

การประเมินความแม่นยำของแบบจำลอง HEC-RAS 1D สำหรับการจำลองการไหลผ่านพืชน้ำ และสิ่งกีดขวางโดยใช้การทดลองทางน้ำเปิดในห้องปฏิบัติการ

Accuracy Assessment of the HEC-RAS 1D Model for Simulating Flow Through Aquatic Vegetation and Obstructions Using Laboratory Open Channel Experiments

รณกร สร้อยศรี¹ และ สมพงษ์ บุตรงาม^{2*}
Ronnakorn Soisee¹ and Sompong Budngam^{2*}

Received: April 24, 2025

Revised: May 29, 2025

Accepted: June 4, 2025

บทคัดย่อ

ปัญหาอุทกภัยเป็นภัยธรรมชาติที่ส่งผลกระทบรุนแรงต่อชีวิตและทรัพย์สินของประชาชนในหลายพื้นที่ทั้งในเขตเมืองและชนบท แบบจำลองทางชลศาสตร์เป็นเครื่องมือสำคัญในการบริหารจัดการน้ำและการวางแผนป้องกันภัย ซึ่งจำเป็นต้องมีความแม่นยำและเชื่อถือได้ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์และประเมินพฤติกรรมการไหลของน้ำภายใต้สถานการณ์ต่าง ๆ ได้อย่างถูกต้อง เพื่อสนับสนุนการตัดสินใจเชิงวิศวกรรมและการบริหารความเสี่ยงได้อย่างเป็นระบบ งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการศึกษาความแม่นยำของแบบจำลอง Hydrologic Engineering Center - River Analysis System (HEC-RAS) แบบ 1 มิติ ในการพยากรณ์พฤติกรรมการไหลของน้ำในทางน้ำเปิดที่มีพืชน้ำและสิ่งกีดขวาง โดยเปรียบเทียบกับผลจากการทดลองทางกายภาพในห้องปฏิบัติการที่จำลองสภาพการไหล เพื่อให้เกิดความเข้าใจที่ชัดเจนเกี่ยวกับข้อจำกัดและศักยภาพของแบบจำลองในการใช้งานจริง การทดลองได้วัดระดับน้ำและความเร็วการไหลของน้ำในสภาพที่มีสิ่งกีดขวาง โครงสร้างจำลอง และนำข้อมูลมาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลอง HEC-RAS พบว่า แบบจำลองสามารถทำนายระดับน้ำได้อย่างแม่นยำในระดับสูงของทุกกรณี โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิภาพของแบบจำลองแนช-ซีทคลิฟฟ์

¹อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช

Lecturer, Civil Engineering Department, Navaminda Kasatriyadhiraj Royal Air Force Academy

E-mail: ronnakorn.ce@gmail.com

^{2*}รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช

Associate Professor, Civil Engineering Department, Navaminda Kasatriyadhiraj Royal Air Force Academy

E-mail: budngam47@gmail.com

*Corresponding Author

(Nash–Sutcliffe model efficiency coefficient : NSE) คือ 0.93-0.99 และสามารถทำนายความเร็วของการไหลมีความแม่นยำในระดับดี โดยกรณีรางเปล่ามีค่า NSE น้อยที่สุดคือ 0.62 และกรณีหญ้าเทียมมีค่า NSE มากที่สุดคือ 0.87 ซึ่งความแปรปรวนเกิดจากการวัดค่าความเร็วการไหลในห้องปฏิบัติการจากการไหลแบบปั่นป่วน แนวทางในงานวิจัยนี้จึงสามารถใช้เป็นพื้นฐานในการประเมินและพัฒนาแบบจำลองสำหรับการบริหารจัดการน้ำในพื้นที่ที่มีพืชน้ำหรือสิ่งกีดขวางตามธรรมชาติได้เป็นอย่างดีในอนาคต

คำสำคัญ: การจำลองเชิงตัวเลข, HEC-RAS, ทางน้ำเปิด, การจัดการน้ำ

Abstract

Flooding represents a severe natural disaster with impacts on human lives and property in numerous regions, affecting both urban and rural areas. Hydraulic models serve as essential tools for water management and preventive planning, requiring accuracy and reliability to analyze and evaluate water flow behavior under various scenarios, thereby systematically supporting engineering decisions and risk management strategies. This research focuses on examining the accuracy of the one-dimensional Hydrologic Engineering Center - River Analysis System (HEC-RAS) model in predicting water flow behavior in open channels containing submerged vegetation and obstructions. The study compares model predictions against results from physical laboratory experiments simulating flow conditions to develop a clear understanding of the model's limitations and potential for practical applications. The experimental methodology involved measuring water levels and flow velocities in conditions with obstructions and simulated structures, then comparing these measurements with values calculated using the HEC-RAS model. Results indicate that the model demonstrated a high level of accuracy in predicting water surface levels across all cases, with NSE values ranging from 0.93 to 0.99. It also showed good accuracy in predicting flow velocity, with the lowest NSE value of 0.62 observed in the bare channel case and the highest value of 0.87 in the artificial grass case. The variability is attributed to the challenges in measuring flow velocity in laboratory conditions due to the turbulent nature of the flow. Therefore, the approach presented in this study can serve as a solid foundation for evaluating and developing models for water management in areas with aquatic vegetation or natural flow obstructions in the future.

Keywords: Numerical Simulation, HEC-RAS, Open Channel, Water Management

1. บทนำ

อุทกภัยเป็นภัยธรรมชาติที่สร้างความเสียหายอย่างมากต่อชีวิตและทรัพย์สินทั่วโลก โดยเฉพาะในพื้นที่ลุ่มน้ำและชุมชนริมแม่น้ำ การจัดการน้ำท่วมและการคาดการณ์พฤติกรรมการไหลของน้ำจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งในปัจจุบัน โดยสภาพธรรมชาติการไหลของน้ำในแม่น้ำและลำคลองมักพบกับสิ่งกีดขวางหลากหลายรูปแบบทั้งจากพืชน้ำที่เติบโตตามธรรมชาติ วัชพืช เศษซากพืช ตลอดจนสิ่งกีดขวางที่มนุษย์สร้างขึ้น เช่น สะพาน เขื่อนขนาดเล็ก หรือโครงสร้างพื้นฐานต่าง ๆ สิ่งกีดขวางเหล่านี้ส่งผลโดยตรงต่อรูปแบบการไหลของน้ำ ความเร็ว และระดับน้ำ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการประเมินรูปแบบการไหล ระยะทาง และบริเวณที่มีความเสี่ยงในการเกิดอุทกภัย

แบบจำลองทางชลศาสตร์เป็นเครื่องมือสำคัญที่ใช้ในการคาดการณ์พฤติกรรมการณ์ไหลของน้ำและประเมินผลกระทบจากสิ่งกีดขวางต่าง ๆ โดย HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center's River Analysis System) [1] เป็นแบบจำลองหนึ่งที่มีการใช้งานในการวิเคราะห์การไหลของน้ำในลำน้ำกันทั่วโลก โดยเฉพาะแบบจำลองหนึ่งมิติ (1D) ที่มีความสะดวกในการใช้งาน โดยใช้ข้อมูลนำเข้าน้อยกว่าแบบจำลองหลายมิติ และสามารถจำลองการไหลของน้ำได้อย่างรวดเร็ว อย่างไรก็ตาม ความแม่นยำของแบบจำลอง HEC-RAS 1D ในการจำลองผลกระทบของสิ่งกีดขวาง พืชน้ำและสิ่งกีดขวางที่มีรูปร่างไม่สมำเสมอนั้น จำเป็นต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมอย่างเป็นระบบ เนื่องจากสิ่งกีดขวางเป็นปัจจัยหลักของความคลาดเคลื่อนที่จะเกิดขึ้นต่อความแม่นยำในการทำนายระดับและทิศทางการไหลของน้ำเป็นสำคัญ ดังนั้นการเปรียบเทียบผลลัพธ์จากแบบจำลองกับการทดลองทางกายภาพจึงมีความสำคัญในการประเมินความน่าเชื่อถือของแบบจำลองและปรับปรุงความแม่นยำในการทำนายพฤติกรรมการณ์ไหลของน้ำในสภาพแวดล้อมจริง

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการประเมินความแม่นยำของแบบจำลอง HEC-RAS 1D ในการทำนายการไหลผ่านพืชน้ำและสิ่งกีดขวางแบบต่าง ๆ ในลำน้ำ โดยเปรียบเทียบกับผลการทดลองในห้องปฏิบัติการที่ใช้รางน้ำ (Flume) และจำลองสิ่งกีดขวาง 3 ชนิด คือ พื้นหญ้าเทียม (Artificial Grass) พืชใต้น้ำ (Vegetation) และลูกบาศก์ (Cube) โดยแบ่งเป็น 5 กรณีการทดลองตามหัวข้อที่ 4 ซึ่งผลการศึกษานี้จะช่วยเพิ่มความเข้าใจเกี่ยวกับข้อจำกัดและศักยภาพของแบบจำลอง HEC-RAS 1D และนำไปสู่การพัฒนาแนวทางการใช้งานเพื่อทำนายพฤติกรรมการณ์ไหลของน้ำจริงในอนาคตได้ เพื่อป้องกันการเกิดอุทกภัยได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นสำหรับการจัดการน้ำท่วมและการวางแผนการจัดการน้ำในอนาคตอย่างเป็นระบบ

2. วัตถุประสงค์

2.1 เพื่อเปรียบเทียบผลการทำนายระดับน้ำและความเร็วการไหล จากแบบจำลอง HEC-RAS 1D กับผลการทดลองทางกายภาพในรางน้ำที่มีสิ่งกีดขวางแบบต่าง ๆ ในห้องปฏิบัติการ

2.2 เพื่อประเมินความแม่นยำของแบบจำลอง HEC-RAS 1D ในการจำลองระดับน้ำและความเร็วการไหลจากสิ่งกีดขวาง โดยการใช้ Mean Absolute Error (MAE), Root Mean Square Error (RMSE) และ Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE)

3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

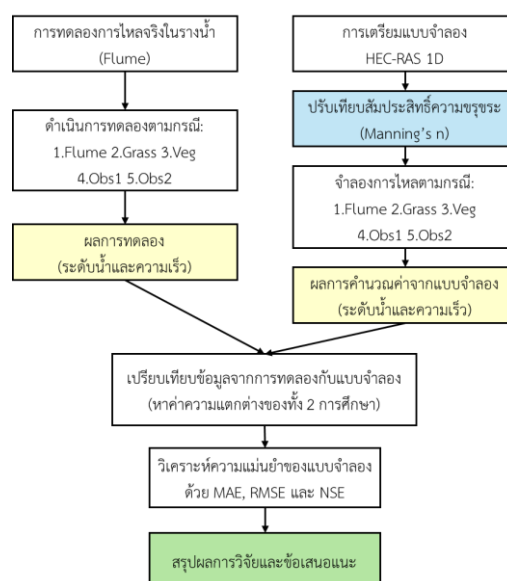
Chow, V.T. [2] วางรากฐานการทำความเข้าใจการไหลในช่องทางน้ำเปิด โดยแนะนำแนวคิดสัมประสิทธิ์ความขรุขระ (Manning's n) ที่แสดงความต้านทานของพื้นผิวต่อการไหล การศึกษานี้นำมาซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระที่นำมาใช้เปรียบเทียบในการคำนวณการไหล

Nepf, H.M. [3] พบว่าพืชน้ำสามารถเปลี่ยนแปลงสนามความเร็วของการไหลเฉลี่ยและการไหลแบบปั่นป่วนอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งขึ้นอยู่กับเส้นผ่านศูนย์กลางและระยะห่างของลำต้น โดยแรงเฉือนที่ทำให้เกิดความปั่นป่วนของกระแสน้ำจะเกิดขึ้นมากบริเวณยอดพืช และจะลดลงเมื่ออยู่ระดับเดียวกับลำต้น

จากงานวิจัยข้างต้นนี้ทำให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะทางกายภาพของสิ่งกีดขวางที่มีผลกับพฤติกรรมการไหลของน้ำ ซึ่งส่งผลกระทบต่อข้อกำหนดค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ (Manning's n) ที่เหมาะสมโดยรอบของค่าที่เหมาะสมนั้น มีการศึกษาและวางรากฐานไว้แล้ว สามารถนำค่านั้นมาทำการปรับเทียบเพื่อหาค่าที่เหมาะสมในกรณีที่น่าสนใจศึกษา เพื่อให้เกิดความแม่นยำของการคำนวณมากยิ่งขึ้นในกรณีที่ใช้สิ่งกีดขวางเป็นหญ้าเทียม พืชน้ำ และลูกบาศก์

4. วิธีดำเนินการศึกษา

การศึกษาจะทำการทดลองในรางน้ำและสร้างแบบจำลองโดยการคำนวณด้วย HEC-RAS 1D โดยมีขั้นตอนการดำเนินการวิจัย แสดงดังรูปที่ 1 โดยแบ่งเป็นการทดลอง 5 กรณี แสดงดังตารางที่ 1 คือ 1) Flume 2) Grass 3) Veg 4) Obs1 5) Obs2 ด้วยอัตราการไหลจากปั๊มคือ $0.00356 \text{ m}^3/\text{s}$ ซึ่งได้จากการควบคุมโดยปั๊มน้ำ เนื่องจากข้อจำกัดของปั๊มที่ไม่สามารถปรับอัตราการไหลได้อย่างหลากหลาย จึงเลือกใช้อัตราการไหลค่าดังกล่าวตลอดการทดลอง ทั้งนี้ อัตราการไหลนี้มีความเหมาะสมกับสภาพการทดลอง โดยไม่ก่อให้เกิดแรงที่มากเกินไปซึ่งอาจส่งผลให้สิ่งกีดขวางในรางน้ำเคลื่อนหลุดหรือลอยไปตามกระแสน้ำ การทดลองในรางน้ำแต่ละกรณีจะทำการวัดค่าระดับน้ำและความเร็วการไหล 3 ครั้ง ทุกๆ 3 นาที ที่สถานีวัดน้ำ (St.#) และทำการหาค่าเฉลี่ย โดยการวัดระดับน้ำซึ่งวัดจากบรรทัดน้ำที่สถานีวัดน้ำโดยการมองระดับน้ำที่บรรทัดน้ำและทำการจดบันทึก และความเร็วการไหลจะวัดจากบริเวณจุดกึ่งกลางความกว้างของรางและกึ่งกลางความสูงของระดับน้ำโดยการใช้ท่อปีโตต์และทำการจดบันทึก และการทดลองในแบบจำลองจะจำลองรางน้ำ ขนาดและตำแหน่งของสิ่งกีดขวางให้มีความคล้ายคลึงกับของจริง ทำการปรับเทียบสัมประสิทธิ์ความขรุขระและดำเนินการจำลองตามแบบโมเดล HEC-RAS 1D และนำผลการทดลองมาเปรียบเทียบความสูงของระดับน้ำ และความเร็วการไหลกับการทดลอง และใช้ MAE, RMSE และ NSE ในการประเมินความแม่นยำของแบบจำลองอีกครั้งหนึ่ง



รูปที่ 1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

ตารางที่ 1 กรณีการศึกษา

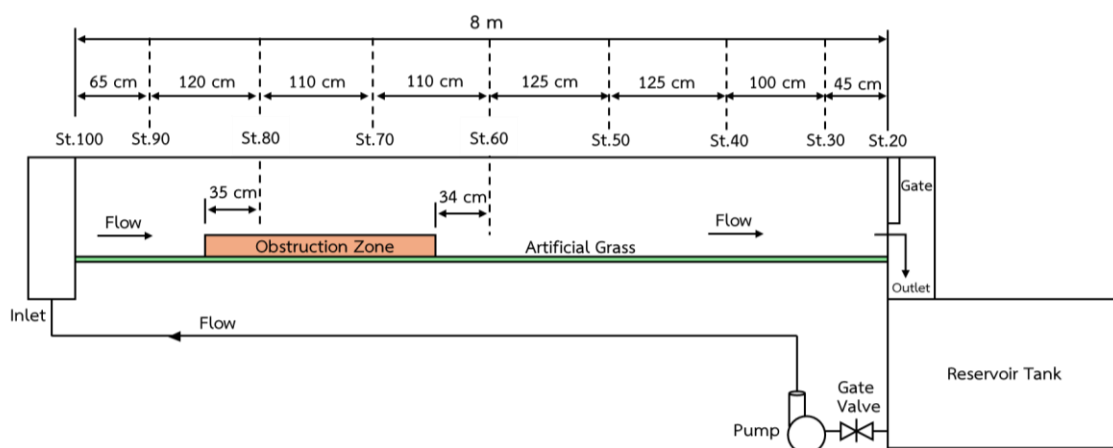
กรณี	สิ่งกีดขวาง
Flume	ไม่มีสิ่งกีดขวาง
Grass	หญ้าเทียมตลอดความยาวรางน้ำ
Veg	เพิ่มพืชน้ำ
Obs1	เพิ่มลูกบาศก์ 4 ลูก ด้านหน้าพืชน้ำ
Obs2	เพิ่มลูกบาศก์ 4 ลูก ด้านหลังพืชน้ำ

4.1 รางน้ำเปิด

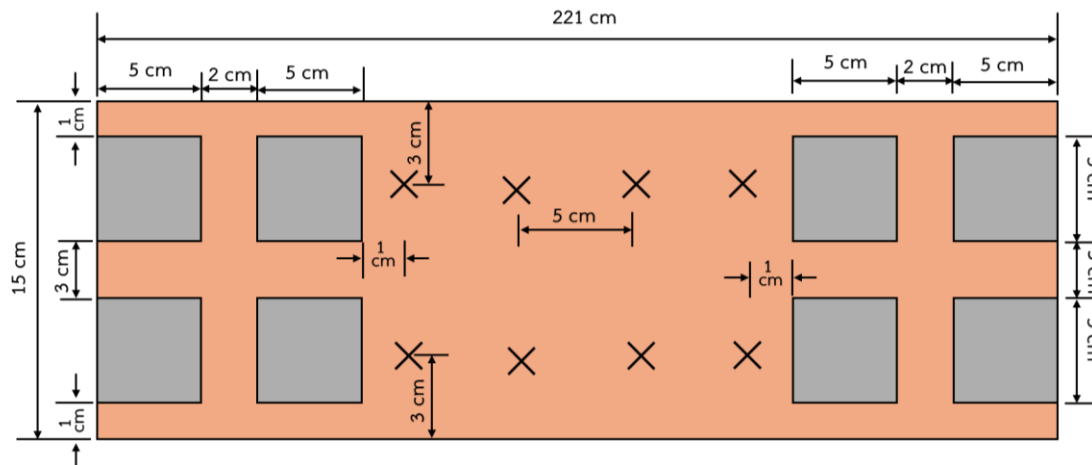
รูปที่ 2 แสดงแผนภาพเครื่องมือการทดลองทางน้ำเปิด Tilting Flow Channel, ESSOM รุ่น HF 515 A ความกว้างหน้าตัดการไหล 15 cm ยาว 8 m บริเวณท้ายน้ำเชื่อมต่อกับถังเก็บน้ำ โดยน้ำถูกสูบจะผ่าน Gate Valve และไหลผ่านปั๊มไปยังรางน้ำ จาก St.100 ไปยัง St.20 แล้วกลับเข้าสู่ถังเก็บน้ำตามลำดับ โดยมีบรรทัดน้ำติดอยู่ที่รางน้ำตั้งแต่ St.90-St.30 และสิ่งกีดขวาง หญ้าเทียมใช้ปูรางน้ำตลอดความยาวทางน้ำ พืชและลูกบาศก์ ซึ่งเป็นสิ่งกีดขวางในการทดลองที่ 2-5 จะถูกจัดวางบริเวณพื้นที่การวางสิ่งกีดขวาง (Obstruction Zone)

4.2 สิ่งกีดขวาง

พื้นที่การวางสิ่งกีดขวาง มีขนาด 15×221 cm โดยสิ่งกีดขวางและตำแหน่งการวางเป็นไปในรูปแบบที่เป็นระเบียบเพื่อให้ง่ายต่อการทำซ้ำ สามารถควบคุมตัวแปรเชิงพื้นที่ได้ดี และง่ายต่อการทำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ รูปที่ 3 แสดงสัญลักษณ์กากบาทแทนพืชน้ำและสี่เหลี่ยมจัตุรัสแทนลูกบาศก์ โดยมีขนาดดังรูปที่ 4 และ ตารางที่ 1 แสดงกรณีของการวางสิ่งกีดขวาง โดยเริ่มจากรางเปล่า (Flume) เพิ่มหญ้าเทียม (Grass) แล้วจึงเพิ่มพืชน้ำ (Veg) และเพิ่มการวางลูกบาศก์บริเวณหน้าและหลังพืชน้ำ (Obs#) ในการทดลองที่ 3-5 ตามลำดับ



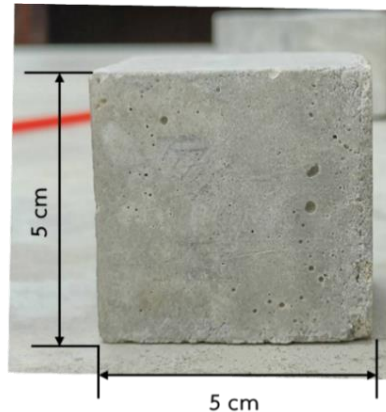
รูปที่ 2 ภาพด้านข้างของรางทางน้ำเปิด



รูปที่ 3 ภาพด้านบนบริเวณที่วางสิ่งกีดขวาง



(ก) พืชน้ำ



(ข) ลูกบาศก์

รูปที่ 4 ลักษณะของสิ่งกีดขวางที่ใช้ในการทดลอง

4.3 แบบจำลอง

การดำเนินการวิจัยนี้ใช้แบบจำลอง HEC-RAS เวอร์ชัน 6.7 beta ซึ่งเป็นแบบจำลองที่พัฒนาโดยหน่วยงานสถาบันวิศวกรรมอุทกศาสตร์ กองทัพบกสหรัฐอเมริกา [1] ที่มีความสามารถในการจำลองการไหลของทั้งแบบ 1 มิติ และ 2 มิติ โดยงานวิจัยนี้ใช้ในรูปแบบ 1 มิติ ในการจำลองการไหลของน้ำ โดยมีเงื่อนไขคือเงื่อนไขขอบเขต (Boundary Condition) คือ St.100 ตั้งค่าเป็น Normal Depth $S=0.001$ และจะไหลไปสู่บริเวณจัดเก็บน้ำ St.20-St.0 เงื่อนไขเริ่มต้น (Initial Condition) คือไม่มีน้ำในระบบ การไหลเป็นการไหลคงที่ (Steady Flow) โดยใช้ในการคำนวณดังสมการต่อไปนี้ [4]

4.3.1 Water Surface Profile

$$Z_2 + Y_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Z_1 + Y_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e \quad (1)$$

4.3.2 Kinematic Energy Head

$$\alpha \frac{\bar{V}^2}{2g} = \frac{Q_1 \frac{V_1^2}{2g} + Q_2 \frac{V_2^2}{2g}}{Q_1 + Q_2} \quad (2)$$

โดย Z คือ ความสูงจากระดับอ้างอิง (m), Y คือ ความลึกระดับน้ำ (m), α คือ สัมประสิทธิ์ความเร็ว, V คือ ความเร็วเฉลี่ย (อัตราการไหล/พื้นที่หน้าตัด) (m/s), g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง (m/s²), h_e คือ พลังงานที่สูญเสีย (m), Q คือ อัตราการไหล (m³/s)

ตารางที่ 2 ขนาดและค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของสิ่งกีดขวาง

สิ่งกีดขวาง	ขนาด (กว้าง×ยาว×สูง) (cm)	สัมประสิทธิ์ความขรุขระ [2,5]
หญ้าเทียม	15×800×1.7	0.015
พีชน้ำ	1×0.8×9	0.027
ลูกบาศก์	5×5×5	0.016

การจำลองหน้าตัดการไหล ดังรูปที่ 2 ทางน้ำเปิดมีความยาว 8 m กำหนดเป็นสถานีน้ำ 100 ถึงสถานี 20 (St.100-St.20) แบ่งความยาวออกเป็นสถานีละ 1 cm ซึ่งจะมีค่าเท่ากับสถานีละ 0.1 St. รวมทั้งหมด 801 สถานี และอีก 2 สถานี คือ St.19.9 ถึง St.0 คือตำแหน่งของถังเก็บน้ำ (Reservoir Tank) และการจำลองสิ่งกีดขวาง ดำเนินการเปรียบเทียบแบบจำลองและใช้สัมประสิทธิ์ความขรุขระ ดังตารางที่ 2

4.4 การประเมินความแม่นยำแบบจำลอง

การประเมินแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ 1) การประเมินเชิงคุณภาพของระดับน้ำและความเร็วการไหล โดยใช้ผลการวัดทางกายภาพ และ 2) การประเมินผลการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนด้วยค่าสถิติ MAE, RMSE และ NSE [6,7] มีสมการดังนี้

4.4.1 ค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Error - MAE) ใช้คำนวณค่าเฉลี่ยของความแตกต่างแบบสัมบูรณ์ระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองและแบบจำลอง

$$MAE = \frac{1}{n} \times \sum |Y_{exp} - Y_{model}| \quad (3)$$

โดยค่า Y คือ ค่าระดับน้ำหรือค่าความเร็วการไหลที่สนใจ ซึ่ง Y_{exp} คือ ค่าที่ได้จากการทดลอง และ Y_{model} คือ ค่าที่ได้จากแบบจำลอง

4.4.2 ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error - RMSE) ตัวชี้วัดนี้มีความไวต่อค่าผิดพลาดสูง สามารถสะท้อนความแม่นยำของค่าจากแบบจำลองได้อย่างชัดเจน

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \times \sum (Y_{exp} - Y_{model})^2} \quad (4)$$

4.4.3 ดัชนี Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE) เป็นดัชนีที่นิยมใช้ในทางอุทกวิทยาเพื่อประเมินความสามารถในการทำนายของแบบจำลอง ค่า $NSE > 0.5$ ถือว่ายอมรับได้ และค่าที่เข้าใกล้ 1 แสดงว่าแบบจำลองมีประสิทธิภาพดี

$$NSE = 1 - \left[\frac{\sum (Y_{exp} - Y_{model})^2}{\sum (Y_{exp} - \bar{Y}_{exp})^2} \right] \quad (5)$$

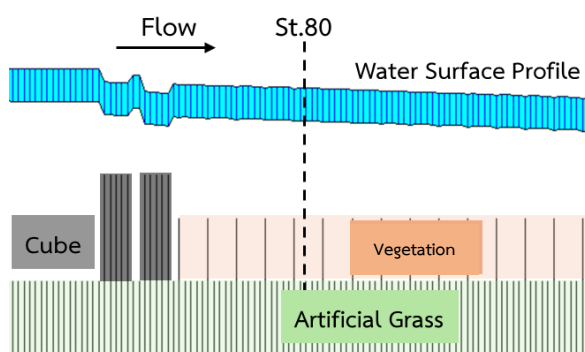
โดย Y_{exp} คือ ค่าจากการทดลองแต่ละจุด, $\bar{Y}_{exp}$ คือ ค่าเฉลี่ยของการทดลองทุกจุด

5. ผลการศึกษา

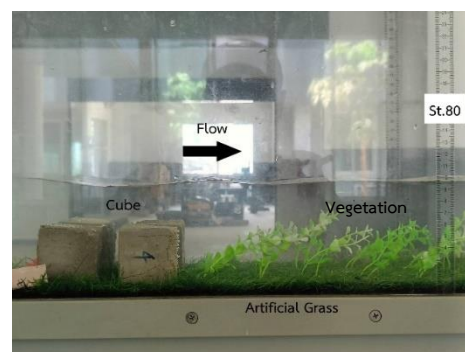
5.1 การประเมินทางกายภาพ

ระดับผิวน้ำและความเร็วการไหล เปรียบเทียบโดยใช้การวัดจากการจำลองและการทดลองดังตัวอย่างรูปที่ 5 (ก) แสดงผลของการจำลองการไหล โดยแสดงภาพด้านข้างที่มองต่ำลงไปจากแนวระดับสายตาเป็นมุม 45° (Azimuth Angle = 45°) เพื่อความเข้าใจที่ง่ายขึ้น การแสดงผลรูปที่ 5 (ข) แสดงผลการทดลองการวัดระดับน้ำจากห้องทดลองในแนวระดับ

จากการนำผลการเปรียบเทียบระหว่างข้อมูลจากการวัดจริงกับข้อมูลจากแบบจำลองมาจัดทำเป็นแผนภาพการกระจาย Scatter Plot โดยแสดงความสัมพันธ์ด้วย R-Squared ดังรูปที่ 6 พบว่า ระดับน้ำ (Water Surface) มีค่า R-Squared 0.9823 และความเร็วกระแสน้ำ (Velocity) มีค่า R-Squared 0.901 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ดีมาก [7] แสดงถึงระดับความสอดคล้องที่ดีระหว่างผลการทดลองและผลจากแบบจำลอง ซึ่งหมายถึงแบบจำลองมีความสามารถใช้จำลองสถานการณ์จริงแทนได้เป็นอย่างดี

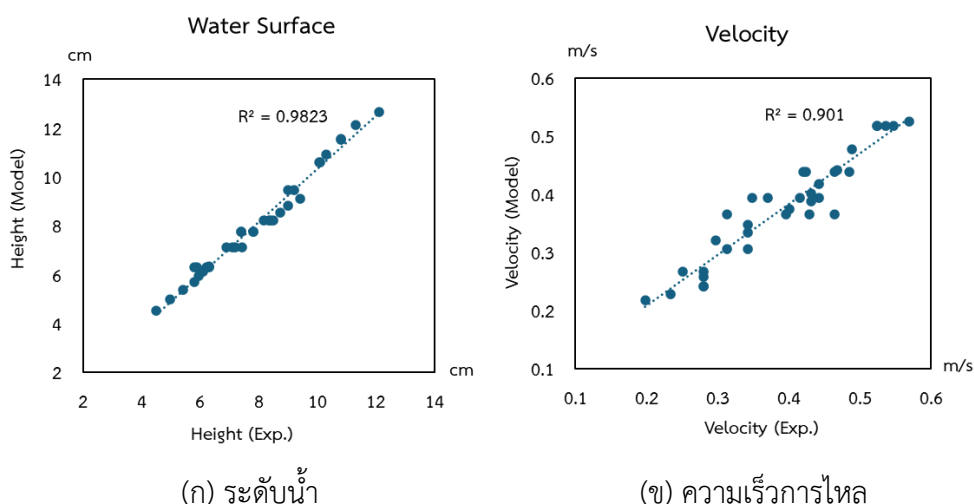


(ก) ผลของแบบจำลอง Obs1 ด้านข้าง



(ข) ผลการทดลอง Obs1 ด้านข้าง

รูปที่ 5 ตัวอย่างผลการจำลองและการทดลองในห้องปฏิบัติการ



รูปที่ 6 แผนภาพการกระจายของผลการทดลองและผลของแบบจำลอง

5.2 การประเมินด้วยค่าสถิติ

ผลการประเมินด้วยค่าสถิติของระดับน้ำ แสดงดังตารางที่ 3 พบว่าค่า MAE มีค่า 0.04–0.38 cm และค่า RMSE มีค่า 0.05–0.47 cm มีความหมายว่ามีค่าเบี่ยงเบนน้อยมาก และค่า NSE มีค่า 0.93–0.99 มีความหมายว่าแบบจำลองสามารถทำนายระดับน้ำได้มีประสิทธิภาพสูงหรือสามารถทำนายระดับน้ำได้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมาก และจากผลการประเมินความสูงของระดับน้ำ กรณี Flume มีค่าความผิดพลาดน้อยที่สุด และกรณี Veg มีค่าความผิดพลาดมากที่สุด

ผลการประเมินด้วยค่าสถิติของความเร็วการไหล แสดงดังตารางที่ 4 พบว่าค่า MAE มีค่า 2.58–3.09 cm/s ค่า RMSE มีค่า 3.06–4.28 cm/s มีความหมายว่ามีค่าเบี่ยงเบนน้อย และค่า NSE มีค่า 0.62–0.87 มีความหมายว่าแบบจำลองสามารถทำนายความเร็วของการไหลได้อย่างมีประสิทธิภาพปานกลางถึงสูง ซึ่งแสดงให้เห็นถึงแบบจำลองมีความสามารถที่น่าพอใจในการจำลองสภาพความเร็วของการไหลในการทดลองผ่านพีชน้ำและสิ่งกีดขวาง และจากผลการประเมินความเร็วการไหล กรณี Veg มีค่าความผิดพลาดน้อยที่สุด และกรณี Flume มีค่าความผิดพลาดมากที่สุด

ตารางที่ 3 ผลการเปรียบเทียบด้วยค่าสถิติของระดับน้ำ

Case	MAE (cm)	RMSE (cm)	NSE
Flume	0.04	0.05	0.99
Grass	0.23	0.25	0.94
Veg	0.38	0.42	0.93
Obs1	0.31	0.40	0.94
Obs2	0.36	0.47	0.95

ตารางที่ 4 ผลการเปรียบเทียบด้วยค่าสถิติของความเร็วการไหล

Case	MAE (cm/s)	RMSE (cm/s)	NSE
Flume	2.97	3.15	0.62
Grass	2.62	3.06	0.85
Veg	2.94	3.34	0.87
Obs1	2.58	3.13	0.86
Obs2	3.09	4.28	0.87

6. สรุปและอภิปรายผล/ข้อเสนอแนะ

ผลการเปรียบเทียบการทำนายระดับน้ำจากแบบจำลอง HEC-RAS 1D กับผลการทดลองทางกายภาพในรางน้ำที่มีสิ่งกีดขวางในห้องปฏิบัติการ พบว่าแบบจำลองสามารถทำนายระดับน้ำได้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมาก ในส่วนของความเร็วการไหลพบว่าโดยรวมมีความคลาดเคลื่อนน้อย

การประเมินความแม่นยำของแบบจำลอง HEC-RAS 1D ด้วยค่าสถิติ MAE, RMSE และ NSE พบว่าแบบจำลองสามารถทำนายระดับน้ำได้อย่างแม่นยำ แต่ความเร็วการไหลมีความคลาดเคลื่อนพอสมควร เนื่องจากแบบจำลองมีข้อจำกัดในการจำลองความเร็วการไหลของน้ำแบบละเอียดรอบสิ่งกีดขวางและเกิดจากความผันผวนของการวัดทางกายภาพจากการไหลแบบปั่นป่วน

โดยสรุปแล้ว แบบจำลอง HEC-RAS 1D แสดงศักยภาพที่โดดเด่นในการจำลองพฤติกรรมการไหลผ่านสิ่งกีดขวางในทางน้ำเปิด สามารถทำนายระดับผิวน้ำได้อย่างแม่นยำมาก สะท้อนให้เห็นถึงความสามารถในการจำลองผลกระทบของสิ่งกีดขวางที่มีต่อการยกตัวของระดับน้ำ ในขณะที่การทำนายความเร็วการไหลมีความคลาดเคลื่อนบางประการ แต่โดยภาพรวมแล้วอยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจ โดยรวมแล้วแบบจำลองมีความน่าเชื่อถือในระดับที่สามารถนำไปใช้ในสถานการณ์จริงได้เป็นอย่างดี

อย่างไรก็ตาม สำหรับงานที่ต้องการความแม่นยำสูงในการประเมินการไหลแบบซับซ้อนรอบสิ่งกีดขวาง การพิจารณาใช้แบบจำลองสองมิติ (2D) อาจเป็นทางเลือกที่เหมาะสมกว่าเนื่องจากสามารถคำนวณการไหลในหลายทิศทางได้ นอกจากนี้ ยังสามารถพิจารณาแบบจำลองเฉพาะทางที่ออกแบบมาเพื่อการวิเคราะห์พลศาสตร์ของไหลโดยเฉพาะ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการคำนวณทางด้านพลศาสตร์

ในขณะเดียวกัน หากมีเป้าหมายในการนำแบบจำลองไปใช้ทำนายพฤติกรรมของการไหลในธรรมชาติ อย่างแม่นยำ จำเป็นต้องพิจารณาความคล้ายคลึงของเงื่อนไขพลศาสตร์ โดยเฉพาะค่าของ Reynolds Number หรือ Froude Number ซึ่งเป็นดัชนีสำคัญที่บ่งบอกลักษณะของการไหล หากแบบจำลองมีค่าดังกล่าวที่ใกล้เคียงกับของจริง ก็จะช่วยเพิ่มความน่าเชื่อถือในการสรุปว่าพฤติกรรมการไหลในแบบจำลองสะท้อนสภาพความเป็นจริงได้อย่างถูกต้อง ดังนั้น การศึกษาวิจัยในอนาคตควรพิจารณาทดลองภายใต้อัตราการไหลที่หลากหลาย ซึ่งจะทำให้ค่าของ Reynolds Number และ Froude Number เปลี่ยนแปลงไปตามลักษณะการไหล ช่วยให้สามารถประเมินแบบจำลองพฤติกรรมการไหลที่กว้างขึ้น และเพิ่มศักยภาพในการประยุกต์ใช้ผลการวิจัยกับสถานการณ์จริงที่หลากหลายมากยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] USACE Hydrologic Engineering Center. HEC-RAS Release Notes [Internet]. 2025 Apr 24 [cited 2025 Apr 1]. Available from: https://www.hec.usace.army.mil/confluence/rasdocs/rasm/6.7_beta
- [2] Chow VT. Open-channel hydraulics. New York: McGraw-Hill Book Company; 1959.
- [3] Nepf H. Flow and Transport in Regions with Aquatic Vegetation. *Annu Rev Fluid Mech.* 2011;44:123-42.
- [4] USACE Hydrologic Engineering Center. Equations for Basic Profile Calculations [Internet]. [place unknown]: USACE Hydrologic Engineering Center; 2025 [cited 2025 Apr 1]. Available from: <https://www.hec.usace.army.mil/confluence/rasdocs/ras1dtechref/6.5/theoretical-basis-for-one-dimensional-and-two-dimensional-hydrodynamic-calculations/1d-steady-flow-water-surface-profiles/equations-for-basic-profile-calculations>
- [5] US Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center. Manning's Roughness Coefficient [Internet]. 2020 [cited 2025 Apr 1]. Available from: <https://www.hec.usace.army.mil/confluence/rasdocs/ras1dtechref/latest/modeling-culverts/culvert-data-and-coefficients/manning-s-roughness-coefficient>
- [6] Hodson TO. Root-mean-square error (RMSE) or mean absolute error (MAE): when to use them or not. *Geosci. Model Dev.* [Internet]. 2022;15:5481-87. Available from: <https://doi.org/10.5194/gmd-15-5481-2022>.
- [7] วรารุช วุฒินิชย์. การวิเคราะห์ความแม่นยำของแบบจำลองโดยใช้ Nash-Sutcliffe Efficiency และ R^2 [อินเทอร์เน็ต]. นครปฐม: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, คณะวิศวกรรมศาสตร์, ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน; [ม.ป.ป.] [เข้าถึงเมื่อ 1 เม.ย. 2568]. เข้าถึงได้จาก: <https://irre.ku.ac.th/pubart/dlinks.php?tpe=pubart&pdf=95-Jan-4-2553-Nash%20Efficiency.pdf>