วารสารวิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ ปีที่ 4 ฉบับที่ 5 กันยายน – ตุลาคม 2569
Journal of Engineering and Industrial Technology, Kalasin University, Vol. 4 No. 5 September – October 2026

บทความวิจัย (Research Article)

การจัดทำฐานข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ด้วยอากาศยานไร้คนขับ กรณีศึกษา มหาวิทยาลัยรามคำแหง (หัวหมาก)

ชัยรัตน์ ทาบุญ[1,*], วรานนท์ คงสง[1], ธีรเดช สนองทวีพร[1], ชัยวัฒน์ ภู่วรกุลชัย[1] และกิตติพงศ์ ดำเกาะ[1]

[1] สาขาการตรวจสอบและกฎหมายวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง กรุงเทพมหานคร 10240

*ผู้ประสานงานบทความต้นฉบับ: chairat.thabun@gmail.com, โทรศัพท์: 081-1337160
(รับบทความ: 27 มีนาคม 2569; แก้ไขบทความ: 27 กรกฎาคม 2569; ตอบรับบทความ: 31 กรกฎาคม 2569)

บทคัดย่อ

การศึกษาวิจัยฉบับนี้มุ่งเน้นการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับ (UAV) เพื่อเพิ่มความสมบูรณ์ของข้อมูลสารสนเทศเชิงพื้นที่ในพื้นที่มหาวิทยาลัยรามคำแหง (หัวหมาก) กระบวนการวิจัยเริ่มจากการวางแผนการบินใช้การบินที่ระดับความสูง 90 เมตรเพื่อให้ได้ค่าความละเอียดจุดภาพบนพื้นดิน (GSD) 2.46 เซนติเมตรต่อพิกเซล มีการรังวัดจุดควบคุมภาคพื้นดิน (GCPs) จำนวน 8 จุด และจุดตรวจสอบอิสระ (Check Points) จำนวน 3 จุด ด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม (GNSS) แบบเรียลไทม์ (RTK) อ้างอิงหมุดหลักฐาน RU-07 การประมวลผลภาพถ่ายดิจิทัลจำนวน 916 ภาพ ใช้เทคนิคทางคอมพิวเตอร์วิชัน ได้แก่ ขั้นตอนวิธี Scale-Invariant Feature Transform (SIFT) สำหรับการจับคู่ภาพร่วมกับเทคนิค Structure from Motion (SfM) และ Multi-View Stereo (MVS) เพื่อสร้างชุดข้อมูลพิกัดตำแหน่ง 3 มิติชนิดหนาแน่นที่มีจุดยึดโยงถึง 670,871 จุด ผลการศึกษาเชิงปริมาณพบว่า สามารถผลิตแผนที่ภาพถ่ายออร์โธจริง (True Orthophoto) คือ ผลลัพธ์ที่เป็นภาพถ่ายทางอากาศที่ผ่านการแก้ไขและขจัด ความผิดเพี้ยนทางเรขาคณิต ของวัตถุทั้งหมดอย่างสมบูรณ์ ซึ่งเกิดจาก Relief Displacement (ความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากความสูงที่แตกต่างกันของพื้นที่) ซึ่งแตกต่างจาก Orthomosaic ทั่วไป และแบบจำลองพื้นผิวเชิงเลข (DSM) หมายถึง แบบจำลองความสูงเชิงเลขที่รวมความสูงของสิ่งปลูกสร้างและเรือนยอดไม้ (Top surface) ซึ่งแตกต่างจาก DEM/DTM ที่แสดงเฉพาะผิวพื้นดินธรรมชาติ (Bare Earth) โดยมีความถูกต้องเชิงตำแหน่งแนวราบ (RMSEr) 0.50 เซนติเมตร และแนวดิ่ง (RMSEz) 0.25 เซนติเมตร โดยนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับเกณฑ์ ASPRS 2014 ในเบื้องต้น อย่างไรก็ตาม จุดตรวจสอบอิสระจำนวน 3 จุดยังไม่เพียงพอต่อการยืนยันชั้นความถูกต้องตามมาตรฐาน ข้อมูลที่ได้มีประสิทธิภาพสูงสำหรับใช้เป็นฐานข้อมูลอ้างอิง (Baseline Data) ในงานวิศวกรรมโยธา การออกแบบ สถาปัตยกรรมผ่านโปรแกรมสารสนเทศอาคาร (BIM) และการวางแผนจัดการปัญหาน้ำท่วมขังภายในมหาวิทยาลัยได้ อย่างยั่งยืน

คำสำคัญ: อากาศยานไร้คนขับ การรังวัดด้วยภาพถ่าย แผนที่ภาพถ่ายออร์โธจริง แบบจำลองพื้นผิวเชิงเลข

การอ้างอิงบทความ: ชัยรัตน์ ทาบุญ, วรานนท์ คงสง, ธีรเดช สนองทวีพร, ชัยวัฒน์ ภู่วรกุลชัย และกิตติพงศ์ ดำเกาะ, "การจัดทำฐานข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ด้วยอากาศยานไร้คนขับ กรณีศึกษา มหาวิทยาลัยรามคำแหง (หัวหมาก),"*วารสารวิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์*, ปีที่ 4, ฉบับที่ 5, หน้า 44-58, 2569.

วารสารวิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ ปีที่ 4 ฉบับที่ 5 กันยายน – ตุลาคม 2569
Journal of Engineering and Industrial Technology, Kalasin University, Vol. 4 No. 5 September – October 2026

บทความวิจัย (Research Article)

Application of UAV Technology for Geospatial Mapping: A Case Study of Ramkhamhaeng University (Hua Mak Campus)

Chairat Thabun[1,*], Waranon Kongsong[1], Teeradej Snongtaweeporn[1], Chaiwat Pooworakulchai[1] and Kittipong Dumkoa[1]

[1] Major of Engineering Law and Inspection, Faculty of Engineering, Ramkhamhaeng University, Bangkok 10240

*Corresponding Author: chairat.thabun@gmail.com, Tel: 081-1337160
(Received: March 27, 2026; Revised: July 27, 2026; Accepted: July 31, 2026)

Abstract

This research aimed to investigate the application of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) technology to enhance the completeness of geospatial information for the Ramkhamhaeng University (Hua Mak Campus) area. The research process began with flight mission planning at an altitude of 90 m, achieving a Ground Sampling Distance (GSD) of 2.46 cm/pixel. A total of eight Ground Control Points (GCPs) and three independent Check Points (CPs) were surveyed using a Real-Time Kinematic Global Navigation Satellite System (GNSS RTK), referenced to the RU-07 geodetic control point. A total of 916 digital aerial images were processed using computer vision techniques, including the Scale-Invariant Feature Transform (SIFT) algorithm for image matching, combined with the Structure from Motion (SfM) and Multi-View Stereo (MVS) methods to generate a dense three-dimensional point cloud comprising 670,871 tie points. The quantitative results demonstrated the successful generation of high-quality True Orthophoto imagery and a Digital Surface Model (DSM). Unlike conventional orthomosaics, the True Orthophoto completely corrects geometric distortions caused by relief displacement across all surface objects, including buildings. Meanwhile, the DSM accurately captures top surface features-such as buildings and vegetation canopies-setting it apart from DEMs and DTMs, which represent only the bare-earth topography, achieving a horizontal positional accuracy (RMSEr) of 0.50 cm and a vertical positional accuracy (RMSEz) of 0.25 cm. These values were compared with the ASPRS (2014) accuracy criteria on a preliminary basis. However, three independent check points are below the minimum required for accuracy testing, so compliance with the stated accuracy classes cannot be established.The resulting geospatial datasets provide a reliable baseline database for civil engineering applications, architectural and infrastructure design through Building Information Modeling (BIM), and sustainable flood management planning within the university campus.

Keywords: Unmanned Aerial Vehicle (UAV), Photogrammetry, True Orthophoto, Digital Surface Model (DSM)

Please cite this article as: C. Thabun, W. Kongsong, T. Snongtaweeporn, C. Pooworakulchai and K. Dumkoa, "Application of UAV Technology for Geospatial Mapping: A Case Study of Ramkhamhaeng University (Hua Mak Campus)," *The Journal of Engineering and Industrial Technology, Kalasin University*, vol. 4, no. 5, pp. 44-58, 2026.

บทความวิจัย (Research Article)

1. บทนำ

ปัญหาการทรุดตัวของแผ่นดินเป็นความท้าทายเชิงกายภาพที่ส่งผลกระทบต่อโครงสร้างพื้นฐานในพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล ซึ่งจากการศึกษาข้อมูลเทคนิคการวิเคราะห์อนุกรมเวลาอินซาร์ (Time-Series InSAR) [1] ระบุว่าพื้นที่ดังกล่าวมีอัตราการเคลื่อนตัวใน แนวดิ่งเฉลี่ยที่ 0.350 มิลลิเมตรต่อปี สถานการณ์นี้ได้มีการติดตามอย่างต่อเนื่องมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2521 โดยในอดีตใช้เทคนิคการสำรวจระดับชั้นหนึ่ง (Class one leveling survey) แต่ในปัจจุบันเทคโนโลยีการสำรวจจากดาวเทียมได้ถูกนำมาใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการติดตามการเคลื่อนตัวของพื้นดินในพื้นที่กว้าง จากการศึกษาอัตราการทรุดตัวของชั้นดินในกรุงเทพมหานคร ซึ่งมีอัตราการเคลื่อนตัวในแนวดิ่ง ส่งผลโดยตรงต่อเสถียรภาพของอาคารที่ตั้งอยู่บนชั้นดินที่มีความลึกของฐานรากแตกต่างกัน

มหาวิทยาลัยรามคำแหง (หัวหมาก) ตั้งอยู่ในเขตพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบดังกล่าว มหาวิทยาลัยรามคำแหงซึ่งเป็นมหาวิทยาลัยของรัฐที่ตั้งอยู่บนพื้นที่ขนาดใหญ่กว่า 300 ไร่เศษ มีการพัฒนาอาคารและโครงสร้างพื้นฐานอย่างต่อเนื่องเพื่อรองรับการจัดการศึกษาที่ครอบคลุมหลายสาขาวิชา โดยเฉพาะคณะวิศวกรรมศาสตร์ที่ต้องมีการฝึกปฏิบัติและการใช้เครื่องมือสำรวจ การบริหารจัดการด้านกายภาพและทรัพย์สินของมหาวิทยาลัยจำเป็นต้องอาศัยฐานข้อมูลเชิงพื้นที่ (Geospatial Data) ที่มีความถูกต้องและเป็นปัจจุบัน ข้อมูลเหล่านี้ไม่เพียงแต่ใช้ในการวางแผนพัฒนาอาคารหรือการออกแบบปรับปรุงเปลือกอาคารเท่านั้น แต่ยังรวมถึงการสำรวจรังวัดอาคารในส่วนที่เข้าถึงได้ยาก อย่างไรก็ตาม จากการศึกษางานวิจัยก่อนหน้า พบว่า การสำรวจและการจัดเก็บข้อมูลด้วยวิธีการแบบดั้งเดิมมีข้อจำกัดในการเข้าถึงพื้นที่และใช้ระยะเวลานานเกินไป ซึ่งไม่ทันต่อการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพที่เกิดขึ้นจากการทรุดตัวของพื้นดิน ด้วยความก้าวหน้าทางเทคโนโลยี อากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicle: UAV) หรือโดรน (Drone) ถูกนำมาใช้ในงานสำรวจและทำแผนที่ [2] เนื่องจากมีความคล่องตัวและต้นทุนการดำเนินงานที่สอดคล้องกับงบประมาณ งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ งานวิจัยของอลงกรณ์ ถนิมกาญจน์ และคณะ [3] และงานวิจัยของรจณา คูณพูล และคณะ [4] ระบุว่าเทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับสามารถสร้างแบบจำลองที่มีความ ละเอียดสูงเพื่อใช้ในงานสถาปัตยกรรมและวิศวกรรมโดยสามารถผลิตแผนที่ภาพถ่ายออร์โธจริง (True Orthophoto) และแบบจำลองพื้นผิวภูมิประเทศเชิงเลข (Digital Surface Model: DSM) ซึ่งข้อมูลดังกล่าวสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานตรวจสอบทางวิศวกรรมโยธา การติดตามความก้าวหน้างานก่อสร้าง และการสร้างแบบจำลอง 3 มิติ (3D Model) สำหรับงานสถาปัตยกรรมและสารสนเทศอาคาร (BIM)

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อจัดทำแผนที่ภาพถ่ายออร์โธจริงและแบบจำลองพื้นผิวเชิงเลขจากภาพถ่ายอากาศยานไร้คนขับในพื้นที่กรณีศึกษา 2) เพื่อประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งตามมาตรฐานสากล และ 3) สร้างแบบจำลอง 3 มิติของสิ่งปลูกสร้างบางส่วนภายในพื้นที่ศึกษา เพื่อเป็นฐานข้อมูลเชิงพื้นที่ (Baseline Data) สำหรับการพัฒนาในรูปแบบวิทยาเขตอัจฉริยะ (Smart Campus) และโมเดลจำลองเสมือนจริง (Digital Twin) ในการวางแผนจัดการปัญหาน้ำท่วมขังและติดตามเสถียรภาพของโครงสร้างอาคาร โดยอ้างอิงเกณฑ์มาตรฐานของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (วสท. 012033-22) [5] และ American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS 2014) [6] เพื่อให้ข้อมูลที่ได้มีความน่าเชื่อถือและเหมาะสมสำหรับการนำไปใช้งานจริง

2. ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษานี้ครอบคลุมถึงการบูรณาการระหว่างทฤษฎีการรังวัดด้วยภาพถ่าย

บทความวิจัย (Research Article)

(Photogrammetry) แบบดั้งเดิมกับเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ สมัยใหม่ เพื่อประยุกต์ใช้ในงานตรวจสอบทางวิศวกรรมและการทำแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน [7] เนื้อหาประกอบด้วยการศึกษากรอบแนวคิดเกี่ยวกับการตรวจสอบและกฎหมายวิศวกรรมที่เกี่ยวข้องกับการบูรณาการระหว่างกล้องดิจิทัลความละเอียดสูงกับอากาศยานไร้คนขับ (UAV) ช่วยให้สามารถจัดเก็บข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศที่มีรายละเอียดสูง เพื่อป้อนเข้าสู่ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ [8] รวมถึงการวิเคราะห์มาตรฐานความถูกต้องของข้อมูลและข้อบังคับในการใช้อากาศยานไร้คนขับในประเทศไทย ซึ่งจากการทบทวนวรรณกรรมพบว่าเทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับในปัจจุบันสามารถผลิตชุดข้อมูลพิกัดตำแหน่ง 3 มิติ (Point Cloud) ที่มีความละเอียดสูงกว่า 10 ล้านจุดภาพ โดยมีรายละเอียดหลักการและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

2.1 แนวคิดเกี่ยวกับการตรวจสอบและกฎหมายวิศวกรรม

การใช้อากาศยานไร้คนขับในงานวิศวกรรมไม่ได้จำกัดเพียงการทำแผนที่ แต่ยังรวมถึงการใช้ข้อมูลสารสนเทศเชิงพื้นที่เป็น หลักฐานทางเรขาคณิต (Geometric Evidence) สำหรับระบุขอบเขตกรรมสิทธิ์หรือตรวจสอบการรุกล้ำพื้นที่ โดยแผนที่ภาพถ่ายออร์โธจริงที่สร้างขึ้นอย่างถูกต้องตามหลักการทางรังวัดและมีจุดควบคุมภาคพื้นดิน (GCPs) อ้างอิงชัดเจน ถือเป็นหลักฐานทางภูมิสารสนเทศ (Geospatial Evidence) ที่มีน้ำหนักในการระบุขอบเขตแนวรั้วหรือการรุกล้ำพื้นที่ในกรณีที่มีข้อพิพาท นอกจากนี้ข้อมูลจากแบบจำลองพื้นผิวเชิงเลขสามารถนำมาใช้ตรวจสอบความสอดคล้อง (Compliance Check) กับกฎหมายควบคุมอาคาร เช่น ข้อกำหนดด้านความสูง (Height Restrictions) และระยะถอยร่น (Building Setbacks) ตามผังแม่บทของมหาวิทยาลัย การปฏิบัติงานสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับในพื้นที่ราชการในช่วงระหว่างเดือนธันวาคม พ.ศ. 2568 ได้ปฏิบัติตามข้อกำหนดและกฎหมายอย่างเคร่งครัด ได้แก่ ประกาศกระทรวงคมนาคม เรื่อง หลักเกณฑ์การขออนุญาตและเงื่อนไขในการบังคับหรือปล่อยอากาศยานซึ่งไม่มีนักบินประเภทอากาศยานที่ควบคุมการบินจากภายนอก พ.ศ. 2558, ประกาศ กสทช. เรื่อง หลักเกณฑ์และเงื่อนไขการอนุญาตให้ใช้คลื่นความถี่สำหรับอากาศยานซึ่งไม่มีนักบินฯ การขึ้นทะเบียนผู้บังคับอากาศยานกับสำนักงานการบินพลเรือนแห่งประเทศไทย (CAAT) พร้อมกรมธรรม์ประกันภัยคุ้มครองความเสียหายต่อบุคคลที่สาม และการตรวจสอบระยะถอยร่นและความสูงอาคารตาม พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 (และฉบับปรับปรุง) ร่วมกับผังแม่บทของมหาวิทยาลัย

2.2 ทฤษฎีการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ (UAV Surveying)

อากาศยานไร้คนขับที่นิยมใช้ในงานสำรวจแบ่งเป็น 4 ประเภทหลัก โดยประเภทปีกหมุน (Multirotor) มีความเหมาะสมที่สุดสำหรับพื้นที่มหาวิทยาลัยที่มีสิ่งกีดขวาง เนื่องจากสามารถขึ้นลงทางดิ่งได้และใช้งานง่ายในพื้นที่จำกัด

ระบบที่สำคัญประกอบด้วยโครงเครื่องบิน ระบบควบคุมนำทางและการหาตำแหน่งที่ผสานการทำงานระหว่างดาวเทียม (GNSS) และเซ็นเซอร์วัดแรงเฉื่อย (IMU) และกล้องถ่ายภาพระดับ (Survey Grade) ที่มีความละเอียดไม่น้อยกว่า 20 ล้านพิกเซล เพื่อให้ได้ระยะบนพื้นต่อจุดภาพ (Ground Sample Distance: GSD) ที่เหมาะสม

2.3 หลักการสร้างโครงสร้างสามมิติจากภาพหลายมุมมอง (SfM) และการสร้างข้อมูลพื้นผิวหนาแน่นด้วย Multi-View Stereo (MVS)

บทความวิจัย (Research Article)

กระบวนการสร้างแบบจำลอง 3 มิติ ในปัจจุบันอาศัยขั้นตอนวิธีสำคัญ 3 ประการ ได้แก่

1) SIFT (Scale Invariant Feature Transform) ใช้ตรวจจับและจับคู่จุดสำคัญ (Keypoints) ระหว่างภาพถ่ายที่มีส่วนซ้อนกัน โดยไม่ขึ้นกับขนาด การหมุน หรือแสงเงา

2) SfM (Structure from Motion) นำจุดที่จับคู่ได้มาคำนวณหาตำแหน่งกล้องและสร้างชุดข้อมูลพิกัดตำแหน่ง 3 มิติ ชนิดเบาบาง (Sparse Point Cloud)

3) Multi-View Stereo (MVS) เป็นเทคนิคที่ใช้ภาพถ่ายจากหลากหลายมุมมองมาประมวลผลเพื่อสร้างชุดข้อมูลพิกัดตำแหน่ง 3 มิติชนิดหนาแน่น (Dense Point Cloud) ซึ่งช่วยให้ได้แบบจำลองที่มีรายละเอียดสูงโดยครอบคลุมถึงภาพรวมของระบบอากาศยานไร้คนขับขนาดเล็กและการจัดหาภาพถ่ายที่มีประสิทธิภาพ [9]

2.4 มาตรฐานความถูกต้องเชิงตำแหน่ง (ASPRS และ วสท.012033-22)

เกณฑ์สำคัญในการตัดสินคุณภาพงานวิศวกรรมสำรวจคือรากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) ตามมาตรฐาน ASPRS 2014 [6] ซึ่งกำหนดชั้นงานดิจิทัลตามความละเอียดของจุดภาพ นอกจากนี้ยังต้องอ้างอิงมาตรฐาน วสท. 012033-22 [5] ซึ่งเป็นแนวทางปฏิบัติสำหรับการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับในประเทศไทย โดยเน้นการใช้จุดควบคุมภาคพื้นดิน เพื่อโยงยึดค่าพิกัดให้มีความถูกต้องในระดับเซนติเมตร

2.5 การสังเคราะห์และเปรียบเทียบงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผลการศึกษาเปรียบเทียบงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในด้าน ความละเอียดเชิงพื้นที่และมาตรการควบคุมคุณภาพ โดยงานวิจัยของมณฑล สุริยาประสิทธิ์ [10] มุ่งเน้นการผลิตแผนที่เพื่องานระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) ทั่วไป ซึ่งกำหนดความละเอียดจุดภาพบนพื้นดินไว้ที่ 10 เซนติเมตร และมีค่าความถูกต้องตามมาตรฐานความถูกต้องของตำแหน่งเชิงพื้นที่ (FGDC) [11] ในระดับมาตราส่วน 1:500 ในขณะที่งานวิจัยฉบับนี้ได้ยกระดับการใช้อากาศยานไร้คนขับสู่การเป็นเครื่องมือสำรวจรังวัดความละเอียดสูง โดยกำหนดค่าระยะบนพื้นต่อจุดภาพให้ละเอียดถึง 2.46 เซนติเมตร ซึ่งมีความละเอียดกว่าเดิม

นอกจากนี้ เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ สรศักดิ์ ชัยทวี และฐิติน บัวทอง [12] ซึ่งศึกษาการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับโดยไม่ใช้จุดควบคุมภาคพื้นดิน (Non-GCP) และพบค่าความคลาดเคลื่อนทางดิ่งเฉลี่ย 47.0 เซนติเมตร ผลการวิเคราะห์ในงานวิจัยฉบับนี้พบว่า การใช้จุดควบคุมภาคพื้นดิน (Ground Control Points: GCPs) จำนวน 8 จุด ร่วมกับการกำหนดค่าพิกัดอ้างอิงจากหมุดหลักฐาน RU-07 ส่งผลให้ค่าความคลาดเคลื่อนในแนวดิ่งลดลงเหลือ 0.25 เซนติเมตร โดยนำค่านี้มาเปรียบเทียบกับเกณฑ์ Class 1 cm ของมาตรฐาน ASPRS 2014 [6] ในเบื้องต้น แต่จำนวนจุดตรวจสอบยังไม่เพียงพอสำหรับยืนยันชั้นความถูกต้อง

2.6 ช่องว่างของงานวิจัยและองค์ความรู้ใหม่ (Research Gap and Contribution)

แม้ผลการศึกษาที่ผ่านมาจะระบุถึง ศักยภาพของอากาศยานไร้คนขับในระดับรายอาคาร [4,13] แต่ยังคงมีความจำเป็นในการศึกษาเพื่อจัดทำฐานข้อมูลเชิงพื้นที่ระดับมหภาคที่ครอบคลุม พื้นที่ขนาดใหญ่ (มากกว่า 300 ไร่) ซึ่งมีความซับซ้อน ของสิ่งปลูกสร้างและความหนาแน่นของอาคารสูง งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการพัฒนากระบวนการผลิตแผนที่ภาพถ่ายออร์โธจริงเพื่อลดความคลาดเคลื่อนจากผลกระทบของภาพเงาล้ม (Relief Displacement) รวมถึงการสร้างค่าระดับอ้างอิงที่มีความแม่นยำสูง เพื่อใช้ติดตามการทรุดตัว

บทความวิจัย (Research Article)

ของพื้นดินในระดับมิลลิเมตร ซึ่งข้อมูลดังกล่าวสามารถนำไปใช้เป็นพื้นฐานสำคัญสำหรับการพัฒนารูปแบบวิทยาเขตอัจฉริยะและโมเดลจำลองเสมือนจริงของมหาวิทยาลัยต่อไป

3. วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษานี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) โดยใช้เทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับและหลักการรังวัดด้วยภาพถ่าย เพื่อสร้างฐานข้อมูลสารสนเทศเชิงพื้นที่สำหรับมหาวิทยาลัยรามคำแหง กระบวนการวิจัยเน้นความถูกต้องเชิงตำแหน่งตามมาตรฐานสากล โดยแบ่งขั้นตอนการดำเนินงานออกเป็นส่วนหลัก ดังนี้

3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

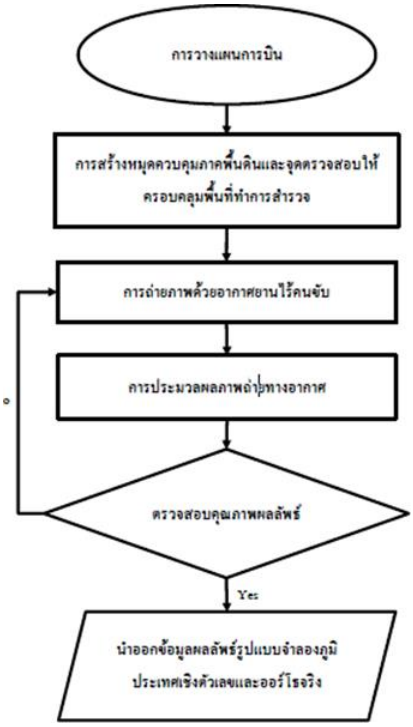
เครื่องมือที่ใช้ประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือ ฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์

1) ฮาร์ดแวร์ อากาศยานไร้คนขับประเภทปีกหมุน DJI รุ่น Phantom 4 Pro และ DJI Inspire 2 ติดตั้งกล้องดิจิทัล ความละเอียด 20 ล้านพิกเซล เซนเซอร์ขนาด 1 นิ้ว สำหรับการรังวัดจุดควบคุมและจุดตรวจสอบ ใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม ยี่ห้อ E-SURVEY รุ่น E600 จำนวน 3 ชุด สำหรับการรังวัดแบบจลน์ (Real-Time Kinematic: RTK) ซึ่งมีค่าความแม่นยำตามเกณฑ์ผู้ผลิตในแนวราบ 8 mm + 1 ppm และแนวดิ่ง 15 mm + 1 ppm พร้อมเป้าสัญญาณภาคพื้นดิน (Targets) ขนาด 1.20x1.20 เมตร และคอมพิวเตอร์ประสิทธิภาพสูง (CPU Intel Xeon, RAM 64GB, GPU NVIDIA Quadro M6000)

2) ซอฟต์แวร์ ใช้โปรแกรม Pix4Dcapture ในการ วางแผนการบิน โปรแกรม Agisoft Metashape Professional สำหรับประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศ (Photogrammetry Software) และซอฟต์แวร์ AutoCAD Civil 3D ด้านวิศวกรรมและภูมิสารสนเทศ

3.2 การจัดเก็บรวบรวมข้อมูล

การดำเนินงานรวบรวมข้อมูลได้ประยุกต์ขั้นตอนตามมาตรฐานการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับเพื่องานวิศวกรรม (วสท. 012033-22) [5] ดังแสดงในผังลำดับขั้นตอน (Flowchart) รูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงขั้นตอนการทำงานการสำรวจอากาศยานไร้คนขับ

กระบวนการรวบรวมข้อมูลประกอบด้วยงานสำรวจภาคสนามและการวางแผนโครงการ ดังนี้

1) การวางแผนการบิน (Flight Planning) เป็นขั้นตอนการกำหนดปัจจัยพื้นฐานเพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีความละเอียดตามต้องการ โดยในการศึกษานี้กำหนดระดับความสูงในการบินไว้ที่ 90 เมตร เหนือพื้นดิน เพื่อให้ได้ค่าความละเอียดจุดภาพบนพื้นดินที่ 2.46 เซนติเมตรต่อพิกเซล นอกจากนี้ยังมีการกำหนดส่วน

บทความวิจัย (Research Article)

ซ้อนด้านหน้า (Overlap) ไว้ที่ 80% และส่วนซ้อนด้านข้าง (Sidelap) ที่ 75% เพื่อให้ครอบคลุมพื้นที่และเพิ่มประสิทธิภาพในการประมวลผลแบบสามมิติ

2) การสร้างหมุดควบคุมภาคพื้นดินและจุดตรวจสอบ เป็นการกำหนดจุดอ้างอิงบนพื้นดินเพื่อโยงยึดค่าพิกัดให้มีความถูกต้องเชิงตำแหน่งแบบสัมบูรณ์ (Absolute Accuracy) ในงานวิจัยนี้ได้ทำการรังวัดจุดควบคุมภาคพื้นดิน จำนวน 8 จุด และจุดตรวจสอบอิสระ จำนวน 3 จุด กระจายทั่วพื้นที่ศึกษา โดยระบบระบุพิกัดทางภูมิศาสตร์แบบกริด WGS 84 / UTM zone 47N (EPSG:32647) โดยอักษร 'N' หมายถึงซีกโลกเหนือ (Northern Hemisphere) บนพื้นหลักฐานอ้างอิงพิกัดมาตรฐานโลก (WGS 84) โดยโยงยึดค่าพิกัดจาก หมุดหลักฐาน RU-07 เพื่อความถูกต้องแม่นยำสูง

3) การถ่ายภาพด้วยอากาศยานไร้คนขับ ปฏิบัติการบินถ่ายภาพตามเส้นทางที่วางแผนไว้ โดยเลือกช่วงเวลาที่มุมแสงดวงอาทิตย์สูงกว่า 45 องศา (ช่วง 10.00 – 14.00 น.) เพื่อลดเงาตกกระทบของอาคารสูง ในการศึกษานี้ได้จำนวนภาพถ่ายรวมทั้งสิ้น 916 ภาพ โดยใช้โดรนประเภทปีกหมุนติดตั้งกล้องแบบ Non-metric

4) การประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศ นำภาพถ่ายดิจิทัลมาผ่านกระบวนการทางคอมพิวเตอร์วิชันและรังวัดด้วยภาพถ่าย ตามขั้นตอนดังนี้

(1) การจับคู่ภาพ (Align Photos) เพื่อหาจุดสำคัญและสร้างจุดเชื่อมโยงภาพอัตโนมัติ (Auto Tie Points)

(2) การปรับแก้บล็อกลำแสงใช้สมการสภาวะร่วมเส้นร่วมกับค่าพิกัดทางรังวัดและมีจุดควบคุมภาคพื้นดิน และใช้การสอบเทียบด้วยตนเอง (Self-Calibration) เพื่อแก้ปัญหาความเพี้ยนของเลนส์

(3) การสร้างชุดข้อมูลพิกัดตำแหน่ง 3 มิติชนิดหนาแน่น ซึ่งในงานนี้ได้จุดยึดโยงถึง 670,871 จุด

5) ตรวจสอบคุณภาพผลลัพธ์ เป็นการประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งโดยนำพิกัดจากแผนที่ไปเปรียบเทียบกับค่าจริงจากจุดตรวจสอบอิสระ หากผลลัพธ์ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานจะต้องย้อนกลับไปแก้ไขในขั้นตอนการบินหรือการประมวลผล ซึ่งผลเชิงปริมาณในงานนี้พบรากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย แนวราบ 0.50 เซนติเมตร และแนวดิ่ง 0.25 เซนติเมตร

6) นำออกข้อมูลผลลัพธ์ (Exporting Products) เมื่อผลการตรวจสอบผ่านเกณฑ์มาตรฐาน จะทำการส่งออกข้อมูลในรูปแบบดิจิทัล ได้แก่ แผนที่ภาพถ่ายออร์โธจริง แบบจำลองพื้นผิวเชิงเลข และ แบบจำลอง 3 มิติ

3.3 การวิเคราะห์และประมวลผลข้อมูล

ใช้เทคนิคทางคอมพิวเตอร์ร่วมกับหลักการรังวัดด้วยภาพถ่ายตามขั้นตอนวิธีของเทคโนโลยีและอัลกอริทึมหลักทางด้านคอมพิวเตอร์วิทัศน์และงานรังวัดด้วยภาพถ่าย (SIFT, SfM, MVS) [14] ซึ่งเป็นขั้นตอน ต่อเนื่องกันดังนี้

1) การจัดเรียงภาพ (Align Photos) ใช้ขั้นตอนวิธีตรวจจับและสกัดจุดเด่นบนรูปภาพ เพื่อตรวจจับจุดสำคัญและจับคู่ภาพอัตโนมัติ โดยมีการคัดกรองจุดที่มีค่าความคลาดเคลื่อนจากการฉายกลับ (Reprojection Error) ให้สอดคล้องกับเกณฑ์มาตรฐาน (น้อยกว่า 1.0 พิกเซล)

2) การปรับแก้บล็อกลำแสง (Bundle Block Adjustment) ใช้สมการสภาวะร่วมเส้น ร่วมกับค่าพิกัดจากหลักการทางรังวัดและมีจุดควบคุมภาคพื้นดิน เพื่อคำนวณหาตำแหน่งกล้องและปรับแก้ความเพี้ยนของเลนส์ เพื่อลดผลกระทบจากการบันทึกภาพของเซนเซอร์กล้อง

บทความวิจัย (Research Article)

3) การสร้างพอยท์คลาวด์หนาแน่น ใช้เทคนิคพื้นผิวรายละเอียดที่หนาแน่น เพื่อสร้างกลุ่มจุดพิกัดสามมิติ (Tie Points หรือ Sparse Point Cloud) ได้จำนวน 670,871 จุด ก่อนนำไปประมวลผลต่อด้วยเทคนิค Multi-View Stereo (MVS) เพื่อสร้างพอยท์คลาวด์หนาแน่น (Dense Point Cloud)

4) การสร้างผลลัพธ์เชิงพื้นที่: สร้างแบบจำลองพื้นผิวภูมิประเทศเชิงเลข และดัดแก้ภาพถ่ายให้เป็นแผนที่ภาพถ่ายออร์โธจริง เพื่อขจัดปัญหาภาพตึกเอียงในพื้นที่อาคารสูงหนาแน่น

3.4 การประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่ง

การประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งทำการแยกหมุดควบคุมภาคพื้นดิน (GCPs) จำนวน 8 จุดที่ใช้ในการปรับแบบจำลอง ออกจากจุดตรวจสอบอิสระ (Independent Checkpoints) จำนวน 3 จุด โดยนำค่า RMSE ที่คำนวณได้มาเปรียบเทียบเบื้องต้น (Preliminary Comparison) กับเกณฑ์มาตรฐาน ASPRS 2014 และ วสท. 012033-22 ทั้งนี้จุดตรวจสอบอิสระจำนวน 3 จุดถือเป็นข้อจำกัดเชิงปริมาณตามมาตรฐาน ASPRS 2014 Edition 1 (ข้อ 7.10 หน้า A9) ซึ่งกำหนดให้ต้องใช้จุดตรวจสอบอิสระไม่น้อยกว่า 20 จุดสำหรับการทดสอบทางสถิติของ NVA และ Planimetric Accuracy ดังนั้น ค่าที่รายงานจึงเป็นเพียงการประเมินความคลาดเคลื่อนเบื้องต้น ยังไม่สามารถสรุปการผ่านชั้นความถูกต้องรับรอง (Certified Accuracy Class) ได้อย่างสมบูรณ์ แล้วคำนวณหาค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยทั้งในแนวราบ (RMSEr) และแนวดิ่ง (RMSEz) ตามสมการที่ 1 และสมการที่ 2 [15]

$$RMSE_r = \sqrt{RMSE_x^2 + RMSE_y^2} \qquad (1)$$

$$RMSE_z = \sqrt{\frac{\sum(Zdata,i - Zcheck,i)^2}{n}} \qquad (2)$$

ผลที่ได้จะนำไปเปรียบเทียบกับเกณฑ์ชั้นงานตามมาตรฐานสากล ASPRS 2014 และมาตรฐาน วสท. 012033-22 เพื่อสรุปคุณภาพของงานวิจัยโดยใช้ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% เป็นเกณฑ์การตัดสิน

จากรายงานการประมวลผลผ่านโปรแกรมการประมวลผลได้แสดงดังตารางจุดตรวจสอบอิสระ ดังนี้

- X error = 2.74142 mm. (0.27cm)
- Y error = 4.23851 mm. (0.42cm)
- Z error = 2.4918 mm. (0.25cm)
- GSD = 2.46 cm/pix

คำนวณค่าความคลาดเคลื่อนรากของกำลังสองเฉลี่ย ทั้งในแนวราบและแนวดิ่ง

$$RMSE_r = \sqrt{RMSE_x^2 + RMSE_y^2}$$
$$= 0.50 \text{ cm.}$$

$$RMSE_z = 0.25 \text{ cm.}$$

เปรียบเทียบค่า RMSE ที่คำนวณได้กับเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดโดย วสท. 012033-22 และ ASPRS เพื่อสรุปชั้นคุณภาพความถูกต้องของแผนที่

ตรวจสอบความถูกต้องเชิงตำแหน่ง จากตารางที่ 1 B.6 ตามมาตรฐาน ASPRS 2014

- GSD = 2.46 cm/pix
- ค่า RMSEx และ ค่า RMSEy ไม่เกิน 5.0 cm
- ค่า RMSEr ไม่เกิน 7.1 cm

บทความวิจัย (Research Article)

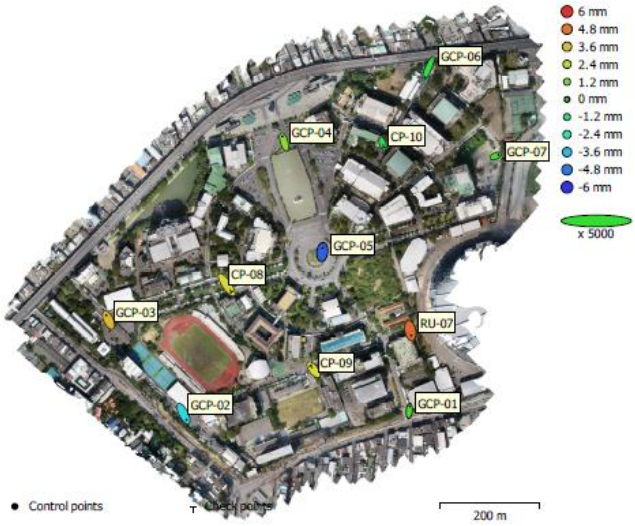


Fig. 4. GCP locations and error estimates.
Z error is represented by ellipse color. X,Y errors are represented by ellipse shape.
Estimated GCP locations are marked with a dot or crossing.

Count	X error (mm)	Y error (mm)	Z error (mm)	XY error (mm)	Total (mm)
8	1.82073	4.32596	3.11346	4.6935	5.63228

Table 4. Control points RMSE.
X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.

Count	X error (mm)	Y error (mm)	Z error (mm)	XY error (mm)	Total (mm)
3	2.74142	4.23851	2.4918	5.04781	5.62934

Table 5. Check points RMSE.
X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.

รูปที่ 2 แสดงความคลาดเคลื่อนรวมของหมุดควบคุม ภาพถ่าย

ตารางที่ 1 ตาราง B.6 ตามมาตรฐาน ASPRS 2014 ความถูกต้องเชิงตำแหน่ง

ASPRS				Equivalent to map scale in		Equivalent to
Horizontal Accuracy Class RMSEx and RMSEy (cm)	RMSEr	Horizontal Accuracy at the 95% Confidence Level (cm)	Approximate GSD of Source Imagery (cm)	ASPRS 1990 Class 1	ASPRS 1990 Class 2	map scale in NMAS
0.63	0.9	1.5	0.30 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

บทความวิจัย (Research Article)

ตารางที่ 2 B.5 ตามมาตรฐาน ASPRS 2014 ความเหมาะสำหรับชั้นงาน

Commom Orthoimagery Pixel Sizes	Recommended Horizontal Accuracy Class RMSEx and RMSEy (cm)	Orthoimage RMSEx and RMSEy in terms of pixels	Recommended use
1.25 cm	≤ 1.3	≤ 1-pixel	Highest accuracy work
	2.5	2-pixels	Standard Mapping and GIS work
	≥ 3.8	≥ 3-pixel	Visualization and less accurate work
2.5 cm	≤ 2.5	≤ 1-pixel	Highest accuracy work
	5.0	2-pixels	Standard Mapping and GIS work
	≥ 7.5	≥ 3-pixel	Visualization and less accurate work
5 cm	≤ 5.0	≤ 1-pixel	Highest accuracy work
	10.0	2-pixels	Standard Mapping and GIS work
	≥ 15.0	≥ 3-pixel	Visualization and less accurate work

ตรวจสอบความเหมาะสำหรับชั้นงาน จากตารางที่ 2 B.5 ตามมาตรฐาน ASPRS 2014

- ค่า RMSEx และ ค่า RMSEy น้อยกว่า 2.5 cm

- เปรียบเทียบกับเกณฑ์ Highest accuracy work ในเบื้องต้น โดยยังไม่ยืนยันชั้นความถูกต้อง

ตรวจสอบความถูกต้องทางระดับ ในตารางที่ 3 B.7 ตามมาตรฐาน ASPRS 2014

- ค่า RMSEz น้อยกว่า 1.0 cm

- นำค่า RMSE แนวดิ่งที่รายงานมาเปรียบเทียบกับเกณฑ์ Class 1 cm ในเบื้องต้น โดยยังไม่ยืนยันชั้นความถูกต้องตามมาตรฐาน

4. ผลการวิจัย

การศึกษาวิจัยฉบับนี้ประสบความสำเร็จในการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับ เพื่อจัดทำฐานข้อมูลสารสนเทศเชิงพื้นที่สำหรับมหาวิทยาลัยรามคำแหง (หัวหมาก) ผลการดำเนินงานสามารถสรุปสาระสำคัญได้ดังนี้

4.1 ผลผลิตเชิงพื้นที่และระดับความละเอียด

งานวิจัยสามารถผลิตแผนที่ภาพถ่ายออร์โธจริงและแบบจำลองระดับสูงเชิงเลข ที่มีความละเอียดจุดภาพบนพื้นดิน เท่ากับ 2.46 เซนติเมตรต่อพิกเซล ซึ่งครอบคลุมพื้นที่ศึกษามากกว่า 300 ไร่เศษ (0.713 ตารางกิโลเมตร) กระบวนการนี้ใช้ภาพถ่ายทางอากาศ

บทความวิจัย (Research Article)

จำนวน 916 ภาพ และสามารถสร้างกลุ่มข้อมูลพอยท์คลาวด์ชนิดหนาแน่นที่มีจุดยึดโยง ถึง 670,871 จุด สำหรับนำไปสร้างแบบจำลอง 3 มิติในงานวิศวกรรม

ตารางที่ 3 ตาราง B.7 ตามมาตรฐาน ASPRS 2014 ชั้นงานค่าความถูกต้องทางระดับ

Vertical Accuracy Class	Absolute Accuracy			Relative Accuracy (where applicable)		
	RMSEz Non-vegetated (cm)	NVA at 95% Confidence Level (cm)	VVA at 95th Percentile (cm)	Within-Swath Hard Surface Repeatability (Max Diff) (cm)	Swath-to-Swath Non-Veg Terrain (RMSDz) (cm)	Swath-to-Swath Non-Veg Terrain (Max Diff) (cm)
1-cm	1.0	2.0	3	0.6	0.8	1.6
2.5-cm	2.5	4.9	7.5	1.5	2	4
5-cm	5.0	9.8	15	3	4	8
10-cm	10.0	19.6	30	6	8	16

4.2 ความถูกต้องเชิงตำแหน่ง (RMSE)

จากการวิเคราะห์เชิงตัวเลขโดยเปรียบเทียบกับจุดตรวจสอบอิสระที่โยงยึดจากหมุดหลักฐาน RU-07 พบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนทางสถิติดังนี้

1) ความถูกต้องแนวราบ (RMSEr): มีค่าเท่ากับ 0.50 เซนติเมตร

2) ความถูกต้องแนวดิ่ง (RMSEz): ความถูกต้องแนวดิ่งประเมินจากผลทดสอบจุดตรวจสอบอิสระ (Independent Checkpoints) จำนวน 3 จุด ที่รังวัดด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบ RTK อ้างอิงหมุดหลักฐาน RU-07 ได้ค่า RMSEz เท่ากับ 0.25 เซนติเมตร (cm) (ขณะที่ค่า Residuals ของ GCPs จำนวน 8 จุดที่ใช้ปรับแบบจำลอง มีค่า RMSEz เท่ากับ 0.31 เซนติเมตร หรือ 3.11 มิลลิเมตร) ทั้งนี้ค่า RMSEz = 0.25 cm ที่รายงานเป็นผลการประเมินความคลาดเคลื่อนเบื้องต้นจากจุดตรวจสอบอิสระเฉพาะจุด ยังไม่สามารถสรุปเป็นความถูกต้องภายนอกสัมบูรณ์ (Absolute External Accuracy) ของแผนที่ทั้งหมดได้ เนื่องจากต้องพิจารณาความไม่แน่นอนของการรังวัด (Measurement Uncertainty) วิธีการคำนวณ และจำนวนจุดตรวจสอบตามเกณฑ์มาตรฐานร่วมด้วย

4.3 ปัจจัยความสำเร็จทางเทคนิคและกฎหมาย

ปัจจัยสำคัญที่ทำให้งานวิจัยนี้ได้ค่าความ ถูกต้องในระดับสูง คือ

1) การใช้เทคโนโลยีการรังวัดและระบุตำแหน่งด้วยดาวเทียมที่ให้ค่าพิกัดความถูกต้องแม่นยำสูงมากในระดับเซนติเมตรแบบเรียลไทม์ (RTK) ที่โยงยึดกับหมุด หลักฐาน RU-07 ที่มีความน่าเชื่อถือสูง

2) การเลือก ช่วงเวลาบินที่มุมแดดสูงกว่า 45 องศา เพื่อลดเงาตก กระทบของอาคาร

3) การใช้ซอฟต์แวร์ประมวลผลที่ใช้การสอบเทียบด้วยตนเอง เพื่อปรับแก้พารามิเตอร์ กล้องภายในและขจัดปัญหาปรากฏการณ์ความผิดเพี้ยน

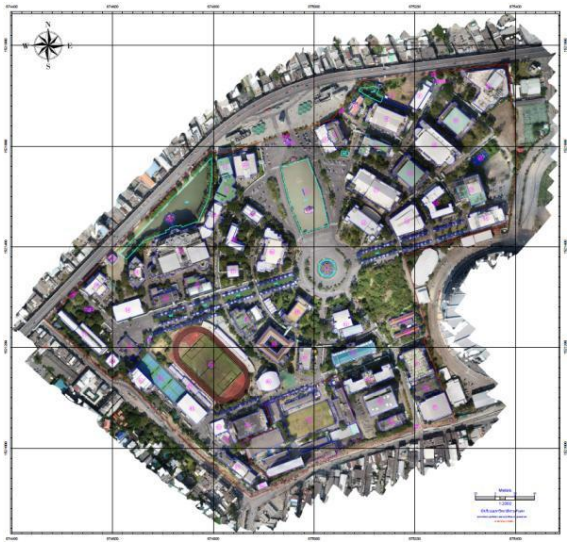
บทความวิจัย (Research Article)

ของภาพ (Rolling Shutter Effect) จากกล้องแบบ Non-metric ทำให้รักษาคุณสมบัติ ทางเรขาคณิตของภาพถ่ายไว้ได้อย่างสมบูรณ์

4) การกำหนดส่วนซ้อนของภาพสูงถึง 80/75% ทำให้ เทคนิคพื้นผิวรายละเอียดที่หนาแน่นสามารถสร้างข้อมูลพิกัดตำแหน่ง 3 มิติ ที่มีความ หนาแน่นและลดจุดอับสายตาในพื้นที่อาคารสูงได้

4.4 การนำไปใช้ประโยชน์

ฐานข้อมูลดิจิทัลที่สร้างขึ้นนี้จะทำหน้าที่เป็นข้อมูลฐาน ที่สำคัญสำหรับมหาวิทยาลัยในการบริหารจัดการพื้นที่ เช่น น้ำท่วมขัง การวางแผนบูรณะซ่อมแซมอาคาร และเป็นค่าระดับอ้างอิงในการตรวจสอบเสถียรภาพโครงสร้างและทางเรขาคณิตตามจรรยาบรรณวิศวกรในอนาคต



รูปที่ 3 แผนที่แสดงการใช้ประโยชน์ภายใน มหาวิทยาลัยรามคำแหง

5. สรุปผลการวิจัย

5.1 อภิปรายผล

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของมาตรการควบคุมคุณภาพในงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่า กระบวนการควบคุมเชิงคุณภาพมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อความถูกต้องของผลลัพธ์มากกว่าการเน้นปริมาณข้อมูล โดยจากการเปรียบเทียบเชิงข้อมูลกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบประเด็นสำคัญดังนี้

1) การเปรียบเทียบด้านความละเอียดเชิงพื้นที่: งานวิจัยนี้มีการกำหนดค่าความละเอียดจุดภาพบนพื้นดิน(GSD) ให้มีความละเอียดสูงถึง 2.46 เซนติเมตรต่อพิกเซล ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อการลดค่าความคลาดเคลื่อนในแนวดิ่ง (RMSEz) ให้เหลือเพียง 0.25 เซนติเมตร ซึ่งมีความแม่นยำเพียงพอสำหรับใช้เป็นค่าระดับอ้างอิงในการตรวจสอบการทรุดตัวของอาคารในระดับมิลลิเมตร แต่งานวิจัยของ มณฑล สุริยาประสิทธิ์ [10] กำหนดค่าระยะบนพื้นต่อจุดภาพ ไว้ที่ 10 เซนติเมตร เพื่อผลิตแผนที่มาตราส่วน 1:500 เท่านั้น

2) เปรียบเทียบด้านการใช้จุดควบคุม: งานวิจัยนี้ใช้จุดควบคุมภาคพื้นดิน 8 จุดร่วมกับหมุดหลักฐาน RU-07 และรายงานค่า RMSE แนวดิ่ง 0.25 เซนติเมตร ขณะที่งานของ สรศักดิ์ ชัยทวี และฐิตินบัวทอง [12] ซึ่งไม่ใช้จุดควบคุมภาคพื้นดินรายงานความคลาดเคลื่อนทางดิ่งเฉลี่ย 47 เซนติเมตร การเปรียบเทียบต้องคำนึงถึงวิธีประเมินและเงื่อนไขของแต่ละงาน และจุดตรวจสอบอิสระเพียง 3 จุดในงานวิจัยนี้ยังไม่เพียงพอสำหรับยืนยันชั้นความถูกต้องตามมาตรฐาน ASPRS 2014 [6]

3) การเลือกใช้มาตรฐาน ASPRS 2014: แม้ ปัจจุบันจะมีเกณฑ์ปี 2024 ออกมาแล้ว แต่การศึกษา นี้ยังคงเลือกใช้เกณฑ์ ASPRS 2014 [6] เพื่อให้สอดคล้อง กับ "มาตรฐานการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับเพื่อการวิศวกรรม" ของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยฯ (วสท. 012033-22) [5] ซึ่งเป็นมาตรฐานหลักที่ใช้อ้างอิงในการส่งมอบงานวิศวกรรมสำรวจภายในประเทศไทยในปัจจุบัน

5.2 ข้อจำกัดของงานวิจัย

แม้ผลลัพธ์จะมีความถูกต้องในระดับสูง แต่กระบวนการเก็บข้อมูลยังมีข้อจำกัดในบางประเด็น ดังนี้

1) ปัจจัยด้านสภาพอากาศและเงาตกกระทบจากอาคารสูงในบางช่วงเวลา ส่งผลกระทบต่อความหนาแน่นของข้อมูลพิกัดตำแหน่ง 3 มิติ บริเวณพื้นที่อับสัญญาณหรือซอกตึก

2) ข้อจำกัดเชิงเทคนิคในการสำรวจบริเวณที่มีพืชปกคลุมหนาแน่น (Vegetation) ซึ่งส่งผลต่อความสามารถในการจำแนกข้อมูลระดับพื้นดิน (Ground Point) ใต้เรือนยอดไม้

3) เงื่อนไขทางด้านระเบียบและข้อกำหนดการบินในพื้นที่ราชการซึ่งจำเป็นต้องมีการวางแผนและดำเนินการประสานงานขออนุญาตล่วงหน้าตามขั้นตอน

5.3 สรุปองค์ความรู้ใหม่ (Contribution)

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นถึงขีดความสามารถของอากาศยานไร้คนขับและเทคนิคแผนที่ภาพถ่ายออร์โธจริงในการลดความคลาดเคลื่อนจากผลกระทบของภาพเงาล้ม ในพื้นที่ขนาดใหญ่ที่มีความหนาแน่นของอาคาร ข้อมูลดิจิทัลที่ได้จากการวิจัย ไม่เพียงแต่ใช้เป็นแผนที่พื้นฐานเท่านั้น แต่ยังสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนสำคัญสำหรับการพัฒนารูปแบบวิทยาเขตอัจฉริยะและโมเดลจำลองเสมือนจริง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบริหารจัดการปัญหาน้ำท่วมขังและติดตามเสถียรภาพของโครงสร้างอาคารตามหลักวิศวกรรมอย่างเป็นระบบ

6. ข้อเสนอแนะ

6.1 ข้อเสนอแนะเพื่อนำไปใช้ประโยชน์

1) มหาวิทยาลัยสามารถนำข้อมูลแบบจำลองพื้นผิวภูมิประเทศเชิงเลข และแผนที่ภาพถ่ายออร์โธจริง นี้เป็นฐานข้อมูลอ้างอิงในการเปรียบเทียบค่าระดับในปีถัด ๆ ไปเพื่อติดตามอัตราการเปลี่ยนแปลงของพื้นดินภายในมหาวิทยาลัย

2) มหาวิทยาลัยสามารถนำแบบจำลอง 3 มิติไปใช้ในงานออกแบบสถาปัตยกรรมสำหรับการวางแผนพัฒนาการใช้ประโยชน์ในอนาคตได้

6.2 ข้อเสนอแนะการวิจัยในครั้งต่อไป

1) ควรบูรณาการเทคโนโลยีการตรวจจับและวัดระยะด้วยแสง (Light Detection and Ranging:

LiDAR) ร่วมกับอากาศยานไร้คนขับ เพื่อเก็บข้อมูลระดับพื้นดินในพื้นที่ที่มีต้นไม้ปกคลุมหนาแน่น

2) ควรเพิ่มจำนวนจุดตรวจสอบอิสระเป็น 5-10 จุด ในพื้นที่ที่มีความต่างระดับสูงเพื่อทดสอบขีดจำกัดของแผนที่ภาพถ่ายออร์โธจริงให้ครอบคลุมทุกสภาพภูมิประเทศ

7. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณาจารย์และบุคลากรของสาขาวิชาการตรวจสอบและกฎหมายวิศวกรรม มหาวิทยาลัยรามคำแหง ที่ให้องค์ความรู้และสนับสนุนในทุกขั้นตอนของการทำวิจัย ขอบพระคุณมหาวิทยาลัยรามคำแหง ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการจัดเก็บข้อมูล ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัย ที่กรุณาให้คำปรึกษาและชี้แนะแนวทางอันเป็นประโยชน์ ตลอดระยะเวลาที่ดำเนินการวิจัยจนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

บทความนี้เป็นส่วนหนึ่งของงานค้นคว้าอิสระ เรื่อง การประยุกต์ใช้อากาศยานไร้คนขับเพื่อจัดทำแผนที่สารสนเทศเชิงพื้นที่ กรณีศึกษา มหาวิทยาลัยรามคำแหง (หัวหมาก) ซึ่งกำลังดำเนินการศึกษาอยู่ในหลักสูตร สาขาวิชาการตรวจสอบและกฎหมายวิศวกรรม คณะ วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง

8. เอกสารอ้างอิง

[1] ชยณัฐ คีรีนารถ, อังคณา พุ่มพวง, อนิรุทธ์ ลดาวดี, สรวิศ สุภเวชย์ และอนุเผ่า อบแพทย์, “การวิเคราะห์อัตราการทรุดตัวของชั้นดินของกรุงเทพมหานครด้วยข้อมูล InSAR,” ใน *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 25*, ชลบุรี, 2563, บทความเลขที่ GTE44.

[2] J. Everaerts, “The use of unmanned aerial vehicles (UAVs) for remote sensing and mapping,” *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. XXXVII, Part B1, Beijing, China, pp. 1187-1192, 2008.

[3] อลงกรณ์ ถนิมกาญจน์, สายชล ครอบกลาง และจิรศักดิ์ มากกลาง, “การประยุกต์ใช้อากาศยานไร้คนขับเพื่อการจัดทำฐานข้อมูลแบบจำลอง 3 มิติ ในงานสถาปัตยกรรม กรณีศึกษา อาคาร 3 และอาคาร 22 กลุ่มวิชาสถาปัตยกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา,” *วารสารวิชาการ พลังงานและสิ่งแวดล้อมในอาคาร*, ปีที่ 3, ฉบับที่ 1, หน้า 53-62, 2563.

[4] รจณา คูณพูล, พรนรายณ์ บุญราศรี, สมใจ หมื่นจร, ปวิตร ฏิระวณิชย์กุล และจิรวัฒน์ จันทองพูน, “การประยุกต์ใช้ภาพถ่ายทางอากาศจากการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับเพื่องานวิศวกรรมในการสร้างแบบจำลองสิ่งปลูกสร้าง,” ใน *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 25*, ชลบุรี, 2563, บทความเลขที่ SGI02-1–SGI02-7.

[5] วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, *มาตรฐานการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับเพื่องานวิศวกรรม (วสท. 012033-22)*, กรุงเทพฯ: วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยฯ, 2565.

[6] American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS), “ASPRS positional accuracy standards for digital geospatial data (Edition 1, Version 1.0),” *Photogrammetric Engineering & Remote*

Sensing, vol. 81, no. 3, pp. A1-A26, 2015. DOI: 10.14358/PERS.81.3.A1-A26.

[7] รัฐพล พรหมมาศ, "การประยุกต์ใช้อากาศยานไร้นักบินขนาดเล็กในการสำรวจตรวจสอบพื้นที่และทำแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่อำเภอแม่แจ่ม โดยชุมชนมีส่วนร่วม," *วารสารนิเทศศาสตรปริทัศน์*, ปีที่ 25, ฉบับที่ 2, หน้า 110-125, พ.ค. – ส.ค. 2564.

[8] A. Ahmad and A. M. Samad, "Aerial mapping using high resolution digital camera and unmanned aerial vehicle for Geographical Information System," in *2010 6th International Colloquium on Signal Processing & Its Applications (CSPA)*, Malacca, Malaysia, 2010, pp. 1-6. DOI: 10.1109/CSPA.2010.5545303.

[9] H. Eisenbeiss, "A mini unmanned aerial vehicle (UAV): System overview and image acquisition," in *International Workshop on Processing and Visualization Using High-Resolution Imagery*, ISPRS Archives Vol. XXXVI-5/W1, Pitsanulok, Thailand, 2004.

[10] มณฑล สุริยาประสิทธิ์, "การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicle: UAV) ในการผลิตแผนที่ภาพถ่ายออร์โธสีและแบบจำลองระดับสูงเชิงเลขในพื้นที่บริเวณวงรอบของเขตพัฒนาที่ดิน ตำบลน้ำพุ อำเภอเมือง จังหวัดราชบุรี," เอกสารวิชาการ, สำนักเทคโนโลยีการสำรวจและทำแผนที่ กรมพัฒนาที่ดิน, กรุงเทพฯ, 2561.

[11] Federal Geographic Data Committee (FGDC), *Geospatial Positioning Accuracy Standards Part 3: National Standard for Spatial Data Accuracy*, FGDC-STD-007.3-1998, Federal Geographic Data Committee, Reston, VA, 1998.

[12] สรศักดิ์ ชัยทวี และฐิติน บัวทอง, "การประเมินความถูกต้องทางตำแหน่งการรังวัดด้วยภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับในพื้นที่เหมืองเปิดแบบไม่ใช้จุดควบคุมภาคพื้นดินด้วยวิธีการแปลงพิกัด," ใน *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 28*, ภูเก็ต, 2566, บทความเลขที่ SGI11, หน้า SGI11-1–SGI11-10. https://conference.thaince.org/index.php/ncce28/article/view/2399

[13] จิรศักดิ์ มากกลาง, "การอนุรักษ์ผังบริเวณและอาคารยุคโมเดิร์น: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน," ใน *การประชุมวิชาการระดับชาติวลัยลักษณ์วิจัย ครั้งที่ 10*, นครศรีธรรมราช, 2561, หน้า 1-7.

[14] A. Ahmad, "Digital mapping using low altitude UAV," *Pertanika Journal of Science & Technology*, vol. 19, Special Issue, pp. 51-58, 2011.

[15] P. R. Wolf, *Elements of Photogrammetry with Air Photo Interpretation and Remote Sensing*, 2nd ed., New York: McGraw-Hill, 1983.