การประยุกต์ใช้การสำรวจด้วยภาพถ่ายอากาศยานไร้คนขับเพื่อการติดตามการเปลี่ยนแปลงของงานป้องกันทางลาดไหล่: กรณีศึกษาเขื่อนแควน้อยบำรุงแดน จังหวัดพิษณุโลก

The application of UAV photogrammetry to monitor the deformation of side-slope protection: A case study of Khwae Noi Bamrungdan Dam, Phitsanulok Province

พลปรีชา ชิดบุรี[1,*] กรกฎ นุสิทธิ์[2] ธนภัทร วิสิทธิเขต[3] ฐิติชญา สระทองแมว[4] ศิวกร ทองคุ้มญาติ[5] และ ภานุพงศ์ เขื่อนมณี[6]

[1] สถานวิจัยเพื่อความเป็นเลิศทางวิชาการด้านด้านทรัพยากรน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก
[2] สถานวิจัยเพื่อความเป็นเลิศทางวิชาการด้านเทคโนโลยีพลังงานและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก
[3,4,5,6] ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก
**Corresponding author; E-mail address: polpreechac@nu.ac.th*

บทคัดย่อ

การตรวจสอบและติดตามสภาพของเขื่อนและบริเวณโดยรอบเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งสำหรับการประเมินความปลอดภัยของเขื่อนในงานชลประทาน แต่อย่างไรก็ตามสำหรับการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงในพื้นที่มีความลาดชันสูงโดยเฉพาะบริเวณทางลาดไหล่เขายังเป็นอุปสรรคอย่างมากต่อการสำรวจรังวัดด้วยวิธีการแบบดั้งเดิม งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อประยุกต์ใช้การสำรวจด้วยภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับสำหรับการติดตามการเปลี่ยนแปลงของงานป้องกันทางลาดไหล่บริเวณท้ายเขื่อนแควน้อยบำรุงแดน จังหวัดพิษณุโลก โดยในการเก็บข้อมูลภาพถ่ายด้วยกล้อง DJI Zenmuse X5S จากอากาศยานไร้คนขับรุ่น DJI Inspire 2 ในเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2565 และทำการรังวัดและประมวลภาพถ่ายด้วยโปรแกรม ContextCapture จากนั้นทำการประเมินการเปลี่ยนแปลงของของงานป้องกันทางลาดไหล่โดยเปรียบเทียบกับการสำรวจด้วยภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับของกรมชลประทาน ในเดือนเมษายน พ.ศ. 2561 ด้วยเทคนิค M3C2 บนโปรแกรม CloudCompare ผลการวิจัยพบว่า การประเมินความถูกต้องของการสำรวจด้วยภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับเทียบกับการสำรวจรังวัดด้วยดาวเทียม GNSS แบบ RTK มีค่า RMSE เท่ากับ 0.118 เมตร อย่างไรก็ตามสำหรับผลการประเมินการเปลี่ยนแปลงของงานป้องกันทางลาดไหล่ไม่สามารถตรวจพบการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยยะสำคัญเนื่องมาจากความถูกต้องของการสำรวจด้วยภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับในระดับเดซิเมตร ดังนั้นการประยุกต์ใช้การสำรวจด้วยภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับจึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการตรวจสอบและติดตามการเปลี่ยนแปลงในพื้นที่มีความลาดชันสูงสำหรับงานชลประทานได้อย่างสะดวก

คำสำคัญ: การติดตามงานป้องกันทางลาดไหล่, การสำรวจด้วยภาพถ่าย, อากาศยานไร้คนขับ, การสร้างแบบจำลองสามมิติ

Abstract

Inspecting and monitoring the deformation of the dam and surrounding areas are very important to assess the safety of the dam in irrigation work. However, for monitoring deformation in steep slope areas especially side-slope, it is very difficult to survey using traditional methods. This research aims to employ UAV photogrammetry for monitoring the deformation of side-slope protection in the downstream area of the Khwae Noi Bamrungdan Dam, Phitsanulok Province. The images were captured from the DJI Zenmuse X5S camera mounted on the DJI Inspire 2 UAV acquired in February 2022 and were processed using ContextCapture software. Then, the deformation monitoring was evaluated by comparison with the UAV photogrammetry from Royal Irrigation Department (RID) acquired in April 2018 using M3C2 technique on the CloudCompare software. The results showed that the accuracy assessment of the 3D model from UAV photogrammetry comparing to the RTK-GNSS survey had a Root Mean Square Error (RMSE) of 0.118 m. However, for the results in deformation monitoring over this study area, no significant changes were detected due to the photogrammetric accuracy of UAV approach in decimeter level. Therefore, the application of UAV photogrammetry can be an alternative way to detect changes and monitor deformation in steep slopes for irrigation works easily.

Keywords: Side-slope protection monitoring, Photogrammetry, Unmanned Aerial Vehicle (UAV), 3D model reconstruction

1. บทนำ

ปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลกระทบอย่างมากต่อการเกิดภัยพิบัติธรรมชาติเกือบทุกประเทศในโลก ในช่วงหลายปีที่ผ่านมาได้เผชิญกับปัญหาภัยพิบัติธรรมชาติเพิ่มมากขึ้น เช่น ภัยแล้ง ฝนตกหนัก น้ำท่วม เป็นต้น ซึ่งจากผลกระทบเหล่านี้อาจจะก่อให้เกิดปัญหาที่ตามมากับสิ่งก่อสร้างในบริเวณที่มีความลาดชันหรือทางลาดของแนวคันดิน (Embankment) ของถนน คลอง หรือ เขื่อน ดังเช่นการเกิดการพังทลายของทางลาด โดยปัญหาเหล่านี้เป็นสิ่งที่บ่งบอกถึงความวิบัติของทางลาดที่อาจจะมีความเสี่ยงต่อความมั่นคงและสร้างความเสียหายให้กับโครงสร้างของสิ่งก่อสร้างที่จะตามมาได้ ดังนั้นการติดตามและตรวจสอบสภาพความมั่นคงทางลาดอย่างสม่ำเสมอจึงเป็นสิ่งสำคัญสำหรับความปลอดภัยและการป้องกันจากอุบัติภัยได้

โดยทั่วไปเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงหรือการพังทลายของทางลาด เจ้าหน้าที่ที่รับผิดชอบของหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในแต่ละพื้นที่ต้องทำการตรวจสอบความมั่นคงของทางลาดด้วยการลงพื้นที่หน้างาน เช่น การถ่ายภาพและจดบันทึกการเปลี่ยนแปลงของทางลาด แต่อย่างไรก็ตามวิธีการดังกล่าวอาจทำให้การประเมินการเปลี่ยนแปลงของทางลาดขาดความแม่นยำทั้งพิกัด ขนาด และทิศทาง อีกทั้งรูปภาพถ่ายที่ได้ดังกล่าวยังไม่สามารถแสดงรายละเอียดการติดตามของการเปลี่ยนแปลงและการพังทลายได้ชัดเจน นอกจากนี้ในกรณีของพื้นที่นั้นมีความสำคัญ ดังเช่น ทางลาดไหล่เขาบริเวณท้ายเขื่อนจึงจำเป็นต้องอาศัยการสำรวจรังวัดที่มีความถูกต้องแม่นยำสูงขึ้น

สำหรับวิธีการของการตรวจสอบความปลอดภัยและประเมินการเปลี่ยนแปลงของทางลาด เช่น การสำรวจรังวัดภาคพื้นดินเป็นวิธีการสำรวจแบบดั้งเดิม แต่ทั้งนี้การสำรวจรังวัดด้วยวิธีการนี้จำเป็นต้องอาศัยผู้ปฏิบัติงานที่มีความรู้ความสามารถในงานสำรวจรังวัดด้วย นอกจากนี้การสำรวจรังวัดด้วยดาวเทียม (GNSS) [1-2] ยังเป็นทางเลือกหนึ่งในการตรวจสอบและติดตามการเปลี่ยนแปลงด้วย แต่วิธีการสำรวจรังวัดดังที่ได้กล่าวมาเป็นที่วิธีการแบบจุด (Point-based approach) ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ของการติดตามการเปลี่ยนแปลงจะขึ้นอยู่กับจำนวนจุดตรวจสอบที่ทำการรังวัดและอาจทำให้ขาดความต่อเนื่องและครอบคลุมพื้นที่ที่ต้องการติดตาม ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการแบบพื้นที่ (Area-based approach) อาจมีความต่อเนื่องและครบถ้วนของผลลัพธ์มากกว่าสำหรับการติดตามการเปลี่ยนรูป (Deformation monitoring) ของทางลาด

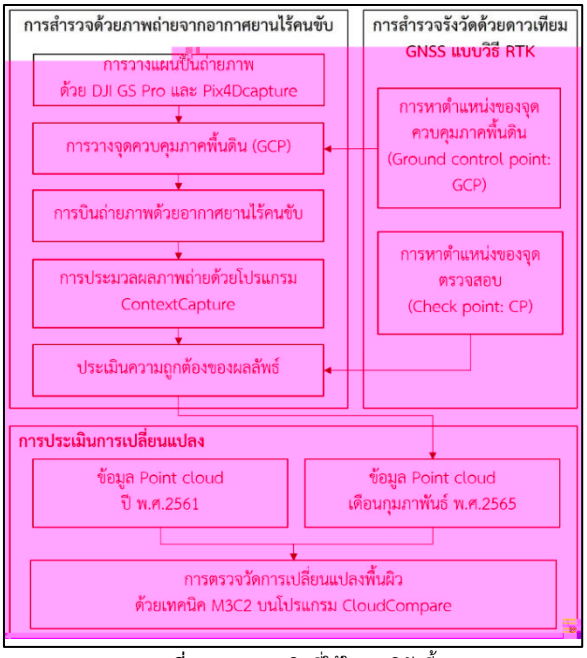
ในปัจจุบันการประยุกต์ใช้การสำรวจด้วยภาพถ่าย (Photogrammetry) มีความสะดวกกับผู้ปฏิบัติงานสำหรับการติดตามและตรวจสอบสภาพทางลาดที่ละเอียดและแม่นยำมากยิ่งขึ้น ทั้งขนาด พิกัด และพื้นผิวของแบบจำลองของทางลาดไหล่เขาที่เปลี่ยนแปลงไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งการประยุกต์ใช้การสำรวจด้วยภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ (UAV Photogrammetry) เพื่อสร้า



รูปที่ 2 ลักษณะสภาพการพังทลายของงานป้องกันทางลาดไหล่บริเวณท้ายเขื่อนแควน้อยบำรุงแดน (เส้นประสีแดงแสดงแนวการพังทลาย)

3. วิธีดำเนินการวิจัย

สำหรับกรอบแนวคิดในการศึกษาวิจัย ดังแสดงในรูปที่ 3 และมีขั้นตอนหลักในการศึกษาวิจัย ดังนี้

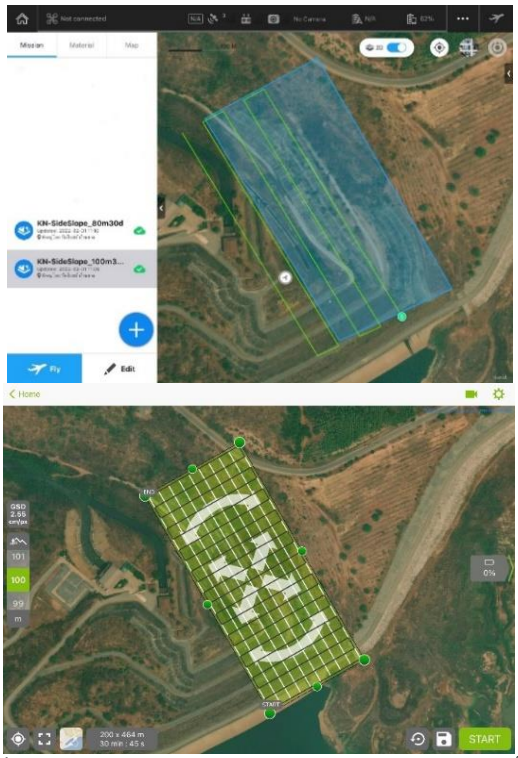


รูปที่ 3 กรอบแนวคิดที่ใช้ในการวิจัยนี้

3.1 การสำรวจด้วยภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ

เนื่องจากงานป้องกันทางลาดไหล่เขาในบริเวณท้ายเขื่อนแควน้อยบำรุงแดนมีลักษณะเป็นทางลาดตามแนวยาว การถ่ายภาพจากอากาศยานไร้คนขับแบบปกติอาจจะไม่เพียงพอต่อความต้องการ ดังนั้นการวางแผนการบินถ่ายภาพด้วยอากาศยานไร้คนขับจึงมีความสำคัญต่อการได้มาของภาพถ่ายเพื่อใช้ในการสำรวจด้วยภาพถ่าย ซึ่งจำเป็นต้องมีการพิจารณารูปแบบการถ่ายภาพให้เหมาะสมกับลักษณะพื้นที่ในแต่ละงานอีกด้วย [6] โดยควรถ่ายภาพในทิศตั้งฉากกับทางลาดไหล่เขา และมีแนวบินตามแนวขนานกับทางลาด สำหรับการเว้นระยะระหว่างการถ่ายภาพให้เหมาะสมกับพื้นที่เพื่อให้มีส่วนซ้อนทับของภาพมากกว่า 80% สำหรับการสร้างแบบจำลองสามมิติของงานป้องกันทางลาดไหล่เขา และนอกจากนี้ควรมีการถ่ายภาพสำหรับสร้างแผนที่แบบสามมิติในพื้นที่การศึกษาอีกด้วย

โดยการวางแผนการบินถ่ายภาพประกอบด้วยแอปพลิเคชัน DJI GS Pro และ Pix4Dcapture สำหรับแอปพลิเคชัน DJI GS Pro ทำการกำหนดขอบเขตของพื้นที่ทำการบิน ซึ่งแบ่งเป็น 2 ชุด คือ 1) ค่าระดับความสูงการบิน 100 เมตร ด้วยมุมกล้องเอียง 30 องศา และ 2) ค่าระดับความสูงการบิน 80 เมตร ด้วยมุมกล้องเอียง 30 องศา เพื่อให้ได้ภาพถ่ายตั้งฉากกับงานป้องกันทางลาดไหล่เขาสำหรับการสร้างแบบจำลองสามมิติ ในขณะที่แอปพลิเคชัน Pix4Dcapture ทำการบินแบบ Double Grid หรือแนวบิน cross-strip ซึ่งกำหนดค่าระดับความสูงการบิน 100 เมตร ด้วยมุมกล้องเอียง 60 องศา เพื่อเน้นการสร้างแผนที่แบบสามมิติของงานป้องกันทางลาดไหล่เขา



รูปที่ 4 ตัวอย่างการวางแผนการบินถ่ายภาพของอากาศยานไร้คนขับในพื้นที่การศึกษา ด้วยแอปพลิเคชัน DJI GS Pro และ Pix4Dcapture ตามลำดับ

โดยก่อนเริ่มทำการบินสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับมีการออกแบบการวางจุดควบคุมภาคพื้นดิน (GCP) เพื่อใช้อ้างอิงในการกำหนดตำแหน่งบนพื้นโลก (Geo-referencing) ตลอดจนทั้งประมวลผลสำหรับการรังวัดด้วยภาพถ่าย ซึ่งจุดควบคุมภาคพื้นดินนี้จะต้องมีความถูกต้องเชิงตำแหน่งและมีปริมาณการกระจายตัวอย่างครอบคลุมพื้นที่ สำหรับการศึกษานี้จุดควบคุมภาคพื้นดินได้ใช้เป้ารูปแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัสจำนวน 10 จุด หลังจากนั้นทำการบินถ่ายภาพด้วยกล้อง DJI Zenmuse X5S จากอากาศยานไร้คนขับรุ่น DJI Inspire 2 โดยข้อมูลภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับของงานป้องกันทางลาดไหล่เขา ในบริเวณท้ายเขื่อนแควน้อยบำรุงแดน ที่ได้จากการถ่ายภาพในเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2561 สามารถแบ่งเป็น 3 ชุดภาพ และมีจำนวนภาพถ่ายทั้งหมด 677 ภาพ

สำหรับการประมวลผลภาพถ่ายโดยนำข้อมูลภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับที่ได้มาประมวลผลในโปรแกรม ContextCapture เพื่อสร้างผลลัพธ์ดังนี้ 1) ข้อมูล Point cloud 2) แบบจำลองระดับพื้นผิว (DSM) 3) ภาพถ่ายดัดแก้ (Orthophotos) และ 4) แบบจำลองสามมิติ เมื่อได้ผลลัพธ์จากที่กล่าวมาแล้ว จำเป็นต้องมีการประเมินความถูกต้องเพื่อสร้างความมั่นใจในการนำผลลัพธ์ที่ได้ไปใช้ในการประเมินการเปลี่ยนแปลงของงานป้องกันทางลาดไหล่เขา ซึ่งสามารถทำการประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบจากภาพถ่ายออร์โธ (Orthophoto) และความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางดิ่งจากแบบจำลองระดับ (DSM) ของการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับแล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่าพิกัดของจุดตรวจสอบจากการสำรวจด้วยดาวเทียม GNSS จำนวน 30 จุด โดยใช้โปรแกรม QGIS และสามารถสรุปผลการประเมินความถูกต้องทางตำแหน่งเป็นค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อน (Mean of errors) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความคลาดเคลื่อน (SD) และค่า RMSE

3.2 การสำรวจรังวัดด้วยดาวเทียม GNSS แบบวิธี RTK เพื่อการหาตำแหน่งของจุดควบคุมภาคพื้นดิน (GCP) และจุดตรวจสอบ (CP)

สำหรับการสำรวจรังวัดด้วยดาวเทียม GNSS แบบวิธี RTK โดยใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม Trimble รุ่น R10 และ R8s โดยเริ่มจากทำการตั้งเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมที่หมุดเป็นสถานีฐาน (Base Station) และทำการรังวัดค่าพิกัดของเป้าสำหรับจุดควบคุมภาคพื้นดิน (GCP) จำนวน 10 จุด และจุดตรวจสอบ (CP) จากจุดที่เด่นชัด (Well-defined point) ในรอบพื้นที่ศึกษา จำนวน 30 จุด โดยใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมเป็นสถานีจร (Rover Station) รับสัญญาณดาวเทียมและรับค่าแก้จากระบบสื่อสารทางวิทยุ ซึ่งข้อมูลรังวัดหาค่าพิกัดที่มีผลการรังวัดเป็นแบบ Fixed Solution และกำหนดระดับความแม่นยำของการรังวัดค่าพิกัดแบบจุดควบคุมไม่เกิน 5 เซนติเมตร

3.3 การประเมินการเปลี่ยนแปลง

ในการติดตามการเปลี่ยนรูป (Deformation monitoring) ของงานป้องกันทางลาดไหล่เขาในบริเวณท้ายเขื่อนแควน้อยบำรุงแดนในการศึกษาวิจัยนี้ เป็นการประเมินการเปลี่ยนแปลงจากผลลัพธ์ของการสำรวจด้วยภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับในช่วงเวลาที่ต่างกัน โดยปกติมีสองวิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์หรือประเมินการติดตามเปลี่ยนแปลง ได้แก่ วิธีแบบพื้นที่ (Area-based approach) และวิธีแบบจุด (Point-based approach)

สำหรับการหาความแตกต่างของแบบจำลองระดับ (DEM of Difference: DoD) ที่ต่างช่วงเวลากันเป็นเทคนิคทั่วไปของการเปรียบเทียบโดยใช้แบบจำลองระดับเพื่อวัดการเปลี่ยนแปลงของพื้นผิว อย่างไรก็ตามในกรณีของข้อมูลในรูปแบบ Point cloud สำหรับวิธีนี้จำเป็นต้องสร้างข้อมูลแบบจำลองระดับก่อนทำการเปรียบเทียบ นอกจากนี้ยังยากที่จะหาความละเอียดเชิงพื้นที่ของแบบจำลองระดับที่เหมาะสมในการวิเคราะห์หรือประเมินการเปลี่ยนแปลง

สำหรับวิธีแบบจุดของการเปรียบเทียบด้วยเทคนิค Multiscale model-to-model cloud comparison (M3C2) ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะการเปรียบเทียบของ Point cloud ที่ได้ในพื้นที่ตามธรรมชาติ ซึ่งการเปรียบเทียบบนพื้นผิวจากตามธรรมชาติแล้วจำเป็นต้องพิจารณาแหล่งที่มาของความไม่แน่นอน

รูปที่ 5 การวางเป้าสำหรับจุดควบคุมภาคพื้นดิน (GCP) และการสำรวจรังวัดด้วยดาวเทียม GNSS แบบวิธี RTK

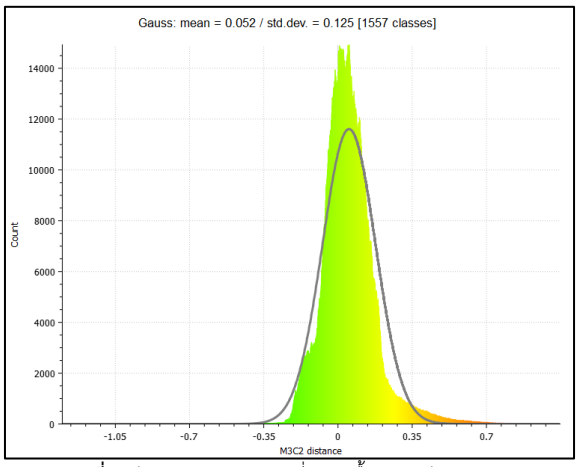
สำหรับผลลัพธ์การประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบและทางดิ่งของผลลัพธ์จากการสำรวจด้วยภาพถ่ายจาก UAV เมื่อเปรียบเทียบกับการสำรวจรังวัดด้วยดาวเทียม GNSS ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สรุปการประเมินความถูกต้องทางตำแหน่งของการสำรวจด้วยภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ

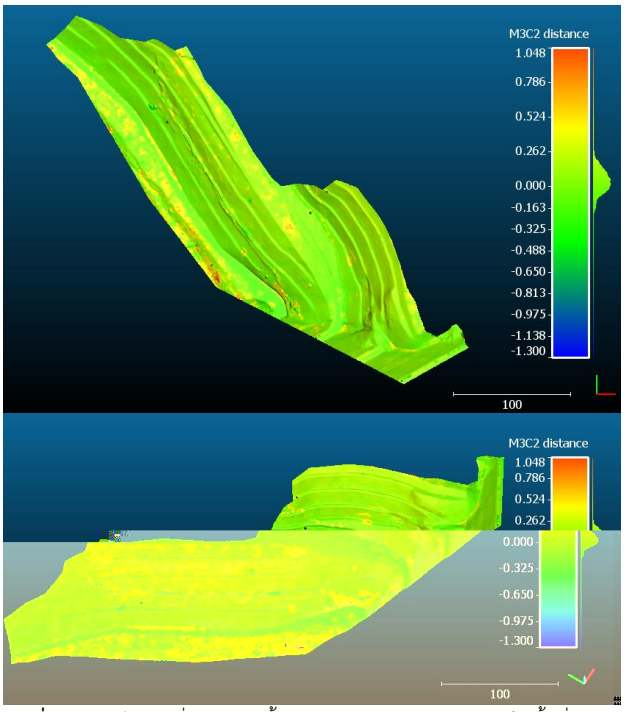
Dimensional	Errors	
	Mean (m)	RMSE (m)
E	-0.012	0.024
N	0.000	0.014
Horizontal	-0.006	0.028
Vertical	-0.060	0.115
All	-0.024	0.118

จากการประเมินความถูกต้องของการสำรวจด้วยภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับพบว่า ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนทั้งหมดเท่ากับ -0.024 เมตร และค่า RMSE ทั้งหมดเท่ากับ 0.118 เมตร นอกจากนี้ทั้งค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนและค่า RMSE ทางดิ่งมีค่ามากกว่าทางราบ แต่อย่างไรก็ตามสำหรับการหาตำแหน่งของจุดควบคุมภาคพื้นดิน (GCP) ด้วยการสำรวจรังวัดด้วยดาวเทียม GNSS แบบวิธี RTK อาจจะส่งผลโดยตรงต่อความถูกต้องของผลลัพธ์ในการสำรวจด้วยภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ ตามหลักการแพร่ของความคลาดเคลื่อน (Propagation of error) เนื่องจากความถูกต้องแม่นยำของการสำรวจรังวัดด้วยดาวเทียม GNSS แบบวิธี RTK อยู่ในระดับไม่เกิน 5 เซนติเมตร ซึ่งควรมีการปรับปรุงวิธีการสำรวจรังวัดของการหาตำแหน่งของจุดควบคุมภาคพื้นดิน (GCP) ที่มีความถูกต้องแม่นยำแม่นยำสูงกว่านี้สำหรับการศึกษาในอนาคต

สำหรับผลลัพธ์การประเมินการเปลี่ยนแปลงจากข้อมูล Point cloud จากการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับในช่วงเวลาที่แตกกันตั้งแต่ พ.ศ. 2561 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ.2565 ด้วยเทคนิค M3C2 จากโปรแกรม CloudCompare สามารถสรุปค่าทางสถิติและผลลัพธ์ของการตรวจวัดของการติดตามการเปลี่ยนรูปดังในรูปที่ 7 และ 8



รูปที่ 7 ค่าทางสถิติของการเปลี่ยนรูปพื้นผิว (หน่วย: เมตร)

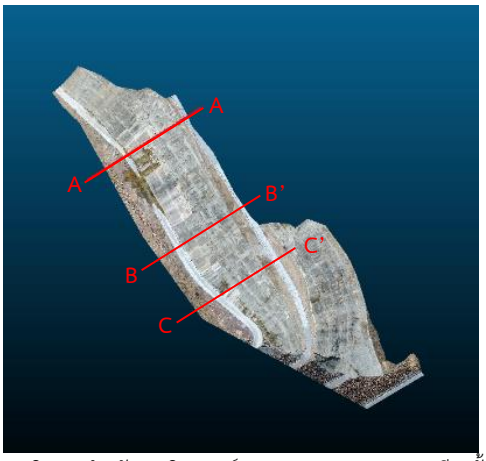


รูปที่ 8 ผลลัพธ์การเปลี่ยนรูปของพื้นผิว (Deformation surface) ในพื้นที่ศึกษา (หน่วย: เมตร)

จากผลลัพธ์การประเมินการเปลี่ยนแปลงสำหรับงานป้องกันทางลาดไหล่เขาในบริเวณท้ายเขื่อนแควน้อยบำรุงแดนนี้ พบว่า ค่าเฉลี่ยของความแตกต่างระหว่าง Point clouds ทั้งสองช่วงเวลาเท่ากับ 0.052 เมตร และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความแตกต่างระหว่าง Point clouds เท่ากับ 0.125 เมตร ซึ่งไม่สามารถสรุปได้ว่ามีการตรวจพบการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยยะสำคัญ สำหรับการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงของพื้นผิวที่ต่างช่วงเวลากันในระดับต่ำกว่าเดซิเมตรเป็นความไม่แน่นอนของการวัด (Uncertainty of measurement) เนื่องมาจากความถูกต้องของการสำรวจด้วยภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับนี้ในระดับเดซิเมตรดังที่ได้กล่าวมาก่อนหน้านี้

นอกจากนี้ในส่วนของบริเวณที่มีค่าผลของความแตกต่างระหว่าง Point clouds ในการประเมินการเปลี่ยนแปลงที่สูงกว่า 0.125 เมตร พบว่า อาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงความสูงของสิ่งปกคลุมที่เป็นพืช ซึ่งเปลี่ยนแปลงไปตามช่วงเวลาและฤดูกาลที่เปลี่ยนไป ดังนั้นเพื่อให้ผลการศึกษาการประเมินการเปลี่ยนแปลงมีความแม่นยำขึ้น จึงควรมีการคัดกรองข้อมูลของ Point clouds ที่เป็นพืชออกก่อน [8] แล้วทำการประเมินการเปลี่ยนแปลง ซึ่งจะได้มีการศึกษาต่อไปในอนาคต

สำหรับการวิเคราะห์หาขนาดของมุมความลาดเอียงทั้ง 3 แนวทิศทางระหว่าง พ.ศ.2561 ถึง พ.ศ.2565 (ดังรูปที่ 9) จากการเขียนภาพตัดตามแนวขวาง (Cross-section) พบว่า ขนาดของมุมความลาดเอียงมีค่าที่ใกล้เคียงกันมาก (ดังในตารางที่ 2) อย่างไรก็ตามมุมความลาดเอียงอาจจะไม่ใช่ปัจจัยของการเกิดพิบัติและมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของงานป้องกันทางลาดไหลในบริเวณท้ายเขื่อนแควน้อยบำรุงแดน



รูปที่ 9 แนวทิศทางสำหรับการวิเคราะห์หาขนาดของมุมความลาดเอียงทั้ง 3 แนวทิศทาง

ตารางที่ 2 สรุปขนาดมุมความลาดเอียงของงานป้องกันทางลาดไหล่เขา ทั้ง 3 แนวทิศทาง จากการสำรวจด้วยภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับระหว่าง พ.ศ. 2561 ถึง พ.ศ.2565

แนวทิศทาง	มุมความลาดเอียง (องศา)	
	พ.ศ.2561	พ.ศ.2565
A - A'	35.4	35.7
B - B'	34.2	35.3
C - C'	32.2	32.2

5. บทสรุป

สำหรับการประเมินศักยภาพและการประยุกต์ใช้การสำรวจด้วยภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับในการติดตามการเปลี่ยนแปลงของงานป้องกันทางลาดไหลในบริเวณท้ายเขื่อนแควน้อยบำรุงแดน จังหวัดพิษณุโลก จากการประเมินความถูกต้องของการสำรวจด้วยภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ เปรียบเทียบกับการสำรวจรังวัดด้วยดาวเทียม GNSS แบบวิธี RTK มีค่า RMSE เท่ากับ 0.118 เมตร แต่อย่างไรก็ตามเมื่อทำการประเมินผลการเปลี่ยนแปลงของงานป้องกันทางลาดไหล่ ตั้งแต่ พ.ศ. 2561 ถึง พ.ศ. 2565 ไม่สามารถสรุปผลการตรวจพบการเปลี่ยนแปลงได้อย่างมีนัยยะสำคัญ เนื่องจากความไม่แน่นอนของการวัดที่มาจากความถูกต้องของการสำรวจด้วยภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับที่อยู่ในระดับเดซิเมตร และการเปลี่ยนแปลงความสูงของสิ่งปกคลุมที่เป็นพืชในบริเวณพื้นที่การศึกษา อย่างไรก็ตามเมื่อประเมินศักยภาพการสำรวจด้วยภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับมีความเหมาะสมในด้านของระยะเวลาในการสำรวจที่รวดเร็วและครอบคลุมพื้นที่ขนาดใหญ่ได้ เมื่อเปรียบเทียบกับการสำรวจรังวัดแบบดั้งเดิม ซึ่งเป็นประโยชน์สำหรับการตรวจสอบสภาพความปลอดภัยในงานชลประทาน ดังนั้นการประยุกต์ใช้การสำรวจด้วยภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับจึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการตรวจสอบและติดตามการเปลี่ยนแปลงในพื้นที่มีความลาดชันสูงสำหรับงานชลประทานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

กิตติกรรมประกาศ

ขอบพระคุณโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาแควน้อยบำรุงแดน สำนักงานชลประทานที่ 3 คุณวรวุฒิ เนียมน้อย ผู้อำนวยการฯ และคุณวิชากร จองพิพัฒนพงษ์ หัวหน้าฝ่ายวิศวกรรม สำหรับความอนุเคราะห์พื้นที่การศึกษาและการดูแลเป็นอย่างดีตลอดการสำรวจเก็บข้อมูล และกรมชลประทานสำหรับข้อมูลการสำรวจด้วยภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับในงานวิจัย

ขอบพระคุณภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร สำหรับความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GNSS และอากาศยานไร้คนขับในการเก็บข้อมูลและสำรวจ และซอฟต์แวร์ ContextCapture สำหรับการประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับในงานวิจัย

ขอบคุณ คุณณัฐนนท์ คุ้มครุฑ และคุณภูริชัย แก้วมา นิสิตปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร สำหรับความช่วยเหลือในการเก็บข้อมูลในงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] Rizos, C., van Cranenbroeck, J., & Lui, V. (2010). Advances in GNSS-RTK for structural deformation monitoring in regions of high ionospheric activity. In *FIG Congress* (Vol. 2010).

[2] Xiao, R., Shi, H., He, X., Li, Z., Jia, D., & Yang, Z. (2019). Deformation monitoring of reservoir dams using GNSS: An application to south-to-north water diversion project, China. *IEEE Access*, 7, 54981-54992.

[3] Buffi, G., Manciola, P., Grassi, S., Barberini, M., & Gambi, A. (2017). Survey of the Ridracoli Dam: UAV–based photogrammetry and traditional topographic techniques in the inspection of vertical structures. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 8(2), 1562-1579.

[4] Ridolfi, E., Buffi, G., Venturi, S., & Manciola, P. (2017). Accuracy analysis of a dam model from drone surveys. *Sensors*, 17(8), 1777.

[5] กรมชลประทาน (2555). *พิธีเปิด 5 โครงการชลประทาน น้ำสร้างชีวิต*. หน้า 45-62. สืบค้นจาก https://drive.google.com/file/d/0B5ZhPsFI_ec6d2VpZGUyZk50WWc/view?resourcekey=0-GaLS8cuenUMOsZYPARovZA

[6] Peppa, M. V., Mills, J. P., Moore, P., Miller, P. E., & Chambers, J. E. (2019). Automated co-registration and calibration in SfM photogrammetry for landslide change detection. *Earth Surface Processes and Landforms*, 44(1), 287-303. https://doi.org/https://doi.org/10.1002/esp.4502

[7] Lague, D., Brodu, N., & Leroux, J. (2013). Accurate 3D comparison of complex topography with terrestrial laser scanner: Application to the Rangitikei canyon (NZ). *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing*, 82, 10-26.

[8] Zeybek, M., & Şanlıoğlu, İ. (2019). Point cloud filtering on UAV based point cloud. *Measurement*, 133, 99-111. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.10.013