วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา ปีที่ 25 (ฉบับที่ 3) กันยายน – ธันวาคม พ.ศ. 2563
BURAPHA SCIENCE JOURNAL Volume 25 (No.3) September – December 2020

ติดตามการเคลื่อนที่ของวัตถุลอยน้ำบริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยา โดยใช้แบบจำลองเชิงตัวเลข

Tracking of Floating Objects in the Area of Chao Phraya River Mouth by Using Numerical Model

ปกรณ์ หลำสวัสดิ์[1], จิตราภรณ์ ฟักโสภา[1*] และ ปราโมทย์ โศจิศุภร[2]

Pakorn Lamsawat[1], Jitraporn Phaksopa[1*] and Pramot Sojisuporn

[1]*ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์*

[2]*ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย*

[1]*Department of Marine Science, Faculty of Fisheries, Kasetsart Univrtsity*

[2]*Department of Marine science, Faculty of Science, Chulalongkorn Univrtsity*

Received : 28 November 2019

Revised : 28 January 2020

Accepted : 4 February 2020

บทคัดย่อ

แบบจำลองเชิงตัวเลข Delft3D ได้ถูกนำมาใช้ศึกษาในเชิง 2 มิติ สำหรับติดตามการเคลื่อนที่ของวัตถุลอยน้ำ โดยทำการปล่อยชุดทุ่นลอย (Drogues) บริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยา ระหว่างวันที่ 26-27 มกราคม พ.ศ. 2560 พิจารณาลม น้ำขึ้นน้ำลง น้ำท่า อุณหภูมิ และความเค็ม เป็นแรงขับเคลื่อนที่สำคัญ โดยช่วงเวลาที่ทำการตรวจวัดชุดทุ่นลอยจากแบบจำลองและการตรวจวัดภาคสนามประมาณ 18 ชั่วโมง ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า กระแสน้ำผิวหน้าบริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยาได้รับอิทธิพลจากลม น้ำขึ้นน้ำลง และปริมาณน้ำท่าเป็นหลัก อีกทั้งยังเป็นปัจจัยที่ทำให้วัตถุลอยน้ำเกิดการเคลื่อนที่ และแบบจำลองเชิงตัวเลขสามารถจำลองการเคลื่อนที่ของชุดทุ่นลอยได้มีความใกล้เคียงกับผลจากการตรวจวัดภาคสนาม แต่เคลื่อนที่ได้ระยะทางที่ไกลกว่าเมื่อเทียบกับการตรวจวัดภาคสนาม และความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยที่ระยะทาง 2.04$\pm$1.54 กิโลเมตร อย่างไรก็ตามการที่ชุดทุ่นลอยเคลื่อนที่แตกต่างกัน อาจเกิดจากน้ำหนักและรูปร่างตัวชุดทุ่นลอยและควรพัฒนาต่อยอดโดยใช้แบบจำลองเชิงตัวเลขแบบ 3 มิติ

คำสำคัญ : วัตถุลอยน้ำ ; แบบจำลองเชิงตัวเลข ; ปากแม่น้ำเจ้าพระยา

*Corresponding author. E-mail : jitraporn.p@ku.th

Abstract

The Delft3D Numerical model was used for a 2-dimensional study on tracking floating objects movement by releasing drogues at the area of Chao Phraya River mouth on 26th – 27th January 2017. Winds, tides, river discharge, temperature and salinity were considered as the main driving forces for the floating objects movement for the study periods of 18 hours. Result showed that the surface current of Chao Phraya River are mainly driven by winds, tides and river discharge resulted to the movement of floating objects. The Numerical model are able to simulate the movement of the buoy floats with the proximity of results from field measurements. Though, model simulation movement are further compared to field measurements with the average error at the distance of 2.04 + 1.54 kilometers. This difference might be caused by the dissimilar buoyancy, weight and body shape of the buoy. Further developed by using a 3-dimensional Numerical model are recommended.

Keywords: floating objects ; numerical model ; Chao Phraya river mouth

บทนำ

แม่น้ำเจ้าพระยาเป็นแม่น้ำสายหลักที่สำคัญของภาคกลางที่มีการใช้ประโยชน์ทั้งทางการประมง การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง การท่องเที่ยว การอุตสาหกรรม และการคมนาคมขนส่งทางน้ำ โดยเฉพาะบริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยาอยู่ในพื้นที่จังหวัดสมุทรปราการ เป็นรอยต่อระหว่างมวลน้ำจืดและน้ำทะเลทั้งยังรองรับของเสียต่าง ๆ ที่ไหลมาตลอดลำน้ำออกสู่ทะเล อีกทั้งยังมีอุบัติเหตุทางทะเลเกิดขึ้นได้หลายสาเหตุ ซึ่งส่งผลกระทบต่อร่างกาย ชีวิต ทรัพย์สิน และสิ่งแวดล้อม เช่น การปล่อยสารเคมีจากโรงงานอุตสาหกรรม การรั่วไหลของคราบน้ำมันเรือขนสินค้า หรือการล่มของเรือนักท่องเที่ยว รวมไปถึงขยะที่ถูกปล่อยลงสู่ทะเลนับเป็นปัญหาสำคัญและส่งผลต่อสิ่งมีชีวิตในทะเล (Department of marine and coastal resource, 2010)

การติดตามเพื่อป้องกันและแก้ไขจากปัญหาที่กล่าวมาข้างต้นนั้นสามารถกระทำได้ค่อนข้างยาก เนื่องจากตำแหน่งที่เกิดเหตุมีการเปลี่ยนตำแหน่งไปเรื่อยๆ และด้วยอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง ลม ปริมาณน้ำท่า ซึ่งเป็นปัจจัยหลักในการขับเคลื่อนการไหลเวียนกระแสน้ำในบริเวณอ่าวไทยและอ่าวไทยตอนบน (Yanagi & Takao, 1998; Buranapratheprat, 2008) นั้นส่งผลให้พื้นที่ที่กำหนดจุดค้นหาผิดจากตำแหน่งจริงของจุดเกิดอุบัติเหตุมาก ทำให้การติดตามเป็นไปได้ยาก ดังนั้นกา รพัฒนาแบบจำลองเชิงตัวเลขเพื่อคาดการณ์การเคลื่อนที่ของวัตถุลอยน้ำ จึงเป็นวิธีหนึ่งที่จะช่วยคาดการณ์ที่จะเกิดขึ้นได้ทันท่วงที

ดังนั้นการศึกษาในครั้งนี้เป็นการศึกษาเพื่อติดตามการเคลื่อนที่เฉพาะวัตถุลอยน้ำบริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยา โดยใช้แบบจำลองเชิงตัวเลข Delft3D แบบ 2 มิติ พิจารณาปัจจัย อิทธิพลของลม น้ำขึ้นน้ำลง ปริมาณน้ำท่า อุณหภูมิ และความเค็มเป็นหลัก และทำการเปรียบเทียบข้อมูลระดับน้ำที่คำนวณได้จากแบบจำลองกับค่าสถานีระดับน้ำทำนาย กรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ ปี พ.ศ. 2560 จากนั้นแบบจำลองจะถูกนำไปพัฒนาเพื่อติดตามการเคลื่อนที่ของวัตถุลอยน้ำต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาครั้งนี้จะใช้แบบจำลอง Delft3D ซึ่งถูกพัฒนาขึ้นโดย Delft Hydraulics ประเทศเนเธอร์แลนด์ ในรูปแบบ 2 มิติ การคำนวณของแบบจำลองอยู่บนพื้นฐานของสมการควบคุม ได้แก่ สมการการเคลื่อนที่ (Equation of motions) และสมการอนุรักษ์มวล (Conservation of mass) โดยทำการจำลองการไหลเวียนกระแสน้ำแบบ (Nested grid) กำหนดให้กริดขนาดใหญ่ (Overall Model) มีขอบเขตพื้นที่ศึกษาทั้งอ่าวไทยเพื่อให้ครอบคลุมถึงแหล่งกำเนิดของปัจจัยที่มีผลต่อการเคลื่อนที่ของมวลน้ำที่ ละติจูด 5.00°N – 14.00°N และลองจิจูด 99.00°E – 106.00°E ขนาดกริดในการคำนวณ 2.19-2.22 กิโลเมตร และ กริดขนาดเล็ก (Nested grid) ครอบคลุมพื้นที่บริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยา ที่ละติจูด 13.33°N – 13.55°N และลองจิจูด 100.32°E – 100.65°E ขนาดกริดในการคำนวณ 121-122 เมตร (ภาพที่ 1) กำหนดค่า External time step เท่ากับ 60 วินาที โดยมีข้อมูลนำเข้าได้แก่ ข้อมูลความลึกพื้นทะเล จากการ Digitize แผนที่เดินเรือกรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ (ระวาง 001, 112, 113, 115, 116, 117, 141, 142, 147, 203, 222, 223 และ 224) ร่วมกับฐานข้อมูล The General Bathymetric Chart of the Oceans (GEBCO 30) เข้าถึงข้อมูลได้จาก http://www.gebco.net มีความละเอียดของกริดเท่ากับ 0.5 ไมล์ทะเลหรือประมาณ 926 เมตร (กำหนดความลึกมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 2 เมตร) ข้อมูลน้ำขึ้นน้ำลงได้จากการวิเคราะห์แบบฮาร์โมนิคโดยใช้ค่าองค์ประกอบน้ำขึ้นน้ำลง K_1, O_1, M_2, S_2, P_1, Q_1, N_2, K_2 จากแบบจำลอง TPXO9.2-ATLAS เข้าถึงข้อมูลได้จาก http://volkov.oce.orst.edu/tides/tpxo9.2-atlas.html ข้อมูลลมและความกดอากาศที่ระดับน้ำทะเลปานกลางราย 6 ชั่วโมง จาก ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) เข้าถึงข้อมูลได้จาก http://www.ecmwf.int/ ข้อมูลน้ำท่าที่ไหลลงสู่อ่าวไทยของแม่น้ำเจ้าพระยา โดยข้อมูลทั้งหมดเป็นปริมาณน้ำท่าเฉลี่ย 10 ปี (พ.ศ. 2543-2552) เข้าถึงข้อมูลได้จาก http://www.rid.go.th ข้อมูลอุณหภูมิและความเค็มได้จากการตรวจวัดภาคสนาม และมีการตั้งค่าแบบจำลองดังแสดงใน (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 การตั้งค่าแบบจำลองเชิงตัวเลข

	Overall Grid	Nested Grid
ช่วงเวลาประมวลผลแบบจำลอง	1 มกราคม - 31 ธันวาคม พ.ศ.2560	1-31 มกราคม พ.ศ.2560
ช่วงเวลาประมวลผลแบบการปล่อยทุ่นลอย	-	26-27 มกราคม พ.ศ.2562
ความละเอียดกริด (Resolution)	2.19-2.22 km	121-122 m
ค่าความขุรขระของพื้นทะเล (Chezy)	65	65
Time step	60 วินาที	60 วินาที
Horizontal eddy viscosity	1 m^2/s	10 m^2/s
ปริมาณน้ำท่า	-	103.32-82.06 m^3/s
Drag coefficient	0.0063	0.0081

ความลึกน้ำจะถูกประมาณค่าเพื่อให้มีจุดพิกัดตรงกับช่องคำนวณโดยใช้วิธี การประมาณค่าแบบ Gaussian ก่อนการคำนวณกำหนดให้การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำเริ่มต้นเป็นศูนย์ หรือระดับน้ำอยู่ในสภาพหยุดนิ่ง มีการนำเข้าค่าระดับน้ำบริเวณด้านขอบเขตเปิด ทำการตรวจสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลระดับน้ำจากแบบจำลองกับสถานีระดับน้ำทำนาย กรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ พ.ศ. 2560 ทำการทดสอบทางสถิติโดยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ Correlation Coefficient (r) (Chanthasiri, 2014) ดังสมการ Pearson Correlation Formulation ดังสมการที่ 1 และ RMSE (Root Mean Squared Error) ดังสมการที่ 2

$$r = \frac{\sum_{i=1}^{n}(m-\bar{m})(o-\bar{o})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(m-\bar{m})^2 \sum_{i=1}^{n}(o-\bar{o})^2}} \quad (1)$$

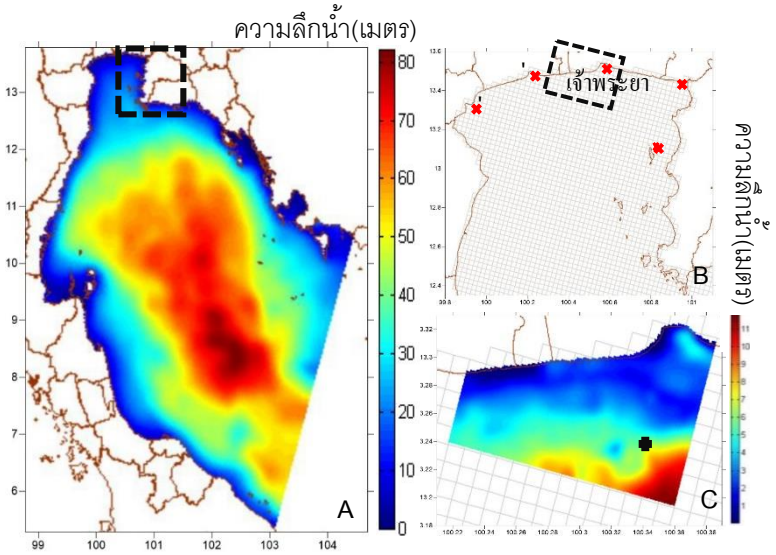
$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(m-o)^2} \quad (2)$$

เมื่อ m คือ ค่าจากแบบจำลอง $\bar{m}$ คือ ค่าเฉลี่ยจากแบบจำลอง o คือ ค่าจากการตรวจวัด $\bar{o}$ คือ ค่าเฉลี่ยจากการตรวจวัด n คือ จำนวนของข้อมูลทั้งหมด

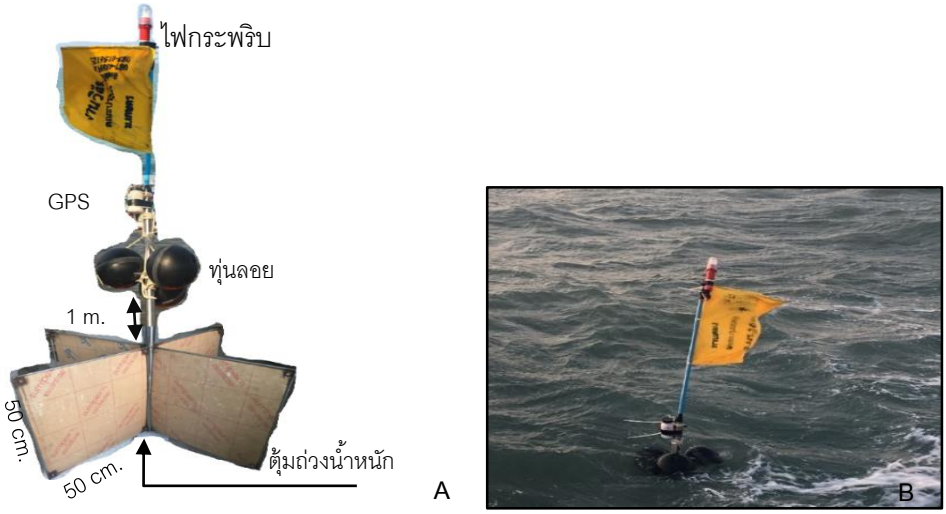
จากนั้นทำการประยุกต์แบบจำลองติดตามการเคลื่อนที่ของวัตถุลอยน้ำโดยศึกษาร่วมกับแบบจำลองการไหลเวียนกระแสน้ำ Delft3D-FLOW Hydrodynamics โดยทำการ Monitoring ด้วย Drogues จำลองการเคลื่อนที่ของวัตถุลอยน้ำโดยใช้ค่าอัตราเร็วกระแสน้ำที่ได้จาก Flow-Model มาเป็นตัวแปรเริ่มต้น ในแบบจำลองคำนวณได้จาก (Chanthasiri, 2014) ดังสมการที่ 3 ดังนี้

$$x(t+\Delta t) = S(t) + u\Delta t \quad (3)$$

เมื่อ x คือตำแหน่งของทุ่นลอย t คือ เวลาเริ่มต้นปล่อย Δt เวลาที่เปลี่ยนแปลงไป u คือ Advection term และ S คือ Diffusion term ซึ่งในการจำลองการเคลื่อนที่ของทุ่นลอยโดยพิจารณาการเคลื่อนที่ที่เกิดจากความเร็วกระแสน้ำเท่านั้น (ไม่พิจารณา กระบวนการ diffusion ซึ่งเป็นลักษณะการแพร่ของอนุภาค และกระบวนการ Random Walk ซึ่งเป็นการกระจายแบบไร้ทิศทางของแต่ละอนุภาค) ทำการจำลองทั้งในแบบจำลองเชิงตัวเลขและการตรวจวัดภาคสนามในช่วงวันเวลาเดียว โดยทำการปล่อยชุดทุ่นลอย ในช่วงลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ บริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยาเป็นเวลา 18 ชั่วโมง ณ วันที่ 26 – 27 มกราคม พ.ศ. 2562 ละติจูด 13.3839 N และลองจิจูด 100.5018 E ชุดทุ่นลอย (Drogue) จะติด GPS Logger (HOLOX m-241 plus) ทำการบันทึกพิกัดทุก 1 วินาที ดัดแปลงจาก (Intang *et al*., 2016) (ภาพที่ 2)



ภาพที่ 1 (A) ความลึกพื้นที่ท้องน้ำของอ่าวไทยและพื้นที่ศึกษา Overall Model (B) พื้นที่ Nested Model และสถานีตรวจวัดระดับน้ำ ● (C) ตำแหน่งปล่อยชุดทุ่นลอย drogues ●

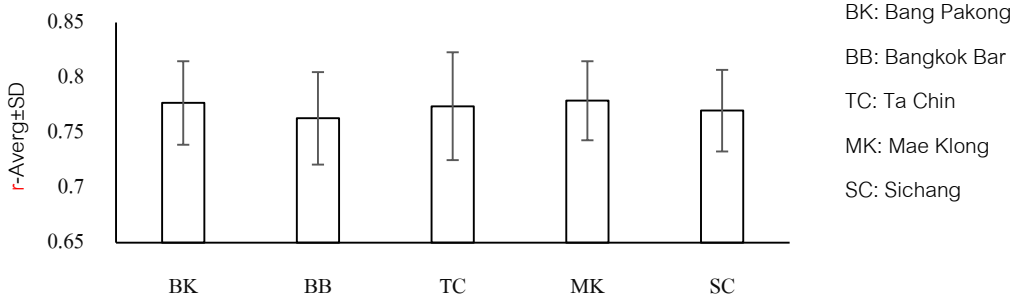


ภาพที่ 2 (A) ชุดทุ่นลอย Drogues (B) การปล่อยชุดทุ่นลอยภาคสนามบริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยา

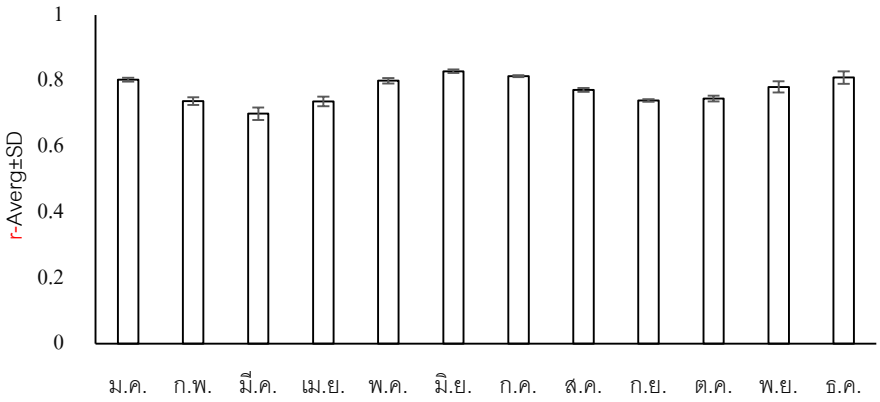
ผลการวิจัย

ตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

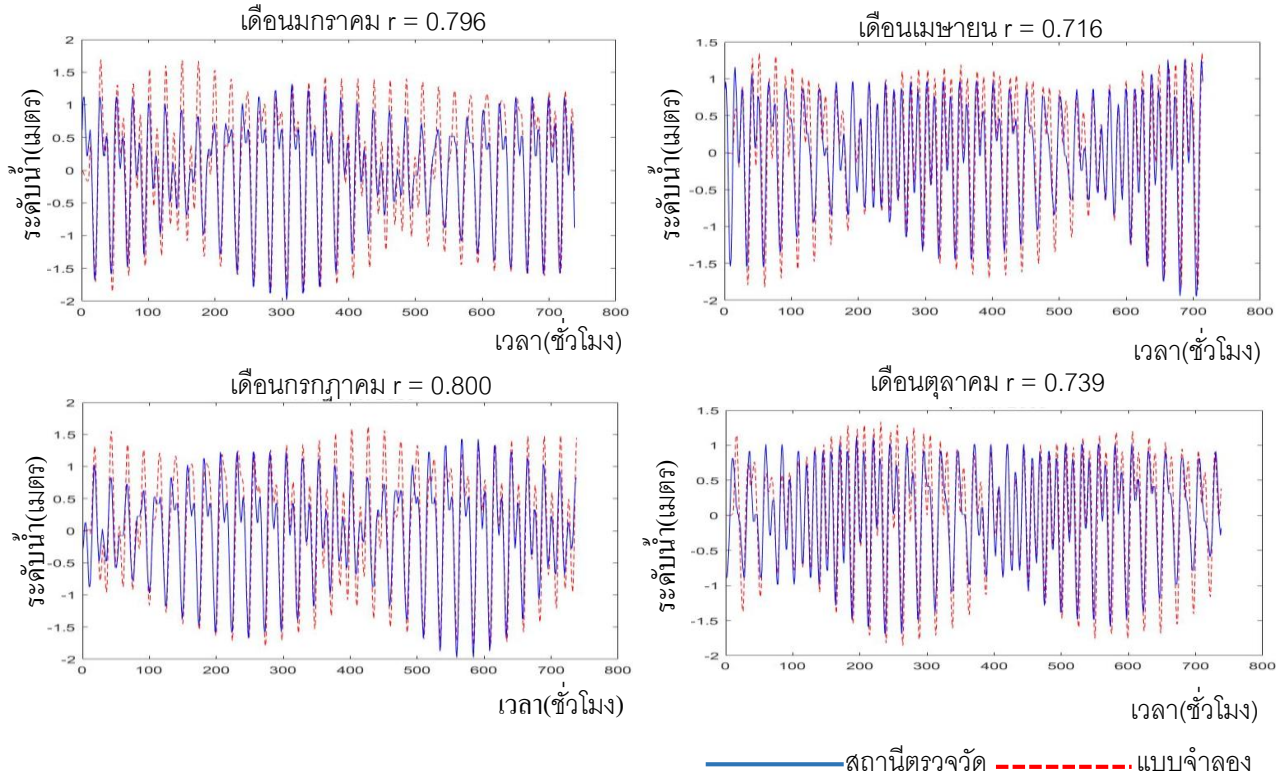
ผลระดับน้ำที่ได้จากแบบจำลองจะถูกนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลตรวจวัดจากสถานีระดับน้ำทำนายของกรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ ปี พ.ศ. 2560 ณ สถานีปากแม่น้ำบางปะกง(BK) สถานีสันดอนเจ้าพระยา(BB) สถานีปากแม่น้ำท่าจีน(TC) สถานีปากแม่น้ำแม่กลอง(MK) และสถานีเกาะสีชัง(SC) โดยทำการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เฉลี่ยในแต่ละสถานีและในแต่ละเดือน ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เฉลี่ยที่แตกต่างกัน**ของระดับน้ำ**ในแต่ละสถานี **พบว่า**สถานีสันดอนเจ้าพระยา(BB) มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์น้อยที่**สุด** 0.763±0.042 และสถานีปากแม่น้ำแม่กลอง(MK) มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มากที่สุด 0.779±0.036 (ภาพที่ 3) ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เฉลี่ยที่แตกต่างกัน**ของระดับน้ำ**ในแต่ละเดือนของทุกสถานี พบว่าในเดือนมีนาคมมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์น้อยที่สุด 0.700±0.019 เดือนมิถุนายนมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มากที่สุด 0.829±0.005 (ภาพที่ 4) และพบว่าค่า RMSE ของเดือน มกราคม เมษายน กรกฎาคม และตุลาคม มีค่า 0.26 0.26 0.26 และ 0.26 เมตร ตามลำดับ เมื่อทำการเปรียบเทียบระดับน้ำรายชั่วโมงของแต่ละเดือนให้เป็นตัวแทนแต่ละช่วงมรสุม ณ สถานีสันดอนเจ้าพระยาพบว่าเฟสของระดับน้ำจากแบบจำลองและข้อมูลระดับน้ำทำนายมีค่าที่ใกล้เคียงกัน ส่วนค่าแอมปลิจูดของแบบจำลองพบว่ามีค่าสูงกว่าข้อมูลระดับน้ำทำนายของทุกสถานี (ภาพที่ 5)



ภาพที่ 3 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เฉลี่ย (r) ของระดับน้ำจากแบบจำลองกับสถานีน้ำทำนายในแต่ละสถานีในปี พ.ศ. 2560



ภาพที่ 4 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เฉลี่ย (r) ของระดับน้ำจากแบบจำลองกับสถานีน้ำทำนายทุกสถานีในแต่ละเดือน ในปี พ.ศ. 2560



ภาพที่ 5 เปรียบเทียบค่าระดับน้ำรายชั่วโมงของแต่ละเดือนในแต่ละช่วงลมมรสุม ณ สถานีสันดอนเจ้าพระยา จากแบบจำลองกับสถานีระดับน้ำทำนาย กรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ ปี พ.ศ. 2560

จำลองการไหลเวียนของกระแสน้ำบริเวณอ่าวไทยตอนในปี พ.ศ.2560

สำหรับพื้นที่อ่าวไทยตอนใน ในรอบ 1 ปี จะได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมพัดผ่าน 2 ช่วงมรสุม คือ ช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ และช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ การไหลเวียนของกระแสน้ำจะได้รับอิทธิพลหลักจากลมและน้ำขึ้นน้ำลง เป็นหลักโดยลักษณะน้ำขึ้นน้ำลงบริเวณนี้จะเป็นน้ำขึ้นน้ำลงแบบผสมที่มีน้ำคู่เด่น จากการจำลองการไหลเวียนกระแสน้ำโดยใช้แบบจำลองเชิงตัวเลข Delft3D ซึ่งพิจารณาปัจจัยหลัก ประกอบด้วย ลม น้ำขึ้นน้ำลง น้ำท่า อุณหภูมิและความเค็ม ฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (เดือนมกราคม พ.ศ. 2560) ช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุม (เดือนเมษายน พ.ศ. 2560) ฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2560) และช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุม (เดือนตุลาคม พ.ศ. 2560) เพื่อใช้อธิบายการไหลเวียนของกระแสน้ำและจำลองการปล่อยวัตถุลอยน้ำบริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยา ผลการจำลองกระแสน้ำรายละเอียดดังนี้

ช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (เดือนมกราคม พ.ศ. 2560) กระแสน้ำจากกลางอ่าวมีทิศไหลขึ้นสู่ก้นอ่าวไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ และไหลแยกออกเป็น 2 มวลน้ำ โดยแยกออกไปทางด้านฝั่งตะวันตกและด้านฝั่งตะวันออก มวลน้ำส่วนใหญ่จะไหลแบบทวนเข็มนาฬิกาไปทางทิศตะวันตกขนานกับชายฝั่ง ขณะเดียวกันทางด้านฝั่งตะวันออกลักษณะกระแสน้ำไหลแบบตามเข็มนาฬิกา บริเวณชายฝั่งกระแสน้ำมีทิศทางค่อนข้างแปรปรวนลงไปทางทิศใต้ พบการหมุนวนของกระแสน้ำ (gyre) ขนาดใหญ่บริเวณกลางอ่าวค่อนไปทางด้านฝั่งตะวันตก บริเวณปากแม่น้ำบางปะกง และบริเวณเกาะคราม (ภาพที่ 6 A)

ช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุม (เดือนเมษายน พ.ศ. 2560) กระแสน้ำมีความเร็วเฉลี่ยลดลง กระแสน้ำกลางอ่าวมีทิศไหลขึ้นสู่ก้นอ่าวไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ และไหลแยกออกเป็น 2 มวลน้ำ โดยแยกออกไปทางด้านฝั่งตะวันตกและทางด้านฝั่งตะวันออก มวลน้ำส่วนใหญ่ไหลแบบทวนเข็มนาฬิกาไปทางด้านฝั่งตะวันตกไหลขนานกับชายฝั่ง ขณะเดียวกันทางด้านฝั่งตะวันออกลักษณะกระแสน้ำไหลแบบตามเข็มนาฬิกา พบการหมุนวนของกระแสน้ำ (gyre) ขนาดใหญ่บริเวณกลางอ่าวค่อนไปทางด้านฝั่งตะวันตก บริเวณปากแม่น้ำบางปะกง และบริเวณเกาะคราม (ภาพที่ 6 B)

ช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2560) กระแสน้ำมีความเร็วเฉลี่ยเพิ่มขึ้น กระแสน้ำไหลจากด้านใต้ขึ้นสู่ก้นอ่าว กระแสน้ำแยกออกเป็น 2 มวลน้ำ โดยแยกออกไปทางด้านฝั่งตะวันออกและทางด้านฝั่งตะวันตกของก้นอ่าว มวลน้ำส่วนใหญ่จะไหลแบบตามเข็มนาฬิกาขนานกับชายฝั่งไปทางทิศตะวันออก ขณะเดียวกันทางด้านฝั่งตะวันตกกระแสน้ำไหลขนานกับชายฝั่ง พบการหมุนวนของกระแสน้ำ (gyre) บริเวณกลางอ่าว บริเวณเกาะคราม บริเวณปากแม่น้ำแม่กลอง (ภาพที่ 6 C)

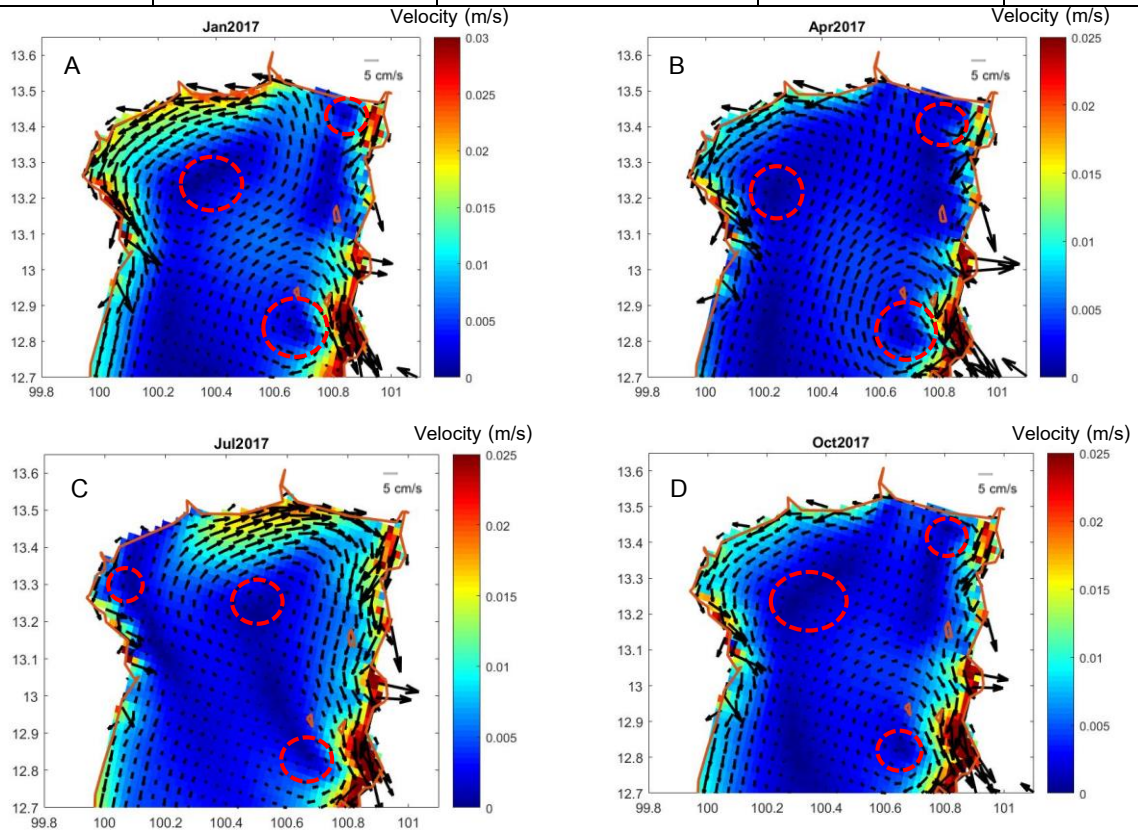
ช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุม (เดือนตุลาคม พ.ศ. 2560) กระแสน้ำมีความเร็วเฉลี่ยลดลง กระแสน้ำกลางอ่าวมีทิศไหลขึ้นสู่ก้นอ่าวไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ และไหลแยกออกเป็น 2 มวลน้ำ โดยแยกออกไปทางด้านฝั่งตะวันตกและด้านฝั่งตะวันออก มวลน้ำส่วนใหญ่จะไหลแบบทวนเข็มนาฬิกาไปทางทิศตะวันตกขนานกับชายฝั่ง ขณะเดียวกันทางด้านฝั่งตะวันออกลักษณะกระแสน้ำไหลแบบตามเข็มนาฬิกา บริเวณชายฝั่งกระแสน้ำมีทิศทางค่อนข้างแปรปรวน พบการหมุนวนของกระแสน้ำ (gyre) ขนาดใหญ่บริเวณกลางอ่าวค่อนไปทางด้านฝั่งตะวันตก บริเวณปากแม่น้ำบางปะกง และบริเวณเกาะคราม (ภาพที่ 6 D)

ทดสอบเปรียบเทียบการจำลองการเคลื่อนที่ของวัตถุลอยน้ำ

ทำการจำลองการเคลื่อนที่ของวัตถุลอยน้ำเป็นการประยุกต์ Delft3D-FLOW Hydrodynamics โดยทำการ Monitoring ด้วยชุดทุ่นลอย พิจารณาปัจจัยลม น้ำขึ้นน้ำลง น้ำท่า อุณหภูมิ และความเค็มเป็นหลัก เพื่อนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับการปล่อยชุดทุ่นลอยจากการตรวจวัดภาคสนาม โดยทำการการปล่อยชุดทุ่นลอยในแบบจำลองเชิงตัวเลขและการตรวจวัดภาคสนาม ดังตารางที่ 2 และ ภาพที่ 7 โดยกำหนดให้ตำแหน่งและวันเวลาที่ปล่อยมีความใกล้เคียงกันมากที่สุด ดังนี้

ตารางที่ 2 การเคลื่อนที่ของชุดทุ่นลอยบริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยา ในวันที่ 26-27 มกราคม พ.ศ. 2562

วันที่	เวลา(นาที)/หมายเลข	ตำแหน่ง	ระยะทาง(กิโลเมตร)	ความเร็ว(m/s)
26 ม.ค. 2562	14:18 (start)	13.4085° N 100.5505° E	-	-
26 ม.ค. 2562	20:05 (1)	13.4109° N 100.5185° E	3.44	1.3
27 ม.ค. 2562	02:40 (2)	13.3829° N 100.4972° E	3.67	1.6
27 ม.ค. 2562	07:23 (3)	13.4043° N 100.4671° E	6.95	3.6



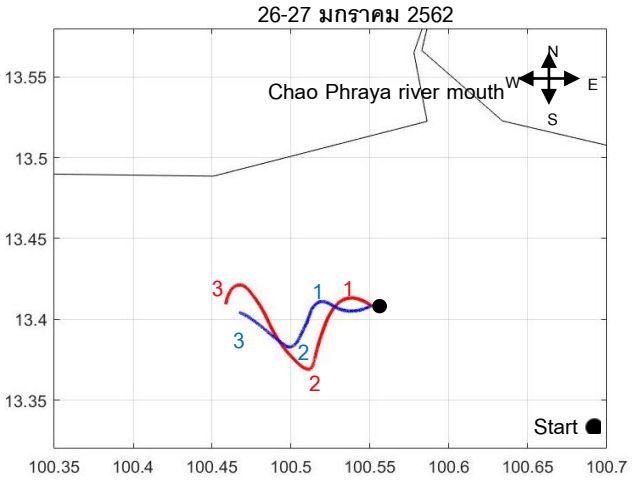
ภาพที่ 6 กระแสน้ำเฉลี่ยรายเดือนในปี พ.ศ.2560 A) เดือนมกราคม (ช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ B) เดือนเมษายน (ช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุม) C) เดือนกรกฎาคม (ช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้) และ D) เดือนตุลาคม (ช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุม)

จากการตรวจวัดภาคสนามโดยทำการปล่อยชุดทุ่นลอยระหว่างวันที่ 26-27 มกราคม พ.ศ. 2562 ละติจูด 13.4085N และลองจิจูด 100.5505E พบว่าเวลาผ่านไปประมาณ 6 ชั่วโมง จากจุดเริ่มต้นชุดทุ่นลอยเคลื่อนที่ไปทางทิศตะวันตก ด้วยความเร็วสูงสุด 1.3 เมตรต่อวินาที ซึ่งห่างจากจุดเริ่มต้น 3.44 กิโลเมตร หลังจากนั้นเคลื่อนที่ลงไปทางทิศตะวันตกเฉียงใต้เป็นระยะเวลาประมาณ 6 ชั่วโมง ด้วยระยะทาง 3.67 กิโลเมตร มีความเร็วสูงสุด 1.6 เมตรต่อวินาที และเคลื่อนที่ขึ้นไปทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือเป็นระยะเวลาประมาณ 5 ชั่วโมง ด้วยระยะทาง 3.6 กิโลเมตร มีความเร็วสูงสุด 3.6 เมตรต่อวินาที (ภาพที่ 7)

ตารางที่ 3 การเคลื่อนที่ของชุดทุ่นลอยบริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยา จากแบบจำลอง วันที่ 26-27 มกราคม พ.ศ. 2562

วันที่	เวลา(นาที)/ หมายเลข	ตำแหน่ง	ระยะทางคลาดเคลื่อนจากทุ่น (กิโลเมตร)
26 ม.ค. 2562	14:18 (start)	13.4095° N 100.5491° E	0.19
26 ม.ค. 2562	(1)	13.3806° N 100.5162° E	3.39
27 ม.ค. 2562	(2)	13.4074° N 100.4810° E	3.24
27 ม.ค. 2562	(3)	13.4138° N 100.4598° E	1.23

จากการจำลองโดยใช้แบบจำลองทางเชิงตัวเลขทำการปล่อยชุดทุ่นลอยระหว่างวันที่ 26-27 มกราคม พ.ศ. 2562 ละติจูด 13.4095°N และลองจิจูด 100.5491°E พบว่าทุ่นลอยไปทางทิศตะวันตกซึ่งห่างจากจุดเริ่มต้นมีระยะทาง 16.31 กิโลเมตร จาก (ภาพที่ 7) และ (ตารางที่ 3) จะเห็นได้ชัดเจนว่าเส้นทางการเคลื่อนที่ของชุดทุ่นลอยได้รับอิทธิพลจากลมและน้ำขึ้นน้ำลงอย่างชัดเจน ซึ่งหากเปรียบเทียบกับชุดทุ่นลอยจากการตรวจวัดภาคสนามในทะเลจะพบว่าชุดทุ่นลอยนั้นถูกพัดพาไปตามลม ทำให้การทำนายตำแหน่งคลาดเคลื่อนที่สิ้นสุด ณ เวลาเดียวกันประมาณ 1.23 กิโลเมตร และความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยที่ระยะทาง 2.045±1.54 กิโลเมตร



ภาพที่ 7 การเคลื่อนที่ของชุดทุ่นลอย (drogues) บริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยา จากแบบจำลองเชิงตัวเลข (เส้นสีแดง) และการตรวจวัดภาคสนาม (เส้นสีน้ำเงิน)

จำลองการคาดการณ์เส้นทางการเคลื่อนที่ของวัตถุลอยน้ำ

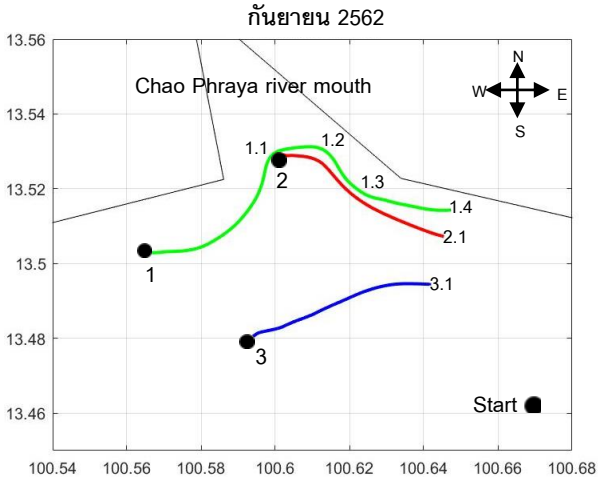
จากการทดสอบการเปรียบเทียบจากแบบจำลองและการตรวจวัดภาคสนามบริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยาในช่วงเดือนมกราคม พ.ศ. 2562 ให้ผลการจำลองที่มีความคลาดเคลื่อนไม่สูงมากนัก จึงนำแบบจำลองเชิงตัวเลขนี้มาประยุกต์ใช้ศึกษาหรือจำลองการเคลื่อนที่ของวัตถุลอยน้ำซึ่งเปรียบเสมือนหากมีการแพร่กระจายของขยะหรือวัตถุใดๆ (ภายใต้เงื่อนไขที่ไม่มีการละลายหรือสูญหายไปจากระบบ) ในช่วงเดือนกันยายน พ.ศ. 2560 ซึ่งเป็นช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้และเป็นช่วงที่มีการตรวจพบปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสีบริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยา ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ได้ปล่อยวัตถุลอยน้ำกระจายในทุกด้านรอบๆ ปากแม่น้ำ (หมายเลข 1, 2 และ 3) โดยมีรายละเอียดดัง (ตารางที่ 4)

ชุดทุ่นลอย (drogues) ทางด้านทิศตะวันตก (หมายเลข 1) ทำการจำลอง วันที่ 1 กันยายน พ.ศ. 2560 เวลา 00:00 น. ละติจูด13.5080°N และลองจิจูด 100.5670°E พบว่าเมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 11 ชั่วโมง ชุดทุ่นลอยเคลื่อนที่ไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ด้วยระยะทาง 5.03 กิโลเมตร (หมายเลข 1.1) จากนั้นเคลื่อนที่ต่อไปทางทิศตะวันออก ด้วยระยะทาง 1.33 กิโลเมตร (หมายเลข 1.2) ณ เวลา 15:23 น. และเคลื่อนที่ต่อไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ ด้วยระยะทาง 1.88 กิโลเมตร (หมายเลข 1.3) ณ เวลา 22:29 น. จนถึงวันที่ 2 กันยายน พ.ศ. 2560 เคลื่อนที่ต่อไปทางทิศตะวันออก ด้วยระยะทาง 2.45 กิโลเมตร ณ เวลา 03:30 น. ละติจูด13.5185°N และลองจิจูด 100.6477°E รวมเป็นระยะทางการเคลื่อนที่ของหมายเลข 1 ด้วยระยะทาง 10.69 กิโลเมตร

ตารางที่ 4 เส้นทางการเคลื่อนที่ของวัตถุลอยน้ำบริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยา จากแบบจำลองในช่วงเดือนกันยายน พ.ศ. 2560

หมายเลข	วันที่	เวลา(นาที)	ตำแหน่ง	ระยะทาง (กิโลเมตร)
1*	01 ก.ย. 2560	00:00	13.5080° N 100.5670° E	-
1.1	01 ก.ย. 2560	11:18	13.5322° N 100.5984° E	5.03
1.2	01 ก.ย. 2560	15:23	13.5357° N 100.6129° E	1.33
1.3	01 ก.ย. 2560	22:29	13.5238° N 100.6271° E	1.88
1.4	02 ก.ย. 2560	03:30	13.5185° N 100.6477° E	2.45
2*	01 ก.ย. 2560	00:00	13.5327° N 100.6017° E	-
2.1	01 ก.ย. 2560	17:38	13.5130° N 100.6465° E	5.47
3*	01 ก.ย. 2560	00:00	13.4883° N 100.5936° E	-
3.1	01 ก.ย. 2560	11:20	13.5015° N 100.6430° E	5.61

ขณะเดียวกันทางด้านทิศเหนือชุดทุ่นลอย (หมายเลข 2) ในวันที่ 1 กันยายน พ.ศ. 2560 เวลา 00:00 น. ละติจูด 13.5327° N และลองจิจูด100.6017° E พบว่าเมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 11 ชั่วโมง ชุดทุ่นลอยเคลื่อนที่ไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้เป็นหลัก(หมายเลข 2.1) ณ เวลา 17:38 น. ละติจูด 13.5130° N และลองจิจูด 100.6465° E ระยะทางรวม 5.47 กิโลเมตร และทางด้านทิศใต้ชุดทุ่นลอย (หมายเลข 3) ทำการจำลอง วันที่ 1 กันยายน พ.ศ. 2560 เวลา 00:00 น. ละติจูด 13.4883° N และลองจิจูด100.5936° E พบว่าเมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 17 ชั่วโมง ชุดทุ่นลอยเคลื่อนที่ไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้เป็นหลัก(หมายเลข 3.1) ณ เวลา 11:20 น. ละติจูด13.5015N และลองจิจูด100.6430E ระยะทางรวม 5.61 กิโลเมตร (ภาพที่ 8)



ภาพที่ 8 การคาดการณ์เส้นทางการเคลื่อนที่ของชุดทุ่นลอย (drogues) ทิศตะวันตก (หมายเลข 1) ทิศเหนือ (หมายเลข 2) และทิศใต้ (หมายเลข 3) บริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยาจากแบบจำลองเชิงตัวเลข

วิจารณ์ผลการวิจัย

การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลระดับน้ำจากแบบจำลองกับข้อมูลระดับน้ำทำนายในแต่ละสถานี และในแต่ละเดือน โดยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) และค่า RMSE พบว่าไม่แตกต่างกันมาก เนื่องจากสถานีที่ทำการตรวจวัดระดับน้ำในแบบจำลองอยู่ไกลจากบริเวณขอบเขตเปิดทำให้ไม่ได้รับอิทธิพลของการนำเข้าข้อมูล เมื่อทำการเปรียบเทียบระดับน้ำรายชั่วโมงพบว่าเฟสของระดับน้ำจากแบบจำลองและข้อมูลระดับน้ำทำนายมีค่าที่ใกล้เคียงกัน ส่วนค่าแอมปลิจูดของแบบจำลองพบว่ามีค่าสูงกว่าข้อมูลระดับน้ำทำนายของทุกสถานี เนื่องจากการกำหนดความลึกน้ำในแบบจำลองมีความละเอียดไม่มากพอ ค่าระดับน้ำที่ออกจากแบบจำลองจึงมีความแตกต่างจากสถานีน้ำทำนาย และขนาดของกริดในการคำนวณมีขนาดใหญ่ทำให้ไม่สามารถกำหนดจุดตรวจวัดในแบบจำลองใกล้เคียงกับสถานีน้ำทำนายได้มากพอ ทำให้ผลที่ได้แตกต่างกัน

จากการจำลองการไหลเวียนของกระแสน้ำบริเวณอ่าวไทยตอนในสำหรับพื้นที่อ่าวไทยตอนใน ในรอบ 1 ปี พิจารณาปัจจัยหลัก ประกอบด้วย ลม น้ำขึ้นน้ำลง น้ำท่า อุณหภูมิและความเค็ม โดยเลือกเพียง 1 เดือนให้เป็นตัวแทนของแต่ละฤดู

มรสุม พบว่าฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (เดือนมกราคม พ.ศ. 2560) กระแสน้ำในบริเวณอ่าวไทยตอนในส่วนใหญ่จะไหลทวนเข็มนาฬิกา โดยกระแสน้ำจะไหลจากด้านล่างเข้าสู่ก้นอ่าวและไหลแยกออกเป็นสองมวลน้ำขนานกับชายฝั่งลงไปทางทิศใต้ ในช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุม (เดือนเมษายน พ.ศ. 2560) กระแสน้ำกลางอ่าวมีทิศไหลขึ้นสู่ก้นอ่าวไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ และไหลแยกออกเป็น 2 มวลน้ำ โดยแยกออกไปทางด้านฝั่งตะวันตกและทางด้านฝั่งตะวันออก มวลน้ำส่วนใหญ่ไหลแบบทวนเข็มนาฬิกาไปทางด้านฝั่งตะวันตกไหลขนานกับชายฝั่ง ส่วนฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2560) กระแสน้ำในบริเวณอ่าวไทยตอนในส่วนใหญ่จะไหลตามเข็มนาฬิกา โดยกระแสน้ำจะไหลจากด้านล่างเข้าสู่ก้นอ่าวและไหลแยกออกเป็นสองมวลน้ำขนานกับชายฝั่งลงไปทางทิศใต้ และช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุม (เดือนตุลาคม พ.ศ. 2560) กระแสน้ำมีความเร็วลดลงไหลขึ้นสู่ก้นอ่าวไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ และไหลแยกออกเป็น 2 มวลน้ำ โดยแยกออกไปทางด้านฝั่งตะวันตกและด้านฝั่งตะวันออก มวลน้ำส่วนใหญ่จะไหลแบบทวนเข็มนาฬิกาไปทางทิศตะวันตกขนานกับชายฝั่ง ลมแต่ละฤดูมีอิทธิพลมากต่อกระแสน้ำผิวหน้า สอดคล้องกับผลการจำลองกระแสน้ำของ Buranaprathepprat, Yanagi & Sawangwong (2002) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลของการไหลเวียนกระแสน้ำและการแพร่กระจายของความเค็มในบริเวณอ่าวไทยตอนบนโดยใช้แบบจำลอง 2 มิติ และ Buranaprathepprat *et al*., (2009) ได้ทำการศึกษาการไหลเวียนกระแสน้ำบริเวณอ่าวไทยตอนบน โดยใช้แบบจำลอง 3 มิติ

จากนั้นทำการ Monitoring ด้วยชุดทุ่นลอย (drogues) บริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยา พิจารณาปัจจัย ลม น้ำขึ้นน้ำลง น้ำท่า อุณหภูมิ และความเค็ม เป็นหลัก เมื่อทำการเปรียบเทียบเส้นทางการเคลื่อนที่ระหว่างชุดทุ่นลอยจากแบบจำลองและชุดทุ่นลอยจากการตรวจวัดภาคสนาม พบว่าชุดทุ่นลอยของทั้ง 2 แบบ เคลื่อนที่ไปตามกระแสน้ำผิวหน้าที่ได้จากการจำลองกระแสน้ำ โดยชุดทุ่นลอยจากการตรวจวัดภาคสนามมีการเคลื่อนที่จากจุดเริ่มต้นไปทางทิศตะวันตกมีการขึ้นลงตามระดับน้ำขึ้นน้ำลง และจำลองการคาดการณ์เส้นทางการเคลื่อนที่ของวัตถุลอยน้ำพบว่ามีการเคลื่อนที่ไปทางทิศตะวันออกเป็นหลักในช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ สอดคล้องกับการศึกษาของ Chanthasiri (2014) ศึกษาแบบจำลองเชิงตัวเลขเพื่อศึกษาการกระจายตัวอ่อนปะการัง โดยกระแสน้ำบริเวณชายฝั่งสัตหีบ จังหวัดชลบุรี และ Intang, Anongponyoskun & Sojisuporn (2016) ทำการศึกษาประยุกต์ใช้แบบจำลองเชิงตัวเลขเพื่อศึกษากระแสน้ำขึ้นน้ำลงกรณีศึกษาบริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยา จังหวัดสมุทรปราการ โดยการปล่อยชุดทุ่นลอยในช่วง flood tide และ ebb tide พบว่าชุดทุ่นลอยมีการเคลื่อนที่ตามกระแสน้ำผิวหน้าจากอิทธิพลของลม และน้ำขึ้นน้ำลง เป็นหลัก

จากผลที่ชุดทุ่นลอยมีการเคลื่อนที่ที่แตกต่างกันอาจเกิดจากรูปร่างและน้ำหนักของตัวชุดทุ่นลอยที่แตกต่างกัน รวมไปถึงอิทธิพลจากคลื่น ที่ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมต่อไปในอนาคต เพื่อให้ผลการจำลองมีความแม่นยำมากขึ้น ปัจจุบันปัญหาขยะทะเลรวมไปถึงวัตถุต่างๆ ที่ลอยน้ำกำลังเป็นปัญหาระดับโลก โดยเฉพาะในช่วงเดือนกันยายนที่มีการพบปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสีหรือการสะพรั่งของแพลงก์ตอนพืชซึ่งได้รับสารอาหารจากปากแม่น้ำนั้น จะพบว่าบริเวณที่มีแนวโน้มการเคลื่อนที่ของแพลงก์ตอนเหล่านี้จะเป็นบริเวณทางด้านตะวันออกของปากแม่น้ำเจ้าพระยา จากการศึกษาในครั้งนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ประกอบการคาดการณ์ขยะทะเลรวมไปถึงวัตถุต่างๆ ที่ลอยน้ำที่ถูกปล่อยออกสู่บริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยาในช่วงลมมรสุม

ตะวันออกเฉียงเหนือ ว่ามีการเคลื่อนที่ไปทางทิศตะวันตกเพื่อที่จะรับมือและจัดการได้ทันท่วงที ดังนั้นข้อมูลเหล่านี้จะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับผู้ที่เกี่ยวข้องและแก้ไขปัญหาเหล่านี้ต่อไปในอนาคต

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาติดตามเคลื่อนที่ของวัตถุลอยน้ำ ทำการปล่อยชุดทุ่นลอยโดยการตรวจวัดภาคสนามระหว่างวันที่ 26-27 มกราคม พ.ศ. 2560 กระแสน้ำผิวหน้าบริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยาได้รับอิทธิพลจาก ลม และน้ำขึ้นน้ำลง เป็นหลัก ซึ่งเป็นปัจจัยที่ทำให้ตัววัตถุลอยน้ำเคลื่อนที่ โดยตลอดช่วงเวลาที่ทำการตรวจวัดชุดทุ่นลอยของแบบจำลองและการตรวจวัดภาคสนามประมาณ 18 ชั่วโมง ชุดทุ่นลอยมีการเคลื่อนที่ตามการขึ้นลงของระดับน้ำ และเคลื่อนที่ไปทางทิศตะวันตกเป็นหลัก แล้วจำลองการเคลื่อนตัวของวัตถุลอยน้ำด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ พบว่าผลจากแบบจำลองสอดคล้องกับผลจากการการตรวจวัดภาคสนามแต่เคลื่อนที่ได้ระยะทางที่ไกลกว่า (ภาพที่ 7) อย่างไรก็ตามผลจากแบบจำลองและการตรวจวัดภาคสนามจากการปล่อยชุดทุ่นลอยของการติดตามการเคลื่อนที่ของวัตถุลอยน้ำในครั้งนี้เป็นเพียงช่วงระยะเวลาสั้น ๆ และหากลดหรือเพิ่มความลึกน้ำบริเวณจุดที่ปล่อยทุ่นลอยอาจจะทำให้ผลเปลี่ยนแปลงไปด้วย

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณข้อมูลระดับน้ำทำนาย กรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สำหรับความสะดวกในการทำวิจัย และขอขอบคุณการสนับสนุนด้านงบประมาณจาก โครงการการพัฒนานโยบายการจัดการประมงอย่างมีประสิทธิภาพบนพื้นฐานระบบนิเวศ-สังคมภายใต้ธรรมาภิบาลที่ดีเพื่อความยั่งยืนทางการประมงในพื้นที่อ่าวไทยตอนในและสำนักงานกองทุนสนันสนุนการวิจัย(สกว.) ตลอดจนทำให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

Buranapratheprat, A., Yanagi, T., & Sawangwong, P. (2002). Seasonal variations in circulation and salinity distributions in the Upper Gulf of Thailand: Modeling approach. *La mer*, *40*, 147-155.

Buranapratheprat, A. (2008). Circulation in the Upper Gulf of Thailand: A review. *Burapha Science Journal*, *13*(1), 75-83. (in Thai)

Buranapratheprat, A., Niemann, K., O, Yanagi, T., Matsumura, S., & Sojisuporn P. (2009). Circulation in the Upper Gulf of Thailand Investigated Using a Three-Dimensional Hydrodynamic Model. *Burapha Science Journal*, *14*(1), 99-133. (in Thai)

Chanthasiri, N. (2014). *Numerical Modeling of coral Larval Dispersal in Sattahip Coastal Area, Chon Buri Province*. (Thesis for Master of Science, Department of Marine Science, Faculty of Science, Chulalongkorn University. (in Thai)

Deltares. (2018). *Delft3D-Flow User Manual*. Delft. The Netherlands.

Department of marine and coastal resource. (2010). *Guide marine debris and international coastal cleanup*. Bangkok. Department of Marine and Coastal Resources Conservation. Ministry of Natural Resources and Environment. (in Thai)

Hydrographic department, royal Thai Navy. (2017). Tide tables Thai waters Mae Nam Chao Phraya - Gulf of Thailand and Andaman Sea . (in Thai)

Intang, T., Anongponyoskun, M., & Sojisuporn, P. (2016). Application of numerical model to study the tidal current :Case study -The Chao Phraya river mouth, Samutprakarn Province. *Proceedings of the 5th Marine Science Conference*. 1-3 June 2016 Rama Gardents Hotel, Bangkok. 691-625. (in Thai)

Yanagi, T., & Takao, T. (1998). Seasonal variation of three-dimensional circulations in the Upper Gulf of Thailand. *La mer*, *36*, 43-55.