



โครงการข้อมูลจากอากาศยานไร้คนขับเพื่อตรวจติดตามข้อมูลปริมาณจราจร และการจัดทำแผนที่เชิงวิศวกรรม

พ.ศ. 2564



คู่มือการจัดทำแผนที่เชิงวิศวกรรม โดยใช้อากาศยานไร้คนขับ



กันยายน 2566

สแกน QR Code เพื่อเข้าถึงข้อมูลเพิ่มเติม



CUTi
สถาบันการขนส่ง
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY
TRANSPORTATION INSTITUTE



สารบัญ

	หน้า
1. บทนำ	1
1.1 บทคัดย่อ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 วิธีการใช้คู่มือ	2
1.4 ผลที่จะได้รับจากการใช้คู่มือเล่มนี้	2
1.5 มาตรฐานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับคู่มือเล่มนี้	4
1.6 โครงสร้างเอกสาร	4
2. นิยามศัพท์เทคนิค.....	5
2.1 นิยามศัพท์เทคนิค	5
2.2 กระบวนการทำงาน (Workflow)	8
2.3 ตัวอย่างการวางแผนงานสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ	9
3. ขั้นตอนการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ	14
3.1 จุดควบคุมภาคพื้นดิน หรือ Ground Control Point (GCP).....	15
3.2 จุดตรวจสอบภาพ หรือ Check Point (CP)	17
3.3 อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการสร้างจุดควบคุมภาคพื้นดิน Ground Control Point (GCP) และจุดตรวจสอบภาพ Check Point (CP).....	18
3.4 ขั้นตอนการวางแผนปฏิบัติงาน สร้างจุดควบคุมภาคพื้นดิน Ground Control Point (GCP) และจุดตรวจสอบภาพ Check Point (CP).....	20
3.5 การสร้างจุดควบคุมภาคพื้นดิน Ground Control Point (GCP) และจุดตรวจสอบภาพ Check Point (CP).....	21
3.6 หลักการวางแผนการบินและการถ่ายภาพด้วยอากาศยานไร้คนขับ.....	28
3.7 โปรแกรมควบคุมการบิน	34
3.8 การสร้างจุดควบคุมภาพถ่าย	35
3.9 การประมวลผลภาพถ่าย	39
3.10 การตรวจสอบคุณภาพผลลัพธ์	39
4. การวางแผนการบินและการบินถ่ายภาพด้วยอากาศยานไร้คนขับ	40
4.1 คุณสมบัติของอากาศยานไร้คนขับชนิดปีกหมุน (Multirotor)	40
4.2 การติดตั้งแอปพลิเคชัน (Application) สำหรับการบินสำรวจบนอุปกรณ์แสดงผล	42
5. การประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายโดยใช้โปรแกรม Pix4DMapper.....	47





สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.1 หลักการและขั้นตอนการประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายโดยใช้โปรแกรม Pix4DMapper	47
5.2 ขั้นตอนการประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายโดยใช้โปรแกรม Pix4DMapper	52
5.3 ข้อมูลผลลัพธ์จากการประมวลผล Pix4DMapper.....	78
6. การตรวจสอบความถูกต้องและมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับงานสำรวจและแผนที่	79
6.1 การควบคุมคุณภาพ.....	79
6.2 การตรวจสอบจากคุณภาพของผลลัพธ์โดยตรง.....	81
6.3 ASPRS (1990), ASPRS Accuracy Standards For Large-Scale Maps, March 1990.....	82
6.4 มาตรฐานการสำรวจข้อมูลบนโครงข่ายทางหลวงด้วยอากาศยานไร้คนขับ เพื่องานวิศวกรรม และการให้บริการข้อมูลภูมิสารสนเทศ (GIS).....	82
7. การประมวลผลเพื่อส่งออกข้อมูลไปยังซอฟต์แวร์เชิงวิศวกรรม	83
7.1 ระบบพิกัด.....	83
7.2 การนำข้อมูลทางภูมิประเทศ (Topographical Data) ไปประยุกต์ใช้ในงานด้านอื่น ๆ.....	95



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 กระบวนการจัดทำแผนที่เชิงวิศวกรรมโดยใช้อากาศยานไร้คนขับ (WorkFlow).....	10
ตารางที่ 2 ตัวอย่าง รายละเอียดของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GNSS.....	18
ตารางที่ 3 รายละเอียดเทคนิควิธีการรังวัดหาค่าพิกัดด้วยระบบดาวเทียมนำหนพิภพ (GNSS) โดยสรุป	20
ตารางที่ 4 ตัวอย่าง ผลการสำรวจรังวัดค่าพิกัดด้วยระบบ RTK ทางหลวงหมายเลข 2050 ตอนควบคุม 202 ชื่อตอนควบคุม บ.ห้วยยาง-อ.เขมราฐ บริเวณ กม. 98+754 ถึง กม.99+754 แขวงทางหลวง อำนาจเจริญ จังหวัดอุบลราชธานี ระบบพิกัด WGS84 UTM ZONE 48N จำนวน 17 จุด	27
ตารางที่ 5 ความแตกต่างระหว่างการสำรวจด้วยภาพถ่ายแบบเดิมและการสำรวจด้วยภาพถ่าย จากอากาศยานไร้คนขับ	32
ตารางที่ 6 รายการบันทึกการวางแผนการบิน.....	80
ตารางที่ 7 รายการบันทึกการสร้างจุดควบคุมภาคพื้นดิน	81
ตารางที่ 8 ตารางแสดงค่าพิกัดหมุดอ้างอิงรูปแบบพิกัด TM	87
ตารางที่ 9 ตารางแสดงค่าพิกัดหมุดอ้างอิงรูปแบบพิกัด UTM	90
ตารางที่ 10 แสดงการเปรียบเทียบข้อมูลทางภูมิประเทศ (Topographical Data) กับข้อมูลแบบสำรวจทาง ที่กรมทางหลวงมีอยู่ บนโปรแกรม Civil3D	95



สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1	แผนผังแสดงกระบวนการทำงานของการจัดทำแผนที่เชิงวิศวกรรมโดยใช้อากาศยานไร้คนขับ	3
รูปที่ 2	แผนผังแสดงกระบวนการทำงานของการจัดทำแผนที่เชิงวิศวกรรมโดยใช้อากาศยานไร้คนขับ	15
รูปที่ 3	ภาพแสดงตำแหน่งที่เหมาะสมในการวางจุดควบคุมภาคพื้นดิน Ground Control Point (GCP) ..	16
รูปที่ 4	ภาพตัวอย่างการสร้างจุดควบคุมภาคพื้นดิน Ground Control Point (GCP) และจุดตรวจสอบภาพ Check Point (CP) แบบ Well Defined Point	16
รูปที่ 5	ภาพตัวอย่างการสร้างจุดควบคุมภาคพื้นดิน Ground Control Point (GCP) และจุดตรวจสอบภาพ Check Point (CP) แบบ Signalized Point	17
รูปที่ 6	ภาพแสดงตำแหน่งจุดตรวจสอบภาพ Check Point (CP)	17
รูปที่ 7	เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GNSS	18
รูปที่ 8	ตัวอย่าง การกำหนดตำแหน่งการจุดควบคุมภาคพื้นดิน Ground Control Point (GCP) ตามแนวเส้นทาง (Corridor)	21
รูปที่ 9	ตัวอย่างการวางเป้าที่จะทำการจุดควบคุมภาคพื้นดิน Ground Control Point (GCP) และจุดตรวจสอบภาพ Check Point (CP)	22
รูปที่ 10	แสดงหน้าต่างซอฟต์แวร์เพื่อรังวัดค่าพิกัดบนอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ Tablet	22
รูปที่ 11	แสดงหน้าต่างการสร้าง Project	23
รูปที่ 12	แสดงหน้าต่างการตั้งค่าระบบพิกัด	23
รูปที่ 13	แสดงหน้าต่างการเชื่อมต่อของเครื่องมือ	24
รูปที่ 14	แสดงหน้าต่างการรังวัดและรายละเอียดของข้อมูลทำการรังวัด	25
รูปที่ 15	แสดงการรังวัดจุดควบคุมภาคพื้นดิน	25
รูปที่ 16	แสดงหน้าต่างการส่งออกข้อมูลที่ได้จากการสำรวจ	26
รูปที่ 17	แสดงหน้าต่างจุดควบคุมภาคพื้นดินและจุดตรวจสอบโดยโปรแกรม QGIS	27
รูปที่ 18	ASPRS Positional Accuracy Standards For Digital Geospatial Data	30
รูปที่ 19	ส่วนซ้อนและส่วนเกย	31
รูปที่ 20	แสดงวงรีความคลาดเคลื่อนทางตั้งจุดบนพื้นดินจาก Stereopair (ซ้าย) และ Multi-View Stereo (ขวา)	33
รูปที่ 21	แสดงตัวอย่างรูปแบบการบินแบบทั่วไปและรูปแบบการบินแบบกริดตามลำดับ	34
รูปที่ 22	หน้าจอหลักแอปพลิเคชัน DJI Pilot	34
รูปที่ 23	รูปแบบแสดงการกระจายตัวของจุดควบคุมภาคพื้นดิน (GCP) และจุดตรวจสอบ (CP) ตามระยะทางที่แนะนำ	35





สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 24 รูปแบบแสดงการกระจายตัวเฉพาะจุดควบคุมภาคพื้นดิน (GCP) (แผนภาพ).....	36
รูปที่ 25 รูปแบบแสดงการกระจายตัวเฉพาะจุดตรวจสอบ (CP).....	36
รูปที่ 26 รูปแบบแสดงการกระจายตัวของจุดควบคุมภาคพื้นดิน และจุดตรวจสอบ (พื้นที่จริง).....	37
รูปที่ 27 รูปแบบแสดงการกระจายตัวของจุดควบคุมภาคพื้นดินและจุดตรวจสอบ (พื้นที่จริง)	38
รูปที่ 28 ตัวอย่าง อากาศยานไร้คนขับชนิดปีกหมุน (Multirotor) ยี่ห้อ DJI รุ่น Mavic 3 Enterprise	40
รูปที่ 29 แสดงไอคอนแอปพลิเคชัน (Application) “DJI Pilot”	42
รูปที่ 30 แสดงหน้าต่างในการใช้งานแอปพลิเคชัน (Application) “DJI Pilot”	43
รูปที่ 31 หน้าต่างแสดงแผนที่การทำงานเพื่อเตรียมวางแผนการบิน.....	44
รูปที่ 32 หน้าต่างแสดงสภาพสายทางเพื่อวางแผนการบิน	44
รูปที่ 33 หน้าต่างแสดงการตั้งค่ากล้องบันทึกภาพและรูปแบบการบินสำรวจ.....	45
รูปที่ 34 หน้าต่างสำหรับการกำหนดขอบเขตพื้นที่การบินจากแนวกึ่งกลางทาง	45
รูปที่ 35 แสดงหน้าต่างสำหรับการตั้งค่าความสูงบิน	45
รูปที่ 36 แสดงหน้าต่างสำหรับการตั้งค่าความเร็วในการบิน	46
รูปที่ 37 แสดงหน้าต่างสำหรับการตั้งค่าส่วนซ้อนและส่วนเกยของภาพ (Overlap & Side Lap)	46
รูปที่ 38 แสดงหน้าต่างสำหรับการตั้งค่าขนาด (Ground Sample Distance: GSD)	46
รูปที่ 39 แสดงเส้นทางการบินจากซอฟต์แวร์	47
รูปที่ 40 แสดงส่วนประกอบของโปรแกรม Pix4DMapper.....	47
รูปที่ 41 แสดงเครื่องมือส่วน Toolbar.....	48
รูปที่ 42 แสดงเครื่องมือส่วน View Toolbar.....	49
รูปที่ 43 แสดงเครื่องมือส่วน Processing Toolbar	49
รูปที่ 44 แผนผังแสดงขั้นตอนการประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายโดยโปรแกรม Pix4DMapper	51
รูปที่ 45 แสดงการสร้าง Project.....	52
รูปที่ 46 แสดงการตั้งชื่อ Project และเลือก โพลีเดอร์ ที่บันทึก Project	52
รูปที่ 47 การนำเข้าภาพถ่าย	53
รูปที่ 48 แสดงการเลือก Coordinate System.....	54
รูปที่ 49 แสดงผลหลังการนำเข้า (Import) ภาพถ่ายและข้อมูลค่าพารามิเตอร์ การจัดภาพภายนอก (Exterior Orientation).....	55
รูปที่ 50 แสดงการตรวจสอบและเลือกระบบพิกัดที่ต้องการของผลลัพธ์	56



สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 51 แสดงการเลือกผลลัพธ์ (Product Output) แบบ 3D Map.....	57
รูปที่ 52 แสดงหน้าจอหลังนำเข้า (Import) ภาพถ่ายและข้อมูลค่าพารามิเตอร์การจัดภาพภายนอก (Exterior Orientation)	58
รูปที่ 53 แสดงการเลือกคำสั่ง Initial Processing	58
รูปที่ 54 แสดงตัวอย่างการตั้งค่า General ในขั้นตอน Initial Processing.....	59
รูปที่ 55 แสดงตัวอย่างการตั้งค่า Matching ในขั้นตอน Initial Processing.....	60
รูปที่ 56 แสดงตัวอย่างการตั้งค่า Calibration ในขั้นตอน Initial Processing	61
รูปที่ 57 แสดงการประมวลผลขั้นตอน Initial Processing.....	62
รูปที่ 58 แสดงผลการประมวลผลขั้นตอน Initial Processing	62
รูปที่ 59 แสดงผลการประมวลผลขั้นตอน Initial Processing.....	63
รูปที่ 60 แสดงรายงานผลการประมวลผลข้อมูล (Quality Report) ในขั้นตอน Initial Processing.....	64
รูปที่ 61 แสดงการนำเข้าจุดควบคุมภาพถ่าย (Ground Control Point: GCP).....	65
รูปที่ 62 แสดงจุดควบคุมภาพถ่าย (Ground Control Point: GCP) ที่นำเข้า	66
รูปที่ 63 แสดงการโยงยึดค่าพิกัดด้วยจุดควบคุมภาพถ่าย (Ground Control Point: GCP).....	67
รูปที่ 64 แสดงคำสั่ง Reoptimize	67
รูปที่ 65 แสดงคำสั่ง Generate Quality Report	68
รูปที่ 66 แสดงตัวอย่างการตั้งค่า Point Cloud ในขั้นตอน Point Cloud And Mesh	69
รูปที่ 67 แสดงตัวอย่างการตั้งค่า 3D Textured Mesh ในขั้นตอน Point Cloud And Mesh	70
รูปที่ 68 แสดงตัวอย่างการตั้งค่า Advanced ในขั้นตอน Point Cloud And Mesh.....	71
รูปที่ 69 แสดงรายงานผลการประมวลผลข้อมูล (Quality Report)	73
รูปที่ 70 แสดงตัวอย่างการตั้งค่า DSM And Orthomosaic ในขั้นตอน DSM,.....	74
รูปที่ 71 แสดงตัวอย่างการตั้งค่า Additional Outputs ในขั้นตอน DSM, ...	75
รูปที่ 72 แสดงตัวอย่างการตั้งค่า Index Calculator ในขั้นตอน DSM, Orthomosaic And Index.....	76
รูปที่ 73 แสดงรายงานผลการประมวลผลข้อมูล (Quality Report)	77
รูปที่ 74 แสดงผลการประมวลผลข้อมูลหลังการประมวลผลขั้นตอนครบ 3 ขั้นตอน	77
รูปที่ 75 แสดง โพลเดอร์ ที่จัดเก็บผลลัพธ์จากการประมวลผล Pix4DMapper	78
รูปที่ 76 การเปิดไฟล์แบบแปลน.....	84
รูปที่ 77 การเปิดไฟล์แบบแปลน (ต่อ)	85
รูปที่ 78 หน้าต่างแสดงการเลือกเปิดข้อมูลประเภทเส้นตรง.....	85





สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 79 ข้อมูลแบบแปลงที่ยังขึ้นไม่ถูกตำแหน่ง.....	86
รูปที่ 80 การเลือก Custom Projections.....	86
รูปที่ 81 ขั้นตอนการสร้าง Projections	87
รูปที่ 82 ตัวอย่าง Projections.....	88
รูปที่ 83 วิธีการเปลี่ยนระบบ Projection ของแบบแปลน.....	88
รูปที่ 84 การเลือกระบบกััด TM.....	89
รูปที่ 85 รูปแบบแปลนที่ถูกแปลงค่าพิกัดแล้ว.....	89
รูปที่ 86 โปรแกรม Surveyor Pocket Tools.....	91
รูปที่ 87 เมนู Init Design LDP	91
รูปที่ 88 ค่า Scale Factor.....	92
รูปที่ 89 การสร้าง LDP	93
รูปที่ 90 เมนู Transform Coordinates	93
รูปที่ 91 ค่าพิกัดระบบ TM.....	94
รูปที่ 92 ตารางแปลงค่าพิกัดระบบ UTM เป็น TM.....	94

คู่มือการจัดทำแผนที่เชิงวิศวกรรมโดยใช้อากาศยานไร้คนขับ

1. บทนำ

1.1 บทคัดย่อ

คู่มือการจัดทำแผนที่เชิงวิศวกรรมโดยใช้อากาศยานไร้คนขับเล่มนี้ มีวัตถุประสงค์ในการรวบรวมองค์ความรู้ที่มีในงานวิศวกรรม เพื่อให้เป็นมาตรฐานการปฏิบัติงาน ทางด้านวิชาชีพด้านการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ ซึ่งปัจจุบันมีการนำมาใช้งานแพร่หลาย จากการที่เทคโนโลยีการสำรวจด้วยภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับมีลักษณะเป็นระบบอัตโนมัติจึงทำให้บุคคลทั่วไปนำไปใช้ในการสำรวจโดยขาดความรู้ความเข้าใจถึงปัจจัยสำคัญที่ต้องคำนึงถึงในการทำงาน เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ ที่มีคุณภาพตามที่ต้องการโดยจำเป็นต้องมีความรู้พื้นฐานหลายด้าน จึงเป็นที่มาของคู่มือการจัดทำแผนที่เชิงวิศวกรรมโดยใช้อากาศยานไร้คนขับ โดยคาดหวังว่าโครงการนี้จะมีส่วนช่วยผลักดันให้วิศวกรและผู้เกี่ยวข้องมีการนำมาตรฐานไปใช้เพื่อให้เกิดความปลอดภัยต่อการทำงานสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับเพื่องานวิศวกรรมต่อไป

โดยรายละเอียดในคู่มือประกอบด้วย 2 ส่วนด้วยกันคือ ส่วนแรกเป็นรายละเอียดวิธีการปฏิบัติงานสำรวจภาคสนาม ประกอบไปด้วยเนื้อหาวิธีการรังวัดค่าพิกัดของจุดควบคุมภาคพื้นดิน (GCP) ด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมGNSS การวางแผนการบิน และการควบคุมอากาศยานไร้คนขับเพื่อบันทึกภาพแบบอัตโนมัติ และส่วนที่สอง เป็นรายละเอียดวิธีการประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายโดยใช้โปรแกรมประยุกต์ทางด้าน Photogrammetry รวมไปถึงการตรวจสอบคุณภาพของงานที่ได้ ให้เป็นไปตามมาตรฐานการจัดทำแผนที่ที่เป็นสากล

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อให้กรมทางหลวงมีการจัดทำคู่มือการปฏิบัติงานที่ชัดเจน ที่แสดงถึงรายละเอียดขั้นตอนการปฏิบัติงานของกิจกรรม/กระบวนการต่างๆ ของหน่วยงานและสร้างมาตรฐานการปฏิบัติงานที่มุ่งไปสู่การบริหารคุณภาพทั่วทั้งองค์กรอย่างมีประสิทธิภาพ เกิดผลงานที่ได้มาตรฐานเป็นไปตามเป้าหมาย ได้ผลิตผลหรือการบริการที่มีคุณภาพ และบรรลุข้อกำหนดที่สำคัญของกระบวนการ
2. เพื่อให้กรมทางหลวงสามารถถ่ายทอดองค์ความรู้ให้กับผู้เข้ามาปฏิบัติงานใหม่สามารถทำงานเป็นมืออาชีพและใช้ประกอบการประเมินผลการปฏิบัติงานของบุคลากร รวมทั้งแสดงหรือเผยแพร่ ให้กับบุคคลภายนอกหรือผู้ใช้บริการให้สามารถเข้าใจ และใช้ประโยชน์จากกระบวนการที่มีอยู่เพื่อขอการรับ บริการที่ตรงกับความต้องการ



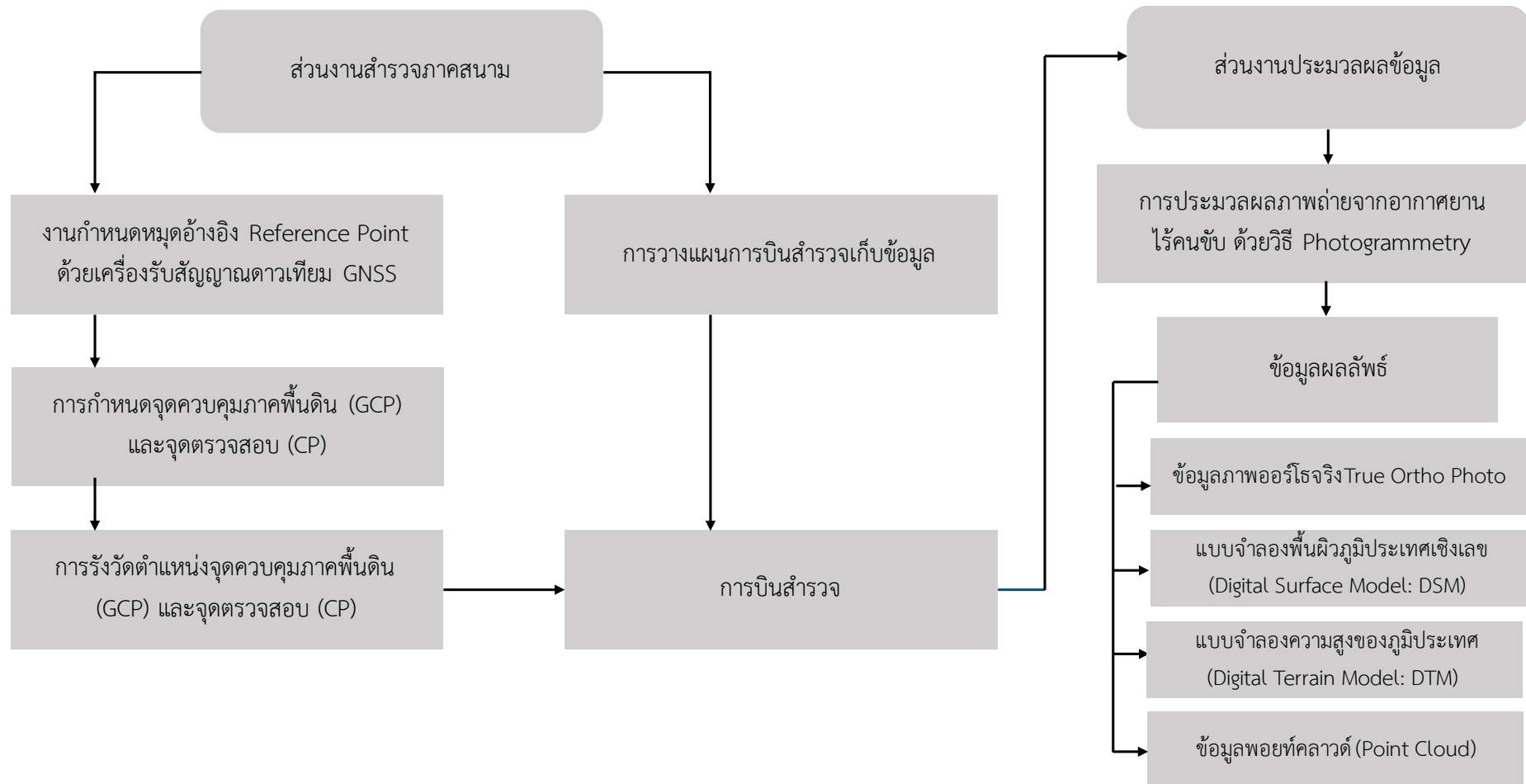


1.3 วิธีการใช้คู่มือ

คู่มือการจัดทำแผนที่เชิงวิศวกรรมโดยใช้อากาศยานไร้คนขับนี้ครอบคลุมขั้นตอนปฏิบัติงาน ขั้นตอนการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ ที่ประกอบด้วยกิจกรรม 2 ส่วนคือ งานสำรวจภาคสนาม และงานประมวลผลข้อมูล โดยในส่วนของงานสำรวจภาคสนาม มีการดำเนินงาน 2 ส่วนงานย่อย ได้แก่ งานรังวัดตำแหน่งจุดควบคุมภาคพื้นดิน (GCP) ด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GNSS การวางแผนการบิน การบินถ่ายภาพด้วยอากาศยานไร้คนขับ วิธีการประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายโดยใช้โปรแกรมประยุกต์ทางด้าน Photogrammetry รวมไปถึงการตรวจสอบคุณภาพของงานที่ได้ให้เป็นไปตามมาตรฐานการจัดทำแผนที่ที่เป็นสากล

1.4 ผลที่จะได้รับจากการใช้คู่มือเล่มนี้

1. เจ้าหน้าที่และบุคลากรของกรมทางหลวง เกิดความรู้และความเข้าใจในกระบวนการจัดทำแผนที่เชิงวิศวกรรมโดยใช้อากาศยานไร้คนขับ
2. เจ้าหน้าที่และบุคลากรของกรมทางหลวง สามารถถ่ายทอดองค์ความรู้ให้กับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องและอื่น ๆ ได้



รูปที่ 1 แผนผังแสดงกระบวนการทำงานของการจัดทำแผนที่เชิงวิศวกรรมโดยใช้อากาศยานไร้คนขับ



1.5 มาตรฐานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับคู่มือเล่มนี้

1. มาตรฐาน

- ASPRS (1990), ASPRS Accuracy Standards For Large-Scale Maps, March 1990
- มาตรฐานการสำรวจข้อมูลบนโครงข่ายทางหลวงด้วยอากาศยานไร้คนขับ เพื่องานวิศวกรรมและการให้บริการข้อมูลภูมิสารสนเทศ (GIS)

1.6 โครงสร้างเอกสาร

คู่มือการจัดทำแผนที่เชิงวิศวกรรมโดยใช้อากาศยานไร้คนขับเล่มนี้ ประกอบไปด้วย

บทที่ 1 บทนำ

กล่าวถึงที่มา ความสำคัญ และวัตถุประสงค์ในการจัดทำคู่มือการจัดทำแผนที่เชิงวิศวกรรม โดยใช้อากาศยานไร้คนขับและข้อมูลเบื้องต้นตลอดจนกฎหมาย มาตรฐานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง โดยสังเขป

บทที่ 2 นิยามศัพท์เทคนิค

คำย่อ และนิยามศัพท์เทคนิคที่กล่าวถึงในคู่มือเล่มนี้

บทที่ 3 ขั้นตอนการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ

ความเข้าใจเบื้องต้นของการสำรวจด้วยภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับและปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของผลลัพธ์ของการสำรวจด้วยภาพถ่าย

บทที่ 4 การวางแผนการบินและการบินถ่ายภาพด้วยอากาศยานไร้คนขับ

การวางแผนการบินและการถ่ายภาพ ประกอบด้วยหลักการวางแผนการบินให้ได้ภาพถ่ายที่มีคุณภาพและการตั้งค่ากล้องบันทึกภาพเพื่อการสำรวจ

บทที่ 5 การประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายโดยใช้โปรแกรม Pix4DMapper

การประมวลผลภาพถ่ายประกอบด้วยการตั้งค่าพารามิเตอร์ในแต่ละขั้นตอน การตรวจสอบค่าการประมวลผล และปรับปรุงพารามิเตอร์ให้มีความถูกต้องเชิงตำแหน่งตามที่วางแผนไว้

บทที่ 6 การตรวจสอบความถูกต้องและมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับงานสำรวจและแผนที่

มาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับการสำรวจด้วยภาพถ่ายทางอากาศ ความถูกต้องเชิงตำแหน่งของข้อมูลเพื่อใช้ในการวิศวกรรม

บทที่ 7 การประมวลผลเพื่อส่งออกข้อมูลไปยังซอฟต์แวร์เชิงวิศวกรรม

การนำผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายโดยใช้โปรแกรมประยุกต์สามารถนำไปใช้กับโปรแกรมทางด้านวิศวกรรมโยธาและซอฟต์แวร์อื่น ๆ



2. นิยามศัพท์เทคนิค

บทนี้เป็นการกล่าวถึงนิยามศัพท์เทคนิคที่ใช้ในคู่มือเล่มนี้ เพื่อที่จะได้เข้าใจ ความหมายของคำศัพท์ และมีความเข้าใจในคำศัพท์ ซึ่งจะส่งผลให้ผู้ปฏิบัติงานสามารถนำคำศัพท์ไปใช้ในการปฏิบัติงาน การเขียนรายงาน และการสื่อสารทางวิศวกรรม

2.1 นิยามศัพท์เทคนิค

- (1) การสำรวจด้วยภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ (UAV Photogrammetry) หมายถึง การสำรวจด้วยภาพถ่ายที่ใช้ภาพถ่ายจากกล้องถ่ายภาพที่ติดตั้งบนอากาศยานไร้คนขับ
- (2) ขนาดของจุดภาพ (Pixel Size) หมายถึง ขนาดจุดภาพบนภาพถ่าย
- (3) ขนาดภาพ (Image Size) หมายถึง การระบุมิติ กว้าง (W) สูง (H) ของขนาดภาพ โดยขนาดภาพถ่ายต้นฉบับสามารถเขียนแทนด้วยอัตราส่วน 1:1
- (4) ข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศ (Aerial Triangulation) หมายถึง กระบวนการทำข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศโดยใช้ทฤษฎีวิธีการปรับแก้บล็อกลำแสง (Bundle Block Adjustment)
- (5) ค่าความไวแสง (ISO) หมายถึง ตัวเลขที่บอกถึงความไวต่อแสงของเซนเซอร์กล้อง ยิ่งค่า ISO ต่ำ เซ็นเซอร์ก็จะไวต่อแสงน้อยลง ในทางกลับกันค่า ISO สูงหมายความว่าสามารถสร้างภาพที่มีคุณภาพได้ถึงแม้ในสภาพแสงน้อย
- (6) ความคลาดเคลื่อนจากการฉายกลับ (Reprojection Error) หมายถึง ระยะระหว่างตำแหน่งจุดภาพปรากฏและตำแหน่งจุดภาพที่ได้จากการฉายกลับไปบนภาพถ่าย
- (7) จุดควบคุมภาคพื้นดิน (Ground Control Point: GCP) หมายถึง จุดที่ทราบค่าพิกัดในระบบ พิกัดภูมิประเทศ เพื่อเป็นตัวกลางที่ทำให้สามารถยึดโยงข้อมูลภาพให้มีความสัมพันธ์กับระบบ พิกัดพื้นดิน
- (8) จุดตรวจสอบ (Check Point: CP) หมายถึง จุดตรวจสอบคุณภาพของผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลภาพถ่าย ด้วยการเปรียบเทียบค่าพิกัดที่รังวัดได้ในภูมิประเทศจริงกับค่าพิกัดที่ได้จากผลลัพธ์และนำมาคำนวณหาคุณภาพทางสถิติของผลลัพธ์ที่ได้ โดยจุดตรวจสอบต้องไม่ถูกนำไปร่วมประมวลผลภาพถ่าย
- (9) จุดภาพ (Pixel) หมายถึง หน่วยที่เล็กที่สุดของภาพดิจิทัลหรือจอแสดงผล ที่รวมกันขึ้นแสดงให้เห็นเป็นภาพ แต่ละภาพจะมีความหนาแน่นของจุดภาพตามจำนวนจุดภาพที่แตกต่างกัน บางครั้งใช้บอกคุณสมบัติความละเอียดหรือความคมชัดของภาพ
- (10) จุดยึดโยง (Tie Point) หมายถึง จุดภาพที่ปรากฏบนส่วนเกยของภาพข้างเคียงกันที่อยู่ต่างแนว บินใช้สำหรับยึดโยงภาพถ่ายในขั้นตอนการปรับแก้ข่ายบล็อกลำแสง



- (11) จุดสำคัญ (Key Point) หมายถึง จุดที่ได้จากการประมวลผลจุดภาพในขั้นตอนวิธีการทางด้านคอมพิวเตอร์กราฟิกเพื่อตรวจจับลักษณะเฉพาะของข้อมูล ซึ่งจุดสำคัญนี้จะนำไปใช้จับคู่เป็นจุดยึดโยงภาพต่อไป
- (12) ชัตเตอร์ (Shutter) หมายถึง ชิ้นส่วนภายในกล้องสำหรับควบคุมเวลาที่เปิดให้แสงเข้ามาสู่ เซนเซอร์รับภาพ
- (13) แนวบิน (Flight Line) หมายถึง การกำหนดขนาดของพื้นที่ ทิศทางการบิน ขนาดของจุดภาพ จำนวนภาพ และการป้องกันความเสียหายของอุปกรณ์ที่อาจเกิดขึ้นจากการบินถ่ายภาพที่ กำหนดขึ้นจากการวางแผนการบิน
- (14) แบบจำลองระดับสูงเชิงเลข (Digital Elevation Model) หมายถึง แบบจำลองข้อมูลค่าระดับ พื้นผิวดินของภูมิประเทศ ซึ่งจัดเก็บอยู่ในรูปแบบข้อมูลราสเตอร์
- (15) แบบจำลองพื้นผิวภูมิประเทศเชิงเลข (Digital Surface Model) หมายถึง แบบจำลองค่าระดับความสูงพื้นผิวของภูมิประเทศ ซึ่งจัดเก็บข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบจุดพิกัดหรือข้อมูลราสเตอร์ โดยแบบจำลองจะแสดงค่าระดับความสูงของสิ่งปกคลุมพื้นผิวนสุดทางกายภาพของโลก เช่น สิ่งปลูกสร้าง และยอดต้นไม้ เป็นต้น
- (16) พอยต์คลาวด์ (Point Cloud) หมายถึง กลุ่มของจุดพิกัด ที่สามารถมีได้มากกว่า 2 มิติ โดยทั่วไปมิติที่สามมักจะเป็นค่าระดับความสูง และอาจจะประกอบข้อมูลในอีกหลายมิติได้ เช่น ค่าสีของแต่ละจุด (RGB) เป็นต้น ซึ่งในคู่มือเล่มนี้ จะหมายถึงกลุ่มของจุดพิกัดสามมิติ
- (17) ภาพต่อ (Mosaic) หมายถึง การประกอบภาพถ่ายที่มีส่วนซ้อนจำนวน 2 ภาพขึ้นไปเข้าด้วยกันเพื่อทำเป็นภาพถ่ายของพื้นที่ต่อเนื่องภาพเดียว
- (18) ภาพถ่ายดิ่งทางอากาศ (Vertical Aerial Photograph) หมายถึง ภาพที่ถ่ายโดยแกนของกล้องจะต้องอยู่ในแนวตั้งมากที่สุด หรือเอียงจากแนวตั้งไม่เกิน 3 องศา
- (19) ภาพออร์โธโฟโต (Orthophoto) หมายถึง ภาพถ่ายที่ได้รับการขจัดความคลาดเคลื่อนเนื่องจากความต่างระดับและความเอียง ทำให้แสดงรายละเอียดในลักษณะที่มีตำแหน่งทางราบถูกต้อง
- (20) มัลติวิวสเตอริโอ (เอ็มวีเอส) (Multi-View Stereo: MVS) หมายถึง เทคนิควิธีการประมวลผลข้อมูลภาพจากภาพถ่ายหลายใบหรือหลายมุม
- (21) มุมรับภาพและองศารับภาพ (Field Of View: FOV) หมายถึง ค่าขอบเขตการมองเห็นซึ่งเป็นสมบัติที่แสดงถึงพื้นที่ที่กล้องถ่ายภาพครอบคลุม
- (22) ระบบดาวเทียมนำหน จี เอน เอส เอส (Global Navigation Satellite System: GNSS) หมายถึง คำมาตรฐานทั่วไปที่ใช้เรียกแทนคำว่า Satellite Navigation



- System ซึ่งเป็นระบบที่ใช้สำหรับการกำหนดตำแหน่งพิกัด โดยใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เป็นตัวรับสัญญาณเพื่อคำนวณ และแสดงพิกัดตำแหน่ง ณ จุดที่ตัวรับสัญญาณตั้งอยู่
- (23) ระยะระหว่างจุดศูนย์กลางจุดภาพบนพื้นดิน (Ground Sample Distance: GSD) หมายถึง ระยะระหว่างจุดศูนย์กลางของจุดภาพ (Image Pixel) ที่อยู่ติดกันเมื่อวัดบนพื้นดิน
- (24) ส่วนเกย (Side Lap) หมายถึง ส่วนทับซ้อนของภาพที่เกิดจากการเลื่อนกันของภาพจากแนวนอนที่ประชิดกัน
- (25) ส่วนซ้อนของภาพ (Overlap) หมายถึง ส่วนทับซ้อนของภาพที่เกิดจากการเลื่อนกันของภาพที่อยู่ประชิดกันตามแนวนอน ซึ่งจะครอบคลุมพื้นที่เดียวกันเพื่อใช้เป็นคู่ภาพสามมิติ
- (26) อัตราส่วนฐานต่อความสูง (Base-Height Ratio: B/H) หมายถึง อัตราส่วนของฐานถ่ายภาพในอากาศระหว่างภาพคู่ซ้อนต่อความสูงบินเฉลี่ยเหนือพื้นดิน
- (27) ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (Root Mean Square Error: RMSE) ความหมายที่หนึ่ง หมายถึง ค่าความคลาดเคลื่อนรวมของจุดบังคับภาพถ่ายที่ได้ทำการรังวัดบนภาพมีหน่วยเป็น Pixel ความหมายที่สอง คือ ค่าความคลาดเคลื่อนรวมที่ได้จากการนำจุดควบคุมภาคพื้นดินมาคำนวณร่วมกับจุดบังคับภาพถ่ายมีหน่วยเป็นเมตร โดยการคำนวณ RMSE สามารถคำนวณด้วยรากที่สองของค่าเฉลี่ยความแปรปรวนของค่าพิกัดทั้งทางราบและทางตั้ง



2.2 กระบวนการทำงาน (WorkFlow)

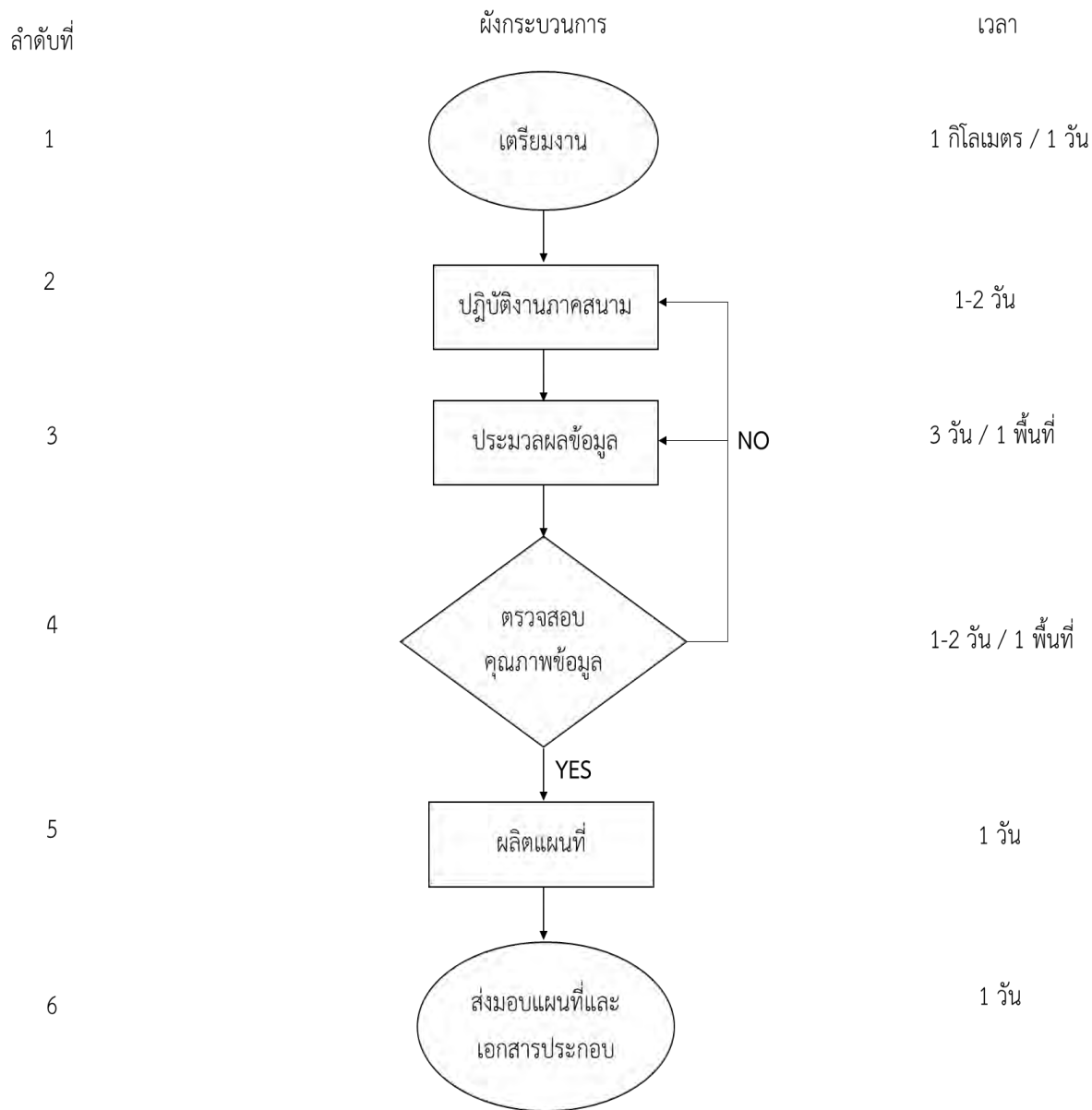
กระบวนการ การจัดทำแผนที่เชิงวิศวกรรมโดยใช้อากาศยานไร้คนขับ ประกอบด้วย ขั้นตอนสำคัญ ดังนี้

1. เตรียมงาน
2. ปฏิบัติงานภาคสนาม แบ่งออกเป็น
 - 2.1 งานรังวัดภาคพื้นดิน
 - 2.2 งานเก็บข้อมูลด้วยอากาศยานไร้คนขับ
3. ประมวลผลข้อมูล
4. ตรวจสอบคุณภาพของข้อมูล
5. ผลิตแผนที่
6. ส่งมอบแผนที่และเอกสารประกอบ



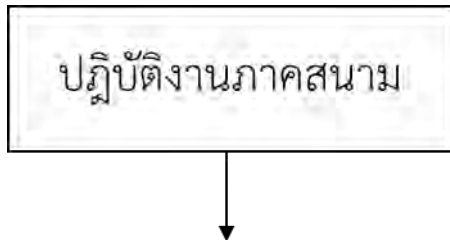
2.3 ตัวอย่างการวางแผนงานสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ

โดยจะรวมเวลาดำเนินการทั้งหมด 10 วัน





ตารางที่ 1 กระบวนการจัดทำแผนที่เชิงวิศวกรรมโดยใช้อากาศยานไร้คนขับ (Workflow)

ลำดับ	ผังกระบวนการ	ระยะเวลา	รายละเอียดงาน	มาตรฐานคุณภาพงาน
1		1 วัน	การเตรียมงานมีดังนี้ 1.เตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์ 2.เตรียมข้อมูลพื้นที่ทำการสำรวจ 3.วางแผนกำหนดตำแหน่งจุดควบคุมภาคพื้นดิน (Ground Control Point: GCP) และจุดตรวจสอบ (Check Point: CP) เบื้องต้นให้กระจายอย่างสม่ำเสมอ ครอบคลุมบริเวณพื้นที่โครงการ	■ รายการตรวจสอบ สถานะอุปกรณ์ การสอบเทียบ และคุณภาพของอุปกรณ์เพื่อใช้งาน
2		1-2 วัน	ปฏิบัติงานภาคสนาม มีดังนี้ 1.ตรวจสอบ ค้นหาหมุดหลักฐานในโครงการเพื่อใช้เป็นค่าอ้างอิงสำหรับออกงานหรือบรรจบงาน โดยใช้ข้อมูลประกอบการพิจารณา คือ แบบก่อสร้าง (CAD File) เป็นต้น 2.ทำการสำรวจจุดควบคุมภาคพื้นดิน (GCP) และจุดตรวจสอบ (CP) ด้วยเครื่องมือสำรวจรังวัดค่าพิกัด	■ รายงานการรังวัดค่าพิกัดจุดบังคับภาพที่แสดงความแม่นยำ ของการรังวัดเป็นรายจุด ■ รายละเอียดค่าพิกัดแสดงตำแหน่งของหมุดหลักฐาน ที่เชื่อมโยงกับ



ตารางที่ 1 กระบวนการจัดทำแผนที่เชิงวิศวกรรมโดยใช้อากาศยานไร้คนขับ (WorkFlow) (ต่อ)

ลำดับ	ผังกระบวนการ	ระยะเวลา	รายละเอียดงาน	มาตรฐานคุณภาพงาน
			3. ประมวลผลข้อมูลจากการสำรวจรังวัดค่าพิกัดเพื่อให้ได้ค่าพิกัดและระดับความสูงของจุดควบคุมภาพถ่าย กำหนดให้เป็นระบบพิกัด UTM (Universal Traverse Mercator)	แบบก่อสร้าง หรืองานสำรวจที่มีก่อนหน้า
3		3 วัน	ประมวลผลภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ โดยโปรแกรมเฉพาะด้าน (ศึกษาเพิ่มเติมในบทที่ 5) ดังนี้ 1.สร้าง Project Name และนำเข้าข้อมูล (Import Data) 2.การประมวลผล Pix4DMapper ขั้นตอนที่ 1 Initial Processing ขั้นตอนที่ 2 Point Cloud and Mesh ขั้นตอนที่ 3 DSM, Orthomosaic And Index	มาตรฐาน ASPRS American Society For Photogrammetry And Remote Sensing สำหรับแผนที่มาตราส่วนต่าง ๆ ที่ต้องการ



ตารางที่ 1 กระบวนการจัดทำแผนที่เชิงวิศวกรรมโดยใช้อากาศยานไร้คนขับ (WorkFlow) (ต่อ)

ลำดับ	ผังกระบวนการ	ระยะเวลา	รายละเอียดงาน	มาตรฐานคุณภาพงาน
4		1-2 วัน	การตรวจสอบคุณภาพและความถูกต้องของข้อมูลตามข้อกำหนด ดังนี้ 1.ตรวจสอบคุณภาพความคมชัดของภาพด้วยวิธีประเมินด้วยสายตา 2.ตรวจสอบความถูกต้องเชิงตำแหน่งให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานส่วนแผนที่ของ ASPRS ในกรณีที่ข้อมูลเชิงตำแหน่งผิดเพี้ยน จำเป็นต้องกลับไปดำเนินการในขั้นตอนประมวลผลอีกครั้ง และในกรณีตรวจสอบคุณภาพข้อมูลเชิงตำแหน่งแล้วพบว่าข้อมูลมีความคลาดเคลื่อนทั้งระบบ ต้องดำเนินการสำรวจภาคสนามอีกครั้ง	
5		1 วัน	จัดทำรูปแบบของแผนที่ ในมาตรฐาน ที่ต้องการนำไปใช้ ประกอบด้วย 1.ชื่อประเภทของแผนที่ 2.ทิศทาง 3.ขอบระวาง 4.สัญลักษณ์ 5.มาตรฐาน 6.พิกัดภูมิศาสตร์ ส่งออกในรูปแบบ .pdf หรือ .jpg	



คู่มือการจัดทำแผนที่เชิงวิศวกรรมโดยใช้อากาศยานไร้คนขับ

โครงการข้อมูลจากอากาศยานไร้คนขับเพื่อตรวจติดตามข้อมูลปริมาณจราจรและการจัดทำแผนที่เชิงวิศวกรรม

ตารางที่ 1 กระบวนการจัดทำแผนที่เชิงวิศวกรรมโดยใช้อากาศยานไร้คนขับ (WorkFlow) (ต่อ)

ลำดับ	ผังกระบวนการ	ระยะเวลา	รายละเอียดงาน	มาตรฐานคุณภาพงาน
6		1 วัน	นำส่งแผนที่และเอกสารประกอบที่ได้จากการประมวลผลภาพถ่าย	

หมายเหตุ : ผู้ใช้งานที่ต้องการทดลองการประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ โดยใช้โปรแกรม Pix4DMapper สามารถสแกน QR-CORE บริเวณหน้าปกเล่มคู่มือ เพื่อทำการติดตั้งโปรแกรม และดาวน์โหลดตัวอย่างข้อมูลภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ



CUTi
สถาบันการขนส่ง
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สถาบันการขนส่ง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



3. ขั้นตอนการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ

ปัจจุบันอากาศยานไร้คนขับได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการบินถ่ายภาพทางอากาศเพื่อให้ได้ภาพถ่ายทางอากาศที่เหมาะสมกับงานตามความต้องการของผู้ใช้งาน และได้ข้อมูลที่มีความเป็นปัจจุบัน มีความรวดเร็ว ซึ่งสามารถตอบสนองภารกิจของกรมทางหลวงที่ต้องการข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศในงบประมาณ และเวลาที่จำกัดเพื่อให้บรรลุเป้าหมายของภารกิจที่ได้รับ โดยสามารถกำหนดขอบเขตพื้นที่ในการปฏิบัติงาน เพื่อวางแผนในการบินถ่ายภาพ สามารถกำหนดจุดควบคุมภาคพื้นดิน Ground Control Point (GCP) และจุดตรวจสอบภาพ Check Point (CP) ได้

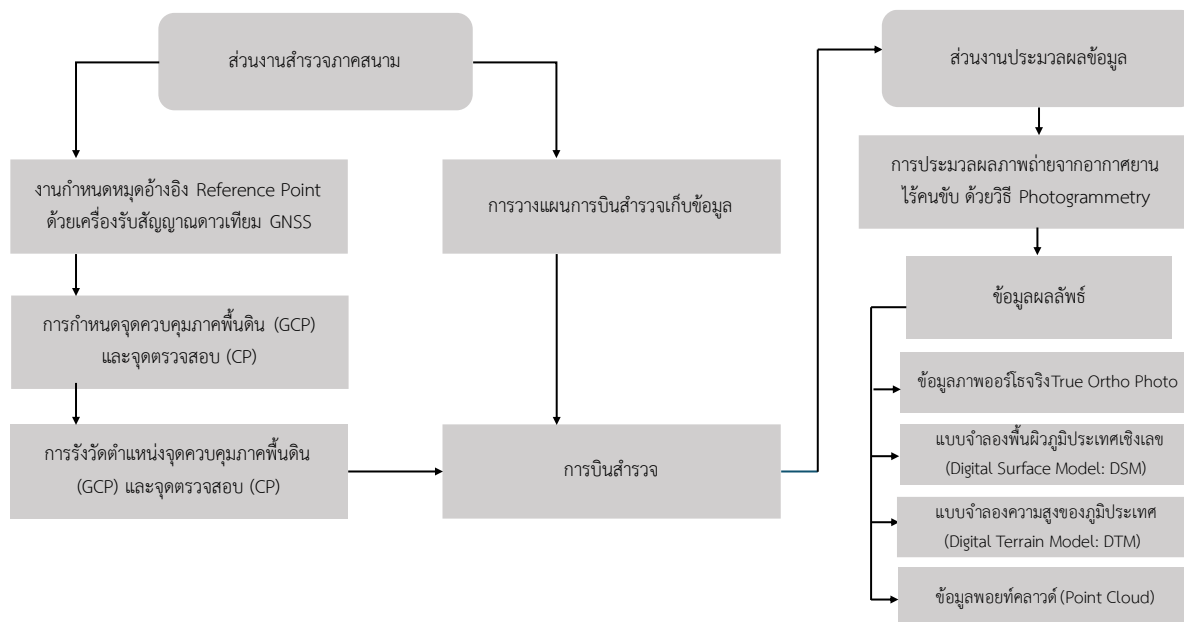
โครงข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศ (Aerial Triangulation หรือ Aero Triangulation) เป็นกระบวนการหาค่าและปรับแก้ค่าการจัดวางภายนอกของภาพ เช่น ตำแหน่งการถ่ายภาพ การหมุนแกนกล้องของภาพถ่าย พร้อมกันทั้งบล็อกการประมวลผล ซึ่งค่าพารามิเตอร์เหล่านี้จะมีส่วนสำคัญอย่างมากในการคำนวณหาตำแหน่งของวัตถุที่ต้องการรังวัด นอกจากนี้ยังเป็นการเพิ่มจำนวนจุดควบคุมภาพถ่าย (Photo Control Points) ในบล็อกของการถ่ายภาพทุกภาพเป็นจำนวนมาก โดยไม่ต้องทำการรังวัดจุดควบคุมเพิ่มในสนาม แต่ยังคงต้องมีการรังวัดจุดควบคุมในสนามบางส่วนเพื่อการโยงยึดและปรับแก้ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ให้ถูกต้องตามเกณฑ์งานที่กำหนด และอยู่ในระบบพิกัดที่ต้องการ



คู่มือการจัดทำแผนที่เชิงวิศวกรรมโดยใช้อากาศยานไร้คนขับ

โครงการข้อมูลจากอากาศยานไร้คนขับเพื่อตรวจติดตามข้อมูลปริมาณจราจรและการจัดทำแผนที่เชิงวิศวกรรม

การสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับเพื่อจัดทำแผนที่เชิงวิศวกรรม ประกอบด้วยกิจกรรม 2 ส่วน คือ งานสำรวจภาคสนามและงานประมวลผลข้อมูล โดยในส่วนงานสำรวจภาคสนาม มีการดำเนินงาน 2 ส่วนงานย่อย ได้แก่ งานรังวัดตำแหน่งจุดควบคุมภาคพื้นดิน (GCP) และสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ ขั้นตอนการดำเนินงาน ดังนี้



รูปที่ 2 แผนผังแสดงกระบวนการทำงานของการจัดทำแผนที่เชิงวิศวกรรมโดยใช้อากาศยานไร้คนขับ

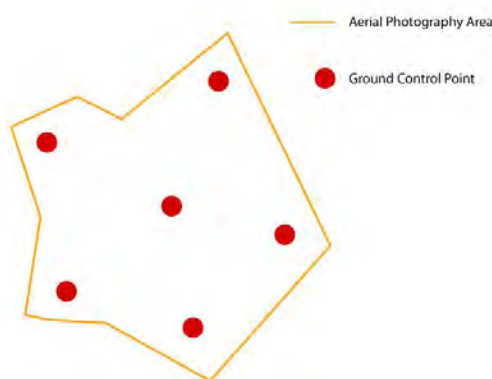
3.1 จุดควบคุมภาคพื้นดิน หรือ Ground Control Point (GCP)

คือ จุดที่ปรากฏบนภาพถ่ายที่มีลักษณะเด่นชัด สามารถชี้จากตำแหน่งบนภาพได้อย่างชัดเจน ต้องอยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้องและเหมาะสมบนภาพถ่าย ใช้สำหรับการตรึงภาพถ่ายหรือตัดแก้ภาพถ่าย ให้ความถูกต้องมากยิ่งขึ้น สามารถทราบค่าพิกัดด้วยวิธีการรังวัดจุดตรวจสอบด้วยเครื่องหาพิกัดด้วยดาวเทียมระบบ GNSS ลักษณะมีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า โดยจุดควบคุมภาคพื้นดิน หรือ Ground Control Point (GCP) ต้องมีจำนวนจุดที่เหมาะสมและกระจายตัวครอบคลุมบริเวณของพื้นที่นั้น ๆ ที่ทำการสำรวจ



คู่มือการจัดทำแผนที่เชิงวิศวกรรมโดยใช้อากาศยานไร้คนขับ

โครงการข้อมูลจากอากาศยานไร้คนขับเพื่อตรวจติดตามข้อมูลปริมาณจราจรและการจัดทำแผนที่เชิงวิศวกรรม

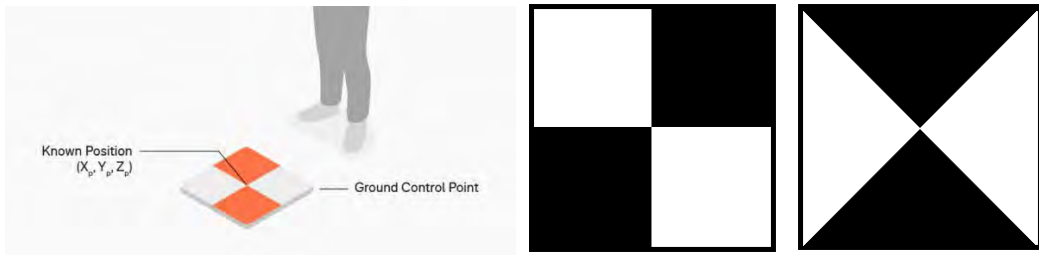


รูปที่ 3 ภาพแสดงตำแหน่งที่เหมาะสมในการวางจุดควบคุมภาคพื้นดิน
Ground Control Point (GCP)

การสร้างจุดควบคุมภาคพื้นดิน Ground Control Point (GCP) ในงาน Photogrammetry แบบเดิมนั้นแบ่งออกได้ 2 ประเภท คือแบบ Well defined point เป็นจุดในพื้นที่ที่สามารถชี้ได้ชัดเจนบนภาพถ่าย เช่น มุมรั้ว มุมทางเท้า มุมเส้นจราจร แนวจุดตัดทางร่วมทางแยก เป็นต้น และแบบ Signalized Point เป็นจุดเป้าที่สร้างขึ้นมาในการสำรวจดังกล่าว โดยการสร้างจุดควบคุมภาคพื้นดิน Ground Control Point (GCP) นั้น ต้องอยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้องและเหมาะสมบนภาพถ่าย (Correct Position) ต้องชี้จำแนกได้อย่างถูกต้องทั้งในภูมิประเทศและบนรูปถ่าย (Positively Identifiable) ต้องมีความคมชัดและเห็นได้เด่นชัดในทุกภาพที่ปรากฏ (Sharp And Well Defined) ควรจะมีการเดินทางเข้าถึงที่สะดวก (Fairly Accessible) ต้องทำเครื่องหมายบนรูปอย่างเฉพาะเจาะจง และเขียนคำอธิบายอย่างชัดเจน (Properly Marked And Documented)



รูปที่ 4 ภาพตัวอย่างการสร้างจุดควบคุมภาคพื้นดิน Ground Control Point (GCP)
และจุดตรวจสอบภาพ Check Point (CP) แบบ Well Defined Point



รูปที่ 5 ภาพตัวอย่างการสร้างจุดควบคุมภาคพื้นดิน Ground Control Point (GCP)

และจุดตรวจสอบภาพ Check Point (CP) แบบ Signalized Point

3.2 จุดตรวจสอบภาพ หรือ Check Point (CP)

คือ จุดที่ปรากฏบนภาพถ่ายที่มีลักษณะเด่นชัด สามารถชี้จากตำแหน่งบนภาพได้อย่างชัดเจน หรือการวางเป้า ใช้สำหรับการตรวจสอบความถูกต้องของภาพถ่าย สามารถทราบค่าพิกัดด้วยวิธีการรังวัดจุดตรวจสอบด้วยเครื่องหาพิกัดด้วยดาวเทียมระบบ GNSS ตรวจสอบค่าความคลาดเคลื่อนโดยใช้ค่าพิกัดที่รังวัดได้จริงเปรียบเทียบกับค่าพิกัดที่รังวัดได้จากภาพถ่ายที่ได้จากการบินถ่ายภาพด้วยอากาศยานไร้คนขับ



รูปที่ 6 ภาพแสดงตำแหน่งจุดตรวจสอบภาพ Check Point (CP)



3.3 อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการสร้างจุดควบคุมภาคพื้นดิน Ground Control Point (GCP) และจุดตรวจสอบภาพ Check Point (CP)

- เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GNSS

ตารางที่ 2 ตัวอย่าง รายละเอียดของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GNSS

คุณสมบัติ	รายละเอียด
จำนวนช่องรับสัญญาณ	800 ช่องสัญญาณ
ระบบดาวเทียม	GPS/GLONASS/GALILEO/ BeiDou/ QZSS3/S-BAS/L-Band/NavIC L5
รูปแบบการทำงาน	รังวัดแบบจลน์ (RTK)
การส่งข้อมูลรับแก้	เครือข่ายอินเทอร์เน็ต (NTRIP)
แบตเตอรี่	สูงสุด 8 ชั่วโมง
น้ำหนัก	1.3 kg. (With 2 Batteries)
ความถูกต้อง (Static) ทางราบ/ทางตั้ง	2.5 mm + 1 ppm/3.5 mm + 0.4 ppm
ความถูกต้อง (RTK) ทางราบ/ทางตั้ง	3 mm + 0.5 ppm/5 mm + 0.5 ppm



รูปที่ 7 เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GNSS



3.3.1 เทคนิคในการรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอสแบบสัมพัทธ์ (Differential Or Relative GPS Positioning)

โดยส่วนใหญ่แล้วการรังวัดหาตำแหน่งค่าพิกัดของจุดควบคุมภาพถ่ายนั้นต้องการความถูกต้องทางตำแหน่งสูง ทั้งนี้เพราะเป็นงานรังวัดควบคุม จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องใช้ในการหาค่าพิกัดแบบสัมพัทธ์ ซึ่งเป็นการใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมอย่างน้อย 2 เครื่อง โดยจะเป็นการวางเครื่องรับสัญญาณ GNSS เครื่องหนึ่งอยู่ที่จุดที่ทราบค่าพิกัดแล้วซึ่งอาจจะเป็นหมุดหลักฐานกรมแผนที่ทหาร หรือหมุดหลักฐานกรมที่ดิน หรือหมุดหลักฐานของกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ เป็นต้น ทั้งนี้เครื่องหนึ่งตั้งที่จุดทราบค่าพิกัดโดยจะถูกเรียกว่าสถานีฐาน (Base Station) ส่วนเครื่องรับอีกเครื่องจะถูกนำไปวางตรงจุดที่ต้องการทราบค่าพิกัดที่จะถูกเรียกว่าโรเวอร์ (Rover)

ผลที่ได้จากการทำงานในลักษณะนี้คือ ตำแหน่งเปรียบเทียบของจุดหนึ่งกับอีกจุดหนึ่ง หรือเป็นเส้นฐานที่มีทิศทางระหว่างจุดที่นำเครื่องรับทั้งสองไปตั้งรับสัญญาณ โดยการหาค่าพิกัดแบบสัมพัทธ์เรียกว่า Differential GPS (DGPS) โดยการใช้ข้อมูลเฟสของคลื่นส่งมาประมวลผลเพื่อหาค่าพิกัดจะให้ค่าความถูกต้องสูงในระดับเซนติเมตร และอาจสูงถึงระดับมิลลิเมตรขึ้นอยู่กับวิธีที่ใช้ในการรังวัดในปัจจุบันซอฟต์แวร์เชิงพาณิชย์ที่ใช้ในการประมวลผลข้อมูลเฟสคลื่นส่งได้โดยจะได้รับมาพร้อมกับชุดเครื่องรับสัญญาณ GNSS แบบรังวัด

สำหรับการสำรวจด้วยภาพถ่ายในการะการรังวัดพิกัดจุดควบคุมภาพในภาคพื้นดินนั้นควรจะรับสัญญาณด้วยเครื่องรับสัญญาณแบบรังวัดและใช้ข้อมูลเฟสคลื่นส่งในการประมวลเท่านั้น จึงจะมีความถูกต้องทางตำแหน่งของหมุดบังคับในระดับที่เหมาะสม ซึ่งวิธีการรังวัดในภาคสนามในปัจจุบันสามารถแบ่งได้แสดงดังตารางที่ 3 (ที่มา: การสำรวจและจัดทำแผนที่ด้วยอากาศยานไร้คนขับ กรมโยธาธิการและผังเมือง)



คู่มือการจัดทำแผนที่เชิงวิศวกรรมโดยใช้อากาศยานไร้คนขับ

โครงการข้อมูลจากอากาศยานไร้คนขับเพื่อตรวจติดตามข้อมูลปริมาณจราจรและการจัดทำแผนที่เชิงวิศวกรรม

ตารางที่ 3 รายละเอียดเทคนิควิธีการรังวัดหาค่าพิกัดด้วยระบบดาวเทียมนำหนพิภพ (GNSS) โดยสรุป

วิธีการที่ใช้	อุปกรณ์ที่จำเป็นต่อการทำงาน	วิธีการทำงานในสนาม ค่าความถูกต้อง	ค่าความถูกต้อง
STATIC	เครื่องรับแบบรังวัดชนิดความถี่เดียวหรือหลายความถี่	ตั้งเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมนำหนพิภพทั้งสองอยู่กับที่ 1-2 ชั่วโมง และในระหว่างทำงานต้องมีดาวเทียมอย่างน้อย 4 ดวง	5 มม. – 2.5 ซม.
RAPID STATIC	เครื่องรับแบบรังวัดชนิดความถี่เดียวหรือหลายความถี่	ตั้งเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมนำหนพิภพทั้งสองอยู่กับที่ 10-20 นาที และในระหว่างทำงานต้องมีจำนวนดาวเทียมอย่างน้อย 4 ดวง	1-3 ซม.
KINEMATIC	เครื่องรับแบบรังวัดชนิดความถี่เดียวหรือหลายความถี่	สามารถเคลื่อนย้ายเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมนำหนพิภพไปตามจุดที่ต้องการหาค่าพิกัดได้แต่ต้องทำการเริ่มต้น (Initialize) สัญญาณใช้เวลาประมาณ 5-10 นาที และในระหว่างทำงานต้องสามารถรับดาวเทียมอย่างต่อเนื่อง	1-5 ซม.
RTK	เครื่องรับแบบรังวัดชนิดหลายความถี่เท่านั้นและอุปกรณ์สื่อสารใช้ได้ทั้งเครื่องรับส่งวิทยุหรือโทรศัพท์มือถือ	สามารถเคลื่อนย้ายเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมนำหนพิภพไปตามจุดที่ต้องการหาค่าพิกัดได้แต่ต้องรอจุดละประมาณ 1-2 นาที โดยในระหว่างทำงานต้องมีดาวเทียมอย่างน้อย 5 ดวงและต้องรับค่าปรับแก้จากสถานีฐานได้	1-5 ซม.

3.4 ขั้นตอนการวางแผนปฏิบัติงาน สร้างจุดควบคุมภาคพื้นดิน Ground Control Point (GCP) และจุดตรวจสอบภาพ Check Point (CP)

3.4.1 จัดทำแผนที่เพื่อกำหนดตำแหน่งการวางจุดควบคุม

การจัดทำแผนที่สังเขปเพื่อกำหนดตำแหน่งการวางจุดควบคุมภาคพื้นดิน Ground Control Point (GCP) และจุดตรวจสอบภาพ Check Point (CP) ควรจะกำหนดตำแหน่งจุดควบคุมภาคพื้นดิน Ground Control Point (GCP) และจุดตรวจสอบภาพ Check Point (CP) ให้มีความกระจายตัวอย่างเหมาะสม และสามารถเข้าถึงจุดที่จะทำการวางได้อย่างง่ายเพื่อสะดวกต่อการปฏิบัติงานจริง





รูปที่ 8 ตัวอย่าง การกำหนดตำแหน่งการจุดควบคุมภาคพื้นดิน Ground Control Point (GCP) ตามแนวเส้นทาง (Corridor)

3.5 การสร้างจุดควบคุมภาคพื้นดิน Ground Control Point (GCP) และจุดตรวจสอบภาพ Check Point (CP)

การสร้างจุดควบคุมภาคพื้นดิน Ground Control Point (GCP) และจุดตรวจสอบภาพ Check Point (CP) นั้น ต้องทำการเข้าพื้นที่ที่ได้ทำการวางแผนไว้ในแต่ละจุดทำการวางเป้าตามจุดที่ได้วางแผนไว้ และทำการรับสัญญาณดาวเทียม GNSS โดยมีขั้นตอนในการปฏิบัติงานดังนี้

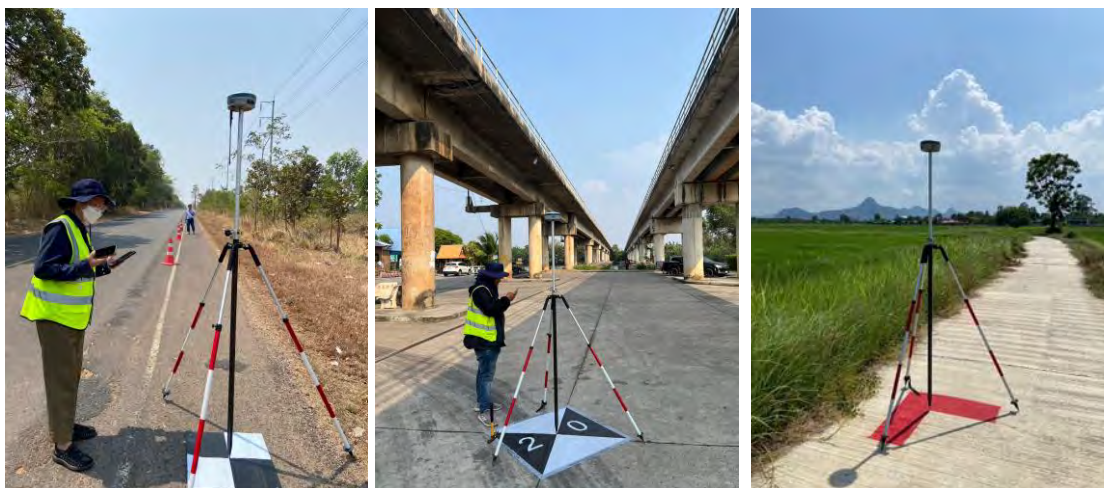
3.5.1 จุดควบคุมภาคพื้นดิน Ground Control Point (GCP) และจุดตรวจสอบภาพ Check Point (CP)

การวางจุดควบคุมภาคพื้นดิน Ground Control Point (GCP) และจุดตรวจสอบภาพ Check Point (CP) โดยใช้การวางเป้าหรือจุดที่มีลักษณะของจุดที่มีการมองเห็นจากการถ่ายภาพได้ชัดเจน (Well Define) เช่น มุมของแปลงที่ดิน คันนา เส้นมุมของถนน เป็นต้น ตำแหน่งที่ใช้ในการวางเป้านั้นควรมีลักษณะของภูมิประเทศที่ราบเรียบ ควรเป็นที่ที่มีความโล่งแจ้งไม่มีสิ่งใดปกคลุมหรือเป็นสิ่งกีดขวาง เพื่อให้ไม่เกิดอุปสรรคในการบินถ่ายภาพของอากาศยานไร้คนขับและทำการรับสัญญาณดาวเทียม GNSS



คู่มือการจัดทำแผนที่เชิงวิศวกรรมโดยใช้อากาศยานไร้คนขับ

โครงการข้อมูลจากอากาศยานไร้คนขับเพื่อตรวจติดตามข้อมูลปริมาณจราจรและการจัดทำแผนที่เชิงวิศวกรรม



รูปที่ 9 ตัวอย่างการวางเป้าที่จะทำการจุดควบคุมภาคพื้นดิน Ground Control Point (GCP)

และจุดตรวจสอบภาพ Check Point (CP)

3.5.2 ขั้นตอนการรับสัญญาณดาวเทียม GNSS ด้วยเครื่องมือรับสัญญาณดาวเทียม

1. ขั้นตอนก่อนการรังวัด

- ตัวอย่าง แอปพลิเคชัน (Application) ของโปรแกรมที่จะทำการรังวัดด้วยระบบดาวเทียม GNSS และทำการสร้าง Project ที่เราจะใช้ในการปฏิบัติงาน



รูปที่ 10 แสดงหน้าต่างซอฟต์แวร์เพื่อรังวัดค่าพิกัดบนอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ Tablet



คู่มือการจัดทำแผนที่เชิงวิศวกรรมโดยใช้อากาศยานไร้คนขับ

โครงการข้อมูลจากอากาศยานไร้คนขับเพื่อตรวจติดตามข้อมูลปริมาณจราจรและการจัดทำแผนที่เชิงวิศวกรรม

- สร้าง Project ที่จะใช้ในการปฏิบัติงาน โดยกำหนดชื่อของ Project

The image shows two side-by-side screenshots of a mobile application interface. The left screen, titled 'Project', displays the 'Current Project' details: Project Path (/storage/emulated/0/StonexCube/Project), Project Name (20170731), Coordinate System (Local parameters (WGS-84)), and SD card space (1.53GB/12.26GB). Below this is a 'Project List' showing three folders: 20170724, 20170726, and 20170731. The right screen, titled 'New Project', shows a form to create a new project. Fields include Project Name (20170804), Coordinate systems parameters type (Local parameters), Operator, Device, Notes, Date Created (2017-08-04 17:37:04), and Disk Info (1.53GB/12.26GB). An 'OK' button is at the bottom.

รูปที่ 11 แสดงหน้าต่างการสร้าง Project

- สร้าง Project Template การทำงานใหม่ และตั้งชื่อ Project เลือกค่าพารามิเตอร์ที่ต้องการ ในทางราบและทางตั้งให้ตรงกับ ZONE UTM ของพื้นที่

The image shows two side-by-side screenshots of a mobile application interface. The left screen, titled 'Coordinate systems parameters', shows the 'Coordinate System' set to 'WGS-84'. Below are several expandable sections: Ellipsoid Parameter, Projections Parameter, ITRF Parameter, Seven-Parameter, Four-Parameter/Horizontal Adjustment, Vertical Control Parameter, Vertical Adjustment Parameter, Geoid File, and Local Offsets. The right screen, titled 'Projections Parameter', shows the 'Projections Mode' set to 'UTM'. Fields include Central Meridian (dd.mmss) (9.000000000), False Northing (0.0000), False Easting (500000.0000), Scale Factor (0.99960000), Projection Height (0.0000), and Latitude of Origin (dd.mmss) (0.000000000). An 'OK' button is at the bottom.

รูปที่ 12 แสดงหน้าต่างการตั้งค่าระบบพิกัด

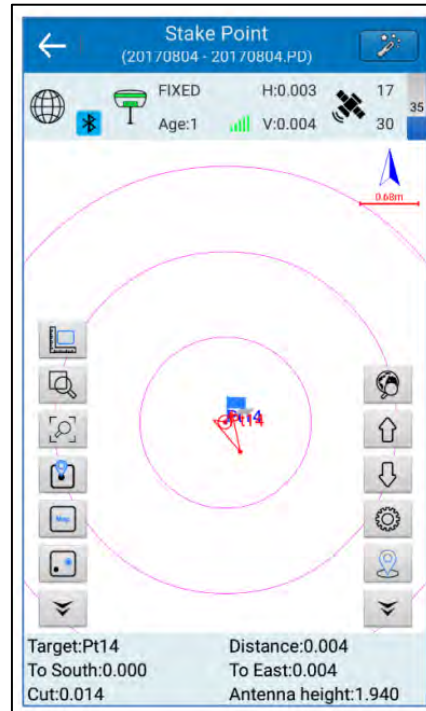




คู่มือการจัดทำแผนที่เชิงวิศวกรรมโดยใช้อากาศยานไร้คนขับ

โครงการข้อมูลจากอากาศยานไร้คนขับเพื่อตรวจติดตามข้อมูลปริมาณจราจรและการจัดทำแผนที่เชิงวิศวกรรม

- ทำการเชื่อมต่ออุปกรณ์ Controller กับเครื่องรับสัญญาณ GNSS ผ่านสัญญาณบลูทูธ โดยเข้าไปที่ตั้งค่า > เชื่อมต่อ > เลือกสัญญาณบลูทูธของ Controller ที่สัญลักษณ์บลูทูธ > กดเชื่อมต่อ > ขึ้นว่าเชื่อมต่อกับเครื่องรับสัญญาณ



รูปที่ 13 แสดงหน้าต่างการเชื่อมต่อของเครื่องมือ

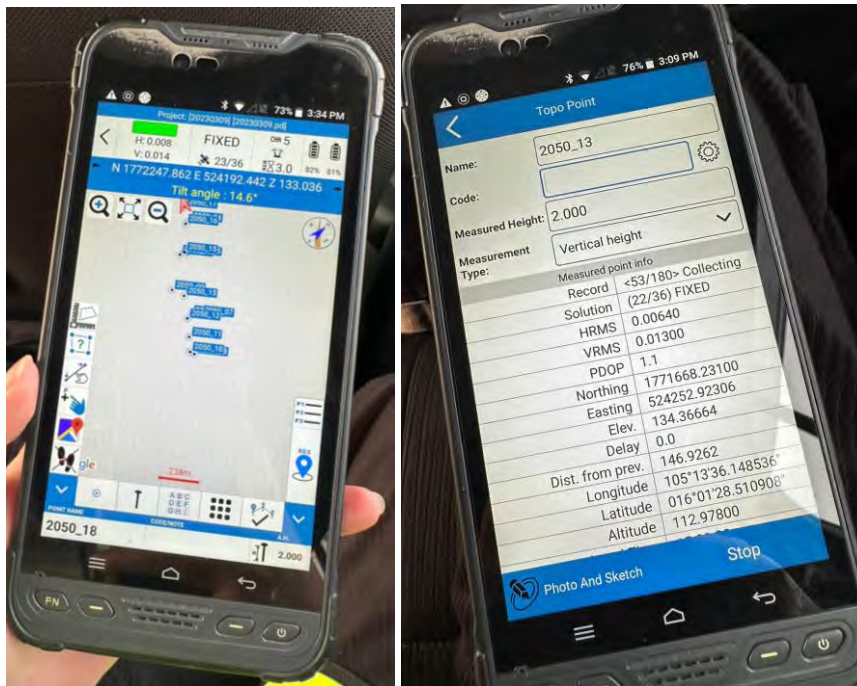
2. ขั้นตอนรังวัดที่ดิน

- การรังวัดจุดควบคุมภาคพื้นดิน ด้วยอุปกรณ์ RTK GNSS Network ให้ทำการเข้าแอปพลิเคชัน จากนั้นไปเมนูการรังวัดจุด ตั้งชื่อจุด และกดบันทึกค่าพิกัดเมื่อค่าที่ได้เป็น FIXED หรือ ขึ้นสถานะสีเขียวที่ปุ่มกดบันทึก



คู่มือการจัดทำแผนที่เชิงวิศวกรรมโดยใช้อากาศยานไร้คนขับ

โครงการข้อมูลจากอากาศยานไร้คนขับเพื่อตรวจติดตามข้อมูลปริมาณจราจรและการจัดทำแผนที่เชิงวิศวกรรม



รูปที่ 14 แสดงหน้าต่างการรังวัดและรายละเอียดของข้อมูลที่ทำกรรังวัด

- ทำการรังวัดจุดควบคุมภาคพื้นและจุดตรวจสอบละ 3 นาที และทำการถ่ายรูปให้ครบทุกจุด



รูปที่ 15 แสดงการรังวัดจุดควบคุมภาคพื้น

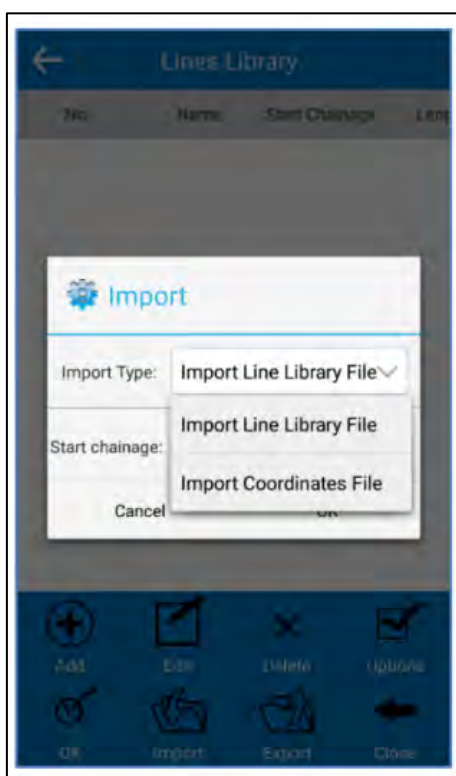


คู่มือการจัดทำแผนที่เชิงวิศวกรรมโดยใช้อากาศยานไร้คนขับ

โครงการข้อมูลจากอากาศยานไร้คนขับเพื่อตรวจติดตามข้อมูลปริมาณจราจรและการจัดทำแผนที่เชิงวิศวกรรม

3. ขั้นตอนหลังการรังวัดค่าพิกัด

- การส่งออกข้อมูลที่ได้จากการสำรวจในรูปแบบของไฟล์ .csv หรือ .kml โดยประกอบด้วย ข้อมูลค่าพิกัด N,E, ละติจูด, ลองจิจูด และชื่อของจุด จากนั้นไปยัง โพลเดอร์ ชื่อ Project ที่สร้างไว้ เพื่อส่งออกไฟล์ไปยังอุปกรณ์อื่น โดยใช้ อีเมล Bluetooth หรือ Social Media ต่าง ๆ



รูปที่ 16 แสดงหน้าต่างการส่งออกข้อมูลที่ได้จากการสำรวจ



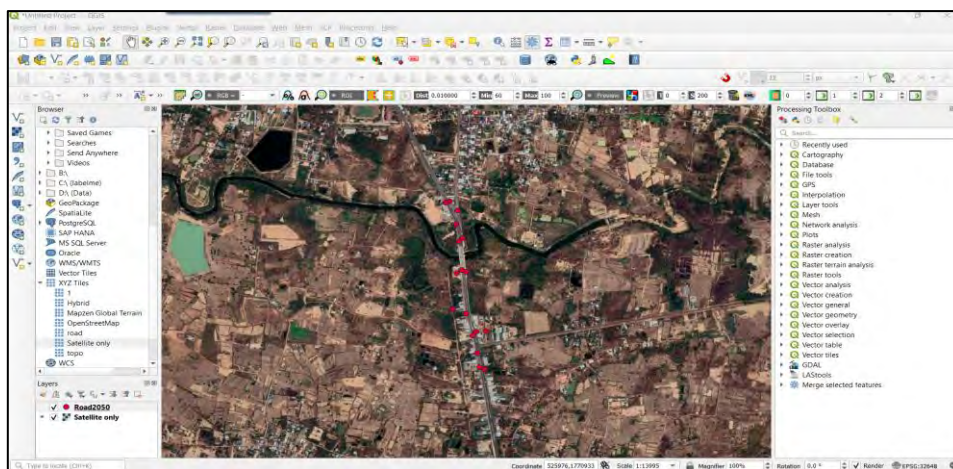
คู่มือการจัดทำแผนที่เชิงวิศวกรรมโดยใช้อากาศยานไร้คนขับ

โครงการข้อมูลจากอากาศยานไร้คนขับเพื่อตรวจติดตามข้อมูลปริมาณจราจรและการจัดทำแผนที่เชิงวิศวกรรม

ตารางที่ 4 ตัวอย่าง ผลการสำรวจรังวัดค่าพิกัดด้วยระบบ RTK ทางหลวงหมายเลข 2050 ตอนควบคุม 202 ชื่อตอนควบคุม บ.ห้วยยาง-อ.เขมราฐ บริเวณ กม. 98+754 ถึง กม.99+754 แขวงทางหลวงอำนาจเจริญ จังหวัดอุบลราชธานี ระบบพิกัด WGS84 UTM ZONE 48N จำนวน 17 จุด

Point Name	Northing	Easting	Elevation(m)	PDOP	HRMS(m)	VRMS(m)
2050_01	1772340.666	524200.496	132.599	0.900	0.005	0.009
2050_02	1772399.096	524153.507	131.795	1.002	0.005	0.012
2050_03	1772391.078	524130.946	131.869	1.000	0.005	0.011
2050_04	1772159.364	524231.614	134.319	1.000	0.005	0.011
2050_05	1771940.908	524252.104	135.575	1.000	0.005	0.011
2050_06	1771548.674	524311.024	135.285	1.164	0.005	0.012
2050_07	1771555.078	524371.557	136.098	1.106	0.005	0.011
2050_08	1771306.538	524360.238	137.291	1.045	0.005	0.012
2050_09	1771698.504	524173.308	130.113	1.100	0.007	0.017
2050_10	1771317.352	524332.255	137.207	1.146	0.005	0.013
2050_11	1771410.356	524316.344	136.437	1.200	0.006	0.014
2050_12	1771526.038	524289.915	135.472	1.123	0.005	0.012
2050_13	1771668.232	524252.924	134.367	1.107	0.006	0.013
2050_14	1771931.836	524196.550	133.841	1.100	0.005	0.011
2050_15	1771951.751	524225.014	136.090	1.000	0.005	0.010
2050_16	1772137.387	524211.002	135.001	1.100	0.005	0.011
2050_17	1772247.158	524192.576	132.957	1.001	0.005	0.011

- นำข้อมูลที่ได้นำมาเปิดด้วยโปรแกรม QGIS โดยเปิด Project ขึ้นมาใหม่ จากนั้นจึงนำเข้าพิกัดที่สำรวจได้โดยใช้เครื่องมือ Add Delimited Text Layer เมื่อคลิก Add จะพบพิกัดตามที่ปรากฏบนหน้าจอ



รูปที่ 17 แสดงหน้าต่างจุดควบคุมภาคพื้นและจุดตรวจสอบโดยโปรแกรม QGIS





3.6 หลักการวางแผนการบินและการถ่ายภาพด้วยอากาศยานไร้คนขับ

การวางแผนการบินและการบินถ่ายภาพเป็นขั้นตอนที่กำหนดความละเอียดของภาพ คุณภาพของภาพพอยต์คลาวด์ และความถูกต้องเชิงตำแหน่ง โดยมีปัจจัยที่ต้องคำนึงถึงสำหรับการวางแผนการบินดังนี้

- ความสูงบิน
- ขนาดของระยะระหว่างจุดศูนย์กลางจุดภาพบนพื้นดิน (Ground Sample Distance: GSD)
- ส่วนซ้อนของภาพ (Overlap) และส่วนเกย (Side Lap)
- รูปแบบการบิน

โดยทั้ง 4 ปัจจัยข้างต้นจะมีความสัมพันธ์กัน นอกจากนี้การถ่ายภาพและการตั้งค่าการถ่ายภาพจะต้องตั้งค่าให้สามารถถ่ายภาพได้อย่างมีคุณภาพ มีสีสันทันที่ถูกต้อง และภาพจะต้องมีความคมชัด

3.6.1 ความสูงบิน

ความสูงบินเป็นส่วนสำคัญของการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ เป็นการกำหนดความละเอียดของภาพ และความถูกต้องของผลลัพธ์ โดยความสูงบินที่ต่ำจะให้ความละเอียดของภาพถ่ายสูงขึ้น แต่ต้องใช้เวลาในการบินนานขึ้นเพื่อให้ได้ภาพที่มีส่วนซ้อนและส่วนเกยเท่าเดิม ในขณะที่ความสูงบินสูงจะให้ความละเอียดภาพลดลงและเพื่อให้สามารถผลิตข้อมูลและแผนที่มาตราส่วนตามความต้องการของผู้ใช้งาน แล้วจึงต้องคำนึงถึงสภาพภูมิประเทศโดยรวม และศักยภาพของอากาศยานไร้คนขับ การวางแผนความสูงบินสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 1

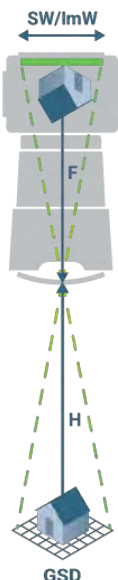


คู่มือการจัดทำแผนที่เชิงวิศวกรรมโดยใช้อากาศยานไร้คนขับ

โครงการข้อมูลจากอากาศยานไร้คนขับเพื่อตรวจติดตามข้อมูลปริมาณจราจรและการจัดทำแผนที่เชิงวิศวกรรม

$$H = \frac{GSD \times f \times IW}{SW \times 100}$$

สมการที่ 1



เมื่อ	H (Flight Height)	คือ ความสูงการบินเหนือจุดขึ้นบิน	หน่วย เมตร
	GSD (Ground Sample Distance)	คือ ระยะพื้นที่ต่อพิกเซล	หน่วย เซนติเมตรต่อพิกเซล
	SW (Sensor Width)	คือ ระยะด้านกว้างของเซนเซอร์	หน่วย มิลลิเมตร
	f (Focal Length)	คือ ทางยาวโฟกัสของเลนส์	หน่วย มิลลิเมตร
	IW (Image Width)	คือ จำนวนพิกเซลด้านกว้าง	หน่วย พิกเซล

จากสมการที่ 1 สามารถหาระยะพื้นที่จริงจากภาพถ่ายหนึ่งใบได้จากสมการ 2

$$DW = \frac{GSD \times IW}{100}$$

สมการที่ 2

เมื่อ	DW (Distance Width)	คือ ระยะพื้นที่หนึ่งภาพ	หน่วย เมตร
	GSD (Ground Sample Distance)	คือ ระยะพื้นที่ต่อพิกเซล	หน่วย เซนติเมตรต่อพิกเซล
	IW (Image Width)	คือ จำนวนพิกเซลด้านกว้าง	หน่วย พิกเซล





3.6.2 ขนาดของระยะระหว่างจุดศูนย์กลางจุดภาพบนพื้นดิน (Ground Sample Distance: GSD)

คือ ระยะทางบนพื้นโลกระหว่างจุดศูนย์กลางของจุดภาพ (Pixel) ที่อยู่ติดกันหรือเรียกว่าความละเอียดเชิงพื้นที่ (Spatial Resolution) ของจุดภาพที่สามารถแยกแยะรายละเอียดที่เล็กที่สุด โดยการกำหนดค่า GSD ขึ้นกับความถูกต้องของข้อมูลเชิงตำแหน่งที่ต้องการ โดยมีการกำหนดความถูกต้องในงานวิศวกรรมด้านต่าง ๆ แบ่งตามประเภทกิจกรรมหรือการใช้งานตามแนวทางของ FGDC (Geospatial Positioning Accuracy Standards PART 4: Standards For Architecture, Engineering, Construction (A/E/C) And Facility Management National)

ASPRS 2014				Equivalent to map scale in		Equivalent to map scale in NMAS
Horizontal Accuracy Class RMSE _x and RMSE _y (cm)	RMSE _x (cm)	Horizontal Accuracy at the 95% Confidence Level (cm)	Approximate GSD of Source Imagery (cm)	ASPRS 1990 Class 1	ASPRS 1990 Class 2	
0.63	0.9	1.5	0.31 to 0.63	1:25	1:12.5	1:16
1.25	1.8	3.1	0.63 to 1.25	1:50	1:25	1:32
2.5	3.5	6.1	1.25 to 2.5	1:100	1:50	1:63
5.0	7.1	12.2	2.5 to 5.0	1:200	1:100	1:127
7.5	10.6	18.4	3.8 to 7.5	1:300	1:150	1:190
10.0	14.1	24.5	5.0 to 10.0	1:400	1:200	1:253
12.5	17.7	30.6	6.3 to 12.5	1:500	1:250	1:317
15.0	21.2	36.7	7.5 to 15.0	1:600	1:300	1:380
17.5	24.7	42.8	8.8 to 17.5	1:700	1:350	1:444
20.0	28.3	49.0	10.0 to 20.0	1:800	1:400	1:507
22.5	31.8	55.1	11.3 to 22.5	1:900	1:450	1:570
25.0	35.4	61.2	12.5 to 25.0	1:1000	1:500	1:634
27.5	38.9	67.3	13.8 to 27.5	1:1100	1:550	1:697
30.0	42.4	73.4	15.0 to 30.0	1:1200	1:600	1:760
45.0	63.6	110.1	22.5 to 45.0	1:1800	1:900	1:1,141
60.0	84.9	146.9	30.0 to 60.0	1:2400	1:1200	1:1,521
75.0	106.1	183.6	37.5 to 75.0	1:3000	1:1500	1:1,901
100.0	141.4	244.8	50.0 to 100.0	1:4000	1:2000	1:2,535
150.0	212.1	367.2	75.0 to 150.0	1:6000	1:3000	1:3,802
200.0	282.8	489.5	100.0 to 200.0	1:8,000	1:4000	1:5,069
250.0	353.6	611.9	125.0 to 250.0	1:10,000	1:5000	1:6,337
300.0	424.3	734.3	150.0 to 300.0	1:12,000	1:6000	1:7,604
500.0	707.1	1223.9	250.0 to 500.0	1:20,000	1:10000	1:21,122
1000.0	1414.2	2447.7	500.0 to 1000.0	1:40000	1:20000	1:42,244

ที่มา: ASPRS Positional Accuracy Standards For Digital Geospatial Data

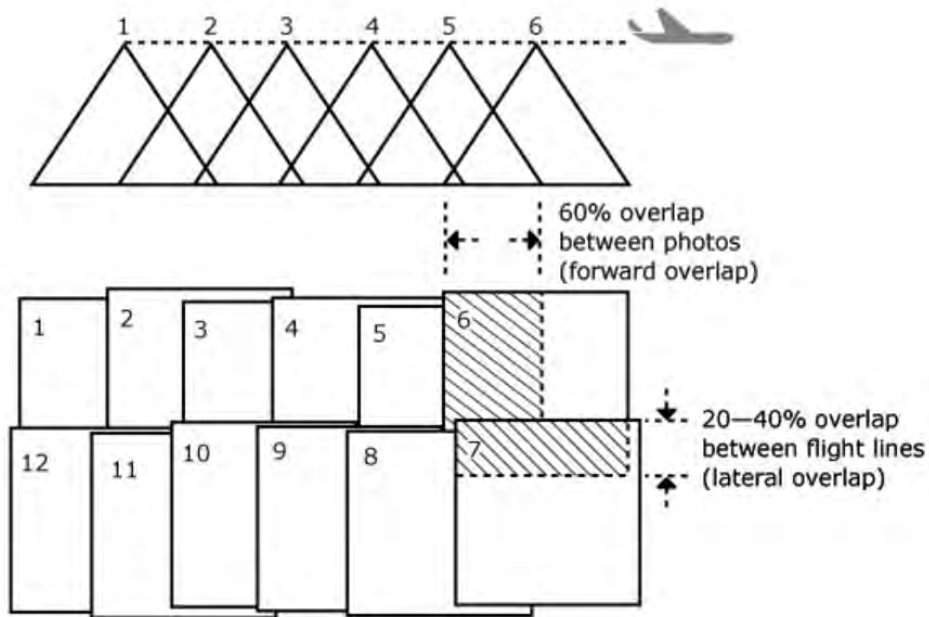
รูปที่ 18 ASPRS Positional Accuracy Standards For Digital Geospatial Data



3.6.3 ส่วนซ้อนของภาพ (Overlap) และส่วนเกย (Side Lap)

การกำหนดส่วนซ้อนและส่วนเกยสำหรับการวางแผนการบินในงานสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับนั้น มีความแตกต่างกับการสำรวจด้วยภาพถ่ายแบบดั้งเดิม เนื่องจากอากาศยานไร้คนขับมีขนาดเล็กและไม่สามารถควบคุมความเร็วและทิศทางการบินได้อย่างสม่ำเสมอ ตลอดระยะเวลาในการถ่ายภาพ ดังนั้น หากกำหนดส่วนซ้อนและส่วนเกยที่น้อยเกินไปอาจทำให้ภาพที่ถ่ายไม่สามารถต่อกันได้ โดยการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับแนะนำให้กำหนดส่วนซ้อนและส่วนเกยดังนี้

- ส่วนซ้อนของภาพหรือพื้นที่ที่ทับกันอยู่ของภาพประชิดในแนวนอน ให้มีส่วนซ้อนกันไม่น้อยกว่าร้อยละ 85
- ส่วนเกยหรือพื้นที่ที่ทับกันอยู่ระหว่างแนวนอนที่ประชิดกัน ให้มีส่วนเกยกันไม่น้อยกว่าร้อยละ 65



รูปที่ 19 ส่วนซ้อนและส่วนเกย



คู่มือการจัดทำแผนที่เชิงวิศวกรรมโดยใช้อากาศยานไร้คนขับ

โครงการข้อมูลจากอากาศยานไร้คนขับเพื่อตรวจติดตามข้อมูลปริมาณจราจรและการจัดทำแผนที่เชิงวิศวกรรม

ตารางที่ 5 ความแตกต่างระหว่างการสำรวจด้วยภาพถ่ายแบบเดิมและการสำรวจด้วยภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ

รายละเอียด	Photogrammetry	UAV Photogrammetry (คู่มือมาตรฐาน วสท.)	UAV Photogrammetry (ในงานวิจัย)
การวางแผนการบินและการถ่ายภาพ			
อากาศยานไร้คนขับ	มีนักบินควบคุมบนเครื่อง	ไม่มีนักบินควบคุมบนเครื่อง	ไม่มีนักบินควบคุมบนเครื่อง
กล้องบันทึกภาพ	Metric Camera	Non-Metric Camera หรือ Metric Camera	Non-Metric Camera หรือ Metric Camera
Overlap, Side lap	60%, 30%	80%, 70%	85%, 65%
พื้นที่ทำการต่อเที่ยวบิน	5 ตร.กม. ถึง 100 ตร.กม.	0.1 ตร.กม. ถึง 2 ตร.กม.	1 กิโลเมตร
ช่วงความสูงในการบิน	500 เมตร ถึง 10 กิโลเมตร	60 เมตร ถึง 1 กิโลเมตร	90 เมตร
การประมวลผล			
ข้อมูลที่ใช้	GCP, Camera Calibration	GCP, Camera Calibration	GCP, Camera Calibration
วิธีวัดจุดยึดโยง	วัดด้วยมือ	อัตโนมัติ และ/หรือ วัดด้วยมือ	อัตโนมัติ และ/หรือ วัดด้วยมือ
วิธีการสร้างข้อมูล จุดระดับความสูง	Stereo	Multi-View Stereo	Multi-View Stereo
วิธีการประมวลผล	BBA	SIFT, SFM, BBA, MVS	SIFT, SFM, BBA, MVS
ชนิดแบบจำลองความสูง เชิงเลขที่ใช้สร้างภาพออร์โธโฟโต	DEM	DSM	DSM

การสำรวจด้วยภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ ซึ่งมักจะเลือกใช้ส่วนซ้อนและส่วนเกยมากกว่าปกติเมื่อเทียบกับการสำรวจด้วยภาพถ่ายแบบเดิมนั้น จะส่งผลให้อัตราส่วนฐานต่อความสูง (Base Height Ratio: B/H) มีค่าน้อย ซึ่งตามทฤษฎี หากอัตราส่วนฐานต่อความสูงมีค่าน้อยจะส่งผลให้เกิดค่าคลาดเคลื่อนทางตั้งของจุดบนพื้นดินที่เกิดจากการตัดกันของลำแสงจากคู่ภาพสามมิติมากขึ้น ในขณะที่เทคนิควิธี มัลติวิวสเตอริโอ (เอ็มวีเอส) (Multi-View Stereo: MVS) การสร้างจุดบนพื้นดินนั้นเกิดจากการตัดกันของลำแสงจากภาพถ่ายหลายภาพที่จุดนั้นปรากฏ (Norbert Haala et. al., 2011) ดังนั้นภาพถ่ายที่ใช้ในการประมวลผลจึงมีค่า B/H ที่หลากหลายและจำนวนคู่ภาพถ่ายที่มีค่า B/H มากจึงมีมากกว่าทำให้สามารถปรับปรุงค่าความคลาดเคลื่อนทางตั้งดีขึ้นกว่าเดิม

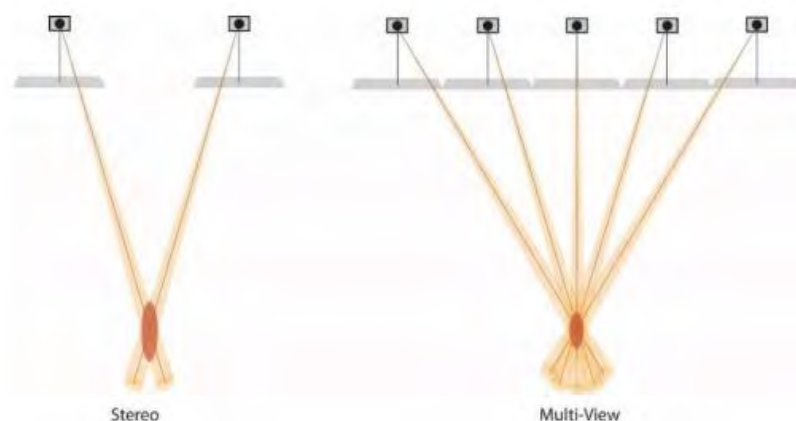
โดยสามารถสรุปความสัมพันธ์ระหว่างภาพออร์โธโฟโต (Orthophoto) และ แบบจำลองพื้นผิวภูมิประเทศเชิงเลข (DSM) ได้ดังนี้

- ภาพออร์โธโฟโต (Orthophoto) เป็นภาพถ่ายที่ปรับแก้พิกัดแล้ว ซึ่งขึ้นอยู่กับ แบบจำลองพื้นผิวภูมิประเทศเชิงเลข (DSM) ในการสร้าง





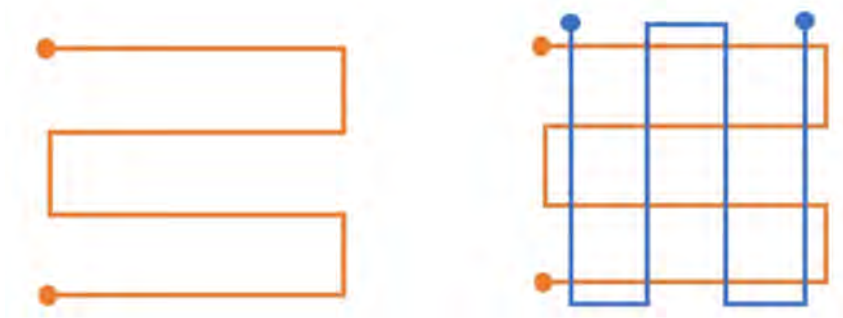
- แบบจำลองพื้นผิวภูมิประเทศเชิงเลข (DSM) เป็นแผนที่ความสูงดิจิทัล แสดงระดับความสูงของพื้นผิวโลกที่สัมพันธ์กับจุดอ้างอิงมาตรฐาน
- ภาพออร์โธโฟโต (Orthophoto) และ แบบจำลองพื้นผิวภูมิประเทศเชิงเลข (DSM) มีความสัมพันธ์กันโดย Orthophoto ขึ้นอยู่กับ DSM ในการสร้าง และ DSM สามารถใช้เพื่อสร้าง Orthophoto ใหม่ได้เช่นกัน และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เช่น
 - การสร้างแผนที่และแบบจำลอง 3 มิติ
 - การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของภูมิประเทศ
 - การประเมินความเสียหายจากภัยพิบัติ
 - การจัดการทรัพยากรธรรมชาติ
 - การวางแผนและออกแบบโครงการ



รูปที่ 20 แสดงวงรีความคลาดเคลื่อนทางดิ่งจุดบนพื้นดินจาก Stereopair (ซ้าย) และ Multi-View Stereo (ขวา)

3.6.4 รูปแบบการบิน

รูปแบบการบินโดยทั่วไปจะกำหนดให้บินถ่ายในลักษณะบล็อกสี่เหลี่ยมมุมฉาก เพื่อให้โครงข่ายมีความแข็งแรงและลดจำนวนจุดควบคุมภาพถ่าย โดยสามารถเลือกรูปแบบการบินได้ 2 แบบคือ รูปแบบการบินแบบทั่วไปและรูปแบบการบินแบบกริด

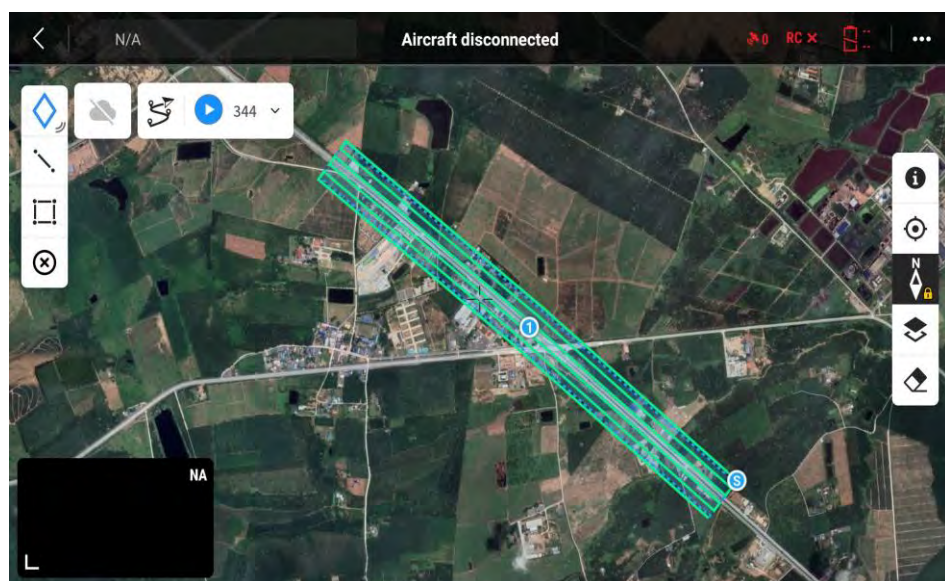


รูปที่ 21 แสดงตัวอย่างรูปแบบการบินแบบทั่วไปและรูปแบบการบินแบบกริดตามลำดับ

3.7 โปรแกรมควบคุมการบิน

3.7.1 ซอฟต์แวร์ควบคุมการบิน

ตัวอย่าง ซอฟต์แวร์ควบคุมการบิน DJI Pilot และ UGCS เป็นแอปพลิเคชัน (Application) สำหรับการวางแผนการบินอากาศยานไร้คนขับเพื่อจัดทำแผนที่ ออกแบบมาเพื่อสร้างการเชื่อมต่อระหว่างโดรน DJI และเดสก์ท็อปโดยซอฟต์แวร์ DJI Pilot หรือ UGCS จำทำการสร้างเส้นทางการบินและดำเนินการควบคุมการทำงานเพื่อดำเนินการสำรวจโดยอัตโนมัติในรูปแบบต่าง ๆ เช่น สำรวจทำแผนที่แบบ Area การสำรวจเพื่อตรวจในทิศทาง Vertical (Facade) การสำรวจตามแนวยาวหรือสายทาง Corridor Mapping และภารกิจสำรวจโดรนอื่น ๆ โดยในตัวแอปพลิเคชันประกอบไปด้วยภาพแสดงพื้นที่สำรวจและแถบคำสั่ง เช่น แถบเมนู, แถบตั้งค่า Flight Plan, แถบแสดง Result การตั้งค่า Flight Plan และแถบสถานะของเครื่อง เป็นต้น



รูปที่ 22 หน้าจอหลักแอปพลิเคชัน DJI Pilot

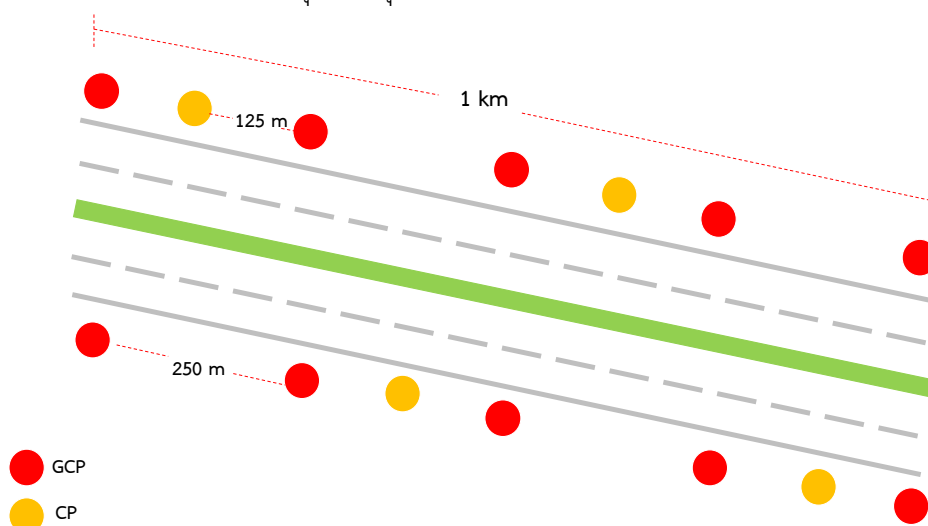


3.8 การสร้างจุดควบคุมภาพถ่าย

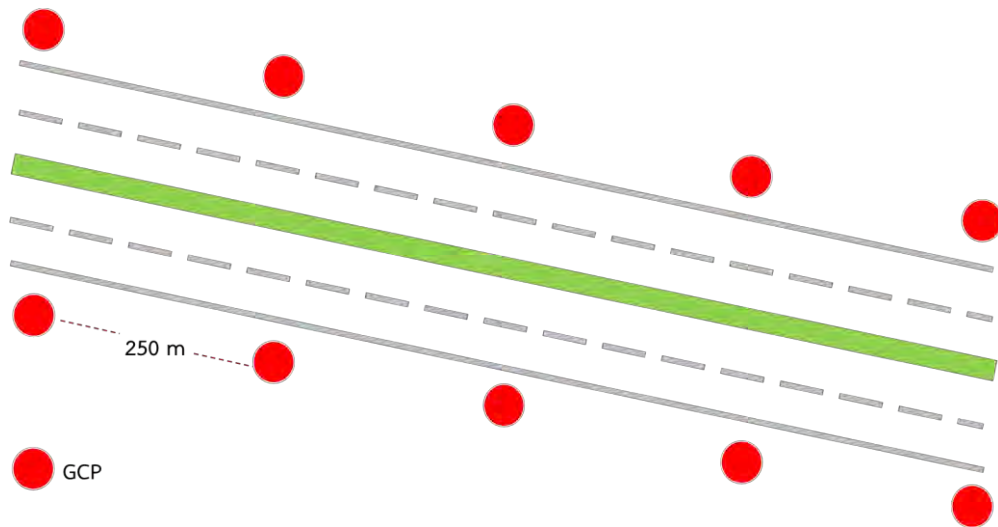
จุดควบคุมภาพถ่ายมีความสำคัญต่อคุณภาพการผลิตข้อมูลเชิงตำแหน่งให้ถูกต้อง ดังนั้น ผู้ปฏิบัติงานจำเป็นต้องเข้าใจหลักการและทฤษฎีในการสร้างจุดควบคุมภาพถ่าย ได้แก่ การสร้างจุดควบคุมภาพถ่ายให้เห็นได้เด่นชัดบนภาพ การรังวัดค่าพิกัดที่สามารถนำมาโยงยึดภาพถ่ายได้ถูกต้องตามแผนที่วางไว้ และการกำหนดตำแหน่งเพื่อให้จุดควบคุมภาพถ่ายมีจำนวนและการกระจายตัวที่เหมาะสมครอบคลุมทั้งโครงการ

ในส่วนของการกำหนดการกระจายตัวของจุดควบคุมภาคพื้นดิน (GCP) และจุดตรวจสอบ (CP) ให้กำหนดเป็นไปตามแนวทางเดียวกัน รูปแบบที่แนะนำในโครงการ ได้แก่ รูปแบบที่มีการวางจุดควบคุมภาพ (GCP) ในลักษณะการวางเป็นคู่ โดยวางตำแหน่งคันทางละ 1 จุด บริเวณไหล่ทางหรือเขตทางที่สามารถถ่ายภาพได้อย่างชัดเจน จำนวน 5 คู่ ต่อระยะทางตามแนวเส้นทาง 1 กิโลเมตร โดยกำหนดให้มีการกระจายตัวของจุดควบคุมภาพดังรายละเอียดต่อไปนี้

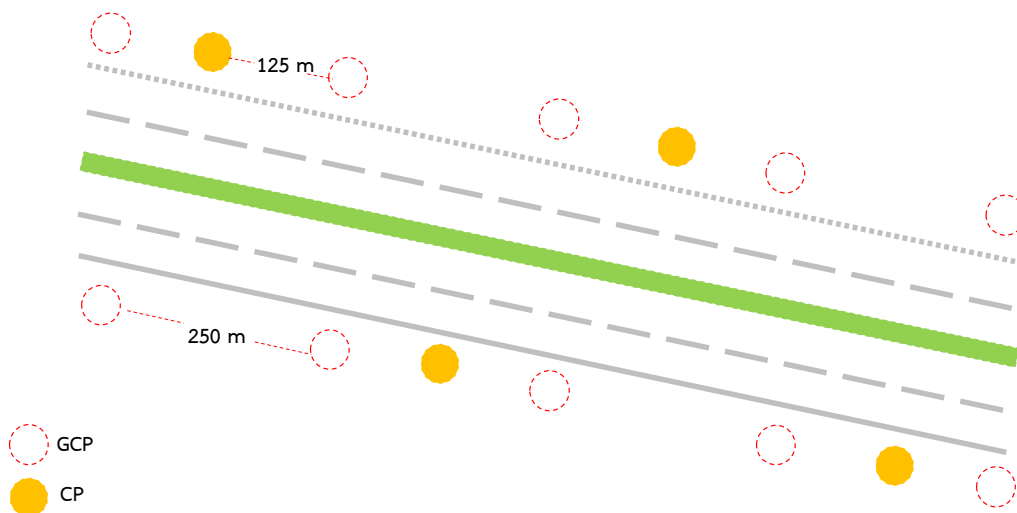
- กำหนดจุดควบคุมภาคพื้นดิน (GCP) จำนวน 10 จุดต่อระยะทาง 1 กิโลเมตร กำหนดเป็นจุดคู่ กระจายอย่างสม่ำเสมอ โดยมีระยะห่างโดยประมาณ 250 เมตร
- กำหนดระยะห่างระหว่างจุดของจุดคู่ GCP ไม่น้อยกว่า 30 เมตร และหลีกเลี่ยงการกำหนดตำแหน่งของจุดเรียงเป็นแนวเส้นตรง
- กำหนดจุดตรวจสอบ (CP) จำนวน 4 จุด (ในเขตทาง) โดยให้ตำแหน่งแทรกอยู่ระหว่างจุดควบคุมภาคพื้นดิน (GCP)



รูปที่ 23 รูปแบบแสดงการกระจายตัวของจุดควบคุมภาคพื้นดิน (GCP) และจุดตรวจสอบ (CP) ตามระยะทางที่แนะนำ



รูปที่ 24 รูปแบบแสดงการกระจายตัวของจุดควบคุมภาคพื้นดิน (GCP) (แผนภาพ)

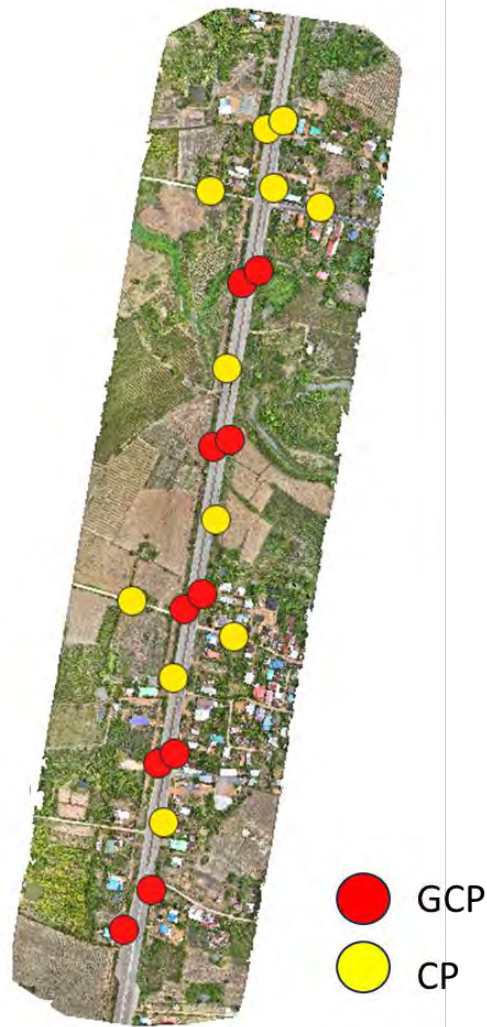


รูปที่ 25 รูปแบบแสดงการกระจายตัวของจุดตรวจสอบ (CP)
(แผนภาพ)



คู่มือการจัดทำแผนที่เชิงวิศวกรรมโดยใช้อากาศยานไร้คนขับ

โครงการข้อมูลจากอากาศยานไร้คนขับเพื่อตรวจติดตามข้อมูลปริมาณจราจรและการจัดทำแผนที่เชิงวิศวกรรม



รูปที่ 26 รูปแบบแสดงการกระจายตัวของจุดควบคุมภาคพื้นดิน
และจุดตรวจสอบ (พื้นที่จริง)



คู่มือการจัดทำแผนที่เชิงวิศวกรรมโดยใช้อากาศยานไร้คนขับ
โครงการข้อมูลจากอากาศยานไร้คนขับเพื่อตรวจติดตามข้อมูลปริมาณจราจรและการจัดทำแผนที่เชิงวิศวกรรม



รูปที่ 27 รูปแบบแสดงการกระจายตัวของจุดควบคุมภาคพื้นดินและจุดตรวจสอบ (พื้นที่จริง)



3.9 การประมวลผลภาพถ่าย

การประมวลผลภาพถ่ายคือการนำภาพถ่ายทางอากาศมาปรับแก้และการจับคู่ภาพเพื่อสร้าง Tie Point ตลอดจนการรังวัดจุดควบคุมภาพถ่ายเพื่อโยงยึดข้อมูลให้มีความถูกต้องเชิงตำแหน่งสำหรับการผลิตข้อมูลพอยต์คลาวด์และภาพออร์โธเจกติกต่อไป โดยประกอบด้วยขั้นตอนที่สำคัญในการทำงานดังนี้

- การจับคู่ภาพและสร้าง Tie Point
- การโยงยึดค่าพิกัดตำแหน่งด้วยจุดควบคุมภาพถ่าย
- การสร้างข้อมูลพอยต์คลาวด์
- การสร้างออร์โธเจกติก

ความสำคัญของขั้นตอนการประมวลผลภาพถ่าย คือ การกำหนดพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการประมวล และการตรวจสอบคุณภาพและค่าพารามิเตอร์ในแต่ละขั้นตอนการประมวลผลซึ่งจะกล่าวต่อไป

3.10 การตรวจสอบคุณภาพผลลัพธ์

ผลลัพธ์ที่ได้จากการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับเพื่องานวิศวกรรมต้องมีการตรวจสอบคุณภาพของภาพออร์โธเจกติก และความถูกต้องเชิงตำแหน่งของภาพออร์โธและพอยต์คลาวด์ให้เป็นไปตามข้อกำหนดความความถูกต้องที่ต้องการ



4. การวางแผนการบินและการบินถ่ายภาพด้วยอากาศยานไร้คนขับ

ในขั้นตอนการวางแผนการบินไปจนถึงขั้นตอนการประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศนั้นที่ปรึกษาได้ทำการรวบรวม และเรียบเรียงจากคู่มือ มาตรฐาน ที่เป็นที่ยอมรับ เช่น มาตรฐานการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับเพื่องานวิศวกรรม ของวสท. ตลอดจนถึงซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการจัดทำคู่มือการประมวลผล ได้เลือกจากที่เป็นที่นิยม และมีใช้งานอย่างแพร่หลาย เช่น คู่มือการประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์ Pix4DMapper โดยขั้นตอนและแนวทางในคู่มือฉบับนี้ สามารถประยุกต์ใช้ได้กับอากาศยานไร้คนขับทุกรุ่น รวมถึงสามารถประมวลผลภาพถ่ายจากกล้องที่บันทึกภาพด้วยอากาศยานไร้คนขับทุกรุ่นที่มีใช้งานโดยกรมทางหลวง

การวางแผนการบินและการถ่ายภาพด้วยอากาศยานไร้คนขับเป็นส่วนหนึ่งของการสำรวจด้วยภาพถ่ายในการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 เนื่องจากภาพถ่ายเป็นข้อมูลดิบสำหรับการผลิตภาพออร์โธโฟโต และข้อมูลแบบจำลองพื้นผิวภูมิประเทศเชิงเลข โดยเป็นส่วนที่สำคัญให้การผลิตภาพถ่ายทางอากาศเพื่อนำไปประมวลผลในขั้นตอนการประมวลผลภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ ดังนั้น ในขั้นตอนนี้ผู้ปฏิบัติงานจะต้องควบคุมคุณภาพของภาพถ่ายและตำแหน่งถ่ายภาพให้ถูกต้องและเป็นไปตามแผนที่วางไว้ ทั้งนี้การถ่ายภาพด้วยอากาศยานไร้คนขับประกอบด้วย 2 ส่วน ได้แก่ การวางแผนการบิน และการถ่ายภาพ

4.1 คุณสมบัติของอากาศยานไร้คนขับชนิดปีกหมุน (Multirotor)

เพื่อให้สามารถวางแผนการบินให้ได้อย่างถูกต้องจำเป็นต้องจำเป็นที่ต้องทราบคุณสมบัติของอากาศยานไร้คนขับที่ใช้งาน โดยตัวอย่างในงานวิจัยนี้ คือ ยี่ห้อ DJI รุ่น Mavic 3 Enterprise เป็นอากาศยานขึ้นลงแนวดิ่งอาศัยการหมุนของใบพัดในการขึ้นลงและขับเคลื่อนไปในทิศทางต่าง ๆ ประกอบด้วยใบพัด จำนวน 4 ใบพัด โดยทั่วไปใช้ระยะเวลาการบินประมาณ 45 นาที



รูปที่ 28 ตัวอย่าง อากาศยานไร้คนขับชนิดปีกหมุน (Multirotor) ยี่ห้อ DJI รุ่น Mavic 3 Enterprise



4.1.1 ส่วนประกอบของอากาศยานไร้คนขับชนิดปีกหมุน (Multirotor)

- **เครื่องอากาศยาน (Platform)** เป็นโครงสร้างของอากาศยานที่ผลิตจากวัสดุที่มีน้ำหนักเบาและมีความแข็งแรง มีระบบควบคุมการบิน (Autopilot) ระบบนำร่อง (GNSS) ระบบรับรู้การทรงตัว แบตเตอรี่ รวมไปถึงกล้องถ่ายภาพและเซนเซอร์ (Camera And Sensor) ที่เป็นส่วนที่ใช้บันทึกข้อมูลภาพถ่ายและข้อมูลค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการประมวลผลข้อมูล
- **อุปกรณ์ควบคุมอากาศยาน (Controller)** เช่น แท็บเล็ต (Tablet), โทรศัพท์เคลื่อนที่แบบสมาร์ทโฟน (Smart Phone) หรือคอมพิวเตอร์ (Computer) เพื่อใช้ในการติดตั้งแอปพลิเคชัน (Application)

4.1.2 คุณสมบัติของอากาศยานไร้คนขับชนิดปีกหมุน (Multirotor) ยี่ห้อ DJI รุ่น Mavic 3 Enterprise (ที่มา : <https://enterprise.dji.com/mavic-3-enterprise/specs>)

- ตัวอย่าง ข้อมูลจำเพาะส่วนตัวเครื่องอากาศยาน (Platform)

Specifications (คุณสมบัติ)	Multirotor UAV ยี่ห้อ DJI รุ่น Mavic 3 Enterprise
น้ำหนัก (รวมแบตเตอรี่และใบพัด)	915 g
ความเร็วบินขึ้นสูงสุด	6 m/s (Normal Mode) 8 m/s (Sport Mode)
ความเร็วบินลงสูงสุด	6 m/s (Normal Mode) 6 m/s (Sport Mode)
ความเร็วบินสูงสุด	15 m/s (Normal Mode) Forward: 21 m/s, Side: 20 m/s, Backward: 19 m/s (Sport Mode)
บินได้ระยะทางมากที่สุด (ในรัศมีควบคุม)	32 km
ต้านลมที่มีความเร็ว	12 m/s
ระยะเวลาบินสูงสุด	บินได้นานสูงสุด 45 นาที
ความจุแบตเตอรี่	5,000 mAh
ดาวเทียมที่รับสัญญาณ	GPS/Galileo/BeiDou
เซนเซอร์กันชน	ระบบกันชนรอบทิศทาง APAS 5.0



• ตัวอย่าง ข้อมูลจำเพาะส่วนกล้องถ่ายภาพ

Specifications (คุณสมบัติ)	Multicopter UAV ยี่ห้อ DJI รุ่น Mavic 3 Enterprise
เซนเซอร์	4/3 CMOS
ความละเอียดภาพ	20 ล้านพิกเซล (กล้องหลัก)
เลนส์	FOV: 84° Format Equivalent: 24 mm Aperture: f/2.8-f/11 Focus: 1 m to ∞
ค่า ISO	100 - 6400
Shutter speed	Mechanical Shutter: 8-1/2000 s
ขนาดภาพ	5280×3956
คุณภาพการบันทึกวิดีโอ	H.264 4K: 3840×2160@30fps FHD: 1920×1080@30fps
ชนิดของไฟล์ภาพ	JPEG/DNG (RAW)
ชนิดของไฟล์วิดีโอ	MP4 (MPEG-4 AVC/H.264)

จากตัวอย่างคุณสมบัติข้างต้นนี้ ผู้ใช้งานจะต้องกรอกพารามิเตอร์ เช่น ความละเอียดกล้อง ความเร็วการบิน และประเมินพื้นที่การบินจากระยะเวลาในการบินในการวางแผนด้วยแอปพลิเคชัน ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

4.2 การติดตั้งแอปพลิเคชัน (Application) สำหรับการบินสำรวจบนอุปกรณ์แสดงผล

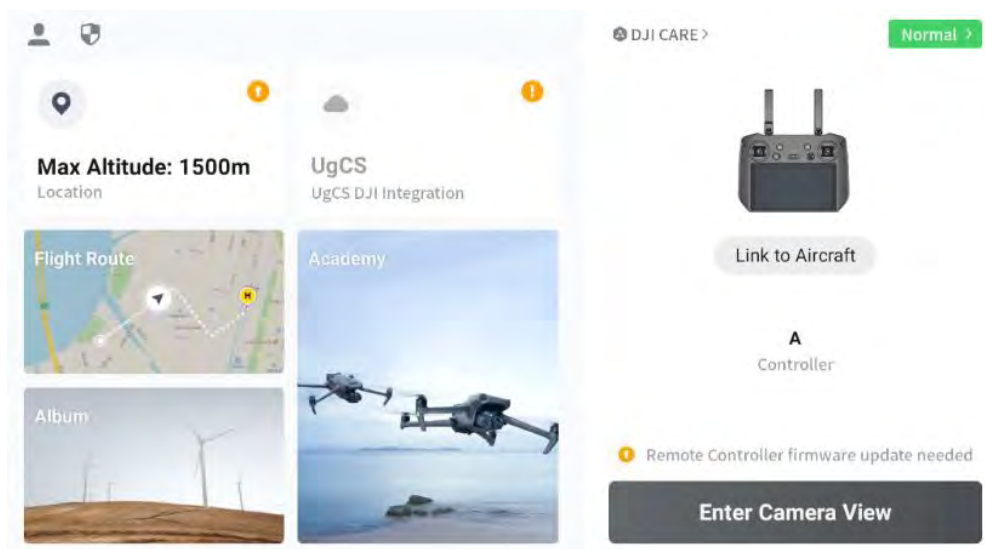
ตัวอย่าง แอปพลิเคชัน (Application) ที่สำคัญของอากาศยานไร้คนขับชนิดปีกหมุน (Multicopter) ยี่ห้อ DJI รุ่น Mavic 3 Enterprise ได้แก่ “DJI Pilot” เพื่อใช้ในการเชื่อมต่ออุปกรณ์ และตั้งค่าการทำงานของอากาศยานไร้คนขับสำหรับวางแผนการบินและการบินถ่ายภาพ



รูปที่ 29 แสดงไอคอนแอปพลิเคชัน (Application) “DJI Pilot”



4.2.1 ตัวอย่าง การใช้งานแอปพลิเคชัน (Application) : DJI Pilot



รูปที่ 30 แสดงหน้าต่างในการใช้งานแอปพลิเคชัน (Application) “DJI Pilot”

4.2.2 การวางแผนการบิน

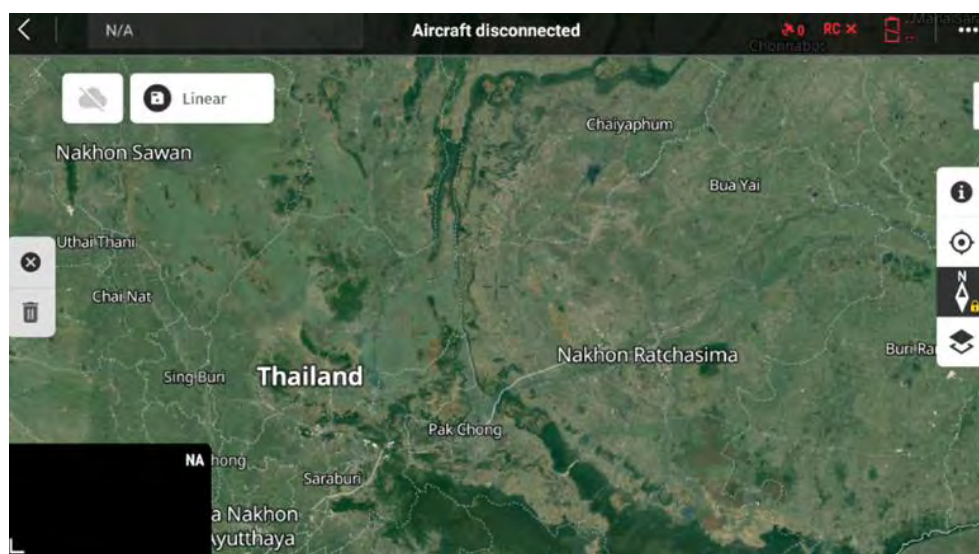
เป็นขั้นตอนที่กำหนดความละเอียดของจุดภาพจากความสูงการบิน พื้นที่การสำรวจ และความถูกต้องเชิงตำแหน่งของตัวลำ (Connect RTK Base Station) โดยมีปัจจัยที่ต้องคำนึงถึงสำหรับการวางแผนการบิน ดังนี้

- ความสูงบิน (Flight Altitude)
- ส่วนซ้อนและส่วนเกยของภาพ (Overlap & Side Lap)
- ขนาดของระยะระหว่างจุดศูนย์กลางจุดภาพบนพื้นดิน (Ground Sample Distance: GSD)
- รูปแบบการบิน



คู่มือการจัดทำแผนที่เชิงวิศวกรรมโดยใช้อากาศยานไร้คนขับ

โครงการข้อมูลจากอากาศยานไร้คนขับเพื่อตรวจติดตามข้อมูลปริมาณจราจรและจัดทำแผนที่เชิงวิศวกรรม



รูปที่ 31 หน้าต่างแสดงแผนที่การทำงานเพื่อเตรียมวางแผนการบิน



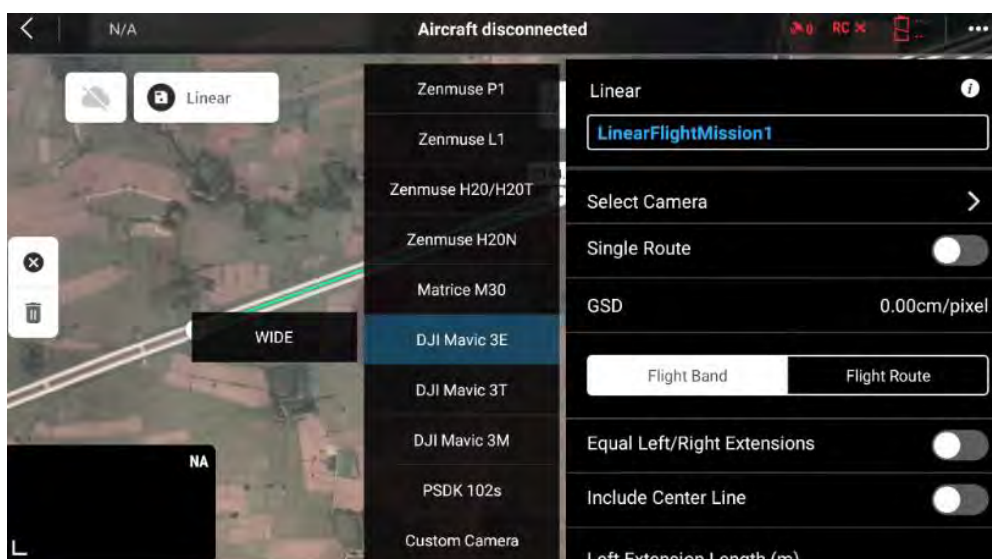
รูปที่ 32 หน้าต่างแสดงสภาพสายทางเพื่อวางแผนการบิน





คู่มือการจัดทำแผนที่เชิงวิศวกรรมโดยใช้อากาศยานไร้คนขับ

โครงการข้อมูลจากอากาศยานไร้คนขับเพื่อตรวจติดตามข้อมูลปริมาณจราจรและการจัดทำแผนที่เชิงวิศวกรรม



รูปที่ 33 หน้าต่างแสดงการตั้งค่ากล้องบันทึกภาพและรูปแบบการบินสำรวจ

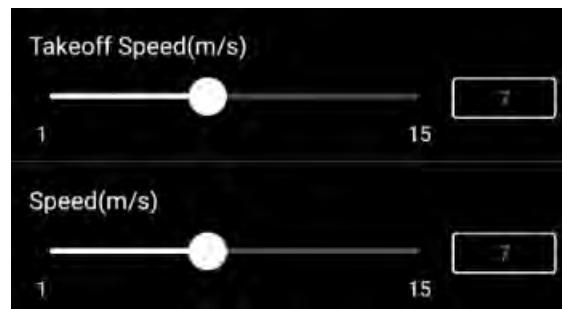


รูปที่ 34 หน้าต่างสำหรับการกำหนดขอบเขตพื้นที่การบินจากแนวถึงกลางทาง

- การตั้งค่าความสูงบิน (Flight Altitude) และความเร็วในการบิน

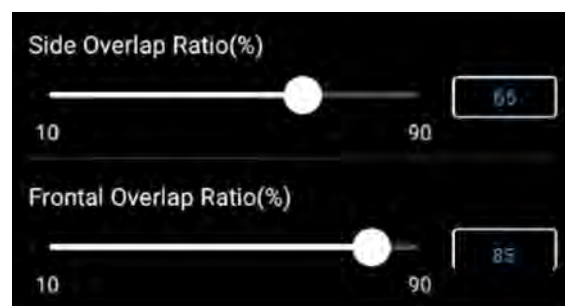


รูปที่ 35 แสดงหน้าต่างสำหรับการตั้งค่าความสูงบิน



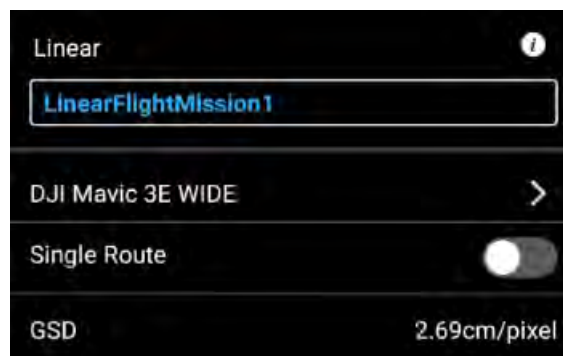
รูปที่ 36 แสดงหน้าต่างสำหรับการตั้งค่าความเร็วในการบิน

- การตั้งค่าส่วนซ้อนและส่วนเกยของภาพ (Overlap & Side Lap)



รูปที่ 37 แสดงหน้าต่างสำหรับการตั้งค่าส่วนซ้อนและส่วนเกยของภาพ
(Overlap & Side Lap)

- การตั้งค่าขนาดความละเอียดจุดภาพ (Ground Sample Distance: GSD)



รูปที่ 38 แสดงหน้าต่างสำหรับการตั้งค่าขนาด (Ground Sample Distance: GSD)



คู่มือการจัดทำแผนที่เชิงวิศวกรรมโดยใช้อากาศยานไร้คนขับ

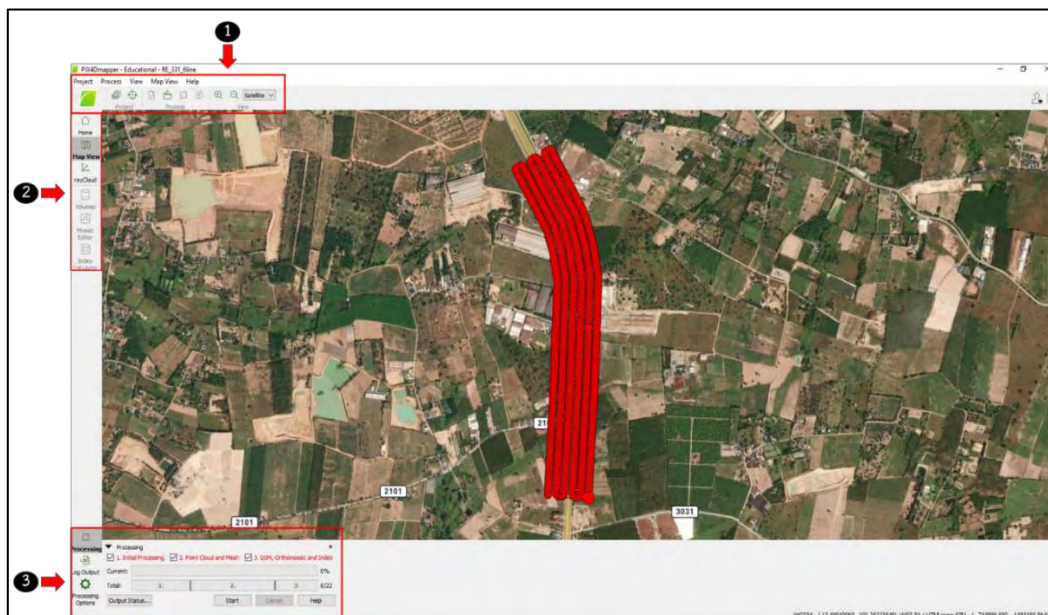
โครงการข้อมูลจากอากาศยานไร้คนขับเพื่อตรวจติดตามข้อมูลปริมาณจราจรและการจัดทำแผนที่เชิงวิศวกรรม



รูปที่ 39 แสดงเส้นทางการบินจากซอฟต์แวร์

5. การประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายโดยใช้โปรแกรม Pix4DMapper

5.1 หลักการและขั้นตอนการประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายโดยใช้โปรแกรม Pix4DMapper



รูปที่ 40 แสดงส่วนประกอบของโปรแกรม Pix4DMapper



ส่วนที่ 1 Toolbar คือ เมนูจัดการไฟล์ประกอบด้วย

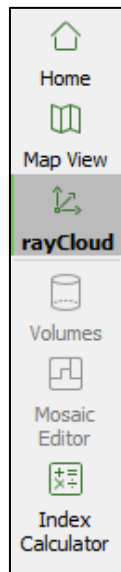
- เมนู Project ได้แก่ การสร้างโปรเจกใหม่ (New Project), การบันทึกโปรเจก (Save Project/Save Project As), การเปิด/ปิดโปรเจกที่ได้บันทึกไว้ (Open Project/Close Project), การแก้ไขข้อมูลภาพถ่ายและข้อมูลข้อมูลค่าพารามิเตอร์การจัดภาพภายนอก (Image Properties Editor), การเลือกระบบพิกัดของผลลัพธ์จากการประมวลผล (Select Output Coordinate System), เครื่องมือจัดการโยงยึดด้วยจุดควบคุมภาพถ่าย (GCP/MTP Manager)
- เมนู Process ได้แก่ การคำนวณปรับแก้ข้อมูลใหม่ (Reoptimize/ Rematch And Optimize), การสร้างรายงานคุณภาพของผลการประมวลผล (Generate Quality Report)
- เมนู View และเมนู Map View ได้แก่ การย่อ/ขยายหน้าจอแสดงแผนที่ (Zoom In/Zoom Out, การแยกประเภทของ Base Map (Satellite/Map)
- เมนู Help ได้แก่ การให้ความช่วยเหลือในการใช้คำสั่งต่าง ๆ และการอธิบายตอบข้อสงสัยจาก Pix4D



รูปที่ 41 แสดงเครื่องมือส่วน Toolbar

ส่วนที่ 2 View Toolbar คือ เมนูจัดการมุมมองของแผนที่ ประกอบด้วย

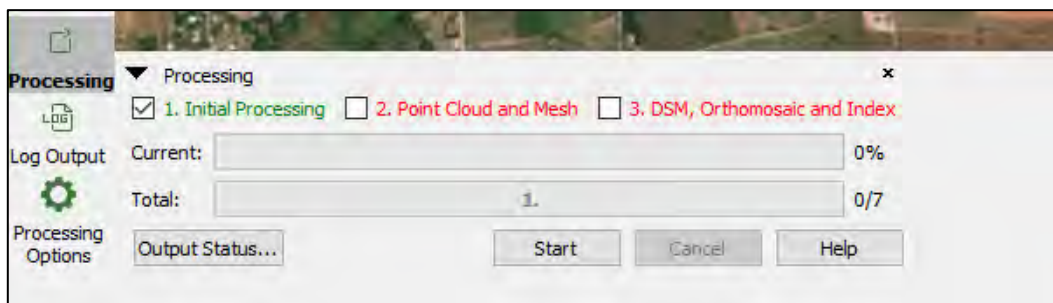
- เมนู Home เป็นเมนูแสดงโปรเจก (Project) ที่สร้างล่าสุด
- เมนู Map View เป็นเมนูแสดงมุมมองของแผนที่
- เมนู Ray Cloud เป็นเมนูที่แสดงผลการประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายและข้อมูลค่าพารามิเตอร์การจัดภาพภายนอกของแต่ละขั้นตอนตามกระบวนการของการประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศ
- เมนู Volumes เป็นเมนูจัดการเกี่ยวกับการคิดพื้นที่และปริมาตร
- เมนู Mosaic Editor เป็นเมนูที่ปรับแก้สีของภาพออร์โธรีคที่ไดจากการผสมสีภาพเข้าด้วยกันโดยวิธีโมเสก (Mosaic)
- เมนู Index Calculator เป็นเมนูคำนวณข้อมูล Index จากการประมวลผล



รูปที่ 42 แสดงเครื่องมือส่วน View Toolbar

ส่วนที่ 3 Processing Toolbar คือ เครื่องมือจัดการการประมวลผลข้อมูล ประกอบด้วย

- เมนู Processing เป็นแถบเมนูที่แสดงการประมวลผล 3 ขั้นตอน ได้แก่ 1. Initial Processing, 2. Point Cloud And Mesh, 3. DSM Orthomosaic And Index, แถบแสดงเปอร์เซ็นต์ของการประมวลผล (Current/Total), คำสั่งเริ่มประมวลผลข้อมูล (Start), คำสั่งยกเลิกการประมวลผลข้อมูล (Cancel)
- เมนู Log Output เป็นแถบเมนูที่แสดงคำสั่งต่าง ๆ ที่ผู้ใช้งานได้เลือกและผลของการเลือกคำสั่ง หรือผลการประมวลผลข้อมูลในรูปแบบไฟล์ Log
- เมนู Processing Options เป็นเมนูเกี่ยวกับการตั้งค่าการประมวลผลและตั้งค่าผลลัพธ์จากการประมวลผลทั้ง 3 ขั้นตอน



รูปที่ 43 แสดงเครื่องมือส่วน Processing Toolbar



ขั้นตอนการประมวลผลภาพถ่าย

ขั้นตอนที่ 1 การประมวลผลเบื้องต้น (Initial Processing) เป็นขั้นตอนการจับคู่ภาพและสร้างจุดเชื่อม (Tie point) ประกอบด้วยการประมวลผลย่อย 2 ขั้นตอน ได้แก่ การจับคู่ภาพและสร้างจุดเชื่อมและการโยงยึดค่าพิกัดตำแหน่งด้วยจุดควบคุมภาพถ่าย

- การจับคู่ภาพและสร้างจุดเชื่อม เริ่มต้นโดยการคำนวณค่าพิกัดของภาพถ่าย การจับคู่ภาพที่มีส่วนซ้อนทับกัน และสกัดหาจุดข้อมูลสำคัญ (Key Point) ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญและส่งผลกระทบต่อผลการประมวลผลในขั้นตอนถัดไป ซึ่งมีข้อควรคำนึง 2 ข้อดังนี้
 - กำหนดขนาดภาพที่จะสกัดหาข้อมูลสำคัญเป็นขนาดเต็มของภาพทั้งภาพ
 - กำหนดจำนวนข้อมูลจุดสำคัญ ไม่น้อยกว่า 10,000 จุด จำนวนของจุดสำคัญ
- การโยงยึดค่าพิกัดตำแหน่งด้วยจุดควบคุมภาพถ่าย เป็นขั้นตอนการปรับแก้ข้อมูลเชิงตำแหน่ง เพื่อให้ได้ข้อมูลผลลัพธ์ที่มีความแม่นยำมากขึ้น โดยเป็นขั้นตอนหลังจากการประมวลผลการจับคู่ภาพ โดยการอ้างอิงค่าพิกัดจากจุดควบคุมภาพถ่ายและนำไปคำนวณค่าตำแหน่งของข้อมูลใหม่ ซึ่งมีข้อควรคำนึง ของขั้นตอนนี้ ได้แก่
 - ค่าความถูกต้องทางราบของจุดควบคุมภาพถ่าย กำหนดให้เท่ากับ ค่าความถูกต้องที่ได้จากกระบวนการรังวัดจุดควบคุมภาพถ่าย
 - ค่าความถูกต้องทางตั้งของจุดควบคุมภาพถ่าย กำหนดให้เท่ากับ ค่าความถูกต้องที่ได้จากกระบวนการรังวัดจุดควบคุมภาพถ่าย
 - ค่าความคลาดเคลื่อนของการคัดเลือกตำแหน่ง GCP ในภาพ (Reprojection Error) ไม่เกิน 0.3 พิกเซล

ขั้นตอนที่ 2 การสร้างพอยต์คลาวด์และแบบจำลอง 3 มิติ มีขั้นตอนการประมวลผลย่อย 2 ส่วน ได้แก่ การสร้างข้อมูลพอยต์คลาวด์และการสร้างแบบจำลองเมช

- การสร้างข้อมูลพอยต์คลาวด์เป็นการสร้างจุดพิกัดสามมิติที่มีจำนวนมาก เพื่อให้เห็นรายละเอียดข้อมูลจากการประมวลผลด้วยภาพถ่าย มีคุณสมบัติ คือสามารถใช้ในการวัดระยะ 3 มิติได้ พอยต์คลาวด์ที่สร้างขึ้นจะถูกแบ่งกลุ่มออกเป็นกลุ่มต่าง ๆ เช่น พื้นผิวดิน พืชพรรณ วัตถุที่มนุษย์สร้าง อาคาร เป็นต้น ทั้งนี้ข้อมูลพอยต์คลาวด์จะถูกใช้ในการสร้างแบบจำลองเมช และแบบจำลองความสูงภูมิประเทศต่อไป



คู่มือการจัดทำแผนที่เชิงวิศวกรรมโดยใช้อากาศยานไร้คนขับ

โครงการข้อมูลจากอากาศยานไร้คนขับเพื่อตรวจติดตามข้อมูลปริมาณจราจรและการจัดทำแผนที่เชิงวิศวกรรม

- การสร้างแบบจำลองเมช (Mesh) เป็นขั้นตอนการสร้างแบบจำลองพื้นผิวที่มีโครงสร้างแบบเวกเตอร์ ใช้ในการแสดงรูปร่างของวัตถุ ซึ่งรูปร่างของวัตถุที่แสดงจะสร้างมาจากพอยต์คลาวด์ หากพอยต์คลาวด์มีความหนาแน่นไม่เพียงพอ ก็จะทำให้แบบจำลองเมชมีรายละเอียดที่น้อยลง โดยทั่วไปในการบินสำรวจจัดทำแผนที่ด้วยอากาศยานไร้คนขับไม่นิยมส่งออกแบบจำลองเมช เนื่องจากเป็นภาพถ่ายแนวตั้ง จึงทำให้สูญเสียรายละเอียดด้านข้างไป

ขั้นตอนที่ 3 การสร้างแบบจำลองระดับสูงเชิงเลขและภาพออร์โธจริง เป็นขั้นตอนสุดท้ายของการประมวลผล ประกอบด้วยขั้นตอนย่อย 2 ส่วนได้แก่ การสร้างข้อมูลออร์โธจริงและการสร้างแบบจำลองระดับสูงภูมิประเทศ

- การสร้างข้อมูลออร์โธจริง เป็นการสร้างข้อมูลภาพมุมสูงที่มีขนาดจุดภาพเท่ากันทั้งหมด มาตราส่วนของวัตถุที่ปรากฏในภาพจะเท่ากับบนพื้นโลกจริง เนื่องจากการถ่ายภาพด้วยอากาศยานไร้คนขับที่วัตถุบนพื้นผิวโลกมีค่าระดับความสูงที่แตกต่างกันทำให้เกิดผลกระทบต่อความละเอียดจุดภาพและเกิดความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่ง จึงต้องมีการปรับแก้ความผิดเพี้ยนทางลักษณะเลขาคณิตของวัตถุทั้งหมด
- การสร้างแบบจำลองระดับสูงภูมิประเทศ เป็นการประมวลผลสร้างแบบจำลองระดับของภูมิประเทศเป็นข้อมูลแบบจำลอง 2 มิติ ที่เก็บข้อมูลพิกัดตำแหน่งทางราบและทางตั้ง สามารถนำไปใช้สร้างข้อมูลเส้นชั้นความสูงต่อไปได้

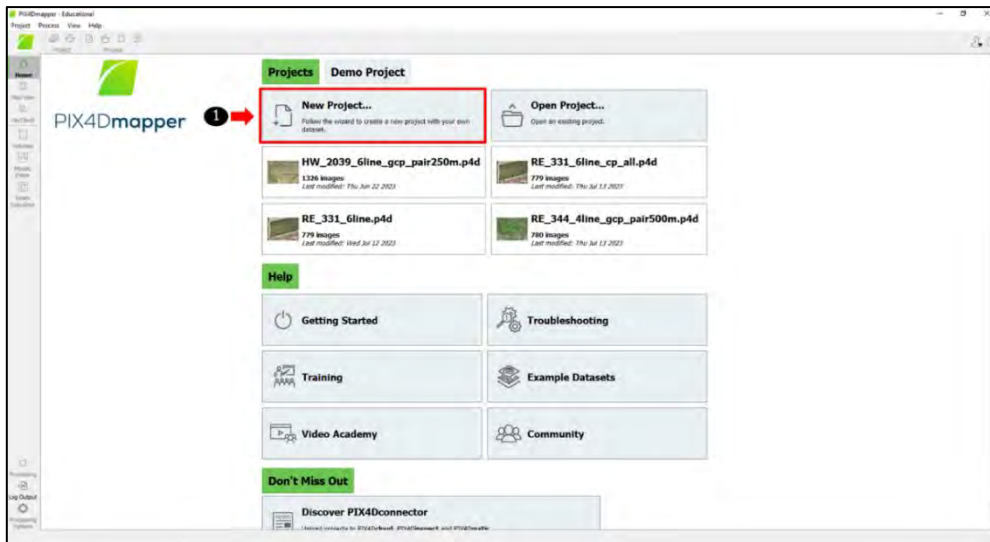


รูปที่ 44 แผนผังแสดงขั้นตอนการประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายโดยโปรแกรม Pix4DMapper



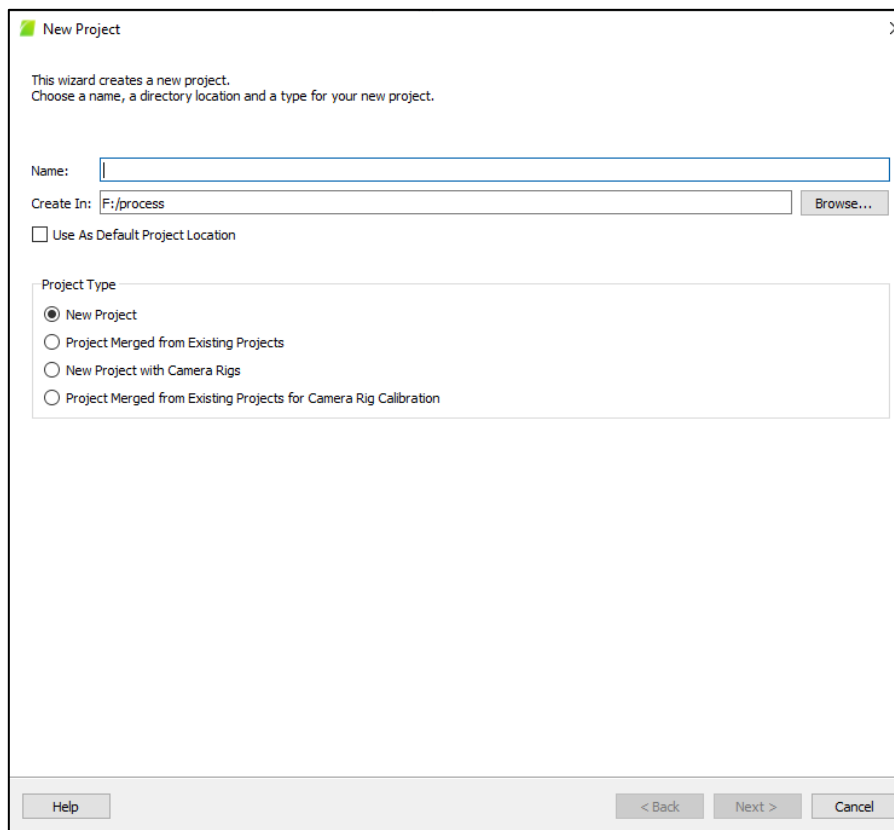
5.2 ขั้นตอนการประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายโดยใช้โปรแกรม Pix4DMapper

- สร้าง Project และเลือก New Project ตามข้อ 1



รูปที่ 45 แสดงการสร้าง Project

- ตั้งชื่อ Project ในช่อง Name: และเลือก โฟลเดอร์ ที่บันทึก Project ในช่อง Create In: โดยคลิกปุ่ม Browse หา โฟลเดอร์ ที่ต้องการจัดเก็บจากนั้นคลิกปุ่ม Next>



รูปที่ 46 แสดงการตั้งชื่อ Project และเลือก โฟลเดอร์ ที่บันทึก Project

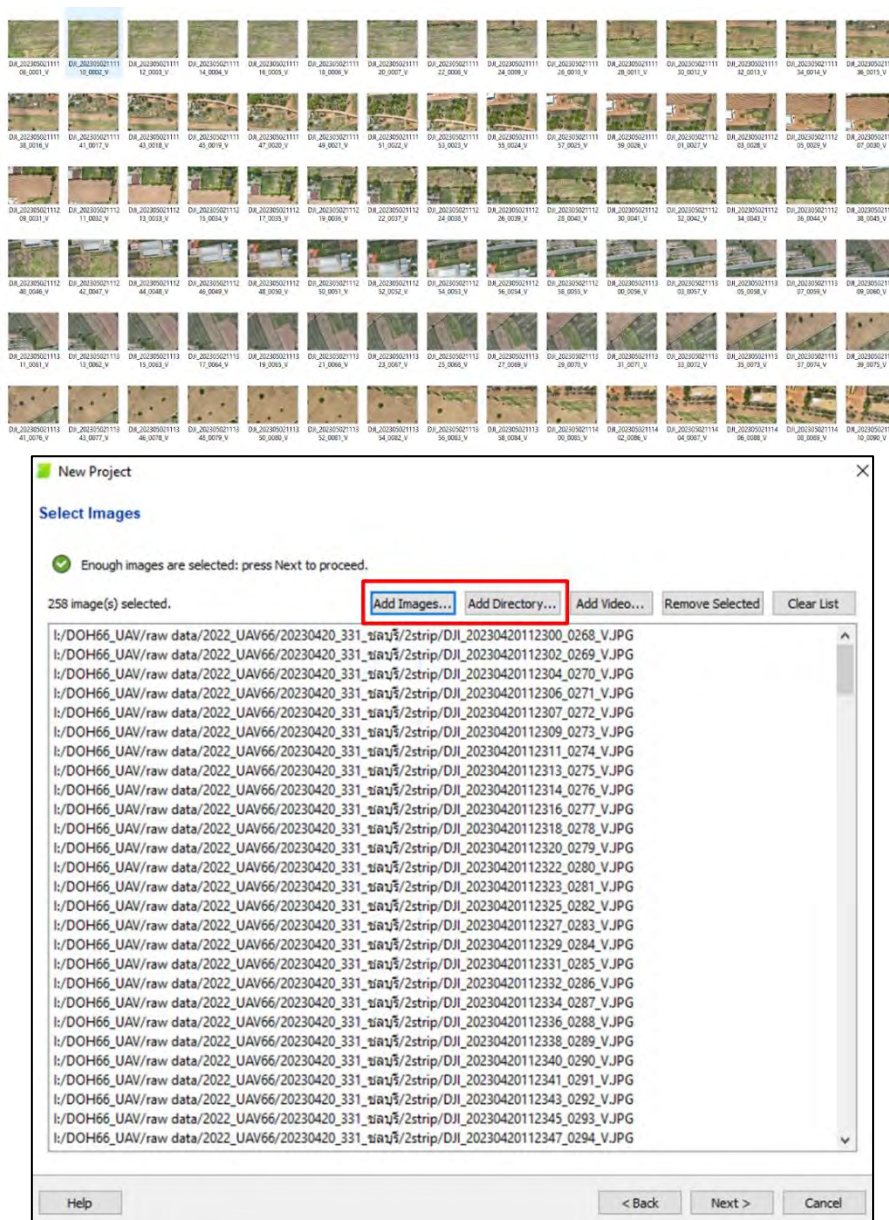


คู่มือการจัดทำแผนที่เชิงวิศวกรรมโดยใช้อากาศยานไร้คนขับ

โครงการข้อมูลจากอากาศยานไร้คนขับเพื่อตรวจติดตามข้อมูลปริมาณจราจรและการจัดทำแผนที่เชิงวิศวกรรม

5.2.1 นำเข้า (Import) ภาพถ่าย

- นำเข้า (Import) ภาพถ่ายโดยคลิกปุ่ม Add Images... หรือ Add Directories...จากนั้นคลิกปุ่ม Next>

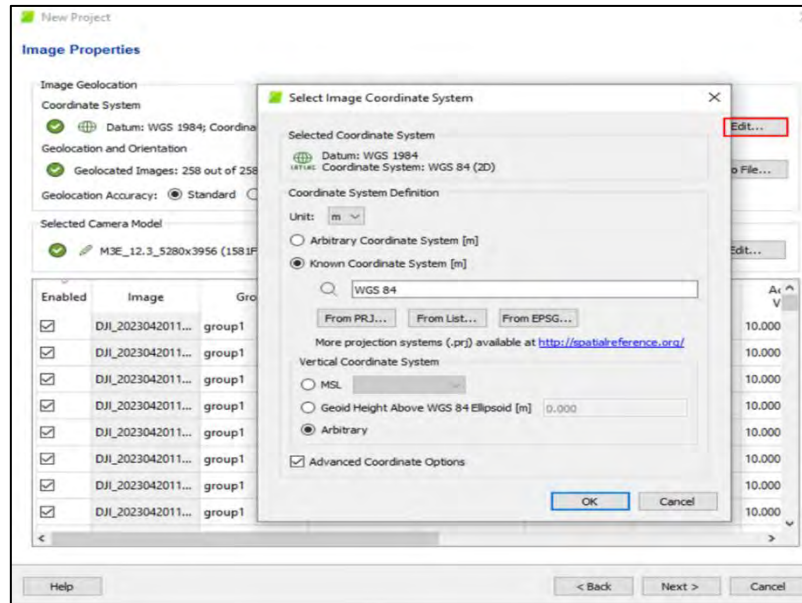


รูปที่ 47 การนำเข้าภาพถ่าย



5.2.2 การกำหนดระบบพิกัด จากตัวอย่างใช้ค่าพิกัดในระบบ UTM WGS84

- ให้เลือก Coordinate System เป็น WGS84 โดยคลิกปุ่ม Edit --> Coordinate System Definition : เลือก Known Coordinate System(m) -> Vertical Coordinate System : เลือก Arbitrary --> คลิกที่ปุ่ม OK



รูปที่ 48 แสดงการเลือก Coordinate System

5.2.3 เมื่อนำเข้า (Import) ภาพถ่ายและข้อมูลค่าพารามิเตอร์การจัดภาพภายนอก (Exterior Orientation)

- เมื่อนำเข้า (Import) ภาพถ่ายและข้อมูลค่าพารามิเตอร์การจัดภาพภายนอก (Exterior Orientation) ซึ่งประกอบด้วยตำแหน่ง (Position) และการเอียง (Orientation) ของภาพถ่าย เข้ามาเสร็จเรียบร้อยแล้ว ทำการตรวจสอบข้อมูลที่นำเข้า จากนั้นคลิกปุ่ม Next>



คู่มือการจัดทำแผนที่เชิงวิศวกรรมโดยใช้อากาศยานไร้คนขับ

โครงการข้อมูลจากอากาศยานไร้คนขับเพื่อตรวจติดตามข้อมูลปริมาณจราจรและการจัดทำแผนที่เชิงวิศวกรรม

Enabled	Image	Group	Latitude [deg]	Longitude [deg]	Altitude [m]	Accuracy Horiz [m]	Accuracy Vert [m]
☒	DJI_2023042011...	group1	13.46246389	101.28430592	109.391	5.000	10.000
☒	DJI_2023042011...	group1	13.46258731	101.28429772	109.571	5.000	10.000
☒	DJI_2023042011...	group1	13.46270364	101.28430436	109.578	5.000	10.000
☒	DJI_2023042011...	group1	13.46283267	101.28431206	109.575	5.000	10.000
☒	DJI_2023042011...	group1	13.46296183	101.28431897	109.454	5.000	10.000
☒	DJI_2023042011...	group1	13.46308392	101.28432508	109.447	5.000	10.000
☒	DJI_2023042011...	group1	13.46322014	101.28433314	109.479	5.000	10.000
☒	DJI_2023042011...	group1	13.46334889	101.28434078	109.423	5.000	10.000

รูปที่ 49 แสดงผลหลังการนำเข้า (Import) ภาพถ่ายและข้อมูลค่าพารามิเตอร์
การจัดภาพภายนอก (Exterior Orientation)



- ตรวจสอบและเลือกระบบพิกัดที่ต้องการ จากนั้นคลิกปุ่ม Next

New Project

Select Output Coordinate System

Selected Coordinate System

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

Output/GCP Coordinate System

Unit: m

☐ Arbitrary Coordinate System [m]
☒ Auto Detected: WGS 84 / UTM zone 47N
☐ Known Coordinate System [m]

Search Coordinate System

Vertical Coordinate System

☐ MSL Expressed in metre above WGS 84
☐ Geoid Height Above WGS 84 Ellipsoid [m] 0.000
☒ Arbitrary

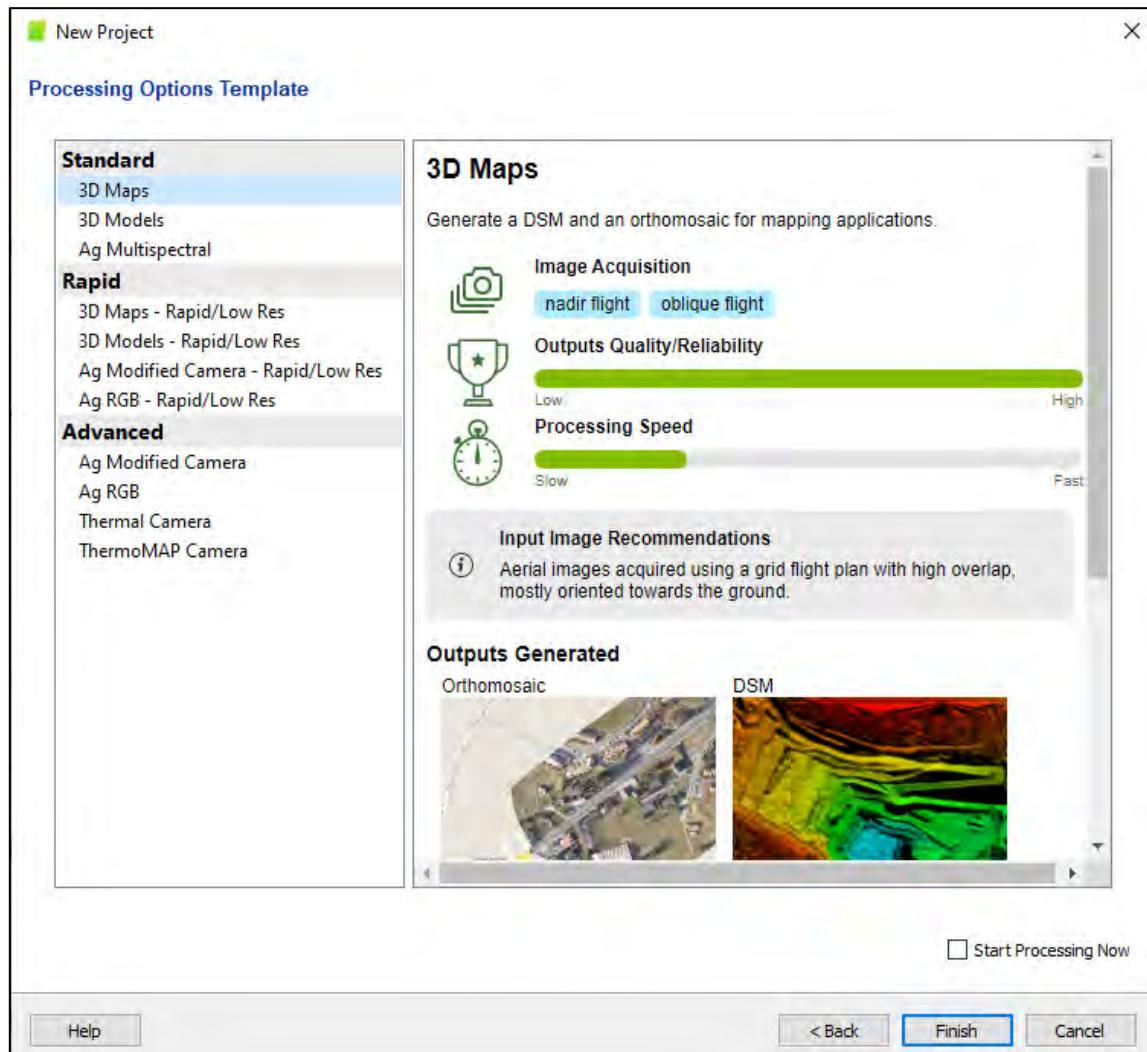
☒ Advanced Coordinate Options

Help < Back Next > Cancel

รูปที่ 50 แสดงการตรวจสอบและเลือกระบบพิกัดที่ต้องการของผลลัพธ์



5.2.4 ทำการเลือกผลลัพธ์ (Product Output) ที่ต้องการ



รูปที่ 51 แสดงการเลือกผลลัพธ์ (Product Output) แบบ 3D Map



คู่มือการจัดทำแผนที่เชิงวิศวกรรมโดยใช้อากาศยานไร้คนขับ

โครงการข้อมูลจากอากาศยานไร้คนขับเพื่อตรวจติดตามข้อมูลปริมาณจราจรและการจัดทำแผนที่เชิงวิศวกรรม

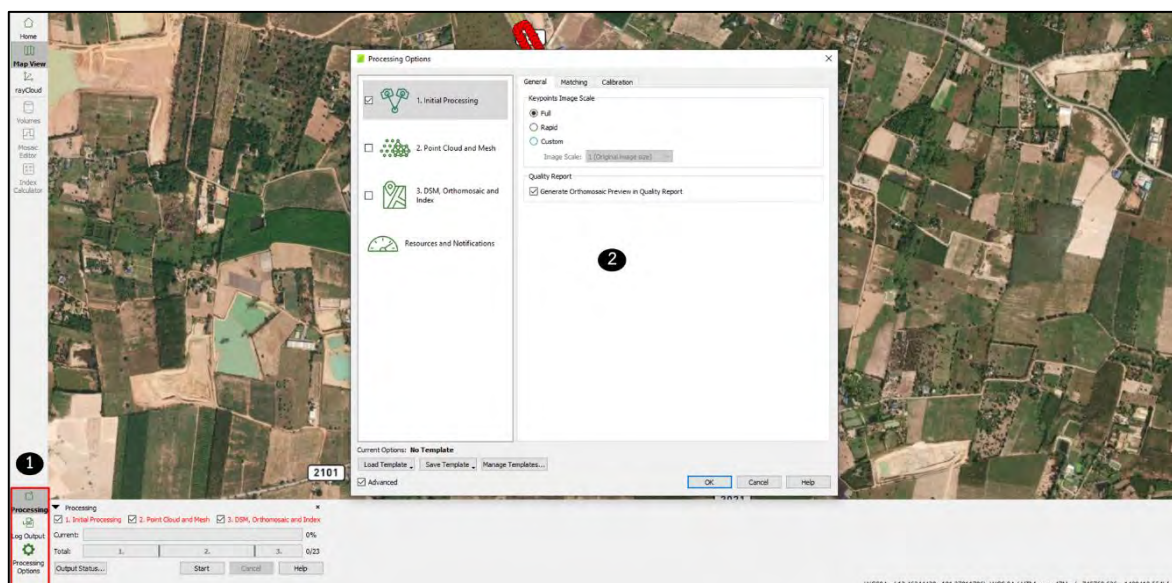


รูปที่ 52 แสดงหน้าจอหลังนำเข้า (Import)

ภาพถ่ายและข้อมูลค่าพารามิเตอร์การจัดภาพภายนอก (Exterior Orientation)

5.2.5 การประมวลผล Pix4DMapper ขั้นตอน Initial Processing (Step1) มีขั้นตอน ดังนี้

- เลือกคำสั่ง Processing Options ตามข้อ 1 จากนั้นทำเครื่องหมายถูกที่คำสั่ง
1. Initial Processing ตามข้อ 2 ทำการตั้งค่าตามที่ผู้ใช้งานต้องการ
และคลิกปุ่ม OK



รูปที่ 53 แสดงการเลือกคำสั่ง Initial Processing



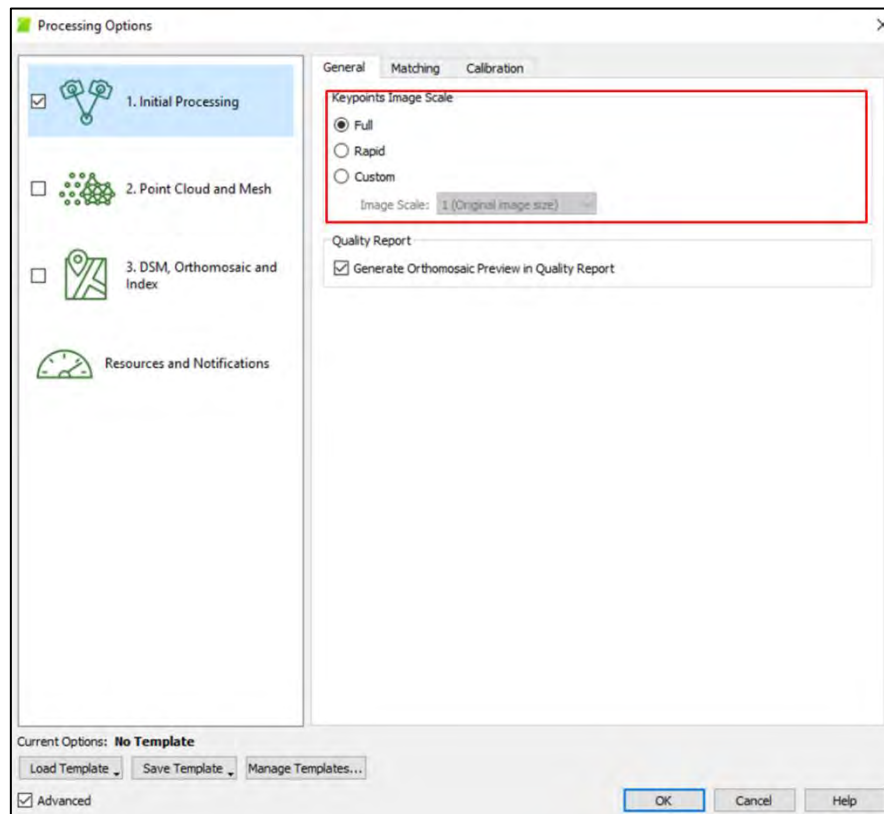


อธิบายการตั้งค่า General ในขั้นตอน Initial Processing ดังนี้

Key Points Image Scale ผู้ใช้งานสามารถเลือกได้ 3 รูปแบบ ได้แก่

- Full : ให้ความถูกต้องสูง อาจใช้เวลาในการประมวลผลมาก
- Rapid : ประมวลผลอย่างรวดเร็ว ความถูกต้องน้อยกว่าแบบแรก
- Custom : ประมวลผลโดยกำหนด Image Scale ความถูกต้องมากขึ้นอยู่

การลดขนาดของ Image Scale



รูปที่ 54 แสดงตัวอย่างการตั้งค่า General ในขั้นตอน Initial Processing

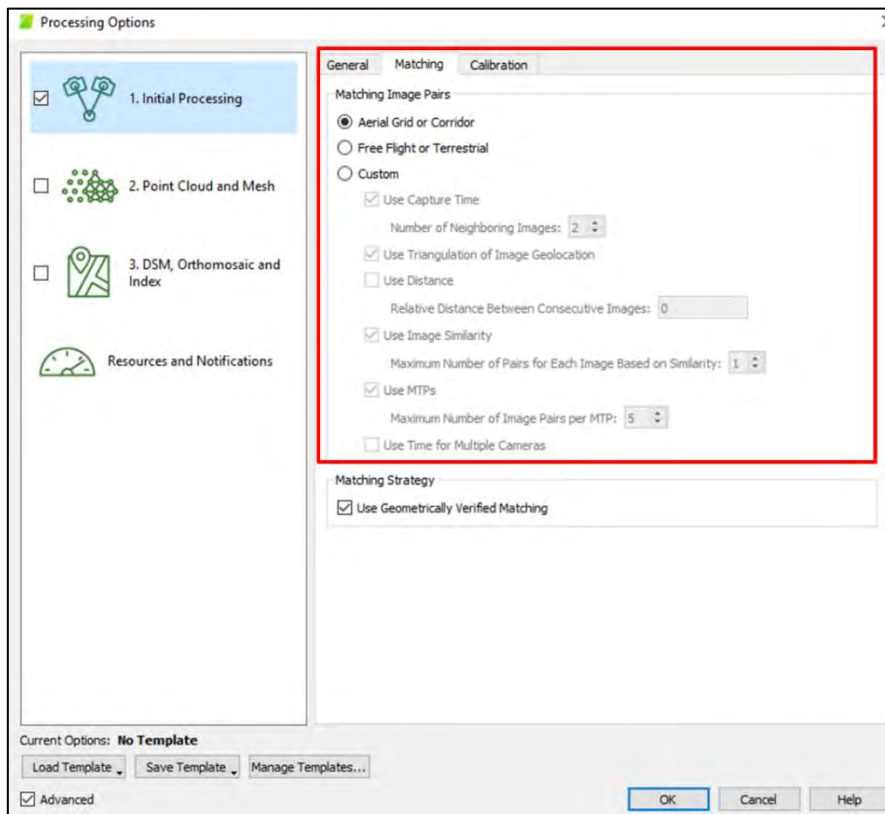


คู่มือการจัดทำแผนที่เชิงวิศวกรรมโดยใช้อากาศยานไร้คนขับ

โครงการข้อมูลจากอากาศยานไร้คนขับเพื่อตรวจติดตามข้อมูลปริมาณจราจรและการจัดทำแผนที่เชิงวิศวกรรม

อธิบายการตั้งค่า Matching ในขั้นตอน Initial Processing ดังนี้

- Matching Image Pairs ผู้ใช้งานสามารถเลือกได้ 3 รูปแบบ แต่ในกรณีการบินสำรวจเพื่อจัดทำแผนที่เป็นการบินตามแนวกบินที่กำหนด และมีการตั้งค่าความสูงบิน ส่วนซ้อนและส่วนเกย
- ทำให้ต้องเลือกแบบ Aerial Grid And Corridor



รูปที่ 55 แสดงตัวอย่างการตั้งค่า Matching ในขั้นตอน Initial Processing

อธิบายการตั้งค่า Calibration ในขั้นตอน Initial Processing ดังนี้

- Targeted Number Of Key Points คือ การกำหนด Key Point สำหรับสร้างจุดโยงยึด (Tie Point) และพอยต์คลาวด์ (Point Cloud)
- Calibration คือ การกำหนดค่า Camera Internal และ External Parameter ให้เหมาะสม ประกอบด้วย
 - Calibration Method ได้แก่ Standard (Default), Alternative (สำหรับภาพที่มีรายละเอียดภาพต่ำ เช่น พื้นราบ), Accurate Geolocation And Orientation (สำหรับภาพที่มีรายละเอียดภาพและความถูกต้องสูง)

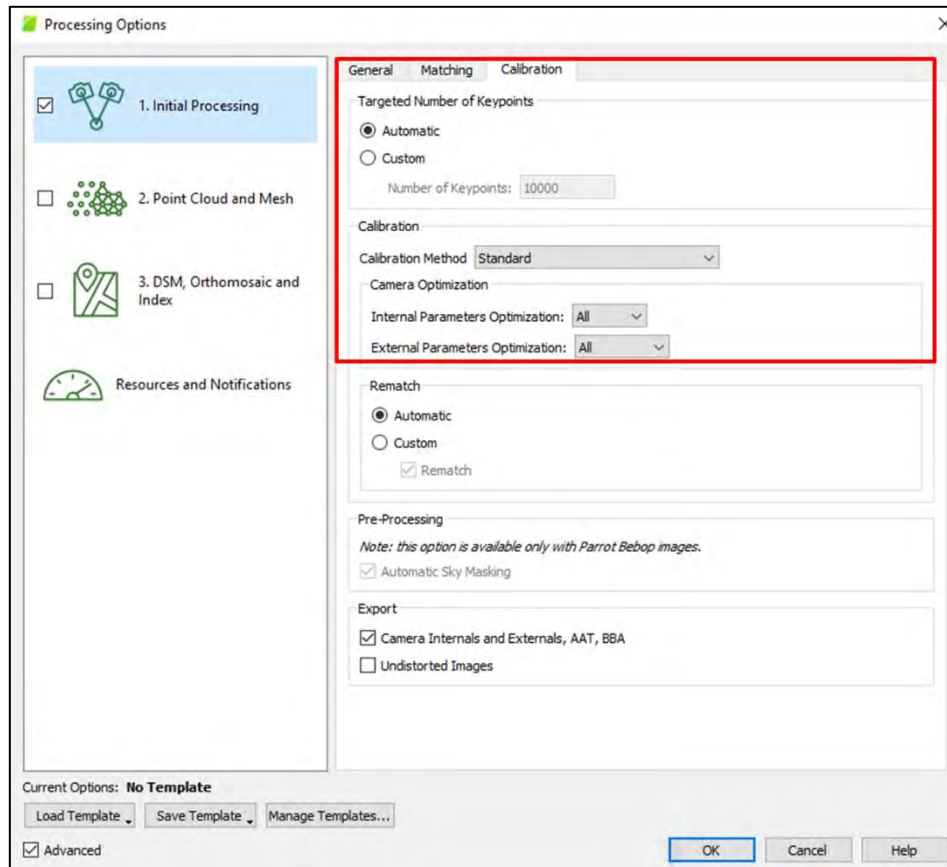




คู่มือการจัดทำแผนที่เชิงวิศวกรรมโดยใช้อากาศยานไร้คนขับ

โครงการข้อมูลจากอากาศยานไร้คนขับเพื่อตรวจติดตามข้อมูลปริมาณจราจรและการจัดทำแผนที่เชิงวิศวกรรม

- Camera Optimization ได้แก่ Internal Parameters (ขึ้นอยู่กับคุณภาพของกล้องที่ใช้ ปกติเลือก All (Default)), External Parameters (ปกติเลือก All (Default))



รูปที่ 56 แสดงตัวอย่างการตั้งค่า Calibration ในขั้นตอน Initial Processing



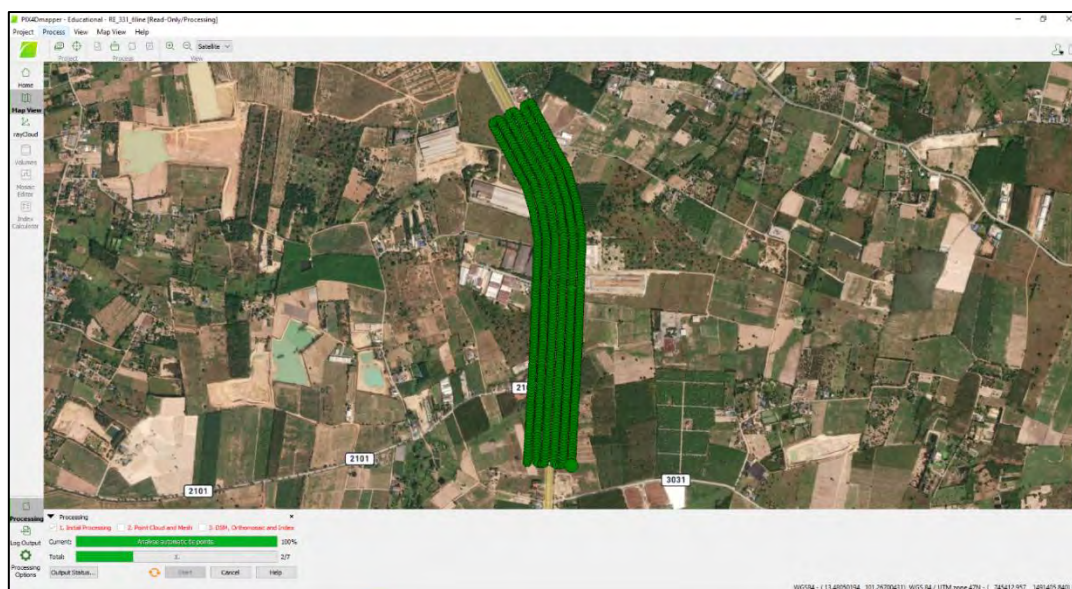
คู่มือการจัดทำแผนที่เชิงวิศวกรรมโดยใช้อากาศยานไร้คนขับ

โครงการข้อมูลจากอากาศยานไร้คนขับเพื่อตรวจติดตามข้อมูลปริมาณจราจรและการจัดทำแผนที่เชิงวิศวกรรม

- หลังจากตั้งค่าแล้วเสร็จ สั่งให้โปรแกรมเริ่มการประมวลผลในขั้นตอน Initial Processing (Step 1) โดยให้เลือกเฉพาะ 1.Initial Processing ในด้านซ้ายล่างของหน้าจอ และทำการยกเลิกการประมวลผล 2.Point Cloud And Mesh และ 3.DSM Orthomosaic And Index ดังรูป เมื่อเลือกแล้วให้คลิกปุ่ม Start ด้านล่าง



รูปที่ 57 แสดงการประมวลผลขั้นตอน Initial Processing

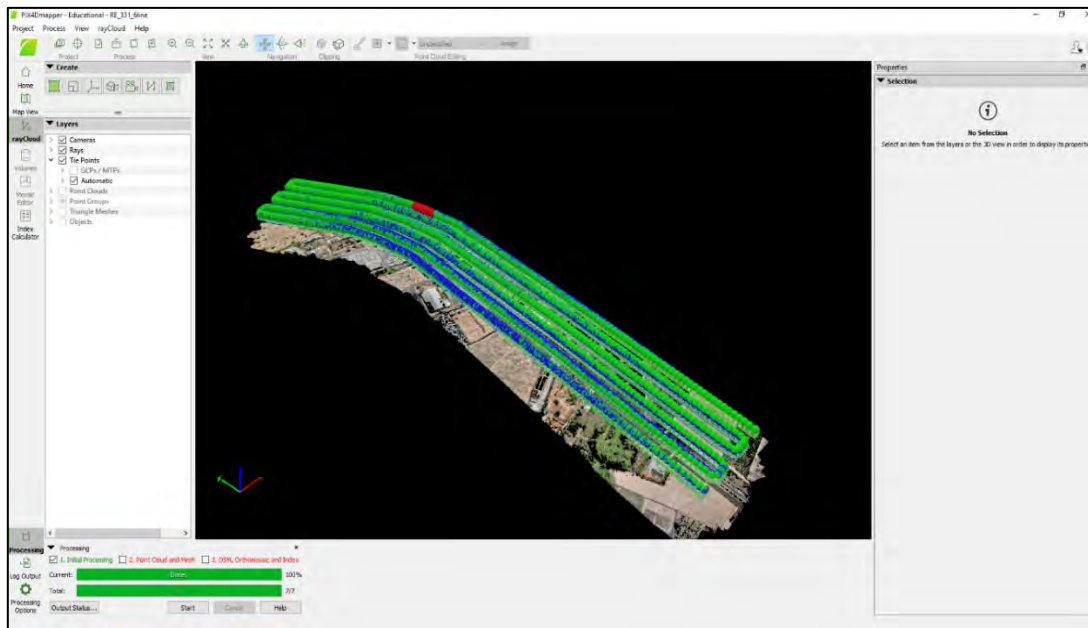


รูปที่ 58 แสดงผลการประมวลผลขั้นตอน Initial Processing



คู่มือการจัดทำแผนที่เชิงวิศวกรรมโดยใช้อากาศยานไร้คนขับ

โครงการข้อมูลจากอากาศยานไร้คนขับเพื่อตรวจติดตามข้อมูลปริมาณจราจรและการจัดทำแผนที่เชิงวิศวกรรม



รูปที่ 59 แสดงผลการประมวลผลขั้นตอน Initial Processing

- หลังการประมวลผลขั้นตอน Initial Processing แล้วเสร็จ หน้าจอจะปรากฏรายงานผลการประมวลผลข้อมูล (Quality Report) โดยอัตโนมัติ พร้อมทั้งแสดงผลการประมวลผลภาพถ่าย ให้ทำการปิดหน้าต่างไป เพื่อทำการโยกย้ายค่าพิกัดตำแหน่งด้วยจุดควบคุมภาพถ่าย (Ground Control Point: GCP)





คู่มือการจัดทำแผนที่เชิงวิศวกรรมโดยใช้อากาศยานไร้คนขับ

โครงการข้อมูลจากอากาศยานไร้คนขับเพื่อตรวจติดตามข้อมูลปริมาณจราจรและการจัดทำแผนที่เชิงวิศวกรรม

Quality Report

Generated with PIX4Dmapper version 4.8.4

Important: Click on the different icons for:

- Help to analyze the results in the Quality Report
- Additional information about the sections

Click [here](#) for additional tips to analyze the Quality Report

Summary

Project	RE_331_gline
Processed	2023-07-15 14:05:10
Camera Model Name(s)	MBE_12.3_5280x3956 (1581F5FH822A7002095U) (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	2.59 cm / 1.02 in
Area Covered	0.723 km ² / 72.2758 ha / 0.28 sq. mi. / 178.6897 acres
Time for Initial Processing (without report)	46m 23s

Quality Check

Images	median of 74099 keypoints per image	✓
Dataset	772 out of 779 images calibrated (99%), all images enabled	✓
Camera Optimization	0.82% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	✓
Matching	median of 27019.3 matches per calibrated image	✓
Georeferencing	yes, no 3D GCP	⚠

Preview

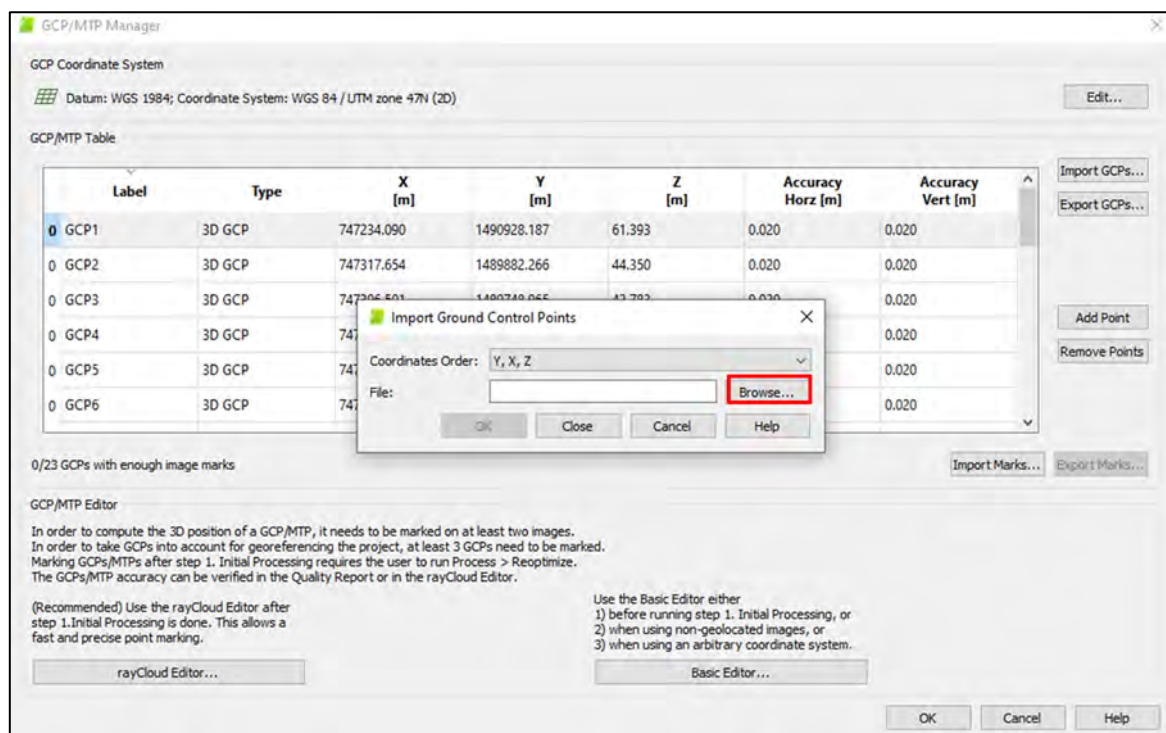
รูปที่ 60 แสดงรายงานผลการประมวลผลข้อมูล (Quality Report)
ในขั้นตอน Initial Processing





5.2.6 การโยงยึดค่าพิกัดตำแหน่งด้วยจุดควบคุมภาพถ่าย (Ground Control Point, GCP) โดยเครื่องมือ GCP Manager มีขั้นตอนดังนี้

- นำเข้าข้อมูลจุดควบคุมภาพถ่าย (Ground Control Point: GCP) โดยเลือกไปที่เมนู Project --> GCP/MTP Manager... เพื่อเปิดหน้าต่างที่ใช้สำหรับนำเข้าข้อมูล ทำการกำหนดค่าพิกัดของจุดควบคุมภาพถ่าย (Ground Control Point: GCP) ที่จะนำมาใช้ โดยการคลิกปุ่ม Edit โปรแกรมจะกำหนดค่าตั้งต้นให้เป็นระบบพิกัดที่กำหนดไว้ หากจุดควบคุมภาพถ่าย (Ground Control Point: GCP) ที่นำเข้าไม่ได้ใช้ระบบพิกัดเดียวกันให้ทำการเปลี่ยนให้ถูกต้องเมื่อกำหนดเสร็จทำการคลิกปุ่ม OK

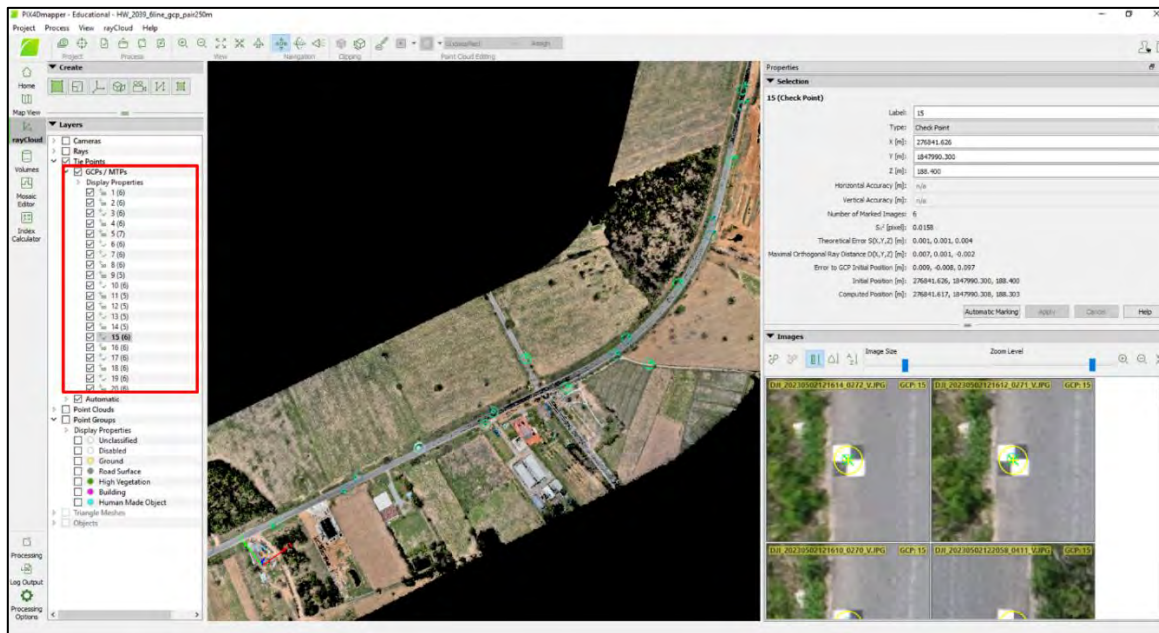


รูปที่ 61 แสดงการนำเข้าจุดควบคุมภาพถ่าย (Ground Control Point: GCP)



คู่มือการจัดทำแผนที่เชิงวิศวกรรมโดยใช้อากาศยานไร้คนขับ

โครงการข้อมูลจากอากาศยานไร้คนขับเพื่อตรวจติดตามข้อมูลปริมาณจราจรและการจัดทำแผนที่เชิงวิศวกรรม



รูปที่ 62 แสดงจุดควบคุมภาพถ่าย (Ground Control Point: GCP) ที่นำเข้า

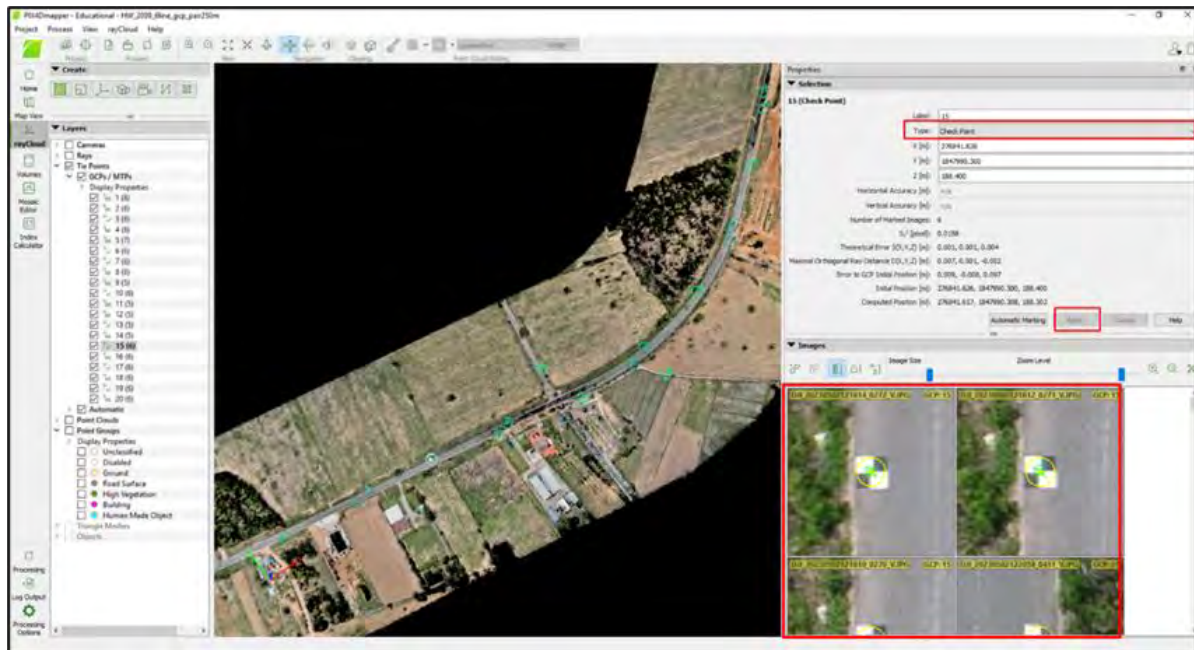
- ทำการโยงยึดค่าพิกัดให้ตรงกับข้อมูลหมายเลขของจุดควบคุมภาพถ่าย (Ground Control Point: GCP) ทำได้โดยคลิกซ้ายในจุดที่ต้องการโยงยึดค่าพิกัดในแต่ละภาพ เมื่อคลิกแล้ว จะมีวงกลมสีเหลืองเพื่อแสดงว่าได้ทำโยงยึดค่าพิกัดแล้ว
- จากนั้นทำการโยงยึดค่าพิกัดจนครบทุกภาพ แล้วคลิกปุ่ม Apply เพื่อทำการบันทึกการโยงยึด และเลือกจุดควบคุมภาพถ่าย (Ground Control Point: GCP) จุดต่อไป ทำการโยงยึดค่าพิกัดจนครบทุกจุด





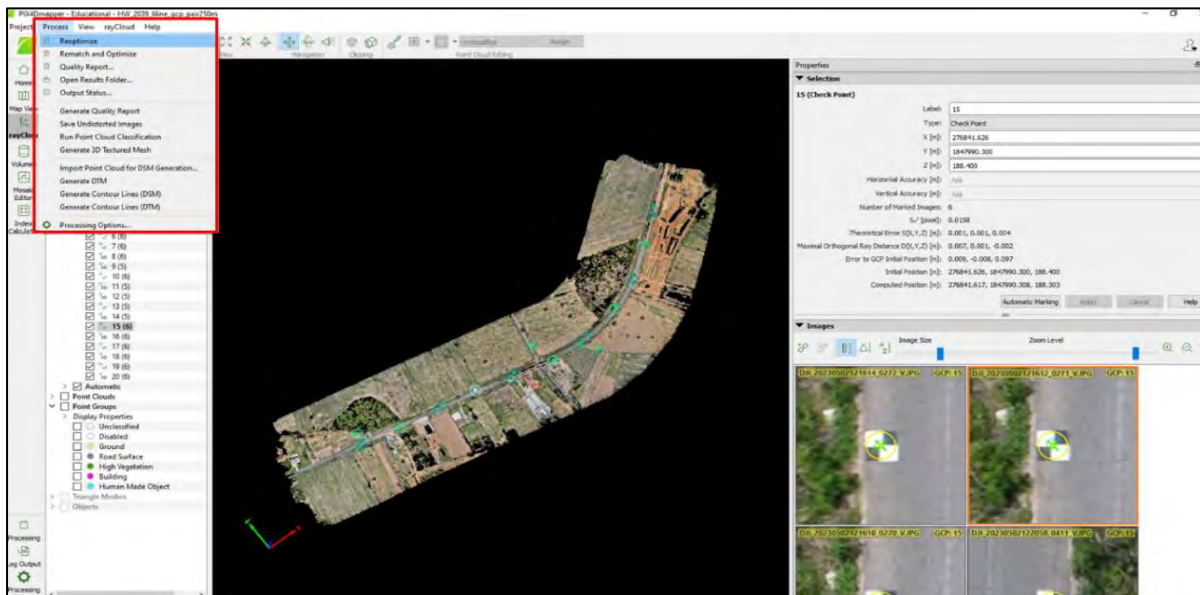
คู่มือการจัดทำแผนที่เชิงวิศวกรรมโดยใช้อากาศยานไร้คนขับ

โครงการข้อมูลจากอากาศยานไร้คนขับเพื่อตรวจติดตามข้อมูลปริมาณจราจรและการจัดทำแผนที่เชิงวิศวกรรม

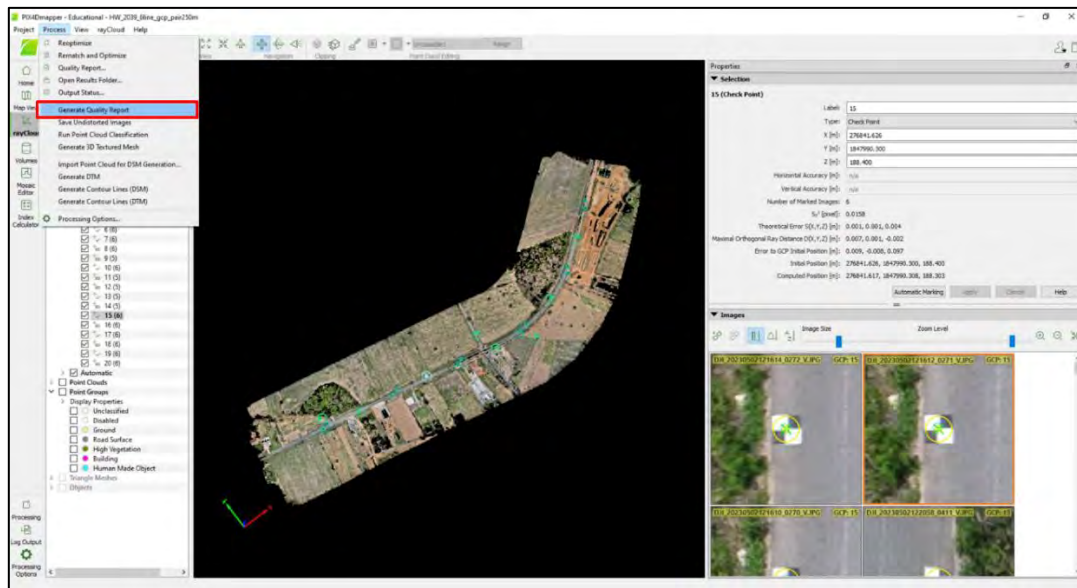


รูปที่ 63 แสดงการโยงยึดค่าพิกัดด้วยจุดควบคุมภาพถ่าย (Ground Control Point: GCP)

- เมื่อทำการโยงยึดค่าพิกัดเสร็จสิ้น ให้ทำการคำนวณปรับแก้ข้อมูลจุดโยงยึด (Tie Point) ให้ถูกต้องมากยิ่งขึ้น โดยเลือกเมนู Process --> Reoptimize เมื่อโปรแกรมทำการประมวลผลเสร็จสิ้น (สังเกตที่แถบด้านล่างซ้ายมือของหน้าต่างหลัก) ให้ทำการสร้างรายงานผลการประมวลผลข้อมูล (Quality Report) ขึ้นมาใหม่เพื่อทำการตรวจสอบผลการคำนวณโดยเลือกเมนู Process --> Generate Quality Report



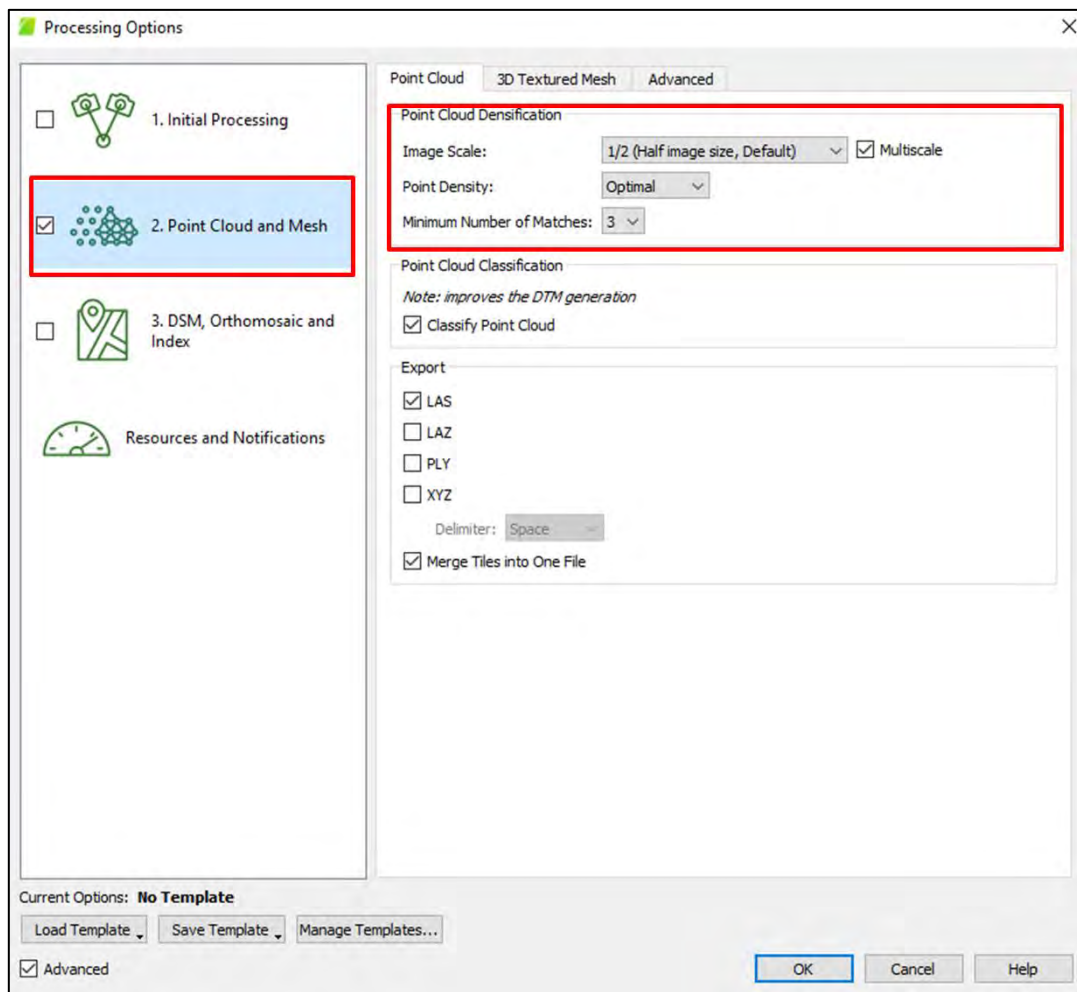
รูปที่ 64 แสดงคำสั่ง Reoptimize



รูปที่ 65 แสดงคำสั่ง Generate Quality Report

5.2.7 การประมวลผล Pix4DMapper ขั้นตอน Point Cloud And Mesh (Step 2) มีขั้นตอนดังนี้

- เมื่อตรวจสอบรายงานผลการประมวลผลข้อมูล (Quality Report) แล้วขั้นตอนต่อไปจะทำการประมวลผลข้อมูลพอยต์คลาวด์ (Point Cloud) และสร้างข้อมูลพื้นผิวแบบเวกเตอร์ (Mesh Model) เลือกคำสั่ง Processing Options ทำเครื่องหมายถูกที่คำสั่ง Point Cloud And Mesh ทำการตั้งค่าตามที่ผู้ใช้งานต้องการ และคลิกปุ่ม OK

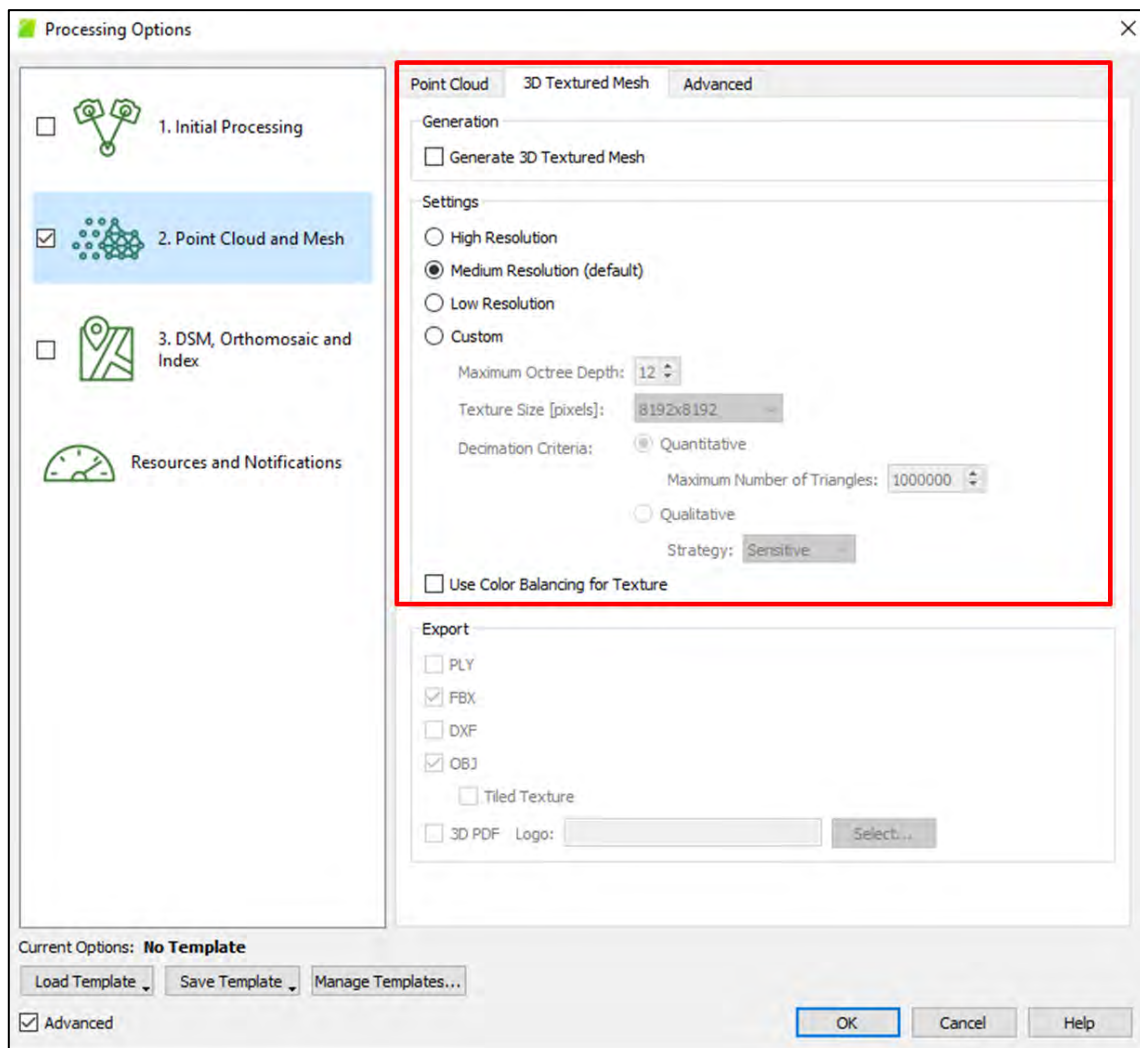


รูปที่ 66 แสดงตัวอย่างการตั้งค่า Point Cloud ในขั้นตอน Point Cloud And Mesh



อธิบายการตั้งค่า 3D Textured Mesh ในขั้นตอน Point Cloud And Mesh ดังนี้

- Settings ได้แก่
 - High Resolution : ความละเอียด 3D Mesh มาก
 - Medium Resolution : Balance
 - Low Resolution : ใช้เวลาและให้ความละเอียด 3D Mesh น้อย
 - Custom : ผู้ใช้งานตั้งค่าเองตามความต้องการ

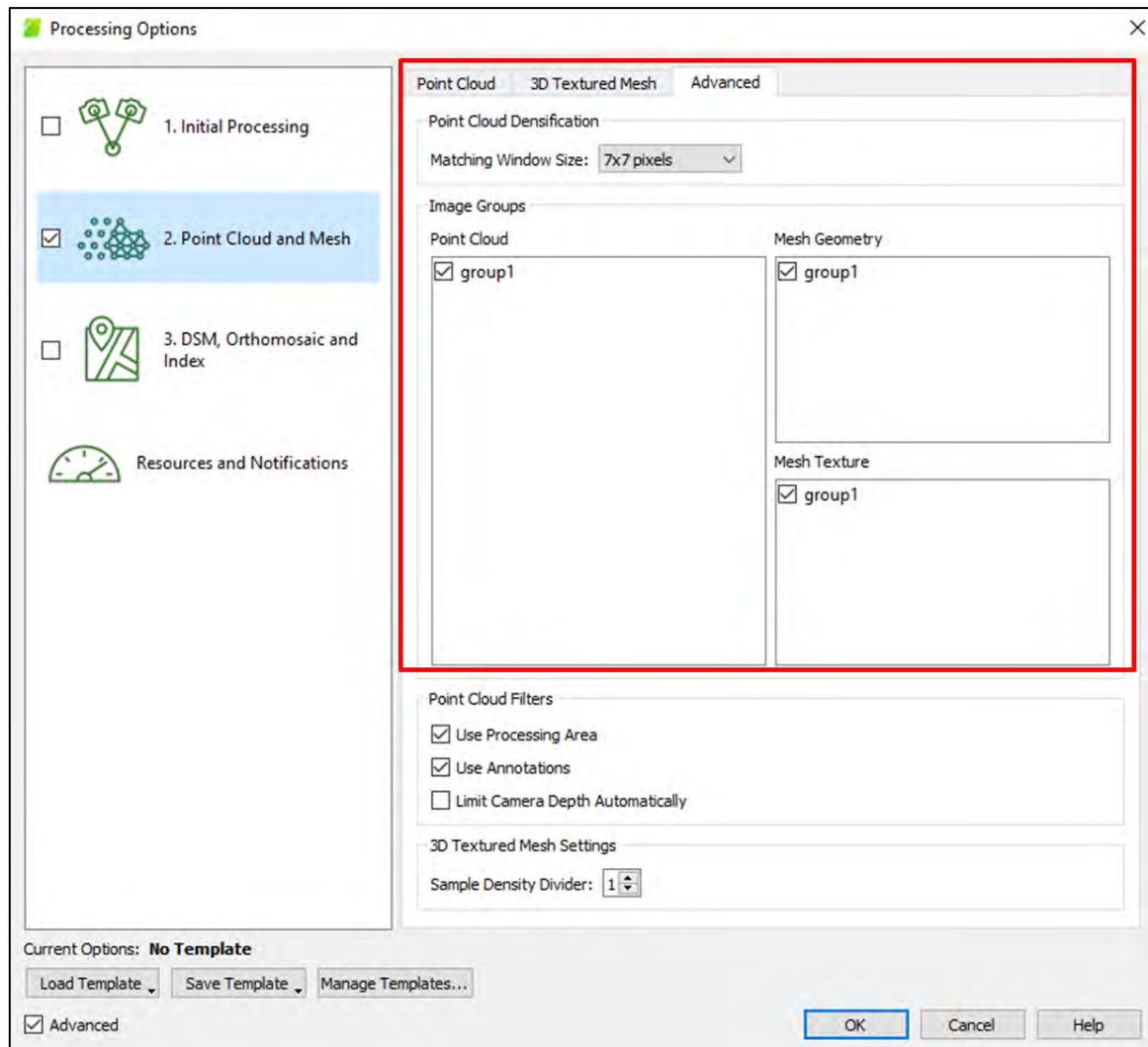


รูปที่ 67 แสดงตัวอย่างการตั้งค่า 3D Textured Mesh ในขั้นตอน Point Cloud And Mesh



อธิบายการตั้งค่า Advanced ในขั้นตอน Point Cloud And Mesh ดังนี้

- Point Cloud Filters คือ การกรอง Point Cloud ที่ไม่ต้องการประกอบด้วย Use Processing Area, Use Annotations, Limit Camera Depth Automatically



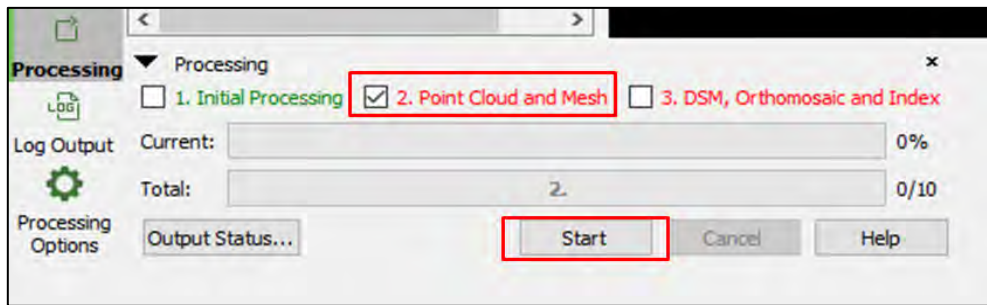
รูปที่ 68 แสดงตัวอย่างการตั้งค่า Advanced ในขั้นตอน Point Cloud And Mesh

- หลังจากตั้งค่าแล้วเสร็จ สั่งให้โปรแกรมเริ่มการประมวลผลในขั้นตอน Point Cloud And Mesh (Step 2) โดยให้เลือกเฉพาะ 2. Point Cloud And Mesh ในด้านซ้ายล่างของหน้าจอ และทำการยกเลิกการประมวลผล 1. Initial Processing และ 3. DSM Orthomosaic And Index เมื่อเลือกแล้วให้คลิกปุ่ม Start ด้านล่าง

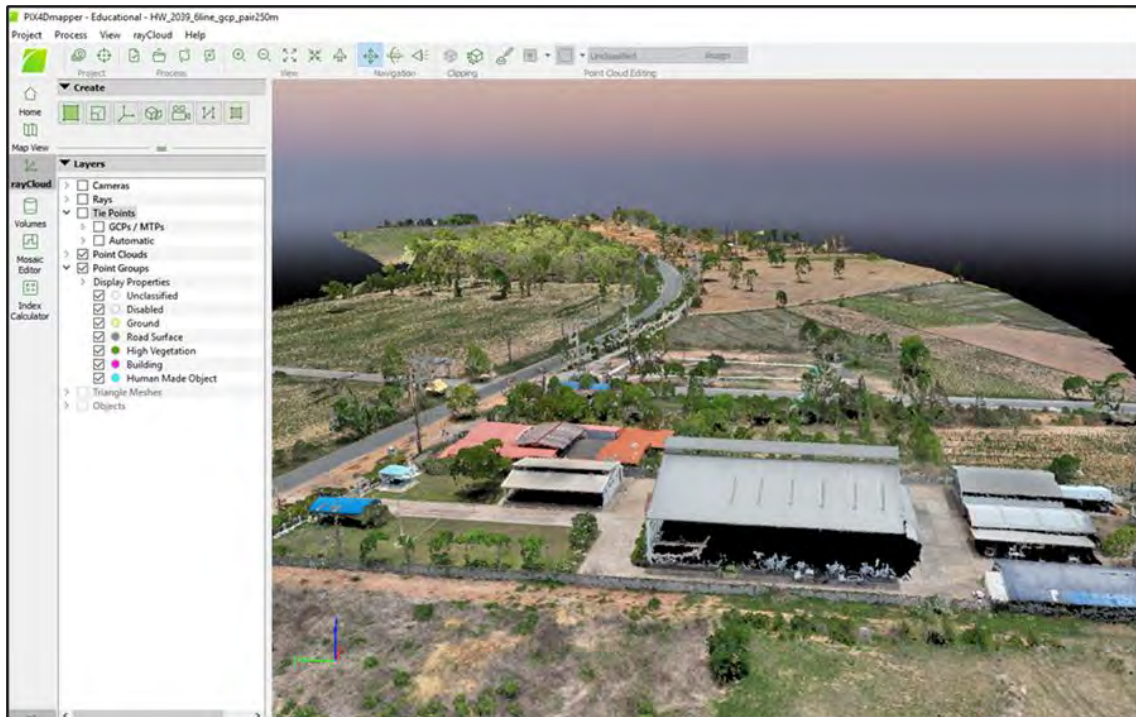


คู่มือการจัดทำแผนที่เชิงวิศวกรรมโดยใช้อากาศยานไร้คนขับ

โครงการข้อมูลจากอากาศยานไร้คนขับเพื่อตรวจติดตามข้อมูลปริมาณจราจรและการจัดทำแผนที่เชิงวิศวกรรม



- หลังการประมวลผลขั้นตอน Point Cloud And Mesh แล้วเสร็จ หน้าจอจะปรากฏรายงานผลการประมวลผลข้อมูล (Quality Report) โดยอัตโนมัติ พร้อมทั้งแสดงผลการประมวลผลข้อมูลพอยต์คลาวด์ (Point Cloud) และข้อมูลพื้นผิวแบบเวกเตอร์ (Mesh Model)





Point Cloud Densification details	
Processing Options	
Image Scale	multiscale, 1/2 (Half image size, Default)
Point Density	Optimal
Minimum Number of Matches	3
3D Textured Mesh Generation	no
LOD	Generated: no
Advanced: Image Groups	group1
Advanced: Use Processing Area	yes
Advanced: Use Annotations	yes
Time for Point Cloud Densification	01h:49m:22s
Time for Point Cloud Classification	14m:38s
Time for 3D Textured Mesh Generation	NA
Results	
Number of Processed Clusters	26
Number of Generated Tiles	8
Number of 3D Densified Points	143832685
Average Density (per m ³)	223.02

รูปที่ 69 แสดงรายงานผลการประมวลผลข้อมูล (Quality Report)

หลังการประมวลผลขั้นตอน Point Cloud And Mesh

5.2.8 การประมวลผล Pix4DMapper ขั้นตอน DSM, Orthomosaic And Index (Step 3)

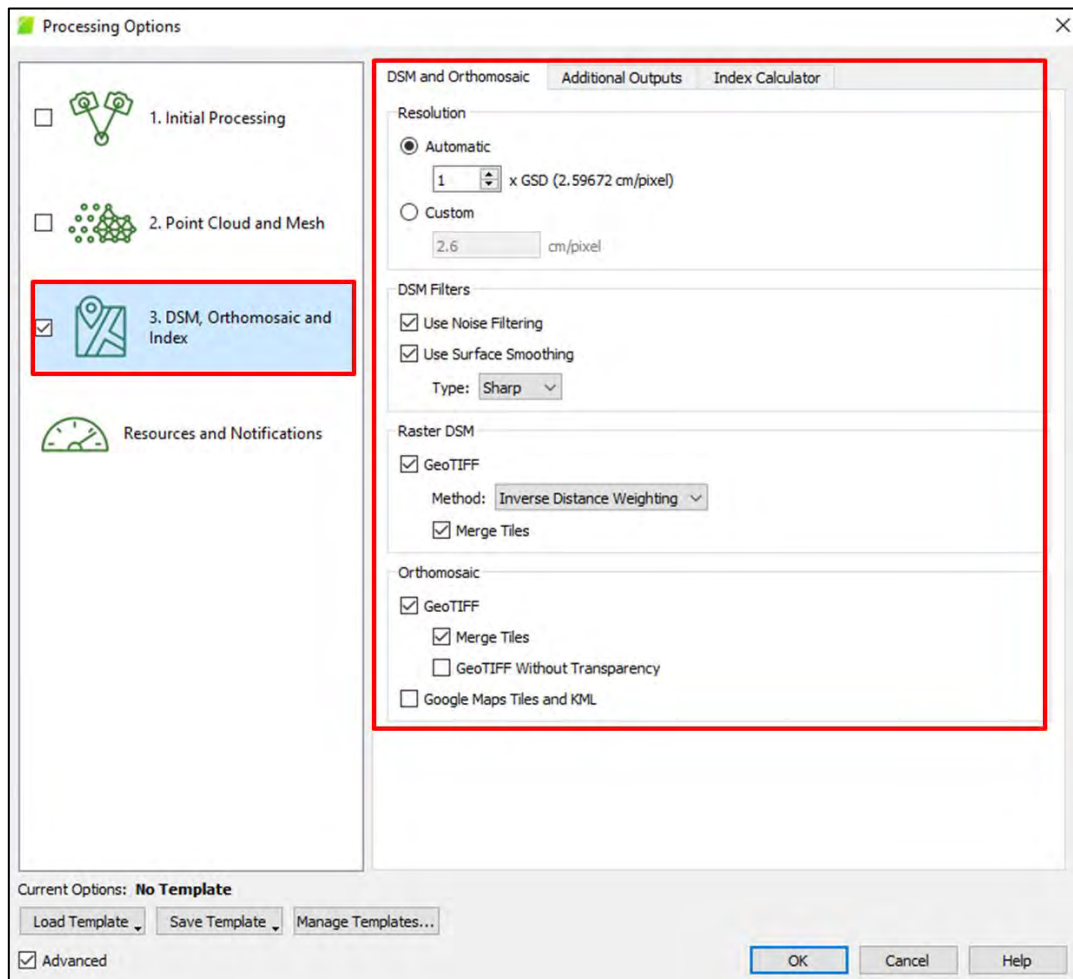
- เมื่อตรวจสอบรายงานผลการประมวลผลข้อมูล (Quality Report) แล้วขั้นตอนต่อไปจะทำการประมวลผลข้อมูลแบบจำลองความสูงภูมิประเทศ (Digital Surface Model: DSM) และสร้างออร์โธจริง (True Orthophoto) เลือกคำสั่ง Processing Options จากนั้นทำเครื่องหมายถูกที่คำสั่ง DSM, Orthomosaic and Index ทำการตั้งค่าตามที่ผู้ใช้งานต้องการ และคลิกปุ่ม OK
- อธิบายการตั้งค่า DSM And Orthomosaic ในขั้นตอน DSM, Orthomosaic And Index ดังนี้
 - DSM Filters ประกอบด้วย
- Use Noise Filtering : ลดจำนวน Noise ลง โดยดูจาก Median Altitude ของ Neighboring Points Use Surface Smoothing: การทำ Filter ของ Noise เพื่อสร้างพื้นผิว โดยผู้ใช้งานกำหนดได้ตามต้องการ



คู่มือการทำแผนที่เชิงวิศวกรรมโดยใช้อากาศยานไร้คนขับ

โครงการข้อมูลจากอากาศยานไร้คนขับเพื่อตรวจติดตามข้อมูลปริมาณจราจรและการจัดทำแผนที่เชิงวิศวกรรม

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



รูปที่ 70 แสดงตัวอย่างการตั้งค่า DSM And Orthomosaic ในขั้นตอน DSM, Orthomosaic And Index



คู่มือการทำแผนที่เชิงวิศวกรรมโดยใช้อากาศยานไร้คนขับ

โครงการข้อมูลจากอากาศยานไร้คนขับเพื่อตรวจติดตามข้อมูลปริมาณจราจรและการทำแผนที่เชิงวิศวกรรม

Processing Options

☐ 1. Initial Processing

☐ 2. Point Cloud and Mesh

☒ 3. DSM, Orthomosaic and Index

Resources and Notifications

Current Options: **No Template**

Load Template Save Template Manage Templates...

☒ Advanced

DSM and Orthomosaic Additional Outputs Index Calculator

Grid DSM

☐ XYZ Delimiter: Space

☐ LAS

☐ LAZ

Grid Spacing [cm]: 100

Raster DTM

Note: using Point Cloud Classification is strongly recommended

☒ GeoTIFF

☒ Merge Tiles

Raster DTM Resolution

☐ Automatic

5 x GSD (2.59672 cm/pixel)

☒ Custom

50 cm/pixel

Contour Lines

Note: Contour lines generated from DTM

☒ SHP

☐ PDF

☒ DXF

Contour Base [m]: 0

Elevation Interval [m]: 1

Resolution [cm]: 100

Minimum Line Size [vertices]: 50

OK Cancel Help

Contour Lines

Note: Contour lines generated from DTM

☒ SHP

☐ PDF

☒ DXF

Contour Base [m]: 0

Elevation Interval [m]: 1

Resolution [cm]: 100

Minimum Line Size [vertices]: 50

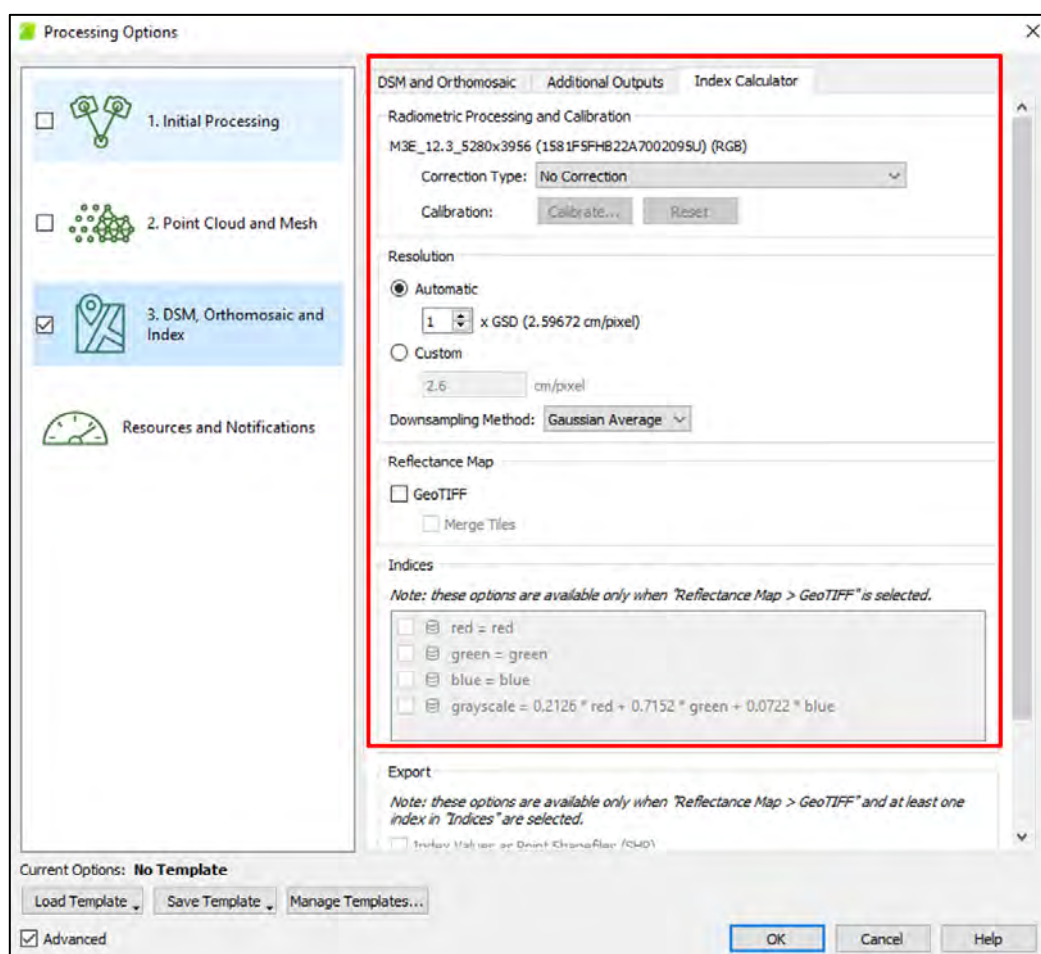
รูปที่ 71 แสดงตัวอย่างการตั้งค่า Additional Outputs ในขั้นตอน DSM, Orthomosaic And Index





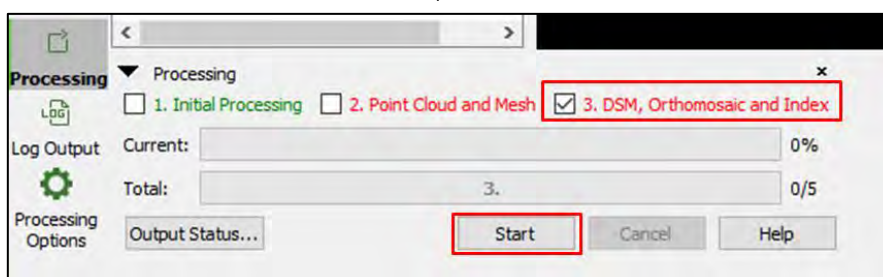
คู่มือการจัดทำแผนที่เชิงวิศวกรรมโดยใช้อากาศยานไร้คนขับ

โครงการข้อมูลจากอากาศยานไร้คนขับเพื่อตรวจติดตามข้อมูลปริมาณจราจรและการจัดทำแผนที่เชิงวิศวกรรม



รูปที่ 72 แสดงตัวอย่างการตั้งค่า Index Calculator ในขั้นตอน DSM, Orthomosaic And Index

- หลังจากตั้งค่าแล้วเสร็จ สั่งให้โปรแกรมเริ่มการประมวลผลในขั้นตอน DSM, Orthomosaic And Index (Step 3) โดยให้เลือกเฉพาะ 3. DSM Orthomosaic And Index ใน ด้านซ้ายล่างของหน้าจอ และทำการยกเลิกการประมวลผล 1. Initial Processing และ 2. Point Cloud And Mesh เมื่อเลือกแล้วให้คลิกปุ่ม Start ด้านล่าง





คู่มือการทำแผนที่เชิงวิศวกรรมโดยใช้อากาศยานไร้คนขับ

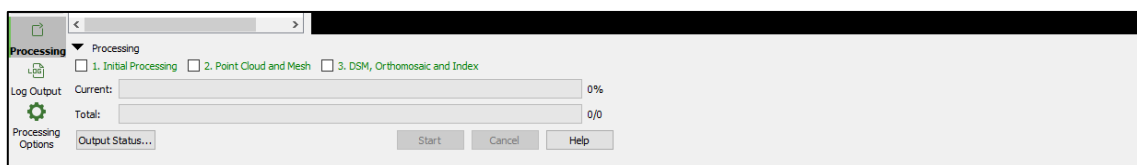
โครงการข้อมูลจากอากาศยานไร้คนขับเพื่อตรวจติดตามข้อมูลปริมาณจราจรและการจัดทำแผนที่เชิงวิศวกรรม

- หลังการประมวลผลขั้นตอน DSM Orthomosaic And Index แล้วเสร็จ หน้าจอจะปรากฏรายงานผลการประมวลผลข้อมูล (Quality Report) โดยอัตโนมัติ พร้อมทั้งแสดงผลการประมวลผล ข้อมูลแบบจำลองความสูงภูมิประเทศ (Digital Surface Model, DSM) และ ออร์โธจริง (True Orthophoto)

DSM, Orthomosaic and Index Details	
Processing Options	
DSM and Orthomosaic Resolution	1 x GSD (2.6 [cm/pixel])
DSM Filters	Noise Filtering: yes Surface Smoothing: yes, Type: Sharp
Raster DSM	Generated: yes Method: Inverse Distance Weighting Merge Tiles: yes
Orthomosaic	Generated: yes Merge Tiles: yes GeoTIFF Without Transparency: no Google Maps Tiles and KML: no
Raster DTM	Generated: yes Merge Tiles: yes
DTM Resolution	50 [cm/pixel]
Contour Lines Generation	Generated: yes Contour Base [m]: 0 Elevation Interval [m]: 1 Resolution [cm]: 100 Minimum Line Size [vertices]: 50
Time for DSM Generation	57m:00s
Time for Orthomosaic Generation	01h:56m:11s
Time for DTM Generation	03m:57s
Time for Contour Lines Generation	03s
Time for Reflectance Map Generation	00s
Time for Index Map Generation	00s

รูปที่ 73 แสดงรายงานผลการประมวลผลข้อมูล (Quality Report)

หลังการประมวลผลขั้นตอน DSM Orthomosaic And Index



รูปที่ 74 แสดงผลการประมวลผลข้อมูลหลังการประมวลผลขั้นตอนครบ 3 ขั้นตอน





5.3 ข้อมูลผลลัพธ์จากการประมวลผล Pix4DMapper

- ข้อมูลผลลัพธ์จากการประมวลผล Pix4DMapper ทั้ง 3 ขั้นตอน จะอยู่ในโฟลเดอร์เดียวกับ Project ที่สร้างขึ้น โดยข้อมูลแบบจำลองความสูงภูมิประเทศ (Digital Surface Model, DSM) และออร์โธจริง (True Orthophoto) จะอยู่ใน โฟลเดอร์ “3_dsm_ortho” โดยข้อมูลจะอยู่ในรูปแบบ GeoTIFF และข้อมูล Point Cloud จะอยู่ใน โฟลเดอร์ “2_densification” โดยข้อมูลจะอยู่ในรูปแบบ *.las หรือตามที่ผู้ใช้งานได้กำหนดรูปแบบอื่น ๆ

DOH66_UAV_02 (F:) > process > HW_2039_6line_gcp_pair250m

Name	Date modified	Type
1_initial	6/20/2023 12:08 AM	File folder
2_densification	6/22/2023 12:05 PM	File folder
3_dsm_ortho	6/22/2023 6:06 PM	File folder
temp	7/15/2023 10:38 PM	File folder
HW_2039_6line_gcp_pair250m	7/14/2023 1:00 PM	Text Document

รูปที่ 75 แสดง โฟลเดอร์ ที่จัดเก็บผลลัพธ์จากการประมวลผล Pix4DMapper



6. การตรวจสอบความถูกต้องและมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับงานสำรวจและแผนที่

6.1 การควบคุมคุณภาพ

ผลลัพธ์ที่ได้จากการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับเพื่องานวิศวกรรม ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ ภาพออร์โธโฟโต ข้อมูลแบบจำลองพื้นผิวภูมิประเทศเชิงเลขหรือพอยต์คลาวด์ และแบบจำลองสามมิติเชิงเลข สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานวิศวกรรมได้หลายอย่าง เช่น การใช้ภาพออร์โธโฟโตสำหรับการผลิตแผนที่ภาพถ่าย การใช้ข้อมูลแบบจำลองพื้นผิวภูมิประเทศเชิงเลขในการออกแบบคำนวณงานดิน การใช้แบบจำลองสามมิติเชิงเลขในงานสิ่งแวดล้อม เป็นต้น คุณภาพของผลลัพธ์ที่ใช้ต้องมีความถูกต้องกับการประยุกต์ใช้งาน

ดังนั้นการตรวจสอบคุณภาพการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับเพื่องานวิศวกรรมต้องทำการควบคุมตั้งแต่กระบวนการเก็บข้อมูล ขั้นตอนการประมวลผลภาพถ่าย และการตรวจสอบความถูกต้องเชิงตำแหน่งของผลลัพธ์ที่ได้

6.1.1 การควบคุมคุณภาพการทำงานตามคู่มือ

กระบวนการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับจะต้องปฏิบัติตามรายละเอียดที่กล่าวไว้ข้างต้นในหัวข้อที่ 3 ขั้นตอนการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ (หน้า 14) จนถึง หัวข้อที่ 5 ขั้นตอนการประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายโดยใช้โปรแกรม Pix4DMapper (หน้า 52) เพื่อให้ได้ความถูกต้องเชิงตำแหน่งตามที่วางแผนไว้

- รายการบันทึกเพื่อควบคุมคุณภาพการทำงานภาคสนาม การตรวจสอบคุณภาพการทำงานภาคสนามจะต้องบันทึกรายการปฏิบัติงานตามที่วางแผน โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ การวางแผนการบินและการสร้างจุดควบคุมภาคพื้นดิน



คู่มือการจัดทำแผนที่เชิงวิศวกรรมโดยใช้อากาศยานไร้คนขับ

โครงการข้อมูลจากอากาศยานไร้คนขับเพื่อตรวจติดตามข้อมูลปริมาณจราจรและการจัดทำแผนที่เชิงวิศวกรรม

ตารางที่ 6 รายการบันทึกการวางแผนการบิน

รายการบันทึกการวางแผนการบิน				
ลำดับ	เกณฑ์การพิจารณา	ระบุ	หน่วย	หมายเหตุ
1	ระยะทางสำรวจ	1	กม.	
2	กำหนดความละเอียดจุดภาพ (Ground Sample Distance : GSD)	ประมาณ 2.5	ชม.	
3	กำหนดความสูงในการบิน	90	ม.	ระดับความสูง บินเหนือจุดปล่อย
4	ปริมาณส่วนซ้อนของภาพ (Overlap)	85*	%	** มาตรฐานการ สำรวจด้วยอากาศ ยานไร้คนขับเพื่อ งานวิศวกรรม Overlap >= 80% Side Lap >= 70%
5	ปริมาณส่วนเกย (Side Lap)	65*	%	
6	ความถูกต้องทางราบของข้อมูล เชิงตำแหน่งที่ต้องการ	5 (เทียบ 2GSD)	ชม.	
7	ความถูกต้องทางดิ่งของข้อมูลเชิง ตำแหน่งที่ต้องการ	10 (เทียบ 4GSD)	ชม.	
8	รูปแบบการบิน	2/4/6	แนวการบิน	บินรูปแบบ Corridor
9	ประเภทของอากาศยานไร้คนขับ	Multicopter UAV		

หมายเหตุ 1. เครื่องหมาย * หมายถึง ข้อมูลที่ระบุเป็นเพียงตัวอย่างเท่านั้น การบันทึกข้อมูลจริงขึ้นกับการปฏิบัติงานของผู้ใช้งาน

หมายเหตุ 2. เครื่องหมาย ** หมายถึง โดยทั่วไปงานสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ การกำหนดส่วนซ้อนของภาพ (Overlap) จะอยู่ที่ 70-80% เพื่อให้แน่ใจว่ามีคุณสมบัติการจับคู่ที่เพียงพอ ระหว่างรูปภาพที่อยู่ติดกัน ทำให้สามารถจับคู่ภาพและสร้างภูมิประเทศหรือวัตถุขึ้นใหม่ได้อย่างแม่นยำ แต่ทั้งนี้ที่ปรึกษาได้เลือกใช้ส่วนซ้อนทับของภาพที่ 85% เนื่องจากมีการสำรวจทั้งพื้นที่ในเมืองและนอกเมือง ทั้งนี้เพื่อให้แน่ใจว่าสามารถประมวลผลและสร้างจุดเชื่อมโยงระหว่างภาพ (Key Point) ได้อย่างถูกต้อง และการกำหนดส่วนเกย (Side Lap) จะอยู่ที่ 60-70% เพื่อให้ครอบคลุมและจัดตำแหน่งภาพได้อย่างถูกต้องแม่นยำ รวมถึงสร้างข้อมูลที่นำเชื่อถือและสอดคล้องกันมากขึ้นสำหรับการทำแผนที่เชิงวิศวกรรม





คู่มือการจัดทำแผนที่เชิงวิศวกรรมโดยใช้อากาศยานไร้คนขับ

โครงการข้อมูลจากอากาศยานไร้คนขับเพื่อตรวจติดตามข้อมูลปริมาณจราจรและการจัดทำแผนที่เชิงวิศวกรรม

การสร้างจุดควบคุมภาคพื้นดิน เป็นรายการบันทึกข้อมูลจุดควบคุมภาคพื้นดิน และวิธีการรังวัด แสดงดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 รายการบันทึกการสร้างจุดควบคุมภาคพื้นดิน

รายการบันทึกการสร้างจุดควบคุมภาคพื้นดิน				
ลำดับ	เกณฑ์การพิจารณา	ระบุ	หน่วย	หมายเหตุ
1	จำนวนจุดควบคุมภาคพื้นดิน	20	จุด	
2	รูปร่างของจุดควบคุมภาคพื้นดิน	สี่เหลี่ยม		
3	ขนาดของจุดควบคุมภาคพื้นดิน	50*50	ซม.	
4	เครื่องมือรังวัดพิกัดจุดควบคุมภาคพื้นดิน	GNSS		
5	วิธีการรังวัดจุดควบคุมภาคพื้นดิน	RTK		
6	ความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบของจุดควบคุมภาคพื้นดิน	2	ซม.	
7	ความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางตั้งของจุดควบคุมภาคพื้นดิน	5	ซม.	

หมายเหตุ* ข้อมูลที่ระบุเป็นเพียงตัวอย่างเท่านั้น การบันทึกข้อมูลจริงขึ้นกับการปฏิบัติงานของผู้ใช้งาน

6.2 การตรวจสอบจากคุณภาพของผลลัพธ์โดยตรง

นอกจากการตรวจสอบข้อมูลเชิงตำแหน่ง ผลลัพธ์ที่สามารถตรวจสอบด้วยสายตา คือ การตรวจสอบภาพออร์โธโฟโต โดยตรวจสอบได้จากหัวข้อต่อไปนี้

6.2.1 คุณภาพพอยต์คลาวด์

พอยต์คลาวด์ที่มีคุณภาพจะต้องมีรายละเอียดที่ชัดเจน สามารถวัดระยะได้แม่นยำ โดยพอยต์คลาวด์ต้องเกาะกลุ่มไปตามลักษณะของพื้นที่ และหากพื้นที่ที่มีความคลาดเคลื่อน จะต้องเพิ่มจุดยึดโยงในบริเวณดังกล่าว และนำไปประมวลผลภาพใหม่

6.2.2 คุณภาพของภาพออร์โธโฟโต

ภาพออร์โธโฟโตจะต้องมีสีที่ถูกต้องและมีความคมชัดต่อเนื่องของภาพเพียงพอต่อการนำไปใช้งาน หรือนำไปผลิตแผนที่ภาพถ่ายสำหรับงานวิศวกรรมต่อไป โดยการตรวจสอบคุณภาพของภาพออร์โธโฟโต





6.3 ASPRS (1990), ASPRS Accuracy Standards For Large-Scale Maps, March 1990

มาตรฐานนี้ถูกจัดทำขึ้นโดยคณะกรรมการมาตรฐานของหน่วยงาน American Society For Photogrammetry And Remote Sensing (ASPRS) ซึ่งมาตรฐานนี้จัดทำขึ้นเพื่อระบุค่าความแม่นยำทางตำแหน่งโดยเปรียบเทียบกับมาตราส่วนภาคพื้นดิน นอกจากนี้มาตรฐานชุดนี้ยังจัดทำขึ้นเพื่อมุ่งเน้นให้เห็นถึงความสำคัญในเรื่องของการนำข้อมูลผลลัพธ์เชิงตำแหน่งและข้อมูลแผนที่มาประยุกต์ใช้โดยต้องมีการเลือกใช้ มาตราส่วนแผนที่ที่เหมาะสมกับการนำไปประยุกต์ใช้ในงานทางด้านวิศวกรรมและค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่ง

ดังนั้นมาตรฐานนี้จะทำการรวบรวมเนื้อหาในส่วนในเรื่องความถูกต้องเชิงพื้นที่ว่าแผนที่ภูมิประเทศในมาตราส่วนขนาดใหญ่ที่จัดทำขึ้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานวิศวกรรมได้บ้าง

(ที่มา : มาตรฐานการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนเพื่องานวิศวกรรม (วสท. 012033-22))

6.4 มาตรฐานการสำรวจข้อมูลบนโครงข่ายทางหลวงด้วยอากาศยานไร้คนขับ เพื่องานวิศวกรรม และการให้บริการข้อมูลภูมิสารสนเทศ (GIS)

มาตรฐานนี้ถูกจัดทำขึ้นในโครงการพัฒนามาตรฐานและระบบบูรณาการข้อมูลด้านภูมิศาสตร์สารสนเทศ (GIS) กรมทางหลวง เพื่อให้แนวทางการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับมีความถูกต้องเหมาะสมเป็นไปตามหลักวิชาการโดยให้เกิดประสิทธิภาพและประโยชน์สูงสุดสำหรับงานทางหลวง จึงได้กำหนดหลักเกณฑ์และวิธีการเพื่อให้การทำแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศมีความถูกต้องและเป็นมาตรฐานเดียวกันซึ่งจากการพัฒนายกร่างมาตรฐานการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับสำหรับงานทางหลวงทั้ง 4 ขั้นตอน สามารถกำหนดแนวทางการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับได้เป็น 5 ส่วน ประกอบด้วย (1) การวางแผนการบินถ่ายภาพ (2) การสร้างจุดบังคับภาพทั้งจุดควบคุมภาคพื้นดินและจุดตรวจสอบ (3) การกำหนดการประมวลผลภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ (4) เกณฑ์ความถูกต้องเชิงตำแหน่งของแผนที่ภาพถ่าย (5) การส่งมอบข้อมูล



7. การประมวลผลเพื่อส่งออกข้อมูลไปยังซอฟต์แวร์เชิงวิศวกรรม

7.1 ระบบพิกัด

สำหรับการประมวลผลเพื่อทำแผนที่จากอากาศยานไร้คนขับนิยมใช้ระบบพิกัดฉาก หรือ UNIVERSAL TRANSVERSE MERCATORS : UTM ใช้สำหรับการทำแผนที่ขนาดใหญ่ การสำรวจระดับภูมิภาค และสำหรับการนำทางและการทหาร จัดให้มีระบบส่วนกลางสำหรับการแสดงตำแหน่งที่ตั้ง ซึ่งแผนที่ส่วนใหญ่ของประเทศไทยจะใช้เส้นโครงแผนที่ลักษณะดังกล่าว เพราะจะได้ ขนาดพื้นที่ใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด ในบริเวณเส้นศูนย์สูตร

สำหรับระบบทรานส์เวิร์สเมอร์คาเตอร์ หรือ TRANSVERSE MERCATOR : TM ใช้สำหรับพื้นที่ขนาดเล็กและสามารถนำไปใช้กับการสำรวจในพื้นที่ใดพื้นที่หนึ่งโดยเฉพาะ โดยทั่วไปจะใช้เพื่อทำแผนที่พื้นที่ ประเทศ หรือภูมิภาคที่เล็กกว่าซึ่งไม่ครอบคลุมหลายโซนเท่าระบบพิกัดฉาก UTM อย่างไรก็ตาม ระบบพิกัด TM ก็มีบางข้อดีเหนือกว่าระบบพิกัด UTM อยู่บ้าง ดังนี้ 1) ความแม่นยำที่สูงกว่า ระบบพิกัด TM จะมีการบิดเบือนน้อยกว่าระบบพิกัด UTM เล็กน้อย ทำให้มีความแม่นยำที่สูงกว่าในบริเวณใกล้เส้นศูนย์สูตร 2) การแปลงค่าที่ง่ายกว่า ระบบพิกัด TM เป็นการแปลงค่าแบบเชิงเส้น จึงทำให้การแปลงค่าระหว่างระบบพิกัด TM กับระบบพิกัดอื่นๆ ทำได้สะดวกและรวดเร็วกว่าระบบพิกัด UTM

ดังนั้น การเลือกใช้ระบบพิกัดแบบ UTM เป็นระบบพิกัด TM จะช่วยทำให้เกิดความถูกต้องของเนื้องานสำรวจและออกแบบมากยิ่งขึ้น แบบก่อสร้างที่ได้จะแสดงตำแหน่งที่แม่นยำ และมีความผิดพลาดน้อยที่สุด

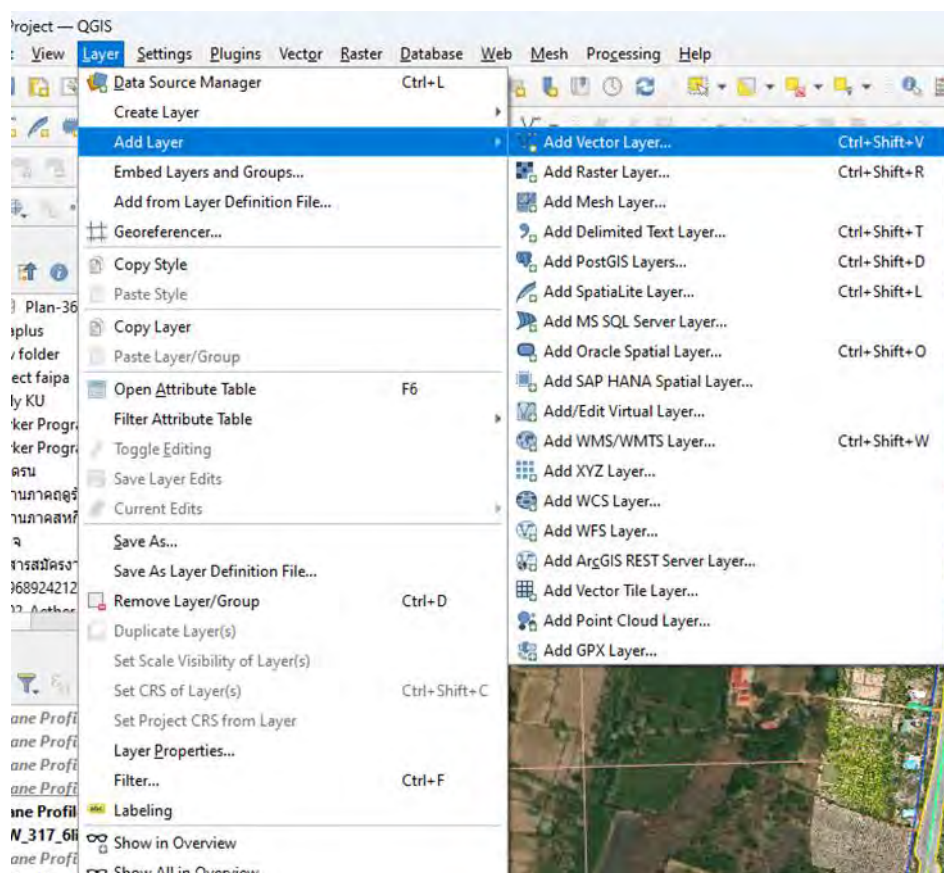
7.1.1 แปลงค่าพิกัดจากแบบแปลนที่ใช้ระบบทรานส์เวิร์สเมอร์คาเตอร์ (TRANSVERSE MERCATOR : TM) ให้สามารถแสดงผลได้อย่างถูกต้องบนแผนที่ ระบบพื้นฐาน World Geodetic System 1984 : WGS84)

- ทำการตรวจสอบไฟล์แบบแปลนว่าใช้นามสกุลไฟล์และเวอร์ชันไหน โดยเราจำเป็นต้องใช้ไฟล์ นามสกุล .DWF (เป็นเวอร์ชันที่ต่ำกว่าปี 2018) เพราะโปรแกรม QGIS จะสามารถอ่านไฟล์ได้ภายใต้เงื่อนไขเท่านั้น
- เปิดโปรแกรม QGIS ซึ่งใช้ Base Map ด้วยระบบพิกัด WGS84 – 47N (หรือที่ต้องการ) แล้วทำการเปิดไฟล์ที่แปลงสกุลแล้วด้วยการใช้คำสั่ง Add Vector Layer โดยเลือกไฟล์แบบแปลนที่ผ่านการเปลี่ยนสกุลไฟล์แล้ว



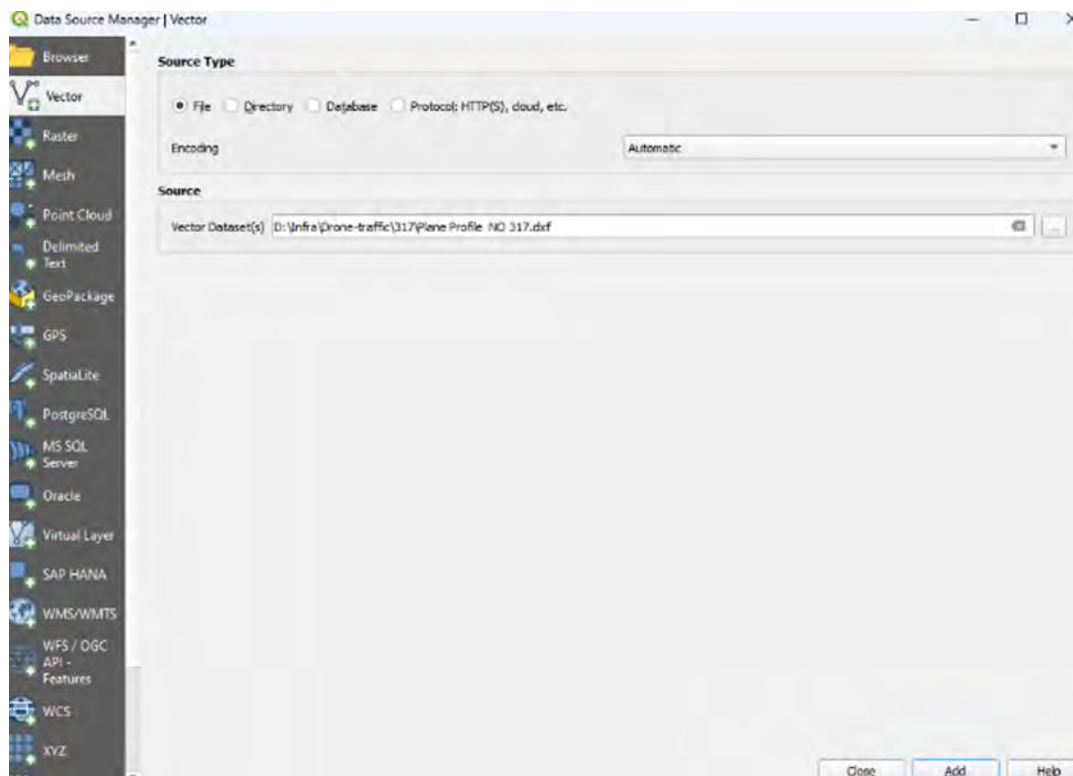
คู่มือการจัดทำแผนที่เชิงวิศวกรรมโดยใช้อากาศยานไร้คนขับ

โครงการข้อมูลจากอากาศยานไร้คนขับเพื่อตรวจติดตามข้อมูลปริมาณจราจรและการจัดทำแผนที่เชิงวิศวกรรม



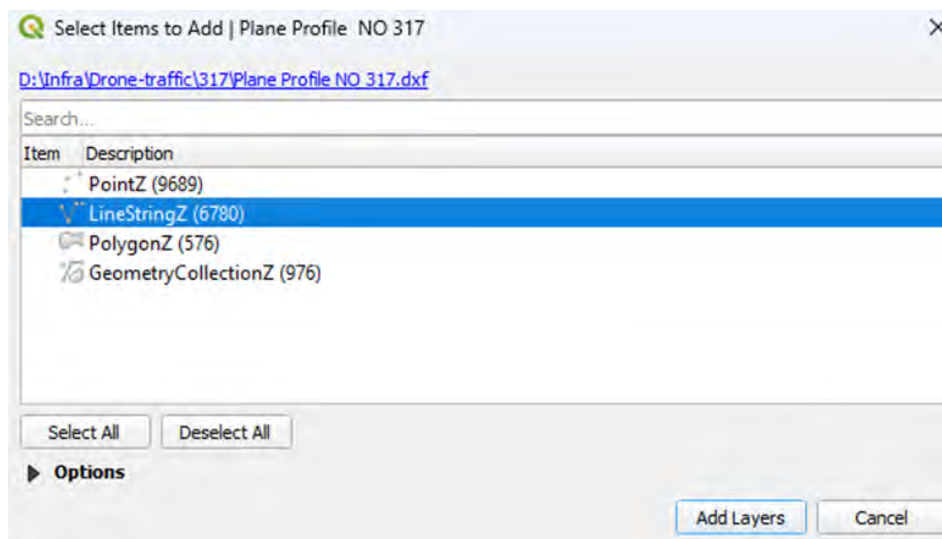
รูปที่ 76 การเปิดไฟล์แบบแปลน





รูปที่ 77 การเปิดไฟล์แบบแปลน (ต่อ)

- ทำการเลือกเฉพาะ Geometry ประเภท LineStringZ เพราะแบบแปลนโครงสร้างเป็นไฟล์ประเภทเส้นตรง แล้วกดเพิ่ม (Add Layers)



รูปที่ 78 หน้าต่างแสดงการเลือกเปิดข้อมูลประเภทเส้นตรง



คู่มือการจัดทำแผนที่เชิงวิศวกรรมโดยใช้อากาศยานไร้คนขับ

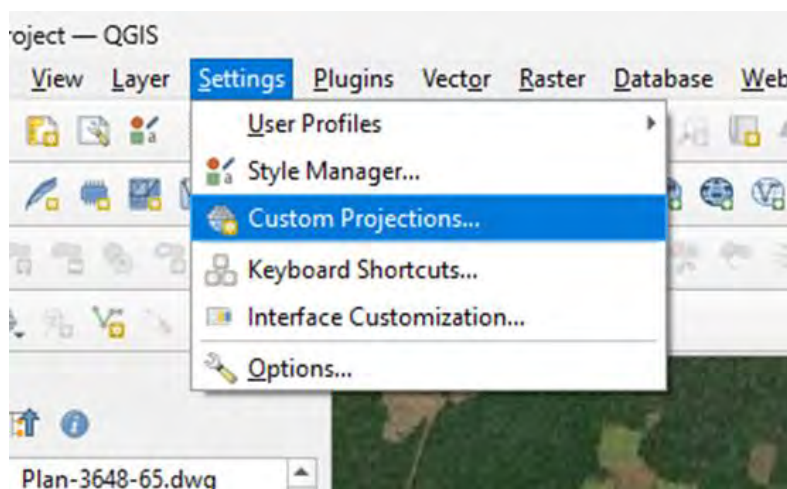
โครงการข้อมูลจากอากาศยานไร้คนขับเพื่อตรวจติดตามข้อมูลปริมาณจราจรและการจัดทำแผนที่เชิงวิศวกรรม

- ซึ่งตัวแบบแปลน จะปรากฏขึ้นในตำแหน่งที่ยังไม่ถูกต้อง เนื่องจากระบบพิกัดของแบบแปลนเป็นระบบ TM ที่มีการอ่านค่าพิกัดแตกต่างกับระบบพิกัดในโปรแกรม QGIS ที่เป็นระบบ UTM84-47N เราจึงต้องเปลี่ยนเฉพาะรูปแบบการอ่านค่าพิกัดของแบบแปลนเป็นระบบ TM



รูปที่ 79 ข้อมูลแบบแปลนที่ยังขึ้นไม่ถูกตำแหน่ง

- ทำการเพิ่มระบบพิกัดด้วยการเพิ่มระบบพิกัดแบบกำหนดเอง เนื่องจากระบบ TM ที่ใช้ในแบบแปลน ยังไม่เป็นสากล ซึ่งไม่มีในฐานข้อมูลของโปรแกรม QGIS โดยวิธีการเพิ่มระบบพิกัดแบบกำหนดเองมีดังนี้
 - ไปที่แถบ Settings แล้วเลือก Custom Projections



รูปที่ 80 การเลือก Custom Projections



คู่มือการจัดทำแผนที่เชิงวิศวกรรมโดยใช้อากาศยานไร้คนขับ

โครงการข้อมูลจากอากาศยานไร้คนขับเพื่อตรวจติดตามข้อมูลปริมาณจราจรและการจัดทำแผนที่เชิงวิศวกรรม

- ทำการเพิ่มระบบพิกัด ดังนี้

1. ทำการเพิ่ม CRS

2. ใส่ชื่อ projections

3. ใส่สมการปรับแก้ Projection โดยใช้ Format Proj String

4. กด Validate แล้ว OK

รูปที่ 81 ขั้นตอนการสร้าง Projections

- การใส่สมการปรับแก้ Projections จะต้องอยู่ในรูปแบบสมการ

```
+proj=tmerc +lat_0=0 +lon_0=A +k=Sf +x_0=FE +y_0=0 +datum=WGS84 +units=m +no_defs
```

- โดยที่ A คือ Central Meridian Longitude

Sf คือ Scale Factor

FE คือ False Easting

- ตัวอย่างการใส่ค่าพิกัด กรณีที่แบบแปลนมีการกำหนดค่าพิกัดแสดงดังตารางที่ 8 ตารางแสดงค่าพิกัดพิกัดอ้างอิงรูปแบบพิกัด TM

COORDINATE (WGS 1984)							
ทางหลวงหมายเลข 317 ตอน อ.เขาลงกรรจ์ - สระแก้ว กม.130+100 ถึง กม.147+600							
Point	UTM.			MSL.	TM.		PARAMETER TM.
	N	E	Grid Factor		N	E	
0317-075	1510987.653940	185165.395610	1.0008264670	55.1468	1509713.962060	120565.609570	Central Meridian = 101° - 54'
0317-076	1511055.098530	185026.030480	1.0008275534	55.3388	1509779.566410	120425.508850	Origin Latitude = 0° - 00'
0317-077	1514416.156300	184092.713520	1.0008348380	52.6955	1513125.650140	119450.074400	False Easting = 100000
0317-078	1514576.095800	184120.643410	1.0008346195	52.7470	1513285.801580	119475.932130	False Northing = 0
0317-079	1518732.166390	184891.696570	1.0008285933	46.1805	1517447.985640	120193.026420	Scale factor at grid origin = 1.00000157313
0317-080	1518847.176480	184855.527120	1.0008288754	46.2710	1517562.427650	120155.413770	
0317-081	1523708.663790	185637.736560	1.0008227758	42.8254	1522429.589250	120874.432120	
0317-082	1523790.853960	185627.969550	1.0008228517	43.2709	1522511.579880	120863.615780	
0317-083	1528044.161660	185007.479230	1.0008276810	39.9618	1526753.056850	120188.851700	
0317-084	1528116.288240	184891.986440	1.0008285816	40.0453	1526823.627240	120072.532210	





คู่มือการจัดทำแผนที่เชิงวิศวกรรมโดยใช้อากาศยานไร้คนขับ

โครงการข้อมูลจากอากาศยานไร้คนขับเพื่อตรวจติดตามข้อมูลปริมาณจราจรและการจัดทำแผนที่เชิงวิศวกรรม

ซึ่งจะได้ว่า

Central Meridian Longitude = $101^{\circ} - 54' = 101.9^{\circ}$

Scale Factor = 1.00000157313

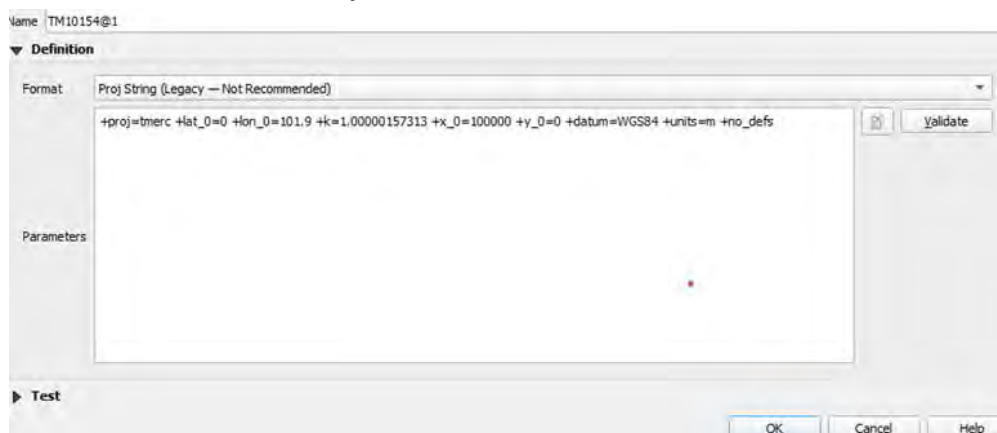
False Easting = 100000

ทำให้ได้สมการ

+proj=tmerc +lat_0=0 +lon_0=101.9 +k=1.00000157313

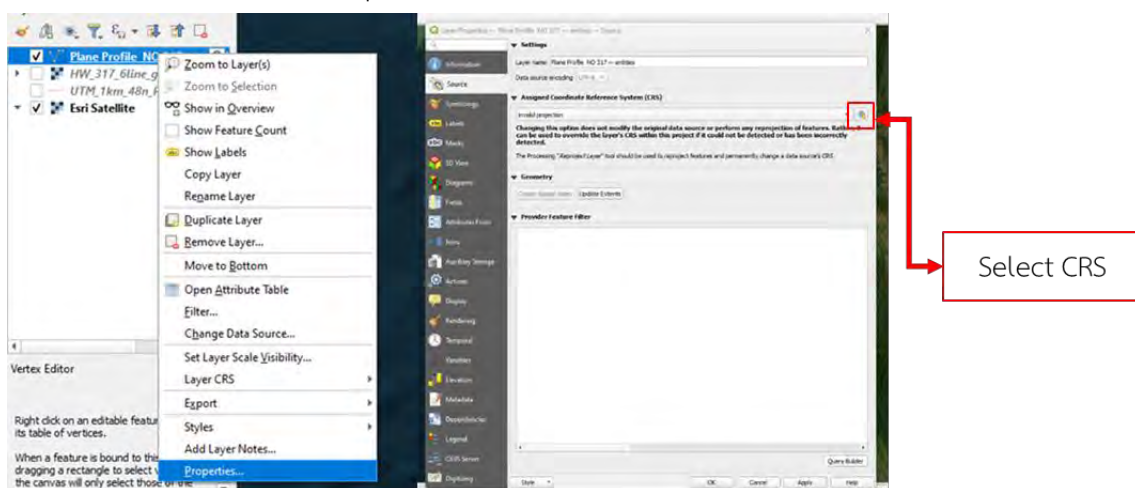
+x_0=100000 +y_0=0 +datum=WGS84 +units=m +no_defs

แสดงดังรูปที่ 82



รูปที่ 82 ตัวอย่าง Projections

- เลือกระบบการแสดงผลแบบแปลนเป็นระบบที่เราเพิ่มเข้าไป โดยเข้าไปแก้ไขใน Properties > Source แล้วกด Select CRS



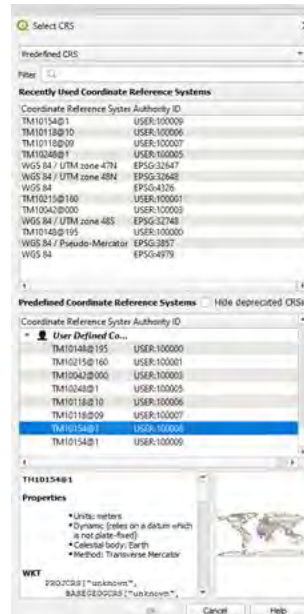
รูปที่ 83 วิธีการเปลี่ยนระบบ Projection ของแบบแปลน



คู่มือการจัดทำแผนที่เชิงวิศวกรรมโดยใช้อากาศยานไร้คนขับ

โครงการข้อมูลจากอากาศยานไร้คนขับเพื่อตรวจติดตามข้อมูลปริมาณจราจรและการจัดทำแผนที่เชิงวิศวกรรม

- ทำการเลือกระบบพิกัด TM ที่เราเพิ่มเข้าไป



รูปที่ 84 การเลือกระบบพิกัด TM

- ซึ่งตัวแบบแปลนจะไปปรากฏอยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้องตามระบบพิกัด WGS - UTM84



รูปที่ 85 รูปแบบแปลนที่ถูกแปลงค่าพิกัดแล้ว



7.1.2 วิธีแปลงค่าพิกัด UTM ให้เป็นระบบพิกัด TM

ปัจจุบันระบบพิกัดแบบ TM เป็นระบบพิกัดที่มีความแม่นยำมากกว่าระบบพิกัดแบบ UTM ทำให้โครงการก่อสร้างหลาย ๆ โครงการ เริ่มมีการหันมาใช้ระบบ TM มากขึ้น เช่น โครงการการสร้างรถไฟฟ้าความเร็วสูง ซึ่งต้องแบ่งส่วนการทำงานสำรวจจากหลาย ๆ ส่วนให้มาเชื่อมต่อกัน โดยให้ร่างโดยสารถูกกันพอดี ไม่มีการคลาดเคลื่อนหรือเหลื่อมล้ำกัน โดยการนำระบบพิกัดแบบ TM เข้ามาใช้จึงทำให้เกิดความถูกต้องของเนื้องานมากยิ่งขึ้น

1. วิธีการแปลงค่าพิกัด

- ทำการรังวัด หรือเตรียมชุดข้อมูลในรูปแบบ UTM

ตารางที่ 9 ตารางแสดงค่าพิกัดหมุดอ้างอิงรูปแบบพิกัด UTM

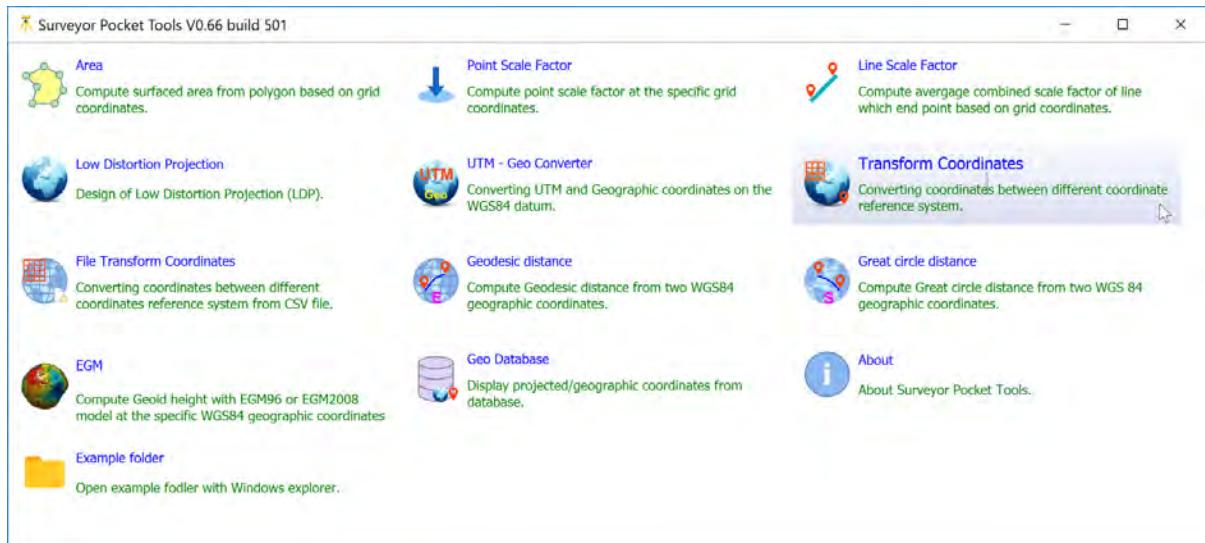
Point	UTM.			MSL.
	N	E	Grid Factor	
0317-075	1510987.653940	185165.395610	1.0008264670	55.1468
0317-076	1511055.098530	185026.030480	1.0008275534	55.3388
0317-077	1514416.156300	184092.713520	1.0008348380	52.6955
0317-078	1514576.095800	184120.643410	1.0008346195	52.7470
0317-079	1518732.166390	184891.696570	1.0008285933	46.1805
0317-080	1518847.176480	184855.527120	1.0008288754	46.2710
0317-081	1523708.663790	185637.736560	1.0008227758	42.8254
0317-082	1523790.853960	185627.969550	1.0008228517	43.2709
0317-083	1528044.161660	185007.479230	1.0008276810	39.9618
0317-084	1528116.288240	184891.986440	1.0008285816	40.0453

- ใช้โปรแกรม Surveyor Pocket Tools ในการแปลงพิกัด โดยเริ่มจากการหาค่า Scale Factor โดยไปที่เมนู Init Design LDP ป้อนข้อมูลดังรายละเอียดต่าง ๆ ประกอบด้วย h0 ละติจูดเริ่มต้น และลองจิจูดเริ่มต้น โดย h0 คือ ความสูงเฉลี่ยของพื้นที่ โดยจะตั้งไว้ที่ 0 ในตอนหา Scale Factor
 - ละติจูดเริ่มต้น จะตั้งค่าไว้ที่ 0 องศา เพื่อความง่าย
 - ลองจิจูดเริ่มต้น จะตั้งค่าตามผู้ออกแบบ โดยในที่นี้จะยกตัวอย่างที่ 101 องศา 54'

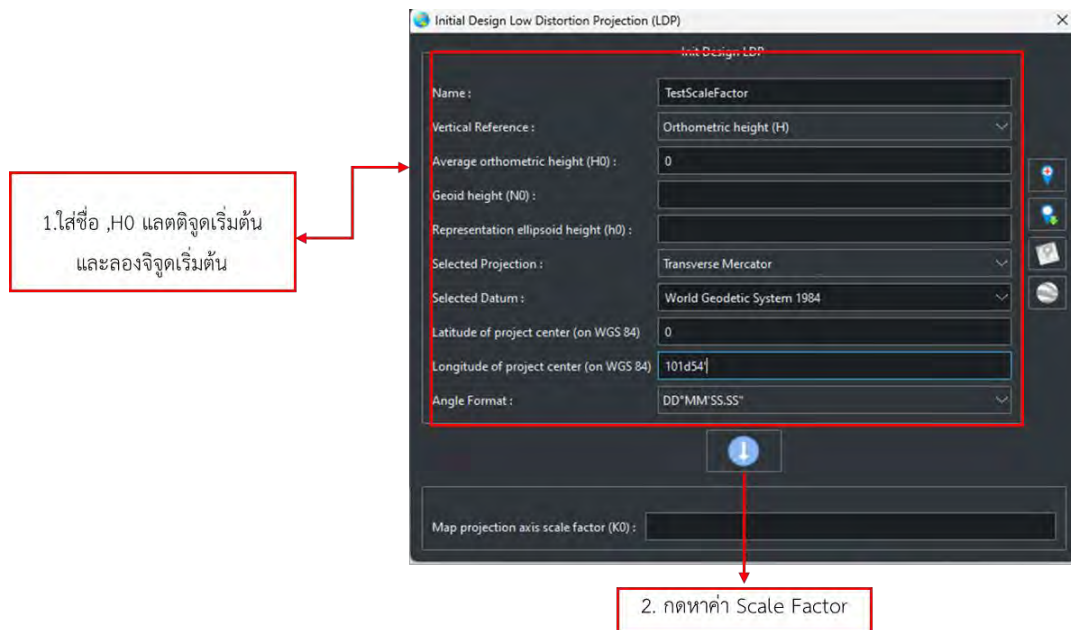


คู่มือการจัดทำแผนที่เชิงวิศวกรรมโดยใช้อากาศยานไร้คนขับ

โครงการข้อมูลจากอากาศยานไร้คนขับเพื่อตรวจติดตามข้อมูลปริมาณจราจรและการจัดทำแผนที่เชิงวิศวกรรม



รูปที่ 86 โปรแกรม Surveyor Pocket Tools



รูปที่ 87 เมนู Init Design LDP



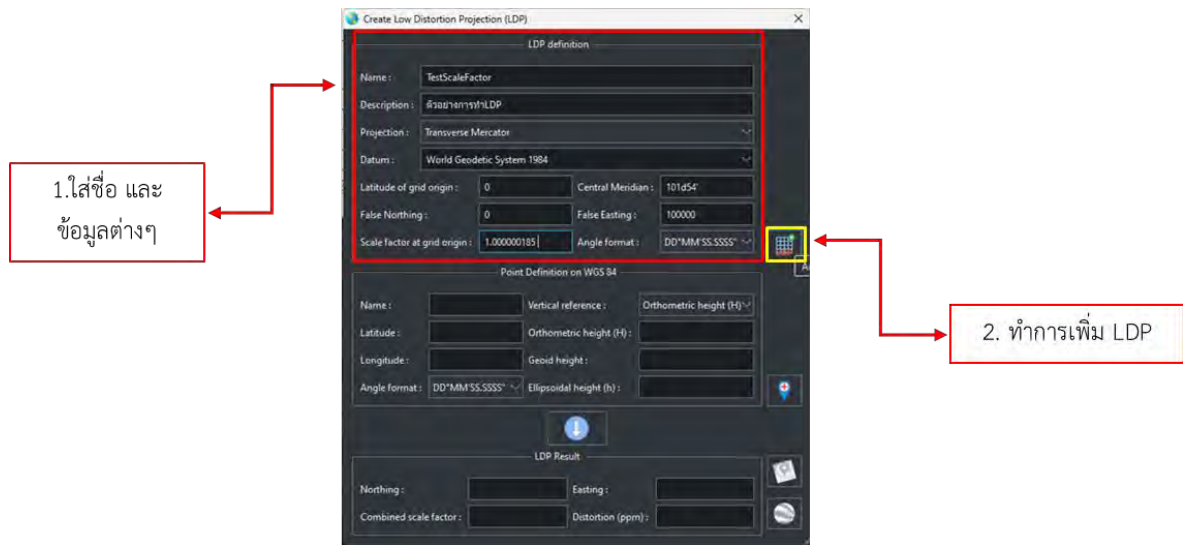
รูปที่ 88 ค่า Scale Factor

- ทำการสร้าง Projections เส้นโครงแผนที่ความเพี้ยนต่ำ (Low Distortion Projection : LDP) ไปที่เมนู Create LDP แล้วต้องใส่ค่าละติจูดเริ่มต้น และลองจิจูดเริ่มต้นเหมือนกับที่ใส่ตอนหาค่า Scale Factor คือ 0 องศา และ 101 องศา 54' ตามลำดับ ค่า False Northing และ False Easting ใส่ตามที่ต้องการใช้งานซึ่งปกติแล้ว False Northing จะตั้งค่าไว้ที่ 0 เพื่อความง่าย และ False Easting จะตั้งค่าตามความเหมาะสมเพื่อตอนที่เราได้ค่าพิกัดมาจะได้สามารถแยกระบบพิกัดได้ทันทีเลยว่าค่าพิกัดนั้น ๆ อยู่ในระบบไหน โดยในที่นี้เราจะตั้งไว้ที่ 100000 และใส่ค่า Scale Factor ที่เราหาได้จากขั้นที่ 2



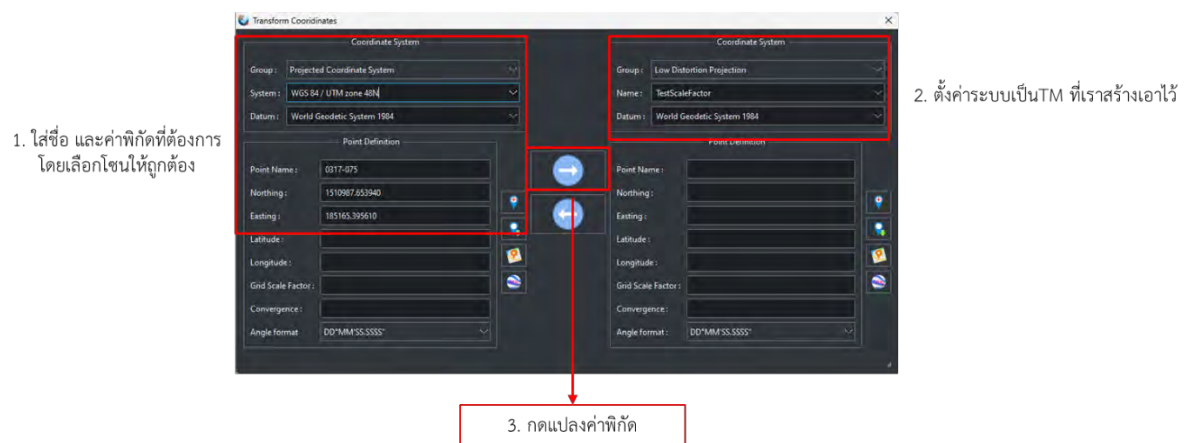
คู่มือการจัดทำแผนที่เชิงวิศวกรรมโดยใช้อากาศยานไร้คนขับ

โครงการข้อมูลจากอากาศยานไร้คนขับเพื่อตรวจติดตามข้อมูลปริมาณจราจรและการจัดทำแผนที่เชิงวิศวกรรม



รูปที่ 89 การสร้าง LDP

- แปลงค่าพิกัดโดยเข้าไปที่เมนู Transform Coordinates โดยทางซ้ายมือจะใส่เป็นค่าพิกัดเริ่มต้น และทางขวามือเป็นค่าพิกัดที่ต้องการ



รูปที่ 90 เมนู Transform Coordinates



คู่มือการจัดทำแผนที่เชิงวิศวกรรมโดยใช้อากาศยานไร้คนขับ

โครงการข้อมูลจากอากาศยานไร้คนขับเพื่อตรวจติดตามข้อมูลปริมาณจราจรและการจัดทำแผนที่เชิงวิศวกรรม

รูปที่ 91 ค่าพิกัดระบบ TM

จากนั้นทำการแปลงค่าพิกัดทุกจุดที่ต้องการ ก็ได้ผลลัพธ์แสดงดังรูปที่ 92

COORDINATE (WGS 1984)							
ทางหลวงหมายเลข 317 ตอน อ.เขาฉกรรจ์ - สระแก้ว กม.130+100 ถึง กม.147+600							
Point	UTM			MSL	TM		PARAMETER TM
	N	E	Grid Factor		N	E	
0317-075	1510987.653940	185165.395610	1.0008264670	55.1468	1509713.962060	120565.609570	Central Meridian = 101° - 54'
0317-076	1511055.098530	185026.030480	1.0008275534	55.3388	1509779.566410	120425.508850	Origin Latitude = 0° - 00'
0317-077	1514416.156300	184092.713520	1.0008348380	52.6955	1513125.650140	119450.074400	False Easting = 100000
0317-078	1514576.095800	184120.643410	1.0008346195	52.7470	1513285.801580	119475.932130	False Northing = 0
0317-079	1518732.166390	184891.696570	1.0008285933	46.1805	1517447.985640	120193.026420	Scale factor at grid origin = 1.00000157313
0317-080	1518847.176480	184855.527120	1.0008288754	46.2710	1517562.427650	120155.413770	
0317-081	1523708.663790	185637.736560	1.0008227758	42.8254	1522429.589250	120874.432120	
0317-082	1523790.853960	185627.969550	1.0008228517	43.2709	1522511.579880	120863.615780	
0317-083	1528044.161660	185007.479230	1.0008276810	39.9618	1526753.056850	120188.851700	
0317-084	1528116.288240	184891.986440	1.0008285816	40.0453	1526823.627240	120072.532210	

รูปที่ 92 ตารางแปลงค่าพิกัดระบบ UTM เป็น TM





7.2 การนำข้อมูลทางภูมิประเทศ (Topographical Data) ไปประยุกต์ใช้ในงานด้านอื่น ๆ

ตารางที่ 10 แสดงการเปรียบเทียบข้อมูลทางภูมิประเทศ (Topographical Data) กับข้อมูลแบบสำรวจทางที่กรมทางหลวงมีอยู่ บนโปรแกรม Civil3D

ลำดับที่	รายละเอียด	ตำแหน่งบน Civil3D (เมตร)			รูปประกอบ
		พิกัด	X	Y	
1	เสาไฟฟ้า 1	แบบแปลนก่อสร้าง	111631.158	1847543.156	
		ภาพ Orthomosaic (อากาศยานไร้คนขับ)	111630.600	1847543.173	
		ผลต่าง	0.558	0.017	
2	เสาไฟฟ้า 2	แบบแปลนก่อสร้าง	111576.446	1847553.718	
		ภาพ Orthomosaic (อากาศยานไร้คนขับ)	111576.229	1847554.373	
		ผลต่าง	0.216	0.655	



คู่มือการจัดทำแผนที่เชิงวิศวกรรมโดยใช้อากาศยานไร้คนขับ

โครงการข้อมูลจากอากาศยานไร้คนขับเพื่อตรวจติดตามข้อมูลปริมาณจราจรและการจัดทำแผนที่เชิงวิศวกรรม

ตารางที่ 10 แสดงการเปรียบเทียบข้อมูลทางภูมิประเทศ (Topographical Data) กับข้อมูลแบบสำรวจทางที่กรมทางหลวงมีอยู่ บนโปรแกรม Civil3D (ต่อ)

ลำดับที่	รายละเอียด	ตำแหน่งบน Civil3D			รูปประกอบ
		พิกัด	X	Y	
3	เสาไฟฟ้า 3	แบบแปลนก่อสร้าง	111422.781	1847583.114	
		ภาพ Orthomosaic (อากาศยานไร้คนขับ)	111422.849	1847583.855	
		ผลต่าง	0.068	0.741	
4	เสาไฟฟ้า 4	แบบแปลนก่อสร้าง	111307.131	1847605.101	
		ภาพ Orthomosaic (อากาศยานไร้คนขับ)	111307.324	1847605.592	
		ผลต่าง	0.194	0.491	



CUTI
สถาบันการขนส่ง
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สถาบันการขนส่ง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย