การประยุกต์ใช้การสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับเพื่อการสำรวจรังวัดปริมาตรหิน บริเวณเหมืองหินเขาบันไดนางศิลา จังหวัดสงขลา

Application of UAVs Surveying for Rock volume measurement at Khao Bandai Nang quarry Songkhla Province

ต่อลาภ การปลื้มจิตร[1,*] วีระวัฒน์ เกตุทอง[2] ณัฐวุฒิ พูลภักดี[3] และศุภกิตติ์ พรหมเมศร์[4]

[1,2,3,4] สาขาวิชาวิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย สงขลา

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

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการศึกษาเรื่องการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการสำรวจด้วยการรังวัดภาพถ่ายทางอากาศจากอากาศยานไร้คนขับหรือ UAVs ขนาดเล็กสำหรับการสำรวจเพื่อหาปริมาตรหินในเหมืองหิน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการประยุกต์ใช้การประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศจาก UAVs รังวัดปริมาตรหินและเปรียบเทียบปริมาตรหินจากผลการประมวลผลภาพถ่ายฯ จากจำนวนจุดควบคุมภาคพื้นดินที่แตกต่างกัน รังวัดด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GNSS วิธี NRTK พื้นที่ศึกษาเหมืองหินเขาบันไดนาง จังหวัดสงขลา บินถ่ายภาพที่ความสูงบิน 120 ม. จำนวน 250 ภาพ ขนาดจุดภาพ 3.38 ซม. ผลการรังวัดภาพถ่ายฯ ค่าความคลาดเคลื่อนของปรับแก้บล็อค 0.138 จุดภาพ ผลการคำนวณปริมาตรหิน แบบไม่ใช้จุดควบคุมภาคพื้นดินคิดเป็นปริมาตรได้ 1,100,405.80 ลบ.ม. จุดควบคุม 1 จุด 1,194,680.07 ลบ.ม. จุดควบคุม 2 จุด 1,194,893.64 ลบ.ม. จุดควบคุม 3 จุด 1,194,701.21 ลบ.ม.จุดควบคุม 4 จุด 1,194,099.52 ลบ.ม. และแบบวิธีการใช้จุดควบคุม ตามมาตรฐาน 5 จุด คิดปริมาตรได้ 1,765,878.93 ลบ.ม. จุดควบคุม 6 จุด 1,765,801.67 ลบ.ม.

คำสำคัญ: อากาศยานไร้คนขับ, การรังวัดภาพเชิงเลข, แบบจำลองระดับพื้นผิวเชิงเลข

Abstract

This article presents the study of UAVs surveying for rock volume measurement in quarrying. The objective of study the application of UAVs images processing for the calculated volume of rock at the quarry and to compare the volume of the rock with UAVs Photogrammetry from many different GCPs by using GNSS RTK network. The study area at Khao Bandai Nang quarry Songkhla Province. Which has a flying height of 120 meters above the terrain. A total of 250 images average ground sampling distance (GSD) about 3.38 cm. The mean reprojection error is 0.138 pixels. The results were DSM and Ortho imagery with 3.38 cm. resolution. And used DSM to calculate the volume of rock in a quarry by 3d analysis tool result by without the GCP was 1,100,405.80 cu m. the method of using 1GCP was 1,194,680.07 cu m., 2GCPs was 194,893.64 cu m., 3GCPs was 1,194,701.21 cu m., 4GCPs was 1,194,099.52 cu m. And with Survey by UAVs Photogrammetry standard 5GCPs was 1,765,878.93 cu m. 6GCPs was 1,765,801.67 cu m.

Keywords: UAVs, Digital Photogrammetry, DSM

1. คำนำ

การทำเหมืองหินและโรงโม่หินในประเทศไทยเดิมมีจำนวนไม่มาก เพราะอุตสาหกรรมการก่อสร้างยังนิยมการใช้ไม้เป็นวัสดุในการก่อสร้างและประกอบกับสาธารณูปโภคภาครัฐยังมีน้อย ทำให้ความต้องการในการใช้หินเพื่อการก่อสร้างมีเฉพาะจากแหล่งผลิตขนาดเล็ก วิธีการผลิตหินเพื่อการก่อสร้างก็จะใช้วิธีโหนเชือกเจาะระเบิดบริเวณหน้าผาของภูเขาเพียงเท่านั้น [1] ปัจจุบันการทำเหมืองหินที่อยู่ในความรับผิดชอบของกระทรวงอุตสาหกรรมเป็นหน่วยงานกำกับดูแลอุตสาหกรรมเหมืองแร่ มีความต้องการใช้หินเพื่อการก่อสร้างมีเพิ่มขึ้นตามสภาพการขยายตัวทางเศรษฐกิจของประเทศและการเร่งรัดพัฒนาโครงการสาธารณูปโภคพื้นฐาน โดยเฉพาะเส้นทางคมนาคมทั่วประเทศ ทำให้มีการขยายตัวของกิจการระเบิดและย่อยหิน โรงโม่หินและการทำเหมืองหินเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเพื่อรองรับการขยายตัวทางเศรษฐกิจ [2] ลักษณะการทำเหมืองอุตสาหกรรมการผลิตหินมีหลายประเภท ตั้งแต่การผลิตหินเพื่อแกะสลัก หินประดับการก่อสร้าง และการทำถนน ซึ่งในภาคใต้มีการทำเหมืองแร่มากที่สุด และเป็นรายได้สำคัญของภาคใต้ การศึกษานี้มีความสนใจศึกษาการทำเหมืองหินบริเวณเขาบันไดนางศิลา มีที่ตั้งอยู่ที่อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา เป็นเหมืองแร่หินอุตสาหกรรมที่สำคัญแห่งหนึ่งของจังหวัดสงขลา

เขาบันไดนางศิลาเป็นเหมืองแร่หินอุตสาหกรรมชนิดหินแกรนิตจัดทำเพื่ออุตสาหกรรมการก่อสร้างและหินอุตสาหกรรมชนิดหินอื่น ๆ ใน

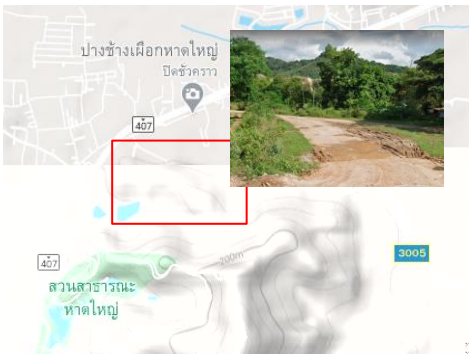
อุตสาหกรรมก่อสร้าง โดยเหมืองดังกล่าวได้ทำตามคำขอประทานบัตรที่ 1/2557 มีลักษณะภูมิประเทศเป็นเนินเขาขนาดเล็ก ที่อยู่บริเวณด้านทิศเหนือของภูเขาคอหงส์ที่มีชื่อตามนามศัพท์ในแผนที่ภูมิประเทศของกรมแผนที่ทหาร ระวาง 5123 III คือ“เขาบันไดนาง” [3] เดิมการสำรวจเพื่อคำนวณปริมาตรหินภายในบริเวณเหมืองหินเขาบันไดนางศิลานั้นทางผู้ประกอบการได้ว่าจ้างสำนักที่ดินจังหวัดสงขลาในการสำรวจและจัดทำแผนที่ ปริมาตรหินจะถูกคำนวณโดยใช้แผนที่ภูมิประเทศคำนวณปริมาณดินตัดดินถมจากเส้นชั้นความสูง แต่ด้วยความกล่าวหน้าของการสำรวจมีการพัฒนาให้มีวิธีการสำรวจที่หลากหลายและใช้ต้นทุนและระยะเวลาที่น้อยกว่าการสำรวจภาคพื้นดิน เช่น การสำรวจข้อมูลระยะไกล (Remote Sensing) การสำรวจด้วยเลเซอร์สแกนเนอร์ การสำรวจด้วย LIDAR ติดตั้งบนแพลทฟอร์มรูปแบบต่างๆเช่นอากาศยาน รถยนต์ และ การสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicle) เป็นต้น

ศักยภาพของการสำรวจด้วยการการรังวัดภาพเชิงเลขเพื่อผลิตข้อมูลเชิงพื้นที่โดยอาศัยหลักการของการหาความสัมพันธ์ของพิกัดภาพถ่ายและพิกัดบนภาคพื้นดินด้วยจุดควบคุมภาคพื้นดิน คณะผู้วิจัยจึงได้นำการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ และการรังวัดภาพเชิงเลขมาผลิตเป็นข้อมูลเชิงพื้นที่สร้างแบบจำลองระดับสูงเชิงเลขและภาพดัดแก้เชิงเลข เพื่อนำมาคำนวณปริมาตรหินในเหมืองหินและศึกษาการประมวลภาพถ่ายจาก UAVs เพื่อคำนวณปริมาตรจากแบบจำลองระดับเชิงเลขด้วยจำนวนจุดควบคุมภาคพื้นดินที่ต่างกัน เป็นแนวทางในการทำงานสำรวจปริมาตรเหมืองด้วย UAVs ที่กระทรวงอุตสาหกรรมกำลังส่งเสริมวิธีการนี้ [4] จาก “แนวทางการรังวัดภูมิประเทศพื้นที่ประทานบัตรด้วยอากาศยานไร้คนขับ” ในประกาศกรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ เรื่องหลักเกณฑ์และวิธีการรายงานการทำเหมืองปี พ.ศ. 2562 โดยการวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์ใช้ข้อมูลแบบจำลองระดับพื้นผิวจากภาพถ่าย UAVs รังวัดปริมาตรหินและเปรียบเทียบปริมาตรหินจากผลการประมวลผลภาพถ่ายฯ ด้วยจำนวนจุดควบคุมภาคพื้นดินที่ต่างกัน

2. พื้นที่ศึกษาและทฤษฎีที่สำคัญ

2.1 พื้นที่ศึกษา

พื้นที่โครงการทำเหมืองแร่ชนิดแร่หินอุตสาหกรรมชนิดหินแกรนิตเพื่ออุตสาหกรรมก่อสร้าง และหินอุตสาหกรรมชนิดหินอื่น ๆ ประทานบัตรที่ 27667/16228 เป็นโครงการของ บริษัท เขาบันไดนางศิลา จำกัด พื้นที่เหมืองตั้งอยู่ที่บริเวณ เขาบันไดนาง ตำบลคอหงส์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา โครงการได้ผ่านการเห็นชอบการจัดทำรายงานผลกระทบสิ่งแวดล้อมหรือ EIA เมื่อวันที่ 11 ก.ค. 2559 [5] ทางเข้าด้านหน้าติดถนนกาญจนวณิชย์หรือทางหลวงหมายเลข 407 หาดใหญ่ – สงขลา ลักษณะภูมิประเทศมีระดับความสูงโดยประมาณตั้งแต่ 5 ถึง 80 เมตรเหนือระดับทะเลปานกลาง มีลักษณะเป็นเนินเขาขนาดเล็กด้านทิศเหนือของภูเขาคอหงส์ พื้นที่มีลักษณะเปิดโล่ง ทางเข้าโครงการสามารถเข้าได้จากทางหลวงสายหลัก มีพุ่มไม้ขนาดเล็กขึ้นอยู่จำนวนบางส่วน มีพื้นที่ประมาณ 83 ไร่ หรือประมาณ 134,412 ตารางเมตร ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 พื้นที่ศึกษา เหมืองหินเขาบันไดนางศิลา

เหมืองหินเขาบันไดนางศิลามีรูปแบบการทำเหมืองแบบขุดเจาะภายนอกหรือเหมืองเปิด โดยทั่วไปเหมืองหินเขาบันไดนางศิลาจะประกอบไปด้วย แร่หลายชนิด เช่น ปูนขาว หินทราย และแร่หินแกรนิต [5] ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 สภาพทั่วไปของพื้นที่ศึกษา

2.2 ทฤษฎีสำคัญที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 การทำเหมือง

การทำเหมืองคือการสกัดเอาแร่ที่มีค่า หรือวัสดุทางธรณีวิทยาอื่นๆ จากใต้ผืนแผ่นดิน ปกติขุดที่ตัวแหล่งแร่หรือสายแร่ที่อยู่ใต้ดินวัสดุทั่วไปที่สกัดได้ แร่โลหะ ได้แก่ ทองแดง เหล็ก ทองคำ ตะกั่ว แมงกานีส แมกนิเซียม นิเกิล ฟอสเฟต แพลทินัม เงิน ดีบุก หรือแร่อโลหะ เช่น ถ่านหิน แร่รัตนชาติ และยังมีวัสดุมีค่าอื่นๆ ที่มีการทำเหมืองเช่นกันได้แก่ หินแกรนิต หินปูนและหินอ่อน การทำเหมืองในความหมายที่กว้าง ซึ่งรวมถึงการขุดเจาะน้ำมัน ปิโตรเลียม ก๊าซธรรมชาติ หรือแม้แต่น้ำบาดาล เหมืองแร่ในอดีตมักก่อปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมและสุนทรียภาพ ซึ่งพบเห็นได้ทั้งในประเทศไทย และต่างประเทศ ส่วนหนึ่งเกิดจากการขาดจิตสำนึก ขาดความรู้ ขาดกฎหมายควบคุม และเหมืองในอดีตอยู่ห่างไกลเมืองมาก แต่ปัจจุบันเรามีกฎหมายควบคุม มีหน่วยงานรับผิดชอบ ซึ่งกำหนดให้ผู้รับสัมปทานต้องดูแลป้องกันและลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการทำเหมือง ด้วยการฟื้นฟูสภาพ [6]

2.2.2 การกำหนดให้หินเป็นแร่ตามกฎหมายของประเทศไทย

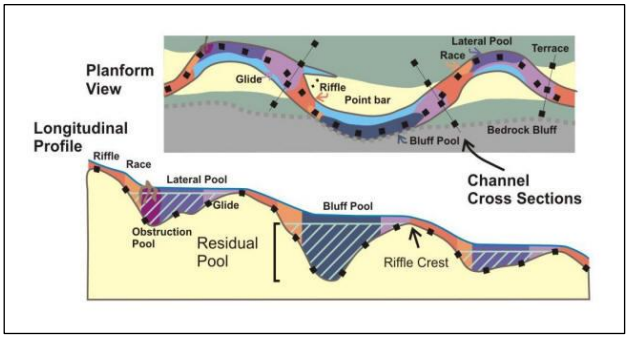
แต่ก่อนนั้นการระเบิดและย่อยหินอยู่ภายใต้การกำกับดูแลของกรมที่ดิน กระทรวงหาดไทย โดยอนุญาตให้ระเบิดและย่อยหินในพื้นที่ใดๆ ไม่เกินแปลงละ 10 ไร่ ใบอนุญาตมีอายุ 5 ปี วิธีการผลิตหินนั้นใช้วิธีการอย่าง

ง่าย ๆ ด้วยการห้อยเชือกเจาะระเบิดหน้าผาจากภูเขา หินที่ ถูกแรงระเบิดจะร่วงลงสู่ที่ราบ จากนั้นจะขนย้ายหินไปยังโรงโม่หิน ซึ่งการผลิตหินด้วยวิธีการนี้ส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อม ขาดประสิทธิภาพในกระบวนการผลิต ทำให้ไม่สามารถรองรับการขยายตัวทางเศรษฐกิจและการพัฒนาสาธารณูปโภคพื้นฐานของรัฐได้อย่างเต็มที่ รัฐบาลในขณะนั้นจึงมีแนวคิดเปลี่ยนแปลงการระเบิดและการย่อยหินไปสู่เทคโนโลยีการทำเหมืองหิน โดยให้หน่วยงานเพียงหน่วยงานเดียวกำกับดูแล เพื่อให้การจัดการทรัพยากรมีประสิทธิภาพและเกิดประโยชน์สูงสุดต่อประเทศ การทำเหมืองเกิดจากกระบวนการ ขุด เจาะ ตามประเภทของเหมืองความแตกต่างกันไป จำเป็นต้องมีการสำรวจรังวัดเพื่อคำนวณปริมาตรของหินนั้นทำเพื่อหาปริมาตรของหินภายในเหมืองโดยมีจุดประสงค์ในการใช้ข้อมูลปริมาตรเพื่อใช้ในการประเมินมูลค่าของหินและคาดคะเนปริมาณการใช้หินเพื่ออุตสาหกรรมก่อสร้าง

2.2.3 วิธีการสำรวจเพื่อคำนวณหาปริมาตร

การสำรวจเพื่อคำนวณหาปริมาตรนั้นสามารถทำได้หลายวิธีขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ ความต้องการและงบประมาณของโครงการนั้น ๆ โดยบทความนี้จะกล่าวถึงการสำรวจเพื่อหาปริมาตรในพื้นที่เหมืองหิน ซึ่งด้วยความก้าวหน้าในด้านเทคโนโลยีการสำรวจปัจจุบันที่ทำให้การสำรวจเพื่อหาปริมาตรนั้นไม่มีความซับซ้อนยุ่งยากและเสียเวลา โดยมีวิธีดังต่อไปนี้

1) วิธีการสำรวจค่าระดับตามแนวยาวและแนวขวาง (Profile Cross-Section Leveling) ด้วยกล้องสำรวจแบบอัตโนมัติเป็นวิธีการสำรวจเพื่อหาลักษณะของพื้นดินตามแนวเส้นศูนย์กลางแนวทางและตั้งฉากกับเส้นฐาน เพื่อใช้ในการก่อสร้างทางด้านวิศวกรรม กระทำโดยการหาค่าระดับของจุดที่ต่อเนื่องกันแล้วลากเส้นเชื่อมจุดเหล่านี้ เส้นที่ได้จะเป็นตัวแทนลักษณะของพื้นดินตามศูนย์กลางแนวทางและแนวตั้งฉากให้ได้ความจริงมากที่สุด [7] ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 การสำรวจระดับตามแนวยาวและแนวขวาง [7]

2) การสำรวจด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GNSS วิธี Network RTK เป็นการใช้ระบบโครงข่ายสถานีรังวัดสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบอัตโนมัติ มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มขีดความสามารถการปฏิบัติงานสำรวจและการทำแผนที่ให้สามารถตอบสนองการสำรวจหาค่าพิกัดทั้งทางราบและค่าความสูงเหนือระดับทะเลปานกลาง โดยการประยุกต์ใช้ร่วมกับแบบจำลองยีออยด์ท้องถิ่นความละเอียดสูง TGM2017 ในเวลาอันรวดเร็วแบบทันที (Realtime) สามารถให้ค่าพิกัดที่มีความละเอียดถูกต้องในระดับ 3-5 เซนติเมตร [8] โดยการใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GNSS ในการทำแผนที่ภูมิประเทศดังแสดงในรูปที่ 4 ให้การทำงานด้วยความเร็วและความแม่นยำ ใช้งานง่าย เพียงเครื่องเดียวก็เพียงพอกับการสำรวจและการก่อสร้างอย่างมีประสิทธิภาพ [9]



รูปที่ 4 เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GNSS ยี่ห้อ CHC NAV I50 [9]

3) การรังวัดด้วยเครื่องเลเซอร์สแกนเนอร์แบบเก็บค่าพิกัดสามมิติ ซึ่งมีรูปร่างคล้ายกับกล้องสำรวจสามารถหมุนได้ 360 องศารอบแกน โดยช่องเปิดด้านบนจะเป็นช่องยิงแสงเลเซอร์ มีน้ำหนักเบา สามารถทำงานสำรวจได้อย่างสะดวก เก็บข้อมูลค่าพิกัดทั้งสามมิติไปแปลงเป็นข้อมูลเชิงตัวเลข โดยเครื่องสแกนเนอร์นี้สามารถเก็บข้อมูลไปเป็นทำแบบจำลองสามมิติในคอมพิวเตอร์ได้เสมือนพื้นที่จริงได้อย่างดี ข้อมูลที่ได้มานั้นอยู่ในลักษณะเป็นจุดพิกัดที่เรียกกันว่า พอยต์คลาวด์ (Point Cloud)

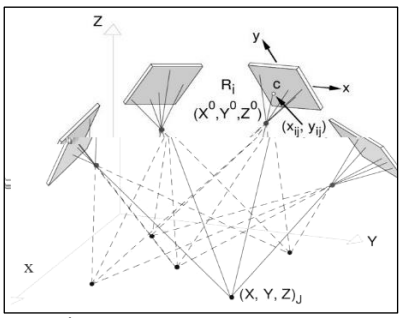
4) การสำรวจด้วยภาพถ่ายทางอากาศ เป็นการนำเทคโนโลยีการถ่ายภาพจากอากาศยานควบคู่กับการสำรวจทางพื้นดินสำหรับสร้างแผนที่บริเวณที่ต้องการ ครอบคลุมพื้นที่มากกว่าการสำรวจพื้นราบด้วยกล้องสำรวจ เก็บรายละเอียดได้เป็นบริเวณกว้าง ประมวลผลภาพสร้างแบบจำลองเชิงพื้นที่ได้รวดเร็ว เทคโลยีสำรวจนี้มีการพัฒนาอย่างรวดเร็ว มีการพัฒนา เซ็นเซอร์ถ่ายภาพและอากาศยาน ไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องบินขนาดใหญ่ที่เสียค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง มีการพัฒนาอากาศยานไร้คนขับที่มีความสามารถถ่ายภาพทางอากาศได้และมีความละเอียดสูง [10]

2.2.4 การสำรวจและประมวลผลภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ

เทคโนโลยีและโปรแกรมประยุกต์ในการประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศแบบอัตโนมัติถูกนำมาประยุกต์ใช้งานด้านต่าง ๆ มีหลักการและทฤษฎีเบื้องต้นที่สำคัญ คือหลักการพื้นฐานของการสำรวจด้วยภาพถ่าย หลักการสร้างจุดโยงยึดอัตโนมัติ หลักการทำโครงข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศ (Aerial Triangulation, AT) ซึ่งเป็นกระบวนการที่นำข้อมูลลำแสงที่ฉายลงบนภาพถ่ายที่ถูกบันทึกโดยกล้องถ่ายภาพทางอากาศในจำนวนที่มากมาทำการประมวลผลในการคำนวณทั้งการเล็งสกัดย้อนและกระบวนการเล็งสกัด ซึ่งการเล็งสกัดย้อนคือกระบวนการในการหาค่าองค์ประกอบการจัดวางภาพภายนอก ทำให้ทราบตำแหน่งและการวางตัวของภาพถ่ายเทียบกับระบบพิกัดภาคพื้นดิน และกระบวนการในการคำนวณตำแหน่งและการวางตัวของภาพถ่ายคู่ซ้อนสามมิติเพื่อใช้หาค่าพิกัดบนพื้นหลักฐานจริง โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ สมการสภาวะร่วมเส้น นำมาใช้ในการปรับแก้และคำนวณค่าพิกัดภาคพื้นดินที่ไม่ทราบค่า คำนวณปรับแก้ค่าองค์ประกอบ

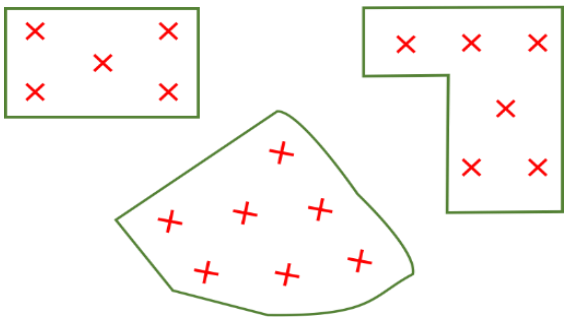
การจัดภาพภายนอกในแต่ละภาพถ่าย [11] ซึ่งในปัจจุบันการประมวลผลโครงข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศจะใช้วิธีการคำนวณปรับแก้บล็อกแบบลำแสง เพื่อสร้างผลลัพธ์ของการรังวัดภาพถ่ายทางอากาศ

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) ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 5 การปรับแก้แบบบล็อกลำแสง [10]

2) จุดควบคุมภาพถ่ายภาคพื้นดิน (Ground Control Points) หรือ GCPs เป็นส่วนสำคัญในการสำรวจด้วยภาพถ่ายทางอากาศและการรังวัดและประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศอย่างมีคุณภาพเป็นอย่างมาก เป็นจุดที่มีพิกัดภาคพื้นดินมีค่าพิกัดในทั้ง 3 มิติ มีการรังวัดในภูมิประเทศด้วยเครื่องมือที่สำรวจรังวัดประเภทต่างๆ ตามศักยภาพของผู้ทำงานด้วยความละเอียดถูกต้องสูง โดยส่วนใหญ่จะใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GNSS ในการรังวัดค่าพิกัดในภาคสนาม และรวมไปถึงการทำระดับที่สามารถนำจุดควบคุมนั้นไปทำการรังวัดโครงข่ายรังวัดสามเหลี่ยมทางอากาศ โดยมีลักษณะที่เป็นจุดที่เห็นได้ชัดเจนทั้งในภูมิประเทศและในภาพถ่ายทางอากาศ ค่าความถูกต้องพิกัดของจุดพิกัดควบคุมภาคพื้นดินจะถูกถ่ายทอดเข้าไปในระบบสมการของการคำนวณปรับแก้ในบล็อกของภาพถ่าย ความผิดพลาดของจุดควบคุมภาคพื้นดินจะแพร่เข้าไปในผลลัพธ์ หากมีจำนวนจุดพิกัดควบคุมภาคพื้นดินที่เหมาะสม ก็จะทำให้ผลลัพธ์มีความถูกต้องน่าเชื่อถือ นอกจากนี้เรขาคณิตของจุดควบคุมภาคพื้นดินในบล็อกยังมีความสำคัญต่อความละเอียดถูกต้องที่ได้จากตำแหน่งที่ตั้งของจุดพิกัดควบคุมภาคพื้นดินก็มีความสำคัญเช่นกัน การจัดวางตำแหน่งของจุดบังคับภาคพื้นดินและจำนวนที่เหมาะสมโดยตามมาตรฐานการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับเพื่องานวิศวกรรม โดยวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยกำหนดไว้ไม่ให้น้อยกว่า 5 - 6 จุดต่อหนึ่งบล็อค [12] และมีตำแหน่งที่เหมาะสม จะขึ้นอยู่กับการใช้งานของแผนที่นั้น ๆ การปฏิบัติงานกับแบบจำลองสามมิติ และระบบปฏิบัติการรังวัดภาพถ่ายทางอากาศ คือ จุดควบคุมแต่ละจุดควรมีระยะห่างไม่เกิน 500 เมตร และไม่ควรเรียงตัวเป็นเส้นตรงและควรอยู่ตรงกลางแบบจำลองดังแสดงในรูปที่ 6 เพื่อควบคุมคุณภาพของแบบจำลอง ส่วนมากจะใช้เทคนิคการขยายจุดบังคับภาพถ่ายทางอากาศ



รูปที่ 6 ตำแหน่งของจุดควบคุมภาคพื้นดินที่เหมาะสม [12]

3) การสร้างจุดพิกัดสามมิติ (3D point cloud) และโครงข่ายเชื่อมโยงจุด (Mesh) กระบวนการสร้างจุดพิกัดสามมิติซึ่งเป็นการสร้างกลุ่มของจุดสามมิติที่เก็บค่าของตำแหน่งของวัตถุในพิกัดทางราบและทางดิ่งด้วยชุดข้อมูลแบบแกน X,Y,Z ทั้งนี้ปัจจัยหลักในกระบวนการนี้ขึ้นอยู่กับการคำนวณค่าตำแหน่งของกล้องที่ บันทึกภาพถ่าย โดยขั้นตอนในการประมวลผลสร้างข้อมูลจุดโยงยึดแบบหนาแน่น จะเป็นการช่วยเพิ่มจำนวนจุดพิกัดสามมิติที่ได้จากการประมวลผล ซึ่งในขั้นตอนนี้จะต้องสร้างจากภาพอย่างน้อย 3 ภาพเพื่อควบคุมคุณภาพความถูกต้องเชิงตำแหน่งของจุด

โดยหลักการประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศจาก UAVs ที่กล่าวมาทั้งหมดนี้จะสามารถข้อมูลผลลัพท์ที่เป็นข้อมูลเชิงพื้นที่เช่น ภาพดัดแก้เชิงเลข แบบจำลองระดับสูงเชิงเลข ที่สามารถนำไปใช้ในงานด้านวิศวกรรม งานออกแบบ การทำแผนที่

2.2.5 ข้อมูลเชิงพื้นที่ที่ได้จากการประมวลผลภาพถ่าย UAVs

ข้อมูลเชิงพื้นที่ที่ได้จากกระบวลการประมวลผลภาพเชิงเลขจากอากาศยานไร้คนขับนั้นได้ข้อมูลผลลัพธ์เช่นเดียวกับการประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศจากกล้องติดเครื่องบินหรือแพลทฟอร์มอื่นๆ เพียงข้อมูลภาพจากอากาศยานไร้คนขับมีความละเอียดเชิงพื้นที่สูงถึงระดับเซนติเมตร ด้วยศักยภาพของกล้องถ่ายภาพที่ติดตั้งกับตัวลำ ระบบชดเชยการเอียงของกล้อง (gimbal) ระบบการระบุตำแหน่งด้วยดาวเทียม GNSS และเพดานบินที่ไม่สูงไปจนถึงขีดความสามารถของโปรแกรมประมวลผลภาพที่ประยุกต์ใช้อัลกอริทึม Scale Invariant Feature Transform หรือ SIFT เพื่อให้ได้โครงสร้างจุดที่เชื่อมโยงกันแบบห่าง (sparse) เสร็จแล้วจึงยกระดับเป็นโครงสร้างจุดแบบแน่น (dense cloud point) เทคนิค SIFT นี้จะช่วยในการจับคู่จุดภาพในภาพที่ต่างกัน และเมื่อนำเข้าข้อมูลภาพไปแล้วได้ผลลัพธ์จะออกมาเป็นข้อมูลเชิงพื้นที่รูปแบบต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 7 ซึ่งมีความละเอียดของจุดภาพสูงในระดับเซนติเมตร เช่น ภาพดัดแก้เชิงเลข แบบจำลองระดับสูงเชิงเลขทั้งแบบพื้นผิวหรือ DSM และพื้นดินหรือ DTM แบบจำลองสามมิติเสมือนจริง เส้นชั้นความสูง เป็นต้น [13]



รูปที่ 7 ผลลัพธ์จากการประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศ [14]

3. กระบวนการดำเนินงาน

โครงการศึกษานี้มีวิธีการดำเนินงานและกระบวนการทำงานที่สำคัญให้ผลการดำเนินงานเป็นไปตามวัตถุประสงค์โดยแยกออกเป็นหัวข้อดังต่อไปนี้

3.1 การวางแผนและเตรียมข้อมูล

การสำรวจสภาพพื้นที่เบื้องต้นบริเวณพื้นที่ศึกษาเพื่อทำการวางแผนการบินด้วยแอพพลิเคชั่น Pix4D Capture จากสมาร์ทโฟนที่ใช้เชื่อมต่อกับอากาศยานไร้คนขับ กำหนดขอบเขตการบินให้อยู่ภายในเวลา 15 นาที ใช้วิธีการบินแบบตารางกริด กำหนดส่วนซ้อนด้านหน้าร้อยละ 80 ส่วนซ้อนด้านข้างร้อยละ 80 เพราะพื้นที่มีความสูงชัน และการวางแผนงานสำรวจด้วยดาวเทียม GNSS เพื่อสร้างจุดควบคุมภาพถ่ายภาคพื้นดินหรือ GCPs ซึ่งจะเป็นตำแหน่งที่เหมาะสมต่อการรังวัดด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GNSS โดยรังวัดด้วยวิธี RTK GNSS Network หรือ NRTK เทคนิคสถานีอ้างอิงเสมือนหรือ VRS จำนวนจุดที่วางแผนงานมีจำนวนทั้งสิ้น 6 จุด กำหนดตำแหน่งเบื้องต้นบนโปรแกรม Google Earth ดังแสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 8 แผนการกำหนดจุดควบคุมภาคพื้นดิน

3.2 เครื่องมือสำรวจและอุปกรณ์

การดำเนินโครงการวิจัยนี้มีการใช้เครื่องมือสำรวจที่ทันสมัยหลายประเภทโดยแยกเป็นรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.2.1 อากาศยานไร้คนขับที่ใช้ในโครงการ

เป็นอากาศยานไร้คนขับแบบปีกหมุนขนาดเล็กยี่ห้อ ดีเจไอ รุ่น Phantom 4 Advance ติดตั้งกล้องถ่ายภาพ รุ่น FC6310 ที่มีความยาวโฟกัส 8.8 มม. ประเภทชัตเตอร์แบบ global มีความละเอียดของจุดภาพของภาพ 20 ล้านจุดภาพ จำนวน 2 ลำ (สำรอง 1 ลำ) สำหรับการสำรวจด้วยการบินถ่ายภาพทางอากาศดังแสดงในรูปที่ 9



รูปที่ 9 DJI Phontom4 ADV

3.2.2 เครื่องรังวัดพิกัดด้วยสัญญาณดาวเทียม GNSS

เครื่องรังวัดสัญญาณดาวเทียม GNSS ยี่ห้อ STONEX รุ่น S10 จำนวน 6 เครื่อง ดังแสดงในรูปที่ 10 ใช้ในการรังวัดค่าพิกัดของจุดควบคุมภาพถ่ายภาคพื้นดิน พร้อมกับการแปลงค่าระดับความสูงด้วยข้อมูลแบบจำลองความสูงยีออยด์ TGM 2017 ซึ่งมีความละเอียดถูกต้องของระดับความสูงดีกว่า 10 ซม. ซึ่งเทียบเท่ากับมาตรฐานงานระดับชั้นที่ 3 ซึ่งเพียงพอต่อการสำรวจจุดควบคุมภาคพื้นดินในงานสำรวจด้วยภาพถ่ายทางอากาศ [8]



รูปที่ 10 เครื่องรังวัดด้วยสัญญาณดาวเทียม GNSS ยี่ห้อ STONEX

3.2.4 คอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการประมวลผลภาพ

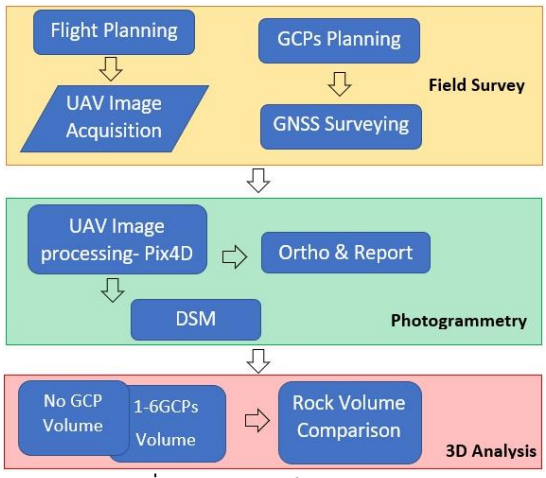
คอมพิวเตอร์ที่ใช้สำหรับการประมวลผลภาพถ่ายจาก UAVs โดยติดตั้งโปรแกรมประยุกต์สำหรับการรังวัดภาพถ่ายเชิงเลข PIX4D Mapper แบบลิขสิทธิ์ถาวรและโปรแกรมประยุกต์ทางระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ArcGIS desktop พร้อมชุดเครื่องมือ 3D analysis เพื่อการวิเคราะห์แบบจำลองระดับสูงเชิงเลขที่ได้จากการประมวลผลภาพเพื่อใช้คำนวณปริมาตรหินในเหมือง โปรแกรมประมวลผลภาพถ่ายจาก UAVs Pix4d Mapper นี้ดังแสดงในรูปที่ 11



รูปที่ 11 ซอฟต์แวร์ Pix4D Mapper Educational License [14]

3.3 กรอบวิธีการดำเนินงาน

วิธีการดำเนินงานของการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับเพื่อการสำรวจรังวัดปริมาตรหินบริเวณเหมืองหินเขาบันไดนางศิลา จังหวัดสงขลา การศึกษาการหาปริมาตรหินในเหมืองหินเขาบันไดนางศิลา โดยใช้แบบจำลองระดับสูงเชิงเลขที่เป็นผลจากการประมวลผลภาพจากอากาศยานไร้คนขับสามารถนำเสนอกรอบการดำเนินงานได้ดังแสดงในรูปที่ 12



รูปที่ 12 กรอบแนวคิดในการดำเนินงาน

3.4 ขั้นตอนในการปฏิบัติงาน

3.4.1 การสำรวจจุดควบคุมภาพภาคพื้นดินด้วยดาวเทียม GNSS

หลังจากที่วางแผนกำหนดตำแหน่งจุดควบคุมภาคพื้นดินแล้วโดยเป็นพื้นที่โล่งและไม่เป็นอุปสรรคต่อการสำรวจด้วยดาวเทียม GNSS และเหมาะกับการวางเป้าล่วงหน้าให้กับการถ่ายภาพด้วยอากาศยานไร้คนขับ โดยโครงการศึกษานี้มีจุดควบคุมภาคพื้นดิน ทั้งหมดจำนวน 6จุด สำรวจโดยใช้ระบบโครงข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ (RTK GNSS Network) เทคนิคแบบสถานีอ้างอิงเสมือน (Virtual Reference Station) หรือ VRS ซึ่งเป็นระบบการรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบจลน์ซึ่งได้ค่าพิกัดของจุดควบคุมภาคพื้นที่ในขณะที่ทำการรังวัด [15] ซึ่งอยู่บริเวณพื้นที่โครงข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์เพื่อให้ได้ค่าพิกัดทางราบและทางดิ่งของจุดควบคุมภาคพื้นดินทั้ง 6 จุด แต่ละจุดใช้เวลาในการรังวัดประมาณ 5 - 10 นาที ดังแสดงในรูปที่ 13



รูปที่ 13 การรังวัดวิธี RTK GNSS Network

ค่าพิกัดทางราบอยู่ในระบบพิกัด UTM WGS1984 และค่าระดับความสูงจากการคำนวณด้วยแบบจำลองความถ่วงพิภพ TGM2017 ดังแสดงในตารางที่ 1 โดยจุดควบคุมภาคพื้นดินจุดที่ 6 เป็นจุดพื้นระดับอ้างอิงของโครงการนี้สำหรับการคำนวณปริมาตรหินในเหมืองหินเขาบันไดนางศิลา

ตารางที่ 1 ค่าพิกัดจุดควบคุมภาคพื้นดินที่ได้จากการรังวัดภาพ

จุดควบคุมฯ	ค่าพิกัดทางเหนือ (ม.)	ค่าพิกัดตะวันออก (ม.)	ค่าระดับ (ม.)
GPS01	667039.199	779862.917	10.869
GPS02	667074.737	780032.583	23.435
GPS03	666747.785	779948.947	15.261
GPS04	666860.131	779677.122	46.430
GPS05	667182.887	779714.500	66.589
GPS06*	666602.842	780094.161	12.769

*จุดอ้างอิงค่าระดับความสูงในการคำนวณปริมาตร

3.4.2 การบินถ่ายภาพตามแผนการบินด้วยอากาศยานไร้คนขับ

เดินทางเข้าพื้นที่เพื่อวางเป้าล่วงหน้า (pre marking) โดยใช้แผ่นไวนิลสีขาว-แดงขนาด 1 x 1 เมตร วางจุดตัดของเป้าให้ตรงหัวหมุดของจุดควบคุมภาคพื้นดิน ทำการบินโดยใช้ แอพพลิเคชั่นที่วางแผนการบินเพื่อควบคุมการบินคือ Pix4D Capture ที่ความสูงบินประมาณ 120 เมตร ทำให้ได้ขนาดจุดภาพบนพื้นดินหรือ GSD ประมาณ 3.38 เซนติเมตร ด้วยซ้อนด้านหน้าร้อยละ 80 และส่วนซ้อนด้านข้างร้อยละ 80 ทำให้ได้ภาพทั้งหมด 250 ภาพดังแสดงข้อมูลสรุปผลการบินในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ข้อมูลสรุปการบินถ่ายภาพทางอากาศด้วย UAVs

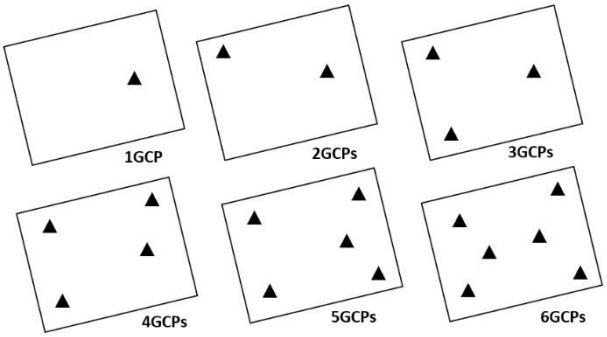
รายละเอียด	จำนวน	หน่วย
Area	134,412	Sq. m.
Flight Time	15	minutes
Flight Distance	6.8	Km.
Average GSD	3.38	cm.
Over-lap/Side-lap	80/80	percent
Flying Height	120	m.
Number of images	250	images

3.4.3 การรังวัดภาพเชิงเลขด้วยโปรแกรมประยุกต์

1) การรังวัดภาพถ่ายด้วยโปรแกรมประยุกต์ด้วยโปรแกรม Pix4d Mapper เริ่มจากการนำภาพถ่ายจำนวน 250 ภาพนำเข้าโปรแกรมและทำการเชื่อมโยงภาพแต่ละภาพในโครงการด้วยจุดโยงยึด (tie point หรือ key points) ที่สร้างขึ้นโดยอัตโนมัติในพื้นที่ซ้อนกันแต่ละภาพ

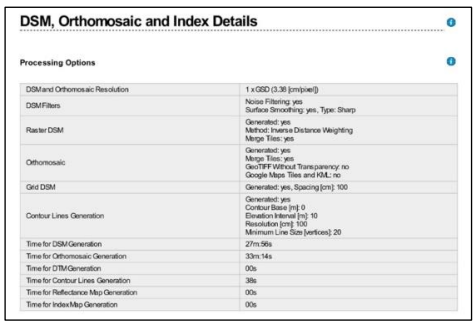
2) การนำเข้าค่าพิกัดและรังวัดจุดควบคุมภาคพื้นดินลงในภาพถ่ายที่สามารถถ่ายภาพเห็นจุดควบคุมนั้นๆทั้งหมดจำนวน 6 จุดโดยตั้งค่าแต่ละเป็นจุดแบบ 3D control point เมื่อทำการรังวัดแบบ Full Control Point

3) การปรับแก้โครงข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศ ซึ่งจะทำให้ข้อมูลที่ได้จากการประมวลออกมาอยู่ในระบบพิกัดเช่นเดียวกับจุดควบคุมภาคพื้นดิน โดยทำการปรับแก้โครงข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศทั้งหมด 7 ครั้งตามวิธีการรังวัดด้วยจำนวนจุดควบคุมภาคพื้นดินต่างกัน ดังนี้คือไม่ใช้จุดควบคุมภาคพื้นดิ และใช้จุดควบคุมภาคพื้นดินไม่เป็นไปตามมาตรฐาน 1 – 4 จุด และใช้จุดควบคุมภาคพื้นดินตามมาตรฐานคือ 5 – 6 จุด ในการประมวลผลภาพแต่ละครั้ง โดยมีลักษณะการวางจุดควบคุมภาคพื้นดินในแต่ละวิธีดังแสดงในรูปที่ 14 ควบคุมมาตรฐานการปรับแก้บล็อคโดยให้ค่า Mean Reprojection Error ไม่ให้เกิน 0.3 จุดภาพ



รูปที่ 14 การวางจุดควบคุมจำนวนที่แตกต่างกันในแต่ละการประมวลผล

4) การสร้างจุดพิกัดสามมิติและ TIN หรือ Mesh model โดยการใช้เครื่องมือ “point cloud and mesh” ซึ่งจุดเหล่านี้จะเป็นตัวแทนของพิกัดสามมิติในภูมิประเทศมีการสร้างโครงข่ายเชื่อมโยงกันแต่ละจุดทำให้สามารถสร้าง Mesh หรือในทางงานรังวัดภาพเชิงเลขเรียกว่าโครงข่ายสามเหลี่ยมไม่ปกติหรือ TIN เพื่อใช้ในการสร้างแบบจำลองระดับสูงเชิงเลขหรือ DEM [16] และ ภาพดัดแก้เชิงเลข โดย ผลการประมวลผลภาพในขั้นตอนนี้ดังแสดงในรูปที่ 15



DSM, Orthomosaic and Index Details

Processing Options

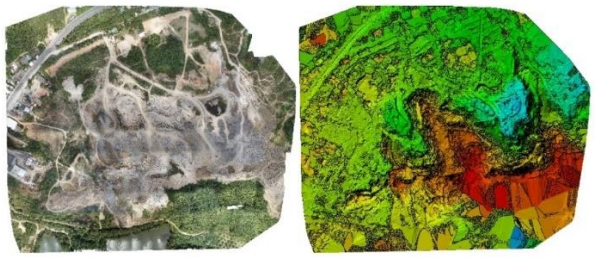
DSM and Orthomosaic Resolution	1 x GSD (3.38 [cm/pixel])
DSM Filters	Noise Filtering: yes Surface Smoothing: yes, Type: Sharp
Raster DSM	Generated: yes Method: Inverse Distance Weighting Merge Tiles: yes
Orthomosaic	Generated: yes Merge Tiles: yes GeoTIFF Without Transparency: no Google Maps Tiles and KML: no
Grid DSM	Generated: yes, Spacing [cm]: 100
Contour Lines Generation	Generated: yes Contour Base [m]: 0 Elevation Interval [m]: 10 Resolution [cm]: 100 Minimum Line Size [vertices]: 20
Time for DSM Generation	27m:56s
Time for Orthomosaic Generation	33m:14s
Time for DTM Generation	00s
Time for Contour Lines Generation	38s
Time for Reflectance Map Generation	00s
Time for Index Map Generation	00s

รูปที่ 15 รายงานผลลัพธ์การประมวลผลภาพถ่ายด้วย Pix4D

โดยได้จุดพิกัดสามมิติในโครงการจำนวนประมาณ 43 ล้านจุด เฉลี่ยประมาณ 75 จุดต่อตารางเมตร ได้แบบจำลองระดับพื้นผิวเชิงเลข หรือ DSM ที่มีความละเอียดจุดภาพ 3.38 เซนติเมตร

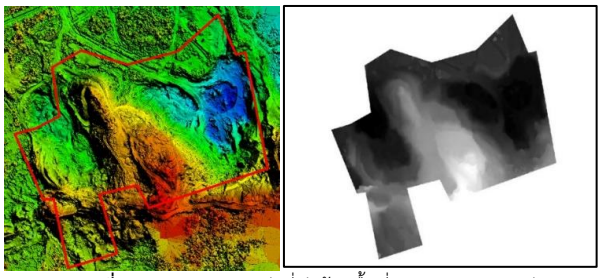
3.5 การสร้างข้อมูลเชิงพื้นที่จากการประมวลผลภาพถ่าย

การสร้างข้อมูลภาพดัดแก้เชิงเลขและข้อมูลแบบจำลองระดับพื้นผิวเชิงเลขหรือ DSM ด้วยการให้โปรแกรมนำข้อมูลออกมาตามการตั้งค่าข้อมูลเชิงพื้นที่ให้มีความละเอียดเท่ากับข้อมูลภาพที่นำเข้าโดยตัวอย่างผลลัพธ์ข้อมูลเชิงพื้นที่ที่ได้จากการประมวลผลด้วยวิธีการรังวัดด้วยจุดควบคุมภาคพื้นดิน 6 จุดดังแสดงในรูปที่ 16



รูปที่ 16 ข้อมูลเชิงพื้นที่ที่ได้จากการประมวลผลภาพด้วย 6 GCPs

และเพื่อที่จะนำข้อมูล DSM ไปวิเคราะห์ปริมาตรของหินโดยที่จะนำขอบเขตในการคำนวนปริมาตรที่ได้จากข้อมูลตำแหน่งในประทานบัตรที่มีความยาว 1.808 เมตร มาสร้างชั้นข้อมูลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อไว้ซ้อนทับและตัดข้อมูล DSM ที่ได้จากการประมวลผลทั้ง 7 ชุดโดยขอบเขตและ DSM ที่ตัดพื้นที่ตามแนวเขตแล้วดังแสดงในรูปที่ 17



รูปที่ 17 แบบจำลองระดับที่ตัดด้วยพื้นที่ขอบเขตประทานบัตร

3.6 การคำนวณปริมาตรด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

นำเข้าข้อมูล DSM สู่โปรแกรม ARCGIS ทีละข้อมูล และด้วยชุดเครื่องมือการวิเคราะห์แบบสามมิติหรือ 3D analysis ด้วยคำสั่ง Surface volume ใส่รายละเอียดเพื่อทำการคำนวณปริมาตร โดยในช่อง Input Surface ใช้ DSM แต่ละวิธีทีละ 1 ข้อมูล เมื่อคำนวณเสร็จจะให้ค่าปริมาตรออกมาในรูปแบบ Text File กำหนดค่าระดับความสูงอ้างอิงที่เริ่มคิดปริมาตรในช่อง Reference Plane โดยอ่านค่าความสูง ณ จุดอ้างอิงของโครงการ (GCP6) โดยพบว่าค่าระดับอ้างอิงนี้ในแต่ละวิธีการประมวลผลด้วยจำนวน GCP ที่แตกต่างกันมีค่าระดับที่ต่างกันโดยตัวอย่างเช่น วิธีการ 6GCPs ค่าระดับจุดอ้างอิงปริมาตร (Plane Height) มีค่าระดับคือ 12.769

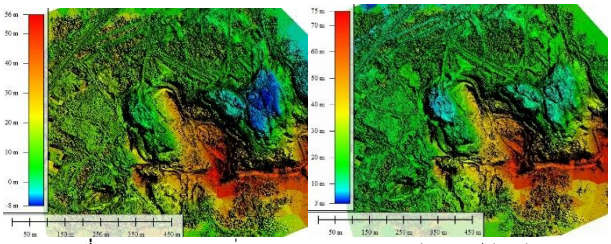
เมตร เลือกวัดปริมาตรเหนือจุดนี้ด้วยคำสั่ง ABOVE ก็จะทำให้ได้ปริมาตรของหินเหนือระดับอ้างอิงออกมาทั้ง 7 ข้อมูล DSM นำมาเปรียบเทียบ

4. ผลการศึกษาและการอภิปรายผล

ผลการศึกษาการประยุกต์ใช้การสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับเพื่อการสำรวจรังวัดปริมาตรหินบริเวณเหมืองหินเขาบันไดนางศิลา จังหวัดสงขลา มี 2 ประเด็นตามวัตถุประสงค์คือผลจากการรังวัดภาพถ่ายทางอากาศเพื่อสร้างข้อมูลเชิงพื้นที่นำมาคำรวณปริมาตรหินในเหมืองหินและผลของการสร้างแบบจำลองระดับความสูงเชิงเลขเพื่อนำมาคำนวณปริมาตรโดยใช้จำนวนจุดควบคุมภาคพื้นดินที่ต่างกัน

4.1 ผลการรังวัดภาพถ่ายทางอากาศเพื่อสร้างข้อมูลเชิงพื้นที่

การรังวัดและประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศจากอากาศยานไร้คนขับเพื่อสร้างข้อมูลเชิงพื้นที่ จากการประมวลผลโดยการใช้จำนวนจุดควบคุมภาคพื้นดินที่ต่างกันทำให้ได้ข้อมูลภาพดัดแก้เชิงเลขและข้อมูลแบบจำลองระดับสูงเชิงเลขของแต่ละวิธีมาจำนวน 7 ชุดข้อมูล โดยผลการปรับแก้บล็อควิธีแบบไม่ใช้จุดควบคุมภาคพื้นดิน ใช้จุดควบคุมแบบ 1GCP, 2GCPs, 3GCPs, 4GCPs, 5GCPs และ6GCPs ได้ค่า Mean Reprojection Error คือ 0.138 จุดภาพ จำนวนจุดพิกัดสามมิติ (3D point cloud) เท่ากับ 7,546, 7607, 7613, 7609, 7,985, 7484 และ 7412 จุดต่อตารางเมตร ตามลำดับ ข้อมูลแบบจำลองระดับสูงเชิงเลขมีข้อมูลจุดสูงสุดและต่ำสุดแตกต่างกันดังแสดงในรูปที่ 18



รูปที่ 18 จุดสูงสุดและต่ำสุดของแบบจำลองระดับจากวิธีต่างกัน

ข้อมูลแบบจำลองระดับความสูงที่ได้จากการประมวลผลภาพด้วยวิธีการไม่ใช้ GCP (ภาพซ้าย) ค่าระดับสูงสุดประมาณ 56 เมตร ต่ำสุด - 8 เมตรและใช้ GCP ครบทั้ง 6 จุด (ภาพขวา) ค่าระดับสูงสุดประมาณ 75 เมตร ต่ำสุด 3 เมตร จากระดับทะเลปานกลาง โดยสรุปได้ในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 สรุปชุดข้อมูลแบบจำลองระดับเชิงเลขแต่ละวิธีการกำหนดจุด GCP

จำนวน GCP	3D point cloud (จุด/sqm)	ระดับต่ำสุด (m.)	ระดับสูงสุด (m.)
No GCP	7,546	-8	56
1GCP	7,607	-15	56
2GCPs	7,613	-15	56
3GCPs	7,609	-15	56
4GCPs	7,985	-15	56
5GCPs	7,484	3	75
6GCPs	7,412	3	75

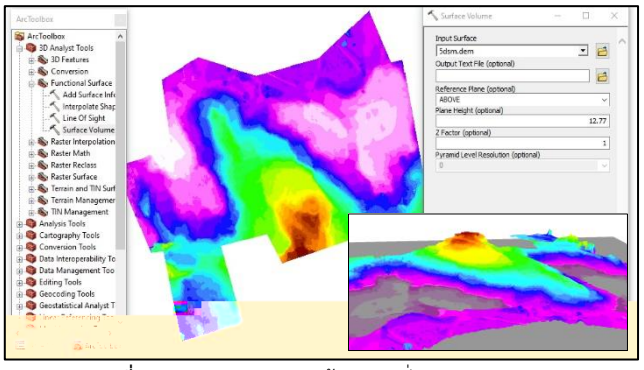
ความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองระดับในทางราบสามารถจะตรวจสอบได้จากภาพดัดแก้เชิงเลขและเมื่อตรวจสอบภาพดัดแก้เชิงเลขจากการประมวลผลโดยไม่ใช้จุดควบคุมภาคพื้นดินกับตำแหน่งของเป้าล่วงหน้าที่เป็นจุดควบคุมภาคพื้นดินดังแสดงในรูปที่ 19 มีความคลาดเคลื่อนทางราบเฉลี่ย 3.50 เมตรซึ่งเมื่อพิจารณาจากเส้นขอบเขตโดยรอบที่มีความยาวประมาณ 1.8 กิโลเมตรความคลาดเคลื่อนของปริมาตรสูงสุดจะอยู่ประมาณไม่เกิน 50,000 ลบ.ม.ซึ่งเป็นปริมาตรที่คลาดเคลื่อนไม่ถึงร้อยละ 5 สามารถนำข้อมูลไปวิเคราะห์เปรียบเทียบปริมาตรชุดข้อมูลทั้ง 7 ชุดต่อไป



รูปที่ 19 ความคลาดเคลื่อนทางราบของภาพดัดแก้วิธี No GCP

4.2 ผลการคำนวนปริมาตรหินบริเวณพื้นที่เหมืองหินที่ได้รับประทานบัตร

ข้อมูลแบบจำลองระดับสูงเชิงเลขที่นำมาตัดด้วยขอบเขตเหมืองและนำจุดอ้างอิงระดับที่จุด GCP6 ที่มีค่าระดับเหนือระดับทะเลปานกลาง 12.77 เมตร คำนวณปริมาตรเหนือระดับอ้างอิงด้วยเครื่องมือ Surface volume ในโปรแกรมประยุกต์ ArcGIS ดังแสดงในรูปที่ 20



รูปที่ 20 การคำนวณปริมาตรด้วยชุดคำสั่ง 3D Analysis

ปริมาตรของข้อมูลแบบจำลองระดับสูงเชิงเลขที่ผ่านการประมวลผลแบบมีจุดควบคุมครบตามาตรฐาน 6 จุด ยึดเป็นปริมาตรที่เป็นฐานในการเปรียบเทียบกับวิธีอื่นมีปริมาตรหินเหนือระดับอ้างอิงประมาณ 1,765,801.67 ลบ.ม.บนพื้นที่ 133,412 ตร.ม.หรือประมาณ 83 ไร่ และเมื่อนำข้อมูลแบบจำลองระดับสูงเชิงเลขที่ประมวลผลด้วยจำนวนจุดควบคุมภาคพื้นดินที่ต่างกันมาคำนวณปริมาตรหินได้ผลดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการคำนวณปริมาตรจากจำนวน GCP ที่ต่างกัน

จำนวน GCP	ปริมาตร (ลบ.ม.)	ต่างจาก Full GCP (ลบ.ม.)	ร้อยละของ Full GCP
No GCP	1,100,405.80	665,395.87	37.68
1GCP	1,194,680.07	571,121.60	32.34
2GCPs	1,194,893.64	570,908.03	32.33
3GCPs	1,194,701.21	571,100.46	32.34
4GCPs	1,194,099.52	571,702.15	32.38
5GCPs	1,765,878.93	77.26	0.004
6GCPs*	1,765,801.67	-	-

4.3 การอภิปรายผล

ข้อมูลแบบจำลองระดับความสูงเชิงเลขที่ได้จากการประมวลผลภาพเชิงเลขมีลักษณะแตกต่างกันจากการนำมาตรวจสอบเป็นกลุ่มข้อมูล 3 กลุ่ม คือ 1) แบบไม่ใช้ GCP 2) แบบที่ใช้ GCP ต่ำกว่ามาตรฐานคือน้อยกว่า 5 จุด และ 3) แบบใช้ GCP ตามมาตรฐานมากกว่า 5 จุด [12] ซึ่งเมื่อนำข้อมูลแบบจำลองระดับฯชุดดังกล่าวไปคำนวณหาปริมาตรหินผลที่ได้สอดคล้องกับความแตกต่างเป็นกลุ่มข้างต้น โดยพบว่าวิธีการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับเพื่อคำนวณปริมาตรหินในเมืองหินโดยไม่ใช้จุดควบคุมภาคพื้นดิน ได้ปริมาตรต่างจากการใช้จุดควบคุมตามมาตรฐานประมาณร้อยละ 37.68 การใช้จุดควบคุมภาคพื้นดินจำนวนน้อยกว่ามาตรฐาน 5 จุด ได้ปริมาตรต่างจากการใช้จุดควบคุมตามมาตรฐานประมาณร้อยละ 32 ซึ่งผลที่ได้นี้มีความคลาดเคลื่อนจากค่าพิกัดทางราบของแบบจำลองระดับความสูงเชิงเลขได้ประมาณไม่เกินร้อยละ 5 ซึ่งค่าความต่างของข้อมูลปริมาตร ทั้ง 2 กลุ่มที่ไม่มีจุดควบคุมภาคพื้นดินตามมาตรฐานนี้ไม่เพียงพอต่อการนำไปคำนวณปริมาตรหินในเหมืองหิน

5. บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

จากการศึกษาการประยุกต์ใช้การสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับเพื่อการสำรวจรังวัดปริมาตรหินบริเวณเหมืองหินเขาบันไดนางศิลา จังหวัดสงขลา พื้นที่ศึกษามีลักษณะพื้นที่เป็นเหมืองหิน เปิดโล่ง มีต้นไม้ขนาดเล็กกระจายตัวอยู่น้อยมาก พื้นที่ประมาณ 83 ไร่ สำรวจโดยการบินถ่ายภาพด้วยอากาศยานไร้คนขับแบบปีกหมุนขนาดเล็กได้ภาพจำนวน 250 ภาพ ขนาดจุดภาพหรือ GSD ประมาณ 3.38 เซนติเมตร รังวัดและประมวลผลภาพถ่ายร่วมกับจุดควบคุมภาคพื้นดินจำนวน 6 จุด ที่ได้จากการรังวัดด้วยสำรวจโดยใช้ระบบโครงข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ (RTK GNSS Network) เทคนิคแบบสถานีอ้างอิงเสมือน (Virtual Reference Station) หรือ VRS ประมวลผลได้ข้อมูลทั้งหมด 7 ชุดข้อมูลตามจำนวนจุดควบคุมภาคพื้นดินที่ต่างกันผลการวิจัยพบว่า แบบจำลองระดับความสูงเชิงเลขที่ได้จากการประมวลผลมีลักษณะข้อมูลที่ต่างกันเป็น 3 กลุ่มข้อมูลคือ แบบไม่ใช้ GCP แบบที่ใช้ GCP ต่ำกว่ามาตรฐาน 5 จุด และแบบใช้ GCP ตามมาตรฐานซึ่งทำให้ปริมาตรหินในเหมืองในพื้นที่โครงการมีความแตกต่างกันเป็น 3 กลุ่มเช่นเดียวกัน โดยข้อมูลแบบจำลองระดับสูงเชิงเลขจากการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับจากการใช้จุดควบคุมภาคพื้นดินตามมาตรฐานมีปริมาตรหิน 1,765,801.67 ลบ.ม. บนพื้นที่ 133,412 ตร.ม. การไม่ใช้จุดควบคุมภาคพื้นดินจะคำนวณปริมาตรแตกต่างไปประมาณร้อยละ 37.68 และการใช้จุดควบคุมภาคพื้นดินจำนวนไม่เป็นไปตามมาตรฐานปริมาตรแตกต่างไปประมาณร้อยละ 32 ซึ่งผลดังกล่าวเป็นการสนับสนุนว่าการสำรวจเพื่อคำนวณปริมาตรเหมืองหินด้วยอากาศยานไร้คนขับจำเป็นอย่างยิ่งในการใช้จุดควบคุมภาคพื้นดินให้มีจำนวนเพียงพอตามมาตรฐานการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 บทความนี้เจ้าของโครงการไม่มีข้อมูลการสำรวจภาคพื้นดินสร้างแผนที่ภูมิประเทศเพื่อนำมาคำนวณปริมาตรทำให้ไม่มีข้อมูลปริมาตรจากการสำรวจภาคพื้นดินเป็นฐานในการเปรียบเทียบ

5.2.2 การศึกษานี้ไม่ได้ประเมินความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งทางราบด้วยจุดตรวจสอบ ที่มีการกระจายตัวทั่วโครงการ ความคลาดเคลื่อนค่าพิกัดทางราบของแบบจำลองระดับเชิงเลขจากการประมวลผลที่อยู่ในบทความเป็นค่าสูงสุดจากจุดที่สามารถรังวัดได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอบคุณบริษัท เขาบันไดนางศิลา จำกัดเจ้าของพื้นที่ทำการวิจัย ขอบคุณวิศวกรรังวัด ประจำกรมที่ดินที่ให้คำแนะนำในการสำรวจด้วย RTK GNSS network ขอบคุณวิศวกรสำรวจ กรมอุตสาหกรรมเหมืองแร่ที่ให้คำแนะนำในมาตรฐานการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ ขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มทร.ศรีวิชัย ที่สนับสนุนเครื่องมือในการดำเนินโครงการวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

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

[2] ชาติ หงส์เทียมจันทร์. 2540. การทำเหมืองหินและโรงโม่หินภายใต้การกำกับของกรมทรัพยากรธรณี, กรมทรัพยากรธรณี. กรุงเทพฯ.

[3] กรมแผนที่ทหาร. 2562. ระบบโครงข่ายสถานีรังวัดสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบอัตโนมัติ [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: https://gnss-portal.rtsd.mi.th/portal/apps/sites

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

[5] สำนักนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม. 2559. รายงานการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อม, รายงานมาตรการและข้อมูลการติดตามตรวจสอบ, [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก http://eia.onep.go.th

[6] สง่า ต้งชัชวาล. 2541. ธรณีวิศวกรรมขั้นพื้นฐาน (พิมพ์ครั้งที่4). สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ.

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

[8] กรมแผนที่ทหาร. 2560 รายงานฉบับสมบูรณ์เรื่องการพัฒนาแบบจำลองยีออยด์ความละเอียดสูงของประเทศไทย กรุงเทพฯ.

[9] รายละเอียดผลิตภัณฑ์. 2563. บริษัท CHC (ประเทศไทย) จำกัด [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก http://chcnav.com/product-detai

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

[11] วิชัย เย็ยงวีรชน. เอกสารการอบรมการทำแผนที่คุณภาพสูงด้วยอากาศยานไร้นักบินสำรวจรังวัด 2560. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

[12] วิชัย เย็ยงวีระชน. 2561. มาตรฐานการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับเพื่องานวิศวกรรม. การประชุมกรอบโครงร่างงานสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ, วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์.กรุงเทพฯ.

[13] ต่อลาภ การปลื้มจิตร และคณะ 2562. การเปรียบเทียบค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งของข้อมูลเชิงพื้นที่จากอากาศยานไร้คนขับระหว่างการประมวลผลออนไลน์กับโปรแกรมประยุกต์สำหรับรังวัดภาพเชิงเลข. *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 24*. อุดรธานี.

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

[15] กองเทคโนโลยีทำแผนที่. 2561. คู่มือการรังวัดโดยระบบโครงข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ (RTK GNSS Network) กรมที่ดิน. กระทรวงมหาดไทย.

[16] Norbert H., 2010. Digital Photogrammetric Camera Evaluation – Digital Elevation Models.

[17] วิชัย เย็ยงวีรชน. 2560. เอกสารการอบรมการทำแผนที่คุณภาพสูงด้วยอากาศยานไร้นักบินสำรวจรังวัด.: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ.

[18] ต่อลาภ การปลื้มจิตร และคณะ 2561.การประเมินค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งของข้อมูลเชิงพื้นที่จากการรังวัดด้วยภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับสำหรับลักษณะพื้นที่ชายฝั่งทะเล.*การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 23*, นครยายก.