การประยุกต์ข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศจากอากาศยานไร้คนขับเพื่อการสำรวจและจัดการสถานที่กำจัดขยะมูลฝอย

สำนักงานสิ่งแวดล้อมและควบคุมมลพิษที่ 3
อ้างอิงจาก เอกสารวิชาการคณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

บทที่ 1
การทำแผนที่โดยใช้อากาศยานไร้คนขับขนาดเล็ก

1.1 อากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicle : UAV)

อากาศยานไร้คนขับหรือยูเอวี (Unmanned Aerial Vehicle: UAV) เป็นอากาศยานที่ไม่มีนักบินประจำการอยู่บนเครื่อง เป็นอากาศยานที่ไร้คนขับหรือนักบินแต่สามารถควบคุมได้อากาศยานไร้คนขับมีรูปร่าง ขนาด รูปแบบ และเอกลักษณ์ที่แตกต่างกันออกไป ตามหลักแล้วอากาศยานไร้คนขับ ก็คือ โดรน (Drone) นั่นเอง เป็นอากาศยานที่ควบคุมจากระยะไกล ใช้การควบคุมอัตโนมัติซึ่งมีอยู่ 2 ลักษณะ คือ การควบคุมอัตโนมัติจากระยะไกล และการควบคุมแบบอัตโนมัติโดยใช้ระบบการบินด้วยตนเองซึ่งต้องอาศัยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่มีระบบที่ซับซ้อนแล้วมีการติดตั้งไว้ในอากาศยานอาจกล่าวได้ว่า อากาศยานไร้คนขับคือเครื่องบินที่สามารถบินได้ด้วยระบบอัตโนมัติ โดยไม่ต้องใช้นักบินประจำการอยู่บนอากาศยาน อาจมีการติดตั้งกล้องถ่ายภาพคุณภาพสูงทั้งกล้องถ่ายภาพในเวลากลางวัน (Electro Optical) และกล้องอิฟาเรด (Infrared Sensor) ที่สามารถบันทึกภาพระยะไกลได้แล้วแพร่ภาพสัญญาณมายังจอภาพ ที่สถานีภาคพื้นดินในเวลาที่ใกล้เวลาจริงมากที่สุด (Near Real Time: NRT)

1.2 อากาศยานไร้คนขับขนาดเล็กแบบมัลติโรเตอร์

Multirotor UAVs เป็น UAV ประเภทที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายมาก สามารถเคลื่อนที่ได้อย่างคล่องแคล่ว โดยมีหลายประเภทขึ้นอยู่กับขนาด และการใช้งานจะมีตั้งแต่ 4, 6, 8 และ 10 ใบพัด สามารถขึ้นลงในแนวดิ่ง โดยไม่ต้องใช้รันเวย์ในการขึ้นบิน แต่มีข้อจำกัดตรงต้องใช้พลังงานมากในการบินทำให้มีข้อจำกัดในด้านเวลา ทำให้บินได้ไม่ไกล ในปีที่ผ่านมาอากาศยานประเภทนี้ครองส่วนแบ่งการตลาดมากถึง 77%

การบินของ Quadrotor จะการเคลื่อนที่ 4 ทิศทาง ที่เรียกว่า 4CH คือประกอบด้วย ขึ้น-ลง, เดินหน้า-ถอยหลัง, เอียงซ้าย-เอียงขวา และ หมุนซ้าย-หมุนขวา และคล้ายกับ Quadrotor แบบ 6 ใบพัด 8 ใบพัด โดยมีรูปแบบการบิน 5 แบบดังต่อไปนี้

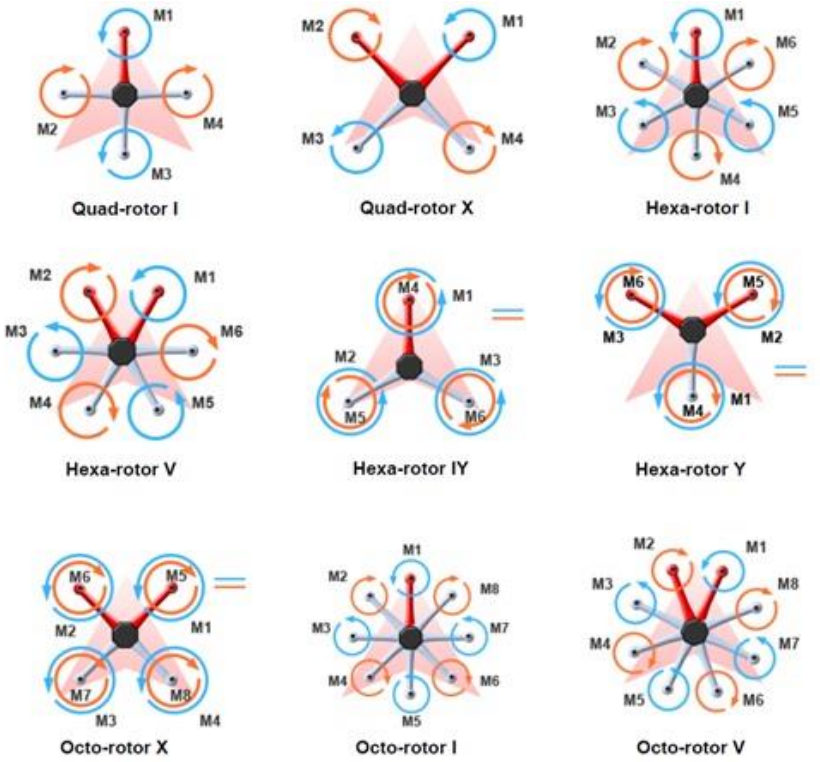
1) Hovering หรือ การลอยตัวเฉยๆ ทำได้โดยควบคุมให้ความเร็วใบพัดทั้งสี่ตัว มีความเร็วที่เท่ากันเพื่อสร้างแรงบิดและหักล้างแรงบิด โดยใบพัดจะหมุนกันคนละทิศทาง ใบพัดหน้าและหลังจะหมุนตามเข็ม ส่วนใบพัดซ้ายและขวาจะหมุนทวนเข็ม ทำให้เครื่องบินไม่หมุนตัว

2) Throttle คันเร่ง ความเร็ว ให้เครื่องบิน บิน ขึ้นลง โดยใบพัดทั้งสี่ใบจะต้องเพิ่มความเร็ว ทุกใบพัดที่เท่ากัน ทำให้เครื่องบินลอยตัวขึ้นได้

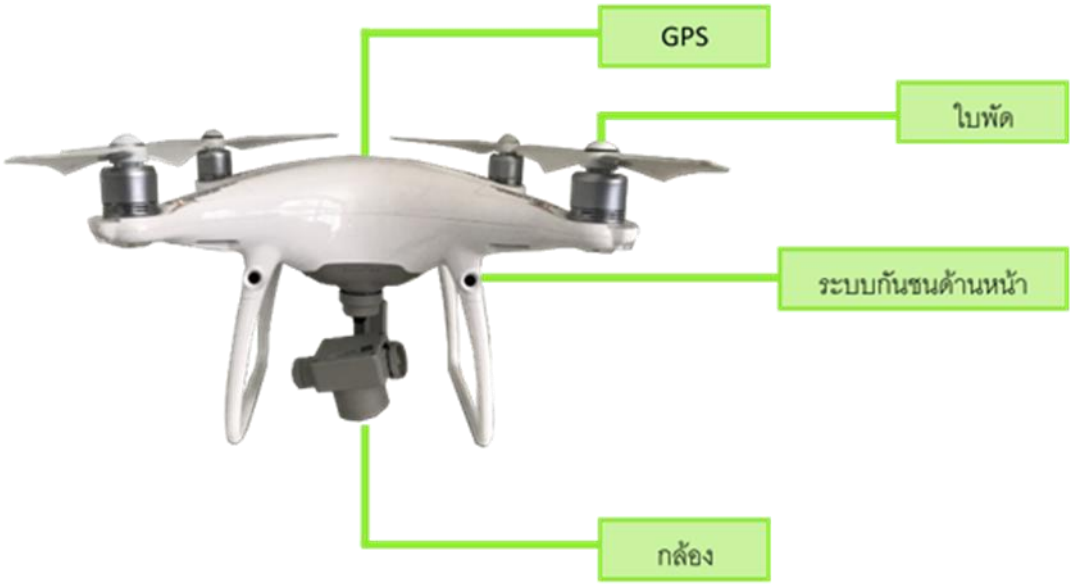
3) Roll เอียงตัวซ้าย-ขวา โดบ ใบพัดหน้า (FRONT) และใบพัดหลัง (REAR) จะความเร็วเท่าเดิม แต่ความเร็วใบพัดซ้าย (LEFT) จะหมุนเร็วขึ้น ทิศทางนี้จะยกตัว ใบพัดขวา (Right) จะช้าลงทิศทางนี้จะตกลง จึงทำให้เกิดการ เอียงตัวไปทางขวาได้ ส่วนเอียงตัวซ้ายหรือขวาได้

4) Pitch เอียงหน้าและหลัง คล้ายกับการ Roll แต่เปลี่ยนเป็น ใบพัดซ้าย (LEFT) และใบพัดขวา (RIGHT) จะความเร็วคงที่ แต่ความเร็วใบพัดหลัง (REAR) จะหมุนเร็วขึ้น ทางหลังจะยกใบพัดหน้า (FRONT) จะหมุนช้ากว่า ทางหน้าจะตก จึงทำให้เครื่องบินเอียงไปข้างหน้า

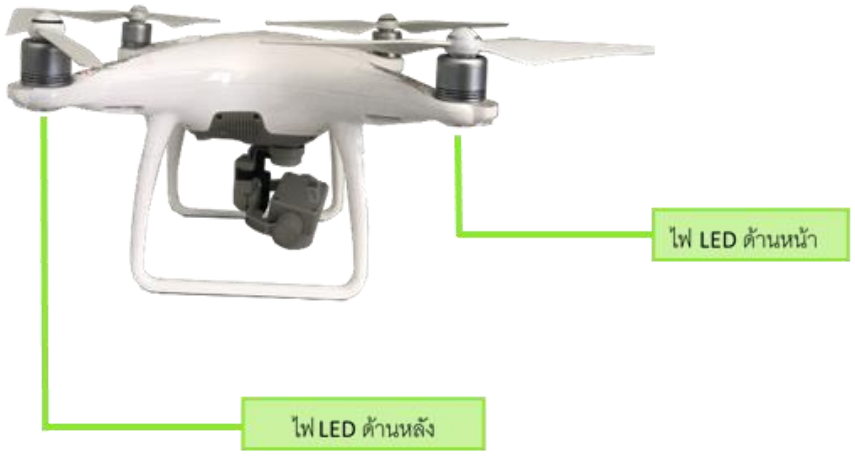
5) Yaw หรือการหมุนตัว ให้ความเร็วใบพัดหน้า (FRONT) – หลัง (REAR) มากกว่า ความเร็วใบพัดซ้าย (LEFT) -ขวา (RIGHT) เพื่อให้แรงบิดด้านซ้ายหรือขวามากกว่า จึงทำให้เครื่องบินหมุนตัวได้

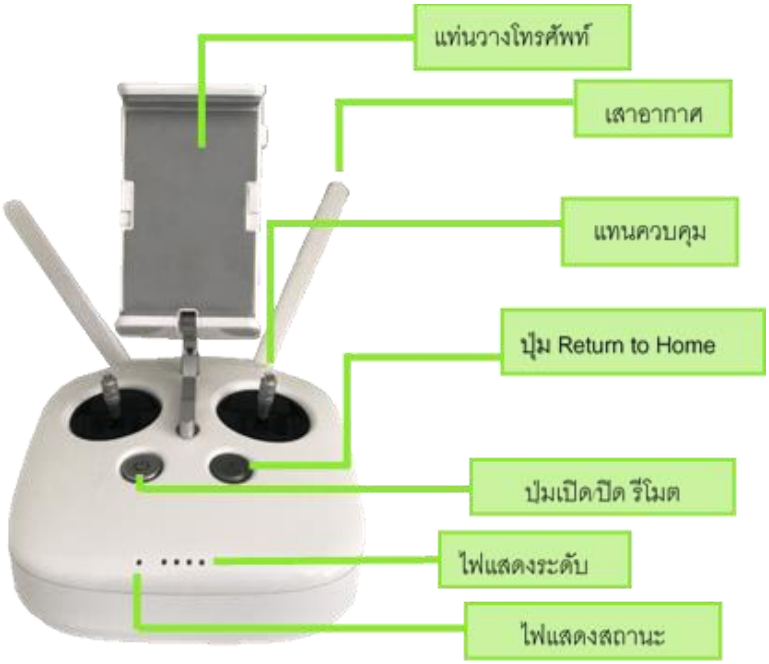


1.3 ส่วนประกอบของอากาศยานไร้คนขับขนาดเล็ก (Dji Phantom 4)



มอเตอร์
ช่องใส่ SD Card
Gimbal


ไฟ LED ด้านหน้า
ไฟ LED ด้านหลัง



1.4 โหมดควบคุมการบิน

P โหมด (Position) P โหมดจะทำงานได้ดีเมื่อตัวเครื่องรับสัญญาณ GPS ได้ดี ตัวเครื่องจะใช้สัญญาณ GPS และเซนเซอร์บนตัวเครื่องเพื่อรักษาตำแหน่งและสเถียรภาพของตัวเครื่อง และโหมดนี้เป็นโหมดที่แนะนำในการบังคับอากาศยานในภารกิจ

S โหมด (Sport) ข้อมูลและสัญญาณที่ได้รับขากตัวเครื่องจะถูกปรับเพื่อเพิ่มความคล่องตัวของตัวเครื่อง ความเร็วในการบินสูงสุดจะถูกปรับเป็น 72 กิโลเมตรต่อชั่วโมง แต่ระบบกันชนและเซนเซอร์ของตัวเครื่องจะไม่ทำงาน

A โหมด (Attitude) ในโหมดนี้จะไม่ใช้สัญญาณ GPS ในการช่วยบิน แต่จะใช้เฉพาะค่าเพื่อกำหนดตำแหน่งความสูงเท่านั้น

ข้อควรระวัง

- ในโหมด S ระบบกันชนด้านหน้าและด้านหนลังจะไม่ทำงาน หมายความว่าตัวเครื่องจะไม่หลีกเลี่ยงอุปสรรคและสิ่งกีดขวาง ควรระวังและหลีกเลี่ยงสิ่งกีดขวางในบริเวณใกล้เคียง
- เมื่อตัวเครื่องมีความเร็วเพิ่มขึ้นในโหมด S ระยะในการเบรกจะเพิ่มขึ้นด้วย ระยะเบรกต่ำสุดในการใช้ความเร็วสูงสุดในสภาพพื้นที่ ที่ไม่มีลมพัดจะมีระยะ 50 เมตร

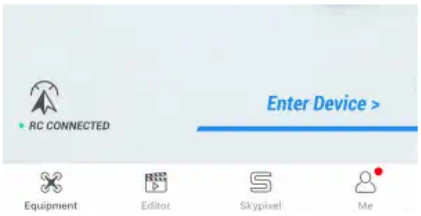
1.5 โปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมอากาศยานไร้คนขับขนาดเล็กเพื่อทำแผนที่ Dji Phantom 4

ภาพที่ 1-3 Application ที่ใช้ในการควบคุมอากาสยานไร้คนขับขนาเล็กเพื่อจัดทำแผนที่

1.5.1 DJI GO 4 Application

ขั้นตอนที่ 1 การตั้งค่าอากาศยานไร้คนขับขนาดเล็กขั้นตอนที่ 1 ดาวน์โหลด DJI GO 4 Application สามารถดาวน์โหลดได้ ทั้งระบบ ios และ android ทำการเสียบสายเชื่อมระหว่างโทรศัพท์ กับ

รีโมทคอนโทรล จากนั้นกดเปิดรีโมทคอนโทรล และเปิดตัวอากาศยานไร้คนขับขนาดเล็ก ตัว Application จะเปลี่ยนจาก Enter Device เป็น GO FLY



ขั้นตอนที่ 2 เมื่อเปิดอากาศยานไร้คนขับขนาดเล็กเสร็จเรียบร้อย และกดคำสั่ง GO FLY จะเข้าสู่หน้าจอภาพที่ถ่ายจากกล้องบนอากาศยานไร้คนขับขนาดเล็ก โดยมีรายละเอียดบนหน้าจอดังต่อไปนี้

คำสั่งที่ 1 Take of เป็นคำสั่งที่ทำให้อากาศยานไร้คนขับบินขึ้นแบบอัตโนมัติโดยอากาศยานจะบินขึ้นทีความสูงประมาณ 1.5 เมตร

คำสั่งที่ 2 Return to Home เป็นคำสั่งที่ใช้เรียกอากาศยานไร้คนขับกลับมายังจุดปล่อยแบบอัตโนมัติ ตามความสูงที่ถูกตั้งค่าไว้ โดยอากาศยานจะบินกลับมาในระยะกระจัด

คำสั่งที่ 3 คือคำสั่งการบินแบบอัจฉริยะ โดยผู้บังคับอากาศยานต้องตั่งค่ารีโมทคอลโทลในโหมด P

คำสั่งที่ 4 ไอคอนสีแดง ตรงกลางใช้แทนอากาศยานไร้คนขับขนาดเล็กและหันไปทางไหน **“N”** ตัวเล็ก ๆ ทางด้านซ้ายช่วยให้คุณรู้ว่าทิศเหนืออยู่ทางใดและเส้นแนวนอนสีน้ำเงินช่วยให้รู้ระยะห่างของจุดปล่อยอากาศยาน

คำสั่งที่ 5 “ D” หมายถึงระยะทาง ที่อากาศยานไร้คนขับอยู่ห่างจากปล่อย และ **“H”** หมายถึงความสูงของอากาศยานไร้คนขับ โดยสามารถเลือกหน่วยได้ทั้งฟุตและเมตร

คำสั่งที่ 6 “ H.S” หมายถึงความเร็วในการเคลื่อนที่ในแนวราบ และ **“V.S”** ย่อมาจากความเร็วในการเคลื่อนที่ในแนวตั้งซึ่งเป็นความเร็วในการขึ้นหรือลงของโดรน

คำสั่งที่ 7 VPS ย่อมาจากระบบกำหนดตำแหน่งการมองเห็น กล้องขนาดเล็กที่ด้านล่างของอากาศยานไร้คนขับจะช่วยให้คุณสามารถวัดระยะทางไกลได้หากคุณอยู่ในระดับต่ำพอที่ VPS จะทำงานได้ (โดยทั่วไปจะต่ำกว่า 30 ฟุต)

คำสั่งที่ 8 คือจุดแสดงว่ากล้องกำลังโฟกัสไปยังจุดได้บนภาพ สามารถแตะบนหน้าจอเพื่อเปลี่ยนจุดโฟกัสที่ต้องการได้

คำสั่งที่ 9 คือเซ็นเซอร์ที่ใช้หลบหลีกสิ่งกีดขวางรู้และแสดงระยะห่างระหว่างอากาศยานกับวัตถุด้านหน้า โดยแสดงเป็นแถบสีเขียวและสีเหลืองในภาพด้านบนและเมื่อเข้าใกล้วัตถุมากขึ้นแถบจะเปลี่ยนเป็นสีแดงและเริ่มส่งเสียงบี๊บเพื่อแจ้งให้ทราบว่ามีบางอย่างอยู่บนเส้นทางการบิน

คำสั่งที่ 10 แสดงสถานะของการตั้งค่ากล้อง

คำสั่งที่ 11 แสดงความจุที่เหลืออยู่ในการ์ด SD ขณะบันทึกด้วยการตั้งค่าปัจจุบัน

คำสั่งที่ 12 สามารถเลือกจุดโฟกัสสีเขียวตรงกลางหน้าจอและวงกลมแสงสีเหลือง ด้วยกล่องโฟกัสสามารถแตะบนหน้าจอเพื่อให้ตรงกับจุด

คำสั่งที่ 13 สามารถเลือกระหว่างโฟกัสอัตโนมัติและโฟกัสด้วยตนเอง เพียงแค่แตะบนพื้นที่ของหน้าจอที่คุณต้องการให้กล้องโฟกัส

คำสั่งที่ 14 การล็อคค่าแสงอัตโนมัติ สิ่งนี้จะล็อกค่าการเปิดรับแสง

คำสั่งที่ 15 คือวิธีสลับระหว่างการถ่ายวิดีโอและการถ่ายภาพ

คำสั่งที่ 16 จุดเส้นประแนวตั้งแสดงมุมเอียงของ gimbal

คำสั่งที่ 17 กดที่นี่เพื่อเริ่มและหยุดวิดีโอและเพื่อจับภาพ และสามารถใช้ปุ่มถ่ายภาพบน RC เพื่อทำสิได้เช่นกันซึ่งจะสะดวกกว่าการกดผ่านบนหน้าจอ

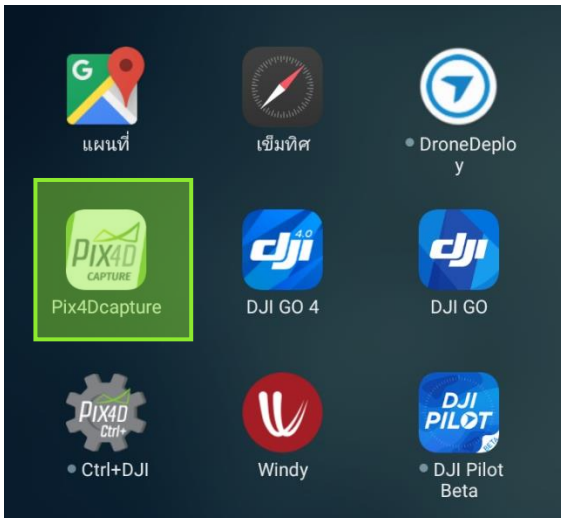
คำสั่งที่ 18 โหมดการตั้งค่าวีดีโอ

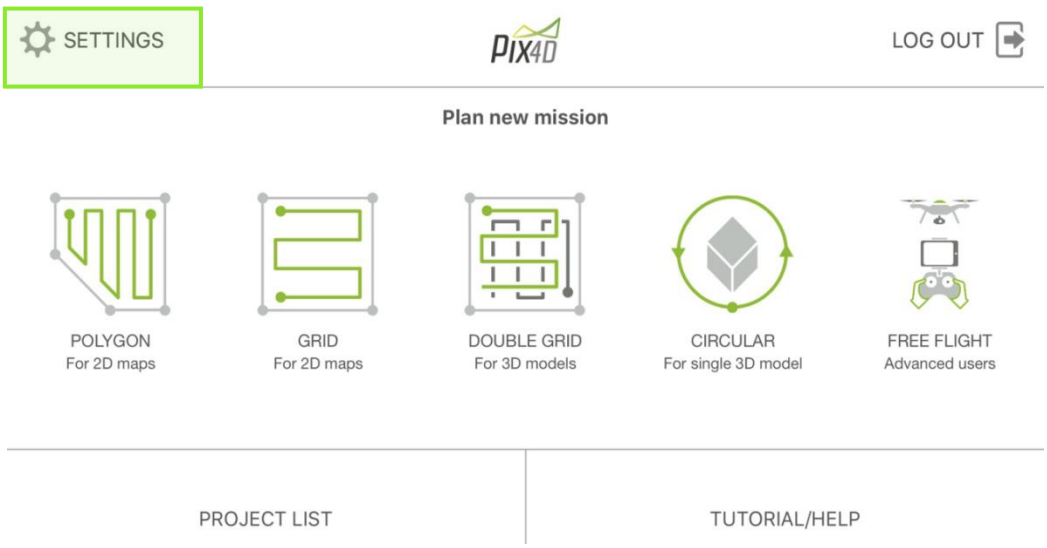
คำสั่งที่ 19 ไปที่นี่เพื่อดูภาพและวิดีโอที่คุณถ่าย

1.5.2 Pix4Dcapture Application

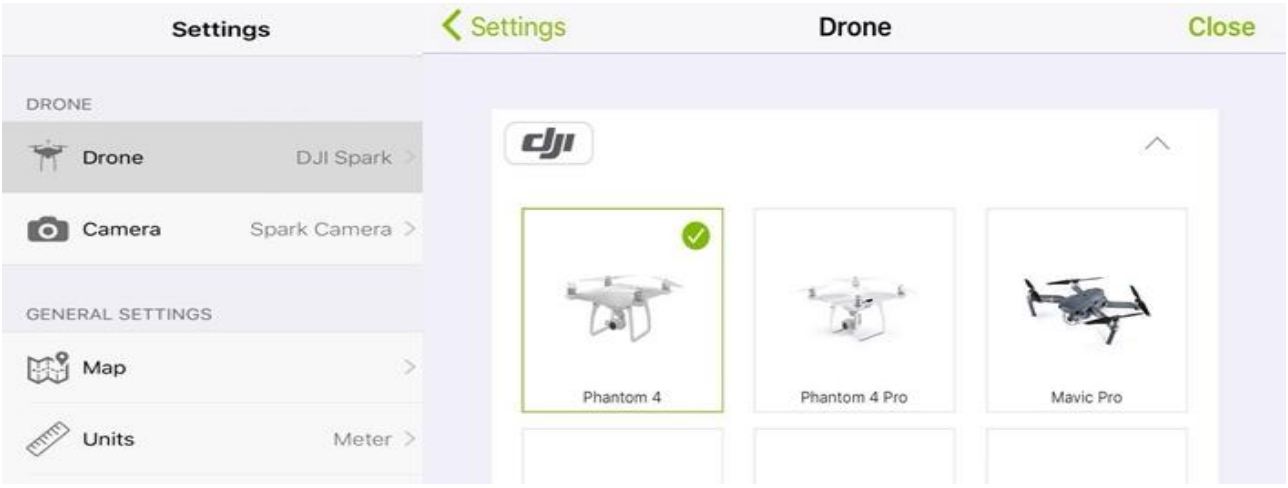
ขั้นตอนที่ 1 ดาวน์โหลด Application Pix4D Cap สามารถดาวน์โหลดได้ทั้งระบบ ios และ android จากนั้นเปิด Application Pix4D Capture ขึ้นมาเพื่อตั้งค่าอากาสยานไร้คนขับขนาดเล็ก

Application Pix4Dcapture





ขั้นตอนที่ 2 เลือกคำสั่ง Settings จากนั้นเลือกอากาศยานไร้คนขับให้ตรงกับรุ่นที่ใช้งาน ในหัวข้อที่เขียนว่า Drone และให้เลือกหัวข้อ Units ให้เปลี่ยนจาก Feet เป็น Meter เพื่อให้ง่ายต่อออกแบบขนาดของแนวการบิน เมื่อตั้งค่าเสร็จแล้วให้เลือกคำสั่ง Close เพื่อกลับสู่หน้าจอหลัก



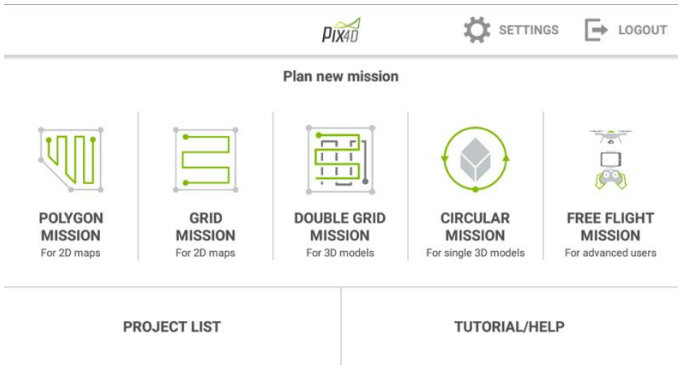
ขั้นตอนที่ 3 หลังจากตั้งค่าเสร็จแล้ว ผู้ทำการบินสามารถเลือกรูปของการบินได้ ทั้ง 4 แบบได้แก่

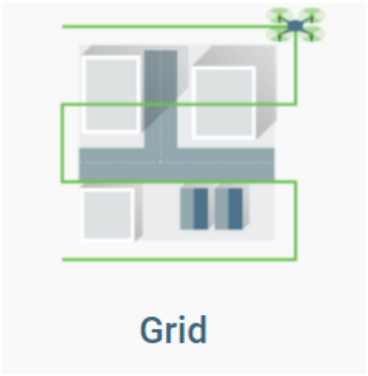
1) การวางแผนการบินแบบ Polygon Mission คือการออกแบบแนวการบินให้เสมือนกับขอบเขตแลงสำรวจ

2) การวางแผนการบินแบบ Grid Mission แผนการบินที่ถูกสร้างขั้นจะอยู่ในรูปแบบ สี่เหลี่ยม โดยผู้ทำการบินต้องวางแผนการให้เกินกว่าขอบเขตพื้นที่สำรวจ

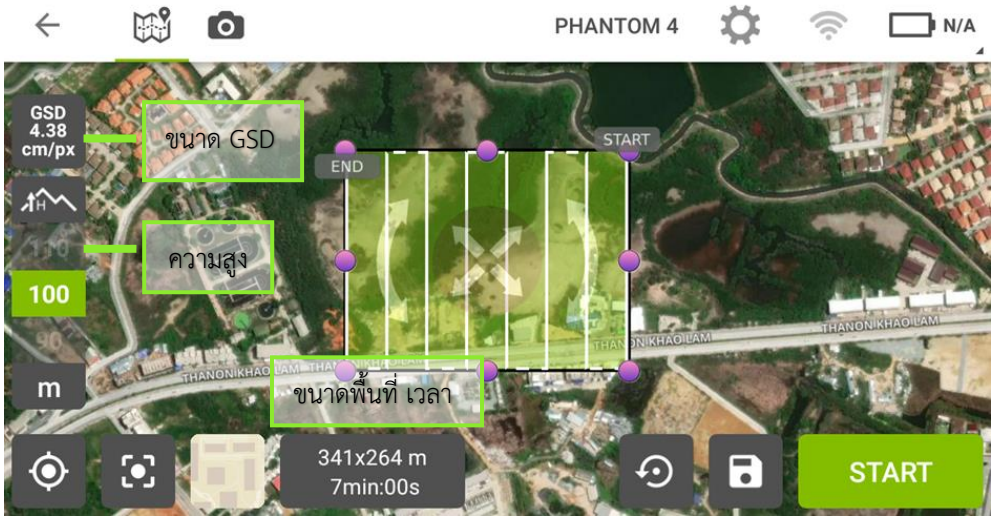
3) การวางแผนการบินแบบ Double Grid Mission คือการวางแผนแนวบินแบบ Grid 2 ซ้อนทับกันเหมาะสำหรับการสร้างแผนที่ในรูปแบบ 2.5 มิติ

4) การวางแผนการบินแบบ Circular Mission คือการบินในรูปแบบวงกลมโดยปรับความละเอียดของการถ่ายภาพตามองศาของวงกลมเหมาะกับการถ่าย ภาพแบบ 3 มิติ



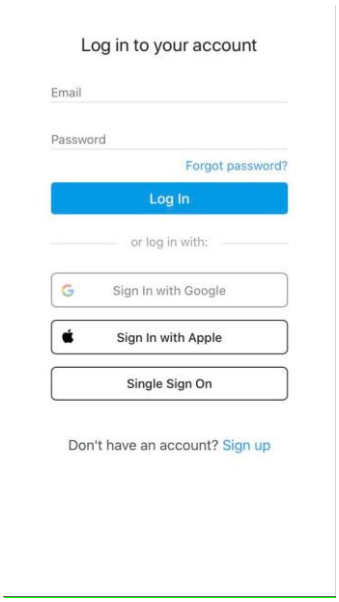


ขั้นตอนที่ 4 ยกตัวอย่างการบินถ่ายภาพในรูปแบบ Grid Flight ต้องมีการตั้งค่ากล้องให้ถ่ายภาพอัตโนมัติ จึงจำเป็นต้องมีการกำหนดความสูงในการบิน กำหนดขนาดของพื้นที่สำรวจ และ ส่วนซ่อนทับของภาพ ทั้งนี้การกำหนดความสูงควรคำนึงถึงสิ่งกรีดขวาง และระดับภูมิประเทศของพื้นที่การสำรวจ ควรกำหนดให้ polygon (พื้นที่สีเขียว) เกินขอบเขตพื้นที่ ที่ต้องการจะสำรวจจากนั้นกดคำสั่งSTART อากาศยานไร้คนขับจะทำการบินขึ้นแบบอัตโนมัติ **(ข้อควรระวังผู้ทำการบินต้องเลือกวางอากาศยานไร้คนขับในพื้นที่เปิดโล่งพื่อลดความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุ)**

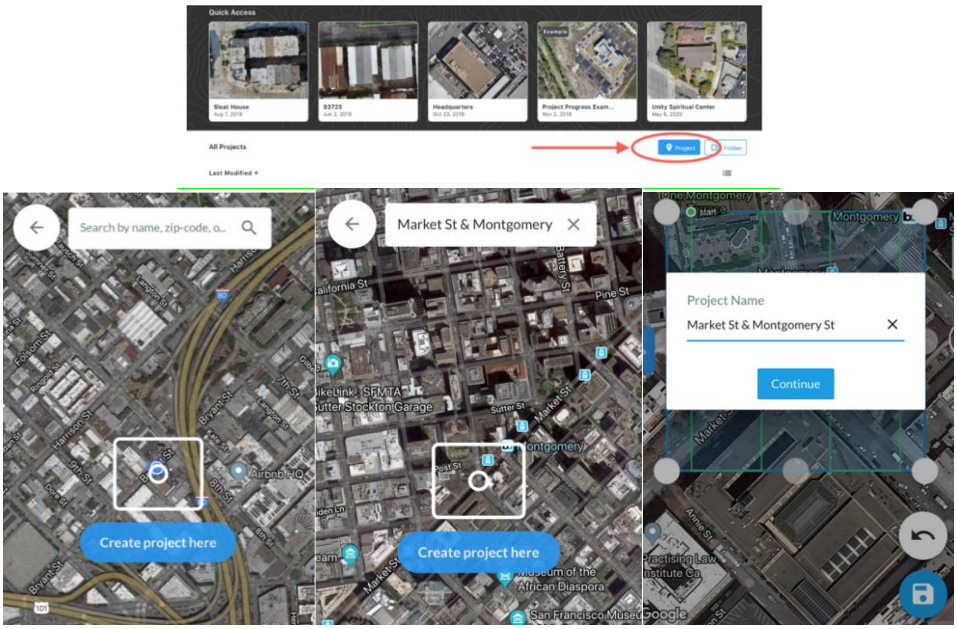


1.5.3 Dronedeploy Application

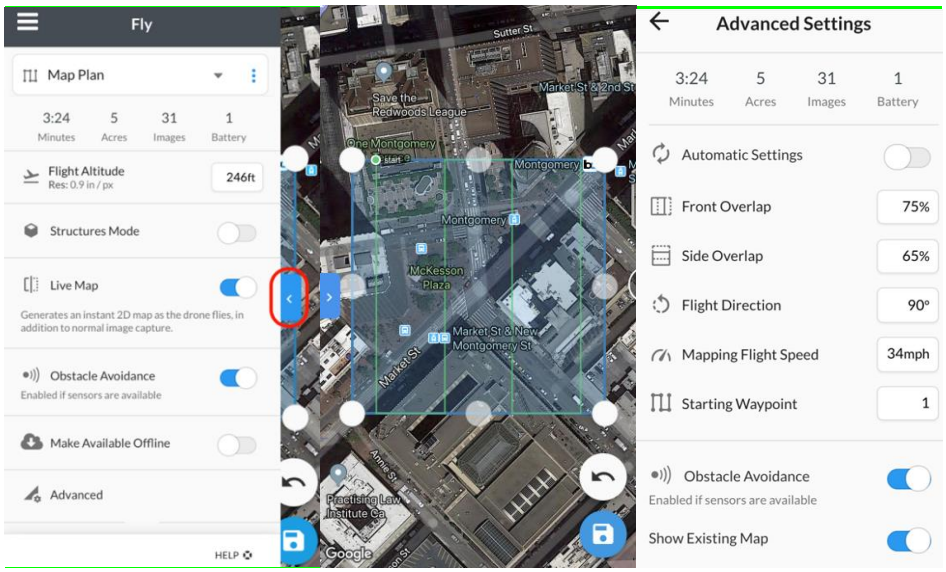
ขั้นตอนที่ 1 ทำการดาว์โหลดและติดตั้ง Dronedeploy Application สามารถดาวน์โหลดได้ทั้งระบบ ios และ android จากนั้นทำการเปิด Dronedeploy Application ขึ้นมาและทำการลงทะเบียนเข้าใช้งาน



ขั้นตอนที่ 2 ทำการสร้าง Project โดยสามารถค้นหาข้อมูลพื้นที่ที่ต้องการทำการบินได้จากช่อง Search by Name เมื่อได้พื้นที่ที่ต้องการสำรวจ แล้วให้กด Create project here จากนั้นให้ทำการสร้างชื่อ Project และเลือกคำสั่ง Continue เพื่อออกแบบแนวการบิน



ขั้นตอนที่ 3 ทำการแก้ไขขอบเขตพื้นที่การบิน ตั้งค่าการบินแบบอัตโนมัติ และปรับค่าพารามิเตอร์ เช่น ความสูงในการบิน ค่าการซ้อนทับของภาพด้านหน้าของแนวบิน ค่าการซ้อนทับของภาพด้านข้างของแนวบิน ความเร็วในการบิน ซึ่งทั้งหมดนี้จะมีผลต่อจำนวนของรูปภาพและความคมชัดของภาพถ่ายทางอากาศ



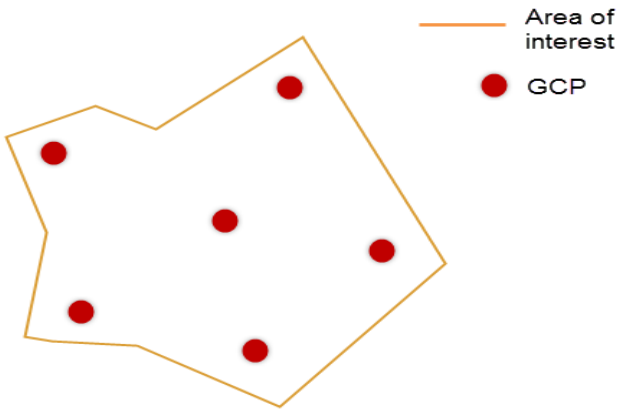
บทที่ 2

กระบวนการทำการแผนที่รายละเอียดสูงจากอากาศยานไร้คนขับขนาดเล็ก

2.1 การทำจุดควบคุมภาคพื้นดิน Ground Control Points

Ground Control Points (GCPs) คือ จุดที่เก็บข้อมูลเชิงตำแหน่งที่ได้มาจากพื้นที่ซึ่งค่าพิกัดนั้นได้มาจากเครื่องรังวัดระบบ GNSS RTK หรือ จากแหล่งข้อมูลอื่นๆ ซึ่งค่า GCPs นี้ไม่จำเป็นต้องใช้ในการประมวลผลในโปรแกรมประมวลผลภาพ แต่จะเป็นตัวที่เพิ่มความถูกต้องเชิงตำแหน่งให้กับแผนที่รายละเอียดสูง และสามารถใช้เป็นจุด Checkpoints เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของผลลัพธ์

การวางจุดควบคุมภาคพื้นดินหรือ GCPs ควรมีอย่างน้อย 6 จุดในพื้นที่ที่ทำการวางแผนการบินเพื่อถ่ายภาพและควรวาง GCPs ให้ครบทุกมุมของพื้นที่สำรวจ หากสามารถวางจุด GCPs ได้กระจายในพื้นที่อย่างเท่าๆ กันจะทำให้แผนที่ที่ผ่านการปรับค่าเชิงตำแหน่งนั้นมีความสมบูรณ์ในทุกส่วนของภาพถ่ายทางอากาศ



ภาพที่ 2-1 การวางจุดควบคุมภาคพื้นดิน

2.2 การออกแบบการวางแผนการบิน เพื่อให้ได้แผนที่ที่มีความสมบูรณ์

1) พื้นที่ที่ต้องการสำรวจ
2) ชนิดของพื้นผิว และวัตถุที่ต้องการถ่ายภาพ
3) การคำนวณความละเอียดของจุดภาพ (GSD)
4) การออกแบบแผนการบินให้เหมาะกับพื้นที่สำรวจ

ชนิดของพื้นผิว หรือวัตถุ

ในการถ่ายภาพเพื่อทำแผนที่ ที่มีคุณภาพจำเป็นต้องคำนึงถึงลักษณะของพื้นที่เราจะถ่าย ยกตัวอย่าง เช่น การถ่ายภาพบริเวณพื้นที่เป็นน้ำ จะสามารถทำการต่อภาพไม่ได้เนื่องจาก น้ำนั้นพื้นผิวมีความคล้ายกันทั้งหมด ทำให้คอมพิวเตอร์ไม่สามารถแยกความแตกต่างได้ ดั้งนั้นการถ่ายภาพบริเวณพื้นที่ที่เป็น บ่อน้ำหรือแหล่งน้ำอาจจะปรับแก้ด้วยการปรับเพดานบินให้สูงขึ้น

ความละเอียดของภาพ

ขนาดวัตถุนั้นมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการถ่ายภาพทางอากาศ เพราะความละเอียดของกล้อง ความเร็วในการถ่ายภาพแบบต่อเนื่อง นั้นมีความสัมพันธ์ต่อความเร็วในการบินโดรน และความละเอียดของจุดภาพ ซึ่งสามารถคำนวนผ่านสมการ Ground Sample Distance (GSD) นี้ได้

$$\frac{GSD}{pixelsize} = \frac{Altitude}{focal}$$

โดยที่ *GSD* คือ ตัวเลขระยะบอกขนาดความละเอียดของจุดภาพ cm/pixel

focal คือ ความยาวโฟกัสของเลนส์ (mm)

Altitude คือความสูงในการบิน (m)

pixelsize คือขนาดของจุดภาพ (μm)

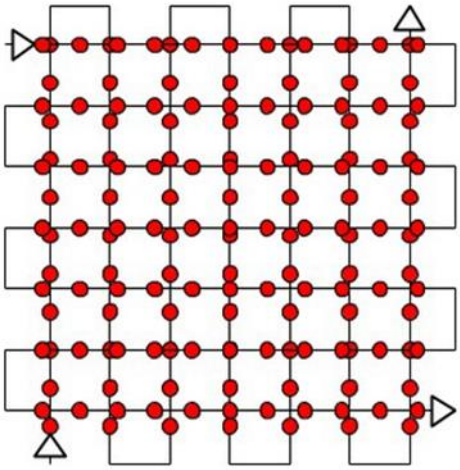
2.3 ประเภทของการทำแผนที่ด้วยอากาศยานไร้คนขับขนาดเล็ก

1) การทำแผนที่เพื่อการสำรวจพื้นที่เกษตรกรรม

ในการทำแผนที่เพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลพื้นเกษตรเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต ลดต้นทุนการผลิต ประหยัดเวลาและแรงงานคน นอกจากนี้ยังสามารถควบคุมคุณภาพการผลิตได้อย่างแม่นยำ โดยการวางแผนการบินสำหรับพืชเกษตรควรออกแบบความสูงการบินให้ตรงกับการเจริญเติบโตของพืช ในกรณีที่ภูมิประเทศมีลักษณะเป็นพื้นที่เรียบราบ เช่น พื้นที่เกษตรกรรมต่างๆ จะทำการแบ่งแยกจุดที่มีลักษณะเฉพาะได้ยากมาก เพราะภูมิประเทศมีลักษณะเหมือนกันหมดทั่วทั้งพื้นที่ ในการที่จะได้ผลลัพธ์ที่ดีมานั้น ควรบินแบบ Double Grid เพื่อได้ DSM ที่มีความแม่นยำใช้ในการรังวัดความสูงของพืชได้ดี

- เพิ่มการ Overlap ระหว่างรูปภาพเป็นอย่างน้อย 85% frontal overlap และอย่างน้อย 70% side overlap

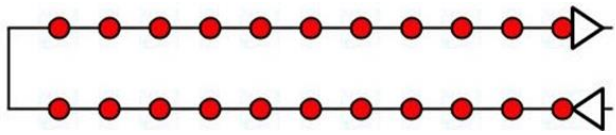
- บินให้ต่ำลงเพื่อให้คุณภาพของภาพถ่ายและทำให้ได้ภาพที่มีความคมชัดมากยิ่งขึ้น



2) การทำแผนที่เพื่อสำรวจแนวถนน แนวสายไฟ และการสำรวจแนวชายฝั่งทะเล

การทำแผนที่เส้นทางเดินทาง เช่น ทางรถไฟ, ถนน, แม่น้ำ จำเป็นต้องมีอย่างน้อย 2 เส้นแนวการบิน สำหรับ Dual track (เส้นทางคู่) ควรใช้ overlap อย่างน้อย 85% frontal overlap และอย่างน้อย 70% side overlap สามารถใช้ภาพทางอากาศมุมต่ำๆ หรือ ภาพมุมเอียง (มุมระหว่าง 0-45 องศา ผ่านเส้นทางทั้ง 2 ไปถึงจุดกึ่งกลางของเส้นทางเดินทาง) สำหรับภูมิประเทศราบเรียบควรใช้ภาพทางอากาศมุมต่ำๆ (nadir images)

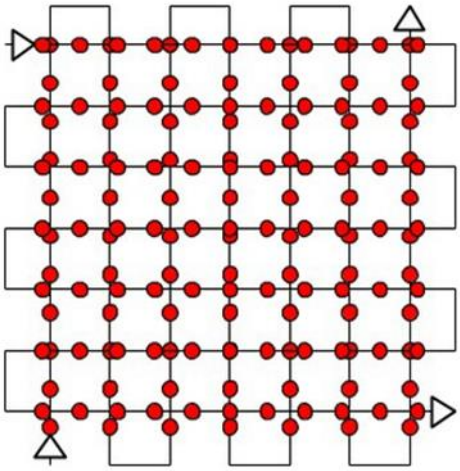
- ค่า Overlap : อย่างน้อย 85% frontal overlap อย่างน้อย 70% side overlap
- การวาง GCPs ควรวางแบบซิกแซกตามแนวความยาวของพื้นที่สำรวจ

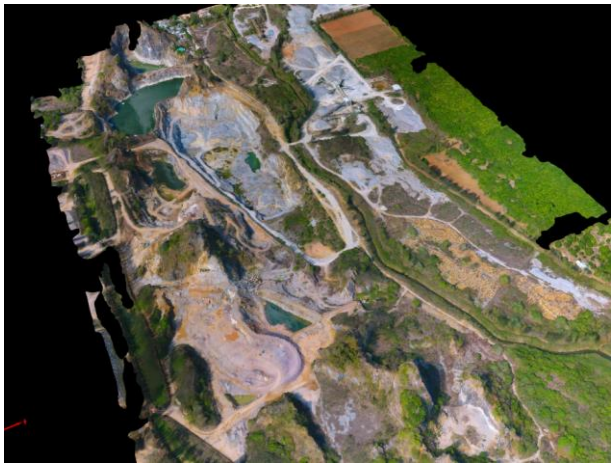


3) การทำแผนที่เพื่อสำรวจพื้นที่เหมืองแร่

การทำแผนที่เหมืองแร่ควรคำนึงถึงความสูงของภูมิประเทศ การที่จะทำให้ได้ข้อมูลที่ความแม่นยำและถูกต้องรายละเอียดของจุดภาพ (GSD) ไม่ควรเกิน 5 เซนติเมตร ควรบินในรูปแบบ Double Grid images จะทำให้ได้ที่มีความถูกต้องของค่า Z นั้นสูงขึ้น

- ค่า Overlap : อย่างน้อย 80% frontal overlap อย่างน้อย 60% side overlap





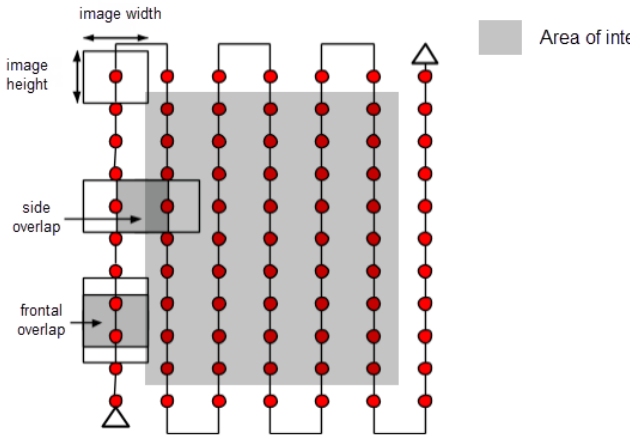
4) การทำแผนที่เพื่อสำรวจพื้นที่ป่าไม้

ต้นไม้และป่าไม้ มักจะมีความแตกต่างกันมาก ระหว่างภาพที่ overlap กัน อ้างอิงจากความซับซ้อนทางธรณีวิทยา (กิ่งไม้และใบไม้นับพันๆ) อย่างไรก็ตามก็ยังเป็นเรื่องยากที่จะแยก common characteristic point ระหว่างรูปภาพ ในการที่จะได้ผลลัพธ์ที่ดีมานั้น ควรจะใช้ grid images acquisition plan เหมือนกับที่อธิบายใน General case โดยมีการเปลี่ยนแปลงดังนี้

- เพิ่มการ Overlap ระหว่างรูปภาพเป็นอย่างน้อย 85% frontal overlap และอย่างน้อย 70% side overlap

- เพิ่มความสูงบิน ที่ระดับความสูงที่สูงกว่า ภาพจะมีมุมมองที่บิดเบือนน้อยกว่า (แต่จะมีปัญหาเรื่องการปรากฏของภาพ) และพื้นที่ป่าไม้จะมีคุณสมบัติของมุมมองที่ดีขึ้น อีกนัยหนึ่ง ที่ความสูงบินที่สูงกว่าจะทำให้การตรวจจับหาจุดที่เหมือนกันของภาพ 2 ภาพ ที่ Overlap กันในพื้นที่ๆหนึ่งมีความง่ายมากขึ้นความสูงบินที่มี image pixel resolution และ focal length อยู่รวมกันจะใช้หาค่า Ground Sampling Distance (Spatial resolution : ความละเอียดเชิงพื้นที่) ของรูปภาพ การที่จะได้ผลลัพธ์ภาพที่ดีที่สุดจะต้องมีค่า GSD

สูงกว่า 10 pixel/cm สำหรับข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับการปรับปรุงผลลัพธ์รูปภาพที่เป็นพื้นที่ป่าไม้ โดยเลือกใช้การประมวลผลที่ถูกต้อง



5) การทำแผนที่เพื่อสำรวจอาคารสูง

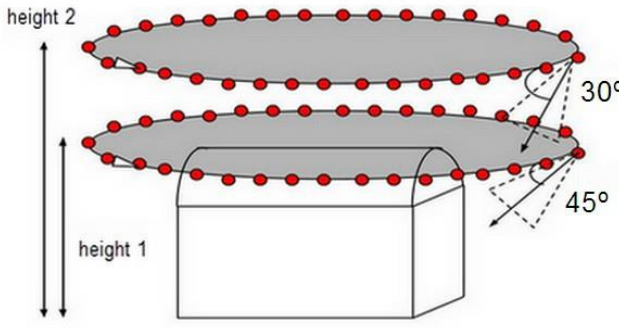
การปรับสภาพอาคาร 3 มิติ ต้องใช้ image acquisition plan แบบเฉพาะ (ตามรูปที่ 4)

- บินรอบๆอาคารครั้งแรกด้วยกล้อง a45 camera angle
- บินครั้งที่ 2 และ3 รอบๆอาคาร โดยเพิ่มความสูงบิน และลดมุมกล้องในแต่ละรอบ

หมายเหตุ : สำหรับข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับ Oblique imagery

ควรถ่ายรูปทุกๆ 5-10 องศา เพื่อให้ได้ overlap ที่เพียงพอ ขนาดของวัตถุและระยะทางจะถูกนำมาคิด ถ้าระยะสั้นและขนาดวัตถุใหญ่ จะต้องใช้รูปที่มีองศาน้อยลง

หมายเหตุ : สูงบินไม่ควรเพิ่มขึ้นเกิน 2 เท่าของระยะระหว่างสายการบิน ซึ่งความสูงที่ต่างกันจะทำให้ความละเอียดเชิงพื้นที่ (Spatial Resolution) ต่างกันด้วย สำหรับข้อมูลเพิ่มเติม



บทที่ 3

การประมวลผลภาพด้วยโปรแกรม Agisoft PhotoScan Professional Edition

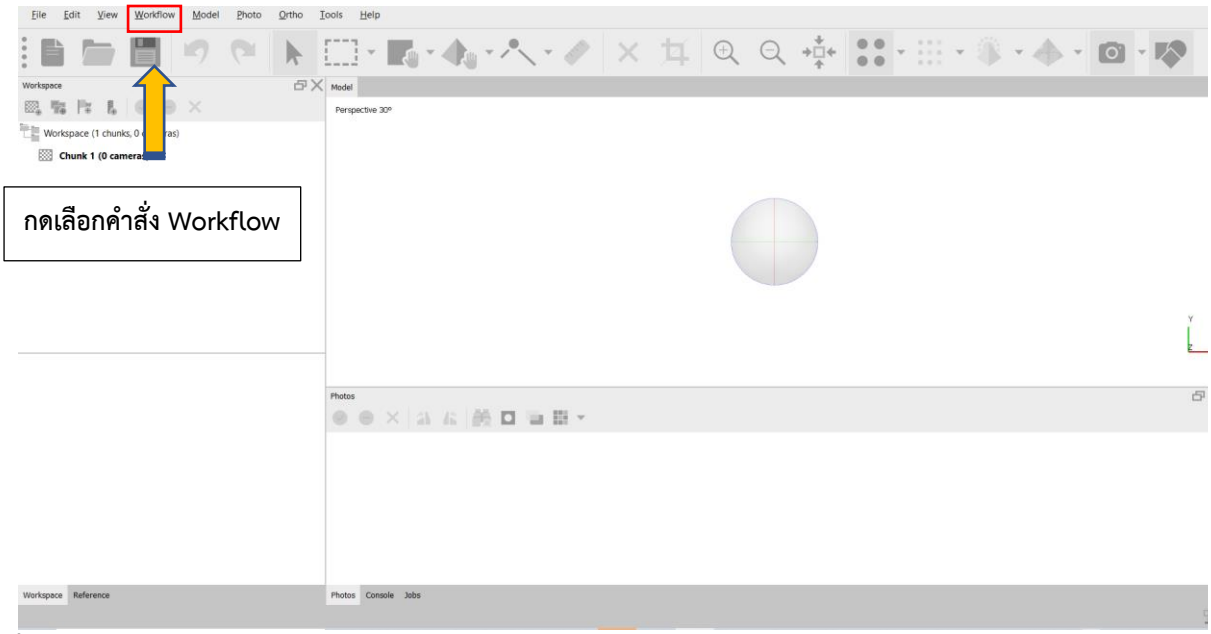
3.1 การเลือกภาพเพื่อใช้ประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศ

1) ภาพที่ใช้ในการประมวลผลไม่ควรมีสัญลักษณ์ใดๆ อยู่ในภาพ เช่น เวลา ตราประทับวันที่รูปภาพที่มีสัญลักษณ์ดังกล่าวไม่สามารถนำไปประมวลผลได้

2) ภาพที่ใช้ไม่ควรจะมีการปรับแต่งเช่น ทำให้ไฟล์ภาพไม่มีขนาด การหมุนภาพ ห้ามใช้ภาพที่ถ่ายในช่วงเวลาที่อากาศยานกำลังบินขึ้นหรือลงจอด และขณะที่อากาศยานกำลังหมุน

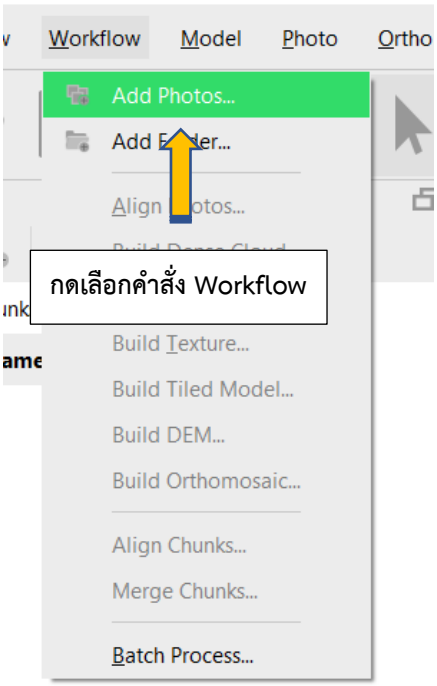
3.2 การสร้างไฟล์งานบนโปรแกรม Agisoft PhotoScan

เมื่อทำการติดตั้งโปรแกรม Agisoft PhotoScan เสร็จเรียบร้อย จากนั้นเปิดตัวโปรแกรมขึ้นมา แล้วกดคำสั่ง Workflow แล้วเลือกคำสั่ง Add photos ภาพที่ถูกนำเข้ามาจะไปอยู่ที่หน้าต่าง Work space ใน Chunk ซึ่งอาจจะมีหลาย Chunk ก็ได้ขึ้นอยู่กบจำนวนรอบบินของอากาศยานไร้คนขับ และจำนวนรูปภาพ

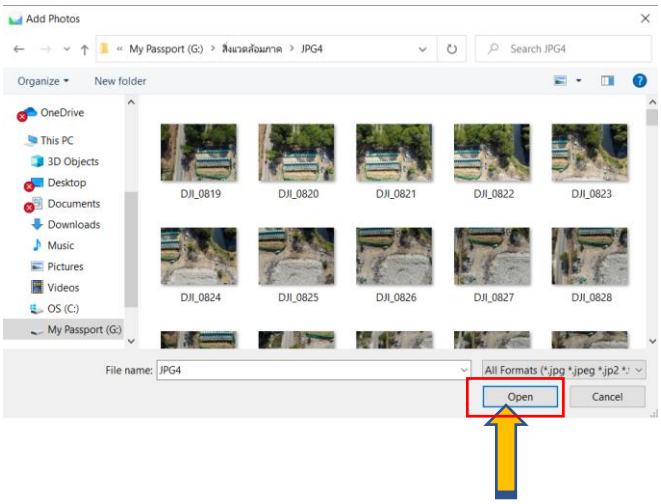


กดเลือกคำสั่ง Workflow

พี่



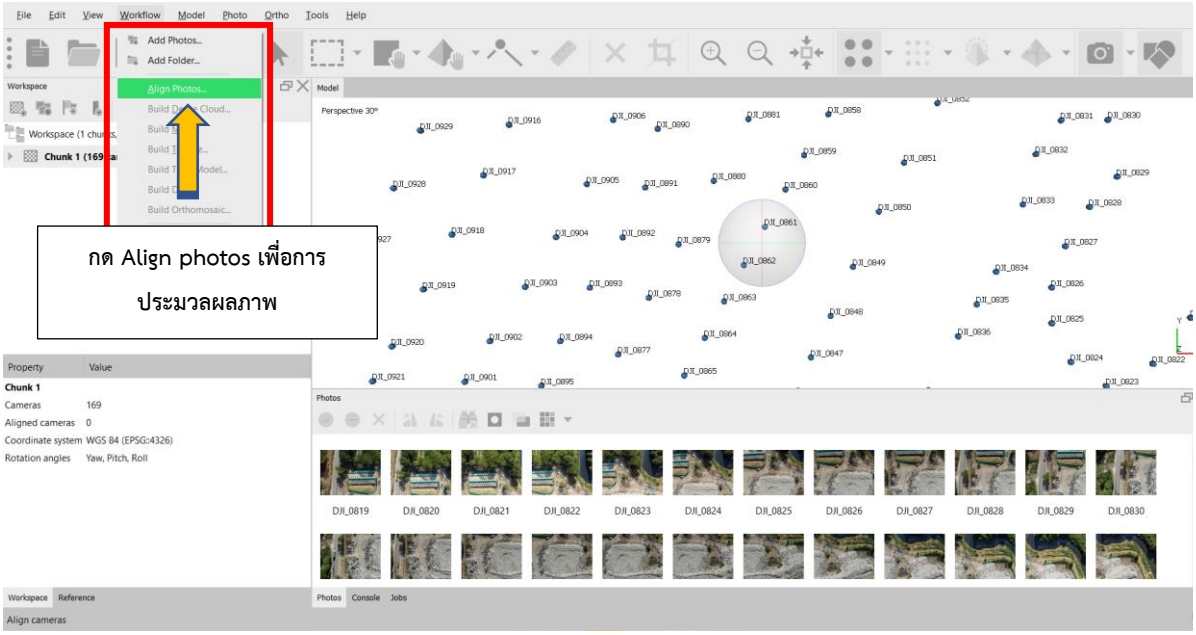
กดเลือกคำสั่ง Workflow



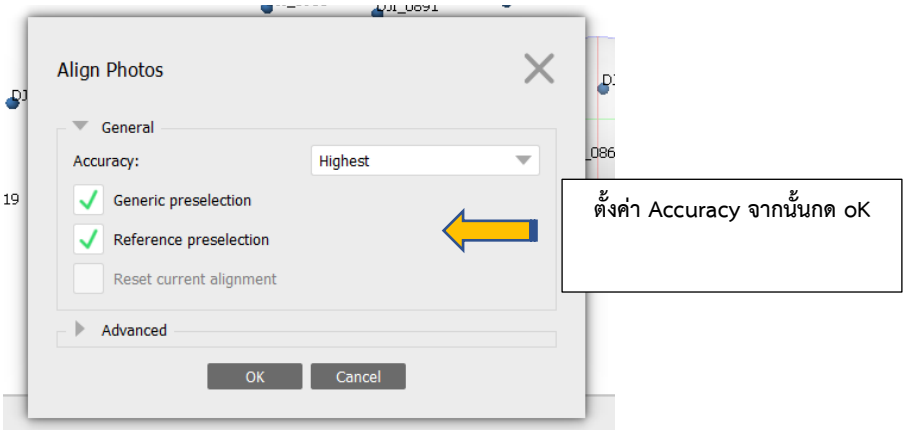
กด CTRL+A เพื่อรูปภาพทั้งหมด จากนั้นกด Open

3.3 การทำขั้นตอน Align Photos

หลังจากสร้างชุดข้อมูลเพื่อใช้ในการประมวลผลแล้วนั้น เราจะมาเริ่มประมวลผลภาพ โดยจะเลือกคำสั่ง workflow โดยจะเห็นได้ว่ามีขั้นตอนต่างๆเริ่มตั้งแต่ Align Photo จะมีตัวหนังสือสีดำและตัวอื่นๆเป็นสีเทา หมายความว่า เราต้องทำการประมวลทีละขั้นตอนโดยเริ่มจากคำสั่ง Align Photo เป็นอันดับแรก



คลิกที่ Align Photo จะได้หน้าต่างแบบนี้ดังภาพที่ 3-5 ซึ่งก็จะสามารถเลือกค่าฟังก์ชั่นหรือความละเอียดต่างๆได้ ตามความต้องการของงาน โดยขั้นตอนนี้จะเป็นขั้นตอนการนำภาพมาจัดเรียงแล้วเลือกเอาจุดของภาพที่เหมือนกันมาสร้างโมเดล



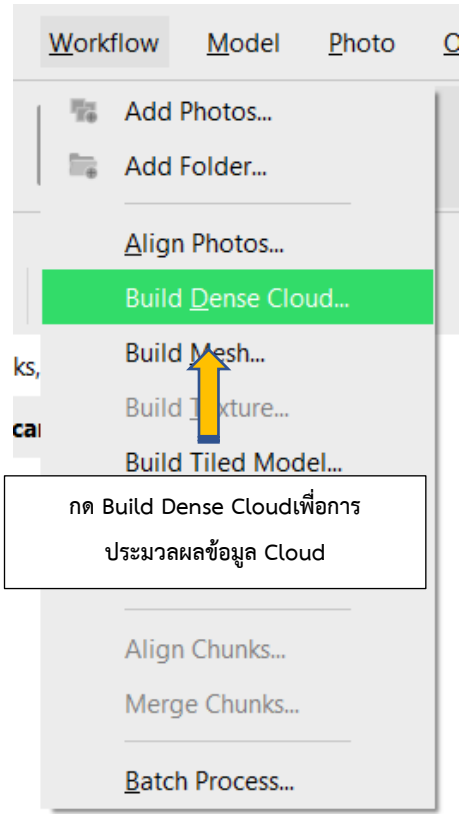
การตั้งค่า Accuracy ก็จะมีให้เลือกทั้งหมด 5 แบบ แสดงถึงความถูกต้องและความละเอียดของงานที่ผู้ประมวลผลต้องการ

- Highest จะมีความถูกต้องของจุดข้อมูลสูงสุด ทำให้ใช้เวลาโปเสสนาน
- Lowest จะมีความถูกต้องต่ำสุด ใช้เวลาน้อยที่สุด

การเลือก Accuracy นั้นขึ้นอยู่กับว่าผู้ประมวลผลภาพต้องการความละเอียดของภาพ Orthomosaic สูงหรือต่ำโดยถ้าต้องการสูงให้เลือก Highest หรือ Hight แต่ถ้าไม่ต้องการภาพที่คมชัดมากให้เลือก Medium หรือ Low ไม่แนะนำให้เลือก Lowest เพราะภาพที่ได้คุณภาพจะแย่เกินไป

3.4 การทขั้นตอน Dense Cloud

หลังจาก Align photo เสร็จแล้วควร save งานก่อน หนึ่งครั้งโดย ไปที่คำสั่ง file>save as เลือกที่เก็บแล้วกด save จากนั้นไปที่ Workflow จะเห็นว่าบรรทัดถัดไปจะมีตัวหนังสือสีดำเพิ่มขึ้นมา แสดงว่าเราสามารถทำขั้นตอนต่อไปได้โดยเราจะทำขั้นตอน Dense Cloud ก่อน เพื่อเพิ่มจำนวนจุดของ Title point ให้มากขึ้นก่อนที่จะไปสร้างพื้นผิวในขั้นตอน Mesh หรือถ้าคิดว่ามีจำนวน title point มากพอแล้วเราสามารถข้ามขั้นตอนไปทำ mesh ได้เลย

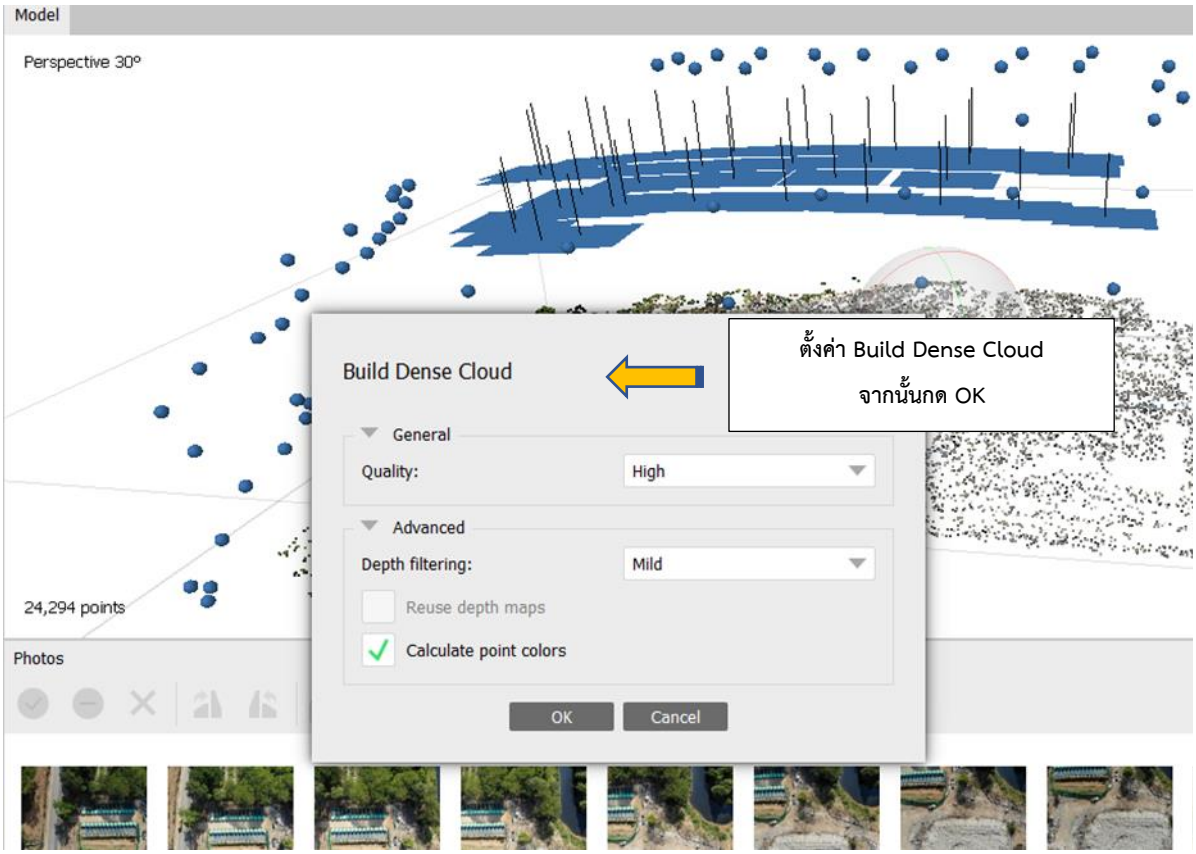


การตั้งค่าคำสั่ง **Quality** จะมีให้เลือก 5 แบบ แสดงถึงความละเอียดของจุดที่ต้องการเพิ่มขึ้นมา

- Ultra High จะมีความละเอียดของจุดข้อมูลสูงสุด ทำให้ใช้เวลาในการโปรเสสนานมาก
- Lowest จะมีความละเอียดต่ำสุด ใช้เวลาคำนวณน้อยที่สุด

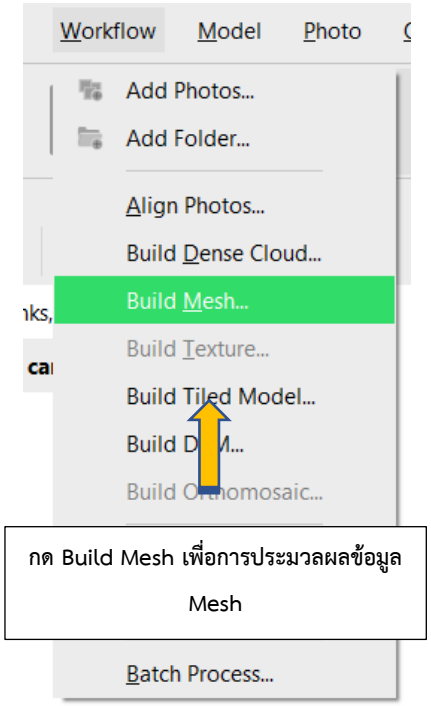
การตั้งค่าคำสั่ง **Depth fitering** มีให้เลือกอยู่ 4 แบบ ซึ่งแต่ละแบบก็จะมีความต่างกัน

- Disabled แบบทั่วไปไม่เจาะจง มีการเพิ่มจำนวนจุดขึ้นมา
- Mild จะเป็นการเพิ่มรายละเอียดไม่มากจนเกินไปเน้นให้ผิวเรียบสมูท
- Moderate จะเป็นการเพิ่มจำนวนจุดให้พอดีสม่ำเสมอทำให้ข้อมูลไม่ขรุขระจนเกินไป
- Aggressive จะเป็นการลงรายละเอียดเพิ่มจุดให้เยอะๆ มีความละเอียดสูงแต่ถ้าข้อมูลไม่เพียงพออาจทำให้ผิดเพี้ยนได้



3.5 การทำขั้นตอน Build Mesh

หลังจากเสร็จกระบวนการ Dense Cloud แล้วนั้นขั้นตอนต่อไป คือการสร้างข้อมูล Mesh โดยเลือกคำสั่ง Build Mesh



การตั้งค่าคำสั่ง **Surface type** จะมีให้เลือก 2 แบบ คือ

- **Height field** จะคำนวณภาพพื้นผิวแบบระนาบตั้งฉากภูมิประเทศ มองจาก top view เหมาะสำหรับทำแผนที่ ภูมิประเทศ เพราะใช้ RAM น้อย คำนวณเสร็จไวกว่าแบบ Arbitrary
- **Arbitrary** จะใช้การคำนวณพื้นผิวในทุกทิศทุกทางเพื่อให้โมเดลมีความราบเรียบ เหมาะสำหรับทำโมเดลวัตถุ หรือโมเดลปิดเป็นรูปร่าง แต่ใช้ RAM มากใช้เวลาในการคำนวณนาน

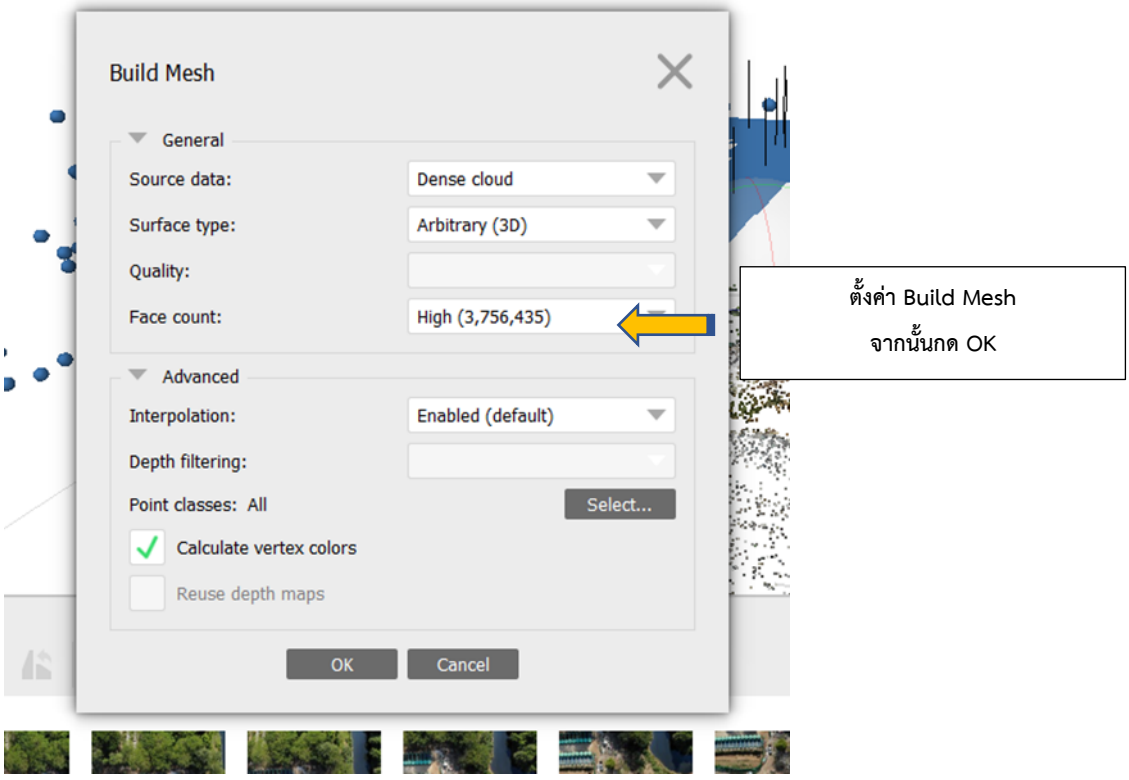
การตั้งค่าคำสั่ง **Source data** แหล่งที่มาของข้อมูลเลือกเอาว่าจะเอาจุดจากข้อไหนมาสร้างพื้นที่ผิว

- **Sparse Cloud** จะนำข้อมูลจาก title point จากขั้นตอน align photo
- **Dense Cloud** จะนำข้อมูลจากขั้นตอนก่อนหน้ามาคำนวณ

Face Count ก็ให้เลือกความละเอียดของพื้นผิวโดยจะบอกจำนวนโดยประมาณของหน้าโครงข่ายที่เชื่อมโยงกัน ระหว่างจุดแต่ละจุด

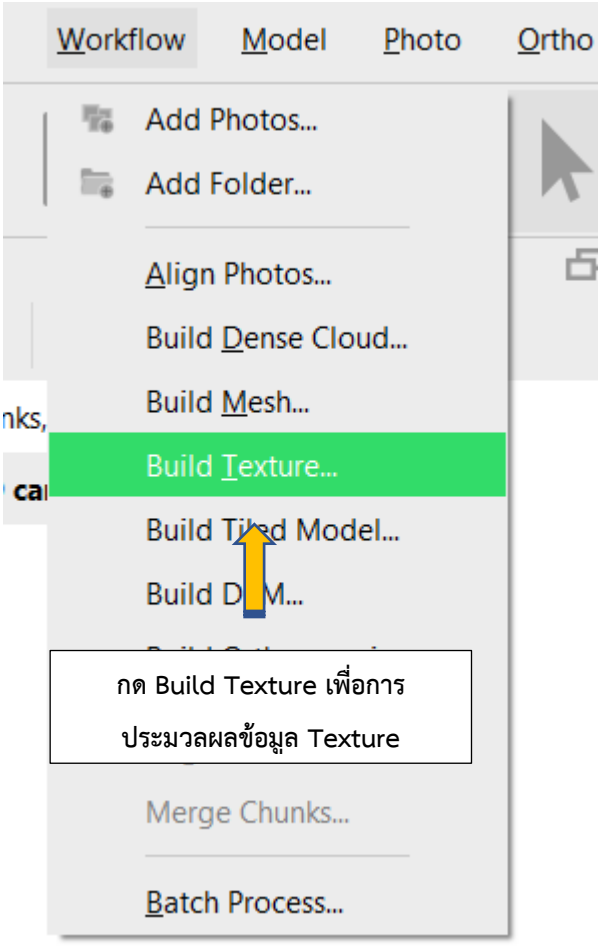
Interpolation เป็นการปรับแก้พื้นผิวข้อมูลโดยการประมาณค่า

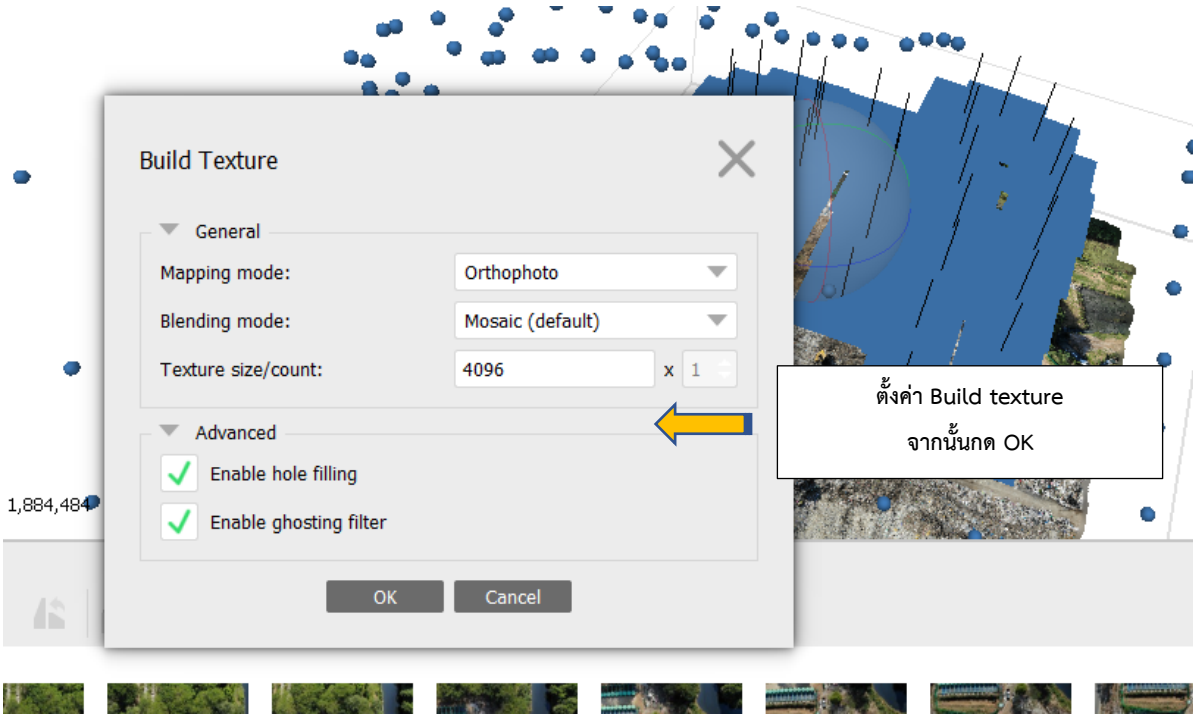
- **Disabled** จะเป็นการเพิ่มจุดเพื่อให้พื้นที่ผิวสอดคล้องกับความเป็นจริง
- **Enabled (default)** จะเป็นการปรับความเหมาะสม ถ้าพื้นที่ตรงไหนมีจุดเพียงพอก็จะไม่สร้างเพิ่ม
- **Extrapolated** จะเป็นการขยายขนาดรัศมีของจุดแต่ละจุดให้ครอบคลุมพื้นที่ เพิ่มจุดน้อยมาก



3.6 การขั้นตอน Build Texture

เมื่อทำการประมวลผลข้อมูล mesh เสร็จเรียบร้อยแล้ว จากนั้นให้ทำการประมวลผลข้อมูล texture โดยให้เลือกคำสั่ง Build Texture เป็นขั้นตอนในการนำพื้นผิวของภาพมาใส่ในโมเดลของ ทำให้โมเดลมีสีสันสวยงามมีความละเอียดของเม็ดสีเพิ่มขึ้น





การตั้งค่า Mappin Mode จะมีให้เลือกตามความเหมาะสม

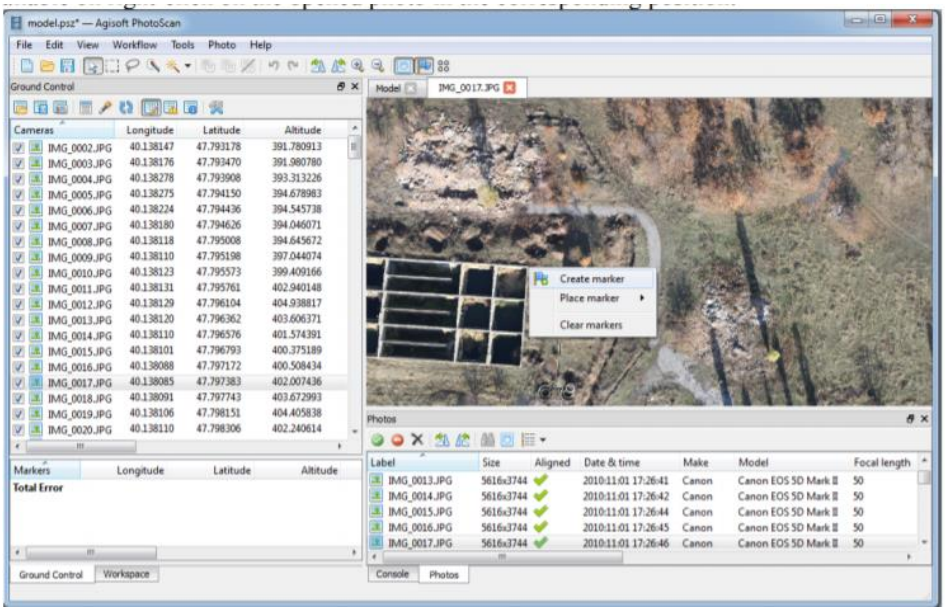
- Generic ทำให้ภาพมีสีทั่วไป
- Orthophoto จะเน้นทางภาพ top view เพียงอย่างเดียว
- Adaptive Orthophoto ก็จะเน้นทางภาพ top view และด้านข้างเล็กน้อยปรับให้พอดี
- Spherical จะเน้นทำให้ภาพเป็นวงกลม
- Single Camera จะเป็นการนำสีของภาพๆเดียวมาใส่ในโมเดลส่วนของภาพนั้นๆ

การตั้งค่า Blending Mode การปรับสี

- Mosaic (default) ซึ่งเป็นค่าเริ่มต้น
- Average จะใช้ค่าเฉลี่ยของภาพพิกเซลของภาพ Max intensity จะเลือกภาพที่มีความเข้มข้นสูงสุดของพิกเซล Min intensity เลือกภาพที่มีความเข้มข้นต่ำสุดของพิกเซล
- Disabled ทั่วๆไป

3.7 การทำจุดควบคุมภาพ (Ground Control Point: GCP)

เมื่อทำการประมวลทั้ง 4 ขั้นตอน แล้วเรียบร้อยแล้วจะทำการปรับความถูกต้องเชิงตำแหน่งของข้อมูล 3 มิติ และข้อมูลความถูกต้องเชิงตำแหน่งของภาพ Orthophoto ให้มีความถูกต้องมากขึ้นกว่าเดิม โดยการเพิ่ม Marker โดยคลิกขวาที่จุดที่เราทราบค่าตำแหน่งนั้นๆ ซึ่งเรียกวิธีการนี้ว่า การทำจุดควบคุมภาพ (Ground Control Point : GCP) โดยการ เลือก Create marker เมื่อ create maker แล้วดูทางด้านซ้ายมือในแถบ reference จะเห็นรูปธงสีฟ้าให้ตั้งชื่อจุดและกรอกใส่ค่าพิกัด x,y,z ถ้าหาแถบเครื่องมือไม่เจอให้คลิกขวาที่บนแถบตามรูปแล้วเลือกเมนู reference สามารถเปิด/ปิด รูปธงได้ ตามไอคอนดังภาพรูปธง

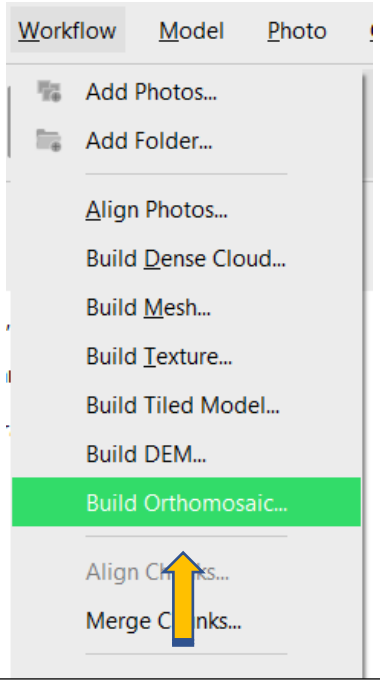


เมื่อใส่ Marker ตามจำนวน GCP เรียบร้อยแล้ว ให้กด Save ให้กดตรง update ที่เป็น ไอคอนรูปลูกศรสีฟ้า จากนั้นกด Optimize camera รูปไฟฉายสีส้ม แล้วก็จะมีพารามิเตอร์ต่างๆ ให้เลือก จากนั้นกด OK โปรแกรมจะแสดงค่า error เชิงตำแหน่งที่ได้ทำการปรับแก้ หลังจากที่เราทำการ optimize camera แล้ว ทำการประมวลผลภาพอีกครั้งหนึ่งโดยเริ่มจาก Dense Cloud > Mesh > Texture ถือเป็นการเสร็จสิ้นกระบวนการประมวลขั้นพื้นฐาน

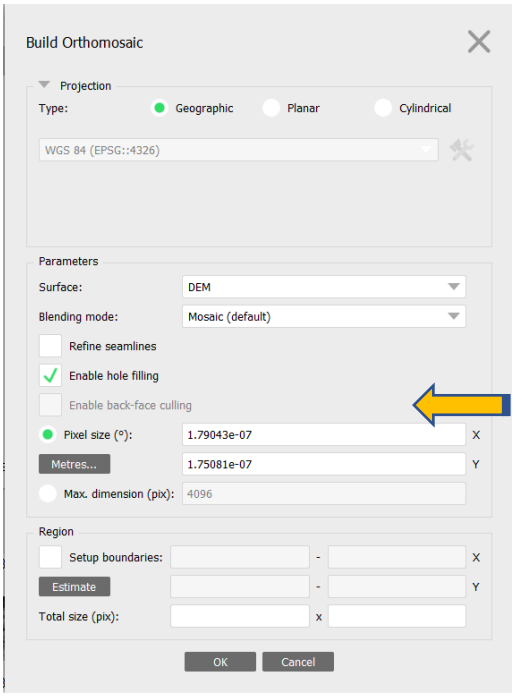
หมายเหตุ หากเกิดปัญหาหลังจาก optimize แล้วไม่สามารถขึ้นโมเดลได้มีการบิดหรือม้วน แสดงว่ามีการใส่ค่าพิกัดใน marker ผิดหรือสลับตำแหน่งกัน ควรเช็คก่อนว่ามีค่า error เยอะเกินความจริงหรือไม่ หลังจากที่เรากด update ถ้าไม่มากเกินไปก็ optimize เพื่อปรับแก้แต่ถ้ามากเกินไปควรเช็คดูค่าพิกัดแต่ละจุดว่ามีจุดไหนที่ค่า error เยอะ และพิจารณาตัดออกไป หากไม่สามารถแก้ไขได้

3.8 การประมวลผลภาพ Orthomosaic

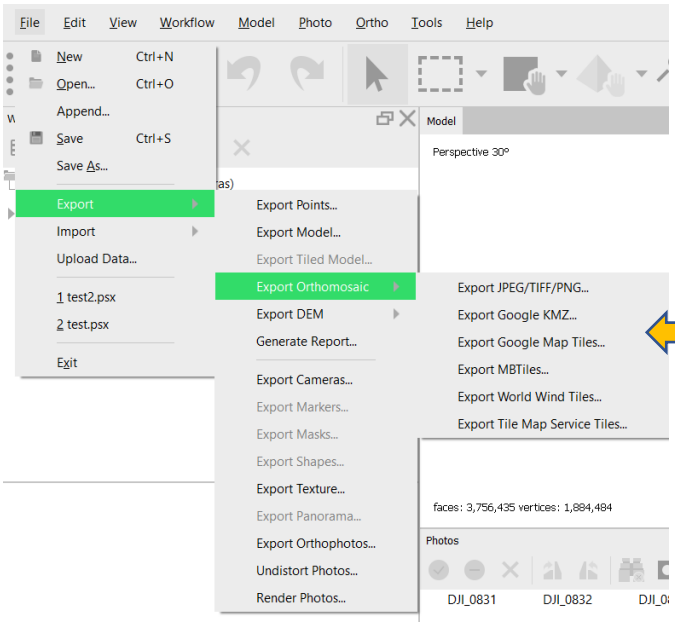
หลังจากการประมวลผลขั้นตอนหลักเสร็จแล้วนั้นถ้าเราต้องการ ภาพออโท ซึ่งเป็นภาพตั้งฉากที่มีความละเอียดสูงและมี ความถูกต้องเชิงตำแหน่ง โดยเราต้องไปเลือกคำสั่ง Workflow จากนั้นเลือกคำสั่ง Build Orthomosaic



กด Build Orthomosaic เพื่อการประมวลผลข้อมูล Orthomosaic



ตั้งค่า Build Orthomosaic จากนั้นกด OK



การตั้งค่าเพื่อ Export ข้อมูล

เมื่อประมวลเสร็จแล้ว ส่งออกข้อมูลภาพ orthomosaic โดยไปที่ File > Export orthomosaic > Export JPEG/...> export แล้วเลือกไฟล์นามสกุลที่เราต้องการ หรือถ้าต้องการให้แสดงภาพซ้อนทับบน google earth ให้ File > Export orthomosaic > Export Google KMZ > export

หมายเหตุข้อควรระวัง

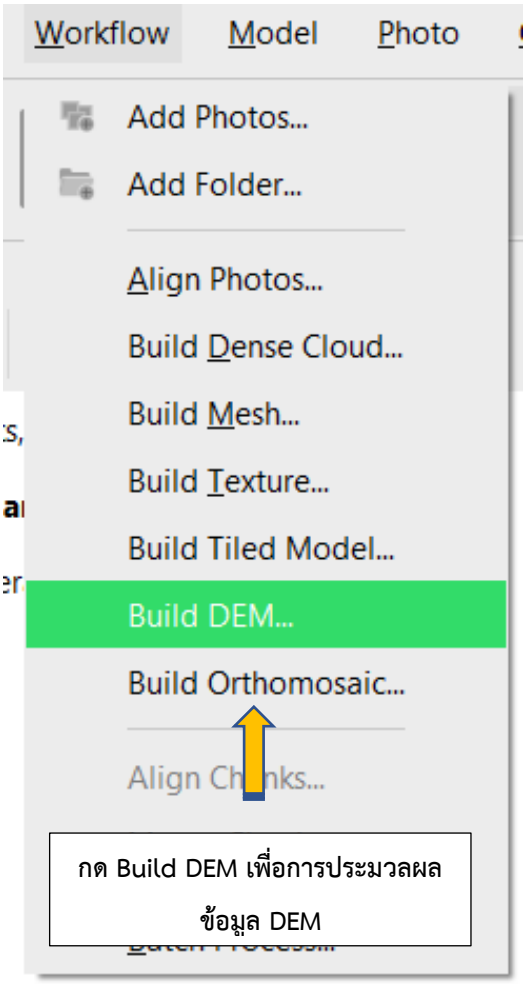
1.ประเทศไทย จะแบ่งโซนหลักๆ เป็น 2 โซน คือ 47 และ 48

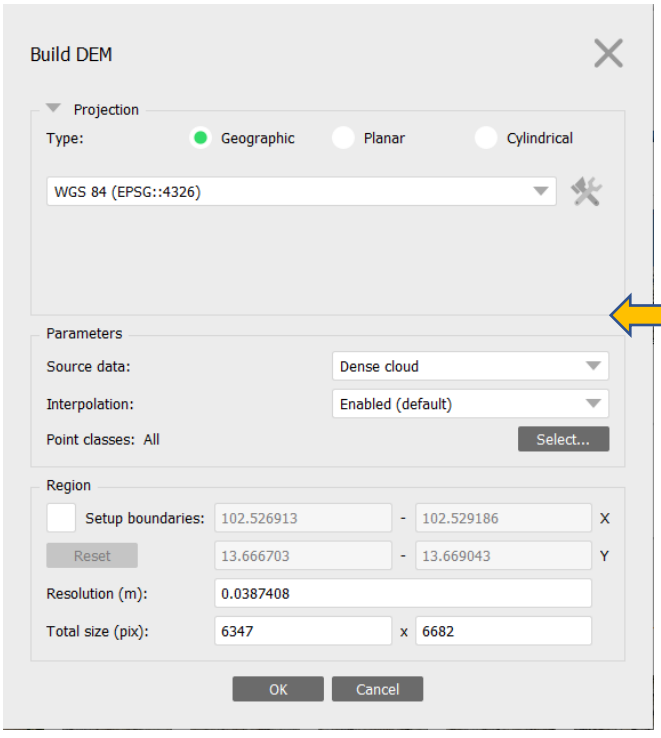
2.ใช้ระบบพิกัดของภาพเป็นระบบเดียวกันกับพิกัดของจุดควบคุมภาพ GCP

การกำหนดค่าพิกัดให้เข้าไปที่ Projected Coordinate systems > world geodetic system 1984 > WGS 84 /UTM Zone 47Nเมื่อเลือกได้แล้วก็กด OK

3.9 การประมวลผลภาพ Digital elevation model

หลังจากการประมวลผลขั้นตอนหลักเสร็จแล้วนั้น ทำการประมวลผลภาพ Digital elevation model ซึ่งเป็นภาพความสูงเชิงเลขที่จะบอกความสูงของพื้นที่ โดยเราต้องไปเลือกคำสั่ง Workflow จากนั้นเลือกคำสั่ง Build DEM



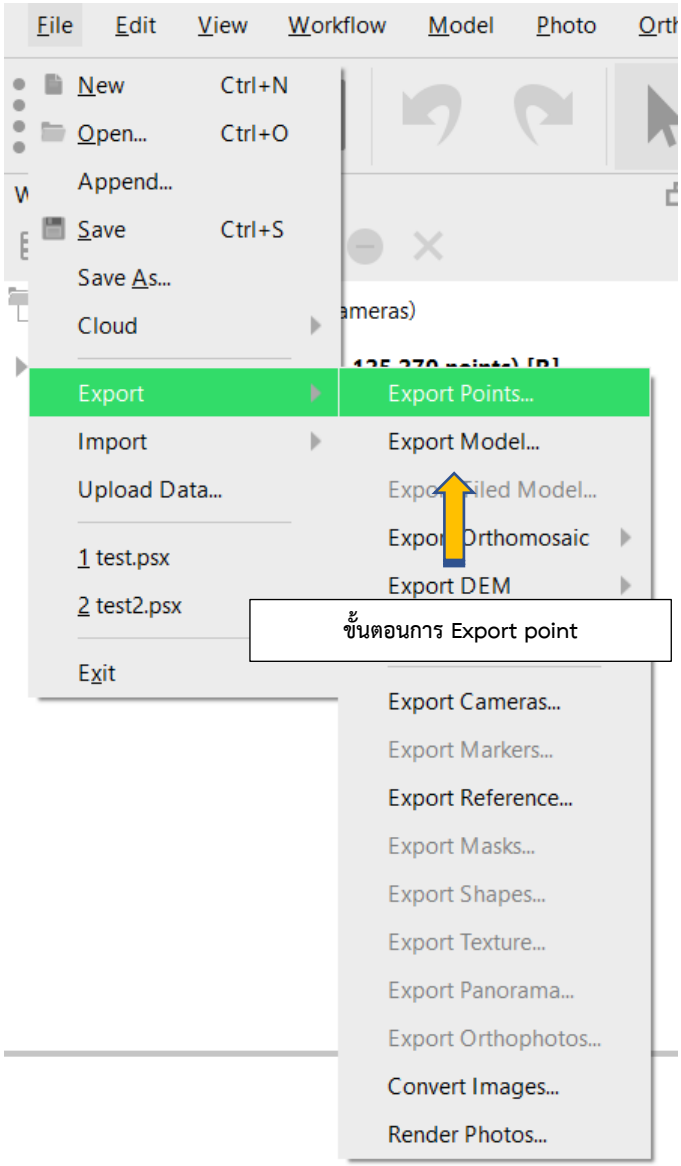


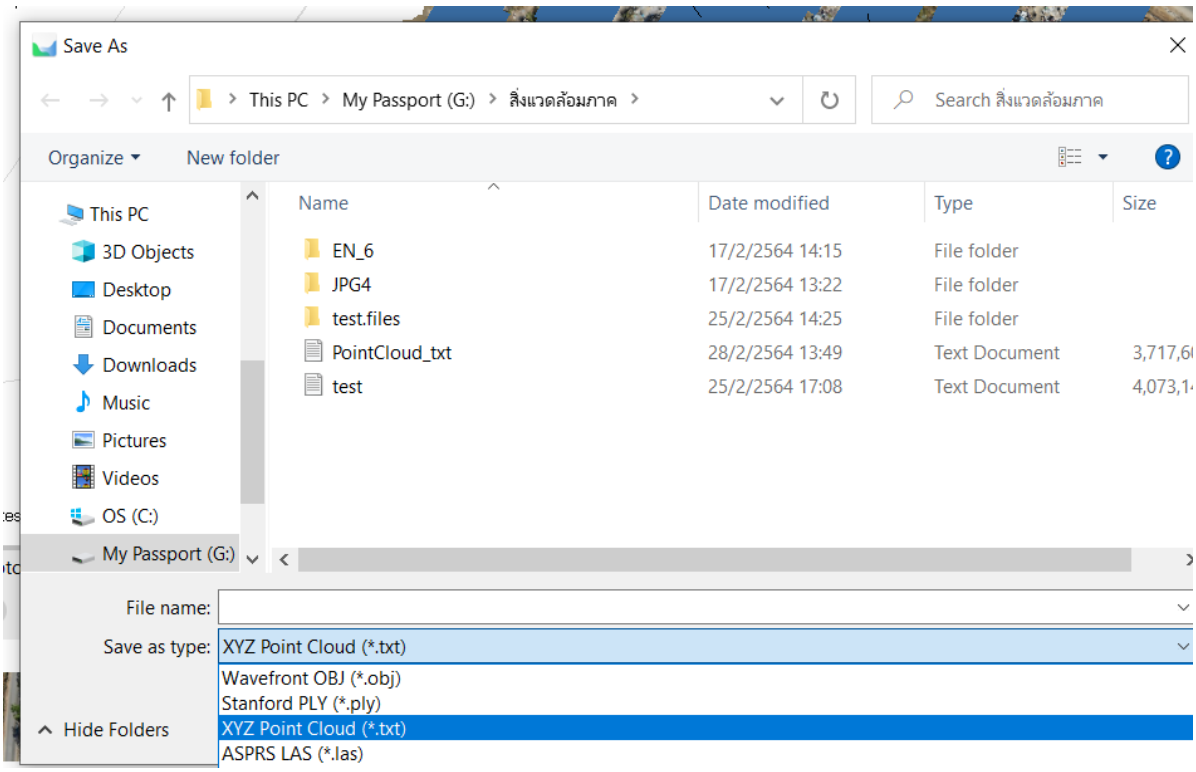
ตั้งค่า Build DEM
จากนั้นกด OK

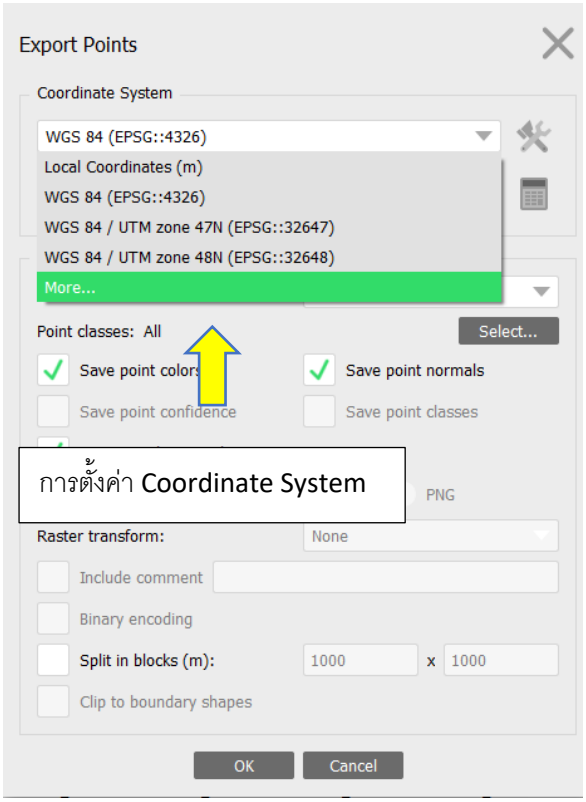
3.10 การ Export ข้อมูลที่ได้จากการประมวลภาพถ่ายทางอากาศ

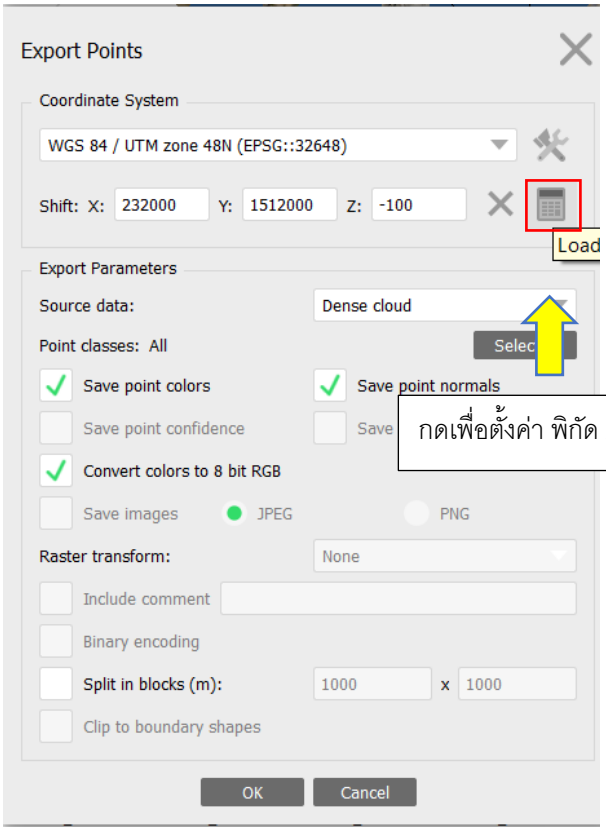
เมื่อทำการประมวลผลข้อมูลครับทุกประเภทแล้วนั้น ผู้ประมวลผลสามารถทำการ Export โดยให้ที่คำสั่ง File จากนั้นให้เลือก Export โดยจะสามารถ Export ข้อมูลได้ 5 ประเภทได้แก่

1. ข้อมูล Point
2. ข้อมูล Model
3. ข้อมูล Orthomosaic
4. ข้อมูล DEM
5. ข้อมูล Generate Report




Save As
This PC
My Passport (G:)
สิ่งแวดล้อมภาค
Search สิ่งแวดล้อมภาค
Organize
New folder
This PC
3D Objects
Desktop
Documents
Downloads
Music
Pictures
Videos
OS (C:)
My Passport (G:)
Name
Date modified
Type
Size
EN_6
17/2/2564 14:15
File folder
JPG4
17/2/2564 13:22
File folder
test.files
25/2/2564 14:25
File folder
PointCloud_txt
28/2/2564 13:49
Text Document
test
25/2/2564 17:08
Text Document
File name:
Save as type:
XYZ Point Cloud (*.txt)
Wavefront OBJ (*.obj)
Stanford PLY (*.ply)
XYZ Point Cloud (*.txt)
ASPRS LAS (*.las)
Hide Folders


Export Points
Coordinate System
WGS 84 (EPSG::4326)
Local Coordinates (m)
WGS 84 (EPSG::4326)
WGS 84 / UTM zone 47N (EPSG::32647)
WGS 84 / UTM zone 48N (EPSG::32648)
More...
Point classes: All
Select...
Save point colors
Save point normals
Save point confidence
Save point classes
การตั้งค่า Coordinate System
PNG
Raster transform:
None
Include comment
Binary encoding
Split in blocks (m):
1000
x
1000
Clip to boundary shapes
OK
Cancel


Export Points
Coordinate System
WGS 84 / UTM zone 48N (EPSG::32648)
Shift: X:
232000
Y:
1512000
Z:
-100
Load
Export Parameters
Source data:
Dense cloud
Point classes: All
Select
Save point colors
Save point normals
Save point confidence
Convert colors to 8 bit RGB
Save images
JPEG
PNG
Raster transform:
None
Include comment
Binary encoding
Split in blocks (m):
1000
x
1000
Clip to boundary shapes
OK
Cancel
กดเพื่อตั้งค่า พิกัด X,Y,Z

บทที่ 4
การวิเคราะห์ปริมาณขยะด้วยโปรแกรม Cloud Compare

โปรแกรม Cloud Compare เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล Point Cloud โดยการนำเข้ามูลที่ได้จากกการประมวลผลในโปรแกรม Agisoft PhotoScan Professional Edition มาใช้วิเคราะห์ข้อมูลความสูงของพื้นผิว เช่น ความสูงของกองขยะ ความสูงของพื้นที่ นอกจากการวิเคราะห์ความสูงของพื้นที่ โปรแกรม Cloud Compare ยังสามารถวิเคราะห์ปริมาตรของกองขยะได้อีกด้วย

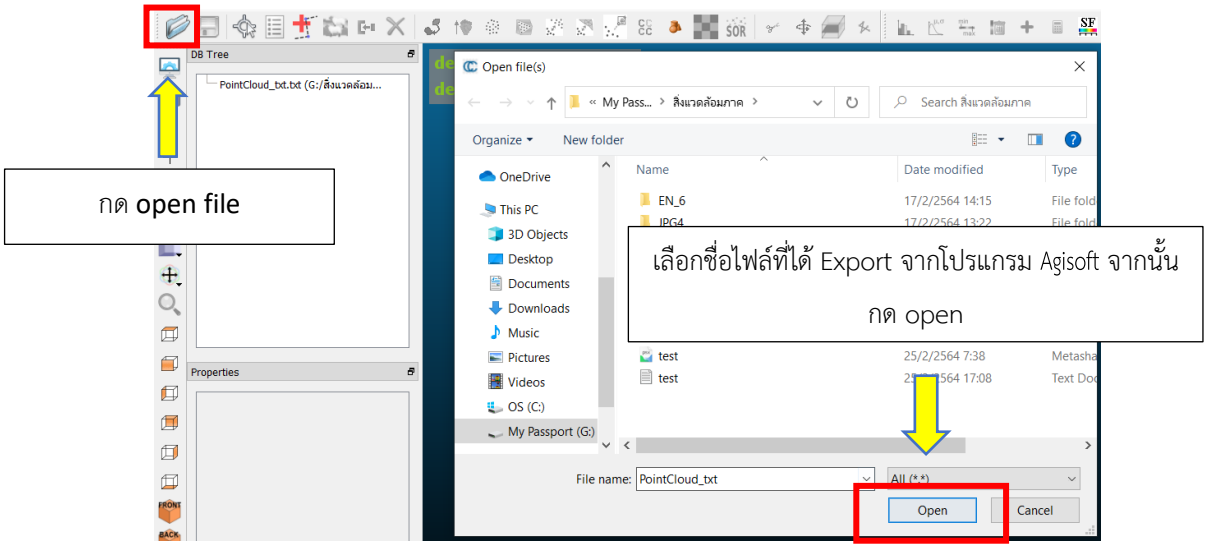
ตารางที่ 4-1 ประเภทข้อมูลที่ใช้ร่วมกับโปรแกรม Cloud Compare

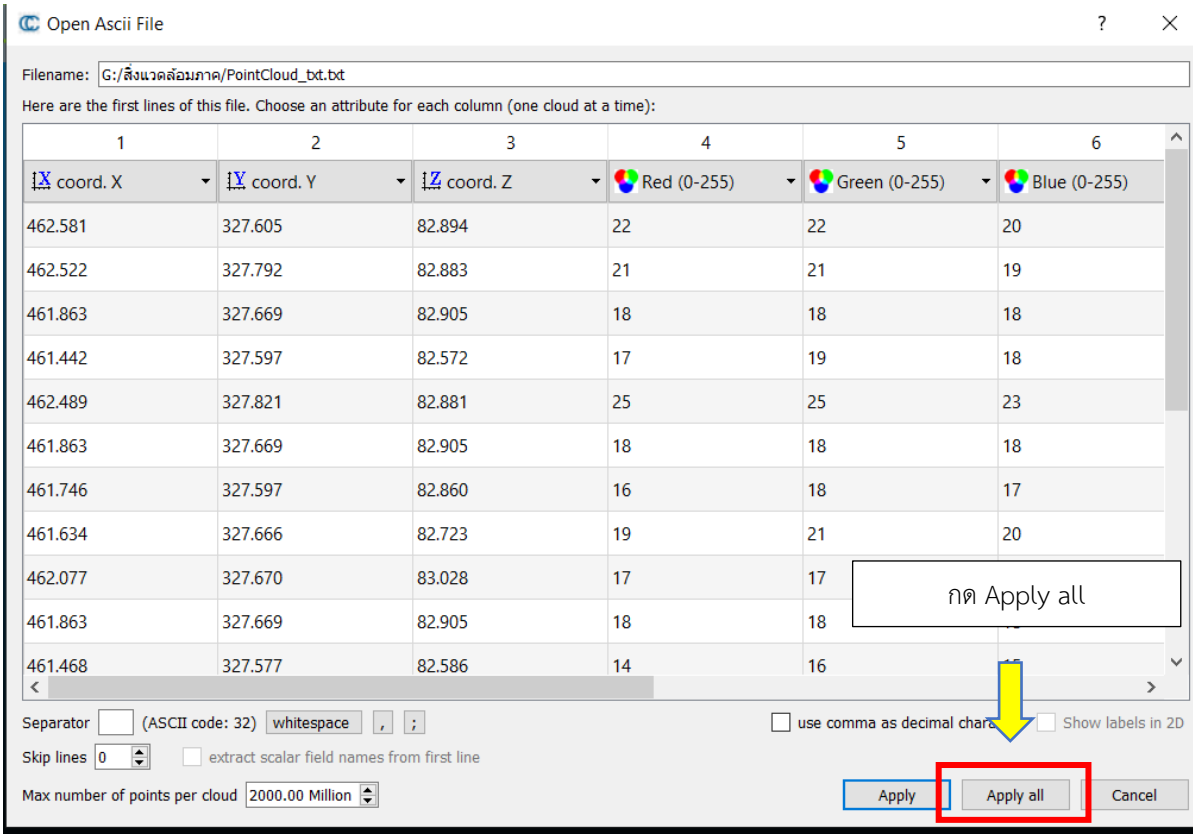
ประเภทข้อมูล	ประเภทไฟล์
Wavefront OBJ	.OBJ
Stanford PLY	.ply
XYZ Point Cloud	.txt
ASPRS LAS	.las
LAZ	.las

4.1 การทำ Segment ข้อมูล Point Cloud

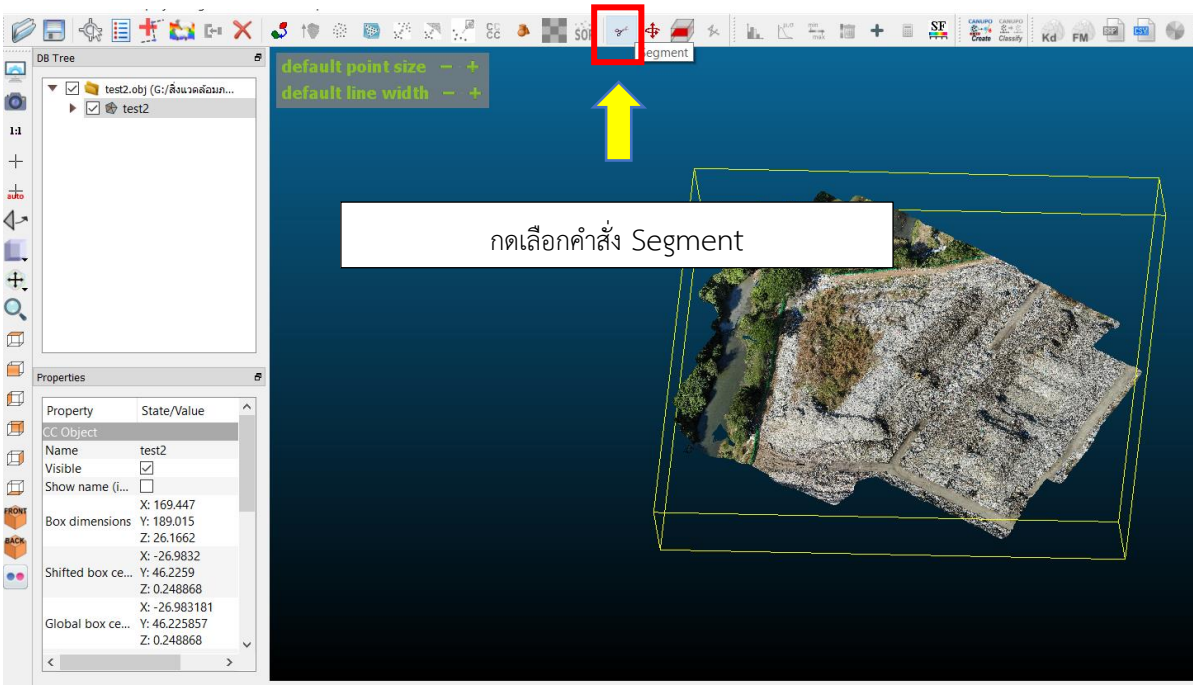
การทำ Segment ข้อมูล Point cloud คือการตัดข้อมูลที่เราไม่ต้องการจะใช้ในการวิเคราะห์ออกให้เหลือเพียงข้อมูลที่ต้องใช้วิเคราะห์เท่านั้น

4.1.1 นำเข้าข้อมูลไฟล์ .TXT ที่ได้จากโปรแกรม Agisoft PhotoScan Professional Edition โดยตัวไฟล์ข้อมูลจะประกอบได้ค่าพิกัด X,Y และความสูงค่า Z



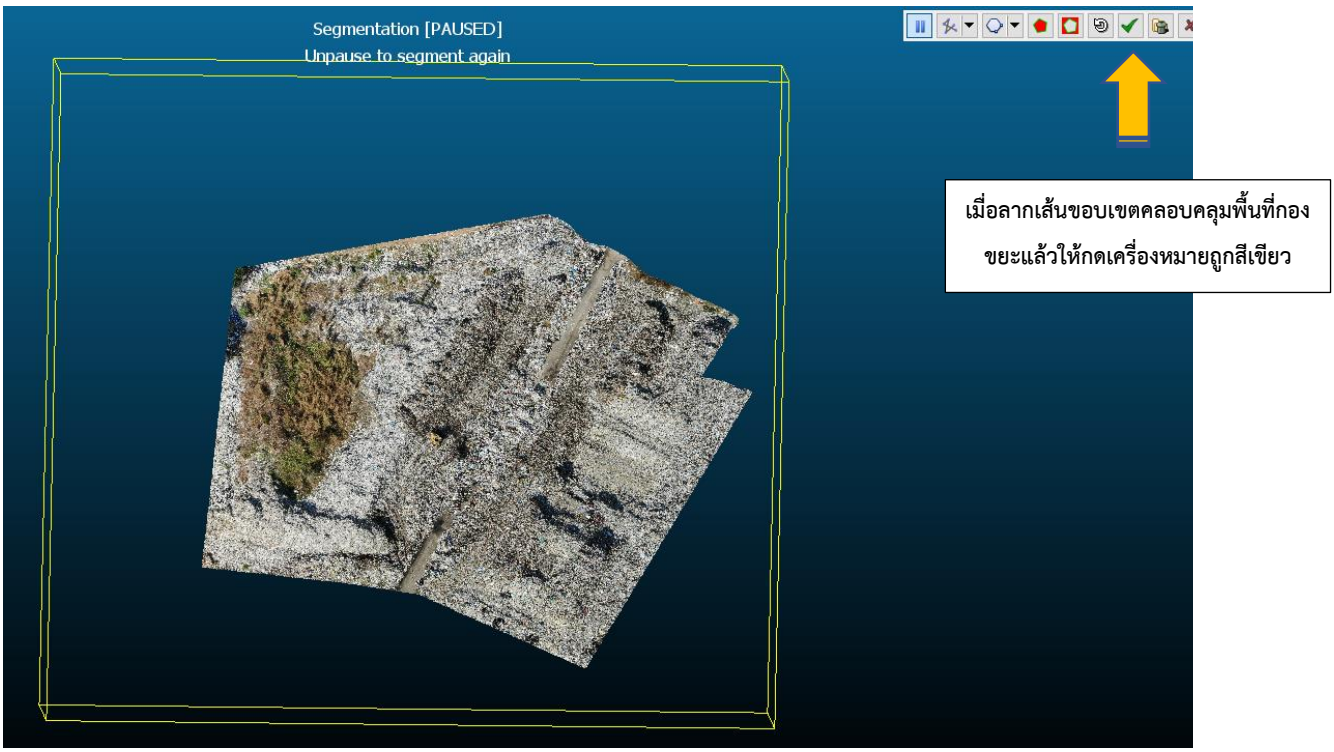


4.1.2 การเลือกคำสั่ง Segment เพื่อตัดข้อมูลเฉพาะพื้นที่กองขยะและนำมาใช้วิเคราะห์ความสูงของพื้นที่ และนำไปวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณกองขยะ



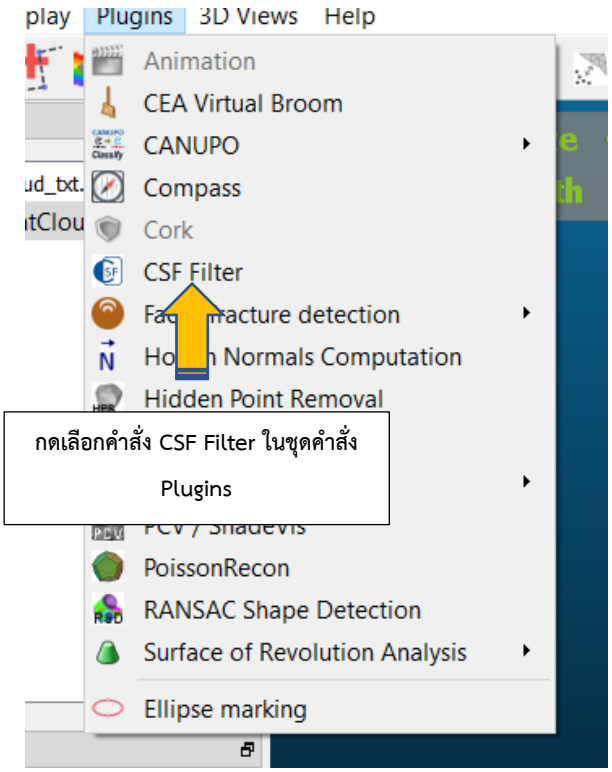
การทำ Segment จะใช้วิธีการ คลิกซ้าย และลากเส้นโดยรอบขอบเขตกองขยะที่ต้องการจะตัดข้อมูล เมื่อลากครอบคลุมพื้นที่กองขยะแล้วให้ทำการ กดคลิกขวา 1 ครั้ง

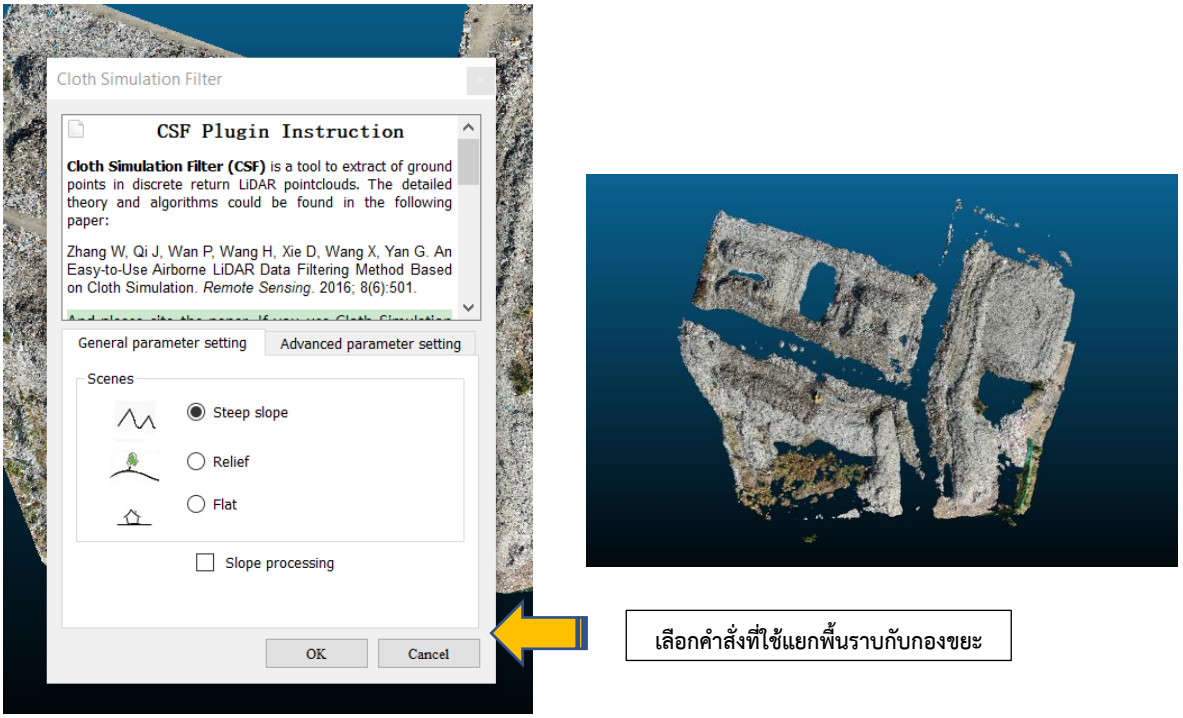
เมื่อทำการลากเส้นรอบพื้นที่กองขยะที่ต้องการจะตัดเรียบร้อยแล้วให้กดคำสั่งเครื่องหมายถูกสีเขียว



4.2 การทำ CSF Filter ของข้อมูล Point Cloud

การใช้งานคำสั่ง CSF Filter เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการแยกข้อมูล Ground Point โดยจะใช้อัลกอริทึมเพื่อแยกพื้นที่ราบกับพื้นกองขยะออกจากกันทำให้สามารถวิเคราะห์ปริมาณของกองขยะได้อย่างถูกต้อง และรวดเร็ว

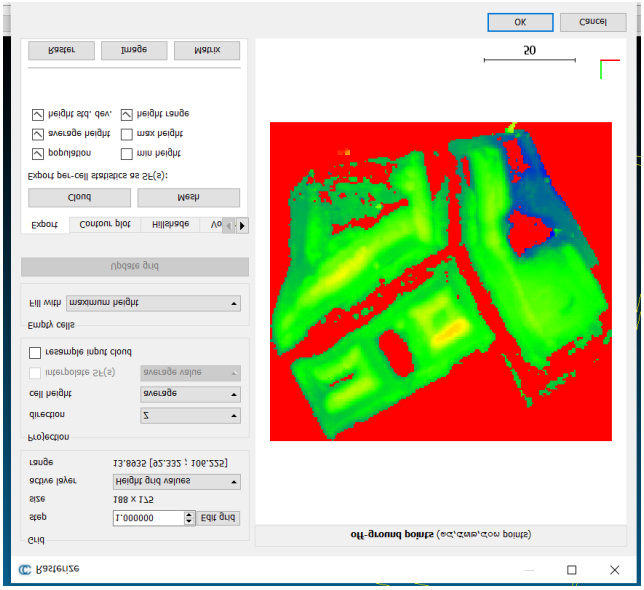




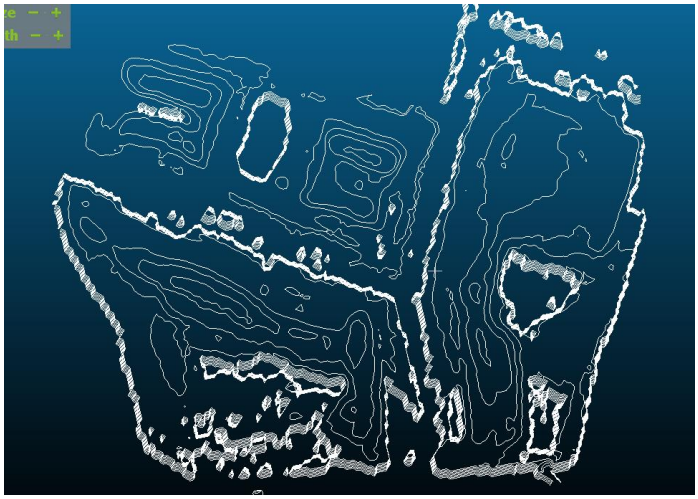
4.3 การทำ Rasterize ของข้อมูล Point Cloud

การใช้คำสั่ง Rasterize เป็นคำสั่งที่นำข้อมูล Point Cloud มาสร้างชุดข้อมูลใหม่ 2 ชุดข้อมูลได้แก่

1) ข้อมูลความสูงเชิงพื้นผิว คือข้อมูลที่จะรวมความสูงของสิ่งปลูกสร้างหรือต้นไม้ที่โดรนนั้นถ่ายติดมาด้วยวิธีการที่จะตัดข้อมูลสิ่งปลูกสร้างหรือต้นไม้ ออกนั้นเราจะใช้ คำสั่ง CSF Filterเข้ามาช่วยแยกข้อมูล

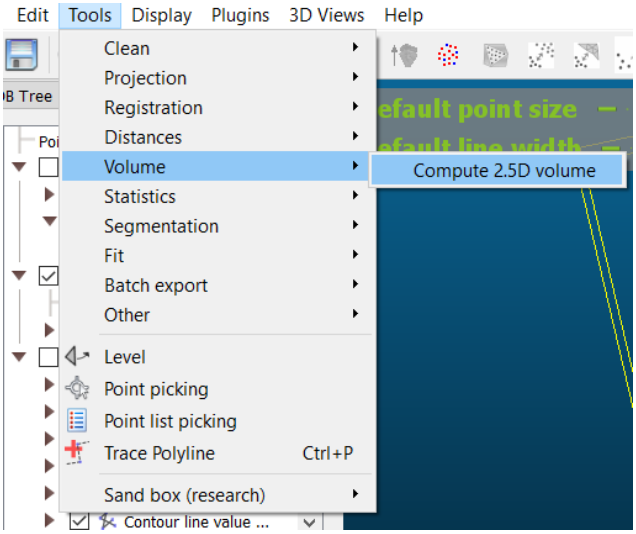


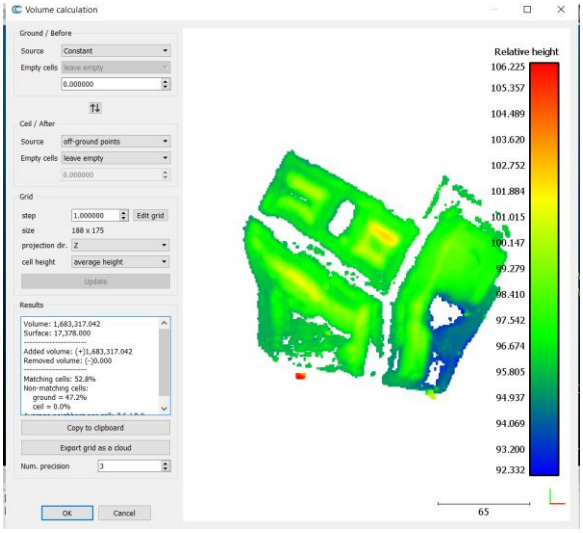
2) ข้อมูลเส้นชั้นความสูง คือข้อมูลคือ เส้นที่แสดงลักษณะความสูงต่ำของพื้นที่ เป็นเส้นจินตนาการของระดับที่คงที่บนพื้นผิวภูมิประเทศ ที่มีค่าระดับเท่ากัน เส้นชั้นความสูงที่มีค่าเป็นบวก คือเส้นที่แสดงค่าความสูงเหนือระดับทะเลปานกลาง ส่วนเส้นชั้นความสูงที่มีค่าเป็นลบเป็นเส้นชั้นความสูงที่แสดงค่าความสูงต่ำกว่าระดับทะเลปานกลาง



4.4 การทำ Volume ของข้อมูล Point Cloud

การทำข้อมูล Volume คือการวิเคราะห์ปริมาณของกองขยะ ในการวิเคราะห์ข้อมูล Volume นั้น ต้องใช้ข้อมูลที่ ผ่านการทำ CSF Filter ก่อนจะนำมาใช้วิเคราะห์ปริมาณ Volume





บรรณานุกรม

การรังวัดด้วยภาพดิจิทัล (Digital Photogrammetry) ของ ผศ.ดร.ไพศาล สันติธรรมนนท์

การอัปโหลดและประมวลผล. (2561), สามารถเข้าถึงได้จาก https://cloud.pix4d.com

ศัพท์แผนที่ อังกฤษ –ไทย ฉบับราชบัณฑิตยสถานจัดทำโดย กรมแผนที่ทหาร. (2549), สามารถเข้าถึงได้จาก http://library.ap.tu.ac.th/dublin.php?ID=13399128563

ประวัติของโฟโตแกรมเมตรี (มปป.), สามารถเข้าถึงได้จาก https://spatial.curtin.edu.au /local/docs/HistoryOfPhotogrammetry.pdf

ประวัติการทำแผนที่จากภาพถ่ายทางอากาศในประเทศไทย (2561), สามารถเข้าถึงได้จาก http://kanchanapisek.or.th/kp6/sub/book/book.php?book=12&chap=10&page=chap10.htm

ประวัติความเป็นมา และบทบาทหน้าที่ของกรมแผนที่ทหาร. (2561), สามารถเข้าถึงได้จาก http://www.rtsd.mi.th/index.php?option=com_content&view=article&id=44&Itemid=2&lang=th

Elementary of Photogrammetrywith Applications in GIS ของ Wolf and Dewitt

Introduction to Modern Photogrammetry ของ Mikhail, Betheland McGlone.

Phantom 4 User Manual V.1.0 สามารถเข้าถึงได้จาก https://dl.djicdn.com/ downloads/phantom_4/en/Phantom_4_User_Manual_en_v1.0.pdf