

การวิเคราะห์การเกิดอุทกภัยเนื่องจากการพิบัติของเขื่อนแก่งกระจาน AN ANALYSIS OF FLOODING DUE TO THE KAENG KRACHAN DAM FAILURES

พุทธรพล ยิ่งยง¹ วิษุวัตม์ แท้สมบัติ¹ และดวงนภา วานิชสรณ์^{2*}

Puttapol Yingyong¹, Wisuwat Taesombat¹ and Duangnapa Vanichsan^{2*}

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์การเกิดอุทกภัยจากการพิบัติของเขื่อนแก่งกระจานด้วยแบบจำลอง HEC-RAS โดยกำหนดระดับน้ำเริ่มต้นไว้ที่ระดับเก็บกักปกติที่ +99.00 เมตร (รทก.) และกำหนดให้ใช้ปริมาณการไหลเข้าสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ (Probable Maximum Flood, PMF) เป็นปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ สำหรับกรณีศึกษาลักษณะการพิบัติของเขื่อนแบ่งเป็นแบบการไหลข้ามสันเขื่อนและการไหลลอดใต้ฐานเขื่อน ผลการศึกษาพบว่า การเปรียบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง HEC-RAS ในช่วงปี พ.ศ. 2561-2564 ผ่านเกณฑ์ คือ มีค่า r อยู่ระหว่าง 0.95-0.99 และค่า RMSE อยู่ระหว่าง 24-43 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที โดยมีค่า Manning's n ของแม่น้ำเพชรบุรีทั้งในลำน้ำและทุ่งน้ำท่วมเท่ากับ 0.033-0.050 และ 0.500 ตามลำดับ ส่วนการพิบัติของเขื่อนกรณีที่มีความเป็นไปได้มากที่สุดคือ กรณีไหลล้นเขื่อนปิดเขาตำแหน่งที่ 2 ซึ่งจะก่อให้เกิดอัตราการไหลสูงสุด 6,650 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที พื้นที่น้ำท่วม 818 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 511,250 ไร่ ระยะเวลาน้ำท่วมประมาณ 3 วัน โดยมีพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบอยู่บริเวณลุ่มน้ำสาขาลุ่มน้ำเพชรบุรีตอนล่าง ได้แก่ อ.แก่งกระจาน อ.บ้านลาด อ.ท่ายาง อ.บ้านแหลม อ.ชะอำ อ.เขาย้อย อ.หนองหญ้าปล้อง และ อ.เมืองเพชรบุรี รวมทั้งสิ้น 485 หมู่บ้าน 78 ตำบล 8 อำเภอ 1 เทศบาลเมือง

¹คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม 73140

¹Faculty of Engineering at Kamphaengsaen, Kasetsart University Campus Kamphaengsaen, Kamphaengsaen District, Nakhon Pathom Province 73140

²คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม อำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม 73000

²Faculty of Science and Technology, Nakhon Pathom Rajabhat University, Muang District, Nakhon Pathom Province 73000

*corresponding author e-mail: wanichsan@webmail.npru.ac.th

Received: 11 January 2023; Revised: 7 April 2023; Accepted: 10 April 2023

DOI: <https://doi.org/10.14456/lsej.2023.12>

โดยระยะเวลาเดินทางของน้ำจากเขื่อนแก่งกระจานถึงตัวเมืองเพชรบุรีใช้เวลาประมาณ 16 ชั่วโมง จากผลการศึกษาได้เสนอแนะจุดอพยพเพื่อที่จะสามารถเตรียมแผนรับสถานการณ์อุทกภัยฉุกเฉินที่จะเกิดขึ้นได้ ซึ่งมีทั้งหมด 13 จุด และมีความสามารถรองรับผู้ประสบภัยได้ 200-500 คน

คำสำคัญ: เขื่อนแก่งกระจาน การพิบัติของเขื่อน แบบจำลอง HEC-RAS

Abstract

This study aimed to analyze the occurrence of flooding caused by the Kaeng Krachan dam failures using HEC-RAS model. The initial water level at the normal storage level at +99.00 m (MSL) and the probable maximum flood were selected as the inflow of the reservoir which determines. For the case study of the failure characteristics of the dam, it is divided into two types such as overtopping and piping failures. The results of the study showed that the calibration and verification of the HEC-RAS model in from 2018 to 2021 passed the criteria, comprised of the r value was between 0.95-0.99 and the RMSE value was between 24-43 m^3/s . The Manning's n values of the Phetchaburi River both in the river and floodplain were 0.033-0.050 and 0.500, respectively. While, the most probable case of dam failure is the case of the overtopping of the second dam of the low hill, which will cause a maximum flow rate of 6,650 m^3/s , flooding area of 818 km^2 or approximately 511,250 rai, the flood period is about 3 days, The affected areas were in the Lower Phetchaburi river basin, namely Kaeng Krachan district, Ban Lat district, Tha Yang district, Ban Laem district, Cha-Am district, Khao Yoi district, Nong Ya Plong district and Muang Phetchaburi district with a total of 485 villages, 78 sub-districts, 8 districts, 1 municipality. The travel time of the water from Kaeng Krachan dam to Petchaburi town, it takes about 16 hours. The results of the study suggest evacuation points in order to be able to prepare plans for the emergency flood situation that will occur. It had a total of 13 points and could support 200 to 500 victims.

Keywords: Kaeng Krachan dam, Dam failures, HEC-RAS model

บทนำ

จังหวัดเพชรบุรีประสบปัญหาอุทกภัยอยู่บ่อยครั้ง โดยเหตุการณ์ที่สำคัญคือช่วงปลายเดือนพฤศจิกายนถึงต้นเดือนธันวาคม พ.ศ. 2560 เกิดมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ หย่อมความกดอากาศต่ำและอิทธิพลของพายุไต้ฝุ่นทำให้เกิดฝนตกหนักถึงหนักมากในหลายจังหวัดของภาคใต้ โดยเฉพาะจังหวัดเพชรบุรีที่เกิดน้ำท่วมหนักในหลายพื้นที่ ยิ่งไปกว่านั้นคือ ในปี พ.ศ. 2561 ช่วงเดือนกรกฎาคมเกิดมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ร่องมรสุม พายุโซนร้อนเซินติญและเบบินคา ส่งผลให้เกิดฝนตกหนักทำให้น้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำเขื่อนแก่งกระจานค่อนข้างมาก กล่าวคือแค่ระยะเวลาเพียง 1 วัน (19 กรกฎาคม พ.ศ. 2561) มีปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างสูงถึง 159.89 MCM ซึ่งถือเป็นปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนรายวันที่สูงที่สุดของเขื่อนแก่งกระจานตั้งแต่มีการสร้างเขื่อน หลังจากนั้นปริมาณน้ำยังคงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนเกินระดับกักเก็บปกติ โดยมีปริมาณน้ำกักเก็บสูงสุด 777.54 MCM (20 สิงหาคม พ.ศ. 2561) ซึ่งถือเป็นปริมาณน้ำกักเก็บมากที่สุดเมื่อเทียบกับปี พ.ศ. 2546, 2549 และ 2550 ซึ่งเป็นปีที่เคยเกิดสถานการณ์น้ำล้นเขื่อน จากสถานการณ์ฝนตกหนัก รวมทั้งปริมาณน้ำที่ระบายมาจากเขื่อนแก่งกระจานครั้งนี้ส่งผลทำให้ระดับน้ำในแม่น้ำเพชรบุรีเพิ่มสูงขึ้นและเกิดสถานการณ์น้ำล้นตลิ่ง โดยกรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย (Department of Disaster Prevention and Mitigation, 2018) ได้รับรายงานว่า เมื่อวันที่ 30 สิงหาคม พ.ศ. 2561 เกิดน้ำท่วมในจังหวัดเพชรบุรี ซึ่งมี 6 อำเภอ 20 ตำบล 76 หมู่บ้าน 17 ชุมชน 497 ครัวเรือน 2,048 คน ที่ได้รับผลกระทบ

จากเหตุการณ์ข้างต้นสาเหตุที่ทำให้เกิดน้ำท่วมมักเกิดจากระดับน้ำในเขื่อนมีปริมาณมากจนเกินความสามารถที่เขื่อนจะรองรับได้ ดังนั้นในอดีตและปัจจุบันได้มีนักวิจัยหลายท่านทั้งในประเทศและต่างประเทศได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการพิบัติของเขื่อน เช่น ในประเทศอินเดีย Sharma & Mujumdar (2016) ศึกษาผลกระทบจากภัยพิบัติกรณีเขื่อน Ajwa ด้วยแบบจำลอง ArcGIS, HEC-GeoRAS และ HEC-RAS ผลการศึกษาพบว่า การพิบัติของเขื่อนส่งผลต่อระดับผิวน้ำสูงสุด ความเร็วในร่องน้ำ และอัตราการไหลบริเวณท้ายน้ำ ส่วน Leoul & Kassahun (2019) ได้ทำการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ที่เขื่อน Kesem Kebena ในประเทศเอธิโอเปียจะพิบัติ ทั้งกรณีการพิบัติของเขื่อนจากปริมาณน้ำที่ไหลข้ามสันเขื่อน (overtopping) และการพิบัติจากน้ำไหลรอดตัวเขื่อน (piping) รวมทั้งวิเคราะห์ผลกระทบจากการเกิดน้ำท่วมด้วยแบบจำลอง HEC-RAS และใช้สมการ Empirical ในการทำนายพารามิเตอร์ของการพิบัติเขื่อนทั้ง 2 กรณี อีกทั้งยังใช้แบบจำลอง HEC-GeoRas เพื่อแสดงขอบเขตของน้ำท่วมอีกด้วย นอกจากนี้ Yingyong & Taesombat (2020) ทำวิเคราะห์การพิบัติของเขื่อนแก่งกระจานใน 4 กรณี คือ กรณีน้ำไหลล้นข้ามสันเขื่อน กรณีการไหลลอดฐานรากตัวเขื่อนแบบรูปทรงสี่เหลี่ยมคางหมู และกรณีการไหลลอดฐานรากตัวเขื่อนแบบรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าด้วยแบบจำลอง HEC-RAS โดยใช้ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำที่รอบปีการเกิดซ้ำ 100 1,000 10,000 ปี และการไหลเข้าสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ (Probable Maximum Flood, PMF)

ผลการศึกษาพบว่า การพิบัติของเขื่อนกรณีการไหลลดฐานรากตัวเขื่อนในลักษณะของรอยแตกแบบสี่เหลี่ยมคางหมูจะก่อให้เกิดอัตราการไหลสูงสุด รองลงมาได้แก่ รอยแตกแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า และการไหลล้นข้ามสันเขื่อน ตามลำดับ และ Bharath et al. (2021) ได้วิเคราะห์เขื่อนแตกของเขื่อน Hidkal ในประเทศอินเดีย โดยใช้แบบจำลอง HEC-RAS หนึ่งมิติ ผลการศึกษาพบว่า ค่าการไหลสูงสุดบริเวณท้ายเขื่อนมีค่าเท่ากับ 72,020.57 และ 78,384.21 m³/s และพื้นที่น้ำท่วมมีค่าประมาณ 74.32 และ 78.19 km² สำหรับการพิบัติของเขื่อนจากปริมาณน้ำที่ไหลข้ามสันเขื่อน และการพิบัติจากน้ำไหลรอดตัวเขื่อน ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่า ค่าความลึกของการไหลของการพิบัติจากน้ำไหลรอดตัวเขื่อนมีค่าแปรผันตั้งแต่ 13.09-30.39 m ส่วนการพิบัติของเขื่อนจากปริมาณน้ำที่ไหลข้ามสันเขื่อนบริเวณเขื่อนและจุดสิ้นสุดของแม่น้ำมีค่าแปรผันตั้งแต่ 13.86-34.98 m ยิ่งไปกว่านั้นผลการศึกษาแสดงเป็นกราฟน้ำท่าของน้ำท่วมภายใต้สถานการณ์จำลองที่ปริมาณการไหลเข้าสู่สูงสุดที่อาจเป็นไปได้ (PMF) ต่าง ๆ อีกด้วย

จากการทบทวนผลการศึกษาข้างต้นทำให้ทราบว่าแบบจำลอง HEC-RAS สามารถวิเคราะห์การพิบัติของเขื่อนในรูปแบบต่าง ๆ ได้ รวมทั้งผลกระทบที่เกิดจากการพิบัติของเขื่อน ดังนั้นการศึกษารังนี้จึงเลือกใช้แบบจำลอง HEC-RAS มาช่วยวิเคราะห์การเกิดอุทกภัยเนื่องจากการพิบัติของเขื่อนแก่กระงาน เพื่อพยากรณ์ระดับน้ำ ปริมาณการไหล และเวลาเดินทางของน้ำนับจากเกิดการพิบัติของเขื่อนไปยังด้านท้ายน้ำ พร้อมทั้งจัดทำแผนที่น้ำท่วมไว้ใช้ในการวางแผนสำหรับเตรียมความพร้อมในการเตือนภัย อพยพ และบรรเทาภัยสำหรับราษฎรในพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบ

วิธีดำเนินการวิจัย

สำหรับพื้นที่ศึกษาได้เลือกกลุ่มน้ำเพชรบุรีซึ่งพื้นที่ลุ่มน้ำทั้งหมดประมาณ 6,204 km² ซึ่งกลุ่มน้ำหลักแม่น้ำเพชรบุรีแบ่งได้เป็น 3 กลุ่มน้ำสาขา คือ 1) กลุ่มน้ำสาขาแม่น้ำเพชรบุรีตอนบนหรือพื้นที่ลุ่มน้ำของแม่น้ำเพชรบุรีสายหลักเหนือเขื่อนเพชรมีพื้นที่ประมาณ 3,508 km² 2) กลุ่มน้ำสาขาแม่น้ำเพชรบุรีตอนล่างหรือพื้นที่ท้ายเขื่อนเพชรมีพื้นที่ประมาณ 1,593 km² และ 3) กลุ่มน้ำสาขาห้วยแม่ประจันต์มีพื้นที่ประมาณ 1,152 km² โดยมีลักษณะพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรีและแผนผังลุ่มน้ำดังภาพที่ 1 (Figure 1) ซึ่งกลุ่มน้ำนี้มีเขื่อนที่สำคัญ 4 เขื่อน คือ เขื่อนแก่กระงาน เขื่อนห้วยแม่ประจันต์ เขื่อนห้วยผาก และเขื่อนเพชร

สำหรับการดำเนินการวิเคราะห์การเกิดอุทกภัยเนื่องจากการพิบัติของเขื่อนแก่กระงานมีขั้นตอนการดำเนินการวิจัยดังนี้

1. การรวบรวมและตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูล

1.1 ข้อมูลแผนที่ฐานสภาพภูมิประเทศ (Digital Elevation Model, DEM) มีมาตราส่วน 1:4,000 ซึ่งรวบรวมได้จากกรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

1.2 ข้อมูลทางกายภาพของเขื่อนแก่งกระจานและอาคารประกอบ เขื่อนแก่งกระจานเป็นเขื่อนดินถมมีความสูงจากฐานราก 58 m ความยาวสันเขื่อน 760 m กว้าง 8 m ระดับสันเขื่อน +106.00 m (MSL) ระดับเก็บกักปกติ +99.00 m (MSL) ความจุที่ระดับปกติ 710 MCM และมีพื้นที่อ่างเก็บน้ำ 46.5 km²

1.3 ข้อมูลน้ำท่ารวบรวมได้จากกรมชลประทาน ซึ่งมีจำนวนทั้งสิ้น 14 สถานี ได้แก่ B.1, B.1A, B.2, B.2A, B.3, B.4, B.5, B.6, B.7, B.8, B.10, B.11, B.15 และ B.16

1.4 ข้อมูลโค้งความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำกับปริมาณน้ำ (rating curves) ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2561-2563 ที่จัดทำโดยกรมชลประทานจำนวน 5 สถานี ได้แก่ สถานี B.3A, B.9, B.10, B.15 และ B.16

1.5 ข้อมูลรูปตัดขวางลำน้ำของแม่น้ำเพชรบุรี รวบรวมจากสำนักงานทรัพยากรน้ำแห่งชาติ ซึ่งมีการสำรวจแม่น้ำเพชรบุรีสายหลักไว้เมื่อปี พ.ศ. 2564 จำนวน 399 รูปตัด เป็นระยะทางรวมทั้งสิ้น 320.87 km

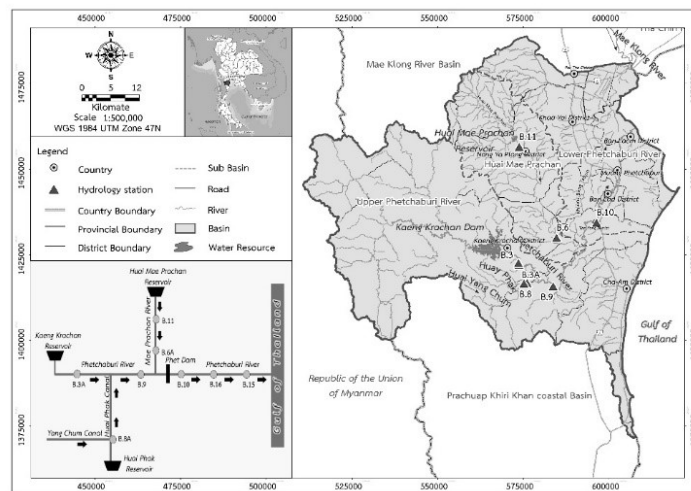


Figure 1 Study area

2. การสร้างแบบจำลอง HEC-RAS

แบบจำลอง HEC-Ras เป็นแบบจำลองทางชลศาสตร์ของ US Army Corps of Engineers ประเทศสหรัฐอเมริกา ตั้งอยู่บนพื้นฐานของสมการเซนต์-วีแนนท์ (Saint-Venant) ซึ่งประกอบด้วยสมการต่อเนื่องและสมการโมเมนต์ดัด (US Army Corps of Engineers, 2020) ซึ่งมีความสามารถในการคำนวณหา Water Surface Profile ของพื้นผิวน้ำที่คงที่ การไหลที่ผันแปรที่ละน้อยในช่องทางธรรมชาติและที่ถูกสร้างขึ้น คำนวณการเปลี่ยนแปลงระดับผิวน้ำระหว่างรูปหน้าตัดที่ใกล้เคียงกัน นอกจากนี้ยังสามารถจำลองการไหลได้ทั้งการไหลแบบใต้วิกฤตและเหนือวิกฤต อีกทั้ง

ยังสามารถรวมผลการคำนวณของระดับผิวน้ำเนื่องจากการกีดขวางทางเดินการไหลของน้ำ เช่น สะพาน ท่อลอด ฝาย และอาคารที่ตั้งอยู่ในทุ่งน้ำนองได้ด้วย โดยมีขั้นตอนในการสร้างแบบจำลอง HEC-RAS ดังต่อไปนี้

2.1 นำข้อมูลรูปตัดลำน้ำจำนวน 399 รูปตัด เป็นระยะทางรวมทั้งสิ้น 320.87 km เข้าสู่ฐานข้อมูลของแบบจำลอง HEC-RAS เพื่อสร้างแผนที่โครงข่ายแม่น้ำ

2.2 กำหนดเงื่อนไขขอบเขตของแบบจำลอง HEC-RAS ประกอบด้วย เงื่อนไขขอบเขตด้านเหนือน้ำ (upstream boundary condition) และเงื่อนไขขอบเขตด้านท้ายน้ำ (downstream boundary condition) ซึ่งจะอธิบายโดยละเอียดในหัวข้อถัดไป

3. การเปรียบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง HEC-RAS พารามิเตอร์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบ คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระลำน้ำหรือ Manning's n ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ Manning's n จะแสดงถึงความเสียดทานต่อการไหลของน้ำในทางน้ำเปิด

3.1 การเปรียบเทียบแบบจำลอง HEC-RAS เริ่มต้นจากการพิจารณาสถานีวัดน้ำท่าที่ตั้งอยู่ในลำน้ำสายหลัก และรูปตัดขวางลำน้ำ โดยรูปตัดขวางลำน้ำที่ได้จากการสำรวจต้องอยู่ตำแหน่งเดียวกันกับรูปตัดขวางลำน้ำที่อยู่ในแบบจำลองฯ หากพบว่ารูปตัดขวางลำน้ำที่ได้จากการสำรวจมีตำแหน่งไม่ตรงกับสถานีวัดน้ำท่าที่เลือกใช้ต้องทำการปรับค่าระดับน้ำที่สถานีวัดน้ำท่าให้สอดคล้องกับรูปตัดขวางลำน้ำก่อนที่จะทำการเปรียบเทียบผล สำหรับขั้นตอนการเปรียบเทียบแบบจำลอง HEC-RAS โดยสมมติการไหลเป็นแบบ steady state มีดังต่อไปนี้

1) ทำการวิเคราะห์หา rating curves ที่เป็นตัวแทนของสถานีวัดน้ำท่าในแม่น้ำเพชรบุรี สำหรับพื้นที่ศึกษามีสถานีวัดน้ำท่าจำนวน 5 สถานี คือ สถานีวัดน้ำท่า B.3A, B.9, B.10 และ B.16 ซึ่งมีข้อมูลตั้งแต่ปี พ.ศ. 2560-2563 ส่วนสถานีวัด B.15 ที่มีข้อมูลเฉพาะปี พ.ศ. 2561

2) สมมติค่าปริมาณการไหลที่ขอบเขตด้านเหนือน้ำ (upper boundary) ให้มีค่าคงที่ (steady state) ซึ่งมีขนาดเท่ากับปริมาณการไหลสูงสุดเท่ากับปริมาณน้ำนองสูงสุดของลำน้ำนั้น ในการศึกษาครั้งนี้ใช้ปริมาณการไหลอยู่ในช่วง 2-600 m^3/s ส่วนขอบเขตด้านท้ายน้ำ (lower boundary) กำหนดให้เป็น rating curves ของสถานี B.15

3) นำค่าระดับน้ำที่คำนวณได้และปริมาณการไหลที่สัมพันธ์กันไปวาดลงใน rating curves ซึ่งตรงกับตำแหน่งของสถานีวัดน้ำท่า เพื่อเปรียบเทียบกับ rating curves ที่พัฒนาขึ้นมาใหม่ โดยจะปรับค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระลำน้ำทั้งในลำน้ำและทุ่งน้ำท่วมด้วยวิธี Trial and Error เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ Manning's n ที่เหมาะสมจนกว่าอัตราการไหลที่คำนวณได้จากแบบจำลอง HEC-RAS ใกล้เคียงกับ rating curves จึงจะเป็นผลที่ยอมรับได้

3.2 การเปรียบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง HEC-RAS จะใช้ข้อมูลอัตราการไหลจากเหตุการณ์ในอดีตเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระลำน้ำที่เปรียบเทียบ

มาได้ โดยพิจารณาใช้ข้อมูลในช่วงปี พ.ศ. 2561-2562 สำหรับการปรับเทียบแบบจำลอง HEC-RAS ส่วนข้อมูลช่วงปี พ.ศ.2563-2564 ซึ่งใกล้เคียงกับข้อมูลรูปตัดลำน้ำที่ได้สำรวจใหม่นั้นจะถูกใช้เป็นข้อมูลในการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง HEC-RAS

4. การวัดผลการปรับเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง HEC-RAS ซึ่งจะใช้ค่าระดับน้ำที่ได้จากแบบจำลองมาเปรียบเทียบกับค่าระดับน้ำที่ตรวจวัดได้จริง หลังจากนั้นตรวจสอบประสิทธิภาพด้วยค่าดัชนีทางสถิติจำนวน 2 ดัชนี คือ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ correlation coefficient (r) และค่า Root Mean Square Error (RMSE) ซึ่งค่า r มีค่าอยู่ระหว่าง -1 ถึง 1 ถ้า r มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่าชุดข้อมูลทั้งสองมีความสัมพันธ์แบบปฏิกิริยาโดยตรงที่ดีมาก ส่วนค่า RMSE ถ้ามีค่าน้อย แสดงว่าชุดข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองมีความคลาดเคลื่อนจากข้อมูลตรวจวัดน้อย ซึ่ง Intaboot & Taesombat (2014) กล่าวว่า จะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ความซุ้รซ่าน้ำมีความน่าเชื่อถือ

5. การศึกษาการพิบัติเชื่อมแ่งกระงานด้วยแบบจำลอง HEC-RAS จะเป็นการคำนวณปริมาณการไหลออกขณะเกิดการพิบัติของเขื่อน โดยมีพารามิเตอร์ที่เป็นตัวแทนของรอยแยก คือ ช่วงเวลาในการพิบัติ ขนาดความกว้างสุดท้ายด้านล่างเมื่อการพิบัติสิ้นสุด และรูปร่างเฉพาะของรอยแยก สำหรับการศึกษาครั้งนี้ได้กำหนดกรณีศึกษาและบริเวณที่เริ่มการพิบัติเชื่อมแ่งออกเป็น 2 กรณี ดังนี้

กรณีที่ 1 การพิบัติของเขื่อนจากปริมาณน้ำที่ไหลข้ามสันเขื่อน (overtopping) ประกอบด้วย 1) เขื่อนปิดช่องเขาตำแหน่งที่ 2 พังทลายจนถึงระดับสันอาคารระบายน้ำล้นที่ +99.00 m (MSL) 2) เขื่อนปิดช่องเขาตำแหน่งที่ 2 พังทลายทั้งหมด และ 3) เขื่อนหลักพังทลายทั้งหมดโดยใช้ปริมาณน้ำระบายออกจากแบบจำลองกายภาพดังภาพที่ 2 (Figure 2)

กรณีที่ 2 การพิบัติจากน้ำไหลลอดฐานเขื่อน (piping) ทั้งนี้จะกำหนดให้ทุกกรณีศึกษา มีระดับน้ำเริ่มต้นอยู่ที่ระดับเก็บกักน้ำที่ +99.00 m (MSL) และใช้ข้อมูลปริมาณน้ำหลากที่ไหลลงอ่างเก็บน้ำเขื่อนแ่งกระงานได้จากผลการศึกษาของ Thepprasit et al. (2020)

6. การจัดทำแผนที่แสดงพื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมจากการพิบัติของเขื่อนจะประยุกต์ใช้โปรแกรมด้านสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS Software) ร่วมกับแบบจำลอง HEC-GeoRAS เพื่อนำผลการวิเคราะห์ระดับน้ำตามแนวยาวของลำน้ำ (Longitudinal River Profile) ที่คำนวณได้จากแบบจำลอง HEC-RAS ของปริมาณน้ำหลากที่เคลื่อนตัวผ่านรอยแยกของเขื่อนและไหลลงสู่ด้านท้ายน้ำของเขื่อนร่วมกับข้อมูลแผนที่ความสูงเชิงตัวเลข (DEM) ในบริเวณพื้นที่ที่จะได้รับผลกระทบจากการพิบัติของเขื่อน

7. การจัดทำแผนเตรียมรับสถานการณ์อุทกภัยฉุกเฉินทั้งในกรณีก่อนเกิดภัย ขณะเกิดภัย และหลังเกิดภัยที่มีสาเหตุมาจากเขื่อนพิบัติ โดยเริ่มจากการกำหนดพื้นที่เสี่ยงอุทกภัย ซึ่งพิจารณาจากแผนที่น้ำท่วมที่ได้จากการศึกษาการพิบัติเชื่อมแ่งกระงานด้วยแบบจำลอง HEC-

RAS ในข้อ 6 ต่อจากนั้นทำการกำหนดจุดอพยพจากเขื่อนแก่งกระจานถึงตัวเมืองเพชรบุรีไปยังสถานที่ที่มีความปลอดภัยนอกเขตพื้นที่น้ำท่วมที่กำหนดให้เป็นพื้นที่รองรับการอพยพชั่วคราว ภายใต้เงื่อนไขที่ว่า คลื่นน้ำหลากจะใช้เวลาเดินทางประมาณ 24 ชั่วโมง จนถึงตัวเมืองเพชรบุรี ซึ่งมีเวลาเพียงพอในการแจ้งเตือนให้ราษฎรเคลื่อนย้ายทรัพย์สินขึ้นที่สูง และสุดท้ายทำการอพยพราษฎรที่ประสบภัยไปยังจุดอพยพ

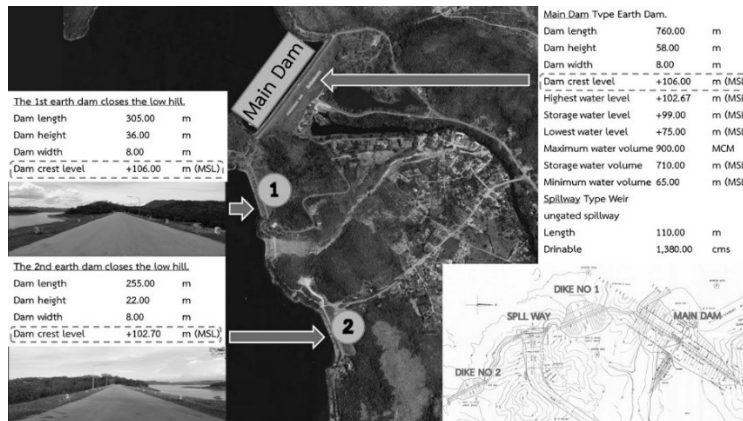


Figure 2 The location and details of Kaeng Krachan dam

ผลการวิจัย

1. ผลการเปรียบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง HEC-RAS

เนื่องจากปริมาณการไหลที่ระดับน้ำเดียวกันมีการเปลี่ยนแปลงทุกปีทำให้ค่า Manning's n ของแม่น้ำเพชรบุรีทั้งในลำน้ำและทุ่งน้ำท่วมที่ได้จากการเปรียบเทียบแบบจำลอง HEC-RAS มีค่าเท่ากับ 0.033-0.050 และ 0.200 ตามลำดับ ดังตารางที่ 1 (Table 1)

Table 1 The manning's roughness coefficient (n) from calibrating HEC-RAS model

Channel	Reach	Manning' s n
Phetchaburi river	Downstream of Kaeng Krachan dam - B.3A	0.033
	B.3A – B.9	0.040
	B.9 – B.10	0.040
	B.10 – B.16	0.040
	B.16 – B.15	0.050
	B.15 – outlet of Gulf	0.050
Flood plain in Phetchaburi river	Phetchaburi river	0.200

นอกจากนี้ผลการเปรียบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง HEC-RAS ยังพบว่า ค่าดัชนีทางสถิติคือ ค่า r และค่า RMSE ของการเปรียบเทียบแบบจำลอง HEC-RAS มีค่าเท่ากับ 0.99 และ 31-41 m^3/s ตามลำดับ ส่วนค่า r และค่า RMSE ของการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง HEC-RAS มีค่าเท่ากับ 0.95-0.99 และ 24-43 m^3/s ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 2 (Table 2) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าผลการคำนวณจากแบบจำลอง HEC-RAS ผ่านเกณฑ์การเปรียบเทียบแบบจำลอง HEC-RAS แสดงในภาพที่ 3 (Figure 3) และภาพที่ 4 (Figure 4) ตามลำดับ

Table 2 The calibration and validation of HEC-RAS model

Station	Correlation coefficient (r)		RMSE (m^3/s)	
	Calibration	Validation	Calibration	Validation
	(2018-2019)	(2020-2021)	(2018-2019)	(2020-2021)
B.9	0.99	0.99	41	24
B.10	0.99	0.96	31	42
B.16	0.99	0.95	32	43

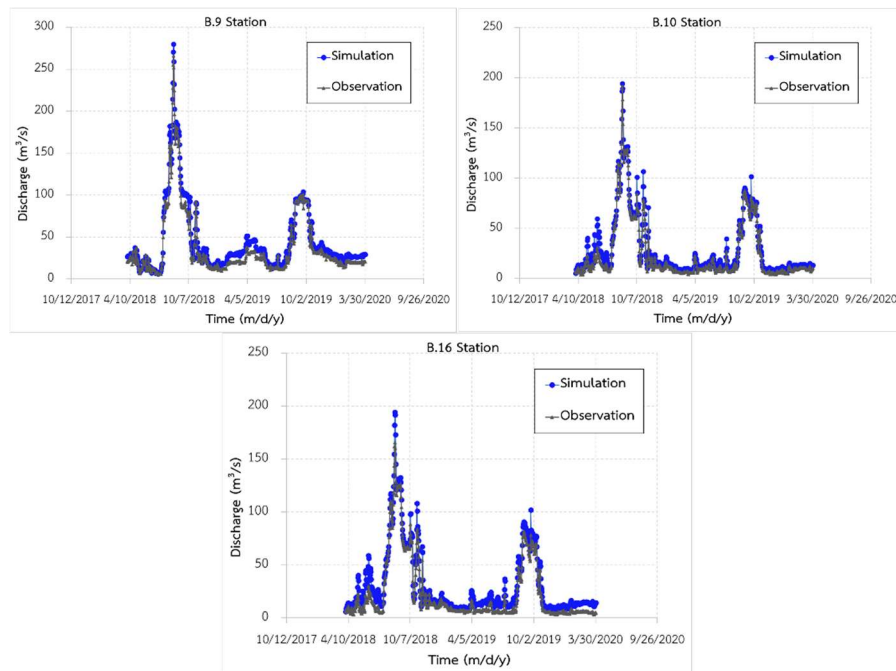


Figure 3 HEC-RAS model calibration in the period of water year 2018 to 2019

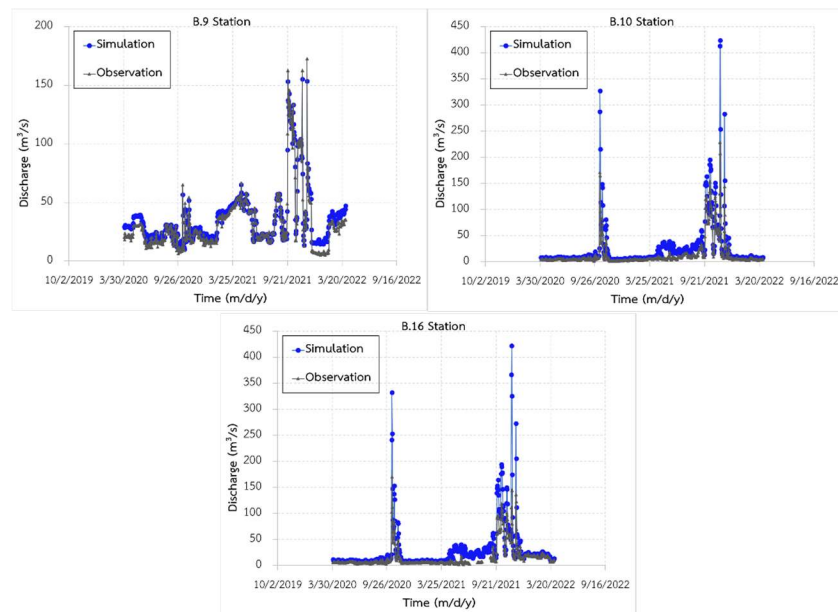


Figure 4 HEC-RAS model validation in the period of water year 2020 to 2021

2. การศึกษาการพิบัติของเขื่อนแก่งกระจานด้วยแบบจำลอง HEC-RAS

จากผลการวิเคราะห์การพิบัติเขื่อนจากปริมาณน้ำที่ไหลข้ามสันเขื่อน (overtopping) ที่กำหนดให้ตำแหน่งเริ่มต้นของการแตกเกิดจากการขาดเสถียรภาพของความลาดเขื่อนบริเวณฐานยันเขื่อน (abutment) มีอัตราการขยายตัว (Tf) เท่ากับ 0.5 hr. ระดับน้ำเริ่มต้นเท่ากับ +99.00 m (MSL) ทุกกรณี และการพังทลายเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมูพบว่า พื้นที่น้ำท่วมของแต่ละกรณีมีค่าเท่ากับ 818, 893 และ 978 km² ตามลำดับ โดยแต่ละกรณีใช้ระยะเวลาในการท่วมขังในพื้นที่ตอนล่างลุ่มน้ำเพชรบุรีประมาณ 3, 5 และ 7 days ตามลำดับ ถ้าพิจารณากระดับที่เขื่อนจะเริ่มและสิ้นสุดพิบัติพบว่า กรณีที่ 1 เริ่มที่ระดับ +103.00 m (MSL) และสิ้นสุดที่ระดับ +99.00 m (MSL) และกรณีที่ 2 เริ่มที่ระดับ +103.00 m (MSL) และสิ้นสุดที่ระดับ +74.00 m (MSL) ส่วนปริมาณน้ำที่ระบายออกจากเขื่อนสูงสุดของแต่ละกรณีนั้นจะมีค่าเท่ากับ 6,655, 44,878 และ 78,000 m³/s ตามลำดับ โดยมีเวลาในการเกิดพิบัติตั้งแต่เริ่มจนสิ้นสุดของแต่ละกรณีเท่ากับ 4, 8 และ 16 hr. ตามลำดับ อีกทั้งเวลาเดินทางของน้ำนับจากเกิดการพิบัติไปยังเขื่อนเพชรจะใช้เวลาประมาณ 12, 10 และ 8 hr. ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าบริเวณที่เกิดน้ำท่วมและมีความลึกสูงสุดของทั้ง 3 กรณีเป็นบริเวณเดียวกันคือ บริเวณตำบลบางตะบูน อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี ซึ่งมีความลึกสูงสุดเท่ากับ 3.0, 6.5 และ 8.0 m ตามลำดับ สำหรับผลการวิเคราะห์การพิบัติจากน้ำไหลรอดตัวเขื่อน (piping) และจำลองการไหลของปริมาณน้ำที่ออกจากเขื่อนนั้นพบว่า เมื่อกำหนดให้ระดับน้ำเริ่มต้น

อยู่ที่ระดับ +99.00 m (MSL) และมีปริมาณน้ำไหลเข้าเชื่อมด้วยปริมาณน้ำหลากสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ (PMF) ทำให้เกิดการกัดเซาะของน้ำที่บริเวณฐานเขื่อนจนทำให้ตัวเขื่อนไม่สามารถรับแรงดันของน้ำได้ นอกจากนี้หากกำหนดให้ตำแหน่งเริ่มต้นของการแตกเกิดบริเวณรอยต่อระหว่างเขื่อนดินกับไหล่เขื่อนบริเวณที่เป็นตะพักมีอัตราการขยายตัว (Tf) เท่ากับ 0.5 hr. และปริมาณน้ำหลากที่ออกจากเขื่อนสูงสุดอยู่ที่ $66,191 \text{ m}^3/\text{s}$ จะใช้เวลาตั้งแต่เริ่มพื้ตจนสิ้นสุดเท่ากับ 4 hr. ส่วนระยะเวลาเดินทางของน้ำนับจากเกิดการพื้ตไปยังเขื่อนเพชรจะใช้เวลาประมาณ 9 hr. 30 min โดยที่บริเวณตำบลบางตะบูน อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี มีความลึกน้ำสูงสุด 7.50 m สำหรับการพื้ตในกรณีนี้ทำให้เกิดพื้นที่น้ำท่วมเท่ากับ 972 km^2 ซึ่งจะมีระยะเวลาน้ำท่วมขังในพื้นที่ตอนล่างลุ่มน้ำเพชรบุรีประมาณ 5 days สำหรับพื้นที่น้ำท่วมแสดงดังภาพที่ 5 (Figure 5) ส่วนระดับความสูงของน้ำและระยะเวลาการเดินทางของปริมาณน้ำหลากจากการพื้ตของเขื่อนแสดงดังภาพที่ 6 (Figure 6)

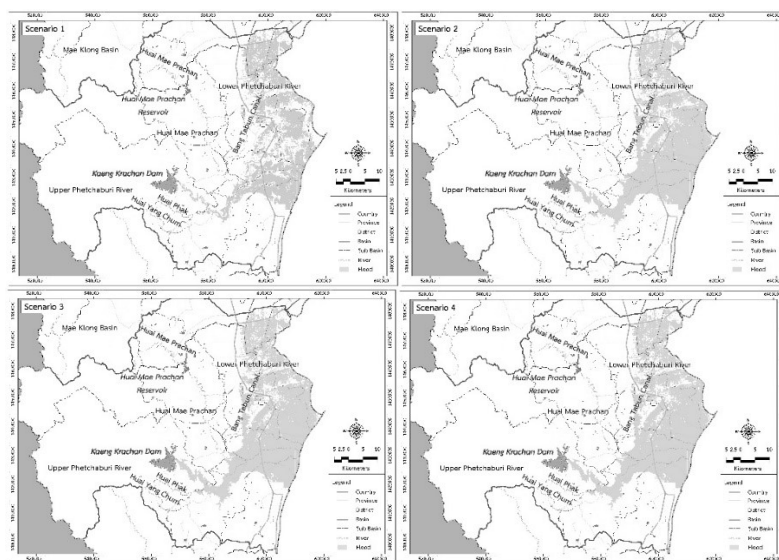


Figure 5 Simulated flood maps due to dam failures for scenario 1,2,3 and 4

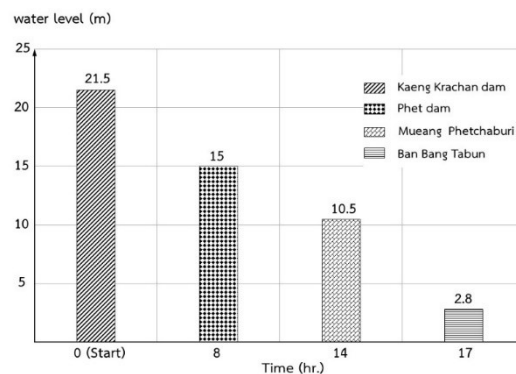


Figure 6 Water depths and travel time of the flood flow from the Kaeng Krachan dam failures

3. การจัดทำแผนเตรียมรับมือการเกิดอุทกภัยฉุกเฉิน

จากการวิเคราะห์แผนที่น้ำท่วมจากกรณีการพิบัติของเขื่อนแก่งกระจานจากการล้นข้ามสันเขื่อนสามารถกำหนดพื้นที่เสี่ยงอุทกภัยได้ 4 ลักษณะ คือ 1) ลักษณะน้ำล้นตลิ่งจากแม่น้ำเพชรบุรี 2) ลักษณะน้ำล้นตลิ่งเข้าท่วมในพื้นที่ลุ่มน้ำริมสองฝั่งแม่น้ำเพชรบุรีและพื้นที่เกษตร 3) ลักษณะน้ำล้นตลิ่งเข้าท่วมในพื้นที่ลุ่มน้ำริมสองฝั่งแม่น้ำและอิทธิพลจากน้ำทะเลหนุนสูง และ 4) ลักษณะมีฝนตกหนักทำให้เกิดน้ำป่าไหลหลาก ซึ่งมีพื้นที่รวมทั้งสิ้น 485 หมู่บ้าน 77 ตำบล 8 อำเภอ และ 1 เทศบาลเมือง โดยการเกิดอุทกภัยในลักษณะน้ำล้นตลิ่งจากแม่น้ำเพชรบุรีจะพบในพื้นที่อำเภอแก่งกระจาน (4 ตำบล 16 หมู่บ้าน) ส่วนการเกิดอุทกภัยในลักษณะน้ำล้นตลิ่งเข้าท่วมในพื้นที่ลุ่มน้ำริมสองฝั่งแม่น้ำเพชรบุรีและพื้นที่เกษตรจะพบในพื้นที่อำเภอบ้านลาด (18 ตำบล 109 หมู่บ้าน) อำเภอท่ายาง (13 ตำบล 100 หมู่บ้าน) และอำเภอเมืองเพชรบุรี (20 ตำบล 140 หมู่บ้าน) แต่การเกิดอุทกภัยในลักษณะน้ำล้นตลิ่งเข้าท่วมในพื้นที่ลุ่มน้ำริมสองฝั่งแม่น้ำและอิทธิพลจากน้ำทะเลหนุนสูงพบในอำเภอบ้านแหลม (2 ตำบล 13 หมู่บ้าน) และเทศบาลเมืองเพชรบุรี และการเกิดอุทกภัยเป็นในลักษณะมีฝนตกหนักทำให้เกิดน้ำป่าไหลหลากพบในพื้นที่อำเภอชะอำ (7 ตำบล 47 หมู่บ้าน) อำเภอเขาย้อย (9 ตำบล 29 หมู่บ้าน) และ อำเภอหนองหญ้าปล้อง (4 ตำบล 31 หมู่บ้าน) ดังนั้นหากเกิดการพิบัติของเขื่อนแก่งกระจานจนเกิดอุทกภัย การบริหารจัดการสำหรับการเตรียมรับมือฉุกเฉินคือ การกำหนดจุดอพยพเพื่อให้ราษฎรที่พักพิงชั่วคราว ทั้งนี้สามารถแบ่งโซนในการอพยพได้ 2 โซน รวมจุดอพยพทั้งหมด 13 จุด โดยที่โซนอพยพแรกเริ่มตั้งแต่เขื่อนแก่งกระจานถึงจุดบรรจบห้วยแม่ประจันต์และเขื่อนเพชร (จุดอพยพ 5 จุด) ได้แก่ วนอุทยานแห่งชาติแก่งกระจาน วนอุทยานชะอำ วนอุทยานเขานางพันธุรัต ค่ายเพชรโยธิน และวัดโตนดหลวง และโซนอพยพที่ 2 เริ่มตั้งแต่ท้ายเขื่อนเพชรถึงตัวเมืองเพชรบุรี (จุดอพยพ 8 จุด) ได้แก่ วัดหนองจอก มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี โรงเรียนวัดใหม่ท่าศิริ โรงเรียนพรหมานุสรณ์ ศาลาประชาคมอำเภอบ้านแหลม วัดลักษณาราม วัดหนองหญ้าปล้อง และวัดหนองชุมพล แสดงดังภาพที่ 7 (Figure 7) สำหรับจำนวนรองรับจำนวนผู้อพยพในแต่ละจุดนั้นจะรองรับได้ 200-500 คน นอกจากนี้เมื่อเหตุการณ์ภัยพิบัติสิ้นสุดลงพื้นที่อพยพที่กำหนดขึ้นนี้สามารถปรับเปลี่ยนเป็นศูนย์ให้ความช่วยเหลือผู้ประสบภัยหลังจากเหตุการณ์ภัยพิบัติสิ้นสุดลงได้อีกด้วย

อภิปรายผล

ผลการเปรียบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง HEC-RAS จนได้ค่า Manning's n ของแม่น้ำเพชรบุรีทั้งในลำน้ำและทุ่งน้ำท่วมเท่ากับ 0.033-0.050 และ 0.200 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับ Chaivijarn (2013); Leewatchanakul (2015); Vanichsan & Taesombat (2017) ที่กล่าวว่าค่า Manning's n ในทางน้ำเปิดของทางน้ำธรรมชาติควรมีค่าอยู่ระหว่าง 0.01-0.05

ผลการศึกษาการพิบัติของเขื่อนแก่งกระจานด้วยแบบจำลอง HEC-RAS ในการศึกษาครั้งนี้ ใช้การคำนวณปริมาณน้ำหลากสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ (Probable Maximum Flood, PMF) เป็นปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเพียงกรณีเดียว หากต้องการให้ครอบคลุมถึงทุกสาเหตุของโอกาสที่จะเกิดการพิบัติของเขื่อนควรมีการศึกษาโดยใช้ปริมาณน้ำหลากสูงสุดที่รอบปีการเกิดซ้ำต่าง ๆ เพิ่มเติม ซึ่งจะสอดคล้องกับ Thepprasit et al. (2020) และควรมีการศึกษากรณีเขื่อนพิบัติจากการเกิดแผ่นดินไหวด้วยซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ไม่ได้ดำเนินการไว้ ส่วนการประเมินความเสียหายเบื้องต้น ประเมินเพียงพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบและการใช้ประโยชน์ที่ดินเท่านั้น ไม่ได้มีการประเมินมูลค่าความเสียหายที่เกิดขึ้นออกมาเป็นตัวเงิน ดังนั้นในการประเมินความเสียหายอย่างละเอียดควรต้องทำการศึกษาเพิ่มเติม

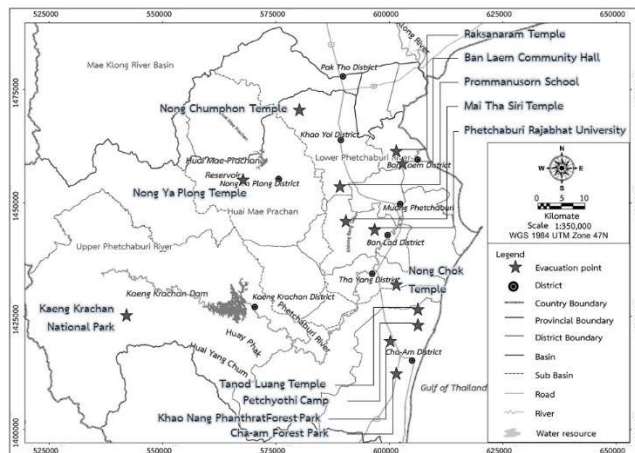


Figure 7 Flood evacuation point in Phetchaburi province

สรุปผลการวิจัย

ผลการวิเคราะห์การเกิดอุทกภัยเนื่องจากการพิบัติของเขื่อนแก่งกระจานพบว่า การเปรียบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง HEC-RAS ผ่านเกณฑ์การเปรียบเทียบแบบจำลอง HEC-RAS คือ ค่า r อยู่ระหว่าง 0.95-0.99 และค่า RMSE อยู่ระหว่าง 24-43 m^3/s ส่วนการศึกษาการพิบัติของเขื่อนแก่งกระจานซึ่งการพังทลายเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมูพบว่า การพิบัติของเขื่อนจากปริมาณน้ำที่ไหลข้ามสันเขื่อน (overtopping) ทั้ง 3 กรณี ทำให้เกิดพื้นที่น้ำท่วมเท่ากับ 818, 893 และ 978 km^2 ตามลำดับ และการพิบัติจากน้ำไหลรอดตัวเขื่อน (piping) พบว่า ทำให้เกิดพื้นที่น้ำท่วมเท่ากับ 972 km^2 นอกจากนี้ยังพบว่าบริเวณที่เกิดน้ำท่วมและมีความลึกสูงสุดของทุกกรณีเป็นบริเวณเดียวกันคือ บริเวณ ตำบลบางตะบูน อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี สำหรับการจัดทำแผนเตรียมรับมือการเกิดอุทกภัยฉุกเฉินจุดอพยพที่เหมาะสมมีทั้งหมด 13 จุด และมีความสามารถ

รองรับผู้ประสบภัยได้ 200-500 คน หากพิจารณาจากเวลาเดินทางของคลื่นน้ำหลากไปจนถึงตัวเมืองเพชรบุรีใช้เวลาประมาณ 24 hr. ซึ่งถือว่าเป็นเวลาเพียงพอที่จะทำการแจ้งเตือนราษฎรให้เคลื่อนย้ายทรัพย์สินขึ้นที่สูงและทำการอพยพไปยังจุดที่กำหนดไว้ได้

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสนที่ให้ความช่วยเหลือ สนับสนุนในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้และอาจารย์คมสันต์ ไชโย ที่ให้คำแนะนำในการการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้รวมถึงขอขอบคุณ นายกณดิวิชัย ม่วงเกตุมะ และนายพัฒนพงศ์ แซ่ตั้ง ที่ช่วยในการเก็บข้อมูลภาคสนาม

เอกสารอ้างอิง

- Balaji B, Kumar S. Dam break analysis of Kalyani dam using HEC-RAS. International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET) 2018;9(5):372–380.
- Bharath A, Shivapur AV, Hiremath CG, Maddamsetty R. Dam break analysis using Hec-RAS and HEC-GeoRAS: A case study of Hidkal dam, Karnataka state, India. Environmental Challenges 2021;5:100401.
- Chaivijarn C. Hydraulic engineering. Bangkok: Chulalongkorn University Press; 2013.
- Department of Disaster Prevention and Mitigation. The flood situation in Phetchaburi province (Report). Bangkok; 2018.
- Intaboot N, Taesombat W. Longitudinal salinity intrusion and dispersion along the Thachin River due to sea level rise. Journal of Science and Technology 2014;3(2):71-88.
- Leewatchanakul K. Hydraulics. Bangkok: SPEC Publisher; 2015. Rangsit University, 2021.
- Leoul A, Kassahun N. Dam breach analysis using HEC-RAS and HEC-GeoRAS: The case of Kesem Kebena dam. Open Journal of Modern Hydrology 2019;9(4):113-142.
- Sharma P, Mujumdar S. Dam break analysis using HEC-RAS and HEC-GeoRAS - A case study of Ajwa reservoir. Journal of Water Resources and Ocean Science 2016;5(6):108-113.
- Thepprasit C, Cherdchanpipat N, Puttrawutichai S, Somboon T, Sopondirekrat V. Reservoir management for flood protection (Final Report). Bangkok; 2020.
- US Army Corps of Engineers. HEC-RAS river analysis system (User's manual). United State; 2020.
- Vanichsan D, Taesombat W. An analysis on discharge carrying capacity of Lam Pachi River by MIKE11 model. Ladkrabang Engineering Journal 2017;34(1):41-48.
- Yingyong P, Taesombat W. Dam break simulation of Kaeng Krachan dam by HEC-RAS model. In: Institute of Engineering, Suranaree University of Technology. Proceeding of the TSAE International Conference 21st. Nakhon Ratchasima; 2020.