



KKU Engineering Journal

<http://www.en.kku.ac.th/enjournal/th/>

การจำลองการเดินเรือด้วยการใช้ข้อมูลอุทกพลศาสตร์จากแบบจำลอง HEC-RAS Shipping simulation using hydrodynamic data ascertained from HEC-RAS model

พรรณพิมพ์ พุทธิรักษา มะเปียม*

Punpim Puttaraksa Mapiam*

ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จังหวัดกรุงเทพมหานคร 10900

Department of Water Resources Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University, Bangkok, Thailand, 10900.

Received September 2012

Accepted June 2013

บทคัดย่อ

ข้อมูลอุทกพลศาสตร์ (ความเร็วและความลึกของน้ำ) ที่มีความถูกต้องสูงตลอดระยะทางและระยะเวลาการขนส่งทางน้ำ เป็นสิ่งที่จำเป็นยิ่งต่อการเดินเรือ การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์หลักคือ เพื่อต้องการพัฒนาเครื่องมือสำหรับการจำลองการเดินเรือ (ระยะเวลาการเดินทางไป-กลับ ของเรือแต่ละลำ จำนวนเที่ยวที่ต้องลำเลียงสินค้าในแต่ละวัน และช่วงเวลาการปล่อยเรือ) ที่สัมพันธ์กับสภาพอุทกพลศาสตร์จริงในแม่น้ำ โดยมีคลองปากสีย จ. กระบี่ เป็นพื้นที่ศึกษา สำหรับอันดับแรกของการศึกษาได้ประยุกต์ใช้แบบจำลอง HEC-RAS เพื่อประเมินสภาพอุทกพลศาสตร์สำหรับกรณีศึกษา 5 กรณี ที่ครอบคลุมลักษณะของน้ำขึ้น-น้ำลง ด้านทำน้ำของคลองปากสีย ต่อจากนั้นวิธีการทางคณิตศาสตร์สำหรับการสร้างเครื่องมือในการวิเคราะห์การเดินเรือได้ถูกพัฒนาขึ้น ผลลัพธ์จากแบบจำลอง HEC-RAS ทั้ง 5 กรณี ร่วมกับข้อมูลเงื่อนไขในการสัญจรทางน้ำของเรือ (ความเร็วของเรือ ระยะกินน้ำลึกของท้องเรือ และน้ำหนักบรรทุกของเรือ) ได้ถูกนำมาใช้ร่วมกันเพื่อทดสอบความน่าเชื่อถือของวิธีการที่พัฒนาขึ้น ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าเครื่องมือที่พัฒนาขึ้นสามารถจำลองเส้นทางการเดินเรือสำหรับเรือแต่ละลำที่มีการเปลี่ยนแปลงไปตามระยะทางและช่วงเวลาต่างๆ โดยมีความสอดคล้องกับสภาพอุทกพลศาสตร์และสภาพภูมิประเทศของแม่น้ำอย่างเป็นเหตุเป็นผล ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าเครื่องมือที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้มีประสิทธิภาพและสามารถนำไปใช้ประโยชน์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการวางแผนและบริหารจัดการการเดินเรือสำหรับพื้นที่ศึกษาอื่นได้ต่อไป

คำสำคัญ : การเดินเรือ อุทกพลศาสตร์ แบบจำลอง HEC-RAS เรือขนส่งสินค้า

Abstract

High accuracy of hydrodynamic data (Flow velocity and depth) changing with time and distance along the transportation route are significantly necessary for the shipping. This paper aims to develop a tool for shipping simulation (Total traveling time of each barge for departing from and arriving in the pier, number of ships for transporting per day, and a suitable time for launching the independent barge) related with the

* Corresponding author. Tel.:
Email address: fengppm@ku.ac.th

hydrodynamic behaviour in the river. KlongPakasai located in Krabi province, Thailand was selected as a study area. To undertake this research, HEC-RAS model was first applied for hydrodynamic estimation in 5 scenarios covering possibly tidal ranges at the downstream of KlongPakasai. Thereafter, the algorithm for developing a tool on assessing the shipping was created. All results gained from the HEC-RAS and the barge conditions of the shipment (Speed, draft and capacity of barge) were together used for verifying the algorithm. Results explicitly appear that the proposed technique can produce the time travelling of individual barge as spatial and temporal variation. The mentioned results also reasonably correspond to the hydrodynamic and topographical data of the study area. This could be concluded that the developed tool can efficiently be applied for further improving the accuracy on shipping planning and management for the other target area.

Keywords : Shipping, hydrodynamic, HEC-RAS model, Barge

1. บทนำ

ระบบการคมนาคมขนส่งทางแม่น้ำลำคลองนับได้ว่ามีความสำคัญไม่แพ้การขนส่งประเภทอื่น โดยส่วนมากใช้ขนส่งสินค้าที่มีน้ำหนักมากและไม่ต้องการความเร็วในการจัดส่งมากนัก ถึงแม้ว่าในปัจจุบันนี้การขนส่งทางแม่น้ำลำคลองจะมีความสำคัญน้อยลงกว่าในอดีต เนื่องจากมีความล่าช้ากว่าการขนส่งทางถนน อย่างไรก็ตาม ในกรณีที่มีสินค้าที่มีน้ำหนักมากและมีแหล่งผลิตอยู่ใกล้กับแม่น้ำลำคลอง การขนส่งทางแม่น้ำลำคลองก็ยังคงมีความสำคัญอยู่มาก เช่น การขนส่งข้าว พืชไร่ ไร่ ไม้ซุง หิน กรวด หวาย และถ่านหิน เป็นต้น โดยปัจจัยสำคัญที่มีผลกระทบต่อ การขนส่งทางแม่น้ำ คือสภาพทางอุทกพลศาสตร์ของทางน้ำ อันประกอบด้วย ระดับน้ำ อัตราการไหล ทิศทางการไหล และความเร็วของกระแสน้ำ ซึ่งสภาพอุทกพลศาสตร์ต่างๆ ดังกล่าว จะมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาและระยะทางต่างๆ ตลอดทางน้ำ โดยขึ้นอยู่กับ สภาพภูมิประเทศของแม่น้ำ เช่น ขนาด ความกว้าง, ความลึก, ความคดเคี้ยว, ความลาดชันท้องน้ำ, ระดับท้องน้ำ และอิทธิพลของการขึ้น-ลงของระดับน้ำทะเล เป็นสำคัญ ถ้าการขนส่งปราศจากข้อมูลสภาพอุทกพลศาสตร์และสภาพภูมิประเทศของแม่น้ำที่

ถูกต้องแล้ว จะส่งผลต่อการใช้เรือขนส่งสินค้าที่มีขนาดไม่เหมาะสมกับทางน้ำ รวมถึงการประเมินเวลาในการขนส่งที่ผิดพลาด และอาจเกิดปัญหาความล่าช้าในการขนส่งสินค้ารวมถึงต้นทุนที่สูงขึ้นด้วย

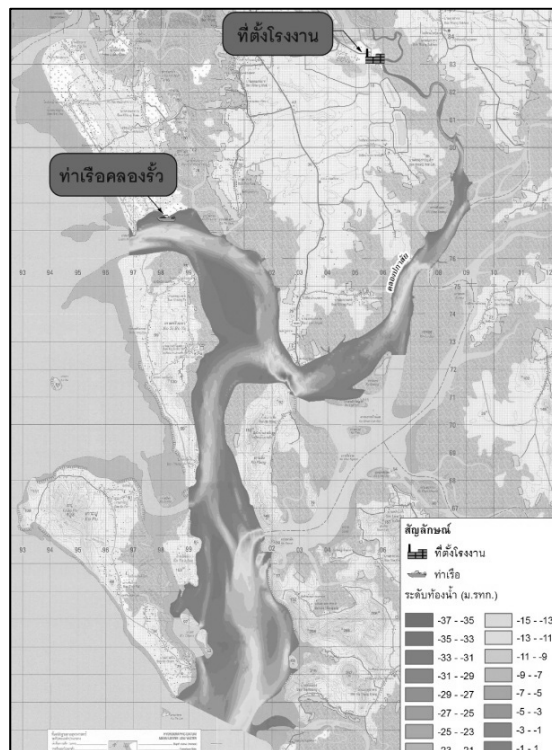
ขนาดของเรือขนส่งโดยปกติจะถูกกำหนดจากสภาพภูมิประเทศโดยเฉลี่ยของแม่น้ำซึ่งได้จากผลการสำรวจภาคสนาม สำหรับระยะเวลาที่ใช้ในการขนส่งต่อเที่ยวจะคำนวณจากการพิจารณาความเร็วของเรือ และความเร็วของกระแสน้ำเฉลี่ยตลอดทั้งทางน้ำ จากนั้นเมื่อได้ระยะเวลาการเดินทางเรือก็สามารถคำนวณจำนวนเที่ยวเรือสำหรับขนส่งสินค้าต่อวันได้ อย่างไรก็ตามในสภาพความเป็นจริงแล้ว สภาพทางอุทกพลศาสตร์และภูมิประเทศมีการเปลี่ยนแปลงทั้งตามพื้นที่และเวลา [1, 2] การใช้เพียงค่าเฉลี่ยดังกล่าวอาจมีข้อผิดพลาดได้มาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในแม่น้ำขนาดเล็กที่มีความคดเคี้ยว และมีการเปลี่ยนแปลงขนาดทางน้ำอย่างมาก อีกทั้งถ้าแม่น้ำสายนั้นไหลลงสู่ทะเลก็จะได้รับผลกระทบจากการขึ้นลงของระดับน้ำทะเลอีกด้วย เพื่อให้เกิดผลประโยชน์สูงสุดต่อการขนส่งสินค้าทางน้ำ จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทราบสภาพทางชลศาสตร์ที่ระยะทางต่างๆ ตลอดเส้นทางแม่น้ำลำคลองที่จะใช้สัญจรแทนการใช้

ค่าเฉลี่ย เพื่อนำมากำหนดขนาดของเรือที่เหมาะสมและจำนวนเที่ยวเรือในการลำเลียงเพื่อให้สินค้าเพียงพอต่อความต้องการของแหล่งผลิตต่างๆ ได้อย่างมีความถูกต้องมากขึ้น

แบบจำลองอุทกพลศาสตร์แบบ 1 มิติ (One dimensional hydrodynamic model) ได้รับการยอมรับว่าเป็นเครื่องมือประเภทหนึ่งที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการประเมินสภาพอุทกพลศาสตร์ที่มีการเปลี่ยนแปลงในทิศทางตามแนวความยาวของแม่น้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ [2, 3, 4, 5] ดังนั้นในการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์สำคัญคือ เพื่อต้องการประยุกต์ใช้ผลการประเมินความเร็วกระแสน้ำและความลึกน้ำที่ระยะทางต่างๆ ที่ได้จากแบบจำลอง HEC-RAS ไปคำนวณการเดินเรือที่สัมพันธ์กับสภาพการไหลในแม่น้ำ ซึ่งประกอบด้วย ระยะเวลาการเดินทางไป-กลับ ของเรือแต่ละลำ จำนวนเที่ยวที่ต้องลำเลียงสินค้าในแต่ละวัน และช่วงเวลาการปล่อยเรือแต่ละลำให้สอดคล้องกับการขึ้นลงของระดับน้ำ

2. พื้นที่ศึกษา

ในการศึกษานี้ได้จำลองการขนถ่ายสินค้าจากจุดขนถ่าย ณ ท่าเรือคลองรั้ว อ. เหนือคลอง จ. กระบี่ เพื่อขนถ่ายสินค้าจากจุดขนถ่ายผ่านคลองปากส้ายไปยังโรงงานที่ตั้งอยู่บริเวณริมคลองปากส้าย รวมระยะทางการขนส่งจากจุดขนถ่ายสินค้าถึงจุดที่ตั้งโรงงานประมาณ 40 กิโลเมตร จากการพิจารณาสภาพภูมิประเทศพบว่า ขนาดลำน้ำบริเวณต้นน้ำค่อนข้างตื้น คับแคบและคดเคี้ยว นอกจากนี้ทางด้านท้ายน้ำบริเวณปากแม่น้ำได้รับอิทธิพลจากการขึ้น-ลงของระดับน้ำจากทะเล ดังแสดงสภาพภูมิประเทศของคลองปากส้ายในรูปที่ 1



รูปที่ 1 สภาพภูมิประเทศของคลองปากส้าย

3. แบบจำลอง HEC-RAS

แบบจำลอง HEC-RAS [6] ซึ่งถูกพัฒนาขึ้นโดยศูนย์วิศวกรรมอุทกวิทยา หน่วยทหารช่าง กองทัพบกสหรัฐอเมริกา (Hydrologic engineering center (HEC), U.S. army corp of engineer) เป็นแบบจำลองอุทกพลศาสตร์แบบ 1 มิติ ประเภทที่ไม่มีการจดทะเบียนลิขสิทธิ์ (Public domain model)

สำหรับใช้ในการวิเคราะห์การไหลในลำน้ำที่เปลี่ยนแปลงไปตามความยาวของทางน้ำ (เปลี่ยนแปลงใน 1 มิติ) ที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา (Unsteady flow) โดยแบบจำลอง HEC-RAS ได้รับความนิยมโดยถูกนำมาประยุกต์ใช้งานทางด้านวิศวกรรมทรัพยากรน้ำอย่างกว้างขวางทั้งในต่างประเทศและประเทศไทย [7, 8, 9] สำหรับสมการที่ใช้ในการวิเคราะห์การไหลที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาแบบ 1 มิติ คือ สมการเซนทิวเอนท์ (St. venant equations) ซึ่งประกอบด้วย 2 สมการย่อยคือ

สมการต่อเนื่อง (Continuity equation) และสมการโมเมนตัม (Momentum equation) ดังแสดงรายละเอียดในสมการที่ (1) และ (2) ตามลำดับ

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

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

เมื่อ x คือ ระยะทางในแนวราบตามแนวทางน้ำ และแม่น้ำ, t คือเวลา, Q คืออัตราการไหล, A คือหน้าตัดขวางของการไหล, q คือปริมาณการไหลเข้าด้านข้าง (Lateral inflow) ต่อหนึ่งหน่วยความยาวของทางน้ำ, h คือระดับผิวน้ำ, v_x คือความเร็วของปริมาณการไหลเข้าด้านข้างในทิศทางของการไหลในทางน้ำ, S_f คือความลาดชันของความเสียดทาน (Friction slope), S_c คือความลาดชันของ Eddy loss, B คือความกว้างของทางน้ำที่ผิวน้ำ, W_f คือแรงเฉือนเนื่องจากลม (Wind shear force), β คือแฟกเตอร์ปรับค่าโมเมนตัม (Momentum correction factor) และ g คือความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง

4. การประยุกต์ใช้แบบจำลอง HEC-RAS เพื่อจำลองสภาพอุทกพลศาสตร์

เพื่อต้องการจำลองสภาพอุทกพลศาสตร์ของการไหลในคลองปกาสัย สำหรับการวิเคราะห์การเดินเรือที่เหมาะสมในคลองปกาสัยนั้น ในการศึกษาครั้งนี้ได้พิจารณาเฉพาะกรณีที่มีการไหลในคลองปกาสัยอยู่ในปริมาณต่ำ (Low flow) เท่านั้น เนื่องจากกรณีดังกล่าวเป็นกรณีวิกฤติที่จะก่อให้เกิดอุปสรรคต่อการเดินเรือมากที่สุด โดยได้พิจารณาจำลองสถานการณ์ว่ามีปริมาณการไหลเข้ามาจากลุ่มน้ำย่อยต่างๆ ในลักษณะคงที่ ที่เท่ากับปริมาณการไหลเฉลี่ยที่เกิดขึ้นในช่วงฤดูแล้ง (ธ.ค.-พ.ค.) สำหรับแต่ละลุ่มน้ำ

4.1 ข้อมูลนำเข้าของแบบจำลอง

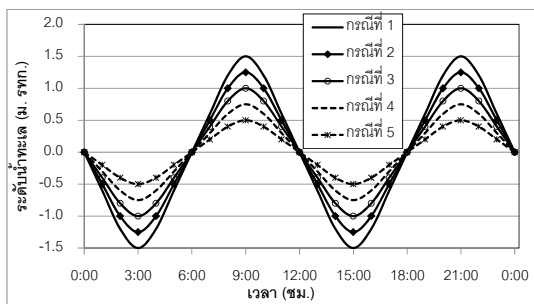
(1) ข้อมูลเงื่อนไขขอบเขตทางด้านเหนือน้ำ (Upstream boundary condition) ของแบบจำลอง ณ บริเวณจุดที่ตั้งโรงงาน (พื้นที่ลุ่มน้ำประมาณ 312 ตร.กม.) ซึ่งโดยปกติแล้วต้องกำหนดจากข้อมูลการตรวจวัดอย่างไรก็ตาม ณ บริเวณดังกล่าวไม่มีสถานีวัดน้ำพำตั้งอยู่ในการศึกษาครั้งนี้ได้ย้ายข้อมูลน้ำพำจากสถานี X.132 (พื้นที่ลุ่มน้ำประมาณ 161 ตร.กม.) ซึ่งตั้งอยู่ทางเหนือน้ำมายังจุดพิจารณาด้วยการนำข้อมูลน้ำพำ ณ สถานี X.132 คูณด้วยแฟกเตอร์ปรับค่า จากการพิจารณาสภาพลุ่มน้ำของทั้ง 2 จุดพิจารณา พบว่าค่าปริมาณน้ำพำรายปีเฉลี่ยต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ (Annual specific yield) มีค่าค่อนข้างสม่ำเสมอ ดังนั้น ค่าแฟกเตอร์ปรับค่าสามารถคำนวณได้จากอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ลุ่มน้ำของจุดพิจารณาต่อพื้นที่ลุ่มน้ำของสถานี X.132 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.94[10] เพื่อเป็นปริมาณน้ำพำ ณ จุดที่ตั้งโรงงาน สำหรับผลการวิเคราะห์ปริมาณการไหลเฉลี่ยในช่วงฤดูแล้ง (ธ.ค.-พ.ค.) ณ ที่ตั้งโรงงาน มีค่าประมาณ 5 ลบ.ม./วินาที ได้ถูกนำไปใช้เป็นข้อมูลเงื่อนไขขอบเขตด้านเหนือน้ำให้แบบจำลองฯ ในลักษณะคงที่ ซึ่งจากการวิเคราะห์ Flow duration curve ณ บริเวณจุดที่ตั้งโรงงาน พบว่าโอกาสที่จะเกิดปริมาณน้ำพำที่เท่ากับหรือมากกว่า 5 ลบ.ม./วินาทีที่มีค่าประมาณ 60% ของเวลา ซึ่งจัดอยู่ในเกณฑ์การไหลขั้นต่ำตามวัตถุประสงค์การจำลองการไหล

(2) ข้อมูลการวิเคราะห์ด้านอุทกศาสตร์ เพื่อให้ในการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตทางด้านท้ายน้ำ (Downstream boundary condition) ของแบบจำลอง อย่างไรก็ตาม ณ บริเวณปากแม่น้ำคลองปกาสัยไม่มีสถานีด้านอุทกศาสตร์ตั้งอยู่ ดังนั้นจึงได้ใช้ข้อมูลระดับน้ำทะเล ณ บริเวณปากน้ำกระบี่ ที่ตรวจวัดโดยกรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ ซึ่งตั้งอยู่ใกล้พื้นที่ศึกษามากที่สุด มาใช้ในการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตด้านท้ายน้ำสำหรับคลองปกาสัยนี้ ผลจากการวิเคราะห์ข้อมูลระดับน้ำ

ดังกล่าว ได้เลือกค่าระดับทะเลสำหรับใช้กำหนดเงื่อนไขขอบเขตด้านท้ายน้ำทั้งหมด 5 กรณี เพื่อให้ครอบคลุมลักษณะของน้ำขึ้น-น้ำลงใน 1 วัน ดังแสดงในตารางที่ 1 และรูปที่ 2

ตารางที่ 1 ค่าระดับน้ำทะเลสูงสุดและต่ำสุดสำหรับกรณีศึกษาต่างๆ

ระดับน้ำทะเล	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2	กรณีที่ 3	กรณีที่ 4	กรณีที่ 5
สูงสุด (ม.รทก.)	1.50	1.25	1.00	0.75	0.50
ต่ำสุด (ม.รทก.)	-1.50	-1.25	-1.00	-0.75	-0.50



รูปที่ 2 ระดับน้ำทะเลที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาสำหรับกรณีศึกษาต่างๆ

(3) ข้อมูลปริมาณการไหลเข้าด้านข้าง (q) ที่ไหลมาจากพื้นที่ลุ่มน้ำระหว่างจุดพิจารณาด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำ (พื้นที่ลุ่มน้ำประมาณ 292 ตร.กม.) ได้กำหนดให้มีค่าประมาณ 5 ลบ.ม./วินาที ซึ่งได้ถูกประเมินด้วยหลักการเดียวกับการประเมินเงื่อนไขขอบเขตด้านเหนือน้ำ

(4) ข้อมูลรูปตัดตามขวาง (Cross section) ของคลองปากส้ายตั้งแต่ท่าเรือคลองรั้วจนถึงจุดที่ตั้งโรงงานสำหรับทุกระยะ 100 ม. จำนวน 398 รูปตัดดังแสดงในรูปที่ 3

(5) ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของลำน้ำ (Manning's n) เป็นพารามิเตอร์ควบคุมสำหรับแบบจำลอง HEC-RAS ซึ่งแท้ที่จริงแล้วต้องถูกประเมินจากการเปรียบเทียบแบบจำลอง (Model calibration) อย่างไรก็ตามเนื่องจากไม่มีสถานีวัดน้ำของหน่วยงานใดตั้งอยู่ในคลองปากส้าย ประกอบกับบทความนี้มุ่งประเด็นไปที่การนำผลการศึกษาจากแบบจำลอง HEC-RAS ไปพัฒนา

วิธีการคำนวณการเดินเรือเป็นหลัก ดังนั้นในการศึกษานี้ได้สมมติให้ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของลำน้ำของคลองปากส้าย มีค่าประมาณ 0.03 ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของแม่น้ำธรรมชาติ [11] มาใช้จำลองสภาพการไหลตลอดทางน้ำ

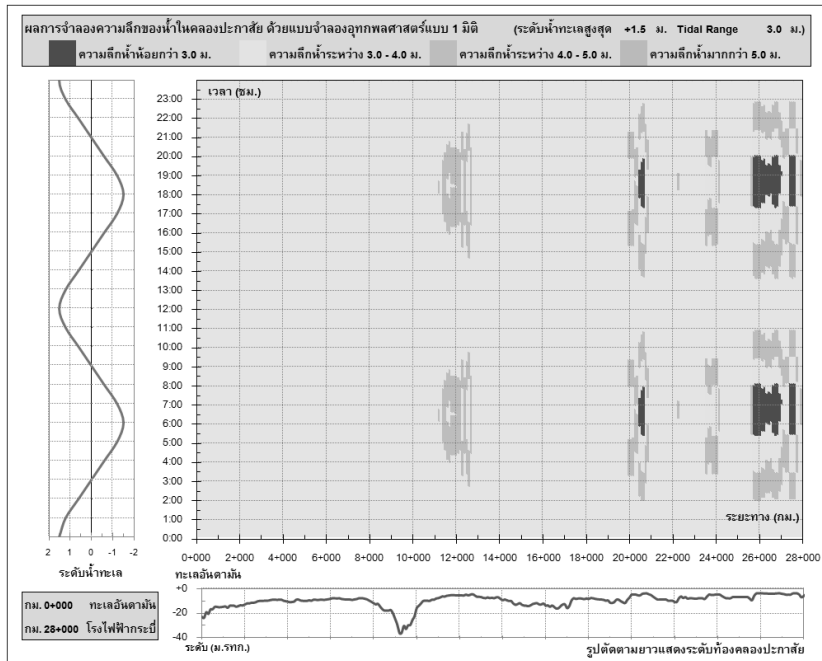


รูปที่ 3 การจัดทำแนวรูปตัดขวางลำน้ำเพื่อใช้ในแบบจำลอง HEC-RAS

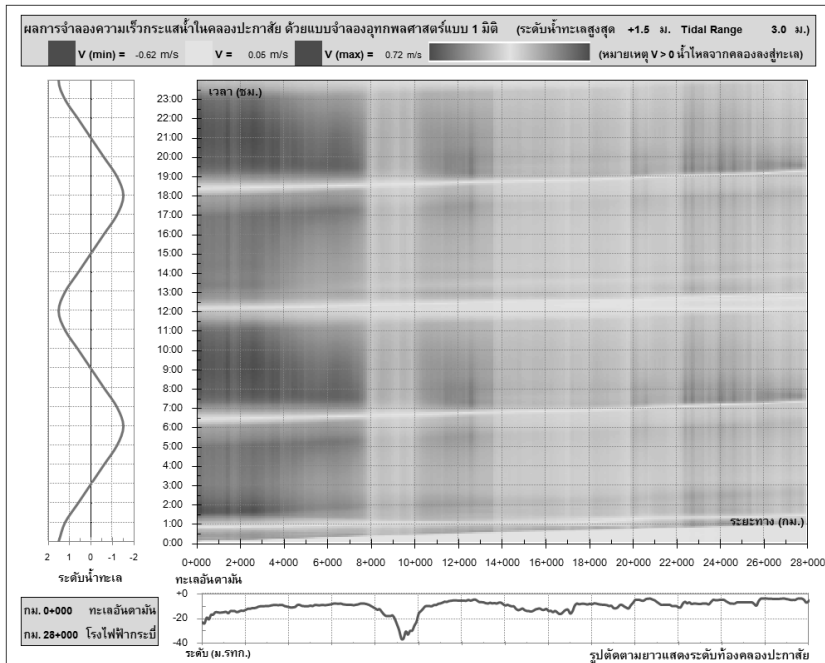
4.2 ผลการวิเคราะห์สภาพอุทกศาสตร์ในคลองปากส้าย

จากข้อมูลนำเข้าทั้งหมดข้างต้น ได้ทำการศึกษาสภาพการไหลในคลองปากส้ายโดยแบ่งเป็น 5 กรณี ตามตารางที่ 1 โดยผลการศึกษาที่ได้จะนำเสนอในรูปแบบของความลึกของน้ำและความเร็วกระแสน้ำ ที่ตำแหน่งและเวลาต่างๆ ในรูปแบบของเมตริก (Matrix) ดังแสดงตัวอย่างผลการศึกษากรณีที่ 1 ในรูปที่ 4 ผลการศึกษาเมตริกของความลึกน้ำ แสดงให้เห็นถึงความลึกของน้ำที่สัมพันธ์กับเงื่อนไขด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำ ตลอดจนสภาพภูมิประเทศของคลองปากส้าย โดยได้แบ่งช่วงความลึกของน้ำเป็น 4 ระดับ และแสดงด้วยแถบสีต่างๆ ดังนี้คือ สีแดงคือบริเวณที่มีความลึกน้อยกว่า 3.0 ม. ซึ่งไม่สามารถทำการเดินเรือได้ สีเหลืองคือความลึกระหว่าง 3.0-4.0 ม. ซึ่งเรือบางประเภทจะสัญจรไม่ได้ สำหรับสีฟ้าคือความลึก 4.0-5.0 ม. ซึ่งคือจุดที่ควรมีการเฝ้าระวัง และสีเขียวคือความลึกของน้ำมากกว่า 5.0 ม. เรือสามารถสัญจรได้อย่างปลอดภัย ดังแสดงในรูปที่ 4 (ก)

ก) ความลึกน้ำที่เวลาต่างๆ กรณีศึกษาที่ 1



ข) ความเร็วกระแสน้ำที่เวลาต่างๆ กรณีศึกษาที่ 1



รูปที่ 4 การไหลของน้ำในคลองประกาศัย กรณีศึกษาที่ 1

จากการศึกษาทั้ง 5 กรณีพบว่าในช่วงเวลาที่น้ำทำในคลองปกาสัยมีปริมาณต่ำดังเช่นการศึกษานี้ การขึ้น-ลงของระดับน้ำทะเลด้านท้ายน้ำจะส่งผลกระทบต่อระดับน้ำสำหรับการสัญจรทางเรือในคลองปกาสัย โดยกรณีที่ 1 (ระดับน้ำทะเลขึ้นและลงสูงสุด) สำหรับช่วงเวลาที่ระดับน้ำทะเลลดลงก่อให้เกิดสภาวะวิกฤติที่เรือไม่สามารถสัญจรทางน้ำเป็นระยะทางและช่วงเวลามากที่สุด โดยแสดงเป็นแถบสีแดงที่มีพื้นที่มากที่สุดเมื่อเทียบกับกรณีอื่นๆ และพื้นที่แถบสีแดงจะลดลงในกรณีที่ 2 กรณีที่ 3 และกรณีที่ 4 จนกระทั่งจะไม่พบพื้นที่แถบสีแดงเลยในผลการศึกษากกรณีที่ 5 (ระดับน้ำทะเลขึ้นและลงต่ำสุด) แต่จะเปลี่ยนเป็นพื้นที่แถบสีเหลืองและสีฟ้าที่มีขนาดมากกว่ากรณีอื่นแทน

ผลการศึกษาทั้ง 5 กรณี สามารถสรุปได้ว่าในคลองปกาสัยตลอดช่วงลำน้ำต้องมีการเฝ้าระวังการเดินทางเรืออยู่ทั้งหมด 4 ช่วง คือ ช่วงที่ 1 เริ่มตั้งแต่ กม.ที่ 11+400 ถึง 12+700 ช่วงที่ 2 เริ่มตั้งแต่ กม.ที่ 20+000 ถึง 20+900 ช่วงที่ 3 เริ่มตั้งแต่ กม.ที่ 23+600 ถึง 24+100 และช่วงที่ 4 เริ่มตั้งแต่ กม.ที่ 25+800 ถึง 28+000

สำหรับผลการศึกษาความเร็วของกระแสน้ำในคลองปกาสัย ที่เปลี่ยนแปลงไปตามช่วงเวลาและระยะทางต่างๆ ได้แสดงในลักษณะของแถบสีต่างๆ ด้วยสีเขียว สีเหลือง และสีแดง สำหรับเป็นตัวแทนค่าความเร็วสูงสุด เฉลี่ย และต่ำสุดที่เกิดขึ้นในแต่ละกรณีศึกษาตามลำดับ โดยทิศทางของกระแสน้ำจะแสดงด้วยเครื่องหมายบวกหรือลบ ถ้าความเร็วมีค่าเป็นบวก ทิศทางการไหลของน้ำไหลจากคลองปกาสัยออกสู่ทะเล แต่ถ้าความเร็วติดลบ ทิศทางการไหลของน้ำไหลจากทะเลเข้าสู่คลองปกาสัย ดังแสดงในรูปที่ 4 (ข) จากการศึกษทั้ง 5 กรณี แสดงให้เห็นว่าช่วงเวลาที่ระดับน้ำทะเลลดลง กระแสน้ำมีทิศทางการไหลออกสู่ทะเลซึ่งจะตรงข้ามกับช่วงเวลาที่ระดับน้ำทะเลขึ้น น้ำทะเลจะไหลเข้าสู่คลอง

ปกาสัย โดยอิทธิพลของกระแสน้ำจะลดลงเมื่อระยะทางที่การไหลเข้าสู่คลองปกาสัยมากขึ้น อย่างไรก็ตาม ในตำแหน่งที่ตั้งโรงงานยังอยู่ในอิทธิพลของการขึ้น-ลงของระดับน้ำทะเล สำหรับผลการวิเคราะห์ความเร็วกระแสน้ำสำหรับกรณีที่ 1 มีความเร็วอยู่ในช่วง 0.72 ถึง -0.62 กรณีที่ 2 มีความเร็วอยู่ในช่วง 0.63 ถึง -0.52 กรณีที่ 3 มีความเร็วอยู่ในช่วง 0.53 ถึง -0.44 กรณีที่ 4 มีความเร็วอยู่ในช่วง 0.42 ถึง -0.35 และกรณีที่ 5 มีความเร็วอยู่ในช่วง 0.30 ถึง -0.24

5. การจำลองการเดินทางเรือในคลองปกาสัย

5.1 การกำหนดเงื่อนไขการจำลองการเดินทางเรือ

จากการศึกษาด้วยแบบจำลอง HEC-RAS ในทุกกรณีข้างต้น ผลของความลึกน้ำและความเร็วกระแสน้ำที่จุดต่างๆ สำหรับทุกระยะทาง (Δx) 100 ม. และทุกช่วงเวลา (Δt) 5 นาที ตลอดระยะเวลาศึกษา 1 วัน ได้นำมาสู่การจำลองการเดินทางเรือในคลองปกาสัยที่สัมพันธ์กับพฤติกรรมกรไหลของน้ำทั้ง 5 กรณี เพื่อประเมินระยะเวลาเดินทางไป-กลับ ของเรือแต่ละลำ จำนวนเที่ยวที่ต้องลำเลียงสินค้าในแต่ละวัน และช่วงเวลาการปล่อยเรือแต่ละลำให้สอดคล้องกับการขึ้นลงของระดับน้ำ เป็นสำคัญ โดยมีเงื่อนไขของการศึกษาดังนี้

(1) กำหนดประเภทของเรือขนถ่ายสินค้าไว้ 2 ชนิด โดยความลึกของท้องเรือคือเงื่อนไขหลักว่าเรือจะสามารถผ่านจุดที่น้ำตื้นได้หรือไม่สำหรับเรือแบบที่ 1 มีน้ำหนักบรรทุก 1,300 ตัน ท้องเรือกินน้ำลึก 3.0 ม. และ 2.0 ม. ในการเดินทางขาไปและกลับจากโรงงาน ตามลำดับ สำหรับเรือแบบที่ 2 มีน้ำหนักบรรทุก 3,000 ตัน ท้องเรือกินน้ำลึก 4.0 ม. และ 2.5 ม. ในการเดินทางขาไปและกลับจากโรงงาน ตามลำดับ

(2) ความเร็วในการเดินเครื่องยนต์ของเรือทั้ง 2 ประเภท สำหรับการเดินทางขาไปมี 2 กรณี คือความเร็ว

3 นี้อต และ 4 นี้อต ส่วนขากลับใช้ความเร็วค่าเดียวคือ 4 นี้อต

(3) กำหนดให้ทำการปล่อยเรือในทุก 1 ชั่วโมง เพื่อศึกษาระยะเวลาการเดินทางเรือ (ทั้งขาไป-กลับ) ที่สัมพันธ์กับการขึ้น-ลงของระดับน้ำทะเล โดยจากการพิจารณาข้อมูลระดับน้ำทะเล พบว่าจะมีลักษณะเป็น sine wave ซึ่งมีรอบการวนซ้ำในทุกๆ 12 ชั่วโมงดังนั้นได้จำลองเหตุการณ์โดยปล่อยเรือจำนวน 12 ลำ ติดต่อกัน (เริ่ม 6:00 น. ถึง 18:00 น.) เพื่อให้ครอบคลุมรูปแบบการขึ้น-ลงของน้ำทะเลใน 1 วัน และให้ได้แนวทางการปล่อยเรือที่ใช้ระยะเวลาการเดินทางน้อยที่สุดสำหรับการใช้ในการลำเลียงสินค้าให้เพียงพอต่อความต้องการต่อไป

5.2 ขั้นตอนการจำลองการเดินทางเรือ

ขั้นตอนที่สำคัญสำหรับการวิเคราะห์การเดินทางเรือที่พัฒนาขึ้นในการศึกษานี้ สามารถสรุปได้ดังนี้

(1) การประเมินระยะเวลาการเดินทางไปยังโรงงานของเรือแต่ละลำ สามารถทำได้โดยการรวบรวมผลการวิเคราะห์ความเร็วกระแสน้ำ และความลึกน้ำที่ได้จากแบบจำลอง HEC-RAS ประกอบกับการกำหนดข้อมูลเงื่อนไขความลึกน้ำต่ำสุดที่เรือจะเดินทางได้ (ถ้าความลึกน้ำไม่ผ่านเกณฑ์ เรือจะต้องหยุดที่จุดเดิมรอจนกว่าระดับน้ำจะได้ตามเกณฑ์) และความเร็วในการเดินเครื่องยนต์ของเรือ (ในน้ำนิ่ง) ดังแสดงรายละเอียดการคำนวณในรูปที่ 5

(2) การประเมินจำนวนเที่ยวที่ต้องลำเลียงสินค้าในแต่ละวัน สามารถคำนวณได้จากการพิจารณาปริมาณสินค้าที่ทางโรงงานต้องการใน 1 วัน และปริมาณสินค้าที่สามารถขนส่งได้ต่อเที่ยว (แตกต่างกันตามประเภทเรือ) โดยมีเงื่อนไขสำคัญว่าเวลาของการเดินทางไปถึงโรงงานของเรือลำสุดท้ายต้องไม่เกิน 1 วัน เมื่อนับจากเวลาการปล่อยเรือลำแรกจากจุดขนถ่ายกลางทะเล

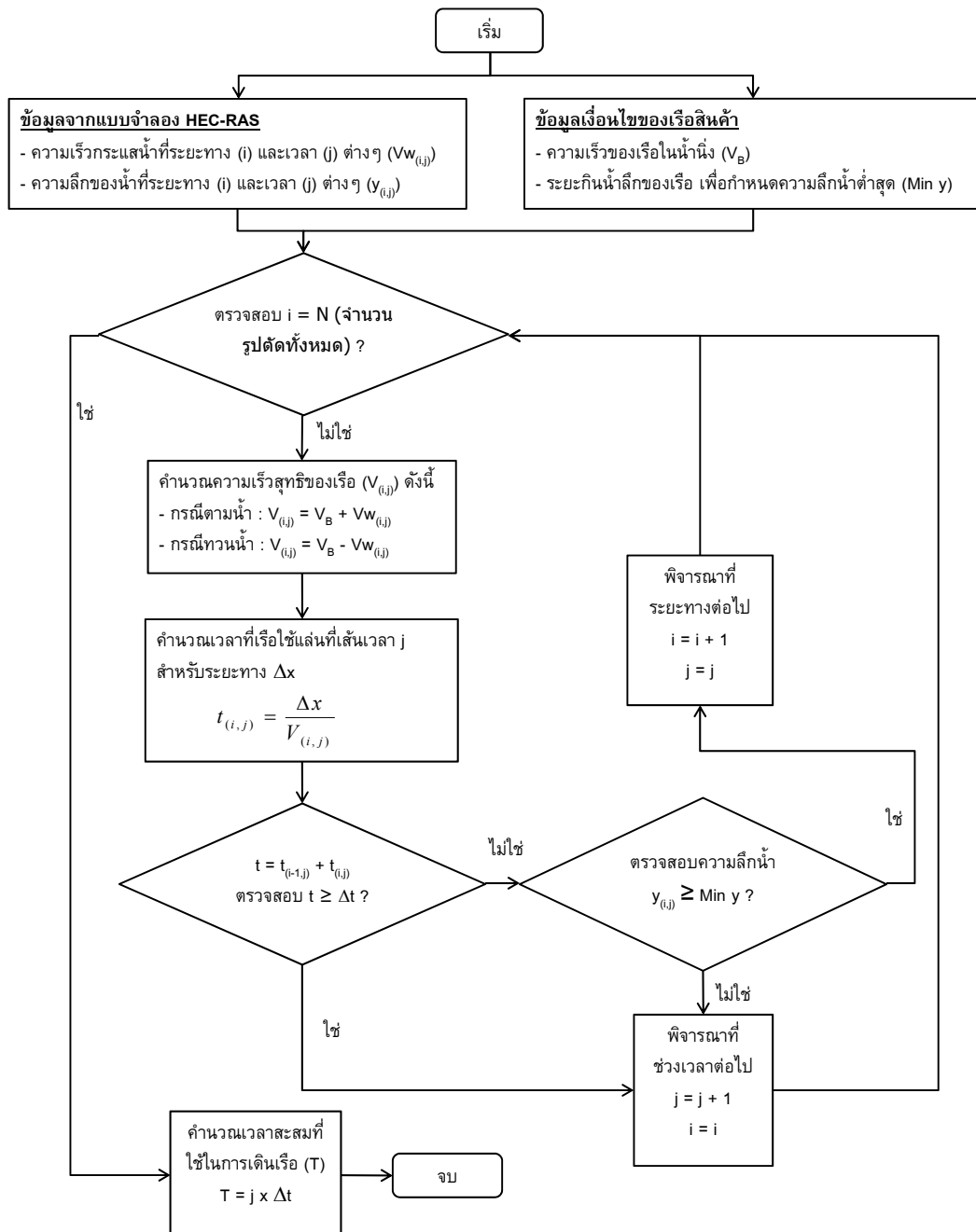
(3) การประเมินช่วงเวลากการปล่อยเรือแต่ละลำให้สอดคล้องกับการขึ้นลงของระดับน้ำ สามารถประเมินได้จากผลการทดลองปล่อยเรือทั้ง 12 ลำ ในช่วงเวลาต่างๆ ซึ่งผลการศึกษาจะทำให้ทราบว่าการปล่อยเรือในช่วงเวลาใดจะเกิดอุปสรรคให้เรือต้องหยุดรอ (หยุดเมื่อระดับน้ำบริเวณนั้นต่ำกว่าระยะกินน้ำลึกของเรือ) มากหรือน้อยเพียงใด เพื่อนำไปสู่การหลีกเลี่ยงช่วงเวลาดังกล่าวในการปล่อยเรือสำหรับการขนส่งจริง

6. ผลการทดสอบการจำลองการเดินทางเรือ

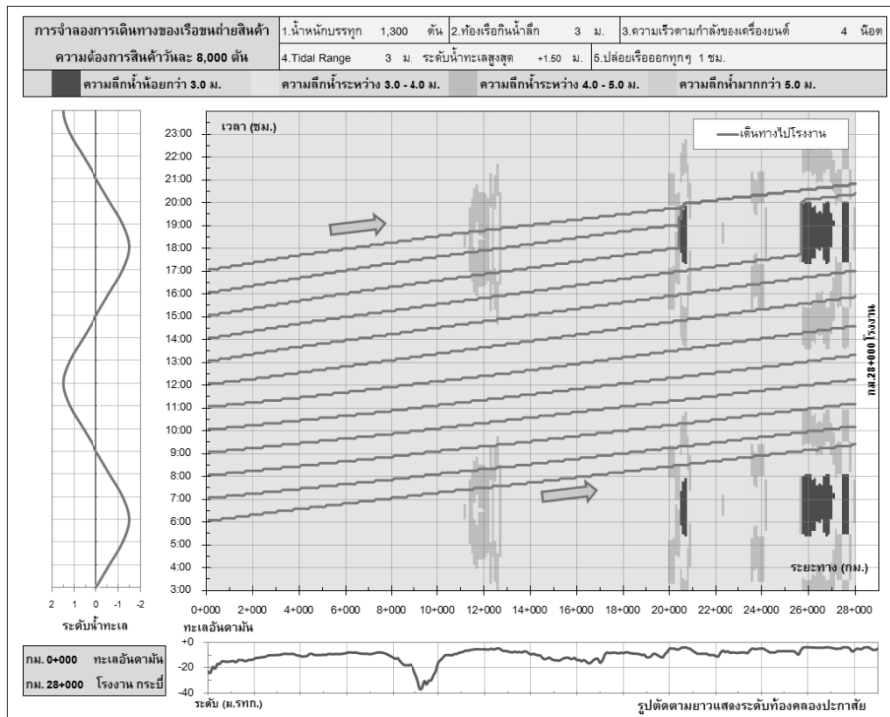
ผลการศึกษาจำแนกออกเป็น 2 ลักษณะคือ 1) ผลการศึกษาการเดินทางเรือจากปากอ่าวไปยังโรงงาน (ขาไป) และ 2) ผลการศึกษาการเดินทางเรือจากโรงงานไปยังปากอ่าว (ขากลับ) ดังแสดงตัวอย่างผลการจำลองเส้นทางการเดินทางเรือของเรือ 12 ลำ ที่อยู่ในรูปแบบของความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางและเวลา สำหรับกรณีศึกษาที่ 1 (โดยแต่ละกรณีได้จำลองขนาดเรือ 2 ขนาด ที่มีความเร็วเรือ 3 และ 4 นี้อต) ในรูปที่ 6 ถึง 8 โดยผลการศึกษาทั้ง 5 กรณี แสดงให้เห็นว่ากรณีที่เรือมีขนาดบรรทุก 1,300 ตัน จะใช้เวลาการเดินทางโดยเฉลี่ยน้อยกว่าเรือที่มีขนาดบรรทุก 3,000 ตัน ในทุกรูปแบบของช่วงความสูงคลื่น (Tidal range) และทุกความเร็วของเรือที่เท่ากัน ทั้งการเดินทางขาไปและขากลับ ซึ่งสอดคล้องกับเหตุผลที่ว่าท้องเรือ 1,300 ตันกินน้ำลึก (3.0 ม.) น้อยกว่าเรือขนาด 3,000 ตัน (4.0 ม.) จึงสามารถเดินทางได้สะดวกกว่าตามไปด้วย โดยเรือจะใช้เวลาในการเดินทางน้อยถ้าตลอดเส้นทางการเดินทาง ระดับน้ำในคลองมีค่าสูงกว่าระยะกินน้ำลึกของเรือแต่ละประเภท (ซึ่งจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อ ถ้าเรือเดินทางมาถึงบริเวณที่คลองฯ มีสภาพตื้นเขิน และตรงกับช่วงเวลาที่น้ำทะเลหนุนสูงในบริเวณดังกล่าวพอดี) ในทางกลับกันเรือจะใช้เวลาในการเดินทางยาวนานขึ้นเมื่อเส้นทางการเดินทางต้องพาดผ่านบริเวณที่มีการตื้นเขินของคลองปากอ่าวในช่วงเวลาที่ระดับน้ำใน

คลองฯ ลดลงต่ำ (ระดับน้ำทะเลลง) พอดี โดยเส้นทางการเดินเรือจะอยู่ในสภาวะใดนั้นจะขึ้นอยู่กับช่วงเวลาในการปล่อยเรือจากจุดปล่อยว่าสัมพันธ์กับระดับน้ำทะเลอย่างไรเป็นสำคัญ จากผลการวิเคราะห์การเดินเรือในคลองปากสยทั้ง 5 กรณี สามารถสรุปเป็นระยะเวลาที่ใช้

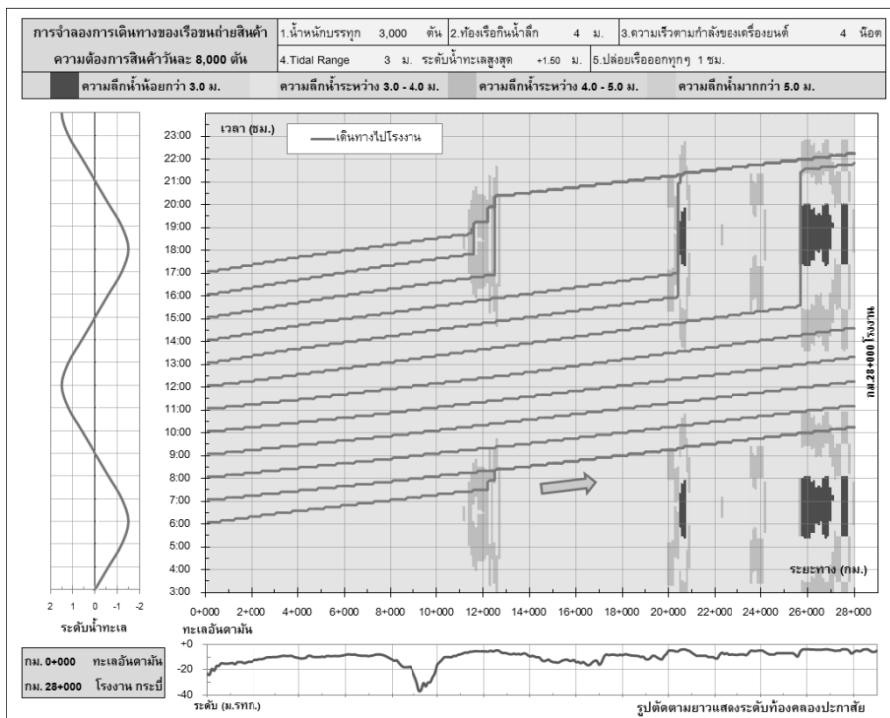
ในการเดินเรือของเรือแต่ละลำ ทั้งการเดินเรือจากปากอ่าวไปยังโรงงาน (ขาไป) และจากโรงงานไปยังปากอ่าว (ขากลับ) ดังแสดงตัวอย่างการเดินเรือขาไปและขากลับในตารางที่ 2 และ 3 ตามลำดับ



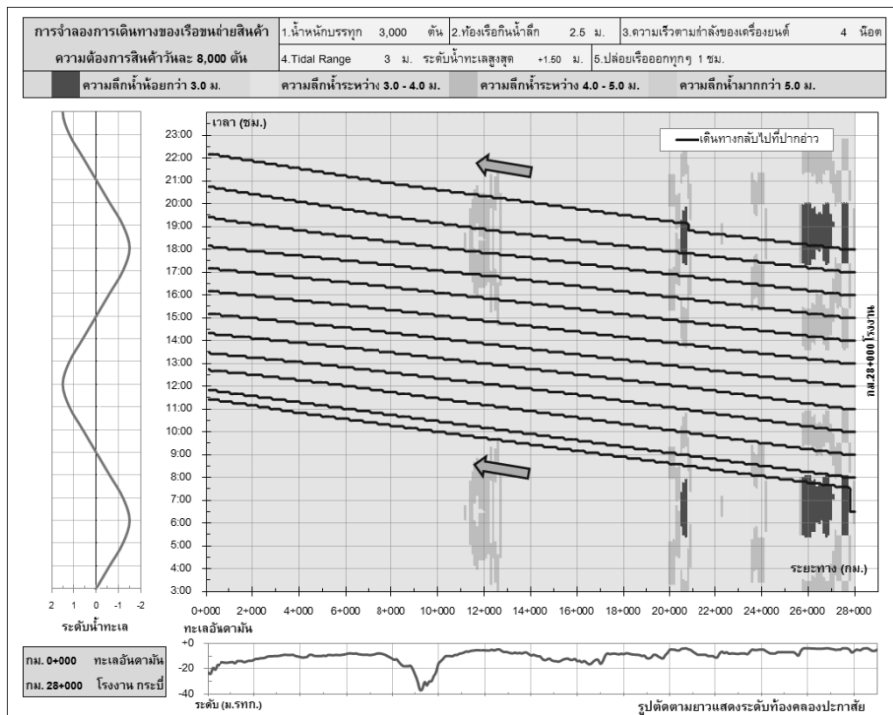
รูปที่ 5 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการวิเคราะห์ระยะเวลาการเดินเรือทั้งหมดสำหรับขาไปหรือขากลับ



รูปที่ 6 ผลการจำลองการเดินทางเรือขนาด 1,300 ตัน ความเร็ว 4 นอต(ขาไป) สำหรับกรณีศึกษาที่ 1



รูปที่ 7 ผลการจำลองการเดินทางเรือขนาด 3,000 ตัน ความเร็ว 4 นอต(ขาไป) สำหรับกรณีศึกษาที่ 1



รูปที่ 8 ผลการจำลองการเดินทางเรือขนาด 3,000 ตัน ความเร็ว 4 น็อต (ขากลับ) สำหรับกรณีศึกษาที่ 1

ตารางที่ 2 ระยะเวลาที่ใช้ในการเดินเรือในคลองปะกาสัยจากปากอ่าวไปยังโรงงาน(ขาไป)

ประเภทเรือ	ระดับน้ำ ทะเลสูงสุด (ม. รทก.)	ช่วง ความสูง คลื่น (ม.)	การเดินทางเรือไปยังโรงงาน (ขาไป)															
			ความเร็ว ของเรือ (น็อต)	เวลาที่ใช้ในการเดินทาง (ชม.) ของเรือลำที่												เวลาเดินเรือ (ชม.)		
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	เฉลี่ย	สูงสุด	ต่ำสุด
- น้ำหนักเรือ 1,300 ตัน - ท้องเรือกินน้ำลึก 3.0 ม. (ขาไป)	1.50	3.00	3.0	4.08	3.92	4.00	4.17	4.33	4.58	5.00	7.42	7.00	6.00	5.00	4.50	5.00	7.42	3.92
			4.0	3.42	3.17	3.17	3.25	3.33	3.58	3.92	4.00	6.42	5.83	4.83	3.83	4.06	6.42	3.17
	1.25	2.50	3.0	4.17	4.08	4.17	4.25	4.50	4.58	4.92	7.00	6.58	5.58	4.67	4.50	4.92	7.00	4.08
			4.0	3.42	3.25	3.25	3.25	3.33	3.58	3.92	3.92	6.00	5.42	4.42	3.58	3.94	6.00	3.25
	1.00	2.00	3.0	4.33	4.33	4.33	4.42	4.50	4.58	4.75	5.00	5.58	5.08	4.83	4.67	4.70	5.58	4.33
			4.0	3.42	3.25	3.25	3.33	3.33	3.58	3.92	3.92	3.92	4.58	3.92	3.58	3.67	4.58	3.25
	0.75	1.50	3.0	4.50	4.42	4.50	4.50	4.50	4.58	4.67	4.83	4.83	4.83	5.00	4.67	4.65	5.00	4.42
			4.0	3.42	3.33	3.33	3.33	3.42	3.58	3.83	3.92	3.92	3.83	3.67	3.50	3.59	3.92	3.33
	0.50	1.00	3.0	4.58	4.50	4.58	4.50	4.58	4.67	4.67	4.67	4.67	4.67	4.67	4.67	4.62	4.67	4.50
			4.0	3.33	3.33	3.33	3.33	3.42	3.50	3.58	3.67	3.67	3.58	3.58	3.50	3.49	3.67	3.33
- น้ำหนักเรือ 3,000 ตัน - ท้องเรือกินน้ำลึก 4.0 ม. (ขาไป)	1.50	3.00	3.0	4.58	3.92	4.00	4.17	4.33	10.58	10.42	9.42	8.42	7.58	6.58	5.58	6.63	10.58	3.92
			4.0	4.25	3.25	3.17	3.25	3.33	3.58	9.83	9.25	8.25	7.25	6.25	5.25	5.58	9.83	3.17
	1.25	2.50	3.0	4.42	4.08	4.17	4.25	4.50	10.58	10.42	9.42	8.42	7.42	6.42	5.42	6.63	10.58	4.08
			4.0	4.17	3.25	3.25	3.25	3.33	3.58	9.67	9.17	8.17	7.17	6.17	5.17	5.53	9.67	3.25
	1.00	2.00	3.0	4.42	4.33	4.33	4.42	4.50	10.50	10.42	9.42	8.42	7.42	6.42	5.42	6.67	10.50	4.33
			4.0	4.08	3.25	3.25	3.33	3.33	3.58	9.58	9.08	8.08	7.08	6.08	5.08	5.49	9.58	3.25
	0.75	1.50	3.0	4.50	4.42	4.50	4.50	4.50	10.50	10.25	9.25	8.25	7.25	6.25	5.25	6.62	10.50	4.42
			4.0	3.92	3.33	3.33	3.33	3.42	3.58	9.42	8.92	7.92	6.92	5.92	4.92	5.41	9.42	3.33
	0.50	1.00	3.0	4.58	4.50	4.58	4.50	4.58	10.50	10.17	9.17	8.17	7.17	6.17	5.17	6.60	10.50	4.50
			4.0	3.83	3.33	3.33	3.33	3.42	3.50	9.42	8.83	7.83	6.83	5.83	4.83	5.36	9.42	3.33

ตารางที่ 3 ระยะเวลาที่ใช้ในการเดินเรือในคลองปากส้ายจากโรงงานไปยังปากอ่าว(ขากลับ)

ประเภทเรือ	ระดับน้ำ ทะเลสูงสุด (ม. รทก.)	ช่วง ความสูง คลื่น (ม.)	การเดินเรือกลับไปยังปากอ่าว (ขากลับ)															
			ความเร็ว ของเรือ (น็อต)	เวลาที่ใช้ในการเดินทาง (ชม.) ของเรือลำที่												เวลาเดินเรือ (ชม.)		
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	เฉลี่ย	สูงสุด	ต่ำสุด
- น้ำหนักเรือ 1,300 ตัน - ท้องเรือกินน้ำลึก 2.0 ม. (ขากลับ)	1.50	3.00	4.0	3.92	3.83	3.58	3.42	3.25	3.17	3.17	3.17	3.25	3.58	3.83	3.92	3.51	3.92	3.17
			4.0	3.92	3.83	3.58	3.42	3.25	3.17	3.17	3.17	3.25	3.58	3.83	3.92	3.51	3.92	3.17
	1.25	2.50	4.0	3.83	3.83	3.75	3.50	3.33	3.25	3.17	3.17	3.17	3.33	3.67	3.83	3.49	3.83	3.17
			4.0	3.83	3.83	3.75	3.50	3.33	3.25	3.17	3.17	3.17	3.33	3.67	3.83	3.49	3.83	3.17
	1.00	2.00	4.0	3.75	3.83	3.83	3.58	3.42	3.25	3.25	3.17	3.25	3.33	3.58	3.67	3.49	3.83	3.17
			4.0	3.75	3.83	3.83	3.58	3.42	3.25	3.25	3.17	3.25	3.33	3.58	3.67	3.49	3.83	3.17
	0.75	1.50	4.0	3.67	3.83	3.75	3.50	3.42	3.33	3.25	3.25	3.25	3.33	3.42	3.58	3.47	3.83	3.25
			4.0	3.67	3.83	3.75	3.50	3.42	3.33	3.25	3.25	3.25	3.33	3.42	3.58	3.47	3.83	3.25
	0.50	1.00	4.0	3.58	3.58	3.58	3.33	3.33	3.25	3.25	3.25	3.25	3.33	3.42	3.58	3.40	3.58	3.25
			4.0	3.58	3.58	3.58	3.33	3.33	3.25	3.25	3.25	3.25	3.33	3.42	3.58	3.40	3.58	3.25
- น้ำหนักเรือ 3,000 ตัน - ท้องเรือกินน้ำลึก 2.5 ม. (ขากลับ)	1.50	3.00	4.0	4.92	3.83	3.75	3.50	3.33	3.17	3.17	3.17	3.17	3.42	3.75	4.17	3.61	4.92	3.17
			4.0	4.92	3.83	3.75	3.50	3.33	3.17	3.17	3.17	3.17	3.42	3.75	4.17	3.61	4.92	3.17
	1.25	2.50	4.0	3.83	3.83	3.75	3.50	3.33	3.25	3.17	3.17	3.17	3.33	3.67	3.83	3.49	3.83	3.17
			4.0	3.83	3.83	3.75	3.50	3.33	3.25	3.17	3.17	3.17	3.33	3.67	3.83	3.49	3.83	3.17
	1.00	2.00	4.0	3.75	3.83	3.83	3.58	3.42	3.25	3.25	3.17	3.25	3.33	3.58	3.67	3.49	3.83	3.17
			4.0	3.75	3.83	3.83	3.58	3.42	3.25	3.25	3.17	3.25	3.33	3.58	3.67	3.49	3.83	3.17
	0.75	1.50	4.0	3.67	3.83	3.75	3.50	3.42	3.33	3.25	3.25	3.25	3.33	3.42	3.58	3.47	3.83	3.25
			4.0	3.67	3.83	3.75	3.50	3.42	3.33	3.25	3.25	3.25	3.33	3.42	3.58	3.47	3.83	3.25
	0.50	1.00	4.0	3.58	3.58	3.58	3.33	3.33	3.25	3.25	3.25	3.25	3.33	3.42	3.58	3.40	3.58	3.25
			4.0	3.58	3.58	3.58	3.33	3.33	3.25	3.25	3.25	3.25	3.33	3.42	3.58	3.40	3.58	3.25

7. สรุปและอภิปรายผลการศึกษา

ผลการศึกษาด้านอุทกพลศาสตร์ ซึ่งประกอบด้วย ข้อมูลความเร็วและความลึกน้ำที่ได้จากการประยุกต์ใช้แบบจำลองอุทกพลศาสตร์แบบ 1 มิติ เป็นข้อมูลสำคัญสำหรับใช้ในการวิเคราะห์การเดินเรือ อย่างไรก็ตาม ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของลำน้ำ (Manning's n) เป็นพารามิเตอร์ที่มีความสำคัญต่อความถูกต้องของผลการศึกษาด้านอุทกพลศาสตร์ ดังนั้นในกรณีที่มีสถานีตรวจวัดน้ำในแม่น้ำที่พิจารณา ต้องทำการเปรียบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง (Model calibration and verification) เพื่อให้ได้มาซึ่งความน่าเชื่อถือของพารามิเตอร์ดังกล่าว แต่ถ้าไม่มีสถานีตรวจวัดตั้งอยู่ในแม่น้ำที่ศึกษา ต้องพิจารณาเลือกใช้ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของลำน้ำที่สอดคล้องกับสภาพทางน้ำจริงให้มากที่สุด

สำหรับผลการทดสอบการวิเคราะห์การเดินเรือที่พัฒนาขึ้นครั้งนี้ ผลการศึกษาในทุกกรณีแสดงให้เห็นถึงเส้นทางการเดินเรือสำหรับเรือแต่ละประเภทที่เปลี่ยนแปลงไปตามระยะทางและช่วงเวลาต่างๆ โดยผลการศึกษาดังกล่าวมีความสอดคล้องกับสภาพอุทกพลศาสตร์และสภาพภูมิประเทศของแม่น้ำอย่างเป็นเหตุเป็นผล ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า เครื่องมือที่พัฒนาขึ้นสำหรับการวิเคราะห์การเดินเรือในงานวิจัยนี้มีประสิทธิภาพและสามารถนำไปใช้ประโยชน์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการวางแผนและบริหารจัดการการเดินเรือได้สำหรับพื้นที่ศึกษาอื่นต่อไป โดยสามารถสรุปผลการจำลองการเดินเรือในคลองปากส้ายได้ดังนี้

(1) เรือมีขนาดบรรทุก 1,300 ตัน จะใช้เวลาการเดินทางโดยเฉลี่ยน้อยกว่าเรือที่มีขนาดบรรทุก 3,000 ตัน ในทุกรูปแบบของช่วงความสูงคลื่น (Tidal range) และทุกความเร็วของเรือที่เท่ากัน ทั้งการเดินทางขาไปและขากลับ

(2) ระยะเวลาที่ใช้ในการเดินเรือเฉลี่ยต่อลำ มีแนวโน้มที่จะลดลงตามการลดลงของช่วงความสูงคลื่น ทั้งการเดินทางขาไปและกลับ เนื่องจากช่วงความสูงคลื่นที่ต่ำจะส่งผลให้ระดับน้ำในคลองปกาสัยมีความสม่ำเสมอ จึงเกิดความสะดวกต่อการเดินเรือตลอดทางน้ำตามไปด้วย

(3) ในกรณีที่ช่วงความสูงคลื่นมีค่าสูง มีโอกาสที่เรือจะใช้เวลาในการเดินทางมากที่สุดและต่ำที่สุดมากกว่ากรณีที่ช่วงความสูงคลื่นมีค่าต่ำ เนื่องจากกรณีที่ช่วงความสูงคลื่นมีค่าสูงส่งผลให้ระดับน้ำในคลองปกาสัยมีความผันผวนมาก โดยเมื่อระดับน้ำทะเลลดลงต่ำที่สุดจะทำให้ระดับน้ำในคลองปกาสัยลดต่ำลงจนไม่สามารถเดินเรือได้ จึงต้องเสียเวลาส่วนมากไปกับการจอดรอระดับน้ำที่เพิ่มขึ้น ในทางกลับกันถ้าระดับน้ำทะเลขึ้นสูงสุดก็จะหนุนให้ระดับน้ำในคลองฯ สูงขึ้น และทำให้เรือเดินทางได้สะดวกตามไปด้วย

(4) การเดินเรือจะใช้เวลาสั้นที่สุดก็ต่อเมื่อเรือเริ่มออกเดินทางในช่วงเวลาที่น้ำกำลังจะขึ้น และในทางกลับกันจะใช้เวลามากที่สุดในการเดินทาง หากเรือเริ่มออกเดินทางในขณะที่น้ำกำลังจะลง ดังนั้นช่วงเวลาล่องเรือที่เหมาะสมจากจุดขนถ่ายสินค้ากลางทะเลไปยังโรงงานควรอยู่ในช่วงเวลาที่ระดับน้ำทะเลอยู่ในช่วงน้ำขึ้น

(5) การเดินเรือขากลับจะใช้เวลาการเดินเรือสั้นกว่าการเดินทางขาไป เนื่องจากท้องเรือมีระยะกินน้ำลึกต่ำลงและใช้ความเร็วในการขับเคลื่อนเรือเพิ่มมากขึ้น

(6) ถ้ากำหนดให้ความต้องการสินค้าคือ 8,000 ตันต่อวัน ต้องใช้เรือที่มีขนาดบรรทุก 1,300 ตัน จำนวน 7 ลำ แต่ถ้าต้องการนำเรือที่มีขนาดบรรทุก 3,000 ตัน มาขนส่งในลำน้ำ ต้องใช้เรือจำนวน 3 ลำ

8. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ กรมชลประทาน และกรมอุตุนิยมวิทยา สำหรับความอนุเคราะห์ข้อมูล สำหรับงานวิจัยนี้

9. เอกสารอ้างอิง

- [1] Singh P. Kinematic Wave Modeling in Water Resources. John Wiley & Sons, Inc: New York; 1996.
- [2] Chow V T, Maidment D R, Mays L.W. Applied hydrology. International Edition: McGraw-Hill; 1988.
- [3] Puttaraksa P, Sriwongsitanon N, Lipiwattanakam S. Development of One Dimensional Implicit Dynamic Wave Model (Case Study: Upper Ping river basin).KKU Eng J. 2005; 32 (1): 31-48. (In Thai).
- [4] Puttaraksa P, Sriwongsitanon N, Lipiwattanakam S. Development of One Dimensional Implicit Dynamic Wave Model (Case Study: Bang Pakong river basin). Kasetsart Journal. 2004; 38(3): 409-418.
- [5] Chinnarasri C, Butthongdee W, Banchuen S. Morphological changes of river due to construction of a port at Baan Paeng Nokorn Panom. KKKU Eng J. 2007; 34 (1):89-103. (In Thai).
- [6] U.S. Army Corps of Engineers (USACE). HEC-RAS River analysis system: Hydraulics reference manual version 3.0. 2001. Available from: URL:<http://www.hec.usace.army.mil>.

- [7] Tate E.C. Floodplain Mapping Using HEC-RAS and Arcview GIS. CRWR, Online Report 99-1, Center for Research in Water Resources, Department of Civil Engineering, University of Texas at Austin; 1999. Available from: URL: <http://www.ce.utexas.edu/centers/crwr/reports/online.html>.
- [8] Chuenchooklin S, Mekprugsawong P, Chidchob P. The river analysis simulation model for the planning of retention area and diversion channel for flood reduction in the lower Yom's river basin, Thailand. Proceedings of INWEPF 4th Steering Meeting and Symposium; 2007 July 5-7; Bangkok, Thailand; 2007. p. 1-13
- [9] Sargison JE, Barton AF. Application of HEC RAS to hydraulic modelling of an irrigation scheme to determine potential for capacity increase. In: Engineers Australia, Proceedings of the 9th National Conference on Hydraulics in Water Engineering, 23-26 September 2008, Darwin Convention Centre, Australia; 2008. p. 1-8
- [10] Taesombat V. Applied Hydrology, Physics Center Publishing Company, Bangkok, Thailand; 1988. (In Thai).
- [11] Chow V T. Open-Channel Hydraulics. McGraw-Hill, New York; 1959.