

การหยั่งความลึกน้ำทะเลจากการรับรู้ระยะไกลในอ่าวไทยด้วยภาพถ่ายดาวเทียมแลนด์แซท 8



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาภูมิศาสตร์และภูมิสารสนเทศ ภาควิชาภูมิศาสตร์

คณะอักษรศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2564

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

REMOTE SENSING-DERIVED OCEANIC BATHYMETRY IN THE GULF OF THAILAND USING  
LANDSAT 8 IMAGERIES



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Science in Geography and Geoinformatics

Department of Geography

FACULTY OF ARTS

Chulalongkorn University

Academic Year 2021

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การหยุ่งความลึกลงน้ำทะเลจากการรับรู้ระยะไกลในอ่าวไทย ด้วยภาพถ่ายดาวเทียมแลนด์แซท 8
โดย	ร.อ.ชนัดตพงษ์ เสื่องามเอี่ยม
สาขาวิชา	ภูมิศาสตร์และภูมิสารสนเทศ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริวิไล ธีระโรจนรัตน์

---

คณะอักษรศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของ  
การศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

.....	คณบดีคณะอักษรศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุรเดช โชติอุดมพันธ์)	
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ประธานกรรมการ
.....	(อาจารย์ ดร.ชนิตา ดวงยิหาวา)
.....	อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริวิไล ธีระโรจนรัตน์)	
.....	กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุเพชร จิระจรกุล)	

CHULALONGKORN UNIVERSITY

ชนิดตพิมพ์ : เสื้องามเอี่ยม : การหยั่งความลึกน้ำทะเลจากการรับรู้ระยะไกลในอ่าวไทยด้วย  
 ภาพถ่ายดาวเทียมแลนด์แซท 8. ( REMOTE SENSING-DERIVED OCEANIC BATHYMETRY IN  
 THE GULF OF THAILAND USING LANDSAT 8 IMAGERIES)  
 อ.ที่ปรึกษาหลัก : รศ. ดร.ศิริวิไล ชีระโรจนารัตน์

การสำรวจแผนที่ทะเลของประเทศไทยในปัจจุบันมีข้อจำกัดด้านทรัพยากรที่ใช้ในการสำรวจ  
 และด้านบุคลากร ทำให้ไม่สามารถสำรวจปรับปรุงแผนที่ทะเลให้มีความทันสมัยและครอบคลุมทั่ว  
 ประเทศ จึงมีความจำเป็นในการหาเครื่องมือหรือวิธีการในการช่วยหาความลึกน้ำทะเลที่ให้ค่าความ  
 ถูกต้องของความลึก ประหยัด และรวดเร็วในการสำรวจ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์ใช้ภาพถ่าย  
 ดาวเทียม Landsat 8 ในการวิเคราะห์หาค่าความลึกน้ำทะเลในอ่าวไทย จำนวน 3 พื้นที่ ซึ่งอ้างอิง  
 ขอบเขตตาม แผนที่เดินเรือ ได้แก่ พื้นที่อ่าวไทยรูปตัว ก (ทางเข้าแม่น้ำเจ้าพระยา) พื้นที่อ่าวไทยฝั่ง  
 ตะวันออก (เกาะสบบ้า ถึง เกาะจิกนอก) และพื้นที่อ่าวไทยฝั่งตะวันตก (อ่าวชุมพร) ด้วยเทคนิคการสร้าง  
 แผนที่ความลึกน้ำทะเลด้วยวิธี Satellite Derived Bathymetry (SDB) ร่วมกับแบบจำลองอัตราส่วนช่วง  
 คลื่น (Log-Band Ratio Method) เพื่อให้ได้ความลึกน้ำทะเลที่มีความแม่นยำสูงเมื่อเทียบฐานข้อมูลแผนที่  
 ที่เดินเรือจากการสำรวจด้วยวิธีการหยั่งน้ำด้วยเสียงแบบลำคลื่นเดียว ผลวิจัยพบว่าค่าความลึกน้ำทะเล  
 จากภาพถ่ายดาวเทียมช่วงระดับความลึก 0 – 15 เมตร ในพื้นที่อ่าวไทยรูปตัว ก พื้นที่อ่าวไทยฝั่ง  
 ตะวันออก และพื้นที่อ่าวไทยฝั่งตะวันตก มีค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด ( $R^2$ ) เท่ากับ 0.8621, 0.9130 และ  
 0.9304 ตามลำดับ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการหยั่งความลึกน้ำทะเลด้วยวิธีการ SDB ร่วมกับ  
 แบบจำลองอัตราส่วนช่วงคลื่นในทะเลอ่าวไทยทั้ง 3 พื้นที่ กับความลึกน้ำสำรวจด้วยวิธีการหยั่งน้ำด้วย  
 เสียงแบบลำคลื่นเดียวมีความสอดคล้องกันสูงโดยเฉพาะพื้นที่อ่าวไทยฝั่งตะวันตก ดังนั้นวิธีการ SDB  
 ร่วมกับแบบจำลองอัตราส่วนช่วงคลื่นจึงสามารถใช้เป็นเครื่องมือหรือวิธีการทางเลือกในการสนับสนุนการ  
 สำรวจแผนที่อุทกศาสตร์ในพื้นที่ที่ต้องการทราบค่าความลึกในช่วงความลึกน้ำไม่เกิน 15 เมตร โดยเฉพาะ  
 พื้นที่น้ำตื้นหรือชายฝั่งทะเลที่มีข้อมูลอุทกศาสตร์อยู่เพียงเล็กน้อยหรือไม่มีเลยได้เป็นอย่างดี

สาขาวิชา      ภูมิศาสตร์และภูมิสารสนเทศ      ลายมือชื่อนิสิต .....

ปีการศึกษา    2564      ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

# # 6388506622 : MAJOR GEOGRAPHY AND GEOINFORMATICS

KEYWORD: Bathymetry, Satellite Derived Bathymetry (SDB), Remote Sensing, LANDSAT 8  
 Chanattapong Suerngamaiem : REMOTE SENSING-DERIVED OCEANIC BATHYMETRY IN  
 THE GULF OF THAILAND USING LANDSAT 8 IMAGERIES.  
 Advisor: Assoc. Prof. SIRIVILAI TEERAROJANARAT, Ph.D.

At present, Thailand's bathymetry surveys are limited in terms of survey resources and personnel. As a result, it is unable to explore and improve the sea map to be up-to-date and cover the whole country. Therefore, there is a need to find tools or methods to help determine sea depth that provide depth accuracy, cost-effectiveness, and expedited surveying. The objective of this research is to apply Landsat 8 satellite imagery to analyze the sea depth in the Gulf of Thailand in three study sites based on the boundary of the nautical map: Inner Gulf of Thailand (Entrance to Mae Nam Chao Phraya), Eastern Gulf of Thailand (Koh Saba to Koh Chik Nok), and Western Gulf of Thailand (Ao Chumphon) employing nautical chart techniques using Satellite Derived Bathymetry (SDB) and Log-Band Ratio Method. By utilizing would lead to the higher precision sea depth when compared to nautical chart databases from single-beam echo sounding survey. The results indicate the sea depth values from satellite images in the depth ranging from 0 - 15 meters in the Inner Gulf of Thailand, Eastern Gulf of Thailand, and Western Gulf of Thailand with Coefficient of determination ( $R^2$ ) values of 0.8621, 0.9130 and 0.9304 respectively, showing that the SDB chart in all 3 areas of the Gulf of Thailand is highly consistent with the nautical chart depth. The results further indicated that the western Gulf of Thailand provides the best SDB depth values. The study implies that the SDB method and Log-Band Ratio Method can be used as an alternative tool or method to support hydrographic bathymetry surveys in areas that the water depth is not more than 15 m, especially in shallow water or coastal areas where little or no hydrographic bathymetry data is available.

Field of Study: Geography and  
 Geoinformatics

Student's Signature .....

Academic Year: 2021

Advisor's Signature .....

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จสมบูรณ์ไปได้ด้วยดีเนื่องจากความตั้งใจ และความพยายามของผู้วิจัย ซึ่งได้รับความเมตตา ความเอาใจใส่ ความช่วยเหลือ และกำลังใจ จาก รศ.ดร.ศิริวิไล ชีระโรจนารัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก รวมถึงคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ที่ได้ให้คำแนะนำ และตรวจสอบแก้ไขเพื่อความสมบูรณ์

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาฯ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ คณะอาจารย์ในการเรียนการสอนตลอดหลักสูตร เจ้าหน้าที่ของมหาวิทยาลัย เพื่อนร่วมชั้นเรียนทุกท่าน ที่เป็นส่วนหนึ่งที่สำคัญในการทำงานวิจัยเล่มนี้จนประสบความสำเร็จตามที่ตั้งใจ

ขอขอบคุณกรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ พี่-เพื่อน-น้อง อศ. และผู้ใต้บังคับบัญชาที่เกี่ยวข้อง ในการให้คำแนะนำ และความช่วยเหลือที่เป็นประโยชน์เสมอมา

ขอขอบพระคุณครอบครัว “แม่-พ่อ” ที่คอยสนับสนุนทุกการตัดสินใจ ให้ทุนการศึกษา และเป็นกำลังใจที่ดีมาโดยตลอด และสำคัญที่สุด ขอขอบคุณภริยาที่น่ารัก “พรชนก อ่ำพันธุ์” ผู้คอยเป็นกำลังกาย กำลังใจ และให้การสนับสนุนอยู่เคียงข้างข้าพเจ้าด้วยความรัก ความหวังดีตลอดเวลา

ชนัตถพงศ์ เสื่องงามเอี่ยม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูปภาพ.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	4
1.4 นิยามศัพท์ที่เกี่ยวข้อง.....	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย.....	5
บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 แผนที่ทะเล/แผนที่เดินเรือ.....	6
2.1.1 การสำรวจแผนที่ทะเล.....	10
2.1.2 การหยั่งน้ำ.....	12
2.1.3 การคำนวณหักแก้ความลึกน้ำ.....	15
2.2 เทคโนโลยีการรับรู้ระยะไกลกับการหยั่งความลึกน้ำทะเล.....	16
2.2.1 Light Detection and Ranging (LIDAR).....	17
2.2.2 การหยั่งความลึกด้วยภาพถ่ายดาวเทียม (Satellite Derived Bathymetry: SDB)...	18
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับวิธีการ SDB.....	21

2.3 เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	26
บทที่ 3 พื้นที่ศึกษา.....	30
3.1 พื้นที่อ่าวไทยรูปตัว ก (ทางเข้าแม่น้ำเจ้าพระยา) : แผนที่เดินเรือหมายเลข 112 ทางเข้าแม่น้ำเจ้าพระยา (Zone 1).....	32
3.2 พื้นที่อ่าวไทยฝั่งตะวันออก : แผนที่เดินเรือหมายเลข 118 เกาะสบบ้า ถึง เกาะจิกนอก (Zone 2) .....	36
3.3 พื้นที่อ่าวไทยฝั่งตะวันตก : แผนที่เดินเรือหมายเลข 225 อ่าวชุมพร จว.ชุมพร (Zone 3)....	40
บทที่ 4 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	43
4.1 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา.....	43
4.2 สมการที่ใช้ในการศึกษา .....	48
4.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	49
บทที่ 5 ผลการศึกษา.....	57
5.1 ผลการหั่งความลึกน้ำทะเลด้วยวิธีการ SDB จำนวน 3 พื้นที่ .....	57
5.1.1 พื้นที่อ่าวไทยรูปตัว ก : ทางเข้าแม่น้ำเจ้าพระยา (Zone 1).....	57
5.1.2 พื้นที่อ่าวไทยฝั่งตะวันออก : เกาะสบบ้า ถึง เกาะจิกนอก (Zone 2).....	63
5.1.3 พื้นที่อ่าวไทยฝั่งตะวันตก : อ่าวชุมพร (Zone 3) .....	69
5.2 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับค่าความลึกน้ำสำรวจ .....	76
5.2.1 พื้นที่อ่าวไทยรูปตัว ก : ทางเข้าแม่น้ำเจ้าพระยา (Zone 1).....	76
5.2.2 พื้นที่อ่าวไทยฝั่งตะวันออก : เกาะสบบ้า ถึง เกาะจิกนอก (Zone 2).....	78
5.2.3 พื้นที่อ่าวไทยฝั่งตะวันตก : อ่าวชุมพร (Zone 3) .....	80
บทที่ 6 อภิปราย สรุปผล และข้อเสนอแนะ .....	83
6.1 อภิปรายผลการศึกษา .....	83
6.2 สรุปผลการวิจัย.....	84
6.3 ข้อเสนอแนะ .....	85



บรรณานุกรม.....	87
ประวัติผู้เขียน.....	93



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
**CHULALONGKORN UNIVERSITY**

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 เขตของความเชื่อมั่น (Zone of Confidence : ZOC ).....	9
ตารางที่ 2 มาตรฐานเกณฑ์งานสำรวจ IHO S-44 บรรณาธิการที่ 6.....	12
ตารางที่ 3 ความยาวช่วงคลื่นและรายละเอียดจุดภาพของดาวเทียม Landsat 8.....	44
ตารางที่ 4 รายละเอียดข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8.....	46
ตารางที่ 5 รายละเอียดข้อมูลความลึกน้ำสำรวจ.....	47
ตารางที่ 6 ค่าความลึกน้ำเฉลี่ยจากภาพถ่ายดาวเทียมบริเวณทางเข้าแม่น้ำเจ้าพระยา อ้างอิงกับ ความลึกน้ำสำรวจ หน่วยเป็นเมตร (SBES = ค่าความลึกน้ำสำรวจจากวิธีการหยั่งน้ำด้วยเสียงแบบลำ คลื่นเดี่ยว และ SDB = ค่าความลึกน้ำจากวิธีการ SDB).....	62
ตารางที่ 7 ค่าความลึกน้ำเฉลี่ยจากภาพถ่ายดาวเทียมบริเวณเกาะสละบ้ำ ถึง เกาะจิกนอก อ้างอิงกับ ความลึกน้ำสำรวจ หน่วยเป็นเมตร (SBES = ค่าความลึกน้ำสำรวจจากวิธีการหยั่งน้ำด้วยเสียงแบบลำ คลื่นเดี่ยว และ SDB = ค่าความลึกน้ำจากวิธีการ SDB).....	68
ตารางที่ 8 ค่าความลึกน้ำเฉลี่ยจากภาพถ่ายดาวเทียมบริเวณอ่าวชุมพร อ้างอิงกับความลึกน้ำสำรวจ หน่วยเป็นเมตร (SBES = ค่าความลึกน้ำสำรวจจากวิธีการหยั่งน้ำด้วยเสียงแบบลำคลื่นเดี่ยว และ SDB = ค่าความลึกน้ำจากวิธีการ SDB).....	75
ตารางที่ 9 ผลการวิเคราะห์การถดถอยระหว่างค่าความลึกน้ำจากวิธีการ SDB กับค่าความลึกน้ำ สำรวจ พื้นที่อ่าวไทยรูปตัว ก.....	76
ตารางที่ 10 ผลการวิเคราะห์การถดถอยระหว่างค่าความลึกน้ำจากวิธีการ SDB กับค่าความลึกน้ำ สำรวจ พื้นที่อ่าวไทยฝั่งตะวันออก.....	78
ตารางที่ 11 ผลการวิเคราะห์การถดถอยระหว่างค่าความลึกน้ำจากวิธีการ SDB กับค่าความลึกน้ำ สำรวจพื้นที่อ่าวไทยฝั่งตะวันตก.....	80

## สารบัญรูปภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1 แผนที่เดินเรือหมายเลข 045 กรุงเทพฯ ถึง สิงคโปร์.....	7
ภาพที่ 2 การหยั่งน้ำด้วยเสียงสะท้อนแบบความถี่เดียว.....	13
ภาพที่ 3 การหยั่งน้ำด้วยเสียงสะท้อนแบบหลายความถี่.....	14
ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ของค่าระดับในการหักเลขน้ำ.....	16
ภาพที่ 5 กระบวนการสำรวจระยะไกล.....	17
ภาพที่ 6 การสำรวจ LIDAR ด้วยอากาศยาน.....	18
ภาพที่ 7 แผนที่ความลึกน้ำทะเลด้วยวิธีการ SDB บริเวณเกาะปีนัง ประเทศมาเลเซีย.....	20
ภาพที่ 8 แผนที่เดินเรือแสดงข้อมูลความลึกน้ำจากวิธีการ SDB .....	21
ภาพที่ 9 ตัวอย่างภาพผลลัพธ์การใช้ NDWI เพื่อแยกพื้นที่น้ำ และไม่ใช่ใน 2 ช่วงเวลา.....	22
ภาพที่ 10 พื้นที่ศึกษาอ้างอิงตามแผนที่เดินเรือประเทศไทย.....	30
ภาพที่ 11 ภาพรวมพื้นที่ศึกษา จำนวน 3 พื้นที่ .....	31
ภาพที่ 12 แผนที่เดินเรือ หมายเลข 112 ทางเข้าแม่น้ำเจ้าพระยา .....	32
ภาพที่ 13 แผนที่นำร่อง Bangkok Bar Channel สำหรับเดินเรือบริเวณทางเข้าแม่น้ำเจ้าพระยา. 34	
ภาพที่ 14 ท่าเรือกรุงเทพ ซึ่งตั้งอยู่ในแม่น้ำเจ้าพระยา.....	36
ภาพที่ 15 แผนที่เดินเรือ หมายเลข 118 เกาะสบบ้า ถึง เกาะจิกนอก.....	37
ภาพที่ 16 ขอบเขตพื้นที่ศึกษาของแผนที่เดินเรือหมายเลข 118 .....	39
ภาพที่ 17 แผนที่เดินเรือ หมายเลข 225 อ่าวชุมพร.....	40
ภาพที่ 18 เส้นทางโดยสารทางเรือจากชุมพรไปเกาะเต่า จว.สุราษฎร์ธานี .....	41
ภาพที่ 19 ขอบเขตพื้นที่ศึกษาของแผนที่เดินเรือหมายเลข 225 .....	42
ภาพที่ 20 ดาวเทียม Landsat 8.....	44
ภาพที่ 21 ช่วงคลื่นดาวเทียม Landsat 8 .....	45

ภาพที่ 22	ภาพดาวเทียม Landsat 8 แบนด์ 2, 3 และ 6 ตามลำดับ ในพื้นที่ศึกษา (ก) ปากทางเข้าแม่น้ำเจ้าพระยา (ข) เกาะสะบ้า ถึง เกาะจิกนอก และ (ค) อ่าวชุมพร.....	46
ภาพที่ 23	ข้อมูลสำรวจแผนที่เดินเรือหมายเลข 225 ด้วยวิธีวัดเสียงสะท้อนแบบความถี่เดียว .....	47
ภาพที่ 24	แผนผังขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	49
ภาพที่ 25	การดาวน์โหลดข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 จากเว็บไซต์.....	50
ภาพที่ 26	ตัวอย่างภาพ ก่อน - หลัง การปรับแก้คลื่นรังสีของภาพถ่ายดาวเทียม Band 2.....	52
ภาพที่ 27	ตัวอย่างภาพ ก่อน - หลัง การปรับปรุงคุณภาพของภาพถ่ายดาวเทียม Band 2 บริเวณพื้นที่อ่าวไทยรูปตัว ก (ภาพซ้ายเป็นภาพที่ได้จากหลังการปรับแก้คลื่นรังสี).....	53
ภาพที่ 28	ตัวอย่างวิธีการและผลลัพธ์ของการแยกน้ำ โดยใช้ค่าดัชนีความแตกต่างของความชื้นปรับปรุง (MNDWI) พื้นที่อ่าวไทยฝั่งตะวันออก .....	54
ภาพที่ 29	ตัวอย่างค่าของความลึกน้ำสำรวจ กับค่า Pixel Values ของภาพถ่ายดาวเทียม.....	55
ภาพที่ 30	ตัวอย่างการหาค่าพารามิเตอร์ $m_1$ และ $m_0$ จากการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด.....	55
ภาพที่ 31	ตัวอย่างค่าความลึกน้ำสำรวจ กับค่าความลึกน้ำจากวิธีการ SDB พื้นที่อ่าวไทยรูปตัว ก (SBES_Depth = ค่าความลึกน้ำสำรวจจากวิธีการหยั่งน้ำด้วยเสียงแบบลำคลื่นเดียว และ SDB_Depth = ค่าความลึกน้ำจากวิธีการ SDB ).....	56
ภาพที่ 32	แผนภาพระหว่างอัตราส่วนช่วงคลื่นของแถบสีน้ำเงินและสีเขียวกับความลึกควบคุม (เป็นเมตร) พื้นที่อ่าวไทยรูปตัว ก : ทางเข้าแม่น้ำเจ้าพระยา (n = 140).....	57
ภาพที่ 33	แผนที่ความลึกน้ำจากภาพถ่ายดาวเทียมบริเวณทางเข้าแม่น้ำเจ้าพระยา.....	58
ภาพที่ 34	เปรียบเทียบแผนที่เดินเรือหมายเลข 112 ทางเข้าแม่น้ำเจ้าพระยา (ก) และแผนที่ความลึกน้ำจากภาพถ่ายดาวเทียมบริเวณทางเข้าแม่น้ำเจ้าพระยา (ข).....	59
ภาพที่ 35	แผนที่ซ้อนทับระหว่างแผนที่เดินเรือหมายเลข 112 กับแผนที่ความลึกน้ำจากภาพถ่ายดาวเทียมบริเวณทางเข้าแม่น้ำเจ้าพระยา และเส้นชั้นความลึกน้ำตามแผนที่เดินเรือ .....	60
ภาพที่ 36	แผนภาพระหว่างอัตราส่วนช่วงคลื่นของแถบสีน้ำเงินและสีเขียว กับความลึกควบคุม (เป็นเมตร) พื้นที่อ่าวไทยฝั่งตะวันออก : เกาะสะบ้า ถึง เกาะจิกนอก (n = 1396).....	63
ภาพที่ 37	แผนที่ความลึกน้ำจากภาพถ่ายดาวเทียมบริเวณเกาะสะบ้า ถึง เกาะจิกนอก .....	64

ภาพที่ 38 เปรียบเทียบแผนที่เดินเรือหมายเลข 118 เกาะสะบ้า ถึง เกาะจิกนอก (ก) และแผนที่ ความลึกน้ำจากภาพถ่ายดาวเทียมบริเวณเกาะสะบ้า ถึง เกาะจิกนอก (ข).....	65
ภาพที่ 39 แผนที่ซ้อนทับระหว่างแผนที่เดินเรือหมายเลข 118 กับแผนที่ความลึกน้ำจากภาพถ่าย ดาวเทียมบริเวณเกาะสะบ้า ถึง เกาะจิกนอก และเส้นชั้นความลึกน้ำตามแผนที่เดินเรือ .....	66
ภาพที่ 40 พื้นที่อันตรายใต้น้ำในแผนที่ความลึกน้ำทะเลจากภาพถ่ายดาวเทียม เปรียบเทียบกับแผน ที่เดินเรือหมายเลข 118 .....	67
ภาพที่ 41 แผนภาพระหว่างอัตราส่วนช่วงคลื่นของแถบสีน้ำเงินและสีเขียว กับความลึกควบคุม (เป็น เมตร) พื้นที่อ่าวไทยฝั่งตะวันตก : อ่าวชุมพร (n = 1387).....	69
ภาพที่ 42 แผนที่ความลึกน้ำจากภาพถ่ายดาวเทียมบริเวณอ่าวชุมพร .....	70
ภาพที่ 43 เปรียบเทียบแผนที่เดินเรือหมายเลข 225 อ่าวชุมพร (ก) และแผนที่ความลึกน้ำจาก ภาพถ่ายดาวเทียมบริเวณอ่าวชุมพร (ข) .....	71
ภาพที่ 44 แผนที่ซ้อนทับระหว่างแผนที่เดินเรือหมายเลข 225 กับแผนที่ความลึกน้ำจากภาพถ่าย ดาวเทียมบริเวณอ่าวชุมพร และเส้นชั้นความลึกน้ำตามแผนที่เดินเรือ .....	72
ภาพที่ 45 พื้นที่บริเวณปากทางเข้าแม่น้ำชุมพรในแผนที่ความลึกน้ำทะเลจากภาพถ่ายดาวเทียม เปรียบเทียบกับแผนที่เดินเรือหมายเลข 225.....	73
ภาพที่ 46 พื้นที่อันตรายใต้น้ำในแผนที่ความลึกน้ำทะเลจากภาพถ่ายดาวเทียม เปรียบเทียบกับแผน ที่เดินเรือหมายเลข 225 .....	74
ภาพที่ 47 แผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างค่าความลึกน้ำจากวิธีการ SDB พื้นที่ทางเข้าแม่น้ำ เจ้าพระยา กับค่าความลึกน้ำสำรวจที่ระดับความลึก 0 – 5 เมตร, 5 -10 เมตร, 10 – 15 เมตร และ 0 – 15 เมตร.....	77
ภาพที่ 48 แผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างค่าความลึกน้ำจากวิธีการ SDB พื้นที่เกาะสะบ้า ถึง เกาะจิกนอก กับค่าความลึกน้ำสำรวจที่ระดับความลึก 0 – 5 เมตร, 5 -10 เมตร, 10 – 15 เมตร และ 0 – 15 เมตร ....	79
ภาพที่ 49 แผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างค่าความลึกน้ำจากวิธีการ SDB พื้นที่อ่าวชุมพร กับค่าความ ลึกน้ำสำรวจที่ระดับความลึก 0 – 5 เมตร, 5 -10 เมตร, 10 – 15 เมตร และ 0 – 15 เมตร .....	81

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

ในช่วงหลายสิบปีที่ผ่านมาประเทศไทยให้ความสำคัญกับการใช้ทะเลเพื่อแสวงหาทรัพยากร การคมนาคมขนส่งและการพาณิชย์ การท่องเที่ยว และการสร้างความมั่นคงของประเทศ รวมถึง การปกป้องผลประโยชน์แห่งชาติทางทะเล (เฟดิมส์คี้ จารยะพันธุ์, 2550) เนื่องจากผลประโยชน์แห่งชาติทางทะเลก่อให้เกิดประโยชน์หลากหลายด้าน นำรายได้เข้าสู่ประเทศอย่างมหาศาล การศึกษาและทำความเข้าใจความเป็นไปในทุกๆ ด้านของทะเล เช่น ด้านการคมนาคมขนส่งในทะเล ทรัพยากรธรรมชาติ การประมง พื้นที่หาดและขอบฝั่ง จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งต่อการนำไปประยุกต์ใช้ให้เกิดการจัดการเกี่ยวกับด้านทะเลอย่างมีประสิทธิภาพ เกิดประโยชน์สูงสุด โดยเฉพาะใน ด้านความปลอดภัยในการเดินเรือ เพื่อให้ นักเดินเรือสามารถเดินเรือได้อย่างเกิดความปลอดภัย จึง จำเป็นต้องมีแผนที่เดินเรือที่มีประสิทธิภาพและถูกต้อง

ปัจจุบันการสำรวจทะเลในด้านต่างๆ เช่น การสำรวจแผนที่ทะเล การสำรวจแหล่งปิโตรเลียม การอนุรักษ์ทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง ได้ถูกดำเนินการอย่างต่อเนื่องทั้งในภาครัฐและภาคเอกชน ในส่วนของการสำรวจทะเลเพื่อจัดทำเป็นแผนที่ทะเลนั้น อยู่ในกระบวนการควบคุมดูแลของกรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ ซึ่งเป็นหน่วยงานที่มีหน้าที่อำนาจการ ประสานงาน แนะนำกำกับการ ดำเนินการ ให้การสนับสนุน และให้บริการด้านอุทกศาสตร์ สมุทรศาสตร์ อุตุนิยมวิทยา วิศวกรรมชายฝั่ง เครื่องหมายทางเรือ การเดินเรือ เวลามาตรฐานประเทศไทย และงานเขตแดนระหว่างประเทศ ตามที่ระบุไว้ในมาตรา 34 ของ พระราชกฤษฎีกาแบ่งส่วนราชการและกำหนดหน้าที่ของ ส่วนราชการ กองทัพเรือ กองทัพไทย กระทรวงกลาโหม พ.ศ.2552 (ราชกิจจานุเบกษา, 2552) อนึ่ง ข้อมูลการสำรวจทางทะเลที่ได้มานั้น จะถูกนำไปสร้างและผลิตแผนที่เดินเรือเพื่อให้บริการแก่ประชาชน และสร้างแผนที่พิเศษทางการทหาร และแผนที่ยุทธการทางเรือ สนับสนุนการปฏิบัติการทางทหาร และการฝึกของกองทัพเรือในการรักษาผลประโยชน์แห่งชาติทางทะเล ตัวอย่างเช่น การยกพลขึ้นบก ซึ่งจำเป็นต้องทราบความลึกน้ำ ลักษณะขอบฝั่ง สำหรับนำเรือเข้าส่งกำลังและยุทธโปกรณ์ การปฏิบัติการด้านสงครามทุ่นระเบิดซึ่งจำเป็นต้องทราบความลึกน้ำ ลักษณะพื้นที่องทะเล สำหรับ กำหนดชนิดของทุ่นระเบิดที่จะเลือกใช้ เป็นต้น อีกทั้งข้อมูลสำรวจแผนที่ที่ได้ยังสามารถนำมาใช้เป็น พื้นฐานที่สำคัญต่อการพัฒนากิจการทางทะเล และรักษาผลประโยชน์แห่งชาติทางทะเล ไม่ว่าจะเป็นในเรื่องของการใช้เป็นฐานข้อมูลตั้งต้นในการกำหนดขอบเขตการบังคับใช้กฎหมายในทะเล และการ แบ่งเขตจังหวัดทางทะเล เพื่อให้การแบ่งมอบอำนาจหน้าที่ในการบังคับใช้กฎหมายกระทำได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งนับว่าเป็นผลผลิตจากการสำรวจแผนที่นั่นเอง

การสำรวจทะเลในประเทศไทยได้ดำเนินการมาตั้งแต่สมัยประเทศไทยยังเป็นประเทศสยาม โดยมีการสำรวจและจัดทำแผนที่สยามประเทศที่ปรากฏรายละเอียดของอ่าวไทย จัดทำขึ้นครั้งแรกเมื่อ พ.ศ.2060 หรือกว่า 500 ปีมาแล้ว โดย Pero Reinel นักเดินเรือชาวโปรตุเกส (กรมอุทกศาสตร์, 2563) จากนั้นมีการพัฒนาเรื่อยมาจนถึงปัจจุบัน อนึ่งการสำรวจหยั่งน้ำหรือการสำรวจอุทกศาสตร์ในทะเลเพื่อจัดทำแผนที่เดินเรือเป็นภารกิจหลักที่สำคัญอีกอย่างหนึ่ง มีการนำเทคโนโลยีและเครื่องมือใหม่ๆ ในแต่ละยุคสมัยมาใช้งานและปรับปรุงรูปแบบให้ทันสมัยโดยตลอด ในปัจจุบันกรมอุทกศาสตร์ได้ใช้เทคโนโลยีการสำรวจการหาความลึกน้ำด้วยระบบเสียงสะท้อน (Echo sounder Survey System) แบ่งเป็น 2 ระบบเป็นหลัก ได้แก่ ระบบหยั่งน้ำแบบลำคลื่นเดี่ยว (Single-Beam Echo sounder System: SBES) ระบบหยั่งน้ำแบบหลายลำคลื่น (Multi-Beam Echo sounder System: MBES) ทั้งสองระบบใช้เรือเป็นพาหนะในการสำรวจ

ในการสำรวจแผนที่ทะเลเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดจำเป็นต้องมีการสำรวจข้อมูลพื้นน้ำทะเลให้ครบถ้วน ครอบคลุมทั้งพื้นที่น้ำตื้น พื้นที่ใกล้ฝั่ง และพื้นที่น้ำลึก เนื่องจากบริเวณพื้นที่ดังกล่าวมีการใช้ประโยชน์อย่างมาก นอกจากนี้ พื้นที่น้ำตื้นยังเป็นพื้นที่วิกฤติในการเดินเรือ อาจก่อให้เกิดอันตรายต่อการสัญจรทางเรือ อย่างไรก็ดี ข้อมูลแผนที่ทะเลหลายระวางที่กรมอุทกศาสตร์มีและใช้อยู่ในปัจจุบัน ยังไม่ได้มีการสำรวจใหม่ให้มีความทันสมัยสอดคล้องกับสภาพการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่เนื่องจากข้อจำกัดด้านงบประมาณ บุคลากร และระยะเวลาการสำรวจที่ใช้ระยะเวลานาน ความต้องการในการหาเครื่องมือหรือวิธีการใหม่ๆ มาใช้ในการสำรวจข้อมูลน้ำตื้นร่วมกับการสำรวจแผนที่ทะเลในปัจจุบันให้มีประสิทธิภาพจึงมีความจำเป็นเพื่อให้สามารถดำเนินการผลิตและสร้างแผนที่เดินเรือที่มีความทันสมัยของพื้นที่อย่างต่อเนื่องได้โดยตลอด

ในปัจจุบันในต่างประเทศมีการนำเทคโนโลยีการรับรู้จากระยะไกลมาประยุกต์ใช้ในการหยั่งความลึกน้ำทะเลโดยเฉพาะในพื้นที่ใกล้ฝั่งที่มีลักษณะตื้น ได้แก่ 1) วิธีการสำรวจแบบ Light Detection and Ranging หรือ LIDAR ซึ่งสามารถให้ค่าความลึกน้ำทะเล และลักษณะภูมิประเทศได้อย่างแม่นยำ ประหยัดเวลา แต่มีข้อจำกัดในเรื่องของงบประมาณที่ใช้ในการดำเนินการที่ค่อนข้างสูง และ 2) วิธีการใช้ภาพถ่ายดาวเทียมในการหยั่งความลึกน้ำทะเล (Satellite Derived Bathymetry : SDB) ซึ่งถือว่าเป็นวิธีการสำรวจที่ค่อนข้างใหม่ที่มีการใช้ดาวเทียมหรือภาพถ่ายระยะไกลหลายมุมมองมาใช้เพื่อกำหนดความลึก (Marks K.M., 2018) ในต่างประเทศมีงานวิจัยหลายฉบับที่ศึกษาเกี่ยวกับวิธีการ SDB โดยนำมาประยุกต์ใช้ในการสำรวจทะเลพื้นที่ใกล้ฝั่งแล้วในหลายๆ พื้นที่ ยกตัวอย่างเช่น สาธารณรัฐคิริบาส ในมหาสมุทรแปซิฟิก ได้มีการนำวิธีการ SDB มาใช้ในการหาความลึกน้ำบริเวณชายฝั่ง เพื่อนำมาเป็นข้อมูลสำหรับการจัดการและตัดสินใจในการบรรเทาผลกระทบของระดับน้ำทะเลที่เพิ่มขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ หรือในงานวิจัยของ Randazzo และคณะ (Randazzo et al., 2020) ได้ใช้วิธีการ SDB ในการวิเคราะห์การกัดเซาะชายฝั่งซานวิโต โลคาโป

ประเทศอิตาลี โดยใช้ข้อมูลจากดาวเทียม GeoEye-1 และงานวิจัยของ Duplančić Leder และคณะ (Duplančić Leder et al., 2019) ทำการศึกษาวิธีการ SDB ในพื้นที่ชายฝั่งและบริเวณที่ตื้นของอ่าวธรรมิมา บนเกาะเมอร์เทอ ซึ่งตั้งอยู่ตอนกลางของทะเลเอเดรียติก ประเทศโครเอเชีย โดยเลือกใช้ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 และ Sentinel 2 ร่วมกับแบบจำลองอัตราส่วนช่วงคลื่น (Log-Band Ratio Method) (Stumpf et al., 2003) ผลลัพธ์จากตัวอย่างให้ผลการศึกษาที่สอดคล้องกันโดยแสดงให้เห็นว่าวิธีการ SDB สามารถให้ค่าการหยั่งความลึกน้ำทะเลบริเวณแนวชายฝั่ง หรือที่ตื้นได้อย่างแม่นยำ

วิธีการ SDB นับว่าเป็นวิธีการที่ใช้งบประมาณต่ำ เนื่องจากใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมเพียงอย่างเดียว ในปัจจุบันภาพถ่ายดาวเทียมมีทั้งแบบที่เผยแพร่แบบมีค่าใช้จ่ายและไม่มีค่าใช้จ่าย และผลลัพธ์ที่ได้ให้ค่าความถูกต้องในระดับที่ยอมรับได้ และมีความรวดเร็วในการวิเคราะห์และประมวลผลภาพ โดยวิธีการนี้จะนำมาใช้ในการวิเคราะห์ความลึกน้ำใกล้ฝั่งได้อย่างรวดเร็ว นำมาใช้ประโยชน์เกี่ยวกับการสำรวจแผนที่ในขั้นตอนการวางแผนสำรวจทะเล ช่วยในการหาสิ่งอันตรายใต้น้ำ โดยเฉพาะพื้นที่สำรวจด้วย Single Beam Echo Sounder ที่มีระยะห่างระหว่างแนวมาก หรือในยามสงครามหรือกรณีเกิดภัยพิบัติในพื้นที่ที่ติดทะเล อาจนำมาใช้เพื่อประเมินความชันหาดเพื่อสนับสนุนการส่งกำลังจากทะเลขึ้นสู่บก

ในประเทศไทยการสำรวจแผนที่ทะเลด้วยการหยั่งความลึกน้ำทะเลโดยการใช้เทคโนโลยีการรับรู้จากระยะไกลด้วยวิธีการ SDB นับว่าเป็นวิธีการที่ใหม่ และไม่เคยมีการศึกษากับพื้นที่ทะเลของประเทศไทยมาก่อน งานวิจัยนี้จึงเป็นการนำเอาภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 มาหยั่งความลึกน้ำทะเลด้วยวิธีการ SDB ร่วมกับแบบจำลองอัตราส่วนช่วงคลื่นของ Stumpf et al. (2003) โดยวิเคราะห์เปรียบเทียบกับพื้นที่ทะเลฝั่งอ่าวไทย จำนวน 3 พื้นที่ ได้แก่ พื้นที่อ่าวไทยรูปตัว ก (ทางเข้าแม่น้ำเจ้าพระยา) พื้นที่อ่าวไทยฝั่งตะวันออก (เกาะสละบัว ถึง เกาะจิกนอก) และพื้นที่อ่าวไทยฝั่งตะวันตก (อ่าวชุมพร) ซึ่งแต่ละพื้นที่มีสภาพทางสมุทรศาสตร์ที่มีเอกลักษณ์เฉพาะแตกต่างกันตามแต่ละพื้นที่ เพื่อให้ได้แผนที่ความลึกน้ำจากภาพถ่ายดาวเทียม ความลึกน้ำเป็นเมตร หักหาระดับน้ำลงต่ำที่สุดเช่นเดียวกันกับแผนที่เดินเรือ และเปรียบเทียบค่าความลึกน้ำจากภาพถ่ายดาวเทียมที่ได้กับฐานข้อมูลความลึกน้ำสำรวจ ผลลัพธ์ที่ได้จะสามารถนำไปช่วยพัฒนาการสำรวจแผนที่ทะเลให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น และก่อให้เกิดประโยชน์อย่างมากในอนาคตต่อไป

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อสร้างแผนที่ความลึกน้ำทะเลในอ่าวไทย 3 พื้นที่ ได้แก่ อ่าวไทยรูปตัว ก (ทางเข้าแม่น้ำเจ้าพระยา) อ่าวไทยฝั่งตะวันออก (เกาะสละบัว ถึง เกาะจิกนอก) และอ่าวไทยฝั่งตะวันตก (อ่าวชุมพร) ด้วยวิธีการ Satellite Derived Bathymetry (SDB)



1.2.2 เพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองในแต่ละพื้นที่กับฐานข้อมูลที่มีอยู่ในปัจจุบัน

### 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ในการศึกษาครั้งนี้ ผู้วิจัยได้กำหนดขอบเขตของการวิจัยดังนี้

1.3.1 ด้านพื้นที่และช่วงเวลาการวิจัย ทำการวิจัยพื้นที่ฝั่งทะเลอ่าวไทย โดยแบ่งตามระวางแผนที่เดินเรือ จำนวน 3 พื้นที่ และตามช่วงเวลา ดังนี้

1.3.1.1 พื้นที่อ่าวไทยรูปตัว ก ได้แก่ แผนที่เดินเรือหมายเลข 112 ทางเข้าแม่น้ำเจ้าพระยา ช่วงเดือน พฤศจิกายน พ.ศ.2561

1.3.1.2 พื้นที่อ่าวไทยฝั่งตะวันออก ได้แก่ แผนที่เดินเรือหมายเลข 118 เกาะสบบ้างถึง เกาะจิกนอก จังหวัดจันทบุรี ช่วงเดือน พฤศจิกายน พ.ศ.2559

1.3.1.3 พื้นที่อ่าวไทยฝั่งตะวันตก ได้แก่ แผนที่เดินเรือหมายเลข 225 อ่าวชุมพร จังหวัดชุมพร ช่วงเดือน เมษายน พ.ศ.2559

1.3.2 ด้านเนื้อหาการวิจัย

1.3.2.1 ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 ช่วงคลื่น Band 2 (BLUE), Band 3 (GREEN) และ Band 6 (SWIR) ในการหึงความลึกน้ำทะเลผ่านวิธีการ SDB

1.3.2.2 วิเคราะห์เปรียบเทียบข้อมูลความลึกน้ำที่ได้กับข้อมูลจากการสำรวจด้วยวิธีการหึงน้ำด้วยเสียงสะท้อนแบบความถี่เดี่ยว (Single Beam Echo Sounder) ของกรมอุทกศาสตร์

1.3.3 ใช้โปรแกรม ArcGIS Pro 2.9.0 ในการวิเคราะห์และประมวลผลภาพถ่ายดาวเทียมให้ผลลัพธ์ออกมาอยู่ในรูปแบบของความลึกน้ำ

### 1.4 นิยามศัพท์ที่เกี่ยวข้อง

การหึงความลึก (Bathymetry) หมายถึง การหาค่าความลึกของมหาสมุทร ทะเล หรือ ทะเลสาบ โดยทั่วไปแล้วการแสดงลักษณะของพื้นที่ท้องทะเล จะหาจากการวิเคราะห์ข้อมูลจากค่าความลึกที่สำรวจได้ด้วยอุปกรณ์หรือเทคนิคการสำรวจต่างๆ เช่น การหึงน้ำด้วยเสียงสะท้อนแบบความถี่เดี่ยว (Single Beam Echo Sounder) การหึงน้ำด้วยเสียงสะท้อนแบบหลายความถี่ (Multi Beam Echo Sounder) การหึงน้ำด้วยดิ่งน้ำตื้น (Lead Lind) เป็นต้น และนำข้อมูลค่าความลึกที่ได้มาแสดงเส้นความลึกลดหลั่นกันไปบนแผนที่เดินเรือ (กรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ, 2560b)

Satellite Derived Bathymetry : SDB หมายถึง การหาค่าความลึกน้ำจากภาพถ่ายดาวเทียม ซึ่งเป็นเทคนิคด้านอุทกศาสตร์สมัยใหม่ที่ใช้ในการสร้างแผนที่ทะเล โดยเฉพาะแผนที่บริเวณน้ำตื้นหรือบริเวณชายฝั่ง โดยวิธีการนี้จะสามารถใช้งานได้ครอบคลุมพื้นที่ขนาดใหญ่ ลงทุน

ด้านเวลาและทรัพยากรที่ค่อนข้างต่ำ ถึงแม้ว่าข้อมูลที่ได้จะมีความแม่นยำและความละเอียดไม่เท่า การสำรวจแบบการหึงความลึกด้วยเสียงสะท้อน หรือ LIDAR แต่ก็สามารถใช้เป็นเครื่องมือในการวางแผนการสำรวจแบบ Bathymetric เพื่อเติมเต็มช่องว่างข้อมูลให้ครอบคลุมพื้นที่การสำรวจที่มีอยู่ และในบางสถานการณ์วิธีการ SDB เป็นทางเลือกที่เหมาะสมกว่าวิธีการแบบเดิมในการสำรวจสภาพแวดล้อมชายฝั่ง (Danielson, 2018)

การหึงน้ำด้วยเสียงแบบลำคลื่นเดียว (Single-Beam Echo Sounders: SBES) หมายถึง การหาค่าความลึกน้ำโดยการหาความสัมพันธ์ของความเร็วในการเดินทางของคลื่นเสียงใต้น้ำกับเวลาเดินทางของสัญญาณคลื่นเสียงแบบลำคลื่นเดียวที่ถูกส่งออกจากเครื่องสะท้อน (Echo Sounder) ไปกระทบกับพื้นท้องน้ำ แล้วสะท้อนกลับมาเข้าเครื่องอีกครั้งหนึ่ง (ธนกร นาจารย์, 2558)

ความโปร่งแสงของน้ำทะเล (Transparency) หมายถึง ความสามารถของแสงที่ส่องผ่านน้ำ ลงไปได้ลึกเท่าไรในน้ำทะเล ซึ่งตรวจวัดได้ด้วยการใช้จานวัดความโปร่งใส (Secchi Disk) ส่วนใหญ่จะ พบว่า ความโปร่งใสของน้ำธรรมชาติจะมีค่าอยู่ระหว่าง 1 - 3 หรือ 4 เมตร ถ้ามีค่าต่ำกว่า 1 เมตร จะ ถือว่าแหล่งน้ำนั้นจะมีอัตราการเจริญเติบโตของพีชน้ำสูง หรืออาจจะหมายถึง มีของแข็งแขวนลอยอยู่ ในปริมาณสูงก็ได้ ส่วนบริเวณทะเลสาบบางแห่งที่มีน้ำใสและลึกมาก ซึ่งมีอัตราการเจริญเติบโตของ พีชน้ำต่ำ หรือน้ำชายฝั่งอาจจะมีความโปร่งใสของน้ำมากถึง 30 - 40 เมตร ก็ได้ เช่น บริเวณแนว ปะการัง เป็นต้น (Chanwit, 2555)

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1.5.1 สามารถนำวิธีการหึงความลึกน้ำทะเลด้วยภาพถ่ายดาวเทียมไปประยุกต์ใช้กับพื้นที่ ชายฝั่งทะเลอื่น ๆ ของประเทศไทย เพื่อใช้เป็นเครื่องช่วยในการวางแผนสำรวจแผนที่ทะเล

1.5.2 สามารถนำผลวิจัยไปใช้เพื่อสนับสนุนการจัดทำแผนที่ในกรณีเร่งด่วน และมีความ จำเป็นต้องใช้งานเพื่อให้ทันต่อสถานการณ์ เช่น การทำแผนที่ในบริเวณที่ได้รับผลกระทบจากสึนามิ การทำแผนที่สำหรับใช้ส่งกำลังบำรุงขึ้นฝั่ง เป็นต้น

## บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการทบทวนเอกสาร แนวคิดทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อเป็นแนวความคิดในการศึกษาวิจัยเรื่องการหึงความลึกน้ำทะเลจากการรับรู้ระยะไกลในอ่าวไทยด้วยภาพถ่ายดาวเทียม แลนด์แซท 8 ผู้วิจัยได้รวบรวมข้อมูลและศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้อง ดังต่อไปนี้

### 2.1 แผนที่ทะเล/แผนที่เดินเรือ

#### 2.1.1 การสำรวจแผนที่ทะเล

#### 2.1.2 การหึงน้ำ

#### 2.1.3 การคำนวณหักแก้ความลึกน้ำ

### 2.2 เทคโนโลยีการรับรู้ระยะไกลกับการหึงความลึกน้ำทะเล

#### 2.2.1 Light Detection and Ranging (LIDAR)

#### 2.2.2 การหึงความลึกด้วยภาพถ่ายดาวเทียม (Satellite Derived Bathymetry: SDB)

- ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับวิธีการ SDB

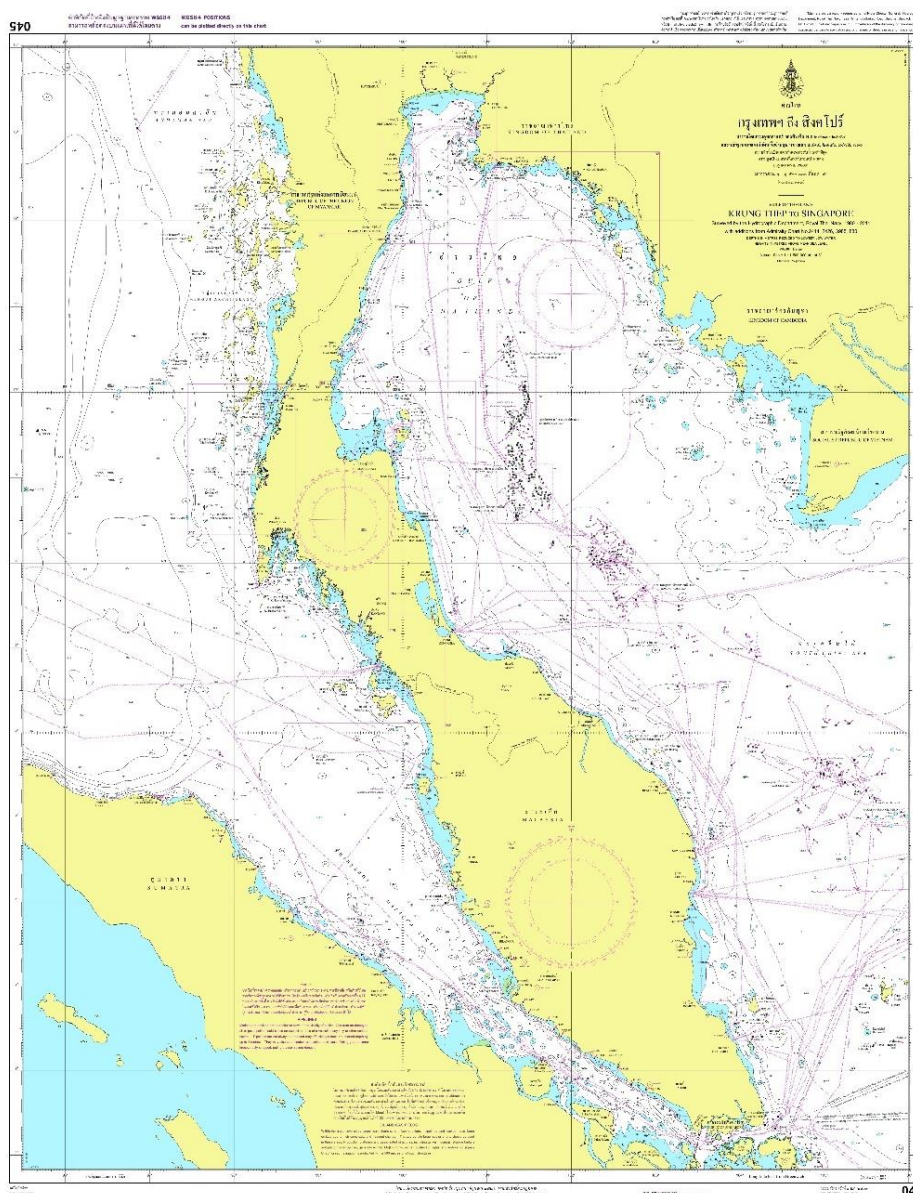
### 2.3 เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 แผนที่ทะเล/แผนที่เดินเรือ

แผนที่ (Map) คือ ภาพบางส่วนของผิวโลกที่แสดงใน มาตรฐาน (Scale) ที่ถูกต้อง อาจแสดงเขตแดนระหว่างประเทศ ลักษณะทางกายภาพแบบต่างๆ ตัวเมือง รวมทั้งข้อมูลทางภูมิศาสตร์อื่นๆ แบ่งออกตามลักษณะการใช้งานที่แตกต่างกัน ได้แก่ แผนที่เดินหน (Chart) แผนที่เดินเรือ (Nautical Chart) และแผนที่เดินอากาศ (Aeronautical Chart) โดยแผนที่เดินเรือ หรือ Nautical Chart เป็นแผนที่ที่มีใช้ในเขตที่มีการเดินเรือ สำหรับการแสดงพื้นที่บางส่วนของผิวโลกลงบนพื้นระนาบ ด้วยการใช้สัญลักษณ์ต่างๆ ที่เป็นสากล โดยจะแสดงข้อมูลต่างๆ เช่น ความลึกน้ำ เส้นขอบฝั่ง บริเวณแผ่นดินใกล้ฝั่ง ท่าเรือ รูปลักษณะภูมิประเทศต่าง ๆ เครื่องหมายทางเรือ และข้อมูลต่าง ๆ สำหรับการเดินเรือ ซึ่งถือได้ว่าเป็นโครงสร้างพื้นฐานของการเดินเรือในทะเล รวมทั้งเป็นสิ่งจำเป็นพื้นฐานของเรือรบและเรือเดินทะเลทุกชนิด โดยนักเดินเรือจะใช้แผนที่นี้เพื่อทำงาน คือ การขีดเข็ม การหาที่เรือแน่นอน และการตรวจสอบภูมิประเทศโดยรอบที่สัมพันธ์กับตำบลที่เรือขณะใด ๆ ช่วยในการหลีกเลี่ยงอันตราย และเดินทางถึงที่หมายอย่างปลอดภัย (จรินทร์ บุญเหมา, 2559)

ในปัจจุบันแผนที่เดินเรือมีอยู่ด้วยกันสองชนิด อย่างแรกคือแผนที่ซึ่งพิมพ์ลงบนกระดาษแบบดั้งเดิม เรียกแผนที่เดินเรือแบบกระดาษ และแบบที่สองคือแผนที่เดินเรืออิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Navigation Chart : ENC) ซึ่งเป็นแผนที่ที่เก็บข้อมูลไว้ในฐานข้อมูลแบบเชิงเลข (Digital) และแสดงแผนที่บนจอภาพของเครื่องแสดงแผนที่และสารสนเทศเพื่อการเดินเรือ (Electronic Chart Display

and Information System : ECDIS) โดยแผนที่เดินเรือจะถูกผลิตและสร้างขึ้นตามมาตรฐานที่กำหนดโดยองค์การอุทกศาสตร์สากล (International Hydrographic Organization: IHO) และองค์การทางทะเลระหว่างประเทศ (International Maritime Organization: IMO) ซึ่งเป็นหน่วยที่รับผิดชอบควบคุมด้านความปลอดภัยในการเดินเรือในภาพรวมของโลก



ภาพที่ 1 แผนที่เดินเรือหมายเลข 045 กรุงเทพฯ ถึง สิงคโปร์

แหล่งที่มา : กรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ

แผนที่เดินเรือถูกจัดสร้างขึ้นในหลายมาตราส่วน ซึ่งแตกต่างกันตามประเภทของการใช้งาน โดยที่นิยมใช้กันโดยทั่วไป สามารถแบ่งได้เป็น 4 ประเภท คือ

1) แผนที่ทั่วไป (Sailing Chart) เป็นแผนที่มาตราส่วนเล็กที่สุด ใช้สำหรับวางแผนการเดินทางเรือท่าบดลที่แน่นอนในทะเล มีมาตราส่วนเล็กกว่า 1:600,000 แสดงรายละเอียดขอบฝั่งและภูมิประเทศพอสังเขป และมีเลขน้ำลงไว้เฉพาะบริเวณใกล้ฝั่ง

2) แผนที่ทะเลเล็ก (General Chart) ใช้สำหรับการเดินเรือบริเวณห่างฝั่ง นอกบริเวณแนวหินโสโครก ปะการัง หรือที่ตื้น มีมาตราส่วนอยู่ระหว่าง 1:150,000 ถึง 1:600,000

3) แผนที่ชายฝั่ง (Coastal Chart) ใช้สำหรับการเดินเรือบริเวณใกล้ฝั่งหรือน่านน้ำภายในแผ่นดิน มีมาตราส่วนอยู่ระหว่าง 1:50,000 ถึง 1:150,000

4) แผนที่ท่าเรือ (Harbor Chart) ใช้สำหรับการเดินเรือบริเวณท่าเรือ ที่ทอดสมอ และทางน้ำขนาดเล็ก โดยทั่วไปมีมาตราส่วนใหญ่กว่า 1:50,000

ในส่วนของความแม่นยำของแผนที่ และความละเอียดถูกต้องของแผนที่เดินเรือแต่ละระวางหรือแต่ละประเภทนั้น จะขึ้นอยู่กับความละเอียดถูกต้องของการสำรวจอุทกศาสตร์ (Hydrographic Survey) ที่รวบรวมข้อมูลมาประกอบเป็นระวางแผนที่ (จรินทร์ บุญเหมาะ, 2559) โดยหน่วยงานซึ่งรับผิดชอบงานเครื่องหมายทางเรือ และงานด้านอุทกศาสตร์ต้องทำงานร่วมกันเพื่อให้เกิดความมั่นใจได้ว่าข้อมูลต่าง ๆ เช่น เครื่องหมายทางเรือ มีความเป็นสากลและปรากฏอยู่อย่างเหมาะสมในแผนที่ ทำให้การเดินเรือมีความปลอดภัย ในส่วนของแผนที่เดินเรืออิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Navigation Chart : ENC) ของทางการ มีการแสดงแหล่งบ่งชี้คุณภาพโดยแสดงเป็นเขตของความเชื่อมั่น (Zone of Confidence : ZOC) แหล่งบ่งชี้คุณภาพอาจพิมพ์ลงไว้ที่หลังแผนที่กระดาษของบางประเทศซึ่งนักเดินเรือควรพิจารณาสารสนเทศเหล่านี้ไว้เสมอในกรณีของแผนที่ทางการ (ทั้งกระดาษและอิเล็กทรอนิกส์) ที่อาจสร้างขึ้นจากข้อมูลเก่าซึ่งด้อยหรือขาดคุณภาพ

ความแม่นยำ (Accuracy) ที่ต้องการสำหรับการเดินเรือทั่ว ๆ ไปสามารถเชื่อมโยงเข้ากับมาตราส่วน (Scale) ของแผนที่ซึ่งนำมาใช้ในการเดินเรือแต่ละช่วง โดยตรวจสอบรวมกับแบบของเรือและสถานะในพื้นที่ขณะนั้น มาตราส่วนของแผนที่ที่สมนัยกับความแม่นยำที่ประสงค์ซึ่งเป็นไปตามคำแนะนำของ IHO และสมมูลกับจุดที่มีขนาด 0.5 มิลลิเมตรบนแผนที่ (กรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ, 2560a) ดูได้จากตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เขตของความเชื่อมั่น (Zone of Confidence : ZOC )

ZOC	ความแม่นยำของค่าบดที่	ความแม่นยำของความลึก		ครอบคลุมพื้นที่ท้องทะเล	คุณลักษณะเฉพาะของการสำรวจแต่ละแบบ
A1	± 5 เมตร	= 0.50 + 1% d		สำรวจครอบคลุมหมดทั้งพื้นที่รูปลักษณะที่มีนัยสำคัญบนพื้นท้องทะเลทั้งหมดได้ถูกตรวจพบและหยั่งความลึกน้ำครบถ้วนสมบูรณ์	สำรวจหาจุดบังคับอย่างเป็นระบบ ค่าค่าบดที่ และความลึกมีความแม่นยำสูง บรรลุได้ด้วยการใช้ DGPS หรือสามเส้นค่าบดที่ (LOP) ซึ่งคุณภาพสูงและหยั่งน้ำด้วยเครื่องหยั่งน้ำหลายลำคลื่น ใช้การกวาดด้วยเครื่องกลไกหรือโซนาร์
		ความลึก (เมตร)	ความแม่นยำ (เมตร)		
		10	± 0.6		
		30	± 0.8		
		100	± 1.5		
1000	± 10.5				
A2	± 20 เมตร	= 1.00 + 2% d		สำรวจครอบคลุมหมดทั้งพื้นที่รูปลักษณะที่มีนัยสำคัญบนพื้นท้องทะเลทั้งหมดได้ถูกตรวจพบและหยั่งความลึกน้ำครบถ้วนสมบูรณ์	สำรวจหาจุดบังคับอย่างเป็นระบบ ได้ค่าความแม่นยำของค่าบดที่ และความลึกน้อยกว่า ZOC A1 ด้วยการใช้เครื่องหยั่งน้ำด้วยเสียงยุคใหม่ และใช้โซนาร์ หรือการกวาดด้วยเครื่องกลไก
		ความลึก (เมตร)	ความแม่นยำ (เมตร)		
		10	± 1.2		
		30	± 1.6		
		100	± 3.0		
1000	± 21.0				
B	± 50 เมตร	= 1.00 + 2% d		สำรวจไม่ครอบคลุมทั้งพื้นที่ อาจตรวจไม่พบรูปลักษณะบนพื้นท้องทะเล และที่อันตรายต่อการเดินเรือทั้งหมดที่มีอยู่	สำรวจหาจุดบังคับอย่างเป็นระบบ ค่าความลึกแม่นยำ แต่ค่าบดที่มีความแม่นยำน้อยกว่า ZOC A2 ด้วยการใช้เครื่องหยั่งน้ำด้วยเสียงยุคใหม่ แต่ไม่ใช้โซนาร์ หรือการกวาดด้วยเครื่องกลไก
		ความลึก (เมตร)	ความแม่นยำ (เมตร)		
		10	± 1.2		
		30	± 1.6		
		100	± 3.0		
1000	± 21.0				
C	± 500 เมตร	= 2.00 + 5% d		สำรวจไม่ครอบคลุมทั้งพื้นที่ ความลึกที่ได้อาจมีความผิดเพี้ยน	การสำรวจที่มีความแม่นยำต่ำ หรือเป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลตามแต่โอกาสอำนวย เช่นการหยั่งน้ำเมื่อเดินทางผ่าน
		ความลึก (เมตร)	ความแม่นยำ (เมตร)		
		10	± 2.5		
		30	± 3.5		
		100	± 7.0		
1000	± 52.0				
D	ด้อยกว่า ZOC C	ด้อยกว่า ZOC C		สำรวจไม่ครอบคลุมทั้งพื้นที่ ความลึกที่ได้อาจมีความผิดเพี้ยน	ข้อมูลสำรวจด้อยคุณภาพหรือไม่อาจประเมินค่าได้ เนื่องจากขาดสารสนเทศประกอบ
U	ไม่มีการประเมิน - คุณภาพของข้อมูลหยั่งน้ำยังไม่ได้รับการประเมิน				

แหล่งที่มา : กรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ (2560a)

### 2.1.1 การสำรวจแผนที่ทะเล

การสำรวจแผนที่ทะเล (Hydrographic Survey) หมายถึง การสำรวจที่มีจุดมุ่งหมายหลักที่จะหาข้อมูลเกี่ยวกับความลึกน้ำ เพื่อนำมาจัดทำเป็นแผนที่เดินเรือ อาจประกอบด้วยข้อมูลประเภทใดประเภทหนึ่งหรือหลายประเภท เช่น ความลึกของน้ำ ลักษณะทรุดตรงและธรรมชาติของพื้นท้องน้ำ ทิศทางและกำลังแรงของกระแสน้ำ ความสูงและเวลาของระดับน้ำ ตำบลที่ของวัตถุหรือสิ่งอันตรายใต้น้ำที่มีผลต่อการเดินเรือ

อนึ่ง สิ่งที่สำคัญที่สุดในการสำรวจแผนที่ทะเลและสร้างแผนที่เดินเรือ คือ การหาค่าความลึกน้ำที่ถูกต้อง และสิ่งอันตรายใต้น้ำ ซึ่งไม่สามารถเห็นพื้นท้องน้ำได้โดยตรง จึงต้องใช้การตรวจด้วยเครื่องมือสำรวจ ซึ่งเครื่องมือที่เป็นหลักสำคัญ คือ เครื่องหยั่งน้ำด้วยเสียงสะท้อน (Echo Sounder) แล้วนำผลของการหยั่งน้ำด้วยเสียงสะท้อนนั้นมาสร้างภาพท้องน้ำขึ้นมา (กรมอุทกศาสตร์, 2549)

การสำรวจแผนที่ทะเลถูกกำหนดให้ปฏิบัติตามมาตรฐานการสำรวจตามข้อแนะนำในบรรณสารพิเศษ หมายเลข 44 ขององค์การอุทกศาสตร์สากล หรือ IHO S-44 (International Hydrographic Organization Special Publication No.44) ซึ่งชั้นงานสำรวจจะถูกออกแบบให้สอดคล้องกับความต้องการสร้างผลิตภัณฑ์และบริการทางอุทกศาสตร์ที่อำนวยความสะดวกให้เรือเดินเรือได้อย่างปลอดภัย โดยปัจจุบันกำหนดใช้บรรณสาร S-44 มาตรฐานการสำรวจอุทกศาสตร์ บรรณาธิการที่ 6 ซึ่งแบ่งเป็น 5 ชั้น ดังนี้ (IHO S-44, 2020)

#### 1) งานชั้นพิเศษจำเพาะ (Exclusive Order)

งานสำรวจชั้นพิเศษจำเพาะนั้นเป็นชั้นงานที่ขยายมาจากงานชั้นพิเศษ ซึ่งจะมีความเข้มงวดที่มากกว่าในส่วนของการหาค่าความคาดเคลื่อนและความต้องการของข้อมูลต่างๆ งานสำรวจชั้นนี้มุ่งเน้นไปยังพื้นที่ต้นที่ถูกจำกัด (ท่าเรือ พื้นที่จอดเรือ พื้นที่วิกฤตของทางเดินเรือ และร่องน้ำ) ซึ่งเป็นพื้นที่ที่วิกฤตที่เฉพาะเจาะจงโดยความลึกใต้กระดุกงู้น้อยที่สุดและลักษณะของพื้นท้องทะเลนั้นเป็นอันตรายต่อเรือที่สัญจร จึงส่งผลให้การตรวจจับวัตถุและความครอบคลุมการหยั่งน้ำเท่ากับ 200% อีกทั้งขนาดของวัตถุที่ต้องถูกตรวจจับนั้นมีขนาดเล็กกว่างานชั้นพิเศษ

#### 2) งานชั้นพิเศษ (Special Order)

งานสำรวจชั้นพิเศษนั้นมุ่งเน้นไปยังพื้นที่ที่ความลึกใต้กระดุกงู้น้อยอยู่ในชั้นวิกฤตด้วยเหตุนี้การตรวจจับวัตถุ แบบ 100% และความครอบคลุมการหยั่งน้ำแบบ 100% จึงได้ถูกกำหนดในงานชั้นนี้ รวมทั้งขนาดของวัตถุที่ต้อง 11 ถูกตรวจพบนั้นก็มีความเล็กกว่างานชั้น 1a ตัวอย่างของพื้นที่ของงานชั้นพิเศษ ได้แก่ พื้นที่จอดเรือ ท่าเรือ พื้นที่วิกฤตของทางเดินเรือ และร่องน้ำ

## 3) งานชั้น 1a (Order 1a)

งานสำรวจชั้น 1a นั้นถูกใช้สำรวจในพื้นที่ที่วัตถุใต้ท้องทะเลนั้นอาจจะเป็นอันตรายต่อเรือที่สัญจรในพื้นที่ ดังกล่าว แต่ความลึกใต้กระดุกงุนั้นยังคงไม่ถูกพิจารณาว่าวิกฤต ด้วยเหตุนี้การค้นหาวัตถุแบบ 100 % (100% feature search) จึงมีความจำเป็นในการตรวจจับวัตถุตามขนาดที่เฉพาะเจาะจง ในส่วนของความครอบคลุมการหยั่งน้ำที่เหมาะสมต่องานชั้นนี้จึงถูกกำหนดให้มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 100% แต่ทว่าความลึกน้อยที่สุดเหนือวัตถุ ที่มีความสำคัญต้องถูกตรวจพบ และการหาความลึกน้ำต้องเพียงพอที่จะแสดงรูปร่างของท้องทะเล ตามที่ความลึก ใต้กระดุกงุนั้นมีความอันตรายน้อยลงตามความลึกที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นขนาดของวัตถุที่ต้องถูกตรวจจับจึงเพิ่มขึ้นตาม ความลึกน้ำในพื้นที่ที่มีความลึกน้ำมากกว่า 40 เมตรเป็นต้นไป ตัวอย่างของพื้นที่ที่น่าจะสำรวจด้วยงานชั้น 1a ได้แก่ พื้นที่ชายฝั่ง ที่จอดเรือ ท่าเทียบเรือ ทางเดินเรือหรือร่องน้ำ

## 4) งานชั้น 1b (Order 1b)

งานชั้น 1b ถูกกำหนดให้สำรวจในพื้นที่ที่การแสดงรูปร่างของพื้นท้องทะเลนั้นเพียงพอต่อความปลอดภัยของเรือที่สัญจรในบริเวณดังกล่าว จึงได้มีการกำหนดให้ความครอบคลุมการหยั่งน้ำในชั้นงานนี้คือ 5 % นั้นหมายถึงจะมีวัตถุใต้ท้องทะเลที่รอดพ้นการตรวจจับแม้ว่าระยะของแนวหยั่งน้ำจะเป็นตัวกำหนดขนาดของ วัตถุแล้วก็ตาม อีกทั้งงานสำรวจชั้นนี้ได้ถูกแนะนำสำหรับพื้นที่ที่ความลึกใต้กระดุกงุนั้นได้ถูกพิจารณาว่าไม่เป็น ปัญหา ตัวอย่างของพื้นที่ของชั้นงาน 1b คือพื้นที่ที่รูปร่างและลักษณะของพื้นท้องทะเลนั้นอาจจะมีวัตถุใต้ท้อง ทะเลที่เป็นอันตรายต่อเรือผิวน้ำในระดับที่ต่ำ

## 5) งานชั้น 2 (Order 2)

เป็นชั้นงานสำรวจที่มีความเข้มงวดน้อยที่สุด และถูกใช้สำรวจในพื้นที่ที่ถูกพิจารณาว่าการแสดงของรูปร่างพื้นท้องทะเลนั้นเพียงพอ ในชั้นงานนี้ได้กำหนดให้ความครอบคลุมการหยั่งน้ำเท่ากับ 5 % และสำหรับงานชั้น 2 นั้นได้ถูกแนะนำให้ใช้กับพื้นที่ที่ลึกกว่า 200 เมตร ตามที่ความลึกน้ำนั้นเกินกว่า 200 เมตร จึงถูกพิจารณาว่าไม่น่าจะมีการคงอยู่ของวัตถุที่มีขนาดใหญ่เพียงพอที่จะเป็นอันตรายต่อการเดินเรือของเรือผิวน้ำ



ตารางที่ 2 มาตรฐานเกณฑ์งานสำรวจ IHO S-44 บรรณาธิกรที่ 6

เกณฑ์	ชั้น 2	ชั้น 1b	ชั้น 1a	ชั้นพิเศษ	ชั้นพิเศษจำเพาะ
ลักษณะของพื้นที่สำรวจในภาพรวม	พื้นที่ที่การแสดงรูปร่างของพื้นที่ท้องทะเลนั้นเพียงพอ	พื้นที่ที่ความลึกได้กระดุกงุนั้นถูกพิจารณาว่าไม่เป็นอันตรายต่อเรือผิวน้ำที่สัญจรในพื้นที่	เหมือนชั้น 1b แต่วัตถุที่เป็นอันตรายต่อเรือผิวน้ำที่สัญจรในพื้นที่อาจจะคงอยู่	พื้นที่ที่ความลึกได้กระดุกงุนั้นเป็นอันตรายในชั้นวิกฤต	พื้นที่ที่มีความเข้มงวดของความลึกน้ำได้กระดุกงุนและการควบคุมเรือ
ความลึกน้ำ THU เป็น (ม.) + (% ของความลึก)	20 ม. + 10% ของความลึก	5 ม. + 5% ของความลึก	5 ม. + 5% ของความลึก	2 ม.	1 ม.
ความลึกน้ำ TVU a (ม.) และ b	a = 1.0 ม., b = 0.023	a = 0.5 ม., b = 0.013	a = 0.5 ม., b = 0.013	a = 0.25 ม., b = 0.0075	a = 0.15 ม., b = 0.0075
การตรวจจับวัตถุเป็น (ม.) หรือ (% ของความลึก)	ไม่กำหนด	ไม่กำหนด	วัตถุทรงลูกบาศก์ขนาด > 2 ม. ที่ความลึกน้ำต่ำกว่า 40 ม. และ ขนาด 10% ของความลึกที่ความลึกน้ำเกินกว่า 40 ม.	วัตถุทรงลูกบาศก์ขนาด > 1 ม.	วัตถุทรงลูกบาศก์ขนาด > 0.5 ม.
การค้นหาวัตถุ (%)	แนะนำแต่ไม่ได้กำหนด	แนะนำแต่ไม่ได้กำหนด	100 %	100 %	200%
ความครอบคลุมการสำรวจ (%)	5 %	5 %	≥100 %	100 %	200%

แหล่งที่มา : International Hydrographic Organization (IHO) (2020)

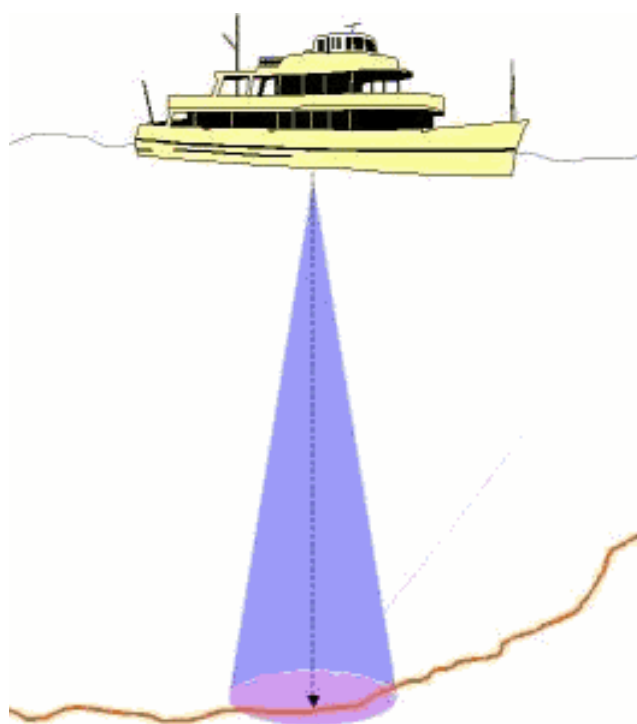
### 2.1.2 การหยั่งน้ำ

การหยั่งน้ำ (Depth Sounding) คือ การหาความลึกน้ำ ซึ่งเป็นงานหลักของการสำรวจแผนที่ทะเล การสำรวจหยั่งน้ำในปัจจุบันนิยมใช้การหาความลึกน้ำด้วยระบบเสียงสะท้อน (Echo Sounder) ซึ่งเป็นวิธีการส่งคลื่นจากเรือ โดยคลื่นเสียงถูกส่งออกจากตัวส่ง (Transducer) จะเดินทางผ่านตัวกลางมวลน้ำชั้นต่างๆ จนถึงพื้นน้ำ ไปกระทบกับผิวท้องน้ำในแนวตั้ง และเมื่อคลื่นเสียงสะท้อนกลับมาที่เครื่องตรวจรับบริเวณท้องเรือ ก็จะคำนวณความยาวของคลื่นเสียงและความเร็วเสียงผ่านตัวกลาง จากนั้น นำเวลาที่ใช้ในการเดินทางของเสียงมาคำนวณแปรผลหาค่าความลึกบริเวณนั้นได้ มีสูตรการคำนวณ ดังนี้

$$\text{ความลึก} = (\text{ความเร็วเสียงใต้น้ำ} \times \text{ระยะเวลาเดินทางของคลื่นเสียง}) / 2$$

ทั้งนี้สามารถแบ่งประเภทการหยั่งน้ำด้วยเสียงสะท้อนออกตามลักษณะของคลื่นเสียง ได้ 3 ประเภท ดังนี้ (ภาคภูมิ มงคลสังข์ และสมภพ พึ่งเสมา, 2562)

1) การหยั่งน้ำด้วยเสียงสะท้อนแบบความถี่เดียว (Single Beam Echo Sounder) เหมาะกับการใช้งานในน้ำตื้น มีความคลาดเคลื่อนประมาณ 0.3 % (3 ซม. ต่อความลึก 10 ม.) ซึ่งมี ย่านความถี่ ได้แก่ ย่านความถี่ต่ำ (30 – 50 Hz) และย่านความถี่สูง (200 – 220 Hz)



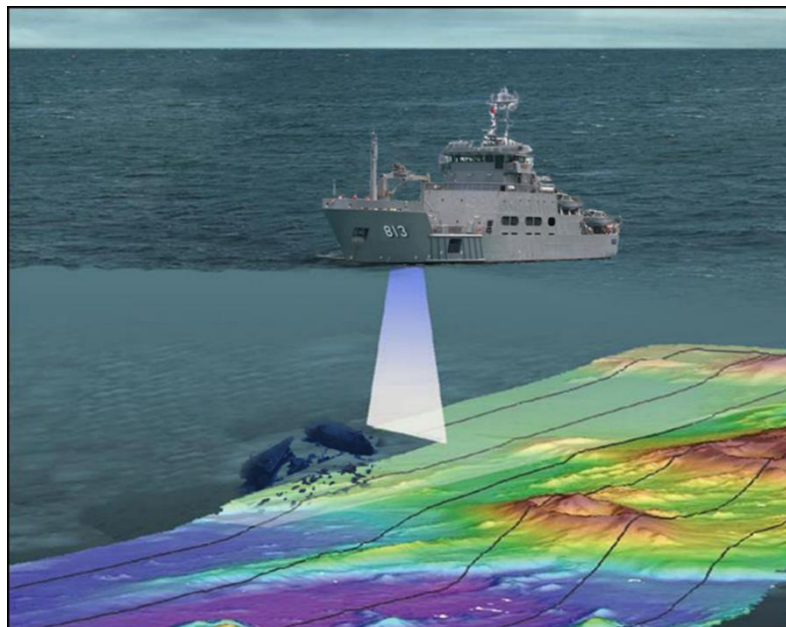
ภาพที่ 2 การหยั่งน้ำด้วยเสียงสะท้อนแบบความถี่เดียว

แหล่งที่มา : Danish Geodata Agency

2) การหยั่งน้ำด้วยเสียงสะท้อนแบบความถี่เดียวและความถี่คู่ (Single/Dual Beam Echo Sounder) เหมาะสำหรับงานสำรวจ มีความคลาดเคลื่อนเพียง 0.1 % (1 ซม. ต่อความลึก 10 ม.) วิธีนี้เหมาะสำหรับงานสำรวจใต้น้ำที่ต้องการความละเอียดสูง เช่น งานสำรวจจัดทำแผนที่ทำเรือ งานสำรวจรากฐานต่อม่อสะพาน

3) การหยั่งน้ำด้วยเสียงสะท้อนแบบหลายความถี่ (Multi Beam Echo Sounder) เป็นการสำรวจความลึกน้ำที่ทำให้มองเห็นภาพลักษณะพื้นผิวใต้น้ำได้อย่างละเอียดที่สุด มีหลักการทำงานพื้นฐานเช่นเดียวกับ Echo Sounder ประเภทความถี่เดียว - คู่ แต่เปลี่ยนการวัดความลึกจากการอ่านทีละจุดต่อตำแหน่งในแนวตั้งฉาก มาเป็นการส่องกวาด (Scan) ต่อ 1 Ping Record และต้องทำงานร่วมกับอุปกรณ์หลายชนิด ทั้งเครื่องมือวัดอุณหภูมิ เครื่องมือวัดอัตราเร็วของเสียงในน้ำ

เครื่องมือตรวจจับการเคลื่อนตัวของเรือ Sensor ประเภทต่างๆ ข้อมูลความลึกที่ได้ มีความคลาดเคลื่อนอยู่ในระดับ 1-3 ซม. ระยะเวลาที่ใช้ในการสำรวจสั้น แต่มีข้อจำกัดในเรื่องค่าใช้จ่ายของอุปกรณ์สูง และกระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลที่มีปริมาณมาก อุปกรณ์นี้จึงเหมาะสำหรับงานสำรวจใต้น้ำที่ต้องการความละเอียดสูง เช่น งานขั้นพิเศษ หรือขั้นพิเศษจำเพาะ



ภาพที่ 3 การหยั่งน้ำด้วยเสียงสะท้อนแบบหลายความถี่

แหล่งที่มา : กรมอุทกศาสตร์ (2549)

การหยั่งน้ำด้วยเสียงสะท้อนเป็นเครื่องมือที่นิยมและแพร่หลายสำหรับการหยั่งความลึกน้ำ เนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่ใช้งานง่าย คล่องตัว และให้ค่าความถูกต้องตามเกณฑ์มาตรฐานการสำรวจตามแต่ละชั้นงาน โดยมีค่าผลรวมความไม่แน่นอนในแนวตั้ง (Total vertical uncertainty: TVU) เป็นตัวกำหนดมาตรฐานความถูกต้อง ในการสำรวจทุกครั้งจะต้องทำการสอบเทียบอุปกรณ์หยั่งน้ำด้วยเสียงสะท้อนให้มีค่า TVU เป็นไปตามเกณฑ์ชั้นงานสำรวจที่ต้องการ ทั้งนี้การหยั่งน้ำด้วยเสียงสะท้อนแบบความถี่เดียวและความถี่คู่ มีข้อดีในเรื่องของการใช้งานของชุดอุปกรณ์ที่คล่องตัว และอุปกรณ์มีราคาไม่สูง แต่มีข้อจำกัดในเรื่องของช่องว่างระหว่างแนวสำรวจที่เกิดขึ้น ทำให้อาจไม่ได้ข้อมูลครบเต็มพื้นที่ ในส่วนของเครื่องหยั่งน้ำด้วยเสียงสะท้อนแบบหลายความถี่ จะให้การหยั่งน้ำที่ครอบคลุมเต็มพื้นที่ทางกวาด (Scan) ของแนวสำรวจใช้ระยะเวลาในการสำรวจสั้น แต่มีข้อจำกัดในเรื่องค่าใช้จ่ายของอุปกรณ์สูง และกระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลที่มีปริมาณมาก การสำรวจแผนที่ทะเล

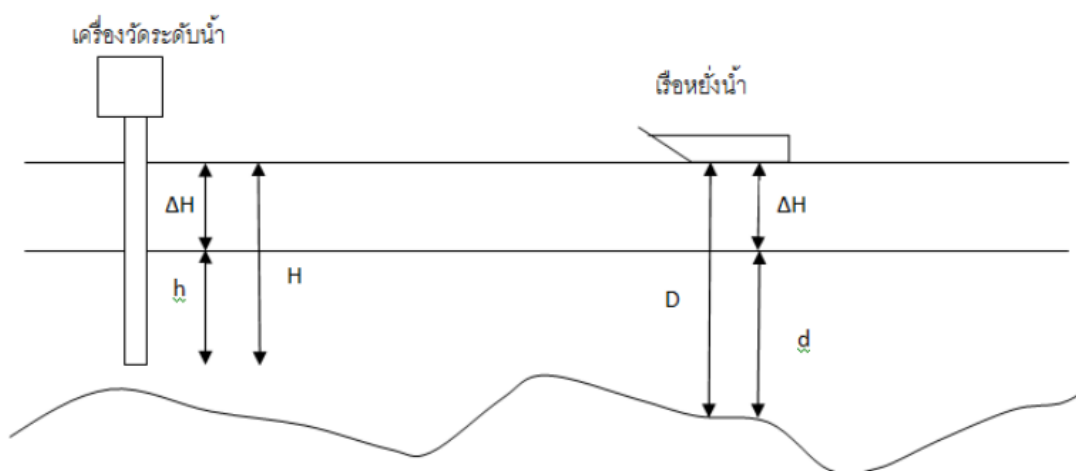
ในปัจจุบันของกรมอุทกศาสตร์ จะเป็นการสำรวจเพื่อปรับปรุงแผนที่เดินเรือเดิมให้มีข้อมูลที่ทันสมัยมากขึ้น โดยใช้เทคโนโลยีการหยั่งน้ำด้วยเสียงสะท้อนแบบความถี่เดียวและหลายความถี่เป็นหลัก

### 2.1.3 การคำนวณหักแก้ความลึกน้ำ

การหามูลฐานหยั่งน้ำ (Sounding Datum) หรือที่นิยมเรียกว่า เส้นเกณฑ์ หรือ พื้นเกณฑ์ เป็นการกำหนดมูลฐานทางดิ่ง (Vertical Datum) สำหรับงานสำรวจแผนที่ทะเล ซึ่งจะต่างจากการสำรวจแผนที่บกที่ใช้มูลฐานทางดิ่งเป็น ระดับทะเลปานกลาง ในการอ้างอิงค่าความสูงบนบก แต่ในทะเลการอ้างอิงค่าความลึกของกรมอุทกศาสตร์ที่ใช้ในแผนที่เดินเรือจะใช้มูลฐานทางดิ่ง หรือเส้นเกณฑ์เป็น ระดับน้ำลงต่ำที่สุด หมายถึง ระดับน้ำลงเต็มที่ต่ำที่สุดในช่วงเวลาที่ตรวจวัดข้อมูล ซึ่งปกติจะใช้ค่าระดับที่สถานีวัดระดับน้ำของกองสมุทรศาสตร์ที่ตั้งอยู่บริเวณชายฝั่งใกล้กับพื้นที่สำรวจเป็นเส้นเกณฑ์อ้างอิงได้ทันที ซึ่งเรียกว่า มูลฐานแผนที่ (Chart Datum) หรือ เส้นเกณฑ์แผนที่ แต่ในกรณีที่สถานีวัดระดับน้ำไม่มีอยู่ใกล้เคียงกับพื้นที่สำรวจจำเป็นต้องติดตั้งสถานีวัดระดับน้ำชั่วคราวเพื่อหาค่ามูลฐานหยั่งน้ำขึ้นมา ใช้งาน (ธนกร นาจารย์, 2558)

การหักเลขน้ำ คือ การหาค่าความแตกต่างระหว่างความลึกน้ำที่หยั่งมาได้กับค่าระดับน้ำที่วัดได้จากเครื่องวัดระดับน้ำ ดังนั้นเลขน้ำที่หักแล้วจะเป็นเลขน้ำที่อ้างอิงกับพื้นเกณฑ์หยั่งน้ำและจะนำไปเขียนลงในแผนที่ต่อไป หลักการในการหักเลขน้ำ คือ

- 1) เรือสำรวจทำการสำรวจความลึกน้ำ โดยความลึกน้ำหนึ่งจุดที่วัดได้จะมีค่าเวลาและตำบลที่กำกับไว้
- 2) เครื่องวัดระดับน้ำทำการวัดและบันทึกค่าระดับน้ำ และเวลาที่ทำการตรวจในพื้นที่สำรวจในช่วงเวลาเดียวกับที่มีการหยั่งน้ำ การบันทึกทำได้โดยการจดบันทึกและการบันทึกแบบอัตโนมัติไว้ในเครื่องวัด
- 3) สถานีน้ำรองควรทำการวัดระดับน้ำอย่างน้อยหนึ่งเดือน และนำค่าความลึกน้ำที่วัดได้จากสถานีน้ำมาคำนวณหาระดับน้ำลงต่ำสุดเส้นเกณฑ์แผนที่
- 4) นำค่าความลึกน้ำที่วัดได้ ณ เวลาเดียวกันทั้งจากเครื่องหยั่งน้ำบนเรือสำรวจและเครื่องวัดระดับน้ำที่สถานีน้ำมาทำการคำนวณหักแก้ความลึกน้ำโดยเริ่มแรกให้หาความแตกต่างระหว่างระดับน้ำที่ผิวน้ำกับระดับน้ำลงต่ำที่สุดที่เครื่องวัดระดับน้ำ เสร็จแล้วจึงนำค่านี้ไปลบออกจากความลึกที่เครื่องหยั่งน้ำวัดได้อีกก็จะได้ความลึกน้ำที่อ้างอิงกับระดับน้ำลงต่ำสุด

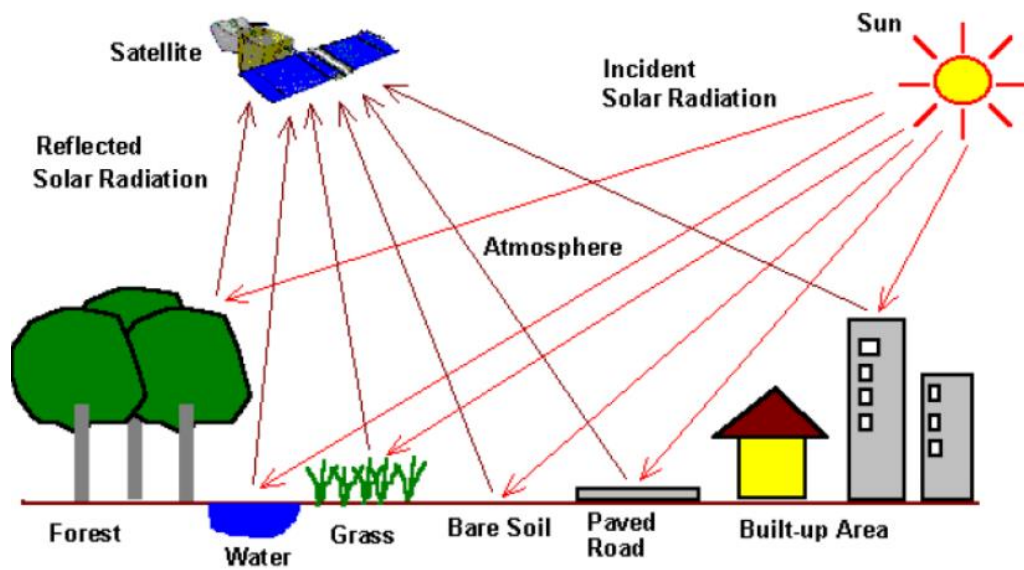


ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ของค่าระดับในการหักเลขน้ำ

แหล่งที่มา : ธนกร นาจารย์ (2558)

## 2.2 เทคโนโลยีการรับรู้ระยะไกลกับการหยั่งความลึกน้ำทะเล

การรับรู้จากระยะไกล หรือ รีโมทเซนซิง (Remote Sensing) เป็นศาสตร์และศิลป์ที่เกี่ยวข้องกับการได้มาซึ่งข้อมูลของวัตถุ พื้นที หรือปรากฏการณ์ต่างๆ โดยปราศจากการสัมผัสสิ่งนั้นๆ (Lillesand, 2008) ได้เข้ามามีบทบาทและถูกใช้ประโยชน์ในด้านการสำรวจภูมิประเทศทั้งทางบกและทางทะเลเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งพื้นที่ชายฝั่งทะเล ซึ่งเป็นบริเวณที่มีการประกอบกิจกรรมทางเศรษฐกิจต่าง ๆ จำนวนมาก และมีการเปลี่ยนแปลงของทะเลชายฝั่งอยู่ตลอดเวลาจากกลไกทางธรรมชาติ จึงต้องทำการสำรวจอย่างสม่ำเสมอเป็นระยะเพื่อให้เกิดความทันสมัยของข้อมูล และด้วยข้อจำกัดของการสำรวจหยั่งน้ำด้วยระบบเสียงสะท้อน จึงเกิดการนำเทคโนโลยีการรับรู้ระยะไกลมาใช้ในการหยั่งความลึก ได้แก่ 1) วิธีการสำรวจแบบ Light Detection and Ranging หรือ LIDAR ซึ่งสามารถให้ค่าความลึกน้ำทะเล และลักษณะภูมิประเทศได้อย่างแม่นยำ ประหยัดเวลา แต่ยังคงมีข้อจำกัดในเรื่องของงบประมาณที่ใช้ในการดำเนินการที่ค่อนข้างสูง และ 2) วิธีการใช้ภาพถ่ายดาวเทียมในการหยั่งความลึกน้ำทะเล (Satellite Derived Bathymetry : SDB) เป็นวิธีการที่ใช้แบบจำลองวิเคราะห์การทะลุผ่านของช่วงแสงที่มองเห็นได้ในน้ำ ซึ่งเทคนิคจากการรับรู้ระยะไกลเหล่านี้ช่วยให้เกิดความรวดเร็วในการได้มาซึ่งผลลัพธ์ และมีความสมบูรณ์ของข้อมูลเพิ่มขึ้น

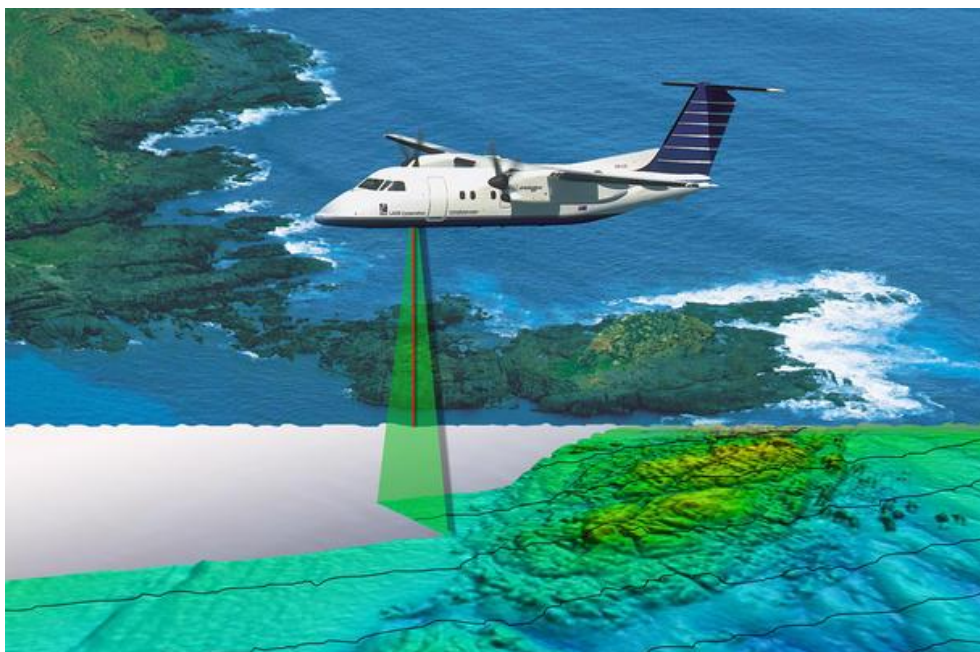


ภาพที่ 5 กระบวนการสำรวจระยะไกล

แหล่งที่มา : กรมเทคโนโลยีสารสนเทศและอวกาศกลาโหม

### 2.2.1 Light Detection and Ranging (LIDAR)

Light Detection and Ranging หรือ LIDAR คือ เทคโนโลยีการสำรวจรังวัดจากระยะไกลที่อาศัยการยิงคลื่นแสงในช่วงสั้นที่กำเนิดจากอุปกรณ์ประดิษฐ์ ไปกระทบกับพื้นผิวภูมิประเทศหรือวัตถุบนพื้นผิวภูมิประเทศ และสะท้อนกลับมายังอุปกรณ์ภาครับ ผลที่ได้คือความแตกต่างของระยะเวลาที่ลำแสงเลเซอร์ถูกส่งไปแล้วกระทบกลับมา ทำให้สามารถคำนวณหาระยะทางระดับความสูงต่ำของพื้นที่ที่ทำการสำรวจได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ (ธีระ ลาภิศชายกุล, 2554) โดยชุดอุปกรณ์ สามารถนำไปติดตั้งกับเครื่องมือสำรวจ เช่น ขากล้อสำรวจ หรือติดตั้งบนยานพาหนะ เช่น เครื่องบิน เฮลิคอปเตอร์ หรือรถยนต์ โดยควบรวม (Integrated) ระบบเข้ากับระบบการระบุพิกัดหรือการนำหนโดยตำแหน่งบนพื้นโลกที่มีใช้กันแพร่หลายในปัจจุบัน หรือ GNSS (Global Navigation Satellite System) เป็นผลให้ข้อมูลที่ได้ สามารถบ่งบอกลักษณะภูมิประเทศ หรือวัตถุตามตำแหน่ง ในระบบพิกัดภูมิศาสตร์หรือพิกัดกริดต่างๆได้อย่างแม่นยำ ประหยัดเวลา แต่มีค่าใช้จ่ายสูง



ภาพที่ 6 การสำรวจ LIDAR ด้วยอากาศยาน

แหล่งที่มา : Deepreef Explorer (2009)

### 2.2.2 การหึงความลึกด้วยภาพถ่ายดาวเทียม (Satellite Derived Bathymetry: SDB)

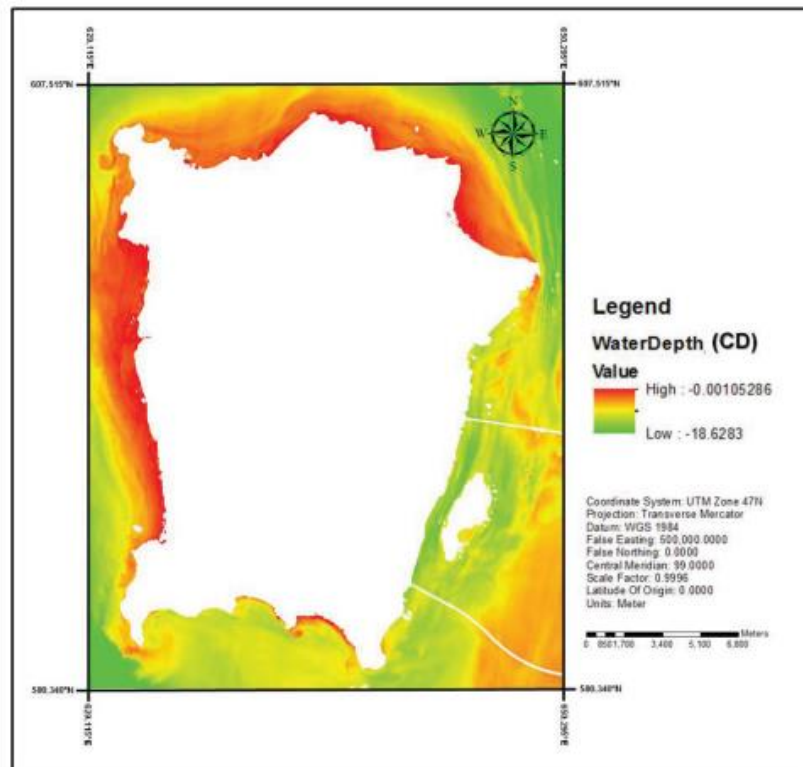
ข้อมูลจากดาวเทียมถูกนำมาใช้ประโยชน์หลากหลายด้าน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในงานสำรวจ โดยการนำมาสร้างเป็นแผนที่เฉพาะเรื่อง เช่น แผนที่ธรณีวิทยา แผนที่ดิน ซึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงช้า และข้อมูลบางชนิดที่มีการเปลี่ยนแปลงรวดเร็ว เช่น การใช้ที่ดิน สำหรับการจัดทำแผนที่เฉพาะเรื่อง บทบาทสำคัญของข้อมูลดาวเทียมจึงใช้ในการปรับปรุงแผนที่เดิมที่มีอยู่แล้ว ให้มีความทันสมัยและเป็นปัจจุบัน เช่น การปรับปรุงแผนที่ภูมิประเทศ การติดตามการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน ข้อมูลส่วนใหญ่ได้จากดาวเทียมสำรวจทรัพยากรระยะเฉียดปานกลาง เช่น ดาวเทียม LANDSAT ดาวเทียม Sentinel นอกจากนี้ ในปัจจุบันได้มีการใช้ประโยชน์จากภาพถ่ายดาวเทียมในการนำมาใช้หึงความลึกน้ำทะเลอีกด้วย

การหาค่าความลึกน้ำจากภาพถ่ายดาวเทียม หรือ Satellite Derived Bathymetry : SDB เป็นเทคนิคด้านอุทกศาสตร์สมัยใหม่ที่ใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมในการสร้างแผนที่ทะเลด้วยการใช้คุณสมบัติของย่านแสงสีเขียว และน้ำเงิน ซึ่งเป็นแสงลำคลื่นสั้นทำให้สามารถทะลุผ่านวัตถุที่เป็นน้ำได้ดี โดยเฉพาะบริเวณน้ำตื้นหรือบริเวณชายฝั่ง วิธีการนี้จะสามารถใช้งานได้ครอบคลุมพื้นที่ขนาดใหญ่ ลงทุนด้านเวลาและทรัพยากรที่ค่อนข้างต่ำ ถึงแม้ว่าข้อมูลที่ได้จะมีความแม่นยำและความละเอียดไม่เท่าการสำรวจแบบการหึงความลึกด้วยเสียงสะท้อน หรือ LIDAR แต่ก็สามารถใช้เป็นเครื่องมือในการวางแผนการสำรวจแบบ Bathymetric เพื่อช่วยให้ข้อมูลมีความสมบูรณ์ครบถ้วน

ครอบคลุมพื้นที่การสำรวจที่มีอยู่ และในบางสถานการณ์วิธีการ SDB เป็นทางเลือกที่เหมาะสมกว่าวิธีการแบบเดิมในการสำรวจสภาพแวดล้อมชายฝั่ง

วิธีการ SDB เป็นวิธีการหยั่งความลึกน้ำทะเลโดยใช้เทคโนโลยีการรับรู้จากระยะไกลในด้านภาพถ่ายดาวเทียมร่วมกับการใช้แบบจำลองเพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของช่วงคลื่นสีเขียวและสีน้ำเงิน แบบจำลองที่นิยมใช้กับวิธีการ SDB ได้แก่ แบบจำลอง Lyzenga (Linear Band Model) ของ Lyzenga (Lyzenga, 1981) และแบบจำลองอัตราส่วนช่วงคลื่น (Log-Band Ratio Model, Stumpf Model) ของ Stumpf และคณะ (Stumpf et al., 2003) และจากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าวิธีการ SDB ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการหยั่งความลึกน้ำทะเลในพื้นที่ทะเลชายฝั่งต่างๆ เช่น Jagalingam และคณะ (Jagalingam et al., 2015) ใช้ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 กับวิธีการ SDB และแบบจำลองอัตราส่วนช่วงคลื่น ในการหยั่งความลึกน้ำบริเวณชายฝั่งตะวันตกเฉียงใต้ของอินเดีย ซึ่งผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ทางสถิติแสดงความสัมพันธ์ที่ดีกับความลึกน้ำจากการสำรวจแผนที่เดินเรือ อีกทั้งยังสามารถให้ค่าความถูกต้องของความลึกน้ำได้ถึงที่ระดับความลึก 20 เมตร Kimeli และคณะ (Kimeli et al., 2018) ใช้ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 หยั่งความลึกด้วยวิธีการ SDB ผ่านแบบจำลองอัตราส่วนช่วงคลื่น ในช่อง Mombasa Port Channel ประเทศเคนยา และทำการวิเคราะห์โดยอ้างอิงกับข้อมูลจากแผนที่เดินเรือ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ให้ความลึกน้ำได้ดีที่ความลึกสูงสุด 10 เมตร Kelvin Kang Wee Tang และคณะ (Tang & Mahmud, 2018) ได้ใช้วิธีการ SDB และแบบจำลองอัตราส่วนช่วงคลื่นกับภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 ในการหยั่งความลึกน้ำทะเลบริเวณเกาะปีนัง ประเทศมาเลเซีย ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้มีความแม่นยำสอดคล้องกับแผนที่เดินเรือที่ใช้เปรียบเทียบ เช่นเดียวกับ Randazzo และคณะ (Saeed et al., 2021) ที่ได้ทำหยั่งความลึกน้ำทะเลด้วยวิธีการ SDB เพื่อวิเคราะห์การกัดเซาะชายฝั่งซานวิโต โลคาโป ประเทศอิตาลี โดยใช้ข้อมูลจากดาวเทียม GeoEye-1 ผลลัพธ์ที่ได้สามารถให้ค่าความลึกน้ำที่แม่นยำบริเวณตั้งแต่แนวชายฝั่งจนถึงที่ระดับความลึก 10 เมตร งานวิจัยดังกล่าวทั้งหมดแสดงให้เห็นว่าวิธีการ SDB สามารถให้ค่าความลึกน้ำที่ถูกต้องแม่นยำในที่ตื้นหรือพื้นที่ชายฝั่ง แม้มิพื้นที่ศึกษาที่แตกต่างกัน ดังนั้น วิธีการ SDB ร่วมกับแบบจำลองอัตราส่วนช่วงคลื่น จึงเป็นวิธีการที่สามารถนำมาใช้งานได้กับพื้นที่น้ำตื้นหรือบริเวณชายฝั่งในแต่ละภูมิภาคต่างๆ ได้

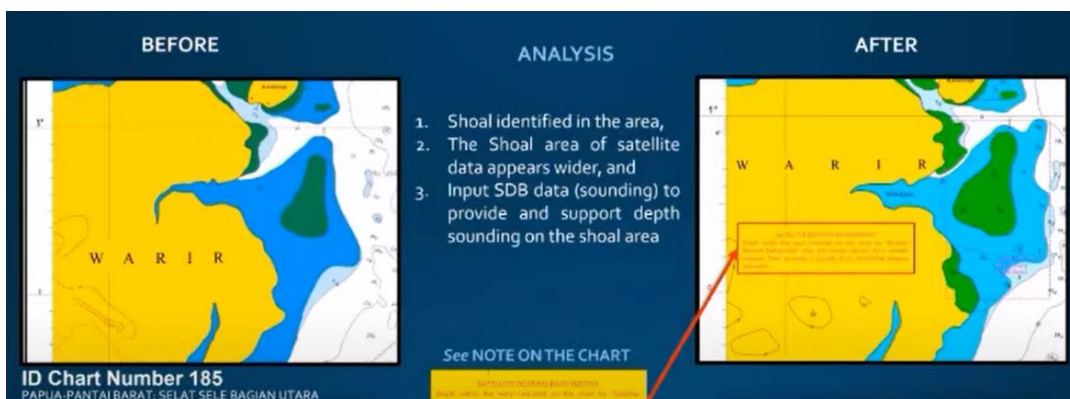




ภาพที่ 7 แผนที่ความลึกน้ำทะเลด้วยวิธีการ SDB  
บริเวณเกาะปิ้ง ประเทศมาเลเซีย

แหล่งที่มา : Tang and Mahmud (2018)

นอกจากนี้พื้นที่ที่ไม่ได้มีการสำรวจทำแผนที่อุทกศาสตร์ สามารถนำข้อมูลความลึกน้ำจากภาพถ่ายดาวเทียมด้วยวิธีการ SDB มาแสดงเป็นเลขน้ำลงในแผนที่เดินเรือได้ โดยต้องมีการกำกับข้อความหมายเหตุ (Note) ไว้ในบริเวณใกล้เคียงว่าความลึกน้ำบริเวณดังกล่าวได้มาด้วยวิธีหยังความลึกน้ำด้วยภาพถ่ายดาวเทียม (Satellite Derived Bathymetry) ดังเช่น ในประเทศอินโดนีเซีย ซึ่งมีลักษณะภูมิประเทศเป็นเกาะจำนวนมาก เกิดข้อจำกัดเรื่องการสำรวจหยังน้ำด้วยเสียงให้ครอบคลุมทุกพื้นที่ จึงมีการนำการหยังน้ำด้วยภาพถ่ายดาวเทียมมาใช้และระบุความลึกน้ำที่ได้ลงในแผนที่เดินเรือบางระวาง เช่น แผนที่เดินเรือ หมายเลข 185 PAPUA PANTAI BARAT; SELAT SELE BAGIAN UTARA ซึ่งได้ทำการสำรวจหยังน้ำด้วยวิธีการ SDB และแสดงเลขน้ำที่ได้ลงในแผนที่เดินเรือพร้อมกำกับหมายเหตุไว้ว่าพื้นที่บริเวณดังกล่าวได้มาจากวิธีการหยังน้ำด้วยภาพถ่ายดาวเทียม (Handwiono, 2021) ดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 แผนที่เดินเรือแสดงข้อมูลความลึกน้ำจากวิธีการ SDB

แหล่งที่มา : Handwiono (2021)

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับวิธีการ SDB

1) กระบวนการแยกชั้นน้ำด้วยค่าดัชนีความแตกต่างของน้ำ (Water Index)

1.1) ดัชนีผลต่างความชื้นแบบนอร์มัลไลซ์ (Normalize Difference Water Index: NDWI)

ดัชนีผลต่างความชื้นแบบนอร์มัลไลซ์ (NDWI) ของ McFeeters (1996) เป็นวิธีการที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์แหล่งน้ำจากภาพถ่ายดาวเทียม โดยค่า NDWI จะใช้แถบช่วงคลื่นสีเขียว (Green band) และแถบช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (NIR) ในการปรับปรุงข้อมูลน้ำให้มีประสิทธิภาพ โดยค่า NDWI อยู่ที่ช่วง  $-1.0$  ถึง  $+1.0$  มีรูปแบบสมการดังนี้

$$NDWI = \frac{Green - NIR}{Green + NIR}$$

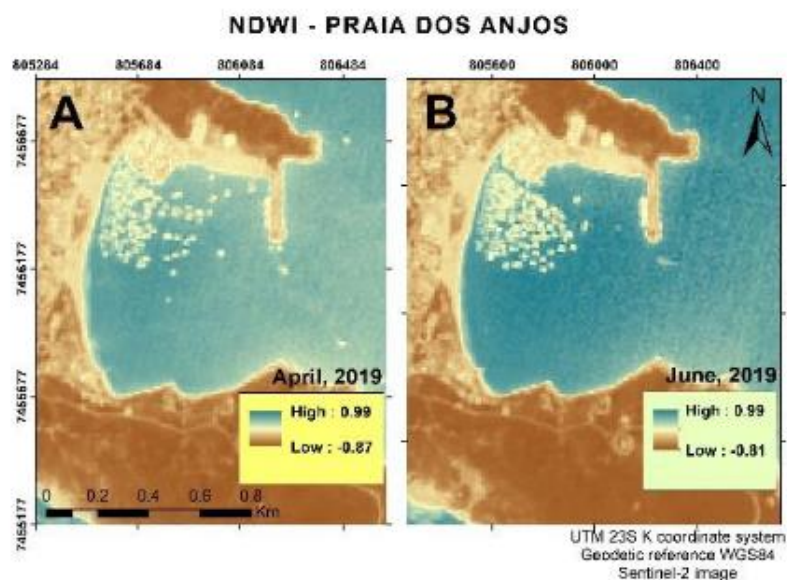
โดยที่ Green คือ ช่วงคลื่นสีเขียว

NIR คือ ช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (Near Infrared)

ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 ช่วงคลื่น Green = Band 3 ช่วงคลื่น NIR = Band 5

NDWI ถูกนำมาใช้ในกระบวนการแยกชั้นน้ำ ซึ่งเป็นขั้นตอนหนึ่งของการเตรียมภาพถ่ายดาวเทียมสำหรับการหาความลึกน้ำด้วยวิธีการ SDB เช่น งานวิจัยเรื่อง Satellite-Derived Bathymetry models from Sentinel-2A and 2B in the coastal clear waters of Arraial do Cabo, Rio de Janeiro, Brazil ของ Ruan Vargas (2021) ได้ใช้ NDWI ในขั้นตอนการเตรียมภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2A และ 2B สำหรับใช้ในการในการหาค่าความลึกน้ำทะเลในพื้นที่ชายฝั่งของเมืองริโอเดจาเนโร ประเทศบราซิล และ งานวิจัยเรื่อง Coastal And Shallow Water Sea Bed Mapping Using Imagery - Derived Bathymetric Approach ของ Tang and Mahmud (2018) ได้เลือกใช้ NDWI ในขั้นตอนการเตรียมภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 ในการหาค่าความลึก

น้ำทะเลบริเวณเกาะปีนัง ประเทศมาเลเซีย ซึ่งผลลัพธ์ทั้งสองงานวิจัยให้ผลลัพธ์ที่สอดคล้องกันโดยสามารถแยกพื้นที่น้ำและไม่ใช่ น้ำได้อย่างชัดเจน แต่ NDWI ยังคงมีการปรากฏสิ่งปกคลุมในพื้นที่น้ำ เช่น พืชพรรณ สิ่งปลูกสร้าง หรือดิน ในบางบริเวณ



ภาพที่ 9 ตัวอย่างภาพผลลัพธ์การใช้ NDWI เพื่อแยกพื้นที่น้ำ และไม่ใช่ น้ำใน 2 ช่วงเวลา

แหล่งที่มา : Tang and Mahmud (2018)

1.2) ค่าดัชนีผลต่างความชื้นแบบนอร์มัลไลซ์ปรับปรุง (Modified Normalized Difference Water Index: MNDWI)

ค่าดัชนีผลต่างความชื้นแบบนอร์มัลไลซ์ปรับปรุง หรือ Modification of normalised difference water index (MNDWI) ของ Xu (2006) เป็นวิธีการใหม่ที่ได้รับการพัฒนาขึ้นจากค่าดัชนีผลต่างความชื้นแบบนอร์มัลไลซ์ หรือ NDWI ของ McFeeters (1996) เพื่อกำหนดคุณสมบัติของน้ำที่แยกออกมาและเพิ่มประสิทธิภาพในการแสดงภาพดิจิทัลจากระยะไกล โดยการนำดัชนี NDWI ของ McFeeters มาทำการปรับสมการด้วยการแทนที่ช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (Near Infrared : NIR) ด้วยช่วงคลื่นอินฟราเรดกลาง (Mid Infrared : MIR) ซึ่งจะช่วยลดการรบกวนจากพื้นที่ดินหรือสิ่งปลูกสร้างได้เป็นอย่างดี และมีประโยชน์ในการแยกความแตกต่างเล็กน้อยของน้ำได้มากขึ้น โดยค่า MNDWI อยู่ที่ช่วง  $-1.0$  ถึง  $+1.0$  มีรูปแบบสมการดังนี้

$$\text{MNDWI} = \frac{\text{Green} - \text{MIR}}{\text{Green} + \text{MIR}}$$

โดยที่ GREEN คือ ช่วงคลื่นสีเขียว

MIR คือ ช่วงคลื่นอินฟราเรดกลาง (Mid Infrared)

ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 ช่วงคลื่น Green = Band 3 ช่วงคลื่น MIR = Band 6

จากงานวิจัยของ Xu (2006) ชี้ให้เห็นว่า MNDWI สามารถปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยการขจัดข้อมูลรบกวนจากพื้นดินและพืชในบริเวณนั้นออกไป เนื่องจากข้อมูลน้ำที่ได้รับการปรับปรุงโดยใช้ NDWI มักจะมีข้อมูลของดินและพืชผสมรวมเข้ามาด้วย ส่งผลให้พื้นที่ของน้ำที่ได้รับมีค่าที่มากเกินไปจากความเป็นจริง ดังนั้น MNDWI จึงเหมาะสมกว่าสำหรับการปรับปรุงและดึงข้อมูลน้ำสำหรับพื้นที่น้ำที่มีพื้นหลังปกคลุมโดยพื้นดิน โดย MNDWI ได้ถูกนำมาใช้ในกระบวนการแยกชั้นน้ำ ในขั้นตอนการเตรียมภาพถ่ายดาวเทียมสำหรับการหาความลึกน้ำด้วยวิธีการ SDB ดังเช่นในงานวิจัยของ Rui GUERREIRO (2015) ซึ่งได้ใช้ค่าดัชนีผลต่างความชื้นแบบนอมัลไลซ์ปรับปรุง (MNDWI) ในการเตรียมภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 เพื่อวิเคราะห์หาความลึกน้ำทะเลบริเวณชายฝั่งของประเทศโปรตุเกส โดย MNDWI สามารถใช้ในการแยกพื้นที่น้ำที่ต้องการศึกษาได้อย่างชัดเจน และผลลัพธ์ที่ได้สามารถให้ค่าความลึกน้ำที่มีประสิทธิภาพในความลึกสูงสุด 10 เมตร เมื่ออ้างอิงกับความลึกน้ำสำรวจ หรือในงานวิจัยของ Zhiqiang Du และคณะ (Du et al., 2014) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบค่าดัชนีผลต่างความชื้นแบบนอมัลไลซ์ (NDWI) และค่าดัชนีผลต่างความชื้นแบบนอมัลไลซ์ปรับปรุง (MNDWI) ในการนำมาใช้ทำแผนที่น้ำผิวดิน (land surface water mapping : LSWM) บริเวณลุ่มแม่น้ำแยงซี และลุ่มแม่น้ำฮวยเหอของประเทศจีน โดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 (OLI) ผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นว่า MNDWI มีความแม่นยำในการใช้ทำแผนที่น้ำผิวดินมากที่สุด ดังนั้น MNDWI จึงมีความเหมาะสมและมีประสิทธิภาพในการนำมาใช้ร่วมกับวิธีการ SDB เป็นอย่างมาก

## 2) แบบจำลองสำหรับวิธีการ SDB

### 2.1) Lyzenga Model / Linear Band Model

Lyzenga Model เป็นวิธีการที่อาศัยหลักการของเทคโนโลยีการตรวจจับระยะไกลด้วยดาวเทียมที่ได้อธิบายว่าสเปกตรัมของแสงจากดวงอาทิตย์มีความสามารถในการซึมผ่าน การสะท้อนแสงภาคพื้น และการกระเจิงของวัตถุที่แตกต่างกัน อีกทั้งข้อมูลการตรวจจับระยะไกลด้วยดาวเทียมยังสามารถจำแนกได้โดยใช้การแผ่รังสีแบบหลายคลื่นความถี่ในสภาวะที่เหมาะสม ความลึกของน้ำสามารถดึงมาจากดาวเทียมได้โดยเซ็นเซอร์ดาวเทียมจะตรวจจับแสงที่สะท้อนจากด้านล่างที่

มองเห็นได้ และในคอลัมน์น้ำ แสงจะถูกลดทอนแบบทวีคูณตามความลึกตามกฎของเบียร์ Lyzenga จึงได้เสนอวิธีแก้ปัญหาลักษณะเชิงเส้น เพื่อเพิ่มค่าความถูกต้องของอัลเบโดด้วยการใช้สองช่วงคลื่น

$$Z = a_0 + a_1 x_i + a_2 x_j$$

เมื่อ  $x_i = \ln[R(\lambda_1) - R_\infty(\lambda_1)]$  และ  $\lambda$  คือ ความยาวคลื่น โดยอัลกอริธึมจะปรับปรุงแก้ไขช่วงของการเปลี่ยนแปลงทั้งในการลดทอนน้ำและการสะท้อนแสงด้านล่าง โดยใช้การรวมเชิงเส้นของการแปลงข้อมูลโดยใช้ค่าล็อก (log-transformed) ในช่วงคลื่นสีน้ำเงินและสีเขียว อีกทั้งแบบจำลองของ Lyzenga ได้กำหนดตัวแปร  $x_j$  ไว้สำหรับกรณีใช้ช่วงคลื่น N ดังนี้

$$X_j = \ln(L_j - L_{Wj})$$

โดยที่  $L_j$  คือ การสะท้อนแสงเหนือพื้นผิวในช่วงคลื่น  $j$  และ  $L_{Wj}$  คือ การสะท้อนแสงเฉลี่ยในน้ำลึก ซึ่งค่าการสะท้อนถูกแปลงข้อมูลโดยใช้ค่าล็อกเพื่อสร้างความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างการสะท้อนและความลึก โดยผลกระทบของค่าความเข้มแสงที่เปล่งออกมาในน้ำลึกนั้นแทบไม่มีนัยสำคัญในแหล่งน้ำตื้น และเมื่อพิจารณาความแตกต่างของคุณภาพน้ำและความแปรปรวนที่ไม่ขึ้นกับความลึกในค่าการสะท้อนแสงระหว่างช่วงคลื่นนี้ สามารถสร้างแบบจำลองความลึกได้เป็น

$$h = h_0 - \sum_{j=1}^N h_j x_j$$

โดยที่  $h_0$  และ  $h_j$  เป็นค่าคงที่ที่กำหนดความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่าง  $x_j$  และความลึก  $h_0$  และ  $h_1$  ถึง  $h_j$  ทั้งหมดถูกกำหนดผ่านการวิเคราะห์ถดถอยแบบพหุคูณระหว่างชุดของความลึกที่ทราบและค่าการสะท้อนกลับที่แปลงโดยใช้ค่าลอการิทึมซึ่งพบที่ระดับความลึกเหล่านั้น วิธีการนี้เพิ่มความยืดหยุ่นในการปฏิบัติงาน เนื่องจากอัลกอริธึมไม่ได้จำกัดความยาวของช่วงคลื่น

## 2.2) Log-Band Ratio Model / Linear Ratio Model / Stumpf Model

วิธี Log-Band Ratio Method ของ Stumpf และคณะ (Stumpf et al., 2003) ได้พัฒนามาจากทฤษฎีการหาความลึกน้ำจากเทคโนโลยีการตรวจจำระยะไกลของ Lyzenga (1981) โดยใช้อัตราส่วนของการสะท้อนของแสงที่ใช้เพียงพารามิเตอร์สองตัวที่มีคุณสมบัติอัตราส่วนการสะท้อนต่ำจากภาพถ่ายดาวเทียม และใช้กระบวนการแปลงเชิงเส้นและการแปลงอัตราส่วนใหม่ในแก้ปัญหา ซึ่งจะชดเชยสำหรับตัวแปรที่เป็นพื้นที่ท้องทะเลและอัตราส่วนการสะท้อน โดยใช้สมการดังนี้

$$Z = m_1 \times \frac{\ln(nRw(\lambda_i))}{\ln(nRw(\lambda_j))} - m_0$$

โดยที่	$Z$ (m)	คือ	ความลึกสัมบูรณ์ของน้ำ (SDB)
	$m_1$	คือ	ค่าคงที่ที่ใช้ในการปรับอัตราส่วนต่อความลึก
	$Rw$	คือ	การสะท้อนสเปกตรัมที่สังเกต
	$m_0$	คือ	ค่าชดเชยสำหรับความลึก 0 ม.
	$\lambda_i$	คือ	ช่วงคลื่นสีน้ำเงิน
	$\lambda_j$	คือ	ช่วงคลื่นสีเขียว

แบบจำลอง Lyzenga (Lyzenga Model) และแบบจำลองอัตราส่วนช่วงคลื่น (Stumpf Model) ได้ถูกนำมาอธิบายเปรียบเทียบในการนำมาใช้หึงความลึกน้ำทะเลด้วยวิธีการ SDB ผ่านงานวิจัย เช่น งานวิจัยของ Stumpf และคณะ (Stumpf, 2003) ทำการศึกษาเปรียบเทียบการใช้แบบจำลอง Lyzenga และแบบจำลองอัตราส่วนช่วงคลื่น ในการหาความลึกน้ำทะเลด้วยวิธีการ SDB บริเวณเกาะ Northwest Hawaiian ด้วยภาพถ่ายดาวเทียม IKONOS และ LIDAR ซึ่งผลลัพธ์ของแบบจำลองทั้งสองสามารถดึงข้อมูลความลึกของน้ำที่ระดับความลึกน้อยกว่า 10 - 15 ม. แต่แบบจำลองอัตราส่วนช่วงคลื่นจะให้ผลลัพธ์ของข้อมูลที่ดีกว่า ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Pennucci และคณะ (Pennucci et al., 2008) ที่ได้ใช้แบบจำลอง Lyzenga และแบบจำลองอัตราส่วนช่วงคลื่น ในการหึงความลึกน้ำทะเลด้วยวิธีการ SDB บริเวณเกาะ Cape Verde ประเทศแอฟริกา จากภาพถ่ายดาวเทียม QuickBird และ IKONOS โดยผลการวิจัยพบว่าแบบจำลองอัตราส่วนช่วงคลื่นให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าแบบจำลอง Lyzenga ในกรณีของสภาพแวดล้อมที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน เป็นต้น จากตัวอย่างงานวิจัยแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองอัตราส่วนช่วงคลื่นสามารถนำมาใช้หาความลึกน้ำทะเลด้วยวิธีการ SDB ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าแบบจำลอง Lyzenga

การหาค่าความลึกน้ำจากภาพถ่ายดาวเทียม หรือวิธีการ SDB ยังคงมีข้อจำกัดในเรื่องความแม่นยำของค่าความลึกน้ำที่ได้ ซึ่งเกิดจากปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ 1) การลดทอนของแสงตามความลึกน้ำ โดยย่านแสงสีเขียว และน้ำเงิน มีคุณสมบัติที่สามารถทะลุผ่านวัตถุที่เป็นน้ำได้ดี แต่จะถูกลดทอนลงตามความลึก ทำให้แสงเดินทางไม่ถึงท้องทะเล (Sea bed) วิธีการ SDB จึงไม่สามารถใช้กับพื้นที่ที่มีความลึกน้ำทะเลมากกว่า 30 เมตรได้ 2) คุณภาพของน้ำ ความขุ่น - ใส ของน้ำมีผลต่อการสะท้อนของคลื่นแสง โดยเฉพาะบริเวณที่มีความขุ่นมาก เช่น บริเวณปากแม่น้ำ แนวชายฝั่งทะเล เป็นต้น จะส่งผลให้แสงลงไปไม่ถึงท้องทะเล และ 3) รายละเอียดของพื้นผิวทะเลที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียมที่นำมาใช้ หากเลือกใช้บริเวณที่มีเมฆบดบัง หรือเกิดเงา จะทำให้การวิเคราะห์ค่าความลึกน้ำเกิดค่าผิดพลาด จึงจำเป็นต้องทำการเลือกภาพและปรับปรุงคุณภาพของภาพถ่ายดาวเทียมก่อนนำมาใช้ทุกครั้ง ด้วยข้อจำกัดของวิธีการ SDB ดังที่กล่าวมา วิธีการนี้จึงไม่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นเครื่องมือสำรวจอุทกศาสตร์แบบลำพังได้ (Stand Alone) แต่สามารถใช้เป็นเทคนิคสนับสนุนสำหรับการทำแผนที่อุทกศาสตร์ของพื้นที่ที่สนใจโดยเฉพาะ หรือพื้นที่น้ำตื้นชายฝั่งทะเลที่มีข้อมูลอุทกศาสตร์อยู่เพียงเล็กน้อยหรือไม่มีเลยได้

### 2.3 เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Ma et al. (2014) นำเสนอเรื่อง Bathymetry Retrieval from Hyperspectral Remote Sensing Data in Optical-Shallow Water โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจข้อมูลจากระยะไกลโดยใช้เครื่องกวาดภาพช่วงคลื่นละเอียดสูง หรือ Hyperspectral Sensor ประมาณค่าความลึกของน้ำทะเลในพื้นที่ชายฝั่งในที่ตั้งบริเวณเกาะโอวาฮู รัฐฮาวาย และเกาะเซนต์โทมัส สหรัฐอเมริกา โดยวิธีการนี้ขึ้นอยู่กับแตกต่างกันของการสะท้อนน้ำตื้นกับน้ำลึกและชนิดของพื้นผิว โดยนำเสนอสัมประสิทธิ์ความคล้ายคลึง (similarity coefficient) และสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson correlation coefficient) มาใช้เพื่ออธิบายการตอบสนองแบบต่างๆ อีกทั้งได้สร้างแบบจำลองอัตราส่วนลอการิทึมเชิงเส้น (Linear logarithm ratio model) เพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลความลึก โดยค่าผลลัพธ์ที่ได้ถูกนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูล Airborne LIDAR จากการสำรวจของ Hydrographic Operational Airborne LIDAR Survey (SHOALS) ซึ่งผลการตรวจสอบความถูกต้องแสดงให้เห็นว่าวิธีการที่นำเสนอนี้มีประสิทธิภาพดี และค่าเฉลี่ยความผิดพลาดกำลังสองนั้นน้อยกว่า 1.5 เมตรเหนือพื้นที่น้ำตื้น (ที่ความลึกน้อยกว่า 20 ม.)

Jagalingam et al. (2015) ศึกษาเรื่อง Bathymetry Mapping Using Landsat 8 Satellite Imagery โดยใช้วิธีการ SDB ในการแปลงอัตราส่วนช่วงคลื่นสีน้ำเงินและสีเขียวของภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 เพื่อนำมาหาค่าความลึกน้ำบริเวณชายฝั่งตะวันตกเฉียงใต้ของอินเดีย และนำค่าผลลัพธ์ที่ได้มาอธิบายโดยดัชนีทางสถิติ เช่น  $R^2$ , RMSE และ MAE ซึ่งผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ทางสถิติแสดง

ความสัมพันธ์ที่ีระหว่างค่าที่ได้มาจากวิธีการดังกล่าว อีกทั้งยังสามารถให้ค่าความถูกต้องของความลึกน้ำได้ถึงที่ระดับความลึก 20 เมตร

Kimeli et al. (2018) ทำการวิจัยเรื่อง Satellite-derived bathymetry: A case study of Mombasa Port Channel and its approaches, Kenya ใช้ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 ประเมินความลึกด้วยวิธีการ SDB ผ่านแบบจำลองอัตราส่วนช่วงคลื่น (Log-Band ratio method) ในช่อง Mombasa Port Channel ประเทศเคนยา และทำการวิเคราะห์โดยอ้างอิงกับข้อมูลจากแผนที่เดินเรือ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ให้ความลึกน้ำได้ดีที่ความลึกสูงสุด 10 เมตร โดยมีค่า สัมประสิทธิ์ตัวกำหนด ( $R^2$ ) ประมาณ 0.9 และค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง (RMSE) 1.61 เมตร

Traganos et al. (2018) ใช้วิธีการหาความลึกน้ำทะเลด้วยภาพถ่ายดาวเทียม (SDB) บริเวณทะเลอีเจียน ผังเมดิเตอร์เรเนียนตะวันออก จำนวน 3 พื้นที่ โดยเลือกใช้ข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ร่วมกับการใช้ Google Earth Engine ในการประมวลผลในขั้นแรกก่อนเข้ากระบวนการ SDB โดยผลลัพธ์ที่ได้พบว่าค่าความแม่นยำที่ดีที่สุดของความลึกน้ำจากวิธีการ SDB ที่ได้จากการทดลอง (training) และการสอบเทียบ (validation) เท่ากับ  $R^2 = 0.79$ , RMSE = 1.39 ม. และ  $R^2 = 0.9$ , RMSE = 1.67 ม. ตามลำดับ และแสดงให้เห็นว่าค่าความลึกน้ำที่ได้จะมีความถูกต้องมากขึ้นเมื่อทำการปรับแก้เชิงคลื่น (Radiometric Normalization)

Okolie and Olayinka (2018) ศึกษาเรื่อง Satellite-Derived Bathymetry Modelling in Shallow Water: A Case Study of Lighthouse Creek, Lagos ผู้วิจัยมีวัตถุประสงค์ในการพัฒนาแบบจำลองการหาความลึกน้ำทะเลด้วยภาพถ่ายดาวเทียม (SDB) ซึ่งเป็นวิธีหนึ่งที่ทำให้ได้มาซึ่งข้อมูลความลึกน้ำทะเล นอกเหนือจากวิธีการสำรวจหยั่งน้ำด้วยเสียงสะท้อน (Echo Sounder) โดยจากการศึกษาผู้วิจัยได้ทำการเลือกใช้ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat พื้นที่ประภาคารครีก เมืองลากอส ประเทศไนจีเรีย ใน ค.ศ.2002, ค.ศ.2006 และ ค.ศ.2015 มาประยุกต์ใช้กับแบบจำลองที่พัฒนามาจากแบบจำลองของ Stumpf และคณะ (Stumpf et al., 2003) ซึ่งเป็นแบบจำลองผกผันของความลึกที่ไม่เป็นเชิงเส้น โดยนำมาพัฒนาและสร้างแบบจำลองใหม่โดยประยุกต์ใช้วิธีการกำลังสองน้อยที่สุด (least squares) เพื่อให้ได้ออกมาซึ่งแบบจำลองคณิตศาสตร์เชิงเส้น (Linear mathematical model) และนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับวิธีการสำรวจหยั่งน้ำด้วยเสียงสะท้อน (Echo Sounder) ที่ทำการหักค่าน้ำแล้ว ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในความลึกโดยประมาณ คือ 0.29 ม. สำหรับปี ค.ศ.2002, 0.31 ม. สำหรับ ค.ศ.2006 และ 0.27 ม. สำหรับ ค.ศ.2015 และมีความแตกต่างที่ระหว่างค่าความลึกจริงและความลึกโดยประมาณที่จุดเหล่านี้อยู่ระหว่าง 0.1 - 0.49 ม. ซึ่งแสดงให้เห็นชัดเจนว่าแบบจำลองเชิงเส้นสามารถเข้าได้กันอย่างมีประสิทธิภาพกับวิธีการ SDB

Meliala et al. (2019) ได้นำเสนอการประเมินความแม่นยำเชิงลึกของแบบจำลองการหาความลึกน้ำทะเลด้วยภาพถ่ายดาวเทียม (SDB) ผ่านการศึกษาเรื่อง Satellite Derived Bathymetry



on Shallow Reef Platform: A Preliminary Result from Semak Daun, Seribu Islands, Java Sea, Indonesia โดยศึกษาพื้นที่แนวปะการังบนเกาะเซมก ดอน ในทะเลชวา ประเทศอินโดนีเซีย ซึ่งพื้นที่ดังกล่าวเป็นพื้นที่น้ำตื้นและระหว่างน้ำขึ้น-น้ำลงจะปรากฏสิ่งปกคลุมหน้าดินต่างๆ ผู้วิจัยเลือกใช้ภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ในการศึกษาประกอบกับวิธีการสองวิธีในการหาค่าความลึกน้ำทะเล คือ วิธีการแปลงอัตราส่วนช่วงคลื่น และวิธีการเชิงวิเคราะห์ ค่าสัมประสิทธิ์ที่นำมาใช้กับทั้งสองวิธี ได้มาจากการสอบเทียบเทียบกับข้อมูลจากการหยั่งน้ำเสียงสะท้อนแบบความถี่เดียว (Single Beam Echo Sounding) โดยใช้ข้อมูลประมาณ 9% ของข้อมูลหยั่งน้ำสำหรับการสอบเทียบ ในขณะที่ข้อมูลส่วนที่เหลือจะถูกนำมาใช้เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของค่าที่ได้จากแบบจำลองฯ ผลลัพธ์พบว่าวิธีการทั้งสองสามารถใช้ดำเนินการได้เป็นผลสำเร็จที่ระดับความลึกสูงสุด 10 ม. ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดกำลังสอง (root mean square errors) นำมาเปรียบเทียบกันได้ มีค่าความแม่นยำอยู่ที่ระดับ 1.9 ม. ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียมด้วยวิธี SDB นี้ เป็นไปตามขอบเขตของความเชื่อมั่นระดับ C ตามมาตรฐานขององค์การอุทกศาสตร์ระหว่างประเทศ (IHO)

Duplancić Leder et al. (2019) ศึกษาการใช้ภาพถ่ายดาวเทียมสำหรับการกำหนดความลึกน้ำทะเลในพื้นที่ชายฝั่งและบริเวณที่ตื้นของอ่าวฮรามิน่า บนเกาะเมอร์เทอ ซึ่งตั้งอยู่ตอนกลางของทะเลเอเดรียติก โดยเลือกใช้ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 และ Sentinel-2 ซึ่งเป็นข้อมูลที่ไม่เสียค่าใช้จ่าย และนำข้อมูลที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่าข้อมูลความลึกน้ำที่มีอยู่ในแผนที่อิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Navigational Charts) ผ่านวิธี Log-Band Ratio Method (Stumpf et al., 2003) โดยผลการศึกษาพบว่าวิธีการ SDB เหมาะสำหรับการสำรวจพื้นที่ตื้นที่มีน้ำใส ให้ความแม่นยำของตำแหน่งหรือทางระดับอยู่ที่ประมาณ 10 - 30 ม. (ขึ้นอยู่กับขนาดพิกเซลของภาพถ่ายดาวเทียมที่ใช้) และมีความแม่นยำในแนวตั้งที่ไม่สามารถประมาณค่าได้อย่างแน่นอน เนื่องจากความลึกที่วัดโดยเครื่องหยั่งน้ำด้วยเสียงสะท้อน (Echo Sounder) และความลึกที่ได้จากวิธีการ SDB นั้นไม่มีความละเอียดเชิงพื้นที่ที่ตรงกัน และข้อมูลความลึกน้ำที่ได้จากดาวเทียม Sentinel-2 ให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าข้อมูลที่ได้จากดาวเทียม Landsat 8 เนื่องจาก Sentinel-2 นั้น ให้ความละเอียดมากกว่าดาวเทียม Landsat 8 ถึงสามเท่า ผลลัพธ์จากการวิจัยอธิบายว่าวิธีการใช้ภาพถ่ายดาวเทียมสำหรับการกำหนดความลึกน้ำทะเล (SDB) นั้นสามารถนำมาใช้ในการวางแผนการสำรวจทางอุทกศาสตร์ หรือสำรวจพื้นที่ทางทะเลที่ไม่ได้รับการสำรวจหรือเป็นพื้นที่ที่มีข้อมูลเก่าได้ แต่ควรเลือกใช้ข้อมูลดาวเทียมเชิงพาณิชย์ เพื่อให้ได้ค่าความละเอียดที่มากขึ้น และใกล้เคียงมาตรฐานการสำรวจอุทกศาสตร์ IHO S-44 ขององค์การอุทกศาสตร์ระหว่างประเทศ (IHO S-44, 2020)

Randazzo et al. (2020) ได้นำเสนอวิธีการที่คุ้มค่าและใช้งานได้จริงสำหรับการประเมินการกัดเซาะชายฝั่งและการทำแผนที่น้ำตื้น เพื่อนำไปใช้ในการจัดการและการตรวจสอบพื้นที่ชายฝั่ง ผ่านการศึกษาเรื่อง Analysis of Very High Spatial Resolution Images for Automatic Shoreline

Extraction and Satellite-Derived Bathymetry Mapping การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์การกัดเซาะชายฝั่งซานวิโต โลคาโป ประเทศอิตาลี โดยใช้เทคนิคการแยกพื้นที่ชายฝั่งจากอัลกอริทึม raster to vector (R2V) และการหาพื้นที่น้ำตื้นใกล้แนวชายฝั่งด้วยเทคนิคการหาความลึกน้ำทะเลด้วยภาพถ่ายดาวเทียม (SDB) โดยใช้ข้อมูลจากดาวเทียม GeoEye-1 และวิธี Log-Band Ratio Method (Stumpf et al., 2003) ผลลัพธ์ที่ได้ในส่วนของการใช้ SDB นั้น สามารถให้ค่าข้อมูลความลึกน้ำจากแนวชายฝั่งจนถึงที่ระดับความลึก 10 ม. โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์หรือค่าความสัมพันธ์ ระหว่างค่าความลึกน้ำที่ได้จาก SDB และค่าความลึกน้ำจริง อยู่ที่  $R^2 = 0.753$  จึงถือได้ว่า SDB เป็นวิธีการหนึ่งที่คุ้มค่า ในการเลือกนำมาใช้เป็นเทคนิคการตรวจสอบพื้นที่ชายฝั่งที่เปราะบาง และมีการพัฒนาอย่างรวดเร็วได้ แต่มีข้อจำกัดในการเลือกใช้ภาพถ่ายดาวเทียมที่ควรเลือกช่วงเวลาที่เหมาะสม ไม่มีเมฆปิดบัง และการแก้ไขแสงจากดวงอาทิตย์

ทั้งนี้จากการศึกษาเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง แสดงให้เห็นว่าการสำรวจแผนที่ทะเลด้วยวิธีในปัจจุบันของประเทศไทย เป็นการสำรวจด้วยเทคโนโลยีการหยั่งน้ำด้วยเสียงสะท้อนแบบความถี่เดียวและหลายความถี่เป็นหลัก ซึ่งค่อนข้างใช้ระยะเวลาในการสำรวจ และใช้งบประมาณจำนวนมาก การนำเทคโนโลยีการสำรวจระยะไกลมาประยุกต์ใช้ในการหยั่งความลึกน้ำทะเลด้วยภาพถ่ายดาวเทียม ผ่านวิธีการ SDB จึงเป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถให้ค่าความลึกน้ำของน้ำทะเลได้ โดยให้ค่าความลึกน้ำที่มีความถูกต้องในพื้นที่น้ำตื้นหรือพื้นที่ชายฝั่งที่ช่วงความลึกไม่เกิน 15 - 20 เมตร และค่าความลึกน้ำที่ได้มีความแตกต่างกันตามข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม สภาพพื้นที่สำรวจ และสมการที่เลือกใช้วิเคราะห์ ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยจึงได้นำเอาวิธีการหาความลึกน้ำทะเลด้วยภาพถ่ายดาวเทียม (SDB) มาประยุกต์ใช้กับพื้นที่ทะเลอ่าวไทย โดยอ้างอิงงานวิจัยของ Jagalingam et al. (2015) และ Kimeli et al. (2018) ซึ่งเลือกใช้ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 ซึ่งเป็นข้อมูลที่เข้าถึงได้โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย อ้างอิงกับมาตรฐาน WGS84 และมีข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมที่ต่อเนื่องย้อนหลัง และนำข้อมูลที่ได้มาปรับแก้ภาพถ่ายดาวเทียม รวมถึงการนำดัชนีความแตกต่างของความชื้นปรับปรุง (MNDWI) ของ Xu (2006) มาใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเตรียมภาพถ่ายดาวเทียมสำหรับการวิเคราะห์ และหาค่าความลึกน้ำผ่านแบบจำลองอัตราส่วนช่วงคลื่น (Log-Band Ratio Method) ของ Stumpf et al. (2003) ซึ่งเป็นแบบจำลองที่ให้ค่าความถูกต้องของข้อมูลได้เป็นอย่างดี โดยทำการศึกษาเปรียบเทียบพื้นที่ทะเลอ่าวไทยจำนวน 3 พื้นที่ ซึ่งมีลักษณะทางสมุทรศาสตร์ที่ต่างกัน ว่าพื้นที่ใดให้ค่าความถูกต้องของผลลัพธ์มากที่สุด โดยอ้างอิงกับค่าข้อมูลความลึกน้ำสำรวจ (Bathymetry)

### บทที่ 3

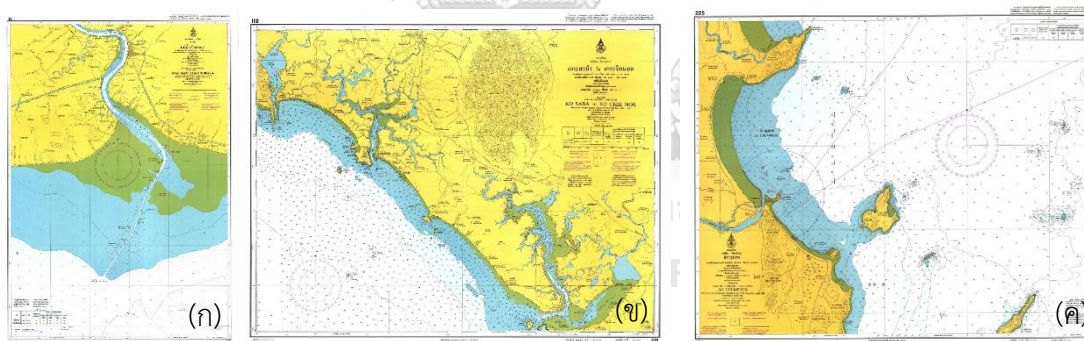
#### พื้นที่ศึกษา

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้ ได้เลือกพื้นที่การศึกษาระยะชายฝั่งทะเลอ่าวไทย จำนวน 3 พื้นที่ ได้แก่ พื้นที่อ่าวไทยรูปตัว ก พื้นที่อ่าวไทยฝั่งตะวันออก และพื้นที่อ่าวไทยฝั่งตะวันตก ซึ่งแต่ละพื้นที่มีความแตกต่างกันทั้งในด้านสมุทรศาสตร์และกายภาพ ในการกำหนดพื้นที่ศึกษาวิจัย ผู้วิจัยได้ดำเนินการเลือกพื้นที่ที่ตั้งอยู่ตอนกลางของพื้นที่ทะเลทั้งหมดในแต่ละฝั่ง อ้างอิงจากระวางแผนที่เดินเรือที่จัดทำโดยกรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ โดยเน้นศึกษาเฉพาะช่วงความลึกน้ำไม่เกิน 15 เมตร ดังนี้

3.1 พื้นที่อ่าวไทยรูปตัว ก : ทางเข้าแม่น้ำเจ้าพระยา (Zone 1) ได้แก่ แผนที่เดินเรือหมายเลข 112 ทางเข้าแม่น้ำเจ้าพระยา

3.2 พื้นที่อ่าวไทยฝั่งตะวันออก (Zone 2) ได้แก่ แผนที่เดินเรือหมายเลข 118 เกาะสะบ้า ถึง เกาะจิกนอก จังหวัดจันทบุรี

3.3 พื้นที่อ่าวไทยฝั่งตะวันตก (Zone 3) ได้แก่ แผนที่เดินเรือหมายเลข 225 อ่าวชุมพร จังหวัดชุมพร



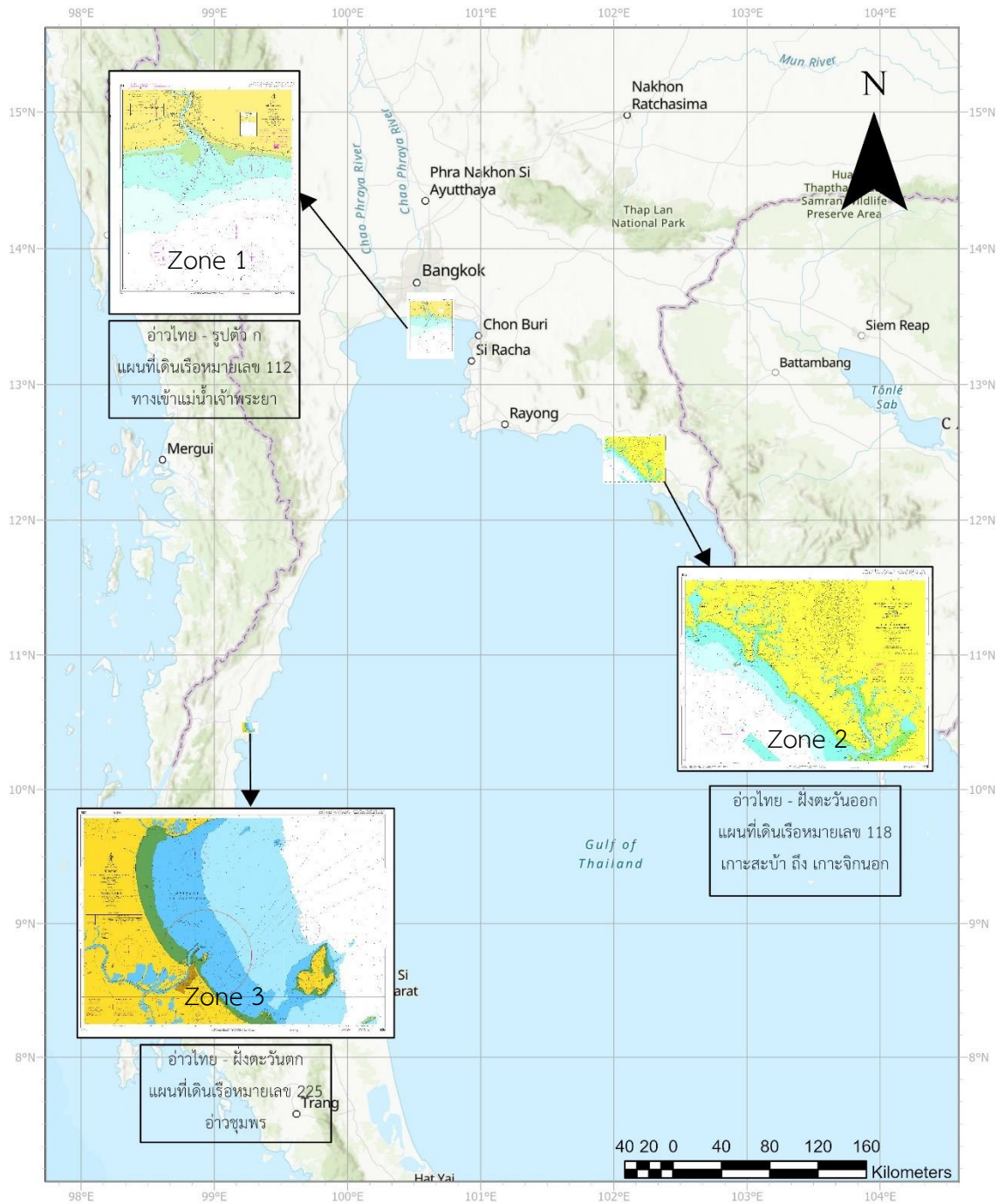
ภาพที่ 10 พื้นที่ศึกษาอ้างอิงตามแผนที่เดินเรือประเทศไทย

(ก) แผนที่เดินเรือหมายเลข 112 ปากทางเข้าแม่น้ำเจ้าพระยา

(ข) แผนที่เดินเรือหมายเลข 118 เกาะสะบ้า ถึง เกาะจิกนอก

(ค) แผนที่เดินเรือหมายเลข 225 อ่าวชุมพร

แหล่งที่มา : กรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ



ภาพที่ 11 ภาพรวมพื้นที่ศึกษา จำนวน 3 พื้นที่

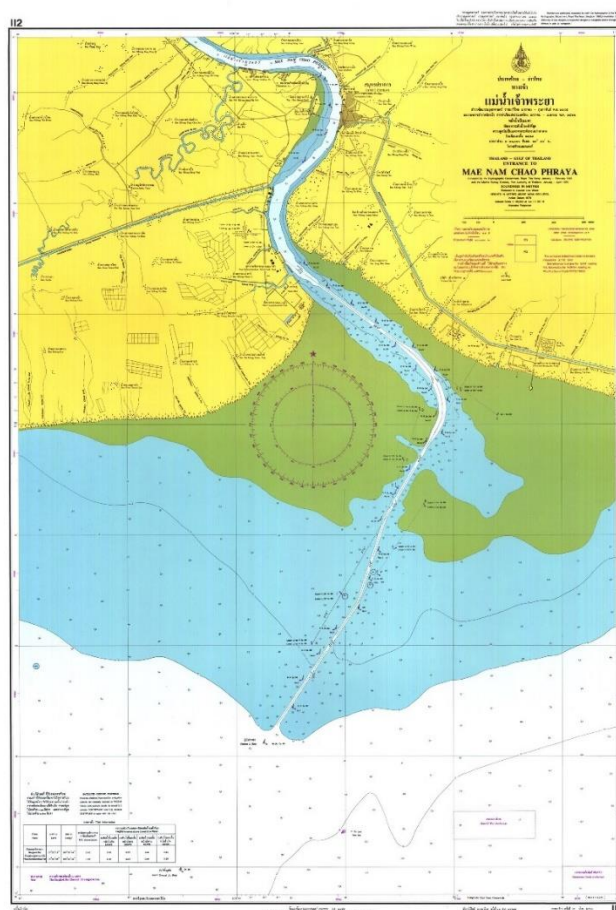
แหล่งที่มา : กรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ

### 3.1 พื้นที่อ่าวไทยรูปตัว ก (ทางเข้าแม่น้ำเจ้าพระยา) : แผนที่เดินเรือหมายเลข 112 ทางเข้าแม่น้ำเจ้าพระยา (Zone 1)

#### 3.1.1 สถานที่ตั้งและอาณาเขต

แผนที่หมายเลข 112 มีอาณาเขตทางบกและทางทะเลตั้งอยู่ในพื้นที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร และจังหวัดสมุทรปราการ โดยมีขอบระวางแผนที่ตั้งอยู่ระหว่างเส้น ลองจิจูด 100 องศา 30 ลิปดาตะวันออก ถึง 100 องศา 41 ลิปดาตะวันออก และละติจูด 13 องศา 21.5 ลิปดาเหนือ ถึง 13 องศา 37 ลิปดาเหนือ

ทิศเหนือ	ติดต่อกับเขตจังหวัดกรุงเทพมหานคร และจังหวัดสมุทรปราการ
ทิศตะวันออก	พื้นที่ทางบกและทางทะเลติดต่อกับเขตจังหวัดสมุทรปราการ
ทิศตะวันตก	พื้นที่ทางบกและทางทะเลติดต่อกับเขตจังหวัดกรุงเทพมหานคร
ทิศใต้	ติดต่อกับทะเลอ่าวไทย



ภาพที่ 12 แผนที่เดินเรือ หมายเลข 112 ทางเข้าแม่น้ำเจ้าพระยา

แหล่งที่มา : กรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ

### 3.1.2 ลักษณะทั่วไปของปากแม่น้ำเจ้าพระยา

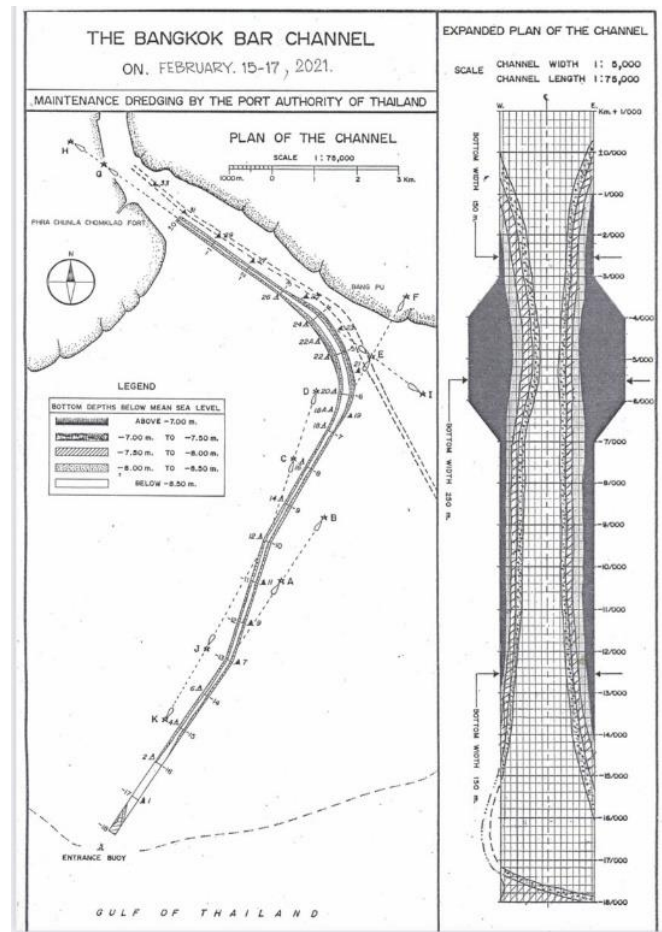
สามเหลี่ยมปากแม่น้ำเจ้าพระยา ดินดอนสามเหลี่ยมปากแม่น้ำ หรือ DELTA คือ แฉนดินที่ราบต่ำซึ่งกำเนิดที่ปากแม่น้ำทั้งใหญ่หรือเล็ก บริเวณปลายสุดของลำน้ำก่อนที่จะไหลลงสู่ทะเล เป็นบริเวณที่มีการสะสมของโคลนตะกอนเกิดเป็นพื้นที่ที่อุดมสมบูรณ์ มีลักษณะทางกายภาพเป็นรูปพัดเพราะมีลำน้ำสาขาของลำน้ำใหญ่แผ่กระจาย และกลายเป็นพื้นที่ซึ่งแหล่งอารยธรรมสำคัญของโลกตั้งอยู่แทบทุกแห่ง สามเหลี่ยมปากแม่น้ำเจ้าพระยา (Chao Phraya Delta) เป็นที่รู้จักกันดีว่าเป็นแหล่งปลูกข้าวที่สำคัญ เพราะมีการใช้พื้นที่เพาะปลูกข้าวเป็นจำนวนมาก พื้นที่ภายในสามเหลี่ยมปากแม่น้ำเจ้าพระยาเป็นพื้นที่ราบลุ่มขนาดใหญ่แห่งแรก ๆ ในโลกที่สามารถผลิตข้าวเพื่อการส่งออกได้ สันดอนปากแม่น้ำเจ้าพระยา (Chao Phraya Delta) จังหวัดสมุทรปราการ เกิดจากตะกอนที่ถูกพัดพามาจากต้นน้ำ ทั้งแม่น้ำเจ้าพระยา และแม่น้ำสาขา แล้วค่อย ๆ ตกสู่ท้ายน้ำบริเวณนี้ ซึ่งเป็นอุปสรรคขัดขวางการระบายน้ำจากแม่น้ำเจ้าพระยาลงสู่ทะเลอ่าวไทย สาขาภูมิศาสตร์ในเขตสามเหลี่ยมปากแม่น้ำเจ้าพระยา พื้นที่ในเขตดินดอนสามเหลี่ยมปากแม่น้ำเจ้าพระยานอกจากจะมีลำน้ำเจ้าพระยา เป็นแม่น้ำสายหลักแล้ว ยังมีลำน้ำอีกสองสายขนานข้าง คือลำน้ำแม่กลองทางด้านตะวันตก และลำน้ำบางปะกงทางด้านตะวันออก ซึ่งไหลมาจากเทือกเขาทั้งสองฝั่ง จากปริมาณน้ำจำนวนมากที่ไหลมาจากที่สูงภายในเมื่อรวมกับน้ำฝนในช่วงฤดูฝน จึงส่งผลให้พื้นที่บริเวณสามเหลี่ยมปากแม่น้ำมีปริมาณน้ำมหาศาลและปกคลุม พื้นที่เป็นเวลาหลายเดือนก่อนจะไหลลงทะเล สามเหลี่ยมปากแม่น้ำเจ้าพระยาประกอบด้วยส่วนฐานกว้างกว่า 100 กิโลเมตรเป็นที่ราบกว้างใหญ่ ความสูงเฉลี่ย 2.5 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล ลักษณะตามธรรมชาติของสามเหลี่ยมปากแม่น้ำเจ้าพระยายังมีแม่น้ำสำคัญอีก 3 สาย คือ แม่น้ำบางปะกง แม่น้ำท่าจีน และแม่น้ำแม่กลอง ทางฝั่งตะวันตกและตะวันออกตามลำดับ (วลัยลักษณ์ ทรงศิริ, 2559)

### 3.1.3 สาขาภูมิศาสตร์ของปากแม่น้ำเจ้าพระยา

พื้นที่ในเขตดินดอนสามเหลี่ยมปากแม่น้ำเจ้าพระยานอกจากจะมีลำน้ำเจ้าพระยา เป็นแม่น้ำสายหลักแล้ว ยังมีลำน้ำอีกสองสายขนานข้าง คือลำน้ำแม่กลองทางด้านตะวันตกและลำน้ำบางปะกงทางด้านตะวันออก ซึ่งไหลมาจากเทือกเขาทั้งสองฝั่ง จากปริมาณน้ำจำนวนมากที่ไหลมาจากที่สูงภายในเมื่อรวมกับน้ำฝนในช่วงฤดูฝน จึงส่งผลให้พื้นที่บริเวณสามเหลี่ยมปากแม่น้ำมีปริมาณน้ำมหาศาลและปกคลุม พื้นที่เป็นเวลาหลายเดือนก่อนจะไหลลงทะเล

สามเหลี่ยมปากแม่น้ำเจ้าพระยาประกอบด้วยส่วนฐานซึ่งกว้างกว่า 100 กิโลเมตรเป็นที่ราบกว้างใหญ่ ความสูงเฉลี่ยเพียง 2.5 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล เช่นบริเวณจังหวัดอยุธยาซึ่งอยู่ห่างจากปากน้ำเข้ามากว่า 100 กิโลเมตร ก็สูงกว่าระดับน้ำทะเลเพียง 2 เมตรเท่านั้น และเนื่องจากเป็นพื้นที่ซึ่งมีการยกตัวของแผ่นดินค่อนข้างต่ำ พื้นที่จึงลาดลงสู่ทะเลที่ละน้อย ทำให้ลำน้ำไหลเอื่อย

และไหลคดเคี้ยวกว่าบริเวณต้นน้ำที่สูง จึงเกิดเป็นเกาะกลางน้ำหรือสันดอนซึ่งเป็นจุดกำเนิดสาขาแยกของแม่น้ำออกเป็น หลายสายก่อนที่จะไหลลงสู่อ่าวไทย (วลัยลักษณ์ ทรงศิริ, 2559)



ภาพที่ 13 แผนที่นำร่อง Bangkok Bar Channel สำหรับเดินเรือบริเวณทางเข้าแม่น้ำเจ้าพระยา แหล่งที่มา : การท่าเรือแห่งประเทศไทย

### 3.1.4 ลักษณะภูมิอากาศ

บริเวณแผนที่เดินเรือหมายเลข 112 อยู่ในเขตจังหวัดกรุงเทพมหานคร และจังหวัดสมุทรปราการ มีสภาพภูมิอากาศแบบพื้นที่ชายทะเล ในฤดูร้อนมีความชื้นในอากาศสูง โดยอยู่ภายใต้อิทธิพลของลมมรสุม 2 ชนิด ได้แก่ ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ และลมมรสุมตะวันออกเฉียงใต้ ซึ่งก่อให้เกิดฤดูกาลที่แตกต่างกัน 3 ฤดู ได้แก่

ฤดูร้อน ระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ - เดือนเมษายน

ฤดูฝน ระหว่างเดือนพฤษภาคม - เดือนตุลาคม

ฤดูหนาว ระหว่างเดือนพฤศจิกายน - เดือนมกราคม

ด้วยอิทธิพลจากลมมรสุม ทำให้ฤดูฝนมีฝนตกมาก ฤดูหนาวก็ไม่หนาวจนเกินไป กรุงเทพมหานครมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 29.2 องศาเซลเซียส โดยค่าเฉลี่ยสูงสุดคือ 38 องศาเซลเซียส และต่ำสุดเท่ากับ 19.2 องศาเซลเซียส (สำนักยุทธศาสตร์และประเมินผล, 2013) และจังหวัดสมุทรปราการ อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุด 32.60 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุด 28.91 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ย 29.75 องศาเซลเซียส (จังหวัดสมุทรปราการ, 2564)

### 3.1.5 ทริพยากรทางทะเลและชายฝั่ง

พื้นที่ชายฝั่งทะเลจังหวัดสมุทรปราการมีความยาวชายฝั่งทะเล 57.40 กิโลเมตร มีพื้นที่ติดแนวชายฝั่งทะเล ในเขต 3 อำเภอ คือ อำเภอเมืองสมุทรปราการ อำเภอบางปู และอำเภอพระสมุทรเจดีย์ 12 ตำบล ทั้งหมดจำนวน 183,534 ไร่ อยู่ในเขตรับผิดชอบเชิงพื้นที่บนบก พื้นที่ในทะเลมีประมาณ 1,207 ตารางกิโลเมตร ลักษณะทางธรณีสัณฐานชายฝั่ง แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ชายฝั่งที่มีลักษณะเป็นหาดโคลน 55.16 กิโลเมตร และปากแม่น้ำ 2.24 กิโลเมตร

ทริพยากรทางทะเลและชายฝั่งที่สำคัญในจังหวัดสมุทรปราการ มีพันธุ์ไม้ป่าชายเลนไม่ต่ำกว่า 4 ชนิด (โกงกางใบเล็ก แสมขาว แสมดำ และแสมทะเล) และนกในป่าชายเลนไม่ต่ำกว่า 16 ชนิด (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2561b)

1) ป่าชายเลน จังหวัดสมุทรปราการมีพื้นที่ป่าชายเลนทั้งหมด 10,643 ไร่ โดยเป็นป่าที่อยู่นอกเขตอนุรักษ์ 10,630 ไร่ (คิดเป็นร้อยละ 99.88) และในเขตอนุรักษ์ (ที่รักษาพืชพันธุ์สัตว์น้ำ) 13 ไร่ (คิดเป็นร้อยละ 0.12)

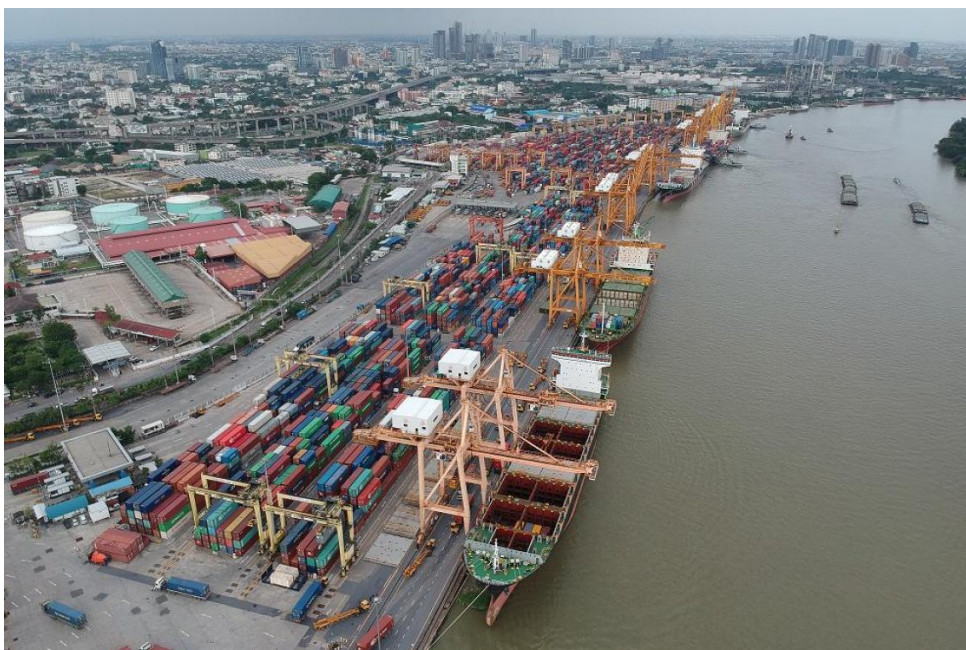
2) นกชายเลน พบนกในป่าชายเลนไม่ต่ำกว่า 16 ชนิด จัดอยู่ใน 15 สกุล 5 วงศ์ 4 อันดับ เช่น นกนางนวลแกลบเคราขาว นกหัวโตสีเทา เป็นต้น

3) สัตว์ทะเลหายาก ทริพยากรสัตว์ทะเลหายากที่สำคัญ บริเวณชายฝั่งจังหวัดสมุทรปราการ ได้แก่ วาฬบรูด้า โลมาอิรวดี และโลมาหัวบาตรหลังเรียบ

### 3.1.6 การใช้ประโยชน์พื้นที่

ในปัจจุบันการขนส่งทางน้ำมีความได้เปรียบกว่าการขนส่งในรูปแบบอื่นๆ ในหลายด้าน เช่น ต้นทุนค่าขนส่ง น้ำหนักและปริมาณการบรรทุกสินค้า และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม โดยการขนส่งสินค้าทางน้ำภายในประเทศมีสัดส่วนเพียง 17% จากปริมาณการขนส่งสินค้าภายในประเทศทั้งหมด โดยแบ่งเป็น 1) การขนส่งทางแม่น้ำ ซึ่งมีเส้นทางหลักคือระหว่างแม่น้ำป่าสักและแม่น้ำเจ้าพระยา บริเวณ จ. ออยุธยา ไปยัง จ. ชลบุรี และ 2) การขนส่งทางชายฝั่งทะเล ซึ่งมีเส้นทางหลักคือระหว่างท่าเรือแหลมฉบัง ท่าเรือในกรุงเทพฯ และท่าเรือใน จ. สมุทรปราการ (บุญญภาพ ตันติปฏิภ, 2018) ปากแม่น้ำเจ้าพระยาจึงถูกใช้ประโยชน์ในเรื่องของการคมนาคมขนส่งทางทะเลเป็นหลัก เนื่องจากภายในแม่น้ำเจ้าพระยา เป็นที่ตั้งของท่าเรือกรุงเทพฯ ซึ่งเป็นท่าเรือหลักที่สำคัญของประเทศไทย





ภาพที่ 14 ท่าเรือกรุงเทพ ซึ่งตั้งอยู่ในแม่น้ำเจ้าพระยา

แหล่งที่มา : สยามรัฐออนไลน์ (2563)

### 3.1.7 คุณภาพน้ำในพื้นที่

บริเวณปากทางเข้าแม่น้ำเจ้าพระยาเป็นพื้นที่ที่รองรับน้ำจากชุมชน การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ชายฝั่งที่อาจปล่อยน้ำเสียลงแหล่งน้ำโดยตรง และแหล่งอุตสาหกรรมที่ถึงแม่น้ำที่จะผ่านระบบบำบัดน้ำเสียแล้วนั้น มีสารอาหารที่อยู่ในรูปอนินทรีย์ที่สูงมาก จึงส่งผลให้เกิดการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืช และสาหร่ายบริเวณชายฝั่งพื้นที่อ่าวไทยตอนบน จึงพบว่ามีเกิดการปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสีบางช่วงของรอบปีเสมอ โดยพบบ่อยในช่วงเดือนตุลาคมถึงกุมภาพันธ์ของทุกปี โดยบริเวณปากทางเข้าแม่น้ำเจ้าพระยา มีค่าความโปร่งแสงอยู่ที่ 0.5 เมตร ที่ความลึก 2.4 – 3.1 เมตร (สถาบันวิจัยและพัฒนาทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2564)

### 3.2 พื้นที่อ่าวไทยฝั่งตะวันออก : แผนที่เดินเรือหมายเลข 118 เกาะสะบ้า ถึง เกาะจิกนอก (Zone 2)

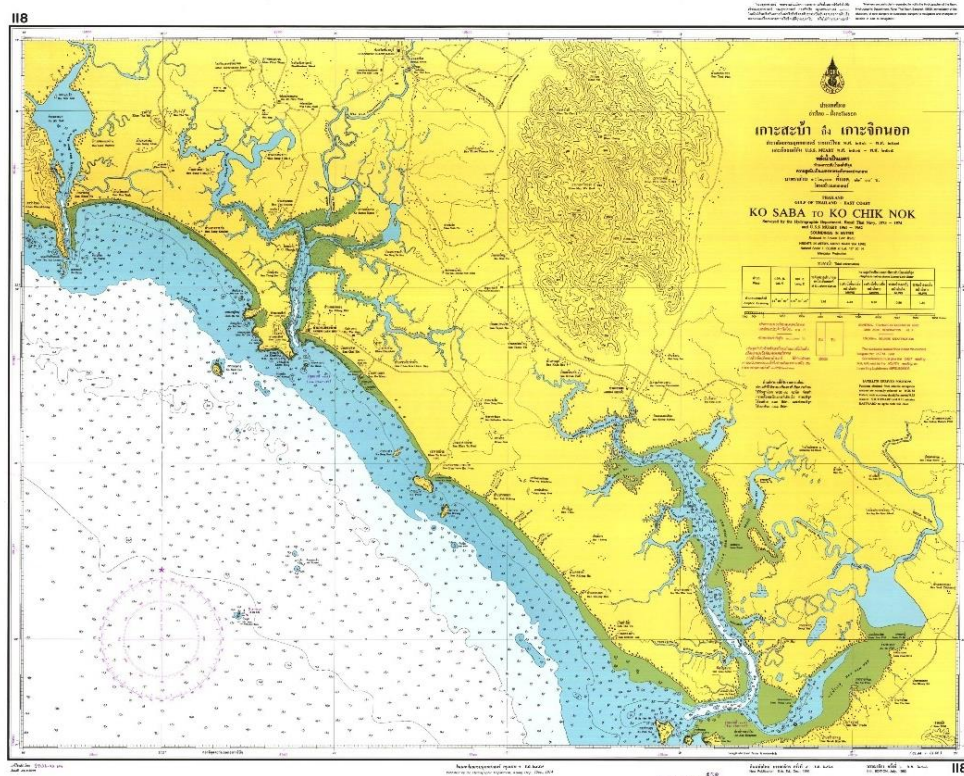
#### 3.2.1 สถานที่ตั้งและอาณาเขต

แผนที่หมายเลข 118 มีอาณาเขตทางบกและทางทะเลตั้งอยู่ในพื้นที่จังหวัดจันทบุรี โดยมีขอบระวางแผนที่ตั้งอยู่ระหว่างเส้น ลองจิจูด 101 องศา 56 ลิปดาตะวันออก ถึง 102 องศา 23 ลิปดาตะวันออก และละติจูด 12 องศา 17 ลิปดาเหนือ ถึง 12 องศา 37 ลิปดาเหนือ (จังหวัดจันทบุรี, 2562)

ทิศเหนือ	ติดต่อกับเขตอำเภอเมืองจันทบุรี
ทิศตะวันออก	พื้นที่ทางบกติดต่อกับ อำเภอเขาสมิง จังหวัดตราด พื้นที่ทางทะเลจรดกับ เกาะจิกนอก จว.จันทบุรี
ทิศตะวันตก	พื้นที่ทางบกติดต่อกับ อำเภอท่าใหม่ จังหวัดจันทบุรี พื้นที่ทางทะเลติดต่อกับ ทะเลจังหวัดจันทบุรี
ทิศใต้	ติดต่อกับทะเลอ่าวไทย

### 3.2.2 สถาปัตยกรรมศาสตร์ทางทะเลบริเวณแผนที่เดินเรือหมายเลข 118

สถาปัตยกรรมศาสตร์ทางทะเลบริเวณแผนที่เดินเรือหมายเลข 118 เป็นที่ราบฝั่งทะเลประกอบด้วยพื้นที่ตอนล่างของอำเภอท่าใหม่ อำเภอแหลมสิงห์ และอำเภอขลุง โดยมีลักษณะเป็นที่ราบชายฝั่งทะเลสลัด้วยเนินเขา ซึ่งส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นหาดทรายปนโคลน และมีป่าชายเลนขึ้นอยู่หนาแน่น



ภาพที่ 15 แผนที่เดินเรือ หมายเลข 118 เกาะสะบ้า ถึง เกาะจิกนอก

แหล่งที่มา : กรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ

### 3.2.3 ลักษณะภูมิอากาศ

บริเวณแผนที่เดินเรือหมายเลข 118 อยู่ในเขตจังหวัดจันทบุรีซึ่งมีสภาพภูมิอากาศเป็นแบบมรสุมเมืองร้อน (Tropical Monsoon Climate) เนื่องจากได้รับอิทธิพลของมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ และมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดปี 27.4 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย 32.2 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย 23.8 องศาเซลเซียส ประกอบด้วย 3 ฤดูกาล

ฤดูหนาวเริ่มตั้งแต่กลางเดือนตุลาคมถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์ ซึ่งเป็นช่วงของมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือพัดปกคลุมประเทศไทย ซึ่งพัดพาเอามวลอากาศเย็นและแห้งจากประเทศจีนเข้ามาปกคลุมประเทศไทย

ฤดูร้อน เริ่มตั้งแต่กลางเดือนกุมภาพันธ์ถึงกลางเดือนพฤษภาคม เมื่อเปลี่ยนเข้าสู่ฤดูร้อนอากาศ จะร้อนขึ้นแต่ได้รับกระแสลมจากทะเล ทำให้อากาศไม่ร้อนอบอ้าวมากนัก

ฤดูฝน เริ่มตั้งแต่กลางเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคม เป็นระยะที่มรสุมตะวันตกเฉียงใต้พัดปกคลุมประเทศไทย ซึ่งจะนำความชื้นจากทะเลอันดามันพัดผ่านอ่าวไทยเข้าสู่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ทำให้อากาศจะชุ่มชื้นและมีฝนตกชุกทั่วไป

### 3.2.4 ทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง

3.2.4.1 พื้นที่ชายฝั่งทะเล จังหวัดจันทบุรีมีพื้นที่ชายฝั่งยาวประมาณ 104.04 กิโลเมตร ชายฝั่งทะเลของจังหวัดจันทบุรีมีหลายประเภท เช่น ชายฝั่งหิน หาดทราย ที่ราบน้ำขึ้นถึงและพรุ แต่ชายฝั่งส่วนมากเป็นที่ราบน้ำท่วมถึง ป่าชายเลนครอบคลุมพื้นที่ชายฝั่งตั้งแต่อำเภอแหลมสิงห์ อำเภอขลุง อำเภอท่าใหม่ และอำเภอเมือง มีป่าสงวนแห่งชาติที่เป็นป่าชายเลน 6 แห่ง

3.2.4.2 พื้นที่ป่าชายเลน จังหวัดจันทบุรีมีพื้นที่ป่าชายเลน 205,336.94 ไร่ กระจายในพื้นที่อำเภอขลุง 88,209.22 ไร่ อำเภอแหลมสิงห์ 41,370.13 ไร่ อำเภอเมืองจันทบุรี 23,962.84 ไร่ อำเภอท่าใหม่ 7,821.96 ไร่ อำเภอนายายอาม 13,872.75 ไร่

3.2.4.3 แนวปะการัง จังหวัดจันทบุรี มีพื้นที่แนวปะการัง 448.75 ไร่ พบมากในบริเวณหาดเจ้าหลาว อำเภอท่าใหม่ สภาพของแนวปะการังส่วนใหญ่อยู่ในระดับเสื่อมโทรมมากถึงสมบูรณ์ ปานกลาง โดยมีปะการังชนิดเด่น ได้แก่ ปะการังโขด ปะการังวงแหวน ปะการังสมองใหญ่ ปะการังช่องเหลี่ยม ปะการังสมองร่องยาว

3.2.4.4 แหล่งหญ้าทะเล จากผลการศึกษาโครงการ UNEP GEF และการสำรวจของศูนย์วิจัยทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งอ่าวไทยฝั่งตะวันออก จังหวัดจันทบุรีมีแหล่งหญ้าทะเลบริเวณปากแม่น้ำพังราด พบ 1 ชนิด คือ หญ้ากุ่มชายเข็ม อ่าวคู้กระเบน พบ 6 ชนิด ได้แก่ หญ้าคาทะเล หญ้ากุ่มชายเข็ม หญ้ากุ่มชายทะเล หญ้าเงาใส หญ้าใบมะกรูด และหญ้าใบมะกรูดเล็ก และอ่าวหมื่นน้อย พบ 2 ชนิด คือ หญ้ากุ่มชายเข็ม และหญ้ากุ่มชายทะเล

### 3.2.5 การใช้ประโยชน์พื้นที่

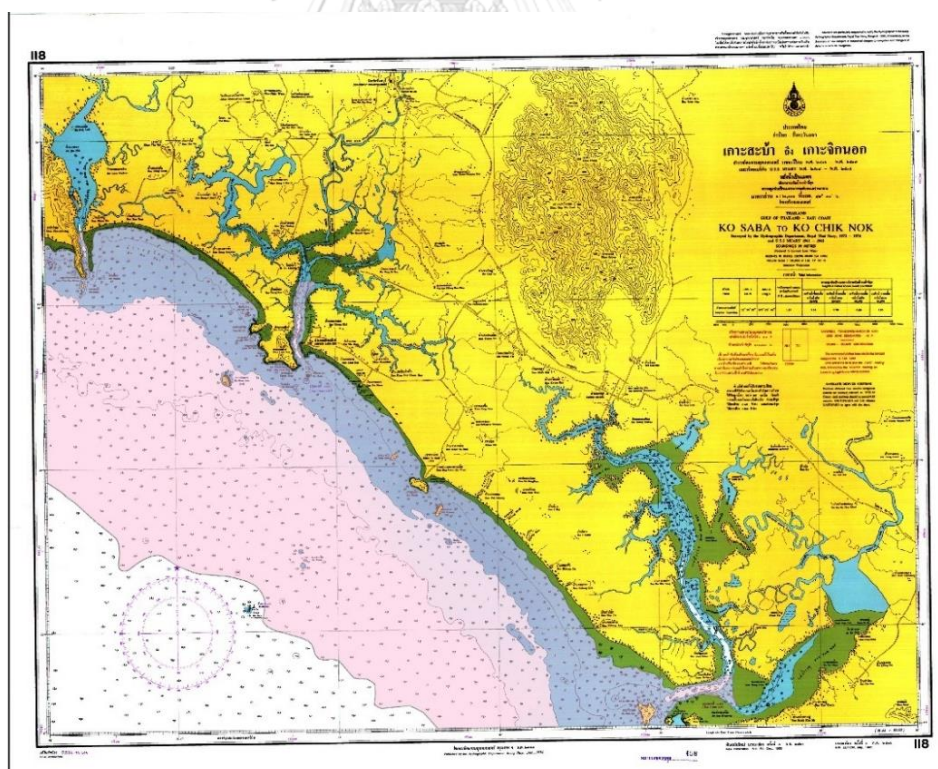
พื้นที่ทะเลตามแผนที่เดินเรือหมายเลข 118 ถูกใช้ประโยชน์ส่วนใหญ่ในด้านการประมงชายฝั่ง การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ได้แก่ การทำนากุ้ง เพาะเลี้ยงหอย และเลี้ยงปลาในกระชัง นอกจากนี้บริเวณปากแม่น้ำยังเป็นแหล่งท่องเที่ยวเชิงนิเวศและที่พักแบบโฮมสเตย์

### 3.2.6 ขอบเขตพื้นที่ในการศึกษาวิจัย

พื้นที่ศึกษาอยู่ในกรอบพื้นที่ชายฝั่งถึงแนวความลึกน้ำไม่เกิน 15 เมตร โดยครอบคลุมพื้นที่ทางทะเลประมาณ 488.7 ตารางกิโลเมตร ดังภาพที่ 16

### 3.2.7 คุณภาพน้ำในพื้นที่

บริเวณน้ำทะเลในพื้นที่แผนที่เดินเรือหมายเลข 118 มีค่าเฉลี่ยคุณภาพน้ำทะเลในพื้นที่ใกล้ฝั่งอยู่ในระดับพอใช้ และในพื้นที่ห่างฝั่ง 3 - 6 กิโลเมตร อยู่ในระดับดี โดยมีค่าความโปร่งแสงบริเวณใกล้ฝั่ง (ปากแม่น้ำแฉมหนู และปากแม่น้ำ) ที่ความลึก 1.9 เมตร มีค่าความโปร่งแสง 1 เมตร และบริเวณห่างฝั่งประมาณ 3 กิโลเมตร ที่ระดับความลึก 12.5 เมตร มีค่าความโปร่งแสง 6 เมตร (สถาบันวิจัยและพัฒนาทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2564)



ภาพที่ 16 ขอบเขตพื้นที่ศึกษาของแผนที่เดินเรือหมายเลข 118

แหล่งที่มา : กรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ

### 3.3 พื้นที่อ่าวไทยฝั่งตะวันตก : แผนที่เดินเรือหมายเลข 225 อ่าวชุมพร จว.ชุมพร (Zone 3)

#### 3.3.1 สถานที่ตั้งและอาณาเขต

แผนที่หมายเลข 225 มีอาณาเขตทางบกและทางทะเลตั้งอยู่ในพื้นที่จังหวัดชุมพร โดยมีขอบระวางแผนที่ตั้งอยู่ระหว่างเส้น ลองจิจูด 99 องศา 13 ลิปดา 30 ฟลิปดาตะวันออก ถึง 99 องศา 23 ลิปดาตะวันออก และละติจูด 10 องศา 23 ลิปดา 30 ฟลิปดาเหนือ ถึง 10 องศา 31 ลิปดาเหนือ (จังหวัดชุมพร, 2554)

ทิศเหนือ จรดแหลมคอกวาง จว.ชุมพร

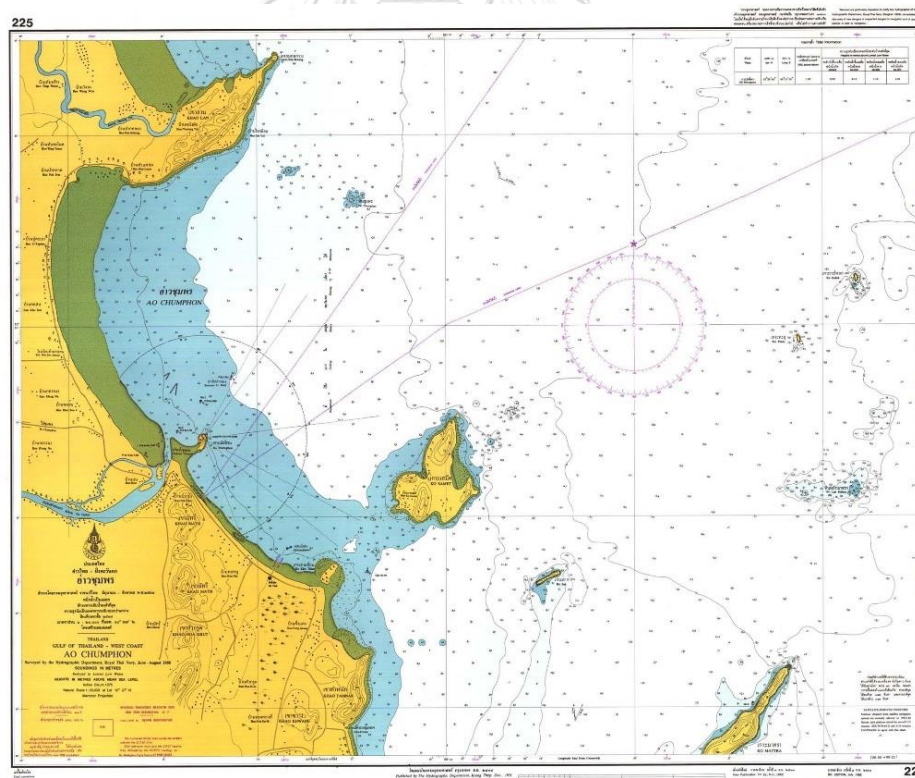
ทิศตะวันออก ติดต่อกับทะเลอ่าวไทย

ทิศตะวันตก ติดต่อกับ อ.เมือง จว.ชุมพร

ทิศใต้ จรดเกาะมาตรา จว.ชุมพร

#### 3.3.2 สภาพภูมิศาสตร์ทางทะเลบริเวณแผนที่เดินเรือหมายเลข 225

สภาพภูมิศาสตร์ทางทะเลบริเวณแผนที่เดินเรือหมายเลข 225 มีพื้นที่ทั้งหมดตั้งอยู่ทางทิศตะวันออกของจังหวัดชุมพร มีลักษณะเป็นที่ราบตามแนวชายฝั่งทะเลของอ่าวไทย ลักษณะชายหาดค่อนข้างเรียบมีความโค้งเว้าน้อย และเป็นป่าชายเลน



ภาพที่ 17 แผนที่เดินเรือ หมายเลข 225 อ่าวชุมพร

แหล่งที่มา : กรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ

### 3.3.3 ลักษณะภูมิอากาศ

บริเวณแผนที่เดินเรือหมายเลข 225 อยู่ในเขตจังหวัดชุมพรซึ่งเป็นเขตที่ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ เป็นเหตุให้มีฤดูกาลเพียง 2 ฤดู คือ ฤดูร้อน เริ่มตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ - กลางเดือนพฤษภาคม เป็นช่วงเปลี่ยนมรสุมหลังมรสุมตะวันออกเฉียงเหนืออ่อนกำลังลง

ฤดูฝน เริ่มตั้งแต่กลางเดือนพฤษภาคม - กลางเดือนธันวาคม ซึ่งเป็นช่วงที่ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้จากทะเลอันดามันเป็นมวลอากาศที่มีความชื้นสูง และเปลี่ยนเป็นลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ จึงทำให้เกิดฝนตกชุก มีปริมาณน้ำฝนอยู่ในช่วง 1,553 - 2,344 มิลลิเมตร

### 3.3.4 ทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง

ทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งที่สำคัญของจังหวัดชุมพร ได้แก่ ปะการังมีพื้นที่รวม 9,164.62 ไร่ โดยอยู่นอกเขตอนุรักษ์ 66,726.96 ไร่ และอยู่ในเขตอนุรักษ์ 62,437.67 ไร่ ป่าชายเลนมีพื้นที่รวม 37,001.35 ไร่ โดยอยู่นอกเขตอนุรักษ์ 66,091.83 ไร่ และอยู่ในเขตอนุรักษ์ 630,909.52 ไร่ หาดทรายมีพื้นที่รวม 11,401.13 ไร่ โดยอยู่นอกเขตอนุรักษ์ 63,043.39 ไร่ และอยู่ในเขตอนุรักษ์ 68,357.74 ไร่ และสัตว์ทะเลหายาก เช่น โลมา เต่า พะยูน และวาฬ เป็นต้น (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2561a)



ภาพที่ 18 เส้นทางโดยสารทางเรือจากชุมพรไปเกาะเต่า จว.สุราษฎร์ธานี

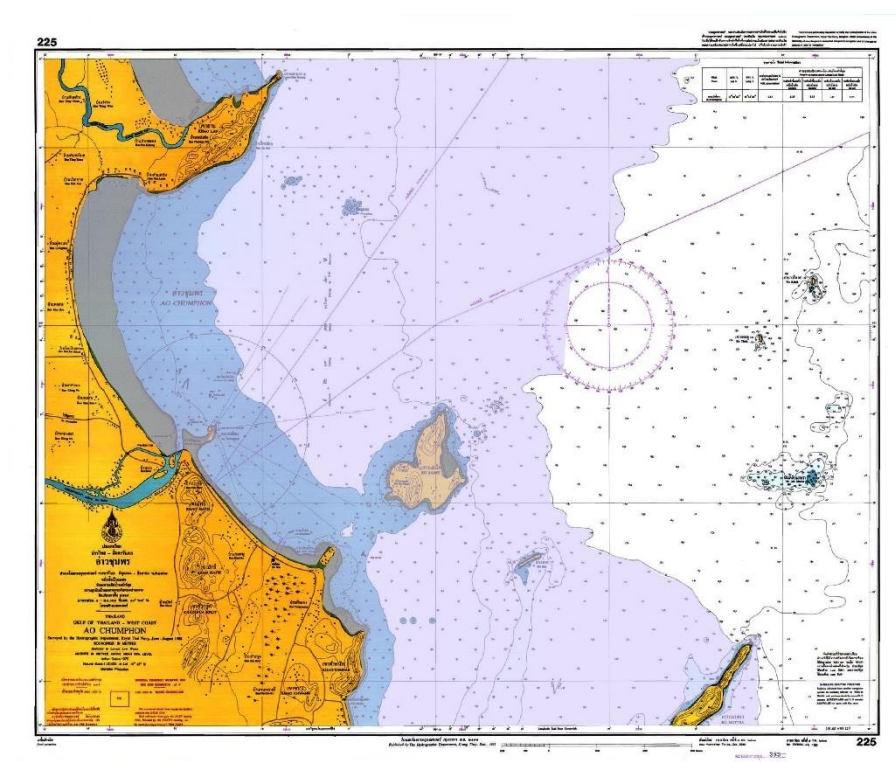
แหล่งที่มา : AtSiamTour

### 3.3.5 การใช้ประโยชน์พื้นที่

บริเวณพื้นที่อ่าวชุมพรนอกจากการใช้ประโยชน์พื้นที่ในด้านการประมงแล้ว บริเวณดังกล่าวยังถูกใช้เป็นเส้นทางสัญจรหลักในด้านการท่องเที่ยว ไม่ว่าจะเป็นการดำน้ำ การท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์ หรือการใช้เป็นเส้นทางเดินเรือไปเกาะเต่า จังหวัดสุราษฎร์ธานี ซึ่งอยู่ห่างจากชายฝั่งของจังหวัดชุมพรประมาณ 74 กิโลเมตร

### 3.3.6 ขอบเขตพื้นที่ในการศึกษาวิจัย

พื้นที่ศึกษาอยู่ในกรอบพื้นที่ชายฝั่งถึงแนวความลึกน้ำไม่เกิน 15 เมตร โดยครอบคลุมพื้นที่ทางทะเลประมาณ 125 ตารางกิโลเมตร ดังภาพที่ 19



ภาพที่ 19 ขอบเขตพื้นที่ศึกษาของแผนที่เดินเรือหมายเลข 225

แหล่งที่มา : กรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ

### 3.3.7 คุณภาพน้ำในพื้นที่

บริเวณน้ำทะเลในพื้นที่แผนที่เดินเรือหมายเลข 225 มีค่าเฉลี่ยคุณภาพน้ำทะเลในพื้นที่อยู่ในระดับดี โดยมีค่าความโปร่งแสงบริเวณใกล้ฝั่ง (ปากน้ำชุมพร) ที่ความลึก 4.3 เมตร มีค่าความโปร่งแสง 1.6 เมตร และบริเวณห่างฝั่งประมาณ 3 กิโลเมตร ที่ระดับความลึก 8.0 เมตร มีค่าความโปร่งแสง 3.3 เมตร (สถาบันวิจัยและพัฒนาทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2564)

## บทที่ 4

### วิธีดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการหาค่าความลึกน้ำทะเล โดยประยุกต์ใช้วิธีการสำรวจข้อมูลระยะไกลในเรื่องของภาพถ่ายดาวเทียมเข้ากับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ผู้วิจัยได้กำหนดวิธีการดำเนินงานวิจัยดังนี้

- 4.1 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา
- 4.2 สมการที่ใช้ในการศึกษา
- 4.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน

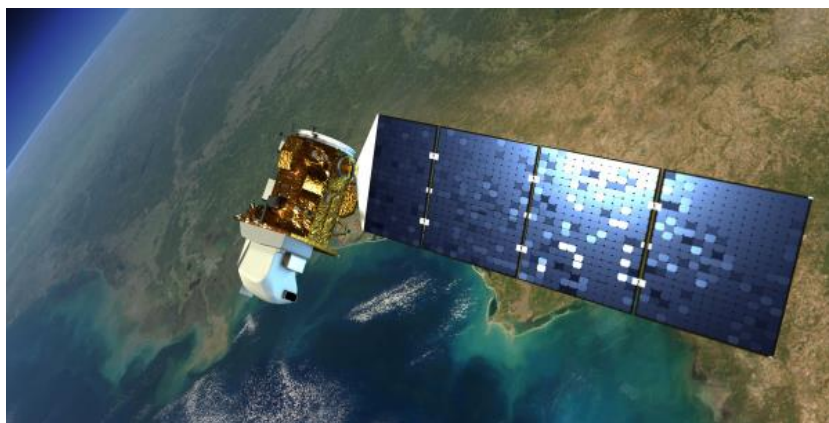
#### 4.1 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้เลือกใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 ในกระบวนการวิเคราะห์ค่าความลึกน้ำทะเล เนื่องจากภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 เป็นข้อมูลที่เข้าถึงได้โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย อ้างอิงกับมาตรฐาน WGS84 ซึ่งตรงกับแผนที่เดินเรือ และมีข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมที่ต่อเนื่องย้อนหลัง เนื่องจากแผนที่เดินเรือเดิมที่นำมาใช้ในการอ้างอิงส่วนใหญ่เป็นแผนที่เก่า การเลือกใช้ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 จะทำให้ได้ข้อมูลที่ย้อนหลังต่อเนื่องได้ อีกทั้งยังสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการดาวเทียม Landsat รุ่นใหม่ๆ ในอนาคต โดยนำมาอ้างอิงกับข้อมูลความลึกน้ำสำรวจ (Bathymetry) ที่สำรวจด้วยวิธีการหยั่งน้ำด้วยเสียงสะท้อนแบบความถี่เดียว (Single Beam Echo Sounder) โดยกรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ

##### 4.1.1 ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8

ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม Landsat 8 เป็นข้อมูลที่ได้จากดาวเทียมสำรวจทรัพยากรธรรมชาติของประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งได้รับการพัฒนาโดยความร่วมมือ ระหว่างองค์การ NASA และ USGS (U.S. Geological Survey) มีการโคจรซ้ำตำแหน่งเดิมทุกๆ 16 วัน ความกว้างของแนวถ่ายภาพ 185 กิโลเมตร ประกอบด้วยระบบบันทึกภาพ 2 ชนิด คือ Operation land Image (OLI) และ The Thermal Infrared Sensor (TIRS) จำนวน 11 ช่วงคลื่น ให้รายละเอียดจุดภาพช่วงคลื่น visible, NIR, SWIR 30 เมตร ช่วงคลื่น thermal 100 เมตร และ panchromatic 15 เมตร (U.S. Geological Survey, 2021)





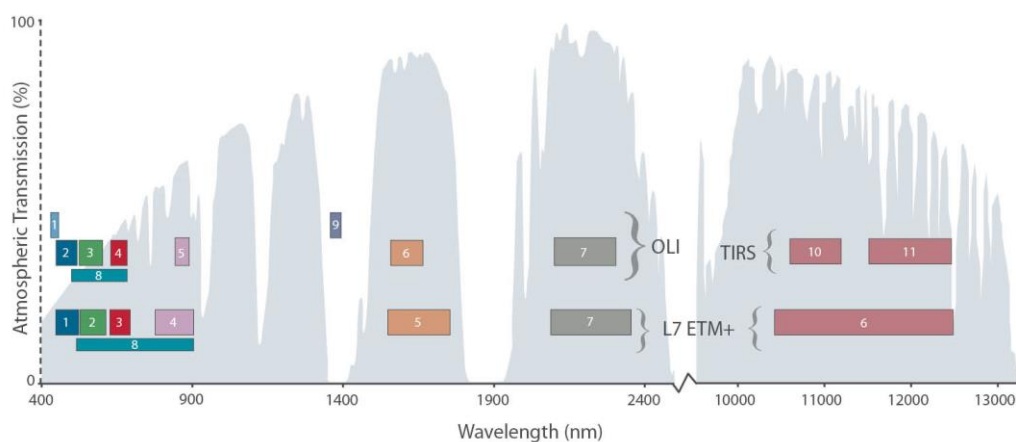
ภาพที่ 20 ดาวเทียม Landsat 8

แหล่งที่มา: U.S. Geological Survey (2021)

ตารางที่ 3 ความยาวช่วงคลื่นและรายละเอียดจุดภาพของดาวเทียม Landsat 8

ประเภทช่วงคลื่น	ข้อมูลดาวเทียม Landsat 8	
	ขนาดช่วงคลื่น ( $\mu\text{m}$ )	รายละเอียด จุดภาพ (เมตร)
1. Coastal Aerosol	0.43 – 0.45	30
2. ช่วงสายตามองเห็นสีน้ำเงิน (Blue)	0.45 – 0.51	30
3. ช่วงสายตามองเห็นสีเขียว (Green)	0.53 – 0.59	30
4. ช่วงสายตามองเห็นสีแดง (Red)	0.64 – 0.67	30
5. อินฟราเรดใกล้ (Near Infrared NIR)	0.85 – 0.88	30
6. อินฟราเรดคลื่นสั้น 1 (SWIR 1)	1.57 – 1.65	30
7. อินฟราเรดคลื่นสั้น 2 (SWIR 2)	2.11 – 2.35	30
8. ระบบขาว – ดำ (Panchromatic)	0.50 – 0.68	15
9. เมฆชั้นสูง (Cirrus)	1.36 – 1.38	30
10. อินฟราเรดความร้อน 1 (Thermal Infrared - TIRS 1)	10.60 – 11.19	100
11. อินฟราเรดความร้อน 2 (Thermal Infrared - TIRS 2)	11.50 – 12.51	100

แหล่งที่มา: U.S. Geological Survey (2021)



ภาพที่ 21 ช่วงคลื่นดาวเทียม Landsat 8

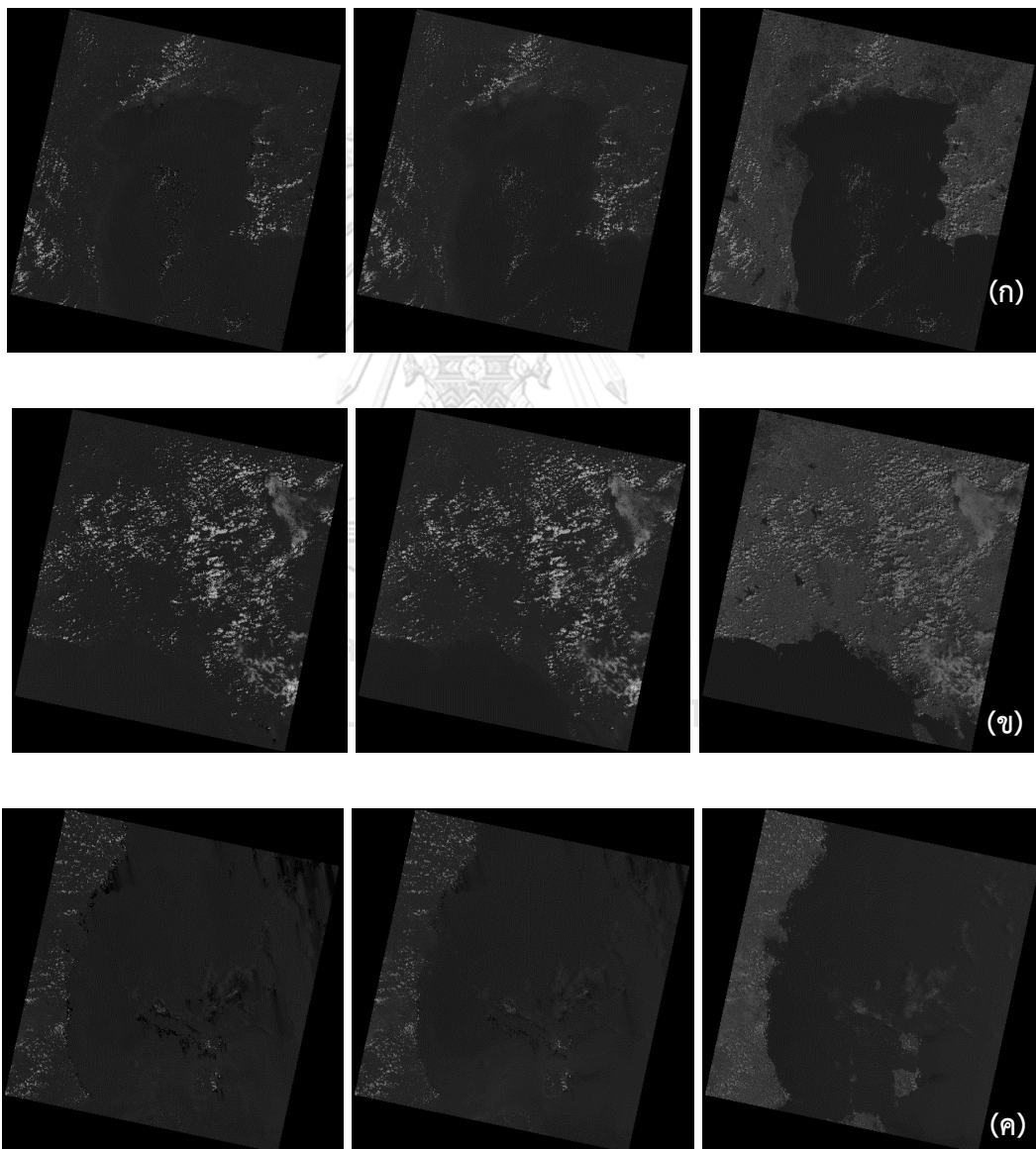
แหล่งที่มา : U.S. Geological Survey (2021)

เนื่องจากภาพถ่ายดาวเทียมจะมีการบันทึกข้อมูลแสงในย่านต่างๆ ซึ่งแต่ละย่านสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานในด้านต่างๆ ที่แตกต่างกันไป เช่น ย่าน Infrared ซึ่งเป็นลำคลื่นยาว มีคุณสมบัติในการสะท้อนวัตถุบนพื้นโลกได้ดี แต่ไม่สามารถสะท้อนกลับกับวัตถุที่เป็นน้ำหรือของเหลวได้ แต่ในย่านแสง สีเขียว และน้ำเงิน ซึ่งเป็นแสงลำคลื่นสั้น มีคุณสมบัติที่สามารถทะลุผ่านวัตถุที่เป็นน้ำได้ จนถึงพื้นท้องทะเลที่มีความลึกไม่มาก (น้อยกว่า 30 เมตร)

งานวิจัยนี้จึงเป็นการนำคุณสมบัติของลำคลื่นทั้ง 3 ชนิด มาผ่านกระบวนการวิเคราะห์ เพื่อให้ได้มาซึ่งความลึกน้ำทะเล โดยการรวบรวมข้อมูลดิจิทัลไฟล์ของภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 OLI ซึ่งได้ทำการดาวน์โหลดจากเว็บไซต์ <https://earthexplorer.usgs.gov/> ของ The United States Geological Survey (USGS) และทำการเลือกภาพที่มีความชัดเจน ไม่มีเมฆปกคลุม มีคลื่นในทะเลน้อย ซึ่งเลือกใช้ข้อมูลภาพช่วงคลื่น Band 2 (BLUE), Band 3 (GREEN) และ Band 6 (SWIR) (Pe'eri et al., 2014) และเลือกช่วงเวลาใกล้เคียงกับช่วงเวลาที่ดำเนินการสำรวจแผนที่เดินเรือที่จัดทำโดยกรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ โดยมีรายละเอียดข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 ที่เลือกใช้ตามแต่ละพื้นที่ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 รายละเอียดข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8

หมายเลขระวาง แผนที่	พื้นที่	ช่วงเวลาที่ใช้ภาพถ่าย ดาวเทียม Landsat 8	path/row
112	ปากทางเข้าแม่น้ำเจ้าพระยา	พฤศจิกายน พ.ศ.2561	129/053
118	เกาะสบบ้า ถึง เกาะจิกนอก	พฤศจิกายน พ.ศ.2559	129/051
225	อ่าวชุมพร	เมษายน พ.ศ.2559	128/051



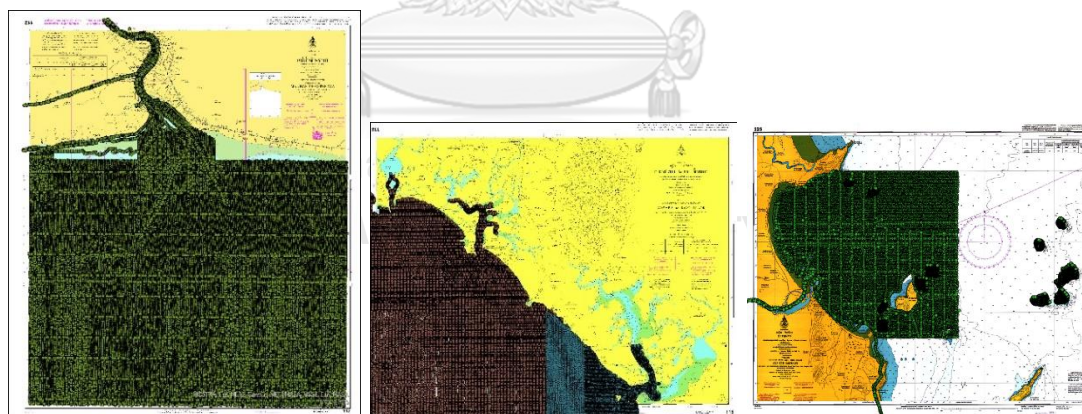
ภาพที่ 22 ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 แบนด์ 2, 3 และ 6 ตามลำดับ ในพื้นที่ศึกษา  
(ก) ปากทางเข้าแม่น้ำเจ้าพระยา (ข) เกาะสบบ้า ถึง เกาะจิกนอก และ (ค) อ่าวชุมพร

ข้อมูลความลึกน้ำสำรวจที่ใช้อ้างอิงในการสอบเทียบและตรวจสอบความถูกต้องของการหาค่าความลึกน้ำด้วยวิธีการ SDB เป็นข้อมูลสำรวจความลึกพื้นที่ท้องทะเลที่จัดทำโดยกรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ ด้วยวิธีการหยั่งความลึกน้ำด้วยเสียงสะท้อนแบบความถี่เดียว (Single Beam Echo Sounder) โดยใช้เครื่องวัดเสียงสะท้อนแบบความถี่เดียว ร่วมกับเครื่องรับตำแหน่งที่ด้วยดาวเทียม GNSS สำหรับบันทึกพิกัดทางภูมิศาสตร์ด้วยเทคนิค Differential Global Positioning System (DGPS) มูลฐานทางราบ WGS84 และทำการหักเลขน้ำที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำขึ้น - ลง ในพื้นที่ ทหาระดับน้ำลดต่ำที่สุด (lowest low water: LLW) เป็นเมตรเรียบร้อยแล้ว

#### ตารางที่ 5 รายละเอียดข้อมูลความลึกน้ำสำรวจ

หมายเลขระวางแผนที่	พื้นที่	ข้อมูลความลึกน้ำสำรวจ
112	ปากทางเข้าแม่น้ำเจ้าพระยา	พฤศจิกายน พ.ศ.2561
118	เกาะสบบ้า ถึง เกาะจิกนอก	พฤศจิกายน พ.ศ.2559
225	อ่าวชุมพร	เมษายน พ.ศ.2559

แหล่งที่มา : กรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ



ภาพที่ 23 ข้อมูลสำรวจแผนที่เดินเรือหมายเลข 225 ด้วยวิธีวัดเสียงสะท้อนแบบความถี่เดียว

แหล่งที่มา : กรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ

## 4.2 สมการที่ใช้ในการศึกษา

### 4.2.1 ค่าดัชนีผลต่างความชื้นแบบนอมัลไลซ์ปรับปรุง (MNDWI)

ดัชนีผลต่างความชื้นแบบนอมัลไลซ์ปรับปรุง (MNDWI) ของ Xu (2006) เป็นสมการที่นำมาใช้เพื่อกำหนดคุณสมบัติของน้ำที่แยกออกมาและเพิ่มประสิทธิภาพในการแสดงภาพดิจิทัลจากระยะไกล มีรูปแบบสมการดังนี้

$$MNDWI = \frac{GREEN-IR}{GREEN+IR} \quad (1)$$

โดยที่ *GREEN* คือ ช่วงคลื่นสีเขียว  
*IR* คือ ช่วงคลื่นอินฟราเรด (Infrared)

### 4.2.2 แบบจำลองอัตราส่วนช่วงคลื่น (Log-Band Ratio Method)

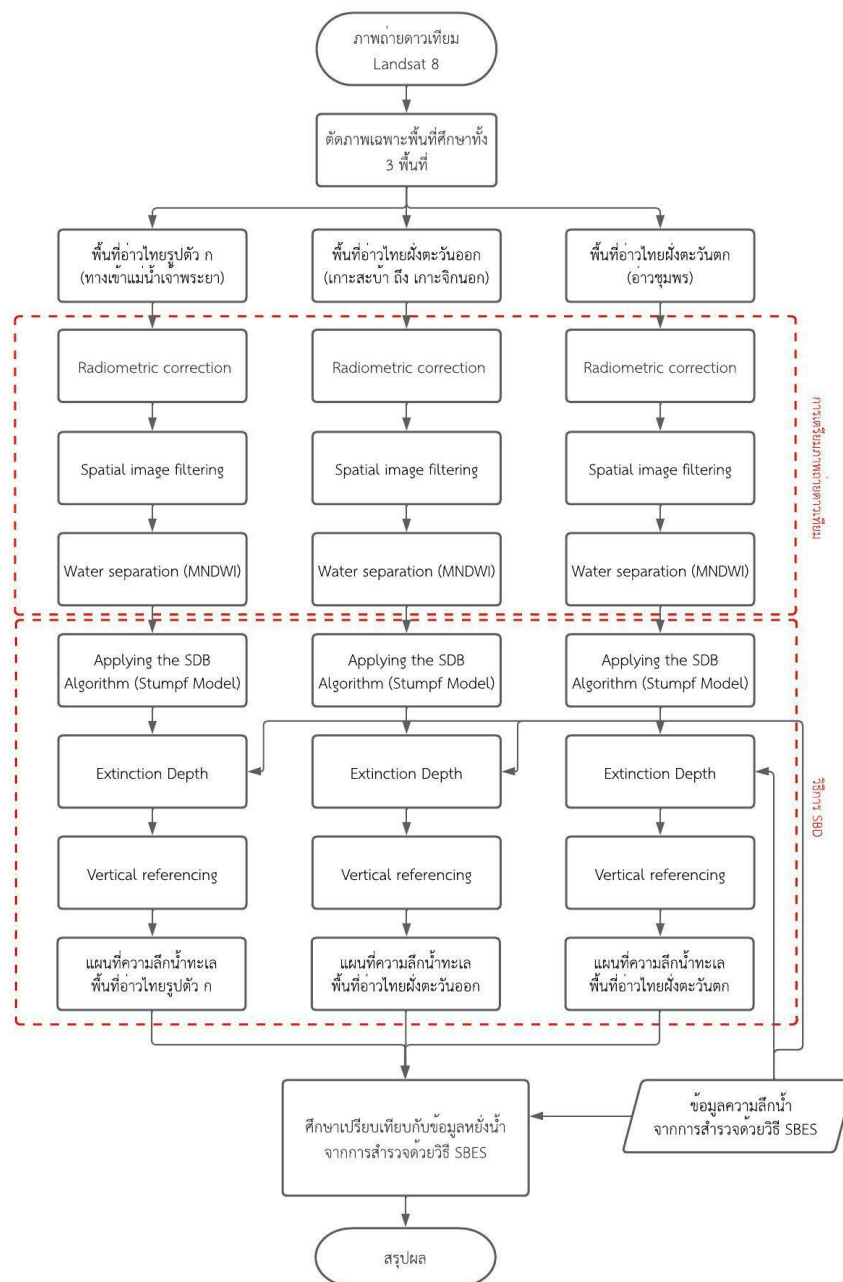
จากที่ได้กล่าวไปเกี่ยวกับข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมที่ได้จากดาวเทียมสำรวจ ซึ่งจะใช้พลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทำการบันทึกข้อมูลแสงในย่านต่างๆ ตามคอลัมน์ของความลึกน้ำแต่ละคอลัมน์ โดยพลังงานจะลดลงตามความลึกที่เพิ่มขึ้น และสิ่งปกคลุมด้านล่างของน้ำจะไม่มีผลต่อตัวแปรความลึก แต่มีผลต่อความแตกต่างในการสะท้อนของสเปกตรัม ดังนั้นวิธีการสร้างแบบจำลองอัตราส่วนของแต่ละย่านจึงมีความเหมาะสมในการใช้หาค่าความลึกน้ำ โดยในการศึกษานี้เลือกใช้แบบจำลองอัตราส่วนช่วงคลื่น (Log-Band Ratio Method) ของ Stumpf et al. (2003) ซึ่งใช้อัตราส่วนของ การสะท้อนของแสงที่ใช้พารามิเตอร์สองตัวที่มีคุณสมบัติอัตราส่วนการสะท้อนต่ำจากภาพถ่ายดาวเทียม ได้แก่ ย่าน Band 2 (Blue) และย่าน Band 3 (Green) เป็นไปตามสมการดังต่อไปนี้

$$Z = m_1 \times \frac{\ln(n(\lambda_i))}{\ln(nRw(\lambda_j))} - m_0 \quad (2)$$

โดยที่ *Z* คือ ความลึกสัมบูรณ์ของน้ำด้วยวิธีการ SDB  
*m<sub>1</sub>* คือ ค่าคงที่ที่ใช้ในการปรับอัตราส่วนต่อความลึก  
*Rw* คือ การสะท้อนสเปกตรัมที่สังเกต  
*m<sub>0</sub>* คือ ค่าชดเชยสำหรับความลึก 0 ม.  
*λ<sub>i</sub>* คือ ช่วงคลื่นสีน้ำเงิน (Band 2)  
*λ<sub>j</sub>* คือ ช่วงคลื่นสีเขียว (Band 3)

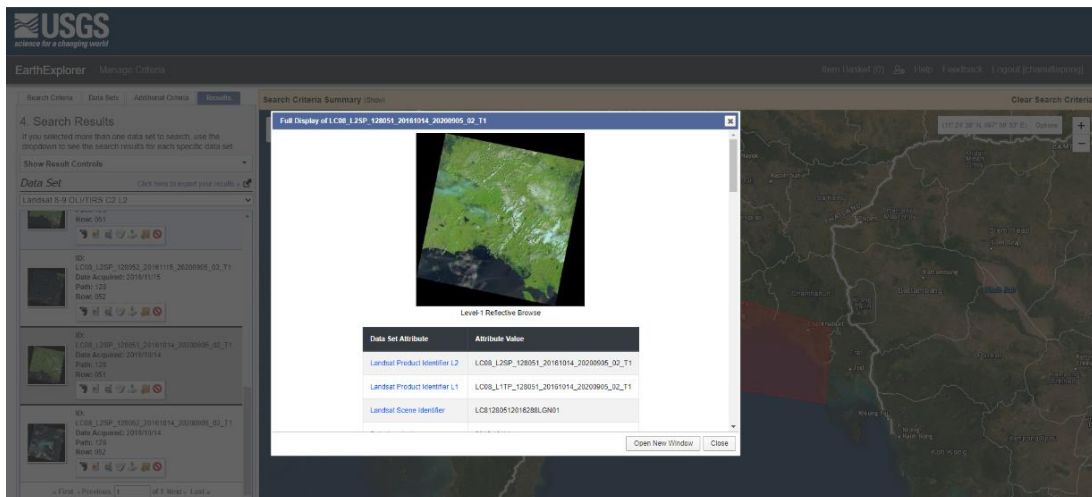
### 4.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน

การใช้ภาพถ่ายดาวเทียมในการหาค่าความลึกน้ำทะเล หรือวิธีการ SDB จะแบ่งขั้นตอนการทำให้เป็น 2 ส่วนหลัก ได้แก่ การเตรียมภาพถ่ายดาวเทียม และการใช้วิธีการ SDB ในการหาค่าความลึก จากนั้นจะนำผลลัพธ์ที่ได้มาทำการศึกษาเปรียบเทียบกับข้อมูลหยั่งน้ำจากการสำรวจด้วย SBES งานวิจัยนี้มีขั้นตอนวิธีการดำเนินงานวิจัยโดยสรุปดังภาพที่ 24



ภาพที่ 24 แผนผังขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

4.3.1 การดาวน์โหลดข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 จากเว็บไซต์ <https://earthexplorer.usgs.gov/> ตามตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ที่ตรงกับพื้นที่ที่ต้องการศึกษาทั้ง 3 พื้นที่ โดยเลือกภาพที่มีช่วงเวลาใกล้เคียงกับข้อมูลสำรวจแผนที่เดินเรือที่จัดทำโดยกรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ และมีสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม ได้แก่ การบดบังของเมฆน้อย และการสะท้อนของแสงแดดบริเวณพื้นน้ำน้อย



ภาพที่ 25 การดาวน์โหลดข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 จากเว็บไซต์

4.3.2 นำข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 แบนด์ 2 (Blue Band) แบนด์ 3 (Green Band) และแบนด์ 6 (Infrared Band) ในแต่ละพื้นที่มาทำการตัด (Clip) เฉพาะพื้นที่ศึกษาที่อ้างอิงตามขอบเขตของระวางแผนที่เดินเรือที่ใช้

4.3.3 การวิเคราะห์และแปลงภาพถ่ายดาวเทียม (Image Pre-processing) เป็นขั้นตอนเริ่มแรกของการใช้งานภาพถ่ายดาวเทียมสำหรับหึงความลึกน้ำด้วยวิธีการ SDB โดยจะเป็นการปรับแก้คลื่นรังสี (Radiometric correction) และการปรับปรุงคุณภาพของภาพถ่ายดาวเทียม (Image enhancement) มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงข้อมูลที่มีข้อบกพร่องในคุณสมบัติต่างๆ ให้อยู่ในระดับที่ดีขึ้นหรือมีความถูกต้องตรงตามความเป็นจริง และเพิ่มความถูกต้องให้กับข้อมูลเริ่มต้นที่ได้มาให้มีความละเอียดชัดเจนตามเป้าหมาย ก่อนนำไปสู่ขั้นการวิเคราะห์และประมวลผลต่อไป ดังนี้

#### 1) การปรับแก้คลื่นรังสี (Radiometric correction)

เป็นการปรับปรุงแก้ไขความคลาดเคลื่อนของข้อมูล และสัญญาณคลื่นรบกวน อันเนื่องมาจากสาเหตุหลายประการ เช่น การรบกวนจากชั้นบรรยากาศ การกระจัดกระจายในชั้นบรรยากาศ หรือจากความบกพร่องของเครื่องรับสัญญาณ ทำให้เกิดความไม่ชัดเจนพรมัว หมอกหรือความสลัว (Haze) มีลายเส้นปะปน (Strip/Noise) ส่งผลให้ความคมชัดของภาพลดลง โดยใช้วิธีการแปลงค่าความสว่างในภาพให้เป็นค่าการแผ่รังสีสมบูรณ (Conversion of digital numbers to

absolute radiance value) ตามสมการที่ (3) และใช้การแปลงค่าการแผ่รังสีสมบูรณ์ (absolute radiance value) ในภาพดาวเทียมให้เป็นค่าการสะท้อน (reflectance) ตามสมการที่ (4) ผ่านเครื่องมือ Raster Calculator ผลลัพธ์จากขั้นตอนนี้จะลดความพร่ามัวของภาพ และมีความชัดเจนของข้อมูลภาพเพิ่มมากขึ้น ดังภาพที่ 26

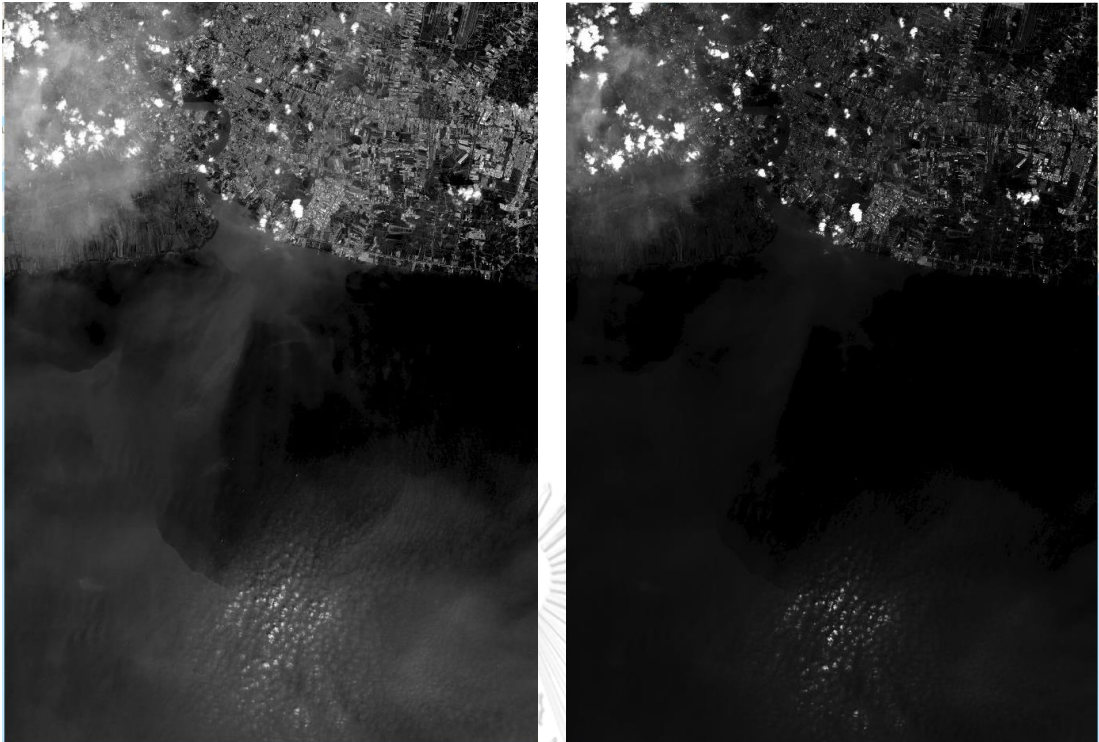
$$L = L_{\min}() + \frac{(L_{\max}() - L_{\min}())}{(Q_{\text{calmax}} - Q_{\text{calmin}})} (Q_{\text{cal}} - Q_{\text{calmin}}) \quad (3)$$

โดยที่	$L$	คือ	ค่าการแผ่รังสีของสเปกตรัมหรือช่วงคลื่น (spectral radiance) ของจุดภาพ
	$L_{\max}()$	คือ	ค่าการแผ่รังสีสูงสุดของช่วงคลื่น (maximum spectral radiance)
	$L_{\min}()$	คือ	ค่าการแผ่รังสีต่ำสุดของช่วงคลื่น (minimum spectral radiance)
	$Q_{\text{calmax}}$	คือ	ค่าระดับสีเทาที่สูงที่สุด (maximum grayscale) ของภาพดาวเทียม (อีกนัยหนึ่ง หมายถึง ค่า DN ที่สูงที่สุดของภาพ เช่น ค่า 255 ในดาวเทียมแบบ 8 บิต หรือ ค่า 65,535 ในดาวเทียมแบบ 16 บิต)
	$Q_{\text{calmin}}$	คือ	ค่าระดับสีเทาที่ต่ำสุด (minimum grayscale) ของภาพดาวเทียม (อีกนัยหนึ่ง หมายถึง ค่า DN ที่ต่ำที่สุดของภาพ เช่น ค่า 0 ในดาวเทียมแบบ 8 บิต หรือ 16 บิต)
	$Q_{\text{cal}}$	คือ	ค่าระดับสีเทาของจุดภาพที่กำลังวิเคราะห์ (อีกนัยหนึ่ง หมายถึง ค่า DN ที่กำลังทำการวิเคราะห์หรือแปลงนั่นเอง)

$$\rho = \frac{(L d^2)}{E_{\text{sun}} \sin} \quad (4)$$

โดยที่	$\rho$	คือ	ค่าการสะท้อนแสงที่วัดได้ที่บรรยากาศด้านบน (TOA)
	$L$	คือ	ค่าการแผ่รังสีของสเปกตรัมหรือช่วงคลื่น (spectral radiance) ของจุดภาพ
	$d$	คือ	ระยะห่างระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์ (earth-sun distance)
	$E_{\text{sun}}$	คือ	ค่าเฉลี่ยการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ภายนอกบรรยากาศ (mean exoatmospheric solar irradiance)
	$\sin$	คือ	มุมยกของดวงอาทิตย์ (solar elevation) คำนวณจาก มุม $90^\circ$ ลบด้วย Solar Zenith Angle



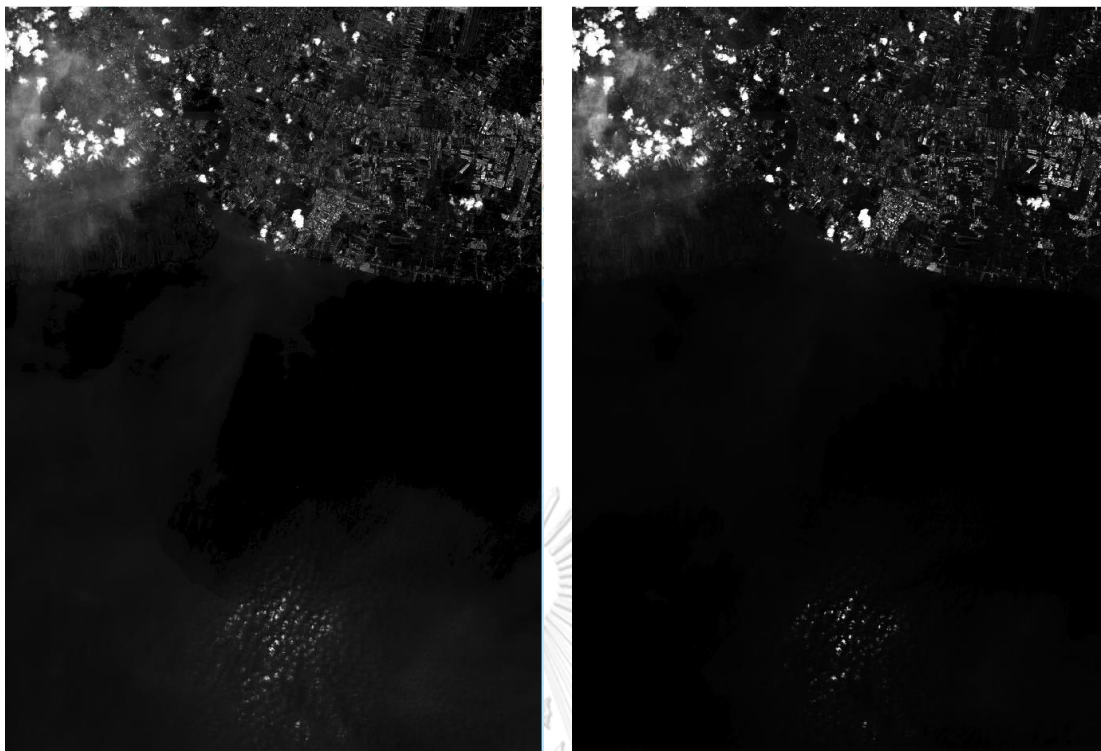


ภาพที่ 26 ตัวอย่างภาพ ก่อน – หลัง การปรับแก้คลื่นรังสีของภาพถ่ายดาวเทียม Band 2 บริเวณพื้นที่อ่าวไทยรูปตัว ก

## 2) การปรับปรุงคุณภาพของภาพถ่ายดาวเทียม (Image enhancement)

เป็นการปรับแต่งคุณภาพของภาพที่ได้มาโดยรวม เพื่อช่วยให้การวิเคราะห์และประมวลผลภายหลังทำได้ง่ายขึ้น ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน ดังนี้

2.1) การกรองภาพเชิงพื้นที่ (Spatial image filtering) มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มความชัดเจนของภาพ เพิ่มระดับความแตกต่างระหว่างวัตถุในภาพ หรือนำวัตถุที่ปรากฏในภาพ โดยในงานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นพื้นที่ของน้ำทะเลเป็นหลัก จึงนำการกรองภาพเชิงพื้นที่ (Spatial image filtering) มาใช้เพื่อลดจุดรบกวนบนภาพถ่ายดาวเทียม (Speckle noise) ที่จะเกิดขึ้นในพื้นที่ทะเลให้ลดน้อยลง โดยใช้คำสั่งจากชุดเครื่องมือ Spatial Filtering



ภาพที่ 27 ตัวอย่างภาพ ก่อน – หลัง การปรับปรุงคุณภาพของภาพถ่ายดาวเทียม Band 2 บริเวณพื้นที่อ่าวไทยรูปตัว ก (ภาพถ่ายเป็นภาพที่ได้จากหลังการปรับแก้คลื่นรังสี)

## 2.2) การแยกน้ำ (Water separation)

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการแยกพื้นที่ข้อมูลด้วยการใช้วิธีการแยกน้ำ (Water separation) ด้วยการใช้ค่าดัชนีความแตกต่างของความชื้นปรับปรุง (MNDWI) ของ Xu (2006) ตามสมการที่ (1) ผ่านเครื่องมือ Raster Calculator โดยในขั้นต้นภาพถ่ายดาวเทียมถูกปรับขนาดให้ครอบคลุมเฉพาะพื้นที่ที่สนใจ จากนั้น MNDWI จะคำนวณแยกส่วนที่เป็นน้ำทะเลหรือกำจัดส่วนที่เป็นแผ่นดินและเมฆส่วนใหญ่ออก ดัชนีสเปกตรัมนี้มีอยู่ในช่วงตั้งแต่ -1 ถึง +1 โดยที่ค่าเรดิโอเมตริก  $> 0$  แทนน้ำ และ  $\leq 0$  แทนพื้นดิน ด้วยวิธีนี้คุณสมบัติที่ไม่ใช่ในภาพอาจถูกแยกออกจากการประมวลผล จากนั้นทำการแปลงแต่ละพิกเซลของภาพดาวเทียมให้แสดงเป็นแบบจุดลอยตัว (Floating point) โดยใช้คำสั่งจากชุดเครื่องมือ Spatial Analyst Tools ผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอนนี้จะเป็นพื้นที่ส่วนน้ำทะเลเพื่อใช้สำหรับวิธีการ SDB ต่อไป



ภาพที่ 28 ตัวอย่างวิธีการและผลลัพธ์ของการแยกน้ำ

โดยใช้ค่าดัชนีความแตกต่างของความชื้นปรับปรุง (MNDWI) พื้นที่อ่าวไทยฝั่งตะวันออก

4.3.4 ขั้นตอนหลักต่อมาคือการใช้แบบจำลองในหาค่าความลึกน้ำทะเลด้วยวิธีการ SDB (Bathymetry algorithm application) โดยในขั้นตอนนี้เป็นการใช้แบบจำลองอัตราส่วนช่วงคลื่น (Log-Band Ratio Method) ตามสมการที่ (2) เพื่อให้ได้มาซึ่งความลึกน้ำประมาณ ดังนี้

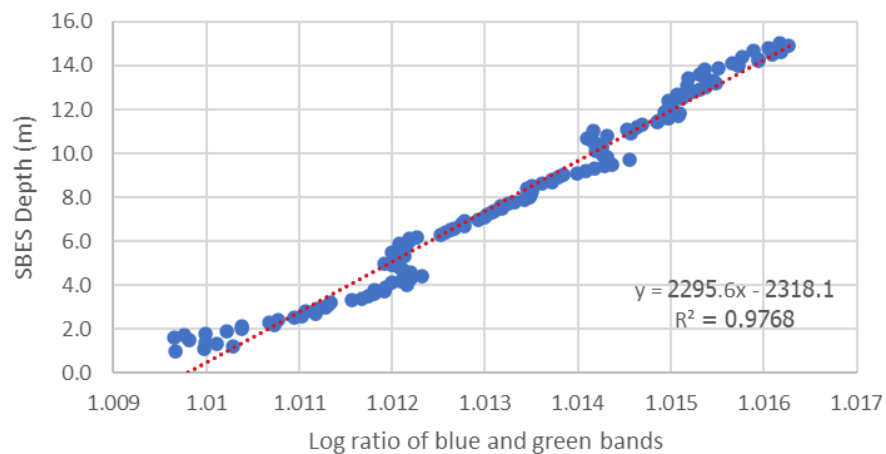
1) ขั้นตอนแรกของของวิธีการ SDB เป็นการนำผลลัพธ์พื้นที่น้ำทะเลจากการแปลภาพถ่ายดาวเทียมที่ได้จากข้อ 4.3.2 มาทำอัตราส่วนระหว่างช่วงคลื่นสองช่วงตามสมการที่ (2) โดยใช้เครื่องมือ Raster Calculator คำนวณผลลัพธ์แบนด์ 2 (Blue Band) และแบนด์ 3 (Green Band) ด้วยสมการ  $\ln(\text{"Blue Band"}) / \ln(\text{"Green Band"})$

2) หาค่าความลึกจำกัด (Extinction Depth) โดยนำเข้าแผนที่สำรวจเพื่อใช้เป็นจุด Control point สำหรับอ้างอิงความลึกน้ำ ซึ่งจุด Control point นี้จะเป็นค่าพิกัดตำบลที่ และความลึกน้ำที่ได้จากการสำรวจหยั่งน้ำด้วยเสียงแบบลำคลื่นเดียว (ค่า x, y, z) ในขั้นตอนนี้แผนที่สำรวจที่ใช้ อ้างอิงจะถูกซ้อนทับบนผลลัพธ์ที่ได้จากข้อ 1) จากนั้นใช้เครื่องมือ Spatial Analyst Tools > Extract Values to Points ซึ่งจะได้ผลลัพธ์เป็นค่าของความลึกน้ำสำรวจที่ใช้เป็นความลึกควบคุม (Depth control points) คู่กับค่า Pixel Values ของภาพถ่ายดาวเทียมจากผลลัพธ์ข้อ 1) จากนั้นทำการ Export Table เพื่อนำไปวิเคราะห์ทางสถิติหาค่าพารามิเตอร์  $m_1$  และ  $m_0$  ต่อไป

Depth	RASTERVALU
1	0.1000000000
2	0.1000000000
3	0.1500000000
4	0.2600000000
5	0.2900000000
6	0.3000000000
7	0.3100000000
8	0.3100000000
9	0.3100000000
10	0.3100000000
11	0.3300000000
12	0.3300000000
13	0.3400000000
14	0.3400000000
15	0.3400000000
16	0.3500000000
17	0.3600000000
18	0.3700000000
19	0.3700000000
20	0.3800000000
21	0.4000000000
22	0.4300000000
23	0.4300000000
24	0.4300000000
25	0.4300000000
26	0.4300000000
27	0.4400000000
28	0.4400000000
29	0.4400000000
30	0.4500000000

ภาพที่ 29 ตัวอย่างค่าของความลึกน้ำสำรวจ กับค่า Pixel Values ของภาพถ่ายดาวเทียม  
พื้นที่อ่าวไทยฝั่งตะวันออก

ผลลัพธ์จากตารางที่ได้จะถูกนำมาหาค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด ( $R^2$ ) เพื่อวิเคราะห์ความสอดคล้องของตัวแปรด้วยโปรแกรม Excel ได้เป็นค่าพารามิเตอร์  $m_1$  และ  $m_0$  ที่ใช้ในการปรับอัตราส่วนต่อความลึก ( $m_1$ ) และค่าชดเชยสำหรับความลึก 0 ม. ( $m_0$ ) ในสมการของ Stumpf และคณะ (Stumpf, 2003)



ภาพที่ 30 ตัวอย่างการหาค่าพารามิเตอร์  $m_1$  และ  $m_0$  จากการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด

3) อ้างอิงค่าความลึก (Vertical referencing) โดยนำค่าพารามิเตอร์  $m_1$   $m_0$  และผลลัพธ์อัตราส่วนช่วงคลื่นจากข้อ 1) มาทำจากหาค่าความลึกน้ำสุดท้ายตามสมการที่ (2) โดยใช้คำสั่งจากชุดเครื่องมือ Raster Calculator ซึ่งขั้นตอนนี้จะป็นขั้นตอนสุดท้ายในการปรับปรุงผลลัพธ์ของค่าความลึกน้ำให้สมบูรณ์

4.3.5 นำผลลัพธ์ของความลึกน้ำทะเลจากวิธีการ SDB มาทำการศึกษาเปรียบเทียบกับความลึกน้ำจากแผนที่สำรวจ โดยใช้การวิเคราะห์ทางสถิติ และอธิบายผลการศึกษาตามวัตถุประสงค์

1	SBES_Depth	SDB_Depth
2	0.80000	1.00073
3	0.20000	1.00195
4	3.40000	1.00269
5	2.90000	1.00366
6	5.20000	1.00415
7	4.90000	1.00464
8	2.10000	1.00513
9	2.60000	1.00537
10	0.50000	1.00586
11	5.10000	1.00659
12	0.30000	1.00854
13	2.90000	1.01807
14	0.50000	1.01904
15	3.30000	1.02002
16	0.80000	1.02026
17	0.20000	1.02197
18	3.80000	1.02222
19	0.80000	1.02344
20	3.10000	1.02393
21	0.60000	1.02417
22	2.20000	1.02661
23	1.70000	1.02783
24	2.30000	1.02783
25	2.30000	1.02856
26	2.40000	1.02905
27	2.40000	1.02954
28	5.20000	1.02979
29	1.60000	1.03101
30	0.10000	1.03125
31	4.50000	1.03174
32	1.60000	1.03833
33	0.50000	1.03931
34	1.70000	1.03931
35	4.50000	1.03931
36	5.70000	1.04028
37	2.30000	1.04224
38	3.20000	1.04297
39	0.20000	1.04443
40	2.30000	1.04443
41	2.20000	1.04541

ภาพที่ 31 ตัวอย่างค่าความลึกน้ำสำรวจ กับค่าความลึกน้ำจากวิธีการ SDB พื้นที่อ่าวไทยรูปตัว ก  
(SBES\_Depth = ค่าความลึกน้ำสำรวจจากวิธีการหยั่งน้ำด้วยเสียงแบบลำคลื่นเดี่ยว และ  
SDB\_Depth = ค่าความลึกน้ำจากวิธีการ SDB )

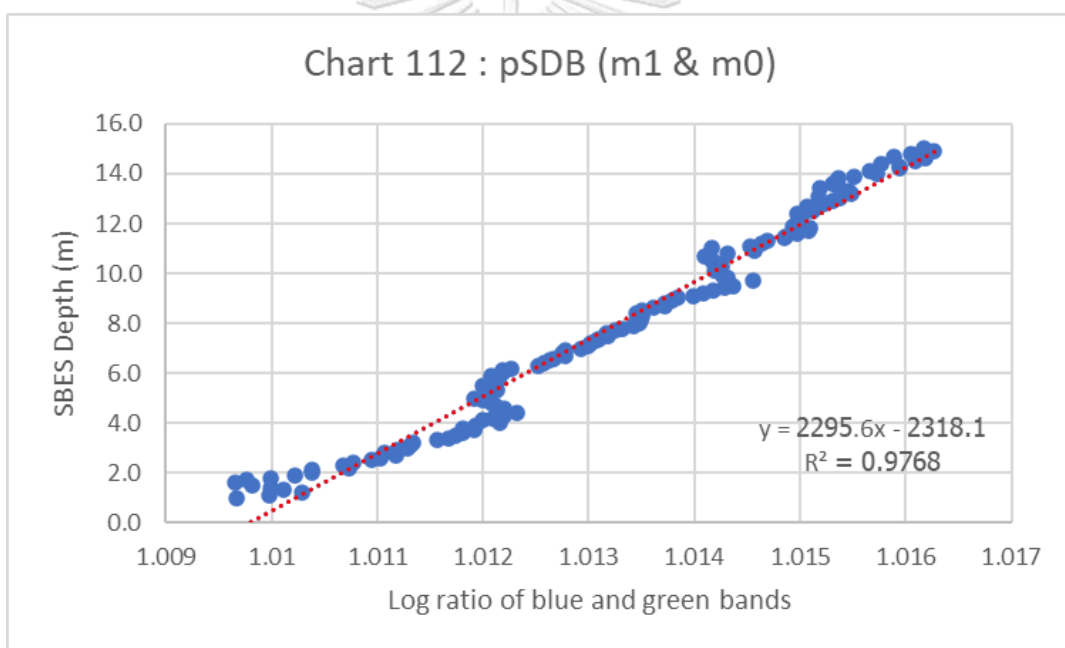
## บทที่ 5

### ผลการศึกษา

#### 5.1 ผลการหั่งความลึกน้ำทะเลด้วยวิธีการ SDB จำนวน 3 พื้นที่

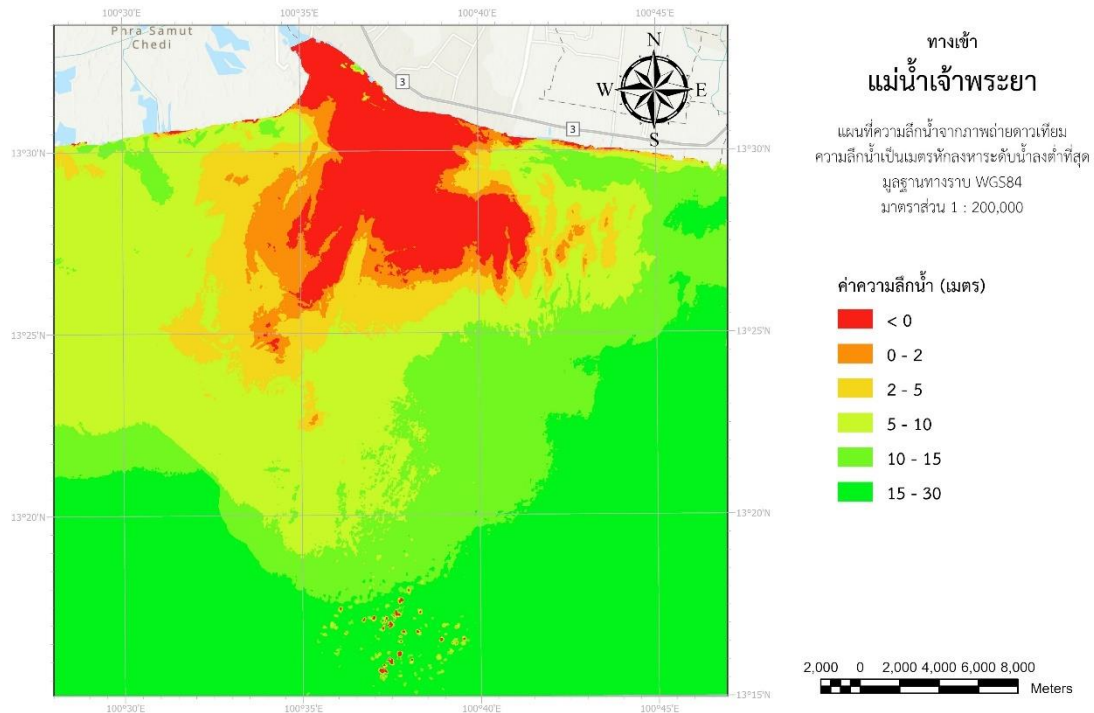
##### 5.1.1 พื้นที่อ่าวไทยรูปตัว ก : ทางเข้าแม่น้ำเจ้าพระยา (Zone 1)

จากการประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 พื้นที่อ่าวไทยรูปตัว ก : ทางเข้าแม่น้ำเจ้าพระยา โดยใช้วิธีการ SDB ร่วมกับแบบจำลองอัตราส่วนช่วงคลื่น (Log-Band Ratio Method) ได้ผลลัพธ์เป็นค่าพารามิเตอร์จากสัมพันธ์ของความลึกน้ำสำรวจที่ใช้เป็นความลึกควบคุม (Depth control points) กับค่า Pixel Values ของภาพถ่ายดาวเทียม ดังนี้  $m_1 = 2295.6$ ,  $m_0 = 2318.1$  และ  $R^2 = 0.9768$

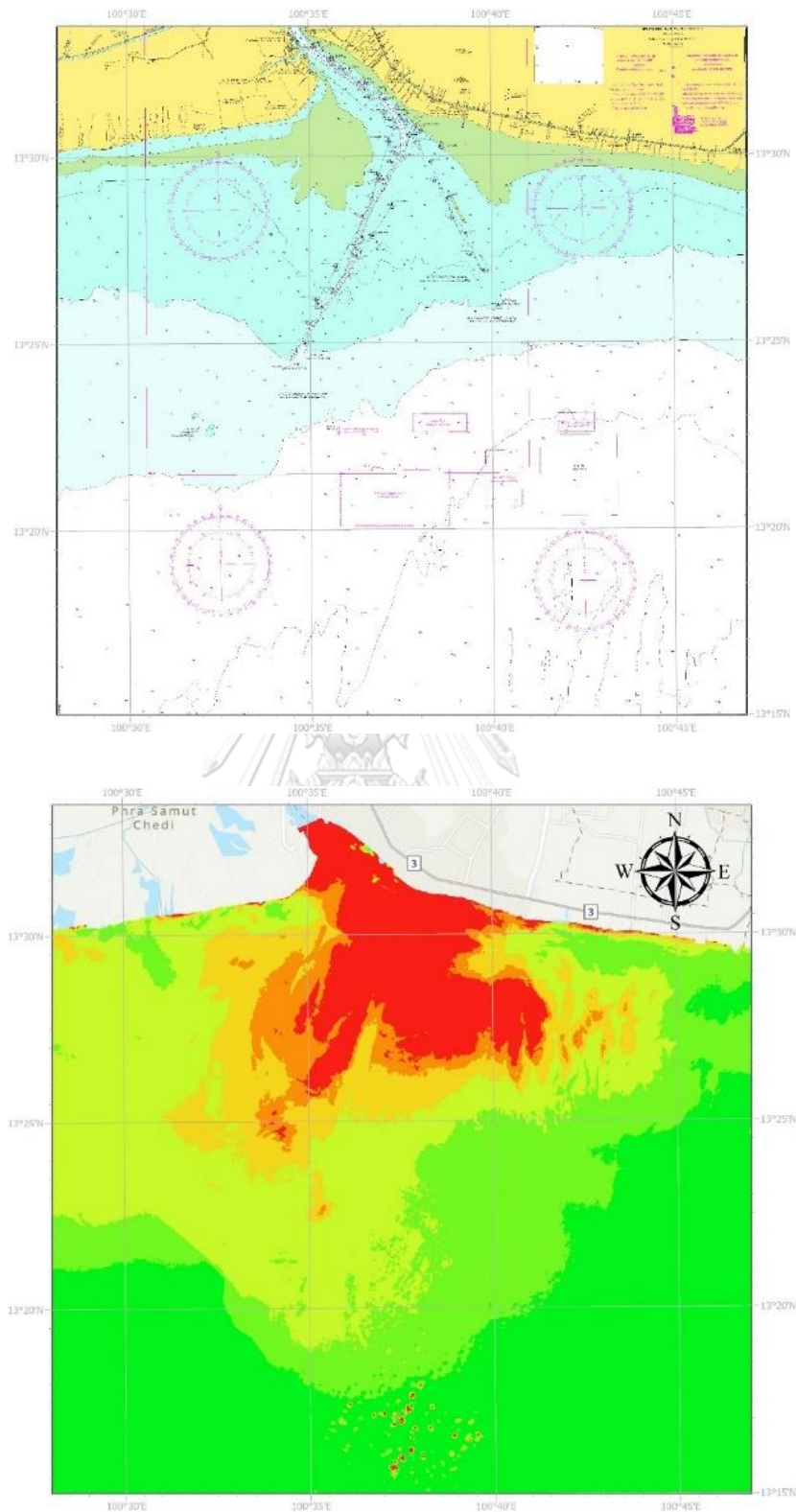


ภาพที่ 32 แผนภาพระหว่างอัตราส่วนช่วงคลื่นของแถบสีน้ำเงินและสีเขียวกับความลึกควบคุม (เป็นเมตร) พื้นที่อ่าวไทยรูปตัว ก : ทางเข้าแม่น้ำเจ้าพระยา (n = 140)

เมื่อปรับปรุงผลลัพธ์ของค่าความลึกน้ำให้สมบูรณ์เรียบร้อยแล้ว จะได้ผลลัพธ์เป็นแผนที่ความลึกน้ำจากภาพถ่ายดาวเทียมบริเวณทางเข้าแม่น้ำเจ้าพระยา ดังภาพที่ 33

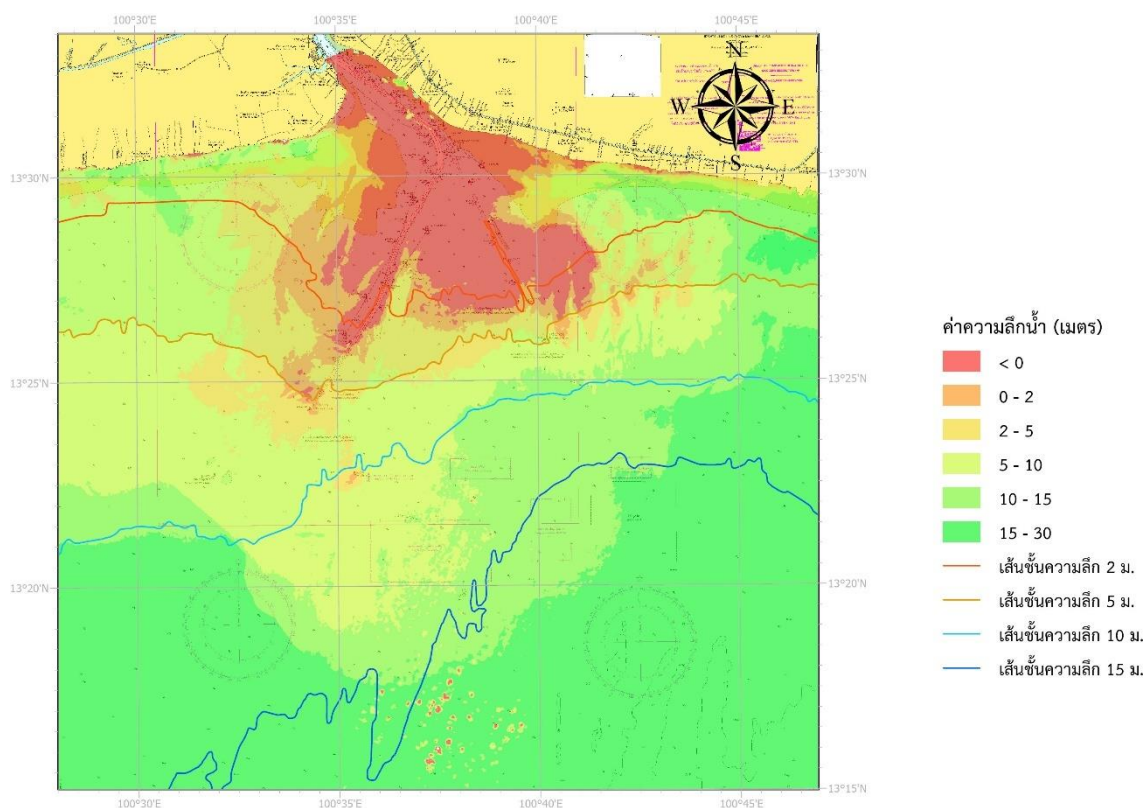


ภาพที่ 33 แผนที่ความลึกน้ำจากภาพถ่ายดาวเทียมบริเวณทางเข้าแม่น้ำเจ้าพระยา



ภาพที่ 34 เปรียบเทียบแผนที่เดินเรือหมายเลข 112 ทางเข้าแม่น้ำเจ้าพระยา (ก) และแผนที่ความลึกน้ำจากภาพถ่ายดาวเทียมบริเวณทางเข้าแม่น้ำเจ้าพระยา (ข)





ภาพที่ 35 แผนที่ซ้อนทับระหว่างแผนที่เดินเรือหมายเลข 112 กับแผนที่ความลึกน้ำจากภาพถ่ายดาวเทียมบริเวณทางเข้าแม่น้ำเจ้าพระยา และเส้นชั้นความลึกน้ำตามแผนที่เดินเรือ

แผนที่ความลึกน้ำทะเลจากภาพถ่ายดาวเทียมบริเวณ Zone 1 ตามภาพที่ 33 เป็นผลลัพธ์ที่ได้จากการนำภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 พื้นที่ Path 129/Row 053 ของวันที่ 12 พฤศจิกายน พ.ศ.2561 มาเข้าสู่ขั้นตอนของการปรับแก้ภาพถ่ายดาวเทียม การแยกน้ำด้วยค่าดัชนีผลต่างความชื้นแบบนอนมัลไลซ์ปรับปรุง (MNDWI) และทำการหยั่งหาความลึกน้ำทะเลด้วยวิธีการ SDB โดยใช้แบบจำลองอัตราส่วนช่วงคลื่น (Log-Band Ratio Method) ซึ่งให้ค่าความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนช่วงคลื่นของแถบสีน้ำเงินและสีเขียวกับความลึกน้ำสำรวจที่ใช้เป็นความลึกควบคุมที่ดี ( $R^2 = 0.9768$ ) โดยแผนที่ความลึกน้ำทะเลจากภาพถ่ายดาวเทียมบริเวณ Zone 1 แสดงแถบสีความลึกน้ำทะเลแบ่งตามอันตรายภาคชั้นความลึกจำนวน 6 ชั้น ได้แก่ น้อยกว่า 0 เมตร, 0 – 2 เมตร, 2 – 5 เมตร, 5 – 10 เมตร, 10 – 15 เมตร และ มากกว่า 15 เมตร จะเห็นได้ว่าพื้นที่ตอนกลางใกล้ชายฝั่งบริเวณดินดอนสามเหลี่ยมปากแม่น้ำเจ้าพระยาจะมีค่าความลึกน้ำทะเลที่ได้น้อยกว่า 0 เมตร ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าพื้นที่บริเวณดังกล่าวนั้นเป็นบริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยาและใกล้ชายฝั่ง ซึ่งมีการสะสมของตะกอนปากแม่น้ำ สภาพความชุ่มชื้นของน้ำในบริเวณนี้จึงมีผลต่อการสะท้อนของแสง

ในช่วงคลื่นต่างๆ ของดาวเทียม Landsat 8 ทำให้ค่าความลึกน้ำที่ได้จากกระบวนการวิเคราะห์ภาพถ่ายดาวเทียมด้วยวิธีการ SDB ในบริเวณดังกล่าวให้ค่าความลึกที่น้อยกว่า 0 เมตร

แผนที่ความลึกน้ำทะเลจากภาพถ่ายดาวเทียมบริเวณ Zone 1 ช่วงความลึกตั้งแต่ 2 เมตร เป็นต้นไป จะมีค่าความลึกน้ำทะเลที่เพิ่มขึ้นกระจายตัวออกไปจากบริเวณปากแม่น้ำในลักษณะคล้ายรูปพัด ซึ่งแสดงให้เห็นได้ว่าสภาพความขุ่นของตะกอนปากแม่น้ำยังคงมีผลต่อการสะท้อนแสงในช่วงคลื่นต่างๆ ของดาวเทียม Landsat 8 ในบริเวณโดยรอบพื้นที่ปากแม่น้ำเจ้าพระยา ออกมาสู่พื้นที่น้ำลึก และเมื่อพิจารณาภาพที่ 35 แผนที่ซ้อนทับระหว่างแผนที่เดินเรือหมายเลข 112 กับแผนที่ความลึกน้ำจากภาพถ่ายดาวเทียม จะเห็นได้ว่าบริเวณช่วงความลึกของแผนที่ความลึกน้ำทะเลจากภาพถ่ายดาวเทียม ตั้งแต่เส้นชั้นความลึก 5 เมตร เป็นต้นไป เป็นช่วงความลึกที่มีพื้นที่ส่วนใหญ่ที่ให้ค่าความลึกน้ำทะเลใกล้เคียงกับพื้นที่ความลึกน้ำในแผนที่เดินเรือหมายเลข 112 สามารถอธิบายได้ว่าในช่วงน้ำลึกตั้งแต่ 5 เมตร เป็นต้นไป อิทธิพลความขุ่นจากตะกอนปากแม่น้ำลดลง ทำให้ภาพถ่ายดาวเทียมสามารถให้ค่าความลึกน้ำทะเลที่ถูกต้องใกล้เคียงมากขึ้น

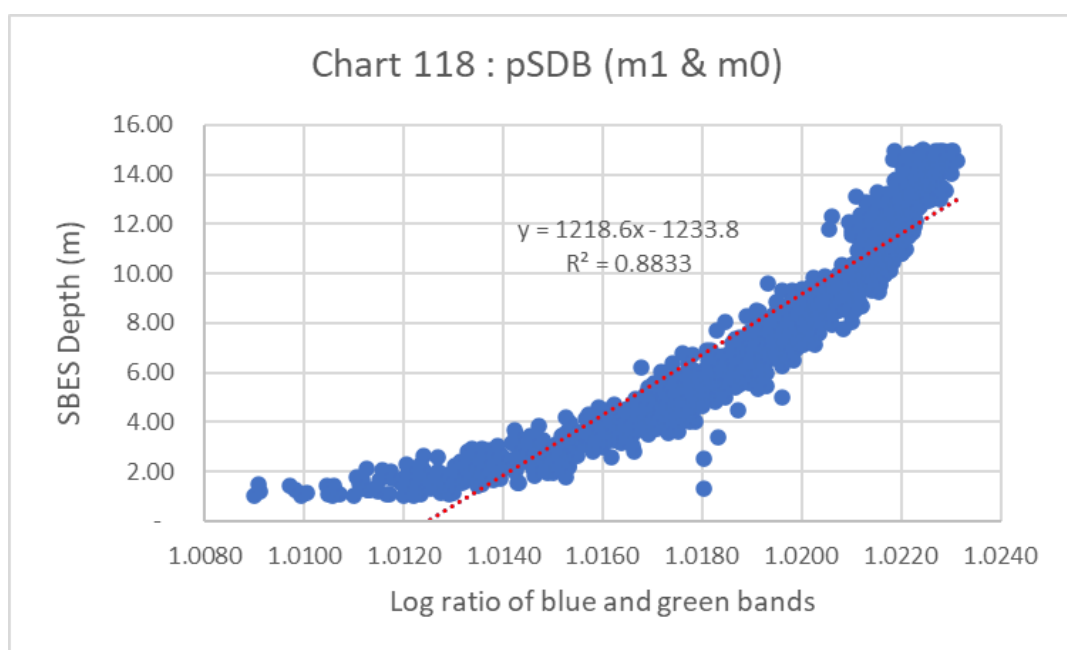
ในบริเวณตอนกลางด้านล่างของแผนที่ความลึกน้ำทะเลจากภาพถ่ายดาวเทียม ช่วงความลึกน้ำมากกว่า 15 เมตร จะสังเกตเห็นเป็นกลุ่มของค่าความลึกน้ำน้อยกว่า 2 เมตร โดยเมื่อนำมาวิเคราะห์ตรวจสอบร่วมกับภาพถ่ายดาวเทียม สามารถอธิบายได้ว่าบริเวณดังกล่าวเป็นค่าที่เกิดจากกลุ่มเมฆที่บดบัง ทำให้ค่าการสะท้อนแสงของดาวเทียมผิดไปจากความเป็นจริง ซึ่งค่าความลึกน้ำผิดปกติเช่นกรณีนี้ จำเป็นต้องทำการวิเคราะห์ร่วมกันภาพถ่ายดาวเทียมทุกครั้ง เนื่องจากค่าความลึกน้ำที่ได้อาจเป็นพื้นที่ตื้น โขดหิน หรือซากเรืออัปปาง ที่เกิดขึ้นใหม่เพิ่มเติมได้

ตารางที่ 6 ค่าความลึกน้ำเฉลี่ยจากภาพถ่ายดาวเทียมบริเวณทางเข้าแม่น้ำเจ้าพระยา อ้างอิงกับ ความลึกน้ำสำรวจ หน่วยเป็นเมตร (SBES = ค่าความลึกน้ำสำรวจจากวิธีการหยั่งน้ำด้วยเสียงแบบลำ คลื่นเดียว และ SDB = ค่าความลึกน้ำจากวิธีการ SDB)

ค่าความลึกน้ำเฉลี่ย (เมตร)									
SBES	SDB	SBES	SDB	SBES	SDB	SBES	SDB	SBES	SDB
0.10	3.52	3.10	5.75	6.10	6.07	9.10	10.39	12.10	16.83
0.20	5.09	3.20	5.74	6.20	6.21	9.20	10.47	12.20	15.74
0.30	4.79	3.30	5.55	6.30	6.93	9.30	10.81	12.30	16.47
0.40	7.37	3.40	5.70	6.40	7.23	9.40	10.81	12.40	16.23
0.50	6.12	3.50	5.69	6.50	7.36	9.50	11.07	12.50	16.77
0.60	6.04	3.60	5.89	6.60	7.52	9.60	11.14	12.60	16.80
0.70	8.61	3.70	5.86	6.70	7.72	9.70	11.58	12.70	17.12
0.80	7.73	3.80	5.87	6.80	7.65	9.80	11.57	12.80	16.92
0.90	7.49	3.90	6.35	6.90	7.73	9.90	12.03	12.90	16.49
1.00	7.57	4.00	6.44	7.00	7.92	10.00	12.10	13.00	17.52
1.10	8.42	4.10	6.23	7.10	8.64	10.10	12.31	13.10	16.98
1.20	7.68	4.20	6.49	7.20	8.66	10.20	12.71	13.20	16.76
1.30	6.51	4.30	6.44	7.30	8.72	10.30	12.91	13.30	15.98
1.40	6.67	4.40	7.02	7.40	8.95	10.40	12.95	13.40	16.94
1.50	7.52	4.50	6.73	7.50	8.84	10.50	13.20	13.50	17.63
1.60	6.37	4.60	6.66	7.60	8.67	10.60	13.43	13.60	17.54
1.70	6.35	4.70	6.78	7.70	9.22	10.70	13.55	13.70	16.86
1.80	5.49	4.80	6.56	7.80	8.81	10.80	13.99	13.80	17.02
1.90	6.49	4.90	6.69	7.90	9.24	10.90	14.19	13.90	17.55
2.00	5.92	5.00	6.52	8.00	9.18	11.00	14.03	14.00	16.97
2.10	6.49	5.10	6.19	8.10	9.35	11.10	14.98	14.10	17.95
2.20	5.71	5.20	6.09	8.20	9.16	11.20	14.62	14.20	17.58
2.30	5.43	5.30	6.02	8.30	9.29	11.30	14.94	14.30	18.88
2.40	5.60	5.40	5.84	8.40	9.13	11.40	15.85	14.40	18.44
2.50	6.22	5.50	5.87	8.50	9.45	11.50	16.09	14.50	19.26
2.60	5.64	5.60	5.91	8.60	9.69	11.60	15.82	14.60	19.70
2.70	6.04	5.70	6.14	8.70	9.88	11.70	16.32	14.70	18.72
2.80	5.69	5.80	6.08	8.80	9.65	11.80	16.19	14.80	18.54
2.90	5.69	5.90	6.02	8.90	10.03	11.90	16.14	14.90	18.13
3.00	5.78	6.00	6.10	9.00	9.94	12.00	16.45	15.00	17.76

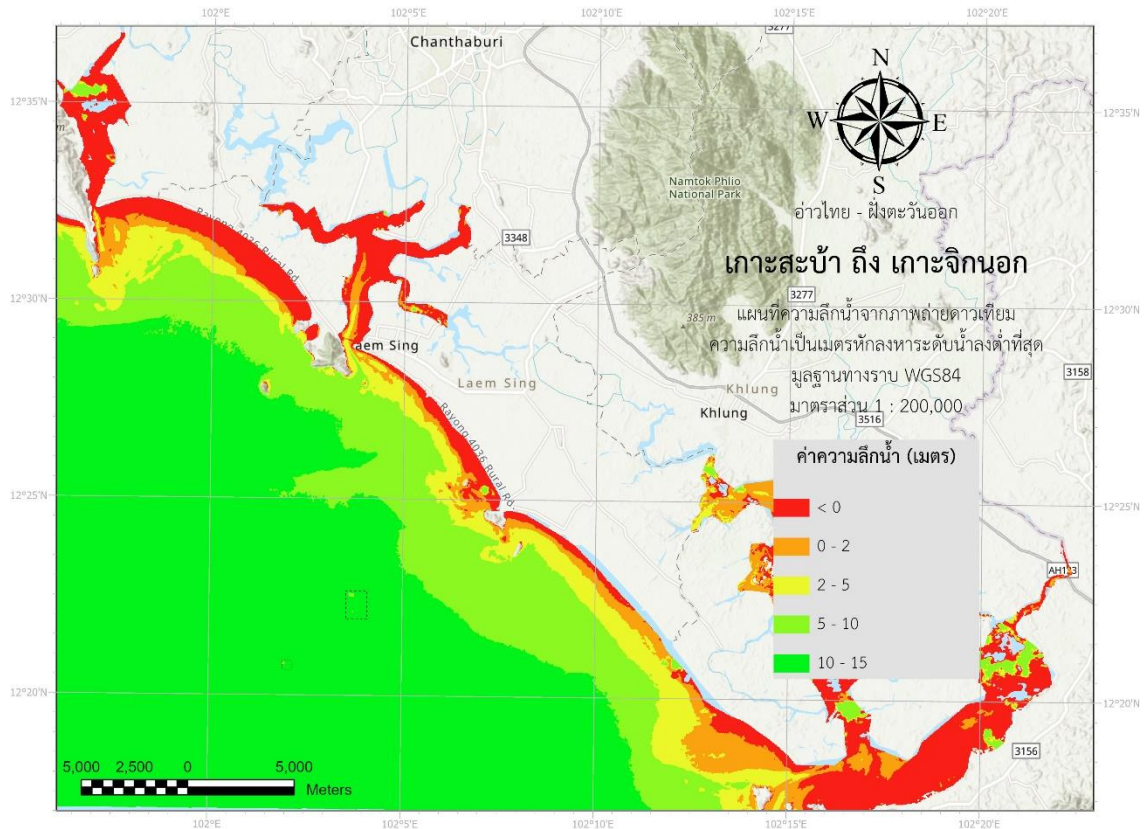
### 5.1.2 พื้นที่อ่าวไทยฝั่งตะวันออก : เกาะสบบ้า ถึง เกาะจิกนอก (Zone 2)

จากการประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 พื้นที่อ่าวไทยฝั่งตะวันออก : เกาะสบบ้า ถึง เกาะจิกนอก โดยใช้วิธีการ SDB ร่วมกับแบบจำลองอัตราส่วนช่วงคลื่น (Log-Band Ratio Method) ได้ผลลัพธ์เป็นค่าพารามิเตอร์จากสัมพันธ์ของความลึกน้ำสำรวจที่ใช้เป็นความลึกควบคุม (Depth control points) กับค่า Pixel Values ของภาพถ่ายดาวเทียม ดังนี้  $m_1 = 1218.6$ ,  $m_0 = 1233.8$  และ  $R^2 = 0.8833$

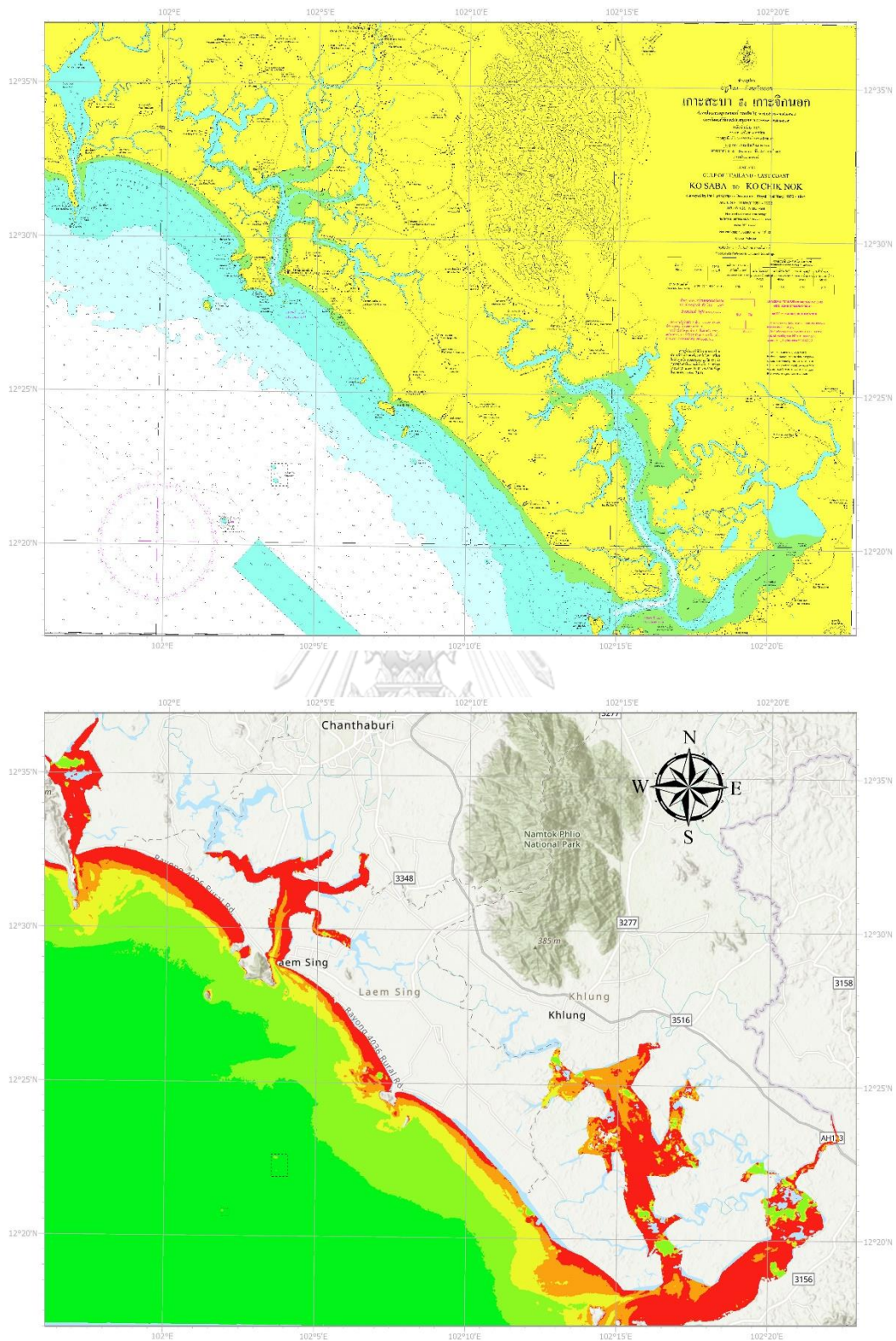


ภาพที่ 36 แผนภาพระหว่างอัตราส่วนช่วงคลื่นของแถบสีน้ำเงินและสีเขียว กับความลึกควบคุม (เป็นเมตร) พื้นที่อ่าวไทยฝั่งตะวันออก : เกาะสบบ้า ถึง เกาะจิกนอก (n = 1396)

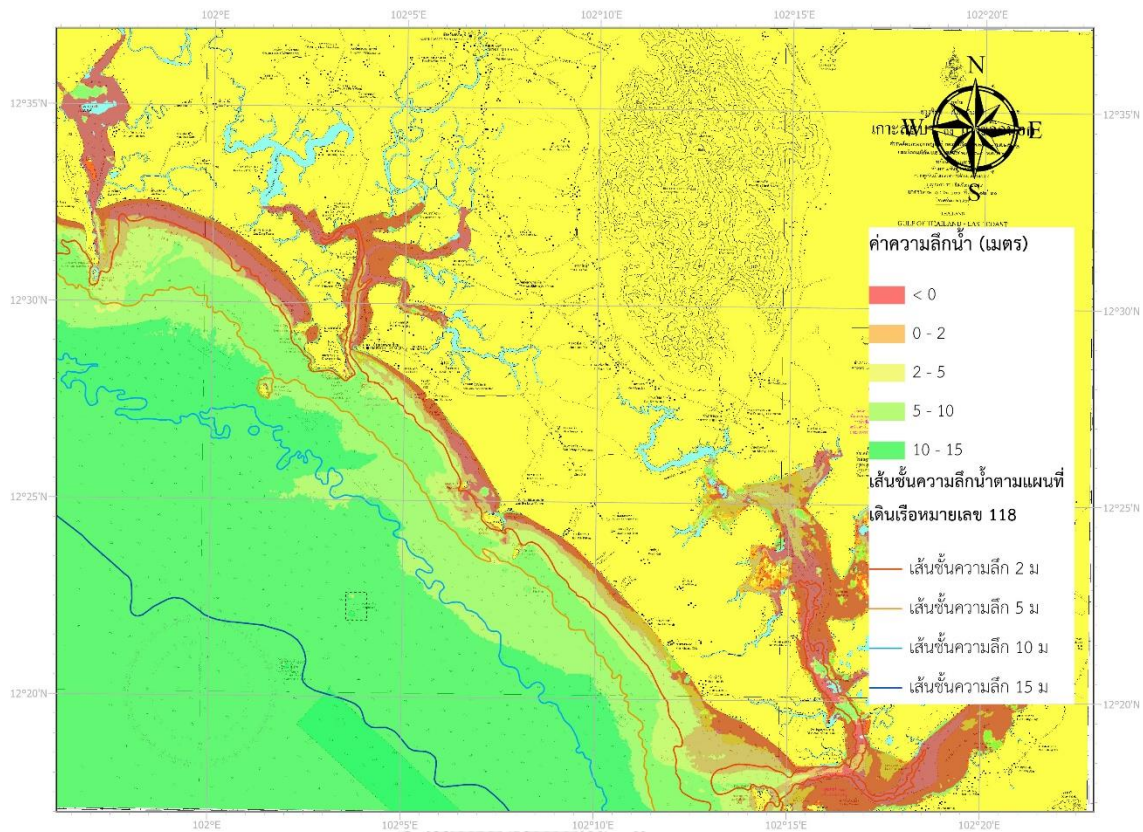
เมื่อปรับปรุงผลลัพธ์ของค่าความลึกน้ำให้สมบูรณ์เรียบร้อยแล้ว จะได้ผลลัพธ์เป็นแผนที่ความลึกน้ำจากภาพถ่ายดาวเทียมบริเวณเกาะสะบ้า ถึง เกาะจิกนอก ดังภาพที่ 37



ภาพที่ 37 แผนที่ความลึกน้ำจากภาพถ่ายดาวเทียมบริเวณเกาะสะบ้า ถึง เกาะจิกนอก



ภาพที่ 38 เปรียบเทียบแผนที่เดินเรือหมายเลข 118 เกาะสะบ้า ถึง เกาะจิกนอก (ก) และแผนที่ความลึกน้ำจากภาพถ่ายดาวเทียมบริเวณเกาะสะบ้า ถึง เกาะจิกนอก (ข)



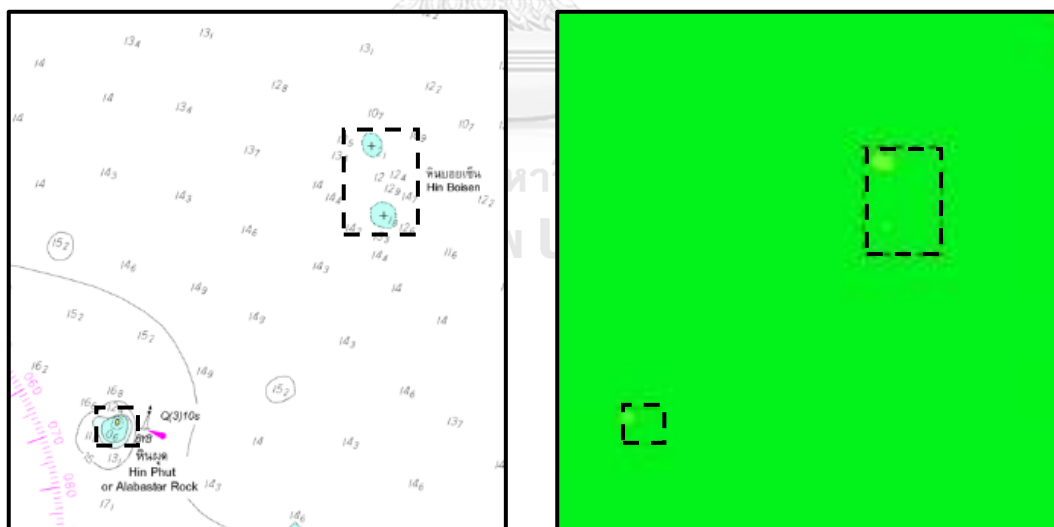
ภาพที่ 39 แผนที่ซ้อนทับระหว่างแผนที่เดินเรือหมายเลข 118 กับแผนที่ความลึกน้ำจากภาพถ่ายดาวเทียมบริเวณเกาะสะบ้า ถึง เกาะจิกนอก และเส้นชั้นความลึกน้ำตามแผนที่เดินเรือ

แผนที่ความลึกน้ำทะเลจากภาพถ่ายดาวเทียมบริเวณ Zone 2 ตามภาพที่ 37 เป็นผลลัพธ์ที่ได้จากการนำภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 พื้นที่ Path 129/Row 051 ของวันที่ 15 พฤศจิกายน พ.ศ.2559 มาเข้าสู่ขั้นตอนของการปรับแก้ภาพถ่ายดาวเทียม การแยกน้ำด้วยค่าดัชนีผลต่างความชื้นแบบนอนมัลไลซ์ปรับปรุง (MNDWI) และทำการหึงหาความลึกน้ำทะเลด้วยวิธีการ SDB โดยใช้แบบจำลองอัตราส่วนช่วงคลื่น (Log-Band Ratio Method) ซึ่งให้ค่าความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนช่วงคลื่นของแถบสีน้ำเงินและสีเขียวกับความลึกน้ำสำรวจที่ใช้เป็นความลึกควบคุมที่ดี ( $R^2 = 0.8833$ ) โดยแผนที่ความลึกน้ำทะเลจากภาพถ่ายดาวเทียมบริเวณ Zone 2 แสดงแถบสีความลึกน้ำทะเลแบ่งตามอันตรภาคชั้นความลึกจำนวน 5 ชั้น ได้แก่ น้อยกว่า 0 เมตร, 0 – 2 เมตร, 2 – 5 เมตร, 5 – 10 เมตร และ 10 – 15 เมตร บริเวณใกล้ชายฝั่งและแม่น้ำจะปรากฏเป็นพื้นที่สีแดง ซึ่งมีค่าความลึกน้ำทะเลน้อยกว่า 0 เมตร เมื่อพิจารณาพร้อมกับแผนที่เดินเรือหมายเลข 118 จะเห็นว่าพื้นที่น้ำทะเลส่วนสีแดงบางส่วนมีความสอดคล้องกับบริเวณพื้นที่สีเขียวในแผนที่เดินเรือ

หมายเลข 118 ซึ่งเป็นพื้นที่น้ำท่วมถึง เลน และป่าโกงกาง (ตามภาพที่ 38) แต่จะให้พื้นที่ที่มากกว่า อันเกิดจากการสะสมตัวของตะกอนชายฝั่งจำนวนมากในพื้นที่ที่ส่งผลต่อสภาพความชุ่มชื้นของน้ำทะเล ค่าผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีการ SDB ในบริเวณใกล้ชายฝั่งจึงมีพื้นที่ความลึกน้ำทะเลน้อยกว่า 0 เมตร มากกว่าพื้นที่จริงในแผนที่เดินเรือ

แผนที่ความลึกน้ำทะเลจากภาพถ่ายดาวเทียมบริเวณ Zone 2 ช่วงความลึกตั้งแต่ 0 – 5 เมตร กำหนดให้แสดงด้วยแถบสีสองช่วงความลึก คือ 0 – 2 เมตร และ 2 – 5 เมตร เมื่อพิจารณาภาพที่ 39 แผนที่ซ้อนทับระหว่างแผนที่เดินเรือหมายเลข 118 กับแผนที่ความลึกน้ำจากภาพถ่ายดาวเทียม จะเห็นว่าค่าความลึกน้ำจากภาพถ่ายดาวเทียมให้ค่าความลึกน้ำที่ใกล้เคียงกับความลึกในแผนที่เดินเรือหมายเลข 118 ส่วนความลึกน้ำจากภาพถ่ายดาวเทียมช่วง 5 – 10 เมตร เมื่อสังเกตเปรียบเทียบกับเส้นชั้นความลึก 10 เมตร ในแผนที่เดินเรือจะปรากฏค่าความลึกน้ำจากภาพถ่ายดาวเทียมอยู่ใกล้กับชายฝั่งมากกว่าความลึกจริงในแผนที่เดินเรือ และไม่ปรากฏความลึกน้ำจากภาพถ่ายดาวเทียมที่มากกว่า 15 เมตร เหมือนแผนที่เดินเรือ โดยความลึกน้ำสูงสุดที่ได้จากวิธีการ SDB เท่ากับ 12.18 เมตร

นอกจากนี้แผนที่ความลึกน้ำทะเลจากภาพถ่ายดาวเทียมบริเวณ Zone 2 แสดงให้เห็นรายละเอียดของพื้นที่อันตรายใต้น้ำในช่วงความลึกน้ำ 10 – 15 เมตร อย่างชัดเจน ดังภาพที่ 40 ซึ่งเป็นบริเวณหินใต้น้ำ ได้แก่ หินบอยเซ็น และหินผุด



ภาพที่ 40 พื้นที่อันตรายใต้น้ำในแผนที่ความลึกน้ำทะเลจากภาพถ่ายดาวเทียม  
เปรียบเทียบกับแผนที่เดินเรือหมายเลข 118

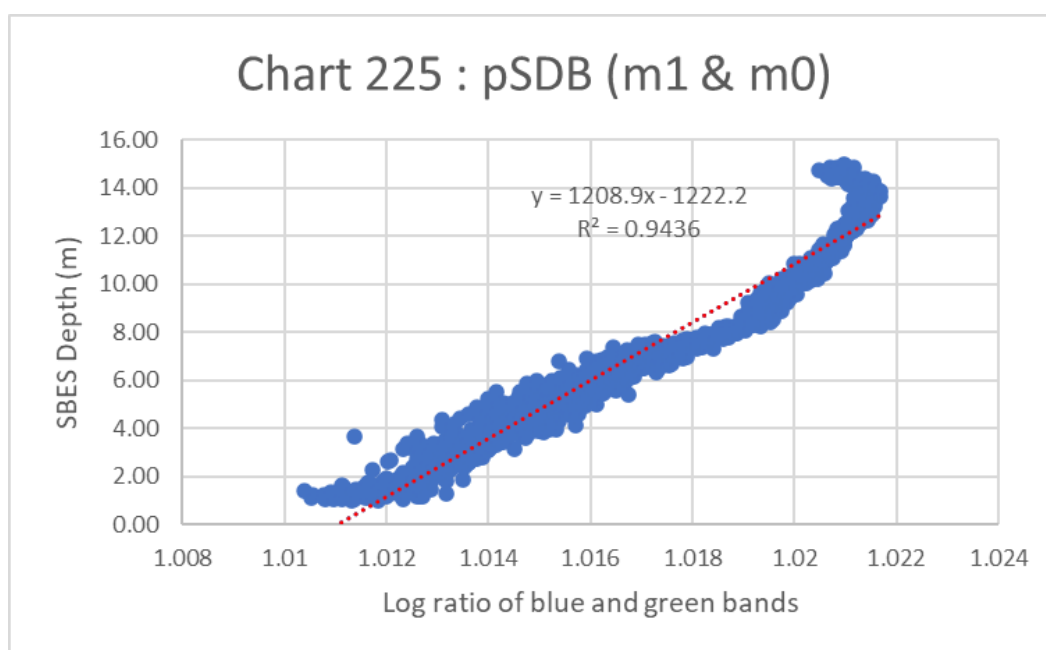


ตารางที่ 7 ค่าความลึกน้ำเฉลี่ยจากภาพถ่ายดาวเทียมบริเวณเกาะสละบ้ำ ถึง เกาะจิกนอก  
อ้างอิงกับความลึกน้ำสำรวจ หน่วยเป็นเมตร (SBES = ค่าความลึกน้ำสำรวจจากวิธีการหยั่งน้ำด้วย  
เสียงแบบลำคลื่นเดียว และ SDB = ค่าความลึกน้ำจากวิธีการ SDB)

ค่าความลึกน้ำเฉลี่ย (เมตร)									
SBES	SDB	SBES	SDB	SBES	SDB	SBES	SDB	SBES	SDB
0.10	0.03	3.10	3.77	6.10	7.15	9.10	9.95	12.10	10.87
0.20	0.12	3.20	5.16	6.20	7.73	9.20	9.68	12.20	10.98
0.30	2.72	3.30	4.86	6.30	7.57	9.30	10.64	12.30	9.77
0.40	0.09	3.40	4.00	6.40	7.12	9.40	9.76	12.40	10.95
0.50	0.18	3.50	5.76	6.50	7.07	9.50	9.84	12.50	11.17
0.60	0.45	3.60	5.04	6.60	7.83	9.60	8.37	12.60	11.31
0.70	1.40	3.70	4.86	6.70	7.72	9.70	10.16	12.70	11.71
0.80	1.72	3.80	4.89	6.80	8.60	9.80	10.38	12.80	11.43
0.90	0.87	3.90	6.23	6.90	8.35	9.90	10.40	12.90	11.74
1.00	1.29	4.00	5.84	7.00	7.82	10.00	10.15	13.00	11.69
1.10	2.21	4.10	5.00	7.10	8.05	10.10	10.20	13.10	10.92
1.20	2.09	4.20	6.36	7.20	8.56	10.20	10.46	13.20	11.52
1.30	2.92	4.30	5.47	7.30	8.22	10.30	10.60	13.30	11.27
1.40	2.26	4.40	6.67	7.40	9.15	10.40	10.36	13.40	11.60
1.50	2.03	4.50	4.98	7.50	8.75	10.50	10.47	13.50	11.27
1.60	2.74	4.60	5.96	7.60	9.04	10.60	10.98	13.60	11.51
1.70	2.55	4.70	5.74	7.70	8.44	10.70	10.70	13.70	11.67
1.80	2.20	4.80	6.42	7.80	9.04	10.80	10.72	13.80	11.85
1.90	3.90	4.90	6.94	7.90	8.97	10.90	11.03	13.90	11.57
2.00	3.40	5.00	7.05	8.00	9.16	11.00	11.12	14.00	11.37
2.10	4.58	5.10	6.72	8.10	8.90	11.10	10.94	14.10	12.02
2.20	3.17	5.20	7.02	8.20	8.86	11.20	11.00	14.20	12.01
2.30	0.93	5.30	6.78	8.30	7.92	11.30	10.86	14.30	11.38
2.40	3.71	5.40	6.69	8.40	8.81	11.40	11.29	14.40	11.73
2.50	3.83	5.50	6.71	8.50	9.93	11.50	11.13	14.50	12.11
2.60	5.03	5.60	7.98	8.60	9.22	11.60	11.23	14.60	12.18
2.70	3.78	5.70	6.89	8.70	9.19	11.70	11.42	14.70	11.68
2.80	2.21	5.80	6.92	8.80	9.15	11.80	9.71	14.80	11.87
2.90	2.15	5.90	7.22	8.90	9.13	11.90	11.30	14.90	11.66
3.00	4.77	6.00	7.04	9.00	9.18	12.00	11.01	15.00	11.98

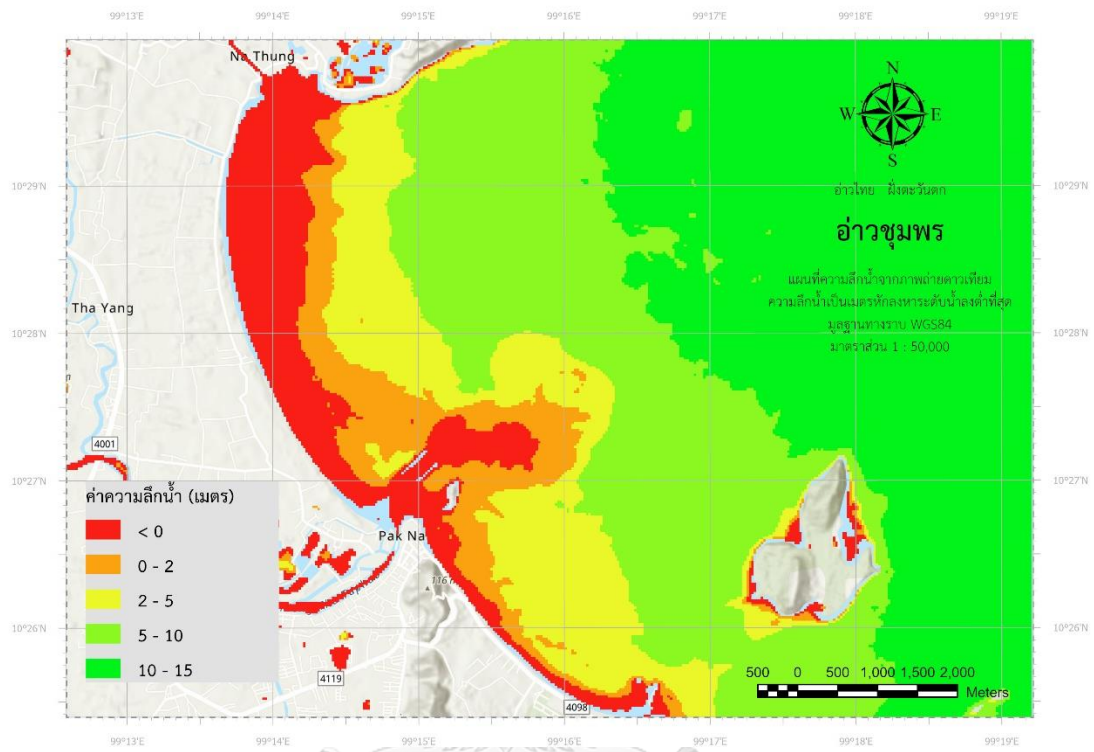
### 5.1.3 พื้นที่อ่าวไทยฝั่งตะวันตก : อ่าวชุมพร (Zone 3)

จากการประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 พื้นที่อ่าวไทยฝั่งตะวันตก : อ่าวชุมพร โดยใช้วิธีการ SDB ร่วมกับแบบจำลองอัตราส่วนช่วงคลื่น (Log-Band Ratio Method) ได้ผลลัพธ์เป็นค่าพารามิเตอร์จากสัมพันธ์ของความลึกน้ำสำรวจที่ใช้เป็นความลึกควบคุม (Depth control points) กับค่า Pixel Values ของภาพถ่ายดาวเทียม ดังนี้  $m_1 = 1208.9$ ,  $m_0 = 1222.2$  และ  $R^2 = 0.9436$

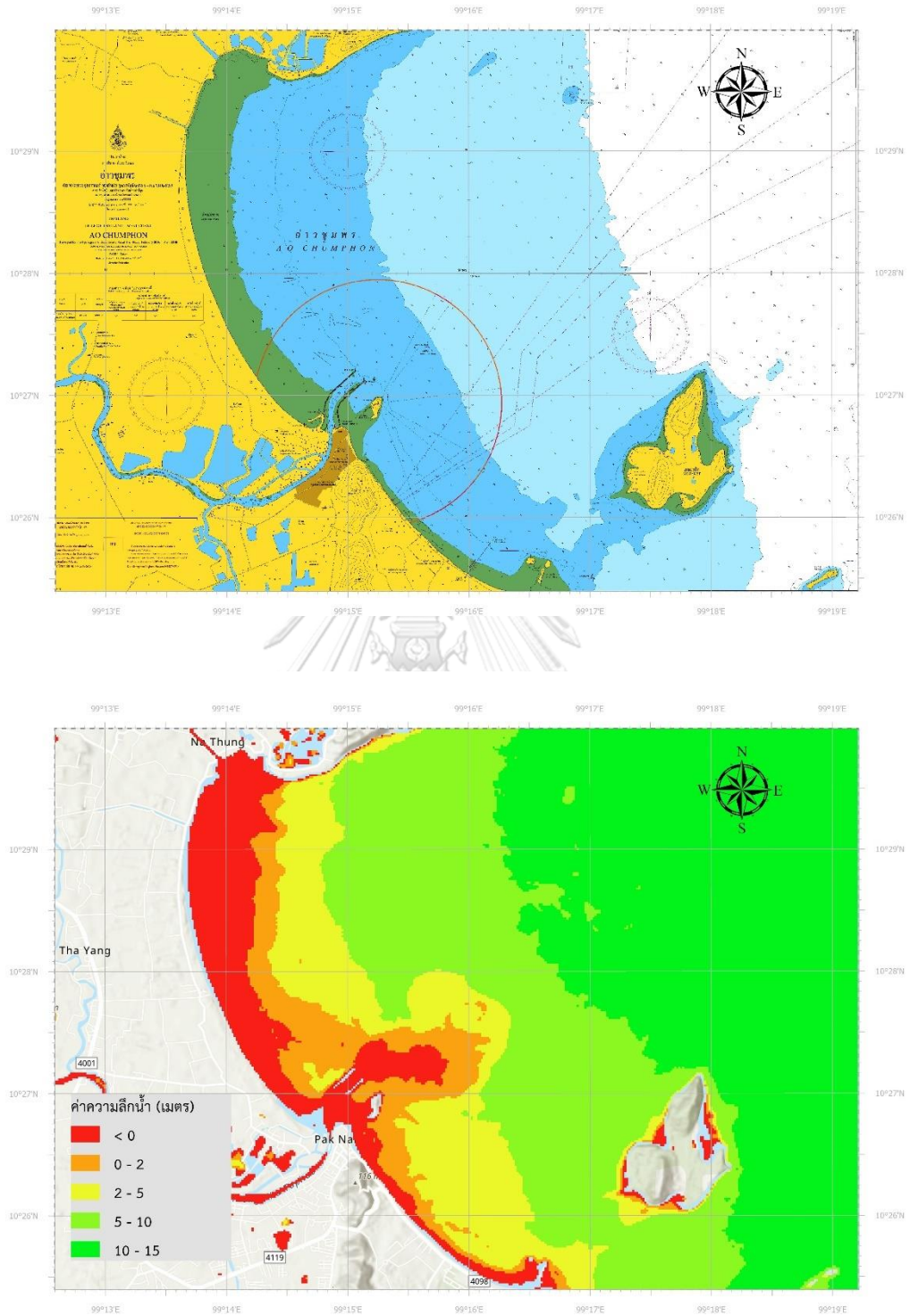


ภาพที่ 41 แผนภาพระหว่างอัตราส่วนช่วงคลื่นของแถบสีน้ำเงินและสีเขียว กับความลึกควบคุม (เป็นเมตร) พื้นที่อ่าวไทยฝั่งตะวันตก : อ่าวชุมพร (n = 1387)

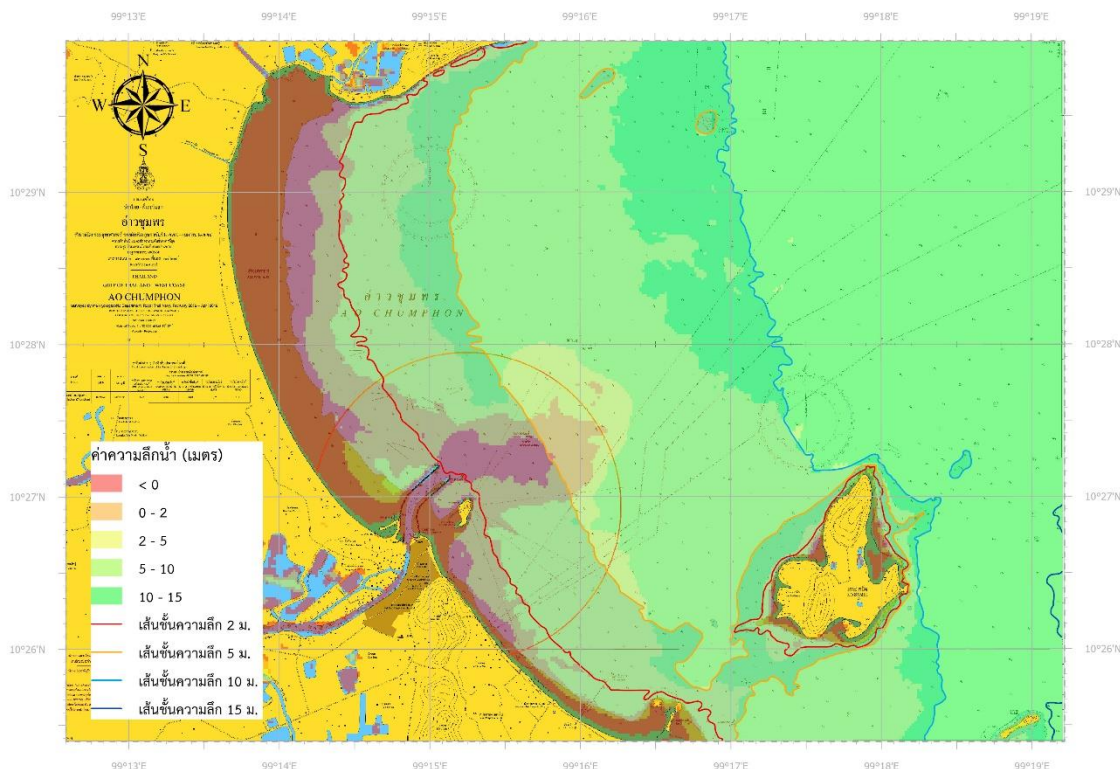
เมื่อปรับปรุงผลลัพธ์ของค่าความลึกน้ำให้สมบูรณ์เรียบร้อยแล้ว จะได้ผลลัพธ์เป็นแผนที่ความลึกน้ำจากภาพถ่ายดาวเทียมบริเวณอ่าวชุมพร ดังภาพที่ 42



ภาพที่ 42 แผนที่ความลึกน้ำจากภาพถ่ายดาวเทียมบริเวณอ่าวชุมพร



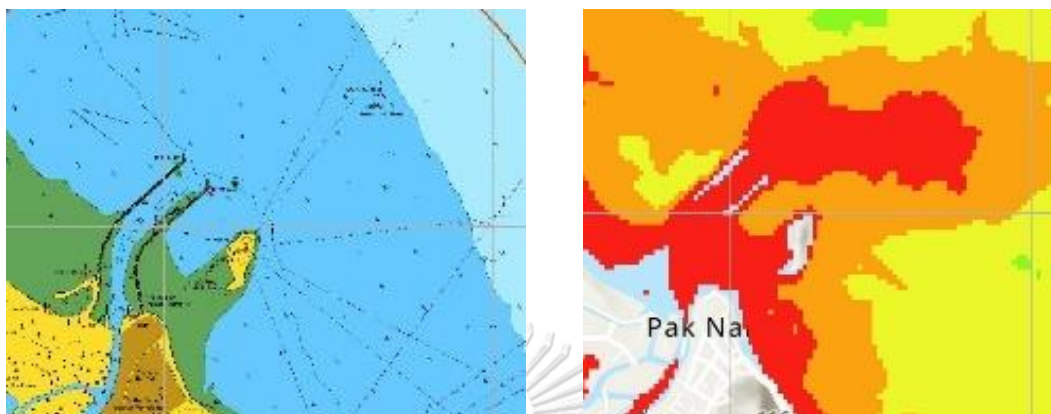
ภาพที่ 43 เปรียบเทียบแผนที่เดินเรือหมายเลข 225 อ่าวชุมพร (ก) และแผนที่ความลึกน้ำจากภาพถ่ายดาวเทียมบริเวณอ่าวชุมพร (ข)



ภาพที่ 44 แผนที่ซ้อนทับระหว่างแผนที่เดินเรือหมายเลข 225 กับแผนที่ความลึกน้ำจากภาพถ่ายดาวเทียมบริเวณอ่าวชุมพร และเส้นชั้นความลึกน้ำตามแผนที่เดินเรือ

แผนที่ความลึกน้ำทะเลจากภาพถ่ายดาวเทียมบริเวณ Zone 3 ตามภาพที่ 42 เป็นผลลัพธ์ที่ได้จากการนำภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 พื้นที่ Path 128/Row 051 ของวันที่ 24 เมษายน พ.ศ.2559 มาเข้าสู่ขั้นตอนของการปรับแก้ภาพถ่ายดาวเทียม การแยกน้ำด้วยค่าดัชนีผลต่างความชื้นแบบนอนมัลไลซ์ปรับปรุง (MNDWI) และทำการหยั่งหาความลึกน้ำทะเลด้วยวิธีการ SDB โดยใช้แบบจำลองอัตราส่วนช่วงคลื่น (Log-Band Ratio Method) ซึ่งให้ค่าความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนช่วงคลื่นของแถบสีน้ำเงินและสีเขียวกับความลึกน้ำสำรวจที่ใช้เป็นความลึกควบคุมที่ดี ( $R^2 = 0.9436$ ) โดยแผนที่ความลึกน้ำทะเลจากภาพถ่ายดาวเทียมบริเวณ Zone 3 แสดงแถบสีความลึกน้ำทะเลแบ่งตามอันตรภาคชั้นความลึกจำนวน 5 ชั้น ได้แก่ น้อยกว่า 0 เมตร, 0 – 2 เมตร, 2 – 5 เมตร, 5 – 10 เมตร และ 10 – 15 เมตร บริเวณใกล้ชายฝั่งและแม่น้ำจะปรากฏเป็นพื้นที่สีแดงซึ่งมีค่าความลึกน้ำทะเลน้อยกว่า 0 เมตร เมื่อพิจารณาพร้อมกับแผนที่เดินเรือหมายเลข 225 จะเห็นได้ว่าพื้นที่น้ำทะเลส่วนสีแดงส่วนใหญ่มีความสอดคล้องกับพื้นที่น้ำท่วมถึงในแผนที่เดินเรือหมายเลข 225 แต่จะให้พื้นที่ที่มากกว่าในแผนที่เดินเรือ โดยเฉพาะบริเวณปากทางเข้าแม่น้ำชุมพร ตามภาพที่ 45 ซึ่งเกิดจากการสะสมตัวของตะกอนแม่น้ำและตะกอนชายฝั่งจำนวนมากในพื้นที่ ส่งผลต่อสภาพ

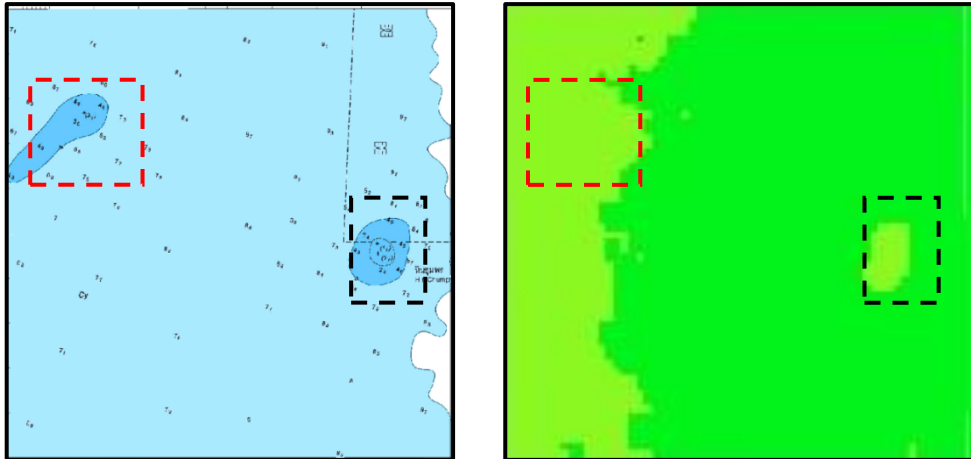
ความขุ่นของน้ำทะเลสูง ค่าผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีการ SDB ในบริเวณใกล้ชายฝั่ง และปากทางเข้าแม่น้ำชุมพรจึงปรากฏความลึกน้ำทะเลน้อยกว่า 0 เมตร



ภาพที่ 45 พื้นที่บริเวณปากทางเข้าแม่น้ำชุมพรในแผนที่ความลึกน้ำทะเลจากภาพถ่ายดาวเทียม เปรียบเทียบกับแผนที่เดินเรือหมายเลข 225

แผนที่ความลึกน้ำทะเลจากภาพถ่ายดาวเทียมบริเวณ Zone 3 ช่วงความลึกตั้งแต่ 0 – 10 เมตร กำหนดให้แสดงด้วยแถบสีตามช่วงความลึก คือ 0 – 2 เมตร 2 – 5 เมตร และ 5 – 10 เมตร แสดงพื้นที่ความลึกน้ำที่ใกล้เคียงกับแผนที่เดินเรือ แต่มีพื้นที่ที่ใกล้เคียงกับแนวชายฝั่งมากกว่าแผนที่เดินเรือ ยกเว้นบริเวณปากแม่น้ำชุมพรที่มีค่าความลึกน้ำทะเลไม่สอดคล้องกับในแผนที่เดินเรือ เนื่องจากสภาพความขุ่นของน้ำทะเล สำหรับความลึกน้ำจากแผนที่ความลึกน้ำทะเลจากภาพถ่ายดาวเทียมที่มากกว่า 15 เมตร ไม่ปรากฏค่า

นอกจากนี้แผนที่ความลึกน้ำทะเลจากภาพถ่ายดาวเทียมบริเวณ Zone 3 แสดงให้เห็นรายละเอียดของพื้นที่อันตรายน้ำในช่วงความลึกน้ำ 10 – 15 เมตร โดยภาพที่ 46 กรอบเส้นปะสีดำแสดงพื้นที่บริเวณหินชุมพร ซึ่งปรากฏในแผนที่ความลึกน้ำทะเลจากภาพถ่ายดาวเทียมตรงกับแผนที่เดินเรือ ส่วนกรอบเส้นปะสีแดงแสดงพื้นที่บริเวณหินไต้ฟ้า ซึ่งมีความลึกน้ำในแผนที่เดินเรือ 3.20 เมตร แต่ไม่ปรากฏในแผนที่ความลึกน้ำทะเลจากภาพถ่ายดาวเทียม



ภาพที่ 46 พื้นที่อันตรายใต้น้ำในแผนที่ความลึกน้ำทะเลจากภาพถ่ายดาวเทียม  
เปรียบเทียบกับแผนที่เดินเรือหมายเลข 225



**ตารางที่ 8** ค่าความลึกน้ำเฉลี่ยจากภาพถ่ายดาวเทียมบริเวณอ่าวชุมพร อ้างอิงกับความลึกน้ำสำรวจ หน่วยเป็นเมตร (SBES = ค่าความลึกน้ำสำรวจจากวิธีการหยั่งน้ำด้วยเสียงแบบลำคลื่นเดียว และ SDB = ค่าความลึกน้ำจากวิธีการ SDB)

ค่าความลึกน้ำเฉลี่ย (เมตร)									
SBES	SDB	SBES	SDB	SBES	SDB	SBES	SDB	SBES	SDB
0.10	0.26	3.10	4.44	6.10	7.54	9.10	10.34	12.10	11.79
0.20	2.62	3.20	3.77	6.20	7.90	9.20	10.57	12.20	11.88
0.30	1.76	3.30	4.45	6.30	7.37	9.30	10.74	12.30	11.69
0.40	2.23	3.40	5.29	6.40	7.64	9.40	10.72	12.40	12.02
0.50	1.38	3.50	5.04	6.50	8.50	9.50	10.65	12.50	11.87
0.60	1.33	3.60	5.17	6.60	7.48	9.60	10.67	12.60	11.86
0.70	3.59	3.70	5.35	6.70	8.49	9.70	10.84	12.70	11.87
0.80	2.86	3.80	5.33	6.80	8.37	9.80	10.83	12.80	12.05
0.90	2.16	3.90	5.11	6.90	8.00	9.90	10.80	12.90	11.82
1.00	1.27	4.00	5.35	7.00	7.91	10.00	10.96	13.00	12.20
1.10	2.28	4.10	5.06	7.10	8.57	10.10	10.94	13.10	12.01
1.20	2.10	4.20	5.64	7.20	8.38	10.20	11.31	13.20	12.03
1.30	2.49	4.30	5.75	7.30	7.60	10.30	10.98	13.30	12.04
1.40	1.89	4.40	5.56	7.40	8.30	10.40	11.20	13.40	12.09
1.50	2.76	4.50	5.73	7.50	8.92	10.50	11.12	13.50	11.86
1.60	2.40	4.60	6.13	7.60	9.23	10.60	11.02	13.60	12.18
1.70	2.39	4.70	6.05	7.70	9.39	10.70	11.15	13.70	12.42
1.80	2.65	4.80	6.56	7.80	9.36	10.80	11.23	13.80	12.13
1.90	2.00	4.90	6.08	7.90	9.51	10.90	11.53	13.90	12.01
2.00	2.92	5.00	6.16	8.00	9.75	11.00	11.46	14.00	12.14
2.10	3.08	5.10	6.75	8.10	9.90	11.10	11.53	14.10	12.33
2.20	2.13	5.20	6.94	8.20	9.85	11.20	11.37	14.20	11.77
2.30	3.31	5.30	7.21	8.30	9.81	11.30	11.47	14.30	11.78
2.40	3.51	5.40	6.95	8.40	10.18	11.40	11.59	14.40	11.89
2.50	4.12	5.50	6.07	8.50	10.55	11.50	11.46	14.50	11.64
2.60	3.21	5.60	7.13	8.60	10.21	11.60	11.92	14.60	11.76
2.70	3.51	5.70	7.44	8.70	10.33	11.70	11.71	14.70	11.70
2.80	4.10	5.80	6.21	8.80	10.27	11.80	11.71	14.80	11.72
2.90	4.15	5.90	6.48	8.90	10.48	11.90	11.77	14.90	11.76
3.00	4.23	6.00	7.22	9.00	10.37	12.00	11.70	15.00	11.82



## 5.2 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับค่าความลึกน้ำสำรวจ

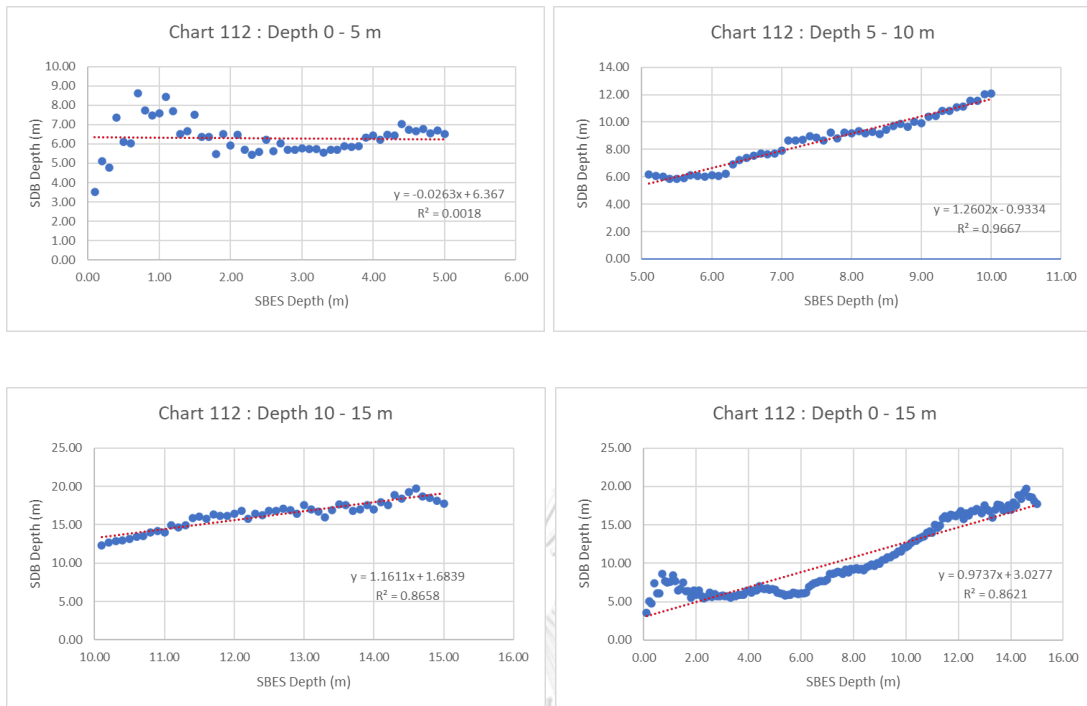
ผลการหึงความลึกน้ำทะเลด้วยวิธีการ SDB จำนวน 3 พื้นที่ แสดงให้เห็นศักยภาพของภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 ในการนำมาใช้ในการหาค่าความลึกน้ำทะเลบริเวณชายฝั่งทะเลอ่าวไทย จำนวน 3 พื้นที่ ได้แก่ พื้นที่อ่าวไทยรูปตัว ก (ทางเข้าแม่น้ำเจ้าพระยา) พื้นที่อ่าวไทยฝั่งตะวันออก (เกาะสบบ้า ถึง เกาะจิกนอก) และพื้นที่อ่าวไทยฝั่งตะวันตก (อ่าวชุมพร) โดยนำค่าความลึกน้ำที่ได้ในช่วง 1 – 15 เมตร มาวิเคราะห์เปรียบเทียบกับค่าความลึกน้ำสำรวจที่ได้จากวิธีการ SBES โดยใช้การวิเคราะห์ความถดถอย (Regression analysis) และประเมินประสิทธิภาพการคาดการณ์ของสมการถดถอยเชิงเส้นผ่านสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (Coefficient of determination:  $R^2$ ) โดยผลลัพธ์ทางสถิติสามารถอธิบายแบ่งตามพื้นที่ได้ดังนี้

### 5.2.1 พื้นที่อ่าวไทยรูปตัว ก : ทางเข้าแม่น้ำเจ้าพระยา (Zone 1)

จากตารางที่ 9 ผลการวิเคราะห์การถดถอยระหว่างค่าความลึกน้ำจากวิธีการ SDB กับค่าความลึกน้ำสำรวจพื้นที่อ่าวไทยรูปตัว ก อธิบายค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) ที่ระดับความลึก 0 – 5 เมตร, 5 – 10 เมตร, 10 – 15 เมตร และ 0 – 15 เมตร เท่ากับ 4.1273, 1.1484, 3.7711 และ 3.2952 ตามลำดับ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) ที่ระดับความลึก 0 – 5 เมตร, 5 – 10 เมตร, 10 – 15 เมตร และ 0 – 15 เมตร เท่ากับ 0.0430, 0.9832, 0.9305 และ 0.9285 ตามลำดับ และค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด ( $R^2$ ) ที่ระดับความลึก 0 – 5 เมตร, 5 – 10 เมตร, 10 – 15 เมตร และ 0 – 15 เมตร เท่ากับ 0.0018, 0.9667, 0.8658 และ 0.8621 ตามลำดับ

**ตารางที่ 9** ผลการวิเคราะห์การถดถอยระหว่างค่าความลึกน้ำจากวิธีการ SDB กับค่าความลึกน้ำสำรวจ พื้นที่อ่าวไทยรูปตัว ก

ระดับความลึก (เมตร)	Observations	RMSE	R	$R^2$
0 – 5	50	4.1273	0.0430	0.0018
5 – 10	50	1.1484	0.9832	0.9667
10 – 15	50	3.7711	0.9305	0.8658
0 - 15	150	3.2952	0.9285	0.8621



ภาพที่ 47 แผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างค่าความลึกน้ำจากวิธีการ SDB พื้นที่ทางเข้าแม่น้ำเจ้าพระยากับค่าความลึกน้ำสำรวจที่ระดับความลึก 0 – 5 เมตร, 5 -10 เมตร, 10 – 15 เมตร และ 0 – 15 เมตร

จากผลการวิเคราะห์การถดถอยระหว่างค่าความลึกน้ำจากวิธีการ SDB กับค่าความลึกน้ำสำรวจพื้นที่ Zone 1 ในตารางที่ 9 พบว่าผลลัพธ์ของค่าความลึกน้ำจากวิธีการ SDB ทั้งหมดมีความสัมพันธ์ในทิศทางบวกกับค่าความลึกน้ำสำรวจที่ได้จากวิธีการ SBES โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง (RMSE) มากที่สุดอยู่ที่ระดับความลึก 0 – 5 เมตร มีค่า 4.1273 รองลงมาคือ ที่ระดับความลึก 10 – 15 เมตร มีค่า 3.7711 และน้อยที่สุดคือ ที่ระดับความลึก 5 – 10 เมตร มีค่าเท่ากับ 1.1484 แสดงให้เห็นว่าที่ความลึก 5 – 10 เมตร วิธีการ SDB สามารถประมาณค่าความลึกน้ำทะเลได้ใกล้เคียงกับค่าจริงมากที่สุด และที่ระดับความลึก 0 – 5 เมตร ค่าความลึกน้ำทะเลจากวิธีการ SDB ให้ค่าที่ผิดไปจากค่าจริงมากที่สุด

เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด ( $R^2$ ) พบว่าที่ระดับความลึก 5 – 10 เมตร มีความสัมพันธ์กันของค่าความลึกน้ำจากวิธีการ SDB กับค่าความลึกน้ำสำรวจมากที่สุด เท่ากับ 0.9667 รองลงมาคือ ที่ระดับความลึก 10 – 15 เมตร มีค่าเท่ากับ 0.8658 และน้อยที่สุดคือ ที่ระดับความลึก 0 – 5 เมตร มีค่าเท่ากับ 0.0018 แสดงให้เห็นว่าความลึกน้ำทะเลจากวิธีการ SDB ที่ระดับความลึก 5 – 10 เมตร มีความสอดคล้องกับค่าความลึกน้ำสำรวจในเกณฑ์ที่ดี และที่ระดับความลึก 0 – 5 เมตร มีความสอดคล้องกับค่าความลึกน้ำสำรวจในเกณฑ์ที่ต่ำที่สุด และเมื่อพิจารณาค่าความลึกน้ำจากวิธีการ SDB ในพื้นที่ทั้งหมดตั้งแต่ระดับความลึก 0 เมตร จนถึง 15 เมตร พบว่ามีค่าความ

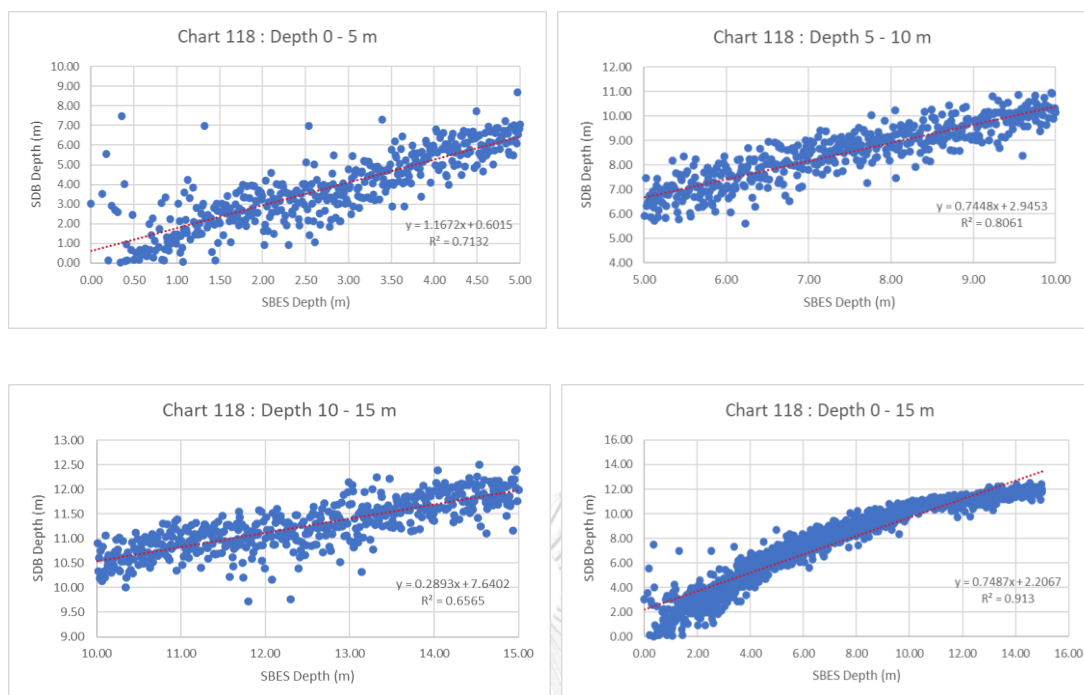
คลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง (RMSE) และค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด ( $R^2$ ) เท่ากับ 3.2952 และ 0.8621 ตามลำดับ

#### 5.2.2 พื้นที่อำเภอไทยฝั่งตะวันออก : เกาะสบ้า ถึง เกาะจิกนอก (Zone 2)

จากตารางที่ 10 ผลการวิเคราะห์การถดถอยระหว่างค่าความลึกน้ำจากวิธีการ SDB กับค่าความลึกน้ำสำรวจพื้นที่ Zone 2 อธิบายค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) ที่ระดับความลึก 0 – 5 เมตร, 5 – 10 เมตร, 10 – 15 เมตร และ 0 – 15 เมตร เท่ากับ 1.4648, 1.2151, 1.6430 และ 1.4512 ตามลำดับ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) ที่ระดับความลึก 0 – 5 เมตร, 5 – 10 เมตร, 10 – 15 เมตร และ 0 – 15 เมตร เท่ากับ 0.8445, 0.8978, 0.8102 และ 0.9554 ตามลำดับ และค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด ( $R^2$ ) ที่ระดับความลึก 0 – 5 เมตร, 5 – 10 เมตร, 10 – 15 เมตร และ 0 – 15 เมตร เท่ากับ 0.7132, 0.8061, 0.6565 และ 0.9130 ตามลำดับ

**ตารางที่ 10** ผลการวิเคราะห์การถดถอยระหว่างค่าความลึกน้ำจากวิธีการ SDB กับค่าความลึกน้ำสำรวจ พื้นที่อำเภอไทยฝั่งตะวันออก

ระดับความลึก (เมตร)	Observations	RMSE	R	$R^2$
0 – 5	442	1.4648	0.8445	0.7132
5 – 10	499	1.2151	0.8978	0.8061
10 – 15	500	1.6430	0.8102	0.6565
0 - 15	1441	1.4512	0.9554	0.9130



ภาพที่ 48 แผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างค่าความลึกน้ำจากวิธีการ SDB พื้นที่เกาะสะบ้า ถึง เกาะจิกนอก กับค่าความลึกน้ำสำรวจที่ระดับความลึก 0 – 5 เมตร, 5 -10 เมตร, 10 – 15 เมตร และ 0 – 15 เมตร

จากผลการวิเคราะห์การถดถอยระหว่างค่าความลึกน้ำจากวิธีการ SDB กับค่าความลึกน้ำสำรวจพื้นที่ Zone 2 ในตารางที่ 10 พบว่าผลลัพธ์ของค่าความลึกน้ำจากวิธีการ SDB ทั้งหมดมีความสัมพันธ์ในทิศทางบวกกับค่าความลึกน้ำสำรวจที่ได้จากวิธีการ SBES โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง (RMSE) มากที่สุดอยู่ที่ระดับความลึก 10 – 15 เมตร มีค่า 1.6430 รองลงมาคือ ที่ระดับความลึก 0 – 5 เมตร มีค่า 1.4648 และน้อยที่สุด คือ ที่ระดับความลึก 5 – 10 เมตร มีค่าเท่ากับ 1.2151 แสดงให้เห็นว่าที่ความลึก 5 – 10 เมตร วิธีการ SDB สามารถประมาณค่าความลึกน้ำทะเลได้ใกล้เคียงกับค่าจริงมากที่สุด และที่ระดับความลึก 0 – 5 เมตร ค่าความลึกน้ำทะเลจากวิธีการ SDB ให้ค่าที่ผิดไปจากค่าจริงมากที่สุด

เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด ( $R^2$ ) พบว่าที่ระดับความลึก 5 – 10 เมตร มีความสัมพันธ์กันของค่าความลึกน้ำจากวิธีการ SDB กับค่าความลึกน้ำสำรวจ มากที่สุด เท่ากับ 0.8061 รองลงมาคือ ที่ระดับความลึก 0 – 5 เมตร มีค่าเท่ากับ 0.7132 และน้อยที่สุดคือ ที่ระดับความลึก 10 – 15 เมตร มีค่าเท่ากับ 0.6565 แสดงให้เห็นว่าความลึกน้ำทะเลจากวิธีการ SDB ที่ระดับความลึก 5 – 10 เมตร มีความสอดคล้องกับค่าความลึกน้ำสำรวจในเกณฑ์ที่ดี และที่ระดับความลึก 10 – 15 เมตร มีค่า สอดคล้องกับค่าความลึกน้ำสำรวจในเกณฑ์ที่ต่ำที่สุด และเมื่อพิจารณาค่าความลึกน้ำจากวิธีการ SDB ในพื้นที่ทั้งหมดที่ระดับความลึก 0 – 15 เมตร พบว่ามีค่าความ

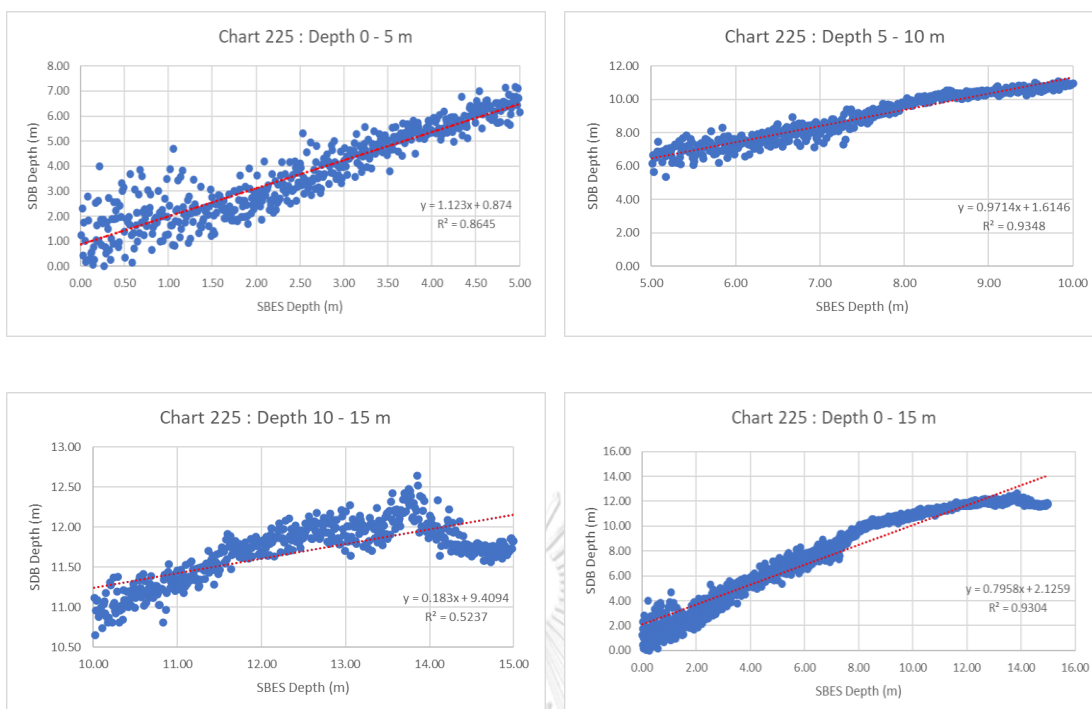
คลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง (RMSE) และค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด ( $R^2$ ) เท่ากับ 1.4512 และ 0.9130 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าความลึกน้ำจากวิธีการ SDB มีความใกล้เคียงและสอดคล้องกับค่าความลึกน้ำสำรวจในเกณฑ์ที่ดี

### 5.2.3 พื้นที่อ่าวไทยฝั่งตะวันตก : อ่าวชุมพร (Zone 3)

จากตารางที่ 11 ผลการวิเคราะห์การถดถอยระหว่างค่าความลึกน้ำจากวิธีการ SDB กับค่าความลึกน้ำสำรวจ พื้นที่อ่าวไทยฝั่งตะวันตก อธิบายค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง (RMSE) ที่ระดับความลึก 0 – 5 เมตร, 5 – 10 เมตร, 10 – 15 เมตร และ 0 – 15 เมตร เท่ากับ 1.3566, 1.4485, 1.4509 และ 1.4194 ตามลำดับ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) ที่ระดับความลึก 0 – 5 เมตร, 5 – 10 เมตร, 10 – 15 เมตร และ 0 – 15 เมตร เท่ากับ 0.9298, 0.9668, 0.7237 และ 0.9646 ตามลำดับ และค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด ( $R^2$ ) ที่ระดับความลึก 0 – 5 เมตร, 5 – 10 เมตร, 10 – 15 เมตร และ 0 – 15 เมตร เท่ากับ 0.8645, 0.9348, 0.5237 และ 0.9304 ตามลำดับ

**ตารางที่ 11** ผลการวิเคราะห์การถดถอยระหว่างค่าความลึกน้ำจากวิธีการ SDB กับค่าความลึกน้ำสำรวจพื้นที่อ่าวไทยฝั่งตะวันตก

ระดับความลึก (เมตร)	Observations	RMSE	R	$R^2$
0 – 5	498	1.3566	0.9298	0.8645
5 – 10	500	1.4485	0.9668	0.9348
10 – 15	500	1.4509	0.7237	0.5237
0 - 15	1498	1.4194	0.9646	0.9304



**ภาพที่ 49** แผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างค่าความลึกน้ำจากวิธีการ SDB พื้นที่อ่าวชุมพร กับค่าความลึกน้ำสำรวจที่ระดับความลึก 0 – 5 เมตร, 5 -10 เมตร, 10 – 15 เมตร และ 0 – 15 เมตร

จากผลการวิเคราะห์การถดถอยระหว่างค่าความลึกน้ำจากวิธีการ SDB กับค่าความลึกน้ำสำรวจพื้นที่ Zone 3 ในตารางที่ 11 พบว่าผลลัพธ์ของค่าความลึกน้ำจากวิธีการ SDB ทั้งหมดมีความสัมพันธ์ในทิศทางบวกกับค่าความลึกน้ำสำรวจที่ได้จากวิธีการ SBES โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง (RMSE) มากที่สุดอยู่ที่ระดับความลึก 10 – 15 เมตร มีค่า 1.4509 รองลงมาคือ ที่ระดับความลึก 5 - 10 เมตร มีค่า 1.4485 และน้อยที่สุดคือ ที่ระดับความลึก 0 – 5 เมตร มีค่าเท่ากับ 1.3566 อีกทั้งยังมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง (RMSE) ในพื้นที่ทั้งหมดที่ระดับความลึกตั้งแต่ 0 เมตร ถึง 15 เมตร เท่ากับ 1.4194 ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง (RMSE) ของทุกช่วงระดับความลึกนั้นมีค่าต่ำและใกล้เคียงกันเป็นอย่างมาก แสดงให้เห็นว่าวิธีการ SDB สามารถประมาณค่าความลึกน้ำทะเลได้ใกล้เคียงกับค่าความลึกน้ำสำรวจเป็นอย่างดี โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงระดับความลึก 0 – 5 เมตร

เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด ( $R^2$ ) พบว่าที่ระดับความลึก 5 – 10 เมตร มีความสัมพันธ์กันของค่าความลึกน้ำจากวิธีการ SDB กับค่าความลึกน้ำสำรวจมากที่สุด เท่ากับ 0.9348 รองลงมาคือ ที่ระดับความลึก 0 – 5 เมตร มีค่าเท่ากับ 0.8645 และน้อยที่สุดคือ ที่ระดับความลึก 10 – 15 เมตร มีค่าเท่ากับ 0.5237 แสดงให้เห็นว่าความลึกน้ำทะเลจากวิธีการ SDB ที่ระดับความลึก 5 – 10 เมตร มีความสอดคล้องกับค่าความลึกน้ำสำรวจในเกณฑ์ที่ดี และที่ระดับความลึก 10 – 15

เมตร มีค่าสอดคล้องกับค่าความลึกน้ำสำรวจในเกณฑ์ที่ต่ำที่สุด และเมื่อพิจารณาค่าความลึกน้ำจากวิธีการ SDB ในพื้นที่ทั้งหมดที่ระดับความลึก 0 – 15 เมตร พบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด ( $R^2$ ) เท่ากับ 0.9304 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าความลึกน้ำจากวิธีการ SDB ในพื้นที่โดยภาพรวมมีความสอดคล้องกับค่าความลึกน้ำสำรวจอยู่ในเกณฑ์ที่ดี



## บทที่ 6

### อภิปราย สรุปผล และข้อเสนอแนะ

#### 6.1 อภิปรายผลการศึกษา

จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติระหว่างค่าความลึกน้ำจากวิธีการ SDB กับค่าความลึกน้ำสำรวจ ทั้งสามพื้นที่โดยรวม พบว่าวิธีการ SDB ให้ค่าความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนช่วงคลื่นของแถบสีน้ำเงินและสีเขียวกับความลึกน้ำสำรวจที่ใช้เป็นความลึกควบคุมทั้ง 3 พื้นที่ในเกณฑ์ที่ดี มีค่า  $R^2$  อยู่ระหว่าง 0.8833 - 0.9768 โดยพื้นที่ Zone 1 ให้ค่าความสัมพันธ์ที่ดีที่สุด รองลงมาคือพื้นที่ Zone 3 และพื้นที่ Zone 2 ตามลำดับ

สำหรับค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง (RMSE) ปรากฏว่าพื้นที่ Zone 1 มีค่า RMSE มากที่สุด เท่ากับ 3.2952 โดยเฉพาะที่ระดับความลึก 0 - 5 เมตร มีค่า RMSE สูงถึง 4.1273 แสดงถึงค่าความลึกน้ำจากวิธีการ SDB ช่วงระดับความลึกดังกล่าวมีความใกล้เคียงกับค่าความลึกน้ำสำรวจในเกณฑ์ต่ำ ส่วนค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง (RMSE) ของพื้นที่ Zone 2 และ Zone 3 มีค่าน้อยลงตามลำดับ โดยมีค่า RMSE เท่ากับ 1.4512 และ 1.4194 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าความลึกน้ำทะเลจากวิธีการ SDB ของพื้นที่ Zone 2 และ Zone 3 ใกล้เคียงกับค่าความลึกน้ำสำรวจเป็นอย่างดี

ในส่วน of ค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด ( $R^2$ ) พบว่าพื้นที่ Zone 3 มีค่ามากที่สุด เท่ากับ 0.9304 รองลงมาคือพื้นที่ Zone 2 และพื้นที่ Zone 1 มีค่า 0.9130 และ 0.8621 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าค่าความลึกน้ำจากวิธีการ SDB ของพื้นที่ Zone 3 มีความสอดคล้องกับค่าความลึกน้ำสำรวจในเกณฑ์ที่ดี รองลงมาคือ พื้นที่ Zone 2 และพื้นที่ Zone 1 ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์ทางสถิติระหว่างค่าความลึกน้ำจากวิธีการ SDB กับค่าความลึกน้ำสำรวจทั้งสามพื้นที่จำแนกตามระดับความลึกน้ำทะเล พบว่าที่ระดับความลึก 5 -10 เมตร มีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง (RMSE) ที่มีค่าต่ำ และมีค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด ( $R^2$ ) ที่มีค่าสูง แสดงให้เห็นว่าที่ระดับความลึก 5 -10 เมตร มีค่าความลึกน้ำจากวิธีการ SDB ที่ใกล้เคียงและสอดคล้องกับค่าความลึกน้ำสำรวจมากที่สุด ส่วนที่ระดับความลึก 10 -15 เมตร จะให้ค่าผลลัพธ์ที่สอดคล้องน้อยที่สุด ยกเว้นในพื้นที่ Zone 1 ที่ระดับความลึก 0 - 5 เมตร ผลลัพธ์จากวิธีการ SDB มีความสอดคล้องกับค่าความลึกน้ำสำรวจในระดับค่อนข้างต่ำ เนื่องจากบริเวณดังกล่าวเป็นพื้นที่ดินดอนสามเหลี่ยมปากแม่น้ำเจ้าพระยา จึงมีค่าความขุ่นที่ส่งผลกระทบต่อ การสะท้อนแสงของภาพถ่ายดาวเทียมมาก ทำให้ค่าผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีการ SDB ผิดไปจากค่าความลึกน้ำสำรวจเป็นอย่างมาก

จากผลการศึกษาและผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับค่าความลึกน้ำสำรวจที่ได้ พบว่าการหยั่งความลึกน้ำทะเลด้วยวิธีการ SDB ร่วมกับแบบจำลองอัตราส่วนช่วงคลื่น (Log-Band Ratio



Method) สามารถให้ค่าความลึกน้ำทะเลได้ดีในระดับความลึกน้อยกว่า 15 เมตร ในทั้งสามพื้นที่ของอ่าวไทย ซึ่งให้ค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด ( $R^2$ ) อยู่ในช่วง 0.8621 – 0.9130 โดยพื้นที่ Zone 3 ให้ค่าผลลัพธ์ที่ดีที่สุด ซึ่งผลการศึกษาดังกล่าวสอดคล้องกับผลการศึกษาอื่นๆ ก่อนหน้านี้ (Kimeli et al. (2018), Jagalingam et al. (2015)) และแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองอัตราส่วนช่วงคลื่น (Log-Band Ratio Method) สามารถใช้ได้ในพื้นที่สภาพแวดล้อมที่หลากหลายและในช่วงเวลาที่ต่างกัน อีกทั้งเมื่อพิจารณาค่า RMSE ของแผนที่ความลึกน้ำทะเลจากภาพถ่ายดาวเทียมพื้นที่ Zone 2 และพื้นที่ Zone 3 พบว่าให้ค่าความแม่นยำของความลึกอยู่ในช่วง  $\pm 2.5$  เมตร ที่ระดับความลึก 10 เมตร เป็นไปตามขอบเขตของความเชื่อมั่นระดับ C (ZOC C) ตามมาตรฐานขององค์การอุทกศาสตร์ระหว่างประเทศ (IHO) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Meliala et al. (2019)

อย่างไรก็ตามวิธีการ SDB ยังคงมีข้อจำกัดในเรื่องของการมีสภาพแวดล้อมโดยรอบที่ดี อันได้แก่ ความชัดเจนของน้ำ (ค่าความขุ่น) ความลึก คลื่น และสภาพอากาศ (เช่น การมีหรือไม่มีเมฆบดบัง) ซึ่งมีงานวิจัยจำนวนไม่น้อยที่เจอปัญหาเรื่องสภาพแวดล้อม และค่าความขุ่นของน้ำทะเล (Pe'eri et al., 2014) เพื่อลดข้อจำกัดเหล่านี้ และเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ดี การหยั่งความลึกน้ำด้วยวิธีการ SDB สามารถทำได้โดยการปรับแก้ภาพถ่ายดาวเทียม หรือการเลือกใช้งานในพื้นที่ที่มีค่าความขุ่นของน้ำน้อย เนื่องจากการซึมผ่านของแสง การลดทอนของความลึกน้ำทะเล และการสะท้อนแสงจะนำไปสู่ความลึกน้ำที่ผิดพลาด ส่งผลให้ค่าความลึกน้ำสุดท้ายที่ได้ไม่ถูกต้อง

## 6.2 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นการนำเทคโนโลยีการรับรู้จากระยะไกลมาประยุกต์ใช้ในการสร้างแผนที่ความลึกน้ำทะเล โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างแผนที่ความลึกน้ำทะเลในอ่าวไทย 3 พื้นที่ ได้แก่ อ่าวไทยรูปตัว ก (ทางเข้าแม่น้ำเจ้าพระยา) อ่าวไทยฝั่งตะวันออก (เกาะสละบ้ำ ถึง เกาะจิกนอก) และอ่าวไทยฝั่งตะวันตก (อ่าวชุมพร) และวิเคราะห์เปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองในแต่ละพื้นที่กับฐานข้อมูลที่มีอยู่ในปัจจุบัน โดยวิธีการวิจัยได้เลือกใช้ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 จำนวน 3 พื้นที่ มาทำการปรับแก้คลื่นรังสี ปรับปรุงคุณภาพของภาพถ่ายดาวเทียม และแยกเฉพาะส่วนที่เป็นพื้นที่น้ำทะเลเพื่อใช้สำหรับวิเคราะห์โดยใช้ค่าดัชนีความแตกต่างของความชื้นปรับปรุง (MNDWI) จากนั้นนำเข้าสู่ขั้นตอนของการสร้างแผนที่ความลึกน้ำทะเลด้วยวิธี Satellite Derived Bathymetry หรือ SDB ร่วมกับแบบจำลองอัตราส่วนช่วงคลื่น (Log-Band Ratio Method) ซึ่งให้ค่าความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนช่วงคลื่นของแถบสีน้ำเงินและสีเขียวกับความลึกน้ำสำรวจที่ใช้เป็นความลึกควบคุมได้เป็นอย่างดี

ผลการวิจัยพบว่าภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 กับวิธีการ SDB สามารถสร้างแผนที่ความลึกน้ำทะเลจากภาพถ่ายดาวเทียมทั้ง 3 พื้นที่ของอ่าวไทยได้ โดยให้ค่าความลึกน้ำทะเลจากภาพถ่าย

ดาวเทียมที่มีความสัมพันธ์ชัดเจน และสอดคล้องกับความลึกน้ำสำรวจได้เป็นอย่างดี มีค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด ( $R^2$ ) อยู่ในช่วง 0.86 – 0.93 นอกจากนี้ค่าความลึกน้ำทะเลจากภาพถ่ายดาวเทียมในช่วงระดับความลึก 5 - 10 เมตร ของในทุกพื้นที่ มีความใกล้เคียงสอดคล้องกับค่าความลึกน้ำสำรวจได้อย่างดีที่สุด รองลงมาคือช่วงระดับความลึก 0 – 5 เมตร และ 10 – 15 เมตร ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบแผนที่ความลึกน้ำทะเลจากภาพถ่ายดาวเทียมระหว่าง 3 พื้นที่ศึกษา พบว่าพื้นที่อ่าวไทยฝั่งตะวันตก (อ่าวชุมพร) เป็นพื้นที่ที่ให้ค่าผลลัพธ์ความลึกน้ำจากภาพถ่ายดาวเทียมดีที่สุด รองลงมาคือ พื้นที่อ่าวไทยฝั่งตะวันออก (เกาะสบบ้า ถึง เกาะจิกนอก) และพื้นที่อ่าวไทยรูปตัว ก (ทางเข้าแม่น้ำเจ้าพระยา) ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับค่าความโปร่งแสงของน้ำทะเลอันส่งผลต่อการสะท้อนแสงของภาพถ่ายดาวเทียมที่นำมาใช้ ดังนั้นจึงควรหลีกเลี่ยงการใช้วิธีการ SDB กับพื้นที่ที่มีความโปร่งแสงของน้ำทะเลต่ำ เช่น บริเวณดินดอนสามเหลี่ยมปากแม่น้ำ บริเวณป่าชายเลน เป็นต้น

นอกจากนี้แผนที่ความลึกน้ำทะเลจากภาพถ่ายดาวเทียมยังแสดงให้เห็นถึงพื้นที่ดิน หรือบริเวณหินใต้น้ำ ซึ่งเป็นพื้นที่วิกฤตต่อการเดินเรือได้ใกล้เคียงกับแผนที่เดินเรือที่ใช้อ้างอิง อีกทั้งแผนที่ความลึกน้ำทะเลจากภาพถ่ายดาวเทียมพื้นที่อ่าวไทยฝั่งตะวันตก (อ่าวชุมพร) และพื้นที่อ่าวไทยฝั่งตะวันออก (เกาะสบบ้า ถึง เกาะจิกนอก) เป็นไปตามขอบเขตของความเชื่อมั่นระดับ C (ZOC C) ตามมาตรฐานขององค์การอุทกศาสตร์ระหว่างประเทศ (IHO) ซึ่งข้อมูลความลึกน้ำจากภาพถ่ายดาวเทียมด้วยวิธีการ SDB สามารถใส่แสดงเป็นเลขน้ำลงในแผนที่เดินเรือได้ โดยต้องมีหมายเหตุ (Note) กำกับไว้เสมอว่าความลึกน้ำบริเวณดังกล่าวได้มาด้วยวิธีหยังความลึกน้ำด้วยภาพถ่ายดาวเทียม

การใช้ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 เพื่อสร้างแผนที่ความลึกน้ำทะเลด้วยวิธีการ SDB ในทะเลอ่าวไทย จึงสามารถใช้เป็นเครื่องมือหรือวิธีการทางเลือกในการช่วยหาความลึกน้ำทะเลที่ให้ค่าความถูกต้องของความลึกในช่วงความลึกน้ำไม่เกิน 15 เมตรได้เป็นอย่างดี โดยเฉพาะในพื้นที่อ่าวไทยฝั่งตะวันตก และอ่าวไทยฝั่งตะวันออก ซึ่งใช้งบประมาณต่ำ มีประสิทธิภาพ ยืดหยุ่น ใช้บุคลากรน้อย และรวดเร็วในการดำเนินการสำรวจเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการสำรวจหยังน้ำด้วยเสียง อันจะช่วยพัฒนาการสำรวจแผนที่ทะเลให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น และก่อให้เกิดประโยชน์อย่างมากในอนาคตต่อไป

### 6.3 ข้อเสนอแนะ

6.3.1 จากการวิจัยครั้งนี้พบว่าการใช้ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 กับวิธีการ SDB และแบบจำลองอัตราส่วนช่วงคลื่น ไม่สามารถใช้ทดแทนวิธีการหยังความลึกน้ำทะเลแบบเดิมได้ เนื่องจากให้ค่าความละเอียดถูกต้องของความลึกน้ำที่ผิดไปจากความเป็นจริง แต่สามารถใช้เป็นเทคนิคสนับสนุนสำหรับการทำแผนที่อุทกศาสตร์ของพื้นที่ที่สนใจโดยเฉพาะ หรือพื้นที่น้ำตื้นชายฝั่งทะเลที่มีข้อมูลอุทกศาสตร์อยู่เพียงเล็กน้อยหรือไม่มีเลยได้

6.3.2 ภาพถ่ายดาวเทียมที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่สูงขึ้น เช่น ภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-2 มีรายละเอียดจุดภาพ 50 เซนติเมตร หรือภาพถ่ายของดาวเทียมไทยโชต มีรายละเอียดจุดภาพ 2 เมตร อาจให้ผลลัพธ์ของค่าความลึกจากแบบจำลองได้ถูกต้องแม่นยำมากยิ่งขึ้น

6.3.3 ข้อจำกัดของช่วงเวลาในการเลือกใช้ภาพถ่ายดาวเทียมให้สอดคล้องกับช่วงเวลาในการสำรวจแผนที่ทะเล ทำให้อาจได้ภาพในการใช้วิเคราะห์ที่ไม่ชัดเจน มีเมฆปกคลุม หรือมีคลื่นในทะเลได้ จึงควรเลือกใช้ภาพที่มีข้อจำกัดน้อยที่สุด ร่วมกับการใช้เทคนิคในการเตรียมภาพถ่ายดาวเทียมก่อนการใช้แบบจำลอง

6.3.4 ควรหลีกเลี่ยงการใช้วิธีการ SDB กับพื้นที่ที่มีค่าความโปร่งแสงของน้ำทะเลต่ำ เช่น บริเวณดินดอนสามเหลี่ยมปากแม่น้ำ บริเวณป่าชายเลน เป็นต้น



## บรรณานุกรม

- AtSiamTour. คู่มือเที่ยว เกาะเต่า เกาะนางยวน ฉบับสมบูรณ์.  
<https://www.atsiamtour.com/gallery/139>
- Chanwit. (2555). น้ำ ( *Hydrology*).10 กุมภาพันธ์. <http://water-chanwit.blogspot.com/>
- Danielson, J. (2018). *Satellite-Derived Bathymetry*. U.S Geological Survey. สืบค้นเมื่อ 25/03/2021. [https://www.usgs.gov/core-science-systems/eros/coned/science/satellite-derived-bathymetry?qt-science\\_center\\_objects=0#qt-science\\_center\\_objects](https://www.usgs.gov/core-science-systems/eros/coned/science/satellite-derived-bathymetry?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects)
- Danish Geodata Agency. <https://eng.gst.dk/>
- Deepreef Explorer. (2009). *Lidar mapping*.OCTOBER 01.  
<https://www.deepreef.org/2009/10/01/lidar/>
- Du, Z., Li, W., Zhou, D., Tian, L., Ling, F., Wang, H., Gui, Y., & Sun, B. (2014). Analysis of Landsat-8 OLI imagery for land surface water mapping. *Remote Sensing Letters*, 5(7), 672-681. <https://doi.org/10.1080/2150704X.2014.960606>
- Duplančić Leder, T., Leder, N., & Peroš, J. (2019). Satellite Derived Bathymetry Survey Method - Example of Hramina Bay. *Transactions on Maritime Science*, 8, 99-108.  
<https://doi.org/10.7225/toms.v08.n01.010>
- Handwiono, Y. (2021). Keynote: Satellite Derived Bathymetry Application for National Hydrographic Survey. SDB Day 2021: Asia/Oceania, virtual.
- IHO S-44. (2020). *IHO Standard for Hydrographic Surveys*. (6th Edition ed.). International Hydrographic Organization.
- International Hydrographic Organization (IHO). (2020). *International Hydrographic Organization Standards for Hydrographic Surveys*. <https://iho.int/>
- Jagalingam, P., Akshaya, B. J., & Hegde, A. V. (2015). Bathymetry Mapping Using Landsat 8 Satellite Imagery. *Procedia Engineering*, 116, 560-566.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.326>
- Kimeli, A., Thoya, P., Ngisian'g'e, N., Ong'anda, H., & Magori, C. (2018). Satellite-derived bathymetry: A case study of Mombasa Port Channel and its approaches, Kenya. *Western Indian Ocean Journal of Marine Science*, 17, 93.  
<https://doi.org/10.4314/wiojms.v17i2.8>

- Lillesand, T. M., Kiefer, R.W. and Chipman, J.W. . (2008). *Remote Sensing and Image Interpretation*. John Wiley & Sons.
- Lyzenga, D. R. (1981). Remote sensing of bottom reflectance and water attenuation parameters in shallow water using aircraft and Landsat data. *International Journal of Remote Sensing*, 2(1), 71-82.  
<https://doi.org/10.1080/01431168108948342>
- Ma, S., Tao, Z., Yang, X., Yu, Y., Zhou, X., & Li, Z. (2014). Bathymetry Retrieval From Hyperspectral Remote Sensing Data in Optical-Shallow Water. *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, 52, 1205-1212.  
<https://doi.org/10.1109/TGRS.2013.2248372>
- Marks K.M. (2018). *IHO-IOC GEBCO Cook Book - 2018 Progress Report*. NOAA Laboratory for Satellite Altimetry.
- McFeeters, S. K. (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing*, 17(7), 1425-1432. <https://doi.org/10.1080/01431169608948714>
- Meliala, L., Wibowo, W., & Amalia, J. (2019). Satellite Derived Bathymetry on Shallow Reef Platform: A Preliminary Result from Semak Daun, Seribu Islands, Java Sea, Indonesia. *KnE Engineering*. <https://doi.org/10.18502/keg.v4i3.5849>
- Okolie, C., & Olayinka, D. N. (2018). Satellite-Derived Bathymetry Modelling in Shallow Water: A Case Study of Lighthouse Creek, Lagos. 2016.
- Pe'eri, S., Parrish, C., Azuike, C., Alexander, L., & Armstrong, A. (2014). Satellite Remote Sensing as a Reconnaissance Tool for Assessing Nautical Chart Adequacy and Completeness. *Marine Geodesy*, 37.  
<https://doi.org/10.1080/01490419.2014.902880>
- Pennucci, G., Grasso, R., & Trees, C. (2008). *A Study for Near-Shore Characterization Using High-Resolution Hyperspectral and Multispectral Images*.  
<https://doi.org/10.1109/IGARSS.2008.4779177>
- Randazzo, G., Barreca, G., Maria, C., Crupi, A., Fontana, M., Gregorio, F., Lanza, S., & Muzirafuti, A. (2020). Analysis of Very High Spatial Resolution Images for Automatic Shoreline Extraction and Satellite-Derived Bathymetry Mapping t.

*Geosciences (Switzerland)*, 10, 172.

<https://doi.org/10.3390/geosciences10050172>

Ruan Vargas, J. C. d. F. A. W., Alberto Luis da Silva, Thiago Leal Tavares, Camila Américo dos Santos, Fábio Ferreira Dias. (2021). Satellite-Derived Bathymetry models from Sentinel-2A and 2B in the coastal clear waters of Arraial do Cabo, Rio de Janeiro, Brazil. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 14.

Rui GUERREIRO, A. M. (2015). Aplicação de uma Metodologia de Derivação de Batimetria a partir de Imagens de Satélite. *Ordem Dos Engenheiros*.

Saeed, R., Abdelrahman, S. M., & Negm, A. (2021). Satellite-Derived Bathymetry Using Landsat-8 Imagery for Safaga Coastal Zone, Egypt. *Acta Marisiensis. Seria Technologica*, 18(1), 8-15. <https://doi.org/doi:10.2478/amset-2021-0002>

Stumpf, R., Holderied, K., & Sinclair, M. (2003). Determination of Water Depth with High-Resolution Satellite Imagery over Variable Bottom Types. *Limnol. Oceanogr*, 48, 547-556. [https://doi.org/10.4319/lo.2003.48.1\\_part\\_2.0547](https://doi.org/10.4319/lo.2003.48.1_part_2.0547)

Stumpf, R. P., Holderied K. and Sinclair, M. (2003). Determination of Water Depth with High Resolution Satellite Imagery over Variable Bottom Types. *Limnology and Oceanography*, 547-556. [http://dx.doi.org/10.4319/lo.2003.48.1\\_part\\_2.0547](http://dx.doi.org/10.4319/lo.2003.48.1_part_2.0547)

Tang, K., & Mahmud, M. (2018). *Coastal And Shallow Water Sea Bed Mapping Using Imagery-Derived Bathymetric Approach*.

Traganos, D., Poursanidis, D., Aggarwal, B., Chrysoulakis, N., & Reinartz, P. (2018). Estimating Satellite-Derived Bathymetry (SDB) with the Google Earth Engine and Sentinel-2. *Remote Sensing*, 10(6), 859. <https://www.mdpi.com/2072-4292/10/6/859>

U.S. Geological Survey. (2021). *Landsat 8 Data Product Information*. [www.usgs.gov/landsat](http://www.usgs.gov/landsat)

Xu, H. (2006). Modification of Normalized Difference Water Index (NDWI) to Enhance Open Water Features in Remotely Sensed Imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 27, 3025–3033. <https://doi.org/10.1080/01431160600589179>

กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. (2561a). ข้อมูลทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งจังหวัดชุมพร.

กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. (2561b). ข้อมูลทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งจังหวัดสมุทรปราการ

- กรมเทคโนโลยีสารสนเทศและอวกาศกลาโหม. ความรู้เบื้องต้นของการสำรวจระยะไกล. กรมอุทกศาสตร์. (2549). แผนที่เดินเรือ. ที่ระลึกวันคล้ายวันสถาปนากกรมอุทกศาสตร์ ครบรอบ 85 ปี. โรงพิมพ์ก่อสร้างแผนที่ กรมอุทกศาสตร์.
- กรมอุทกศาสตร์. (2563). หนังสือที่ระลึก 100 ปี กรมอุทกศาสตร์. โรงพิมพ์กองบริการการเดินเรือ ศูนย์สนับสนุนการเดินเรือ กรมอุทกศาสตร์.
- กรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ. (2560a). คู่มือเครื่องหมายทางเรือ NAVGUIDE.
- กรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ. (2560b). พจนานุกรมศัพท์อุทกศาสตร์. โรงพิมพ์ก่อสร้างแผนที่ กรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ.
- จรินทร์ บุญเหมาะ. (2559). เดินเรือ. ที่ระลึกวันคล้ายวันสถาปนากกรมอุทกศาสตร์ ครบรอบ 95 ปี. กองสร้างแผนที่ กรมอุทกศาสตร์.
- จังหวัดจันทบุรี. (2562). ข้อมูลทั่วไปของจังหวัดจันทบุรี. สืบค้นเมื่อ 12 เมษายน 2564. <http://www.chanthaburi.go.th/content/general>
- จังหวัดชุมพร. (2554). สภาพทั่วไปของจังหวัดชุมพร. สืบค้นเมื่อ 12 เมษายน 2564. [http://www.chumphon.go.th/2013/page/general\\_info](http://www.chumphon.go.th/2013/page/general_info)
- จังหวัดสมุทรปราการ. (2564). สภาพภูมิประเทศ ภูมิอากาศ. <https://www2.samutprakan.go.th/>
- ธนกร นาคารย์. (2558). การสำรวจแผนที่ ๒. กรมอุทกศาสตร์.
- ธีระ ลาภิศขยางกุล. (2554). เทคโนโลยีไลดาร์สำหรับสร้างแผนที่. นิตยสาร สสวท., ฉบับที่ 170.
- บุญญภาพ ตันติปิฎก. (2018). พลิกฟื้นชนสงฆ์เส้นทางน้ำ ชูศักยภาพโลจิสติกส์ไทย. 7 ก.พ. 2018. <https://www.scbeic.com/th/detail/product/4403>
- เผด็จศักดิ์ จารยะพันธุ์. (2550). ผลประโยชน์แห่งชาติทางทะเล สถานการณ์ และข้อเสนอ. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.
- ภาคภูมิ มงคลสังข์ และสมภพ พึ่งเสมา. (2562). การประเมินความลึกพื้นน้ำโดยเครื่องหยั่งความลึกชนิดใช้คลื่นเสียงสะท้อน. การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ครั้งที่ 4.
- ราชกิจจานุเบกษา. (2552). พระราชกฤษฎีกา แบ่งส่วนราชการและกำหนดหน้าที่ของส่วนราชการ กองทัพเรือ กองทัพไทย กระทรวงกลาโหม พ.ศ.2552.
- วัลย์ลักษณ์ ทรงศิริ. (2559). ลักษณะโดยธรรมชาติของสภาพภูมิศาสตร์สามเหลี่ยมปากแม่น้ำเจ้าพระยา. มูลนิธิอิเล็กทรอนิกส์-ประไพ วิริยะพันธุ์. 12 พ.ค. 2559. <https://lek-prapai.org/home/view.php?id=834>
- สถาบันวิจัยและพัฒนาทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. (2564). รายงานคุณภาพน้ำทะเล ปี 2562 - 2563.

สยามรัฐออนไลน์. (2563). ท่าเรือกรุงเทพอนุญาตเรือสินค้าทุกสัญชาติเทียบท่า ย้ำต้องปฏิบัติตามกฎ  
IHR,.27 กุมภาพันธ์. [https://docplayer.com.br/42086297-Applicacao-de-uma-  
metodologia-de-derivacao-de-batimetria-a-partir-de-imagens-de-satelite.html](https://docplayer.com.br/42086297-Applicacao-de-uma-metodologia-de-derivacao-de-batimetria-a-partir-de-imagens-de-satelite.html)  
สำนักยุทธศาสตร์และประเมินผล, ก. (2013). กรุงเทพฯ ปัจจุบัน.  
<https://apps.bangkok.go.th/info/m.info/nowbma/>







จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
**CHULALONGKORN UNIVERSITY**

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	เรือเอก ชนัตถพงษ์ เสื่องามเอี่ยม
วัน เดือน ปี เกิด	14 กันยายน 2533
สถานที่เกิด	จังหวัดราชบุรี
วุฒิการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาอุทกศาสตร์ โรงเรียนนายเรือ
ที่อยู่ปัจจุบัน	148/2 ถนนริมทางรถไฟเก่า แขวงบางนาใต้ เขตบางนา กรุงเทพฯ 12060
ผลงานตีพิมพ์	ชนัตถพงษ์ เสื่องามเอี่ยม และ ศิริวิไล อีระโรจนารัตน์ (2565) “การหยั่งความลึกน้ำทะเลจากการรับรู้ระยะไกลในอ่าวไทยด้วยภาพถ่ายดาวเทียมแลนด์แซท 8” วารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY