

การจำลองการรั่วไหลของน้ำมันบริเวณอ่าวไทยตอนบน



น.ส.กิตติยา แยมภิรมย์ศรี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการความเสี่ยงและภัยพิบัติ (สหสาขาวิชา) สหสาขาวิชาการจัดการด้านภัยพิบัติ

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2565

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Simulation of Oil Spill in Upper Gulf of Thailand



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Risk and Disaster Management (Interdisciplinary
Program)

Inter-Department of Disaster Management

GRADUATE SCHOOL

Chulalongkorn University

Academic Year 2022

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การจำลองการรั่วไหลของน้ำมันบริเวณอ่าวไทยตอนบน
โดย	น.ส.กิตติยา แยมภิรมย์ศรี
สาขาวิชา	การจัดการความเสี่ยงและภัยพิบัติ (สหสาขาวิชา)
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนุรักษ์ ศรีอริยวัฒน์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.ยุทธนา ฉัพพรรณรัตน์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พงษ์ศักดิ์ สุทธินนท์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนุรักษ์ ศรีอริยวัฒน์)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปานนท์ ลาชโรจน์)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

กิตติยา แยมภิรมย์ศรี : การจำลองการรั่วไหลของน้ำมันบริเวณอ่าวไทยตอนบน . (Simulation of Oil Spill in Upper Gulf of Thailand) อ.ที่ปรึกษาหลัก : ผศ. ดร.อนุรักษ์ ศรีอรียวัฒน์

สถิติการเกิดน้ำมันรั่วไหลในประเทศไทยตั้งแต่อดีตถึงปัจจุบันของกรมเจ้าท่า พบว่าเกิดน้ำมันที่รั่วไหลในทะเลอ่าวไทยตอนบนหลายครั้ง โดยมีสาเหตุมาจากเรือขนส่งสินค้า เรือขนถ่ายน้ำมัน เกิดอุบัติเหตุกลางทะเล อันเป็นผลมาจากความชำรุดของอุปกรณ์เดินเรือ หรือสภาพภูมิอากาศที่ไม่ดีต่อการเดินเรือ ยังส่งผลกระทบต่อชีวิต ทรัพย์สิน และสิ่งแวดล้อมอย่างมาก เพราะบริเวณอ่าวไทยตอนบนมีพื้นที่ชุมชนชายฝั่งทะเล และแหล่งเพาะพันธุ์สัตว์น้ำ การศึกษาในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการจำลองการรั่วไหลของน้ำมันบริเวณอ่าวไทยตอนบน โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการคาดการณ์การเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันที่รั่วไหลในทะเล ประกอบด้วยแบบจำลอง 3 ชนิด คือแบบจำลอง SWAN ใช้ในการจำลองคลื่นที่เกิดจากลม, แบบจำลอง Delft3D ใช้ในการจำลองกระแสน้ำเนื่องจากอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงและคลื่นลม และแบบจำลอง GNOME ใช้ในการจำลองการรั่วไหลของน้ำมันในทะเลบริเวณอ่าวไทยตอนบน ผลของแบบจำลองแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ การจำลองคลื่นและกระแสน้ำ และการจำลองการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันที่รั่วไหลในทะเลอ่าวไทยตอนบน

ความสูงคลื่นนัยสำคัญเป็นผลที่ได้การจำลองคลื่นด้วยแบบจำลอง SWAN มีการเปรียบเทียบและสอบทานข้อมูลจากแบบจำลองกับข้อมูลตรวจวัดจากหุ่นสมุทรศาสตร์ของสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิศาสตร์สารสนเทศ ในปี พ.ศ.2540 – 2545 ที่สถานีสถานีหัวหิน, สถานีเพชรบุรี และสถานีเกาะสีชัง กระแสน้ำเนื่องจากน้ำขึ้นน้ำลงและกระแสน้ำสุทธิที่เป็นผลรวมของน้ำขึ้นน้ำลงและคลื่นลมจากแบบจำลอง Delft3D ถูกเปรียบเทียบและสอบทานโดยใช้ระดับน้ำจากแบบจำลองกับข้อมูลระดับน้ำทำนายของกรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ ในปี พ.ศ. 2549 – 2559 ที่สถานีหัวหิน, สถานีสันดอนเจ้าพระยา, สถานีเกาะสีชัง และสถานีอ่าวสัตหีบ จากการศึกษาคลื่นและกระแสน้ำพบว่ากระแสน้ำที่เป็นอิทธิพลหลักบริเวณอ่าวไทยตอนบนคือกระแสน้ำเนื่องจากอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง จึงใช้กระแสน้ำเนื่องจากน้ำขึ้นน้ำลงในการศึกษาการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันที่รั่วไหลในทะเลต่อไป

การศึกษาการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันที่รั่วไหลในทะเลอ่าวไทย ทำการเปรียบเทียบและสอบทานแบบจำลอง GNOME ด้วยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมของสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิศาสตร์สารสนเทศ (GISTDA) ในช่วงเกิดเหตุการณ์น้ำมันรั่วบริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยา วันที่ 3 ธันวาคม พ.ศ.2562 พบว่าการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันมีทิศทางสอดคล้องกับทิศทางของลม ในการศึกษาครั้งนี้ประยุกต์ใช้แบบจำลองโดยการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันในช่วงน้ำเกิดและน้ำตายรายเดือน ทำให้สามารถประมาณช่วงเวลาและตำแหน่งที่น้ำมันเคลื่อนที่กระทบชายฝั่งทะเล และสรุปได้ว่าการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันที่รั่วไหลมีการเปลี่ยนแปลงตามปัจจัยของชนิดน้ำมัน, คุณสมบัติการแพร่กระจายของน้ำมัน, ข้อมูลลม และข้อมูลกระแสน้ำในทะเล

สาขาวิชา	การจัดการความเสี่ยงและภัยพิบัติ (สหสาขาวิชา)	ลายมือชื่อนิสิต
ปีการศึกษา	2565	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

6187260020 : MAJOR RISK AND DISASTER MANAGEMENT (INTERDISCIPLINARY PROGRAM)

KEYWORD: Upper Gulf of Thailand, GNOME model, SWAN model, Delft3D model, oil spill in sea

Kittiya Yampiromsri : Simulation of Oil Spill in Upper Gulf of Thailand. Advisor: Asst. Prof. ANURAK SRIARIYAWAT, Ph.D.

Statistics of oil spills in Thailand from the past to the present showed that there were several oil spill cases occurred in the Upper Gulf of Thailand. The causes of oil spills were coming from the cargo ships and the oil tankers that got accidents in the sea which were caused by the damage of their equipment or bad climate conditions. This affected to human lives, properties, and the environment, because there were a lot of coastal communities and aquaculture areas in the Upper Gulf of Thailand. The objective of this study is to simulation the oil spill in the Upper Gulf of Thailand by using the numerical models. This simulation consisted of 3 models; the SWAN model for simulating waves caused by wind, the Delft3D model for simulating current that was influenced by tides and waves, and the GNOME model for simulating oil spill trajectories in the sea. The simulation results were divided into two parts: the first part was the simulation of waves and currents, and the second part was the simulation of the trajectory of oil spill in the upper Gulf of Thailand.

The significant wave height was the result of wave simulation from the SWAN model. The model was calibrated and validated by data from the Geo-Informatics and Space Technology Development Agency (GISTDA) in 1997 – 2002 at Huahin, Phetchaburi and Koh-Sichang station. The tidal influence current and the net current which combine tidal and wind-wave effects, resulted from Delft3D model was calibrated and validated by using tide tables of Hydrographics Department at Huahin, Bangkok bar, Koh-Sichang and Ao Sattahip station. The study of waves and currents found that the major influential current in the upper Gulf of Thailand was the tidal influence current. Therefore, the tidal influence current was used to study the trajectory of oil spills in the sea.

The trajectory of oil spills in the upper Gulf of Thailand by the GNOME model was using satellite imagery data from the Geo-Informatics and Space Technology Development Agency (GISTDA) during the oil spill incident at the Chao Phraya River Estuary on 3 December 2019 to calibrate and validate. It was found that the trajectory of oil spills correlated with the direction of the wind. The study applied the GNOME model to analyzing the trajectory of oil spills during spring tide and neap tide monthly. The result was able to estimate the timing and locations where the oil would impact the upper Gulf of Thailand's coastal areas. In conclusion, the trajectory of the oil spills was influenced by many factors such as the type of oil, diffusion characteristics, wind data, and current data in the sea.

Field of Study:	Risk and Disaster Management (Interdisciplinary Program)	Student's Signature
Academic Year:	2022	Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

การทำวิทยานิพนธ์เรื่องการจำลองการรั่วไหลของน้ำมันบริเวณอ่าวไทยตอนบน (Simulation of Oil Spill in Upper Gulf of Thailand) ภายใต้หลักสูตรสหสาขาวิชาการจัดการความเสี่ยงและภัยพิบัติ เป็นไปได้ด้วยความช่วยเหลือและด้วยความอนุเคราะห์ของบุคคลหลายท่านซึ่งสนับสนุน สั่งสอน อยู่เคียงข้างตั้งแต่การเริ่มต้นทำวิทยานิพนธ์ อีกทั้งแนะนำแนวทางการศึกษา ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนุรักษ์ ศรีอริยวัฒน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ที่ตอบรับความคิดและมอบโอกาสในการทำวิทยานิพนธ์ ให้คำชี้แนะ ปรับทรงระคนคติ และเป็นที่ปรึกษาทั้งเรื่องเรียนและเรื่องการใช้ชีวิต เป็นครูผู้ผลักดันนักเรียน และคอยส่งเสริมมอบประสบการณ์ต่าง ๆ ให้ได้เรียนรู้และพัฒนาตัวเองตลอดเวลา

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พงษ์ศักดิ์ สุทธินนท์ ประธานกรรมการ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปานนท์ ลาขโรจน์ กรรมการภายนอก ในการเสียสละเวลา ให้โอกาสในการนำเสนอ และให้คำชี้แนะการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ Delft University of Technology และ Deltares Academy ประเทศเนเธอร์แลนด์, ผู้พัฒนาแบบจำลอง SWAN, Delft3D และขอขอบคุณ Hazardous Materials Response Division ผู้พัฒนาแบบจำลอง GNOME และหน่วยงานกรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ และสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) (GISTDA) ที่ให้ความอนุเคราะห์เรื่องของข้อมูลในการศึกษา

ขอกราบขอบพระคุณพี่กอล์ฟ พงษ์สิทธิ์ ผลสมบูรณ์ ผู้ที่เป็นเสาหลักในการผลักดัน สั่งสอน ให้ความสามารถ และช่วยเพิ่มพูนวิชาความรู้ ทำให้สามารถมีความสุขจากศึกษาและการทำวิทยานิพนธ์ไม่มากนักน้อย ตลอดจนแนะนำให้รู้จักกับเพื่อนพี่น้องที่ ภาควิชาแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทุกท่านที่คอยช่วยเหลือทุกอย่าง เป็นเพื่อนอยู่เคียงข้างกัน และให้กำลังใจกันเสมอจนวิทยานิพนธ์นี้ดำเนินไปจนเสร็จสิ้นได้

ขอกราบขอบพระคุณครูอาจารย์ เพื่อนพี่น้อง RDM ทุกท่าน ที่ร่วมกันบุกเบิกให้หลักสูตรการจัดการภัยพิบัติก่อเกิดขึ้นมา โดยเฉพาะเพื่อนร่วมรุ่น 1 ที่คอยชี้แนะ และคอยสนับสนุนให้มีความตั้งใจทำวิทยานิพนธ์นี้จนลุล่วง

สุดท้ายนี้ ต้องขอกราบขอบพระคุณคุณแม่วินัส ป้า ปั้น พี่ธีร์ แม่กานต์ สมาชิกครอบครัวทุกคน ที่สร้างเสริมให้มีสุขภาพกายและสุขภาพจิต มีทรงระคนคติที่สามารถอดทนฟันฝ่าอุปสรรคได้ และสนับสนุนการศึกษามาโดยตลอด สำนึกคุณเบื้องบน และสิ่งศักดิ์สิทธิ์ทุกพระองค์เมตตา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูปภาพ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	4
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	4
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	8
บทที่ 2 ทบทวนเอกสารและงานวิจัย.....	9
2.1 การจัดการความเสี่ยงและภัยพิบัติ (risk and disaster management).....	9
2.1.1 นิยามความเสี่ยง.....	9
2.1.2 การบริหารจัดการความเสี่ยง.....	10
2.1.3 นิยามภัยพิบัติ.....	14
2.1.4 การจัดการภัยพิบัติ.....	16
2.2 การรั่วไหลของน้ำมันในทะเล.....	18
2.2.1 การแปรสภาพของน้ำมันที่รั่วไหลในทะเล.....	19
2.2.2 สถิติการเกิดเหตุการณ์น้ำมันรั่วไหลในน่านน้ำทะเลไทย.....	21
2.2.3 เขตความเสี่ยงต่อการเกิดเหตุการณ์น้ำมันรั่วไหลในน่านน้ำทะเลไทย.....	21

2.3 การไหลเวียนของน้ำทะเลบริเวณอ่าวไทยตอนบน	25
2.3.1 กระแสน้ำที่เกิดจากอิทธิพลของลม	26
2.3.2 กระแสน้ำที่เกิดจากอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง	28
2.3.3 กระแสน้ำที่เกิดจากอิทธิพลของน้ำท่า	29
2.3.4 กระแสน้ำที่เกิดจากอิทธิพลของชั้นความหนาแน่นน้ำ	29
2.4 แบบจำลองคลื่น	32
2.4.1 สมการพื้นฐานแบบจำลอง SWAN (SWAN governing equations)	34
2.4.2 ค่าพลังงานที่ถูกถ่ายทอดจากลม	35
2.4.3 กระบวนการปฏิสัมพันธ์ระหว่างคลื่นแบบไม่เชิงเส้น	36
2.4.4 กระบวนการสลายตัวของพลังงานคลื่น	36
2.5 แบบจำลองกระแสน้ำ	38
2.5.1 สมการพื้นฐานแบบจำลอง Delft3D (Delft3D governing equations)	41
2.5.2 สมการความดันของไหลแบบสถิต (hydrostatic equation)	42
2.5.3 สมการโมเมนตัมในแนวระนาบ (horizontal momentum equation)	42
2.5.4 สมการความต่อเนื่อง (continuity equation)	43
2.5.5 แบบจำลองการไหลปั่นป่วน (turbulence closure)	43
2.5.6 สมการขนส่ง (transport equation)	44
2.5.7 เงื่อนไขขอบเขตการไหล (flow boundary conditions)	44
2.6 แบบจำลองการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันในทะเล	48
2.6.1 สมการพื้นฐานแบบจำลอง GNOME	50
2.6.2 การแพร่กระจายของคราบน้ำมัน (diffusion)	51
2.6.3 ประเภทของน้ำมัน (pollutant type)	51
2.6.4 การแพร่กระจายของอนุภาคน้ำมันเนื่องจากอิทธิพลของลม (windage percentages และ persistence time-step)	52

บทที่ 3	วิธีการศึกษา.....	53
3.1	ข้อมูลที่ใช้.....	54
3.1.1	ความลึกพื้นท้องทะเล (bathymetry)	54
3.1.2	ขอบเขตชายฝั่ง (coastal line).....	55
3.1.3	ลมที่ระดับความสูง 10 เมตร (wind speed at 10 m)	56
3.1.4	สเปกตรัมคลื่น (wave spectrum).....	56
3.1.5	ระดับน้ำ (water level).....	57
3.1.6	ภาพถ่ายดาวเทียม (satellite imagery).....	57
3.2	แบบจำลองคลื่น (SWAN).....	60
3.3	แบบจำลองกระแสน้ำ (Delft3D)	61
3.4	แบบจำลองการเคลื่อนของคราบน้ำมันในทะเล (GNOME).....	62
3.5	การเปรียบเทียบและสอบทานความถูกต้องของแบบจำลอง.....	64
3.5.1	การเปรียบเทียบและสอบทานความถูกต้องของแบบจำลองคลื่นและกระแสน้ำ.....	64
3.5.2	การเคลื่อนที่ของคราบน้ำมัน.....	66
บทที่ 4	การจำลองคลื่นและกระแสน้ำ.....	67
4.1	การจำลองคลื่น.....	67
4.1.1	การวิเคราะห์ข้อมูลลม	67
4.1.2	การวิเคราะห์ความอ่อนไหว	70
4.1.3	การเปรียบเทียบและการสอบทานแบบจำลอง (calibration และ validation).....	72
4.1.4	วิเคราะห์ข้อมูลคลื่นจากแบบจำลอง SWAN บริเวณอ่าวไทยตอนบน	76
4.2	การจำลองกระแสน้ำ.....	76
4.2.1	การจำลองกระแสน้ำเนื่องจากอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง.....	76
4.2.2	การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลอง Delft3D.....	77

4.2.3 การเปรียบเทียบและการสอบทานแบบจำลอง Delft3D (calibration และ validation)	80
4.2.4 การจำลองกระแสน้ำสุทธิ.....	83
4.2.5 อิทธิพลของคลื่นลมและน้ำขึ้นน้ำลง.....	83
4.3 สรุปคลื่นและกระแสน้ำ.....	84
บทที่ 5 ผลการจำลองการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมัน.....	86
5.1 การศึกษาความอ่อนไหวของแบบจำลอง GNOME.....	86
5.2 การเปรียบเทียบและสอบทานแบบจำลอง (calibration และ validation).....	86
5.3 การคาดการณ์การรั่วไหลของน้ำมันบริเวณอ่าวไทยตอนบน.....	95
5.4 สรุปและวิเคราะห์ผลการศึกษาคาดการณ์การรั่วไหลของน้ำมันบริเวณอ่าวไทยตอนบน	104
บทที่ 6 สรุปและข้อเสนอแนะ.....	107
6.1 การศึกษาลักษณะทางกายภาพในทะเล.....	107
6.1.1 แบบจำลองคลื่น.....	107
6.1.2 แบบจำลองกระแสน้ำ.....	108
6.2 แบบจำลองการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันที่รั่วไหลในทะเล.....	109
6.3 ข้อเสนอแนะ.....	111
บรรณานุกรม.....	113
ภาคผนวก ก.....	119
ภาคผนวก ข.....	126
ประวัติผู้เขียน.....	139

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1-1 รายละเอียดข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาแบบจำลอง SWAN, Delft3D และ GNOME	6
ตารางที่ 2-1 สถิติน้ำมันรั่วปริมาณมากระหว่างปี พ.ศ.2540 – 2556.....	22
ตารางที่ 2-2 ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานท้องน้ำ.....	37
ตารางที่ 2-3 อัตราการแพร่กระจายของน้ำมันในแบบจำลอง GNOME	51
ตารางที่ 3-1 ข้อมูลนำเข้าในแบบจำลอง SWAN.....	60
ตารางที่ 3-2 การตั้งค่าพารามิเตอร์สำหรับปรับเทียบแบบจำลอง SWAN	61
ตารางที่ 3-3 ข้อมูลนำเข้าในแบบจำลอง Delft3D.....	62
ตารางที่ 3-4 การตั้งค่าพารามิเตอร์สำหรับปรับเทียบแบบจำลอง Delft3D	62
ตารางที่ 3-5 ข้อมูลนำเข้าในแบบจำลอง GNOME.....	63
ตารางที่ 3-6 การตั้งค่าพารามิเตอร์สำหรับปรับเทียบแบบจำลอง GNOME	63
ตารางที่ 4-1 การเปรียบเทียบการปรับเทียบค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานพื้นท้องน้ำ	73
ตารางที่ 4-2 การเปรียบเทียบการปรับเทียบค่าสัมประสิทธิ์การแตกตัวของยอดคลื่น.....	74
ตารางที่ 4-3 การเปรียบเทียบการปรับเทียบค่าสัมประสิทธิ์ความชันคลื่น	74
ตารางที่ 4-4 การวิเคราะห์องค์ประกอบฮาร์โมนิกของน้ำขึ้นน้ำลงด้วยวิธี harmonic analysis จากข้อมูลระดับน้ำทำนายที่สถานีหัวหิน และสถานีอ่าวสัตหีบในปี พ.ศ.2559	77
ตารางที่ 4-5 การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของพารามิเตอร์สัมประสิทธิ์ความขรุขระของ Manning's n	79
ตารางที่ 5-1 ทิศทางลม, เวลา และตำแหน่งที่ครบน้ำมันเคลื่อนที่เข้ากระทบชายฝั่งหลังจากรั่วไหลในช่วงน้ำเกิดสูงสุด ในช่วงปี พ.ศ.2534 – 2563.....	105
ตารางที่ 5-2 ทิศทางลม, เวลา และตำแหน่งที่ครบน้ำมันเคลื่อนที่เข้ากระทบชายฝั่งหลังจากรั่วไหลในช่วงน้ำตายต่ำสุด ในช่วงปี พ.ศ.2534 – 2563.....	106

สารบัญรูปร่าง

	หน้า
รูปที่ 1-1 โครงข่ายการขนส่งสินค้าทางน้ำของประเทศไทย	2
รูปที่ 1-2 แผนที่ดัชนีความอ่อนไหวของทรัพยากรต่อมลพิษจากน้ำมัน ปี พ.ศ.2553	4
รูปที่ 2-1 กรอบการประเมินความเสี่ยงตามมาตรฐาน ISO 31000 (ISO, 2009)	13
รูปที่ 2-2 กรอบยุทธศาสตร์การดำเนินงานตามวัฏจักรการบริหารจัดการสาธารณสุข	18
รูปที่ 2-3 กระบวนการทางเคมีและกายภาพของน้ำมันที่รั่วไหล (National Research Council, 2014).....	20
รูปที่ 2-4 เขตความเสี่ยงต่อน้ำมันรั่วไหลในน่านน้ำไทย (กรมควบคุมมลพิษ, 2553)	25
รูปที่ 2-5 ลักษณะภูมิประเทศของอ่าวไทยตอนบน	27
รูปที่ 2-6 ลักษณะของน้ำขึ้นน้ำลงบริเวณชายฝั่งอ่าวไทยและอันดามัน (กรมอุทกศาสตร์, 2538)	30
รูปที่ 2-7 การไหลเวียนสุทธิของน้ำในอ่าวไทยจากอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง	31
รูปที่ 2-8 การเปรียบเทียบความสูงคลื่นนัยสำคัญจากหุ่นตรวจวัด และจากแบบจำลอง SWAN (Bento et al., 2012).....	33
รูปที่ 2-9 ลักษณะการไหลเวียนของกระแสน้ำในอ่าวไทยตอนบน (Buranapratheprat, 2008)	39
รูปที่ 2-10 ลักษณะการไหลเวียนของกระแสน้ำในอ่าวไทย (Sojisuporn et al., 2010).....	39
รูปที่ 2-11 การเปรียบเทียบระดับน้ำจริงและระดับน้ำจากแบบจำลอง (Saramul, 2010).....	40
รูปที่ 2-12 นิยามของระดับน้ำเหนือผิวน้ำ และความลึกน้ำ (Deltares, 2023).....	42
รูปที่ 2-13 องค์ประกอบฮาร์โมนิค Q1,O1, K1, P1, N2, M2, S2 และ K2	47
รูปที่ 3-1 แผนผังการศึกษา	53
รูปที่ 3-2 แผนที่ภาพถ่ายดาวเทียมการติดตามคราบน้ำมันรั่วบริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยา วันที่ 3 ธันวาคม พ.ศ.2562 เวลา 10.41 น. (GIDTDA, 2562)	58
รูปที่ 3-3 แผนที่ภาพถ่ายดาวเทียมการติดตามคราบน้ำมันรั่วบริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยา วันที่ 4 ธันวาคม พ.ศ.2562 เวลา 18.00 น. (GIDTDA, 2562).....	59

รูปที่ 4-1 ผังข้อมูลลมระหว่างปี พ.ศ.2541 – 2545 ของข้อมูล ERA5..... 69

รูปที่ 4-2 การเปรียบเทียบความสูงคลื่นนัยสำคัญจากแบบจำลองกระแสน้ำ เมื่อทำการปรับค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานพื้นท้องน้ำในช่วง $C_{fjon} = 0.004 - 0.170 \text{ m}^2/\text{s}^3$ 71

รูปที่ 4-3 การเปรียบเทียบความสูงคลื่นนัยสำคัญจากแบบจำลองกระแสน้ำ เมื่อทำการปรับค่าสัมประสิทธิ์การแตกตัวของยอดคลื่นในช่วง $C_{ds} = 1.50 \times 10^{-5} - 4.90 \times 10^{-5}$ 71

รูปที่ 4-4 การเปรียบเทียบความสูงคลื่นนัยสำคัญจากแบบจำลองกระแสน้ำ เมื่อทำการปรับค่าสัมประสิทธิ์ความชันคลื่นในช่วง $S_{PM}^{-2} = 2.02 \times 10^{-3} - 3.60 \times 10^{-3}$ 72

รูปที่ 4-5 การปรับเทียบค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานพื้นท้องน้ำ..... 73

รูปที่ 4-6 การปรับเทียบค่าสัมประสิทธิ์การแตกตัวของยอดคลื่น 74

รูปที่ 4-7 การปรับเทียบค่าสัมประสิทธิ์ความชันคลื่น..... 74

รูปที่ 4-8 การสอบทานแบบจำลองคลื่นด้วยการเปรียบเทียบความสูงคลื่นนัยสำคัญ 75

รูปที่ 4-9 การสอบทานแบบจำลองคลื่นด้วยการเปรียบเทียบความสูงคลื่นนัยสำคัญ 75

รูปที่ 4-10 ผังข้อมูลลมจากแบบจำลอง ERA5 (ก) และผังข้อมูลความสูงคลื่นนัยสำคัญจากแบบจำลอง SWAN (ข) บริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยา ระหว่างปี พ.ศ.2534 – 2563 76

รูปที่ 4-11 การเปรียบเทียบระหว่างระดับน้ำจากแบบจำลองกระแสน้ำ 78

รูปที่ 4-12 การเปรียบเทียบระดับน้ำจากแบบจำลองกระแสน้ำ ที่สถานีสันดอนเจ้าพระยา เมื่อทำการวิเคราะห์ความอ่อนไหวค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ Manning’s $n = 0.01 - 0.03 \text{ s/m}^{1/3}$ 79

รูปที่ 4-13 การปรับเทียบพารามิเตอร์สัมประสิทธิ์ความขรุขระ Manning’s n โดยเปรียบเทียบระดับน้ำจากแบบจำลองกระแสน้ำกับข้อมูลระดับน้ำทำนาย จากกรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ ในเดือนธันวาคม ปี พ.ศ.2559 81

รูปที่ 4-14 การเปรียบเทียบระดับน้ำจำลอง กับระดับน้ำทำนายจากกรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ ในเดือนธันวาคม ปี พ.ศ.2549..... 82

รูปที่ 4-15 การเปรียบเทียบระดับน้ำจากแบบจำลองกระแสน้ำสุทธิ กับระดับน้ำทำนายจากกรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ สถานีเกาะสีชัง ในเดือนธันวาคม ปี พ.ศ.2549..... 83

รูปที่ 4-16 อิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงและคลื่นลมในทะเลต่อกระแสน้ำสุทธิ 84

รูปที่ 5-1 การวิเคราะห์ความอ่อนไหวค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายของน้ำมัน 87

รูปที่ 5-2 การเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายของน้ำมัน (diffusion coefficient, D) แบบจำลองคราบน้ำมันวันที่ 3 ธันวาคม พ.ศ.2562.....	88
รูปที่ 5-3 การเปรียบเทียบคราบน้ำมันจำลองกับภาพน้ำมันจริง จากแผนที่ดาวเทียมวันที่ 3 ธันวาคม พ.ศ.2562 เวลา 10.40 น.....	89
รูปที่ 5-4 การเปรียบเทียบคราบน้ำมันจำลองกับภาพน้ำมันจริง จากแผนที่ดาวเทียมวันที่ 4 ธันวาคม พ.ศ.2562 เวลา 18.00 น.....	89
รูปที่ 5-5 การสอบเทียบจุดเริ่มต้นการรั่วไหลของน้ำมัน แบบจำลองคราบน้ำมันวันที่ 3 ธันวาคม พ.ศ. 2562.....	91
รูปที่ 5-6 การเปรียบเทียบเวลาเริ่มต้นการรั่วไหลของน้ำมัน วันที่ 3 ธันวาคม พ.ศ.2562 เวลา 10.00 น. (คราบน้ำมันจริง เวลา 10.41 น.).....	91
รูปที่ 5-7 การเปรียบเทียบคราบน้ำมันจำลองที่ใกล้เคียงกับคราบน้ำมันจริง	93
รูปที่ 5-8 ตำแหน่งคราบน้ำมันที่รั่วไหลในทะเลอ่าวไทยตอนบน ในวันที่ 4 ธันวาคม พ.ศ.2562 เวลา 01.00 น. (เวลาจริง 18.00 น.).....	94
รูปที่ 5-9 การเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันเข้ากระทบชายฝั่งทะเล ช่วงน้ำเกิดและน้ำตาย ในเดือน กุมภาพันธ์.....	96
รูปที่ 5-10 การเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันเข้ากระทบชายฝั่งทะเล ช่วงน้ำเกิดและน้ำตาย ในเดือน มีนาคม.....	97
รูปที่ 5-11 การเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันเข้ากระทบชายฝั่งทะเล ช่วงน้ำเกิดและน้ำตาย ในเดือน เมษายน.....	98
รูปที่ 5-12 การเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันเข้ากระทบชายฝั่งทะเล ช่วงน้ำเกิดและน้ำตาย ในเดือน พฤษภาคม.....	99
รูปที่ 5-13 การเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันเข้ากระทบชายฝั่งทะเล ช่วงน้ำเกิดและน้ำตาย ในเดือน มิถุนายน.....	100
รูปที่ 5-14 การเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันเข้ากระทบชายฝั่งทะเล ช่วงน้ำเกิดและน้ำตาย ในเดือน กรกฎาคม.....	101
รูปที่ 5-15 การเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันเข้ากระทบชายฝั่งทะเล ช่วงน้ำเกิดและน้ำตาย ในเดือน สิงหาคม.....	102

รูปที่ 5-16 การเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันเข้ากระทบชายฝั่งทะเล ช่วงน้ำเกิดและน้ำตาย ในเดือน
กันยายน..... 103



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

การขนส่งทางน้ำของประเทศไทยที่จัดว่าเป็นช่องทางการติดต่อ และแลกเปลี่ยนสิ่งของตั้งแต่อดีต โดยเริ่มจากการใช้ท่อนไม้ลอยน้ำเป็นตัวพยุง ต่อมานำท่อนไม้มาผูกเป็นแพลอยน้ำ จนถึงปัจจุบันที่การขนส่งทางน้ำพัฒนามาใช้เรือที่มีเครื่องยนต์ใช้เชื้อเพลิงจากน้ำมัน อีกทั้งด้วยที่ตั้งทางภูมิศาสตร์ของประเทศไทยซึ่งตั้งอยู่ใจกลางภูมิภาคอาเซียน มีทางเชื่อมต่อกับทะเลทั้งทางฝั่งอ่าวไทย และทางฝั่งอันดามัน ประเทศไทยจึงมีความได้เปรียบทางคมนาคมขนส่ง และการท่องเที่ยวทางทะเลอย่างมาก (Daoreuk Communications Co., 2015) ตลอดแนวชายฝั่งของประเทศไทยจึงมีท่าเรือสินค้า ท่าเรือประมง และท่าเรือโดยสารสำหรับท่องเที่ยวตั้งอยู่ถึง 443 ท่า ซึ่งเป็นท่าเรือสินค้า 147 ท่า ท่าเรือประมง 222 ท่า และท่าเรือโดยสารรวม 74 ท่า

เส้นทางการขนส่งสินค้าทางน้ำของประเทศไทยแบ่งเป็นทางลำน้ำ และทางชายฝั่ง ดังรูปที่ 1-1 ทั้งที่เป็นเส้นทางการขนส่งสินค้าทั้งภายในประเทศ และเส้นทางการขนส่งสินค้านระหว่างประเทศ เมื่อพิจารณาพื้นที่อ่าวไทยตอนบน อันได้แก่ ชายฝั่งทะเลจังหวัดกรุงเทพมหานคร สมุทรปราการ สมุทรสาคร และสมุทรสงคราม รวมแล้วมีท่าเรือ 86 ท่า ซึ่งส่วนใหญ่เป็นท่าเรือสินค้า และมีลักษณะเป็นท่าเรือในแม่น้ำ ซึ่งแม่น้ำสายสำคัญ ได้แก่ แม่น้ำเจ้าพระยา (คณะอนุกรรมการจัดการความรู้เพื่อผลประโยชน์แห่งชาติทางทะเล, 2552) ปริมาณการขนส่งสินค้าในภาพรวมทั้งในประเทศ และระหว่างประเทศ ที่มีปริมาณเพิ่มมากขึ้นในช่วงปี พ.ศ.2559 - 2561 และพบว่าสินค้าหลักที่มีการขนส่งทางน้ำคือน้ำมันและผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม (กรมเจ้าท่า, 2561b; สำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, 2562) ส่งผลโดยตรงให้มีปริมาณเรือขนส่งสินค้าในน่านน้ำทะเลอ่าวไทยหนาแน่นมากขึ้น และเกิดความเสี่ยงจากการรั่วไหลของน้ำมันในน่านน้ำประเทศไทยมากขึ้นเช่นกัน

เมื่อตรวจสอบสถิติน้ำมันรั่วไหลในประเทศไทยจากการสำรวจและตรวจจับโดยกรมเจ้าท่า ในระหว่างปี พ.ศ.2516 - พ.ศ.2562 มีเหตุการณ์น้ำมันรั่วไหลรวมทั้งสิ้น 271 เหตุการณ์ (กรมเจ้าท่า, 2564, 2565) โดยมีสาเหตุที่ทำให้เกิดมลพิษน้ำมันในแหล่งน้ำนั้นมาจาก 3 แหล่ง คือ

- 1) กิจกรรมการขนส่งทางน้ำ เช่น อุบัติเหตุเรือชนกัน, เรือเกยตื้น, การลักลอบทิ้งน้ำปนน้ำมัน หรือน้ำมันใช้แล้ว, การรั่วไหลจากการขนถ่ายผลิตภัณฑ์น้ำมันระหว่างเรือกับท่าเทียบเรือ หรือระหว่างเรือกับเรือ และอุปกรณ์บนเรือชำรุด เป็นต้น

- 2) กิจกรรมบนฝั่ง เช่น น้ำทิ้งจากชุมชนหรือโรงงานอุตสาหกรรม และการรั่วไหลจากคลังหรือโรงกลั่นน้ำมัน เป็นต้น

3) กิจกรรมนอกชายฝั่ง เช่น การสำรวจ และผลิตปิโตรเลียมในทะเล เป็นต้น



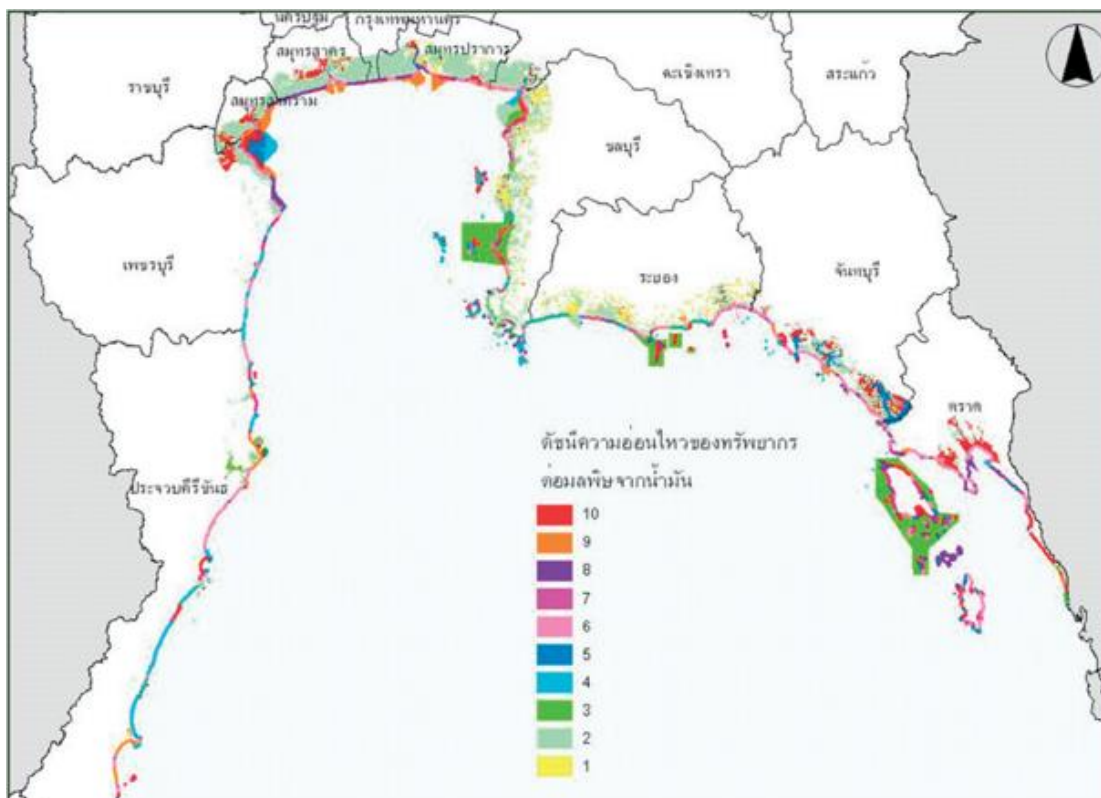
รูปที่ 1-1 โครงข่ายการขนส่งสินค้าทางน้ำของประเทศไทย
(ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศการขนส่งและจราจร, 2562)

กิจกรรมเหล่านี้ส่งผลกระทบต่อโดยตรงต่อทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมด้านต่าง ๆ ตัวอย่างผลกระทบในด้านกายภาพ เช่น ปริมาณออกซิเจนละลายและแสงส่องลงในน้ำลดลง คราบน้ำมันจะทำหน้าที่เสมือนกำแพงกั้นไม่ให้ออกซิเจนที่ปะปนมากับอากาศสัมผัสและละลายเพิ่มเติมลงไปแหล่งน้ำได้ คุณสมบัติของน้ำมันดิบสามารถดูดซับความร้อนจากแสงอาทิตย์ได้ดี อีกทั้งยังผลทำให้อุณหภูมิของน้ำเพิ่มสูงขึ้น ส่วนผลกระทบในด้านชีวภาพ คราบน้ำมันจะส่งผลให้ความอุดมสมบูรณ์ในแหล่งน้ำน้อยลง เนื่องจากการสังเคราะห์แสงของพืชน้ำและแพลงก์ตอนพืชลดลง อีกทั้งยังมีผลต่อการเคลื่อนที่ของสัตว์น้ำ เพราะน้ำมันทำให้น้ำมีความหนืดเพิ่มขึ้น และมีการสะสมสารพิษในสัตว์น้ำอีกด้วย ส่งผลกระทบต่อเนื่องถึงด้านเศรษฐกิจ

และสังคม เพราะน้ำมันที่รั่วไหลไปทำลายแหล่งที่อยู่อาศัย หรือแหล่งเพาะพันธุ์ของสัตว์น้ำ ทำให้อาจพบกลิ่นน้ำมันในตัวสัตว์น้ำ หรือตรวจเจอสารพิษจากน้ำมันได้ นอกจากนี้คราบน้ำมันทำให้เกิดกลิ่น และมีคราบสกปรกติดอยู่ในบริเวณต่าง ๆ ซึ่งทำลายทัศนียภาพ และความงามของธรรมชาติ (กรมเจ้าท่า, 2561a; กรมควบคุมมลพิษ, 2553)

ผลสำรวจของกรมควบคุมมลพิษในด้านของการตรวจวัดความอ่อนไหวของของทรัพยากรชายฝั่งต่อมลพิษจากน้ำมัน ดังแสดงในรูปที่ 1-2 พบว่าระดับความอ่อนไหวสูงสุด 9 - 10 คะแนนครอบคลุมพื้นที่ชายฝั่งทะเลอ่าวไทยตอนบน และพื้นที่ชายฝั่งทะเลตะวันออก ซึ่งหมายถึงพื้นที่ดังกล่าวควรได้รับการปกป้องเป็นอันดับแรกหากเกิดเหตุการณ์รั่วไหลของน้ำมันในทะเลอ่าวไทย (กรมควบคุมมลพิษ, 2553) อีกทั้งกรมควบคุมมลพิษได้จำแนกเขตความเสี่ยงต่อน้ำมันรั่วไหลในน่านน้ำประเทศไทย ตามระดับความเสี่ยงและความรุนแรงต่อการได้รับผลกระทบจากน้ำมันรั่วไหล พบว่าเขตที่มีความเสี่ยงมากที่สุดต่อน้ำมันรั่วไหลในประเทศไทย คือกลุ่มจังหวัดในภาคตะวันออก ได้แก่ ชลบุรี ระยอง และฉะเชิงเทรา รวมถึงบริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยา ซึ่งอยู่ในพื้นที่อ่าวไทยตอนบนเป็นที่ตั้งของโรงงานอุตสาหกรรม และท่าเทียบเรือจำนวนมาก มีปริมาณการสัญจรทางน้ำ โดยเฉพาะเรือบรรทุกน้ำมันที่มีปริมาณมาก ปัจจัยดังกล่าวทำให้มีความเสี่ยงการเกิดน้ำมันรั่วไหลลงสู่ทะเลสูงกว่าในจังหวัดริมชายทะเลบริเวณอื่น (ดวงเด่น นาคสีหราช, 2557)

จากสถิติการรั่วไหลของน้ำมันในประเทศไทย และความเสี่ยงของปัญหาดังกล่าวต่อบริเวณอ่าวไทยตอนบน ตามมาตรการการจัดการความเสี่ยงและภัยพิบัติ ที่พิจารณาจากเหตุการณ์วิกฤตในอดีตแล้วทำการคาดการณ์สถานการณ์การเคลื่อนที่ของน้ำมันที่รั่วไหลในทะเลได้ ตามนโยบายแผนการป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยแห่งชาติ พ.ศ.2558 ที่มุ่งเน้นกับการจัดการบรรเทาความเสี่ยงจากภัยต่าง ๆ ที่อาจเกิดขึ้น ซึ่งในการศึกษานี้จัดว่าอยู่ในหลักการปฏิบัติในการรับมือกับภัยพิบัติ ระยะแรก - ระยะก่อนเกิดภัย เป็นการเตรียมมาตรการการป้องกัน เตรียมความพร้อม และทำการศึกษากรณีตัวอย่างเพื่อลดผลกระทบภัยพิบัติเป็นการเตรียมเผชิญภัยพิบัติต่าง ๆ ไว้ล่วงหน้าก่อนเกิดภัยเพื่อลดความรุนแรงและลดความสูญเสียจากภัยพิบัติที่เกิดขึ้นที่มีต่อประชาชนในพื้นที่ที่มีความเสี่ยงน้อยที่สุด ดังนั้นการศึกษาในวิทยานิพนธ์นี้จึงเป็นการศึกษารูปแบบการเคลื่อนที่และการกระจายตัวของคราบน้ำมันในเชิงพื้นที่ โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ในการจำลองคลื่นและกระแสน้ำบริเวณอ่าวไทยตอนบน นำมาคาดการณ์การเคลื่อนที่ของน้ำมันที่รั่วไหลบริเวณชายฝั่งทะเลดังกล่าวเพื่อเป็นแนวทางสำหรับการเตือนภัย การเพิ่มประสิทธิภาพการวางแผนและติดตามสถานการณ์รั่วไหลของน้ำมันบริเวณอ่าวไทยตอนบน



รูปที่ 1-2 แผนที่ดัชนีความอ่อนไหวของทรัพยากรต่อมลพิษจากน้ำมัน ปี พ.ศ.2553
(กรมควบคุมมลพิษ, 2553)

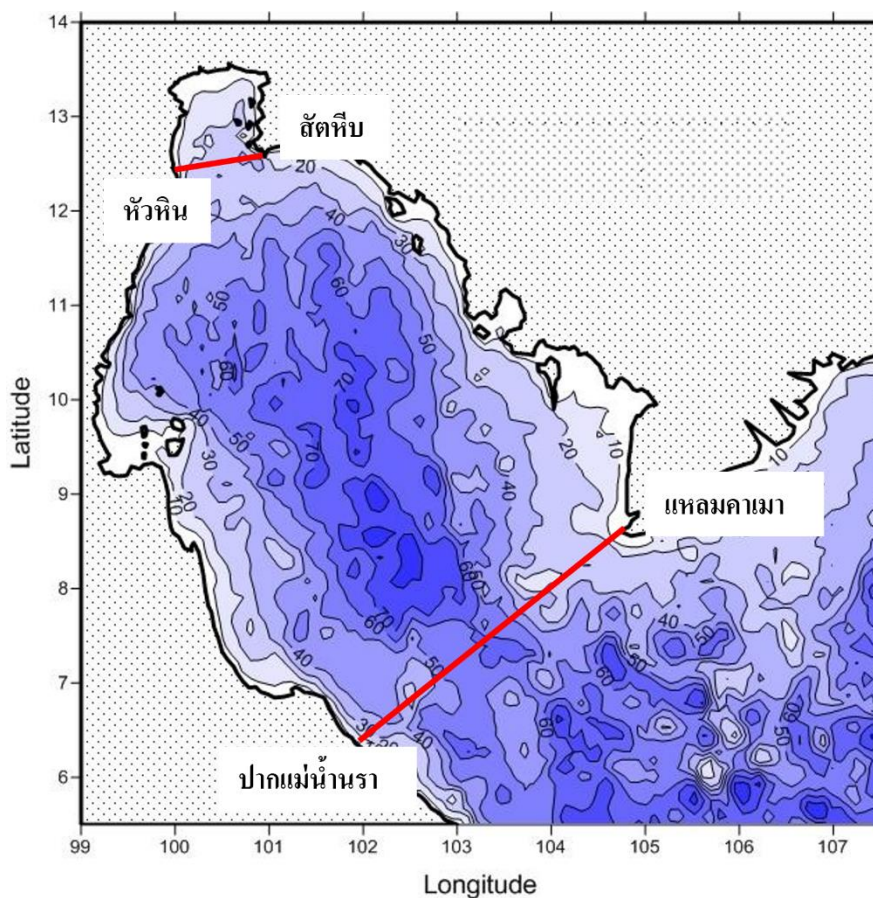
1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาคลื่น, กระแสน้ำ และการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันที่รั่วไหลในทะเล บริเวณอ่าวไทยตอนบน
2. การศึกษารูปแบบการเคลื่อนที่และการกระจายตัวของคราบน้ำมันรายเดือน ในทะเลอ่าวไทยตอนบน บริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยา

1.3 ขอบเขตการศึกษา

ขอบเขตการศึกษาตามรูปแบบการสร้างแบบจำลอง 3 แบบจำลอง ได้แก่ แบบจำลอง SWAN ในการจำลองคลื่นที่เกิดจากลม (wave model), แบบจำลอง Delft3D ในการจำลองกระแสน้ำเนื่องจากน้ำขึ้นน้ำลงและกระแสน้ำสุทธิ (current model) และแบบจำลอง GNOME ใช้ในการจำลองการเคลื่อนที่ของน้ำมันที่รั่วไหลในทะเล (trajectory oil spill model) มีรายละเอียดดังนี้

1. แบบจำลองคลื่น จากการศึกษาคลื่นลมในอ่าวไทย ใช้แบบจำลอง Swan ในการจำลองคลื่นในอ่าวไทย โดยพิจารณาขอบเขตอ่าวไทยจากปากแม่น้ำบางนรา จ.นราธิวาส ถึงแหลมคาเมา (Cà Mau) ประเทศเวียดนาม ดังรูปที่ 1-3



รูปที่ 1-3 ลักษณะสภาพท้องน้ำในอ่าวไทยและขอบเขตของแบบจำลองคลื่นและกระแสน้ำในอ่าวไทย

(IOC et al., 2014)

2. แบบจำลองกระแสน้ำ ใช้แบบจำลอง Delft3D ซึ่งถูกพัฒนาโดย Deltares ประเทศเนเธอร์แลนด์ (Deltares, 2010) ในการศึกษาสภาพกระแสน้ำเนื่องจากน้ำขึ้นน้ำลงและลมในอ่าวไทย โดยประยุกต์ใช้แบบจำลองนี้ในการจำลองกระแสน้ำในอ่าวไทยตอนบน โดยพิจารณาขอบเขตพื้นที่อ่าวไทยตอนบนจากบริเวณอำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ไปจนถึงอำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี ดังรูปที่ 1-3

3. แบบจำลองการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันที่รั่วไหลในทะเล ใช้แบบจำลอง GNOME ซึ่งเป็น Trajectory model ในการคาดการณ์การเคลื่อนตัวของคราบน้ำมันที่รั่วไหลบริเวณผิวน้ำทะเลขอบเขตพื้นที่อ่าวไทยตอนบน ดังรูปที่ 1-3

4. ข้อมูลหลักที่ใช้ในการศึกษานี้ ได้แก่ ความลึกท้องทะเล (bathymetry) , ขอบเขตชายฝั่ง (coastal line) เพื่อสร้างกริดขอบเขตพื้นที่ศึกษา, ระดับน้ำ (water level), ทิศทางและความเร็วลมที่ระดับความสูง 10 เมตร (wind at 10 m), สเปกตรัมคลื่น (wave spectrum), เพื่อทำการจำลอง,

เปรียบเทียบ และสอบทาน คลื่นและกระแสน้ำ และสุดท้ายใช้ภาพถ่ายดาวเทียมเพื่อเปรียบเทียบ และสอบทานการเคลื่อนที่ของน้ำมันที่รั่วไหล มีรายละเอียดดังตารางที่ 1-1

ตารางที่ 1-1 รายละเอียดข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาแบบจำลอง SWAN, Delft3D และ GNOME

ข้อมูล	ระยะเวลา (พ.ศ.)	ที่มาของ ข้อมูล	รายละเอียด
1. ความลึกพื้นท้องทะเล (bathymetry)	2563	BODC	- GEBCO_2020 - ความละเอียดประมาณ 0.46 กิโลเมตร - ขอบเขตละติจูด 5.5° – 14.5° เหนือ และลองจิจูด 98.5° – 106° ตะวันออก - ใช้ระบุความลึกสำหรับแบบจำลอง SWAN, Delft3D และ GNOME
2. ขอบเขตชายฝั่ง (coastal line)	2557	NCEI	- Marine Trackline Geophysical - ใช้สำหรับระบุขอบเขตชายฝั่ง ในแบบจำลอง SWAN, Delft3D และ GNOME
3. ลม (wind speed)	2534 - 2563	ECMWF	- แบบจำลอง ERA5 - ความละเอียดประมาณ 27.75 กิโลเมตร - ขอบเขตละติจูด 5.5° – 14° เหนือ และลองจิจูด 99° – 106° ตะวันออก - ใช้เป็นข้อมูลนำเข้าสำหรับแบบจำลอง SWAN, Delft3D และ GNOME
4. ระดับน้ำ (water level)	2549 - 2559	กรมอุทก ศาสตร์ กองทัพเรือ	- ใช้ในการวิเคราะห์ห้องค์ประกอบฮาร์โมนิค น้ำขึ้นน้ำลง - ใช้ในการเปรียบเทียบและสอบทานความ ถูกต้องของแบบจำลอง Delft3D

ตารางที่ 1-1 (ต่อ) รายละเอียดข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาแบบจำลอง SWAN, Delft3D และ GNOME

ข้อมูล	ระยะเวลา (พ.ศ.)	ที่มาของ ข้อมูล	รายละเอียด
5. สเปกตรัมคลื่น (wave spectrum)	2534 - 2563	NCEP NOAA	- แบบจำลอง WAVEWATCH III - ความละเอียดประมาณ 55.5 กิโลเมตร - ขอบเขตละติจูด 5.5° – 14° เหนือ และลองจิจูด 99° – 106° ตะวันออก - ใช้เป็นข้อมูลนำเข้าสำหรับแบบจำลอง SWAN
	2540 - 2545	-	- ใช้ในการปรับเทียบและสอบทานความ ถูกต้องของแบบจำลอง SWAN
6. ภาพถ่ายดาวเทียม (satellite imagery)	3 และ 4 ธันวาคม 2562	GISTDA	- ภาพถ่ายดาวเทียมเหตุการณ์น้ำมันรั่วไหล ในทะเลบริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยา - ใช้ในการปรับเทียบและสอบทานความ ถูกต้องของแบบจำลอง GNOME

5. ขอบเขตของข้อมูลเพื่อปรับเทียบและสอบทานแบบจำลอง (calibration and verification) ในแบบจำลอง SWAN, แบบจำลอง Delft3D และแบบจำลอง GNOME ดังต่อไปนี้

- แบบจำลอง SWAN เปรียบเทียบข้อมูลลม และความสูงคลื่นนัยสำคัญจากแบบจำลองกับ
หุ่นตรวจวัดทางสมุทรศาสตร์โดยสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การ
มหาชน) (GISTDA) ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2540 – 2545 จำนวน 3 สถานี ได้แก่ สถานีหัวหิน, สถานีเพชรบุรี
และสถานีเกาะสีชัง

- แบบจำลอง Delft3D เปรียบเทียบข้อมูลระดับจากแบบจำลองกับระดับน้ำทำนาย จากสถานี
วัดระดับน้ำ (tide gauge) บริเวณอ่าวไทยตอนบน โดยกรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ ซึ่งเป็นข้อมูล
ระดับน้ำรายชั่วโมงตั้งแต่ปี พ.ศ.2549 – 2559 จำนวน 4 สถานี ได้แก่ หัวหิน, สันดอนเจ้าพระยา,
เกาะสีชัง และอ่าวสัตหีบ

- แบบจำลอง GNOME เปรียบเทียบข้อมูลการเคลื่อนตัวของน้ำมันที่รั่วไหลกับข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศของสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) (GISTDA) ในวันที่ 3 และ 4 ธันวาคม 2562 โดยพิจารณาถึงตำแหน่งและเวลา

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เข้าใจถึงสภาพคลื่นและกระแสน้ำบริเวณอ่าวไทยตอนบน
2. สามารถจำลองคลื่นและกระแสน้ำบริเวณอ่าวไทยตอนบนด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์
3. คาดการณ์การเคลื่อนที่ของน้ำมันที่รั่วไหลบริเวณอ่าวไทยตอนบนด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ อันส่งผลต่อการกำหนดแนวทางการเตือนภัยน้ำมันรั่วไหลบริเวณอ่าวไทยตอนบน



บทที่ 2

ทบทวนเอกสารและงานวิจัย

ในการศึกษาครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาทฤษฎีแบบจำลองการเคลื่อนที่ของน้ำมัน ซึ่งเป็นภัยพิบัติทางทะเลรูปแบบหนึ่ง ที่สร้างผลกระทบเป็นวงกว้าง จากวัตถุประสงค์ที่ต้องการใช้แบบจำลองการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันในทะเลเพื่อเป็นแนวทางในการเตือนภัย เพิ่มประสิทธิภาพในการติดตามสถานการณ์ และรับมือกับเหตุการณ์รั่วไหลของน้ำมันให้ดียิ่งขึ้น อันเป็นขั้นตอนที่ถือว่าเกิดประโยชน์ในการจัดการความเสี่ยงและภัยพิบัติกรณีน้ำมันรั่วไหลในทะเลที่อาจเกิดขึ้นซ้ำในอนาคต โดยมีรายละเอียดของทฤษฎี และงานวิจัยที่ผ่านมา ดังต่อไปนี้

2.1 การจัดการความเสี่ยงและภัยพิบัติ (risk and disaster management)

2.1.1 นิยามความเสี่ยง

นิยามคำว่า “ความเสี่ยง” หมายถึง เป็นความไม่แน่นอน (uncertainty) ของเหตุการณ์ที่ไม่สามารถคาดการณ์ล่วงหน้าได้เป็นโอกาส (opportunity) ที่จะเกิดความผิดพลาด ความเสียหาย การรั่วไหล ความสูญเปล่า หรือเหตุการณ์ที่ไม่พึงประสงค์ ซึ่งอาจเกิดขึ้นได้เสมอในอนาคต มีผลกระทบให้เกิดความสูญเสีย ความล้มเหลว ภัยอันตราย หรือทำให้การดำเนินงานไม่ประสบความสำเร็จตามวัตถุประสงค์และเป้าหมายขององค์กร ทั้งในด้านยุทธศาสตร์ การปฏิบัติงาน การเงิน และการบริหาร โดยการวัดค่าความเสี่ยงจากผลกระทบ (impact) ที่ได้รับ และโอกาสที่จะเกิด (likelihood) ของเหตุการณ์ และจะพบว่าในแต่ละบริบทของการประกอบกิจกรรมต่าง ๆ หรือการนิยามโดยกลุ่มคนต่าง ๆ ได้ให้นิยามของความเสี่ยงที่แตกต่างกันแต่คล้ายคลึงกัน ตัวอย่างเช่น นิยามของความเสี่ยงจากหน่วยงานที่ให้ความสำคัญกับการบริหารความเสี่ยงในองค์กร ทั้งหน่วยงานภาครัฐและเอกชน ซึ่งมีเป้าหมายการบริหารความเสี่ยงเพื่อป้องกันหรือลดผลกระทบจากความเสี่ยงนั้นที่จะเกิดกับองค์กร และยกระดับมาตรฐานการดำเนินงานให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ดังต่อไปนี้

นิยามของความเสี่ยงตามระเบียบกรมโรงงานอุตสาหกรรม ว่าด้วยหลักเกณฑ์การชี้บ่งอันตราย การประเมินความเสี่ยง และการจัดทำแผนงานบริหารจัดการความเสี่ยง พ.ศ.2543 บัญญัติว่า “ความเสี่ยง หมายความว่า ผลลัพธ์ของความน่าจะเป็นที่จะเกิดอันตรายและผลจากอันตรายนั้น” (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2543)

ความเสี่ยง หมายถึง เหตุการณ์ที่ไม่แน่นอน หรือจากการกระทำใด ๆ โอกาสหรือความเป็นไปได้ที่เหตุการณ์ใดเหตุการณ์หนึ่งจะเกิดขึ้นและนำมาซึ่งผลกระทบต่าง ๆ หรือโอกาสหรือความเป็นไปได้ในการได้รับผลกระทบทางลบจากการเกิดสาธารณภัย ที่จะส่งผลกระทบในเชิงลบทำให้เกิดความ

ผิดพลาด สร้างความเสียหายทั้งต่อทรัพย์สินและที่ไม่ใช่ทรัพย์สิน โดยผลกระทบสามารถเกิดขึ้นกับชีวิต สุขภาพ การประกอบอาชีพ ทรัพย์สิน และบริการต่าง ๆ ในระดับบุคคล ชุมชน สังคม หรือประเทศ ซึ่งจะลดโอกาสในการประสบความสำเร็จตามยุทธศาสตร์ที่ได้วางไว้ในแผนปฏิบัติการ (กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย, 2557, 2559)

การศึกษาถึงนิยามความเสี่ยงจากภัยพิบัติ คือ โอกาสหรือความเป็นไปได้ในการได้รับผลกระทบทางลบจากการเกิดภัยพิบัติ ซึ่งเป็นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจากการเกิดภัยทั้งจากธรรมชาติและมนุษย์ โดยผลกระทบสามารถเกิดขึ้นกับชีวิต สุขภาพ การประกอบอาชีพ ทรัพย์สิน และการบริการต่าง ๆ ในระดับบุคคล ชุมชน สังคม หรือประเทศ (สรวิศ วิฑูรท์สันต์ และคณะ, 2559)

ความเสี่ยง หมายถึง เหตุการณ์หรือการกระทำใด ๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นภายในสถานการณ์ที่ไม่แน่นอน และจะส่งผลกระทบหรือสร้างความเสียหาย (ทั้งที่เป็นตัวเงินและไม่เป็นตัวเงิน) หรือก่อให้เกิดความล้มเหลว หรือลดโอกาสที่จะบรรลุวัตถุประสงค์และเป้าหมายขององค์กร ทั้งในด้านยุทธศาสตร์ การปฏิบัติงาน การเงิน และการบริหาร ซึ่งอาจเป็นผลกระทบทางบวกด้วยก็ได้ โดยวัดจากผลกระทบที่ได้รับ และโอกาสที่จะเกิดของเหตุการณ์ (สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตร, 2561)

ความเสี่ยง หมายถึง ความเป็นไปได้ของเหตุการณ์ที่อาจเกิดขึ้น และเป็นอุปสรรคต่อการบรรลุวัตถุประสงค์ของหน่วยงาน (ศูนย์ปฏิบัติการต่อต้านการทุจริต, 2562)

จากความหมายของคำว่าความเสี่ยงข้างต้นจึงสรุปนิยาม “ความเสี่ยง” ได้ว่าเป็นเหตุการณ์ความไม่แน่นอนที่มีโอกาสเกิดขึ้น มีสาเหตุมาจากปัจจัยภายในหรือภายนอกที่ไม่สามารถควบคุมได้ ซึ่งจะส่งผลกระทบทั้งทางตรงและทางอ้อม และก่อให้เกิดความเสียหายต่อแผนการดำเนินงาน และเป็นอุปสรรคไปสู่วัตถุประสงค์ที่วางไว้

2.1.2 การบริหารจัดการความเสี่ยง

จากนิยามที่เกี่ยวข้องกับความเสี่ยงในด้านต่าง ๆ ทำให้ทราบถึงความไม่แน่นอนของเหตุการณ์และเกิดผลกระทบอย่างมาก ดังนั้นแล้วจึงมีการศึกษาความเสี่ยง เพื่อจัดทำแนวทางการปฏิบัติเพื่อลดผลกระทบที่จะเกิดขึ้นจากความเสี่ยงนั้น โดยมีองค์กรที่จัดตั้งขึ้นเพื่อศึกษาและพัฒนาแนวทางการบริหารความเสี่ยง ปรับรูปแบบการควบคุมภายในให้มีประสิทธิภาพ และป้องกันการทุจริตของรายงานทางการเงิน ซึ่งรู้จักในระดับสากลว่า COSO ซึ่งย่อมาจาก The Committee of Sponsoring Organizations of The Treadway Commission ที่ ก่อตั้งโดย คณะกรรมการมาตรฐานการบัญชีสหรัฐอเมริกาชื่อว่า Treadway Commission ในปี ค.ศ.1985 ออกแบบกรอบการบริหารความเสี่ยง โดยมีผู้แทนจากสถาบันวิชาชีพที่เกี่ยวข้องกับการเงินและการบัญชีมาเป็นคณะทำงาน ซึ่งกระบวนการบริหารความเสี่ยงที่มีระบบคุณภาพที่มีมาตรฐานในระดับสากล (International Risk Management

Standard) มีอยู่หลายมาตรฐาน ที่หน่วยงานหรือองค์กรต่าง ๆ สามารถนำไปปรับใช้เป็นแนวทางในการบริหารจัดการความเสี่ยง โดยมาตรฐานที่ถือได้ว่าเป็นแนวทางปฏิบัติที่ดีที่สุด และหลายองค์กรเลือกนำมาใช้คือ มาตรฐานการบริหารความเสี่ยงทั่วทั้งองค์กร (The Committee of Sponsoring Organizations of The Treadway Commission-Enterprise Risk Management: COSO-ERM) เป็นแนวทางที่ถูกพัฒนามาจากหลักการควบคุมภายใน (Internal Control) มี 8 องค์ประกอบในการบริหารความเสี่ยง (สำนักงานรัฐบาลอิเล็กทรอนิกส์ (องค์การมหาชน), 2556) ได้แก่

1) สภาพแวดล้อมภายในองค์กร (internal environment) แนวทางหรือนโยบายทั่วไปขององค์กรที่เป็นพื้นฐานของการบริหารและจัดการกับความเสี่ยง

2) การกำหนดวัตถุประสงค์และเป้าหมาย (objective setting) ที่สอดคล้องกับกลยุทธ์ขององค์กร

3) การระบุเหตุการณ์ (event identification) บ่งชี้และสะท้อนความเสี่ยงจากกระบวนการปฏิบัติงานหรือข้อมูลความเสียหายที่เคยเกิดขึ้นกับองค์กร ซึ่งจะมีผลกระทบต่อวัตถุประสงค์ และเป้าหมายที่ได้กำหนดไว้

4) การประเมินความเสี่ยง (risk assessment) พิจารณาถึงโอกาสที่จะเกิดความเสี่ยงและระดับของผลกระทบที่อาจจะเกิดขึ้นจากความเสี่ยงเหล่านั้น

5) การตอบสนองความเสี่ยง (risk response) วิเคราะห์และจัดลำดับความเสี่ยงจากปัจจัยเสี่ยงที่ได้รับรู้ไว้เพื่อหามาตรการจัดการ ควบคุม และลดความเสี่ยง ให้ผลกระทบหรือโอกาสเกิดขึ้นน้อยลง โดยให้ความเสี่ยงที่เหลืออยู่ในระดับที่องค์กรยอมรับได้

6) กิจกรรมการควบคุม (control activities) พิจารณาถึงการควบคุมเพิ่มเติมจากการนำวิธีการจัดการกับความเสี่ยงไปใช้โดยทำการติดตามเพื่อให้มั่นใจว่าการดำเนินงานด้านการจัดการความเสี่ยงเป็นไปตามวิธีการที่ได้กำหนดไว้

7) สารสนเทศและการสื่อสาร (information and communication) รวบรวมและติดตามเพื่อจัดเก็บข้อมูลของแต่ละปัจจัยเสี่ยงที่ระบุไว้และสื่อสารให้ทุกหน่วยงานในองค์กรมีความตระหนัก และเข้าใจในแนวทางการปฏิบัติของกระบวนการบริหารความเสี่ยง

8) การติดตามและประเมินผล (monitoring) รายงานความเสี่ยงแก่ผู้บริหารเพื่อหาแนวทางป้องกันและแก้ไขความเสี่ยงต่อไป

การประเมินความเสี่ยงจากสาธารณภัย เป็นวิธีในการการระบุลักษณะความรุนแรงและโอกาสในการเกิดผลกระทบทางลบจากภัยโดยวิเคราะห์ภัยที่อาจเกิดขึ้น ความล่อแหลมที่มีในพื้นที่ศึกษา และประเมินสภาพความเปราะบาง ณ ขณะนั้น ซึ่งมีความเป็นไปได้ที่จะทำให้เกิดอันตรายต่อคน ทรัพย์สิน บริการการดำรงชีวิต และสิ่งแวดล้อม (UNISDR, 2009) องค์กรระหว่างประเทศว่าด้วย

การมาตรฐาน (International Organization for Standardization: ISO) ได้จัดทำ ISO 31000 ว่าด้วยการบริหารจัดการความเสี่ยง ให้เป็นมาตรฐานสากลในเรื่องของหลักการ กรอบการดำเนินงาน และกระบวนการในการบริหารจัดการความเสี่ยง กระบวนการแบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอน ซึ่งสอดคล้องกับกระบวนการบริหารความเสี่ยงทั่วไป ดังรูปที่ 2-1 ได้แก่

1) การระบุความเสี่ยง (risk identification) เป็นการระบุแหล่งที่มาของแต่ละความเสี่ยงที่จะส่งผลกระทบต่อองค์กรได้

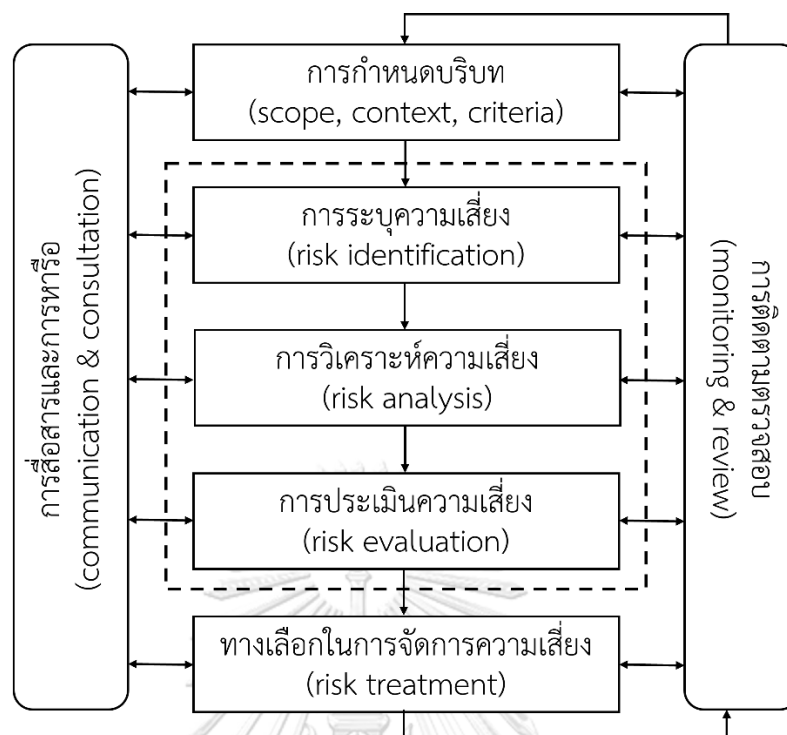
2) การวิเคราะห์ความเสี่ยง (risk analysis) เป็นการทำความเข้าใจในปัจจัยความเสี่ยงต่าง ๆ เพื่อพิจารณาถึงสาเหตุของการเกิดความเสี่ยง

3) การประเมินความเสี่ยง (risk evaluation) เป็นการประเมินเพื่อตัดสินใจเลือกวิธีการจัดการกับแต่ละความเสี่ยง

4) การปฏิบัติตามแผนบริหารความเสี่ยง (risk treatment) เป็นกระบวนการรับมือกับแต่ละความเสี่ยงด้วยวิธีการที่เหมาะสม

5) การติดตามและทบทวนผล (monitoring and review) เป็นการประเมินผลลัพธ์จากการจัดการความเสี่ยงเพื่อปรับปรุงแก้ไขต่อไป

กระบวนการบริหารความเสี่ยงตามมาตรฐาน ISO 31000 ถูกพัฒนามาจากแนวทางการบริหารความเสี่ยงตามมาตรฐานสากลของ Australia และ New Zealand ที่มีชื่อว่า The Australia/New Zealand risk management standard (AS/NZS 4360:2004) และได้รับการขับเคลื่อนตามระบบการพัฒนาคุณภาพที่รู้จักกันในชื่อวงจร PDCA ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน คือ การวางแผน (plan), การลงมือปฏิบัติเก็บข้อมูล (do), การตรวจสอบประเมินคุณภาพ (check) และการปรับปรุงแก้ไขตามแนวทาง (act) ด้วยหลักการและแนวทางการปฏิบัติที่ชัดเจน ทำให้สามารถนำมาตรฐานการบริหารความเสี่ยงสากล ISO 31000 ไปประยุกต์ใช้ได้ง่าย เพราะกรอบแนวคิดของมาตรฐาน ISO 31000 อยู่บนพื้นฐานของกระบวนการจัดการ ในขณะที่กรอบแนวคิดของมาตรฐาน COSO-ERM อยู่บนพื้นฐานของการควบคุมและการปฏิบัติตามกฎระเบียบทำให้หลายองค์กรนิยมใช้มาตรฐานการบริหารความเสี่ยงสากล ISO 31000 นี้เป็นกรอบแนวคิดในการบริหารความเสี่ยงในปัจจุบัน (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2561)



รูปที่ 2-1 กรอบการประเมินความเสี่ยงตามมาตรฐาน ISO 31000 (ISO, 2009)

ในประเทศไทยกรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย (ปภ.) ได้มีการดำเนินงานเพื่อนำแนวคิดการบริหารจัดการความเสี่ยงจากภัยพิบัติตามหลักการสากล สู่แนวทางการปฏิบัติ ภายใต้กรอบพระราชบัญญัติป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย พ.ศ. 2550 และแผนการป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยแห่งชาติ พ.ศ. 2558 ในแผนนี้มุ่งดำเนินงานตามมาตรการสำคัญที่ระบุไว้ในกรอบการดำเนินงานเซนได (Sendai framework) ซึ่งเป็นกรอบข้อกำหนด และทิศทางในการปฏิบัติงานสำหรับแต่ละภาคส่วน ตั้งแต่ระดับชาติจนถึงระดับท้องถิ่น เพื่อเพิ่มความปลอดภัยในชีวิตและทรัพย์สิน รวมไปถึงความมั่นคงทางเศรษฐกิจและสังคมที่ยั่งยืน ประกอบด้วยยุทธศาสตร์ด้านการบริหารจัดการความเสี่ยงจากภัยพิบัติที่เชื่อมโยงกัน 4 ประการ (กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย, 2558; สรวิศ วิฑูรท์ศน์ et al., 2559) ดังนี้

1) การลดความเสี่ยงจากสาธารณภัย ส่งเสริมให้ทุกภาคส่วนให้ความสำคัญกับมาตรการป้องกันการลดผลกระทบ และการเตรียมความพร้อม และผนวกการลดความเสี่ยงจากภัยพิบัติเข้ากับนโยบายทางสังคม เศรษฐกิจ และสิ่งแวดล้อม

2) การบูรณาการการจัดการในภาวะฉุกเฉิน ส่งเสริมให้มีการดำเนินการด้านการบริหารจัดการเหตุฉุกเฉินอย่างบูรณาการ โดยจัดให้มีมาตรฐานสำหรับการรับมือฉุกเฉิน และระบบการบริหารจัดการเหตุฉุกเฉินที่มีโครงสร้างแบ่งแยกชัดเจน เพื่อรับมือกับภัยพิบัติทุกประเภท และทุกระดับ

3) การเพิ่มประสิทธิภาพการฟื้นฟูอย่างยั่งยืน จัดทำโครงการฟื้นฟูที่มีความครอบคลุมและส่งเสริมมาตรการป้องกันภัยพิบัติที่ดียิ่งขึ้นและปลอดภัยกว่าเดิม ส่งเสริมการมีส่วนร่วมของประชาชนที่ได้รับผลกระทบจากภัยพิบัติในการฟื้นฟู ฟื้นฟูสภาพ และซ่อมสร้างเพื่อให้เหมาะสมกับการดำรงชีวิต และเตรียมความพร้อมรับภัยพิบัติที่อาจเกิดซ้ำ

4) การส่งเสริมความร่วมมือระหว่างประเทศในการจัดการความเสี่ยงจากสาธารณภัย พัฒนาศักยภาพด้านการบริหารจัดการความเสี่ยงจากภัยพิบัติให้อยู่ในระดับมาตรฐานสากล พัฒนากลไกในการประสานงานสำหรับการให้ความช่วยเหลือด้านมนุษยธรรมในระดับสากล เพื่อรักษาความเป็นผู้นำในด้านการบริหารจัดการความเสี่ยงจากภัยพิบัติ

2.1.3 นิยามภัยพิบัติ

ในปัจจุบันนี้ทั่วโลกล้วนได้รับภัยพิบัติหลายรูปแบบ ในประเทศต่าง ๆ ทั่วโลกได้ประสบกับเหตุการณ์ที่ไม่ได้หวังว่าจะเกิดขึ้น ดังเช่นประเทศไทยที่เคยประสบเหตุการณ์คลื่นยักษ์สึนามิ เข้าชายฝั่งทะเลทางภาคใต้ด้านตะวันตก ในปี พ.ศ.2547 มีสาเหตุมาจากแผ่นดินไหวนอกชายฝั่ง และเกิดคลื่นสึนามิในมหาสมุทรอินเดีย ซึ่งเป็นภัยพิบัติที่หลายประเทศในภูมิภาคตะวันออกเฉียงใต้ ได้รับผลกระทบเป็นอย่างมาก อีกทั้งสึนามิยังเป็นภัยพิบัติที่ประเทศไทยได้ประสบเป็นครั้งแรก ที่สร้างความสูญเสีย สร้างความเสียหายมหาศาล ความสูญเสียที่เกิดขึ้นทำให้ตระหนักได้ถึงไม่มีการเตรียมความพร้อมสำหรับภัยพิบัติดังกล่าว ดังนั้นแล้วหลังจากเหตุการณ์จบลง จึงมีการศึกษากรณีภัยพิบัติต่าง ๆ ในประเทศไทย และเริ่มมีการจัดทำแผนเฝ้าระวัง, แผนรับมือ และมาตรการการฟื้นฟูสถานการณ์เมื่อเกิดภัยพิบัติใด ๆ ขึ้นอีกครั้งหนึ่ง ดังนั้นแล้วสำหรับคำว่า “ภัยพิบัติ” มีความหมายเพื่อแสดงถึงเหตุการณ์ความรุนแรง หรือสถานการณ์ที่ผิดปกติในเชิงลบ คล้ายกับคำว่า “สาธารณภัย” ที่นิยามต่างไปตามบริบทที่หน่วยงานต่าง ๆ นำไปใช้ มีผู้ให้นิยามแตกต่างกันดังนี้

วรรณเพ็ญ อินทร์แก้ว และสมจินดา ชมพูนุช (2557) อธิบายว่า “สาธารณภัย” หมายถึง ภัยที่อุบัติขึ้นกับคนหมู่มากทำให้ต้องการปัจจัยพื้นฐานอย่างเร่งด่วน เหตุการณ์อาจเกิดขึ้นอย่างกะทันหัน หรือใช้เวลาในการเกิดขึ้นตามลำดับ ส่งผลอันตรายต่อชีวิต และทรัพย์สินของประชาชน และภาครัฐ โดยมีข้อบ่งชี้อย่างน้อย 1 ข้อจาก 4 ข้อต่อไปนี้

- 1) มีผู้เสียชีวิตตั้งแต่ 10 คนขึ้นไป
- 2) มีผู้ได้รับผลกระทบ 100 คนขึ้นไป
- 3) มีการประกาศภาวะฉุกเฉินจากทางภาครัฐ
- 4) ภาครัฐต้องร้องขอความช่วยเหลือจากนานาชาติ

กรณีตัวอย่างที่สอดคล้องกับภัยพิบัติตามนิยามนี้ คือ ปฏิบัติการค้นหาและกู้ภัยผู้สูญหาย ในวนอุทยานถ้ำหลวง-ขุนน้ำนางนอน ตำบลโป่งผา อำเภอแม่สาย จังหวัดเชียงราย เป็นเหตุการณ์ที่

เกี่ยวข้องกับผู้ประสบภัยทั้ง 13 คน ติดอยู่ภายในถ้ำ และเกิดน้ำท่วมบริเวณทางเข้าไม่สามารถออกมาได้เอง รัฐบาลจึงจัดตั้งกลุ่มปฏิบัติการกู้ภัยและประกาศภาวะฉุกเฉินเพื่อช่วยเหลือผู้ประสบภัยเป็นการด่วน โดยได้รับความช่วยเหลือจากผู้ชำนาญการเฉพาะด้านจากทั่วโลก และได้รับความร่วมมือจากประชาชนผู้เสียสละในพื้นที่จำนวนมาก เหตุการณ์นี้เข้าข่ายตามนิยามภัยพิบัติถึง 2 ข้อ คือมีการประกาศภาวะฉุกเฉิน และมีการร้องขอความช่วยเหลือจากนานาชาติ จนสามารถช่วยเหลือผู้ประสบภัยทั้งหมดได้ โดยใช้เวลากู้ภัยระหว่างวันที่ 23 มิถุนายน 2561 ถึงวันที่ 10 กรกฎาคม 2561 รวมระยะเวลาปฏิบัติการกู้ภัยทั้งสิ้น 17 วัน (กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย, 2561)

นิยามตามองค์ความคิดจากแนวทางสากลที่คณะทำงานผู้เชี่ยวชาญด้านตัวชี้วัดและศัพท์อภิธานด้านการลดความเสี่ยงจากสาธารณภัย (the open-ended intergovernmental expert working group on indicators and terminology relating to disaster risk reduction) ได้ให้ความหมายคำว่า “ภัยพิบัติ” หมายถึง การหยุดชะงักอย่างรุนแรงของการปฏิบัติหน้าที่ของชุมชนหรือสังคมอันเป็นผลมาจากการเกิดภัยทางธรรมชาติหรือเกิดจากมนุษย์ซึ่งส่งผลต่อชีวิต ทรัพย์สิน สังคม เศรษฐกิจ และสิ่งแวดล้อมอย่างกว้างขวางเกินกว่าความสามารถของชุมชน หรือสังคมที่ได้รับผลกระทบดังกล่าวจะรับมือได้โดยใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ซึ่งเป็นนิยามที่มุ่งความสำคัญไปที่สถานการณ์ที่เป็นภัย ความเปราะบาง และความล่อแหลมที่ทำให้ชุมชนและสังคมได้รับผลกระทบที่รุนแรงเกินความสามารถของตนเองที่จะจัดการให้เข้าสู่สภาวะปกติได้ (กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย, 2557)

นอกจากนี้ยังมีการใช้คำว่า “สาธารณภัย” ตามพระราชบัญญัติป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย พ.ศ. 2550 โดยให้ความหมายถึงภัยประเภทต่าง ๆ ทั้งที่เกิดเองตามธรรมชาติ หรือมนุษย์เป็นผู้กระทำเช่น อุทกภัย, วาตภัย, อัคคีภัย, ภัยแล้ง, การระบาดของโรคในพืช สัตว์ และมนุษย์ รวมถึงการก่อจลาจล, อุบัติเหตุการก่อการร้าย เป็นต้น ซึ่งภัยทั้งหมดนี้ล้วนเป็นหนทางที่สร้างความเสียหายต่อชีวิต และทรัพย์สินของประชาชนไปจนถึงหน่วยงานภาครัฐ

จากความหมายของภัยพิบัติและสาธารณภัย สรุปได้ว่ามีความหมายที่คล้ายคลึงไปในทิศทางเดียวกัน จึงสามารถนำมาใช้เพื่อสื่อความหมายให้ออกมาได้ตามบริบทที่ต้องการ โดยคำว่า “สาธารณภัย” มีความหมายครอบคลุมถึงสถานการณ์ที่ไม่ได้มีการระบุไว้ภัยนั้น ๆ ต้องเป็นเหตุการณ์ที่มีความรุนแรงในชุมชน หรือสังคมที่ไม่สามารถจัดการแก้ไขด้วยตนเองได้ แต่ความหมายของคำว่า “ภัยพิบัติ” สามารถทำให้เข้าใจถึงความสูญเสียหรือการเกิดหายนะแก่บุคคล และสิ่งแวดล้อมได้ชัดเจนกว่า

2.1.4 การจัดการภัยพิบัติ

จากนิยามภัยพิบัติที่สรุปถึงเหตุการณ์ภัยพิบัติที่เกิดขึ้นมากมายทั่วโลกและในประเทศไทย ทั้งที่เกิดจากภัยธรรมชาติ และผลจากการกระทำของมนุษย์ ซึ่งสร้างความเสียหายต่อชีวิต ทรัพย์สิน และทรัพยากรเป็นจำนวนมาก จึงมีการเริ่มต้นที่จะหาหนทางเพื่อลดผลกระทบ ทำการศึกษา ค้นหาแนวทางการเผชิญเหตุ เพื่อหลีกเลี่ยงความสูญเสียที่จะเกิดขึ้น และภัยพิบัติยังเป็นอุปสรรคหลัก ต่อการพัฒนาคุณภาพชีวิต ดังนั้น จึงมีการศึกษาและพัฒนาแผนการจัดการภัยพิบัติในระดับสากลขึ้น อย่างต่อเนื่องตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน (สรวิศ วิฑูรทัศน์ และคณะ, 2559)

การจัดการภัยพิบัติของประเทศไทยมีกรอบแนวทางการบริหารจัดการเมื่อเกิดเหตุการณ์ภัยพิบัติ ขึ้นเชิงกฎหมาย คือ พระราชบัญญัติป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย พ.ศ.2550 ซึ่งเน้นเรื่องหน้าที่ รับผิดชอบอย่างเป็นระบบของการทำงานร่วมกันของทุกฝ่าย และในเชิงนโยบายได้มีการจัดทำ แผนการป้องกัน และบรรเทา สาธารณภัยแห่งชาติ พ.ศ. 2558 ขึ้นเป็นแผนแม่บท (master plan) เป็นฉบับที่กำลังใช้อยู่ในปัจจุบัน ซึ่งดำเนินการจัดทำจากการประมวลผล และพัฒนาโดยยึดหลักตาม กรอบการดำเนินงานเซนได กระบวนการจัดการภัยพิบัติสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ระยะ โดยในแต่ละ ระยะจะประกอบไปด้วยกิจกรรมที่แตกต่างกันออกไปตามช่วงเวลาที่เกิดขึ้น (Goldschmidt and Kumar, 2016) คือ

1) ระยะก่อนเกิดภัยพิบัติ (pre-disaster phase) เป็นช่วงการเตรียมการเพื่อความพร้อม ที่มุ่งเน้นการลดความเสี่ยง และผลกระทบที่จะเกิดขึ้นจากภัยพิบัติได้แก่ การป้องกัน (prevention), การลดผลกระทบ (mitigation) และการเตรียมความพร้อม (preparedness)

2) ระยะหลังเกิดภัยพิบัติ (post-disaster phase) เป็นช่วงที่ต้องดำเนินการจัดการ ในภาวะฉุกเฉิน (emergency management) เพื่อให้ความช่วยเหลือผู้ประสบภัยอย่างเร่งด่วน ได้แก่ การตอบสนองหรือการเผชิญหน้า (response), การบรรเทาทุกข์หรือการเยียวยา (relief) และการฟื้นฟู (recovery) ให้กลับมาปกติ หรือดีขึ้นกว่าเดิมทั้งด้านโครงสร้างอาคารที่อยู่อาศัย และสภาพจิตใจของผู้ประสบภัย

นอกจากนี้กระบวนการจัดการภัยพิบัติโดยสภากาชาดสากล (World Health Organization & International Council of Nurse: WHO & ICN) แบ่งระยะของการจัดการเป็น 4 ระยะ คือ

- 1) ระยะการป้องกันและลดผลกระทบ (mitigation & prevention phase)
- 2) ระยะการเตรียมความพร้อม (preparedness phase)
- 3) ระยะการตอบสนองต่อภัยพิบัติ (response phase)
- 4) ระยะการฟื้นฟูซ่อมแซมและฟื้นฟูสภาพ (recovery & rehabilitation phase)

พบว่ามีความแตกต่างกันในส่วนของระยะการเตรียมความพร้อม ซึ่งจะมีการแยกรายละเอียดส่วนย่อยออกมาเพิ่มจากระยะการป้องกันและลดผลกระทบ เนื่องจากทาง WHO & ICN ต้องการให้ขั้นตอนการวางแผนการปฏิบัติงานในสภาวะฉุกเฉินมีความละเอียดชัดเจน และสามารถดำเนินการได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

การจัดการภาวะภัยพิบัติทางการแพทย์พบว่าการแบ่งระยะการจัดการภัยพิบัติ เพื่อความเข้าใจง่าย และไม่ซับซ้อนแก่ผู้ปฏิบัติงานด้านสาธารณสุข ซึ่งในแต่ละระยะเพื่อลดผลกระทบและความเสี่ยงที่ต้องเผชิญ แบ่งออกเป็น 3 ระยะ (อรุณรัตน์ สิริภักดีกาญจน์ และวาสนี วิเศษฤทธิ์, 2557) คือ

- 1) ระยะการเตรียมความพร้อมก่อนเกิดภัยพิบัติ (pre-Incident phase)
- 2) ระยะการรับมือกับภัยพิบัติ (incident phase)
- 3) ระยะการฟื้นฟูสภาพหลังสิ้นสุดภัยพิบัติ (post Incident phase)

ทำให้พบว่าแนวคิดของ WHO & ICN มีความใกล้เคียงกับแผนการป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยแห่งชาติที่กำหนดขึ้นตามหลักสากล เพื่อจุดประสงค์การพัฒนาระบบการป้องกัน, การเตรียมความพร้อม, การสร้างภูมิคุ้มกัน และการลดความเสี่ยงจากสาธารณภัย หรือภัยพิบัติ โดยประกอบไปด้วย 4 ระยะ ดังรูปที่ 2-2 (กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย, 2559) ได้แก่

1) ระยะการป้องกันและลดผลกระทบ (prevention and mitigation phase) ซึ่งเป็นผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นในอนาคตโดยการเรียนรู้จากบทเรียนที่ผ่านมาในอดีต เพื่อให้เกิดภูมิคุ้มกันทั้งด้านความรู้และสร้างเสริมความแข็งแกร่งในระดับชุมชนไปจนถึงระดับประเทศ

2) ระยะการเตรียมความพร้อม (preparedness phase) การตั้งรับปรับตัวให้เข้ากับสภาวะวิกฤติที่ต้องเผชิญ และมีการวางแผนการปฏิบัติงานเพื่อการจัดการสถานการณ์ในภาวะวิกฤติแบบบูรณาการทุกภาคส่วน

3) ระยะการเผชิญเหตุและบรรเทาทุกข์ (response and relief phase) เป็นการตอบโต้กับสถานการณ์ภาวะฉุกเฉินที่เกิดขึ้น ทั้งเหตุการณ์ที่สามารถคาดการณ์ได้ล่วงหน้า และไม่สามารถคาดการณ์ล่วงหน้าได้ ทำให้ต้องอาศัยการร่วมมือจากทุกภาคส่วนในการระดมสรรพกำลังต่าง ๆ ให้สามารถผ่านพ้นวิกฤติไปได้

4) ระยะการฟื้นฟูสภาพและการซ่อมสร้าง (rehabilitation and reconstruction phase) ดำเนินการให้ชุมชนหรือสังคม สามารถฟื้นฟูตัวกลับมาเป็นปกติ หรือดีกว่าเดิมได้อย่างรวดเร็วและยั่งยืน

ในงานวิจัยนี้เป็นกรณีศึกษาเกี่ยวกับเหตุการณ์ถือน้ำมันที่รั่วไหลในทะเลอ่าวไทย ซึ่งศึกษาถึงพฤติกรรมของการเคลื่อนที่ของน้ำมันในน่านน้ำทะเลอ่าวไทยตอนบน ถือเป็นกรณีศึกษาในระยะเวลา

ก่อนเกิดภัยพิบัติ หรือระยะการป้องกัน และลดผลกระทบจากภัยพิบัติ ซึ่งขั้นตอนนี้จะกล่าวถึงการ
ทำงานในส่วนของการศึกษาแผนที่เสี่ยงภัย, การจัดทำระบบการคาดการณ์และการพยากรณ์ภัย,
การจัดทำระบบเตือนภัย, การป้องกันและลดผลกระทบโดยใช้โครงสร้าง, การปรับปรุงทรัพย์สิน
เพื่อให้เกิดความทนทาน, การจัดทำระบบข้อมูลสารสนเทศ, การปลูกจิตสำนึก ให้ความรู้และข้อมูล
ข่าวสารด้านสาธารณภัย จะสามารถเตรียมการรับมือเพื่อตอบสนองต่อภัยพิบัติหรือเหตุปัจจัยต่าง ๆ
เมื่อเกิดเหตุการณ์ขึ้นมาจากกระทบต่อชีวิต, ทรัพย์สิน และทรัพยากรต่าง ๆ รวมไปถึงการเตรียมความ
พร้อมให้มีหน่วยงานที่เกี่ยวข้องมีพื้นฐานความรู้ และระบบหลักการคิดในการป้องกัน
และบรรเทาภัยพิบัติ ซึ่งจะช่วยลดความสูญเสียจากการปฏิบัติงาน หรือการวางแผนงานต่าง ๆ ที่ช่วย
เพิ่มโอกาสหรือศักยภาพให้สามารถจัดการสภาวะวิกฤตินั้นให้ดียิ่งขึ้น



รูปที่ 2-2 กรอบยุทธศาสตร์การดำเนินงานตามวัฏจักรการบริหารจัดการสาธารณภัย
(กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย, 2558)

2.2 การรั่วไหลของน้ำมันในทะเล

การรั่วไหลของน้ำมันสามารถเกิดได้ทั้งตามธรรมชาติ เช่น รั่วจากแหล่งน้ำมันใต้ดิน
หรือจากการกระทำของมนุษย์ เช่น อุบัติเหตุจากเรือชนกัน การรั่วไหลจากการขุดเจาะน้ำมัน
หรือการลักลอบปล่อยกากน้ำมันทิ้งสู่แหล่งน้ำ การรั่วไหลส่วนมากมักมีที่มาจากกิจกรรมของมนุษย์
สาเหตุหลักของน้ำมันที่รั่วไหลในทะเลอ่าวไทยส่วนใหญ่มาจากกิจกรรมการขนส่งทางทะเล

การพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศที่ควบคู่ไปกับการความต้องการพลังงานภายในประเทศที่เพิ่มสูงขึ้น ทำให้มีการนำเข้าน้ำมันจากต่างประเทศเพิ่มมากขึ้น และในการขนส่งดังกล่าวนี้ อาจเกิดอุบัติเหตุ ทำให้มีน้ำมันบางส่วนเกิดรั่วไหลลงสู่ทะเลเสมอ ถึงแม้จะมีมาตรการป้องกันต่าง ๆ หากแต่ยังพบเหตุการณ์รั่วไหลของน้ำมันลงสู่แหล่งน้ำ และทะเลอยู่บ่อยครั้ง ซึ่งลักษณะของน้ำมันที่ลงสู่ทะเลก็มีการเปลี่ยนแปลงไปตามคุณสมบัติของน้ำมันที่ทำปฏิกิริยาทางเคมี และเปลี่ยนแปลงสภาพทางชีวภาพ และกายภาพ ดังที่อธิบายในหัวข้อต่อไป

2.2.1 การแปรสภาพของน้ำมันที่รั่วไหลในทะเล

เมื่อเกิดเหตุการณ์น้ำมันรั่วไหลลงสู่ทะเล มวลน้ำมันที่รั่วไหลออกมาจะมีการเปลี่ยนแปลงทางชีวภาพ ทางเคมี และด้านกายภาพหลาย ๆ อย่าง ซึ่งน้ำมันจะมีการแปรสภาพเมื่อถูกปัจจัยทางทะเล และการเปลี่ยนแปลงตามเวลาที่ผ่านไป ดังรูปที่ 2-3

กระบวนการเปลี่ยนแปลงทางชีวภาพ (biological process) หมายถึง การย่อยสลายของคราบน้ำมันโดยกระบวนการธรรมชาติ โดยทั่วไปในน้ำทะเลจะมีสิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก (เช่น แบคทีเรีย, ยีสต์, รา, สาหร่าย และโปรโตซัว) ซึ่งมีความสามารถย่อยน้ำมันอาศัยอยู่เป็นจำนวนมาก โดยปัจจัยที่ส่งผลต่ออัตราการย่อยน้ำมันทางธรรมชาติ ได้แก่ คุณสมบัติของน้ำมัน (อิมัลชันหรือมูสทำให้ย่อยสลายได้ยากขึ้น) ออกซิเจน สารอาหาร (ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส) และอุณหภูมิ เป็นต้น

ส่วนกระบวนการทางเคมี และด้านกายภาพ (weathering) มีลักษณะที่เกิดการเปลี่ยนแปลงหลายรูปแบบขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมี และสภาพแวดล้อมของน้ำทะเลบริเวณนั้น (National Research Council, 2014) ได้แก่

1) การแพร่กระจายของคราบน้ำมันเหนือผิวน้ำ (spreading) คือ มีสาเหตุจากลม และการไหลเวียนของกระแสน้ำ ทำให้น้ำมันเคลื่อนที่ไปมา และสามารถมองเห็นได้ชัดเจนจากการสังเกตการณ์ทางอากาศ

2) การระเหยของคราบน้ำมัน (evaporation) คือ เมื่อคราบน้ำมันโดนความร้อนจากแสงอาทิตย์ จะการระเหยตัวขึ้นไปในอากาศ โดยอัตราการระเหยขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ และความเร็วของลม พบการแปรสภาพนี้ในน้ำมันมีองค์ประกอบที่ระเหยง่าย (องค์ประกอบที่มีจุดเดือดต่ำกว่า 200 องศาเซลเซียส) กรณีของน้ำมันที่มีความหนืดมากอาจจะไม่พบว่าน้ำมันระเหยไป

3) การแพร่กระจายของน้ำมันในชั้นน้ำ (dispersion) คือ น้ำมันมีการแพร่กระจายตัวไปในชั้นน้ำ ด้วยอิทธิพลของคลื่น และกระแสน้ำที่ทำให้คราบน้ำมันแตกตัวเป็นหยดเล็กที่มีขนาดแตกต่างกัน

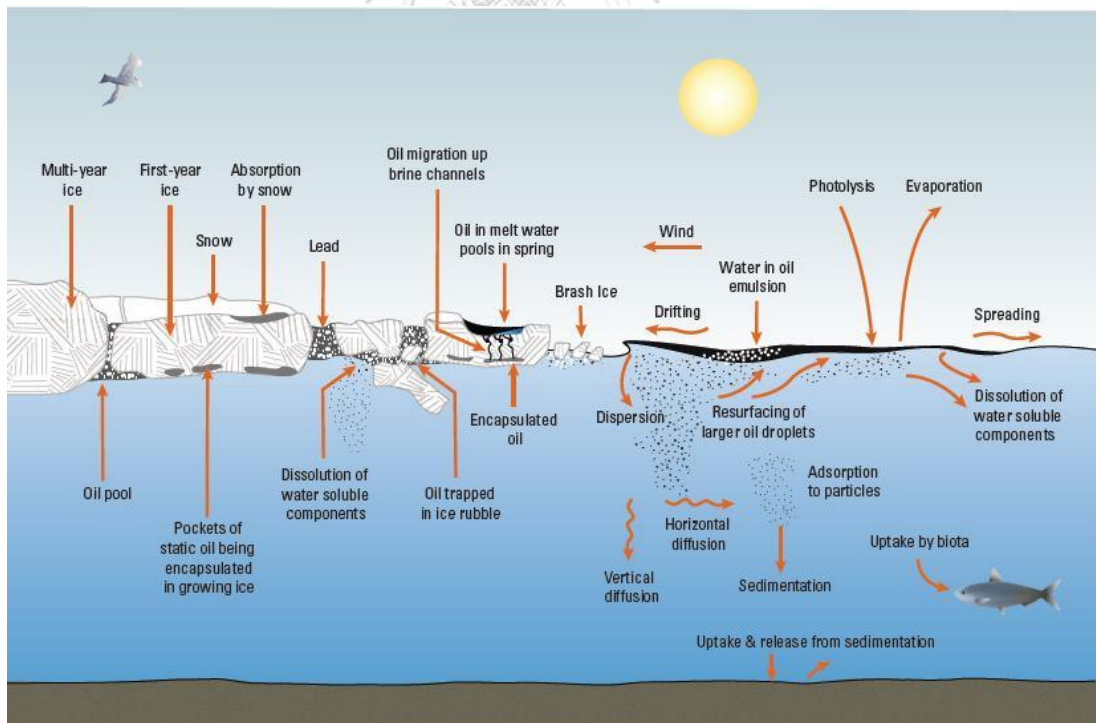
4) การจมตัวหรือตกตะกอน (sinking / sedimentation) คือ ปฏิกิริยาของส่วนประกอบหนักของน้ำมันเกาะกับตะกอนที่ฟุ้งอยู่ในน้ำ และจมตัวหรือตกตะกอนลงสู่ท้องน้ำ ซึ่งรูปแบบนี้เป็นตัว

สาเหตุที่ก่อให้เกิดก้อนตะกอนน้ำมัน (tar ball) สะสมตามชายฝั่ง หรือปนเปื้อนในระบบนิเวศน์ของท้องทะเล

5) น้ำมันละลายในน้ำ (dissolution) คือ กระบวนการที่เกิดขึ้นกับน้ำมันที่มีองค์ประกอบเบา (light components) โดยเฉพาะกลุ่ม aromatic hydrocarbon

6) การผสมระหว่างน้ำมันกับน้ำ (emulsification) คือ การแตกตัวของมวลน้ำมันออกเป็นอนุภาคน้ำมันขนาดเล็ก น้ำกับน้ำมันจึงผสมกัน ส่งผลทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นอิมัลชันหรือมูสของคราบน้ำมันซึ่งมีความหนืดเพิ่มขึ้น

7) การทำปฏิกิริยาระหว่างคราบน้ำมัน และออกซิเจนในอากาศ (photo-oxidation) คือ การทำปฏิกิริยาของคุณสมบัติของไฮโดรคาร์บอนในน้ำมันกับออกซิเจนในอากาศ โดยมีแสงแดดเป็นตัวช่วยเร่งปฏิกิริยา ส่งผลให้เกิดสารที่ละลายน้ำ (soluble product) หรือก้อนน้ำมันคงตัว (persistent tars) นอกจากนี้การ photo-oxidation ไม่สามารถทำให้คราบน้ำมันสลายได้มากนัก ถึงแม้จะอยู่ในสภาวะที่มีแสงอาทิตย์จัด (น้อยกว่า 0.1% ต่อวัน) รวมถึงชั้นน้ำมันหนืดที่หนาหรือมีลักษณะเป็น "อิมัลชันหรือมูส" มีโอกาสที่จะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนจนเกิดเป็นสารที่ไม่ย่อยสลายหรือมีความอันตรายเพิ่มขึ้น



รูปที่ 2-3 กระบวนการทางเคมีและกายภาพของน้ำมันที่รั่วไหล

(National Research Council, 2014)

ในการศึกษานี้ทำการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันในทะเลด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งมีข้อจำกัดสำหรับการทำแบบจำลองคือ ประเภทน้ำมันที่นำเข้ามาแบบจำลองมีความจำเพาะสำหรับการจำลองการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมัน อีกทั้งในแบบจำลองสนใจเพียงลักษณะของคราบน้ำมันที่กระจายอยู่บนผิวน้ำทะเลเพียงอย่างเดียวเท่านั้น ไม่ได้สนใจถึงลักษณะการแปรสภาพน้ำมันในแบบอื่น

2.2.2 สถิติการเกิดเหตุการณ์น้ำมันรั่วไหลในน่านน้ำทะเลไทย

กรมควบคุมมลพิษกำหนดแผนป้องกันและขจัดมลพิษทางน้ำเนื่องจากน้ำมันแห่งชาติ (กรมควบคุมมลพิษ, 2553) โดยจำแนกปริมาณน้ำมันรั่วไหลเป็น 3 ระดับ (Tier) ได้แก่

1) ระดับที่ 1 (Tier I) ปริมาณรั่วไหลไม่เกิน 20 ตันลิตร ส่วนใหญ่เกิดขึ้นระหว่างขนถ่ายน้ำมัน ผู้ที่ทำให้เกิดน้ำมันรั่วไหลต้องเป็นผู้รับผิดชอบในการขจัดคราบน้ำมัน และ/หรือได้รับความช่วยเหลือจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง โดยต้องแจ้งให้กรมเจ้าท่าทราบก่อน

2) ระดับที่ 2 (Tier II) รั่วไหลมากกว่า 20 - 1,000 ตันลิตร อาจเกิดจากอุบัติเหตุเรือโดนกัน การขจัดคราบน้ำมันต้องร่วมมือกันระหว่างภาคเอกชนและภาครัฐ ตามแผนป้องกันและขจัดมลพิษทางน้ำเนื่องจากน้ำมันแห่งชาติ และต้องแจ้งให้กรมเจ้าท่าทราบก่อน หากเกินขีดความสามารถของทรัพยากรที่มี อาจต้องขอรับการสนับสนุนจากต่างประเทศ

3) ระดับที่ 3 (Tier III) ปริมาณรั่วไหลมากกว่า 1,000 ตันลิตร อาจเกิดจากอุบัติเหตุที่รุนแรง การขจัดคราบน้ำมันในระดับนี้ต้องการความร่วมมือจากหน่วยงานต่าง ๆ ในประเทศ และต้องอาศัยความช่วยเหลือระดับนานาชาติ

รายงานเหตุการณ์น้ำมันรั่วไหลระหว่างปี พ.ศ. 2519 – 2553 ที่ได้ดำเนินการตรวจสอบและจัดการแก้ไขร่วมกับหน่วยงานอื่นที่เกี่ยวข้อง 124 เหตุการณ์ ส่วนใหญ่เป็นการรั่วไหลในปริมาณเล็กน้อย เมื่อพิจารณาสถิติน้ำมันรั่วโดยกรมเจ้าท่า ระหว่างปี พ.ศ. 2540 – 2556 พบว่าการรั่วไหลของน้ำมันในปริมาณมาก (20,000 ลิตรหรือ 20 ตันขึ้นไป) มีทั้งสิ้น 12 ครั้ง ดังตารางที่ 2-1 พบเหตุการณ์น้ำมันรั่วไหลเกิดในทะเล และชายฝั่งท่าเทียบเรือ ซึ่งส่วนมากพบการรั่วไหลบริเวณท่าเทียบเรือจากอุบัติเหตุระหว่างการขนถ่ายน้ำมัน และจากอุบัติเหตุต่าง ๆ (กรมเจ้าท่า, 2564)

2.2.3 เขตความเสี่ยงต่อการเกิดเหตุการณ์น้ำมันรั่วไหลในน่านน้ำทะเลไทย

พื้นที่ที่เสี่ยงต่อการเกิดน้ำมันรั่วไหลจะมีความสัมพันธ์กับกิจกรรมทางทะเลในบริเวณนั้น ๆ เช่น ท่าเทียบเรือ, จำนวนเรือ, ชนิดและประเภทของเรือ, แหล่งหรือเขตอุตสาหกรรม, เส้นทาง การสัญจรทางน้ำ และกิจกรรมการขนส่งหรือขนถ่ายสินค้าในทะเล สำนักจัดการคุณภาพน้ำ (กรมควบคุมมลพิษ, 2553) ได้จำแนกเขตความเสี่ยงต่อน้ำมันรั่วไหลในน่านน้ำทะเลไทย ตามระดับความเสี่ยงและความรุนแรงต่อการได้รับผลกระทบจากน้ำมันรั่วไหล ออกเป็น 4 เขต ดังรูปที่ 2-4 ได้แก่

เขตที่ 1 มีความเสี่ยงสูงมากได้แก่ บริเวณชายฝั่งทะเลด้านตะวันออก ครอบคลุมพื้นที่จังหวัด ฉะเชิงเทรา ชลบุรี และระยอง เป็นที่ตั้งของนิคมอุตสาหกรรม มีกิจกรรมการขนถ่ายน้ำมันบริเวณ ท่าเทียบเรือและกลางทะเล มีการจราจรทางน้ำหนาแน่น

เขตที่ 2 มีความเสี่ยงสูงได้แก่ บริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยาถึงท่าเรือคลองเตย เป็นเส้นทางหลัก ของเรือบรรทุกน้ำมัน เรือสินค้า และเรือโดยสาร อีกทั้งเป็นที่ตั้งคลังน้ำมันหลายแห่งริมฝั่งแม่น้ำ

เขตที่ 3 มีความเสี่ยงสูงปานกลางได้แก่ฝั่งทะเลอ่าวไทยด้านตะวันตก ครอบคลุมพื้นที่จังหวัด ชุมพร, สุราษฎร์ธานี, นครศรีธรรมราช, กระบี่, พัทลุง และสงขลา และฝั่งทะเลอันดามัน ครอบคลุม พื้นที่จังหวัดระนอง พังงา กระบี่ ตรัง และสตูล น้ำมันรั่วไหลอาจเกิดจากเรือบรรทุกน้ำมันที่เดิน ทางเข้าออกช่องแคบมะละกา การขนถ่ายน้ำมัน ทำเรื่อน้ำลึก และทำเรือโดยสาร ฯลฯ

เขตที่ 4 มีความเสี่ยงต่ำได้แก่ พื้นที่บริเวณฝั่งอ่าวไทยและทะเลอันดามันนอกเหนือจากที่ระบุไว้ ใน 3 เขตข้างต้น

ตารางที่ 2-1 สถิติน้ำมันรั่วปริมาณมากระหว่างปี พ.ศ.2540 – 2556

ลำดับ	วันเกิดเหตุ	ชนิดน้ำมัน	ปริมาณ (ตัน)	สถานที่เกิดเหตุ	สาเหตุ
1	22 พ.ค. 44	น้ำมันดิบ	30	ท่าขนถ่ายน้ำมันกลางทะเล บริษัท อัลลายแอนซ์ รีไฟน์นิ่ง จำกัด ทำเรือมาบตาพุด จ.ระยอง	Brakeaway Coupling ขนาด 16 นิ้ว ที่กำลังขน ถ่ายจากเรือ Tokachi หลุดออกจากกัน
2	15 ม.ค. 45	น้ำมันเตา	234	หินฉลาม เกาะจวงนอกฝั่ง อ.สัตหีบ จ.ชลบุรี	เรือ Eastern Fortitude สัญชาติปานามา ชนหินฉลาม
3	17 ธ.ค. 45	น้ำมันเตา	210	ทางเข้าท่าเรือแหลมฉบัง ด้านใต้ของเกาะสีชัง จ. ชลบุรี	เรือ Kota Wijaya ชนกับเรือ Sky Ace
4	26 ธ.ค. 47	น้ำมันดิบ	150	เกาะครก พัทยา จ.ชลบุรี	เรือ Dragon 1 จมและเกยตื้นบริเวณเกาะครก

ตารางที่ 2-1 (ต่อ) สถิติน้ำมันรั่วปริมาณมากระหว่างปี พ.ศ.2540 – 2556

ลำดับ	วันเกิดเหตุ	ชนิดน้ำมัน	ปริมาณ (ตัน)	สถานที่เกิดเหตุ	สาเหตุ
5	20 พ.ย. 48	น้ำมันดิบ	20	บริเวณท่อนผูกเรือ SBM ของบริษัทไทยออยล์ จำกัด (มหาชน) อ.ศรีราชา จ. ชลบุรี	ท่อเชื่อมต่อหลุดขณะส่ง ถ่ายน้ำมัน เนื่องจากคลื่นลมแรง
6	4 พ.ค. 49	น้ำมันเตา	20	บริเวณหน้าท่าเทียบเรือ บริษัท อัลลายแอนซ์ รีไฟน์นิ่ง จำกัด อ.มาบตาพุด จ.ระยอง	รั่วไหลจากรอยรั่วที่ระวางหมายเลข 2 ของเรือบรรทุกน้ำมัน CP 34
7	6 ต.ค. 50	Saraline 185V	35	บริเวณแท่น Trident-16 (Offshore Mobile Drilling Unit) ของ บริษัท Chevron Thailand	รั่วไหลจาก Storage Tank
8	9 ธ.ค. 50	น้ำมันดีเซล และ น้ำมันเตา	20	ในทะเลห่างชายฝั่ง ประมาณ 6 ไมล์ทะเล อ. สทิงพระ จ.สงขลา	เรือบรรทุกแก๊สของ บริษัท เวอร์ลไวด์ทราน-สปอร์ต จำกัด จม
9	15 มิ.ย. 51	น้ำมันเตา	40	บริเวณอู่เรือ บริษัท เอเชียน มารีน เซอร์วิส จำกัด(มหาชน) อ.พระสมุทรเจดีย์ จ. สมุทรปราการ	รั่วไหลจากเรือสินค้า Chol Han Vong Chong Nyon Ho สัญชาติเกาหลีเหนือ
10	4 ก.ย. 54	ดีเซล (B5)	40	ห่างจากเกาะราชาใหญ่ ทางด้านตะวันออก ประมาณ 4 ไมล์ทะเล จ. ภูเก็ต	เรือบรรทุกน้ำมันชื่อ ส. โชคถาวร 6 จมลง เนื่องจากมีคลื่นลมแรง

ตารางที่ 2-1 (ต่อ) สถิติน้ำมันรั่วปริมาณมากระหว่างปี พ.ศ.2540 – 2556

ลำดับ	วันเกิดเหตุ	ชนิดน้ำมัน	ปริมาณ (ตัน)	สถานที่เกิดเหตุ	สาเหตุ
11	22 มี.ค. 56	น้ำมันเตา	20	คลองท่าจีน อ.เมือง จ.ภูเก็ต	เรือประมงดัดแปลงชื่อ “เปรมิกา” จม
12	27 ก.ค. 56	น้ำมันดิบ	50	ทุ่นรับน้ำมันดิบกลาง ทะเล (single point mooring: SPM) รวมทั้ง ด้านเหนือและ ทิศตะวันออก ตกของเกาะ เสม็ด จ. ระยอง	ทุ่นรับน้ำมันดิบขนาด 16 นิ้วรั่ว บริเวณทุ่น SPM ของ บริษัท PTTGC

เมื่อพิจารณาควบคู่ทั้งทางสถิติและขอบเขตความเสี่ยงภัยต่อน้ำมันรั่วไหล พบว่าพื้นที่บริเวณชายฝั่งทะเลอ่าวไทยด้านตะวันตกคือขอบเขตความเสี่ยงภัยลำดับที่หนึ่ง ซึ่งมีการศึกษาเกี่ยวกับการรั่วไหลของน้ำมันในบริเวณนี้ ในขณะที่พื้นที่ศึกษาบริเวณชายฝั่งทะเลอ่าวไทยตอนบน ซึ่งครอบคลุมพื้นที่ชายฝั่งทะเลของจังหวัดจังหวัดเพชรบุรี, จังหวัดสมุทรสงคราม, จังหวัดสมุทรสาคร, จังหวัดกรุงเทพมหานคร, จังหวัดสมุทรปราการ, จังหวัดฉะเชิงเทรา และจังหวัดชลบุรี อันเป็นที่ตั้งของชุมชนและนิคมอุตสาหกรรม เชื่อมต่อกับปากแม่น้ำเจ้าพระยา ซึ่งจากบริเวณปากแม่น้ำถึงท่าเรือคลองเตยเป็นเส้นทางหลักของเรือบรรทุกน้ำมัน เรือสินค้า และเรือโดยสาร และเป็นที่ตั้งคลังน้ำมันหลายแห่งริมฝั่งแม่น้ำ ทำให้มีกิจกรรมการขนถ่ายน้ำมันบริเวณท่าเทียบเรือ และในทะเลมีการจราจรทางน้ำหนาแน่น จึงจัดเป็นเขตที่มีความเสี่ยงต่อน้ำมันรั่วไหลสูงลำดับสอง จึงควรมีการศึกษาเกี่ยวกับลักษณะทางสภาพท้องทะเล และการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันที่รั่วไหลในทะเลบริเวณนี้



รูปที่ 2-4 เขตความเสี่ยงต่อน้ำมันรั่วไหลในน่านน้ำไทย (กรมควบคุมมลพิษ, 2553)

2.3 การไหลเวียนของน้ำทะเลบริเวณอ่าวไทยตอนบน

อ่าวไทยเป็นน่านน้ำภายในที่อยู่ส่วนในสุดของทะเลจีนใต้ ตั้งอยู่ทางฝั่งตะวันตกของมหาสมุทรแปซิฟิก การศึกษาด้านสมุทรศาสตร์แบ่งพื้นที่อ่าวไทยเป็น 2 ส่วน คือพื้นที่อ่าวไทยตอนบน (หรืออ่าวไทยตอนใน) และอ่าวไทยตอนล่าง (หรืออ่าวไทยตอนนอก) พื้นที่อ่าวไทยตอนบน หรืออ่าวไทยตอนใน หรือรู้จักในชื่อ “อ่าวไทยรูปตัว ก” มีเส้นขอบเขตทางด้านใต้ จากอำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ถึงแหลมแสมสาร อำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี ขนาดพื้นที่กว้างประมาณ 10,000 ตารางกิโลเมตร ครอบคลุมพื้นที่จากละติจูด 12.55° – 13.50° เหนือ และลองจิจูด 100.00° – 100.90° ตะวันออก ความลึกน้ำเฉลี่ยประมาณ 15 กิโลเมตร มีความยาวชายฝั่งทะเลยาวประมาณ 400 กิโลเมตร เป็นชายฝั่งที่อยู่ในอาณาเขตจังหวัดกรุงเทพมหานคร สมุทรปราการ สมุทรสาคร สมุทรสงคราม ฉะเชิงเทรา ชลบุรี และเพชรบุรี รองรับน้ำจืดจากแม่น้ำสำคัญ 4 สาย ได้แก่ แม่น้ำแม่กลอง แม่น้ำท่าจีน แม่น้ำเจ้าพระยา และแม่น้ำบางปะกง ลักษณะของพื้นที่ชายฝั่งเป็นดินเลน มีป่าชายเลนอยู่นอกชายฝั่ง เหมาะกับการเป็นแหล่งที่อยู่อาศัย และที่เพาะพันธุ์ของสัตว์น้ำนานาชนิด

การไหลเวียนของน้ำทะเลบริเวณอ่าวไทยตอนบนได้รับอิทธิพลจากกระแสน้ำที่เกิดขึ้นในอ่าวไทยทั้งหมด อ่าวไทยเป็นส่วนในสุดของมหาสมุทรแปซิฟิกตะวันตก เชื่อมต่อมาจากด้านตะวันตกของ

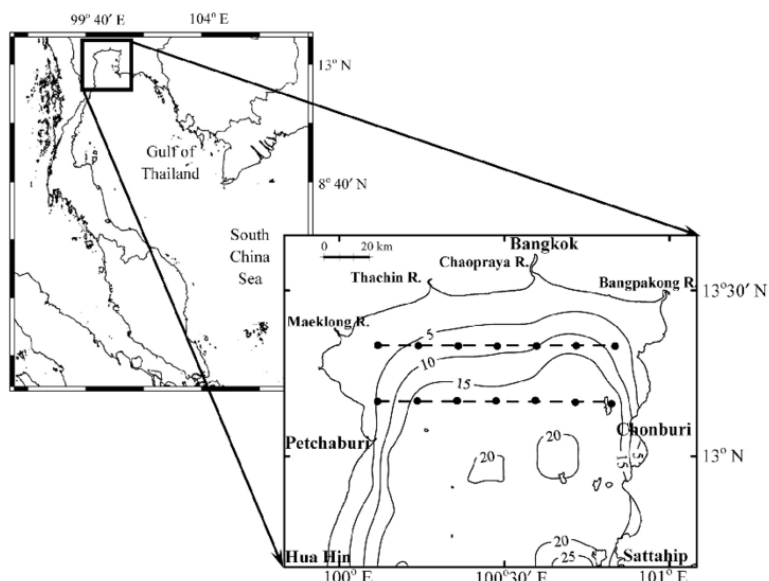
ทะเลจีนใต้ มีลักษณะเป็นอ่าวกึ่งปิด ที่โอบล้อมด้วยชายฝั่งทะเลของคาบสมุทรมาลายูและแผ่นดินของทวีปเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ โดยมีช่องเปิดทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ ปากอ่าวนับจากร่องน้ำโกลกจนราธิวาส (แม่น้ำอาณาเขตระหว่างประเทศไทยกับประเทศมาเลเซีย) ถึงแหลมคาเมา (Cà Mau) บนคาบสมุทรเวียดนาม ลักษณะภูมิศาสตร์ของพื้นที่อ่าวไทยมีลักษณะเป็นแอ่งกระทะ ดังรูปที่ 2-5 มีความลึกเฉลี่ยประมาณ 44 เมตร บริเวณใจกลางของอ่าวเป็นส่วนที่ลึกที่สุดประมาณ 86 เมตร (กรมทรัพยากรธรณี, 2555)

การเกิดกระแสน้ำในอ่าวไทยได้รับอิทธิพลหลัก 4 อย่าง ได้แก่ อิทธิพลของลม, น้ำขึ้นน้ำลง, น้ำท่า และชั้นความหนาแน่นน้ำ (ปราโมทย์ โสจิศุภกร, 2546)

2.3.1 กระแสน้ำที่เกิดจากอิทธิพลของลม

ลมหรือแรงเฉือนเนื่องจากลมทำให้เกิดชั้นมวลน้ำผิวหน้าที่เคลื่อนที่เนื่องจากลม เรียกว่า Ekman Layer การเคลื่อนที่ของมวลน้ำเรียกว่า Ekman Transport ตามทฤษฎีลมจะทำให้ผิวหน้าน้ำทะเลเคลื่อนที่เพียงไป 45 องศาทางขวาของทิศทางลมในซีกโลกเหนือ ได้ผิวน้ำลงมามีทิศทางกระแสน้ำเบี่ยงมากกว่า 45 องศามากขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงเบื้องล่างของชั้นน้ำ Ekman Layer ทิศทางของกระแสน้ำจะตรงกันข้ามกับกระแสน้ำผิวหน้า การเคลื่อนที่ของมวลน้ำสุทธิอยู่ในทิศ 90 องศาทางขวามือของทิศทางลม แต่ผลจากการตรวจวัดจริงอาจไม่เป็นไปตามทฤษฎีดังกล่าวเนื่องจากอิทธิพลของภูมิประเทศ และรูปร่างชายฝั่ง

คลื่นที่เกิดในทะเลส่วนใหญ่ที่เกิดจากอิทธิพลของลมเป็นหลัก (wind-generated wave) โดยเมื่อลมพัดผ่านผิวน้ำทะเล จะมีการถ่ายเทพลังงานจากลมไปให้กับน้ำ ส่งผลให้อนุภาคน้ำกระเพื่อมขึ้นลงตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนตัวของพลังงาน คลื่นผิวน้ำที่เกิดจากลมจะมีพลังงานคลื่นมากที่สุดในช่วงคาบคลื่น 4 – 12 วินาที จัดเป็นคลื่นเนื่องจากแรงโน้มถ่วงที่เกิดจากลม (gravity waves) ส่วนคลื่นที่เกิดขึ้นภายใต้อิทธิพลของลมในพื้นที่กำเนิด (generating area) เรียกว่า wind wave เมื่อลักษณะคลื่นแบบ wind wave เคลื่อนที่ออกจากพื้นที่กำเนิด และไม่ได้อยู่ภายใต้อิทธิพลของลมอีกต่อไป เราจะเรียกว่า swell ซึ่งสามารถเคลื่อนตัวออกไปได้ไกล เป็นพันกิโลเมตรจากพื้นที่กำเนิด แต่พลังงานคลื่นจะลดลงไปเรื่อย ๆ เนื่องจากแรงเสียดทานของผิวน้ำ และอากาศ แรงเสียดทานจากพื้นท้องทะเลในเขตน้ำตื้น หรือเกิดการแตกตัว ความสูงคลื่นและคาบของคลื่นผิวน้ำขึ้นอยู่กับ 3 ปัจจัย ได้แก่ ความเร็วลม (wind speed) เป็นตัวกำหนดความสูงคลื่นสูงสุดที่จะเป็นไปได้ ถ้าคลื่นสูงเกินกว่านี้คลื่นจะแตกตัว ปัจจัยที่สองคือระยะเวลาที่ลมพัด (wind duration) ช่วงเวลาที่นานพอที่จะทำให้เกิดคลื่นสูงสุดเท่าที่ความเร็วลมจะถ่ายเทพลังงานให้ได้ ถ้าลมแรงจะต้องใช้ระยะเวลาในการพัดนานเพื่อให้คลื่นพัฒนาได้เต็มที่ และระยะทางของผิวน้ำ (fetch length) (World Meteorological Organization, 1998)



รูปที่ 2-5 ลักษณะภูมิประเทศของอ่าวไทยตอนบน
(Buranapratheprat, 2008)

การไหลเวียนของน้ำในอ่าวไทยทั้งในแนวราบและแนวตั้ง เกิดจากลมเป็นหลักโดยสังเกตจากการเกิดน้ำผุด (upwelling) หรือปรากฏการณ์ที่ลมพัดขนานกับชายฝั่ง และผลจากแรงโคริโอลิส ทำให้น้ำชั้นบนถูกพัดออกไปจากชายฝั่งในแนวตั้งฉากกับทิศทางลม และมีน้ำชั้นล่างขึ้นมาแทนที่ ส่วนการเกิดน้ำจม (downwelling) หรือปรากฏการณ์ที่ลมพัดขนานกับชายฝั่ง และผลจากแรงโคริโอลิส ทำให้น้ำชั้นบนถูกพัดเข้าสู่ชายฝั่งในแนวตั้งฉากกับทิศทางลมแล้วจมตัวลง สุดท้ายคือการที่น้ำไหลเป็นวง (eddy) อีกทั้งลมยังทำให้น้ำท่าผสมผสานกับน้ำทะเลโดยน้ำเค็มจากทะเลจีนใต้ไหลเข้ามาในอ่าวไทยทางด้านล่างเมื่อลมพัดน้ำในอ่าวไทยออกไปทางด้านบนในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และทำให้น้ำท่าจากแม่น้ำโขงไหลเข้ามาในอ่าวไทย ในช่วงที่ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือพัดเลียบชายฝั่งประเทศเวียดนาม (Robinson, 1974) อิทธิพลของลมสามารถทำให้เกิดการไหลเวียนของมวลน้ำในรูปแบบอื่น ๆ ที่มีความรุนแรงมากกว่าลมปกติ ความเร็วลม และทิศทางที่ทำให้เกิดความแปรปรวนได้มีปัจจัยอื่นเกี่ยวข้องร่วมด้วย อันได้แก่ ลมมรสุม และพายุหมุนเขตร้อน ซึ่งในฝั่งทะเลอ่าวไทย คลื่นจะเกิดตามช่วงมรสุม โดยมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือจะทำให้เกิดคลื่นขนาดใหญ่กว่าปกติในบริเวณอ่าวไทยด้านตะวันตก ส่วนลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้จะทำให้เกิดคลื่นขนาดใหญ่กว่าปกติในบริเวณอ่าวไทยด้านตะวันออก สำหรับอ่าวไทยตอนบนลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ที่พัดผ่านจะมีกำลังอ่อน และเกิดช่วงสั้น ๆ จึงทำให้คลื่นในบริเวณนี้มีขนาดไม่ใหญ่มากนัก โดยปกติคลื่นในอ่าวไทยจะมีขนาดเล็กความสูงประมาณ 1 - 2 เมตร (ปราโมทย์ ไศจิศุภกร, 2546)

2.3.2 กระแสน้ำที่เกิดจากอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง

น้ำขึ้นน้ำลง คือปรากฏการณ์ที่ระดับน้ำทะเล ณ บริเวณใด ๆ ขึ้นและลง วันละหนึ่งครั้ง หรือสองครั้ง น้ำขึ้นน้ำลงเกิดจากแรงดึงดูดระหว่างโลก ดวงจันทร์ และดวงอาทิตย์ ร่วมกับแรงหนีศูนย์กลางของมวลน้ำเปลือกโลก รอบจุดศูนย์กลางมวลของโลกกับดวงจันทร์ หรือโลกกับดวงอาทิตย์ ซึ่งแรงดึงดูดระหว่างดาว 2 ดวงแปรผันตามมวลสารของดวงดาวทั้งสอง และผกผันกับกำลังสองของระยะทางระหว่างดวงดาว ถึงแม้ดวงอาทิตย์จะมีจำนวนมวลมากกว่าดวงจันทร์มาก แต่ระยะห่างของโลกกับดวงอาทิตย์ทำให้แรงดึงดูดระหว่างโลกกับดวงจันทร์มีค่าสูงกว่าโลกกับดวงอาทิตย์

น้ำขึ้นน้ำลงที่เกิดจากดวงอาทิตย์มีคาบเวลาเท่ากับ 12 และ 24 ชั่วโมง เมื่อนำไปรวมกับองค์ประกอบฮาร์โมนิกของดวงจันทร์ทำให้เกิดยอดน้ำขึ้นสูงสุดทุก ๆ 14 วันเรียกว่าน้ำเกิด (spring tide) และยอดน้ำขึ้นต่ำสุดทุก ๆ 14 วันเรียกว่าน้ำตาย (neap tide) แต่เนื่องจากแนวดวงอาทิตย์กับโลกเอียงทำมุมกับเส้นศูนย์สูตร ระยะห่างระหว่างโลก ดวงจันทร์ กับดวงอาทิตย์ไม่เท่ากันตลอดเวลา จึงก่อให้เกิดองค์ประกอบน้ำขึ้นน้ำลงตัวอื่น ๆ อีกมาก นอกจากนี้ สภาพภูมิอากาศในรอบปีก็มีผลต่อน้ำขึ้นน้ำลงเช่นกัน

น้ำขึ้นน้ำลงบริเวณชายฝั่งทะเลอ่าวไทยจะมีลักษณะเป็นน้ำเตี้ย (diurnal) คือ น้ำขึ้น 1 ครั้ง และน้ำลง 1 ครั้งต่อวัน เนื่องจากอ่าวไทยเป็นอ่าวตื้น มีก้นอ่าวขรุขระไม่ราบเรียบการเดินทางของคลื่นน้ำขึ้นน้ำลงไม่สม่ำเสมอ เมื่อคลื่นน้ำขึ้นเดินทางเข้ามาในอ่าว ก็จะสะท้อนกลับทำให้เกิดแรงหักล้างกัน และเป็นผลให้มีน้ำขึ้นน้ำลงเพียงวันละหนึ่งครั้ง และการขึ้นลงของน้ำทะเลบริเวณชายฝั่งทะเลอ่าวไทยตอนบน หรืออ่าวไทยรูปตัวกจะมีลักษณะเป็นแบบน้ำผสม (mixed tide) คือมีการขึ้นลงของน้ำทะเลสองครั้งต่อวัน แต่ระดับน้ำทะเลที่ขึ้นลงทั้งสองครั้งมีขนาดไม่เท่ากัน ส่วนทางฝั่งทะเลอันดามันจะมีลักษณะน้ำขึ้นน้ำลงเป็นน้ำคู่ (semidiurnal) คือ น้ำขึ้น 2 ครั้ง และน้ำลง 2 ครั้งต่อวัน ดังรูปที่ 2-6 (กรมอุทกศาสตร์, 2538)

น้ำขึ้นน้ำลงเป็นอิทธิพลที่ทำให้กระแสน้ำไหลเปลี่ยนทิศทางตรงกันข้ามทุก 6 หรือ 12 ชั่วโมง การศึกษาของ Robinson (1974) และการตรวจวัดโดยกรมอุทกศาสตร์ (2538) วิเคราะห์ค่าตรวจวัดกระแสน้ำรายชั่วโมงในบริเวณต่าง ๆ ทั่วอ่าวไทย พบว่ากระแสน้ำรายชั่วโมงมีลักษณะขึ้นอยู่กับอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง ในช่วงน้ำขึ้นน้ำลงจะไหลเข้าอ่าว และช่วงน้ำลงน้ำไหลออกจากอ่าว ทิศทางของกระแสน้ำอยู่ในแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ตามลักษณะการวางตัวของอ่าวไทย โดยความเร็วและทิศทางของกระแสน้ำแต่ละบริเวณมีความแตกต่างกันมาก เนื่องจากในแต่ละบริเวณ ความลึกน้ำไม่เท่ากัน และเนื่องจากอิทธิพลของรูปร่างอ่าวไทย และการเปลี่ยนแปลงความลึก ทำให้ความเร็วของกระแสน้ำรายชั่วโมงไม่เปลี่ยนแปลงตามความลึก แสดงว่าอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง

ทำให้มวลน้ำทั้งแนวคอลัมน์เคลื่อนที่ ทั้งนี้จากข้อมูลกระแสน้ำที่ตรวจวัดได้ร่วมกับปัจจัยอื่น ๆ เช่น ลม ซึ่งทำให้เกิด wind-driven current และความแตกต่างของระดับน้ำซึ่งทำให้เกิด geostrophic current หรือกระแสน้ำที่เกิดจากสมดุลของความแตกต่างของความดัน (pressure gradient) และ แรงโคริโอลิส

อิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงทำให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของการไหลเวียนของน้ำในแต่ละชั่วโมง การศึกษาการไหลเวียนสุทธิ (residual flow) จำเป็นต้องใช้โมเดลทางคณิตศาสตร์จำลองขึ้นมา การศึกษาของ (Yanagi and Takao, 1998) พบว่าน้ำขึ้นน้ำลงทำให้เกิดการไหลเวียนสุทธิของน้ำเป็น วง (eddy) หลายวงทั่วอ่าวไทยดังรูปที่ 2-7 ที่บริเวณขอบชายฝั่งของปากอ่าวมีน้ำไหลเป็นวงแบบตาม เข็มนาฬิกา

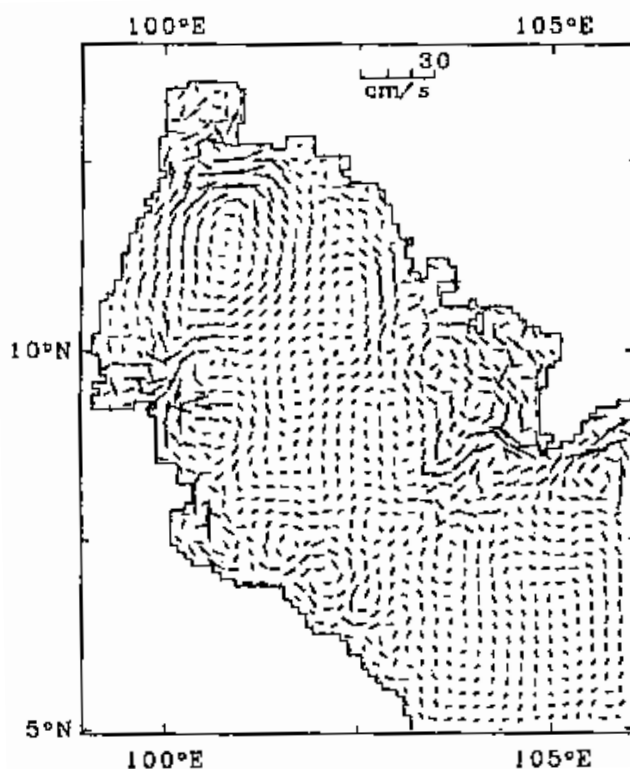
2.3.3 กระแสน้ำที่เกิดจากอิทธิพลของน้ำท่า

น้ำท่าทำให้เกิดการไหลเวียนของน้ำแบบ gravitational circulation คือ น้ำจืดจากแม่น้ำ ไหลออกสู่ทะเลทางชั้นน้ำด้านบน ขณะที่เหนี่ยวนำให้น้ำทะเลไหลเข้าแม่น้ำทางชั้นน้ำด้านล่าง เนื่องจากน้ำท่าจะมีความหนาแน่นต่ำกว่าน้ำทะเล จึงลอยตัวอยู่เหนือน้ำทะเล จนกว่าจะมีคลื่น และกระแสช่วยเร่งการผสมผสานน้ำท่ากับน้ำทะเลด้านล่างเกิดเป็นน้ำชายฝั่งซึ่งมีความเค็มต่ำกว่า น้ำทะเล น้ำท่าจะมีผลต่อความเค็มของน้ำในอ่าวไทยค่อนข้างมาก แต่มีผลต่อการไหลเวียนของน้ำใน อ่าวไทยค่อนข้างน้อย เพราะปริมาณน้ำท่าที่ไหลลงอ่าวไทยต่อปีน้อยกว่าปริมาณน้ำในอ่าวไทยมาก (ปราโมทย์ ไชยศิริ, 2546)

ปริมาณน้ำท่าจากแผ่นดินที่ล้อมรอบอ่าวไทยยังไม่เป็นที่แน่ชัดนักเนื่องจากสถานีตรวจวัดน้ำท่า จะอยู่เหนือเขตอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงซึ่งตั้งอยู่เข้าไปในแม่น้ำหลายสิบลี้ถึงร้อยกิโลเมตร ดังนั้นข้อมูล น้ำท่าจากสถานีต่ำสุดของลำน้ำก็ยังไม่ได้เป็นตัวแทนน้ำท่าของแม่น้ำสายนั้น ๆ ดังนั้นในการศึกษา ลักษณะคลื่นและกระแส น้ำ จะไม่พิจารณาถึงผลของปริมาณน้ำท่าเนื่องจากไม่มีข้อมูลปริมาณน้ำท่า สุทธิที่ไหลลงสู่อ่าวไทย

2.3.4 กระแสน้ำที่เกิดจากอิทธิพลของชั้นความหนาแน่นน้ำ

ความแตกต่างของความหนาแน่นน้ำทำให้เกิดการไหลเวียนของน้ำทั้งในแนวราบและแนวตั้ง จากข้อมูลอุณหภูมิจึง ความเค็ม และความหนาแน่นน้ำในอ่าวไทยแสดงให้เห็นว่าเราสามารถแบ่งน้ำเป็น 2 มวล คือ น้ำชั้นบนมีความเค็มต่ำกว่า 33 ส่วนในพันส่วน และน้ำระดับล่าง (ความลึกมากกว่า 50 เมตร) มีความเค็มมากกว่า 33 ส่วนในพันส่วน



รูปที่ 2-7 การไหลเวียนสุทธิของน้ำในอ่าวไทยจากอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง
(Yanagi and Takao, 1998)

แหล่งที่มาของน้ำชั้นล่างในอ่าวไทยมาจากทะเลจีนใต้ การแพร่กระจายของความหนาแน่นน้ำต่อกระแสน้ำสุทธิในอ่าวไทย ศึกษาโดยใช้โมเดลทางคณิตศาสตร์ของการไหลเวียนของน้ำ 2 ครั้ง โดยให้ครั้งแรกให้มีความแตกต่างของความหนาแน่นน้ำในแนวราบในอ่าวไทย และครั้งที่สองให้ความหนาแน่นน้ำเท่ากันหมดทั่วทั้งอ่าวแล้วเปรียบเทียบการไหลเวียนสุทธิของน้ำ ผลปรากฏว่าทั้ง 2 กรณีมีความหนาแน่นน้ำไม่แตกต่างกัน ดังนั้นในการศึกษาลักษณะคลื่น และกระแสน้ำในการศึกษานี้ จะไม่พิจารณาถึงผลของความหนาแน่นน้ำเนื่องจากความแตกต่างของความหนาแน่นน้ำไม่มีผลต่อการไหลเวียนสุทธิของน้ำในอ่าวไทย (Yanagi and Takao, 1998)

เมื่อพิจารณาถึงปัจจัยต่างๆที่ทำให้เกิดกระแสน้ำที่ไหลเวียนในทะเล โดยเฉพาะบริเวณอ่าวไทย ตอนบนทำให้มีการศึกษาเฉพาะอิทธิพลเนื่องจากอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง และอิทธิพลของลม ซึ่งเป็นอิทธิพลหลักและส่งผลกระทบต่อความแปรปรวนในการเกิดคลื่น ส่วนอิทธิพลเนื่องจากน้ำท่า และความแตกต่างของความหนาแน่นของน้ำไม่ถูกนำมาพิจารณาในการศึกษานี้เนื่องจากมีผลต่อการไหลเวียนสุทธิของน้ำในอ่าวไทยน้อย

2.4 แบบจำลองคลื่น

การจำลองคลื่นในทะเล มีการศึกษาและพัฒนารูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำการคาดการณ์ลักษณะของคลื่นจากในอดีต (hindcast) หรือการพยากรณ์แนวโน้มของคลื่นที่จะเกิดขึ้นในอนาคต (forecast)

Thomas and Dwarakish (2015) ได้ศึกษาการจำลองคลื่นด้วยแบบจำลอง SWAN พบว่าผลลัพธ์จากแบบจำลอง SWAN เป็นข้อมูลเริ่มต้นที่ดีที่สุดสำหรับนำไปใช้ต่อ โดยการจำลองคลื่นบริเวณท่าเรือจาร์ตา ประเทศอินโดนีเซีย มีการใช้ค่าเฉลี่ยเฟสสเปกตรัม และข้อมูลคลื่นจริงเพื่อเป็นการเปรียบเทียบการรบกวนของคลื่น ได้ผลว่าคลื่นทั้งสองแบบแสดงพฤติกรรมที่คล้ายคลึงกันโดยทั่วไป

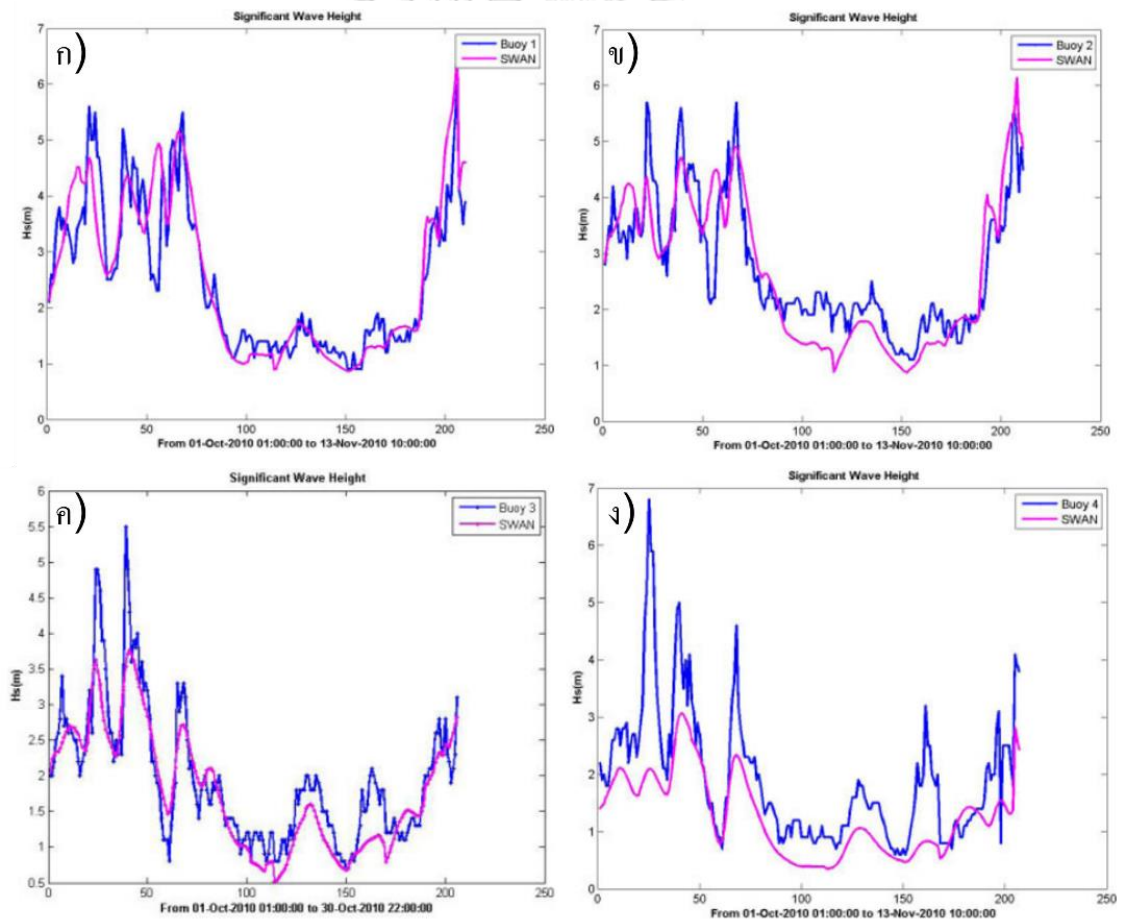
Bento et al. (2012) ทำการศึกษาระบบคลื่นทำนาย (wave prediction system) บริเวณชายฝั่งทะเลประเทศสเปน โดยเปรียบเทียบความสูงคลื่นนัยสำคัญที่ได้จากแบบจำลอง SWAN กับหุ่นตรวจวัดชายฝั่งทะเล โดยใช้ข้อมูลลมราย 6 ชั่วโมงมาจาก National Centers for Environmental Prediction (NCEP) และข้อมูลพื้นที่ท้องทะเลจาก GEBCO พบว่าในส่วนในช่วงคลื่นที่มีความสูงที่สุด แบบจำลองยังจำลองได้ไม่ดี แต่ค่าความสูงคลื่นนัยสำคัญโดยรวมใกล้เคียงกัน ค่าพลังงานคลื่นที่ขึ้นอยู่กับความสูงคลื่นนั้น มีความแม่นยำพอสมควร ดังรูปที่ 2-8

วิริยะ เหลืองอร่าม (2547) ได้ศึกษาวิธีการคำนวณคลื่นโดยใช้แบบจำลอง Wave Model (WAM) แต่ยังพบข้อจำกัดในการคำนวณคลื่นบริเวณชายฝั่งทะเล จึงได้ประยุกต์ใช้ผลการคำนวณแบบจำลอง WAM มาเป็นข้อมูลพลังงานคลื่นนำเข้าไปในแบบจำลอง SWAN (Simulating Wave Near shore) เพื่อศึกษาคลื่นในอ่าวไทยโดยใช้ข้อมูลลมจากแบบจำลอง NOGAPS (Navy Operational Global Atmosphere Prediction System) ของกองทัพเรือสหรัฐอเมริกา ค่าความสูงคลื่นที่ได้จากแบบจำลองเปรียบเทียบกับหุ่นสมุทรศาสตร์, ดาวเทียม JASON1 และ GFO พบว่าความสูงคลื่นที่คำนวณได้จากแบบจำลอง SWAN มีค่าใกล้เคียงกับค่าตรวจวัด อย่างไรก็ตามความสูงคลื่นจากแบบจำลองยังให้ค่าต่ำกว่าความสูงคลื่นจากหุ่นสมุทรศาสตร์เล็กน้อย

ในประเทศไทยมีการศึกษาการใช้แบบจำลอง SWAN เพื่อประเมินพลังงานคลื่นในอ่าวไทย เพื่อศึกษาลักษณะของคลื่น และติดตามลักษณะของคลื่นในช่วงเกิดพายุ การศึกษาของ วาทิน ธนาธารพร และคณะ (2554) นำเข้าข้อมูลลมจาก NOGAPS ของกองทัพเรือสหรัฐอเมริกา เปรียบเทียบความสูงคลื่นจากแบบจำลองกับข้อมูลตรวจวัดจากดาวเทียม ENVISAT และ GFO พบว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบความสูงคลื่นช่วงที่พายุหมุนฟ้าพัดผ่านอ่าวไทย มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.83 - 0.92 ซึ่งความแตกต่างของค่าความสูงคลื่นนั้นอาจขึ้นอยู่กับความละเอียดของข้อมูลนำเข้า เช่น ข้อมูลลม และข้อมูลพื้นที่ท้องทะเล

การศึกษาความสูงคลื่นในพื้นที่บริเวณชายฝั่งทะเลทางภาคใต้ ได้แก่ สถานีนครศรีธรรมราช, สถานีสงขลา, สถานีประจวบคีรีขันธ์, สถานีนราธิวาส, สถานีชุมพร, สถานีเพชรบุรีมี และสถานีสุราษฎร์ธานี ความสูงคลื่นนัยสำคัญเฉลี่ยสูงสุดที่สถานีนครศรีธรรมราช 0.37 เมตร เพื่อประเมินค่าพลังงานคลื่นว่ามีความเหมาะสมในการใช้ผลิตไฟฟ้าได้หรือไม่ (กาญจนา หนูจีนเส็ง และจอมภพ แวศักดิ์, 2559)

การศึกษาความสัมพันธ์ของความสูงคลื่นนัยสำคัญที่ได้จากแบบจำลอง SWAN กับข้อมูลทุ่นสมุทรศาสตร์ในพื้นที่บริเวณชายฝั่งทะเลอ่าวไทย พบว่าแบบจำลอง SWAN จำลองความสูงคลื่นได้น้อยกว่าค่าจริงจากการศึกษาในช่วงที่มีพายุพัดผ่าน ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าผลของแบบจำลองมีความใกล้เคียงกับข้อมูลตรวจวัดที่ความสูงคลื่นไม่เกิน 1 เมตร หากแต่ถ้าคลื่นสูงมากกว่า 1 เมตรแบบจำลอง SWAN จะไม่สามารถจำลองคลื่นได้ใกล้เคียงความเป็นจริงได้ (พงษ์สิทธิ์ ผลสมบูรณ์, 2561)



รูปที่ 2-8 การเปรียบเทียบความสูงคลื่นนัยสำคัญจากทุ่นตรวจวัด และจากแบบจำลอง SWAN

(Bento et al., 2012)

ดังนั้นการจำลองคลื่นในการศึกษานี้จึงใช้แบบจำลอง SWAN ที่ถูกพัฒนา โดย Delft University of Technology ประเทศเนเธอร์แลนด์ ในการจำลองคลื่นบริเวณอ่าวไทยตอนบนเพื่อคำนวณความสูงคลื่น, คาบคลื่น และทิศทางคลื่น โดยใช้ข้อมูลลม, สภาพพื้นท้องน้ำ และสเปกตรัมคลื่นเป็นข้อมูลนำเข้าแบบจำลองคลื่นในทะเล ซึ่งอาจเกิดความแปรปรวนของตัวแปรหลายอย่าง โดยส่วนใหญ่ได้รับอิทธิพลจากลมทำให้น้ำทะเลสามารถเคลื่อนที่ไปได้ เพราะพลังงานที่ถ่ายเทจากลมมาที่ผิวของน้ำทะเล มีหลักการพื้นฐานของแบบจำลองดังต่อไปนี้

2.4.1 สมการพื้นฐานแบบจำลอง SWAN (SWAN governing equations)

แบบจำลอง SWAN มีพื้นฐานเป็นสมการอนุรักษ์พลังงาน (action balance equation) ดังสมการที่ 2-1 อธิบายด้วย $N(\sigma, \theta)$ หรือ wave action density แบบ 2 มิติ เนื่องจากอิทธิพลของปรากฏการณ์แบบไม่เชิงเส้น (nonlinear phenomena)

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial(c_x N)}{\partial x} + \frac{\partial(c_y N)}{\partial y} + \frac{\partial(c_\sigma N)}{\partial \sigma} + \frac{\partial(c_\theta N)}{\partial \theta} = \frac{S_{tot}}{\sigma} \quad (2-1)$$

เมื่อ	N	คือ ความหนาแน่นของคลื่น
	σ	คือ ความถี่ของคลื่น
	θ	คือ ทิศทางของคลื่น
	c_x และ c_y	คือ อัตราเร็วในแนวแกน x และ y ตามลำดับ

พจน์ที่ 1 หมายถึงการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของคลื่น (wave action density) เทียบกับเวลาที่เปลี่ยนแปลงไป

พจน์ที่ 2 และ 3 หมายถึง การถ่ายทอดคลื่นในแนวแกน x และ y โดยที่ c_x และ c_y คือ อัตราเร็วในแนวแกน x และ y ตามลำดับ

พจน์ที่ 4 หมายถึง การเปลี่ยนแปลงความถี่ของคลื่น เมื่อความถี่เปลี่ยนแปลงไป

พจน์ที่ 5 หมายถึง การหักเหของคลื่น เมื่อความถี่เปลี่ยนแปลงไป

ส่วนทางด้านขวาของสมการ เป็นตัวแปรที่หมายถึงพลังงานที่ทำให้เกิดคลื่น ดังสมการ 2-2 ประกอบไปด้วยกระบวนการที่ทำให้เกิดความอ่อนไหวในแบบจำลอง 3 ส่วน ซึ่งกระบวนการส่วนย่อยจะอธิบายในหัวข้อถัดไป

$$\frac{S_{total}}{\sigma} = S_{in} + S_{nl} + S_{ds} \quad (2-2)$$

เมื่อ	S_{in}	คือ พลังงานที่ถูกถ่ายทอดจากลม
	S_{nl}	คือ กระบวนการปฏิสัมพันธ์ระหว่างคลื่นแบบไม่เชิงเส้น
	S_{ds}	คือ กระบวนการสลายตัวของพลังงานคลื่น

2.4.2 ค่าพลังงานที่ถูกถ่ายทอดจากลม

การเกิดคลื่นเนื่องจากอิทธิพลของลม สามารถอธิบายได้จากสมการ 2-3 ซึ่งเป็นพลังงานที่ถ่ายทอดมาจากลม (input by wind) และแสดงที่มาของตัวแปรพลังงานที่ถ่ายทอดมาจากลม อธิบายได้ดังสมการ 2-3 - 2-7

$$S_{in}(\sigma, \theta) = A + BE(\sigma, \theta) \quad (2-3)$$

เมื่อ	$S_{in}(\sigma, \theta)$	คือ พลังงานที่ถูกถ่ายทอดจากลม
	A	คือ ตัวแทนการเกิดคลื่นแบบเชิงเส้น
	B	คือ ตัวแทนของการเกิดคลื่นแบบเอกซ์โพเนนเชียล (exponential)
	$E(\sigma, \theta)$	คือ energy density spectrum

$$A = \frac{1.5 \times 10^{-3}}{2\pi g^2} \left(U_* \max \left[0, \cos(\theta - \theta_w) \right] \right)^4 H \quad (2-4)$$

$$H = \exp \left\{ - \left(\frac{\sigma}{\sigma_{PM}^*} \right)^4 \right\} \quad (2-5)$$

$$\sigma_{PM}^* = \frac{0.13g}{28U_*} 2\pi \quad (2-6)$$

เมื่อ	U_*	คือ ความเร็วลมเฉือน (friction velocity)
	θ_w	คือ ทิศทางลม
	σ_{PM}^*	คือ ความถี่สูงสุดของ fully developed sea state

$$B = \max \left[0, 0.25 \frac{\rho_a}{\rho} \left(28 \frac{U_*}{c_{ph}} \cos(\theta, \theta_w) - 1 \right) \right] \sigma \quad (2-7)$$

เมื่อ	c_{ph}	คือ เฟสของความเร็ว
	ρ_a และ ρ	คือ ความหนาแน่นของอากาศและน้ำ ตามลำดับ

ข้อมูลลมที่เลือกนำเข้าไปในแบบจำลอง เป็นข้อมูลลมที่สูง 10 เมตรจากระดับน้ำทะเล (U_{10}) จะถูกนำมาคำนวณเป็นค่าความหนืด (friction velocity: U_*) แสดงดังสมการที่ 2-8

$$U_* = C_D U_{10}^2 \quad (2-8)$$

เมื่อ C_D คือ ค่า drag coefficient ตามเงื่อนไขในสมการที่ 2-9

$$C_D(U_{10}) = \begin{cases} 1.2875 \times 10^{-3} & , U_{10} < 7.5 \text{ เมตรต่อวินาที} \\ (0.8 + 0.065 \times U_{10}) \times 10^{-3} & , U_{10} \geq 7.5 \text{ เมตรต่อวินาที} \end{cases} \quad (2-9)$$

2.4.3 กระบวนการปฏิสัมพันธ์ระหว่างคลื่นแบบไม่เชิงเส้น

แบบจำลองคลื่นขั้นตอนการคำนวณปฏิสัมพันธ์ระหว่างคลื่นแบบไม่เชิงเส้น (nonlinear wave-wave interactions) เป็นการถ่ายทอดพลังงานจากความถี่คลื่นหนึ่งไปสู่ความถี่คลื่นอื่น ๆ ซึ่งสาเหตุให้คลื่นสามารถเปลี่ยนรูปร่างไปได้ แบบจำลอง SWAN อธิบายไว้ 2 รูปแบบ ได้แก่

1) quadruplet wave-wave interactions เป็นกระบวนการที่เกิดในบริเวณน้ำลึก พลังงานจากคลื่นที่มีความถี่สูงจะเคลื่อนที่ไปยังคลื่นที่มีความถี่ต่ำกว่า

2) triad wave-wave interactions: เป็นกระบวนการที่พลังงานของคลื่นเคลื่อนที่จากคลื่นความถี่ต่ำไปยังคลื่นที่มีความถี่สูงกว่า

2.4.4 กระบวนการสลายตัวของพลังงานคลื่น

ลักษณะการสลายตัวของพลังงานคลื่น (dissipation of wave energy) จากแบบจำลอง SWAN อธิบายไว้ 3 รูปแบบ ได้แก่

1) การแตกตัวของยอดคลื่น (white capping) เป็นตัวแปรที่ขึ้นอยู่กับค่าความชันคลื่น (wave steepness) ในแบบจำลอง SWAN รุ่นที่ 3 ได้พัฒนาสูตรการคำนวณการแตกตัวของยอดคลื่นโดยใช้พื้นฐานจากสมการของแบบจำลองพื้นฐานการเคลื่อนที่ ดังสมการ 2-10 (Hasselmann, 1974)

$$S_{ds,w}(\sigma, \theta) = \Gamma \bar{\sigma} \frac{k}{k} E(\sigma, \theta) \quad (2-10)$$

เมื่อ Γ คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความชันคลื่น (steepness dependent coefficient)

k คือ จำนวนคลื่น (wave number)

$\bar{\sigma}$ และ \bar{k} คือ ค่าเฉลี่ยความถี่ และค่าเฉลี่ยจำนวนคลื่น ตามลำดับ

ค่าสัมประสิทธิ์ความชันคลื่น (steepness dependent coefficient) เป็นความสัมพันธ์ของสัมประสิทธิ์การแตกตัวของยอดคลื่น และค่า Pierson-Moskowitz spectrum ดังสมการ 2-11

$$\Gamma = C_{ds} \left((1-\delta) + \delta \frac{k}{k} \right) \left(\frac{\tilde{s}}{\tilde{s}_{PM}} \right)^p \quad (2-11)$$

เมื่อ C_{ds} คือ ค่าสัมประสิทธิ์การแตกตัวของยอดคลื่น (white capping dissipation)

\tilde{s} คือ ค่าความชันคลื่น

\tilde{s}_{PM} คือ ค่าความชันคลื่นของ Pierson-Moskowitz spectrum;

$$\tilde{s}_{PM} = \sqrt{3.02 \times 10^3}$$

2) แรงเสียดทานพื้นท้องน้ำ (Bottom friction) คลื่นจะได้รับอิทธิพลจากการเคลื่อนที่ของอนุภาคตะกอนที่พื้นดิน ในบริเวณน้ำตื้นคลื่นที่ผิวน้ำกับคลื่นชั้นล่างจะมีปฏิสัมพันธ์กัน พลังงานคลื่นเปลี่ยนไปตามองค์ประกอบในคลื่นที่เปลี่ยนไปเนื่องจากลักษณะของพื้นท้องทะเลที่แตกต่างกัน เช่น พื้นทราย หรือสิ่งกีดขวางที่พื้นดิน ดังสมการ 2-12 (Bertotti and Cavaleri, 1994)

$$S_{ds,b}(\sigma, \theta) = -C_b \frac{\sigma^2}{g^2 \sinh^2(kd)} E(\sigma, \theta) \quad (2-12)$$

เมื่อ C_b คือ ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานท้องน้ำ (bottom friction coefficient)

แบบจำลอง SWAN มีค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานพื้นท้องน้ำหลายทฤษฎี โดยขึ้นอยู่กับลักษณะพื้นท้องทะเล และเงื่อนไขลักษณะของคลื่น ดังตารางที่ 2-2

ตารางที่ 2-2 ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานท้องน้ำ

ทฤษฎี	ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานท้องน้ำ
คลื่นใต้น้ำ (swell) (Hasselmann et al., 1973)	$C_b = C_{JON} = 0.038$
คลื่นผิวน้ำ (wind sea) (Bouws and Komen, 1983)	$C_b = C_{JON} = 0.067$
คลื่นแบบสุ่ม (random wave field) (Collins, 1972)	$C_b = C_{fgU_{rms}} ; C_f = 0.015$
คลื่นสภาพจริง (actual wave conditions) (Madsen et al., 1988)	$C_b = f_w \frac{g}{\sqrt{2}} U_{rms}$

3) การแตกตัวของคลื่นเนื่องจากการเหนี่ยวนำของความลึก (depth-induced wave breaking) เป็นการจำลองการกระจายตัวของคลื่นแบบสุ่มเนื่องจากการแตกตัวของคลื่นที่เกิดจากความลึก ดังสมการที่ 2-13 (Eldeberky and Battjes, 1995)

$$S_{ds,br}(\sigma, \theta) = \frac{D_{tot}}{E_{tot}} E(\sigma, \theta) \quad (2-13)$$

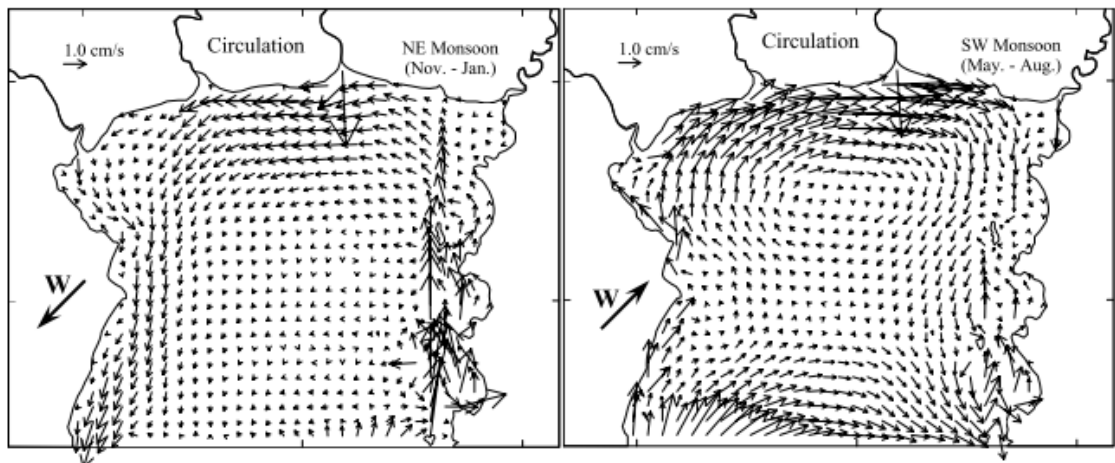
เมื่อ D_{tot} คือ อัตราการกระจายพลังงานเฉลี่ยต่อ 1 หน่วยพื้นที่เมื่อคลื่นแตกตัว
 E_{tot} คือ พลังงานคลื่นทั้งหมด

ค่า D_{tot} ขึ้นอยู่กับค่าการแตกตัวของคลื่นที่เป็นความสัมพันธ์ของความสูงคลื่นต่อความลึกน้ำ (γ) ซึ่งแบบจำลอง SWAN มีค่าคงที่การแตกตัวของคลื่น $\gamma = 0.73$ (Battjes and Stive, 1985) นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาถึงกรณีที่มีสิ่งกีดขวางในทะเล อาจต้องพิจารณาค่าการเลี้ยวเบนของคลื่น (diffraction) เนื่องจากรูปร่างของชายฝั่ง (ภูมิประเทศ) และความแตกต่างของความลึกที่ทำให้คลื่นที่มีความถี่ต่างกัน ซึ่งการเลี้ยวเบนของคลื่นส่งผลกระทบต่อคลื่นความถี่อื่นอีกด้วย

2.5 แบบจำลองกระแสน้ำ

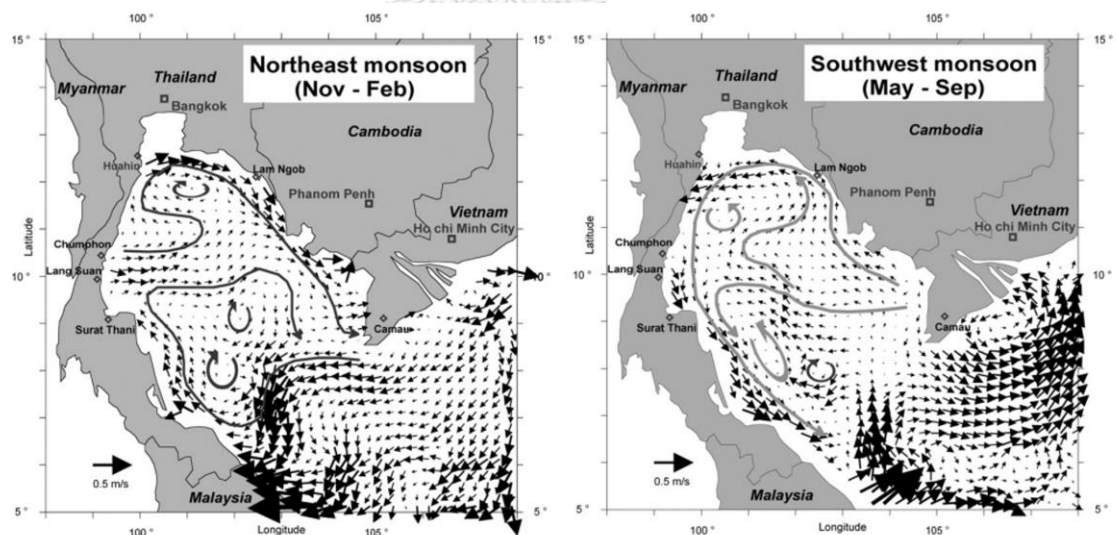
การไหลเวียนกระแสน้ำจากการศึกษาที่ผ่านมา มีการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์มากมาย ตั้งแต่ในอดีต เช่น แบบจำลอง Princeton Ocean Model (POM) แบบ 2 มิติและแบบ 3 มิติ และแบบจำลอง Delft3D

Buranapratheprat (2008) ใช้แบบจำลอง POM แบบ 3 มิติจำลองกระแสน้ำในอ่าวไทยตอนบนโดยใช้ข้อมูลระดับน้ำขึ้นน้ำลง ลม น้ำท่า และพลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์ ในการคำนวณทิศทางกระแสน้ำเฉลี่ยในแต่ละเดือน พบว่ากระแสน้ำเฉลี่ยรายเดือนมีรูปแบบการไหลตามลักษณะลมที่พัดเข้าสู่อ่าวไทยตอนบนในช่วงนั้น ๆ โดยกระแสน้ำในอ่าวไทยตอนบนมีการไหลเวียนเป็นวงวนเข็มนาฬิกาเมื่อได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ และกระแสน้ำไหลเป็นวงตามเข็มนาฬิกาเมื่อได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ดังรูปที่ 2-9



รูปที่ 2-9 ลักษณะการไหลเวียนของกระแสน้ำในอ่าวไทยตอนบน (Buranapratheprat, 2008)

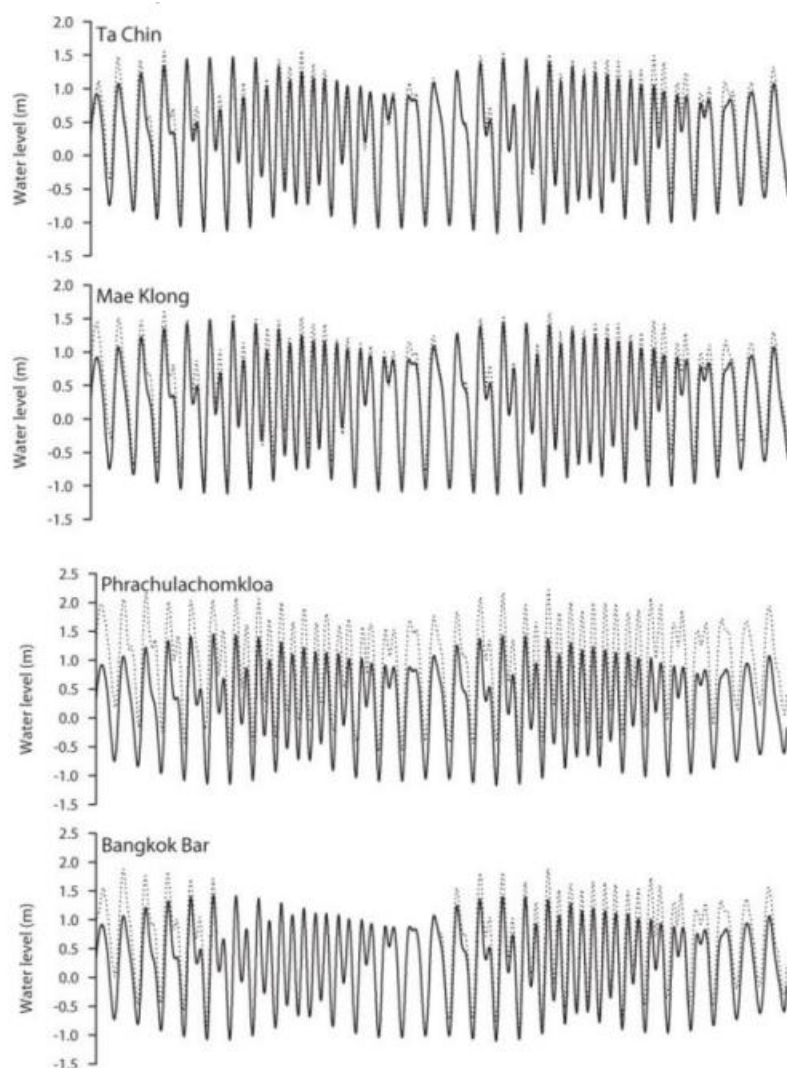
Sojisuporn et al. (2010) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงกระแสน้ำตามฤดูกาลในอ่าวไทยทั้งหมด โดยใช้ข้อมูลความเค็ม, อุณหภูมิ จากฐานข้อมูลมหาสมุทรโลก (World Ocean Database) ของ National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) และข้อมูลระดับน้ำรายเดือน (monthly dynamic height anomaly) จากดาวเทียม TOPEX/Poseidon และดาวเทียม ERS-2 พบว่ากระแสน้ำไหลทวนเข็มนาฬิกาในช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และไหลเป็นวงตามเข็มนาฬิกาเนื่องจากอิทธิพลของลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ดังรูปที่ 2-10



รูปที่ 2-10 ลักษณะการไหลเวียนของกระแสน้ำในอ่าวไทย (Sojisuporn et al., 2010)

Saramul (2010) ได้เปรียบเทียบข้อมูลระดับน้ำจากสถานีตรวจวัดและระดับน้ำที่ได้จากแบบจำลองแบบจำลอง Delft3D ในบริเวณอ่าวไทยตอนบน โดยจากการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำรายเดือน ของสถานีท่าจีน, สถานีแม่กลอง สถานีสันดอนเจ้าพระยา และสถานีป้อมพระ

จุลจอมเกล้า ระหว่างปี พ.ศ.2483 - 2527 พบว่าแบบจำลอง Delft3d สามารถจำลองระดับน้ำได้ใกล้เคียงกับระดับน้ำจริง โดยมีค่า RMAE อยู่ในช่วง 20 - 30 % ในขณะที่มีข้อมูลระดับน้ำความแตกต่างกันในบางสถานี ดังรูปที่ 2-11



รูปที่ 2-11 การเปรียบเทียบระดับน้ำจริงและระดับน้ำจากแบบจำลอง (Saramul, 2010)

จากการศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในการจำลองคลื่นในทะเลพบว่าการเลือกใช้แบบจำลองนั้นขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการศึกษา การใช้แบบจำลอง Delft3D ซึ่งเป็นเทคโนโลยีทางคอมพิวเตอร์และสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อสร้างแบบจำลองทางน้ำแบบซับซ้อน และมีความหลากหลายในการทำงานที่มีประสิทธิภาพในการจำลองและการวิเคราะห์ข้อมูลทางน้ำ ดังนั้น การจำลองกระแสน้ำจึงเลือกใช้แบบจำลอง Delft3D ซึ่งเป็นแบบจำลองกระแสน้ำใกล้ชายฝั่งด้วยกระบวนการพลศาสตร์พัฒนาโดย Delft Hydraulics Lab ในประเทศเนเธอร์แลนด์ มีการใช้เครื่องมือย่อย RGFGRID,

QUICKIN, Delft3D-TIDE และ Delft3D-FLOW เป็นขั้นตอนในการจำลองกระแสน้ำสำหรับอ่าวไทยตอนบน มีหลักการพื้นฐานของแบบจำลองดังต่อไปนี้

2.5.1 สมการพื้นฐานแบบจำลอง Delft3D (Delft3D governing equations)

การจำลองกระแสน้ำใช้เครื่องมือ Delft3D-FLOW ในการคำนวณกระแสน้ำบริเวณชายฝั่งทะเลหรือเป็นบริเวณน้ำตื้น ซึ่งใช้การแก้สมการ unsteady shallow-water สำหรับจำลองกระแสน้ำในแบบ 2 มิติ (กระแสน้ำที่เฉลี่ยตามความลึก) (Deltares, 2010) เริ่มต้นแบบจำลองด้วยการพิจารณากฎแบบรูปสี่เหลี่ยมบนระบบคาร์ทีเซียน, กริดแบบ orthogonal curvilinear หรือกริดแบบ spherical ในแนวตั้งใช้ระบบพิกัดซิกมา (sigma: σ) ดังรูปที่ 2-12 ในกรณีของแบบจำลอง 3 มิติ ค่า σ จะบอกจำนวนชั้นของแบบจำลอง ซึ่งอาจจะเป็นค่าคงที่หรือแตกต่างกันในแต่ละชั้นความลึกก็ได้ ซึ่งใช้การคำนวณแยกทีละชั้นความลึก ส่วนในสมการเชิงอนุพันธ์ในระบบพิกัดคาร์ทีเซียนจะถูกแปลงค่าให้อยู่ในระบบพิกัด sigma โดยใช้กฎลูกโซ่ พิกัดนี้กำหนดค่าระหว่าง 1 กับ 0 ดังนี้

$$\sigma = \frac{z - \zeta}{d} \quad (2-13)$$

เมื่อ ζ คือ ระดับผิวน้ำเหนือระดับน้ำนิ่ง
 d คือ ความลึกน้ำ
 กำหนดให้ค่า 1 คือค่าที่พื้นท้องน้ำ และ 0 คือค่าที่ผิวน้ำ

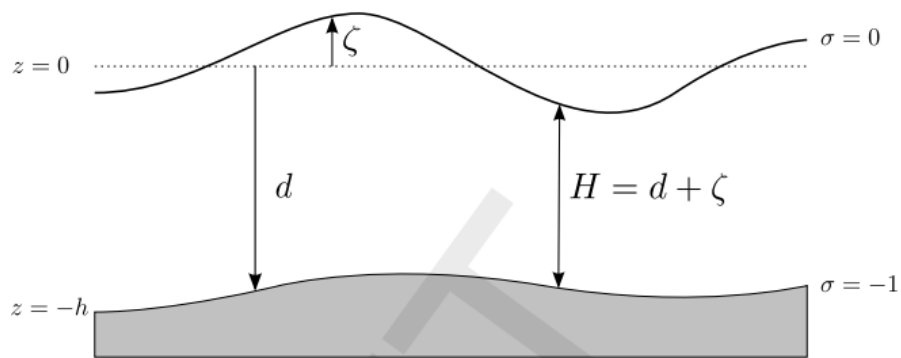
เมื่อมีการจำลองกระแสน้ำโดยรวมคลื่นเข้ามาด้วย จะแก้สมการบนเฟรมอ้างอิง Generalized Lagrangian Mean (GLM) ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับสมการออยเลอร์ (Euler equations) ดังสมการ 2-14 และ 2-15

$$U = u + u_s \quad (2-14)$$

$$V = v + v_s \quad (2-15)$$

เมื่อ U และ V คือ ความเร็วบนเฟรมอ้างอิง GLM
 u และ v คือ ความเร็วบนเฟรมอ้างอิง Euler
 u_s และ v_s คือ Stokes' drift

ทั้งนี้การแก้สมการอุทกศาสตร์ประกอบไปด้วยสมการโมเมนตัมในแนวตั้ง, โมเมนตัมในแนวระนาบ, สมการความต่อเนื่อง, แบบจำลองการไหลปั่นป่วน และสมการการขนส่ง ซึ่งจะอธิบายในหัวข้อถัดไป



รูปที่ 2-12 นิยามของระดับน้ำเหนือผิวน้ำ และความลึกน้ำ (Deltares, 2023)

2.5.2 สมการความดันของไหลแบบสถิต (hydrostatic equation)

สำหรับระบบพิกัด sigma พิจารณาแรงดันในการไหลของน้ำ ในพื้นที่ศึกษาที่เป็นบริเวณน้ำตื้นหรือชายฝั่งทะเล ซากทะเล ลากูน แม่น้ำ และทะเลสาบ จึงใช้สมการโมเมนตัมในแนวตั้งซึ่งลดรูปเป็นสมการความดันของไหลแบบสถิต (hydrostatic equation) เนื่องจากความเร็วในแนวตั้งมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง ดังสมการ 2-16

$$\frac{\partial P}{\partial \sigma} = -\rho gh \quad (2-16)$$

เมื่อ ρ คือ ความหนาแน่นน้ำ (kg/m^3)
 g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง (m/s^2)
 h คือ ความลึกน้ำ

2.5.3 สมการโมเมนตัมในแนวระนาบ (horizontal momentum equation)

สำหรับสมการโมเมนตัมแนวราบ แสดงในสมการ 2-17 และ 2-18 และพิจารณาเกรเดียนต์ตามระนาบ sigma พิจารณาความดันในแนวระนาบจาก Boussinesq approximation (P_x และ P_y) ดังสมการ 2-19 และ 2-20

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\omega}{h} \frac{\partial U}{\partial \sigma} - fV = -\frac{1}{\rho} P_x + F_x + M_x + \frac{1}{h^2} \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(\nu_v \frac{\partial u}{\partial \sigma} \right) \quad (2-17)$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} + \frac{\omega}{h} \frac{\partial V}{\partial \sigma} - fU = -\frac{1}{\rho} P_y + F_y + M_y + \frac{1}{h^2} \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(\nu_v \frac{\partial v}{\partial \sigma} \right) \quad (2-18)$$

$$\frac{1}{\rho} P_x = g \frac{\partial \zeta}{\partial x} + g \frac{h}{\rho} \int_{\sigma}^0 \left(\frac{\partial \rho}{\partial x} + \frac{\partial \sigma'}{\partial x} \frac{\partial \rho}{\partial \sigma'} \right) d\sigma' \quad (2-19)$$

$$\frac{1}{\rho} P_y = g \frac{\partial \zeta}{\partial y} + g \frac{h}{\rho} \int_x^y \left(\frac{\partial \rho}{\partial y} + \frac{\partial \sigma'}{\partial y} \frac{\partial \rho}{\partial \sigma'} \right) d\sigma' \quad (2-20)$$

คำนวณค่า Reynold's stresses ในแนวระนาบ (F_x และ F_y) ด้วยหลักการของ eddy viscosity concept แต่เนื่องจากขอบเขตของแบบจำลองมีขนาดใหญ่ทำให้ไม่ต้องพิจารณาถึงค่าความเค้นเฉือน (shear stress) สามารถลดรูป ดังสมการ 2-21 และ 2-22

$$F_x = v_H \left(\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} \right) \quad (2-21)$$

$$F_y = v_H \left(\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} \right) \quad (2-22)$$

ส่วนในสมการ M_x และ M_y เป็นส่วนที่มาจาก external source/sink ของโมเมนตัม เช่น แรงภายนอกเนื่องจากโครงสร้าง, อัตราการไหล หรือความเค้นเนื่องจากคลื่น เป็นต้น

2.5.4 สมการความต่อเนื่อง (continuity equation)

สมการความต่อเนื่องสำหรับจำลองกระแสในแบบ 2 มิติ หรือความต่อเนื่องที่เฉลี่ยตามความลึก แสดงเป็นค่าทางกายภาพซึ่งอาจเป็นอัตราการไหลภายนอก เช่น การระเหย หรือฝน เป็นต้น ดังสมการที่ 2-23

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial [h\bar{U}]}{\partial x} + \frac{\partial [h\bar{V}]}{\partial y} = S \quad (2-23)$$

เมื่อ \bar{U} และ \bar{V} คือ ความเร็วกระแสในแนวแกน -x และ -y ตามลำดับ

S คือ คุณสมบัติทางกายภาพต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่

2.5.5 แบบจำลองการไหลปั่นป่วน (turbulence closure)

การศึกษาความปั่นป่วนในการไหลของกระแส ใช้หลักการของ eddy viscosity เป็นสมการพื้นฐาน แสดงในสมการที่ 2-24

$$v_V = c'_\mu L \sqrt{k} \quad (2-24)$$

เมื่อ c'_μ คือ ค่าคงที่จากการปรับแก้แบบจำลอง

L คือ ความยาวการผสมผสาน (mixing length)

k คือ พลังงานจลน์ปั่นป่วน (turbulent kinetic energy)

2.5.6 สมการขนส่ง (transport equation)

สมการการขนส่งในแบบจำลอง Delft3D ประยุกต์ใช้สมการ advection–diffusion ดังสมการที่ 2-24 โดยแก้สมการความหนืดในแนวระนาบ และแนวตั้ง (v_H และ v_V) และค่าการแพร่ในแนวราบ และแนวตั้ง (diffusion) (D_H และ D_V) มีที่มาจาก 3 องค์ประกอบ ได้แก่

- 1) molecular viscosity - เป็นค่าคงที่สำหรับน้ำ มีค่าประมาณ 10^{-9} ตารางเมตรต่อวินาที
- 2) 3D turbulence - คำนวณจากสมการ turbulence closure

3) 2D turbulence - คำนวณด้วยกระบวนการ advection บนกริดในแนวระนาบไม่ได้ เนื่องจากเป็นการวัดแบบผสมผสาน ซึ่งสามารถเลือกได้ว่าเป็นแบบคงที่ หรือมีการเปลี่ยนแปลงตามพื้นที่ และสามารถใช้เครื่องมือย่อย subgrid จากเครื่องมือ Delft3D-FLOW ใช้สำหรับ horizontal large eddy simulation (HLES) ในการหาค่าได้

ดังนั้น สมการขนส่งเนื่องจาก vertical eddy viscosity สามารถลดรูปและใช้ vertical eddy diffusivity ในแบบจำลอง ดังสมการที่ 2-25 ซึ่งคำนวณจากค่าความปั่นป่วนสำหรับการขนส่ง Prandtl-Schmidt number ดังสมการที่ 2-26

$$D_V = \frac{v_V}{\sigma_c} \quad (2-25)$$

$$\sigma_c = \sigma_{c_0} F_\sigma(Ri) \quad (2-26)$$

เมื่อ σ_c คือ Prandtl-Schmidt number
 σ_{c_0} คือ ค่าความปั่นป่วน Prandtl-Schmidt number สำหรับการขนส่ง

เครื่องมือ Delft3D-FLOW สามารถกำหนดค่า σ_{c_0} สำหรับการเคลื่อนที่ของความร้อน ความเค็ม และตะกอนอนุภาค ขณะที่มีการแยกโดยขึ้นกับรูปแบบการขนส่งพลังงานจลน์ปั่นป่วน หรือการกระจายตัวของพลังงานจลน์ปั่นป่วน และในส่วนของค่า $F_\sigma(Ri)$ จะมีค่าเท่ากับ 1 ในกรณีเป็นแบบจำลองที่มีความปั่นป่วนแบบ algebraic turbulence ประยุกต์เป็น damping function ซึ่งมีค่าขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของการแบ่งชั้นน้ำในแนวตั้ง ของ Richardson's number

2.5.7 เงื่อนไขขอบเขตการไหล (flow boundary conditions)

เงื่อนไขขอบเขตเปิดในแบบจำลองกระแสน้ำ หมายถึงแนวขอบเขตของพื้นที่ศึกษา แบ่งออกเป็น 2 กรณี ได้แก่

- 1) เงื่อนไขขอบเขตที่พื้นและที่ผิวน้ำอิสระ (vertical boundary conditions)

ในระบบพิกัด sigma ขอบเขตบริเวณพื้นทะเลและที่บริเวณผิวน้ำเป็นส่วนที่มีการเคลื่อนที่ไปมา ดังสมการ 2-27 และได้รับอิทธิพลจากแรงเสียดทานที่พื้น ($\sigma = -1$) และแรงเสียดทานที่ผิวน้ำทะเล เนื่องจากลม ($\sigma = 0$) ดังสมการที่ 2-28 และ 2-29 ตามลำดับ

$$\omega|_{\sigma=-1} = 0 \quad \text{และ} \quad \omega|_{\sigma=0} = 0 \quad (2-27)$$

$$\left. \frac{v_v}{h} \frac{\partial u}{\partial \sigma} \right|_{\sigma=-1} = \frac{\tau_{bx}}{\rho} \quad \text{และ} \quad \left. \frac{v_v}{h} \frac{\partial v}{\partial \sigma} \right|_{\sigma=-1} = \frac{\tau_{by}}{\rho} \quad (2-28)$$

$$\left. \frac{v_v}{h} \frac{\partial u}{\partial \sigma} \right|_{\sigma=0} = \frac{\tau_{sx}}{\rho} \quad \text{และ} \quad \left. \frac{v_v}{h} \frac{\partial v}{\partial \sigma} \right|_{\sigma=0} = \frac{\tau_{sy}}{\rho} \quad (2-29)$$

เมื่อ τ_{bx} และ τ_{by} คือ ความเค้นเฉือนที่พื้นท้องน้ำในแนวแกน -x และ -y ตามลำดับ
 τ_{sx} และ τ_{sy} คือ ความเค้นเฉือนที่ผิวน้ำในแนวแกน -x และ -y ตามลำดับ

ความเค้นเฉือนที่พื้นท้องน้ำทะเล เนื่องจากการไหลแบบปั่นป่วนเมื่อคำนวณแบบ 2 มิติ ดังสมการที่ 2-30

$$\bar{\tau}_b = \frac{\rho g \bar{U} |\bar{U}|}{C_D} \quad (2-30)$$

เมื่อ $\bar{\tau}_b$ คือ ความเค้นเฉือนที่พื้นท้องน้ำ
 ρ คือ ความเค้นเฉือนที่ผิวน้ำในแนวแกน -x และ -y ตามลำดับ
 \bar{U} คือ ขนาดของความเร็วเฉลี่ยทั้งความลึกน้ำ
 C_D คือ สัมประสิทธิ์ความขรุขระ (แรงต้าน)

ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ (แรงต้าน) สำหรับแบบจำลอง Delft3D มีค่าตั้งต้นมาจากทฤษฎี Chézy ซึ่งพิจารณาค่าความเร่งโน้มถ่วง โดยที่ไม่ได้พิจารณาถึงส่วนของความลึกน้ำ ดังสมการที่ 2-31 ซึ่งความลึกน้ำเป็นส่วนที่เฉพาะเจาะจงสำหรับทฤษฎีของ Manning ในการศึกษานี้ใช้สัมประสิทธิ์ของ Manning's n แสดงดังสมการที่ 2-32

$$C_f = \frac{g}{C^2} \quad (2-31)$$

เมื่อ	C_f	คือ สัมประสิทธิ์ความขรุขระพื้นที่ท้องน้ำจากทฤษฎี Chézy
	C	คือ สัมประสิทธิ์ความขรุขระของ Chézy
	g	คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง (m/s^2)

$$C_D = \frac{\sqrt{H}}{n} \quad (2-32)$$

เมื่อ	C_D	คือ สัมประสิทธิ์ความขรุขระพื้นที่ท้องน้ำจากทฤษฎี Manning's
	H	คือ ความลึกน้ำ
	n	คือ สัมประสิทธิ์ความขรุขระของ Manning's

2) เงื่อนไขขอบเขตเปิดด้านข้าง (open boundary conditions)

แบบจำลองกระแสน้ำ มีการศึกษาลักษณะของขอบเขตแบบจำลอง พิจารณาจากความแตกต่างของขอบเขตด้านข้าง 2 ประเภท คือ ขอบเขตปิด และขอบเขตเปิด ดังนี้

- ขอบเขตปิด (close boundary) คือ แนวเส้นลากแบ่งขอบเขตของพื้นที่ศึกษา ซึ่งเป็นบริเวณที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าของตัวแปรต่าง ๆ เช่น ขอบเขตชายฝั่งทะเล เป็นต้น ในแบบจำลองกระแสน้ำ มีค่าความเร็วที่ตั้งฉากกับแนวขอบเขตปิดเป็น 0 เสมอ (free slip condition)

- ขอบเขตเปิด (open boundary) คือ พื้นที่บริเวณที่มีอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าของตัวแปรต่าง ๆ ในแบบจำลองสามารถกำหนดค่าได้หลายรูปแบบ เช่น ระดับน้ำ, ความเร็ว (ในทิศทางที่ตั้งฉากกับขอบเขตปิด), อัตราน้ำไหล หรือค่าการสะท้อนกลับขนาดเล็กที่บริเวณขอบเขตปิด (linearized Riemann invariant) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

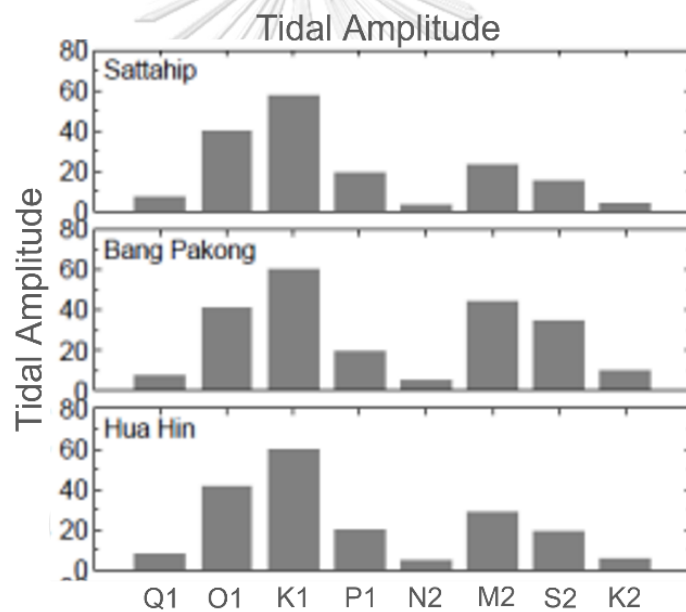
ในแบบจำลองนี้ใช้การสร้างขอบเขตเปิดของแบบจำลองกระแสน้ำ 2 แบบ โดยพิจารณาจากระดับน้ำขึ้นน้ำลง ด้วยการคำนวณองค์ประกอบฮาร์โมนิกของน้ำขึ้นน้ำลง (harmonic analysis) ดังสมการ 2-33 และจำลองกระแสน้ำสุทธิที่เป็นผลรวมของอิทธิพลอิทธิพลจากน้ำขึ้นน้ำลงและคลื่นลมในทะเล ซึ่งจะกล่าวโดยละเอียดในหัวข้อ 3.3 วิธีการศึกษาของแบบจำลองกระแสน้ำ

$$H(t) = A_0 + \sum_{(i=1)}^k A_i F_i \cos(\omega_i t + (V_0 + u)_i - G_i) \quad (2-33)$$

เมื่อ	$H(t)$	คือ ระดับน้ำ ณ เวลานั้น ๆ
	A_0	คือ ระดับน้ำเฉลี่ยที่จุดกึ่งกลางกริด
	k และ i	คือ จำนวนองค์ประกอบฮาร์โมนิกของน้ำขึ้นน้ำลง
	A_i	คือ แอมพลิจูดน้ำขึ้นน้ำลงเฉพาะถิ่น (cm)

- F_i คือ nodal amplitude
 ω_i คือ ความเร็วเชิงมุม (dec/hr)
 $(A_0 + u)$ คือ astronomical argument (deg)
 G_i คือ improved kappa number (local phase lag)

องค์ประกอบฮาร์โมนิกของน้ำขึ้นน้ำลงในแบบจำลอง Delft3D คือ แรงที่ทำให้เกิดน้ำขึ้นน้ำลง คำนวณจากค่าแอมพลิจูดและเฟส ซึ่งเป็นผลมาจากแรงดึงดูดของดวงจันทร์ และดวงอาทิตย์ ในตำแหน่งต่าง ๆ การศึกษาองค์ประกอบฮาร์โมนิกของ Saramul (2010) พบว่าพื้นที่ชายฝั่งทะเลใน อ่าวไทยมีระดับน้ำขึ้นน้ำลงในอ่าวได้รับอิทธิพลจากแรงดึงดูดจากดวงจันทร์ (M2 และ O2), ดวงอาทิตย์ (S2) และแรงดึงดูดระหว่างดวงจันทร์และดวงอาทิตย์ (K1) มากกว่าองค์ประกอบตัวอื่น แสดง ในรูปที่ 2-13



รูปที่ 2-13 องค์ประกอบฮาร์โมนิก Q1, O1, K1, P1, N2, M2, S2 และ K2 ณ สถานีระดับน้ำทำนายของกรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ (Saramul, 2010)

ดังนั้นในการศึกษานี้จึงกำหนดองค์ประกอบฮาร์โมนิก 4 ค่าดังกล่าวเป็นข้อมูลนำเข้าในการใช้ ข้อมูลระดับน้ำมาวิเคราะห์เงื่อนไขขอบเขตเปิด ด้วยวิธี harmonic analysis ของแบบจำลอง Delft3D

2.6 แบบจำลองการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันในทะเล

เมื่อเกิดเหตุการณ์น้ำมันรั่วไหลในทะเล มีการศึกษาตำแหน่งของคราบน้ำมันโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อใช้คาดการณ์ลักษณะการเคลื่อนที่ เนื่องจากอิทธิพลของคลื่น ลม และกระแสน้ำ ในหลายประเทศมีการศึกษาและพัฒนาแบบจำลองการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันเพื่อใช้ในการลดขั้นตอนการเผชิญเหตุ เมื่อการรั่วไหลของน้ำมันเกิดขึ้น โดยออกแบบเป็นระบบ ทำให้สามารถแจ้งเตือนแก่ประชาชน และประเมินสถานการณ์เพื่อเก็บกู้คราบน้ำมันที่จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในทะเลได้อย่างรวดเร็ว

Elizaryev et al. (2018) ทำการศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการทำนายการแพร่กระจายของน้ำมันจากเหตุการณ์น้ำมันรั่วในประเทศสหรัฐอเมริกา วันที่ 24 มีนาคม ค.ศ.1989 เวลาประมาณ 00.28 น. (เวลาท้องถิ่น) เกิดจากเรือ Exxon Valdez บรรทุกน้ำมันจากอลาสกาไปยังชายฝั่งแคลิฟอร์เนียและเกิดอุบัติเหตุเรือชนกับแนวหินปะการังบริเวณช่องแคบพรินซ์วิลเลียม นอกชายฝั่งอลาสกา ทำให้เรือรั่ว และมีน้ำมันดิบรั่วไหลสู่ทะเลประมาณ 257 บาร์เรล โดยเปรียบเทียบแบบจำลองการแพร่กระจายของน้ำมัน จากแบบจำลอง 2 แบบจำลอง คือแบบจำลอง GNOME และแบบจำลอง HAZMAT จาก NOAA และทดสอบแบบจำลอง ADIOS ในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงเฟสของน้ำมันดังกล่าว ซึ่งผลของแบบจำลองการแพร่กระจายของคราบน้ำมันที่รั่วไหลไม่ได้มีความแตกต่างกันในเชิงตำแหน่ง โดยเคลื่อนที่จากจุดรั่วไหลไปทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ แต่การกระจายตัวของอนุภาคน้ำมันแตกต่างกัน ในแบบจำลอง GNOME จะมีความหนาแน่นของน้ำมันเกาะกลุ่มกันมากกว่าแบบจำลอง HAZMAT ซึ่งความแตกต่างของทั้ง 2 แบบจำลองนี้ อาจมีสาเหตุมาจากข้อมูลทางภูมิศาสตร์แตกต่างกัน, ความแตกต่างของข้อมูลลมที่ใช้จากข้อมูลตรวจวัด และความแตกต่างเนื่องจากคาดการณ์ภายใต้อิทธิพลของพายุ

กรมควบคุมมลพิษ (2553) ได้ทำการศึกษาเขตความเสี่ยงต่อน้ำมันรั่วไหล โดยใช้แบบจำลอง OILMAP 6.4 จำลองลักษณะการรั่วไหลของน้ำมันในประเทศไทยบริเวณอ่าวไทยตอนบน และชายฝั่งทะเลตะวันออก โดยใช้ข้อมูลกระแสน้ำเฉลี่ยรายเดือนจากแบบจำลอง HYDROMAP และข้อมูลลมราย 3 ชั่วโมง จากสถานีตรวจวัดโดยกรมอุตุนิยมวิทยา พบว่าลักษณะการกระจายตัวของน้ำมันที่รั่วไหลในทะเลจะขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำมัน, ปริมาณของน้ำมันที่รั่วไหล, สภาพลม, น้ำขึ้นน้ำลง และกระแสน้ำ ซึ่งมีข้อจำกัดเรื่องของข้อมูลกระแสน้ำเฉลี่ยรายเดือนไม่ละเอียดเพียงพอ

ณัฏฐ์ แก้วภู และคณะ (2559) ได้ทำการศึกษาข้อมูลจากระบบสำรวจระยะไกล ได้แก่ ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม RADARSAT-2, ข้อมูลกระแสน้ำด้วยเรดาร์คลื่นวิทยุความถี่สูง และข้อมูลตรวจวัดจากการออกภาคสนาม โดยทำวิเคราะห์แบบย้อนกลับ เพื่อติดตามการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมัน เนื่องจากมีการตรวจพบคราบน้ำมันที่ชายหาดเขาตะเกียบ อ.หัวหิน จ.ประจวบคีรีขันธ์ ในวันที่ 27

ตุลาคม พ.ศ.2558 พบว่าจุดเริ่มต้นของคราบน้ำมันมาจากทางเหนือขึ้นไปบริเวณปากแม่น้ำแม่กลอง อ.เมือง จ.สมุทรสงคราม เมื่อทำการสอบทานความถูกต้องของผลการวิเคราะห์ เพื่อยืนยันตำแหน่งที่มาของคราบน้ำมัน และลักษณะการแพร่กระจายของคราบน้ำมัน โดยใช้ด้วยข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม RADARSAT-2 ในวันที่ 24 ตุลาคม พ.ศ.2558 ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีคราบน้ำมันลอยอยู่บนผิวน้ำทะเลเป็นวงกว้าง มีพื้นที่ประมาณ 111 ตารางกิโลเมตร ทำให้สามารถคาดการณ์ได้ว่าเหตุการณ์น้ำมันรั่วไหลในทะเลเริ่มต้นเกิดเหตุประมาณวันที่ 23 -24 ตุลาคม พ.ศ.2558 จุดเริ่มต้นบริเวณปากแม่น้ำแม่กลอง อ.เมือง จ.สมุทรสงคราม ซึ่งการทราบถึงผลวิเคราะห์ดังกล่าวสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการกับมลพิษบริเวณชายฝั่งทะเลเนื่องจากน้ำมันรั่วได้ เช่น การทำแผนที่แสดงขอบเขตของบริเวณที่ได้รับความเสียหาย เพื่อทำการวางแผนฟื้นฟูพื้นที่จากผลกระทบน้ำมันรั่วอย่างครอบคลุมและเป็นระบบ

วัชร เกษเดช และสุเพชร จิรขจรกุล (2560) ประยุกต์ใช้แบบจำลอง GNOME สำหรับคาดการณ์การเคลื่อนที่ของน้ำมันที่รั่วไหลบริเวณอ่าวไทยตอนบนฝั่งตะวันออก (บริเวณจังหวัดฉะเชิงเทรา ถึงจังหวัดชลบุรี) โดยมีข้อมูลนำเข้าของกระแสน้ำรายชั่วโมงจากระบบเรดาร์คลื่นวิทยุ ความถี่สูง และข้อมูลลมจากสถานีตรวจอากาศอัตโนมัติ สถานีเกาะสีชัง พบว่าในช่วงน้ำเกิดและน้ำตายของฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ คราบน้ำมันเคลื่อนที่ไปทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ของตำแหน่งทดสอบ ในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ คราบน้ำมันเคลื่อนที่ไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ เข้าชายฝั่ง แต่ในช่วงเปลี่ยนฤดูกาล การเคลื่อนที่มีทิศทางไม่แน่นอน ทั้งหมดนี้ขึ้นอยู่กับอิทธิพลของลมมรสุมและกระแสน้ำที่ผิวน้ำทะเลของบริเวณนั้น ๆ

พงษ์สิทธิ์ ผลสมบูรณ์ (2561) ทำการศึกษาสภาพคลื่นลมด้วยแบบจำลอง SWAN และกระแสน้ำด้วยแบบจำลอง Delft3D ในทะเลอ่าวไทยบริเวณชายฝั่ง จ.ระยอง เพื่อเป็นข้อมูลนำเข้าในการศึกษาการจำลองการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมัน ด้วยการประยุกต์ใช้แบบจำลอง GNOME จากเหตุการณ์น้ำมันรั่วไหลเมื่อวันที่ 27 กรกฎาคม พ.ศ.2556 น้ำมันดิบ (medium crude) ปริมาณ 50 ตัน รั่วไหลขณะทำการขนถ่ายน้ำมันที่กลางทะเล และใช้ข้อมูลลมจากแบบจำลอง ERA-Interim ราย 6 ชั่วโมง เมื่อทำการศึกษาโดยการจำลองการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันรายเดือน พบว่าคราบน้ำมันมีทิศทางการเคลื่อนที่สอดคล้องกับทิศทางของลมรายเดือน ทำให้สามารถประมาณเวลาที่น้ำมันกระทบชายฝั่ง ด้วยความเร็วลมสูงสุดใช้เวลาอยู่ในช่วง 33 – 56 ชั่วโมง และด้วยความเร็วลมปกติใช้เวลาอยู่ในช่วง 46 – 91 ชั่วโมง อีกทั้งมีการพิจารณาถึงการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันในช่วงของน้ำเกิดและน้ำตาย พบว่าการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันมีทิศทางไปในทิศทางเดียวกัน ซึ่งสอดคล้องกับทิศทางของลม แต่เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่จนคราบน้ำมันเข้ากระทบชายฝั่งมีความแตกต่างกัน โดยที่คราบ

น้ำมันที่เคลื่อนที่ในช่วงน้ำตายจะใช้เวลาช้ากว่า หรือใช้เวลาเท่ากันกับช่วงน้ำเกิด ขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงของลม และกระแสน้ำในแต่ละเดือน

การศึกษานี้จึงใช้แบบจำลอง GNOME สำหรับศึกษาลักษณะการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันที่รั่วไหลในทะเลอ่าวไทยตอนบน เนื่องจากเป็นแบบจำลองที่ถูกพัฒนามาเพื่อแสดงตำแหน่งของการเคลื่อนที่ที่เปลี่ยนไปตามเวลา โดยโมเดลมีความครอบคลุมถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันในทะเล เช่น คลื่นลม, กระแสน้ำ และประเภทของน้ำมัน ชื่อแบบจำลอง GNOME ย่อมาจาก General NOAA Operational Modeling Environment ซึ่งถูกพัฒนาโดย Hazardous Materials Response Division (HAZMAT) ของ NOAA เพื่อใช้ในการคาดการณ์หรือการประเมินเส้นทางการรั่วไหลของน้ำมัน โดยมีข้อมูลนำเข้าแบบจำลอง คือ ข้อมูลลม, กระแสน้ำ และรายละเอียดของการรั่วไหลของน้ำมัน เช่น ประเภทน้ำมัน ช่วงเวลาเริ่มต้นหรือหยุดการรั่วไหล มีทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันดังต่อไปนี้

2.6.1 สมการพื้นฐานแบบจำลอง GNOME

แบบจำลองการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันที่ผิวน้ำทะเล คำนวณจากเวกเตอร์ลัพธ์ของข้อมูลลม, กระแสน้ำ และการแพร่กระจายในแนวราบของคราบน้ำมัน (diffusion) แสดงในสมการที่ 2-34

$$\frac{\partial x}{\partial t} = U_h + k_w U_w + D \quad (2-34)$$

เมื่อ	$\frac{\partial x}{\partial t}$	คือ ความเร็วในการเคลื่อนตัวของอนุภาคน้ำมัน
	U_h	คือ ความเร็วกระแสน้ำ
	k_w	คือ สัมประสิทธิ์การเคลื่อนที่เนื่องจากลม (Windage coefficient)
	U_w	คือ ความเร็วลม
	D	คือ อัตราการแพร่กระจายของคราบน้ำมัน (turbulent diffusion)

ทั้งนี้ ในการปรับเทียบแบบจำลองโดยอ้างอิงจากเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในสถานการณ์จริงนั้น จำเป็นต้องคำนึงถึงข้อมูลนำเข้า และการตั้งค่าแบบจำลองให้จำกัดคล้ายกับสถานการณ์จริงมากที่สุด นอกจากข้อมูลลม และข้อมูลกระแสน้ำ ณ ที่นี้จะกล่าวถึงการแพร่กระจายของน้ำมัน และเงื่อนไขของการแพร่กระจายอนุภาคของน้ำมันที่ขึ้นอยู่กับประเภทของน้ำมัน และอิทธิพลเนื่องจากลม ซึ่งจะอธิบายในหัวข้อถัดไป

2.6.2 การแพร่กระจายของคราบน้ำมัน (diffusion)

แบบจำลองการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมัน เป็นการจำลองอนุภาคน้ำมันที่กระจายอยู่ในน้ำทะเล ซึ่งหมายถึงแบบจำลองของปริมาณจุดน้ำมัน (มีมากกว่า 10,000⁴ อนุภาค) เรียกว่าอนุภาคลากรางเจียน (Lagrangian elements) หรือ splots ซึ่งมาจากคำว่า spill dot หมายถึง จุดน้ำมัน ซึ่งจะถูกกำหนดด้วยเงื่อนไขของการแพร่กระจายอนุภาคของน้ำมัน (spill)

การคำนวณการแพร่กระจายของน้ำมันในแบบจำลอง GNOME สร้างขึ้นจากการคำนวณความน่าจะเป็นของการกระจายแบบสุ่ม โดยไม่สนใจแรงโน้มถ่วง และแรงต้านที่ผิวหน้าน้ำทะเล (surface tension) ซึ่งอัตราการแพร่กระจายของคราบน้ำมันขึ้นอยู่กับอัตราการแพร่กระจายของกระแสในแนวนอนในน้ำทะเล (horizontal eddy diffusivity) แบบจำลองกำหนดค่าการแพร่กระจายจากข้อมูลการสังเกตทางอากาศ ดังตารางที่ 2-3

ตารางที่ 2-3 อัตราการแพร่กระจายของน้ำมันในแบบจำลอง GNOME

เกณฑ์	อัตราการแพร่กระจาย (ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อวินาที)
ต่ำที่สุด	ประมาณ 10,000
สูงที่สุด	ประมาณ 100,000 – 1,000,000

* แบบจำลองมีค่าเริ่มต้นที่ 100,000 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อวินาที

2.6.3 ประเภทของน้ำมัน (pollutant type)

เงื่อนไขของการแพร่กระจายอนุภาคของน้ำมัน ประเภทของน้ำมันเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญต่อการกำหนดอัตราการแพร่กระจายของคราบน้ำมันในน้ำทะเล เพราะในน้ำมันแต่ละประเภทจะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน ในแบบจำลอง GNOME แบ่งประเภทน้ำมันออกเป็น 7 ประเภท ได้แก่

- 1) น้ำมันเบนซิน (gasoline)
- 2) น้ำมันเชื้อเพลิงอากาศยาน (kerosene/jet fuels)
- 3) น้ำมันดีเซล (diesel)
- 4) น้ำมันเตาประเภทที่ 4 (fuel oil #4)
- 5) น้ำมันเตาประเภทที่ 6 (fuel oil #6)
- 6) น้ำมันดิบความหนาแน่นปานกลาง (medium crude)
- 7) น้ำมันที่ไม่มีการสลายตัว (non-weathering)

2.6.4 การแพร่กระจายของอนุภาคน้ำมันเนื่องจากอิทธิพลของลม (windage percentages และ persistence time-step)

คราบน้ำมันที่เคลื่อนที่บริเวณผิวน้ำทะเล เป็นการเคลื่อนที่ของอนุภาคด้วยกฎทางฟิสิกส์ (pollutant parcel) โดยปกติอนุภาคเคลื่อนที่ในน้ำไปได้ทุกทิศทาง และโดยส่วนใหญ่มีการเคลื่อนที่ไปโดยขึ้นอยู่กับค่าลม และการแพร่กระจายของอนุภาคนั้น ๆ ซึ่งในแบบจำลอง GNOME ใช้ค่าลมที่นำเข้าจะเป็นการคำนวณด้วยเวกเตอร์อย่างง่าย แสดงถึงการเปลี่ยนไปของตำแหน่งอนุภาคตามเวลา สำหรับการแพร่กระจายของอนุภาคน้ำมันมีเงื่อนไขโดยเฉพาะ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การเคลื่อนที่เนื่องจากลม (windage coefficient) หมายถึง การเคลื่อนที่ของน้ำมันที่ขึ้นอยู่กับข้อมูลลม โดยทั่วไปมีค่าอยู่ที่ประมาณ 3% ของความเร็วลม โดยอ้างอิงจากการวิเคราะห์และการสังเกตเชิงประจักษ์ว่า น้ำมันมีแนวโน้มที่จะกระจายออกไปในทิศทางของลมนั้น ๆ

การทดลองและการตรวจวัดของ Lehr and Simecek-Beatty (2000) พบว่าช่วงของค่าสัมประสิทธิ์การเคลื่อนที่เนื่องจากลม (windage percentages) อยู่ระหว่าง 1 – 4% และมีระยะเวลาคงอยู่ (persistence time-step) ที่ขึ้นอยู่กับเคลื่อนที่ของอนุภาคประเภทต่าง ๆ แบ่งออกเป็น 2 ทางเลือก ได้แก่

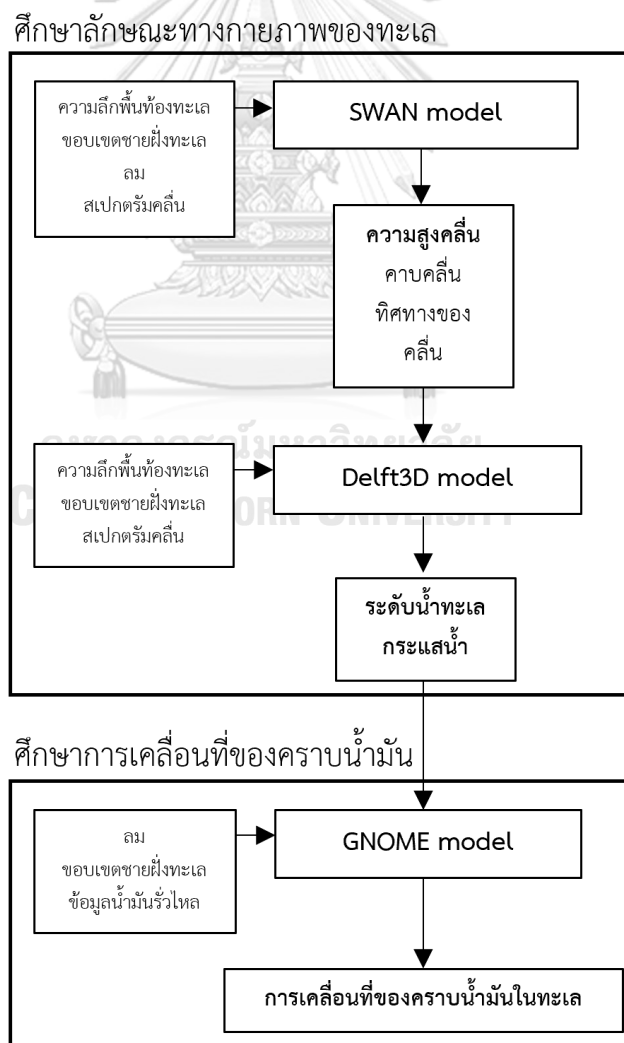
1) แบบ 15 นาที เป็นค่าตั้งต้นของแบบจำลองการเคลื่อนที่ของอนุภาคในน้ำทะเล สำหรับอนุภาคที่คงอยู่บนผิวน้ำทะเลได้ไม่นาน เช่น อนุภาคของน้ำมันบางประเภท ที่มีการเคลื่อนที่ไปตามคลื่น (ในแนวตั้ง) หรือเป็นอนุภาคที่ลอยอยู่บริเวณผิวน้ำทะเล และมีพฤติกรรมจมตัวลงไปในชั้นน้ำ และลอยกลับขึ้นมาภายหลัง เนื่องจากคุณสมบัติของน้ำมัน และหนาของน้ำมัน (thickness)

2) แบบ infinite persistence เป็นระยะเวลาคงอยู่ถาวรของอนุภาค หรือวัตถุที่มีคุณสมบัติในการลอยน้ำ เช่น เศษวัสดุที่ลอยน้ำของซากเรือจม

บทที่ 3

วิธีการศึกษา

การศึกษานี้ได้ศึกษาภัยพิบัติทางทะเลเนื่องมาจากการรั่วไหลของน้ำมันในทะเลบริเวณอ่าวไทยตอนบน จากแบบจำลองการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันในทะเล ซึ่งวิธีในการจำลองการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันที่รั่วไหล ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทั้งหมด 2 ส่วน ส่วนแรกจะเป็นการจำลองลักษณะทางกายภาพของทะเล จากการศึกษาแบบจำลองคลื่นเนื่องจากอิทธิพลของลม ด้วยแบบจำลอง SWAN และการศึกษาแบบจำลองกระแสน้ำ ด้วยแบบจำลอง Delft3D ส่วนที่สองคือการจำลองการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันที่รั่วไหลในทะเล ด้วยแบบจำลอง GNOME ดำเนินงานตามแผนภาพ ดังรูปที่ 3-1



รูปที่ 3-1 แผนผังการศึกษา

3.1 ข้อมูลที่ใช้

การศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ข้อมูลนำเข้าแบบจำลองเป็นส่วนประกอบหลักในการศึกษาประกอบไปด้วยข้อมูลพื้นฐานในการนำเข้าแบบจำลอง เช่น ข้อมูลความลึกพื้นท้องทะเล (bathymetry) และข้อมูลขอบเขตชายฝั่งทะเล (coastal line) ส่วนข้อมูลนำเข้าอื่น ๆ ในแต่ละแบบจำลองมีความแตกต่างกันขึ้นกับความเกี่ยวข้องกับการคำนวณผลลัพธ์ของแบบจำลองนั้น ๆ สำหรับการจำลองคลื่นในแบบจำลอง SWAN ใช้ข้อมูลลม และสเปกตรัมคลื่น สำหรับการสร้างเงื่อนไขขอบเขตเปิดของคลื่น สำหรับการจำลองกระแสน้ำในแบบจำลอง Delft3D เมื่อพิจารณาการเกิดกระแสน้ำจากอิทธิพลเนื่องจากน้ำขึ้นน้ำลง จึงใช้ข้อมูลระดับน้ำทำนายเป็นข้อมูลนำเข้าเพื่อสร้างเงื่อนไขขอบเขตเปิดของกระแสน้ำ และในส่วนของแบบจำลองการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันด้วยแบบจำลอง GNOME เป็นการเปรียบเทียบลักษณะการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันบริเวณผิวน้ำทะเลซึ่งใช้ข้อมูลลม และข้อมูลน้ำมันที่รั่วไหลเป็นข้อมูลนำเข้าที่สำคัญ ซึ่งในการศึกษานั้นนอกจากมีข้อมูลสำหรับเป็นข้อมูลนำเข้าแบบจำลอง ยังมีส่วนของข้อมูลที่ใช้ในการสอบทานความถูกต้องของแบบจำลอง มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1.1 ความลึกพื้นท้องทะเล (bathymetry)

ความลึกพื้นท้องทะเล เป็นข้อมูลจากการออกเรือเพื่อการสำรวจทางสมุทรศาสตร์ โดยใช้การหยั่งน้ำ (ship-line sounding) เพื่อประมาณค่าความลึกพื้นท้องทะเลนั้น ๆ มาใช้เป็นข้อมูลนำเข้าในการศึกษากิจกรรมต่าง ๆ ในทะเล เช่น มีการศึกษาการไหลเวียนของกระแสน้ำในอ่าวไทยตอนบน (Buranapratheprat, 2008) และการทำแบบจำลองการเกิดคลื่นพายุซัดฝั่ง (storm surge) (Phaksopa and Sojisuporn, 2006) ในประเทศไทยมีข้อมูลความลึกพื้นท้องทะเลจากกองสร้างแผนที่ กรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ ที่ทำการสำรวจความลึกพื้นท้องทะเลไทยสำหรับเป็นข้อมูลความปลอดภัยในการเดินเรือ ข้อมูลความลึกที่แสดงในแผนที่เดินเรือจึงมีความละเอียดบริเวณใกล้ชายฝั่งเท่านั้น

การประยุกต์ข้อมูลความลึกพื้นท้องทะเลแบบ global bathymetry เป็นข้อมูลพื้นท้องทะเลที่จำลองมาจากการตรวจวัดด้วยการหยั่งน้ำ และการประมาณค่าความลึกน้ำแต่ละกริดด้วยการตรวจวัดความผิดปกติของแรงโน้มถ่วงจากดาวเทียมวัดความสูง โดย British Oceanographic Data Centre (BODC) ซึ่งเป็นหน่วยงานที่ดำเนินงานภายใต้ความร่วมมือของหน่วยงาน Intergovernmental Oceanographic Commission (IOC) จากองค์กร UNESCO และองค์กรอุทกศาสตร์ระหว่างประเทศ (International Hydrographic Organization: IHO) โดยข้อมูลความลึกพื้นท้องทะเลถูกรวบรวมมาจากสถาบันที่เกี่ยวข้องทางสมุทรศาสตร์ทั่วโลก คือชุดข้อมูล General Bathymetric Chart of the Oceans หรือ GEBCO ในการพัฒนารุ่นแรกเผยแพร่ในชื่อ GEBCO One Minute

Grid ถูกพัฒนาขึ้นตั้งแต่ปี พ.ศ.2546 ที่ความละเอียดประมาณ 1.85 กิโลเมตร จากนั้นได้มีการพัฒนาข้อมูลความลึกทั่วโลกเป็นชุดข้อมูล GEBCO_2014 ซึ่งเป็นความลึกที่มีความละเอียดกริด 30 arc-second หรือประมาณ 1 กิโลเมตร ในปี พ.ศ.2557 และข้อมูลความลึกพื้นท้องทะเลนี้ได้ถูกพัฒนาครั้งใหญ่หลังจากมีโครงการ Nippon Foundation-GEBCO Seabed 2030 เข้าร่วมการพัฒนาในปี พ.ศ.2562 – 2564 ซึ่งมีการอ้างอิงถึงแหล่งข้อมูลในระดับกริด และมีความละเอียดกริด 15 arc-second หรือประมาณ 460 เมตร ดังนั้นในการศึกษานี้ จึงมีการเลือกใช้ข้อมูลความลึกพื้นท้องทะเลจากชุดข้อมูล GEBCO_2020 มีความละเอียดกริด 15 arc-second หรือประมาณ 0.46 กิโลเมตร ในขอบเขตละติจูด 5.5° – 14.5° เหนือ และลองจิจูด 98.5° – 106° ตะวันออก เป็นข้อมูลนำเข้าสำหรับแบบจำลอง SWAN, Delft3D และ GNOME

3.1.2 ขอบเขตชายฝั่ง (coastal line)

แบบจำลองคลื่น แบบจำลองกระแสน้ำ และแบบจำลองการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมัน มีส่วนที่สนใจอยู่ในทะเลทั้งสิ้น การลากเส้นแบ่งขอบเขตระหว่างน้ำกับแผ่นดินที่บริเวณชายฝั่งทะเลจึงเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการตั้งค่าแบบจำลอง เส้นชายฝั่งทะเลจึงเป็นเส้นแบ่งเขตระหว่างผิวน้ำกับแผ่นดินออกจากกัน ซึ่งการระบุขอบเขตชายฝั่งสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การกำหนดจุดให้เป็นเส้นชายฝั่งทะเลตามแนวพิกัดจากการตรึงแผนที่ (digitize) หรือการศึกษารูปร่างข้อมูลทางทะเลจากสถาบันวิจัยด้านสมุทรศาสตร์ทั่วโลก

การศึกษานี้ได้ใช้ข้อมูลขอบเขตชายฝั่งทะเลจากฐานข้อมูล Marine Trackline Geophysical เป็นข้อมูลนำเข้าสำหรับแบบจำลอง SWAN, Delft3D และ GNOME ข้อมูลเส้นชายฝั่งทะเลนี้ถูกพัฒนาโดยศูนย์ข้อมูลสิ่งแวดล้อมนานาชาติ (National Centers for Environmental Information: NCEI) ซึ่งเป็นหน่วยงานที่ช่วยขับเคลื่อนการทำงานต่างๆ ของ NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) ในการวิจัยเกี่ยวกับบรรยากาศ, ชายฝั่งทะเล, กายภาพธรณีวิทยา และสมุทรศาสตร์ของโลก ข้อมูล Trackline Geophysical ได้รับการพัฒนาจากชุดข้อมูล Global Self-consistent, Hierarchical, High-Resolution Database (GSHHG) ซึ่งเป็นชุดข้อมูลภูมิศาสตร์ความละเอียดสูง จากฐานข้อมูลแนวชายฝั่งทะเลทั่วโลก (World Vector Shorelines: WVS) และฐานข้อมูลทะเลสาบทั่วโลก (CIA World Data Bank II: WDBII) มีความครอบคลุมถึงข้อมูลขอบเขตชายฝั่งทะเล และขอบเขตของเกาะแก่ง เป็นข้อมูลที่ถูกรวบรวมตั้งแต่ปี พ.ศ.2482 ถึงปัจจุบัน จากการหยั่งน้ำประเภทความถี่เดี่ยว (single-beam bathymetry), สำรวจด้วยแรงแม่เหล็ก (magnetic), การประมาณความลึกโดยการตรวจวัดความผิดปกติของแรงโน้มถ่วงของโลก (gravity), การสำรวจภูมิประเทศด้วยคลื่นโซนาร์ (side-scan sonar) และการสำรวจด้วยคลื่นแบบสันสะท้อน

และคลื่นสั้นสะท้อนแบบหักเห (historic seismic reflection and refraction) (Wessel and Smith, 1996)

3.1.3 ลมที่ระดับความสูง 10 เมตร (wind speed at 10 m)

ข้อมูลลมเป็นข้อมูลหลักในการนำเข้าแบบจำลอง SWAN ซึ่งลมถือเป็นอิทธิพลที่ทำให้เกิดคลื่นในทะเล และแบบจำลอง GNOME สำหรับการจำลองการเคลื่อนที่คราบน้ำมันบริเวณผิวน้ำทะเล ข้อมูลลมสามารถตรวจวัดและจัดเก็บจากสถานีตรวจวัดสภาพอากาศ หรือสถานีตรวจวัดทางสมุทรศาสตร์ เป็นข้อมูลจริงที่สถานีนั้น ๆ แต่ไม่ครอบคลุมข้อมูลตรวจวัดพื้นที่อ่าวไทยทั้งหมด และไม่ครอบคลุมช่วงเวลาทั้งหมดของการศึกษานี้ ดังนั้นการศึกษานี้จึงใช้ข้อมูลลมจากแบบจำลอง ERA5 ที่ครอบคลุมทั้งพื้นที่และช่วงเวลาตลอดการศึกษา โดยชุดข้อมูลลมถูกรวบรวมและพัฒนาโดยศูนย์พยากรณ์อากาศระยะปานกลางแห่งยุโรป (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts: ECMWF) จากการศึกษาสภาพอากาศโลกชุดข้อมูลก่อนหน้าอย่าง ERA-Interim ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ข้อมูลสภาพอากาศแบบทำซ้ำ เพื่อปรับแก้ความคลาดเคลื่อน, เพิ่มข้อมูลช่วงเวลามากขึ้น มีข้อมูลตั้งแต่ปี พ.ศ. 2533 ถึงปัจจุบัน และเพิ่มความละเอียดกริดมากขึ้น ในการศึกษานี้ได้เลือกข้อมูลรายชั่วโมงในชั้นบรรยากาศจากการวิเคราะห์แบบทำซ้ำ (Reanalysis ERA5 hourly data on single levels) มีความละเอียดกริด 0.25° หรือประมาณ 27.75 กิโลเมตร ครอบคลุมของเขตอ่าวไทย ตั้งแต่ละติจูด $5.5^\circ - 14^\circ$ เหนือและลองจิจูด $99^\circ - 106^\circ$ ตะวันออก ในช่วงปี พ.ศ. 2534 - 2563 (Hersbach et al., 2020) แล้วปรับเทียบและสอบทานแบบจำลองจากข้อมูลตรวจวัดจากทุ่นสมุทรศาสตร์ที่เกาะสีชัง ของสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน)

3.1.4 สเปกตรัมคลื่น (wave spectrum)

แบบจำลอง SWAN เป็นแบบจำลองคลื่นที่สนใจศึกษาในพื้นที่อ่าวไทยตอนบน ซึ่งเป็นคลื่นที่มีการเคลื่อนที่ต่อเนื่องมาจากอ่าวไทยทั้งอ่าว และบริเวณอ่าวไทยที่มีลักษณะเป็นอ่าวกึ่งปิด มีคลื่นที่เคลื่อนที่ต่อเนื่องมาจากทะเลจีนใต้ แต่ไม่มีข้อมูลคลื่นตรวจวัดในตำแหน่งดังกล่าว ในการศึกษานี้จึงใช้ข้อมูลคลื่นจากแบบจำลอง WAVEWATCH III (WAVE-height, WATer depth and Current Hindcasting) ซึ่งเป็นแบบจำลองรุ่นที่ 3 ที่พัฒนาโดย National Centers for Environmental Prediction (NCEP) จาก NOAA แบบจำลองนี้เริ่มต้นพัฒนาจากแบบจำลอง WAM และแบบจำลอง WAVEWATCH รุ่นแรก ที่ Delft University of Technology และ WAVEWATCH II ถูกพัฒนาโดย Goddard Space Flight Center จากองค์การบริหารการบินและอวกาศแห่งชาติ (NASA) ซึ่งแบบจำลอง WAVEWATCH III มีความละเอียดข้อมูล 0.5° หรือประมาณ 55.5 กิโลเมตร

มืองค์ประกอบของข้อมูลคลื่นสำหรับแบบจำลอง คือข้อมูลความสูงคลื่นนัยสำคัญ (significant wave height), คาบคลื่น (wave period) และทิศทางของคลื่น (wave direction) เป็นข้อมูลสำหรับสร้างขอบเขตเปิดคลื่น โดยในการศึกษานี้พิจารณาขอบเขตจากร่องน้ำโกลก จ.นราธิวาส ถึงแหลมคาเมา ประเทศเวียดนาม ในขอบเขตละติจูด $5.5^\circ - 14^\circ$ เหนือ และลองจิจูด $99^\circ - 106^\circ$ ตะวันออก เป็นข้อมูลตัวแทนของคลื่นที่เคลื่อนที่มาจากทะเลจีนใต้ และใช้ข้อมูลความสูงคลื่นนัยสำคัญ (significant wave height) จากสถานีเกาะสี่ซัง ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2540 – 2545 จากทุนสมุทรศาสตร์ของสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) (GISTDA) ในการสอบเทียบและสอบทานความถูกต้องของแบบจำลอง

3.1.5 ระดับน้ำ (water level)

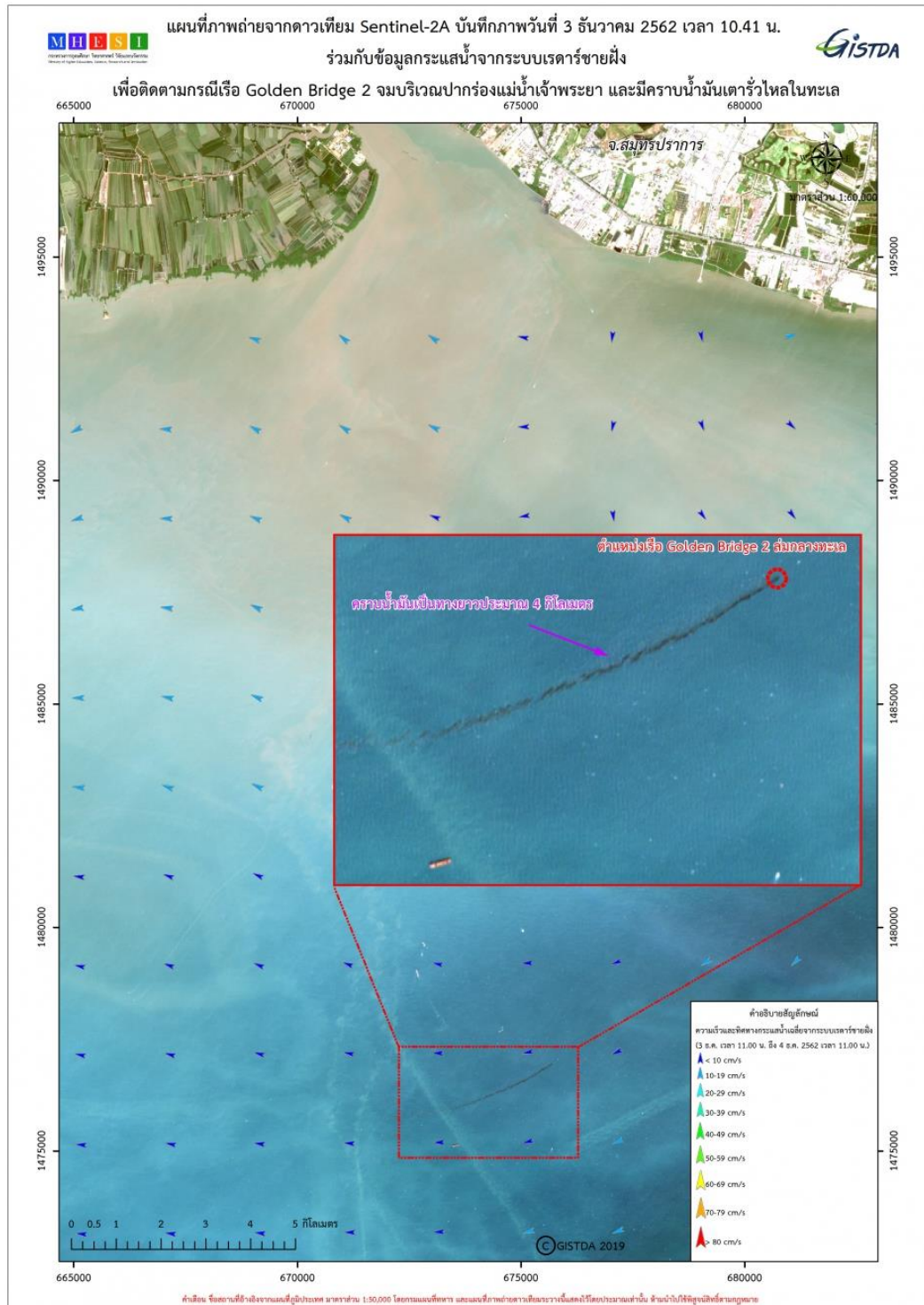
การจำลองกระแสน้ำด้วยแบบจำลอง Delft3D ใช้ข้อมูลระดับน้ำเป็นข้อมูลนำเข้าในแบบจำลอง แต่ไม่มีข้อมูลตรวจวัดระดับน้ำอย่างต่อเนื่องบริเวณกลางทะเล การตั้งค่าแบบจำลองจึงทำการประมาณค่าเส้นตรง (linear interpolation) เป็นขอบเขตเปิดของกระแสน้ำ ด้วยการคำนวณองค์ประกอบฮาร์โมนิกน้ำขึ้นน้ำลง (harmonic analysis) (Deltares, 2023) โดยพิจารณาจากระดับน้ำขึ้นน้ำลงบริเวณทิศใต้ของอ่าวไทยตอนบน เป็นแนวเส้นตรงจากสถานีน้ำท่านายหัวหิน ถึงสถานีสัตหีบ

การศึกษานี้ใช้ข้อมูลระดับน้ำสำหรับการปรับเทียบและตรวจสอบแบบจำลอง คำนวณได้จากมาตราน้ำ หรือระดับน้ำทำนอย โดยกรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ ซึ่งเป็นข้อมูลระดับน้ำรายชั่วโมง ตั้งแต่ปี พ.ศ.2549 – 2559 สถานีหัวหิน, สถานีท่าจีน, สถานีสันดอนเจ้าพระยา และสถานีอ่าวสัตหีบ

3.1.6 ภาพถ่ายดาวเทียม (satellite imagery)

การศึกษาการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันที่รั่วไหลบริเวณผิวน้ำทะเล จากแบบจำลอง GNOME ทำให้ทราบถึงลักษณะของคราบน้ำมันที่เคลื่อนที่เปลี่ยนตำแหน่งไปตามเวลา การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของน้ำมันที่รั่วไหล และปัจจัยทางกายภาพในท้องทะเล ได้แก่ ลม คลื่น และกระแสน้ำ ซึ่งในเหตุการณ์น้ำมันรั่วไหลในทะเลอาจไม่ได้มีการบันทึกข้อมูลดังกล่าวทั้งหมด ข้อจำกัดนี้ทำให้เลือกใช้การปรับเทียบและสอบทานผลลัพธ์จากแบบจำลองด้วยข้อมูลในแผนที่ภาพถ่ายดาวเทียมของสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) จากเหตุการณ์น้ำมันรั่วไหลในทะเลเนื่องจากอุบัติเหตุ เรือบรรทุกกากน้ำมันล่มบริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยา เมื่อวันที่ 3 ธันวาคม พ.ศ.2562 เวลา 10.41 น. พบเป็นคราบน้ำมันสีดำเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงแนวยาว มีระยะทางประมาณ 4 กิโลเมตรนับจากจุดที่เรือล่ม ดังรูปที่ 3-2 เมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 30 ชั่วโมง แผนที่ภาพถ่ายดาวเทียม วันที่ 4 ธันวาคม พ.ศ.2562 เวลา 18.00 น. แสดง

คราบน้ำมันที่หลงเหลือในทะเล ซึ่งเคลื่อนที่ไปทางทิศตะวันตกเฉียงใต้จากจุดเรือล่ม คราบน้ำมันมีลักษณะเป็นแนวยาว เป็นระยะทางประมาณ 2.5 กิโลเมตร ดังรูปที่ 3-3



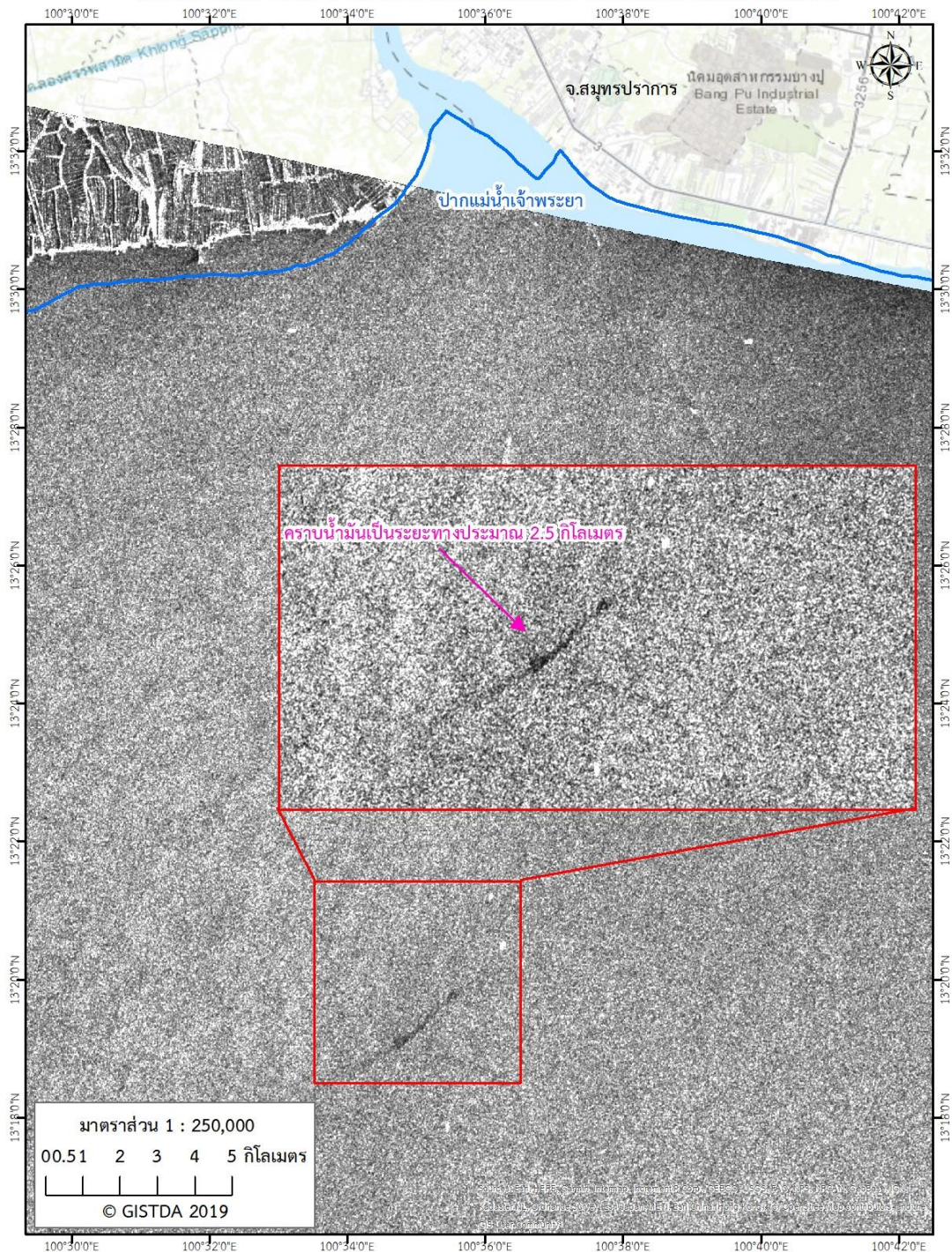
รูปที่ 3-2 แผนที่ภาพถ่ายดาวเทียมการติดตามคราบน้ำมันรั่วบริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยา
วันที่ 3 ธันวาคม พ.ศ.2562 เวลา 10.41 น. (GISTDA, 2562)



แผนที่ภาพถ่ายจากดาวเทียม COSMO-SkyMed



บันทึกภาพวันที่ 4 ธันวาคม 2562 เวลา 18.00 น. เพื่อติดตามคราบน้ำมันที่หลงเหลือในทะเลกรณีเรือ Golden Bridge 2 จมบริเวณปากร่องแม่น้ำเจ้าพระยา และมีคราบน้ำมันเตาครัวไหลในทะเล



คำเตือน: ชื่อสถานที่อ้างอิงจากแผนที่ภูมิประเทศ มาตราส่วน 1:50,000 โดยกรมแผนที่ทหาร และภาพถ่ายจากดาวเทียมจะวางนี้แสดงไว้โดยประมาณเท่านั้น ห้ามนำไปใช้พิสูจน์สิทธิ์ตามกฎหมาย

รูปที่ 3-3 แผนที่ภาพถ่ายดาวเทียมการติดตามคราบน้ำมันรั่วบริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยา
วันที่ 4 ธันวาคม พ.ศ.2562 เวลา 18.00 น. (GISTDA, 2562)

3.2 แบบจำลองคลื่น (SWAN)

แบบจำลอง SWAN สามารถประยุกต์ใช้เพื่อทำแบบจำลองคลื่นโดยมีข้อมูลนำเข้า ได้แก่ ความลึกพื้นที่ท้องทะเล, ลม และสเปกตรัมคลื่น เริ่มต้นด้วยการสร้างกริดความลึกพื้นที่ท้องทะเลจากข้อมูลความลึกพื้นที่ท้องทะเล GEBCO_2020 ในแนวระนาบแบบสี่เหลี่ยม (rectangular grid) สำหรับพื้นที่อ่าวไทยทั้งอ่าว มีความละเอียดกริด 0.1° หรือประมาณ 11.10 กิโลเมตร ครอบคลุมพื้นที่ตั้งแต่ละติจูด $6^\circ - 14^\circ$ เหนือ และลองจิจูด $99^\circ - 105.5^\circ$ ตะวันออก ถัดมาเป็นการเตรียมข้อมูลลมรายชั่วโมง สำหรับพื้นที่อ่าวไทยทั้งหมดในความละเอียด 0.5° หรือประมาณ 55.5 กิโลเมตร ตั้งแต่ปี พ.ศ.2534 – 2563 ด้วยข้อมูลลมจากแบบจำลอง ERA5 และส่วนสุดท้ายคือการสร้างเงื่อนไขขอบเขตเปิดในทิศตะวันออก และทิศใต้ เพื่อเป็นตัวแทนของคลื่นที่เคลื่อนตัวมาจากทะเลจีนใต้ จากบริเวณร่องน้ำไกลก จ.นราธิวาส ถึงแหลมคาเมา ประเทศเวียดนาม โดยใช้ข้อมูลสเปกตรัมคลื่น จากแบบจำลอง WAVEWATCH III ได้ผลลัพธ์จากแบบจำลองเป็นความสูงคลื่นนัยสำคัญ, คาบคลื่น และทิศทางคลื่น เพื่อใช้เป็นข้อมูลนำเข้าสำหรับการจำลองกระแสน้ำด้วยแบบจำลอง Delft3D ต่อไป

การจำลองคลื่นทำการศึกษาความอ่อนไหวของแบบจำลองดังที่กล่าวในส่วนของ การทบทวนเอกสารและงานวิจัย มีข้อมูลสำหรับนำเข้าและพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องในแบบจำลอง SWAN แสดงในตารางที่ 3-1 และ 3-2

ตารางที่ 3-1 ข้อมูลนำเข้าในแบบจำลอง SWAN

ประเภทของข้อมูลนำเข้า	รายละเอียด
เงื่อนไขขอบเขตเปิด	ปากแม่น้ำนรา จ.นราธิวาส ถึงแหลมคาเมา ประเทศเวียดนาม
พื้นที่	ละติจูด $6^\circ - 14^\circ$ เหนือ และลองจิจูด $99^\circ - 105.5^\circ$ ตะวันออก จำนวนกริด 65×80
ช่วงเวลา	พ.ศ.2534 – 2563
ข้อมูลลม	รายชั่วโมง จากแบบจำลอง ERA5 ความละเอียด 0.5° (ประมาณ 55.5 กิโลเมตร)
ข้อมูลสเปกตรัมคลื่น	จากแบบจำลอง WAVEWATCH III ขอบเขตละติจูด $5.5^\circ - 14^\circ$ เหนือ และลองจิจูด $99^\circ - 106^\circ$ ตะวันออก ความละเอียด 0.5° (ประมาณ 55.5 กิโลเมตร)

ตารางที่ 3-2 การตั้งค่าพารามิเตอร์สำหรับปรับเทียบแบบจำลอง SWAN

พารามิเตอร์	รายละเอียด
การแตกตัวของยอดคลื่น (white capping) (Komen and Hasselmann, 1984)	- white capping dissipation: $C_{ds} = 1.50 \times 10^{-5} - 4.90 \times 10^{-5}$ - wave steepness for a Pierson-Moskowitz spectrum: $S_{PM}^{-2} = 2.02 \times 10^{-3} - 3.60 \times 10^{-3}$
แรงเสียดทานพื้นท้องน้ำ (bottom friction) (Hasselmann et al., 1973)	JONSWAP: $C_{fion} = 0.004 - 0.170 \text{ m}^2 / \text{s}^3$
การแตกตัวของคลื่นจากความลึก (depth-induced wave breaking) (Battjes and Stive, 1985)	constant breaker index - alpha = 1.0 - gamma = 0.73

3.3 แบบจำลองกระแสน้ำ (Delft3D)

แบบจำลอง Delft3D สำหรับจำลองกระแสน้ำบริเวณอ่าวไทยตอนบน ด้วยการสร้างกริดในแนวระนาบแบบ curvilinear grid มีจำนวนของกริด 241×250 เซลล์ ความละเอียดประมาณ 1 กิโลเมตร และในแต่ละกริดทำการประมาณค่าความลึกพื้นท้องทะเล โดยใช้ข้อมูล GEBCO_2020 โดยวิเคราะห์ข้อมูลที่ความละเอียด 30 arc-second หรือประมาณ 1 กิโลเมตร ในช่วงเวลา พ.ศ. 2534 – 2563 ต่อมาได้ทำการกำหนดเงื่อนไขของขอบเขตเปิดสำหรับจำลองกระแสน้ำ โดยกำหนดเส้นขอบเขตจาก จากอำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ถึงแหลมแสมสาร อำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี สรุปข้อมูลนำเข้าแบบจำลองดังตารางที่ 3-3 ในการจำลองกระแสน้ำมีการวิเคราะห์เงื่อนไขขอบเขตเปิด 2 แบบ ได้แก่

1) เงื่อนไขขอบเขตเปิดสำหรับจำลองกระแสน้ำเนื่องจากน้ำขึ้นน้ำลง (C_t) คือการใช้ขอบเขตเปิดจากการวิเคราะห์ข้อมูลระดับน้ำด้วยวิธีการ harmonic analysis ผลลัพธ์จากแบบจำลองจะเป็นกระแสน้ำจากอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงเพียงอย่างเดียว

2) เงื่อนไขขอบเขตเปิดสำหรับจำลองกระแสน้ำสุทธิ ($C_t + C_w$) คือการใช้ขอบเขตเปิดจากการวิเคราะห์ข้อมูลองค์ประกอบฮาร์โมนิกน้ำขึ้นน้ำลง และข้อมูลสเปกตรัมคลื่นซึ่งเป็นผลลัพธ์จากแบบจำลอง SWAN ผลลัพธ์จากแบบจำลองจะเป็นกระแสน้ำสุทธิ ซึ่งเป็นกระแสน้ำที่คล้ายกระแสน้ำในธรรมชาติ เพราะได้รับอิทธิพลจากทั้งน้ำขึ้นน้ำลง และอิทธิพลจากคลื่นลมในทะเล

ตารางที่ 3-3 ข้อมูลนำเข้าในแบบจำลอง Delft3D

ประเภทของข้อมูลนำเข้า	รายละเอียด
เงื่อนไขขอบเขตเปิด	อำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ถึงแหลมแสมสาร อำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี
พื้นที่	ละติจูด 12.55° – 13.50° เหนือ และลองจิจูด 100.00° – 100.90° ตะวันออก จำนวนของกริด 241×250
ช่วงเวลา	พ.ศ.2534 – 2563
ข้อมูลองค์ประกอบน้ำขึ้นน้ำลง	M2 และ O2 – แรงดึงดูดจากดวงจันทร์ S2 – แรงดึงดูดจากดวงอาทิตย์ K1 - แรงดึงดูดระหว่างดวงจันทร์และดวงอาทิตย์

การศึกษาความอ่อนไหวของแบบจำลอง และการปรับเทียบพารามิเตอร์ในแบบจำลอง Delft3D แสดงในตารางที่ 3-4 ในส่วนของผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลอง Delft3D จะถูกนำมาเปรียบเทียบเพื่อศึกษาถึงอิทธิพลหลักที่ทำให้เกิดกระแสน้ำ แล้วจึงนำไปใช้เป็นข้อมูลกระแสน้ำสำหรับนำเข้าแบบจำลอง GNOME ในการจำลองการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันที่รั่วไหลในทะเลต่อไป

ตารางที่ 3-4 การตั้งค่าพารามิเตอร์สำหรับปรับเทียบแบบจำลอง Delft3D

พารามิเตอร์	รายละเอียด
ความขรุขระพื้นที่ท้องทะเล (roughness)	Manning's $n = 0.013 - 0.025 \text{ s/m}^{1/3}$
ค่าการไหลปั่นป่วน (horizontal eddy viscosity)	1 - 10 m^2/s

3.4 แบบจำลองการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันในทะเล (GNOME)

แบบจำลองการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมัน จากการวิเคราะห์ด้วยข้อมูลลมรายชั่วโมงของแบบจำลอง ERA5 และข้อมูลกระแสน้ำรายชั่วโมงซึ่งเป็นผลลัพธ์จากแบบจำลอง Delft3D เพื่อศึกษาการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมัน ในช่วงปี พ.ศ.2534 – 2563 ครอบคลุมพื้นที่อ่าวไทยตอนบน ละติจูด 12.55° – 13.50° เหนือ และลองจิจูด 100.00° – 100.90° ตะวันออก ดังตารางที่ 3-5

ตารางที่ 3-5 ข้อมูลนำเข้าไปในแบบจำลอง GNOME

ประเภทของข้อมูลนำเข้า	รายละเอียด
ข้อมูลลม	ละติจูด 5.5° - 14.5° เหนือ และลองจิจูด 98.5° - 106° ตะวันออก จำนวนกริด 37 × 31
ข้อมูลกระแสน้ำ	ละติจูด 13° - 13.50° เหนือ และลองจิจูด 100.00° - 101° ตะวันออก จำนวนกริด 51 × 101

การเปรียบเทียบพารามิเตอร์การเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันที่รั่วไหลในทะเลในแบบจำลอง GNOME กรณีอุบัติเหตุเรือล่มวันที่ 3 ธันวาคม พ.ศ.2562 เวลา 05.45 น. ที่ตำแหน่ง ละติจูด 13.3533° เหนือ และลองจิจูด 100.6183° ตะวันออก ประเภทน้ำมันเตา ปริมาณน้ำมันจากข้อมูลข่าวประมาณ 500 บาร์เรล (ไทยพีบีเอส (Thai PBS), 2562) ด้วยการตั้งค่าแบบ infinite persistence เพื่อสังเกตการณ์ระยะเวลาคงอยู่ถาวรของอนุภาคน้ำมันบนผิวน้ำทะเล โดยตั้งค่าสัมประสิทธิ์การเคลื่อนที่เนื่องจากลม (windage percentages) เท่ากับ 1 - 2% เพื่อให้คราบน้ำมันไม่กระจัดกระจายไปตามเวลา เมื่อทำการทดสอบแบบจำลองในเบื้องต้นทำให้เกิดสมมติฐานสำหรับการเปรียบเทียบแบบจำลอง 2 ข้อ ได้แก่ (รายละเอียดดังตารางที่ 3-6)

1) การเปรียบเทียบจุดเริ่มต้นการรั่วไหลของคราบน้ำมัน เนื่องจากข้อมูลตำแหน่งเริ่มต้นจากรายงานสถิติกรมเจ้าท่า และข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียมไม่ตรงกัน จึงมีการศึกษาตำแหน่งเริ่มต้นเพื่อทำการจำลองการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันที่ใกล้เคียงความจริงมากที่สุด

2) การเปรียบเทียบเวลาเริ่มต้นการรั่วไหลของน้ำมัน เนื่องจากช่วงเวลาที่คาดว่าเริ่มเกิดการรั่วไหลของน้ำมัน เป็นข้อมูลที่ได้รับรายงานว่าเป็นเวลาเรือล่มมาจากแหล่งข่าว อีกทั้งจากการทดสอบแบบจำลองได้ผลลัพธ์ว่าตำแหน่งของคราบน้ำมันไม่ตรงกับช่วงเวลาตามภาพถ่ายดาวเทียม จึงมีการปรับเทียบหาช่วงเวลา ที่ตำแหน่งของคราบน้ำมันจำลองเคลื่อนที่เข้าใกล้คราบน้ำมันจริงในเวลาตามแผนที่ภาพถ่ายดาวเทียม

ตารางที่ 3-6 การตั้งค่าพารามิเตอร์สำหรับปรับเทียบแบบจำลอง GNOME

พารามิเตอร์	รายละเอียด
ข้อมูลการรั่วไหล	ภาพถ่ายดาวเทียม วันที่ 3 ธันวาคม พ.ศ.2562 เวลา 10.41 น.
ประเภทน้ำมัน	น้ำมันเตา ประเภท fuel # 4
ปริมาณน้ำมันรั่ว	500 บาร์เรล
Spots	500

ตารางที่ 3-6 (ต่อ) การตั้งค่าพารามิเตอร์สำหรับเปรียบเทียบแบบจำลอง GNOME

พารามิเตอร์	รายละเอียด
persistence time-step	infinite
windage percentages	1-2%
เวลาเริ่มต้นการรั่วไหล	2 ธันวาคม พ.ศ.2562 เวลา 22.00 น. 3 ธันวาคม พ.ศ.2562 เวลา 00.00 น. 3 ธันวาคม พ.ศ.2562 เวลา 03.00 น. 3 ธันวาคม พ.ศ.2562 เวลา 05.40 น.
จุดเริ่มต้นการรั่วไหล	1) ละติจูด 13.3533° เหนือ และลองจิจูด 100.6183 ° ตะวันออก (กรมเจ้าท่า, 2565) 2) ละติจูด 13.3550° เหนือ และลองจิจูด 100.6225° ตะวันออก (GISTDA, 2019)
Diffusion coefficient	10 – 100,000 cm ² /s

3.5 การเปรียบเทียบและสอบทานความถูกต้องของแบบจำลอง

การเปรียบเทียบและสอบทานแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ แสดงผลลัพธ์ด้วยการเปรียบเทียบผลจากแบบจำลอง กับค่าตรวจวัดจริงจากสถานีตรวจวัดที่อยู่บริเวณชายฝั่งทะเล ในรูปแบบของกราฟเปรียบเทียบ และการเปรียบเทียบด้วยค่าทางสถิติ ในแต่ละแบบจำลองมีการใช้ข้อมูลเปรียบเทียบและสอบทานความถูกต้องของแบบจำลองดังต่อไปนี้

3.5.1 การเปรียบเทียบและสอบทานความถูกต้องของแบบจำลองคลื่นและกระแสน้ำ

การเปรียบเทียบและสอบทานแบบจำลอง SWAN ใช้ค่าความสูงคลื่นนัยสำคัญจากแบบจำลองมาเปรียบเทียบกับข้อมูลตรวจวัดจากหุ่นสมุทรศาสตร์ของสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) จำนวน 2 สถานี ได้แก่ สถานีหัวหิน และสถานีเกาะสีชัง โดยทำการเปรียบเทียบความสูงคลื่นนัยสำคัญ และระดับน้ำ จากค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (mean absolute error: MAE) (Daniel, 2006) ดังสมการที่ 3-1

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - y_i|}{n} \quad (3-1)$$

เมื่อ x_i คือ ข้อมูลที่ได้จากสถานีตรวจวัด
 y_i คือ ข้อมูลที่ได้จากแบบจำลอง
 n คือ จำนวนข้อมูล

ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficient of determination: R^2) สำหรับสอบทานความสอดคล้องกันของข้อมูล 2 ชุด ซึ่งจะแสดงถึงความแปรปรวนของข้อมูล คำนวณได้ดังสมการที่ 3-2

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (3-2)$$

เมื่อ	x_i	คือ ข้อมูลที่ได้จากสถานีตรวจวัด
	y_i	คือ ข้อมูลที่ได้จากแบบจำลอง
	\bar{x}	คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่ได้จากสถานีตรวจวัด
	\bar{y}	คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่ได้จากแบบจำลอง

การวิเคราะห์ค่าความเบี่ยงเบนเฉลี่ย (bias) เพื่อการตรวจสอบว่าแบบจำลองให้ผลลัพธ์ที่มากกว่าหรือน้อยกว่าค่าจริงจากการตรวจวัด คำนวณได้ดังสมการ 3-3

$$bias = \sum_{i=1}^n \frac{y_i - x_i}{n} \quad (3-3)$$

เมื่อ	x_i	คือ ข้อมูลที่ได้จากสถานีตรวจวัด
	y_i	คือ ข้อมูลที่ได้จากแบบจำลอง
	n	คือ จำนวนข้อมูล

การวิเคราะห์แบบจำลองกระแสน้ำด้วยแบบจำลอง Delft3D จะมีการนำความเร็วกระแสน้ำ ซึ่งเป็นผลลัพธ์จากแบบจำลองจากเงื่อนไขขอบเขตทั้ง 2 แบบ ได้แก่ กระแสน้ำเนื่องจากน้ำขึ้นน้ำลง (C_t) และกระแสน้ำสุทธิ ($C_t + C_w$) เพื่อตรวจสอบว่ากระแสน้ำที่ไหลผ่านบริเวณอ่าวไทยตอนบนได้รับอิทธิพลใดเป็นอิทธิพลหลัก จากการคำนวณผลกระทบของคลื่นและน้ำขึ้นน้ำลงต่อขนาดของกระแสน้ำสุทธิ จากสมการที่ 3-4 และ 3-5

$$Tidal\ influence = \frac{\|C_t\|}{\|C_t + C_w\|} \quad (3-4)$$

$$Wave\ influence = 1 - Tidal\ influence \quad (3-5)$$

3.5.2 การเคลื่อนที่ของคราบน้ำมัน

การปรับเทียบตำแหน่งของคราบน้ำมันจากการจำลองด้วยแบบจำลอง GNOME โดยเทียบกับตำแหน่งน้ำมันจากแผนที่ภาพถ่ายดาวเทียม จากสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) วันที่ 3 ธันวาคม พ.ศ.2562 เวลา 10.41 น. และวันที่ 4 ธันวาคม พ.ศ.2562 เวลา 18.00 น. บนโปรแกรม ArcGIS ในระบบพิกัดเดียวกัน



บทที่ 4

การจำลองคลื่นและกระแสน้ำ

การเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันที่รั่วไหลในทะเลบริเวณอ่าวไทยตอนบนจากการคำนวณด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์อย่างมีประสิทธิภาพ จำเป็นต้องคำนึงถึงการนำข้อมูลนำเข้าที่มีประสิทธิภาพ และน่าเชื่อถือจึงมีการพิจารณาถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่อการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันที่รั่วไหลในทะเล ได้แก่ คลื่น และกระแสน้ำ ทั้งนี้เนื่องจากข้อมูลสำหรับนำเข้าแบบจำลองการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันที่รั่วไหลในทะเลไม่ครอบคลุมพื้นที่อ่าวไทยตอนบนทั้งหมด เนื่องจากข้อมูลส่วนใหญ่ใช้วิธีการเก็บแบบตำแหน่ง ดังนั้นจึงมีการนำเข้าข้อมูลเพื่อทำแบบจำลองข้อมูลที่เกี่ยวข้อง โดยทำการจำลองคลื่นด้วยแบบจำลอง SWAN และทำการจำลองกระแสน้ำด้วยแบบจำลอง Delft3D ซึ่งใช้หลักการอ้างอิงจากการทบทวนเอกสารและงานวิจัยในบทที่ 2 มีวิธีการศึกษาแบบจำลองภายใต้เงื่อนไขของการศึกษานี้ คือ กระแสน้ำในอ่าวไทยตอนบนได้รับอิทธิพลจากน้ำขึ้นน้ำลง, และคลื่นที่เกิดจากลมที่ผิวหน้าน้ำทะเลโดยไม่พิจารณาอิทธิพลจากน้ำท่าและความหนาแน่นน้ำทะเล ดังนั้นในบทนี้จะกล่าวผลการจำลองคลื่นและกระแสน้ำ เพื่อทำการเลือกค่ากระแสน้ำที่เหมาะสมกับการนำไปใช้ในแบบจำลองการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันที่รั่วไหลในทะเล

4.1 การจำลองคลื่น

การจำลองคลื่นโดยใช้ข้อมูลลมเป็นข้อมูลนำเข้าหลัก เพราะลมที่พัดผ่านผิวน้ำทะเลเกิดการถ่ายทอดพลังงานไปยังน้ำทะเลทำให้เกิดคลื่นได้ ในส่วนนี้จึงกล่าวถึงการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลลมที่นำเข้าแบบจำลองคลื่น และทำการวิเคราะห์ความอ่อนไหว การเปรียบเทียบ และการสอบทานแบบจำลอง SWAN กับข้อมูลจากการตรวจวัดที่ศูนย์สมุทรศาสตร์โดยสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) (GISTDA) ในพื้นที่อ่าวไทยตอนบนที่ศูนย์สมุทรศาสตร์สถานีหัวหิน, สถานีเพชรบุรี และสถานีเกาะสีชัง

4.1.1 การวิเคราะห์ข้อมูลลม

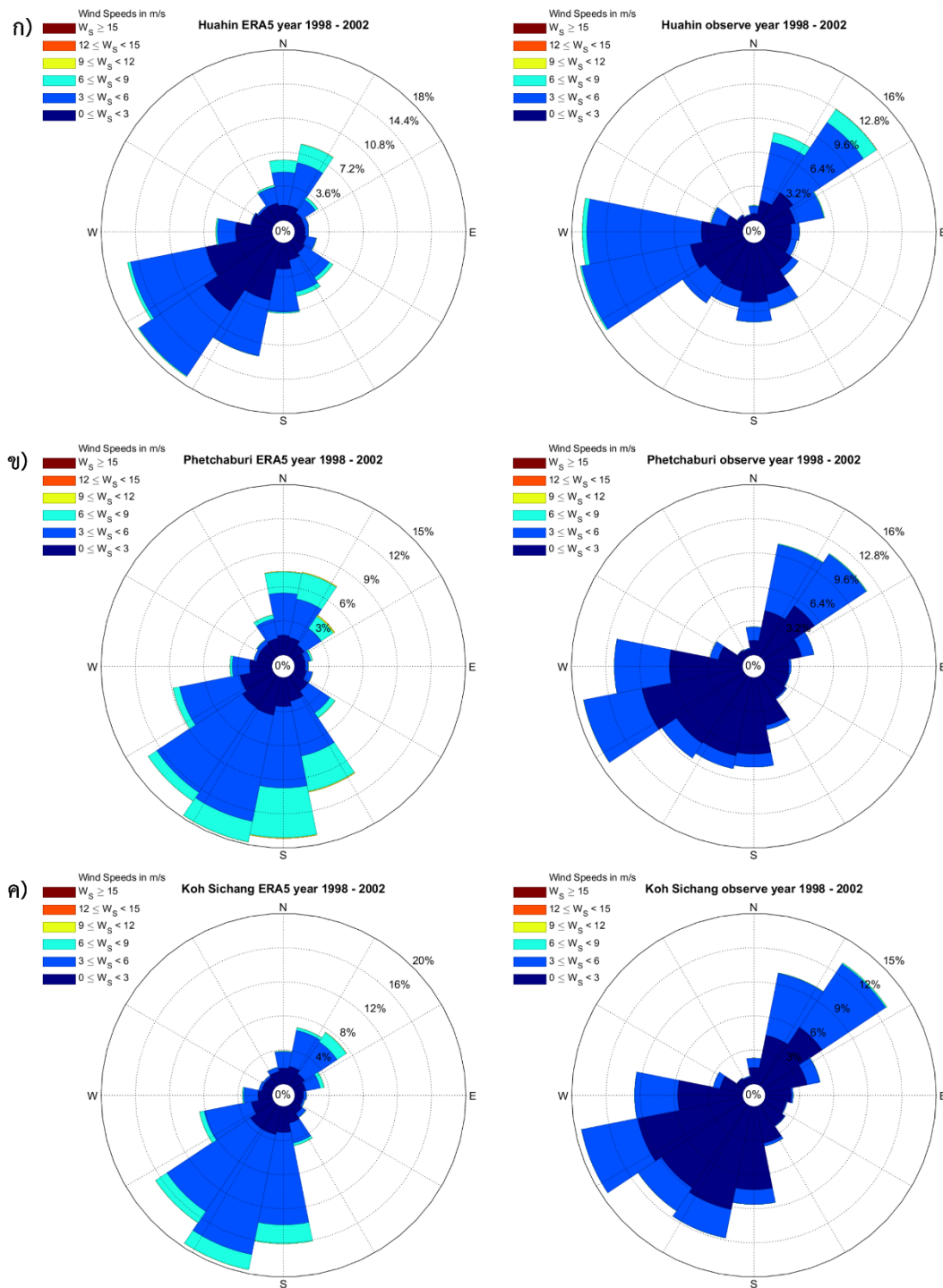
ข้อมูลลมที่ใช้สำหรับจำลองคลื่น เป็นข้อมูลลมรายชั่วโมงจากแบบจำลอง ERA5 ความละเอียด 0.5° (ประมาณ 55.5 กิโลเมตร) วิเคราะห์ข้อมูลลมเทียบกับข้อมูลจากศูนย์สมุทรศาสตร์สถานีหัวหิน, สถานีเพชรบุรี และสถานีเกาะสีชัง โดยสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) ในปี พ.ศ.2541 – 2545 มีผลลัพธ์ดังต่อไปนี้

สถานีหัวหินทิศทางลมส่วนใหญ่จากแบบจำลอง ERA5 และทุนสมุทรศาสตร์มีความสอดคล้อง โดยข้อมูลลมจากแบบจำลอง ERA5 ทิศทางลมส่วนใหญ่เคลื่อนที่มาจากทิศตะวันตกเฉียงใต้ (SW) และทิศตะวันตกเฉียงใต้ค่อนไปทางทิศตะวันตก (WSW) ประมาณ 30% โดยในลมจากแบบจำลอง ERA5 มีความเร็วส่วนใหญ่ 3 - 6 m/s เท่ากับความเร็วมส่วนใหญ่ในทุนสมุทรศาสตร์สถานีหัวหิน ประมาณ 49% แต่มีทิศต่างกันเล็กน้อยโดยลมส่วนใหญ่ในทุนสมุทรศาสตร์พัดจากจากทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ค่อนไปทางตะวันตก (WSW) และทิศตะวันตก (W) ประมาณ 30% ดังแสดงในรูปที่ 4-1

สถานีเพชรบุรีมีทิศทางลมส่วนใหญ่จากแบบจำลอง ERA5 และทุนสมุทรศาสตร์มีความแตกต่างกันเล็กน้อย โดยทิศทางลมส่วนใหญ่จากแบบจำลอง ERA5 มาจากทิศตะวันตกเฉียงใต้ค่อนไปทางทิศใต้ (SSW), ทิศใต้ (S) และทิศตะวันตกเฉียงใต้ (SW) ประมาณ 42% มีความเร็วมส่วนใหญ่ 3 - 6 m/s หรือประมาณ 52% แต่ลมจากทุนสมุทรศาสตร์พบว่ามาจากทิศตะวันตกเฉียงใต้ค่อนไปทางตะวันตก (WSW) และทิศตะวันตก (W) เป็นส่วนใหญ่ประมาณ 27% และมีความเร็วมส่วนใหญ่ 0 - 3 m/s ประมาณ 68% ดังแสดงในรูปที่ 4-1

สถานีเกาะสีชังมีทิศทางลมจากแบบจำลอง ERA5 ส่วนใหญ่มาจากทิศตะวันตกเฉียงใต้ค่อนมาทางใต้ (SSW), ทิศตะวันตกเฉียงใต้ (SW) และทิศใต้ (S) ประมาณ 50% และมีความเร็วมส่วนใหญ่ ประมาณ 3 - 6 m/s ประมาณ 60% แตกต่างจากทิศทางลมส่วนใหญ่ของทุนสมุทรศาสตร์ที่สถานีเกาะสีชังเล็กน้อย ซึ่งเป็นลมที่มาจากทิศตะวันตกเฉียงใต้แผ่กว้างจากทิศตะวันตกถึงทิศใต้ค่อนไปทางทิศตะวันตก (WSW), ทิศตะวันตกเฉียงใต้ค่อนไปทางใต้ (SSW) และทิศตะวันตกเฉียงใต้ (SW) ประมาณ 37% มีความเร็วมส่วนใหญ่ 0 - 3 m/s ประมาณ 69% ดังแสดงในรูปที่ 4-1

ดังนั้นสรุปได้ว่าในพื้นที่อ่าวไทยตอนบนซึ่งอ้างอิงจากข้อมูลลมตรวจวัดจากทุนสมุทรศาสตร์ที่ สถานีหัวหิน, สถานีเพชรบุรี และสถานีเกาะสีชัง มีข้อมูลทิศทางลมส่วนใหญ่จากแบบจำลอง ERA5 สอดคล้องกับข้อมูลลมจากทุนสมุทรศาสตร์ ทำให้ในการศึกษานี้เลือกใช้ลมจากแบบจำลอง ERA5 ในการศึกษาแบบจำลองคลื่น และกระแสน้ำต่อไป แต่ความเร็วมจากแบบจำลอง ERA5 มีค่าสูงกว่า ข้อมูลลมจากทุนสมุทรศาสตร์ในทุกสถานีเล็กน้อย ซึ่งอาจส่งผลให้ผลลัพธ์จากแบบจำลองมีค่าสูงกว่า ค่าตรวจวัดจากทุนสมุทรศาสตร์ได้



รูปที่ 4-1 ผังข้อมูลลมระหว่างปี พ.ศ.2541 – 2545 ของข้อมูลม ERA5 และหุ่นสมุทรศาสตร์ที่สถานีหัวหิน (ก), สถานีเพชรบุรี (ข) และสถานีเกาะสีชัง (ค)

4.1.2 การวิเคราะห์ความอ่อนไหว

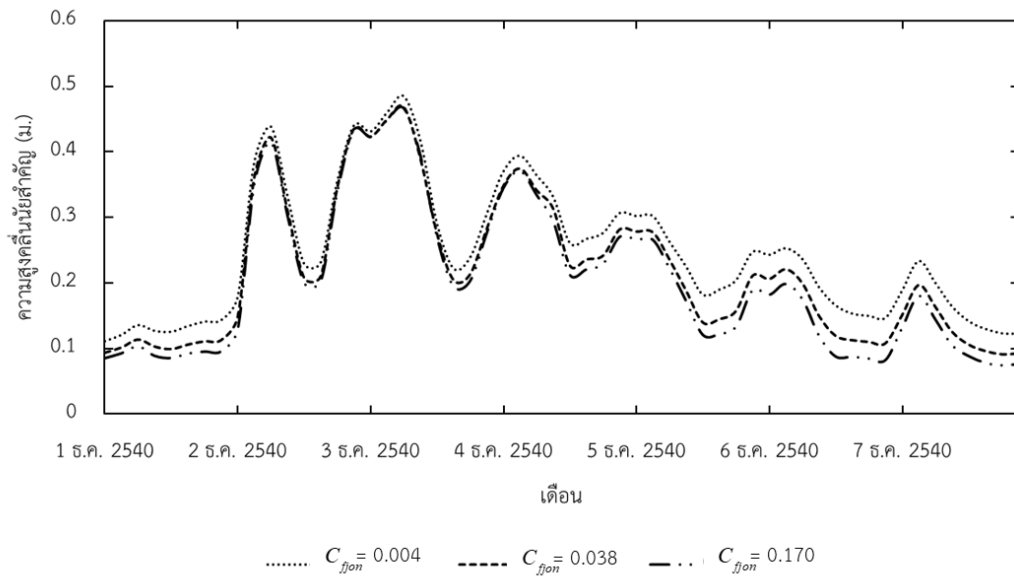
จากการทบทวนเอกสารและงานวิจัยพบว่ากระบวนการทางกายภาพของคลื่นขึ้นอยู่กับการกระบวนการกำเนิดคลื่นโดยลม (wind growth), การแตกตัวของคลื่น (wave breaking), การแตกตัวของยอดคลื่น (white-capping), แรงเสียดทานท้องน้ำ (bottom friction) และกระบวนการปฏิสัมพันธ์ระหว่างคลื่นแบบไม่เชิงเส้น ซึ่งการศึกษาค่าสัมประสิทธิ์จากพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการทางกายภาพของคลื่นที่เหมาะสมในพื้นที่อ่าวไทยตอนบนมีไม่มาก จึงมีการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องของกับแบบจำลองคลื่น ดังนี้

1) แรงเสียดทานพื้นท้องน้ำ (bottom friction)

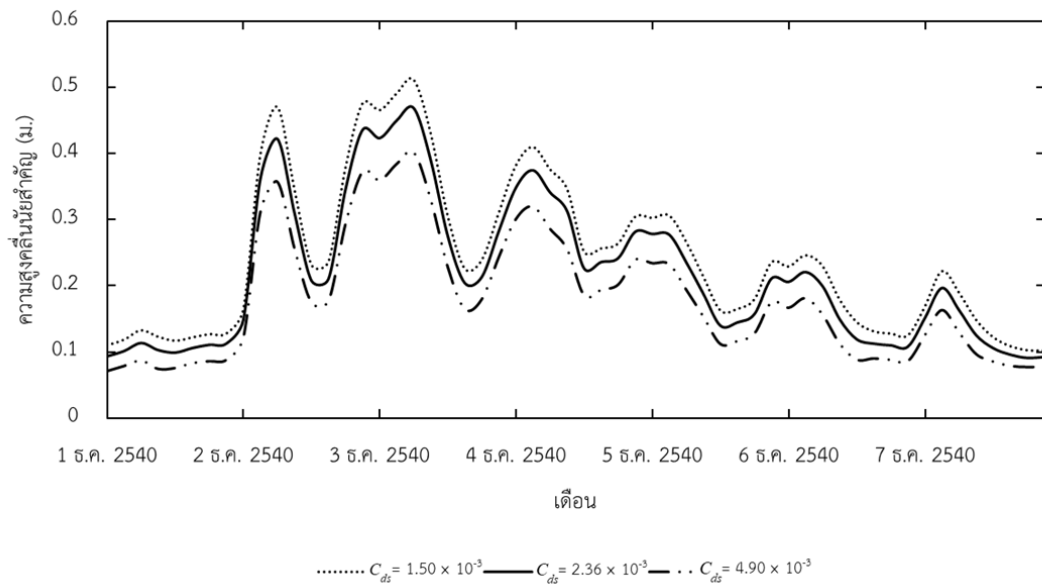
การศึกษานี้ใช้ทฤษฎี JONSWAP (Hasselmann et al., 1973) ในการพิจารณาสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานพื้นท้องน้ำทะเล ซึ่งเป็นค่าที่ขึ้นอยู่กับความขรุขระของพื้นท้องทะเล และขนาดของอนุภาคที่พื้นท้องทะเล จากการศึกษาของ พงษ์สิทธิ์ ผลสมบูรณ์ (2561) และวาทีน ธนาธารพร และคณะ (2554) ทำการศึกษาคoefficient ในทะเลบริเวณอ่าวไทย ด้วยแบบจำลอง SWAN พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ของสถานีศึกษามีค่าไม่แตกต่างกัน และการศึกษาของ Vledder et al. (2011) ทำการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานพื้นท้องน้ำบริเวณทะเล Dutch Wadden อยู่ระหว่างประเทศเนเธอร์แลนด์และประเทศเยอรมนี ได้ผลว่าค่าที่เหมาะสมคือค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานพื้นท้องน้ำ (bottom friction coefficient, C_f) เท่ากับ $0.038 \text{ m}^2/\text{s}^3$ ดังนั้นจึงได้ทำการศึกษาความอ่อนไหวของสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานพื้นท้องน้ำในช่วง $0.004 - 0.170 \text{ m}^2/\text{s}^3$ พบว่ายังมีค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานพื้นท้องน้ำเพิ่มมากขึ้น แนวโน้มของความสูงคลื่นนัยสำคัญจะมีค่าน้อยลง แสดงดังรูปที่ 4-2

2) การแตกตัวของยอดคลื่น (white capping) และความชันคลื่น (wave steepness)

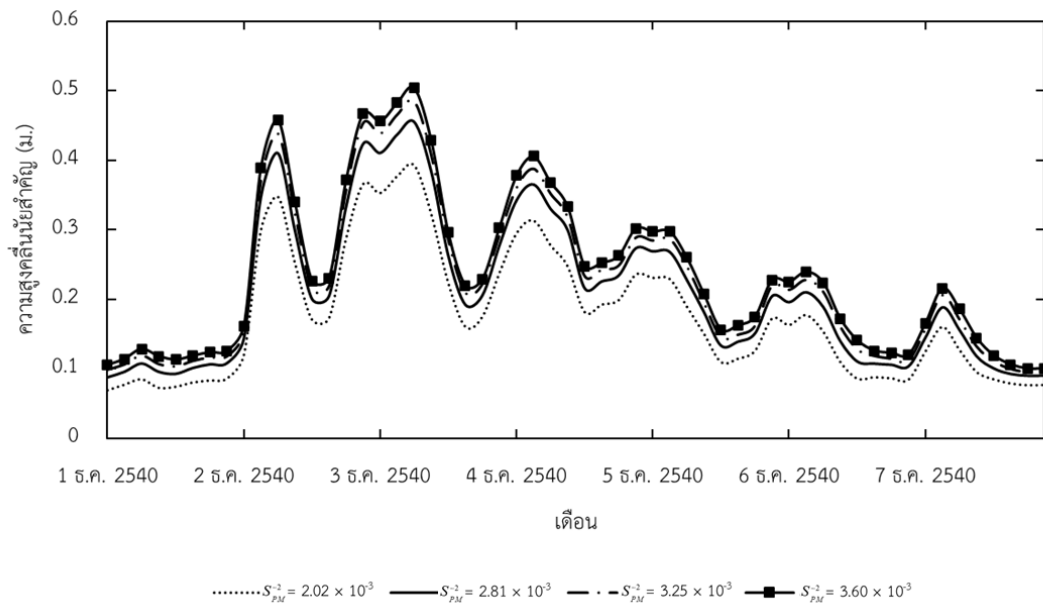
ค่าสัมประสิทธิ์การแตกตัวของยอดคลื่นตามทฤษฎี Komen and Hasselmann (1984) ซึ่งเป็นการพิจารณาการถ่ายโอนของพลังงานคลื่นภายใต้อิทธิพลของลม และปฏิสัมพันธ์ระหว่างคลื่นแบบไม่เชิงเส้น โดยค่าความสูงคลื่นนัยสำคัญมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์การแตกตัวของยอดคลื่น จากการทดสอบความอ่อนไหวของค่าสัมประสิทธิ์การแตกตัวของยอดคลื่น (white capping dissipation, C_{ds}) ในช่วง $1.50 \times 10^{-5} - 4.90 \times 10^{-5}$ ดังรูปที่ 4-3 ซึ่งแปรผกผันกับค่าความสูงคลื่นนัยสำคัญเมื่อทำการเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์ของความชันของคลื่น จากการทดสอบความอ่อนไหวค่าสัมประสิทธิ์ของความชันคลื่น (wave steepness for a Pierson-Moskowitz spectrum, S_{PM}^{-2}) ในช่วง $2.02 \times 10^{-3} - 3.60 \times 10^{-3}$ ดังรูปที่ 4-4



รูปที่ 4-2 การเปรียบเทียบความสูงคลื่นนัยสำคัญจากแบบจำลองกระแสน้ำ
เมื่อทำการปรับค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานพื้นท้องน้ำในช่วง $C_{fjon} = 0.004 - 0.170 \text{ m}^2/\text{s}^3$



รูปที่ 4-3 การเปรียบเทียบความสูงคลื่นนัยสำคัญจากแบบจำลองกระแสน้ำ
เมื่อทำการปรับค่าสัมประสิทธิ์การแตกตัวของยอดคลื่นในช่วง $C_{ds} = 1.50 \times 10^{-5} - 4.90 \times 10^{-5}$



รูปที่ 4-4 การเปรียบเทียบความสูงคลื่นนัยสำคัญจากแบบจำลองกระแสน้ำ
เมื่อทำการปรับค่าสัมประสิทธิ์ความชันคลื่นในช่วง $S_{PM}^{-2} = 2.02 \times 10^{-3} - 3.60 \times 10^{-3}$

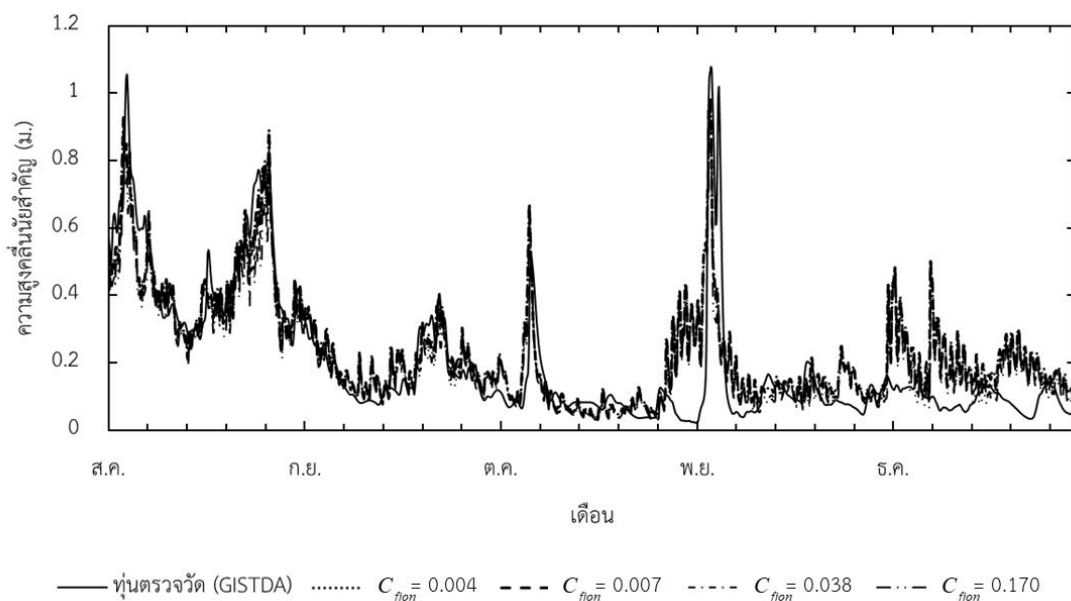
4.1.3 การปรับเทียบและการสอบทานแบบจำลอง (calibration และ validation)

การปรับเทียบแบบจำลอง (calibration) ด้วยการเปรียบเทียบค่าความสูงคลื่นนัยสำคัญจากแบบจำลองคลื่นกับค่าตรวจวัดจากหุ่นสมุทรศาสตร์ ที่สถานีเกาะสีชัง โดยสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) (GISTDA) ระหว่างเดือนสิงหาคม - เดือนธันวาคม พ.ศ.2540 ด้วยการปรับค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานพื้นท้องน้ำ (bottom friction coefficient), ค่าสัมประสิทธิ์การแตกตัวของยอดคลื่น (white capping dissipation) และค่าสัมประสิทธิ์ความชันคลื่น (steepness dependent coefficient)

ในการปรับเทียบตัวแปรสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานพื้นท้องน้ำ (bottom friction coefficient) สามารถจำลองความสูงคลื่นได้ใกล้เคียงกับค่าตรวจวัดจากหุ่นสมุทรศาสตร์ และมีค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ดังตารางที่ 4-1 เมื่อพิจารณากราฟเปรียบเทียบความสูงคลื่นนัยสำคัญพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานพื้นท้องน้ำที่สามารถครอบคลุมความสูงคลื่นนัยสำคัญที่สูงที่สุด ซึ่งเป็นช่วงที่พายุลินดาพัดผ่านประเทศไทย มีค่าที่เหมาะสม $C_{fjon} = 0.038 \text{ m}^2/\text{s}^3$ แสดงดังรูปที่ 4-5 สำหรับการปรับเทียบค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานพื้นท้องน้ำโดยเปรียบเทียบแต่ละค่าแสดงในภาคผนวก ก

ตารางที่ 4-1 การเปรียบเทียบการปรับเทียบค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานพื้นท้องน้ำ

แรงเสียดทานพื้นท้องน้ำ (m^2/s^3)	0.004	0.007	0.038	0.170
MAE	0.076	0.075	0.072	0.074

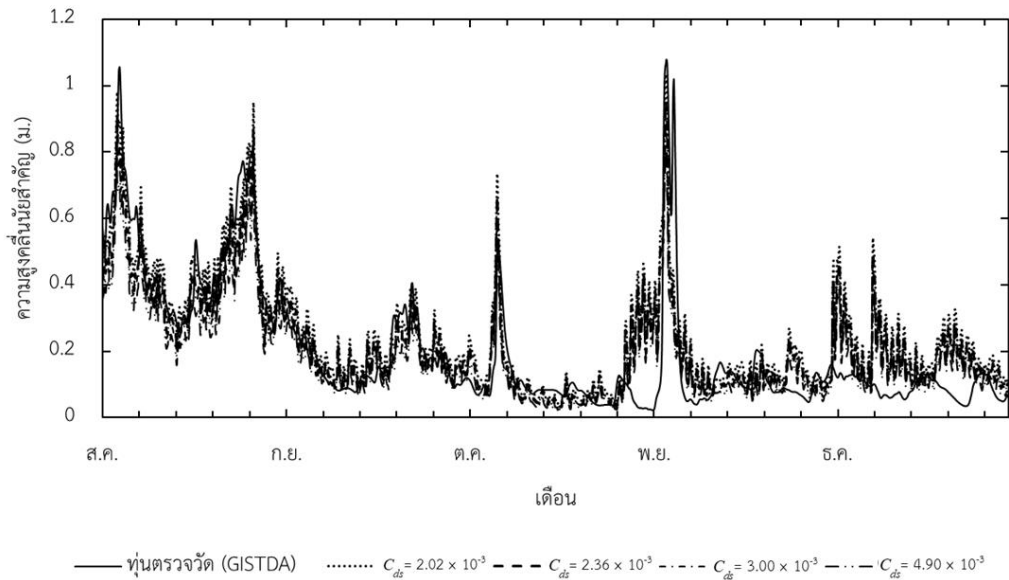


รูปที่ 4-5 การปรับเทียบค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานพื้นท้องน้ำ

พิจารณาพารามิเตอร์การแตกตัวของยอดคลื่น และความชันคลื่น และทำการปรับเทียบค่าสัมประสิทธิ์การแตกตัวของยอดคลื่น และค่าสัมประสิทธิ์ความชันคลื่น ซึ่งมีความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรแบบผกผันกัน โดยพารามิเตอร์การแตกตัวของยอดคลื่นมีค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์อยู่ในช่วง 0.09 – 0.13 เมตร เช่นเดียวกับค่าสัมประสิทธิ์ความชันคลื่นมีค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์อยู่ในช่วง 0.09 – 0.12 เมตร ซึ่งไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ มีค่าเท่าต่ำที่สุดเมื่อใช้สัมประสิทธิ์การแตกตัวของยอดคลื่น และสัมประสิทธิ์ความชันคลื่นเป็น $C_{ds} = 2.36 \times 10^{-5}$ และ $S_{PM}^{-2} = 2.81 \times 10^{-5}$ ตามลำดับ ดังตารางที่ 4-2 และตารางที่ 4-3 ค่าสัมประสิทธิ์ทั้งสองสามารถครอบคลุมความสูงคลื่นนัยสำคัญสูงสุดในช่วงที่เกิดพายุลินดาได้ ซึ่งถือว่าเป็นปรากฏการณ์ของสภาพอากาศที่ผิดไปจากปกติ และเป็นสาเหตุหนึ่งในการเกิดการรั่วไหลของน้ำมันในทะเลได้ แสดงดังรูปที่ 4-6 และรูปที่ 4-7 สำหรับการปรับเทียบค่าสัมประสิทธิ์การแตกตัวของยอดคลื่น และ ค่าสัมประสิทธิ์ความชันคลื่นโดยเปรียบเทียบแต่ละค่าแสดงในภาคผนวก ก

ตารางที่ 4-2 การเปรียบเทียบการปรับเทียบค่าสัมประสิทธิ์การแตกตัวของยอดคลื่น

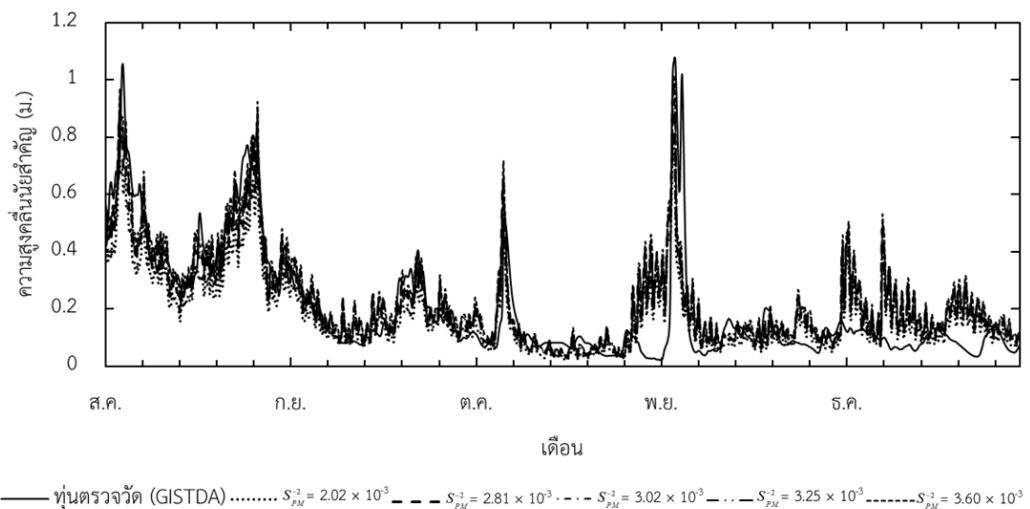
การแตกตัวของยอดคลื่น	1.50×10^{-5}	2.36×10^{-5}	3.00×10^{-5}	4.90×10^{-5}
MAE	0.081	0.072	0.073	0.073



รูปที่ 4-6 การปรับเทียบค่าสัมประสิทธิ์การแตกตัวของยอดคลื่น

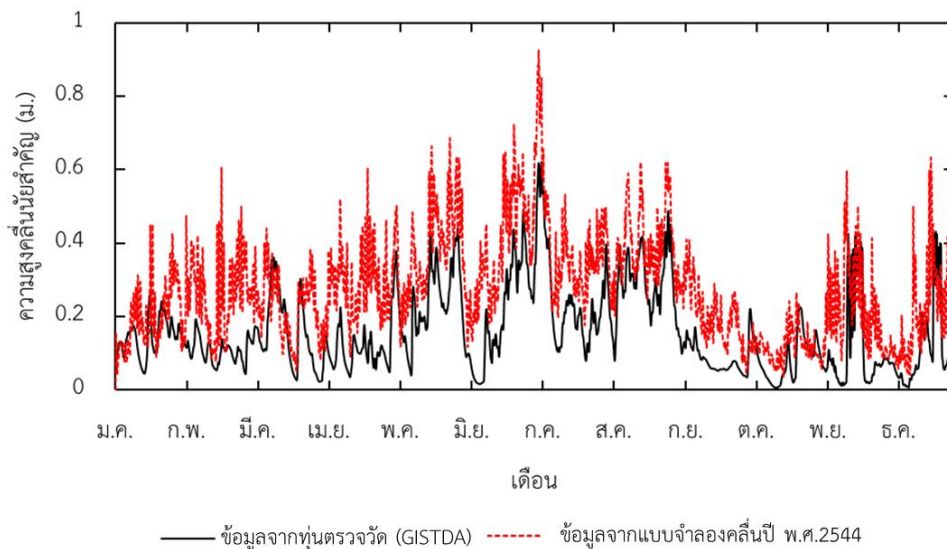
ตารางที่ 4-3 การเปรียบเทียบการปรับเทียบค่าสัมประสิทธิ์ความชันคลื่น

ความชันคลื่น	2.02×10^{-5}	2.81×10^{-5}	3.02×10^{-5}	3.60×10^{-5}
MAE	0.072	0.071	0.072	0.078

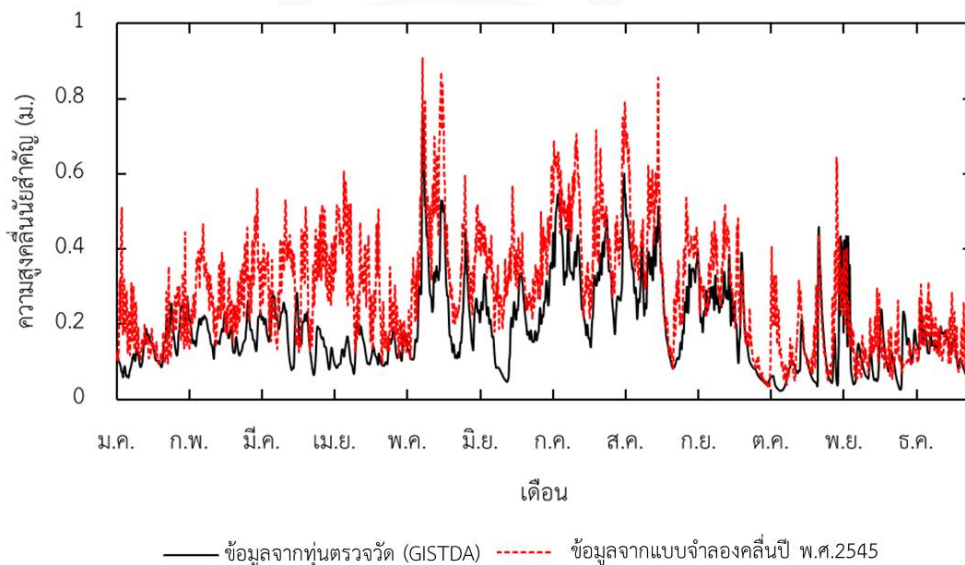


รูปที่ 4-7 การปรับเทียบค่าสัมประสิทธิ์ความชันคลื่น

การสอบทาน (validation) แบบจำลองคลื่นระหว่างปี พ.ศ.2544 – 2545 แสดงดังรูปที่ 4-8 และรูปที่ 4-9 พบว่าแบบจำลอง SWAN สามารถจำลองคลื่นได้ โดยพิจารณาจากการเปรียบเทียบความสูงคลื่นนัยสำคัญจากแบบจำลองคลื่นกับข้อมูลตรวจวัดจากทุ่นสมุทรศาสตร์ ที่สถานีเกาะสีชัง พบว่าความสูงคลื่นนัยสำคัญส่วนใหญ่ต่ำกว่า 1 เมตร แต่ความสูงคลื่นนัยสำคัญจากแบบจำลองมีค่าสูงกว่าค่าตรวจวัด ซึ่งอาจมีสาเหตุเนื่องจากข้อมูลลมนำเข้าแบบจำลอง ซึ่งเป็นข้อมูลลมจากแบบจำลอง ERA5 มีค่าสูงกว่าค่าลมตรวจวัดจากทุ่นสมุทรศาสตร์



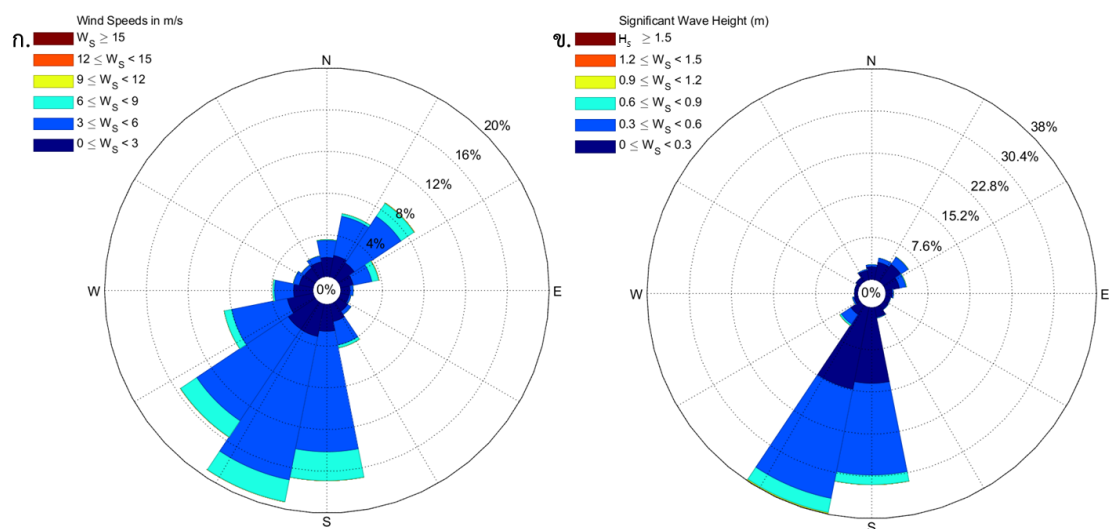
รูปที่ 4-8 การสอบทานแบบจำลองคลื่นด้วยการเปรียบเทียบความสูงคลื่นนัยสำคัญระหว่างแบบจำลองคลื่น และทุ่นตรวจวัดของ GISTDA ที่สถานีเกาะสีชัง ปี พ.ศ.2544



รูปที่ 4-9 การสอบทานแบบจำลองคลื่นด้วยการเปรียบเทียบความสูงคลื่นนัยสำคัญระหว่างแบบจำลองคลื่น และทุ่นตรวจวัดของ GISTDA ที่สถานีเกาะสีชัง ปี พ.ศ.2545

4.1.4 วิเคราะห์ข้อมูลคลื่นจากแบบจำลอง SWAN บริเวณอ่าวไทยตอนบน

การวิเคราะห์ขนาดและทิศทางของความสูงคลื่นนัยสำคัญรายชั่วโมง จากการจำลองคลื่นด้วยแบบจำลอง SWAN บริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยา ในตำแหน่งที่เกิดการรั่วไหลของน้ำมัน พบว่าทิศทางคลื่นส่วนใหญ่เคลื่อนที่มาจากทิศตะวันตกเฉียงใต้ค่อนไปทางใต้ (SSW) และทิศใต้ (S) ประมาณ 37% และ 31% ตามลำดับ มีความสูงคลื่นนัยสำคัญส่วนใหญ่สูงประมาณ 0 – 0.3 เมตร สอดคล้องกับทิศทางของลม ซึ่งเป็นลมที่มาจากทิศตะวันตกเฉียงใต้ค่อนไปทางใต้ (SSW) และทิศใต้ (S) แสดงดังรูปที่ 4-10



รูปที่ 4-10 ผังข้อมูลลมจากแบบจำลอง ERA5 (ก) และผังข้อมูลความสูงคลื่นนัยสำคัญจากแบบจำลอง SWAN (ข) บริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยา ระหว่างปี พ.ศ.2534 – 2563

4.2 การจำลองกระแสน้ำ

การจำลองกระแสน้ำบริเวณอ่าวไทยตอนบนด้วยแบบจำลอง Delft3D พิจารณาถึงอิทธิพลที่มีต่อกระแสน้ำ ทำให้แบ่งการศึกษาแบบจำลองกระแสน้ำออกเป็น 2 ส่วน คือ แบบจำลองกระแสน้ำเนื่องจากอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง และกระแสน้ำสุทธิ ซึ่งเป็นกระแสน้ำที่ได้รับอิทธิพลจากน้ำขึ้นน้ำลงและคลื่นลมในทะเล ซึ่งแบบจำลองทั้งสองมีค่านำเข้าไปในแบบจำลองแตกต่างกัน มีรายละเอียดการศึกษาดังต่อไปนี้

4.2.1 การจำลองกระแสน้ำเนื่องจากอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง

กระแสน้ำเนื่องจากอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง มาจากการวิเคราะห์ผลรวมขององค์ประกอบฮาร์โมนิกของน้ำขึ้นน้ำลง (harmonic analysis) ซึ่งเป็นเงื่อนไขสำหรับขอบเขตเปิดที่มีการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลของแบบจำลองกระแสน้ำ โดยใช้ข้อมูลระดับน้ำทำนายบริเวณปลายทั้ง

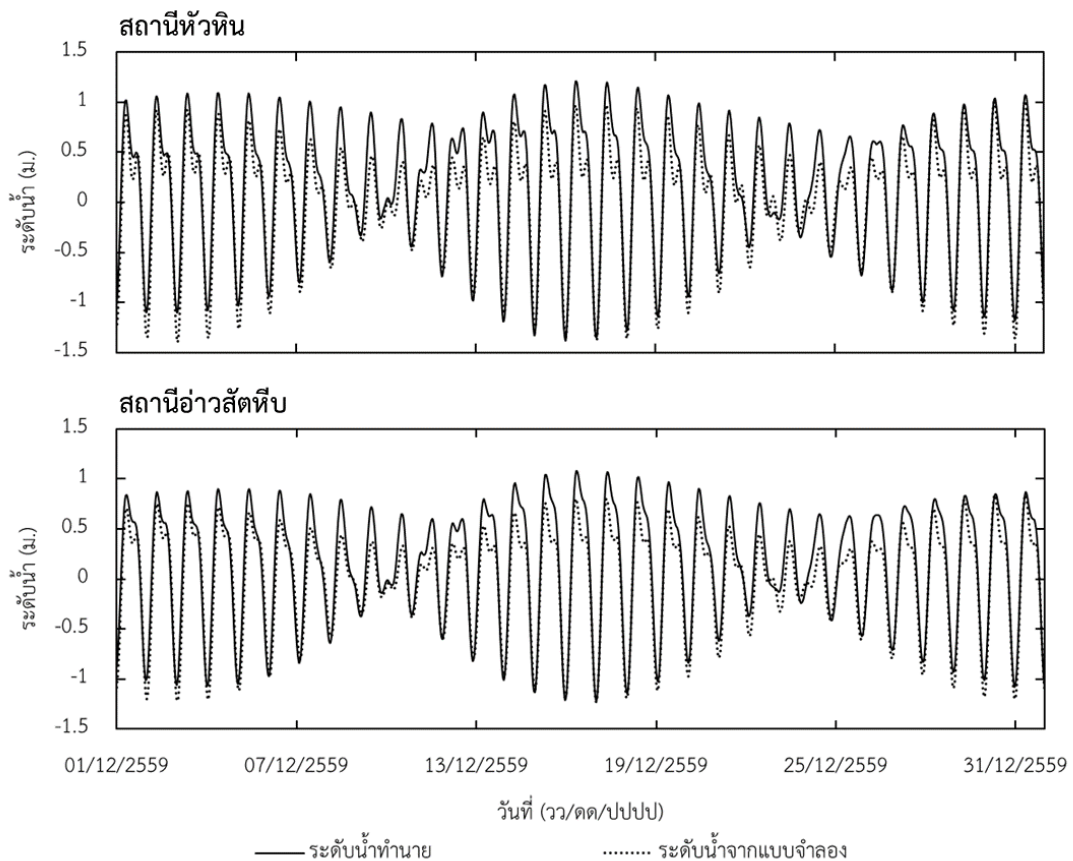
สองด้านของขอบเขตเปิดที่สถานีหัวหิน และสถานีอ่าวสัทธิบ จากกรมอุทกศาสตร์ ในปี พ.ศ.2559 พบว่าค่าแอมพลิจูด (amplitude : A_i) ขององค์ประกอบ K1 จากทั้งสองสถานีมีค่าสูงสุด รองลงมาคือ องค์ประกอบ O1 และ M2 ดังตารางที่ 4-4 จากนั้นได้ทำการเปรียบเทียบข้อมูลระดับน้ำจากแบบจำลองกระแสน้ำด้วยข้อมูลองค์ประกอบฮาร์โมนิกกับระดับน้ำทำนาย ดังรูปที่ 4-11 พบว่าระดับน้ำมีความใกล้เคียงกัน โดยที่ระดับน้ำที่ได้จากการจำลองกระแสน้ำมีค่าต่ำกว่าข้อมูลระดับน้ำทำนาย ดังนั้นความคลาดเคลื่อนนี้อาจส่งผลต่อการจำลองกระแสน้ำในการศึกษา

ตารางที่ 4-4 การวิเคราะห์องค์ประกอบฮาร์โมนิกของน้ำขึ้นน้ำลงด้วยวิธี harmonic analysis จากข้อมูลระดับน้ำทำนายที่สถานีหัวหิน และสถานีอ่าวสัทธิบในปี พ.ศ.2559

องค์ประกอบ ฮาร์โมนิกของ น้ำขึ้นน้ำลง	สถานีหัวหิน				สถานีอ่าวสัทธิบ			
	A_i (m)	G_i (degree)	V_{0+u} (deg)	F	A_i (m)	G_i (degree)	V_{0+u} (deg)	F
M2	0.4	138.1	39.7	1.0	0.3	121.3	39.7	1.0
S2	0.2	212.0	330.0	1.0	0.1	191.4	330.0	1.0
K1	0.6	165.0	172.9	0.9	0.6	161.6	172.9	0.9
O1	0.4	117.1	228.2	0.8	0.4	112.5	228.2	0.8

4.2.2 การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลอง Delft3D

ในการจำลองกระแสน้ำบริเวณอ่าวไทยตอนบนด้วยแบบจำลอง Delft3D มีพารามิเตอร์ทางกายภาพที่มีผลกระแสน้ำบริเวณอ่าวไทยตอนบน ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ (roughness coefficient) และค่าความหนืดปั่นป่วน (eddy viscosity) การศึกษาพารามิเตอร์ทั้ง 2 ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการจำลองกระแสน้ำบริเวณอ่าวไทยตอนบน จึงมีการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องของกับแบบจำลองกระแสน้ำ ดังนี้

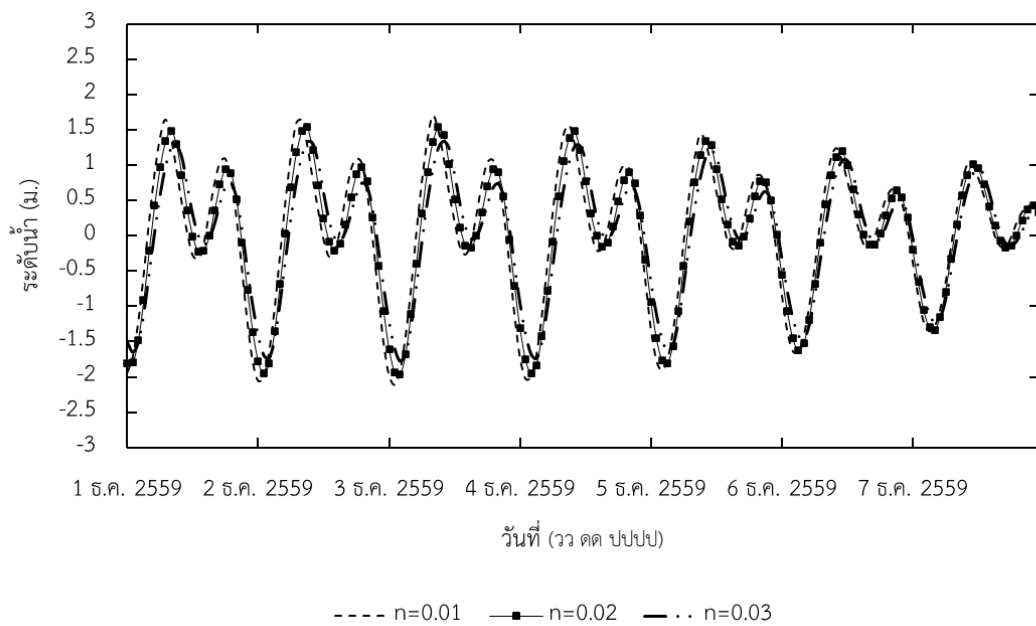


รูปที่ 4-11 การเปรียบเทียบระหว่างระดับน้ำจากแบบจำลองกระแสน้ำ และระดับน้ำทำนาย จากกรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ ในเดือนธันวาคม ปี พ.ศ.2559

1) สัมประสิทธิ์ความขรุขระ (roughness coefficient)

แบบจำลอง Delft3D มีทางเลือกสำหรับการพิจารณาตัวแปรที่มีผลต่อกระแสน้ำ ขึ้นอยู่กับประเภทความขรุขระของพื้นที่ท้องน้ำ เช่น ทฤษฎี Chézy, Manning และ White-Colebrook การเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ของพารามิเตอร์แรงเสียดทานพื้นที่ท้องน้ำ หรือความขรุขระของพื้นที่ท้องน้ำ จากการศึกษาของ Hsu et al. (2006) บริเวณนอกชายฝั่งของชายหาด Duck และ Santa Barbara ประเทศสหรัฐอเมริกา พบว่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของทฤษฎี Manning ซึ่งกล่าวถึงในการทบทวนเอกสาร มีค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระตั้งต้นสำหรับแบบจำลองอยู่ที่ 0.02 และมีค่าประมาณ 0.0225 สำหรับการจำลองกระแสน้ำจากการศึกษาบริเวณเกาะที่มีตะกอนขวางกั้นนอกชายฝั่ง (barrier island sediment) และพบว่าค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่ชายหาดมีค่าระหว่าง 0.0023 – 0.0032 ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของ Manning ซึ่งมีค่า $n = 0.015 - 0.02$ ดังนั้นในการศึกษานี้จึงเลือกพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของ Manning's n ซึ่งทำการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของพารามิเตอร์สัมประสิทธิ์ความขรุขระในช่วง $0.01 - 0.03 \text{ s/m}^{1/3}$

พบว่าระดับน้ำจากการจำลองกระแสน้ำมีค่าลดลงเมื่อทำการปรับค่าสัมประสิทธิ์เพิ่มมากขึ้น ดังรูปที่ 4-12 และสัมประสิทธิ์ความขรุขระของ Manning's n มีค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในสถานีหัวหิน, สถานีสันดอนเจ้าพระยา, สถานีเกาะสีชัง และสถานีอ่าวสัตหีบ โดยที่สถานีที่อยู่ตอนในของอ่าวไทยตอนบนอย่างสถานีสันดอนเจ้าพระยา และสถานีเกาะสีชัง มีค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ประมาณ 0.26 – 0.32 เมตร ซึ่งมามีค่ามากกว่าสถานีหัวหิน และสถานีเกาะสีชังซึ่งเป็นสถานีที่บริเวณขอบเขตเปิดของแบบจำลอง ดังตารางที่ 4-5



รูปที่ 4-12 การเปรียบเทียบระดับน้ำจากแบบจำลองกระแสน้ำ ที่สถานีสันดอนเจ้าพระยา เมื่อทำการวิเคราะห์ความอ่อนไหวค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ Manning's $n = 0.01 - 0.03 \text{ s/m}^{1/3}$

ตารางที่ 4-5 การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของพารามิเตอร์สัมประสิทธิ์ความขรุขระของ Manning's n

สัมประสิทธิ์ความขรุขระ Manning's $n \text{ (s/m}^{1/3}\text{)}$	ค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (เมตร)			
	หัวหิน	สันดอน เจ้าพระยา	เกาะสีชัง	อ่าวสัตหีบ
0.01	0.197	0.266	0.263	0.163
0.02	0.195	0.273	0.267	0.165
0.03	0.195	0.323	0.292	0.165

2) ความหนืดปั่นป่วน (eddy viscosity)

การพิจารณาความหนืดปั่นป่วน ซึ่งเป็นตัวแปรที่ขึ้นอยู่กับอัตราการไหล และขนาดของกริดที่ใช้ในการจำลองกระแสน้ำ มีค่าตั้งต้นสำหรับแบบจำลอง Delft3D เท่ากับ $10 \text{ m}^2/\text{s}$ (Deltares, 2023) การศึกษานี้จึงทำการวิเคราะห์ค่าความหนืดปั่นป่วนในช่วง $1 - 10 \text{ m}^2/\text{s}$ พบว่าระดับน้ำจากการจำลองกระแสน้ำเมื่อปรับค่าความหนืดปั่นป่วนไม่แตกต่างกัน ตรวจสอบได้จากการคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (MAE) ซึ่งมีค่าในช่วง $0.17 - 0.30$ เมตร โดยในแต่ละสถานีมีค่าไม่แตกต่างกัน ดังตารางที่ 4-6

ตารางที่ 4-6 การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของพารามิเตอร์ความหนืดปั่นป่วน

ค่าความหนืดปั่นป่วน (m^2/s)	ค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (เมตร)			
	หัวหิน	สันดอนเจ้าพระยา	เกาะสีชัง	อ่าวสัตหีบ
1	0.211	0.301	0.292	0.178
5	0.211	0.301	0.292	0.178
10	0.211	0.301	0.292	0.178

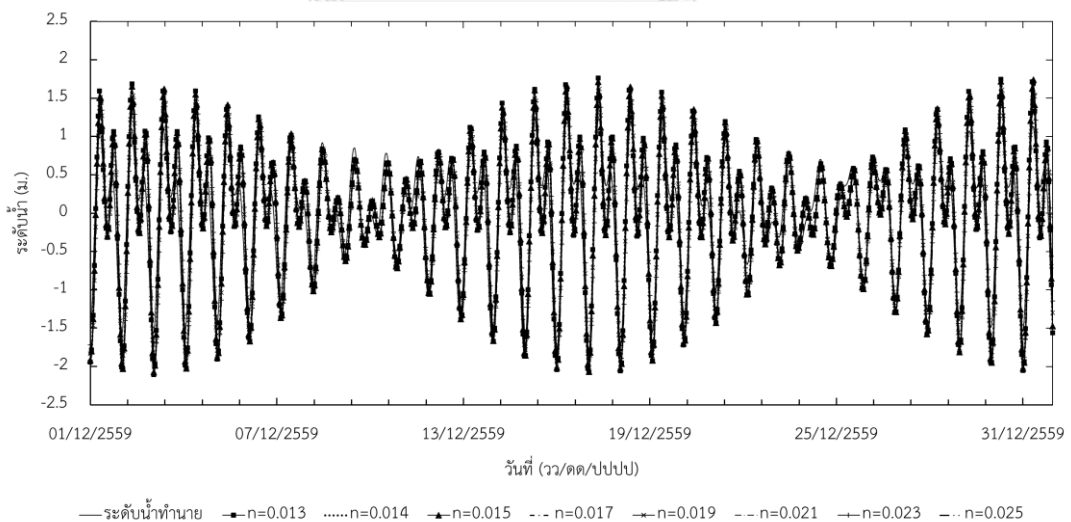
4.2.3 การปรับเทียบและการสอบทานแบบจำลอง Delft3D (calibration และ validation)

การปรับเทียบแบบจำลอง (calibration) โดยใช้ผลจากการวิเคราะห์ความอ่อนไหวแบบจำลองกระแสน้ำของ Delft3D พบว่าการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์สัมประสิทธิ์ความขรุขระของ Manning's n มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำ เพื่อหาค่าที่เหมาะสมในการประยุกต์ใช้แบบจำลองกระแสน้ำ ในพื้นที่ทะเลบริเวณอ่าวไทยตอนบน ซึ่งมีลักษณะเป็นตะกอนโคลนทะเล (marine mud) และโคลนทะเลปนทราย (marine sandy mud) พื้นที่อ่าวทะเลมีความราบเรียบ (กรมทรัพยากรธรณี, 2555) จึงทำการจำลองกระแสน้ำโดยเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของ Manning's n ในช่วง $0.013 - 0.025 \text{ s}/\text{m}^{1/3}$ ระหว่างวันที่ 1 - 31 ธันวาคม พ.ศ.2549 พบว่าค่าระดับน้ำได้จากแบบจำลองกระแสน้ำ กับข้อมูลระดับน้ำทำนาย จากกรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ ที่สถานีหัวหิน และสถานีอ่าวสัตหีบมีค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ไม่แตกต่างกัน ส่วนสถานีสันดอนเจ้าพระยามีค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ประมาณ $0.28 - 0.32$ เมตร และสถานีเกาะสีชังมีค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ประมาณ $0.28 - 0.30$ เมตร ดังแสดงในตารางที่ 4-7 โดยทั้งสองสถานีมีค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ต่ำที่สุด เมื่อใช้ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของ Manning's n เท่ากับ $0.014 \text{ s}/\text{m}^{1/3}$ และเมื่อทำการพิจารณาระดับน้ำสูงสุดและต่ำสุดพบว่าแนวโน้มของระดับน้ำที่ได้จากการจำลองกระแสน้ำโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ $0.014 \text{ s}/\text{m}^{1/3}$ เป็นค่าที่เหมาะสมที่สุดในการ

จำลองกระแสน้ำ เพราะมีความกว้างของระดับน้ำจำลองใกล้เคียงกับระดับน้ำจากข้อมูลระดับน้ำ
ทำนาย ดังรูปที่ 4-13

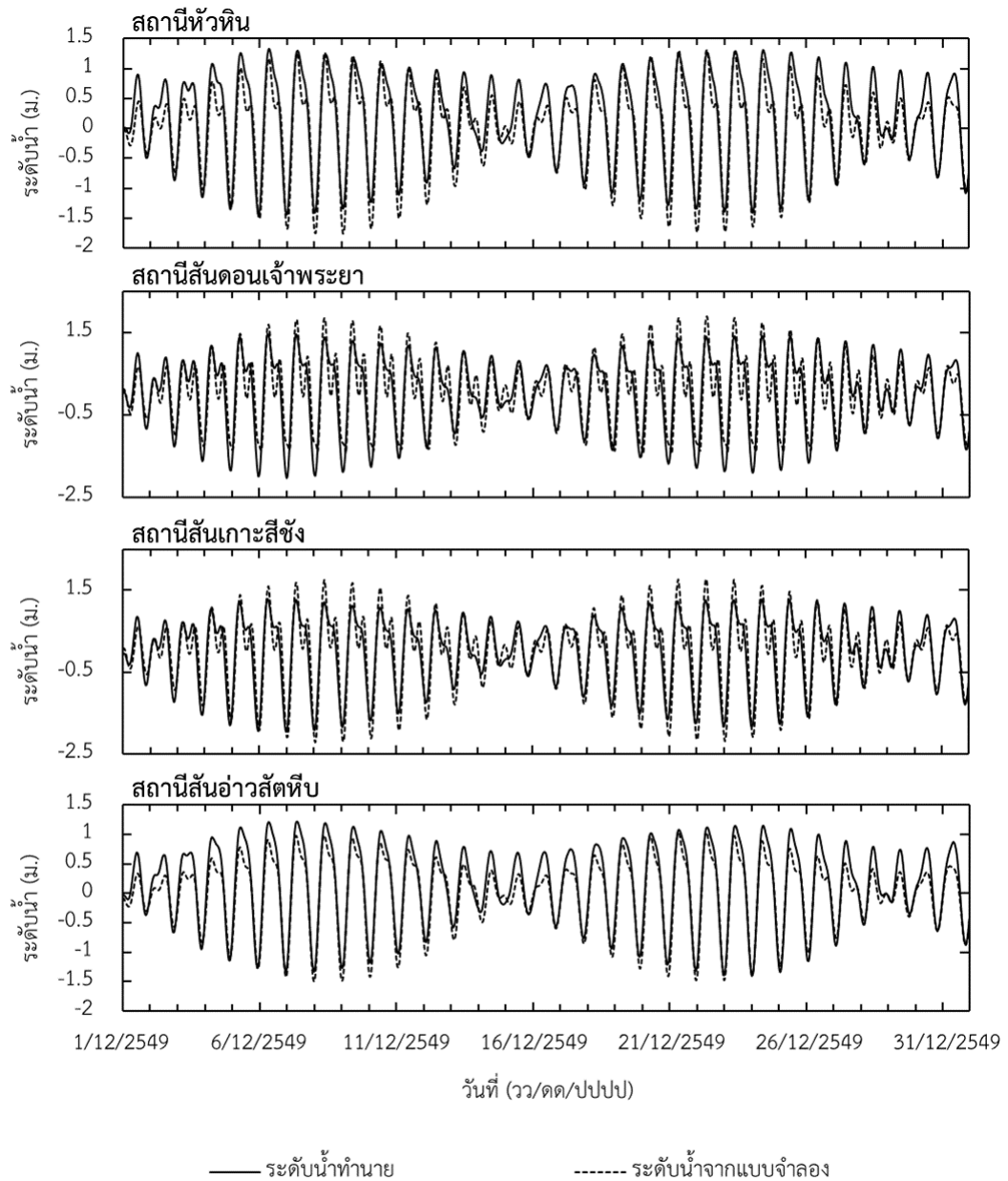
ตารางที่ 4-7 การเปรียบเทียบระดับน้ำจากแบบจำลองกระแสน้ำกับข้อมูลระดับน้ำทำนาย จากกรม
อุทกศาสตร์ กองทัพเรือ ในปี พ.ศ.2559 (2016)

สัมประสิทธิ์ความขรุขระ Manning's n ($s/m^{1/3}$)	ค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (เมตร)			
	หัวหิน	สันดอนเจ้าพระยา	เกาะสีชัง	อ่าวสัทธิษ
0.013	0.213	0.285	0.2843	0.177
0.014	0.212	0.284	0.2842	0.177
0.015	0.212	0.285	0.2844	0.177
0.017	0.212	0.288	0.286	0.177
0.019	0.211	0.293	0.287	0.176
0.021	0.211	0.301	0.291	0.176
0.023	0.210	0.311	0.295	0.177
0.025	0.210	0.322	0.300	0.177



รูปที่ 4-13 การเปรียบเทียบพารามิเตอร์สัมประสิทธิ์ความขรุขระ Manning's n
โดยเปรียบเทียบระดับน้ำจากแบบจำลองกระแสน้ำกับข้อมูลระดับน้ำทำนาย
จากกรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ ในเดือนธันวาคม ปี พ.ศ.2559

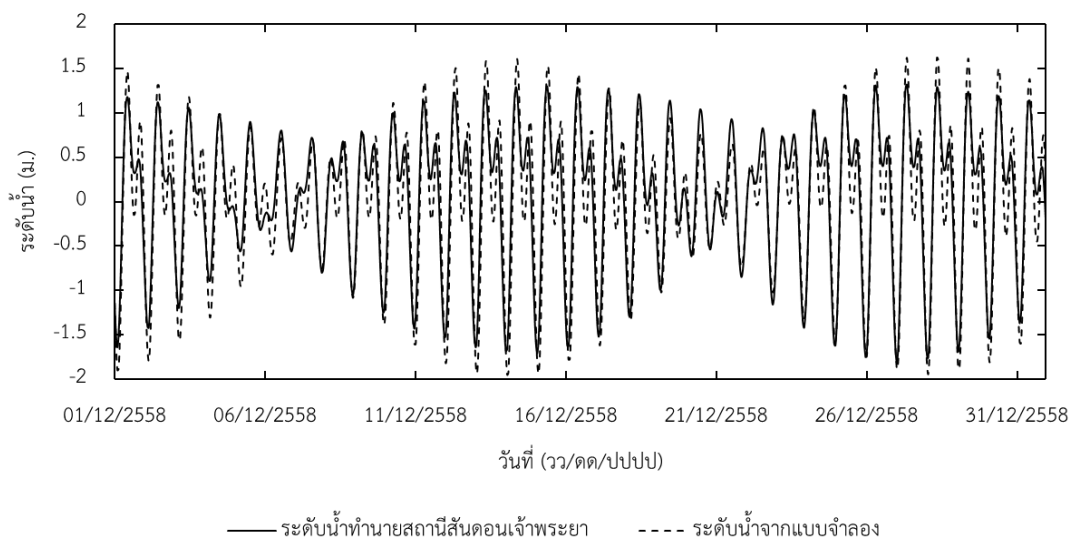
การสอบทานแบบจำลอง (validation) ทำการจำลองกระแสน้ำในปี พ.ศ.2549 และใช้ค่าระดับน้ำจากแบบจำลอง Delft3D เปรียบเทียบกับข้อมูลระดับน้ำทำนาย จากกรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ ในสถานีหัวหิน, สถานีสันดอนเจ้าพระยา, สถานีแก่งสีชะง และสถานีอ่าวสัตหีบ พบว่า ความสูงของระดับน้ำมีความสอดคล้องกัน เมื่อคำนวณความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์มีค่าประมาณ 0.19 – 0.32 เมตร และเมื่อพิจารณากระดับน้ำสูงสุดและต่ำสุดมีความกว้างของระดับน้ำจำลองใกล้เคียงกับระดับน้ำจากข้อมูลระดับน้ำทำนาย ดังรูปที่ 4-14



รูปที่ 4-14 การเปรียบเทียบระดับน้ำจำลอง กับระดับน้ำทำนายจากกรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ
ในเดือนธันวาคม ปี พ.ศ.2549

4.2.4 การจำลองกระแสน้ำสุทธิ

ในการศึกษานี้พิจารณาถึงกระแสน้ำสุทธิ ซึ่งเป็นกระแสน้ำที่ได้รับอิทธิพลจากอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง และคลื่นลมในทะเล ซึ่งมีความใกล้เคียงกับสภาพของกระแสน้ำในธรรมชาติที่ไหลหมุนเวียนในทะเล กระแสน้ำสุทธิสามารถใช้แบบจำลอง Delft3D ในการจำลองโดยใช้ข้อมูลจากการวิเคราะห์ระดับน้ำทำนายด้วยวิธี harmonic analysis และข้อมูลสเปกตรัมคลื่นซึ่งเป็นผลลัพธ์มาจากแบบจำลอง SWAN ที่จำลองคลื่นเนื่องจากลม ใช้เป็นข้อมูลนำเข้าบริเวณขอบเขตเปิดของการจำลองกระแสน้ำ ในปี พ.ศ.2558 พบว่าระดับน้ำที่จำลองได้มีความสอดคล้องกับระดับน้ำทำนายจากกรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ แต่ระดับน้ำสูงสุดจากแบบจำลองกระแสน้ำมีค่าสูงกว่าค่าตรวจวัดจากทุ่นสมุทรศาสตร์ และระดับน้ำต่ำสุดจากแบบจำลองกระแสน้ำมีค่าต่ำกว่า แสดงดังรูปที่ 4-15

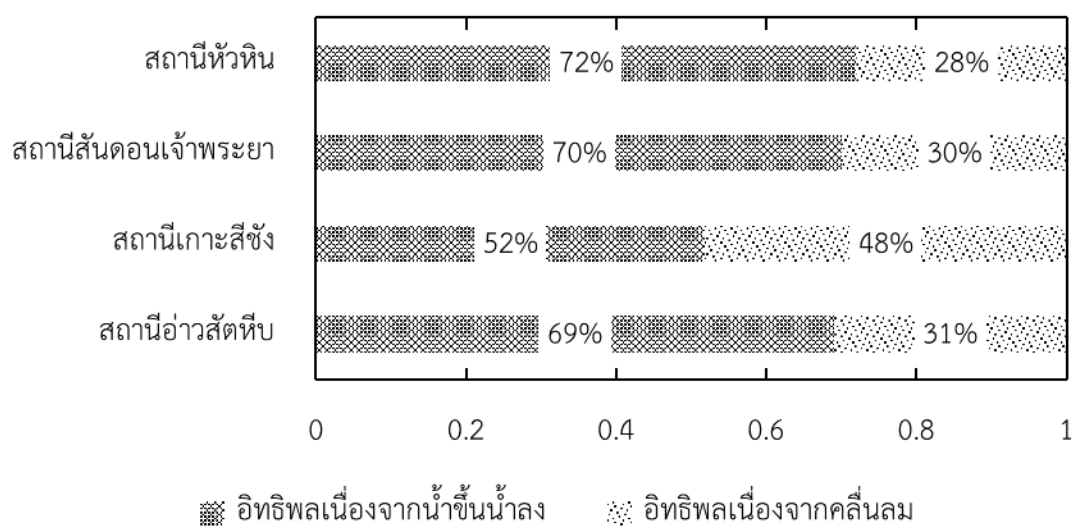


รูปที่ 4-15 การเปรียบเทียบระดับน้ำจากแบบจำลองกระแสน้ำสุทธิ กับระดับน้ำทำนายจากกรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ สถานีเกาะสีชัง ในเดือนธันวาคม ปี พ.ศ.2549

4.2.5 อิทธิพลของคลื่นลมและน้ำขึ้นน้ำลง

แบบจำลอง Delft3D จำลองกระแสน้ำได้ผลลัพธ์เป็นความเร็วและทิศทางของกระแสน้ำ เมื่อนำผลลัพธ์จากแบบจำลองในเงื่อนไขขอบเขตทั้ง 2 แบบ ได้แก่ กระแสน้ำเนื่องจากอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง (C_t) และกระแสน้ำสุทธิ ($C_t + C_w$) มาคำนวณหาเพื่อศึกษาว่ากระแสน้ำที่ไหลผ่านบริเวณอ่าวไทยตอนบนได้รับอิทธิพลใดเป็นอิทธิพลหลัก โดยคำนวณจากสมการที่ 3-1 และ 3-2 พบว่าอิทธิพลที่ส่งผลต่อกระแสน้ำในทะเลอ่าวไทยตอนบน กระแสน้ำสุทธิได้รับอิทธิพลหลักจากน้ำขึ้นน้ำลงมากกว่าอิทธิพลจากคลื่นลมในทะเล คิดเป็นร้อยละ 72, ร้อยละ 70 และร้อยละ 69 ในสถานีหัวหิน,

สถานีสันดอนเจ้าพระยา และสถานีอ่าวสัดหีบ ตามลำดับ แต่ในสถานีเกาะสีชังพบว่าอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงคำนวณได้ร้อยละ 52 ซึ่งเป็นเพราะบริเวณเกาะสีชังมีลักษณะภูมิประเทศต่างจากที่สถานีอื่น และมีความแตกต่างของระดับน้ำทำให้อิทธิพลจากน้ำขึ้นน้ำลงน้อยกว่าสถานีอื่น แสดงดังรูปที่ 4-16 ดังนั้นในการศึกษานี้จึงพิจารณาใช้ข้อมูลกระแสน้ำจากแบบจำลอง โดยใช้เงื่อนไขขอบเขตเปิดจากน้ำขึ้นน้ำลงด้วยวิธี harmonic analysis เพียงอย่างเดียวในการศึกษาการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันที่รั่วไหลในทะเลอ่าวไทยตอนบน



รูปที่ 4-16 อิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงและคลื่นลมในทะเลต่อกระแสน้ำสุทธิ

4.3 สรุปคลื่นและกระแสน้ำ

การศึกษาลักษณะของคลื่น และกระแสน้ำบริเวณอ่าวไทยตอนบนโดยใช้แบบจำลอง SWAN ในการจำลองคลื่น โดยวิเคราะห์ผลลัพธ์จากข้อมูลความสูงคลื่นนัยสำคัญจากแบบจำลองคลื่น เปรียบเทียบกับหุ่นสมุทรศาสตร์จาก GISTDA และใช้แบบจำลอง Delft3D ในการจำลองกระแสน้ำ โดยการเปรียบเทียบระดับน้ำจากแบบจำลองกับระดับน้ำทำนายโดยกรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ ผลจากแบบจำลองทั้งสองพบว่าคลื่นเนื่องจากลมในทะเลอ่าวไทยตอนบน มีความสอดคล้องกันกับลมจากแบบจำลอง ERA5 ในด้านของทิศทาง แต่มีขนาดความเร็วลมสูงกว่าข้อมูลหุ่นสมุทรศาสตร์ของ GISTDA ส่งผลให้ความสูงคลื่นนัยสำคัญที่ได้จากแบบจำลองมีค่าสูงกว่าความสูงคลื่นนัยสำคัญจากหุ่นสมุทรศาสตร์เช่นกัน และเมื่อทำการศึกษาระแสน้ำในทะเลอ่าวไทยตอนบนโดยพิจารณาขอบเขตเปิดของกระแสน้ำในแบบจำลอง กรณีของกระแสน้ำเนื่องจากผลรวมขององค์ประกอบฮาร์โมนิกของน้ำขึ้นน้ำลง (harmonic analysis) และกระแสน้ำสุทธิ ซึ่งเป็นผลรวมของอิทธิพลจากน้ำขึ้นน้ำลงและคลื่นลมในทะเล ซึ่งแบบจำลอง Delft3D สามารถจำลองกระแสน้ำบริเวณอ่าวไทยตอนบนโดย

การเปรียบเทียบระดับน้ำจากแบบจำลองกระแสน้ำกับระดับน้ำทำนายโดยกรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ พบว่าระดับน้ำมีค่าสูงสุดและต่ำสุดใกล้เคียงกันในทุกสถานี โดยที่มีระดับน้ำสูงสุดไม่เกิน 1.5 เมตร และระดับน้ำต่ำสุดไม่เกิน 2 เมตร อีกทั้งพบว่ากระแสน้ำในทะเลอ่าวไทยตอนบนได้รับอิทธิพลจากน้ำขึ้นน้ำลงเป็นหลัก ดังนั้นในการนำข้อมูลกระแสน้ำที่เป็นผลลัพธ์จากแบบจำลองกระแสน้ำไปใช้เป็นข้อมูลนำเข้าแบบจำลอง GNOME ในเรื่องของการศึกษาการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันที่ผิวหน้าน้ำทะเลจึงใช้ข้อมูลกระแสน้ำจากแบบจำลองเนื่องจากอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงเพียงอย่างเดียว



บทที่ 5

ผลการจำลองการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมัน

การจำลองการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันที่รั่วไหลในทะเลบริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยา ซึ่งอยู่ในทะเลอ่าวไทยตอนบนด้วยแบบจำลอง GNOME โดยมีข้อมูลนำเข้าแบบจำลองเป็นข้อมูลกระแสน้ำรายชั่วโมงจากแบบจำลอง Delft3D, ข้อมูลลมจากแบบจำลอง ERA5 รายชั่วโมง และข้อมูลคุณสมบัติของน้ำมัน โดยมีการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลอง สำหรับพิจารณาเพื่อการตั้งค่าแบบจำลองในพื้นที่บริเวณอ่าวไทยตอนบน และน้ำมันประเภทน้ำมันมันเตา (fuel oil) อีกทั้งทำการจำลองการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันรายเดือน ในช่วงน้ำเกิด และน้ำตาย เพื่อศึกษาพฤติกรรมของการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมัน, ตำแหน่งการเคลื่อนที่ และเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ ซึ่งจะอธิบายในลำดับถัดไป ดังนี้

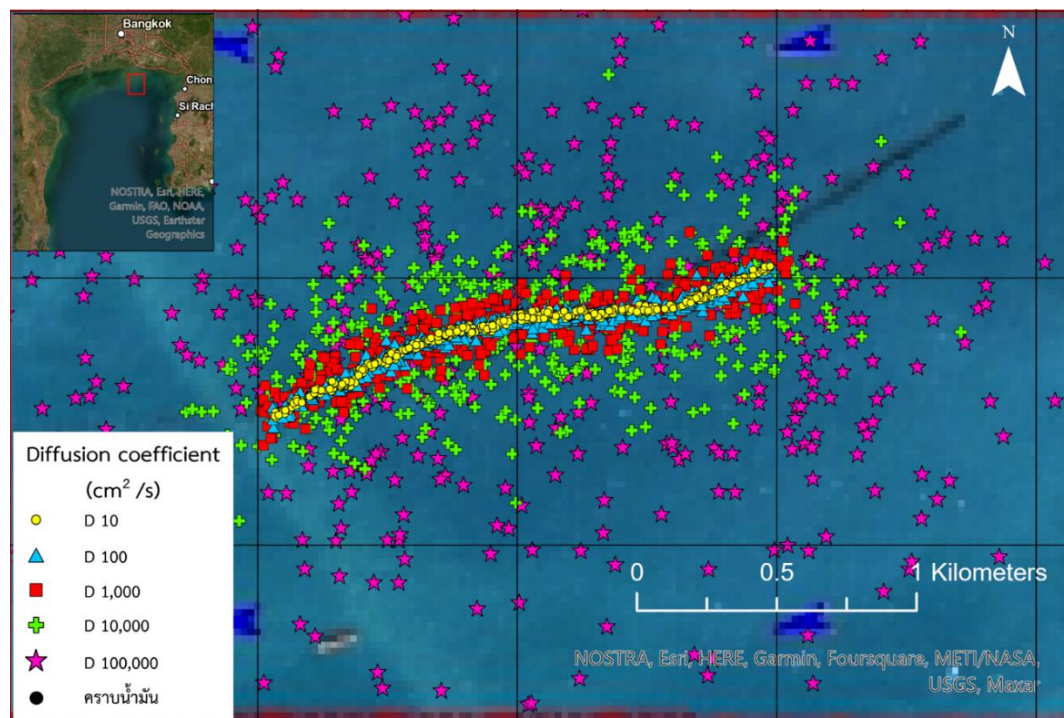
5.1 การศึกษาความอ่อนไหวของแบบจำลอง GNOME

การศึกษาความอ่อนไหวของแบบจำลอง GNOME เป็นการจำลองการรั่วไหลของน้ำมันโดยพิจารณาพารามิเตอร์สัมประสิทธิ์การแพร่กระจายของน้ำมัน (diffusion coefficient) ซึ่งแสดงให้เห็นถึงลักษณะการกระจายตัวของคราบน้ำมันโดยมีลักษณะการกระจายเป็นเส้นตรงยาว หรือมีการแผ่ขยายออก โดยปกติแล้วการหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำมันที่เหมาะสม ควรทำการวิเคราะห์ข้อมูลจากการทดลองในห้องปฏิบัติการ อีกทั้งยังไม่มีการศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายของน้ำมันชนิดต่าง ๆ ในพื้นที่ท้องทะเลอ่าวไทย ดังนั้นในการศึกษานี้ทำการจำลองการรั่วไหลของน้ำมันเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายของน้ำมันที่เหมาะสม โดยทำการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำมันในช่วง $10 - 100,000 \text{ cm}^2/\text{s}$ พบว่าเมื่อเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของคราบน้ำมันมีผลทำให้น้ำมันมีลักษณะการเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงยืดยาวขยายออกด้านข้าง และกระจัดกระจายเพิ่มมากขึ้น แสดงในรูปที่ 5-1

5.2 การเปรียบเทียบและสอบทานแบบจำลอง (calibration และ validation)

การเปรียบเทียบแบบจำลอง (calibration) ของแบบจำลอง GNOME สำหรับคาดการณ์การเคลื่อนที่ของคราบน้ำมัน อ้างอิงตามเหตุการณ์น้ำมันเตารั่วไหลในทะเลอ่าวไทยตอนบน บริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยา จากเหตุการณ์เรือล่มเมื่อวันที่ 3 ธันวาคม พ.ศ.2562 (2019) เวลา 05.40 น. (ไทยพีบีเอส (Thai PBS), 2562) ซึ่งมีข้อจำกัดในด้านข้อมูลตำแหน่งของน้ำมันที่รั่วไหล และเวลาเริ่มต้นการ

รั่วไหลของน้ำมัน จึงใช้ข้อมูลรายงานสถิติการรั่วไหลของน้ำมันจากกรมเจ้าท่า ปี พ.ศ.2562 และภาพถ่ายดาวเทียมของสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) ในวันที่ 3 ธันวาคม พ.ศ.2562 เวลา 10.41 น. และวันที่ 4 ธันวาคม พ.ศ.2562 เวลา 18.00 น.



รูปที่ 5-1 การวิเคราะห์ความอ่อนไหวค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายของน้ำมัน

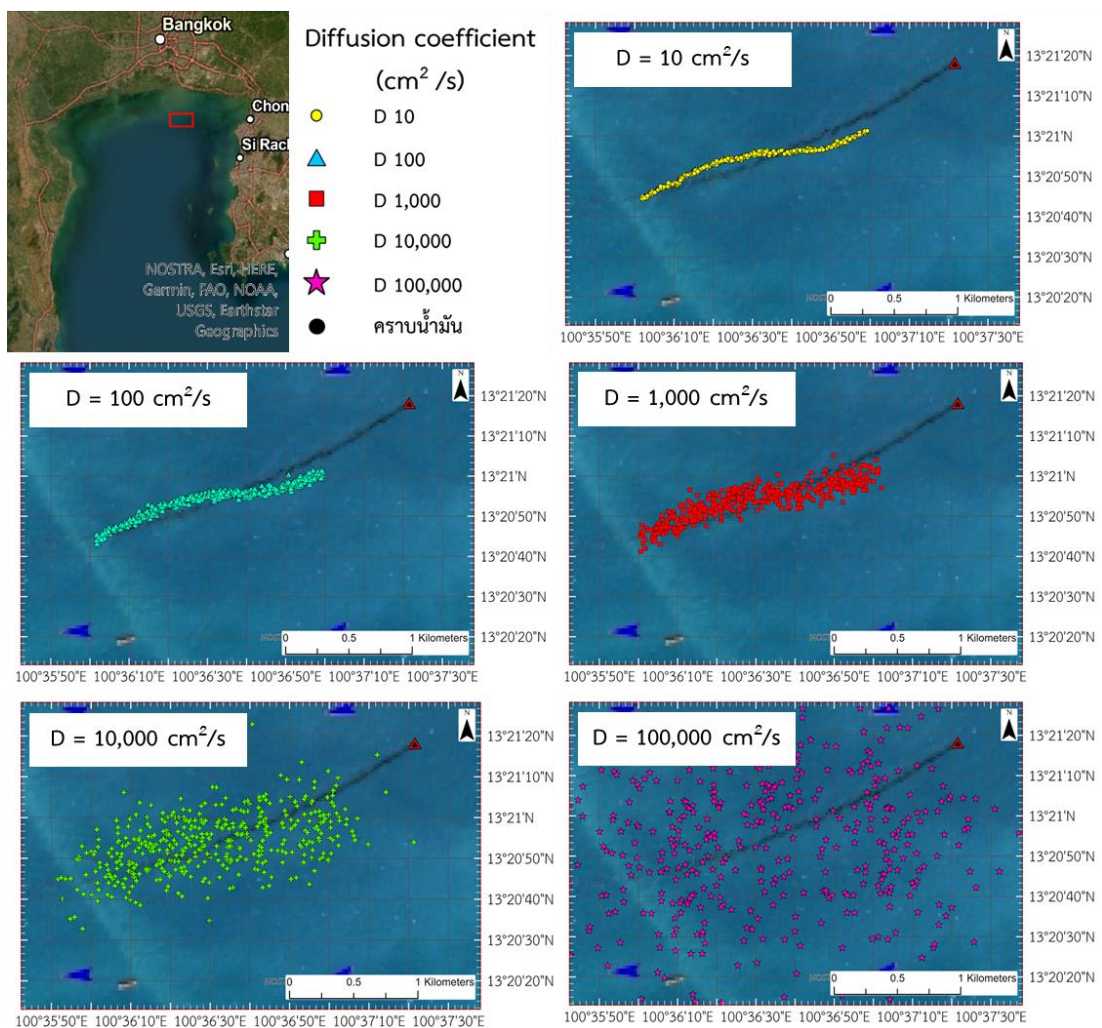
ตัวแปรที่ทำการเปรียบเทียบคือค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายของคราบน้ำมัน เมื่อพิจารณา ลักษณะการกระจายตัวของคราบน้ำมันจริง (แนวสีดำ) ที่มีลักษณะเป็นทางยาว ไม่ได้แผ่ขยาย ออกเป็นวงกว้าง เพื่อคงสภาพของแนวการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันให้ไม่กระจายออกในด้านกว้าง ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายของน้ำมันที่เหมาะสมในการศึกษานี้เท่ากับ $10 \text{ cm}^2/\text{s}$ แต่ด้วยอิทธิพล ของลมและกระแสน้ำยังส่งผลให้รูปร่างของคราบน้ำมันจากการจำลองมีความบิดเบี้ยวไปเล็กน้อยต่าง จากคราบน้ำมันจริง แสดงในรูปที่ 5-2

เมื่อทำการจำลองการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันโดยใช้เหตุการณ์น้ำมันรั่วเนื่องจากเรือล่มในวันที่ 3 ธันวาคม พ.ศ.2562 เวลาเรือล่มตามรายงานข่าวประมาณ 05.40 น. (ไทยพีบีเอส (Thai PBS), 2562) โดยเปรียบเทียบผลลัพธ์กับแผนที่ภาพถ่ายดาวเทียมจากสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศ และภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) (GISTDA) ในวันที่ 3 ธันวาคม พ.ศ.2562 เวลา 10.40 น. และ วันที่ 4 ธันวาคม พ.ศ.2562 เวลา 18.00 น. ดังรูปที่ 5-3 และรูปที่ 5-4 พบว่าแบบจำลองคราบน้ำมัน

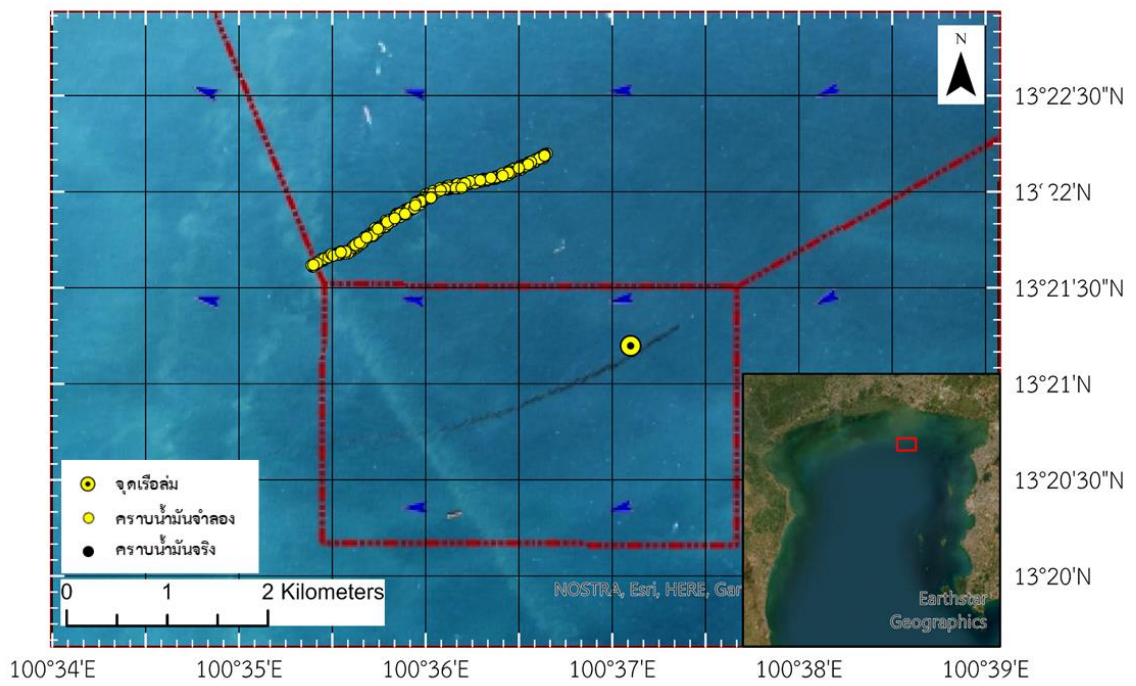
ในวันที่วันที่ 3 ธันวาคม พ.ศ.2562 ที่เวลาประมาณ 10.00 น. และวันที่ 4 ธันวาคม พ.ศ.2562 เวลาประมาณ 18.00 น. คราบน้ำมันจากแบบจำลองไม่ได้อยู่ในตำแหน่งที่ใกล้เคียงคราบน้ำมันจริง ทำให้เกิดสมมติฐานสำหรับการปรับเทียบแบบจำลอง 2 ข้อ ได้แก่

1) การปรับเทียบจุดเริ่มต้นการรั่วไหลของคราบน้ำมัน

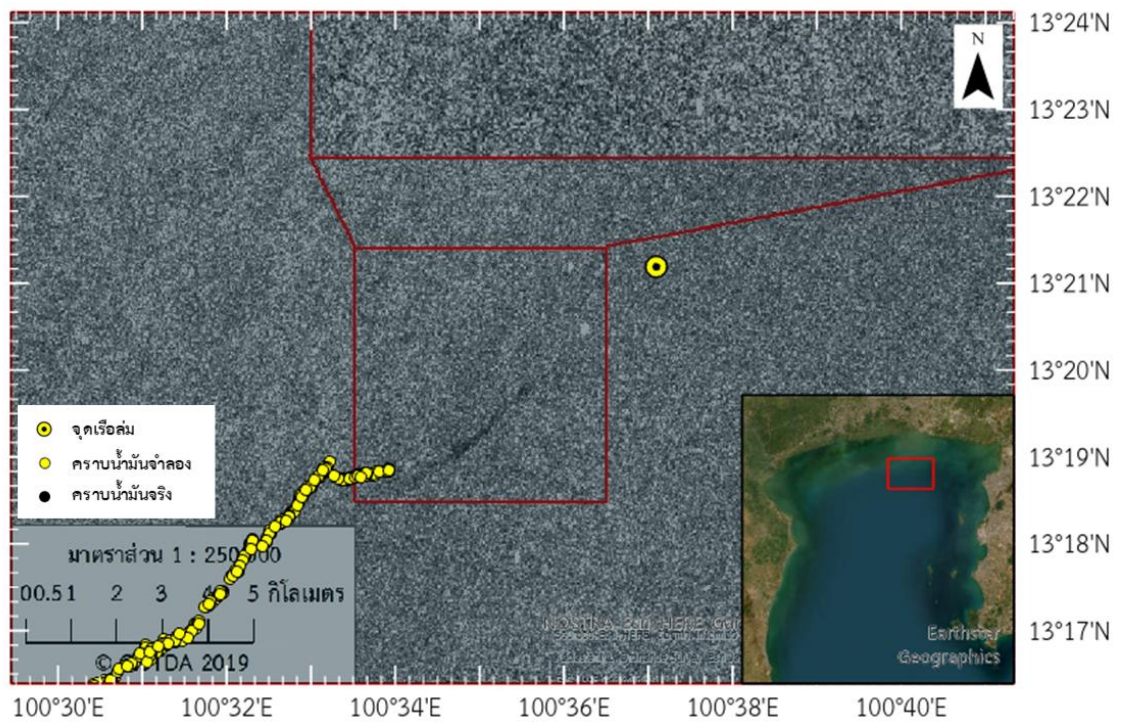
2) การปรับเทียบเวลาเริ่มต้นการรั่วไหลของน้ำมัน และหาตำแหน่งของคราบน้ำมันจำลองที่เคลื่อนที่เข้าใกล้คราบน้ำมันจริงในเวลาตามแผนที่ภาพถ่ายดาวเทียม



รูปที่ 5-2 การปรับเทียบค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายของน้ำมัน (diffusion coefficient, D) แบบจำลองคราบน้ำมันวันที่ 3 ธันวาคม พ.ศ.2562

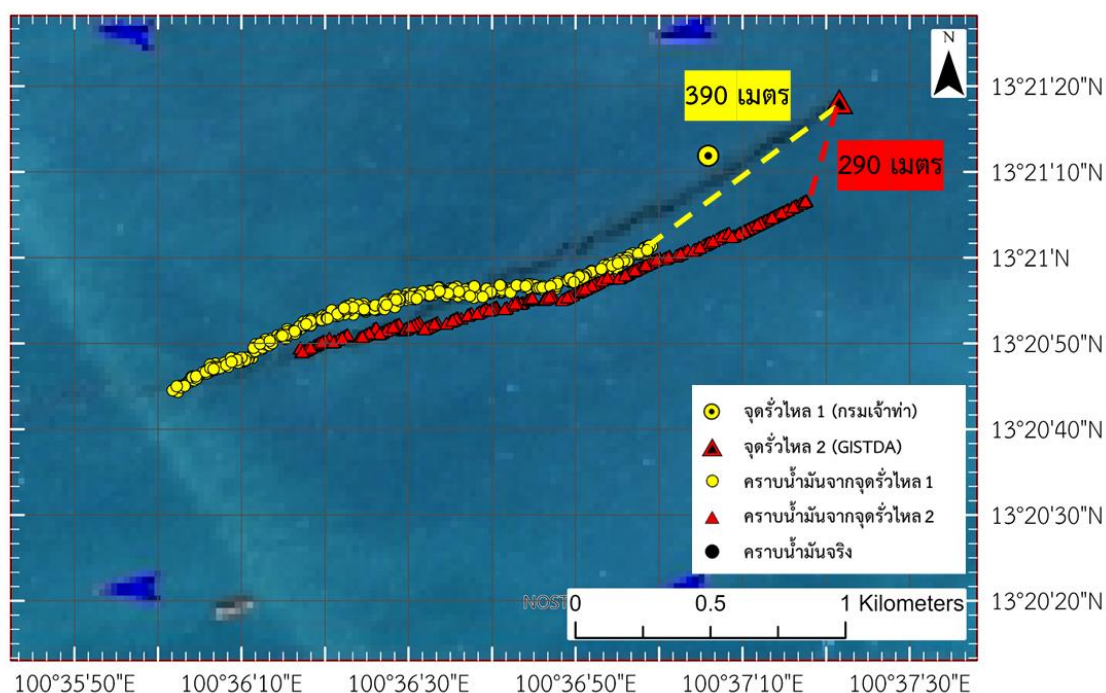


รูปที่ 5-3 การเปรียบเทียบคราบน้ำมันจำลองกับภาพน้ำมันจริง
จากแผนที่ดาวเทียมวันที่ 3 ธันวาคม พ.ศ.2562 เวลา 10.40 น.



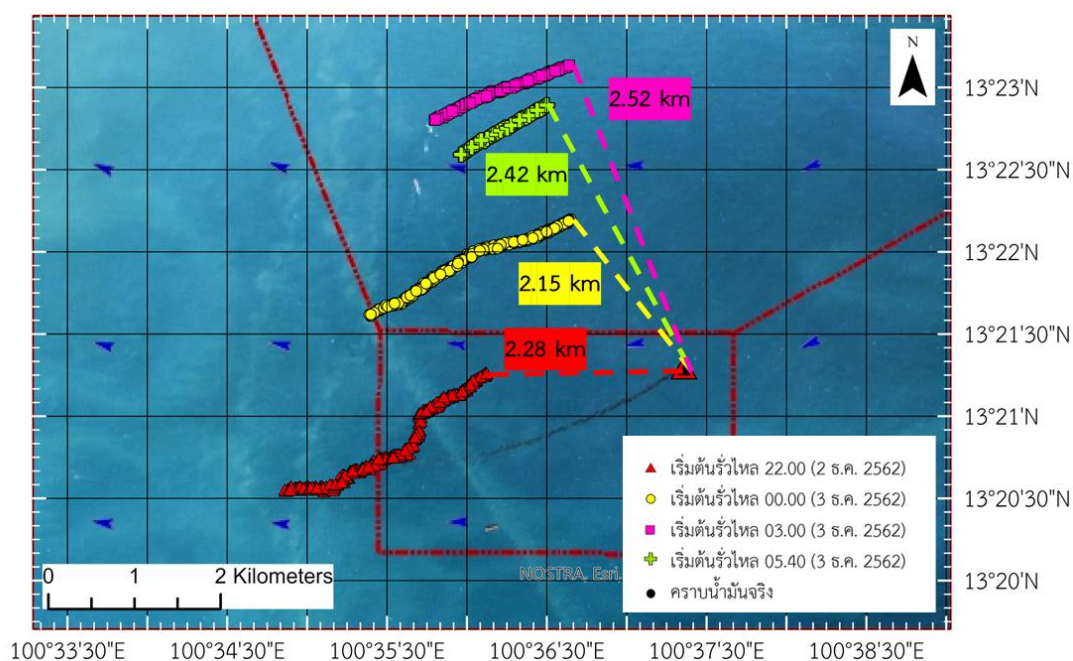
รูปที่ 5-4 การเปรียบเทียบคราบน้ำมันจำลองกับภาพน้ำมันจริง
จากแผนที่ดาวเทียมวันที่ 4 ธันวาคม พ.ศ.2562 เวลา 18.00 น.

การเปรียบเทียบแบบจำลองการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันโดยพิจารณาที่จุดเริ่มต้นการรั่วไหลของคราบน้ำมัน เริ่มต้นจากการตรวจสอบรายงานข้อมูลอุบัติเหตุเรือล่ม พบว่าตำแหน่งที่เป็นจุดเริ่มต้นของน้ำมันที่รั่วไหลลงสู่ทะเลเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญในการจำลองเส้นทางการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมัน ดังนั้นจึงทำการทดสอบแบบจำลองการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมัน โดยพิจารณาตำแหน่งเริ่มต้นที่เกิดการรั่วไหลของน้ำมัน โดยอ้างอิงจากข้อมูลของกรมเจ้าท่า (กรมเจ้าท่า, 2565) ซึ่งรายงานจุดเรือล่มที่ตำแหน่งละติจูด 13.3533° เหนือ และลองจิจูด 100.6183° ตะวันออก แต่ตำแหน่งเรือล่มจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม โดยสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) (GISTDA) ที่ตำแหน่งละติจูด 13.3550° เหนือ และลองจิจูด 100.6225° ตะวันออก ระหว่าง 2 ตำแหน่งนี้มีระยะห่างกันประมาณ 500 เมตร พบว่าผลจากการทำแบบจำลองการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันในเวลาเดียวกัน (07.00 น.) แสดงถึงความแตกต่างของการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมัน โดยแนวการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันที่มีความใกล้เคียงกับคราบน้ำมันจริง คือแบบจำลองคราบน้ำมันที่มีจุดน้ำมันรั่วจากตำแหน่งของ GISTDA ซึ่งมีระยะห่างของหัวคราบน้ำมันห่างจากจุดเริ่มต้นของคราบน้ำมัน ประมาณ 290 เมตร ในขณะที่คราบน้ำมันจำลองจากกรมเจ้าท่ามีระยะห่างจากจุดเริ่มต้นของคราบน้ำมัน ประมาณ 390 เมตร ซึ่งถือว่าตำแหน่งเริ่มต้นการรั่วไหลของน้ำมันจาก GISTDA มีระยะห่างที่น้อยกว่า ดังนั้นในการศึกษานี้จึงอ้างอิงตำแหน่งเรือล่มของ GISTDA เป็นตำแหน่งเริ่มต้นการรั่วไหลของน้ำมันในการศึกษาต่อไป แสดงในรูปที่ 5-5



รูปที่ 5-5 การสอบเทียบจุดเริ่มต้นการรั่วไหลของน้ำมัน
แบบจำลองคราบน้ำมันวันที่ 3 ธันวาคม พ.ศ.2562

การเปรียบเทียบแบบจำลองการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันโดยพิจารณาที่เวลาเริ่มต้นการรั่วไหลของน้ำมัน พบว่าตำแหน่งคราบน้ำมันจากแบบจำลอง GNOME ที่ตั้งค่าเวลาเริ่มต้นการรั่วไหลของน้ำมันตามเวลาเรือล่ม วันที่ 3 ธันวาคม พ.ศ.2562 เวลา 05.40 น. มีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นสูงดังแสดงในรูปที่ 5-3 และ รูปที่ 5-4 ดังนั้นเมื่อพิจารณาทิศทางของลม และกระแสน้ำ ทำให้เกิดสมมติฐานในการปรับเทียบเวลาเริ่มต้นการรั่วไหลของน้ำมัน และหาตำแหน่งของคราบน้ำมันจำลองที่เคลื่อนที่เข้าใกล้คราบน้ำมันจริงในเวลาตามแผนที่ภาพถ่ายดาวเทียม จึงทดสอบด้วยการจำลองการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันที่เวลาเริ่มต้นการรั่วไหลในวันที่ 2 ธันวาคม พ.ศ.2562 เวลา 22.00 น., วันที่ 3 ธันวาคม พ.ศ.2562 เวลา 00.00 น., 03.00 น. และ 05.40 น. ดังรูปที่ 5-6



รูปที่ 5-6 การปรับเทียบเวลาเริ่มต้นการรั่วไหลของน้ำมัน
วันที่ 3 ธันวาคม พ.ศ.2562 เวลา 10.00 น. (คราบน้ำมันจริง เวลา 10.41 น.)

เมื่อทำการเปรียบเทียบตำแหน่งคราบน้ำมันบนแผนที่ดาวเทียมในวันที่ 3 ธันวาคม พ.ศ. 2562 เวลา 10.41 น. ด้วยการตั้งค่าเวลาเริ่มต้นแตกต่างกัน พบว่าคราบน้ำมันจำลองในวันที่ 3 ธันวาคม พ.ศ.2562 เวลา 05.40 น. ซึ่งเป็นการแจ้งเหตุเรือล่ม แต่มีความคลาดเคลื่อนของคราบน้ำมันจำลอง ซึ่งเคลื่อนไปทางทิศเหนือ มีระยะห่างจากคราบน้ำมันจริงประมาณ 2.42 กิโลเมตร เมื่อวัดจาก

จุดเริ่มต้นการรั่วไหลหรือหัวคราบน้ำมัน ลักษณะของคราบน้ำมันจำลองคล้ายคราบน้ำมันจริง แต่มีความยาวสั้นกว่า มีความยาวประมาณ 1.16 กิโลเมตร ผลการสังเกตที่เวลาเริ่มต้นอื่นพบว่า มีคราบน้ำมันจำลองที่ใกล้เคียงกับคราบน้ำมันจริง คือการจำลองการเคลื่อนที่ของน้ำมันเมื่อตั้งค่าเวลาเริ่มต้นการรั่วไหลเป็นวันที่ 2 ธันวาคม พ.ศ.2562 เวลา 22.00 น. แต่ลักษณะของคราบน้ำมันมีความบิดเบี้ยวอย่างชัดเจน ต่างจากคราบน้ำมันจริง และมีระยะห่างกันประมาณ 2.28 กิโลเมตร เมื่อเทียบกับจุดเริ่มต้นการรั่วไหลของน้ำมัน ลำดับถัดมาคือแบบจำลองที่ตั้งค่าเวลาเริ่มต้นการรั่วไหลของน้ำมันในวันที่ 3 ธันวาคม พ.ศ.2562 เวลา 00.00 น. คราบน้ำมันเคลื่อนไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือก่อนไปทางเหนือ ระยะห่างจากคราบน้ำมันจริงประมาณ 2.15 กิโลเมตร ลักษณะของคราบน้ำมันจำลองคล้ายคราบน้ำมันจริง มีความยาวประมาณ 2.59 กิโลเมตร ซึ่งใกล้เคียงกับความยาวของคราบน้ำมันจริงที่มีความยาวประมาณ 2.52 กิโลเมตร และสุดท้ายเมื่อตั้งค่าเวลาเริ่มต้นการรั่วไหลเวลา 03.00 น. คราบน้ำมันเคลื่อนไปทางทิศเหนือ ระยะห่างจากคราบน้ำมันจริงประมาณ 3.72 กิโลเมตร ลักษณะของคราบน้ำมันจำลองคล้ายคราบน้ำมันจริง แต่มีความยาวสั้นประมาณ 1.69 กิโลเมตร

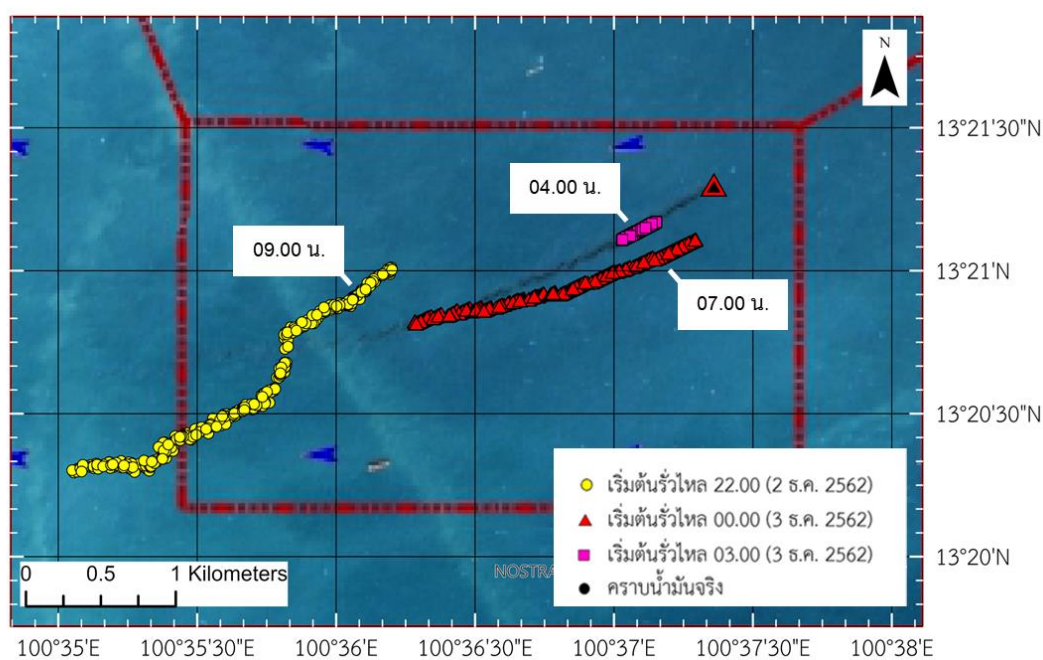
ผลของแบบจำลองการปรับเทียบเวลาเริ่มต้นการรั่วไหลของน้ำมัน พบว่าการเคลื่อนที่ของน้ำมันเกิดความคลาดเคลื่อนเชิงเวลาของแบบจำลอง จึงทดสอบเพื่อวิเคราะห์ถึงลักษณะการเคลื่อนที่ด้วยการจำลองการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันที่เวลาต่าง ๆ จากเมื่อตั้งค่าเวลาเริ่มต้นการรั่วไหลของน้ำมันในวันที่ 2 ธันวาคม พ.ศ.2562 เวลา 22.00 น., วันที่ 3 ธันวาคม พ.ศ.2562 เวลา 00.00 น. และ 03.00 น.

แบบจำลองคราบน้ำมันที่มีเวลาเริ่มต้นการรั่วไหลเป็นวันที่ 2 ธันวาคม พ.ศ.2562 เวลา 22.00 น. เปรียบเทียบคราบน้ำมันจำลองกับคราบน้ำมันจริงตามภาพถ่ายดาวเทียมวันที่ 3 ธันวาคม พ.ศ.2562 เวลา 10.41 น. เวลาที่คราบน้ำมันจำลองเข้าใกล้ตำแหน่งของคราบน้ำมันจริงมากที่สุดคือในวันที่ 3 ธันวาคม ช่วงเวลา 09.00 น. ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ใกล้เคียงกับเวลาจริง โดยที่คราบน้ำมันถูกพัดพาไปทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือก่อนไปทางทิศตะวันตกตามทิศทางของกระแสน้ำในขณะนั้น และมีระยะห่างจากคราบน้ำมันจริงประมาณ 2.21 กิโลเมตร

เมื่อตั้งค่าเวลาที่น้ำมันเริ่มรั่วไหลเป็นวันที่ 3 ธันวาคม พ.ศ.2562 เวลา 00.00 น. ตำแหน่งของคราบน้ำมันจำลองอยู่ในแนวเดียวกับคราบน้ำมันจริงบนภาพถ่ายดาวเทียม โดยคราบน้ำมันจำลองมีความยาวสั้นกว่าคราบน้ำมันจริงประมาณ 500 เมตร เวลาที่แสดงตำแหน่งใกล้เคียงมากที่สุด

คือช่วงเวลา 07.00 น. ซึ่งเวลาในแบบจำลองคลาดเคลื่อนเร็วกว่าเวลาจริงประมาณ 3 ชั่วโมง เมื่อเทียบกับภาพถ่ายดาวเทียมที่เวลา 10.41 น. และการเคลื่อนที่สอดคล้องกับช่วงเวลาที่เกิดเหตุ น้ำมันรั่วในช่วงเวลา 10.00 น. ที่เป็นช่วงน้ำขึ้น แนวคราบน้ำมันจึงกำลังเคลื่อนที่ขึ้นไปทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือก่อนไปทางทิศเหนือตั้งแต่ช่วงเวลา 05.00 – 11.00 น.

และสุดท้ายเมื่อทำการตั้งค่าแบบจำลองกำหนดเวลารั่วไหลของน้ำมันเป็นวันที่ 3 ธันวาคม พ.ศ.2562 ที่เวลา 03.00 น. พบว่าคราบน้ำมันจำลองเคลื่อนที่ตรงกับตำแหน่งคราบน้ำมันจริงพอดีที่เวลา 04.00 น. มีความยาวประมาณ 270 เมตรเท่านั้น ลักษณะการเคลื่อนที่ยังไม่แผ่ขยายออก ทำให้สรุปได้ว่าการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันมีเวลาคลาดเคลื่อนเร็วกว่าเวลาจริงประมาณ 6 ชั่วโมง ดังรูปที่ 5-7

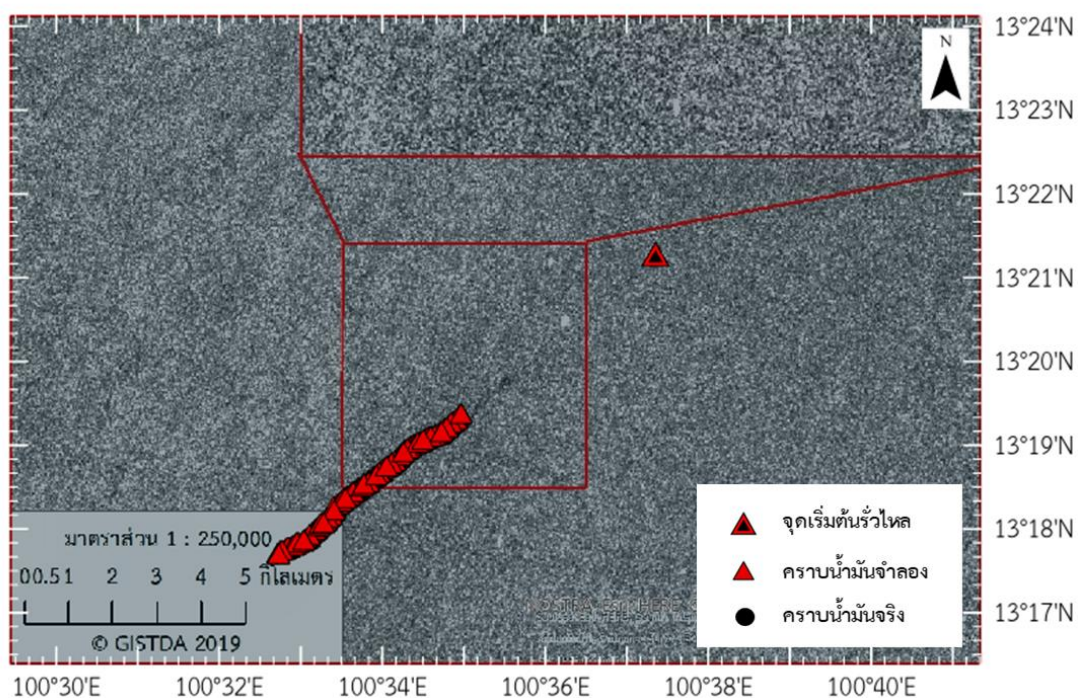


รูปที่ 5-7 การเปรียบเทียบคราบน้ำมันจำลองที่ใกล้เคียงกับคราบน้ำมันจริง

ดังนั้นจากการเปรียบเทียบเวลาเริ่มต้นการรั่วไหลของน้ำมัน และหาตำแหน่งของคราบน้ำมันจำลองที่เคลื่อนที่เข้าใกล้คราบน้ำมันจริงในเวลาตามแผนที่ภาพถ่ายดาวเทียม พบว่าเวลาเริ่มต้นที่ทำให้คราบน้ำมันจำลองที่สอดคล้องกับตำแหน่งคราบน้ำมันจริง คือการตั้งค่าให้เวลาน้ำมันเริ่มรั่วไหลสู่ทะเล ตรงกับวันที่ 3 ธันวาคม พ.ศ.2562 เวลา 00.00 น. ผลการจำลองคือคราบน้ำมันเคลื่อนที่เข้าให้คราบน้ำมันจริงตามแผนที่ดาวเทียมวันที่ 3 ธันวาคม พ.ศ.2562 เวลา 10.41 น. มากที่สุดในเวลา 07.00 น. โดยมีความคลาดเคลื่อนของเวลาเร็วกว่าเวลาจริงประมาณ 3 ชั่วโมง ซึ่งจำนวนเวลาที่

คลาดเคลื่อนที่เร็วกว่าเวลาจริงนั้นเป็นผลดีต่อการนำไปประยุกต์ใช้ในเรื่องของการเตือนภัยเมื่อเกิดเหตุการณ์น้ำมันรั่วไหลในทะเล

การสอบทานแบบจำลอง GNOME (validation) โดยเปรียบเทียบกับแผนที่ดาวเทียมที่แสดงตำแหน่งคราบน้ำมันในวันที่ 4 ธันวาคม พ.ศ.2562 เวลา 18.00 น. ซึ่งใช้ข้อมูลนำเข้าแบบจำลองเป็นค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายของน้ำมันเท่ากับ $10 \text{ cm}^2/\text{s}$ ในตำแหน่งเรือล่มจากสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) (GISTDA) เป็นจุดเริ่มต้นการรั่วไหลที่ตำแหน่งละติจูด 13.3550° เหนือ และลองจิจูด 100.6225° ตะวันออก และกำหนดเวลาที่น้ำมันเริ่มรั่วไหลเป็นวันที่ 3 ธันวาคม พ.ศ.2562 เวลา 00.00 น. พบว่าคราบน้ำมันจำลองเคลื่อนที่เข้าใกล้ในคราบน้ำมันจริงมากที่สุดตรงกับวันที่ 4 ธันวาคม พ.ศ. 2562 เวลา 01.00 น. ซึ่งเป็นเวลาที่คลาดเคลื่อนเร็วกว่าเวลาจริง 17 ชั่วโมง คราบน้ำมันจำลองมีความยาวประมาณ 5 กิโลเมตร ซึ่งยาวกว่าคราบน้ำมันจริง ดังรูปที่ 5-8 เนื่องจากในสภาพท้องทะเลปกติ คราบน้ำมันอาจมีการเปลี่ยนแปลงสถานะ (เฟส) หรือถูกเก็บกักไปพร้อมกับการกักซากเรือได้ จากผลลัพธ์ของแบบจำลองทำให้สามารถศึกษาลักษณะการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมัน และทำการประมาณช่วงเวลาที่น้ำมันใช้ในการเคลื่อนที่เข้าสู่ชายฝั่งทะเล



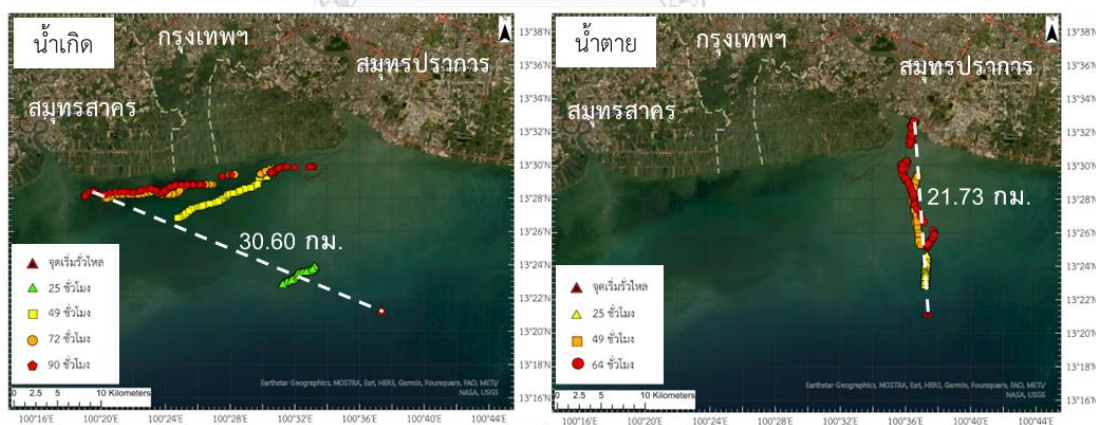
รูปที่ 5-8 ตำแหน่งคราบน้ำมันที่รั่วไหลในทะเลอ่าวไทยตอนบน
ในวันที่ 4 ธันวาคม พ.ศ.2562 เวลา 01.00 น. (เวลาจริง 18.00 น.)

5.3 การคาดการณ์การรั่วไหลของน้ำมันบริเวณอ่าวไทยตอนบน

การจำลองการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันในทะเล บริเวณอ่าวไทยตอนบน โดยคำนึงถึงความเร็วและทิศทางลม และคลื่นที่เป็นปัจจัยหลักในการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันที่อยู่บนผิวน้ำทะเล ในตำแหน่งของอ่าวไทยตอนบน บริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยา เป็นบริเวณความเสี่ยงสูงลำดับ 2 ต่อมลพิษจากน้ำมันที่รั่วไหลในทะเลของประเทศไทย ในการศึกษาี้เลือกใช้ข้อมูลกระแสน้ำเนื่องจากน้ำขึ้นน้ำลงรายชั่วโมงในช่วงน้ำเกิด (spring tide) และน้ำตาย (neap tide) ในแต่ละเดือน จากการจำลองกระแสน้ำด้วยแบบจำลอง Delft3D และใช้ความเร็วและทิศทางลมจากข้อมูลลมจากแบบจำลอง ERA5 รายชั่วโมง แบ่งพิจารณาเป็น 2 กรณี คือ การเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันรายเดือนในช่วงน้ำเกิด และการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันรายเดือนในช่วงน้ำตาย

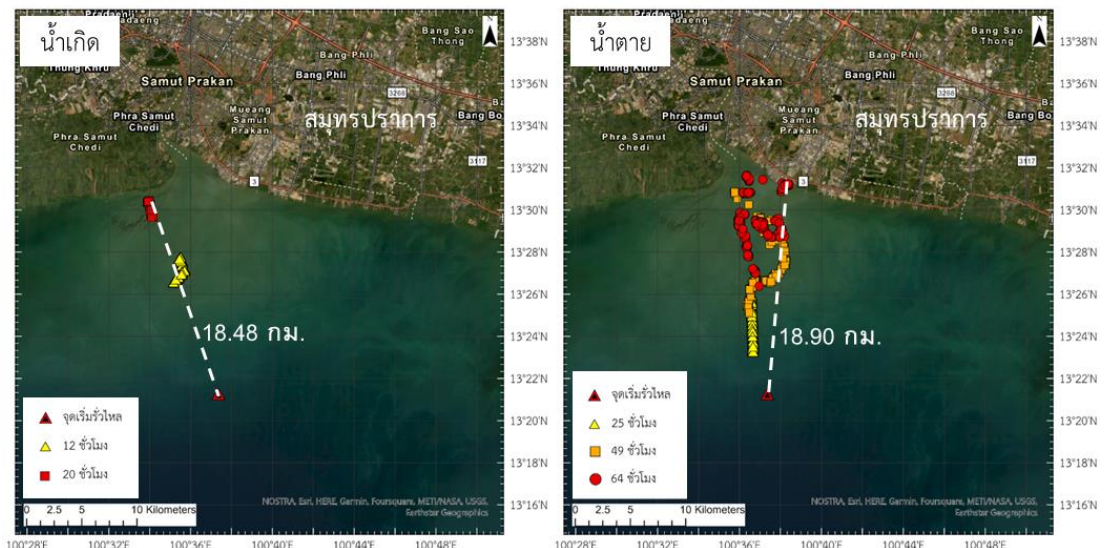
การจำลองการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันที่รั่วไหลในทะเลอ่าวไทยตอนบน บริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยา พบว่าทิศทางเคลื่อนที่ของคราบน้ำมัน มีความสอดคล้องกับข้อมูลลมมรสุมลมที่พัดผ่านในทะเลอ่าวไทย ได้แก่ ลมจากทิศตะวันออกเฉียงเหนือ (NE), ลมทิศใต้ (S) และลมทิศตะวันตกเฉียงใต้ (SW) ดังแสดงข้อมูลลมของสถานีสันดอนเจ้าพระยาในภาคผนวก ข ทำให้สามารถทำแบบจำลองการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันที่มีการรั่วไหลจากบริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยา เคลื่อนที่เข้ากระทบชายฝั่งด้วยระยะเวลาที่สั้นที่สุด และใช้เวลานานที่สุดประมาณเท่าใด โดยใช้ความสอดคล้องของช่วงน้ำเกิดสูงสุด และช่วงน้ำตายต่ำสุด อธิบายถึงช่วงเวลาที่คราบน้ำมันใช้ในการเคลื่อนที่และทำนายตำแหน่งที่คราบน้ำมันจะกระทบชายฝั่ง เนื่องด้วยในช่วงน้ำเกิดมีระยะห่างระหว่างระดับน้ำขึ้นสูงสุด และระดับน้ำลงต่ำสุด มีค่ามากที่สุด ส่งผลให้มีกระแสน้ำแรง การเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันที่ผิวน้ำทะเลเคลื่อนที่ได้เร็ว ในขณะที่ในช่วงน้ำตาย มีระยะห่างระหว่างระดับน้ำขึ้นสูงสุด และระดับน้ำลงต่ำสุด มีค่าน้อยที่สุด ส่งผลให้กระแสน้ำอ่อน การเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันที่ผิวน้ำทะเลเคลื่อนที่ได้ช้า แสดงผลของแบบจำลองรายเดือน ในช่วงเดือนที่มีการพัดพาคราบน้ำมันเข้าสู่ชายฝั่งด้วยอิทธิพลของลมทิศใต้ (S) และลมทิศตะวันตกเฉียงใต้ (SW) ระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ – เดือนกันยายน ดังนี้

เดือนกุมภาพันธ์ ได้รับอิทธิพลของลมที่มาจากทิศใต้ ในช่วงน้ำเกิดจำลองการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันในช่วงวันที่ 4 - 7 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2546 ใช้เวลาประมาณ 3 วัน 18 ชั่วโมง (90 ชั่วโมง) คราบน้ำมันเคลื่อนที่กระทบชายฝั่งที่ อ.พระสมุทรเจดีย์ จ.สมุทรปราการ บริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยาแผ่กว้างเป็นทางยาวถึง อ.เมืองสมุทรสาคร จ.สมุทรสาคร บริเวณปากแม่น้ำท่าจีน ระยะทางจากจุดเริ่มรั่วไหลถึงจุดแรกที่น้ำมันกระทบชายฝั่งประมาณ 30.60 กิโลเมตร ส่วนในช่วงน้ำตายคราบน้ำมันเคลื่อนที่เข้ามายังบริเวณร่องปากแม่น้ำเจ้าพระยา บริเวณ อ.เมืองสมุทรปราการ จ.สมุทรปราการ จำลองการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันในวันที่ 2 - 4 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2544 ใช้เวลาประมาณ 2 วัน 16 ชั่วโมง (64 ชั่วโมง) ระยะทางจากจุดเริ่มรั่วไหลถึงจุดแรกที่น้ำมันกระทบชายฝั่งประมาณ 21.73 กิโลเมตร ซึ่งผิดไปจากคาดการณ์ว่าในช่วงน้ำเกิดคราบน้ำมันจะเคลื่อนที่ได้เร็วกว่าช่วงน้ำตาย แต่ผลการศึกษาการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันในเดือนกุมภาพันธ์ คราบน้ำมันเคลื่อนที่ในช่วงน้ำตายใช้นเวลาน้อยกว่าเนื่องจากตำแหน่งที่น้ำมันพัดเข้ากระทบชายฝั่งในช่วงน้ำตายมีระยะห่างไกลกว่า อีกทั้งการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันในช่วงน้ำเกิดเคลื่อนไปยังทิศตะวันตกเฉียงเหนือ และเมื่อคราบน้ำมันเคลื่อนที่เข้าใกล้ชายฝั่งมากขึ้น มีลักษณะการเคลื่อนที่ขนานไปตามแนวชายฝั่งทะเล จากปากแม่น้ำเจ้าพระยาไปยังปากแม่น้ำท่าจีน ทำให้ใช้เวลาในการเคลื่อนที่กระทบชายฝั่งช่วงน้ำเกิดมากกว่า ดังรูปที่ 5-9



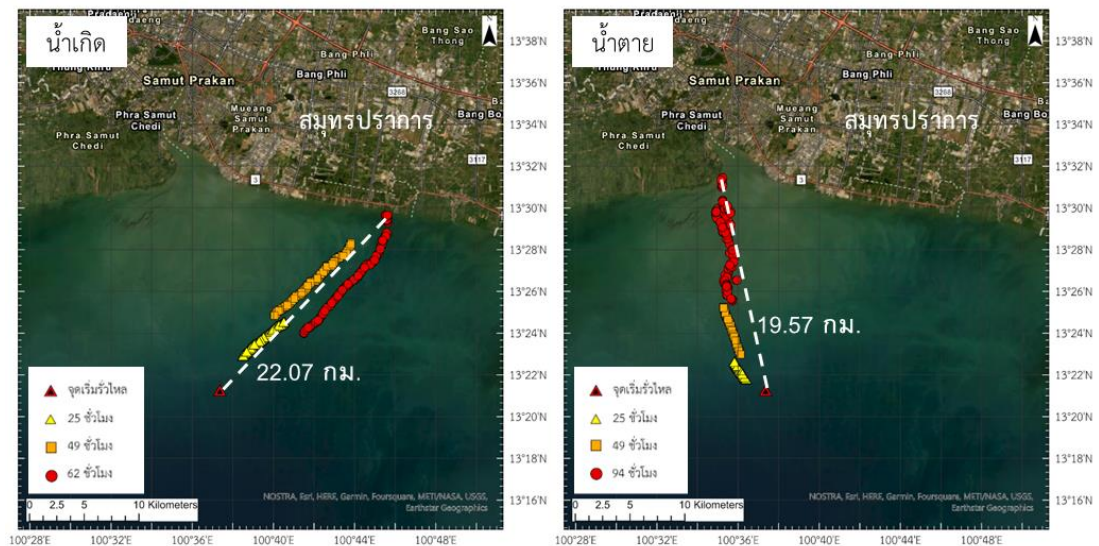
รูปที่ 5-9 การเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันเข้ากระทบชายฝั่งทะเล
ช่วงน้ำเกิดและน้ำตาย ในเดือนกุมภาพันธ์

เดือนมีนาคม ได้รับอิทธิพลของลมที่มาจากทิศใต้ ในช่วงน้ำเกิดจำลองการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันในวันที่ 6 มีนาคม พ.ศ.2543 ใช้เวลาประมาณ 20 ชั่วโมง คราบน้ำมันถึงเคลื่อนที่กระทบชายฝั่งที่ อ.พระสมุทรเจดีย์ จ.สมุทรปราการ บริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยา มีระยะทางห่างจากจุดเริ่มรั้วไหลประมาณ 18.48 กิโลเมตร ส่วนในช่วงน้ำตายคราบน้ำมันเคลื่อนที่เข้ามายังบริเวณร่องปากแม่น้ำเจ้าพระยา คราบน้ำมันกระทบชายฝั่งที่ อ.เมืองสมุทรปราการ จ.สมุทรปราการ จำลองการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันในวันที่ 10 – 12 มีนาคม พ.ศ.2549 ใช้เวลาประมาณ 2 วัน 12 ชั่วโมง (60 ชั่วโมง) ระยะทางจากจุดเริ่มรั้วไหลถึงจุดแรกที่น้ำมันกระทบชายฝั่งประมาณ 18.90 กิโลเมตร ลักษณะการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันในช่วงนี้ตายเริ่มมีการกระจัดกระจายตั้งแต่ชั่วโมงที่ 49 ซึ่งเป็นเพราะได้รับอิทธิพลจากกระแสน้ำที่ไหลออกมาจากแม่น้ำเจ้าพระยา ดังรูปที่ 5-10



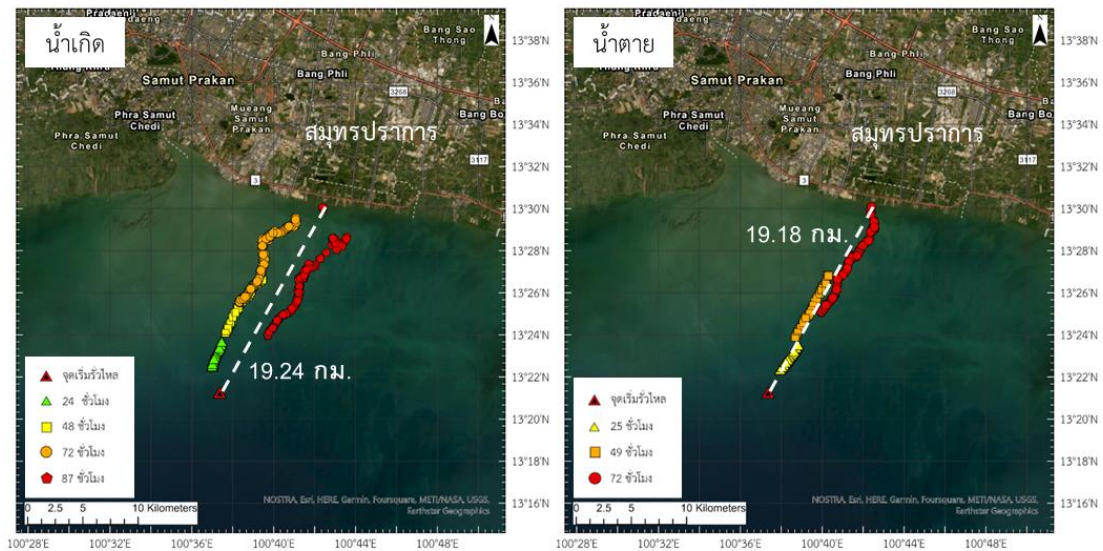
รูปที่ 5-10 การเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันเข้ากระทบชายฝั่งทะเล
ช่วงน้ำเกิดและน้ำตาย ในเดือนมีนาคม

เดือนเมษายน ยังได้รับอิทธิพลของลมที่มาจากทิศใต้ ในช่วงน้ำเกิดจำลองการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันในช่วงวันที่ 28 - 30 เมษายน พ.ศ.2552 ใช้เวลาประมาณ 2 วัน 14 ชั่วโมง (62 ชั่วโมง) คราบน้ำมันเคลื่อนที่กระทบชายฝั่งที่ อ.เมืองสมุทรปราการ ค่อนไปทาง อ.บางบ่อ จ.สมุทรปราการ ระยะทางจากจุดเริ่มรั่วไหลถึงจุดแรกที่น้ำมันกระทบชายฝั่งประมาณ 22.07 กิโลเมตร ส่วนในช่วงน้ำตายคราบน้ำมันเคลื่อนที่เข้ามายังบริเวณร่องปากแม่น้ำเจ้าพระยาบริเวณ อ.พระสมุทรเจดีย์ จ.สมุทรปราการ จำลองการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันในวันที่ 29 เมษายน - 2 พฤษภาคม พ.ศ.2554 ใช้เวลาทั้งหมด 3 วัน 22 ชั่วโมง (94 ชั่วโมง) มีระยะทางจากจุดเริ่มรั่วไหลถึงจุดแรกที่น้ำมันกระทบชายฝั่งประมาณ 19.57 กิโลเมตร ซึ่งการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันทั้งช่วงน้ำเกิดและน้ำตายเป็นเส้นตรงยาวจนกระทบชายฝั่งทะเล ดังรูปที่ 5-11



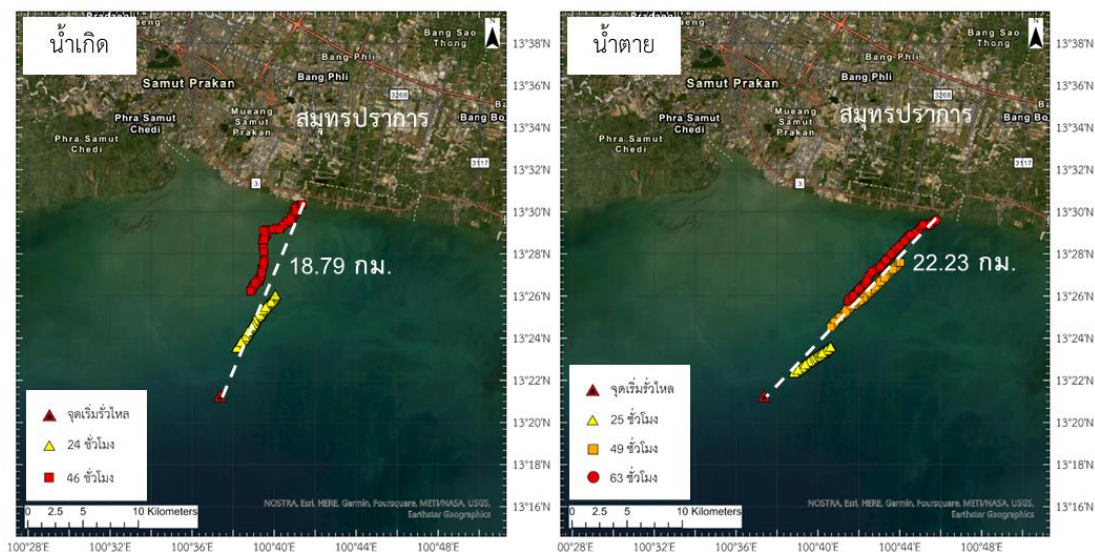
รูปที่ 5-11 การเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันเข้ากระทบชายฝั่งทะเล
ช่วงน้ำเกิดและน้ำตาย ในเดือนเมษายน

เดือนพฤษภาคม ได้รับอิทธิพลของลมที่มาจากทิศตะวันตกเฉียงใต้ ในช่วงน้ำเกิดจำลองการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันในช่วงวันที่ 23 – 26 พฤษภาคม พ.ศ.2552 ใช้เวลาประมาณ 3 วัน 15 ชั่วโมง (87 ชั่วโมง) คราบน้ำมันเคลื่อนที่กระทบชายฝั่งที่ อ.เมืองสมุทรปราการ จ.สมุทรปราการ ระยะทางจากจุดเริ่มรั่วไหลถึงจุดแรกที่น้ำมันกระทบชายฝั่งประมาณ 19.24 กิโลเมตร ส่วนในช่วงน้ำตายคราบน้ำมันเคลื่อนที่กระทบชายฝั่งที่ อ.เมืองสมุทรปราการ จ.สมุทรปราการ เช่นเดียวกัน จำลองการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันในวันที่ 24 - 27 พฤษภาคม พ.ศ.2553 ใช้เวลาประมาณ 3 วัน (72 ชั่วโมง) มีระยะทางจากจุดเริ่มรั่วไหลถึงจุดแรกที่น้ำมันกระทบชายฝั่งประมาณ 19.18 กิโลเมตร ด้วยความแตกต่างกันของเวลาที่ใช้ในช่วงน้ำเกิดมากกว่าน้ำตาย เป็นเพราะระยะทางที่คราบน้ำมันกระทบชายฝั่งมีมากกว่า และลักษณะของการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันในช่วง 1 – 2 วันแรกเคลื่อนที่เข้าใกล้ปากแม่น้ำเจ้าพระยามากกว่า ทำให้คราบน้ำมันเริ่มกระจายตัวเร็วขึ้นแล้วใช้เวลามากขึ้นก่อนจะเคลื่อนที่เข้ากระทบชายฝั่ง ดังรูปที่ 5-12



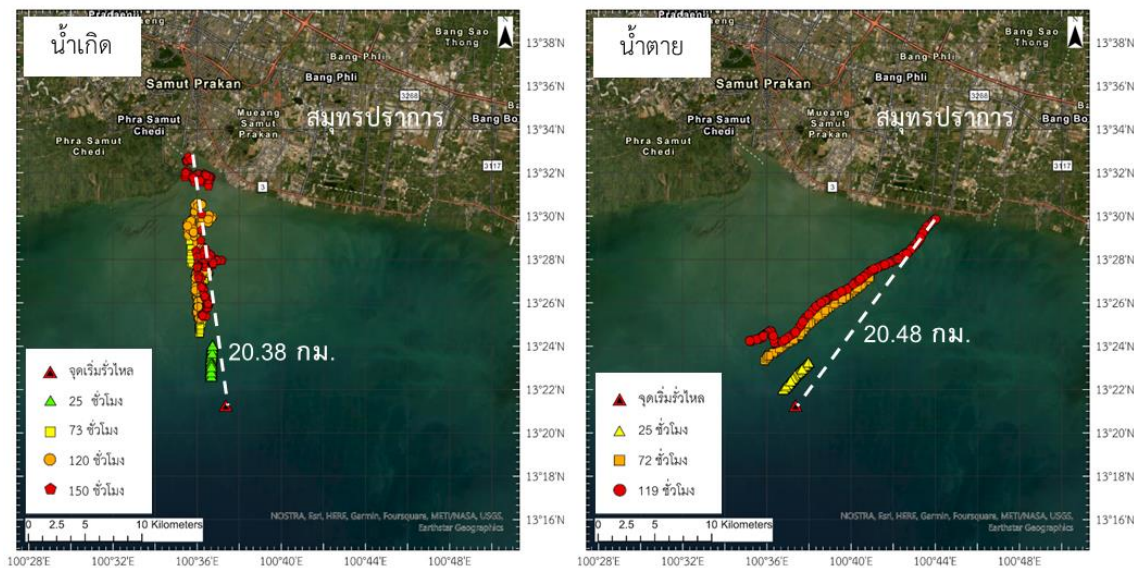
รูปที่ 5-12 การเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันเข้ากระทบชายฝั่งทะเล ช่วงน้ำเกิดและน้ำตาย ในเดือนพฤษภาคม

เดือนมิถุนายน ได้รับอิทธิพลของลมที่มาจากทิศตะวันตกเฉียงใต้ ในช่วงน้ำเกิดจำลองการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันในช่วงวันที่ 10 – 11 มิถุนายน พ.ศ.2548 ใช้เวลาประมาณ 1 วัน 22 ชั่วโมง (46 ชั่วโมง) คราบน้ำมันเคลื่อนที่กระทบชายฝั่งที่ อ.เมืองสมุทรปราการ จ.สมุทรปราการ ระยะทางจากจุดเริ่มรั่วไหลถึงจุดแรกที่น้ำมันกระทบชายฝั่งประมาณ 18.79 กิโลเมตร ส่วนในช่วงน้ำตายคราบน้ำมันเคลื่อนที่กระทบชายฝั่งที่ อ.เมืองสมุทรปราการ ค่อนไปทาง อ.บางบ่อ จ.สมุทรปราการ จำลองการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันในวันที่ 3 – 5 มิถุนายน พ.ศ.2552 ใช้เวลาประมาณ 2 วัน 15 ชั่วโมง (63 ชั่วโมง) มีระยะทางจากจุดเริ่มรั่วไหลถึงจุดแรกที่น้ำมันกระทบชายฝั่งประมาณ 22.23 กิโลเมตร การเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันในช่วงน้ำตายมีลักษณะการเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงจนกระทบชายฝั่งทะเล แต่ช่วงน้ำเกิดนั้นเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงไปตามกระแสน้ำและลม แล้วจึงเคลื่อนตัวทั้งแนวเส้นตรง ก่อนจะเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันที่บิดเบี้ยวไปตามคลื่นลม ในช่วงชั่วโมงที่ 24 – 46 ก่อนเข้ากระทบชายฝั่งทะเล ดังรูปที่ 5-13



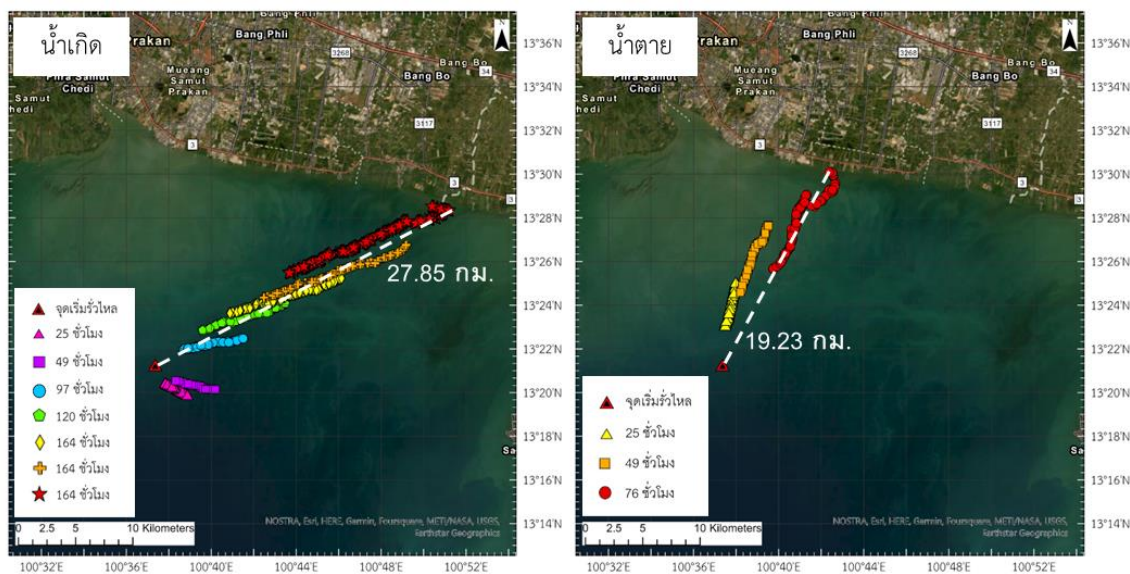
รูปที่ 5-13 การเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันเข้ากระทบชายฝั่งทะเล
ช่วงน้ำเกิดและน้ำตาย ในเดือนมิถุนายน

เดือนกรกฎาคม ได้รับอิทธิพลของลมที่มาจากทิศตะวันตกเฉียงใต้ ในช่วงน้ำเกิดจำลองการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันในช่วงวันที่ 2 – 8 กรกฎาคม พ.ศ.2545 ใช้เวลาประมาณ 6 วัน 6 ชั่วโมง (150 ชั่วโมง) คราบน้ำมันเคลื่อนที่กระทบชายฝั่งที่ อ.เมืองสมุทรปราการ จ.สมุทรปราการ บริเวณร่องปากแม่น้ำเจ้าพระยา ระยะทางจากจุดเริ่มรั่วไหลถึงจุดแรกที่น้ำมันกระทบชายฝั่งประมาณ 20.38 กิโลเมตร ส่วนในช่วงน้ำตายคราบน้ำมันเคลื่อนที่กระทบชายฝั่งที่ อ.เมืองสมุทรปราการ ค่อนไปทาง อ.บางบ่อ จ.สมุทรปราการ จำลองการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันในวันที่ 1 - 5 มิถุนายน พ.ศ.2552 ใช้เวลาประมาณ 4 วัน 23 ชั่วโมง (119 ชั่วโมง) มีระยะทางจากจุดเริ่มรั่วไหลถึงจุดแรกที่น้ำมันกระทบชายฝั่งประมาณ 20.48 กิโลเมตร พบว่าในช่วงน้ำตายใช้เวลาในการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันมากกว่าช่วงน้ำตายมาก ซึ่งเป็นเพราะตำแหน่งที่คราบน้ำมันกระทบชายฝั่งเป็นบริเวณร่องปากแม่น้ำ ซึ่งอาจได้รับอิทธิพลจากแม่น้ำเจ้าพระยาทำให้คราบน้ำมันใช้เวลาในการเคลื่อนที่เข้าไปยังร่องปากแม่น้ำสังเกตได้จากลักษณะของคราบน้ำมันในช่วงชั่วโมงที่ 120 – 150 คราบน้ำมันจะแตกออกไม่เป็นเส้นและกระจัดกระจายเข้าไปยังร่องปากแม่น้ำเจ้าพระยา ในขณะที่คราบน้ำมันในช่วงนี้ตายมีลักษณะการเคลื่อนที่ยืดยาวออกเป็นเส้นตรงตลอดแนวจนกระทบชายฝั่ง และใช้เวลามากกว่าคราบน้ำมันส่วนใหญ่จะกระทบแนวชายฝั่ง ดังรูปที่ 5-14



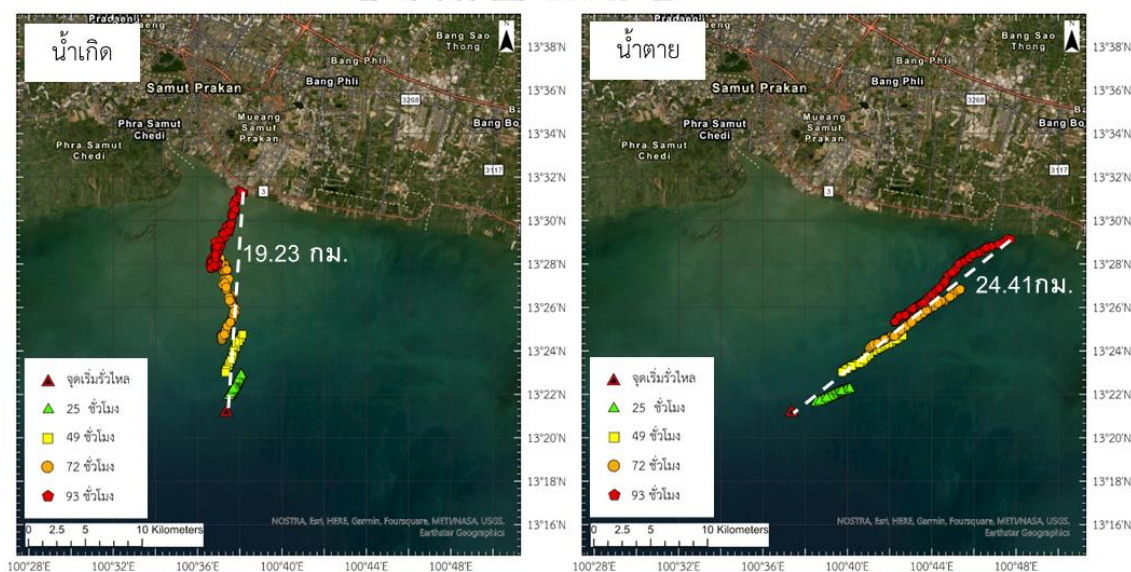
รูปที่ 5-14 การเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันเข้ากระทบชายฝั่งทะเล
ช่วงน้ำเกิดและน้ำตาย ในเดือนกรกฎาคม

เดือนสิงหาคม ได้รับอิทธิพลของลมที่มาจากทิศตะวันตกเฉียงใต้ ในช่วงน้ำเกิดจำลองการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันในช่วงวันที่ 5 – 11 สิงหาคม พ.ศ.2544 ใช้เวลาประมาณ 6 วัน 19 ชั่วโมง (163 ชั่วโมง) คราบน้ำมันเคลื่อนที่กระทบชายฝั่งที่ อ.บางบ่อ จ.สมุทรปราการ ระยะทางจากจุดเริ่มรั่วไหลถึงจุดแรกที่น้ำมันกระทบชายฝั่งประมาณ 27.85 กิโลเมตร ส่วนในช่วงน้ำตายคราบน้ำมันเคลื่อนที่กระทบชายฝั่งที่ อ.เมืองสมุทรปราการ จ.สมุทรปราการ จำลองการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันในวันที่ 3 – 6 สิงหาคม พ.ศ.2545 ใช้เวลาประมาณ 3 วัน 4 ชั่วโมง (76 ชั่วโมง) มีระยะทางจากจุดเริ่มรั่วไหลถึงจุดแรกที่น้ำมันกระทบชายฝั่งประมาณ 19.23 กิโลเมตร เนื่องจากลมที่มาจากทิศตะวันตกเฉียงใต้เริ่มอ่อนกำลัง และมีอิทธิพลของลมจากทิศตะวันออกเฉียงเหนือมากขึ้น ทำให้คราบน้ำมันในช่วงน้ำเกิดใช้เวลาในการเคลื่อนที่เข้ากระทบชายฝั่งทะเลนานกว่าช่วงน้ำตาย ในช่วงชั่วโมงแรกหลังเกิดการรั่วไหลถึงชั่วโมงที่ 49 ลักษณะการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันเคลื่อนตัวลงมาทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ก่อนมาทางใต้ก่อน หลังจากนั้นจึงเคลื่อนตัวขึ้นไปยังทิศตะวันออกเฉียงเหนือจนกระทบชายฝั่ง ในขณะที่การเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันในช่วงน้ำตายนั้นเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง และเริ่มมีการบิดเบี้ยว แยกตัวออกไปตามคลื่นลมในทะเลเมื่อเข้าใกล้ชายฝั่งมากขึ้นก่อนกระทบชายฝั่ง ดังรูปที่ 5-15



รูปที่ 5-15 การเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันเข้ากระทบชายฝั่งทะเล
ช่วงน้ำเกิดและน้ำตาย ในเดือนสิงหาคม

เดือนกันยายน ได้รับอิทธิพลของลมที่มาจากทิศตะวันตกเฉียงใต้ ในช่วงน้ำเกิดจำลองการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันในช่วงวันที่ 3 – 6 กันยายน พ.ศ.2563 ใช้เวลาประมาณ 3 วัน 21 ชั่วโมง (93 ชั่วโมง) คราบน้ำมันเคลื่อนที่กระทบชายฝั่งที่ อ.เมืองสมุทรปราการ จ.สมุทรปราการ ค่อนไปทางปากแม่น้ำเจ้าพระยา ระยะทางจากจุดเริ่มรั่วไหลถึงจุดแรกที่น้ำมันกระทบชายฝั่งประมาณ 19.23 กิโลเมตร ส่วนในช่วงน้ำตายคราบน้ำมันเคลื่อนที่กระทบชายฝั่งที่ อ.บางบ่อ จ.สมุทรปราการ จำลองการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันในวันที่ 1 – 4 กันยายน พ.ศ.2545 ใช้เวลาประมาณ 3 วัน 21 ชั่วโมง (93 ชั่วโมง) เท่ากัน แต่มีระยะทางจากจุดเริ่มรั่วไหลถึงจุดแรกที่น้ำมันกระทบชายฝั่งประมาณ 24.41 กิโลเมตร เมื่อสังเกตถึงเวลาและระยะทางของคราบน้ำมันที่เคลื่อนที่ไปกระทบชายฝั่งจะพบว่าไม่มีความแตกต่างกันมากนัก ซึ่งตำแหน่งที่คราบน้ำมันกระทบชายฝั่งในช่วงน้ำตายนั้นเป็นพื้นที่ใกล้เคียงกับปากแม่น้ำเจ้าพระยาทำให้ได้รับอิทธิพลกระแสน้ำจากแม่น้ำเจ้าพระยาได้ การเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันจึงใช้เวลามากเทียบเท่ากับการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันในช่วงน้ำตาย ดังรูปที่ 5-16



รูปที่ 5-16 การเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันเข้ากระทบชายฝั่งทะเล
ช่วงน้ำเกิดและน้ำตาย ในเดือนกันยายน

ผลจากการจำลองการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันในช่วงน้ำเกิดสูงสุด และช่วงน้ำตายต่ำสุด ในช่วงปี พ.ศ.2534 - 2563 พบว่าเมื่อพิจารณาแบบจำลองจากอิทธิพลของลมที่มาจากทิศใต้ (S) ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ - เดือนเมษายน พบว่าในช่วงน้ำเกิดใช้เวลาน้อยที่สุด 20 ชั่วโมง (น้อยกว่า 1 วัน) และในช่วงน้ำตายใช้เวลามากที่สุด 94 ชั่วโมง (3 วัน 22 ชั่วโมง) ลักษณะการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันในช่วงน้ำเกิดเป็นเส้นตรงยาวมีความยาวของคราบน้ำมันประมาณ 3 กิโลเมตร และเริ่มมีการกระจายตัวเมื่อเข้าใกล้ชายฝั่งหรือเข้าใกล้ปากแม่น้ำมากขึ้น มีบริเวณที่คราบน้ำมันเคลื่อนที่เข้ากระทบ

ชายฝั่งที่บริเวณ อ.เมืองสมุทรสาคร จ.สมุทรสาคร และทิศทางการเคลื่อนที่เริ่มเบนไปกระทบชายฝั่ง บริเวณ ปากแม่น้ำเจ้าพระยา ขอบเขตชายฝั่งทะเล อ.พระสมุทรเจดีย์ จ.สมุทรปราการ เข้าไปยังร่อง ปากแม่น้ำเจ้าพระยา ตลอดแนวชายฝั่ง อ.เมืองสมุทรปราการ จนถึง อ.บางบ่อ จ.สมุทรปราการ ในขณะที่ช่วงน้ำตายลักษณะของคราบน้ำมันทอดตัวเป็นสายยาว เคลื่อนตัวเข้าสู่ชายฝั่งทะเลจนคราบน้ำมันกระทบชายฝั่ง โดยส่วนใหญ่จะมีความยาวของคราบน้ำมันเพิ่มมากขึ้นตามเวลา พบว่าความยาวของคราบน้ำมันมีระยะทางยาวที่สุดประมาณ 20 กิโลเมตร ขณะที่เริ่มกระทบกับชายฝั่งทะเล (เดือนกรกฎาคม) โดยจะคราบน้ำมันเคลื่อนที่เข้าสู่ชายฝั่งอย่างช้า ๆ และใช้เวลานาน

แบบจำลองการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันเนื่องด้วยอิทธิพลของลมที่มาจากทิศตะวันตกเฉียงใต้ (SW) พบว่าในช่วงน้ำเกิดใช้เวลาน้อยที่สุด 46 ชั่วโมง (1 วัน 22 ชั่วโมง) และในช่วงน้ำตายใช้เวลานานที่สุด 119 ชั่วโมง (4 วัน 23 ชั่วโมง) ในการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันเข้ากระทบชายฝั่งในพื้นที่ ด้านขวาของปากแม่น้ำเจ้าพระยาบริเวณ อ.เมืองสมุทรปราการ ไปจนถึง อ.บางบ่อ จ.สมุทรปราการ ในช่วงน้ำเกิดลักษณะของคราบน้ำมันทอดตัวยาวเป็นเส้นตรง เคลื่อนที่ไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ แล้วจึงยืดยาวออกมากขึ้น และเริ่มบิดเบี้ยวไปตามกระแสน้ำและคลื่นลม เมื่อเข้าใกล้ชายฝั่งทะเลมากขึ้นจนกระทบชายฝั่งทะเล

ส่วนแบบจำลองการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันเนื่องด้วยอิทธิพลของลมที่มาจากทิศตะวันออกเฉียงเหนือ (NE) ในเดือนตุลาคม – มกราคม คราบน้ำมันมีการเคลื่อนตัวอยู่กับที่ในช่วงต้น และมีการเคลื่อนที่ไปทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ก่อนไปทางใต้ (SSW) ออกนอกชายฝั่งไปทางปากอ่าวไทยตอนบน ไม่ส่งผลกระทบต่อชายฝั่งทะเลของพื้นที่อ่าวไทยตอนบน และสามารถใช้เวลาในการเก็บกู้คราบน้ำมันกลางทะเลได้เป็นเวลานาน

การจำลองการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันในช่วงน้ำเกิดสูงสุด และช่วงน้ำตายต่ำสุด ในช่วงปี พ.ศ.2534 – 2563 สามารถคาดการณ์ตำแหน่งการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันจนกระทบชายฝั่งและรู้ถึงขอบเขตของเวลาในการเกิดเหตุน้ำมันรั่วไหลในทะเลอ่าวไทยตอนบน บริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยา โดยที่ในช่วงน้ำเกิดจะใช้เวลาการเคลื่อนที่น้อยกว่าหรือเท่ากับช่วงน้ำตาย แต่ในบางเดือนอิทธิพลลมและกระแสน้ำ ส่งผลให้คราบน้ำมันถูกพัดพาไปยังพื้นที่ใกล้เคียงที่มีระยะทางไกลกว่า หรือเข้าไปยังบริเวณร่องปากแม่น้ำ ทำให้คราบน้ำมันใช้เวลาในการเคลื่อนที่มากขึ้น

5.4 สรุปและวิเคราะห์ผลการศึกษาคาดการณ์การรั่วไหลของน้ำมันบริเวณอ่าวไทยตอนบน

การศึกษาคาดการณ์การรั่วไหลของน้ำมันบริเวณอ่าวไทยตอนบนด้วยการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เป็นการศึกษาเหตุการณ์วิกฤติภัยที่เคยเกิดขึ้นมาแล้วในอดีต อยู่ในระยะการป้องกันและลดผลกระทบ (mitigation & prevention phase) จากวงจรการจัดการภัยพิบัติ ซึ่งการเรียนรู้ การศึกษา และนำเหตุการณ์มาวิเคราะห์ มีประโยชน์ต่อการประเมินความเสี่ยง และการวางแผนเพื่อ

ตอบสนองต่อเหตุการณ์การรั่วไหลของน้ำมันในทะเลอ่าวไทย โดยเฉพาะบริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยา ซึ่งเป็นเขตความเสี่ยงต่อมลพิษน้ำมันลำดับที่ 2 รองจากชายฝั่งทะเลด้านตะวันออก จังหวัดระยอง จากการศึกษาการรั่วไหลของน้ำมันในทะเลอ่าวไทย บริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยา สรุปได้ว่า ช่วงเวลาที่คราบน้ำมันเคลื่อนที่กระทบชายฝั่งทะเลน้อยที่สุดใช้เวลาประมาณ 20 ชั่วโมง (น้อยกว่า 1 วัน) ซึ่งเป็นข้อบ่งชี้ว่าเมื่อเกิดเหตุการณ์ที่มีความเสี่ยงต่อการรั่วไหลของน้ำมันในทะเล ผู้ที่อยู่ในเหตุการณ์หรือผู้เกี่ยวข้องทุกหน่วยงาน ควรมีการแจ้งเหตุ และมีการประสานงานโดยทันที เพื่อความรวดเร็วในการเข้ามาเก็บกู้ และป้องกันผลกระทบที่เกิดจากน้ำมันที่รั่วไหลในทะเลได้

ตารางที่ 5-1 ทิศทางลม, เวลา และตำแหน่งที่คราบน้ำมันเคลื่อนที่เข้ากระทบชายฝั่งหลังจากรั่วไหล ในช่วงน้ำเกิดสูงสุด ในช่วงปี พ.ศ.2534 – 2563

เดือน	ทิศทางลม	น้ำเกิด (ชั่วโมง)	ระยะ (กิโลเมตร)	ตำแหน่งคราบน้ำมันกระทบชายฝั่ง
มกราคม	NE	-	-	-
กุมภาพันธ์	S	90*	30.60	อ.เมืองสมุทรสาคร จ.สมุทรสาคร
มีนาคม	S	20	18.48	ต.แหลมฟ้าผ่า อ.พระสมุทรเจดีย์ จ.สมุทรปราการ
เมษายน	S	62	22.07	อ.เมืองสมุทรปราการ จ.สมุทรปราการ
พฤษภาคม	SW	87*	19.24	อ.เมืองสมุทรปราการ จ.สมุทรปราการ
มิถุนายน	SW	46	18.79	อ.เมืองสมุทรปราการ จ.สมุทรปราการ
กรกฎาคม	SW	150*	20.38	ปากแม่น้ำเจ้าพระยา อ.เมืองสมุทรปราการ จ.สมุทรปราการ
สิงหาคม	SW	163*	27.85	อ.เมืองสมุทรปราการ และ อ.บางบ่อ จ.สมุทรปราการ
กันยายน	SW	93	19.23	อ.เมืองสมุทรปราการ จ.สมุทรปราการ
ตุลาคม	NE	-	-	-
พฤศจิกายน	NE	-	-	-
ธันวาคม	NE	-	-	-

* การเคลื่อนที่ใช้เวลามากขึ้นเนื่องจากอิทธิพลอื่นเกี่ยวข้อง

ตารางที่ 5-2 ทิศทางลม, เวลา และตำแหน่งที่คราบน้ำมันเคลื่อนที่เข้ากระทบชายฝั่งหลังจากรั่วไหล ในช่วงน้ำตายต่ำสุด ในช่วงปี พ.ศ.2534 – 2563

เดือน	ทิศทางลม	น้ำเกิด (ชั่วโมง)	ระยะ (กิโลเมตร)	ตำแหน่งคราบน้ำมันกระทบชายฝั่ง
มกราคม	NE	-	-	-
กุมภาพันธ์	S	64	21.73	ปากแม่น้ำเจ้าพระยา อ.เมืองสมุทรปราการ จ.สมุทรปราการ
มีนาคม	S	60	18.90	ปากแม่น้ำเจ้าพระยา อ.เมืองสมุทรปราการ จ.สมุทรปราการ
เมษายน	S	94	19.57	ปากแม่น้ำเจ้าพระยา อ.พระสมุทรเจดีย์ จ.สมุทรปราการ
พฤษภาคม	SW	72	19.18	อ.เมืองสมุทรปราการ จ.สมุทรปราการ
มิถุนายน	SW	87	22.23	อ.เมืองสมุทรปราการ จ.สมุทรปราการ
กรกฎาคม	SW	119	20.48	อ.เมืองสมุทรปราการ จ.สมุทรปราการ
สิงหาคม	SW	76	19.23	อ.เมืองสมุทรปราการ จ.สมุทรปราการ
กันยายน	SW	93	24.41	อ.บางบ่อ จ.สมุทรปราการ
ตุลาคม	NE	-	-	-
พฤศจิกายน	NE	-	-	-
ธันวาคม	NE	-	-	-

บทที่ 6

สรุปและข้อเสนอแนะ

การศึกษานี้ทำการศึกษาและประยุกต์ใช้แบบจำลองเพื่อคาดการณ์การเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันที่รั่วไหลในทะเลอ่าวไทยตอนบน บริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยา โดยประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ 2 ส่วน ได้แก่ การศึกษาลักษณะทางกายภาพในทะเล ด้วยแบบจำลองคลื่น (wave model) และแบบจำลองกระแสน้ำ (current model) และการใช้แบบจำลองการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันที่รั่วไหลในทะเล (oil spill model) ในการคาดการณ์และประมาณเวลาการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันที่รั่วไหลในทะเล โดยสรุปผลการศึกษาดังนี้

6.1 การศึกษาลักษณะทางกายภาพในทะเล

6.1.1 แบบจำลองคลื่น

แบบจำลอง SWAN นำเข้าข้อมูลสเปกตรัมคลื่น ซึ่งเป็นตัวแทนคลื่นจากทะเลจีนใต้ จากแบบจำลอง WAVEWATCH III และข้อมูลลมจากแบบจำลอง ERA5 ซึ่งมีทิศทางและความเร็วลมส่วนใหญ่สอดคล้องกับข้อมูลสถานีหัวหิน, สถานีเพชรบุรี และสถานีเกาะสีชัง จากทุนสมุทรศาสตร์ โดยสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) แต่ที่สถานีเพชรบุรี และสถานีเกาะสีชังมีความเร็วลมจากแบบจำลอง ERA5 สูงกว่าความเร็วลมที่ทุนสมุทรศาสตร์เล็กน้อย ทำให้ได้ผลลัพธ์จากแบบจำลองได้เป็นค่าความสูงคลื่นนัยสำคัญ แล้วจึงเปรียบเทียบค่าความสูงคลื่นนัยสำคัญกับข้อมูลตรวจวัดจากทุนสมุทรศาสตร์ โดยสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) ที่สถานีเกาะสีชัง ซึ่งเป็นสถานีตรวจวัดที่อยู่บริเวณอ่าวไทยตอนบน เพื่อทำการเปรียบเทียบและสอบทานแบบจำลอง สามารถคำนวณความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (MAE) ได้ประมาณ 0.1 เมตร และได้ทำการพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) อยู่ในช่วง 0.3 – 0.4 ซึ่งข้อมูลที่นำเข้าไปในการจำลองคลื่นด้วยแบบจำลอง SWAN ที่กล่าวมานั้นไม่ใช่ข้อมูลในการตรวจวัดจริง ทำให้ผลที่ได้ซึ่งแสดงเป็นค่าความสูงคลื่นนัยสำคัญมีความคลาดเคลื่อนไปด้วย

เมื่อพิจารณาขนาดและทิศทางของความสูงคลื่นนัยสำคัญรายชั่วโมง จากการจำลองคลื่นด้วยแบบจำลอง SWAN บริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยา ในตำแหน่งที่เกิดการรั่วไหลของน้ำมัน พบว่าทิศทางคลื่นส่วนใหญ่เคลื่อนที่มาจากทิศตะวันตกเฉียงใต้ค่อนไปทางใต้ (SSW) และทิศใต้ (S) ประมาณ 37% และ 31% ตามลำดับ สอดคล้องกับทิศทางของลม ซึ่งเป็นลมที่มาจากทิศตะวันตกเฉียงใต้ค่อนไปทางใต้ (SSW) และทิศใต้ (S) และความสูงคลื่นนัยสำคัญส่วนใหญ่สูงประมาณ 0 – 0.3 เมตร เป็นไปใน

ทิศทางเดียวกันกับฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือและฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ซึ่งพัดผ่านประเทศไทยเป็นปกติทุกปี หากแต่ในช่วงที่เกิดพายุหรือสภาพอากาศผิดปกติ อาจมีผลทำให้ค่าความสูงคลื่นนัยสำคัญที่สูงเกินไปจากสภาวะปกติ ซึ่งพบเห็นได้จากการเปรียบเทียบและสอบทานแบบจำลอง ดังนั้นการจำลองคลื่นเพื่อนำไปใช้ต่อควรต้องคำนึงถึงความคลาดเคลื่อนจากแบบจำลองคลื่น ในกรณีที่มีสภาพอากาศแปรปรวน เพราะคลื่นที่ได้จากแบบจำลองมีความคลาดเคลื่อนสูง

6.1.2 แบบจำลองกระแสน้ำ

แบบจำลอง Delft3D จำลองกระแสน้ำในทะเลจากการปรับค่าพารามิเตอร์ทางกายภาพที่มีผลกระแสน้ำบริเวณอ่าวไทยตอนบน ได้แก่ ค่าความหนืดปั่นป่วน (eddy viscosity) และค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ (roughness coefficient) อีกทั้งยังมีการสร้างกริด และนำเข้าข้อมูลขอบเขตเปิดโดยผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองกระแสน้ำเป็นทิศทาง, ความเร็วของกระแสน้ำ และระดับน้ำ ซึ่งข้อมูลทิศทางและความเร็วของกระแสน้ำจะถูกนำไปใช้เป็นข้อมูลนำเข้าในแบบจำลองการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันที่รั่วไหลในทะเล ส่วนข้อมูลระดับน้ำถูกนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลระดับน้ำทำนายจากกรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ ที่สถานีหัวหิน, สถานีสันดอนเจ้าพระยา, สถานีเกาะสีชัง และสถานีอ่าวสัตหีบ ในการเปรียบเทียบและสอบทานแบบจำลอง พบว่าการทดสอบความอ่อนไหวค่าความหนืดปั่นป่วนมีค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (MAE) ในช่วง 0.17 – 0.30 เมตร โดยในแต่ละสถานีมีค่าความหนืดปั่นป่วนไม่แตกต่างกัน แต่ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำเมื่อทำการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของ Manning's n พบว่า 0.014 s/m^{1/3} คือค่าสัมประสิทธิ์ที่มีความเหมาะสม เนื่องจากค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (MAE) ต่ำสุด และทำให้ความกว้างของระดับน้ำมีความใกล้เคียงกับข้อมูลระดับน้ำระดับน้ำทำนาย จากกรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ

ขอบเขตเปิดของแบบจำลองกระแสน้ำใช้การกำหนดเส้นขอบเขตจากอำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ถึงแหลมแสมสาร อำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี การศึกษานี้ทำการวิเคราะห์เงื่อนไขขอบเขตเปิด 2 แบบ คือ เงื่อนไขขอบเขตเปิดสำหรับจำลองกระแสน้ำเนื่องจากน้ำขึ้นน้ำลง (C_t) และเงื่อนไขขอบเขตเปิดสำหรับจำลองกระแสน้ำสุทธิ ($C_t + C_w$) เพื่อวิเคราะห์หาอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงและคลื่นลมที่มีผลต่อกระแสน้ำสุทธิบริเวณอ่าวไทยตอนบน

แบบจำลองกระแสน้ำเนื่องจากน้ำขึ้นน้ำลงทำการเปรียบเทียบระดับน้ำจำลองกับข้อมูลระดับน้ำทำนาย จากกรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ ที่สถานีหัวหิน, สถานีสันดอนเจ้าพระยา, สถานีเกาะสีชัง และสถานีอ่าวสัตหีบ ผลการศึกษาพบว่าแบบจำลอง Delft3D มีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้น โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (MAE) อยู่ประมาณ 0.19 – 0.32 เมตร ซึ่งความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นนี้

เป็นความคลาดเคลื่อนเนื่องจากข้อมูลนำเข้าไม่ใช่ข้อมูลจากการตรวจวัด อีกทั้งอาจเป็นการจำลองจากข้อมูลนำเข้าที่มาจากแบบจำลองคลื่นก่อนหน้า ทำให้เกิดเป็นความคลาดเคลื่อนสะสม

การวิเคราะห์อิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงและคลื่นลมที่ส่งผลต่อกระแสน้ำในอ่าวไทยตอนบน พบว่ากระแสน้ำสุทธินั้นได้รับอิทธิพลหลักจากน้ำขึ้นน้ำลง จึงเลือกใช้ชุดข้อมูลกระแสน้ำเนื่องจากอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงเพียงอย่างเดียวเท่านั้นในการทำแบบจำลอง GNOME

การศึกษาการจำลองคลื่นด้วยแบบจำลอง SWAN และการจำลองกระแสน้ำด้วยแบบจำลอง Delft3D มีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้น ซึ่งมีสาเหตุมาจากการใช้ข้อมูลนำเข้าที่เป็นข้อมูลจากแบบจำลอง ไม่ได้เป็นข้อมูลจากการตรวจวัดโดยตรง เป็นข้อมูลที่มีความคลาดเคลื่อนอยู่ก่อนแล้ว อีกทั้งสภาพความแปรปรวนทางธรรมชาติหรือปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ เช่น การเกิดพายุ การจำลองคลื่นและกระแสน้ำไม่สามารถจำลองได้ถูกต้อง ทำให้ผลลัพธ์มีความไม่แม่นยำ โดยในการศึกษานี้ประยุกต์ใช้แบบจำลองเพื่อเป็นแนวทางในการนำผลลัพธ์ไปใช้งานต่อในเรื่องของการคาดการณ์การเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันที่รั่วไหลในทะเล

6.2 แบบจำลองการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันที่รั่วไหลในทะเล

แบบจำลองการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันที่รั่วไหลในทะเลอ่าวไทยตอนบน ด้วยแบบจำลอง GNOME โดยใช้ข้อมูลลมรายชั่วโมงจากแบบจำลอง ERA5 และข้อมูลกระแสน้ำรายชั่วโมงเนื่องจากอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง ซึ่งเป็นผลลัพธ์จากแบบจำลอง Delft3D โดยศึกษาการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันจากการเปรียบเทียบตำแหน่งคราบน้ำมันจากแบบจำลอง กับคราบน้ำมันที่รั่วไหลจากเหตุการณ์เรือล่มเมื่อวันที่ 3 ธันวาคม พ.ศ.2562 เวลา 05.40 น. น้ำมันที่รั่วไหลเป็นประเภทน้ำมันเตา (fuel # 4) พบว่าลักษณะการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมัน แผ่ขยายเป็นวงกว้างและเคลื่อนที่กระจัดกระจายมากขึ้น เมื่อปรับเพิ่มค่าพารามิเตอร์สัมประสิทธิ์การแพร่กระจายของน้ำมัน (diffusion coefficient) ซึ่งจากเหตุการณ์นี้คราบน้ำมันมีลักษณะเส้นตรงยาวผาย เคลื่อนที่เป็นเส้นตรงไปทั้งแถบได้อิทธิพลของลมและกระแสน้ำ จากการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายของน้ำมันในอ่าวไทยตอนบน บริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยา ได้ค่าที่เหมาะสมคือ $10 \text{ cm}^2/\text{s}$ สำหรับประเภทน้ำมันเตา

การเปรียบเทียบและสอบทานแบบจำลอง GNOME ทำการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันที่รั่วไหลในทะเลจำเป็นต้องทราบถึงตำแหน่งที่แน่นอนและเวลาเริ่มต้นของน้ำมันที่รั่วไหลในทะเล แต่เนื่องจากข้อมูลการรั่วไหลของน้ำมันจากกรมเจ้าท่า และสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) ไม่สอดคล้องกัน จึงมีการวิเคราะห์หาตำแหน่งที่แน่นอนและเวลาเริ่มต้นของน้ำมันที่รั่วไหลในทะเล พบว่าตำแหน่งที่น้ำมันเริ่มรั่วไหลจากแหล่งอ้างอิงทั้ง 2 จุด แสดงลักษณะการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันที่ต่างกันเล็กน้อย โดยตำแหน่งอ้างอิงที่จุดเรือล่มจาก

กรมเจ้าท่าเป็นตำแหน่งที่น้ำมันเริ่มรั่วไหล ที่ให้ผลลัพธ์การเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันใกล้เคียงกับภาพถ่ายดาวเทียม เช่นเดียวกันกับการวิเคราะห์หาเวลาที่น้ำมันเริ่มรั่วไหลซึ่งได้ผลลัพธ์การเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันที่ใกล้เคียงที่สุด ในวันที่ 3 ธันวาคม พ.ศ.2562 เวลา 00.00 น. แต่เวลาที่คราบน้ำมันเคลื่อนที่ไปใกล้เคียงกับคราบน้ำมันจริงตามเวลาในแผนที่มีความคลาดเคลื่อนเร็วกว่าเวลาที่น้ำมันเคลื่อนที่จริงประมาณ 3 ชั่วโมง ทั้งนี้เมื่อทำการสอบทานการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันกับข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมวันที่ 4 ธันวาคม พ.ศ.2562 เวลา 18.00 น. พบว่าน้ำมันมีลักษณะการเคลื่อนที่เข้าใกล้คราบน้ำมันจริงโดยที่เวลาของการเคลื่อนที่ที่มีความคลาดเคลื่อนเร็วกว่าเวลาที่น้ำมันเคลื่อนที่จริงประมาณ 17 ชั่วโมง ซึ่งความคลาดเคลื่อนของเวลาที่น้ำมันเคลื่อนที่เร็วกว่าความเป็นจริงเป็นผลดีกว่าสำหรับการนำข้อมูลไปศึกษาสำหรับการเตือนภัยเหตุการณ์น้ำมันรั่วในทะเล

การศึกษาการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันที่รั่วไหลในทะเลอ่าวไทยตอนบน บริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยาสำหรับมาประยุกต์ใช้เพื่อแจ้งเตือนภัยเมื่อเกิดเหตุการณ์น้ำมันรั่วในบริเวณนี้ ผลลัพธ์จากแบบจำลอง GNOME มี 2 กรณี คือการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันที่รั่วไหลในทะเลรายเดือนช่วงน้ำเกิดและช่วงน้ำตาย พบว่ามีความสอดคล้องกันกับข้อมูลลมมรสุมลมที่พัดผ่านในทะเลอ่าวไทย ได้แก่ ลมจากทิศตะวันออกเฉียงเหนือ (NE), ลมทิศใต้ (S) และลมทิศตะวันตกเฉียงใต้ (SW) โดยแบบจำลองการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันเนื่องด้วยอิทธิพลของลมที่มาจากทิศตะวันออกเฉียงเหนือ (NE) ในเดือนตุลาคม - มกราคม พบว่าคราบน้ำมันมีการเคลื่อนที่ไปทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ค่อนข้างไปทางใต้ (SSW) ออกนอกชายฝั่งไปทางปากอ่าวไทยตอนบน แต่แบบจำลองการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันเนื่องด้วยอิทธิพลของลมที่มาจากทิศใต้ (S) ในเดือนกุมภาพันธ์ - เดือนเมษายน พบว่าคราบน้ำมันเคลื่อนที่เข้ากระทบชายฝั่งที่บริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยา และบริเวณชายฝั่งทะเล อ.พระสมุทรเจดีย์ จ.สมุทรปราการ (ด้านซ้ายของปากแม่น้ำเจ้าพระยา) และแบบจำลองการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันเนื่องด้วยอิทธิพลของลมที่มาจากทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ (SW) และลมจากทิศตะวันตกเฉียงใต้ค่อนข้างมาทางตะวันตก (WSW) ในเดือนพฤษภาคม - เดือนกันยายน พบว่าการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันเข้ากระทบชายฝั่งบริเวณชายฝั่งทะเล อ.เมืองสมุทรปราการ จ.สมุทรปราการ (ด้านขวาของปากแม่น้ำเจ้าพระยา) โดยที่ตำแหน่งกระทบชายฝั่งของอิทธิพลจากลมแต่ละทิศนั้นมีความใกล้เคียงกันทั้งในช่วงน้ำเกิดและน้ำตาย มีความแตกต่างกันในส่วนของพฤติกรรมเคลื่อนที่ของคราบน้ำมัน โดยในช่วงน้ำเกิด พบว่าคราบน้ำมันเคลื่อนที่ออกจากจุดรั่วไหลเป็นเส้นตรง และเคลื่อนที่ตามลมและกระแสน้ำไปทั้งแถบของคราบน้ำมันเข้าสู่ชายฝั่ง คราบน้ำมันที่กระทบชายฝั่งมีพื้นที่ความเสียหายไม่มาก แต่ในช่วงน้ำตาย กระแสน้ำอ่อนตัว ในช่วงแรกพบว่าคราบน้ำมันมีการเคลื่อนที่อยู่ที่บริเวณจุดรั่วไหลแล้วจึงเคลื่อนตัวเข้าสู่ชายฝั่งโดยที่อนุภาคน้ำมันทอดตัวเป็นสายยาวจนคราบน้ำมันกระทบชายฝั่ง พฤติกรรมของคราบน้ำมันจะเคลื่อนที่เข้าสู่ชายฝั่งอย่างช้า ๆ และใช้เวลานาน และอาจมีพื้นที่ได้รับ

ผลกระทบจากคราบน้ำมันเป็นวงกว้างมากกว่า ดังนั้นจากการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันที่รั่วไหลในทะเลรายเดือนของช่วงน้ำเกิด และน้ำตาย ทำให้สามารถประมาณขอบเขตของเวลาในการเกิดเหตุบริเวณอ่าวไทยตอนบนซึ่งอยู่ในช่วง 20 – 90 ชั่วโมง สำหรับอิทธิพลของลมที่มาจากทิศใต้ ในช่วงเดือนตุลาคม – มกราคม และประมาณเวลาการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันอยู่ในช่วง 45 – 120 ชั่วโมง สำหรับอิทธิพลของลมที่มาจากทิศตะวันตกเฉียงใต้ ในช่วงเดือนพฤษภาคม – เดือนกันยายน

การเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันนั้นมีการเปลี่ยนแปลงตามปัจจัยของชนิดน้ำมัน, คุณสมบัติการแพร่กระจายของน้ำมัน, ข้อมูลลม และข้อมูลกระแสน้ำในทะเล ยังรวมไปถึงกระแสน้ำเนื่องจากอิทธิพลจากแม่น้ำ (น้ำท่า) ซึ่งไม่ได้ถูกนำมาพิจารณาในการศึกษานี้ ในการศึกษานี้ประยุกต์ใช้เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาการติดตามและการคาดการณ์เวลาเพื่อตอบสนองต่อเหตุการณ์น้ำมันรั่วไหลในทะเลอ่าวไทยตอนบน หากแต่ข้อจำกัดด้านข้อมูลที่ยังมีไม่ครอบคลุมพื้นที่ หรือการใช้ข้อมูลจากแบบจำลอง ซึ่งทำให้ผลลัพธ์จากแบบจำลองเกิดความคลาดเคลื่อนได้เช่นกัน

โดยผลจากการศึกษานี้เป็นแนวทางในการช่วยจัดสรรการดำเนินการเพื่อออกไปเก็บกู้คราบน้ำมัน ก่อนที่คราบน้ำมันนั้นจะเคลื่อนที่เข้ากระทบชายฝั่ง สำหรับพื้นที่ที่ควรมีการเฝ้าระวังต่อเหตุการณ์คราบน้ำมันพัดเข้ากระทบชายฝั่งเนื่องจากการรั่วไหลของน้ำมันในทะเลอ่าวไทยตอนบน บริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยา ได้แก่ พื้นที่ชายฝั่งทะเล อ.เมืองสมุทรสาคร จ.สมุทรสาคร, อ.พระสมุทรเจดีย์, อ.เมืองสมุทรปราการ และ อ.บางบ่อ จ.สมุทรปราการ เนื่องจากพื้นที่ชายฝั่งของอ่าวไทยตอนบนนั้นเป็นพื้นที่อยู่อาศัยของประชาชน และมีแหล่งอนุบาลสัตว์น้ำหรือการเพาะพันธุ์สัตว์น้ำวัยอ่อน หากสามารถป้องกันหรือเก็บกู้คราบน้ำมันได้ทันท่วงทีก่อนที่คราบน้ำมันจะถูกพัดขึ้นชายฝั่งทะเล โดยข้อมูลการศึกษานี้มีความเหมาะสมต่อหน่วยงานที่ทำหน้าที่ตอบสนองต่อเหตุการณ์น้ำมันรั่วไหลในทะเลของประเทศไทย เช่น กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย, กรมเจ้าท่า, กองทัพเรือ หรือหน่วยงานที่คอยประเมินสภาพท้องทะเลของประเทศไทย เช่น กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, กรมอุตุนิยมวิทยา และสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) เพื่อใช้ข้อมูลจากการศึกษาใช้ประสานงานกับผู้เกี่ยวข้องกับเหตุการณ์และร่วมมือกันเก็บกู้คราบน้ำมันที่รั่วไหลออกมอย่างทันท่วงที

6.3 ข้อเสนอแนะ

1. การศึกษานี้ใช้ข้อมูลนำเข้าจากแบบจำลองจากต่างประเทศ เนื่องจากข้อจำกัดของข้อมูลตรวจวัดไม่เพียงพอหรือไม่ครอบคลุมพื้นที่และช่วงเวลาบริเวณทะเลอ่าวไทยตอนบน หากมีการเก็บข้อมูลในพื้นที่อ่าวไทยตอนบนเพื่อเป็นข้อมูลนำเข้าแบบจำลอง จะทำให้ผลลัพธ์จากแบบจำลองมีความคลาดเคลื่อนลดลงได้

2. ในการเปรียบเทียบพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อผลลัพธ์จากแบบจำลอง เพื่อความแม่นยำมากยิ่งขึ้น ควรวิเคราะห์จากการเปรียบเทียบข้อมูลจากการตรวจวัด หรือข้อมูลจากการทดลองในห้องปฏิบัติการ สำหรับสภาพท้องทะเลบริเวณอ่าวไทยตอนบน เช่น การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของ Manning's n แต่เนื่องจากไม่มีการวิเคราะห์สำหรับพื้นที่อ่าวไทยตอนบนจึงใช้การจำลองผลเพื่อเปรียบเทียบค่าที่ใกล้เคียง อีกทั้งศึกษาถึงข้อมูลที่เป็นองค์ประกอบของค่าสัมประสิทธิ์ เช่น ค่าความลึกน้ำ หรือค่าความเร็วน้ำ ซึ่งหากมีการศึกษาหรือปฏิบัติการในพื้นที่จริงจะช่วยให้ผลลัพธ์จากแบบจำลองมีความแม่นยำมากขึ้น

3. การจำลองกระแสน้ำจากแบบจำลอง Delft3D ควรมีการพิจารณาปัจจัยที่ส่งผลต่อของการจำลองกระแสน้ำ เช่น น้ำท่า และชั้นความหนาแน่นน้ำ เพื่อจำลองกระแสน้ำให้มีความใกล้เคียงกับกระแสน้ำในธรรมชาติมากยิ่งขึ้น

4. การศึกษาแบบจำลองการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันที่รั่วไหลในทะเล ควรพิจารณาการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพ และชีวภาพของน้ำมันในสถานะอื่น (เฟส) เพื่อแสดงถึงผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกับการเปลี่ยนแปลงสภาพของน้ำมันในสภาพแวดล้อมจริง ซึ่งส่งผลให้ผลลัพธ์การเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันมีความแม่นยำขึ้นในเชิงปริมาณอนุภาคน้ำมัน และลักษณะพฤติกรรมเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันในทะเล

5. ในพื้นที่อ่าวไทยตอนบน ควรศึกษากรณีเพิ่มเติมเกี่ยวกับประเภทของน้ำมันที่มีความถี่ในการรั่วไหลบ่อย เช่น กากน้ำมัน, น้ำมันเตา และน้ำมันดิบ เพื่อเป็นข้อมูลในการเปรียบเทียบความถูกต้องของแบบจำลองการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันที่รั่วไหลในทะเลอ่าวไทยตอนบน

บรรณานุกรม

ภาษาไทย

ไทยพีบีเอส (Thai PBS). (2562). พบคราบน้ำมันเตา 2 หมื่นลิตรกลางอ่าวไทย.

<https://www.thaipbs.or.th/news/content/286728>

กรมเจ้าท่า. (2561a). แผนปฏิบัติการด้านการขนส่งทางน้ำกรมเจ้าท่า พ.ศ. 2560 - 2564.

กรมเจ้าท่า. (2561b). รายงานสถิติการขนส่งสินค้าทางน้ำบริเวณเมืองท่าชายทะเล ปี พ.ศ. 2559
ปีงบประมาณ 2560.

กรมเจ้าท่า. (2564). สถิติน้ำมันรั่วไหล (Oil spill) ประจำปี พ.ศ.2540 - 2556. สืบค้นจาก

<https://md.go.th/oil-spill/>

กรมเจ้าท่า. (2565). สถิติน้ำมันรั่วไหลประจำปี 2557-2564. สืบค้นจาก

<https://md.go.th/%e0%b8%aa%e0%b8%96%e0%b8%b4%e0%b8%95%e0%b8%b4%e0%b8%99%e0%b9%89%e0%b8%b3%e0%b8%a1%e0%b8%b1%e0%b8%99%e0%b8%a3%e0%b8%b1%e0%b9%88%e0%b8%a7%e0%b9%84%e0%b8%ab%e0%b8%a5/?147>

กรมโรงงานอุตสาหกรรม. (2543). ระเบียบกรมโรงงานอุตสาหกรรม ว่าด้วยหลักเกณฑ์การชี้แจงอันตราย
การประเมินความเสี่ยง และการจัดทำแผนงานบริหารจัดการความเสี่ยง พ.ศ.2543. สืบค้นจาก

<http://www.oic.go.th/FILEWEB/CABINFOCENTER2 / DRAWER0 7 4 / GENERAL/DATA0000/00000128.PDF>

กรมควบคุมมลพิษ. (2553). การคาดการณ์การเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันในทะเล ผลกระทบต่อ
ทรัพยากรธรรมชาติ และแนวทางการแก้ไข. กรุงเทพฯ: ห้างหุ้นส่วนจำกัด กชกร พับลิชซิง

กรมทรัพยากรธรณี. (2555). ธรณีวิทยาภาพพื้นทะเลอ่าวไทยตอนบน. ส. สำนักเทคโนโลยีธรณี.

กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย. (2557). แผนบริหารความเสี่ยง พ.ศ. 2560. กระทรวงมหาดไทย

กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย. (2558). แผนการป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยแห่งชาติ พ.ศ.

2 5 5 8 . https://www.disaster.go.th/upload/download/file_attach/55acacb4f1f7c.pdf

กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย. (2559). การลดความเสี่ยงจากสาธารณภัย (3 ed.).

กระทรวงมหาดไทย. https://www.disaster.go.th/upload/download/file_attach/58a6b30b90d96.pdf

กรมอุทกศาสตร์. (2538). รายงานการวิเคราะห์ข้อมูลสมุทรศาสตร์เขตกลางอ่าวไทย 2525-2536.

- กาญจนา หนูจิ้นเส็ง และจอมภพ แววศักดิ์. (2559). การประเมินศักยภาพของพลังงานคลื่นในทะเล บริเวณพื้นที่อ่าวไทยโดยประยุกต์ระบบจำลอง SWAN. วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ, 19(1).
- คณะอนุกรรมการจัดการความรู้เพื่อผลประโยชน์แห่งชาติทางทะเล. (2552). การขนส่งทางทะเล. http://www.mkh.in.th/index.php?option=com_content&view=article&id=66&Itemid=172&lang=th
- ณัฏฐ์ แก้วภู, ศิริลักษณ์ พงษ์พิบัติกุล, วราทิพย์ บัวแก้ว, วัชระ เกษเดช, อภิสสิทธิ์ กองพรหม, and และ ชีรวัดน์ สุวรรณเลิศเจริญ. (2559). เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศเพื่อการติดตามมลพิษทางทะเล กรณีน้ำมันรั่วบริเวณปากแม่น้ำแม่กลอง จังหวัดสมุทรสาคร การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์ ทางทะเล ครั้งที่ 5, กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง.
- ดวงเด่น นาคสีหราช. (2557). การรั่วไหลของน้ำมันจากเรือบรรทุกน้ำมันกับมาตรการทางกฎหมายในการป้องกันมลพิษน้ำมันในประเทศไทย (2). วารสารกฎหมายขนส่งและพาณิชย์นาวี, 9(9), 1-10.
- ปราโมทย์ โสจิจุกร. (2546). หน่วยการเรียนรู้ที่ 1 พิสิกส์ในทะเล ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเลคณะ วิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- พงษ์สิทธิ์ ผลสมบูรณ์. (2561). การจำลองน้ำมันที่รั่วไหลบริเวณชายฝั่งทะเลจังหวัดระยอง [มหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย].
- วรรณเพ็ญ อินทร์แก้ว และสมจินดา ชมพูนุช. (2557). การพยาบาลสาธารณสุข. ปัยอนด์ พับลิชชิง.
- วัชระ เกษเดช และสุเพชร จิรัชจรกุล. (2560). การประยุกต์ข้อมูลจากระบบเรดาร์คลื่นวิทยุความถี่สูง แบบจำลอง GNOME และระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์สำหรับคาดการณ์การเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันในทะเล. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 25(1), 14-26. <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/tstj/article/view/69592>
- วาทีน ธนาธารพร, กาญจนา นาคะภากร, and นาฏสุดา ภูมิจำนงค์. (2554). การใช้แบบจำลอง SWAN เพื่อศึกษาลักษณะคลื่นในอ่าวไทย ในช่วงที่เกิดพายุไต้ฝุ่นหมุนฟ้า วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 19(3), 40-50.
- วิริยะ เหลืองอร่าม. (2547). การจำลองเชิงตัวเลขของคลื่นใกล้ฝั่งในอ่าวไทย [วิทยาสตรมหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย].
- ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศการขนส่งและจราจร. (2562). รายงานสถานะโครงสร้างพื้นฐานคมนาคม พ.ศ. 2561.
- ศูนย์ปฏิบัติการต่อต้านการทุจริต. (2562). คู่มือการบริหารจัดการความเสี่ยงศูนย์ปฏิบัติการต่อต้านการทุจริต กระทรวงสาธารณสุขประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2562. In: กระทรวงสาธารณสุข.
- สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตร. (2561). แผนบริหารความเสี่ยงสถาบันสารสนเทศ

ทรัพยากรน้ำและการเกษตร (องค์การมหาชน) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2562. สืบค้นจาก <https://bit.ly/350RARC>

สรวิศ วิฑูรท์ศน์, *Marqueza Cathalina Reyes, and Sarsycki, M.* (2559). คู่มือการประเมินความเสี่ยงจากภัยพิบัติ. (น. ชี้อธิษฐาน, *Trans.*; ดร. มุทริกา พุกษาพงษ์, ดร. พิรณันท์ ไทวชิราภรณ์, & น. เพชรธำรงค์ชัย, *Eds.* 1 ed.). สำนักงานโครงการพัฒนาแห่งสหประชาชาติ สำนักงานประเทศไทย . https://www.disaster.go.th/upload/download/file_attach/58a6b30dd6232.pdf

สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. (2561). คู่มือบริหารความเสี่ยง สวทช. ตามกรอบมาตรฐานบริหารความเสี่ยง ISO 31000:2009 เวอร์ชัน 5.2. In: กระบวนวิทย์ศาสตร์และเทคโนโลยี

สำนักงานรัฐบาลอิเล็กทรอนิกส์ (องค์การมหาชน). (2556). นโยบายและคู่มือบริหารความเสี่ยง (*Risk Management Policy and Manual*). In.

สำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. (2562). รายงานโลจิสติกส์ของประเทศไทย ประจำปี 2562.

อรุณรัตน์ สิริภักดีกาญจน์ และวาสนี วิเศษฤทธิ์. (2557). การศึกษาการจัดการภาวะภัยพิบัติทางการพยาบาล. *วารสารพยาบาลทหารบก*, 15(2).

ภาษาอังกฤษ

Battjes, J. A., and Stive, M. (1985). *Calibration and Verification of a Dissipation Model for Random Breaking Waves. Journal of Geophysical Research* 90(C5), 9159-9167. (1985), 90. <https://doi.org/10.1029/JC090iC05p09159>

Bento, A. R., Martinho, P., and Soares, C. G. (2012). *Modelling Wave Energy for the North Coast of Spain. In* (pp. 563-570). <https://doi.org/10.1201/b12726-79>

Bertotti, L., and Cavaleri, L. (1994). *ACCURACY OF WIND AND WAVE EVALUATION IN COASTAL REGIONS. Coastal Engineering Proceedings*, 1 (2 4) . <https://doi.org/10.9753/icce.v24.%p>

Bouws, E., and Komen, G. J. (1983). *On the Balance Between Growth and Dissipation in an Extreme Depth-Limited Wind-Sea in the Southern North Sea. Journal of Physical Oceanography*, 13(9), 1653-1658.

Buranapratheprat, A. (2008). *Circulation in the upper gulf of Thailand: A review. Burapha Science*, 13(1), 75-83.

- Collins, J. I. (1972). Prediction of shallow-water spectra. *Journal of Geophysical Research*, 77(15), 2693-2707. <https://doi.org/10.1029/JC077i015p02693>
- Daoreuk Communications Co., L. (2015, 7 ต.ค. 2015). การดำเนินงานของกระทรวงคมนาคม การพัฒนาด้านการขนส่งทางน้ำ. https://www.youtube.com/watch?v=9_lgmub9GMc
- Deltares. (2010). *Simulation of Multi-Dimensional Hydrodynamic Flow and Transport Phenomena, Including Sediments: User Manual (Vol. Version 3.04)*. Deltares.
- Deltares. (2023). *Delft3D-FLOW, User Manual*. Deltares.
- Eldeberky, Y., and Battjes, J. A. (1995, 4-8 September 1995). Parameterization of triad interactions in wave energy models. *Coastal Dynamics Conf. '95*, Gdansk, Poland.
- Elizaryev, A., Maniakova, G., Longobardi, A., Elizareva, E., Gabdulkhakov, R., Nurutdinov, A., and Khakimov, R. (2018). Numerical simulation of oil spills based on the GNOME and ADIOS. *International Journal of Engineering and Technology(UAE)*, 7, 24-27. <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i2.23.11876>
- GISTDA. (2019). ภาพจากดาวเทียมพบคราบน้ำมันเตาลอยในทะเลกว่า 20,000 ลิตร จากกรณีเรือ Golden Bridge 2 จมบริเวณปากร่องแม่ น้ำเจ้าพระยา. https://www.gistda.or.th/news_view.php?n_id=3074&lang=EN
- Goldschmidt, K. H., and Kumar, S. (2016). Humanitarian operations and crisis/disaster management: A retrospective review of the literature and framework for development. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 20, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2016.10.001>
- Hasselmann, K. (1974). On the spectral dissipation of ocean waves due to whitecapping. *Boundary-Layer Meteorology*, 6 (1-2), 107-127. <https://doi.org/10.1007/BF00232479>
- Hasselmann, K., Barnett, T. P., Bouws, E., Carlson, H., Cartwright, D. E., Enke, K., Ewing, J. A., Gienapp, H., Hasselmann, D. E., Kruseman, P., Meerburg, A., Müller, P., Olbers, D. J., Richter, K., Sell, W., and Walden, H. (1973). Measurements of wind-wave growth and swell decay during the Joint North Sea Wave Project (JONSWAP) [report]. D. H. Institut. <http://resolver.tudelft.nl/uuid:f204e188-13b9-49d8-a6dc-4fb7c20562fc>
- Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Hirahara, S., Horányi, A., Muñoz-Sabater, J., Nicolas,

- J., Peubey, C., Radu, R., Schepers, D., Simmons, A., Soci, C., Abdalla, S., Abellan, X., Balsamo, G., Bechtold, P., Biavati, G., Bidlot, J., Bonavita, M., . . . Thépaut, J.-N. (2020). *The ERA5 global reanalysis*. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 146(730), 1999-2049. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/qj.3803>
- Hsu, Y. L., Dykes, J. D., Allard, R. A., and Kaihatu, J. M. (2006). *Evaluation of Delft3D Performance in Nearshore Flows*. IOC, IHO, and BODC. (2014). *Centenary Edition of the GEBCO Digital Atlas*. British Oceanographic Data Centre, Liverpool.
- ISO. (2009). *Risk Management: Principles and Guidelines*. ISO 31000:2009. <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:31000:ed-2:v1:en>
- Komen, G., and Hasselmann, K. (1984). *On the Existence of a Fully Developed Wind-Sea Spectrum*. *Journal of Physical Oceanography - J PHYS OCEANOGR*, 14, 1271-1285.
- Lehr, W., and Simecek-Beatty, D. (2000). *The Relation of Langmuir Circulation Processes to the Standard Oil Spill Spreading, Dispersion, and Transport Algorithms*. *Spill Science & Technology Bulletin*, 6(3), 247-253. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1353-2561\(01\)00043-3](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1353-2561(01)00043-3)
- Madsen, O. S., Poon, Y.-K., and Graber, H. C. (1988). *Spectral Wave Attenuation by Bottom Friction: Theory*. *Coastal Engineering Proceedings*, 1(21). <https://doi.org/10.9753/icce.v21.34>
- National Research Council. (2014). *Responding to Oil Spills in the U.S. Arctic Marine Environment*. The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/18625>
- Phaksopa, J., and Sojisuporn, P. (2006). *Storm Surge in the Gulf of Thailand Generated by Typhoon Linda in 1997 Using Princeton Ocean Model (POM)*. *Agriculture and Natural Resources*, 40(5), 260-268. <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/anres/article/view/243966>
- Robinson, M. K. (1974). *The physical oceanography of the Gulf of Thailand, Naga Expedition*. Scripps Institution of Oceanography.
- Saramul, S. (2010). *Development of Circulation Model for the Upper Gulf of Thailand (UGOT) 2010 Student Capstone Conference*, VMASC, Suffolk, Virginia.

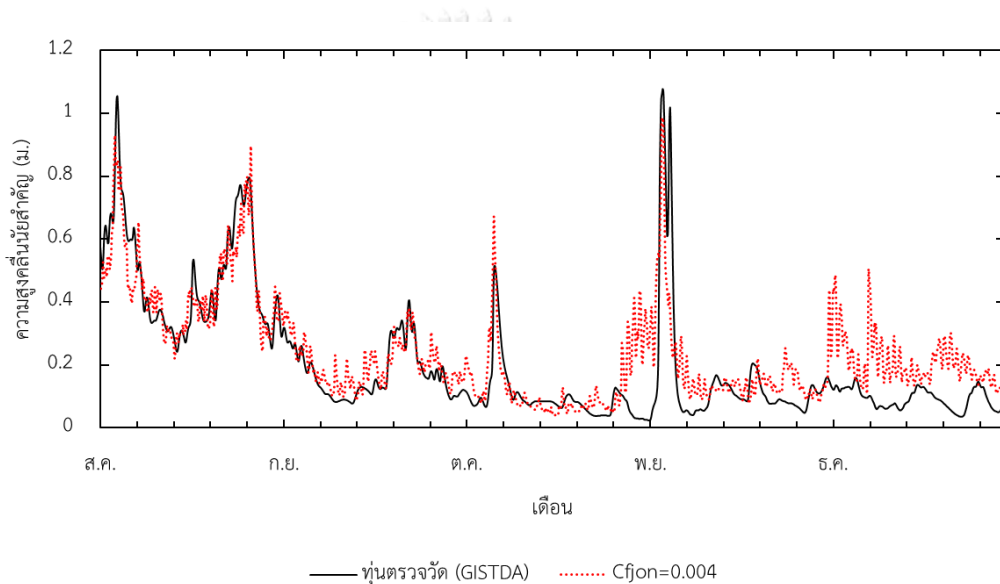
- Sojisuporn, P., Morimoto, A., and Yanagi, T. (2010). Seasonal variation of sea surface current in the Gulf of Thailand. *Coastal Marine Science*, 34(1), 91-102.
- Thomas, T., and Dwarakish, G. S. (2015). Numerical Wave Modelling – A Review. *Aquatic Procedia*, 4, 443-448. <https://doi.org/10.1016/j.aqpro.2015.02.059>
- UNISDR. (2009). *UNISDR Terminology on Disaster Risk Reduction* (2009) In.
- Vledder, G., Zijlema, M., and Holthuijsen, L. (2011). Revisiting the JONSWAP bottom friction formulation (Vol. 1). <https://doi.org/10.9753/icce.v32.waves.41>
- Wessel, P., and Smith, W. H. F. (1996). A global, self-consistent, hierarchical, high-resolution shoreline database. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 101(B4), 8741-8743. <https://doi.org/10.1029/96jb00104>
- Yanagi, T., and Takao, T. (1998). Seasonal variation of three-dimensional circulations in the Gulf of Thailand. *La mer*, 36, 43-55.



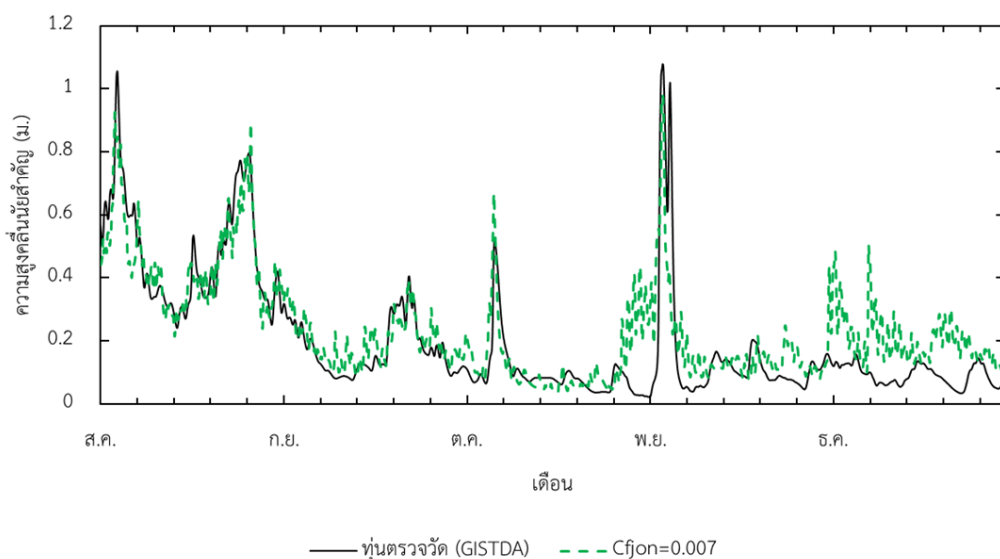
ภาคผนวก ก

การเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ในแบบจำลองคลื่น

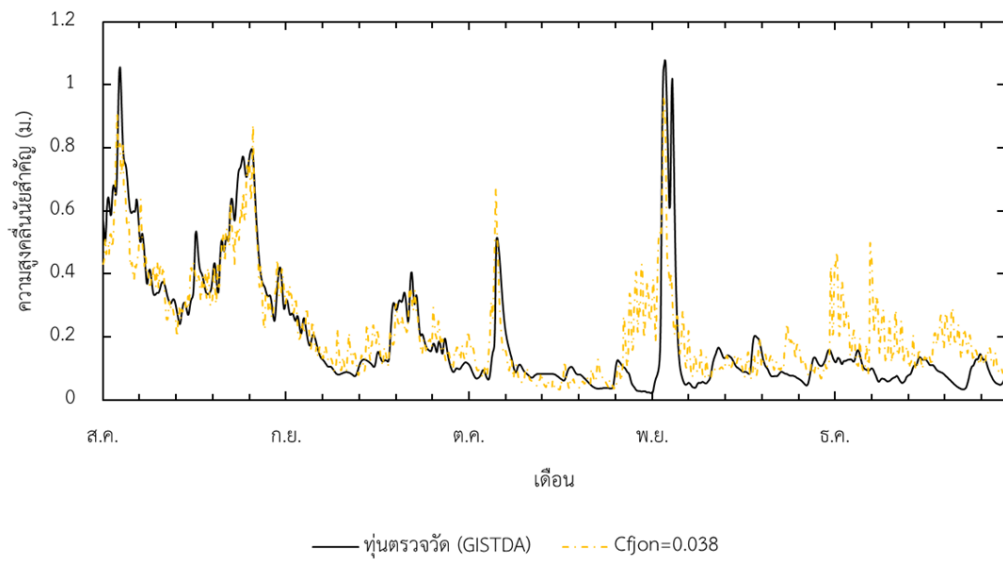
การเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงคลื่นในทะเล โดยการเปรียบเทียบค่าความสูงคลื่นนัยสำคัญจากแบบจำลองคลื่นกับความสูงคลื่นนัยสำคัญโดยสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) (GISTDA) ระหว่างเดือนสิงหาคม - เดือนธันวาคม พ.ศ.2540 ได้แก่ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานพื้นท้องน้ำ, สัมประสิทธิ์การแตกตัวของยอดคลื่น และสัมประสิทธิ์ความชันคลื่น ดังนี้



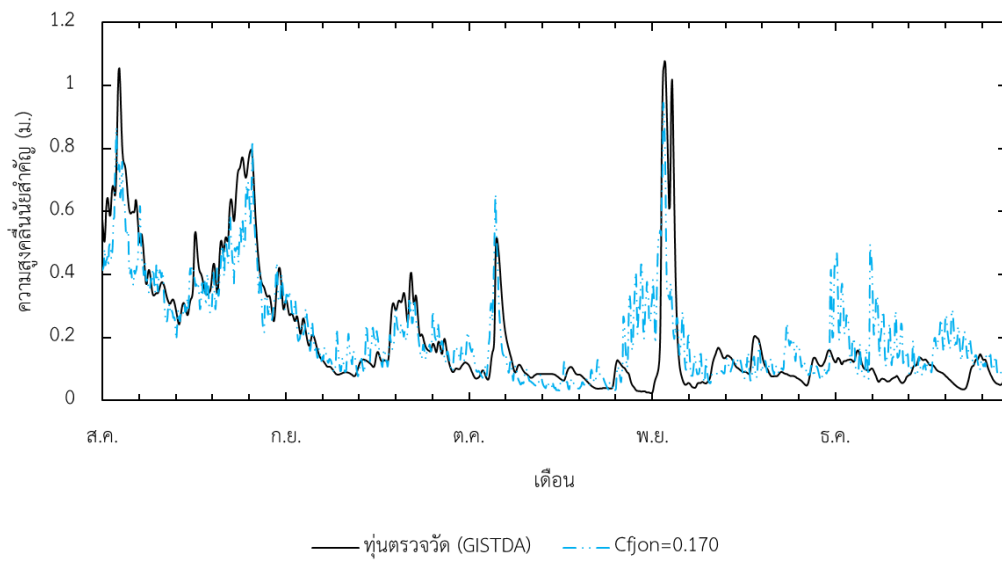
รูปที่ ก-1 การเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานพื้นท้องน้ำ $C_{fjon} = 0.004$



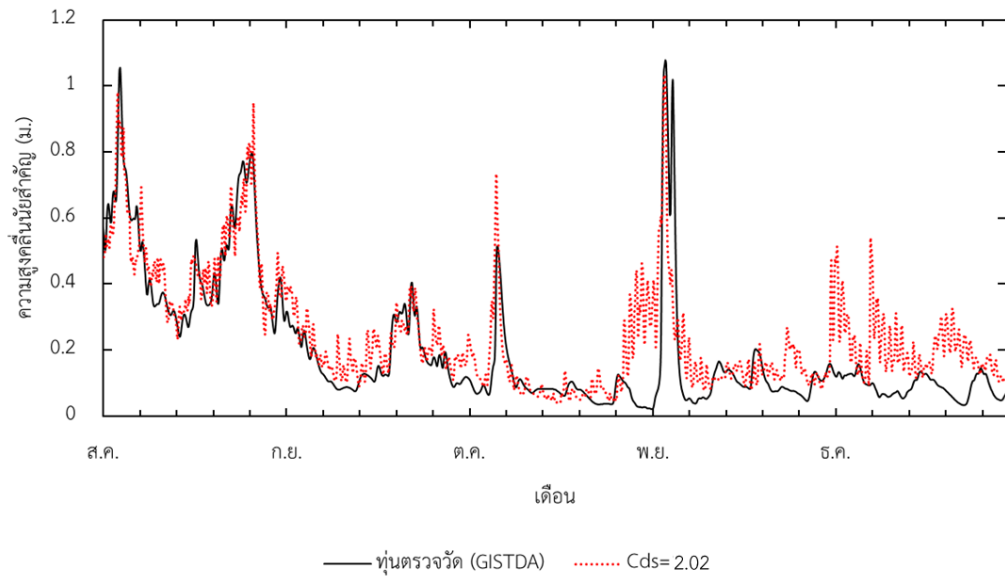
รูปที่ ก-2 การเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานพื้นท้องน้ำ $C_{fjon} = 0.007$



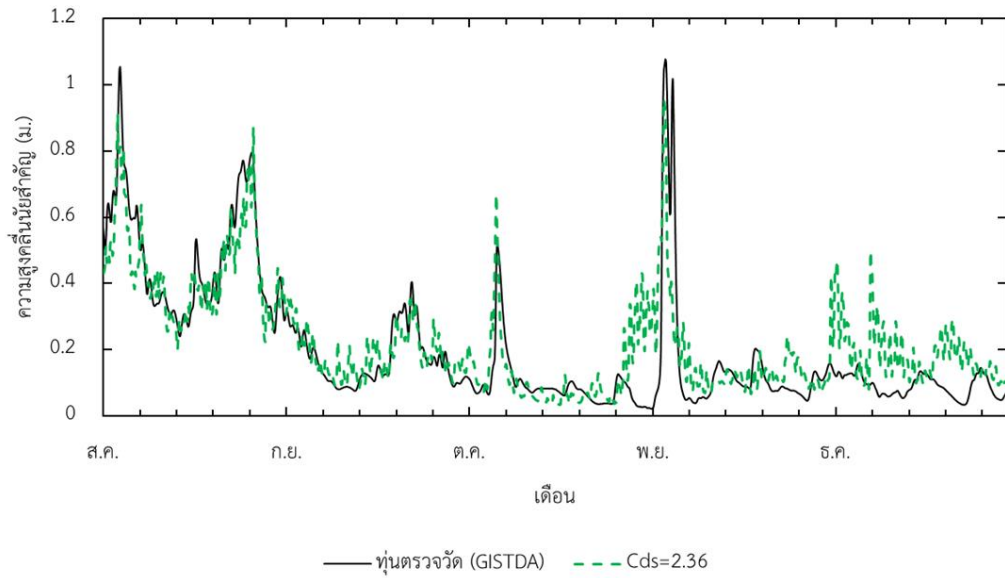
รูปที่ ก-3 การเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานพื้นท้องน้ำ $C_{fjon} = 0.038$



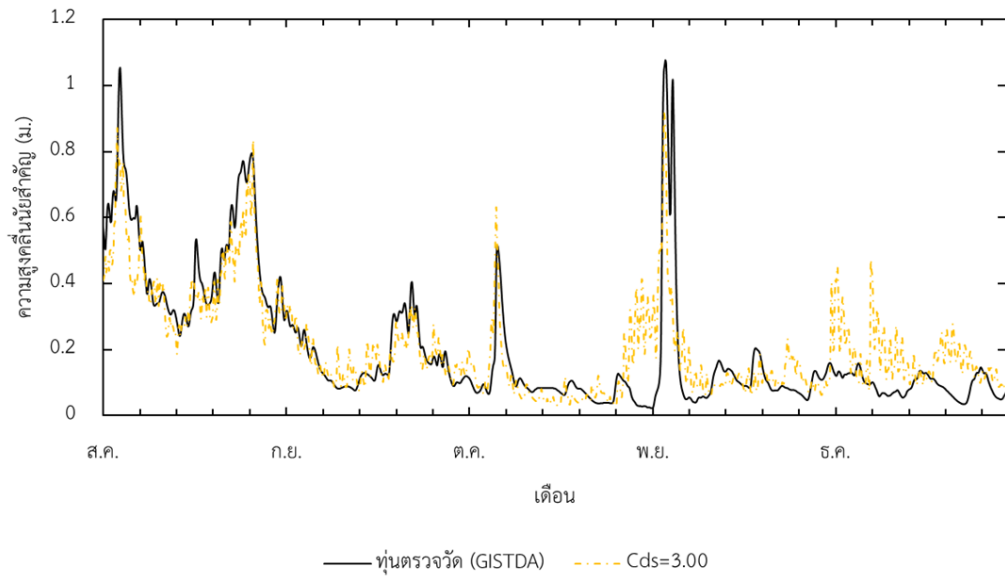
รูปที่ ก-4 การเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานพื้นท้องน้ำ $C_{fjon} = 0.170$



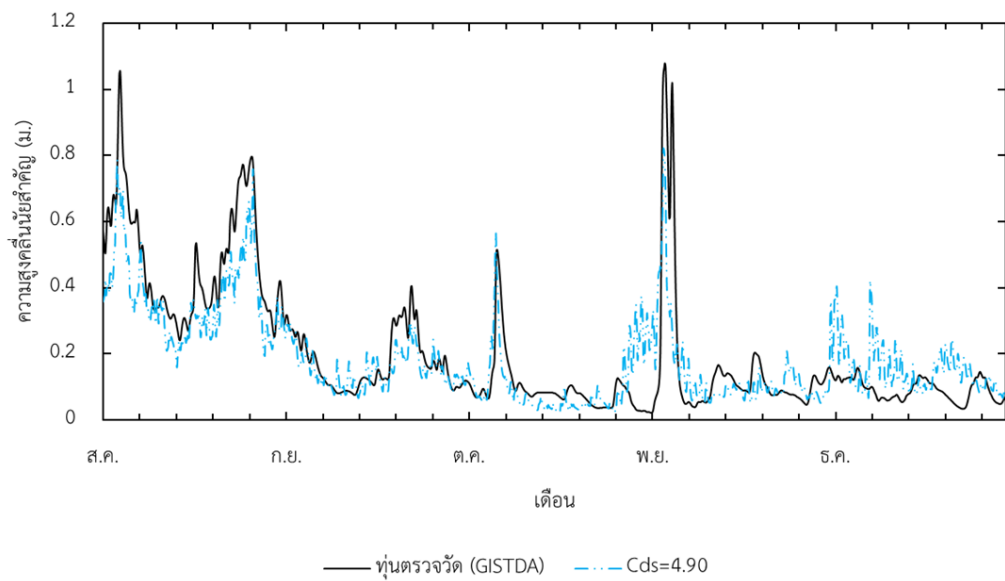
รูปที่ ก-5 สัมประสิทธิ์การแตกตัวของยอดคลื่น $C_{ds} = 2.02 \times 10^{-3}$



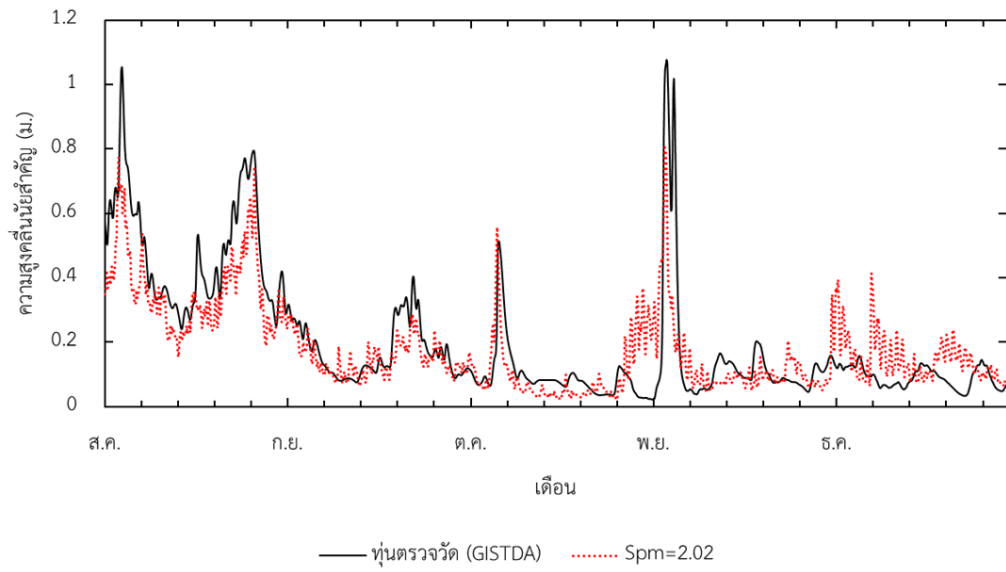
รูปที่ ก-6 สัมประสิทธิ์การแตกตัวของยอดคลื่น $C_{ds} = 2.36 \times 10^{-3}$



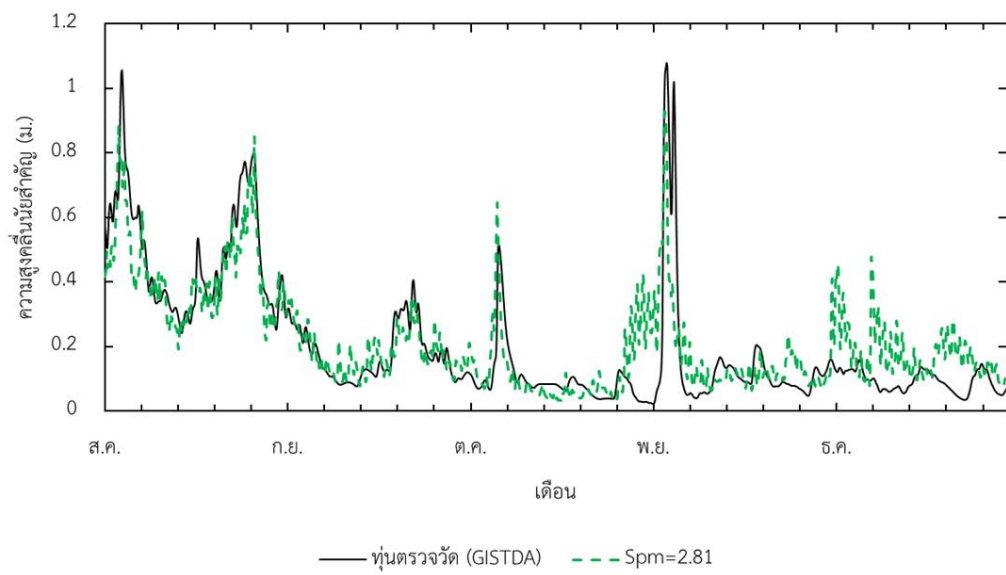
รูปที่ ก-7 สัมประสิทธิ์การแตกตัวของยอดคลื่น $C_{ds} = 3.00 \times 10^{-3}$



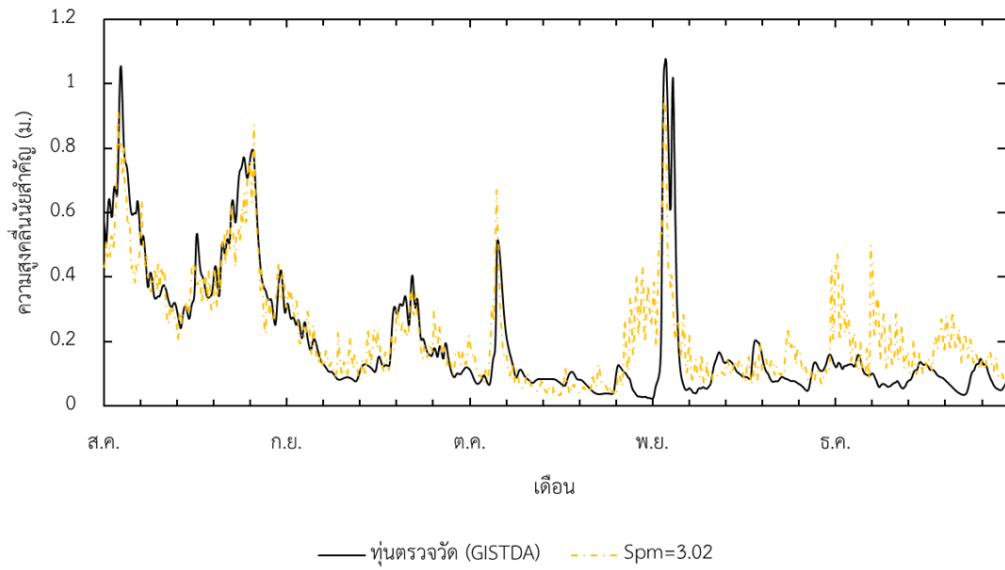
รูปที่ ก-8 สัมประสิทธิ์การแตกตัวของยอดคลื่น $C_{ds} = 4.90 \times 10^{-3}$



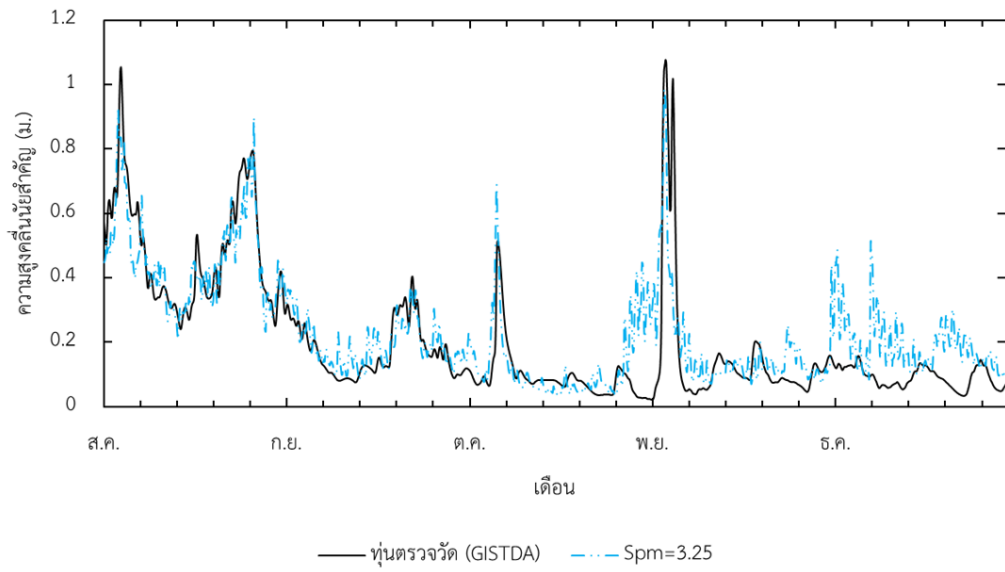
รูปที่ ก-9 สัมประสิทธิ์ความขุ่นคลื่น $S_{PM} = 2.02 \times 10^{-5}$



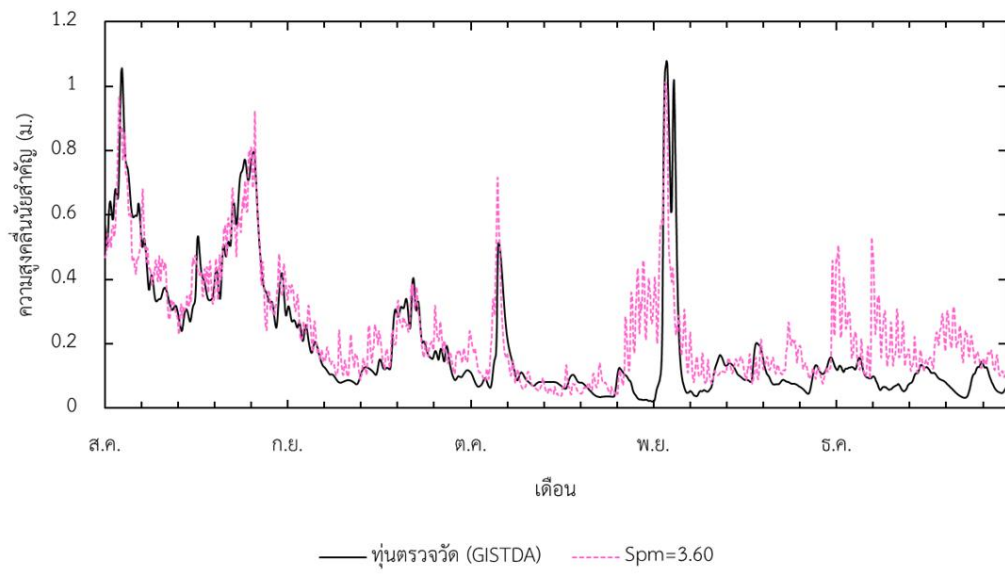
รูปที่ ก-10 สัมประสิทธิ์ความขุ่นคลื่น $S_{PM} = 2.81 \times 10^{-5}$



รูปที่ ก-11 สัมประสิทธิ์ความชื้นคลื่น $S_{PM} = 3.02 \times 10^{-5}$



รูปที่ ก-12 สัมประสิทธิ์ความชื้นคลื่น $S_{PM} = 3.25 \times 10^{-5}$



รูปที่ ก-13 สัมประสิทธิ์ความชื้นคลื่น $S_{PM} = 3.60 \times 10^{-5}$



ภาคผนวก ข

การกระจายขนาดและทิศทางของลม

การกระจายขนาดและทิศทางของลมในพื้นที่ศึกษาทะเลอ่าวไทยตอนบน บริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยา ที่ตำแหน่งละติจูด 13.3550° เหนือ และลองจิจูด 100.6225° ตะวันออก ในปี พ.ศ.2534 – 2563 วิเคราะห์และแจกแจงความถี่ของความเร็วลมซึ่งแบ่งเป็นความเร็วลม 5 ช่วง ตั้งแต่ 0 – 12 เมตรต่อวินาที แบ่งทิศทางออกเป็น 16 ทิศ โดยแจกแจงความถี่ของความเร็วลมรายปี ดังตารางที่ ก-1 และการแจกแจงความถี่ของความเร็วลมรายเดือน ดังตารางที่ ก-2 ถึง ก-13

ตารางที่ ก-1 การแจกแจงความถี่ของความเร็วลม บริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยา รายปี

Direction (°)	ความเร็วลม (เมตร/วินาที)					TOTAL
	0 - 3	3 - 6	6 - 9	9 - 12	> 12	
N	2.57	11.55	2.77	0.00	0	16.89
NNE	3.15	14.01	2.14	0.01	0	19.31
NE	3.13	10.54	1.88	0.02	0	15.56
ENE	2.53	5.43	0.74	0.01	0	8.70
E	1.85	1.83	0.16	0.00	0	3.84
ESE	1.35	0.58	0.02	0.00	0	1.95
SE	1.25	0.33	0.02	0.00	0	1.60
SSE	1.45	0.57	0.02	0.00	0	2.04
S	1.82	1.64	0.07	0.00	0	3.54
SSW	2.07	3.83	0.25	0.00	0	6.16
SW	1.83	5.36	1.51	0.04	0	8.74
WSW	1.24	1.81	0.66	0.03	0	3.75
W	0.87	0.31	0.02	0.00	0	1.20
WNW	0.84	0.17	0.01	0.00	0	1.02
NW	1.05	0.38	0.01	0.00	0	1.44
NNW	1.68	2.30	0.29	0.00	0	4.27
TOTAL	28.68	60.64	10.57	0.11	0	100

ตารางที่ ก-2 การแจกแจงความถี่ของความเร็วลม บริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยา เดือนมกราคม

Direction (°)	ความเร็วลม (เมตร/วินาที)					TOTAL
	0 - 3	3 - 6	6 - 9	9 - 12	> 12	
N	2.86	4.82	0.49	0.04	0.00	8.20
NNE	2.41	6.74	0.94	0.00	0.00	10.09
NE	1.86	6.76	3.66	0.17	0.00	12.45
ENE	0.97	2.93	1.78	0.15	0.00	5.83
E	0.68	0.51	0.10	0.00	0.00	1.29
ESE	0.56	0.22	0.00	0.00	0.00	0.78
SE	0.65	0.31	0.01	0.00	0.00	0.97
SSE	1.31	2.17	0.40	0.00	0.00	3.88
S	2.69	11.81	2.47	0.01	0.00	16.99
SSW	3.58	10.61	0.94	0.01	0.00	15.14
SW	3.24	3.19	0.03	0.00	0.00	6.46
WSW	2.90	1.23	0.00	0.00	0.00	4.13
W	2.64	0.61	0.00	0.00	0.00	3.26
WNW	2.37	0.33	0.00	0.00	0.00	2.70
NW	2.44	0.64	0.02	0.00	0.00	3.09
NNW	2.70	1.96	0.09	0.00	0.00	4.75
TOTAL	33.86	54.84	10.93	0.38	0.00	100.00

ตารางที่ ก-3 การแจกแจงความถี่ของความเร็วลม บริเวณบึงแม่เจ้าพระยา เดือนกุมภาพันธ์

Direction (°)	ความเร็วลม (เมตร/วินาที)					TOTAL
	0 - 3	3 - 6	6 - 9	9 - 12	> 12	
N	1.24	1.71	0.13	0.00	0.00	3.08
NNE	1.16	2.44	0.37	0.00	0.00	3.98
NE	1.05	3.19	1.94	0.14	0.00	6.33
ENE	0.71	1.96	1.38	0.23	0.00	4.29
E	0.57	0.56	0.11	0.00	0.00	1.25
ESE	0.50	0.22	0.03	0.00	0.00	0.75
SE	0.67	0.31	0.03	0.00	0.00	1.01
SSE	1.11	2.76	1.97	0.00	0.00	5.85
S	1.89	20.03	18.63	0.07	0.00	40.62
SSW	2.47	12.54	3.43	0.01	0.00	18.45
SW	2.11	3.30	0.05	0.00	0.00	5.46
WSW	1.73	0.89	0.00	0.00	0.00	2.62
W	1.25	0.35	0.00	0.00	0.00	1.60
WNW	0.99	0.14	0.00	0.00	0.00	1.13
NW	0.94	0.35	0.00	0.00	0.00	1.29
NNW	1.37	0.89	0.04	0.00	0.00	2.29
TOTAL	19.78	51.66	28.11	0.46	0.00	100.00

หมายเหตุ *ช่วงที่ไม่มีข้อมูลคิดเป็นร้อยละ 8.82

ตารางที่ ก-4 การแจกแจงความถี่ของความเร็วลม บริเวณบึงแม่เจ้าพระยา เดือนมีนาคม

Direction (°)	ความเร็วลม (เมตร/วินาที)					TOTAL
	0 - 3	3 - 6	6 - 9	9 - 12	> 12	
N	0.53	0.66	0.45	0.03	0.00	1.67
NNE	0.59	0.83	0.30	0.00	0.00	1.72
NE	0.49	0.97	0.40	0.08	0.00	1.94
ENE	0.55	1.12	0.41	0.06	0.00	2.14
E	0.45	0.57	0.14	0.00	0.00	1.16
ESE	0.44	0.44	0.05	0.00	0.00	0.94
SE	0.63	0.75	0.16	0.00	0.00	1.53
SSE	0.90	3.41	4.18	0.06	0.00	8.56
S	1.63	21.15	35.37	0.63	0.00	58.77
SSW	1.66	9.18	4.00	0.00	0.00	14.84
SW	1.31	1.62	0.04	0.00	0.00	2.97
WSW	0.71	0.32	0.00	0.00	0.00	1.03
W	0.53	0.10	0.00	0.00	0.00	0.63
WNW	0.52	0.09	0.00	0.00	0.00	0.61
NW	0.47	0.14	0.00	0.00	0.00	0.62
NNW	0.53	0.28	0.06	0.00	0.00	0.88
TOTAL	11.94	41.64	45.56	0.86	0.00	100.00

ตารางที่ ก-5 การแจกแจงความถี่ของความเร็วลม บริเวณบึงแม่เจ้าพระยา เดือนเมษายน

Direction (°)	ความเร็วลม (เมตร/วินาที)					TOTAL
	0 - 3	3 - 6	6 - 9	9 - 12	> 12	
N	0.28	0.28	0.05	0.00	0.00	0.62
NNE	0.43	0.46	0.06	0.00	0.00	0.95
NE	0.56	0.50	0.14	0.01	0.00	1.22
ENE	0.60	0.50	0.15	0.02	0.00	1.27
E	0.66	0.29	0.03	0.00	0.00	0.98
ESE	0.83	0.38	0.01	0.00	0.00	1.22
SE	0.96	1.20	0.10	0.00	0.00	2.27
SSE	1.44	5.31	5.22	0.11	0.00	12.08
S	2.40	23.48	29.11	0.56	0.00	55.55
SSW	2.38	10.60	3.53	0.00	0.00	16.51
SW	1.71	1.26	0.06	0.00	0.00	3.03
WSW	0.84	0.40	0.05	0.00	0.00	1.29
W	0.69	0.40	0.11	0.00	0.00	1.20
WNW	0.46	0.32	0.04	0.00	0.00	0.82
NW	0.38	0.13	0.00	0.00	0.00	0.50
NNW	0.34	0.16	0.00	0.00	0.00	0.50
TOTAL	14.94	45.67	38.68	0.70	0.00	100.00

ตารางที่ ก-6 การแจกแจงความถี่ของความเร็วลม บริเวณบึงแม่เจ้าพระยา เดือนพฤษภาคม

Direction (°)	ความเร็วลม (เมตร/วินาที)					TOTAL
	0 - 3	3 - 6	6 - 9	9 - 12	> 12	
N	0.39	0.08	0.00	0.00	0.00	0.47
NNE	0.30	0.05	0.00	0.00	0.00	0.35
NE	0.26	0.09	0.00	0.00	0.00	0.35
ENE	0.36	0.17	0.06	0.00	0.00	0.59
E	0.32	0.11	0.00	0.00	0.00	0.43
ESE	0.50	0.24	0.00	0.00	0.00	0.74
SE	0.82	0.81	0.08	0.00	0.00	1.70
SSE	1.52	5.24	2.16	0.08	0.00	9.01
S	2.72	16.82	11.68	0.19	0.00	31.41
SSW	3.63	15.47	6.37	0.24	0.00	25.71
SW	3.18	9.13	2.14	0.04	0.00	14.48
WSW	2.36	4.74	0.72	0.01	0.00	7.84
W	1.73	2.11	0.37	0.00	0.00	4.21
WNW	1.03	0.47	0.00	0.00	0.00	1.50
NW	0.56	0.17	0.00	0.00	0.00	0.73
NNW	0.45	0.04	0.00	0.00	0.00	0.48
TOTAL	20.11	55.74	23.58	0.56	0.00	100.00

ตารางที่ ก-7 การแจกแจงความถี่ของความเร็วลม บริเวณบึงแม่เจ้าพระยา เดือนมิถุนายน

Direction (°)	ความเร็วลม (เมตร/วินาที)					TOTAL
	0 - 3	3 - 6	6 - 9	9 - 12	> 12	
N	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.13
NNE	0.11	0.01	0.00	0.00	0.00	0.12
NE	0.12	0.05	0.00	0.00	0.00	0.17
ENE	0.08	0.02	0.00	0.00	0.00	0.10
E	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.16
ESE	0.20	0.02	0.00	0.00	0.00	0.22
SE	0.32	0.17	0.00	0.00	0.00	0.48
SSE	0.76	2.16	0.61	0.00	0.00	3.53
S	1.62	10.72	5.30	0.06	0.00	17.71
SSW	2.71	17.22	7.47	0.18	0.00	27.59
SW	2.91	17.57	6.68	0.07	0.00	27.24
WSW	2.30	9.99	2.93	0.02	0.00	15.24
W	1.42	3.25	0.71	0.00	0.00	5.39
WNW	0.72	0.59	0.02	0.00	0.00	1.33
NW	0.30	0.13	0.00	0.00	0.00	0.43
NNW	0.16	0.01	0.00	0.00	0.00	0.17
TOTAL	14.01	61.92	23.73	0.34	0.00	100.00

ตารางที่ ก-8 การแจกแจงความถี่ของความเร็วลม บริเวณบึงแม่เจ้าพระยา เดือนกรกฎาคม

Direction (°)	ความเร็วลม (เมตร/วินาที)					TOTAL
	0 - 3	3 - 6	6 - 9	9 - 12	> 12	
N	0.11	0.01	0.00	0.00	0.00	0.12
NNE	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09
NE	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09
ENE	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09
E	0.05	0.02	0.00	0.00	0.00	0.07
ESE	0.13	0.02	0.00	0.00	0.00	0.14
SE	0.29	0.09	0.00	0.00	0.00	0.38
SSE	0.52	1.61	0.39	0.00	0.00	2.52
S	1.36	8.45	3.31	0.02	0.00	13.14
SSW	2.14	15.21	5.44	0.09	0.00	22.87
SW	2.63	19.67	8.30	0.19	0.00	30.80
WSW	2.49	12.68	5.25	0.12	0.00	20.54
W	1.62	4.40	1.01	0.00	0.00	7.03
WNW	0.69	0.81	0.04	0.00	0.00	1.53
NW	0.29	0.16	0.00	0.00	0.00	0.44
NNW	0.13	0.02	0.00	0.00	0.00	0.15
TOTAL	12.70	63.16	23.72	0.42	0.00	100.00

ตารางที่ ก-9 การแจกแจงความถี่ของความเร็วลม บริเวณบึงแม่เจ้าพระยา เดือนสิงหาคม

Direction (°)	ความเร็วลม (เมตร/วินาที)					TOTAL
	0 - 3	3 - 6	6 - 9	9 - 12	> 12	
N	0.12	0.01	0.00	0.00	0.00	0.13
NNE	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15
NE	0.09	0.03	0.00	0.00	0.00	0.12
ENE	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08
E	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08
ESE	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08
SE	0.16	0.06	0.00	0.00	0.00	0.22
SSE	0.56	1.02	0.25	0.00	0.00	1.83
S	1.29	7.37	1.87	0.00	0.00	10.55
SSW	2.21	14.12	4.08	0.17	0.00	20.57
SW	2.81	20.41	6.80	0.22	0.00	30.24
WSW	2.37	15.67	4.90	0.01	0.00	22.95
W	1.73	6.12	1.55	0.04	0.00	9.44
WNW	0.95	1.36	0.08	0.00	0.00	2.40
NW	0.45	0.43	0.03	0.00	0.00	0.91
NNW	0.22	0.05	0.00	0.00	0.00	0.27
TOTAL	13.35	66.65	19.56	0.44	0.00	100.00

ตารางที่ ก-10 การแจกแจงความถี่ของความเร็วลม บริเวณบึงแม่เจ้าพระยา เดือนกันยายน

Direction (°)	ความเร็วลม (เมตร/วินาที)					TOTAL
	0 - 3	3 - 6	6 - 9	9 - 12	> 12	
N	1.22	0.62	0.01	0.00	0.00	1.85
NNE	0.99	0.40	0.00	0.00	0.00	1.39
NE	0.77	0.32	0.03	0.00	0.00	1.12
ENE	0.75	0.15	0.03	0.00	0.00	0.94
E	0.68	0.07	0.05	0.00	0.00	0.81
ESE	0.73	0.13	0.00	0.00	0.00	0.87
SE	0.99	0.27	0.00	0.00	0.00	1.26
SSE	1.60	1.67	0.16	0.00	0.00	3.43
S	3.10	8.32	1.12	0.05	0.00	12.59
SSW	4.41	11.73	2.11	0.21	0.00	18.45
SW	4.96	12.13	1.93	0.08	0.00	19.09
WSW	4.77	10.11	0.98	0.00	0.00	15.86
W	3.88	5.70	0.51	0.00	0.00	10.09
WNW	2.63	3.11	0.47	0.01	0.00	6.22
NW	1.92	1.45	0.28	0.00	0.00	3.65
NNW	1.42	0.89	0.07	0.00	0.00	2.38
TOTAL	34.81	57.08	7.76	0.35	0.00	100.00

ตารางที่ ก-11 การแจกแจงความถี่ของความเร็วลม บริเวณบึงแม่จันทน์เจ้าพระยา เดือนตุลาคม

Direction (°)	ความเร็วลม (เมตร/วินาที)					TOTAL
	0 - 3	3 - 6	6 - 9	9 - 12	> 12	
N	4.26	5.39	0.79	0.01	0.00	10.45
NNE	5.09	7.24	1.00	0.01	0.00	13.34
NE	4.26	7.04	1.49	0.10	0.00	12.88
ENE	3.48	2.63	0.44	0.06	0.01	6.61
E	2.43	0.88	0.11	0.04	0.00	3.47
ESE	2.27	0.61	0.16	0.05	0.00	3.09
SE	2.30	0.85	0.08	0.04	0.00	3.27
SSE	2.73	2.28	0.26	0.00	0.00	5.28
S	3.33	3.87	0.36	0.00	0.00	7.56
SSW	3.71	3.24	0.43	0.00	0.00	7.39
SW	3.21	1.90	0.16	0.00	0.00	5.27
WSW	2.85	1.08	0.07	0.00	0.00	4.00
W	2.62	0.94	0.02	0.00	0.00	3.58
WNW	2.42	0.86	0.01	0.00	0.00	3.29
NW	2.77	1.23	0.09	0.00	0.00	4.09
NNW	3.34	2.80	0.30	0.00	0.00	6.43
TOTAL	51.07	42.82	5.77	0.32	0.02	100.00

ตารางที่ ก-12 การแจกแจงความถี่ของความเร็วลม บริเวณบึงแม่เจ้าพระยา เดือนพฤศจิกายน

Direction (°)	ความเร็วลม (เมตร/วินาที)					TOTAL
	0 - 3	3 - 6	6 - 9	9 - 12	> 12	
N	4.18	8.86	1.81	0.04	0.00	14.88
NNE	4.49	14.87	4.94	0.11	0.00	24.40
NE	2.93	11.78	5.72	0.20	0.02	20.64
ENE	1.65	2.90	1.01	0.07	0.02	5.65
E	0.95	0.38	0.03	0.02	0.01	1.39
ESE	0.76	0.22	0.00	0.00	0.00	0.98
SE	0.95	0.17	0.01	0.00	0.00	1.14
SSE	1.34	0.55	0.02	0.00	0.00	1.91
S	2.10	2.24	0.14	0.00	0.00	4.48
SSW	2.41	2.37	0.04	0.00	0.00	4.82
SW	2.56	0.78	0.00	0.00	0.00	3.34
WSW	2.04	0.33	0.00	0.00	0.00	2.37
W	2.02	0.30	0.01	0.00	0.00	2.33
WNW	1.95	0.34	0.00	0.00	0.00	2.29
NW	2.29	0.85	0.00	0.00	0.00	3.14
NNW	3.19	2.90	0.14	0.00	0.00	6.24
TOTAL	35.82	49.83	13.87	0.43	0.04	100.00

ตารางที่ ก-13 การแจกแจงความถี่ของความเร็วลม บริเวณบึงแม่เจ้าพระยา เดือนธันวาคม

Direction (°)	ความเร็วลม (เมตร/วินาที)					TOTAL
	0 - 3	3 - 6	6 - 9	9 - 12	> 12	
N	3.78	10.52	2.35	0.04	0.00	16.69
NNE	3.48	14.96	5.96	0.02	0.00	24.42
NE	1.92	11.21	7.25	0.64	0.00	21.02
ENE	0.85	2.36	1.25	0.19	0.00	4.65
E	0.37	0.23	0.01	0.00	0.00	0.61
ESE	0.36	0.04	0.00	0.00	0.00	0.40
SE	0.34	0.04	0.00	0.00	0.00	0.39
SSE	0.68	0.26	0.03	0.00	0.00	0.98
S	1.29	2.25	0.35	0.00	0.00	3.90
SSW	1.85	2.04	0.08	0.00	0.00	3.96
SW	2.17	1.08	0.00	0.00	0.00	3.26
WSW	2.53	0.57	0.00	0.00	0.00	3.10
W	2.73	0.47	0.00	0.00	0.00	3.20
WNW	2.59	0.40	0.00	0.00	0.00	2.98
NW	2.89	0.77	0.00	0.00	0.00	3.65
NNW	3.15	3.32	0.32	0.00	0.00	6.79
TOTAL	30.99	50.54	17.59	0.88	0.00	100.00

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	กิตติยา แยมภิรมย์ศรี
วัน เดือน ปี เกิด	10 มกราคม 2537
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
วุฒิการศึกษา	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ที่อยู่ปัจจุบัน	198/16 หมู่บ้านปาร์คเวย์เอเลิฟ ถนนรามคำแหง 190/1 แขวงมีนบุรี เขตมีนบุรี 10510



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY