การสำรวจรังวัดรูปตัดขวางลำน้ำโดยอากาศยานไร้คนขับในแม่น้ำลำภาชี จังหวัดกาญจนบุรี

A River Cross Section Survey by UAV Photogrammetry in Lam Pa Chi River, Kanchanaburi Province

กิติพงศ์ ทองเชื้อ และ วิษุวัฒก์ แต้สมบัติ *

Kitipong Thongchua and Wisuwat Taesombat *

Received: 29 December 2020, Revised: 23 August 2021, Accepted: 7 October 2021

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้เป็นการสำรวจรังวัดรูปตัดขวางลำน้ำในแม่น้ำลำภาชี ในพื้นที่ตำบลด่านมะขามเตี้ย อำเภอด่านมะขามเตี้ย จังหวัดกาญจนบุรี ซึ่งพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่เกษตรกรรม โดยความยาวของแม่น้ำลำภาชีที่ใช้ในการศึกษาประมาณ 1 กิโลเมตร และความกว้างระหว่างตลิ่งซ้ายกับตลิ่งขวาอยู่ในช่วงประมาณ 23 - 40 เมตร ทำการเก็บข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศโดยอากาศยานไร้คนขับ โดยกำหนดให้มีส่วนซ้อนระหว่างภาพ ร้อยละ 80 และส่วนเกยระหว่างแนวบิน ร้อยละ 70 ของภาพถ่ายทางอากาศ ส่วนข้อมูลจุดควบคุมภาคพื้นดิน จำนวน 23 จุด รวมทั้งการสำรวจรูปตัดขวางของลำน้ำ จำนวน 5 รูปตัด สำรวจด้วยวิธีการสำรวจรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ จากนั้นทำการประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศโดยใช้จุดควบคุมภาคพื้นดินที่แตกต่างกัน 4 กรณี ได้แก่ การใช้จุดควบคุมภาคพื้นดิน จำนวน 4, 8, 16 และ 23 จุด ตามลำดับ ต่อมาทำการวิเคราะห์ผลกระทบของจำนวนจุดควบคุมภาคพื้นดินที่ส่งผลต่อความถูกต้องทางตำแหน่งของแบบจำลองพื้นผิวดิจิทัล ซึ่งในแต่ละกรณีได้ทำการเปรียบเทียบในลักษณะของรูปตัดขวางลำน้ำที่ได้จากแบบจำลองพื้นผิวดิจิทัลกับผลการสำรวจรูปตัดขวางของลำน้ำที่ได้จากการสำรวจด้วยวิธีการสำรวจด้วยดาวเทียมแบบจลน์ ที่ตำแหน่งตรงกัน ผลที่ได้พบว่า รูปตัดขวางลำน้ำที่ได้จากแบบจำลองพื้นผิวดิจิทัลที่มีค่าความถูกต้องทางตำแหน่งมากที่สุด คือ การใช้จุดควบคุมภาคพื้นดินจำนวน 23 จุด ซึ่งมีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนรากกำลังสอง (root mean square error) เท่ากับ 0.56 เมตร และตามมาตรฐาน NSSDA ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.82 เมตร รองลงมาได้แก่ การใช้จุดควบคุมภาคพื้นดิน 8, 16 และ 4 จุด ตามลำดับ

คำสำคัญ: รูปตัดขวางลำน้ำ, แบบจำลองพื้นผิวดิจิทัล, อากาศยานไร้คนขับ, การสำรวจด้วยดาวเทียมแบบจลน์

ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม 73140

Department of Irrigation Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaengsaen, Kasetsart University, Kamphaengsaen Campus, Nakhonpathom 73140, Thailand.

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): fengwwt@ku.ac.th

ABSTRACT

This study was to survey the river cross sections in Lam Pa Chi river, Dan Makham Tia Subdistrict, Dan Makham Tia District, Karnchanaburi Province. Almost of study areas are agricultural. The length of the Lam Pa Chi river used in the study was approximately 1 km. and the width range between the left bank and the right bank is about 23 - 40 m. The aerial imagery data from UAV were collected with the overlap distance is 80% and the side lap is 70% of the aerial imagery data. The data collection of 23 ground control points and 5 river cross sections were surveyed by real time kinematics method. The aerial imagery was then processed using 4 different ground control points such as the use of ground control points in total of 4, 8, 16 and 23 points, respectively. The effect of the number of ground control points was subsequently analyzed on the positioning accuracy of the obtained digital surface models in each case. The comparison between the river cross section obtained from the digital surface models and the river cross sectional survey results obtained from the real time kinematics method in each same position were carried out. The results found that the river cross section obtained from the digital surface model with the highest accuracy is the use of 23 ground control points with an average root mean square error of 0.56 m., and NSSDA standard at a 95% confidence level, the average is 0.82 m., followed by the use of ground control points in total of 8, 16 and 4 points, respectively.

Key words: river cross section, digital surface model, unmanned aerial vehicle, real time kinematic survey

บทนำ

การสำรวจรังวัดเป็นการจำลองลักษณะของภูมิประเทศ ตามจุดต่างๆ ของภูมิประเทศ เพื่อหาความสัมพันธ์ของตำแหน่งแต่ละจุดที่อยู่บนพื้นผิวโลก เพื่อให้ทราบ ขนาดพื้นที่ ปริมาตร รูปร่าง ขอบเขต ทิศทาง ตำแหน่ง และความสูง โดยอาศัยเครื่องมือและวิธีการสำรวจต่างๆ ที่ได้มีการพัฒนามาอย่างต่อเนื่อง อาทิเช่น การรังวัดด้วยโซ่ กล้อง Transit พัฒนามาเป็นการรังวัดและทำแผนที่จากภาพถ่ายทางอากาศ การสำรวจและส่งข้อมูลระยะไกล การสำรวจด้วยดาวเทียม การสำรวจด้วยเครื่องวัดระยะอิเลคโทรนิคส์ การสำรวจด้วยกล้อง Total Station การรังวัดพิกัดด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม และในปัจจุบันได้มีการนำอากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicle : UAV) มาประยุกต์ใช้ในการสำรวจสภาพภูมิประเทศ เนื่องจากข้อมูลที่ได้ มีความเป็นปัจจุบัน และเหมาะสมกับงานที่ต้องการข้อมูลอย่างเร่งด่วน เพื่อลดผลกระทบที่จะเกิดขึ้น

ซึ่งข้อมูล (Rinaldi *et al*., 2019) แบบจำลองระดับความสูงที่ได้จากดาวเทียมเหมาะสำหรับแบบจำลองน้ำท่วม 2 มิติ ในพื้นที่ขนาดใหญ่ แต่สำหรับพื้นที่ในเมืองขนาดเล็กที่ต้องการความละเอียดและความคมชัดสูง ที่มีความทันสมัย จึงต้องใช้แบบจำลองพื้นผิวดิจิทัลที่สร้างขึ้นด้วยโฟโตแกรมเมตรี โดยใช้ภาพถ่าย ที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับ ซึ่งมีต้นทุนต่ำและมีคุณภาพสูง เมื่อใช้ร่วมกับแบบจำลองน้ำท่วม สามารถคาดการณ์สถานการณ์น้ำท่วมจากฝนที่ตกในพื้นที่เมืองขนาดเล็กและมีความซับซ้อนได้โดย ภาพถ่ายที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับ (Santitamnont, 2012) เป็นภาพถ่ายจากกล้องดิจิทัล ที่มีการพัฒนาให้มี

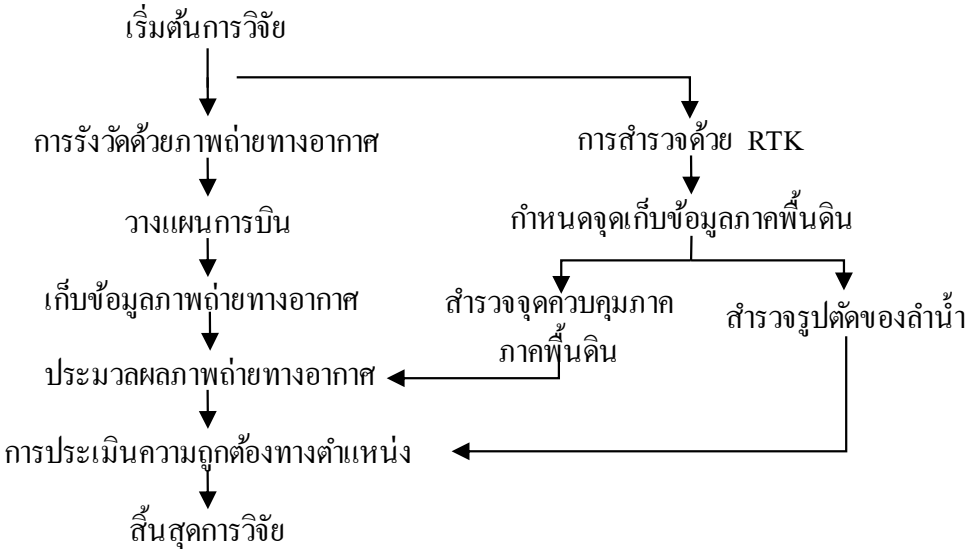
ประสิทธิภาพสามารถบันทึกภาพได้ด้วยความละเอียดสูงระดับ 10 - 40 เมกกะพิกเซล (Mega Pixel : MP) ในการรังวัดด้วยภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับใช้หลักการรังวัดด้วยภาพดิจิทัล (Digital Photogrammetry) หรือการสำรวจด้วยภาพถ่ายเชิงเลข ซึ่งเป็นการรังวัดด้วยภาพที่นำเอาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์และการประมวลผลภาพดิจิทัล (Digital Image Processing) มาใช้ในกระบวนการรังวัดและประมวลผล กระบวนการทำงานจะใช้การคำนวณเชิงวิเคราะห์โดยอาศัยการคำนวณเชิงเลขเป็นหลัก เป็นการนำคอมพิวเตอร์ และซอฟต์แวร์มาช่วยในการรังวัด ช่วยลดความผิดพลาดที่จะเกิดขึ้น (Kunii, 2018) ในการทดสอบความแม่นยำของการรังวัด การรังวัดด้วยภาพดิจิทัล (Photogrammetry) และจากการสำรวจระยะไกล (Remote Sensing) จากภาพถ่ายอากาศยานไร้คนขับแนวตั้งที่ระดับความสูง 70 - 90 เมตร ค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย ที่ได้ประมาณ ± 0.200 เมตร ซึ่งความถูกต้องเหล่านี้ยอมรับได้สำหรับการสำรวจสถานที่ก่อสร้าง และ เมื่อ (Sooahm and Taejung, 2015) สร้างแบบจำลองพื้นผิวดิจิทัล (Digital Surface Model : DSM) จากภาพถ่ายอากาศยานไร้คนขับที่เกิดจากการจัดเรียงของชุดข้อมูลภาพและการจับคู่ภาพโดยอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างสีและพิกเซลของภาพ ทำให้เกิดแบบจำลองพื้นผิวดิจิทัล และเมื่อนำแบบจำลองพื้นผิวดิจิทัล ที่สร้างจากอากาศยานไร้คนขับนำไปเปรียบเทียบกับแบบจำลองพื้นผิวดิจิทัลจาก Lidar ความแม่นยำโดยรวมอยู่ที่ 1.5 เมตร ในค่าเบี่ยงเบนสัมบูรณ์แบบเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Normalized Median absolute deviation : NMAD) (Yutaka and Yoshihisa, 2016) ทำการศึกษาความแม่นยำของแบบจำลองพื้นผิวดิจิทัลของลักษณะสัณฐานของแม่น้ำด้วยอากาศยานไร้คนขับระดับความสูงของเที่ยวบิน 100 เมตร ได้ดำเนินการเก็บข้อมูลก่อนและหลังน้ำท่วม ในแม่น้ำ Jyoge จังหวัดฮิโรชิม่า ประเทศญี่ปุ่น พร้อมกับการสำรวจภาคพื้นดินโดยใช้การสำรวจด้วยดาวเทียมแบบจลน์ และ Total Station พบว่าแบบจำลองพื้นผิวดิจิทัลมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุด 4 เซนติเมตร บริเวณที่มีความสูงของพืชต่ำ (Chaninchoduek and Taesombat, 2020) ได้ทำการทดสอบความถูกต้องเชิงตำแหน่งการรังวัดด้วยภาพถ่ายจากอากาศยาน ไร้คนขับสำหรับการสร้างแบบจำลองพื้นผิว บนระดับความสูงการบินที่ 100, 150, และ 200 เมตร มีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนรากกำลังสองทางดิ่ง (RMSEz) เท่ากับ 0.007, 0.393 และ 0.173 เมตร และมีระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95 ทางดิ่งเท่ากับ 0.014, 0.771 และ 0.339 เมตร ตามลำดับ พบว่าที่ระดับความสูง 100 เมตร มีค่าความถูกต้องทางตำแหน่งมากกว่าระดับความสูงที่ 150 และ 200 เมตร (Langhammer *et al*., 2017) ทำการสร้างแบบจำลองน้ำท่วมโดยการสำรวจอากาศยานไร้คนขับ (UAV) ร่วมกับการรังวัดด้วยภาพถ่ายทางอากาศ สำหรับแบบจำลองสามมิติ (3D) ที่มีความละเอียด 1.5 เซนติเมตร/พิกเซล พบว่าแหล่งข้อมูลเหล่านี้มีศักยภาพสูงสำหรับการใช้งานในแบบจำลองอุทกพลศาสตร์ และสำหรับในการสร้างแผนที่ และแบบจำลองพื้นผิวดิจิทัล ที่ต้องการความถูกต้อง (Punyo, 2019) พบว่าความถูกต้องของแผนที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนจุดควบคุมภาคพื้นดินเพิ่มขึ้น และเริ่มคงที่เมื่อจุดควบคุมภาคพื้นดินตั้งแต่ 8 ตำแหน่งขึ้นไป

จากการศึกษาทบทวนวรรณกรรมข้างต้น พบว่ามีการใช้ภาพถ่ายทางอากาศที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับมาช่วยในงานสำรวจลักษณะของลำน้ำ โดยใช้แบบจำลองพื้นผิวดิจิทัลที่ได้จากการประมวลผลร่วมกับการใช้จุดควบคุมภาคพื้นดิน ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดว่าหากมีการนำแบบจำลองพื้นผิวดิจิทัลที่ได้จากการประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศร่วมกับการใช้จุดควบคุมภาคพื้นดินมาประยุกต์ใช้กับงานสำรวจรูปตัดขวางลำน้ำและทำการตรวจสอบความถูกต้องทาง

ตำแหน่งกับผลสำรวจรูปตัดขวางลำน้ำที่ได้จากการสำรวจรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ ดังนั้นจึงทำการคัดเลือกพื้นที่ทดสอบในพื้นที่ตำบลด่านมะขามเตี้ย อำเภอด่านมะขามเตี้ย จังหวัดกาญจนบุรี ซึ่งพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่เกษตรกรรม และมีแม่น้ำลำภาชีไหลผ่าน เนื่องจากสามารถทำงานในพื้นที่ปฏิบัติงานได้สะดวกรวดเร็ว ทันต่อการนำข้อมูลมาศึกษาวิเคราะห์

วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีดำเนินการวิจัยสามารถแบ่งเป็นขั้นตอนต่างๆ ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ขั้นตอนการศึกษาวิจัย

1. วางแผนการบิน และกำหนดจุดเก็บข้อมูลภาคพื้นดิน

ได้วางแผนการบินโดยใช้โปรแกรม Litchi ในออกแบบแนวบินให้มีส่วนซ้อนระหว่างภาพร้อยละ 80 และ ส่วนเกยระหว่างแนวบิน ร้อยละ 70 ของภาพถ่าย ที่ระดับความสูงในการบินถ่ายภาพที่ระดับ 120 เมตรจากระดับพื้นดิน เนื่องจากเป็นระดับที่ปลอดภัยจากความสูงของสิ่งปลูกสร้าง และสัตว์ปีกบริเวณที่ทำการเก็บข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศ และเวลาที่ใช้ในการบินประมาณ 25 นาที จากนั้นทำการกำหนดจุดควบคุมภาคพื้นดิน โดยเลือกในพื้นที่โล่งสามารถเห็นจุดควบคุมภาคพื้นดินได้ชัดเจนจากภาพถ่าย และสามารถเข้าไปวางเป้าควบคุมภาคพื้นดิน และจุดเก็บข้อมูลรูปตัดลำน้ำที่จะสำรวจรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์

2. เก็บข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศ และข้อมูลภาคพื้นดิน

ก่อนทำการเก็บข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศและข้อมูลภาคพื้นดิน เพื่อให้ตำแหน่งที่การรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ และตำแหน่งจุดควบคุมภาพถ่ายมีตำแหน่งเดียวกัน จึงทำการวางเป้าควบคุมภาคพื้นดิน ขนาด 1 × 1 เมตร ลงบนตำแหน่งที่จะทำการทดสอบ และทำการใช้ตะปูตอกยึดแผ่นเป้าควบคุมภาคพื้นดินให้ติดกับพื้นผิวภูมิประเทศ จากนั้นจึงทำการบินเก็บข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศโดยอากาศยานไร้คนขับในช่วงวันที่ 20 เมษายน 2561 ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ปริมาณน้ำในแม่น้ำลำภาชี

ค่อนข้างตื้นเขินมองเห็นท้องน้ำในบางช่วง พร้อมทั้งทำการสำรวจรังวัดข้อมูลจุดควบคุมภาคพื้นดินจำนวนทั้งหมด 23 ตำแหน่ง ครอบคลุมพื้นที่บริเวณตลิ่งซ้าย และขวาของแม่น้ำด้วยวิธีการสำรวจรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ ซึ่งทำการตั้งสถานีหลัก (Base station) บนหมุดที่ทราบค่าของกรมทางหลวง (รหัสหมุด KRI-0086) บริเวณกิโลเมตรที่ 25+100 อำเภอด่านมะขามเตี้ย เพื่อส่งข้อมูลค่าแก้ต่างๆ ไปยังสถานีจร (Rover station) ทำให้ทราบค่าพิกัด (X, Y และ Z) ณ ตำแหน่งที่ต้องการทราบค่า ลักษณะการปฏิบัติงานแสดงดังภาพที่ 2

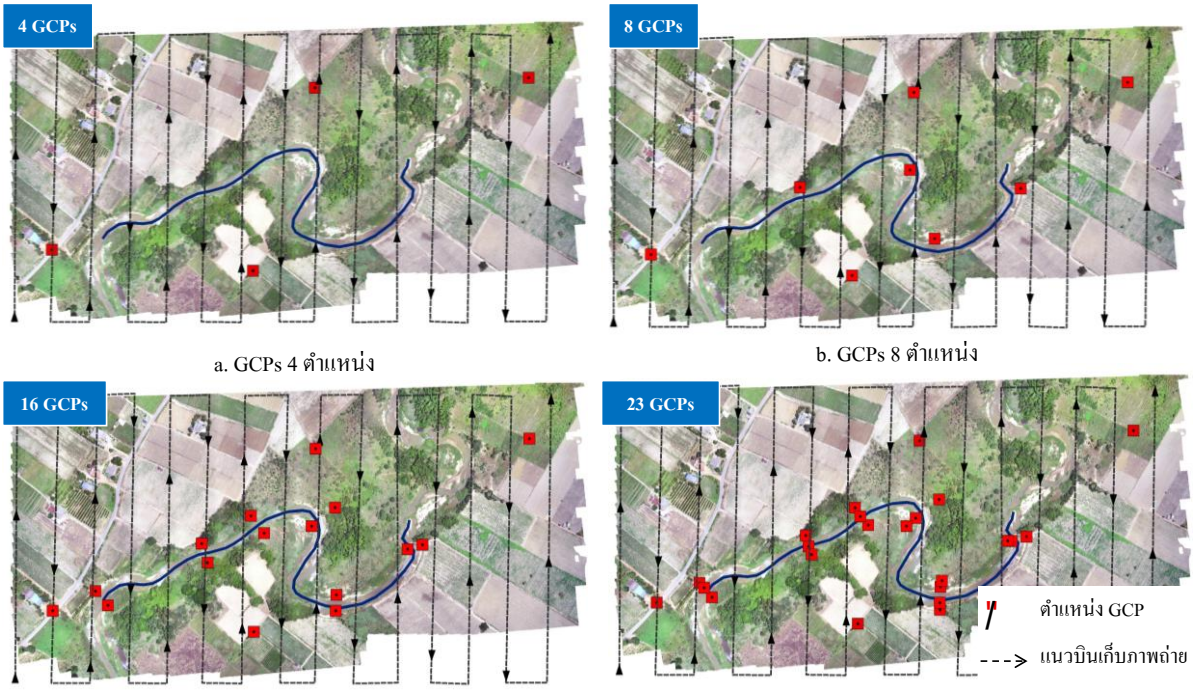
ภาพที่ 2 การเก็บตำแหน่งจุดควบคุมภาคพื้นดิน (GCPs)

3. ประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศ

ทำการประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับ ด้วยโปรแกรม Agisoft Photoscan โดยใช้จุดควบคุมภาคพื้นดินโดยแบ่งปัน 4 กรณี เพื่อเปรียบเทียบความถูกต้องทางตำแหน่งโดย กรณีที่ 1 ใช้จุดควบคุมภาคพื้นดินจำนวน 4 ตำแหน่ง บริเวณทั้ง 4 มุมของลำน้ำ กรณีที่ 2 ใช้จุดควบคุมภาคพื้นดินจำนวน 8 ตำแหน่ง บริเวณทั้ง 4 มุมของลำน้ำและริมตลิ่งฝั่งขวา หรือ ริมตลิ่งฝั่งซ้ายของแต่ละช่วง กรณีที่ 3 ใช้จุดควบคุมภาคพื้นดินจำนวน 16 ตำแหน่ง บริเวณทั้ง 4 มุมของลำน้ำ และบริเวณริมตลิ่งขวา และ ตลิ่งซ้ายของแต่ละช่วง และ กรณีที่ 4 ใช้จุดควบคุมภาคพื้นดินจำนวน 23 ตำแหน่ง บริเวณทั้ง 4 มุมของลำน้ำ บริเวณริมตลิ่งขวา กลางลำน้ำ และ ตลิ่งซ้ายของแต่ละช่วง ดังแสดงในภาพที่ 3 ซึ่งแต่ละกรณีทำให้ได้ผลลัพธ์ใน 2 ลักษณะดังนี้

3.1 ภาพดัดแก้เชิงเลข เป็นภาพถ่ายทางอากาศหรือภาพถ่ายจากดาวเทียมในแนวดิ่ง ซึ่งจะขจัดการบิดเบี้ยวที่เกิดจากความสูงต่ำและความลาดเอียงที่แตกต่างกันของภูมิประเทศ เพื่อว่าภาพที่ได้จะแสดงวัตถุต่างๆ เสมือนมองจากด้านบน

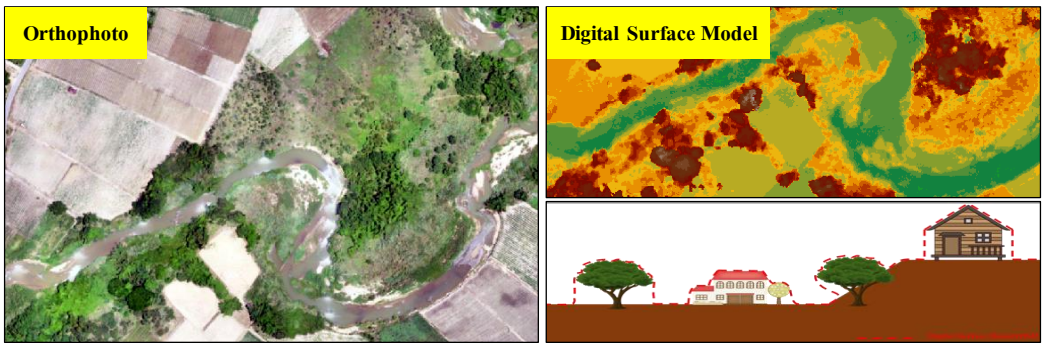
3.2 แบบจำลองพื้นผิวดิจิทัล (Digital Surface Model: DSM) เป็นการจำลองความสูงของภูมิประเทศ และจัดเก็บให้อยู่ในรูปแบบตารางกริดหรือข้อมูลแรสเตอร์ โดยรวมความสูงของสิ่งปกคลุมพื้นผิวทางกายภาพของโลกด้วย เช่น สิ่งปลูกสร้าง ต้นไม้ และพุ่มไม้ เป็นต้น



a. GCPs 4 ตำแหน่ง b. GCPs 8 ตำแหน่ง

c. GCPs 16 ตำแหน่ง d. GCPs 23 ตำแหน่ง

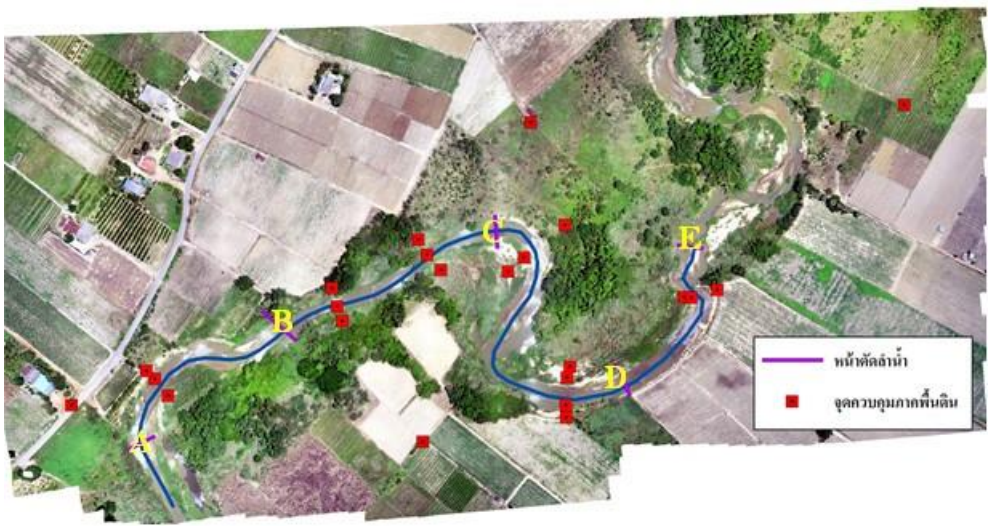
ภาพที่ 3 ตำแหน่งจุดควบคุมภาคพื้นดิน และแนวบินเก็บภาพถ่ายทางอากาศ



ภาพที่ 4 ตัวอย่างผลลัพธ์จากการประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศ

4. สำรวจรูปตัดขวางลำน้ำ

ทำการสำรวจรูปตัดลำน้ำในแม่น้ำลำภาชี เป็นระยะทางประมาณ 1 กิโลเมตรตามลำน้ำ จำนวน 5 รูปตัด โดยเลือกช่วงลำน้ำที่มีลักษณะที่แตกต่างกันทางกายภาพ (รูปตัด A และ E ลำน้ำมีลักษณะค่อนข้างแคบมีสันดอนทราย รูปตัด B ลำน้ำมีลักษณะกว้างมีวัชพืชและต้นไม้บริเวณริมตลิ่ง และรูปตัด C และ D บริเวณตลิ่งทั้ง 2 ฝั่งโล่งวัชพืชน้อย) โดยใช้การสำรวจรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ ตำแหน่งรูปตัดลำน้ำและลักษณะการปฏิบัติงานแสดงดังภาพที่ 5 และภาพที่ 6 ตามลำดับ



ภาพที่ 5 ตำแหน่งรูปตัด 5 ตำแหน่ง

ภาพที่ 6 การสำรวจรูปตัดลำน้ำ

5. การประเมินความถูกต้องทางตำแหน่ง

การประเมินความถูกต้องทางตำแหน่ง (Punyo, 2019) สามารถอธิบายด้วยค่าที่คลาดเคลื่อนไปจากค่าที่แท้จริง ถือว่าเป็นความผิดพลาดทางเรขาคณิตของข้อมูล ซึ่งอาจมีผลมาจากการได้มาซึ่งข้อมูลทั้งจากระบบสำรวจและระบบการประมวลผลภาพ การประเมินความถูกต้องทางตำแหน่งของข้อมูลเป็นการสร้างความเชื่อมั่นในการนำข้อมูลไปใช้ ซึ่งค่าความละเอียดถูกต้องทางตำแหน่งสามารถรายงานเป็นระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ของตำแหน่งทดสอบ ตัวชี้วัดความถูกต้องทางตำแหน่งสามารถอธิบายด้วยค่าความคลาดเคลื่อนที่หาจากวิธีการทางสถิติ ดังนี้

5.1 ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (Mean Square Error; MSE)

$$MSE_z = \frac{1}{n}\sum_{0i=1}^{n}(Z_{0i} - Z_{GNSSi})^2 \quad (1)$$

5.2 ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนรากกำลังสอง (Root Mean Square Error ; RMSE)

$$RMSE_z = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(Z_{0i} - Z_{GNSSi})^2}{n}} \quad (2)$$

5.3 ค่าความคลาดถูกต้องแนวดิ่ง

$$\text{Accuracy}_Z = 1.9600 \text{ X } \text{RMSE}_Z \quad (3)$$

โดยที่ Z_{0i} คือ ค่าพิกัดของค่าที่วัดได้

Z_{GNSS} คือ ค่าพิกัดจริงที่ถูกต้อง

n คือ จำนวนค่าที่ทำการสำรวจรังวัด ซึ่งค่าตัวชี้วัดทั้งสาม ควรมีค่ายิ่งน้อย ความถูกต้องทางตำแหน่งยิ่งมากขึ้น

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

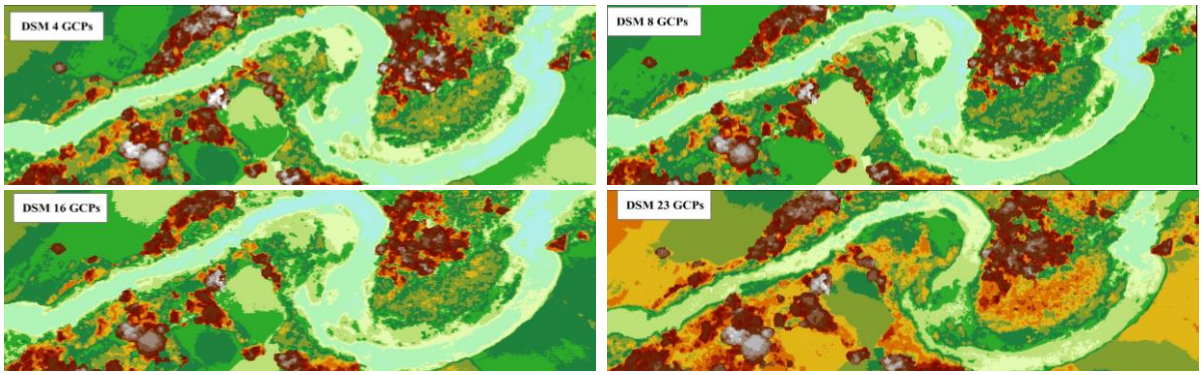
จากการศึกษาสำรวจรังวัดรูปตัดขวางลำน้ำโดยอากาศยานไร้คนขับในแม่น้ำลำภาชี ได้ผลการศึกษาดังนี้

1. การประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศ

จากการประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับ (Nagendran *et al*., 2018) จุดควบคุมภาคพื้นดินมีความสำคัญในการสร้างผลลัพธ์ที่มีความถูกต้องแม่นยำ จึงทำการประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศโดยใช้จุดควบคุมภาคพื้นดินจำนวน 4 กรณี โดยใช้จุดควบคุมภาคพื้นดิน ในการปรับแก้ความถูกต้องของภาพถ่ายทางอากาศด้วยจุดควบคุมภาคพื้นดินที่มีจำนวนที่แตกต่างกัน ทำให้ได้ผลลัพธ์ของแบบจำลองพื้นผิวดิจิทัลที่มีความแตกต่างกัน โดยในกรณีที่ 1 ที่ใช้จุดควบคุมภาคพื้นดิน 4 ตำแหน่ง มีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนรากกำลังสองทางราบ และทางดิ่งเท่ากับ 0.35 มิลลิเมตร และ 0.02 มิลลิเมตร ตามลำดับ และมีความสูงของพื้นผิวอยู่ระหว่าง 32.91 - 56.19 เมตรเทียบกับระดับน้ำทะเลปานกลาง กรณีที่ 2 ที่ใช้จุดควบคุมภาคพื้นดิน 8 ตำแหน่ง มีค่าค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนรากกำลังสองทางราบ และทางดิ่งเท่ากับ 0.41 มิลลิเมตร และ 0.17 มิลลิเมตร ตามลำดับ และมีความสูงของพื้นผิวอยู่ระหว่าง 30.23 - 62.16 เมตรเทียบกับระดับน้ำทะเลปานกลาง กรณีที่ 3 ที่ใช้จุดควบคุมภาคพื้นดิน 16 ตำแหน่ง มีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนรากกำลังสองทางราบ และทางดิ่งเท่ากับ 5.91 และ 3.31 มิลลิเมตร และมีความสูงของพื้นผิวอยู่ระหว่าง 27.85 - 63.37 เมตรเทียบกับระดับน้ำทะเลปานกลาง และ กรณีที่ 4 ที่ใช้จุดควบคุมภาคพื้นดิน 23 ตำแหน่ง มีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนรากกำลังสองทางราบและทางดิ่งเท่ากับ 6.92 และ 5.27 มิลลิเมตร และ มีความสูงของพื้นผิวอยู่ระหว่าง 20.54 - 64.71 เมตรเทียบกับระดับน้ำทะเลปานกลาง รายละเอียดของแบบจำลองพื้นผิวดิจิทัลแสดงดังตารางที่ 1 ซึ่งแบบจำลองพื้นผิวดิจิทัลที่ได้ทั้ง 4 กรณี มีค่าความละเอียด 0.13 × 0.13 เมตร ผลลัพธ์แสดงดังภาพที่ 7 และ ภาพถ่ายออร์โธสีมีความละเอียดของภาพถ่ายทางอากาศเท่ากับ 0.33 × 0.33 เมตร

ตารางที่ 1 ผลของแบบจำลองพื้นผิวดิจิทัล

Case	GCPs	RMSE (mm)			Elevation (m)	
		X	Y	Z	Minimum	Maximum
1	4	0.15	0.31	0.02	32.91	56.16
2	8	0.23	0.34	0.17	30.23	62.16
3	16	4.66	3.63	3.31	27.85	63.37
4	23	5.23	4.53	5.27	20.54	64.71



ภาพที่ 7 แบบจำลองดิจิทัลที่ได้จากการประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศ

2. การสำรวจรูปตัดขวางลำน้ำ

ผลการสำรวจรูปตัดลำน้ำระยะทางประมาณ 1 กิโลเมตร จำนวน 5 รูปตัด โดยแต่ละรูปตัดมีความกว้างของลำน้ำตั้งแต่ตลิ่งขวาถึงตลิ่งซ้ายอยู่ในช่วงประมาณ 23 - 40 เมตร ซึ่งลักษณะรูปตัดขวางลำน้ำที่เลือกบางช่วงของรูปตัดขวางลำน้ำจะมีลักษณะที่ค่อนข้างแคบ และคดงอตามลำน้ำ เพื่อให้เกิดลักษณะที่แตกต่างกันของแต่ละรูปตัด ตำแหน่งรูปตัดลำน้ำที่เลือก และรายละเอียดแสดงดังตารางที่ 2 ตามลำดับ

ภาพ**ที่ 8** ตำแหน่งรูปตัด 5 ตำแหน่ง

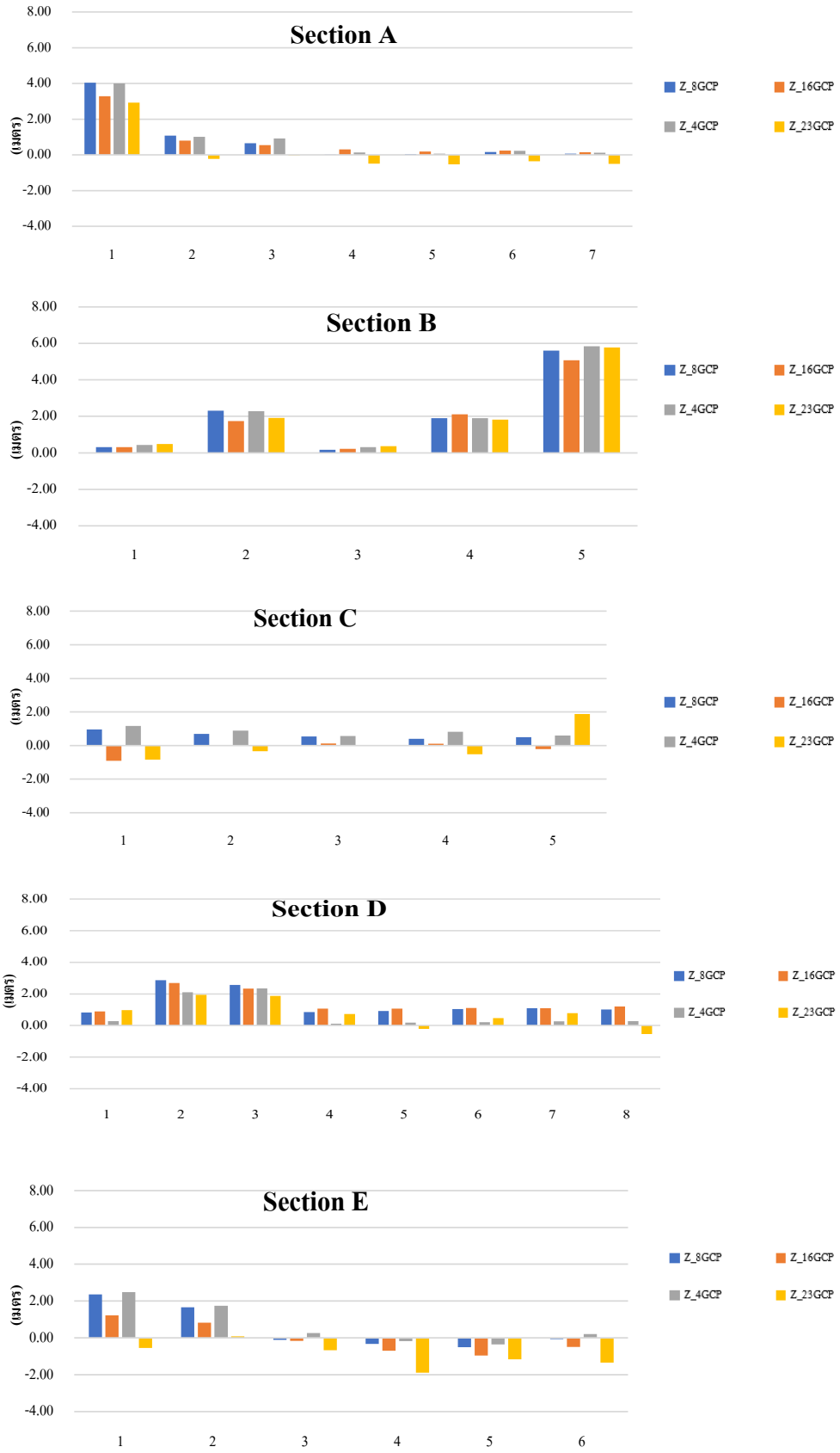
ตารางที่ 2 รายละเอียดตำแหน่งรูปตัดลำน้ำ

Sections	X	Y	Number of check points	Distance (m)
A	541358.85	1532128.91	7	36.7
B	541520.32	1532193.25	5	22.35
C	541657.14	1532261.65	5	31
D	541776.06	1532129.86	8	34
E	541836.50	1532244.31	6	23.7

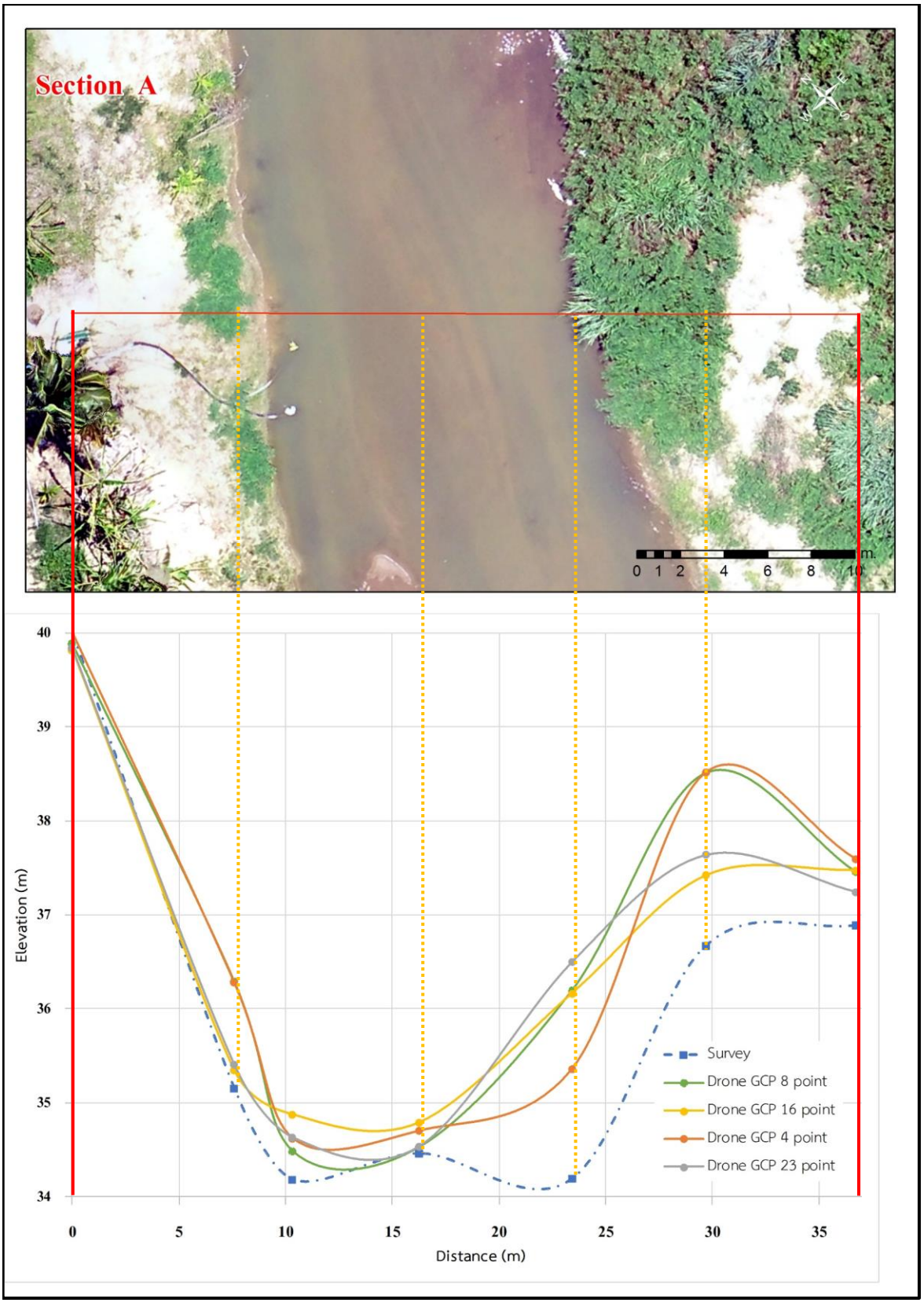
และเมื่อทำการเปรียบเทียบรูปตัดขวางลำน้ำที่ได้จากแบบจำลองพื้นผิวดิจิทัลซึ่งได้จากการประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศ กับผลสำรวจรูปตัดลำน้ำที่ได้จากการสำรวจรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ จำนวน 5 รูปตัดลำน้ำ พบว่ากรณีที่ 1 รูปตัดขวางลำน้ำจากแบบจำลองพื้นผิวดิจิทัลที่ได้จากการผลภาพถ่ายทางอากาศโดยใช้จุดควบคุมภาคพื้นดินจำนวน 4 ตำแหน่ง มีผลต่างทางดิ่งแต่ละรูปตัดเฉลี่ยอยู่ระหว่าง ± 6.64 เมตร ทำให้ค่าคลาดเคลื่อน (error) ของแต่ละรูปตัดอยู่ระหว่าง 4 - 12 เมตร กรณีที่ 2 รูปตัดขวางลำน้ำจากแบบจำลองพื้นผิวดิจิทัลที่ได้จากการผลภาพถ่ายทางอากาศโดยใช้จุดควบคุมภาคพื้นดินจำนวน 8 ตำแหน่ง มีผลต่างทางดิ่งแต่ละรูปตัดเฉลี่ยอยู่ระหว่าง ± 7.17 เมตร ทำให้ค่าคลาดเคลื่อนของแต่ละรูปตัดอยู่ระหว่าง 4 - 11 เมตร กรณีที่ 3 รูปตัดขวางลำน้ำจากแบบจำลองพื้นผิวดิจิทัลที่ได้จากการผลภาพถ่ายทางอากาศโดยใช้จุดควบคุมภาคพื้นดินจำนวน 16 ตำแหน่ง มีผลต่างทางดิ่งแต่ละรูปตัดเฉลี่ยอยู่ระหว่าง ± 6.25 เมตร ทำให้ค่าคลาดเคลื่อนของแต่ละรูปตัดอยู่ระหว่าง 1 - 11 เมตร และกรณีที่ 4 รูปตัดขวางลำน้ำจากแบบจำลองพื้นผิวดิจิทัลที่ ได้จากการผลภาพถ่ายทางอากาศโดยใช้จุดควบคุมภาคพื้นดินจำนวน 23 ตำแหน่ง มีผลต่างทางดิ่งแต่ละรูปตัดเฉลี่ยอยู่ระหว่าง ± 6.29 เมตร ทำให้ค่าคลาดเคลื่อนของแต่ละรูปตัดอยู่ระหว่าง 3 - 10 เมตร ผลต่างของรูปตัดขวางลำน้ำจากแบบจำลองพื้นผิวดิจิทัลแสดงดังตารางที่ 3 และ ภาพที่ 8 และแสดงรูปตัดขวางลำน้ำทั้ง 5 รูปตัดในภาพที่ 9 ถึงภาพที่ 14 ซึ่งเป็นไปตามการศึกษาของ (Agüera-Vega *et al*., 2017) พบว่าการเพิ่มจำนวน จุดควบคุมภาคพื้นดิน มีอิทธิพลต่อความแม่นยำในแนวราบ ส่วนความแม่นยำในแนวดิ่งไม่ได้รับอิทธิพลจากสัณฐานภูมิประเทศ

ตารางที่ 3 ผลต่างของแบบจำลองพื้นผิวดิจิทัลในแต่ละกรณี

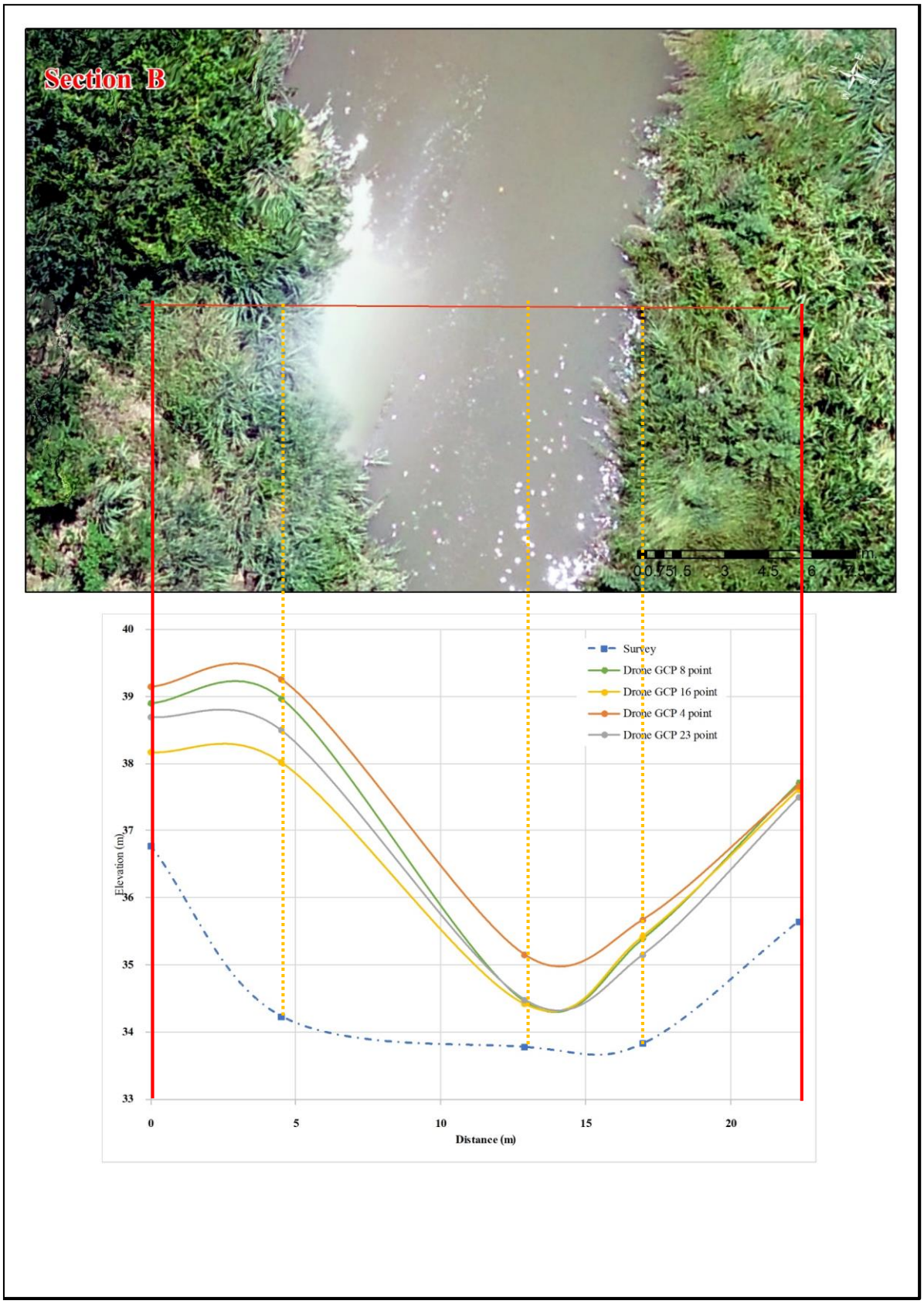
Sections	4 GCPs (m)			8 GCPs (m)			16 GCPs (m)			23 GCPs (m)		
	+ΔZ	-ΔZ	ΔZ	+ΔZ	-ΔZ	ΔZ	+ΔZ	-ΔZ	ΔZ	+ΔZ	-ΔZ	ΔZ
A	5.51	0	5.52	5.94	-0.12	6.05	4.51	-0.19	4.69	4.4	-0.17	4.57
B	12.ก	0	12.64	11.19	0	11.19	9.39	0	9.39	10.08	0	10.08
C	4.04	0	4.04	3.09	0	3.09	0.24	-1.11	1.35	1.89	-1.69	3.58
D	5.78	0	5.78	11.16	0	11.16	11.45	0	11.45	6.75	-0.76	7.5
E	4.69	-0.54	5.23	3.69	-0.68	4.37	2.05	-2.32	4.37	0.08	-5.61	5.69
Average			**6.64**			**7.17**			**6.25**			**6.29**



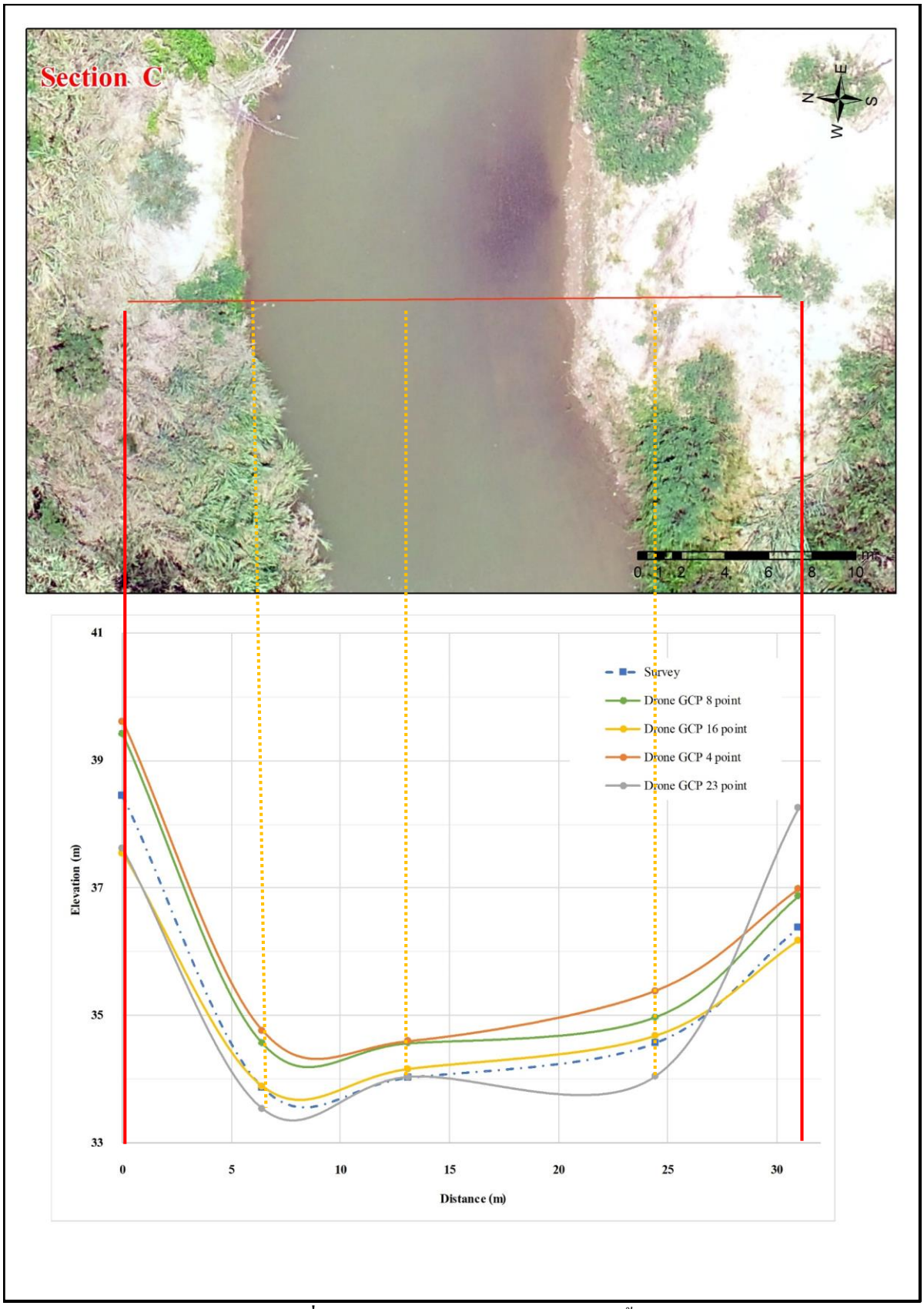
ภาพที่ 9 ผลต่างในแนวดิ่งของแบบจำลองพื้นผิวดิจิทัลเทียบกับรูปตัดลำน้ำที่ได้จากการสำรวจด้วยดาวเทียมแบบจลน์



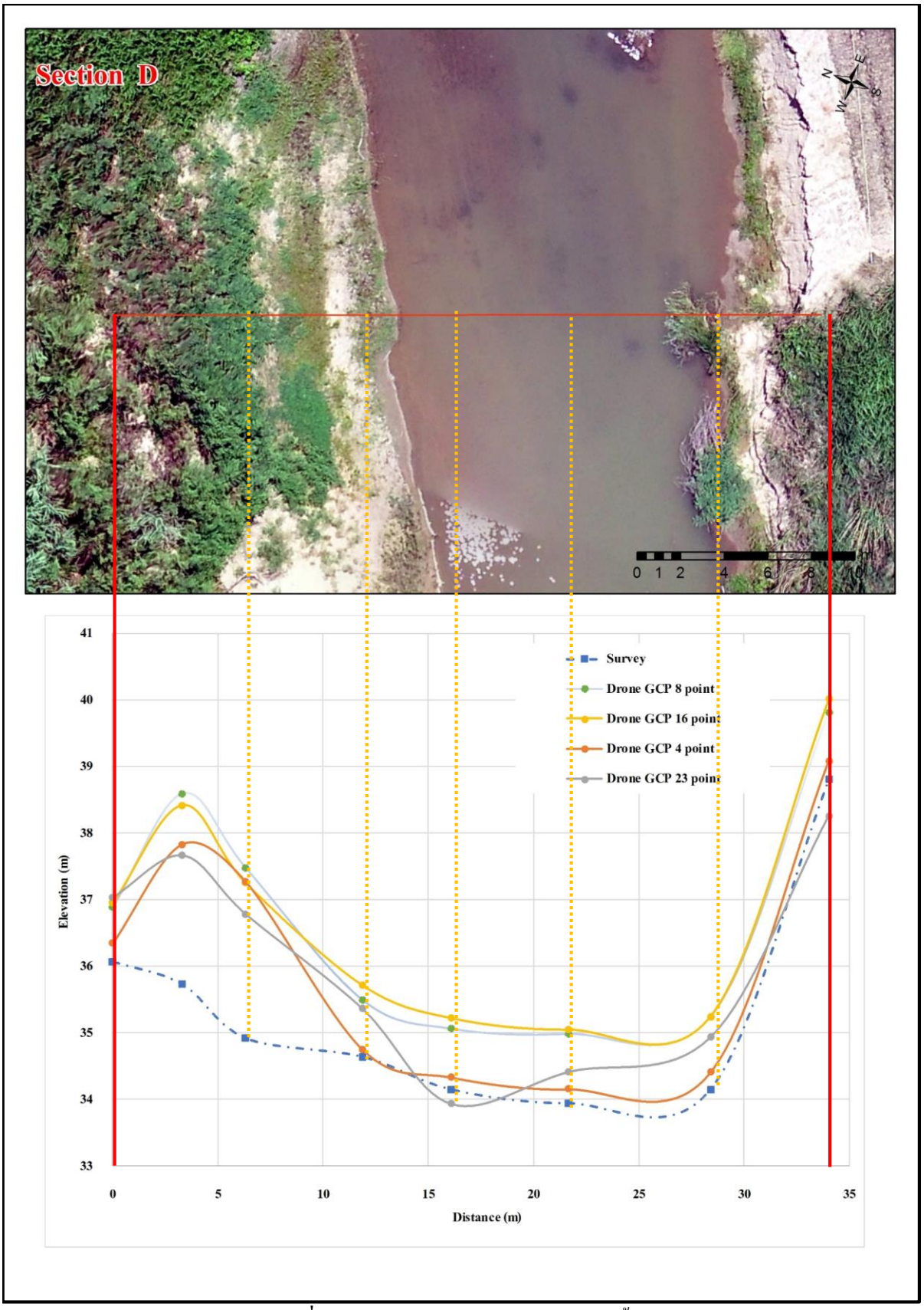
ภาพที่ 10 ผลการสำรวจรังวัดรูปตัดขวางลำน้ำ A



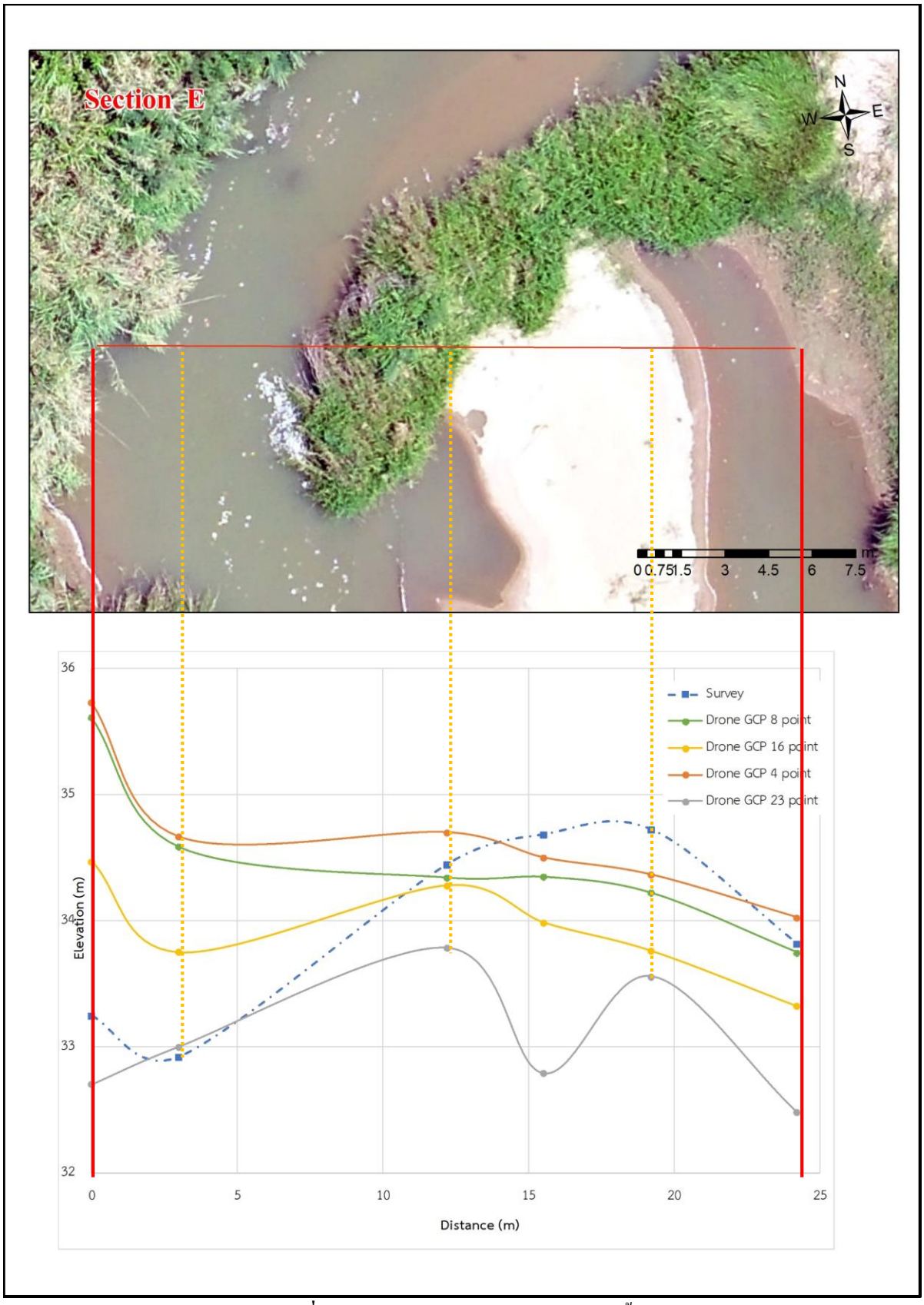
ภาพที่ 11 ผลการสำรวจรังวัดรูปตัดขวางลำน้ำ B



ภาพที่ 12 ผลการสำรวจรังวัดรูปตัดขวางลำน้ำ C



ภาพที่ 13 ผลการสำรวจรังวัดรูปตัดขวางลำน้ำ D



ภาพที่ 14 ผลการสำรวจรังวัดรูปตัดขวางลำน้ำ E

3. การประเมินความถูกต้องทางตำแหน่ง

การประเมินความถูกต้องทางตำแหน่งของรูปตัดขวางลำน้ำจากแบบจำลองพื้นผิวดิจิทัลที่ได้จากการประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศจำนวน 4 กรณี โดยใช้จุดควบคุมภาคพื้นดินจำนวน 4, 8, 16, และ 23 ตำแหน่ง เพื่อนำมาประยุกต์ใช้กับงานสำรวจรูปตัดขวางของลำน้ำ จึงทำการตรวจสอบความถูกต้องทางตำแหน่งจำนวน 5 รูปตัดลำน้ำ ประกอบด้วย A, B, C, D และ E เมื่อนำผลสำรวจรูปตัดลำน้ำที่ได้จากการสำรวจรังวัดดาวเทียมแบบจลน์ และผลสำรวจรูปตัดลำน้ำที่ได้จากการประมวลผลแบบจำลองพื้นผิวดิจิทัล ทำการตรวจสอบความถูกต้อง พบว่า

กรณีที่ 1 ใช้จุดควบคุมภาคพื้นดินจำนวน 4 ตำแหน่ง รูปตัด A, B, C,D และ E มีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสอง เท่ากับ 0.79, 2.53, 0.81, 0.72 และ 0.69 เมตร ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าผลสำรวจรูปตัดลำน้ำที่ได้จากการสำรวจรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ และเมื่อทำการตรวจสอบความถูกต้องของแต่ละรูปตัดพบว่ามีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนรากกำลังสองของแต่ละรูปตัดเท่ากับ 0.98, 2.84, 0.84, 1.13 และ 1.26 เมตร ตามลำดับ หากพิจารณาตามมาตรฐาน NSSDA ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 มีค่าเท่ากับ 1.93, 5.56, 1.64, 2.22 และ 2.47 เมตร ตามลำดับ

กรณีที่ 2 ใช้จุดควบคุมภาคพื้นดินจำนวน 8 ตำแหน่ง รูปตัด A, B, C,D และ E มีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสอง เท่ากับ 0.83, 2.24, 0.62, 1.39 และ 0.50 เมตร ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าผลสำรวจรูปตัดลำน้ำที่ได้จากการสำรวจรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ และเมื่อทำการตรวจสอบความถูกต้องของแต่ละรูปตัดพบว่ามีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนรากกำลังสองของแต่ละรูปตัดเท่ากับ 1.14, 2.62, 0.65, 1.59 และ 1.21 เมตร ตามลำดับ หากพิจารณาตามมาตรฐาน NSSDA ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 มีค่าเท่ากับ 2.24, 5.13, 1.27, 3.12 และ 2.37 เมตร ตามลำดับ

กรณีที่ 3 ใช้จุดควบคุมภาคพื้นดินจำนวน 16 ตำแหน่ง รูปตัด A, B, และ D มีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสอง เท่ากับ 0.62, 1.88 และ 1.43 เมตร ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าผลสำรวจรูปตัดลำน้ำที่ได้จากการสำรวจรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ ส่วนรูปตัด C และ E มีค่าค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสองเท่ากับ -0.17 และ -0.04 เมตร เมื่อทำการตรวจสอบความถูกต้องรูปตัด A, B, C, D และ E พบว่ามีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนรากกำลังสอง ของแต่ละรูปตัดเท่ากับ 0.88, 2.15, 0.42, 1.57 และ 0.80 เมตร ตามลำดับ หากพิจารณาตามมาตรฐาน NSSDA ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 มีค่าเท่ากับ 1.73, 4.21, 0.83, 3.07 และ 1.57 เมตร ตามลำดับ

กรณีที่ 4 ใช้จุดควบคุมภาคพื้นดินจำนวน 23 ตำแหน่ง รูปตัด A, B, C และ D มีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสอง เท่ากับ 0.60, 2.02, 0.04 และ 0.75 เมตร ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าผลสำรวจรูปตัดลำน้ำที่ได้จากการสำรวจรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ส่วนรูปตัด E มีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสองเท่ากับ -0.92 เมตร เมื่อทำการตรวจสอบความถูกต้องรูปตัด A, B, C, D และ E พบว่ามีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนรากกำลังสอง ของแต่ละรูปตัดเท่ากับ 0.98, 2.35, 0.96, 1.11 และ 1.12 เมตร ตามลำดับ หากพิจารณาตามมาตรฐาน NSSDA ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 มีค่าเท่ากับ 1.91, 4.61, 1.88, 2.18 และ 2.19 เมตร ตามลำดับ

รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 4 และ ตารางที่ 5 (Alganci *et al*., 2018) พบว่าการประเมินความแม่นยำของแบบจำลองภูมิประเทศ กรณีที่มีสิ่งปกคลุมดิน PHR และ SPOT DSM มีความแม่นยำสูงสุด โดยมีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนรากกำลังสอง อยู่ระหว่าง 4.23 - 5.09 เมตร ALOS DSM มีผลลัพธ์ที่น่าพอใจโดยมีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนรากกำลังสองเท่ากับ 5.91 เมตร และ SRTM และ ASTER DSM มี

ความแม่นยำที่แย่ที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนรากกำลังสอง อยู่ระหว่าง 6.49 - 6.92 เมตร ซึ่งจะเห็นว่าค่าความถูกต้องแม่นยำของแบบจำลองภูมิประเทศที่ใช่อยู่ในปัจจุบันนั้น มีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนรากกำลังสอง ที่สูงกว่าแบบจำลองพื้นผิวดิจิทัลที่ได้จากภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ

ตารางที่ 4 การตรวจสอบความถูกต้องทางตำแหน่งของแบบจำลองพื้นผิวดิจิทัลในแต่ละรูปตัด

Sections	4 GCPs		8 GCPs		16 GCPs		23 GCPs	
	Mean Error(m)	RMSE (m)	Mean Error (m)	RMSE (m)	Mean Error (m)	RMSE (m)	Mean Error (m)	RMSE (m)
A	0.79	0.98	0.83	1.14	0.62	0.88	0.60	0.98
B	2.53	2.84	2.24	2.62	1.88	2.15	2.02	2.35
C	0.81	0.84	0.62	0.65	-0.17	0.42	0.04	0.96
D	0.72	1.13	1.39	1.59	1.43	1.57	0.75	1.11
E	0.69	1.26	0.50	1.21	-0.04	0.80	-0.92	1.12
Mean		**0.57**		**0.53**		**0.56**		**0.42**

ตารางที่ 5 ความถูกต้องของแบบจำลองพื้นผิวดิจิทัลตามมาตรฐาน NSSDA ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

Sections	NSSDA Vertical Accuracy$_z$ (ACCr) at 95% Confidence Level			
	4 GCPs	8 GCPs	16 GCPs	23 GCPs
A	1.93	2.24	1.73	1.91
B	5.56	5.13	4.21	4.61
C	1.64	1.27	0.83	1.88
D	2.22	3.12	3.07	2.18
E	2.47	2.37	1.57	2.19
Mean	**1.12**	**1.04**	**1.09**	**0.82**

จุดควบคุมภาพพื้นดินมีอิทธิพลต่อความแม่นยำของแบบจำลองพื้นผิวดิจิทัล (Nagendran *et al*., 2018) พบว่าความแม่นยำที่ดีขึ้นมากจากการกระจายตัวได้ดีของจุดควบคุมภาคพื้นดินในพื้นที่การศึกษา ส่วน (Agüera-Vega *et al*., 2017) พบว่าการเพิ่มจำนวนจุดควบคุมภาคพื้นดินมีอิทธิพลต่อความแม่นยำ ในแนวราบเมื่อจำนวนจุดควบคุมภาคพื้นดินเพิ่มขึ้นความแม่นยำก็เพิ่มขึ้นเช่นกัน ส่วนความแม่นยำในแนวดิ่งไม่ได้รับอิทธิพลจากสัณฐานภูมิประเทศ (Tangpoomjit *et al*., 2020) ความถูกต้องในแนวดิ่งเริ่มคงที่ตั้งแต่ 8 จุด สอดคล้องกับการวางจุดจุดควบคุมภาคพื้นดินในพื้นที่ศึกษาที่สม่ำเสมอ และ (Mazzoleni *et al*., 2020) ได้กล่าวว่า อย่างไรก็ตามรูปตัดลำน้ำที่ได้จาก LiDAR และอากาศยานไร้คนขับมักมีค่าระดับสูงกว่าค่าระดับจริง ซึ่งจากศึกษาครั้งนี้การเพิ่มจำนวนจุดควบคุมภาพพื้นดินมีผลต่อ

ความแม่นยำเพิ่มที่เพิ่มขึ้น โดยรูปตัดขวางลำน้ำจากแบบจำลองพื้นผิวดิจิทัลที่มีจุดควบคุมภาพพื้นดินจำนวน 23 ตำแหน่ง ให้ค่าความถูกต้องดีที่สุด และยังพบว่าค่าระดับที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับส่วนใหญ่มีระดับสูงกว่าค่าระดับจริงที่ได้จากการสำรวจรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์

สรุป

การสำรวจรูปตัดลำน้ำด้วยแบบจำลองพื้นผิวดิจิทัลที่ได้จากอากาศจากอากาศยานไร้คนขับ โดยใช้จุดควบคุมภาคพื้นดินจำนวน 4 กรณี ดังกล่าวในหัวข้อข้างต้น เพื่อให้เกิดความแม่นยำของรูปตัดขวางลำน้ำจากแบบจำลองพื้นผิวดิจิทัล โดยทำการเปรียบเทียบกับผลสำรวจรูปตัดขวางลำน้ำจำนวน 5 รูปตัด ด้วยวิธีการสำรวจรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์

1. จากผลข้างต้นพบว่ากรณีที่ 4 รูปตัดขวางลำน้ำจากแบบจำลองพื้นผิวดิจิทัลที่ใช้จุดควบคุมภาคพื้นดิน 23 ตำแหน่ง ที่มีจุดควบคุมภาคพื้นดินบริเวณ 4 มุมของลำน้ำ ตลิ่งซ้าย-ขวาของลำน้ำ และกลางลำน้ำที่เป็นสันดอนทราย สามารถให้ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งที่ดีกว่ากรณีที่ 2 กรณีที่ 3 และกรณีที่ 1 ตามลำดับ สามารถตรวจสอบได้จากค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสอง และค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนรากกำลังสอง

2. การเพิ่มจำนวนจุดควบคุมภาคพื้นดินช่วยให้ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งเพิ่มขึ้น แต่เพิ่มขึ้นไม่มาก เนื่องจากบริเวณพื้นที่มีสิ่งที่ปกคลุมดินพื้นผิวภูมิประเทศ เช่น วัชพืช ต้นไม้ สิ่งก่อสร้างต่างๆ เป็นต้น ดังจะเห็นได้จากรูปตัด B เมื่อเปรียบเทียบความถูกต้องทางตำแหน่งของแบบจำลองพื้นผิวดิจิทัลทั้ง 4 กรณี รูปตัด B มีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสองที่สูงกว่ารูปตัดอื่นๆ

ข้อเสนอแนะ

การใช้แบบจำลองพื้นผิวดิจิทัลที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับในงานสำรวจรูปตัดลำน้ำยังคงมีข้อจำกัดอยู่หลายอย่าง เช่น ความสูงของต้นไม้บริเวณตลิ่งซ้ายและตลิ่งขวา การสะท้อนของผิวน้ำ เนื่องจากการสำรวจด้วยภาพถ่ายที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับไม่สามารถถ่ายภาพผ่านทะลุน้ำได้ เป็นต้น นอกจากนี้การสำรวจรังวัดรูปตัดลำน้ำด้วยการสำรวจด้วยดาวเทียมแบบจลน์ ก็ยังมีค่าความคาดเคลื่อนจากความเป็นจริงอยู่ด้วย

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสนที่สนับสนุนอุปกรณ์ในการเก็บข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศ ขอขอบคุณคณะทำงานที่ช่วยในการเก็บข้อมูลภาคสนาม รวมถึงประชาชนในตำบลด่านมะขามเตี้ย พื้นที่ทำวิจัยที่อนุญาตให้ใช้พื้นที่ในการเข้าพื้นที่เก็บข้อมูลสนาม

เอกสารอ้างอิง

Agüera-Vega, F., Carvajal-Ramírez, F. and Martínez-Carricondo, P. 2017. Accuracy of Digital Surface Models and Orthophotos Derived from Unmanned Aerial. **Journal of Surveying Engineering** 143(2): 04016025.

Alganci, U., Besol, B. and Sertel, E. 2018. Accuracy assessment of different digital surface models. **International Journal of Geo-Information** 7(3): 114.

Chaninchoduek, M. and Taesombat, W. 2020. Accuracy of UAV based photogrammetry for DSM

generation on different flying heights. **Engineering Journal Chiang Mai University** 27(3): 1-14. (in Thai)

Kunii, Y. 2018. Development of UAV Photogrammetry Method by Using Small Number of Vertical Images. **Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information** 2(2): 169-175.

Langhammer, J., Bernsteinová, J. and Mirijovsky, J.J.W. 2017. Building a high - precision 2D hydrodynamic flood model using UAV photogrammetry and sensor network monitoring. **Water** 9(11): 861.

Mazzoleni, M., Paron, P., Reali, A., Juizo, D., Manane, J. and Brandimarte, L. 2020. Testing uav-derived topography for hydraulic modelling in a tropical environment. **Natural Hazards** 103: 139-163.

Nagendran, S.K., Tung, W.Y., Ashraf, M. and Ismail, M. 2018. Accuracy assessment on low altitude UAV-borne photogrammetry outputs influenced by ground control point at different altitude. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science** 169: 012031.

Punyo, A. 2019. **Flood area analysis by Unmanned Aerial Vehicle, A case study of the Pasak river basin, Lom Sak district, Phetchabun province.** Report of Hydrologist (professional level), Royal Irrigation Department. (in Thai)

Rinaldi, P., Larrabide, I. and D'Amato, J. 2019. Drone Based DSM Reconstruction for Flood Simulations in Small Areas A Pilot Study, pp. 758-764. *In* **WorldCIST'19 2019.** New Knowledge in Information Systems and Technologies Volume 1. Springer, ed. Cham, Switzerland.

Santitamnont, P. 2012. **Digital Photogrammetry (Revised edition).** 2nd edition. Chulalongkorn University, Bangkok. (in Thai)

Sooahm, R. and Taejung K. 2015. Automated DSM extraction from UAV images and Performance Analysis, pp. 351-354. *In* **International Conference on Unmanned Aerial Vehicles in Geomatics, 30 Aug-02 Sep 2015**. Canadian Institute of Geomatics, Toronto, Canada.

Tangpoomjit, R., Songsang, S., Pasada, A., Wangyao, K. and Lapichayanggul, T. 2020. The Study of UAV-Photogrammetric Accuracy for Mapping Based on Variation of Ground Control Points, pp. 1944-1951. *In* **The 25th National Convention on Civil Engineering.** The Engineering Institute of Thailand Under H.M. The king's Patronge, Burapha University, Rambhai Barni Rajabhat University, Kasetsart University, Chonburi. (in Thai)

Yutaka, W. and Yoshihisa, K. 2016. UAV photogrammetry for monitoring changes in river topography and vegetation. **Procedia Engineering** 154: 317-325.