



วารสารวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม Journal of Engineering and Innovation

บทความวิจัย

การประยุกต์ใช้การสำรวจด้วยภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับสำหรับการตรวจสอบระยะเยื้องศูนย์และค่าระดับของเสาเข็ม

The application of UAV photogrammetry for pile eccentricity and cut-off Levels inspections

ณรงค์ พูนพจน์มาศ พุฒิพงศ์ สุดจำนงค์*

สาขาวิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

Narong Poonpotmas Puttipong Sudjamnong *

Department of Surveying Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Krungthep

* Corresponding author.

E-mail: Puttipong.s@mail.rmutk.ac.th; Telephone: 0 84744 5889

วันที่รับบทความ 21 มิถุนายน 2567; วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 1 17 พฤศจิกายน 2567; วันที่ตอบรับบทความ 16 ธันวาคม 2567

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์ใช้การสำรวจด้วยภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ เพื่อตรวจสอบระยะเยื้องศูนย์และค่าระดับของเสาเข็มที่ตอกแล้ว โดยปัจจุบันการบริหารงานก่อสร้างมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องในด้านการลดระยะเวลาและทรัพยากรบุคคล รวมถึงการจัดเก็บข้อมูลดิจิทัล เพื่อให้งานก่อสร้างมีความถูกต้องตามข้อกำหนดต่างๆ การตรวจสอบระยะเยื้องศูนย์ของเสาเข็มโดยวิธีการดั้งเดิมมักใช้การรังวัดด้วยกล้องประมวลผลรวม การเก็บข้อมูลต้องใช้ผู้มีทักษะความเชี่ยวชาญด้านการรังวัดและทรัพยากรบุคคลจำนวนมากจากงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการใช้อากาศยานไร้คนขับในการก่อสร้างด้านต่างๆ เช่น การติดตามความคืบหน้า การทำแผนที่เฉพาะทาง และอื่นๆ การตรวจสอบระยะเยื้องศูนย์และค่าระดับของเสาเข็มที่ตอกแล้วด้วยภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ ประมวลผลด้วยโปรแกรม Pix4Dmapper ร่วมกับจุดควบคุมภาคพื้นดินที่ใช้ในการสำรวจและออกแบบโครงการก่อสร้าง เพื่อสร้างพอยต์คลาวด์สามมิติสำหรับการตรวจสอบระยะเยื้องศูนย์และค่าระดับของเสาเข็มเปรียบเทียบกับข้อมูลจากการรังวัดด้วยกล้องประมวลผลรวมและแบบก่อสร้าง ผลที่ได้จากการเปรียบเทียบทั้ง 2 วิธี มีความแตกต่างตำแหน่งทางราบ ± 0.004 เมตร และทางตั้ง ± 0.050 เมตร ซึ่งผลลัพธ์นี้แสดงให้เห็นว่าการประยุกต์ใช้การสำรวจด้วยภาพถ่ายจาก UAV ในการตรวจสอบระยะเยื้องศูนย์และค่าระดับของเสาเข็มมีความแม่นยำและสามารถใช้ในการทำงานได้จริง ส่วนค่าระดับในการประยุกต์ใช้อาจต้องเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดสำหรับการก่อสร้างในแต่ละโครงการว่าสามารถยอมรับได้หรือไม่

คำสำคัญ

อากาศยานไร้คนขับ พอยต์คลาวด์ การก่อสร้าง การสำรวจทางวิศวกรรม การตรวจสอบตำแหน่งเสาเข็ม

Abstract

The objective of this research is to apply unmanned aerial vehicle photogrammetry to inspect the eccentricity and cut-off levels of piles that has been hammered. Currently, construction management is continuously evolving to reduce time and human resources. The including digital data collection to ensuring that construction works appropriately to various specifications. The inspection of pile eccentricity relies on total station measurements which requires skilled surveyors and significant human resources. As from previous research has unmanned aerial vehicle in various construction activities such as progress monitoring, thematic mapping, etc. In this study, the inspection of pile eccentricity and cut-off

levels using unmanned Aerial Vehicle photogrammetry was processed with Pix4Dmapper software, combined with ground control points used in surveying and design construction projects. This approach aimed to create a three-dimensional point cloud to inspect pile eccentricity and cut-off levels by comparing the results with data from total station measured and construction plans. The comparison results showed a horizontal eccentricity difference of ± 0.004 meters and a vertical cut-off levels difference of ± 0.050 meters. These outcomes demonstrate that the application of unmanned aerial vehicle photogrammetry for inspecting pile eccentricity and cut-off levels is accurate and feasible for practical use. Regarding the level value for application, it might need to be evaluated against the normal construction requirements for that project in order to determine its acceptability.

Keywords

unmanned aerial vehicle; point cloud; construction; engineering survey; inspect pile position

1. คำนำ

เนื่องจากการพัฒนาอย่างต่อเนื่องของงานก่อสร้างอาคาร ซึ่งอาคารเหล่านี้ต้องมีการตรวจสอบคุณภาพตามข้อกำหนดการออกแบบระหว่างก่อสร้างอาคาร เช่น ขนาด ตำแหน่ง ค่าระดับ และความราบเรียบ การประเมินคุณภาพของงานก่อสร้างด้วยการวัดด้วยตนเองหรือใช้การสังเกตวิธีนี้ใช้เวลานาน ซับซ้อนและใช้ทรัพยากรบุคลากรค่อนข้างมาก แต่ผลที่ได้มีความคลาดเคลื่อน มีผลมาจากการวัดที่ไม่ครอบคลุมหรือแม้กระทั่งผลลัพธ์ที่ไม่ถูกต้อง ด้วยเหตุผลนี้ในทศวรรษที่ผ่านมาได้มีการปรับปรุงเทคโนโลยีสำหรับเก็บรวบรวมข้อมูลในอุตสาหกรรมก่อสร้างคือพอยต์คลาวด์ [1-3] การได้มาซึ่งพอยต์คลาวด์ปัจจุบันทำได้ 3 วิธีต่อไปนี้ Laser Scanning , Photogrammetry และ LiDAR ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากข้อมูลเหล่านี้คือ ค่าพิกัดสามมิติ X, Y, Z พร้อม ค่าสี R, G, B และคุณสมบัติอื่นๆ แสดงในรูปแบบที่ 1 ซึ่งข้อมูลเหล่านี้มีประโยชน์อย่างมากในด้านอุตสาหกรรม เช่น การผลิต เกษตรกรรม, ภูมิศาสตร์, และอุตสาหกรรมการก่อสร้าง [3-6]

การปรับแก้บัลลอคค่าแสงของภาพถ่ายโดยอ้างอิงจุดควบคุมภาคพื้นดิน (Ground Control Point, GCP) เพื่อโยนยัดตำแหน่งของพอยต์คลาวด์ตรงตามระบบพิกัดที่ต้องการโดยพิจารณาจากปริมาณและตำแหน่งจากการทดลอง Testing the ideal GCP density

GCP จำนวน 18 ถึง 14 จุด มีค่า RMSE ทางตั้ง 0.015 m และ GCP จำนวน 10 ถึง 4 มีค่า RMSE ทางตั้ง 0.300 m มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอและเมื่อ GCP น้อยกว่า 4 จุด [7] ตำแหน่งจุดควบคุมพิจารณาจากสภาพแวดล้อมและการกระจายตัวให้ครอบคลุมพื้นที่

การประยุกต์ใช้พอยต์คลาวด์กับงานก่อสร้างโดยในปัจจุบันมีการใช้พอยต์คลาวด์ในการติดตามความคืบหน้าของโครงการก่อสร้างและแสดงพื้นผิวภายนอกอาคาร ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นรูปแบบสามมิติเป็นทางเลือกที่ให้ข้อมูลที่เสมือนจริงมากกว่าข้อมูลสองมิติที่ใช้ในปัจจุบัน [1, 2, 8, 9] การประยุกต์ใช้การสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicle, UAV) ในการตรวจสอบคุณภาพของงานก่อสร้าง [10] การตรวจสอบระยะเอียงศูนย์ของเสาเข็มจากการเก็บข้อมูลด้วยกล้องประมวลผลรวม [11] มีความคลาดเคลื่อนของการวัดซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการนำข้อมูลแบบก่อสร้าง, ข้อมูลพอยต์คลาวด์จากภาพถ่าย UAV, และข้อมูลจากการวัดด้วยกล้องประมวลผลรวม สำหรับตรวจสอบระยะเอียงศูนย์และค่าระดับของเสาเข็ม เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้การสำรวจด้วยภาพถ่ายจาก UAV เพื่อสร้างข้อมูลพอยต์คลาวด์ที่เหมาะสมสำหรับใช้ในงานก่อสร้างอย่างมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 1 แสดง Point Cloud ที่มีพิกัดสามมิติ X, Y, Z ค่าสี R, G, B

2. ทฤษฎีและเครื่องมือในงานวิจัย

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การสำรวจด้วยภาพถ่ายจาก UAV อาศัยหลักการเดียวกันกับการสำรวจด้วยภาพถ่ายทางอากาศรวมกับการสำรวจด้วยภาพถ่ายระยะใกล้ ซึ่งมีค่าพิกัดสองมิติบนภาพถ่ายที่ถูกถ่ายภาพให้มีส่วนทับซ้อนเป็นข้อมูลรังวัด เพื่อสร้างความสัมพันธ์ของบล็อกกล่าแสงของภาพถ่ายสำหรับประมวลผลหาค่าพิกัดสามมิติของจุดในภูมิประเทศ ด้วยสมการสถานะร่วมเส้นของค่าพิกัดสองมิติบนภาพถ่าย x, y แสดงในสมการที่ 1, 2

$$x = -f \left(\frac{a_{11}(x-x_o) + a_{12}(Y-Y_o) + a_{13}(Z-Z_o)}{a_{31}(x-x_o) + a_{32}(Y-Y_o) + a_{33}(Z-Z_o)} \right) \quad (1)$$

$$y = -f \left(\frac{a_{21}(x-x_o) + a_{22}(Y-Y_o) + a_{23}(Z-Z_o)}{a_{31}(x-x_o) + a_{32}(Y-Y_o) + a_{33}(Z-Z_o)} \right) \quad (2)$$

เมื่อองค์ประกอบ a_{11} – a_{33} เป็นเมตริกซ์การหมุนของแกนพิกัดสามมิติ f เป็นความยาวโฟกัสของกล้องถ่ายภาพ X_o, Y_o, Z_o เป็นตำแหน่งจุดเปิดถ่ายภาพ และ X, Y, Z ค่าพิกัดสามมิติของจุดรังวัดในภูมิประเทศ ซึ่งความสัมพันธ์ของบล็อกกล่าแสงภาพถ่ายจะถูกคำนวณด้วยวิธีการลีสท์สแควร์เพื่อหาค่าตัวแปรที่ต้องการ

2.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

พื้นที่กรณีศึกษานี้เป็นโครงการหมู่บ้านจัดสรรแห่งหนึ่งตั้งอยู่ในอำเภอบางบัวทอง จังหวัดนนทบุรี ประเทศไทย มีค่าพิกัดทางภูมิศาสตร์ ละติจูด 13.945 องศาเหนือ ลองจิจูด 100.418 องศาตะวันออก มีพื้นที่ประมาณ 125 ไร่

2.2.1 อากาศยานไร้คนขับ (UAV) DJI Mavic 2 Pro

เป็น UAV ประเภท Multirotor ยี่ห้อ DJI รุ่น Mavic 2 Pro มีความละเอียดของจุดภาพ 20 ล้านจุดภาพ มีระบบการหาตำแหน่งจุดเปิดถ่ายภาพแบบจุดเดี่ยว (Single point positioning SPP) เป็นอุปกรณ์สำหรับบันทึกภาพถ่ายสำหรับประมวลผลเพื่อสร้างพอยต์คลาวด์แสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 UAV ประเภท Multirotor ยี่ห้อ DJI รุ่น Mavic 2 Pro

2.2.2 กล้องประมวลผลรวม SOKKIA รุ่น CX-105

สามารถเก็บข้อมูลด้วยความแม่นยำสูงโดยมีความคลาดเคลื่อนในการวัดระยะทาง $\pm 3 \text{ mm} + (2 \text{ ppm} \times D)$ และค่าความคลาดเคลื่อนในการวัดมุม $\pm 5''$ ในกรณีศึกษานี้มีความถูกต้องทางราบ $\pm 2 \text{ mm}$ ทางตั้ง $\pm 5 \text{ mm}$ พิจารณาจากการแพร่กระจายความผิด (Error propagation) และระยะทางไม่เกิน 25 m เพื่อรังวัดข้อมูลตำแหน่งเบื้องต้นของเสาเข็มสำหรับตรวจสอบความคลาดเคลื่อนของข้อมูลพอยต์คลาวด์และใช้สร้างจุดควบคุมภาคพื้นดินในพื้นที่ศึกษา ซึ่งจุดควบคุมภาคพื้นดินใช้ในการประมวลผลเพื่อระบุพารามิเตอร์ทางตำแหน่งของพอยต์คลาวด์ให้ตรงกับพิกัดอ้างอิงของโครงการก่อสร้างแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 แสดงการรังวัดตำแหน่งเสาเข็มและจุดควบคุมภาคพื้นดิน

2.3 โปรแกรมที่ใช้ในการศึกษา

2.3.1 Pix4Dmapper

เป็นโปรแกรมสำหรับประมวลผลโดยอาศัยหลักการ Photogrammetry เพื่อสร้างข้อมูล Orthophotos, 3D point clouds, Digital Elevation Models, และ Realistic 3D models โดยขั้นตอนการประมวลผลประกอบด้วยสี่ขั้นตอนหลัก: 1) เรียงลำดับภาพถ่าย, 2) การระบุ GCP ในภาพถ่าย, 3) การปรับแก้บล็อกลำแสง (bundle block adjustment), และ 4) การสร้างพอยต์คลาวด์โดยอาศัยการจับคู่ภาพ [12, 13]

2.3.2 Autodesk civil 3D

เป็นโปรแกรมจัดการแบบก่อสร้าง ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน โดยสามารถออกแบบและจัดทำเอกสารก่อสร้างเพื่อการก่อสร้างที่มีคุณภาพสูงโดยงานวิจัยนี้ใช้สำหรับเปรียบเทียบข้อมูลความคลาดเคลื่อนของพอยต์คลาวด์และข้อมูลรังวัดจากกล้องประมวลผลรวม

3. ขั้นตอนการประมวลผลภาพถ่ายและการเปรียบเทียบระยะเยื้องศูนย์และค่าระดับของเสาเข็ม

กรณีศึกษานี้มีการตรวจสอบระยะเยื้องศูนย์และค่าระดับเสาเข็มทั้งหมดจำนวน 16 ต้นและสร้างจุดควบคุมภาคพื้นดิน 4 จุด โดยใช้กล้องประมวลผลรวมโดยอ้างอิงระบบพิกัด Indian1975 / UTM Zone47 N ซึ่งเป็นระบบพิกัดฉายแปลงของโครงการก่อสร้าง หลังจากนั้นนำข้อมูลภาพถ่ายพร้อม GCP ไปประมวลผลรวมกันใน Pix4Dmapper เพื่อสร้างพอยต์คลาวด์ ผลลัพธ์ที่ได้นำเข้าโปรแกรม Autodesk civil 3D เพื่อเปรียบเทียบกับแบบก่อสร้าง, พอยต์คลาวด์, และข้อมูลรังวัดจากกล้องประมวลผลรวม

3.1 การสร้างพอยต์คลาวด์

3.1.1 การเก็บข้อมูลถ่ายภาพ

โดยกำหนดมุมกล้องที่ 80 องศาจากแนวราบ เพื่อให้ภาพถ่ายเห็นมุมมองด้านข้างได้ชัดเจนมากขึ้น ซึ่งมีผลกับการสร้างพอยต์คลาวด์ด้านข้างเสาเข็ม Front overlap 80% และ Side overlap 70% ตั้งค่าความสูงของการบินที่ 10 มจากระดับพื้นดิน การเลือกใช้ความสูงบินต่ำเพื่อแสดงถึงรายละเอียดที่ชัดเจนยิ่งขึ้นของภาพถ่ายทำให้การสร้างข้อมูลพอยต์คลาวด์มีคุณภาพมากขึ้น

3.1.2 การประมวลผลภาพถ่าย

นำเข้าภาพถ่ายที่ได้จากกล้องถ่ายภาพ DJI Mavic 2 Pro เข้าสู่โปรแกรม Pix4Dmapper เพื่อประมวลผลจุดเปิดถ่ายและการวางตัวของภาพถ่ายและกำหนดตำแหน่ง GCP โดยกำหนดขนาดภาพเพื่อสกัดหาจุดสำคัญ 1 เท่าของภาพ บล็อกลำแสงมีความคลาดเคลื่อนของการรังวัดย้อน (Reprojection Error) ไม่เกิน 0.3 จุดภาพ สำหรับข้อมูลพอยต์คลาวด์ตั้งค่าการสร้างพอยต์คลาวด์จากความละเอียด 1/2 เท่าของภาพถ่าย

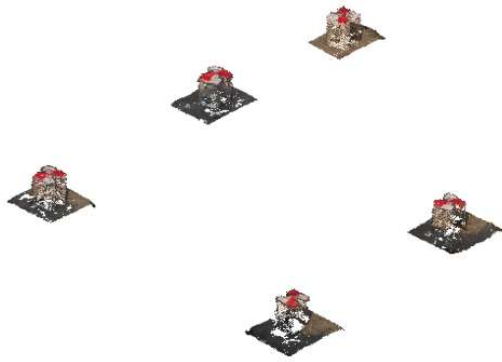
3.2 การเปรียบเทียบระยะเยื้องศูนย์และค่าระดับของเสาเข็ม

3.2.1 พอยต์คลาวด์และแบบก่อสร้าง

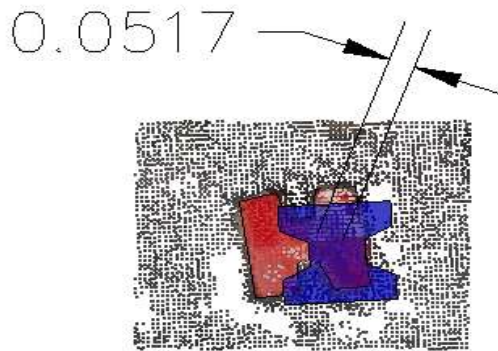
นำพอยต์คลาวด์เข้าสู่โปรแกรม Autodesk civil 3D ซึ่งตำแหน่งพอยต์คลาวด์จะวางตัวตามระบบพิกัดที่ถูกปรับแก้จาก GCP แสดงในรูปที่ 4 ทำการตรวจสอบระยะเยื้องศูนย์และระดับตัดเข็มของเสาเข็ม I-22X22 cm โดยพิจารณากำหนดศูนย์กลางของเสาเข็มแต่ละต้นทั้งที่อยู่ในแบบก่อสร้างและข้อมูลพอยต์คลาวด์ที่มีการระบุสัญลักษณ์บริเวณจุดศูนย์กลางของเสาเข็มแต่ละต้น เพื่อหาค่าระยะเยื้องศูนย์และค่าระดับของเสาเข็มจากการคำนวณค่าต่างพิกัดทั้งทางราบและทางตั้งการตรวจสอบระยะเยื้องศูนย์และค่าระดับแสดงในรูปที่ 5 ซึ่งพิจารณาจากความคลาดเคลื่อนของค่าพิกัด X, Y

3.2.2 กล้องประมวลผลรวมและแบบก่อสร้าง

เป็นการตรวจสอบระยะเยื้องศูนย์ของเสาเข็มวิธีการดั้งเดิมซึ่งงานวิจัยนี้นำมาใช้ตรวจสอบความคลาดเคลื่อนของระยะเยื้องศูนย์ของเสาเข็มจากข้อมูลพอยต์คลาวด์ โดยการรังวัดข้อมูลด้วยกล้องประมวลผลรวมที่อ้างอิงจากหมุดควบคุมของโครงการก่อสร้าง ในการดำเนินงานต้องใช้ทรัพยากรแรงงานในการเข้าถึงตำแหน่งเสาเข็มทุกจุด เป็นการสิ้นเปลืองงบประมาณและเวลา



รูปที่ 4 แสดงพอยต์คลาวด์ของเสาเข็ม



รูปที่ 5 แสดงการตรวจสอบระยะเชิงศูนย์ของเสาเข็ม แบบก่อสร้าง (สีน้ำเงิน) – พอยต์คลาวด์ (สีแดง)

4. ผลการวิจัย

4.1 ผลการประมวลผลบล็อกลำแสง

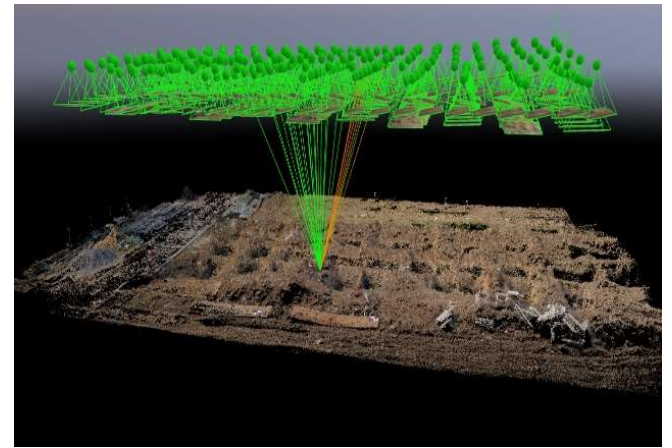
จากการบันทึกข้อมูลภาพถ่ายเสาเข็มโดยใช้อากาศยานไร้คนขับ DJI Mavic 2 Pro ภายใต้เงื่อนไขการบินถ่ายภาพที่กำหนดมีภาพถ่ายทั้งหมดจำนวน 224 ภาพ เมื่อใช้กล้องประมวลผลรวมรังวัดหมดควบคุมภาคพื้นดินของโครงการก่อสร้างจำนวน 4 จุด แสดงในตารางที่ 1

ผลการประมวลผลขั้นต้น ขนาดเฉลี่ยของจุดภาพในภูมิประเทศ (Ground Sample Distance, GSD) เท่ากับ 2.5 mm หมายถึงหนึ่งจุดภาพของภาพถ่ายมีความละเอียด 2.5 mm ครอบคลุมเนื้อที่ 100 m² ซึ่งมีค่าต่างสัมพัทธ์ของพารามิเตอร์ภายในกล้องถ่ายภาพร้อยละ 6.74 ค่ามัธยฐานของการค้นหาจุดสำคัญเท่ากับ 72,415 จุดต่อภาพ ค่ามัธยฐานของการจับคู่จุดสำคัญ 43,404.6 จุดต่อภาพ มีค่าเฉลี่ยคลาดเคลื่อนกำลังสองทางแกน X, Y, และ Z จากการวัดจุดควบคุม 0.004 m

แสดงในรูปที่ 6 และความคลาดเคลื่อนของการรังวัดย้อนเท่ากับ 0.207 จุดภาพ แสดงรายละเอียดในตารางที่ 2 ซึ่งระบุความแม่นยำในการรังวัดจุด GCP และแสดงค่าความคลาดเคลื่อนของการวัดจุดควบคุมภาคพื้นดิน

ตารางที่ 1 ค่าพิกัดจุดควบคุมภาคพื้นดิน

Name	Y (m)	X (m)	Z (m)
GCP 100	1541826.170	653601.275	-0.026
GCP 101	1541828.823	653622.0230	-0.041
GCP 102	1541845.485	653615.614	-0.007
GCP 103	1541844.163	653606.412	0.010



รูปที่ 6 บล็อกลำแสงภาพถ่าย

ตารางที่ 2 ค่าความคลาดเคลื่อนของการวัดจุดควบคุมภาคพื้นดิน

Name	Error X (m)	Error Y (m)	Error Z (m)
GCP 100	-0.000	-0.008	-0.002
GCP 101	-0.004	0.008	0.001
GCP 102	0.006	-0.010	-0.003
GCP 103	-0.001	0.009	0.003
RMS Error (m)	0.003	0.008	0.002

4.2 ผลการสร้างพอยต์คลาวด์

หลังจากการประมวลผลบล็อกลำแสงผ่านเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ การสร้างพอยต์คลาวด์โดยมีเงื่อนไขการค้นหาจุดสำคัญพิจารณาข้อมูลภาพที่ความละเอียด 1/2 เท่าของภาพถ่าย และการจับคู่จุดสำคัญปรากฏอยู่บนภาพถ่ายไม่น้อยกว่า 3 ภาพ สามารถสร้างพอยต์คลาวด์จำนวน

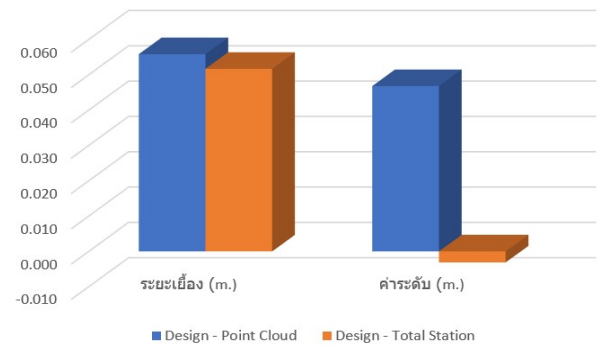
ทั้งสิ้น 67,095,965 จุด และความหนาแน่นของจำนวนจุดพอยต์คลาวด์สามมิติเฉลี่ยเท่ากับ 614,428 จุดต่อ m^3 แสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 ผลลัพธ์ของการสร้างพอยต์คลาวด์

4.3 ผลการเปรียบเทียบการเยื้องศูนย์รวมและค่าระดับของเสาเข็ม

งานวิจัยนี้ได้มีการรวบรวมข้อมูลตำแหน่งเสาเข็ม 16 จุด โดยแบ่งเป็น 3 ข้อมูล ได้แก่ แบบก่อสร้าง ข้อมูลพอยต์คลาวด์ และข้อมูลจากกล้องประมวลผลรวม เพื่อนำข้อมูลแต่ละชุดมาเปรียบเทียบระยะเยื้องศูนย์และค่าระดับของเสาเข็มโดย ข้อมูลชุดที่ 1 การเปรียบเทียบตำแหน่งแบบก่อสร้างกับพอยต์คลาวด์ หลังจากนั้นตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลชุดที่ 1 โดยอ้างอิง ข้อมูลชุดที่ 2 (วิธีดั้งเดิม) เป็นการเปรียบเทียบแบบก่อสร้างกับข้อมูลที่รังวัดด้วยกล้องประมวลผลรวม ข้อมูลชุดที่ 1 มีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนของระยะเยื้องศูนย์และค่าระดับของเสาเข็มเท่ากับ ± 0.056 m และ ± 0.047 m ข้อมูลชุดที่ 2 มีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนของระยะเยื้องศูนย์และค่าระดับของเสาเข็มเท่ากับ ± 0.052 m และ ± 0.003 m แสดงรายละเอียดในรูปที่ 8 และแสดงในตารางที่ 3



รูปที่ 8 กราฟเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนของระยะเยื้องศูนย์และค่าระดับระหว่างข้อมูลชุดที่ 1 และ 2

ตารางที่ 3 แสดงค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนของระยะเยื้องศูนย์และค่าระดับของเสาเข็ม

Point	ข้อมูลชุดที่ 1		ข้อมูลชุดที่ 2	
	ระยะเยื้อง	ค่าระดับ	ระยะเยื้อง	ค่าระดับ
A2,6	0.029	0.061	0.017	-0.001
A1,1	0.068	0.051	0.069	0.015
A,1	0.052	0.013	0.061	-0.013
A,4	0.120	0.076	0.106	0.002
A,5	0.061	0.048	0.048	-0.020
A,6	0.021	0.054	0.013	0.005
B,1	0.075	0.032	0.087	-0.007
B,2	0.034	0.022	0.041	-0.022
B,3	0.076	0.024	0.077	-0.007
B,4	0.057	0.047	0.052	0.000
B,5	0.117	0.058	0.119	0.016
B,6	0.017	0.058	0.018	-0.002
C,2	0.037	0.047	0.049	-0.009
C,3	0.037	0.041	0.015	0.000
C,5	0.037	0.052	0.032	0.003
C,6	0.056	0.065	0.022	-0.010
Means	0.056	0.047	0.052	-0.003

5. การอภิปรายผล

จากงานวิจัยที่ผ่านมาการสร้างพอยต์คลาวด์ด้วยภาพถ่ายจาก UAV สามารถประยุกต์ใช้งานด้านต่างๆ ซึ่งมีความต้องการระดับความถูกต้องของพอยต์คลาวด์แตกต่างกันจากการศึกษาของ Chong Wuet et al. [14] ใช้ UAV ในการเก็บข้อมูลภาพถ่ายอาคารสำหรับสร้างพอยต์คลาวด์และตรวจสอบ

ความถูกต้องของระนาบพื้นผิวทางราบมีความคลาดเคลื่อน 0.022 m ถึง 0.039 m และ 0.027 m ถึง 0.053 m ในระนาบพื้นผิวทางตั้ง การศึกษาของ สุภานัน รัตนพงษ์วิเศษและคณะ [5] มีการสร้างแบบจำลองสามมิติของอาคารด้วยภาพถ่ายจาก UAV สำหรับการวิเคราะห์ทางกายภาพในแง่ของความกว้าง ความยาว ความสูง และพื้นที่ นำข้อมูลมาวิเคราะห์หาค่าความคลาดเคลื่อนเมื่อเทียบกับขนาดจริงของตัวอาคาร ผลการวิจัยพบว่าค่าความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองสามมิติมีค่าความคลาดเคลื่อนเชิงสัมพัทธ์น้อยกว่า 1% และการศึกษาของ Runze Yual et al. [15] ใช้ UAV ในการสร้างพอยต์คลาวด์สำหรับตรวจสอบอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก 4 ชั้น ที่มีความเสียหายปานกลางที่ประสบภัยแผ่นดินไหว โดยเปรียบเทียบกับกล้องประมวลผลรวม ผลการวิจัยพบว่าพอยต์คลาวด์มีความผิดพลาดเชิงสัมพัทธ์น้อยกว่า 5 % จะเห็นได้ว่าการสร้างพอยต์คลาวด์ด้วยภาพถ่ายจาก UAV มีเงื่อนไขปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับความถูกต้องเชิงสัมพัทธ์ ได้แก่ ความสูงบิน, ความละเอียดของภาพถ่าย, ความถูกต้องของจุดควบคุมภาคพื้นดิน, ความชัดเจนของจุดรังวัด เป็นต้น ซึ่งส่งผลต่อปริมาณความคลาดเคลื่อนของพอยต์คลาวด์ในแบบจำลองสามมิติ โดยผลลัพธ์ของงานวิจัยนี้มีความแตกต่างของวิธีการวัดแบบดั้งเดิมกับการวัดด้วยพอยต์คลาวด์ มีค่าต่างของค่าเฉลี่ยระยะเยื้องศูนย์กลางทางราบ 0.004 m และค่าต่างของค่าเฉลี่ยระดับตัดเข็มทางตั้ง 0.050 m

6. สรุปผลการศึกษา

จากรูปที่ 8 แสดงให้เห็นว่าการเปรียบเทียบระยะเยื้องศูนย์กลางและค่าระดับตัดเข็มของข้อมูลทั้ง 2 ชุด มีค่าต่างระยะเยื้องศูนย์กลางของเสาเข็มทางราบ ± 0.004 m และค่าต่างของค่าระดับตัดเข็มทางตั้ง ± 0.050 m ผลลัพธ์ที่ได้จากการประยุกต์ใช้พอยต์คลาวด์ในงานตรวจสอบระยะเยื้องศูนย์กลางทางราบของเสาเข็มอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดโดยอ้างอิงตามมาตรฐานงานก่อสร้างที่ใช้เสาเข็มตอกโดยทั่วไปในประเทศไทย เช่น บ้านเดี่ยว บ้านแฝด อาคารชุด อาคารสำนักงาน อื่นๆ สามารถเยื้องศูนย์กลางได้ไม่เกิน 7 cm สำหรับค่าระดับตัดเข็มไม่มีข้อกำหนดที่ชัดเจนแต่ส่งผลต่อขั้นตอนการกำหนดค่าระดับของฐานรากจากงานวิจัยนี้สามารถลดระยะเวลาในการทำงานสนาม ลด

ทรัพยากรบุคคลซึ่งช่วยประหยัดค่าใช้จ่าย ควรทำการทดลองในโครงการขนาดใหญ่และปริมาณงานที่ต้องตรวจสอบมีจำนวนมาก เพื่อหาผลการทดสอบที่แสดงให้เห็นว่าวิธีการดังกล่าวสามารถทดแทนการรังวัดแบบดั้งเดิมได้อย่างมีประสิทธิภาพ

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของข้อมูลจากโครงการตรวจสอบระยะเยื้องศูนย์กลางกับระดับของเสาเข็มและฐานราก โดยประยุกต์ใช้การสำรวจด้วยภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ UAV และขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ที่ให้การสนับสนุนทรัพยากรต่างๆ ในการดำเนินงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Jiayong Y, Guoqiang W, Wei W, Wei M, Hu C, Zongcheng W, et al. Construction quality detection based on point cloud nonuniform thinning method. *Structures*. 2023;56:104930.
- [2] Kaveh M, Mehrdad A, Ehsan A, Hossein M, Yu B, Ali B. 3 D point cloud data processing with machine learning for construction and infrastructure applications: A comprehensive review. *Advanced Engineering Informatics*. 2022;51: 101501.
- [3] Qian W, Yi T, Zhongya M. Computational methods of acquisition and processing of 3 D point cloud data for construction applications. *Archives of Computational Methods in Engineering*. 2020; 27(2):479-99.
- [4] Yusheng X, Xiaohua T, Uwe S. Voxel-based representation of 3 D point clouds: Methods, applications, and its potential use in the construction industry. *Automation in Construction*. 2021;126:103675.
- [5] Rattanapongwanich S, Srinavin K, Kusonkhum W, Chaitongrat T. Accuracy of 3-d model based on point cloud: a case study of reinforcement concrete building in Khonkaen province. *Journal of Engineering and Innovation*. 2022;15(2):88-95.

- [6] Deliry SI, Avdan U. Accuracy of unmanned aerial systems photogrammetry and structure from motion in surveying and mapping: A review. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*. 2021;49(8):1997-2017.
- [7] Jason R. Do more GCPs equal more accurate drone maps?. Available from: <https://www.pix4d.com/blog/GCP-accuracy-drone-maps/> [Accessed 19th December 2024].
- [8] Shoujun J, Chun L, Hangbin W, Zhijian G, Xuming P. Towards accurate correspondence between BIM and construction using high-dimensional point cloud feature tensor. *Automation in Construction*. 2024;162:105407.
- [9] Yusuf A. An approach for real world data modelling with the 3D terrestrial laser scanner for built environment. *Automation in Construction*. 2007;16(6):816-29.
- [10] Abdullah E, Tanner M, Ferreira PMV. Aerial close-range photogrammetry to quantify deformations of the pile retaining walls. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*. 2021;49(5):1051-66.
- [11] Nakaniwa K, Zou MC, Nishi D, Nakagoshi H. Pile driving and drilling monitoring survey technology using a total station. *Proceedings of the International Conference on Press-in Engineering 2018 First International Conference*. Kanazawa: International Press-in Association; 2018. p. 641-650.
- [12] Wang Y, Li H, Li X, Wang Z, Zhang B. UAV image target localization method based on outlier filter and frame buffer. *Chinese Journal of Aeronautics*. 2024;37(7):375-390.
- [13] Roberto G, Emanuele B, Pasi R, Manuela P, Patrizia T. Methodology for measuring Dendrometric parameters in a Mediterranean forest with UAVs flying inside forest. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 2023;122:103426.
- [14] Chong W, Xijiang C, Taoyong J, Xianghong H, Wenxuan L, Jiayi L, et al. UAV building point cloud contour extraction based on the feature recognition of adjacent points distribution. *Measurement*. 2024;230:114519.
- [15] Runze Y, Peizhen L, Jiazeng S, Hongtao Z. Structural state estimation of earthquake-damaged building structures by using UAV photogrammetry and point cloud segmentation. *Measurement*. 2022;202: 111858.