

การพัฒนาแบบจำลองคลื่นพลศาสตร์แบบ อิมพลิชิตแบบหนึ่งมิติ *

พรรณพิมพ์ พุทธิรักษา ¹⁾ นุชนารถ ศรีวงศ์ตานนท์ ²⁾ และสรชัย ลิปิวัฒนาการ ³⁾

^{1), 2), 3)} ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการพัฒนาแบบจำลองคลื่นพลศาสตร์แบบอิมพลิชิตแบบหนึ่งมิติ โดยเรียกชื่อว่า แบบจำลองคลื่นพลศาสตร์ (Dynamic Wave Model; DYMWAV) ซึ่งมีความสามารถในการจำลองสภาพการไหลที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาแบบหนึ่งมิติ ที่ได้รับผลกระทบจากการเกิดน้ำท่วมและการขึ้นลงของระดับน้ำทะเลได้ โดยสมการพื้นฐานของแบบจำลองคือ สมการเซนต์-วีแนนท์ ซึ่งอยู่ในรูปสมการอนุพันธ์บางส่วนแบบไม่เป็นเส้นตรง การแก้ปัญหามักใช้วิธีผลต่างสืบเนื่องแบบอิมพลิชิต โดยวิธีการถ่วงน้ำหนักของจุด 4 จุด และใช้วิธี Newton-Raphson สำหรับการแก้ปัญหาระบบสมการแบบไม่เป็นเส้นตรง แบบจำลอง DYMWAV ได้ถูกนำไปประยุกต์กับพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน เพื่อตรวจสอบความสามารถในการศึกษาสภาพการไหลในกรณีที่ได้รับผลกระทบจากการเกิดน้ำท่วม ผลการศึกษาพบว่า แบบจำลอง DYMWAV มีความสามารถในการจำลองแบบสภาพการไหลดังกล่าวได้เป็นอย่างดี จากนั้นได้ทำเปรียบเทียบความสามารถของแบบจำลอง DYMWAV กับ แบบจำลองอุทกพลศาสตร์ MIKE 11 (MIKE 11 HD) โดยได้นำแบบจำลอง MIKE 11 HD มาประยุกต์ใช้กับกรณีศึกษาเดียวกัน โดยแบบจำลองทั้งสองสามารถวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของการไหลได้ใกล้เคียงกันมาก

* รับผิดชอบเมื่อวันที่ 6 พฤษภาคม 2547 และได้รับความเห็นชอบจากผู้ทรงคุณวุฒิเมื่อวันที่ 24 พฤษภาคม

Development of One Dimensional Implicit Dynamic Wave Model *

Punpim Puttaraksa ¹⁾ Nuchanart Sriwongsitanon ²⁾ and Surachai Lipiwattanakarn ³⁾
^{1), 2), 3)} Department of Water Resources Engineering Faculty of Engineering, Kasetsart University

Abstract

This study has an objective to develop one dimensional implicit dynamic wave model. The model is named the Dynamic Wave model (DYMWAV) that can be used to simulate one dimensional unsteady flow situation with backwater and tidal effects. The fundamental equations of the DYMWAV model are the Saint-Venant equations which are the nonlinear partial differential equations. These equations are solved by using the implicit weighted four points finite difference, and the Newton Raphson' s method is used to solve the nonlinear equations. The DYMWAV model was applied to the Upper Ping River Basin to investigate the model performance for the flow situations affected by backwater. The results showed that the DYMWAV model simulated these flow situations satisfactorily. The performance of the DYMWAV model was then compared with the performance of the MIKE 11 Hydrodynamic model (MIKE 11 HD). This was carried out by applying the MIKE 11 HD model on the same case study as applied to the DYMWAV model. The simulation results from the two models showed very well corresponding flow characteristics.

Keywords: Saint-Venant Equations, Dynamic Wave, Implicit Finite Difference, Nonlinear Partial Differential Equations, Backwater Effect, Tidal Effect, Upper Ping River Basin

บทนำ

จากอดีตจนถึงปัจจุบันได้มีนักวิจัยที่ทำการพัฒนาแบบจำลองคณิตศาสตร์เพื่อวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของน้ำในลำน้ำแบบหนึ่งมิติเป็นจำนวนมาก โดยมีพื้นฐานของแบบจำลอง คือสมการเซนต์-วีแนนท์ ซึ่งอยู่ในรูปสมการอนุพันธ์บางส่วนแบบไม่เป็นเส้นตรง อย่างไรก็ตาม ในการแก้ปัญหาแบบสมการแบบไม่เป็นเส้นตรงมีความยุ่งยากซับซ้อน เป็นสาเหตุให้นักวิจัยพยายามลดความยุ่งยากดังกล่าวลง โดยการเปลี่ยนระบบสมการแบบไม่เป็นเส้นตรงให้อยู่ในรูประบบสมการแบบเป็นเส้นตรง เพื่อให้สามารถแก้ปัญหาได้ง่ายขึ้น อาทิเช่น Meijer et al. (1965) ได้พัฒนาวิธีการจำลองแบบ “Node and Branch” ในการคำนวณโครงข่าย (Network) ของทางน้ำเปิดที่มีการไหลแบบเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา (Unsteady Flow) โดยประยุกต์ใช้กับทางน้ำที่เชื่อมต่อระหว่างอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่ 2 อ่าง ต่อมา Torranin (1969) ได้พัฒนาแบบจำลองแบบหนึ่งมิติเพื่อใช้ในการแก้ปัญหการไหลแบบเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาในระบบการไหลในทางน้ำเปิด สำหรับทางน้ำเพียงสายเดียว (Single Reach) ต่อมา Chatrchaoenmitr (1977) ได้พัฒนาแบบจำลองที่นำมาใช้ในการศึกษาสภาพการไหลของระบบแม่น้ำเจ้าพระยาจากบางไทรไปจนถึงเขื่อนเจ้าพระยา โดยการนำแบบจำลองของการเก็บกักในทุ่งน้ำท่วม (Storage Flood Plain) และแบบจำลอง Node and Branch มาเชื่อมด้วยสมการของฝ่าย จากนั้น Vatcharasinthu (1977) ได้พัฒนาแบบจำลองแบบหนึ่งมิติสำหรับทางน้ำสายเดียว ที่ใช้ในการอธิบายการไหลในลำน้ำและการไหลในทุ่งน้ำท่วม ในปี ค.ศ. 1978 Tingsanchali and Arbhahirama ได้ทำการพัฒนาแบบจำลองโดยการผสมผสานระหว่างแบบจำลองทางน้ำสายเดียว ซึ่งพัฒนาโดย Torranin (1969) และแบบจำลอง Node and Branch ตลอดจนแบบจำลองการเก็บกักในทุ่งน้ำท่วม ซึ่งพัฒนาโดย Chatrchaoenmitr (1977) โดยที่แบบจำลองนี้สามารถใช้ในการจำลองสภาพของระบบลำน้ำที่เป็นโครงข่าย เพื่อใช้ในการคาดการณ์ปริมาณน้ำหลากและการศึกษาถึงผลของการขุดลอกแม่น้ำที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำ สำหรับงานวิจัยนี้ได้พัฒนาแบบจำลองคลื่นพลศาสตร์แบบอิมพลิชิตแบบหนึ่งมิติที่สามารถจำลองสภาพการไหลที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาในระบบการไหลในทางน้ำเปิด และการไหลที่ได้รับผลกระทบจากการเกิดน้ำท่วม และการขึ้นลงของน้ำทะเลได้ รวมทั้งสามารถศึกษาระบบลำน้ำที่เป็นโครงข่ายได้ โดยมีสมการพื้นฐานเดียวกันคือ สมการเซนต์-วีแนนท์ อย่างไรก็ตาม ความแตกต่างที่เด่นชัดประการสำคัญคือ แบบจำลองนี้ได้ทำการแก้ปัญหาระบบสมการแบบไม่เป็นเส้นตรงของสมการเซนต์-วีแนนท์ ด้วยวิธี Newton-Raphson ซึ่งเป็นเทคนิคการวนซ้ำ จากนั้นได้นำแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นมาประยุกต์ใช้กับลุ่มน้ำปิงตอนบน รวมทั้งตรวจสอบความสามารถของแบบจำลองนี้กับแบบจำลอง MIKE 11 HD ซึ่งได้รับการยอมรับกันอย่างแพร่หลาย

แบบจำลองคลื่นพลศาสตร์แบบหนึ่งมิติ

สมการพื้นฐาน

สมการพื้นฐานของแบบจำลองคลื่นพลศาสตร์แบบหนึ่งมิติคือ สมการเซนต์-วีแนนท์ (Saint-Venant Equations) ซึ่งใช้อธิบายการไหลในทางน้ำเปิดที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาแบบหนึ่งมิติ (One-Dimensional Unsteady Open Channel Flow) โดยประกอบด้วยสมการ 2 สมการ คือ สมการต่อเนื่อง (Continuity Equation) และสมการโมเมนตัม (Momentum Equation) ดังแสดงตามลำดับดังนี้

สมการต่อเนื่อง

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

สมการโมเมนตัม

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(\beta Q^2/A)}{\partial x} + gA \left(\frac{\partial h}{\partial x} + S_f + S_e \right) - \beta q v_x + W_f B = 0 \quad (2)$$

เมื่อ x คือ ระยะทางในแนวราบตามแนวทางน้ำและแม่น้ำ t คือ เวลา Q คือ อัตราการไหล A คือหน้าตัดขวางของการไหล q คือ ปริมาณการไหลเข้าด้านข้าง (Lateral Inflow) ต่อหนึ่งหน่วยความยาวของทางน้ำ h คือ ระดับผิวน้ำ v_x คือ ความเร็วของปริมาณการไหลเข้าด้านข้างในทิศทางของการไหลในทางน้ำ S_f คือ ความลาดชันของความเสียดทาน (Friction Slope) S_e คือ ความลาดชันของ Eddy Loss B คือ ความกว้างของทางน้ำที่ผิวน้ำ W_f คือ แรงเฉือนเนื่องจากลม (Wind Shear Force) β คือ แฟกเตอร์ปรับค่าโมเมนตัม (Momentum Correction Factor) และ g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง

วิธีการแก้ปัญหา

เนื่องจากสมการเซนต์-วีแนนท์ อยู่ในรูปของสมการอนุพันธ์บางส่วนแบบไม่เป็นเส้นตรง (Nonlinear Partial Differential Equation) ซึ่งประกอบด้วยอนุพันธ์ของระยะทาง และอนุพันธ์ของเวลา การแก้สมการสามารถทำได้โดยวิธีการเชิงตัวเลข (Numerical Schemes) สำหรับในงานวิจัยนี้ได้ใช้วิธีการประมาณค่าแบบผลต่างสืบเนื่องแบบอิมพลิต (Implicit Finite Difference) ด้วยวิธีการถ่วงน้ำหนักของจุด 4 จุด (Implicit Weighted Four-Point Method) เพื่อเปลี่ยนชุดของสมการอนุพันธ์บางส่วน (The System of Partial Differential Equations) ให้อยู่ในชุดของสมการผลต่างสืบเนื่อง (The System of

Finite Difference Equations) แบบไม่เป็นเส้นตรงดังแสดงในสมการต่อไปนี้ โดยนำวิธี Newton-Raphson มาใช้ในการแก้ระบบสมการแบบไม่เป็นเส้นตรง

สมการต่อเนื่อง

$$\theta(Q_{i+1}^{j+1} - Q_i^{j+1} - \bar{q}_i^{j+1} \Delta x_i) + (1 - \theta)(Q_{i+1}^j - Q_i^j - \bar{q}_i^j \Delta x_i) + \frac{\Delta x_i}{2 \Delta t_j} [(A + A_o)_i^{j+1} + (A + A_o)_{i+1}^{j+1} - (A + A_o)_i^j - (A + A_o)_{i+1}^j] = 0 \quad (3)$$

สมการโมเมนตัม

$$\begin{aligned} & \frac{\Delta x_i}{2 \Delta t_j} (Q_i^{j+1} + Q_{i+1}^{j+1} - Q_i^j - Q_{i+1}^j) \\ & + \theta \left\{ \left(\frac{\beta Q^2}{A} \right)_{i+1}^{j+1} - \left(\frac{\beta Q^2}{A} \right)_i^{j+1} + g \bar{A}_i^{j+1} [h_{i+1}^{j+1} - h_i^{j+1} + (\bar{S}_f)_i^{j+1} \Delta x_i + (\bar{S}_e)_i^{j+1} \Delta x_i] \right. \\ & \quad \left. - (\beta q v_x)_i^{j+1} \Delta x_i + (\bar{W}_f \bar{B})_i^{j+1} \Delta x_i \right\} \\ & + (1 - \theta) \left\{ \left(\frac{\beta Q^2}{A} \right)_{i+1}^j - \left(\frac{\beta Q^2}{A} \right)_i^j + g \bar{A}_i^j [h_{i+1}^j - h_i^j + (\bar{S}_f)_i^j \Delta x_i + (\bar{S}_e)_i^j \Delta x_i] \right. \\ & \quad \left. - (\beta q v_x)_i^j \Delta x_i + (\bar{W}_f \bar{B})_i^j \Delta x_i \right\} = 0 \end{aligned} \quad (4)$$

วิธีการศึกษา

การพัฒนาแบบจำลองคลื่นพลศาสตร์แบบอิมพลิชิตแบบหนึ่งมิติ

ในการพัฒนาแบบจำลองคลื่นพลศาสตร์แบบอิมพลิชิตแบบหนึ่งมิตินั้นได้ทำการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม Visual Basic.Net ซึ่งง่ายต่อการใช้งาน โดยแบบจำลองที่ได้พัฒนาขึ้นใช้ชื่อว่า แบบจำลอง DYMWAV (Dynamic Wave) เวอร์ชัน 1.0 โดยรายละเอียดของขั้นตอนการทำงานของแบบจำลองสรุปได้ดังนี้

1. การรับข้อมูลด้านเข้า โดยข้อมูลด้านเข้าแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ

1.1 ข้อมูลพารามิเตอร์ของแบบจำลอง ประกอบด้วย ช่วงระยะทาง (Δx) ช่วงเวลา (Δt) และ

สัมประสิทธิ์ Implicit (θ)

1.2 ข้อมูลด้านอุทกวิทยาและอุทกพลศาสตร์ที่อยู่ในลักษณะของอนุกรมเวลา (Time Series) สำหรับใช้ในการกำหนดเงื่อนไขขอบเขต เงื่อนไขเริ่มต้น และปริมาณการไหลเข้าด้านข้าง สำหรับลำน้ำสายหลักและสาขา โดยข้อมูลเหล่านี้ ได้แก่ ข้อมูลกราฟน้ำท่าของปริมาณการไหลเข้า (Inflow Hydrograph) ข้อมูลระดับน้ำทะเล (Tidal Data) และข้อมูลโค้งความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการไหลและระดับน้ำ (Rating Curve) เป็นต้น

1.3 ข้อมูลรูปตัดขวางของลำน้ำและค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของแมนนิ่ง ของแต่ละรูปตัดขวางของลำน้ำสำหรับลำน้ำสายหลักและสาขา

2. การวิเคราะห์ข้อมูลด้านเข้า โดยการวิเคราะห์ในแต่ละส่วนสรุปได้ดังต่อไปนี้

2.1 การวิเคราะห์ข้อมูลรูปตัดขวางของลำน้ำ

การวิเคราะห์ข้อมูลรูปตัดขวางของลำน้ำเป็นการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะต่าง ๆ ของลำน้ำที่ได้จากข้อมูลการสำรวจ ซึ่งประกอบด้วย การคำนวณความกว้างลำน้ำ (B) พื้นที่หน้าตัดขวางของลำน้ำ (A) รัศมี ชลศาสตร์ (R) และเส้นขอบเปียก (P) เพื่อนำไปคำนวณหาความสัมพันธ์ของลักษณะเฉพาะของลำน้ำกับระดับน้ำที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละรูปตัดขวางของลำน้ำ

2.2 การวิเคราะห์ข้อมูลอนุกรมเวลาโดยการหาค่าในระหว่าง (Interpolation) จากข้อมูลที่บันทึกไว้ในแต่ละช่วงเวลาของลำน้ำสายหลักและสาขา

2.3 การวิเคราะห์ข้อมูลเงื่อนไขเริ่มต้น (Initial Condition) เพื่อให้ได้ค่าต่าง ๆ บนเส้นเวลา (Time Line) j ซึ่งประกอบด้วยค่าของ Q_i^j , Q_{i+1}^j , h_i^j , h_{i+1}^j , A_i^j , A_{i+1}^j , B_i^j และ B_{i+1}^j ในสมการผลต่างสืบเนื่องของสมการต่อเนื่องและสมการโมเมนต์ (สมการที่ 3 และ 4) ของลำน้ำสายหลักและสาขา

3. การตรวจสอบโครงข่ายการไหลของลำน้ำที่ศึกษาว่าเป็นลำน้ำสายเดี่ยวหรือมีลำน้ำสาขารวมอยู่ด้วย สำหรับในกรณีที่มีลำน้ำสาขารวมอยู่ด้วยจะทำการสมมติปริมาณการไหลของลำน้ำสาขาเปรียบเสมือนเป็นปริมาณการไหลเข้าด้านข้าง (q'') ของลำน้ำสายหลัก จากนั้นทำการวิเคราะห์อัตราการไหลและระดับน้ำที่ระยะทางต่าง ๆ ของลำน้ำสายหลักด้วยวิธี Newton-Raphson (ตามขั้นตอนที่ 4) สำหรับกรณีที่โครงข่ายการไหลประกอบด้วยลำน้ำเพียงสายเดียวจะข้ามขั้นตอนการสมมติปริมาณการไหลด้านข้าง โดยทำการวิเคราะห์อัตราการไหลและระดับน้ำที่ระยะทางต่าง ๆ ของลำน้ำสายหลักด้วยวิธี Newton-Raphson เท่านั้น

4. การวิเคราะห์อัตราการไหลและระดับน้ำที่ระยะทางต่าง ๆ ของแม่น้ำสายหลักด้วยวิธี Newton-Raphson ซึ่งสามารถแสดงในรูปเมตริกได้ดังแสดงในภาพที่ 1 และสามารถเขียนในรูปสมการง่าย ๆ ได้ดังนี้

$$[Z][\Delta x_i] = -[F_i] \quad (5)$$

เมื่อ $[Z]$ คือ Jacobian ซึ่งหมายถึงเมตริกสัมประสิทธิ์ (Coefficient Matrix) สำหรับอนุพันธ์

เหนือน้ำและด้านท้ายน้ำ เทียบกับอัตราการไหลและระดับน้ำที่ระยะทางต่างๆ ดังแสดงตัวอย่างในภาพที่ 1

4.4 การแก้ปัญหาเมตริก โดยวิธี Gaussian Elimination เพื่อให้ได้ค่า dh_i และ dQ_i

4.5 ทำการวิเคราะห์ค่าระดับน้ำ (h_i^{k+1}) และอัตราการไหล (Q_i^{k+1}) ที่ระยะทางต่างๆ จากสมการดังนี้

$$h_i^{k+1} = h_i^k + dh_i \quad (6)$$

$$Q_i^{k+1} = Q_i^k + dQ_i \quad (7)$$

4.6 การตรวจสอบเงื่อนไขการลู่เข้าหาคำตอบโดยมีวิธีการดังนี้

$$|x^{k+1} - x^k| < \epsilon \quad (8)$$

ถ้าเงื่อนไขยอมรับไม่ได้จะนำค่าที่ได้จากขั้นตอนที่ 4.5 ไปเป็นค่าสมมติครั้งใหม่ที่ $(k+1)$ และเริ่มวิเคราะห์ตั้งแต่ขั้นตอนที่ 4.1 ใหม่ ในทางตรงกันข้ามถ้าเงื่อนไขยอมรับได้จะทำการตรวจสอบจำนวนช่วงเวลาว่าสิ้นสุดหรือไม่ ในกรณีที่ยังไม่สิ้นสุดก็จะเริ่มทำการวิเคราะห์ที่ช่วงเวลาต่อไป โดยใช้ค่า $x^{k+1} = (Q_i^{k+1}, h_i^{k+1}, \dots, Q_N^{k+1}, h_N^{k+1})$ ที่ได้จากการคำนวณในขั้นตอนที่ 4.5 เป็นค่าเริ่มต้น

5. การเก็บข้อมูลระดับน้ำของแม่น้ำสายหลักที่เวลาต่าง ๆ ในกรณีที่ตรวจสอบว่ามีแม่น้ำสาขา บริเวณจุดบรรจบกับแม่น้ำสาขาซึ่งได้จากผลการวิเคราะห์ในขั้นตอนที่ 4 เพื่อนำมากำหนดเงื่อนไขขอบเขตด้านท้ายน้ำสำหรับแม่น้ำสาขาต่อไป

6. พิจารณาแม่น้ำสาขาโดยเปรียบเสมือนว่าเป็นแม่น้ำสายหลัก แล้วทำการวิเคราะห์ด้วยวิธี Newton-Raphson เหมือนในข้อ 4 เพื่อหาปริมาณการไหลที่จุดออกของแม่น้ำสาขา (q) โดยมีเงื่อนไขขอบเขตด้านท้ายน้ำคือ ระดับน้ำบริเวณจุดบรรจบกับแม่น้ำสายหลักที่ได้เก็บรวบรวมไว้ในข้อ 5

7. ตรวจสอบเงื่อนไขการลู่เข้าหาคำตอบระหว่างปริมาณการไหลเข้าด้านข้างที่สมมติกับปริมาณการไหลเข้าด้านข้างที่ได้จากการวิเคราะห์ดังนี้

$$|q - q^{**}| \leq \epsilon \quad (9)$$

ถ้าเงื่อนไขยอมรับได้ก็สิ้นสุดการคำนวณ แต่ถ้าเงื่อนไขยอมรับไม่ได้ต้องนำ Iteration Algorithm (Fread, 1973) มาใช้เพื่อหาค่าปริมาณการไหลค่าใหม่ q^* จากนั้นทำการวิเคราะห์หาค่าตั้งแต่วิธีที่ 1.3 ใหม่ โดยที่สามารถคำนวณ q^* ได้จากสมการต่อไปนี้

$$q^* = \alpha q + (1 - \alpha) q^{**} \quad (10)$$

เมื่อ α = แฟคเตอร์ถ่วงน้ำหนัก (Weighting Factor) $(0 < \alpha < 1)$

การสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง

การสอบเทียบแบบจำลอง (Model Calibration) มีจุดประสงค์เพื่อต้องการหาค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของแมนนิ่งสำหรับแต่ละรูปตัดขวางของลำน้ำ สามารถทำได้โดยเลือกข้อมูลด้านอุทกวิทยาในอดีตที่มีการเก็บรวบรวมโดยหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในพื้นที่ศึกษา ผลการประเมินกราฟน้ำท่าของปริมาณการไหลและระดับน้ำที่ได้จากแบบจำลอง DYMWAVER จะถูกนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลปริมาณการไหลและระดับน้ำที่ได้จากการตรวจวัดของสถานีวัดน้ำท่าต่าง ๆ ที่ตำแหน่งที่ตั้งของสถานีนั้น ๆ โดยที่ผลการเปรียบเทียบระหว่างข้อมูลทั้งสองต้องมีความแตกต่างกันไม่มากนักอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ถ้าผลการเปรียบเทียบเกินเกณฑ์ที่ยอมรับได้ จะต้องเปลี่ยนแปลงค่า สัมประสิทธิ์ความขรุขระของแมนนิ่งแล้วทำการวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่าและระดับน้ำโดยใช้แบบจำลอง DYMWAVER ใหม่ จนกระทั่งความแตกต่างระหว่างข้อมูลทั้งสองมีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ จึงจะได้ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของแมนนิ่งที่สามารถเป็นตัวแทนของลำน้ำ

อย่างไรก็ตาม ก่อนที่จะนำค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของแมนนิ่งไปใช้เพื่อการศึกษาในด้านอื่นๆ จะต้องทำการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง (Model Verification) เพื่อให้มั่นใจว่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของแมนนิ่งดังกล่าวสามารถนำไปประยุกต์กับการวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่าเหตุการณ์อื่นได้ ซึ่งสามารถทำได้โดยเลือกเหตุการณ์น้ำท่าเหตุการณ์ใหม่ ถ้าผลการเปรียบเทียบระหว่างปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลอง DYMWAVER และปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดมีค่าใกล้เคียงกันจึงยอมรับได้ว่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของแมนนิ่งที่ได้จากการสอบเทียบแบบจำลองสามารถใช้เป็นตัวแทนลำน้ำได้ แต่ถ้าผลการเปรียบเทียบมีความแตกต่างกันมากเกินเกณฑ์ยอมรับได้ จะต้องทำการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองใหม่ เพื่อให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของแมนนิ่งที่มีความเหมาะสมสำหรับเหตุการณ์น้ำท่าทั้งสองเหตุการณ์

เมื่อได้ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของแมนนิ่งที่มีความเหมาะสมและสามารถใช้เป็นตัวแทนลำน้ำได้แล้ว จึงนำแบบจำลอง MIKE 11 HD มาประยุกต์กับพื้นที่ศึกษาเดียวกัน โดยใช้ข้อมูลรูปตัดขวางของลำน้ำและสัมประสิทธิ์ความขรุขระของแมนนิ่งค่าเดียวกับที่ได้ทำการสอบเทียบแบบจำลองลุ่มน้ำไว้โดยแบบจำลอง DYMWAVER มาทำการศึกษาปริมาณน้ำท่าจากเหตุการณ์น้ำท่าเดียวกับที่ใช้ในการ

สอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง DYMWAV จากนั้นนำผลที่ได้จากแบบจำลอง MIKE 11 HD มาเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากแบบจำลอง DYMWAV ถ้าผลการเปรียบเทียบระหว่างปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลองทั้งสองมีความแตกต่างกันไม่มากนักและอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ สามารถสรุปได้ว่าแบบจำลอง DYMWAV มีความเหมาะสมที่จะนำไปประยุกต์ใช้งานได้อย่างถูกต้องต่อไป

พื้นที่ศึกษาและการรวบรวมข้อมูล

พื้นที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ คือ ลุ่มน้ำปิงตอนบน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาพการไหลที่ได้รับผลกระทบจากการเกิดน้ำท่วม ซึ่งรายละเอียดของพื้นที่ศึกษาสรุปได้ดังนี้

ลุ่มน้ำปิงตอนบนมีอาณาเขตครอบคลุมพื้นที่ลุ่มน้ำเหนือเขื่อนภูมิพล โดยมีพื้นที่ลุ่มน้ำ 23,370 ตารางกิโลเมตร ขอบเขตของพื้นที่ศึกษาการไหลของน้ำเริ่มจากสถานีวัดน้ำท่า P.20 ซึ่งเป็นสถานีควบคุมด้านเหนือ (Upstream Boundary Control) จนถึงสถานีน้ำท่า PE.2 ซึ่งเป็นสถานีควบคุมด้านท้ายน้ำ (Downstream Boundary Control) รวมระยะทางระหว่างสถานีทั้งสอง 215.16 กิโลเมตร โดยที่ขอบเขตของพื้นที่ลุ่มน้ำและลุ่มน้ำย่อยของลุ่มน้ำปิงตอนบนแสดงในภาพที่ 2 สำหรับข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาประกอบด้วย

1) แผนภูมิแสดงการไหลของน้ำในแม่น้ำปิงตอนบนและสาขา ดังแสดงในภาพที่ 3 เพื่อใช้ในการกำหนดเส้นทางการไหลของน้ำในแบบจำลอง

2) ข้อมูลกราฟน้ำท่าของสถานีวัดน้ำท่า P.20, P.4A, P.21, P.69, P.71, P.24A และ P.14 ซึ่งเป็นสถานีวัดน้ำท่าของน้ำแม่ปิง น้ำแม่แตง น้ำแม่มริ น้ำแม่กว้ง น้ำแม่ขาน น้ำแม่กลาง และ น้ำแม่แจ่ม ตามลำดับ รวมทั้งข้อมูลปริมาณน้ำที่ปล่อยจากเขื่อนแม่งัด โดยข้อมูลดังกล่าวใช้ในการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตด้านเหนือน้ำในแม่น้ำปิงและสาขา ซึ่งในการศึกษานี้ ได้เลือกเหตุการณ์กราฟน้ำท่าในระหว่างวันที่ 6 สิงหาคม 2542 ถึงวันที่ 9 กุมภาพันธ์ 2543 สำหรับใช้ในการสอบเทียบแบบจำลอง และ เลือกเหตุการณ์กราฟน้ำท่าในระหว่าง วันที่ 2 สิงหาคม 2542 ถึงวันที่ 18 ตุลาคม 2542 สำหรับใช้ในการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง

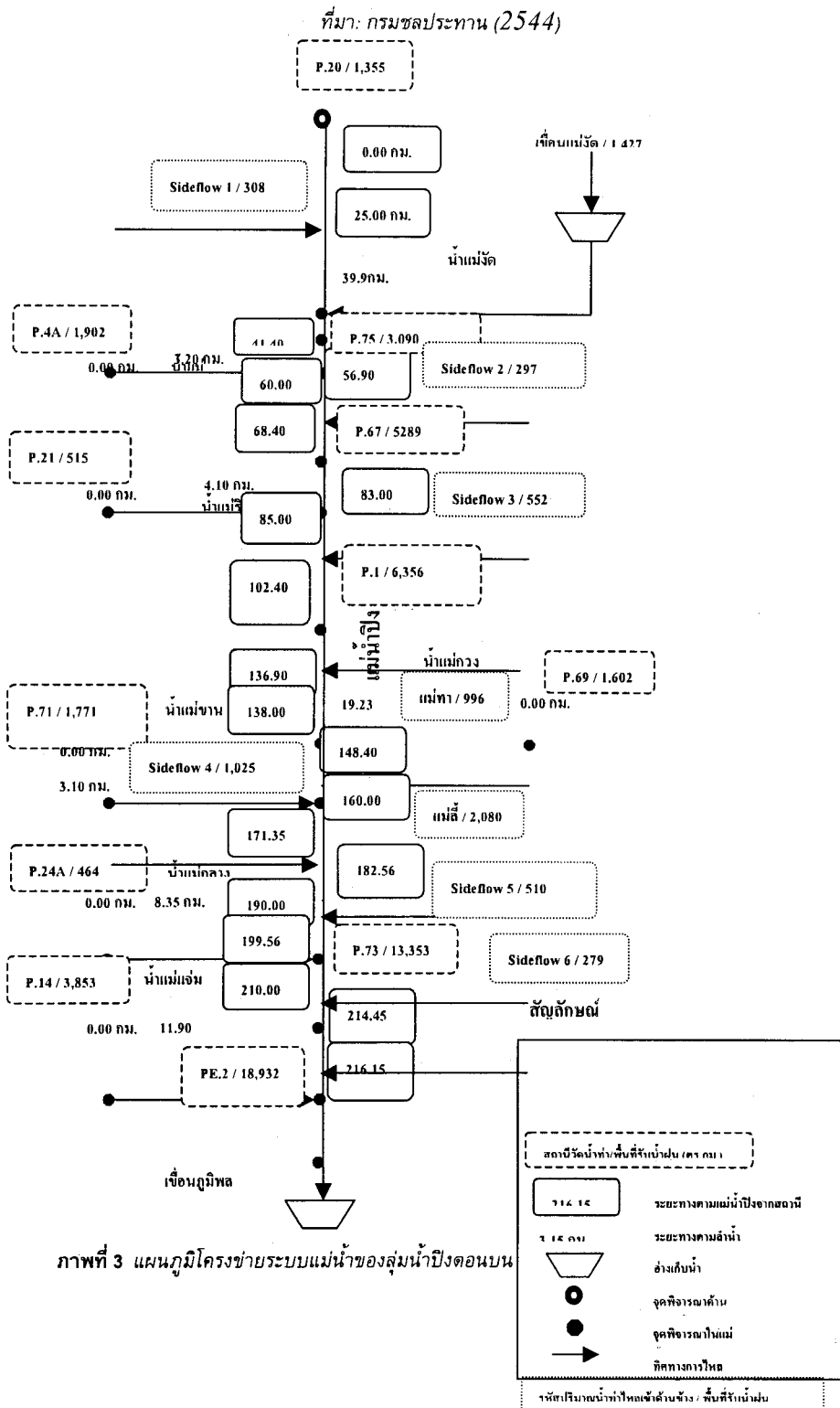
3) ข้อมูลรูปตัดขวางของแม่น้ำปิงและน้ำแม่กว้ง จำนวน 175 และ 25 รูปตัด ตามลำดับ รวมทั้งข้อมูลรูปตัดขวางของที่ตั้งสถานีวัดน้ำท่าที่กล่าวไว้ในข้อ 2)

4) ข้อมูลปริมาณการไหลเข้าด้านข้างสำหรับช่วงเวลาเดียวกับกราฟน้ำท่าในข้อ 3) ที่ต้องทำการประเมินค่าจากพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยต่าง ๆ ที่อยู่ระหว่างจุดพิจารณาต้นน้ำจนถึงจุดพิจารณาด้านท้ายน้ำที่ไม่มีการติดตั้งสถานีวัดน้ำท่าไว้ของลุ่มน้ำปิงตอนบน

5) ข้อมูลถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการไหลกับระดับน้ำ ของสถานี PE.2 เพื่อใช้กำหนดเงื่อนไขขอบเขตด้านท้ายน้ำ

6) สมบัติหรือความขรุขระของแมนนิ่ง ที่จะต้องทำการประเมินโดยการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง DYMWAV และ แบบจำลอง MIKE 11 HD

7) ข้อมูลกราฟน้ำท่าของสถานีวัดน้ำท่า P.1, P.67, P.73, P.75 และ PE.2 สำหรับช่วงเวลาเดียว



ภาพที่ 3 แผนภูมิโครงข่ายระบบแม่น้ำของลุ่มน้ำปิงตอนบน

เกณฑ์การสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง

สำหรับการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองนั้น จะต้องมีการเปรียบเทียบระหว่างปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการประเมินด้วยแบบจำลองและปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัด ในการศึกษานี้ได้พิจารณาใช้ค่าทางสถิติ 2 ค่า คือค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient, r) และค่า Efficiency Index (EI) ซึ่งมีรูปแบบสมการดังต่อไปนี้

$$r = \frac{\sum (Q_i - \bar{Q}) \cdot (F_i - \bar{F})}{\sqrt{[\sum (Q_i - \bar{Q})^2 \cdot \sum (F_i - \bar{F})^2]}} \quad (11)$$

$$EI = \frac{\sum_{i=1}^N (Q_i - \bar{Q})^2 - \sum_{i=1}^N (Q_i - F_i)^2}{\sum (Q_i - \bar{Q})^2} \times 100\% \quad (12)$$

$$\bar{Q} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Q_i \quad (13)$$

เมื่อ Q_i คือ ปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดที่เวลา i , $\bar{Q}$ คือ ค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัด F_i คือ ปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลองที่เวลา i , $\bar{F}$ คือค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลอง และ N คือ จำนวนของข้อมูล

ผลการศึกษา

ผลการสอบเทียบแบบจำลอง DYMWAV

การสอบเทียบแบบจำลอง DYMWAV สำหรับเหตุการณ์กราฟน้ำท่าในระหว่างวันที่ 6 สิงหาคม 2542 ถึงวันที่ 9 กุมภาพันธ์ 2543 กระทำได้โดยการปรับค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของแมนนิ่ง เพื่อให้ผลการเปรียบเทียบระหว่าง กราฟน้ำท่าของปริมาณการไหลที่ได้จากแบบจำลองกับที่ได้บันทึกไว้ ณ สถานีวัดน้ำท่าต่าง ๆ ที่พิจารณามีค่าใกล้เคียงกัน โดยสถานีวัดน้ำท่าที่นำมาพิจารณาในการสอบเทียบแบบจำลองประกอบด้วย สถานีวัดน้ำท่า P.75, P.67, P.1, P.73 และสถานี PE.2 ผลการสอบเทียบแบบจำลอง DYMWAV พบว่า กราฟน้ำท่าของปริมาณการไหลที่ได้จากแบบจำลองกับที่ได้บันทึกไว้ ณ สถานีวัดน้ำท่าต่าง ๆ ที่พิจารณามีความสอดคล้องกันเป็นที่ยอมรับได้ กล่าวคือ ค่าทางสถิติของความสัมพันธ์สำหรับทุกสถานีที่พิจารณาอยู่ในเกณฑ์ดี โดยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ มีค่าอยู่ระหว่าง 0.924 – 0.982 และค่า EI มีค่าอยู่ระหว่าง 70.02 – 87.01 เปอร์เซนต์ โดยที่สัมประสิทธิ์ความขรุขระของแมน

หนึ่งที่ได้จากการสอบเทียบแบบจำลองพบว่า ในเกือบทุกรูปตัดขวางของแม่น้ำปิงและสาขามีค่าเท่ากับ 0.033 ทั้งนี้ยกเว้นรูปตัดขวางของแม่น้ำปิงที่ระยะทางระหว่าง กม. 59.91 - กม. 136.90 และรูปตัดขวางของน้ำแหมรี พบว่า มีค่าเท่ากับ 0.04

ผลการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง DYMWAV

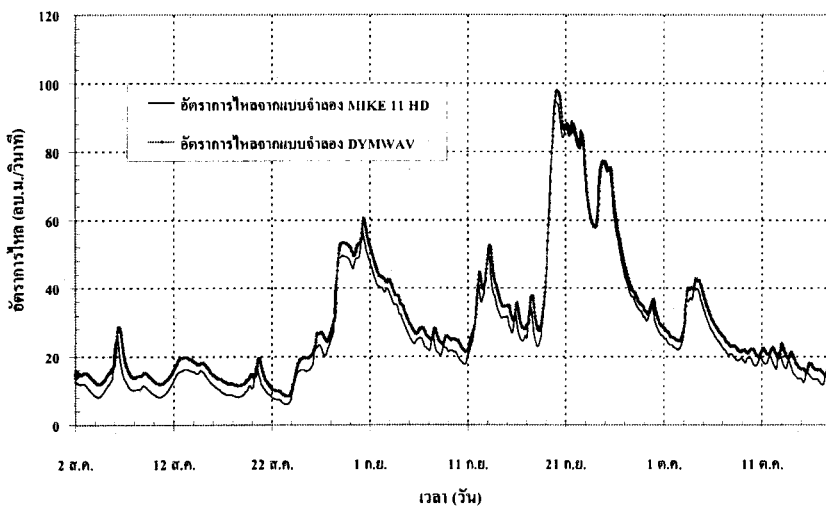
การตรวจพิสูจน์แบบจำลอง DYMWAV กระทำได้โดยการใช้ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของแม่น้ำ ในแต่ละรูปตัดขวางของลำน้ำที่ได้จากผลการสอบเทียบแบบจำลอง DYMWAV มาประยุกต์ใช้กับเหตุการณ์กราฟน้ำท่าในระหว่างวันที่ 2 สิงหาคม 2542 ถึงวันที่ 18 ตุลาคม 2542 จากนั้นทำการเปรียบเทียบผลการประเมินกราฟน้ำท่าของปริมาณการไหลที่ได้จากแบบจำลอง DYMWAV กับที่ได้บันทึกไว้ ณ สถานีวัดน้ำท่าต่าง ๆ ที่พิจารณา ซึ่งประกอบด้วย สถานีวัดน้ำท่า P.75, P.1, P.73 และสถานี PE.2 ผลการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง DYMWAV พบว่า กราฟน้ำท่าของปริมาณการไหลที่ได้จากแบบจำลองกับที่ได้บันทึกไว้ ณ สถานีวัดน้ำท่าต่าง ๆ ที่พิจารณามีความสอดคล้องกันเป็นที่ยอมรับได้ กล่าวคือ ค่าทางสถิติของความสัมพันธ์สำหรับเกือบทุกสถานที่พิจารณาอยู่ในเกณฑ์ดี โดยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ มีค่าอยู่ระหว่าง 0.956 – 0.963 และค่า EI มีค่าอยู่ระหว่าง 86.29 – 92.68 เปอร์เซนต์ ทั้งนี้ยกเว้นสถานี P.75 ซึ่งได้ค่า EI ค่อนข้างต่ำโดยมีค่าเพียง 50.00 เปอร์เซนต์ เท่านั้น

อย่างไรก็ตาม ผลการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง DYMWAV ซึ่งให้ผลการศึกษาที่ไม่ดีเท่าที่ควรในบางสถานีวัดน้ำท่านั้น มิได้เกิดจากแบบจำลอง DYMWAV ไม่มีความสามารถในการประเมินกราฟน้ำท่าได้ใกล้เคียงกราฟน้ำท่าที่ได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลไว้ แต่เป็นผลจากความถูกต้องและข้อจำกัดของข้อมูลด้านเข้าของแบบจำลอง ดังนั้น ในการตรวจสอบความสามารถของแบบจำลอง DYMWAV ว่ามีความสามารถในการประเมินกราฟน้ำท่าหรือไม่นั้น สามารถกระทำได้โดยการนำเหตุการณ์กราฟน้ำท่าที่ประยุกต์ใช้กับแบบจำลอง DYMWAV นำมาประยุกต์ใช้กับแบบจำลอง MIKE 11 HD ซึ่งเป็นแบบจำลองที่ได้รับการยอมรับอย่างแพร่หลาย ถ้าผลการประเมินกราฟน้ำท่าที่ได้จากทั้งสองแบบจำลองมีความสอดคล้องกันจะสามารถสรุปได้ว่าแบบจำลอง DYMWAV ที่ได้รับการพัฒนาขึ้นมาสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ในทางปฏิบัติ ซึ่งการศึกษาในส่วนนี้สรุปไว้ในข้อต่อไป

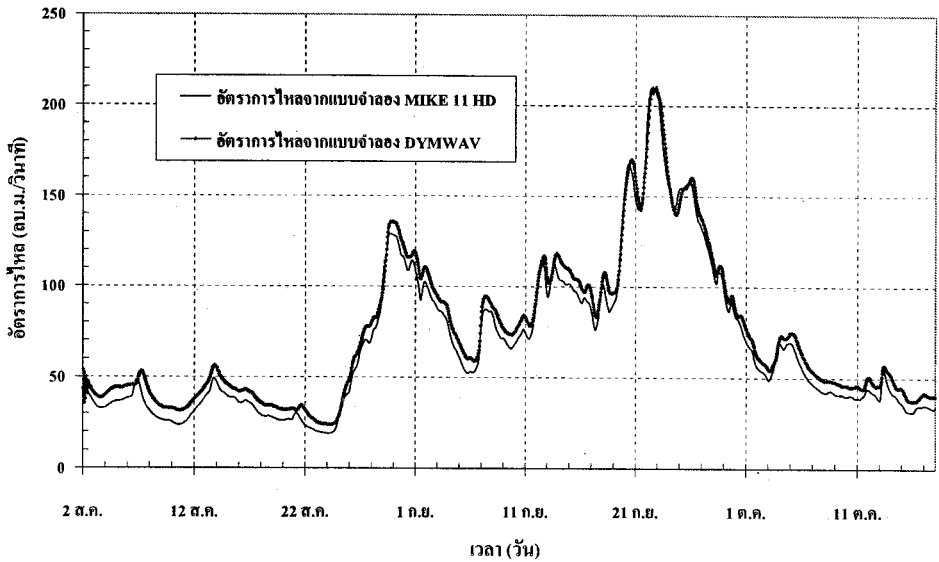
ผลการตรวจสอบความสามารถของแบบจำลอง DYMWAV

เพื่อการตรวจสอบความสามารถในการประเมินกราฟน้ำท่าของแบบจำลอง DYMWAV จึงได้นำแบบจำลอง MIKE 11 HD มาประยุกต์กับเหตุการณ์กราฟน้ำท่าเดียวกันของกลุ่มน้ำปิงตอนบน โดยใช้ข้อมูลด้านเข้าต่าง ๆ ชุดเดียวกันกับที่มีการประยุกต์ใช้กับแบบจำลอง DYMWAV ทั้งในส่วนของการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง DYMWAV จากนั้นนำผลการประเมินกราฟน้ำท่าของทั้งสองเหตุการณ์ในแต่ละสถานีวัดน้ำท่าทำการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองมาเปรียบเทียบกัน ผลการเปรียบเทียบระหว่าง กราฟน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลองทั้งสอง พบว่า กราฟน้ำท่าที่ได้จากทั้งสองแบบ

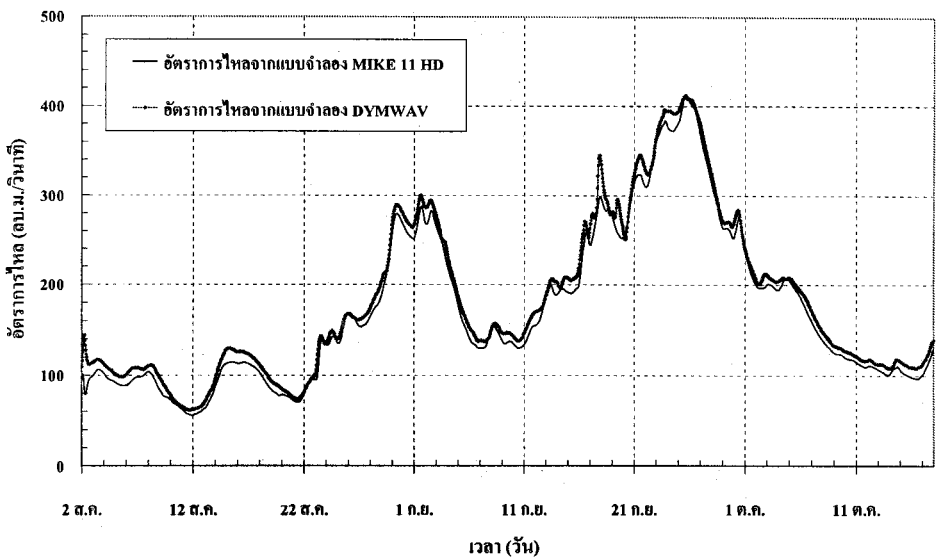
จำลองมีการสอดคล้องกันอยู่ในเกณฑ์ที่ดีมาก กล่าวคือ ผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ พบว่ามีค่าระหว่าง 0.986 – 0.996 ในกรณีการสอบเทียบ และมีค่าระหว่าง 0.995 – 0.997 ในกรณีการตรวจพิสูจน์ สำหรับค่า EI มีค่าระหว่าง 97.12 – 99.06 เปอร์เซ็นต์ ในกรณีการสอบเทียบ และมีค่าระหว่าง 96.6 – 98.82 เปอร์เซ็นต์ ในกรณีตรวจพิสูจน์ ผลการเปรียบเทียบกราฟน้ำท่าที่ได้จากการประเมินโดยแบบจำลองทั้งสองสำหรับการตรวจพิสูจน์แบบจำลองที่สถานีวัดน้ำท่า P.75, P.1, P.73 และสถานี PE.2 แสดงดังในภาพที่ 4 ถึงภาพที่ 7



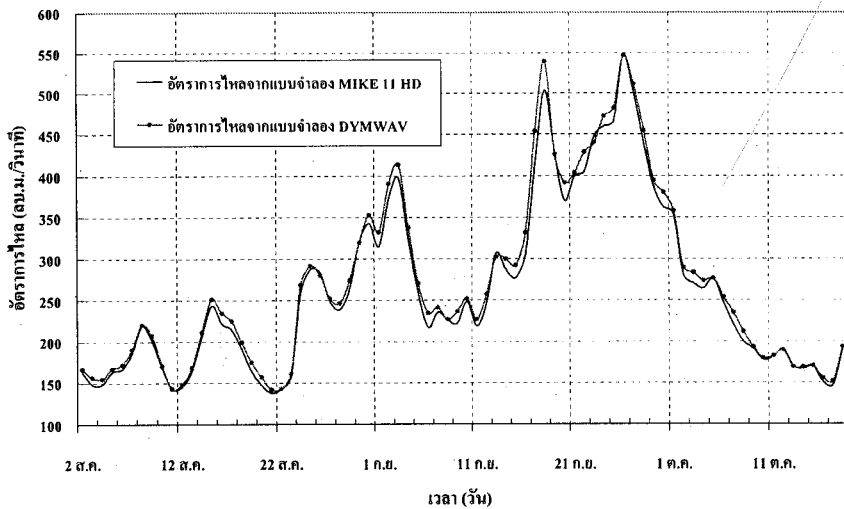
ภาพที่ 4 การเปรียบเทียบอัตราการไหลรายชั่วโมง ที่ได้จากแบบจำลอง DYM WAV กับที่ได้จากแบบจำลอง MIKE 11 HD ที่จุดพิจารณาสถานี P.75 กรณีตรวจพิสูจน์แบบจำลอง



ภาพที่ 5 การเปรียบเทียบอัตราการไหลรายชั่วโมง ที่ได้จากแบบจำลอง DYMWAV กับที่ได้จากแบบจำลอง MIKE 11 HD ที่จุดพิจารณาสถานี P.1 กรณีตรวจพิสูจน์แบบจำลอง



ภาพที่ 6 การเปรียบเทียบอัตราการไหลรายชั่วโมง ที่ได้จากแบบจำลอง DYMWAV กับที่ได้จากแบบจำลอง MIKE 11 HD ที่จุดพิจารณาสถานี P.73 กรณีตรวจพิสูจน์แบบจำลอง



ภาพที่ 7 การเปรียบเทียบอัตราการไหลรายวัน ที่ได้จากแบบจำลอง DYMWAV กับที่ได้จากแบบจำลอง MIKE 11 HD ที่จุดพิจารณาสถานี PE.2 กรณีตรวจพิสูจน์แบบจำลอง

สรุป

แบบจำลอง DYMWAV ซึ่งเป็นแบบจำลองคลื่นพลศาสตร์ที่ได้รับการพัฒนาในการศึกษา มีความสามารถในการจำลองสภาพการไหลที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาแบบหนึ่งมิติ ที่ได้รับผลกระทบจากการเกิดน้ำเห่อและการขึ้นลงของระดับน้ำทะเล จากการนำแบบจำลอง DYMWAV ไปประยุกต์กับพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน เพื่อตรวจสอบความสามารถในการเลียนแบบพฤติกรรมการณ์การไหลในกรณีที่ได้รับอิทธิพลจากการเกิดน้ำเห่อ พบว่า แบบจำลอง DYMWAV สามารถใช้จำลองสภาพการไหลในกรณีดังกล่าวได้เป็นอย่างดี ซึ่งพิสูจน์ได้จากผลการสอบเทียบและการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง โดยพิจารณาจากค่าทางสถิติของความเข้ากันได้ระหว่างกราฟน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลอง และกราฟน้ำท่าที่ได้จากการเก็บรวบรวมข้อมูล ณ สถานีวัดน้ำท่า ต่าง ๆ ในพื้นที่ศึกษา โดยสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ และ Efficiency Index มีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่สูง นอกจากนั้นแล้วได้ทำการเปรียบเทียบความสามารถของแบบจำลอง DYMWAV กับแบบจำลอง MIKE 11 HD ผลการเปรียบเทียบกราฟน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลองทั้งสองพบว่าใกล้เคียงกันมาก ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า แบบจำลอง DYMWAV มีประสิทธิภาพในการจำลองสภาพการไหลของน้ำในทางน้ำแบบหนึ่งมิติแบบไม่คงที่ตามเวลาได้เป็นอย่างดี อย่างไรก็ตาม ขีดความสามารถในการรับข้อมูลด้านเข้า การแสดงผลการคำนวณ ตลอดจนความสามารถในรายละเอียดบางด้านนั้นจัดว่าด้อยกว่าแบบจำลอง MIKE 11 HD เนื่องจากแบบจำลอง DYMWAV อยู่ในขั้นตอนของงานวิจัยนี้ซึ่งพร้อมที่จะได้รับการพัฒนาให้มีขีดความสามารถที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เพื่อนำมาใช้เป็นทางเลือกในการศึกษาด้านการจำลองแบบการเคลื่อนที่ของกราฟน้ำท่าในลำน้ำ การศึกษาด้านน้ำท่วม ตลอดจนการบรรเทาสภาวะน้ำท่วมของประเทศโดยไม่ต้องสูญเสียค่าใช้จ่ายในการจัดหาแบบจำลองด้านอุทก-พลศาสตร์มาประยุกต์ใช้งาน

เอกสารอ้างอิง

- Chatrcharoenmitr, V. 1977. **Flood Flow Computation in the Middle Chao Phraya River System**. [Master Thesis]. Bangkok: Asian Institute of Technology .
- Fread, D. L. 1973. Effect of Time Step Size in Implicit Dynamic Routing. **Water Resour.** 9, 2 : 338-351
- Maijer, Th.J. G. P., C. B. Vreugdenhil. and M. De Vries. 1965. A Method of Computation for Non-Stationary Flow in Open Channel Network. **Delft Hydraulics Laboratory Publication**. 34.
- Torranin, P. 1969. **A Tidal Mathematical Model of the Chao Phraya River**. [Master Thesis]. Bangkok: Asian Institute of Technology.
- Tingsanchali, T. and A. Arbhabhirama. 1978. Hydrodynamic Model of the Chao Phraya River System. **Research Report**. 81,I – III.
- Vatcharasinthu, C. 1977. **Preliminary Flood Control Investigation in The Lower Chao Phraya River**. [Master Thesis]. Bangkok: Asian Institute of Technology.