



การสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับเพื่อใช้ในการก่อสร้างและบำรุงรักษาทาง

Unmanned Aerial Vehicle Surveying for Roads Construction and Maintenance

ประดิษฐ์ เจียรกุลประเสริฐ¹, ชาคริต ชูวฒยากร^{1*}, ธิติพร พันธุ์ท่าช้าง¹

¹สาขาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

128 ถนนห้วยแก้ว อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50300

Pradit Jiagulprasert¹, Chakrit Choovuthayakorn^{1*}, Thitibhorn Phantachang¹

¹Division of Civil and Environmental Engineering, Faculty of Engineering Rajamangala University of Technology

128 Huay Kaew Road, Muang, Chiang Mai, Thailand, 50300

*ผู้รับผิดชอบบทความ: Chakrit@rmutl.ac.th เบอร์โทรศัพท์ 08-8253-9099

Received: 11 July 2023, Revised: 27 August 2023, Accepted: 18 September 2023

บทคัดย่อ

บทความได้ประยุกต์ใช้อากาศยานไร้คนขับเพื่อรังวัดปริมาตรงานทางหรืองานถนนจากภาพถ่าย เพื่อคำนวณปริมาตรงานดินคันทาง โดยประมวลผลจากพื้นผิวถึงพื้นผิวและเปรียบเทียบค่าจากแบบจำลองระดับพื้นผิว ที่ได้จากการสำรวจด้วยกล้องสำรวจชนิดสถานีรวม (Total Station) โดยภาพถ่ายทางอากาศจุดควบคุมภาคพื้นดินจำนวน 5 จุด ณ พื้นที่วิจัยในจังหวัดลำปาง โดยใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม กำหนดตำแหน่งของหมุดควบคุม ในระบบโครงข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ และการบินด้วยอากาศยานไร้คนขับขนาดเล็ก (Unmanned Aerial Vehicle, UAV) เพื่อถ่ายภาพ ได้ใช้การบินรูปแบบกริดที่ระดับความสูง 131 เมตรเหนือภูมิประเทศ ด้วยระยะระหว่างจุดศูนย์กลางจุดภาพบนพื้นดินเท่ากับ 3.60 ซม.ต่อพิกเซล กำหนดการซ้อนทับกันของภาพถ่ายทางด้านหน้าและด้านข้างเท่ากับร้อยละ 85 และ 75 ตามลำดับ ภาพถ่ายจำนวน 35 ภาพ ผลการตรวจสอบความถูกต้องเชิงตำแหน่งของภาพถ่ายที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับเปรียบเทียบกับจุดตรวจสอบภาพถ่ายความคลาดเคลื่อนในแกน X Y Z มีค่าเท่ากับ 6.787 4.023 และ 5.048 ซม. ตามลำดับ ผลการเปรียบเทียบการตรวจสอบค่าความคลาดเคลื่อนทางแนวราบและแนวตั้ง ที่ได้กับมาตรฐาน ASPRS, 2014 มีระดับชั้นความแม่นยำในแนวราบในชั้นคุณภาพ 12.5 ซม. มีระดับชั้นความแม่นยำแนวตั้ง กรณีมีพืชปกคลุม เท่ากับ 20 ซม. การคำนวณปริมาตรดินจากอากาศยานไร้คนขับและกล้องสำรวจชนิดสถานีรวม มีปริมาตรเท่ากับ 570.7 ลบ.ม. และ 620.5 ลบ.ม. ตามลำดับ ค่าความแตกต่างปริมาตรดินจากอากาศยานไร้คนขับน้อยกว่าการสำรวจด้วยกล้องสำรวจชนิดสถานีรวม 49.8 ลบ.ม. หรือร้อยละ 8 ผลการศึกษาที่ได้ จะเป็นแนวทางในการพัฒนาใช้ภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับเพื่อการคำนวณปริมาณงานทาง เพื่อการควบคุมงานก่อสร้างและการบำรุงรักษาทาง

คำสำคัญ อากาศยานไร้คนขับ ยูเอวี ถนน งานบำรุงรักษา รังวัดปริมาตร

Abstract

This article studies the application of unmanned aerial vehicles (UAVs) for measuring earthwork volume by using the surface-to-surface method. It compares embankment volume between total station survey and UAV. The aerial photographs are controlled using Ground Control Points (GCPs), with a total of 5 points. The GCPs are measured using a Global Navigation Satellite System (GNSS) receiver in a Network Real-Time Kinematic (RTK) system. The study area is a local road in Lampang Province. The flying heights were 131 meters above the terrain with total of 35 images at average ground sampling distance (GSD) about 3.60 cm per pixel. Frontal and



side overlap settings were at 85% and 75% respectively. The positional accuracy of the aerial photographs acquired by the UAV is compared to the check points, and the displacements in the X, Y, and Z axes are found to be 6.787 4.023 and 5.048 cm. respectively. The horizontal and vertical positional accuracies are evaluated against the ASPRS standards. The horizontal accuracy is within the class 12.5 cm, and the vertical accuracy is within the class 20 cm for vegetated areas. The earth volume calculation is performed using the Earthwork Reports method, employing the Surface-to-Surface calculation approach. The calculated earth volumes from the surveying camera and aerial photographs are determined to be 620.5 cu.m. and 570.7 cu.m. respectively, resulting in a difference of 49.8 cubic meters or approximately 8%. This study shows the application of unmanned aerial vehicles and GNSS-Based DEMs for evaluating earthwork volume which can be applied road construction and maintenance works.

Keywords: Unmanned Aerial Vehicle, UAV, Roads, Earthworks, Measurement

1. บทนำ

เทคโนโลยีด้านการสำรวจปัจจุบันได้พัฒนาอย่างรวดเร็วทั้งในด้านความละเอียดและเทคโนโลยีของกล้องสำรวจ รวมถึงการใช้เทคโนโลยีดาวเทียม Global Navigation Satellite Systems (GNSSs) และ Robotic Total Station เพื่อให้การสำรวจมีความรวดเร็วและความละเอียดเพิ่มขึ้น ทั้งนี้งานสำรวจที่ต้องใช้เวลาในการดำเนินการรวมถึงเครื่องมือสำรวจคุณภาพสูง และผู้มีความชำนาญในการวิเคราะห์ ดังนั้นวิธีการที่เป็นกึ่งอัตโนมัติ โดยการประยุกต์ใช้เครื่องมือทันสมัยในปัจจุบันร่วมกับโปรแกรมที่ช่วยในการคำนวณ เพื่อให้ได้งานสำรวจที่มีความรวดเร็วและประหยัดค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน ในปัจจุบันมีประยุกต์ใช้อากาศยานไร้คนขับขนาดเล็ก ที่มีการติดตั้งกล้องบันทึกภาพที่มีการพัฒนากล้อง RGB ที่เป็นแบบ Multi-Spectral จนถึงพัฒนาไปเป็นกล้องแบบเลเซอร์ติดตั้งเครื่องบิน (Light Detection and Ranging, LIDAR) และพัฒนาแอปพลิเคชันหรือโปรแกรมประยุกต์เพื่อใช้ในการวางแผนการบินบนโทรศัพท์เคลื่อนที่ ทำให้ผู้สนใจสามารถเข้าถึงเทคโนโลยีได้ง่าย สำหรับงานด้านวิศวกรรมโยธา การสำรวจมีบทบาทเพื่อวางแผนงานก่อสร้าง การติดตามความก้าวหน้างานก่อสร้างอาคาร การคำนวณปริมาณของวัสดุ เช่น เหมืองแร่และหิน การสำรวจเพื่องานก่อสร้าง เขื่อน และอ่างเก็บน้ำ งานท่อส่งแก๊สและน้ำมัน เป็นต้น [1] กล่าวได้ว่า การสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ มีบทบาทอย่างสูงในการสำรวจแผนที่ภูมิประเทศในพื้นที่กว้างหรือเฉพาะจุด เพราะลดระยะเวลาการทำงาน ลดข้อจำกัดใน

การสำรวจที่สูง ลดต้นทุน ข้อมูลมีความละเอียดและมีความน่าเชื่อถือ มีความยืดหยุ่นในการสำรวจ สามารถสร้าง Orthophoto Mosaic, Point Clouds และภาพรูปแบบสามมิติได้ [2] แต่ทั้งนี้จำเป็นต้องมีการควบคุมคุณภาพของงานภาพถ่าย และต้องมีการตรวจสอบความถูกต้อง เพื่อกำหนดแนวทางที่เหมาะสมสำหรับการสำรวจงานทางให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ของงานนั้น ๆ ได้

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่ได้ประยุกต์การใช้งานอากาศยานไร้คนขับในงานด้านวิศวกรรมโยธา อาทิ เช่น พัฒนาการใช้งานอากาศยานไร้คนขับ และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง โปรแกรมประยุกต์ที่ใช้วิเคราะห์ รวมถึงการเอาไปประยุกต์ใช้ในงานด้านวิศวกรรมโยธาในรูปแบบต่าง ๆ เช่น งานทาง การขนส่ง เป็นต้น [3] การวิจัยที่นำอากาศยานไร้คนขับเพื่องานก่อสร้างและบำรุงรักษาทาง โดย Inzerillo L. et al. [4] ศึกษาการประยุกต์ใช้อากาศยานไร้คนขับ ตรวจสอบความเสียหายของผิวทางแล้วทำการประเมินผลจากภาพถ่าย เพื่อการดูแลรักษาและซ่อมบำรุงผิวทาง Julge k. et al [5] ใช้ภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับในการติดตามความก้าวหน้างานก่อสร้างคันทางสำหรับงานก่อสร้างถนน กิตติคุณ จิตไพโรจน์ และเพชร เครือวิทย์ [6] ศึกษาการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับเพื่อประเมินผลสภาพกายภาพของพื้นผิวจราจรบนสะพาน โดยใช้เทคนิคตรวจสอบความเสียหายด้วยการประเมินผลภาพ ประเมินพื้นที่ที่มีความเสียหาย เพื่อนำไปวางแผนงานการบำรุงรักษา พลปรีชา ชิตบุรี และคณะ [7] ประยุกต์ใช้ อากาศยานไร้คนขับ ในการสำรวจติดตามการ



เคลื่อนพังของลาดไหล่ทางเขื่อนแควน้อย จังหวัดพิษณุโลก สำหรับการประยุกต์ใช้อากาศยานไร้คนขับเพื่อการสำรวจปริมาณของวัสดุ เช่น ต่อลาก การปลีมีจิตร และคณะ [8] นำอากาศยานไร้คนขับมาใช้ในการสำรวจรังวัดปริมาตรหินบริเวณเหมืองหินเขابันไดนางศิลา จังหวัดสงขลา และการศึกษาของกิติพงศ์ ทองเชื้อ และวิษุวัตม์ แต่สมบัติ [9] ทำการสำรวจลำน้ำรูปตัดขวางแม่น้ำลำภาชี ด้วยอากาศยานไร้คนขับ เพื่อหารูปตัดลำน้ำในการวิเคราะห์ทางอุทกวิทยา เป็นต้น จากงานวิจัยจะเห็นได้ว่าการประยุกต์ใช้อากาศยานไร้คนขับมีบทบาทในด้านงานวิศวกรรมโยธาเป็นอย่างยิ่ง โดยเฉพาะในการติดตามความก้าวหน้างานก่อสร้าง เก็บข้อมูลในสนามเพื่อติดตามความก้าวหน้าที่ช่วยให้ประหยัดเวลาการทำงาน และสามารถติดตามความก้าวหน้าซ้ำได้ในเวลาที่จำกัด มีความถูกต้องในเกณฑ์มาตรฐาน จึงเหมาะสมในการใช้งานสำรวจที่ใช้เพื่อการสำรวจที่ต้องการติดตามการทำงาน รวมทั้งงานซ่อมบำรุง ดูแลรักษา งานโครงสร้างที่ต้องการตรวจสอบดูแล

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการประยุกต์ใช้ข้อมูลแบบจำลองพื้นผิวจากภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ แล้วนำไปคำนวณปริมาตรถนนและคันทาง เพื่อการก่อสร้างและบำรุงรักษา โดยประมวลผลจากพื้นผิวถึงพื้นผิวแล้วนำไปเปรียบเทียบการหาปริมาตรของถนนจากแบบจำลองระดับพื้นผิวที่ได้จากการสำรวจด้วยกล้องสำรวจชนิดสถานีรวม เพื่อศึกษาแนวทางการถ่ายภาพ การคำนวณวิเคราะห์ และศึกษาแนวทางในการนำอากาศยานไร้คนขับเพื่อการก่อสร้างและบำรุงรักษาทางหลวงหรือถนนในท้องถิ่นได้ในอนาคต

2. ทฤษฎีและวิธีการดำเนินงานวิจัย

2.1 วิธีการดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้มีการศึกษาข้อกำหนดมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง และการสำรวจสภาพภูมิประเทศเบื้องต้น เพื่อใช้ในการวางแผนและการจัดเตรียมข้อมูล การใช้เครื่องมือในการสำรวจ และการประมวลผลข้อมูลจากภาคสนาม เพื่อให้ได้ข้อมูลเป็นไปตามวัตถุประสงค์ โดยแบ่งเป็นหัวข้อดังต่อไปนี้

2.2 การวางแผนและการจัดเตรียมข้อมูล

2.2.1 การกำหนดปริมาณงานและการควบคุมคุณภาพงานโดยดำเนินการวิจัยถนนแอสฟัลท์ติกคอนกรีตกว้าง 6

เมตร อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง พื้นที่ที่ใช้เครื่องมือในการสำรวจภูมิประเทศ มีขนาดพื้นที่ 1,200 ตารางเมตร หรือ 0.75 ไร่ โดยใช้เครื่องมือ 2 ประเภท ที่มีความแตกต่างกันทางด้านเทคโนโลยี จึงต้องมีการกำหนดปริมาณงานและควบคุมคุณภาพงาน โดยระเบียบกรมที่ดินว่าด้วยการสร้างและการใช้ระวางแผนที่ พ.ศ. 2547 และจากข้อกำหนดมาตรฐานความถูกต้องเชิงตัวเลข (Digital Map) โดยใช้เกณฑ์มาตรฐานของ ASPRS ปี ค.ศ. 2014 ด้วยพื้นที่สำรวจมีขนาดพื้นที่ น้อยกว่า 1 ไร่ จากระเบียบกรมที่ดินว่าด้วยการสร้างและการใช้ระวางแผนที่ พ.ศ. 2547 [10] ได้กำหนดเกณฑ์การเลือกใช้มาตราส่วนคือ 1:500 การควบคุมคุณภาพงานภาพถ่ายทางอากาศ โดยอ้างอิงจากมาตรฐาน ASPRS ปี ค.ศ. 2014 ด้วยมาตราส่วน 1:500 [11] ได้กำหนดความสัมพันธ์ระหว่างมาตราส่วน และ Ground Sample Distance (GSD) คือ มาตราส่วนของแผนที่ 1:500 มีค่า GSD เท่ากับ 6.30 ซม/pixel (รูปที่ 1)

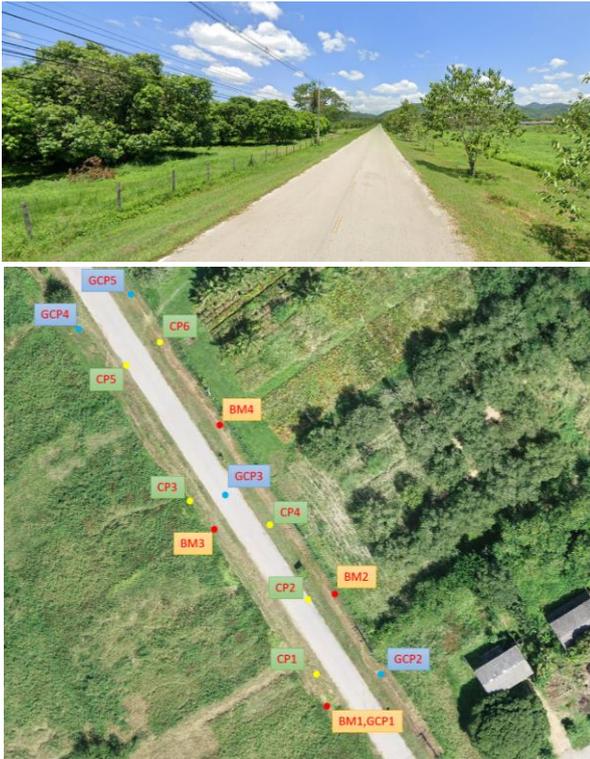
2.2.2 การกำหนดจุดควบคุมภาคพื้นดิน (GCP) และจุดตรวจสอบภาพถ่าย (CP) จากการสำรวจสภาพภูมิประเทศเบื้องต้น และตามมาตรฐานการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับเพื่องานวิศวกรรม [12] ได้กำหนดจุดควบคุมภาคพื้นดินจำนวน 5 จุด มีการจัดวางตำแหน่งบริเวณมุมและกึ่งกลางของพื้นที่สำรวจ และจุดตรวจสอบภาพถ่าย จำนวน 6 จุด เพื่อดูการกระจายของความผิด โดยแบ่งเป็นบริเวณผิวทางจำนวน 2 จุด และบริเวณไหล่ทางด้านละ 2 จุด

2.3 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

การดำเนินงานวิจัยนี้ได้ใช้เครื่องมือสำรวจ สำหรับหาสภาพพื้นผิวของพื้นที่ ประกอบด้วยเครื่องมือดังต่อไปนี้

2.3.1 กล้องสำรวจสถานีรวม (Total Station) ยี่ห้อ NIKON รุ่น DTM-352 คุณสมบัติ ความยาวส่องเล็ง 158 มม. กำลังขยาย 33 เท่า ระยะโฟกัสใกล้สุด 1.3 ม. ค่าความถูกต้อง $\pm(3+2\text{ppmXD})$ mm. (รูปที่ 2)

2.3.2 อากาศยานไร้คนขับ แบบปีกหมุน ยี่ห้อ ดิเจอรุ่น Phantom 4 Pro คุณสมบัติ เซนเซอร์กล้องขนาด 1 นิ้ว ความละเอียดของจุดภาพ 20 ล้านจุดภาพ สำหรับการถ่ายภาพทางอากาศ เพื่อใช้ประมวลผล (รูปที่ 3)



รูปที่ 1 พื้นที่วิจัยและผังการกำหนดหมุดสำรวจในสนาม



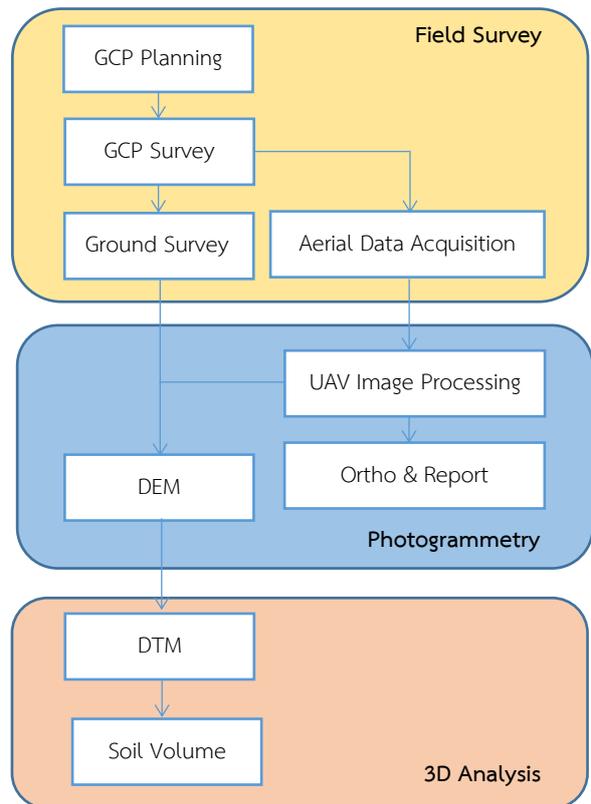
รูปที่ 2 กล้องสำรวจสถานีรวม (Total Station)



รูปที่ 3 อากาศยานไร้คนขับแบบปีกหมุนDJI-Phantom 4 Pro



รูปที่ 4 เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GNSS-Trimble (R8s)



รูปที่ 5 ขั้นตอนดำเนินงาน



รูปที่ 6 การใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GNSS ใน ระบบโครงข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ (RTK) ในการรังวัดค่าพิกัดหมุดควบคุม



2.3.3 เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GNSS ยี่ห้อ Trimble รุ่น R8s คุณสมบัติความคลาดเคลื่อนในการสำรวจด้วยระบบ Network RTK ค่าพิกัดทางราบ $8\text{mm}+0.5\text{ppm RMS}$ และค่าระดับ $15\text{mm}+0.5\text{ppm RMS}$ ในการรังวัดค่าพิกัดของจุดควบคุมภาคพื้นดิน (GCP) และจุดตรวจสอบภาพถ่าย (CP) (รูปที่ 4)

2.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

2.4.1 การรังวัดภาคสนาม ประกอบด้วย การรังวัดหมุดควบคุมและหมุดตรวจสอบ การสำรวจภูมิประเทศด้วยกล้องสำรวจ และการบินถ่ายภาพทางอากาศ เพื่อหาค่าพิกัดของหมุดควบคุม หมุดตรวจสอบ และสภาพภูมิประเทศของพื้นที่วิจัย โดยใช้เครื่องมือในการสำรวจที่แตกต่างกัน ซึ่งแบ่งออกเป็นขั้นตอน ดังรูปที่ 5

1. การรังวัดหมุดควบคุม หลังจากการวางแผนการกำหนดหมุดควบคุม ตามสภาพของพื้นที่ โดยไม่มีอุปสรรคในการรับสัญญาณดาวเทียมและการวางบนพื้นที่ราบ โดยการวิจัยครั้งนี้มีหมุดควบคุม จำนวน 5 จุด ได้รังวัดโดยใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GNSS ในระบบ Network RTK ดังรูปที่ 6 โดยมีค่าพิกัดทางราบและทางตั้ง ในระบบพิกัด UTM Zone47N WGS84

2. การสำรวจภูมิประเทศด้วยกล้องสำรวจเป็นการสำรวจภูมิประเทศของพื้นที่ศึกษาด้วยกล้องสำรวจชนิดสถานีรวม กำหนดจุดสำรวจภูมิประเทศเป็นแบบกริด แต่ละจุดที่สำรวจจะมีระยะห่าง 2 ม. ครอบคลุมพื้นที่ กว้าง 12 ม. ยาว 100 ม. มีการตั้งกล้องจำนวน 4 ครั้ง และมีหมุดฐานสำหรับออกงานอยู่จำนวน 4 จุด รวมจำนวนจุดสำรวจจำนวน 360 จุด (รูปที่ 7)

3. การบินถ่ายภาพทางอากาศ ขั้นตอนการบินถ่ายภาพทางอากาศ มีการเก็บข้อมูลโดยอากาศยานไร้คนขับรุ่น DJI Phantom 4 pro โดยใช้โปรแกรม Pix4DCapture เป็นการบินในรูปแบบกริดด้วยความสูง 131 ม. ด้วย GSD เท่ากับ 3.60 ซม./พิกเซล กำหนดการซ้อนทับกันของภาพถ่ายทางด้านหน้าและด้านข้างเท่ากับ 85 และ 75 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ [12] ภาพถ่ายที่ได้มีจำนวน 35 ภาพ

2.4.2 การประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศ ขั้นตอนการประมวลผลภาพถ่ายด้วยอากาศยานไร้คนขับใช้โปรแกรม Agisoft Metashape Professional โดยมีลำดับการทำงาน

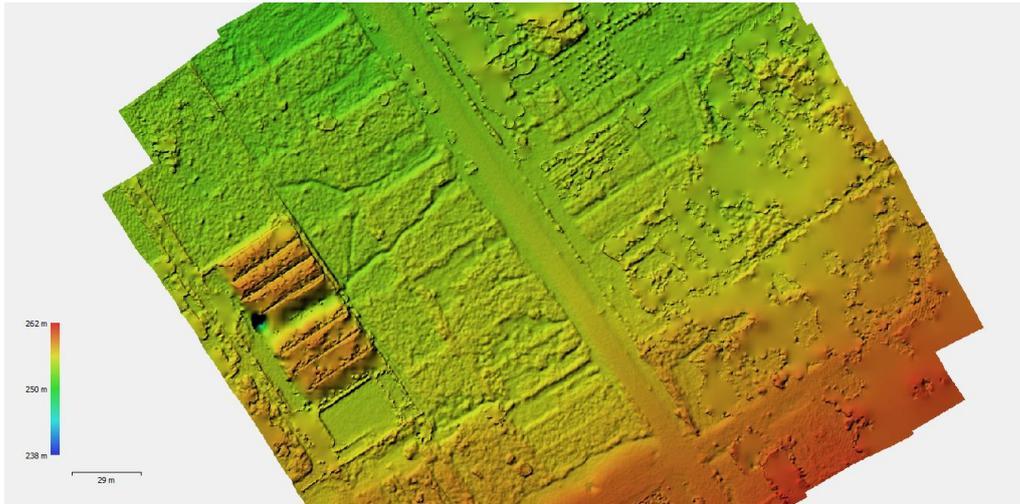
คือ การนำข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศเข้าสู่โปรแกรม แล้วทำการจัดเรียงรูปภาพ (Align Photos) การปรับแก้ความคลาดเคลื่อนเลนส์กล้องถ่ายภาพ (Optimize Camera) และการสร้าง Marker ไว้บนจุด GCP และ CP แล้วสร้าง Dense Cloud แสดงถึงกลุ่มจุดสามมิติ ในพิกัดฉากสามมิติ (X Y Z) และแบบจำลองความสูงเชิงตัวเลข (Digital Elevation Model: DEM) เฉพาะส่วนที่เป็นพื้นดินตามที่โปรแกรมสามารถแยกประเภท ผลการประมวลผลเป็นไปดังรูปที่ 8

2.4.3 ประมวลผลปริมาตรดิน จากการสำรวจด้วยกล้องสำรวจ และภาพถ่ายทางอากาศ ขั้นตอนการหาปริมาตรดินจากการสำรวจทั้งสองประเภท จะนำเข้าข้อมูล DEM สู่อินเตอร์เฟซโปรแกรม Terramodel ที่ละข้อมูล ข้อมูลที่นำเข้าจะเป็น Text File ใน Layer ชื่อว่า "Point" ที่ระบุค่า X Y Z (E N Z) มีขนาด Pixel ทุกระยะ 2 เมตร สร้างแบบจำลองลักษณะภูมิประเทศ (Digital Terrain Model: DTM) จากข้อมูลที่ได้จากกล้องสำรวจและจากภาพถ่ายทางอากาศ จากนั้นสร้างพื้นผิวจำลองด้วย Layer ชื่อว่า "BOUNDARY" ซึ่งแบ่งพื้นที่ออกเป็นสามส่วน ประกอบด้วย ส่วนด้านซ้าย ส่วนตรงกลาง และส่วนด้านขวา เพื่อแยกตามชนิดของพื้นผิวที่ปรากฏด้วยสายตา โดยที่ส่วนตรงกลางคือส่วนที่เป็นพื้นผิวจราจร ที่มีความกว้างประมาณ 5 ม. ส่วนด้านซ้ายและด้านขวาเป็นส่วนไหล่ทางที่มีหญ้าขึ้นปกคลุม ดังรูปที่ 9

ค่าระดับที่กำหนดในพื้นที่ผิวจำลอง กรณีข้อมูลจากกล้องสำรวจจะใช้ค่าระดับที่ได้จากการประมวลผล ส่วนกรณีข้อมูลที่ได้จากภาพถ่ายทางอากาศ จะใช้ค่าที่ได้จากประมวลผลด้วยความสูงของหย้าที่ความสูง 10 ซม. เพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลที่ใกล้เคียงกับสภาพพื้นที่จริง ซึ่งภาพสามมิติแสดงพื้นผิวที่ได้จากการสำรวจและพื้นผิวจำลองแสดงดังรูปที่ 10 จากนั้นจะทำการคำนวณปริมาตรดิน ด้วยคำสั่ง Earthwork Reports โดยกำหนดวิธีการคิดคือให้คิดแบบ Surface to Surface หรือพื้นผิวถึงพื้นผิว โดยแบ่งการคำนวณปริมาตรแยกเป็นโซนประกอบด้วย 12 โซน ผลที่ได้จะออกมาในรูปแบบ Text File ที่ระบุ ปริมาตรดินขุด (Excavation Volume) และ ปริมาตรดินถม (Fill Volume)



รูปที่ 7 รังวัดค่าพิกัดจุดควบคุมภาพและจุดตรวจสอบภาพถ่าย



รูปที่ 8 แบบจำลองความสูงเชิงตัวเลข (Digital Elevation Model: DEM) จากการประมวลผลด้วยภาพถ่ายทางอากาศ



รูปที่ 9 การนำเข้าข้อมูล DEM สู่โปรแกรม และการแบ่งพื้นที่ จำนวนปริมาตร จำนวน 12 โชน

3. ผลการวิจัยและอภิปราย

3.1 ข้อมูลแบบจำลองพื้นผิวจากภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ รังวัดปริมาตรงานดิน จากการประมวลผลด้วยภาพถ่ายทางอากาศ ได้ผลลัพธ์เป็นกลุ่มของจุดสามมิติที่เก็บค่าของพื้นผิวพื้นที่วิจัย ในพิกัดฉาก (X Y Z) ดังรูปที่ 10 ซึ่งมาพร้อมกับค่าสีของพื้นผิวพื้นที่วิจัย โดยสามารถส่งออกข้อมูลเป็นแบบจำลองความสูงต่ำของพื้นที่ (DEM) ที่ความละเอียดต่ำสุดคือ 0.13 ซม. ทั้งนี้ได้ส่งออกข้อมูลเพื่อทำการประมวลผล ด้วย

ความละเอียด เท่ากับ 2 ม. เพื่อมีค่าใกล้เคียงกับการสำรวจด้วยกล้องสำรวจ

ผลของการสร้างภาพสามมิติ ความสูงต่ำของพื้นที่ แสดงดังรูปที่ 11 ค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งของภาพถ่ายที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับเมื่อเปรียบเทียบกับจุดควบคุมภาพถ่ายความคลาดเคลื่อนในแกน X Y Z มีค่าเท่ากับ 1.184 2.119 2.030 ซม. ตามลำดับ ดังตารางที่ 1 ผลการตรวจสอบความถูกต้องเชิงตำแหน่งของภาพถ่ายที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับ



เปรียบเทียบกับจุดตรวจสอบภาพถ่าย ความคลาดเคลื่อนในแกน X Y Z มีค่าเท่ากับ 6.787 4.023 5.048 ซม. ตามลำดับ ดังตารางที่ 2

ผลการตรวจสอบความถูกต้องเชิงตำแหน่งของภาพถ่ายที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับเปรียบเทียบกับจุดตรวจสอบภาพถ่ายออร์โธ มีค่า RMSE เท่ากับ 9.212 ซม. และมีค่าความละเอียดถูกต้องเชิงตำแหน่งในทางราบที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เท่ากับ 15.944 ซม. และพบว่ามีความคลาดเคลื่อนทางตั้งของแบบจำลองพื้นผิวดิจิทัลมีค่า RMSE ทางตั้งเท่ากับ 19.137 ซม. และมีค่าความละเอียดถูกต้องเชิงตำแหน่งในแนวตั้งที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เท่ากับ 37.509 ซม. ดังตารางที่ 3

ผลการเปรียบเทียบการตรวจสอบค่าความคลาดเคลื่อนทางแนวราบที่ได้กับมาตรฐาน ASPRS 2014 เมื่อนำค่า RMSE_x RMSE_y และ RMSE_r มาเปรียบเทียบกับค่าขีดจำกัดความถูกต้องสูงสุดในมาตรฐาน ASPRS 2014 ในชั้นคุณภาพ 12.5 พบว่าภาพถ่ายที่ได้จากการบินถ่ายภาพมีความถูกต้องตามมาตรฐานและสามารถเทียบเท่ากับระดับงานขั้นที่ 1 ตามมาตรฐาน ASPRS, 1990

ผลการเปรียบเทียบผลการตรวจสอบค่าความคลาดเคลื่อนทางแนวตั้งที่ได้กับมาตรฐาน ASPRS 2014 ค่าความต่างของช่วงชั้นความสูงที่ทำการสำรวจจากภาคสนามระหว่างจุดที่สูงที่สุดและจุดที่ต่ำที่สุดมีค่าเท่ากับ 3.347 ม. ในการทำงานสามารถยอมให้มีความคลาดเคลื่อนได้ 5% จากค่าความต่างของช่วงชั้นความสูงดังนั้นจึงสามารถยอมให้มีความคลาดเคลื่อนได้ 16.735 ซม. สามารถเทียบเท่ากับชั้นคุณภาพทางแนวตั้งในมาตรฐาน ASPRS 2014 ได้ที่ชั้นคุณภาพ X เท่ากับ 20 ซม. ที่ยอมให้มีค่า RMSE_z ในพื้นที่ที่ไม่มีพืชปกคลุมอยู่มีค่าสูงสุดไม่เกิน 20 ซม. และระดับความเชื่อมั่นที่ 95% ไม่เกิน 39.30 ซม. ซึ่งผลที่ได้จากการประมวลผล RMSE_z มีค่าเท่ากับ 19.137 ซม. และมีค่าระดับความเชื่อมั่นที่ 95% ที่ 37.51 ซม. ในตารางที่ 4

3.2 ผลเปรียบเทียบการหาปริมาตรดิน จากแบบจำลองระดับพื้นผิว ที่ได้จากการสำรวจด้วยกล้องสำรวจ กับภาพถ่ายทางอากาศจากอากาศยานไร้คนขับ

การคำนวณหาปริมาตรดินด้วยคำสั่ง Earthwork Reports โดยกำหนดวิธีการคำนวณ คือใช้การคำนวณแบบ Surface to Surface โดยพื้นผิวแรกเป็นค่าระดับจากการ

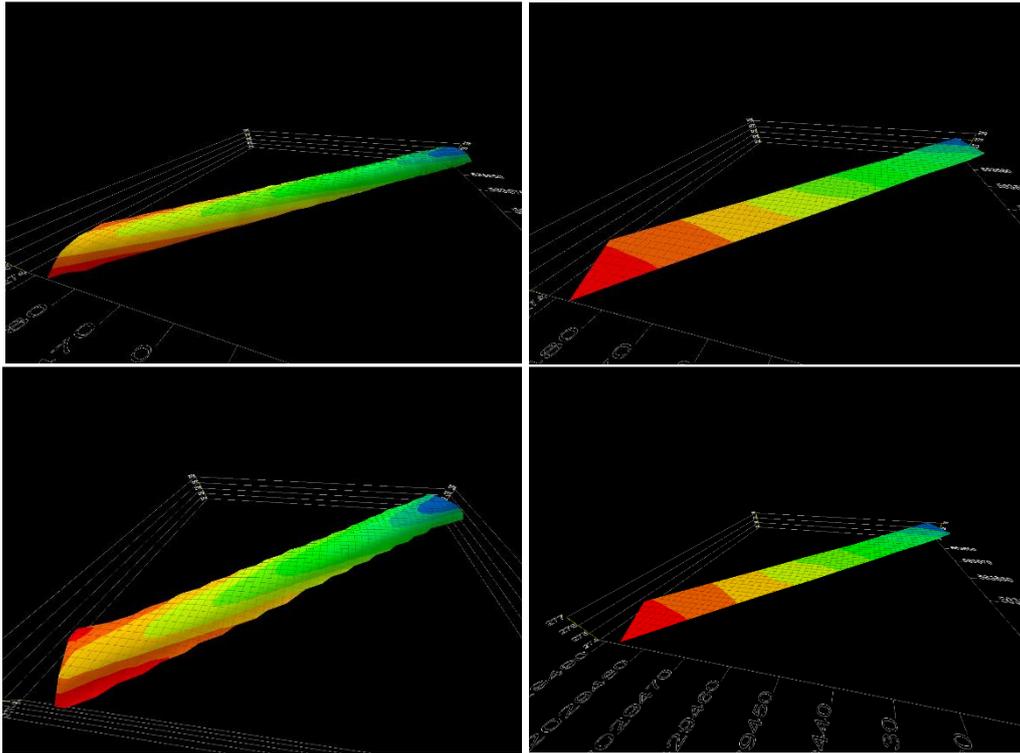
สำรวจหรือจากภาพถ่ายทางอากาศ และพื้นผิวที่สองคือค่าระดับที่ฐานคันดิน ผลลัพธ์จากการประมวลผล (รูปที่ 11)

ผลการคำนวณปริมาตรดิน ด้วยคำสั่ง Earthwork Reports ในโปรแกรม Terramodel โดยกำหนดวิธีการคิดคือให้คิดแบบ Surface to Surface ได้ผลลัพธ์ปริมาตรดินจากการสำรวจด้วยกล้องและจากภาพถ่ายทางอากาศ เท่ากับ 620.5 ลบ.ม. และ 570.7 ลบ.ม. ตามลำดับ มีความแตกต่างปริมาตรดินเท่ากับ 49.8 ลบ.ม. หรือคิดเป็น 8%

4. บทสรุป

4.1 การใช้อากาศยานไร้คนขับสร้างแบบจำลองพื้นผิวจากภาพถ่าย เพื่อใช้ในการซ่อมบำรุงตรวจสอบงานทาง งานถนน โดยใช้กรณีศึกษา คือ ถนนแอสฟัลต์ติกคอนกรีตกว้าง 6 ม. อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง มีพื้นที่ทำการวิจัยขนาด 0.75 ไร่ บินถ่ายภาพที่ความสูง 131 ม. ด้วย GSD เท่ากับ 3.60 ซม./พิกเซล จำนวน 35 ภาพ รังวัดและประมวลผลภาพถ่ายร่วมกับการกำหนดจุดควบคุมทางราบ (GCP) จำนวน 5 จุด ผลการทดสอบความถูกต้องเชิงตำแหน่ง ของภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับเปรียบเทียบกับจุดตรวจสอบภาพถ่าย มีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยในแกน X Y Z เท่ากับ 6.783 -4.023 5.048 ซม. ตามลำดับ ดังตารางที่ 2 ผลการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนทางแนวราบและแนวตั้งที่ได้กับมาตรฐาน ASPRS 2014 มีระดับชั้นความแม่นยำในแนวราบ ในชั้นคุณภาพ 12.5 ซม. ผลการเปรียบเทียบผลการตรวจสอบค่าความคลาดเคลื่อนทางแนวตั้ง มีระดับชั้นความแม่นยำแนวตั้ง กรณีมีพืชปกคลุม เท่ากับ 20 ซม.

4.2 การคำนวณปริมาตรดิน สำหรับกรณีนี้พื้นที่วิจัยมีลักษณะเป็นคันดิน ผิวดินจริงเป็นแอสฟัลต์มีหญ้าขึ้นปกคลุมไหล่ทาง พบว่าปริมาตรดินที่ได้จากการสำรวจด้วยกล้องสำรวจและจากภาพถ่ายทางอากาศ มีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเท่ากับ 8% จากการสำรวจในสนาม สามารถสรุปได้ว่า การใช้ภาพถ่ายทางอากาศสร้างแบบจำลองสภาพภูมิประเทศเพื่อหาปริมาตรดินคันทาง สามารถทดแทนการสำรวจด้วยกล้องสำรวจได้ แต่ทั้งนี้ยังมีข้อจำกัดในเรื่องความถูกต้องของระดับพื้นดินที่แท้จริงในพื้นที่ที่มีหญ้าขึ้นปกคลุม ดังนั้นเพื่อความถูกต้องของข้อมูลควรมีการลดระดับจุดความสูงต่ำของพื้นที่จำลองที่นำมาคิดปริมาตรดินลงไปตามความสูงโดยเฉลี่ยของหญ้าที่ขึ้นปกคลุมเพื่อให้ได้ค่าที่ใกล้เคียงความถูกต้องมากขึ้น



รูปที่ 10 ภาพสามมิติแสดงพื้นผิวที่ได้จากการสำรวจด้วยกล้องสำรวจและจากการประมวลด้วยภาพถ่ายทางอากาศ และพื้นผิวจำลองสำหรับคิดปริมาตรดิน

ตารางที่ 1 การตรวจสอบความถูกต้องเชิงตำแหน่งของภาพถ่ายที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับเมื่อเปรียบเทียบกับจุดควบคุมภาพถ่าย

จุด	ความคลาดเคลื่อนในแกน X (ซม.)	ความคลาดเคลื่อนในแกน Y (ซม.)	ความคลาดเคลื่อนในแกน Z (ซม.)
GCP1	-2.010	-3.216	-1.914
GCP2	1.424	2.572	2.533
GCP3	0.196	1.982	-1.370
GCP4	-0.447	-1.248	2.414
GCP5	0.836	-0.086	-1.677
Total	1.184	2.119	2.030

ตารางที่ 2 ผลการตรวจสอบความถูกต้องเชิงตำแหน่งของภาพถ่ายที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับเปรียบเทียบกับจุดตรวจสอบภาพถ่าย

จุด	ความคลาดเคลื่อนในแกน X (ซม.)	ความคลาดเคลื่อนในแกน Y (ซม.)	ความคลาดเคลื่อนในแกน Z (ซม.)
CP1	2.311	-6.274	8.346
CP2	4.654	-9.397	11.270
CP3	9.433	-0.709	4.961
CP4	6.877	-5.540	37.495
CP5	5.532	1.342	-21.594
CP6	11.915	-3.561	-10.192
จำนวนของจุดตรวจสอบภาพ	6	6	6
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (ซม.)	6.787	-4.023	5.048

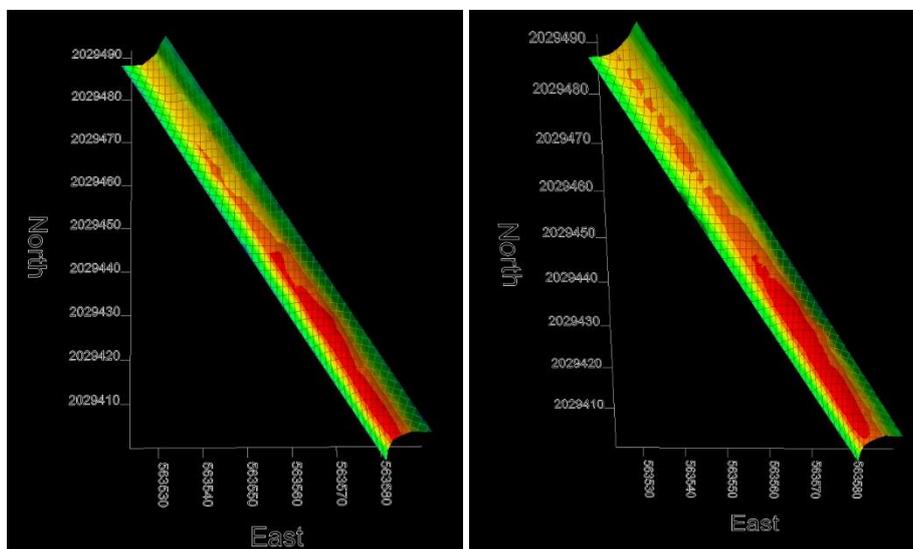


ตารางที่ 3 ผลการตรวจสอบความถูกต้องเชิงตำแหน่งของภาพถ่ายที่ได้จาก UAV เปรียบเทียบกับจุดตรวจสอบภาพถ่าย

จุด	ความคลาดเคลื่อน ในแกน X (ซม.)	ความคลาดเคลื่อน ในแกน Y (ซม.)	ความคลาดเคลื่อน ในแกน Z (ซม.)
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ซม.)	3.448	3.905	20.221
RMSE (ซม.)	7.481	5.375	19.137
RMSE _R (ซม.)	9.212	$\sqrt{RMSE_x^2 + RMSE_y^2}$	
NSSDA ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% ใน แนวราบ	15.944	RMSE _r x 1.7308	
NSSDA ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% ใน แนวตั้ง	37.509	RMSE _z x 1.9600	

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบผลการตรวจสอบค่าความคลาดเคลื่อนทางแนวตั้งที่ได้กับมาตรฐาน ASPRS, 2014

ระดับชั้นความแม่นยำในแนวตั้ง (ซม.)	ความแม่นยำแน่นอน	
	RMSEz ไม่มีพีชปกลุ่ม (ซม.)	ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% ในแนวตั้ง (มีพีชปกลุ่ม) (ซม.)
X (ซม.)	$\leq X$	$\leq 1.96 \times X$
20	20	39.3
ค่าที่ได้จากการคำนวณ	19.137	37.51



รูปที่ 11 การวิเคราะห์ในสามมิติเปรียบเทียบผลต่างปริมาตรดินจากการสำรวจและ UAV

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณอาจารย์เอกชัย กิตติวรากุลและคุณวิษุ อาหาสิเม ผู้จัดการส่วนบริหารงานที่ดิน ฝ่ายรัฐสัมพันธ์ หนังสืออนุญาต และประธานบริษัทปูนซีเมนต์นครหลวง จำกัด (มหาชน) และคุณปรีชา เสาร์เขียว นายช่างสำรวจอาวุโส สำนักสำรวจ

ด้านวิศวกรรมและธรณีวิทยา กรมชลประทาน และบริษัท คอนเซอร์เทคจำกัด สำหรับคำแนะนำและการสนับสนุน โปรแกรมวิเคราะห์ ขอขอบคุณ ณรงค์ มีโหลง และพิมพ์ิตา มุ่งเจริญ นักศึกษาผู้ช่วยดำเนินงานวิจัย และ Assoc.Prof.Graeme Wend-Walker อนุเคราะห์ตรวจทาน



6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Otto A, Agatz N, Campbell J, Golden B, Pesch, E. Optimization approaches for civil applications of unmanned aerial vehicles (UAVs) or aerial drones. A survey. 2018; 72(4): 411-58.
- [2] Skorobogatov G, Barrado C, Salami E. Multiple UAV systems: A survey. Unmanned Systems. 2020; 8(02):149-69.
- [3] Liu P, Chen AY, Huang YN, Han JY, Lai JS, Kang SC, Wu TH, Wen MC, Tsai MH. A review of rotorcraft unmanned aerial vehicle (UAV) developments and applications in civil engineering. Smart Struct. Syst. 2014; 13(6):1065-94.
- [4] Inzerillo L, Di Mino G, Roberts R. Image-based 3D reconstruction using traditional and UAV datasets for analysis of road pavement distress. Automation in Construction. 2018; 96:457-69.
- [5] Julge K, Ellmann A, Köök R. Unmanned aerial vehicle surveying for monitoring road construction earthworks. The baltic journal of road and bridge engineering. 2019; 14(1):1-7.
- [6] Jitpaired A, Kruavit P. A study of image processing technique by using an unmanned aerial vehicle for wearing surface assessment. Proceedings of the 27th National Convention on Civil Engineering. 2023; STR53-1. Thai.
- [7] Chidburi P, Nusid K, Wisitticade T, Sarathongmao T, Thongkhumyard S, Kemmanee P. The application of UAV photogrammetry to monitor the deformation of side-slope protection: A case study of Khwae Noi Bamrungdan Dam, Phitsanulok Province. Proceedings of the 27th National Convention on Civil Engineering. 2023; SGI11-1. Thai.
- [8] Kranpleumjit T, Chantongpoon J, Keawtong N. Applications of Unmanned Aerial Vehicle for Quarry Mapping Case study Phet Muang Lei Crashing Plant. Proceedings of the 27th National Convention on Civil Engineering. 2023; SGI01-8. Thai.
- [9] Wisuwat T. A river cross section survey by UAV photogrammetry in Lam Pa Chi River, Kanchanaburi Province. Rajamangala University of Technology Srivijaya Research J. 2022; 14(2): 465-84. Thai.
- [10] Regulation of Department of land for build and use aerial photo maps (2547BE). 2004. Thai.
- [11] Smith DL, Abdullah QA, Maune D, Heidemann KH. New ASPRS positional accuracy standards for digital geospatial data 2014.
- [12] Subcommittees of UAV standard for engineering project. UAV Standard for Engineering Project. No.012033-22. 2022.