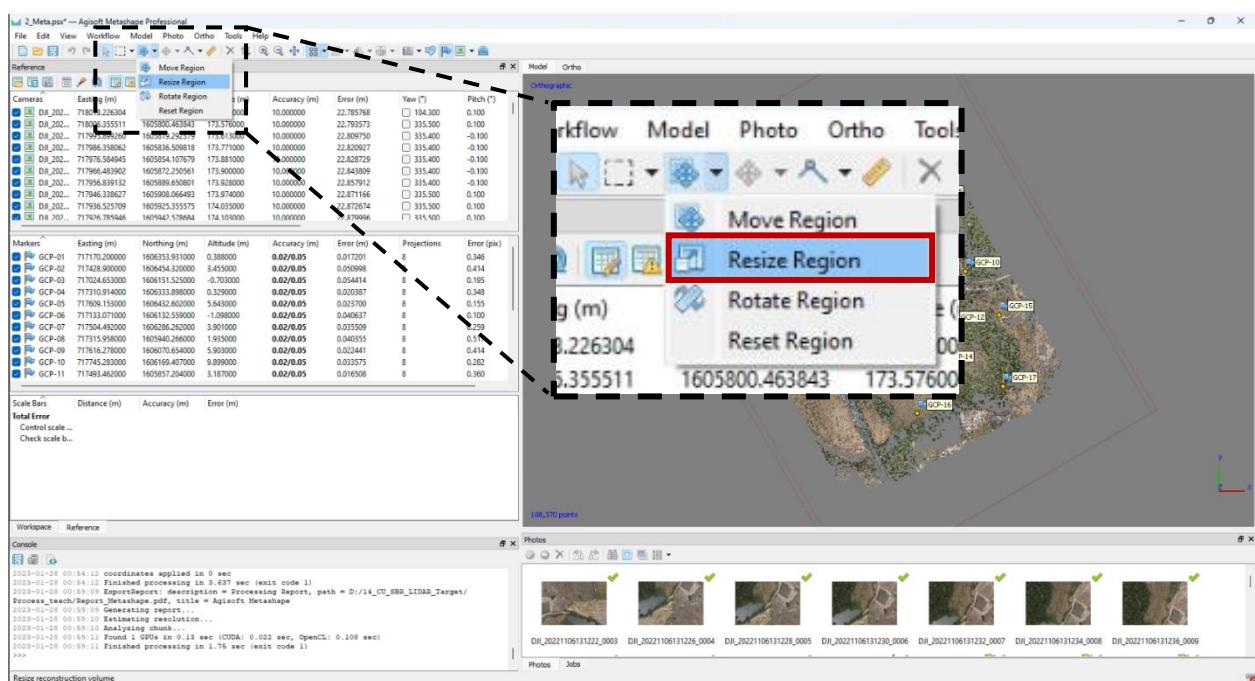




หลังจากกด Save แล้วจะปรากฏ Report ที่ได้ทำการสร้างขึ้นมา ซึ่งสามารถตรวจสอบค่าคลาดเคลื่อนทางแกน X , Y และ Z ได้จากเล่มรายงาน สำหรับหลักการในการพิจารณาการควบคุมคุณภาพ การประมาณผลเป็นหัวข้อที่มีรายละเอียดซับซ้อนและมีประเด็นที่ต้องพิจารณาหลายประดิษฐ์ ผู้ประมาณผลสามารถอ่านรายละเอียดในส่วนนี้เพิ่มเติมได้จากบทความเรื่อง แนวปฏิบัติที่เป็นเลิศในการประมาณผลเพื่อผลิตข้อมูลแผนที่จากภาพถ่ายด้วยยูเอวี ในภาคผนวก ก)

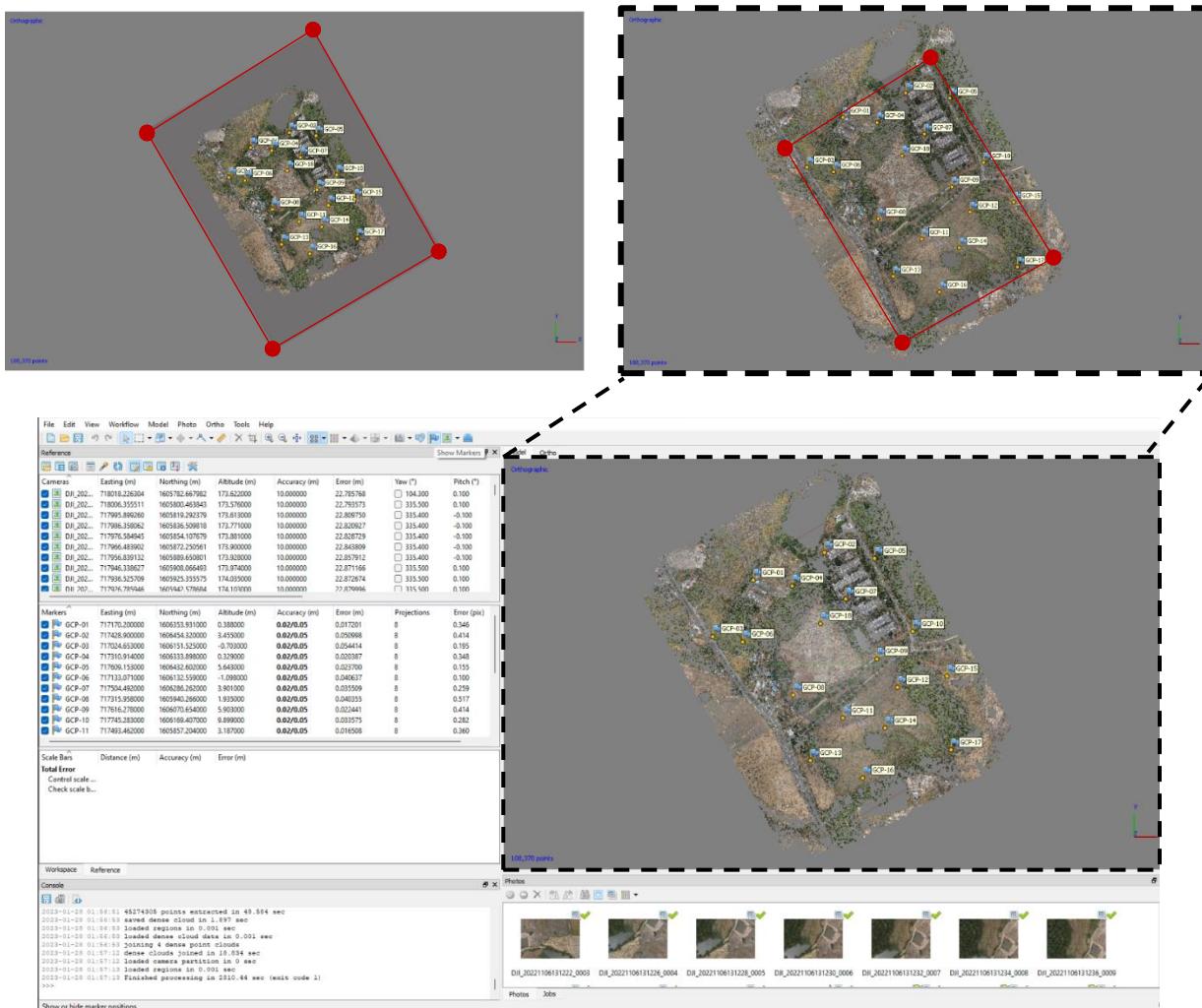
การกำหนดขอบเขตงาน (Resize Region)

ขั้นตอนถัดไปเป็นขั้นตอนในการกำหนดขอบเขตของพื้นที่การทำงานสำหรับการประมวลผลในขั้นตอนหลังจากนี้ เพื่อความสวยงามของผลลัพธ์ที่จะประมวลผลได้และช่วยทำให้โปรแกรมประมวลผลได้เร็วขึ้น เพราะ เป็นการกำหนดขอบเขตให้โปรแกรมประมวลผลแค่พื้นที่ที่สนใจเท่านั้น โดยในการทำงานเราจะกำหนดขอบเขตให้มีขนาดเล็กกว่าข้อมูลที่ประมวลผลได้ เนื่องจากบริเวณพื้นที่ขอบของข้อมูลที่ประมวลผลได้ในขั้นก่อนหน้าจะจะมีความคลาดเคลื่อนที่ค่อนข้างสูง โดยผู้ประมวลผลสามารถทำได้ด้วยการคลิกที่ปุ่มตามที่กรอบสีเลือดหมูปราภู โดยนอกจากจะปรับขนาดได้แล้วยังสามารถเคลื่อนที่หรือหมุนได้ แต่ในการปฏิบัติครั้งนี้เป็นการปรับขนาด



หลังจากที่กดแล้ว บริเวณหน้าจอจะปรากฏเหมือนกล้องสีเทาขึ้นมา โดยที่ตามมุมจะมีลักษณะเป็นทรงกลม ซึ่งสามารถยับเพื่อลดหรือขยายขนาดพื้นที่ที่จะใช้ในการประมวลผลได้ โดยที่การกำหนดขนาดในขั้นตอนนี้จะมีผลต่อการประมวลผลในขั้นตอนอื่น ๆ หลังจากนี้

ภาพเปรียบเทียบก่อนและหลังการขับขอบเขตพื้นที่การประมาณผล

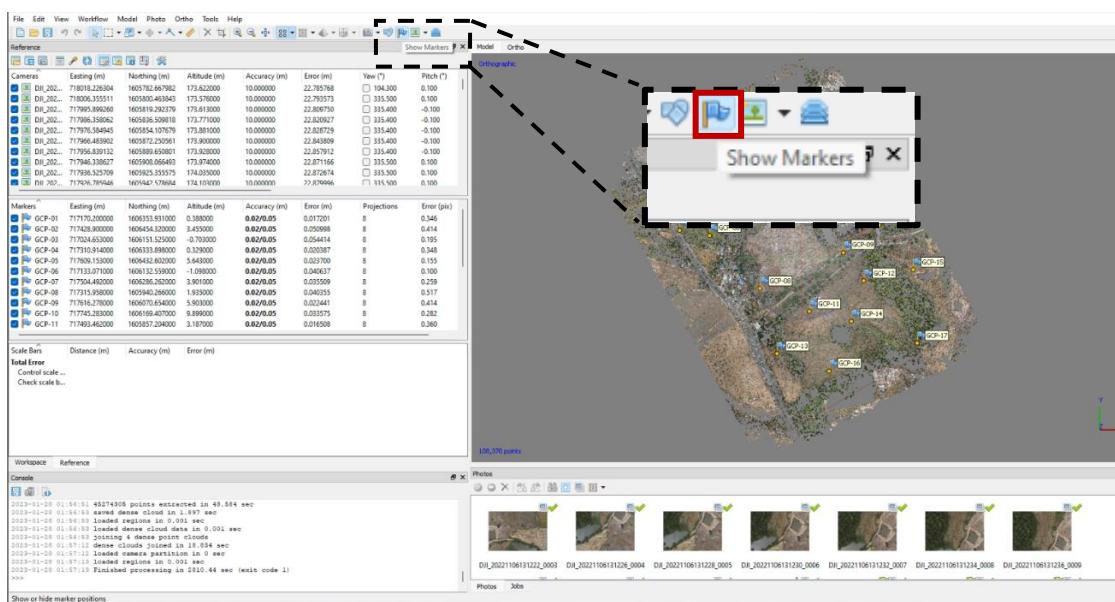


คู่มือการใช้งานโปรแกรม Agisoft Metashape

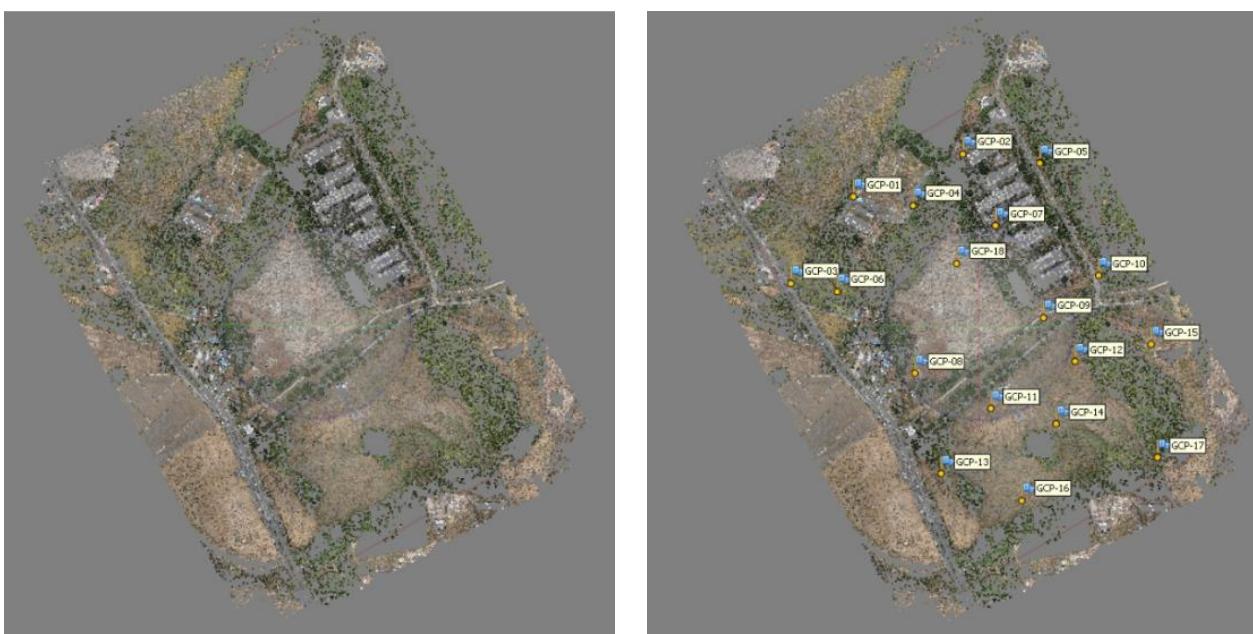
การแสดงตำแหน่งของจุดบังคับภาพพื้นดิน (Show Markers)

ผู้ประมวลผลสามารถเลือกแสดงและไม่แสดงตำแหน่งของจุดบังคับภาพถ่ายได้จากการกดที่ไอคอน

Show Markers ตามภาพที่แสดงด้านล่าง



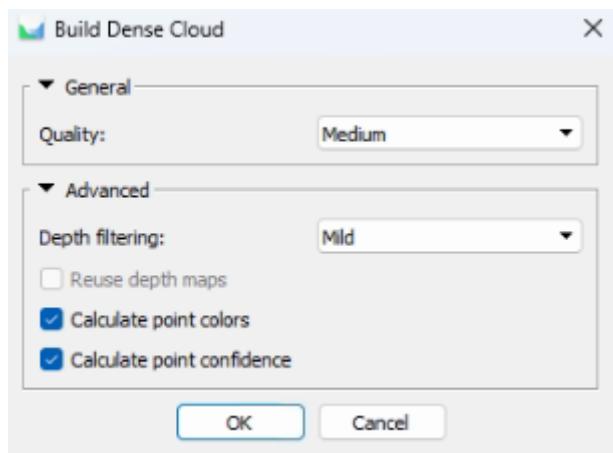
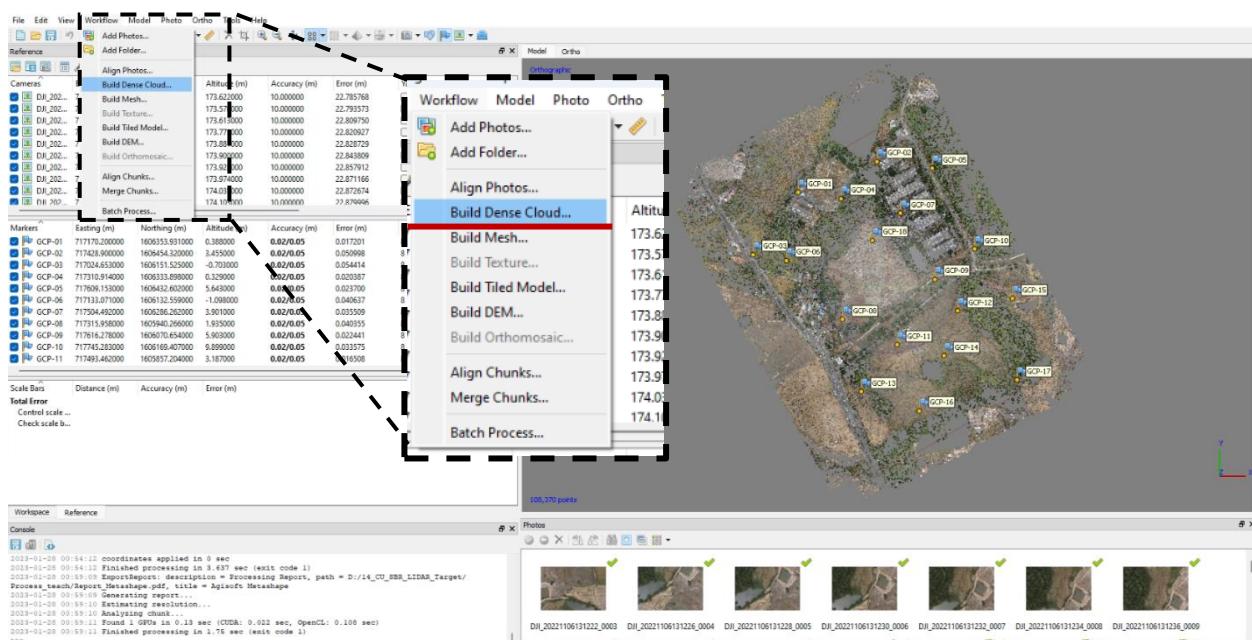
ภาพเปรียบเทียบก่อนกดและหลังกดไอคอน Show Markers



คู่มือการใช้งานโปรแกรม Agisoft Metashape

การสร้างข้อมูลพอยต์คลาวด์ชนิดหนาแน่น (Build Dense Cloud)

ขั้นตอนต่อไปเป็นขั้นตอน Build Dense Cloud เป็นขั้นตอนที่ทำเพื่อเป็นการสร้างแบบจำลองจุดขึ้นมาเพิ่มเติมพื้นผิวแบบจำลองสามมิติที่สร้างได้จากในขั้นตอนก่อนหน้าที่เป็นข้อมูลพอยต์คลาวด์แบบ Sparse cloud ให้มีความหนาแน่นมากขึ้น ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่ไม่ต้องปฏิบัติก្លោងในกรณีที่ขั้นตอนก่อนหน้ามีจำนวนของ point cloud ที่เพียงพอต่อการประมวลผลแล้ว แต่ในการปฏิบัติเพื่อให้ได้แผนที่ภูมิประเทศหรือการปฏิบัติที่ต้องการความถูกต้องและต้องการความแม่นยำรวมไปถึงค่าคลาดเคลื่อนที่มีปริมาณน้อย จึงควรปฏิบัติขั้นตอนนี้ สามารถทำได้โดยคลิกไปที่ปุ่ม Workflow ที่แถบด้านบนอีกริม และคลิกเลือก Build Dense Cloud ซึ่งสามารถตั้งค่าตามที่ต้องการจะประมวลผลได้ ในการปฏิบัติครั้งนี้ ตั้งค่าตามรูปด้านล่าง



การตั้งค่าในการสร้างแบบจำลองของจุดบนโมเดลสามมิติ

จากหน้าต่างโปรแกรม Build Dense Cloud ที่ปรากฏขึ้นจะเห็นได้ว่าโปรแกรมให้ผู้ประมวลผลกำหนดพารามิเตอร์ได้หลายพารามิเตอร์ ได้แก่

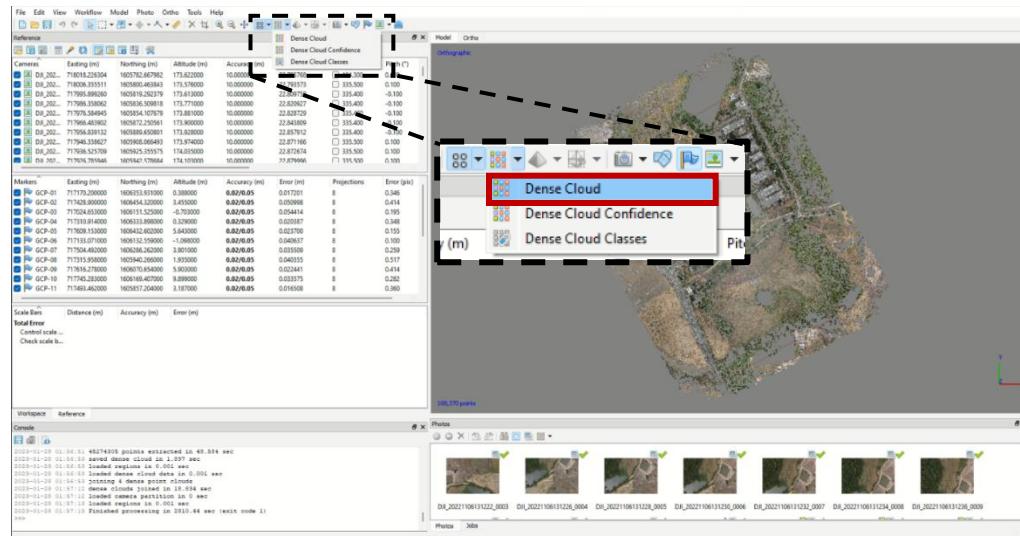
หัวข้อ: Quality

โดย Quality จะมีให้เลือก 5 ระดับ แสดงถึงความละเอียดของจุดที่ต้องการเพิ่ม ได้แก่ Lowest, Low, Medium, High, Ultra high ซึ่งหากเลือกระดับที่สูงจะทำให้ข้อมูลที่ได้มีรายละเอียดของจุดข้อมูลที่มากขึ้นรวมถึงยังทำให้ค่าความถูกต้องเชิงเรขาคณิตของข้อมูลมีค่าที่ดีขึ้น แต่ต้องแลกกับระยะเวลาในการประมวลผลที่ค่อนข้างนาน

หัวข้อ: Advanced

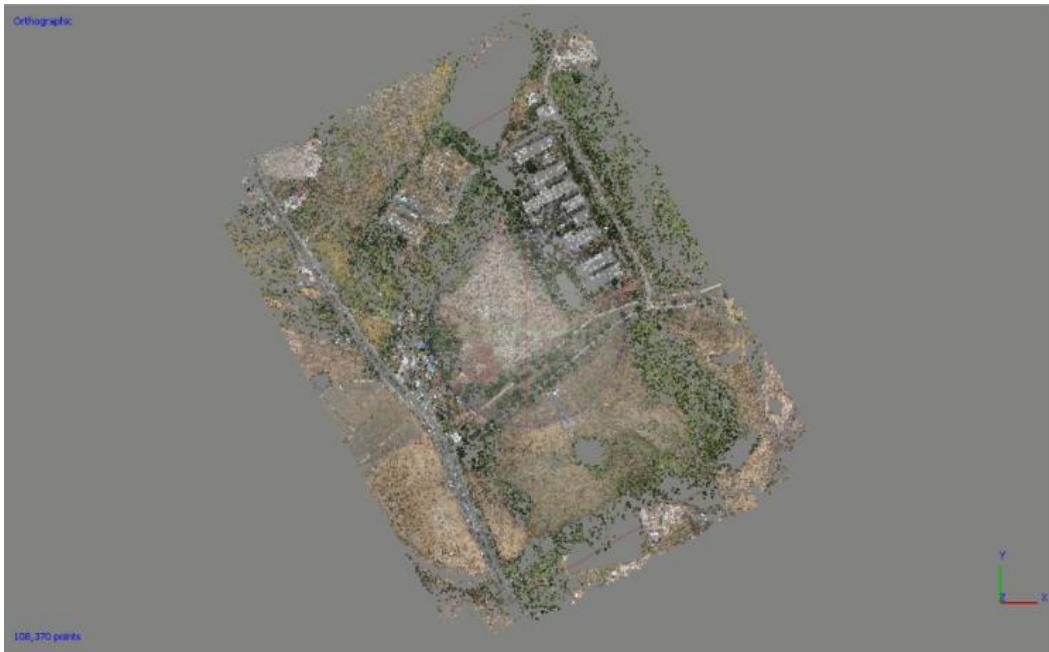
- Depth filtering คือ การกำจัดค่าที่มีความผิดแผลและค่าคลาดเคลื่อนจากข้อมูล (Outliers หรือ Noises) มีให้เลือกอยู่ 4 รูปแบบ ซึ่งแต่ละรูปแบบก็จะมีความแตกต่างกัน
 1. Disabled คือ การไม่เปิดใช้การกรองข้อมูล โดยอาจทำให้ข้อมูลมีค่าคลาดเคลื่อนค่อนข้างมาก
 2. Mild คือ การกรองข้อมูลในระดับที่อ่อน เหมาะสำหรับกรณีข้อมูลมีรายละเอียดเล็ก ๆ ที่สำคัญ
 3. Moderate คือ การกรองข้อมูลในระดับปานกลาง ผลลัพธ์ที่ได้จะอยู่ระหว่าง Mild และ Aggressive
 4. Aggressive เป็นการกรองที่ไม่เหมากับในกรณีที่ข้อมูลมีรายละเอียดเล็ก ๆ ที่สำคัญ

เมื่อเลือกได้แล้วก็กด OK ก็จะเริ่มทำการคำนวณและประมวลผล เมื่อประมวลผลเสร็จ ผู้ใช้สามารถกดที่ไอคอนตามรูปในกรอบสีเลือดหมูเพื่อแสดงผลลัพธ์จากการประมวลในขั้นตอนนี้ โดยจะมีให้เลือก 3 รูปแบบ ได้แก่ Dense Cloud, Dense Cloud Confidence และ Dense Cloud Classes



คู่มือการใช้งานโปรแกรม Agisoft Metashape

ก่อนการประมวลผล Build Dense Cloud

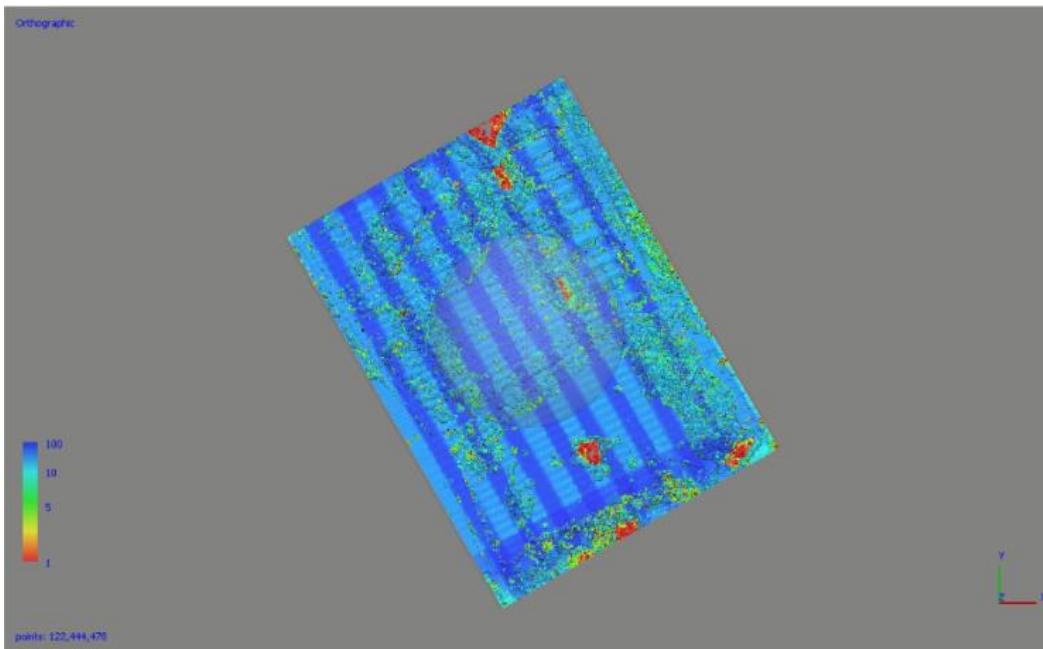


หลังการประมวลผล Build Dense Cloud



คู่มือการใช้งานโปรแกรม Agisoft Metashape

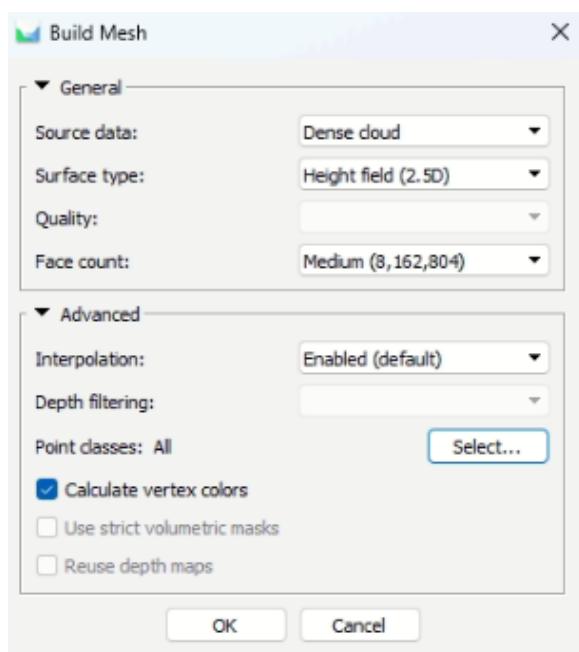
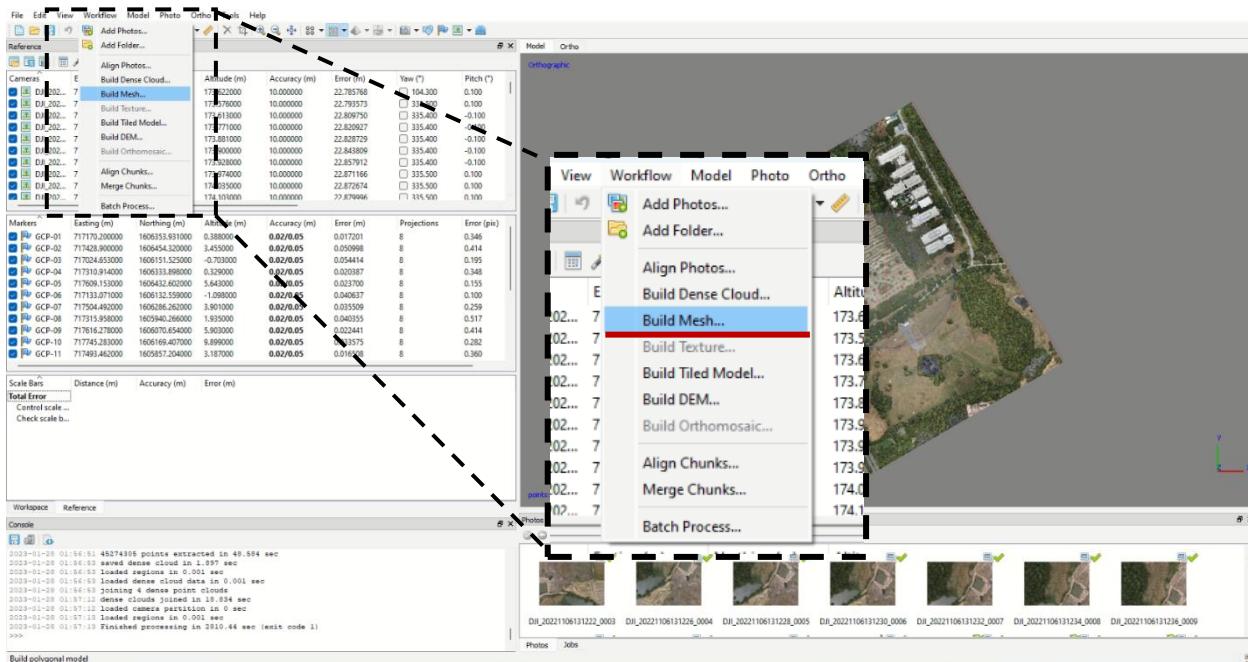
ภาพแสดงผลลัพธ์ในรูปแบบ Dense Cloud Confidence



คู่มือการใช้งานโปรแกรม Agisoft Metashape

การสร้างพื้นผิวตามข่ายสามมิติ (Build Mesh)

ขั้นตอนถัดไปเป็นขั้นตอนในการสร้าง Mesh เพื่อเป็นการสร้างพื้นผิวตามข่าย 3 มิติ ที่เป็นตัวแทนของวัตถุ สามารถทำได้โดยคลิกไปที่เมนู Workflow ที่แถบด้านบนและคลิกเลือก Build Mesh ซึ่งสามารถตั้งค่าตามที่ต้องการจะประมวลผลได้ ในการปฏิบัติครั้งนี้ตั้งค่าตามรูปด้านล่าง



การตั้งค่าในการสร้างพื้นผิวตามข่ายสามมิติ

จากหน้าต่างโปรแกรม Build Mesh ที่ปรากฏขึ้นจะเห็นได้ว่าโปรแกรมให้ผู้ประมวลผลกำหนดพารามิเตอร์ได้หลายพารามิเตอร์ ได้แก่

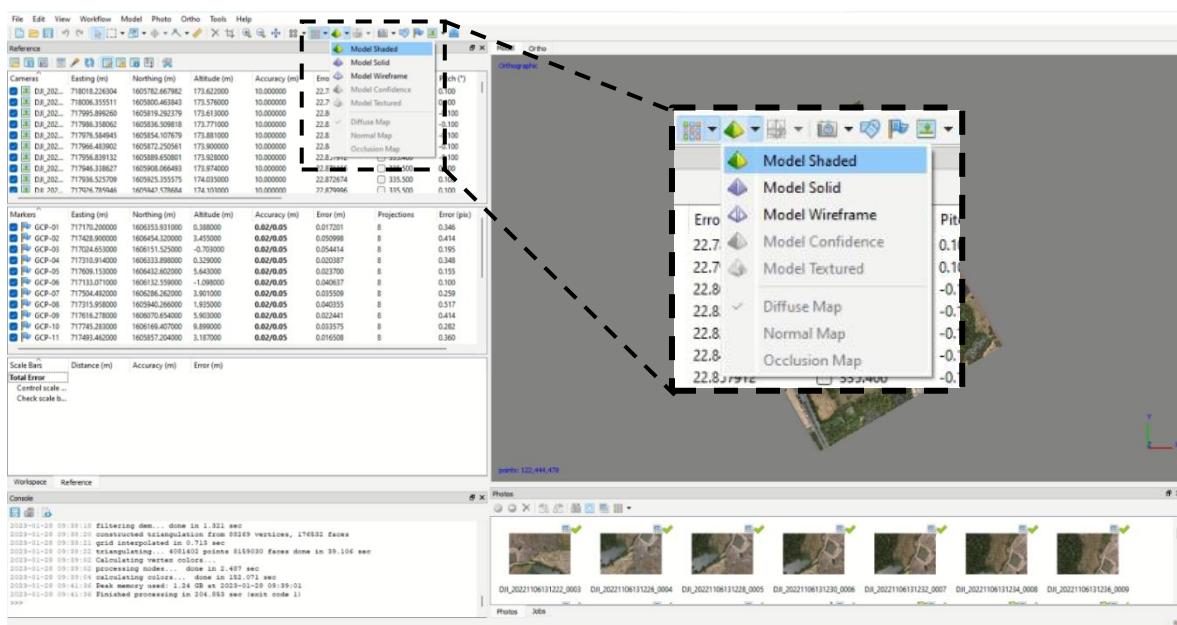
หัวข้อ: General

- Source data คือ ข้อมูลที่จะถูกนำมาประมวลผลในขั้นตอน Mesh โดยสามารถเลือกที่มาของข้อมูลได้ 2 รูปแบบ คือ
 1. Sparse Cloud จะนำข้อมูลมาจากการจับตัวจุดที่มีรูปร่างเป็นรูปปิด เช่น รูปปั้น อาคาร และสิ่งปลูกสร้าง เนื่องจากเป็นการคำนวณพื้นผิวในทุกทิศทุกทางเพื่อให้ได้แบบจำลองที่มีความรายละเอียดค่อนข้างใช้ระยะเวลาในการประมวลผลนานและใช้หน่วยความจำค่อนข้างมาก
 2. Dense Cloud จะนำข้อมูลจากขั้นตอนก่อนหน้ามาคำนวณ
- Surface type จะมีให้เลือก 2 รูปแบบ คือ
 1. Arbitrary (3D) เหมาะกับการประมวลผลข้อมูลวัตถุที่มีรูปร่างเป็นรูปปิด เช่น รูปปั้น อาคาร และสิ่งปลูกสร้าง เนื่องจากเป็นการคำนวณพื้นผิวในทุกทิศทุกทางเพื่อให้ได้แบบจำลองที่มีความรายละเอียดค่อนข้างใช้ระยะเวลาในการประมวลผลนานและใช้หน่วยความจำค่อนข้างมาก
 2. Height field (2.5D) เหมาะสำหรับการสร้างแบบจำลองของพื้นผิวนานาเชิง พื้นผิวภูมิประเทศ หรือกีตีเมะกับการประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศ โดยจะใช้หน่วยความจำน้อยกว่าแบบ Arbitrary
- Face count คือ การกำหนดความละเอียดของพื้นผิว โดยจะบอกจำนวนโดยประมาณของหน้าโครงข่ายที่เชื่อมกันระหว่างจุดแต่ละจุด

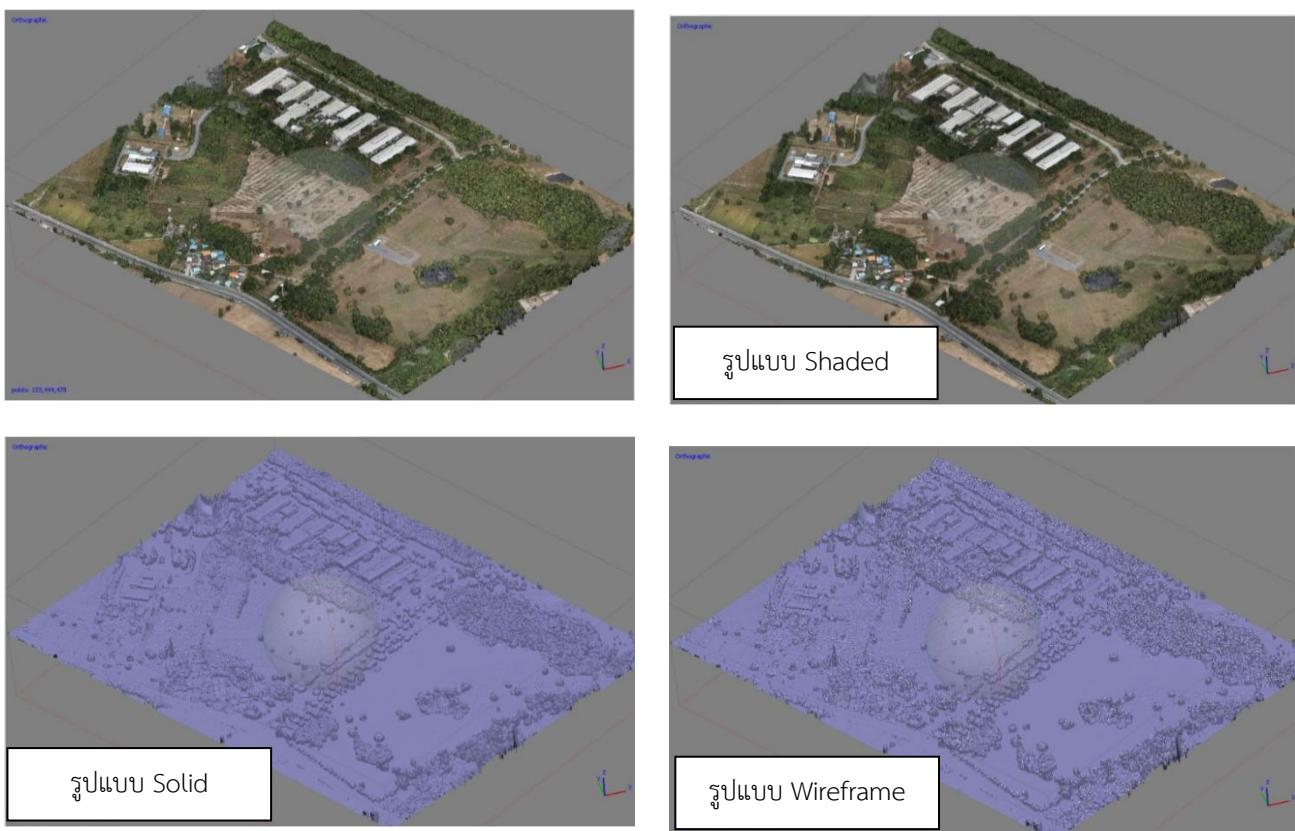
หัวข้อ: Advanced

- Interpolation คือ การประมาณค่าช่วงให้กับพื้นผิวของข้อมูล
 1. Disabled คือ กำหนดให้ไม่ทำการประมาณค่าช่วงพื้นผิวข้อมูล
 2. Enabled (default) คือ กำหนดให้ทำการประมาณค่าช่วงพื้นผิวข้อมูล
 3. Extrapolated จะเป็นการขยายขนาดรัศมีของจุดแต่ละจุดให้ครอบคลุมพื้นที่ เหมาะกับโครงการที่มีขนาดใหญ่และมีข้อมูลพื้นผิวของวัตถุที่มีรูปแบบเฉพาะตัว

เมื่อเลือกได้แล้วกด OK ก็จะเริ่มทำการคำนวณและประมวลผล เมื่อประมวลผลเสร็จ จะแสดงผลลัพธ์ตามรูปในหน้าตัดไป ซึ่งสามารถดูได้ 3 แบบด้วยกัน ได้แก่ แบบ Shaded, แบบ Solid และ แบบ Wireframe



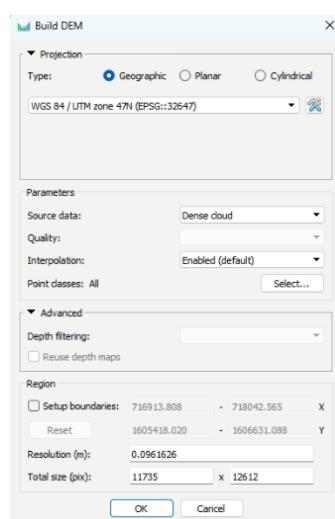
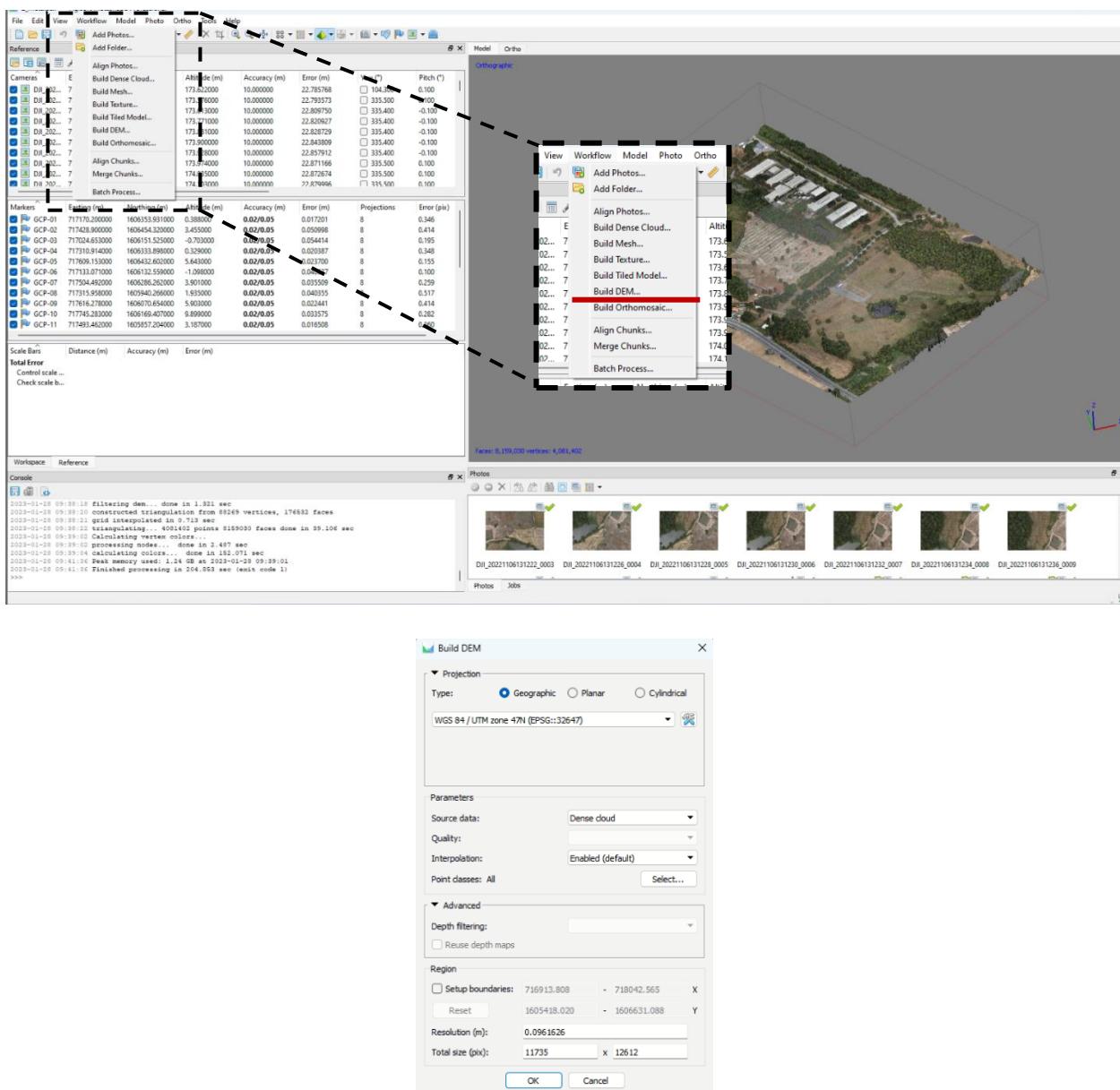
ตัวอย่างการแสดงผลลัพธ์ในรูปแบบ Shaded, แบบ Solid และ แบบ Wireframe

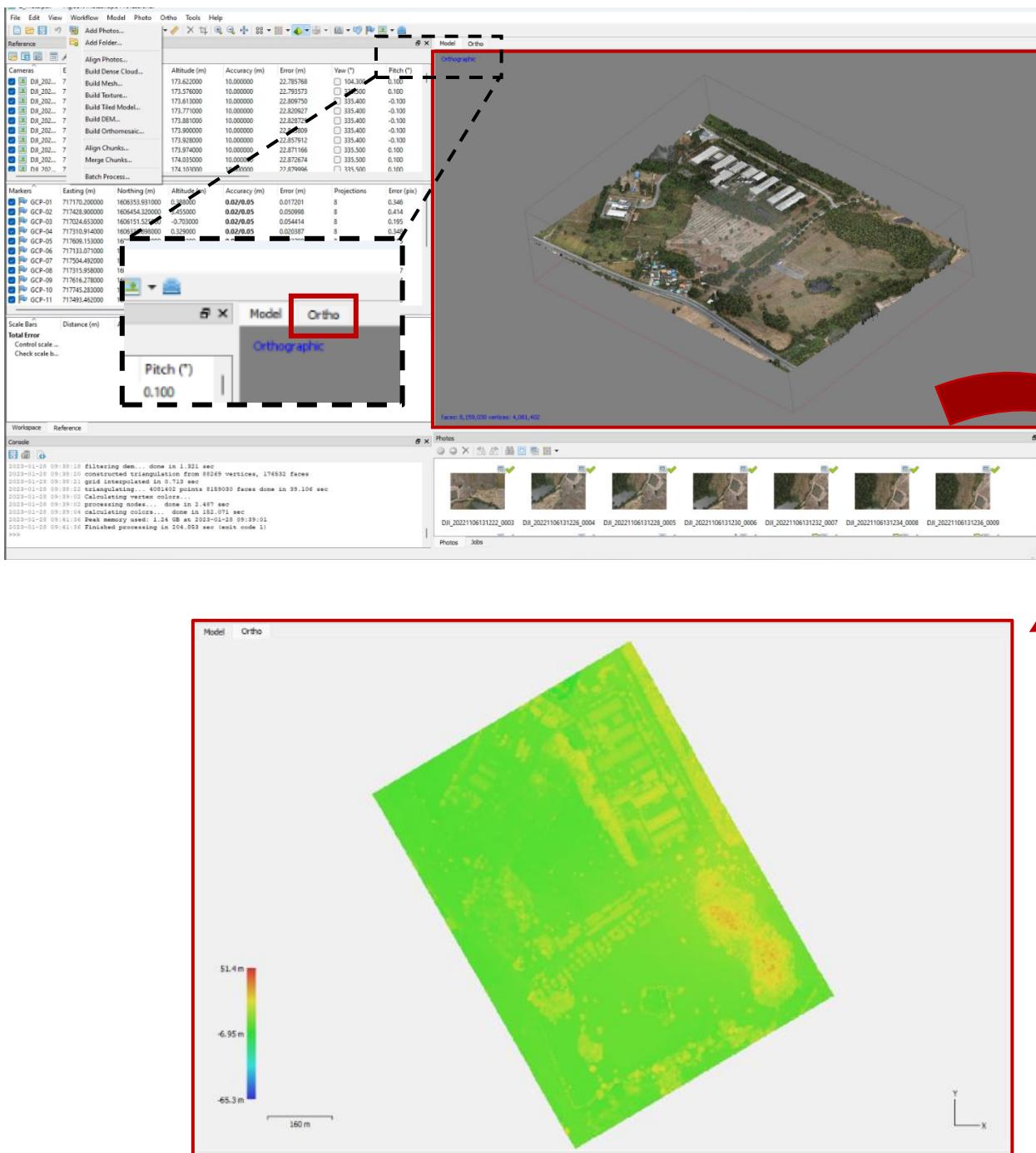


คุ้มครองการใช้งานโปรแกรม Agisoft Metashape

การสร้างแบบจำลองระดับความสูงเชิงเลข (Build Digital Elevation Model)

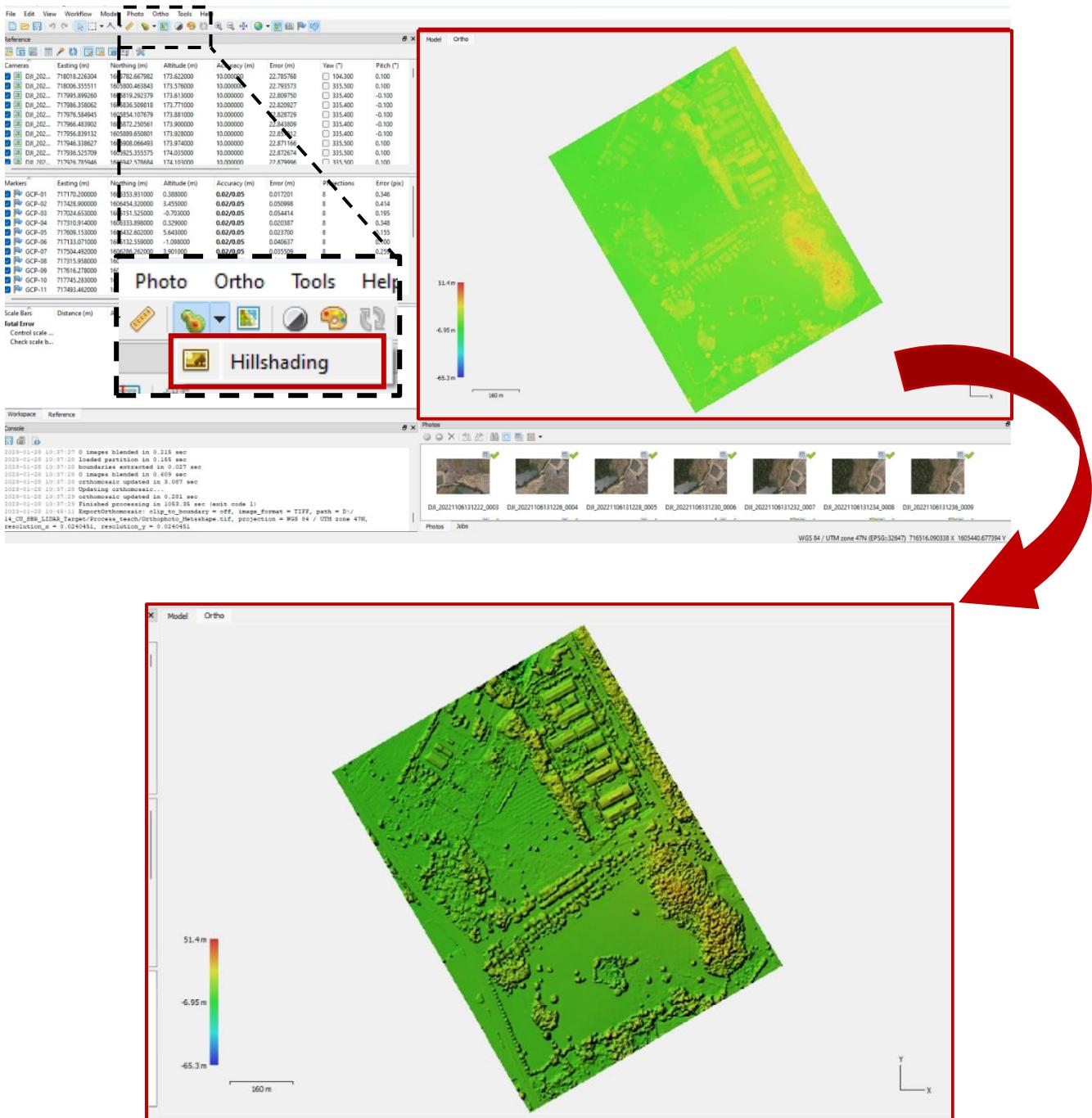
ขั้นตอนต่อไปเป็นการ Build DEM หรือก็คือ Digital Elevation Model เพื่อที่จะสามารถนำข้อมูลนี้ไปใช้ในงานอื่น ๆ ต่อไปได้ เช่น การ Generate Contour เป็นต้น ซึ่งสามารถทำได้โดยคลิกไปที่ปุ่ม Workflow และด้านบนอีกริมและคลิกเลือก Build DEM หลังจากเลือกแล้วโปรแกรมจะปรากฏหน้าต่างขึ้นมา โดยสามารถตั้งค่าต่าง ๆ ตามที่ต้องการได้ โดยในงานนี้จะเลือกตามค่าที่โปรแกรมกำหนดมาให้ เมื่อตั้งค่าเสร็จแล้วให้กดปุ่ม Ok โปรแกรมจะทำการประมวลผลเพื่อให้ได้ DEM ออกมานะ [หมายเหตุ: DEM ที่ปรากฏในโปรแกรมและคู่มือฉบับนี้เป็นแบบจำลองพื้นผิวภูมิประเทศ (Digital Surface Model : DSM)]





ຄູ່ມືກອງໃຊ້ຈານໂປຣແກຣມ Agisoft Metashape

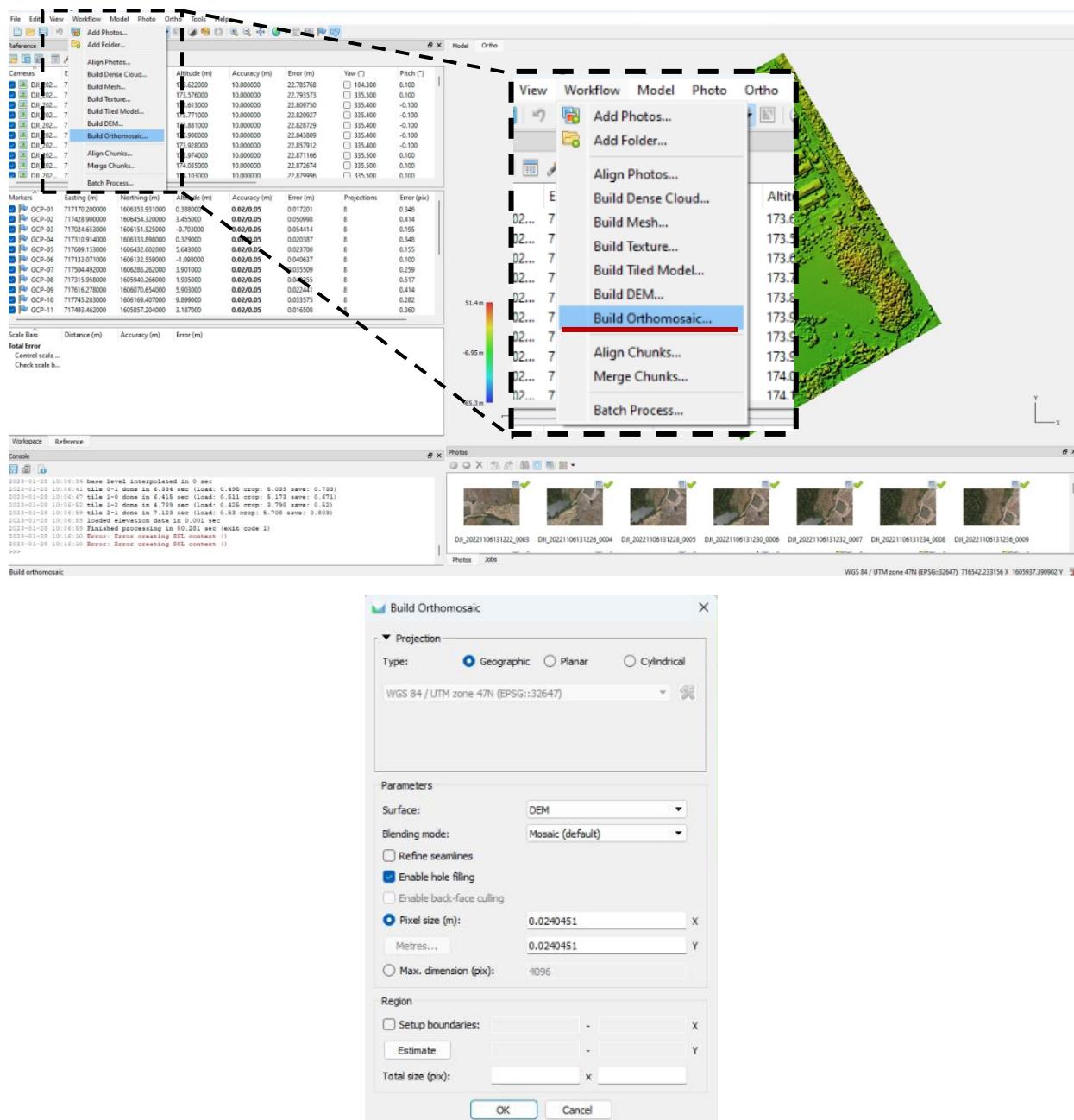
นอกจากนี้โปรแกรมยังสามารถแสดงผลลัพธ์ที่ผลิตได้ในรูปแบบ Hill shading ผ่านการคลิกไปที่ไอคอนที่แสดงดังภาพด้านล่าง



คู่มือการใช้งานโปรแกรม Agisoft Metashape

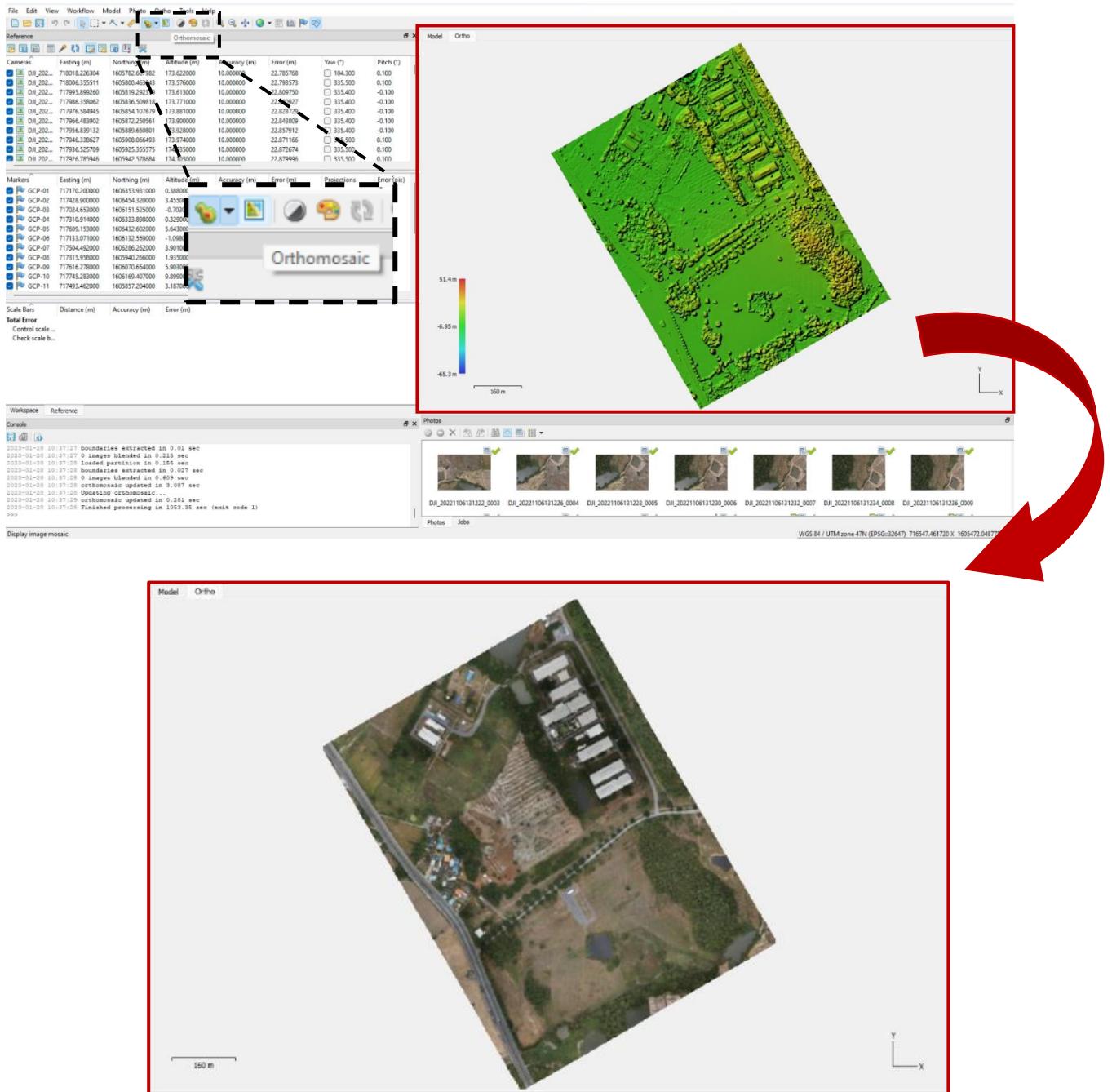
การสร้างภาพออร์โธ (Build Orthomosaic)

หลังจากทำการ Build Mesh แล้วขั้นตอนต่อไปเป็นการ Build Orthomosaic หรือเป็นการสร้างภาพ Orthophoto นั้นเอง ซึ่งสามารถทำได้โดยคลิกไปที่เมนู Workflow ที่แนบด้านบนอีกครั้งและคลิกเลือก Build Orthomosaic หลังจากเลือกแล้วโปรแกรมจะประมวลผลต่างๆ ตามที่ต้องการ ได้โดยในงานนี้จะเลือกตามค่าที่โปรแกรมกำหนดมาให้ เมื่อตั้งค่าเสร็จแล้วให้กดปุ่ม OK โปรแกรมจะทำการประมวลผลเพื่อให้ได้ Orthophoto ออกมา



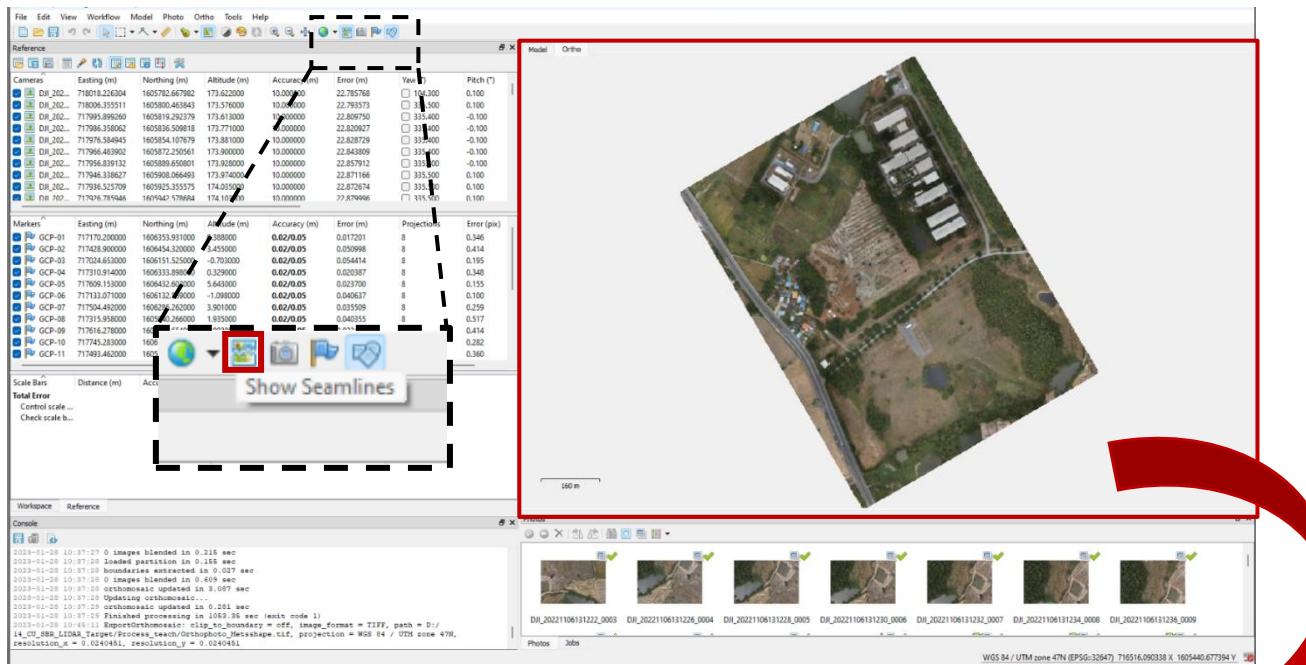
คู่มือการใช้งานโปรแกรม Agisoft Metashape

หลังจากประมวลผลจนเสร็จผู้ประมวลผลสามารถดูภาพอร์โธที่ผลิตขึ้นได้โดยการคลิกไปที่ไอคอน Orthomosaic หน้าต่างจะปรากฏภาพอร์โธขึ้นมาแทนดังรูปที่แสดงด้านล่าง



คู่มือการใช้งานโปรแกรม Agisoft Metashape

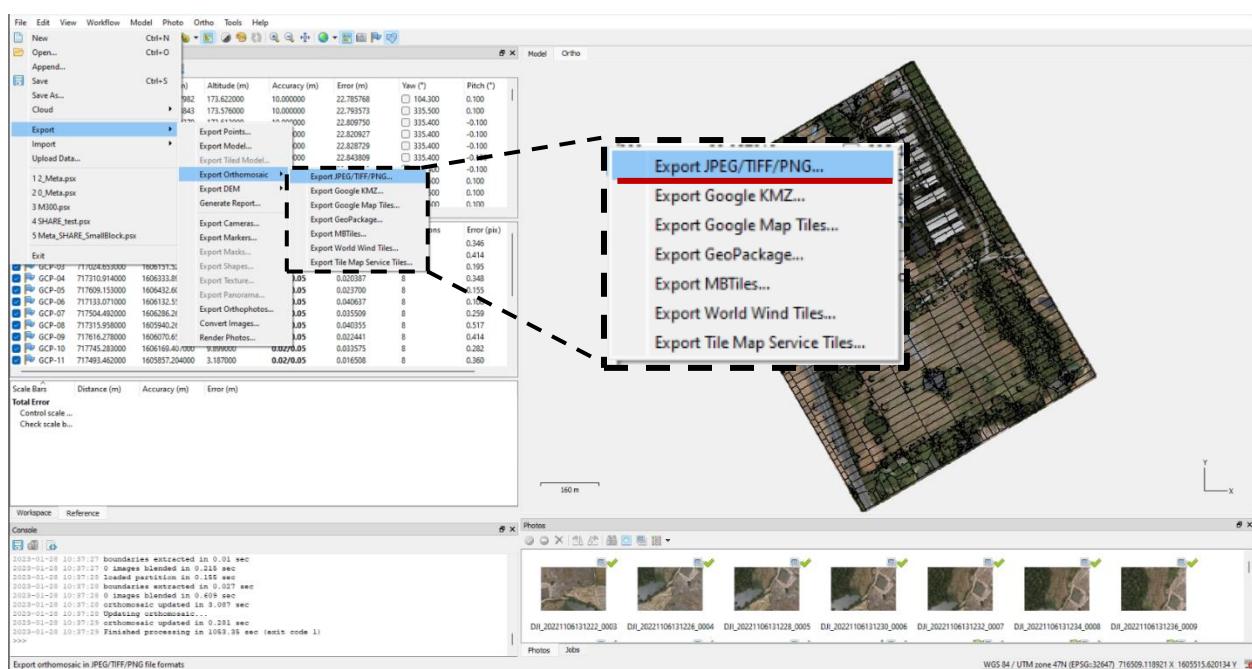
นอกจากนั้นโปรแกรมยังสามารถแสดงเส้น Seamlines ได้ โดยการคลิกตามกรอบสีเลือกหมุดังภาพที่แสดงด้านล่าง

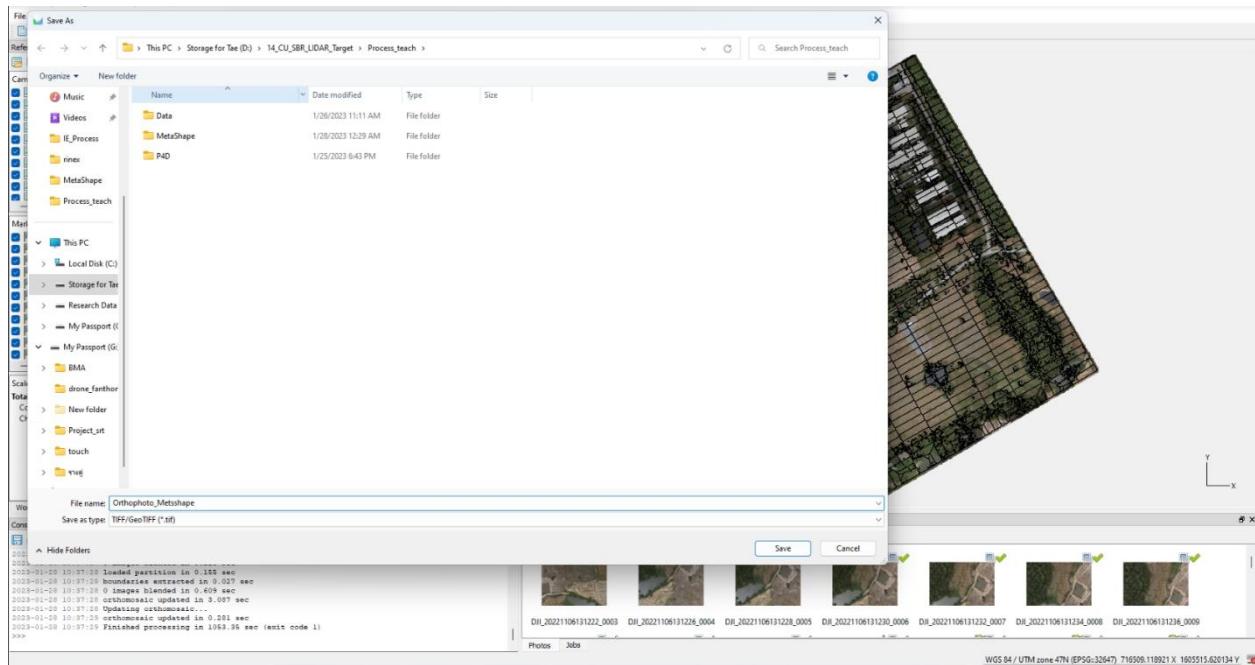
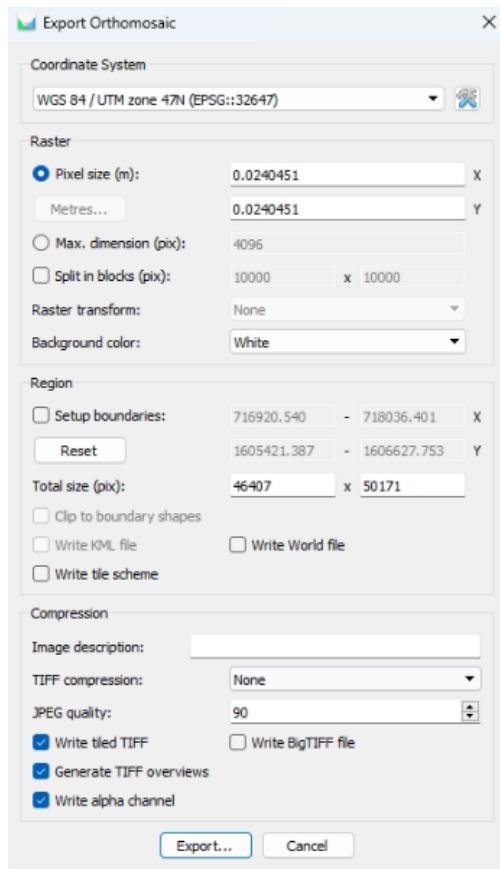


คู่มือการใช้งานโปรแกรม Agisoft Metashape

การนำข้อมูล Orthophoto และ DEM ออกไปใช้งาน (Export Orthomosaic & Export DEM)

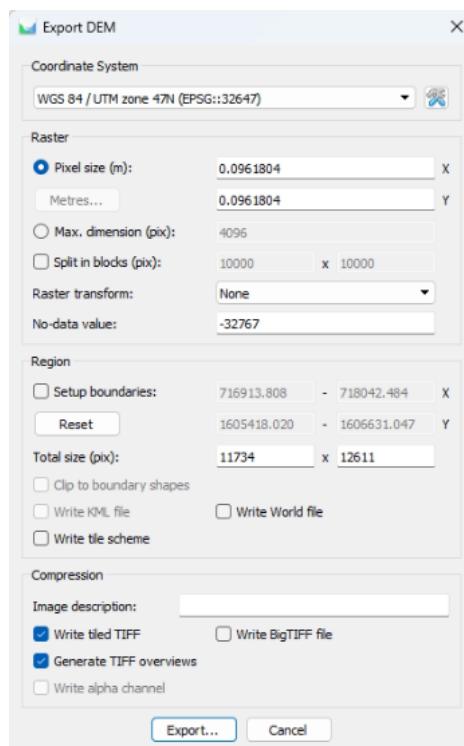
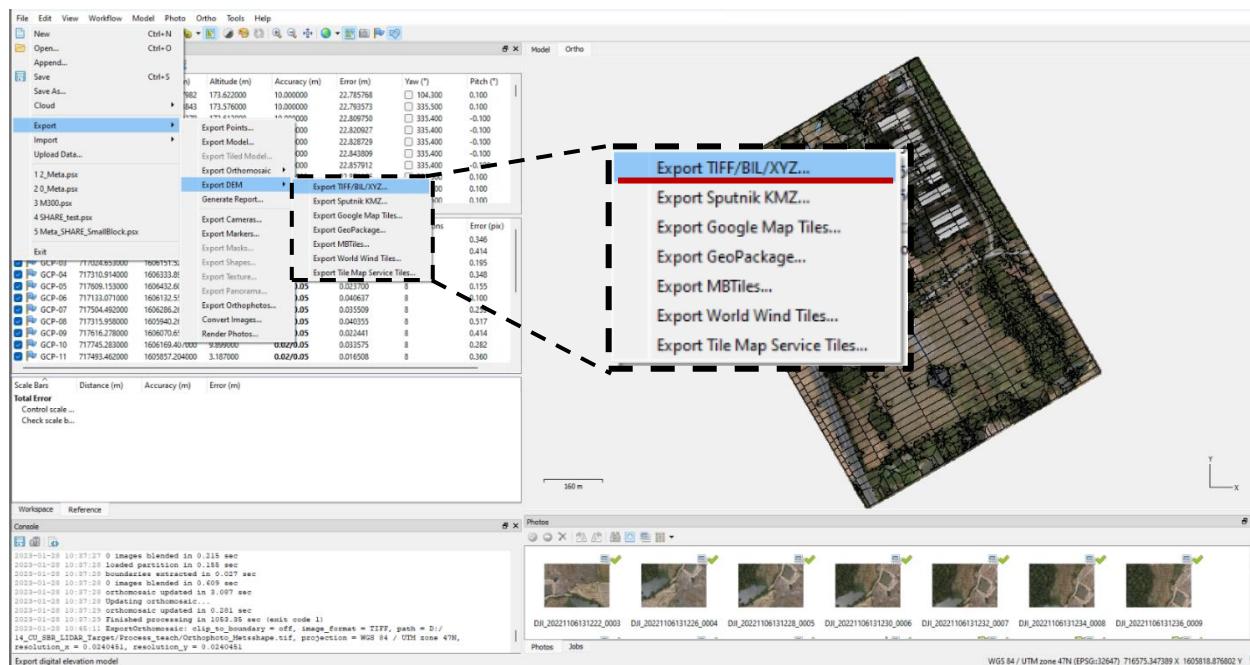
ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนของการ Export Orthophoto และ Export DEM ออกมาเพื่อนำข้อมูลไปใช้งานอื่น ๆ ต่อไป โดยให้ทำการกดไปที่ File แล้วเลือกไปที่ Export แล้วคลิกที่ Export Orthomosaic ซึ่งโปรแกรมจะให้เลือกต่อว่าต้องการ Export เป็นไฟล์รูปแบบใด ในงานนี้ Export เป็นไฟล์ TIFF หลังจากกดแล้วจะปรากฏหน้าต่างขึ้นมาให้ทำการตั้งค่า ซึ่งสามารถกำหนดได้ตามที่ต้องการในงานนี้กำหนดตามที่แสดงในหน้าตัดไป หลังจากตั้งค่าตามที่ต้องการเสร็จแล้วให้กดปุ่ม Export โปรแกรมก็จะประมวลหน้าต่างขึ้นมาให้เลือกไฟล์เดอร์ที่ต้องการจะเก็บไฟล์ไว้

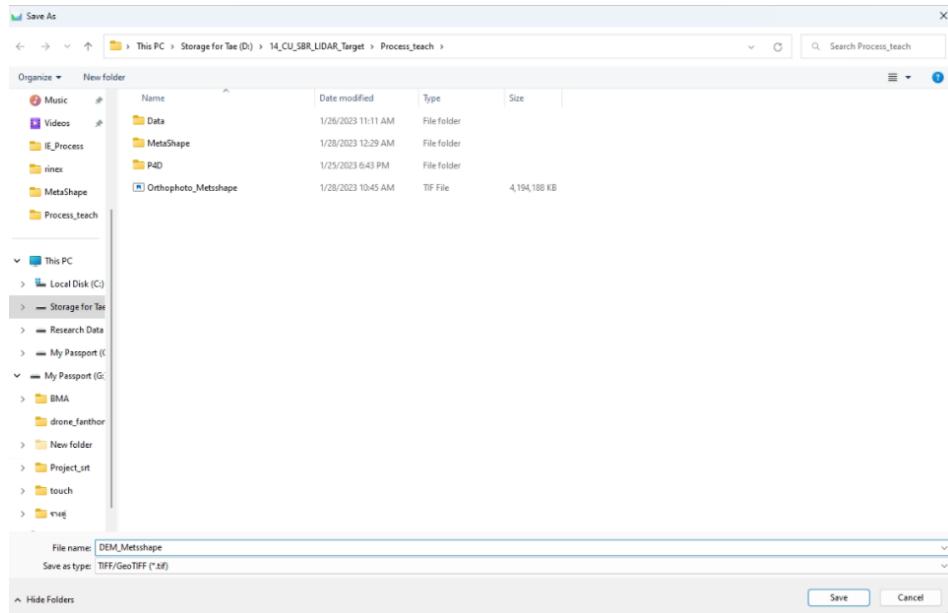




ຄູ່ມືການໃຊ້ຈານໂປຣແກຣມ Agisoft Metashape

หลังจากทำการ Export Orthomosaic ที่ทำการสร้างแล้วขึ้นตอนต่อไปเป็นการ Export DEM ให้ทำการกดไปที่ File แล้วเลือกไปที่ Export แล้วคลิกที่ Export DEM ซึ่งโปรแกรมจะให้เลือกต่อว่าต้องการ Export เป็นไฟล์รูปแบบใดในงานนี้ Export เป็นไฟล์ TIFF หลังจากกดแล้วจะปรากฏหน้าต่างขึ้นมาให้ทำการตั้งค่า ซึ่งสามารถกำหนดได้ตามที่ต้องการ ในงานนี้กำหนดตามรูปที่แสดงด้านล่าง หลังจากตั้งค่าตามที่ต้องการเสร็จแล้ว ให้กดปุ่ม Export โปรแกรมจะประมวลผลหน้าต่างขึ้นมาให้เลือกโฟลเดอร์ที่ต้องการจะเก็บไฟล์ไว้





หลังจาก Export Orthomosaic และ Export DEM แล้วขั้นตอนต่อไปเป็นขั้นตอนสุดท้ายก็คือ ขั้นตอน Generate Report ฉบับสมบูรณ์อ кома เพื่อใช้ในการพิจารณาข้อมูลต่าง ๆ รวมไปถึงพิจารณาค่า คลาดเคลื่อนต่าง ๆ โดยสามารถสร้างรายงานการประมวลผลได้ตามขั้นตอนที่เคยกล่าวไปก่อนหน้านี้

ภาคผนวก

คู่มือการใช้งานโปรแกรม Agisoft Metashape

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

โดยวัฒน์ บรรณกุลพิพัฒน์^{1*}, ไฟсал สันติธรรมนนท์^{2,3}, ธีรรักษ์ มนีนาถ³ และวีระชัย วงศ์วิรันนิมิตร³

¹* นิสิตปริญญาโท, สาขาวิชากรรมสำราญ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,

² รองศาสตราจารย์, สาขาวิชากรรมสำราญ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,

³ วิศวกรอาวุโส, 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, ศูนย์ชีวชาญเฉพาะทาง ด้านการจัดการ 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

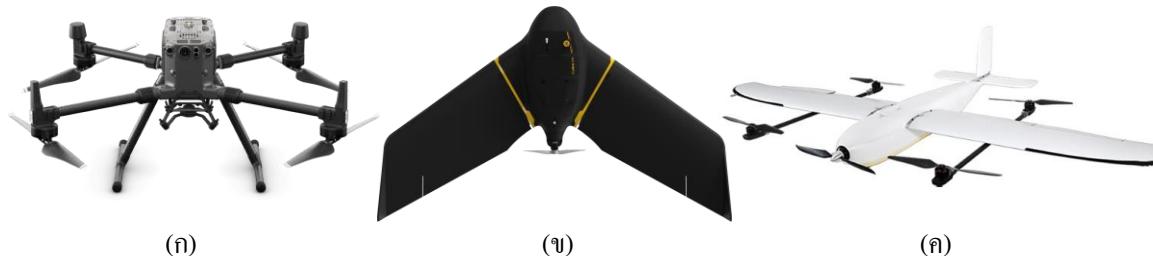
3.1 อากาศยานไร้คนขับยี่ห้อ DJI รุ่น MATRICE 300 RTK

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 เหมาะกับพื้นที่ขนาดใหญ่นอกเมือง การขึ้นบินและลงจอด ต้องเตรียมแนวพื้นที่โล่งกว้างและยาวมากกว่า 500 เมตร และมีความเสี่ยงต่อการที่กล้องตกกระแทกเสียหาย	ทำงานได้รวดเร็วให้เกียงกับระบบปีกตรึงยึดสามารถบินขึ้นลงสะดวกเข้าใกล้พื้นที่ปฏิบัติงานไม่มีความเสี่ยงต่อการที่กล้องตกกระแทกเสียหาย

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



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

3.2 กล้องถ่ายภาพทางอากาศ

ปัจจุบันระบบอากาศยานไร้คนขับสามารถเลือกติดตั้งกล้องถ่ายภาพที่ออกแบบและผลิตมาเพื่อใช้ถ่ายภาพทางอากาศโดยเฉพาะ กล้องถ่ายภาพทางอากาศสำหรับการทำแผนที่จะติดตั้งกล้องถ่ายภาพในทิศทางแนวตั้ง (Nadir) ความละเอียดชุดภาพของกล้องอยู่ในช่วง 20 - 61 ล้านพิกเซลภาพสามารถหาซื้อได้ทั่วไป หน่วยความจำของกล้องจะเป็นช่องเสียบการ์ดหน่วยความจำ (SD Card) สำหรับการออกแบบในสมัยใหม่มีแนวโน้มจะบรรจุหน่วยความจำขนาดนิด 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]

สำหรับกล้องถ่ายภาพทางอากาศที่มีราคาค่า เช่น กล้องที่ติดตั้งบน DJI Phantom 3/4 กล. ทำการเปิดรับภาพอาจเป็นชนิด Rolling Shutter กล่าวคือระหว่างการบันทึกหนึ่งเฟรมประกอบด้วยจุดภาพหลาย ๆ แต่ การอ่านแต่ละแฉวให้จบลิ้นทั้งเซนเซอร์ใช้เวลา 30 - 74 มิลลิวินาที [8] ผลที่เกิดขึ้น คือ การบันทึกภาพจะมีการหน่วงคิดเป็นระยะทาง 0.30 – 2.22 เมตร หากอากาศyan ไร้คนขับนิริเวศสัก 10 เมตรต่อวินาที ดังนั้นโปรแกรมประมวลผลจะต้องมีการสร้างแบบจำลองปรับแก้การ Rolling Shutter ด้วย ซึ่งโปรแกรมประมวลผลภาพอยู่ใน PIX4Dmapper และ Agisoft Metashape มีฟีเจอร์เหล่านี้ไว้ให้เลือกใช้แล้ว

ในงานวิจัยนี้ใช้อากาศyan ไร้คนขับ DJI M300 ติดตั้งกล้อง ZENMUSE P1 มีเซนเซอร์รับภาพแบบฟูลเฟรม (Full frame) ขนาด 45 ล้านจุดภาพ ความละเอียดของจุดภาพ 4.4 ไมโครอน ความยาวโฟกัส 35 มิลลิเมตร มีชัตเตอร์แบบเชิงกล (Mechanic shutter) แบบ Global shutter กล่าวคือการเปิดปิดรับแสงในการถ่ายภาพทุกครั้งถือว่าค่าเร็วมากจนสามารถบันทึกภาพทั้งเฟรมได้โดยไม่มีการขยับตำแหน่งจุดภาพใด ๆ ในเฟรม นอกจากนี้ระบบอากาศyan มีการติดตั้ง Gimbal ที่เป็นกลไกขึ้นกล้องและรักษาทิศทางแนวเดิมกล้องเพื่อป้องกันอาการสั่น ระหว่างภาพขณะบันทึกภาพ ในการนำมาถ่ายภาพทางอากาศชนิดภาพถ่ายด้ึงจะกำหนดคุณสมบัติของกล้องให้เป็น มุมก้ม 90 องศา

3.3 เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีเอ็นอีส婀ส (Global Navigation Satellite System; GNSS)

เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GNSS ที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้คือ STONEX รุ่น S900 สามารถรับสัญญาณได้หลายความถี่จากดาวเทียม GPS ดาวเทียม GLONASS ดาวเทียม GALILEO และดาวเทียม BEIDOU โดยเครื่องรับสัญญาณนี้นำไปใช้ในการสำรวจ รังวัดเป็นสถานีฐานเพื่อบันทึกข้อมูลไว้ใช้ในประมวลผลร่วมกับภาพถ่ายทางอากาศในภายหลังด้วยวิธีการรังวัดแบบจลน์แล้ว ประมวลผลภายหลัง (Post-Processed Kinematic; PPK) รวมถึงนำไปใช้ในการรังวัดตำแหน่งจุดบังคับภาคพื้นดินและจุดตรวจสอบในบริเวณพื้นที่การศึกษาด้วยวิธีการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ในทันที (Real-Time Kinematic; RTK) สำหรับการประยุกต์ใช้การรังวัดดาวเทียมจีเอ็นอีส婀สสำหรับจุดควบคุมภาคพื้นดิน (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

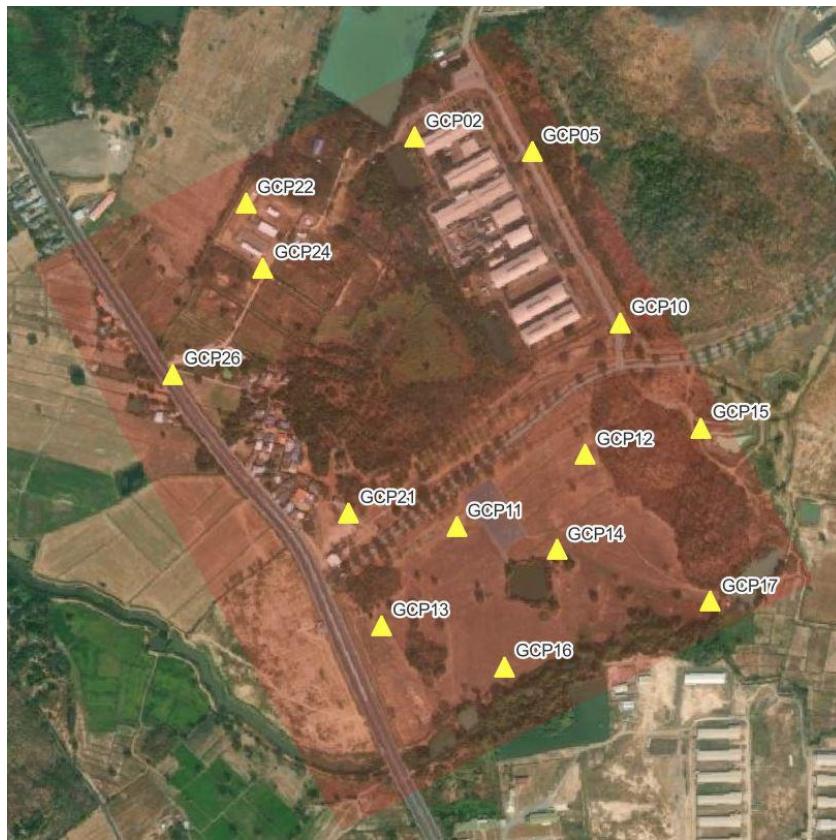
ความละเอียดถูกต้องทางราบ (Accuracy Horizontal)	+/-2 เมตร
ความละเอียดถูกต้องทางตั่ง (Accuracy Vertical)	+/-5 เมตร

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

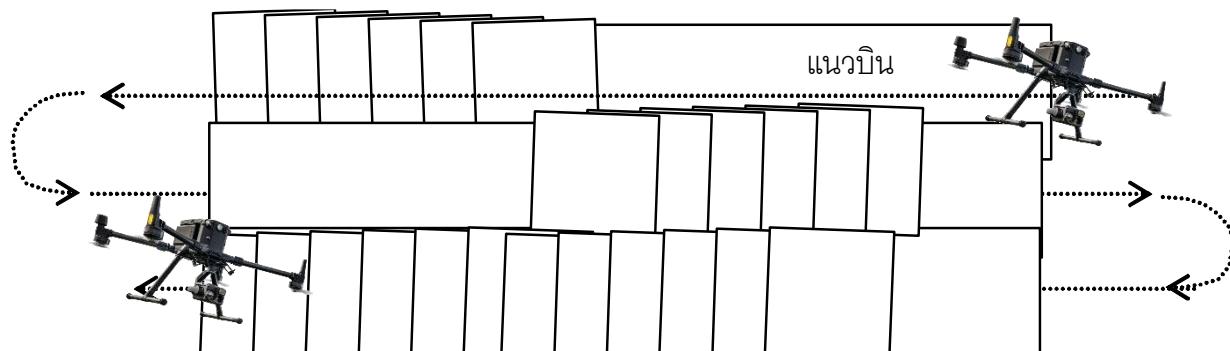
ส่วนที่ 1 การออกแบบรูปแบบการบินอากาศยานไร้คนขับ

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

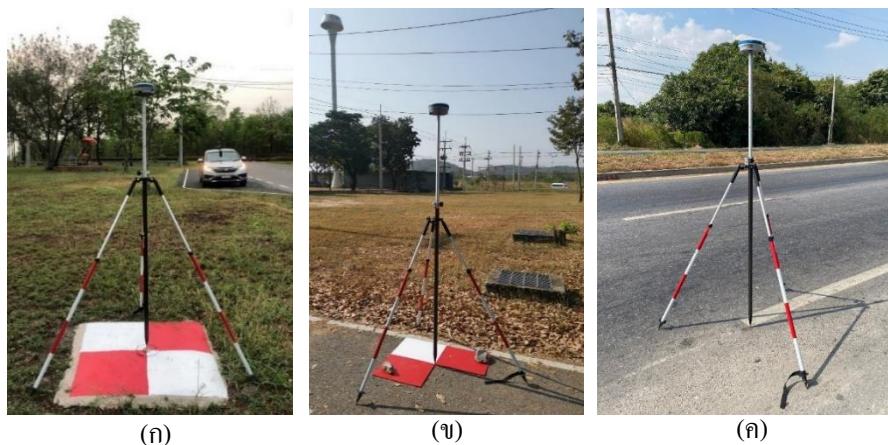
ข้อมูลการจัดทำจุดควบคุมภาคพื้นดินเป็นอีกหนึ่งส่วนที่สำคัญในการผลิตแผนที่ที่มีระบบพิกัดทั้งทางราบและทางดิ่งอยู่ในระบบเดียวกันกับระบบพิกัดทำแผนที่ภาคพื้น ดังนั้นในแต่ละการปฏิบัติการกิจกรรมจะต้องคำนึงถึงการจัดสร้างหมุดค่าพิกัดจุดบังคับภาคพื้นดิน (GCPs) และจุดตรวจสอบ (CPs) ให้กระจายตัวอยู่ในพื้นที่ปฏิบัติงาน 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 แผ่นฟิล์มอร์บหรือกระดาษขาวในร้านเครื่องเขียนเป็นแผ่นแข็งมีลักษณะต่างๆ 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 และมีจุดตรวจสอบภาพอีกจำนวนเท่าๆ 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 ค่าพิกัดที่ได้สองครั้งนำมาหาความหากำเนิดของค่าพิกัดที่รังวัดมาเพื่อใช้เป็นค่าพิกัดของหมุดบังคับภาคพื้นดินและคำนวนผลลัพธ์เพื่อคุณภาพของการรังวัดอีกด้วย



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 กล้องจะต้องเลือกให้โปรแกรมคำนึงการคำนวณไปพร้อมกับทุกครั้งประกอบกับจุดเชิด 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

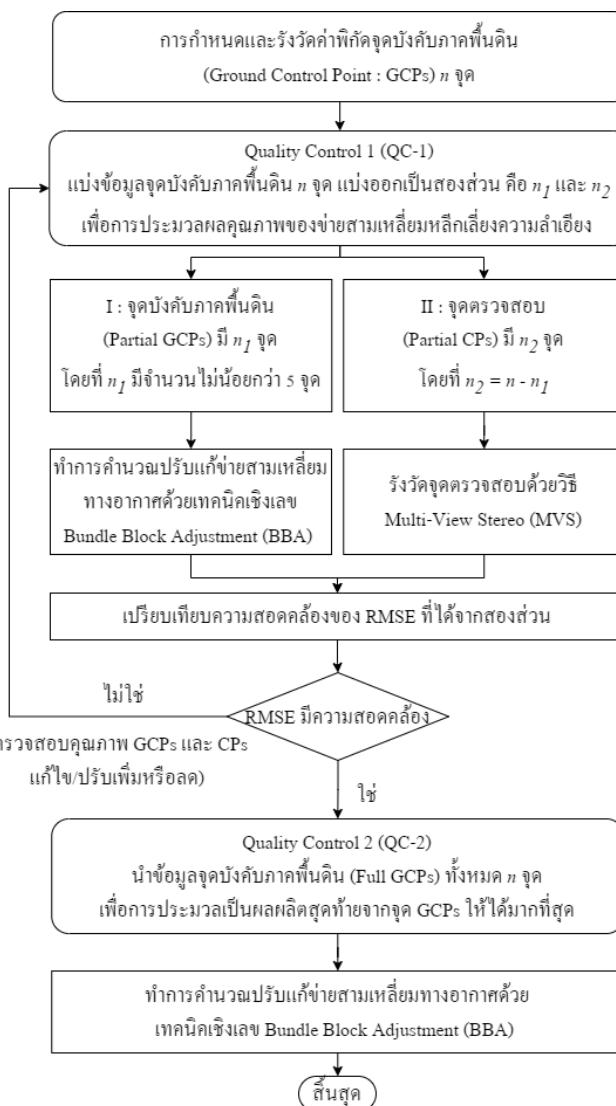
ตารางที่ 7 จำนวนจุดควบคุมภาพพื้นดินในแต่ละรูปแบบการประมาณผลที่ต้องใช้ต่อตารางกิโลเมตร

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

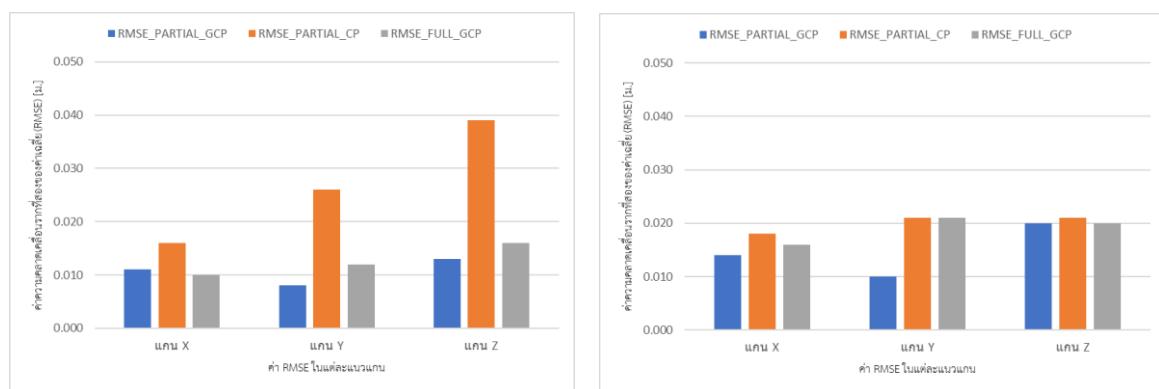
ตารางที่ 8 ความคลาดเคลื่อนของข่ายสามเหลี่ยมที่ใช้พิจารณาการควบคุมคุณภาพ 2 ขั้นตอน สำหรับโปรแกรม PIX4Dmapper

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

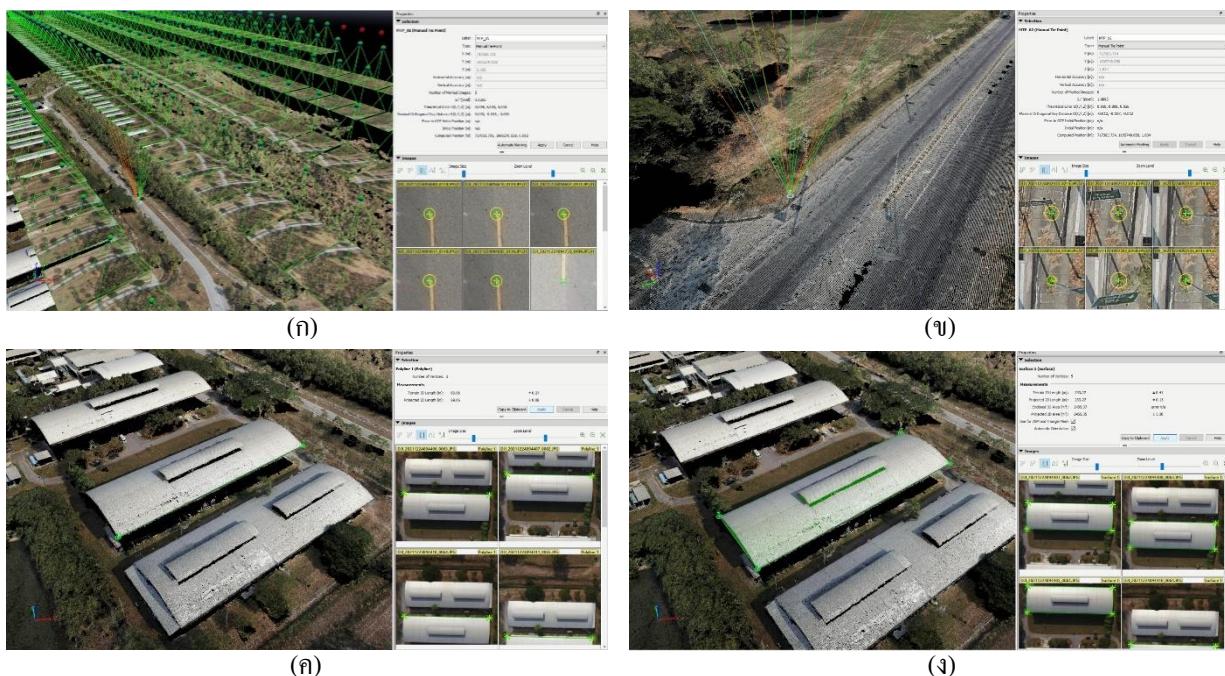


รูปที่ 7 แผนภูมิแท่งเปรียบเทียบค่า RMSE ของแต่ละแนวแกน (ก) ประมาณผลจากโปรแกรม PIX4Dmapper (ข) ประมาณผลจากโปรแกรม Agisoft Metashape

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	บีดเคบีปีน 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

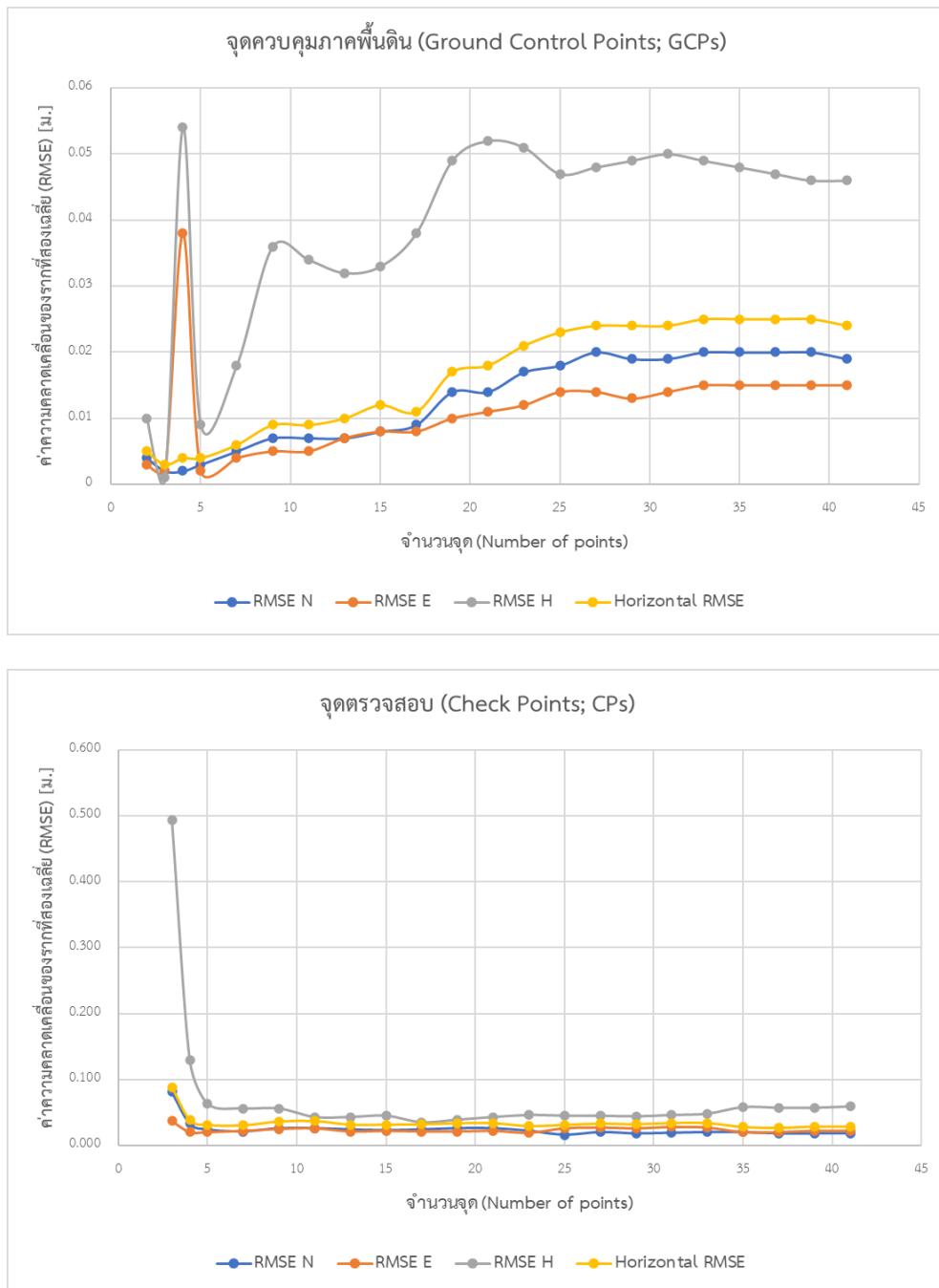
กิตติกรรมประกาศ

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 ค่าความคลาดเคลื่อนหากที่สองเฉลี่ยในแต่ละแกนสำหรับกรณีของจุดควบคุมภาคพื้นดินและจุดตรวจสอบ

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

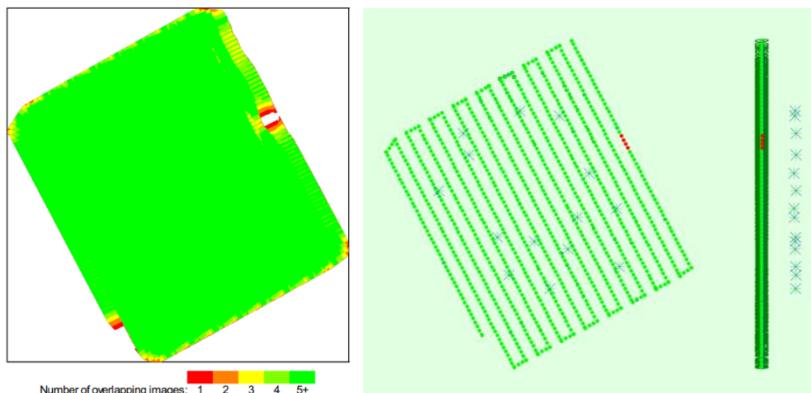
1. โครงการ การประมาณผลเพื่อผลิตข้อมูลแผนที่จากภาพถ่ายด้วยยูเอช

ชื่อทีม	ศูนย์ฯ ข่าวழุ่นเพาะทางด้านการสร้างพื้นฐาน ศูนย์วิเคราะห์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	ผู้รับผิดชอบ	-
ชื่อเครื่องภาพ	CU-SBR_DJI_M300	วัน/เดือน/ปี	25/12/2564
ยูเอช	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

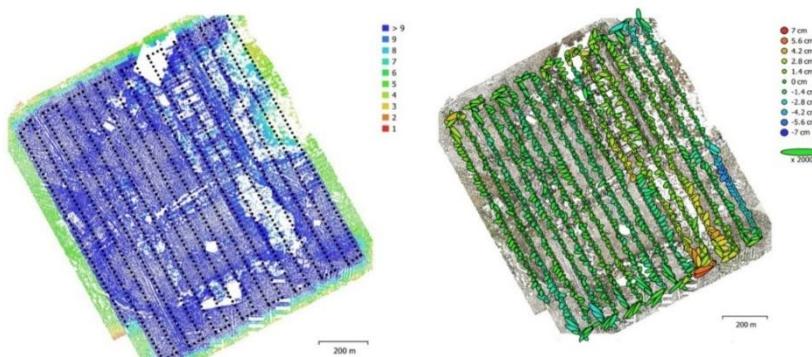
1. โครงการ การประมาณผลเพื่อผลิตข้อมูลแผนที่จากภาพถ่ายด้วยยูอาร์

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

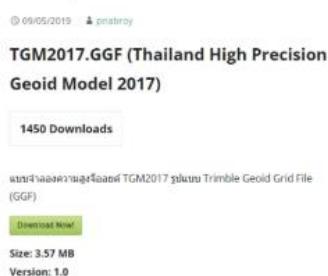
จุดควบคุมภาคพื้นดิน (Ground Control Points; GCPs) จำนวน 14 จุด

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

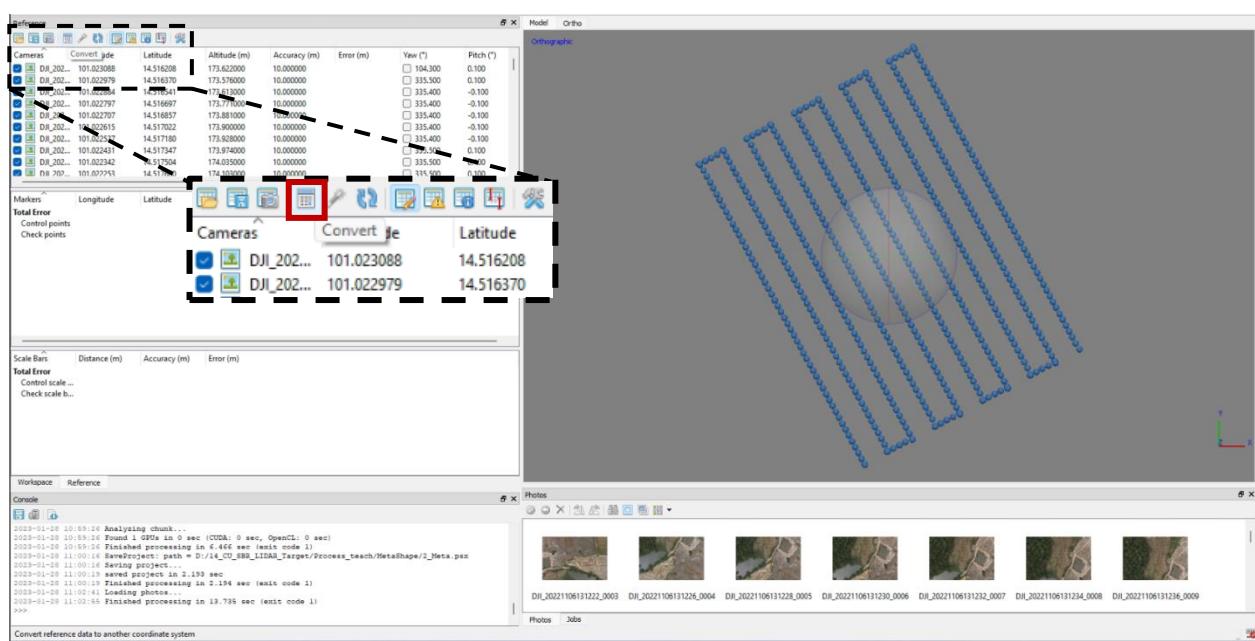
ภาคผนวก ข) การเพิ่มข้อมูลแบบจำลองยีօอยด์ท้องถิ่นของประเทศไทย (Thailand Geoid Model 2017 : TGM 2017)

การนำเข้าแบบจำลอง TGM2017 มาใช้ภายในโปรแกรมสามารถทำได้โดยต้องมีข้อมูลแบบจำลองในรูปแบบที่โปรแกรมรองรับ ซึ่งได้มีคนที่ทำการแปลงรูปแบบข้อมูลแบบจำลองให้ผู้ประมวลผลสามารถนำไปใช้งานได้แล้ว คือ คุณประจวบ เรียบร้อย โดยสามารถเข้าไปดาวน์โหลดแบบจำลองได้ตามลิงก์ที่ให้ไว้ (Link: https://www.priabroy.name/archives/sdm_downloads/tgm2017-ggf-thailand-high-precision-geoid-model-2017)

TGM2017.GGF (Thailand High Precision Geoid Model 2017)

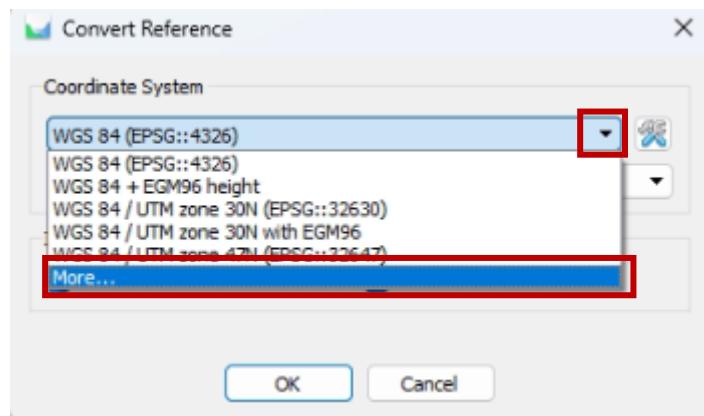


หลังจากดาวน์โหลดแบบจำลองมาไว้บนเครื่องแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการตรวจสอบว่าภายในโปรแกรม มีการนำเข้าแบบจำลองนี้หรือยัง โดยการลองกดไอคอน Convert หลังจากนั้นจะมีหน้าต่าง Convert Reference ปรากฏขึ้นมาดังภาพที่แสดงด้านล่าง

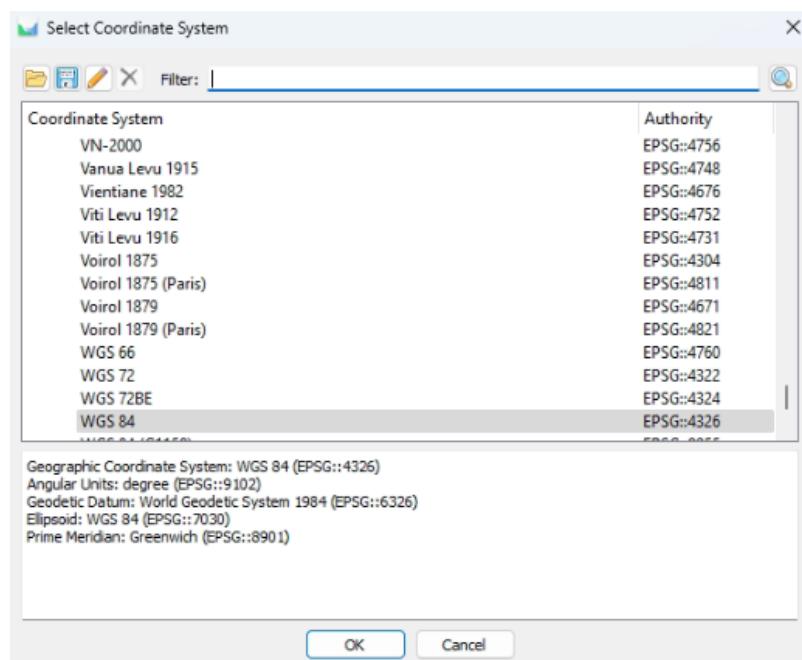


คู่มือการใช้งานโปรแกรม Agisoft Metashape

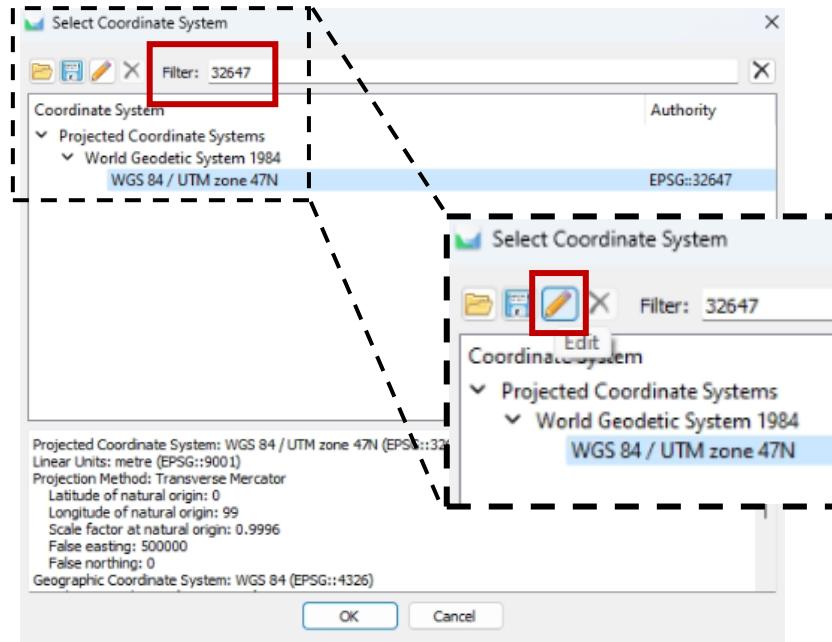
ทำการตรวจสอบระบบพิกัด พบร่วมมีการสร้างระบบพิกัดที่มีการระบุแบบจำลอง TGM2017 รวมถึงยังไม่มีแบบจำลอง TGM2017 ภายในโปรแกรม ดังนั้นผู้ประมวลผลสามารถนำเข้าแบบจำลองและสร้างระบบพิกัดที่คำนึงถึงแบบจำลอง TGM2017 ได้โดยคลิกที่ More... และทำการสร้างระบบพิกัดเพื่อใช้งานหรือเตรียมความพร้อมสำหรับขั้นตอนถัด ๆ เป็นกรณีที่ต้องการแปลงระบบพิกัดซึ่งจะกล่าวในขั้นตอนถัดไป



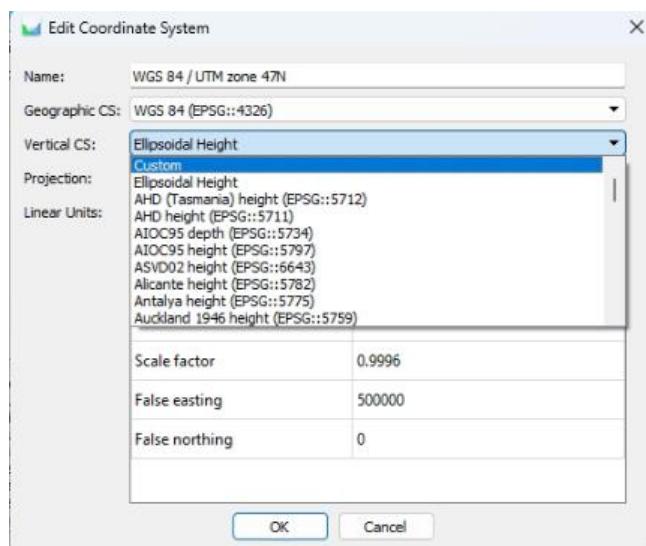
สำหรับในส่วนนี้จะจำลองการสร้างระบบพิกัด WGS 84/ UTM zone 47N + TGM2017 หลังจากคลิก More... และจะปรากฏหน้าต่างดังแสดงด้านล่าง



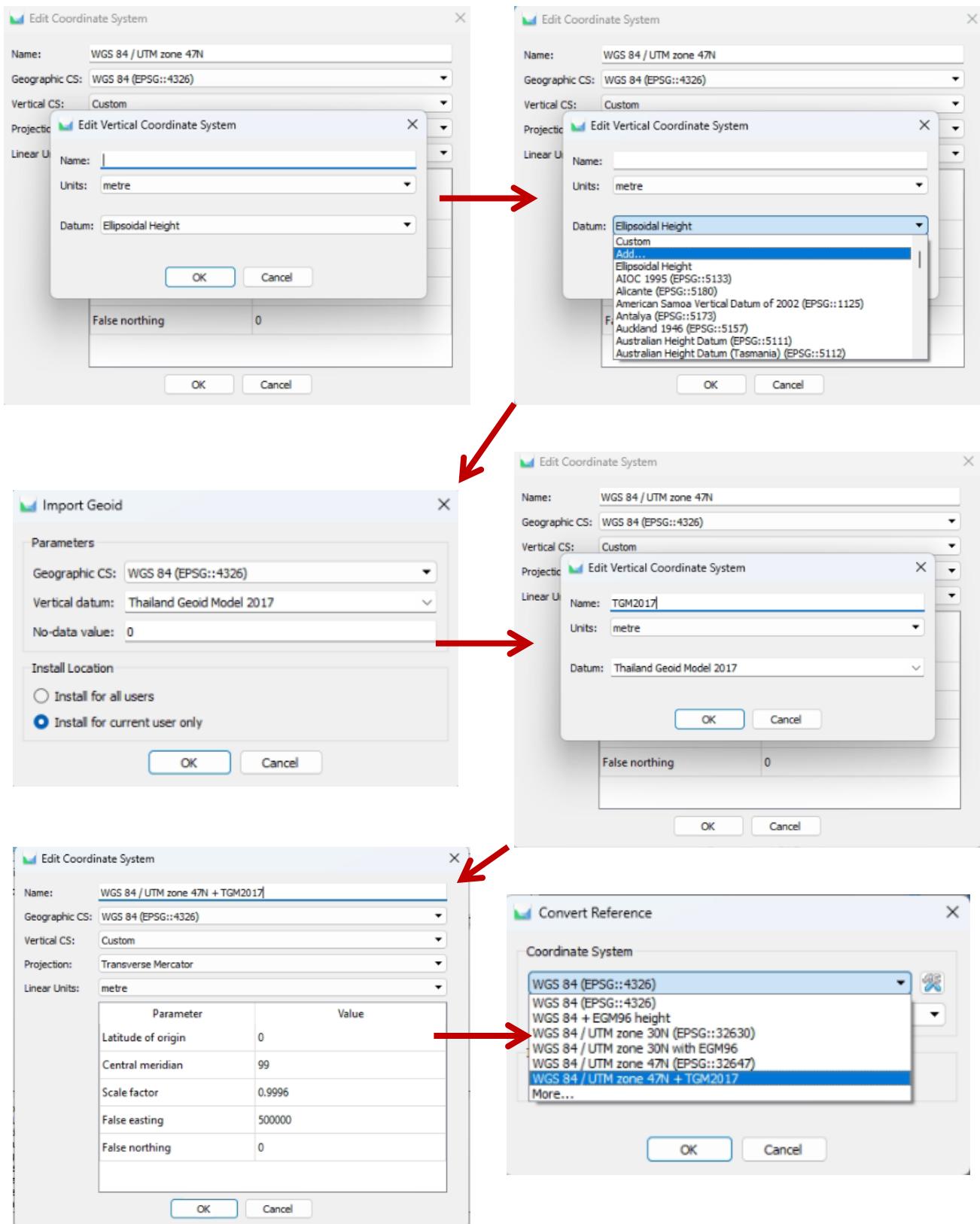
หากว่าระบบพิกัดที่ต้องการสร้างซื่ออะไร หรือมีรหัส EPSG อะไรสามารถพิมพ์ในช่อง Filter เพื่อทำให้สามารถค้นหาได้เร็วขึ้น สำหรับกรณีนี้ WGS 84/ UTM zone 47N มีรหัส EPSG คือ 32647 จึงได้ทำการกรอกลงไปในช่อง จากนั้นตรวจสอบรายละเอียดของระบบพิกัดที่ได้ทำการเลือก โดยการคลิกที่ไอคอน Edit



ตรวจสอบรายละเอียดที่ปรากฏขึ้นจากนั้นให้คลิกที่เครื่องหมายลงบริเวณบรรทัด Vertical CS แล้วทำการเลือกแบบจำลองที่ต้องการ เนื่องจากเป็นการนำเข้าแบบจำลองเข้ามา ให้ทำการเลือก Custom

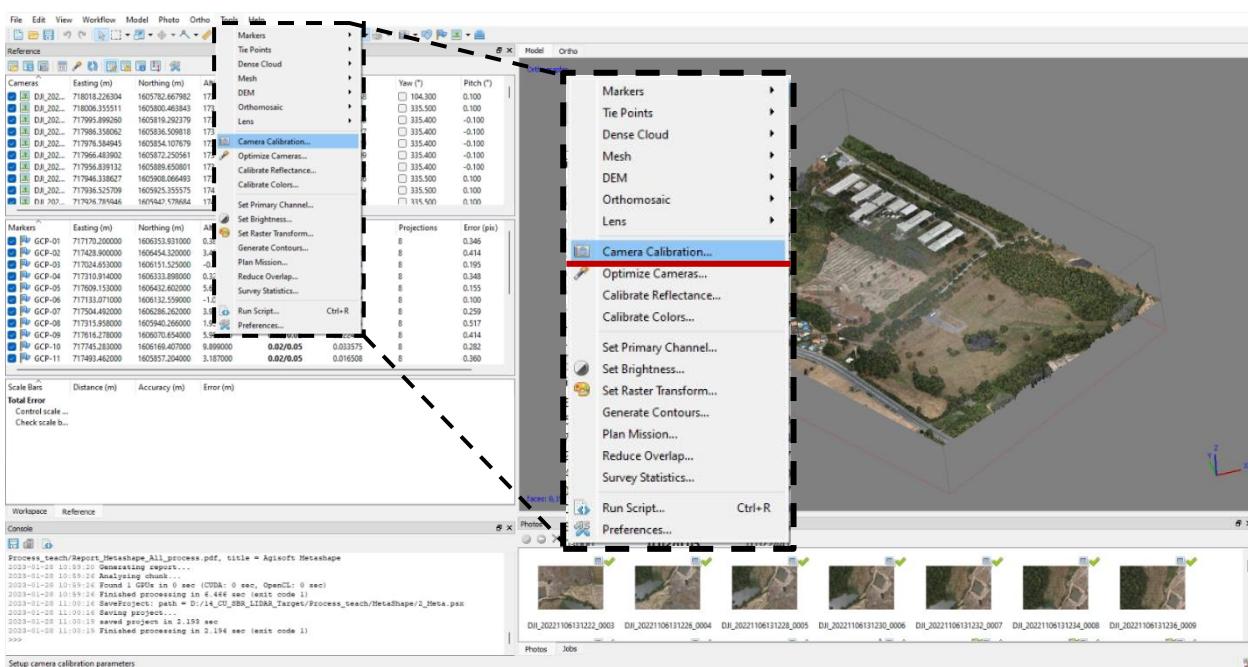


โปรแกรมจะแสดงหน้าต่างขึ้นมาใหม่เพื่อให้ทำการแก้ไขระบบพิกัดทางดิจิทัล โดยทำการคลิกเลือกในหัวข้อ Datum และคลิก Add.. โดยหลังจากกดแล้วโปรแกรมจะให้ผู้ใช้เลือกไฟล์ที่ต้องการนำเข้ามาสำหรับกรณีนี้คือ แบบจำลอง TGM2017 ที่ได้ดาวน์โหลดมาในขั้นก่อนหน้าจากนั้นโปรแกรมจะปรากฏหน้าต่าง Import Geoid ขึ้นมาให้ทำการตรวจสอบรายละเอียดที่ปรากฏ หากตรวจสอบเสร็จแล้วให้คลิกปุ่ม OK จะกลับมาสู่หน้าจอที่ให้ผู้ประมวลผลสามารถตั้งชื่อแบบจำลองที่ทำการนำเข้ามาได้ โดยในกรณีนี้ตั้งชื่อว่า TGM2017 จากนั้นกลับมาตั้งชื่อระบบพิกัดที่ทำการสร้างขึ้นเพื่อใช้สำหรับทำงานในอนาคต ในกรณีนี้ตั้งชื่อว่า WGS84 / UTM zone 47N + TGM 2017 หากตั้งชื่อและตรวจสอบรายละเอียดเสร็จแล้วให้ทำการกดปุ่ม OK เป็นอันเสร็จสิ้นการสร้างระบบพิกัด หลังจากนี้ระบบพิกัดที่เราสร้างขึ้นจะไปปรากฏในหน้าต่างระบบพิกัดและทำให้ผู้ใช้สามารถเลือกใช้งานได้

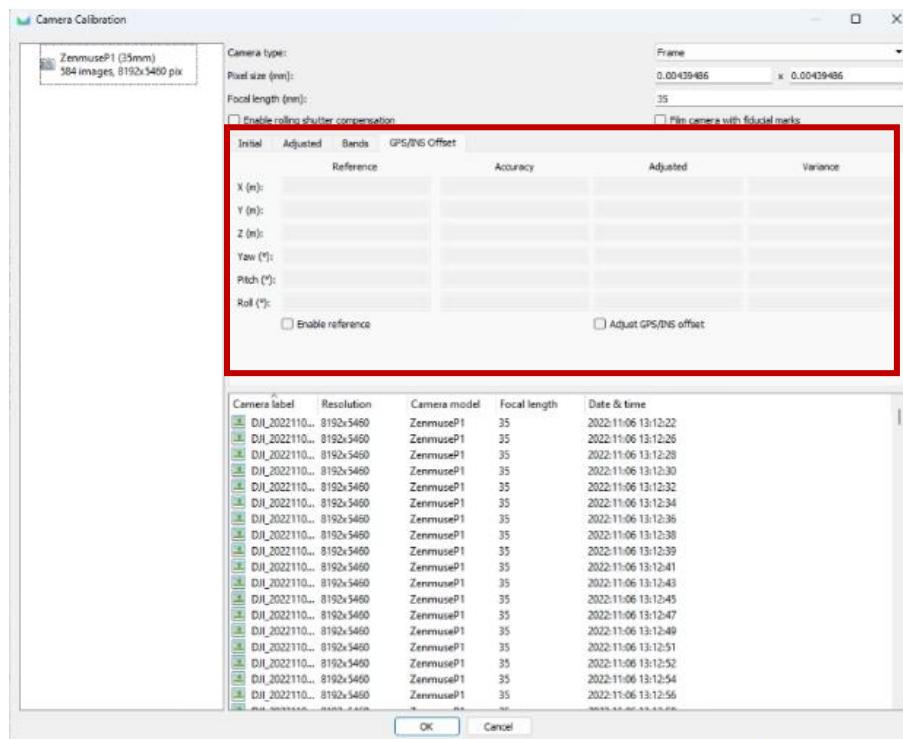
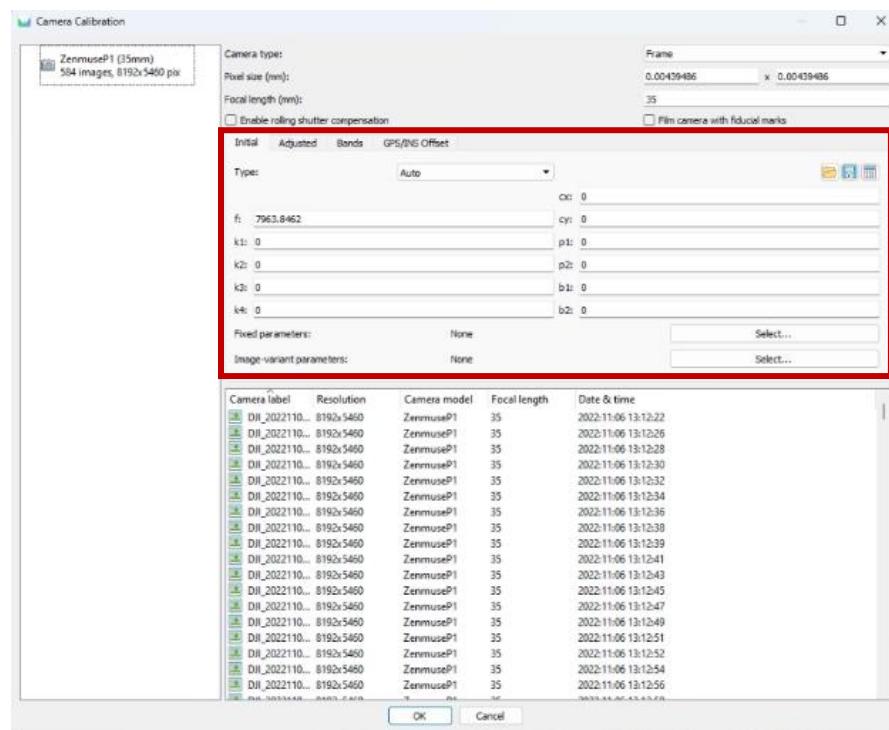


ภาคผนวก ค) การกำหนดพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับกล้องถ่ายภาพภายในโปรแกรม

เนื่องจากการประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายนั้น ภาพที่บันทึกมาจากกล้องมีค่าพารามิเตอร์เฉพาะตัวของแต่ละกล้อง ดังนั้นเพื่อการประมวลผลที่ถูกต้องผู้ประมวลผลควรจะต้องตั้งค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ให้ถูกต้อง สอดคล้องกับลักษณะทางกายภาพของกล้องด้วย โดยสามารถเข้าไปตั้งค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ได้โดยการไปที่แถบ Main menu จากนั้นเลือกไปที่ปุ่ม Tools จากนั้นคลิกไปที่ Camera Calibration... โปรแกรมจะปรากฏหน้าต่างขึ้นมาเพื่อให้ผู้ใช้สามารถกำหนดและตั้งค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องได้ดังภาพที่แสดงด้านล่าง



จากหน้าต่างที่ปรากฏจะเห็นได้ว่าโปรแกรมอนุญาตให้ผู้ประมวลผลกำหนดและตั้งค่าพารามิเตอร์ได้หลายพารามิเตอร์ ได้แก่ ชนิดของกล้อง ขนาดของจุดภาพ ระยะโฟกัส การคำนวณ Rolling Shutter การกำหนดค่าพารามิเตอร์การจัดวางภายในของภาพถ่าย นอกจากนี้ยังสามารถกำหนดค่าระยะ GPS/INS Offset ได้ด้วย สำหรับกรณีที่ต้องมีการบวกหรือลบระยะห่าง ดังภาพที่แสดงด้านล่าง

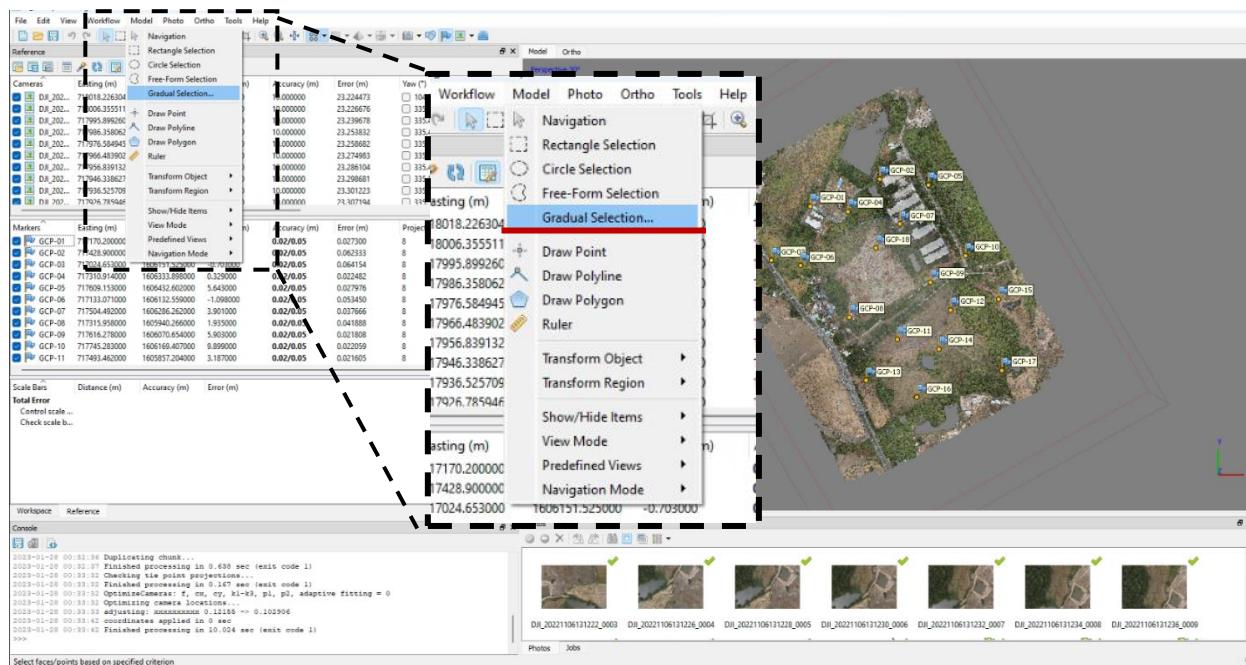


ภาคผนวก ๔) การประมวลผล Reconstruction uncertainty, Projection accuracy and Reprojection error ในโครงการ

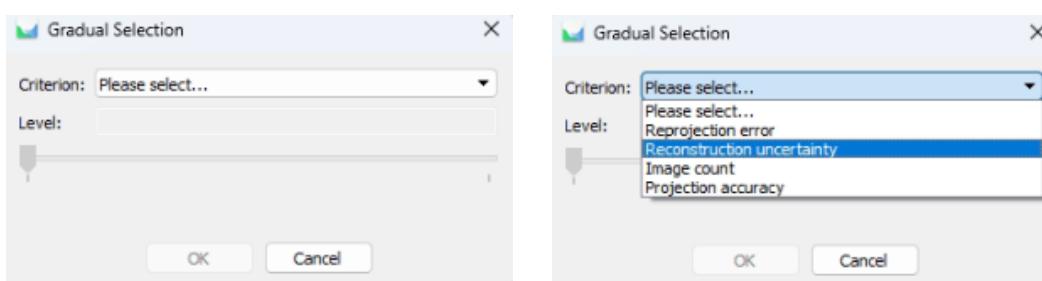
อ้างอิงจากเอกสาร: Over, J. S. R., Ritchie, A. C., Kranenburg, C. J., Brown, J. A., Buscombe, D. D., Noble, T., ... & Wernette, P. A. (2021). Processing coastal imagery with Agisoft Metashape Professional Edition, version 1.6—Structure from motion workflow documentation (No. 2021-1039). US Geological Survey.

การประมวลผล Reconstruction uncertainty

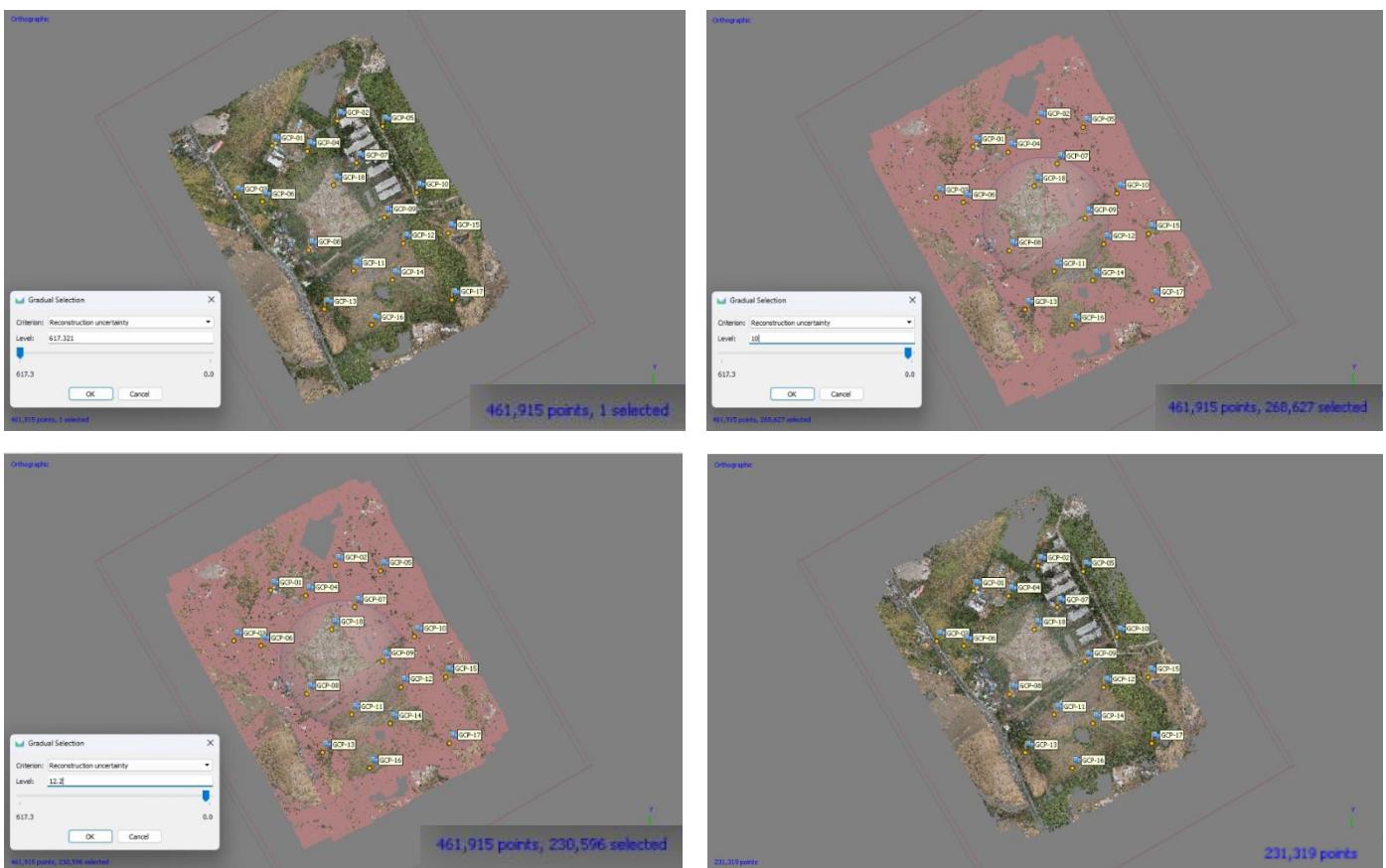
การประมวลผล Reconstruction uncertainty เป็นส่วนหนึ่งในการลดความคลาดเคลื่อนและปรับแก้ข้อมูล โดยในส่วนนี้จะเป็นการแก้ไขเชิงเรขาคณิต (geometry) โดยให้ผู้ประมวลผลไปที่แถบ Main Menu แล้วเลือกไปที่ปุ่ม Model จากนั้นเลือก Gradual selection (การกรองหรือเลือกข้อมูลพอยต์คลาวด์ตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด)



หลังจากกด Gradual selection จะปรากฏหน้าต่างขึ้นมาให้คลิกไปที่ Please select... แล้วทำการเลือก Reconstruction uncertainty



จากนั้นโปรแกรมจะประมวลผลคำนวนระดับขึ้นมา ซึ่งเป็นระดับที่จะกำหนดข้อมูลพอยต์คลาวด์ที่ถูกเลือก โดยที่ถ้าตัวเลขของค่าระดับมีตัวเลขที่น้อยลงจำนวนพอยต์คลาวด์ที่ถูกเลือกจะมีมากขึ้น โดยสำหรับการ Reconstruction uncertainty จะมีหลักการเลือกระดับของตัวเลข คือ ให้ทำการกรอกค่าระดับไปที่หมายเลข 10 จากนั้นพิจารณาจำนวนของจุดพอยต์คลาวด์ที่ถูกเลือกจะอยู่บริเวณล่างซ้าย (เนื่องจากตัวเลขของจำนวนพอยต์คลาวด์มีขนาดตัวอักษรที่ค่อนข้างเล็กในคู่มือเล่นนี้จะทำการครอบแล้วทำการขยายแล้วนำไปไว้ทางล่างขวาของแต่ละรูป) ของหน้าต่างแสดงผล หากจำนวนของพอยต์คลาวด์ถูกเลือกเกิน 50 เปอร์เซ็นต์ ของจำนวนพอยต์คลาวด์ทั้งหมด ให้ทำการเพิ่มค่าระดับไปเรื่อยๆ จนจำนวนพอยต์คลาวด์ที่ถูกเลือกมีค่าน้อยกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นให้ทำการคลิกปุ่ม OK จากนั้นโปรแกรมจะยังเลือกข้อมูลพอยต์คลาวด์ที่ผ่านการกรองด้วยตัวเลขค่าระดับไว้อยู่ให้ผู้ใช้ทำการลบข้อมูลพอยต์คลาวด์เหล่านั้นแล้วทำการ optimization ถึงเป็นอันเสร็จสิ้นขั้นตอนนี้



ลองพิจารณาเงื่อนไขการกำหนดค่าตัวเลขระดับสำหรับเลือกข้อมูลพอยต์คลาวด์แล้วทำการลบจากตัวอย่างการประมวลผลในเล่มคู่มือนี้สรุปได้ดังต่อไปนี้

จำนวนข้อมูลพอยต์คลาวด์ทั้งหมด = 461915 จุด

ทำการคำนวน 50 เปอร์เซ็นต์ของข้อมูลพอยต์คลาวด์ทั้งหมด (หาร 2) = $461915/2 = 230957.5$ จุด

ดังนั้นการเลือกจำนวนจุดต้องเลือกค่าระดับของตัวเลขที่มีจำนวนของข้อมูลพอยต์คลาวด์ไม่เกิน 230957

จุด

กรณีเลือก Level 10 จำนวนพอยต์คลาวด์ที่ถูกเลือก = 268627 จุด มากกว่า 50 เปอร์เซ็น

----- ทำการเลือกค่าระดับจนมีจำนวนพอยต์คลาวด์น้อยกว่า 50 เปอร์เซ็น -----

พบว่าสำหรับข้อมูลการประมาณผลครั้งนี้ต้องเลือก

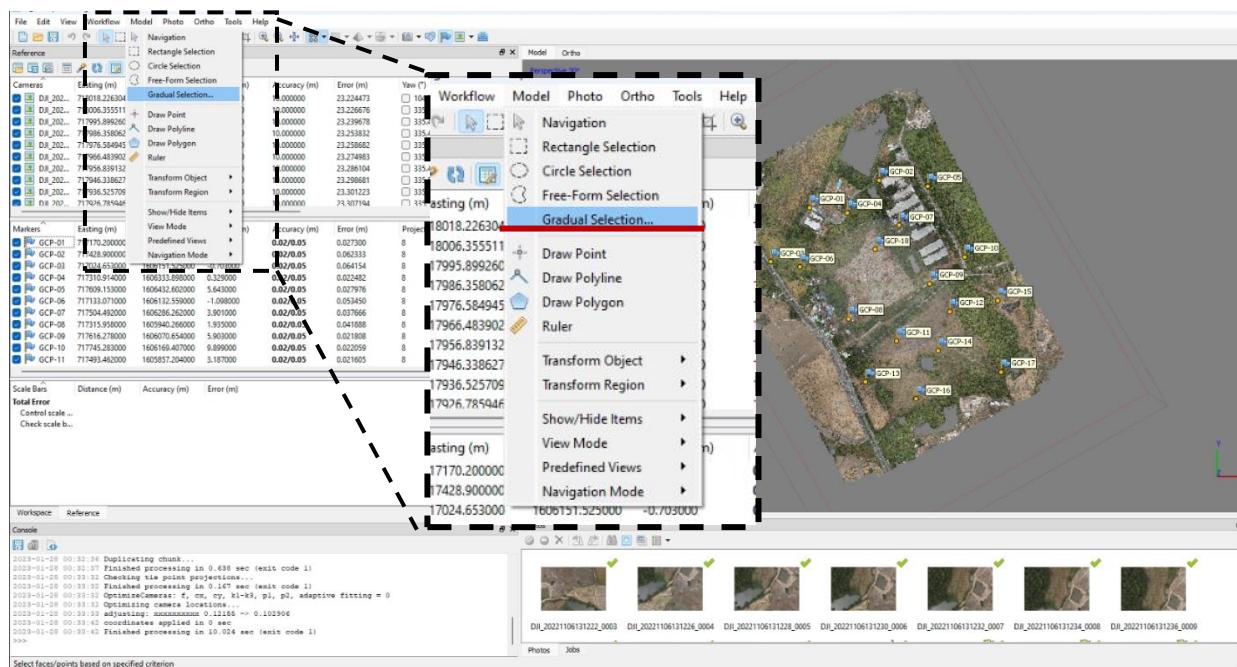
เลือก Level 12.2 เนื่องจากจำนวนพอยต์คลาวด์ที่ถูกเลือก = 230596 จุด

จากนั้นทำการลบข้อมูลพอยต์คลาวด์ที่ถูกเลือก พอยต์คลาวด์สูหัสหิสำหรับนำไปประมาณผลต่อ คือ 231319

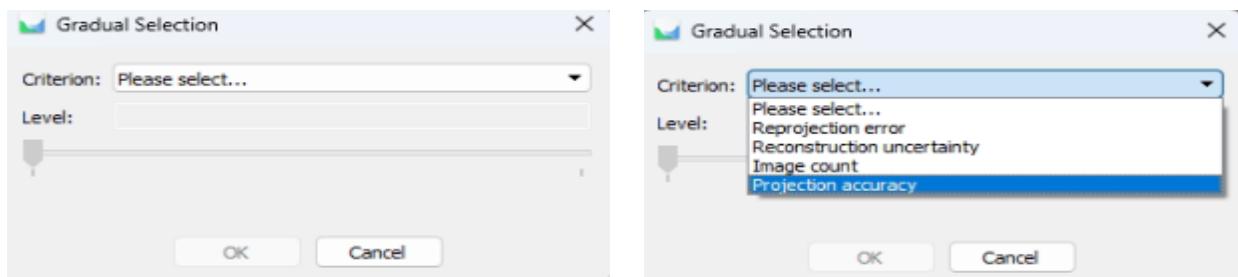
จุด

การประมาณผล Projection accuracy

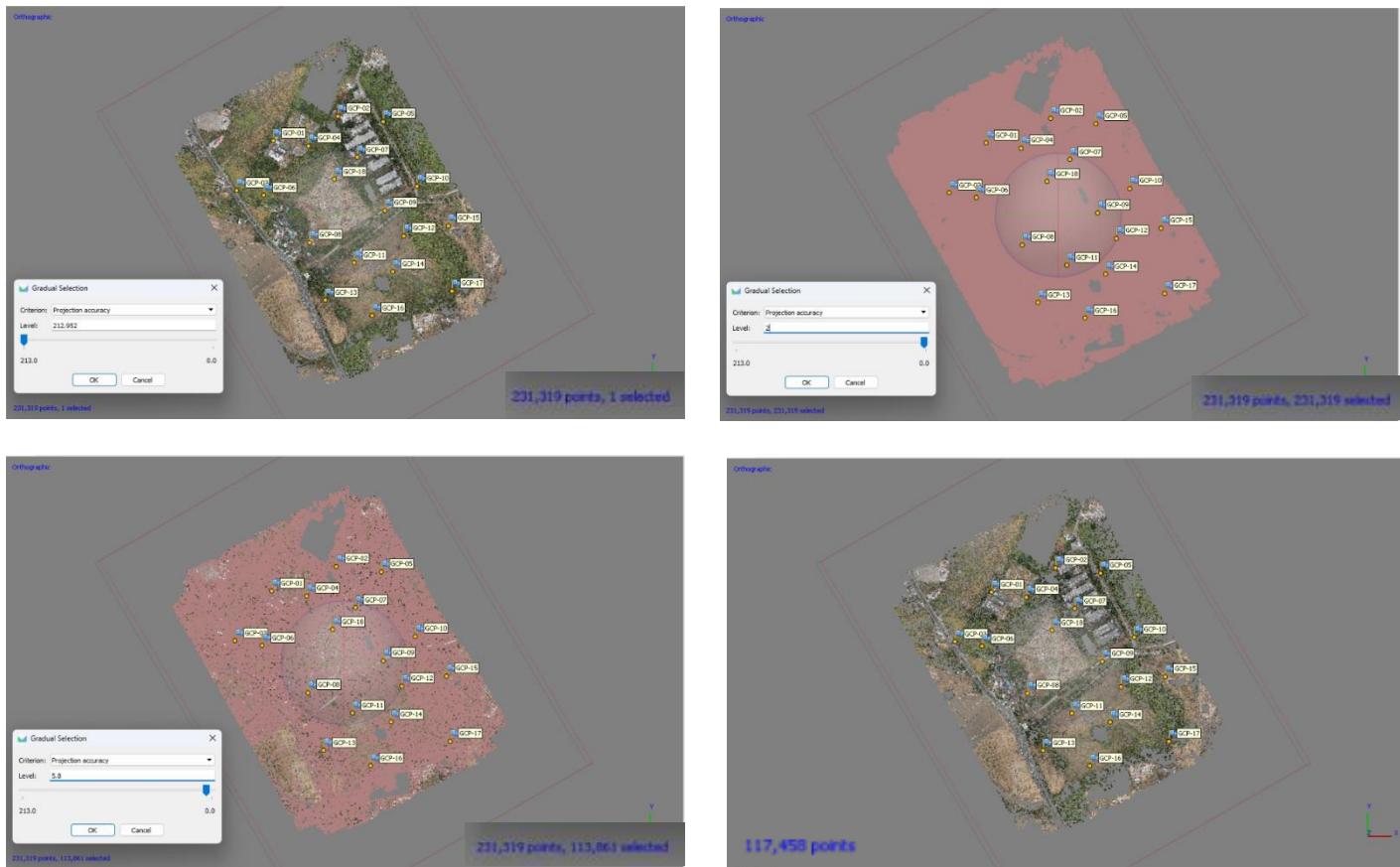
การประมาณผล Projection accuracy เป็นส่วนหนึ่งในการลดความคลาดเคลื่อนและปรับแก้ข้อมูล โดยในส่วนนี้จะเป็นการแก้ความคลาดเคลื่อนของจุดสำคัญที่จับคู่ผิด (pixel matching errors) โดยให้ผู้ประมาณผลไปที่แบบ Main Menu และเลือกไปที่ปุ่ม Model จากนั้นเลือก Gradual selection



หลังจากกด Gradual selection จะปรากฏหน้าต่างขึ้นมาให้คลิกไปที่ Please select... แล้วทำการเลือก Projection accuracy



จากนั้นโปรแกรมจะประมวลผลคำนวณระดับขึ้นมา ซึ่งเป็นระดับที่จะกำหนดข้อมูลพอยต์คลาวด์ที่ถูกเลือก โดยที่ถ้าตัวเลขของค่าระดับมีตัวเลขที่น้อยลงจำนวนพอยต์คลาวด์ที่ถูกเลือกจะมีมากขึ้น โดยสำหรับการ Projection accuracy จะมีหลักการเลือกระดับของตัวเลข คือ ให้ทำการกรอกค่าระดับไปที่ หมายเลข 2 จากนั้นพิจารณาจำนวนของจุดพอยต์คลาวด์ที่ถูกเลือกจะอยู่บริเวณล่างช้าย (เนื่องจากตัวเลขของจำนวนพอยต์คลาวด์มีขนาดตัวอักษรที่ค่อนข้างเล็กในคูมือเล่มนี้จะทำการครอปแล้วทำการขยายแล้วนำไปไว้ทางล่างขวาของแต่ละรูป) ของหน้าต่างแสดงผล หากจำนวนของพอยต์คลาวด์ถูกเลือกเกิน 50 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนพอยต์คลาวด์ทั้งหมด ให้ทำการเพิ่มค่าระดับไปเรื่อย ๆ จนจำนวนพอยต์คลาวด์ที่ถูกเลือกมีค่าน้อยกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นให้ทำการคลิกปุ่ม OK จากนั้นโปรแกรมจะยังเลือกข้อมูลพอยต์คลาวด์ที่ผ่านการกรองด้วยตัวเลขค่าระดับไว้อยู่ให้ผู้ใช้ทำการลบข้อมูลพอยต์คลาวด์เหล่านั้นแล้วทำการ optimization ถึงเป็นอันเสร็จสิ้นขั้นตอนนี้



ลองพิจารณาเงื่อนไขการกำหนดค่าตัวเลขระดับสำหรับเลือกข้อมูลพอยต์คลาวด์แล้วทำการลบจากตัวอย่างการประมวลผลในเล่มคู่มือนี้สรุปได้ดังต่อไปนี้

จำนวนข้อมูลพอยต์คลาวด์ทั้งหมด = 231319 จุด

ทำการคำนวณ 50 เปอร์เซ็นต์ของข้อมูลพอยต์คลาวด์ทั้งหมด (หาร 2) = $231319/2 = 115659.5$ จุด

ดังนั้นการเลือกจำนวนจุดต้องเลือกค่าระดับของตัวเลขที่มีจำนวนของข้อมูลพอยต์คลาวด์ไม่เกิน 115659

จุด

กรณีเลือก Level 2 จำนวนพอยต์คลาวด์ที่ถูกเลือก = 231319 จุด มากกว่า 50 เปอร์เซ็น

----- ทำการเลือกค่าระดับจนมีจำนวนพอยต์คลาวด์น้อยกว่า 50 เปอร์เซ็น -----

พบว่าสำหรับข้อมูลการประมวลผลครั้งนี้ต้องเลือก

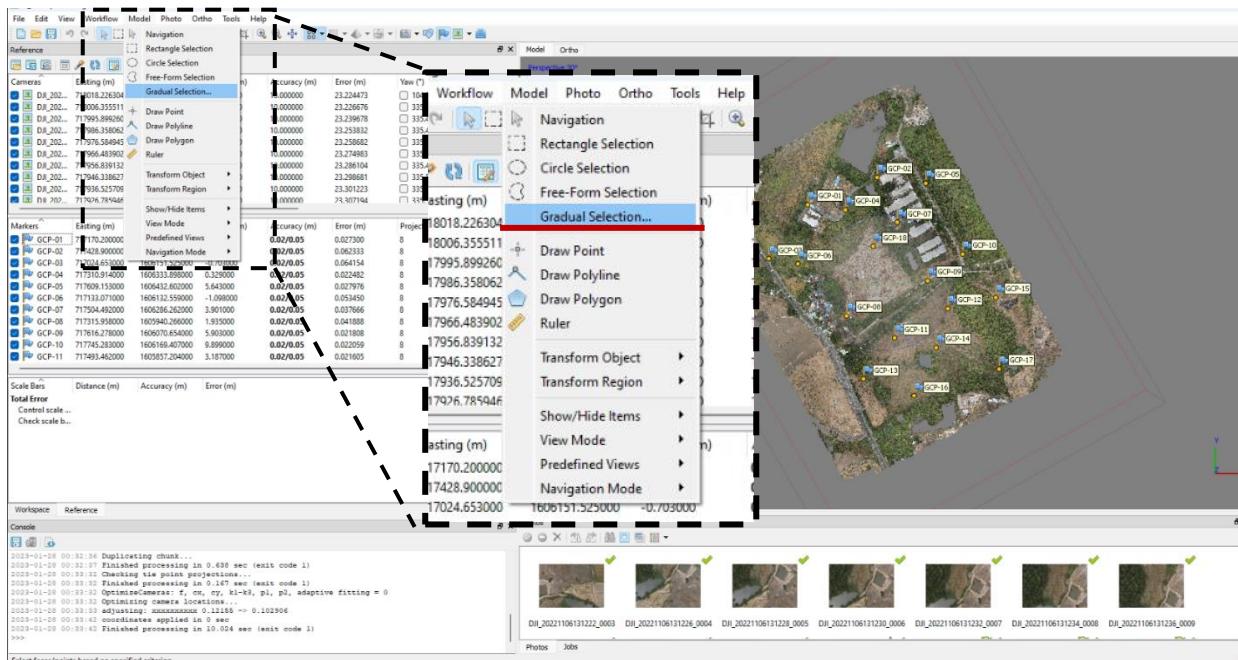
เลือก Level 5.8 เนื่องจากจำนวนพอยต์คลาวด์ที่ถูกเลือก = 113861 จุด

จากนั้นทำการลบข้อมูลพอยต์คลาวด์ที่ถูกเลือก พอยต์คลาวด์สูญเสียสำหรับนำไปประมวลผลต่อ คือ 117458 จุด

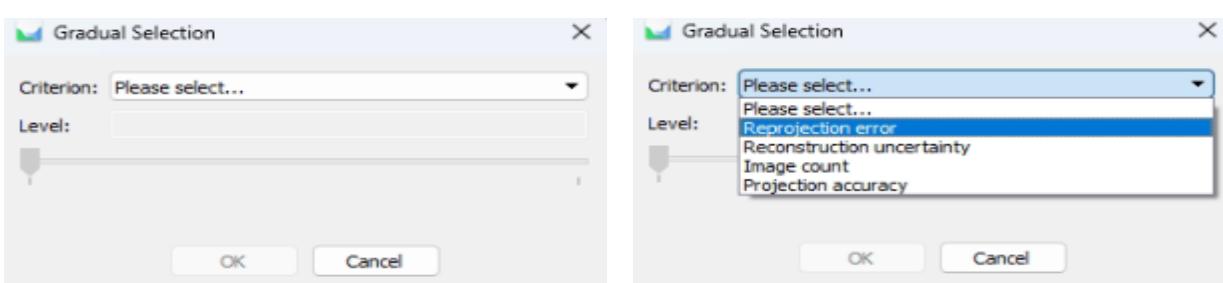
คู่มือการใช้งานโปรแกรม Agisoft Metashape

การประมวลผล Reprojection error

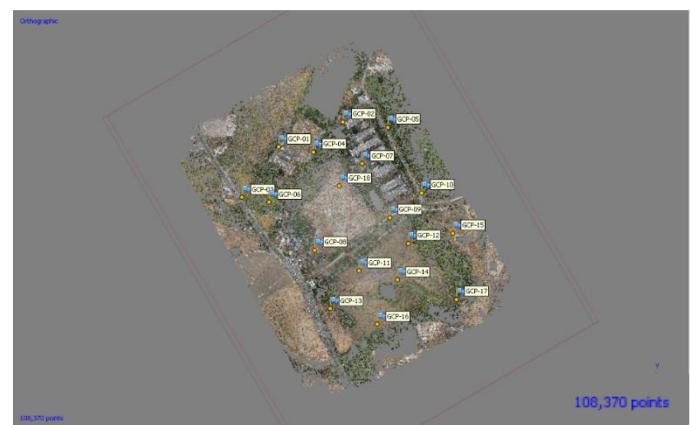
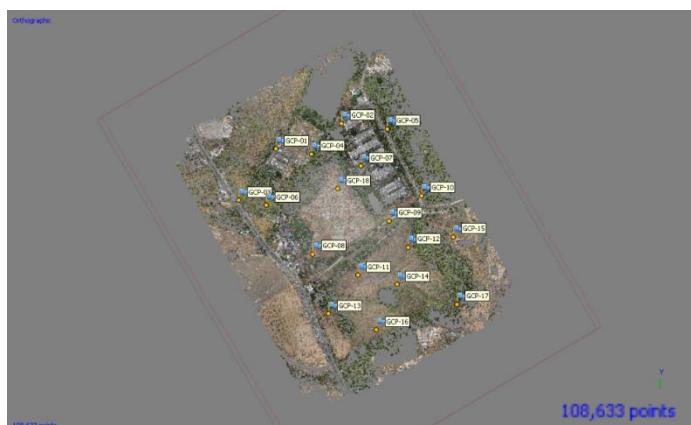
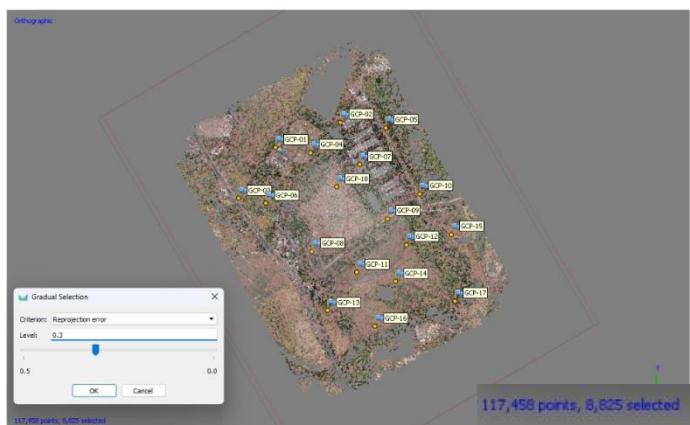
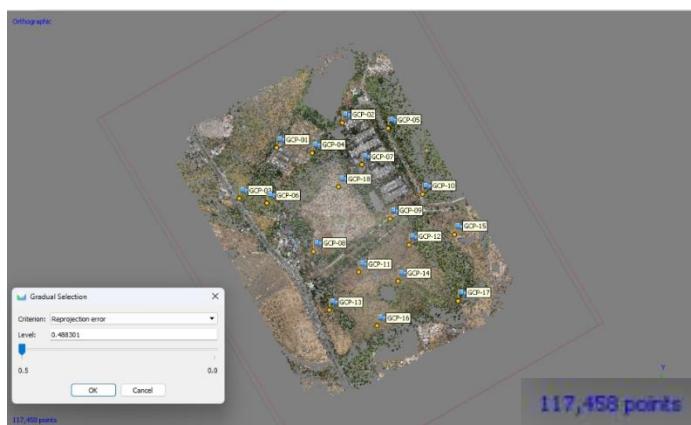
การประมวลผล Reprojection error เป็นส่วนหนึ่งในการลดความคลาดเคลื่อนและปรับแก้ข้อมูล โดยในส่วนนี้จะเป็นการแก้ความคลาดเคลื่อนจากการฉายกลับ (pixel residual errors) หรือก็คือระยะระหว่างตำแหน่งจุดภาพที่ปรากฏและตำแหน่งจุดภาพที่ได้จากการฉายกลับไปบนภาพถ่าย โดยให้ผู้ประมวลผลไปที่แท็บ Main Menu แล้วเลือกไปที่ปุ่ม Model จากนั้นเลือก Gradual selection



หลังจากกด Gradual selection จะปรากฏหน้าต่างขึ้นมาให้คลิกไปที่ Please select... และทำการเลือก Reprojection error



จากนั้นโปรแกรมจะประมวลผลคำนวนระดับขึ้นมา ซึ่งเป็นระดับที่จะกำหนดข้อมูลพอยต์คลาวด์ที่ถูกเลือก โดยที่ถ้าตัวเลขของค่าระดับมีตัวเลขที่น้อยลงจำนวนพอยต์คลาวด์ที่ถูกเลือกจะมีมากขึ้น โดยสำหรับการ Reprojection error จะมีหลักการเลือกระดับของตัวเลข คือ ให้ทำการกรอกจำกัด reprojection error ไว้ไม่เกิน 0.3 พิกเซล หรือหมายเลขที่ทำให้มีข้อมูลพอยต์คลาวด์ถูกเลือกประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ โดยพิจารณาจำนวนของจุดพอยต์คลาวด์ที่ถูกเลือกจะอยู่บริเวณล่างช้าย (เนื่องจากตัวเลขของจำนวนพอยต์คลาวด์มีขนาดตัวอักษรที่ค่อนข้างเล็กในคู่มือเล่นนี้จะทำการครอบแล้วนำไปไว้ทางล่างขวาของแต่ละรูป) ของหน้าต่างแสดงผล โดยทำการปรับค่าระดับตัวเลขให้อยู่จำนวนพอยต์คลาวด์ถูกเลือกประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นให้ทำการคลิกปุ่ม OK จากนั้นโปรแกรมจะยังเลือกข้อมูลพอยต์คลาวด์ที่ผ่านการกรองด้วยตัวเลขค่าระดับไว้อยู่ให้ผู้ใช้ทำการลบข้อมูลพอยต์คลาวด์เหล่านั้นแล้วทำการ optimization สำหรับขั้นตอน Reprojection error จะทำการกดประมวลผลใหม่จนกว่าเมื่อเลือกตัวเลขของตัวเลข 0.3 แล้วไม่มีพอยต์คลาวด์ถูกเลือก หรือมีจำนวนของข้อมูลพอยต์คลาวด์ที่ถูกเลือกน้อยกว่า 10 เปอร์เซ็นของจำนวนพอยต์คลาวด์ที่ยังคงอยู่ หากทำเสร็จแล้วถึงเป็นอันเสร็จสิ้นขั้นตอนนี้



ลองพิจารณาเงื่อนไขการกำหนดค่าตัวเลขระดับสำหรับเลือกข้อมูลพอยต์คลาวด์แล้วทำการลบจากตัวอย่างการประมวลผลในเล่มคู่มือนี้สรุปได้ดังต่อไปนี้

จำนวนข้อมูลพอยต์คลาวด์ทั้งหมด = 117458 จุด

ทำการคำนวน 10 เปอร์เซ็นต์ของข้อมูลพอยต์คลาวด์ทั้งหมด (คูณ 0.1) = $117458 * 0.1 = 11745.8$ จุด
ดังนั้นการเลือกจำนวนจุดต้องเลือกค่าระดับของตัวเลขที่มีจำนวนของข้อมูลพอยต์คลาวด์ประมาณ 11745.8 จุด

เลือก Level 0.3 จำนวนพอยต์คลาวด์ที่ถูกเลือก = 8825 จุด มีค่าน้อยกว่า 10 เปอร์เซ็น

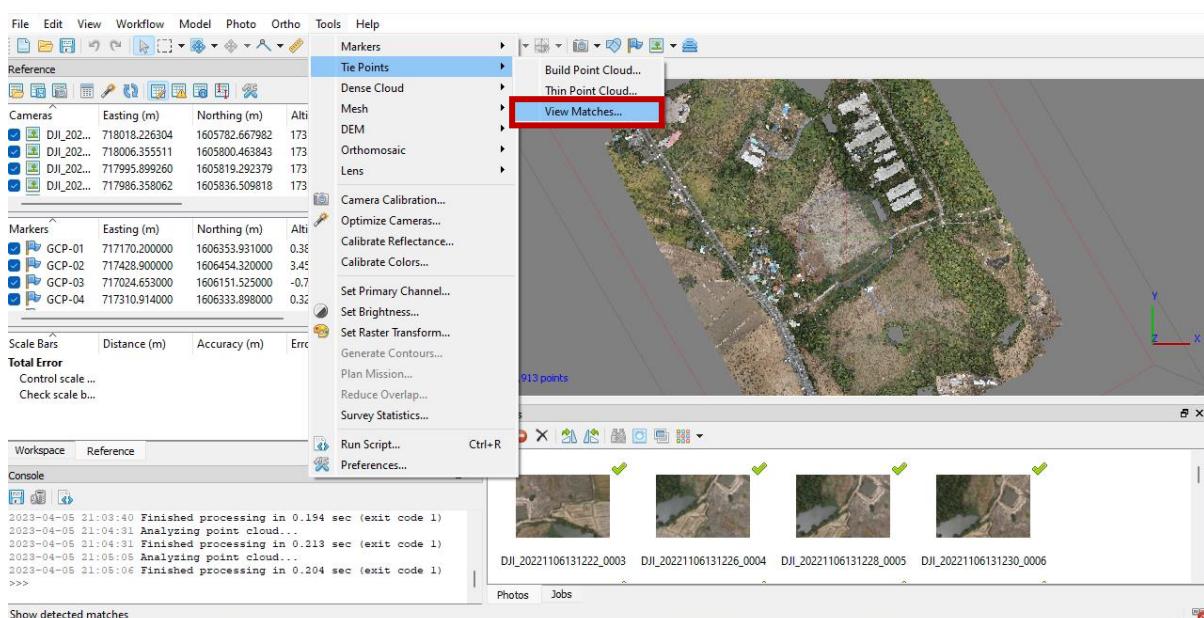
จากนั้นทำการลบข้อมูลพอยต์คลาวด์ที่ถูกเลือก พอยต์คลาวด์เหลือจำนวน 108633 จุด ทำการ Optimization

จากนั้นทำซ้ำโดยจะหยุดทำเมื่อพอยต์คลาวด์ไม่ถูกเลือก หรือเมื่อจำนวนของข้อมูลพอยต์คลาวด์ที่ถูกเลือกน้อยกว่า 10 เปอร์เซ็นของจำนวนพอยต์คลาวด์ที่ยังคงอยู่

พบว่าสำหรับข้อมูลการประมวลผลครั้งนี้เมื่อทำจนไม่มีพอยต์คลาวด์ถูกเลือกแล้วพอยต์คลาวด์สุทธิสำหรับประมวลผลต่อ คือ 108370 จุด

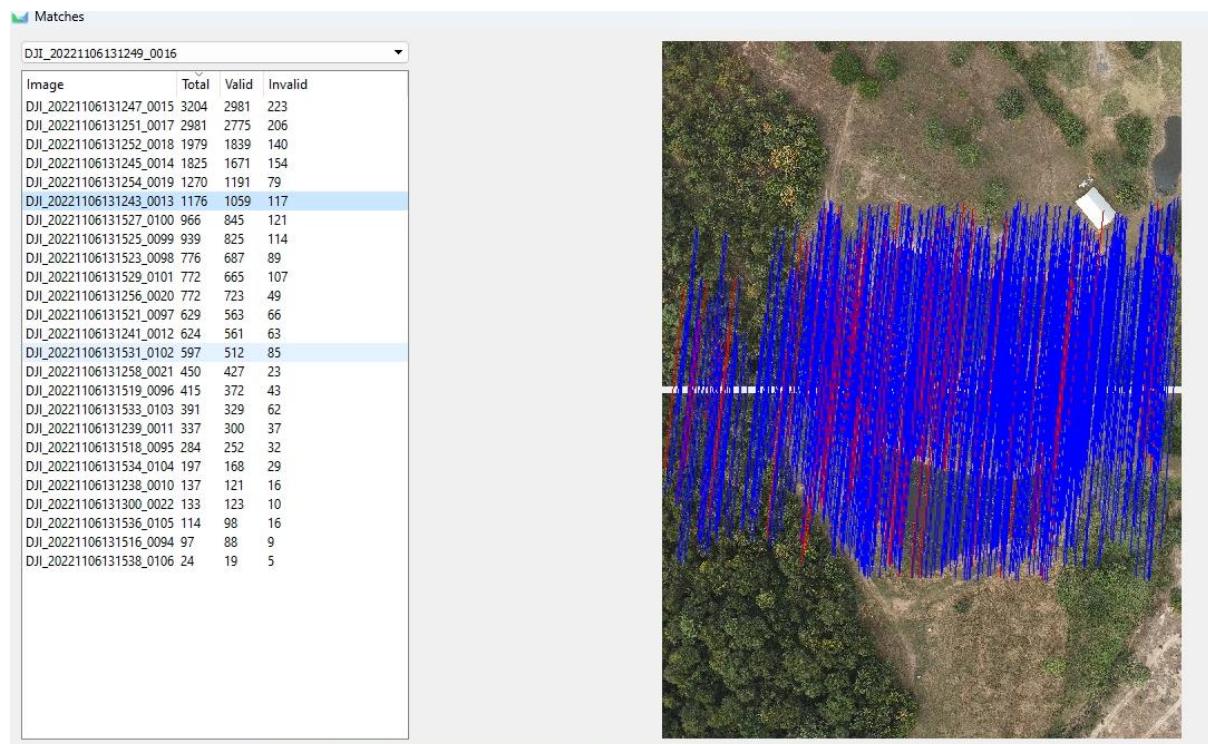
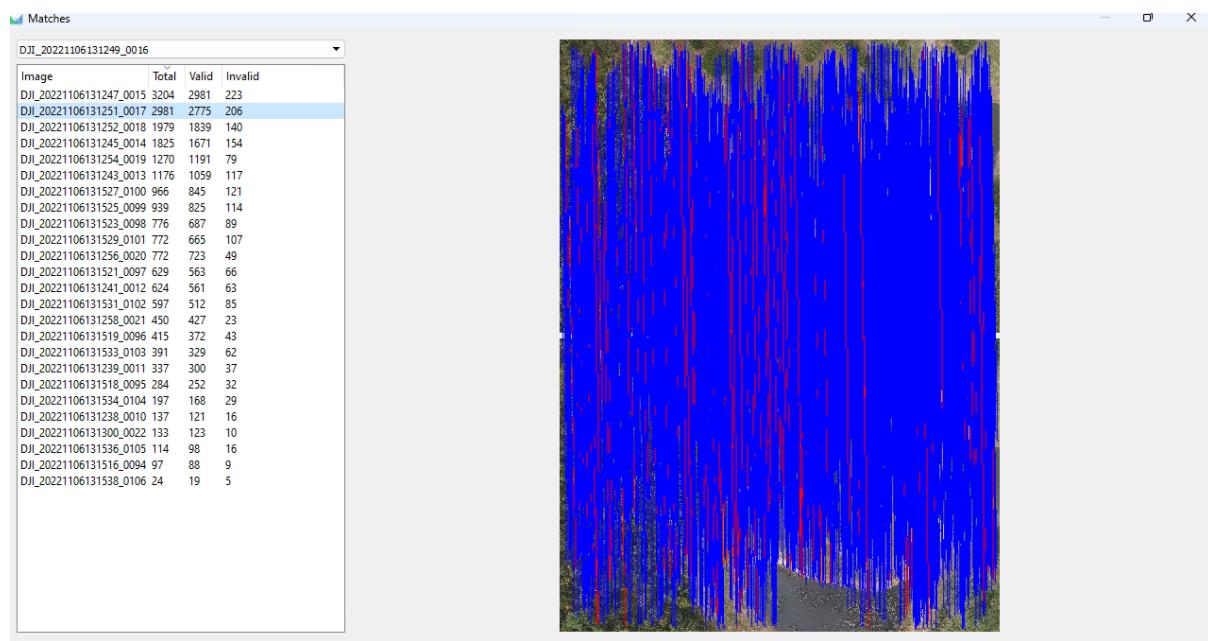
ภาคผนวก จ) การจับคู่จุดสำคัญ (Key point matching)

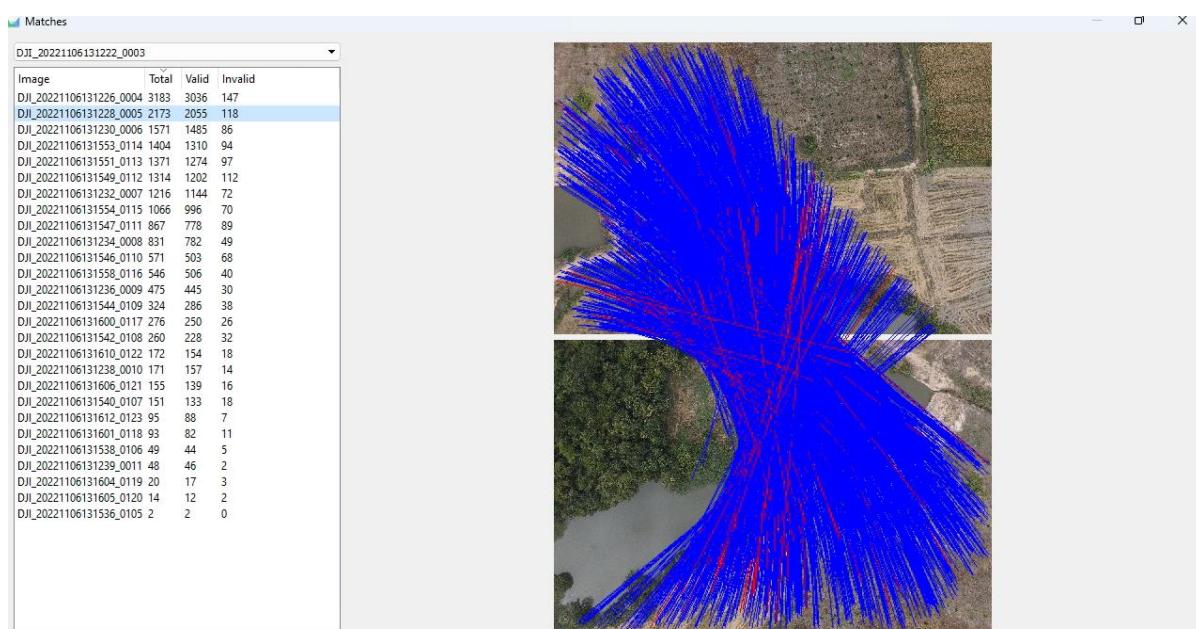
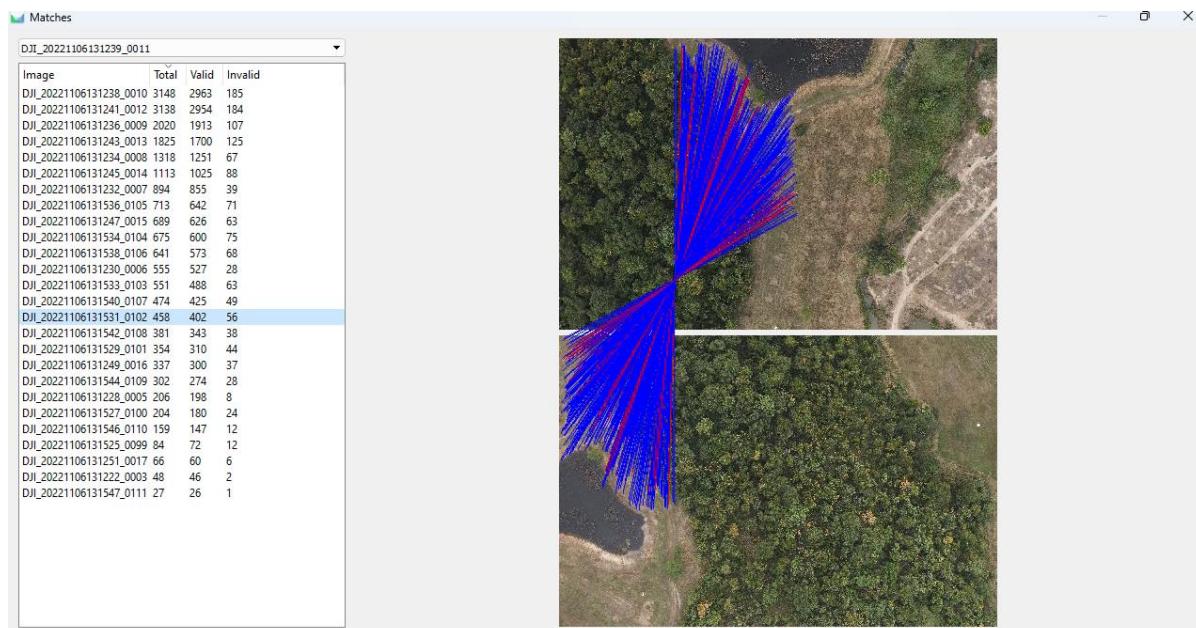
ในการประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศสำหรับผลลัพธ์เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการทำงานทางด้านต่าง ๆ โปรแกรมจะมีกระบวนการจับคู่จุดสำคัญระหว่างภาพเพื่อใช้ในการหาความสัมพันธ์ระหว่างภาพในบริเวณที่มีการซ้อนทับกันทั้งจากในส่วนซ้อนทับในแนวบินเดียว (Overlap) และระหว่างแนวบิน (Side lap) ซึ่งกระบวนการในการจับคู่จุดที่มีลักษณะเหมือนกันระหว่างคู่ภาพเรียกว่า การจับคู่จุดสำคัญ (Key point matching) โดยภายในโปรแกรม Agisoft Metashape เมื่อผู้ประมวลผลประมวลผลขั้นตอนการจัดวางภาพ (Align photo) เรียบร้อยแล้ว โปรแกรมมีคำสั่งในการตรวจสอบผลลัพธ์ในการจับคู่ภาพที่โปรแกรมประมวลผลให้อัตโนมัติ โดยให้ทำการคลิกไปที่ Tools จากนั้นเลือก Tie points แล้วคลิกที่ View Matches



หลังจากกดแล้วโปรแกรมจะแสดงหน้าต่างใหม่ขึ้นมาเพื่อให้ผู้ประมวลผลเลือกคู่ภาพที่อยากรายลักษณะของการจับคู่จุดสำคัญบนภาพ รวมถึงแสดงจำนวนจุดทั้งหมดที่สามารถจับคู่ได้ จำนวนคู่จุดที่สอดคล้อง และจำนวนคู่จุดที่ไม่สอดคล้อง

ตัวอย่างการแสดงผลลัพธ์การจับคู่จุดสำคัญบนภาพถ่ายทางอากาศ





ศูนย์วิจัยด้านแพนทีและตำแหน่งจากเทคโนโลยีอวกาศ (MAPS)
ภาควิชาชีวกรรมสำรวจ คณะชีวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

