ประสิทธิภาพการระบายน้ำของคลองลัดด้วยหน้าตัดที่เหมาะสมในแม่น้ำท่าจีนตอนล่าง

Drainage Efficiency of a Shortcut Canal with the Optimal Cross-Sectional Shape in the Lower Thachin River

ณัฐวุฒิ อินทบุตร[1]

Nuttawut Intaboot[1]

Received: 22 August 2015; Accepted: 30 November 2015

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการระบายน้ำของแม่น้ำท่าจีนตอนล่างที่มีความคดเคี้ยวอย่างมาก โดยการเพิ่มประสิทธิภาพการระบายน้ำนี้ได้ยึดถือแนวพระราชดำริของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวในการพัฒนาคลองลัดโพธิ์ เพื่อใช้เป็นคลองลัดในการระบายน้ำของแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่างในช่วงที่มีความคดเคี้ยวที่อำเภอพระประแดง จังหวัดสมุทรปราการ ในการศึกษานี้ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลองอุทกพลศาสตร์ (1 มิติ) จำลอง และวิเคราะห์สภาพการไหลของน้ำในลำน้ำ เพื่อหาประสิทธิภาพการระบายน้ำ พร้อมทั้งทำการจำลองเพิ่มคลองลัดในช่วงที่มีความคดเคี้ยวเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการระบายน้ำในแม่น้ำท่าจีนตอนล่าง ซึ่งจากการศึกษาเริ่มจากจำลองการระบายน้ำของคลองลัดที่มีหน้าตัดสอดคล้องกับลำน้ำเดิม ผลการศึกษาพบว่าคลองลัดช่วยระบายน้ำได้เป็นอย่างดี แต่อย่างไรก็ตามคลองลัดดังกล่าวนี้มีขนาดใหญ่ไม่เหมาะสมในการก่อสร้าง ดังนั้นจึงทำการศึกษาการระบายน้ำของคลองลัดที่ออกแบบหน้าตัดตามหลักการหน้าตัดที่ดีที่สุดทางชลศาสตร์ ผลการศึกษาพบว่าหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมคางหมูเป็นหน้าตัดที่เหมาะสมที่สุด ให้พื้นที่หน้าตัดที่น้อยที่สุดและยังมีประสิทธิภาพการระบายน้ำสูงที่สุดด้วย

คำสำคัญ : ประสิทธิภาพการระบายน้ำ คลองลัด หน้าตัดที่ดีที่สุดทางชลศาสตร์ แม่น้ำท่าจีน

Abstract

This research aims to study methods of increasing the drainage efficiency of the lower meandering Thachin River. The concept is the initiative of His Majesty King Bhumipol Adulyadej under the Lad Pho Canal project. The Lad Pho Canal is used as a shortcut canal to drain the lower meandering Chopraya River at Phrapradaeng District in Samut Prakan province. This study aimed to apply a hydrodynamic model (1D) to simulate and analyze flow circulation to find drainage efficiency. The analysis would then be used to construct a shortcut canal on the lower meandering Thachin River to improve the river's drainage efficiency. The study began by simulating the drainage of the shortcut canal employing a cross sectional shape corresponding to the river. The results indicated that the shortcut canal helped the drainage; however, the canal is very large and construction of this cross sectional shape would be unsuitable. As such, the study of drainage shortcut canals was designed based on the principles of best hydraulic section. The results showed that a trapezoid cross section was the most appropriate due to its minimal cross sectional area and effective drainage capabilities.

[1] *สาขาวิศวกรรมโยธา ศูนย์สุพรรณบุรี คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ 72130*

[1] *Department of Civil Engineering, Suphanburi Campus, Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi, 72130 E-mail: nuttawut_took@hotmail.com*

บทนำ

แม่น้ำท่าจีนตอนล่างมักเกิดปัญหาอุทกภัยบ่อยครั้ง ซึ่งสร้างความเสียหายให้กับพื้นที่เกษตรกรรมและบ้านเรือนของประชาชนที่อยู่อาศัยในพื้นที่บริเวณแม่น้ำเป็นจำนวนมากและเป็นประจำทุกปี โดยปัญหาอุทกภัยดังกล่าวมีสาเหตุส่วนหนึ่งมาจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินบริเวณพื้นที่ต้นน้ำและการขยายตัวของชุมชนเมืองทำให้การระบายน้ำในพื้นที่ไม่เพียงพอ ซึ่งการขยายตัวของชุมชนทำให้มีการเพิ่มพื้นผิวทึบน้ำ ยกตัวอย่างเช่น หลังคาบ้านเรือน พื้นผิวถนน เป็นต้น จึงทำให้สัมประสิทธิ์การเกิดน้ำท่าเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดน้ำท่าเร็วขึ้นและยอดน้ำนองสูงขึ้น นอกจากนี้การถมปรับพื้นที่และการก่อสร้างสาธารณูปโภคบางประเภทยังมีผลต่อการระบายน้ำอีกด้วย

นอกจากการขาดประสิทธิภาพการระบายน้ำในพื้นที่ชุมชนแล้ว ปัญหาการเกิดอุทกภัยยังเกิดจากการขาดประสิทธิภาพการระบายน้ำในแม่น้ำท่าจีนด้วย ซึ่งการระบายน้ำในแม่น้ำมีความล่าช้า เนื่องจากสภาพแม่น้ำท่าจีนตอนล่างมีความคดเคี้ยวไปมาอย่างมาก ทำให้การระบายน้ำออกสู่ทะเลเป็นไปอย่างล่าช้า ส่งผลให้เกิดการยกตัวของระดับน้ำสูงขึ้น ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาน้ำท่วม และในการที่จะลดปัญหาดังกล่าวจึงได้ทำการทดลองศึกษาเพิ่มคลองลัดในแม่น้ำบริเวณจุดสำคัญต่าง ๆเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการระบายน้ำ โดยใช้แนวคิดจากการลดปัญหาน้ำท่วมในเขตกรุงเทพมหานครที่มีโครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริ “คลองลัดโพธิ์” เพื่อช่วยระบายน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยาในช่วงที่เกิดน้ำหลากและน้ำทะเลหนุนได้ ดังนั้นแสดงให้เห็นว่าคลองลัดมีส่วนช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพการระบายน้ำเพื่อลดปัญหาน้ำท่วมได้

ดังนั้นบทความนี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะทำการศึกษาถึงการเพิ่มประสิทธิภาพการระบายน้ำในแม่น้ำท่าจีนตอนล่างด้วยการเพิ่มคลองลัดในบริเวณจุดสำคัญต่าง ๆ และใช้แบบจำลองทางอุทกพลศาสตร์วิเคราะห์การไหลในแม่น้ำ และวิเคราะห์การระบายน้ำด้วยหน้าตัดของคลองลัดที่เหมาะสมเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการระบายน้ำสูงสุด ในการบรรเทาปัญหาการเกิดอุทกภัยในพื้นที่ลุ่มน้ำดังกล่าว

พื้นที่ศึกษา

แม่น้ำท่าจีนที่ใช้ในการศึกษาเริ่มตั้งแต่ประตูระบายน้ำโพธิ์พระยา อำเภอเมืองจังหวัดสุพรรณบุรี ลงมาจนถึงปากแม่น้ำ อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรสาคร รวมระยะทาง 202 กิโลเมตร โดยมีแหล่งน้ำหลักมาจากแม่น้ำเจ้าพระยา และยังทำหน้าที่เปรียบเสมือนคลองส่งน้ำสายใหญ่สายหนึ่งของโครงการให้กับเกษตรกรในลุ่มน้ำท่าจีน แม่น้ำท่าจีนเป็นแม่น้ำที่มีขนาดไม่ใหญ่มากมีความกว้างเฉลี่ย ความลึกเฉลี่ย และมีพื้นที่หน้าตัดของลำน้ำเฉลี่ย ประมาณ 570 เมตร, 10 เมตร และ1380 ตารางเมตร ตามลำดับ โดยที่ความกว้างของแม่น้ำท่าจีนจะเพิ่มตามระยะทางตามหลักการเพิ่มขึ้นของความกว้างของแม่น้ำโดยจะมีความกว้างน้อยที่สุดบริเวณต้นน้ำและกว้างมากขึ้นในช่วงปลายแม่น้ำ[1]

แม่น้ำท่าจีนจัดว่าเป็นแม่น้ำสายเดี่ยว (single branch) ที่ไหลผ่านลุ่มน้ำท่าจีนดังแสดงใน (Figure 1) โดยแม่น้ำมีความลาดชันในตอนต้นและราบเรียบในตอนล่างเพราะมีสภาพภูมิประเทศเป็นลักษณะราบลุ่ม ลาดเทจากเหนือลงใต้ พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่นา สวนผลไม้ สวนผัก และบ่อปลา มีพื้นที่ชุ่มน้ำ (Wetland) และป่าชายเลนอยู่ประปรายบริเวณที่น้ำทะเลท่วมถึง[2]

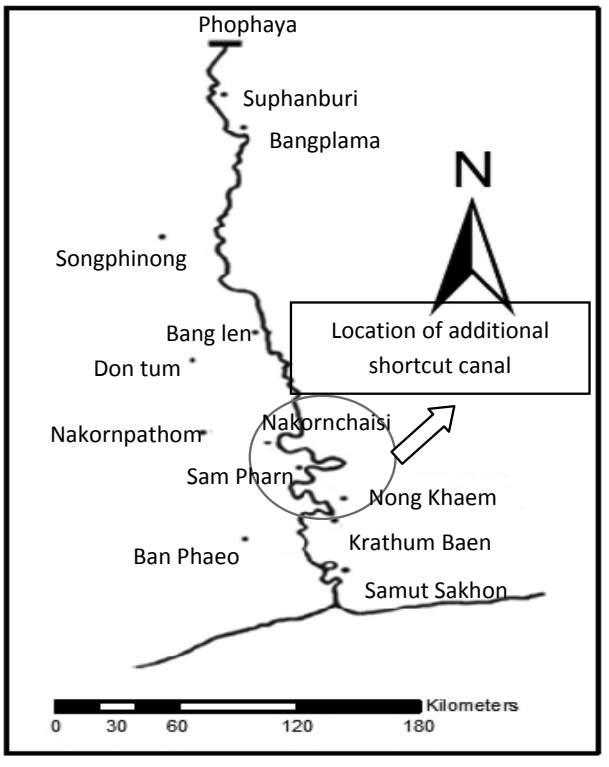


Figure 1 Map of Thachin River

การเพิ่มประสิทธิภาพการระบายน้ำในแม่น้ำด้วยคลองลัด

จากปัญหาอุทกภัยในกรุงเทพมหานครที่ผ่านมาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันส่งผลทำให้เกิดความเสียหายทั้งชีวิตและทรัพย์สินเป็นจำนวนมาก ดังนั้นในการที่จะบรรเทาความเสียหายดังกล่าว พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว จึงมีพระราชดำริให้พัฒนาคลองลัดโพธิ์เพื่อใช้เป็นคลองลัดในการระบายน้ำ ของแม่น้ำเจ้าพระยาในช่วงที่มีความคดเคี้ยวเป็นระยะทาง 18 กิโลเมตร สั้นลงเหลือประมาณ 600 เมตร ในพื้นที่หมู่ 9 ตำบลทรงคะนอง อำเภอพระประแดง จังหวัดสมุทรปราการ

ซึ่งจากการติดตามประเมินผลการระบายน้ำของแม่น้ำเจ้าพระยาหลังจากเปิดใช้โครงการ พบว่าภายใต้เงื่อนไขสภาวะน้ำหลากเดือนตุลาคม 2549 อัตราการไหลผ่านบางไทร 3,000-3,500 ลบ.ม/วินาที การเปิดประตูระบายน้ำผ่านคลองลัดโพธิ์ ทำให้ระดับสูงสุดในแม่น้ำเจ้าพระยาลดลงต่ำกว่ากรณีที่ไม่มีโครงการเฉลี่ย 0.08 เมตร และปริมาณน้ำที่ระบายออกทะเลสะสมที่ปากแม่น้ำใน 1เดือน ประมาณ 8,726 ล้าน ลบ.ม. มากกว่ากรณีปิดบานประตูคลองลัดโพธิ์ ประมาณ 136 ล้าน ลบ.ม. คิดเป็นอัตราการระบายน้ำของแม่น้ำเจ้าพระยา เพิ่มขึ้นประมาณ 50 ลบ.ม./วินาที หรือประมาณ 4.4 ล้าน ลบ.ม./วัน[3] ดังนั้นโครงการเพิ่มคลองลัดในแม่น้ำช่วยเพิ่มประสิทธิภาพกระบายน้ำให้กับแม่น้ำได้ และยังสอดคล้องกับผลของการเพิ่มคลองลัดต่างๆทั่วโลกเช่น ในยูโกสลาเวีย โรมาเนีย และฮังการี เป็นต้น ซึ่งประเทศต่างๆเหล่านี้ได้ทำการขุดคลองลัดเป็นจำนวนมากเพื่อใช้ในการช่วยเร่งระบายน้ำในพื้นที่ที่มีความเสี่ยงสูงในการเกิดน้ำท่วม[4]

Hiroshi และคณะ[5] ได้ทำการศึกษาการระบายน้ำของแม่น้ำที่มีลักษณะราบเรียบและมีความคดเคี้ยวในแม่น้ำเจ้าพระยาโดยใช้แบบจำลองทางตัวเลข ซึ่งการศึกษาได้จำลองเพิ่มคลองลัดในบริเวณลำน้ำที่มีการคดเคี้ยว จากผลการจำลองพบว่ากรณีลักษณะของแม่น้ำที่มีความคดเคี้ยวการเพิ่มคลองลัดจะส่งผลให้ระดับน้ำในแม่น้ำลดลง ประสิทธิภาพการระบายน้ำเพิ่มขึ้น และยังช่วยลดปัจจัยเสี่ยงของการเกิดน้ำท่วมบริเวณที่ราบลุ่มได้

จากเหตุผลดังกล่าวส่งผลให้เกิดแนวความคิดในการเพิ่มประสิทธิภาพการระบายน้ำในแม่น้ำท่าจีนตอนล่าง เพราะคุณลักษณะของแม่น้ำท่าจีนตอนล่างมีความคล้ายคลึงกับแม่น้ำเจ้าพระยาอย่างมาก กล่าวคือมีลักษณะราบเรียบและคดเคี้ยว ทำให้เกิดปัญหาอุทกภัยในพื้นที่ราบลุ่มของแม่น้ำท่าจีนจากผลของการระบายน้ำในลำน้ำเป็นไปอย่างล่าช้าทำให้ระดับน้ำในแม่น้ำสูงขึ้น ดังนั้นในการศึกษาจึงได้ทำการเพิ่มคลองลัดในบริเวณส่วนที่คดเคี้ยวของลำน้ำเพื่อลดระยะทางและเวลาในการระบายน้ำในแม่น้ำ โดยสร้างโครงการขุดคลองลัดแม่น้ำท่าจีนตอนล่างขึ้น 3 เส้นทาง ดังแสดงใน (Figure 2) ดังนี้ 1) คลองงิ้วราย ต.งิ้วราย อ.นครชัยศรี จ.นครปฐม, 2) คลองทรงคะนอง ต.ทรงคะนอง อ.สามพราน จ.นครปฐม, 3) คลองท่าข้าม ต.ท่าข้าม อ.สามพราน จ.นครปฐม

นอกจากการเพิ่มคลองลัดในแม่น้ำท่าจีนทั้ง 3 ตำแหน่งดังกล่าวแล้ว หน้าตัดคลองลัดเองก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพการระบายน้ำสูงสุดให้กับลำน้ำ เพราะเนื่องจากหน้าตัดของลำน้ำส่งผลต่อการไหลในลำน้ำ ซึ่งเมื่อหน้าตัดคลองมีขนาดใหญ่จะทำให้เกิดผิวสัมผัสอย่างมากระหว่างน้ำกับผิวคลองส่งผลเกิดแรงเสียดทานสูงทำให้ประสิทธิภาพในการระบายน้ำต่ำ ดังนั้นเพื่อให้ลำน้ำมีประสิทธิภาพในการระบายน้ำสูงสุดต้องพิจารณาให้น้ำมีผิวสัมผัสกับลำน้ำน้อยที่สุดเพราะทำให้เกิดแรงเสียดทานต่ำประสิทธิภาพในการระบายน้ำสูง และยังเกิดการสูญเสียน้ำในลำน้ำน้อยสุดด้วย[6] ดังนั้นการศึกษานี้จึงทำการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการระบายน้ำของคลองลัดที่มีหน้าตัดใกล้เคียงกับลำน้ำธรรมชาติกับหน้าตัดที่ออกแบบตามหลักการหน้าตัดที่ดีที่สุดทางชลศาสตร์ เพื่อหาหน้าตัดที่เหมาะสมในการเพิ่มประสิทธิภาพการระบายน้ำในลำน้ำที่ดีที่สุดได้

ทฤษฎีและเครื่องมือที่ใช้

1. แบบจำลองอุทกพลศาสตร์ (Hydrodynamic Module)

การคำนวณทางอุทกพลศาสตร์ของการไหลในลำน้ำแบบ 1 มิติ มีทฤษฎีที่สำคัญคือ กฎทรงมวลโดยยึดหลักว่าด้วยการไม่สูญสลาย/หายไปของมวลน้ำ และกฎของแรงกระทำทั้งนี้หากมีแรงกระทำที่ไม่สมดุลก็จะก่อให้เกิดการเคลื่อนที่สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้[7]

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

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

เมื่อ Q คือปริมาณการไหล, A คือพื้นที่หน้าตัดลำน้ำ, t คือเวลา, x คือระยะทาง, b คือความกว้างของลำน้ำ, g คืออัตราเร่งจากแรงโน้มถ่วง, S_f คือความลาดชันของความเสียดทาน, S_0 คือความลาดชันของท้องน้ำ แบบจำลองนี้ทำการวิเคราะห์ความต้านทานของการไหลเนื่องจากความเสียดทานที่ท้องน้ำ สามารถคำนวณได้จากสมการของ Manning ดังสมการที่ 3

$$Q=\frac{1}{n}AR^{2/3}S_o^{1/2} \qquad (3)$$

เมื่อ n คือสัมประสิทธิ์ความขรุขระของลำน้ำ, A คือพื้นที่หน้าตัด, และ R คือรัศมีชลศาสตร์ ซึ่งการหาค่าสัมประสิทธิ์ของความต้านทานการไหล (n) นั้นสามารถประเมินได้จากการปรับเทียบแบบจำลอง โดยปรับเทียบระหว่างลักษณะทางกายภาพที่ได้จากแบบจำลอง และลักษณะทางกายภาพของสภาพความเป็นจริงที่ได้จากข้อมูลภาคสนาม

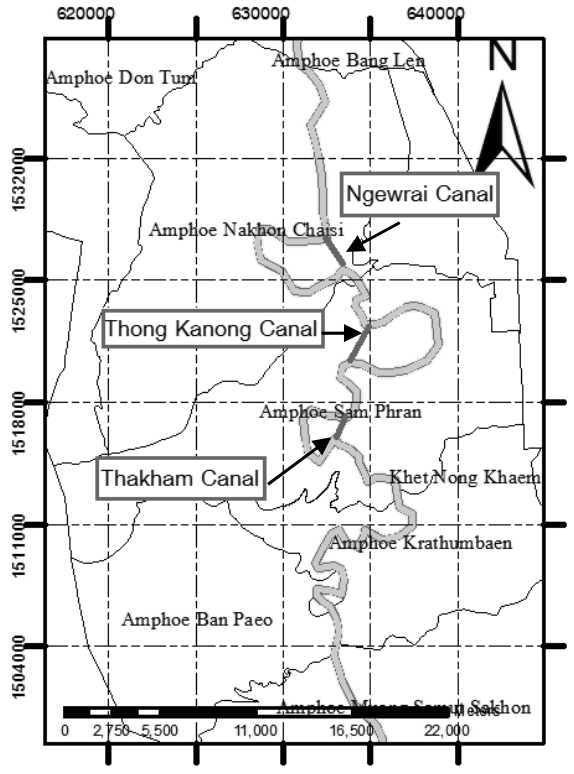


Figure 2 The proposed shortcut canals in the Tha Chin River

2. วิธีการวัดผลการศึกษา

ในการปรับเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองฯ จะใช้ดัชนีทางสถิติมาเป็นตัวแทนในการเปรียบเทียบและตัดสินใจ ประกอบด้วยค่าความแม่นยำใช้วิธี Root mean square error (RMSE) ซึ่งแสดงวิธีคำนวณได้ดังสมการ

$$RMSE = \sqrt{\frac{\Sigma(x-y)^2}{n}} \qquad (4)$$

ค่าความสอดคล้องกันใช้วิธีทาง Goodness-of-fit ประกอบไปด้วยค่าสัมประสิทธิ์ Coefficient of determination (R^2) และ Nash coefficient (NSE) ดังสมการ

$$R^2 = \left(\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(x_i - \bar{x}\right)\left(y_i - \bar{y}\right)}{\sum_{i=1}^{n}\left(x_i - \bar{x}\right)^2 \times \sum_{i=1}^{n}\left(y_i - \bar{y}\right)^2} \right)^2 \qquad (5)$$

$$\mathrm{NSE} = 1.0 - \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(x_i - y_i\right)^2}{\sum_{i=1}^{n}\left(x_i - \bar{x}\right)^2} \qquad (6)$$

เมื่อ y = ระดับน้ำที่ได้จากแบบจำลอง, x = ระดับน้ำที่ได้จากการตรวจวัด,$\bar{x}$ = ค่าเฉลี่ยระดับน้ำที่ได้จากการตรวจวัด, $\bar{y}$ = ค่าเฉลี่ยระดับน้ำที่ได้จากแบบจำลอง, i = ลำดับของข้อมูล, n = จำนวนข้อมูล

ค่าที่ยอมรับได้ของค่าดัชนีทางสถิติ RMSE ต้องมีค่าน้อยที่สุด (เข้าใกล้ 0) และค่าสัมประสิทธิ์ Coefficient of determination (R^2) และ Nash coefficient (NSE) ต้องเข้าใกล้ 1 และควรมากกว่า 0.6 ขึ้นไป[8]

3. หน้าตัดที่ดีที่สุดทางชลศาสตร์

หน้าตัดที่ดีที่สุดทางชลศาสตร์ของลำน้ำ คือหน้าตัดที่มีพื้นผิวสัมผัสน้อยที่สุดระหว่างคลองกับลำน้ำ เมื่อผิวสัมผัสน้อยที่สุดจะทำให้เกิดแรงเสียดทานระหว่างผิวสัมผัสนั้นต่ำที่สุด ส่งผลให้ลำน้ำมีอัตราการไหลสูงขึ้นทำให้เกิดประสิทธิภาพการระบายน้ำได้อย่างมาก[9]

จากการวิเคราะห์สมการอัตราการไหลของแมนนิ่ง (Manning's Equation) พบว่าอัตราการไหลจะแปรผันเป็นส่วนกลับของเส้นขอบเปียก

$$Q\alpha\left[\frac{1}{P}\right]^{\frac{2}{3}} \qquad (7)$$

จากสมการที่ 6 พบว่าเส้นขอบเปียก (P) มีค่าต่ำสุด จะทำให้อัตราการไหล (Q) มีค่าสูงสุด ดังนั้นในการวิเคราะห์หน้าตัดที่ใช้ในการศึกษา ดังแสดงใน (Figure 3) พบว่าหน้าตัดลำน้ำรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีเส้นขอบเปียกน้อยที่สุด ความกว้างของลำน้ำจะต้องเท่ากับ 2 เท่าของความลึก ดังสมการที่ 8

$$b = 2y \qquad (8)$$

เมื่อ b คือความกว้างของลำน้ำ และ y คือความลึกของลำน้ำ ในส่วนของหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมคางหมูที่มีเส้นขอบเปียกน้อยที่สุด มุมของพื้นที่เอียงทางด้านข้างต้องเท่ากับ 60 องศา และความยาวแต่ละด้านต้องเท่ากัน ดังสมการที่ 9

$$\theta = 60^\circ, P = 3b \qquad (9)$$

ดังนั้นในการศึกษานี้จะทำการจำลองหน้าตัดที่ดีที่สุดทางชลศาสตร์ 2 หน้าตัด ประกอบไปด้วยหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า และหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมคางหมู ในการวิเคราะห์หาหน้าตัดที่เหมาะสมที่สุดในการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการระบายน้ำในแม่น้ำท่าจีน

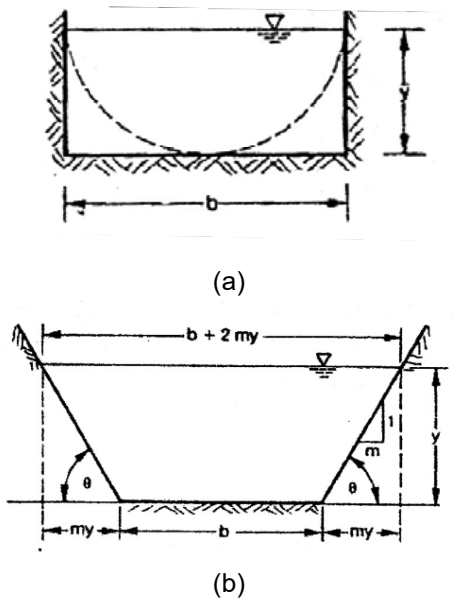


Figure 3 Cross section, (a) Rectangular, (b) Trapezoid

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการศึกษา

การศึกษากำหนดขอบเขตพื้นที่ศึกษาเป็นบริเวณแม่น้ำท่าจีน ตั้งแต่ประตูระบายน้ำโพธิ์พระยา อำเภอเมือง จังหวัดสุพรรณบุรี ลงมาจนถึงปากแม่น้ำ อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรสาคร รวมระยะทาง 202 กิโลเมตร ดังแสดงใน (Figure 1) สำหรับการรวบรวมข้อมูลจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้ในการจัดทำแบบจำลอง ประกอบด้วยข้อมูลอัตราการไหล และระดับน้ำรายวันที่ประตูระบายน้ำโพธิ์พระยา ในปี พ.ศ. 2555-2558 จากกรมชลประทาน, รูปตัดขวางลำน้ำซึ่งมีจำนวนทั้งหมด 209 รูปตัด ซึ่งรวบรวมได้ในปี พ.ศ. 2545 จากกรมชลประทาน, ข้อมูลระดับน้ำทะเลที่บริเวณปากแม่น้ำท่าจีนรายชั่วโมงในปี พ.ศ. 2555-2558 จากกรมเจ้าท่า, ข้อมูลอัตราการไหลและระดับน้ำรายวันที่สถานีวัดน้ำท่า T1 (กม. 117) ซึ่งตั้งอยู่ที่อำเภอนครชัยศรี จังหวัดนครปฐมในปี พ.ศ. 2555-2558 จากกรมชลประทาน โดยขั้นตอนการศึกษาสามารถแบ่งเป็นขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

สร้างแบบจำลองทางอุทกพลศาสตร์ และทำการปรับเทียบเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของลำน้ำ ซึ่งใช้ข้อมูลอัตราการไหล และระดับน้ำในปี พ.ศ. 2555-2558 มาทำการปรับเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง

เพิ่มคลองลัดในแม่น้ำจากแบบจำลอง และวิเคราะห์ประสิทธิภาพการระบายน้ำ โดยพิจารณาหน้าตัดคลองลัดให้มีลักษณะตามธรรมชาติ มีขนาดใกล้เคียงกับลำน้ำเดิม

วิเคราะห์ประสิทธิภาพการระบายน้ำของหน้าตัดคลองลัดที่ได้จากการออกแบบตามหลักการของหน้าตัดที่ดีที่สุดทางชลศาสตร์ เพื่อหาหน้าตัดที่เหมาะสมในการระบายน้ำ

ผลการศึกษา

การปรับเทียบแบบจำลอง

ในการปรับเทียบแบบจำลอง MIKE11-HD พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของลำน้ำ (n) จากการปรับเทียบฯ ที่สถานีวัดระดับน้ำ T1 (กม.117) ในแม่น้ำท่าจีนมีค่า n=0.0375 โดยจะให้ค่าที่ดีที่สุดทางสถิติของ R^2, NSE, และ RMSE, เท่ากับ 0.741, 0.703, และ 0.197 เมตรตามลำดับ ซึ่งต่อมาการศึกษาของ ณัฐวุฒิและวิษุวัฒก์[10] พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของลำน้ำจะแปรผันตามแต่ละช่วงของลำน้ำ ดังนั้นในการศึกษานี้จึงได้ทำการปรับเทียบค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของลำน้ำตลอดความยาวของลำน้ำ พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของลำน้ำที่เหมาะสมที่สุดอยู่ในช่วง 0.035-0.062 ซึ่งได้จากการปรับเทียบแบบจำลองฯ ที่สถานีประตูระบายน้ำบางยี่หน (กม.25), ประตูระบายน้ำพระพิมล (กม.82),และประตูระบายน้ำมหาสวัสดิ์ (กม.116) ตามลำดับ

การระบายน้ำในแม่น้ำท่าจีนจากผลของการเพิ่มคลองลัด

ในการจำลองการเพิ่มคลองลัดได้ทำการพิจารณาออกแบบคลองลัดให้มีขนาดสอดคลองกับขนาดของแม่น้ำท่าจีน โดยมีลักษณะรูปสี่เหลี่ยมคางหมูมีความกว้างผิวคลอง 150 เมตร ลึก 10 เมตรและความกว้างท้องคลอง 50 เมตร ทั้ง 3 ตำแหน่ง

ผลการศึกษาพบว่า เมื่อเปรียบเทียบระดับน้ำของแม่น้ำท่าจีนก่อนและหลังมีโครงการขุดคลองลัดในแม่น้ำท่าจีน ระดับน้ำมีค่าลดลงสูงสุดเท่ากับ 0.188 เมตร และมีค่าเฉลี่ยทุกหน้าตัดลำน้ำเท่ากับ 0.075 เมตร โดยพื้นที่แม่น้ำท่าจีนตอนล่างตั้งแต่ กม.32+000 จนถึง กม.152+000 มีค่าระดับน้ำลดลงเฉลี่ย 0.120 เมตร และมีค่าอยู่ในช่วง 0.007 ถึง 0.188 เมตร ดังแสดงใน (Figure 4) และ (Table 1)

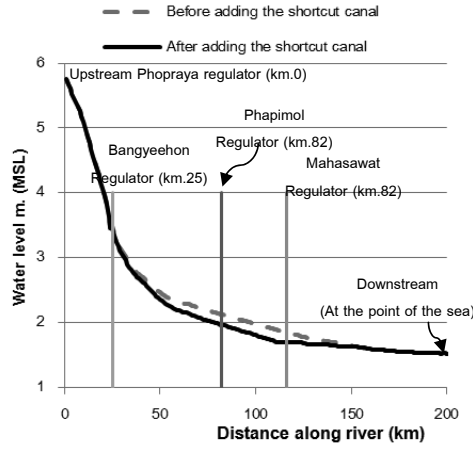


Figure 4 Water level comparisons of the Thachin River before and after adding the shortcut canal.

ส่วนการระบายน้ำหลังมีโครงการขุดคลองลัดพบว่า คลองลัดมีส่วนช่วยในการระบายน้ำได้เป็นอย่างมาก โดยมีอัตราการระบายของ คลองงิ้วราย, คลองทรงคะนอง, และคลองท่าข้าม อยู่ที่ 148.38, 146.62, และ 150.21 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ตามลำดับ หรืออัตราการระบายน้ำจะเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 5.23 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ประมาณ 452,000 ลูกบาศก์เมตรต่อวันดังแสดงใน (Figure 5) และ **(**Table 2)

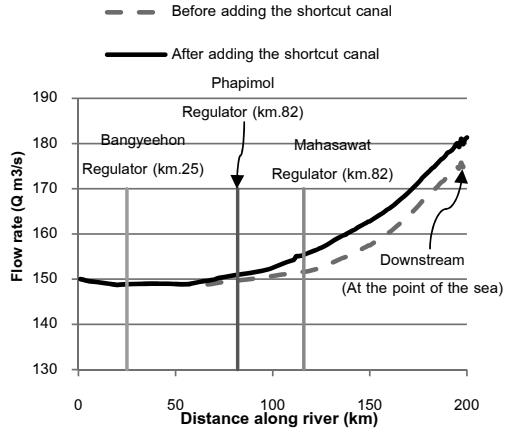


Figure 5 Flow rate comparisons of the Thachin River drainage before and after adding shortcut canal

Table 1 Water level comparisons after adding shortcut canal

Distance (km)	water level decrease (m)
0+000 to 23+070	0.000 - 0.026
23+070 to 43+000	0.026 - 0.081
43+000 to 63+000	0.081 - 0.140
63+000 to 111+940	0.140 - 0.188
111+940 to 125+000	0.188 - 0.098
125+000 to 149+000	0.098 - 0.027
149+000 to 201+000	0.027 - 0.000
Average	0.075

Table 2 Flow rate comparisons after adding shortcut canal

Distance (km.)	Difference of the flow rate (m^3/s)
0+000 to 54+480	0.00 – 0.012
54+480 to 67+500	0.003 – 0.877
67+500 to 78+500	0.877 – 1.169
78+500 to 101+500	1.169 – 1.915
101+500 to 127+500	1.915 – 4.469
127+500 to 155+500	4.469 – 5.299
155+500 to 200+500	5.299 – 5.064
Average	5.23

จากการวัดประสิทธิภาพการระบายน้ำของคลองลัดที่มีขนาดพื้นที่หน้าตัดสอดคล้องกับลำน้ำเดิมพบว่า คลองลัดช่วยเพิ่มความสามารถในการระบายน้ำในแม่น้ำได้เป็นอย่างดี แต่อย่างไรก็ตามคลองลัดที่ทำการศึกษานี้มีพื้นที่หน้าตัดประมาณ 1,000 ตารางเมตร ซึ่งถือว่าเป็นพื้นที่หน้าตัดขนาดใหญ่ทำให้มีต้นทุนสูงในการขุด ส่งผลให้หน้าตัดดังกล่าวมีความไม่เหมาะสมในการก่อสร้าง ดังนั้นในการศึกษาจึงได้ทำการพิจารณาหารูปแบบหน้าตัดที่ดีที่สุดในการเพิ่มประสิทธิภาพการระบายน้ำ อีกทั้งยังเป็นหน้าตัดที่เหมาะสมในการก่อสร้างด้วย

ประสิทธิภาพการระบายน้ำในแม่น้ำท่าจีนด้วยหน้าตัดคลองลัดที่เหมาะสม

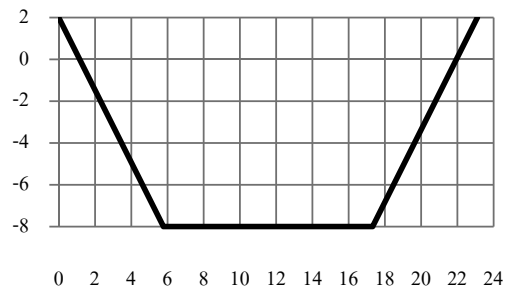
ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการระบายน้ำเพื่อหารูปแบบของหน้าตัดที่เหมาะสมจะทำการพิจารณาจากหลักการการไหลผ่านหน้าตัดที่ดีที่สุดทางชลศาสตร์ ดังนั้นในการออกแบบหน้าตัดคลองลัดโดยใช้หลักการดังกล่าวได้ทำการกำหนดความลึก 10 เมตร ซึ่งสอดคล้องกับลำน้ำเดิม ดังนั้นหน้าตัดของลำน้ำที่ใช้ในการจำลองการไหลประกอบไปด้วยหน้าตัดดังแสดงใน **(**Figure 6)

หน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมคางหมู มีความกว้างของผิวคลอง 23.1 เมตร ความกว้างของท้องคลอง 11.55 เมตร และลึก 10 เมตรทั้ง 3 ตำแหน่ง

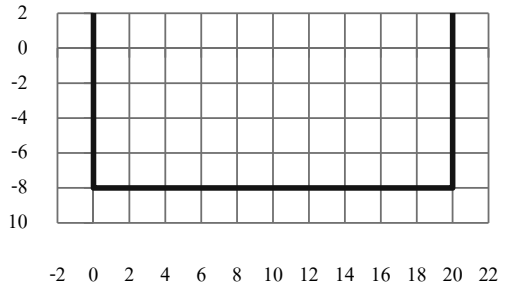
หน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า มีความกว้าง 20 เมตร ลึก 10 เมตร ทั้ง 3 ตำแหน่ง

จากผลการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการระบายน้ำของแม่น้ำท่าจีนที่ได้จากหน้าตัดทั้งสองพบว่า อัตราการไหลในคลองลัดมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างมากในขณะที่พื้นที่หน้าตัดของคลองลัดมีขนาดน้อยลงกว่าเดิม โดยพื้นที่ของคลองลัดที่มีหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมคางหมูจะมีพื้นที่ 173 ตารางเมตร มีประสิทธิภาพการระบายน้ำที่คลองงิ้วราย, คลองทรงคะนอง, และคลองท่าข้าม อยู่ที่ 176.59, 192.65, และ 229.43 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ตามลำดับ ในส่วนคลองลัดหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า มีพื้นที่ 200 ตารางเมตร มีประสิทธิภาพการระบายน้ำที่คลองงิ้วราย, คลองทรงคะนอง, และคลองท่าข้าม อยู่ที่ 162.95, 174.73, และ 188.62 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ตามลำดับ ดังแสดงใน (Table 3)

การเพิ่มคลองลัดดังกล่าวพบว่า การไหลของน้ำในแม่น้ำโดยส่วนใหญ่จะไหลผ่านในคลองลัดเพราะเป็นระยะทางที่ตรงและสั้นที่สุดดังนั้นจะส่งผลให้อัตราการไหลในลำน้ำปกติลดลง ช่วยป้องกันภาวะน้ำล้นตลิ่ง และช่วยลดเวลาในการระบายน้ำลงสู่ทะเลที่บริเวณปากแม่น้ำได้



(a)



(b)

Figure 6 Designed Shortcut canal cross section

Table 3 Flow rate comparisons of all shortcut canal

shortcut canal	Flow rate (m^3/s)		
	Natural Cross Section ($A=1000m^2$)	Trapezoid Cross Section ($A=173m^2$)	Rectangular Cross Section ($A=200m^2$)
Ngewrai	148.38	176.59	162.95
Thong Kanong	146.62	192.65	174.73
Thakham	150.21	229.43	188.62

จากผลของอัตราการไหลของคลองลัดที่หน้าตัดต่างๆ พบว่าคลองลัดที่ได้ออกแบบตามหลักการการไหลผ่านหน้าตัดที่ดีที่สุดทางชลศาสตร์นั้น จะมีประสิทธิภาพการระบายน้ำดีกว่าหน้าตัดที่มีขนาดสอดคล้องกับลำน้ำธรรมชาติ โดยอัตราการไหลเพิ่มขึ้น ของลำน้ำหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมคางหมู ที่คลองงิ้วราย 19.01 % ที่คลองทรงคะนอง 31.39 % และที่คลองท่าข้าม 52.74 % ในส่วนอัตราการไหลเพิ่มขึ้น ของลำน้ำหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ที่คลองงิ้วราย 9.82 % ที่คลองทรงคะนอง 19.17 % และที่คลองท่าข้าม 25.57 % ดังแสดงใน (Table 4)

Table 4 Comparison of drainage efficiency at both cross sections

shortcut canal	% Difference of the flow rate (m^3/s)	
	Trapezoid	Rectangular
Ngewrai	19.01	9.82
Thong Kanong	31.39	19.17
Thakham	52.74	25.57

สรุปผลการศึกษาและวิจารณ์

ผลการศึกษาเปรียบเทียบการระบายน้ำของแม่น้ำท่าจีนตอนล่างที่มีลักษณะคดเคี้ยวในกรณีทั้งก่อนและหลังการเพิ่มคลองลัดพบว่า คลองลัดทำหน้าที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการระบายน้ำได้เป็นอย่างดีระดับน้ำลดลงสูงสุดที่ 0.188 เมตร ซึ่งจะช่วยไม่ให้เกิดน้ำล้นตลิ่งท่วมพื้นที่ของเกษตรกรในพื้นที่ราบลุ่มของแม่น้ำท่าจีน และยังช่วยเพิ่มการระบายน้ำมากขึ้นกว่าเดิมโดยมีอัตราการระบาย ที่คลองงิ้วรายอยู่ที่ 148.38 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ที่คลองทรงคะนองอยู่ที่ 146.62 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที และที่คลองท่าข้ามอยู่ที่ 150.21 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที หรืออัตราการระบายน้ำจะเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 5.23 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ประมาณ 452,000 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน สำหรับเวลาในการระบายน้ำยอดคลื่นน้ำท่วม หลังมีโครงการขุดคลองลัดพบว่ามีเวลาลดลงจากเดิมคิดเป็นค่าเฉลี่ย 1.67 ชั่วโมง และอยู่ในช่วง 1 ถึง 3 ชั่วโมง ซึ่งผลการศึกษาดังกล่าวสอดคล้องกับการเพิ่มประสิทธิภาพการระบายน้ำของแม่น้ำเจ้าพระยาที่คลองลัดโพธิ์ ซึ่งเป็นโครงการพระราชดำริของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว และอีกทั้งยังสอดคล้องกับผลการศึกษาของนักวิจัยอื่นๆ ด้วย

แต่อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพการระบายน้ำดังกล่าวได้จากการวิเคราะห์คลองลัดที่มีหน้าตัดขนาดใหญ่ ซึ่งมีพื้นที่ประมาณ 1,000 ตารางเมตร ส่งผลให้เกิดต้นทุนสูงในกรณีที่จะทำการก่อสร้างขุดคลองลัด ดังนั้นจากปัญหาดังกล่าวจึงได้มีการศึกษาวิเคราะห์เพิ่มเติมเพื่อหาหน้าตัดที่เหมาะสมในการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการระบายน้ำ อีกทั้งยังช่วยลดพื้นที่หน้าตัดของคลองลัดลงเพื่อลดค่าใช้จ่ายในกรณีที่จะทำการก่อสร้างขุดคลองลัดด้วย

ซึ่งจากการศึกษาพบว่าหน้าตัดที่เหมาะสมจะต้องได้รับการออกแบบหน้าตัดตามหลักการของการไหลผ่านหน้าตัดที่ดีที่สุดทางชลศาสตร์ ซึ่งจากการศึกษาจำลองการไหลจากหน้าตัดคลองลัดที่ได้ออกแบบจากหลักการดังกล่าวพบว่า หน้าตัดที่เหมาะสมที่สุดคือ หน้าตัดคลองรูปสี่เหลี่ยมคางหมูโดยหน้าตัดดังกล่าวมีพื้นที่ประมาณ 173.25 ตารางเมตร ซึ่งมีพื้นที่น้อยกว่าหน้าตัดคลองลัดในส่วนแรก ประมาณ 82.68%

ทำให้ลดต้นทุนเป็นอย่างมากในกรณีที่จะทำการก่อสร้างขุดคลองลัด และจากพื้นที่หน้าตัดที่ลดลงประสิทธิภาพการระบายน้ำกลับเพิ่มขึ้น เพราะเนื่องจากความเสียดทานระหว่างผิวของคลองกับลำน้ำลดลงจนมีค่าน้อยที่สุดส่งผลให้การระบายน้ำเพิ่มขึ้นมากกว่าการระบายน้ำของคลองลัดในส่วนแรก โดยมีความแตกต่างการระบายหรืออัตราการระบายน้ำเพิ่มขึ้นที่คลองงิ้วราย, คลองทรงคะนอง, และคลองท่าข้าม อยู่ที่ 19.01 %, 31.39 %, และ 52.74 % ตามลำดับ ดังนั้นเห็นได้ว่าแม้หน้าตัดเล็กลงแต่ได้รับการออกแบบหน้าตัดที่ถูกต้องเหมาะสมจะส่งผลให้เพิ่มประสิทธิภาพการระบายน้ำได้เป็นอย่างดี และลดค่าใช้จ่ายในกรณีที่จะทำการก่อสร้างขุดคลองลัดด้วย จากงานวิจัยดังกล่าวควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในอนาคตถึงความเหมาะสมในการขุดคลองลัดในด้านต่าง ๆ พร้อมทั้งศึกษาผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม เพื่อให้งานวิจัยสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาครั้งนี้ได้รับการสนับสนุนในการใช้ซอฟแวร์แบบจำลองต่าง ๆภายใต้ห้องปฏิบัติการวิจัยการจำลองระบบทรัพยากรน้ำด้วยคอมพิวเตอร์และระบบสารสนเทศจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และผู้วิจัยขอขอบคุณหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ได้แก่กรมชลประทาน กรมเจ้าท่าที่อนุเคราะห์ข้อมูลประกอบการศึกษา และขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้การสนับสนุนและให้คำปรึกษาตลอดการศึกษาในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

1. ณัฐวุฒิ อินทบุตร, วิษุวัฒก์ แต้สมบัติ. (2557). การศึกษาการรุกล้ำความเค็มและมาตรการควบคุมความเค็มในแม่น้ำท่าจีน, วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา, 25(4), 51-63.
2. กรมชลประทาน. (2541). รายงานการศึกษาความเหมาะสมและผลกระทบสิ่งแวดล้อมโครงการประตูระบายน้ำแม่น้ำท่าจีน (ตอนล่าง) จังหวัดสุพรรณบุรีจังหวัดนครปฐม จังหวัดสมุทรสาคร,*รายงานด้านผลกระทบสิ่งแวดล้อม (ฉบับหลัก)*, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพ.
3. ปริญญา กมลสินธุ์, กัญญา อินทร์เกลี้ยง. (2556). โครงการศึกษาประสิทธิภาพการระบายน้ำในคลองลัดโพธิ์และแม่น้ำเจ้าพระยาบริเวณใกล้เคียงภายหลังการก่อสร้างโครงการปรับปรุงคลองลัดโพธิ์, *รายงานการศึกษากรมชลประทาน.*
4. Mitchell B, Kicosev S. (1998). Geographical and Economic Influences on the Colonization of the Banat. Geographica Pannonica, No. (2) 20-25.
5. Takebayashi H, Vannarat S, Tomkratoke S. (2014). Increase Method of Drainage Discharge of Inundated Water in Low Flat Land Considering Bed Deformation Characteristics, *6th International Conference on Flood management*, Sao Paulo Brazil.
6. Ghazaw M Y. (2011). Design and analysis of a canal section for minimum water loss. Alexandria Engineering Journal (50) 337-344.
7. Danish Hydraulic Institute. (1995). MIKE 11 Reference Manual.
8. วราวุธ วุฒิวณิชย์. (2553). การวิเคราะห์ความแม่นยำของแบบจำลองโดยใช้ Nash-Sutcliffe Efficiency และ R^2, *ชลกร "วันชูชาติ"*,ฉบับวันที่ 4 มกราคม 2553.
9. สันติ ทองพำนัก. (2534). การไหลในทางน้ำเปิด, เอกสารประกอบการสอน, ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
10. ณัฐวุฒิ อินทบุตร, วิษุวัฒก์ แต้สมบัติ. (2557). การรุกล้ำของความเค็ม และการแพร่กระจายความเค็มตามความยาวของลำน้ำในแม่น้ำท่าจีนเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล, วารสารวิ ทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี, 3(2), 58-73.