การใช้อากาศยานไร้คนขับสำหรับบริหารโครงการก่อสร้างทางหลวง
Using of Unmanned Aerial Vehicle for Highway Construction Project Management

ดนัย เรืองสอน[1,*] วิชัย วงศ์วิศิษฐ์[2] สุชาภัสร์ โชติรักษา[3] ณัฐวุฒิ หัสดีวิจิตร[3] ศุภกร สุทธิพันธ์[4] ภาณุพงศ์ มะโนเย็น[5] และมีชัย บุญเลิศ[5]

[1] ผู้อำนวยการ สำนักบริหารโครงการทางหลวงระหว่างประเทศ กรมทางหลวง กรุงเทพมหานคร
[2] วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ สำนักบริหารโครงการทางหลวงระหว่างประเทศ กรมทางหลวง กรุงเทพมหานคร
[3] วิศวกรโยธาชำนาญการ สำนักบริหารโครงการทางหลวงระหว่างประเทศ กรมทางหลวง กรุงเทพมหานคร
[4] วิศวกรโยธาปฏิบัติการ สำนักบริหารบำรุงทาง กรมทางหลวง กรุงเทพมหานคร
[5] วิศวกรโยธาปฏิบัติการ สำนักบริหารโครงการทางหลวงระหว่างประเทศ กรมทางหลวง กรุงเทพมหานคร
**Corresponding author; E-mail address: danai_r@hotmail.com*

บทคัดย่อ

การศึกษานี้ ใช้เทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicle, UAV) หรือโดรน (Drone) มาช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการบริหารโครงการก่อสร้างของทางหลวงในหลายมิติ เช่น การวางแผนงานก่อสร้าง การมีส่วนร่วมของประชาชน การควบคุมคุณภาพ และความปลอดภัยในการควบคุมงาน เป็นต้น โครงการศึกษานี้เป็นโครงการนำร่องซึ่งได้เลือกโครงการก่อสร้างทางหลวงจำนวน 2 โครงการ คือ (1) โครงการก่อสร้างสะพานมิตรภาพไทย - ลาว แห่งที่ 5 (บึงกาฬ - บอลิคำไซ) และ (2) โครงการก่อสร้างอาคารสำนักงานหน่วยบริหารและบำรุงรักษาสะพานมิตรภาพไทย - กัมพูชา (หนองเอี่ยน - สตึงบท) พร้อมด่านชั่งน้ำหนักรถบรรทุกและองค์ประกอบอื่น จ.สระแก้ว มาใช้เป็นกรณีศึกษา โดยใช้อากาศยานไร้คนขับติดตั้งกล้องและอุปกรณ์สำรวจแบบดิจิตัลเพื่อบันทึกข้อมูลกิจกรรมและผลงานในโครงการนำร่องดังกล่าว และทำการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างการเก็บข้อมูลตามแบบที่เคยปฏิบัติกับการเก็บข้อมูลด้วยอากาศยานไร้คนขับ เพื่อกำหนดเป็นแนวทางในการพัฒนาระบบงานและรายละเอียดวิธีดำเนินงานต่อไป การประเมินประสิทธิภาพในการดำเนินงานด้วยระบบงานเดิมเปรียบเทียบกับระบบอากาศยานไร้คนขับ พบว่า การใช้อากาศยานไร้คนขับขนาดเล็ก DJI MINI 2 มีความสะดวกรวดเร็วและมีประสิทธิภาพสูงกว่าระบบงานเดิมในการเก็บข้อมูลกิจกรรมและความก้าวหน้าของโครงการ นอกจากนี้ อากาศยานไร้คนขับที่มีประสิทธิภาพสูงอย่าง DJI Matrice 200 series V2 ติดตั้งกล้องถ่ายภาพความละเอียดสูง สามารถนำมาใช้ในการเก็บข้อมูลปริมาณดินถมเบื้องต้นในโครงการได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนจากการสำรวจปริมาณดินถมอยู่ที่ร้อยละ 9.79

คำสำคัญ: อากาศยานไร้คนขับ, โดรน, การบริหารโครงการก่อสร้างทางหลวง, ความปลอดภัยในการควบคุมงานก่อสร้าง

Abstract

This study employed Unmanned Aerial Vehicle (UAV) or drone technology to increase the efficiency of highway construction project management in several aspects, e.g., construction planning, public participation, quality control, and safety in construction supervision process, etc. The study was a pilot project, which selected two highway construction projects, namely (1) the construction project of the 5th Thai – Laos Friendship Bridge (Bueng Kan – Bolikhamxay), and (2) the construction project of the administrative office building, truck weighing station and other elements for the Thai – Cambodian friendship Bridge (Nong Ian – Stung Bot), Sa Kaeo Province, to be used as case studies. The study team set up UAV equipped with cameras and digital surveying equipment to record the activities and results of the construction projects. Comparative work processing system were set up. The results were found that, in terms of using DJI MINI 2 to record activities and results of the construction project, the use of UAV processing system is more convenient, faster, and more efficient than traditional processing system. As well as using DJI Matrice 200 series V2 equipped with high-quality camera, the results shown that there was only 9.79 % error in filled volume when implementing the UAV to measure the volume of earthwork in the construction project.

Keywords: Unmanned Aerial Vehicle (UAV), Drone, Highway Construction Project Management, Safety in Construction Supervision

1. คำนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ปัจจุบันได้มีการนำเทคโนโลยีที่ทันสมัยมาปรับใช้ในอุตสาหกรรมการก่อสร้างมากยิ่งขึ้น เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานให้สูงขึ้นและลดต้นทุนให้น้อยลง โดยหนึ่งในเทคโนโลยีที่ได้รับความนิยมและถูกนำมาใช้งานอย่างแพร่หลาย คือเทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicle, UAV) หรือโดรน (Drone) อากาศยานไร้คนขับถูกนำมาใช้ในการบริหารโครงการก่อสร้างตั้งแต่ขั้นตอนก่อนการก่อสร้าง ระหว่างดำเนินการก่อสร้างและหลังการก่อสร้างแล้วเสร็จ ข้อมูลที่ได้มีทั้งแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ โดยข้อมูลจะถูกนำมาประยุกต์ใช้ในหลายด้าน เช่น การสำรวจโครงการก่อสร้าง การจัดทำเส้นชั้นความสูงและแผนที่ การติดตามความก้าวหน้าของโครงการก่อสร้าง การควบคุมคุณภาพและการบริหารจัดการความเสี่ยงของการเกิดอุบัติเหตุภายในโครงการก่อสร้าง [1]

กรมทางหลวงมีการสนับสนุนให้มีการนำเทคโนโลยีต่างๆ เข้ามาปรับใช้ในโครงการก่อสร้างอย่างต่อเนื่อง เพื่อเป็นการพัฒนาหน่วยงานให้มีความทันสมัยและให้ได้งานที่มีประสิทธิภาพสูงสุด โดยลักษณะโครงการก่อสร้าง

ของกรมทางหลวงโดยทั่วไปเกี่ยวข้องกับการก่อสร้างงานถนนและสะพานที่มีพื้นที่ก่อสร้างเป็นระยะทางยาวหลายกิโลเมตร เกิดความไม่สะดวกในการบริหารโครงการก่อสร้าง การเก็บข้อมูลกิจกรรมของโครงการก่อสร้างในบางครั้งใช้เวลานานและอาจจะต้องใช้ต้นทุนสูง เช่น ในช่วงการคิดปริมาณงานของโครงการ ถ้าผู้ปฏิบัติงานต้องการทราบข้อมูลความสูงของพื้นที่จริงเพื่อนำมาคำนวณปริมาณงานดินตัดและดินถม อาจจะต้องใช้วิธีการเก็บข้อมูลด้วยกล้องสำรวจ ซึ่งใช้เวลา มีความยุ่งยากในการดำเนินงานและมีค่าใช้จ่ายที่สูง ดังนั้นคณะวิจัยจึงได้นำอากาศยานไร้คนขับมาปรับใช้กับโครงการก่อสร้างของกรมทางหลวง เพื่อให้การเก็บข้อมูลและการบริหารโครงการก่อสร้างเกิดความสะดวกรวดเร็วมากขึ้น และเพิ่มประสิทธิภาพของการทำงานให้สูงกว่าระบบงานเดิม

1.2 วัตถุประสงค์

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ

- เปรียบเทียบประสิทธิภาพการเก็บข้อมูลกิจกรรมและผลงานของโครงการก่อสร้างตามแบบที่เคยปฏิบัติกับการเก็บข้อมูลด้วยอากาศยานไร้คนขับ DJI MINI 2
- ศึกษาประสิทธิภาพของการใช้อากาศยานไร้คนขับ DJI Matrice 200 series V2 ในการเก็บปริมาณงานดินถมของโครงการก่อสร้าง

1.3 ขอบเขตการศึกษา

ขอบเขตของการศึกษา มีดังนี้

- เก็บข้อมูลกิจกรรมและผลงานของโครงการก่อสร้างสะพานมิตรภาพไทย - ลาว แห่งที่ 5 (บึงกาฬ - บอลิคำไซ) ด้วยอากาศยานไร้คนขับ DJI mini2
- เก็บข้อมูลพื้นที่โครงการก่อนเริ่มการก่อสร้าง โครงการก่อสร้างอาคารสำนักงานหน่วยบริหารและบำรุงรักษาสะพานมิตรภาพไทย - กัมพูชา (หนองเอี่ยน - สตึงบท) พร้อมด่านชั่งน้ำหนักรถบรรทุกและองค์ประกอบอื่น จ.สระแก้ว โดยใช้อากาศยานไร้คนขับ DJI Matrice 200 series V2 ติดตั้งกล้องดิจิตัล ZENMUSE X5S

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ข้อมูลทั่วไปของอากาศยานไร้คนขับ

อากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicle, UAV) มีรูปร่างขนาดและรูปแบบที่แตกต่างกันออกไป สามารถควบคุมได้จากระยะไกลผ่านการควบคุมโดยอัตโนมัติ ซึ่งมีอยู่สองลักษณะ คือควบคุมอัตโนมัติจากระยะไกลและการควบคุมแบบอัตโนมัติโดยเปิดใช้ระบบการบินด้วยตัวเอง ซึ่งต้องอาศัยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่มีความซับซ้อนและมีการติดตั้งไว้ในตัวอากาศยาน ในส่วนของการกำหนดเส้นทางการบินนั้น จะต้องมีการบังคับจากศูนย์ควบคุมระยะไกล รวมถึงมีการติดตั้งโปรแกรมไว้ให้บินไปตามเส้นทางที่กำหนดพร้อมทั้งวินิจฉัยการเดินทางด้วยคอมพิวเตอร์บนอากาศยาน โดยทั่วไปการนำอากาศยานไร้คนขับมาใช้งานจะคำนึง 5 ปัจจัยหลัก คือ ระยะเวลาบิน ความเร็ว รัศมีทำการ ความสูง และน้ำหนักรวม [2] สำหรับงานสำรวจด้วยภาพถ่าย อากาศยานไร้คนขับสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภท [3] คือ

2.1.1 อากาศยานไร้คนขับชนิดปีกตรึง (Fixed Wing)

เป็นอากาศยานที่มีลักษณะคล้ายกับเครื่องบินทั่วไป ใช้ระยะเวลาการบินประมาณ 30 – 60 นาที สามารถบินครอบคลุมพื้นที่ได้มากกว่าอากาศยานแบบปีกหมุน แต่ใช้พื้นที่โล่งกว้างพอสมควรในการลงจอด

2.1.2 อากาศยานไร้คนขับชนิดปีกหมุน (Multirotor)

เป็นอากาศยานขึ้นลงแนวดิ่ง อาศัยการหมุนของใบพัดในการขึ้นลงและขับเคลื่อนไปในทิศทางต่างๆ ประกอบด้วยใบพัดจำนวน 3, 4, 6 และ 8 ใบพัด โดยทั่วไปใช้ระยะเวลาการบินประมาณ 10 – 20 นาที

2.1.3 อากาศยานไร้คนขับชนิดปีกหมุนเดี่ยว (Single-Rotor Helicopter)

เป็นอากาศยานที่มีรูปร่างและโครงสร้างคล้ายเฮลิคอปเตอร์ มีใบพัดขนาดใหญ่เพียงใบเดียวที่ใช้ในการเคลื่อนที่และมีใบพัดขนาดเล็กอยู่บนหางของอากาศยานเพื่อควบคุมทิศทางการบิน ซึ่งจะมีประสิทธิภาพมากกว่าอากาศยานไร้คนขับชนิดปีกหมุนบางรุ่น

2.1.4 อากาศยานไร้คนขับชนิดปีกตรึงขึ้นลงแนวดิ่ง (Fixed-Wing Hybrid)

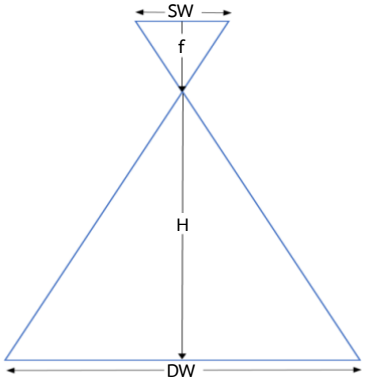
เป็นอากาศยานที่ได้รับการพัฒนาขึ้นมาใหม่ มีลำตัวอากาศยานเป็นอากาศยานไร้คนขับชนิดปีกตรึง แต่สามารถขึ้นลงแนวดิ่งได้ ซึ่งเป็นการนำเอาข้อดีของอากาศยานไร้คนขับชนิดปีกตรึงมารวมกับอากาศยานไร้คนขับชนิดปีกหมุน

2.2 องค์ประกอบของการทำแผนที่ด้วยอากาศยานไร้คนขับ

ในการใช้อากาศยานไร้คนขับถ่ายภาพเพื่อนำมาประมวลผลและจัดทำแผนที่บริเวณโครงการก่อสร้างจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องคำนึงถึงองค์ประกอบต่อไปนี้ [4]

2.2.1 ความสูงบิน

ความสูงบินเป็นส่วนสำคัญของการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ เนื่องจากความสูงบินที่ต่ำจะได้ค่าความละเอียดของภาพถ่ายที่สูง สามารถผลิตข้อมูลเชิงตำแหน่งที่มีความถูกต้องมากขึ้น แต่ต้องใช้เวลาบินนานขึ้นเพื่อให้ได้ภาพที่มีส่วนซ้อนและส่วนเกยเท่าเดิม นอกจากระยะเวลาในการบินเพิ่มขึ้นแล้วยังต้องคำนึงถึงจำนวนภาพที่เพิ่มขึ้น ซึ่งจะส่งผลโดยตรงต่อระยะเวลาในการประมวลผล ดังนั้นนอกจากจะต้องระวังเรื่องความสูงของสภาพพื้นที่แล้ว ระดับความสูงบินมีส่วนสำคัญอย่างยิ่งต่อการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ ระดับความสูงบิน (รูปที่ 1) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (1)



รูปที่ 1 ตัวแปรที่เกี่ยวข้องในการคำนวณความสูงบิน [4]

$$H = \frac{GSDxfxIW}{SWx100} \quad (1)$$

เมื่อ

H คือ ความสูงของการบิน (Flight Height) หน่วย เมตร

GSD คือ ระยะพื้นต่อพิกเซล (Ground Sample Distance) หน่วย เซนติเมตรต่อพิกเซล
SW คือ ระยะด้านกว้างของเซนเซอร์ (Sensor Width) หน่วย มิลลิเมตร
f คือ ทางยาวโฟกัสของเลนส์ (Focal Length) หน่วย มิลลิเมตร
IW คือ จำนวนพิกเซลด้านข้าง (Image Width) หน่วย พิกเซล
DW คือ ระยะพื้นต่อหนึ่งภาพ (Distance Width) หน่วย เมตร

2.2.2 ระยะพื้นต่อพิกเซล (Ground Sample Distance, GSD)

การกำหนดค่า GSD ขึ้นกับความถูกต้องของข้อมูลเชิงตำแหน่งที่ต้องการ โดยมีการกำหนดความถูกต้องในงานวิศวกรรมด้านต่างๆ แบ่งตามประเภทกิจกรรมหรือการใช้งานตามแนวทางของ FGDC (Geospatial Positioning Accuracy Standards Part 4 : Standards for Architecture, Engineering, Construction (A/E/C) and Facility Management National)

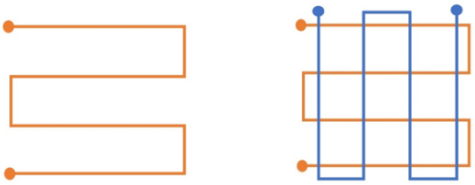
2.2.3 ส่วนซ้อนและส่วนเกยของภาพ

การกำหนดส่วนซ้อนและส่วนเกยสำหรับการวางแผนการบินในงานสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับนั้น มีความแตกต่างกับการสำรวจด้วยภาพถ่ายแบบดั้งเดิม เนื่องจากอากาศยานไร้คนขับมีขนาดเล็กและไม่สามารถควบคุมความเร็วและทิศทางการบินได้อย่างสม่ำเสมอตลอดระยะเวลาการบินถ่ายภาพ ดังนั้นหากกำหนดส่วนซ้อนและส่วนเกยที่น้อยเกินไปอาจทำให้ภาพที่ถ่ายไม่สามารถต่อกันได้ โดยการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับจะต้องกำหนดส่วนซ้อนและส่วนเกยดังนี้

- ส่วนซ้อนหรือพื้นที่ที่ทับกันอยู่ของภาพประชิดในแนวบิน ให้มีส่วนซ้อนกันไม่น้อยกว่าร้อยละ 75
- ส่วนเกยหรือพื้นที่ที่ทับกันอยู่ระหว่างแนวบินที่ประชิดกัน ให้มีส่วนเกยไม่น้อยกว่าร้อยละ 60

2.2.4 รูปแบบการบิน

รูปแบบการบินโดยทั่วไปจะกำหนดให้บินถ่ายในลักษณะบล็อกสี่เหลี่ยมมุมฉาก เพื่อให้โครงข่ายมีความแข็งแรงและลดจำนวนจุดควบคุมภาพถ่าย โดยสามารถเลือกรูปแบบการบินได้ 2 แบบ [4] คือ รูปแบบการบินทั่วไปและรูปแบบการบินแบบกริด ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 รูปแบบการบินทั่วไปและรูปแบบการบินแบบกริด [4]

2.2.5 จุดควบคุมภาพถ่าย (Ground Control Points, GCPs)

จุดควบคุมภาพถ่าย ใช้ในการยึดโยงค่าพิกัดที่ทราบค่าใส่ลงไปในภาพ ซึ่งพิกัดที่ทราบค่าได้จากการรังวัดพิกัดดาวเทียม โดยจำนวนของจุดควบคุมภาพถ่ายที่ใช้ในภาพจะใช้อย่างน้อย 5 จุด และการเลือกตำแหน่งของจุดควบคุมภาพถ่ายควรเลือกจุดให้กระจายทั่วพื้นที่ที่สนใจ และไม่ควรเป็นแนวเดียวกัน

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Javier Irizarry และ Dayana Bastos Costa [5] ทำการศึกษาศักยภาพของอากาศยานไร้คนขับสำหรับงานบริหารโครงการก่อสร้าง โดยทำการบันทึกข้อมูลภาพถ่ายและวิดีโอด้วยอากาศยานไร้คนขับ DJI Phantom 2 Vision+ เป็นจำนวนทั้งสิ้น 200 ชุดข้อมูล จากพื้นที่โครงการก่อสร้าง 3 โครงการในประเทศสหรัฐอเมริกาและอีก 1 โครงการในประเทศบราซิล เพื่อศึกษาหาแนวทางการใช้ประโยชน์จากภาพถ่ายและวิดีโอที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับโดยหลังจากรวบรวมรูปภาพและวิดีโอแล้วเสร็จ มีการใช้วิธีการสัมภาษณ์บุคคลที่เกี่ยวข้องในโครงการก่อสร้าง ควบคู่ไปกับการแสดงข้อมูลรูปภาพและวิดีโอของโครงการนั้นๆ เพื่อประเมินศักยภาพของข้อมูลรูปภาพและวิดีโอที่มีต่องานก่อสร้าง โดยงานวิจัยนี้ชี้ให้เห็นว่าภาพถ่ายและวิดีโอที่ได้จากการเก็บข้อมูลด้วยอากาศยานไร้คนขับสามารถนำมาใช้ในการติดตามความก้าวหน้าของโครงการก่อสร้าง การวางแผนการเคลื่อนย้ายวัสดุภายในโครงการก่อสร้าง การติดตามและตรวจสอบการทำงานให้อยู่ภายใต้มาตรฐานด้านความปลอดภัยที่กำหนด และรวมไปถึงการควบคุมและตรวจสอบคุณภาพของงาน ยิ่งไปกว่านั้น บุคคลที่เกี่ยวข้องในโครงการก่อสร้างระบุประโยชน์ของข้อมูลเหล่านั้นเพิ่มเติม คือสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลประกอบการอบรม ทำการตลาดรวมทั้งใช้ในการตรวจสอบพื้นที่โดยรอบของโครงการ

De Melo et al [6] ทำการวิจัยเรื่องการนำอากาศยานไร้คนขับมาใช้ตรวจสอบความปลอดภัยในโครงการก่อสร้าง โดยการใช้อากาศยานไร้คนขับเก็บข้อมูลภาพถ่ายและวิดีโอจากโครงการก่อสร้างอาคารที่พักอาศัย 2 โครงการในประเทศบราซิล จากการวิเคราะห์ข้อมูลภาพถ่ายและวิดีโอพบว่ารายละเอียดเชิงลึกที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยในงานก่อสร้างสามารถเก็บรวบรวมได้ด้วยอากาศยานไร้คนขับ ดั้งนั้นอากาศยานไร้คนขับสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของการบริหารจัดการด้านความปลอดภัยภายในโครงการก่อสร้างได้

ธีรดนย์ ทองคำ และคณะ [7] ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบความแตกต่างของการรังวัดปริมาตรดินและถ่านหินในเหมืองแม่เมาะ โดยใช้การรังวัดด้วยเครื่องเลเซอร์แสกนภาคพื้นดินเปรียบเทียบกับการรังวัดด้วยอากาศยานไร้คนขับ โดยใช้อากาศยานแบบปีกตรึง (Fixed Wing) รุ่น Wingtra One จากการเปรียบเทียบค่าแตกต่างของการรังวัดปริมาตรในพื้นที่ตัวอย่าง 3 พื้นที่บริเวณขอบบ่อเหมืองแม่เมาะสรุปได้ว่า อากาศยานไร้คนขับสามารถนำมาใช้ในการรังวัดเก็บรายละเอียดงานที่ไม่ต้องการความแม่นยำสูงมากได้ การรังวัดด้วยอากาศยานไร้คนขับยังช่วยประหยัดเวลาในการทำงานภาคสนาม เพิ่มปริมาณงานและพื้นที่การรังวัดในแต่ละวันได้กว้างมากขึ้น

3. วิธีดำเนินงาน

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

3.1.1 อากาศยานไร้คนขับ DJI MINI 2

DJI MINI 2 แสดงในรูปที่ 3 เป็นอากาศยานไร้คนขับขนาดกะทัดรัด มีน้ำหนักเพียง 249 กรัม สามารถบินได้ระยะทางไกลสุด 6 กิโลเมตร บินได้นานสูงสุด 31 นาที พร้อมติดตั้งกล้องที่สามารถถ่ายภาพที่ความละเอียด 12 MP และถ่ายวิดีโอได้ที่ความละเอียด 4K คณะวิจัยใช้อากาศยานไร้คนขับ DJI MINI 2 ในการบินเก็บข้อมูลภาพถ่ายและวิดีโอ เพื่อบันทึกข้อมูลกิจกรรมและความก้าวหน้าของโครงการก่อสร้างสะพานมิตรภาพไทย - ลาว แห่งที่ 5 (บึงกาฬ - บอลิคำไซ)

รูปที่ 3 อากาศยานไร้คนขับ DJI MINI 2
(ที่มา: https://www.bigcamera.co.th/dji-mini-2)

3.1.2 อากาศยานไร้คนขับ DJI Matrice 200 series V2

DJI Matrice 200 series V2 (รูปที่ 4) เป็นอากาศยานไร้คนขับอัจฉริยะที่มีประสิทธิภาพสูง ถูกออกแบบมาเพื่อใช้ในงานอุตสาหกรรม โดยมีระยะเวลาการบินสูงสุด 38 นาที รับส่งสัญญาณได้ไกลถึง 8 กิโลเมตร และสามารถบรรทุกน้ำหนักได้สูงสุด 1.45 กิโลกรัม อากาศยานมาพร้อมกับเซนเซอร์รอบตัวที่ช่วยในเรื่องของการบินหลบหลีกสิ่งกีดขวางและหลีกเลี่ยงการบินชนอากาศยานอื่นๆ

รูปที่ 4 อากาศยานไร้คนขับ DJI Matrice 200 series V2 ติดตั้งกล้อง ZENMUSE X5S

คณะวิจัยได้ทำการติดตั้งกล้อง ZENMUSE X5S กับตัวเครื่องอากาศยาน DJI Matrice 200 series V2 ซึ่งเป็นกล้องที่มีประสิทธิภาพสูง สามารถถ่ายภาพที่ความชัดถึง 20.8 MP และสามารถถ่ายวิดีโอที่ความคมชัดระดับ Cinema DNG 5.2K และ Apple Pro-res เพื่อใช้ในการเก็บข้อมูลภาพถ่ายอย่างละเอียดก่อนเริ่มการก่อสร้างของโครงการก่อสร้างอาคารสำนักงานหน่วยบริหารและบำรุงรักษาสะพานมิตรภาพไทย - กัมพูชา (หนองเอี่ยน - สตึงบท) พร้อมด่านชั่งน้ำหนักรถบรรทุกและองค์ประกอบอื่น จ.สระแก้ว

3.2 การเก็บข้อมูลจากโครงการก่อสร้าง

คณะวิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลด้วยอากาศยานไร้คนขับในโครงการนำร่อง 2 โครงการ โดยใช้อากาศยานไร้คนขับ 1 ตัวต่อโครงการ ซึ่งอากาศยานไร้คนขับแต่ละตัวมีคุณสมบัติต่างกันดังแสดงในหัวข้อที่ 3.1 รายละเอียดการเก็บข้อมูลของทั้ง 2 โครงการ มีดังนี้

3.2.1 โครงการก่อสร้างสะพานมิตรภาพไทย - ลาว แห่งที่ 5 (บึงกาฬ - บอลิคำไซ)

คณะวิจัยได้ทำการบินสำรวจโดยใช้อากาศยานไร้คนขับ DJI MINI 2 ด้วยระบบบังคับด้วยตัวเอง (Manual) ในพื้นที่โครงการนำร่อง จ.บึงกาฬ โดยทำการบินเก็บข้อมูลกิจกรรมและความก้าวหน้าของโครงการเป็นประจำทุกเดือน และทำการบินตรวจสอบการทำงานในพื้นที่โครงการเป็นประจำเพื่อตรวจสอบความปลอดภัยในการทำงานของผู้ปฏิบัติงานและความปลอดภัยของประชาชนผู้ใช้ถนนในพื้นที่โครงการก่อสร้างและบริเวณใกล้เคียง ตรวจสอบการวางแผนการจราจร และการติดป้ายจราจร และควบคุมคุณภาพของงานก่อสร้างในโครงการนำร่อง รายละเอียดดังแสดงในรูปที่ 5

3.2.2 โครงการก่อสร้างอาคารสำนักงานหน่วยบริหารและบำรุงรักษาสะพานมิตรภาพไทย - กัมพูชา (หนองเอี่ยน - สตึงบท) พร้อมด่านชั่งน้ำหนักรถบรรทุกและองค์ประกอบอื่น จ.สระแก้ว

คณะวิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลด้วยอากาศยานไร้คนขับ DJI Matrice 200 series V2 พร้อมติดตั้งกล้อง ZENMUSE X5S แล้วทำการประมวลผลข้อมูล มีขั้นตอนการดำเนินงานดังรูปที่ 6 โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ก. บริเวณงานก่อสร้างอาคารด่านพรมแดน

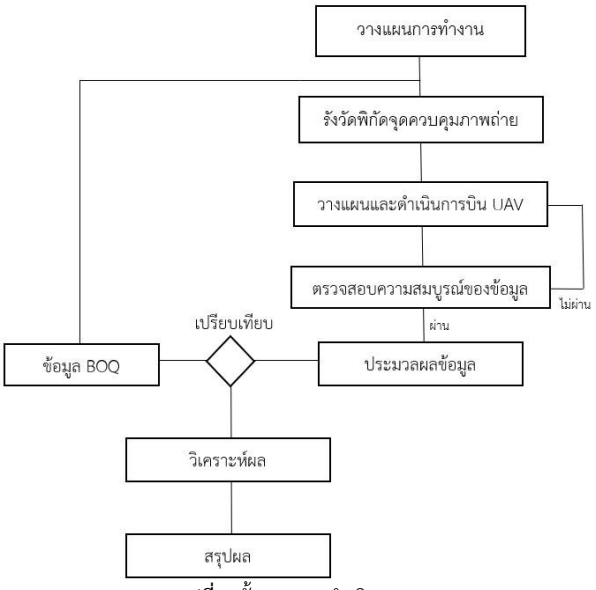
ข. บริเวณงานก่อสร้างสะพานมิตรภาพไทย-ลาว แห่งที่ 5 ช่วงข้ามแม่น้ำโขง

ค. บริเวณที่มีการทำงานในที่สูงบริเวณสะพานข้ามทางแยก

ง. งานตรวจสอบตำแหน่งการติดตั้งป้ายจราจรและทางเชื่อม

จ. งานสำรวจพื้นที่หลังฝนตกหนักรถยนต์ผ่านไม่ได้

รูปที่ 5 การเก็บข้อมูลกิจกรรมและความก้าวหน้าของโครงการก่อสร้างสะพานมิตรภาพไทย - ลาว แห่งที่ 5 (บึงกาฬ - บอลิคำไซ)



รูปที่ 6 ขั้นตอนการดำเนินงาน
ด้วยอากาศยานไร้คนขับ DJI Matrice 200 series V2

ก่อนทำการบินเพื่อเก็บภาพถ่าย คณะวิจัยได้ทำการวางแผนการบินสำรวจผ่านแอปพลิเคชัน DJI GO 4 ดังรูปที่ 7 โดยการกำหนดเส้นทางการบินให้ครอบคลุมพื้นที่ของโครงการ กำหนดให้ถ่ายภาพที่มีอัตราส่วนการซ้อนทับที่ 80% สำหรับภาพถ่ายในแนวบินเดียวกันและ 70% สำหรับภาพถ่ายระหว่างแนวบิน และตั้งค่าความสูงในการบินที่ 90 เมตร ซึ่งจะได้ค่า GSD อยู่ที่ 3.1 เซนติเมตร โดยอากาศยานจะบินเก็บข้อมูลภาพถ่ายได้เองโดยอัตโนมัติตามค่าพารามิเตอร์ที่กำหนดไว้ในตอนต้น

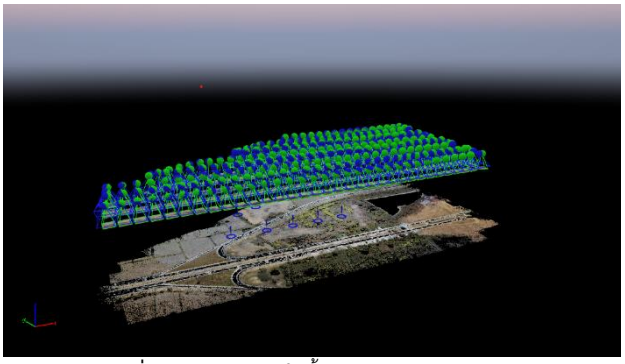
รูปที่ 7 การวางแผนบินและติดตามการบินถ่ายภาพด้วยแอปพลิเคชั่น DJI GO 4

ในขั้นตอนการประมวลผลภาพถ่ายที่ได้จากการบินสำรวจ คณะวิจัยเลือกใช้โปรแกรม Pix4D mapper ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์สำหรับทำแผนที่ด้วยอากาศยานไร้คนขับ โดยในการประมวลผลด้วยโปรแกรม Pix4D mapper ประกอบไปด้วย 3 ขั้นตอน คือ

(1) Initial Processing

เป็นขั้นตอนเริ่มต้นในการแปลงภาพที่ถ่ายได้จากอากาศยานไร้คนขับให้กลายเป็น Point Cloud ที่มีค่าพิกัดทางราบและทางดิ่ง (X, Y และ Z) จำนวนมาก ขั้นตอนนี้อาศัยพิกัดจากภาพถ่ายมาทำการประมาณค่า เพื่อสร้างความสัมพันธ์เชิงเรขาคณิตระหว่างภาพถ่ายทั้งหมด ให้มีความสัมพันธ์เชิงตำแหน่งทั่วบริเวณพื้นที่ศึกษา ในการประมวลผลของโปรแกรมจะประกอบด้วยขั้นตอนการทำงานย่อย ได้แก่ การคำนวณหาพิกัดจุดถ่ายภาพ การปรับแก้และวัดสอบค่าความคลาดเคลื่อนของเลนส์ การสกัดหาข้อมูลจุดสนใจ การจับคู่ภาพ และการสร้าง Auto Tie Points [8] ดังรูปที่ 8

ในขั้นตอน Initial Processing คณะวิจัยได้ทำการปรับแก้ค่าพิกัดด้วยการนำเข้าจุดควบคุมภาพถ่าย (Ground Control Points) จำนวน 8 จุด ที่ทำการเก็บข้อมูลโดยการใช้เครื่องหาพิกัดด้วยดาวเทียม GNSS (Global Navigation Satellite System) (SATLAB RTK Receiver SL700)



รูปที่ 8 การประมวลผลในขั้นตอน Initial Processing

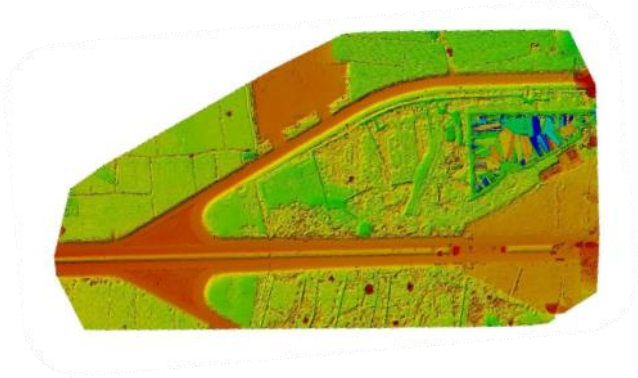
(2) Point Cloud and Mesh

Point Cloud เป็นกลุ่มของจุดสามมิติที่เก็บค่าตำแหน่งของวัตถุในพิกัด X, Y, Z ซึ่งปัจจัยหลักในการสร้าง Point Cloud ขึ้นอยู่กับการคำนวณค่าตำแหน่งของกล้องที่บันทึกภาพถ่าย ในขั้นตอนนี้จะเป็นการเพิ่มจำนวน Tie Point ให้สูงขึ้น

Mesh คือ ข้อมูลพื้นผิวที่มีโครงสร้างแบบเวคเตอร์ ที่ใช้แสดงลักษณะและรูปร่างของโมเดล ที่ประกอบด้วยพื้นผิวของโมเดล ยอดมุม และขอบมุมของโมเดล โดยจะนำ Point Cloud มาประมวลผลสร้าง Mesh เพื่อจะได้ผลลัพธ์ที่มีคุณภาพเชิงตำแหน่ง [8]

(3) Orthomosaic และ Digital Surface Model (DSM)

Digital Surface Model คือ แบบจำลองพื้นผิวเชิงเลข ที่ได้จากการจำลองระดับความสูงภูมิประเทศ และถูกจัดเก็บให้อยู่ในรูปตารางกริด หรือข้อมูลราสเตอร์ โดยรวมความสูงของสิ่งปกคลุมพื้นผิวทางกายภาพของโลกด้วย เช่น สิ่งปลูกสร้างและต้นไม้ เป็นต้น โดยจะทำการประมวลผลมาจากข้อมูล Mesh [8] รายละเอียดดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 Digital Surface Model ของโครงการนำร่อง

การประมวลผลภาพ Orthomosaic คือการนำภาพมาประมวลผลแก้ไขและขจัดความผิดเพี้ยนทางลักษณะเรขาคณิตทั้งหมด ในการประมวลผลต้องใช้ข้อมูลแบบจำลองความสูงภูมิประเทศ (DSM) มาประมวลผลแก้ไขความผิดพลาดทางเรขาคณิต [8] รายละเอียดภาพ Orthomosaic ของโครงการนำร่องดังแสดงในรูปที่ 10

รูปที่ 10 ภาพ Orthomosaic ของโครงการนำร่อง

4. ผลการวิเคราะห์

4.1 การใช้อากาศยานไร้คนขับ DJI MINI 2 เก็บข้อมูลกิจกรรมและความก้าวหน้าของโครงการก่อสร้างสะพานมิตรภาพไทย - ลาว แห่งที่ 5 (บึงกาฬ - บอลิคำไซ)

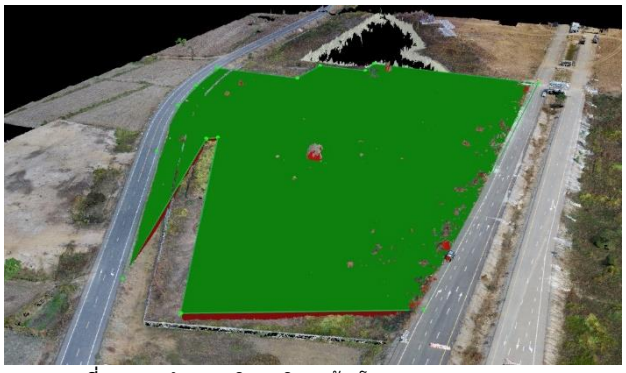
การเก็บข้อมูลกิจกรรมและความก้าวหน้าของโครงการนำร่องด้วยอากาศยานไร้คนขับมีประสิทธิภาพสูงกว่าการเก็บข้อมูลแบบที่เคยปฏิบัติอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากภาพถ่ายและวิดีโอที่เก็บโดยอากาศยานไร้คนขับเป็นภาพมุมสูง สามารถมองเห็นรายละเอียดกิจกรรมก่อสร้างต่างๆภายในโครงการก่อสร้างได้อย่างครอบคลุมและชัดเจน และใช้เวลาในการเก็บข้อมูลที่น้อยกว่าเดิมหลายเท่าตัว จากเดิมที่การเก็บข้อมูลต้องใช้ผู้ปฏิบัติงานภาคสนามหลายท่านและอาจจะต้องใช้เวลาประมาณครึ่งวันในการเก็บข้อมูลภาพถ่ายความก้าวหน้าของโครงการ ในขณะที่การใช้อากาศยานไร้คนขับช่วยลดระยะเวลาการทำงานดังกล่าวลงเหลือเพียงแค่ประมาณ 20 ถึง 30 นาที นอกจากนี้คณะวิจัยพบว่าอากาศยานไร้คนขับช่วยให้การตรวจสอบงานในบริเวณที่สูงและที่ที่เสี่ยงอันตรายทำได้อย่างปลอดภัยมากยิ่งขึ้น

อากาศยานไร้คนขับมีประโยชน์อย่างยิ่งในการตรวจสอบงานด้านความปลอดภัยภายในโครงการก่อสร้าง คณะวิจัยได้ใช้อากาศยานไร้คนขับในการตรวจสอบความปลอดภัยโดยรวมของโครงการนำร่อง ทั้งในเรื่องของการตรวจสอบการติดตั้งป้ายจราจรระหว่างก่อสร้าง ตรวจสอบรูปแบบและระยะการวางตัวกันถนน (Barrier) เพื่อลดความเร็วของการจราจรในพื้นที่โครงการ และตรวจสอบการจัดทำทางเบี่ยงและทางเชื่อมภายในโครงการ คณะวิจัยพบว่า การตรวจสอบด้วยอากาศยานไร้คนขับช่วยให้สังเกตุเห็นข้อบกพร่องของการปฏิบัติงานด้านความปลอดภัยได้ครอบคลุมกว่าและรวดเร็วกว่า ช่วยให้สามารถแก้ไขจุดบกพร่องเหล่านั้นได้อย่างทันท่วงที จึงช่วยลดความเสี่ยงของการเกิดอุบัติเหตุในพื้นที่โครงการ แต่เนื่องด้วยข้อจำกัดของกล้อง DJI MINI 2 ที่มีคุณภาพแตกต่างจากกล้อง ZENMUSE X5S อยู่มาก คณะวิจัยจึงมุ่งเน้นเฉพาะการศึกษาในด้านการตรวจสอบความปลอดภัย และติดตามความก้าวหน้าของโครงการเป็นหลัก

4.2 การใช้อากาศยานไร้คนขับ DJI Matrice 200 series V2 ติดตั้งกล้อง ZENMUSE X5S เก็บข้อมูลภาพถ่ายก่อนเริ่มการก่อสร้าง โครงการก่อสร้างอาคารสำนักงานหน่วยบริหารและบำรุงรักษาสะพานมิตรภาพไทย - กัมพูชา (หนองเอี่ยน - สตึงบท) พร้อมด่านชั่งน้ำหนักรถบรรทุกและองค์ประกอบอื่น จ.สระแก้ว

หลังจากขั้นตอนการประมวลผลข้อมูลด้วยโปรแกรม Pix4D mapper แล้วเสร็จ คณะวิจัยได้ทำการคำนวณปริมาณดินถมด้วยโปรแกรมข้างต้น โดยใช้ข้อมูลจากแบบจำลองพื้นผิวเชิงเลข (DSM) ที่ถูกสร้างขึ้น ซึ่งในการคำนวณปริมาณดินดังกล่าว คณะวิจัยเลือกใช้ค่าระดับถนนเดิมเป็นระดับความสูงของดินถม ซึ่งเป็นระดับที่ครอบคลุมการหักลบความสูงของวัชพืชที่ปกคลุมพื้นผิวของบริเวณที่ต้องการคิดปริมาณดินถมแล้ว ดังรูปที่ 11

ปริมาณดินถมที่คำนวณได้มีค่าเท่ากับ 85,743 ลูกบาศก์เมตร คณะวิจัยนำปริมาณดินถมที่ได้คูณด้วย 1.05 เพื่อเป็นการเผื่อปริมาณวัสดุ ซึ่งจะได้ปริมาณดินถมทั้งสิ้น 90,030 ลูกบาศก์เมตร โดยได้ทำการเปรียบเทียบปริมาณดินถมที่คำนวณได้ด้วยการเก็บข้อมูลด้วยอากาศยานไร้คนขับกับปริมาณดินถมตามใบแสดงรายการวัสดุและค่าใช้จ่าย (BOQ) ได้ผลลัพธ์ดังแสดงในตารางที่ 1



รูปที่ 11 การคำนวณปริมาณดินถมด้วยโปรแกรม Pix4D mapper

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบปริมาณดินถมที่ได้จากการเก็บข้อมูลด้วยอากาศยานไร้คนขับกับปริมาณดินถมใน BOQ

ข้อมูลสำรวจ	วิธีการ		ผลต่างปริมาณกับ BOQ		ความสูงดินถมเฉลี่ย		ผลต่างความสูงเฉลี่ยจาก BOQ	
	Drone (ลบ.ม.)	BOQ (ลบ.ม.)	จำนวน (ลบ.ม.)	ร้อยละ	Drone (ม.)	BOQ (ม.)	จำนวน (ม.)	ร้อยละ
ดินถม	90,030	99,800	9770	9.79	2.602	2.884	0.282	9.79
พื้นที่	34,600	34,600	-	-	-	-	-	-

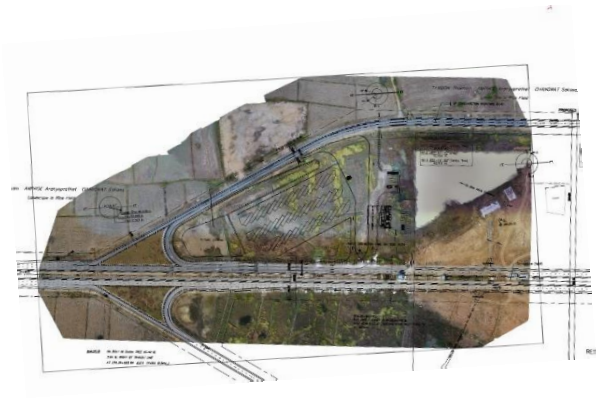
ตารางข้างต้นแสดงให้เห็นว่า ปริมาณดินถมที่ได้จากวิธีการเก็บข้อมูลด้วยอากาศยานไร้คนขับมีค่าน้อยกว่าปริมาณดินถมตามใบแสดงรายการวัสดุและค่าใช้จ่ายอยู่ 9,770 ลูกบาศก์เมตร หรือคิดเป็น 9.79% และเนื่องจากบริเวณที่จะถมดินในโครงการนำร่องมีพื้นที่ประมาณ 34,600 ตารางเมตร ดังนั้นหากพิจารณาปริมาณดินถมที่คำนวณได้ต่อพื้นที่จะได้ว่า ต้องถมดินสูงประมาณ 2.602 เมตร ซึ่งต่างจากความสูงดินถมตาม BOQ ที่ 2.884 เมตร อยู่ 0.282 เมตร

นอกจากนี้ คณะวิจัยได้นำแบบแปลนของโครงการนำร่องมาวางลงในภาพ Orthomosaic ที่ได้จากการประมวลผล ดังแสดงในรูปที่ 12 ภาพ Orthomosaic เป็นภาพที่มีความละเอียดสูงและได้รับการปรับแก้ค่าความคลาดเคลื่อนทางเรขาคณิตแล้ว สัดส่วนของภาพถูกปรับแก้ให้มีค่าใกล้เคียงกับสัดส่วนของพื้นที่จริง คณะวิจัยพบว่าการวางแบบแปลนลงในภาพทำให้เห็นขอบเขตและตำแหน่งของสิ่งก่อสร้างในพื้นที่ก่อสร้างจริง ซึ่งช่วยให้ง่ายต่อการวางแผนการก่อสร้างและสำรวจปัญหาอุปสรรคก่อนเริ่มงานก่อสร้างในอนาคต

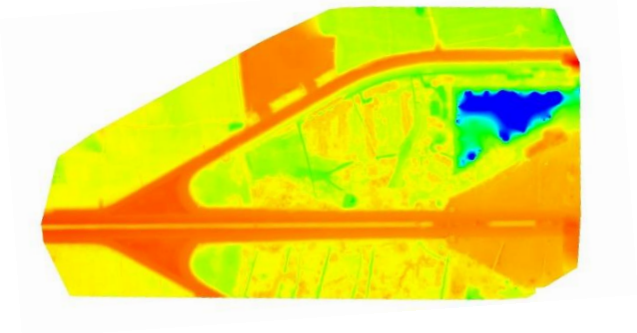
ในการประมวลผลข้อมูลด้วยโปรแกรม Pix4D ยังสามารถสร้างแบบจำลองลักษณะภูมิประเทศเชิงเลข (Digital Terrain Model, DTM) ซึ่งเป็นแบบจำลองความสูงของภูมิประเทศที่ได้หักลบความสูงของสิ่งต่างๆที่ปกคลุมบนพื้นผิวที่ทำการสำรวจออกแล้ว ดังแสดงในรูปที่ 13 โดยแบบจำลองนี้จะถูกใช้ในการสร้างเส้นชั้นความสูง (Contour Line) ต่อไป

เส้นชั้นความสูง (Contour Line) เป็นอีกหนึ่งผลลัพธ์ที่สามารถสร้างได้จากโปรแกรม Pix4D mapper โดยอาศัยข้อมูลความสูงของพื้นที่จากแบบจำลองลักษณะภูมิประเทศเชิงเลข (DTM) ดังแสดงในรูปที่ 14 เส้นชั้น

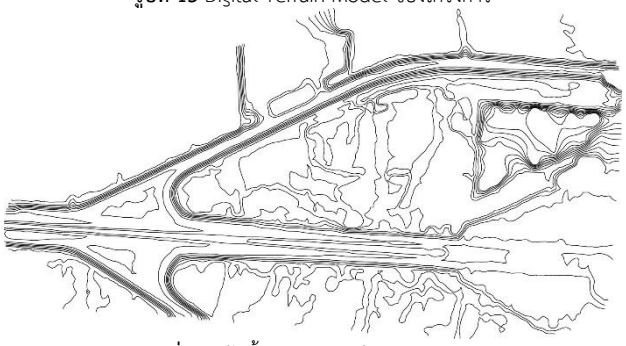
ความสูงที่ได้สามารถนำไปประมวลผลต่อในโปรแกรมอื่น เช่น Autodesk Civil 3D เพื่อสร้างหน้าตัดตามขวางและคำนวณปริมาณดินตัดและดินถมที่ละเอียดมากขึ้นได้



รูปที่ 12 การวางแบบแปลนของโครงการลงในภาพ Orthomosaic



รูปที่ 13 Digital Terrain Model ของโครงการ



รูปที่ 14 เส้นชั้นความสูงของโครงการนำร่อง

5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลงานวิจัย

จากการใช้อากาศยานไร้คนขับ DJI MINI 2 ที่มีประสิทธิภาพไม่สูงมาก พบว่าเหมาะสำหรับการศึกษาที่ไม่ต้องการความละเอียดของภาพสูง เช่น การเก็บข้อมูลกิจกรรมและความก้าวหน้าของโครงการ ส่วนของการใช้อากาศยานไร้คนขับที่มีประสิทธิภาพสูงอย่าง DJI Matrice 200 series V2 พร้อมกล้อง ZENMUSE X5S เก็บข้อมูลภาพถ่ายของโครงการนำร่องอย่างละเอียดก่อนการก่อสร้าง เพื่อสำรวจปริมาณดินถมในโครงการเบื้องต้นนั้น ปริมาณดินถมที่คำนวณได้มีค่าน้อยกว่าปริมาณดินตามใบแสดงรายการวัสดุและค่าใช้จ่ายอยู่ 9,770 ลูกบาศก์เมตร หรือคิดเป็น 9.79% และเมื่อทำการเปรียบเทียบปริมาณดินถมต่อพื้นที่ พบว่าความสูงดินถมที่คำนวณได้ ต่างจากความสูงดินถมตาม BOQ อยู่ 0.282 เมตร โดยคณะวิจัยพบว่าลักษณะทางกายภาพของพื้นที่มีผลต่อการคำนวณปริมาณดินถมอย่างยิ่ง เนื่องจากกล้อง ZENMUSE X5S ที่ใช้ประกอบการเก็บข้อมูลไม่สามารถแยกสิ่งที่ปกคลุมพื้นผิวโลก เช่น ต้นไม้ วัชพืช หรือสิ่งปลูกสร้าง ออกจากพื้นผิวที่สำรวจได้ และโปรแกรม Pix4D คำนวณปริมาณดินถมโดยอ้างอิงข้อมูลความสูงของดินเดิมจากแบบจำลองพื้นผิวเชิงเลข (DSM) ซึ่งเป็นระดับความสูงดินเดิมที่รวมสิ่งปกคลุมพื้นผิวโลกเอาไว้ด้วย แต่อย่างไรก็ตาม คณะวิจัยสรุปว่าอากาศยานไร้คนขับ DJI Matrice 200 series V2 ที่ทำงานควบคู่กับกล้อง ZENMUSE X5S มีประสิทธิภาพเพียงพอที่จะใช้ในการตรวจสอบปริมาณงานดินถมของโครงการก่อสร้างโดยเบื้องต้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการใช้อากาศยานไร้คนขับในการคำนวณปริมาณงานดินถมในโครงการก่อสร้างอาคารสำนักงานหน่วยบริหารและบำรุงรักษาสะพานมิตรภาพไทย - กัมพูชา (หนองเอี่ยน - สตึงบท) พร้อมด่านชั่งน้ำหนักรถบรรทุกและองค์ประกอบอื่น จ.สระแก้ว ในช่วงการก่อสร้าง คณะวิจัยลงความเห็นว่า ควรใช้อากาศยานไร้คนขับเก็บข้อมูลพื้นที่โครงการก่อสร้างเพิ่มเติมอีกสองครั้ง โดยครั้งแรกให้เก็บข้อมูลหลังจากการดำเนินกิจกรรมถางป่าและขุดตอ (Clearing and Grubbing) แล้วเสร็จ เพราะพื้นที่ที่เก็บข้อมูลค่อนข้างเรียบสม่ำเสมอ ไม่มีวัชพืชและหญ้าปกคลุม ข้อมูลแบบจำลองพื้นผิวเชิงเลข (DSM) ที่คำนวณได้จากโปรแกรม Pix4D จะมีความแม่นยำและใกล้เคียงกับค่าระดับดินเดิมมากขึ้น และเมื่องานดินถมแล้วเสร็จ ให้ทำการเก็บข้อมูลด้วยอากาศยานไร้คนขับอีกครั้ง แล้วนำข้อมูลที่เก็บได้ทั้งสองครั้งมาคำนวณหาปริมาณดินถมที่เกิดขึ้น

ในขณะเดียวกัน ให้มีการดำเนินการเก็บค่าระดับของพื้นที่อีกครั้งด้วยกล้องสำรวจ เพื่อคำนวณปริมาณงานดินถมจริงหลังจากงานถางป่าและขุดตอ (Clearing and Grubbing) แล้วเสร็จ แล้วจึงนำปริมาณงานดินที่คำนวณได้จากการเก็บข้อมูลด้วยอากาศยานไร้คนขับและจากการเก็บข้อมูลด้วยกล้องสำรวจมาเปรียบเทียบกัน เพื่อดูความแม่นยำของการใช้อากาศยานไร้คนขับเก็บข้อมูลดินถมในช่วงการก่อสร้าง

คณะวิจัยมีความเห็นตรงกันว่า ถ้าหากค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้จากการเปรียบเทียบปริมาณงานดินถมข้างต้นอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ในทางวิศวกรรม ในอนาคต ผู้ปฏิบัติงานในกรมทางหลวงสามารถที่จะใช้อากาศยานไร้คนขับเก็บข้อมูลปริมาณงานดินถมจริงในแต่ละชั้นของการถม (Layer) เพื่อเป็นข้อมูลประกอบการพิจารณาในการส่งมอบงานดินถมได้

เอกสารอ้างอิง

[1] Gayatri Mahajan. (2021). Application of Drone Technology in Construction Industry: A Study 2012-2021. *International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT)*, Volume 11 Issue 1.

[2] รจณา คูณพูล, พรณรายณ์ บุญราศรี, สมใจ หมื่นจร, ปวิตร ฏิระวณิชย์กุล และ จิรวัฒน์ จันทองพูน (2563). การประยุกต์ใช้ภาพถ่ายทางอากาศจากการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับเพื่องานวิศวกรรมในการสร้างแบบจำลองสิ่งปลูกสร้าง. *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 25*, ชลบุรี, 15-17 กรกฎาคม 2563, หน้า 1931-1937.

[3] สำนักวิศวกรรมผังเมือง และสถาบันพัฒนาบุคลากรด้วนการพัฒนาเมือง กรมโยธาธิการและผังเมือง (2563). *การสำรวจและจัดทะแผนที่ด้วยอากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicle : UAV).* บริษัทแอคซีฟ 888 จำกัด, หน้า 24-27.

[4] ศูนย์ข้อมูลแผนที่รูปแปลงที่ดิน กรมที่ดิน. *คู่มือการทำแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศเพื่อการรังวัดด้วยอากาศยานไร้คนขับ.* หน้า 15-17.

[5] Javier Irizarry and Dayana Bastos Costa. (2016). Exploratory Study of Potential Applications of Unmanned Aerial Systems for Construction Management Tasks. *American Society of Civil Engineers, Journal of Management in Engineering,* Volume32 Issue 3.

[6] Roseneia Rodrigues Santos de Melo, Dayana Bastos Costa, Juliana Sampaio Alvares and Javier Irizarry. (2017) . Applicability of unmanned aerial system (UAS) for safety inspection on construction site. *Safety Science, 98*, pp 174–185.

[7] ธีรดนย์ ทองคำ, ธเนศพล บุญประกอบ, บุญฤทธิ์ เขียวอร่าม, ส.อ.ภานุวัฒน์ ทะนะอ้น, อัษฎาวุธ ตอนจักร์, จักรกฤษณ์ สิทธิยศ, ส.อ.วีระเชษฐ์ แปงเขียว, ส.อ.วรวุฒิ สวัสดี และ ธนนันท์ แสนคำลือ (2564). เปรียบเทียบการรังวัดเพื่อคำนวณปริมาตรด้วยเครื่องเลเซอร์สแกนภาคพื้นดินและอากาศยานไร้คนขับในพื้นที่เหมืองแม่เมาะ จังหวัดลำปาง. *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 26*, กรุงเทพมหานคร, 23-25 มิถุนายน 2564.

[8] มณฑล สุริยาประสิทธิ์. *การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicle: UAV) ในการผลิตแผนที่ภาพถ่ายออร์โธสีและแบบจำลองระดับความสูงเชิงเลข ในพื้นที่บริเวณวงรอบของเขตพัฒนาที่ดิน ตำบลน้ำพุ อำเภอเมือง จังหวัดราชบุรี.* ห้องสมุดกรมพัฒนาที่ดิน, หน้า 46-55.