การทดสอบหาจุดควบคุมภาคพื้นดินและความสูงบินที่เหมาะสม สำหรับการคำนวณปริมาตรงานดินจากข้อมูลอากาศยานไร้คนขับ

Testing for the Suitability of Ground Control Points and Flying Height for Calculating Earthwork Volume from Unmanned Aerial Vehicle Data

พีรภพ โพธิ์พงษ์[1,*] ภาณุพล เล็กประเสริฐ[1]

[1] สาขาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา จ.ตาก
**Corresponding author; E-mail address: Perapop_p@rmutl.ac.th*

บทคัดย่อ

ปัจจุบันการคำนวณปริมาตรงานดินจะใช้กล้องระดับหรือกล้องประมวลผลรวมในการเก็บรายละเอียดพื้นผิวภูมิประเทศเพื่อนำมาคำนวณหาปริมาตรงานดินโดยใช้เก็บรายละเอียดพื้นผิวภูมิประเทศแบบเฉลี่ยตามพื้นที่ ซึ่งทำให้ปริมาตรงานดินที่คำนวณได้มีความคลาดเคลื่อน เพื่อแก้ไขจุดบกพร่องดังกล่าวงานวิจัยนี้จึงนำอากาศยานไร้คนขับชนิดปีกหมุนมาใช้ในการเก็บรายละเอียดภูมิประเทศโดยใช้ทฤษฎีภาพถ่ายทางอากาศและทำการศึกษาผลกระทบของข้อมูลพื้นผิวภูมิประเทศที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับที่เกิดจากจุดควบคุมภาคพื้นดินและความสูงบิน โดยกำหนดจุดควบคุม 4 รูปแบบคือ แบบไม่มีจุดควบคุมภาคพื้นดิน แบบรอบพื้นที่ แบบเกาะกลุ่มกลางพื้นที่ และตารางกริดกระจายทั่วพื้นที่ และกำหนดความสูงบิน 3 ระดับความสูงคือ ระดับความสูงที่ 50 เมตร 60 เมตร และ 70 เมตร ผลของการทดสอบหาตำแหน่งจุดควบคุมภาคพื้นดินที่เหมาะสมสำหรับการคำนวณปริมาตรงานดินพบว่าการวางตำแหน่งจุดควบคุมภาคพื้นดินแบบตารางกริดกระจายทั่วพื้นที่และความสูงบินที่ระดับ 50 เมตร มีความถูกต้องมากที่สุดโดยมีความคลาดเคลื่อนของปริมาตรงานดินเมื่อเทียบกับปริมาตรงานดินที่ได้จากกล้องระดับอยู่ที่ 1.78 ลูกบาศก์เมตร คิดเป็นความคลาดเคลื่อนของปริมาตรร้อยละ 1.13

คำสำคัญ: ปริมาตรงานดิน, อากาศยานไร้คนขับ, จุดควบคุมภาคพื้นดิน, ความสูงบิน, การสำรวจ

Abstract

Nowadays, earthwork volume calculations use a Leveling or a total station to collect the topographic surface details in order to calculate the volume of earthwork by collecting the average surface detail an area, which results in inaccuracies in the calculated earthwork volume. To address these shortcomings, this research uses unmanned aerial vehicles type multirotor to collect topographical details by using photogrammetry theory and to study the impact of surface topographic data obtained from unmanned aerial vehicles. Drivers are formed by ground control points and flying heights by defining four types of control points, namely without ground control points, around of the area, In the center of the area and distributed grids. By specifying the Flying Height at 50 m, 60 m, and 70 m. The results of the test for finding the location of the ground control point suitable for calculating the earthwork volume showed that the positioning of the ground control point in a grid pattern was distributed over the area and the Flying Height. At 50 m, it was the most accuracy when Compared to the earthwork volume obtained from the total station and the error of earthwork volume at 1.78 cubic meters, representing a volume discrepancy of 1.13%.

Keywords: Earthwork, UAV, Ground Control Point, Flying Height, Surveying

1. บทนำ

การหาปริมาตรงานดินโดยทั่วไปแล้วนิยมใช้กล้องระดับ (Leveling) หรือกล้องประมวลผลรวม (Total Station) รังวัดเก็บข้อมูลรายละเอียดภูมิประเทศเพื่อสร้างเป็นพื้นผิวภูมิประเทศที่มีค่าระดับความสูงตามพื้นที่ที่เก็บข้อมูล จากนั้นจะคำนวณหาปริมาตรงานดินโดยใช้วิธีเฉลี่ยหน้าตัดพื้นที่ (Average End Area) ซึ่งจะใช้เวลาค่อนข้างนานและใช้แรงงานจำนวนมาก ทำให้มีค่าใช้จ่ายที่สูงขึ้นตามเมื่อทำการรังวัดในพื้นที่ที่มีขนาดใหญ่และมีค่าระดับความสูงของภูมิประเทศที่มีการเปลี่ยนแปลงสูง ดังนั้นการใช้อากาศยานไร้คนขับมาทำการถ่ายภาพเพื่อประมวลผลเป็นพื้นผิวภูมิประเทศเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถทดแทนการใช้กล้องระดับและกล้องประมวลผลรวมได้ โดยการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับจะใช้ทฤษฎีภาพถ่ายทางอากาศ สามารถนำข้อมูลภาพถ่ายนำมาประมวลผลเพื่อสร้างแบบจำลองความสูงเชิงเลขสำหรับนำมาคำนวณปริมาตรงานดินและทำการคำนวณหาปริมาตรงานดินโดยใช้การทับซ้อนของพื้นผิวภูมิประเทศ

ปัจจุบันมีการใช้อากาศยานไร้คนขับในงานสำรวจมากขึ้น เนื่องจากมีความสะดวกในการใช้งาน ใช้แรงงานคนในการทำงานน้อย ประหยัดงบประมาณและใช้เวลาในการรังวัดค่อนข้างรวดเร็วกว่างานสำรวจภาคพื้นดิน [1] และยังมีการทดสอบความถูกต้องของปริมาตรที่คำนวณได้จากข้อมูลของอากาศยานไร้คนขับโดยได้ทำการประยุกต์ใช้ข้อมูลจากอากาศยานไร้คนขับตรวจสอบปริมาตรของกองวัสดุเปรียบเทียบกับการเก็บข้อมูลโดยการรังวัดด้วยดาวเทียม โดยใช้ปริมาตรกองวัสดุที่เก็บข้อมูลจากกล้องประมวลผลรวมเป็นข้อมูลอ้างอิง พบว่าการเก็บข้อมูลโดยใช้อากาศยานไร้คนขับมีความคลาดเคลื่อนของปริมาตรกองวัสดุน้อยกว่าการเก็บข้อมูลโดยการรังวัดด้วยดาวเทียม [2] ในประเทศไทยและต่างประเทศได้มีการนำอากาศยานไร้คนขับมาใช้ในการหาปริมาตรงานดินหลากหลายประเภทงาน ไม่ว่าจะเป็นงานปรับปรุงความสูงของพื้นที่ในงานก่อสร้าง [3], [4] งานสำรวจในเหมืองแร่เพื่อหาปริมาตรแร่หรือปริมาตรกองดินทิ้ง [5], [6] และ

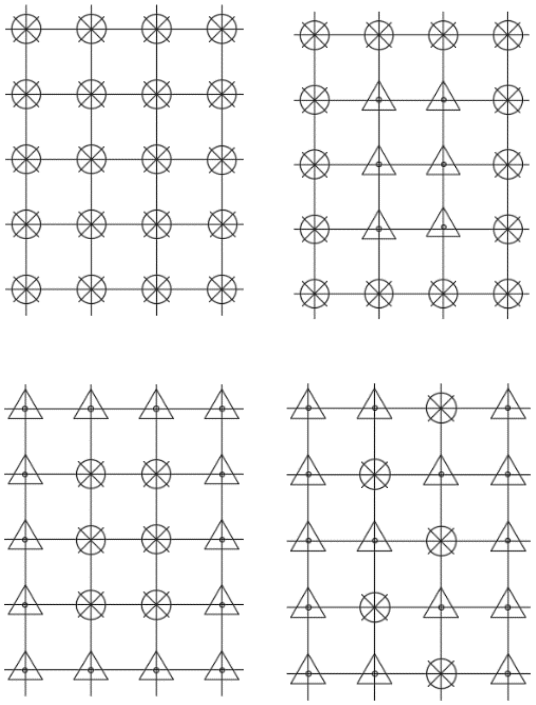
งานที่ใช้การคำนวณปริมาตรงานดินร่วมกับแบบจำลองสารสนเทศอาคาร (BIM) [7] ซึ่งความถูกต้องของข้อมูลปริมาตรงานดินที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับมีหลายปัจจัยที่เกี่ยวข้องเช่น การวางตำแหน่งของการวางจุดควบคุมภาคพื้นดิน ซึ่งมีงานวิจัยได้ทำการทดสอบจำนวนและการวางตัวของจุดควบคุมภาคพื้นดินที่มีผลต่อความถูกต้องของภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ งานวิจัยได้พบว่าการวางจุดควบคุมภาคพื้นดินที่ดีที่สุดคือรูปแบบการวางกระจายตัวแบบกริดทั่วพื้นที่ [8], [9] และจำนวนและการวางตัวของจุดควบคุมภาคพื้นดินมีผลต่อการหาปริมาตรของเหมืองหิน โดยที่จำนวนจุดควบคุมภาคพื้นดินที่มีมากกว่า 5 จุดและครอบคลุมพื้นที่ทดสอบจะทำให้ปริมาตรของหินที่คำนวณได้มีความคลาดเคลื่อนน้อย [10] นอกจากนี้ยังพบว่าความละเอียดของจุดภาพบนพื้นดิน (GSD) มีผลต่อการหาปริมาตรงานดินโดยที่ปริมาตรงานดินจะเพิ่มตามความละเอียดของจุดภาพบนพื้นดินที่มากขึ้น โดยที่ความละเอียดของจุดภาพบนพื้นดินจะแปรผันตามความสูงบิน [11] - [13]

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการทดสอบการวางตำแหน่งจุดควบคุมภาคพื้นดินและความสูงบินที่เหมาะสม เพื่อเป็นแนวทางในการใช้งานอากาศยานไร้คนขับเก็บข้อมูลพื้นผิวภูมิประเทศเพื่อนำมาคำนวณปริมาตรงานดิน กำหนดให้พื้นที่เก็บข้อมูลพื้นผิวภูมิประเทศเป็นที่โล่ง เพื่อไม่ให้มีปัจจัยอื่นๆ มาบดบังพื้นผิวภูมิประเทศซึ่งอาจทำให้ค่าปริมาตรงานดินมีความคลาดเคลื่อน โดยทำการเก็บข้อมูลพื้นผิวภูมิประเทศก่อนการปรับปรุงพื้นผิวภูมิประเทศและหลังการปรับปรุงพื้นผิวภูมิประเทศ จากนั้นนำข้อมูลมาสร้างแบบจำลองพื้นผิวภูมิประเทศสำหรับใช้ในการคำนวณหาปริมาตรงานดิน โดยใช้ข้อมูลปริมาตรงานดินที่ได้จากล้องประมวลผลรวมเป็นข้อมูลอ้างอิงเปรียบเทียบความถูกต้อง

2. วิธีการวิจัย

2.1 พื้นที่ดำเนินการทดสอบ

งานวิจัยนี้ได้เลือกพื้นที่ดำเนินการทดสอบเป็นพื้นที่โล่งมีขนาดกว้าง 40 เมตร ยาว 50 เมตร ไม่มีต้นไม้หรือกอหญ้าที่สูงบดบังพื้นผิวภูมิประเทศ เพราะอาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการหาปริมาตรงานดิน โดยจะใช้พื้นที่ดำเนินการเก็บรายละเอียดพื้นผิวภูมิประเทศทั้งก่อนและหลังการปรับปรุงพื้นผิวภูมิประเทศ เพื่อนำข้อมูลมาประมวลผลหาปริมาตรงานดิน เมื่อกำหนดพื้นที่ที่แน่นอนแล้วจะทำการกำหนดหลักเล็งเพื่อใช้เป็นแนวเล็งในการจัดวางตำแหน่งจุดควบคุมภาคพื้นดิน (Ground Control Point) และจุดตรวจสอบ (Check Point) เป็นตารางกริดระยะห่าง 10 เมตร ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 พื้นที่ดำเนินการทดสอบ

จากรูปที่ 1 พื้นที่ในกรอบสีแดงแสดงพื้นที่ที่ใช้สำหรับการทดสอบ ส่วนตารางกริดแสดงถึงตำแหน่งที่ใช้วางจุดควบคุมภาคพื้นดินและจุดตรวจสอบ

2.2 การกำหนดจุดควบคุมภาคพื้นดิน

การกำหนดจุดควบคุมภาคพื้นดินและจุดตรวจสอบแต่ละจุดเป็นตารางกริดมีระยะห่าง 10 เมตร จุดควบคุมภาคพื้นดินและจุดตรวจสอบ ทำด้วยแผ่นไวนิลขนาดกว้าง 1 เมตร ยาว 1 เมตร ทาสีน้ำเงินสลับสีแดง ดังรูปที่ 2 และเก็บข้อมูลค่าพิกัดทางราบและทางดิ ดตรวจสอบ

2.3 การวางแผนบินถ่ายภาพ

2.3.1 กำหนดความสูงบิน (Flying Height)

งานวิจัยนี้จะใช้อากาศยานไร้คนขับชนิดปีกหมุนยี่ห้อ DJI รุ่น Phantom 4 Professional ในการบินถ่ายภาพทางอากาศ เพื่อนำข้อมูลภาพถ่ายมาประมวลผลหาปริมาตรงานดิน โดยกำหนดค่าความสูงที่ใช้บินถ่ายภาพจากค่าความละเอียดของจุดภาพบนพื้นดินซึ่งกำหนดให้ใช้ค่าความละเอียดของจุดภาพบนพื้นดินเท่ากับ 3 เซนติเมตรต่อพิกเซล โดยแทนค่าตัวแปรในสมการที่ (1) และสมการที่ (2) [14,15]

$$GSD = \frac{Pixel\ Size \times H}{f} \quad (1)$$

โดยที่ GSD หมายถึงขนาดของจุดภาพบนพื้นดิน; H หมายถึงความสูงบิน; f หมายถึงความยาวโฟกัส และ $Pixel\ Size$ หมายถึงขนาดของจุดภาพบนเซนเซอร์

$$H = \frac{GSD \times f \times IW}{SW \times 100} \quad (2)$$

โดยที่ H หมายถึงความสูงบิน; GSD หมายถึงขนาดของจุดภาพบนพื้นดิน; f หมายถึงความยาวโฟกัส; IW หมายถึงจำนวนจุดภาพด้านกว้าง และ SW หมายถึงระยะด้านกว้างของเซนเซอร์

เพื่อทดสอบผลกระทบของปริมาตรงานดินที่มีผลมาจากความสูงที่ใช้บินถ่ายภาพทางอากาศ งานวิจัยนี้จะทำการบินถ่ายภาพที่ระดับความสูงที่หลากหลายโดยกำหนดความสูงที่ใช้บินถ่ายภาพที่ระดับ 50, 60, 70 เมตร จากจุดปล่อยตามลำดับโดยให้จุดปล่อยอากาศยานไร้คนขับเป็นจุดเดียวกันทั้ง 3 ความสูงบิน

2.3.2 การตั้งค่าการบินถ่ายภาพ

การบินถ่ายภาพจะใช้ซอฟต์แวร์ที่มีชื่อว่า Pix4DCapture ในการบังคับอากาศยานไร้คนขับบินถ่ายภาพ โดยกำหนดค่าส่วนซ้อนทับของภาพถ่ายด้านหน้าและด้านข้างแนวบิน (Overlap and Sidelab) 90 เปอร์เซ็นต์ กำหนดค่าความเร็วในการถ่ายภาพเป็นปกติ (Normal) มุมกล้องสำหรับการถ่ายภาพให้ตั้งฉาก 90 องศาจากระนาบแกนราบ และทำการบินเก็บข้อมูลแบบกริด (Grid Mission) โดยตั้งค่าความสูงบินที่ระดับ 50 เมตร, 60 เมตร, และ 70 เมตรจากจุดปล่อยตามลำดับ ดังรูปที่ 4 โดยให้แนวบินเลยบริเวณที่ทำงานวิจัยออกไปข้างละ 10 เมตร และใช้ความเร็วในการบินแบบปกติเพื่อลดความคลาดเคลื่อนจากการบินต้านแรงลม



รูปที่ 4 การตั้งค่าการบินถ่ายภาพ

2.4 การประมวลผลภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ

จากการบินถ่ายภาพโดยใช้อากายานไร้คนขับจะทำให้ได้ภาพถ่ายบริเวณที่วางแผนบินถ่ายภาพ จากนั้นทำการตรวจสอบคุณภาพของภาพถ่ายโดยพิจารณาจากความคมชัดของภาพ ความสว่างของภาพที่เหมาะสมและไม่มีเงาตกกระทบบริเวณพื้นที่บินถ่ายภาพ จากนั้นใช้ซอฟต์แวร์ที่มีชื่อว่า Pix4D mapper ในการประมวลผลภาพถ่ายและตรวจสอบความถูกต้องของจุดควบคุมภาคพื้นดินจากค่าความคาดเคลื่อนของจุดภาพ (Pixel Error) ที่ต้องน้อยกว่า 1 พิกเซล [9] ส่วนจุดตรวจสอบจะใช้ใช้มาตราฐานกาสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนเพื่องานวิศกรรมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ [15] เป็นเกณฑ์สำหรับตรวจสอบความถูกต้อง โดยกำหนดความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ดังสมการที่ (3) และกำหนดความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางดิ่งที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ในพื้นที่ที่ไม่มีสิ่งปกคลุมพื้นผิวภูมิประเทศ ดังสมการที่ (4)

$$X_r \leq 2.40 \times RMSEr \quad (3)$$

$$X_z \leq 1.96 \times RMSEz \quad (4)$$

โดยที่ X_r หมายถึงความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบที่ต้องการ; X_z หมายถึงความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางดิ่งที่ต้องการ; $RMSEr$ หมายถึงรากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยทางราบและ $RMSEz$ หมายถึงรากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยทางดิ่ง

เมื่อตรวจสอบความถูกต้องของการประมวลผลภาพถ่ายผ่านเกณฑ์มาตราฐานเรียบร้อยแล้ว จะดำเนินการสร้างแบบจำลองพื้นผิวภูมิประเทศเชิงเลข (Digital Surface Model) โดยใช้เทคนิคโครงข่ายสามเหลี่ยมไม่สม่ำเสมอ (Triangulated Irregular Network) และส่งออกข้อมูลแบบจำลองพื้นผิวภูมิประเทศเชิงเลขเป็นข้อมูลนามสกุล Geotiff เพื่อใช้ในการคำนวณหาปริมาตรงานดิน

2.5 การคำนวณปริมาตรงานดิน

การคำนวณปริมาตรงานดินจะใช้ข้อมูลแบบจำลองพื้นผิวภูมิประเทศก่อนปรับปรุงพื้นผิวภูมิประเทศและหลังปรับปรุงพื้นผิวภูมิประเทศที่ได้จากการเก็บข้อมูลโดยใช้อากาศยานไร้คนขับมาเปรียบเทียบกับการเก็บข้อมูลโดยใช้กล้องประมวลผลรวม โดยใช้ซอฟต์แวร์ที่มีชื่อว่า Civil3D เป็นเครื่องมือคำนวณหาปริมาตรงานดินโดยใช้วิธีการเฉลี่ยพื้นที่หน้าตัด (Average end area method) [16] ดังสมการที่ (5)

$$[\text{——}] \quad (5)$$

โดยที่ หมายถึงปริมาตรงานดิน; , หมายถึงพื้นที่หน้าตัดงานดินที่ 1 และพื้นที่หน้าตัดงานดินที่ 2 และ หมายถึงความยาวระหว่าง 2 หน้าตัด

3. ผลการวิจัย

ผลของงานวิจัยนี้ได้แสดงผลของการประมวลผลภาพถ่ายที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับ โดยกำหนดความสูงบิน 3 ระดับและรูปแบบการวางจุดควบคุมภาคพื้นดิน 4 รูปแบบ ทำให้ได้แบบจำลองพื้นผิวภูมิประเทศก่อนทำการปรับปรุงพื้นผิวภูมิประเทศและหลังทำการปรับปรุงพื้นผิวภูมิประเทศทั้งสิ้น 24 แบบจำลอง โดยตั้งชื่อแบบจำลองพื้นผิวภูมิประเทศตามความสูงบินและรูปแบบการวางจุดควบคุมภาคพื้นดิน เมื่อได้แบบจำลองพื้นผิวภูมิประเทศที่สมบูรณ์แล้วจึงนำมาคำนวณหาปริมาตรงานดินและเปรียบเทียบกับข้อมูลปริมาตรงานดินที่เก็บข้อมูลโดยกล้องประมวลผลรวม โดยมีผลการวิจัยดังต่อไปนี้

3.1 ผลการประมวลผลภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ

การประมวลผลภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับแบ่งเป็น 2 ช่วงคือ ช่วงก่อนการปรับปรุงพื้นผิวภูมิประเทศและช่วงหลังการปรับปรุงพื้นผิวภูมิประเทศ โดยช่วงก่อนการปรับปรุงพื้นผิวภูมิประเทศที่ระดับความสูง 50

เมตรมีค่าขนาดของจุดภาพบนพื้นดิน (GSD) 2.20 เซนติเมตร จุดควบคุมภาคพื้นดิน (GCP) มีค่า RMSE ทางราบ (RMSEr) เฉลี่ยเท่ากับ 4.4 เซนติเมตรและมีค่า RMSE ทางดิ่ง (RMSEz) เฉลี่ยเท่ากับ 2.8 เซนติเมตร ส่วนจุดตรวจสอบ (CP) มีค่า RMSEr เฉลี่ยเท่ากับ 6.3 เซนติเมตร และมีค่า RMSEz เฉลี่ยเท่ากับ 8.8 เซนติเมตร ระดับความสูง 60 เมตรมีค่าขนาดของจุดภาพบนพื้นดิน 2.26 เซนติเมตร จุดควบคุมภาคพื้นดินมีค่า RMSEr เฉลี่ยเท่ากับ 4.5 เซนติเมตรและมีค่า RMSEz เฉลี่ยเท่ากับ 6.0 เซนติเมตร ส่วนจุดตรวจสอบมีค่า RMSEr เฉลี่ยเท่ากับ 6.2 เซนติเมตร และมีค่า RMSEz เฉลี่ยเท่ากับ 10.9 เซนติเมตร และระดับความสูง 70 เมตรมีค่าขนาดของจุดภาพบนพื้นดิน 3.06 เซนติเมตร จุดควบคุมภาคพื้นดินมีค่า RMSEr เฉลี่ยเท่ากับ 4.8 เซนติเมตรและมีค่า RMSEz เฉลี่ยเท่ากับ 3.7 เซนติเมตร ส่วนจุดตรวจสอบมีค่า RMSEr เฉลี่ยเท่ากับ 5.7 เซนติเมตร และมีค่า RMSEz เฉลี่ยเท่ากับ 7.3 เซนติเมตร และจุดควบคุมภาคพื้นดินทั้ง 3 ความสูงบินมีค่าความคลาดเคลื่อนของจุดภาพน้อยกว่า 1 พิกเซล ดังตารางที่ 1-2

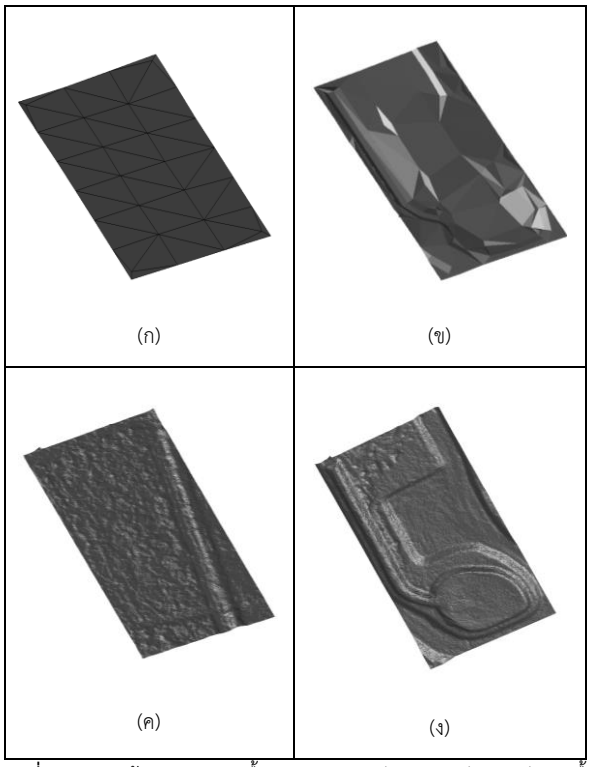
ตารางที่ 1 ค่าจุดควบคุมภาคพื้นดินก่อนการปรับปรุงพื้นผิวภูมิประเทศ

Flying Height (m)	Model	GSD (cm)	GCP		
			RMSEr (cm)	RMSEz (cm)	Error Pixel
50	1	2.2	3.1	1.6	0.728
	2	2.2	3.9	1.0	0.803
	3	2.2	5.4	4.0	0.625
	4	2.2	5.1	4.5	0.925
60	1	2.62	3.3	5.3	0.66
	2	2.62	3.9	4.0	0.628
	3	2.62	5.2	7.1	0.626
	4	2.62	5.5	7.4	0.654
70	1	3.06	2.8	0.8	0.655
	2	3.06	5.3	4.9	0.656
	3	3.06	5.3	4.9	0.656
	4	3.06	5.6	4.0	0.646

ตารางที่ 2 ค่าจุดตรวจสอบก่อนการปรับปรุงพื้นผิวภูมิประเทศ

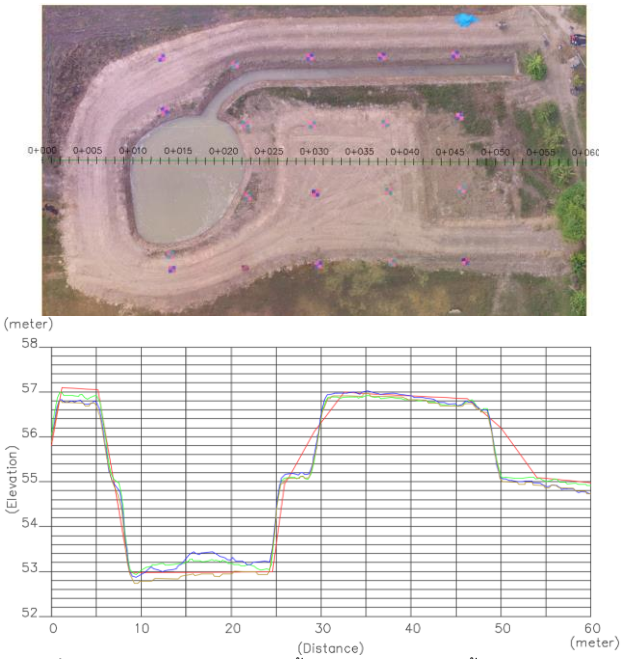
3.2 ผลการสร้างแบบจำลองพื้นผิวภูมิประเทศ

ผลการสร้างแบบจำลองพื้นผิวภูมิประเทศผลปรากฏว่าแบบจำลองพื้นผิวภูมิประเทศก่อนการปรับปรุงพื้นผิวภูมิประเทศที่ได้จากข้อมูลกล้องประมวลผลรวมจะมีลักษณะที่ราบเรียบ เนื่องจากการเก็บข้อมูลพื้นผิวภูมิประเทศโดยใช้กล้องประมวลผลรวมเป็นการเก็บข้อมูลค่าระดับแบบตารางกริดเฉลี่ยเท่ากันทั้งและแบบจำลองพื้นผิวภูมิประเทศที่ได้จากข้อมูลภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับทั้ง 3 ความสูงบินมีลักษณะใกล้เคียงกับภูมิประเทศจริงโดยปรากฏร่องรองของแนวถนนและวัชพืชที่ปกคลุมหน้าดิน ส่วนผลการสร้างแบบจำลองพื้นผิวภูมิประเทศหลังการปรับปรุงภูมิประเทศที่ได้จากข้อมูลกล้องประมวลผลรวม จะมีพื้นผิวมีลักษณะเป็นเหลี่ยมตามตำแหน่งข้อมูลค่าระดับความสูง เนื่องจากการสร้างพื้นผิวภูมิประเทศโดยใช้การเฉลี่ยค่าระดับความสูงแบบโครงข่ายสามเหลี่ยมทำให้ลักษณะพื้นผิวที่ได้จะเป็นการเฉลี่ยตามพื้นที่ และข้อมูลแบบจำลองพื้นผิวภูมิประเทศจากข้อมูลอากาศยานไร้คนขับมีลักษณะใกล้เคียงกับภูมิประเทศจริง เนื่องจากการสร้างแบบจำลองพื้นผิวได้จากค่าพิกัดของจุดภาพที่คำนวณได้จากภาพถ่าย โดยแบบจำลองพื้นผิวภูมิประเทศทั้ง 3 ความสูงบินมีลักษณะที่ใกล้เคียงกัน ดังรูปที่ 5 (ก) – (ง)



รูปที่ 5 ผลการสร้างแบบจำลองพื้นผิวภูมิประเทศก่อนและหลังการปรับปรุงพื้นผิวภูมิประเทศ (ก)แบบจำลองพื้นผิวจากข้อมูลกล้องประมวลผลรวมก่อนการปรับปรุงพื้นผิวภูมิประเทศ (ข) แบบจำลองพื้นผิวจากข้อมูลกล้องประมวลผลรวมหลังการปรับปรุงพื้นผิวภูมิประเทศ (ค) แบบจำลองพื้นผิวจากข้อมูลอากาศยานไร้คนขับก่อนการปรับปรุงพื้นผิวภูมิประเทศ (ง) แบบจำลองพื้นผิวจากข้อมูลอากาศยานไร้คนขับหลังการปรับปรุงพื้นผิวภูมิประเทศ

เมื่อพิจารณาจากค่าระดับแนวยาวที่ผ่านบริเวณกลางพื้นที่พบว่าค่าระดับที่ต่ำสุดของแบบจำลองพื้นผิวภูมิประเทศที่ได้จากกล้องประมวลผลรวมมีค่าเท่ากับ 52.998 เมตร และค่าระดับที่ต่ำสุดของแบบจำลองพื้นผิวภูมิประเทศที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับที่ความสูงบิน 50 เมตร, 60 เมตร และ 70 เมตรมีค่าเท่ากับ 52.992 เมตร, 52.979 เมตร และ 52.868 เมตรตามลำดับ ส่วนค่าระดับที่สูงสุดของแบบจำลองพื้นผิวภูมิประเทศที่ได้จากกล้องประมวลผลรวมมีค่าเท่ากับ 57.036 เมตร และค่าระดับที่สูงสุดของแบบจำลองพื้นผิวภูมิประเทศที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับที่ความสูงบิน 50 เมตร, 60 เมตร และ 70 เมตรมีค่าเท่ากับ 56.992 เมตร, 57.006 เมตร และ 56.984 เมตรตามลำดับ โดยพบว่ามีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นที่บริเวณพื้นที่ที่ขุดดินออกและบริเวณที่มีการถมดินที่มีความลาดชันสูง ซึ่งสังเกตุได้จากพื้นผิวของแบบจำลองที่ได้จากข้อมูลกล้องประมวลผลรวมจะมีลักษณะที่ราบเรียบส่วนพื้นผิวของแบบจำลองที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับจะมีลักษณะที่ขรุขระตามพื้นผิวภูมิประเทศจริง ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 แสดงค่าระดับแนวยาวของพื้นผิวหลังการปรับปรุงพื้นผิวภูมิประเทศ

จากรูปที่ 6 เส้นสีแดงคือค่าระดับแนวยาวจากข้อมูลกล้องประมวลผลรวม; เส้นสีเขียวคือค่าระดับแนวยาวจากข้อมูลอากาศยานไร้คนขับที่ความสูง 50 เมตร; เส้นสีน้ำเงินคือค่าระดับแนวยาวจากข้อมูลอากาศยานไร้คนขับที่ความสูง 60 เมตร; และเส้นสีน้ำตาลคือค่าระดับแนวยาวจากข้อมูลอากาศยานไร้คนขับที่ความสูง 70 เมตร เมื่อเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของค่าระดับความสูงระหว่างกล้องประมวลผลรวมและอากาศยานไร้คนขับ โดยตั้งสมมุติฐานให้ค่าระดับที่ได้จากกล้องประมวลผลรวมเป็นค่าระดับที่มความถูกต้อง ผลปรากฏว่าค่าระดับที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับที่ความสูง 50 เมตรมีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สูง โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยที่ระดับ 0.005 เมตรและค่าระดับที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับที่ความสูง 60 เมตรและ 70 เมตรมีค่าความถูกต้องรองลงมาโดยมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยที่ระดับ 0.025 เมตรและ 0.091 เมตรตามลำดับ

3.3 ผลการคำนวณปริมาตรงานดิน

งานวิจัยนี้ได้ดำเนินการเก็บข้อมูลในพื้นที่ที่มีขนาด 1,792.78 ตารางเมตรหรือ 1 ไร่ 0 งาน 48.195 ตารางวา ผลปรากฏว่าปริมาตรงานดินที่ได้จากกล้องประมวลผลรวมมีค่าสุทธิเป็นดินขุดเท่ากับ 157.40 ลูกบาศก์เมตร ส่วนและปริมาตรงานดินที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับที่บินถ่ายภาพด้วยความสูง 50 เมตรรูปแบบที่ 4 วางจุดควบคุมภาคพื้นดินแบบเฉลี่ยทั้งพื้นที่มีค่าปริมาตรงานดินใกล้เคียงกับปริมาตรงานดินที่ได้จากกล้องประมวลผลรวมมากที่สุดโดยมีค่าสุทธิของปริมาตรงานดินขุดเท่ากับ 159.18 ลูกบาศก์เมตร รองลงมาคือความสูงบินที่ระยะ 50 เมตรและรูปแบบที่ 2

วางจุดควบคุมภาคพื้นดินกลางพื้นที่มีค่าสุทธิของปริมาตรงานดินขุดเท่ากับ 159.76 ลูกบาศก์เมตรและอันดับที่ 3 คือความสูงบินที่ระยะ 50 เมตรและรูปแบบที่ 3 การวางกระจายรอบพื้นที่มีค่าสุทธิของปริมาตรงานดินขุดเท่ากับ 180.65 ลูกบาศก์เมตร

สำหรับผลการคำนวนจากการใช้อากาศยานไร้คนขับเก็บข้อมูลโดยไม่ได้วางจุดควบคุมภาคพื้นดินหรือการวางจุดควบคุมรูปแบบที่ 1 มีค่าความคลาดเคลื่อนของปริมาตรงานดินมากที่สุด ซึ่งการใช้ความสูงที่ระดับ 70 เมตรมีค่าสุทธิงานดินขุดเท่ากับ 65.63 ลูกบาศก์เมตร ระดับความสูง 60 มีค่าความคลาดเคลื่อนของปริมาตรงานดินอันดับที่ 2 โดยมีค่าสุทธิงานดินขุดเท่ากับ 66.78 ลูกบาศก์เมตรและระดับความสูง 50 ค่าสุทธิงานดินขุดเท่ากับ 89.19 ลูกบาศก์เมตรเป็นอันดับที่ 3 ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลการหาปริมาตรงานดิน

Model	Area (sq. m.)	Vol. CUT (cu .m.)	Vol. FILL (cu. m.)	Vol. NET (cu. m.)	Remark
Total Station	1,792.78	587.74	430.33	157.40	cut
50-1	1,792.78	561.40	472.20	89.19	cut
50-2	1,792.78	581.47	421.76	159.76	cut
50-3	1,792.78	578.02	397.37	180.65	cut
50-4	1,792.78	565.90	406.72	159.18	cut
60-1	1,792.78	519.38	452.60	66.78	cut
60-2	1,792.78	513.17	434.67	78.50	cut
60-3	1,792.78	615.30	375.98	239.33	cut
60-4	1,792.78	599.52	388.18	211.34	cut
70-1	1,792.78	524.22	458.59	65.63	cut
70-2	1,792.78	581.81	398.66	183.16	cut
70-3	1,792.78	613.71	371.90	241.80	cut
70-4	1,792.78	598.68	389.54	209.14	cut

เมื่อตรวจสอบความคลาดเคลื่อนของปริมาตรงานดินที่ได้จากข้อมูลอากาศยานไร้คนขับพบว่าการใช้ความสูงบินที่ระดับ 50 เมตร รูปแบบที่ 4 รูปแบบที่ 2 และรูปแบบที่ 3 มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดโดยมีค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 1.78 ลูกบาศก์เมตร, 2.36 ลูกบาศก์เมตรและ 23.25 ลูกบาศก์เมตร คิดเป็นร้อยละ 1.13, 1.50 และ 14.77 ตามลำดับ ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ความคลาดเคลื่อนปริมาตรงานดินที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับ

Flying Height	Error CUT (cu .m.)	Error FILL (cu .m.)	Error Net (cu .m.)	Error Net (%)
50-1	26.34	41.87	68.21	43.34
50-2	6.27	8.57	2.36	1.50
50-3	9.72	32.96	23.25	14.77
50-4	21.84	23.61	1.78	1.13
60-1	68.36	22.27	90.62	57.57
60-2	74.57	4.34	78.9	50.13
60-3	27.56	54.35	81.93	52.05
60-4	11.78	42.15	53.94	34.27
70-1	63.52	28.26	91.77	58.30
70-2	5.93	31.67	25.76	16.37
70-3	25.97	58.43	84.4	53.62
70-4	10.94	40.79	51.74	32.87

4. สรุปผล

จากการทดสอบหาจุดควบคุมภาคพื้นดินและความสูงบินที่เหมาะสมสำหรับการคำนวณปริมาตรงานดินจากข้อมูลอากาศยานไร้คนขับชนิดปีกหมุนยี่ห้อ DJI รุ่น Phantom 4 Professional โดยทดสอบจุดควบคุมภาคพื้นดิน 4 รูปแบบคือรูปแบบที่ 1 ไม่ใช้จุดควบคุมภาคพื้นดิน; รูปแบบที่ 2 วางจุดควบคุมภาคพื้นดินกลางพื้นที่; รูปแบบที่ 3 วางจุดควบคุมภาคพื้นดินรอบพื้นที่และรูปแบบที่ 4 วางจุดควบคุมภาคพื้นดินแบบเฉลี่ยทั้งพื้นที่และทดสอบความสูงบิน 3 ระดับที่ระดับความสูง 50 เมตร; 60 เมตร และ 70 เมตรในพื้นที่ที่มีขนาด 1,792.78 ตารางเมตร ปรากฏว่าการใช้อากาศยานไร้คนขับบินถ่ายภาพเพื่อนำข้อมูลภาพถ่ายมาคำนวณปริมาตรงานดินที่ระดับความสูงระดับ 50 เมตรและการวางหมุดแบบเฉลี่ยทั้งพื้นที่มีให้ค่าปริมาตรงานดินใกล้เคียงกับการใช้กล้องประมวลผลรวมเก็บข้อมูลพื้นผิวภูมิประเทศ โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนของปริมาตรงานดินเท่ากับ 1.78 ลูกบาศก์เมตร คิดเป็นความคลาดเคลื่อนของปริมาตรร้อยละ 1.13 โดยที่ค่าถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบและทางดิ่งของภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 24 เซนติเมตรและ 14 เซนติเมตรตามลำดับ การทดสอบนี้ยังพบว่าความสูงบินที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้มีค่าความคลาดเคลื่อนของปริมาตรงานดินเพิ่มขึ้นด้วยและการที่ไม่ใช้จุดควบคุมภาคพื้นดินมีค่าความคลาดเคลื่อนของปริมาตรงานดินอยู่ที่ 91.77 ลูกบาศก์เมตรคิดเป็นร้อยละ 58.30 ที่ความสูงบิน 70 เมตร

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยครั้งนี้จะไม่สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีถ้าขาดการสนับสนุนจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ดังนั้นผู้วิจัยจึงขอขอขอบคุณสำนักงานพัฒนาชุมชนจังหวัดสุโขทัยที่ให้ความอนุเคราะห์อำนวยความสะดวกและช่วยประสานงานพื้นที่ดำเนินงานวิจัย ขอบคุณนักศึกษาและอาจารย์สาขาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก ที่ช่วยในการเก็บข้อมูลและสนับสนุนการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] Laphitchayangkul, T., Bhatsada, A. and Wangyao, K. (2020). Application of Low-cost Unmanned Aerial Vehicle for Accurate Mapping: Case Study at King Mongkut's University of Technology Thonburi, Ratchaburi Residential College. *KMITT Research and Development Journal*, 34, no. 3, pp. 311–323.

[2] Mantey, S. and Aduah, M. S. (2021). Comparative Analysis of Stockpile Volume Estimation using UAV and GPS Techniques. *Ghana Mining Journal*, 21, no. 1, pp. 1–10.

[3] Siebert, S. and Teizer, J. (2014). Mobile 3D Mapping for Surveying Earthwork using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV). *Autom Constr*. 41, pp. 1–14.

[4] Kim, J., Lee, S., Seo, J., Lee, D. E. and Choi, H. S. (2021). The integration of earthwork design review and planning using uav-based point cloud and bim. *Applied Sciences* (Switzerland), 11, no. 8.

[5] Dumrongchai, P., Vitheeyapan, S., Popong, P. and Keawaram, B. (2017). The Feasibility Study in Volume Determination of Overburden and Coal Excavations in Mae

Moh Mine by Unmanned Aerial Vehicle. *Coal Mining and Utillzation for Sustainable Development International Conference*, Lampang, Thailand, 23-24 November 2017, pp. 44–49.

[6] Park, S. and Choi, Y. (2020). Applications of unmanned aerial vehicles in mining from exploration to reclamation: A review. *Minerals*, 10, no. 8, pp. 1–32.

[7] il Cho, S., Lim, J. H., Lim, S. B. and Yun, H. C. (2020). A study on dem-based automatic calculation of earthwork volume for BIM application. Journal of the Korean Society of Surveying, *Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, 38, no. 2, pp. 131–140.

[8] Park, J. W. and Yeom D. J. (2021). Method for establishing ground control points to realize UAV-based precision digital maps of earthwork sites. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 21, no. 1, pp. 110-119.

[9] Villanueva, J. K. S. and Blanco, A. C. (2019). Optimization of ground control point (GCP) configuration for unmanned aerial vehicle (UAV) survey using structure from motion (SFM). *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42, no. 4, pp. 167–174.

[10] Tangpoomjit, R., Songsang, S., Phasada, A., Wangyao, K. and Lapitchayangkul, T. (2020). The Study of UAV-Photogrammetric Accuracy for MappingBased on Variation of Ground Control Points. *the 25th National Convention on Civil Engineering*, Online Conference, 15-17 July 2020, pp. SGI04-1-SGI04-8.

[11] Seong, J., il Cho, S., Xu, C. and Yun H. C. (2021). UAV utilization for efficient estimation of earthwork volume based on DEM. *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, 39, no. 5, pp. 279–288.

[12] Melita, C. D., Guastella, D. C., Cantelli, L., di Marco, G., Minio, I. and Muscato, G. (2020). Low-altitude terrain-following flight planning for multirotors. Drones, 4, no. 2, pp. 1–21.

[13] Tangpoomjit, R., Petthong, N., Phasada, A., Wangyao, K. and Lapitchayangkul, T. (2020). The study of flight elevation and speed of UAV Photogrammetric accuracy for mapping. *the 25th National Convention on Civil Engineering*, Online Conference, 15-17 July 2020, p. SGI01-1-SGI01-8.

[14] ชาติชาย ไวยสุระสิงห์ (2563). *การสำรวจด้วยภาพถ่าย*. สำนักพิมพ์ บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่นจำกัด (มหาชน), หน้า 64-96

[15] คณะอนุกรรมการมาตราฐานการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนเพื่องานวิศกรรมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (2565). *มาตราฐานการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนเพื่องานวิศกรรม*. สำนักพิมพ์วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, หน้า 45-46.

[16] ยรรยง ทรัพย์สุขอำนวย (2550). *การสำรวจเส้นทาง*. สำนักพิมพ์ อาจารย์คาไน้ทรัพย์สุขอำนวย, หน้า 152-153

[17] Suwannachote, T., Hanpanom, T. and Tanasumbun, K. (2021). *Application of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) for Calculation Volume of Soil in Case Study: Project Khok Nong Na Model Srisamrong District Sukhothai Province*: B.Eng Dissertation, Rajamangala University of Technology Lanna Tak, Thailand.