

การประเมินผลกระทบของปริมาณฝนสะสมต่อพื้นที่น้ำท่วมในลุ่มน้ำคลองสวนหมาก
จังหวัดกำแพงเพชร ด้วยแบบจำลอง HEC-RAS

**Assessing the Impact of Cumulative Rainfall on River Flow in the Khlong Suan
Mak River basin, Kamphaeng Phet Province, Using the HEC-RAS Model**

พีระวัฒน์ เจริญสินธุ์,^{1*} วราวุธ วุฒิวณิชย์,¹ ชัยยะ พึ่งโพธิ์สม,² นพดล โค้วสุวรรณ²
และสมชาย ดอนเจดีย์¹
**Peerawat Charoensin,^{1*} Varawoot Vudhivanich,¹ Chaiya Phoungphotisop,² Noppadon Kowsuvon²
and Somchai Donjadee¹**

Received 28 August 2024, Revised 10 December 2024, Accepted 11 December 2024

ABSTRACT

This study focuses on assessing the impact of accumulated rainfall on flood-prone areas in the Khlong Suan Mak river basin, located in Kamphaeng Phet province. The HEC-RAS model is integrated with the "Rain on Grid" technique. The model simulates extreme rainfall events, including the "rain bomb" phenomenon, which is characterized by intense rainfall within a short period of time and can lead to flash floods. An accumulated rainfall of 250 millimeters per day for three consecutive days was used for the simulation. In addition, the effects of different water levels of the Ping River were analyzed in three scenarios: the average water level (+74.48 msl.), the highest water level recorded in 2011 (+76.93 msl.), and the overflow level (+79.00 msl.). The results show that changes in the water levels of the Ping River significantly affect the extent of flooding and peak discharge. The flooded areas increased in the three scenarios to 52,631 rai, 53,721 rai, and 58,247 rai, respectively. As the water level rises, the peak discharges decrease, but the time required for water runoff increases. These results provide valuable insights for flood management planning and enable stakeholders to better prepare for and mitigate future flood risks.

Keywords: Khlong Suan Mark river basin, HEC-RAS, Rain on Grid, Rain Bom

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการประเมินผลกระทบของปริมาณฝนสะสมต่อพื้นที่น้ำท่วมในลุ่มน้ำคลองสวนหมาก จังหวัดกำแพงเพชร โดยใช้แบบจำลอง HEC-RAS ร่วมกับเทคนิค "Rain on Grid" เพื่อจำลองสถานการณ์ฝนตกหนัก เช่น ปรากฏการณ์ "Rain Bomb" ซึ่งเป็นฝนตกหนักในระยะเวลาสั้นและอาจทำให้เกิดน้ำท่วมฉับพลัน การ

^{1*}ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ต.กำแพงแสน อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม 73140

Department of Irrigation Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaeng Saen, Kasetsart University Kamphaeng Saen Campus, Kamphaeng Saen, Kamphaeng Saen, Nakhon Pathom 73140, Thailand.

²วิทยาลัยการชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ต.บางตลาด อ.ปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี 11120

Irrigation College Affiliated to Kasetsart University, Bang Talad, Pak Kret, Nonthaburi 11120, Thailand.

*Corresponding author: E-mail address: peerawat.char@ku.th

จำลองครั้งนี้ได้ใช้ปริมาณฝนสะสม 250 มิลลิเมตรต่อวัน ต่อเนื่อง 3 วัน พร้อมทั้งวิเคราะห์ผลกระทบจากระดับน้ำในแม่น้ำปิง 3 กรณี ได้แก่ ระดับน้ำเฉลี่ย (+74.48 ม.รทก.), ระดับสูงสุดปี 2554 (+76.93 ม.รทก.) และระดับล้นตลิ่ง (+79.00 ม.รทก.) ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าระดับน้ำในแม่น้ำปิงมีผลต่อขอบเขตและอัตราการไหลของน้ำท่วม โดยพื้นที่น้ำท่วมเพิ่มขึ้นจาก 52,631 ไร่, 53,721 ไร่ และ 58,247 ไร่ ตามลำดับ ความสูงของแม่น้ำส่งผลให้อัตราการไหลลดลง แต่ระยะเวลาระบายน้ำนานขึ้น

คำสำคัญ: ลุ่มน้ำคลองสวนหมาก HEC-RAS Rain on Grid ระเบิดฝน

คำนำ

อุทกภัยในประเทศไทยมีผลกระทบอย่างรุนแรงต่อการเกษตร โครงสร้างพื้นฐาน และชุมชน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่ลุ่มน้ำที่มีความเสี่ยงต่อฝนตกหนัก เนื่องจากภูมิอากาศแบบมรสุมและการขยายตัวของเมืองที่ไม่ได้รับการวางแผนอย่างเหมาะสม พื้นที่หลายแห่งประสบปัญหาน้ำท่วมจากปริมาณน้ำฝนสะสมและน้ำหลากจากลำน้ำหลัก เช่น ในเหตุการณ์น้ำท่วมครั้งใหญ่ในปี 2554 ซึ่งเป็นผลจากทั้งปัจจัยธรรมชาติและ ความผิดพลาดจากมนุษย์ ทั้งจากการจัดการน้ำที่ไม่ดีและการสร้างสิ่งกีดขวางในพื้นที่ลุ่มน้ำ (Nipon, 2013)

ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา ปรากฏการณ์ฝนตกหนักฉับพลันและรุนแรงในช่วงเวลาสั้น ๆ โดยในทางวิชาการเรียกว่า "Cloudburst" อย่างไรก็ดีตามปัจจุบัน มักจะใช้คำว่าระเบิดฝน หรือ "Rain Bomb" และพบว่าเกิดขึ้นบ่อยครั้งขึ้นในประเทศไทย เช่น เกิดฝนตกที่ภูเก็ตเมื่อ 29 มิถุนายน 2567 ปริมาณฝนมากกว่า 191.8 มิลลิเมตร และฝนสะสมในช่วงวันที่ 23-25 ธันวาคม 2566 บริเวณจังหวัดนราธิวาสสูงถึง 651 มิลลิเมตร (สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ, 2567) ฝนตกที่อำเภอดอกคำใต้และอำเภอเมือง จังหวัดพะเยาเมื่อวันที่ 19 กันยายน 2567 โดยฝนตก 106.5 มิลลิเมตรภายใน 4 ชั่วโมง ทำให้น้ำท่วมสูงกว่า 2 เมตร ที่มหาวิทยาลัยพะเยา (ไทยรัฐ, 2567) ส่งผลให้เกิดน้ำท่วมฉับพลันในพื้นที่ที่มีความเสี่ยงสูง โดยเฉพาะในเขตลุ่มน้ำที่มีโครงสร้างระบายน้ำไม่เพียงพอ เหตุการณ์นี้เกิดจากปริมาณฝนจำนวนมากที่ตกในระยะเวลาอันสั้น ส่งผลให้เกิดการสะสมน้ำในพื้นที่อย่างรวดเร็ว น้ำที่ไม่สามารถระบายได้ทันจะ

ไหลบ่าล้นตลิ่ง ซึ่งก่อให้เกิดความเสียหายร้ายแรงต่อชุมชนและโครงสร้างพื้นฐาน

การใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการศึกษาปัญหาอุทกภัยเริ่มมีบทบาทมากขึ้นเนื่องจากสามารถเข้าถึงได้ง่ายและมีความสามารถในการคำนวณที่ซับซ้อนเพื่อวิเคราะห์การไหลของน้ำและคาดการณ์พื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดน้ำท่วมได้อย่างแม่นยำ แบบจำลอง HEC-RAS ซึ่งพัฒนาโดย U.S. Army Corps of Engineers เป็นหนึ่งในเครื่องมือที่ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางสำหรับการจำลองสถานการณ์น้ำท่วมและประเมินผลกระทบจากปริมาณน้ำฝน ด้วยความสามารถในการจำลองการไหลของน้ำในช่องทางน้ำและการไหลบนพื้นดิน (Overland Flow) ทำให้แบบจำลอง HEC-RAS สามารถประเมินขอบเขตและความลึกของน้ำท่วมได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ การใช้เทคนิค "Rain on Grid" ซึ่งเป็นวิธีการจำลองปริมาณฝนที่ตกลงบนพื้นที่ตารางโดยตรง ยังช่วยเพิ่มความแม่นยำในการจำลองการเกิดน้ำท่วมในพื้นที่ที่ซับซ้อน (Wafae, 2024) และสามารถประเมินความเสี่ยงจากน้ำท่วมได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะในพื้นที่ที่ขาดแคลนข้อมูล และยังช่วยสร้างแผนที่ความเสี่ยงเพื่อเตรียมมาตรการป้องกันน้ำท่วมได้อย่างชัดเจน นอกจากนี้ งานวิจัยอื่น ๆ ยังแสดงให้เห็นว่าการใช้ Rain on Grid ช่วยปรับปรุงความแม่นยำในการจำลองน้ำท่วมเมื่อมีการใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์สองมิติ ร่วมกับข้อมูลภูมิประเทศที่มีความละเอียด เช่น Digital Elevation Models (DEM) และการตั้งค่ากริดที่เหมาะสม ซึ่งช่วยให้สามารถวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงจากน้ำท่วมฉับพลันได้ดีขึ้น แม้ว่าการจำลองแบบละเอียดอาจใช้เวลาคำนวณนานขึ้น แต่ผลลัพธ์ที่ได้มีความแม่นยำสูงกว่า (David & Schmalz, 2020)

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการประเมินผลกระทบของปริมาณฝนสะสมต่อพื้นที่น้ำท่วมในลุ่มน้ำคลองสวนหมาก โดยใช้แบบจำลอง HEC-RAS Rain on Grid เพื่อทำนายแนวโน้มน้ำและขอบเขตของการเกิดน้ำท่วมในสถานการณ์ต่างๆ ที่เกิดจากฝนตก รวมถึงวิเคราะห์ผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นจากปรากฏการณ์ Rain Bomb การศึกษานี้จะช่วยให้ผู้มีส่วนเกี่ยวข้องสามารถวางแผนการจัดการและป้องกันน้ำท่วมได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น และลดความเสี่ยงและความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นจากอุทกภัยในอนาคต

พื้นที่การศึกษา

ลุ่มน้ำคลองสวนหมากเป็นลุ่มน้ำย่อยของลุ่มน้ำปิง ตั้งอยู่ในจังหวัดกำแพงเพชร มีพื้นที่ประมาณ 1,213.4 ตารางกิโลเมตร (758,395 ไร่) พื้นที่ส่วนใหญ่

ของลุ่มน้ำนี้อุดมไปด้วยป่าไม้ รวมถึงป่าผลัดใบ ป่าไม่ผลัดใบ และพื้นที่ป่าฟื้นฟู ป่าบริเวณตอนบนส่วนมากอยู่ในเขตอุทยานแห่งชาติคลองวังเจ้าและเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าเขาสนามเพรียง พื้นที่ป่าคิดเป็น 58.9% ของพื้นที่ลุ่มน้ำทั้งหมด ลำน้ำหลักคือคลองสวนหมาก มีความยาว 110.4 กิโลเมตร คลองสวนหมากช่วงต้นและช่วงกลางเป็นทางน้ำที่มีความลาดชันสูงขณะที่ช่วงปลายน้ำระหว่างฝายท่ากระดานและแม่น้ำปิงมีความลาดชันน้อย

สำหรับการศึกษาในครั้งนี้ได้ทำการศึกษาดังแต่บริเวณฝายคลองสวนหมาก ซึ่งตั้งอยู่บริเวณ ต. สักงาม อ.คลองลาน จ.กำแพงเพชร จนถึงจุดบรรจบแม่น้ำปิงที่ ต.นครชุม อ.เมืองกำแพงเพชร จ.กำแพงเพชร มีความยาวของลำน้ำที่ทำการศึกษารวม 48 กิโลเมตร (Figure 1)

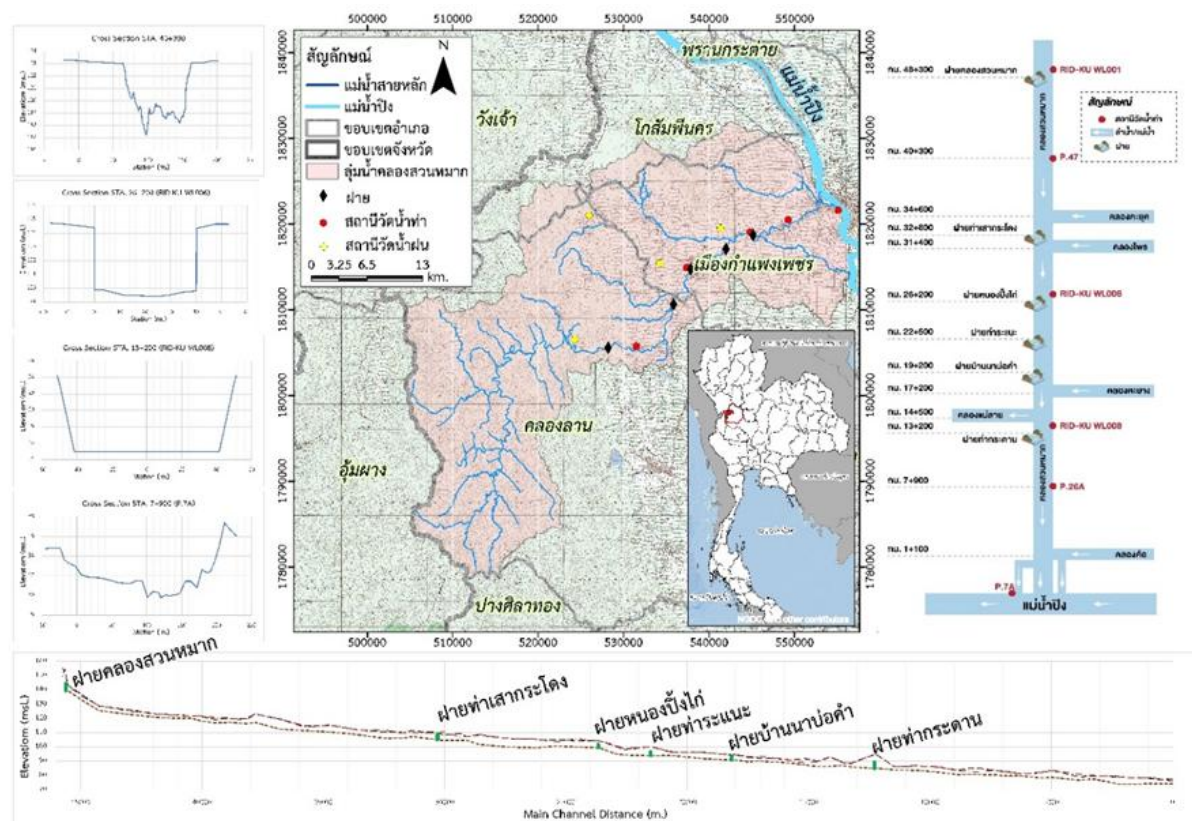


Figure 1 Study area Khlong Suan Mak River Basin

ขั้นตอนและวิธีการ

การศึกษานี้ใช้วิธีการจำลองสถานการณ์น้ำท่วมในลุ่มน้ำคลองสวนหมาก จังหวัดกำแพงเพชร โดยใช้แบบจำลอง HEC-RAS เพื่อประเมินผลกระทบของปริมาณฝนสะสมที่มีความเข้มข้นสูง โดยเฉพาะ

ฝนตกหนักแบบ Rain Bomb ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ฝนตกหนักฉับพลันที่สามารถทำให้เกิดน้ำท่วมเฉียบพลัน (Flash Flood) ได้ แนวทางการศึกษาประกอบด้วยสองรูปแบบของการตั้งค่าแบบจำลองที่อ้างอิงจากหลักการจำลองที่แตกต่างกันดังแสดงใน

Figure 2 โดยการจำลองแบบใช้ปริมาณน้ำฝนโดยตรง (Integrated Hydraulic Modelling with Direct Precipitation) เป็นการจำลองโดยใช้ HEC-RAS เพียงอย่างเดียว โดยใช้เทคนิค "Rain on Grid" ซึ่งจะนำปริมาณน้ำฝนโดยตรง (Effective Precipitation) มาจำลองบนตารางพื้นที่ (Grid) ของแบบจำลอง

เพื่อจำลองสถานการณ์ฝนตกหนักในลุ่มน้ำคลองสวนหมาก โดยการกำหนดปริมาณฝนที่รอบปีการเกิดซ้ำที่ 50 ปี (กรมชลประทาน, 2567) มีค่าเท่ากับ 250 มิลลิเมตรต่อวัน ของสถานีตรวจวัด

ปริมาณน้ำฝน P.7A ของกรมชลประทานต่อเนื่องเป็นเวลา 3 วัน ซึ่งเป็นปริมาณฝนที่มีโอกาสสูงที่จะเกิดขึ้นอีกในพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากร่องมรสุม นอกจากนี้ ยังได้ทำการวิเคราะห์ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำในแม่น้ำปิง โดยพิจารณาใน 3 กรณีที่แตกต่างกัน เพื่อใช้เป็นตัวแปรสำคัญในการวิเคราะห์ความเสี่ยงและการจัดการน้ำท่วมในพื้นที่ลุ่มน้ำ เพื่อประเมิน ความลึกของน้ำท่วม และ ขอบเขตของน้ำท่วม ในพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากพายุฝน

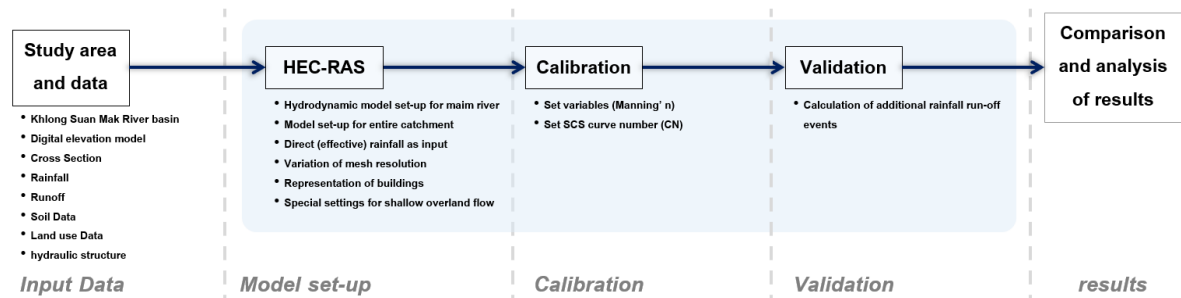


Figure 2 Educational Process

แบบจำลองที่ใช้ในการศึกษา

ในการศึกษาครั้งนี้จะนำแบบจำลอง HEC-RAS ซึ่งเป็นแบบจำลองที่พัฒนาโดย U.S. Army Corps of Engineers สำหรับจำลองการไหลของน้ำในระบบลำน้ำและการไหลบนพื้นดิน (Overland Flow) แบบจำลองนี้สามารถใช้ได้ทั้งในรูปแบบ 1 มิติ (1D) ใช้สำหรับการจำลองการไหลของน้ำในแม่น้ำหรือลำน้ำหลัก และ 2 มิติ (2D) ใช้สำหรับจำลองการไหลของน้ำบนพื้นดิน อีกทั้ง HEC-RAS ยังสามารถใช้เทคนิค "Rain on Grid" เพื่อจำลองการกระจายของฝนบนพื้นที่ตาราง (Grid) ซึ่งช่วยให้สามารถประเมินการไหลบ่าผิวดินและการสะสมน้ำท่วมได้ โดยเทคนิค Rain on Grid เป็นวิธีการจำลองการไหลของน้ำบนพื้นดินโดยการนำปริมาณน้ำฝนใส่ลงบนตารางพื้นที่โดยตรง ซึ่งช่วยให้สามารถจำลองผลกระทบจากปริมาณฝนที่ตกลงมาในแต่ละจุดได้อย่างแม่นยำ ในการศึกษาแบบจำลอง HEC-RAS ที่ใช้เทคนิค "Rain on Grid" เพื่อจำลองการไหลของน้ำและการสะสมน้ำท่วม สมการที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณในแบบจำลองนี้มาจากสมการน้ำตื้นสองมิติ (2D Shallow Water

Equations) ซึ่งใช้สำหรับจำลองการไหลบนพื้นผิวในกริดของพื้นที่ที่จำลอง ดังแสดงในสมการที่ 1 ถึง 3 (Brunner, 2020) ดังต่อไปนี้

สมการการอนุรักษ์มวล (Continuity Equation)

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(uh)}{\partial x} + \frac{\partial(vh)}{\partial y} = R \quad (1)$$

สมการโมเมนตัมในทิศทางแกน x

$$\frac{\partial(uh)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(u^2 h + \frac{1}{2} gh^2 \right) + \frac{\partial(uvh)}{\partial y} + gh \frac{\partial z}{\partial x} = \frac{gu|u|}{c^2} \quad (2)$$

สมการโมเมนตัมในทิศทางแกน y

$$\frac{\partial(vh)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (uvh) + \frac{\partial}{\partial y} \left(v^2 h + \frac{1}{2} gh^2 \right) + gh \frac{\partial z}{\partial y} = \frac{gv|v|}{c^2} \quad (3)$$

เมื่อ h คือ ความลึกของน้ำ (Water depth), u และ v คือ ความเร็วของการไหลในทิศทางแกน x และ y ตามลำดับ, R คือ ปริมาณน้ำฝนสุทธิที่ตกลงบนพื้นที่ g คือ ค่าแรงเนื่องจากแรงโน้มถ่วง, z คือ ความสูงของพื้นผิว (Elevation of the terrain) และ c คือ ค่าสัมประสิทธิ์เชิชี

ในการจำลองสถานการณ์น้ำท่วมโดยใช้แบบจำลอง HEC-RAS พารามิเตอร์ที่ใช้ในการ

เปรียบเทียบแบบจำลองเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกับสภาพจริงมากที่สุดคือค่า Manning's n เป็นค่าที่ใช้แสดงถึงความเสียดทานต่อการไหลของน้ำในทางน้ำเปิด หรือที่เรียกว่าค่าความขรุขระของพื้นผิว และค่า SCS Curve Number เป็นค่าที่ใช้ประเมินการไหลบ่าของน้ำฝนลงสู่พื้นดิน โดยอิงจากปัจจัยต่าง ๆ เช่น ประเภทของดิน ลักษณะการใช้ที่ดิน

การรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

แบบจำลอง Rain on Grid ที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ถูกสร้างขึ้นโดยใช้แบบจำลอง HEC-RAS ซึ่งต้องการข้อมูลหลายประเภทในการสร้างแบบจำลอง ได้แก่ แบบจำลองระดับความสูงดิจิทัล (DEM), ข้อมูลปริมาณน้ำฝน, ข้อมูลลักษณะของดิน, ข้อมูลการใช้ที่ดิน และข้อมูลอาคารชลศาสตร์ เนื่องจากข้อมูลแต่ละจุดได้มาจากหลายแหล่งที่มา ทำให้มีผลต่อความแม่นยำของแบบจำลอง Table 1

ขั้นตอนการจำลอง

ขั้นตอนการเตรียมการจำลองเริ่มต้นด้วยการใส่ข้อมูลที่เกี่ยวข้องทั้งหมดลงในแบบจำลอง HEC-RAS ประกอบด้วยข้อมูลภูมิประเทศ เช่น ข้อมูลรูปตัดลำน้ำ, ข้อมูล DEM, ข้อมูลเส้นลำน้ำ, ข้อมูลการใช้ที่ดิน, ข้อมูลลักษณะดิน ข้อมูลปริมาณน้ำท่า หลังจากใส่ข้อมูลที่เกี่ยวข้องแล้วจึงดำเนินการสร้างข้อมูล 1 มิติ สำหรับลำน้ำหลัก และสร้างกริด 2 มิติในพื้นที่นอกลำน้ำหลัก เช่น พื้นที่ราบลุ่มหรือพื้นที่เกษตรกรรม โดยใช้ DEM เพื่อกำหนดความสูงและความลาดชันของพื้นที่ โดยใช้ขนาดตาข่ายที่ 100x100 เมตร Figure 3 แม้ว่าขนาดกริดจะค่อนข้างใหญ่เมื่อเทียบกับความละเอียดของ DEM แต่ด้วยระบบการประมวลผลของแบบจำลอง HEC-RAS ทำให้แต่ละกริดจะถูกกำหนดขอบเขตและคุณสมบัติเฉพาะ เช่น ความชันของพื้นที่ ความหยาบของพื้นผิว และสิ่งกีดขวางต่างๆ ข้อมูลเหล่านี้จะใช้ในการคำนวณการไหลของน้ำ (Betsholtz. & Nordlöf, 2017; ปัญชีกา, 2565)

Table 1 Data Source

No	Type of Data	Data Source
1	Digital elevation model (DEM) (5x5 m.)	● Land Development Department (2002)
2	Cross Section (Survey)	● Royal Irrigation Department (1999) ● Kasetsart University Kamphaeng Saen Campus (2022) ● Department of Public Works and Town & Country Planning (2023)
3	Rainfall	● Kasetsart University Kamphaeng Saen Campus (2022)
4	Runoff	● Kasetsart University Kamphaeng Saen Campus (2022)
5	Water level	● Royal Irrigation Department (P.7A (Ping River Station))
6	Soil Data	● Department of Mineral Resources (2022)
7	Land use Data	● Land Development Department (2022)

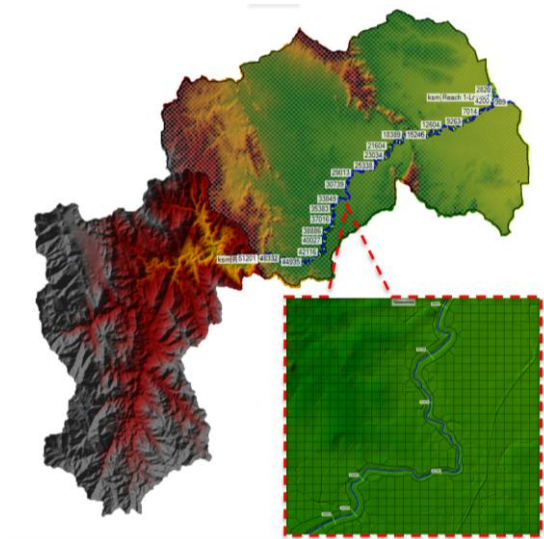


Figure 3 1D data for the main river and 2D grid in the area outside the main river.

การกำหนดค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของแมนนิ่ง
ตัวแปรสำคัญของแบบจำลอง HEC-RAS ที่
ใช้ในการสอบเทียบและทวนสอบคือสัมประสิทธิ์ความ
ขรุขระของแมนนิ่งซึ่งแสดงถึงความเสี่ยงต่อการ
ไหลในทางน้ำเปิด โดยการศึกษาในครั้งนี้จะแบ่งการ
เลือกใช้ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของแมนนิ่งเป็น 2
ส่วน ได้แก่ (1) ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของแมนนิ่ง
ในลำน้ำโดยอ้างอิงจากการศึกษาที่ผ่านมา (ฉัตรชัย,
2547) และปรับค่าให้อยู่ในเกณฑ์ของ chow (Chow,
1959) (2) ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของแมนนิ่งใน

พื้นที่ทั้งสองข้างตลิ่งโดยกำหนดค่าตามลักษณะการใช้
ประโยชน์ที่ดินโดยอ้างอิงค่าจากการศึกษาที่ผ่านมา

การใส่ข้อมูลการซึม (Infiltration)

การใส่ข้อมูลการซึม (Infiltration) ขั้นตอนนี้
คือการกำหนดข้อมูลการซึม โดยใช้หลักการ SCS
Curve Number (SCS CN) ซึ่งพิจารณาจากลักษณะ
ของดินในพื้นที่ ลักษณะการใช้ที่ดิน ข้อมูลเหล่านี้จะ
ถูกใส่ลงในแบบจำลองเพื่อคำนวณการซึมของน้ำใน
แต่ละตารางพื้นที่ (Figure 4)

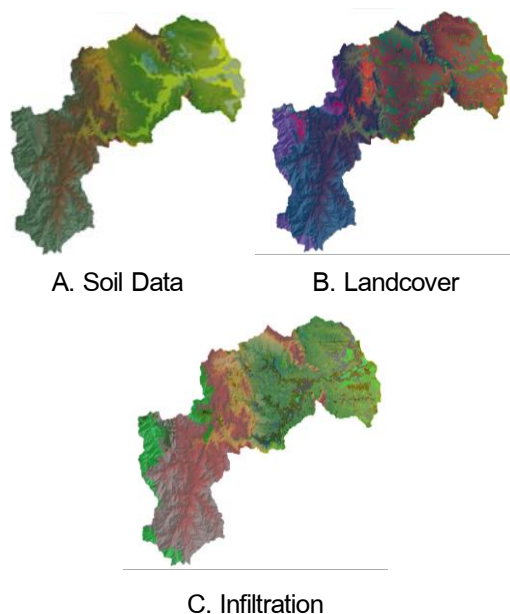


Figure 4 Infiltration Input

ในขั้นตอนการใส่ข้อมูลการซึม (Infiltration) ของแบบจำลอง จะใช้การกำหนดค่าหมายเลขโค้งน้ำท่า SCS CN ซึ่งเป็นตัวแปรสำคัญของแบบจำลอง HEC-RAS Rain on Grid โดยกำหนดค่าตามลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินตามแต่ละชนิดดินโดยอ้างอิงค่าจากการศึกษาที่ผ่านมา (Godara *et al.*, 2023)

การเปรียบเทียบ และสอบทาน

การเปรียบเทียบและการสอบทานแบบจำลอง แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ 1. การเปรียบเทียบโดยใช้การไหลแบบ Steady Flow 2. การเปรียบเทียบโดยใช้ข้อมูลจากเหตุการณ์ในอดีต (Historical Event) โดยมีรายละเอียดดังนี้

ส่วนแรกของการเปรียบเทียบแบบจำลอง คือ การเปรียบเทียบโดยใช้การไหลแบบ Steady Flow ซึ่งเริ่มต้นจากการวิเคราะห์หา Rating Curves หรือเส้นโค้งความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำและอัตราการไหลในลำน้ำ เพื่อเปรียบเทียบผลการคำนวณจากแบบจำลองกับ Rating Curves ที่ได้จากการตรวจวัดจริง ที่สถานี P.26A ของกรมชลประทาน ซึ่งจะช่วยให้สามารถประเมินความแม่นยำของแบบจำลองได้อย่างชัดเจน หลังจากนั้นจะเป็นการเปรียบเทียบแบบจำลองโดยใช้ข้อมูลเหตุการณ์น้ำท่วมในอดีต (Historical Events) คือการเปรียบเทียบโดยใช้ข้อมูลเหตุการณ์น้ำท่วมในอดีต ข้อมูลเหล่านี้ประกอบด้วยข้อมูลปริมาณน้ำฝน และอัตราการไหลที่เกิดขึ้นในช่วงเหตุการณ์ที่เคยเกิดขึ้นจริงในลุ่มน้ำคลองสวนหมาก โดยเริ่มต้นจากการพิจารณาเลือกข้อมูลที่สามารถใช้ได้จริงในช่วงระหว่าง 15 กันยายน 2565 ถึง 14 ตุลาคม 2567 ส่วนการสอบทานแบบจำลองจะใช้ข้อมูลในช่วงระหว่าง 1 ตุลาคม 2566 ถึง 28 ตุลาคม 2566 โดยกำหนดขอบเขตด้านเหนือน้ำเป็นปริมาณการไหลราย 15 นาที ของสถานีตรวจวัด RID-KU-WL001 (ฝายคลองสวนหมาก) ในแม่น้ำคลองสวนหมากเป็นขอบเขตทางด้านเหนือน้ำ ส่วนขอบเขตทางด้านท้ายน้ำใช้ข้อมูลระดับน้ำรายชั่วโมงของสถานี P.7A ในแม่น้ำปิง และปริมาณการไหลเข้าด้านข้างใช้ข้อมูลฝนที่ตรวจวัดจริงจากสถานีในพื้นที่ทำการศึกษา พร้อมทั้งกำหนดค่า Manning's n และค่า SCS Curve Number

ให้มีค่าเท่ากับค่าที่ทำการเปรียบเทียบ และขั้นตอนสุดท้ายทำการเปรียบเทียบผลการคำนวณปริมาณน้ำจากแบบจำลองกับค่าที่ตรวจวัดได้จริงที่สถานี RID-KU-WL006 (ฝายหนองบึงไก่) โดยต้องมีค่าใกล้เคียงกันมากที่สุด

การวิเคราะห์ทางสถิติ

การเปรียบเทียบและสอบเทียบแบบจำลอง (Calibration) และสอบทาน (Verification) แบบจำลองทางชลศาสตร์จะทำการตรวจสอบความน่าเชื่อถือ ความถูกต้องของแบบจำลองโดยใช้หลักการทางสถิติ เพื่อให้ข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองมีความใกล้เคียงกับข้อมูลจริง โดยพารามิเตอร์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบและสอบเทียบแบบจำลองได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ Coefficient of Determination (R^2) และค่า Nash-Sutcliffe coefficient of efficiency (NSE) ดังแสดงในสมการที่ 4 และ 5 ตามลำดับ

$$R^2 = \left\{ \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{ci} - \bar{Q}_c) \cdot (Q_{oi} - \bar{Q}_o)}{[\sum_{i=1}^N (Q_{ci} - \bar{Q}_c)^2 + (Q_{oi} - \bar{Q}_o)^2]^{0.5}} \right\} \quad (4)$$

$$NSE = 1.0 - \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{ci} - Q_{oi})^2}{\sum_{i=1}^N (Q_{oi} - \bar{Q}_o)^2} \quad (5)$$

เมื่อ Q_{ci} คือค่าตรวจวัดจริงที่เวลาใดๆ, Q_{oi} คือค่าที่ได้จากแบบจำลองที่เวลาใดๆ, $\bar{Q}_c$ คือค่าตรวจวัดจริงเฉลี่ยที่เวลาใดๆ, $\bar{Q}_o$ คือค่าที่ได้จากแบบจำลองเฉลี่ยที่เวลาใดๆ และ N คือจำนวนข้อมูลที่พิจารณาความคลาดเคลื่อน

ค่า R^2 และ NSE ที่สมควรมีค่าเข้าใกล้ 1 ซึ่งแสดงว่าปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบตรวจวัดและจากการคำนวณ มีความสัมพันธ์แบบปฏิภาคตรงกัน แต่ถ้ามีค่าเข้าใกล้ -1 แสดงว่าปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบตรวจวัด และจากการคำนวณ มีความสัมพันธ์แบบปฏิภาคผกผันกัน

การประยุกต์ใช้แบบจำลอง HEC-RAS โดยใช้เทคนิค "Rain on Grid"

การใช้แบบจำลอง HEC-RAS ร่วมกับเทคนิค Rain on Grid สำหรับการประเมินผลกระทบจากฝนตกหนัก เช่น Rain Bomb มีความสำคัญอย่างยิ่งใน

การวิเคราะห์ความเสี่ยงจากน้ำท่วมและเตรียมแผนรับมือกับเหตุการณ์น้ำท่วมฉับพลัน การจำลองนี้ช่วยให้สามารถประเมินความลึกของน้ำท่วม การกระจายของน้ำในพื้นที่ต่าง ๆ และระยะเวลาที่น้ำท่วมขังได้

การศึกษาในครั้งนี้มีแนวคิดในการประยุกต์ใช้ แบบจำลอง HEC-RAS ร่วมกับ เทคนิค "Rain on Grid" เพื่อประเมินผลกระทบจากพายุฝนที่อาจเกิดขึ้น โดยใช้ปริมาณฝนสะสมสมมติ วันละ 250 มิลลิเมตร ต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 3 วันติดต่อกัน เพื่อจำลองสถานการณ์ฝนตกหนักที่คล้ายกับปรากฏการณ์ Rain Bomb ซึ่งมักจะส่งผลให้เกิดน้ำท่วมฉับพลัน และน้ำท่วมขังในพื้นที่ที่มีความเสี่ยง โดยการศึกษาได้ใช้ค่าระดับของแม่น้ำปิง ใน 3 กรณีเป็นตัวแปรในการจำลองสถานการณ์ เพื่อประเมินความเสี่ยงและผลกระทบจากการเกิดน้ำท่วมในสถานการณ์ต่าง ๆ ได้แก่

1. ระดับเฉลี่ยของแม่น้ำปิง (+74.48 ม.รทก.) เป็นระดับน้ำปกติของแม่น้ำปิงในช่วงที่ไม่มีน้ำท่วม การใช้ระดับนี้ช่วยให้วิเคราะห์ผลกระทบจากปริมาณฝนที่ตกหนักกว่ามีผลต่อการเพิ่มปริมาณการไหลในคลองสวนหมากอย่างไร หากน้ำในแม่น้ำปิงยังคงอยู่ในระดับเฉลี่ยปกติ

2. ระดับน้ำสูงสุดในปี พ.ศ. 2554 (+76.93 ม.รทก.) เป็นปีที่เกิดเหตุการณ์น้ำท่วมใหญ่ในประเทศไทย ระดับนี้แสดงถึงสถานการณ์ที่มีน้ำท่วมรุนแรง การใช้ระดับนี้ช่วยให้วิเคราะห์ผลกระทบจากฝนตกหนักในระดับที่ใกล้เคียงกับเหตุการณ์ในอดีต

3. ระดับน้ำล้นตลิ่ง (+79.00 ม.รทก.) เป็นระดับที่น้ำล้นออกจากตลิ่งของแม่น้ำปิง ซึ่งอาจทำให้เกิดน้ำท่วมบริเวณโดยรอบและลามเข้าสู่ลุ่มน้ำคลองสวนหมาก การใช้ระดับนี้ช่วยให้สามารถประเมินสถานการณ์ที่เลวร้ายที่สุด (Worst Case Scenario) ว่าหากเกิดน้ำล้นตลิ่ง ปริมาณน้ำจะกระจายไปอย่างไร และพื้นที่ใดจะได้รับผลกระทบมากที่สุด

ผลการศึกษา

ผลเปรียบเทียบ และสอบเทียบแบบจำลอง

การเปรียบเทียบแบบจำลองด้วยตัวแปรค่า Manning (n) ในลำน้ำโดยใช้ข้อมูลปริมาณน้ำ และระดับน้ำของสถานีวัดน้ำท่า P.26A พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำ และความสูงน้ำ (Rating Curve) ในลำน้ำคลองสวนหมากอยู่ที่ 0.026 (Figure 5)

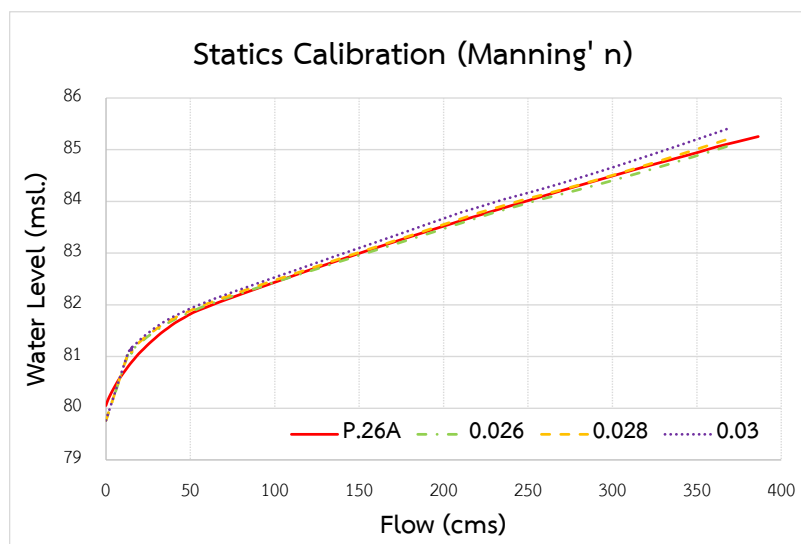


Figure 5 Rating Curve from 2022 models

ในส่วนของการเปรียบเทียบแบบจำลอง ที่ใช้เหตุการณ์ในอดีต จะใช้ตัวแปรค่า Manning (n) ในลำน้ำที่เปรียบเทียบแล้ว และค่า Manning (n) ในพื้นที่ทั้งสองข้างตลิ่งซึ่งกำหนดค่าตามลักษณะการใช้

ประโยชน์ที่ดินโดยอ้างอิงค่าจากการศึกษาที่ผ่านมา Table 2 และค่า SCS Curve Number ที่กำหนดค่าตามลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินตามแต่ละชนิดดิน Table 3

Table 2 Manning's roughness coefficient for each land use type.

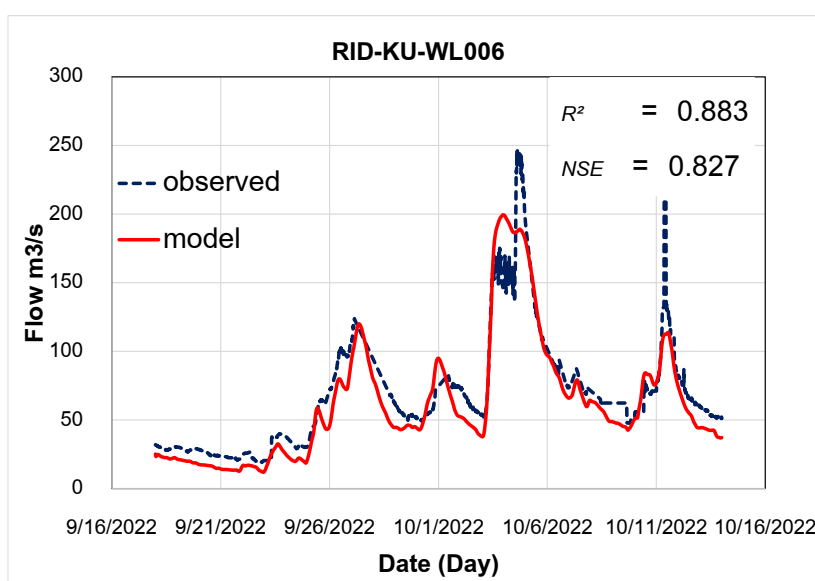
Areal type	Manning's	Sources
Urban area	0.1	(Chow, 1959)
Fully cultivated soil	0.042	(Chow, 1959)
Forest	0.2	(Sande <i>et al</i> , 2003)
Open land	0.05	(Godara <i>et al</i> , 2023)
River water	0.04	(Godara <i>et al</i> , 2023)

Table 3 Runoff curve number values from land use conditions in various soil types.

Areal type	Hydrologic Soil Group			
	A	B	C	D
Urban area	77	85	90	92
Fully cultivated soil	62	71	78	81
Forest	30	55	70	77
Open land	39	61	74	80
River water	98	98	98	98

ผลการปรับเทียบและสอบเทียบแบบจำลองในช่วงระหว่าง 15 กันยายน 2565 ถึง 14 ตุลาคม 2565 มีค่า R^2 และค่า NSE ของสถานีวัดน้ำท่า RID-KU-WL006 เท่ากับ 0.883 และ 0.827 ตามลำดับ (Figure 6) และ

การสอบเทียบซึ่งใช้เหตุการณ์ในอดีต 1 ตุลาคม 2566 ถึง 28 ตุลาคม 2566 มีค่า R^2 และค่า NSE เท่ากับ 0.797 และ 0.775 ตามลำดับ (Figure 7) ซึ่งถือว่าผ่านเกณฑ์การปรับเทียบและสอบเทียบแบบจำลอง

**Figure 6** Graph Calibration from 15 September 2022 to 14 October 2022 models

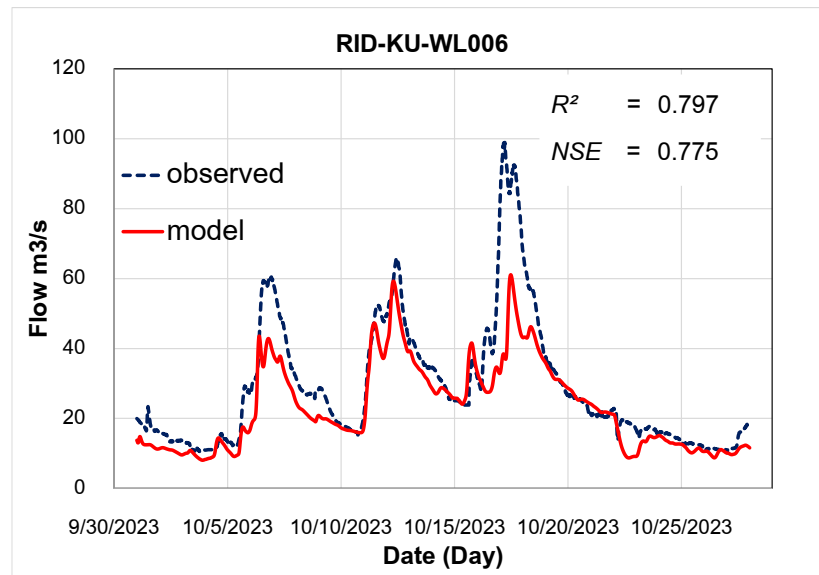


Figure 7 Graph Validation from 1 October 2023 to 28 October 2022 models

ผลการประยุกต์ใช้แบบจำลอง HEC-RAS โดยใช้เทคนิค "Rain on Grid"

ผลจากการจำลองสถานการณ์ฝนตกหนักสะสม 250 มม./วัน ต่อเนื่องเป็นเวลา 3 วัน ในลุ่มน้ำคลองสวนหมาก (Table 4) โดยใช้ระดับของแม่น้ำปิงเป็นตัวแปร พบว่า กรณีที่ 1 ระดับความสูงของแม่น้ำปิงอยู่ที่ค่าเฉลี่ย (+74.48 ม.รทก.) พบว่ามีพื้นที่น้ำท่วมเกิดขึ้นอยู่ที่ 52,631 ไร่ (Figure 8) อัตราการไหลสูงสุดของน้ำที่เกิดขึ้นเท่ากับ 543.42 ลบ.ม./วินาที ระยะเวลาดำเนินทางของน้ำจากฝายคลองสวนหมากถึงจุดบรรจบแม่น้ำปิงเท่ากับ 13.16 ชั่วโมง กรณีที่ 2 ระดับความสูงของแม่น้ำปิงอยู่ที่ระดับน้ำสูงสุดที่เคย

เกิดขึ้นในปี พ.ศ.2554 (+76.93 ม.รทก.) พบว่ามีพื้นที่น้ำท่วมเกิดขึ้นอยู่ที่ 53,721 ไร่ (Figure 9) อัตราการไหลสูงสุดของน้ำที่เกิดขึ้นเท่ากับ 35.15 ลบ.ม./วินาที ระยะเวลาดำเนินทางของน้ำจากฝายคลองสวนหมากถึงจุดบรรจบแม่น้ำปิงเท่ากับ 17.87 ชั่วโมง กรณีที่ 3 ระดับความสูงของแม่น้ำปิงอยู่ที่ระดับล้นตลิ่ง (+76.93 ม.รทก.) พบว่ามีพื้นที่น้ำท่วมเกิดขึ้นอยู่ที่ 58,247 ไร่ (Figure 10) อัตราการไหลสูงสุดของน้ำที่เกิดขึ้นเท่ากับ 525.07 ลบ.ม./วินาที ระยะเวลาดำเนินทางของน้ำจากฝายคลองสวนหมากถึงจุดบรรจบแม่น้ำปิงเท่ากับ 24.02 ชั่วโมง

Table 4 Results of Simulated Heavy Rainfall using the Rain on Grid Technique

Scenario	Flow (m³/s)		Flooded Area (rai)
	Peak Flow	RID-KU-WL006	
1. average height of the Ping River	543.42	215.47	52,631
2. highest level ever reached in 2011	535.15	214.24	53,721
Difference from Scenario 1 (%)	-1.52	-0.57	+2.07
3. exceeds the bank level	525.07	208.71	58,247
Difference from Scenario 1 (%)	-3.38	-6.76	+10.67

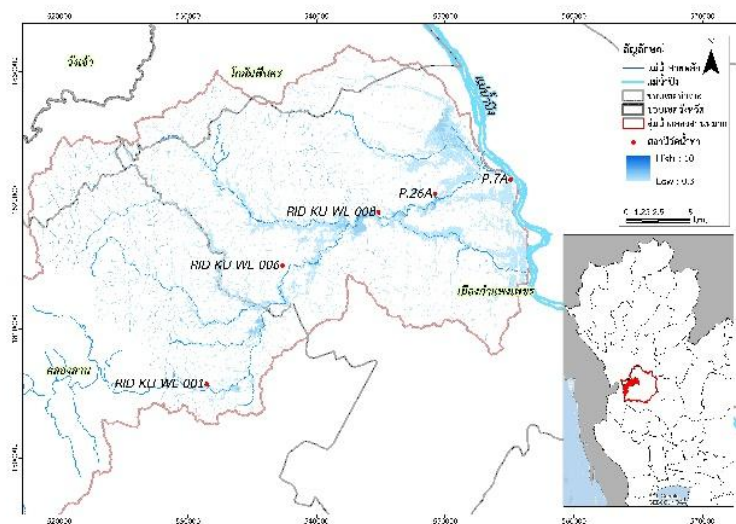


Figure 8 Flood Map at the average height of the Ping River (+74.48 msl.)

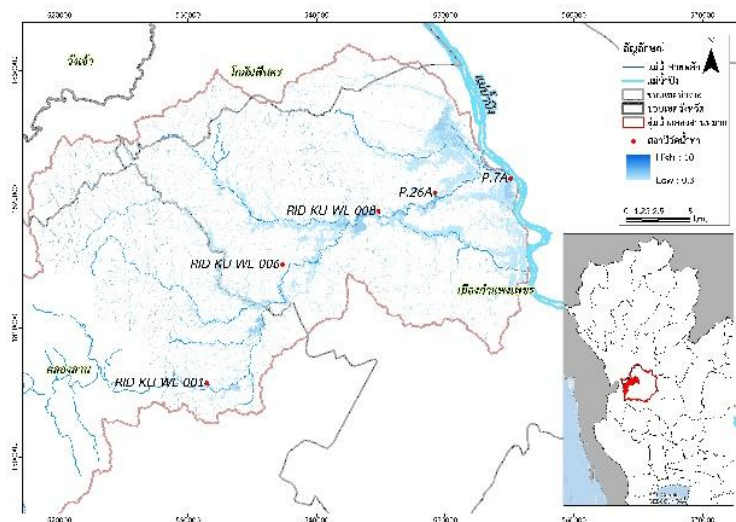


Figure 9 Flood Map at the height of the Ping River at its highest level ever reached in 2011. (+76.93 msl.)

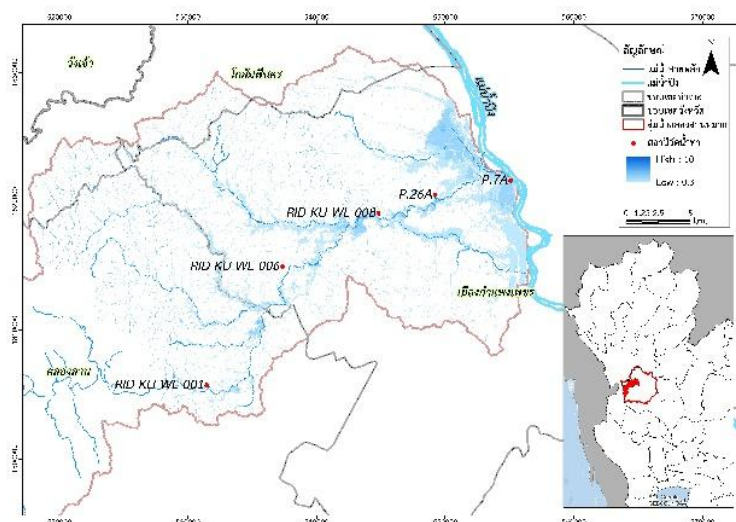


Figure 10 Flood Map at the height of the Ping River when it exceeds the bank level. (+79.00 msl.)

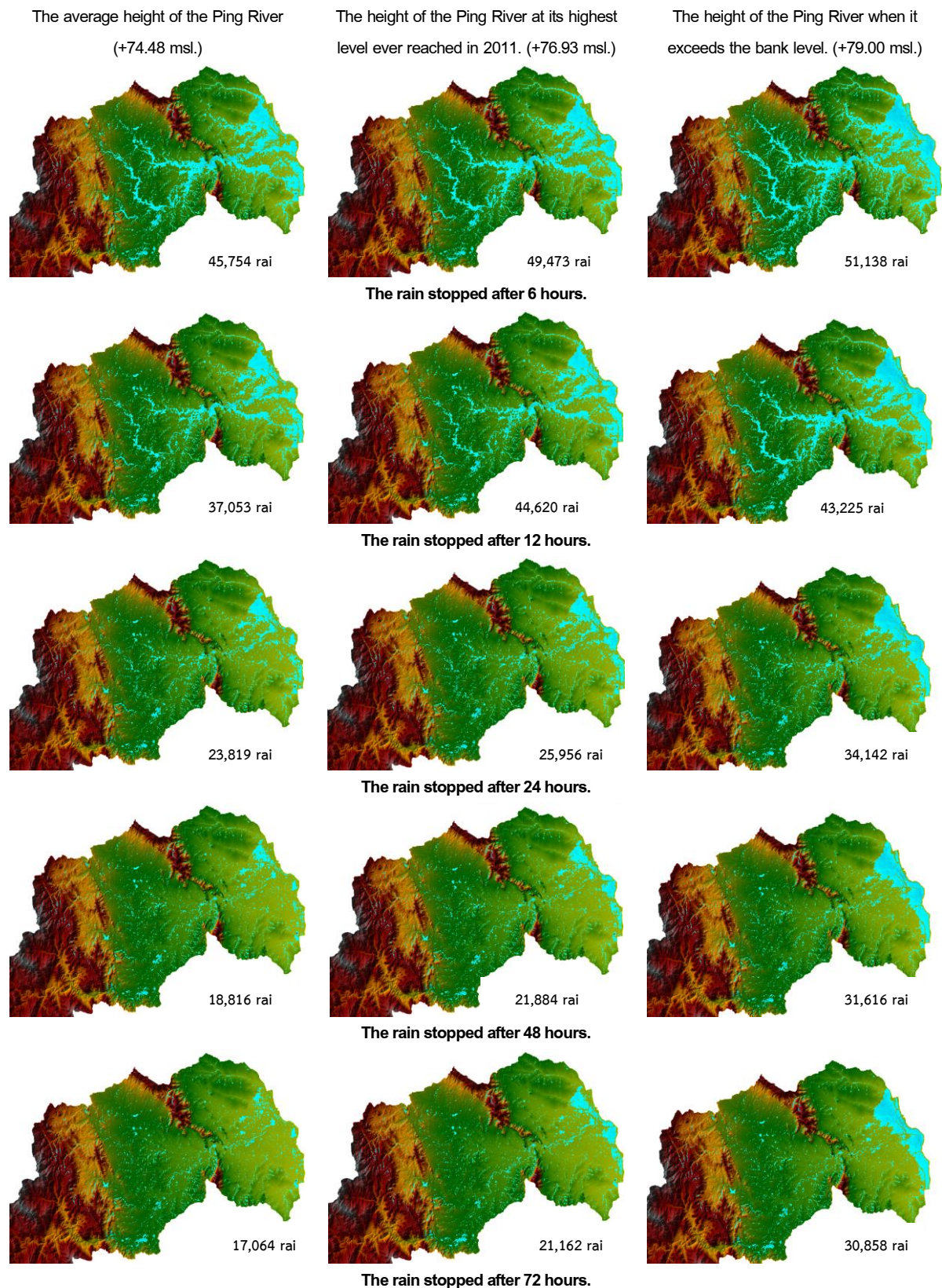


Figure 11 The duration of the flooding after simulating rain at 250 mm/day for 3 days

ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำหลากสูงสุดที่เกิดขึ้นและระยะเวลาในการหลาก

ในการการจำลองปริมาณน้ำหลากสูงสุดที่เกิดขึ้น และระยะเวลาในการหลากจากปริมาณน้ำฝนที่สมมติขึ้นโดยใช้ค่าปริมาณน้ำฝนที่รอบปีการเกิดซ้ำ 50 ปีของสถานีวัดน้ำฝน P.7A (250 มม./วัน) และใช้ค่าระดับของแม่น้ำปิงมาใช้เป็นตัวแปรในการวิเคราะห์ ซึ่งมีผลการจำลอง Figure 11 และรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) กำหนดระดับความสูงของแม่น้ำปิงไว้ที่ค่าเฉลี่ย (+74.48 ม. รทก.) พบว่าอัตราการไหลสูงสุดของน้ำที่เกิดขึ้นเท่ากับ 543.42 ลบ.ม./วินาที ระยะเวลาเดินทางของน้ำจากฝายคลองสวนหมากถึงจุดบรรจบแม่น้ำปิงเท่ากับ 13.16 ชั่วโมง และใช้ระยะเวลาในการระบายน้ำหลากที่เกิดขึ้นจนกลับสู่สภาวะปกติใช้เวลาประมาณ 3 วัน

2) กำหนดระดับความสูงของแม่น้ำปิงไว้ที่ระดับน้ำสูงสุดที่เคยเกิดขึ้นในปี พ.ศ. 2554 (+76.93 ม. รทก.) พบว่าอัตราการไหลสูงสุดของน้ำที่เกิดขึ้นเท่ากับ 535.15 ลบ.ม./วินาที ระยะเวลาเดินทางของน้ำจากฝายคลองสวนหมากถึงจุดบรรจบแม่น้ำปิงเท่ากับ 17.87 ชั่วโมง และใช้ระยะเวลาในการระบายน้ำหลากที่เกิดขึ้นจนกลับสู่สภาวะปกติใช้เวลาประมาณ 4 วัน

3) กำหนดระดับความสูงของแม่น้ำปิงไว้ที่ระดับน้ำที่ล้นตลิ่ง (+79.00 ม. รทก.) พบว่าอัตราการไหลสูงสุดของน้ำที่เกิดขึ้นเท่ากับ 525.07 ลบ.ม./วินาที ระยะเวลาเดินทางของน้ำจากฝายคลองสวนหมากถึงจุดบรรจบแม่น้ำปิงเท่ากับ 24.02 ชั่วโมง และใช้ระยะเวลาในการระบายน้ำหลากที่เกิดขึ้นจนกลับสู่สภาวะปกติใช้เวลาประมาณ 4 วัน

วิจารณ์

จากผลการเปรียบเทียบและสอบเทียบแบบจำลอง HEC-RAS ที่สถานีวัดน้ำ RID-KU-WL006 พบว่าแบบจำลองสามารถจำลองปริมาณน้ำท่าได้อย่างมีความแม่นยำสูง ซึ่งแสดงให้เห็นจาก

ค่า R^2 และค่า NSE ที่มีค่าสูง ทั้งในขั้นตอนการปรับเทียบ ($R^2 = 0.883$, $NSE = 0.827$) และการสอบเทียบ ($R^2 = 0.797$, $NSE = 0.775$) ซึ่งบ่งชี้ได้ว่าข้อมูลที่ได้จากแบบตรวจวัด และจากการคำนวณมีความสัมพันธ์แบบปฏิภาคตรงกัน ดังนั้น แบบจำลองที่ใช้ในการศึกษารั้งนี้จึงมีความน่าเชื่อถือ ในการวิเคราะห์พื้นที่เกิดน้ำท่วมจากฝนตกหนัก 250 มม./วันซึ่งเป็นค่าที่รอบปีการเกิดซ้ำเท่ากับ 50 ปีของสถานีวัดน้ำฝน P.7A เป็นระยะเวลา 3 วัน พบว่าพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากน้ำท่วม (คิดที่ระดับน้ำท่วมตั้งแต่ 30 เซนติเมตรและไม่คิดพื้นที่แหล่งน้ำ) มีการเปลี่ยนแปลงตามระดับความสูงของแม่น้ำปิง ดังนี้

1. ระดับความสูงเฉลี่ยของแม่น้ำปิง (+74.48 ม. รทก.) พื้นที่น้ำท่วม 52,631 ไร่
2. ระดับน้ำสูงสุดในปี พ.ศ. 2554 (+76.93 ม. รทก.): พื้นที่น้ำท่วม 53,721 ไร่
3. ระดับน้ำที่ล้นตลิ่ง (+79.00 ม. รทก.) พื้นที่น้ำท่วม 58,247 ไร่

ในการวิเคราะห์ปริมาณน้ำหลากสูงสุดและระยะเวลาในการหลากพบว่าเมื่อระดับความสูงของแม่น้ำปิงเพิ่มขึ้น อัตราการไหลสูงสุดของน้ำและระยะเวลาในการเดินทางของน้ำจะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย โดยที่ระดับความสูงเฉลี่ยของแม่น้ำปิง (+74.48 ม. รทก.) มีอัตราการไหลสูงสุด 543.42 ลบ.ม./วินาที ระยะเวลาเดินทาง 13.16 ชั่วโมง และใช้เวลาในการระบายน้ำหลาก 3 วัน เมื่อระดับน้ำสูงสุดในปี พ.ศ. 2554 (+76.93 ม. รทก.) อัตราการไหลสูงสุดลดลงเป็น 535.15 ลบ.ม./วินาที ระยะเวลาเดินทางเพิ่มขึ้นเป็น 17.87 ชั่วโมง และใช้เวลาในการระบายน้ำหลาก 4 วัน ส่วนที่ระดับน้ำล้นตลิ่ง (+79.00 ม. รทก.) อัตราการไหลสูงสุดอยู่ที่ 525.07 ลบ.ม./วินาที ระยะเวลาเดินทาง 24.02 ชั่วโมง และใช้เวลาในการระบายน้ำหลาก 4 วัน

ในกรณีของความสูงของแม่น้ำปิงที่ระดับน้ำสูงสุดในปี พ.ศ. 2554 (+76.93 ม. รทก.) และความสูงของแม่น้ำปิงที่ระดับน้ำล้นตลิ่ง (+79.00 ม. รทก.) จะ

ยังคงมีพื้นที่ที่เกิดน้ำท่วมขังอยู่ซึ่งเป็นพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากระดับน้ำบึงที่เอ่อล้นตลิ่ง ส่วนระยะเวลาในการระบายน้ำหลากที่เกิดขึ้นจนกลับสู่สภาวะปกติที่ใช้เวลาประมาณ 4 วัน จะเป็นส่วนที่อยู่นอกเหนืออิทธิพลของระดับน้ำท่วมจากแม่น้ำบึง

ผลการศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าแบบจำลอง HEC-RAS มีความสามารถในการจำลองปริมาณน้ำท่าและปริมาณน้ำหลากได้ ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์และวางแผนการจัดการน้ำในพื้นที่ต่างๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และผลการจำลองยังชี้ให้เห็นถึงความสำคัญของการพิจารณาระดับความสูงของแม่น้ำบึงในการวิเคราะห์พื้นที่เกิดน้ำท่วมและปริมาณน้ำหลาก ซึ่งระดับความสูงของแม่น้ำบึงมีผลต่อขนาดพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากน้ำท่วมและอัตราการไหลสูงสุดของน้ำ เมื่อระดับความสูงของแม่น้ำบึงเพิ่มขึ้น พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากการน้ำท่วมก็ขยายตัวตามไปด้วย การจำลองนี้แสดงให้เห็นถึงความสำคัญของการติดตามและจัดการระดับน้ำในแม่น้ำบึงเพื่อลดความเสี่ยงและผลกระทบจากน้ำท่วมในพื้นที่ลุ่มน้ำคลองสวนหมาก การวางแผนและจัดการทรัพยากรน้ำอย่างมีประสิทธิภาพจะสามารถช่วยลดความเสี่ยงต่อการเกิดน้ำท่วมและผลกระทบที่ตามมาได้อย่างมาก

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณสำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน) ศูนย์อุทกวิทยาชลประทานภาคเหนือตอนล่าง กรมชลประทาน และภาคีวิศวกรรมการชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสนมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลในงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

กรมชลประทาน. (2567). การวิเคราะห์ช่วงเวลาการเกิดซ้ำของฝน โดยใช้วิธี Gumbel (สถานี P.7A). http://hydro-2.rid.go.th/OLDVERSION/HD-03/HD7%20Return%20Period%201%20Day/Gumbel_P.7A%20120161.pdf

ฉัตรชัย ทองปอนด์. (2547). การแสดงผลแบบจำลองอุทกพลศาสตร์ด้วยระบบภูมิสารสนเทศ (พื้นที่ศึกษา: ลุ่มน้ำคลองสวนหมาก อำเภอเมือง จังหวัดกำแพงเพชร) [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์]. Digital Research Information Center. <https://dric.nrct.go.th/Search/SearchDetail/143034>

ไทรรัฐ. (2567, 19 กันยายน). นักวิชาการเผย ภาวะ Rain bomb ถล่มพะเยา มีโอกาสเกิดขึ้นอีกในหลายพื้นที่. <https://www.thairath.co.th/news/society/2815313>

สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ. (2567). บันทึกเหตุการณ์น้ำ. http://tiwrm.hii.or.th/thaiwater_l5/public/archive_report

ปัญชิกา มุลรังษี. (2565). การจำลองการเกิดน้ำท่วมในพื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนกลางด้วยแบบจำลอง HEC-RAS. [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย]. Chula ETD. <https://digital.car.chula.ac.th/chulaetd/6429>

Betsholtz, A., & Nordlöf, B. (2017). Potentials and limitations of 1D, 2D and coupled 1D-2D flood modelling in HEC-RAS: A case study on Høje river. [Master's thesis, Lund University]. <https://lup.lub.lu.se/luur/download?func=downloadFile&recordId=8904721&fileId=8904723>

Brunner, G. W. (2020). HEC-RAS Hydraulic reference manual. USACE Hydrologic Engineering Center.

Chow, V. T. (1959). Open-Channel Hydraulics. McGraw-Hill.

- David, A. & Schmalz, B. (2020). Flood hazard analysis in small catchments: Comparison of hydrological and hydrodynamic approaches by the use of direct rainfall. *Journal of Flood Risk Management*, 13(4), e12639. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12639>
- Godara, A., Bruland, O., & Alfredsen, K. (2023). Simulation of flash flood peaks in a small and steep catchment using rain-on-grid technique. *Journal of Flood Risk Management*, 16(3), e12898. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12898>
- Nipon, P. (2013). *Impact of the 2011 Floods, and Flood Management in Thailand*. <https://www.eria.org/ERIA-DP-2013-34.pdf>
- Sande, van der, C.j., de Jong, S.M., & de Roo, A.P.J. (2003). A segmentation and classification approach of IKONOS-2 imagery for land cover mapping to assist flood risk and flood damage assessment. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 4(3), 217–229. [https://doi.org/10.1016/S0303-2434\(03\)00003-5](https://doi.org/10.1016/S0303-2434(03)00003-5)
- Wafae, E., Andrea, F., Gabriella, P., Elisabetta, P., & Stefano, S. (2024). A complete methodology to assess hydraulic risk in small ungauged catchments based on HEC-RAS2D Rain-On-Grid simulations. *Natural Hazards*, 120, 7381–7409. <https://doi.org/10.1007/s11069-024-06515-2>