



การศึกษากลศาสตร์แม่น้ำในแม่น้ำป่าสักตอนล่างด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์

A Study of River Mechanics in Lower Pasak River by Mathematical Model

วิษุวัต แท้สมบัติ^{1*}Wisuwat Taesombat^{1*}

¹ห้องปฏิบัติการวิจัยการจำลองระบบทรัพยากรน้ำด้วยคอมพิวเตอร์และระบบสารสนเทศ, ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน, คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม, 73140

¹Research Laboratory of Water Resources Computer Modeling and Information System, Department of Irrigation Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaengsaen, Kasetsart University - Kamphaengsaen Campus, Nakhon Pathom, 73140

*Corresponding author: Tel: +66-86-383-3289, E-mail: fengwwt@ku.ac.th

บทคัดย่อ

แม่น้ำป่าสักตอนล่างตั้งแต่ช่วงท้ายเขื่อนพระรามหกจนถึงจุดบรรจบแม่น้ำเจ้าพระยาได้ถูกคัดเลือกมาใช้ในการศึกษากลศาสตร์แม่น้ำร่วมกับการประยุกต์ใช้แบบจำลอง MIKE11 ข้อมูลรูปตัดขวางของแม่น้ำป่าสักและเจ้าพระยาได้ถูกสำรวจในระหว่างปี พ.ศ. 2556-2558 ในช่วงระยะห่างทุกๆ 50 m การเปรียบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง MIKE11 ได้ดำเนินการโดยใช้ข้อมูลในช่วงปี พ.ศ. 2555-2556 ผลที่ได้พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระในแม่น้ำป่าสักอยู่ในช่วง 0.023 – 0.026 ซึ่งทำให้ค่าดัชนีทางสถิติ R^2 และค่า RMSE มีค่าเท่ากับ 0.85 และ 0.62 m ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้หลังจากนั้นจึงนำแบบจำลอง MIKE11 ที่ผ่านการเปรียบเทียบไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ทั้งในช่วงน้ำน้อยจากวิเคราะห์ความลึกน้ำต่ำสุดในช่วงปี พ.ศ. 2550 - 2556 พบว่า มีความลึกที่ต่ำกว่า 4.9 m อยู่มากบริเวณช่วงต้นน้ำตั้งแต่ ช่วงกม.ที่ 30+000 ขึ้นไปจนถึง กม.ที่ 51+900 ส่วนการไหลเต็มตลิ่งจากการวิเคราะห์ความจุลำนํ้ากลับพบว่า บริเวณช่วงท้ายน้ำของแม่น้ำป่าสัก ตั้งแต่ ช่วงกม. ที่ 10+000 ถึง กม. ที่ 30+000 มีความจุลำนํ้าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 517.64 - 630.17 $m^3 s^{-1}$ ซึ่งต่ำกว่าค่าเฉลี่ยทั้งแม่น้ำป่าสักตอนล่างที่มีค่าเท่ากับ 811.19 $m^3 s^{-1}$ อยู่มาก ดังนั้น การประเมินประสิทธิภาพการไหลทั้งช่วงน้ำต่ำและช่วงน้ำสูง จึงจำเป็นต้องพิจารณาปัจจัยทางด้านกลศาสตร์แม่น้ำที่เกี่ยวข้องอันได้แก่ ความลึกของน้ำ ความกว้างของลำน้ำ และความจุลำนํ้า เพื่อใช้เป็นแนวทางประกอบในการบริหารจัดการน้ำของหน่วยงานราชการที่เกี่ยวข้อง

คำสำคัญ: กลศาสตร์แม่น้ำ, แม่น้ำป่าสักตอนล่าง, แบบจำลองคณิตศาสตร์

Abstract

Lower Pasak River between downstream portion of Rama VI Dam and ChaoPhraya junction was selected for river mechanics study in conjugate with an application of MIKE11 model. Both of Pasak and ChaoPhraya river cross section data were surveyed in the period of 2013 - 2015 in form of 50 m spacing. The model calibration and verification of MIKE11 was carried out with the data in the period of 2012 - 2013. It found that roughness coefficient along Pasak river has a range between 0.023 – 0.026 which was acceptable with the statistical indexes of R^2 and RMSE equal to 0.85 and 0.62 m respectively. The calibrated MIKE11 was then applied to analyst the low flow period by calculating the lowest depths in the period of 2007-2013. The result showed that there were almost water depths below 4.9 m were located nearby upstream portion of lower Pasak River from KM. 30+000 to KM. 51+900. However, the full river bank analyzed from the river capacity illustrated that downstream portion of lower Pasak River from KM. 10+000 to KM. 30+000 has an average capacity in the range of 517.64 - 630.17 $m^3 s^{-1}$ and was much lower than the overall average with 811.19 $m^3 s^{-1}$. Consequently, the determination of flow efficiency in both of low flow and high flow periods should consider the factors related to the river mechanics including water depth, river width, and river capacity in order to guideline as a basis for water management of government agencies involved.

Keywords: River Mechanics, Lower Pasak River, Mathematical Model

1 บทนำ

แม่น้ำป่าสักตั้งอยู่ในเขตภาคกลางของประเทศไทยมีต้นกำเนิดมาจากเทือกเขาเพชรบูรณ์ไหลจากทิศเหนือลงทิศใต้ผ่านจังหวัดเพชรบูรณ์ ลพบุรี และสระบุรี จนมาบรรจบกับแม่น้ำเจ้าพระยาที่จังหวัดพระนครศรีอยุธยา ปัญหาการตัดไม้ทำลายป่าและการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในลุ่มน้ำ เมื่อเกิดฝนตกหนักมักจะก่อให้เกิดการพัดพาตะกอนดินจากพื้นที่ตอนบนของลุ่มน้ำลงมายังพื้นที่ตอนล่างในปริมาณที่มาก เนื่องจากดินขาดสิ่งปกคลุมทำให้น้ำตอนล่างเกิดการตื้นเขินและมีความจุลำนํ้าลดลง อย่างไรก็ตามสภาพปัญหาอุทกภัยตามแนวริมแม่น้ำป่าสักลดลงเป็นอย่างมาก ภายหลังจากมีเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ในปี พ.ศ. 2541 ยกเว้นบริเวณด้านท้ายน้ำของเขื่อนฯ จนถึงจุดบรรจบระหว่างแม่น้ำเจ้าพระยาและแม่น้ำป่าสัก บริเวณจังหวัดพระนครศรีอยุธยาซึ่งสภาพของแม่น้ำป่าสักในช่วงค่อนข้างแคบ และคดเคี้ยวทำให้มีความสามารถในการระบายน้ำต่ำ ซึ่งจะเกิดปัญหาน้ำเอ่อท่วม และการตกสะสมของตะกอนภายในลำน้ำ ซึ่งเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้และเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้พื้นที่หน้าตัดลำน้ำลดลง เป็นผลให้การระบายน้ำลดลงอีกด้วย

ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องเตรียมการเพื่อรับมือกับปัญหาดังกล่าว ซึ่งต้องใช้ความรู้ความเข้าใจทางด้านอุทกนิเวศวิทยา อุทกวิทยา อุทกพลศาสตร์ และกลศาสตร์แม่น้ำ ตลอดจนสภาพทางกายภาพของแม่น้ำร่วมกับเทคนิควิธีวิจัยด้วยเครื่องมือที่ทันสมัย ซึ่งได้แก่ แบบจำลองคณิตศาสตร์ และระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในการจำลองการไหลของน้ำเพื่อให้เข้าใจถึงสภาพลำน้ำในปัจจุบันและหาแนวทางการพัฒนาที่ยั่งยืนต่อไป สำหรับบทความนี้จะเน้นไปในงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษากลศาสตร์แม่น้ำโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ซึ่งยังมีการศึกษาไม่มากนัก

สำหรับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้จำลองการไหลหนึ่งมิติของการไหลของน้ำและตะกอนในทางน้ำเปิดจะตั้งอยู่บนพื้นฐานของการได้รับอิทธิพลทั้งจากการไหลของน้ำและการเคลื่อนตัวของตะกอนซึ่งส่วนใหญ่จะอยู่บริเวณด้านล่างของรูปตัดลำน้ำ สมการที่ใช้ในการวิเคราะห์การไหลของน้ำและตะกอนจะมีความคล้ายคลึงกันคือสมการความต่อเนื่องของการไหลของน้ำและความเร็วในการเคลื่อนตัวของอนุภาคในลำน้ำ และสมการทรงมวลระหว่างพลังงานจลศาสตร์และการเคลื่อนตัวของอนุภาค ซึ่งต้องใช้การคำนวณร่วมกันของคุณลักษณะเฉพาะทางชลศาสตร์ของลำน้ำและอัตราการเคลื่อนตัวของตะกอน (Shmakova and Kondrat'ev, 2008) นอกจากนี้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ยังเป็นเครื่องมือที่สำคัญสำหรับการศึกษากระบวนการก่อตัวของการไหลในลำน้ำซึ่งสามารถใช้แบบจำลองดังกล่าววิเคราะห์ได้ทั้งการเปลี่ยนแปลงตามสถานที่และเวลาทั้งในกรณีการไหลของน้ำและตะกอนในระบบแม่น้ำซึ่งมีความซับซ้อนโดยข้อมูลที่จำเป็นต้องใช้ประกอบไปด้วยข้อมูลลักษณะทางกายภาพของลำ

น้ำ การเก็บกักในทุ่งน้ำท่วม และสิ่งปกคลุมลำน้ำ เป็นต้น (Shlychkov, 2009)

โดยจากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า Yu et al. (2013) ได้ทำการศึกษาถึงผลกระทบของสภาพการไหลของน้ำและตะกอนในแม่น้ำ Yellow ตอนล่าง ภายหลังจากการสร้างเขื่อน Xiaolangdi ในปี ค.ศ. 2001 ได้ดำเนินการเก็บข้อมูลภาคสนามของปริมาณการไหลและปริมาณตะกอนที่สถานีวัดน้ำและการสำรวจรูปตัดลำน้ำในช่วงระหว่างปี ค.ศ. 2001 – 2010 ผลที่ได้พบว่า แม่น้ำอยู่ในสถานะเกิดการกัดเซาะเล็กน้อย และผลการวิเคราะห์จากแบบจำลองสองมิติพบว่า แม่น้ำมีปริมาตรน้ำรายปีประมาณ $19,600 \times 10^6 \text{ m}^3$ และมีปริมาตรตะกอนรายปีเท่ากับ $140-170 \times 10^6 \text{ ton}$ และมีความเข้มข้นของตะกอนหยาบประมาณ 3 kg m^{-3} และการศึกษาของ Han et al. (2013) ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลองการไหลและตะกอนหนึ่งมิติในแม่น้ำ Jingjiang และทะเลสาบ Dongting ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของโครงการ Three Gorges ผลที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองให้ใกล้เคียงกับค่าที่ตรวจวัดได้จริง โดยเฉพาะค่าของปริมาณของตะกอนแขวนลอย อย่างไรก็ตาม ผลที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองฯ นั้นจะขึ้นอยู่กับการใช้แบบจำลองย่อยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ปริมาณแขวนลอยด้วย โดยถ้าใช้ต่างกันจะทำให้มีความแตกต่างกันไป

โดยในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ได้คัดเลือกพื้นที่ศึกษาเป็นแม่น้ำป่าสักตอนล่างตั้งแต่ช่วงท้ายเขื่อนพระราม 6 จนถึงจุดบรรจบแม่น้ำเจ้าพระยา รวมระยะทางประมาณ 51.9 km ดังแสดงพื้นที่ศึกษาใน Figure 1 และคัดเลือกแบบจำลอง MIKE11-HD มาใช้ในการศึกษาค้นคว้าเพื่อศึกษาวิเคราะห์กลศาสตร์แม่น้ำด้วยการจัดสร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์ MIKE11 ทั้งการไหลระดับต่ำ (Low flow) จากการวิเคราะห์ความลึกน้ำต่ำสุดในแต่ละจุดในแม่น้ำป่าสัก และการไหลเต็มตลิ่งซึ่งวิเคราะห์ได้จากความจุลำนํ้าของแม่น้ำป่าสักตั้งแต่ด้านท้ายน้ำของเขื่อนพระรามหกจนถึงจุดบรรจบแม่น้ำเจ้าพระยา

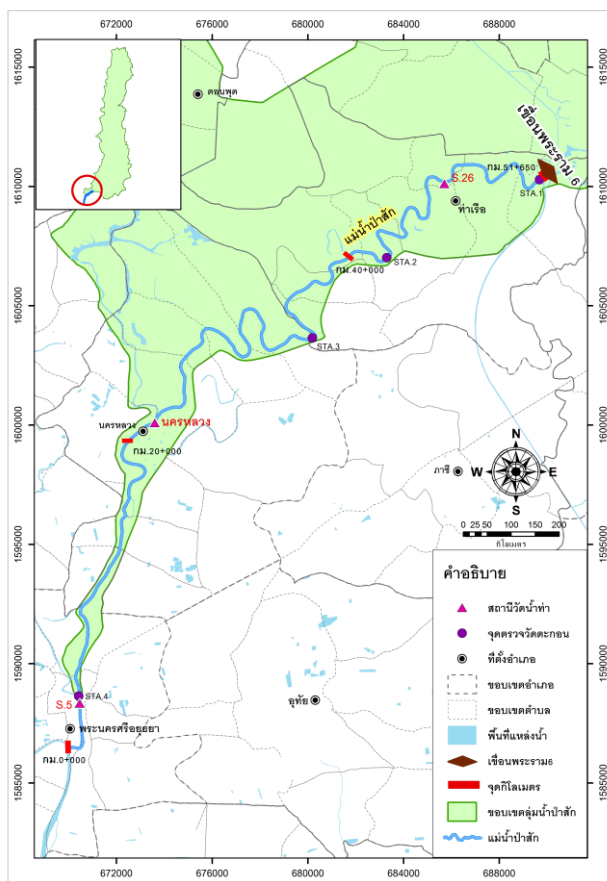


Figure 1 Study area in lower Pasak River.

2 อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 หลักการและทฤษฎีที่ใช้ในการศึกษา

2.1.1 หลักการของกลศาสตร์การดำเนินงานของแม่น้ำ

ลักษณะการวางตัวของแม่น้ำจะแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด คือ แม่น้ำแบบตรง (Straight river) แม่น้ำแบบโค้งตัว (Meander river) และแม่น้ำแบบธารประสานสาย (Braided river) แม่น้ำในธรรมชาติส่วนใหญ่จะมีความโค้ง โดยค่าที่ใช้บอกความโค้งของแม่น้ำคือ ดัชนีความคดเคี้ยว (Sinuosity index) ซึ่งเป็นค่าสัดส่วนระหว่างความยาวจริงของแม่น้ำ (L_m) ต่อระยะทางตรงที่แม่น้ำจากจุดเริ่มต้นจนถึงจุดสิ้นสุดไหลผ่าน (S) ซึ่งแม่น้ำที่จัดเป็นแม่น้ำแบบตรงจะมีดัชนีความคดเคี้ยวเท่ากับ 1.0 ส่วนแม่น้ำแบบคดเคี้ยวไม่มาก จะมีค่าดัชนีอยู่ระหว่าง 1.0 - 1.5 และแม่น้ำแบบโค้งตัว จะมีค่าดัชนีมากกว่า 1.5 ดังแสดงใน Figure 2

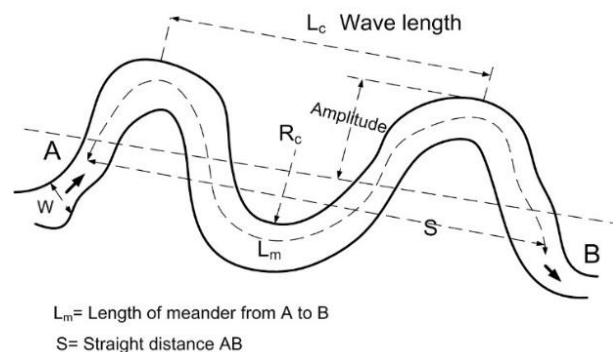


Figure 2 Required variables used in analyzing the sinuosity index (Khatsuria, 2010).

โดยธรรมชาติแล้ว ความเร็วและอัตราการไหลของน้ำในแม่น้ำจะสัมพันธ์กับความลึก โดยร่องน้ำที่ลึกมากที่สุดจะมีความเร็วการไหลมากที่สุด ในทางทฤษฎีแม่น้ำสายตรงที่มีรูปร่างท้องน้ำแบบสมมาตร (Symmetry) บริเวณที่มีค่าความเร็วของการไหลของน้ำมากที่สุดจะอยู่ตรงกลางร่องน้ำหรือกลางแม่น้ำ และความเร็วนี้จะลดลงไปทางตลิ่งทั้งสองข้าง แต่โดยธรรมชาติแล้วการย้ายตำแหน่งร่องน้ำลึกเกิดขึ้นได้เป็นปกติ ซึ่งการย้ายตำแหน่งมักถูกควบคุมโดยสภาพธรณีวิทยาที่แม่น้ำหรือร่องน้ำไหลผ่าน แม่น้ำสายเดียวกันอาจไหลผ่านชั้นหินซึ่งมีหรือไม่มีชั้นตะกอนบาง ๆ แต่บางตอนก็ไหลผ่านชั้นตะกอน โดยพบว่าแม่น้ำที่ไหลผ่านชั้นตะกอนจะราบเรียบกว่าช่วงที่ผ่านชั้นหิน ในกรณีที่มีการย้ายตำแหน่งร่องน้ำลึกความเร็วและอัตราการไหลจะย้ายตามไปด้วย โดยเมื่อลากเส้นเชื่อมต่องร่องน้ำลึก (Thalweg) ก็จะไม่อยู่ที่กึ่งกลางความกว้างของแม่น้ำตลอดเวลา แต่จะเคลื่อนย้ายตำแหน่งจากฝั่งหนึ่งของแม่น้ำไปอีกฝั่งหนึ่งตลอดเวลาทำให้เกิดการโค้งตัวดังแสดงใน Figure 3

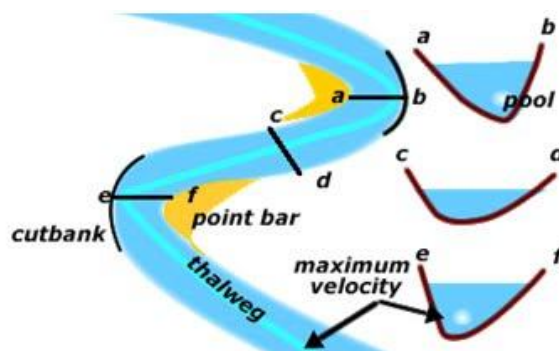


Figure 3 The relationship between the discharge velocity and the thalweg (USGS, 2015).

2.1.2 ทฤษฎีของแบบจำลองคณิตศาสตร์ MIKE11-HD

หลักการสำคัญในการคำนวณทางชลศาสตร์ของการไหลในลำน้ำมีทฤษฎีที่สำคัญ คือ 1) กฎทรงมวล โดยยึดหลักว่าด้วยการไม่สูญเสียหรือหายไปของมวลน้ำ และ 2) กฎของแรงกระทำ โดยหากมีแรงกระทำที่ไม่สมดุลจะก่อให้เกิดการเคลื่อนที่ สามารถเขียนเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{2Q}{A} \frac{\partial Q}{\partial x} + \left(g \frac{A}{B} - \frac{Q^2}{A^2} \right) \frac{\partial A}{\partial x} + gA (S_f - S_0) = 0 \quad (2)$$

เมื่อ

- Q = ปริมาณการไหล ($m^3 s^{-1}$)
 A = พื้นที่หน้าตัดลำน้ำของจุดที่คำนวณการไหล (m^2)
 t = เวลา (s)
 x = ระยะทาง (m)
 B = ความกว้างของลำน้ำ (m)
 g = อัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง ($m s^{-2}$)
 S_f = ความเสียดทานลำน้ำ
 S_0 = ความลาดเอียงของท้องน้ำ

สมการทั้ง 2 ข้างต้นเป็นแบบ Non-linear Second Order Partial Differential Equation ที่ไม่สามารถแก้สมการได้โดยตรง จึงจำเป็นต้องใช้วิธีการวิเคราะห์เชิงตัวเลข (Numerical analysis) และ Finite Difference Method ในการพิสูจน์สมการนี้แทนโดยเลือกค่า Time step ในการคำนวณที่เหมาะสมเพื่อให้แบบจำลองมีเสถียรภาพ (Stability) พบว่า การตั้งค่า Time step ขนาดเล็กมากเท่าใด ยิ่งส่งผลให้แบบจำลองมีเสถียรภาพมากขึ้นเท่านั้น แต่จะใช้เวลาในการคำนวณนานมากขึ้นด้วยเช่นกัน

2.2 ขั้นตอนการศึกษา

วิธีการศึกษาในการสร้างแบบจำลองอุทกพลศาสตร์ MIKE11 (Figure 4) ประกอบด้วย การรวบรวมข้อมูลพื้นฐานทางชลศาสตร์ การจัดทำแบบจำลอง การปรับเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง ก่อนจะนำแบบจำลองอุทกพลศาสตร์ไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ผลกระทบของแม่น้ำทั้งการไหลระดับต่ำจากการวิเคราะห์ความลึกน้ำต่ำสุดในแต่ละจุดในแม่น้ำป่าสักตลอดจนการไหลเต็มตลิ่งซึ่งวิเคราะห์ได้จากความจุลำน้ำของแม่น้ำป่าสักตั้งแต่ด้านท้ายน้ำของเขื่อนพระรามหกจนถึงจุดบรรจบแม่น้ำเจ้าพระยา

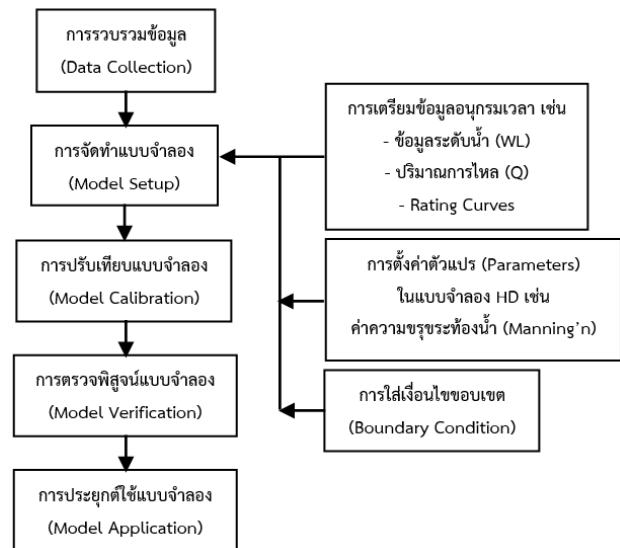


Figure 4 The methodology of MIKE11-hydrodynamic model application.

แต่ละขั้นตอนสามารถแสดงรายละเอียดได้ดังนี้

1) การจัดทำแบบจำลองอุทกพลศาสตร์ MIKE11

เริ่มจากการสำรวจข้อมูลร่องน้ำและแนวตลิ่งของแม่น้ำป่าสักและแม่น้ำเจ้าพระยาในพื้นที่ศึกษาช่วงระหว่างเดือนธันวาคม 2556 จนถึงเดือนมกราคม 2558 โดยแม่น้ำป่าสักเริ่มตั้งต้ายาเขื่อนพระรามหกถึงจุดบรรจบแม่น้ำเจ้าพระยา จำนวน 1,039 รูปตัด เป็นระยะทางรวมทั้งสิ้น 51.9 km และแม่น้ำเจ้าพระยาเริ่มจากต้ายาสถานี C.35 ถึงจุดบรรจบแม่น้ำป่าสัก จำนวน 177 รูปตัด เป็นระยะทางรวมทั้งสิ้น 8.8 km โดยทั้งสองแม่น้ำมีระยะห่างระหว่างรูปตัดประมาณทุกๆ 50 m ต่อมาได้นำเข้าข้อมูลรูปตัดลำน้ำเข้าสู่ฐานข้อมูลของแบบจำลอง MIKE11 พร้อมทั้งได้แสดงแผนที่ระบบแม่น้ำที่สร้างในแบบจำลองฯในFigure 5

2) การปรับเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองอุทกพลศาสตร์ MIKE11

การปรับเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองอุทกพลศาสตร์ MIKE11 นั้นมีพารามิเตอร์ที่ใช้ในการปรับเทียบฯเพียงตัวเดียวคือ ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระลำน้ำ หรือ Manning's n ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ Manning'n จะแสดงถึงความเสียดทานต่อการไหลของน้ำในทางน้ำเปิด โดยค่า Manning'n ในทางน้ำเปิดของทางน้ำธรรมชาติโดยทั่วไปแล้วจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.01 - 0.05 และค่า Manning'n ในคลองส่งน้ำคาคอนกรีตจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.013 - 0.015 สำหรับการปรับเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองฯ ในแม่น้ำป่าสักตอนล่างแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน คือ 1) การปรับเทียบฯโดยใช้การไหลแบบ Steady state และ 2) การปรับเทียบฯ โดยใช้ข้อมูลเหตุการณ์ในอดีต (Historical event)

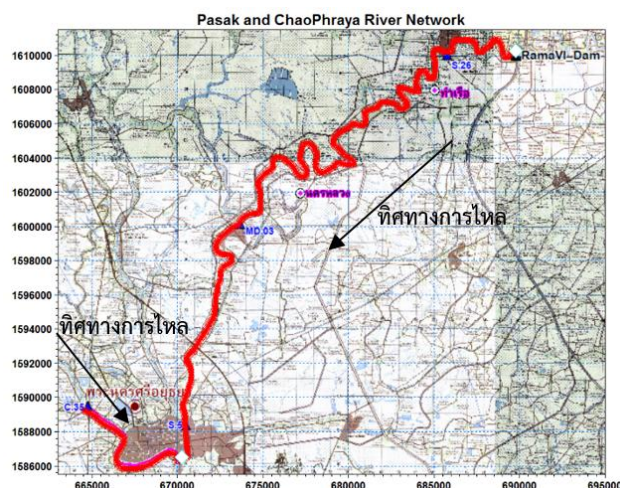


Figure 5 The positions of river cross section in MIKE11 model database.

2.1) การปรับเทียบแบบจำลองฯโดยใช้การไหลแบบ Steady state

การปรับเทียบแบบจำลอง MIKE11โดยใช้การไหลแบบ Steady state จะดำเนินการโดยพิจารณาที่สถานีวัดน้ำท่าที่ตั้งอยู่ในลำน้ำสายหลัก และมีรูปตัดตรงกับรูปตัดที่อยู่ในแบบจำลอง MIKE11 ซึ่งจากการพิจารณาพบว่ามีสถานีวัดน้ำท่าในแม่น้ำป่าสัก จำนวน 2 สถานี คือ สถานีวัดน้ำท่า S.26 และ S.5 ของกรมชลประทาน และในแม่น้ำเจ้าพระยา จำนวน 1 สถานี คือ สถานีวัดน้ำท่า C.35 ของกรมชลประทาน โดยกำหนดให้รูปตัดแรกอยู่ที่บริเวณด้านท้ายน้ำของเขื่อนพระรามหก เป็นขอบเขตด้านเหนือของแบบจำลองในแม่น้ำป่าสัก และรูปตัดบริเวณสถานี C.35 เป็นขอบเขตด้านเหนือของแบบจำลองในแม่น้ำเจ้าพระยา ส่วนขอบเขตด้านท้ายน้ำของแบบจำลองใช้ข้อมูลโค้งความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำกับปริมาณการไหล (Rating curves) ที่สถานี C.29A โดยข้อมูลที่ใช้และขั้นตอนในการปรับเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง MIKE11มีดังนี้

(1) ทำการวิเคราะห์หา Rating curves ตัวแทนของสถานีวัดน้ำท่าทั้งสามสถานี (S.26, S.5 และ C.29A) ซึ่งได้จากการรวบรวมข้อมูลผลการสำรวจโค้งความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการไหลและระดับน้ำ ตั้งแต่ปี พ.ศ.2550 ถึงปี พ.ศ. 2556

(2) สมมติค่าปริมาณการไหลที่ขอบเขตด้านเหนือ (Upper boundary) ให้มีค่าคงที่ (Steady state) ซึ่งมีขนาดเท่ากับปริมาณการไหลสูงสุดเท่ากับปริมาณน้ำนองสูงสุดของลำน้ำ ในแม่น้ำป่าสัก ในช่วงระหว่าง $5-2,000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ และในแม่น้ำเจ้าพระยา ในช่วงระหว่าง $5-3,000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$

(3) นำค่าระดับน้ำที่คำนวณได้จากแบบจำลองฯ และปริมาณการไหลที่สัมพันธ์กันไปพล็อตลงใน Rating curves เพื่อเปรียบเทียบกับ Rating curves ที่ได้จากการสำรวจฯ โดยจะปรับค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ (Manning number) ทั้งในลำน้ำ (Channel) และทุ่งน้ำท่วม (Flood plain) โดยทดลองแบบ

Trial and Error เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ Manning's n ที่เหมาะสม จนกว่าจะทำให้ค่าระดับน้ำที่คำนวณได้จากแบบจำลองฯ เข้ากันได้ดีกับ Rating curves ที่ตรวจวัดจริง จึงจะเป็นผลที่ยอมรับได้

2.2) การปรับเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองฯโดยใช้ข้อมูลเหตุการณ์ในอดีต (Historical event)

หลังจากได้ทำการปรับเทียบแบบจำลอง MIKE11โดยใช้การไหลแบบ Steady state ไปแล้ว จึงได้นำแบบจำลองดังกล่าวมาใช้ปรับเทียบฯกับเหตุการณ์ในอดีต (Historical event) เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระลำน้ำที่ปรับเทียบมาได้ โดยพิจารณาในช่วงที่มีข้อมูลค่อนข้างใกล้เคียงกับข้อมูลรูปตัดลำน้ำที่สำรวจมาซึ่งได้แก่ เหตุการณ์ช่วงระหว่างวันที่ 1 เมษายน 2555 ถึงวันที่ 31 มีนาคม 2556 เป็นช่วงการปรับเทียบแบบจำลองฯ และเหตุการณ์ช่วงระหว่างวันที่ 1 เมษายน 2556 ถึงวันที่ 31 มีนาคม 2557 เป็นช่วงการตรวจพิสูจน์แบบจำลองฯ โดยแม่น้ำป่าสักกำหนดขอบเขตด้านเหนือน้ำเป็นปริมาณการไหลรายวันที่สถานี S.26 ที่อำเภอท่าเรือ จังหวัดพระนครศรีอยุธยาและแม่น้ำเจ้าพระยากำหนดขอบเขตด้านเหนือน้ำเป็นปริมาณการไหลรายวันที่สถานี C.35 และขอบเขตด้านท้ายน้ำ คือ Rating curves ที่สถานี C.29A ส่วนการไหลเข้าด้านข้าง (Lateral flow) จะได้จากการคำนวณย้อนกลับของข้อมูลการตรวจวัดที่สถานี S.26 และสถานี S.5

การพิจารณาผลการปรับเทียบฯ จะใช้ค่าระดับน้ำที่คำนวณได้จากแบบจำลองฯ มาเปรียบเทียบกับค่าระดับน้ำที่ตรวจวัดได้จริงที่สถานีนครหลวงของกรมเจ้าท่า ซึ่งตั้งอยู่ที่ กม.16+650 จากปากแม่น้ำป่าสัก โดยกำหนดค่าดัชนีทางสถิติในการพิจารณา 2 ดัชนี ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) และค่า Root Mean Square Error (RMSE) โดยค่า R^2 ต้องมีค่ามากกว่า 0.6 และค่า RMSE ต้องมีค่าน้อยที่สุด จึงจะเป็นที่ยอมรับค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระลำน้ำที่ได้

3) การวิเคราะห์ความลึกน้ำต่ำสุดในแต่ละจุดในแม่น้ำป่าสัก

หลังจากได้แบบจำลองที่ผ่านการปรับเทียบฯแล้ว จะถูกนำมาใช้ในการหาความลึกน้ำต่ำสุดในแต่ละจุดในแม่น้ำป่าสักด้วยการวิเคราะห์ทางกลศาสตร์แม่น้ำเพื่อประสิทธิภาพการไหลในช่วงน้ำต่ำในแต่ละช่วงลำน้ำของแม่น้ำป่าสัก โดยค่าที่คำนวณได้จากแบบจำลองฯ จะเป็นความลึกน้ำต่ำสุดที่แต่ละรูปตัดในทุกๆ 50 m จำนวนทั้งสิ้น 1,039 รูปตัด สำหรับแบบจำลองฯ ได้ถูกจัดเตรียมโดยเลือกใช้ข้อมูลนำเข้าย้อนหลัง 7 ปีหลังสุดตั้งแต่วันที่ 1 เมษายน พ.ศ. 2550 จนถึงวันที่ 31 มีนาคม 2557 เพื่อวิเคราะห์หาความลึกน้ำต่ำสุดเพียงค่าเดียวในแต่ละรูปตัดในรอบ 7 ปีหลังสุด

4) การวิเคราะห์ความจุลำน้ำของแม่น้ำป่าสัก

การวิเคราะห์ความจุของแม่น้ำป่าสักโดยได้นำแบบจำลองดังกล่าวมาประยุกต์ใช้โดยพิจารณาแบ่งช่วงลำน้ำออกเป็น 6 ช่วงๆ ละ 10 km โดยกำหนดให้แบบจำลองทำการวิเคราะห์

อัตราการไหลในแต่ละรูปตัดขวางลำน้ำเมื่อมีระดับน้ำสูงเท่ากับค่าระดับตลิ่งตัวแทนที่ต่ำกว่าระหว่างค่าระดับของตลิ่งฝั่งซ้ายหรือตลิ่งฝั่งขวา เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพการไหลแบบน้ำเต็มตลิ่ง

3 ผลและวิจารณ์

3.1 ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองฯ จากการสมมุติให้มีการไหลแบบ Steady state

ได้แสดงผลในรูป Rating curves สำหรับสถานีวัดน้ำท่าทั้งสองแห่งในแม่น้ำป่าสักใน Figure 6 ถึง Figure 7 ตามลำดับ ซึ่ง

Table 1 Calibrated Manning'n roughness by MIKE11 model.

River Name	River Portion	Manning'n
River channel of Pasak	Start from the downstream portion of Rama VI Dam to the confluence of Chao Phraya river	0.023 – 0.026
Flood plain of Pasak		0.053
River channel of Chao Phraya	Start from C.35 Runoff Station to the confluence of Pasak river	0.033
Flood plain of Chao Phraya		0.067

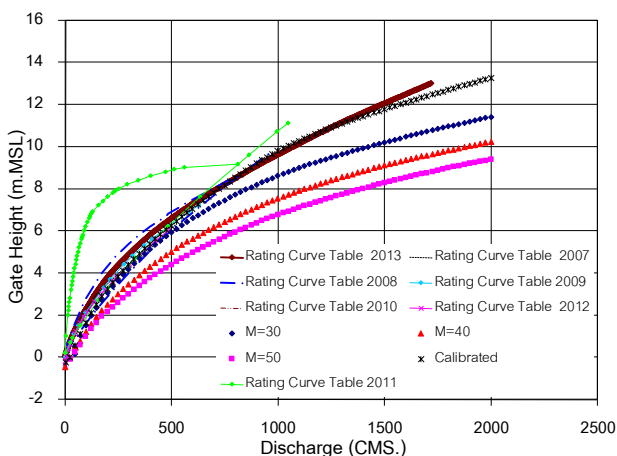


Figure 6 The result of calibration of MIKE11 model in Pasak River by rating curves at S.26.

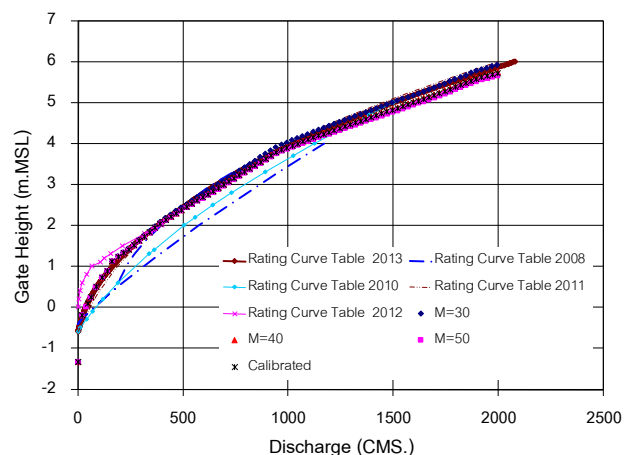


Figure 7 The result of calibration of MIKE11 model in Pasak River by rating curves at S.5.

3.2 ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองฯ โดยใช้ข้อมูลเหตุการณ์ในอดีต (Historical event)

ผลการเปรียบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองฯ ของเหตุการณ์ช่วงระหว่างวันที่ 1 เมษายน 2555 ถึงวันที่ 31 มีนาคม 2556 และช่วงระหว่างวันที่ 1 เมษายน 2556 ถึงวันที่ 31 มีนาคม 2557 พบว่า ค่า R^2 มีค่าเท่ากับ 0.85 และ 0.89

ตามลำดับส่วนค่า RMSE มีค่าเท่ากับ 0.62 และ 0.41m ซึ่งผ่านเกณฑ์การเปรียบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองฯ และสามารถนำแบบจำลองนี้ไปประยุกต์ใช้งานได้ต่อไป โดยแสดง

กราฟเปรียบเทียบและตรวจพิสูจน์ระดับน้ำที่สถานีนครหลวงแสดงได้ดัง Figure 8 และ Figure 9 ตามลำดับ

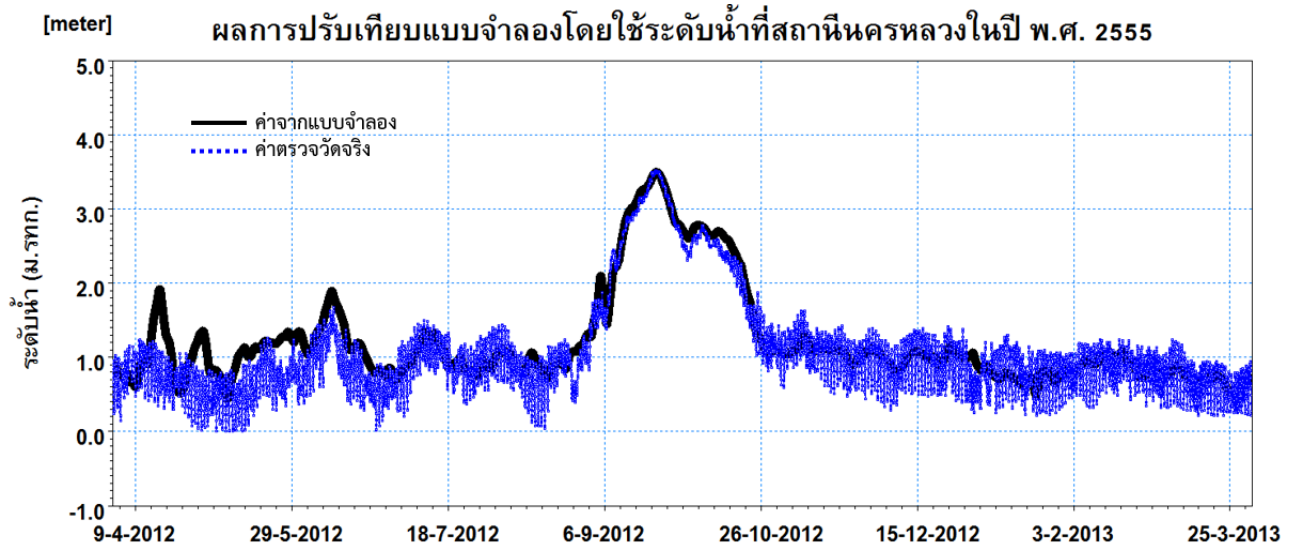


Figure 8 The model calibration result at Nakhon Luang Station in the period of year 2012.

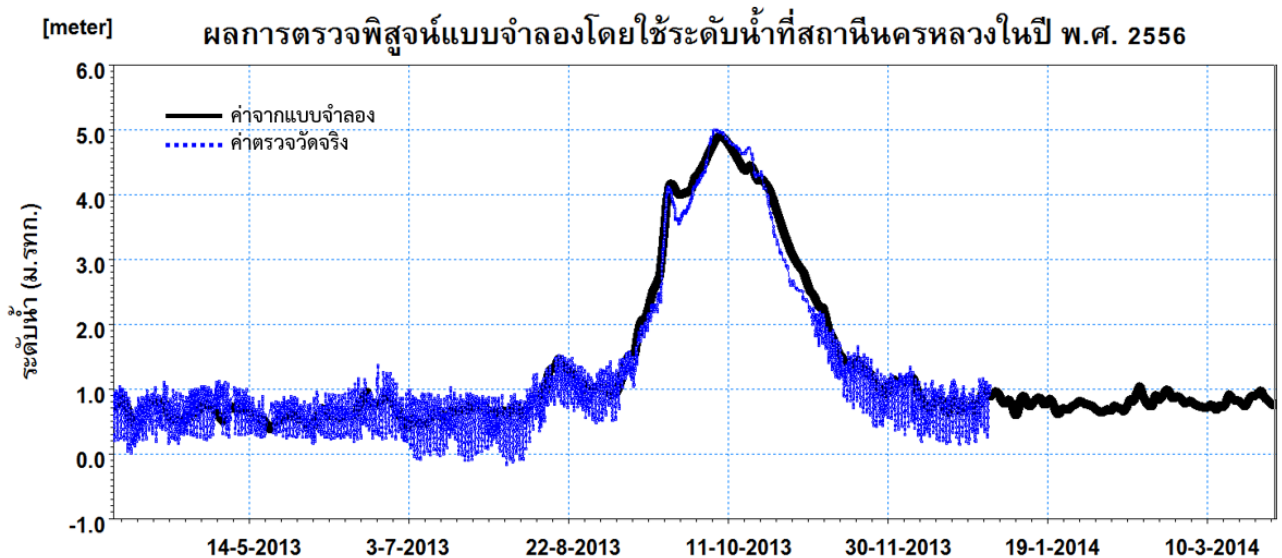


Figure 9 The model verification result at Nakhon Luang Station in the period of year 2013.

3.3 ผลการวิเคราะห์ความลึกน้ำต่ำสุดในแต่ละจุดในแม่น้ำป่าสัก

ผลการวิเคราะห์ระดับน้ำต่ำสุด รวมทั้งระดับน้ำสูงสุดในรอบเจ็ดปีน้ำหลังสุด (2550-2556) จากแบบจำลองฯ สามารถแสดงเป็นรูปตัดตามแนวยาวลำน้ำของแม่น้ำป่าสัก Figure 10 โดยแสดงค่าของระดับตลิ่งฝั่งซ้าย (Left bank) ระดับตลิ่งฝั่งขวา (Right bank) และระดับท้องน้ำ (River bed) ตลอดความยาวของลำน้ำ และเมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าระดับความลึกน้ำต่ำสุดในแต่ละรูปตัด หรือเรียกว่าความลึกร่องน้ำ โดยพิจารณาจากผลต่างระหว่างระดับท้องน้ำกับระดับน้ำต่ำสุดที่คำนวณได้จากแบบจำลองฯ ในแต่ละหน้าตัด พบว่า ระดับความลึกน้ำต่ำสุดใน

รอบห้าปีหลังสุดในแต่ละจุดในแม่น้ำป่าสักจะมีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 2.0-16.0 m และสามารถสรุปค่าระดับความลึกน้ำต่ำสุดได้ Table 2 และแสดงเป็นแผนที่ตำแหน่งของจุดที่มีระดับความลึกน้ำต่ำสุดต่างกันได้ Figure 11 ซึ่งพบว่า แม่น้ำป่าสักช่วงตั้งแต่ด้านท้ายน้ำเขื่อนพระรามหกลงมาถึงจุดบรรจบแม่น้ำเจ้าพระยาที่มีระดับความลึกน้ำต่ำสุดที่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 4.9 m โดยมากจะอยู่บริเวณตั้งแต่ กม.ที่ 30+000 ขึ้นไปจนถึง กม.ที่ 51+900 บริเวณเขื่อนพระรามหก โดยคิดเป็นระยะทางสะสมประมาณ 26.65 km อย่างไรก็ตามจำเป็นต้องพิจารณา ร่วมกับปัจจัยด้านอื่นที่จะเป็นอุปสรรคในการไหลระดับต่ำซึ่ง

ได้แก่ความกว้างของลำน้ำด้วย โดยถึงแม้จะมีความลึกน้ำต่ำสุดที่ ยังจะเป็นอุปสรรคต่อการไหลเช่นกัน
มีค่ามากกว่า 4.9 m แต่ถ้าพบว่าความกว้างของลำน้ำไม่มากพอก็

Table 2 The lowest depth values analyzed by MIKE11 Model from 2007 to 2013.

ค่าระดับความลึกน้ำต่ำสุด	จำนวน (รูปตัด)	ระยะทางสะสมโดยประมาณ (km)
ช่วงความลึกน้ำ 2.0-2.9 m	7	0.35
ช่วงความลึกน้ำ 3.0-3.9 m	103	5.15
ช่วงความลึกน้ำ 4.0-4.9 m	423	21.15
ช่วงความลึกน้ำ 5.0-5.9 m	292	14.60
ช่วงความลึกน้ำ 6.0-6.9 m	120	6.00
ช่วงความลึกน้ำ 7.0-7.9 m	44	2.20
ช่วงความลึกน้ำมากกว่า 8.0 m	50	2.50

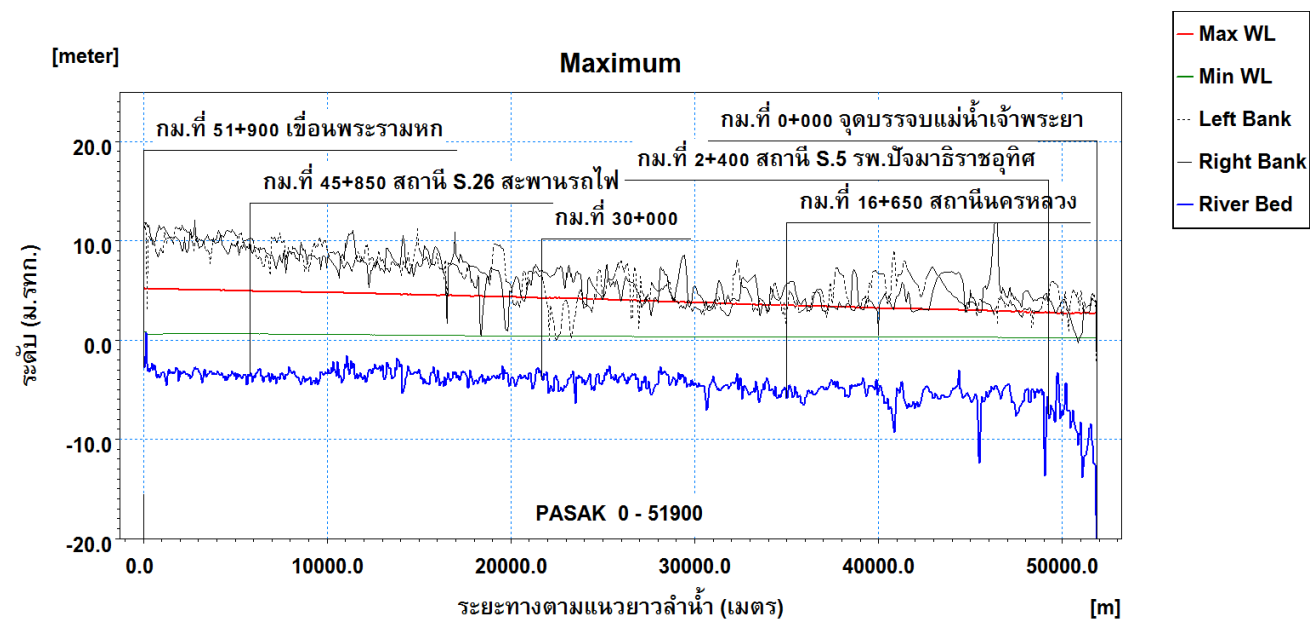


Figure 10 The lowest and the highest water level of Pasak River longitudinal section from 2007 to 2013.

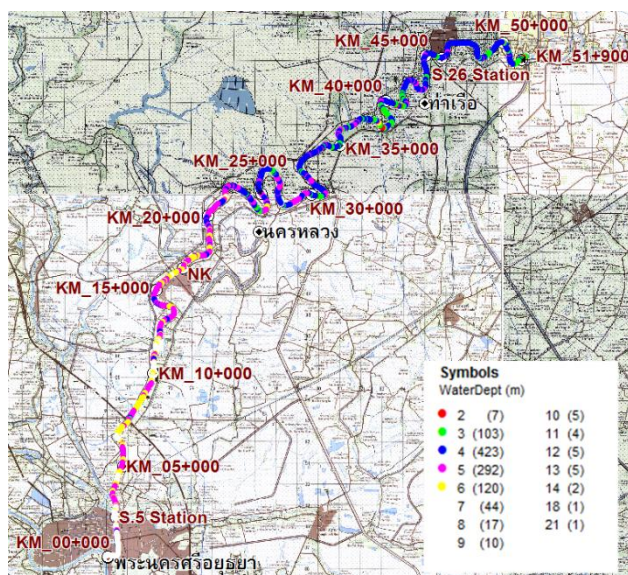


Figure 11 Map of the lowest depth points in Pasak River from KM. 0+000 to KM. 51+900.

Table 3 The capacity of Pasak River analyzed by MIKE11 model.

Pasak River	Average River Capacity (m ³ s ⁻¹)
- KM. 0+000 (Confluence of Chao Phraya river) to KM. 10+000	816.46
- KM. 10+000 to KM. 20+000	630.17
- KM. 20+000 to KM. 30+000	517.64
- KM. 30+000 to KM. 40+000	865.85
- KM. 40+000 to KM. 50+000	1,029.31
- KM. 50+000 to KM. 51+900 (downstream portion of Rama VI Dam)	1,007.69
Average River Capacity of Overall Pasak River	811.19

4 สรุป

แม่น้ำป่าสักตอนล่างที่ผ่านการศึกษาวเคราะห์กลศาสตร์แม่น้ำด้วยแบบจำลอง MIKE11 โดยการพิจารณาทั้งในช่วงน้ำน้อยจากวิเคราะห์ความลึกน้ำต่ำสุดในรอบ 7 ปี พบว่า มีความลึกที่ต่ำกว่า 4.9 m อยู่มากบริเวณช่วงต้นน้ำตั้งแต่ ช่วงกม.ที่ 30+000 ขึ้นไปจนถึง กม. ที่ 51+900 ส่วนการไหลเต็มตลิ่งจากการวิเคราะห์ความจุลน้ำกลับพบว่า บริเวณช่วงท้ายน้ำของแม่น้ำป่าสัก ตั้งแต่ ช่วงกม. ที่ 10+000 ถึง กม. ที่ 30+000 มีความจุลน้ำเฉลี่ยอยู่ในช่วง 517.64 - 630.17 m³ s⁻¹ ซึ่งต่ำกว่าค่าเฉลี่ยทั้งแม่น้ำป่าสักตอนล่างที่มีค่าเท่ากับ 811.19 m³ s⁻¹ อยู่มาก ดังนั้น การประเมินประสิทธิภาพการไหลทั้งช่วงน้ำต่ำและช่วงน้ำสูง จึงจำเป็นต้องพิจารณาปัจจัยทางด้านกลศาสตร์แม่น้ำที่เกี่ยวข้องให้รอบด้าน อันได้แก่ ความลึกของน้ำ ความกว้างของลำน้ำ และความจุลน้ำ เป็นต้น เพื่อใช้เป็นข้อมูลประกอบในการบริหารจัดการน้ำของหน่วยงานราชการที่เกี่ยวข้องต่อไป และการสำรวจแม่น้ำที่ระยะห่างทุกๆ 50 m นั้นช่วยทำให้การวิเคราะห์ทางกลศาสตร์แม่น้ำมีความละเอียดและแม่นยำสูง แต่อย่างไรก็

3.4 ผลการวิเคราะห์ความจุลน้ำของแม่น้ำป่าสัก

ผลการศึกษาวเคราะห์ความจุลน้ำของแม่น้ำป่าสักทั้ง 6 ช่วงลำน้ำแสดงได้ Table 3 ซึ่งพบว่า แม่น้ำป่าสักตอนล่างจะมีความจุลน้ำอยู่ในช่วง 517.64 - 1,029.31 m³ s⁻¹ และมีค่าเฉลี่ยประมาณ 811.19 m³ s⁻¹ โดยช่วงลำน้ำของแม่น้ำป่าสักที่มีความจุลน้ำน้อยที่สุด คือ ช่วงกม.ที่ 20+000 ถึง กม.ที่ 30+000 คิดเป็น 517.64 m³ s⁻¹ รองลงมาได้แก่ ช่วงกม.ที่ 10+000 ถึง กม.ที่ 20+000 และ กม.ที่ 30+000 ถึง กม.ที่ 40+000 ตามลำดับ ซึ่งผลการศึกษาความจุลน้ำในหัวข้อนี้มีความแตกต่างจากผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการไหลแบบต่ำในแต่ละจุดในแม่น้ำป่าสัก ซึ่งจะอยู่บริเวณตั้งแต่ กม.ที่ 30+000 ขึ้นไปจนถึง กม.ที่ 51+900

ตามจำเป็นต้องใช้งบประมาณในการสำรวจค่อนข้างสูง จึงควรพิจารณาให้เหมาะสมกับวัตถุประสงค์ของงานนั้นๆ และแบบจำลอง MIKE11 นั้นจะมีข้อจำกัดในการวิเคราะห์ความเร็วไหลได้เพียงค่าเดียวซึ่งเป็นความเร็วเฉลี่ยต่อหนึ่งรูปตัดเนื่องจากเป็นแบบจำลองการไหลแบบหนึ่งมิติ ดังนั้น ถ้าต้องการศึกษาในรายละเอียดของความเร็วการไหลที่ผันแปรไปในแต่ละรูปตัดขวางจึงจำเป็นต้องใช้แบบจำลองสองมิติมาใช้ในการวิเคราะห์ต่อไป

5 กิตติกรรมประกาศ

บทความนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน และคณะผู้วิจัยขอขอบคุณห้องปฏิบัติการวิจัยการจำลองระบบทรัพยากรน้ำด้วยคอมพิวเตอร์และระบบสารสนเทศ (WRCMIS Lab) ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน ที่ได้อนุเคราะห์สถานที่และซอฟต์แวร์แบบจำลองต่างๆ และขอขอบคุณหน่วยงานกรมชลประทาน และกรมเจ้าท่าที่ได้อนุเคราะห์ข้อมูลประกอบการศึกษาวิจัย

6 เอกสารอ้างอิง

- กรมทรัพยากรน้ำ. 2546. โครงการจัดทำแผนรวมการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ ในลุ่มน้ำป่าสัก; รายงานฉบับสุดท้าย (รายงานหลัก). กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.
- กรมชลประทาน. 2553. โครงการจัดทำแผนพัฒนาการชลประทานระดับลุ่มน้ำอย่างเป็นระบบ, ลุ่มน้ำป่าสัก (12). กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- ศูนย์วิจัยวิศวกรรมและการจัดการน้ำ (วาริ) ภาควิชาวิศวกรรมโยธา. 2557. โครงการศึกษาสำรวจ ออกแบบป้องกันตลิ่งและการขุดลอกเพื่อการเดินเรือในแม่น้ำป่าสัก. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ.
- ชัยยุทธ ชินณะราศรี. 2550. กลศาสตร์แม่น้ำและกระบวนการธารน้ำ. หน่วยงานส่งเสริมการสร้างตำรา กองบริการการศึกษา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ.
- อรรถพร พวงผิว และ วิษุวัตม์ แต่สมบัติ. 2558. การศึกษาการเคลื่อนที่ของตะกอนดินในแม่น้ำป่าสักด้วยแบบจำลอง MIKE21. วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย 21(1), 45-55.
- DHI Water Environment and Health. 2007. MIKE11-A Modelling System for Rivers and Channels, Reference Manual. DHI, Denmark.
- Han, D., Fang, H., Chen, M.c., He, G., Bai, J. 2011. A study of sediment transport modele in one-dimensional numerical channel network model Chinese Journal of Theoretical and Applied Mechanics 43(3), 476-481.
- Khatsuria, R. 2010. How and Why rivers meander. Source: <http://hydrotopics.wordpress.com>, November 19, 2015.
- Shlychkov, V.A. 2009. Numerical modeling of the stream dynamics for river channels with complex spatial configuration. Mathematical Modelling of Natural Phenomena 4(5), 89-99
- Shmakova, M.V., Kondrat'ev, A.N. 2008. A mathematical model of water and sediment flow in open river channels. Russian Meteorology and Hydrology 33(6), 394-399
- USGS. 2015. Stream II: Classification. Source: http://w3.salemstate.edu/~lhanson/gls210/gls210_streams2.htm, November 19, 2015.
- Yu, S.B., Wang, K.R., Wang, W.Z. 2013. Flow and sediment conditions for the Yellow River Estuary balance. 2nd International Conference on Civil, Architectural and Hydraulic Engineering, ICCAHE 2013; Zhuhai; China; July, 27-28, 2013. Volume 405-408, pp. 2226-2230.