

Received: 3 พ.ย. 2568

Revised: 3 ก.พ. 2569

Accepted: 4 ก.พ. 2569

การประยุกต์ใช้ระบบวิเคราะห์แนวตลิ่งเชิงดิจิทัล
เพื่อประเมินการเปลี่ยนแปลงแนวตลิ่งแม่น้ำกก อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย
Application of the Digital Shoreline Analysis System (DSAS)
to Assess Riverbank Changes of the Kok River, Mueang District, Chiang Rai Province

อนาวิน ชุมภูพันธ์¹, นครินทร์ ชัยแก้ว¹ และ นิตี เอี่ยมชื่น^{1*}

¹สาขาวิชาภูมิสารสนเทศประยุกต์ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร
มหาวิทยาลัยพะเยา

Anawin Chumpupan¹, Nakarin Chaikaew¹ and Niti lamchuen^{1*}

¹Program of Applied Geoinformatics, School of information and Communication
Technology, University of Phayao

*Corresponding author: niti.ia@up.ac.th

Abstract

In recent years, geologic hazards associated with channel changes such as sediment deposition, erosion, and riverbank collapse have occurred more frequently along the banks of the Kok River. This study aims to assess the trends and rates of riverbank change on both the northern and southern banks of the Kok River within Mueang Chiang Rai District, Chiang Rai Province, Thailand. The study applies the Digital Shoreline Analysis System (DSAS) in combination with Geographic Information Systems (GIS) and multi-temporal satellite imagery from Google Earth Pro (GEP) covering the period 2010–2025. The research workflow begins with selecting GEP images for the study period and georeferencing them to a common coordinate system. The riverbanks are then interpreted and manually digitized on an annual basis, separated into the northern and southern banks. Subsequently, DSAS is used to generate a baseline and transects to compute shoreline-change statistics and riverbank change-rate indicators over time. The resulting outputs are further analyzed spatially in GIS to classify erosion

and deposition zones and to identify key high-risk locations. The results indicate that erosion is the dominant process along both banks. The northern bank shows an average erosion rate of approximately 1.06 m/year and an average deposition rate of 0.63 m/year. The southern bank exhibits an average erosion rate of about 1.03 m/year and an average deposition rate of 1.00 m/year, contributing to the gradual expansion of newly deposited areas that develop into mid-channel alluvial flats. The most severe erosion on both banks is concentrated near the Kok River bridge (National Highway No. 131), particularly in Mae Yao Subdistrict and Doi Hang Subdistrict. Overall, the Kok River banks are expected to continue changing, with erosion and bank failure remaining the primary hazards in the study area.

Keywords: Riverbank Change; Bank Erosion; Accretion; Kok River; Digital Shoreline Analysis System (DSAS); Chiang Rai

บทคัดย่อ

ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา อันตรายทางธรณีวิทยาที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงของร่องน้ำ เช่น การทับถมตะกอน การกัดเซาะ และการพังทลายของตลิ่ง เกิดขึ้นบ่อยครั้งมากขึ้นตามแนวตลิ่งแม่น้ำกก งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อประเมินแนวโน้มและอัตราการเปลี่ยนแปลงของแนวตลิ่งแม่น้ำกก ทั้งแนวตลิ่งฝั่งทิศเหนือและฝั่งทิศใต้ ในพื้นที่อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย โดยประยุกต์ใช้ระบบวิเคราะห์แนวตลิ่งเชิงดิจิทัล (DSAS) ร่วมกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) และภาพถ่ายดาวเทียมจาก Google Earth Pro (GEP) ในช่วงปี ค.ศ. 2010 – 2025 กระบวนการศึกษาเริ่มจากการคัดเลือกภาพถ่ายจาก GEP ในช่วงเวลาศึกษาและปรับให้อยู่ในระบบพิกัดเดียวกัน ก่อนทำการแปลภาพ และดิจิทัลไลซ์แนวตลิ่งรายปี แยกตามฝั่งทิศเหนือ และทิศใต้ จากนั้นใช้ DSAS สร้างเส้นฐาน (baseline) และเส้นตัด (transects) เพื่อคำนวณตัวชี้วัดอัตราการเปลี่ยนแปลงของแนวตลิ่งตามช่วงเวลา และนำผลไปวิเคราะห์เชิงพื้นที่ด้วย GIS เพื่อจำแนกพื้นที่กัดเซาะ-ทับถมและระบุจุดเสี่ยงสำคัญ ผลการศึกษา พบว่า การกัดเซาะเป็นกระบวนการหลักที่เกิดขึ้นบนตลิ่งทั้งสองฝั่ง โดยฝั่งทิศเหนือมีอัตราการกัดเซาะเฉลี่ยประมาณ 1.06 เมตรต่อปี และมีอัตราการทับถมเฉลี่ย 0.63 เมตรต่อปี ส่วนฝั่งทิศใต้มีอัตราการกัดเซาะเฉลี่ยประมาณ 1.03 เมตรต่อปี และมีอัตราการทับถม 1.00 เมตรต่อปี ซึ่งส่งผลให้เกิดพื้นที่ทับถมใหม่ที่ค่อยๆ

ขยายตัวเป็นสันดอนกลางน้ำ (alluvial flats) พื้นที่ที่พบการกัดเซาะรุนแรงที่สุดของทั้งสองฝั่ง อยู่ในบริเวณสะพานข้ามแม่น้ำกก (ทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 131) ตำบลแม่ยาว และตำบลดอยฮาง ทั้งนี้ แนวตลิ่งแม่น้ำกกคาดว่าจะยังคงเปลี่ยนแปลงต่อไป โดยการกัดเซาะและการพังทลายของตลิ่งจะยังคงเป็นอันตรายหลักในพื้นที่ดังกล่าว

คำสำคัญ: การเปลี่ยนแปลงแนวตลิ่ง; การกัดเซาะตลิ่ง; การทับถมตะกอน; แม่น้ำกก; ระบบวิเคราะห์แนวตลิ่งเชิงดิจิทัล (DSAS); จังหวัดเชียงราย

บทนำ

แม่น้ำกกเป็นแม่น้ำสายหลักที่มีบทบาทสำคัญต่อเศรษฐกิจและสังคมของจังหวัดเชียงราย ทั้งในด้านแหล่งน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภค เกษตรกรรม ระบบนิเวศ และกิจกรรมการใช้ประโยชน์พื้นที่ริมน้ำ โดยเฉพาะในเขตอำเภอเมืองเชียงรายซึ่งเป็นพื้นที่ชุมชนหนาแน่น อย่างไรก็ตาม ในช่วงหลายปีที่ผ่านมาแนวตลิ่งแม่น้ำกกในเขตเมืองได้เผชิญการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพอย่างต่อเนื่อง ได้แก่ การกัดเซาะตลิ่ง การทับถมของตะกอน และการพังทลายของคันดินริมลำน้ำ ซึ่งส่งผลกระทบต่อที่ดินทำกิน ความปลอดภัยของประชาชน และโครงสร้างพื้นฐานสาธารณะริมแม่น้ำ ความรุนแรงของปัญหาดังกล่าวสะท้อนผ่านการดำเนินมาตรการเชิงโครงสร้างของภาครัฐในพื้นที่จริง ตัวอย่างเช่น โครงการก่อสร้าง เขื่อนป้องกันตลิ่งริมแม่น้ำกกบริเวณบ้านเวียงกือนา ตำบลริมกก อำเภอเมืองเชียงราย ความยาว 300 เมตร ซึ่งจัดทำขึ้นเพื่อแก้ปัญหาการกัดเซาะบริเวณโค้งตลิ่งที่มีความเสี่ยงสูง โดยรายงานเชิงเทคนิคยังระบุถึงข้อเท็จจริงที่ว่าในฤดูฝนระดับน้ำท่วมอาจสูงกว่า 7 เมตรจากฐานราก และมีสาเหตุการพังทลายที่เกี่ยวข้องกับกลไกการพังแบบ circular failure และ rapid drawdown แม้การเปลี่ยนแปลงของแนวตลิ่งจะเป็นกระบวนการตามธรรมชาติ แต่กิจกรรมของมนุษย์ (เช่น การใช้ประโยชน์ที่ดินริมตลิ่ง การปรับปรุงลำน้ำ และการรบกวนตะกอน) อาจเร่งให้เกิดความไม่เสถียรของตลิ่งมากขึ้น (Srivichai, 2025) รวมถึงบริบทด้านความหลากหลายชีวภาพและประเด็นการสำรวจทรัพยากรน้ำจืดในแม่น้ำกกที่สะท้อนความสำคัญของการจัดการระบบแม่น้ำอย่างยั่งยืน (WWF, 2023) ปัจจุบัน เทคโนโลยีการรับรู้ระยะไกล (Remote Sensing: RS) และระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) ได้กลายเป็นเครื่องมือสำคัญในการติดตามการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ โดยเฉพาะ ระบบวิเคราะห์แนวตลิ่งเชิงดิจิทัล” (Digital Shoreline Analysis System: DSAS) ซึ่งเป็นเครื่องมือส่วนขยายใน ArcGIS ที่ได้รับการใช้อย่างแพร่หลายในการคำนวณอัตราการเปลี่ยนแปลงของแนวตลิ่งอย่างเป็นระบบ (U.S. Geological Survey, 2021) งานวิจัยร่วมสมัยจำนวนมากประยุกต์ใช้ DSAS เพื่อคำนวณอัตราการกัดเซาะและการทับถมของตลิ่ง

ในระบบแม่น้ำ โดยให้ผลลัพธ์เชิงปริมาณที่สามารถนำไปใช้ระบุพื้นที่เสี่ยงและวางแผนจัดการพื้นที่ริมฝั่งได้ (Hasanuzzaman et al., 2024) อย่างไรก็ตาม การประเมินการเปลี่ยนแปลงจากภาพ Google Earth/Google Earth Pro จำเป็นต้องพิจารณาความถูกต้องเชิงตำแหน่งและความไม่สม่ำเสมอของความละเอียดภาพในแต่ละช่วงเวลา ซึ่งมีการประเมินและรายงานในงานวิจัยด้านความแม่นยำของข้อมูล Google Earth ในบริบทพื้นที่ต่าง ๆ (Guo et al., 2021; Zhang et al., 2023) รวมทั้งมีการประยุกต์ใช้ Google Earth ร่วมกับ GIS ในงานด้านการทำแผนที่/ธรณีวิทยาอย่างเป็นระบบ (Lawal et al., 2022)

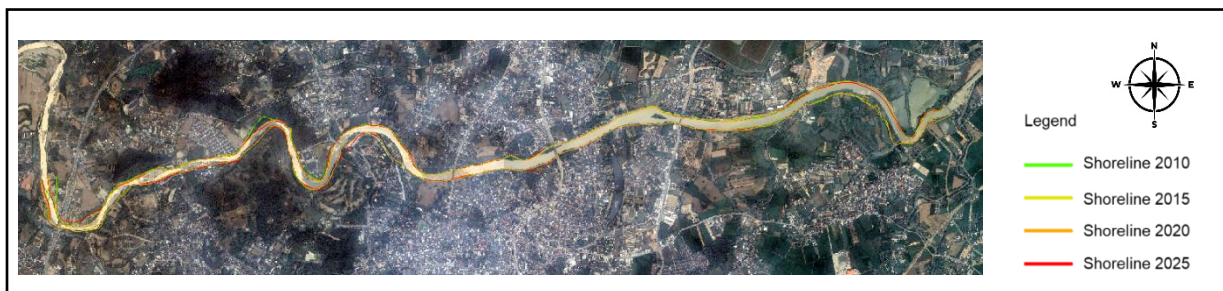
วัตถุประสงค์

1. เพื่อตรวจวัดและประเมินการเปลี่ยนแปลงแนวตลิ่งของแม่น้ำกก โดยใช้เทคโนโลยีรีโมตเซนซิง ร่วมกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) และโปรแกรม DSAS
2. เพื่อระบุพื้นที่เสี่ยงหรือจุดที่มีการกัดเซาะรุนแรงและ อภิปรายปัจจัยที่ทำให้เกิดการกัดเซาะตลิ่ง ตลอดแนวตลิ่งทั้งสองฝั่งของแม่น้ำกกในเขตอำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ขอบเขตการศึกษา

พื้นที่ริมตลิ่งฝั่งเหนือและฝั่งใต้ของแม่น้ำกกในพื้นที่อำเภอเมืองจังหวัดเชียงราย จังหวัดเชียงราย | รวมความยาวประมาณ 3 กิโลเมตร แสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แสดงแนวตลิ่งของแม่น้ำกก ในแต่ละช่วงปี ค.ศ. 2010 - 2025

2.เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาการวิจัย ได้แก่โปรแกรม ArcGIS version 10.8 และ โปรแกรมเสริม The Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 5.1 (U.S. Geological Survey, 2021)

3.การรวบรวมข้อมูล

ข้อมูลภาพถ่ายด้วยเทียมจาก google earth pro ในพื้นที่อำเภอเมืองจังหวัดเชียงราย จังหวัดเชียงราย ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมจาก google earth pro

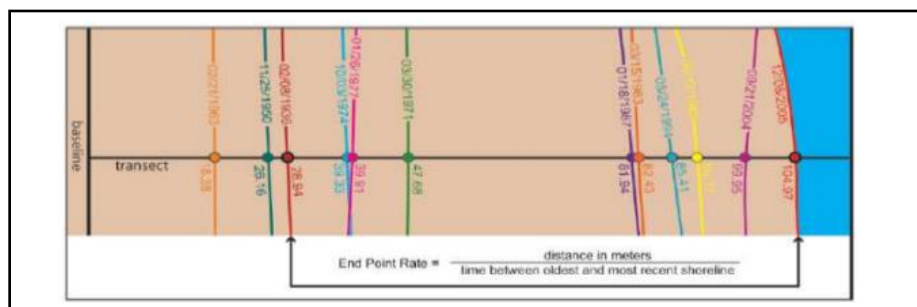
ลำดับที่	วันที่	ฤดูกาล
1	25 ธันวาคม ค.ศ. 2010	ฤดูหนาว/ฤดูแล้ง
2	12 ธันวาคม ค.ศ. 2015	ฤดูหนาว/ฤดูแล้ง
3	29 มกราคม ค.ศ. 2020	ฤดูหนาว/ฤดูแล้ง
4	21 มีนาคม ค.ศ. 2025	ฤดูร้อน/ปลายฤดูแล้ง

4.วิธีการศึกษา

1) ดาวโหลดข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมจาก google earth pro ที่ครอบคลุมพื้นที่แม่น้ำกก ในพื้นที่อำเภอเมืองจังหวัดเชียงราย ปี 2010 - 2025 โดยเลือกคัดเลือกรูปภาพในฤดูแล้ง (ประมาณเดือนธันวาคม-มีนาคม) ให้ใกล้เคียงกันทุกปีมากที่สุด เพื่อลดอคติจากฤดูกาล (seasonal bias) ที่ทำให้ขอบเขตผิวน้ำเปลี่ยนแปลงตามระดับน้ำ (Guo et al., 2021; Zhang et al., 2023) จากนั้นกำหนดให้อยู่ในระบบพิกัดเดียวกัน (georeferencing) เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบตำแหน่งแนวตลิ่งระหว่างปีได้

2) การสกัดแนวตลิ่งจากภาพถ่ายดาวเทียมหลายช่วงเวลาด้วยการดิจิทัลไลซ์แบบแมนนวล (manual on-screen digitization) เนื่องจากข้อมูลจาก google earth pro เป็นภาพ RGB จึงไม่สามารถประยุกต์วิธี band ratio ที่ต้องใช้ช่องสัญญาณอินฟราเรดได้ ดังนั้นจึงใช้วิธี Manual On-screen Digitization บน ArcGIS โดยยึดนิยามแนวตลิ่งเป็น แนวแบ่งระหว่างขอบผิวน้ำกับพื้นดินแห้งหรือพืชพรรณ (dry wet boundary หรือ vegetation line) ที่เห็นชัดที่สุดในภาพ จากนั้นดำเนินการดิจิทัลไลซ์แนวตลิ่งแยกตามฝั่งทิศเหนือและทิศใต้ของแม่น้ำกกในแต่ละปี โดย ควบคุมมาตราส่วนการมองภาพให้คงที่ ระบุสเกลที่ใช้ 1:2,000 และใช้หลักการเดียวกันทุกปีเพื่อลดความต่างจากผู้แปลภาพ (Lawal et al., 2022; Guo et al., 2021) ผลลัพธ์เป็นข้อมูลเวกเตอร์ (shapefile) ของแนวตลิ่ง (Bank lines)

3) การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงแนวตลิ่ง (DSAS Analysis) หลังจากได้แนวตลิ่ง (Bank lines) ในแต่ละช่วงเวลาแล้ว จึงนำเข้าสู่ ระบบวิเคราะห์แนวตลิ่งเชิงดิจิทัล (Digital Shoreline Analysis System หรือ DSAS) ซึ่งเป็นเครื่องมือส่วนขยายใน ArcGIS เพื่อคำนวณอัตราการกัดเซาะ การทับถม และ ประเมินแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของตลิ่งแม่น้ำกนก ขั้นตอนการวิเคราะห์ด้วย DSAS มีดังนี้ การสร้างเส้น ฐาน (Baseline) สร้างเส้นฐานอ้างอิงขนานไปกับแนวตลิ่ง ตลอดแนวพื้นที่ศึกษา การสร้างเส้นตั้งฉาก (Transects) จะสร้างเส้นตั้งฉากโดยอัตโนมัติ โดยลากจากเส้นฐานมาตัดผ่านแนวตลิ่งในแต่ละช่วงเวลา ซึ่ง กำหนดระยะห่างระหว่างเส้นตั้งฉาก (Spacing) ให้คงที่ 100 เมตร เพื่อให้ครอบคลุมการเปลี่ยนแปลง ตลอดแนวตลิ่งแม่น้ำกนกทั้งสองฝั่งในพื้นที่ศึกษา การคำนวณอัตราการเปลี่ยนแปลง DSAS จะคำนวณ ระยะห่างที่แนวตลิ่งเคลื่อนที่ไปตามแนวเส้นตั้งฉากแต่ละเส้นเมื่อเวลาผ่านไป โดยใช้อินดิเคเตอร์ทางสถิติที่ สำคัญคือ End Point Rate (EPR) เป็นอัตราการเปลี่ยนแปลงที่คำนวณโดยการวัดระยะทางระหว่างแนว ตลิ่งในเวลาเริ่มต้น ที่ปี 2010 และเวลาสิ้นสุดที่ปี 2025 แล้วหารด้วยจำนวนปี 15 ปี (Thieler et al., 2009; Himmelstoss et al., 2021; U.S. Geological Survey, 2021) แสดงดังภาพที่ 2



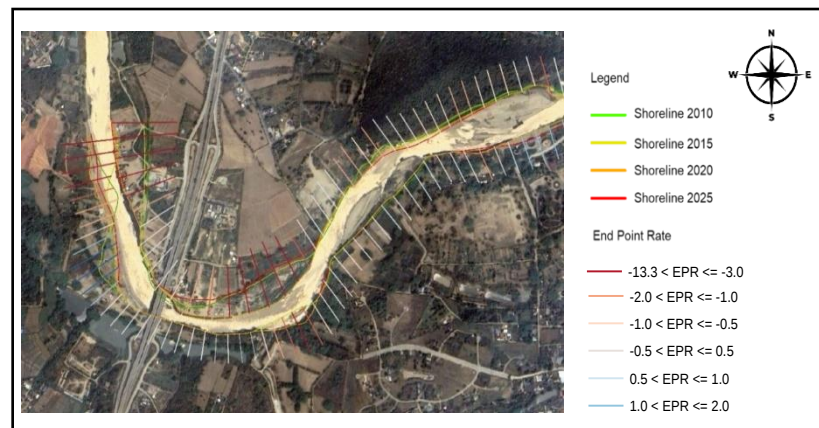
ภาพที่ 2 แสดงวิธีการคำนวณอัตราการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งโดยใช้วิธี End Point Rate (EPR)

ผลการวิจัยและอภิปราย

พบว่าแนวตลิ่ง ฝั่งทิศเหนือ มีอัตราการกัดเซาะเฉลี่ย 1.06 เมตรต่อปี ขณะที่อัตราการทับถม เฉลี่ยอยู่ที่ 0.63 เมตรต่อปี ส่วนแนวตลิ่ง ฝั่งทิศใต้ มีอัตราการกัดเซาะเฉลี่ย 1.03 เมตรต่อปี แสดงดังภาพ ที่ 3 และมีอัตราการทับถมเฉลี่ยสูงถึง 1.00 เมตรต่อปี บริเวณที่มีความอ่อนไหวมากที่สุดที่เกิดจากการกัด เซาะจะอยู่ในช่วงบริเวณ สะพาน (ทางหลวงแผ่นดิน 131) และถนนเลียบแม่น้ำในตำบลแม่ยาวและดอย ฮาง แสดงดังภาพที่ 4



ภาพที่ 3 แสดงการกีดเซาะ และการทับถม ในพื้นที่ของแม่น้ำกกในพื้นที่อำเภอเมืองจังหวัดเชียงราย



ภาพที่ 4 แสดงบริเวณสะพานข้ามแม่น้ำกก (ทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 131) ใน
ตำบลแม่ยาว
และตำบลดอยฮาง ที่มีการกีดเซาะของแนวตลิ่งที่รุนแรง

ซึ่งสะท้อนให้เห็นกระบวนการสะสมตะกอนที่เด่นชัดในช่วงต้นน้ำของลำน้ำ โดยเฉพาะการก่อตัวของ สันดอนกลางน้ำ (Alluvial flats) อันเป็นลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่พบได้ตามธรรมชาติในระบบแม่น้ำที่มีการตกตะกอนในบริเวณที่พลังงานการไหลลดลง เช่น บริเวณ ตลิ่งโค้งด้านใน (Convex bank) ส่งผลให้เกิดการทับถมและการขยายตัวของพื้นที่ในลำน้ำ (Huang et al., 2024) ส่วนตอนกลาง และตอนปลายของลำน้ำไม่พบการเปลี่ยนแปลงของแนวตลิ่งมากนัก

สรุปผล

งานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการรับรู้ระยะไกล ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ และระบบวิเคราะห์แนวตลิ่งเชิงดิจิทัล (DSAS) เพื่อประเมินแนวโน้มและอัตราการเปลี่ยนแปลงแนวตลิ่งแม่น้ำกก ในเขตอำเภอเมือง จังหวัดเชียงรายในระยะเวลา 15 ปี ระหว่างปี ค.ศ. 2010 – 2025 ผลการวิจัยสรุปได้ว่า การกัดเซาะ (Erosion) เป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงหลัก ที่เกิดขึ้นตลอดแนวตลิ่งทั้งสองฝั่ง โดยแนวตลิ่งฝั่งทิศเหนือมีอัตราการกัดเซาะเฉลี่ย 1.06 เมตร/ปี และฝั่งทิศใต้มีอัตรา 1.03 เมตร/ปี ในขณะเดียวกัน กระบวนการทับถม (Accretion) ก็เกิดขึ้น โดยเฉพาะฝั่งทิศใต้ (อัตราเฉลี่ย 1.00 เมตร/ปี) ซึ่งนำไปสู่การขยายตัวของสันดอนกลางน้ำ (Alluvial flats) ประเด็นสำคัญที่ค้นพบคือ พื้นที่วิกฤต (Hotspot) ที่มีการกัดเซาะรุนแรงที่สุด อยู่ในบริเวณ สะพานข้ามแม่น้ำกก (ทางหลวงชนบทหมายเลข 131) ในพื้นที่ตำบลแม่ยาว และตำบลดอยฮาง ซึ่งคาดว่าเกิดจากการที่โครงสร้างสะพานขวางกั้นและเร่งความเร็วของกระแสน้ำ ทำให้พลังงานในการกัดเซาะตลิ่งเพิ่มสูงขึ้นผลลัพธ์เชิงปริมาณที่ได้จากการศึกษานี้ ยืนยันว่าแนวตลิ่งแม่น้ำกก ยังคงมีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง (Dynamic) และการกัดเซาะยังคงเป็นอันตรายหลักที่คุกคามที่ดินทำกินและโครงสร้างพื้นฐานริมแม่น้ำ ข้อมูลจาก DSAS นี้ ชี้ชัดถึงพื้นที่ที่ควรได้รับการจัดลำดับความสำคัญในการป้องกันและจัดการตลิ่งอย่างเร่งด่วน และแสดงให้เห็นว่าการบูรณาการเครื่องมือ RS, GIS และ DSAS เป็นแนวทางที่มีประสิทธิภาพสูง สำหรับการติดตามและประเมินพลวัตของแม่น้ำในพื้นที่ ข้อจำกัดสำคัญของงานนี้คือการใช้ภาพจาก Google Earth Pro ซึ่งอาจมีความไม่สม่ำเสมอของแหล่งภาพและความละเอียด ทำให้ความถูกต้องเชิงตำแหน่งแตกต่างกันตามช่วงเวลา และอาจส่งผลต่อความไม่แน่นอนของแนวตลิ่งที่ดิจิทัล (Guo et al., 2021; Zhang et al., 2023) นอกจากนี้ วิธี manual digitization มีความคลาดเคลื่อนจากผู้แปลภาพ และงานวิจัยยังไม่ได้วิเคราะห์ปัจจัยขับเคลื่อนเชิงกายภาพ (เช่น อัตราการไหล ปริมาณฝน คุณสมบัติน้ำ/ธรณีวิทยาตลิ่ง และการใช้ที่ดิน) อย่างเป็นระบบ ซึ่งสามารถพัฒนาเพิ่มเติมโดยบูรณาการแนวคิด channel migration และ bank stability modelling (Huang et al., 2024) รวมถึงพิจารณาบทบาทกิจกรรมมนุษย์ที่กระทบตะกอน เช่น การทำเหมืองทราย/ดูดทรายในระบบแม่น้ำ (Koehnken & Rintoul, 2018) อีกทั้งควรใช้ข้อมูลความละเอียดสูงขึ้น เช่น UAV สำรวจภาคสนามในพื้นที่ และทำแบบจำลองอุทกพลศาสตร์บริเวณสะพานเพื่อทดสอบสมมติฐานการรบกวนการไหลและการกัดเซาะเฉพาะจุด (Fosness & Schauer, 2024) สำหรับการติดตามและประเมินพลวัตของแม่น้ำในพื้นที่ต่อไป

เอกสารอ้างอิง

โครงการก่อสร้างเขื่อนป้องกันตลิ่งริมแม่น้ำกก บ้านเวียงกือนา ตำบลริมกก อำเภอเมืองเชียงราย

จังหวัดเชียงราย. ค้นจาก <https://www.maccaferri.com/th/news>

Fosness, R. L., & Schauer, P. V. (2024). **Real-time pier scour monitoring and observations at three scour-critical sites in Idaho, water years 2020–22 (USGS Scientific Investigations Report 2024–5095)**. U.S. Geological Survey. Retrieved 10 2025, From <https://doi.org/10.3133/sir20245095>.

Guo, J., Tu, H.-J., Li, H., Zhao, Y., & Zhou, J. (2021). **Horizontal accuracy assessment of Google Earth data over typical regions of Australia using WorldView**. *ISPRS Archives, XLIII-B3, 763–768*. Retrieved 10 2025, From <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIII-B3-2021-763-2021>

Hasanuzzaman, M., Islam, A., Bera, B., & Shit, P. K. (2024). **Quantifying the riverbank erosion and accretion rate using DSAS model: Study from the lower Ganga River, India**. *Natural Hazards Research*, 4, 550–561. Retrieved 9 2025, From <https://doi.org/10.1016/j.nhres.2023.12.015>

Himmelstoss, E. A., Henderson, R. E., Kratzmann, M. G., & Farris, A. S. (2021). **Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 5.1 user guide (U.S. Geological Survey Open-File Report 2021–1091)**. U.S. Geological Survey. Retrieved 9 2025, From <https://doi.org/10.3133/ofr20211091>

Huang, P.-C., Lin, Y.-C., & Chen, C.-H. (2024). **Estimation of riverbank erosion by combining channel migration and bank stability modelling**. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 15(1), 2359983. Retrieved 9 2025, From <https://doi.org/10.1080/19475705.2024.2359983>

Koehnken, L., & Rintoul, M. (2018). **Impacts of sand mining on ecosystem structure, process & biodiversity in rivers (Review report)**. World Wide Fund for Nature (WWF). Retrieved 9 2025, From https://wwfint.awsassets.panda.org/downloads/sandmining_execsum__final_.pdf

Lawal, M. A., Adekeye, O. A., Ahmad, M., Evans, N., Amankwah, R. K., & Abbas, A. (2022).

- A simplified GIS and Google-Earth-based approach for geological mapping. *Scientific Reports*, **12**, 15408. Retrieved 10 2025, From <https://doi.org/10.1038/s41598-022-20057-2>
- Ren, Z., Li, H., Peng, H., & Wang, S. (2024). **A large-scale riverbank erosion risk assessment model using multi-source geospatial data**. *Ecological Indicators*, **164**, 112050. Retrieved 10 2025, From <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X2401032X>
- Srivichai, M. (2025). **Analyzing drought risks and impacts in the Kok River Basin**. *Interdisciplinary Research Review*, **20**(1), 32–41. Retrieved 10 2025, From <https://doi.org/10.14456/irr.2025.4>
- Thieler, E. R., Himmelstoss, E. A., Zichichi, J. L., & Ergul, A. (2009). **The Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 4.0—An ArcGIS extension for calculating shoreline change (U.S. Geological Survey Open-File Report 2008–1278)**. U.S. Geological Survey. Retrieved 12 2025, From <https://doi.org/10.3133/ofr20081278>
- U.S. Geological Survey. (2021, November 30) **Digital Shoreline Analysis System (version 5.1) (Data/software record)**. Retrieved 10 2025, From <https://www.usgs.gov/software/digital-shoreline-analysis-system-v51>
- U.S. Geological Survey, Idaho Water Science Center. (n.d.). **Real-time pier scour monitoring and evaluation**. Retrieved 10 2025, From <https://www.usgs.gov/centers/idaho-water-science-center/science/real-time-pier-scour-monitoring-and-evaluation>
- WWF. (2023). **Terms of reference: Freshwater biodiversity survey of the Kok River**. **WWF-Asia**. Retrieved 10 2025, From https://wwfasia.awsassets.panda.org/downloads/tor_kok-river_freshwater-biodiversity-survey-of-the-kok-river.pdf

Zhang, X., Li, J., & Chen, Y. (2023). Accuracy assessment of Google Earth and open-source DEMs for urban 3D modeling. *Sensors and Materials*, 35(10), 3297–3311. Retrieved 10 2025, From https://sensors.myu-group.co.jp/sm_pdf/SM3394.pdf