



การจำลองผลกระทบของฝายหินทิ้งต่อสิ่งแวดล้อมวิทยาของแม่น้ำลำภาชี

รักษิตินทร์ ยี่หลั่นสุวรรณ และ วิษณุวัฒน์ แต่สมบัติ*

ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

สุประภาพร พัฒนสิ่งทศเนียร

ศูนย์ป้องกันวิกฤตน้ำ กรมทรัพยากรน้ำ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 08 6383 3289 อีเมล: fengwwt@ku.ac.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2021.11.010

รับเมื่อ 5 พฤษภาคม 2563 แก้ไขเมื่อ 1 กรกฎาคม 2563 ตอบรับเมื่อ 17 สิงหาคม 2563 เผยแพร่ออนไลน์ 16 พฤศจิกายน 2564

© 2022 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้เป็นการประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ iRIC Nays2DH เพื่อการวิเคราะห์ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมวิทยาแม่น้ำในปัจจุบันและทำนายผลกระทบในอนาคตร่วมกับการหามาตรการลดผลกระทบที่เหมาะสมและยั่งยืนสำหรับแม่น้ำลำภาชีบริเวณอำเภอด่านมะขามเตี้ย จังหวัดกาญจนบุรี โดยข้อมูลรูปตัดขวางลำน้ำของแม่น้ำลำภาชีสำรวจได้ในช่วงเดือนธันวาคม 2561 มีจำนวน 89 รูปตัด และมีความยาวลำน้ำเท่ากับ 2.145 กิโลเมตร โดยมีระยะห่างระหว่างรูปตัดทุกๆ 25 เมตร สำหรับการปรับเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองได้จากการเปรียบเทียบข้อมูลระดับน้ำรายชั่วโมงที่ได้จากการตรวจวัดที่สถานีฝายระวังและเดือนกยล่องหนาน้ำหลาก-ดินถล่ม STN1006 ของกรมทรัพยากรน้ำกับระดับน้ำที่ได้จากแบบจำลองในช่วงตั้งแต่วันที่ 1 ธันวาคม พ.ศ. 2560 ถึงวันที่ 1 มีนาคม พ.ศ. 2561 ผลที่ได้พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ Manning's n ที่เหมาะสมมีค่าเท่ากับ 0.0287 โดยมีค่าดัชนีทางสถิติของ r , NSE และ RMSE เท่ากับ 0.729, 0.324 และ 0.184 ตามลำดับ หลังจากนั้นแบบจำลองจะถูกใช้การทำนายผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมวิทยาแม่น้ำที่อัตราการไหลตามธรรมชาติและอัตราการไหลที่รอบปีการเกิดซ้ำ 5 และ 10 ปี ผลการศึกษาพบว่า จุดที่เกิดการกัดเซาะและพังทลายของตลิ่งส่วนใหญ่อยู่ตรงบริเวณส่วนโค้งด้านนอกของลำน้ำและตลิ่งฝั่งตรงข้ามจะเกิดการทับถมของตะกอนจนเป็นสันดอนทรายทำให้ลำน้ำเกิดการกวัดแกว่งและยังทำให้สภาพตำแหน่งของท้องน้ำเปลี่ยนแปลงด้วยเช่นกัน โดยกรณีสภาพปัจจุบันที่มีฝายหินทิ้งซึ่งได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของรูปแบบของกรพน้ำทำที่ไหลผ่านด้านท้ายน้ำของฝายหินทิ้งจนทำให้อัตราการไหลเพิ่มสูงขึ้นโดยเฉพาะในช่วงอัตราการไหลสูงโดยอัตราการไหลเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วงร้อยละ 25-65 ของอัตราการไหลเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่มีฝาย ถึงแม้ว่าฝายหินทิ้งจะช่วยชะลอและเก็บกักน้ำได้ดีในช่วงปริมาณน้ำน้อยๆ แต่เมื่อมีอัตราการไหลที่มากขึ้นและล้นข้ามฝายจะทำให้ความสูงของน้ำยกตัวสูงขึ้นกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่มีฝาย น้ำจะไหลด้วยความสูงน้อยกว่าเพราะไม่มีสันฝายมาบดบังระดับน้ำ ความแตกต่างของความสูงของน้ำทำให้ตลิ่งพังได้เร็วขึ้น เพราะฝายทำให้มีผลกระทบต่อระดับน้ำสูงสุดกับต่ำสุดที่แตกต่างกันมากขึ้นเมื่อเทียบกับกรณีไม่มีฝาย ดังนั้นมาตรการที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่นี้คือการปรับปรุงหรือรื้อย้ายฝายหินทิ้งเดิมออกไป จะช่วยลดอัตราการกัดเซาะและพังทลายของตลิ่งลงได้มาก

คำสำคัญ: สิ่งแวดล้อมวิทยาของแม่น้ำ อุทกพลศาสตร์ แม่น้ำลำภาชี แบบจำลองทางสิ่งแวดล้อมวิทยาแบบ 2 มิติ

การอ้างอิงบทความ: รักษิตินทร์ ยี่หลั่นสุวรรณ, วิษณุวัฒน์ แต่สมบัติ และ สุประภาพร พัฒนสิ่งทศเนียร, “การจำลองผลกระทบของฝายหินทิ้งต่อสิ่งแวดล้อมวิทยาของแม่น้ำลำภาชี,” วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, ปีที่ 32, ฉบับที่ 2, หน้า 246-260, เม.ย.-มิ.ย. 2565.



Modeling of the Impact of the Rock Fill Weir on River Morphology of Lam Pha Chi River

Rakbordin Yeelansuwan and Wisuwat Taesombat*

Department of Irrigation Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaengsaen, Kasetsart University Kamphaengsaen Campus, Nakhon Pathom, Thailand

Supapap Patsinghasanee

Water Crisis Prevention Center, Department of Water Resources, Ministry of Natural Resources and Environment, Bangkok, Thailand

* Corresponding Author, Tel. 08 6383 3289, E-mail: fengwwt@ku.ac.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2021.11.010

Received 5 May 2020; Revised 1 July 2020; Accepted 17 August 2020; Published online: 16 November 2021

© 2022 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

Abstract

This research is an application of iRIC Nays2DH mathematical model for existing river morphology analysis and predicting future impacts together with finding appropriate and sustainable mitigation measures for the Lam Pachi River in Dan Makham Tia district, Kanchanaburi. The river cross section data of the Lam Pachi River were surveyed during December 2018 with 89 cross sections and a river length of 2.145 kilometers, with a distance between every 25 meters. The model calibration and verification were obtained by comparing between hourly water level data obtained from the measurements at the Early Flood and Soil Erosion Warning Station STN1006 of the Department of Water Resources and the water level obtained from the model during the period of December 1, 2018 until March 1, 2019. The results showed that the suitable Manning's n roughness coefficient was 0.0287 with the statistical indexes of r , NSE and RMSE equal to 0.729, 0.324 and 0.184 respectively. After that, the model would be applied to predict river morphology effects at natural flow rates and flow rates at recurrence periods of 5 and 10 years. It found that the erosion and collapse of the banks was mainly in the outer curve of the river and the opposite bank, causing sediment to accumulate into sandbanks, causing the river to become brandished and also changing the condition of the river's position as well. In the case of existing condition with rock fill weir that has been affected by changes in the form of the flow pattern that flows through the downstream of the weir, causing the flow rate to increase, especially during the high flow rate range, flow rate increased in the range of 25–65% of the flow rate when compared with the absence of weir. Although rock fill weir will help slow down and retain water well during a small amount of water. However, when there is a higher flow rate and overflowing weir, the height of the water will rise higher when compared to the absence of weir. Water will flow at a lower height because there is no weir to raise the water level. The difference in the height of the water causes the banks to collapse faster. Because weir makes more impact on the highest and lowest water level when compared to the case without weir. Therefore, the appropriate measures for this area are to improve or remove the existing weir. It will greatly reduce the rate of erosion and collapse of the bank.

Keywords: River Morphology, Hydrodynamic, Lam Pha Chi River, A Two-dimensional Morphodynamic Model

Please cite this article as: R. Yeelansuwan, W. Taesombat, and S. Patsinghasanee, "Modeling of the impact of the rock fill weir on river morphology of Lam Pha Chi River," *The Journal of KMUTNB*, vol. 32, no. 2, pp. 246–260, Apr.–Jun. 2022 (in Thai).



1. บทนำ

แม่น้ำหลายสายในประเทศไทยประสบกับปัญหาการกัดเซาะ และการพังทลายของตลิ่งจนก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของท้องน้ำและลำน้ำ อย่างเช่น [1] แม่น้ำโขงบริเวณสามพันโบก อำเภอโพธิ์ไทร จังหวัดอุบลราชธานี [2] แม่น้ำน่าน อำเภอบัว จังหวัดน่าน [3] แม่น้ำมูล อำเภอพิมาย จังหวัดนครราชสีมา รวมถึงแม่น้ำลำภาชีบริเวณพื้นที่ ตำบลบ้านด่านมะขามเตี้ย อำเภอด่านมะขามเตี้ย จังหวัดกาญจนบุรี [4] ในพื้นที่ลุ่มน้ำลำภาชีตอนล่างซึ่งประสบปัญหาการกัดเซาะ และการพังทลายของตลิ่งอยู่เป็นประจำ เนื่องจากสภาพของลำน้ำที่คดเคี้ยว เมื่อเกิดพายุฝนฟ้าคะนองภายในพื้นที่ติดต่อกันหลายวันก่อให้เกิดน้ำท่วมฉับพลันทำให้มีปริมาณน้ำจำนวนมากไหลหลากลงสู่แม่น้ำจนเกิดการเคลื่อนตัวของตะกอนภายในแม่น้ำก่อให้เกิดการกัดเซาะ เป็นสาเหตุที่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สินของประชาชน [5] จากปัญหาดังกล่าวจึงทำให้มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะของลำน้ำ และก่อให้เกิดสันฐานวิทยาที่หลากหลาย เช่น รอยทางน้ำกวดแกว่ง (Meandered Scar) สันดอนทราย (Point Bar) และทางลัด (Cutoffs) อีกทั้งเมื่อ พ.ศ. 2559 สำนักงานทรัพยากรน้ำภาค 7 กรมทรัพยากรน้ำได้ดำเนินการก่อสร้างฝายหินทิ้ง บริเวณตำบลด่านมะขามเตี้ย อำเภอด่านมะขามเตี้ย จังหวัดกาญจนบุรี เพื่อช่วยป้องกันและบรรเทาการกัดเซาะและพังทลายของตลิ่ง โดยมีสถานีวัดน้ำท่าทางด้านเหนือน้ำที่ใกล้ที่สุดคือ สถานีวัดน้ำท่า K.62 ของกรมชลประทาน ซึ่งเริ่มเก็บข้อมูลเมื่อ พ.ศ. 2549 และมีระยะทางห่างจากฝายหินทิ้งประมาณ 16 กิโลเมตร

การศึกษาสันฐานวิทยาของแม่น้ำนั้นเป็นองค์ความรู้เรื่องการศึกษากระบวนการเกิด และการปรับตัว ตลอดจนการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นของแม่น้ำ เนื่องจาก [6] สันฐานวิทยาของแม่น้ำนั้นเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา และยังสามารถทำให้แม่น้ำที่ลักษณะตรงเกิดการคดเคี้ยวหรือโค้งตัวได้ อีกทั้งยังทำให้มีรูปแบบการไหล และการพัดพาของตะกอนสลับซับซ้อนมากยิ่งขึ้นจนเข้าสู่ภาวะสมดุลพลวัต (Dynamic Equilibrium) ของแม่น้ำในรูปแบบทางราบ ความกว้าง ความลึก และรูปตัดขวางการไหลโดยมีอัตราการไหลที่เข้าสู่

แม่น้ำเท่ากับอัตราการไหลที่ออกจากแม่น้ำ ความสมดุลนี้ไม่ได้หมายความว่าแม่น้ำมีรูปร่างลักษณะคงที่ตลอดเวลา แต่ยังคงมีการเปลี่ยนแปลงรูปตัดภายในช่วงของแม่น้ำ ดังนั้นสภาวะสมดุลพลวัตที่แท้จริงของแม่น้ำอาจไม่เคยเกิดขึ้นจริงก็ได้ อย่างไรก็ตาม การศึกษาเกี่ยวกับขั้นตอน และกระบวนการของสันฐานวิทยาของแม่น้ำนั้น มีความซับซ้อนและมีกระบวนการหลากหลายรูปแบบที่ต้องพิจารณา ยกตัวอย่างเช่น [7] ลักษณะและขอบเขตการเคลื่อนตัวของน้ำและตะกอน คุณสมบัติของอนุภาคบริเวณตลิ่งและท้องน้ำและสิ่งปกคลุมดินรวมถึงพืชพรรณท้องถิ่น เป็นปัจจัยสำคัญสำหรับแม่น้ำที่มีการเปลี่ยนแปลงลำน้ำ นอกจากนี้การกระทำของมนุษย์ยังทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสันฐานวิทยาของแม่น้ำได้ เช่น การบุกรุกลำน้ำ การขุดลอกคลอง การลักลอบตัดทรายบริเวณตลิ่ง การป้องกันตลิ่ง การก่อสร้างอาคารชลศาสตร์ และการก่อสร้างฝายทดน้ำ การที่จะศึกษาด้านนี้อย่างน้อยต้องมีการเก็บข้อมูลในสภาพพื้นที่จริงร่วมกับการพัฒนาแบบจำลองอุทกพลศาสตร์โดย [8] และ [9] กล่าวว่าการศึกษาเกี่ยวกับสันฐานวิทยาของแม่น้ำด้วยแบบจำลองควมืองค์ประกอบอย่างน้อย 3 แบบจำลองย่อย ได้แก่ แบบจำลองการเคลื่อนตัวของน้ำ แบบจำลองการเคลื่อนตัวของตะกอน และแบบจำลองการกัดเซาะและตกตะกอน ในช่วงหลายปีที่ผ่านมาแบบจำลองคณิตศาสตร์และการทดลองได้ถูกดำเนินการพัฒนาให้สามารถพิจารณาถึงผลกระทบต้อปัจจัยต่างๆ ได้ดียิ่งขึ้นเกี่ยวกับการไหลในทางน้ำเปิด โดยเฉพาะ [10] การคำนวณแบบ 2 มิติ ที่ใช้ในการวิจัย เพราะเห็นได้ชัดว่าการคำนวณแบบ 2 มิติ มีประสิทธิภาพมากกว่าการคำนวณแบบ 3 มิติ ถ้าความละเอียดเชิงพื้นที่ในระนาบแนวนอนมีค่าเท่ากัน [11] ได้ทำงานศึกษาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสันฐานท้องน้ำแบบตะกอนทรายภายใต้การไหลแบบไม่คงที่ ได้ทำแบบจำลองคณิตศาสตร์ 2 มิติ เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงรูปแบบสันฐานของแม่น้ำแบบตะกอนทรายที่ค้ำึงถึงทั้งลาดตลิ่งที่ไม่มีการกัดเซาะกับมีการกัดเซาะ ซึ่งผลการวิจัยอยู่ในระดับที่น่าพึงพอใจ [12] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับแบบจำลอง 2 มิติของกระบวนการเปลี่ยนแปลงลำน้ำของคลองใน West Jordan River โดยใช้แบบจำลองเชิงเลข 2 มิติ เพื่อจำลองกระบวนการ

เปลี่ยนแปลงลำน้ำของคลองที่คดโค้งใน West Jordan River ในรัฐยูทาห์ จาก ค.ศ. 1981 ถึง 1992 โดยใช้ข้อมูลจากการตรวจวัดในอดีตทางอุทกศาสตร์ รวมถึงข้อมูลการสำรวจภาคสนามเกี่ยวกับพิกัดจุดของคลอง และชนิดดินของตะกอนกับตลิ่ง [13] ได้ทำการประยุกต์ใช้แบบจำลอง 2 มิติ ในการจำลองการกัดเซาะของตลิ่ง และการเกิดสันดอนทรายในแม่น้ำ Otofuke ประเทศญี่ปุ่น เพื่อศึกษาสภาวะการไหลที่มีผลต่อการกัดเซาะ การเกิดสันดอนทราย และการเกิดทางน้ำที่ตัดผ่านบริเวณที่มีการสะสมตัวของตะกอน (Chute Cutoff) โดยทำการจำลองสภาพการไหลในลำน้ำ โดยไม่พิจารณาความสัมพันธ์ที่ซับซ้อนในแบบจำลองพบว่า ลำน้ำมีขนาดกว้างมากกว่าเดิม เนื่องจากเกิดการกัดเซาะเพิ่มขึ้น ระดับน้ำจากน้ำท่วมลดลง และสันดอนทรายในแม่น้ำมีขนาดเล็กลง

ในปัจจุบันการศึกษาค้นคว้า และงานวิจัยเรื่อง สันฐานวิทยาของแม่น้ำโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ในประเทศไทยนั้นยังมีน้อยมาก และรู้จักในวงแคบ แต่ในต่างประเทศได้มีการพัฒนาไปอย่างมากไม่ว่าจะเป็นในด้าน ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง การทดลองในห้องปฏิบัติการ การทดลองในพื้นที่จริง และการสร้างแบบจำลองอุทกพลศาสตร์เชิง สาธารณะ ดังนั้นการวิจัยในครั้งนี้ได้เลือกใช้แบบจำลองเชิง สาธารณะ iRIC (International River Interface Cooperative, i-ric.org) เพื่อประยุกต์ใช้แบบจำลอง 2 มิติ ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางสันฐานวิทยาของแม่น้ำลำภาชีที่เกิดจาก ผลกระทบของฝายหินทิ้งบริเวณตำบลบ้านด่านมะขามเตี้ย อำเภอด่านมะขามเตี้ย จังหวัดกาญจนบุรี และเพื่อทำนาย การเปลี่ยนแปลงทางสันฐานวิทยาของแม่น้ำลำภาชีในบริเวณ ดังกล่าว

2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

แบบจำลอง iRIC เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เชิง สาธารณะที่ถูกพัฒนาขึ้นโดย The Foundation of Hokkaido River Disaster Prevention Research Center ประเทศ ญี่ปุ่น ซึ่งสามารถจำลองได้หลากหลายทางด้านชลศาสตร์ เช่น การจำลองสภาพการไหลของน้ำ การเปลี่ยนแปลงรูปแบบ ของท้องน้ำและลำน้ำที่เกิดขึ้นเนื่องจากการกัดเซาะ และ

การทับถมของตะกอนดิน โดยสามารถแสดงผลการวิเคราะห์ ในรูปแบบของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ภาพนิ่ง และ ภาพเคลื่อนไหวร่วมกับรูปภาพหรือแผนที่ ซึ่งนำเข้าเป็น พื้นหลังได้ ในการศึกษาครั้งนี้ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลอง iRIC Nays2DH ซึ่งเป็นโปรแกรมย่อยของ iRIC โดยแบบจำลอง iRIC Nays2DH เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เชิงกายภาพ (Physical Based Model) แบบสองมิติที่มีแบบจำลองย่อย ทั้ง 3 แบบ ที่สำคัญในการศึกษาสันฐานวิทยาของแม่น้ำ ได้แก่ แบบจำลองการเคลื่อนตัวของน้ำ แบบจำลองการเคลื่อนตัวของ ตะกอน และแบบจำลองการกัดเซาะและตกตะกอน สามารถคำนวณลักษณะการไหล การเคลื่อนที่ของตะกอน การเปลี่ยนแปลงของลำน้ำและการพังทลายของตลิ่งในแม่น้ำ สมการพื้นฐานที่ใช้ในแบบจำลอง iRIC Nays2DH จะ ประกอบด้วย

1) สมการการไหลต่อเนื่องและสมการโมเมนตัมของการไหลในระบบพิกัดแบบฉากแสดงดังสมการที่ (1) ถึง สมการที่ (6)

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial(hu)}{\partial t} + \frac{\partial(hu^2)}{\partial x} + \frac{\partial(huv)}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{\tau_x}{\rho} + D^x + \frac{F_x}{\rho} \quad (2)$$

$$\frac{\partial(hv)}{\partial t} + \frac{\partial(huv)}{\partial x} + \frac{\partial(hv^2)}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{\tau_y}{\rho} + D^y + \frac{F_y}{\rho} \quad (3)$$

$$\text{โดยที่ } D^x = \frac{\partial}{\partial x} \left[v_r h \frac{\partial u}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[v_r h \frac{\partial u}{\partial y} \right] \quad (4)$$

$$D^y = \frac{\partial}{\partial x} \left[v_r h \frac{\partial v}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[v_r h \frac{\partial v}{\partial y} \right] \quad (5)$$

$$\frac{F_x}{\rho} = \frac{1}{2} C_D a_s h_r u \sqrt{u^2 + v^2},$$
$$\frac{F_y}{\rho} = \frac{1}{2} C_D a_s h_r v \sqrt{u^2 + v^2} \quad (6)$$



เมื่อ h คือ ความลึกของน้ำ

u, v คือ ความเร็วเฉลี่ยในแนวแกน x และแกน y ตามลำดับ

τ_x, τ_y คือ ความเค้นเฉือนในแนวแกน x และแกน y สามารถคำนวณได้ด้วยสมการ

$$\tau_x = \rho C_f u \sqrt{u^2 + v^2}, \tau_y = \rho C_f v \sqrt{u^2 + v^2}$$

C_f คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของท้องน้ำ

C_D คือ ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานจากพืชปกคลุม

(Drag Coefficient of Vegetation)

ρ คือ ความหนาแน่นของน้ำ

a_s คือ พื้นที่พืชปกคลุมในลำน้ำต่อปริมาตร (Area of Interception by Vegetation per Unit Volume)

g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (Gravitational Acceleration)

H คือ ระดับผิวน้ำ ($= Z + h$)

Z คือ ระดับท้องน้ำ

v_t คือ ความหนืดจลน์สามารถคำนวณได้ด้วยสมการ

$$v_t = \frac{\kappa}{6} u_* h$$

κ คือ ค่าคงที่ของ Karman

u_* คือ ความเร็วเฉือนสามารถหาได้จากสมการ

$$u_* = C_f \sqrt{u^2 + v^2}$$

t คือ เวลา

x, y คือ แนวแกนของระบบพิกัดฉาก

ซึ่งสมการพื้นฐานที่แสดงไว้ข้างต้นอยู่ในระบบพิกัดฉาก (x, y) จะถูกแปลงให้อยู่ในรูปของระบบพิกัดแบบทั่วไป (General Coordinate System) และแก้ระบบสมการเพื่อหาผลเฉลยโดยใช้ Finite Difference Method

2) สมการเคลื่อนตัวของตะกอน

การเคลื่อนตัวของตะกอน จะประกอบด้วยสมการการไหลต่อเนื่องแบบ 2 มิติ แสดงดังสมการที่ (7), (8) และ (9)

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{Z}{J} \right) + \frac{1}{1-\lambda} \left[\frac{\partial}{\partial \xi} \left(\frac{q^\xi}{J} \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{q^\eta}{J} \right) \right] = 0 \quad (7)$$

โดยที่ $q^\xi = q_b \left[\frac{u_b^\xi}{V_b} - \gamma \left(\frac{\partial Z}{\partial \xi} + \cos \theta \frac{\partial Z}{\partial \xi} \right) \right]$ (8)

$$q^\eta = q_b \left[\frac{u_b^\eta}{V_b} - \gamma \left(\frac{\partial Z}{\partial \eta} + \cos \theta \frac{\partial Z}{\partial \eta} \right) \right] \quad (9)$$

เมื่อ Z คือ ระดับท้องน้ำ

λ คือ อัตราส่วนช่องว่างของวัสดุท้องน้ำ

q^ξ, q^η คือ การเคลื่อนที่ของตะกอนต่อหนึ่งหน่วยความกว้างในทิศทาง ξ และในทิศทาง η

q_b คือ ปริมาณของตะกอนเคลื่อนที่

u_b^ξ, u_b^η คือ ความเร็วที่ท้องน้ำในทิศทาง ξ และในทิศทาง η

V_b คือ ความเร็วเฉลี่ยที่ท้องน้ำ

γ คือ สัมประสิทธิ์ปรับแก้ตามความลาดเอียงของท้องน้ำสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (10)

$$\gamma = \sqrt{\frac{\tau_{*c}}{\mu_s \mu_k \tau_*}} \quad (10)$$

เมื่อ μ_s, μ_k คือ ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของ Coulomb โดยมีค่าเท่ากับ 1.0 และ 0.45 ตามลำดับ

อัตราการเคลื่อนตัวของตะกอนในทิศทางเดียวกับการไหลสามารถคำนวณได้โดยสมการของ [14] ดังสมการที่ (11) และสมการที่ (12)

$$q_b = 17 \tau_*^{\frac{3}{2}} \left(1 - \frac{\tau_{*c}}{\tau_*} \right) \left(1 - \sqrt{\frac{\tau_{*c}}{\tau_*}} \right) \sqrt{S_g g d^3} \quad (11)$$

$$\tau_* = \frac{C_f V_b^2}{S_g g d} = \frac{n^2 V_b^2}{S_g d h^{\frac{1}{3}}} \quad (12)$$

เมื่อ τ_* คือ ความเค้นเฉือนไร้มิติ

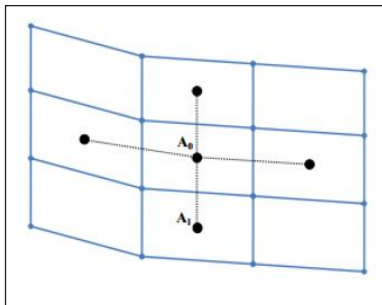
τ_{*c} คือ ความเค้นเฉือนวิกฤตไร้มิติ

S_g คือ น้ำหนักจำเพาะของตะกอนในของเหลว

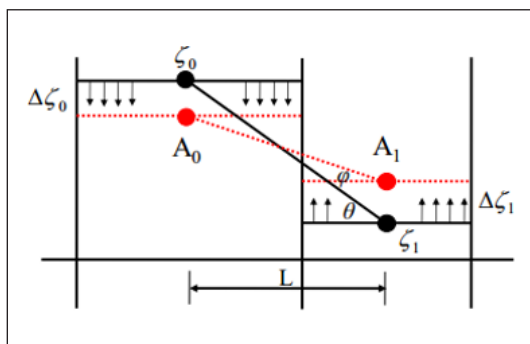
d คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของตะกอน

n คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของแมนนิง

3) การกัดเซาะและตกตะกอน มีนักวิจัยหลายคนได้ใช้แบบจำลองการพังของตลิ่งอย่างง่ายซึ่งการกัดเซาะเกิดขึ้นได้



รูปที่ 1 มุมมองด้านบนของแบบจำลองการพังของตลิ่ง



รูปที่ 2 มุมมองด้านข้างของแบบจำลองการพังของตลิ่ง

เมื่อความลาดชันท้องน้ำ (θ) มีความลาดชันมากกว่ามุมทรงตัว (Angle of Repose; ϕ) ของตะกอนท้องน้ำหลังจากถูกการกัดเซาะ เมื่อเกิดการพังของตลิ่ง ปริมาณดินที่ถล่มลงมาจะเท่ากับปริมาณดินที่สะสมเพิ่มขึ้นดังรูปที่ 1 และ 2 [15] โดยสมการของแบบจำลองการพังของตลิ่งอย่างง่ายมีดังสมการที่ (13) และสมการที่ (14)

$$\Delta\zeta_0 = \frac{L(\tan\theta - \tan\phi)}{1 + \frac{A_0}{A_1}} \quad (13)$$

$$\Delta\zeta_1 = \frac{L(\tan\theta - \tan\phi)}{1 + \frac{A_1}{A_0}} \quad (14)$$

โดยที่ L คือ ความกว้างของเซลล์

ζ_0 และ ζ_1 คือ ระดับตลิ่งและระดับท้องน้ำ

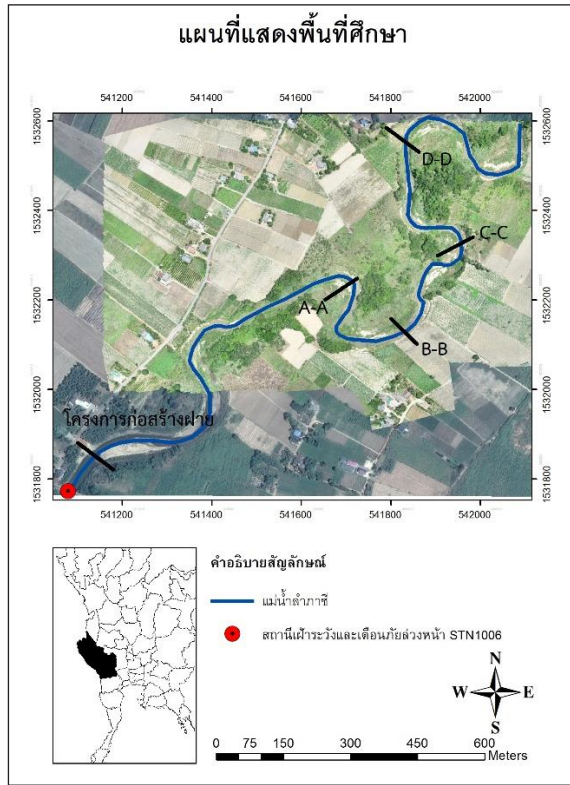
$\Delta\zeta_0$ และ $\Delta\zeta_1$ คือ ระดับตลิ่งและระดับท้องน้ำที่

เปลี่ยนไป

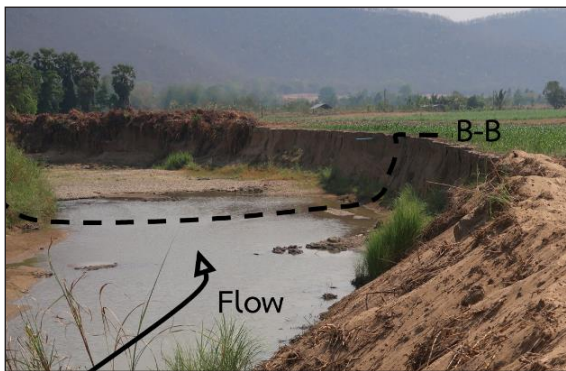
A_0 และ A_1 คือ พื้นที่หน้าตัดเซลล์ของตลิ่งและท้องน้ำ

2.1 พื้นที่ศึกษา

ลุ่มน้ำสาขาลำภาชีเป็นลุ่มน้ำสาขาของลุ่มน้ำแม่กลองครอบคลุมพื้นที่จังหวัดราชบุรี จังหวัดกาญจนบุรี และจังหวัดเพชรบุรี ซึ่งมีพื้นที่ทั้งหมด 2,542.95 ตารางกิโลเมตร หรือ 1,589,343 ไร่ โดยมีแม่น้ำลำภาชีเป็นแม่น้ำสายหลัก มีความยาวประมาณ 162 กิโลเมตร การวิจัยในครั้งนี้ได้ศึกษาตรงบริเวณตำบลบ้านด่านมะขามเตี้ย อำเภอด่านมะขามเตี้ย จังหวัดกาญจนบุรี ซึ่งมีระยะทาง 2.145 กิโลเมตร โดยมีสถานีวัดน้ำท่าทางด้านเหนือน้ำที่ใกล้ที่สุดคือ สถานีวัดน้ำท่า K.62 ของกรมชลประทาน ห่างจากพื้นที่ศึกษาประมาณ 15.9 กิโลเมตร อีกทั้งยังมีสถานีเฝ้าระวังและเตือนภัยล่วงหน้า น้ำหลาก-ดินถล่มบ้านท่าพลับ รหัสสถานี STN1006 ของกรมทรัพยากรน้ำ ตั้งอยู่ที่ต้นแม่น้ำของพื้นที่ศึกษา ก่อตั้งโครงการเมื่อ พ.ศ. 2555 คิดเป็นระยะทางตั้งแต่เหนือน้ำจนถึงท้ายน้ำประมาณ 18.1 กิโลเมตร โดยรูปที่ 3 ได้ประกอบขึ้นด้วยภาพถ่ายทางอากาศ 2 ประเภท คือ ภาพถ่ายดาวเทียม และ [16] ภาพถ่ายทางอากาศโดยใช้อากาศยานไร้คนขับ ช่วงเวลาใกล้เคียงกับการสำรวจทางกายภาพของลำน้ำ เนื่องจากแผนภาพถ่ายทางอากาศโดยใช้อากาศยานไร้คนขับมีรายละเอียดและความคมชัดที่ดีกว่าแผนที่ภาพถ่ายดาวเทียม อีกทั้งรูปที่ 3 แสดงถึงตำแหน่งที่สำคัญของพื้นที่ศึกษา เช่น ที่ตั้งสถานี STN 1006 ฝายชะลอน้ำ รวมถึงหน้าตัดของลำน้ำ จากรูปที่ 4 เป็นภาพถ่ายของสภาพตลิ่งบริเวณหน้าตัด B-B จะเห็นได้ว่าตลิ่งทางด้านขวามีความลาดชันที่สูงมาก ถ้าหากมีมวลน้ำเคลื่อนมาเป็นจำนวนมาก เสียที่จะเกิดการกัดเซาะจนตลิ่งพังทลายได้ จากรูปที่ 5 แสดงพืชในพื้นที่ศึกษาบริเวณตลิ่งโดยมีลักษณะเป็นปล้อง ได้แก่ หญ้า ไผ่ เหมือนกับ [10] พืชบริเวณตลิ่งของแม่น้ำ Nakdong ประเทศเกาหลี ซึ่งในการศึกษาที่ประเทศเกาหลีนั้นได้ใช้ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานจากพืชปกคลุม เท่ากับ 0.7 กับพืชที่มีลักษณะเป็นปล้อง



รูปที่ 3 แผนที่ตำแหน่งของแนวรูปตัดขวางลำน้ำที่นำมาใช้เปรียบเทียบในแต่ละกรณีศึกษา



รูปที่ 4 ภาพถ่ายสภาพตลิ่งบริเวณหน้าตัด B-B

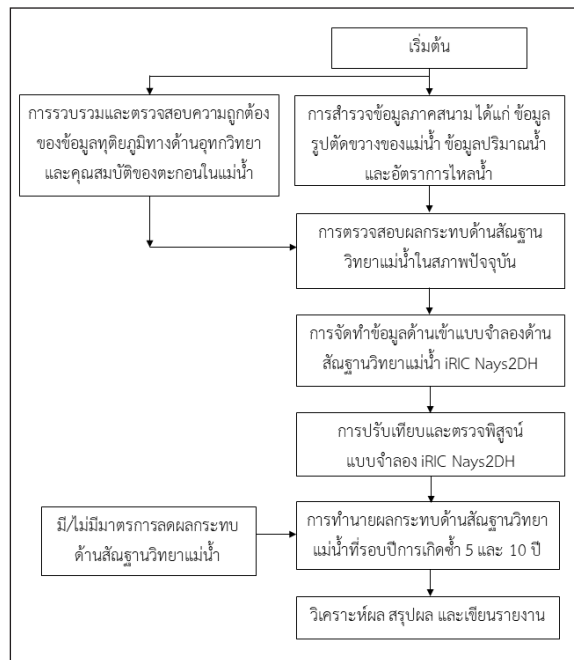
2.2 วิธีการวิจัย

ขั้นตอนการวิจัยสามารถแบ่งเป็นขั้นตอนต่างๆ แสดงดังรูปที่ 6

2.2.1 การสำรวจข้อมูลภาคสนาม และการรวบรวม



รูปที่ 5 ลักษณะของพีชในพื้นที่ศึกษา



รูปที่ 6 ขั้นตอนการศึกษาวิจัย

ข้อมูลทุติยภูมิประกอบด้วย

1) ข้อมูลอัตราการไหลรายวัน ณ สถานีวัดน้ำท่า K.62 อำเภอด่านมะขามเตี้ย จังหวัดกาญจนบุรี ในช่วงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2560 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2561 ซึ่งรวบรวมได้จากกรมชลประทาน

2) ข้อมูลระดับน้ำรายวัน ณ สถานีฝายระวังและเตือนภัยล่วงหน้าน้ำหลาก-ดินถล่ม STN1006 อำเภอด่านมะขามเตี้ย

จังหวัดกาญจนบุรี ในช่วงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2560 ถึงเดือน มีนาคม พ.ศ. 2561 ซึ่งรวบรวมได้จากกรมทรัพยากรน้ำ

3) ข้อมูลลักษณะทางกายภาพของลำน้ำ ได้แก่ พิกัดของ รูปตัดขวางลำน้ำ และรูปตัดขวางลำน้ำซึ่งมีจำนวน 89 รูปตัด ซึ่งมีความยาวลำน้ำเท่ากับ 2.145 กิโลเมตร รวบรวมโดยวิธีการสำรวจข้อมูลพิกัดและระดับความสูง (Spot Height) ด้วย กล้องสำรวจ Total Station ตามมาตรฐานงานสำรวจชั้น 3 โดยทำการสำรวจเมื่อวันที่ 25 ธันวาคม พ.ศ. 2560

4) ข้อมูลคุณสมบัติของดินในพื้นที่การศึกษา ได้มาจากการตรวจเอกสารชื่อเรื่องว่า “การศึกษาการเคลื่อนตัวของ ตะกอนดินในแม่น้ำลำภาชี” [17] โดยการเก็บตะกอนดิน ได้จากการสูมตัวอย่างของตะกอนดินด้วยเครื่องมือเก็บข้อมูล ตัวอย่างตะกอนท้องน้ำ แบบ Helly-Smith Sediment Samples Bed Load Model BL-87 ของกรมชลประทาน เพื่อหาขนาดของตะกอนดินเฉลี่ยโดยใช้วิธีการร่อนผ่าน ตะแกรง (Sieve Analysis) สรุปได้ดังตารางที่ 1

2.2.2 การตรวจสอบผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมวิทยา แม่น้ำในสภาพปัจจุบัน [18] ได้ประยุกต์ภาพถ่ายดาวเทียม จาก Google Earth ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสิ่งแวดล้อม วิทยาของแม่น้ำ ซึ่งข้อมูลที่น่ามาทำการวิเคราะห์ประกอบด้วย ภาพถ่ายดาวเทียมทั้งหมด 3 ช่วงเวลา ได้แก่ กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2557 มีนาคม พ.ศ. 2559 และกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2560 อีกทั้ง ทางสำนักงานทรัพยากรน้ำภาค 7 กรมทรัพยากรน้ำ ได้ดำเนินการ ก่อสร้างฝายชะลอน้ำแบบฝายหินทิ้ง (Rock Fill Weir) เมื่อ พ.ศ. 2559 โดยจะทำการวิเคราะห์ความแตกต่างของการ เปลี่ยนแปลงสิ่งแวดล้อมวิทยาระหว่างก่อนดำเนินการก่อสร้าง ฝายและหลังดำเนินการก่อสร้างฝาย

2.2.3 การจัดทำข้อมูลด้านเข้าแบบจำลอง iRIC Nays2DH เริ่มโดยใช้ขอบเขตด้านเหนือน้ำเป็นอัตราการใช้หลายวัน ที่ตรวจวัดได้ ณ สถานีวัดน้ำท่า K.62 ช่วงวันที่ 1 ธันวาคม พ.ศ. 2560 ถึง 1 มีนาคม พ.ศ. 2561 ซึ่งไม่ได้พิจารณาการใช้หลายวัน ด้านข้าง โดยมีระยะทางจากสถานีถึงพื้นที่ศึกษาประมาณ 15.9 กิโลเมตร และมีพื้นที่รับน้ำอยู่ที่ 189.06 ตารางกิโลเมตร และด้านท้ายน้ำคือหน้าตัดสุดท้ายของพื้นที่ศึกษา เนื่องจาก ตั้งแต่ขอบเขตด้านเหนือน้ำจนถึงด้านท้ายของพื้นที่ศึกษาเป็น

ช่วงที่ได้รับผลกระทบมากจากการกัดเซาะตลิ่ง พอหลังจาก พื้นที่ศึกษาไปแล้วไม่ค่อยได้รับผลกระทบจากการกัดเซาะมาก จากนั้นนำเข้าข้อมูลรูปตัดขวางที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม จำนวน 89 รูป และข้อมูลอัตราการใช้หลายวัน ณ สถานีวัด น้ำท่า K.62 รวมถึงข้อมูลของตะกอนท้องน้ำ ซึ่งการวิจัยใน ครั้งนี้ได้ใช้คุณสมบัติของตะกอนท้องน้ำเท่านั้น ในการจำลอง และทำการแบ่งขนาดของ Calculation Grid Cell โดยจะแบ่ง เป็น Grid ตามแนวขวางลำน้ำเป็นจำนวน 20 Calculation Grid Cell และตามแนวลำน้ำ 518 Calculation Grid Cell ดังนั้นจำนวน Calculation Grid Cell ทั้งหมดเท่ากับ 10,360 Calculation Grid Cell แต่ละ Calculation Grid Cell มี ขนาดเฉลี่ย 4 × 5 เมตร ในการวิจัยครั้งนี้ได้จำลองขนาดของ Grid Cell ที่เล็กกว่านี้แล้ว มีขนาด 2 × 2.5 เมตร พบว่า ค่า ความถูกต้องที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับ Grid Cell ขนาด 4 × 5 เมตร แต่ต้องใช้ทรัพยากรในการคำนวณมากกว่า ประกอบด้วย ระยะเวลาในการทำงาน ระยะเวลาในการคำนวณ และ ประสิทธิภาพของคอมพิวเตอร์ หลังจากนั้นทำการกำหนด เงื่อนไขค่าตัวแปรต่างๆ ที่ประยุกต์ใช้ในแบบจำลองดัง ตารางที่ 1 ซึ่งแสดงรายละเอียดการ Setup แบบจำลอง ดังรูปที่ 7

ตารางที่ 1 ค่าตัวแปรที่ประยุกต์ใช้ในแบบจำลอง

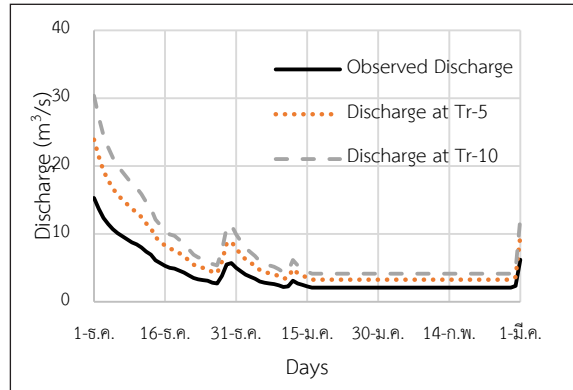
ตัวแปร	หน่วย	ค่า	ได้จาก
Mean diameter, d	mm.	0.556	Laboratory
Drag coefficient of vegetation, C_D	-	0.7	Reference & measurement
Density of water	Kg/m ³	1000	Laboratory
Relative weight of bed material	-	1.65	Laboratory
Void ratio of bed material, λ	-	0.28	Laboratory
Δt	s	0.01	Trial and error
Grid cell size	m	4×5	Trial and error
Manning's roughness coefficient, n	-	0.0287	Trial and error



รูปที่ 7 การ Setup แบบจำลองในพื้นที่ศึกษา

2.2.4 การเปรียบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง iRIC Nays2DH โดยทำการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์สัมประสิทธิ์ที่ความเสียดทานของแมนนิ่ง (n) ที่เหมาะสมกับลำน้ำ จากการเปรียบเทียบระดับน้ำรายชั่วโมงที่ตรวจวัดได้ที่สถานีฝักระวัง และเดือนกุมภาพันธ์หน้าน้ำหลาก-ดินถล่ม STN1006 กับระดับน้ำที่ได้จากแบบจำลอง ณ ตำแหน่งเดียวกัน โดยทำการวิเคราะห์ตั้งแต่วันที่ 1 เดือนธันวาคม พ.ศ. 2560 จนถึงวันที่ 1 เดือนมีนาคม พ.ศ. 2561 ซึ่งเกณฑ์ในการประเมินผลการเปรียบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองจะใช้ดัชนีทางสถิติมาเป็นตัวแทนในการเปรียบเทียบและตัดสินใจ ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient, r) ค่า Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE) และค่า Root Mean Square Error (RMSE)

2.2.5 การทำนายผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมวิทยาแม่น้ำที่รอบปีการเกิดซ้ำ 5 และ 10 ปี ร่วมกับมาตรการลดผลกระทบ โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลอง iRIC Nays2DH ได้กำหนดให้ใช้อัตราการไหลรายวัน ณ สถานีวัดน้ำท่า K.62 ซึ่งเป็นสถานีที่ใกล้ที่สุด และตั้งอยู่ทางด้านเหนือของพื้นที่ศึกษารวมถึงข้อมูลของอัตราการไหลมีความต่อเนื่อง ในช่วงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2560 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2561 เป็นเวลา 3 เดือน ดังรูปที่ 8 อีกทั้งยังใช้หลักความถี่ของการเกิดซ้ำด้วยวิธี Gumbel Distribution เพื่อหาค่าตัวแปรของรอบปีการเกิดซ้ำไปคูณกับอัตราการไหลไว้ใช้ในการทำนายสิ่งแวดล้อมวิทยาของแม่น้ำ แต่เนื่องด้วยสถานีวัดน้ำท่า K.62 ได้เริ่มเก็บ



รูปที่ 8 อัตราการไหลของสถานี K.62 ที่รอบปีเกิดซ้ำต่างๆ

ข้อมูลอัตราการไหล พ.ศ. 2549 จึงทำให้มีข้อมูลเพียง 12 ปีเท่านั้น ซึ่งเพียงพอต่อการหาการเกิดซ้ำแค่ที่ 5 ปี กับ 10 ปี เท่านั้น แสดงดังรูปที่ 8 และกำหนดการจำลองสิ่งแวดล้อมวิทยาของแม่น้ำลำภาซึ่งจะแบ่งเป็น 5 กรณี ดังตารางที่ 2

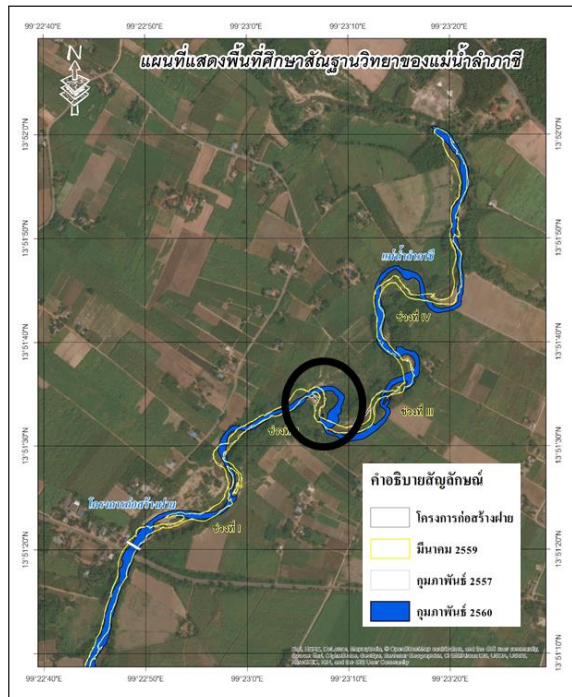
ตารางที่ 2 กรณีศึกษาของผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมวิทยา

Case	Rock Fill Weir	Discharge
1	Yes	Observed Discharge
2	Yes	Discharge at Tr-5
3	Yes	Discharge at Tr-10
4	No	Discharge at Tr-5
5	No	Discharge at Tr-10

3. ผลการทดลอง

3.1 ผลการตรวจสอบผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมวิทยาแม่น้ำในสภาพปัจจุบัน

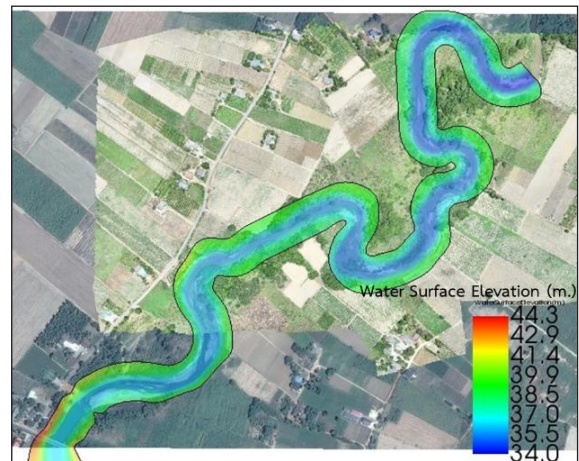
[18] ผลการตรวจสอบเปลี่ยนแปลงของตลิ่งลำน้ำระหว่างช่วง พ.ศ. 2557 ถึง พ.ศ. 2559 พบว่า ก่อนการก่อสร้างฝายหินทิ้ง ลำน้ำไม่ค่อยมีการเปลี่ยนแปลง โดยช่วงที่เปลี่ยนแปลงมากที่สุดมีการเคลื่อนตัวของตลิ่งอยู่ที่ 0.95 เมตรต่อปี (ตลิ่งซ้าย) และ 1.03 เมตรต่อปี (ตลิ่งขวา) แต่เมื่อหลังการก่อสร้างฝายหินทิ้ง พ.ศ. 2559 พบว่า เกิดการเคลื่อนตัวของลำน้ำ (Riverbank Migration) ในอัตราสูง โดยค่าสูงสุดอยู่ที่ 78.00 เมตรต่อปี ดังรูปที่ 9 ซึ่งอยู่ตรงบริเวณเดียวกับหน้าตัด A-A ของการวิจัยในครั้งนี้



รูปที่ 9 ผลการเปลี่ยนแปลงสัณฐานลำน้ำตั้งแต่ พ.ศ. 2557 ถึง 2560

3.2 ผลการเปรียบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง

การศึกษาได้ทำการทดลองตามค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของแมนนิง (n) ตั้งแต่ 0.025, 0.0287, 0.03 และ 0.35 ตามลำดับ โดยแสดงผลการเปรียบเทียบกราฟระดับน้ำดังรูปที่ 11 ตามลำดับ แบบจำลองสามารถแสดงระดับน้ำให้เป็นภาพ 2 มิติ เพื่อถ่ายทอดความเข้าใจตามรูปที่ 10 และเมื่อได้ผลการเปรียบเทียบค่าระดับน้ำทุกๆ ค่าของสัมประสิทธิ์ความขรุขระแล้ว ทำการตัดสินใจโดยใช้ดัชนีทางสถิติดังแสดงในตารางที่ 3 จากรูปที่ 11 จะเห็นได้ว่าค่าระดับน้ำที่ได้จากแบบจำลองมีค่าที่ต่ำกว่าการตรวจวัด เนื่องจากไม่ได้มีการพิจารณาการไหลเข้าด้านข้าง ระหว่างสถานีน้ำท่า K.62 ถึงพื้นที่ศึกษา ซึ่งมีระยะทางประมาณ 15.9 กิโลเมตร และมีพื้นที่รับน้ำอยู่ที่ 189.06 ตารางกิโลเมตร ส่วนเส้นกราฟที่ได้จากแบบจำลองมีการแกว่งตัวเป็นบางช่วงทำให้ค่าอัตราการไหลสูงสุดจากแบบจำลองสูงกว่าค่าที่ตรวจวัดได้ในช่วงกลางถึงช่วงท้ายของการคำนวณ ซึ่งเป็นผลมาจากข้อจำกัดในเรื่อง



รูปที่ 10 ภาพ 2 มิติ ของระดับน้ำที่ $n = 0.0287$

เสถียรภาพในการคำนวณของแบบจำลอง โดยในความเป็นจริงของการไหลของน้ำจะมีลักษณะค่ออยู่ ลดลงสอดคล้องกับค่าที่ตรวจวัดได้

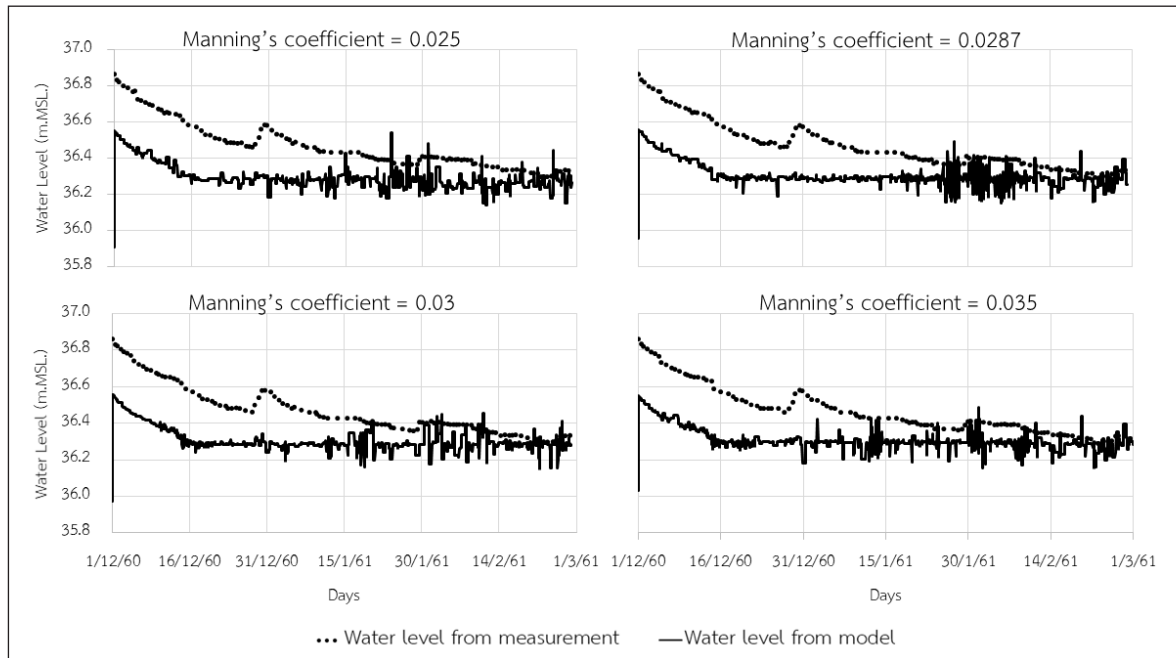
ตารางที่ 3 ค่าดัชนีทางสถิติของค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ

Manning's Coefficient (n)	ดัชนีทางสถิติ		
	R	NSE	RMSE
0.0250	0.716	0.314	0.194
0.0287	0.729	0.324	0.184
0.0300	0.675	0.302	0.185
0.0350	0.706	0.314	0.182

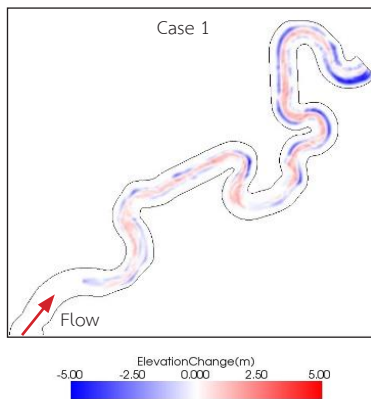
3.3 ผลการทำนายผลกระทบด้านสัณฐานวิทยาแม่น้ำที่รอบปีการเกิดซ้ำ 5 และ 10 ปี

จากรูปที่ 8 ได้ใช้อัตราการไหลเริ่มต้นในวันที่ 1 ธันวาคม พ.ศ. 2560 เพราะเป็นเวลาก่อนการสำรวจภาคสนาม 3 สัปดาห์ และเป็นช่วงเวลาที่เกิดการกัดเซาะจริงในพื้นที่ โดยอัตราการไหลนี้จะครอบคลุมช่วงการกัดเซาะสูงสุดไปจนถึงช่วงสภาวะสมดุล (Equilibrium State)

จากรูปที่ 12 เป็นผลการจำลองสัณฐานวิทยาของแม่น้ำลำภาชีเมื่อเวลาผ่านไปทั้งหมด 3 เดือน โดยพื้นที่ที่สีน้ำเงินเป็นพื้นที่ที่เกิดการกัดเซาะจากแรงของน้ำจนทำให้ตลิ่งพังหรือดินถล่ม บริเวณที่พบส่วนใหญ่อยู่ที่ส่วนโค้งด้านนอกของ



รูปที่ 11 การเปรียบเทียบระดับน้ำที่ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของแมนนิง (n) ต่างๆ

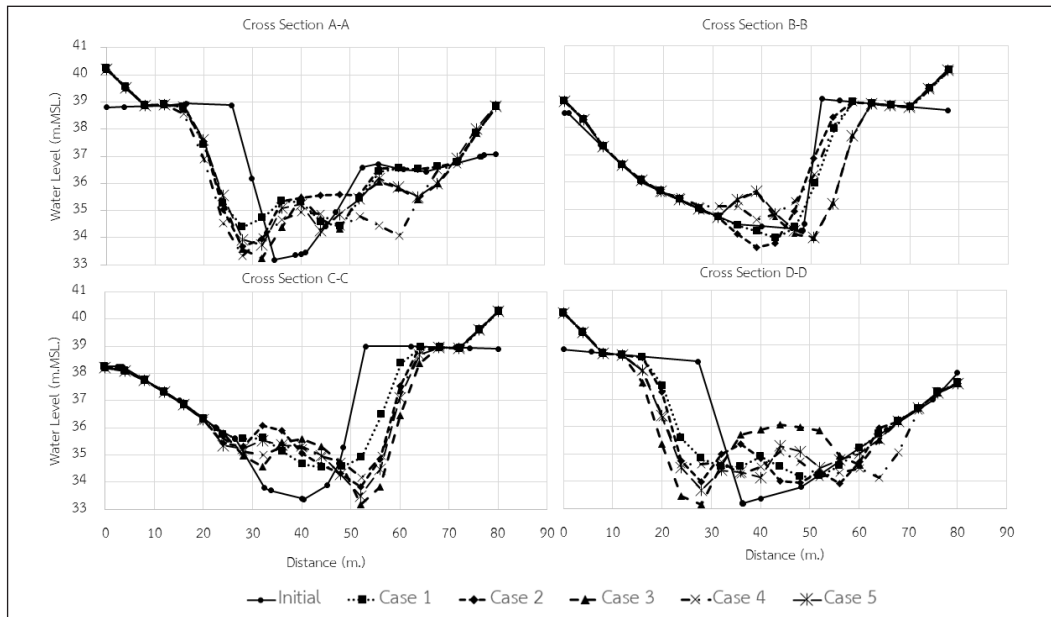


รูปที่ 12 ภาพมุมมองสูงของการเปลี่ยนแปลงสัณฐานวิทยาเมื่อเวลาผ่านไป 3 เดือน

แม่น้ำ และพื้นที่สีแดงเป็นการทับถมของตะกอนดินที่มากับน้ำและดินที่มาจากทางฟุ้งของตลิ่งอาจทำให้เกิดสันดอนทราย (Point Bar) บริเวณกลางแม่น้ำได้

แบบจำลอง iRIC Nays2DH ยังสามารถแสดงผลของหน้าตัดขวางลำน้ำที่เปลี่ยนแปลงได้อีกด้วยดังแสดงในรูปที่ 13 ซึ่งพิกัดของหน้าตัดลำน้ำทั้ง 4 ได้แสดงดังรูปที่ 3

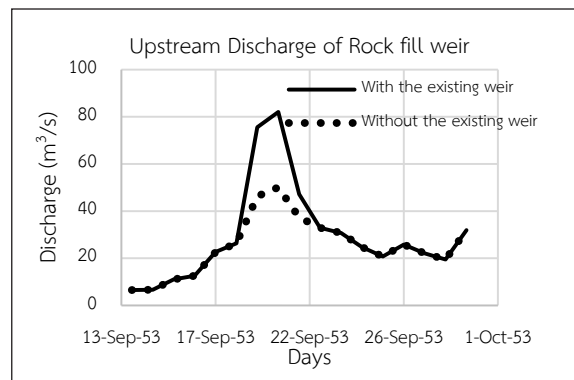
จากรูปที่ 13 เป็นการแสดงรูปหน้าตัดขวางลำน้ำของแม่น้ำลำภาชีสำหรับแต่ละกรณีศึกษา โดยหน้าตัดขวางลำน้ำ Initial เป็นหน้าตัดที่ได้จากการสำรวจในวันที่ 25 ธันวาคม พ.ศ. 2560 ในหน้าตัด A-A มีการกัดเซาะทางด้านซ้ายทั้ง 5 กรณีศึกษา เนื่องจากลักษณะลำน้ำโค้งไปทางขวาและมีการสะสมของตะกอนดินบริเวณกลางลำน้ำ แต่กรณีศึกษาที่ 4 และกรณีศึกษาที่ 5 เกิดการกัดเซาะทางด้านซ้ายด้วย ส่วนหน้าตัดขวางลำน้ำ B-B และ C-C มีการกัดเซาะทางด้านขวาเนื่องจากลักษณะลำน้ำโค้งไปทางซ้ายและกรณีศึกษาที่ 3 และกรณีศึกษาที่ 5 เกิดการกัดเซาะที่มากจนทำให้จุดต่ำสุดได้เปลี่ยนไปเป็นสันดอนทรายและเกิดทางน้ำไหลใหม่ สุดท้ายหน้าตัดขวางลำน้ำ D-D เกิดการกัดเซาะที่เหมือนกับหน้าตัดขวางลำน้ำ A-A แต่กรณีศึกษาที่ 3 มีการกัดเซาะที่เยอะที่สุดและลักษณะการไหลมีการเปลี่ยนไปมากที่สุด จะเห็นได้ว่าทุกๆ หน้าตัดขวางกรณีศึกษาที่ 3 เป็นกรณีที่เกิดการกัดเซาะมากที่สุด ซึ่งกรณีศึกษาที่ 3 นี้เป็นกรณีที่มีฝายหินทิ้ง และใช้อัตราการไหลที่รอบปีเกิดซ้ำ 10 ปี ซึ่งอาจเป็นเพราะผลกระทบจากการก่อสร้างฝายหินทิ้ง ผู้วิจัยจึงได้สร้างแบบจำลอง



รูปที่ 13 การเปรียบเทียบหน้าตัดขวางลำน้ำของแม่น้ำลำภาชีสำหรับแต่ละกรณีศึกษา

อุทกพลศาสตร์เพื่อศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงของรูปแบบของกราฟน้ำท่า (Flow Pattern) ที่ไหลผ่านด้านท้ายน้ำของฝายหินทิ้งโดยใช้ขอบเขตด้านเหนือน้ำเป็นอัตราการไหลรายวันที่ตรวจวัดได้ ณ สถานีวัดน้ำท่า K.62 ช่วงวันที่ 13 กันยายน พ.ศ. 2553 ถึง 29 กันยายน พ.ศ. 2553 และด้านท้ายน้ำเป็น Rating Curves ของสถานีวัดน้ำท่า K.37 ในแม่น้ำแควน้อยทดสอบการคำนวณโดยแบ่งเป็น 2 กรณีคือ 1) กรณีที่แม่น้ำมีฝายหินทิ้ง และ 2) กรณีที่แม่น้ำไม่มีฝายหินทิ้ง แสดงดังรูปที่ 14

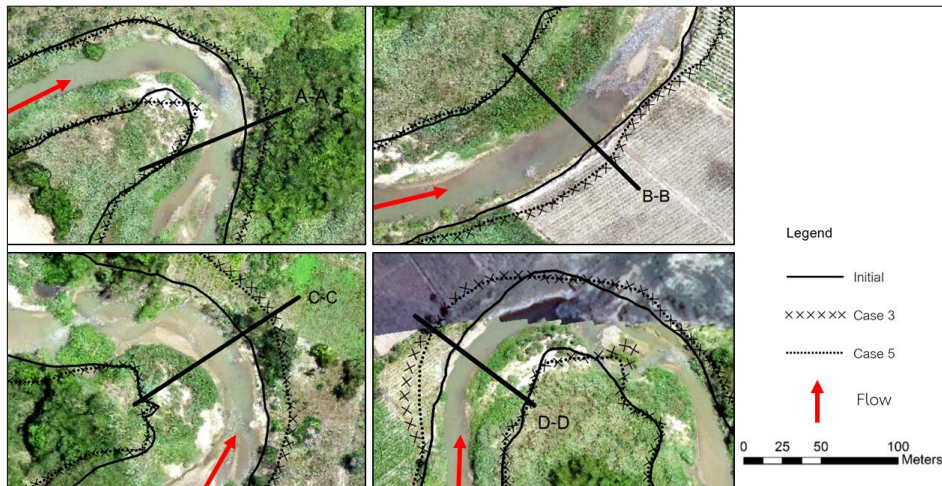
จากรูปที่ 14 พบว่า ในกรณีมีฝายหินทิ้งจะทำให้อัตราการไหลเพิ่มสูงขึ้นโดยเฉพาะในช่วงอัตราการไหลสูงๆ โดยอัตราการไหลเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วงร้อยละ 25-65 ของอัตราการไหลในกรณีที่ไม่มีฝายหินทิ้ง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ชื่อว่า [19] “การศึกษาการไหลของน้ำและตะกอนผ่านฝายกล่องตาข่าย” กล่าวได้ว่าโดยปกติฝายจะช่วยชะลอ และกักเก็บน้ำในระดับต่ำด้านหน้าฝายในกรณีที่น้ำยังไม่ไหลล้นข้ามฝาย แต่เมื่อมีอัตราการไหลที่มากขึ้น และล้นข้ามฝายจะทำให้ความสูงของน้ำยกตัวสูงขึ้นกว่าปกติ ถ้าเทียบกับกรณีที่ไม่มีฝายน้ำจะไหลด้วยความสูงน้อยกว่าเพราะไม่มีฝายมากระด้นน้ำ



รูปที่ 14 อัตราการไหลบริเวณหน้าฝายหินทิ้งระหว่างมีฝายหินทิ้งและไม่มีฝายหินทิ้ง

ความแตกต่างของความสูงของน้ำทำให้ตลิ่งพังได้เร็วขึ้นเพราะฝายทำให้ระดับน้ำสูงสุดกับต่ำสุดแตกต่างกันมากขึ้นเมื่อเทียบกับกรณีไม่มีฝาย

จากรูปที่ 15 เป็นภาพมุมมองของการเปลี่ยนแปลงลำน้ำหลังจากการจำลองผ่านไป 3 เดือน ของกรณีศึกษาที่ 3 และกรณีศึกษาที่ 5 โดยที่กรณีศึกษาที่ 3 เป็นเส้นกากบาท และกรณีศึกษาที่ 5 จะเป็นเส้นประโดยเปรียบกับเส้นทึบซึ่งเป็น



รูปที่ 15 ภาพมุมมองสูงของการเปลี่ยนแปลงของแม่น้ำลำภาชีหลังจากการจำลองด้วยแบบจำลองผ่านไป 3 เดือน ของกรณีศึกษาที่ 3 และกรณีศึกษาที่ 5

รูปตัดตั้งต้นจากการสำรวจรูปตัดขวางลำน้ำพบว่า ช่วงก่อนหน้าตัด A-A มีการกัดเซาะทั้งตลิ่งซ้าย และตลิ่งขวาลักษณะเหมือนลำน้ำจะแปลงสภาพให้เป็นลำน้ำตรง (Straight Channel) ถ้าจำลองด้วยแบบจำลองในระยะเวลาที่นานกว่านี้ มีโอกาสที่ลำน้ำจะสร้างทางลัด (Cutoffs) ขึ้นไปตัดตรงบริเวณหลังหน้าตัด C-C ส่วนการเปลี่ยนแปลงลำน้ำตรงบริเวณหน้าตัด B-B มีการกัดเซาะส่วนใหญ่อยู่ทางด้านตลิ่งขวา ซึ่งเป็นพื้นที่เกษตรกรรมของชาวบ้านในพื้นที่ ต่อมาเป็นในส่วนหน้าตัด C-C ตรงบริเวณนี้มีสวนโคงรูปตัวยูจากรูปที่ 15 จะเห็นได้ว่าก่อนและหลังหน้าตัด C-C มีการกัดเซาะทางตลิ่งซ้ายเป็นอย่างมากถ้าหากไม่ป้องกันการกัดเซาะจะทำให้มีการกัดเซาะอยู่เรื่อยๆ จนทำให้เกิดทางน้ำใหม่ หรือทางลัดขึ้นจากนั้นทางด้านตลิ่งขวาจะกลายเป็นรอยทางน้ำกวัดแกว่ง (Meander Scar) และสุดท้ายบริเวณหน้าตัด D-D มีกัดเซาะทางด้านตลิ่งซ้ายทำให้ลำน้ำมีความกว้างมากขึ้นเรื่อยๆ และเกิดการทับถมของตะกอนท้องน้ำในตลิ่งด้านขวาจนเกิดเป็นสันดอนทรายยื่นออกไปกลางแม่น้ำ (Point Bar) จากทั้ง 4 หน้าตัดจะเห็นได้ว่ากรณีศึกษาที่ 3 มีการเปลี่ยนแปลงของตลิ่งมากกว่ากรณีศึกษาที่ 5 ในทุกๆ หน้าตัด โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 4 ซึ่งหน้าตัดที่เกิดการกัดเซาะมากที่สุดอยู่ที่หน้าตัด D-D กัดเซาะไปทางด้านตลิ่งซ้าย

15.34 เมตร และทางด้านตลิ่งขวา 0.9 เมตร

ตารางที่ 4 การเคลื่อนตัวของตลิ่งแม่น้ำทั้ง 2 ด้าน

Cross Section	Side of Bank	Bank Movement (m.)		
		Case 3	Case 5	Diff.
A-A	Left	9.80	9.13	0.68
	Right	3.45	3.39	0.06
B-B	Left	-0.46	-0.46	0.00
	Right	9.94	8.37	1.57
C-C	Left	-0.63	-0.61	0.02
	Right	14.85	13.22	1.63
D-D	Left	15.34	14.90	0.43
	Right	0.90	0.89	0.01

4. สรุป

โครงการวิจัยตั้งอยู่บนพื้นฐานการใช้ความรู้ทางด้านอุทกวิทยา และอุทกพลศาสตร์ของการเคลื่อนตัวของน้ำ ตะกอน และการกัดเซาะและตกตะกอนของตลิ่ง โดยนำองค์ความรู้ดังกล่าวมาใช้ร่วมกับแบบจำลองคณิตศาสตร์ในด้านสัณฐานวิทยาของแม่น้ำ คือ แบบจำลอง iRIC Nays2DH และใช้ภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับที่มีความละเอียดสูงในการร่วมเปรียบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองดังกล่าวรวมถึง

การวิเคราะห์ผลกระทบของฝายหินทิ้งต่อสิ่งแวดล้อมวิทยาแม่น้ำในปัจจุบันและทำนายผลกระทบในอนาคตร่วมกับการหามาตรการลดผลกระทบที่เหมาะสมและยั่งยืนแม่น้ำลำภาชี

ผลการศึกษาพบว่า จากการเปรียบเทียบระดับน้ำรายชั่วโมงที่ได้จากการตรวจวัดที่สถานีฝายระวัง และเดือนกุมภาพันธ์หน้าน้ำหลาก-ดินถล่ม STN1006 ของกรมทรัพยากรน้ำกับระดับน้ำที่ได้จากแบบจำลองในช่วงตั้งแต่วันที่ 1 ธันวาคม พ.ศ. 2560 ถึงวันที่ 1 มีนาคม พ.ศ. 2561 ผลการเปรียบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ Manning's n ที่เหมาะสมมีค่าเท่ากับ 0.0287 โดยมีค่าดัชนีทางสถิติของ r , NSE และ $RMSE$ เท่ากับ 0.729, 0.324 และ 0.184 ตามลำดับ

ส่วนการทำนายผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมวิทยาแม่น้ำที่รอบปีการเกิดซ้ำ 5 และ 10 ปี ร่วมกับมาตรการลดผลกระทบ โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลอง iRIC Nays2DH ที่ผ่านการเปรียบเทียบ และตรวจพิสูจน์แบบจำลองมาแล้ว โดยกำหนดให้ใช้อัตราการไหลรายวัน ณ สถานีวัดน้ำท่า K.62 อำเภอด่านมะขามเตี้ย จังหวัดกาญจนบุรี ซึ่งตั้งอยู่ทางด้านเหนือของพื้นที่ศึกษา ในช่วงระหว่างเดือนธันวาคม พ.ศ. 2560 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2561 เป็นเวลา 3 เดือน อีกทั้งยังใช้หลักความถี่ของการเกิดซ้ำด้วยวิธี Gumbel Distribution เพื่อวิเคราะห์หาอัตราการไหลที่รอบปีการเกิดซ้ำแค่ที่ 5 ปีกับ 10 ปี พบว่า จุดที่เกิดการกัดเซาะและพังทลายของตลิ่งส่วนใหญ่อยู่ตรงบริเวณส่วนโค้งด้านนอกของลำน้ำ และตลิ่งฝั่งตรงข้ามจะเกิดการทับถมของตะกอนจนเป็นสันดอนทรายทำให้ลำน้ำเกิดการกวัดแกว่ง และยังทำให้สภาพตำแหน่งของท้องน้ำเปลี่ยนแปลงด้วยเช่นกัน โดยกรณีที่มีฝายหินทิ้งจะได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของรูปแบบของกราฟน้ำท่าที่ไหลผ่านด้านท้ายน้ำของฝายหินทิ้งจนทำให้อัตราการไหลเพิ่มสูงขึ้นโดยเฉพาะในช่วงอัตราการไหลสูงๆ โดยอัตราการไหลเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วงร้อยละ 25-65 ของอัตราการไหลในกรณีที่ไม่มีฝายหินทิ้ง ซึ่งมาตรการที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่นี้ คือ การปรับปรุงหรือย้ายฝายหินทิ้งเดิมออกไป จะช่วยลดอัตราการกัดเซาะ และพังทลายของตลิ่งลงได้มาก

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ได้สนับสนุนทุนวิจัยในการศึกษาครั้งนี้ และคณาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมชลประทานที่อบรมสั่งสอนตลอดจนคำปรึกษาต่างๆ เกี่ยวกับการวิจัย อีกทั้งขอขอบคุณทาง iRIC (International River Interface Cooperative) ประเทศญี่ปุ่นที่เอื้อเฟื้อแบบจำลองในการศึกษา รวมถึงเจ้าหน้าที่จากกรมทรัพยากรน้ำและกรมชลประทานที่เอื้อเฟื้อข้อมูลต่างๆ ตลอดจนให้คำปรึกษาเกี่ยวกับการวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] R. Papon, "Geomorphology and patterns of pot-holes from the Mekong river, Sam Pun Bok, Amphoe Pho Sai, Changwat Ubon Ratchathani," Bachelor dissertation, Department of Geology, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand, 2013 (in Thai).
- [2] P. Chatkaew, "Geomorphic analysis from meandering zone of Nan river, Amphoe Pua, Changwat Nan," Bachelor dissertation, Department of Geology, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand, 2011 (in Thai).
- [3] S. Chutiporn, "Avulsion of the Mun river in Amphoe Phi Mai, Changwat Nakhon Ratchasima," Bachelor dissertation, Department of Geology, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand, 2013 (in Thai).
- [4] Royal Irrigation Department, "Flood management project in Lam Pha Chi river, Kanchanaburi and Ratchaburi," Royal Irrigation Department, Bangkok, Thailand, 2012 (in Thai).
- [5] S. Kunasutreeerut, "Geomorphology of the Mun river from Tambon Changthong, Amphoe Chalerm Phrakiet, Changwat Nakhon Ratchasima,"



- Bachelor dissertation, Department of Geology, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand, 2013 (in Thai).
- [6] W. Sanit, "Morphodynamic of sand bed evolution under unsteady flow," presented at the 3rd Thaiciid National Symposium, Thailand, June 17, 2008 (in Thai).
- [7] T. Uchida, I. Kimura, and Y. Shimizu, "Numerical studies on bed variations under interactions of vegetation and bank strength," Hokkaido University, Japan, Graduate School of Engineering, 2014.
- [8] P. D. Krishna, K. Kobayashi, Y. Shimizu, and G. Parker, "Numerical computation of free meandering channels with the application of slump blocks on the outer bends," *Journal of Hydro-environment Research*, vol. 3, no. 4, pp. 239–246, 2010.
- [9] K. Asahi, Y. Yoshida, Y. Shmizu, J. Nelson, and G. Parker, "Numerical simulation of the natural processes of river meandering over realistic time scales," in *Advances in River Sediment Research*, London: Taylor & Francis Group, 2013.
- [10] K. Taeun, K. Ichiro, and S. Yasuyuki, "Responses of bed morphology to vegetation growth and flood discharge at a sharp river bend," *Water*, vol. 10, no. 2, pp. 223, 2018.
- [11] S. Wongsu, "Hydraulics behavior and design conceptual of spur dike," presented at the 3rd Thaiciid National Symposium, Bangkok, Thailand, 2007 (in Thai).
- [12] C. Dong and G. Jennifer, "Case study: Two-dimensional model simulation of channel migration processes in West Jordan river, Utah," *Journal of Hydraulic Engineering*, vol. 134, no. 3, 2008.
- [13] T. Iwasaki, Y. Shimizu, and K. Ichiro, "Numerical simulation on bed evolution and channel migration in rivers," *River Flow 2012*, London : Taylor & Francis Group, 2012.
- [14] K. Ashida and M. Michiue, "Hydraulic resistance and bed transport rate in alluvial stream," in *Proceedings of the Japan Society of Civil Engineers*, 1972, pp. 59–69.
- [15] P. Supapap, K. Ichiro, S. Yasuyuki, and H. Kazuyoshi, "Computational modelling of bank erosion by a 2-D depth-averaged model under homogeneous and heterogeneous conditions," presented at the 19th IAHR-APD Congress 2014, Hanoi, Vietnam, 2014.
- [16] C. Montira and T. Wisuwat, "A Comparative study on UAV photogrammetry based on different flying height," presented at the 20th Thai Society of Agricultural Engineering Conference, Chon Buri, Thailand, 2019 (in Thai).
- [17] T. Wisuwat and V. Duangnapa, "A study of sediment transport in Lam Pa Chi river," *Naresuan University Engineering Journal*, vol. 13, pp. 63–74, 2018 (in Thai).
- [18] T. Wisuwat and P. Supapap, "A Study of river morphology in Lam Pa chi river," WRCMIS Lab, Department of Irrigation Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University Kamphaeng Saen Campus, 2017 (in Thai).
- [19] D. Somchai, "A study on the flow and sediment transport through gabion weirs," Department of Irrigation Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University Kamphaeng Saen Campus, 2017 (in Thai).