

การสร้างเส้นระดับแนวขวางของลาดดินไหล่ทางโดยใช้ข้อมูลจากอากาศยานไร้คนขับ กรณีศึกษาบริเวณทางหลวงหมายเลข 12 กม. 55-56 The Creation Cross-Section of Cut Slope by data from unmanned aerial vehicles A Case Study of National Highway 12 KM. 55-56

ภาณุพล เล็กประเสริฐ¹ จักรพันธ์ ธงทอง¹ และ พีรภพ โพธิ์พงษ์^{1,*}

¹ สาขาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา จ.ตาก

*perapop_p@mutl.ac.th

บทคัดย่อ

การสร้างเส้นระดับแนวขวางในปัจจุบันนิยมใช้การสำรวจภาคพื้นดิน เพื่อให้ได้ข้อมูลค่าพิกัดและค่าระดับความสูง - ต่ำของภูมิประเทศ เป็นวิธีการที่ใช้นุ้ยทำการสำรวจบริเวณภูมิประเทศจริง ซึ่งบางพื้นที่อาจเกิดปัญหาและอุปสรรคส่งผลกระทบต่อผู้สำรวจไม่สามารถเข้าถึงพื้นที่ที่จะทำการสำรวจได้ โดยเฉพาะบริเวณทางหลวงหมายเลข 12 ตาก - แม่สอด เป็นพื้นที่ป่ามีภูเขาสูงและเหวลึกตลอดทั้งเส้นทาง ทำให้ลาดดินบริเวณไหล่ทางมีความลาดชันมาก การใช้อากาศยานไร้คนขับสำรวจลาดดินไหล่ทางจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่สามารถมาใช้ในการสำรวจภาคพื้นดินด้วยมนุษย์ได้ โดยงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพื่อทดสอบความถูกต้องของเส้นระดับแนวขวางที่สร้างโดยข้อมูลภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ ซึ่งได้เลือกพื้นที่กรณีศึกษาบริเวณทางหลวงหมายเลข 12 ช่วงหลักกิโลเมตรที่ 55 - 56 ซึ่งเป็นบริเวณที่มีลาดดินบริเวณไหล่ทางมีความลาดชันสูง และมีการปรับปรุงลาดดินไหล่ทางโดยวิธีฉีดพ่นผิวหน้าด้วยมอร์ตาร์ โดยการศึกษาจะทำการทดสอบการสร้างเส้นระดับแนวขวางจากข้อมูลที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับมาทำการเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากการสำรวจภาคพื้นดิน ซึ่งผลจากการศึกษาพบว่าเส้นระดับแนวขวางที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับมีความแตกต่างกับเส้นระดับแนวขวางที่ได้จากการสำรวจภาคพื้นดินอยู่ในระดับเซนติเมตร แต่ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจโดยอากาศยานไร้คนขับสามารถนำมาสร้างแบบจำลองสามมิติของลาดดินไหล่ทาง และยังสามารถสังเกตความเสียหายของมอร์ตาร์บริเวณผิวหน้าของลาดดินไหล่ทางได้อีกด้วย

คำสำคัญ: อากาศยานไร้คนขับ, ระดับแนวขวาง, ลาดดินไหล่ทาง, การสำรวจ

Abstract

Creating a cross-section currently uses ground surveys to survey the elevation of terrain. This is a method using humans to survey the actual terrain causing some areas to have a problem and obstruct preventing humans from accessing the area to be surveyed. Especially in the area of National Highway 12 Tak-Mae Sot is a forested area with steep mountains and deep ravines along the route, making the slope on cut slope very steep. Unmanned aerial vehicles to survey cut slopes are one option that can replace ground survey. This research aims to test the accuracy of Cross Section generated from imagery data from a UAV. The research has chosen the case study of

National Highway 12 km. 55-56, which is an area with a steep cut slope, and the cut slope was improved by a shotcrete surface. The study will test the creation of a cross-section of data obtained from unmanned aerial vehicles to compare with data obtained from ground surveys. The case study found that the cross-section obtained from unmanned aerial vehicles differs from the ground survey at the centimeters. However, data obtained from surveys by unmanned aerial vehicles can be used to create a 3D model and can also observe a crack in the surface of the cut slope.

Keywords: UAV, Cross Section, Cut Slope, Surveying

1. บทนำ

ถนนหมายเลข 12 เป็นเส้นทางคมนาคมหลักระหว่างอำเภอเมืองจังหวัดตาก ไปยังเขตการค้าชายแดนอำเภอแม่สอด ซึ่งถนนเส้นนี้ยังเชื่อมต่อไปยังภาคตะวันออกเฉียงเหนือผ่านจังหวัดสุโขทัยและพิษณุโลกเพื่อส่งออกสินค้าไปยังประเทศลาวและประเทศเวียดนามต่อไป ลาดดินไหล่ทางช่วงอำเภอเมืองตากและอำเภอแม่สอดมีความลาดชันมากเนื่องจากผ่านเทือกเขาถนนธงชัย ส่งผลทำให้เกิดดินถล่มบ่อยครั้งและกระทบต่อการคมนาคมอย่างมาก การตรวจสอบเสถียรภาพของลาดดินไหล่ทางจึงจำเป็นอย่างยิ่งเพราะสามารถช่วยป้องกันการเกิดดินถล่มได้ แต่การคำนวณเสถียรภาพของลาดดินไหล่ทางจำเป็นต้องทราบข้อมูลทางธรณีและพื้นผิวภูมิประเทศของลาดดินไหล่ทาง การเก็บข้อมูลพื้นผิวภูมิประเทศนิยมใช้โดยทั่วไปคือวิธีการสำรวจภาคพื้นดินด้วยกล้องส่องประมวลผลรวมหรือกล้องระดับ จากนั้นนำข้อมูลที่ได้จากภาคสนามมาคำนวณหาค่าพิกัดและสร้างภาพตัดแนวขวาง วิธีดังกล่าวจำเป็นต้องใช้มนุษย์เข้าไปยังพื้นที่ลาดดินไหล่ทาง ซึ่งอาจก่อให้เกิดความเสี่ยงที่จะพลัดตกหรือเกิดอุบัติเหตุดินถล่มระหว่างการสำรวจขึ้นได้ การนำอากาศยานไร้คนขับมาใช้สำรวจพื้นผิวภูมิประเทศจึงเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถแก้ปัญหาที่เกิดจากการสำรวจภาคพื้นดิน อีกทั้งการสำรวจโดยใช้อากาศยานไร้คนขับยังช่วยให้ประหยัดกำลังคนในการสำรวจ ลดเวลาในการเก็บข้อมูลภาคสนามและเหมาะสมกับสภาพพื้นผิวภูมิประเทศที่ไม่มีสิ่งปกคลุมบนพื้นดินอีกด้วย [1] ปัจจุบันได้มีการนำอากาศยานไร้คนขับมาใช้ในการสำรวจเพิ่มมากขึ้นโดยเฉพาะการสำรวจเพื่อออกแบบเส้นทางโดยมีความถูกต้องอยู่ในระดับเซนติเมตร [2] รวมถึงการนำมาใช้ในการสร้างแผนที่ภูมิประเทศแสดงความลาดเอียงของผิวดิน การนำข้อมูลลาดดินมาวิเคราะห์หาเสถียรภาพ การติดตามการเคลื่อนตัวของลาดดิน เป็นต้น [3-9] ซึ่งงานวิจัยที่ได้กล่าวมาไว้ใช้

อากาศยานไร้คนขับระดับใช้งานเฉพาะทาง (Professional Grade) [15] ซึ่งได้ค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบและทางตั้งเฉลี่ยประมาณหลักสิบเซนติเมตร

ดังนั้นงานวิจัยนี้ได้ดำเนินการวิจัยโดยเลือกใช้อากาศยานไร้คนขับซึ่งเป็นอากาศยานไร้คนขับเพื่อการสำรวจ (Survey Grade) โดยมีระบบการวัดจุดเปิดถ่ายภาพแบบจลยในทันที (Real Time Kinematic) ซึ่งทำให้ค่าพิกัดของจุดเปิดถ่ายภาพมีความถูกต้องมากขึ้น โดยทำการบินถ่ายภาพลาดดินไหล่ทาง บริเวณถนนหมายเลข 12 ระหว่างกิโลเมตรที่ 55 ถึงกิโลเมตรที่ 56 ซึ่งเป็นพื้นที่ลาดชันสูง จากนั้นนำข้อมูลภาพถ่ายมาประมวลผลเพื่อสร้างพื้นผิวภูมิประเทศและภาพตัดแนวขวางของลาดดิน โดยตรวจสอบความถูกต้องโดยใช้การสำรวจภาคพื้นดินด้วยกล้องประมวลผลรวม จากนั้นนำข้อมูลภาพถ่ายตัดแนวขวางที่ได้มาทำการคำนวณหาร้อยละความลาดชันสำหรับนำไปใช้วิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินไหล่ทางร่วมกับข้อมูลทางธรณีต่อไป

2. วิธีการวิจัย

2.1 พื้นที่ดำเนินการวิจัย

พื้นที่ดำเนินการวิจัยเป็นลาดดินไหล่ทางที่อยู่บริเวณถนนหมายเลข 12 ตาก - แม่สอด ระหว่างกิโลเมตรที่ 55 และกิโลเมตรที่ 56 พื้นที่ปกครองตั้งอยู่ในเขตตำบลด่านแม่ละเมา อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก ใกล้กับตลาดมูเซอร์ใหม่ ลักษณะของลาดดินไหล่ทางเป็นเส้นโค้งลาดลงเนินเขา มีความยาว 400 เมตร สูง 40 เมตร ผิวหน้าของลาดดินไหล่ทางฉีดยึดผิวโดยมอร์ตาร์ ลักษณะของลาดดินไหล่ทางด้านบนของลาดดินไหล่ทางปกคลุมด้วยต้นไม้สูง ส่วนด้านข้างจะลาดลงทั้ง 2 ฝั่ง ส่วนด้านหน้าและหลังจะเป็นพื้นที่ลาดชันลงไหล่เขาทั้ง 2 ด้าน



รูปที่ 1 พื้นที่ดำเนินการวิจัย

2.2 อากาศยานไร้คนขับ

อากาศยานไร้คนขับที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นอากาศยานไร้คนขับชนิดปีกหมุน ยี่ห้อ DJI รุ่น Phantom 4 RTK ซึ่งเป็นอากาศยานไร้คนขับที่เหมาะสมกับงานสำรวจ คุณสมบัติเฉพาะของอากาศยานไร้คนขับประกอบด้วยกล้องถ่ายภาพรุ่น FC 6310 ซึ่งติดกับตัวอากาศยานไร้คนขับโดยที่เซนเซอร์ภาพเป็นระบบ CMOS ขนาด 1 นิ้ว จำนวนจุดภาพ 20 เมกกะพิกเซล ชัตเตอร์ภาพแบบแมคคาณิก พร้อมระบบกันสั่น 3 แกน (Gimbal) สามารถระบุตำแหน่งด้วยการรับสัญญาณดาวเทียม GPS, BEIDOU, GLONASS และ Galileo ร่วมกับเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม D-RTK 2 Mobile Station ซึ่งมีความแม่นยำในการระบุตำแหน่งจากค่ารากที่สองของค่าความผิดพลาดเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) ทางราบเท่ากับ 1 เซนติเมตร + 1 PPM และทางตั้งเท่ากับ 1.5 + 1 PPM ตามข้อมูลจากผู้ผลิต [10-12]

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของอากาศยานไร้คนขับยี่ห้อ DJI รุ่น Phantom 4 RTK

รายการ	คุณสมบัติ
ยี่ห้อ - รุ่น	DJI - Phantom 4 RTK
ประเภทอากาศยานไร้คนขับ	ปีกหมุน
ประเภทการใช้งาน	สำหรับการสำรวจ
ประเภทเซนเซอร์ภาพ	CMOS ขนาด 1 นิ้ว
ขนาดจุดภาพบนเซนเซอร์	0.002345 มิลลิเมตร
จำนวนจุดภาพบนเซนเซอร์	5,472 × 3,648 ล้านจุดภาพ
จำนวนจุดภาพ	20 เมกกะพิกเซล
ประเภทชัตเตอร์	แมคคาณิก
การระบุตำแหน่งภาพถ่าย	PPK/RTK
ความยาวโฟกัส	8.64 มิลลิเมตร
RMS ทางราบและทางตั้ง	1 เซนติเมตร และ 1.5 เซนติเมตร + 1 PPM

2.3 การวางแผนบินถ่ายภาพ

การวางแผนบินจะกำหนดจากค่าระยะห่างภาคพื้นดิน (Ground Sample Distance, GSD) โดยความสูงบินที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อการสร้างแบบจำลองพื้นผิวภูมิประเทศ [13] จึงกำหนดให้ค่าระยะห่างภาคพื้นดินมีค่าเท่ากับ 2 เซนติเมตร จากนั้นแทนค่าระยะห่างภาคพื้นดินในสมการที่ 1 จะได้ความสูงที่ใช้บินถ่ายภาพ (Flight Height) เท่ากับ 74 เมตร [14]

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

โดย H หมายถึงความสูงที่ใช้บินถ่ายภาพ, GSD คือ ค่าระยะห่างภาคพื้นดิน, PS คือ ขนาดจุดภาพบนเซนเซอร์, f คือ ความยาวโฟกัส

การตั้งค่าส่วนซ้อนทับของภาพถ่ายตามแนวนอน ได้กำหนดให้ส่วนซ้อนและส่วนเกย (Over lap and Side Lap) เท่ากับร้อยละ 80 และบินถ่ายภาพแบบ Double Grid ซึ่งเป็นการบินถ่ายภาพเป็นตารางทับซ้อนกัน

เหมาะกับการนำข้อมูลภาพถ่ายมาสร้างแบบจำลองสามมิติ ความเร็วที่ใช้ในการถ่ายภาพกำหนดให้อากาศยานไร้คนขับบินถ่ายภาพแบบซ้ำๆ เพื่อป้องกันผลกระทบจากแรงลมที่ปะทะตัวอากาศยานไร้คนขับซึ่งอาจทำให้เสียการทรงตัวหรือกระทบต่อคุณภาพของภาพถ่าย โดยกำหนดค่าความเร็วเท่ากับ 5 เมตรต่อวินาที

กำหนดจุดควบคุมภาคพื้นดิน (Ground Control Points) จำนวน 15 จุด โดยวางในตำแหน่งที่ครอบคลุมพื้นที่บินถ่ายภาพ และ จุดตรวจสอบ (Check Point) จำนวน 8 จุด เพื่อให้มากกว่าครึ่งหนึ่งของจำนวนจุดควบคุมภาคพื้นดิน [14] จุดควบคุมภาคพื้นดินและจุดตรวจสอบทำด้วยอลูมิเนียม โดยติดตั้งบริเวณผิวหน้าของลาดดินไหล่ทางและทำการเก็บข้อมูลสำหรับคำนวณค่าพิกัดด้วยกล้องประมวลผลรวม (Total Station) โดยมีหมุดหลักฐาน (Bench Mark) ที่ใช้การวัดด้วยดาวเทียมวิธีโครงข่ายสถิต (Static Network)

การประมวลผลภาพถ่ายจะใช้โปรแกรม Pix4D Mapper เพื่อสร้างแบบจำลองพื้นผิวภูมิประเทศเชิงเลข (Digital Surface Model) โดยตรวจสอบความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบและความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางตั้งที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ในพื้นที่ที่ไม่มีสิ่งปกคลุมพื้นผิวภูมิประเทศจากสมการที่ 2 และสมการที่ 3 โดยที่ผลลัพธ์ที่ได้จะต้องไม่เกินความถูกต้องที่กำหนดไว้ [15]

$$X_r \leq 2.40 \times RMSE_r \quad (2)$$

$$X_z \leq 1.96 \times RMSE_z \quad (3)$$

โดยที่ X_r หมายถึงความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบที่ต้องการ, X_z หมายถึงความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางตั้งที่ต้องการ, $RMSE_r$ คือรากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยทางราบ, $RMSE_z$ คือรากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยทางตั้ง

2.4 เส้นระดับแนวขวาง (Cross Section)

เส้นระดับแนวขวางเป็นเส้นที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับความสูงภูมิประเทศกับระยะทางตามแนวเส้นตัด สำหรับงานวิจัยนี้จะทำการสร้างเส้นระดับแนวขวางตามแนวลาดดินไหล่ทางจำนวน 6 เส้นกำหนดให้ครอบคลุมเฉลี่ยทั้งพื้นที่ดำเนินการวิจัยและทำการประมวลผลผ่านโปรแกรม Autodesk Civil 3 D โดยใช้ข้อมูลแบบจำลองพื้นผิวภูมิประเทศเชิงเลขที่ได้จากการประมวลผลภาพถ่าย โดยมีระยะห่างแต่ละช่วงเท่ากับ 80 เมตร เริ่มจาก Station 0+000 ถึง Station 0+400 และเริ่มจากด้านขวาของลาดดินไหล่ทางไปทางซ้าย ใช้มาตราส่วนระยะทางแนวนอน X เท่ากับ 1:500 และมาตราส่วนระดับความสูงแนวนอน Y เท่ากับ 1:200



รูปที่ 2 แนวเส้นตัดเส้นระดับแนวขวาง

3. ผลและการวิเคราะห์ผล

3.1 ผลการประมวลผลภาพถ่าย

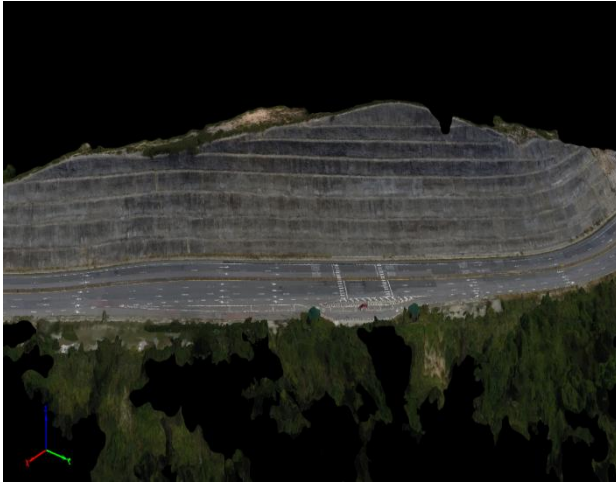
ผลการประมวลผลภาพถ่ายจำนวน 93 รูปและใช้เวลาในการประมวลผล 25 นาที พบว่าค่าระยะห่างภาคพื้นดินเท่ากับ 2.68 เซนติเมตร ต่อพิกเซล มีค่า Reprojection Error เท่ากับ 0.288 พิกเซล จุดควบคุมภาคพื้นดินมีค่ารากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยทางราบเฉลี่ยเท่ากับ 2.89 เซนติเมตร และค่ารากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยทางทางตั้งเฉลี่ยเท่ากับ 2.35 เซนติเมตร และจุดตรวจสอบมีค่ารากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยทางราบเฉลี่ยเท่ากับ 2.90 เซนติเมตร และค่ารากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยทางทางตั้งเฉลี่ยเท่ากับ 2.66 เซนติเมตร เมื่อคำนวณหาความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบและทางตั้งของข้อมูลการประมวลผลภาพถ่ายพบว่ามีความถูกต้องเท่ากับ 6.96 เซนติเมตรและ 5.21 เซนติเมตร ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการประมวลผลภาพ

รายการ	RMSE _r (cm)	RMSE _z (cm)
จุดควบคุมภาคพื้นดิน	2.89	2.35
จุดตรวจสอบ	2.90	2.66

3.2 พื้นผิวภูมิประเทศ

พื้นผิวภูมิประเทศที่สร้างจากการประมวลผลภาพถ่ายจากข้อมูล Point Clouds พบว่าบริเวณพื้นผิวที่มีสิ่งปกคลุมเหนือพื้นดินจะไม่พบข้อมูลพื้นผิวภูมิประเทศแต่จะปรากฏพื้นที่ว่างขึ้นมา แต่บริเวณที่ไม่มีสิ่งปกคลุมพื้นดินจะสามารถแสดงข้อมูลพื้นผิวภูมิประเทศได้ชัดเจน อย่างไรก็ตามบริเวณพื้นผิวลาดดินไหล่ทางมีข้อมูล Point Clouds ค่อนข้างสมบูรณ์เนื่องจากไม่มีสิ่งปกคลุมภาคพื้นดิน มีเพียงบริเวณด้านบนของลาดดินไหล่ทางหนึ่งจุดที่มีต้นไม้ใหญ่ปกคลุมทำให้ข้อมูลหายไป เมื่อตรวจสอบแล้วพบว่าข้อมูล Point Clouds ส่วนใหญ่มีความสมบูรณ์จึงนำข้อมูลดังกล่าวไปประมวลผลแบบจำลองพื้นผิวภูมิประเทศเชิงเลขต่อไป



(ก)



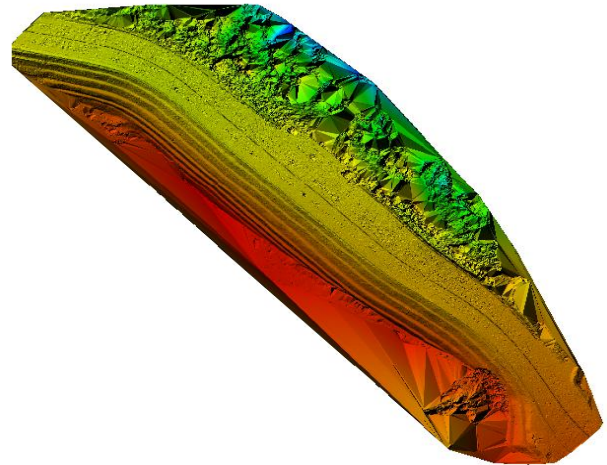
(ข)



(ค)

รูปที่ 3 พื้นผิวลาดดินไหล่ทาง (ก) ข้อมูล Point Clouds (ข) พื้นผิวบริเวณจุดเริ่มต้น (ค) พื้นผิวบริเวณจุดสิ้นสุด

สำหรับข้อมูลแบบจำลองพื้นผิวภูมิประเทศเชิงเลขพบว่าบริเวณที่ไม่มีสิ่งปกคลุมบนพื้นดินจะทำให้ได้พื้นผิวที่เรียบเหมือนสภาพจริง ส่วนบริเวณที่มีสิ่งปกคลุมภาคพื้นดินจะมีพื้นผิวที่ขรุขระตามวัตถุที่ปกคลุมสอดคล้องกับข้อมูล Point Clouds



รูปที่ 4 แบบจำลองพื้นผิวภูมิประเทศเชิงเลขของลาดดินไหล่ทาง

3.3 ผลการทดสอบความถูกต้องเชิงตำแหน่ง

ผลการตรวจสอบความถูกต้องเชิงตำแหน่งของค่าพิกัดที่ได้จากข้อมูลอากาศยานไร้คนขับและข้อมูลจากกล้องประมวลผลรวมพบว่าผลต่างค่าพิกัดทางราบและทางตั้งมากที่สุดเท่ากับ - 2.79 และ 2.36 เซนติเมตร ผลต่างค่าพิกัดทางราบและทางตั้งน้อยที่สุดเท่ากับ 1.40 และ 1.15 เซนติเมตร ผลต่างค่าพิกัดทางราบและทางตั้งเฉลี่ยเท่ากับ 0.84 และ 2.23 เซนติเมตร ซึ่งพบว่าความคลาดเคลื่อนของค่าพิกัดที่เกิดขึ้นทางราบและทางตั้งไม่เกิน 2 เซนติเมตร ในส่วนของความคลาดเคลื่อนทางราบมีทั้งทิศทางที่ไปทางบวกและลบ ส่วนพิกัดทางตั้งไปทางบวกทั้งหมด

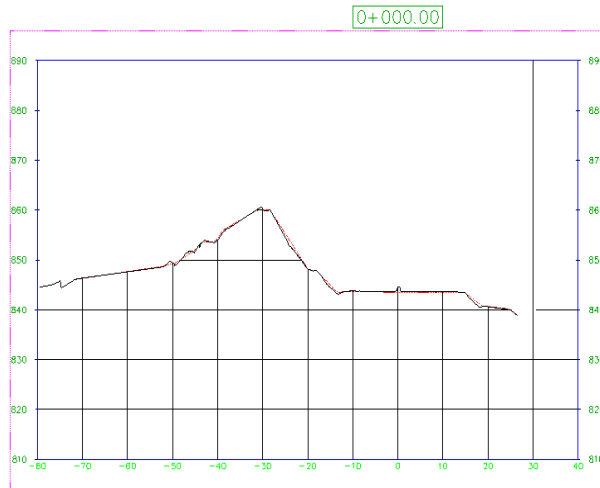
ตารางที่ 3 ผลต่างการทดสอบค่าพิกัดของอากาศยานไร้คนขับและค่าพิกัดจากกล้องประมวลผลรวม

รายการ	ผลต่างค่าพิกัดทางราบ (cm)	ผลต่างค่าพิกัดทางตั้ง (cm)
ผลต่างค่าพิกัดมากที่สุด	- 2.79	2.36
ผลต่างค่าพิกัดน้อยที่สุด	1.40	1.15
ผลต่างค่าพิกัดเฉลี่ย	0.84	2.23

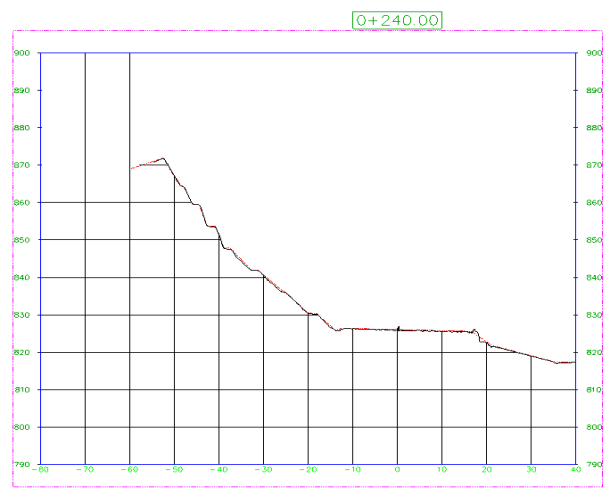
จากตารางที่ 3 พบว่าผลต่างค่าพิกัดทางราบมีความคลาดเคลื่อนไปในทิศทางเหนือ - ใต้และทิศทางตะวันออก - ตะวันตก โดยมีปริมาณความคลาดเคลื่อนสอดคล้องกับค่ารากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยทางราบ ซึ่งไม่เกิน 3 เซนติเมตรเช่นเดียวกับผลต่างค่าพิกัดทางตั้ง

3.4 ประเมินความถูกต้องของเส้นระดับแนวขวาง

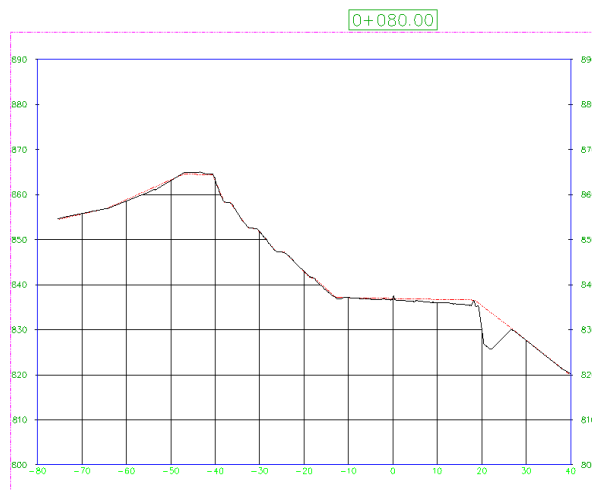
ผลการสร้างเส้นระดับแนวขวางด้วยข้อมูลอากาศยานไร้คนขับและข้อมูลจากกล้องประมวลผลรวมในพื้นที่ลาดดินไหล่ทางเดียวกันจากจุดเริ่มต้นถึงจุดสิ้นสุดลาดดินไหล่ทาง จำนวน 6 เส้นตัด ได้แก่ Station 0+000, 0+080, 0+160, 0+240, 0+320 และ 0+ 400 พบว่าข้อมูลอากาศยานไร้คนขับมีความใกล้เคียงกับข้อมูลจากกล้องประมวลผลรวม แต่จะแตกต่างกันตรงบริเวณจุดเปลี่ยนความสูงของภูมิประเทศที่ข้อมูลจากกล้องประมวลผลรวมจะแสดงตามจุดที่ตั้งเป้าสะท้อน ส่วนข้อมูลจากอากาศยานไร้คนขับจะแสดงพื้นผิวทั้งหมดที่ถ่ายภาพได้ โดยแสดงดังรูปที่ 5 เส้นสีแดงแสดงข้อมูลเส้นระดับแนวขวางจากข้อมูลอากาศยานไร้คนขับ เส้นสีแดงแสดงข้อมูลเส้นระดับแนวขวางจากข้อมูลกล้องประมวลผลรวม



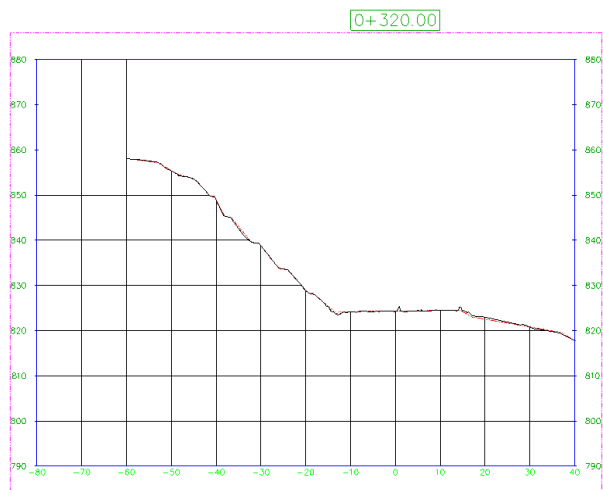
(ก)



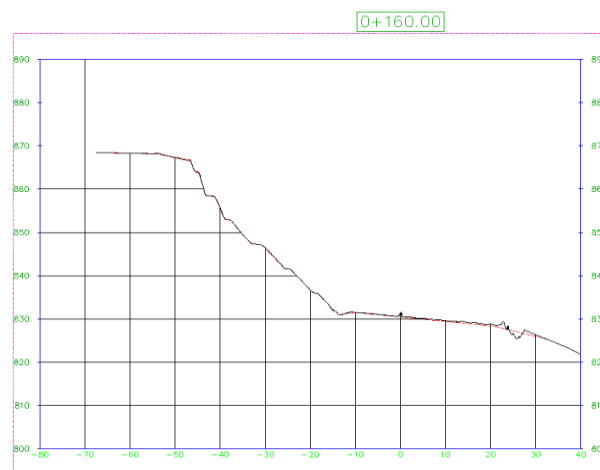
(ง)



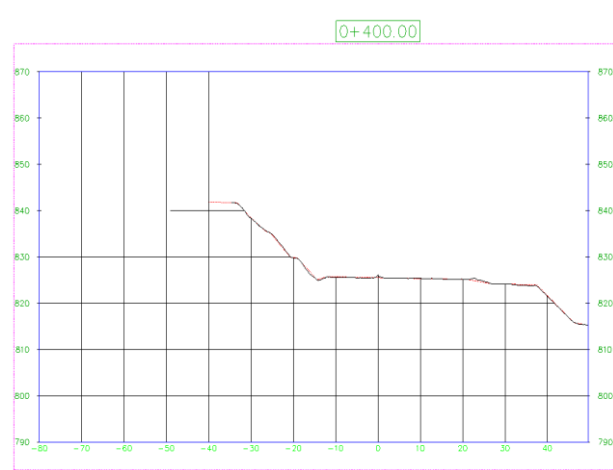
(ข)



(จ)



(ค)



(ฉ)

รูปที่ 5 เส้นระดับแนวขวาง (ก) Station 0+000, (ข) Station 0+080, (ค) Station 0+160 (ง) Station 0+240, (จ) Station 0+320, (ฉ) Station 0+400

ในส่วนของการคำนวณค่าความลาดชันจากข้อมูลเส้นระดับแนวขวาง พบว่ามีความลาดชันเฉลี่ยร้อยละ 99.6 หรือประมาณอัตราส่วนความลาดชันทางราบต่อทางตั้งเท่ากับ 1:1

ตารางที่ 3 ผลต่างการทดสอบค่าพิทักของอากาศยานไร้คนขับและค่าพิทักจากกล้องประมวลผลรวม

Station	ค่าความลาดชัน (%)
0+000	111.4
0+080	84.5
0+160	103.7
0+240	117.0
0+320	93.8
0+400	87.2
เฉลี่ย	99.6

3.5 ผลการตรวจสอบพื้นผิวของลาดดินไหล่ทาง

พื้นผิวของลาดดินไหล่ทางได้นำข้อมูล Point Clouds และ เม็ดสีจากภาพถ่ายมาประมวลผลด้วยโปรแกรม Pix4D Mapper สามารถแสดงผลแบบจำลองสามมิติพื้นผิวเสมือนจริงได้และสามารถตรวจสอบความเสียหายของพื้นผิวลาดดินไหล่ทางได้อย่างชัดเจน โดยตรวจสอบจากการพินิจด้วยสายตาหรือการใช้โปรแกรมในการตรวจสอบ ซึ่งสามารถตรวจพบรอยแตก การชำรุดของผิวหน้าลาดดิน การปกคลุมของวัชพืช การอุดตันของท่อระบายน้ำ



รูปที่ 6 ครบน้ำที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวลาดดินไหล่ทาง

4. บทสรุป

จากการประมวลผลภาพถ่ายด้วยข้อมูลจากอากาศยานไร้คนขับพบว่าการสร้างภาพตัดแนวขวางของลาดไหล่ดินจากข้อมูลอากาศยานไร้คนขับมีความใกล้เคียงกับภาพตัดแนวขวางที่สร้างโดยข้อมูลของกล้องประมวลผลรวมโดยมีความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งทางราบและทางตั้งไม่เกิน 3 เซนติเมตรและคำนวณค่าความลาดชันเฉลี่ยได้ร้อยละ 99.6 อีกทั้งการประมวลผลภาพถ่ายด้วยข้อมูลจากอากาศยานไร้คนขับยังสามารถสร้างพื้นผิวของลาดดินไหล่ทางเป็นรูปแบบของสามมิติที่มีความเสมือนจริงทำให้สามารถนำมาตรวจสอบความเสียหายของผิวหน้าลาดดินไหล่ทางได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณแนวทางหลวงตากที่ 1 สำนักงานทางหลวงที่ 4 กรมทางหลวง ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้พื้นที่ดำเนินงานวิจัยและขอบคุณนักศึกษา

คณาจารย์สาขาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เขตพื้นที่ตาก ที่ช่วยเหลือในการเก็บข้อมูลภาคสนามและช่วยให้คำแนะนำเป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] ต่อลาภ การปลื้มจิตร, เกลิมพล หนีหมัด และ สาโรจน์ สังข์ทอง (2564). การประเมินความถูกต้องของแบบจำลองระดับภูมิประเทศเชิงเลขจากเทคนิคการจำแนกกลุ่มจุดพิทักสามมิติของการรังวัดภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับขนาดเล็ก. *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 26*, ออนไลน์, 23-25 มิถุนายน 2564, หน้า SGI-21-1- SGI-21-9.
- [2] Zulkipli, M.A. and Tahar, K.N. (2018). Multirotor UAV-Based Photogrammetric Mapping for Road Design. *International Journal of Optics*, 2018 (1), pp.1-7.
- [3] Zolkepli, M. F., Ishak, M. F., and Daud, S. (2023). The Application of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) For Slope Mapping at Gambang Damai Residents, Pahang: A Case Study. *International Journal of Integrated Engineering*, 15(2), pp.219-227.
- [4] Kahlid, M. D., Ahmad, A. M., Ahmad, J., and Azim-Kahar, K. A. (2024). Assessment of Slope Mapping by Using Unmanned Aerial Vehicle (UAV). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1347(1), pp.1-8.
- [5] ISHAK, M. F., Zolkepli, M. F., and MUHAMMAD, N. (2020). The Effectiveness of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) for Digital Slope Mapping. *International Journal of Engineering Technology and Sciences*, 7(2), pp.119-136.
- [6] Yeh, F. H., Huang, C. J., Han, J. Y., and Ge, L. (2018). Modeling slope topography using unmanned aerial vehicle image technique. *MATEC web of conferences*, 147, pp.1-6.
- [7] Beregovoi, D. V., Younes, J. A., and Mustafin, M. G. (2017). Monitoring of quarry slope deformations with the use of satellite positioning technology and unmanned aerial vehicles. *Procedia Engineering*, 189, pp.737-743.
- [8] Kaamin, M., Mazuki, M. S., Madun, A., Idris, N. A., Ab Razak, S. N., Ngadiman, N., and Nor, A. H. M. (2020). Visual slope inspection using unmanned aerial vehicle (UAV). *Journal of Physics: Conference Series*, 1529, pp.1-11.
- [9] กนกพรณ บัวน้อย และ พีรภาพ โพธิ์พงษ์ (2023). การติดตามการเคลื่อนตัวของลาดดินบริเวณถนนหมายเลข 12 โดยใช้การสำรวจ ด้วยภาพถ่ายระยะใกล้. *การประชุมวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 28*, ภูเก็ต, 24-26 พฤษภาคม 2566, หน้า SGI012-1-SGI012-8.
- [10] Taddia, Y., Stecchi, F., and Pellegrinelli, A. (2019). Using DJI Phantom 4 RTK drone for topographic mapping of coastal areas. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42, pp.625-630.
- [11] Peppia, M. V., Hall, J., Goodyear, J., and Mills, J. P. (2019). Photogrammetric assessment and comparison of DJI Phantom 4 pro and phantom 4 RTK small unmanned aircraft systems. *The international archives of the*

- photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences*, 42, pp.503-509.
- [12] Taddia, Y., Stecchi, F., and Pellegrinelli, A. (2020). Coastal mapping using DJI Phantom 4 RTK in post-processing kinematic mode. *Drones*, 4(2), 9. pp.1-19.
- [13] Yusoff, A. R., Darwin, N., Majid, Z., Ariff, M. F. M., and Idris, K. M. (2018). Comprehensive analysis of flying altitude for high resolution slope mapping using UAV technology. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42, pp.583-589.
- [14] พีรภพ โพธิ์พงษ์, และ ภาณุพล เล็กประเสริฐ. (2023). การ ทดสอบหา จุดควบคุมภาคพื้นดินและความสูงบินที่เหมาะสมสำหรับ การคำนวณ ปริมาตรงานดินจากข้อมูลอากาศยานไร้คนขับ. *การประชุมวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 28*, ภูเก็ต, 24-26 พฤษภาคม 2566, หน้า SGI01-1-SGI01-7.
- [15] คณะอนุกรรมการมาตรฐานการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนเพื่องาน วิศวกรรมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (2565). *มาตรฐานการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนเพื่องานวิศวกรรม*. สำนักพิมพ์วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, หน้า 45-46.
- [16] Liu, X., Lian, X., Yang, W., Wang, F., Han, Y., and Zhang, Y. Accuracy assessment of a UAV direct georeferencing method and impact of the configuration of ground control points, *Drones*, 2022(6), pp. 1-15
- [17] Agüera-Vega, F., Carvajal-Ramírez, F., and Martínez-Carricondo, P. (2017). Assessment of photogrammetric mapping accuracy based on variation ground control points number using unmanned aerial vehicle. *Measurement*, 98, pp.221-227.
- [18] ชชาติชาย ไวยสุระสิงห์ (2563). *การสำรวจด้วยภาพถ่าย Photogrammetry*. สำนักพิมพ์บริษัทซีเอดยูเคชั่นจำกัด (มหาชน), หน้า 64-96