การประยุกต์ข้อมูลจากระบบเรดาร์คลื่นวิทยุความถี่สูง แบบจำลอง GNOME และระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ สำหรับคาดการณ์การเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันในทะเล

โดย

นายวัชระ เกษเดช

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีเพื่อการพัฒนาชนบท)
ภาควิชาเทคโนโลยีชนบท
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ปีการศึกษา 2558

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

การประยุกต์ข้อมูลจากระบบเรดาร์คลื่นวิทยุความถี่สูง แบบจำลอง GNOME และระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ สำหรับคาดการณ์การเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันในทะเล

โดย

นายวัชระ เกษเดช

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีเพื่อการพัฒนาชนบท)
ภาควิชาเทคโนโลยีชนบท
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ปีการศึกษา 2558

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

THE APPLICATION OF HIGH FREQUENCY RADAR, GNOME MODEL AND GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS FOR OIL SPILL TRAJECTORY PREDICTION

BY

MR. WATCHARA KESDECH

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS
FOR THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
(TECHNOLOGY FOR RURAL DEVELOPMENT)

DEPARTMENT OF RURAL TECHNOLOGY
FACULTY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
THAMMASAT UNIVERSITY
ACADEMIC YEAR 2015

COPYRIGHT OF THAMMASAT UNIVERSITY

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

วิทยานิพนธ์

ของ

นายวัชระ เกษเดช

เรื่อง

การประยุกต์ข้อมูลจากระบบเรดาร์คลื่นวิทยุความถี่สูง แบบจำลอง GNOME และระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ สำหรับคาดการณ์การเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันในทะเล

ได้รับการตรวจสอบและอนุมัติ ให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีเพื่อการพัฒนาชนบท)

เมื่อ วันที่ 1 สิงหาคม พ.ศ. 2559

ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ _____
(รองศาสตราจารย์ ดร.แก้ว นวลฉวี)

กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ _____
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุเพชร จิรขจรกุล)

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ _____
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กาญจนา นาคะภากร)

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ _____
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วนารัตน์ กรอิสรานุกูล)

คณบดี _____
(รองศาสตราจารย์ ปกรณ์ เสริมสุข)

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประยุกต์ข้อมูลจากระบบเรดาร์คลื่นวิทยุความถี่สูง แบบจำลอง GNOME และระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ สำหรับคาดการณ์การเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันในทะเล
ชื่อผู้เขียน	นายวัชระ เกษเดช
ชื่อปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีเพื่อการพัฒนาชนบท)
สาขาวิชา/คณะ/มหาวิทยาลัย	สาขาวิชาเทคโนโลยีเพื่อการพัฒนาชนบท คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รองศาสตราจารย์ ดร. สุเพชร จิรขจรกุล
ปีการศึกษา	2558

บทคัดย่อ

การประยุกต์ข้อมูลจากระบบเรดาร์คลื่นวิทยุความถี่สูง แบบจำลอง GNOME และระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ สำหรับคาดการณ์การเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันในทะเล มีวัตถุประสงค์เพื่อคาดการณ์การเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันในทะเล บริเวณพื้นที่อ่าวไทยตอนบนฝั่งตะวันออก ครอบคลุมช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุมของทั้งสองฤดู และประเมินพื้นที่ชายฝั่งที่ได้รับผลกระทบจากคราบน้ำมัน ในเชิงพื้นที่และเวลา โดยนำเข้าข้อมูลความเร็วและทิศทางกระแสน้ำผิวหน้ารายชั่วโมงจากระบบเรดาร์คลื่นวิทยุความถี่สูง ซึ่งผ่านขั้นตอนการจัดเตรียมข้อมูล และประมาณค่าในช่วงด้วยวิธี SPLINE ให้ครอบคลุมพื้นที่ศึกษา ข้อมูลความเร็วและทิศทางลม จากสถานีตรวจอากาศอัตโนมัติ สถานีเกาะสีชัง ข้อมูลขอบเขตชายฝั่ง และขอบเขตเกาะ จากการแปลตีความจากข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม LANDSAT-8 พร้อมทั้งกำหนดค่าการแพร่กระจายในแนวราบ และค่าอิทธิพลของลม ตามผลการศึกษาและปรับเทียบแบบจำลองของกรมควบคุมมลพิษ โดยพิจารณาเลือกช่วงเวลาในช่วงน้ำเป็น และน้ำตายในแต่ละฤดูมรสุม และกำหนดตำแหน่งทดสอบจากบริเวณที่มีการจราจรทางน้ำหนาแน่น บริเวณด้านหน้าท่าเรือแหลมฉบัง จังหวัดชลบุรี (ละติจูด 13.0715 องศาเหนือ ลองจิจูด 100.827 องศาตะวันออก) จากนั้นนำเข้าผลจากแบบจำลองในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ และวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อประเมินพื้นที่ชายฝั่งที่ได้รับผลกระทบ ทั้งในเชิงพื้นที่และเวลา ผลการศึกษาพบว่า การเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันในฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ มีทิศทางการเคลื่อนที่ไปด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้ของตำแหน่งทดสอบ ทั้งช่วงน้ำเป็นและน้ำตาย ส่วนในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ มีทิศทางการเคลื่อนที่ไปด้านตะวันออกเฉียงเหนือของตำแหน่งทดสอบ เข้าหาชายฝั่งจังหวัดชลบุรี ทั้งช่วงน้ำเป็นและน้ำตาย และในช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุมทั้งสองฤดู มีทิศทางการเคลื่อนที่ไม่แน่นอน ขึ้นอยู่กับอิทธิพลของลมมรสุมในช่วงเวลานั้นๆ โดย

แนวชายฝั่งเกาะสีชัง เป็นพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากคราบน้ำมันบ่อยครั้งที่สุด โดยเริ่มได้รับผลกระทบในช่วงระยะเวลาประมาณ 8 – 18 ชั่วโมง นับจากเวลาที่รั่วไหลจากตำแหน่งทดสอบ ส่วนแนวชายฝั่งจังหวัดชลบุรี ได้รับผลกระทบจากคราบน้ำมันในบางส่วนของพื้นที่ชายฝั่งตำบลอ่างศิลา ตำบลแสนสุข ตำบลนาเกลือ และเทศบาลตำบลแหลมฉบัง โดยเริ่มได้รับผลกระทบจากคราบน้ำมันในช่วงระยะเวลาประมาณ 11 – 78 ชั่วโมง นับจากเวลาที่รั่วไหลจากจุดทดสอบ ทั้งนี้ ตัวแปรที่มีอิทธิพลสำคัญต่อรูปแบบการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมัน คือ กระแสลม และรูปแบบการไหลเวียนของกระแสน้ำผิวหน้า ผลจากการศึกษาในครั้งนี้ สามารถนำไปใช้ในการสนับสนุนการดำเนินการภายใต้แผนการจัดการ แผนเผชิญเหตุ กรณีการรั่วไหลของน้ำมันในทะเล รวมไปถึงการปฏิบัติการภายใต้สถานการณ์จริง ตลอดจนสามารถนำกระบวนการประมวลผลข้อมูลและแบบจำลองใช้เป็นแนวทางและเครื่องมือในการนำข้อมูลเรดาร์คลื่นวิทยุความถี่สูงไปใช้ประโยชน์ในด้านการจัดการมลพิษทางทะเลต่อไป

คำสำคัญ: เรดาร์คลื่นวิทยุความถี่สูง, แบบจำลอง GNOME, ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์, คราบน้ำมัน

Thesis Title	THE APPLICATION OF HIGH FREQUENCY RADAR, GNOME MODEL AND GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS FOR OIL SPILL TRAJECTORY PREDICTION
Author	Mr. Watchara Kesdech
Degree	Master of Science (Technology for Rural Development)
Department/Faculty/University	Rural Technology Faculty of Science and Technology Thammasat University
Thesis Advisor	Associate Professor Dr. Supet Jirakajohnkool, Ph.D.
Academic Years	2015

ABSTRACT

Application of High-Frequency radar systems, GNOME model and Geographical Information System (GIS) for predicting the movement of the oil slick in the sea in this paper aims to predict the movement of the oil slick in the sea areas on the east side of the Gulf of Thailand, covering the northeast monsoon, the southwest monsoon and transition period of both seasons and also to evaluate the coastal area effected by oil slick in term of space and time. By importing the speed and direction of hourly surface current from High-Frequency radar systems. The process of preparing the data and interpolates values provided in the study area including wind speed and direction data from automated weather stations at Ko Sichang, coastal and island regions boundary, and the interpretation of satellite data from LANDSAT-8. Moreover, configuring diffusion horizontally and the influence of the wind according to the study result and calibration models of the Pollution Control Department by considering the timing of the spring tide and neap tide in each monsoon season. The tested position was done in a heavy traffic area in front of Laem Chabang port, Chonburi province at latitude 13.0715 N and longitude 100.827 E. Afterward the results from GNOME model were imported to GIS so that evaluate the affected coastal area. The results showed that the movement of the oil slick in the northeast monsoon had direction to the southwest of the tested location. In the southwest monsoon, the oil slick directed to the northeast toward to the Chonburi and Sichang's coast both spring and neap tide period and in the

transition period of two monsoons found the unpredictable movement which based on the influence of the monsoon during the time period. According to the geoprocessing by GIS, the results showed that Ko Sichang coast was the most affected area by the oil spill, which began the most affected during the period 8-18 hours following the time of the leak test. While the coast of Chonburi province was affected by the oil slick in some of the coastal areas such as Tambol Ang Sila, Tambol San Suk, Tambol Na Kleua, and Laem Chabang Municipality which began to be affected by the oil spill during the period of 11-78 hours from the time of the leak test. The study concluded that the variables that have a major influence on the pattern of the oil slick movement were the wind and circulation patterns of surface currents. Also the results of this study can be used to support the implementation of the management plan, incident cases of oil spills at the sea, as well as operating under a real situation including utilized this data processing and the model to be as a guideline and tool for taking advantage from High-Frequency radar systems in the management of marine pollution.

Keywords: High Frequency Radar, GNOME, Geographic Information Systems, Oil Spill

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างสมบูรณ์ ด้วยความช่วยเหลือ ให้คำแนะนำ และความกรุณา จากกรรมการวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.แก้ว นวลฉวี ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กาญจนา นาคะภากร และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วนารัตน์ กรอิสรานุกูล กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาเสียสละเวลาในการเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และให้ข้อชี้แนะที่เป็นประโยชน์ โดยเฉพาะรองศาสตราจารย์ ดร.สุเพชร จิรขจรกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่คอยชี้แนะ ให้คำแนะนำ และแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ผู้ศึกษาขอกราบขอบพระคุณทุกท่านเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ ดร.ศิริลักษณ์ พฤกษ์ปิติกุล หัวหน้าฝ่ายทรัพยากรธรรมชาติ สำนักประยุกต์และบริการภูมิสารสนเทศ สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) ที่ให้การสนับสนุน ให้คำแนะนำ และความช่วยเหลือการแปลภาษาอังกฤษ เจ้าหน้าที่ประจำศูนย์ข้อมูลกลางเรดาร์ชายฝั่ง สทอภ. บางเขน ที่ช่วยให้คำแนะนำ และช่วยเหลือในเรื่องการแปลงรูปแบบข้อมูลจากระบบเรดาร์คลื่นวิทยุความถี่สูง และพี่น้อง ชาว ฝทธ. ทุกท่าน ที่คอยช่วยเหลือและให้กำลังใจเสมอมา ตลอดจนเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาเทคโนโลยีชนบท คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ที่ให้คำแนะนำ และช่วยเหลือด้านเอกสารต่างๆ

ท้ายที่สุดขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อกฤตนัย คุณแม่จิรฐา เกษเดช ครอบครัวเกษเดช และครอบครัวชูชื่น ทุกท่าน สำหรับคำแนะนำ ความช่วยเหลือทุกๆ อย่าง แรงผลักดัน และกำลังใจที่ดียิ่งเสมอมา

นายวัชระ เกษเดช

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	(1)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	(3)
กิตติกรรมประกาศ	(5)
สารบัญตาราง	(12)
สารบัญภาพ	(13)
รายการสัญลักษณ์และคำย่อ	(15)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.4 ขอบเขตการศึกษา	2
บทที่ 2 วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 การรับรู้จากระยะไกล (Remote Sensing: RS)	4
2.1.1 ความหมายของการรับรู้จากระยะไกล	4
2.1.2 กระบวนการและองค์ประกอบการรับรู้จากระยะไกล (Processes and elements of Remote Sensing)	5
2.1.2.1 การได้มาซึ่งข้อมูล (Data acquisition)	5
2.1.2.2 การวิเคราะห์ข้อมูล (Data analysis)	6

2.1.3 แหล่งพลังงานและหลักการแผ่รังสี (Energy sources and radiation principle) 6
2.1.3.1 ช่วงคลื่นเชิงแสง (Optical wavelength) 7
2.1.3.2 ช่วงคลื่นไมโครเวฟ (Microwave) 7
2.1.4 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างพลังงานในชั้นบรรยากาศ (Energy interactions in the atmosphere) 9
2.1.4.1 การกระจัดกระจาย 9
2.1.4.2 การดูดกลืน 9
2.1.4.3 การหักเห 9
2.1.5 เรดาร์ (RADAR) 9
2.1.5.1 โพลาไรเซชัน (Polarization) 10
2.1.5.2 ความขรุขระของพื้นที่ (Roughness Characteristics) 11
2.1.5.3 คุณสมบัติไดอิเล็กทริก (Dielectric constant) 11
2.1.5.4 ความเป็นเหลี่ยมและการเรียงตัวของเป้าหมาย (Angularity and Orientation of the target) 11
2.1.5.5 การกระจัดกระจายเชิงปริมาตร (Volume scattering) 11
2.1.5.6 การทะลุทะลวงของสัญญาณ (Signal penetration) 11
2.1.5.7 การเน้นสัญญาณ (Signal enhancement) 12
2.2 เทคโนโลยีเรดาร์คลื่นวิทยุความถี่สูง (HF Radar) 12
2.2.1 หลักการทำงานของระบบเรดาร์คลื่นวิทยุความถี่สูง 12
2.2.1.1 ความเร็วของเป้าหมาย (Speed of the Target) 15
2.2.1.2 ทิศทางของเป้าหมาย (Bearing of the Target) 15
2.2.1.3 ระยะของเป้าหมาย (Range of the Target) 15
2.2.2 การพัฒนาระบบเรดาร์คลื่นวิทยุความถี่สูงในประเทศไทย 17
2.2.2.1 บริเวณอ่าวไทยตอนบน 18
2.2.2.2 บริเวณอ่าวไทยตอนล่าง 18
2.2.2.3 บริเวณพื้นที่วิกฤติที่มีปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งรุนแรง 18
2.3 ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information Systems: GIS) 19
2.3.1 ความหมายของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ 19
2.3.2 องค์ประกอบของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ 21

2.3.2.1 ฮาร์ดแวร์ (Hardware) 21
2.3.2.2 ซอฟต์แวร์ (Software) 22
2.3.2.3 ข้อมูล (Data) 23
2.3.2.4 วิธีการปฏิบัติงาน (Methodology หรือ Procedure) 23
2.3.2.5 บุคลากร (People) 24
2.3.3 ข้อมูลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ 24
2.3.3.1 ประเภทข้อมูลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ 24
2.3.3.2 การนำเข้าข้อมูล (Data input) 28
2.3.3.3 การจัดเก็บและการแก้ไขข้อมูล (Data storage and editing) 30
2.3.4 การวิเคราะห์ข้อมูลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ 30
2.3.4.1 การวิเคราะห์การซ้อนทับ (Overlay Analysis) 31
2.3.4.2 การประมาณค่าในช่วง (Interpolation) 32
2.4 ระบบกำหนดตำแหน่งบนพื้นโลก (Global Positioning System: GPS) 35
2.5 แบบจำลองในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ 36
2.5.1 แบบจำลองเชิงแนวคิด (Concept model) 36
2.5.2 แบบจำลองเชิงแผนที่ (Cartographic model) 36
2.5.3 แบบจำลองเชิงฐานกฎเกณฑ์ (Rule-Based model) 36
2.5.4 แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ (Mathematical model) 36
2.6 ชายฝั่งทะเล (Coast) 37
2.6.1 คำนิยาม 37
2.6.1.1 ชายทะเล (Shore) 37
2.6.1.2 ชายทะเลส่วนใน (Backshore) 37
2.6.1.3 สันทรายหรือสันหาด (Beam) 37
2.6.1.4 ชายทะเลส่วนนอก (Foreshore) 37
2.6.1.5 ชายทะเลใกล้ฝั่ง (Nearshore) 37
2.6.1.6 นอกชายฝั่ง (Offshore) 37
2.6.2 กระบวนการชายฝั่ง 38
2.6.2.1 ลม 38
2.6.2.2 อุณหภูมิ 39
2.6.2.3 น้ำขึ้น – น้ำลง 39

2.6.2.4 คลื่น 41
2.6.2.5 กระแสน้ำชายฝั่ง 42
2.6.3 อุทกศาสตร์ชายฝั่งทะเลอ่าวไทย 43
2.7 คุณสมบัติของน้ำมันและการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติตามช่วงเวลาของน้ำมันที่รั่วไหลในทะเล 44
2.7.1 คุณสมบัติของน้ำมัน (Properties of oil) 44
2.7.1.1 ความถ่วงจำเพาะ 44
2.7.1.2 คุณสมบัติการกลั่นตัวหรือความสามารถในการระเหย 44
2.7.1.3 ความหนืด 45
2.7.1.4 จุดไหลเท 45
2.7.2 กระบวนการแปรสภาพของน้ำมัน (Weathering processes) 45
2.7.2.1 การแพร่กระจาย 46
2.7.2.2 การระเหย 46
2.7.2.3 การกระจายตัว 46
2.7.2.4 การรวมตัวของน้ำและน้ำมัน 46
2.7.2.5 การสลายตัว 46
2.7.2.6 ออกซิเดชั่น 47
2.7.2.7 การตกตะกอนและการจมตัว 47
2.7.2.8 การย่อยสลายโดยสิ่งมีชีวิต 47
2.8 การจัดการกรณีเกิดเหตุการณ์น้ำมันรั่วไหลในประเทศไทย 49
2.8.1 สาเหตุของน้ำมันรั่วไหล 49
2.8.2 ผลกระทบจากน้ำมันรั่วไหล 50
2.8.2.1 ผลกระทบทางกายภาพ 50
2.8.2.2 ผลกระทบทางชีวภาพและนิเวศวิทยา 50
2.8.2.3 ผลกระทบทางเศรษฐกิจและสังคม 51
2.8.3 แผนป้องกันและขจัดมลพิษทางน้ำเนื่องจากน้ำมันแห่งชาติ 51
2.8.4 การแบ่งระดับน้ำมันรั่วไหลลงสู่แหล่งน้ำ 53
2.9 แบบจำลองคาดการณ์การเคลื่อนที่ของคราบน้ำมัน General NOAA Operational Modeling Environment (GNOME) 54
2.9.1 ปัจจัยกำหนดการเคลื่อนที่ในแบบจำลอง (Movers) 55

2.9.2 การแสดงผลในแบบจำลอง 58
2.10 การศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้อง 60

บทที่ 3 วิธีการวิจัย 66

3.1 ข้อมูลพื้นที่ศึกษา 66
3.2 ข้อมูลและอุปกรณ์ในการศึกษา 68
3.3 ขั้นตอนการดำเนินการ 68
3.3.1 การจัดเตรียมข้อมูล (Preprocessing) 69
3.3.2 การประมวลผลแบบจำลองคาดการณ์การเคลื่อนที่ของคราบน้ำมัน GNOME 73
3.3.3 การวิเคราะห์ข้อมูลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ 75

บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล 78

4.1 การจัดเตรียมข้อมูล 78
4.1.1 การปรับปรุงข้อมูลพื้นที่ชายฝั่ง 78
4.1.2 การประมาณค่าในช่วงและแปลงรูปแบบข้อมูลกระแสน้ำผิวหน้า 78
4.2 การประมวลผลแบบจำลองคาดการณ์การเคลื่อนที่ของคราบน้ำมัน GNOME 79
4.3 การวิเคราะห์ข้อมูลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ 81
4.3.1 การวิเคราะห์แนวชายฝั่งที่ได้รับผลกระทบ 82
4.3.2 การวิเคราะห์ความหนาแน่นการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของคราบน้ำมัน 89
4.3.3 การวิเคราะห์ระดับความเสี่ยงของแนวชายฝั่ง 90
4.4 อภิปรายผล 110

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 113

5.1 สรุปผลการวิจัย 113
5.2 ข้อเสนอแนะ 114

รายการอ้างอิง 115

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก 123
ภาคผนวก ข 125
ภาคผนวก ค 131

ประวัติผู้เขียน 146

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 ช่วงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และคุณสมบัติ 7

2.2 จุดเด่นและจุดด้อยของโครงสร้างข้อมูลแบบเวคเตอร์และแรสเตอร์ 26

2.3 ประเภท ร้อยละขององค์ประกอบ และครึ่งชีวิตของมลพิษที่ใช้ในการคำนวณการระเหยในแบบจำลอง 59

3.1 การเลือกช่วงเวลาสำหรับการประมวลผลแบบจำลอง 73

3.2 การกำหนดคุณลักษณะการรั่วไหลของน้ำมันในแบบจำลอง 74

4.1 ผลการคาดการณ์การเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันจากแบบจำลอง GNOME 80

4.2 ผลการวิเคราะห์แนวชายฝั่งที่ได้รับผลกระทบจากคราบน้ำมัน ในช่วงน้ำเป็น 83

4.3 ผลการวิเคราะห์แนวชายฝั่งที่ได้รับผลกระทบจากคราบน้ำมัน ในช่วงน้ำตาย 84

4.4 ระยะทางที่คราบน้ำมันเคลื่อนที่ได้ไกลที่สุด และระยะแนวชายฝั่งที่ได้รับผลกระทบมากที่สุด 88

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	ความยาวคลื่นและความถี่ของคลื่นแม่แหล็กไฟฟ้า	8
2.2	หลักการตรวจวัดข้อมูลจากระบบเรดาร์คลื่นวิทยุความถี่สูง	14
2.3	สเปคตรัมของการสะท้อนของสัญญาณเรดาร์	14
2.4	ความเร็วของกระแสน้ำในตำแหน่งรัศมีใดๆ (Radial component) ของระบบเรดาร์คลื่นวิทยุความถี่สูงประเภท CODAR	16
2.5	การสร้างเวคเตอร์รวม (Total vector) ข้อมูลกระแสน้ำจากสถานีเรดาร์ 2 สถานี	16
2.6	แผนภาพแนวคิดการพัฒนาระบบเรดาร์ชายฝั่งร่วมกับข้อมูลภูมิสารสนเทศ	17
2.7	พื้นที่ติดตั้งสถานีเรดาร์ชายฝั่งและพื้นที่ครอบคลุมการตรวจวัด	18
2.8	สถานีเรดาร์ชายฝั่งระบบคลื่นวิทยุความถี่สูง (HF Radar) และระบบ X-Band	19
2.9	การจัดเก็บข้อมูลภูมิสาสตร์ในลักษณะการจัดเก็บแบบชั้นข้อมูล	21
2.10	องค์ประกอบของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์	24
2.11	ลักษณะโครงสร้างของข้อมูลเชิงพื้นที่ประเภทเวคเตอร์และแรสเตอร์	26
2.12	การนำเข้าข้อมูลเชิงพื้นที่ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์	29
2.13	การวิเคราะห์การซ้อนทับในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์	32
2.14	ผลลัพธ์จากการประมาณค่าในช่วงด้วยวิธีการต่างๆ	34
2.15	หลักการทำงานของดาวเทียม GPS	35
2.16	องค์ประกอบของชายฝั่งทะเลทั่วไป	38
2.17	ช่วงเวลาในการเกิดน้ำขึ้น-น้ำลง และน้ำเกิด-น้ำตาย	40
2.18	การเกิดคลื่นและการเคลื่อนตัวเข้าสู่ชายฝั่ง	42
2.19	คราบน้ำมันดิบชนิด Nile Blend รั่วไหลในน้ำทะเลซึ่งมีอุณหภูมิต่ำจุดไหลเท	45
2.20	กระบวนการแปรสภาพของน้ำมันในทะเล (Weathering processes)	48
2.21	การกำจัดสารกึ่งแข็งจากกระบวนการรวมตัวของน้ำและน้ำมันชนิด Heavy fuel oil	48
2.22	การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของน้ำมันในกระบวนการ ช่วงเวลา และความสำคัญต่างๆ	49
2.23	ขั้นตอนการจัดการน้ำมันรั่วไหลลงแหล่งน้ำและหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง	52
2.24	การคาดการณ์การเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันในลักษณะเวคเตอร์ลัพธ์	55
2.25	การหาความเร็วและทิศทางจากความเร็วย่อยในแนวตะวันออก-ตะวันตก และความเร็วย่อยในแนวเหนือ-ใต้	57

3.1	พื้นที่ดำเนินการศึกษา	67
3.2	แผนที่แสดงความหนาแน่นของการจราจรทางน้ำ ปี พ.ศ. 2557	67
3.3	ขั้นตอนการดำเนินการศึกษา	69
3.4	ขั้นตอนการประมวลผลข้อมูลและแบบจำลองคาดการณ์การเคลื่อนที่ของคราบน้ำมัน	70
3.5	ขั้นตอนการแปลงข้อมูลกระแสน้ำจากระบบเรดาร์คลื่นวิทยุความถี่สูง (ส่วนที่ 1) ในโปรแกรม ArcGIS Model Builder	72
3.6	ขั้นตอนการประมาณค่าในช่วงข้อมูลความเร็วย่อยข้อมูลกระแสน้ำผิวหน้า และการแปลงข้อมูลกระแสน้ำจากระบบเรดาร์คลื่นวิทยุความถี่สูง (ส่วนที่ 2) ในโปรแกรม ArcGIS Model Builder	72
3.7	กระบวนการประมวลผลข้อมูลผลลัพธ์จากแบบจำลอง GNOME ในโปรแกรม ArcGIS Model Builder	76
3.8	การวิเคราะห์แนวชายฝั่งที่ได้รับผลกระทบ ในโปรแกรม ArcGIS Model Builder	77
3.9	การวิเคราะห์ความหนาแน่นการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของคราบน้ำมัน ในโปรแกรม ArcGIS Model Builder	77
4.1	ผลการปรับปรุงข้อมูลพื้นที่ชายฝั่งจากภาพถ่ายจากดาวเทียม และนำเข้าในแบบจำลอง	78
4.2	ข้อมูลกระแสน้ำผิวหน้าน้ำทะเลจากระบบเรดาร์คลื่นวิทยุความถี่สูง ที่ผ่านการประมาณค่าในช่วงและนำเข้าในแบบจำลอง GNOME	79
4.3	แผนที่แสดงการเคลื่อนที่และกระจายตัวของคราบน้ำมัน จากแบบจำลอง GNOME	80
4.4	เครื่องมือการประมวลผลข้อมูลผลลัพธ์จากแบบจำลอง GNOME	82
4.5	แผนภูมิแสดงผลการวิเคราะห์แนวชายฝั่งที่ได้รับผลกระทบ	85
4.6	ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ความหนาแน่นการกระจายตัวของคราบน้ำมันด้วยเทคนิคเคอร์เนล เดนซิตี้	89
4.7	แผนที่แสดงการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันจากจุดทดสอบ	92
4.8	แผนที่แสดงแนวชายฝั่งที่ได้รับผลกระทบจากคราบน้ำมัน	100
4.9	แผนที่แสดงระดับความเสี่ยงของแนวชายฝั่งที่ได้รับผลกระทบจากคราบน้ำมัน	108

รายการสัญลักษณ์และคำย่อ

สัญลักษณ์/คำย่อ	คำเต็ม/คำจำกัดความ
BF	Beam-Forming
COCMP	The Coastal Ocean Currents Monitoring Program
CSV	Comma Separated Values
DF	Direction-Finding
ECMW	European Center of Medium Range Weather Forecast
FM	Frequency Modulation
GIS	Geographic Information Systems
GNOME	General NOAA Operational Modeling Environment
GPS	Global Positioning System
HAZMAT	Hazardous Materials Response Division
HF Radar	High Frequency Radar
IDW	Inverse Distance Weight
LEs	Lagrangian elements
LPTA	Lagrangian Particle Tracking Algorithms
MOSS	Map Overlay Statistical System
NAVSTAR GPS	Navigation Signal Timing and Ranging Global Positioning System
NCOM	Navy Coastal Ocean Model
NetCDF	Network Common Data File
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
OR&R	Office of Response and Restoration
ROMS	Reginal Ocean Modeling System
RS	Remote Sensing
UCAR	University Corporation for Atmospheric Research
WERA	WEllan Radar

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

เหตุการณ์น้ำมันรั่วไหลในทะเลในประเทศไทย เป็นเหตุการณ์ที่พบเห็นได้บ่อยครั้งตั้งแต่อดีตถึงปัจจุบันทั้งด้วยสาเหตุจากความตั้งใจและอุบัติเหตุจากการขนส่งทางทะเล ในระดับความรุนแรงที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับปริมาณและชนิดของน้ำมันที่รั่วไหล พื้นที่ที่เกิดเหตุ สภาวะแวดล้อมขณะเกิดเหตุ และประสิทธิภาพในการจัดการแก้ไขปัญหาหลังเกิดเหตุ ซึ่งในเหตุการณ์แต่ละครั้งล้วนสร้างความเสียหาย และส่งผลกระทบในหลายๆ ด้าน ทั้งด้านระบบนิเวศทางน้ำและทรัพยากรธรรมชาติ การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ธุรกิจการท่องเที่ยว ก่อให้เกิดความเสียหายทางเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม คิดเป็นมูลค่ามหาศาล ตลอดจนก่อเกิดการสะสมของมลพิษในห่วงโซ่อาหารและส่งผลกระทบต่อมนุษย์ในที่สุดในฐานะหนึ่งในผู้บริโภคในห่วงโซ่อาหาร ในส่วนพื้นที่เกิดเหตุ ส่วนใหญ่เกิดขึ้นในบริเวณที่มีกิจกรรมการการขนส่งทางทะเล และบริเวณพื้นที่ที่มีกิจกรรมด้านพลังงาน ซึ่งกรมควบคุมมลพิษ (2553) ได้ประเมินเขตความเสี่ยงต่อน้ำมันรั่วไหลในทะเลไว้ว่า บริเวณชายฝั่งทะเลด้านตะวันออกครอบคลุมพื้นที่ในจังหวัดฉะเชิงเทรา ชลบุรี และระยอง ที่มีการจราจรทางน้ำหนาแน่น และมีกิจกรรมการขนถ่ายน้ำมันบริเวณท่าเทียบเรือกลางทะเล และชายฝั่งที่เป็นที่ตั้งของโรงกลั่นน้ำมัน จัดอยู่ในเขตพื้นที่ความเสี่ยงต่อน้ำมันรั่วไหลสูงมาก โดยเฉพาะในพื้นที่จังหวัดชลบุรีเป็นที่ตั้งของท่าเรือแหลมฉบัง ซึ่งเป็นท่าเรือขนาดใหญ่ และมีแผนการพัฒนาท่าเรือในโครงการขั้นที่ 3 เพื่อรองรับการขับเคลื่อนเศรษฐกิจของประเทศและภูมิภาคที่มีการเปิดเสรีทางการค้า โดยเชื่อมโยงและยกระดับท่าเรือเป็นประตูสู่ภูมิภาคทางทะเล (ท่าเรือแหลมฉบัง, 2558) ปัจจัยดังกล่าวข้างต้นนี้ล้วนเป็นการเพิ่มโอกาสการเกิดเหตุการณ์น้ำมันรั่วไหลในทะเล

การวางแผนจัดการ แผนเผชิญเหตุ และกำหนดแนวทางการป้องกันและแก้ไขกรณีเกิดเหตุการณ์น้ำมันรั่วไหลในทะเลบริเวณพื้นที่ต่างๆ รวมไปถึงการติดตามและเฝ้าระวังบริเวณพื้นที่เสี่ยงที่อาจได้รับผลกระทบจากการรั่วไหลของน้ำมัน ตลอดจนการพัฒนาเครื่องมือกลไกสนับสนุนกิจกรรมตามแผนดังกล่าว จึงเป็นแนวทางที่ผู้ที่เกี่ยวข้องพึงให้ความสำคัญ และปรับปรุงอย่างต่อเนื่องสอดคล้องกับแนวทางการดำเนินการ ในข้อ 4 ยุทธศาสตร์การคุ้มครองการใช้ประโยชน์จากทะเล ของแผนความมั่นคงแห่งชาติทางทะเล พ.ศ. 2558 – 2564 ซึ่งระบุไว้ว่า “ในเรื่องภัยพิบัติ สาธารณภัยและภัยธรรมชาติ ให้มีการปรับปรุงและพัฒนาองค์กร กลไก เครื่องมือ ขีดความสามารถ ความร่วมมือระหว่างเจ้าหน้าที่รัฐกับประชาชน และความร่วมมือระหว่างประเทศ ตลอดจนการเชื่อมระบบฐานข้อมูลแบบบูรณาการ และการเตือนภัยล่วงหน้าในทุกระดับ เพื่อให้มีการติดตาม ค้นหา ช่วยเหลือบรรเทา ฟื้นฟู และเยียวยาผู้ประสบภัยทางทะเลอย่างมีประสิทธิภาพตามมาตรฐานสากล ตลอดจนสร้างและแสวงหากลไกเพื่อประสานความร่วมมือกับนานาประเทศ” (สำนักงานสภาความมั่นคงแห่งชาติ, 2558)

การคาดการณ์การเคลื่อนที่และกระจายตัวของคราบน้ำมันในทะเลด้วยแบบจำลองร่วมกับการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพสามารถนำมาประยุกต์ในการวางแผนและแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้เป็นอย่างดี เนื่องจากเป็นการ

วิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ร่วมกับข้อมูลปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมทางทะเล สภาพทางอุตุนิยมวิทยา และคุณลักษณะเฉพาะของน้ำมัน ทั้งนี้ การประมวลผลแบบจำลองคาดการณ์การเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันในทะเลที่มีความถูกต้องแม่นยำสูง จำเป็นต้องอาศัยข้อมูลปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมทางทะเลที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่และเชิงเวลาที่เพียงพอ มีความต่อเนื่อง และมีความถูกต้องแม่นยำสูง โดยเฉพาะข้อมูลกระแสน้ำผิวหน้า เป็นปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันในทะเล ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้ข้อมูลกระแสน้ำผิวหน้าจากแบบจำลองทางสมุทรศาสตร์ ปัจจุบันประเทศไทยได้มีการพัฒนาระบบเรดาร์คลื่นวิทยุความถี่สูง หรือ HF Radar ซึ่งเป็นเทคโนโลยีการรับรู้จากระยะไกลรูปแบบหนึ่งที่สามารถตรวจวัดข้อมูลกระแสน้ำผิวหน้าและคลื่นในลักษณะใกล้เคียงเวลาจริง มีความต่อเนื่องในการตรวจวัด และครอบคลุมพื้นที่กว้าง การใช้ข้อมูลจากระบบเรดาร์คลื่นวิทยุความถี่สูงนำเข้าในแบบจำลองคาดการณ์การเคลื่อนที่ของคราบน้ำมัน จะช่วยให้สามารถคาดการณ์การเคลื่อนที่ของคราบน้ำมัน และประเมินพื้นที่ชายฝั่งที่อาจได้รับผลกระทบได้แม่นยำขึ้น อีกทั้งยังเป็นการบูรณาการข้อมูล และเทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพในการวางแผนจัดการด้านมลพิษและสิ่งแวดล้อมทางทะเลอีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อคาดการณ์การเคลื่อนที่และการกระจายตัวของคราบน้ำมันในทะเล ในบริเวณพื้นที่ศึกษา

1.2.2 เพื่อประเมินพื้นที่ชายฝั่งที่เสี่ยงต่อการได้รับผลกระทบจากการรั่วไหลของน้ำมันในพื้นที่ศึกษา ในเชิงพื้นที่และเวลา

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 เครื่องมือและข้อมูลสนับสนุนการจัดทำแผนเผชิญเหตุ แผนการจัดการ ป้องกันและแก้ไขการรั่วไหลของน้ำมันในทะเล ตลอดจนการบูรณาการข้อมูลด้านทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งที่สำคัญ สำหรับการจัดทำหรือปรับปรุงเขตความเสี่ยงต่อน้ำมันรั่วไหล และการประเมินวางแผน เฝ้าระวังแหล่งทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งที่สำคัญ

1.3.2 เครื่องมือสนับสนุนการดำเนินงานภายใต้แผนความมั่นคงแห่งชาติทางทะเล พ.ศ. 2558 - 2564 และหน่วยงานด้านสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้อง

1.3.3 การใช้ประโยชน์ข้อมูลจากระบบเรดาร์คลื่นวิทยุความถี่สูงอย่างเป็นรูปธรรม และก่อเกิดประโยชน์กับหลายๆ หน่วยงาน

1.4 ขอบเขตการศึกษา

1.4.1 การประมวลผลแบบจำลองการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันในทะเล ใช้แบบจำลอง General NOAA Operational Modeling Environment (GNOME) เวอร์ชั่น 1.3.9

1.4.2 การประมวลผลแบบจำลอง จะประมวลผลในสถานะที่ไม่มีการกำจัดหรือควบคุมการแพร่กระจายของคราบน้ำมัน และกำหนดชนิดน้ำมันที่เกิดการรั่วไหลเป็นน้ำมันดิบชนิดกลาง (Medium Crude oil)

1.4.3 ใช้ข้อมูลความเร็วและทิศทางกระแสน้ำจากระบบเรดาร์คลื่นวิทยุความถี่สูงรายชั่วโมง รายละเอียดเชิงพื้นที่ 2 กิโลเมตร ของสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) บริเวณอ่าวไทยตอนบน ตรวจวัดข้อมูลในปี พ.ศ. 2558 โดยรวบรวมข้อมูลจากเว็บไซต์ http://coastalradar.gistda.or.th

1.4.4 ใช้ข้อมูลความเร็วและทิศทางลมรายชั่วโมงจากสถานีตรวจอากาศอัตโนมัติ (Automatic Weather Station หรือ AWS) ของกรมอุตุนิยมวิทยา สถานีเกาะสีชัง ตรวจวัดข้อมูลในปี พ.ศ. 2558 รวบรวมข้อมูลจาก http://www.aws-observation.tmd.go.th

1.4.5 การปรับปรุงข้อมูลพื้นที่ชายฝั่ง ใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม LANDSAT-8 ระบบหลายช่วงคลื่น และช่วงคลื่นเดียว แนวถ่ายภาพ (Path/Row) ที่ 129051 รวบรวมข้อมูลจาก United States Geological Survey (USGS) ที่เว็บไซต์ http://earthexplorer.usgs.gov/

1.4.6 การประมวลผลแบบจำลองคาดการณ์การเคลื่อนที่ของน้ำมัน ครอบคลุมช่วงฤดูมรสุม 4 ฤดู ประกอบด้วย ฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุมของทั้งสองฤดู

1.4.7 การประมวลผลแบบจำลองคาดการณ์การเคลื่อนที่ของคราบน้ำมัน ประมวลผลในช่วงน้ำเป็นและน้ำตาย โดยสุ่มเลือกช่วงเวลาที่เป็นตัวแทนในแต่ละฤดูมรสุม

1.4.8 ขอบเขตพื้นที่ศึกษา บริเวณอ่าวไทยตอนบนฝั่งตะวันออก ครอบคลุมพื้นที่ชายฝั่งจังหวัดชลบุรี ในระยะห่างจากชายฝั่งประมาณ 40 กิโลเมตร

บทที่ 2
วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาในครั้งนี้ มีทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ประกอบด้วย การรับรู้จากระยะไกล เทคโนโลยีเรดาร์คลื่นวิทยุความถี่สูง ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ระบบกำหนดตำแหน่งบนพื้นโลก แบบจำลองในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ชายฝั่งทะเล คุณสมบัติของน้ำมันและการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติตามช่วงเวลาของน้ำมันที่รั่วไหลในทะเล การจัดการกรณีเกิดเหตุการณ์น้ำมันรั่วไหลในประเทศไทย แบบจำลองคาดการณ์การเคลื่อนที่ของคราบน้ำมัน General NOAA Operational Modeling Environment (GNOME) และการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้อง รายละเอียดดังนี้

2.1 การรับรู้จากระยะไกล (Remote Sensing: RS)

2.1.1 ความหมายของการรับรู้จากระยะไกล

การรับรู้จากระยะไกล หรือ Remote Sensing ในภาษาไทยมีคำแปลที่ใช้กันอยู่หลายคำ เช่น การรับรู้จากระยะไกล การสำรวจข้อมูลจากระยะไกล โทรสัมผัส และ โทรนิทัศน์ เป็นต้น โดยราชบัณฑิตสถานใช้คำว่า “การรับรู้จากระยะไกล” (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน), 2553) ซึ่งมีผู้ให้ความหมายหรือคำนิยามไว้หลากหลาย ดังนี้

สุเพชร จิรขจรกุล (2555) อ้างถึง สุรชัย (2546) กล่าวว่า การรับรู้จากระยะไกล หรือ รีโมทเซนซิง เป็นวิทยาศาสตร์และศิลปะของการได้มาซึ่งข้อมูลเกี่ยวกับวัตถุ พื้นที่ หรือปรากฏการณ์จากเครื่องมือบันทึกข้อมูล โดยปราศจากการเข้าไปสัมผัสวัตถุเป้าหมาย ทั้งนี้อาศัยคุณสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นสื่อในการได้มาของข้อมูลใน 3 ลักษณะ คือ ช่วงคลื่น (Spectral) รูปทรงสัณฐานของวัตถุบนพื้นผิวโลก (Spatial) และการเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลา (Temporal) สอดคล้องกับ กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง (2557) ซึ่งสรุปไว้ว่า การรับรู้จากระยะไกล เป็นวิทยาศาสตร์และศิลปะของการได้มาซึ่งข้อมูลเกี่ยวกับวัตถุบนพื้นผิวโลก หรือปรากฏการณ์ต่างๆ โดยปราศจากการสัมผัสกับวัตถุ หรือปรากฏการณ์นั้นๆ โดยอาศัยคุณสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ในขณะที่ วนิตา เผ่านาค (2533) ได้สรุปไว้ว่า รีโมทเซนซิง คือ การเก็บข้อมูลเกี่ยวกับสิ่งต่างๆ ที่ต้องการศึกษาไม่ว่าจะเป็นสิ่งต่างๆ บนพื้นโลก เช่น ทรัพยากรธรรมชาติ พื้นที่ สิ่งก่อสร้าง ปรากฏการณ์ต่างๆ การเก็บข้อมูลนี้อาศัยปรากฏการณ์ที่พลังงานแม่เหล็กไฟฟ้ากระทำขึ้น และจะต้องอาศัยเครื่องมือในการเก็บข้อมูลนั้น โดยไม่ต้องมีการสัมผัสระหว่างเครื่องมือและเป้าที่ต้องการจะศึกษา

Lillesand and Kiefer (2000) อ้างใน กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง (2557) กล่าวถึงคำจำกัดความของการรับรู้จากระยะไกลไว้ว่า เป็นทั้งวิทยาศาสตร์และศิลปะในการได้มาซึ่งสารสนเทศทางด้านวัตถุ พื้นที่ และปรากฏการณ์ต่างๆ บันทึกด้วยเครื่องมือโดยไม่ได้สัมผัสโดยตรงกับวัตถุ พื้นที่ หรือปรากฏการณ์ที่ถูกบันทึกตรวจจับนั้นๆ

กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง (2555) ได้สรุปคำจำกัดความของการสำรวจข้อมูลระยะไกลไว้ว่า เป็นวิทยาศาสตร์และศิลปะของการได้มาซึ่งข้อมูลเกี่ยวกับวัตถุ พื้นที่ หรือปรากฏการณ์จากเครื่องบันทึกข้อมูล โดยปราศจากการเข้าไปสัมผัสวัตถุเป้าหมาย ทั้งนี้โดยอาศัยคุณสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นสื่อในการได้มาของข้อมูล 3 ลักษณะ คือ ช่วงคลื่น (Spectral)

รูปทรงสัณฐานของวัตถุบนพื้นโลก และการเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลา (Temporal) หรืออาจกล่าวได้ว่าการสำรวจข้อมูลระยะไกลเกี่ยวข้องกับองค์ประกอบสามส่วน ได้แก่ ระบบบันทึกข้อมูลชนิดต่างๆ ที่อยู่ห่างไกลจากวัตถุ หรือพื้นที่เป้าหมาย พลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า และการวิเคราะห์และการแปลความหมายข้อมูลที่บันทึก เพื่อเอาข้อมูลที่ได้จากการแปลมาใช้ประโยชน์ เป็นการสำรวจศึกษาทรัพยากรธรรมชาติที่บันทึกปริมาณการสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์จากทรัพยากรต่างๆ หรือพลังงานที่ประดิษฐ์ขึ้นเป็นสื่อในการได้มาของข้อมูล แล้วแปลงเป็นข้อมูลเชิงเลข ที่เรียกว่า ค่าความสว่าง จากนั้นนำค่าความสว่างมาผลิตเป็นภาพ หรือคงไว้เป็นค่าเชิงเลข เพื่อทำการตีความและวิเคราะห์เป็นการบูรณาการองค์ความรู้ด้านต่างๆ อาทิ รังสีจากดวงอาทิตย์ที่อยู่ในรูปของพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า อุปกรณ์บันทึกข้อมูล และอากาศยาน เป็นต้น

ศุทธินี ดนตรี (2544) กล่าวถึง รีโมทเซนซิง หรือการรับรู้จากระยะไกล ไว้ว่า รีโมทเซนซิง ประกอบด้วยคำ 2 คำ คือ remote หมายถึง ระยะไกล และ sensing หมายถึง การสัมผัสหรือการรับรู้ ถ้าตีความตามศัพท์ หมายถึง การรับรู้ข้อมูลในระยะไกลโดยผ่านเครื่องมือซึ่งผู้รับรู้ไม่ได้สัมผัสกับวัตถุนั้นๆ โดยตรง จากความหมายกว้างๆ นี้ การถ่ายภาพทิวทัศน์โดยกล้องถ่ายรูป การส่องกล้องจุลทรรศน์ตรวจดูเชื้อโรค การถ่ายภาพถ่ายทางอากาศจากเครื่องบิน การฉายรังสี X-ray เพื่อตรวจสอบสุขภาพของร่างกาย ฯลฯ จึงจัดเป็นงานทางรีโมทเซนซิงทั้งหมด สำหรับรีโมทเซนซิงในวิชาภูมิศาสตร์มีความหมายเฉพาะมากขึ้น โดยมีความหมายถึงการหาข้อมูลหรือข่าวสารเกี่ยวกับวัตถุ สิ่งของ หรือพื้นที่เป้าหมาย ซึ่งอยู่ไกลจากเครื่องมือที่ใช้วัดหรือใช้บันทึก โดยที่เครื่องมือเหล่านั้นไม่ได้สัมผัสกับสิ่งของ หรือเป้าหมายดังกล่าว เครื่องมือที่ใช้วัดบันทึกข้อมูล เช่น กล้องถ่ายรูป เครื่องวัดรังสีค่าสะท้อน เครื่องวัดคลื่นความร้อน เครื่องกวาดภาพ เลเซอร์ เครื่องคลื่นวิทยุ ฯลฯ โดยติดตั้งไปกับเครื่องบิน ยานอากาศ ยานอวกาศ หรือดาวเทียมที่ถูกส่งไปอยู่เหนือพื้นผิวโลกในระยะทางไกลมาก จนสามารถมองเห็นบริเวณที่ต้องการศึกษาได้ในบริเวณกว้าง แล้วทำการรับและบันทึกข้อมูลในรูปของสัญญาณของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic wave) ซึ่งเป็นพลังงานที่สะท้อนจากวัตถุต่างๆ บนพื้นผิวโลกที่แพร่กระจายออกไป (Emission) สู่อวกาศ แล้วนำเอาสัญญาณนั้นมาแปลงเป็นข้อมูลในเชิงตัวเลข (Digital data) ที่มีการปรับแก้ค่าความผิดพลาดต่างๆ แล้วสามารถนำมาวิเคราะห์ศึกษาวัตถุต่างๆ ในบริเวณที่ศึกษา ทั้งในการจำแนกประเภท การศึกษาลักษณะทั้งทางกายภาพและคุณลักษณะ และแสดงผลได้ทั้งในรูปภาพพิมพ์ (Hard copy) หรือข้อมูลเชิงตัวเลข รีโมทเซนซิงจึงจัดเป็นทั้งศาสตร์ทางวิทยาศาสตร์และทางศิลปะของการได้มาซึ่งข้อมูลเกี่ยวกับวัตถุต่างๆ บนพื้นผิวโลก โดยไม่มีการสัมผัสกับสิ่งเหล่านั้นโดยตรง

นอกจากนี้ในบริบทด้านสมุทรศาสตร์ การรับรู้จากระยะไกล ยังมีความหมายรวมไปถึง การตรวจวัดข้อมูลทางวิทยาศาสตร์จากระยะไกล โดยไม่ได้ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัด (Measuring instruments) ที่สัมผัสกับผิวหน้าน้ำทะเลโดยตรง (Joseph, 2014)

2.1.2 กระบวนการและองค์ประกอบการรับรู้จากระยะไกล (Processes and elements of Remote Sensing) สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) (2553) ได้กล่าวถึงกระบวนการและองค์ประกอบของการรับรู้ระยะไกลไว้ดังนี้

2.1.2.1 การได้มาซึ่งข้อมูล (Data acquisition) โดยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากแหล่งกำเนิดพลังงาน เช่น ดวงอาทิตย์ เคลื่อนที่ผ่านชั้นบรรยากาศ เกิดปฏิสัมพันธ์ของพลังงานกับ

รูปลักษณ์พื้นผิวโลก และเดินทางเข้าสู่เครื่องรับรู้ที่ติดตั้งในตัวยาน ได้แก่ เครื่องบิน ยานอวกาศ และดาวเทียม ถูกบันทึกและผลิตเป็นข้อมูลในรูปแบบภาพ (Pictorial หรือ Photograph) และหรือรูปแบบเชิงเลข (Digital form)

2.1.2.2 การวิเคราะห์ข้อมูล (Data analysis) ประกอบด้วย การแปลตีความข้อมูลด้วยสายตา (Visual interpretation) และการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงเลข (Digital analysis) โดยมีข้อมูลอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องประกอบด้วยข้อมูลอ้างอิงต่างๆ เช่น แผนที่ดิน ข้อมูลปฏิทินและสถิติการปลูกพืช และอื่นๆ ผลการวิเคราะห์ผลิตผลของการแปลตีความในรูปแบบแผนที่ ข้อมูลเชิงเลข ตารางคำอธิบาย หรือแผนภูมิเป็นต้น เพื่อใช้ประโยชน์ต่อไป

2.1.3 แหล่งพลังงานและหลักการแผ่รังสี (Energy sources and radiation principle) สถาบันพัฒนาองค์ความรู้ด้านอวกาศ (2550) สรุปไว้ว่า ความยาวคลื่นของพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า เป็นพลังงานต่อเนื่องที่มีค่าความยาวของช่วงคลื่นหลายเมตรถึงเศษส่วนของพันล้านเมตร (Nanometer; 10^{-9} เมตร) โดยดวงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดพลังงานในรูปแม่เหล็กไฟฟ้าทางธรรมชาติที่สำคัญและเป็นหลักทางการรับรู้จากระยะไกล ซึ่งจะแผ่พลังงานไปตามทฤษฎีของการแผ่พลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic theory) แยกออกเป็นทฤษฎีคลื่น (Wave theory) และทฤษฎีอนุภาค (Particle theory) ซึ่งในทางการรับรู้จากระยะไกลจะใช้ทฤษฎีคลื่นเป็นหลักที่มีการเคลื่อนที่แบบฮาร์โมนิค (Harmonic motion) มีช่วงซ้ำและจังหวะเท่ากันในเวลาหนึ่งมีความเร็วเท่าความเร็วแสง (c) ระยะทางจากยอดคลื่นถึงยอดคลื่นถัดไปเรียกว่าความยาวคลื่น (λ) และจำนวนยอดคลื่นที่เคลื่อนผ่านจุดคงที่ หนึ่งต่อหน่วยเวลา เรียกว่า ความถี่คลื่น (f) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับความเร็วคลื่น คือ

$$\lambda = c / f \qquad \text{สมการที่ 2.1}$$

โดยที่ λ คือ ความยาวคลื่น (ไมโครเมตร)
C คือ ความเร็วของคลื่นมีค่าคงที่ 3 x 10^{8} เมตร/วินาที
f คือ ความถี่คลื่น จำนวนรอบต่อวินาที (cycle/sec หรือ hertz)

จากสมการความยาวคลื่นกับความถี่คลื่น มีความสัมพันธ์กันแบบผกผัน คือ ความยาวคลื่นมากความถี่คลื่นจะน้อย ความยาวคลื่นมีหน่วยวัดเรียกว่าไมโครเมตร (Micrometer) หรือไมครอน (Micron, μ) ซึ่งเท่ากับ 0.000001 เมตร หรือ 10^{-6} เมตร คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า แบ่งตามความยาวคลื่นที่เรียกว่า ช่วงคลื่น (Band) ตั้งแต่ช่วงคลื่นที่สั้นที่สุด คือ รังสีคอสมิก (Cosmic rays) มีความยาวคลื่นน้อยกว่า 10^{-10} เมตร จนถึงช่วงคลื่นวิทยุที่มีความยาวคลื่นหลายกิโลเมตร รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 2.1 สำหรับคุณสมบัติของช่วงคลื่นประกอบด้วยช่วงคลื่นตามลำดับความยาวดังนี้ รังสีแกมมา รังสีเอ็กซ์ อัลตราไวโอเลต ช่วงคลื่นตามองเห็น อินฟราเรด ไมโครเวฟ และคลื่นวิทยุ (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน), 2553) โดยคุณสมบัติของคลื่นดังกล่าว มีคุณสมบัติที่สำคัญ 2 ด้านที่มีผลต่อการรับรู้จากระยะไกล คือ ความยาวคลื่น

(Wavelength) และความถี่ (Frequency) ความยาวคลื่น หมายถึง ระยะทางระหว่างยอดคลื่นหนึ่งไปยังยอดคลื่นถัดไป ในหน่วยเมตร เช่น นาโนเมตร (nm) ไมโครเมตร (μm) มิลลิเมตร (mm) เซนติเมตร (cm) เมตร (m) กิโลเมตร (km) ส่วนความถี่ หมายถึง จำนวนคลื่นที่เคลื่อนที่ผ่านจุดๆ หนึ่งในหนึ่งหน่วยเวลา โดยทั่วไปมีหน่วยเป็นเฮิร์ตซ์ (Hertz หรือ Hz) ซึ่งหมายถึง จำนวนรอบคลื่นต่อวินาที แต่อาจมีหน่วยเป็นพหุคูณของเฮิร์ตซ์ก็ได้ เช่น กิโลเฮิร์ตซ์ (kHz) เมกะเฮิร์ตซ์ (MHz) จิกะเฮิร์ตซ์ (GHz) เป็นต้น (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2557) จากภาพที่ 2.1 จะเห็นว่า หากช่วงคลื่นยาวจะมีความถี่ต่ำ ในทางตรงกันข้าม หากช่วงคลื่นสั้นจะมีความถี่สูง ช่วงคลื่นที่ใช้ประกอบในการรับรู้จากระยะไกล แบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

2.1.3.1 ช่วงคลื่นเชิงแสง (Optical wavelength) อยู่ระหว่าง 0.4-14 ไมโครเมตร สามารถถ่ายภาพและบันทึกภาพด้วยฟิล์มถ่ายรูป และเครื่องรับรู้ ประกอบไปด้วย ช่วงคลื่นที่มีผลตอบสนองต่อตาของมนุษย์ หรือช่วงคลื่นตามองเห็น (Visible light) อยู่ระหว่าง 0.4-0.7 ไมโครเมตร แบ่งเป็น 3 ช่วงคือ น้ำเงิน เขียว และแดง ถัดมาเป็นช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (Near infrared) หรืออินฟราเรดสะท้อนซึ่งอยู่ระหว่าง 0.7-3 ไมโครเมตร และอินฟราเรด

2.1.3.2 ช่วงคลื่นไมโครเวฟ (Microwave) อยู่ระหว่าง 1 มิลลิเมตร ถึง 1 เมตร โดยช่วงคลื่นในกลุ่มนี้ มักนิยมเรียกหน่วยนับเป็นหน่วยความถี่ ต่างจากกลุ่มช่วงคลื่นเชิงแสงที่มีหน่วยเป็นความยาวคลื่น ที่รู้จักกันดีก็คือระบบเรดาร์ ซึ่งจะทำการบันทึกข้อมูลในช่วงคลื่นความถี่ระหว่าง 3-12.5 GHz (ความยาวคลื่นระหว่าง 2.4-100 เซนติเมตร)

โดยทั่วไปแล้วระบบการรับรู้ (Sensing system) ที่สามารถตรวจวัดพลังงานที่สะท้อนจากวัตถุและแผ่รังสีออกมาโดยธรรมชาติเรียกว่า ระบบแพสซิฟ (Passive) ไม่ว่าจะอาศัยดวงอาทิตย์ หรือเป็นพลังงานที่แผ่รังสีจากตัวเองส่วนระบบการรับรู้ที่มีแหล่งพลังงานที่สร้างขึ้นและส่งไปยังวัตถุเป้าหมายเรียกว่า ระบบแอ็กทิฟ (Active) เช่น ระบบเรดาร์ ต้องส่งพลังงานที่สังเคราะห์ขึ้นไปกระทบวัตถุเป้าหมาย แล้วตรวจหา (Detect) พลังงานที่กระจัดกระจายกลับ (Backscatter)

ตารางที่ 2.1 ช่วงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และคุณสมบัติ

ช่วงคลื่น	ความยาวคลื่น	รายละเอียด
อินฟราเรด	0.7-1.00 ไมโครเมตร	มีปฏิสัมพันธ์กับวัตถุตามความยาวคลื่นและการผ่านชั้นบรรยากาศ มีการดูดซึมในบางช่วงคลื่น
อินฟราเรดชนิดสะท้อน (Reflected IR band)	0.7-3.0 ไมโครเมตร	สะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ ซึ่งไม่มีรายละเอียดเกี่ยวกับช่วงความร้อนของวัตถุ ช่วงคลื่น 0.7-0.9 ไมโครเมตร สามารถถ่ายด้วยฟิล์ม เรียกว่า ช่วงคลื่นอินฟราเรด (Photographic IR band)
อินฟราเรดความร้อน	3-5 ไมโครเมตร 8-14 ไมโครเมตร	การบันทึกภาพต้องใช้อุปกรณ์พิเศษ เช่น เครื่องกวาดภาพ
ไมโครเวฟ	0.1-30 เซนติเมตร	ช่วงคลื่นยาวสามารถทะลุผ่านหมอกและฝนได้ บันทึกภาพได้ทั้งระบบแอ็กทิฟและแพสซิฟ

ช่วงคลื่น	ความยาวคลื่น	รายละเอียด
เรดาร์	0.1-3.0 เซนติเมตร	ระบบแอ็กทิฟมีความยาวช่วงคลื่นต่างๆ เช่น X band (30 มิลลิเมตร) L band (25 เซนติเมตร)
วิทยุ (Radio)	> 30 เซนติเมตร	ช่วงคลื่นที่ยาวที่สุด บางครั้งมีเรดาร์อยู่ในช่วงนี้ด้วย

ที่มา: สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) (2553)

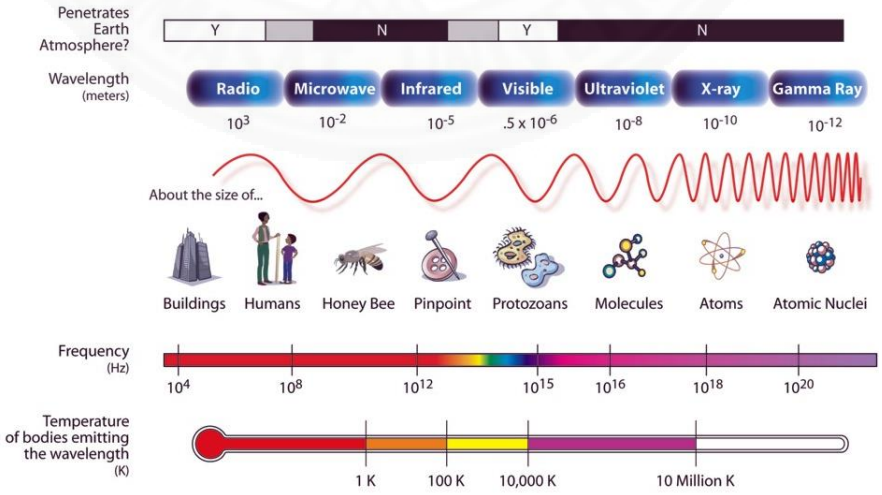
ในการรับรู้จากระยะไกล เป็นการวัดสัดส่วนในการสะท้อนพลังงานของวัตถุบนผิวโลก ณ ช่วงคลื่นใดช่วงคลื่นหนึ่ง เรียกว่า ความสะท้อนเชิงสเปกตรัม (Spectral Reflectance) ซึ่งหาได้จากสมการที่ 2.2

$$\rho_{\lambda} = E_{\lambda}(\lambda) / E_{I}(\lambda) \qquad \text{สมการที่ 2.2}$$

โดยที่ ρ_{λ} คือ ความสะท้อนเชิงสเปกตรัม ที่ช่วงคลื่น λ มักนิยมแสดงเป็นอัตราส่วน หรือร้อยละระหว่างพลังงานสะท้อนต่อพลังงานตกกระทบ

$E_{I}(\lambda)$ คือ พลังงานตกกระทบ (Incident energy) ที่ความยาวคลื่น λ

ดังนั้นพลังงานที่วัดได้โดยเครื่องรับรู้จึงประกอบด้วยพลังงานที่สะท้อนหรือแผ่จากพื้นผิววัตถุพลังงานบางส่วนจากปฏิสัมพันธ์ในชั้นบรรยากาศ พลังงานที่สะท้อนกลับโดยตรงจากก้อนเมฆ ค่าที่วัดได้นี้จะน้อยหรือมาก หรือเปลี่ยนแปลงไปขึ้นอยู่กับสภาวะของบรรยากาศ มุมของดวงอาทิตย์ ตำแหน่งของเครื่องรับรู้คุณสมบัติของวัตถุในการสะท้อน การดูดกลืนและการส่งผ่านพลังงาน (สถาบันพัฒนาองค์ความรู้ด้านอวกาศ, 2550 และสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน), 2553)



ภาพที่ 2.1 ความยาวคลื่นและความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
ที่มา: Oostra, n.d.

2.1.4 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างพลังงานในชั้นบรรยากาศ (Energy interactions in the atmosphere) สถาบันพัฒนาองค์ความรู้ด้านอวกาศ (2550) และสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) (2553) กล่าวว่า คลื่นพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศแล้วสะท้อนกลับสู่บรรยากาศก่อนที่จะถูกตรวจหาโดยเครื่องรับรู้ บรรยากาศของโลกทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของคลื่นพลังงานในด้านทิศทาง ความเข้ม ตลอดจนความยาวและความถี่ของช่วงคลื่น เพราะชั้นบรรยากาศ ประกอบด้วย ฝุ่นละออง ไอน้ำ และก๊าซต่างๆ ทำให้เกิดปฏิกิริยากับคลื่นพลังงาน 3 กระบวนการ คือ การกระจัดกระจาย (Scattering) การดูดกลืน (Absorption) และการหักเห (Refraction) ทำให้ปริมาณพลังงานตกกระทบผิวโลกน้อยลง รายละเอียดดังนี้

2.1.4.1 การกระจัดกระจาย เกิดขึ้นเนื่องจากอนุภาคเล็กๆ ในบรรยากาศมีทิศทางการกระจายไม่แน่นอน ขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาค และความยาวคลื่น ซึ่งแยกได้ 3 ประเภท ดังนี้

(1) การกระจัดกระจายแบบเรย์ลี เกิดขึ้นเนื่องจากขนาดของอนุภาคมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่าความยาวคลื่นที่ตกกระทบ ทำให้เกิดสภาวะหมอกแดด (Haze) ส่งผลให้ความคมชัดของภาพลดลง

(2) การกระจัดกระจายแบบมี เกิดขึ้นเมื่อขนาดของอนุภาคมีขนาดใกล้เคียงกับความยาวคลื่น เช่น ไอน้ำ ฝุ่นละออง เกิดในความยาวของช่วงคลื่นยาวกว่าแบบเรย์ลี

(3) การกระจัดกระจายแบบไม่เจาะจง เกิดขึ้นเมื่อเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคมีขนาดใหญ่กว่าความยาวคลื่นที่ตกกระทบ เช่น หยดน้ำ หรือเมฆ โดยทั่วไปมีเส้นผ่านศูนย์กลางอนุภาค 5 – 10 ไมโครเมตร จะสะท้อนความยาวคลื่นตามองเห็น และคลื่นอิฟราเรดสะท้อนได้เกือบเท่ากัน ซึ่งในช่วงความยาวคลื่นตามองเห็นปริมาณของคลื่นต่างๆ เช่น น้ำเงิน เขียว แดง และช่วงคลื่นสะท้อน ทุกทิศทางเท่ากันทำให้มองเห็นเมฆเป็นสีขาว

2.1.4.2 การดูดกลืน ทำให้เกิดการสูญเสียพลังงาน การดูดกลืนพลังงานเกิดขึ้นที่ความยาวคลื่นบางช่วงในบรรยากาศ สสารที่เป็นตัวการดูดกลืน ได้แก่ ไอน้ำ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และโอโซน เนื่องจากสสารเหล่านี้ดูดกลืนพลังงานที่มีความยาวคลื่นเฉพาะ ดังนั้นจึงมีบางช่วงคลื่นที่สามารถทะลุทะลวงผ่านชั้นบรรยากาศลงมาที่ผิวโลกได้ เรียกว่า หน้าต่างบรรยากาศ (Atmospheric window) ซึ่งมีหน้าต่างบรรยากาศในช่วงความยาวคลื่นตามองเห็น (0.3 – 0.7 ไมโครเมตร) และช่วงคลื่นอินฟราเรดสะท้อน ช่วงคลื่นอินฟราเรดความร้อน ช่วงของหน้าต่างบรรยากาศเหล่านี้มีประโยชน์ต่อการพัฒนาเลือกระบบอุปกรณ์รับรู้ที่สัมพันธ์กับการสะท้อนของช่วงคลื่นต่างๆ

2.1.4.3 การหักเห เกิดขึ้นเมื่อแสงเดินทางผ่านบรรยากาศที่มีความหนาแน่นไม่เท่ากัน ซึ่งปริมาณการหักเหกำหนดโดยค่าดัชนีของการหักเหที่เป็นอัตราส่วนระหว่างความเร็วของแสงในสุญญากาศกับความเร็วของแสงในชั้นบรรยากาศ ทำให้ทิศทางของแสงเปลี่ยนไป อันมีผลต่อความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งที่ปรากฏบนภาพ แต่สามารถปรับแก้ไขได้โดยกระบวนการปรับแก้ภาพภายหลัง

2.1.5 เรดาร์ (RADAR)

เรดาร์ได้พัฒนาขึ้นระหว่างสงครามโลกครั้งที่ 2 เพื่อตรวจหาตำแหน่งและเส้นทางของเครื่องบินจากสถานีภาคพื้นดิน และใช้ในการนำทางในสภาพอากาศที่ไม่ดี คำว่า RADAR ย่อมา

จาก Radio Detection And Ranging เป็นระบบตรวจวัดที่ต้องมีแหล่งพลังงานที่มนุษย์สร้างขึ้น และส่งสัญญาณในช่วงคลื่นไมโครเวฟไปยังวัตถุเป้าหมายแล้ววัดความเข้มข้นของพลังงานที่กระจัดกระจายกลับ (Backscatter) ไปสู่เครื่องรับรู้ซึ่งเป็นระบบการรับรู้แบบแอ็กทิฟ

ระบบเรดาร์ประกอบด้วย เครื่องส่งสัญญาณ (Transmitter) เครื่องรับสัญญาณ (Receiver) อุปกรณ์อิเล็กทรอนิคส์ และคอมพิวเตอร์ เพื่อประมวลผลและบันทึกข้อมูล เครื่องส่งสัญญาณส่งพัลส์ของพลังงานไมโครเวฟเป็นช่วงเท่าๆ กัน และปรับระยะโดยจานตั้งฉากกับทิศทางคลื่นที่ลงสู่เป้าหมายเป็นมุมเอียง เมื่อคลื่นเรดาร์กระทบกับเป้าหมายสัญญาณจะกระจัดกระจายกลับไปยังเครื่องรับสัญญาณ ข้อมูลที่กระจัดกระจายกลับในแต่ละครั้ง ความเข้มของสัญญาณ เวลา และมุมที่ตกกระทบเป้าหมายที่ได้รับจากระบบรับรู้จะถูกคำนวณเพื่อบอกตำแหน่งของวัตถุเป้าหมาย ข้อมูลเรดาร์ที่ประมวลผลจะเป็นความเข้ม (Strength) ของสัญญาณกลับ (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน), 2553) มีสมการความสัมพันธ์ดังสมการที่ 2.3

$$P_R = P_T(\sigma^0 A)\left[\frac{G^2\lambda^2}{(4\pi)^3 R^4}\right] \qquad \text{สมการที่ 2.3}$$

โดยที่ P_R คือ พลังงานทั้งหมดที่ได้รับ (Total power received)
P_T คือ พลังงานที่ส่งออก (Power transmitted)
σ^0 คือ การกระจายเรดาร์ต่อหน่วยพื้นที่ หรือสัมประสิทธิ์การกระจัดกระจาย (Radar scatter coefficient)
A คือ พื้นที่หน้าตัด (RADAR cross section)
G คือ อัตราการขยายจากสายอากาศ (Antenna gain)
R คือ ระยะทางแนวพิสัย (Range)
λ คือ ช่วงคลื่น (Wavelength)

จากสมการจะเห็นได้ว่ามีปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อความเข้มของพลังงานที่กระจัดกระจายกลับ คือ พลังงานที่ส่งออก ความยาวคลื่น ขนาดของสายอากาศรับสัญญาณ เรขาคณิตของการถ่ายภาพ เช่น ความกว้างของลำแสงมุมตกกระทบ และระยะทาง เป็นต้น

ในการทำความเข้าใจการทำงานของเรดาร์ จำเป็นต้องศึกษาหลักการเบื้องต้นของเรดาร์ ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะหลักการพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของเทคโนโลยีเรดาร์คลื่นวิทยุความถี่สูงที่จะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป ซึ่งสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) (2553) ได้สรุปไว้ดังนี้

2.1.5.1 โพลาไรเซชัน (Polarization) หมายถึง ทิศทางการแผ่กระจายของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งจะมีการกระจายทั้งแนวตั้งและแนวนอน โดยระบบเรดาร์สามารถที่จะส่งหรือรับสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในทิศทางการแผ่กระจายทั้งแนวตั้ง (Vertical: V) และแนวนอน (Horizontal: H) เมื่อส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในทิศทางการแผ่กระจายทางแนวนอน (H) และรับคลื่นการแผ่กระจายทางแนวนอน (H) จะใช้สัญลักษณ์ HH ในทำนองเดียวกันก็มี

การส่งเป็น HV VH และ VV ในทิศทางการแผ่กระจาย ทั้งนี้ ปฏิสัมพันธ์ระหว่างคลื่นเรดาร์กับวัตถุโพลาไรเซชันที่ต่างกันจะไม่เหมือนกันขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัตถุ

2.1.5.2 ความขรุขระของพื้นที่ (Roughness Characteristics) เมื่อพื้นผิวราบเรียบการสะท้อนของคลื่นเรดาร์จะเป็นแบบกระจกเงา (Specular reflector) คือ มีมุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อนพลังงานจะสะท้อนไปยังทิศทางอื่นไม่กลับไปยังระบบบันทึก เมื่อพื้นผิวเริ่มขรุขระขึ้นจะมีพลังงานบางส่วนสะท้อนกลับไปยังระบบ เมื่อความขรุขระมากการสะท้อนจะเป็นแบบแพร่กระจาย (Diffuse reflector)

2.1.5.3 คุณสมบัติไดอิเล็กทริก (Dielectric constant) ค่าคงตัวไดอิเล็กทริกของวัตถุบนพื้นโลกเมื่อแห้งจะมีค่าตั้งแต่ 3 – 8 โดยน้ำมีค่าคงตัวไดอิเล็กทริกประมาณ 80 สัญญาณเรดาร์จะถูกกำหนดโดยความชื้นที่อยู่ในดินและพืช การเพิ่มขึ้นของความชื้นทำให้ลดการทะลุทะลวงของคลื่นเรดาร์ วัตถุที่มีค่าคงตัวไดอิเล็กทริกสูง หรือมีความชื้นสูง จะมีการสะท้อนคลื่นเรดาร์สูง หรือมีแนวโน้มที่จะมีการสะท้อนกลับสูง ในกรณีของพื้นน้ำคลื่นเรดาร์ไม่สามารถผ่านทะลุทะลวงน้ำได้ และน้ำที่มีพื้นผิวราบเรียบจะสะท้อนคลื่นเรดาร์เป็นแบบกระจกเงา คือคลื่นไม่กลับไปยังระบบบันทึกจะมีความเข้มของคลื่นต่ำ หรือมีความสว่างของภาพต่ำ หรือสีภาพเป็นเป็นสีดำเข้ม ส่วนดินชื้นจะมีการกระจัดกระจายกลับของสัญญาณเรดาร์สูง

2.1.5.4 ความเป็นเหลี่ยมและการเรียงตัวของเป้าหมาย (Angularity and Orientation of the target) ในบางครั้งเรียกว่า การสะท้อนมุม (Corner reflectors) วัตถุขนาดเล็กอาจจะมีความสว่างมากในภาพเรดาร์ ซึ่งขึ้นอยู่กับการวางตัวของวัตถุ ตัวสะท้อนมุมที่สำคัญก็คือวัตถุที่มนุษย์สร้างขึ้น เช่น ด้านข้างของอาคาร สะพาน รวมกับการสะท้อนของพื้นถนน เมื่อพื้นผิวของวัตถุสองชนิดทำมุมฉากกันและเปิดสู่เรดาร์ ทำให้เกิดตัวสะท้อนมุมสองหน้า (Dihedral corner reflector) ตัวสะท้อนมุมสองหน้าจะเกิดการสะท้อนกลับอย่างแรง เมื่อพื้นผิวทั้งสองตั้งฉากกับทิศทางของการส่งคลื่นเรดาร์ ความสะท้อนที่แรงที่สุดเกิดขึ้นจากตัวสะท้อนสามหน้า (Trihedral corner reflector) กรณีเช่นนี้เกิดขึ้นเมื่อพื้นผิวทั้งสามตั้งฉากกับทิศทางของการส่งคลื่นเรดาร์ ตัวสะท้อนมุมใช้ประโยชน์ในการบอกตำแหน่ง นักวิจัยนิยมสร้างตัวสะท้อนมุมไว้เป็นจุดอ้างอิง แสดงการกระจัดกระจายกลับของวัตถุเป้าหมายแตกต่างกัน เมื่อมีการเรียงตัวที่ต่างกัน

2.1.5.5 การกระจัดกระจายเชิงปริมาตร (Volume scattering) เป็นการกระจัดกระจายที่มีความสัมพันธ์กับกระบวนการกระจัดกระจายหลายทิศทาง เช่น พืชพรรณที่หนาแน่น ประกอบด้วยความสูง ความกว้าง การกระจัดกระจายเชิงปริมาตรมีความสำคัญ เพราะว่ามันมีอิทธิพลต่อการกระจัดกระจายกลับ เรดาร์จะรับพลังงานกลับทั้งจากการกระจัดกระจายบนพื้นผิวดิน กิ่งไม้ ลำต้น ซึ่งถือว่าเป็นปริมาตรความเข้มของการกระจัดกระจายเชิงปริมาตร ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางกายภาพของปริมาตร (ความแปรปรวนของค่าคงที่ไดอิเล็กทริก) และลักษณะของระบบเรดาร์ (ความยาวคลื่นโพลาไรเซชัน และมุมตกกระทบ)

2.1.5.6 การทะลุทะลวงของสัญญาณ (Signal penetration) คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่สั้นมีพลังงานสูงกว่าคลื่นยาว ดังนั้นคลื่นสั้นมีปฏิสัมพันธ์ (Interaction) กับวัตถุมากกว่า จึงมีความสามารถทะลุทะลวงได้น้อยกว่าคลื่นยาว ซึ่งมีปฏิสัมพันธ์กับวัตถุน้อยกว่า คลื่นยาวจะสามารถทะลุทะลวงลงไปในวัตถุได้มากกว่าคลื่นสั้น อย่างไรก็ตามความสามารถทะลุทะลวงยัง

ขึ้นกับปัจจัยอื่นๆ อีก เช่น ปริมาณความชื้น หากมีปริมาณน้ำในองค์ประกอบของวัตถุใดๆ มาก ความสามารถทะลุทะลวงก็จะลดลง ดังนั้นจะเห็นได้ว่าความสามารถทะลุทะลวงของคลื่นเรดาร์จะเป็นการบูรณาการพารามิเตอร์ของระบบ และพารามิเตอร์ของวัตถุเป้าหมายหรือสิ่งแวดล้อม

2.1.5.7 การเน้นสัญญาณ (Signal enhancement) การเพิ่มการกระจัดกระจายกลับ หรือการเน้นสัญญาณนั้น ทำได้โดยการลดความยาวคลื่นที่ส่งออกจากระบบและลดมุมตกกระทบ ในการลดความยาวคลื่นก็จะทำให้ความสามารถทะลุทะลวงลดลง หากต้องการศึกษาใต้พื้นผิวต้องให้คลื่นที่ยาวขึ้น ดังนั้นในการที่จะเน้นสัญญาณต้องมีวัตถุประสงค์ที่แน่ชัดว่าต้องการศึกษาอะไร ดังเช่นกรณีที่ต้องศึกษาพื้นที่น้ำท่วม ซึ่งมีพืชพรรณน้ำคลุมพื้นที่ หากใช้ X band จะให้ข้อมูลพืชพรรณเหนือน้ำ ถ้าใช้คลื่นยาวขึ้น เช่น L band จะได้ข้อมูลน้ำท่วม เป็นต้น

2.2 เทคโนโลยีเรดาร์คลื่นวิทยุความถี่สูง (HF Radar)

เรดาร์คลื่นวิทยุความถี่สูง หรือ High Frequency Radar (HF Radar) หรือเรดาร์ชายฝั่ง เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดกระแสน้ำบริเวณพื้นผิวมหาสมุทร ซึ่งติดตั้งอยู่บริเวณชายฝั่งทะเล โดยลักษณะการตรวจวัดได้มาจากการส่งคลื่นวิทยุออกไปในทะเลในช่วงความถี่ต่างๆ ขึ้นอยู่กับระยะและรายละเอียดเชิงพื้นที่ของพื้นที่ตรวจวัด และจะได้รับการตอบสนองโดยมีการเปลี่ยนแปลงค่าความถี่ของคลื่นวิทยุที่สะท้อนกลับมาจากทะเลจนคำนวณออกมาเป็นค่าของกระแสน้ำ (วัฒนา กันบัว อนุชา ศรีเริงหล้า และภาวัช ศิริโยธา, 2557) รายละเอียดดังนี้

2.2.1 หลักการทำงานของระบบเรดาร์คลื่นวิทยุความถี่สูง

The Coastal Ocean Currents Monitoring Program (COCMP) (2009) กล่าวถึงหลักการทำงานของระบบเรดาร์คลื่นวิทยุความถี่สูงไว้ว่า เป็นระบบที่ตรวจวัดคลื่นวิทยุที่สะท้อนกลับจากผิวทะเล สถานีชายฝั่ง (Land-based) จะถูกติดตั้งอยู่บริเวณริมชายฝั่ง ซึ่งแต่ละสถานีประกอบไปด้วยสายอากาศ (Antenna) จำนวน 2 ต้น โดยต้นแรกทำหน้าที่ในการส่งสัญญาณ (Transmit) คลื่นวิทยุไปกระทบกับผิวทะเล ในขณะที่สายอากาศต้นที่สอง ทำหน้าที่รับสัญญาณ (Listen) คลื่นวิทยุที่ถูกสะท้อนจากคลื่นในทะเล จากนั้นจะประมวลผลข้อมูลที่ตรวจวัดได้จากการเปลี่ยนแปลงความถี่ของคลื่นวิทยุที่รับสัญญาณได้ ซึ่งเรียกว่า Doppler shift ผลลัพธ์จากการประมวลผลจะสามารถบอกความเร็วของกระแสน้ำในทิศทางเคลื่อนที่เข้าหรือออกจากสายอากาศ ข้อมูลดังกล่าวที่ตรวจวัดได้จากสถานีข้างเคียง (2 สถานีขึ้นไป) จะถูกนำมาประมวลผลและแสดงอยู่ในรูปแบบแผนที่การไหลเวียนกระแสน้ำผิวหน้า (Surface Current) ในลักษณะใกล้เคียงเวลาจริง (Near real-time) ในขณะที่ Gopalakrishnan (2008) กล่าวว่า ระบบเรดาร์คลื่นวิทยุความถี่สูงเป็นเครื่องมือทางสมุทรศาสตร์ชนิดติดตั้งบนชายฝั่งที่สามารถตรวจวัดกระแสน้ำที่ผิวทะเลจากการสะท้อนกลับของสัญญาณเรดาร์ โดยอาศัยหลักการ Bragg scattering ซึ่งถูกคิดค้นโดยวิศวกรโทรคมนาคมชื่อ Crombie ในปี ค.ศ. 1950 เป็นการรับค่าการสั่นพ้อง (Resonant) ของสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ส่งออกไปกระทบกับคลื่นที่ผิวทะเล (ภาพที่ 2.2) โดยความยาวคลื่นที่ผิวทะเลดังกล่าวนี้ ต้องเป็นเศษหนึ่งส่วนสองของความยาวคลื่นเรดาร์ ดังสมการที่ 2.4

$$\lambda_{wave} = \frac{\lambda_{radar}}{2cos(\theta)} = \frac{\lambda_{radar}}{2} \qquad \text{สมการที่ 2.4}$$

โดยที่ θ คือ มุมทำการของเรดาร์คลื่นวิทยุความถี่สูง โดยปกติประมาณ 5 $^{\circ}$ $(cos\,(\theta) \approx 1)$

λ_{radar} คือ ความยาวคลื่นของสัญญาณเรดาร์ที่ถูกส่งออกไป

λ_{wave} คือ ความยาวคลื่นของการสั่นพ้องจากสัญญาณจากผิวทะเล

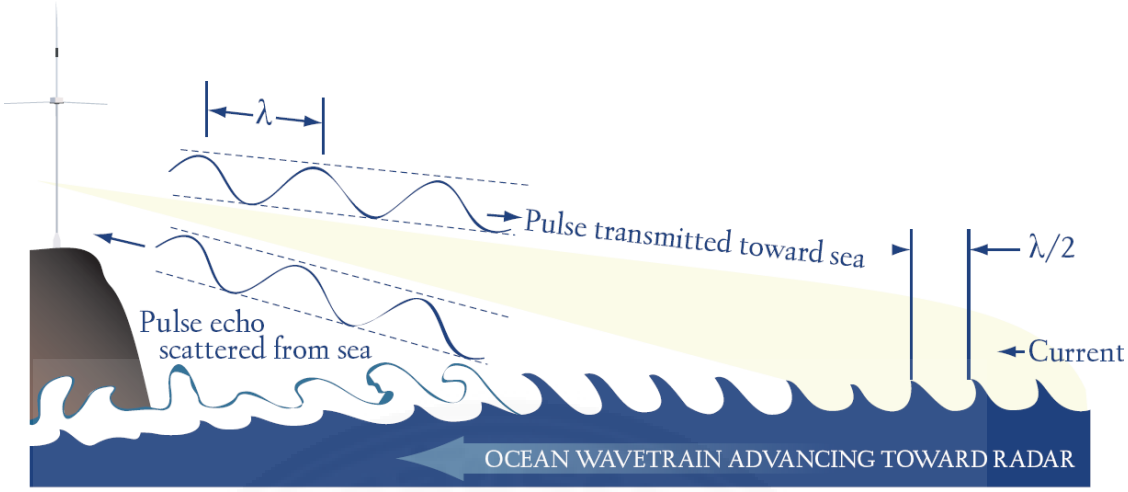
ทั้งนี้การเคลื่อนที่ของคลื่นที่ผิวทะเลจะมีความสัมพันธ์กับสัญญาณเรดาร์ที่สะท้อนกลับ โดยเกิดการเปลี่ยนแปลงความถี่ไปจากความถี่เดิมของสัญญาณที่ถูกส่งออกไป การเปลี่ยนแปลงความถี่ดังกล่าวนี้ เรียกว่า Doppler shift ซึ่งสัมพันธ์โดยตรงกับความเร็วและเป็นส่วนกลับของความยาวคลื่นของสัญญาณเรดาร์ (Joseph, 2014) กล่าวคือ ความถี่ของสัญญาณที่สะท้อนกลับมายังเครื่องรับจะเพิ่มขึ้น หากคลื่นมีการเคลื่อนที่เข้าหาเครื่องรับ ในทางตรงกันข้ามเมื่อคลื่นเคลื่อนที่ออกจากเครื่องรับ ความถี่ของสัญญาณที่สะท้อนกลับจะลดลง ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงความถี่ (Δf) จะมีค่าเป็นบวกเมื่อคลื่นเคลื่อนที่เข้าหาเครื่องรับ และมีค่าเป็นลบเมื่อคลื่นเคลื่อนที่ออกจากเครื่องรับ โดยสามารถคำนวณขนาด (Magnitude) ของการเปลี่ยนแปลงความถี่ได้ดังสมการที่ 2.5 (Rutgers University, Institute of Marine and Coastal Sciences, n.d.)

$$\Delta f = \frac{2V_r}{\lambda_{radar}} \qquad \text{สมการที่ 2.5}$$

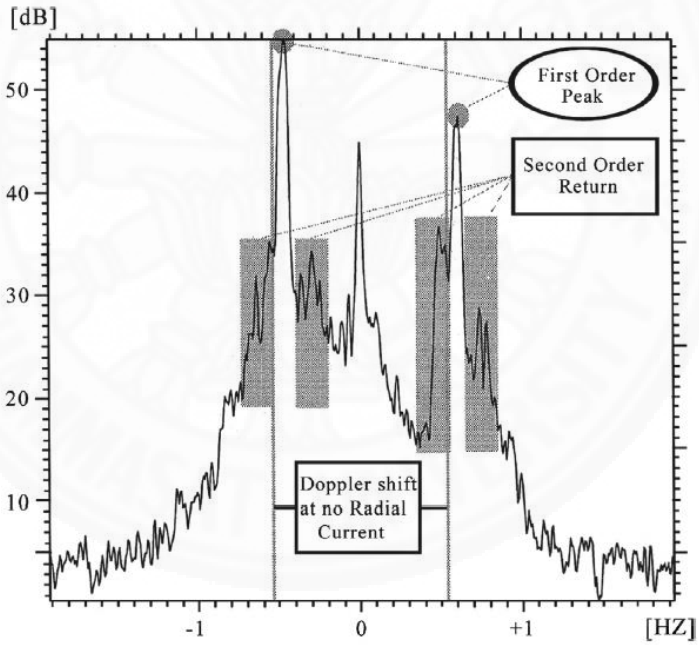
โดยที่ Δf คือ การเปลี่ยนแปลงความถี่ของสัญญาณเรดาร์

V_r คือ ความเร็วของกระแสน้ำผิวหน้าที่ตำแหน่งใดๆ ในรัศมีการตรวจวัด (Radial component)

การแสดงผลสเปคตรัมของการสะท้อนสัญญาณ Doppler shift จะแสดงในลักษณะเฉพาะที่ชัดเจน 2 รูปแบบ ประกอบด้วย First-order peak ซึ่งแสดงในลักษณะของรูปร่างและจุดสูงสุดที่เด่นชัด มีความกว้างในระดับหลายมิลลิเฮิร์ต (Millihertz) โดยจะสอดคล้องกับสภาพการสะท้อนจากคลื่นที่ผิวทะเล ส่วน Second-order peak เป็นส่วนที่ต่อเนื่องของสเปคตรัม จัดเก็บข้อมูลเกี่ยวกับคุณสมบัติของพื้นผิวทะเล (Sea surface properties) ซึ่งไม่มีผลกับการตรวจวัดกระแสน้ำ (Joseph, 2014) ดังแสดงในภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.2 หลักการตรวจวัดข้อมูลจากระบบเรดาร์คลื่นวิทยุความถี่สูง
ที่มา: The Coastal Ocean Currents Monitoring Program (COCMP), 2009



ภาพที่ 2.3 สเปคตรัมของการสะท้อนของสัญญาณเรดาร์
ที่มา: Joseph, 2014

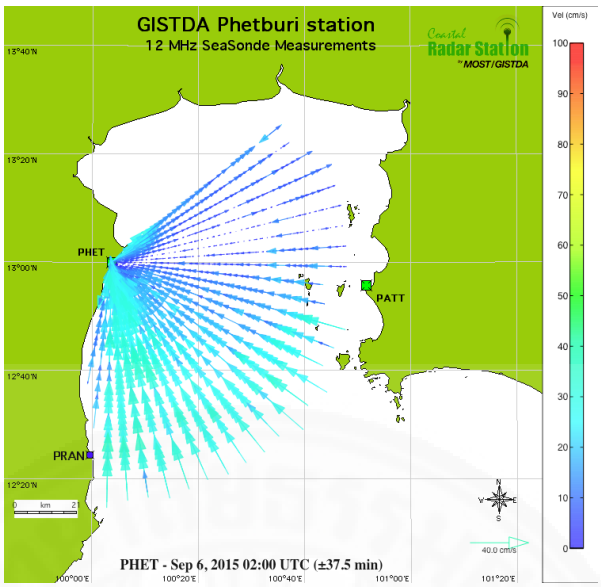
ในส่วนของการตรวจวัดข้อมูลกระแสน้ำ ซึ่งสามารถแสดงผลในรูปแบบแผนที่การไหลเวียนกระแสน้ำนั้น ต้องอาศัยข้อมูลจากการตรวจวัด 3 ตัวแปร ในลักษณะอนุกรมเชิงเวลา (Time series) ประกอบด้วย ความเร็วของเป้าหมาย ทิศทางของเป้าหมาย และระยะของเป้าหมาย ซึ่งใน

ที่นี้ เป้าหมาย หมายถึง แหล่งกำเนิดของการกระจัดกระจายของสัญญาณ (Scattering source) (Scripps Institution of Oceanography, 2015) รายละเอียดดังนี้

2.2.1.1 ความเร็วของเป้าหมาย (Speed of the Target) ข้อมูลเกี่ยวกับความเร็วของคลื่นในทะเล ซึ่งรวมความเร็วอันเนื่องมาจากการเคลื่อนที่ของคลื่นและกระแสน้ำ จะถูกประมวลผลจากสเปคตรัมของสัญญาณที่สะท้อนมาจากการตรวจวัดของเรดาร์ในระยะต่างๆ โดยคำนวณจากการเปลี่ยนแปลงไปของความถี่จากสัญญาณเรดาร์ที่สะท้อนกลับ หรือ Doppler shift ดังกล่าวแล้วข้างต้น โดยระยะเวลาของข้อมูลในเชิงอนุกรมเวลาจะเป็นตัวแปรที่กำหนดความละเอียดของความเร็ว (Velocity resolution) เช่น สัญญาณเรดาร์ที่ความถี่ 12 เมกะเฮิร์ต ระยะเวลาของการตรวจวัด 256 วินาที จะให้รายละเอียดของความเร็วที่ประมาณ 4 เซนติเมตรต่อวินาที การตรวจวัดความเร็วดังกล่าวนี้ สามารถตรวจวัดได้เพียงส่วนของความเร็วในตำแหน่งรัศมีใดๆ (Radial component) ของการส่งสัญญาณเรดาร์ และคำนวณทิศทางการเคลื่อนที่ได้เฉพาะการเคลื่อนที่แบบเข้าหาหรือออกจากเครื่องรับเท่านั้น (Scripps Institution of Oceanography, 2015) ดังแสดงในภาพที่ 2.4

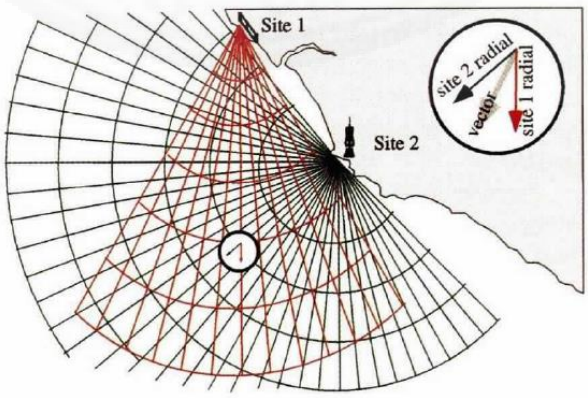
2.2.1.2 ทิศทางของเป้าหมาย (Bearing of the Target) การตรวจวัดทิศทางของกระแสน้ำผิวหน้า สามารถคำนวณด้วยวิธีการที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับประเภทของระบบเรดาร์คลื่นวิทยุความถี่สูง ซึ่งในปัจจุบันมีอยู่ 2 วิธีการ ได้แก่ Beam-Forming (BF) และ Direction-Finding (DF) โดยระบบเรดาร์คลื่นวิทยุความถี่สูงประเภท WEllan Radar (WERA) ซึ่งใช้เสาสายอากาศแบบแผง (Antenna array) จะใช้วิธีการ Beam-Forming (Gopalakrishnan, 2008) ซึ่งมีข้อดีในเรื่องการกำหนดมุมการตรวจวัดที่แคบกว่า หรือเฉพาะในพื้นที่ที่สนใจ (Paduan and Graber, 1997) ในขณะที่วิธีการ Direction-Finding จะถูกใช้ในระบบเรดาร์คลื่นวิทยุความถี่สูงประเภท CODAR ซึ่งลักษณะของเสาสายอากาศเป็นแบบต้นเดียว (Single pole) ที่ประกอบด้วย Loop 1, Loop 2 และ Monopole (Gopalakrishnan, 2008) มีข้อดีในเรื่องการใช้พื้นที่ติดตั้งที่น้อยกว่า และพื้นที่ตรวจวัดที่ครอบคลุมพื้นที่ได้กว้างกว่า (Paduan and Graber, 1997)

2.2.1.3 ระยะของเป้าหมาย (Range of the Target) ระยะของเวคเตอร์กระแสน้ำจะถูกคำนวณจากความแตกต่างของเวลา (Time-lag) ระหว่างสัญญาณที่ส่งออกและสัญญาณที่รับ และจากความเร็วของสัญญาณที่ส่งออกไป เรดาร์คลื่นวิทยุความถี่สูงประเภท CODAR คำนวณด้วยวิธีการลดทอนความถี่ (Frequency Modulation: FM) ที่ความถี่จะเปลี่ยนแปลงตามเวลา ซึ่งความแตกต่างระหว่างสัญญาณที่ส่งออกและสัญญาณที่รับจะแปรผันตามระยะทางของเป้าหมาย (Gopalakrishnan, 2008)



ภาพที่ 2.4 ความเร็วของกระแสน้ำในตำแหน่งรัศมีใดๆ (Radial component) ของระบบเรดาร์คลื่นวิทยุความถี่สูงประเภท CODAR
ที่มา: สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน), 2558

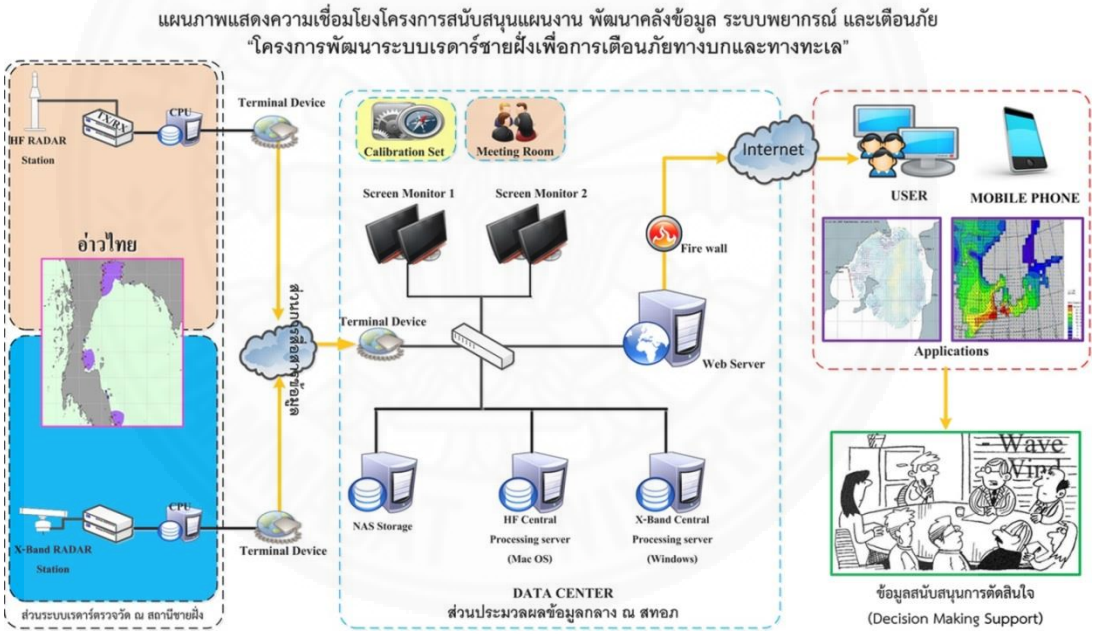
ข้อมูลความเร็วกระแสน้ำในรูปแบบ Radial component ดังกล่าวข้างต้นจากสถานีต่างๆ เพียงสถานีใดสถานีหนึ่ง ยังไม่สามารถแสดงให้เห็นถึงรูปแบบการไหลเวียนของกระแสน้ำที่แสดงในลักษณะ 2 มิติได้ โดยทั่วไปจะใช้ข้อมูลจากสถานีเรดาร์อย่างน้อย 2 สถานี เพื่อสร้างเวคเตอร์รวม (Total vector) ของกระแสน้ำขึ้นในตำแหน่งใดๆ ที่มีการซ้อนทับกันของสัญญาณเรดาร์ตั้งแต่ 2 สถานีขึ้นไป โดยในระบบประมวลผลจะมีคอมพิวเตอร์ที่เรียกว่า Central data combining station ทำการเชื่อมต่อกับสถานีเรดาร์แล้วนำข้อมูลมาประมวลผลในช่วงเวลาต่างๆ ตามที่ผู้ใช้กำหนด (Scripps Institution of Oceanography, 2015) ดังแสดงในภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 การสร้างเวคเตอร์รวม (Total vector) ข้อมูลกระแสน้ำจากสถานีเรดาร์ 2 สถานี
ที่มา: Paduan and Graber, 1997

2.2.2 การพัฒนาระบบเรดาร์คลื่นวิทยุความถี่สูงในประเทศไทย

เชาวลิต ศิลปทอง และคณะ (2556) กล่าวว่า การพัฒนาระบบเรดาร์ชายฝั่ง มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบตรวจวัดข้อมูลกระแสน้ำและคลื่นในลักษณะใกล้เคียงเวลาจริง มีความต่อเนื่องในการตรวจวัด และครอบคลุมพื้นที่กว้าง เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการบริหารจัดการน้ำอย่างเป็นระบบ และใช้ประโยชน์ในการเตือนภัยทางบกและทางทะเล โดยสืบเนื่องจากปัญหาการจัดการน้ำจากเหตุการณ์มหาอุทกภัยปี พ.ศ. 2554 ภายใต้ชื่อโครงการพัฒนาระบบเรดาร์ชายฝั่งเพื่อการเตือนภัยทางบกและทางทะเล ดำเนินโครงการโดยสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) (ชัชชล อัจนากิตติ, 2555) มีแนวคิดของการพัฒนาระบบเริ่มจากการเชื่อมโยงข้อมูลจากสถานีเรดาร์ชายฝั่งที่ติดตั้งอยู่บริเวณชายฝั่ง ส่งข้อมูลผ่านทางระบบสื่อสาร และประมวลข้อมูลที่ศูนย์ประมวลผลข้อมูลกลาง จากนั้นจัดทำระบบฐานข้อมูลคลื่นและกระแสน้ำอย่างต่อเนื่องในลักษณะคลังข้อมูล ซึ่งข้อมูลต่างๆ เหล่านี้จะถูกเชื่อมโยงผ่านระบบบริการข้อมูลโครงสร้างพื้นฐานภูมิสารสนเทศของประเทศ เพื่อสนับสนุนกระบวนการบริหารจัดการ การเตือนภัย และตัดสินใจแก้ปัญหาอย่างมีประสิทธิภาพ ดังแสดงในภาพที่ 2.6



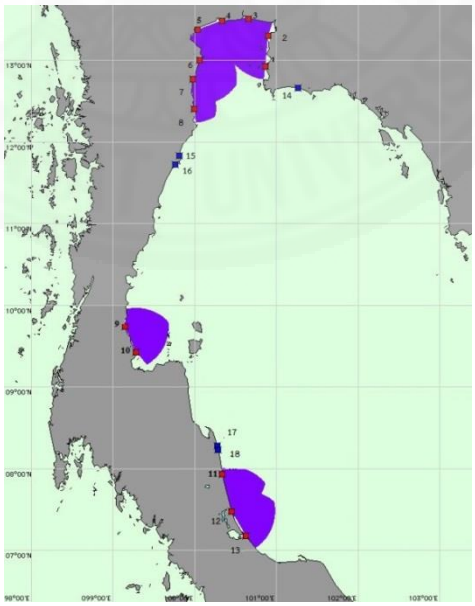
ภาพที่ 2.6 แผนภาพแนวคิดการพัฒนาระบบเรดาร์ชายฝั่งร่วมกับข้อมูลภูมิสารสนเทศ
ที่มา: เชาวลิต ศิลปทอง และคณะ, 2556

การดำเนินการภายใต้โครงการ ได้ติดตั้งสถานีเรดาร์ชายฝั่งตามแนวชายฝั่งอ่าวไทยรวมทั้งหมด 18 สถานี (ชัชชล อัจนากิตติ, 2555) แบ่งเป็นเรดาร์ชายฝั่งระบบคลื่นวิทยุความถี่สูง (HF Radar) ประเภท CODAR จำนวน 13 สถานี และระบบ X-Band จำนวน 5 สถานี โดยแบ่งพื้นที่ติดตั้งออกเป็น 3 พื้นที่ (ภาพที่ 2.7) ตามลักษณะทางกายภาพ และความเหมาะสมทั้งทางด้านเศรษฐกิจ สังคม และความปลอดภัย รายละเอียดดังนี้

2.2.2.1 บริเวณอ่าวไทยตอนบน มีลักษณะของข้อมูลกระแสน้ำซึ่งได้รับอิทธิพลจากน้ำจืดที่ไหลลงสู่ทะเล จึงต้องติดตั้งสถานีเรดาร์ชายฝั่งระบบคลื่นวิทยุความถี่สูงที่ 2 ความถี่ คือ 13 เมกะเฮิร์ตซ์ และ 25 เมกะเฮิร์ตซ์ โดยติดตั้งสถานีเรดาร์ตรวจวัดความถี่ 13 เมกะเฮิร์ตซ์ บริเวณจังหวัดชลบุรี จังหวัดสมุทรสาคร จังหวัดเพชรบุรี และจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ และติดตั้งสถานีเรดาร์ตรวจวัดความถี่ 25 เมกะเฮิร์ตซ์ บริเวณจังหวัดสมุทรสงคราม และจังหวัดสมุทรปราการ

2.2.2.2 บริเวณอ่าวไทยตอนล่าง จากปัญหาภาวะน้ำเอ่อล้นและคลื่นซัดฝั่งที่มักเกิดขึ้นในช่วงฤดูมรสุมของทุกปี ทำให้เกิดคลื่นลมแรงจัด และมีผลกระทบต่อแนวชายฝั่งตั้งแต่จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ลงมาถึงภาคใต้ตอนล่าง ซึ่งข้อมูลคลื่นและกระแสน้ำที่วิ่งเข้าหาฝั่งตามแนวชายฝั่งภาคใต้ตอนล่างนั้น สามารถนำมาใช้เพื่อการบริหารจัดการชายฝั่งได้เป็นอย่างดี จึงได้ติดตั้งสถานีเรดาร์ชายฝั่งระบบคลื่นวิทยุความถี่สูงความถี่ 13 เมกะเฮิร์ตซ์ ในพื้นที่บริเวณจังหวัดชุมพร จังหวัดสุราษฎร์ธานี และจังหวัดสงขลา

2.2.2.3 บริเวณพื้นที่วิกฤติที่มีปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งรุนแรง จากรายงานการประยุกต์ภาพถ่ายดาวเทียมในการติดตามการเปลี่ยนแปลงพื้นที่กัดเซาะชายฝั่งในอ่าวไทยและทะเลอันดามัน ของ สทอภ. ตั้งแต่ปี 2549 ถึงปัจจุบัน พบว่าพื้นที่บริเวณจังหวัดระยอง จังหวัดประจวบคีรีขันธ์และจังหวัดนครศรีธรรมราช เป็นพื้นที่ที่ค่อนข้างมีอัตราการกัดเซาะชายฝั่งรุนแรง โดยเฉพาะพื้นที่จังหวัดนครศรีธรรมราช ซึ่งมีอัตราการกัดเซาะชายฝั่งมากถึง 9.89 เมตรต่อปี การตรวจวัดคลื่นและกระแสน้ำบริเวณใกล้ฝั่งและตรวจวัดข้อมูลลักษณะภูมิประเทศพื้นท้องทะเล จึงมีความจำเป็นในพื้นที่บริเวณนี้เพื่อศึกษาระดับความรุนแรงของปัญหาและการเปลี่ยนแปลงประกอบการประเมินปัญหาการกัดเซาะชายฝั่ง ในส่วนนี้ จึงได้ติดตั้งสถานีเรดาร์ตรวจวัดความถี่ย่าน X-Band ขึ้นในพื้นที่บริเวณจังหวัดระยอง จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ และจังหวัดนครศรีธรรมราช



ภาพที่ 2.7 พื้นที่ติดตั้งสถานีเรดาร์ชายฝั่งและพื้นที่ครอบคลุมการตรวจวัด
ที่มา: เชาวลิต ศิลปทอง และคณะ, 2556

ในส่วนของสถานีเรดาร์ชายฝั่งทั้งระบบคลื่นวิทยุความถี่สูง และระบบ X-Band ที่ติดตั้งอยู่บริเวณชายฝั่ง จะประกอบด้วย 2 ส่วนสำคัญ ได้แก่ ห้องติดตั้งอุปกรณ์ (Shelter) และเสาสายอากาศรับส่งสัญญาณ ดังแสดงในภาพที่ 2.8

ภาพที่ 2.8 สถานีเรดาร์ชายฝั่งระบบคลื่นวิทยุความถี่สูง (HF Radar) (ภาพซ้าย) และระบบ X-Band (ภาพขวา)

2.3 ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information Systems: GIS)

2.3.1 ความหมายของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

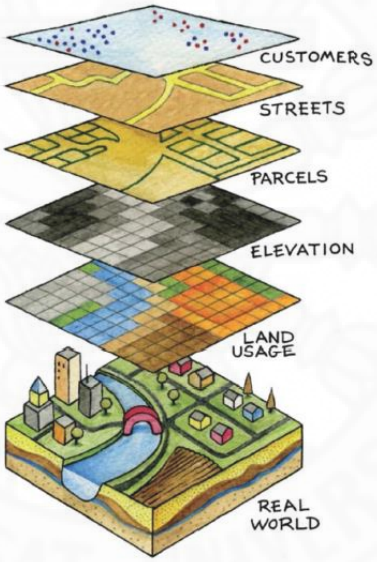
มีผู้ให้คำจำกัดความของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ไว้หลายความหมาย ได้แก่ ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ คือระบบที่ได้รับการออกแบบมาเพื่อทำงานกับกับข้อมูลเชิงพื้นที่ หรือข้อมูลที่สามารถอ้างอิงได้เชิงตำแหน่งพิกัดภูมิศาสตร์ (สถาบันพัฒนาองค์ความรู้ด้านอวกาศ, 2550 อ้างถึง Star J. and Estes J., 1990) ในขณะที่สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) (2553) ให้คำจำกัดความไว้ว่า ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เป็นระบบสารสนเทศที่นำเอาข้อมูลมารวบรวม จัดเก็บ และวิเคราะห์อย่างเป็นระบบ สามารถทำการสืบค้นข้อมูลและปรับปรุงข้อมูล รวมไปถึงการนำเอาข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์เพื่อช่วยประกอบการตัดสินใจในเรื่องต่างๆ ได้ ข้อมูลที่นำมารวบรวมและจัดเก็บในระบบที่สามารถนำไปจัดการและวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial data) โดยข้อมูลเชิงพื้นที่ยังมีการเชื่อมโยงเข้ากับข้อมูลลักษณะประจำ (Attribute data) ที่ใช้อธิบายรายละเอียดของปรากฏการณ์และคุณลักษณะของข้อมูลเชิงพื้นที่นั้นๆ ซึ่งจะทำให้การนำข้อมูลไปใช้มีความถูกต้องและแม่นยำมากยิ่งขึ้น ส่วนสถาบันพัฒนาองค์ความรู้ด้านอวกาศ (2550) อ้างถึง Johnson A.I., (1992) กล่าวว่าระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ คือกระบวนการของการใช้คอมพิวเตอร์ ฮาร์ดแวร์ ซอฟต์แวร์ และข้อมูลเชิงพื้นที่ที่ได้รับการออกแบบมาเพื่อการนำเข้า

จัดเก็บ จัดการ วิเคราะห์ และแสดงผลสารสนเทศทุกรูปแบบที่สามารถอ้างอิงได้ในเชิงตำแหน่งภูมิศาสตร์ ส่วนศูนย์วิจัยภูมิสารสนเทศเพื่อประเทศไทย (2558) กล่าวว่า ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์คือกระบวนการทำงานเกี่ยวกับข้อมูลในเชิงพื้นที่ด้วยระบบคอมพิวเตอร์ ที่ใช้กำหนดข้อมูลและสารสนเทศ ที่มีความสัมพันธ์กับตำแหน่งในเชิงพื้นที่ เช่น ที่อยู่ บ้านเลขที่ สัมพันธ์กับตำแหน่งในแผนที่ ตำแหน่ง เส้นรุ้ง เส้นแวง ข้อมูลและแผนที่ใน GIS เป็นระบบข้อมูลสารสนเทศที่อยู่ในรูปของตารางข้อมูล และฐานข้อมูลที่มีส่วนสัมพันธ์กับข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial Data) ซึ่งรูปแบบและความสัมพันธ์ของข้อมูลเชิงพื้นที่ทั้งหลาย จะสามารถนำมาวิเคราะห์ด้วย GIS และทำให้สื่อความหมายในเรื่องการเปลี่ยนแปลงที่สัมพันธ์กับเวลาได้ เช่น การแพร่ขยายของโรคระบาด การเคลื่อนย้ายถิ่นฐาน การบุกรุกทำลาย การเปลี่ยนแปลงของการใช้พื้นที่ ข้อมูลเหล่านี้ เมื่อปรากฏบนแผนที่ทำให้สามารถแปลและสื่อความหมายใช้งานได้ง่าย ในขณะที่ สุเพชร จิรขจรกุล (2555) สรุปว่า ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เป็นเครื่องมือที่ใช้ระบบคอมพิวเตอร์ในการดำเนินการเกี่ยวกับข้อมูลทางภูมิศาสตร์ อันได้แก่ การนำเข้าและแปลงข้อมูลในฐานข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบที่ใช้งานได้ การจัดเก็บเปลี่ยนแปลง และแก้ไขให้อยู่ในระบบพิกัดเดียวกัน การวิเคราะห์ข้อมูลเป็นสารสนเทศ ทั้งข้อมูลเชิงพื้นที่และข้อมูลตารางสถิติ และการแสดงผล หรือนำเสนอต่อผู้ใช้ในรูปแบบของแผนที่ ตาราง คำบรรยาย ผ่านทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ หรือพิมพ์ออกมาในรูปกระดาษ (Hard copy) สอดคล้องกับกรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง (2557) ซึ่งกล่าวว่า ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เป็นระบบคอมพิวเตอร์ที่มีความสามารถในการนำเข้าข้อมูลภูมิศาสตร์ จัดเก็บ ค้นคืน วิเคราะห์ และแสดงผลสารสนเทศภูมิศาสตร์ ในรูปแบบของแผนที่ ตาราง และแผนภูมิ เพื่อสนับสนุนการตัดสินใจในเรื่องที่เกี่ยวกับข้อมูลที่มีตำแหน่งอ้างอิงกับพื้นที่บนโลก โดยเป็นการทำงานกับข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial data) หรือข้อมูลเชิงตำแหน่ง (Locational data) และข้อมูลอรรถาธิบาย (Attribute) ที่อธิบายว่าข้อมูลเชิงพื้นที่นั้นๆ คืออะไร ซึ่งข้อมูลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์แต่ละเรื่องจะจัดเก็บแยกเป็นแต่ละชั้นข้อมูล (Layer) ดังแสดงในภาพที่ 2.9 ในขณะที่ระบบสารสนเทศอื่นจะมีเพียงข้อมูลอรรถาธิบายที่อธิบายถึงสิ่งที่สนใจซึ่งไม่ระบุตำแหน่งบนพื้นโลก นอกจากนี้ ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ยังมีความหมายในเชิงการจัดการฐานข้อมูลและแผนที่ดิจิทัลด้วย ซึ่ง อุทัย สุขสิงห์ (2547) กล่าวว่า ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ คือ ระบบฐานข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ที่ทำหน้าที่ในการจัดการข้อมูลของสรรพสิ่งต่างๆ บนโลกให้อยู่ในระบบข้อมูลเชิงพื้นที่ โดยข้อมูลแต่ละชนิดมีการอ้างอิงพิกัดตำแหน่งและอยู่ในรูปแบบข้อมูลดิจิทัล ซึ่งเป็นการผสมผสานกระบวนการวิเคราะห์ร่วมกันระหว่างเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์กับระบบข้อมูลแผนที่ (Geographic Information) และระบบฐานข้อมูล (Database system) ดังนั้น ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์จึงเป็นฐานข้อมูลที่อ้างอิงพิกัดตำแหน่งบนแผนที่แบบดิจิทัล (Digital map)

วัตถุประสงค์ของการใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ คือ ใช้เป็นสารสนเทศเพื่อสนับสนุนการตัดสินใจในด้านต่างๆ เช่น การวางแผนการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ รวมถึงการจัดการสิ่งแวดล้อมที่มนุษย์สร้างขึ้น ข้อมูลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ สามารถตอบคำถามได้ว่า สถานที่และสิ่งต่างๆ ที่เราต้องการค้นหานั้นอยู่ที่ใด และเกี่ยวข้องกับสิ่งต่างๆ ที่อยู่ข้างๆ อย่างไร นอกจากนี้ยังช่วยบอกให้รู้ว่ามีทางเลือกใดบ้าง แต่ละทางเลือกมีลักษณะอย่างไร และเปรียบเทียบหาทางเลือกที่ดีที่สุด ข้อมูลที่ได้จากระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เป็นข้อมูลเชิงพื้นที่ซึ่งสามารถบอกตำแหน่งของ

ข้อมูลที่เราสนใจอ้างอิงถูกต้องกับระบบพิกัดทางภูมิศาสตร์บนพื้นโลก (Geo-referenced data) ซึ่งระบบสารสนเทศนี้ประกอบด้วยข้อมูลต่างๆ คือ ลักษณะทางกายภาพ สังคม ทั้งเชิงปริมาณและคุณภาพของสิ่งที่เรากำลังศึกษา นอกจากนี้ยังบอกถึงตำแหน่งและเวลาของสิ่งที่เรากำลังทำการศึกษา (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน), 2553) รวมไปถึงการสร้างแบบจำลองเชิงพื้นที่แสดงการเกิดเหตุการณ์ต่างๆ เพื่อประโยชน์ในการแสดงผลการวิเคราะห์การเชื่อมโยงความสัมพันธ์ด้านต่างๆ ที่เกิดขึ้น (อุทัย สุขสิงห์, 2547)

กล่าวโดยสรุปแล้ว ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ คือ ชุดเครื่องมือที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการต่างๆ ในการจัดการข้อมูลเชิงพื้นที่ ตั้งแต่กระบวนการนำเข้า จัดเก็บ สืบค้น วิเคราะห์ และแสดงผลข้อมูลเชิงพื้นที่ หรือข้อมูลที่เชื่อมโยงกับตำแหน่งพิกัดทางภูมิศาสตร์ ซึ่งข้อมูลดังกล่าวนี้จะเชื่อมโยงกับข้อมูลเชิงบรรยาย และเป็นระบบสารสนเทศที่สนับสนุนการตัดสินใจในด้านต่างๆ รวมไปถึงการประเมินและเปรียบเทียบทางเลือก



ภาพที่ 2.9 การจัดเก็บข้อมูลภูมิสาสตร์ในลักษณะการจัดเก็บแบบชั้นข้อมูล
ที่มา: กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2557 อ้างถึง Campbell et al., 2013

2.3.2 องค์ประกอบของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ประกอบด้วยองค์ประกอบหลัก 5 ส่วน ได้แก่ ฮาร์ดแวร์ ซอฟต์แวร์ ข้อมูล วิธีการปฏิบัติงาน และบุคคลากร ดังแสดงในภาพที่ 2.10 มีรายละเอียดดังนี้

2.3.2.1 ฮาร์ดแวร์ (Hardware) เนื่องจากข้อมูลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์มีปริมาณมาก จึงต้องมีการจัดเก็บในรูปแบบข้อมูลเชิงเลข ฮาร์ดแวร์จึงเข้ามามีบทบาทสำคัญ ในการสนับสนุนการทำงาน โดยที่ฮาร์ดแวร์ คือ เครื่องมือหรืออุปกรณ์ ที่เป็นองค์ประกอบสนับสนุนกระบวนการจัดการระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ของหน่วยงาน ได้แก่ เครื่องคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์

ต่อพ่วงที่เกี่ยวข้องต่างๆ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการสร้างฐานข้อมูลไปจนถึงการจัดเก็บข้อมูล เช่น ตัวเครื่องคอมพิวเตอร์ จอภาพ จีพีเอส ดิจิไทเซอร์ เครื่องกราดภาพ และเครื่องพิมพ์ (สุเพชร จิรขจรกุล, 2552)

2.3.2.2 ซอฟต์แวร์ (Software) คือ โปรแกรมหรือชุดคำสั่ง ที่ใช้เพื่อทำหน้าที่จัดการควบคุมการประมวลผลของคอมพิวเตอร์แบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลักๆ คือ ซอฟต์แวร์ที่ใช้ทำงานร่วมกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ และซอฟต์แวร์ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน), 2553)

(1) ซอฟต์แวร์ที่ได้ทำงานร่วมกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เรียกว่า ซอฟต์แวร์ระบบ (System software) หรือ ระบบปฏิบัติการ (Operating System : OS) เป็นโปรแกรมควบคุมระบบเครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งเครื่องคอมพิวเตอร์แต่ละชนิดจะเรียกใช้ระบบปฏิบัติการต่างกัน ขึ้นอยู่กับการออกแบบของผู้ผลิต เช่น เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลมักใช้ระบบปฏิบัติการ WINDOWS เครื่องมินิคอมพิวเตอร์บางชนิดใช้ระบบปฏิบัติการ UNIX เป็นต้น นอกจากนี้ยังประกอบด้วยซอฟต์แวร์สำเร็จ (Software package) คือ โปรแกรมที่ผู้ผลิตทำไว้แล้ว สามารถนำมาใช้ให้เหมาะสมกับงาน เช่น Microsoft Office และซอฟต์แวร์สำหรับระบบจัดการฐานข้อมูล (Data Base Management Software : DBMS) ใช้เก็บบันทึกข้อมูลในรูปแบบของฐานข้อมูล และมีคำสั่งงานสำหรับเรียกข้อมูลไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น Dbase Access Oracle และ SQL เป็นต้น

(2) ซอฟต์แวร์ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ที่สามารถใช้ทำงานในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ได้ต้องมีความสามารถหลักๆ ในด้านการป้อนข้อมูลและการตรวจสอบข้อมูล โดยการนำเข้าข้อมูลนั้นอาจเป็นการเปลี่ยนข้อมูลจากแผนที่ต้นแบบ ข้อมูลจากดาวเทียม รูปถ่ายทางอากาศ ให้อยู่ในรูปของข้อมูลเชิงเลขโดยมีเครื่องมือที่ใช้ในการนี้ เช่น ตัวแปลงเป็นดิจิทัล (Digitizer) และเครื่องกวาดภาพ เป็นต้น นอกจากนี้ยังต้องมีการจัดเก็บข้อมูลประเภทต่างๆ คือ จุด เส้น หรือพื้นที่ และการจัดการฐานข้อมูลที่ผู้ใช้สามารถเรียกใช้ได้สะดวก ปัจจุบันมีซอฟต์แวร์ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ที่ใช้ในประเทศไทย เช่น ArcView Arc/Info InterGraph PAMAP SPANS ILWIS และ MapInfo Professional เป็นต้น (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน), 2553) ทั้งนี้ การใช้งานในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์อย่างสมบูรณ์ ซอฟต์แวร์ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ต้องประกอบด้วยส่วนสำคัญ 5 ประการ (สุเพชร จิรขจรกุล, 2555) รายละเอียดดังนี้

(2.1) การนำเข้าข้อมูลและการตรวจสอบข้อมูล (Data Input and Verification) เป็นการเปลี่ยนข้อมูลจากแผนที่ต้นแบบ ภาพถ่ายจากดาวเทียม และภาพถ่ายทางอากาศ ให้อยู่ในรูปของดิจิทัลด้วยอุปกรณ์ เช่น เครื่องอ่านพิกัด (Digitizer) เครื่องกราดภาพ (Scanner) เป็นต้น ซึ่งในขณะนำเข้าข้อมูลทั้งข้อมูลเชิงพื้นที่ และข้อมูลคุณลักษณะ จะมีระบบในการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล เพื่อลดความผิดพลาดของการนำเข้าสู่ระบบคอมพิวเตอร์ เช่น มีคำสั่งในการป้องกันการนำเข้าข้อมูลลายเส้นที่ซ้ำซ้อนกัน ป้องกันการนำเข้าข้อมูลคุณลักษณะที่ผิดประเภทข้อมูล

(2.2) การจัดเก็บข้อมูลและการจัดการฐานข้อมูล (Data Storage and Database management) เป็นการจัดเก็บข้อมูลทางภูมิศาสตร์เกี่ยวกับจุด เส้น หรือพื้นที่ ให้มีโครงสร้างที่สามารถจัดเก็บไว้ในคอมพิวเตอร์ และผู้ใช้สามารถเรียกใช้งานได้โดยสะดวก ซึ่งมีโครงสร้างหรือรูปแบบในการจัดเก็บข้อมูลต่างกันในแต่ละโปรแกรมตามคุณสมบัติของโปรแกรม

(2.3) การคำนวณและการวิเคราะห์ข้อมูล (Data Manipulation and Analysis) การคำนวณและวิเคราะห์ผลข้อมูลสามารถทำได้หลายรูปแบบ รวมถึงการปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสม ซึ่งเรียกวิธีการนี้ว่า Data Transformation โปรแกรมสามารถนำข้อมูลทั้งข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial Data) และข้อมูลคุณลักษณะ (Non-Spatial Data) มาใช้ในการวิเคราะห์ด้วยตัวเองหรืออาจใช้ในการวิเคราะห์ร่วมกันอย่างเป็นระบบ เพื่อให้ได้คำตอบที่ผู้ใช้ต้องการ

(2.4) การรายงานข้อมูลผลลัพธ์ (Data Output and Presentation) เป็นวิธีการแสดงผลข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ โดยผลที่ได้อยู่ในรูปแบบของแผนที่ ตาราง หรือกราฟ และอาจจะพิมพ์รายงานผลโดยแสดงผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์ เครื่องพิมพ์ หรือเครื่องพิมพ์ภาพขนาดใหญ่ (Plotter) อาจรวมไปถึงการเชื่อมโยงกับโปรแกรมอื่นๆ เพื่อการรายงานผลได้อย่างสมบูรณ์

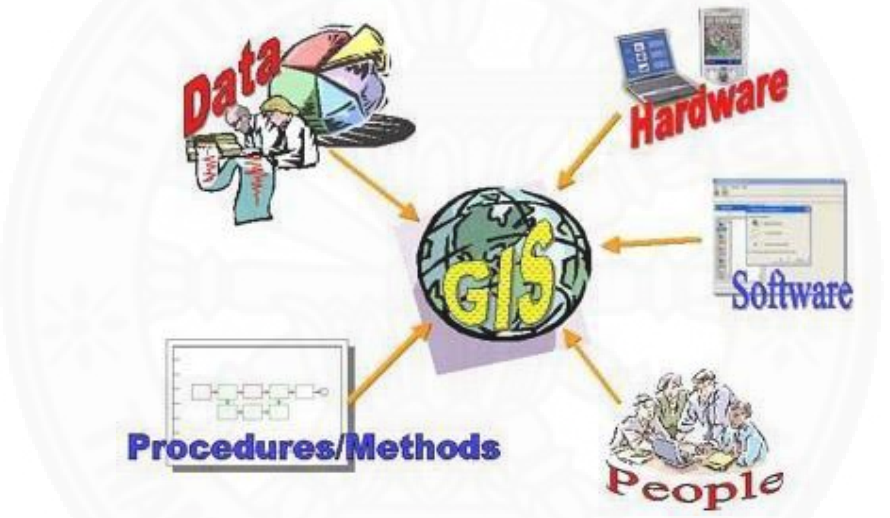
(2.5) ความสัมพันธ์กับผู้ใช้ (Interaction with the User) ซอฟต์แวร์ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ที่ดีนั้น จะต้องสามารถอำนวยความสะดวกให้กับผู้ใช้ได้เป็นอย่างดี โดยมีการสร้างรายการชุดคำสั่ง (Menu) ต่างๆ ที่ใช้งานได้ง่าย ไม่ยุ่งยาก และมีขั้นตอนที่ต่อเนื่องอย่างสมบูรณ์ หรืออนุญาตให้ผู้ใช้งานสามารถสร้างหน้าต่างเอง หรือดัดแปลงให้เหมาะสมกับลักษณะงานของตนเองหรือองค์กรได้ และสามารถนำไปใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.3.2.3 ข้อมูล (Data) ข้อมูลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์จัดสร้างจากหลายหน่วยงาน ส่วนใหญ่จะแสดงในรูปแบบแผนที่ ข้อมูลจากดาวเทียม ภาพถ่ายทางอากาศ ข้อมูลจากเครื่องกำหนดพิกัดจากดาวเทียม GPS ตลอดจนข้อมูลจากรายงานต่างๆ ซึ่งเป็นข้อมูลตัวเลข ตัวอักษร หรือตาราง ข้อมูลเหล่านี้นับได้ว่าเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในการดำเนินการของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เนื่องจากการนำระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ไปประยุกต์จะเป็นไปอย่างถูกต้องมากน้อยเพียงใด ขึ้นอยู่กับข้อมูลที่นำไปใช้ในกระบวนการของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์นั่นเอง (สถาบันพัฒนาองค์ความรู้ด้านอวกาศ, 2550)

2.3.2.4 วิธีการปฏิบัติงาน (Methodology หรือ Procedure) คือ ขั้นตอนการทำงานในด้านระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เกี่ยวข้องกับวิธีการในการจัดเตรียมฐานข้อมูล การนำเข้าสู่ระบบ การจัดเก็บบันทึกข้อมูล การแสดงผลแผนที่ และการวิเคราะห์ข้อมูล ของแต่ละหน่วยงานในการปฏิบัติการในส่วนของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ซึ่งผู้ใช้จะต้องเป็นผู้กำหนดให้เครื่องคอมพิวเตอร์ร่วมกับโปรแกรมระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ จัดการกับข้อมูล เพื่อให้ตอบสนองวัตถุประสงค์ของการทำงานในหน่วยงานนั้น (สุเพชร จิรขจรกุล, 2552) ในขณะที่สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) (2552) กล่าวว่า เป็นกระบวนการเพื่อ

สนับสนุนการวิเคราะห์ดำเนินงาน ให้ได้สารสนเทศตามเป้าหมาย ซึ่งต้องอาศัยองค์ประกอบและองค์ความรู้ต่างๆ ตามศาสตร์ที่จะดำเนินการ

2.3.2.5 บุคลากร (People) คือ บุคลากรที่เกี่ยวข้องกับการทำงานในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ได้แก่ ผู้ใช้แผนที่สำหรับการประกอบการตัดสินใจ และวางแผนเฉพาะเรื่อง ผู้ทำแผนที่ใช้ข้อมูลจากชั้นแผนที่ต่างๆ เพื่อนำมาผลิตแผนที่ที่มีคุณภาพสูง นักวิเคราะห์จะทำการวิเคราะห์ข้อมูลในเชิงพื้นที่ และภูมิศาสตร์ เช่น เส้นทางที่เหมาะสม การจัดการการจราจร พื้นที่เสี่ยงต่อภัยพิบัติ เช่น น้ำท่วม และภัยแล้ง ผู้จัดทำข้อมูลทำหน้าที่นำเข้าข้อมูล ทำหน้าที่ออกแบบระบบฐานข้อมูลเชิงพื้นที่เพื่อให้การทำงานของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ และนักพัฒนาโปรแกรม ทำการพัฒนาซอฟต์แวร์ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน), 2552)



ภาพที่ 2.10 องค์ประกอบของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์
ที่มา: ศูนย์วิจัยภูมิสารสนเทศเพื่อประเทศไทย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2558

2.3.3 ข้อมูลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

2.3.3.1 ประเภทข้อมูลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

ข้อมูล (Data) หมายถึง ข้อเท็จจริงหรือเหตุการณ์ที่เกี่ยวข้องกับทรัพยากร สิ่งแวดล้อม และภัยพิบัติ ข้อมูลเหล่านี้มีความหมายมากขึ้นเมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทำให้ผลลัพธ์มีความแม่นยำถูกต้อง (Accuracy) และทันต่อเหตุการณ์ ข้อมูลที่ได้ผ่านกระบวนการวิเคราะห์หรือประมวลผลมาแล้วเรียกว่า Information หรือสารสนเทศ ผู้บริหารอาจจะนำข้อมูลที่บันทึกไว้มากลั่นกรองเป็นสารสนเทศก่อน เช่น โดยการหาค่าเฉลี่ย เปรียบเทียบข้อมูลปัจจุบันกับอดีต หาความเบี่ยงเบน และความแปรปรวน เป็นต้น ความสำคัญของสารสนเทศทำให้ผู้บริหารเข้าใจในการดำเนินงาน และสามารถตัดสินใจได้อย่างเหมาะสม (สุเพชร จิรขจรกุล, 2555) ในทางภูมิศาสตร์แบ่งประเภทข้อมูลออกเป็น 2 ประเภท คือ

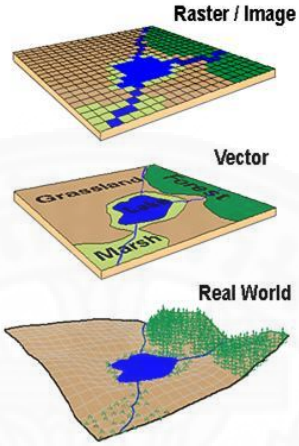
(1) ข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial data) เป็นข้อมูลที่เป็นตัวแทนวัตถุ ปรากฏการณ์ และสถานการณ์บนพื้นผิวโลก โดยกำหนดตัวแทนเป็นจุด เส้น หรือพื้นที่ สามารถอ้างอิงกับตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ (Geo-referenced) ทางภาคพื้นดิน ซึ่งแตกต่างกับระบบ MIS (Management Information System) หรือระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการ เป็นระบบงานคอมพิวเตอร์ซึ่งผสมผสานกับการทำงานด้วยมือ เพื่อจัดทำข่าวสารข้อมูลหรือสารสนเทศสำหรับผู้บริหารในการตัดสินใจ จะเห็นว่าระบบ MIS นั้นไม่จำเป็นต้องอ้างอิงกับตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ แต่สามารถนำไปเชื่อมโยงความสัมพันธ์กับข้อมูลเชิงพื้นที่ได้ (สุเพชร จิรขจรกุล, 2552) โดยข้อมูลเชิงพื้นที่สามารถแสดงสัญลักษณ์ได้ 3 รูปแบบ (Features) ประกอบด้วย จุด (Point Feature) เส้น (Line Feature) และพื้นที่ (Polygon Feature) โดยข้อมูลแบบจุด เป็นหน่วยย่อยที่สุดของข้อมูล ซึ่งมีจุดเริ่มต้น โดยขนาดและทิศทางมีค่าเป็นศูนย์ จุดเป็นเพียงตำแหน่งซึ่งไม่สามารถวัดพื้นที่ได้ ใช้แสดงลักษณะตำแหน่งที่ตั้งของข้อมูล เช่น ที่ตั้งโรงเรียน ที่ตั้งโรงพยาบาล ที่ตั้งหมู่บ้าน เป็นต้น ส่วนข้อมูลเส้น จะประกอบไปด้วยลักษณะของจุดตั้งแต่ 2 จุดขึ้นไปเรียงต่อเนื่องกันเป็นเส้นในรูปแบบของเส้นตรง เส้นหักมุม และเส้นโค้ง รูปร่างของเส้นเหล่านี้จะอธิบายถึงลักษณะต่างๆ ได้เพียงมิติเดียว คือ มีความยาวแต่ไม่สามารถระบุความกว้างได้ และข้อมูลประเภทพื้นที่ จะเป็นข้อมูลที่เรียงต่อเนื่องเป็นอนุกรม ซึ่งมีลักษณะเป็นเส้นปิด จึงสามารถวัดพื้นที่ได้ ใช้อธิบายขอบเขตของข้อมูลต่างๆ เช่น ขอบเขตการปกครอง ขอบเขตการใช้ประโยชน์ที่ดิน เป็นต้น (สถาบันพัฒนาองค์ความรู้ด้านอวกาศ, 2550)

นอกจากนี้สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) (2553) ได้กล่าวว่า ข้อมูลเชิงพื้นที่ ประกอบด้วย ข้อมูลที่เป็นข้อมูลเชิงภาพ (Graphic data) และข้อมูลลักษณะประจำหรือข้อมูลเชิงคุณลักษณะ (Attribute data) โดยข้อมูลเชิงภาพนั้นสามารถจำแนกออกได้ตามลักษณะโครงสร้างของข้อมูลได้เป็นข้อมูลแบบเชิงเส้นหรือเวคเตอร์ (Vector data) และข้อมูลกริดหรือแรสเตอร์ (Grid or raster data) ซึ่งข้อมูลทั้งสองลักษณะนี้ต่างก็มีจุดเด่นและจุดด้อยแตกต่างกัน สรุปได้ดังตารางที่ 2.2 รายละเอียดของข้อมูลดังกล่าวมีดังนี้

(1.1) ข้อมูลเชิงเส้นหรือเวคเตอร์ (Vector data) เป็นข้อมูลที่ถูกจัดเก็บในลักษณะของค่าพิกัดของจุดข้อมูลซึ่งอาจแสดงถึง ลักษณะที่เป็นจุด หรือข้อมูลอาจเรียงต่อกันเป็นอนุกรมเพื่อแสดงถึงลักษณะเชิงเส้น หรือรูปปิด ซึ่งแสดงถึงลักษณะเชิงพื้นที่ก็ได้ ดังแสดงในภาพที่ 2.11 ตัวอย่างเช่น แผนที่ลายเส้น (Line map) เช่น แผนที่ภูมิประเทศ (Topographic map) ข้อมูลประเภทนี้มีข้อได้เปรียบในการจัดการเนื่องจากใช้เนื้อที่ในการจัดเก็บน้อย สามารถนำข้อมูลเข้าสู่ระบบสารสนเทศได้ง่าย อุปกรณ์มีราคาไม่แพง แต่การนำเข้าต้องอาศัยวิธีการนำเข้าด้วยมือเป็นส่วนใหญ่จึงเหมาะกับภารกิจที่มีข้อมูลที่จะต้องบริหารจัดการไม่มากจนเกินไป (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน), 2553)

(1.2) ข้อมูลกริดหรือแรสเตอร์ (Grid or raster data) เป็นข้อมูลที่ถูกจัดเก็บในลักษณะของตารางข้อมูลย่อย (Grid cell) ดังแสดงในภาพที่ 2.11 ซึ่งเป็นข้อมูลที่อยู่บนพิกัดรูปตารางแถวนอนและแถวตั้ง แต่ละ cell อ้างอิงโดยแถวและสดมภ์ภายใน grid cell จะมีตัวเลขหรือภาพข้อมูล Raster ความสามารถในการแสดงรายละเอียดของข้อมูลแรสเตอร์ขึ้นอยู่กับขนาดของเซลล์ ณ จุดพิกัดที่ประกอบขึ้นเป็นฐานข้อมูลแสดงตำแหน่งชุดนั้น ซึ่งข้อมูลประเภท

แรสเตอร์ มีข้อได้เปรียบในการใช้ทรัพยากรระบบคอมพิวเตอร์ที่มีประสิทธิภาพดีกว่า ช่วยให้สามารถทำการวิเคราะห์ได้รวดเร็ว Raster Data อาจแปรรูปมาจากข้อมูล Vector หรือแปลงจาก Raster ไปเป็น Vector แต่เห็นได้ว่าจะมีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นระหว่างการแปรรูปข้อมูล (สุเพชร จิรขจรกุล, 2552)



ภาพที่ 2.11 ลักษณะโครงสร้างของข้อมูลเชิงพื้นที่ประเภทเวคเตอร์และแรสเตอร์
ที่มา: Buckey, n.d.

ตารางที่ 2.2 จุดเด่นและจุดด้อยของโครงสร้างข้อมูลแบบเวคเตอร์และแรสเตอร์

ลักษณะโครงสร้างข้อมูล	จุดเด่น	จุดด้อย
ข้อมูลแบบเวคเตอร์	• แสดงโครงสร้างข้อมูลเชิงปรากฏการณ์ได้ดี เหมาะสำหรับใช้แทนลักษณะของพื้นที่ที่มีขอบเขตคดโค้ง ทำให้สามารถแบ่งขอบเขตของพื้นที่ได้อย่างชัดเจน • โครงสร้างข้อมูลกะทัดรัด ไฟล์ข้อมูลมีขนาดเล็กจึงใช้พื้นที่สำหรับการจัดเก็บน้อย • ความเชื่อมโยงทาง Topology สามารถทำได้ครบถ้วนด้วยการเชื่อมโยงแบบเครือข่าย • มีความถูกต้องในเชิงกราฟิก	• โครงสร้างข้อมูลซับซ้อน • การวางซ้อนแผนที่เชิงทิศทางหลายๆ แผ่น หรือแผนที่เชิงตารางมีวิธีการที่ยุ่งยาก • การทดสอบด้วยการจำลองสถานการณ์ทำได้ยาก เพราะแต่ละหน่วยของแผนที่มีโครงสร้างที่ต่างกัน • การแสดงและเขียนเป็นแผนที่เสียค่าใช้จ่ายสูง โดยเฉพาะการแสดงสีและสัญลักษณ์ที่มีคุณภาพสูง • การวิเคราะห์พื้นที่และการกรองรายละเอียดภายในรูป

ลักษณะโครงสร้างข้อมูล	จุดเด่น	จุดด้อย
	ซึ่งสามารถแทนข้อมูลได้อย่างแม่นยำเชิงตำแหน่ง	หลายเหลี่ยมแทบจะเป็นไปไม่ได้
ข้อมูลแบบแรสเตอร์	• มีโครงสร้างข้อมูลไม่ซับซ้อน การประมวลผลค่าจุดภาพสะดวก • การวางซ้อนและการรวมข้อมูลทำได้ง่าย ช่วยให้การวิเคราะห์ทางพื้นที่ในรูปแบบต่างๆ ไม่ยุ่งยากนัก • การทดสอบด้วยการจำลองสถานการณ์ทำได้ง่าย เพราะหน่วยพื้นที่มีรูปร่างและขนาดเท่าๆ กัน • เหมาะสมกับข้อมูลที่ใช้แทนลักษณะของพื้นผิวที่มีความต่อเนื่องกัน	• ข้อมูลรูปภาพมีขนาดใหญ่ ใช้พื้นที่ในการจัดเก็บมาก • ถ้าลดขนาดพื้นที่จัดเก็บข้อมูลโดยใช้ช่องตารางขนาดใหญ่ขึ้นทำให้สูญเสียโครงสร้างข้อมูล • ไม่เหมาะสมในการแทนข้อมูลที่เป็นเส้นโค้ง หรือแทนตำแหน่งของจุดเพราะต้องใช้ 1 จุดภาพสำหรับตำแหน่ง 1 ตำแหน่ง • การแปลงเส้นโครงแผนที่ต้องใช้เวลามาก เว้นแต่ใช้ขั้นตอนวิธีหรือฮาร์ดแวร์พิเศษ • การสร้างเครือข่ายเชื่อมโยงทำได้ยาก • แผนที่แรสเตอร์มักหยาบกว่าแผนที่ที่เขียนด้วยเส้น

ที่มา: ดัดแปลงจาก สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน), 2553

(2) ข้อมูลเชิงคุณลักษณะ (Non-spatial or Attribute data) ประกอบด้วยข้อมูลเชิงปริมาณและข้อมูลเชิงคุณภาพ ในหลักการทั่วไปข้อมูลเชิงปริมาณสามารถแบ่งระดับการวัดเป็น 3 ระดับ โดยระดับการวัดที่ให้ความละเอียดมากที่สุด คือ ระดับการวัดแบบอัตราส่วน (Ratio) ที่เริ่มต้นจากค่าศูนย์สัมบูรณ์หรือศูนย์แท้ เช่น การวัดขนาดพื้นที่ ระยะทาง ความสูง เป็นต้น รองลงมาได้แก่ การวัดแบบอันตรภาค (Interval) เช่น การเปรียบเทียบข้อมูลในแต่ละช่วงอายุ กลุ่มรายได้ เป็นต้น ส่วนระดับการวัดที่ให้รายละเอียดน้อยที่สุด คือ ระดับการวัดแบบเรียงลำดับ (Ordinal) ซึ่งเป็นการวัดที่สามารถเปรียบเทียบความแตกต่างในแต่ละปัจจัยได้ เช่น การเรียงลำดับจากปานกลาง ดี และดีที่สุด (สถาบันพัฒนาองค์ความรู้ด้านอวกาศ, 2550 อ้างถึง Bernhardsen T., 1992)

ลักษณะโครงสร้างข้อมูลเชิงคุณลักษณะโดยทั่วไป มีการจัดเก็บในรูปแบบฐานข้อมูล เพราะการจัดเก็บในรูปแบบฐานข้อมูลจะช่วยลดปัญหาความขัดแย้ง ความซ้ำซ้อน และความไม่น่าเชื่อถือของข้อมูลลงได้ อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการข้อมูลอีกด้วย ซึ่งใน

ปัจจุบัน ข้อมูลเชิงคุณลักษณะนิยมใช้โครงสร้างตามหลักการของฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ (Relational Database) โดยมีการจัดเก็บข้อมูลในรูปแบบตาราง (Table) ภายในตารางจะจัดแบ่งออกเป็นสดมภ์และแถว และแยกเก็บข้อมูลแต่ละเรื่องในแต่ละตาราง โดยอาศัยฟิลด์ (Field) ที่มีคุณลักษณะเหมือนกันในแต่ละตารางมาเชื่อมโยงความสัมพันธ์กัน (สถาบันพัฒนาองค์ความรู้ด้านอวกาศ, 2550)

2.3.3.2 การนำเข้าข้อมูล (Data input)

กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง (2557) กล่าวว่า การนำเข้าข้อมูล หมายถึง การใช้อุปกรณ์คอมพิวเตอร์และอุปกรณ์ประกอบช่วยแปลงข้อมูลในรูปแบบต่างๆ ให้อยู่ในรูปแบบดิจิทัลในระบบพิกัดเดียวกัน ข้อมูลที่ใช้เป็นแผนที่เริ่มต้น ได้แก่ แผนที่ภูมิประเทศ ภาพถ่ายจากดาวเทียม ภาพถ่ายทางอากาศ ภาพถ่ายจากบอลลูน การสำรวจรังวัดภาคสนามด้วยอุปกรณ์สำรวจ การบันทึกตำแหน่งพิกัดภูมิศาสตร์ด้วยจีพีเอส

การบันทึกค่าพิกัดตำแหน่งให้แก่ข้อมูลแล้วบันทึกข้อมูลเหล่านั้นลงในฐานข้อมูลจำเป็นต้องคำนึงถึงเรื่องข้อผิดพลาด (Errors) ให้เกิดขึ้นน้อยที่สุด การนำเข้าข้อมูลเป็นงานสำคัญและต้องอาศัยความรอบคอบและระมัดระวังที่สุด โดยใช้เครื่องมือหลายอย่างเพื่อผลิตข้อมูลขึ้นตามวัตถุประสงค์การจัดทำแผนที่ ได้แก่ เครื่องคอมพิวเตอร์ เครื่องนำเข้าพิกัด (Digitizer) ค่าพิกัดภูมิศาสตร์ในแฟ้มข้อมูล เครื่องกราดตรวจ (Scanners) (รวมถึงอุปกรณ์ในดาวเทียมสำรวจทรัพยากรและเครื่องกราดตรวจแผนที่และภาพถ่าย) จีพีเอส นอกจากนี้ยังต้องใช้เครื่องมือที่ใช้บันทึกข้อมูลที่เก็บอยู่ในสื่อแม่เหล็ก สำหรับการรับข้อมูลและการทวนสอบข้อมูลเป็นส่วนหนึ่งในกระบวนการสร้างฐานข้อมูลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ การนำเข้าข้อมูลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ สามารถนำเข้าได้ 3 กระบวนการ ดังนี้

(1) การนำเข้าข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial Data) วิธีการนำเข้าข้อมูลเชิงพื้นที่มีหลายวิธี ขึ้นอยู่กับอุปกรณ์ของหน่วยงานนั้นๆ ลักษณะการใช้งาน และชนิดข้อมูลที่จะนำเข้า ซึ่งชนิดของข้อมูล ได้แก่ แผนที่ เอกสารจากการสำรวจภาคสนาม เอกสารที่เขียนด้วยมือ ภาพถ่ายทางอากาศ และภาพถ่ายจากดาวเทียม ร่วมกับการทำแผนที่ด้วยอุปกรณ์กำหนดตำแหน่งบนพื้นโลก (GPS) ดังแสดงในภาพที่ 2.12 รายละเอียดดังนี้

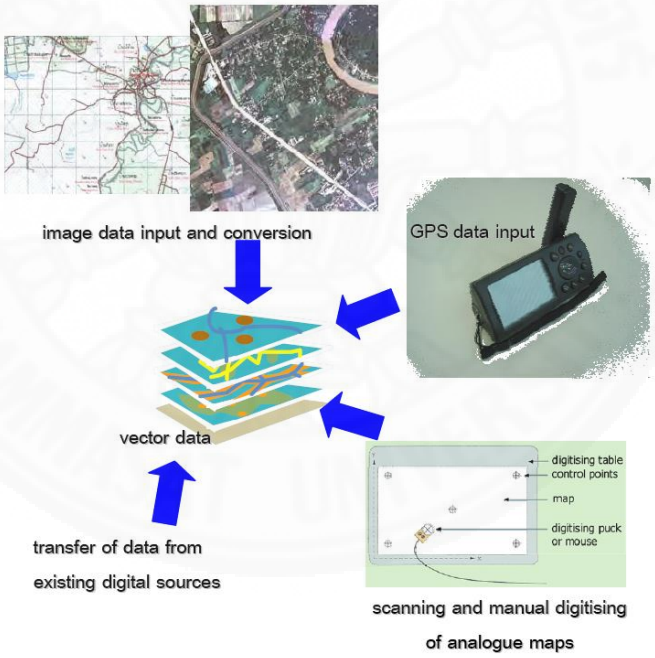
(1.1) การอ่านค่าพิกัดภูมิศาสตร์และสร้างข้อมูลจุดในรูปแบบเวคเตอร์ ข้อมูลพื้นฐานของระบบนี้ คือ จุด เส้น และพื้นที่ ค่าพิกัดของข้อมูลที่ได้จากกริดอ้างอิงที่มีอยู่ในแผนที่ภูมิประเทศ หรือจากอุปกรณ์กำหนดตำแหน่งบนพื้นโลก หรือได้จากการอ้างอิงจากกริดที่นำมาซ้อนบนแผนที่ข้อมูลพิกัดภูมิศาสตร์ที่อ่านได้บันทึกในโปรแกรม สเปรดชีต เช่น Microsoft Excel เพื่อเก็บในแฟ้มข้อมูลก่อนที่จะนำไปสร้างเป็นข้อมูลเวคเตอร์แบบจุดพิกัดเพื่อแสดงตำแหน่งทรัพยากร สิ่งแวดล้อม และภัยพิบัติที่ตำแหน่งสำรวจนั้น แต่การเขียนรหัส และพิมพ์รหัสนำเข้าแฟ้มคอมพิวเตอร์จะต้องใช้เวลาและค่าใช้จ่ายสูง

(1.2) การนำเข้าข้อมูลด้วยเครื่องนำเข้าพิกัด เป็นการใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ร่วมกับเครื่องอ่านพิกัด โดยใช้โปรแกรมระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เพื่อลอกลายเส้นแผนที่บนเครื่องอ่านพิกัด และให้โปรแกรมเป็นแผนที่ดิจิทัล ซึ่งผลลัพธ์ข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ที่ได้จะอยู่ในรูปแบบเวคเตอร์

(1.3) การนำเข้าข้อมูลสู่รูปแบบแรสเตอร์ด้วยเครื่องกราดตรวจ (Scanner) การจัดทำแผนที่ในรูปแบบแรสเตอร์หรือระบบกริด ทั้งจุด เส้น และพื้นที่ แสดงด้วยช่องกริด

(1.4) การแปลงข้อมูลเวกเตอร์ให้เป็นกริดหรือแรสเตอร์ (Rasterization) เป็นรูปแบบหนึ่งของการนำเข้าข้อมูล โดยใช้โปรแกรมระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์แปลงข้อมูลเวคเตอร์ให้กลายเป็นแรสเตอร์ แต่ผลของการแปลงข้อมูลนั้นทำให้มีการสูญเสียข้อมูลโดยไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ เพราะจุดภาพที่ใกล้เส้นมักคลาดเคลื่อนหรือมีรหัสผิดไป การสูญเสียความถูกต้องแปรผันตามขนาดของช่องกริด โดยช่องกริดยิ่งเล็กมากเท่าไร ความคลาดเคลื่อนยิ่งลดลง

(1.5) การสร้างข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์จากการแปลตีความจากภาพถ่ายจากดาวเทียม ภาพถ่ายจากดาวเทียมถูกนำมาใช้ในการจำแนกสิ่งปกคลุมดิน ตามวัตถุประสงค์ของหน่วยงานเพื่อใช้เป็นตัวแปรในการวิเคราะห์ข้อมูล ในปัจจุบันมีรูปแบบการประมวลผลเพื่อนำเข้าข้อมูล 2 รูปแบบ ประกอบด้วย การประมวลผลข้อมูลเชิงเลข (Digital Image Processing) และการนำเข้าด้วยการดิจิไทซ์บนหน้าจอคอมพิวเตอร์



ภาพที่ 2.12 การนำเข้าข้อมูลเชิงพื้นที่ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์
ที่มา: ชฎา ณรงค์ฤทธิ์, 2548

(2) การนำเข้าข้อมูลคุณลักษณะ (Attribute Data) ข้อมูลคุณลักษณะ (attribute data) ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ถูกจัดเก็บในรูปข้อมูลตารางซึ่งประกอบด้วยแถว (row) และคอลัมน์ (column) โดยแต่ละแถวเรียกว่า เรคคอร์ด (record) ซึ่งแต่

ละเรคคอร์ดแทนภูมิลักษณ์แผนที่ (map feature) ส่วนแต่ละคอลัมน์ เรียกว่า ฟิลด์ (field) ซึ่งแทนคุณลักษณะ (characteristics) ต่างๆ ของแต่ละภูมิลักษณ์แผนที่ (ชฎา ณรงค์ฤทธิ์, 2548)

การนำเข้าข้อมูลคุณลักษณะ ข้อมูลตารางสถิติ หรือลักษณะประจำที่เกี่ยวข้องที่ไม่อิงพื้นที่ (Attribute Data) หมายถึง คุณสมบัติประจำของลักษณะข้อมูลนั้นๆ เช่น เส้นถนนแต่ละประเภท ข้อมูลคุณลักษณะประจำที่เกี่ยวกับถนน ได้แก่ ความกว้างของถนน พื้นผิวถนน ความหนาของชั้นซีเมนต์ ชนิดของซีเมนต์ วิธีการสร้าง วันที่สร้าง ตำแหน่งของสี่แยกหรือไฟแดง เป็นต้น หากเป็นข้อมูลประเภทขอบเขตการปกครองระดับอำเภอ ต้องการข้อมูลคุณลักษณะ ชื่ออำเภอ จำนวนประชากรชายหญิง และรายได้เฉลี่ยของแต่ละอำเภอ เป็นต้น (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2557)

2.3.3.3 การจัดเก็บและการแก้ไขข้อมูล (Data storage and editing)

ข้อมูลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ถูกจัดเก็บตามประเภทของข้อมูล ซึ่งมีลักษณะเป็นข้อมูลเชิงภาพ ได้แก่ จุด เส้น รูปหลายเหลี่ยม และข้อมูลลักษณะประจำ ที่ประกอบด้วยตัวอักษรและตัวเลข เช่น ชื่อสถานที่ ชื่อทางภูมิศาสตร์ ค่าพิกัดของตารางพิกัดถูกจัดเก็บในรูปของแฟ้มข้อมูลที่แยกออกจากกันเป็นชั้นข้อมูล (Data layer) ตามลักษณะเพื่อความสะดวกในการจัดเก็บและแก้ไข แฟ้มของชั้นข้อมูลเหล่านี้จะเชื่อมต่อกันในลักษณะซ้อนทับ ข้อมูลในทุกชั้นข้อมูลจะเชื่อมโยงกันโดยอาศัยตำแหน่งทางภูมิศาสตร์เป็นตัวเชื่อมในลักษณะอ้างอิงกับตำแหน่งจริงบนพื้นผิวของโลก (Geocoding) การแก้ไขข้อมูล สามารถแก้ไขปรับปรุงข้อมูลในแต่ละชั้นข้อมูลได้อย่างเป็นอิสระไม่ว่าจะเป็นการปรับปรุงให้เป็นปัจจุบัน หรือการแก้ไขเพิ่มเติมข้อมูลให้ครบถ้วน ชั้นข้อมูลที่ได้รับการแก้ไขเรียบร้อยแล้วจะถูกจัดเก็บในลักษณะของแฟ้มข้อมูล (Data file) เพื่อการวิเคราะห์ต่อไป ผลของการวิเคราะห์ที่ได้สามารถนำเสนอในรูปแบบของแผนที่ รายงาน หรือตารางข้อมูล แล้วแต่ความเหมาะสมหรือความต้องการของผู้ใช้ (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน), 2553)

2.3.4 การวิเคราะห์ข้อมูลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

ความสามารถที่สำคัญอีกประการหนึ่งของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ คือ การวิเคราะห์ข้อมูล ซึ่งต้องใช้ทั้งข้อมูลเชิงพื้นที่ และข้อมูลเชิงคุณลักษณะในฐานข้อมูล ซึ่งแตกต่างจากระบบอื่นๆ ที่ใช้จัดทำแผนที่อย่างเดียว หรือจัดทำฐานข้อมูลเพียงอย่างเดียว ซึ่งการวิเคราะห์เป็นกระบวนการหนึ่งที่จะเปลี่ยนข้อมูลที่มีอยู่ให้กลายเป็นสารสนเทศ เพื่อนำสารสนเทศที่ได้ไปใช้ประกอบการตัดสินใจแก้ปัญหาต่างๆ โดยการวิเคราะห์ข้อมูลดังกล่าวนี้ สามารถตอบคำถามตามความต้องการของผู้ใช้ได้ตั้งแต่พื้นฐานไปจนถึงระดับที่มีความซับซ้อน ซึ่งโดยสรุปแล้วระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ สามารถตอบคำถามต่างๆ ได้ ดังนี้ (สถาบันพัฒนาองค์ความรู้ด้านอวกาศ, 2550 อ้างถึง Harwood I., 2001 และ ESRI Inc., 1991)

- ตำแหน่ง (Location) ตอบคำถามเกี่ยวกับอะไร อยู่ที่ไหน ซึ่งอาจบอกได้หลายรูปแบบ เช่น ชื่อสถานที่ ชื่อจังหวัด หรือพิกัดภูมิศาสตร์
- สถานภาพหรือเงื่อนไข (Condition) โดยการกำหนดเงื่อนไขเชิงพื้นที่ต่างๆ ซึ่งเป็นการวิเคราะห์เพื่อตอบคำถามตามเงื่อนไข เช่น การหาแหล่งน้ำที่อยู่ห่างจากหมู่บ้าน 10 กิโลเมตร และเป็นแหล่งน้ำตามธรรมชาติ เป็นต้น

- แนวโน้ม (Trend) เพื่อหาการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ ในช่วงระยะเวลาที่กำหนด
- รูปแบบ (Pattern) เป็นการตอบประเด็นเกี่ยวกับรูปแบบเชิงพื้นที่ที่ปรากฏเป็นอย่างไร เช่น เกิดปัญหาน้ำเสียบริเวณแม่น้ำสายหนึ่ง อาจมีการค้นหาว่าโรงงานอุตสาหกรรมใดบ้างที่อาจเป็นแหล่งกำเนิดปัญหาน้ำเสีย เป็นต้น
- การจำลองเหตุการณ์ (Modeling) เป็นการตอบประเด็นคำถามว่าอะไรจะเกิดขึ้น ถ้ามีเหตุการณ์อย่างหนึ่งเปลี่ยนไปเป็นอีกแบบหนึ่ง ซึ่งต้องการข้อมูลเชิงพื้นที่และสารสนเทศที่เป็นไปตามหลักวิทยาศาสตร์

นอกจากนี้ สุเพชร จิรขจรกุล (2555) ได้แบ่งกระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ออกเป็น 2 รูปแบบ ได้แก่ Manual Approach และ Computer Assisted Approach โดย Manual Approach เป็นการศึกษาและวิเคราะห์ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ โดยใช้การจัดการฐานข้อมูลต่างๆ ด้วยกระบวนการคัดลอกลายเส้นแผนที่ตามปัจจัยต่างๆ ที่ผู้ใช้มีความสนใจลงบนกระดาษหรือแผ่นใส เพื่อนำมาใช้ประโยชน์ในการวิเคราะห์หาคำตอบตามวัตถุประสงค์ โดยวิธีการต่างๆ เช่น นำข้อมูลในรูปแบบของแผนที่หรือลายเส้นต่างๆ ถ่ายลงบนแผ่นใส หรือคัดลอกลายเส้นลงบนกระดาษไขที่ส่องผ่านโต๊ะแสงเพื่อคัดลอกลายแผนที่ แล้วนำแผ่นใสมาซ้อนกันบนโต๊ะแสงลอกลายแผนที่หรือเครื่องฉายแผ่นใส กระบวนการนี้อาจเรียกกันว่า Overlay Techniques การซ้อนทับข้อมูลแผนที่ในแต่ละปัจจัยเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ตามที่ต้องการ แต่วิธีการนี้ยังมีข้อจำกัดในเรื่องของจำนวนแผ่นใสที่จะนำมาซ้อนทับกัน ทั้งนี้เนื่องจากความสามารถในการวิเคราะห์ด้วยสายตา (Eye Interpretation) จะกระทำได้ในจำนวนแผ่นใสที่ค่อนข้างจำกัด และปริมาณแสงที่สามารถส่องทะลุผ่านแผ่นใสค่อนข้างจำกัดในขณะที่แผ่นใสซ้อนกันมากขึ้น และจำเป็นต้องใช้เนื่อที่และวัสดุในการจัดเก็บข้อมูลค่อนข้างมาก ส่วน Computer Assisted Approach เป็นการศึกษาและวิเคราะห์ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์โดยใช้การจัดทำฐานข้อมูลต่างๆ ด้วยการนำระบบคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในกระบวนการนำเข้า จัดเก็บ เปลี่ยนแปลง และแสดงผล ตลอดจนวิเคราะห์ข้อมูลแผนที่และข้อมูลสารสนเทศที่จัดเก็บในรูปของตัวเลขหรือดิจิทัล (Digital) โดยการเปลี่ยนรูปแบบของข้อมูลแผนที่หรือลายเส้นให้อยู่ในรูปของตัวเลขในรูปแบบแรสเตอร์ (Raster) หรือเวคเตอร์ (Vector) แล้วใช้โปรแกรมประมวลผลการซ้อนทับ (Overlay) กัน โดยการนำหลักคณิตศาสตร์และตรรกศาสตร์เข้ามาช่วย วิธีการนี้จึงช่วยลดเนื้อที่ในการเก็บข้อมูลลง และสามารถเรียกมาแสดงผลหรือทำการวิเคราะห์ซ้ำๆ ได้โดยง่าย รวมทั้งพิมพ์ผลลัพธ์ได้โดยง่ายและรวดเร็วขึ้น

ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ มีกระบวนการวิธีในการวิเคราะห์ข้อมูลอยู่หลายรูปแบบด้วยกัน ซึ่งจะกล่าวเฉพาะกระบวนการวิธีวิเคราะห์ที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาในครั้งนี้เท่านั้น ประกอบด้วย การวิเคราะห์การซ้อนทับ (Overlay Analysis) และการประมาณค่าในช่วง (Interpolation) รายละเอียดมีดังนี้

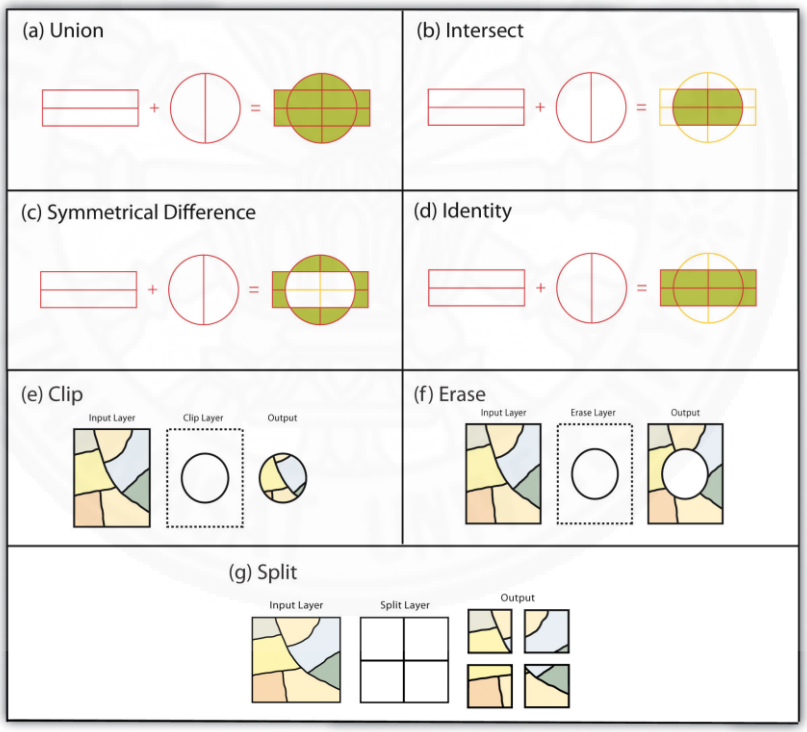
2.3.4.1 การวิเคราะห์การซ้อนทับ (Overlay Analysis)

การซ้อนทับข้อมูลเชิงพื้นที่ เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลหลายชั้นร่วมกัน โดยชั้นข้อมูลเหล่านั้นต้องอยู่ในบริเวณเดียวกัน และมีคุณลักษณะต่างกัน ผลจากการวิเคราะห์จะทำให้ได้ชั้นข้อมูลใหม่ เช่น การวิเคราะห์ความเสี่ยงต่อการสูญพันธุ์ของสิ่งมีชีวิต A โดยชั้นข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์ร่วมกัน ประกอบด้วย การกระจายตัวของสิ่งมีชีวิต X Y และ Z ซึ่งมีอิทธิพลต่อสิ่งมีชีวิต A ชั้นข้อมูล

ภูมิประเทศ ชั้นข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน ชั้นข้อมูลการถือครองที่ดิน และชั้นข้อมูลพื้นที่อนุรักษ์ ตัวอย่างการวิเคราะห์การซ้อนทับแสดงดังภาพที่ 2.13 การวิเคราะห์ซ้อนทับสามารถแบ่งตามลักษณะโครงสร้างของข้อมูลได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้ (สถาบันพัฒนาองค์ความรู้ด้านอวกาศ, 2550)

(1) การซ้อนทับข้อมูลประเภทเวคเตอร์ (Vector Overlay) การซ้อนทับรูปแบบนี้อยู่บนพื้นฐานของรูปลักษณ์ (Geometry) และความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ของข้อมูล โดยอาศัยเงื่อนไขทางพีชคณิตแบบบูลลีน (Boolean algebra) ซึ่งมีตัวดำเนินการคือ NOT AND OR และ XOR

(2) การซ้อนทับข้อมูลเชิงกริดภาพ (Raster Overlay) เนื่องจากโครงสร้างข้อมูลแบบ กริดภาพจะแสดงเป็นช่องสี่เหลี่ยมที่เรียกว่า พิกเซล เรียงต่อกัน ดังนั้นวิธีการในการซ้อนทับจึงอาศัยกระบวนการทางคณิตศาสตร์เป็นส่วนใหญ่ โดยมีทั้งที่เป็นการวิเคราะห์โดยอาศัยตัวดำเนินการทางคณิตศาสตร์ เช่น บวก ลบ คูณ หาร และตัวดำเนินการทางตรรกะหรือพีชคณิตแบบบูลลีน การวิเคราะห์ซ้อนทับเชิงกริดภาพนี้ เหมาะกับการวิเคราะห์ที่อาศัยรูปแบบสมการทางคณิตศาสตร์ที่สลับซับซ้อนในการคำนวณ



ภาพที่ 2.13 การวิเคราะห์การซ้อนทับในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์
ที่มา: Campbell and Shin, 2012

2.3.4.2 การประมาณค่าในช่วง (Interpolation)

การประมาณค่าในช่วง เป็นการทำนายค่าให้กับเซลล์ในแรสเตอร์ จากข้อมูลจุดตัวอย่างที่มีอยู่อย่างจำกัด ด้วยวิธีการนี้สามารถใช้ในการทำนายค่าที่ไม่ทราบได้จากจุดใดๆ ทาง

ภูมิศาสตร์ได้ ไม่ว่าจะเป็นจุดความสูง (Elevation) ปริมาณน้ำฝน การกระจายตัวของสารเคมี ระดับเสียงรบกวน เป็นต้น ซึ่งการสำรวจโดยการเข้าไปทุกๆ ที่ที่อยู่ในพื้นที่ศึกษาเพื่อวัดความสูง ขนาด หรือความเข้มข้นของข้อเท็จจริงที่เกิดขึ้น เป็นสิ่งที่เป็นไปได้ยากมาก หรือต้องใช้งบประมาณสูง ดังนั้น การเก็บจุดตัวอย่างเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ให้กระจายตัวตามพื้นที่ที่เลือกไว้ และทำนายค่าที่เป็นไปได้ให้กับตำแหน่งที่ไม่ได้เก็บค่าจึงมีความเหมาะสมกว่า จุดที่ได้มานั้นอาจได้มาด้วยการสุ่มตำแหน่ง การเก็บตามโครงสร้างทางปัจจัย หรือเก็บมาอย่างเป็นแบบแผนก็ได้ ทั้งนี้ก็เพื่อให้ได้จุดตัวอย่างที่มีค่าความสูง ความเข้มข้น หรือขนาดที่ต้องการวัด ตัวอย่างการประมาณค่าจากจุดที่ดีตัวอย่างหนึ่งคือการสร้างพื้นผิวแสดงความสูง จากชุดของกลุ่มตัวอย่างที่วัดเก็บมาได้ โดยแต่ละจุดที่เก็บมาจะแสดงถึงความสูง ณ ตำแหน่งที่เก็บมาเท่านั้น ค่าระหว่างจุดตัวอย่างนั้น ล้วนได้มาจากการทำนายด้วยวิธีการประมาณค่าข้อมูลนั่นเอง (สุเพชร จิรขจรกุล, 2552)

วิธีการในการประมาณค่าในช่วง สามารถใช้วิธีการที่เรียกว่า IDW, Natural Neighbors, Spline และ Kriging โดยการเลือกใช้ในแต่ละวิธีจะขึ้นอยู่กับการจำลองข้อมูลจริงที่มีอยู่และการกระจายตัวของจุดตัวอย่าง ซึ่งสุเพชร จิรขจรกุล (2552) กล่าวว่า วิธีการประมาณค่าแต่ละแบบจะมีความแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับพื้นผิวจริงแต่ละลักษณะ ดังนั้นจะเห็นว่าวิธีการประมาณค่าในช่วงที่ใช้ จะเปลี่ยนไปตามจุดตัวอย่างเรื่องต่างๆ การกระจายตัวของจุด และยังให้ผลลัพธ์ต่างกันจากวิธีการแต่ละแบบด้วย ตัวอย่างการประมาณค่าในช่วงแสดงดังภาพที่ 2.14 วิธีการในการประมาณค่าในช่วงแบบต่างๆ มีรายละเอียดดังนี้

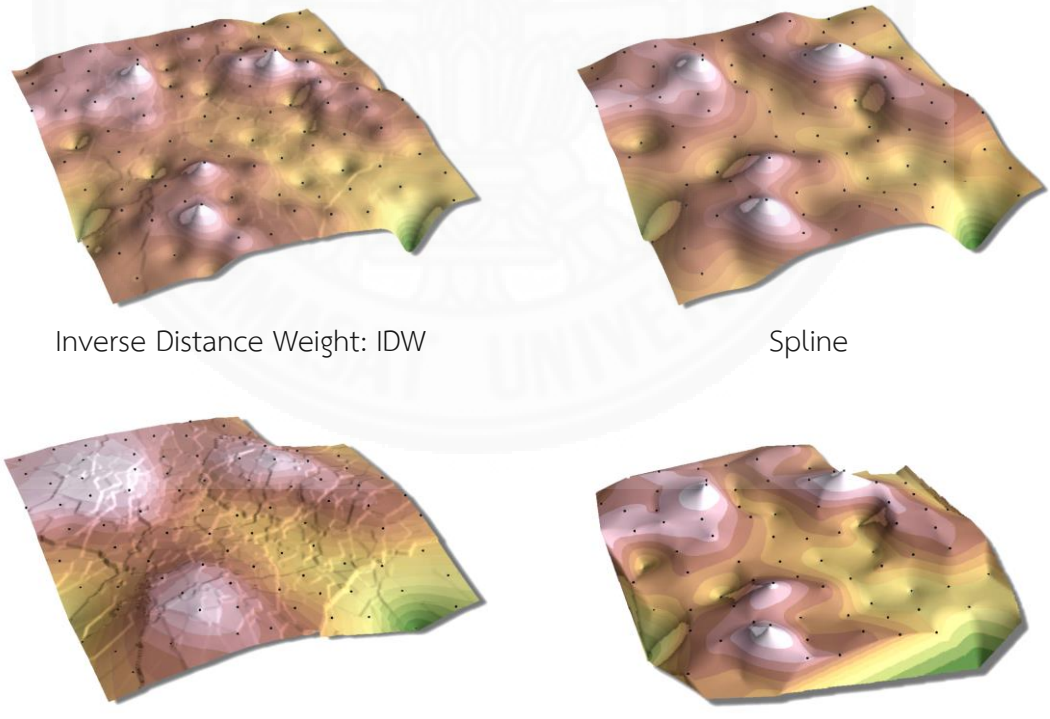
(1) IDW (Inverse Distance Weight) เป็นวิธีการประมาณค่าช่วง โดยทำการสุ่มจุดตัวอย่างแต่ละจุดจากตำแหน่งที่สามารถส่งผลกระทบไปยังเซลล์ที่ต้องการประมาณค่าได้ ซึ่งจะมีผลกระทบน้อยลงเรื่อยๆ ตามระยะทางที่ไกลออกไปจากเซลล์ที่ต้องการประมาณค่า ดังนั้นจุดที่อยู่ใกล้กับเซลล์ที่ต้องการคำนวณหาค่าจะมีน้ำหนักมากกว่าจุดที่ไกลออกไป โดยเราสามารถเจาะจงจำนวนจุด หรืออาจใช้ทุกจุดในรัศมีที่กำหนดมาคำนวณหาค่าให้เซลล์ผลลัพธ์ได้ วิธีการนี้เหมาะกับกรณีที่ตัวแปรที่ใช้ในการสร้างแผนที่มีการปรับค่าตามระยะทางจากจุดตัวอย่าง เช่น ระดับความดังของเสียง ความเข้มข้นของสารเคมี เป็นต้น

(2) Natural Neighbors การประมาณค่าด้วยวิธีการนี้ เป็นอีกวิธีการหนึ่งที่อาศัยการเฉลี่ยน้ำหนักของข้อมูลที่ได้ แต่จะใช้วิธีการสร้างรูปสามเหลี่ยม Delauney ของจุดตัวอย่างและเลือกมาเฉพาะจุดที่อยู่ใกล้กับจุดเชื่อมของสามเหลี่ยมของขอบรอบบริเวณเซลล์ที่ต้องการแทรกค่า โดยน้ำหนักของค่าที่ใช้จะได้สัดส่วนกับพื้นที่นั้นๆ วิธีการนี้เหมาะสำหรับการสร้างพื้นผิวจากจุดตัวอย่างที่มีการกระจายตัวด้วยความหนาแน่นแบบไม่แน่นอน เป็นเทคนิคการแทรกค่าที่สามารถนำไปประยุกต์ได้ดีในพื้นผิวทั่วไปที่ไม่ต้องการปรับค่าตัวแปร เช่น รัศมี จำนวนจุดที่ใช้ หรือน้ำหนัก

(3) Spline เป็นวิธีการที่ใช้ได้กับวัตถุประสงค์ทั่วๆ ไปในการแทรกค่าให้พอดีเป็นพื้นผิวที่มีความโค้งเว้าอย่างน้อยตามจุดตัวอย่างที่นำเข้ามา เหมือนกับการบิดงอของแผ่นยางผ่านจุดตัวอย่าง โดยพยายามให้อย่างน้อยความโค้งทั้งหมดเข้าหาจุดตัวอย่างเหล่านั้นออกมาเป็นพื้นผิว วิธีการแทรกค่าแบบนี้ เหมาะสำหรับพื้นผิวที่มีการเปลี่ยนแปลงแบบค่อยเป็นค่อยไป เช่น พื้นผิวความสูง ตารางความลึกของพื้นน้ำ หรือระดับความเข้มข้นของสารเคมี แต่ไม่เหมาะกับบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงค่ามากๆ ภายในระยะทางสั้นๆ ซึ่งจะทำให้เกิดค่าเกิน (Overshoot) ขึ้น

(4) Kriging เป็นวิธีการที่ทำการสันนิษฐานจากระยะทางหรือทิศทางระหว่างจุดตัวอย่างแต่ละจุด ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ที่สามารถนำมาใช้ในการอธิบายการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวได้ โดยวิธีการนี้ จะทำการเลือกสมการทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมกับจุดตัวอย่างที่เลือกไว้ หรือจุดตัวอย่างทั้งหมด ภายในรัศมีที่กำหนด เพื่อให้ค่าผลลัพธ์ในแต่ละพื้นที่ออกมา ซึ่งหลักการทำงานจะประมวลผลในหลายขั้นตอน โดยผสมผสานการสำรวจวิเคราะห์ค่าทางสถิติของข้อมูล การทำแบบจำลองแบบ Variogram การสร้างพื้นผิว และยังมีส่วนเสริมให้สามารถตรวจดูความแปรปรวนของพื้นผิวได้อีกด้วย วิธีการนี้มักนิยมใช้ในกรณีที่ต้องการทราบความสัมพันธ์ของระยะทาง หรือทิศทางที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของข้อมูล โดยมากมักจะใช้ทางปฐพีวิทยาและธรณีวิทยา แต่บางครั้งพบในการคำนวณปริมาณน้ำฝน

(5) Trend วิธีการแทรกค่าแบบนี้จะทำการเลือกสมการทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสม ได้ด้วยการระบุลำดับของ (Polynomial) พีชคณิต ให้กับจุดตัวอย่างทั้งหมดที่ต้องนำมาวิเคราะห์ ซึ่งใช้ค่าจากเซลล์สี่เหลี่ยมเล็กๆ ที่ผ่านมาในการปรับค่าให้พอเหมาะ ผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นพื้นผิวที่มีความแปรปรวนต่ำ สัมพันธ์กับค่าที่ได้จากจุดตัวอย่างออกมาเป็นพื้นผิวต่อเนื่องกันตามแนวโน้มของข้อมูล โดยที่ความแตกต่างทั้งหมดระหว่างค่าจริงกับค่าที่ได้จากการประมาณการหรือค่าความแปรปรวน จะมีค่าน้อยมาก พื้นผิวที่ได้จึงไม่ต่างจากข้อมูลจริงจากจุดตัวอย่างมากนัก (สุเพชร จิรขจรกุล, 2552)

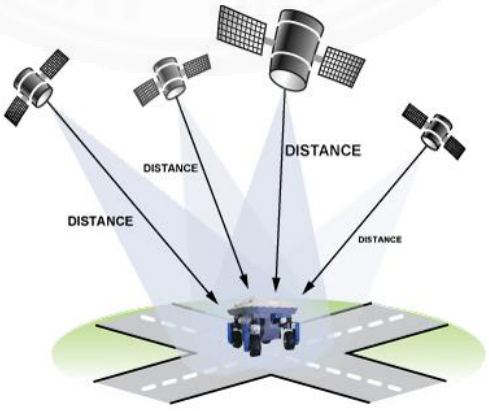


ภาพที่ 2.14 ผลลัพธ์จากการประมาณค่าในช่วงด้วยวิธีการต่างๆ
ที่มา: Childs, 2004

2.4 ระบบกำหนดตำแหน่งบนพื้นโลก (Global Positioning System: GPS)

ระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก เป็นระบบโครงข่ายดาวเทียมระบุตำแหน่งจำนวนอย่างน้อย 24 ดวงรอบโลก โดยโคจรอยู่เหนือพื้นโลกประมาณ 20,200 กิโลเมตร ซึ่งดาวเทียมมีชื่ออ้างอิงว่า NAVSTAR GPS (Navigation Signal Timing and Ranging Global Positioning System) เดิมระบบกำหนดตำแหน่งบนโลกได้ถูกออกแบบมาใช้ในภารกิจทางทหารโดยกระทรวงกลาโหมสหรัฐอเมริกาเป็นเจ้าของระบบ ต่อมาจึงได้เปิดโอกาสให้ประชาชนทั่วไปได้ใช้ประโยชน์นี้โดยไม่คิดมูลค่าแต่อย่างใด ทำให้มีผู้ใช้ระบบกำหนดตำแหน่งบนโลกอย่างเผยแพร่ ระบบกำหนดตำแหน่งบนโลกจะรับสัญญาณจากดาวเทียมเพื่อหาตำแหน่ง ณ จุดใดๆ บนโลกอ้างอิงกับระบบพิกัดทางภูมิศาสตร์ ได้ตลอด 24 ชั่วโมง โดยไม่จำกัดสภาพอากาศแต่อย่างใด จึงนับได้ว่าเป็นระบบนำทางที่ดีในปัจจุบัน ระบบกำหนดตำแหน่งบนโลกทำงานได้โดยอาศัยการรับสัญญาณจากดาวเทียมอย่างน้อย 3 ดวง ดังแสดงในภาพที่ 2.15 ซึ่งสามารถคำนวณตำแหน่งที่อยู่ในแบบ 2 มิติ คือ เฉพาะค่าในแนวราบ และหากระบบกำหนดตำแหน่งบนโลกรับดาวเทียมได้ 4 ดวงขึ้นไป จะทราบตำแหน่งที่อยู่ในแบบ 3 มิติ คือ ตำแหน่ง และความสูง

ระบบดาวเทียมจีพีเอสประกอบด้วยส่วนประกอบ 3 ส่วนหลัก คือ ส่วนอวกาศ (Space Segment) ส่วนควบคุม (Control Segment) และส่วนผู้ใช้ (User Segment) โดยในแต่ละส่วนสัมพันธ์กันดังนี้ ส่วนควบคุมจะมีสถานีติดตามภาคพื้นดินที่กระจายอยู่บนพื้นโลกเพื่อคอยติดตามการเคลื่อนที่ของดาวเทียม ทำให้สามารถคำนวณวงโคจรและตำแหน่งของดาวเทียมที่ขณะเวลาต่างๆ ได้ จากนั้นส่วนควบคุมก็จะทำนายวงโคจรและตำแหน่งของดาวเทียมทุกดวงในระบบล่วงหน้า แล้วส่งข้อมูลเหล่านี้ไปยังส่วนอวกาศซึ่งคือ ตัวดาวเทียมนั่นเอง ดาวเทียมจะทำการส่งข้อมูลเหล่านี้ออกมาพร้อมกับคลื่นวิทยุมายังโลก ในส่วนผู้ใช้เมื่อต้องการที่จะทราบตำแหน่งของจุดใดๆ ก็เพียงนำเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GPS ไปตั้งให้ตรงตำแหน่งจุดที่ต้องการทราบตำแหน่ง แล้วนำข้อมูลที่ได้ไปประมวลผล ก็ทราบค่าพิกัด ณ ตำแหน่งที่ต้องการ (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) และสมาคมสำรวจข้อมูลระยะไกลและสารสนเทศภูมิศาสตร์แห่งประเทศไทย, 2552)



ภาพที่ 2.15 หลักการทำงานของดาวเทียม GPS
ที่มา: Looney, 2010

เทคโนโลยีจีพีเอสมีการพัฒนาอย่างรวดเร็ว โดยมีความถูกต้องเชิงตำแหน่งในช่วงเริ่มต้นที่ 100 เมตร และต่อมามีการประยุกต์อย่างกว้างขวางภายหลังจากประธานาธิบดีประเทศสหรัฐอเมริกา บิล คลินตัน ได้ประกาศยกเลิกการใช้ Selective Availability หรือเรียกโดยย่อว่า SA ซึ่งมีผลทำให้ความถูกต้องเชิงตำแหน่งสูงขึ้น คือ มีความผิดพลาดต่ำกว่า 5 เมตร หรือในระดับเซนติเมตร เมื่อใช้การวัดแบบสัมพัทธ์ (DGPS) ปัจจุบันมีการพัฒนาเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GPS อย่างรวดเร็ว โดยเครื่องมีขนาดเล็กลง ราคาถูก และมีขีดความสามารถสูงขึ้น โดยมีการพัฒนาให้ติดตั้งร่วมกับอุปกรณ์อื่น เช่น นาฬิกาข้อมือ โทรศัพท์มือถือ และการติดตั้งเพื่อนำทางในรถยนต์ นอกจากนี้ยังมีการพัฒนาให้สามารถใช้งานในอาคารหรือในบริเวณที่มีการปิดกั้นสัญญาณดาวเทียม (Indoor GPS) ได้อีกด้วย (สุเพชร จิรขจรกุล, 2552)

2.5 แบบจำลองในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

สุระ พัฒนเกียรติ (2546) กล่าวว่า แบบจำลอง (model) หมายถึง ลักษณะของการคัดเลือกหรือจำแนกรูปแบบต่างๆ เพื่อใช้เป็นตัวแทนในการอธิบายปรากฏการณ์ตามธรรมชาติที่เกิดขึ้น โดยส่วนใหญ่จะพิจารณาในลักษณะเชิงปริมาณ (quantitative model) ซึ่งจะใช้หลักการทางคณิตศาสตร์ในการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลที่ต้องการ สามารถนำแบบจำลองไปประยุกต์ในด้านการจัดการ การตัดสินใจ การจำแนกความเหมาะสม เป็นต้น แบบจำลองที่นำมาประยุกต์ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ประกอบด้วย

2.5.1 แบบจำลองเชิงแนวคิด (Concept model) เป็นแบบจำลองแสดงแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับองค์ประกอบ และการดำเนินการของปรากฏการณ์ต่างๆ โดยนำเสนอในรูปแผนผัง แสดงระบบดำเนินงานหลัก ขบวนการต่างๆ และความสัมพันธ์เชิงคุณภาพของปัจจัยที่นำมาใช้เพื่อให้ได้ฐานข้อมูลที่สมบูรณ์

2.5.2 แบบจำลองเชิงแผนที่ (Cartographic model) เป็นแบบจำลองที่นำเสนอในรูปของการอธิบายโดยใช้แผนที่เป็นสื่อ นิยมใช้ในการจำแนกพื้นที่ที่เหมาะสมในเรื่องถิ่นอาศัย โดยพิจารณาจากปัจจัยแวดล้อมที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิตของสัตว์ป่า

2.5.3 แบบจำลองเชิงฐานกฎเกณฑ์ (Rule-Based model) เป็นแบบจำลองที่ใช้ระบบผู้เชี่ยวชาญ มาประยุกต์เชื่อมโยงกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ประกอบด้วยกฎเกณฑ์ที่เกี่ยวกับฐานข้อมูลในการประเมินสารสนเทศเชิงตัวเลข กฎเกณฑ์เกี่ยวกับแผนที่ในการประเมินความแปรปรวนของแผนที่ประเภทต่างๆ และกฎเกณฑ์เกี่ยวกับการศึกษาค้นคว้า หรือค้นคิดเพื่อประเมินองค์ความรู้จากผู้เชี่ยวชาญ ในการแก้ปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้น

2.5.4 แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ (Mathematical model) เป็นแบบจำลองที่เกี่ยวข้องกับการใช้สมการทางคณิตศาสตร์ เพื่อคำนวณ และวิเคราะห์ให้ได้ผลลัพธ์ ในการอธิบายปรากฏการณ์ต่างๆ แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ แบบจำลองเชิงสถิติ ใช้ข้อมูลที่ได้จากการสังเกตและสุ่มตัวอย่างปัจจัยตั้งแต่หนึ่งปัจจัยหรือมากกว่า ส่วนแบบจำลองคงตัว ไม่จำเป็นต้องใช้ค่าปัจจัยจากการสุ่ม แบบจำลองทั้งสองนี้เป็นไปได้ทั้งแบบคงที่ และแบบที่มีการเปลี่ยนแปลง โดยมีปัจจัยที่เป็นส่วนประกอบอย่างน้อยหนึ่งปัจจัย แบบจำลองคณิตศาสตร์สามารถประยุกต์กับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์โดยตรง หรือสามารถแยกดำเนินการในส่วนการคำนวณแล้วนำเชื่อมโยงกับระบบ

สารสนเทศภูมิศาสตร์ในภายหลังก็ได้ โดยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์จะเป็นส่วนจัดการข้อมูลในทางสถิติเพื่อกำหนดเป็นองค์ประกอบของการสร้างแบบจำลองที่เหมาะสม

2.6 ชายฝั่งทะเล (Coast)

2.6.1 คำนิยาม

กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง (2557) อ้างถึง สุวลักษณ์ สาธุมนัสพันธุ์ (2555) ให้ความหมายของคำว่าชายฝั่ง และพื้นที่ชายฝั่งไว้ว่า ชายฝั่ง หมายถึง ขอบเขตหรืออาณาเขตที่มีการเชื่อมต่อกันระหว่างแผ่นดินและทะเล โดยทั้งแผ่นดินและทะเลต่างก็มีปฏิสัมพันธ์และมีอิทธิพลซึ่งกันและกัน ผ่านกระบวนการต่างๆ ทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ ซึ่งชายฝั่งทะเลมีองค์ประกอบ (ภาพที่ 2.16) ดังต่อไปนี้

2.6.1.1 ชายทะเล (Shore) คือ พื้นที่ระหว่างขอบฝั่งกับแนวน้ำลงต่ำสุด มีลักษณะเป็นแถบยาวไปตามริมฝั่ง เกิดขึ้นเนื่องจากการกระทำของคลื่นและกระแสน้ำในทะเลหรือทะเลสาบ

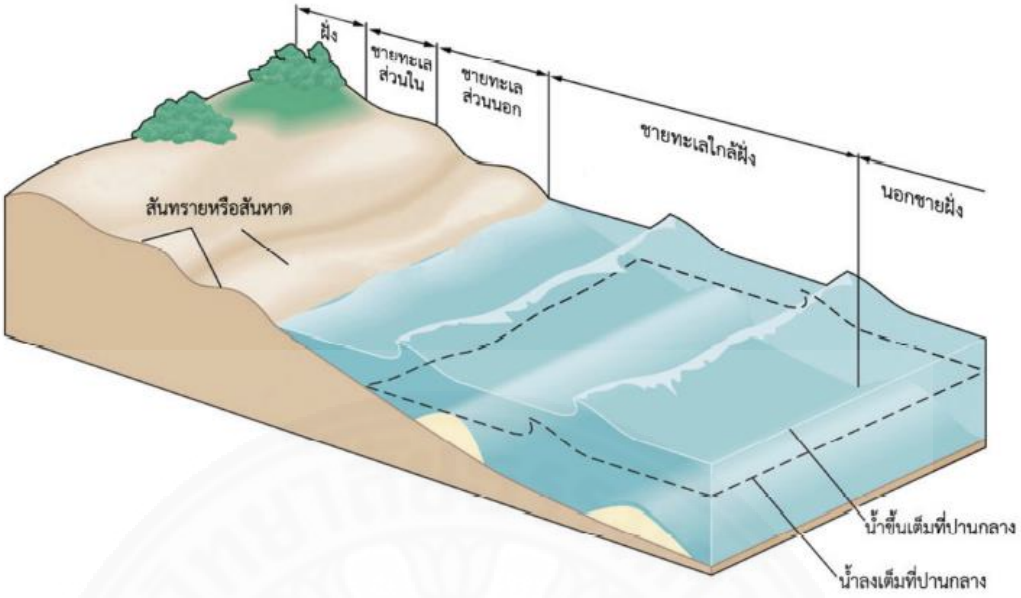
2.6.1.2 ชายทะเลส่วนใน (Backshore) เป็นบริเวณระหว่างแนวน้ำขึ้นสูงสุดถึงยอดสันทรายไปจรดขอบฝั่ง พื้นที่ส่วนนี้ปกติจะแห้ง ยกเว้นในขณะที่มีมรสุม คลื่นจะสามารถซัดขึ้นไปถึงได้

2.6.1.3 สันทรายหรือสันหาด (Beam) เป็นสันทรายขนาดเล็ก มีลักษณะคล้ายที่ราบ เป็นชั้นที่อยู่สูงกว่าระดับน้ำและเปลี่ยนแปลงได้ เกิดจากดินหรือทรายที่พังลงจากขอบฝั่งหรือเป็นทรายที่ถูกคลื่นและลม นำพาไปกองรวมบนหาดเป็นแนวยาวขนานไปกับชายฝั่ง เมื่อเกิดขึ้นรวมกันหลายๆ แนวบนหาดจะทำให้บริเวณด้านในของหาดมีลักษณะเป็นสันสูงขึ้นมักเป็นที่สูงพ้นจากระดับคลื่นซัดถึงในยามปกติ

2.6.1.4 ชายทะเลส่วนนอก (Foreshore) ได้แก่ บริเวณที่นับจากแนวน้ำลงต่ำสุดถึงแนวน้ำขึ้นสูงสุด ชายทะเลส่วนนี้จะอยู่ใต้ระดับน้ำทะเลเกือบตลอดเวลา

2.6.1.5 ชายทะเลใกล้ฝั่ง (Nearshore) เป็นพื้นที่ระหว่างเขตน้ำลงต่ำสุดไปจนถึงพื้นที่ที่มีความชันน้อยมาก เป็นบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงของตะกอนชายฝั่งมากที่สุด ชายทะเลใกล้ฝั่งแม้จะเป็นองค์ประกอบหนึ่งของพื้นที่ชายฝั่งทะเล แต่ไม่สามารถพบได้ในทุกพื้นที่ โดยเฉพาะชายฝั่งที่คลื่นลมไม่รุนแรงหรือพื้นที่ที่มีการอัดแน่นของตะกอน

2.6.1.6 นอกชายฝั่ง (Offshore) เป็นพื้นที่จมน้ำทอดตัวจากชายทะเลใกล้ฝั่งออกไปและเป็นบริเวณที่มีความลึกมากๆ จนกล่าวได้ว่าเป็น พื้นที่น้ำลึก



ภาพที่ 2.16 องค์ประกอบของชายฝั่งทะเลทั่วไป
ที่มา: กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2557

2.6.2 กระบวนการชายฝั่ง

กระบวนการชายฝั่ง เช่น คลื่น กระแสน้ำ และการเกิดน้ำขึ้น-น้ำลง เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ จากอิทธิพลของสภาพภูมิอากาศ และแรงดึงดูดระหว่างโลกและดวงจันทร์ ทำให้ชายฝั่งเกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งทางด้านกายภาพ ชีวภาพ และทางเคมี (สุวลักษณ์ สาธุมนัสพันธุ์, 2555) ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะกระบวนการชายฝั่งที่ส่งผลต่อการเคลื่อนที่ของวัตถุในทะเลเท่านั้น ซึ่งประกอบด้วย ลม อุณหภูมิ น้ำขึ้น-น้ำลง คลื่น และกระแสน้ำ รายละเอียดดังนี้

2.6.2.1 ลม หมายถึง การเคลื่อนที่ของมวลอากาศ ซึ่งเกิดความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างพื้นผิวโลก เนื่องจากพื้นผิวโลกแต่ละประเภทมีความสามารถในการดูดและคายพลังงานความร้อนที่ได้รับจากดวงอาทิตย์ที่แตกต่างกัน บริเวณที่มีอากาศร้อน มวลอากาศจะมีน้ำหนักเบาหรือความกดอากาศต่ำ และอากาศจะลอยตัวขึ้นสู่ด้านบน มวลอากาศที่เย็นกว่าหรือความกดอากาศสูงจึงเคลื่อนตัวเข้ามาแทนที่ทำให้เกิดการพัดพาของลม

การพัดพาของลมในบริเวณชายฝั่งระหว่างบนพื้นดินและน้ำทะเลมีลักษณะเช่นเดียวกัน กล่าวคือ ในเวลากลางวัน น้ำทะเลจะดูดซับความร้อนได้ดีกว่าบนแผ่นดิน ทำให้อุณหภูมิเหนือพื้นน้ำทะเลมีอุณหภูมิต่ำ ส่วนบนแผ่นดินมีการดูดและคายความร้อนได้ไม่ดี ทำให้อุณหภูมิเหนือพื้นดินสูงกว่า มวลอากาศจึงเคลื่อนที่จากทะเลไปสู่แผ่นดิน ซึ่งเรียกกันว่า ลมทะเล ในทางตรงกันข้ามกับเวลากลางคืน ความร้อนที่น้ำทะเลดูดเอาไว้ในเวลากลางวันจะคายความร้อนสู่บรรยากาศ ทำให้อุณหภูมิเหนือพื้นน้ำสูงขึ้น มวลอากาศที่อยู่เหนือพื้นน้ำจะลอยตัวขึ้น ส่วนบนแผ่นดินอุณหภูมิจะต่ำกว่า เนื่องจากไม่มีการสะสมความร้อนเอาไว้ มวลอากาศจึงเคลื่อนตัวจากแผ่นดินไปสู่ทะเล หรือเรียกกันว่า ลมบก

ลมมีส่วนสำคัญในการทำให้เกิดคลื่นและกระแสน้ำ เมื่อลมพัดผ่านผิวหน้าทะเลจะทำให้มวลน้ำที่ผิวหน้าน้ำทะเลเกิดการหมุนตัวจนเกิดเป็นคลื่นและกระแสน้ำ ดังนั้นทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นและกระแสน้ำจะขึ้นอยู่กับความเร็วของลมที่พัดผ่านผิวหน้าทะเล และเมื่อลมพัดเข้าสู่ฝั่งก็จะทำให้ชายฝั่งเปลี่ยนแปลง เนื่องจากตะกอนทรายชายหาดถูกลมพัดพาไปสะสมอยู่บนฝั่งและก่อตัวขึ้นเป็นสันทราย

2.6.2.2 อุณหภูมิ การดูดซับความร้อนจากดวงอาทิตย์ในบริเวณผิวหน้าทะเล ทำให้ผิวหน้าทะเลมีอุณหภูมิสูงขึ้นและเกิดการระเหยที่ผิวหน้าน้ำทะเล ส่งผลให้ความหนาแน่นของน้ำทะเลเพิ่มมากขึ้น (ความหนาแน่นของเกลือมากขึ้นหรือน้ำมีความเค็มมากขึ้น) ทำให้มวลน้ำทะเลเคลื่อนที่จากบริเวณที่มีความหนาแน่นมากไปยังบริเวณที่มีความหนาแน่นต่ำกว่า นอกจากนี้แล้วอุณหภูมิยังมีผลต่อการเจริญเติบโต และการอยู่รอดของสิ่งมีชีวิตทั้งพืชและสัตว์อีกด้วย เช่น การเกิดปรากฏการณ์ปะการังฟอกขาวซึ่งมีผลมาจากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิมีผลต่อการกินอาหารของสัตว์น้ำ เป็นต้น

2.6.2.3 น้ำขึ้น – น้ำลง คือ ความแตกต่างกันระหว่างระดับน้ำในช่วงที่เกิดน้ำขึ้นและน้ำลง โดยเป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติ ซึ่งเกิดจากแรงหนีศูนย์กลางของโลก และแรงดึงดูดของดวงจันทร์และดวงอาทิตย์ แรงหนีศูนย์กลางเกิดจากการที่โลกและดวงจันทร์โคจรรอบจุดหมุนร่วมกัน โลกด้านที่หันเข้าหาดวงจันทร์ แรงดึงดูดของดวงจันทร์มีกำลังมากกว่าแรงหนีศูนย์กลางของโลกจึงทำให้น้ำถูกดึงเข้าหาดวงจันทร์ พื้นผิวน้ำจึงโป่งพองออกมาหรือเกิดน้ำขึ้น ส่วนด้านของโลกที่อยู่อีกด้านหนึ่งของดวงจันทร์ แรงหนีศูนย์กลางจะทำให้น้ำถูกดันออกมา พื้นผิวน้ำจึงโป่งพองออกมาด้วยเช่นกัน แต่ระดับจะต่ำกว่า เนื่องจากอยู่ห่างจากดวงจันทร์ จึงได้รับแรงดึงดูดจากดวงจันทร์น้อยกว่า

การหมุนของโลกจะทำให้พื้นผิวมหาสมุทรได้รับแรงดึงดูดจากดวงอาทิตย์และแรงหนีศูนย์กลางทั่วกันภายใน 1 วัน และทำให้ในรอบวันหนึ่งๆ ในบริเวณใดบริเวณหนึ่งมีระดับน้ำที่แตกต่างกันอันเนื่องมาจากการขึ้นลงของน้ำ ความแตกต่างของระดับน้ำขึ้นและน้ำลงหรือพิสัยของน้ำขึ้น – น้ำลง (Tidal Range) สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท (สุวลักษณ์ สาธุมนัสพันธุ์, 2555 อ้างถึง French, 1997) คือ

- พิสัยแคบ (Micro – tidal) คือ ความแตกต่างระหว่างระดับน้ำขึ้นและน้ำลงมีค่าน้อยกว่า 2 เมตร
- พิสัยปานกลาง (Meso – tidal) คือ ความแตกต่างระหว่างระดับน้ำขึ้นและน้ำลงมีค่าตั้งแต่ 2 เมตร จนถึง 4 เมตร
- พิสัยกว้าง (Macro – tidal) คือ ความแตกต่างระหว่างระดับน้ำขึ้นและน้ำลงมีค่ามากกว่า 4 เมตร

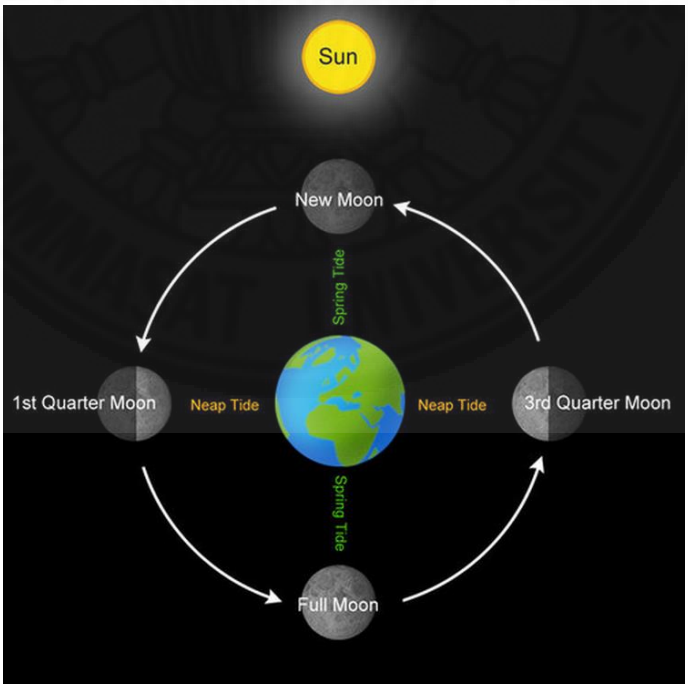
หากวงโคจรของดวงจันทร์ โลก และดวงอาทิตย์ วางตัวอยู่ในแนวดียวกัน ซึ่งจะเกิดขึ้นในช่วงวันขึ้น 15 ค่ำ หรือแรม 15 ค่ำ จะทำให้แรงดึงดูดมากขึ้น ส่งผลให้มวลน้ำถูกกระทำจากแรงดึงดูดมากขึ้น และทำให้ระดับน้ำสูงและต่ำกว่าปกติ หรือมีความแตกต่างระหว่างระดับน้ำขึ้นและน้ำลงมาก เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า น้ำเกิด หรือน้ำเป็น (Spring Tide) ในทางตรงกันข้ามถ้าวงโคจรของดวงจันทร์และดวงอาทิตย์วางตัวในแนวตั้งฉาก ซึ่งจะตรงกับในวันขึ้น 8 ค่ำ หรือแรม 8 ค่ำ

จะทำให้ระดับน้ำขึ้นและน้ำลงมีความแตกต่างกันไม่มาก หรือเรียกว่า น้ำตาย (Neap Tide) ดังแสดงในภาพที่ 2.17

เนื่องจากลักษณะภูมิประเทศของชายฝั่งบนโลกในแต่ละบริเวณมีความแตกต่างกัน ทำให้ลักษณะการเกิดน้ำขึ้น – น้ำลงในแต่ละบริเวณมีความแตกต่างกันไปด้วย โดยลักษณะของน้ำขึ้น – น้ำลง แบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่

- น้ำเดี่ยว (Diurnal Tide) หมายถึง เกิดน้ำขึ้นและน้ำลงวันละ 1 ครั้ง
- น้ำผสม (Mixed Tide) หมายถึง เกิดน้ำขึ้นและน้ำลง สลับไปมาระหว่างวันละ 1 ครั้ง และ 2 ครั้ง ในช่วงที่เกิดน้ำเป็นและน้ำตาย หรือมียอดความสูงของน้ำขึ้นและน้ำลงอย่างละ 2 ครั้ง แต่ระดับยอดน้ำทั้งสองครั้งนั้นไม่เท่ากัน
- น้ำคู่ (Semi – diurnal Tide) หมายถึง เกิดน้ำขึ้นและน้ำลงวันละ 2 ครั้ง

สำหรับในประเทศไทยมีลักษณะการเกิดน้ำขึ้น – น้ำลง ครบทั้ง 3 ประเภท แตกต่างกันในแต่ละสถานที่ โดยบริเวณอ่าวไทยมีการขึ้นลงของน้ำทะเล 2 ประเภท ได้แก่ น้ำเดี่ยว (บริเวณชายฝั่งอ่าวไทยด้านทิศตะวันออกและอ่าวไทยด้านทิศตะวันตกตอนบน) และน้ำผสม (บริเวณชายฝั่งอ่าวไทยตอนในและอ่าวไทยด้านทิศตะวันตกตอนล่าง) ส่วนบริเวณชายฝั่งทะเลอันดามันเป็นแบบน้ำคู่

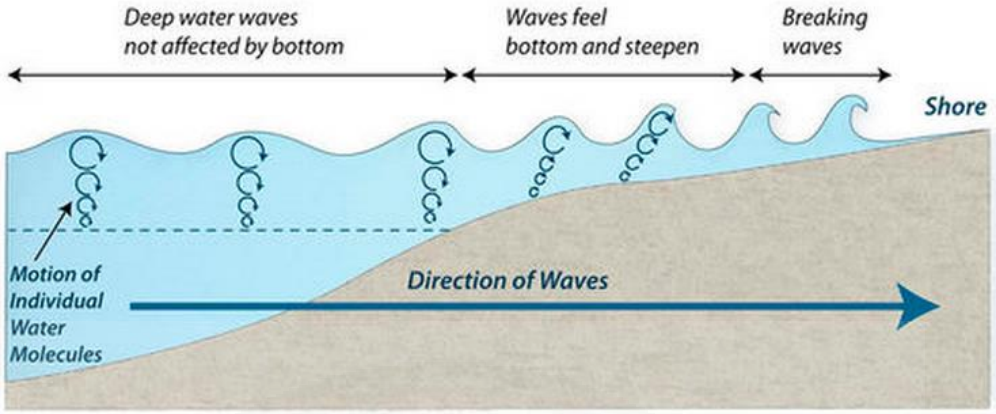


ภาพที่ 2.17 ช่วงเวลาในการเกิดน้ำขึ้น-น้ำลง และน้ำเกิด-น้ำตาย
ที่มา: Desonie, 2015

2.6.2.4 คลื่น เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ เกิดจากแรงกระทำตามธรรมชาติ โดยปัจจัยที่ทำให้เกิดคลื่น ได้แก่ ลม น้ำขึ้น – น้ำลง และการเกิดแผ่นดินไหวหรือภูเขาไฟระเบิดใต้ทะเล

(1) คลื่นที่เกิดจากลม เมื่อมีการพัดพาของลมในบริเวณผิวหน้าน้ำทะเล ทำให้เกิดการถ่ายเทพลังงานระหว่างลมไปยังผิวหน้าน้ำทะเล ส่งผลให้มวลของน้ำที่ผิวหน้าทะเลหมุนเป็นวงกลมยกตัวขึ้นและเป็นคลื่นขึ้น ทั้งนี้คลื่นจะเคลื่อนตัวโดยการหมุนตัวของมวลน้ำและถ่ายทอดพลังงานไปยังมวลน้ำที่อยู่ข้างเคียง ทำให้มวลน้ำที่อยู่ข้างเคียงหมุนตัวและเกิดการยกตัวของมวลน้ำต่อเนื่องกันไป (โดยที่มวลน้ำไม่ได้เคลื่อนที่ไปด้วย) และเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกับการเคลื่อนที่ของลม ส่วนการหมุนตัวของมวลน้ำที่อยู่ใต้ผิวน้ำนั้น วงหมุนของมวลน้ำจะเล็กลงเรื่อยๆ จนหายไป ตามความลึกที่เพิ่มขึ้น โดยในที่ลึกมากๆ ส่วนของฐานคลื่นหรือส่วนท้องคลื่น (ระยะในแนวดิ่งระหว่างยอดคลื่นจนถึงท้องคลื่น หรือ Wave Base) มีความยาวไม่ถึงพื้นท้องทะเล หรือไม่สัมผัสกับพื้นท้องทะเล ดังนั้นในบริเวณที่ลึก คลื่นจะมีความยาวคลื่นค่อนข้างคงที่ แต่เมื่อคลื่นเคลื่อนตัวเข้าสู่ฝั่ง ความลึกของน้ำจะน้อยลงหรือตื้นมากขึ้น ฐานคลื่นจะสัมผัสกับท้องทะเล การหมุนตัวของมวลน้ำจะเกิดการเสียดสีกับพื้นท้องทะเลทำให้การหมุนตัวของมวลน้ำมีการบิดตัวและเปลี่ยนจากวงกลมเป็นวงรีมากขึ้น ยอดคลื่นจะเปลี่ยนจากยอดมนเป็นยอดแหลม ความถี่ในการเกิดคลื่นจะเท่าเดิม แต่ความยาวคลื่นลดลง ทำให้ยอดคลื่นมีการยกตัวสูงขึ้นหรือคลื่นมีความชันมากขึ้น กระทั่งม้วนตัวกลับไปกลับมาจนเกิดการแตกตัวของคลื่น ดูคล้ายกับคลื่นแตกเป็นฟอง ซึ่งเรียกว่า คลื่นหัวแตก (Breaker หรือ Surf) และเรียกบริเวณนี้ว่าบริเวณที่คลื่นแตกตัว (Surf Line) ดังแสดงในภาพที่ 2.18 ขนาดของคลื่นจะขึ้นอยู่กับความแรงของลม ระยะเวลาที่ลมพัด และระยะช่วงลมพัด (Fetch Length) ที่มากระทำต่อผิวหน้าน้ำทะเล โดยทั่วไปคลื่นที่เกิดจากลมมีความถี่หรือคาบของการเกิดคลื่นไม่เกิน 20 วินาที (สุวลักษณ์ สาธุมนัสพันธุ์, 2555 อ้างถึง French, 1997)

(2) คลื่นที่เกิดจากแรงโน้มถ่วง แรงโน้มถ่วงในที่นี้ คือ แรงโน้มถ่วงจากดวงจันทร์ ซึ่งเป็นแรงที่ทำให้เกิดน้ำขึ้น – น้ำลง โดยคลื่นจะเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำในขณะที่เกิดน้ำขึ้นและน้ำลงในรอบวันหนึ่งๆ ดังนั้นความถี่ของการเกิดคลื่นหรือคาบของการเกิดคลื่นก็คือ วงรอบการขึ้นลงของน้ำ ซึ่งจะยาวนานประมาณ 12 ชั่วโมง เราเรียกคลื่นประเภทนี้ว่า คลื่นที่มีคาบการเกิดยาว (Long – period Waves) โดยที่ยอดคลื่นสูงสุดจะอยู่ในช่วงน้ำขึ้นสูงสุด และท้องคลื่นจะอยู่ในช่วงน้ำลงต่ำสุด (สุวลักษณ์ สาธุมนัสพันธุ์, 2555 อ้างถึง French, 1997)



ภาพที่ 2.18 การเกิดคลื่นและการเคลื่อนตัวเข้าสู่ชายฝั่ง
ที่มา: Desonie, 2015

2.6.2.5 กระแสน้ำชายฝั่ง เป็นกระแสน้ำที่เกิดขึ้นจากปัจจัยต่างๆ ที่ทำให้มวลน้ำเกิดการเคลื่อนที่ ได้แก่ คลื่นและลม และการขึ้น – ลงของน้ำทะเล รายละเอียดดังนี้

(1) กระแสน้ำที่เกิดจากคลื่นและลม เมื่อเกิดคลื่นขึ้นในทะเล คลื่นมีการเคลื่อนตัวออกจากจุดกำเนิดคลื่น การเคลื่อนตัวของคลื่นรวมกับการพัดพาของลมจะทำให้เกิดกระแสน้ำ ดังนั้น กระแสน้ำที่เกิดขึ้นจะมีทิศทางเดียวกับการเคลื่อนตัวของคลื่นและการพัดพาของลม เมื่อคลื่นเคลื่อนตัวเข้าสู่ฝั่งจะทำให้เกิดกระแสน้ำเคลื่อนตัวเข้ามากระทบชายฝั่ง เรียกว่า กระแสน้ำตั้งฉากกับฝั่ง (Shore – normal Current) และเมื่อกระทบกับฝั่งแล้วจะทำให้กระแสน้ำเกิดการเบี่ยงเบนทิศทางออกไปด้านข้าง หรือขนานกับฝั่ง เรียกว่า กระแสน้ำขนานฝั่ง (Shore – parallel Current) หรือกระแสน้ำเลียบชายฝั่ง นอกจากนี้ อาจมีการรวมตัวกันของกระแสน้ำขนานฝั่งที่ไหลมารวมกัน ทำให้เกิดการเลี้ยวเบนของกระแสน้ำ เกิดเป็นกระแสน้ำอีกรูปแบบหนึ่งที่ไหลแรงและมีทิศทางการไหลออกจากชายฝั่งที่เรียกว่า ริป เคอร์เร้นท์ (Rip Current) จัดเป็นกระแสน้ำที่อันตรายมากสำหรับนักท่องเที่ยวที่นิยมว่ายน้ำตามชายหาด โดยมากมักพบในบริเวณชายฝั่งที่มีลักษณะกว้าง และเปิดโล่งออกสู่ทะเล โดยไม่มีสิ่งก่อสร้าง เกาะ หรือโขดหิน (Headland) มากีดขวางการเคลื่อนที่ของกระแสน้ำทั้งกระแสน้ำที่เคลื่อนที่เข้าหาฝั่ง และกระแสน้ำขนานฝั่ง (สุวลักษณ์ สาธุมนัสพันธุ์, 2555 อ้างถึง French, 1997)

อย่างไรก็ตาม ในบางบริเวณอาจเกิดปรากฏการณ์กระแสน้ำไหลออกเกิดขึ้นได้ แม้ว่าจะมีโครงสร้างที่อยู่ตามชายฝั่ง ทั้งนี้ เนื่องจากมุมของกระแสน้ำที่เคลื่อนตัวเข้าสู่ฝั่งไม่ได้เป็นมุมฉาก แต่เป็นมุมเฉียงหรือมุมเอียง ทำให้กระแสน้ำที่ไหลขนานฝั่งบางส่วนแม้ว่าจะถูกกีดขวางโดยโครงสร้างซึ่งมีลักษณะทึบและแข็งแรง เช่น แหลมหรือหัวเกาะ หรือสิ่งก่อสร้างชายฝั่ง เช่น คันดักทราย (Groin) เขื่อนกันทราย (Jetty) เขื่อนกันคลื่น (Breakwaters) สามารถเลี้ยวเบนอ้อมโครงสร้างดังกล่าวได้ และเมื่อไหลมาบรรจบกับกระแสน้ำขนานฝั่งที่ไหลมาจากอีกด้านหนึ่งรวมกันเป็นกระแสน้ำไหลออกสู่ทะเล

(2) กระแสน้ำที่เกิดจากน้ำขึ้น – น้ำลง ปรากฏการณ์น้ำขึ้น – น้ำลง ทำให้มวลน้ำเกิดการเคลื่อนที่ไปตามแรงโน้มถ่วงของดวงจันทร์และแรงหนีศูนย์กลางของโลก เป็นผลให้เกิดกระแสน้ำขึ้นในบริเวณมหาสมุทรเปิด ความเร็วของกระแสน้ำที่เกิดจากน้ำขึ้น – น้ำลง (Tidal Current) จะมีค่าสูงสุดในช่วงที่เกิดน้ำขึ้นสูงสุดหรือน้ำลงต่ำสุด ส่วนบริเวณชายฝั่งความเร็วสูงสุดของกระแสน้ำจะอยู่ในช่วงกลางระหว่างการเกิดน้ำขึ้นสูงสุดหรือน้ำลงต่ำสุด และในขณะที่ความเร็วของกระแสน้ำในช่วงน้ำขึ้นสูงสุดหรือน้ำลงต่ำสุดจะมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ (สุวลักษณ์ สาธุมนัสพันธุ์, 2555 อ้างถึง French. 1997)

2.6.3 อุทกศาสตร์ชายฝั่งทะเลอ่าวไทย

กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง (2557) สรุปไว้ว่า ชายฝั่งทะเลของประเทศไทย มีความยาวรวมทั้งสิ้น 3,148.23 กิโลเมตร แบ่งเป็นฝั่งอ่าวไทย 2,055.18 กิโลเมตร และฝั่งทะเลอันดามัน 1,093.05 กิโลเมตร ครอบคลุมเขตพื้นที่ชายฝั่งของจังหวัดที่มีพื้นที่ติดชายฝั่งทะเล 23 จังหวัด ประกอบด้วย ตราด จันทบุรี ระยอง ชลบุรี ฉะเชิงเทรา สมุทรปราการ กรุงเทพมหานคร สมุทรสาคร สมุทรสงคราม เพชรบุรี ประจวบคีรีขันธ์ ชุมพร สุราษฎร์ธานี นครศรีธรรมราช สงขลา ปัตตานี นราธิวาส ระนอง พังงา ภูเก็ต กระบี่ ตรัง สตูล และพัทลุง โดยสามารถจัดแบ่งเขตพื้นที่ย่อยๆ เป็น 6 พื้นที่ ดังนี้

- อ่าวไทยฝั่งตะวันออก ได้แก่ ตราด จันทบุรี ระยอง และชลบุรี
- อ่าวไทยตอนบน ได้แก่ ฉะเชิงเทรา สมุทรปราการ กรุงเทพมหานคร สมุทรสาคร สมุทรสงคราม และเพชรบุรี
- อ่าวไทยตอนกลาง ได้แก่ ประจวบคีรีขันธ์ ชุมพร และสุราษฎร์ธานี
- อ่าวไทยตอนล่าง ได้แก่ นครศรีธรรมราช พัทลุง สงขลา ปัตตานี และนราธิวาส
- ทะเลอันดามันตอนบน ได้แก่ ระนอง พังงา และภูเก็ต
- ทะเลอันดามันตอนล่าง ได้แก่ กระบี่ ตรัง และสตูล

กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง (2557) อ้างถึงกรมอุทกศาสตร์ (2536) กล่าวถึงอุทกศาสตร์ชายฝั่งทะเลอ่าวไทยไว้ว่า เนื่องจากอ่าวไทยตั้งอยู่ในเขตศูนย์สูตร จึงมีความชื้นสูงตลอดปี อุณหภูมิในฤดูร้อนค่อนข้างสูง ประมาณ 33 องศาเซลเซียส และลดต่ำลงในฤดูหนาวประมาณ 25 องศาเซลเซียส มวลน้ำที่เคลื่อนตัวไปมาภายในอ่าวไทย มาจากมวลของน้ำในทะเลจีนใต้มหาสมุทรแปซิฟิกที่ไหลขึ้น-ลง หรือหมุนเวียนไปตามอิทธิพลของมรสุมในฤดูต่างๆ สภาพภูมิอากาศในอ่าวไทยอยู่ในอิทธิพลของมรสุมเช่นเดียวกับภาคอื่นของประเทศ คือ ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (เดือนพฤษภาคม-กันยายน) และมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (เดือนตุลาคม-กุมภาพันธ์) โดยมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ทำให้ฝนตกชุกทางฝั่งตะวันออก ส่วนมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือทำให้ฝนตกชุกทางฝั่งตะวันตกของอ่าวไทย

ในส่วนของกระแสน้ำผิวหน้า กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง (2557) กล่าวว่าเป็นน้ำที่ไหลขนานกับชายฝั่ง อันเกิดจากอิทธิพลของลมมรสุมทั้งสองนั้นจะมีความเร็วต่างกัน โดยในมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ กระแสน้ำจะไหลตามเข็มนาฬิกา ส่วนในช่วงมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ

กระแสน้ำจะไหลทวนเข็มนาฬิกา สอดคล้องกับ อนุกูล บูรณประทีปรัตน์ (2551) ที่ศึกษาลักษณะการไหลเวียนของกระแสน้ำในอ่าวไทยตอนบน โดยทบทวนงานวิจัย 3 ประเภท ได้แก่ การวัดโดยตรงในภาคสนาม การใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และการใช้เทคนิคการรับรู้จากระยะไกล ซึ่งสรุปว่า ลมมรสุมเป็นปัจจัยหลักที่ควบคุมการเปลี่ยนแปลงลักษณะการไหลเวียนของกระแสน้ำ โดยจะไหลเวียนในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาในช่วงลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ส่วนในช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้สามารถเกิดกระแสน้ำได้ทั้งแบบตามเข็มนาฬิกาและทวนเข็มนาฬิกาขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมในช่วงเวลานั้น โดยการไหลเวียนกระแสน้ำแบบตามเข็มนาฬิกาพบได้บ่อยกว่าในช่วงฤดูกาลนี้

นอกจากนี้ ลมมรสุมยังมีผลต่อการเกิดคลื่นบริเวณอ่าวไทยในทิศทางที่ลมพัดผ่าน กล่าวคือ ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือจะทำให้เกิดคลื่นขนาดใหญ่กว่าปกติในบริเวณอ่าวไทยด้านตะวันตก ส่วนมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ก็จะทำให้เกิดคลื่นขนาดใหญ่กว่าปกติในบริเวณอ่าวไทยด้านตะวันออก

2.7 คุณสมบัติของน้ำมันและการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติตามช่วงเวลาของน้ำมันที่รั่วไหลในทะเล

2.7.1 คุณสมบัติของน้ำมัน (Properties of oil)

The International Tanker Owners Pollution Federation Limited (2011) กล่าวถึงคุณสมบัติของน้ำมันไว้ว่า น้ำมันดิบที่มีแหล่งกำเนิดแตกต่างกันจะมีคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีที่แตกต่างกันไป ในขณะที่น้ำมันที่ผ่านการกลั่นแล้วจะมีคุณสมบัติใกล้เคียงกันไม่ว่าจะกลั่นจากโรงกลั่นที่ใด คุณสมบัติของน้ำมันที่ส่งผลต่อพฤติกรรมของน้ำมันเมื่อรั่วไหลลงในทะเล แบ่งเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity or Relative density) คุณสมบัติการกลั่นตัวหรือความสามารถในการระเหย (Distillation property or volatility) ความหนืด (Viscosity) และจุดไหลเท (Pour point) รายละเอียดดังนี้

2.7.1.1 ความถ่วงจำเพาะ เป็นหน่วยของน้ำหนักต่อปริมาตรของเหลวที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส เทียบกับน้ำหนักของน้ำต่อปริมาตรของน้ำที่อุณหภูมิเดียวกัน โดยปกติการรายงานผลจะมีอุณหภูมิกำกับอยู่ (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2552) หน่วยวัดค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำมันโดยทั่วไปจะใช้เกณฑ์การวัดจากสถาบันปิโตรเลียมแห่งสหรัฐอเมริกา (American Petroleum Institute) หรือที่เรียกว่า °API นอกจากนี้ความถ่วงจำเพาะยังสามารถระบุถึงองค์ประกอบของน้ำมันได้ เช่น ถ้าน้ำมันมีค่าความถ่วงจำเพาะต่ำ น้ำมันจะมีส่วนประกอบที่มีความหนืดต่ำและระเหยง่าย ในทางตรงกันข้ามหากน้ำมันมีค่าความถ่วงจำเพาะสูง น้ำมันจะมีความหนืดสูงและระเหยยาก (The International Tanker Owners Pollution Federation Limited, 2011) ส่วนกรมเชื้อเพลิงพลังงาน (2009) กล่าวไว้ว่า เป็นหน่วยวัดค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำมันดิบ ซึ่งเป็นค่าที่แสดงความหนักเบาของน้ำมัน โดยปรกติน้ำมันดิบจะมีค่าความถ่วง API อยู่ระหว่าง 20-45 องศา และสามารถแบ่งน้ำมันดิบออกเป็น 3 ชนิด คือ น้ำมันดิบชนิดเบา มีค่าความถ่วง API มากกว่า 34 องศา น้ำมันดิบชนิดกลาง มีค่าความถ่วง API อยู่ระหว่าง 34-20 องศา และน้ำมันดิบชนิดหนัก มีค่าความถ่วง API น้อยกว่า 20 องศา

2.7.1.2 คุณสมบัติการกลั่นตัวหรือความสามารถในการระเหย เป็นอีกปัจจัยที่ช่วยในการเลือกวิธีการกำจัดคราบน้ำมันที่เหมาะสม เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น จะมีองค์ประกอบต่างๆ ของ

น้ำมันที่ถึงจุดเดือดและพร้อมที่จะระเหย จุดเดือดของน้ำมันชนิดหนัก (Heavy oil) จะอยู่ที่อุณหภูมิประมาณ 350 – 650 องศาเซลเซียส ซึ่งหมายความว่าจะไม่มีการระเหยเลยเมื่อน้ำมันชนิดหนักรั่วลงทะเล สำหรับน้ำมันชนิดเบา (Light oil) จะมีส่วนประกอบบางส่วนที่อาจจะระเหยได้บ้างที่อุณหภูมิน้ำทะเล เมื่อบางส่วนระเหยไป น้ำมันที่เหลือจึงหนักขึ้นและมีความหนืดสูงขึ้น

2.7.1.3 ความหนืด เป็นคุณสมบัติที่ต้านการไหลของน้ำมัน น้ำมันที่มีความหนืดสูงจะไหลได้ยากกว่า ในขณะที่น้ำมันที่มีความหนืดน้อยจะแพร่กระจายได้อย่างรวดเร็ว ความหนืดยังขึ้นอยู่กับอุณหภูมิด้วย โดยเมื่ออุณหภูมิลดลง ความหนืดจะสูงขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิของน้ำทะเลจะต่ำกว่าอุณหภูมิในถังเก็บน้ำมันบนเรือ เมื่อน้ำมันไหลลงทะเลก็จะทำให้มีความหนืดมากขึ้น ส่งผลให้การทำความสะอาดทำได้ยากขึ้น

2.7.1.4 จุดไหลเท เป็นอุณหภูมิที่ไม่ทำให้เกิดการไหลของน้ำมัน เมื่ออุณหภูมิลดต่ำลง องค์ประกอบที่เป็นไขมันของน้ำมันจะเริ่มเกาะตัวเป็นโครงสร้างแบบคริสตัล ตัวอย่างเช่น น้ำมันดิบชนิด Nile Blend ซึ่งมีจุดไหลเทที่ 33 องศาเซลเซียส เมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิค่อยๆ ลดต่ำลง น้ำมันจะค่อยๆ หนืดและข้นขึ้น จนถึงที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส (ต่ำกว่าจุดไหลเท) น้ำมันจะข้นมากจนไม่สามารถไหลได้ ดังแสดงในภาพที่ 2.19

ภาพที่ 2.19 คราบน้ำมันดิบชนิด Nile Blend รั่วไหลในน้ำทะเลซึ่งมีอุณหภูมิต่ำจุดไหลเท
ที่มา: The International Tanker Owners Pollution Federation Limited, 2011

2.7.2 กระบวนการแปรสภาพของน้ำมัน (Weathering processes)

น้ำมันที่รั่วไหลลงสู่แหล่งน้ำจะเกิดกระบวนการเปลี่ยนแปลงสภาพทั้งกายภาพ เคมี และชีวภาพ เริ่มจากน้ำมันบางส่วนระแหยไป น้ำมันที่เหลืออยู่จะเปลี่ยนสภาพไปตามคุณสมบัติเฉพาะของชนิดน้ำมันและปัจจัยต่างๆ เช่น แสงแดด กระแสน้ำ อุณหภูมิ (เผดิมศักดิ์ จารยะพันธุ์, 2558) The International Tanker Owners Pollution Federation Limited (2011) ได้สรุปไว้ว่า เมื่อน้ำมันรั่วไหลลงสู่ทะเล จะเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพและเคมี เรียกกระบวนการเหล่านี้ว่า Weathering processes (ภาพที่ 2.20) ประกอบด้วยกระบวนการดังต่อไปนี้

2.7.2.1 การแพร่กระจาย (Spreading) เป็นการแพร่กระจายของคราบน้ำมันเหนือผิวน้ำ โดยมีสาเหตุจากลมและการไหลเวียนของกระแสน้ำ เมื่อน้ำมันรั่วไหลในทะเล จะเกิดการแพร่กระจายบนผิวน้ำโดยทันที ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับค่าความหนืด ความหนาแน่น และแรงตึงผิว น้ำมันชนิด Light oil จะแพร่กระจายได้เร็วมาก การใช้บูม (Boom) ล้อมรอบน้ำมันไว้ จะทำให้การเก็บคราบน้ำมันด้วยสกิมเมอร์ (Skimmer) มีประสิทธิภาพขึ้น

2.7.2.2 การระเหย (Evaporation) หมายถึง การระเหยของคราบน้ำมันเมื่อสัมผัสความร้อนจากแสงอาทิตย์ หากน้ำมันมีองค์ประกอบที่ระเหยง่ายอยู่มาก (องค์ประกอบที่มีจุดเดือดต่ำกว่า 200 องศาเซลเซียส) คราบน้ำมันอาจระเหยได้ถึง 40% ภายใน 24 ชั่วโมงหลังจากที่รั่วไหลสู่ทะเล ในทางตรงกันข้ามน้ำมันที่มีความหนืดมากจะไม่ระเหยเลย คลื่น ลม และอุณหภูมิที่สูงขึ้นสามารถเร่งการระเหยได้ เมื่อน้ำมันระเหยไป ส่วนที่ไม่ระเหยก็จะหนืดขึ้นและมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น จึงควรเลือกวิธีการกำจัดส่วนที่เหลือนี้อย่างเหมาะสม

2.7.2.3 การกระจายตัว (Dispersion) เป็นกระบวนการกระจายตัวของน้ำมันในมวลน้ำ โดยทั่วไปจะขึ้นอยู่กับลักษณะเฉพาะของน้ำมันแต่ละชนิด และสภาวะของทะเล (Sea State) คลื่นและกระแสน้ำจะทำให้คราบน้ำมันกระจายตัวเป็นหยดเล็กที่มีขนาดแตกต่างกัน หยดน้ำมันขนาดเล็กจะจมลงไปในชั้นน้ำ ในขณะที่หยดขนาดใหญ่อาจลอยขึ้นเหนือผิวน้ำและรวมตัวกันเป็นแผ่น (Sheen) การที่น้ำมันกระจายตัวเป็นหยดเล็กๆ จะทำให้กระบวนการอื่นๆ เกิดได้มากขึ้น การกระจายตัวจะเกิดขึ้นได้ดีที่สุดสำหรับน้ำมันที่มีความหนืดไม่มาก ภายใต้สภาพคลื่นลมรุนแรงการใช้สารเร่งการกระจายตัว (Dispersant) เป็นการเร่งกระบวนการโดยธรรมชาติ น้ำมันที่มีความหนืดและลอยอยู่บนน้ำทะเลที่มีอุณหภูมิต่ำใกล้จุดไหลเทจะไม่กระจายตัว ถึงแม้จะใช้สารเร่งการกระจายตัวช่วยเร่งก็ตาม เนื่องจากความหนืดจะป้องกันไม่ให้สารเร่งการกระจายตัวทำปฏิกิริยาได้ นอกจากนี้คราบน้ำมันจะดึงผิวน้ำให้ราบเรียบหรือเกิดคลื่นน้อย ส่งผลให้การกระจายตัวน้อยลง

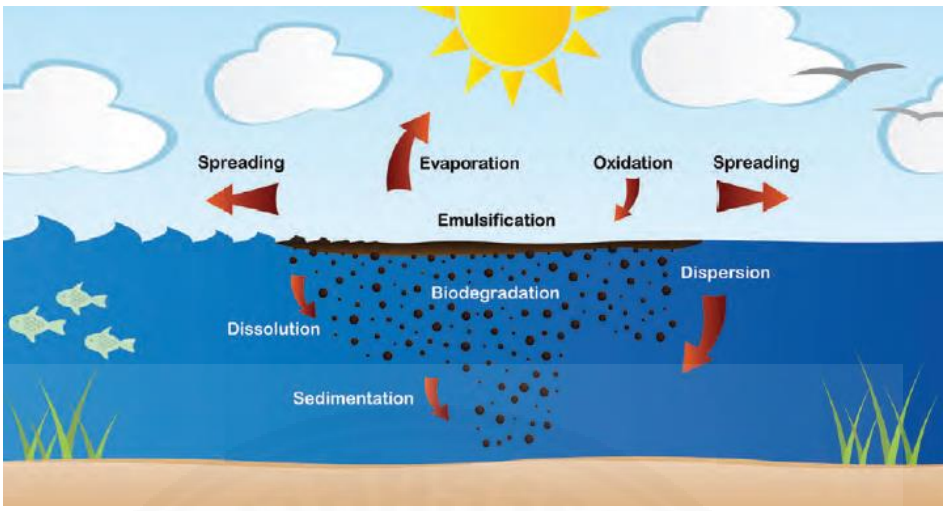
2.7.2.4 การรวมตัวของน้ำและน้ำมัน (Emulsification) เป็นกระบวนการรวมตัวของน้ำมันในชนิดน้ำในน้ำมัน (water-in-oil emulsion) ซึ่งจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นสารกึ่งแข็ง (Semi-solid) ทำให้มีความหนืดเพิ่มขึ้น และกำจัดได้ยากขึ้น กระบวนการนี้สามารถเพิ่มปริมาณของสารกึ่งแข็งได้มากถึง 5 เท่าของปริมาณน้ำมันที่รั่ว ทำให้ต้องใช้แรงงานคนและเครื่องจักรในการกำจัดมากขึ้น การรวมตัวกับน้ำจะเป็นไปอย่างรวดเร็วหากคลื่นลมรุนแรง (มากกว่า Beaufort scale ระดับ 3 หรือความเร็วลมประมาณ 3.5 -5 เมตรต่อวินาที) น้ำมันที่หนืดมากจะดูดน้ำได้ช้ากว่าน้ำมันที่หนืดน้อย เมื่อน้ำมันผสมกับน้ำความหนาแน่นของมันจะใกล้เคียงกับน้ำทะเล สารกึ่งแข็งที่เสถียรอาจมีน้ำเป็นส่วนประกอบได้มากถึง 80 % และจะมีสีแดงเข้ม น้ำตาลเข้ม หรือเหลืองถึงส้มเข้ม ดังแสดงในภาพที่ 2.21 ซึ่งกระบวนการนี้เป็นสาเหตุหลักที่ทำให้กระบวนการกำจัดและย่อยสลายเกิดขึ้นได้ยากขึ้น

2.7.2.5 การสลายตัว (Dissolution) เป็นกระบวนการที่น้ำมันละลายในน้ำ โดยทั่วไปส่วนประกอบชนิดหนัก (Heavy components) ของน้ำมันดิบจะไม่ละลายน้ำ แต่ส่วนประกอบชนิดเบา (Light components) โดยเฉพาะอะโรมาติก ไฮโดรคาร์บอน (Aromatic hydrocarbon) และเบนซีน (Benzene) จะละลายน้ำได้เล็กน้อย ดังนั้น กระบวนการนี้จึงไม่ใช่สิ่งที่สำคัญที่ต้องพิจารณาในการกำจัดคราบน้ำมัน

2.7.2.6 ออกซิเดชัน (Oxidation) เป็นการทำปฏิกิริยาระหว่างคราบน้ำมันซึ่งประกอบด้วยไฮโดรคาร์บอนและออกซิเจนในอากาศ ก่อให้เกิดสารที่ละลายน้ำได้ กระบวนการนี้ไม่สามารถทำให้คราบน้ำมันสลายได้มากนัก ถึงแม้จะอยู่ในสภาวะที่มีแสงอาทิตย์จัด ชั้นน้ำมันหนืดที่หนา มีโอกาสที่จะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนจนเกิดเป็นสารที่ไม่ย่อยสลาย

2.7.2.7 การตกตะกอนและการจมตัว (Sedimentation and sinking) หลังจากที่คราบน้ำมันผ่านกระบวนการออกซิเดชัน การระเหย และการสลายตัว ส่วนประกอบหนักของน้ำมันจะยังเหลืออยู่ ซึ่งอาจไปเกาะรวมกับกับตะกอนที่ฟุ้งอยู่ในน้ำและจมลง อย่างไรก็ตามการที่คราบน้ำมันจะไปเกาะรวมกับตะกอนนั้นไม่ใช่เรื่องง่าย สภาวะอีกรูปแบบที่อาจเกิดขึ้นได้ คือคราบน้ำมันลอยไปติดหาดทรายและได้เกาะกับทรายบนหาด เมื่อเกิดคลื่นสูงในช่วงพายุ คลื่นจะกัดเซาะทรายหน้าหาดทำให้ทรายซึ่งถูกเคลือบด้วยน้ำมัน ถูกคลื่นซัดออกจากฝั่ง ในบริเวณปากแม่น้ำ ความหนาแน่นของน้ำจะต่ำกว่าน้ำทะเล ซึ่งจะทำให้ตะกอนเคลือบน้ำมันจมได้มากขึ้น

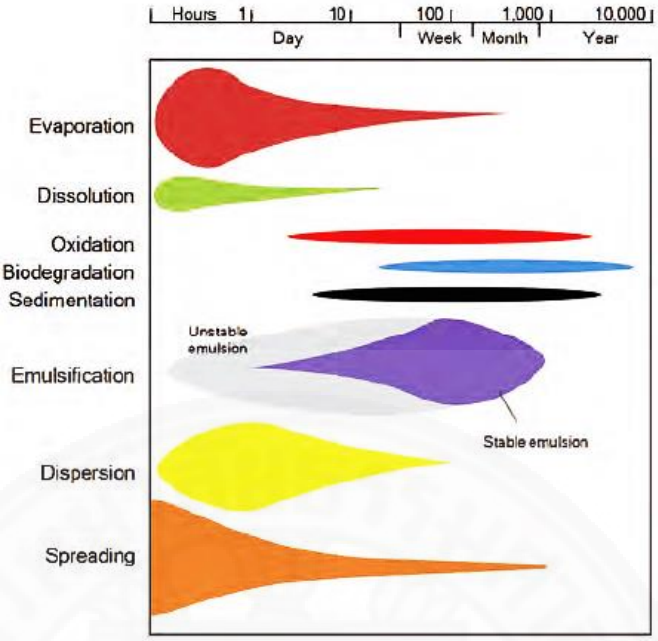
2.7.2.8 การย่อยสลายโดยสิ่งมีชีวิต (Biodegradation) เป็นการย่อยสลายของคราบน้ำมันโดยกระบวนการทางธรรมชาติ ในน้ำทะเลจะมีสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กซึ่งมีความสามารถย่อยสลายน้ำมันอาศัยอยู่เป็นจำนวนมาก เช่น แบคทีเรีย รา สาหร่าย และโปรโตซัว ปัจจัยที่ส่งผลต่ออัตราการย่อยสลายของน้ำมัน ได้แก่ คุณสมบัติของน้ำมัน ออกซิเจน อาหาร (โดยเฉพาะไนโตรเจนและฟอสฟอรัส) และอุณหภูมิ สิ่งมีชีวิตกลุ่มใดกลุ่มหนึ่งจะสามารถย่อยส่วนประกอบของน้ำมันได้ส่วนหนึ่งเท่านั้น ดังนั้นในการย่อยทุกองค์ประกอบของน้ำมันจะต้องอาศัยสิ่งมีชีวิตหลากหลายสายพันธุ์ การใช้สารเร่งการกระจายตัวทำให้น้ำมันแตกออกเป็นหยดๆ จะเพิ่มอัตราการย่อยโดยสิ่งมีชีวิตเนื่องจากพื้นที่ผิวที่เพิ่มมากขึ้น ในทางตรงกันข้ามน้ำมันที่ลอยไปติดบนหาดทรายเหนือระดับน้ำจะมีอัตราการย่อยสลายโดยสิ่งมีชีวิตต่ำ เนื่องจากพื้นที่ผิวที่น้อยและไม่สามารถสัมผัสน้ำได้ โดยกระบวนการนี้เป็นกระบวนการท้ายสุดที่จะเกิดขึ้นและขจัดคราบน้ำมันออกจากธรรมชาติได้โดยสิ้นเชิง อย่างไรก็ตามในปัจจุบันยังไม่สามารถทำนายอัตราการย่อยสลายโดยสิ่งมีชีวิตได้ เนื่องจากมีปัจจัยหลายปัจจัยที่เกี่ยวข้อง



ภาพที่ 2.20 กระบวนการแปรสภาพของน้ำมันในทะเล (Weathering processes)
ที่มา: The International Tanker Owners Pollution Federation Limited, 2011

ภาพที่ 2.21 การกำจัดสารกึ่งแข็งจากกระบวนการรวมตัวของน้ำและน้ำมันชนิด Heavy fuel oil
ที่มา: The International Tanker Owners Pollution Federation Limited, 2011

การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของน้ำมันในกระบวนการต่างๆ ดังกล่าวข้างต้น จะเกิดขึ้นในความเร็วและความสำคัญที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำมัน ลักษณะทางกายภาพของภูมิประเทศพื้นท้องทะเลและชายฝั่ง และลักษณะของคลื่น ลม และกระแสน้ำในบริเวณที่มีการรั่วไหลของน้ำมัน โดยทั่วไปกระบวนการแพร่กระจาย การระเหย และการสลายตัว จะเกิดขึ้นทันทีที่มีการรั่วไหลของน้ำมัน ในขณะที่กระบวนการอื่นๆ จะเกิดขึ้นเมื่อเวลาผ่านไประยะหนึ่ง ในระยะเวลานับสัปดาห์ถึงเดือน (MacKay, 2014) ดังแสดงในภาพที่ 2.22



ภาพที่ 2.22 การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของน้ำมันในกระบวนการ ช่วงเวลา และความสำคัญต่างๆ (ความกว้างในแต่ละสัญลักษณ์หมายถึงความมีอิทธิพลของกระบวนการนั้นๆ ต่อการแปรสภาพของน้ำมัน)
ที่มา: The International Tanker Owners Pollution Federation Limited, 2011

2.8 การจัดการกรณีเกิดเหตุการณ์น้ำมันรั่วไหลในประเทศไทย

2.8.1 สาเหตุของน้ำมันรั่วไหล

กรมควบคุมมลพิษ (2553) ได้สรุปสาเหตุของน้ำมันรั่วไหลที่สำคัญ ไว้ดังนี้

2.8.1.1 เรืออับปาง เนื่องจากอุบัติเหตุ เรือโดนกันหรือชนหินโสโครก โดยเฉพาะบริเวณเส้นทางเดินเรือระหว่างเกาะสีชังและฝั่งอำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี ซึ่งมีการจราจรทางน้ำหนาแน่น มีโรงกลั่นน้ำมันและถังสำรองกักเก็บน้ำมันตั้งอยู่จำนวนมาก อีกทั้งยังไม่มีอุปกรณ์นำร่องเพื่อจัดระบบการจราจรทางน้ำที่มีประสิทธิภาพ

2.8.1.2 การขนถ่ายน้ำมันกลางทะเล จากเรือขนาดใหญ่ลงเรือขนาดเล็ก ที่มีความเป็นไปได้สูงของการเกิดน้ำมันรั่วไหลลงทะเล และการเฝ้าระวังเหตุการณ์โดยเจ้าหน้าที่ของรัฐทำได้ค่อนข้างยาก

2.8.1.3 การลักลอบปล่อยน้ำล้างน้ำมันชนิดเดิม เป็นการปล่อยน้ำล้างน้ำมันชนิดเดิมก่อนบรรทุกน้ำมันชนิดใหม่ หรือลักลอบถ่ายน้ำอับเฉา (เช่นน้ำจากการชะล้างและน้ำเสียจากห้องน้ำ) รวมไปถึงน้ำถ่วงท้องเรือซึ่งปนเปื้อนคราบน้ำมันทิ้งลงในแหล่งน้ำ

2.8.1.4 การขนถ่ายน้ำมันระหว่างเรือกับท่าเทียบเรือ ที่ยังเกิดน้ำมันรั่วไหลลงแหล่งน้ำอยู่เสมอ ถึงแม้ว่า ภาครัฐจะกำหนดให้มีแผนฉุกเฉิน การซ้อมเตรียมความพร้อมและอุปกรณ์สำหรับขจัดคราบน้ำมันแล้วก็ตาม (กรมควบคุมมลพิษ, 2553)

2.8.1.5 น้ำทิ้งจากชุมชนหรือโรงงานอุตสาหกรรม การรั่วไหลจากคลังหรือโรงกลั่นน้ำมัน อุบัติเหตุจากรถบรรทุกน้ำมัน (กรมเจ้าท่า, 2557)

2.8.1.6 สาเหตุอื่นๆ นอกเหนือจากที่กล่าวมาข้างต้น เช่น การขุดเจาะสำรวจปิโตรเลียมในทะเล หรือการรั่วไหลโดยธรรมชาติ (กรมควบคุมมลพิษ, 2554)

นอกจากนี้ กรมเจ้าท่า (2557) กล่าวว่า สาเหตุหลักของการรั่วไหลของน้ำมันมาจากการรั่วไหลจากเรือ รองลงมาคือ ท่อหรือเครื่องจักรกลที่เกี่ยวข้องกับการขนถ่ายน้ำมันบกพร่อง และภาชนะบรรจุน้ำมันชำรุด ตามลำดับ ส่วนจำนวนครั้งของการเกิดเหตุน้ำมันรั่วไหลจำแนกตามพื้นที่นั้น พบว่า ในแม่น้ำเจ้าพระยา (กรุงเทพฯ และจังหวัดสมุทรปราการ) และทะเลฝั่งอ่าวไทย (จังหวัดชลบุรี และระยอง) มีค่าสูงกว่าพื้นที่อื่นๆ เนื่องจากพื้นที่ทั้งสองแห่งดังกล่าวเป็นที่ตั้งของแหล่งกำเนิดมลพิษน้ำมัน ได้แก่ เรือ ท่าเทียบเรือ อู่ต่อและซ่อมเรือ ท่าเทียบเรือขนถ่ายน้ำมัน โรงกลั่น และคลังเก็บน้ำมันอยู่เป็นจำนวนมาก

2.8.2 ผลกระทบจากน้ำมันรั่วไหล

ความรุนแรงของผลกระทบจากน้ำมันรั่วไหลลงในแหล่งน้ำต่อสิ่งแวดล้อมและสิ่งมีชีวิตทางน้ำในบริเวณที่เกิดเหตุการณ์น้ำมันรั่วไหล และในบริเวณใกล้เคียง นอกจากจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติเฉพาะของน้ำมันชนิดนั้นๆ กระแสน้ำ กระแสลม สภาพทางภูมิศาสตร์ของบริเวณที่เกิดการรั่วไหลแล้ว ยังขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำมันที่รั่วไหล ความหลากหลาย และความอุดมสมบูรณ์ของทรัพยากรทางน้ำและชายฝั่งในบริเวณที่มีการปนเปื้อนของคราบน้ำมันด้วย ผลกระทบที่สำคัญจากน้ำมันรั่วไหลลงแหล่งน้ำ สรุปได้ดังนี้ (กรมควบคุมมลพิษ, 2553)

2.8.2.1 ผลกระทบทางกายภาพ

(1) บดบังการส่องผ่านของแสง เนื่องจากน้ำมันจะลอยอยู่เหนือผิวน้ำและบดบังแสงอาทิตย์ไม่ให้ส่องผ่านลงไปในน้ำ ทำให้เกิดผลต่อกระบวนการสังเคราะห์แสงของแพลงก์ตอนพืช สาหร่าย และพืชในน้ำต่างๆ ซึ่งเป็นแหล่งผลิตอาหารขั้นพื้นฐานให้กับผู้บริโภคลำดับถัดไปในห่วงโซ่อาหาร

(2) การลดลงของออกซิเจนละลายน้ำ เนื่องจากคราบน้ำมันที่ปนเปื้อนเป็นแผ่นบนผิวน้ำจะปิดกั้นและกีดขวางออกซิเจนจากอากาศไม่ให้สามารถละลายลงสู่น้ำได้

(3) ความร้อนของน้ำสูงขึ้น เนื่องจากน้ำมันที่มีสีทึบจะสามารถดูดซับความร้อนจากแสงอาทิตย์ได้ ทำให้อุณหภูมิของน้ำสูงขึ้นและอาจส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศของแหล่งน้ำที่มีการปนเปื้อนคราบน้ำมัน

2.8.2.2 ผลกระทบทางชีวภาพและนิเวศวิทยา

(1) ผลกระทบต่อนก สัตว์น้ำ และพืชน้ำต่างๆ ในบริเวณที่เกิดน้ำมันรั่วไหล ทำให้ได้รับออกซิเจนไม่เพียงพอ และเสียชีวิตได้ เนื่องจากน้ำมันจะขัดขวางการถ่ายเทออกซิเจนระหว่างอากาศกับน้ำ ทำให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำลดลง ขณะเดียวกัน คราบน้ำมันจะปิดกั้นแสงสว่างที่ส่องลงมาสู่พื้นท้องน้ำ มีผลกระทบต่อกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืชในแหล่งน้ำ นอกจากนี้ การดูดซับน้ำมันที่มีจุดเดือดต่ำ เข้าสู่ร่างกายของสัตว์น้ำขนาดเล็ก จะก่อให้เกิดพิษอย่างเฉียบพลัน ทำให้ตายได้ทันที กรณีได้รับน้ำมันบางชนิดที่มีจุดเดือดสูง เข้าสู่ร่างกาย จะทำให้เกิดพิษ

แบบเรื้อรังสะสมในเนื้อเยื่อของสัตว์น้ำเหล่านั้น และพิษเหล่านี้สามารถถ่ายทอดไปตามหวงโซ่อาหารในระบบนิเวศได้ต่อไป

(2) ผลกระทบต่อปะการัง ซึ่งเป็นแหล่งที่อยู่อาศัยของสิ่งมีชีวิตในทะเล เมื่อมีคราบน้ำมันตกลงบนปะการังจะไปอุดช่องโครงสร้างของปะการัง อาจทำให้ปะการังตายตลอดจนก่อให้เกิดผลกระทบต่อระบบนิเวศของสัตว์น้ำในบริเวณแหล่งปะการังได้

(3) ผลกระทบต่อสัตว์น้ำที่อาศัยอยู่พื้นท้องทะเล โดยน้ำมันที่ตกค้างอยู่ในเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิตจะทำให้การเผาผลาญอาหารในร่างกายของสิ่งมีชีวิตผิดปกติ การเจริญเติบโตลดลง การสืบพันธุ์ผิดปกติ หรือมีการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมการกินอาหาร เป็นต้น อย่างไรก็ตาม ผลกระทบของน้ำมันต่อสิ่งมีชีวิตขึ้นอยู่กับชนิด แหล่งกำเนิด และปริมาณของน้ำมันรั่วไหล และละลายอยู่ในน้ำ ตัวอย่างเช่น น้ำมันเบาซึ่งมีเปอร์เซ็นต์ของสารประกอบอะโรมาติก (Aromatic) สูง จะระเหยได้ง่ายและเหลือคราบน้ำมันน้อย แต่จะมีพิษรุนแรงต่อเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิต ส่วนน้ำมันหนักที่มีองค์ประกอบของอะโรมาติกต่ำจะส่งผลกระทบในด้านความสกปรก และเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตที่ไม่เคลื่อนที่ เช่น สัตว์น้ำจำพวกหอยและเพรียง เป็นต้น

(4) ทำลายระบบนิเวศป่าชายเลน ซึ่งเป็นที่อยู่อาศัยและหากินของสัตว์น้ำชายฝั่ง สัตว์บก และนกชายฝั่งชนิดต่างๆ ตลอดจนเป็นแหล่งวางไข่และอนุบาลสัตว์น้ำวัยอ่อน ทั้งนี้ น้ำมันสามารถซึมเข้าสู่รากต้นโกงกางซึ่งเป็นรากหายใจทำให้ต้นโกงกางหรือพืชป่าชายเลนชนิดอื่นตายได้ ถ้าหากน้ำมันตกค้างอยู่กับตะกอนดินป่าชายเลน จะทำให้เมล็ดต้นโกงกางที่ตกสู่พื้นดินไม่สามารถเจริญเติบโตได้ตามปกติ ส่วนการขจัดการปนเปื้อนของคราบน้ำมันในป่าชายเลนทำได้ยาก เนื่องจากระบบโครงสร้างทางนิเวศวิทยาของป่าชายเลนที่ซับซ้อนของป่าชายเลน ทำให้การใช้อุปกรณ์ขจัดคราบน้ำมัน หรือสารเคมีสลายคราบน้ำมันไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอ หรืออาจส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตบางชนิดที่อาศัยอยู่ในป่าชายเลน

(5) สร้างความเสียหายต่อแหล่งเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง ในบริเวณที่มีการปนเปื้อนคราบน้ำมัน เช่น บริเวณที่มีการเพาะเลี้ยงหอย การเลี้ยงปลาในกระชัง การทำนากุ้ง เป็นต้น ทั้งนี้ น้ำมันที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำทะเลจะทำให้คุณภาพน้ำที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงต่ำลง และไม่สามารถใช้ในการเพาะเลี้ยงได้ ถ้าป้องกันไม่ทันหรือไม่สามารถป้องกันได้ อาจกระทบต่อสภาพเศรษฐกิจการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งอย่างรุนแรง

2.8.2.3 ผลกระทบทางเศรษฐกิจและสังคม

การปนเปื้อนของคราบน้ำมันบนหาดทราย ก่อให้เกิดความสกปรก และมีกลิ่นเหม็น ทำให้สูญเสียสุนทรียภาพและความงามของแหล่งท่องเที่ยวจนไม่เหมาะกับการท่องเที่ยวและพักผ่อน ซึ่งจะมีผลกระทบทางอ้อมต่อระบบเศรษฐกิจ และรายได้จากการท่องเที่ยวของประชาชนในท้องถิ่นนั้น และรายได้โดยรวมของประเทศ

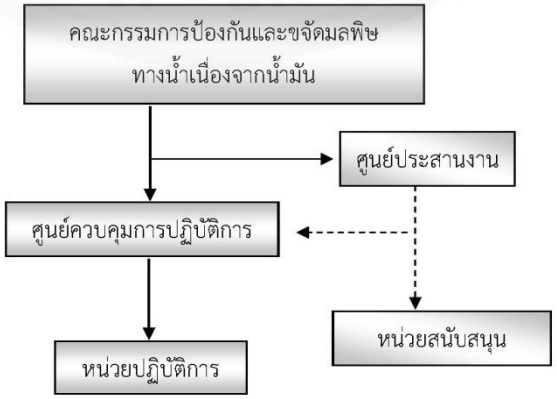
2.8.3 แผนป้องกันและขจัดมลพิษทางน้ำเนื่องจากน้ำมันแห่งชาติ

กรมควบคุมมลพิษ (2554) กล่าวว่า ปัจจุบันประเทศไทยได้ดำเนินการขจัดคราบน้ำมันในแหล่งน้ำโดยปฏิบัติการตาม แผนป้องกันและขจัดมลพิษทางน้ำเนื่องจากน้ำมันแห่งชาติ ซึ่งอาศัยอำนาจตามความในข้อ 10 แห่งระเบียบสำนักนายกรัฐมนตรีว่าด้วยการป้องกันและขจัดมลพิษทางน้ำเนื่องจากน้ำมัน พ.ศ. 2538 เพื่อกำหนดภารกิจแนวทางในการปฏิบัติงาน ยุทธวิธี และหน้าที่

ความรับผิดชอบขององค์กรต่างๆ ทั้งภาครัฐและภาคเอกชน ให้ประสานความร่วมมือและระดมทรัพยากรที่มีอยู่มาใช้ร่วมกันในการขจัดมลพิษทางน้ำเนื่องจากน้ำมันในน่านน้ำไทย ซึ่งได้มีการปรับปรุงในปี พ.ศ. 2547 โดยมีหน่วยงานหลัก ได้แก่ คณะกรรมการป้องกันและขจัดมลพิษทางน้ำเนื่องจากน้ำมัน (กปน.) ซึ่งจัดตั้งขึ้นเมื่อวันที่ 6 มกราคม พ.ศ. 2538 โดยอาศัยอำนาจตามความในข้อ 10 แห่งระเบียบสำนักนายกรัฐมนตรีว่าด้วยการป้องกันและขจัดมลพิษทางน้ำเนื่องจากน้ำมัน พ.ศ. 2538 (ปัจจุบันเปลี่ยนเป็นระเบียบสำนักนายกรัฐมนตรีว่าด้วยการป้องกันและขจัดมลพิษทางน้ำเนื่องจากน้ำมัน พ.ศ. 2547) โดย กปน. มีโครงสร้างและหน้าที่การทำงาน ดังนี้ (ภาพที่ 2.23)

2.8.3.1 ศูนย์ประสานงาน ดำเนินการโดยกรมเจ้าท่า และมีอธิบดีกรมเจ้าท่าเป็นผู้อำนวยการศูนย์ฯ มีหน้าที่แจ้งหน่วยงานผู้รับผิดชอบจัดตั้งศูนย์ควบคุมการปฏิบัติการและแจ้งยุติการปฏิบัติการ และประสานกับหน่วยงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง รวบรวมหลักฐานเพื่อดำเนินการตามกฎหมายต่อผู้ก่อให้เกิดมลพิษให้ชดใช้ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการขจัดคราบน้ำมัน ทั้งนี้ เมื่อได้รับแจ้งเหตุการณ์น้ำมันรั่วไหลจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ศูนย์ประสานงานจะแจ้งศูนย์ควบคุมการปฏิบัติการให้ดำเนินการแจ้งหน่วยปฏิบัติการตรวจสอบเหตุการณ์ในพื้นที่เพื่อหยุดหรือชะลอการรั่วไหลของน้ำมันจากจุดรั่วไหลหรือจุดเกิดเหตุโดยเร็วที่สุด และศูนย์ประสานงานมีหน้าที่ดำเนินการขออนุมัติ กปน. เพื่อยุติการปฏิบัติการขจัดคราบน้ำมัน เมื่อศูนย์ควบคุมการปฏิบัติการแจ้งการปฏิบัติการขจัดคราบน้ำมันแล้วเสร็จ

2.8.3.2 ศูนย์ควบคุมการปฏิบัติการ ดำเนินการโดยกรมเจ้าท่าหรือกองทัพเรือ ประกอบด้วยตัวแทนจากหน่วยปฏิบัติการและหน่วยสนับสนุนที่ผู้อำนวยการศูนย์ฯ พิจารณาแล้วเห็นว่าเหมาะสม มีหน้าที่กำหนดแผนและยุทธวิธีในการขจัดคราบน้ำมัน โดยผู้อำนวยการศูนย์ฯ เป็นผู้ประสานและสั่งการหน่วยปฏิบัติการในพื้นที่ ศูนย์ประสานงาน ศูนย์ควบคุมการปฏิบัติการ หน่วยสนับสนุน และหน่วยปฏิบัติการ ประสานศูนย์ประสานงานในการขอรับการสนับสนุนด้านทรัพยากรที่เกี่ยวข้องกับการขจัดคราบน้ำมัน ตลอดจนพิจารณาว่าผลการปฏิบัติการขจัดคราบน้ำมันสำเร็จลุล่วงหรือไม่ กรณีแล้วเสร็จ จะแจ้งให้ศูนย์ประสานงานทราบ เพื่อขออนุมัติ กปน. ยุติการปฏิบัติการขจัดคราบน้ำมัน



ภาพที่ 2.23 ขั้นตอนการจัดการน้ำมันรั่วไหลลงแหล่งน้ำและหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง
ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ, 2554

2.8.3.3 หน่วยปฏิบัติการ ประกอบด้วยกรมเจ้าท่า กองทัพเรือ หน่วยงานของจังหวัดในพื้นที่เกิดเหตุ กรุงเทพมหานคร และสมาคมอนุรักษ์สภาพแวดล้อมของกลุ่มอุตสาหกรรมน้ำมัน มีหน้าที่ดำเนินการป้องกันและขจัดคราบน้ำมันโดยปฏิบัติภารกิจที่ได้รับมอบหมายจากศูนย์ควบคุมการปฏิบัติการ และรายงานความคืบหน้าของการปฏิบัติการ ตลอดจนอุปสรรคที่เกิดขึ้นต่อศูนย์ควบคุมการปฏิบัติการ ทั้งนี้ หน่วยปฏิบัติการจะทำหน้าที่ตรวจสอบเหตุการณ์ในพื้นที่ ว่าต้องมีการขจัดคราบน้ำมันตามแผนชาติหรือไม่ หากเหตุการณ์น้ำมันรั่วไหลเกิดขึ้นในบริเวณเขตท่าเรือ ให้อยู่ในความรับผิดชอบของกรมเจ้าท่าในการจัดตั้งศูนย์ควบคุมการปฏิบัติการ หากเกิดเหตุการณ์นอกเขตท่าเรือให้เป็นหน้าที่ของกองทัพเรือ โดยประสานผู้เกี่ยวข้องมาร่วมประชุมวางแผนและยุทธวิธีในการขจัดคราบน้ำมัน และประสานงาน สั่งการปฏิบัติการขจัดคราบน้ำมัน พร้อมทั้งรายงานความคืบหน้าให้ศูนย์ประสานงานทราบ หน่วยปฏิบัติการจะดำเนินการขจัดคราบน้ำมันจนกระทั่งศูนย์ควบคุมการปฏิบัติการประเมินสถานการณ์แล้วเห็นว่าการปฏิบัติการขจัดคราบน้ำมันสำเร็จลุล่วง จึงจะแจ้งให้ศูนย์ประสานงานดำเนินการขออนุมัติ กปน. ยุติการปฏิบัติการฯ

2.8.3.4 หน่วยสนับสนุน ประกอบด้วยกองทัพอากาศ กองทัพบก กรมการขนส่งทางอากาศ กองบังคับการตำรวจน้ำ กรมอุตุนิยมวิทยา กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย (สำนักเลขาธิการป้องกันภัยฝ่ายพลเรือน) สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม กรมควบคุมมลพิษ กรมประมง กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง สำนักฝนหลวงและการบินเกษตร กรมศุลกากร สำนักงานปลัดกระทรวงคมนาคม กรมสนธิสัญญาและกฎหมาย กรมบัญชีกลาง สำนักงานตรวจคนเข้าเมือง การท่าเรือแห่งประเทศไทย การสื่อสารแห่งประเทศไทย กรมบัญชีกลาง กรมเชื้อเพลิงธรรมชาติ กรมโรงงานอุตสาหกรรม การท่องเที่ยวแห่งประเทศไทย และกรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่าและพันธุ์พืช โดยมีหน้าที่ให้การสนับสนุนทางวิชาการ อุปกรณ์ ยานพาหนะ กำลังคน และอื่นๆ ตามแต่จะได้รับการร้องขอ (กรมควบคุมมลพิษ, 2554)

2.8.4 การแบ่งระดับน้ำมันรั่วไหลลงสู่แหล่งน้ำ

การจำแนกระดับน้ำมันรั่วไหลลงสู่แหล่งน้ำ ตามแผนป้องกันและขจัดมลพิษทางน้ำเนื่องจากน้ำมันแห่งชาติ แบ่งเป็น 3 ระดับ (Tier) ตามปริมาณน้ำมันที่รั่วไหล (กรมควบคุมมลพิษ, 2554) ดังนี้

2.8.4.1 ระดับที่ 1 (Tier I) ปริมาณน้ำมันรั่วไหลไม่เกิน 20 ตันลิตร ส่วนใหญ่เกิดขึ้นระหว่างขนถ่ายน้ำมันบริเวณท่าเทียบเรือ โดยผู้ก่อให้เกิดน้ำมันรั่วไหลจะต้องเป็นผู้รับผิดชอบในการขจัดคราบน้ำมัน และหรือ หน่วยงานที่เกี่ยวข้องให้ความช่วยเหลือในการขจัดคราบน้ำมันหากมีความจำเป็น ทั้งนี้ ต้องแจ้งให้กรมเจ้าท่าทราบก่อน

2.8.4.2 ระดับที่ 2 (Tier II) ปริมาณน้ำมันรั่วไหลมากกว่า 20 ตันลิตร แต่ไม่เกิน 1,000 ตันลิตร ซึ่งอาจเกิดจากเรือโดนกัน การขจัดคราบน้ำมันในระดับนี้ ต้องร่วมมือกันระหว่างภาครัฐและเอกชนที่เกี่ยวข้อง เพื่อดำเนินการตามแผนป้องกันและขจัดมลพิษทางน้ำเนื่องจากน้ำมันแห่งชาติ หากเกินความสามารถ อาจต้องขอการสนับสนุนจากต่างประเทศ ทั้งนี้ ต้องแจ้งให้กรมเจ้าท่าทราบก่อน

2.8.4.3 ระดับที่ 3 (Tier III) ปริมาณน้ำมันรั่วไหลมากกว่า 1,000 ตันลิตร ซึ่งอาจเกิดจากอุบัติเหตุที่รุนแรง การขจัดคราบน้ำมันในระดับนี้ ต้องการความร่วมมือจากหน่วยงาน

ต่างๆ ในประเทศ และต้องอาศัยความช่วยเหลือระดับนานาชาติ เพื่อการปฏิบัติการแก้ไขปัญหาอย่างมีประสิทธิภาพ

2.9 แบบจำลองคาดการณ์การเคลื่อนที่ของคราบน้ำมัน General NOAA Operational Modeling Environment (GNOME)

การบริหารจัดการและกำจัดคราบน้ำมันที่รั่วไหลในทะเลต้องอาศัยความเข้าใจถึงปฏิสัมพันธ์ระหว่างน้ำมัน น้ำทะเล และสภาวะแวดล้อมในช่วงเวลาที่เกิดเหตุ (MacKay, 2014 อ้างถึง National Oceanic and Atmospheric Administration, 1992) ซึ่งปฏิสัมพันธ์เหล่านี้จะเกิดขึ้นในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน ดังกล่าวแล้วในหัวข้อ 2.7.2 ข้างต้น โดยในการคาดการณ์การเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันในทะเลเป็นการคำนวณเวคเตอร์ลัพธ์ระหว่างข้อมูลกระแสน้ำผิวหน้า ข้อมูลลม (1 - 4.5%) และการแพร่กระจายของน้ำมัน ดังแสดงในภาพที่ 2.24 (MacKay, 2014 อ้างถึง J. E. Smith, 1968; National Oceanic and Atmospheric Administration, 2002; R. A. Smith et al., 1982)

National Oceanic and Atmospheric Administration (2002) สรุปไว้ว่า GNOME เป็นแบบจำลองคาดการณ์เส้นทางหรือแนวโน้มการเคลื่อนที่ (Trajectory model) ของคราบน้ำมัน พัฒนาโดย Hazardous Materials Response Division (HAZMAT), Office of Response and Restoration's (OR&R) ภายใต้องค์การบริหารสมุทรศาสตร์และบรรยากาศแห่งชาติสหรัฐอเมริกา (National Oceanic and Atmospheric Administration หรือ NOAA) ซึ่งแบบจำลองสามารถคาดการณ์เส้นทางการเคลื่อนที่ (Trajectory) ของคราบน้ำมันโดยใช้ข้อมูลสภาพภูมิอากาศและลมรูปแบบการไหลเวียนของกระแสน้ำ การไหลของน้ำจากแม่น้ำ และตำแหน่ง ชนิด และปริมาณของน้ำมัน โดยผลของแบบจำลองสามารถแสดงความไม่แน่นอน (Uncertainty) จากข้อมูลลมและกระแสน้ำที่นำเข้าในแบบจำลอง และสามารถแสดงผลในรูปแบบเชิงพื้นที่ และนำเข้าในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ต่อไปได้ ในส่วนของการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของน้ำมันตามช่วงเวลา มีการคาดการณ์โดยใช้สมการกระบวนการแปรสภาพของน้ำมัน (Weathering algorithms) ในขณะที่ National Aeronautics and Space Administration (2004) กล่าวว่า GNOME พัฒนาต่อยอดจาก On-Scene Spill Model (OSSM) โดยพัฒนาบนพื้นฐานกลศาสตร์แบบลากรางจ์ (Langrangian mechanics) ถูกออกแบบสำหรับเป็นเครื่องมือที่ใช้สนับสนุนการตัดสินใจสำหรับการจัดการกรณีเหตุการณ์น้ำมันหรือสารเคมีรั่วไหลในทะเลในหลายๆ กรณี การวางแผนเฉพาะกิจฉุกเฉินในหลายระดับ ตั้งแต่ระดับประเทศ สหพันธรัฐ รัฐ ไปจนถึงกลุ่มอุตสาหกรรมน้ำมัน รวมไปถึงการประเมินการทำความสะอาดคราบน้ำมัน การประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม และการศึกษาด้านการจัดการน้ำมันรั่วไหลและบรรเทาผลกระทบ

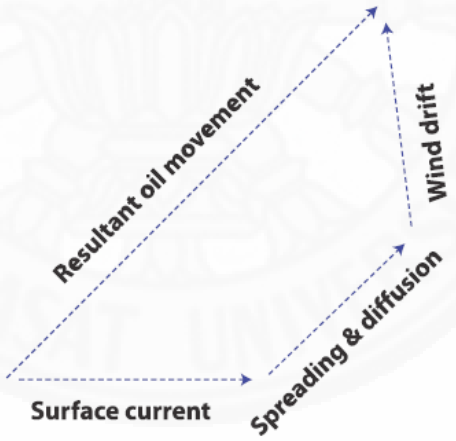
รูปแบบการทำงานของแบบจำลอง สามารถแบ่งได้เป็นหลายโหมดการใช้งาน (User modes) ตามประสบการณ์และความเชี่ยวชาญของผู้ใช้งาน ดังนี้

- โหมดมาตรฐาน (Standard Mode) เป็นโหมดการใช้งานที่ง่ายที่สุด โดยใช้ข้อมูลทางสมุทรศาสตร์และข้อมูลทั่วไปที่เกี่ยวข้องซึ่งดาวน์โหลดจากเว็บไซต์ หรือที่เรียกว่า Location file โดยในไฟล์ดังกล่าวนี้ได้รวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับระดับน้ำขึ้น-น้ำลง กระแสน้ำ และเส้น

ชายฝั่ง ซึ่งได้กำหนดไว้ล่วงหน้าในแต่ละพื้นที่แล้ว เฉพาะในพื้นที่ 21 ตำแหน่ง 3 ภูมิภาคชายฝั่งของสหรัฐอเมริกา (National Aeronautics and Space Administration, 2004) ซึ่งผู้ใช้เพียงกำหนดข้อมูลความเร็วและทิศทางลม และข้อมูลเกี่ยวกับการรั่วไหลของน้ำมันเท่านั้น (Zelenke et al., 2012) การทำงานในโหมดนี้มีความยืดหยุ่นไม่มากนัก เหมาะสำหรับการจำลอง (Simulating) การเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันในการวางแผนและฝึกปฏิบัติการจัดการคราบน้ำมันในแต่ละบริเวณ (National Oceanic and Atmospheric Administration, 2002)

- โหมดระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS Mode) การทำงานในโหมดนี้จะสามารถส่งออกข้อมูลผลลัพธ์จากแบบจำลองให้อยู่ในรูปแบบที่เข้ากันหรือสามารถอ่านได้กับโปรแกรมในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ โดยติดตั้งโปรแกรมส่วนเพิ่ม (Extension) สำหรับโปรแกรม ArcView GIS หรือ ArcGIS ซึ่งผู้ใช้สามารถวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ต่อไปได้ (National Oceanic and Atmospheric Administration, 2002)

- โหมดวินิจฉัย (Diagnostic Mode) ผู้ใช้สามารถควบคุมหรือกำหนดข้อมูลนำเข้าในแบบจำลองได้เอง ทั้งในส่วนข้อมูลเส้นชายฝั่ง การไหลเวียนของกระแสน้ำ ความเร็วและทิศทางลม และข้อมูลเกี่ยวกับการรั่วไหลของน้ำมัน แต่จะต้องมีความรู้ด้านสมุทรศาสตร์และแบบจำลองในระดับหนึ่ง ซึ่งจำเป็นสำหรับการเลือกข้อมูลนำเข้าในแบบจำลอง และการแปรผลจากผลลัพธ์ของแบบจำลอง (Zelenke et al., 2012)



ภาพที่ 2.24 การคาดการณ์การเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันในลักษณะเวคเตอร์ลัพธ์
ที่มา: National Aeronautics and Space Administration, 2004 อ้างถึง NOAA, 2003c

2.9.1 ปัจจัยกำหนดการเคลื่อนที่ในแบบจำลอง (Movers)

การคำนวณการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันในลักษณะเวคเตอร์ลัพธ์ทั้งขนาดและทิศทางของแบบจำลอง GNOME เป็นการคำนวณการเคลื่อนที่รวมของเวคเตอร์ร่วมกับการเคลื่อนที่ของอนุภาคของมลพิษแต่ละอนุภาคในแต่ละช่วงเวลา (Zelenke et al., 2012) ซึ่งสามารถแสดงในรูปแบบของความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนที่ของกระแสน้ำ ลม และการแพร่กระจายในแนวราบของ

น้ำมัน (Diffusion) ในช่วงเวลาต่างๆ ดังแสดงในสมการที่ 2.6 (MacKay, 2014 อ้างถึง Beegle-Krause, 1999)

$$\frac{\partial X}{\partial t} = U_h + k_w U_w + D \qquad \text{สมการที่ 2.6}$$

โดยที่ $\frac{\partial X}{\partial t}$ คือ การเคลื่อนที่ของอนุภาค (คราบน้ำมัน)

U_h คือ ความเร็วจากกลศาสตร์การไหลของน้ำ (Hydrodynamic forcing velocity)

k_w คือ สัมประสิทธิ์การเคลื่อนที่เนื่องจากลม (Windage coefficient)

U_w คือ ความเร็วลม

D คือ การแพร่กระจาย (Turbulent diffusion)

ข้อมูลที่เป็นปัจจัยกำหนดการเคลื่อนที่ในแบบจำลอง จะจัดเก็บในรูปแบบความเร็วย่อย (Velocity components) ในแนวตะวันออก-ตะวันตก หรือ u และความเร็วย่อยในแนวเหนือ-ใต้ หรือ v ในช่วงระยะเวลาใดๆ โดยมีสมการที่ใช้ในการคำนวณการเคลื่อนที่ ($\Delta x, \Delta y, \Delta z$) ดังแสดงในสมการที่ 2.7 (Zelenke et al., 2012)

$$\Delta x = \frac{\frac{u}{111{,}120.00024} * \Delta t}{\cos(y)}, \Delta y = \frac{v}{111{,}120.00024} * \Delta t, \text{ and } \Delta z = 0 \qquad \text{สมการที่ 2.7}$$

โดยที่ $\Delta x, \Delta y$ คือ การเคลื่อนที่ในแนวลองจิจูด และละติจูด ตามลำดับที่ระดับความลึก z (ในที่นี้ จะเป็นการคำนวณที่ระดับผิวน้ำ หรือ $\Delta z = 0$ เท่านั้น)

$\Delta t = t - t_1$ คือ เวลาที่ผ่านไปในช่วงระยะเวลาใดๆ

y คือ ตำแหน่งละติจูดในหน่วยเรเดียน (Radians)

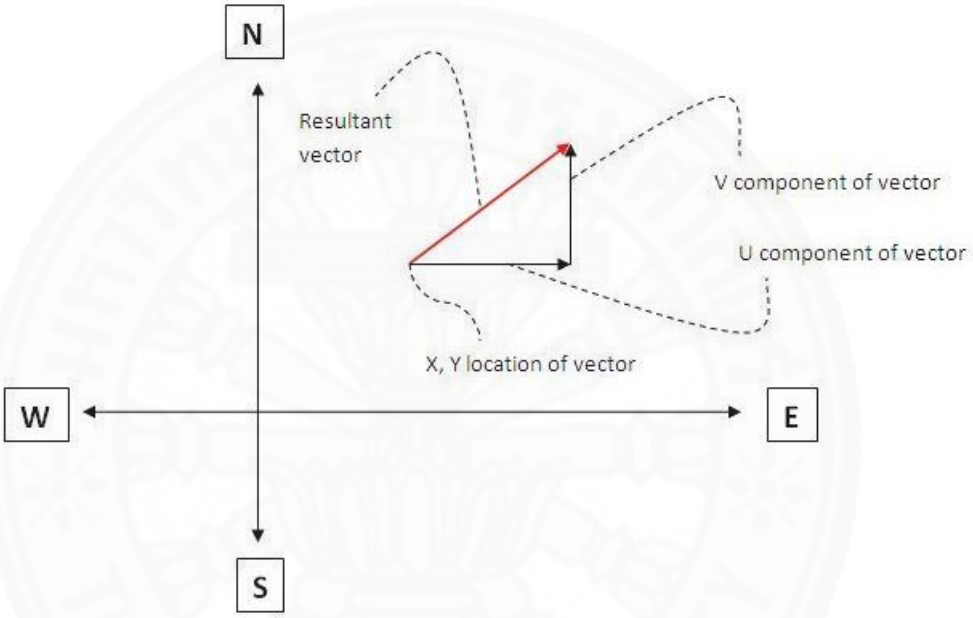
$111{,}120.00024$ คือ ระยะทางต่อหนึ่งองศาละติจูดในหน่วยเมตร

ทั้งนี้การคำนวณขนาดของความเร็วและทิศทางของข้อมูลที่จัดเก็บในรูปแบบความเร็วย่อยในแนวตะวันออก-ตะวันตก และความเร็วย่อยในแนวเหนือ-ใต้ สามารถคำนวณได้จากการหาเวคเตอร์ผลลัพธ์จากความเร็วย่อยทั้งสองแนว ดังแสดงในภาพที่ 2.25 ซึ่งมีสมการคำนวณความเร็วและทิศทาง ดังสมการที่ 2.8 และ 2.9 ตามลำดับ (Brown, 2013)

$$\text{speed} = \sqrt{(u^2 + v^2)} \qquad \text{สมการที่ 2.8}$$

$$\text{Direction} = \tan^{-1}([u],[v]) * (\frac{180}{3.14}) \qquad \text{สมการที่ 2.9}$$

โดยที่ u คือ ความเร็วย่อยในแนวตะวันออก-ตะวันตก
v คือความเร็วย่อยในแนวเหนือ-ใต้



ภาพที่ 2.25 การหาความเร็วและทิศทางจากความเร็วย่อยในแนวตะวันออก-ตะวันตก และความเร็วย่อยในแนวเหนือ-ใต้
ที่มา: Brown, 2013

โดยทั่วไป ปัจจัยกำหนดการเคลื่อนที่ของมลพิษในแบบจำลองจะหมายถึงปัจจัยทางกายภาพ ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลกระแสน้ำ ลม และการแพร่กระจาย รายละเอียดดังนี้

2.9.1.1 ข้อมูลกระแสน้ำ แบบจำลอง GNOME รองรับรูปแบบของข้อมูลกระแสน้ำหลายๆ รูปแบบและจากหลายๆ แหล่งข้อมูล ทั้งข้อมูลจากแบบจำลองพลศาสตร์ของน้ำ (Hydrodynamic model) ในรูปแบบข้อมูลเชิงเวลา (time-dependent) (Zelenke et al., 2012) เช่น แบบจำลอง NOAA Current Analysis for Trajectories (CATS), Global Hybrid Coordinate, Ocean Model (Global HYCOM) เป็นต้น ข้อมูลจากการตรวจวัดในภาคสนาม (in situ data) และข้อมูลจากการสำรวจจากระยะไกล ส่วนใหญ่อยู่ในรูปแบบข้อมูลแบบ Network Common Data File (NetCDF) (National Oceanic and Atmospheric Administration, 2002) ซึ่งเป็นรูปแบบข้อมูลที่มีการบีบอัดข้อมูลขนาดใหญ่ที่ประกอบไปด้วยตัวแปรต่างๆ ลักษณะเชิงพื้นที่

และเวลา พัฒนาโดย University Corporation for Atmospheric Research (UCAR) ใช้สำหรับการจัดเก็บข้อมูลทางด้านวิทยาศาสตร์และอุตุนิยมวิทยา โดยเฉพาะข้อมูลด้านบรรยากาศ ทะเล และพื้นดินทั้งกายภาพและเคมี (ศิริพงศ์ สุขทวี, 2556)

2.9.1.2 ข้อมูลลม ในบริเวณทะเลเปิด และมีความเร็วลมมากกว่า 20 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ลมเป็นปัจจัยหลักกำหนดการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมัน ส่วนในพื้นที่ใกล้ชายฝั่งและมีความเร็วลมน้อยกว่า 10 กิโลเมตรต่อชั่วโมง คราบน้ำมันจะเคลื่อนที่ตามกระแสน้ำ โดยลมมีอิทธิพลต่อการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันเพียงร้อยละ 3 ของความเร็วลม (Fingas, M., 2011 และ Lebreton, C.-M., L. & Franz, T., 2013) ในแบบจำลอง GNOME สามารถนำเข้าข้อมูลลมได้หลายรูปแบบ ทั้งแบบคงที่ แบบเชิงเวลา และแบบเชิงพื้นที่และเชิงเวลา โดยในสองรูปแบบแรกสามารถนำเข้าโดยการกรอกข้อมูลโดยตรงลงในแบบจำลอง ส่วนในรูปแบบเชิงพื้นที่และเชิงเวลา นำเข้าจากไฟล์ข้อมูลในรูปแบบข้อมูล NetCDF ข้อมูลลมในแบบจำลองดังกล่าวนี้ จะถูกประมาณค่าในช่วงในเชิงเวลาด้วยวิธี Hermite polynomial fit โดยไม่มีการประมาณค่าในช่วงในเชิงพื้นที่ (Zelenke et al., 2012)

2.9.1.3 การแพร่กระจาย เป็นการแพร่กระจายของน้ำมันในแนวระนาบบนผิวน้ำ โดยปกติเมื่อเกิดการรั่วไหลของน้ำมันในทะเล จะเกิดการแพร่กระจายของคราบน้ำมัน (Oil slick) ไปบนผิวน้ำ ถึงแม้สภาวะทะเลขณะนั้นจะไม่มีลมและกระแสน้ำ ซึ่งเกิดจากแรงโน้มถ่วงและแรงตึงผิวระหว่างน้ำและน้ำมัน โดยเมื่อเวลาผ่านไปผลกระทบจากแรงโน้มถ่วงจะลดลง ในขณะที่แรงตึงผิวยังคงส่งผลต่อการแพร่กระจายของน้ำมันบนผิวน้ำ (Fingas, M., 2011) ในแบบจำลอง GNOME ใช้การคำนวณความน่าจะเป็นจากการเคลื่อนที่แบบสุ่มอย่างง่าย (Simple random walk) โดยไม่ได้คำนึงถึงแรงกระทำจากแรงโน้มถ่วงและแรงตึงผิว ซึ่งจะเกิดในช่วงแรกของการเคลื่อนตัวของน้ำมันเท่านั้น ดังสมการที่ 2.10 (Zelenke et al., 2012)

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D_x * \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + D_y * \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} \qquad \text{สมการที่ 2.10}$$

โดยที่ C คือ ระดับความเข้มข้นของวัตถุ

D คือ ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายของน้ำมันในแนวแกน X และแกน Y

2.9.2 การแสดงผลในแบบจำลอง

การแสดงผลการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันในแบบจำลอง จะแทนขอบเขตและการกระจายตัวของคราบน้ำมันด้วยจุดจำนวนมาก (Point masses) ซึ่งถูกเรียกว่า LEs (Lagrangian elements) หรือ Splots (มาจากคำว่า spill dots) โดยไม่มีการกำหนดขอบเขตการกระจายตัวตามปริมาณและความหนาของคราบน้ำมัน การกำหนดจุดเริ่มต้นการเกิดน้ำมันรั่วไหล สามารถกำหนดได้ทั้งในรูปแบบการเกิดการรั่วไหลเพียงครั้งเดียว หรือการรั่วไหลแบบต่อเนื่อง และทั้งในลักษณะสถานที่เกิดเหตุการณ์แบบจุด หรือลักษณะแบบเส้น (Point or line sources) โดยจากการทำงานในโหมดโอเวอร์ไฟลต์ (Overflight) สามารถกำหนดขอบเขตการกระจายตัวเริ่มต้นของคราบน้ำมันจากการสำรวจในพื้นที่จริงหรือจากการสำรวจจากระยะไกล พร้อมกำหนดระยะเวลาหลังจากน้ำมันเกิดการรั่วไหลได้ ซึ่งจะมีการคำนวณการแปรสภาพและการระเหยของน้ำมันหรือมลพิษด้วย (หากกำหนดให้

มลพิษที่รั่วไหลมีกระบวนการแปรสภาพ) (Zelenke et al., 2012) การคำนวณการระเหยของน้ำมันหรือมลพิษดังกล่าวนี้ ใช้สมการการคำนวณที่เรียกว่า Simplistic 3-phase evaporation โดยเป็นการคำนวณครึ่งชีวิต (Half-life) แบบอิสระของ 3 องค์ประกอบ ดังแสดงในสมการที่ 2.11 (Zelenke et al., 2012 อ้างถึง Boehm, Feist, Mackay, & Paterson, 1982)

$$X_{prob} = \frac{P_1 * \left(2^{\frac{-t_i}{H_1}} - 2^{\frac{t_{i-1}-2*t_i}{H_1}}\right) + P_2 * \left(2^{\frac{-t_i}{H_2}} - 2^{\frac{t_{i-1}-2*t_i}{H_2}}\right) + P_3 * \left(2^{\frac{-t_i}{H_3}} - 2^{\frac{t_{i-1}-2*t_i}{H_3}}\right)}{P_1 * 2^{\frac{-t_i}{H_1}} + P_2 * 2^{\frac{-t_i}{H_2}} + P_3 * 2^{\frac{-t_i}{H_3}}}$$ สมการที่ 2.11

โดยที่ t และ t_1 คือ จำนวนชั่วโมงที่ผ่านไปในแต่ช่วงเวลา *i* และช่วงเวลาที่ผ่านมา *i-1* ตามลำดับ ของแต่ละอนุภาค (LEs)

H คือ ครึ่งชีวิตของแต่ละองค์ประกอบ (ชั่วโมง) ตามตารางที่ 2.3

P คือ ร้อยละของแต่ละองค์ประกอบ ตามตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ประเภท ร้อยละขององค์ประกอบ และครึ่งชีวิตของมลพิษที่ใช้ในการคำนวณการระเหยในแบบจำลอง

Pollutant Type	Percent Each Constituent	Half-Life Each Constituent (Hours)	Observational Threshold Time (Hours)
Gasoline	50.0	0.12	18.55
	50.0	5.3	18.55
	0.0	1.0×10^{9}	18.55
Kerosene & Jet Fuel	35.0	5.3	50.44
	50.0	14.4	50.44
	15.0	69.2	50.44
Diesel	30.0	14.4	170.1
	45.0	48.6	170.1
	25.0	243.0	170.1
Fuel Oil #4	24.0	14.4	170.1
	37.0	48.6	170.1
	39.0	1.0×10^{9}	170.1
Medium Crude	22.0	14.4	170.1
	26.0	48.6	170.1
	52.0	1.0×10^{9}	170.1

Pollutant Type	Percent Each Constituent	Half-Life Each Constituent (Hours)	Observational Threshold Time (Hours)
Fuel Oil #6	20.0	14.4	170.1
	15.0	48.6	170.1
	65.0	1.0×10^{9}	170.1
User Definable	100.0	1.0×10^{9}	3.5×10^{9}
	0.0	1.0×10^{9}	3.5×10^{9}
	0.0	1.0×10^{9}	3.5×10^{9}
Conservative	100.0	1.0×10^{9}	3.5×10^{9}
	0.0	1.0×10^{9}	3.5×10^{9}
	0.0	1.0×10^{9}	3.5×10^{9}
Default	100.0	1.0×10^{9}	3.5×10^{9}
	0.0	1.0×10^{9}	3.5×10^{9}
	0.0	1.0×10^{9}	3.5×10^{9}

ที่มา: Zelenke et al., 2012

ในส่วนการแสดงผลเส้นทางการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมัน จะแสดงผลใน 2 รูปแบบ ได้แก่ Best estimate และ Minimum regret โดย Best estimate แสดงผลของแบบจำลองในส่วนที่สันนิษฐานว่าข้อมูลนำเข้าในแบบจำลองมีความถูกต้องสูง อย่างไรก็ตาม ข้อมูลจากแบบจำลอง การตรวจวัด และการพยากรณ์ ย่อมมีความคลาดเคลื่อนของข้อมูลอยู่บ้าง ไม่มีข้อมูลประเภทใดที่มีความถูกต้องอย่างสมบูรณ์ ในแบบจำลองจึงได้มีการคำนวณความไม่แน่นอน (Uncertainty) ที่อาจจะเกิดขึ้น เรียกว่า Minimum regret โดยเป็นการประมาณการความน่าจะเป็นของแนวโน้มเส้นทางการเคลื่อนที่ ซึ่งบ่งบอกถึงพื้นที่ที่อาจได้รับผลกระทบได้ (Zelenke et al., 2012) รูปแบบการส่งออกข้อมูล สามารถส่งออกข้อมูลได้หลากหลายรูปแบบ ทั้งภาพนิ่ง ภาพเคลื่อนไหวแสดงการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมัน ตารางแสดงการแปรสภาพของน้ำมัน และข้อมูลในรูปแบบ NetCDF ที่จัดเก็บตำแหน่งเชิงภูมิศาสตร์และข้อมูลคุณลักษณะของแต่ละอนุภาคในแบบจำลอง ซึ่งรองรับการใช้งานหรือประมวลผลข้อมูลเพิ่มเติมต่อไป (Barker, H., C., 2015)

2.10 การศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาการคาดการณ์การเคลื่อนที่และกระจายตัวของคราบน้ำมันในทะเล มีการศึกษากันอย่างแพร่หลาย ในหลากหลายแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ โดยส่วนใหญ่อาศัยข้อมูลทางด้านสมุทรศาสตร์และอุตุนิยมวิทยาจากแบบจำลองพยากรณ์ข้อมูล เป็นข้อมูลตั้งต้นนำเข้าในแบบจำลองการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมัน ในปี ค.ศ. 2014 J.M. Sayol et al. ได้ศึกษาและพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ด้วยหลักการการเคลื่อนที่แบบสุ่ม (Random walk) เพื่อใช้ในการ

ติดตามการรั่วไหลของคราบน้ำมันในทะเล และการค้นหาและกู้ภัยทางทะเล บริเวณทะเล Balearic ในเขตทะเลเมดิเตอร์เรเนียน ซึ่งปรับปรุงจากสมการการเคลื่อนที่ของลากรางจ์ (Lagrangian Particle Tracking Algorithms: LPTA) โดยจำลองการกระจายตัวของคราบน้ำมันในเชิงพื้นที่และคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนจากแบบจำลองพยากรณ์ข้อมูลทางสมุทรศาตร์และชั้นบรรยากาศ และอาศัยข้อมูลแบบรายวันซึ่งประกอบด้วย ข้อมูลกระแสน้ำผิวหน้า ข้อมูลคลื่น และข้อมูลลม จากแบบจำลอง Western Mediterranean OPerational model (WMOP), WAM และ HIRLAM ตามลำดับ ผลจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ดังกล่าว จะแสดงผลในรูปแบบเส้นทางการเคลื่อนที่ของวัตถุ (Trajectory) และเส้นช่วงชั้นความน่าจะเป็น (Probability contours) ของตำแหน่งสุดท้ายจากการคาดการณ์การเคลื่อนที่จากแบบจำลอง

ส่วน Crosby, A. and Howlett, E. (2012) ศึกษาประเมินผลจากการปรับปรุงประสิทธิภาพของแบบจำลองคาดการณ์การเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันด้วยข้อมูลกระแสน้ำผิวหน้าจากแบบจำลองพลวัตรของเหลว (Hydrodynamic) ประกอบด้วย Reginal Ocean Modeling System (ROMS), Reginal Ocean Modeling System with Data Assimilation (ROMSDAS), Global U.S. Navy NCOM Model, HYDROMAP PWS, WRF, Drifter Trajectories และระบบตรวจวัดเรดาร์คลื่นวิทยุความถี่สูง รวมทั้งการวิเคราะห์ผลของการนำเข้าข้อมูลไปใช้งาน (Data asssimilation) ในแบบจำลอง โดยทำการวิเคราะห์ข้อมูลในช่วงเหตุการณ์น้ำมันรั่วไหลที่ Prince William Sound Field Experiment (PWS FE), Alaska ในปี ค.ศ. 2009 มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินข้อมูลจากแหล่งต่างๆ และการใช้ประโยชน์ข้อมูลในการปรับปรุงผลจากการคาดการณ์การเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันด้วยแบบจำลอง Alyeska Tactical Oil Spill Model (ATOM) ซึ่งกรอบการทำงาน (Framework) นี้เป็นการสร้างเส้นทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Particle trajectory) ที่เคลื่อนที่ด้วยข้อมูลจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และข้อมูลจากการตรวจวัดด้วยเรดาร์คลื่นวิทยุความถี่สูง พร้อมทั้งแสดงผล และเปรียบเทียบเชิงสถิติกับข้อมูลเส้นทางการลอยตัวของวัตถุจากทุ่นลอย (Drifter) ในช่วงอนุกรมเวลาต่างๆ ระหว่างเหตุการณ์ PWS FE ผลจากการศึกษาพบว่า การคาดการณ์โดยใช้แบบจำลอง ROMS ทั้งแบบใช้และไม่ใช้ข้อมูลจากการตรวจวัดให้ผลลัพธ์คล้ายกัน แต่ ROMSDAS มีค่าความคลาดเคลื่อนแบบ Root Mean Squared (RMSE) น้อยกว่า ในขณะที่ NCOM ให้ผลลัพธ์ที่มีค่าความคลาดเคลื่อนมากที่สุดเมื่อเทียบกับข้อมูลประเภทอื่น ส่วน HYDROMAP ซึ่งถูกใช้ในแบบจำลอง ATOM ให้ผลลัพธ์ดีกว่า NCOM เล็กน้อย และผลลัพธ์ที่มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดคือการตรวจวัดจากเรดาร์คลื่นวิทยุความถี่สูง ทั้งนี้ Paduan, D. J. and Washburn, L. (2013) สรุปว่าเรดาร์คลื่นวิทยุความถี่สูงเป็นอุปกรณ์ตรวจวัดข้อมูลกระแสน้ำผิวหน้าจากระยะไกล อาศัยปรากฏการณ์การกระจัดกระจายกลับของการสั่นพ้องแบบ Bragg ที่ย่านความถี่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความถี่สูง (HF band) ซึ่งเหมาะสำหรับการตรวจวัดคลื่นที่เกิดจากลม และแรงโน้มถ่วงของโลก (Wind-driven gravity waves) บนพื้นผิวทะเล โดยโครงข่ายของระบบเรดาร์คลื่นวิทยุความถี่สูงดังกล่าวนี้ มีขีดความสามารถในการสร้างแผนที่การไหลเวียนของกระแสน้ำผิวหน้ารายชั่วโมงในระยะการตรวจวัดไกลที่สุดประมาณ 200 กิโลเมตร ที่รายละเอียดเชิงพื้นที่ 1-2 กิโลเมตร ข้อมูลที่ตรวจวัดนี้ สามารถใช้ประโยชน์ได้หลายด้าน ประกอบด้วย การสนับสนุนการค้นหาและกู้ภัยทางทะเล (Search and rescue) การประเมินการเคลื่อนตัวของประชากรสัตว์น้ำวัยอ่อน และการ

บรรเทาเหตุการณ์คราบน้ำมันในทะเลในลักษณะใกล้เคียงเวลาจริง รวมไปถึงการใช้ข้อมูลนำเข้าและพยากรณ์ข้อมูลล่วงหน้าในแบบจำลองการไหลเวียนกระแสน้ำ โดยในปัจจุบันระบบโครงข่ายเรดาร์คลื่นวิทยุความถี่สูงถูกกำหนดให้เป็นหนึ่งในระบบตรวจวัดหลัก (Backbone) ทางสมุทรศาสตร์ด้วย

ในขณะที่ Kjelaas, G. A. and Whelan, C. (2011) กล่าวว่า การพัฒนาระบบโครงข่ายเรดาร์คลื่นวิทยุความถี่สูงในประเทศนอร์เวย์ โดยเห็นประโยชน์และความจำเป็นของการใช้ข้อมูลแผนที่การไหลเวียนของกระแสน้ำจากเหตุการณ์อุบัติเหตุน้ำมันรั่วไหล Deepwater Horizon ในอ่าวเม็กซิโก และเหตุการณ์ MV COSCO ในอ่าวซานฟรานซิสโก ในปี ค.ศ. 2010 และ 2007 ตามลำดับ ซึ่งในประเทศนอร์เวย์ได้มีการจัดตั้งบริษัท CODARNOR มีลักษณะเป็นบริษัทร่วมในการพัฒนาระบบโครงข่ายเรดาร์คลื่นวิทยุความถี่สูง และมีหน่วยงานด้านอุตุนิยมวิทยาพัฒนาระบบเผชิญเหตุเร่งด่วน (Rapid-response) ในกรณีที่อาจเกิดเหตุการณ์น้ำมันรั่วไหล แนวคิดการพัฒนาระบบโครงข่ายเรดาร์คลื่นวิทยุความถี่สูงนี้ จะเลือกใช้สถานีเรดาร์แบบเคลื่อนที่ซึ่งใช้ระบบสื่อสารแบบไร้สาย ใช้แผงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงาน และขนส่งอุปกรณ์เข้าไปติดตั้งสถานีด้วยเฮลิคอปเตอร์ เนื่องจากพื้นที่บางส่วนบริเวณชายฝั่ง ยังไม่มีระบบไฟฟ้า และไม่สามารถเข้าถึงโดยถนนได้ โดยมีเป้าหมายเพื่อการจัดหาข้อมูลที่ต่อเนื่องในสภาพอากาศต่างๆ และมีประสิทธิภาพในการเผชิญเหตุเหตุการณ์น้ำมันรั่วไหลในทะเล ทั้งในบริเวณนอกชายฝั่ง บริเวณใกล้ฝั่ง และบริเวณแนวชายฝั่ง

ในส่วนของแบบจำลองคาดการณ์การเคลื่อนที่ของคราบน้ำมัน GNOME มีการศึกษาและใช้งานในรูปแบบระบบปฏิบัติการอยู่บ้าง โดย MacKay, K. J. (2014) ได้ประยุกต์แบบจำลองคาดการณ์การเคลื่อนที่ของคราบน้ำมัน GNOME ร่วมกับการประมวลผลเชิงภูมิศาสตร์ (Geoprocessing) ด้วยโปรแกรม ArcMap ในการประเมินพื้นที่และชนิดของสิ่งมีชีวิตที่อาจได้รับผลกระทบจากการรั่วไหลของน้ำมันในบริเวณอ่าว Santa Monica รัฐแคลิฟอร์เนีย ประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งเป็นบริเวณที่ประกอบไปด้วยพื้นที่อนุรักษ์สิ่งมีชีวิต (Protected species) และแหล่งที่อยู่อาศัยของสิ่งมีชีวิตบริเวณชายฝั่ง รวมไปถึงเป็นพื้นที่ตั้งโรงกลั่นน้ำมันขนาดใหญ่ ในกระบวนการศึกษาใช้วิธีการประมวลผลข้อมูลเส้นทางการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันหลายๆ สถานการณ์จำลอง (Scenario) ด้วยแบบจำลอง GNOME โดยอาศัยข้อมูลลมจากการตรวจวัดในพื้นที่จริง และข้อมูลกระแสน้ำจากแบบจำลอง ในช่วงเวลาระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ถึงเมษายน ค.ศ. 2014 ซึ่งผลลัพธ์จากแบบจำลองจะถูกนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือวิเคราะห์เชิงภูมิศาสตร์ และดัชนีความอ่อนไหวทางสิ่งแวดล้อม (Environmental Sensitivity Index) ผลจากการวิเคราะห์สามารถนำไปใช้ในการกำหนดพื้นที่อนุรักษ์และชนิดของสิ่งมีชีวิตที่อาจได้รับผลกระทบ ซึ่งช่วยเพิ่มขีดความสามารถในการวางแผนตัดสินใจในการจัดลำดับความสำคัญการจัดการในเชิงพื้นที่และชนิดของสิ่งมีชีวิตสำหรับผู้มีอำนาจหน้าที่ในการจัดการการรั่วไหลของคราบน้ำมันในพื้นที่ศึกษา

ส่วนในประเทศอินเดีย Prabhu, K. and Kankara, R. S. (2014) กล่าวว่า มีการใช้งานแบบจำลองคาดการณ์การเคลื่อนที่ของคราบน้ำมัน GNOME สำหรับการบริหารจัดการ วางแผนป้องกันแหล่งทรัพยากรธรรมชาติ สภาพแวดล้อม และระบบนิเวศชายฝั่งทะเล จากการรั่วไหลของน้ำมัน และได้พัฒนาระบบจัดเตรียมข้อมูลกระแสน้ำและลมที่สามารถนำเข้าและใช้งานในแบบจำลองคาดการณ์การเคลื่อนที่ของคราบน้ำมัน GNOME ด้วยโปรแกรม Matlab โดยระบบดังกล่าว สามารถประมวลผลข้อมูลจากหลายๆ แบบจำลอง เช่น ข้อมูลกระแสน้ำจากแบบจำลอง MIKE-21, ADCIRC

และข้อมูลลมจากแบบจำลอง NCMRWF เป็นต้น รวมทั้งสามารถตัดแบ่งข้อมูลในแต่ละพื้นที่ ปรับเปลี่ยนข้อมูลแบบตารางกริดหลายๆ รูปแบบ ครอบคลุมพื้นที่ตลอดชายฝั่งทะเลของประเทศอินเดีย ซึ่งระบบสามารถช่วยในการเลือกและปรับแต่งข้อมูลให้เหมาะสมที่สุด (Optimum) สำหรับการใช้งานกับแบบจำลอง GNOME

ในขณะที่ Basar, E. et al. (2015) ศึกษาความเสี่ยงของพื้นที่ชายฝั่งและสภาพแวดล้อมทางทะเล จากแท่นขุดเจาะน้ำมันในทะเลและการขนส่งทางเรือ ในบริเวณที่มีการวางแผนสร้างแท่นขุดเจาะน้ำมันกลางทะเล Black Sea ประเทศตุรกี โดยกำหนดสถานการณ์จำลองที่อาจเกิดขึ้นได้จำนวน 5 สถานการณ์จำลอง ตามตำแหน่งแท่นขุดเจาะน้ำมัน โดยใช้แบบจำลองคาดการณ์การเคลื่อนที่ของคราบน้ำมัน GNOME นำเข้าข้อมูลกระแสน้ำจากการตรวจวัดในอดีต ภาพถ่ายจากดาวเทียม และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ พร้อมกำหนดความเร็วและทิศทางลมแบบคงที่ รวมไปถึงการศึกษาผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นกับสิ่งมีชีวิตประจำถิ่นและสิ่งมีชีวิตที่มีมูลค่าทางเศรษฐกิจ (Endemic and economic species) ซึ่งผลจากการประมวลผลแบบจำลองการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันในสถานการณ์จำลองดังกล่าว จะสามารถประเมินพื้นที่ที่อาจจะได้รับผลกระทบจากกิจกรรมการขุดเจาะน้ำมัน และกิจกรรมอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง เพื่อลดความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นกับระบบนิเวศชายฝั่ง

Marta-Almeida, M. et al. (2013) พัฒนาระบบการพยากรณ์ข้อมูลทางสมุทรศาสตร์และติดตามการรั่วไหลของคราบน้ำมัน โดยพัฒนาโปรแกรมภาษา Python ที่เรียกว่า Operational Ocean Forecast (OOF) ร่วมกับแบบจำลองการรั่วไหลของน้ำมัน GNOME ในการดำเนินการใช้งานระบบได้ใช้แบบจำลอง Regional Ocean Modelling System (ROMS) สำหรับข้อมูลทางสมุทรศาสตร์ในพื้นที่ 3 บริเวณ ที่มีความแตกต่างกันในระบบสมุทรศาสตร์ ประกอบด้วยพื้นที่บริเวณกาลีเซีย (Galician region) พื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงใต้ของประเทศบราซิล และพื้นที่บริเวณรัฐ Texas-Louisiana และแบบจำลองการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมัน GNOME ใช้สำหรับคาดการณ์การเคลื่อนที่และการแปรสภาพของคราบน้ำมันในสภาพแวดล้อมทางทะเลที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ผู้ศึกษาสรุปไว้ว่า OOF และ GNOME เป็นเครื่องมือที่มีคุณค่า (Valuable) มีประสิทธิภาพ และมีราคาถูก ซึ่งสามารถนำไปใช้งานร่วมกับระบบปฏิบัติการทางทะเลที่มีความซับซ้อนในการคาดการณ์ และแบบจำลองการรั่วไหลของน้ำมันในเชิงยุทธศาสตร์ ในส่วนการปรับปรุงขีดความสามารถของแบบจำลองคาดการณ์การรั่วไหลของน้ำมัน ขึ้นอยู่กับการเพิ่มความถูกต้องแม่นยำของแบบจำลองข้อมูลทางสมุทรศาสตร์และบรรยากาศ (Oceanic and atmospheric model) แนวทางการเพิ่มคุณภาพของผลจากแบบจำลอง สามารถทำได้โดยใช้ข้อมูลที่มีรายละเอียดเชิงพื้นที่สูงขึ้น การปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ในแบบจำลอง การใช้ข้อมูลจากระบบตรวจวัด และการพัฒนากระบวนการแบบจำลองข้อมูล (Data assimilation)

สอดคล้องกับ Prasad SJ et al. (2014) ที่กล่าวว่า การพยากรณ์เส้นทางการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับเจ้าหน้าที่ที่ปฏิบัติหน้าที่ในการวางแผนเก็บกู้ และกำจัดคราบน้ำมันเมื่อเกิดเหตุการณ์การรั่วไหลของน้ำมัน ซึ่งได้ทำการศึกษาขั้นตอนวิธีการจำลองเส้นทางการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันด้วยแบบจำลอง GNOME และตรวจสอบผลโดยการใช้ข้อมูลจากดาวเทียมในระบบ SAR ใน 2 เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นระหว่างปี ค.ศ. 2010 - 2011 ในเขตมุมไบ (Mumbai) ประเทศ

อินเดีย ประกอบด้วย MSC Chitra และ Mumbai Uran Tank ข้อมูลปัจจัยกำหนดการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันที่ถูกใช้ในแบบจำลอง ประกอบด้วยข้อมูลทิศทางและความเร็วลมจากแบบจำลอง European Center of Medium Range Weather Forecast (ECMWF) และข้อมูลกระแสน้ำจากแบบจำลอง Regional Ocean Modeling (ROM) ผลจากแบบจำลองคาดการณ์เส้นทางการเคลื่อนที่ GNOME ดังกล่าว จะถูกเปรียบเทียบกับข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมระบบเรดาร์ในหลายๆ ช่วงเวลา ผลจากการศึกษาเปรียบเทียบพบว่า ตำแหน่งคราบน้ำมันที่วิเคราะห์ได้จากภาพถ่ายจากดาวเทียมพบห่างจากตำแหน่งที่จากแบบจำลองคาดกการณ์เส้นทางการเคลื่อนที่ GNOME เฉลี่ย 3.73 กิโลเมตร และ 4.16 กิโลเมตร ในเหตุการณ์ MSC Chitra และ Mumbai Uran Tank ตามลำดับ ซึ่งแบบจำลองคาดการณ์เส้นทางการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันนี้ สามารถใช้ในการจัดทำแผนเฉพาะกิจฉุกเฉิน การจำลองการขุดเจาะ และปฏิบัติการเตรียมความพร้อมและเก็บกู้คราบน้ำมัน

นอกจากนี้ มีการใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม และภาพถ่ายทางอากาศร่วมกับแบบจำลองคาดการณ์การเคลื่อนที่ของคราบน้ำมัน รวมทั้งการประมวลผลร่วมกับแบบจำลองการแปรสภาพของน้ำมัน โดย V. Klemas (2010) ศึกษาการติดตามการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันและคาดการณ์เส้นทางการเคลื่อนที่โดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมและภาพถ่ายทางอากาศ ในรายละเอียดเชิงพื้นที่และช่วงเวลาที่แตกต่างกัน เพื่อติดตามการเคลื่อนที่ การเปลี่ยนแปลง และการแพร่กระจายของคราบน้ำมัน โดยภาพถ่ายจากดาวเทียมและภาพถ่ายทางอากาศ สามารถให้ข้อมูลตำแหน่ง ขนาด และขอบเขตของคราบน้ำมันในช่วงเวลาที่บันทึกภาพ ซึ่งข้อมูลตำแหน่งและขอบเขตของคราบน้ำมันดังกล่าว ถูกใช้เป็นตำแหน่งเริ่มต้นหรือจุดเกิดเหตุการณ์น้ำมันรั่วไหลในแบบจำลอง ในการศึกษาครั้งนี้ใช้แบบจำลอง NOAA's GNOME และ NCAR's CCSM ซึ่งผลลัพธ์จากแบบจำลองสามารถให้ข้อมูลเกี่ยวกับเส้นทางการเคลื่อนที่ การแพร่กระจายจากผิวน้ำสู่พื้นท้องทะเล และการเปลี่ยนแปลงสถานะของคราบน้ำมัน (Fate of oil) รวมทั้งข้อมูลสำหรับการวางแผนจำกัดขอบเขตการแพร่กระจาย (Booming) และการทำความสะอาด (Skimming) เช่นเดียวกับ Qing Xu et al. (2013) ได้ติดตามการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมัน ซึ่งเกิดจากอุบัติเหตุที่แท่นขุดเจาะน้ำมัน จำนวน 2 แท่น ตั้งอยู่ในทะเล Bohai ประเทศจีน ในวันที่ 4 และ 17 มิถุนายน ค.ศ. 2011 โดยใช้ข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียมหลายๆ ประเภท ประกอบด้วย SAR (Synthetic Aperture Radar) Hj-1-B และ MODIS โดยข้อมูลจากภาพถ่ายจากดาวเทียมดังกล่าวนี้ ใช้ในการตรวจหาตำแหน่งและขอบเขตการแพร่กระจายของคราบน้ำมัน จากนั้นใช้แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ GNOME ในการจำลองการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันอย่างต่อเนื่อง โดยใช้ตำแหน่งเริ่มต้นการรั่วไหลจากการวิเคราะห์จากภาพถ่ายจากดาวเทียมซึ่งบันทึกภาพวันที่ 11 และ 14 มิถุนายน ใช้ข้อมูลกระแสน้ำ และลมพื้นผิวจากแบบจำลอง NCOM (Navy Coastal Ocean Model) และการตรวจวัดจากระบบ ASCAT (Advanced Scatterometer) ตามลำดับ ผลการติดตามการเคลื่อนที่จากแบบจำลองเทียบกับตำแหน่งและขอบเขตจากภาพถ่ายจากดาวเทียมอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้เป็นอย่างดี โดยข้อมูลขอบเขตการกระจายตัวของคราบน้ำมันจากภาพถ่ายจากดาวเทียม เป็นปัจจัยสำคัญในการกำหนดค่าตำแหน่งเริ่มต้นการรั่วไหลของน้ำมันในแบบจำลอง

ส่วน Basar, E. (2010) มีการประมวลผลร่วมกับแบบจำลองการแปรสภาพของน้ำมันด้วย โดยทำการศึกษาแบบจำลองการรั่วไหลของน้ำมันบริเวณทะเล Marmara โดยแบ่งเป็น 2 ส่วน

ประกอบด้วย ส่วนที่ 1 เป็นการศึกษาการคาดการณ์การเคลื่อนที่ของน้ำมันด้วยแบบจำลอง GNOME โดยจำลองเหตุการณ์การรั่วไหลของน้ำมันประเภทน้ำมันดิบชนิดกลาง (Medium crude oil) จากอุบัติเหตุของเรือขนส่งน้ำมัน จำนวน 1,000 ตัน และกำหนดแผนเหตุการณ์ในช่วงเวลาและตำแหน่งเริ่มต้นการเกิดการรั่วไหล โดยพิจารณาจากทิศทางลมในพื้นที่ ผลจากแบบจำลองพบว่า คราบน้ำมันไม่เคลื่อนที่เข้าชายฝั่งใน 3 แผนเหตุการณ์แรก แต่ในแผนเหตุการณ์ที่ 4 พบการเคลื่อนที่ของน้ำมันขึ้นบนชายฝั่ง ส่วนการศึกษาในส่วนที่ 2 เป็นการศึกษาการคำนวณการแปรสภาพของน้ำมันที่รั่วไหลในทะเล โดยใช้แบบจำลอง ADIOS ซึ่งสามารถวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันคงเหลือ (Oil budget) ความหนืดของน้ำมัน และปริมาณสารเบนซีน (Benzene) เมื่อเวลาผ่านไป ผลการศึกษาในส่วนนี้ พบว่าปริมาณมากกว่าร้อยละ 40 ของน้ำมัน เกิดการระเหยภายในระยะเวลา 12 ชั่วโมง

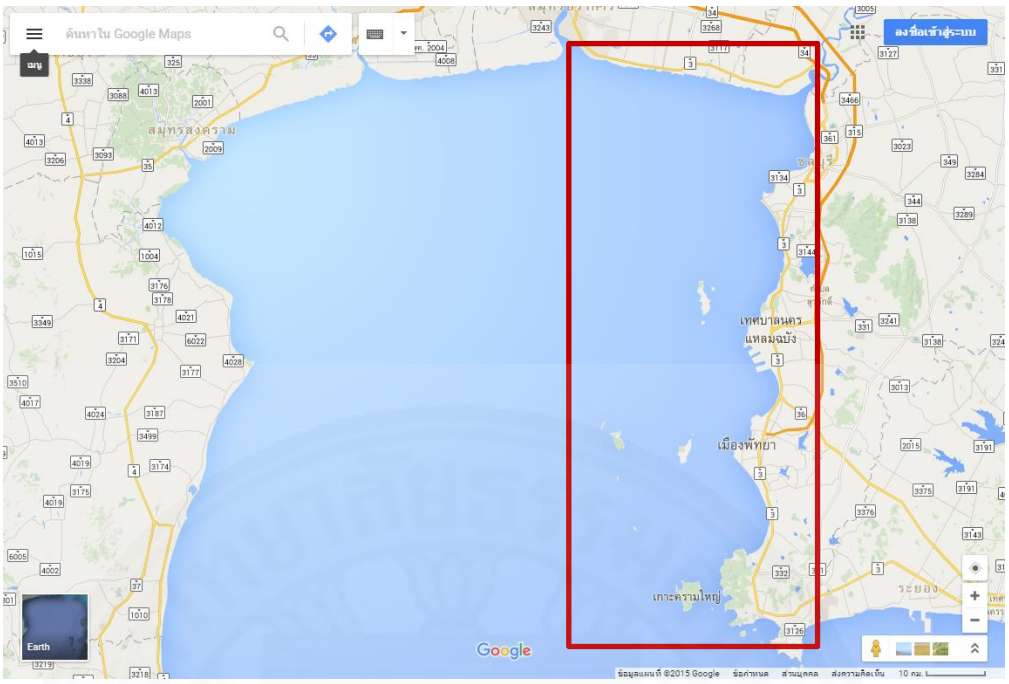
สำหรับการศึกษาและใช้งานแบบจำลองคาดการณ์การเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันในประเทศไทย กรมควบคุมมลพิษ (2553) ในฐานะหนึ่งในหน่วยงานภายใต้คณะกรรมการป้องกันและขจัดมลพิษทางน้ำเนื่องจากน้ำมัน (กปน.) ได้ศึกษาการคาดการณ์รูปแบบการเคลื่อนที่และแพร่กระจายตัวของคราบน้ำมันในทะเล โดยใช้โปรแกรม OILMAP เวอร์ชัน 6.4 สร้างแบบจำลองการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันจาก 6 เหตุการณ์ ที่เกิดจากเรือโดนกัน เรือชนหินโสโครก หรือเรืออับปางจากสาเหตุอื่น บริเวณอ่าวไทยตอนบน และชายฝั่งทะเลด้านตะวันออก ช่วงปี พ.ศ. 2545-2548 นำเข้าข้อมูลความเร็วและทิศทางลมราย 3 ชั่วโมง จากสถานีตรวจวัดกระแสลมของกรมอุตุนิยมวิทยา และข้อมูลกระแสน้ำเฉลี่ยรายเดือนจากแบบจำลอง HYDROMAP พร้อมกำหนดตัวแปรการแพร่กระจายในแนวราบของน้ำมัน หลังจากนั้นทำการปรับเทียบกับข้อมูลภาคสนาม แล้วใช้ค่าตัวแปรที่ได้สร้างแบบจำลองการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันใน 6 เหตุการณ์ ในช่วงน้ำเป็น และช่วงน้ำตาย ในแต่ละเดือนของปี พ.ศ. 2548 และ พ.ศ. 2552 เพื่อเปรียบเทียบรูปแบบการเคลื่อนที่และกระจายตัวเชิงพื้นที่และเวลาของคราบน้ำมันในแต่ละเหตุการณ์ ในส่วนของผลจากแบบจำลอง พบว่าการกระจายตัวของคราบน้ำมันในอ่าวไทยตอนบนและชายฝั่งทะเลด้านตะวันออก มีความคล้ายคลึงกันระหว่างปี พ.ศ. 2548 และ พ.ศ. 2552 ที่เปรียบเทียบกัน แต่มีความแตกต่างรายเดือนขึ้นอยู่กับความเร็วและทิศทางลม การหมุนเวียนของกระแสน้ำ และปริมาณน้ำมันที่รั่วไหล โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงเวลาที่มีการเปลี่ยนแปลงชนิดของลมมรสุม ซึ่งตัวแปรความเร็วและทิศทางลมมีอิทธิพลต่อการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันในช่วงระหว่างร้อยละ 1-4 และตัวแปรการแพร่กระจายมีค่า 2 ตารางเมตรต่อวินาที สำหรับตัวแปรที่มีอิทธิพลสำคัญต่อรูปแบบการเคลื่อนที่และกระจายตัวของคราบน้ำมัน ได้แก่ ความเร็วและทิศทางลม และรูปแบบการไหลเวียนของกระแสน้ำในพื้นที่ที่เกิดน้ำมันรั่วไหล ขณะที่องค์ประกอบทางเคมี คุณสมบัติเฉพาะของน้ำมันแต่ละชนิด และตัวแปรทางสิ่งแวดล้อมเป็นตัวบ่งชี้การแปรสภาพของน้ำมันในเชิงพื้นที่และเวลา รูปแบบการเคลื่อนที่และกระจายตัวของคราบน้ำมันเหล่านี้ สามารถใช้ประกอบการจัดทำแผนจัดการ ป้องกันและแก้ไขน้ำมันรั่วไหลในทะเล รวมไปถึงการจำแนกเขตความเสี่ยงต่อน้ำมันรั่วไหลได้อีกด้วย นอกจากนี้เพื่อให้ผลการคาดการณ์การเคลื่อนที่และแพร่กระจายของคราบน้ำมันมีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น ควรปรับปรุงความละเอียดเชิงเวลาของข้อมูลกระแสน้ำ และข้อมูลความเร็วและทิศทางลม ให้มีความละเอียดเชิงเวลาเป็นรายชั่วโมง

บทที่ 3
วิธีการวิจัย

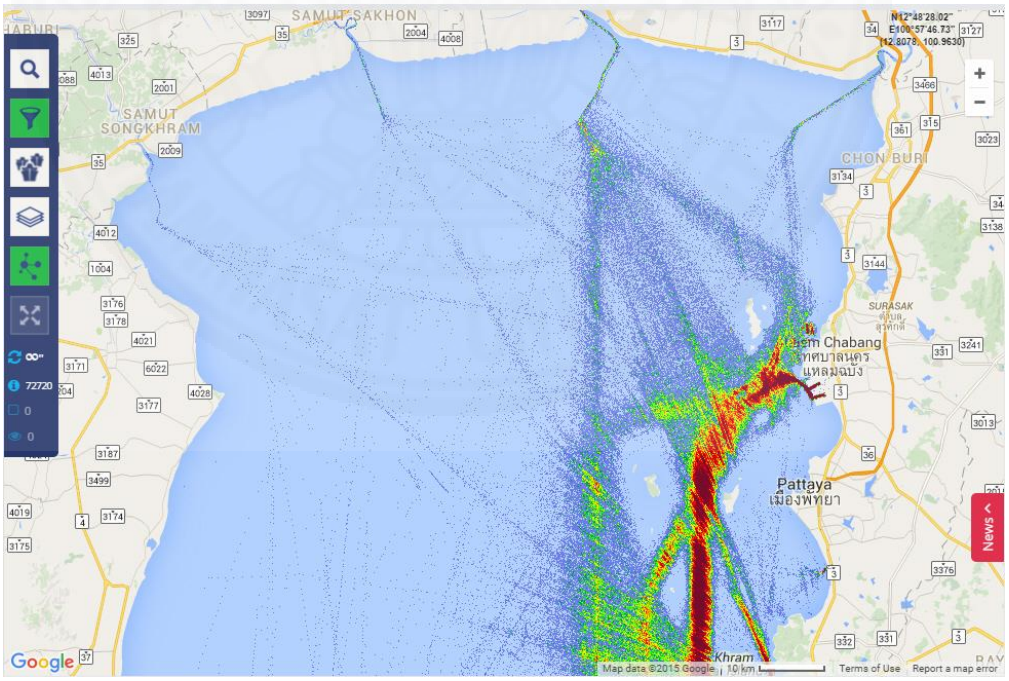
3.1 ข้อมูลพื้นที่ศึกษา

การศึกษาครั้งนี้ เลือกพื้นที่ศึกษาในพื้นที่อ่าวไทยฝั่งตะวันออก ตามการแบ่งเขตพื้นที่ชายฝั่งของกรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง (2557) ครอบคลุมพื้นที่บริเวณชายฝั่งจังหวัดชลบุรี ดังแสดงในภาพที่ 3.1 ซึ่งผลจากการวิเคราะห์เขตความเสี่ยงต่อน้ำมันรั่วไหลของกรมควบคุมมลพิษ (2553) ระบุว่า บริเวณชายฝั่งทะเลด้านตะวันออกครอบคลุมพื้นที่ในจังหวัดฉะเชิงเทรา ชลบุรี และระยอง ที่มีการจราจรทางน้ำหนาแน่น และมีกิจกรรมการขนถ่ายน้ำมันบริเวณท่าเทียบเรือกลางทะเลและชายฝั่งที่เป็นที่ตั้งของโรงกลั่นน้ำมัน เป็นต้น จัดอยู่ในพื้นที่ที่มีความเสี่ยงสูงมาก สอดคล้องกับแผนที่ผลการวิเคราะห์ความหนาแน่นของการจราจรทางน้ำ ปี พ.ศ. 2557 ที่แสดงให้เห็นว่า พื้นที่บริเวณชายฝั่งจังหวัดชลบุรีมีความแน่นการจราจรทางน้ำสูง (MarineTraffic.com, 2014) ดังแสดงในภาพที่ 3.2 โดยเฉพาะในพื้นที่บริเวณท่าเรือแหลมฉบัง ซึ่งจัดเป็นท่าเรือน้ำลึกขนาดใหญ่ ทำหน้าที่หลักในการขนส่งสินค้าระหว่างประเทศ มีพื้นที่ประมาณ 6,340 ไร่ ประกอบด้วยท่าเรือที่เปิดให้บริการหลายประเภท อาทิ ท่าเทียบเรือตู้คอนเทนเนอร์ ท่าเทียบเรือเอนกประสงค์ ท่าเทียบเรือโดยสาร ท่าเทียบเรือสินค้าทั่วไป และอู่ต่อและซ่อมเรือ เป็นต้น (ท่าเรือแหลมฉบัง, 2013) รวมไปถึงในพื้นที่บริเวณเกาะสีชัง จังหวัดชลบุรี ซึ่งถูกกำหนดให้เป็นพื้นที่จอดเรือทอดสมอ สำหรับการขนถ่ายสินค้าระหว่างเรือสินค้า รับผิดชอบดูแลโดยสำนักงานนำร่องศรีราชา (สำนักงานนำร่องศรีราชา, 2010) กิจกรรมต่างๆ เหล่านี้ เป็นปัจจัยในการเพิ่มความเสี่ยงของการเกิดอุบัติเหตุ และเกิดการรั่วไหลของน้ำมันได้ง่ายขึ้น

นอกจากนี้พื้นที่ดังกล่าว ตั้งอยู่ไม่ไกลมากนักจากชายหาดพัทยา แหล่งท่องเที่ยวทางทะเลที่มีชื่อเสียง ซึ่งหากเกิดการรั่วไหลของคราบน้ำมันในทะเล อาจส่งผลกระทบต่ออุตสาหกรรมท่องเที่ยวในพื้นที่ นำมาซึ่งความเสียหายด้านเศรษฐกิจคิดเป็นมูลค่ามหาศาลได้ ตลอดจนในพื้นที่ตอนบนตามแนวชายฝั่งจังหวัดชลบุรี มีพื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในกระชังและพื้นที่ป่าชายเลน ซึ่งจัดเป็นพื้นที่ที่มีความอ่อนไหวของทรัพยากรต่อมลพิษจากน้ำมันในระดับสูงตามการจัดทำแผนที่ดัชนีความอ่อนไหวของทรัพยากรต่อมลพิษจากน้ำมันของกรมควบคุมมลพิษ (กรมควบคุมมลพิษ, 2553)



ภาพที่ 3.1 พื้นที่ดำเนินการศึกษา
ที่มา: https://www.google.co.th/maps



ภาพที่ 3.2 แผนที่แสดงความหนาแน่นของการจราจรทางน้ำ ปี พ.ศ. 2557
ที่มา: MarineTraffic.com, 2014

3.2 ข้อมูลและอุปกรณ์ในการศึกษา

3.2.1 ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม LANDSAT-8 ครอบคลุมพื้นที่ศึกษา หรือในแนวถ่ายภาพ (Path/Row) ที่ 129051 บันทึกภาพวันที่ 8 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 สำหรับการปรับปรุงข้อมูลพื้นที่ชายฝั่งให้เป็นปัจจุบัน

3.2.2 ข้อมูลกระแสน้ำผิวหน้ารายชั่วโมง จากระบบเรดาร์คลื่นวิทยุความถี่สูง ครอบคลุมพื้นที่ศึกษา ในช่วงฤดูลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุมของทั้ง 2 ฤดู (รายละเอียดดังตารางที่ 3.1) รายละเอียดเชิงพื้นที่ 2 กิโลเมตร สำหรับนำเข้าในแบบจำลองคาดการณ์การเคลื่อนที่ของคราบน้ำมัน

3.2.3 ข้อมูลความเร็วและทิศทางลมรายชั่วโมง ในรูปแบบตำแหน่งจุด ที่ระดับความสูง 10 เมตร จากสถานีตรวจอากาศอัตโนมัติ (AWS) ของกรมอุตุนิยมวิทยา ตำแหน่งสถานีเกาะสีชัง ในช่วงฤดูลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุมของทั้ง 2 ฤดู (รายละเอียดดังตารางที่ 3.1) สำหรับนำเข้าในแบบจำลองคาดการณ์การเคลื่อนที่ของคราบน้ำมัน

3.2.4 ข้อมูลมาตราน้ำ กรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ สำหรับประกอบการเลือกช่วงเวลาที่เป็นช่วงน้ำเป็น-น้ำตาย

3.2.5 โปรแกรม NetCDF Operators (NCO) เวอร์ชั่น 4.5.4 สำหรับการจัดการปรับปรุงตัวแปร และประมวลผลข้อมูลในรูปแบบ NetCDF

3.2.6 โปรแกรมประมวลผลแบบจำลองคาดการณ์การเคลื่อนที่ของคราบน้ำมัน General NOAA Operational Modeling Environment (GNOME) เวอร์ชั่น 1.3.9 ดาวน์โหลดจากเว็บไซต์ http://response.restoration.noaa.gov/

3.2.7 โปรแกรมวิเคราะห์ประมวลผลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ArcGIS เวอร์ชั่น 10.1 พร้อมติดตั้งโปรแกรมเสริม (Extension) GNOME Import Tool เพื่อรองรับการนำเข้าข้อมูลผลลัพธ์จากแบบจำลองคาดการณ์การเคลื่อนที่ของคราบน้ำมัน (Moss files) และการวิเคราะห์ข้อมูลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

3.2.8 ซอฟต์แวร์ระบบปฏิบัติการ Windows 7

3.3 ขั้นตอนการดำเนินการ

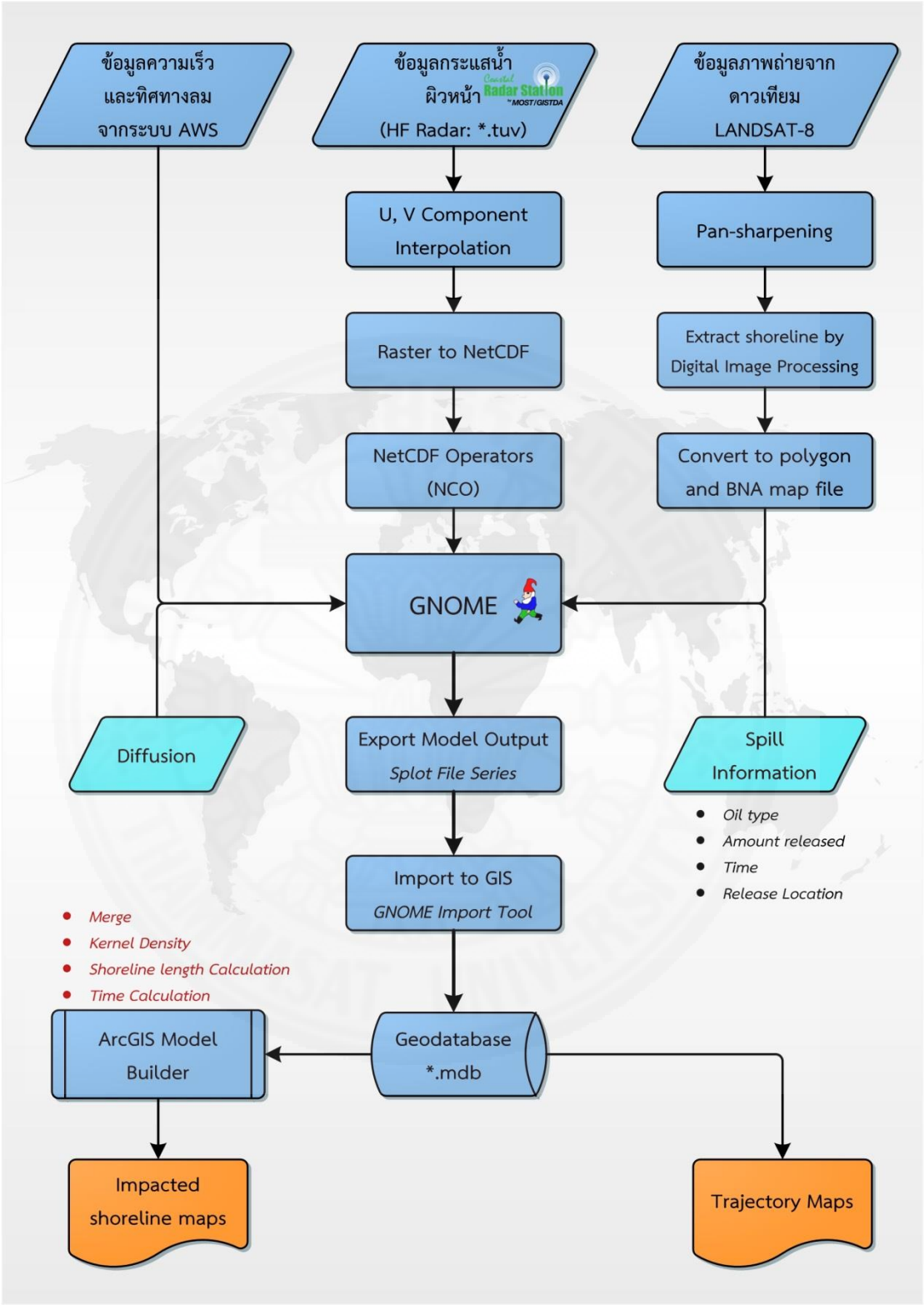
ขั้นตอนการดำเนินการศึกษา แบ่งเป็น 3 ส่วน ประกอบด้วย การจัดเตรียมข้อมูล การประมวลผลแบบจำลองคาดการณ์การเคลื่อนที่ของคราบน้ำมัน และการวิเคราะห์ข้อมูลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ดังแสดงในภาพที่ 3.3 รายละเอียดดังนี้

ภาพที่ 3.3 ขั้นตอนการดำเนินการศึกษา

3.3.1 การจัดเตรียมข้อมูล (Preprocessing)

ขั้นตอนการจัดเตรียมข้อมูล เป็นการจัดเตรียมข้อมูลที่สำคัญสำหรับนำเข้าในแบบจำลอง ได้แก่ ข้อมูลแผนที่ขอบเขตชายฝั่ง ข้อมูลกระแสน้ำผิวหน้า และข้อมูลความเร็วและทิศทางลม ซึ่งมีขั้นตอนหลัก 4 ขั้นตอน ประกอบด้วย การรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง การปรับปรุงข้อมูลพื้นที่ชายฝั่ง การประมาณค่าในช่วงข้อมูลความเร็วย่อยของข้อมูลกระแสน้ำ และการแปลงรูปแบบข้อมูลกระแสน้ำ รายละเอียดขั้นตอนการประมวลผลดังแสดงในภาพที่ 3.4 รายละเอียดดังนี้

3.3.1.1 การรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาในครั้งนี้ประกอบด้วย ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม LANDSAT-8 ระบบหลายช่วงคลื่น (Multispectral) รายละเอียดเชิงพื้นที่ 30 เมตร และระบบช่วงคลื่นเดียว (Panchromatic) รายละเอียดเชิงพื้นที่ 15 เมตร รวบรวมข้อมูลจาก United State Geological Survey (USGS) แนวถ่ายภาพ 129051 บันทึกภาพวันที่ 8 ก.พ. 2559 ข้อมูลกระแสน้ำผิวหน้าน้ำทะเลรายชั่วโมง จากระบบเรดาร์คลื่นวิทยุความถี่สูง รายละเอียดเชิงพื้นที่ 2 กิโลเมตร ในรูปแบบ tuv (*.tuv) จำนวนทั้งหมด 960 ไฟล์ ของสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) รวบรวมข้อมูลจาก http://coastalradar.gistda.or.th และข้อมูลความเร็วและทิศทางลมรายชั่วโมง จากสถานีตรวจอากาศอัตโนมัติ (Automatics Weather Station: AWS) ของกรมอุตุนิยมวิทยา สถานีเกาะสีชัง รวบรวมข้อมูลจาก http://www.aws-observation.tmd.go.th/web/main/index.asp ทั้งนี้ข้อมูลกระแสน้ำผิวหน้าน้ำทะเล และข้อมูลความเร็วและทิศทางลม จะถูกเลือกข้อมูลที่เป็นตัวแทนในช่วงน้ำเป็นและน้ำตายในแต่ละช่วงฤดูมรสุม รายละเอียดดังตารางที่ 3.1



ภาพที่ 3.4 ขั้นตอนการประมวลผลข้อมูลและแบบจำลองคาดการณ์การเคลื่อนที่ของคราบน้ำมัน

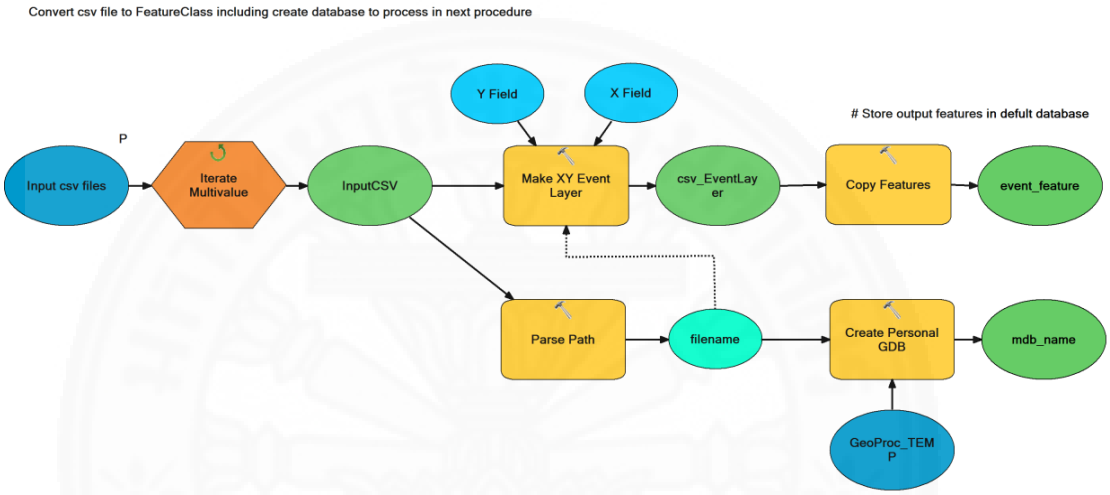
3.3.1.2 การปรับปรุงข้อมูลพื้นที่ชายฝั่ง การปรับปรุงข้อมูลพื้นที่ชายฝั่ง เป็นการปรับปรุงข้อมูลในส่วนข้อมูลเส้นชายฝั่ง ขอบเขตเกาะ และขอบเขตท่าเรือให้เป็นปัจจุบัน ซึ่งขอบเขตดังกล่าวนี้จะถูกใช้ในการคำนวณการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันในแบบจำลอง โดยพื้นที่ที่ถูกกำหนดเป็นชายฝั่งจะเป็นจุดที่ถูกกำหนดให้หยุดการเคลื่อนที่ ซึ่งขั้นตอนการปรับปรุงข้อมูลพื้นที่ชายฝั่งให้เป็นปัจจุบันนี้ จะช่วยเพิ่มความถูกต้องของผลจากแบบจำลอง โดยใช้วิธีการแปลตีความเส้นชายฝั่งจากภาพถ่ายจากดาวเทียม LANDSAT-8 ซึ่งผ่านขั้นตอนการเน้นรายละเอียดด้วยข้อมูลช่วงคลื่นเดียว (Pan-sharpening) รายละเอียดเชิงพื้นที่ 15 เมตร ด้วยวิธีการ Digital Image Processing แล้วส่งออกข้อมูลในรูปแบบเวคเตอร์ ESRI shape files และแปลงข้อมูลจากข้อมูลประเภทเส้นเป็นข้อมูลประเภทวงรอบปิด (Polygon) จากนั้นแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบ BNA map file (Atlas Boundary ASCII) ซึ่งเป็นรูปแบบที่รองรับการทำงานในแบบจำลอง GNOME โดยใช้เครื่องมือ BNA Shape Conversion

3.3.1.3 การแปลงรูปแบบข้อมูลกระแสน้ำผิวหน้าจากระบบเรดาร์คลื่นวิทยุความถี่สูง เป็นขั้นตอนแปลงรูปแบบข้อมูลกระแสน้ำจากระบบเรดาร์คลื่นวิทยุความถี่สูงให้สามารถนำเข้าในแบบจำลองได้ โดยแปลงข้อมูลจากรูปแบบ tuv files ให้อยู่ในรูปแบบ Network Common Data File (NetCDF) ที่ประกอบไปด้วยตัวแปร (Variables) จำนวน 5 ตัวแปร ได้แก่ ละติจูด ลองจิจูด เวลา (ชั่วโมง) ความเร็วย่อยในแนวเหนือ-ใต้ (v component) และความเร็วย่อยในแนวตะวันออก-ตะวันตก (u component) (Zelenke et al., 2012) ด้วยการพัฒนาโปรแกรมประมวลผล ArcGIS Model Builder (ภาพที่ 3.5 และ 3.6) ร่วมกับโปรแกรมปรับปรุงและจัดการไฟล์ NetCDF Operators (NCO) ซึ่งข้อมูลที่กระแสน้ำที่นำเข้าในโปรแกรมประมวลผลดังกล่าว ต้องผ่านขั้นตอนการแปลงหน่วยจากเซนติเมตรต่อวินาที (cm/s) เป็นเมตรต่อวินาที (m/s) พร้อมบันทึกไฟล์ในรูปแบบ csv

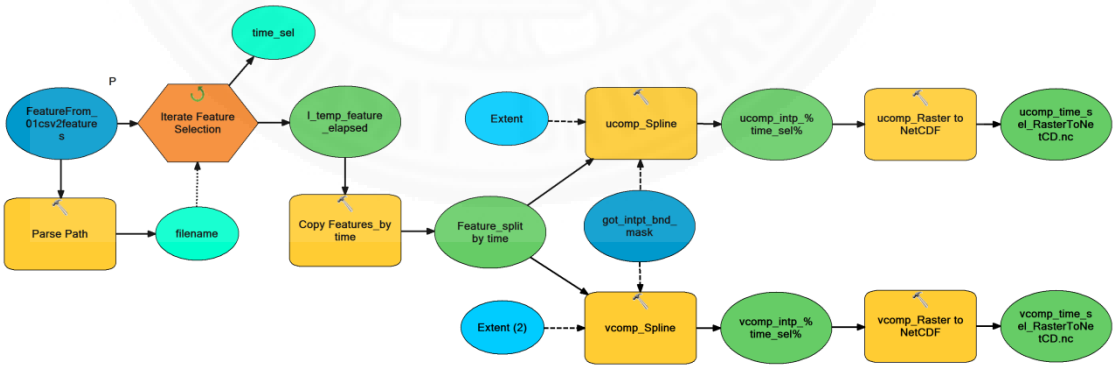
ในส่วนการปรับปรุงและจัดการไฟล์ NetCDF ด้วยโปรแกรม NetCDF Operators เป็นการทำงานในลักษณะชุดคำสั่งคอมมานด์ไลน์ (Command line) ประกอบด้วยชุดคำสั่งสำหรับการรวมไฟล์ (Merge) การสร้างตัวแปรเวลา (Time Dimension) การปรับปรุงค่าของตัวแปร และการสร้างตัวแปรทั่วไป หรือคำอธิบายข้อมูล (Global Attribute) (รายละเอียดชุดคำสั่งแสดงดังภาคผนวก ก)

3.3.1.4 การประมาณค่าในช่วงข้อมูลความเร็วย่อยของข้อมูลกระแสน้ำผิวหน้าจากระบบเรดาร์คลื่นวิทยุความถี่สูง ข้อมูลกระแสน้ำผิวหน้าที่ตรวจวัดจากระบบเรดาร์คลื่นวิทยุความถี่สูง จะตรวจวัดข้อมูลในลักษณะความเร็วย่อยใน 2 ทิศทาง ประกอบด้วย ความเร็วย่อยในแนวเหนือ-ใต้ และความเร็วย่อยในแนวตะวันออก-ตะวันตก รายละเอียดดังกล่าวแล้วในบทที่ 2 ซึ่งความเร็วย่อยดังกล่าวนี้ เป็นตัวแปรหลักในการคำนวณการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันในแบบจำลอง โดยผลของแบบจำลองที่มีความถูกต้อง ต้องอาศัยข้อมูลที่มีความต่อเนื่องในเชิงพื้นที่และเชิงเวลา การตรวจวัดข้อมูลกระแสน้ำผิวหน้าด้วยคลื่นวิทยุความถี่สูง ในบางพื้นที่และบางช่วงเวลาอาจมีสัญญาณรบกวนจากคลื่นวิทยุในย่านความถี่ใกล้เคียง สัญญาณรบกวนจากปัจจัยภายนอกที่ส่งผลต่อการตรวจวัดด้วยคลื่นวิทยุ หรือข้อจำกัดของการตรวจวัดกระแสน้ำผิวหน้าด้วยคลื่นวิทยุความถี่สูงบางประการ อันเป็นสาเหตุให้ไม่สามารถตรวจวัดข้อมูลในบางพื้นที่ได้ การประมาณค่า

ในช่วงข้อมูลในขั้นตอนนี้ เป็นขั้นตอนย่อยในกระบวนการแปลงรูปแบบข้อมูลกระแสน้ำผิวหน้า ซึ่งเป็นการประมาณค่าข้อมูลความเร็วย่อยในแนวเหนือ-ใต้ และความเร็วย่อยในแนวตะวันออก-ตะวันตกของข้อมูลกระแสน้ำผิวหน้าจากระบบเรดาร์คลื่นวิทยุความถี่สูง ในบริเวณพื้นที่ที่ข้อมูลขาดหายในแต่ละชั่วโมง โดยการพัฒนาโปรแกรมประมวลผลด้วย ArcGIS Model Builder ดังแสดงในภาพที่ 3.6 และกำหนดวิธีการประมาณค่าแบบ Spline เนื่องจากเป็นวิธีการที่เหมาะกับการประมาณค่าข้อมูลที่มีการเปลี่ยนแปลงแบบค่อยเป็นค่อยไป (สุเพชร จิรขจรกุล, 2555) ผลที่ได้เป็นข้อมูลความเร็วย่อยของข้อมูลกระแสน้ำผิวหน้าทั้ง 2 ทิศทาง ในรูปแบบแรสเตอร์กริดครอบคลุมพื้นที่ศึกษา



ภาพที่ 3.5 ขั้นตอนการแปลงข้อมูลกระแสน้ำจากระบบเรดาร์คลื่นวิทยุความถี่สูง (ส่วนที่ 1) ในโปรแกรม ArcGIS Model Builder



ภาพที่ 3.6 ขั้นตอนการประมาณค่าในช่วงข้อมูลความเร็วย่อยข้อมูลกระแสน้ำผิวหน้า และการแปลงข้อมูลกระแสน้ำจากระบบเรดาร์คลื่นวิทยุความถี่สูง (ส่วนที่ 2) ในโปรแกรม ArcGIS Model Builder

3.3.2 การประมวลผลแบบจำลองคาดการณ์การเคลื่อนที่ของคราบน้ำมัน GNOME

การประมวลผลแบบจำลองคาดการณ์การเคลื่อนที่ของคราบน้ำมัน GNOME ประกอบด้วยขั้นตอนสำคัญ 4 ขั้นตอน ได้แก่ การเลือกช่วงเวลาในการประมวลผลและตำแหน่งทดสอบ การนำเข้าข้อมูลลงในแบบจำลอง การตั้งค่าการประมวลผลและกำหนดคุณลักษณะการรั่วไหลของน้ำมัน และการส่งออกผลลัพธ์จากแบบจำลอง รายละเอียดดังนี้

3.3.2.1 การเลือกช่วงเวลาในการประมวลผล และตำแหน่งทดสอบ การคาดการณ์การเคลื่อนที่ของคราบน้ำมัน กำหนดช่วงระยะเวลาในการคาดการณ์จำนวน 5 วัน ตามทฤษฎีการแปรสภาพของน้ำมัน ซึ่งหลังจากระยะเวลา 5 วัน นับจากเกิดการรั่วไหล จะเริ่มเกิดกระบวนการย่อยสลายโดยสิ่งมีชีวิต และการจมตัว (National Ocean and Atmospheric Administration, 2016) การเลือกช่วงเวลา พิจารณาเลือกเดือนจากฤดูมรสุม ประกอบด้วย ฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (กลางเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนกันยายน) ฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (กลางเดือนตุลาคมถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์) และช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุมทั้งสองฤดู (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2558) จากนั้นสุ่มเลือกช่วงเวลาที่เป็นช่วงน้ำเป็น และน้ำตาย โดยพิจารณาจากข้อมูลมาตราน้ำ ในวันขึ้น 15 ค่ำ หรือแรม 15 ค่ำ และวันขึ้น 8 ค่ำ หรือแรม 8 ค่ำ ตามลำดับ (สุวลักษณ์ สาธุมนัสพันธุ์, 2555) ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 การเลือกช่วงเวลาสำหรับการประมวลผลแบบจำลอง

ฤดูมรสุม	วันที่เกิดน้ำเป็น	วันที่เลือก	วันที่เกิดน้ำตาย	วันที่เลือก
ตะวันออกเฉียงเหนือ	25 ธ.ค. 58	23-27 ธ.ค. 58	13 ม.ค. 58	11-15 ม.ค. 58
เปลี่ยนฤดูครั้งที่ 1	4 เม.ย. 58	2-6 เม.ย. 58	27 มี.ค. 58	25-29 มี.ค. 58
ตะวันตกเฉียงใต้	16 ก.ค. 58	14-18 ก.ค. 58	9 ก.ค. 58	7-11 ก.ค. 58
เปลี่ยนฤดูครั้งที่ 2	13 ต.ค. 58	11-15 ต.ค. 58	5 ต.ค. 58	3-7 ต.ค. 58

ในส่วนการเลือกตำแหน่งทดสอบ พิจารณาเลือกจากบริเวณที่มีการจราจรทางน้ำหนาแน่น ด้านหน้าท่าเรือแหลมฉบัง จังหวัดชลบุรี จากผลการวิเคราะห์ความหนาแน่นการจราจรทางน้ำ ปี พ.ศ. 2557 (MarineTraffic.com, 2014) ที่ตำแหน่งละติจูด 13.0715 องศาเหนือ ลองจิจูด 100.827 องศาตะวันออก

3.3.2.2 การนำเข้าข้อมูลลงในแบบจำลอง ข้อมูลที่นำเข้าในแบบจำลองคาดการณ์การเคลื่อนที่ของคราบน้ำมัน GNOME ประกอบด้วยข้อมูลตัวแปรด้านสิ่งแวดล้อมที่มีอิทธิพลต่อการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมัน อันได้แก่ ความเร็วและทิศทางกระแสน้ำจากระบบเรดาร์คลื่นวิทยุความถี่สูงที่ผ่านขั้นตอนการจัดเตรียมข้อมูลก่อนการประมวลผลแล้ว และข้อมูลความเร็วและทิศทางลมรายชั่วโมงจากสถานีตรวจอากาศอัตโนมัติ พร้อมทั้งกำหนดค่าการแพร่กระจายในแนวราบของน้ำมันเท่ากับ 2 ตารางเมตรต่อวินาที ตามผลการปรับเทียบแบบจำลองของกรมควบคุมมลพิษ (กรมควบคุมมลพิษ, 2553) รวมไปถึงนำเข้าข้อมูลขอบเขตชายฝั่งในรูปแบบ BNA map file ที่ผ่านขั้นตอนการปรับปรุงข้อมูลชายฝั่งตามข้อ 3.3.1.2 แล้ว ซึ่งในแบบจำลองใช้เป็นแผนที่ฐานสำหรับกำหนดพื้นที่และขอบเขตการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมัน

3.3.2.3 การตั้งค่าการประมวลผล และกำหนดคุณลักษณะการรั่วไหลของน้ำมัน การตั้งค่าการประมวลผล ประกอบด้วย การกำหนดวันและเวลาเริ่มต้นการรั่วไหลของน้ำมัน ระยะเวลาในการคาดการณ์การเคลื่อนที่ การกำหนดรายละเอียดเชิงเวลาของการคาดการณ์ (Computation Time Step) และการแสดงค่าความไม่แน่นอน (Uncertainty) ของผลจากแบบจำลอง

สำหรับการกำหนดคุณลักษณะการรั่วไหลของน้ำมัน ประกอบด้วย ประเภทของการรั่วไหล ชื่อเหตุการณ์ ชนิดและปริมาณของน้ำมันที่รั่วไหล วันเวลาที่เกิดเหตุ และตำแหน่งพิกัดทางภูมิศาสตร์ของจุดทดสอบ ดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 การกำหนดคุณลักษณะการรั่วไหลของน้ำมันในแบบจำลอง

ตัวแปร	ตะวันออกเฉียงเหนือ		เปลี่ยนฤดูครั้งที่ 1		ตะวันตกเฉียงใต้		เปลี่ยนฤดูครั้งที่ 2	
	น้ำเป็น	น้ำตาย	น้ำเป็น	น้ำตาย	น้ำเป็น	น้ำตาย	น้ำเป็น	น้ำตาย
ประเภทการรั่วไหล	จุด	จุด	จุด	จุด	จุด	จุด	จุด	จุด
ชื่อเหตุการณ์	NE_SP	NE_NT	Tr1_SP	Tr1_NT	SW_SP	SW_NT	Tr2_SP	Tr2_NT
ละติจูด (องศาเหนือ)	13.0715	13.0715	13.0715	13.0715	13.0715	13.0715	13.0715	13.0715
ลองจิจูด (องศาตะวันออก)	100.827	100.827	100.827	100.827	100.827	100.827	100.827	100.827
วันที่เกิดเหตุ	23/12/58	11/1/58	2/4/58	25/3/58	14/7/58	7/7/58	11/10/58	3/10/58
เวลาที่เกิดเหตุ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ชนิดของน้ำมัน	ดิบ	ดิบ	ดิบ	ดิบ	ดิบ	ดิบ	ดิบ	ดิบ
ปริมาณที่รั่วไหล (ลิตร)*	60,000	60,000	60,000	60,000	60,000	60,000	60,000	60,000
ระยะเวลาสร้างแบบจำลอง (ชั่วโมง)	120	120	120	120	120	120	120	120
การแพร่กระจายในแนวราบ (ตารางเมตร/วินาที)**	2	2	2	2	2	2	2	2
อิทธิพลของลม (%)**	1-4	1-4	1-4	1-4	1-4	1-4	1-4	1-4

* ปริมาณรั่วไหลสูงสุดตามการศึกษาของกรมควบคุมมลพิษ (กรมควบคุมมลพิษ, 2553)

** ตามผลการปรับเทียบแบบจำลองของกรมควบคุมมลพิษ (กรมควบคุมมลพิษ, 2553)

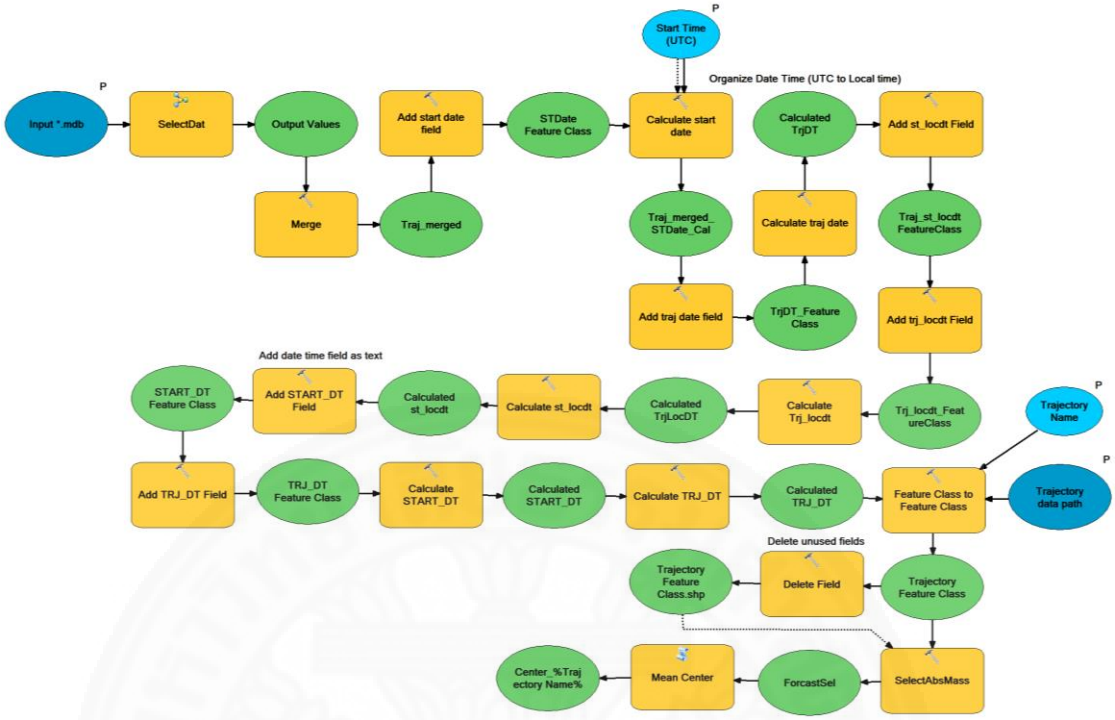
3.3.2.4 การส่งออกผลลัพธ์จากแบบจำลอง ผลลัพธ์จากแบบจำลอง สามารถส่งออกได้หลายรูปแบบ อาทิ การส่งออกในรูปแบบแผนที่แสดงการแพร่กระจายของคราบน้ำมัน ณ เวลาใดๆ ในช่วงเวลาที่ประมวลผล การส่งออกในรูปแบบภาพเคลื่อนไหว (Quick Time Movie) การส่งออกในรูปแบบข้อมูลมาตรฐานที่สามารถนำไปนำเข้าและวิเคราะห์เพิ่มเติมในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เป็นต้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์การใช้งานของผลลัพธ์จากแบบจำลอง สำหรับ

การศึกษาครั้งนี้ ใช้การส่งออกข้อมูลผลลัพธ์จากแบบจำลองในรูปแบบ NOAA Standard Splot Files Series: for GIS ซึ่งข้อมูลที่ส่งออกจากแบบจำลองในรูปแบบนี้ จะรองรับการนำเข้าข้อมูลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ โดยข้อมูลจะถูกจัดเก็บแยกเป็นรายชั่วโมงในรูปแบบ Moss Files

3.3.3 การวิเคราะห์ข้อมูลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

การวิเคราะห์ข้อมูลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เป็นการนำผลลัพธ์จากแบบจำลองคาดการณ์การเคลื่อนที่ของคราบน้ำมัน GNOME วิเคราะห์ร่วมกับข้อมูลพื้นที่ชายฝั่ง เพื่อประเมินพื้นที่และเวลาที่ได้รับผลกระทบจากการรั่วไหลของน้ำมันในพื้นที่ศึกษา ประกอบด้วยขั้นตอนการวิเคราะห์ 3 ขั้นตอน ได้แก่ การนำเข้าผลลัพธ์จากแบบจำลอง การวิเคราะห์ข้อมูลพื้นที่ชายฝั่ง และการจัดทำแผนที่แสดงผลการศึกษา รายละเอียดดังนี้

3.3.3.1 การนำเข้าผลลัพธ์จากแบบจำลอง ข้อมูลผลลัพธ์จากแบบจำลองการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมัน จัดเก็บในรูปแบบ Moss files ตามมาตรฐานการจัดเก็บของแบบจำลอง โดยจัดเก็บข้อมูลตำแหน่งพิกัดทางภูมิศาสตร์ของแต่ละอนุภาคการกระจายตัวของคราบน้ำมัน (Splots) พร้อมด้วยข้อมูลเชิงบรรยายของแต่ละจุดในแต่ละชั่วโมงตามจำนวนชั่วโมงที่ประมวลผลในแบบจำลอง การนำเข้าข้อมูลดังกล่าวนี้ ต้องใช้โปรแกรมเสริมของ ArcGIS ชื่อว่า GNOME Import Tool โดยโปรแกรมจะนำเข้าข้อมูลทั้งข้อมูลเชิงตำแหน่งและข้อมูลเชิงบรรยาย และจัดเก็บข้อมูลอยู่ในรูปแบบฐานข้อมูลเชิงพื้นที่รายชั่วโมง ในการศึกษาครั้งนี้ มีข้อมูลผลลัพธ์จากแบบจำลองเป็นจำนวนมากตามจำนวนชั่วโมงจากการประมวลผลในแบบจำลอง จึงได้พัฒนาเครื่องมือและกระบวนการประมวลผลข้อมูลผลลัพธ์จากแบบจำลอง (ArcToolbox) ด้วย ArcGIS Model Builder โดยทำหน้าที่ในการรวมไฟล์ฐานข้อมูลเชิงพื้นที่รายชั่วโมง (Merge) คำนวณเวลาของข้อมูลในรูปแบบเวลาท้องถิ่น (Local time) ส่งออกข้อมูลเชิงเวลาในรูปแบบ Shape files และการคำนวณตำแหน่งกึ่งกลางเฉลี่ย (Mean Center) ของการกระจายตัวเพื่อการจัดทำแผนที่เส้นทางการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมัน ดังแสดงในภาพที่ 3.7



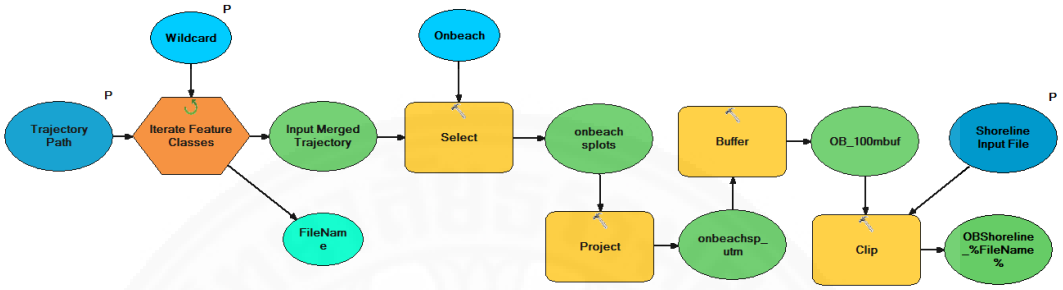
ภาพที่ 3.7 กระบวนการประมวลผลข้อมูลผลลัพธ์จากแบบจำลอง GNOME ในโปรแกรม ArcGIS Model Builder

3.3.3.2 การวิเคราะห์ข้อมูลพื้นที่ชายฝั่ง เป็นกระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่เพื่อประเมินพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากการรั่วไหลของน้ำมันในพื้นที่ศึกษา โดยการพัฒนากระบวนการประมวลผลเชิงพื้นที่ด้วย ArcGIS Model Builder ประกอบด้วย

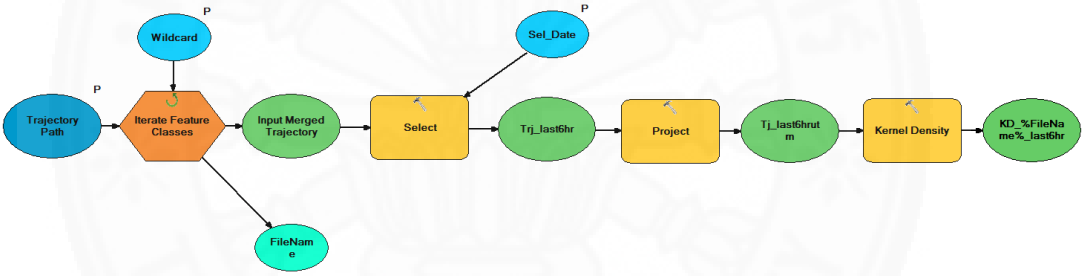
(1) การวิเคราะห์แนวชายฝั่งที่ได้รับผลกระทบ เป็นการวิเคราะห์พื้นที่ที่คราบน้ำมันเคลื่อนที่เข้าปะทะชายฝั่ง พร้อมทั้งคำนวณความยาวของแนวชายฝั่งที่ได้รับผลกระทบและเวลาที่คราบน้ำมันเข้าปะทะชายฝั่งนับจากเวลาที่รั่วไหล โดยใช้เทคนิคการสืบค้น (Query) ข้อมูลเชิงบรรยาย (Attribute) จากชั้นข้อมูลการกระจายตัวของคราบน้ำมันที่ Status = ‘ONBEACH’ รวมไปถึงเทคนิคการซ้อนทับ (Overlay) ระหว่างชั้นข้อมูลการกระจายตัวของคราบน้ำมัน และชั้นข้อมูลเส้นชายฝั่ง ดังแสดงในภาพที่ 3.8

(2) การวิเคราะห์ความหนาแน่นการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของคราบน้ำมัน เป็นขั้นตอนการประเมินพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากคราบน้ำมันในระดับต่างๆ โดยประเมินจากความหนาแน่นของการกระจายตัวของคราบน้ำมันในฤดูมรสุมต่างๆ จากข้อมูลผลลัพธ์จากแบบจำลองที่นำเข้าในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ด้วยเทคนิคเคอร์เนล เดนซิตี้ (Kernel Density) โดยแบ่งวิเคราะห์ข้อมูลทุกๆ ช่วง 6 ชั่วโมง และแบ่งระดับความหนาแน่นของการกระจายตัว 3 ระดับ (MacKay, 2014) กระบวนการประมวลผลแสดงในภาพที่ 3.9 ทั้งนี้ เพื่อให้สามารถเห็นถึงลักษณะการกระจายตัวของคราบน้ำมันในลักษณะอนุกรมเวลา

(3) การวิเคราะห์ระดับความเสี่ยงของแนวชายฝั่ง ข้อมูลการกระจายตัวของคราบน้ำมันที่สืบค้นข้อมูลที่มีสถานะปะทะชายฝั่งในขั้นตอนที่ (1) ข้างต้น ในช่วงฤดูมรสุมทั้ง 4 ฤดูมรสุม จะถูกนำมาวิเคราะห์การเกิดซ้ำของสถานะคราบน้ำมันปะทะชายฝั่งในบริเวณพื้นที่ศึกษาด้วยเทคนิคเคอร์เนล เดนซิตี้ ทั้งนี้ เพื่อประเมินพื้นที่เสี่ยงของชายฝั่งที่ได้รับผลกระทบ โดยแบ่งระดับความเสี่ยง 3 ระดับ



ภาพที่ 3.8 การวิเคราะห์แนวชายฝั่งที่ได้รับผลกระทบ ในโปรแกรม ArcGIS Model Builder



ภาพที่ 3.9 การวิเคราะห์ความหนาแน่นการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของคราบน้ำมัน ในโปรแกรม ArcGIS Model Builder

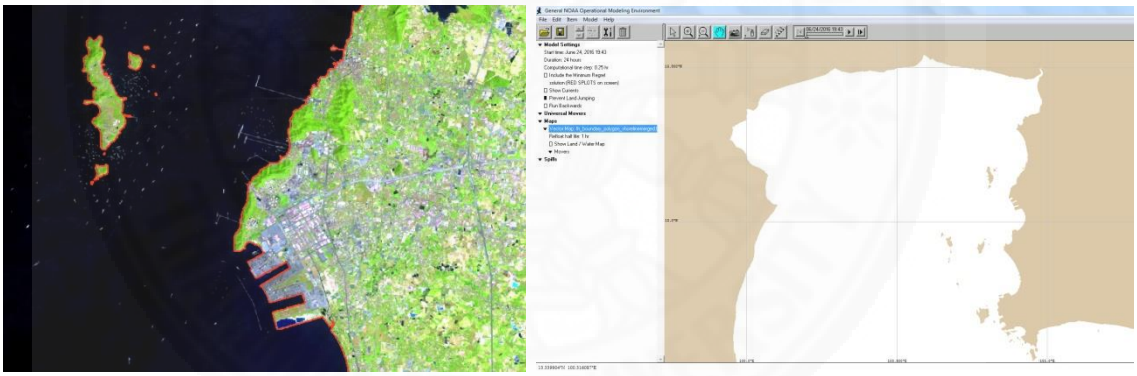
3.3.3.3 การจัดทำแผนที่แสดงผลการศึกษา หลังจากขั้นตอนวิเคราะห์พื้นที่ชายฝั่ง ในข้อ 3.3.3.2 แล้ว ผลการวิเคราะห์จะถูกนำมาสร้างเป็นแผนที่เฉพาะเรื่องต่างๆ ในแต่ละฤดูมรสุม ได้แก่ แผนที่แสดงการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันจากตำแหน่งทดสอบ แผนที่แสดงแนวชายฝั่งที่ได้รับผลกระทบจากการรั่วไหลของน้ำมันในพื้นที่ศึกษา และแผนที่แสดงระดับความเสี่ยงของแนวชายฝั่งที่ได้รับผลกระทบจากคราบน้ำมัน โดยการสร้างแม็ปเลเอาท์ (Map Layout) พร้อมจัดวางองค์ประกอบของแผนที่ต่างๆ อาทิ เส้นกริดโครงแผนที่ คำอธิบายสัญลักษณ์ เครื่องหมายมาตราส่วนแผนที่ และเครื่องหมายเข็มทิศ เป็นต้น

บทที่ 4
ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ในบทนี้กล่าวถึงผลการศึกษาตั้งแต่การประมวลผลในขั้นตอนการจัดเตรียมข้อมูล การประมวลผลแบบจำลองคาดการณ์การเคลื่อนที่ของคราบน้ำมัน GNOME การวิเคราะห์ข้อมูลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ และการอภิปรายผล รายละเอียดดังนี้

4.1 การจัดเตรียมข้อมูล

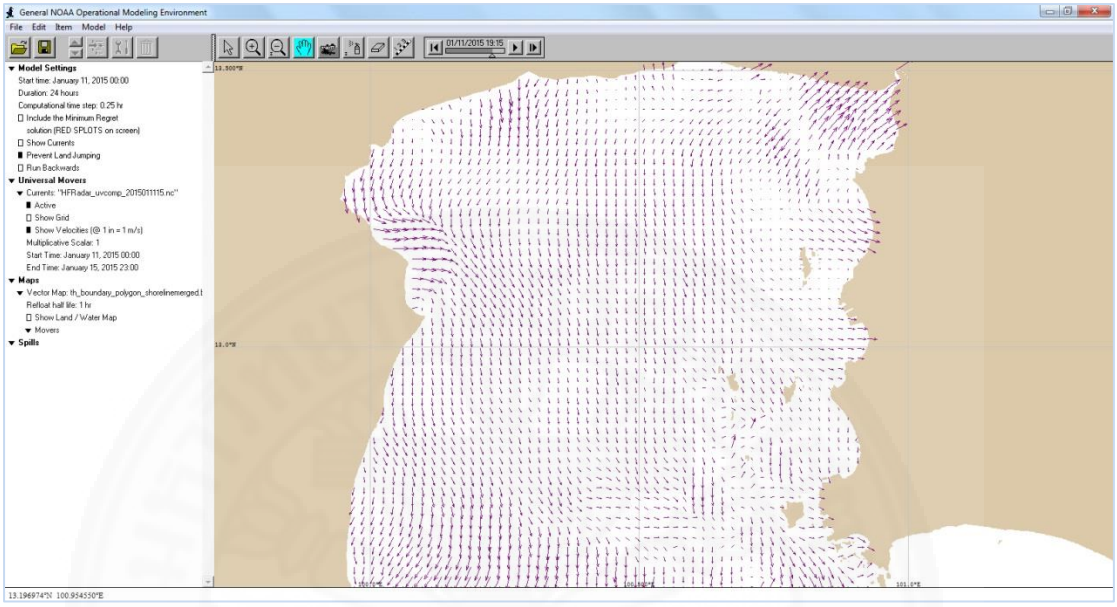
4.1.1 การปรับปรุงข้อมูลพื้นที่ชายฝั่ง จากการประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม LANDSAT-8 ซึ่งผ่านขั้นตอนการเน้นรายละเอียดด้วยข้อมูลช่วงคลื่นเดียว และวิเคราะห์ข้อมูลเส้นชายฝั่งด้วยวิธีการ Digital Image Processing พร้อมทั้งส่งออกข้อมูลในรูปแบบเวคเตอร์และแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบ BNA map file พบว่า ข้อมูลที่วิเคราะห์จากภาพถ่ายจากดาวเทียมสามารถปรับปรุงและนำเข้าเป็นข้อมูลแผนที่ฐาน ทั้งข้อมูลเส้นชายฝั่ง ขอบเขตเกาะ และขอบเขตท่าเรือ ลงในแบบจำลองได้ ดังแสดงในภาพที่ 4.1 ซึ่งแผนที่ฐานดังกล่าวจะเป็นขอบเขตกำหนดการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันในแบบจำลองในขั้นตอนต่อไป



ภาพที่ 4.1 ผลการปรับปรุงข้อมูลพื้นที่ชายฝั่งจากภาพถ่ายจากดาวเทียม และนำเข้าในแบบจำลอง

4.1.2 การประมาณค่าในช่วงและแปลงรูปแบบข้อมูลกระแสน้ำผิวหน้าจากระบบเรดาร์คลื่นวิทยุความถี่สูง จากขั้นตอนการประมวลผลข้อมูลกระแสน้ำผิวหน้ารายชั่วโมงจากระบบเรดาร์คลื่นวิทยุความถี่สูง ซึ่งประกอบด้วย การประมาณค่าในช่วงข้อมูลความเร็วย่อยในแนวเหนือ-ใต้ ความเร็วย่อยในแนวตะวันออก-ตะวันตก และการแปลงรูปแบบข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบ NetCDF ด้วยการพัฒนาโปรแกรมประมวลผล ArcGIS Model Builder พบว่า ขั้นตอนการประมาณค่าในช่วงสามารถประมาณค่าข้อมูลกระแสน้ำผิวหน้าบริเวณที่ข้อมูลขาดหายในแต่ละชั่วโมงให้ครอบคลุมพื้นที่ศึกษาทั้งหมดได้ ส่วนขั้นตอนการแปลงรูปแบบข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบ NetCDF พบว่า ข้อมูลที่แปลงจากการประมวลผลด้วย ArcGIS Model Builder ยังขาดตัวแปรบางตัวแปรที่จำเป็นสำหรับการนำเข้าในแบบจำลอง

อย่างไรก็ตาม การปรับปรุงและจัดการตัวแปรที่ขาดหายในไฟล์ NetCDF สามารถใช้โปรแกรม NCO ในการปรับปรุงตัวแปรดังกล่าวได้ ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการปรับปรุงตัวแปรแล้ว สามารถนำเข้าและประมวลผลในแบบจำลองต่อไปได้ ดังแสดงในภาพที่ 4.2



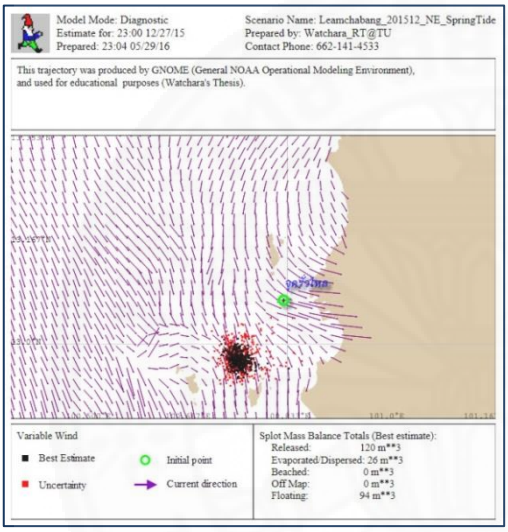
ภาพที่ 4.2 ข้อมูลกระแสน้ำผิวหน้าน้ำทะเลจากระบบเรดาร์คลื่นวิทยุความถี่สูง ที่ผ่านการประมาณค่าในช่วงและนำเข้าในแบบจำลอง GNOME

4.2 การประมวลผลแบบจำลองคาดการณ์การเคลื่อนที่ของคราบน้ำมัน GNOME

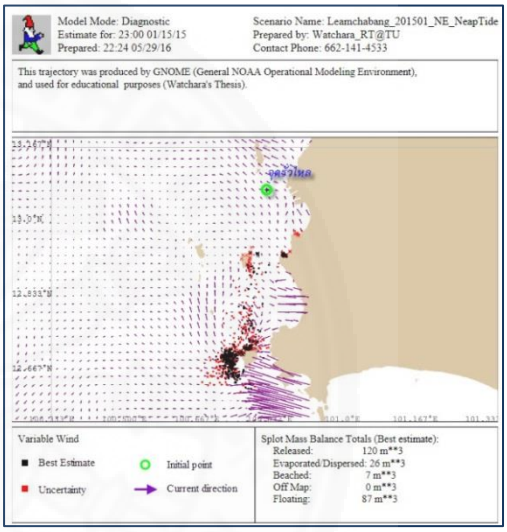
จากการนำเข้าข้อมูลปัจจัยที่มีผลต่อการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันในทะเล อันประกอบด้วย ข้อมูลกระแสน้ำผิวหน้ารายชั่วโมงจากระบบเรดาร์คลื่นวิทยุความถี่สูง ซึ่งผ่านขั้นตอนการจัดเตรียมข้อมูล พร้อมแปลงรูปแบบข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบ NetCDF ข้อมูลความเร็วและทิศทางลมรายชั่วโมง จากสถานีตรวจอากาศอัตโนมัติ ข้อมูลขอบเขตแนวชายฝั่ง ขอบเขตเกาะ ซึ่งแปลตีความจากภาพถ่ายจากดาวเทียม LANDSAT-8 นำเข้าในแบบจำลอง GNOME พร้อมทั้งกำหนดค่าการแพร่กระจายในแนวราบ กำหนดค่าการประมวลผล และคุณสมบัติการรั่วไหลของน้ำมัน พบว่าผลลัพธ์จากแบบจำลอง แสดงในลักษณะแผนที่แสดงการเคลื่อนที่และกระจายตัวของคราบน้ำมัน ที่ระยะเวลาผ่านไป 5 วัน โดยแสดงเป็นจุดอนุภาคแทนการกระจายตัวของคราบน้ำมัน (จุดสีดำ) พร้อมกับแสดงค่าความไม่แน่นอน หรือความน่าจะเป็นที่คราบน้ำมันอาจแพร่กระจายไปได้ (จุดสีแดง) จำแนกตามฤดูมรสุม และช่วงน้ำเป็น น้ำตาย ดังแสดงในภาพที่ 4.3a ถึง 4.3h และมีทิศทางและระยะทางการเคลื่อนที่จากตำแหน่งทดสอบ ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการคาดการณ์การเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันจากแบบจำลอง GNOME

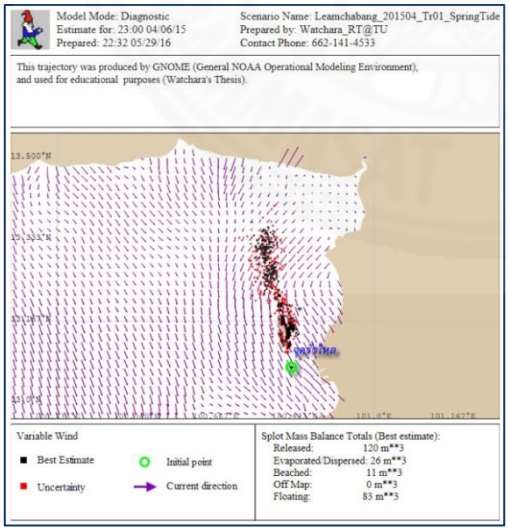
ฤดูมรสุม	น้ำเป็น			น้ำตาย		
	ทิศทางการเคลื่อนที่	ระยะทาง (กิโลเมตร)	ภาพที่	ทิศทางการเคลื่อนที่	ระยะทาง (กิโลเมตร)	ภาพที่
ตะวันออกเฉียงเหนือ	ตะวันตกเฉียงใต้	13.6	4.3a	ตะวันตกเฉียงใต้	43.2	4.3b
เปลี่ยนฤดูครั้งที่ 1	ตะวันตกเฉียงเหนือ	25.2	4.3c	ตะวันตกเฉียงใต้	18.3	4.3d
ตะวันตกเฉียงใต้	ตะวันออกเฉียงเหนือ	41.2	4.3e	ตะวันออกเฉียงเหนือ	15.1	4.3f
เปลี่ยนฤดูครั้งที่ 2	ตะวันตกเฉียงใต้	83.3	4.3g	ตะวันตก	12.6	4.3h



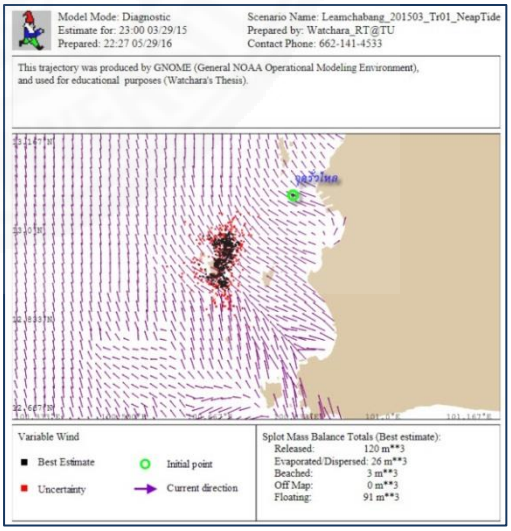
4.3a



4.3b

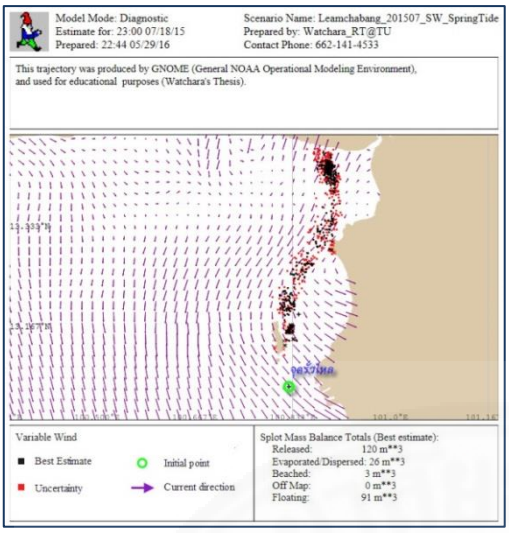


4.3c

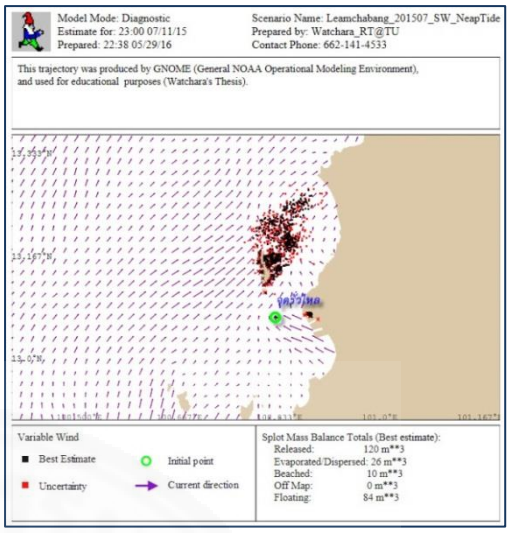


4.3d

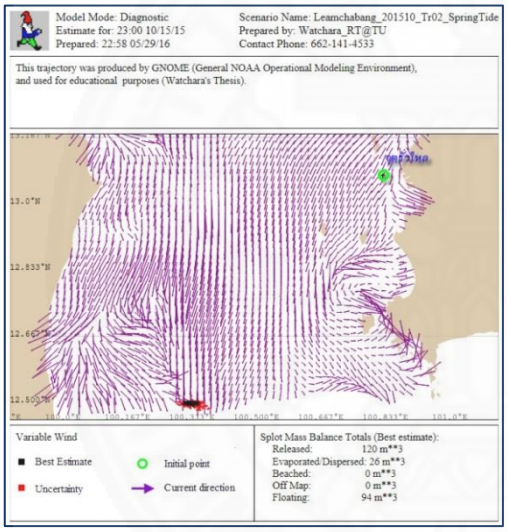
ภาพที่ 4.3 แผนที่แสดงการเคลื่อนที่และกระจายตัวของคราบน้ำมัน จากแบบจำลอง GNOME



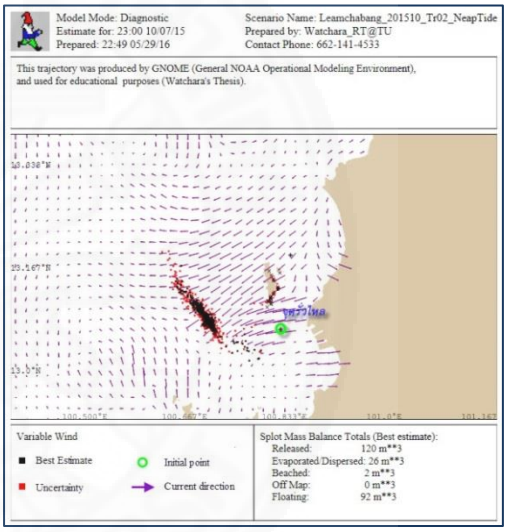
4.3e



4.3f



4.3g



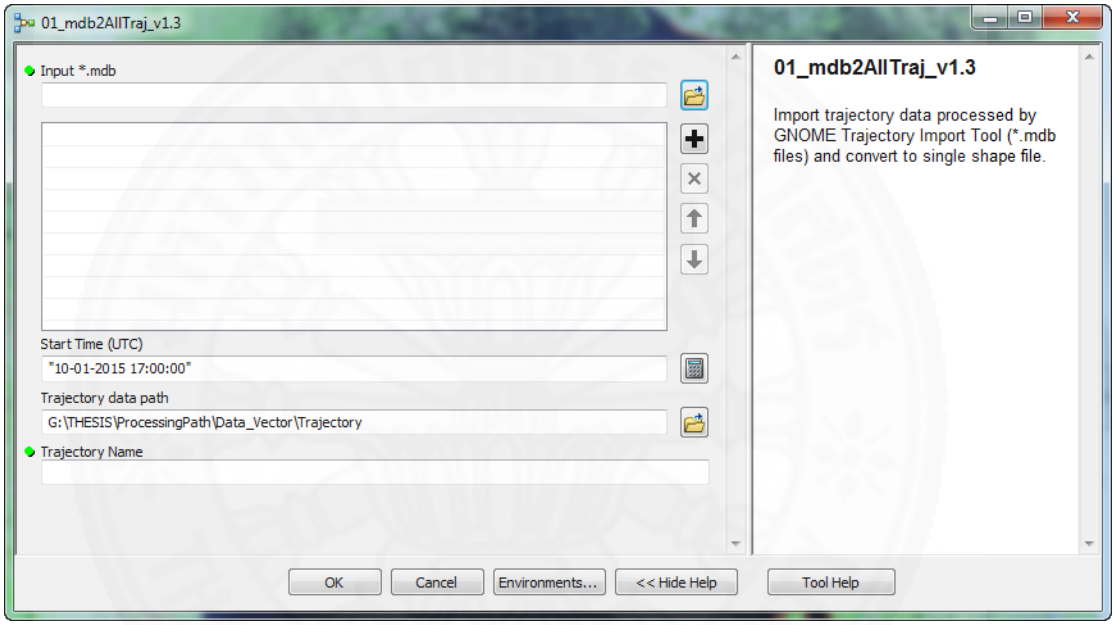
4.3h

ภาพที่ 4.3 (ต่อ) แผนที่แสดงการเคลื่อนที่และกระจายตัวของคราบน้ำมัน จากแบบจำลอง GNOME

4.3 การวิเคราะห์ข้อมูลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

การวิเคราะห์ข้อมูลผลลัพธ์จากแบบจำลองคาดการณ์การเคลื่อนที่ของคราบน้ำมัน GNOME ร่วมกับข้อมูลพื้นที่ชายฝั่งในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ซึ่งประกอบด้วย การนำเข้าผลลัพธ์จากแบบจำลอง การวิเคราะห์พื้นที่ชายฝั่ง และการจัดทำแผนที่แสดงผลการศึกษา จากขั้นตอนการนำเข้าผลลัพธ์จากแบบจำลองด้วยโปรแกรมเสริม GNOME Import Tool พร้อมด้วยการพัฒนากระบวนการประมวลผลด้วย ArcGIS Model Builder พบว่า โปรแกรมเสริม GNOME Import Tool สามารถนำเข้าข้อมูลผลลัพธ์จากแบบจำลอง GNOME ซึ่งถูกส่งออกข้อมูลในรูปแบบ NOAA Standard Splot File Series พร้อมทั้งจัดเก็บตำแหน่งการกระจายตัวของคราบน้ำมัน และข้อมูลเชิงบรรยายในรูปแบบฐานข้อมูลเชิงพื้นที่ (*.mdb) รายชั่วโมง โดยข้อมูลเชิงบรรยายประกอบไปด้วย

ประเภทของอนุภาคการกระจายตัว (Type) ประเภทของมลพิษ (Pollutant) ความลึก (Depth) มวล (Mass) ความหนาแน่น (Density) อายุของอนุภาค (Age) และสถานะของคราบน้ำมัน (Status) ซึ่งข้อมูลเหล่านี้ จะถูกนำไปใช้ในการประมวลผลในขั้นตอนต่อไป นอกจากนี้ จากขั้นตอนการพัฒนาโปรแกรมประมวลผลด้วย ArcGIS Model Builder ซึ่งประกอบด้วยฟังก์ชั่นการรวมไฟล์ การคำนวณเวลาในรูปแบบเวลาท้องถิ่น การส่งออกข้อมูลประเภทเวคเตอร์ และการคำนวณตำแหน่งกึ่งกลางเฉลี่ยของการกระจายตัว พบว่า กระบวนการประมวลผลสามารถใช้เป็นเครื่องมือสำหรับประมวลผลหรือแนวทางในการประมวลผลข้อมูลจากแบบจำลอง GNOME ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (ภาพที่ 4.4) โดยสามารถสั่งงานในลักษณะทำงานต่อเนื่อง (Batch) ได้



ภาพที่ 4.4 เครื่องมือการประมวลผลข้อมูลผลลัพธ์จากแบบจำลอง GNOME

ในส่วนการวิเคราะห์ข้อมูลพื้นที่ชายฝั่ง ซึ่งเป็นการประเมินพื้นที่ชายฝั่งที่ได้รับผลกระทบ ทั้งในเชิงพื้นที่และเวลา ด้วยเทคนิคการซ้อนทับ และสืบค้นข้อมูลเชิงพื้นที่ ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ด้วยการพัฒนากระบวนการประมวลผลด้วย ArcGIS Model Builder ซึ่งประกอบด้วย การวิเคราะห์แนวชายฝั่งที่ได้รับผลกระทบ การวิเคราะห์ความหนาแน่นการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของคราบน้ำมัน และการวิเคราะห์ระดับความเสี่ยงของแนวชายฝั่ง ด้วยเทคนิคเคอร์เนลเดนซิตี้

4.3.1 การวิเคราะห์แนวชายฝั่งที่ได้รับผลกระทบ เริ่มจากขั้นตอนการสืบค้นข้อมูลเชิงบรรยายในข้อมูลที่มีสถานะขึ้นชายหาด จากนั้นใช้เทคนิคการซ้อนทับกับข้อมูลเส้นชายฝั่ง แล้วคำนวณหาความยาวของเส้นชายฝั่งที่ซ้อนทับกัน จำแนกตามฤดูมรสุม และช่วงน้ำเป็น-น้ำตาย พร้อมส่งออกรายงาน (รายงานที่ส่งออก แสดงในภาคผนวก ข) พบว่า สามารถประเมินพื้นที่แนวชายฝั่งที่ได้รับผลกระทบ ทั้งในเชิงพื้นที่และเวลา ซึ่งสามารถประเมินได้ว่า พื้นที่ใดบ้างที่ได้รับผลกระทบจาก

คราบน้ำมัน และคราบน้ำมันเริ่มปะทะชายฝั่งเมื่อเวลาผ่านไปเท่าใดนับจากเวลาที่รั่วไหลจากจุดทดสอบ รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 4.2 4.3 และภาพที่ 4.8a ถึง 4.8g

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์แนวชายฝั่งที่ได้รับผลกระทบจากคราบน้ำมัน ในช่วงน้ำเป็น

ฤดูมรสุม	Best guess			Uncertainty			ภาพที่
	แนวชายฝั่งที่ได้รับผลกระทบ	ระยะทาง (กม.)	ระยะเวลา (ชม.)*	แนวชายฝั่งที่ได้รับผลกระทบ	ระยะทาง (กม.)	ระยะเวลา (ชม.)*	
ตะวันออกเฉียงเหนือ	-	-	-	เกาะสาก	0.54	117	4.8a
	-	-	-	ต.นาเกลือ (เกาะล้าน)	0.47	117	
เปลี่ยนฤดูครั้งที่ 1	ต.ท่าเทววงษ์ (เกาะสีชัง)	15.44	14	ต.ท่าเทววงษ์ (เกาะสีชัง)	2.15	14	4.8b
	เกาะค้างคาว	2.85	13	เกาะค้างคาว	0.01	13	
	เกาะขามใหญ่	2.10	40	เกาะขามใหญ่	0.63	40	
	เกาะยายท้าว	0.33	16	-	-	-	
	เกาะท้ายตาหมื่น	0.28	48	เกาะท้ายตาหมื่น	0.20	48	
	เกาะขามน้อย	0.27	41	เกาะขามน้อย	0.39	41	
	เกาะร้านดอกไม้	0.23	36	เกาะร้านดอกไม้	0.16	36	
	เกาะปรง	0.15	40	เกาะปรง	0.21	40	
ตะวันตกเฉียงใต้	ต.ท่าเทววงษ์ (เกาะสีชัง)	4.46	18	ต.ท่าเทววงษ์ (เกาะสีชัง)	7.81	18	4.8c
	เกาะขามใหญ่	2.73	37	-	-	-	
	ต.แสนสุข	1.58	67	ต.แสนสุข	3.56	67	
	ต.อ่างศิลา	1.34	78	ต.อ่างศิลา	0.91	78	
	เกาะขามน้อย	0.66	38	-	-	-	
	เกาะค้างคาว	0.51	81	เกาะค้างคาว	1.11	81	
	เกาะร้านดอกไม้	0.39	24	-	-	-	
	เกาะปรง	0.36	27	-	-	-	
	เกาะยายท้าว	0.33	62	-	-	-	
	-	-	-	ทต.แหลมฉบัง	0.31	9	
	-	-	-	ต.สองคลอง	0.85	115	
เปลี่ยนฤดูครั้งที่ 2	-	-	-	-	-	-	-

* ระยะเวลาที่เริ่มได้รับผลกระทบจากคราบน้ำมันที่รั่วไหลจากจุดทดสอบ

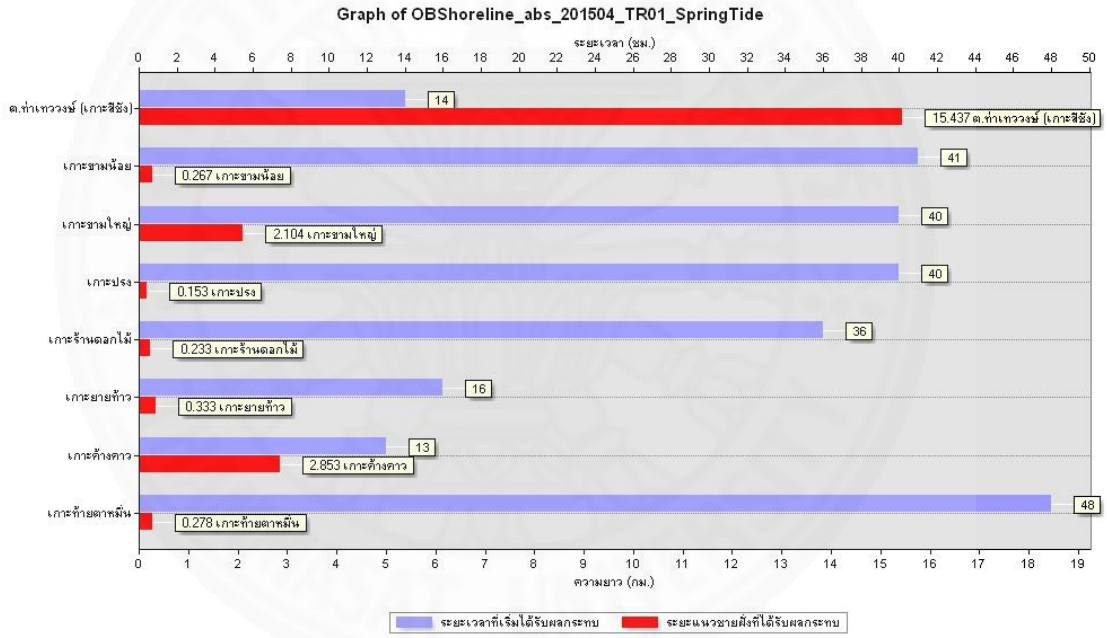
ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์แนวชายฝั่งที่ได้รับผลกระทบจากคราบน้ำมัน ในช่วงน้ำตาย

ฤดูมรสุม	Best guess			Uncertainty			ภาพที่
	แนวชายฝั่งที่ได้รับผลกระทบ	ระยะทาง (กม.)	ระยะเวลา (ชม.)*	แนวชายฝั่งที่ได้รับผลกระทบ	ระยะทาง (กม.)	ระยะเวลา (ชม.)*	
ตะวันออกเฉียงเหนือ	ต.สัตหีบ (เกาะคราม)	8.10	97	ต.สัตหีบ (เกาะคราม)	1.52	97	4.8d
	พัทยา	4.98	48	พัทยา	2.66	48	
	ต.นาเกลือ (เกาะล้าน)	2.97	61	ต.นาเกลือ (เกาะล้าน)	6.44	61	
	ต.นาเกลือ	2.70	37	ต.นาเกลือ	4.64	37	
	เกาะครามน้อย	0.88	107	เกาะครามน้อย	0.27	107	
	เกาะครก	0.68	56	เกาะครก	0.20	56	
	-	-	-	เกาะสาก	1.90	53	
	-	-	-	เกาะริ้น	1.02	79	
เปลี่ยนฤดูครั้งที่ 1	เกาะไผ่	6.33	47	เกาะไผ่	2.14	47	4.8e
	เกาะกลึงบาดาล	1.77	69	-	-	-	
	เกาะหูช้าง	0.27	69	-	-	-	
	-	-	-	เกาะมารวิชัย	3.50	60	
	-	-	-	เกาะเหลือม	1.98	43	
	-	-	-	เกาะเหลือมน้อย	0.32	89	
ตะวันตกเฉียงใต้	ต.ท่าเทววงษ์ (เกาะสีชัง)	17.62	20	ต.ท่าเทววงษ์ (เกาะสีชัง)	0.26	20	4.8f
	ทต.แหลมฉบัง	5.53	11	ทต.แหลมฉบัง	9.01	11	
	เกาะค้างคาว	2.87	22	-	-	-	
	เกาะขามใหญ่	2.73	42	-	-	-	
	เกาะขามน้อย	0.66	51	-	-	-	
	เกาะท้ายตาหมื่น	0.53	57	-	-	-	
	เกาะร้านดอกไม้	0.39	49	-	-	-	
	เกาะปรง	0.36	63	-	-	-	
	เกาะยายท้าว	0.33	20	-	-	-	
	-	-	-	ต.สุรศักดิ์	1.68	102	
	-	-	-	ต.แสนสุข	0.39	113	
เปลี่ยนฤดูครั้งที่ 2	ต.ท่าเทววงษ์ (เกาะสีชัง)	10.72	9	ต.ท่าเทววงษ์ (เกาะสีชัง)	3.17	9	4.8g
	เกาะค้างคาว	2.54	8	เกาะค้างคาว	0.22	8	
	เกาะขามใหญ่	0.55	73	เกาะขามใหญ่	0.61	73	

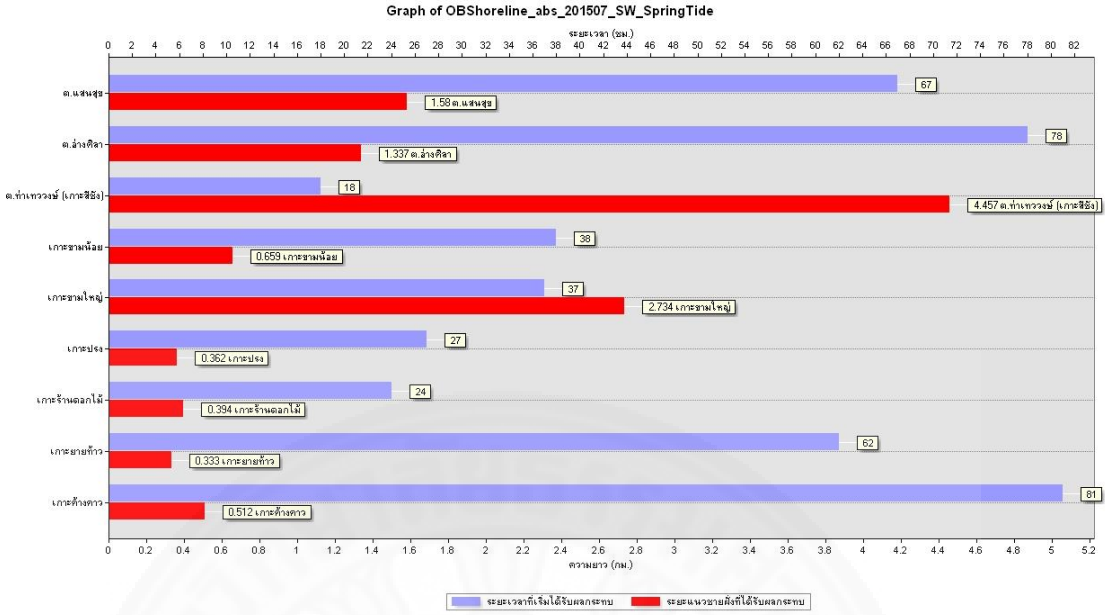
ฤดูมรสุม	Best guess			Uncertainty			ภาพที่
	แนวชายฝั่งที่ได้รับผลกระทบ	ระยะทาง (กม.)	ระยะเวลา (ชม.)*	แนวชายฝั่งที่ได้รับผลกระทบ	ระยะทาง (กม.)	ระยะเวลา (ชม.)*	
	เกาะท้ายตาหมื่น	0.53	15	-	-	-	
	เกาะยายท้าว	0.33	10	-	-	-	
	เกาะร้านดอกไม้	0.54	62	-	-	-	

* ระยะเวลาที่เริ่มได้รับผลกระทบจากคราบน้ำมันที่รั่วไหลจากจุดทดสอบ

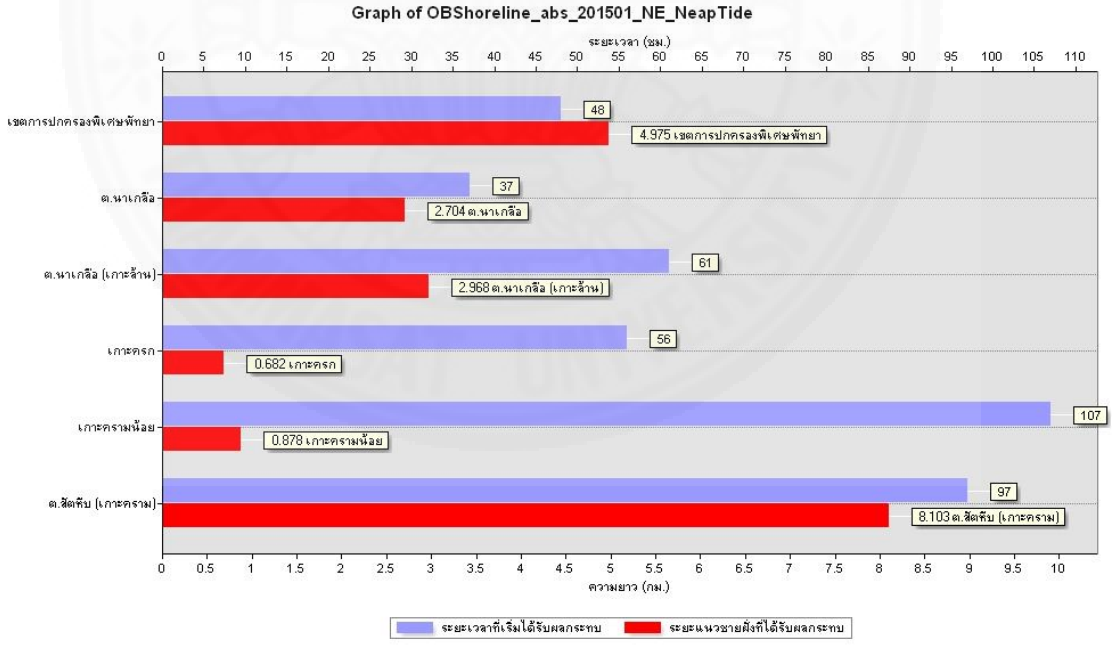
จากตารางผลการวิเคราะห์แนวชายฝั่งที่ได้รับผลกระทบจากคราบน้ำมันดังกล่าวข้างต้น สามารถแสดงผลในรูปแบบแผนภูมิแสดงผลการวิเคราะห์แนวชายฝั่งที่ได้รับผลกระทบ ทั้งในเชิงพื้นที่และเวลา ตามฤดูมรสุม และช่วงน้ำเป็น-น้ำตาย ดังแสดงในภาพที่ 4.5a ถึง 4.5f



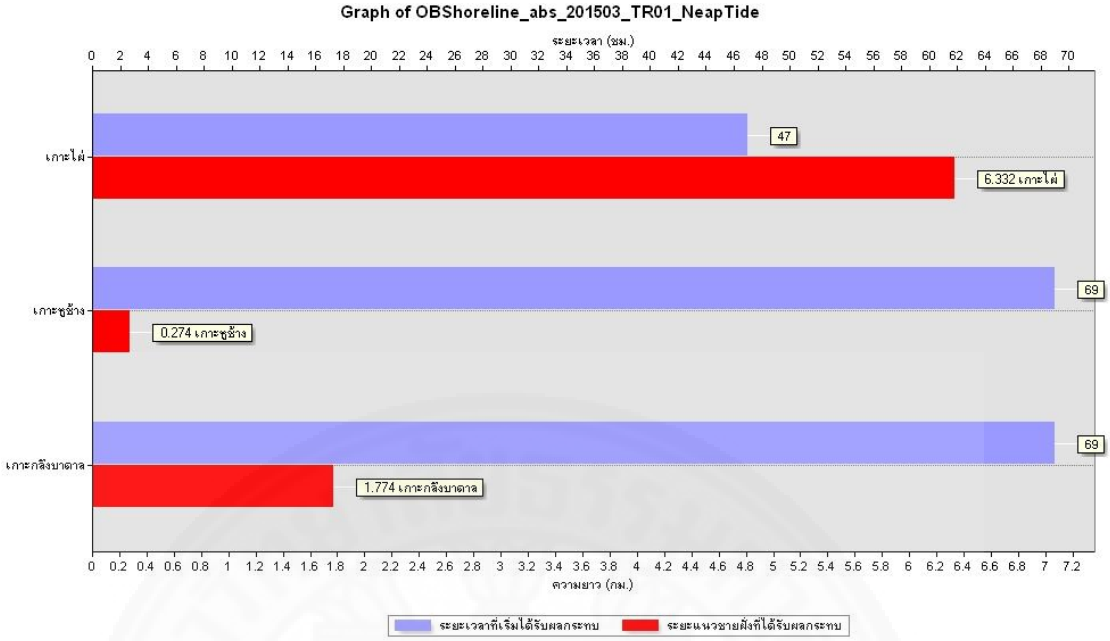
ภาพที่ 4.5a แผนภูมิแสดงผลการวิเคราะห์แนวชายฝั่งที่ได้รับผลกระทบ ช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุมครั้งที่ 1 ช่วงน้ำเป็น



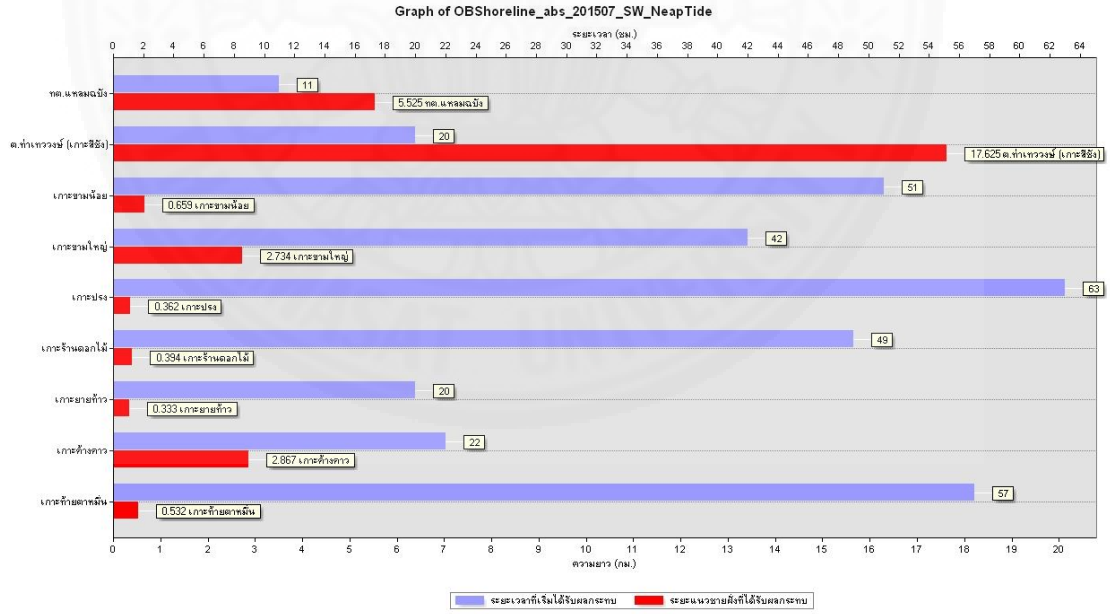
ภาพที่ 4.5b แผนภูมิแสดงผลการวิเคราะห์แนวชายฝั่งที่ได้รับผลกระทบ ฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ช่วงน้ำเป็น



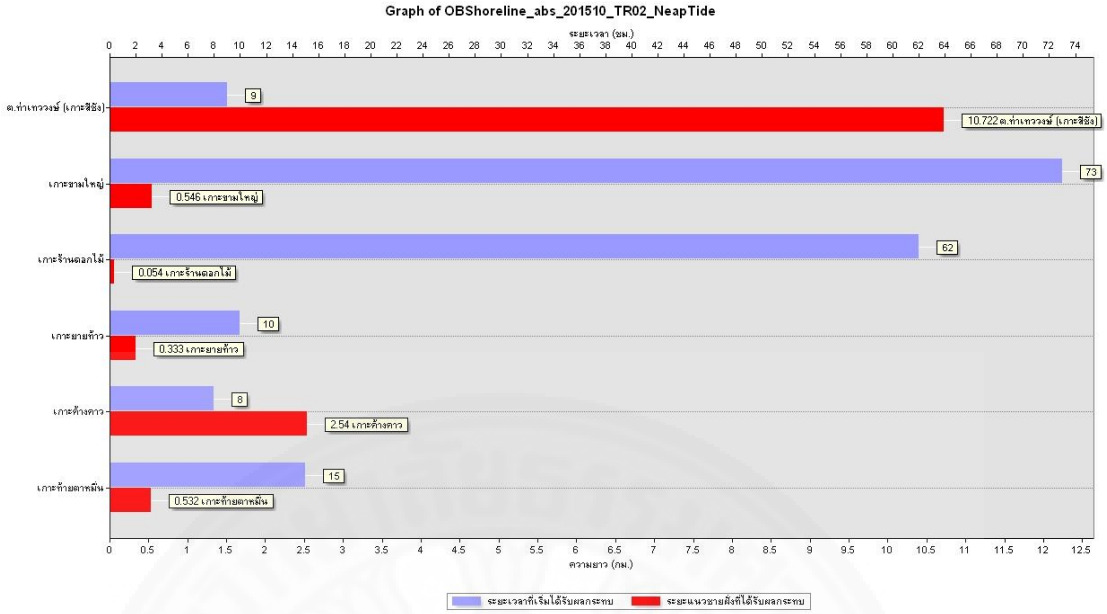
ภาพที่ 4.5c แผนภูมิแสดงผลการวิเคราะห์แนวชายฝั่งที่ได้รับผลกระทบ ฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ช่วงน้ำตาย



ภาพที่ 4.5d แผนภูมิแสดงผลการวิเคราะห์แนวชายฝั่งที่ได้รับผลกระทบ ช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุมครั้งที่ 1 ช่วงน้ำตาย



ภาพที่ 4.5e แผนภูมิแสดงผลการวิเคราะห์แนวชายฝั่งที่ได้รับผลกระทบ ฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ช่วงน้ำตาย



ภาพที่ 4.5f แผนภูมิแสดงผลการวิเคราะห์แนวชายฝั่งที่ได้รับผลกระทบ ช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุมครั้งที่ 2 ช่วงน้ำตาย

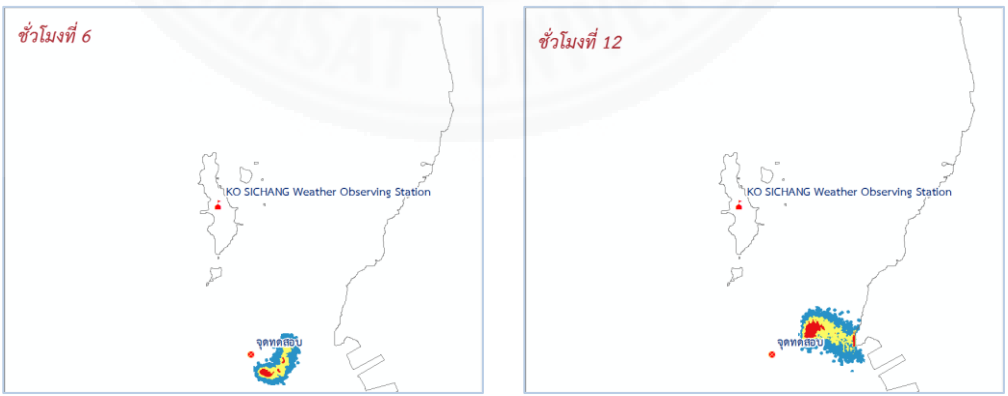
จากตารางที่ 4.1 ผลการคาดการณ์การเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันจากแบบจำลอง GNOME ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์แนวชายฝั่งที่ได้รับผลกระทบจากคราบน้ำมัน ในช่วงน้ำเป็น และตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์แนวชายฝั่งที่ได้รับผลกระทบจากคราบน้ำมัน ในช่วงตาย สามารถสรุประยะทางที่คราบน้ำมันเคลื่อนที่ได้ไกลที่สุด และระยะแนวชายฝั่งที่ได้รับผลกระทบมากที่สุด จำแนกตามฤดูมรสุม ดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ระยะทางที่คราบน้ำมันเคลื่อนที่ได้ไกลที่สุด และระยะแนวชายฝั่งที่ได้รับผลกระทบมากที่สุด

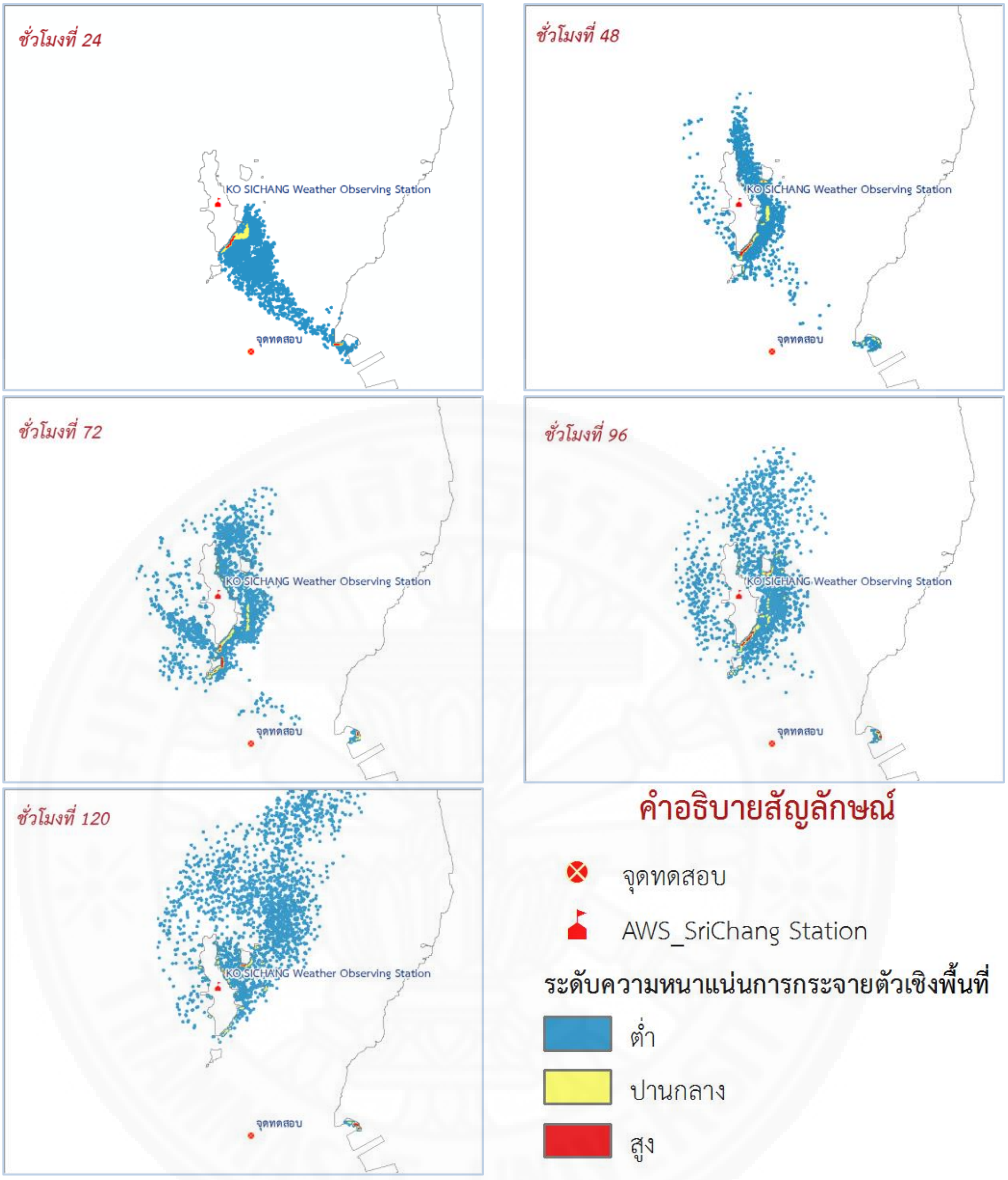
ฤดูมรสุม	ระยะทางที่คราบน้ำมันเคลื่อนที่ได้ไกลที่สุด	แนวชายฝั่งที่ได้รับผลกระทบมากที่สุด	ภาพที่
ตะวันออกเฉียงเหนือ	ทิศทาง: ตะวันตกเฉียงใต้ ระยะทาง: 43.2 กม. ช่วงน้ำตาย	แนวชายฝั่ง: ต.สัตหีบ (เกาะคราม) ระยะแนวชายฝั่ง: 8.1 กม. เวลา: 97 ชม. ช่วงน้ำตาย	4.3b, 4.7e และ 4.8d
เปลี่ยนฤดูครั้งที่ 1	ทิศทาง: ตะวันตกเฉียงเหนือ ระยะทาง: 25.2 กม. ช่วงน้ำเป็น	แนวชายฝั่ง: ต.ท่าเทววงษ์ (เกาะสีชัง) ระยะแนวชายฝั่ง: 15.44 กม. เวลา: 14 ชม. ช่วงน้ำเป็น	4.3c, 4.7b และ 4.8b

ฤดูมรสุม	ระยะทางที่คราบน้ำมันเคลื่อนที่ได้ไกลที่สุด	แนวชายฝั่งที่ได้รับผลกระทบมากที่สุด	ภาพที่
ตะวันตกเฉียงใต้	ทิศทาง: ตะวันออกเฉียงเหนือ ระยะทาง: 41.2 กม. ช่วงน้ำเป็น	แนวชายฝั่ง: ต.ท่าเทววงษ์ (เกาะสีชัง) ระยะแนวชายฝั่ง: 17.62 กม. เวลา: 20 ชม. ช่วงน้ำตาย	4.3e, 4.7c และ 4.8f
เปลี่ยนฤดูครั้งที่ 2	ทิศทาง: ตะวันตกเฉียงใต้ ระยะทาง: 83.3 กม. ช่วงน้ำเป็น	แนวชายฝั่ง: ต.ท่าเทววงษ์ (เกาะสีชัง) ระยะแนวชายฝั่ง: 10.72 กม. เวลา: 9 ชม. ช่วงน้ำตาย	4.3g, 4.7d และ 4.8g

4.3.2 การวิเคราะห์ความหนาแน่นการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของคราบน้ำมัน จากขั้นตอนการตัดแบ่งข้อมูลผลลัพธ์การกระจายตัวของคราบน้ำมันจากแบบจำลองทุกๆ ช่วง 6 ชั่วโมง แล้วคำนวณความหนาแน่นของการกระจายตัว โดยแสดงผลความหนาแน่นที่ 3 ระดับ พบว่า สามารถแสดงผลระดับความหนาแน่นของการกระจายตัวในแต่ละช่วง 6 ชั่วโมง ซึ่งทำให้เห็นลักษณะของการเคลื่อนที่และกระจายตัวของคราบน้ำมันจากจุดทดสอบในเชิงอนุกรมเวลา โดยการกระจายตัวของคราบน้ำมันในบริเวณนอกชายฝั่ง มีลักษณะการกระจายตัวมากขึ้นตามช่วงเวลาที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่เมื่อคราบน้ำมันเคลื่อนที่ปะทะชายฝั่งแล้ว ความหนาแน่นของคราบน้ำมันในระดับสูงจะรวมอยู่บริเวณแนวชายฝั่ง และกระจายตัวในระดับความหนาแน่นปานกลาง และต่ำ เมื่อระยะห่างจากชายฝั่งเพิ่มมากขึ้น ตามทิศทางการเคลื่อนที่และกระจายตัวของคราบน้ำมัน ดังตัวอย่างแสดงในภาพที่ 4.6 (การเคลื่อนที่และการกระจายตัวของคราบน้ำมันในแต่ละฤดูมรสุมแสดงในภาคผนวก ค)



ภาพที่ 4.6 ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ความหนาแน่นการกระจายตัวของคราบน้ำมันด้วยเทคนิค เคอร์เนล เดนซิตี้



ภาพที่ 4.6 (ต่อ) ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ความหนาแน่นการกระจายตัวของคราบน้ำมันด้วยเทคนิคเคอร์เนล เดนซิตี้

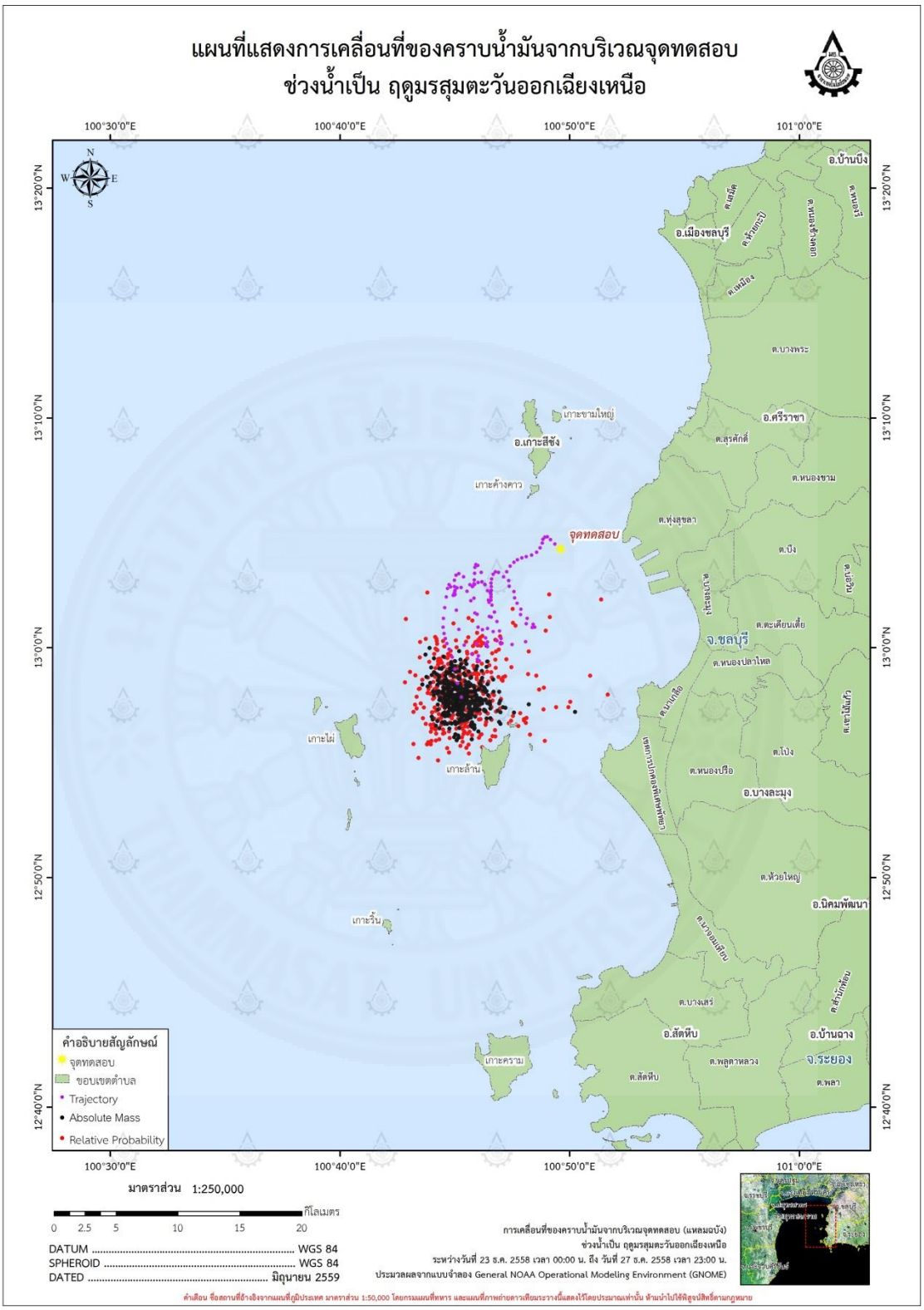
4.3.3 การวิเคราะห์ระดับความเสี่ยงของแนวชายฝั่ง จากขั้นตอนวิเคราะห์ข้อมูลการเกิดซ้ำของการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของคราบน้ำมันที่มีสถานะขึ้นชายหาดทั้งสี่ฤดูมรสุม ด้วยเทคนิคเคอร์เนล เดนซิตี้ และแสดงผลที่ระดับความเสี่ยง 3 ระดับ เพื่อประเมินระดับความเสี่ยงของแนวชายฝั่งที่ได้รับผลกระทบจากคราบน้ำมัน พบว่า

4.3.3.1 แนวชายฝั่งที่ได้รับผลกระทบจากคราบน้ำมันในระดับความเสี่ยงสูง ได้แก่ ชายฝั่งด้านทิศตะวันออกเฉียงใต้ของเกาะสีชัง ชายฝั่งด้านทิศใต้ของเกาะขามใหญ่ และชายฝั่งด้านทิศตะวันออกของเกาะค้างคาว ดังแสดงในภาพที่ 4.9a

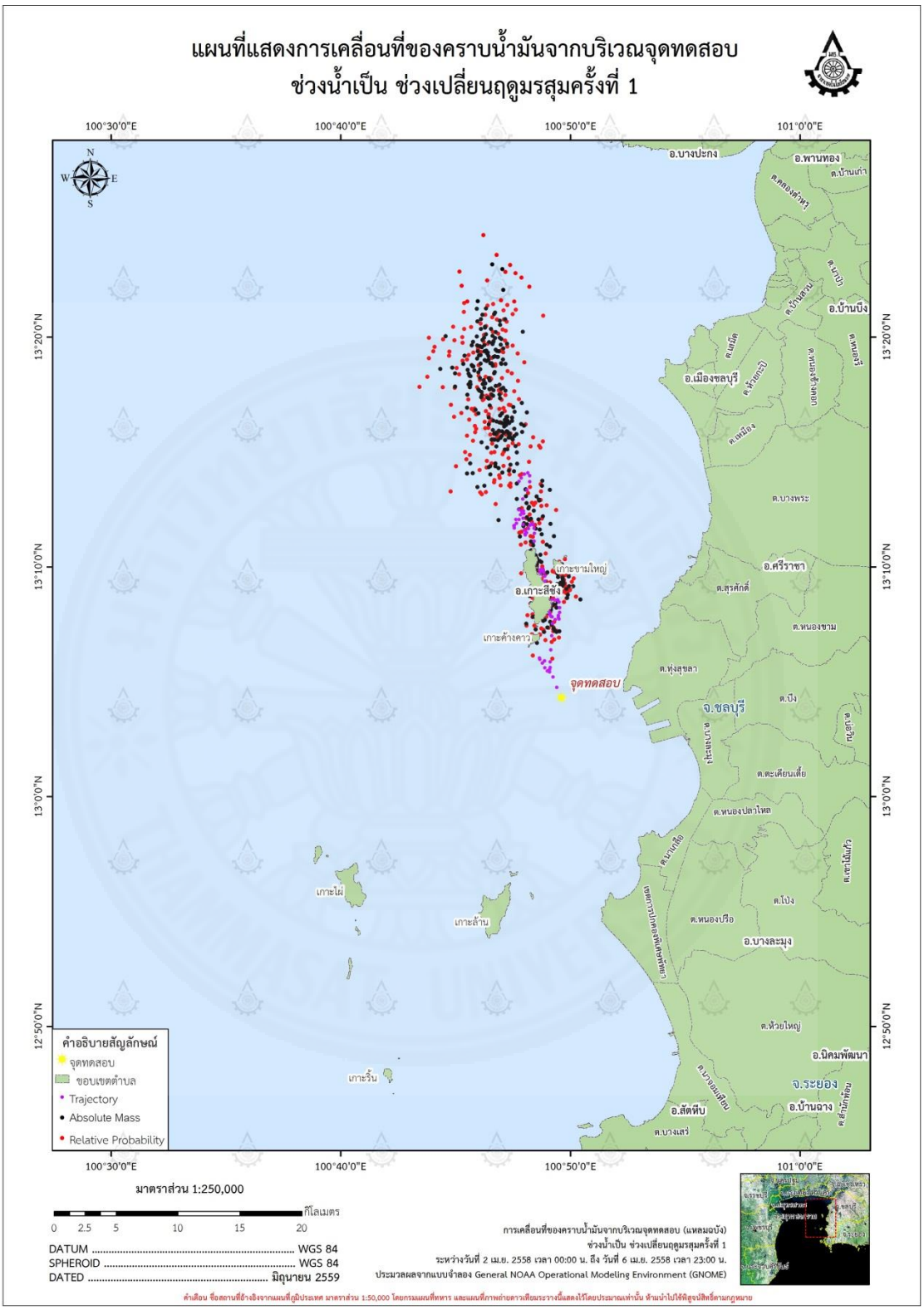
4.3.3.2 แนวชายฝั่งที่ได้รับผลกระทบจากคราบน้ำมันในระดับความเสี่ยงปานกลาง ได้แก่ ชายฝั่งด้านทิศตะวันออกเฉียงเหนือ และทิศใต้ของเกาะสีชัง ชายฝั่งด้านทิศตะวันออกของเกาะค้างคาว ชายฝั่งด้านทิศใต้ของเกาะขามน้อย เกาะปรง และเกาะร้านดอกไม้ ชายฝั่งบริเวณท่าเรือแหลมฉบัง ต.ทุ่งสุขลา อ.ศรีราชา และชายฝั่ง ดังแสดงในภาพที่ 4.9a และ 4.9b

4.3.3.3 แนวชายฝั่งที่ได้รับผลกระทบจากคราบน้ำมันในระดับความเสี่ยงต่ำ ได้แก่ ชายฝั่งบริเวณด้านทิศเหนือของ ต.แสนสุข อ.เมืองชลบุรี ชายฝั่งด้านทิศตะวันตกของเกาะสีชัง และเกาะค้างคาว ชายฝั่งโดยรอบของเกาะขามใหญ่ เกาะขามน้อย เกาะปรง และเกาะร้านดอกไม้ ชายฝั่งด้านทิศตะวันออกของเกาะล้าน เกาะครก ชายฝั่งด้านทิศใต้ของ ต.นาเกลือ อ.บางละมุง ชายฝั่งตอนกลางของเขตการปกครองพิเศษพัทยา ชายฝั่งโดยรอบเกาะครามน้อย และชายฝั่งด้านทิศเหนือของเกาะคราม ดังแสดงในภาพที่ 4.9a 4.9b และ 4.9c

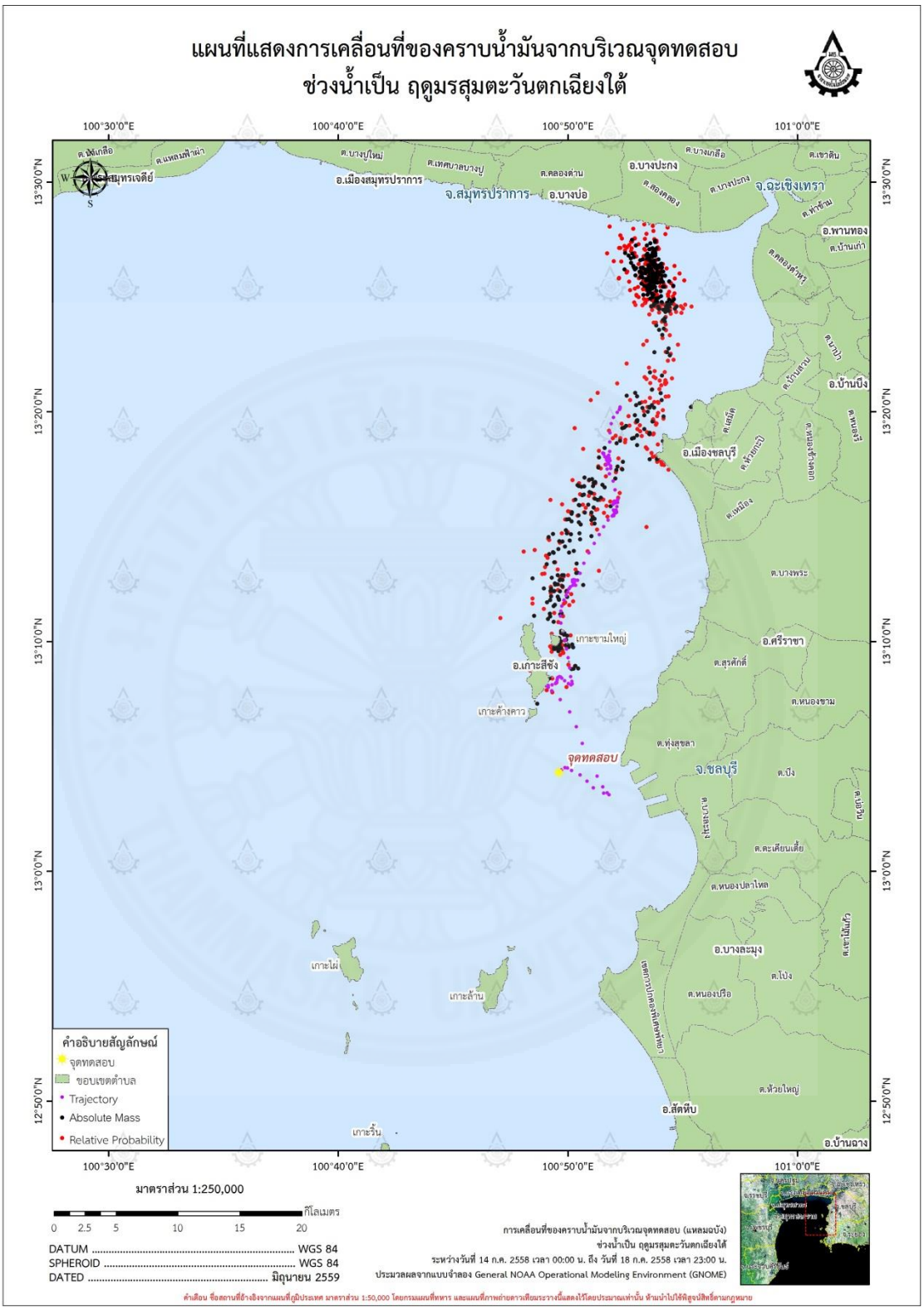
4.4 การจัดทำแผนที่แสดงผลการศึกษา จากขั้นตอนการสร้างแผนที่เฉพาะเรื่องจากข้อมูลผลการวิเคราะห์การกระจายตัวของคราบน้ำมันจากแบบจำลอง GNOME และผลการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ พบว่า สามารถจัดทำแผนที่เฉพาะเรื่องแสดงผลการศึกษา ซึ่งประกอบด้วย แผนที่แสดงการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันจากจุดทดสอบ แผนที่แสดงแนวชายฝั่งที่ได้รับผลกระทบจากคราบน้ำมัน และแผนที่แสดงระดับความเสี่ยงของแนวชายฝั่งที่ได้รับผลกระทบจากคราบน้ำมัน ดังแสดงในภาพที่ 4.7a ถึง 4.9c



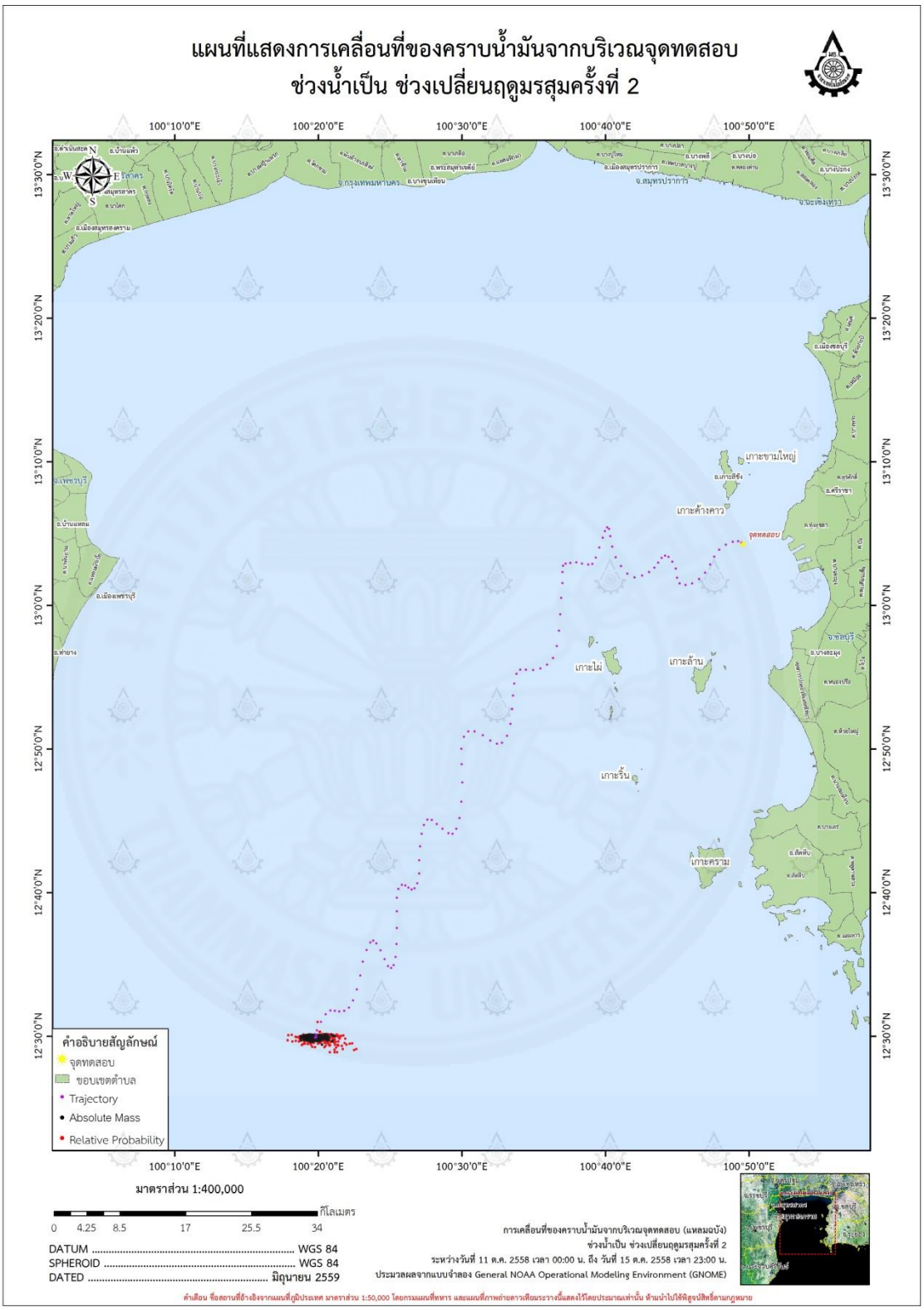
ภาพที่ 4.7a แผนที่แสดงการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันจากจุดทดสอบ ช่วงน้ำเป็น ฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ



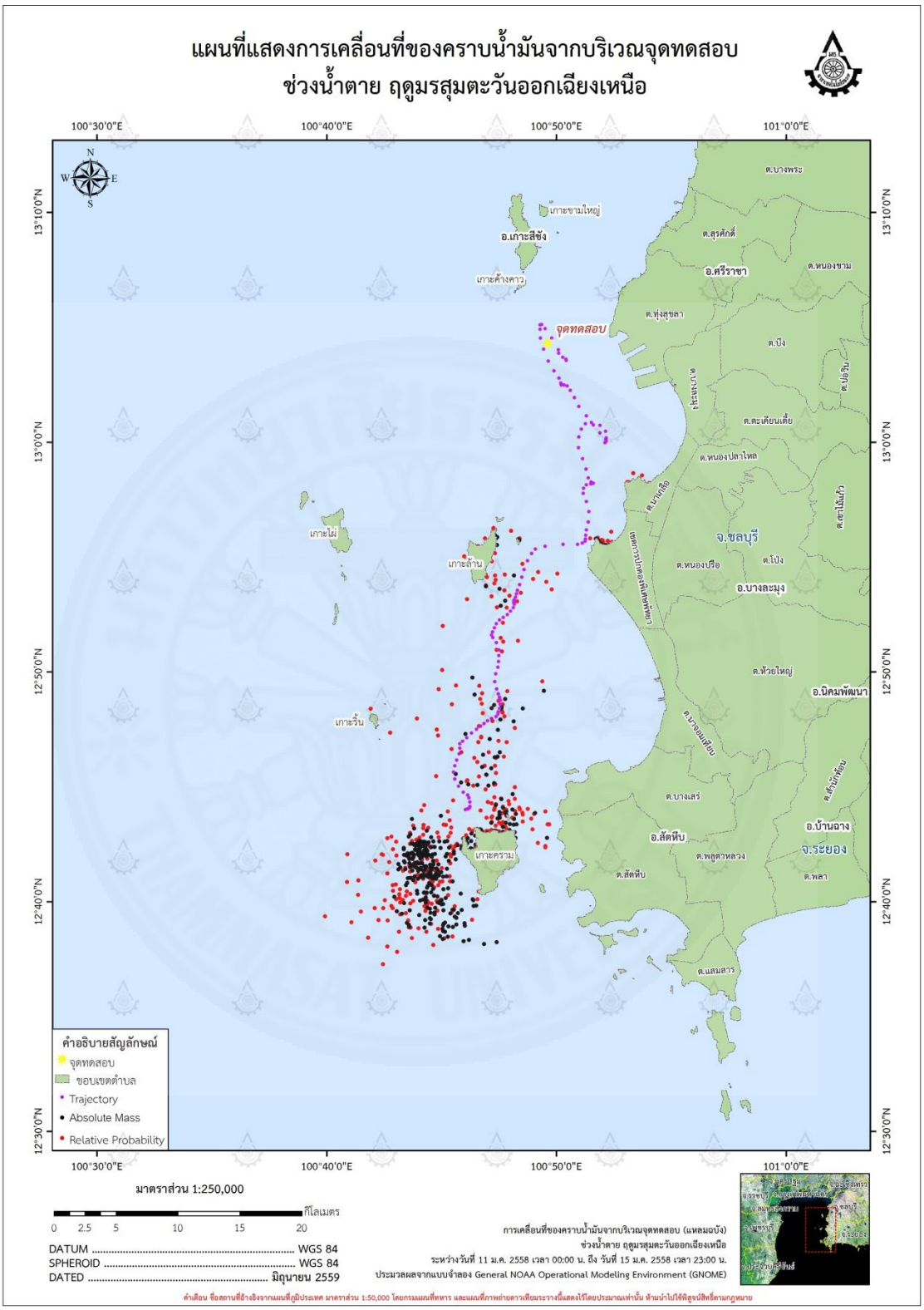
ภาพที่ 4.7b แผนที่แสดงการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันจากจุดทดสอบ ช่วงน้ำเป็น ช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุม ครั้งที่ 1



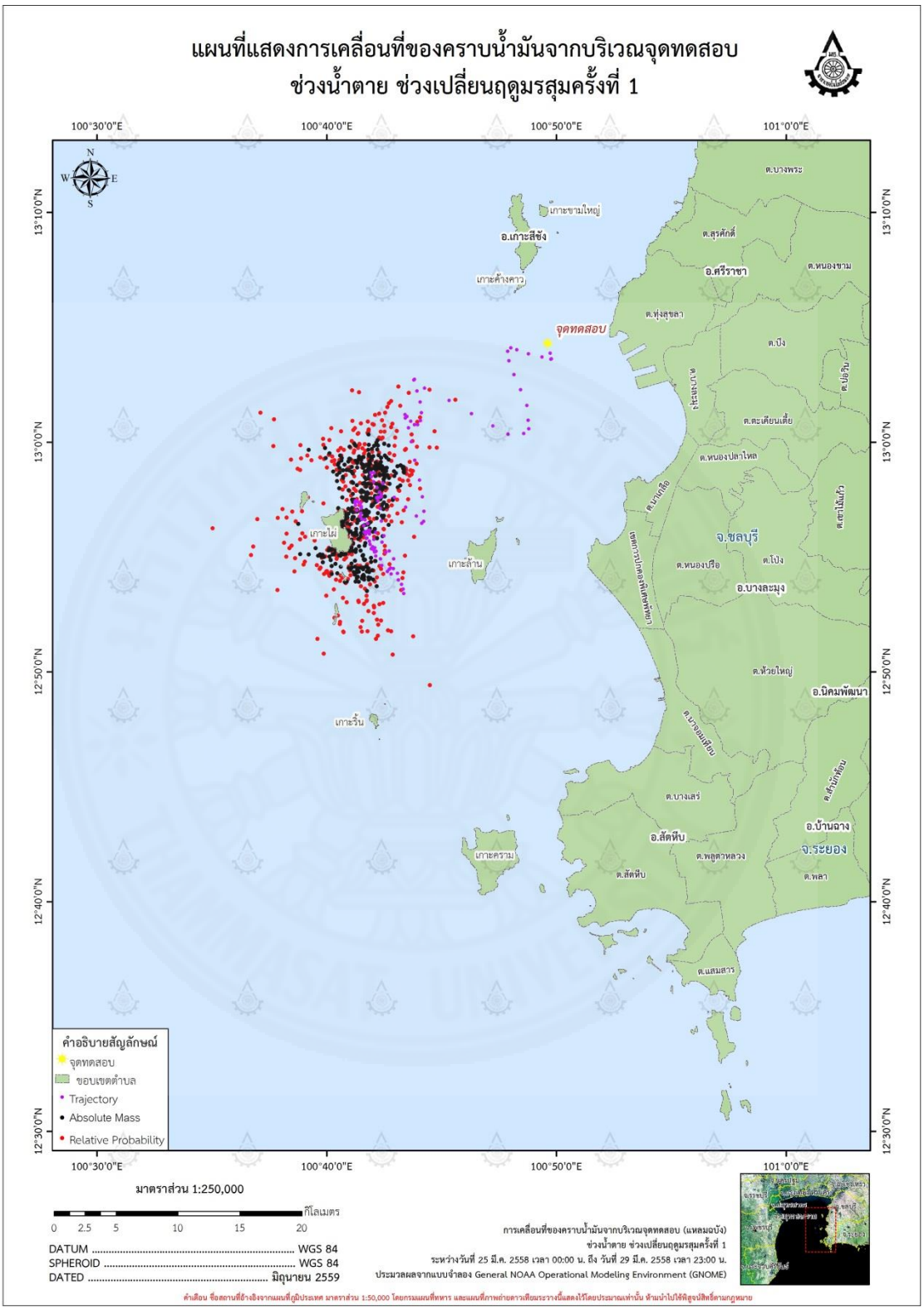
ภาพที่ 4.7c แผนที่แสดงการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันจากจุดทดสอบ ช่วงน้ำเป็น ฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้



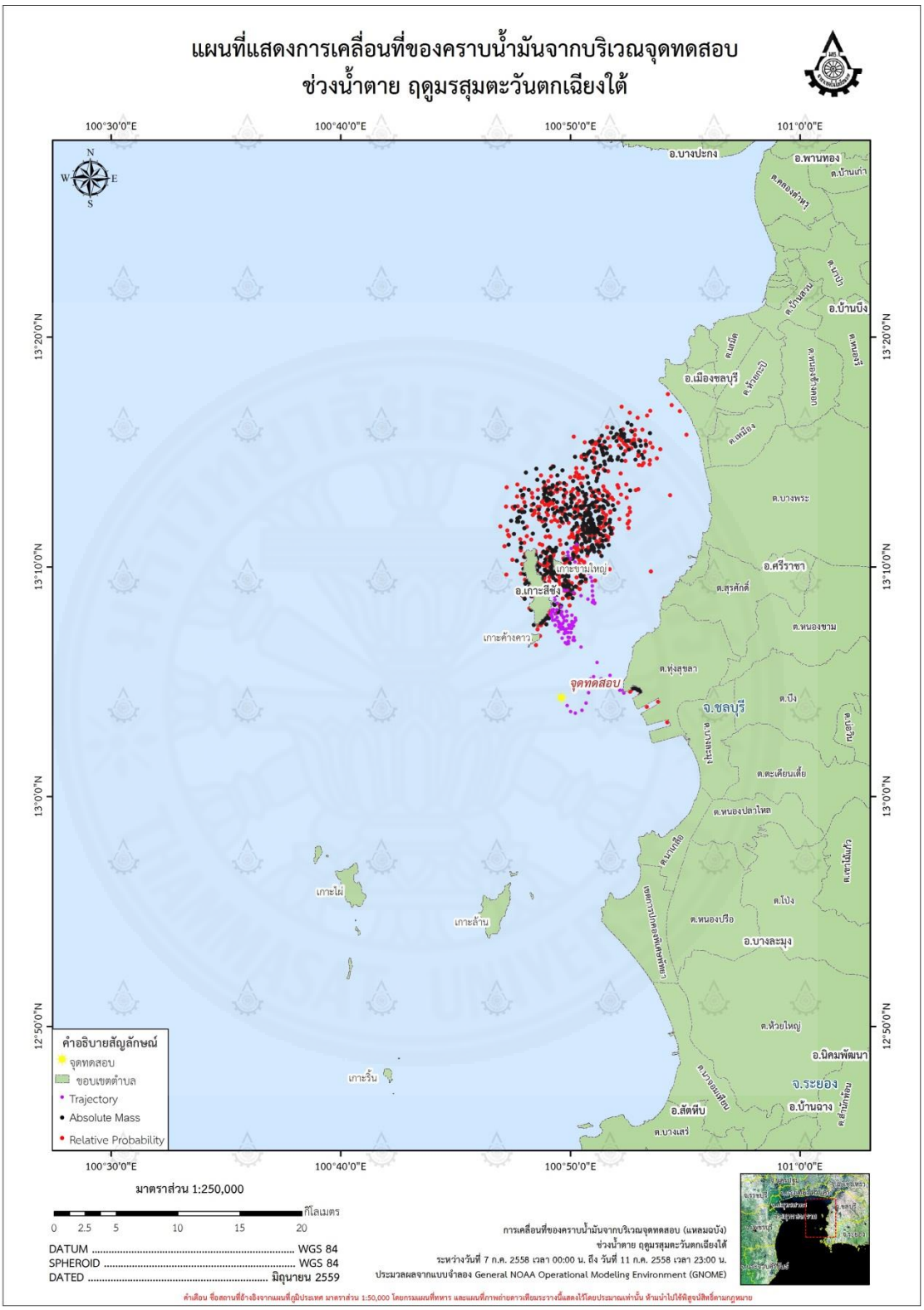
ภาพที่ 4.7d แผนที่แสดงการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันจากจุดทดสอบ ช่วงน้ำเป็น ช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุมครั้งที่ 2



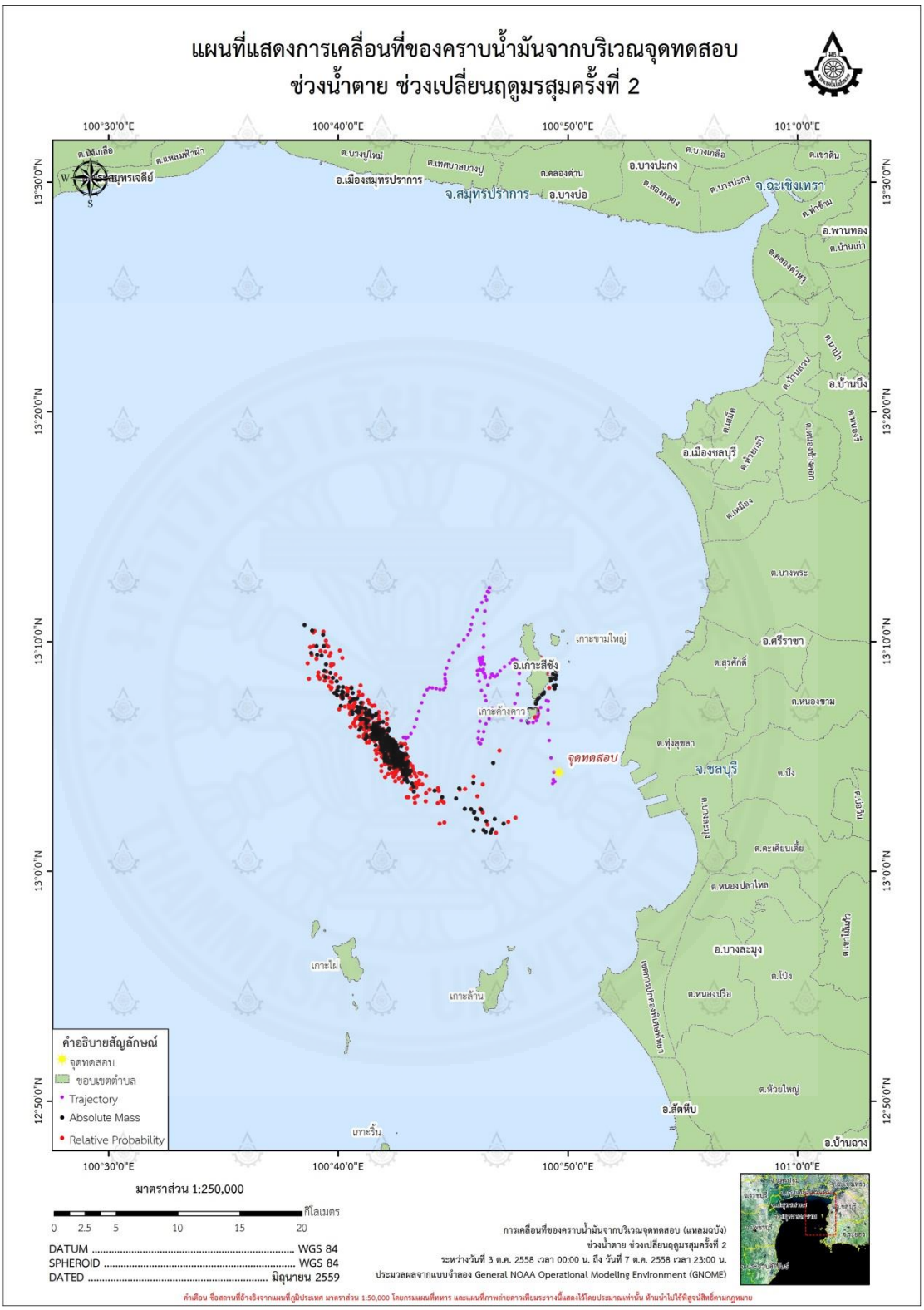
ภาพที่ 4.7e แผนที่แสดงการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันจากจุดทดสอบ ช่วงน้ำตาย ฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ



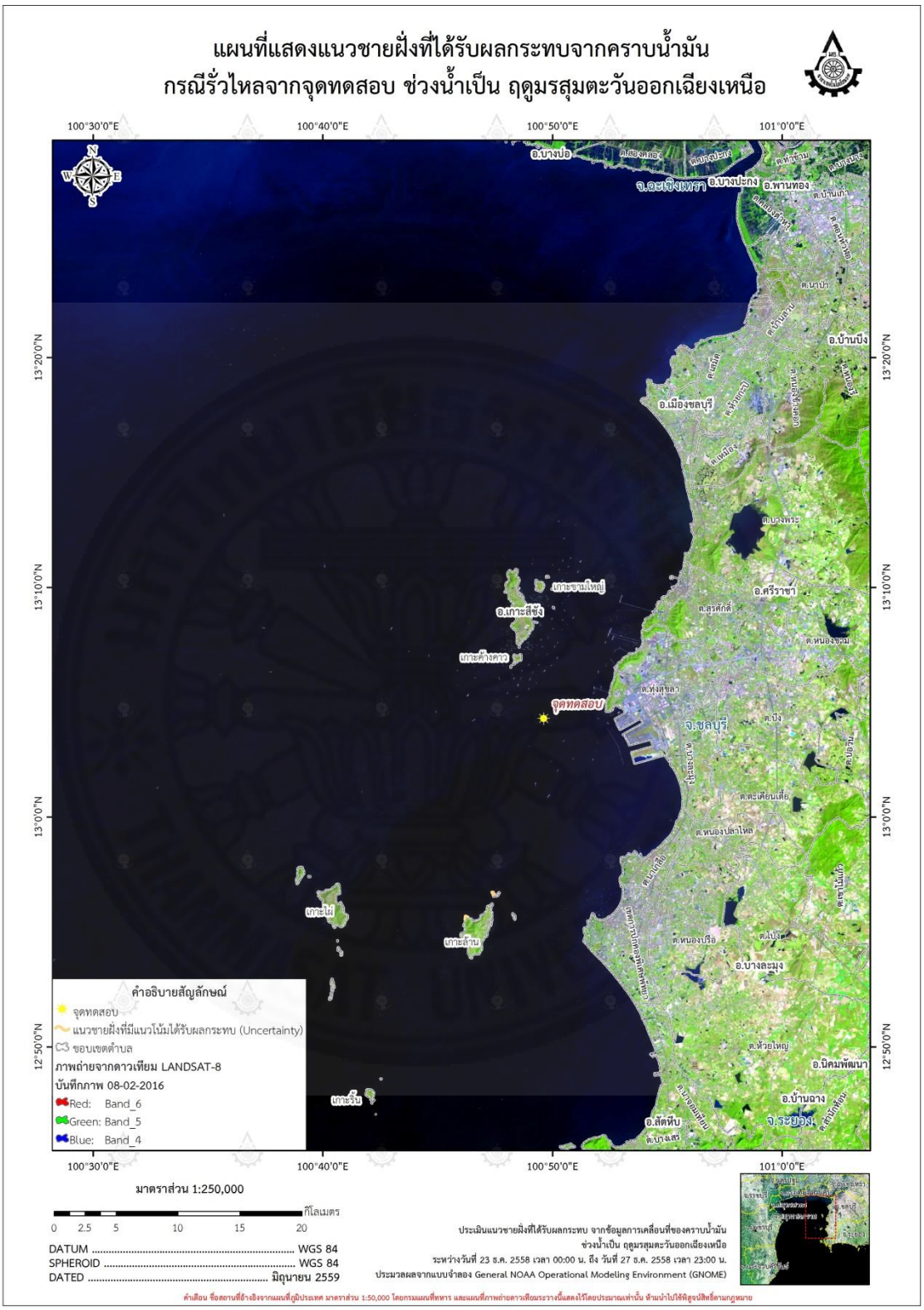
ภาพที่ 4.7f แผนที่แสดงการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันจากจุดทดสอบ ช่วงน้ำตาย ช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุม ครั้งที่ 1



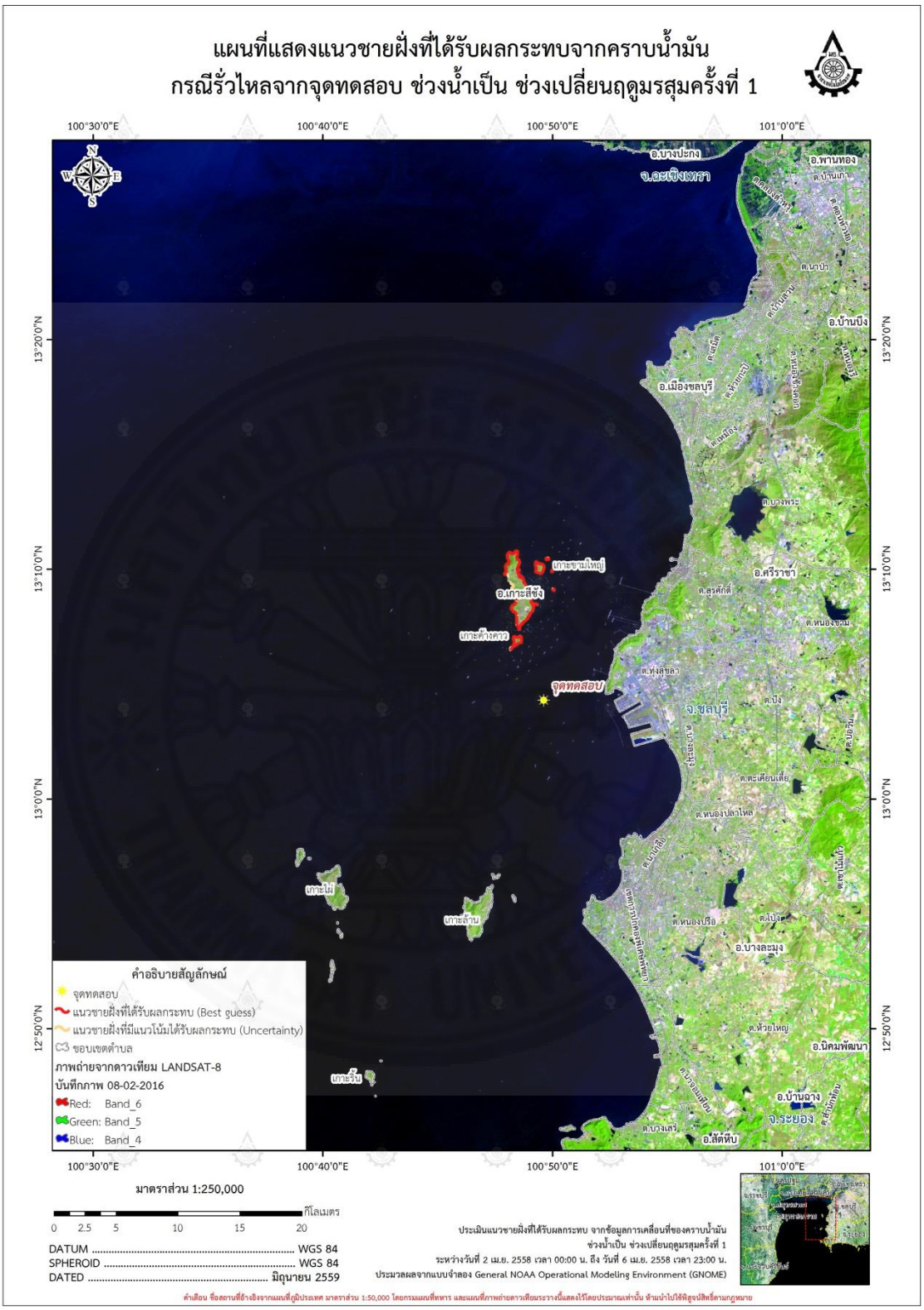
ภาพที่ 4.7g แผนที่แสดงการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันจากจุดทดสอบ ช่วงน้ำตาย ฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้



ภาพที่ 4.7h แผนที่แสดงการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันจากจุดทดสอบ ช่วงน้ำตาย ช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุม ครั้งที่ 2

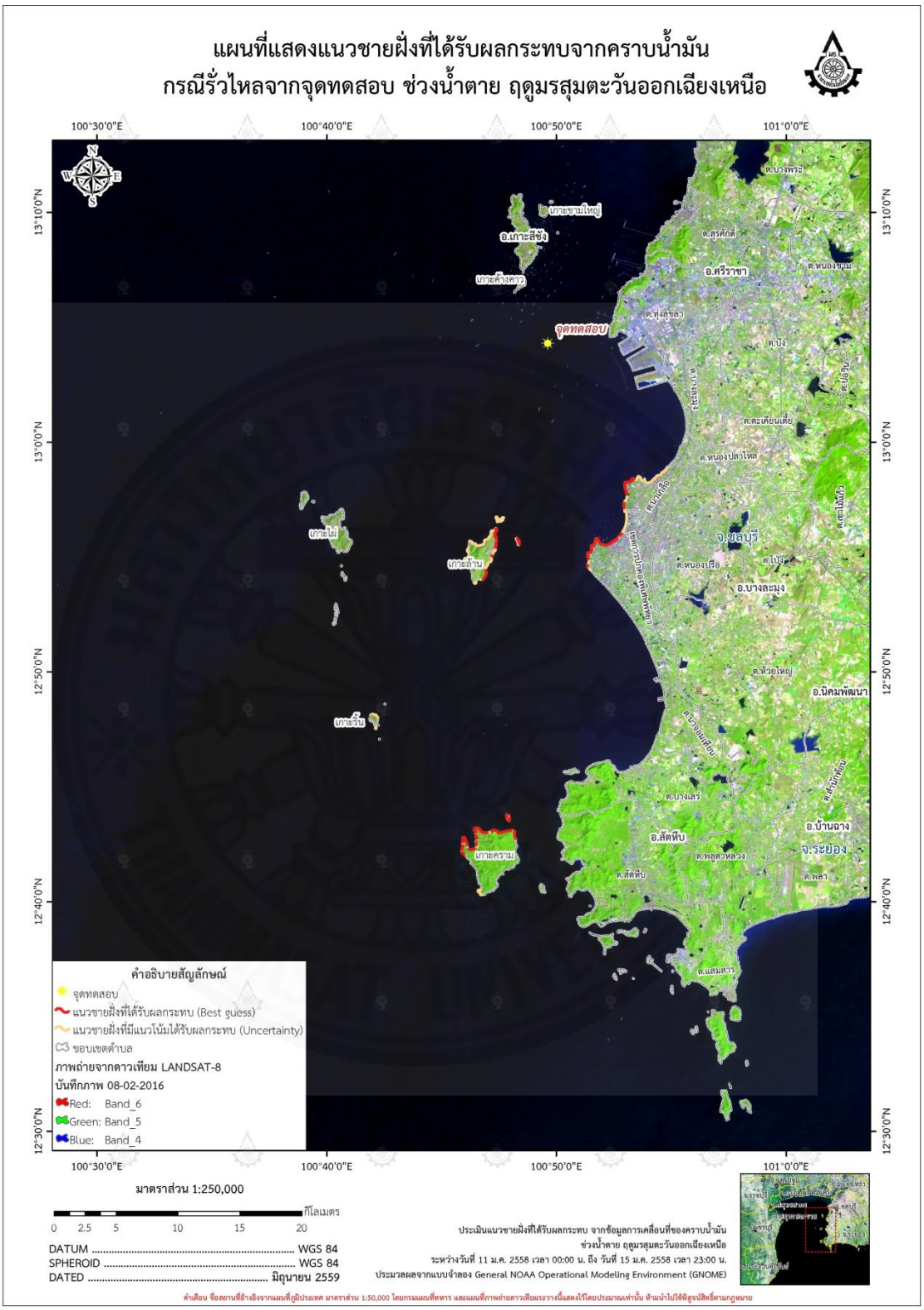


ภาพที่ 4.8a แผนที่แสดงแนวชายฝั่งที่ได้รับผลกระทบจากคราบน้ำมัน ช่วงน้ำเป็น ฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ

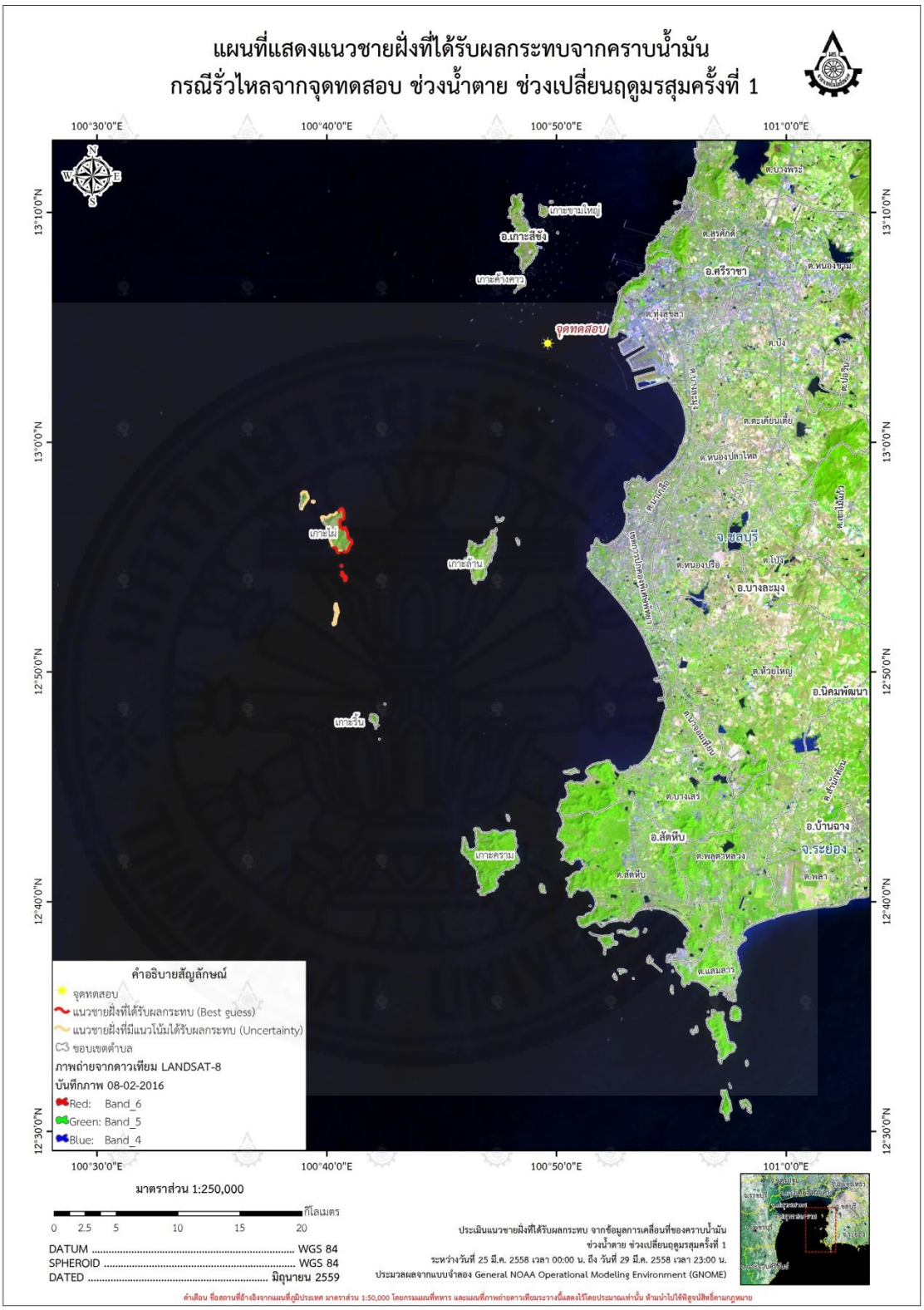


ภาพที่ 4.8b แผนที่แสดงแนวชายฝั่งที่ได้รับผลกระทบจากคราบน้ำมัน ช่วงน้ำเป็น ช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุมครั้งที่ 1

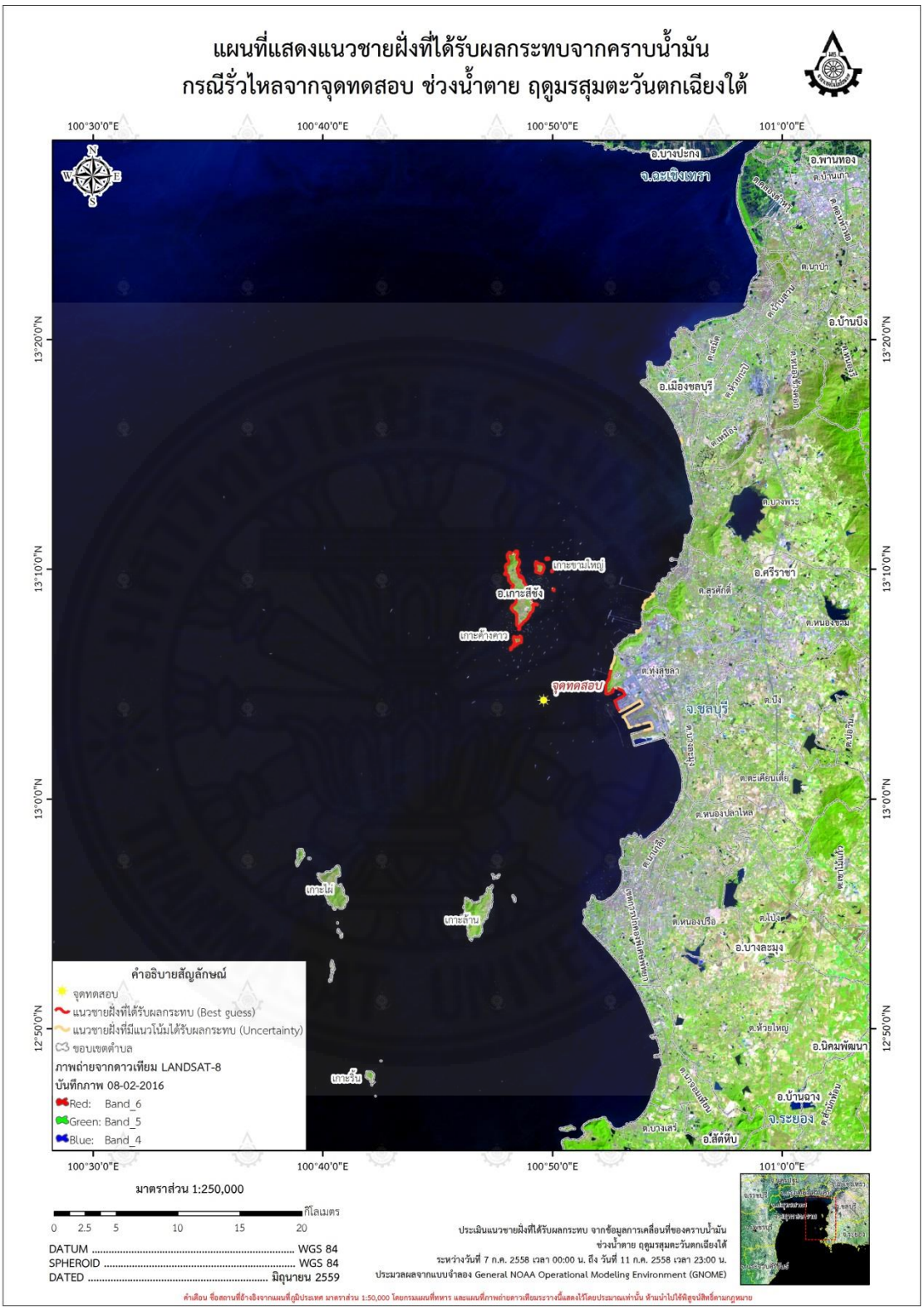
ภาพที่ 4.8c แผนที่แสดงแนวชายฝั่งที่ได้รับผลกระทบจากคราบน้ำมัน ช่วงน้ำเป็น ฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้



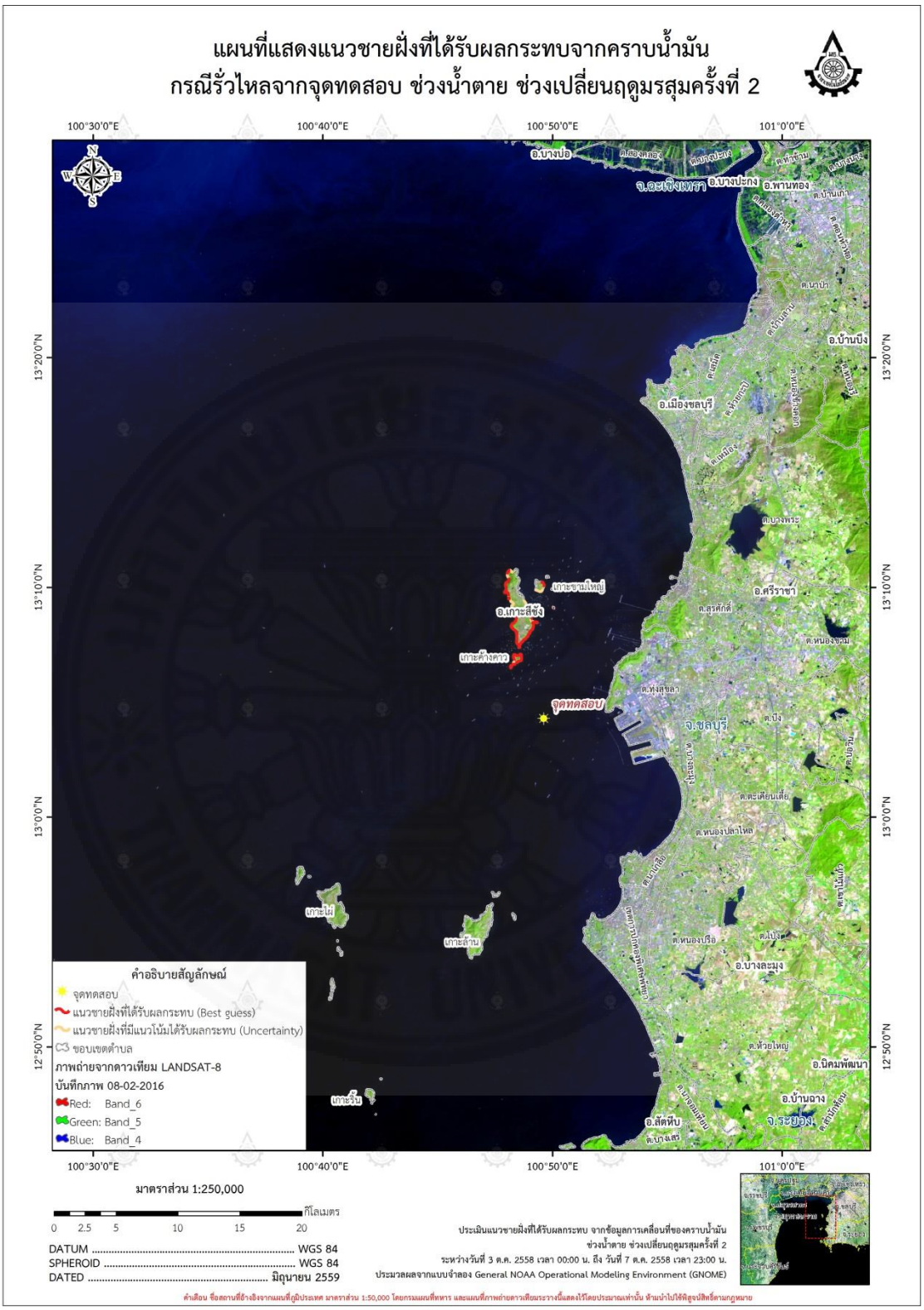
ภาพที่ 4.8d แผนที่แสดงแนวชายฝั่งที่ได้รับผลกระทบจากคราบน้ำมัน ช่วงน้ำตาย ฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ



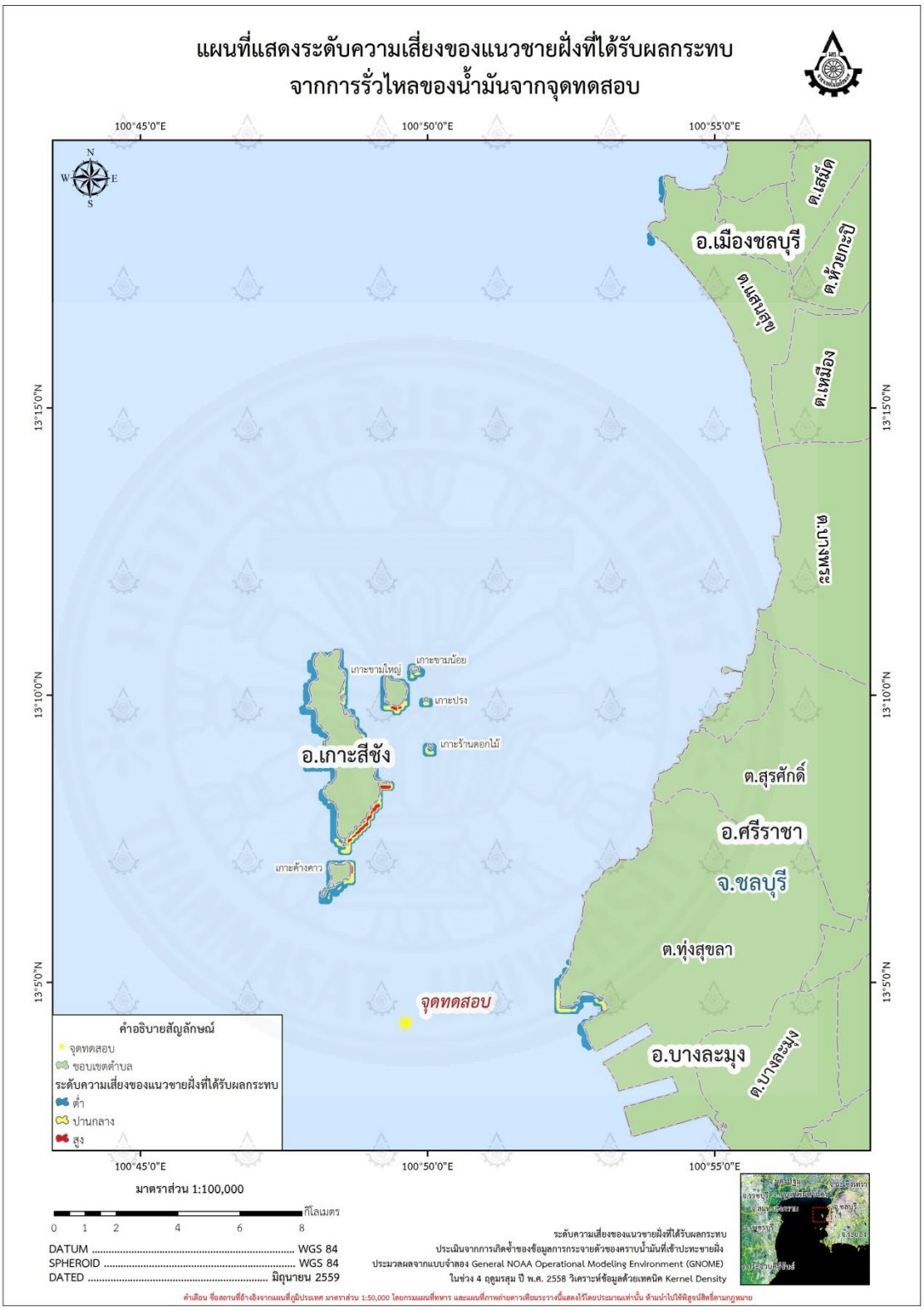
ภาพที่ 4.8e แผนที่แสดงแนวชายฝั่งที่ได้รับผลกระทบจากคราบน้ำมัน ช่วงน้ำตาย ช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุมครั้งที่ 1



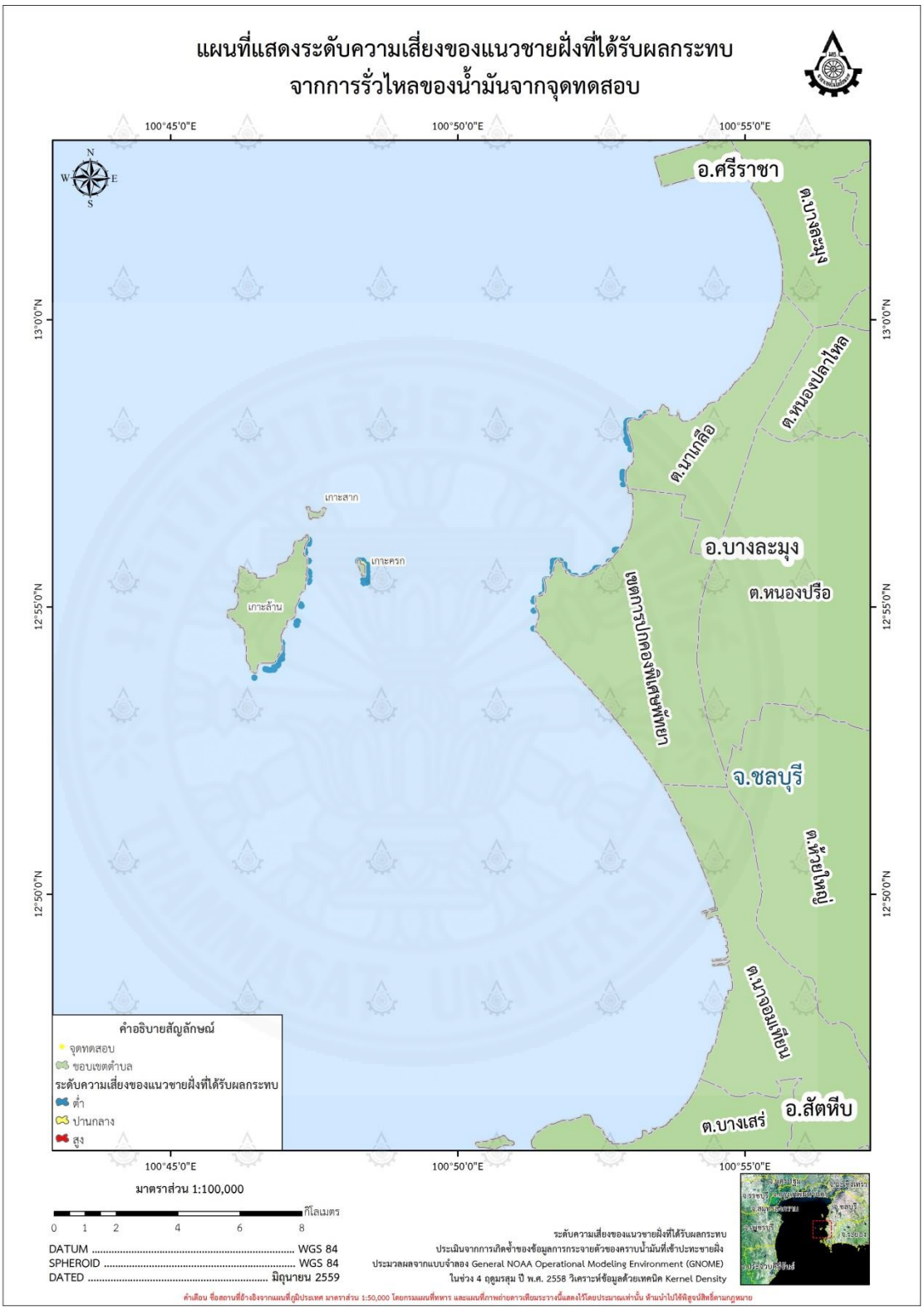
ภาพที่ 4.8f แผนที่แสดงแนวชายฝั่งที่ได้รับผลกระทบจากคราบน้ำมัน ช่วงน้ำตาย ฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้



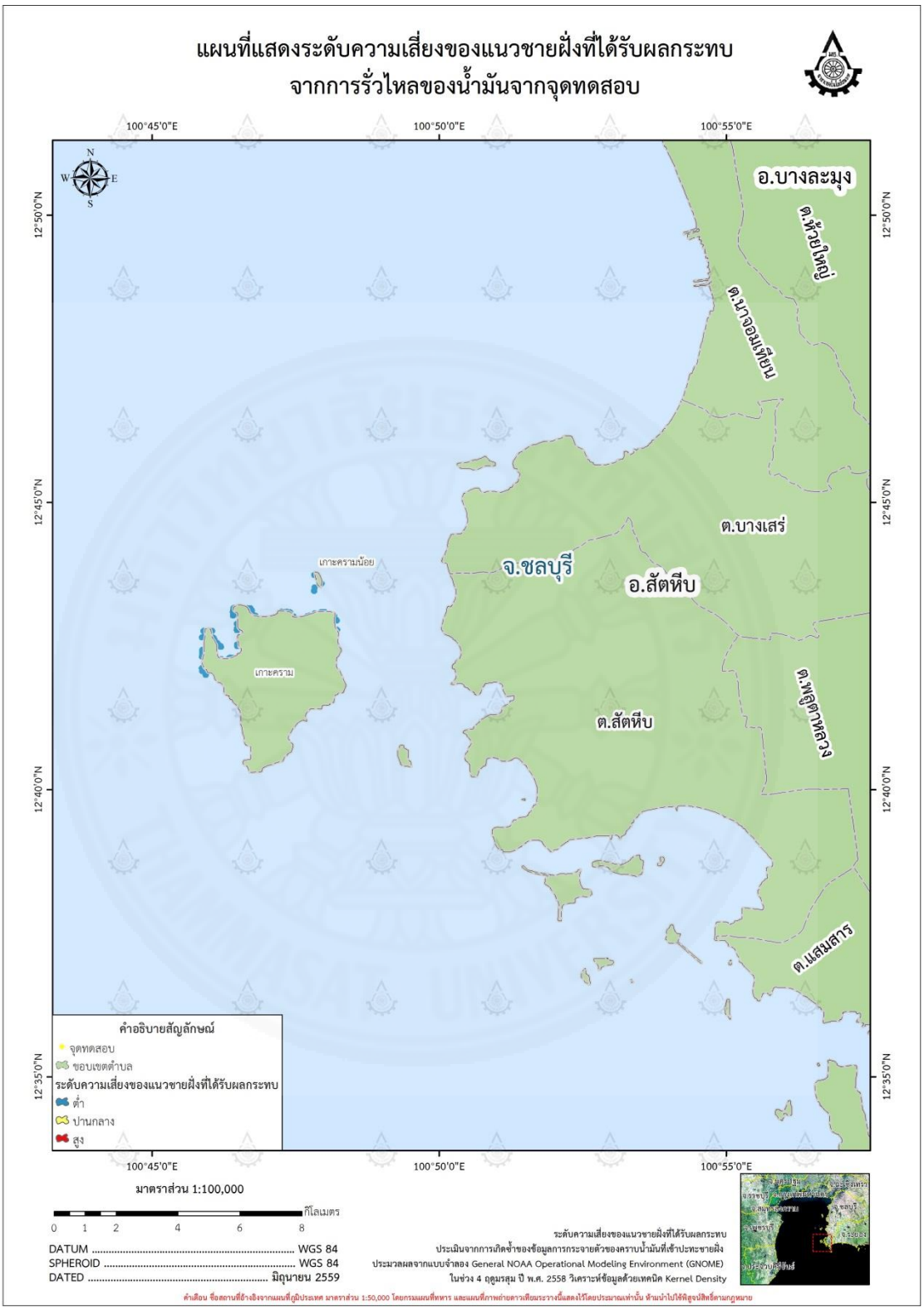
ภาพที่ 4.8ฐ แผนที่แสดงแนวชายฝั่งที่ได้รับผลกระทบจากคราบน้ำมัน ช่วงน้ำตาย ช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุมครั้งที่ 2



ภาพที่ 4.9a แผนที่แสดงระดับความเสี่ยงของแนวชายฝั่งที่ได้รับผลกระทบจากคราบน้ำมัน (ระวางที่ 1)



ภาพที่ 4.9b แผนที่แสดงระดับความเสี่ยงของแนวชายฝั่งที่ได้รับผลกระทบจากคราบน้ำมัน (ระวางที่ 2)



ภาพที่ 4.9c แผนที่แสดงระดับความเสี่ยงของแนวชายฝั่งที่ได้รับผลกระทบจากคราบน้ำมัน (ระวางที่ 3)

4.5 อภิปรายผล

จากผลการคาดการณ์การเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันในทะเลด้วยแบบจำลอง GNOME ในช่วงระยะเวลา 5 วัน โดยใช้ข้อมูลความเร็วและทิศทางกระแสน้ำผิวหน้ารายชั่วโมงจากระบบเรดาร์คลื่นวิทยุความถี่สูง ข้อมูลความเร็วและทิศทางลมรายชั่วโมงจากสถานีตรวจอากาศอัตโนมัติ พร้อมกำหนดค่าการแพร่กระจายในแนวราบของน้ำมัน ครอบคลุมช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ มรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุมของทั้งสองฤดู รวมทั้งช่วงที่เป็นช่วงน้ำเป็น และน้ำตาย พบว่ารูปแบบการเคลื่อนที่และกระจายตัวของคราบน้ำมันในฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ เคลื่อนที่ไปทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ของจุดทดสอบ ในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ เคลื่อนที่ไปด้านทิศตะวันออกเฉียงเหนือ เข้าหาชายฝั่งจังหวัดชลบุรี และชายฝั่งเกาะสีชัง เนื่องจากการเคลื่อนที่และกระจายตัวของคราบน้ำมันในทะเล ได้รับอิทธิพลจากกระแสน้ำผิวหน้าน้ำทะเล โดยกระแสน้ำดังกล่าวนี้ เกิดการไหลเวียนตามแรงที่กำหนดการเคลื่อนที่ของกระแสน้ำผิวหน้าน้ำทะเล ซึ่งหมายถึงลมประจำถิ่นหรือลมมรสุมในช่วงฤดูต่างๆ ส่วนการเคลื่อนที่และกระจายตัวของคราบน้ำมันในช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุมทั้งสองฤดู มีทิศทางไม่แน่นอน เนื่องจากได้รับอิทธิพลของลมมรสุมทั้งสองด้าน โดยส่วนใหญ่การเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันในช่วงน้ำเป็น เคลื่อนที่ได้ระยะทางไกลกว่าช่วงน้ำตาย ซึ่งตัวแปรที่มีอิทธิพลสำคัญต่อรูปแบบการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมัน คือ กระแสลม และรูปแบบการไหลเวียนของกระแสน้ำผิวหน้าน้ำทะเล ทั้งนี้ ผลการศึกษาในช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุมทั้งสองฤดูสอดคล้องกับผลการศึกษาของกรมควบคุมมลพิษ (2553) ซึ่งได้ศึกษาการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันจากเหตุการณ์การรั่วไหลของน้ำมัน ในบริเวณอ่าวไทยตอนบน และชายฝั่งตะวันออก ในช่วง 12 เดือนของปี พ.ศ. 2548 และ 2552 นอกจากนี้ ผลการศึกษาในฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ และฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ยังมีแนวโน้มทิศทางการเคลื่อนที่สอดคล้องกับผลการศึกษาของกรมควบคุมมลพิษ (2553) ที่สรุปว่ามีทิศทางการเคลื่อนที่ตามเข็มนาฬิกา และทวนเข็มนาฬิกา ตามลำดับ

อย่างไรก็ตาม ผลการศึกษาในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ซึ่งมีแนวโน้มทิศทางการเคลื่อนที่แบบทวนเข็มนาฬิกา ยังสอดคล้องกับผลการศึกษาของปริญ หล่อพิทยากร และคณะ (2554) ซึ่งได้สรุปไว้ว่า กระแสน้ำในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้มีรูปแบบการไหลออกจากอ่าวทางด้านตะวันตกของอ่าว และไหลเข้าอ่าวทางด้านตะวันออกของอ่าว และมีลักษณะวนในทิศทวนเข็มนาฬิกา แต่แตกต่างในช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งได้สรุปไว้ว่า กระแสน้ำมีลักษณะเวียนจากด้านตะวันออกของอ่าว และไหลเลียบขึ้นไปทางชายฝั่งตะวันตกของอ่าวไทย ทั้งนี้อาจเกิดจากการศึกษาดังกล่าว เป็นการศึกษาการไหลเวียนกระแสน้ำโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งย่อมมีความคลาดเคลื่อนของแบบจำลอง และไม่ได้เป็นการศึกษากระแสน้ำที่ผิวหน้าน้ำทะเล เนื่องจากมีการเปรียบเทียบผลการศึกษากับข้อมูลจากทุ่นสำรวจสมุทรศาสตร์ ซึ่งตรวจวัดกระแสน้ำที่ระดับความลึก 3.5 เมตร

นอกจากนี้ ผลการศึกษาในช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งมีแนวโน้มทิศทางการเคลื่อนที่แบบตามเข็มนาฬิกา ยังแตกต่างจากกรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง (2557) และอนุกูล บูรณประทีปรัตน์ (2551) ที่สรุปไว้ว่า ในช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือกระแสน้ำจะไหลเวียนในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา ส่วนในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ซึ่งมีแนวโน้มทิศทางการเคลื่อนที่แบบทวนเข็มนาฬิกา ค่อนข้างสอดคล้องกับการศึกษาของอนุกูล บูรณประทีปรัตน์ (2551) ที่สรุปไว้ว่า การ

ไหลเวียนของกระแสน้ำในฤดูมรสุมนี้ สามารถเกิดกระแสน้ำได้ทั้งแบบตามเข็มนาฬิกาและทวนเข็มนาฬิกา ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม และลมมรสุมในช่วงเวลานั้น ซึ่งเป็นปัจจัยหลักที่ควบคุมการเปลี่ยนแปลงลักษณะการไหลเวียนของกระแสน้ำ

ในส่วนการวิเคราะห์ข้อมูลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ซึ่งประกอบด้วย การวิเคราะห์แนวชายฝั่งที่ได้รับผลกระทบ การวิเคราะห์ความหนาแน่นการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของคราบน้ำมัน และการวิเคราะห์ระดับความเสี่ยงของแนวชายฝั่ง โดยนำเข้าข้อมูลการเคลื่อนที่และกระจายตัวของคราบน้ำมันรายชั่วโมงจากผลจากแบบจำลอง GNOME ในช่วงระยะเวลา 5 วัน จากผลการวิเคราะห์แนวชายฝั่งที่ได้รับผลกระทบจากคราบน้ำมัน พบว่าในฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ แนวชายฝั่งที่ได้รับผลกระทบประกอบด้วยเกาะและแนวชายฝั่งที่อยู่ทางทิศใต้ และทิศตะวันตกเฉียงใต้ของจุดทดสอบ ทั้งในช่วงน้ำเป็นและน้ำตาย โดยคราบน้ำมันสามารถเคลื่อนที่ไปได้ไกลที่สุดเป็นระยะทางประมาณ 43 กิโลเมตร สำหรับในช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ แนวชายฝั่งที่ได้รับผลกระทบประกอบด้วยเกาะและแนวชายฝั่งที่อยู่ทางทิศเหนือ และทิศตะวันออกเฉียงเหนือของจุดทดสอบ ทั้งช่วงน้ำเป็นและน้ำตาย โดยคราบน้ำมันสามารถเคลื่อนที่ไปได้ไกลที่สุดเป็นระยะทางประมาณ 41 กิโลเมตร ส่วนในช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุมของทั้งสองฤดู แนวชายฝั่งที่ได้รับผลกระทบประกอบด้วยเกาะที่กระจายตัวโดยรอบจุดทดสอบ และพบบางช่วงเวลาคราบน้ำมันไม่ปะทะแนวชายฝั่งเลย ทั้งนี้เนื่องจากการเคลื่อนที่และกระจายตัวของคราบน้ำมันในทะเล มีปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมที่สำคัญกำหนดการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมัน ประกอบด้วย กระแสน้ำผิวหน้าน้ำทะเล และกระแสลม ซึ่งเปลี่ยนแปลงตามฤดูมรสุมต่างๆ ในส่วนข้อมูลการแพร่กระจายในแนวราบของน้ำมัน เป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่มีผลกับการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของคราบน้ำมัน การวิเคราะห์ข้อมูลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ โดยการพัฒนากระบวนการประมวลผลด้วย ArcGIS Model Builder สามารถใช้เป็นเครื่องมือสำหรับการประมวลผลข้อมูลจากแบบจำลอง โดยสามารถบูรณาการข้อมูลเชิงพื้นที่อื่นๆ เข้ามาวิเคราะห์ร่วมในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ อาทิ ข้อมูลแหล่งทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง แหล่งที่อยู่อาศัยของสิ่งมีชีวิต เป็นต้น เพื่อประเมินและวางแผนจัดการ กรณีเกิดการรั่วไหลของคราบน้ำมันในพื้นที่เฝ้าระวังได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ การพัฒนากระบวนการประมวลผลดังกล่าวนี้ มีข้อดีในการทำงานกับข้อมูลเชิงเวลาที่มีปริมาณข้อมูลจำนวนมากได้ สอดคล้องกับ MacKey (2014) ที่ใช้แบบจำลอง GNOME ร่วมกับการวิเคราะห์ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ โดยการพัฒนากระบวนการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ ร่วมกับข้อมูลแหล่งที่อยู่อาศัยของสิ่งมีชีวิต เพื่อประเมินความอ่อนไหวด้านสิ่งแวดล้อม

การศึกษาในครั้งนี้ นอกจากจะใช้ค่าตัวแปรบางตัวแปรตามผลการปรับเทียบแบบจำลองของกรมควบคุมมลพิษแล้ว ยังใช้ข้อมูลกระแสน้ำ และกระแสลม รายชั่วโมง ตามข้อเสนอแนะของกรมควบคุมมลพิษ ซึ่งมีผลต่อความถูกต้องแม่นยำของแบบจำลอง ทั้งนี้ การใช้ข้อมูลกระแสน้ำรายชั่วโมงจากระบบเรดาร์คลื่นวิทยุความถี่สูง ซึ่งจัดเป็นข้อมูลจากการสำรวจระยะไกลที่ตรวจวัดข้อมูลจริงในพื้นที่ โดยเป็นการตรวจวัดแบบต่อเนื่อง ครอบคลุมพื้นที่ตรวจวัดเป็นบริเวณกว้าง และเป็นการตรวจวัดกระแสน้ำที่ได้รวมกระแสน้ำที่เกิดจากลม และกระแสน้ำจากน้ำขึ้นน้ำลง ซึ่งจัดได้ว่าเป็นข้อมูลที่มีความแม่นยำสูง และมีรายละเอียดเพียงพอ ทั้งในเชิงพื้นที่และเชิงเวลา

อย่างไรก็ตาม ในพื้นที่ที่อยู่นอกเหนือขอบเขตการตรวจวัดกระแสน้ำจากระบบเรดาร์คลื่นวิทยุความถี่สูง ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ ได้ประมาณค่าข้อมูลความเร็วย่อยในแนวเหนือ-ใต้ และแนวตะวันออก-ตะวันตก ในแต่ละชั่วโมง เพื่อให้ครอบคลุมทั้งพื้นที่ศึกษา พบว่า ค่าที่ได้จากการประมาณค่ามีค่าสูงเกินไปในบางบริเวณ เนื่องจากไม่มีข้อมูลกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งหน่วยงานที่เกี่ยวข้องควรมีการขยายพื้นที่ติดตั้งระบบเรดาร์คลื่นวิทยุความถี่สูงเพิ่มเติมให้ครอบคลุมพื้นที่ชายฝั่งต่อไป

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อคาดการณ์การเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันในทะเล ครอบคลุมช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุมของทั้งสองฤดู รวมไปถึงการประเมินพื้นที่ชายฝั่งที่ได้รับผลกระทบจากการรั่วไหลของน้ำมัน ในบริเวณพื้นที่อ่าวไทยตอนบนฝั่งตะวันออก โดยใช้ข้อมูลปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมทางทะเลที่มีอิทธิพลกับการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันในทะเล อันได้แก่ ข้อมูลกระแสน้ำผิวหน้ารายชั่วโมง จากระบบเรดาร์คลื่นวิทยุความถี่สูง ข้อมูลความเร็วและทิศทางลมรายชั่วโมง จากสถานีตรวจอากาศอัตโนมัติ และข้อมูลการแพร่กระจายในแนวราบของน้ำมัน นำเข้าในแบบจำลอง General NOAA Operational Modeling Environment หรือ GNOME เพื่อคาดการณ์การเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันในช่วงน้ำเป็นและน้ำตายในแต่ละฤดูมรสุม โดยจำลองเหตุการณ์จุดรั่วไหลบริเวณที่มีการจราจรทางน้ำหนาแน่นด้านหน้าท่าเรือแหลมฉบัง จังหวัดชลบุรี แล้วคาดการณ์การเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันในช่วงระยะเวลา 5 วัน ข้อมูลผลลัพธ์จากแบบจำลอง จะถูกนำเข้าในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เพื่อวิเคราะห์และประเมินพื้นที่ชายฝั่งที่ได้รับผลกระทบ ทั้งในเชิงพื้นที่และเวลา

จากผลศึกษาการคาดการณ์การเคลื่อนที่ของคราบน้ำมัน ครอบคลุมช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ตะวันตกเฉียงใต้ และช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุมทั้งสองฤดู โดยแบ่งเป็นช่วงน้ำเป็นและน้ำตาย สรุปได้ว่า รูปแบบการเคลื่อนที่และกระจายตัวของคราบน้ำมันสัมพันธ์กับฤดูมรสุมในแต่ละฤดู โดยฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (เดือนพฤษภาคม – กันยายน) มีทิศทางการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันเข้าหาชายฝั่งจังหวัดชลบุรี โดยมีแนวโน้มทิศทางการเคลื่อนที่แบบทวนเข็มนาฬิกา และฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (เดือนตุลาคม – กุมภาพันธ์) มีทิศทางการเคลื่อนที่ไปทางทิศใต้ และทิศตะวันตกเฉียงใต้ ออกจากชายฝั่ง ซึ่งจะมีผลกระทบกับเกาะที่กระจายตัวอยู่ตามแนวชายฝั่งจังหวัดชลบุรี โดยมีแนวโน้มทิศทางการเคลื่อนที่แบบตามเข็มนาฬิกา ส่วนในช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุมทั้งสองฤดู มีทิศทางการเคลื่อนที่ไม่แน่นอน ขึ้นอยู่กับอิทธิพลของลมมรสุมในช่วงเวลานั้นๆ ทั้งนี้ ตัวแปรที่มีอิทธิพลสำคัญต่อรูปแบบการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมัน คือ กระแสลม และรูปแบบการไหลเวียนของกระแสน้ำผิวหน้าน้ำทะเล ซึ่งข้อมูลจากระบบเรดาร์คลื่นวิทยุความถี่สูง จัดเป็นข้อมูลประเภทตรวจวัดจริงที่มีรายละเอียดเชิงพื้นที่และเชิงเวลาสูง เหมาะสมสำหรับการติดตามและคาดการณ์มลพิษทางทะเล

สำหรับการประเมินพื้นที่ชายฝั่งที่ได้รับผลกระทบจากคราบน้ำมันทั้งในเชิงพื้นที่และเวลาด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ สรุปได้ว่า พื้นที่บริเวณตำบลท่าเทววงษ์ อำเภอเกาะสีชัง เป็นพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากคราบน้ำมันบ่อยครั้งที่สุด โดยเริ่มได้รับผลกระทบจากคราบน้ำมันในช่วงระยะเวลาประมาณ 8 – 18 ชั่วโมง นับจากเวลาที่รั่วไหลจากจุดทดสอบ ส่วนแนวชายฝั่งจังหวัดชลบุรีได้รับผลกระทบจากคราบน้ำมันในบางส่วนของพื้นที่ชายฝั่งตำบลอ่างศิลา ตำบลแสนสุข ตำบลนาเกลือ และเทศบาลตำบลแหลมฉบัง โดยเริ่มได้รับผลกระทบจากคราบน้ำมันในช่วงระยะเวลาประมาณ 11 – 78 ชั่วโมง นับจากเวลาที่รั่วไหลจากจุดทดสอบ ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับฤดูมรสุมในช่วงที่เกิด

เหตุการณ์ นอกจากนี้ พื้นที่แนวชายฝั่งด้านทิศตะวันออกเฉียงใต้ของเกาะสีชัง เป็นพื้นที่ที่มีระดับความเสี่ยงได้รับผลกระทบจากคราบน้ำมันสูงที่สุด

การศึกษาครั้งนี้ สามารถนำผลการศึกษาบูรณาการร่วมกับข้อมูลอื่นๆ อาทิ ข้อมูลแหล่งทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง พื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง เป็นต้น เพื่อจำแนกเขตความเสี่ยง ประเมินความอ่อนไหวของแหล่งทรัพยากร และการบริหารจัดการด้านสิ่งแวดล้อมทางทะเลและชายฝั่งอย่างมีประสิทธิภาพ รวมไปถึงสามารถใช้เป็นต้นแบบหรือเครื่องมือสนับสนุนการดำเนินการภายใต้แผนการจัดการ แผนเผชิญเหตุ แผนการเก็บกู้คราบน้ำมัน รวมทั้งเป็นเครื่องมือในการจัดการด้านมลพิษทางทะเลประเภทอื่น ตลอดจนใช้เป็นเครื่องมือในการปฏิบัติการในสถานการณ์การจริงกรณีเหตุการณ์น้ำมันรั่วไหลในทะเล

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 การศึกษาครั้งนี้ ใช้ข้อมูลความเร็วและทิศทางลมรายชั่วโมงจากสถานีตรวจอากาศอัตโนมัติ สถานีเกาะสีชัง ซึ่งมีความละเอียดเชิงเวลาเพียงพอ แต่เป็นการตรวจวัดข้อมูลลมบนฝั่ง ซึ่งอาจแตกต่างจากความเร็วและทิศทางลมที่พื้นผิวทะเล รวมทั้งเป็นข้อมูลที่ตรวจวัดที่ตำแหน่งเดียว ซึ่งมีความละเอียดเชิงพื้นที่ไม่ดีนัก การศึกษาครั้งต่อไปอาจใช้ข้อมูลที่ตรวจวัดจากเครื่องมือที่สามารถตรวจวัดในเชิงพื้นที่ได้ หรืออาจใช้ข้อมูลจากแบบจำลองที่มีลักษณะเป็นแบบจำลองในพื้นที่

5.2.2 ควรมีการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของคราบน้ำมันตามช่วงเวลา โดยพิจารณาจากปัจจัยด้านสภาวะแวดล้อมทางทะเลที่ส่งผลต่อการแปรสภาพของคราบน้ำมัน อาทิ อุณหภูมิผิวหน้าน้ำทะเล ความสูงคลื่น เป็นต้น ควบคู่กับการคาดการณ์การเคลื่อนที่ของคราบน้ำมัน ซึ่งจะทำให้สามารถนำผลการศึกษาไปใช้ประโยชน์ในด้านการจัดการมลพิษทางทะเลได้ดียิ่งขึ้น

5.2.3 ในพื้นที่ที่อยู่นอกเหนือขอบเขตการตรวจวัดกระแสน้ำจากระบบเรดาร์คลื่นวิทยุความถี่สูง ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ ได้ประมาณค่าข้อมูลความเร็วย่อยในแนวเหนือ-ใต้ และแนวตะวันออก-ตะวันตก เพื่อให้ครอบคลุมทั้งพื้นที่ศึกษา พบว่า ค่าที่ได้จากการประมาณค่ามีค่าสูงเกินไปในบางบริเวณ เนื่องจากไม่มีข้อมูลกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งหน่วยงานที่เกี่ยวข้องควรมีการขยายพื้นติดตั้งระบบเรดาร์คลื่นวิทยุความถี่สูงเพิ่มเติมให้ครอบคลุมพื้นที่ชายฝั่งต่อไป

5.2.4 การศึกษาครั้งนี้ ไม่ได้มีการประเมินความถูกต้องของผลจากแบบจำลอง เนื่องจากข้อจำกัดด้านระยะเวลาและงบประมาณ การศึกษาในครั้งต่อไป ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในส่วนนี้ โดยใช้ผลการเคลื่อนที่และกระจายตัวของคราบน้ำมันจากแบบจำลอง เปรียบเทียบกับขอบเขตการกระจายตัวของคราบน้ำมันจากภาพถ่ายจากดาวเทียมหลายๆ ช่วงเวลา ในเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจริง หรืออาจใช้วิธีการจำลองการเคลื่อนที่โดยการปล่อยวัตถุที่ลอยบนผิวน้ำ

รายการอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ. 2553. *การคาดการณ์การเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันในทะเล ผลกระทบต่อทรัพยากรธรรมชาติ และแนวทางจัดการแก้ไข*. กรุงเทพฯ: ห้างหุ้นส่วนจำกัด กชกร พับลิชชิง. 70 หน้า.

กรมควบคุมมลพิษ. 2554. *แนวทางป้องกันและแก้ไขปัญหาน้ำมันรั่วในทะเล (ฉบับร่าง)*. สืบค้นเมื่อวันที่ 21 ธันวาคม 2557, จาก http://wqm.pcd.go.th/water/images/stories/marine/report/oilspill54.pdf

กรมเจ้าท่า. 2557. *คู่มือการป้องกันและขจัดมลพิษทางน้ำเนื่องจากน้ำมัน ฉบับประชาชน*. สืบค้นเมื่อวันที่ 12 มิถุนายน 2558, จาก http://www.md.go.th/md/index.php/2014-01-19-05-02-28/2014-01-19-05-14-13/2014-01-19-06-02-02/-51

กรมเชื้อเพลิงพลังงาน. 2009. *พจนานุกรม*. สืบค้นเมื่อวันที่ 21 กันยายน 2558, จาก http://www.dmf.go.th/dmfweb/index.php?option=com_dictionary&view=dictionary&Itemid=69&lang=th&limitstart=5

กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. 2557. *การประยุกต์เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศในการบริหารจัดการพื้นที่ชายฝั่งทะเล*. กรุงเทพฯ: คลาสสิคสแกน. 211 หน้า.

กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. 2555. *ภูมิสารสนเทศทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร. 242 หน้า.

กรมอุตุนิยมวิทยา. 2558. *ภูมิอากาศของประเทศไทย*. สืบค้นเมื่อวันที่ 20 ธันวาคม 2558 จาก http://www.tmd.go.th/info/climate_of_thailand-2524-2553.pdf

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. 2552. *คุณสมบัติของปิโตรเลียม*. สืบค้นเมื่อวันที่ 21 กันยายน 2558 จาก http://www2 . egat.co.th/fuel/index2 . php?option=com_content &do_pdf=1&id=86

ชฎา ณรงค์ฤทธิ์. 2548. *ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ด้านสิ่งแวดล้อม (Environmental Geographic* Information *System)*. คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก.

ชัชชล อัจนากิตติ. (29 พฤศจิกายน 2555). *ระบบเรดาร์ชายฝั่ง เทคโนโลยีใหม่แก้ปัญหาภัยธรรมชาติ*. *มติชน*, น. 21.

เชาวลิต ศิลปทอง ศิริลักษณ์ พฤกษ์ปิติกุล วราทิพย์ บัวแก้ว วัชระ เกษเดช อภิสิทธิ์ กองพรหม และ ณัทธร แก้วภู่. 2556. *การพัฒนาระบบเรดาร์ชายฝั่งเพื่อการเตือนภัยทางบกและทางทะเล.* วารสารสมาคมสำรวจข้อมูลระยไกลและสารสนเทศภูมิศาสตร์แห่งประเทศไทย. ปีที่ 14 ฉบับที่ 1, หน้า 37-41.

ท่าเรือแหลมฉบัง. 2013. *ข้อมูลทั่วไป*. สืบค้นเมื่อวันที่ 12 พศจิกายน 2558 จาก http://www.laemchabangportnew.com/th/about/about.html

ท่าเรือแหลมฉบัง. 2558. *ท่าเรือแหลมฉบัง: ท่าเรือของโลก.* สืบค้นเมื่อวันที่ 27 ตุลาคม 2558 จาก http://www.laemchabangportphase3.com/know_01.html

ปริญ หล่อพิทยากร นิพนธ์ ตั้งธรรม วิทย์ ธารชลานุกูล และปราโมทย์ โศจิศุภร. 2554. *การศึกษารูปแบบการไหลเวียนกระแสน้ำในอ่าวไทยในปีเอ็นโซ่.* วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 19 ฉบับที่ 4, หน้า 1-14.

เผดิมศักดิ์ จารยะพันธุ์. 2558**.** *ข้อเสนอต่อการบริหารจัดการทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง*. สถาบันธรรมรัฐเพื่อการพัฒนาสังคมและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.

วัฒนา กันบัว, อนุชา ศรีเริงหล้า และ ภาวัช ศิริโยธา. (2557). *การศึกษาระบบกระแสน้ำในอ่าวไทยโดยใช้เรดาร์คลื่นวิทยุความถี่สูงตรวจวัดคลื่นและกระแสน้ำ*. นิทรรศการเทิดพระเกียรติสมเด็จพระนางเจ้าสิริกิติ์ พระบรมราชินีนาถ และการประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์ทางทะเล ครั้งที่ 4. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา.

วินิตา เผ่านาค. 2533. *หลักการวิเคราะห์ข้อมูลจากดาวเทียม*, มหาวิทยาลัยรามคำแหง, กรุงเทพมหานคร.

ศิริพงศ์ สุขทวี. 2556. *ข้อมูลดิจิตอลและการนำไปใช้ในงานวิจัย.* Green Research Journal, ปีที่ 10 ฉบับที่ 24, หน้า 9-11.

ศุทธินี ดนตรี. 2544. *ความรู้พื้นฐานด้านการสำรวจจากระยะไกล (Remote Sensing).* เชียงใหม่: ภาควิชาภูมิศาสตร คณะสังคมศาสตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ศูนย์วิจัยภูมิสารสนเทศเพื่อประเทศไทย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2558. *เรียนรู้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Learning GIS).* สืบค้นเมื่อวันที่ 20 พฤษภาคม 2558 จาก http://www.gisthai.org/about-gis/gis.html

สถาบันพัฒนาองค์ความรู้ด้านอวกาศ. 2550. *หลักการพื้นฐานเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ.* โรงพิมพ์ฟันนี่พับบลิชชิ่ง. 100 หน้า.

สุระ พัฒนเกียรติ. 2546. *ระบบสารสนเทศในทางนิเวศวิทยาและสิ่งแวดล้อม*. คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล, นครปฐม.

สุวลักษณ์ สาธุมนัสพันธุ์. 2555. *การจัดการชายฝั่ง: การบูรณาการสู่ความยั่งยืน*. นครปฐม: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยมหิดล. 474 หน้า.

สุเพชร จิรขจรกุล. 2552. *เรียนรู้ระบบภูมิสารสนเทศด้วยโปรแกรม ArcGIS Desktop 9.3.1*. โรงพิมพ์บริษัท เอส อาร์ พริ้นติ้ง แมสโปรดักส์ จำกัด.

สุเพชร จิรขจรกุล. 2555. *เรียนรู้ระบบภูมิสารสนเทศด้วยโปรแกรม ArcGIS 10.1 for Desktop*. นนทบุรี: บริษัท เอ.พี. กราฟิคดีไซน์และการพิมพ์ จำกัด. 984 หน้า.

สำนักงานนำร่องศรีราชา. 2010. *พื้นที่จอดเรือทอดสมอบริเวณเกาะสีชัง*. สืบค้นเมื่อวันที่ 16 ตุลาคม 2558 จาก http://www.srirachapilot.org/index.php?lay=show&ac=article&Id=425265&Ntype=4

สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน). 2553. *ตำราเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศศาสตร์*. กรุงเทพฯ: บริษัท อมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง จำกัด (มหาชน). 331 หน้า.

สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน). 2558. *HF Radial parameter*. สืบค้นเมื่อวันที่ 6 กันยายน 2558, จาก http://coastalradar.gistda.or.th/mostgis/seasonde_radial.php

สำนักงานสภาความมั่นคงแห่งชาติ. 2558. *แผนความมั่นคงแห่งชาติทางทะเล พ.ศ. 2558 – 2564*. 94 หน้า

อนุกูล บูรณประทีปรัตน์. 2551. *การไหลเวียนกระแสน้ำในอ่าวไทยตอนบน: การทบทวนงานวิจัย*. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา, ปีที่ 13 ฉบับที่ 1, หน้า 75-83.

อุทัย สุขสิงห์. 2547. *การจัดการระบบฐานข้อมูลภูมิศาสตร์ (GIS) ด้วยโปรแกรม ArcView 3.2a-3.3.* กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น). 368 หน้า

Barker, H. C. (2015), *New Developments in the General NOAA Operational Modeling* Environment *(GNOME)*. Retrieved October 15, 2015, from http://interspill.org/previous-events/2015/WhitePapers/Interspill2015ConferenceProceedings/25%20MARCH%202015/Developments%20in%20Modelling/New-Developments-General-NOAA%20Operational-Modeling-Environment-(GNOME).pdf

Basar, E. (2010), *Weathering and Oil Spill Simulations in The Aftermath of Tanker* Accidents *at The Junction Points in The Marmara Sea*. Fresenius Environment Bulletin, Volume 19(2), pp. 260-265.

Basar, E., Sivri, N., Ugurla, O. and Kiremitci, V. Z. (2015), *Environmental Effect of Oil Spill from Aftermath Accident around the Planned Oil Rigs at the Black Sea*. Advances in Environmental Science and Energy Planning. WSEAS Press, Spain. 352 pages.

Brown, M. (2013), *Scalars and Vectors*. Retrieved September 9, 2015, from http://library.oceanteacher.org/OTMediawiki/index.php/Scalars_and_Vectors

Buckey, J. D. (n.d.) *Spatial Data Models*. Retrieved May 12, 2015, from http://bgis.sanbi.org/gis-primer/page_15.htm

Campbell, E. J. and Shin, M. (2012). *Geographic Information System Basics*. Retrieved August 19, 2015, from http://2012books.lardbucket.org/pdfs/geographic-information-system-basics.pdf

Childs, C. (2004), *Interpolating Surfaces in ArcGIS Spatial Analysis*. Retrieved July 9, 2015, from http://www.esri.com/news/arcuser/0704/files/interpolating.pdf

Crosby, A. and Howlett, E. (2012), *Quantifying the Effects of Ocean Observations and* Circulation *Models on Oil Spill Trajectory Forecast Skill*. Retrieved August 9, 2015, from http://www.pws-osri.org/wp-content/uploads/2014/08/11-10-07-AOOS-Final-Report.pdf

Desonie, D. (2015). *Tides*. Retrieved August 30, 2015, from http://www.ck12.org/earth-science/Tides/lesson/Tides-Basic

Desonie, D. (2015). *Wind Waves*. Retrieved August 30, 2015, from http://www.ck12.org/earth-science/Wind-Waves/lesson/Wind-Waves-Basic/

Fingas, M. (2011), *Oil* Spill *Science and Technology*. Elsevier Inc., USA. 1,149 pages.

Gopalakrishnan, G. (2008). *Surface Current Observation using High Frequency Radar and Its Assimilation into The New York Harbor Observation and Prediction System*. Unpublished doctoral dissertation, Stevens Institute of Technology, Civil, Environmental and Ocean Engineering.

J.M. Sayol, A. Orfila, G. Simarro, D. Conti, L. Renault, A. Molcard. (2014). *A Lagrangian model for tracking surface spills and SaR operations in the ocean*, Environmental Modelling & Software, Volume 52, pp. 74-82.

Joseph, A. (2014). *Measuring Ocean Currents: Tools, Technologies, and Data - 1st edition*. San Diego, California, USA. ISBN 978-0-12-415990-7

Kjelaas, G. A. and Whelan, C. (2011*). Rapidly Deployable SeaSonde for Modeling Oil Spill Response*. Retrieved September 21, 2015, from https://www.sea-technology.com/features/2011/1011/seaSonde.php

Klemas, V. (2010). *Tracking oil slicks and predicting their trajectories using remote sensors and models: case studies of the Sea Princess and Deepwater Horizon oil spills*. Journal of Coastal Research, Volume 26(5), pp. 789–797.

Lebreton, C.-M., L. & Franz, T. (2013) *Trajectory Analysis of Deep Sea Oil Spill Scenarios in New Zealand Waters.* Retrieved July 9, 2015, from http://www.greenpeace.org/new-zealand/Global/newzealand/P3/ publications/climate/2013/Greenpeace%20Oil%20Spill%20Model%20Report.pdf

Looney, M. (2010). *Inertial Sensors Facilitate Autonomous Operation in Mobile Robots*. Retrieved July 9, 2015, from http://www.analog.com/ library/analogDialogue/archives/44-11/mobile_robots.html

MacKay, K. J. (2014). *Oil Spill Model Trajectory Analysis of a Catastrophic Scenario in Santa Monica Bay***.** Thesis for the Master of Science in Environmental Science, The Faculty of the Department of Biological Sciences, California State University, Los Angles.

MarineTraffic.com (2014). *Marine Traffic Density Maps*. Retrieved October 21, 2015, from http://www.marinetraffic.com/th/ais/home/centerx:100/centery:13/

Martinho Marta-Almeida (2013). *Efficient tools for marine operational forecast and oil spill tracking*. Marine Pollution Bulletin, Volume 71. 2013 pp. 139-151.

National Aeronautics and Space Administration. (2004). *Decision Support Tool Evaluation Report for General NOAA Oil Modeling Environment (GNOME) Version 2.0*. Retrieved October 21, 2014, from http://ntrs.nasa.gov/ archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20050238479.pdf

National Ocean and Atmospheric Administration. (2016). ADIOS (Automated Data Inquiry for Oil Spills). Retrieved July 9, 2015, from http://response.restoration. noaa.gov/oilandchemicalspills/oilspills/responsetools/adios.html

National Oceanic and Atmospheric Administration: NOAA. (2002). *GNOME User's Manual*. Retrieved October 21, 2014, from http://response.restoration.noaa.gov/sites/default/files/GNOME_Manual.pdf

Oostra, H. D. (n.d.). Electromagnetic *Spectrum Diagram*. Retrieved June 3, 2015, from http://mynasadata.larc.nasa.gov/science-processes/electromagnetic-diagram

Paduan, J. D. and Graber, H. C. (1997). *Introduction to High-Frequency Radar: Reality and Myth*. Oceanography, Volume 10(2), pp. 36-39.

Paduan, D. J. and Wasburn, L. (2013). *High-Frequency Radar Observation of Ocean Surface Currents*. Annual Reviews of Marine Science, Volume 5, pp. 115-136.

Prabhu, K. and Kankara, R . S. (2014). *Development of Matlab based system to simulate Oil spill trajectory using GNOME model for Indian coast*. Proceedings of the Fifth Indian National Conference on Harbour and Ocean Engineering (INCHOE2014), 5-7 Feb. 2014, CSIR-NIO, Goa, India, pp. 146-150.

Prasad SJ, Balakrishnan Nair T.M, Francis P.A and Vijayalaksmi T. (2014). *Hindcasting and Validation of Mumbai Oil Spills using GNOME*. International Research Journal of Environment Sciences, Volume 3(12). December 2014, pp. 18-27.

Qing Xu et al. (2013). *Satellite* observations *and modeling of oil spill trajectories in the Bohai Sea*. Marine Pollution Bulletin, Volume 71. 2013 pp. 107-116.

Rutgers University, Institute of Marine and Coastal Sciences. (n.d.). *High Frequency Radar (HF Radar)*. Retrieved June 3, 2015, from http://marine.rutgers.edu/cool/education/class/josh/hf_radar.html

Scripps Institution of Oceanography. (2015). *Principles of Operation*. Retrieved June 3, 2015, from http://cordc.ucsd.edu/projects/mapping/documents/principles.php

The Coastal Ocean Currents Monitoring Program (COCMP). (2009). *COCMP Reference Guide*. Retrieved July 15, 2015, from http://www.cocmp.org/pdf/COCMPHFRadarBooklet.pdf

The International Tanker Owners Pollution Federation Limited (ITOPF). 2011. *Fate of Marine Oil Spill.* Retrieved on July 15, 2015, from http://www.itopf.com/knowledge-resources/documents-guides/fate-of-oil-spills

Zelenke, B., C. O'Connor, C. Barker, C.J. Beegle-Krause, and L. Eclipse (Eds.). 2012. *General NOAA Operational Modeling Environment (GNOME) Technical Documentation*. U.S. Dept. of Commerce, NOAA Technical Memorandum NOS OR&R 40. Seattle, WA: Emergency Response Division, NOAA. 105 pp.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
การปรับปรุงและจัดการไฟล์ข้อมูลกระแสน้ำผิวหน้าน้ำทะเลในรูปแบบ NetCDF ด้วยโปรแกรม NetCDF Operators

การปรับปรุงข้อมูลกระแสน้ำผิวหน้าน้ำทะเลจากระบบเรดาร์คลื่นวิทยุความถี่สูงรายชั่วโมง ที่ผ่านขั้นตอนการแปลงรูปแบบข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบ NetCDF ด้วยโปรแกรม ArcGIS Model Builder ซึ่งยังคงขาดตัวแปรที่สำคัญบางตัวแปร สามารถใช้โปรแกรม NetCDF Operators (NCO) เพื่อจัดการและปรับปรุงตัวแปร โดยเป็นการทำงานในลักษณะชุดคำสั่งคอมมานด์ไลน์ ในการศึกษาครั้งนี้ มีชุดคำสั่ง และผลลัพธ์ของไฟล์ที่ประมวลแล้ว ดังนี้

```
================================================================================
1. Merge each time dimension into one file (** -u time = time[x]) for merge all reg
[time_ucomp_??]
================================================================================
ncecat -O -h -u time ucomp_001.nc ucomp_002.nc ucomp_003.nc ... ucomp_n.nc
total_ucomp_fileout.nc

ncecat -O -h -u time vcomp_001.nc vcomp_002.nc vcomp_003.nc ... vcomp_n.nc
total_vcomp_fileout.nc


================================================================================
2. Create time dimension for each file
================================================================================
U file
============================
ncap2  -h -s "defdim(\"time\",120,0);time[time]={001,002,003,...,n};time@long_name=\"Measured
time - GMT plus 7\";time@units=\"hours since 2015-01-01
00:00:00\";time@standard_name=\"time\";time@missing_value=\"NaN\";time@_CoordinateAxisType=\"
Time\"; " -O total_ucomp_fileout.nc time_total_ucomp_fileout.nc

============================
V file
============================
ncap2  -h -s "defdim(\"time\",120,0);time[time]={001,002,003,...,n};time@long_name=\"Measured
time - GMT plus 7\";time@units=\"hours since 2015-01-01
00:00:00\";time@standard_name=\"time\";time@missing_value=\"NaN\";time@_CoordinateAxisType=\"
Time\"; " -O total_vcomp_fileout.nc time_total_vcomp_fileout.nc


================================================================================
3. Merge all record to time dimention into one file (result = total_ucomp_fileout.nc)
================================================================================
ncks -h -A  time_total_vcomp_fileout.nc time_total_ucomp_fileout.nc


================================================================================
4. Reupdate attribute such as water_u degree=>m s-1 (incase forget from step 1)
================================================================================
ncap2 -h -s "water_u@units=\"m s-1\"; water_v@units=\"m s-1\";" -O
time_total_ucomp_fileout.nc HFRadar_uvcomp_fileout.nc


================================================================================
5. Add some Global_Attribute
================================================================================
ncra -h --glb title="Near-Real Time Surface Ocean Velocity, GULF, 2 km Resolution (GNOME)"
--glb source="Surface Ocean HF-Radar" --glb institution="GISTDA" --glb created_by="Watchara
Kesdech" HFRadar_uvcomp_fileout.nc HFRadar_uvcomp_fileout.nc
```

ในส่วนของผลลัพธ์ไฟล์ในรูปแบบ NetCDF ที่ประมวลผลจากโปรแกรม NCO จะมีมิติข้อมูล (Dimension) ที่จำเป็นสำหรับการนำเข้าในแบบจำลอง GNOME ซึ่งประกอบด้วย ละติจูด ลองจิจูด และเวลา ส่วนตัวแปร (Variables) ประกอบด้วย ละติจูด ลองจิจูด เวลา ความเร็วย่อยข้อมูลกระแสน้ำในแนวเหนือ-ใต้ (water_v) และความเร็วย่อยข้อมูลกระแสน้ำในแนวตะวันออก-ตะวันตก (water_u) รวมทั้งการแสดงคำอธิบายข้อมูล (Metadata) ดังแสดงในภาพที่ 1ก

```
File "HFRadar_uvcomp_fileout.nc"
File type: NetCDF-3/CDM

netcdf file:/G:/THESIS/ProcessingPath/NetCDF/HF_2015011115/HFRadar_uvcomp_fileout.nc {
  dimensions:
    time = UNLIMITED;   // (120 currently)
    lon = 59;
    lat = 58;
  variables:
    int time(time=120);
      :_CoordinateAxisType = "Time";
      :long_name = "Measured time - GMT plus 7";
      :missing_value = "NaN";
      :standard_name = "time";
      :units = "hours since 2015-01-01 00:00:00";
      :cell_methods = "time: mean";

    double lon(lon=59);
      :long_name = "longitude coordinate";
      :standard_name = "longitude";
      :units = "degrees_east";

    double lat(lat=58);
      :long_name = "latitude coordinate";
      :standard_name = "latitude";
      :units = "degrees_north";

    float water_u(time=120, lat=58, lon=59);
      :long_name = "water_u";
      :esri_pe_string =
      "GEOGCS[\"GCS_WGS_1984\",DATUM[\"D_WGS_1984\",SPHEROID[\"WGS_1984\",6378137.0,298.25722
      3563]],PRIMEM[\"Greenwich\",0.0],UNIT[\"Degree\",0.0174532925199433]]";
      :coordinates = "lon lat";
      :units = "m s-1";
      :missing_value = -3.4028235E38f; // float
      :cell_methods = "time: mean";

    float water_v(time=120, lat=58, lon=59);
      :long_name = "water_v";
      :esri_pe_string =
      "GEOGCS[\"GCS_WGS_1984\",DATUM[\"D_WGS_1984\",SPHEROID[\"WGS_1984\",6378137.0,298.25722
      3563]],PRIMEM[\"Greenwich\",0.0],UNIT[\"Degree\",0.0174532925199433]]";
      :coordinates = "lon lat";
      :units = "m s-1";
      :missing_value = -3.4028235E38f; // float
      :cell_methods = "time: mean";

  // global attributes:
  :Conventions = "CF-1.0";
  :Source_Software = "Esri ArcGIS";
  :title = "Near-Real Time Surface Ocean Velocity, GULF, 2 km Resolution (GNOME)";
  :source = "Surface Ocean HF-Radar";
  :institution = "GISTDA";
  :created_by = "Watchara Kesdech";
}
```

ภาพที่ 1ก ผลลัพธ์ของไฟล์ข้อมูลกระแสน้ำจากระบบเรดาร์คลื่นวิทยุความถี่สูง ในรูปแบบ NetCDF ที่ประมวลผลจากโปรแกรม NCO

ภาคผนวก ข
รายงานผลการวิเคราะห์พื้นที่ชายฝั่งที่ได้รับผลกระทบจากคราบน้ำมัน ในเชิงพื้นที่และเวลา

ข้อมูลการกระจายตัวของคราบน้ำมัน ที่ประมวลผลจากแบบจำลอง GNOME และนำเข้าในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เพื่อวิเคราะห์พื้นที่ชายฝั่งที่ได้รับผลกระทบจากคราบน้ำมัน ในฤดูกาลต่างๆ ซึ่งเป็นการประเมินพื้นที่ชายฝั่งที่ได้รับผลกระทบ จากกรณีการรั่วไหลของน้ำมันจากจุดทดสอบ การวิเคราะห์ในส่วนนี้ สามารถวิเคราะห์และส่งออกผลลัพธ์ในลักษณะรายงาน โดยรายงานทั้งส่วนที่เป็นแนวชายฝั่งที่ได้รับผลกระทบ (Best guess) และแนวชายฝั่งที่มีแนวโน้มได้รับผลกระทบ (Uncertainty) จำแนกตามฤดูมรสุม และช่วงน้ำเป็น-น้ำตาย ดังแสดงในภาพที่ 1ข ถึง 13ข

OBShoreline_rel_201512_NE_Spring_Leamchabang

TAM_NAME	AMP_NAME	PRV_NAME	Length_KM
เกาะสาก			.539941
ต.นาเกลือ (เกาะล้าน)	อ.บางละมุง	จ.ชลบุรี	.469734

Average Length_KM	.504837	Max Length_KM	.539941	Min Length_KM	.469734
Sum Length_KM	1.009674				

ภาพที่ 1ข รายงานผลการวิเคราะห์แนวชายฝั่งที่มีแนวโน้มได้รับผลกระทบ ในช่วงน้ำเป็น ฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ

OBShoreline_abs_201504_TR01_Spring_Leamchabang

TAM_NAME	AMP_NAME	PRV_NAME	Length_KM
ต.ท่าเทววงษ์ (เกาะสีชัง)	อ.เกาะสีชัง	จ.ชลบุรี	15.437105
เกาะค้างคาว			2.852944
เกาะขามใหญ่			1.839005
เกาะยายท้าว			.332914
เกาะท้ายตาหมื่น			.277528
เกาะขามน้อย			.267280
เกาะขามใหญ่			.264579
เกาะร้านดอกไม้			.233181
เกาะปรง			.152966

Average Length_KM	2.406389	Max Length_KM	15.437105	Min Length_KM	.152966
Sum Length_KM	21.657501				

ภาพที่ 2ข รายงานผลการวิเคราะห์แนวชายฝั่งที่ได้รับผลกระทบ ในช่วงน้ำเป็น ช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุมครั้งที่ 1

OBShoreline_rel_201504_TR01_Spring_Erased

TAM_NAME	AMP_NAME	PRV_NAME	Length_KM
ต.ท่าเทววงษ์ (เกาะสีชัง)	อ.เกาะสีชัง	จ.ชลบุรี	2.15101
เกาะขามใหญ่			.630551
เกาะขามน้อย			.391524
เกาะปรง			.209141
เกาะท้ายตาหมื่น			.204520
เกาะร้านดอกไม้			.160567
เกาะค้างคาว			.014342

Average Length_KM	.537379	Max Length_KM	2.15101	Min Length_KM	.014342
Sum Length_KM	3.761656				

ภาพที่ 3ข รายงานผลการวิเคราะห์แนวชายฝั่งที่มีแนวโน้มได้รับผลกระทบ ในช่วงน้ำเป็น ช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุมครั้งที่ 1

OBShoreline_abs_201507_SW_Spring_Leamchabang

TAM_NAME	AMP_NAME	PRV_NAME	Length_KM
ต.ท่าเทววงษ์ (เกาะสีชัง)	อ.เกาะสีชัง	จ.ชลบุรี	4.456585
เกาะขามใหญ่			2.734135
ต.แสนสุข	อ.เมืองชลบุรี	จ.ชลบุรี	1.579583
ต.อ่างศิลา	อ.เมืองชลบุรี	จ.ชลบุรี	1.336829
เกาะขามน้อย			.658804
เกาะค้างคาว			.511728
เกาะร้านดอกไม้			.393748
เกาะปรง			.362107
เกาะยายท้าว			.332914

Average Length_KM	1.374048	Max Length_KM	4.456585	Min Length_KM	.332914
Sum Length_KM	12.366432				

ภาพที่ 4ข รายงานผลการวิเคราะห์แนวชายฝั่งที่ได้รับผลกระทบ ในช่วงน้ำเป็น ฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้

OBShoreline_rel_201507_SW_Spring_Erased

TAM_NAME	AMP_NAME	PRV_NAME	Length_KM
ต.ท่าเทววงษ์ (เกาะสีชัง)	อ.เกาะสีชัง	จ.ชลบุรี	7.810095
ต.แสนสุข	อ.เมืองชลบุรี	จ.ชลบุรี	3.555827
เกาะค้างคาว			1.105317
ต.อ่างศิลา	อ.เมืองชลบุรี	จ.ชลบุรี	.913198
ต.สองคลอง	อ.บางปะกง	จ.ฉะเชิงเทรา	.853610
ทต.แหลมฉบัง	อ.ศรีราชา	จ.ชลบุรี	.314460

Average Length_KM	2.425418	Max Length_KM	7.810095	Min Length_KM	.314460
Sum Length_KM	14.552508				

ภาพที่ 5ข รายงานผลการวิเคราะห์แนวชายฝั่งที่มีแนวโน้มได้รับผลกระทบ ในช่วงน้ำเป็น ฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้

OBShoreline_abs_201501_NE_Neap_Leamchabang

TAM_NAME	AMP_NAME	PRV_NAME	Length_KM
ต.สัตหีบ	อ.สัตหีบ	จ.ชลบุรี	8.102523
เขตการปกครองพิเศษพัทยา	อ.บางละมุง	จ.ชลบุรี	4.975485
ต.นาเกลือ (เกาะล้าน)	อ.บางละมุง	จ.ชลบุรี	2.968484
ต.นาเกลือ	อ.บางละมุง	จ.ชลบุรี	2.703671
เกาะครามน้อย			.878445
เกาะครก			.681545

Average Length_KM	3.385026	Max Length_KM	8.102523	Min Length_KM	.681545
Sum Length_KM	20.310154				

ภาพที่ 6ข รายงานผลการวิเคราะห์แนวชายฝั่งที่ได้รับผลกระทบ ในช่วงน้ำตาย ฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ

OBShoreline_rel_201501_NE_Neap_Erased

TAM_NAME	AMP_NAME	PRV_NAME	Length_KM
ต.นาเกลือ	อ.บางละมุง	จ.ชลบุรี	6.435545
ต.นาเกลือ	อ.บางละมุง	จ.ชลบุรี	4.636376
เขตการปกครองพิเศษพัทยา	อ.บางละมุง	จ.ชลบุรี	2.664437
เกาะสาก			1.900821
ต.สัตหีบ	อ.สัตหีบ	จ.ชลบุรี	1.517996
เกาะริ้น			1.024305
เกาะครามน้อย			.272460
เกาะครก			.204050

Average Length_KM	2.331999	Max Length_KM	6.435545	Min Length_KM	.204050
Sum Length_KM	18.65599				

ภาพที่ 7ข รายงานผลการวิเคราะห์แนวชายฝั่งที่มีแนวโน้มได้รับผลกระทบ ในช่วงน้ำตาย ฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ

OBShoreline_abs_201503_TR01_Neap_Leamchabang

TAM_NAME	AMP_NAME	PRV_NAME	Length_KM
เกาะไผ่			6.332261
เกาะกลึงบาดาล			1.774151
เกาะหูช้าง			.274426

Average Length_KM	2.793613	Max Length_KM	6.332261	Min Length_KM	.274426
Sum Length_KM	8.380839				

ภาพที่ 8ข รายงานผลการวิเคราะห์แนวชายฝั่งที่ได้รับผลกระทบ ในช่วงน้ำตาย ช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุมครั้งที่ 1

OBShoreline_rel_201503_TR01_Neap_Erased

TAM_NAME	AMP_NAME	PRV_NAME	Length_KM
เกาะมารวิชัย			3.490573
เกาะไผ่			2.139509
เกาะเหลือม			1.97774
เกาะเหลือมน้อย			.317204

Average Length_KM	1.981256	Max Length_KM	3.490573	Min Length_KM	.317204
Sum Length_KM	7.925026				

ภาพที่ 9ข รายงานผลการวิเคราะห์แนวชายฝั่งที่มีแนวโน้มได้รับผลกระทบ ในช่วงน้ำตาย ช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุมครั้งที่ 1

OBShoreline_abs_201507_SW_Neap_Leamchabang

TAM_NAME	AMP_NAME	PRV_NAME	Length_KM
ต.ท่าเทววงษ์ (เกาะสีชัง)	อ.เกาะสีชัง	จ.ชลบุรี	17.624791
ทต.แหลมฉบัง	อ.ศรีราชา	จ.ชลบุรี	5.525092
เกาะค้างคาว			2.867286
เกาะขามใหญ่			2.734135
เกาะขามน้อย			.658804
เกาะท้ายตาหมื่น			.532255
เกาะร้านดอกไม้			.393748
เกาะปรง			.362107
เกาะยายท้าว			.332914

Average Length_KM 3.447904 Max Length_KM 17.624791 Min Length_KM .332914

Sum Length_KM 31.031132

ภาพที่ 10ข รายงานผลการวิเคราะห์แนวชายฝั่งที่ได้รับผลกระทบ ในช่วงน้ำตาย ฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้

OBShoreline_rel_201507_SW_Neap_Erased

TAM_NAME	AMP_NAME	PRV_NAME	Length_KM
ทต.แหลมฉบัง	อ.ศรีราชา	จ.ชลบุรี	9.00651
ต.สุรศักดิ์	อ.ศรีราชา	จ.ชลบุรี	1.679069
ต.แสนสุข	อ.เมืองชลบุรี	จ.ชลบุรี	.385524
ต.ท่าเทววงษ์ (เกาะสีชัง)	อ.เกาะสีชัง	จ.ชลบุรี	.257352

Average Length_KM 2.832114 Max Length_KM 9.00651 Min Length_KM .257352

Sum Length_KM 11.328455

ภาพที่ 11ข รายงานผลการวิเคราะห์แนวชายฝั่งที่มีแนวโน้มได้รับผลกระทบ ในช่วงน้ำตาย ฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้

OBShoreline_abs_201510_TR02_Neap_Leamchabang

TAM_NAME	AMP_NAME	PRV_NAME	Length_KM
ต.ท่าเทววงษ์ (เกาะสีชัง)	อ.เกาะสีชัง	จ.ชลบุรี	10.721517
เกาะค้างคาว			2.539531
เกาะขามใหญ่			.545777
เกาะท้ายตาหมื่น			.532255
เกาะยายท้าว			.332914
เกาะร้านดอกไม้			.053660

Average Length_KM	2.454276	Max Length_KM	10.721517	Min Length_KM	.053660
Sum Length_KM	14.725654				

ภาพที่ 12ข รายงานผลการวิเคราะห์แนวชายฝั่งที่ได้รับผลกระทบ ในช่วงน้ำตาย ช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุม ครั้งที่ 2

OBShoreline_rel_201510_TR02_Neap_Erased

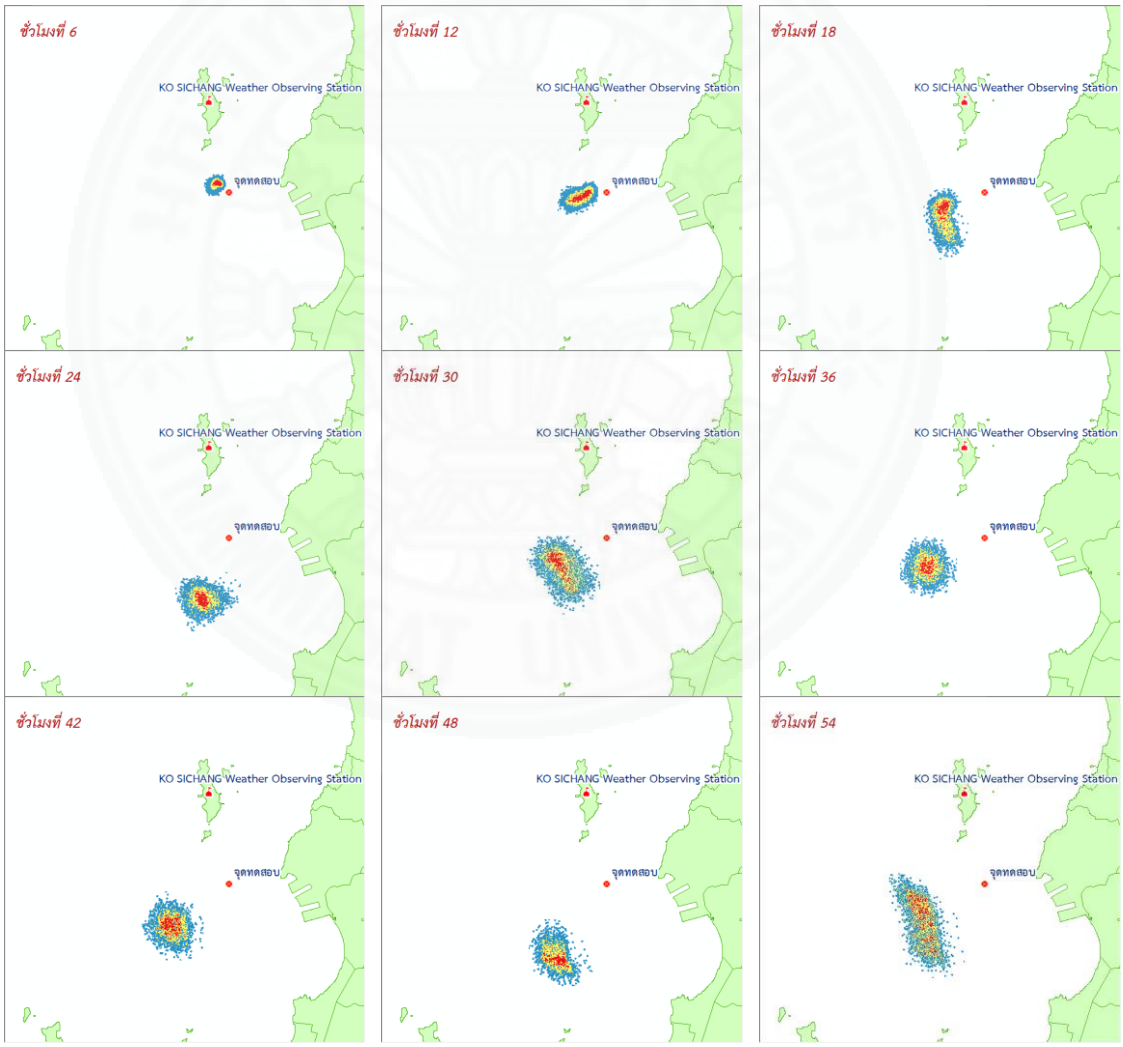
TAM_NAME	AMP_NAME	PRV_NAME	Length_KM
ต.ท่าเทววงษ์ (เกาะสีชัง)	อ.เกาะสีชัง	จ.ชลบุรี	3.17286
เกาะขามใหญ่			.609374
เกาะค้างคาว			.224669

Average Length_KM	1.335635	Max Length_KM	3.17286	Min Length_KM	.224669
Sum Length_KM	4.006904				

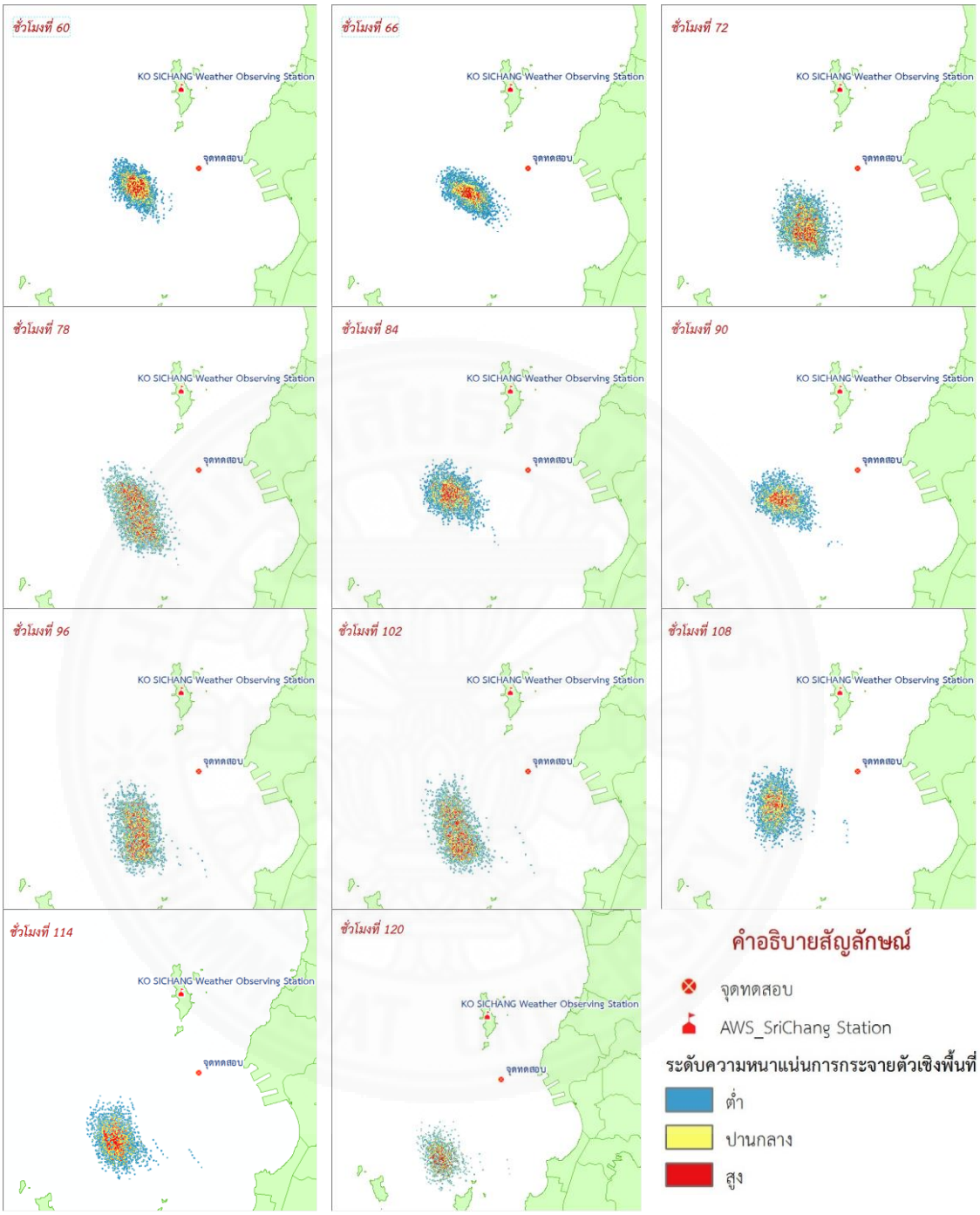
ภาพที่ 13ข รายงานผลการวิเคราะห์แนวชายฝั่งที่มีแนวโน้มได้รับผลกระทบ ในช่วงน้ำตาย ช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุมครั้งที่ 2

ภาคผนวก ค
ผลการวิเคราะห์ความหนาแน่นการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของคราบน้ำมัน

ความหนาแน่นการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของคราบน้ำมัน วิเคราะห์โดยใช้ข้อมูลการกระจายตัวของคราบน้ำมันจากแบบจำลอง GNOME นำเข้าในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ และวิเคราะห์ความหนาแน่นการกระจายตัวของคราบน้ำมันด้วยเทคนิคเคอร์เนล เดนซิตี้ โดยแบ่งวิเคราะห์ข้อมูลครั้งละ 6 ชั่วโมง ทั้งนี้ เพื่อให้เห็นและเข้าใจถึงรูปแบบการกระจายตัวระหว่างเส้นทางที่คราบน้ำมันเคลื่อนที่ผ่านในแต่ละช่วงเวลา จำแนกตามฤดูมรสุม และช่วงน้ำเป็น-น้ำตาย ดังนี้

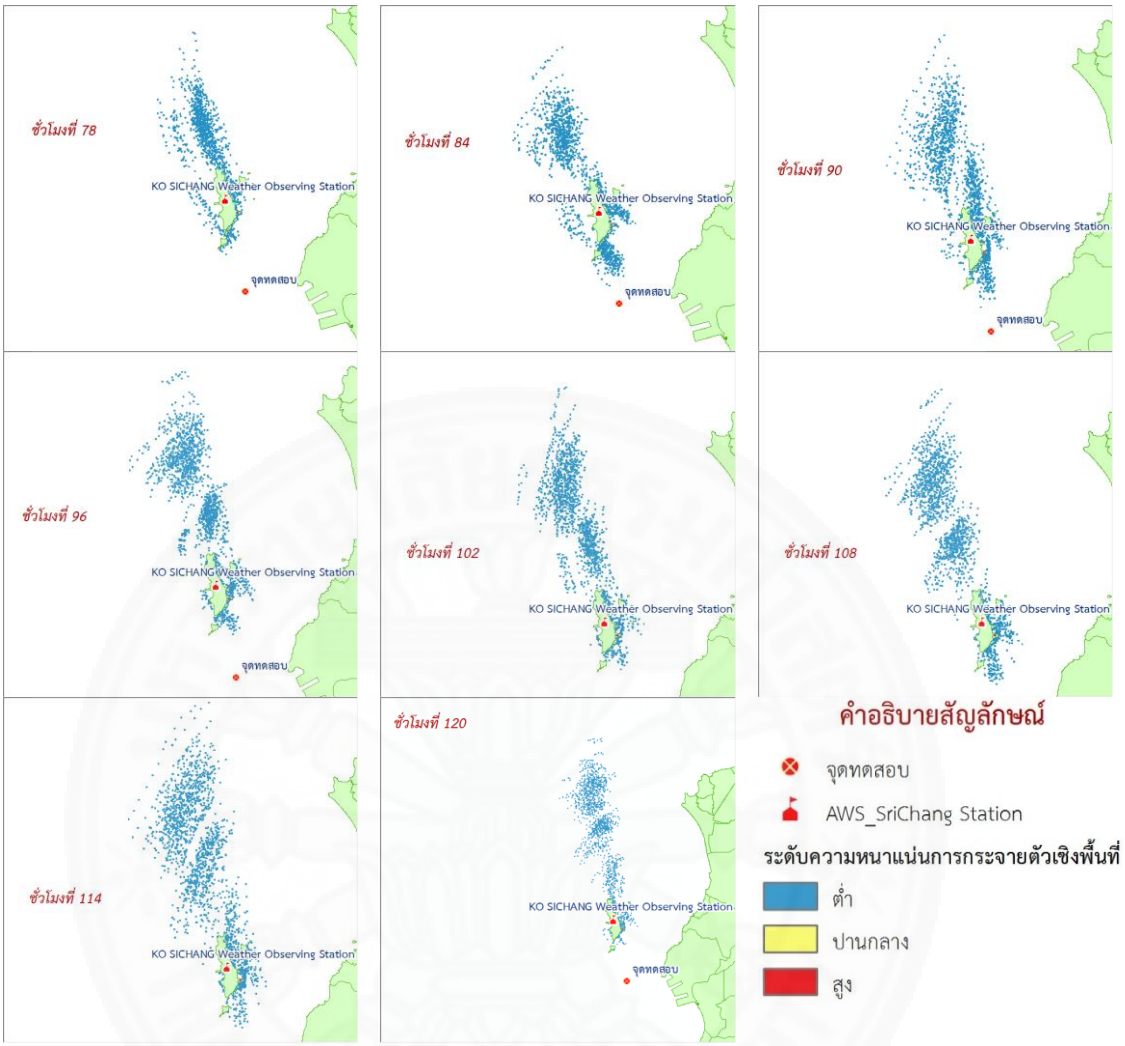


ภาพที่ 1ค ผลการวิเคราะห์ความหนาแน่นการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของคราบน้ำมัน ช่วงน้ำเป็น ฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ

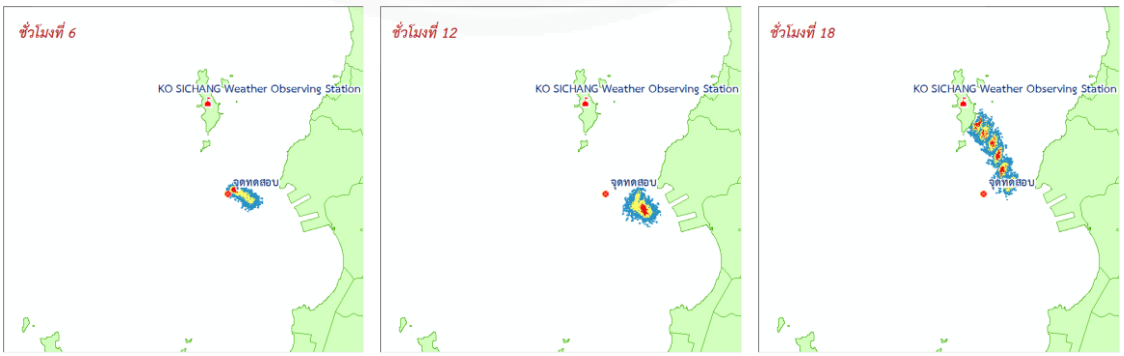


ภาพที่ 1ค (ต่อ) ผลการวิเคราะห์ความหนาแน่นการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของคราบน้ำมัน ช่วงน้ำเป็น ฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ

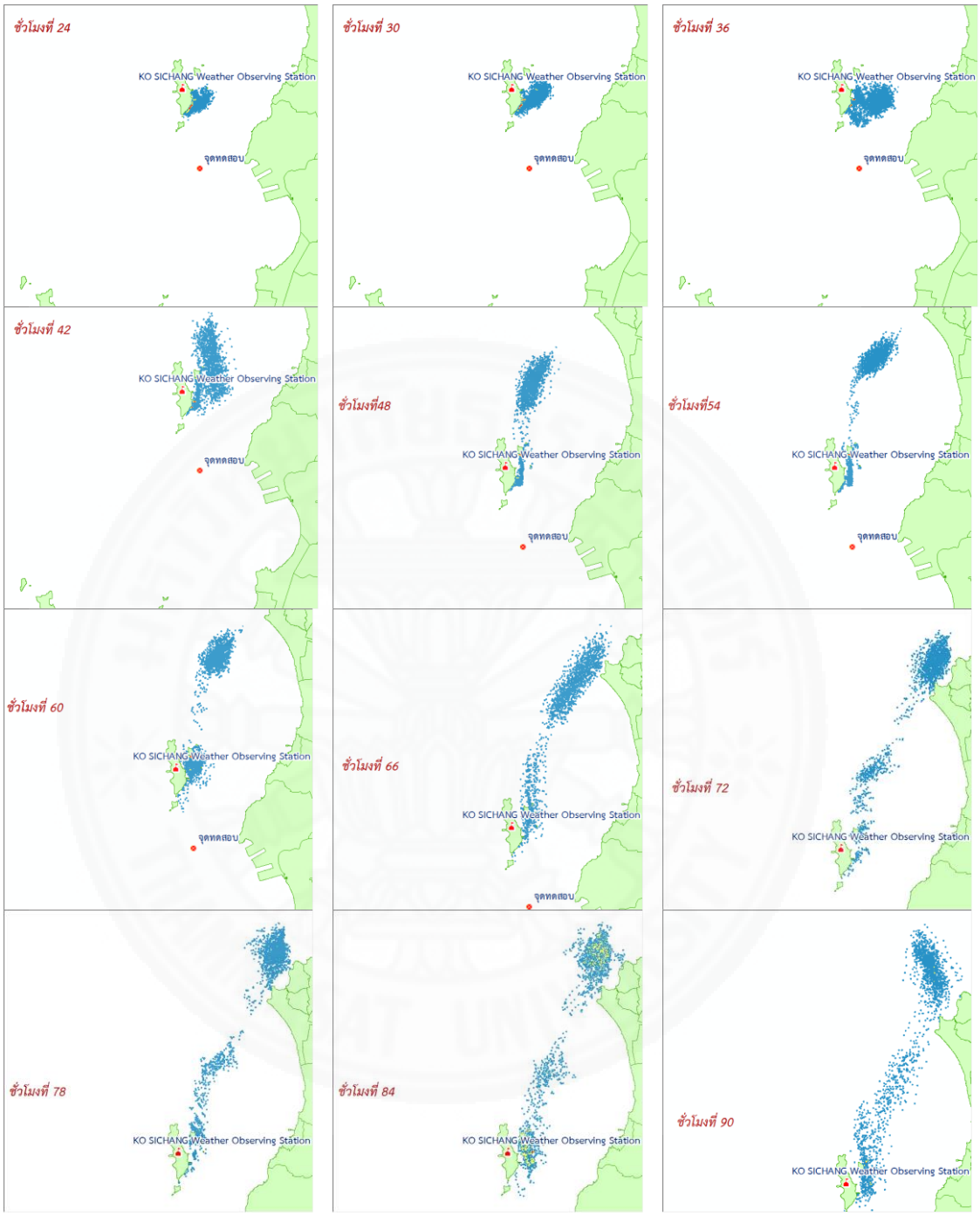
ภาพที่ 2ค ผลการวิเคราะห์ความหนาแน่นการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของคราบน้ำมัน ช่วงน้ำเป็น ช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุมครั้งที่ 1



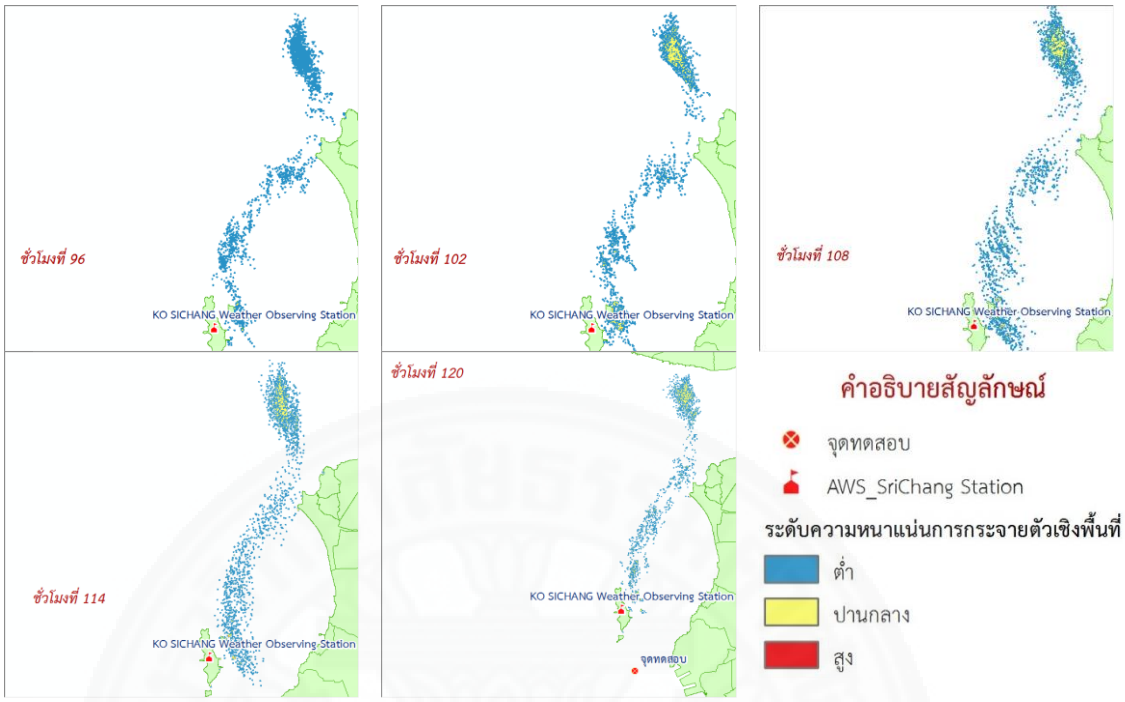
ภาพที่ 2ค (ต่อ) ผลการวิเคราะห์ความหนาแน่นการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของคราบน้ำมัน ช่วงน้ำเป็น ช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุมครั้งที่ 1



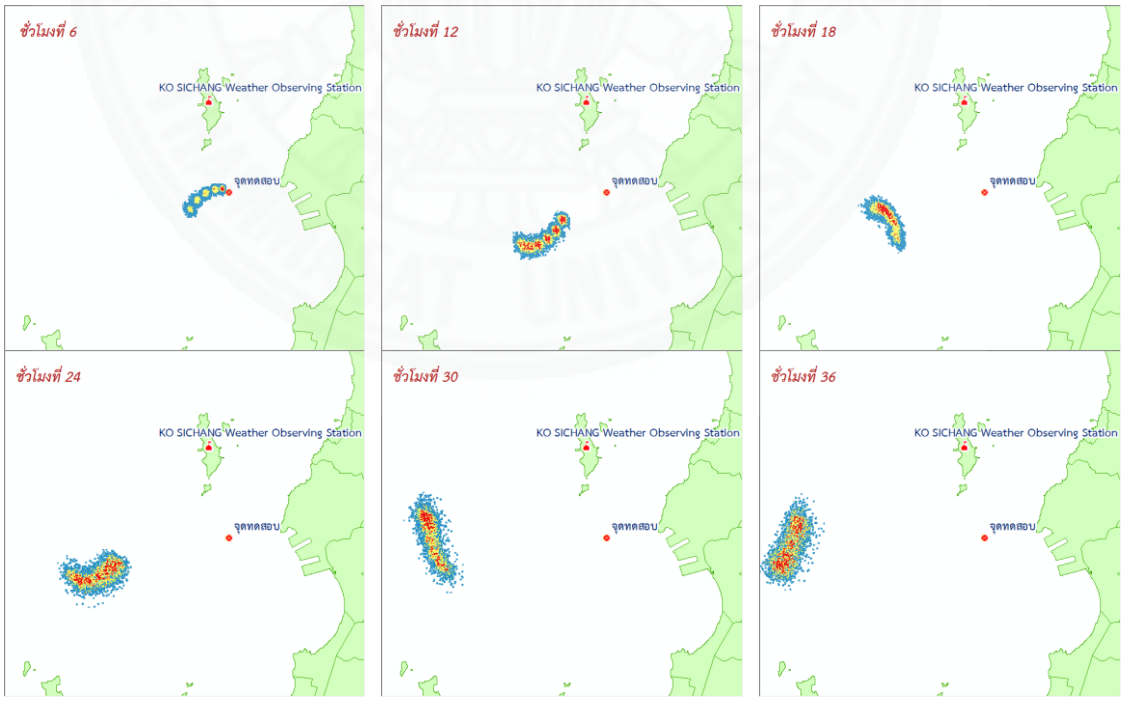
ภาพที่ 3ค ผลการวิเคราะห์ความหนาแน่นการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของคราบน้ำมัน ช่วงน้ำเป็น ฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้



ภาพที่ 3ค (ต่อ) ผลการวิเคราะห์ความหนาแน่นการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของคราบน้ำมัน ช่วงน้ำเป็น ฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้

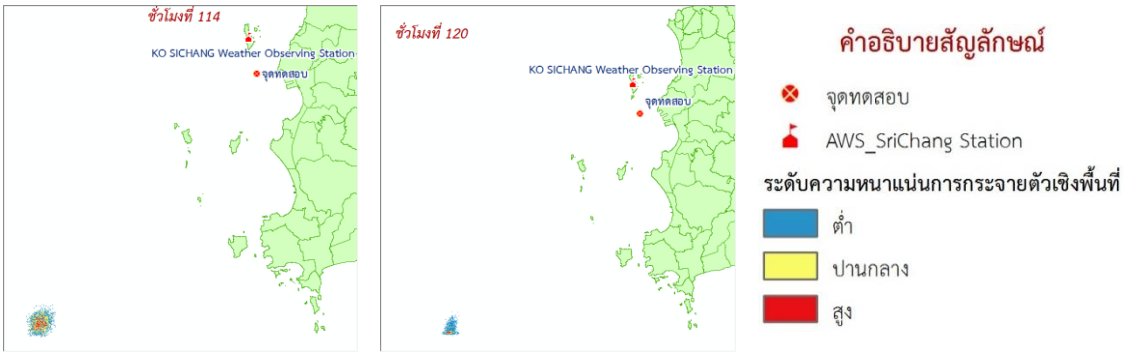


ภาพที่ 3ค (ต่อ) ผลการวิเคราะห์ความหนาแน่นการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของคราบน้ำมัน ช่วงน้ำเป็น ฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้



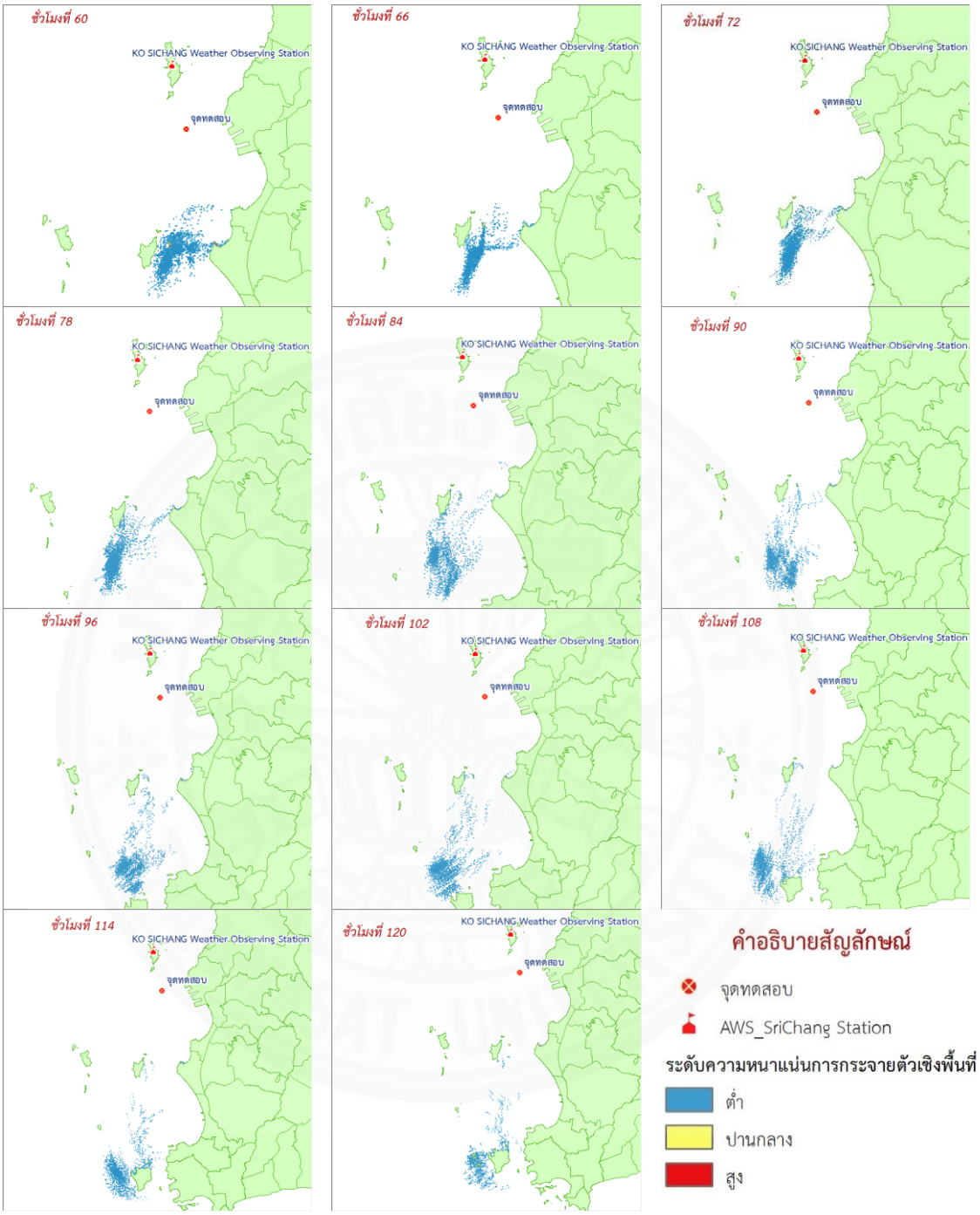
ภาพที่ 4ค ผลการวิเคราะห์ความหนาแน่นการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของคราบน้ำมัน ช่วงน้ำเป็น ช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุมครั้งที่ 2

ภาพที่ 4ค (ต่อ) ผลการวิเคราะห์ความหนาแน่นการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของคราบน้ำมัน ช่วงน้ำเป็น ช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุมครั้งที่ 2



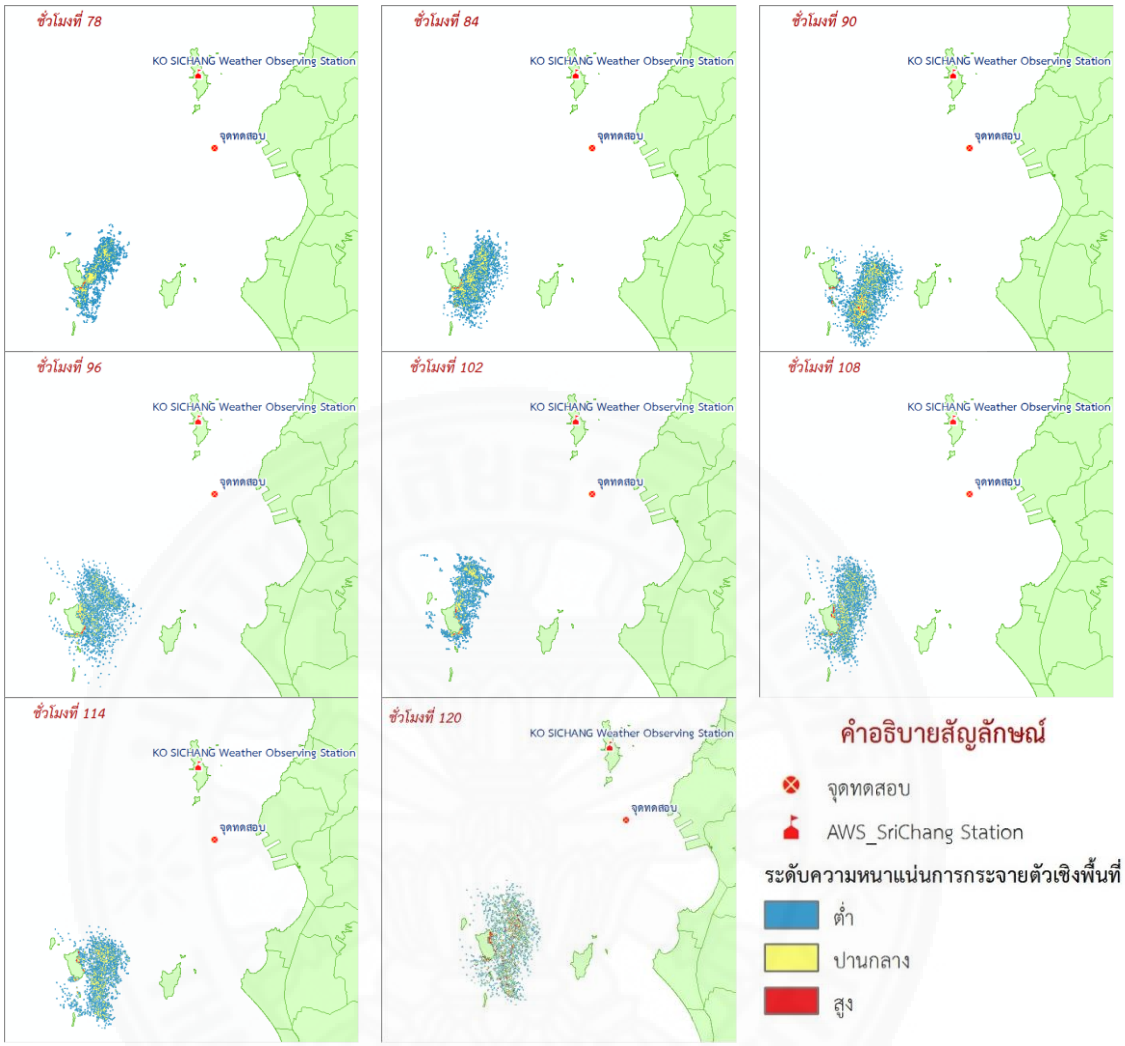
ภาพที่ 4ค (ต่อ) ผลการวิเคราะห์ความหนาแน่นการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของคราบน้ำมัน ช่วงน้ำเป็น ช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุมครั้งที่ 2

ภาพที่ 5ค ผลการวิเคราะห์ความหนาแน่นการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของคราบน้ำมัน ช่วงน้ำตาย ฤดู มรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ



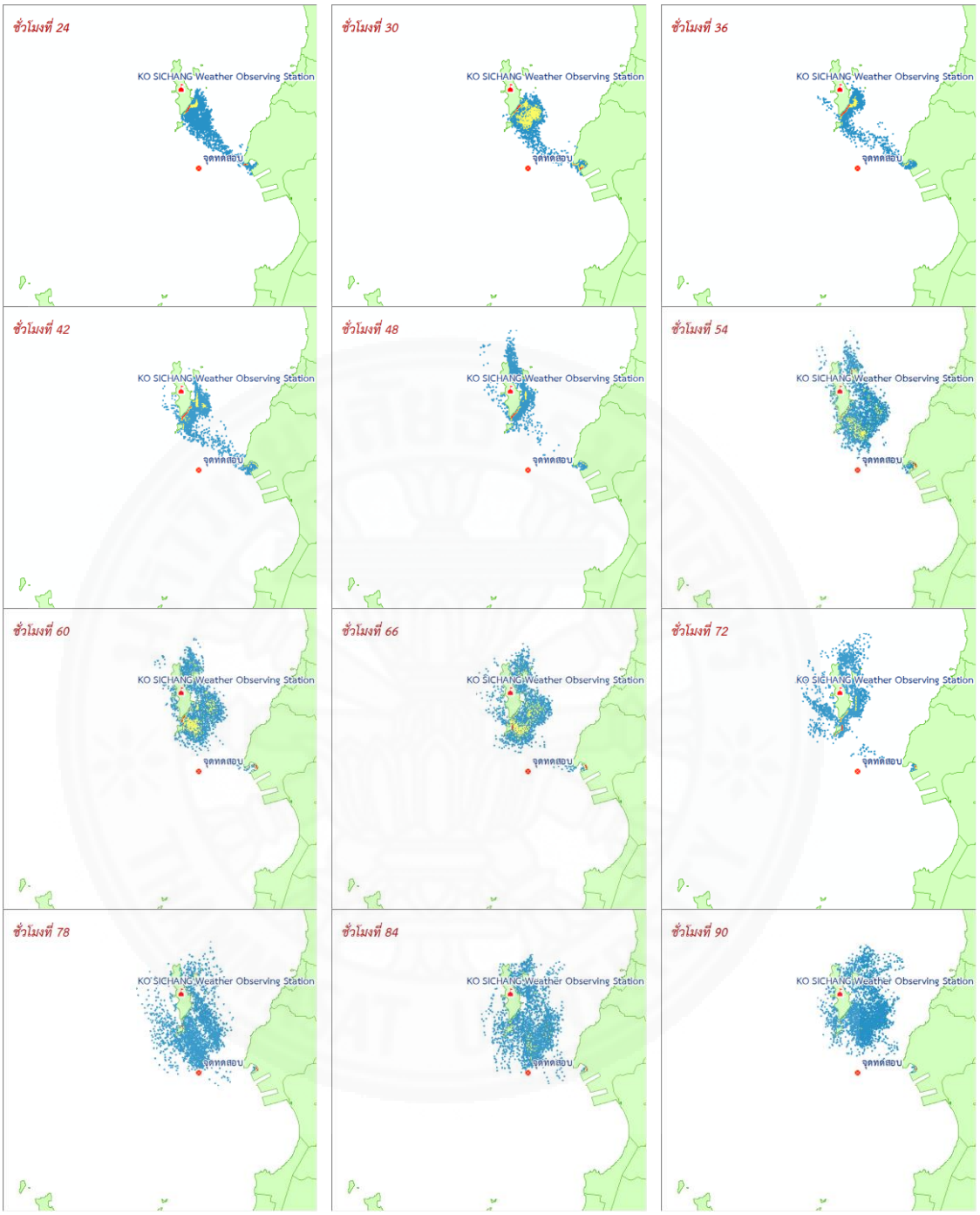
ภาพที่ 5ค (ต่อ) ผลการวิเคราะห์ความหนาแน่นการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของคราบน้ำมัน ช่วงน้ำตายฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ

ภาพที่ 6ค ผลการวิเคราะห์ความหนาแน่นการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของคราบน้ำมัน ช่วงน้ำตาย ช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุมครั้งที่ 1

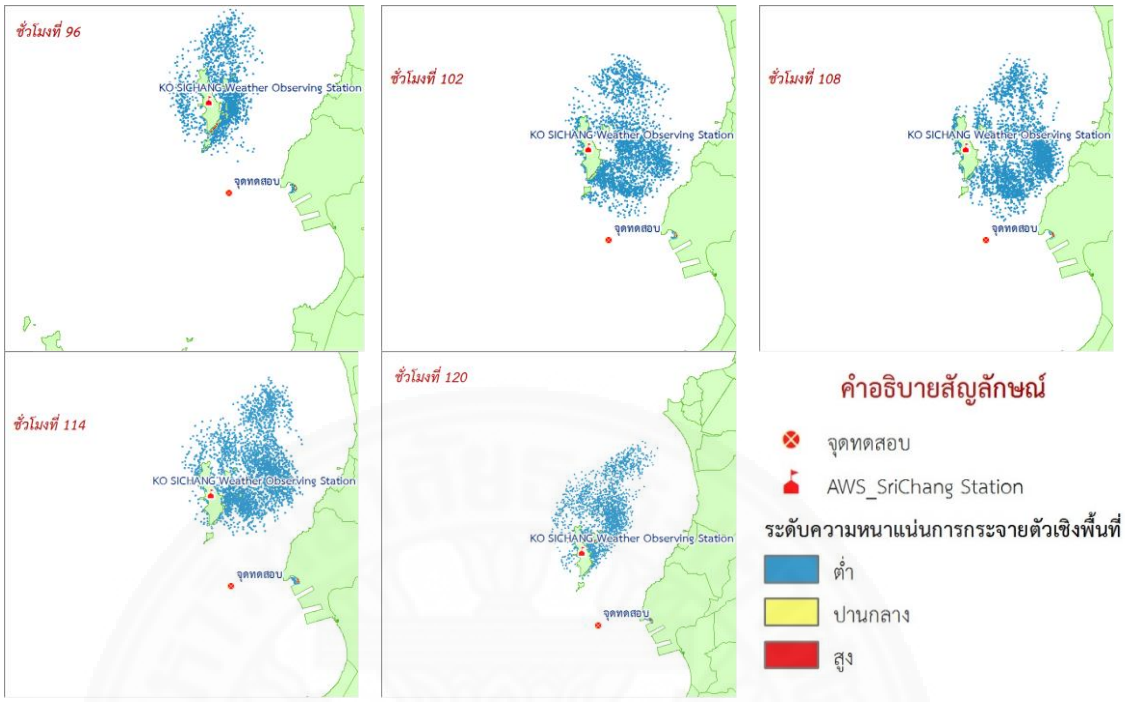


ภาพที่ 6ค (ต่อ) ผลการวิเคราะห์ความหนาแน่นการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของคราบน้ำมัน ช่วงน้ำตาย ช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุมครั้งที่ 1

ภาพที่ 7ค ผลการวิเคราะห์ความหนาแน่นการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของคราบน้ำมัน ช่วงน้ำตาย ฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้

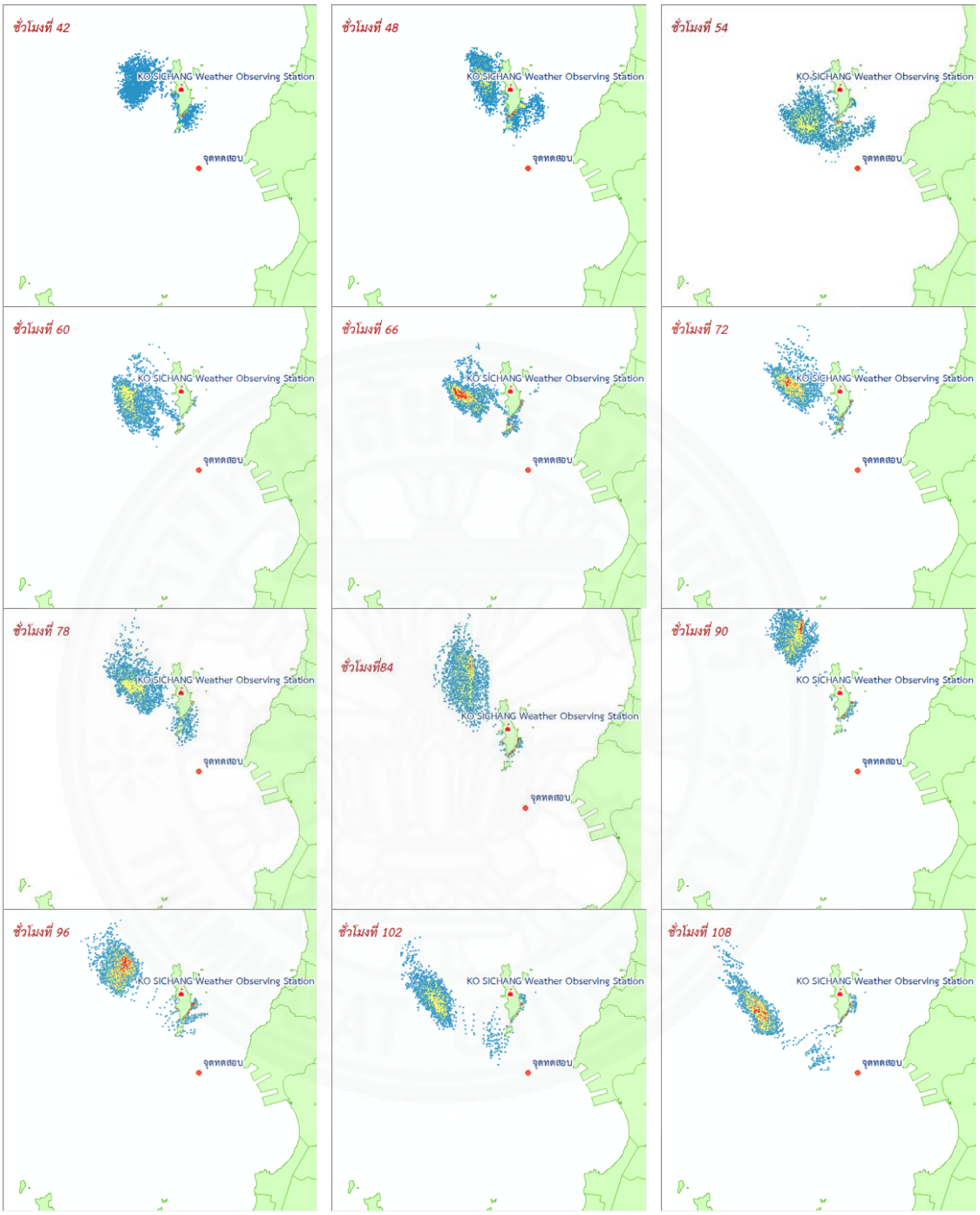


ภาพที่ 7ค (ต่อ) ผลการวิเคราะห์ความหนาแน่นการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของคราบน้ำมัน ช่วงน้ำตาย ฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้

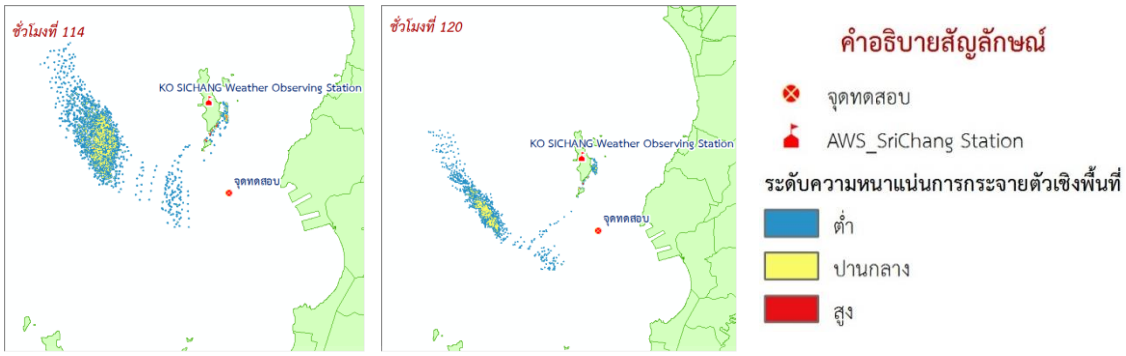


ภาพที่ 7ค (ต่อ) ผลการวิเคราะห์ความหนาแน่นการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของคราบน้ำมัน ช่วงน้ำตาย ฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้

ภาพที่ 8ค ผลการวิเคราะห์ความหนาแน่นการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของคราบน้ำมัน ช่วงน้ำตาย ช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุมครั้งที่ 2



ภาพที่ 8ค (ต่อ) ผลการวิเคราะห์ความหนาแน่นการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของคราบน้ำมัน ช่วงน้ำตาย ช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุมครั้งที่ 2



ภาพที่ 8ค (ต่อ) ผลการวิเคราะห์ความหนาแน่นการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของคราบน้ำมัน ช่วงน้ำตาย ช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุมครั้งที่ 2

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นายวัชระ เกษเดช
วันเดือนปีเกิด	21 ตุลาคม พ.ศ. 2525
วุฒิการศึกษา	ปีการศึกษา 2547: วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เทคโนโลยีการจัดการทรัพยากรทะเลและชายฝั่ง) มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์
ตำแหน่ง	นักภูมิสารสนเทศชำนาญการ (ด้านระบบเทคโนโลยีสารสนเทศทางทะเล) ฝ่ายทรัพยากรธรรมชาติ สำนักประยุกต์และบริการภูมิสารสนเทศ สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน)
ทุนการศึกษา (ถ้ามี)	-

ผลงานทางวิชาการ

วัชระ เกษเดช และสุเพชร จิรขจรกุล, 2560, *การประยุกต์ข้อมูลจากระบบเรดาร์คลื่นวิทยุความถี่สูงแบบจำลอง GNOME และระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ สำหรับคาดการณ์การเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันในทะเล*, วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 25 ฉบับที่ 1.

วัชระ เกษเดช ศิริลักษณ์ พฤกษ์ปิติกุล วราทิพย์ บัวแก้ว และณัทธร แก้วภู่, 2552, *การประยุกต์การสำรวจระยะไกลและระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ผ่านเครือข่ายเพื่อการท่องเที่ยวเชิงนิเวศแนวปะการัง*, การประชุมวิชาการเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศแห่งชาติ ปี 2552, กรุงเทพฯ.

Watchara Kesdech, Siriluk Prukpitikul and Prapaporn Pacheerat, 2012, *Development of 3D BIM For Coastal Zone Management*, The 33rd Asian Conference on Remote Sensing, Chonburi.

Watchara Kesdech, Siriluk Prukpitikul, Varatip Buakaew and Nuttorn Kaewpoo, 2010, *Geo-Informatics Technology for Geo-Tourism in Coastal Zone*, Map Asia 2010, Kuala Lampur, Malaysia.

Watchara Kesdech, Siriluk Prukpitikul, Varatip Buakaew and Nuttorn Kaewpoo, 2014, *Development of Coastal Radar System and Application in Thailand*, The 2nd Ocean Radar Conference for Asia-Pacific, Kaohsiung, Taiwan.

ประสบการณ์ทำงาน

2558: รักษาการนักภูมิสารสนเทศชำนาญการ
ฝ่ายทรัพยากรธรรมชาติ
สำนักประยุกต์และบริการภูมิสารสนเทศ
สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ
(องค์การมหาชน)
2556: นักภูมิสารสนเทศ ฝ่ายทรัพยากรธรรมชาติ
สำนักประยุกต์และบริการภูมิสารสนเทศ
สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ
(องค์การมหาชน)
2553: นักภูมิสารสนเทศ ฝ่ายพัฒนากระบวนการ
ประยุกต์ภูมิสารสนเทศ ศูนย์พัฒนาภูมิสารสนเทศ
สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ
(องค์การมหาชน)
2551: รักษาการหัวหน้างานประยุกต์ข้อมูลสารสนเทศ
ทางทะเล ฝ่ายสารสนเทศทางทะเล สำนักภูมิสารสนเทศ
สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ
(องค์การมหาชน)
2549: นักวิชาการ (วิทยาศาสตร์) ฝ่ายสารสนเทศทาง
ทะเล สำนักภูมิสารสนเทศ สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยี
อวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน)
2548: พนักงานนำเข้าข้อมูลด้วยคอมพิวเตอร์
บริษัท จีไอเอส ดาต้า จำกัด ภายใต้โครงการจัดทำแผนที่
เพื่อการบริหารทรัพยากรธรรมชาติและทรัพย์สิน
(MOAC 4K) กระทรวงเกษตรและสหกรณ์