การประยุกต์อากาศยานไร้คนขับสำหรับการทำแผนที่เหมืองหิน กรณีศึกษา โรงโม่หินเพชรเมืองเลย

Applications of Unmanned Aerial Vehicle for Quarry Mapping Case study Phet Muang Lei Crashing Plant

ต่อลาภ การปลื้มจิตร[1,*] จิรวัฒน์ จันทองพูน[2] และ ณัฐพล แก้วทอง[3]

[1,2,3] สาขาวิชาวิศวกรรมสารวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย จ.สงขลา

**Corresponding author; E-mail address: torlap.k@rmutsv.ac.th*

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอเรื่องการประยุกต์การสำรวจด้วยการรังวัดภาพถ่ายทางอากาศจากอากาศยานไร้คนขับหรือ UAVs สำหรับการทำแผนที่เหมืองหินตามมาตรฐาน กพร. โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อจัดทำแผนที่ภูมิประเทศและแผนที่ภาพถ่ายออร์โธบริเวณเหมืองหินจากการประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศจากอากาศยานไร้คนขับ จุดควบคุมภาคพื้นดินจำนวน 6 จุด รังวัดด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GNSS โดยสถานี CORS พื้นที่ศึกษาเหมืองหิน เพชรเมืองเลย บินที่ความสูง 140 ม. จำนวน 793 ภาพขนาดจุดภาพเฉลี่ย 4 ซม. ผลค่าความคลาดคลื่อนการฉาย 0.103 จุดภาพ ความคลาดเคลื่อนการรังวัดจุดควบคุมภาคพื้นดิน มีค่าเท่ากับ RMSE X 4.8 ซม. RMSE Y 3.4 ซม. RMSE Z 0.7 ซม. และจุดตรวจสอบ RMSE X 6.4 ซม. RMSE Y 4.9 ซม. RMSE Z 8.7 ซม. เป็นตามมาตรฐานการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับเพื่องานวิศวกรรม สามารถผลิตแผนที่จัดส่ง กพร. ต่อไปได้

คำสำคัญ: อากาศยานไร้คนขับ, การรังวัดภาพเชิงเลข, เหมืองหิน

Abstract

This article presents the study of UAVs surveying for quarry mapping. The objective of studying to application of UAVs images processing for Topographic map and to Ortho-photo map with UAVs Photogrammetry from 6 GCPs by using GNSS. The study area at Phet Mueng Loei quarry Loei Province. Which has flying height of 140 meters above the terrain. Total of 793 images. Average GSD about 4 cm. The mean reprojection error is 0.103 pixels. The error of GCP is RMSE X 4.8 cm, RMSE Y 3.4 cm, RMSE Z 0.7 cm, and check point RMSE X 6.4 cm, RMSE Y 4.9 cm. RMSE Z 8.7 cm, in accordance with UAV survey standard.

Keywords: UAVs, Digital photogrammetry, Quarry

1. คำนำ

ด้วยความก้าวหน้าในการพัฒนาทางเทคโนโลยีด้านการสำรวจและทำแผนที่ด้วยอากาศยานไร้คนขับ ร่วมกับการประมวลผลภาพเพื่อสร้างแบบจำลองสามมิติจากภาพถ่ายสองมิติทำให้มีการพัฒนาระบบการสำรวจและทำแผนที่จากอากาศยานไร้คนขับ (UAV) ที่ใช้งานง่าย สะดวก และมีความคล่องตัวมากขึ้นเมื่อเทียบกับวิธีการสำรวจด้วยภาพถ่ายทางอากาศแบบเดิมให้ผลลัพธ์ที่มีรายละเอียดและความถูกต้อง แม่นยำสูง การสำรวจด้วยภาพจาก UAV ถูกนำมาใช้ในงานหลายประเภทตั้งแต่งานสำรวจเพื่อการก่อสร้าง งานด้านสถาปัตยกรรม งานผังเมือง การสร้างแผนที่ภูมิประเทศ

การทำแผนเหมืองหินในเหมืองตามกรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่หรือ กพร. กำหนด ทำให้เทคโนโลยีการสำรวจด้วย UAV ถูกนำใช้กันอย่างแพร่หลาย [3] มีการพัฒนาอุปกรณ์ที่ติดตั้งกับตัว UAV หลากหลายรูปแบบโดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้กล้องแบบ RGB และมีการพัฒนาแอพพลิเคชั่นการวางแผนการบินถ่ายภาพ โปรแกรมประยุกต์ในการประมวลผลภาพ ข้อมูลภาพถ่ายที่ได้มีคุณสมบัติเด่นเรื่องของความละเอียดของจุดภาพ หรือ GSD ที่มีขนาดเล็กในระดับเซนติเมตร ทำให้การรังวัดภาพถ่ายเชิงเลขทำมีความถูกต้องเชิงตำแหน่งสูงและมีความทันสมัยเทคโนโลยีที่ร่วมนำมาใช้กับการสำรวจด้วย UAV ที่สำคัญคือการรังวัดด้วยระบบดาวเทียม GNSS ประมวลผลร่วมกับโปรแกรมประยุกต์ที่ใช้ประมวลผลภาพถ่าย ข้อมูลเชิงพื้นที่ที่ได้มาจากการประมวลผลภาพ UAV นั้นมี ข้อมูลแบบจำลองพื้นผิวเชิงเลข หรือ DSM ข้อมูลลักษณะภูมิประเทศเชิงเลข หรือ DTM สำหรับการสร้างเส้นชั้นความสูงเพื่อวิเคราะห์ด้านความสูง เช่นปริมาตรเหมืองหิน และข้อมูลภาพดัดแก้เชิงเลข จึงได้ทำการสำรวจและทำแผนที่ด้วยอากาศยานไร้คนขับ บริเวณเหมืองหินของบริษัท เพชรเมืองเลย อสังหาริมทรัพย์ จำกัด เพื่อนำข้อมูลผลผลิตจากการประมวลผลภาพที่ได้ไปจัดทำแผนที่ภาพถ่ายและแผนที่เส้นใช้ความสูง ในการจัดทำฐานข้อมูลให้กับ กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ในการทำประทานบัตรต่อไป

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 วัตถุประสงค์และพื้นที่ศึกษา

โครงการศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์ภาพจากอากาศยานไร้คนขับสร้างแผนที่ภาพถ่ายและแบบจำลองระดับสูงเชิงเลข พื้นที่ศึกษาโครงการโรงโม่หิน เพชรเมืองเลย ซึ่งทำเหมืองแร่ชนิดแร่หินอุตสาหกรรมชนิดหินเพื่ออุตสาหกรรมก่อสร้าง คำขอประทานบัตรที่ 15/2558 เป็น

3) คณะอนุกรรมการเฉพาะกิจว่าด้วยเรื่องการพิจารณาให้การระเบิด และย่อยหินเปลี่ยนเป็นเทคโนโลยีการทำเหมืองหินได้เห็นชอบกับแนวทางข้างต้น ซึ่งคณะรัฐมนตรีมีมติเห็นชอบตามแนวทางดังกล่าวและมอบหมายให้กรมทรัพยากรธรณีเป็นหน่วยงานหลักในการดำเนินการรวมถึงโอนอำนาจหน้าที่ในการอนุญาตและควบคุมโรงโม่หินจากกรมโรงงานอุตสาหกรรม มาอยู่ภายใต้การกำกับดูแลของกรมทรัพยากรธรณีกระทรวงอุตสาหกรรม เพื่อแก้ไขปัญหาด้านการกำกับดูแลการใช้หินของประเทศให้อยู่ภายใต้หน่วยงานเดียวกันและแก้ไขปัญหา ความปลอดภัยในการทำงานด้วยการใช้เทคนิคทางวิศวกรรมเหมืองแร่

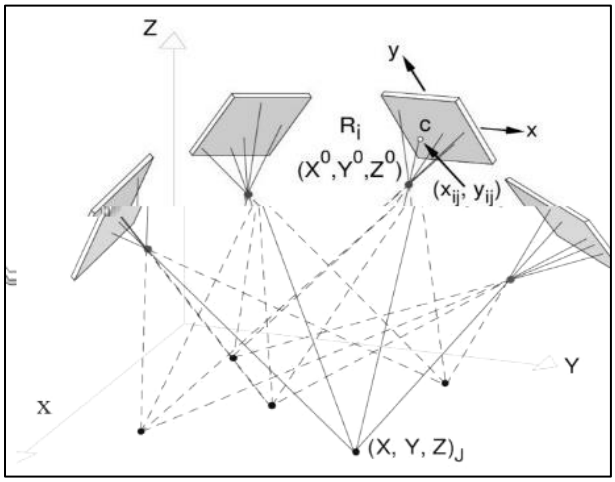
4) กรมทรัพยากรธรณีได้ดำเนินการตามมติคณะรัฐมนตรี โดยการแต่งตั้งคณะกรรมการกำหนดแหล่งหิน 2 ชุด เพื่อการทำเหมืองหินอุตสาหกรรมที่จะอนุญาตตามพระราชบัญญัติแร่ พ.ศ. 2510 ได้แก่ คณะกรรมการกำหนดแหล่งหิน เพื่อการทำอุตสาหกรรมเหมืองหิน และคณะกรรมการกำหนดแหล่งหิน เพื่อการทำอุตสาหกรรมเหมืองหินในระดับจังหวัด ทำหน้าที่พิจารณา กำหนดแหล่งหิน พร้อมกำหนดให้หินทุกชนิดเป็นแร่ชนิดหินประดับ หรือหินอุตสาหกรรม [3] โดยการกำหนดให้หินทุกชนิดเป็นแร่ชนิดหินประดับ หรือแร่ชนิดหินอุตสาหกรรม

2.3 การรังวัดภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ

เทคโนโลยีในการประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศแบบอัตโนมัติถูกมาประยุกต์ใช้งาน มีหลักการในการประมวลผลเบื้องต้นที่สำคัญ คือหลักการพื้นฐานของการสำรวจด้วยภาพถ่าย การสร้างจุดโยงยึดอัตโนมัติ การทำโครงข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศ (Aerial Triangulation, AT) ซึ่งเป็นกระบวนการที่นำข้อมูลลำแสงที่ฉายลงบนภาพถ่ายที่ถูกบันทึกโดยกล้องถ่ายภาพทางอากาศในจำนวนที่มากมาทำการประมวลผลในการคำนวณทั้งการเล็งสกัดย้อนและกระบวนการเล็งสกัด ซึ่งการเล็งสกัดย้อนคือกระบวนการในการหาค่าองค์ประกอบการจัดภาพภายนอก ทำให้ทราบตำแหน่งและการวางตัวของภาพถ่ายเทียบกับระบบพิกัดภาคพื้นดิน และกระบวนการในการคำนวณตำแหน่งและการวางตัวของภาพถ่ายคู่ซ้อนสามมิติเพื่อใช้หาค่าพิกัดบนพื้นหลักฐานจริง โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สมการสภาวะร่วมเส้น นำมาใช้ในการปรับแก้และคำนวณค่าพิกัดภาคพื้นดินที่ไม่ทราบค่าคำนวณปรับแก้ค่าองค์ประกอบการจัดภาพภายนอกในแต่ละภาพถ่าย [2] ซึ่งในปัจจุบันการประมวลผลโครงข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศจะใช้วิธีการคำนวณปรับแก้ของบล็อกแบบลำแสง

2.3.1 การปรับแก้บล็อกลำแสง (Bundle Block Adjustment)

เป็นการสร้างระบบสมการร่วมเส้นของจุดบนภาพถ่าย กลุ่มของลำแสงซึ่งมีจุดกำเนิดจากจุดศูนย์กลางการถ่ายภาพผ่านจุดที่ปรากฏบนภาพถ่ายทั้งหมด ทั้งนี้การคำนวณปรับแก้ของบล็อกแบบลำแสงจะเป็นวิธีคำนวณหาค่าองค์ประกอบคือตำแหน่ง (Xo, Yo, Zo) และการเอียง (Orientation : ω, ϕ, κ) ของภาพถ่ายในระวางวัตถุที่ไม่ทราบค่า ซึ่งตำแหน่งถ่ายภาพกำหนดโดยพิกัดวัตถุของ จุด Perspective Center ส่วนการเอียง อธิบายโดยใช้อาการเอียงของแกนกล้องขณะถ่ายภาพ ขณะเปิดหน้ากล้อง ซึ่งเป็นความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ ระหว่างระบบพิกัดวัตถุ (X ,Y, Z) กับระบบพิกัดภาพถ่าย (x , y , z) [10] [6] ดังรูปที่ 3 เสร็จแล้วมาสร้างจุดพิกัดสามมิติ (point cloud) และโครงข่ายเชื่อมโยงจุด (Mesh) กระบวนการสร้างจุดพิกัดสามมิติซึ่งเป็นการสร้างกลุ่มของจุดสามมิติที่เก็บค่าของตำแหน่งของวัตถุในพิกัด X,Y,Z ทั้งนี้ปัจจัยหลักในกระบวนการนี้ขึ้นอยู่กับการคำนวณค่าตำแหน่งของกล้องที่บันทึกภาพถ่าย [2] โดยขั้นตอนในการประมวลผลสร้างข้อมูลจุดโยงยึดแบบหนาแน่น จะเป็นการช่วยเพิ่มจำนวนจุดพิกัดสามมิติที่ได้จากการประมวลผล ซึ่งในขั้นตอนนี้จะต้องสร้างจากภาพอย่างน้อย 3 ใบ เพื่อควบคุมคุณภาพความถูกต้องเชิงตำแหน่งของจุด

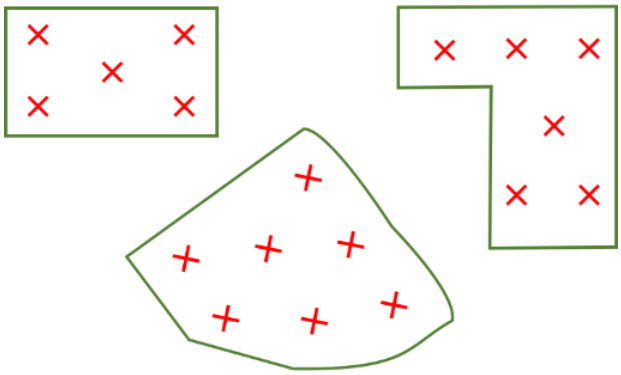


รูปที่ 3 การปรับแก้บล็อกลำแสง

2.3.2 จุดควบคุมภาพถ่ายภาคพื้นดิน (Ground Control Points)

คือส่วนสำคัญอย่างมากในการสำรวจด้วยภาพถ่ายทางอากาศและประมวลผลภาพถ่ายเป็นอย่างมาก เป็นจุดที่มีพิกัดภาคพื้นดินมีค่าพิกัดในทั้ง 3 มิติคือค่าพิกัดทางราบและพิกัดทางดิ่ง โดยส่วนใหญ่ จะใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GNSS ในการรังวัดค่าพิกัดโดยใช้วิธีการแบบสถิต (Static survey) ในภาคสนามที่สามารถนำจุดควบคุมนั้นเพื่อนำไปโครงข่ายรังวัดสามเหลี่ยมทางอากาศ โดยเป็นทั้งจุดที่เห็นได้ชัดเจนทั้งในภูมิประเทศโดยใช้เป้าล่วงหน้า (Pre – mark) [7] ค่าความถูกต้องพิกัดของจุดพิกัดควบคุมภาคพื้นดินจะถูกถ่ายทอดเข้าไปในระบบสมการของการคำนวณปรับแก้ในบล็อกของภาพถ่าย จำนวนจุดพิกัดควบคุมภาคพื้นดินที่เหมาะสม ก็จะทำให้ผลลัพธ์มีความถูกต้องน่าเชื่อถือ นอกจากนี้เรขาคณิตของจุดควบคุมภาคพื้นดินในบล็อกยังมีความสำคัญต่อความละเอียดถูกต้องที่ได้จากตำแหน่งที่ตั้งของจุดพิกัดควบคุมภาคพื้นดินก็มีความสำคัญเช่นกัน การจัดวางตำแหน่งของจุดบังคับภาคพื้นดินและจำนวนที่เหมาะสมโดยตามมาตรฐานการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับเพื่องานวิศวกรรม กำหนดไม่ให้น้อยกว่า 5 จุดต่อหนึ่งบล็อค [8] และมีตำแหน่งที่เหมาะสม จะขึ้นอยู่กับการใช้งานของแผนที่นั้น การปฏิบัติงานขึ้นอยู่กับแบบจำลองสามมิติและระบบปฏิบัติการรังวัดภาพถ่ายทางอากาศ คือ จุดควบคุมแต่ละจุดควรมีระยะห่างไม่เกิน 500 เมตร และไม่ควรเรียงตัวเป็นเส้นตรงและควรอยู่ตรง

กลางแบบจำลองเพื่อควบคุมคุณภาพของแบบจำลอง ส่วนมากจะใช้เทคนิคการขยายจุดบังคับภาพถ่ายจะใช้การวางตัวของจุดควบคุมภาคพื้นดินตามตัวอย่างที่ดังแสดงในรูปที่ 6

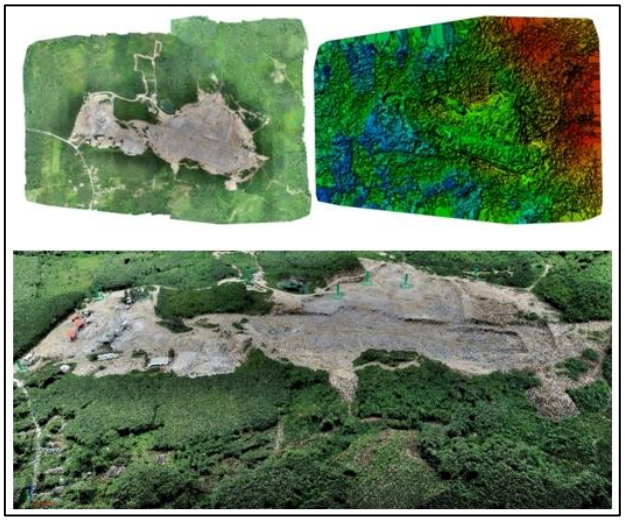


รูปที่ 4 ตำแหน่งของจุดควบคุมภาพถ่าย [8]

2.4 กพร. กับการอากาศยานไร้คนขับในการกำกับดูแลเหมืองแร่

กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ (กพร.) กระทรวงอุตสาหกรรม รุกใช้เทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับในงานตรวจสอบและกำกับดูแลเหมืองแร่ เพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน และลดความเสี่ยงในการปฏิบัติงานบริเวณพื้นที่อันตราย เช่น บริเวณหน้าผาสูงชัน ในบ่อเหมืองที่มีการทำงานของเครื่องจักรขนาดใหญ่ อีกทั้งช่วยลดต้นทุนการใช้ทรัพยากรต่าง ๆ ในการตรวจสอบและกำกับดูแลเหมืองแร่ ทั้งนี้ อากาศยานไร้คนขับสามารถทำการรังวัดภาคสนาม และประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศ โดยภาพถ่ายทางอากาศที่ได้จะถูกนำมาคำนวณความสูงและพิกัดของพื้นที่เพื่อนำไปใช้ในการสร้างแผนที่ แบบจำลองภูมิประเทศและการคำนวณปริมาตรพื้นดินที่ถูกขุดตักจากการทำเหมือง พร้อมนำร่องใช้ในเหมืองหินปูน เหมืองแร่ยิปซัม เหมืองแร่แคลไซต์ และเหมืองแร่ทองคำ [3]

กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่จึงได้มีการนำเทคโนโลยีการรังวัดสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับหรือ UAV มาใช้สนับสนุนในการตรวจสอบกำกับดูแลกิจการการทำเหมืองแร่ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการปฏิบัติงาน ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจเป็นข้อมูลแบบเป็นปัจจุบัน (Real time) สามารถช่วยในการตัดสินใจหรือแก้ปัญหาตามสถานการณ์ได้อย่างทันท่วงที ทั้งนี้ การปฏิบัติงานสำรวจรังวัดด้วยอากาศยานไร้คนขับจะประกอบด้วย การรังวัดภาคสนาม โดยผู้ปฏิบัติงานจะทำการลงพื้นที่เพื่อทำการวางเป้าในการกำหนดจุดพิกัดภาคพื้นดิน (Ground control points: GCPs) แล้วจึงทำการบินเพื่อถ่ายภาพตามแนวบินที่กำหนด โดยอากาศยานไร้คนขับจะติดตั้งกล้องเพื่อถ่ายภาพในระยะความสูงประมาณ 50-300 เมตร [3] และการประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศ ซึ่งภาพถ่ายทางอากาศที่ได้จะถูกนำมาคำนวณความสูงและพิกัดของพื้นที่ เพื่อนำมาใช้ในการสร้างแผนที่และแบบจำลองภูมิประเทศดังรูปที่ 5

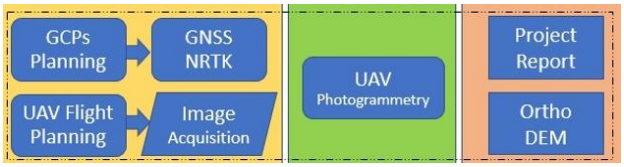


รูปที่ 5 ข้อมูลเชิงพื้นที่ที่ได้จาก UAV

อย่างไรก็ตาม กพร. มีการใช้งานอากาศยานไร้คนขับ 2 ประเภท คือ อากาศยานไร้คนขับแบบปีกตรึง (Fixed wing) และอากาศยานไร้คนขับแบบปีกหมุน (Multi-rotor UAV) ซึ่งทั้ง 2 ประเภทมีข้อแตกต่างของคุณลักษณะในการปฏิบัติงาน กล่าวคือ อากาศยานไร้คนขับแบบปีกตรึงจะสามารถปฏิบัติงานได้ยาวนานกว่า ซึ่งเป็นผลให้สามารถปฏิบัติงานได้ครอบคลุมพื้นที่มากกว่าในแต่ละรอบการบิน ในขณะที่แบบปีกหมุนมีความคล่องตัวในการปฏิบัติงานในพื้นที่ที่เป็นแนวดิ่งได้มากกว่า ดังนั้นการใช้งานอากาศยานไร้คนขับแต่ละประเภทต้องคำนึงถึงขนาดพื้นที่และสภาพภูมิประเทศที่ต้องการสำรวจรังวัดสำรวจ [4]

3. วิธีการดำเนินงาน

การสำรวจและทำแผนที่ด้วยอากาศยานไร้คนขับ เริ่มตั้งแต่งานวางแผนการบินถ่ายภาพ การบินถ่ายภาพ การสำรวจจุดควบคุมภาคพื้นดิน การโหลดข้อมูลและประมวลผลภาพจากอากาศยานไร้คนขับ และการจัดทำแผนที่ภาพถ่ายและแผนที่เส้นชั้นความสูง โดยแสดงแผนการดำเนินงานนี้ดังรูปที่ 7

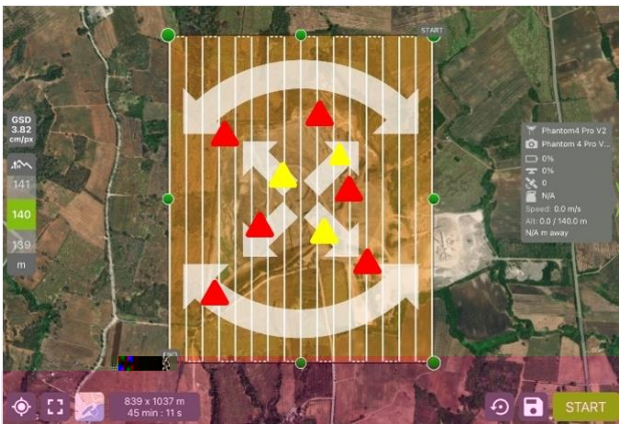


รูปที่ 6 กระบวนการดำเนินงาน

3.1 การวางแผนการบิน และจุดควบคุมภาคพื้นดิน

3.1.1 การวางแผนการบินมีความสำคัญและต้องจัดทำให้สอดคล้องกับข้อมูลขอบเขตของโครงการ โดยการวางแผนการบินด้วยอากาศยานไร้

คนขับจากอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อกับตัว UAV โดยกำหนดพื้นที่บิน ความสูงบิน ขนาดของ GSD ส่วนซ้อนด้านหน้าและส่วนซ้อนด้านข้าง ใช้ UAV ยี่ห้อ DJI รุ่น Phantom 4 Pro V2 ที่ติดตั้งกล้องรุ่น FC6310 ความยาวโฟกัส 8.8 มม. [9] ร่วมกับแอพพลิเคชั่น pix4D วางแผนวิธีการบินแบบตารางกริด ส่วนซ้อนด้านหน้าร้อยละ 85 ส่วนซ้อนด้านข้างร้อยละ 75 [4] และทำการวางแผนงานสำรวจภาคสนามเพื่อสร้างจุดควบคุมภาพถ่ายภาคพื้นดินหรือ GCPs จะเป็นตำแหน่งที่เหมาะสมต่อการรังวัดด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GNSS โดยรังวัดด้วยวิธี RTK GNSS Network จำนวน 6 จุด และจุดตรวจสอบ (Check point) จำนวน 3 จุด ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 การวางแผนการบินและ GCPs

3.1.2 ความสูงบินเป็นส่วนสำคัญของการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ เนื่องจากความสูงบินที่ต่ำลงมาจะได้ความละเอียดของภาพถ่ายหรือ GSD สูงขึ้น สามารถผลิตข้อมูลเชิงตำแหน่งที่มีความถูกต้องมากขึ้น แต่ต้องใช้เวลาบินนานขึ้นเพื่อให้ได้ภาพที่มีส่วนซ้อนและส่วนเกยเท่าเดิม นอกจากระยะเวลาในการบินเพิ่มขึ้นแล้วยังต้องคำนึงถึงจำนวนภาพที่เพิ่มขึ้น ซึ่งจะส่งผลโดยตรงต่อระยะเวลาในการประมวลผล ระดับสูงบินมีส่วนสำคัญอย่างยิ่งต่อการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ [7] โดยสามารถคำนวณระดับสูงบินได้จากสมการที่ (1)

$$H = \frac{GSD \times f \times IW}{SW \times 100} \qquad (1)$$

เมื่อ H (Flight Height) คือ ความสูงการบินเหนือจุดขึ้นบิน
GSD คือ ระยะพื้นต่อพิกเซล
SW (Sensor Width) คือ ระยะด้านกว้างของเซนเซอร์
f (Focal Length) คือ ทางยาวโฟกัสของเลนส์
IW (Image Width) คือ จำนวนพิกเซลด้านกว้าง

3.1.3 ส่วนซ้อน Over – Side lap ซึ่งจากการกำหนดค่าความสูงของในการถ่ายภาพครั้งนี้ที่ 140 เมตรจะทำให้ได้ค่าความละเอียดของจุดภาพหรือ GSD ประมาณ 4 ซม. กพร.กำหนดค่าส่วนซ้อนด้านหน้าตามแนวบินร้อยละ 85 และส่วนซ้อนด้านข้างระหว่างแนวบินร้อยละ 75 ซึ่งเป็นการกำหนดให้ภาพเพียงพอต่อการประมวลผลพื้นที่ลาดชัน พื้นที่โครงการทั้งหมดทำการบินทั้งหมด 3 เที่ยวบิน ซึ่งจะได้ภาพถ่ายดิ่งทั้งโครงการประมาณ 793 ภาพ

3.2 การสำรวจจุดควบคุมภาพถ่ายภาคพื้นดิน

นำเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GNSS เพื่อใช้ในการรังวัดเพื่อสร้างค่าพิกัดสามมิติของจุดควบคุมภาพถ่ายภาคพื้นดินนำไปติดตั้งเพื่อรังวัดโดยไปวางบริเวณเป้าแบบให้สัญญาณ (Signalized Control Point) ที่ใช้การพ่นสีบริเวณเป้าเพื่อให้มองเห็นได้จากการถ่ายภาพด้วยอากาศยานไร้คนขับ บริเวณจุดทั้งหมด 8 จุดในโครงการ แยกเป็นจุดควบคุม 6 จุด จุดตรวจสอบ 3 จุด ซึ่งจุดดังกล่าวต้องมีการในกระจายตัวอย่างเหมาะสมคลอบคลุมพื้นที่สำรวจทั้งหมด ก่อนทำการบินสำรวจแผนที่ด้วย UAV เพื่อให้ภาพถ่ายที่ได้สามารถมองเห็นจุด GCP ได้ชัดเจนในภาพถ่ายดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 การวางจุดควบคุมภาคพื้นดิน

การหาค่าพิกัดรายละเอียดสูงด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GNSS ด้วยโครงข่าย RTSD GNSS CORS ของกรมแผนที่ทหารโดยอ้างอิงจากระบบพิกัดทางราบ WGS84 ซึ่งสามารถแปลงค่าสู่ระบบ UTM โซน 47 และค่าพิกัดทางดิ่งหรือค่าระดับ ด้วยรูปแบบจำลองยีออย TGM2017 โดยแต่ละหมุดจะตั้งด้วยเวลา 15 นาที รับสัญญาณ Epoch ละ1 วินาที ซึ่งเพียงพอต่อการสำรวจด้วยภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ เพื่อที่จะเป็นพิกัดอ้างอิงที่ใช้สำหรับในการตรึงค่าพิกัดบนจุดเดียวกันที่เห็นในภาพถ่ายด้วยโปรแกรมประมวลผลภาพถ่ายรูปภาพที่ใช้จะต้องมีความคมชัดเพียงพอ ซึ่งได้พิกัดดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สรุปค่าจุดควบคุมและจุดตรวจสอบ

GCP/CP	Easting (m.)	Northing (m.)	MSL (m.)
GCP1	806214.498	1924135.561	312.896
GCP2	806520.200	1924348.209	315.769
GCP4	806529.380	1924680.105	290.350
GCP5	806322.645	1924742.696	323.638
GCP6	806546.271	1924866.215	326.617
GCP8	806792.907	1924267.249	308.075
CP1	806340.864	1924393.323	276.116
CP2	806700.107	1924587.514	318.189
CP3	806352.907	1924345.856	305.796

3.3 การดำเนินการบินถ่ายภาพด้วย UAV

การสำรวจและจัดทำแผนที่ภาพถ่ายด้วยอากาศยานไร้คนขับที่ติดตั้งระบบนำร่องด้วยดาวเทียม GNSS ทำให้อากาศยานสามารถบินถ่ายภาพตามแผนการบินที่ถูกอัปโหลดจากการวางแผนด้วยแอปพลิเคชัน Pix4D capture ที่ติดตั้งในอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมอากาศยานฯ การบินถ่ายภาพในโครงการนี้กำหนดความสูงบิน 140 เมตร ด้วยการถ่ายภาพถ่ายดิ่งมุมถ่ายภาพ 90 องศา จากการบินถ่ายภาพด้วยอากาศยานไร้คนขับตามแผนการบินได้ภาพทั้งหมด 793 ภาพ ทั้งหมด 3 เที่ยวบินดังรูปที่ 9



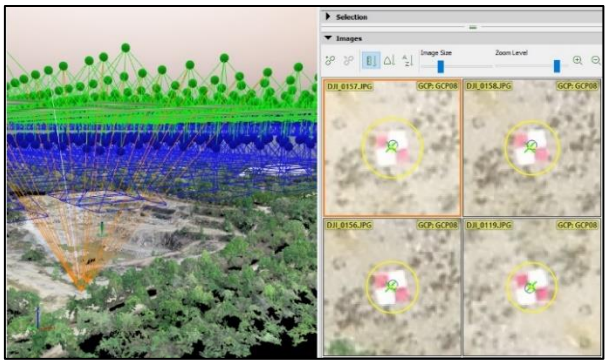
รูปที่ 9 การบินถ่ายภาพด้วย UAV

3.4 การประมวลผลภาพถ่างทางอากาศ

การประมวลผลภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ เป็นกระบวนการที่สำคัญต่อความถูกต้องเชิงตำแหน่ง ซึ่งในแต่ละขั้นตอนการประมวลผลจะบ่งชี้ถึงคุณภาพของชุดข้อมูลภาพถ่าย ดังนั้นจึงทำให้ต้องมีการตั้งค่าพารามิเตอร์ให้เหมาะสม และตรวจสอบรายงานผลการประมวลผลทุกขั้นตอน โดยจะกล่าวถึงค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการประมวลผล การประมวลผลภาพถ่ายในแต่ละขั้นตอนจะส่งผลต่อคุณภาพและความถูกต้องของข้อมูลเชิงตำแหน่ง ดังนั้นจึงทำให้ผู้ปฏิบัติงานจะต้องให้ความสำคัญกับการตั้งค่าพารามิเตอร์ในการประมวลผล และตรวจสอบรายงานการประมวลผลให้เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐาน โดยการกำหนดค่าพารามิเตอร์ของขั้นตอนการประมวลผลภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับคือ [9]

3.4.1 การรังวัดจุดโยงยึด (Initial processing) การนำเข้าภาพและสร้างจุดโยงยึด การประมวลผลภาพถ่ายจาก UAV ด้วยโปรแกรม Pix4d Mapper เริ่มจากการนำภาพถ่ายและทำการเชื่อมโยงภาพแต่ละภาพด้วยจุดโยงยึด (tie point หรือ key points) ที่สร้างขึ้นโดยอัตโนมัติจากสมการสภาวะร่วมเส้นตรงเดียวกัน ทั้งนี้ในขั้นตอนเริ่มต้นนี้จะเป็นส่วนสำคัญที่สุดในการผลิตข้อมูลจุดพิกัดสามมิติโดยจุดโยงยึดที่สร้างมีจำนวน 1,728,969 จุดจาก 793 ภาพ

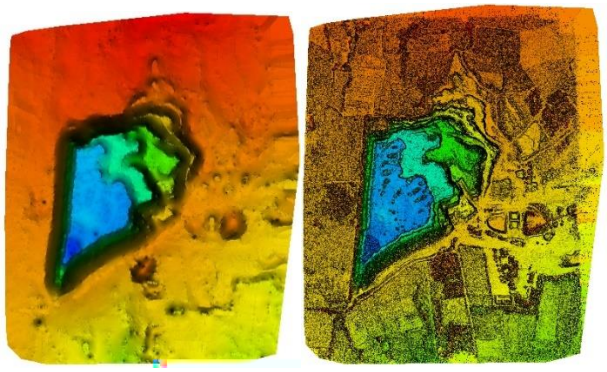
3.4.2 การหมายพิกัดภาพของหมุดบังคับ (Photo Control Point Measurement) การนำเข้าพิกัดจุดควบคุมภาพถ่ายภาคพื้นดิน เมื่อได้จุดโยงยึดแล้วจะทำให้การรังวัดจุดควบคุมภาพถ่ายภาคพื้นดินในโปรแกรมได้สะดวกขึ้น โดยนำเข้าค่าพิกัดจุดควบคุมภาคพื้นดิน ทั้งหมดจำนวน 6 จุด และจุดตรวจสอบ 3 จุด โดยตั้งค่าแต่ละเป็นจุดแบบ 3D control point หมายพิกัดไปที่ตำแหน่งเดียวกันที่ปรากฏในภาพทุกภาพในแต่ละบล็อกงาน ดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 การหมายพิกัดหมุดบังคับภาพถ่าย

3.4.3 การปรับแก้ด้วยโครงข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศ เป็นการทำให้จุดโยงยึดอยู่ในระบบพิกัดเช่นเดียวกับจุดควบคุมภาคพื้นดิน ควบคุมมาตรฐานการปรับแก้บล็อคด้วยค่า Mean Reprojection Error โดยตามมาตรฐานไม่เกิน 0.3 จุดภาพโดยโครงการนี้ ค่าอยู่ที่ 0.103 และความคลาดเคลื่อนจากการรังวัดจุดควบคุมภาคพื้นดิน (GCPs RMS error) มีค่าเท่ากับ RMSE X 4.8 เซนติเมตร RMSE Y 3.4 เซนติเมตร RMSE Z 0.7 เซนติเมตร และจุดตรวจสอบ RMSE X 6.4 เซนติเมตร RMSE Y 4.9 เซนติเมตร RMSE Z 8.7 เซนติเมตร

3.4.4 การสร้างข้อมูลเชิงพื้นที่จากการประมวลผลภาพถ่าย การสร้างข้อมูลภาพดัดแก้เชิงเลขและข้อมูลแบบจำลองระดับพื้นผิวเชิงเลขหรือ DSM ด้วยการให้โปรแกรมนำข้อมูลออกมาตามการตั้งค่าข้อมูลเชิงพื้นที่ให้มีความละเอียดเท่ากับข้อมูลภาพคือ 4 เซนติเมตร แบบจำลองระดับภูมิประเทศเชิงเลข DTM ค่าจุดภาพ 20 เซนติเมตร ที่ได้จากการประมวลผลดังรูปที่ 11



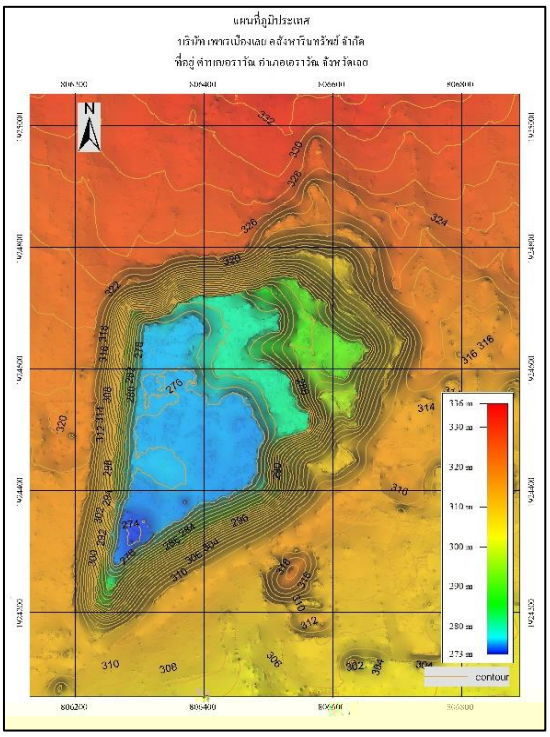
(ก) (ข)

รูปที่ 11 ก. DTM ข. DSM

4. ผลการดำเนินงาน

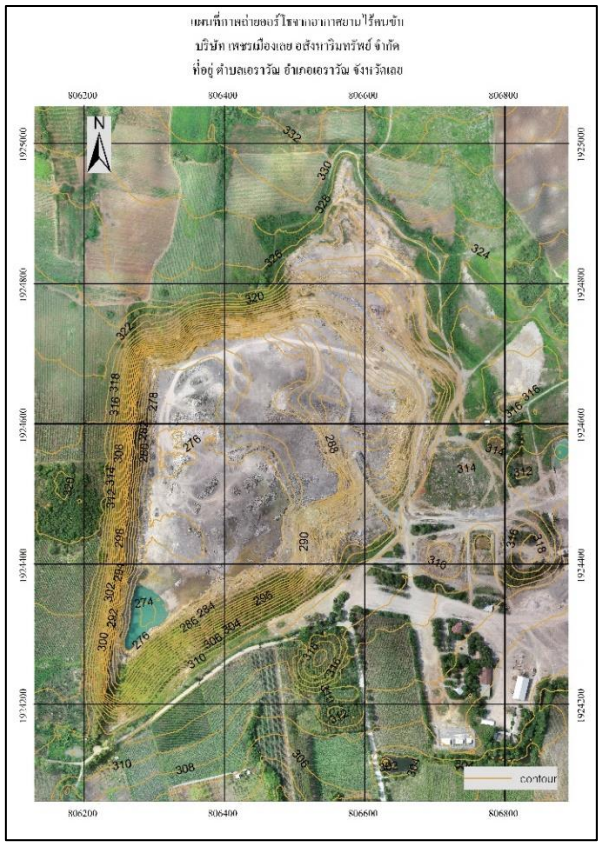
ผลการศึกษาการประยุกต์ใช้การสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับเพื่อทำแผนที่ภาพถ่ายและจัดทำแผนที่เส้นชั้นความสูงบริเวณเหมืองหิน โรงโม่หิน เพชรเมืองเลย คือผลจากการรังวัดภาพถ่ายทางอากาศเพื่อสร้างข้อมูลเชิงพื้นที่เพื่อสร้างแผนที่ภาพถ่ายและการสร้างแบบจำลองระดับความสูงเชิงเลขเพื่อนำมาสร้างแผนที่เส้นชั้นความสูง เพื่อการนำส่ง กพร. เพื่องานจัดทำประทานบัตร

4.1 สร้างแผนที่เส้นชั้นความสูงจากแบบจำลองลักษณะภูมิประเทศเชิงเลข หรือ DTM ที่มีความละเอียด 20 เซนติเมตรดังแสดงในรูปที่ 12



รูปที่ 12 แผนที่เส้นชั้นความสูงจาก DTM

4.2 สร้างแผนที่ภาพถ่ายออร์โธจากอากาศยานไร้คนขับความละเอียดจุดภาพ 4 เซนติเมตรซ้อนทับด้วยเส้นชั้นความสูงที่ 2 เมตร ซึ่งแผนที่ภาพถ่ายฯนี้จะส่ง กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ (กพร.) ต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 13



รูปที่ 13 แผนที่ภาพถ่ายออร์โธจากอากาศยานไร้คนขับ

5. สรุปผลการดำเนินงาน

จากการศึกษาการประยุกต์ใช้การสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับเพื่อการสำรวจรังวัดปริมาตรหินบริเวณโรงโม่หิน เพชรเมืองเลย จังหวัดเลย พื้นที่ศึกษามีลักษณะพื้นที่เป็นเหมืองหิน เปิดโล่ง พื้นที่ประมาณ 209 ไร่ สำรวจโดยการบินถ่ายภาพด้วยอากาศยานไร้คนขับแบบปีกหมุนขนาดเล็ก ได้ภาพจำนวน 793 ภาพ ส่วนซ้อนด้านหน้าร้อยละ 85 ด้านข้างร้อยละ 75 ขนาดจุดภาพหรือ GSD เฉลี่ยประมาณ 4 เซนติเมตร ทำการรังวัดและประมวลผลภาพถ่ายร่วมกับจุดควบคุมภาคพื้นดินจำนวน 6 จุด จุดตรวจสอบจำนวน 3 จุด ค่าความคลาดเคลื่อนในการปรับแก้บล็อก Mean projection อยู่ที่ 0.103 จุดภาพ และความคลาดเคลื่อนจากการรังวัดจุดควบคุมภาคพื้นดิน มีค่าเท่ากับ RMSE X 4.8 เซนติเมตร RMSE Y 3.4 เซนติเมตร RMSE Z 0.7 เซนติเมตร และจุดตรวจสอบ RMSE X 6.4 เซนติเมตร RMSE Y 4.9 เซนติเมตร RMSE Z 8.7 เซนติเมตร ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับเพื่องานวิศวกรรม ที่

กำหนดให้ความคลาดเคลื่อนทางราบอยู่ที่ 2GSD (8 เซนติเมตร) ทางดิ่ง 3GSD (12 เซนติเมตร) สามารถทำแผนที่ภาพถ่ายออร์โธจากอากาศยานไร้คนขับ และแผนที่เส้นชั้นความสูงรายงานต่อกรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ (กพร.) ได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบริษัท เพชรเมืองเลย อสังหาริมทรัพย์ จำกัดเจ้าของพื้นที่ขอบคุณวิศวกรสำรวจ ประจำกรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ให้คำแนะนำในมาตรฐานการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ ขอบคุณบริษัทอินฟราพลัส จำกัด บริษัท ด็อทพีเอ็มจี จำกัด ที่สนับสนุนเครื่องมือในการดำเนินโครงการวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมทรัพยากรธรณี. 2561.การทำเหมืองหินและโรงโม่หิน, [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: http://www.dmr.go.th

[2] วิชัย เยี่ยงวีรชน. เอกสารการอบรมการทำแผนที่คุณภาพสูงด้วยอากาศยานไร้นักบินสำรวจรังวัด (2560). กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

[3] กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่. 2562. ประกาศกรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่เรื่องหลักเกณฑ์และวิธีการรายงานการทำเหมือง, กระทรวงอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ.

[4] สภาการเหมืองแร่. 2539. หินอุตสาหกรรม, กรมทรัพยากรธรณี, รายงานวิชาการกรมทรัพยากรธรณี กรุงเทพฯ.

[5] ไพศาล สันติธรรมมนนท์. 2553. การรังวัดด้วยภาพดิจิทัล.กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ.

[6] วิชัย เยี่ยงวีรชน. เอกสารการอบรมการทำแผนที่คุณภาพสูงด้วยอากาศยานไร้นักบินสำรวจรังวัด 2560. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

[7] คณะอนุกรรมการมาตรฐานการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนเพื่องานวิศวกรรม 2561. มาตรฐานการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับเพื่องานวิศวกรรม. การประชุมกรอบโครงร่างงานสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ, วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์. กรุงเทพฯ.

[8] ต่อลาภ การปลื้มจิตร และคณะ 2563. การประยุกต์ใช้การสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับเพื่อการสำรวจรังวัดปริมาตรหินบริเวณเหมืองหินเขาบันไดนางศิลา จังหวัดสงขลา. *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 25*. ชลบุรี.

[9] Pix4DMapper.2018.ApplicationSpecification.UAVPhotogrammetry process. User Manual.เข้าถึงได้จาก www.pix4D.com