

ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ บริเวณอ่าวไทยตอนบน



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสำรวจ ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2566

RELATIONSHIP BETWEEN SEA SURFACE TEMPERATURE AND CHLOROPHYLL-A  
CONCENTRATION IN UPPER GULF OF THAILAND



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering in Survey Engineering  
Department of Survey Engineering  
Faculty Of Engineering  
Chulalongkorn University  
Academic Year 2023

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้น คลอโรฟิลล์-เอ บริเวณอ่าวไทยตอนบน
โดย	นายภูภัส ทองจับ
สาขาวิชา	วิศวกรรมสำรวจ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	อาจารย์ ดร.รงทิต ฉายากุล

---

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

.....	คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)	
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	
.....	ประธานกรรมการ
(อาจารย์ ดร.ชัยโชค ไวภาษา)	
.....	อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(อาจารย์ ดร.รงทิต ฉายากุล)	
.....	กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร.วิโรจน์ ละอองมณี)	

CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภูภัส ทองจับ : ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ บริเวณอ่าวไทยตอนบน. ( RELATIONSHIP BETWEEN SEA SURFACE TEMPERATURE AND CHLOROPHYLL-A CONCENTRATION IN UPPER GULF OF THAILAND) อ.ที่ปรึกษาหลัก : อ. ดร.จงทิศ ฉายากุล

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิผิวน้ำทะเล (SST) และความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ (CHL) ตามช่วงลมมรสุมบริเวณอ่าวไทยตอนบน โดยใช้ข้อมูลอุณหภูมิผิวน้ำทะเลแบบช่วงคลื่นยาวที่ตรวจวัดในเวลากลางคืน และข้อมูลความเข้มข้นของ CHL จากดาวเทียม Aqua ระบบ Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) ในช่วงปี พ.ศ.2558 - 2565 โดยข้อมูลความเข้มข้น CHL ได้ผสมเข้ากับระบบ Ocean Color Climate Change Initiative (OC-CCI) เพื่อลดข้อบกพร่องบางอย่างที่ได้จากดาวเทียม Aqua โดยตรง ทั้งนี้ได้มีการพิจารณาปัจจัยระดับโลกทางสมุทรศาสตร์ซึ่งเกิดการเปลี่ยนแปลงของค่า SST แตกต่างไปจากค่าปกติบริเวณมหาสมุทรแปซิฟิกที่ส่งผลกระทบต่อบริเวณอ่าวไทยตอนบน โดยใช้ดัชนี Ocean Nino Index (ONI) เพื่อตรวจสอบอิทธิพลในแต่ละช่วงลมมรสุม จากการวิเคราะห์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันบ่งบอกถึงระดับและทิศทางของความสัมพันธ์โดยแสดงความสัมพันธ์แบ่งเป็น 3 ช่วงฤดูมรสุม คือ ช่วงไม่มีลมมรสุม, ช่วงลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ และช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ซึ่งมีค่าสหสัมพันธ์เท่ากับ 0.61, 0.44 และ - 0.44 ตามลำดับ โดยความสัมพันธ์เชิงบวกแสดง SST ค่าที่สูงขึ้นและ CHL มีปริมาณเพิ่มขึ้นด้วย ในทางกลับกันความสัมพันธ์เชิงลบแสดง SST มีค่าลดลงแต่ CHL มีปริมาณเพิ่มขึ้น และจากการประมาณค่า CHL จากค่า SST ในช่วงไม่มีลมมรสุม 27.40 - 30.63 °C ส่งผลให้ค่า CHL อยู่ที่ 2.84 - 4.33 mg/m<sup>3</sup>, ค่า SST ในช่วงลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ 26.75 - 29.81 °C ส่งผลให้ค่า CHL อยู่ที่ 3.32 - 6.33 mg/m<sup>3</sup> และค่า SST ในช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ 29.0 - 31.38 °C ส่งผลให้ค่า CHL อยู่ที่ 7.73 - 4.65 mg/m<sup>3</sup> ทั้งนี้อิทธิพลของดัชนี ONI ส่งผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงของ SST และ CHL ได้รับผลกระทบมากที่สุดในช่วงลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ และช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ตามลำดับ โดยช่วงไม่มีลมมรสุมไม่ได้รับผลกระทบจากดัชนี ONI และจากการวิเคราะห์สหสัมพันธ์แบบเชิงส่วนโดยจัดอิทธิพลของดัชนี ONI แสดงค่าสหสัมพันธ์เท่ากับ 0.61, 0.75 และ - 0.36 ตามช่วงลมมรสุม ซึ่งแสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของความสัมพันธ์ระหว่าง SST และ CHL ที่มีความชัดเจนยิ่งขึ้นหลังจากจัดของดัชนี ONI ที่เข้ามาอิทธิพลแต่ละช่วงลมมรสุม

สาขาวิชา วิศวกรรมสำรวจ  
ปีการศึกษา 2566

ลายมือชื่อนิสิต .....  
ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

# # 6472102821 : MAJOR SURVEY ENGINEERING

KEYWORD:

Phuphat Thongchap : RELATIONSHIP BETWEEN SEA SURFACE TEMPERATURE AND CHLOROPHYLL-A CONCENTRATION IN UPPER GULF OF THAILAND. Advisor: THONGTHIT CHAYAKULA

This research investigates the relationship between Sea Surface Temperature (SST) and Chlorophyll-a concentration (CHL) during different monsoon periods in the upper Gulf of Thailand. It employs SST data measured using longwave infrared technology during nighttime and CHL data from the Aqua satellite's Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) system between the years 2015 - 2022. The CHL data has been integrated into the Ocean Color Climate Change Initiative (OC-CCI) to mitigate certain discrepancies observed directly from the Aqua satellite. Furthermore, this study considers global oceanic level factors that cause variations in SST values, deviating from the normal Pacific Ocean conditions, impacting the upper Gulf of Thailand. The Ocean Nino Index (ONI) was utilized to examine its influence during each monsoon period. The Pearson correlation analysis reveals the level and direction of the relationship, categorized into three monsoon seasons: non-monsoon, northeast monsoon and southwest monsoon. The correlation coefficients are 0.61, 0.44, and -0.44, respectively. Positive correlations demonstrate that higher SST values are associated with increased CHL quantities, while negative correlations indicate reduced SST values but increased CHL quantities. Estimations of CHL derived from SST values during the non-monsoon period, ranging from 27.40 to 30.63 °C, resulted in CHL values between 2.84 and 4.33 mg/m<sup>3</sup>. SST values during the northeast monsoon, ranging from 26.75 to 29.81 °C, corresponded to CHL values between 3.32 and 6.33 mg/m<sup>3</sup>. Similarly, SST values during the southwest monsoon, ranging from 29.0 to 31.38 °C, were associated with CHL values between 7.73 and 4.65 mg/m<sup>3</sup>. The influence of the ONI had the most significant impact on changes in SST and CHL during the northeast monsoon and southwest monsoon periods, respectively. However, the non-monsoon period remained unaffected by the ONI index. Partial correlation analysis, excluding the ONI influence, revealed correlation coefficients of 0.61, 0.75, and -0.36 during the respective monsoon periods. This illustrates clearer changes in the relationship between SST and CHL after eliminating the ONI influence in each monsoon period.

CHULALONGKORN UNIVERSITY

Field of Study: Survey Engineering

Student's Signature .....

Academic Year: 2023

Advisor's Signature .....

## กิตติกรรมประกาศ

ในการจัดทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยความกรุณาช่วยเหลือแนะนำให้ข้อคิดความเห็นทางวิชาการจากหลายบุคคลด้วยกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง อาจารย์ ดร.รงทิต ฉายากุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลักที่ช่วยตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องมาโดยตลอดทุกขั้นตอน อาจารย์ ดร.ชัยโชค ไวกาษา ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และอาจารย์ ดร.วิโรจน์ ละอองมณี กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก ที่ให้คำแนะนำในการสอบวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ และข้อคิดที่มีคุณค่าต่อการศึกษา จนทำให้วิทยานิพนธ์นี้สมบูรณ์ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณคณาจารย์และบุคลากรทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ได้ถ่ายทอดองค์ความรู้และให้คำชี้แนะและให้ความช่วยเหลือ ตลอดระยะเวลาในการศึกษาของผู้วิจัย

ขอขอบพระคุณสถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ (สสน.) ในการให้ความอนุเคราะห์ข้อมูล อุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ ปี พ.ศ.2563 - 2564 จากฐานข้อมูลแบบจำลองเพื่อการวิจัยทางสมุทรศาสตร์สำหรับประเทศไทย และขอขอบพระคุณองค์การบริหารมหาสมุทรและชั้นบรรยากาศแห่งชาติ (National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA) ที่ได้เผยแพร่ระบบฐานข้อมูล iQuam ในการตรวจวัดอุณหภูมิผิวน้ำทะเลจากภาคสนาม

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดามารดา ผู้ให้การสนับสนุนในทุกๆ ด้าน อย่างเต็มกำลังความสามารถคอยส่งเสริมสนับสนุนด้านการศึกษา ครอบครัวญาติพี่น้องทุกคนที่คอยส่งความห่วงใยเป็นกำลังใจเสมอมา รวมถึงเพื่อน พี่ น้องภาควิชาวิศวกรรมสำรวจที่คอยให้คำแนะนำช่วยเหลือตลอดระยะเวลาในการศึกษาของผู้วิจัยเสมอมา คุณความดีของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ทั้งหมด ขอยกให้บิดามารดา ครูบาอาจารย์และผู้มีพระคุณทุกท่าน ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ต่อวงวิชาการวิศวกรรมสำรวจและผู้สนใจนำไปใช้ศึกษาเพิ่มเติมต่อไป

ภูภัส ทองจับ

## สารบัญ

	หน้า
.....ค	ค
บทคัดย่อภาษาไทย.....ค	ค
.....ง	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....ง	ง
กิตติกรรมประกาศ.....จ	จ
สารบัญ.....ฉ	ฉ
สารบัญตาราง.....ฉ	ฉ
สารบัญรูปภาพ.....ญ	ญ
บทที่ 1 บทนำ..... 1	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ..... 1	1
1.2 วัตถุประสงค์..... 3	3
1.3 ขอบเขตงานวิจัย..... 3	3
1.3.1 ขอบเขตเนื้อหาที่ศึกษา..... 3	3
1.3.2 ขอบเขตพื้นที่การศึกษา..... 5	5
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 6	6
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 7	7
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง..... 7	7
2.1.1 ดาวเทียม Aqua ระบบเซนเซอร์ MODIS..... 7	7
2.1.2 อุณหภูมิผิวน้ำทะเล (Sea surface temperature)..... 11	11
2.1.3 ความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ (Chlorophyll concentration)..... 15	15
2.1.4 ลักษณะทั่วไปของอ่าวไทยตอนบน..... 17	17

2.1.4.1	สภาพภูมิอากาศ .....	17
2.1.4.2	การไหลเวียนของกระแสน้ำ.....	19
2.1.4.3	ปรากฏการณ์น้ำผุด (Upwelling) .....	20
2.1.5	Ocean Nino Index (ONI) .....	21
2.1.6	การวิเคราะห์ผ่านตัวแปรกลางด้วยการทดสอบของโซเบล (Mediation analysis with Sobel test).....	23
2.1.7	การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ด้วยสหสัมพันธ์.....	24
2.1.7.1	สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson correlation).....	24
2.1.7.2	สหสัมพันธ์แบบเชิงส่วน (Partial correlation).....	25
2.1.7.3	สหสัมพันธ์แบบไขว้ (Cross correlation) .....	26
2.2	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	27
บทที่ 3	วิธีการดำเนินงานวิจัย .....	32
3.1	โปรแกรมที่ใช้ในงานวิจัย.....	32
3.2	ข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัย .....	32
3.3	วิธีดำเนินงานวิจัย .....	33
3.3.1	ดาวนโหลดข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม .....	34
3.3.2	การเตรียมข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม .....	35
3.3.3	การประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม .....	36
3.3.3.1	การกำหนดขอบเขตพื้นที่ศึกษา.....	37
3.3.3.2	การประมวลผลหาค่าทางสถิติเชิงพื้นที่ .....	38
3.3.3.3	การเติมข้อมูลที่ขาดหายไปด้วยการประมาณค่า .....	39
3.3.3.4	สร้างข้อมูลค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงรายเดือนและข้อมูลเชิงพื้นที่ .....	40
3.3.3.5	คำนวณค่าความผิดปกติ .....	41
3.3.3.6	วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนี ONI และค่าความผิดปกติ .....	41



3.3.3.7 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ด้วยสหสัมพันธ์แบบเชิงส่วน .....	41
3.3.4 การตรวจสอบข้อมูลอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ ด้วยข้อมูล ภาคสนาม.....	41
บทที่ 4 ผลการศึกษา .....	50
4.1 ลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ บริเวณอ่าว ไทยตอนบน .....	50
4.2 การเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ.....	58
4.3 ค่าความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ .....	63
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษา .....	70
5.1 อภิปรายผลการศึกษา .....	70
5.2 สรุปผลการศึกษา.....	77
5.3 ข้อเสนอแนะ .....	79
บรรณานุกรม .....	81
ภาคผนวก .....	86
ภาคผนวก ก ค่าเฉลี่ยรายเดือนของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ ปี พ.ศ. 2558-2565 .....	87
ภาคผนวก ข ค่าความผิดปกติรายเดือนของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ เทียบกับดัชนี ONI ปี พ.ศ.2558-2565 .....	91
ประวัติผู้เขียน .....	95

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 แสดงความยาวช่วงคลื่นของดาวเทียมระบบ MODIS .....	8
ตารางที่ 2 เปรียบเทียบอุณหภูมิบริเวณน้ำทะเลในละติจูดที่ต่างกันของมหาสมุทรแอตแลนติก, อินเดียและแปซิฟิกในซีกโลกเหนือ .....	12
ตารางที่ 3 เปรียบเทียบอุณหภูมิบริเวณน้ำทะเลในละติจูดที่ต่างกันของมหาสมุทรแอตแลนติก, อินเดียและแปซิฟิกในซีกโลกใต้ .....	12
ตารางที่ 4 ระดับค่าสหสัมพันธ์เพียร์สัน .....	25
ตารางที่ 5 แสดงค่าสหสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิผิวน้ำทะเลจากดาวเทียม และสถานีแบบโทรมาตร .43	43
ตารางที่ 6 แสดงค่าสหสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิจากดาวเทียมและระบบฐานข้อมูล iQuam .....	46
ตารางที่ 7 แสดงค่าสหสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ จากดาวเทียม และสถานีแบบโทรมาตร .....	49
ตารางที่ 8 ค่าเฉลี่ยรายเดือนอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ในช่วงปี พ.ศ.2558 ถึง 2565 .....	52
ตารางที่ 9 แสดงค่าสหสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ .....	53
ตารางที่ 10 ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างดัชนี ONI และค่าความผิดปกติอุณหภูมิผิวน้ำทะเล .....	65
ตารางที่ 11 วิเคราะห์อิทธิพลตัวแปรตัวส่งผ่านของดัชนี ONI ที่มีผลกระทบต่อค่าความผิดปกติความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ .....	68
ตารางที่ 12 ค่าสหสัมพันธ์แบบเชิงส่วนเทียบกับค่าสหสัมพันธ์แบบเพียร์สันระหว่างอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ .....	69

## สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 1 พื้นที่ศึกษาบริเวณอ่าวไทยตอนบน (อ่าวรูป ก.) .....	5
รูปที่ 2 Aqua Satellite .....	7
รูปที่ 3 ตัวอย่างข้อมูลอุณหภูมิผิวน้ำทะเลเฉลี่ยเดือนธันวาคม ปี 2022.....	13
รูปที่ 4 อุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับระดับความลึก .....	13
รูปที่ 5 ความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ .....	16
รูปที่ 6 ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (ซ้าย) และลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (ขวา) .....	18
รูปที่ 7 การไหลเวียนของกระแสน้ำทะเล .....	19
รูปที่ 8 การเกิดปรากฏการณ์น้ำผุด .....	20
รูปที่ 9 พื้นที่บริเวณ Nino 3.4 .....	21
รูปที่ 10 เหตุการณ์เอลนีโญ (ซ้าย) และเหตุการณ์เกิดลานีญา (ขวา).....	22
รูปที่ 11 แผนผังอิทธิพลตัวแปรส่งผ่าน.....	23
รูปที่ 12 สหสัมพันธ์แบบเชิงส่วนของ <i>xyz</i> .....	25
รูปที่ 13 แผนผังวิธีการดำเนินงานวิจัย .....	33
รูปที่ 14 เว็บไซต์ดาวเทียมโหลดข้อมูล NASA Ocean Color .....	34
รูปที่ 15 การแปลงไฟล์ netCDF 4 เป็นไฟล์ Raster ด้วย Python.....	35
รูปที่ 16 ข้อมูลอุณหภูมิผิวน้ำทะเล (Sea Surface Temperature, SST) .....	36
รูปที่ 17 ข้อมูลความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ (Chlorophyll Concentration, CHL) .....	36
รูปที่ 18 ข้อมูลอุณหภูมิผิวน้ำทะเลเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2563 .....	37
รูปที่ 19 ตำแหน่งบริเวณชายฝั่งจังหวัดตามแนวอ่าวไทยตอนบน .....	38
รูปที่ 20 พื้นที่ศึกษาบริเวณทะเลชายฝั่งอ่าวไทยตอนบน (อ่าวรูป ก.).....	38
รูปที่ 21 ผลลัพธ์ค่าเฉลี่ยแต่ละเดือนในขอบเขตพื้นที่ศึกษาในรูปแบบไฟล์ CSV .....	39

รูปที่ 22 การประมาณค่าข้อมูลที่หายไปด้วย Curve Fitting.....40

รูปที่ 23 สถานีตรวจวัดทางทะเลแบบโทรมาตร สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ (สสน.) .....42

รูปที่ 24 ระบบฐานข้อมูล iQuam ตรวจวัดอุณหภูมิผิวน้ำทะเล .....42

รูปที่ 25 ตำแหน่งเรือตรวจวัดอุณหภูมิผิวน้ำทะเลจากระบบ iQuam.....43

รูปที่ 26 กราฟแสดงผลความสอดคล้องระหว่างอุณหภูมิผิวน้ำทะเลแบบช่วงคลื่นยาวในเวลากลางคืน และอุณหภูมิผิวน้ำทะเลจากสถานีตรวจวัดทางทะเลแบบโทรมาตร .....44

รูปที่ 27 กราฟแสดงผลความสอดคล้องระหว่างอุณหภูมิผิวน้ำทะเลแบบช่วงคลื่นสั้นในเวลากลางคืนและอุณหภูมิผิวน้ำทะเลจากสถานีตรวจวัดทางทะเลแบบโทรมาตร .....44

รูปที่ 28 กราฟแสดงผลความสอดคล้องระหว่างอุณหภูมิผิวน้ำทะเลแบบช่วงคลื่นยาวในเวลากลางวัน และอุณหภูมิผิวน้ำทะเลจากสถานีตรวจวัดทางทะเลแบบโทรมาตร .....45

รูปที่ 29 กราฟแสดงผลความสอดคล้องระหว่างอุณหภูมิผิวน้ำทะเลแบบช่วงคลื่นยาวในเวลากลางคืน และอุณหภูมิผิวน้ำทะเลจากระบบฐานข้อมูล iQuam.....46

รูปที่ 30 กราฟแสดงผลความสอดคล้องระหว่างอุณหภูมิผิวน้ำทะเลแบบช่วงคลื่นสั้นในเวลากลางคืนและอุณหภูมิผิวน้ำทะเลจากระบบฐานข้อมูล iQuam.....47

รูปที่ 31 กราฟแสดงผลความสอดคล้องระหว่างอุณหภูมิผิวน้ำทะเลแบบช่วงคลื่นยาวในเวลากลางวัน และอุณหภูมิผิวน้ำทะเลจากระบบฐานข้อมูล iQuam.....47

รูปที่ 32 กราฟแสดงผลความสอดคล้องระหว่างความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ จากการผสานระบบ OC-CCI และความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ จากสถานีตรวจวัดทางทะเลแบบโทรมาตร .....48

รูปที่ 33 กราฟแสดงผลความสอดคล้องระหว่างความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ จากดาวเทียม Aqua ระบบ MODISและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ จากสถานีตรวจวัดทางทะเลแบบโทรมาตร .....49

รูปที่ 34 กราฟแสดงอนุกรมเวลาของค่าเฉลี่ยอุณหภูมิผิวน้ำทะเล .....50

รูปที่ 35 กราฟแสดงอนุกรมเวลาของค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์-เอ.....51

รูปที่ 36 ค่าเฉลี่ยรายเดือนอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ในระยะ 8 ปี .....52

รูปที่ 37 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ ในช่วงระยะปี พ.ศ. 2558 – 2565 .....53

รูปที่ 38 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ ในช่วงไม่มีลม มรสุม .....	54
รูปที่ 39 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ ในช่วงลมมรสุม ตะวันออกเฉียงเหนือ .....	54
รูปที่ 40 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ ในช่วงลมมรสุม ตะวันตกเฉียงใต้.....	55
รูปที่ 41 สหสัมพันธ์แบบไขว้ระหว่างอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ .....	57
รูปที่ 42 แผนภูมิจุดแบบกระจายของสหสัมพันธ์แบบไขว้ระหว่างอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้น คลอโรฟิลล์-เอ .....	57
รูปที่ 43 ลักษณะเชิงพื้นที่ของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลเฉลี่ยรายเดือน.....	58
รูปที่ 44 ลักษณะเชิงพื้นที่ของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลในช่วงลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ .....	59
รูปที่ 45 ลักษณะเชิงพื้นที่ของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลในช่วงไม่มีลมมรสุม .....	59
รูปที่ 46 ลักษณะเชิงพื้นที่ของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลในช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ .....	60
รูปที่ 47 ลักษณะเชิงพื้นที่ของความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ เฉลี่ยรายเดือน .....	61
รูปที่ 48 ลักษณะเชิงพื้นที่ของความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ ในช่วงลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ.....	62
รูปที่ 49 ลักษณะเชิงพื้นที่ของความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ ในช่วงไม่มีลมมรสุม.....	62
รูปที่ 50 ลักษณะเชิงพื้นที่ของความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ ในช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้.....	63
รูปที่ 51 กราฟแสดงอนุกรมเวลาของค่าความผิดปกติอุณหภูมิผิวน้ำทะเล .....	64
รูปที่ 52 กราฟแสดงอนุกรมเวลาของค่าความผิดปกติความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ .....	64
รูปที่ 53 ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนี ONI และค่าความผิดปกติอุณหภูมิผิวน้ำทะเล ในช่วงระยะปี พ.ศ. 2558 - 2565.....	65
รูปที่ 54 สหสัมพันธ์แบบไขว้ระหว่างดัชนี ONI และค่าความผิดปกติอุณหภูมิผิวน้ำทะเล .....	66
รูปที่ 55 ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนี ONI และค่าความผิดปกติอุณหภูมิผิวน้ำทะเล ในช่วงไม่มีลม มรสุม .....	66
รูปที่ 56 ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนี ONI และค่าความผิดปกติอุณหภูมิผิวน้ำทะเล ในช่วงลมมรสุม ตะวันตกเฉียงใต้.....	67

รูปที่ 57 ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนี ONI และค่าความผิดปกติอุณหภูมิน้ำทะเล ในช่วงลมมรสุม  
ตะวันออกเฉียงเหนือ .....67



## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ที่มาและความสำคัญ

อ่าวไทยตอนบน (Upper Gulf of Thailand) เป็นส่วนบนของอ่าวไทยมีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมคล้ายตัวอักษร “ก” จึงถูกเรียกกันทั่วไปว่า อ่าว ก หรืออ่าวรูปตัว ก มีอาณาบริเวณติดกับพื้นที่จังหวัดชลบุรี, ฉะเชิงเทรา, สมุทรปราการ, กรุงเทพมหานคร, สมุทรสาคร, สมุทรสงครามและเพชรบุรี รองรับน้ำจืดจากแม่น้ำ 4 สายหลักคือ แม่น้ำแม่กลอง, แม่น้ำท่าจีน, แม่น้ำเจ้าพระยาและแม่น้ำบางปะกง เป็นแหล่งประมงที่สำคัญ มีความหลากหลายทางชีวภาพของทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง โดยมีคลอโรฟิลล์-เอ (Chlorophyll-a) เป็นตัววัดปริมาณแพลงก์ตอนพืชซึ่งบ่งชี้ถึงความอุดมสมบูรณ์ทางท้องทะเล (ณัฐารัตน์ ปภาวสิทธิ์, 2546) ทั้งนี้การเปลี่ยนแปลงของปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของคลอโรฟิลล์-เอ ไม่ว่าจะเป็นปัจจัยทางกายภาพและเคมี เช่น การหมุนเวียนของกระแสน้ำ, คลื่น, ความเค็ม, อุณหภูมิ และแร่ธาตุสารอาหาร เป็นต้น นอกจากนี้การกระทำของมนุษย์อย่างการทำเกษตรกรรมที่ทำให้สารเคมีตกค้างไหลลงแม่น้ำสายหลัก ออกสู่อ่าวไทยเป็นตัวกระตุ้นให้คลอโรฟิลล์-เอ เจริญเติบโต รวมไปถึงการเปลี่ยนแปลงลักษณะภูมิอากาศที่ก่อให้เกิดลมมรสุม ได้แก่ ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (Dall'Olmo et al., 2003) เนื่องจากอ่าวไทยตอนบนมีลักษณะทางกายภาพเป็นอ่าวกึ่งปิด จึงได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมทำให้เกิดการไหลเวียนของกระแสน้ำจากระดับน้ำลึกขึ้นสู่ระดับผิวน้ำทะเลที่เรียกว่า ปรากฏการณ์น้ำผุด (Upwelling) ซึ่งทำให้บริเวณผิวน้ำทะเลอุดมไปด้วยสารอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของคลอโรฟิลล์-เอ

อุณหภูมิผิวน้ำทะเลเป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างหนึ่งทางทะเล เนื่องจากมีความสำคัญในการศึกษากระบวนการทางฟิสิกส์, เคมี และชีววิทยาทางทะเลซึ่งมีผลต่อการเพิ่มหรือการลดการเจริญเติบโตของคลอโรฟิลล์ นอกจากนี้อุณหภูมียังมีผลต่อการกระจายตัวของคลอโรฟิลล์-เอ ตามลักษณะทางภูมิศาสตร์ คลอโรฟิลล์-เอ สามารถพบได้ในสาหร่ายและแพลงก์ตอนพืชเป็นสิ่งมีชีวิตหลักที่สังเคราะห์แสงในทะเลซึ่งเป็นพื้นฐานของใยอาหารจึงมีความสำคัญต่อระบบนิเวศ ในฐานะของผู้ผลิต (Producer) ทั้งนี้การเพิ่มจำนวนแพลงก์ตอนอย่างรวดเร็วและเกิดการรวมตัวอย่างหนาแน่นของมวลแพลงก์ตอนที่มากเกินไปในบางช่วงเวลาส่งผลให้เกิดปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสี เป็นสิ่งที่ชี้ให้เห็นถึงความเสื่อมโทรมของน้ำทะเล ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ

และความเป็นกรด-ด่างในรอบวันที่สูง อีกทั้งยังเกิดการเพิ่มปริมาณแอมโมเนียในน้ำจืดเป็นสาเหตุให้สัตว์น้ำตาย นอกจากนี้บริเวณอ่าวไทยตอนบนยังได้รับอิทธิพลจากดัชนีสมุทรศาสตร์ ได้แก่ Ocean Nino Index (ONI), Pacific Decadal Oscillation (PDO) และ Indian Ocean Dipole (IOD) ซึ่งเป็นระดับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลที่ต่างไปจากค่าปกติในบริเวณต่าง ๆ ของมหาสมุทร ส่งผลกระทบต่ออุณหภูมิผิวน้ำทะเลและรูปแบบสภาพภูมิอากาศที่ส่งผลกระทบต่อปริมาณความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ในช่วงเวลาที่ได้รับผลกระทบจากดัชนีสมุทรศาสตร์ ดังนั้นอุณหภูมิผิวน้ำทะเลที่เปลี่ยนแปลงก็จะส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศทางทะเลโดยรวม และทำให้เกิดความแปรปรวนทั้งภูมิอากาศและสิ่งมีชีวิตในทะเล ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์อาจแตกต่างกันไป ตามภูมิภาคและช่วงเวลาของปี (Dunstan et al., 2018) ในบางพื้นที่อุณหภูมิผิวน้ำทะเลที่เพิ่มขึ้นอาจทำให้การเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืชเพิ่มขึ้นด้วย ในขณะที่บางพื้นที่อุณหภูมิผิวน้ำทะเลที่เพิ่มขึ้นอาจจำกัดความอุดมสมบูรณ์ของสารอาหารซึ่งส่งผลให้การเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืชลดลง ซึ่งการศึกษาอุณหภูมิผิวน้ำทะเลในอดีต การได้มาของข้อมูลโดยวัดค่าอุณหภูมิผิวน้ำทะเลต้องอาศัยเครื่องมือวัดอุณหภูมิบนชายฝั่ง, เรือ และทุ่น ในส่วนการได้มาของข้อมูลความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ อาศัยการเก็บตัวอย่างแพลงก์ตอนในพื้นที่ทะเลแล้วผ่านวิธีการทางวิทยาศาสตร์ ต่อมาข้อมูลอุณหภูมิผิวน้ำทะเล และความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ ทั่วโลก มาจากการสังเกตการณ์ของดาวเทียมที่ถูกติดตั้งด้วยเครื่องมือต่าง ๆ เช่น Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) บนดาวเทียม Aqua ของ NASA ที่ทำให้สามารถรวบรวมข้อมูลได้มากกว่าการวัดอุณหภูมิผิวน้ำทะเล และความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์-เอ ในแบบอื่น ๆ ทั้งหมดที่เกิดขึ้นก่อนการกำเนิดของดาวเทียมสำรวจ ด้านทะเลจากความสามารถของการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และสะท้อนวัตถุ รวมไปถึงการบันทึกข้อมูลได้ในทุกวัน และช่วงเวลาเดิม ทำให้สามารถติดตามบันทึกข้อมูลปัจจัยสภาพแวดล้อมทางทะเล

ในงานวิจัยนี้จึงเป็นการศึกษาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผิวน้ำทะเลที่ส่งผลต่อความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ ทั้งในรูปแบบเชิงเวลาและเชิงพื้นที่ บริเวณอ่าวไทยตอนบนภายใต้ช่วงเวลาอิทธิพลของลมมรสุมในช่วงลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ, ช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และช่วงไม่มีลมมรสุม การเกิดลมมรสุมมีผลต่อความแปรปรวนต่อความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและคลอโรฟิลล์-เอ ซึ่งคาดว่าในการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ จะมีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่ออุณหภูมิของมหาสมุทร และรูปแบบการหมุนเวียนภูมิอากาศซึ่งจะส่งผลต่อการกระจายตัว, ความอุดมสมบูรณ์ของแพลงก์ตอนพืชและสิ่งมีชีวิตในทะเลอื่น ๆ ทั้งนี้จึงได้นำความรู้เทคนิคการสำรวจ



ระยะไกล (Remote sensing) โดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมซึ่งมีความสามารถสูงในการวิเคราะห์พื้นที่ขนาดใหญ่ และติดตามการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อมทางด้านทะเลในช่วงเวลาต่าง ๆ ได้ดี เพื่อประหยัดค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานทางด้านทะเล รวมไปถึงเป็นประโยชน์ในการติดตามสิ่งแวดล้อมทางทะเล และการประมงในอนาคต

## 1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ บริเวณพื้นที่อ่าวไทยตอนบน

## 1.3 ขอบเขตงานวิจัย

### 1.3.1 ขอบเขตเนื้อหาที่ศึกษา

วิจัยการตามฤดูกาลของมรสุมที่ส่งผลกระทบต่อรูปแบบปริมาณน้ำฝน และเป็นผลต่อการเพิ่มของปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ ผ่านปล่อยปริมาณน้ำจากแม่น้ำสายหลักลงสู่อ่าวไทยตอนบน ทั้งนี้ในบางช่วงเวลาอาจได้รับผลกระทบจากการทำเกษตรกรรมที่ทำให้สารเคมีต่าง ๆ ตกค้างไหลลงแม่น้ำ เป็นตัวกระตุ้นต่อการเพิ่มปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงไม่ได้นำปัจจัยด้านปริมาณแม่น้ำเข้ามาเกี่ยวข้องในการศึกษาเพื่อลดปัญหาอิทธิพลจากการปล่อยน้ำจากแม่น้ำสายหลักที่ส่งผลกระทบต่อปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ใช้ข้อมูลอุณหภูมิผิวน้ำทะเล (Sea surface temperature, SST) มีบทบาทสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและระบบนิเวศทางทะเล ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลในช่วงลมมรสุมตามฤดูกาลมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ (Chlorophyll-a concentration, CHL) โดยทั้งสองข้อมูลได้จากการตรวจจับจากดาวเทียม Aqua ระบบ Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) มีข้อได้เปรียบของระบบ คือ ในการวัดค่าอุณหภูมิผิวน้ำทะเลจะเกิดขึ้นพร้อมกับการวัดค่าความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ ทำให้มีขอบเขตข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมที่ได้ และการบดบังของเมฆอยู่ตำแหน่งเดียวกัน จึงสามารถเปรียบเทียบข้อมูลได้ตรงไปตรงมามากกว่าข้อมูลที่บันทึกในเวลาที่แตกต่างกันโดยดาวเทียมระบบอื่น ๆ ทั้งนี้ข้อมูลความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ ได้ทำการผสมเข้ากับระบบ Ocean Color Climate Change Initiative (OC-CCI) โดยติดตามการเปลี่ยนแปลงสีของมหาสมุทรผ่านดาวเทียมหลายระบบ เพื่อลดข้อบกพร่องบางอย่างในระบบการตรวจจับความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ ที่ได้จากดาวเทียม Aqua โดยตรง (Garnesson et al., 2019; Team, 2017; Welch et al., 2020)

ซึ่งให้ค่าประมาณความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ บริเวณชายฝั่งที่สูงเกินไป แต่พื้นที่บริเวณนอกชายฝั่ง ทั้งอ่าวมีค่าประมาณความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ อยู่ในระดับต่ำซึ่งยังคงมีความน่าเชื่อถือ (Leenawarat et al., 2022) และข้อมูลอุณหภูมิผิวน้ำทะเลที่ตรวจวัดได้จากดาวเทียม Aqua ระบบ MODIS มีอยู่สองประเภท คือ ข้อมูลอุณหภูมิผิวน้ำทะเลแบบช่วงคลื่นสั้น (Short-wave sea surface temperature) จากการตรวจวัดในเวลากลางคืน และข้อมูลอุณหภูมิผิวน้ำทะเลแบบช่วงคลื่นยาว (Long-wave Sea surface temperature) จากการตรวจวัดในเวลากลางวันและกลางคืน โดยในงานวิจัยนี้ได้เลือกข้อมูลอุณหภูมิผิวน้ำทะเลแบบช่วงคลื่นยาวในเวลากลางคืนมาเป็นข้อมูลในการศึกษา เนื่องจากอุณหภูมิผิวน้ำทะเลในเวลากลางวันมีผลกระทบจากการสะท้อนของแสงอาทิตย์ และการผันแปรของอุณหภูมิผิวน้ำทะเล ทำให้ดาวเทียมวัดค่ารังสีที่สะท้อนได้มีความผิดพลาด อย่างไรก็ตามการตรวจวัดอุณหภูมิผิวน้ำทะเลในเวลากลางคืนมีการปนเปื้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ที่กระจัดกระจายและสะท้อนกลับในเวลากลางวัน แต่ยิ่งถือว่ามีค่าความเสถียรกว่าอุณหภูมิในเวลากลางวัน (Kilpatrick et al., 2015)

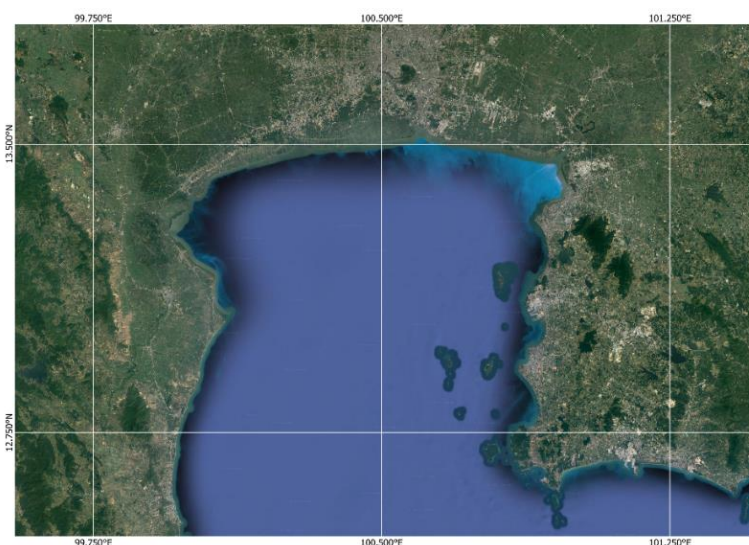
เนื่องจากอ่าวไทยตั้งอยู่ระหว่างมหาสมุทรอินเดียและมหาสมุทรแปซิฟิกประกอบกับอ่าวไทยมีที่ตั้งอยู่ในเขตร้อนของโลก และเป็นทะเลที่เชื่อมต่อกับทะเลจีนใต้ก็เป็นทะเลที่เชื่อมต่อกับมหาสมุทรแปซิฟิกทางฝั่งตะวันตก กล่าวคือการเชื่อมของอ่าวไทย, ทะเลจีนใต้ และแปซิฟิกทางตะวันตกส่งผลต่อการไหลเวียนของน้ำทะเลซึ่งกันและกัน โดยส่งผลต่ออุณหภูมิผิวน้ำทะเลทำให้อุณหภูมิผิวน้ำทะเลบริเวณอ่าวไทยตอนบนในบางช่วงเวลาได้รับอิทธิพลจากดัชนีสมุทรศาสตร์ ดังนั้นในงานวิจัยจึงใช้ค่าดัชนีสมุทรศาสตร์ที่เรียกว่า Ocean Nino Index (ONI) เพราะเป็นดัชนีที่มีอิทธิพลส่งผลต่อค่าความผิดปกติ (Anomaly) ของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลบริเวณอ่าวไทยตอนบนและส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ มากกว่าอิทธิพลจากดัชนีทางสมุทรศาสตร์อื่น ๆ (Luang-on et al., 2021) เพื่อเป็นการตรวจสอบค่าความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลอ่าวไทยตอนบนที่ได้รับอิทธิพลจากดัชนี ONI มหาสมุทรแปซิฟิกเขตร้อนที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผิวน้ำทะเลด้วยการหาความสัมพันธ์ด้วยสหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน และความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ ที่ได้รับอิทธิพลทางอ้อมโดยการวิเคราะห์ตัวแปรส่งผ่านด้วยการทดสอบโซเบล (Mediation analysis with Sobel test) บริเวณอ่าวไทยตอนบนในช่วงระยะเวลาที่ศึกษา 8 ปี

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ ในช่วงระยะเวลาปี พ.ศ.2558 ถึง 2565 โดยผลลัพธ์ของความสัมพันธ์ตามการเปลี่ยนแปลงเชิงเวลา และเชิงพื้นที่ ในช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (ฤดูฝน), ช่วงลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (ฤดูหนาว)

และช่วงไม่มีลมมรสุม (ฤดูร้อน) ทั้งนี้ในงานวิจัยใช้การวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบด้วยสหสัมพันธ์ ได้แก่ สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson correlation) เพื่อวัดระดับและทิศทางของความสัมพันธ์ระหว่างสองตัวแปร, สหสัมพันธ์แบบไขว้ (Cross correlation) เพื่อตรวจสอบการเกิดระยะล่าช้าระหว่างข้อมูลซึ่งเหมาะสำหรับคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ ในรูปแบบของอนุกรมเวลา ทั้งนี้สหสัมพันธ์แบบเชิงส่วน (Partial correlation) เพื่อเป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ ที่ชัดเจนมากขึ้นโดยทำการขจัดอิทธิพลจากดัชนี ONI ที่เข้ามามีผลกระทบในแต่ละช่วงลมมรสุม

### 1.3.2 ขอบเขตพื้นที่การศึกษา

พื้นที่อ่าวไทยตอนบนมีอาณาบริเวณติดกับพื้นที่จังหวัดชลบุรี, ฉะเชิงเทรา, สมุทรปราการ, กรุงเทพมหานคร, สมุทรสาคร, สมุทรสงครามและเพชรบุรี ตามพระราชบัญญัติกำหนดเขตจังหวัดในอ่าวไทยตอนบน พ.ศ. 2502 มาตรา 3 (ราชกิจจานุเบกษา, 2502, 23 กันยายน) เป็นทะเลกึ่งปิดน้ำตื้นที่ใหญ่ที่สุดแห่งหนึ่งในเขตร้อนที่ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ และลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ มีพื้นที่ทั้งหมดประมาณ 10,360 ตารางกิโลเมตร ลักษณะพื้นที่ท้องทะเลมีความลาดลงจากฝั่งทะเลบริเวณก้นอ่าวไทย มาจนถึงบริเวณตอนล่างของอ่าวไทยตอนบน โดยฝั่งทะเลตะวันตกมีความลาดน้อยกว่าฝั่งทะเลตะวันออก มีมวลน้ำที่มีความเค็มต่ำเกิดจากการรับอิทธิพลจากการปล่อยของแม่น้ำและปริมาณน้ำฝน



รูปที่ 1 พื้นที่ศึกษาบริเวณอ่าวไทยตอนบน (อ่าวรูป ก.)

#### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ บริเวณอ่าวไทยตอนบนซึ่งสามารถทำนายผลกระทบการเปลี่ยนแปลงที่จะเกิดขึ้นระหว่างอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์เพื่อเป็นประโยชน์ในด้านติดตามสิ่งแวดล้อมทางทะเลและการประมง



## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

##### 2.1.1 ดาวเทียม Aqua ระบบเซนเซอร์ MODIS

ดาวเทียม Aqua มีระบบเซนเซอร์ MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) ติดตั้งบนดาวเทียมและถือเป็นดาวเทียมในกลุ่มดาวเทียมสำรวจ เป็นดาวเทียมดวงที่ 2 ในระบบ Earth Observing System (EOS) ของ NASA ได้รับการออกแบบและพัฒนาโดย Engineering Model (EM) เสร็จสมบูรณ์ในกลางปี 1995 โดยดาวเทียม Aqua เปิดตัวเมื่อวันที่ 4 พฤษภาคม พ.ศ. 2545 และ ดาวเทียม Terra เมื่อวันที่ 18 ธันวาคม พ.ศ. 2542 ซึ่งมีภารกิจเพื่อการสำรวจชั้นบรรยากาศ, พื้นโลก และมหาสมุทร

ดาวเทียม Aqua มีวงโคจรอยู่ที่ระดับ 705 กิโลเมตร โดยโคจรจากขั้วโลกใต้ขึ้นไปยังขั้วเหนือ (Ascending) มีระยะกว้างในการถ่ายภาพ (Swath) ประมาณ 2,330 กิโลเมตร ครอบคลุมทั่วโลกทุกๆ 1-2 วัน ซึ่งดาวเทียม Aqua มีระบบเซนเซอร์ MODIS 36 ช่วงคลื่น เป็นระบบออปติคัลประกอบด้วยกล้องโทรทรรศน์โฟกัสนอกแกนกระจก 2 ตัว ซึ่งจะส่งพลังงานไปยังวัตถุเป้าหมายหักเหแสงเป็น 4 ความยาวคลื่น ได้แก่ visible (VIS), near-infrared (NIR), short-wave infrared (SWIR) และ long-wave infrared (LWIR) โดยครอบคลุมความยาวคลื่นตั้งแต่ 0.4 ถึง 14.4 ไมโครเมตร และมีขนาดความละเอียดเชิงพื้นที่แตกต่างกัน 3 ระดับคือ ที่ขนาด 250 เมตร (ช่วงคลื่น 1 และ 2 ), ขนาด 500 เมตร (ช่วงคลื่น 3 – 7 ) และขนาด 1 กิโลเมตร (ช่วงคลื่น 8 - 36)



รูปที่ 2 Aqua Satellite

ที่มา: (<https://podaac.jpl.nasa.gov/AQUA?tab=mission-objectives>)

ตารางที่ 1 แสดงความยาวช่วงคลื่นของดาวเทียมระบบ MODIS

Primary Use	Band	Bandwidth <sup>1</sup>	Spectral Radiance <sup>2</sup>	Required SNR <sup>3</sup>
Land/Cloud/Aerosols Boundaries	1	620 - 670	21.8	128
	2	841 - 876	24.7	201
Land/Cloud/Aerosols Properties	3	459 - 479	35.3	243
	4	545 - 565	29.0	228
	5	1230 - 1250	5.4	74
	6	1628 - 1652	7.3	275
	7	2105 - 2155	1.0	110
Ocean Color/ Phytoplankton/ Biogeochemistry	8	405 - 420	44.9	880
	9	438 - 448	41.9	838
	10	483 - 493	32.1	802
	11	526 - 536	27.9	754
	12	546 - 556	21.0	750
	13	662 - 672	9.5	910
	14	673 - 683	8.7	1087
	15	743 - 753	10.2	586
	16	862 - 887	6.2	516
Atmospheric Water Vapor	17	890 - 920	10.0	167
	18	931 - 941	3.6	57
	19	915 - 965	15.0	250
Primary Use	Band	Bandwidth	Spectral Radiance	Required NE[Δ]T(K) <sup>4</sup>
Surface/Cloud Temperature	20	3.660 - 3.840	0.45 (300K)	0.05
	21	3.929 - 3.989	2.38 (335K)	0.20
	22	3.929 - 3.989	0.67 (300K)	0.07
	23	4.020 - 4.080	0.79 (300K)	0.07
Atmospheric	24	4.433 - 4.498	0.17 (250K)	0.25

Temperature	25	4.482 – 4.549	0.59 (275K)	0.25
Cirrus Clouds	26	1.360 – 1.390	6.00	150 (SNR)
Water Vapor	27	6.535 – 6.895	1.16 (240K)	0.25
	28	7.175 – 7.475	2.18 (250K)	0.25
Cloud Properties	29	8.400 - 8.700	9.58 (300K)	0.05
Ozone	30	9.580 - 9.880	3.69 (250K)	0.25
Surface/Cloud	31	10.780 - 11.280	9.55 (300K)	0.05
Temperature	32	11.770 - 12.270	8.94 (300K)	0.05
Cloud Top	33	13.185 - 13.485	4.52 (260K)	0.25
Altitude	34	13.485 - 13.785	3.76 (250K)	0.25
	35	13.785 - 14.085	3.11 (240K)	0.25
	36	14.085 - 14.385	2.08 (220K)	0.35

<sup>1</sup> ช่วงคลื่น 1 ถึง 19 มีหน่วยเป็นนาโนเมตร, ช่วงคลื่น 20 ถึง 36 มีหน่วยเป็นไมโครเมตร

<sup>2</sup> ค่าสเปกตรัมเรเดียนซ์ คือ  $W/m^2 \cdot \mu m \cdot sr$

<sup>3</sup> SNR คือ Signal-to-noise ratio

<sup>4</sup> NE(delta)T คือ Noise-equivalent temperature difference

ที่มา <https://modis.gsfc.nasa.gov/about/specifications.php>

ข้อจำกัดสำคัญในการได้มาของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลจากเครื่องวัดรังสีอินฟราเรด คือ การมีเมฆอยู่ในชั้นบรรยากาศที่แทรกแซง ขณะที่เมฆเหล่านี้ได้ขัดขวางการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากผิวน้ำทะเลไม่ให้ไปถึงความสูงของดาวเทียม ดังนั้นการวัดอุณหภูมิผิวน้ำทะเลใด ๆ ที่มีเมฆในขอบเขตการมองเห็นของเรดิโอมิเตอร์จะต้องถูกระบุและลบออกจากกระบวนการดึงข้อมูลอุณหภูมิผิวน้ำทะเล (Kilpatrick et al., 2001; Merchant et al., 2005; Saunders & Kriebel, 1988) เนื่องจากความจำเป็นในการคัดกรองเมฆในภาพอย่างละเอียด เครื่องวัดรังสีอินฟราเรดทั้งหมดที่ออกแบบมาเพื่อการดึงข้อมูลอุณหภูมิจึงมีช่องที่ตอบสนองต่อการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ที่กระจัดกระจาย (ช่วงอินฟราเรดที่มองเห็นหรือช่วงอินฟราเรดใกล้) เพื่อช่วยระบุเมฆอย่างน้อยในช่วงที่มีแสงแดดส่องถึงของแต่ละวงโคจร ซึ่งไอน้ำในบรรยากาศดูดซับส่วนสำคัญของการแผ่รังสีจากผิวน้ำทะเลในช่วงหน้าต่างบรรยากาศอินฟราเรด (infrared atmospheric window) แม้ในสภาพท้องฟ้าแจ่มใสก็ตาม ความแปรปรวนของไอน้ำต้องใช้อัลกอริทึมการแก้ไขบรรยากาศเพื่อใช้กับสถานะจริง ณ เวลาและสถานที่ของการวัด แทนที่จะเป็นค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่ได้จากการวัด ซึ่งสามารถทำได้โดยใช้การวัดที่

ดำเนินการในช่วงสเปกตรัมที่แตกต่างกันในหน้าต่างที่ส่งผ่านบรรยากาศซึ่งผลกระทบของไอน้ำแตกต่างออกไป ช่วงสเปกตรัมเหล่านี้ถูกกำหนดโดยคุณลักษณะของเรดิโอเมเตอร์ เรียกว่า แถบ (Bands) หรือ ช่องสัญญาณ (Channels) ซึ่งมีแนวคิด คือความแตกต่างของอุณหภูมิความสว่างที่วัดได้ในสองช่องสัญญาณขึ้นไปที่ความยาวคลื่นต่างกันนั้นสัมพันธ์กับความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและอุณหภูมิความสว่างในช่องใดช่องหนึ่ง ถึงแม้ว่าปฏิสัมพันธ์ระหว่างรังสีอินฟราเรดกับโมเลกุลในบรรยากาศจะมีความซับซ้อน กำหนดสมการโดยง่ายที่สามารถนำมาใช้เพื่อให้ได้อุณหภูมิผิวน้ำทะเลให้มีความแม่นยำที่เป็นประโยชน์ได้ดังสมการที่ 1 (May et al., 1998; Walton et al., 1998)

$$SST = a_0 + a_1 T_{11} + a_2 (T_{11} - T_{12}) SST_r + a_3 (T_{11} - T_{12}) (\sec \theta - 1) \quad [1]$$

โดยที่  $SST_r$  คือ อุณหภูมิผิวน้ำทะเลอ้างอิงหรืออุณหภูมิที่คาดเดาได้ก่อน เช่น อุณหภูมิที่อิงตามภูมิอากาศวิทยาของพื้นที่,  $\theta$  คือ มุม zenith ของเครื่องวัดรังสีดาวเทียมที่วัดตรงผิวน้ำทะเล และค่าสัมประสิทธิ์  $a_i$  จะถูกกำหนดโดยการวิเคราะห์การถดถอยของดาวเทียมที่ตรงกันและการวัดในแหล่งกำเนิด โดยส่วนใหญ่มาจากหุ่่น (Kilpatrick et al., 2001) หรือจากการวัดดาวเทียมจำลอง โดยใช้แบบจำลองการถ่ายโอนการแผ่รังสี (Llewellyn-Jones et al., 1984; Merchant & Le Borgne, 2004) จากตารางที่ 1 ข้อมูลอุณหภูมิผิวน้ำทะเลแบบช่วงคลื่นสั้น (The short-wave Sea surface temperature) ใช้ความยาวช่วงคลื่นระบบ MODIS ในความยาวช่วงคลื่นแถบ 22 - 23 เรียกว่า 'SST4' โดยที่ '4' ระบุตัวเลขความถี่ของแถบที่ใช้กับ Short wave Infrared ความยาวคลื่น 3.9 และ 4  $\mu\text{m}$  และข้อมูลอุณหภูมิผิวน้ำทะเลแบบช่วงคลื่นยาว (The long-wave Sea surface temperature) ใช้ความยาวช่วงคลื่นแถบ 31 -32 ความยาวคลื่น 11 และ 12  $\mu\text{m}$  เรียกว่า 'SST' ซึ่งจะให้ข้อมูลอุณหภูมิผิวน้ำทะเลในหน่วย องศาเซลเซียส (Kilpatrick et al., 2015) โดยตรวจจับการแผ่รังสีความร้อนที่ปล่อยออกมาจากพื้นผิวน้ำทะเล

ในส่วนของข้อมูลความเข้มข้นคลอโรฟิลล์จากดาวเทียม Aqua ระบบเซนเซอร์ MODIS จะให้ค่าประมาณของความเข้มข้นใกล้พื้นผิวของคลอโรฟิลล์ในหน่วยมิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) ที่คำนวณมาจากการวัดจากแหล่งกำเนิดของคลอโรฟิลล์และแสงสะท้อนจากกระยะไกลในบริเวณพื้นที่สีน้ำเงินถึงสีเขียวในช่วงสเปกตรัมที่มองเห็นได้ การใช้งานจะขึ้นอยู่กับความพร้อมของแถบความยาวช่วงคลื่น 3 แถบขึ้นไปซึ่งครอบคลุมความยาวช่วงสเปกตรัม 440 - 670 นาโนเมตร ซึ่งการใช้งานปัจจุบันสำหรับอัลกอริทึมคลอโรฟิลล์ (Chlor\_a) ใช้อัลกอริทึมอัตราส่วนความยาวช่วง



คลื่นมาตรฐาน (OCx) ที่ผสมกับดัชนีสี (color index ,CI) โดยวิเคราะห์ความแตกต่างความยาวคลื่นช่วงสีน้ำเงินและช่วงสีเขียว ดังสมการ 2 - 4 (Hu et al., 2019)

$$CI = R_{rs}(\lambda_g) - [R_{rs}(\lambda_b) + \frac{(\lambda_g - \lambda_b)}{(\lambda_r - \lambda_b) * (R_{rs}(\lambda_r) - R_{rs}(\lambda_b))}] \quad [2]$$

$$chlor\_a = 10^{(a_{0CI} + a_{1CI} * CI)} \quad [3]$$

$$\log_{10}(chlor\_a) = a_0 + \sum_{i=1}^4 a_i (\log_{10}(\frac{R_{rs}(\lambda_b)}{R_{rs}(\lambda_g)})) \quad [4]$$

โดย  $CI$  คือ ดัชนีสี,  $R_{rs}(\lambda_r)$ ,  $R_{rs}(\lambda_b)$ ,  $R_{rs}(\lambda_g)$  คือ ความยาวคลื่นช่วงสีแดง, ช่วงสีน้ำเงิน และช่วงสีเขียวของสเปกตรัม ตามลำดับ,  $chlor\_a$  คือ ค่าประมาณจากอัลกอริทึมคลอโรฟิลล์,  $a_{0CI}$ ,  $a_{1CI}$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของดัชนีสี และ  $a_0 - a_4$  คือ ค่าเซนเซอร์เฉพาะ

นอกจากนี้ในส่วนของข้อมูลความเข้มข้นคลอโรฟิลล์จากดาวเทียม Aqua ระบบ MODIS ได้เลือกข้อมูลที่ทำผสมกับข้อมูลความเข้มข้นคลอโรฟิลล์จากระบบ Ocean Colour Climate Change Initiative (OC-CCI) จากโครงการ GlobColour ซึ่งเป็นการรวบรวมการประมาณค่าความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ จากระบบเซนเซอร์ดาวเทียมหลายตัว เพื่อลดความไม่ต่อเนื่องทางเวลาและความลำเอียงเชิงพื้นที่ระหว่างเซ็นเซอร์ดาวเทียมเดี่ยว (Garnesson et al., 2019; Team, 2017; Welch et al., 2020) โดยโครงการ GlobColour ได้รับการพัฒนาในปี 2548 โดย European Space Agency (ESA) ในฐานะโปรแกรมองค์ประกอบผู้ใช้ข้อมูลเพื่อจัดทำชุดข้อมูลต่อเนื่องของผลิตภัณฑ์สีด้านมหาสมุทร ที่ผสมกันเข้าด้วยกันเพื่อรองรับการวิจัยวิจัยจักรวรรดิบนทั่วโลก

### 2.1.2 อุณหภูมิผิวน้ำทะเล (Sea surface temperature)

เนื่องจากน้ำมีความจุความร้อนจำเพาะ (Specific heat) ที่สูงเมื่อเทียบกับสารอื่นๆ ดังนั้นการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของอุณหภูมิในน้ำทะเลจะเป็นไปอย่างช้าๆ แม้ทะเลจะมีพื้นที่ผิวสำหรับรองรับแสงจากดวงอาทิตย์มากมายมหาศาลก็ตาม อุณหภูมิของน้ำทะเลในระดับผิวน้ำจะมีค่าสูงกว่าระดับที่ลึกส่งผลให้มีการหมุนเวียนของน้ำในแนวตั้งเกิดขึ้น พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ที่ส่องลงบนผิวน้ำทะเลจะผันแปรไปตามฤดูกาล, ละติจูดและลักษณะภูมิประเทศ ทำให้การกระจายของอุณหภูมิบริเวณผิวน้ำทะเลทั่วโลกแตกต่างกัน ยกเว้นในแถบขั้วโลกและเขตร้อนมีความแตกต่างของ

อุณหภูมิมีไม่มาก ตามปกติแล้วอุณหภูมิของน้ำทะเลจะเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนองศาของละติจูดลดลง ทั้งนี้เพราะอิทธิพลของความร้อนของน้ำทะเลได้รับจากดวงอาทิตย์ ดังตารางที่ 2, ตารางที่ 3 และรูปที่ 3 ส่วนอุณหภูมิของน้ำทะเลที่เย็นที่สุดจะปรากฏอยู่บริเวณขั้วโลก ซึ่งจะมีอุณหภูมิต่ำกว่า -1.8 องศาเซลเซียส แต่ในบริเวณแนวศูนย์สูตรจะมีค่าประมาณ 27 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตามในแนวเขตศูนย์สูตรบางแห่งอุณหภูมิของน้ำทะเลอาจสูงมากกว่าที่กล่าวมา เช่น บริเวณอ่าวเปอร์เซียจะสูงถึง 32 องศาเซลเซียส เป็นต้น สำหรับบริเวณขั้วโลกใต้อุณหภูมิของน้ำทะเลจะต่ำสุดในพื้นที่น้ำแข็งที่อยู่ติดกับทวีปแอนตาร์กติกา (สวัจน์ ธีธรรส, 2557)

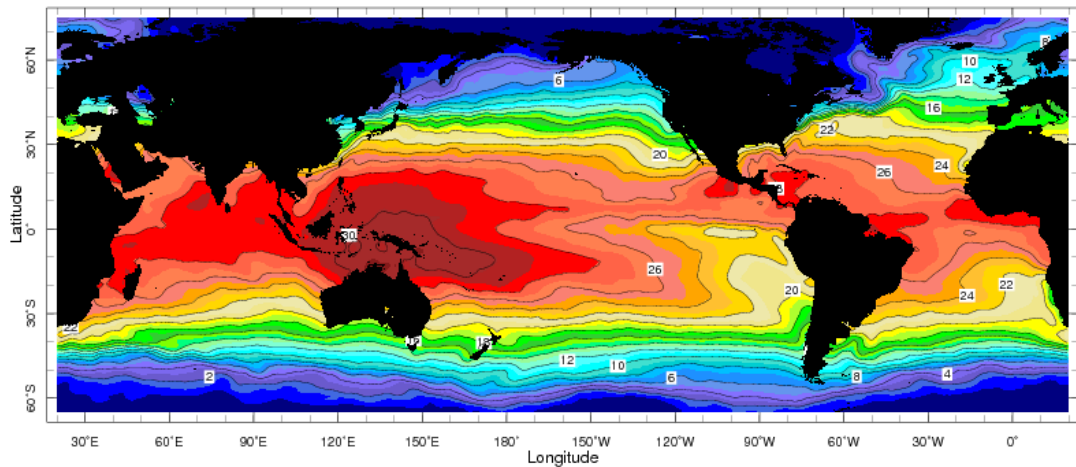
ตารางที่ 2 เปรียบเทียบอุณหภูมิบริเวณน้ำทะเลในละติจูดที่ต่างกันของมหาสมุทรแอตแลนติก, อินเดียและแปซิฟิกในซีกโลกเหนือ

ละติจูด (องศา)	แอตแลนติก (องศาเซลเซียส)	อินเดีย (องศาเซลเซียส)	แปซิฟิก (องศาเซลเซียส)
70 – 60	5.60	-	-
60 – 50	8.66	-	5.74
50 – 40	13.16	-	9.99
40 – 30	20.40	-	18.62
30 – 20	24.16	26.14	23.38
20 – 10	25.81	27.23	26.42
10 – 0	26.60	27.88	27.20

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบอุณหภูมิบริเวณน้ำทะเลในละติจูดที่ต่างกันของมหาสมุทรแอตแลนติก, อินเดียและแปซิฟิกในซีกโลกใต้

ละติจูด (องศา)	แอตแลนติก (องศาเซลเซียส)	อินเดีย (องศาเซลเซียส)	แปซิฟิก (องศาเซลเซียส)
70 – 60	-1.30	-1.53	-1.30
60 – 50	1.76	7.63	5.00
50 – 40	8.68	8.67	11.16
40 – 30	16.90	17.00	16.98
30 – 20	21.20	22.53	21.53
20 – 10	23.16	25.58	25.11
10 – 0	25.18	27.14	26.10

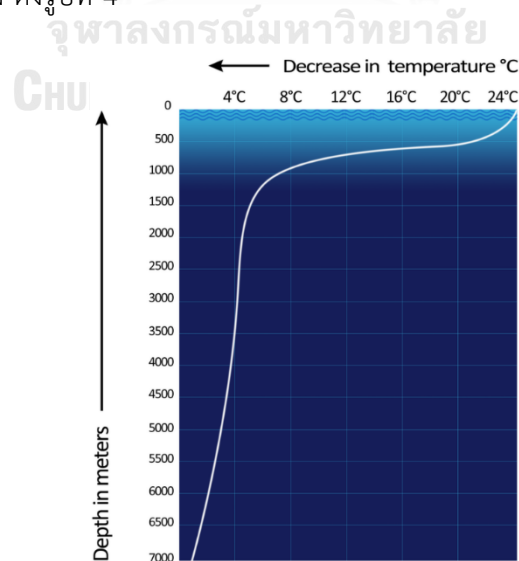
Dec 2022



รูปที่ 3 ตัวอย่างข้อมูลอุณหภูมิผิวน้ำทะเลเฉลี่ยเดือนธันวาคม ปี 2022

ที่มา [https://iridl.ldeo.columbia.edu/maproom/Global/Ocean\\_Temp/Monthly\\_Temp.html](https://iridl.ldeo.columbia.edu/maproom/Global/Ocean_Temp/Monthly_Temp.html)

โดยกระแสน้ำจะเป็นตัวการที่ช่วยทำให้อุณหภูมิพื้นผิวน้ำทะเลเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้น การที่กระแสน้ำอุ่นไหลจากเขตละติจูดต่ำขึ้นไปยังเขตละติจูดสูง จะทำให้อุณหภูมิของน้ำที่ไหลผ่านมีอุณหภูมิสูงขึ้น ในทางตรงกันข้าม บริเวณที่มีกระแสน้ำเย็นไหลผ่านจะทำให้อุณหภูมิผิวน้ำทะเลลดต่ำลง ดังนั้นในเขตละติจูดสูงหรือละติจูดกลางที่มีกระแสน้ำอุ่นไหลผ่านจึงทำให้อุณหภูมิของน้ำอุ่นขึ้น แต่ในเขตละติจูดต่ำถ้าหากมีกระแสน้ำเย็นไหลผ่านทำให้อุณหภูมิของน้ำทะเลลดลง (Thurman, 2019) สำหรับการกระจายอุณหภูมิของน้ำทะเลในแนวตั้ง ตามปกติแล้วอิทธิพลของความร้อนที่ได้รับจากดวงอาทิตย์จะทำให้ผิวน้ำทะเลร้อนเฉพาะบริเวณพื้นผิวน้ำเท่านั้นจึงมีผลทำให้น้ำทะเลที่อยู่ลึกลงไปมีอุณหภูมิลดต่ำลง ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 อุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับระดับความลึก

ที่มา (Thurman, 2019)

อุณหภูมิผิวน้ำทะเลวัดโดยเครื่องวัดรังสีอินฟราเรดจากเซนเซอร์ระบบ MODIS โดยทั่วไปเรียกว่า อุณหภูมิผิวของมหาสมุทร ทั้งนี้เนื่องจากรังสีที่วัดโดยเครื่องวัดรังสีอินฟราเรดมีต้นกำเนิดที่ชั้นผิวที่มีความร้อนใต้ผิวของมหาสมุทร ไม่ใช่การวัดอุณหภูมิที่ผิวน้ำทะเลโดยเครื่องวัดอุณหภูมิจากแหล่งกำเนิดโดยตรง (Donlon et al., 2007) ซึ่งชั้นผิวความร้อนของมหาสมุทรมีความหนาน้อยกว่า 1 มิลลิเมตร (Hanafin, 2002; Wong & Minnett, 2018) โดยใช้รังสีอินฟราเรดของสเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้าในตรรกะจับการปล่อยความร้อน ซึ่งใช้รังสีทำการตรวจวัดใต้ผิวน้ำทะเลประมาณ 10 ไมโครเมตร จนถึงความลึก 1 มิลลิเมตร โดยที่ผิวน้ำทะเลทั้งหมดจะสะท้อนรังสีออกมาซึ่งความแรงของรังสีที่ได้รับขึ้นอยู่กับอุณหภูมิผิวน้ำทะเล ถ้าอุณหภูมิยิ่งสูงขึ้นพลังงานที่ปล่อยออกมาก็ยิ่งมากขึ้นเท่านั้น ซึ่งตามหลักแล้วอุณหภูมิจะเย็นในระดับน้ำชั้นลึกลงไปเนื่องจากการไหลของความร้อนในแนวตั้ง ซึ่งทิศทางของการไหลของน้ำ โดยทั่วไปจะมาจากก้นมหาสมุทรสู่ชั้นผิว กระบวนการที่แตกต่างกัน 3 กระบวนการ ส่งผลกระทบต่อการไล่ระดับอุณหภูมิผิวน้ำทะเล ได้แก่ การดูดซับการแยกแสงอาทิตย์, การแลกเปลี่ยนความร้อนกับชั้นบรรยากาศ และความปั่นป่วนใต้พื้นผิว โดยทั่วไปในเวลากลางวันหรือเมื่อความเร็วลมมากกว่า 6 เมตรต่อวินาที ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและระดับชั้นลึกมักจะค่อนข้างคงที่ ภายใต้เงื่อนไขเหล่านี้โดยทั่วไปจะมีการรายงานการตรวจสอบความถูกต้องและความไม่แน่นอนที่สัมพันธ์กับหุ่นใต้พื้นผิวจากการตรวจวัดจากแหล่งกำเนิด เนื่องจากการตรวจวัดอุณหภูมิผิวน้ำทะเลที่ได้จากดาวเทียมเมื่อมาสอบเทียบกับข้อมูลจากหุ่นจะมีความคลาดเคลื่อนหลายประการ ไม่ว่าจะเป็นความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งหรือระดับความลึกในการตรวจวัดโดยหุ่นลอยจะวัดที่ระดับความลึก 1.5 เมตร จากผิวน้ำทะเลแต่การแผ่รังสีอินฟราเรดที่วัดด้วยดาวเทียม จะวัดจากผิวน้ำทะเลโดยตรง อย่างไรก็ตาม ความสัมพันธ์สามารถเปลี่ยนแปลงได้อย่างมาก ภายใต้สภาวะการรับรังสีจากดวงอาทิตย์ที่สูง, ความเร็วลมต่ำ และความปั่นป่วนใต้พื้นผิวที่ลดลง (Minnett, 2003) (Ward, 2006)

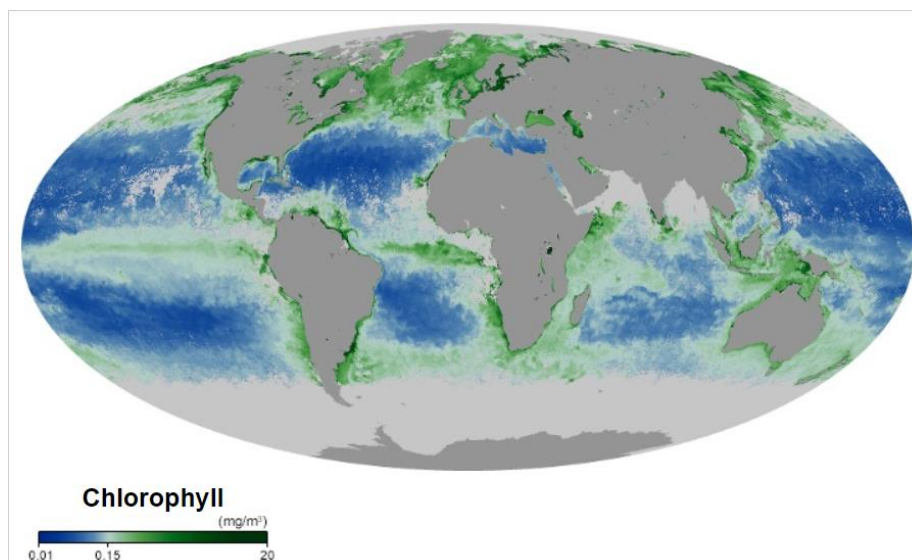
จากการตรวจวัดค่าอุณหภูมิผิวน้ำทะเลด้วยดาวเทียมซึ่งค่าอุณหภูมิที่ได้นั้น ไม่ได้วัดอุณหภูมิที่ผิวน้ำทะเลโดยตรง ดังนั้นในการนำค่าอุณหภูมิผิวน้ำทะเลมาใช้ประโยชน์ เพื่อการวิเคราะห์และสามารถดูแนวโน้มได้โดยคร่าว ซึ่งสามารถดูการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในแต่ละช่วงของปี และพิจารณาถึงผลกระทบจากอุณหภูมิผิวน้ำทะเลที่มีอิทธิพลต่อภูมิอากาศ (Climate) และสภาพอากาศ (Weather) ยกตัวอย่างได้จากปรากฏการณ์เอนโซ (ENSO) ซึ่งแสดงให้เห็นอิทธิพลของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับสภาพอากาศ และอุณหภูมิของโลก นอกจากนี้แล้วอุณหภูมิผิวน้ำทะเลยังส่งผลกระทบต่อ

โดยตรงต่อการก่อตัวและพัฒนาของพายุหมุนเขตร้อน แล้วยังเกี่ยวข้องกับปริมาณของสารอาหารในทะเลอีกด้วย

### 2.1.3 ความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ (Chlorophyll concentration)

คลอโรฟิลล์-เอ (Chlorophyll-a) เป็นรงควัตถุ (pigment) ที่สำคัญที่พบในพืช และแบคทีเรียบางชนิดมีหน้าที่รับพลังงานจากแสงที่ถูกนำไปใช้ในการสร้างพลังงานสามารถพบได้ในแพลงก์ตอนพืช, สาหร่าย และแบคทีเรียในทะเลบริเวณชายฝั่งที่มีความอุดมสมบูรณ์สูง จะพบแพลงก์ตอนในปริมาณมากเพราะธาตุอาหารมากทำให้แพลงก์ตอนพืชเติบโตได้ดีส่งผลให้การเพิ่มปริมาณของแพลงก์ตอนพืชในน้ำทะเลมีมากเกินไป อาจทำให้เกิดปรากฏการณ์ขึ้นบลาวาพหรือน้ำทะเลเปลี่ยนสี (Red tide หรือ Plankton bloom) ส่งผลกระทบที่ไม่ดีต่อสิ่งแวดล้อม เกิดการตายของสิ่งมีชีวิตที่อาศัยในทะเลบริเวณที่ได้รับผลกระทบ และเกิดมลพิษทางน้ำ

พื้นฐานของใยอาหารในมหาสมุทรมีสาหร่ายเซลล์เดียว และสิ่งมีชีวิตคล้ายพืชอื่นๆ ที่เรียกว่าแพลงก์ตอนพืช เช่นเดียวกับพืชบนบก ซึ่งแพลงก์ตอนพืชใช้คลอโรฟิลล์และเม็ดสีที่เก็บเกี่ยวแสงเพื่อใช้ในการสังเคราะห์แสงซึ่งคลอโรฟิลล์ในน้ำเปลี่ยนการสะท้อน และดูดซับแสงในส่วนสีน้ำเงิน และสีแดงของสเปกตรัมและสะท้อนแสงในส่วนสีเขียวทำให้สามารถกำหนดปริมาณและตำแหน่งของแพลงก์ตอนพืชได้ โดยความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ที่มีความเข้มข้นสูงมาก จากพืชทะเลขนาดเล็กที่อาศัยอยู่บนผิวน้ำ กำลังเติบโตนั้นอยู่ในบริเวณขั้วโลกที่เย็นจัด หรือในบริเวณที่กระแสน้ำในมหาสมุทรพัดพาน้ำเย็นขึ้นสู่ผิวน้ำ เช่น บริเวณเส้นศูนย์สูตรและตามชายฝั่งของทวีปต่างๆ ซึ่งบริเวณน้ำที่มีอุณหภูมิเย็นไม่ใช่สิ่งที่จะกระตุ้นแพลงก์ตอนพืช ซึ่งอุณหภูมิที่เย็นลงมักเป็นสัญญาณว่าน้ำได้ไหลขึ้นมาจากส่วนลึกของมหาสมุทรจนถึงผิวน้ำทะเลโดยนำพาสารอาหารที่สะสมไว้ขึ้นมาบนผิวน้ำทะเล เมื่อเวลาผ่านไปไม่นานน้ำบริเวณขั้วโลก สารอาหารจะสะสมอยู่ในผิวน้ำทะเลในช่วงฤดูหนาวที่มีมืดเพราะแสงแดดส่องลงมาน้อย ทำให้พืชไม่สามารถเติบโตได้ และเมื่อแสงแดดส่องกลับมาในฤดูใบไม้ผลิและฤดูร้อน แพลงก์ตอนพืชจะเติบโตอย่างเข้มข้นบริเวณน้ำทะเลที่เย็นและอุดมด้วยพืชล้อมรอบโลกที่เส้นศูนย์สูตร คือ มหาสมุทรแอตแลนติกและน่านน้ำเปิดบริเวณมหาสมุทรแปซิฟิกซึ่งเป็นบริเวณพื้นที่ที่มีการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืชที่เพิ่มขึ้นมาจากการที่น้ำลึก และเย็นขึ้นบ่อยครั้ง อันเป็นผลมาจากลมการค้าตะวันออกที่พัดผ่านพื้นผิวมหาสมุทร น้ำที่เพิ่มขึ้นหรือสูงขึ้นจะนำพาธาตุเหล็กและสารอาหารอื่นๆ มาจากพื้นมหาสมุทร



รูปที่ 5 ความเข้มข้นคลอโรฟิลล์

ที่มา ([https://earthobservatory.nasa.gov/global-maps/MY1DMM\\_CHLORA](https://earthobservatory.nasa.gov/global-maps/MY1DMM_CHLORA))

แพลงก์ตอนพืชถือเป็นส่วนสำคัญของห่วงโซ่อาหารของมหาสมุทรซึ่งเป็นแหล่งอาหารของสัตว์น้ำหลายชนิด ซึ่งอุณหภูมิผิวน้ำทะเลส่งผลทั้งทางบวก และทางลบต่อการควบคุมความสามารถในการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืช (Dunstan et al., 2018) ในบางพื้นที่อุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์มีความสัมพันธ์ในเชิงบวก เนื่องจากอุณหภูมิผิวน้ำทะเลที่เพิ่มขึ้นสามารถเพิ่มอัตราการสังเคราะห์แสงในสิ่งมีชีวิตนำไปสู่การเพิ่มความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ส่งเสริมการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืช ในขณะเดียวกันบางพื้นที่อุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์มีความสัมพันธ์ในเชิงลบ เกิดขึ้นได้เนื่องจากอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นสามารถนำไปสู่การเพิ่มขึ้นน้ำทะเลเป็นการแบ่งแยกน้ำในมหาสมุทรออกเป็นชั้นๆ ซึ่งสามารถจำกัดการผสมสารอาหารในแนวตั้งของน้ำทะเล และลดความอุดมสมบูรณ์ของสารอาหารสำหรับแพลงก์ตอนพืช ส่งผลให้การเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืช และความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ถูกจำกัด ทั้งนี้ความสัมพันธ์อุณหภูมิผิวน้ำทะเล และความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์จะแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับช่วงเวลาของปี, กระแสน้ำในมหาสมุทรและสภาพแวดล้อมที่เฉพาะเจาะจง ซึ่งพื้นที่อ่าวไทยซึ่งเป็นอ่าวกึ่งปิดตั้งอยู่ในบริเวณเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ อยู่ในบริเวณทางฝั่งตะวันตกของแปซิฟิกศูนย์สูตรก็จะได้รับอิทธิพลของเอลนีโญที่ส่งผลให้เกิดภาวะที่ปริมาณฝนน้อยกว่าปกติ และเกิดภาวะการแห้งแล้งรวมถึงอุณหภูมิอากาศที่สูงขึ้นกว่าปกติ เมื่ออุณหภูมิอากาศสูงขึ้นกว่าปกติ ก็จะส่งผลให้อุณหภูมิผิวน้ำทะเลมีค่าที่สูงขึ้นกว่าปกติด้วย ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิผิวน้ำทะเลสูงขึ้นกว่าปกติ ก็จะส่งผลต่อสิ่งมีชีวิตในทะเลเป็นอย่างมาก (Boonchai et al., 2022) ซึ่งสาหร่ายที่เจริญเติบโตอย่างรวดเร็วและมีจำนวน

หนาแน่นจะกั้นไม่ให้แสงอาทิตย์ส่องลงไปยังบริเวณแหล่งน้ำได้ ทำให้พืชที่อยู่ใต้ผิวน้ำที่ลึกลงไปไม่สามารถดำรงชีวิตได้ เนื่องจากไม่สามารถรับแสงอาทิตย์เพื่อสังเคราะห์แสง อีกทั้งสัตว์หรือสิ่งมีชีวิตอื่นๆที่กินพืชเพื่อการดำรงชีวิต ตายตามไปด้วยเนื่องจากไม่มีแหล่งอาหาร เมื่อน้ำทะเลพัดพาสาหร่ายเหล่านี้เข้าสู่ชายฝั่งทะเล ซากสาหร่ายเกิดการเน่าเสียส่งผลให้น้ำมีลักษณะสีเขียว, มีกลิ่นเหม็นและทำให้เกิดภาวะออกซิเจนในน้ำลดลง ทำให้ค่าแอมโมเนียสูงขึ้นส่งผลกระทบต่อสัตว์น้ำและสิ่งมีชีวิตบริเวณอ่าวและชายฝั่งตายเป็นจำนวนมากอีกด้วย

#### 2.1.4 ลักษณะทั่วไปของอ่าวไทยตอนบน

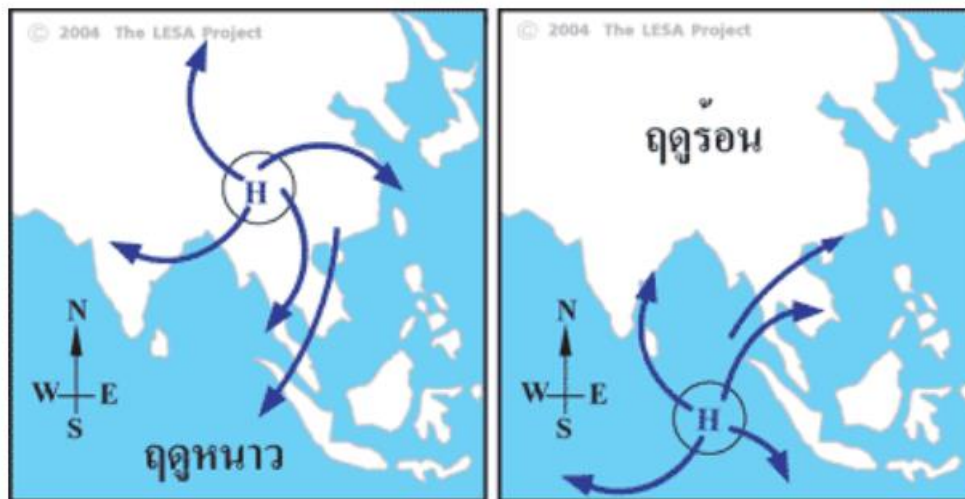
อ่าวไทยตอนบนมีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมคล้าย ก มีชายฝั่งทะเลรวมเป็นระยะทางประมาณ 270 กิโลเมตร ระดับความลึกเฉลี่ย 15 เมตร พื้นที่อ่าวทะเลมีความลาดลงจากฝั่งทะเลบริเวณก้นอ่าวไทยมาจนถึงบริเวณตอนล่างของอ่าวไทยตอนบน โดยฝั่งทะเลด้านตะวันตกมีความลาดเอียงน้อยกว่าฝั่งทะเลด้านตะวันออก โดยความลาดเอียงของพื้นอ่าวมีค่าประมาณ 0.2 เมตรต่อหนึ่งกิโลเมตร (เปี่ยมศักดิ์ เมาะเศเวต, 2543) อ่าวไทยตอนบนรับน้ำท่าจากแม่น้ำ 4 สายหลัก ได้แก่ แม่น้ำแม่กลอง, แม่น้ำท่าจีน, แม่น้ำเจ้าพระยา และแม่น้ำบางปะกง ผลจากการไหลลงของแม่น้ำหลายสายทำให้ความเค็มบริเวณอ่าวไทยตอนบนมีค่อนข้างต่ำซึ่งจะแตกต่างกัน ตามฤดูกาลและปริมาณน้ำฝน ทรัพยากรชายฝั่งที่สำคัญ ได้แก่ ป่าชายเลน, หญ้าทะเลและแนวปะการัง ซึ่งกระจายตัวอยู่บริเวณชายฝั่ง พื้นที่อ่าวไทยตอนบนครอบคลุมบริเวณจังหวัดชลบุรี, ฉะเชิงเทรา, สมุทรปราการ, กรุงเทพมหานคร, สมุทรสาคร, สมุทรสงครามและเพชรบุรี โดยในฝั่งตะวันออกและชายฝั่งภาคกลางมีแหล่งอุตสาหกรรม ท่าเรือน้ำลึก และพื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง ส่วนชายฝั่งภาคตะวันตกจะเป็นพื้นที่เพาะเลี้ยงชายฝั่งเป็นส่วนใหญ่ (ส่วนแหล่งน้ำทะเล, 2546)

##### 2.1.4.1 สภาพภูมิอากาศ

การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของภูมิอากาศพื้นน้ำทะเลมีความร้อนจำเพาะสูง ทำให้อุณหภูมิของน้ำทะเลมีความแปรปรวนค่อนข้างน้อย ในซีกโลกด้านเหนือเส้นศูนย์สูตร รูปแบบความแปรปรวนของค่าความกดอากาศ (Atmospheric pressure) จะสูงหรือต่ำขึ้นอยู่กับฤดูกาล ในช่วงฤดูร้อน ภูมิอากาศในบริเวณแนวชายฝั่งมีอุณหภูมิสูง, ความหนาแน่นต่ำ และลอยตัวสูงขึ้น ทำให้เกิดความกดอากาศต่ำซึ่งอากาศเย็นจากทะเล มีค่าความกดอากาศสูงจะเข้าไปแทนที่ ส่วนในฤดูหนาวพื้นดินจะสูญเสียความร้อนได้รวดเร็วกว่าพื้นผิวน้ำทะเล ค่าความกดอากาศก็จะเป็นไปในทิศทางตรงกันข้ามกับช่วงฤดูร้อน การพัดหมุนเวียนของอากาศในซีกโลกเหนือจะพัดในลักษณะตามเข็มนาฬิกา

นาฬิกาทุกๆ บริเวณที่มีความกดอากาศสูง ขณะที่บริเวณที่มีความกดอากาศต่ำจะพัดในลักษณะ ทวนเข็มนาฬิกา ในส่วนซีกโลกใต้ก็จะเป็นไปในทิศทางที่ตรงกันข้ามกับทางซีกโลกเหนือ ซึ่งอิทธิพล ของฤดูกาลทางซีกโลกใต้เส้นศูนย์สูตรจะมีผลน้อยต่อการเคลื่อนที่ของมวลอากาศ ทั้งนี้เนื่องจาก ความแตกต่างในเรื่องฤดูกาลมีน้อย เพราะมีพื้นดินเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับพื้นน้ำ

การเปลี่ยนแปลงฤดูกาลมีผลต่อการหมุนเวียนของมวลอากาศเหนือพื้นผิวน้ำทะเล ยกตัวอย่าง เช่น การเกิดลมมรสุมในแถบทวีปเอเชีย ในช่วงฤดูร้อนอากาศเหนือบริเวณแผ่นดินจะ ร้อนและลอยตัวขึ้น กลายเป็นบริเวณที่มีความกดอากาศต่ำ ซึ่งอากาศเหนือบริเวณมหาสมุทรอินเดีย ที่เย็นกว่า, หนักกว่าและมีความกดอากาศสูงจึงไหลเข้าไปแทนที่ เกิดเป็นลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (Southwest monsoon) ในทางกลับกัน ในช่วงฤดูหนาวพื้นที่บริเวณแผ่นดินมีอุณหภูมิที่เย็นเร็วกว่า อากาศเหนือบริเวณพื้นดินเย็นตัวลงและมีความหนาแน่นมากจมลงสู่เบื้องล่าง เกิดหย่อมความ กดอากาศสูง ขณะที่อากาศเหนือบริเวณพื้นผิวน้ำทะเลลอยตัวขึ้นอยู่ ซึ่งมีความเบาและลอยตัวเพราะความ หนาแน่นน้อย เกิดหย่อมความกดอากาศต่ำ กระแสลมจึงพัดจากแผ่นดินออกสู่มหาสมุทรอินเดีย เรียกว่า ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (Northeast monsoon)



รูปที่ 6 ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (ซ้าย) และลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (ขวา)

ที่มา (สุวัจน์ ธีธรรส, 2557)

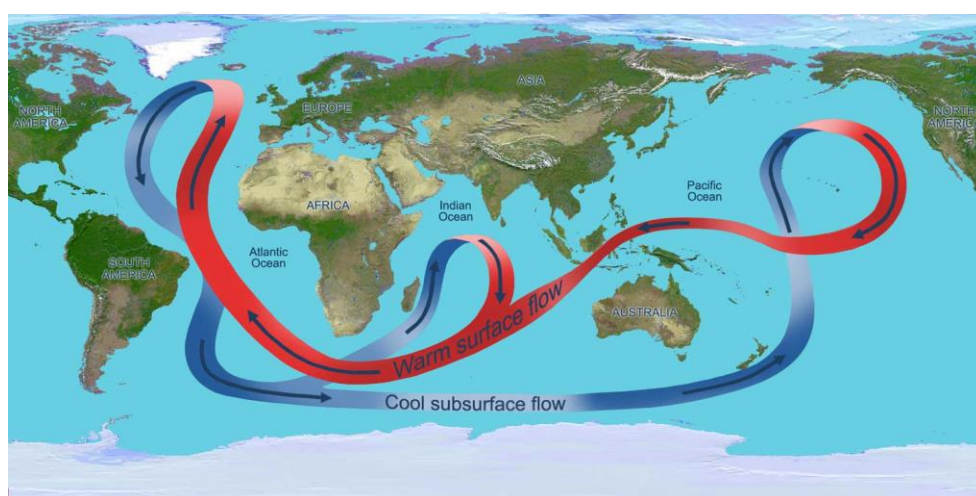
อ่าวไทยตอนบนได้รับอิทธิพลจากลมมรสุม ได้แก่ ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ช่วง ประมาณกลางเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคม และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ตั้งแต่ กลางเดือนเดือนตุลาคมถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์ (Dall'Olmo et al., 2003) ซึ่งช่วงที่ได้รับอิทธิพล



จากมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ มีสภาพอากาศค่อนข้างเย็น, แห้งแล้ง และอุณหภูมิต่ำลง ส่วนในช่วงที่ได้รับลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ มีสภาพอากาศจะค่อนข้างเย็นขึ้น และมีฝนตกชุก ส่วนในช่วงที่ไม่มีลมมรสุมหรือฤดูร้อนอยู่ระหว่างกลางเดือนกุมภาพันธ์ถึงกลางเดือนพฤษภาคมเป็นช่วงที่มีอากาศร้อน เนื่องจากได้รับอิทธิพลของลมใต้

#### 2.1.4.2 การไหลเวียนของกระแสน้ำ

การไหลเวียนของกระแสน้ำในทะเล คือ มวลน้ำจากที่หนึ่งไปอีกที่หนึ่ง กระแสน้ำในทะเลสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ กระแสน้ำบริเวณพื้นผิว (Surface currents) และกระแสน้ำลึก (Deep currents) ซึ่งกระแสน้ำที่มีขนาดใหญ่จะพบบริเวณพื้นผิวน้ำทะเล กระแสน้ำเหล่านี้จะช่วยเคลื่อนย้ายความร้อน จากเขตร้อนไปยังเขตหนาว และกระแสน้ำจะเป็นตัวเคลื่อนย้ายความร้อนจากเขตร้อนประมาณ 2 ใน 3 ของความร้อนทั้งหมดไปยังแถบขั้วโลก และที่เหลืออีกประมาณ 1 ใน 3 จะถูกเคลื่อนย้ายโดยกระแสน้ำทะเล (สุวิจน์ ธีธรส, 2557) รูปแบบการเคลื่อนที่ของพลังงานความร้อน โดยกระแสน้ำทะเลจะมีลักษณะคล้ายกับการเคลื่อนย้าย โดยกระแสน้ำทะเล จะมีผลต่อภูมิอากาศในเขตชายฝั่ง โดยกระแสน้ำเย็น (Cold current) จะไหลเข้าสู่แนวศูนย์สูตร (Equator) ทางไหลทวีปด้านทิศตะวันตก ทำให้มีสภาพความแห้งแล้งเกิดขึ้น ในทางตรงกันข้ามกระแสน้ำอุ่น (Warm current) จะไหลเข้าสู่ขั้วโลกจากไหลทวีปทางทิศตะวันออก ทำให้สภาพอากาศอบอุ่นและมีความชุ่มชื้น กระแสน้ำมีผลต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในทะเล ซึ่งกระแสน้ำทะเลมีอิทธิพลต่อความชุ่มชื้นของแพลงก์ตอนพืช และสาหร่ายที่อาศัยอยู่บริเวณผิวน้ำทะเล โดยมีผลต่อการเจริญเติบโตและเป็นจุดเริ่มต้นของระบบห่วงโซ่อาหารในทะเล



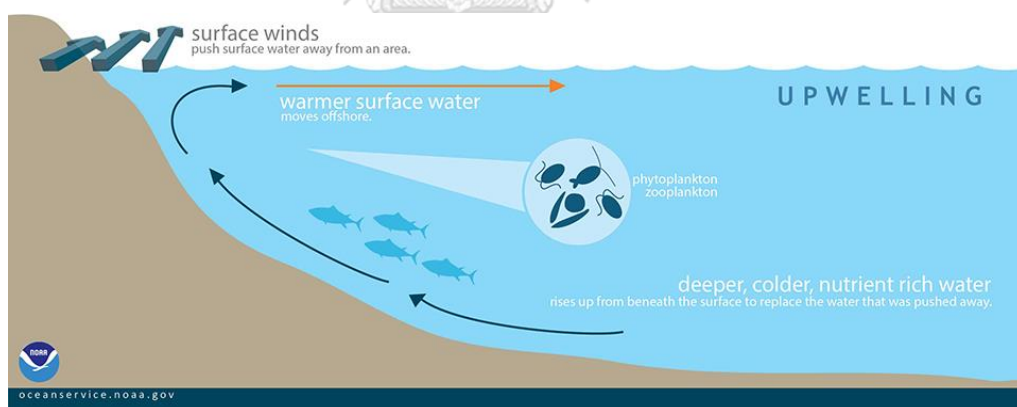
รูปที่ 7 การไหลเวียนของกระแสน้ำทะเล

ที่มา <https://ugc.berkeley.edu/background-content/ocean-circulation/>

ลักษณะการไหลเวียนของกระแสน้ำ บริเวณอ่าวไทยตอนบนขึ้นอยู่กับอิทธิพลของลมมรสุม ได้แก่ มรสุมตะวันออกเฉียงเหนือส่งผลให้กระแสน้ำมีทิศทางทวนเข็มนาฬิกา ส่วนมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ส่งผลให้กระแสน้ำเกิดทั้งในแบบตามเข็มนาฬิกาและทวนเข็มนาฬิกา ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมในช่วงเวลานั้น พบว่ากระแสน้ำมีทิศตามเข็มนาฬิกา เกิดจากอิทธิพลของลมที่พัดสม่ำเสมอทั่วทั้งพื้นที่ในช่วงนั้น สำหรับการเกิดกระแสน้ำแบบทวนเข็มนาฬิกา ยังไม่แน่ชัดว่าเกิดจากปัจจัยใด แต่อาจเกิดจากความไม่สม่ำเสมอของลมที่พัดในบริเวณพื้นที่อ่าว การแทรกตัวของน้ำภายนอกทางด้านตะวันออกของอ่าว การไหลลงมาของน้ำท่าหรือลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่ทะเลบริเวณดังกล่าว (Buranapratheprat, 2008)

### 2.1.4.3 ปราภฏการณน้ำผุด (Upwelling)

ปราภฏการณน้ำผุดเป็นปราภฏการณทางสมุทรศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนไหวที่ซับซ้อนด้วยลม ทำให้เกิดกระบวนการพัดพาน้ำเย็นและอุดมด้วยสารอาหารจากชั้นลึกของมหาสมุทรถูกดึงขึ้นสู่ผิวน้ำ ซึ่งมวลน้ำจากส่วนลึกของน้ำทะเลที่อุดมด้วยสารอาหารช่วยกระตุ้นการเติบโตและการสืบพันธุ์ของผู้ผลิตหลัก เช่น แพลงก์ตอนพืช และทำให้เกิดการผสมของมวลน้ำส่วนลึกที่มีอุณหภูมิเย็นทำให้อุณหภูมิผิวน้ำทะเลมีอุณหภูมิลดลง



รูปที่ 8 การเกิดปราภฏการณน้ำผุด

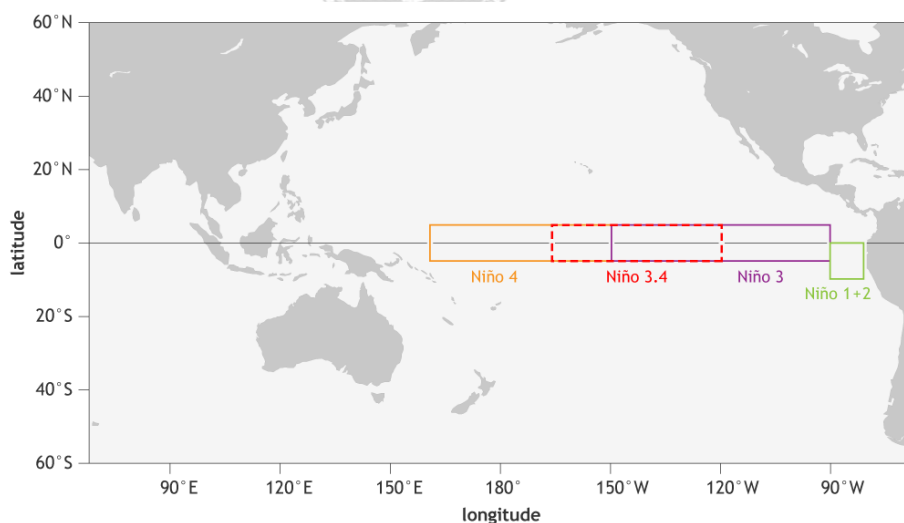
ที่มา (<https://oceanservice.noaa.gov/facts/upwelling.html>)

การเกิดปราภฏการณน้ำผุด บริเวณอ่าวไทยตอนบน จะเกิดในช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (พฤษภาคม-กันยายน) ซึ่งเป็นช่วงที่ลมแรงจะพัดไปตามชายฝั่งตะวันตกของอ่าว อาจทำให้เกิดการเคลื่อนตัวของน้ำห่างจากชายฝั่ง และนำไปสู่การไหลตัวของน้ำที่เย็นกว่าและอุดมด้วย

สารอาหารจากชั้นที่ลึกลงไป ทั้งนี้สามารถส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศทางทะเลในท้องถิ่นได้ โดยเป็นแหล่งสารอาหารเพิ่มเติมสำหรับแพลงก์ตอนพืชและสิ่งมีชีวิตในทะเลอื่นๆ

### 2.1.5 Ocean Nino Index (ONI)

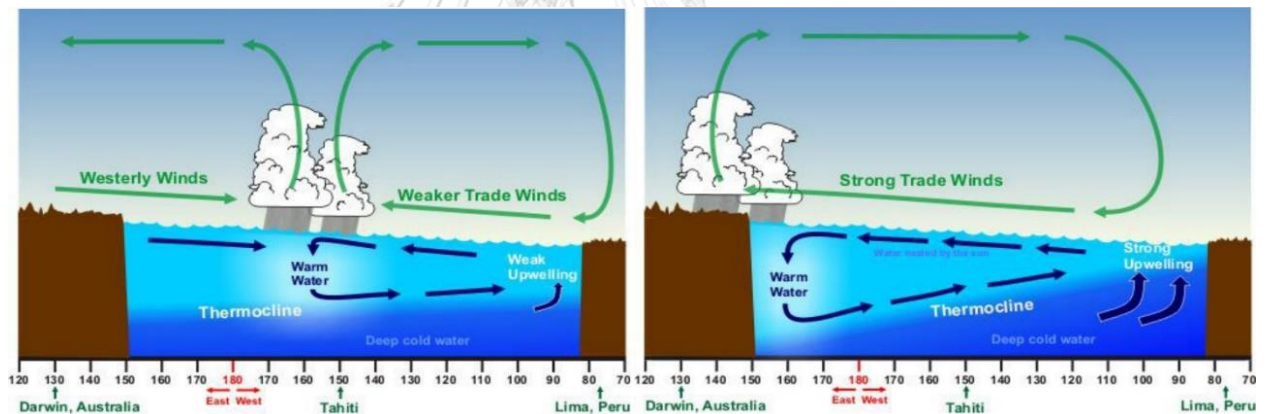
ปรากฏการณ์ทางมหาสมุทรศาสตร์ที่อุณหภูมิน้ำทะเลต่างไปจากค่าปกติ โดยคำนวณจากบริเวณที่เรียกว่า Niño 3.4 (มหาสมุทรแปซิฟิกบริเวณ 5N-5S, 170W-120W) โดยใช้ค่าเฉลี่ยทุก 3 เดือนจากค่าอุณหภูมิผิวน้ำทะเลที่เปลี่ยนไปจากค่าอุณหภูมิน้ำทะเลปกติ ซึ่งทางองค์การบริหารสมุทรศาสตร์และบรรยากาศแห่งชาติสหรัฐอเมริกา (National Oceanic and Atmospheric Administration : NOAA) ได้ใช้ดัชนี ONI เป็นค่าทำนายการเกิดปรากฏการณ์เอลนีโญ (El Niño) และลานีญา (La Niña) โดยค่าดัชนี ONI ต้องอยู่ในเกณฑ์ช่วงเดือนติดกัน 5 ครั้ง จึงจะระบุสถานการณ์ได้ว่าจะกำหนดให้เป็น El Niño, Normal หรือ La Niña ซึ่งทาง NOAA ให้คำจำกัดความไว้ว่าหากค่าดัชนี ONI มีค่าเป็นบวกตั้งแต่ +0.5 องศาเซลเซียสขึ้นไปเรียกว่า Warm phase จะถือว่าเป็นช่วงของ El Niño แต่ถ้าค่าดัชนี ONI มีค่าเป็นลบตั้งแต่ -0.5 องศาเซลเซียสลงมา เรียกว่า Cold phase ให้ถือเป็นช่วงของ La Niña



รูปที่ 9 พื้นที่บริเวณ Niño 3.4

ที่มา (<https://www.climate.gov/media/5541>)

ปรากฏการณ์เอลนีโญเกี่ยวข้องกับอุณหภูมิผิวน้ำทะเลที่อุ่นขึ้นในบริเวณมหาสมุทรแปซิฟิก ตะวันออก และเส้นศูนย์สูตรตอนกลาง ในขณะที่ปรากฏการณ์ลานีญาเกี่ยวข้องกับอุณหภูมิผิวน้ำทะเลที่เย็นกว่าในมหาสมุทรแปซิฟิก ซึ่งความผิดปกติของอุณหภูมิอาจส่งผลกระทบต่อการไหลเวียนของบรรยากาศ และรูปแบบการเกิดฝนนำไปสู่ภัยแล้ง, น้ำท่วมและเหตุการณ์สภาพอากาศที่รุนแรงอื่นๆ ซึ่งบริเวณอ่าวไทยในช่วงปรากฏการณ์เอลนีโญ อุณหภูมิผิวน้ำทะเลมีแนวโน้มที่จะอุ่นกว่าปกติ โดยเอลนีโญสามารถมีอิทธิพลต่ออุณหภูมิผิวน้ำทะเลในอ่าวไทยผ่านกลไกหลัก คือ การเปลี่ยนแปลงรูปแบบการหมุนเวียนของบรรยากาศทั่วภูมิภาคซึ่งอาจส่งผลให้เมฆปกคลุมลดลง และรังสีดวงอาทิตย์ส่องมายังพื้นผิวน้ำทะเลเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ผิวน้ำทะเลอุ่นขึ้น อีกทั้งยังส่งผลให้ลมมรสุมอ่อนกำลังลงทำให้ลดการเกิดปรากฏการณ์น้ำผุด และลดการผสมของน้ำที่มีอุณหภูมิเย็นกว่าในระดับลึกกับผิวน้ำทะเลที่จะทำให้อุณหภูมิผิวน้ำทะเลร้อนขึ้น ในขณะที่ในช่วงปรากฏการณ์ลานีญาทำให้เกิดลมมรสุมที่แรงขึ้นซึ่งสามารถเพิ่มการเกิดปรากฏการณ์น้ำผุด และการผสมของน้ำที่มีอุณหภูมิเย็นกว่าและลึกกว่ากับผิวน้ำทะเล ทำให้อุณหภูมิผิวน้ำทะเลมีแนวโน้มที่จะเย็นกว่าปกติ ดังรูปที่ 10

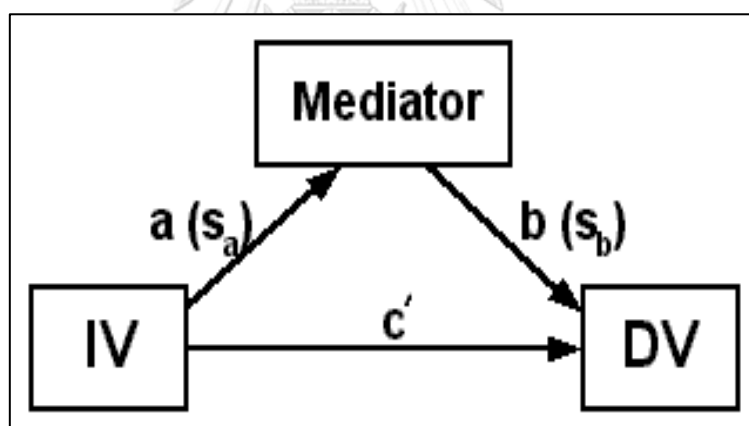


รูปที่ 10 เหตุการณ์เอลนีโญ (ซ้าย) และเหตุการณ์เกิดลานีญา (ขวา)

ที่มา (<https://pirca.org/2016/04/07/what-happens-during-el-nino-and-la-nina-events/>)

### 2.1.6 การวิเคราะห์ผ่านตัวแปรกลางด้วยการทดสอบของโซเบล (Mediation analysis with Sobel test)

การวิเคราะห์อิทธิพลตัวแปรส่งผ่านช่วยให้สามารถตรวจสอบผลกระทบของตัวแปรอิสระหนึ่งตัวขึ้นไปต่อตัวแปรตาม (ผลลัพธ์) ผ่านตัวแปรที่สามที่เรียกว่าตัวกลางหรือตัวแปรแทรกแซง ซึ่งอิทธิพลทางอ้อม (Indirect Effect) ถูกใช้เพื่อหาค่าอิทธิพลหรือค่าสัมประสิทธิ์ในการวิเคราะห์เส้นทาง ยกตัวอย่างเช่น ตัวแปร X มีอิทธิพลต่อตัวแปร M และตัวแปร M มีอิทธิพลต่อตัวแปร Y ซึ่งเรียกเส้นทางจากตัวแปร X ไปสู่ตัวแปร M และตัวแปร M ไปสู่ตัวแปร Y ว่าอิทธิพลทางตรง (Direct Effect) โดยการหาการวิเคราะห์อิทธิพลตัวแปรส่งผ่านจากตัวแปร X ไปสู่ตัวแปร Y โดยผ่านตัวแปร M มีค่าอิทธิพลเท่าไร โดยใช้การคำนวณค่าสถิติของโซเบลเพื่อทดสอบว่าตัวแปร X ได้ส่งอิทธิพลทางอ้อมผ่านตัวแปร M ไปสู่ตัวแปร Y อย่างมีนัยสำคัญแสดงดังรูป 11 และสมการที่ 5 หากค่าทดสอบของโซเบลมีค่ามากกว่า 1.96 ซึ่งเทียบเท่ากับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ถือว่าผลกระทบทางอ้อมมีนัยสำคัญ



รูปที่ 11 แผนผังอิทธิพลตัวแปรส่งผ่าน

$$Sobel\ test = \frac{a/b}{\sqrt{(b^2 \times s_a^2) + (a^2 \times s_b^2)}} \quad [5]$$

โดย  $a$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของตัวแปรอิสระไปสู่ตัวแปรสื่อกลาง

$b$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของตัวแปรสื่อกลางไปสู่ตัวแปรตาม

$s_a$  คือ ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของ  $a$

$s_b$  คือ ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของ  $b$

## 2.1.7 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ด้วยสหสัมพันธ์

### 2.1.7.1 สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson correlation)

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน เป็นการศึกษาค่าความสัมพันธ์เชิงเส้น (linear relationship) ระหว่างตัวแปร 2 ตัวหรือข้อมูล 2 ชุด โดยมีข้อตกลงเบื้องต้น คือ ตัวแปรทั้งสองต้องเป็นตัวแปรต่อเนื่องอยู่ในมาตราอันดับกลาง (interval scale) ขึ้นไป และมีการแจกแจงปกติสองตัวแปร (bivariate normal distribution) โดยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน จะมีค่าอยู่ระหว่าง - 1 ถึง + 1 เข้าใกล้  $\pm 1$  หมายความว่า ตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์กันอยู่ในระดับมาก ถ้าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ มีค่าเข้าใกล้ 0 หมายความว่า ตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์กันในระดับน้อยหรือไม่สัมพันธ์กันเลย เครื่องหมายบวก ( $\pm$ ) จะแสดงทิศทางของความสัมพันธ์ว่ามีทิศทางเป็นแบบใด โดยถ้าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีเครื่องหมายบวก (+) หมายความว่า ตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกัน หากมีเครื่องหมายลบ (-) หมายความว่า ตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์ไม่ไปในทิศทางเดียวกัน หรือตรงกันข้าม ซึ่งสามารถบอกเป็นช่วงระดับของความสัมพันธ์ ดังตารางที่ 4 และแสดงดังสมการที่ 6 (Pearson, 1920)

$$r_{xy} = \frac{n\sum xy - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{[n\sum x^2 - (\sum x)^2][n\sum y^2 - (\sum y)^2]}} \quad [6]$$

โดย  $r_{xy}$  คือ สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน

$\sum x$  คือ ผลรวมของข้อมูลที่วัดจากตัวแปรที่ 1

$\sum y$  คือ ผลรวมของข้อมูลที่วัดจากตัวแปรที่ 2

$\sum xy$  คือ ผลรวมของผลคูณของตัวแปรที่ 1 และ 2

$\sum x^2$  คือ ผลรวมของกำลังสองของข้อมูลที่วัดจากตัวแปรที่ 1

$\sum y^2$  คือ ผลรวมของกำลังสองของข้อมูลที่วัดจากตัวแปรที่ 2

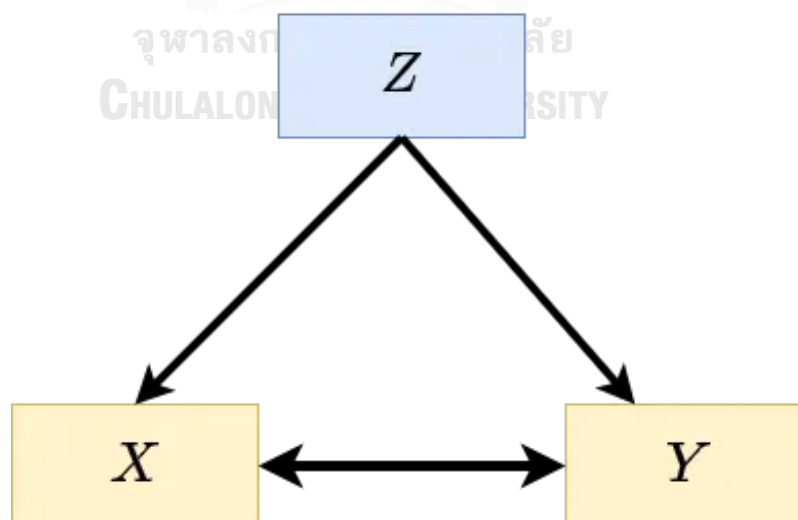
$n$  คือ ขนาดตัวอย่าง

ตารางที่ 4 ระดับค่าสหสัมพันธ์เพียร์สัน

ค่าสหสัมพันธ์	ระดับความสัมพันธ์
0.91 - 1.00	ความสัมพันธ์มากที่สุด
0.71 - 0.90	ความสัมพันธ์มาก
0.51 - 0.70	ความสัมพันธ์ปานกลาง
0.31 - 0.50	ความสัมพันธ์น้อย
0.00 - 0.30	ความสัมพันธ์น้อยที่สุด

### 2.1.7.2 สหสัมพันธ์แบบเชิงส่วน (Partial correlation)

สหสัมพันธ์แบบเชิงส่วนใช้วัดระดับและทิศทางของความสัมพันธ์ระหว่างสองตัวแปร ขณะที่คำนึงถึงผลกระทบของตัวแปรอื่นๆ ในการวิเคราะห์ซึ่งจะคำนวณความสัมพันธ์ของสองตัวแปรได้อย่างมีประสิทธิภาพด้วยการขจัดผลกระทบของตัวแปรนอก ซึ่งผลลัพธ์แสดงข้อมูลเชิงลึกจากความสัมพันธ์โดยตรงที่อาจถูกบดบังด้วยปัจจัยภายนอก ในทางคณิตศาสตร์สหสัมพันธ์แบบเชิงส่วนระหว่างตัวแปร  $x$  และ  $y$  โดยกำหนดตัวแปรควบคุม  $z$  ถูกกำหนดด้วย  $\rho(xy|z)$  ซึ่งสัญลักษณ์นี้แสดงถึงความสัมพันธ์  $x$  และ  $y$  หลังจากพิจารณาอิทธิพลของ  $z$  แสดงดังรูป 12 และสมการที่ 7 (Wang, 2013)

รูปที่ 12 สหสัมพันธ์แบบเชิงส่วนของ  $xyz$

$$\rho_{xy|z} = \frac{r_{xy} - r_{xz} \cdot r_{yz}}{\sqrt{(1 - r_{xz}^2)(1 - r_{yz}^2)}} \quad [7]$$

โดย  $\rho_{xy|z}$  คือ สหสัมพันธ์ระหว่าง  $X$  และ  $Y$  โดยขจัดอิทธิพลของ  $Z$  ออกไป

$r_{xy}$  คือ สหสัมพันธ์ระหว่าง  $X$  และ  $Y$

$r_{xz}$  คือ สหสัมพันธ์ระหว่าง  $X$  และ  $Z$

$r_{yz}$  คือ สหสัมพันธ์ระหว่าง  $Y$  และ  $Z$

### 2.1.7.3 สหสัมพันธ์แบบไขว้ (Cross correlation)

สหสัมพันธ์แบบไขว้ คือ การตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอนุกรมเวลาสองตัวพร้อมกันที่ค่าความล่าช้า (lagged values) ต่างๆ กล่าวคือ ค่าของตัวแปรอนุกรมเวลาสองตัว อาจเคลื่อนที่พร้อมกัน ณ เวลาเดียวกัน หรืออาจเป็นไปได้ว่าการเคลื่อนที่ในตัวแปรหนึ่งนำหน้าหรือตามการเคลื่อนที่ในอีกตัวแปรหนึ่ง ถ้าอนุกรมเวลาสองชุดข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ การวิเคราะห์สหสัมพันธ์แบบไขว้ สามารถทำได้โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson correlation) เป็นตัววัดความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างตัวแปรสองตัว ตั้งแต่ -1 (ความสัมพันธ์เชิงลบ) ถึง 1 (ความสัมพันธ์เชิงบวก) โดยค่า 0 บ่งชี้ว่าไม่มีความสัมพันธ์กัน ดังสมการที่ 8

$$r = \frac{\sum_{t=1}^{n-k} (X_t - \bar{X})(Y_{t+k} - \bar{Y})}{S_x S_y} \quad [8]$$

โดย  $r$  คือ สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

$n$  คือ จำนวนข้อมูลการวัด

$t$  คือ จำนวนแถว

$k$  คือ จำนวนเวลาความล่าช้า

$\bar{X}$  คือ ค่าเฉลี่ยของตัวแปร  $X$

$\bar{Y}$  คือ ค่าเฉลี่ยของตัวแปร  $Y$

$S_x$  คือ  $\sqrt{\sum_{t=1}^n (X_t - \bar{X})^2}$

$S_y$  คือ  $\sqrt{\sum_{t=1}^n (Y_t - \bar{Y})^2}$



## 2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

(Leenawarat et al., 2022) ศึกษาความแปรปรวนตามฤดูกาลของคลอโรฟิลล์-เอ (chl) และอิทธิพลของปรากฏการณ์เอลนีโญใต้ (ENSO) ที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมในอ่าวไทย โดยใช้ข้อมูลคลอโรฟิลล์-เอ (chl) รายเดือนจากดาวเทียม Aqua ระบบ MODIS ในช่วงปีค.ศ 2002 ถึง ค.ศ.2020 รวมไปถึงข้อมูลด้านสิ่งแวดล้อม ได้แก่ ข้อมูลอุณหภูมิผิวน้ำทะเล, ลม, ปริมาณน้ำฝนและข้อมูลการปล่อยน้ำในแม่น้ำถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์ซึ่งผลลัพธ์จากภูมิอากาศตามฤดูกาลซึ่งใช้วิธี Empirical Orthogonal Function (EOF) เป็นเทคนิคทางสถิติหุเชิงพรรณนาไว้อธิบายบริเวณพื้นที่ที่มีความเข้มข้นคลอโรฟิลล์สูงตามแนวชายฝั่งด้านตะวันตกถึงชายฝั่งทางใต้และใกล้แหลม Ca Mau ในช่วงมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (northeast monsoon, NEM), อ่าวไทยตอนบน (Upper Gulf of Thailand, UGoT), ชายฝั่งตะวันออกและปากอ่าวไทยในช่วงมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (southwest monsoon, SWM) ในขณะที่ความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ที่ต่ำเกิดขึ้นในช่วงที่ไม่มีมรสุม(non-monsoon, NON) ซึ่งบริเวณอ่าวไทยแบ่งพื้นที่ออกเป็น 2 ส่วน คือ พื้นที่บริเวณชายฝั่งและพื้นที่นอกบริเวณชายฝั่งตาม Empirical Orthogonal Function EOF ของข้อมูลคลอโรฟิลล์-เอ เพื่อที่จะตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างความแปรปรวนของคลอโรฟิลล์-เอ และพารามิเตอร์ข้อมูลด้านสิ่งแวดล้อม

ผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่า คลอโรฟิลล์-เอ ในพื้นที่ชายฝั่งและนอกชายฝั่งถูกควบคุมโดยกลไกต่างๆ ซึ่งคลอโรฟิลล์ในพื้นที่ชายฝั่งทะเลตอบสนองต่อฝน และการไหลของแม่น้ำและลมที่พัดเข้าหาฝั่ง ในขณะที่คลอโรฟิลล์นอกพื้นที่ชายฝั่งทะเล มีความสัมพันธ์กับข้อมูลอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและขนาดของลมซึ่งบ่งชี้ถึงความสำคัญของการผสมอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและกระบวนการปรากฏการณ์น้ำผุด โดยความผันผวนของคลอโรฟิลล์ในแต่ละฤดูกาลเกี่ยวข้องกับ ENSO ถูกบันทึกโดย EOF ตามความผิดปกติของฤดูกาลซึ่งอิทธิพลของ ENSO มีมากในช่วงมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือและช่วงไม่มีลมมรสุมแต่น้อยที่สุดในช่วงมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ โดยทั่วไปเอลนีโญทำให้เกิดฝนตกต่ำและอุณหภูมิผิวน้ำทะเลสูง ส่วนลานีญาทำให้เกิดฝนตกสูงและอุณหภูมิผิวน้ำทะเลต่ำ นอกจากนี้ปรากฏการณ์เอลนีโญและลานีญายังทำให้เกิดลมอ่อนและแรงอย่างผิดปกติ ในช่วงมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือซึ่งตรงกันข้ามกับในช่วงไม่มีลมมรสุม ความผิดปกติจะสูงและต่ำคลอโรฟิลล์ถูกพบในบริเวณพื้นที่ตื่นในช่วงเอลนีโญและลานีญาซึ่งสอดคล้องกับลมแรงและอ่อนของช่วงไม่มีลมมรสุม ซึ่งลมที่ผิดปกติภายใต้ ENSO ยังก่อให้เกิดการเคลื่อนตัวบริเวณพื้นที่ความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์สูงใกล้แหลม Ca Mau ซึ่งผลลัพธ์เหล่านี้ ช่วยเพิ่มความเข้าใจเกี่ยวกับมรสุมและ ENSO การเปลี่ยนแปลงเป็นตัว

ขับเคลื่อนสำคัญของการเปลี่ยนแปลงระบบนิเวศทางทะเลในเขตร้อนในระดับฤดูกาลและระยะเวลาของปี

(Muskananfolo et al., 2021) ได้ศึกษาสภาพภูมิอากาศและการเปลี่ยนแปลงรายปีของความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์, อุณหภูมิผิวน้ำทะเลและลมผิวน้ำทะเลในช่วงปี ค.ศ. 2002 – 2016 บริเวณพื้นที่ทะเล Savu ประเทศอินโดนีเซีย โดยวิเคราะห์จากข้อมูลอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์แบบรายเดือนได้จากดาวเทียม Aqua ระบบ MODIS ซึ่งเป็นข้อมูล Level 3 มีความละเอียดเชิงพื้นที่ 4.6 กิโลเมตร, ข้อมูลลมรายเดือนจากดาวเทียม QuickSCAT's Advanced Scatterometer (ASCAT), ข้อมูลความเข้มข้นของไนเตรต (NO<sub>3</sub>) และฟอสเฟต (PO<sub>4</sub>) โดยข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์ทั้งหมดจะทำการหาเฉลี่ยรายเดือนในปี ช่วงปีที่ศึกษาเพื่อสรุปการกระจายเชิงพื้นที่และเชิงเวลา จากการวิเคราะห์ความเข้มข้นคลอโรฟิลล์, อุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเร็วลมมรสุมในช่วงอนุกรมเวลา 15 ปี พบว่าความเร็วลมมีผลอย่างมากต่อการแปรผันของคลอโรฟิลล์และอุณหภูมิผิวน้ำทะเลในน่านน้ำ Savu โดยความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์และอุณหภูมิผิวน้ำทะเลพบว่าการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล โดยค่าสูงจะเกิดขึ้นในช่วงมรสุมตะวันออก (มิถุนายน–สิงหาคม) ซึ่งมีค่าสูงสุดที่เดือนสิงหาคม และค่าต่ำเกิดขึ้นในช่วงมรสุมตะวันตก (ธันวาคม–กุมภาพันธ์) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเดือนกุมภาพันธ์ ซึ่งความผันผวนของความเข้มข้นคลอโรฟิลล์เป็นไปตามความผันผวนของสารอาหาร โดยเฉพาะไนเตรต (NO<sub>3</sub>) บ่งชี้ถึงบทบาทของความเร็วมในการยกระดับน้ำที่อุดมด้วยสารอาหารด้านล่างชั้นผิวน้ำทะเลผ่านกลไกการผสมของชั้นผิวน้ำในแนวตั้งหรือการเกิดน้ำผุด (upwelling)

(Abidin et al., 2020) ศึกษาความสัมพันธ์และการกระจายตัวระหว่างคลอโรฟิลล์-เอ และอุณหภูมิผิวน้ำทะเลทั้งเชิงพื้นที่และเชิงเวลาเพื่อเป็นประโยชน์ต่อการจับปลาทูน่าในปี ค.ศ. 2017 บริเวณน่านน้ำทางตอนใต้ของเกาะชวา โดยใช้ข้อมูลอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ ความละเอียดเชิงพื้นที่ 4.6 กิโลเมตร ในช่วงเวลาศึกษาปี ค.ศ. 2009 – 2018 และข้อมูลการจับปลาทูน่าปี ค.ศ. 2017 ซึ่งการวิเคราะห์เชิงเวลาระหว่างความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ และอุณหภูมิผิวน้ำทะเลได้จากการสร้างกราฟอนุกรมเวลาของข้อมูลรายเดือน โดยทำการหาค่าเฉลี่ยในพื้นที่ทำการประมง จากนั้นนำกราฟมาวิเคราะห์เชิงพรรณนาเพื่อหาความแตกต่างของรายเดือนของแต่ละข้อมูล การวิเคราะห์ความผันผวนขึ้นอยู่กับค่าสูงสุด, ค่าต่ำสุดและค่าเฉลี่ยของแต่ละปี

ผลลัพธ์แสดงปริมาณของอุณหภูมิในแต่ละปีจะแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับสภาพอากาศและความผิดปกติในน้ำที่ส่งผลต่อค่าอุณหภูมิผิวน้ำทะเลที่สูงและต่ำได้ ซึ่งอุณหภูมิผิวน้ำทะเลในเดือนมกราคมจะเริ่มเพิ่มขึ้นและมีค่าสูงสุดในเดือนมีนาคม จากนั้นในเดือนถัดไปจะลดลงเหลือต่ำสุดในเดือนกันยายน และเพิ่มขึ้นในเดือนถัดไป ซึ่งในช่วงระยะ 10 ปี อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดในปี ค.ศ 2016 และอุณหภูมิต่ำสุดในปี ค.ศ 2011 อุณหภูมิผิวน้ำทะเลต่ำสุดโดยเฉลี่ยในเดือนกันยายน ซึ่งบ่งชี้ว่าในเดือนนั้นมีปรากฏการณ์น้ำผุด (upwelling) เกิดขึ้นโดยมีอุณหภูมิต่ำจากมวลน้ำข้างล่างพัดขึ้นมาสู่ผิวน้ำ โดยทั่วไปค่าสูงสุดอุณหภูมิผิวน้ำทะเลจะสูงในฤดูตะวันตกและช่วงเปลี่ยนผ่านที่ 1 ในขณะที่อุณหภูมิต่ำอยู่ในฤดูตะวันออกและช่วงเปลี่ยนผ่านที่ 2 ซึ่งอุณหภูมิต่ำลงในฤดูตะวันออกมีสาเหตุมาจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงใต้มีกำลังแรงขึ้น ทำให้เกิดปรากฏการณ์น้ำผุด (upwelling) ในส่วนผลลัพธ์ของความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ในแต่ละปี ความเข้มข้นคลอโรฟิลล์จะแตกต่างกันเสมอ ทั้งนี้เนื่องจากปัจจัยด้านสภาพอากาศและการรบกวนในน้ำซึ่งความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ ในเดือนมกราคมอยู่ในระดับต่ำที่สุดและเดือนถัดไปเริ่มเพิ่มขึ้นโดยสูงสุดในเดือนสิงหาคมและเดือนกันยายน จากนั้นในเดือนตุลาคม ความเข้มข้นก็จะลดลง โดยทั่วไปความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์-เอ สูงจะพบในฤดูตะวันออกและช่วงเปลี่ยนผ่านที่ 2 ในขณะที่คลอโรฟิลล์-เอ จะมีระดับต่ำในฤดูตะวันตกและช่วงเปลี่ยนผ่านที่ 1 ซึ่งจะผกผันกับอุณหภูมิผิวน้ำทะเล

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์อุณหภูมิผิวน้ำทะเลและคลอโรฟิลล์-เอ ซึ่งตามทฤษฎีอุณหภูมิผิวน้ำทะเล และคลอโรฟิลล์-เอ มีความสัมพันธ์ที่ตรงข้ามกัน จากผลลัพธ์ความสัมพันธ์ที่ตรงข้ามกันซึ่งให้ค่า R เท่ากับ -0.85 ค่าสหสัมพันธ์เป็นลบซึ่งหมายถึงอุณหภูมิผิวน้ำทะเลยิ่งสูงความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์-เอ ก็จะมีค่าต่ำลง

(Dunstan et al., 2018) วิเคราะห์ข้อมูลอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์จากดาวเทียมในช่วงเดือนธันวาคม ค.ศ. 2002 ถึงมกราคม ค.ศ.2015 เพื่อทำความเข้าใจรูปแบบการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล, แนวโน้มระยะยาวและความแปรปรวนระหว่างอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ โดยกำหนดว่าการเปลี่ยนแปลงประจำปี เกิดขึ้นที่ไหนและระบุระดับการเปลี่ยนแปลงประจำปีทั้งอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ พบว่าความแปรผันในอุณหภูมิผิวน้ำทะเล แสดงความแปรปรวนที่เพิ่มขึ้น ตามบริเวณพื้นที่เส้นละติจูดที่เพิ่มขึ้นด้วย ในขณะที่การวิเคราะห์ความแปรปรวนรายปีในความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ แสดงแถบความแปรปรวนสูงในพื้นที่บริเวณเส้นละติจูดกลางเป็นส่วนใหญ่ รูปแบบความแปรปรวนร่วมของอุณหภูมิผิวน้ำทะเล

และความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ แสดงให้เห็นกลไกที่แตกต่างกันหลายอย่างที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงและความแปรปรวนของความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ ซึ่งการวิเคราะห์ความละเอียดเชิงพื้นที่ พบว่าพื้นที่ขนาดใหญ่มีอุณหภูมิผิวน้ำทะเลอุ่นขึ้น และความเข้มข้นคลอโรฟิลล์มีการเพิ่มขึ้น ซึ่งตรงกันข้ามกับพื้นที่ภูมิภาคขนาดเล็กที่แสดงอุณหภูมิผิวน้ำทะเลที่อุ่นขึ้น แต่ความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ลดลง ซึ่งรูปแบบความแปรปรวนร่วม ในการแปรผันประจำปีของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เผยให้เห็นในพื้นที่แถบละติจูดที่กว้าง ในพื้นที่ที่เล็กนั้นมีความผิดปกติในระดับพื้นที่ภูมิภาคที่สำคัญ คือ การเกิดน้ำผุด (upwelling) ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมาทั้งแนวโน้มน้ำและความผันแปรในอุณหภูมิผิวน้ำทะเล, ความเข้มข้นคลอโรฟิลล์และความแปรปรวนร่วมของสิ่งเหล่านี้ซึ่งมีความแตกต่างกันเชิงพื้นที่สูง บ่งชี้ว่าการตรวจสอบและการจัดการทรัพยากร ต้องมีความเหมาะสมในระดับพื้นที่ภูมิภาค

(Luang-on et al., 2021) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลและระหว่างปีของความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ ในช่วงระยะปีค.ศ.2003 - 2017 บริเวณอ่าวไทยตอนบน ผ่านการวิเคราะห์สหสัมพันธ์เพียร์สัน ( $r$ ) ที่มีค่า  $p$  มากกว่า 0.05 ใช้เพื่อระบุความสำคัญของความสัมพันธ์หลายตัวแปรเพื่อตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างความผิดปกติทางภูมิอากาศตามฤดูกาลของความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ และข้อมูลอื่นๆ แบบรายเดือน ได้แก่ การปล่อยน้ำในแม่น้ำ, ลม และปริมาณฝน รวมถึงดัชนีทางสมุทรศาสตร์ ENSO และ IOD ตามฤดูกาล โดยผลลัพธ์รูปแบบการกระจายเชิงพื้นที่ของความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ มีความแตกต่างกันในแต่ละฤดู ได้แก่ ฤดูไม่มีมรสุม, ฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ

การเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลของความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ ในช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้และฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ แสดงความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ ที่สูง/ต่ำ ซึ่งสัมพันธ์ปริมาณฝนและการปล่อยน้ำในแม่น้ำที่สูง/ต่ำ และในช่วงไม่มีมรสุมหรือฤดูร้อน แสดงความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ ที่ต่ำเนื่องจากมีปริมาณฝนตกต่ำ ซึ่งโดยทั่วไป ความแปรปรวนของความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ จะสัมพันธ์อย่างมากกับการปล่อยน้ำออกจากแม่น้ำเจ้าพระยาและแม่น้ำท่าจีน ทำให้บริเวณปากอ่าวไทยตอนบนมีปริมาณความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ สูง แต่การสะสมปริมาณความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ บริเวณทางทิศตะวันออก/ทิศตะวันตกของอ่าวไทยตอนบน เชื่อมโยงกับปริมาณน้ำจืดในทางทิศตะวันออก/ทิศตะวันตกในช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้/ฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงทิศทางของลมและกระแส

การเปลี่ยนแปลงระหว่างปีมีสาเหตุมาจาก El Niño-Southern Oscillation (ENSO) ซึ่งมีผลค่อนข้างมากกว่า Indian Ocean Dipole (IOD) ต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝน, การไหลของแม่น้ำ และรูปแบบลม โดยฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้แสดงความผิดปกติเชิงบวก/ลบ ของความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ ที่เกิดขึ้นพร้อมๆ กับปริมาณฝนตกที่สูง/ต่ำ และการปล่อยน้ำของแม่น้ำในช่วงลานีญา/เอลนีโญ และในช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือแสดงความผิดปกติเชิงบวก/ลบ ของความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ เกิดขึ้นพร้อมกับการปล่อยน้ำจากแม่น้ำที่สูง/ต่ำ และลมแรง/อ่อนแรงในช่วงลานีญา/เอลนีโญ ขณะเดียวกันในช่วงฤดูไม่มีลมมรสุมแสดงความผิดปกติเชิงบวกของความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ เนื่องมาจากความเร็วลมและการตกตะกอนที่สูงผิดปกติในช่วงปรากฏการณ์เอลนีโญ



### บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย

#### 3.1 โปรแกรมที่ใช้ในงานวิจัย

- 3.1.1 โปรแกรม Quantum GIS (QGIS) Version 3.22
- 3.1.2 โปรแกรม Visual Studio
- 3.1.3 โปรแกรม Microsoft Excel และ Microsoft Word
- 3.1.4 โปรแกรม IBM SPSS

#### 3.2 ข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัย

3.2.1 ข้อมูลอุณหภูมิผิวน้ำทะเลจากดาวเทียม Aqua แบบรายเดือนในช่วงปี พ.ศ. 2558 - 2565 ซึ่งมีความละเอียดเชิงพื้นที่ 4.6 กิโลเมตร

3.2.2 ข้อมูลความเข้มข้นคลอโรฟิลล์จากดาวเทียม Aqua แบบรายเดือนในช่วงปี พ.ศ. 2558 - 2565 ซึ่งมีความละเอียดเชิงพื้นที่ 4.6 กิโลเมตร

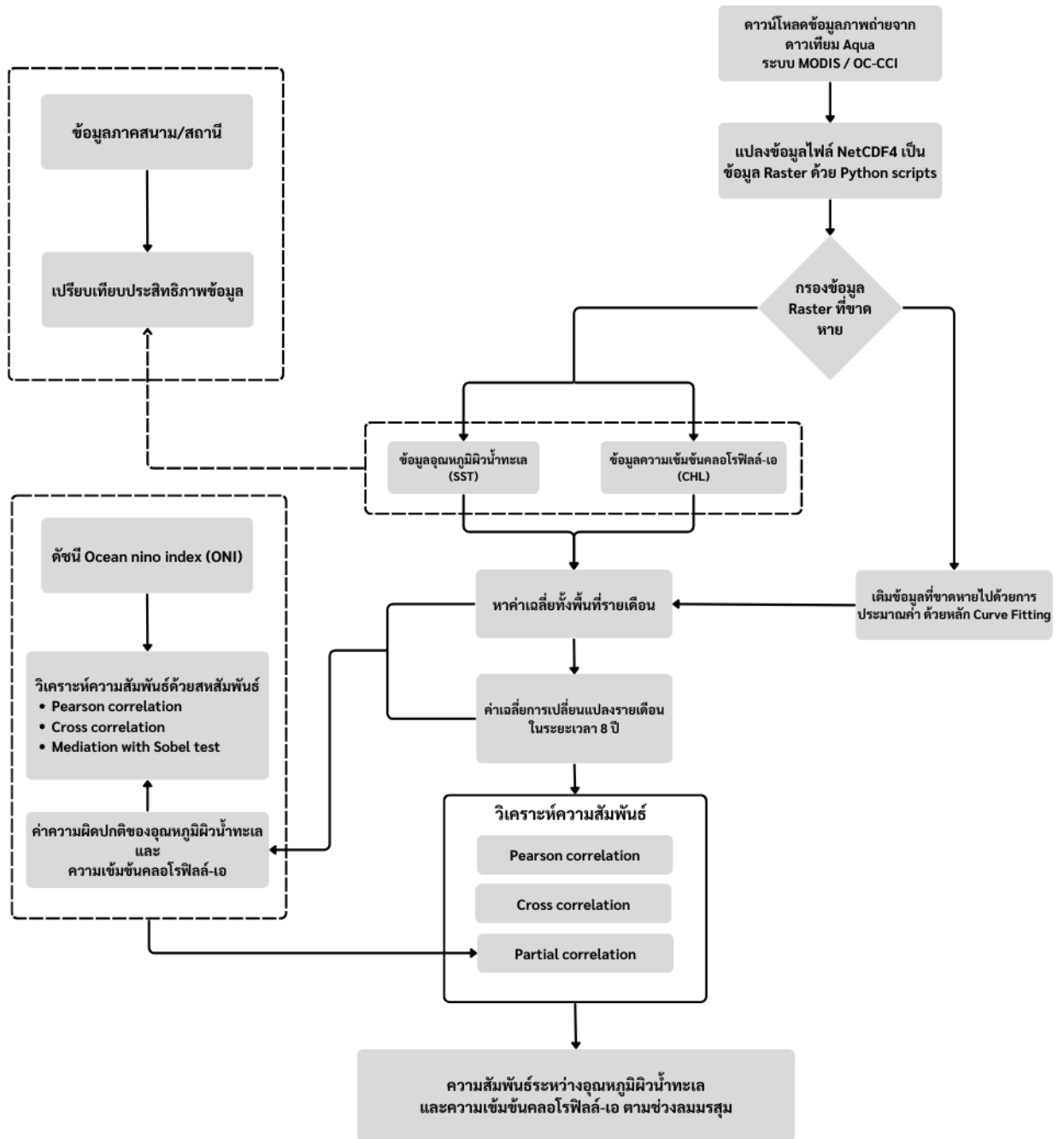
3.2.3 ข้อมูลดัชนี Ocean Nino Index (ONI) จากองค์การ NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration)

3.2.4 ข้อมูลอุณหภูมิผิวน้ำทะเลจากสถานีตรวจวัดทางทะเลแบบโทรมาตร ระบบฐานข้อมูลและแบบจำลองเพื่อการวิจัยทางสมุทรศาสตร์สำหรับประเทศไทย สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ (สสน.)

3.2.5 ข้อมูลอุณหภูมิผิวน้ำทะเลภาคสนามจากระบบฐานข้อมูล iQuam จากองค์การ NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration)

### 3.3 วิธีดำเนินงานวิจัย

วิธีการดำเนินงานวิจัย แบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลัก คือ การดาวน์โหลดข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม, การเตรียมข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม, การประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมและการตรวจสอบด้วยข้อมูลภาคสนาม แสดงเป็นลำดับขั้นตอนดังรูปที่ 13



รูปที่ 13 แผนผังวิธีการดำเนินงานวิจัย

### 3.3.1 ดาวเทียมโหลตข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม

ดาวเทียมโหลตข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม Aqua ซึ่งเป็นดาวเทียมใช้เซนเซอร์ระบบ MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) โดยทำการเลือกข้อมูลผลิตภัณฑ์อุณหภูมิผิวน้ำทะเล (Sea Surface Temperature, SST) และความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ (Chlorophyll Concentration, CHL) โดยข้อมูลทั้งสองผลิตภัณฑ์เป็นข้อมูล Level 3 แบบรายเดือน (Monthly) ซึ่งเป็นข้อมูลที่ผ่านการปรับแก้ทางเรขาคณิต พร้อมทั้งได้รับการรวบรวมและฉายภาพ (projection) บนตารางเชิงพื้นที่ที่กำหนดไว้เป็นที่เรียบร้อย มีความละเอียดเชิงพื้นที่ 4.6 กิโลเมตร โดยข้อมูลที่ได้ อยู่ในรูปแบบ netCDF

The screenshot displays the NASA Ocean Color Level-3 Browser interface. At the top, there is a navigation menu with links for ABOUT, MISSIONS, DATA, DOCS, SOFTWARE & TOOLS, SERVICES, GALLERY, and FORUM. Below the menu is a 'Level-3 Browser' section. A table allows users to select product parameters:

Product Status	Instrument	Product	Period	Resolution
Standard	Aqua-MODIS	Chlorophyll concentration	Daily	4km

Below the table, there are fields for Start Date (2002-07-04) and End Date (2023-01-16). A grid of satellite images shows chlorophyll concentration data for the period from Wednesday, Dec 14, 2022, to Tuesday, Dec 20, 2022.

รูปที่ 14 หน้าเว็บไซต์ดาวเทียมโหลตข้อมูล NASA Ocean Color

ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมของทั้งสองผลิตภัณฑ์ จะทำการเลือกดาวเทียมโหลตข้อมูลแบบรายเดือนของแต่ละเดือน ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2558 – 2565 เป็นระยะเวลาทั้งสิ้น 8 ปี โดยได้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม Aqua ผลิตภัณฑ์อุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์มีจำนวนละ 96 ข้อมูลของทั้งสองผลิตภัณฑ์ สามารถดาวเทียมโหลตข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมได้จากเว็บไซต์ <https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/> ของ NASA ได้รับการสนับสนุนโดย Ocean Biology Processing Group (OBPG) ซึ่งให้ข้อมูลสีมหาสมุทร, อุณหภูมิผิวน้ำทะเลและข้อมูลทางชีววิทยาทางทะเล เป็นต้น



### 3.3.2 การเตรียมข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม

เนื่องจากข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ได้จากการดาวน์โหลด ข้อมูลผลิตภัณฑ์อุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์แบบรายเดือน จะได้ข้อมูลอยู่ในรูปแบบ netCDF ซึ่งเป็นไฟล์ข้อมูลในรูปแบบเข้ารหัสการจัดเก็บข้อมูลเป็นฐานข้อมูลจึงต้องทำการแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบ Raster ซึ่งเป็นไฟล์ภาพดิจิทัลประเภทหนึ่งที่เก็บข้อมูลเป็นตารางสี่เหลี่ยม หรือเมทริกซ์ของพิกเซลโดยแต่ละพิกเซลในตาราง จะได้รับการกำหนดค่าเฉพาะ เพื่อที่จะสามารถนำข้อมูลผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปในการประมวลผลและวิเคราะห์ต่อได้ ซึ่งในการแปลงข้อมูลจากรูปแบบ netCDF ไปสู่รูปแบบ Raster โดยทำการเขียน Python script ซึ่งประกอบไปด้วย library ได้แก่ xarray, rioarray และ netCDF4 ที่ช่วยในการเข้าถึงข้อมูลไฟล์รูปแบบ netCDF ไปสู่รูปแบบ Raster พร้อมทั้งระบบพิกัดเพื่อนำไปใช้ในการดำเนินงานต่อไป

```

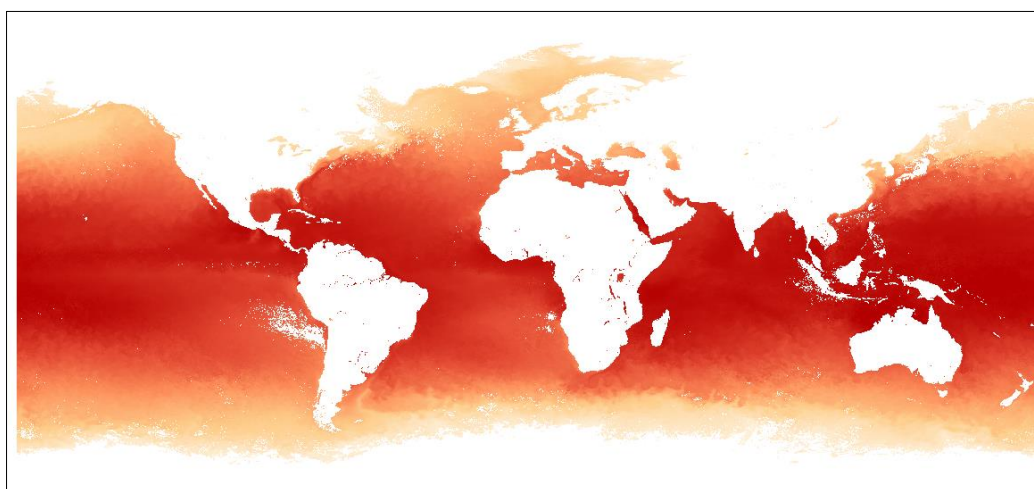
1  import xarray as xr
2  import rioxarray as rio
3  import netCDF4 as nc
4  import os
5
6  path = r'C:/Users/user/Desktop/otw/Testdow'
7  for file in os.listdir(path):
8      # print(file)
9
10     fn = path + "/" + file
11     ds = nc.Dataset(fn)
12     nc_file = xr.open_dataset(fn)
13     #print(ds)
14     bT = nc_file['sst4']
15     bT = bT.rio.set_spatial_dims(x_dim='lon', y_dim='lat')
16     bT.rio.crs
17
18     bT.rio.write_crs("epsg:4326", inplace=True)
19     name = file[:-22]
20     op = r'C:/Users/user/Desktop/otw/raw_data/sst/daytime/raster_sst'
21     bT.rio.to_raster(op + "/" + name + ".tiff")
22     print('complete')

```

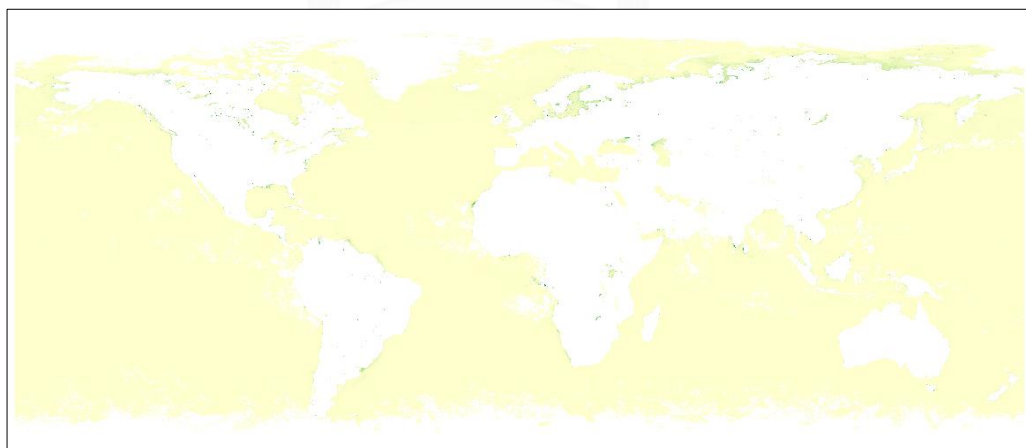
รูปที่ 15 การแปลงไฟล์ netCDF 4 เป็นไฟล์ Raster ด้วย Python

### 3.3.3 การประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม

ใช้โปรแกรม Quantum GIS (QGIS) ในการประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม เมื่อได้ข้อมูลผลิตภัณฑ์อุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ที่เป็นรูปแบบ Raster ได้จากการแปลงไฟล์แล้ว เมื่อทำการเปิดข้อมูลภายในโปรแกรม QGIS จะแสดงให้เห็นว่าข้อมูลผลิตภัณฑ์ทั้งสองนั้น มีขนาดครอบคลุมทั้งพื้นที่ทั่วโลก (Global scale) ในการวิจัยได้เลือกพื้นที่ศึกษา เฉพาะบริเวณพื้นที่อ่าวไทยตอนบน จึงทำการเลือกเฉพาะพื้นที่ที่สนใจในการประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม

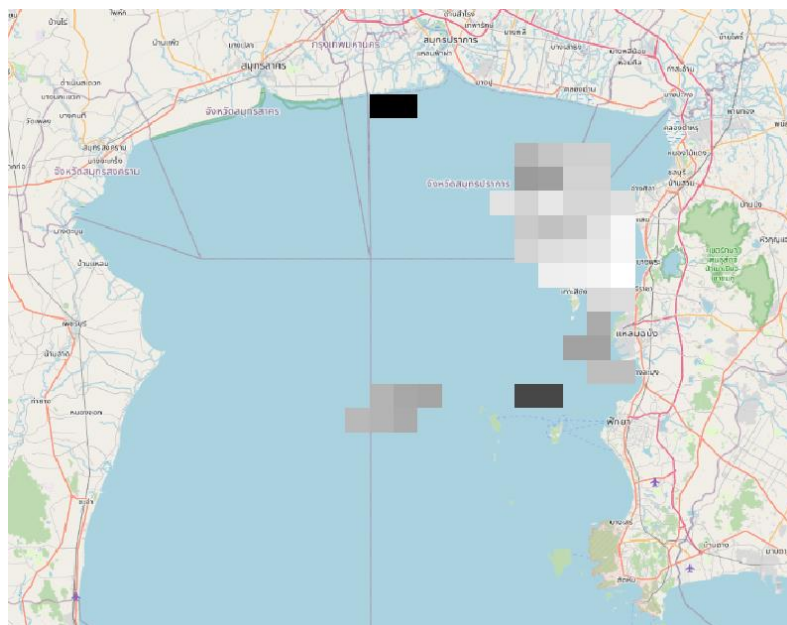


รูปที่ 16 ข้อมูลอุณหภูมิผิวน้ำทะเล (Sea Surface Temperature, SST)



รูปที่ 17 ข้อมูลความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ (Chlorophyll Concentration, CHL)

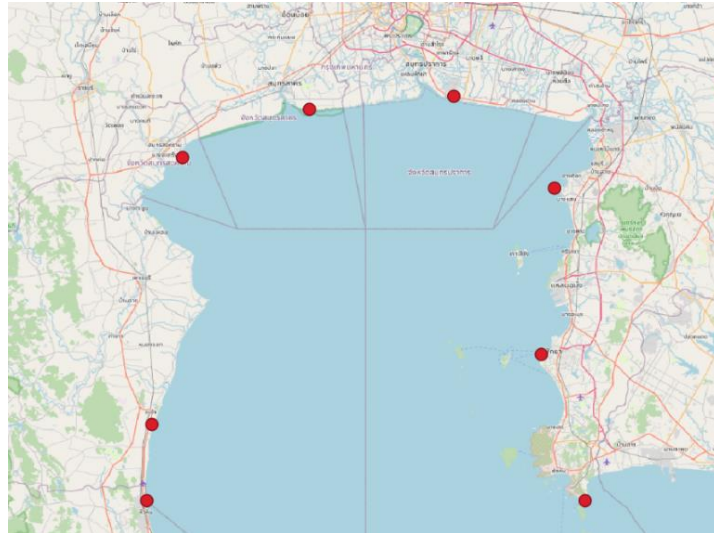
ทั้งนี้จากไฟล์ข้อมูล Raster ของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ จะมีข้อมูลไฟล์บางเดือนที่มีข้อมูลขาดหาย หรือจำนวนค่าพิกเซลในขอบเขตพื้นที่ศึกษามีน้อยเกินไปทำให้ต้องทำการกรองข้อมูล ด้วยการเลือกข้อมูลนั้นออกเพื่อไม่นำมาประมวลผล ดังรูปที่ 17



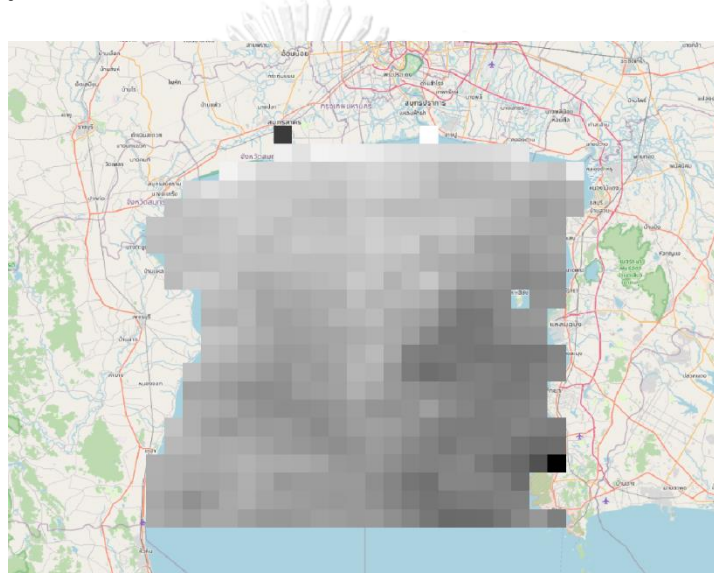
รูปที่ 18 ข้อมูลอุณหภูมิผิวน้ำทะเลเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2563

### 3.3.3.1 การกำหนดขอบเขตพื้นที่ศึกษา

โดยพื้นที่ศึกษาอ้างอิงจากพระราชบัญญัติกำหนดเขตจังหวัดในอ่าวไทยตอนใน พ.ศ. 2502 ตั้งแต่ชายฝั่งบริเวณจังหวัดเพชรบุรีที่ Latitude  $12^{\circ}35'45''\text{N}$ , Longitude  $100^{\circ}27'30''\text{E}$  ขึ้นเหนือไปตามพื้นที่ชายฝั่งของจังหวัดสมุทรสงคราม ไปทางตะวันออกซึ่งเป็นพื้นที่ชายฝั่งของจังหวัดสมุทรสาคร กรุงเทพมหานคร สมุทรปราการและฉะเชิงเทราและลงไปตามแนวชายฝั่งจังหวัดชลบุรีที่ Latitude  $12^{\circ}35'45''\text{N}$ , Longitude  $100^{\circ}57'45''\text{E}$  ดังรูปที่ 19 จากนั้นทำการตีขอบเขตพื้นที่ศึกษาด้วย Clip raster by extent เฉพาะส่วนของ Raster ของพื้นที่ศึกษา ดังรูปที่ 20



รูปที่ 19 ตำแหน่งบริเวณชายฝั่งจังหวัดตามแนวอ่าวไทยตอนบน



รูปที่ 20 พื้นที่ศึกษาบริเวณทะเลชายฝั่งอ่าวไทยตอนบน (อ่าวรูป ก.)

### CHULALONGKORN UNIVERSITY

#### 3.3.3.2 การประมวลผลหาค่าทางสถิติเชิงพื้นที่

ทำการหาค่าเฉลี่ยของข้อมูลอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ในขอบเขตพื้นที่ศึกษา เพื่อทราบถึงค่าเฉลี่ยของข้อมูลว่ามีการเปลี่ยนแปลงอย่างไรในแต่ละเดือนและช่วงปี โดยใช้เครื่องมือ Raster layer statistics ภายในโปรแกรม QGIS ซึ่งเป็นคำนวณสถิติพื้นฐานจากค่าที่กำหนดของข้อมูล Raster ในขอบเขตอ่าวไทยตอนบน (อ่าวรูป ก.) ทั้งนี้เนื่องจากข้อมูล Raster ที่ต้องการหาค่าเฉลี่ยในขอบเขตพื้นที่ศึกษามีจำนวนไฟล์ข้อมูลมาก เพื่อเป็นการลดขั้นตอนในการทำงาน และความสะดวกรวดเร็ว จึงใช้การประมวลผลแบบ Batch Processing ของเครื่องมือ Raster layer statistics ซึ่งสามารถดำเนินการโดยใช้กำหนดข้อมูล, พารามิเตอร์ต่างๆ ดำเนินการได้หลายครั้งตามต้องการ มีประโยชน์เมื่อประมวลผลข้อมูลจำนวนมาก เนื่องจากไม่

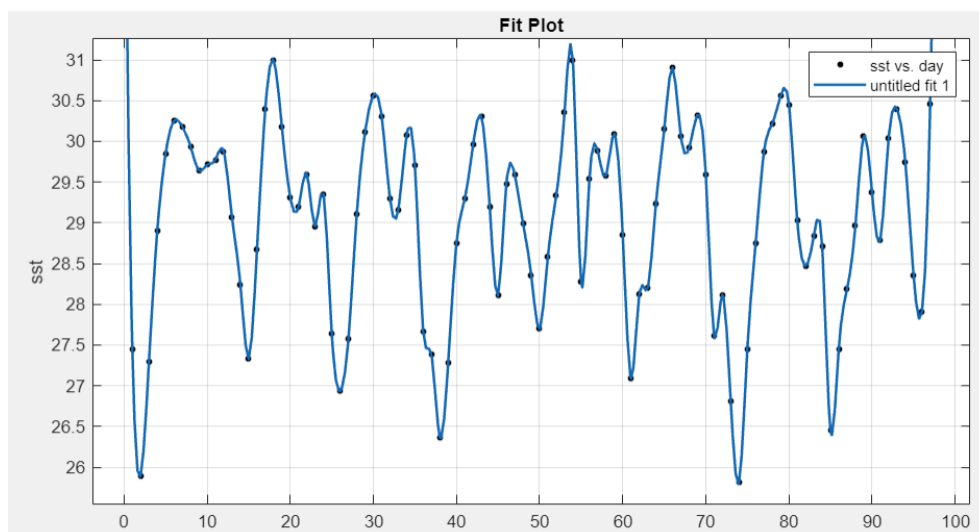
จำเป็นต้องเรียกใช้เครื่องมือหลายครั้ง โดยผลลัพธ์ที่ได้จะถูกกำหนดให้อยู่ในรูปแบบไฟล์ Comma-Separated Value (CSV) ดังรูปที่ 21 เพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์ต่อไป

Source_Name	id	_mean
UGChI_2015m1.csv	1	2.838509052
UGChI_2015m10.csv	1	5.989881401
UGChI_2015m11.csv	1	3.809262207
UGChI_2015m12.csv	1	3.991988337
UGChI_2015m2.csv	1	2.274922089
UGChI_2015m3.csv	1	5.20977849
UGChI_2015m4.csv	1	5.768006463
UGChI_2015m5.csv	1	4.289515646
UGChI_2015m6.csv	1	4.88465648
UGChI_2015m7.csv	1	3.961725194
UGChI_2015m8.csv	1	4.139662898
UGChI_2015m9.csv	1	6.12207168
UGChI_2016m1.csv	1	3.35796362
UGChI_2016m10.csv	1	7.66659517
UGChI_2016m11.csv	1	6.740539763
UGChI_2016m12.csv	1	4.034190256

รูปที่ 21 ผลลัพธ์ค่าเฉลี่ยแต่ละเดือนในขอบเขตพื้นที่ศึกษาในรูปแบบไฟล์ CSV

### 3.3.3.3 การเติมข้อมูลที่ขาดหายไปด้วยการประมาณค่า

เนื่องจากมีบางไฟล์ข้อมูลของบางเดือนที่ได้ขาดหายไปแล้ว ไม่ได้นำมาใช้ในการประมวลผล Raster layer statistics ทำให้ไม่มีผลลัพธ์ค่าเฉลี่ยในขอบเขตพื้นที่ศึกษาของเดือนที่ขาดหายไป จึงทำการเติมข้อมูลที่หาย (fill missing data) โดยใช้หลัก Data curve fitting เป็นกระบวนการสร้างเส้นโค้ง หรือฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ที่มีความเหมาะสมที่สุดกับชุดข้อมูลจุด สามารถทำนายข้อมูลที่ขาดหายไปให้มีความพอดีกับเส้นโค้งของชุดข้อมูลนั้นได้ ผ่านการใช้ Curve Fitting MATLAB โดยเลือกวิธี Cubic spline ซึ่งข้อมูลที่ได้จะมีความพอดีกับเส้นโค้งสมการ Polynomial degree 3 ที่เชื่อมต่อระหว่างจุด 2 จุดที่อยู่ติดกันแล้วยังให้ค่าความลาดชันของเส้นโค้งทั้งสองเส้นมาตัดกันที่จุดข้อมูล มีค่าเท่ากันหรือกล่าวได้ว่าเส้นโค้งจะราบเรียบที่จุดต่อของเส้นโค้งทั้งสองเส้น ดังรูปที่ 22 ซึ่งให้ค่าประมาณพอดีกับเส้นโค้งดีกว่า Polynomial degree 1 และ 2 (ไครทรา แชนเจอร์ และกนต์ธร ชำนิประศาสน์, 2549)



รูปที่ 22 การประมาณค่าข้อมูลที่หายไปด้วย Curve Fitting

เมื่อได้ข้อมูลค่าเฉลี่ยรายเดือนของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์แต่ละปีครบแล้ว ทำการปรับข้อมูลด้วยวิธี Moving Average ซึ่งเป็นการกระจายความคลาดเคลื่อนของข้อมูล โดยกำหนดช่วงกระจายอยู่ที่ 3 เดือน ก็จะทำให้ข้อมูลมีความราบเรียบมากขึ้น (บุษบา พงกษาพันธุ์รัตน์, 2552)

### 3.3.3.4 สร้างข้อมูลค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงรายเดือนและข้อมูลเชิงพื้นที่

จากข้อมูลค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ ในแต่ละเดือนของปี พ.ศ. 2558 – 2565 นำมาสร้างข้อมูลค่าเฉลี่ยรายเดือนในรอบระยะเวลา 8 ปี เพื่อดูแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ พร้อมทั้งวิเคราะห์สหสัมพันธ์เพียร์สัน (Pearson correlation) เพื่อดูความสัมพันธ์ระหว่างสองข้อมูล และวิเคราะห์สหสัมพันธ์แบบไขว้ (Cross correlation) เพื่อตรวจสอบความล่าช้าระหว่างสองข้อมูลอนุกรมเวลา

การสร้างข้อมูลเชิงพื้นที่ ทำการรวมข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมซึ่งอยู่รูปแบบ Raster ของข้อมูลอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ ในรูปแบบข้อมูลเชิงพื้นที่ที่มีค่าเฉลี่ยแบบรายเดือนของแต่ละเดือน โดยการประมวลผล Cell statistics ภายในโปรแกรม QGIS ซึ่งเป็นการคำนวณค่าเฉลี่ยจากการคำนวณจำนวนข้อมูล Raster ของเดือนนั้นๆ ยกตัวอย่างเช่น นำข้อมูล Raster อุณหภูมิผิวน้ำทะเลของเดือนมกราคมของทุกปีในระยะเวลาศึกษา มาป้อนข้อมูลประมวลผล Cell statistics โดยกำหนดผลลัพธ์ที่ต้องการคือค่าเฉลี่ย เป็นต้น

### 3.3.3.5 คำนวณค่าความผิดปกติ

จากข้อมูลค่าเฉลี่ยรายเดือนของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ ในรอบระยะเวลาเวลา 8 ปี ในหัวข้อ 3.3.3.4 ถือเป็นข้อมูลค่าเฉลี่ยปีฐานของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ ในแต่ละเดือน เพื่อใช้หาค่าความผิดปกติซึ่งเป็นค่าที่ได้จากผลต่างของค่าเฉลี่ยแต่ละเดือนกับค่าเฉลี่ยปีฐาน

### 3.3.3.6 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนี ONI และค่าความผิดปกติ

วิเคราะห์ความสัมพันธ์ด้วยใช้ค่าสหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน เพื่อหาความสัมพันธ์จากอิทธิพลของดัชนี ONI ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและการวิเคราะห์ผ่านตัวแปรกลางด้วยการทดสอบของโซเบลเพื่อหาอิทธิพลทางอ้อมของดัชนี ONI ที่มีผลต่อความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ ร่วมกับการวิเคราะห์สหสัมพันธ์แบบไขว้เพื่อตรวจสอบระยะเวลาความล่าช้าของดัชนี ONI ที่ส่งผลกระทบต่อมายังบริเวณอ่าวไทยตอนบน

### 3.3.3.7 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ด้วยสหสัมพันธ์แบบเชิงส่วน

หาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ โดยการจัดอิทธิพลจากดัชนี ONI

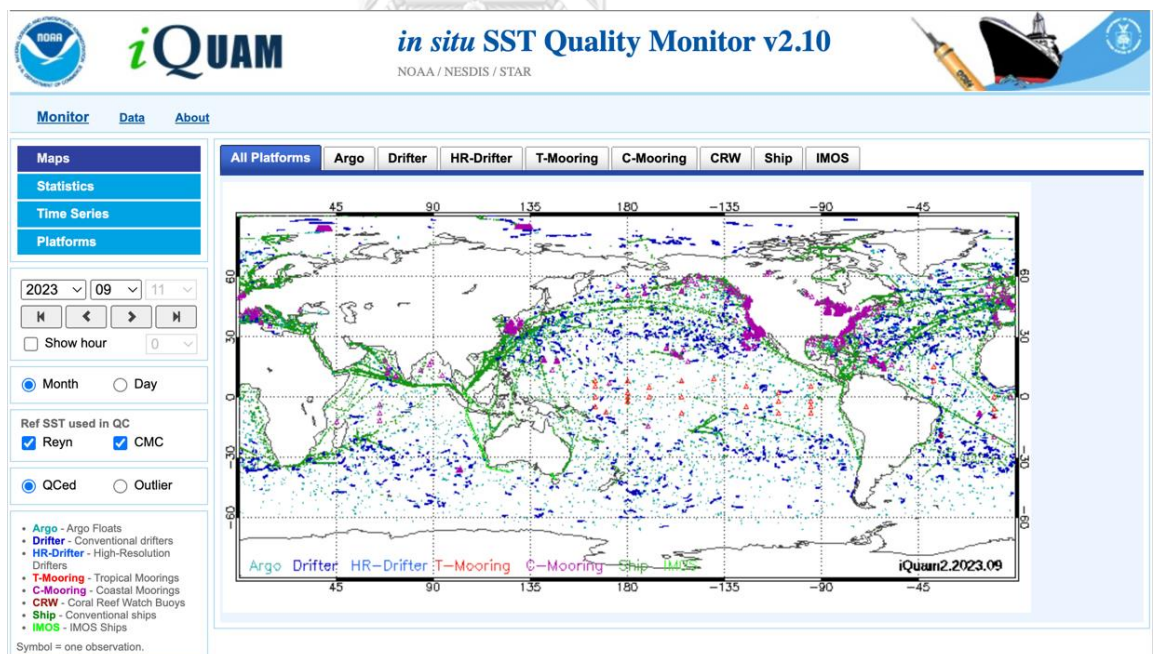
## 3.3.4 การตรวจสอบข้อมูลอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ ด้วยข้อมูลภาคสนาม

การตรวจสอบข้อมูลอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ กับข้อมูลภาคสนามเพื่อเป็นการประเมินประสิทธิภาพข้อมูลที่ได้จากดาวเทียม ซึ่งข้อมูลที่ใช้ในการเตรียมสอบจากภาคสนามได้ความอนุเคราะห์จากระบบฐานข้อมูลและแบบจำลองเพื่อการวิจัยทางสมุทรศาสตร์สำหรับประเทศไทย สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ (สสน.) ที่ได้มีการติดตั้งสถานีตรวจวัดทางทะเลแบบโทรมาตร ณ ชายฝั่งอำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี ดังรูปที่ 23 ซึ่งให้บริการข้อมูลอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ในช่วงระยะปีพ.ศ.2563 - 2565 และระบบฐานข้อมูล iQuam ซึ่งมีการวัดอุณหภูมิผิวน้ำทะเล ณ ผิวน้ำทะเลจากความร่วมมือระหว่างเรืออาสาสมัครเชิงพาณิชย์และเรือวิจัยเพื่อรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสมุทรศาสตร์ได้รับการจัดการโดยทางองค์กร NOAA ดังรูปที่ 24 - 25 โดยจากข้อมูลภาคสนามทั้ง 2 แหล่ง ผ่านวิธีจับคู่ (Matchup Pairs) ข้อมูลค่าเฉลี่ยรายเดือนระหว่างข้อมูลที่ได้จากดาวเทียมและข้อมูลจากภาคสนาม โดยตำแหน่งของจำนวนเรือและสถานีตรวจวัดทางทะเลแบบโทรมาตรที่ตรงกับขอบเขตเชิงพื้นที่ของข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมซึ่ง

ตำแหน่งข้อมูลจากภาคสนามและข้อมูลจากดาวเทียมในหนึ่งฟิกเซลถือเป็นการจับคู่ระหว่างกัน (Sathyendranath et al., 2019)

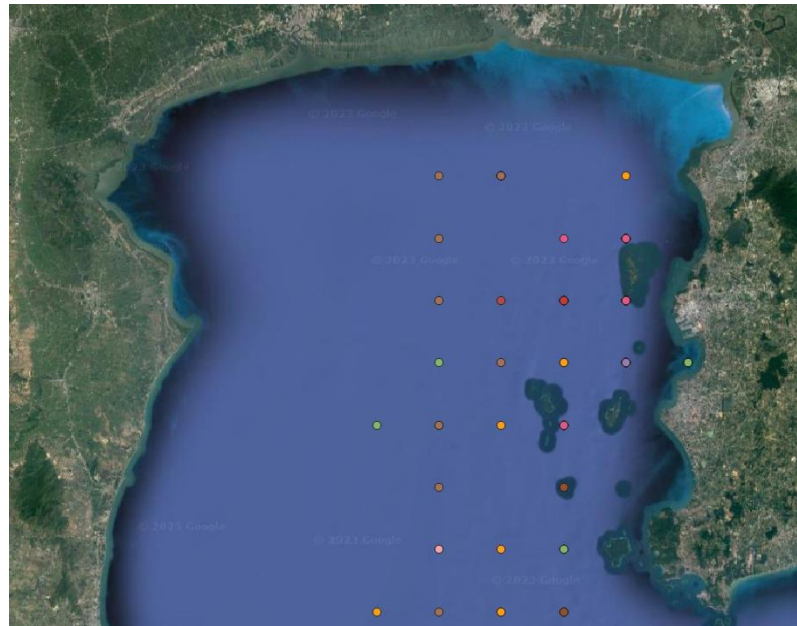


รูปที่ 23 สถานีตรวจวัดทางทะเลแบบโทรมาตร สถาบันสมุทรศาสตร์พระบาทสมเด็จพระวชิรเกล้าเจ้าอยู่หัว (สสน.)



รูปที่ 24 ระบบฐานข้อมูล iQuam ตรวจวัดอุณหภูมิผิวน้ำทะเล





รูปที่ 25 ตำแหน่งเรือตรวจวัดอุณหภูมิผิวน้ำทะเลจากระบบ iQuam

ในงานวิจัยได้เลือกใช้ข้อมูลอุณหภูมิผิวน้ำทะเลแบบช่วงคลื่นยาวที่ตรวจวัดในเวลากลางวัน จากดาวเทียม Aqua ระบบ MODIS มาใช้การศึกษางานวิจัย เพราะมีความเสถียรกว่าอุณหภูมิในเวลา กลางวัน (Kilpatrick et al., 2015; Saleh & Al-Anzi, 2021) นอกจากนี้ได้ทำการเปรียบเทียบข้อมูล อุณหภูมิผิวน้ำทะเลแบบช่วงคลื่นยาวที่ตรวจวัดในเวลากลางวัน และแบบช่วงคลื่นสั้นที่ตรวจวัดใน เวลากลางวันที่ได้จากดาวเทียม Aqua ระบบ MODIS กับข้อมูลอุณหภูมิผิวน้ำทะเลภาคสนามเพื่อ เปรียบเทียบประสิทธิภาพข้อมูลอุณหภูมิผิวน้ำทะเลที่ได้จากดาวเทียม ดังรูปที่ 26-28 และค่าสถิติดัง ตารางที่ 5

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

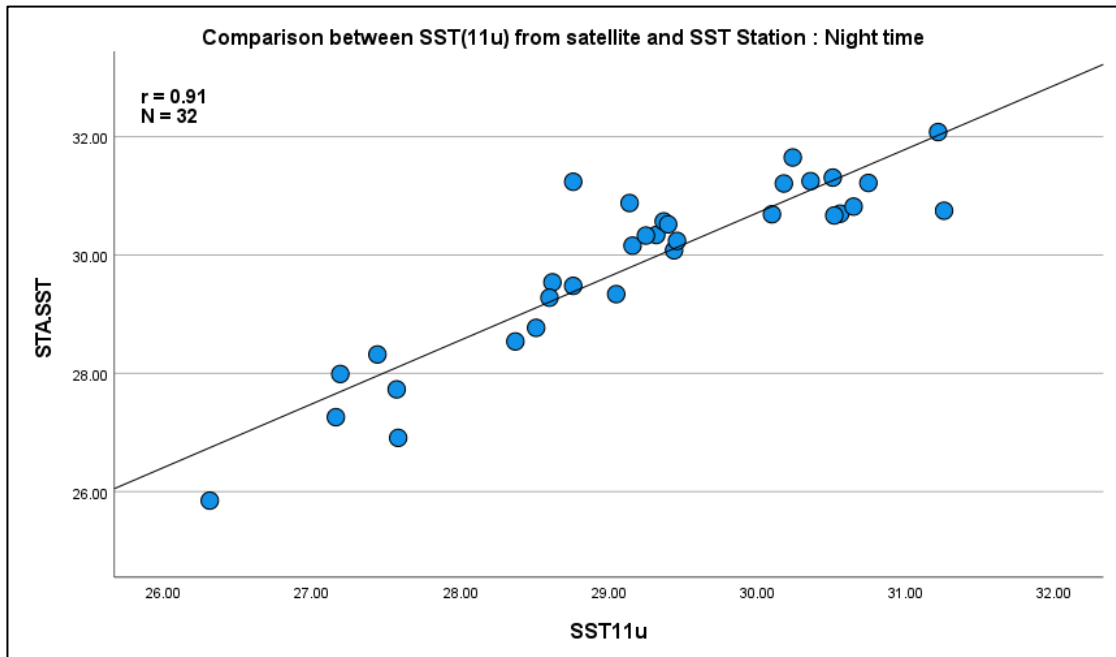
Chulalongkorn University

ตารางที่ 5 แสดงค่าสหสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิผิวน้ำทะเลจากดาวเทียม

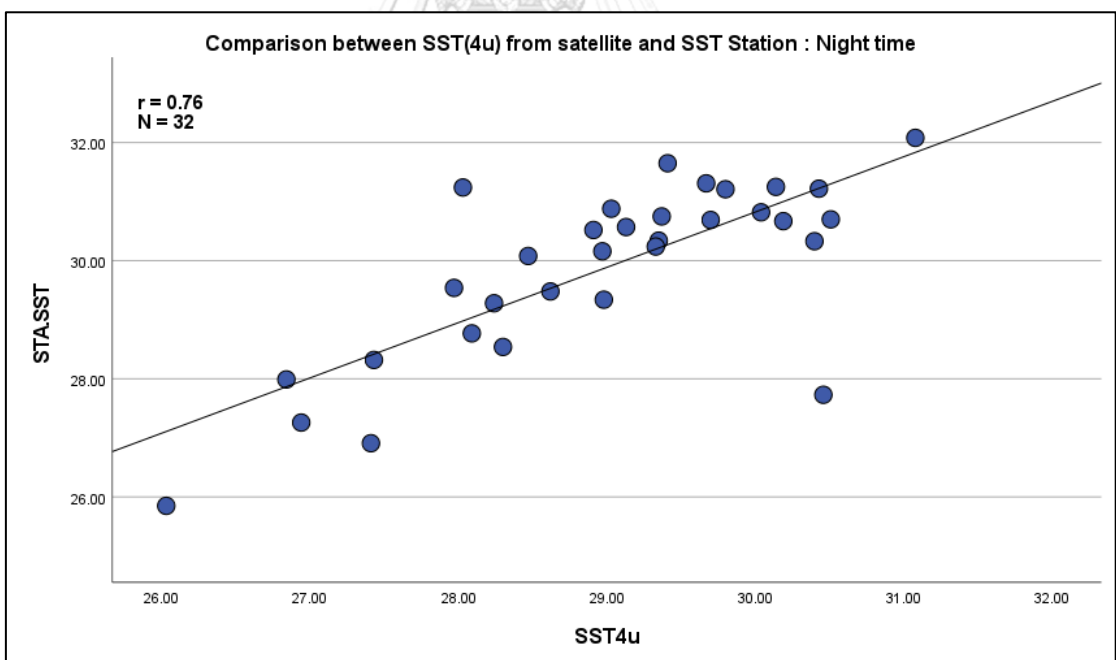
และสถานีแบบโทรมาตร

ข้อมูลเปรียบเทียบ	ค่าสหสัมพันธ์ (r)	Sig.	N	Standard error
SST (11u) และ SST Station	0.91	<.001*	32	0.11
SST (4u) และ SST Station	0.76	<.001*	32	0.17
SST และ SST Station	0.60	<.001*	32	0.25

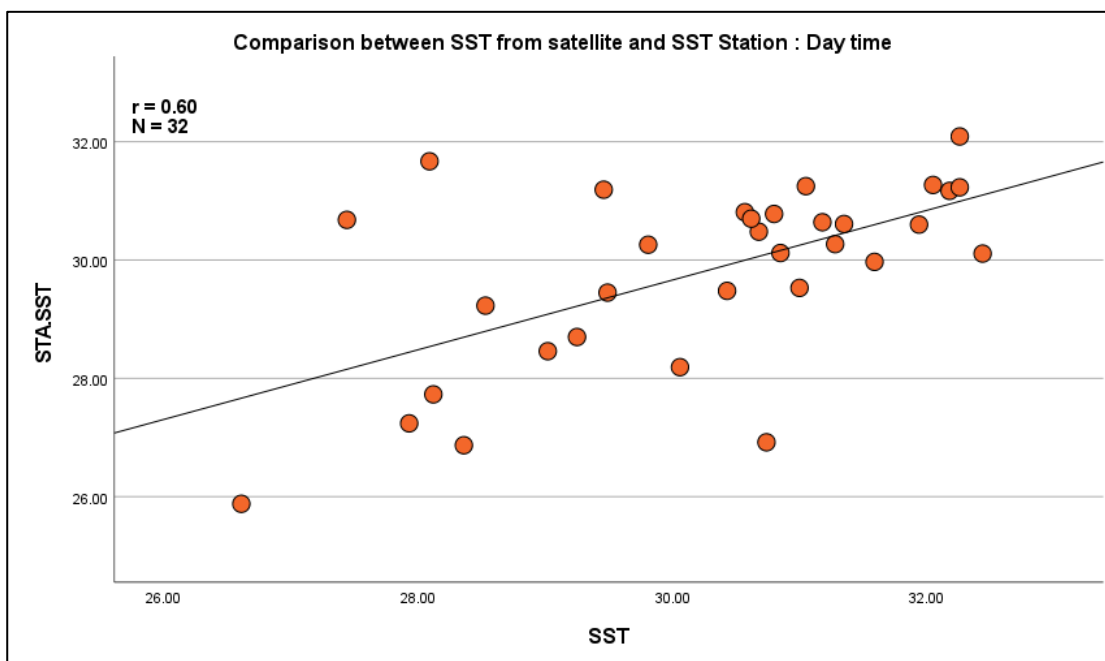
\*นัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01



รูปที่ 26 กราฟแสดงผลความสอดคล้องระหว่างอุณหภูมิผิวน้ำทะเลแบบช่วงคลื่นยาวในเวลากลางคืน และอุณหภูมิผิวน้ำทะเลจากสถานีตรวจวัดทางทะเลแบบโทรมาตร



รูปที่ 27 กราฟแสดงความสอดคล้องระหว่างอุณหภูมิผิวน้ำทะเลแบบช่วงคลื่นสั้นในเวลากลางคืนและอุณหภูมิผิวน้ำทะเลจากสถานีตรวจวัดทางทะเลแบบโทรมาตร



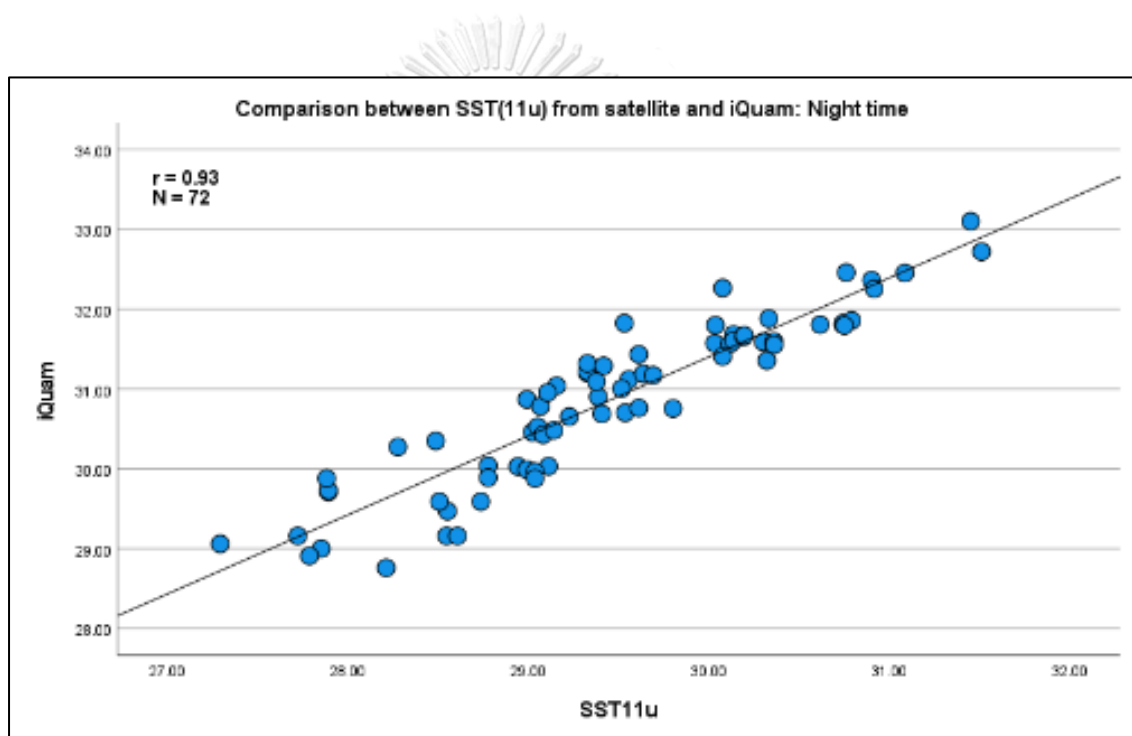
รูปที่ 28 กราฟแสดงความสอดคล้องระหว่างอุณหภูมิผิวน้ำทะเลแบบช่วงคลื่นยาวในเวลากลางวัน และอุณหภูมิผิวน้ำทะเลจากสถานีตรวจวัดทางทะเลแบบโทรมาตร

จากรูปที่ 26-28 และตารางที่ 5 แสดงความสอดคล้องระหว่างอุณหภูมิผิวน้ำทะเลจากดาวเทียมและอุณหภูมิผิวน้ำทะเลจากสถานีตรวจวัดทางทะเลแบบโทรมาตรในเวลากลางวันและกลางคืน ซึ่งผลลัพธ์ทางสถิติแสดงให้เห็นว่าข้อมูลอุณหภูมิผิวน้ำทะเลแบบช่วงคลื่นยาวในเวลากลางคืนมีความสอดคล้องกับอุณหภูมิผิวน้ำทะเลจากสถานีตรวจวัดทางทะเลแบบโทรมาตรมีประสิทธิภาพดีที่สุด โดยมีค่าสหสัมพันธ์เท่ากับ 0.91 ซึ่งมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญในระดับมากที่สุด และมีค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานเท่ากับ  $\pm 0.11$  องศาเซลเซียส แสดงให้เห็นว่าข้อมูลอุณหภูมิผิวน้ำทะเลแบบช่วงคลื่นยาวจากดาวเทียม Aqua ระบบ MODIS ที่ตรวจวัดอุณหภูมิผิวน้ำทะเลในเวลากลางคืนมีประสิทธิภาพในการนำมาใช้งาน ซึ่งเทียบเท่ากับอุณหภูมิผิวน้ำทะเลที่ตรวจวัดจริงในภาคสนาม นอกจากนี้ได้ทำการตรวจสอบประสิทธิภาพของข้อมูลอุณหภูมิผิวน้ำทะเลจากดาวเทียมด้วยข้อมูลอุณหภูมิผิวน้ำทะเลจากระบบฐานข้อมูล iQuam แสดงดังรูปที่ 29 - 31 และค่าสถิติดังตารางที่ 6

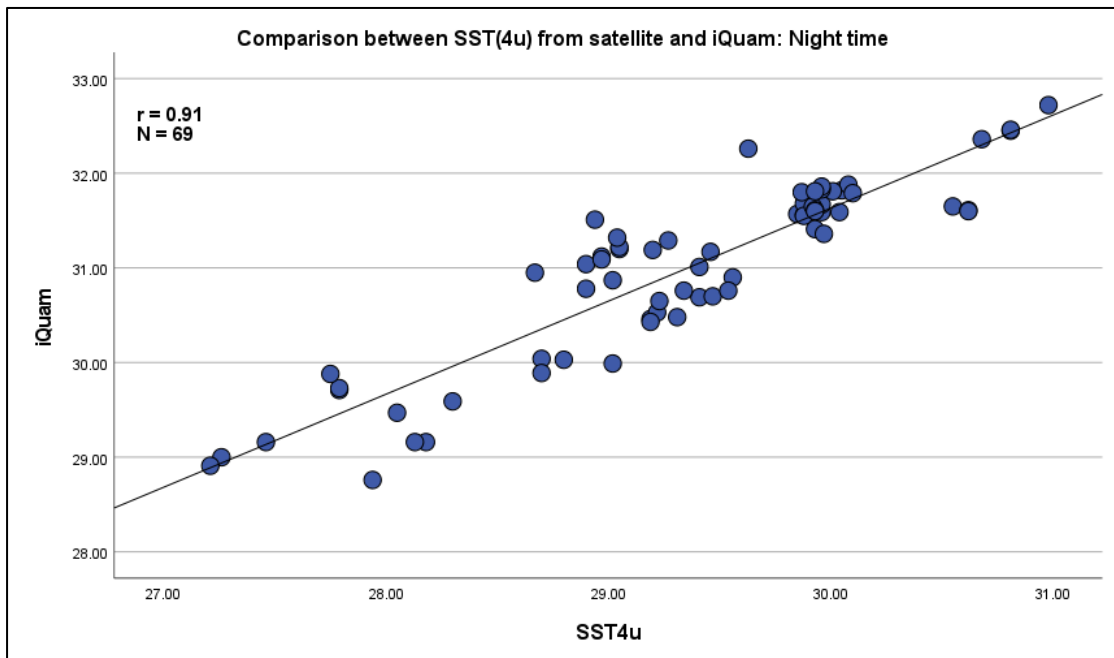
ตารางที่ 6 แสดงค่าสหสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิจากดาวเทียมและระบบฐานข้อมูล iQuam

ข้อมูลเปรียบเทียบ	ค่าสหสัมพันธ์ (r)	Sig.	N	Standard error
SST (11u) และ SST iQuam	0.93	<.001*	72	0.05
SST (4u) และ SST iQuam	0.91	<.001*	69	0.05
SST และ SST iQuam	0.86	<.001*	69	0.07

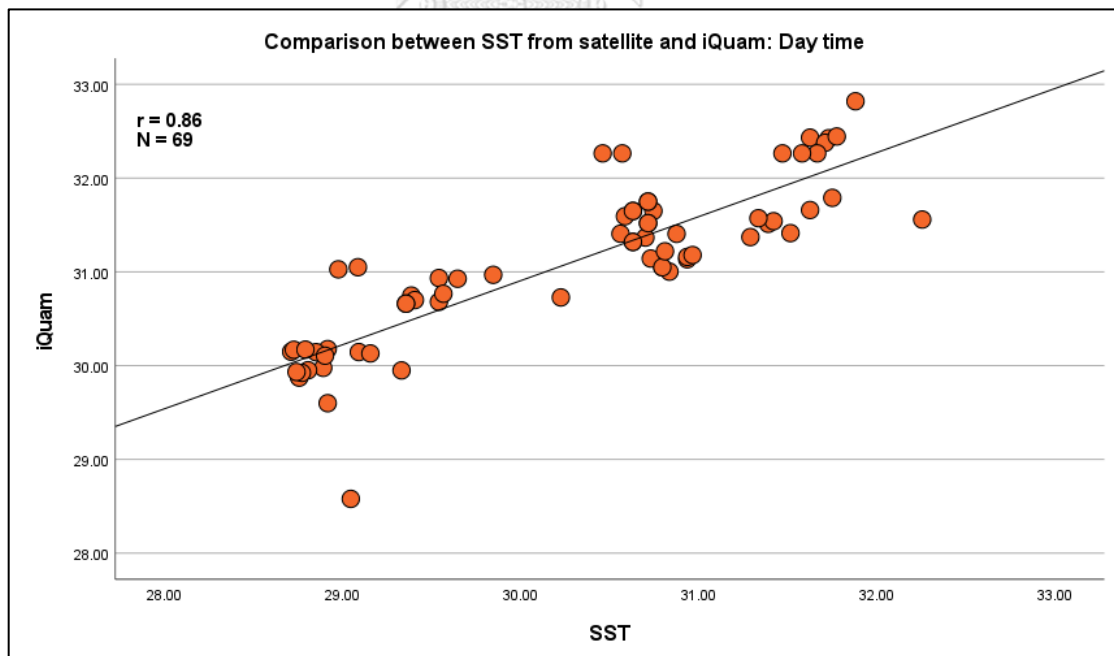
\*นัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01



รูปที่ 29 กราฟแสดงความสอดคล้องระหว่างอุณหภูมิผิวน้ำทะเลแบบช่วงคลื่นยาวในเวลากลางคืนและอุณหภูมิผิวน้ำทะเลจากระบบฐานข้อมูล iQuam



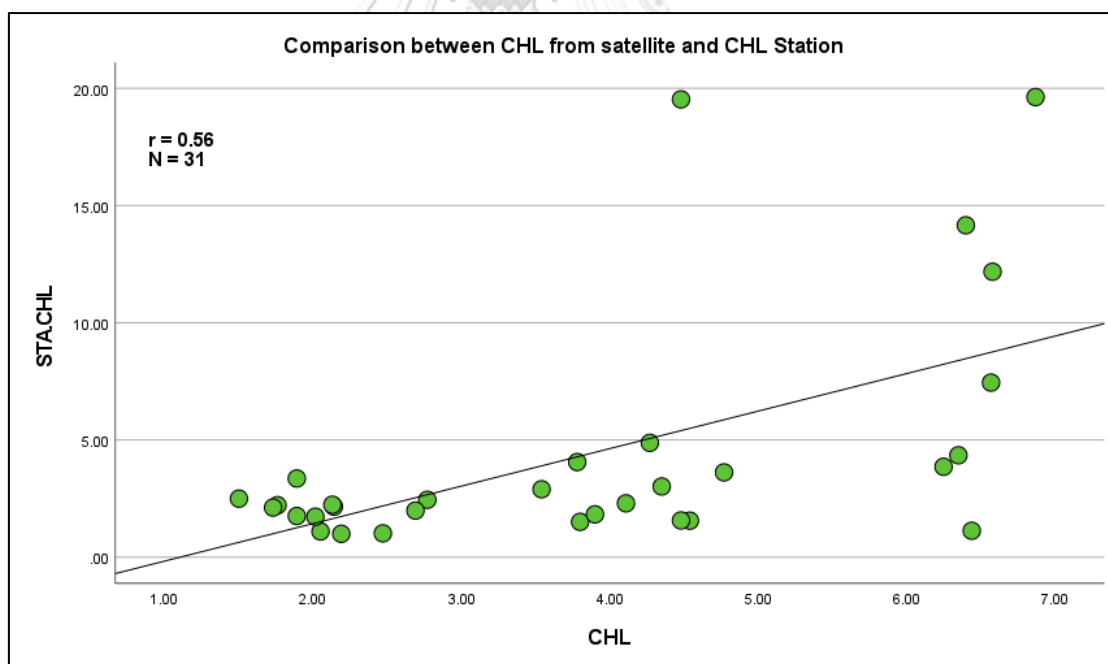
รูปที่ 30 กราฟแสดงความสอดคล้องระหว่างอุณหภูมิผิวน้ำทะเลแบบช่วงคลื่นสั้นในเวลากลางคืนและอุณหภูมิผิวน้ำทะเลจากระบบฐานข้อมูล iQuam



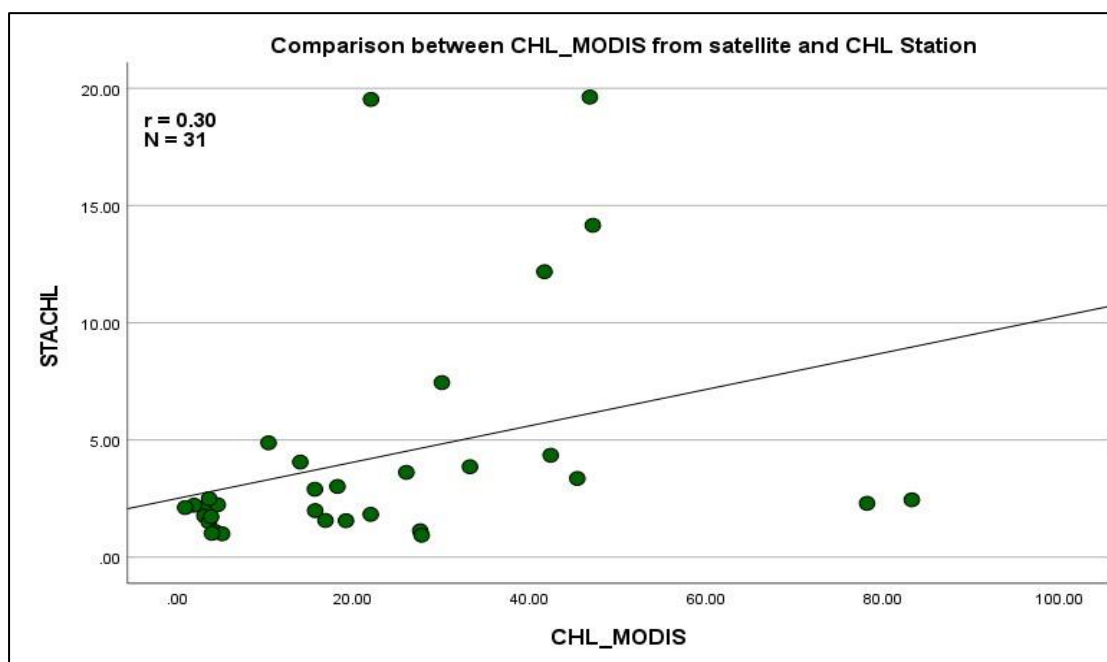
รูปที่ 31 กราฟแสดงความสอดคล้องระหว่างอุณหภูมิผิวน้ำทะเลแบบช่วงคลื่นยาวในเวลากลางวันและอุณหภูมิผิวน้ำทะเลจากระบบฐานข้อมูล iQuam

จากรูปที่ 29 - 31 และตารางที่ 6 แสดงความสอดคล้องระหว่างอุณหภูมิผิวน้ำทะเล จากดาวเทียมและอุณหภูมิผิวน้ำทะเลจากระบบฐานข้อมูล iQuam ในเวลากลางวันและกลางคืน ซึ่งผลลัพธ์ทางสถิติแสดงให้เห็นว่าข้อมูลอุณหภูมิผิวน้ำทะเลแบบช่วงคลื่นยาวในเวลากลางคืนมีความสอดคล้องกับอุณหภูมิผิวน้ำทะเลจากระบบฐานข้อมูล iQuam มีประสิทธิภาพดีที่สุด โดยมีค่าสหสัมพันธ์เท่ากับ 0.93 ซึ่งมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญในระดับมากที่สุด และมีค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานเท่ากับ  $\pm 0.05$  องศาเซลเซียส

ส่วนการเปรียบเทียบประสิทธิภาพข้อมูลคลอโรฟิลล์-เอ ซึ่งงานวิจัยได้เลือกใช้ข้อมูลความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ จากดาวเทียม Aqua ระบบ MODIS ที่ผสานเข้ากับระบบ Ocean Colour Climate Change Initiative (OC-CCI) และเปรียบเทียบประสิทธิภาพข้อมูลคลอโรฟิลล์-เอ ที่ได้ จากดาวเทียม Aqua ระบบ MODIS โดยตรง ซึ่งทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับข้อมูลความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ จากสถานีตรวจวัดทางทะเลแบบโทรมาตร ดังรูปที่ 32-33 และค่าสถิติดัง ตารางที่ 7



รูปที่ 32 กราฟแสดงความสอดคล้องระหว่างความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ จากการผสานระบบ OC-CCI และความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ จากสถานีตรวจวัดทางทะเลแบบโทรมาตร



รูปที่ 33 กราฟแสดงความสอดคล้องระหว่างความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ จากดาวเทียม Aqua ระบบ MODIS และความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ จากสถานีตรวจวัดทางทะเลแบบโทรมาตร

ตารางที่ 7 แสดงค่าสหสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ จากดาวเทียม และสถานีแบบโทรมาตร

ข้อมูลเปรียบเทียบ	ค่าสหสัมพันธ์ (r)	Sig.	N	Standard error
CHL (OC-CCI) และ CHL Station	0.56	0.001*	31	0.77
CHL (MODIS) และ CHL Station	0.30	0.07	31	3.57

\*นัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01

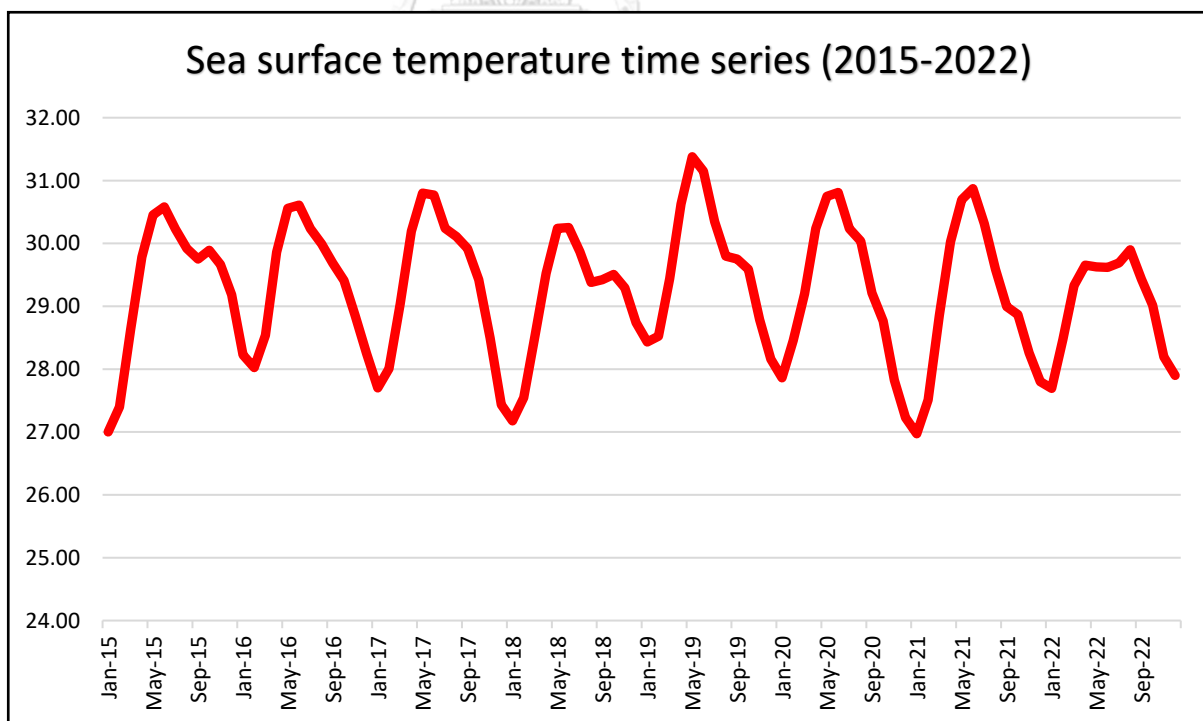
จากรูปที่ 32-33 และตารางที่ 7 แสดงความสอดคล้องระหว่างความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ จากการผสมระบบ OC-CCI และความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ จากสถานีตรวจวัดทางทะเลแบบโทรมาตรโดยผลลัพธ์ทางสถิติแสดงค่าสหสัมพันธ์เท่ากับ 0.56 มีความสัมพันธ์กันในระดับปานกลางอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติและมีค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานเท่ากับ  $\pm 0.77$  มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร และความสอดคล้องระหว่างความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ จากดาวเทียม Aqua ระบบ MODIS โดยตรง และความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ จากสถานีตรวจวัดทางทะเลแบบโทรมาตร โดยผลลัพธ์ทางสถิติแสดงค่าสหสัมพันธ์เท่ากับ 0.30 มีความสัมพันธ์กันในระดับน้อยที่สุดซึ่งไม่แสดงนัยสำคัญทางสถิติและมีค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานเท่ากับ  $\pm 3.57$  มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร

## บทที่ 4

### ผลการศึกษา

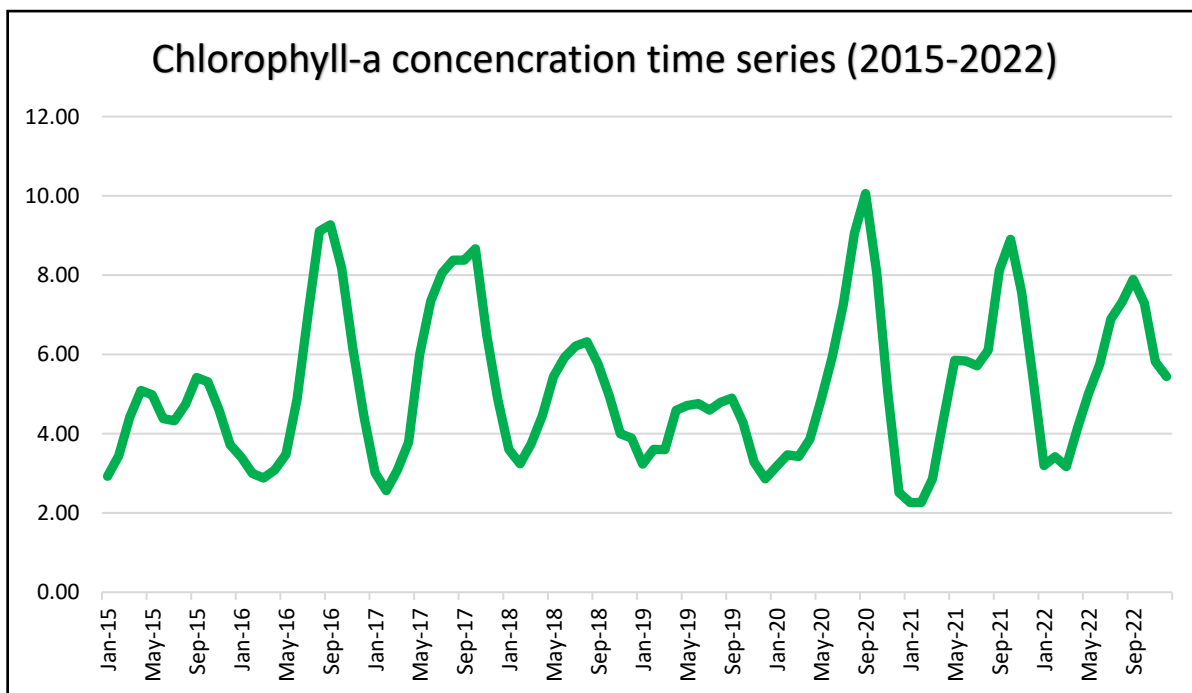
#### 4.1 ลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ บริเวณอ่าวไทยตอนบน

อนุกรมเวลาของค่าเฉลี่ยอุณหภูมิผิวน้ำทะเลบริเวณอ่าวไทยตอนบนมีอุณหภูมิอยู่ในช่วงระหว่าง 26.97 ถึง 31.38 องศาเซลเซียส ซึ่งโดยทั่วไปอุณหภูมิผิวน้ำทะเลจะมีค่าสูงสุดหนึ่งครั้ง และอุณหภูมิต่ำสุดหนึ่งครั้งในรอบปี เริ่มต้นจากเดือนมกราคมแสดงแนวโน้มอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงเดือนพฤษภาคมมีอุณหภูมิผิวน้ำทะเลมีค่าสูงที่สุด จากนั้นอุณหภูมิจะค่อย ๆ ลดลงในเดือนมิถุนายนเป็นต้นไป และอุณหภูมิจะกลับมาเพิ่มขึ้นในเดือนมกราคมในปีถัดไป ในขณะที่ความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ มีค่าอยู่ในช่วง 2.26 ถึง 10.06 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งค่าความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ จะมีค่าปริมาณความเข้มข้นสูงสุดในช่วงเดือนสิงหาคมถึงตุลาคม และค่าความเข้มข้นมีปริมาณน้อยในช่วงเดือนมกราคมถึงพฤษภาคม ซึ่งรูปแบบวัฏจักรอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ แสดงดังรูปที่ 34 และ 35



รูปที่ 34 กราฟแสดงอนุกรมเวลาของค่าเฉลี่ยอุณหภูมิผิวน้ำทะเล



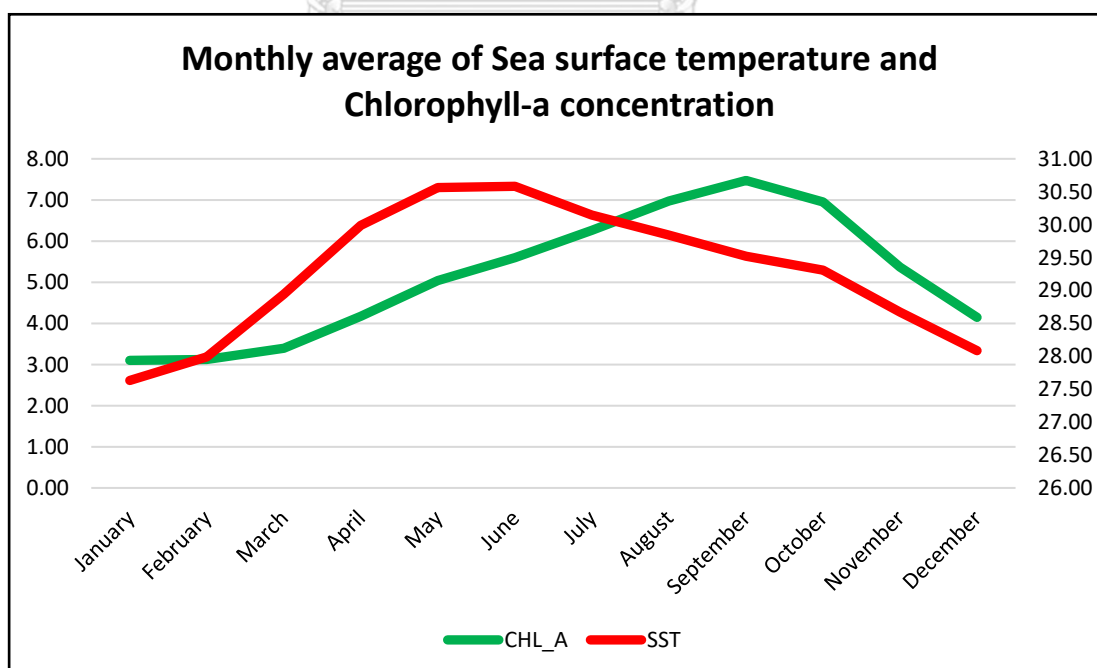


รูปที่ 35 กราฟแสดงอนุกรมเวลาของค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์-เอ

ค่าเฉลี่ยรายเดือนของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ ในช่วงปี พ.ศ.2558 ถึง 2565 เป็นระยะเวลา 8 ปี แสดงดังตารางที่ 8 พบว่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ แสดงการเพิ่มขึ้นที่น้อยในช่วงไม่มีลมมรสุม (กุมภาพันธ์-เมษายน) และมีปริมาณเพิ่มสูงสุดในตอนปลายของช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ในเดือนกันยายน มีปริมาณความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ 7.47 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จากนั้นปริมาณจะมีการลดลงในช่วงลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (ตุลาคม-มกราคม) และการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผิวน้ำทะเลแสดงการเพิ่มขึ้นในช่วงไม่มีลมมรสุมจนถึงตอนต้นของช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ในเดือนพฤษภาคม โดยมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่ 30.58 องศาเซลเซียส จากนั้นอุณหภูมิจะค่อยๆลดลงเข้าสู่ช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (พฤษภาคม-กันยายน) แสดงดังรูปที่ 36

ตารางที่ 8 ค่าเฉลี่ยรายเดือนอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ในช่วงปี พ.ศ.2558 ถึง 2565

เดือน	ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิผิวน้ำทะเล (องศาเซลเซียส)	ค่าเฉลี่ยความเข้มข้น คลอโรฟิลล์-เอ ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )
มกราคม	27.63	3.10
กุมภาพันธ์	27.99	3.12
มีนาคม	28.94	3.40
เมษายน	29.99	4.17
พฤษภาคม	30.58	5.04
มิถุนายน	30.56	5.60
กรกฎาคม	30.14	6.26
สิงหาคม	29.84	6.98
กันยายน	29.52	7.47
ตุลาคม	29.31	6.95
พฤศจิกายน	28.67	5.37
ธันวาคม	28.09	4.15



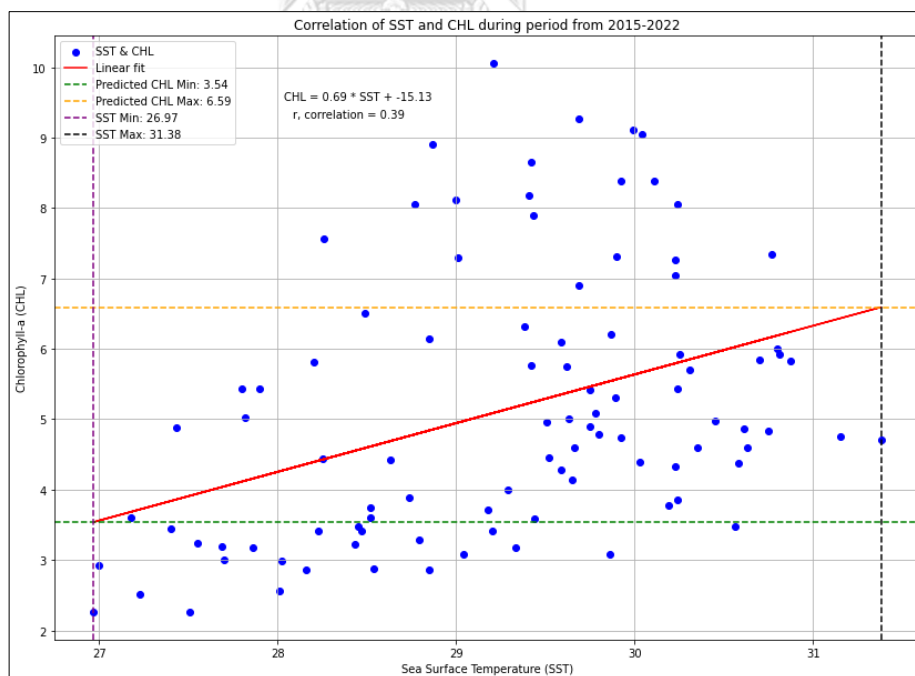
รูปที่ 36 ค่าเฉลี่ยรายเดือนอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ในระยะ 8 ปี

จากการวิเคราะห์สหสัมพันธ์เพียร์สันเพื่อใช้วัดความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ พบว่าลักษณะความสัมพันธ์ตลอดระยะเวลาระหว่างอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ แสดงความสัมพันธ์เชิงบวกต่อกันแสดงดังรูป 37 และลักษณะความสัมพันธ์ในแต่ละช่วงลมมรสุมซึ่งแสดงความสัมพันธ์เชิงบวกต่อกันในช่วงไม่มีลมมรสุมและในช่วงลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ แสดงดังรูปที่ 38-39 และแสดงความสัมพันธ์เชิงลบต่อกันในช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ แสดงดังรูปที่ 40 โดยแสดงค่าความสัมพันธ์ทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ดังตารางที่ 9

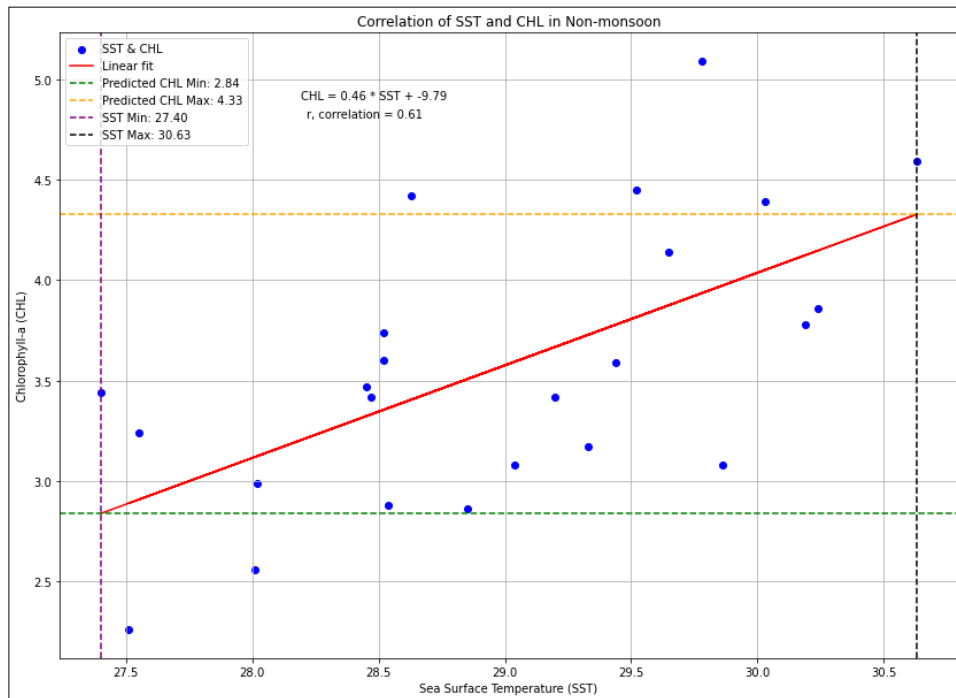
ตารางที่ 9 แสดงค่าสหสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ

ช่วงลมมรสุม	ค่าสหสัมพันธ์ (r)	Sig.	N
ทุกช่วงลมมรสุม (ตลอดทั้งปี)	0.39	<.001*	96
ช่วงไม่มีลมมรสุม (กุมภาพันธ์-เมษายน)	0.61	0.001*	24
ช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (พฤษภาคม-กันยายน)	-0.44	0.01*	40
ช่วงลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (ตุลาคม-มกราคม)	0.44	0.01**	32

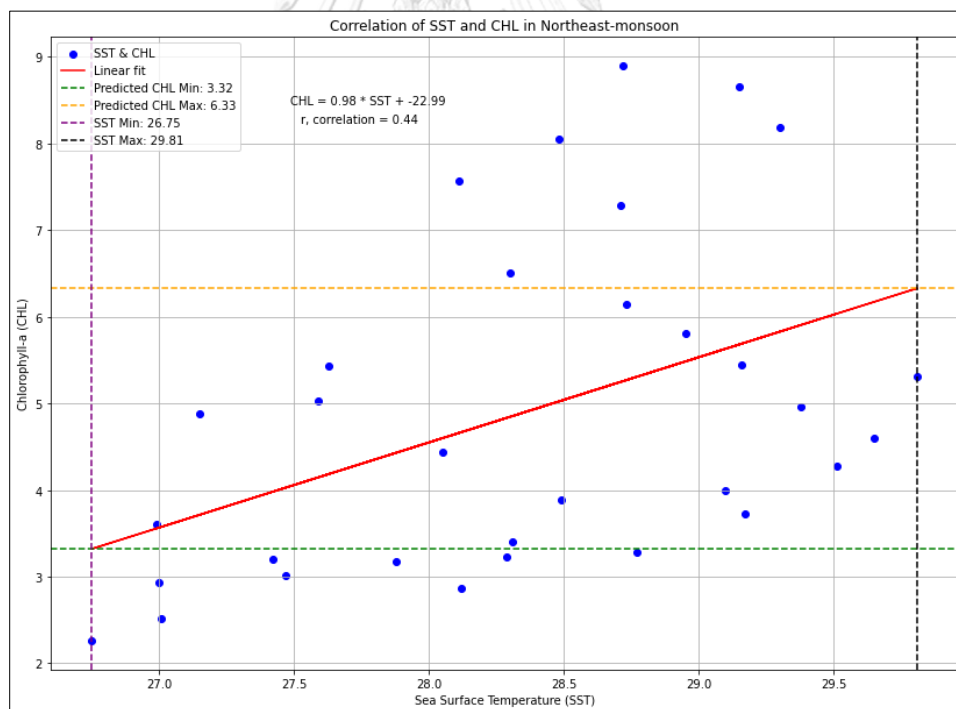
\*นัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01, \*\*นัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05



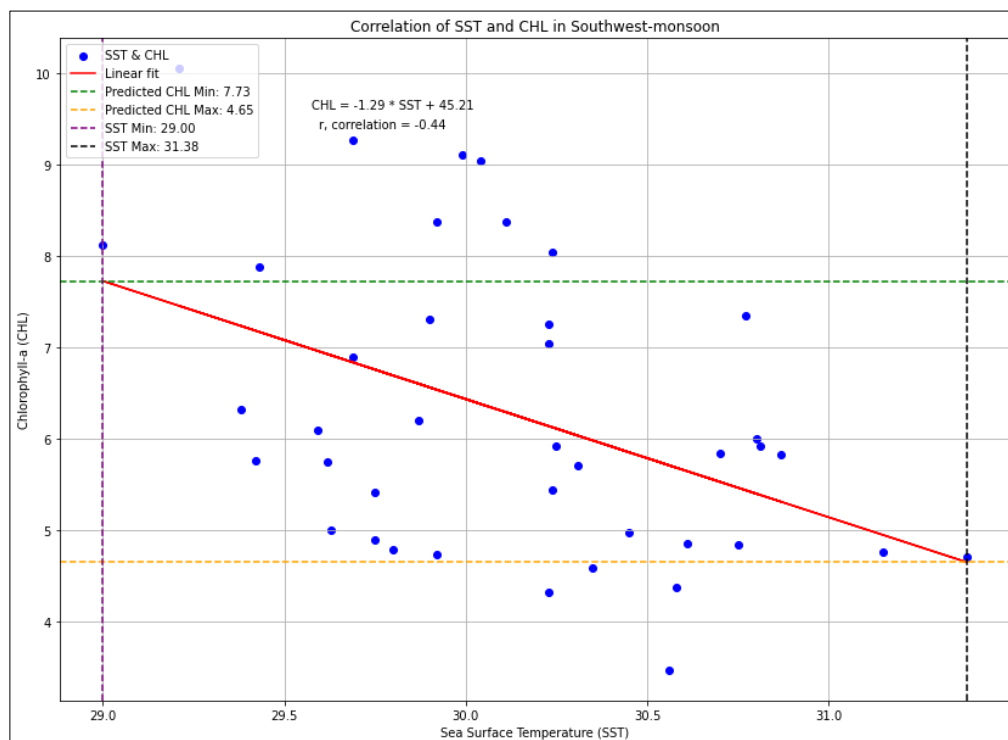
รูปที่ 37 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ  
ในช่วงระยะปี พ.ศ. 2558 – 2565



รูปที่ 38 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ  
ในช่วงไม่มีลมมรสุม



รูปที่ 39 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ  
ในช่วงลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ



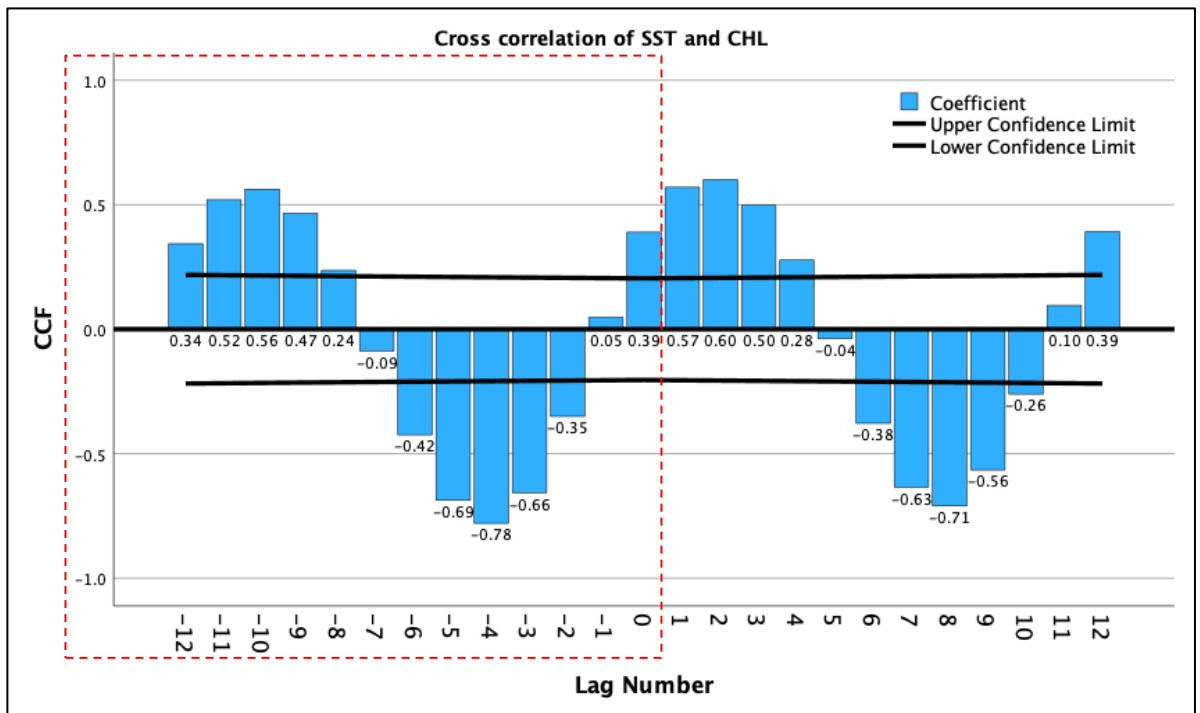
รูปที่ 40 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ ในช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้

จากรูปที่ 38 - 40 และตารางที่ 9 แสดงความสัมพันธ์ทางสถิติซึ่งบ่งบอกถึงระดับและทิศทางของความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ เมื่อพิจารณาจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เป็นเส้นตรงระหว่างข้อมูลจึงสามารถประมาณค่าปริมาณความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ จากช่วงอุณหภูมิผิวน้ำทะเลในแต่ละช่วงลมมรสุม พบว่าความสัมพันธ์เชิงบวกแสดงลักษณะช่วงที่อุณหภูมิผิวน้ำทะเลที่มีอุณหภูมิสูงทำให้ความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ มีการเพิ่มขึ้นตามไปด้วย หากพิจารณาทุกช่วงลมมรสุม (ตลอดทั้งปี) มีอุณหภูมิผิวน้ำทะเลในช่วง 26.97 - 31.38 องศาเซลเซียส ส่งผลให้เกิดการเพิ่มขึ้นของค่าประมาณความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ ในช่วง 3.54 - 6.59 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร ซึ่งในช่วงไม่มีลมมรสุมมีอุณหภูมิผิวน้ำทะเลในช่วง 27.40 - 30.63 องศาเซลเซียส ส่งผลให้เกิดการเพิ่มขึ้นของค่าประมาณความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ ในช่วง 2.84 - 4.33 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร และช่วงลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือมีอุณหภูมิผิวน้ำทะเลในช่วง 26.75 - 29.81 องศาเซลเซียส ส่งผลให้เกิดการเพิ่มขึ้นของค่าประมาณความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ ในช่วง 3.32 - 6.33 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร ในขณะที่ความสัมพันธ์เชิงลบแสดงลักษณะช่วงอุณหภูมิผิวน้ำทะเลที่มีอุณหภูมิต่ำทำให้ความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ มีการเพิ่มขึ้น พบในช่วงลมมรสุม

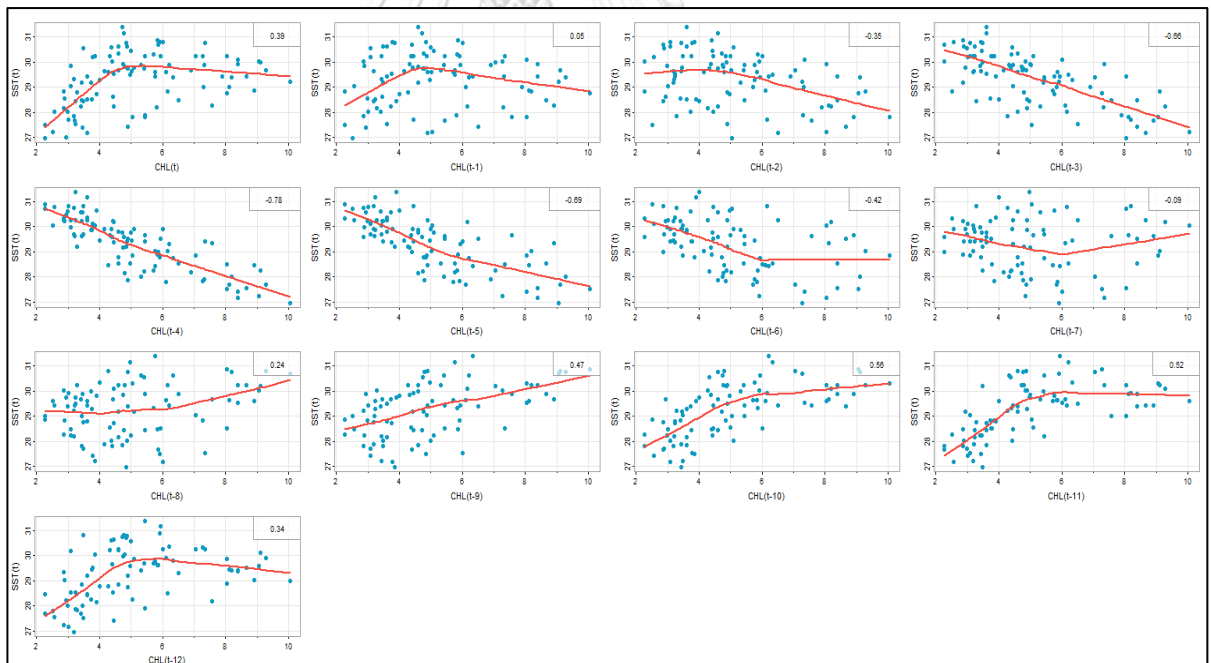
ตะวันตกเฉียงใต้ซึ่งมีอุณหภูมิผิวน้ำทะเลในช่วง 29.0 - 31.38 องศาเซลเซียส โดยการเพิ่มขึ้นของค่าประมาณความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ ในช่วง 7.73 - 4.65 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร

ซึ่งความสัมพันธ์เชิงลบในช่วงมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (พฤษภาคม-กันยายน) ชัดแย้งกับความสัมพันธ์รายปีระหว่างอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ ที่แสดงความสัมพันธ์เชิงบวก โดยในช่วงมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ทำให้เกิดปริมาณฝนตกสูงจึงส่งผลให้น้ำสาวยหลัก ได้แก่ แม่น้ำบางปะกง, แม่น้ำเจ้าพระยา, แม่น้ำท่าจีน และแม่น้ำแม่กลอง ไหลลงสู่อ่าวไทยตอนบนโดยมีความสำคัญในฐานะแหล่งของสารอาหารและตะกอน (ไนเตรต, ซิลิคอน และฟอสเฟต) มีส่วนช่วยเจริญเติบโตของแพลงก์ตอน ดังนั้นการไหลบ่าของน้ำจืดจึงลดผลกระทบของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลที่มีต่อความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ ซึ่งในช่วงไม่มีลมมรสุมและช่วงลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือแสดงความสัมพันธ์เชิงบวก โดยบริเวณอ่าวไทยตอนบนรองรับน้ำจืดที่ไหลจากแม่น้ำสาวยหลักปริมาณน้อยกว่าช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ อัตราการไหลของแม่น้ำไม่มีความสอดคล้องกับปริมาณน้ำฝนเนื่องจากมีปริมาณน้ำฝนลดลง ดังนั้นผลกระทบของการปล่อยน้ำจากแม่น้ำสาวยหลักที่มีต่อความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ จึงมีผลต่ำมาก (Buranapratheprat et al., 2016) และแสดงให้เห็นว่าการปล่อยน้ำจากแม่น้ำสาวยหลักไม่ได้ส่งผลกระทบต่ออุณหภูมิผิวน้ำทะเลในสองช่วงลมมรสุมนี้ เมื่อเทียบกับช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้

เมื่อพิจารณาจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบไขว้ตลอดระยะเวลาศึกษาระหว่างอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ ซึ่งอธิบายแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความสัมพันธ์ระหว่างสองข้อมูลตามเวลาที่ความล่าช้าต่าง ๆ โดยผลลัพธ์จากค่าสหสัมพันธ์แบบเพียร์สันที่ไม่มีความล่าช้า (Lag = 0) แสดงความสัมพันธ์ในเชิงบวก จากนั้นความสัมพันธ์เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงเป็นเชิงลบ โดยมีค่าสหสัมพันธ์มากที่สุดมีค่าเท่ากับ -0.78 อยู่ที่ความล่าช้า 4 เดือน (Lag = 4) และจะเริ่มกลับมาเปลี่ยนแปลงเป็นความสัมพันธ์ในเชิงบวกอีกครั้ง แสดงดังรูป 41 - 42 แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงความสัมพันธ์เป็นวัฏจักรในรอบปี โดยสอดคล้องกับผลลัพธ์ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ ในแต่ละช่วงลมมรสุมข้างต้น ซึ่งแสดงความสัมพันธ์เชิงบวกในช่วงไม่มีลมมรสุม จากนั้นในช่วงมรสุมตะวันตกเฉียงใต้แสดงความสัมพันธ์เชิงลบ และช่วงลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือแสดงความสัมพันธ์เชิงบวกจึงเป็นวัฏจักรการเปลี่ยนช่วงลมมรสุม



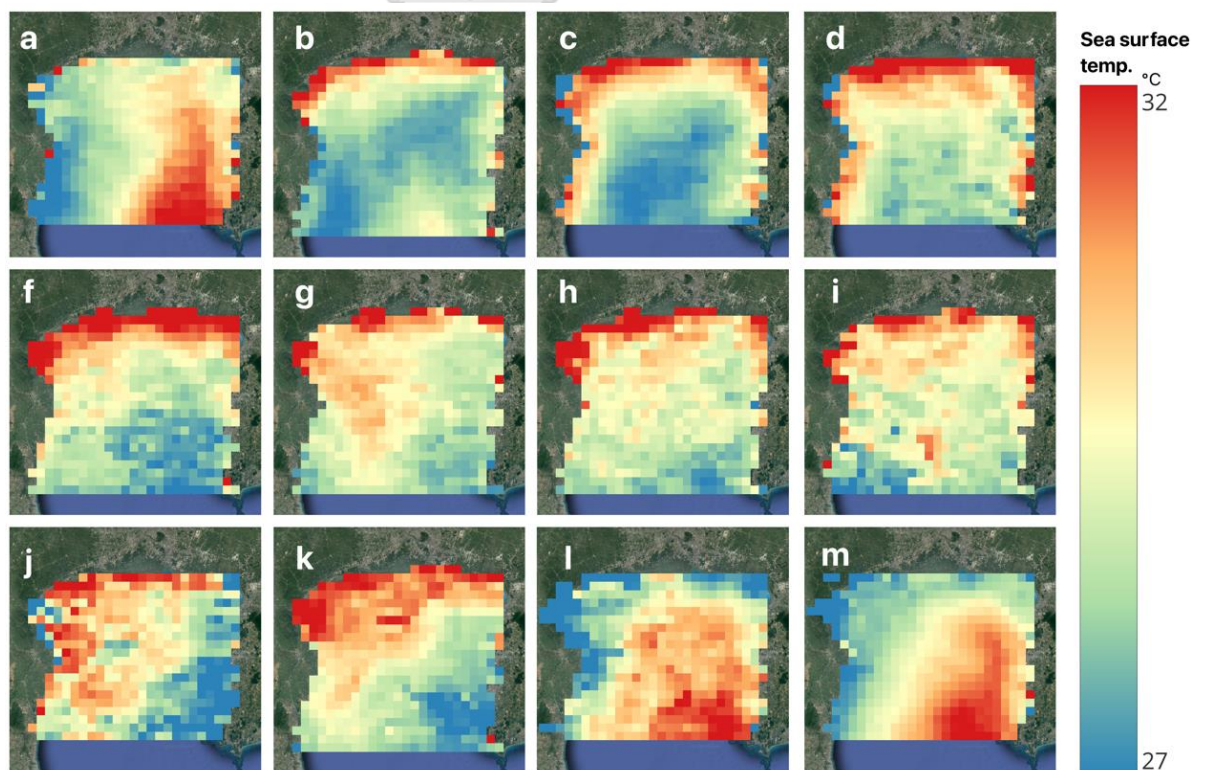
รูปที่ 41 สหสัมพันธ์แบบไขว้ระหว่างอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ



รูปที่ 42 แผนภูมิจุดแบบกระจายของสหสัมพันธ์แบบไขว้ระหว่างอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ

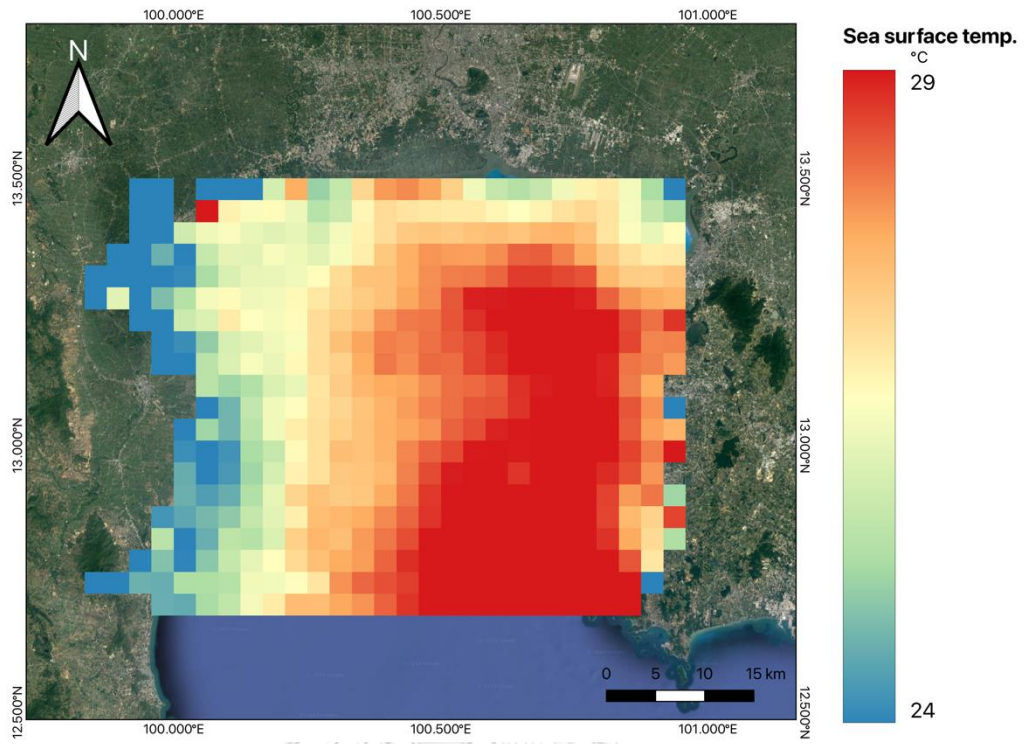
#### 4.2 การเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ

ภาพถ่ายจากดาวเทียมแสดงลักษณะอุณหภูมิผิวน้ำทะเลเฉลี่ยรายเดือนบริเวณอ่าวไทยตอนบนในช่วงปี พ.ศ.2558 ถึง 2565 แสดงดังรูปที่ 43 ซึ่งอุณหภูมิผิวน้ำทะเลตามแนวกว้างที่มีความแตกต่างกันด้วยการพัดพาทิศทางของกระแสน้ำในแต่ละช่วงลมมรสุม ในช่วงลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (ตุลาคม-มกราคม) อ่าวไทยตอนบนทั่วทั้งพื้นที่มีอุณหภูมิผิวน้ำทะเลเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 27 ถึง 29 องศาเซลเซียส โดยมีกำลังลมอ่อนพัดผ่านบริเวณอ่าวไทยตอนบน กระแสน้ำถูกผลักไปทางทิศตะวันตกส่งผลให้อุณหภูมิผิวน้ำทะเลบริเวณอ่าวฝั่งตะวันตกมีอุณหภูมิต่ำประมาณ 27.5 องศาเซลเซียส และบริเวณอ่าวฝั่งตะวันออกมีอุณหภูมิสูงประมาณ 28.75 องศาเซลเซียส แสดงดังรูปที่ 44 ในช่วงไม่มีลมมรสุม (กุมภาพันธ์-เมษายน) มีอุณหภูมิผิวน้ำทะเลเฉลี่ยทั่วทั้งพื้นที่อยู่ระหว่าง 27 ถึง 30 องศาเซลเซียส โดยมีอุณหภูมิสูงตามแนวชายฝั่งอ่าวไทยตอนบน แสดงดังรูปที่ 45 และในช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (พฤษภาคม-กันยายน) มีลักษณะเชิงพื้นที่คล้ายกับช่วงไม่มีลมมรสุม โดยมีอุณหภูมิสูงแนวชายฝั่งปากอ่าวไทยตอนบน และกระแสน้ำถูกผลักไปทางทิศตะวันออกส่งผลให้อุณหภูมิผิวน้ำทะเลบริเวณอ่าวฝั่งตะวันออกมีอุณหภูมิต่ำประมาณ 28.0 องศาเซลเซียส และบริเวณอ่าวฝั่งตะวันตกมีอุณหภูมิสูงประมาณ 29.5 องศาเซลเซียส แสดงดังรูปที่ 46

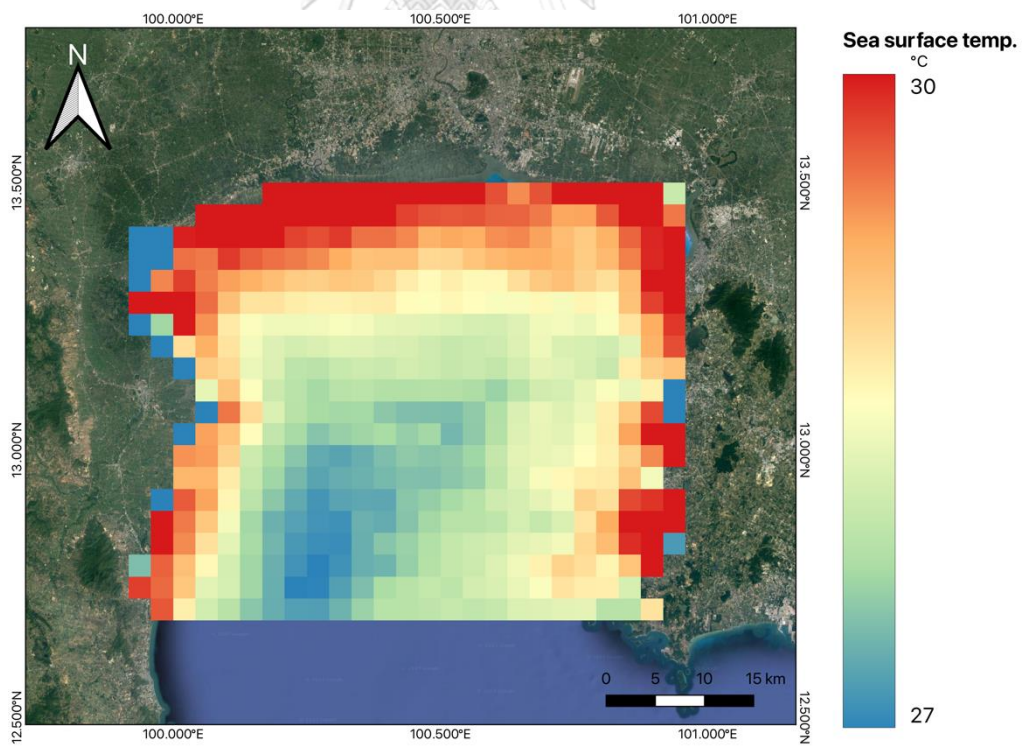


รูปที่ 43 ลักษณะเชิงพื้นที่ของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลเฉลี่ยรายเดือน

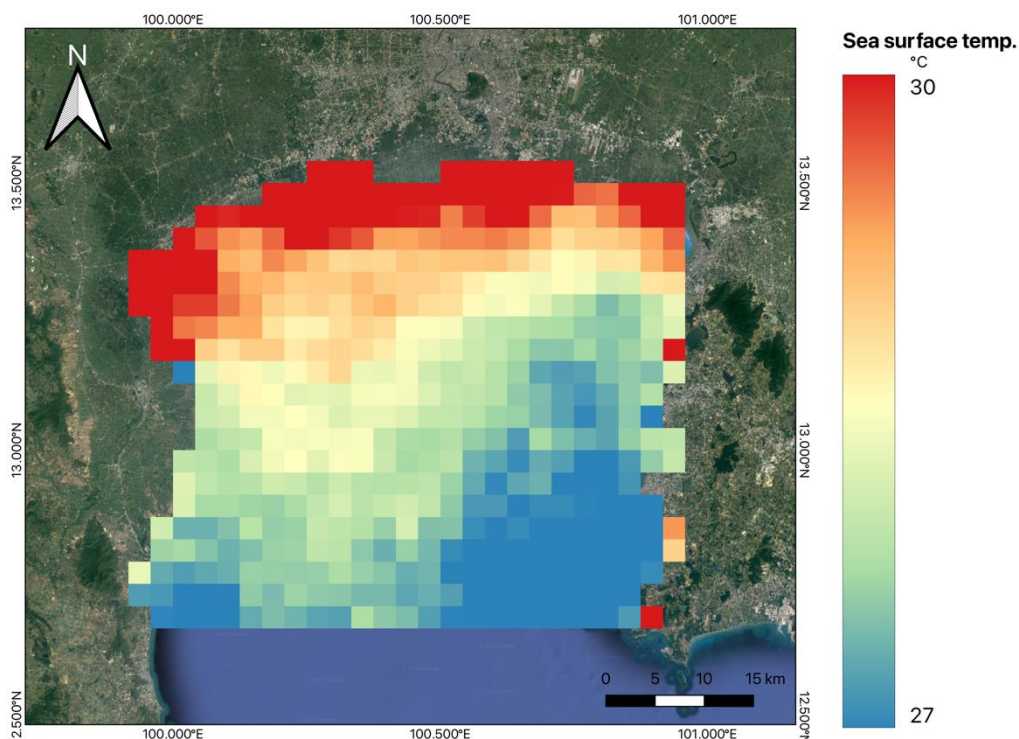




รูปที่ 44 ลักษณะเชิงพื้นที่ของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลในช่วงลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ



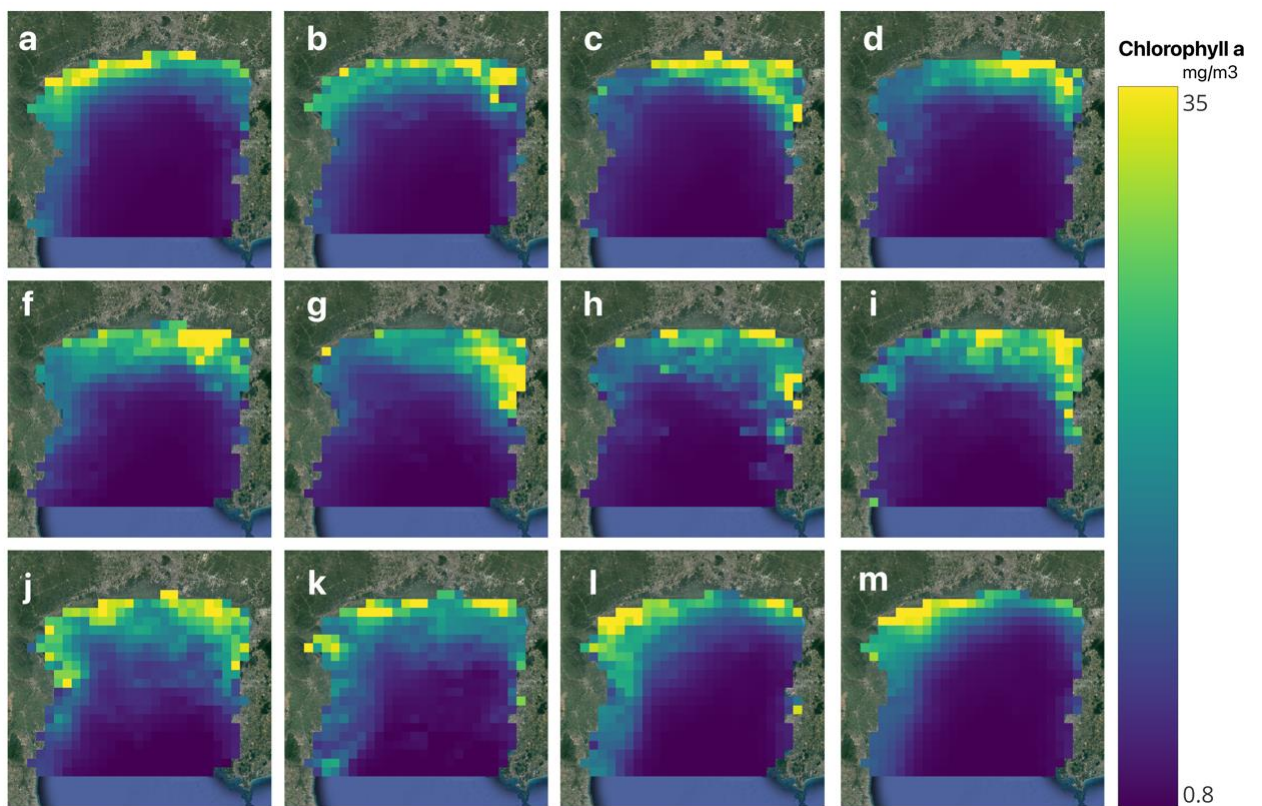
รูปที่ 45 ลักษณะเชิงพื้นที่ของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลในช่วงไม่มีลมมรสุม



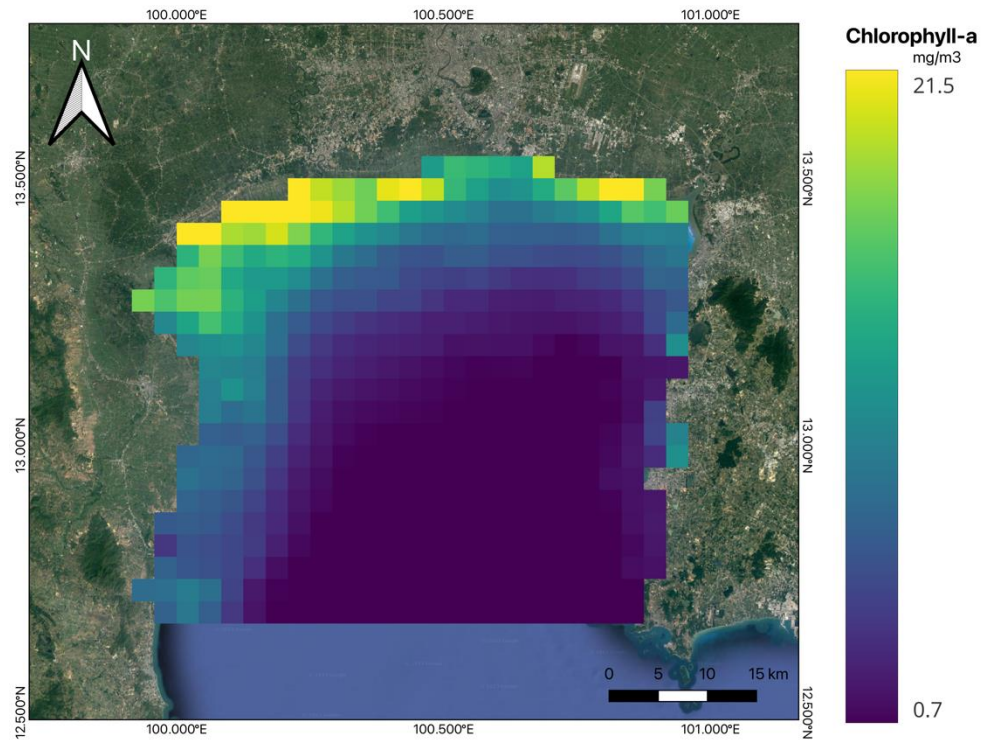
รูปที่ 46 ลักษณะเชิงพื้นที่ของอุณหภูมิน้ำทะเลในช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้

ภาพถ่ายจากดาวเทียมแสดงลักษณะความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ เฉลี่ยรายเดือนบริเวณอ่าวไทยตอนบนในช่วงปี พ.ศ.2558 ถึง 2565 แสดงดังรูปที่ 47 ปริมาณความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ บริเวณอ่าวไทยตอนบนใกล้พื้นที่ชายฝั่งและปากแม่น้ำมีปริมาณตลอดทั้งปี ในช่วงไม่มีลมมรสุม (กุมภาพันธ์-เมษายน) มีปริมาณความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ ต่ำทั่วทั้งพื้นที่ แสดงดังรูป 48 ในช่วงลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (ตุลาคม-มกราคม) อ่าวไทยตอนบนทั่วทั้งพื้นที่มีปริมาณความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ อยู่ระหว่าง 0.7 ถึง 21.26 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร โดยปริมาณสูงตามแนวชายฝั่งตะวันตกเฉลี่ย 10.2 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร แสดงดังรูปที่ 49 และในช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (พฤษภาคม-กันยายน) มีปริมาณความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ อยู่ระหว่าง 0.8 ถึง 32.5 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร โดยปริมาณสูงตามแนวชายฝั่งตะวันออกเฉลี่ย 18.02 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร แสดงดังรูป 50 โดยลักษณะการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลมรสุมของปริมาณความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ ในช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ทำให้เกิดกำลังลมแรงใกล้บริเวณชายฝั่งและมีปริมาณฝนสูงทำให้มีสารอาหารผิวน้ำทะเลมีความอุดมสมบูรณ์ในฤดูลมมรสุมนี้ และกระแสน้ำที่ไหลทิศตาเข้มนาฬิกา ส่งผลให้ปริมาณความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ สูงตามแนวชายฝั่งตะวันออก และช่วงลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือซึ่งไม่ได้รับกระหนาบจากปริมาณน้ำฝนทำให้ปริมาณความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ มี

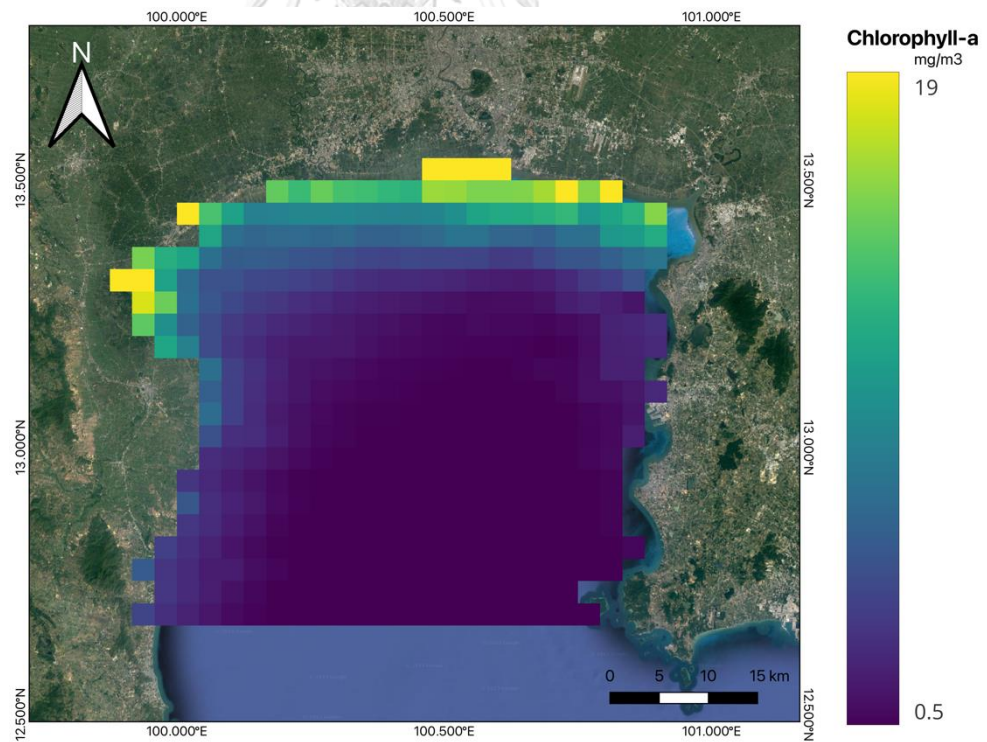
ปริมาณไม่สูงมาก และกระแสน้ำที่ไหลทิศทวนเข็มนาฬิกาทำให้ปริมาณความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ สูงตามแนวชายฝั่งตะวันตก ซึ่งจากผลลัพธ์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ของความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ สอดคล้องกับการศึกษาพื้นที่อ่าวไทยตอนบนด้วยแบบจำลองเชิงตัวเลขมาก่อนหน้านี้ (Buranapratheprat et al., 2021) ว่าด้วยทิศทางการไหลเวียนของกระแสน้ำทะเลที่ทวนเข็มนาฬิกา และตามเข็มนาฬิกาที่เกิดขึ้นในช่วงลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือและช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ตามลำดับ



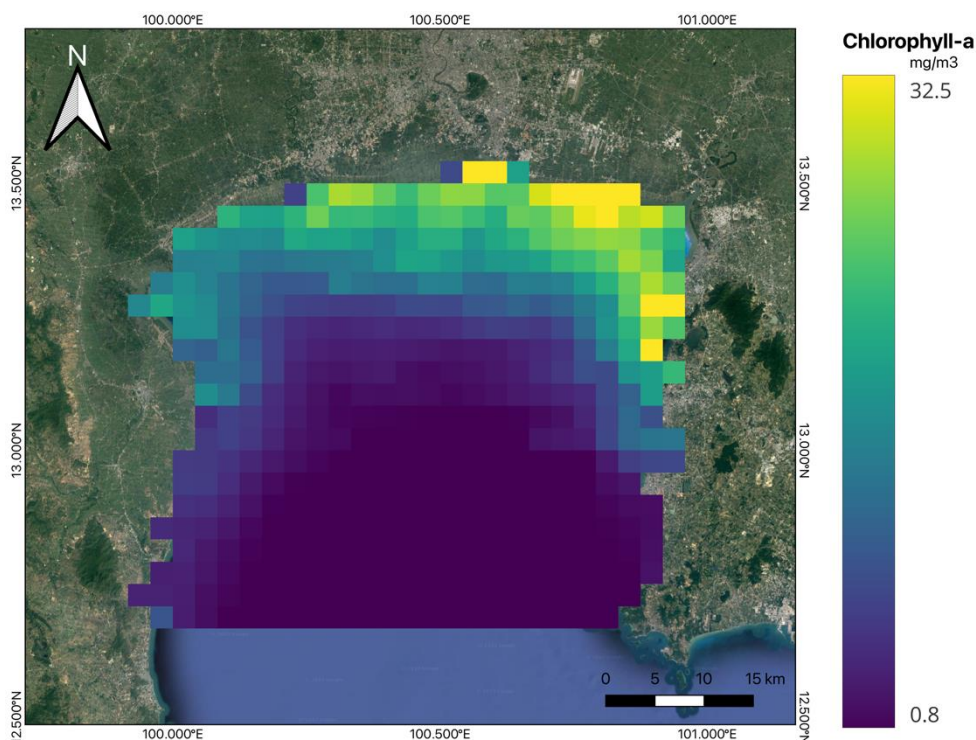
รูปที่ 47 ลักษณะเชิงพื้นที่ของความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ เฉลี่ยรายเดือน



รูปที่ 48 ลักษณะเชิงพื้นที่ของความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ ในช่วงลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ



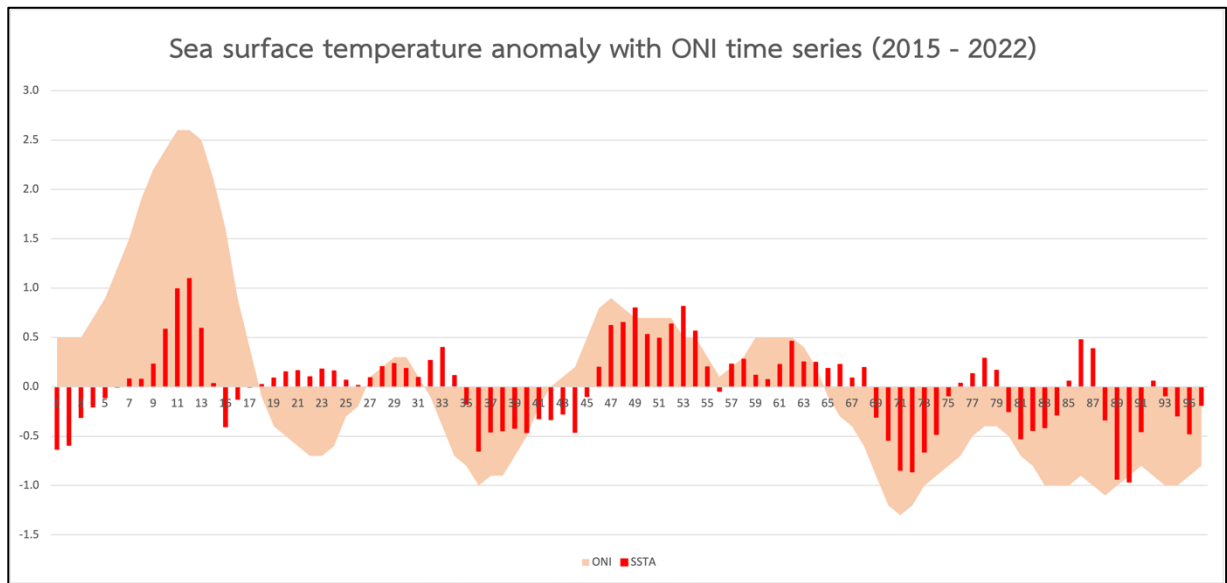
รูปที่ 49 ลักษณะเชิงพื้นที่ของความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ ในช่วงไม่มีลมมรสุม



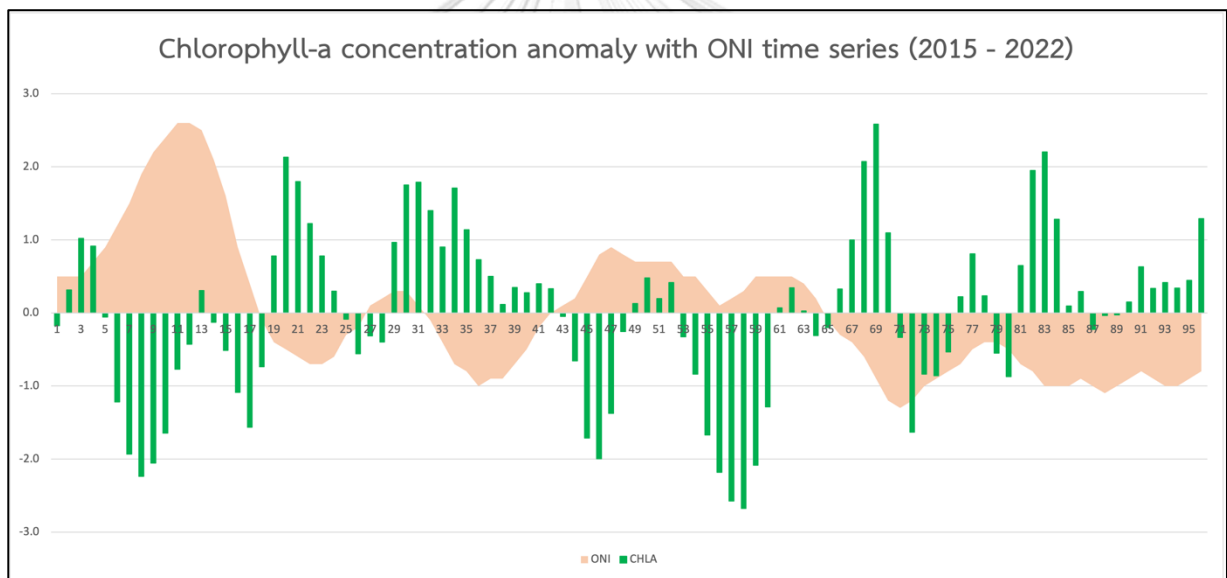
รูปที่ 50 ลักษณะเชิงพื้นที่ของความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ ในช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้

#### 4.3 ค่าความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ

ค่าความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ เกิดจากผลต่างของค่าเฉลี่ยในแต่ละเดือนกับค่าเฉลี่ยปีฐานของช่วงระยะเวลาที่ศึกษา ซึ่งค่าความผิดปกติสามารถเป็นได้ทั้งค่าบวกและค่าลบ โดยค่าบวกแสดงถึงค่าที่มากกว่าค่าเฉลี่ย และค่าลบแสดงถึงค่าที่น้อยกว่าค่าเฉลี่ย ซึ่งค่าความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ ที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละเดือนที่ได้รับผลกระทบจากดัชนีทางสมุทรศาสตร์ซึ่งพิจารณาจากดัชนี ONI ตามช่วง Warm phase มีค่ามากกว่า 0.5 องศาเซลเซียส และ Cold phase มีค่าต่ำกว่า 0.5 องศาเซลเซียส โดยส่วนใหญ่ อุณหภูมิผิวน้ำทะเลมีการเปลี่ยนแปลงค่าความผิดปกติของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นในช่วง Warm phase และลดลงในช่วง Cold phase แสดงดังรูป 51 ความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าความผิดปกติโดยมีปริมาณเพิ่มขึ้นในช่วง Cold phase และมีปริมาณลดลงในช่วง Warm phase แสดงดังรูป 52 โดยการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างดัชนี ONI ต่อค่าความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ เลือกเฉพาะข้อมูลในเดือนที่ได้รับผลกระทบจากช่วง Warm phase/Cold phase เพื่อเป็นการแสดงอิทธิพลของดัชนี ONI ต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ ตามช่วงลมมรสุม



รูปที่ 51 กราฟแสดงอนุกรมเวลาของค่าความผิดปกติอุณหภูมิผิวน้ำทะเล



รูปที่ 52 กราฟแสดงอนุกรมเวลาของค่าความผิดปกติความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ

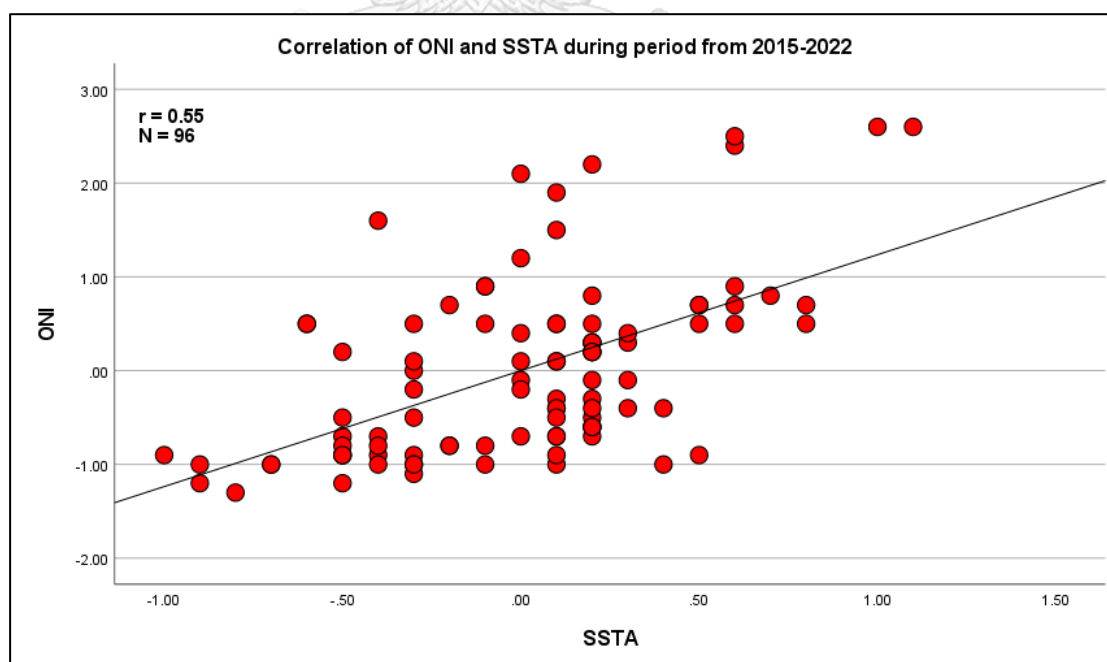
จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ด้วยค่าสหสัมพันธ์แบบเพียร์สันระหว่างค่าความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเล และดัชนี ONI ตลอดระยะเวลาที่ศึกษาแสดงความสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่าสหสัมพันธ์เท่ากับ 0.55 ดังรูปที่ 53 กล่าวคือ ค่าดัชนี ONI จะส่งผลต่อค่าความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลที่มีการเพิ่มขึ้นหรือลดลงบริเวณอ่าวไทยตอนบน จากการเปลี่ยนแปลงตามช่วง Warm phase และ Cold phase และจากการวิเคราะห์สหสัมพันธ์แบบไขว้ระหว่างช่วงเวลาของค่าความผิดปกติอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและค่าดัชนี ONI พบว่ามีความสัมพันธ์เชิง

บวกมากที่สุดที่ความล่าช้า 1 เดือน ซึ่งมีค่าสหสัมพันธ์เท่ากับ 0.57 กล่าวคือ ค่าดัชนี ONI บริเวณมหาสมุทรแปซิฟิกที่เกิดการเปลี่ยนแปลงจะส่งผลกระทบต่อมายังบริเวณอ่าวไทยตอนบน ทำให้ค่าความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลเปลี่ยนแปลงล่าช้าอยู่ 1 เดือน ดังรูปที่ 54 เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเล และดัชนี ONI ตามช่วงฤดูลมมรสุมของระยะเวลาที่ศึกษา ซึ่งแสดงความสัมพันธ์เชิงบวกในช่วงไม่มีลมมรสุม, ในช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ แสดงดังรูปที่ 55 - 57 และตารางที่ 10 แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิผิวน้ำทะเลบริเวณอ่าวไทยตอนบนมีการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของดัชนี ONI มากที่สุดในช่วงลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ

ตารางที่ 10 ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างดัชนี ONI และค่าความผิดปกติอุณหภูมิผิวน้ำทะเล

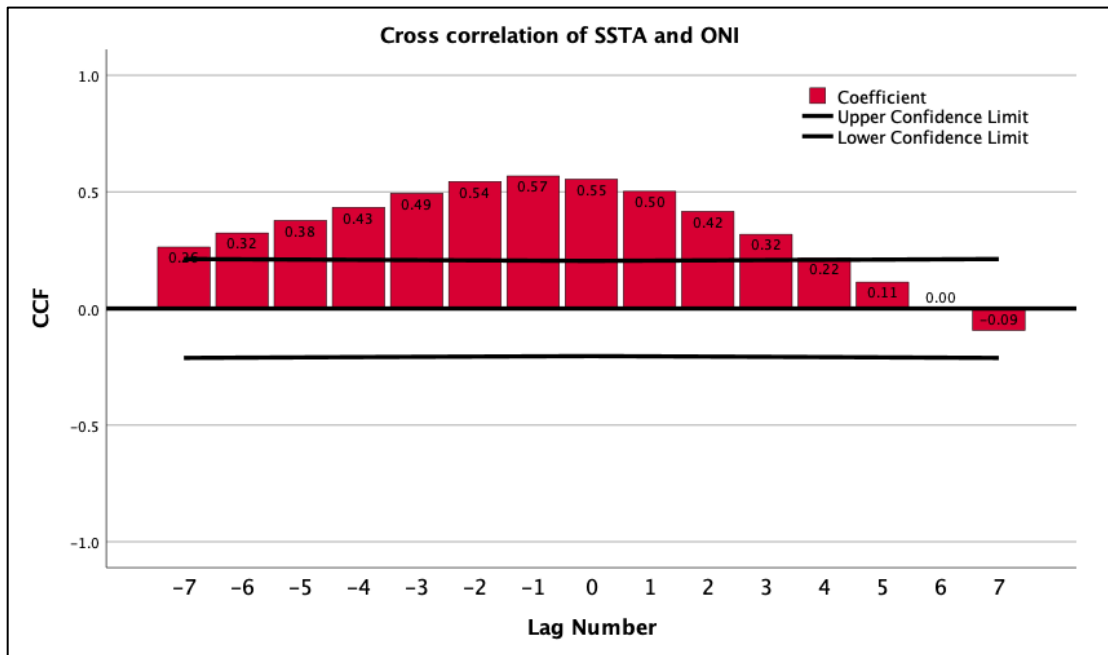
ช่วงลมมรสุม	ค่าสหสัมพันธ์ (r)	Sig.	N
ทุกช่วงลมมรสุม (ตลอดทั้งปี)	0.55	<.001*	96
ช่วงไม่มีลมมรสุม (กุมภาพันธ์-เมษายน)	0.11	0.66	18
ช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (พฤษภาคม-กันยายน)	0.48	0.04*	19
ช่วงลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (ตุลาคม-มกราคม)	0.82	<.001**	27

\*นัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01, \*\*นัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

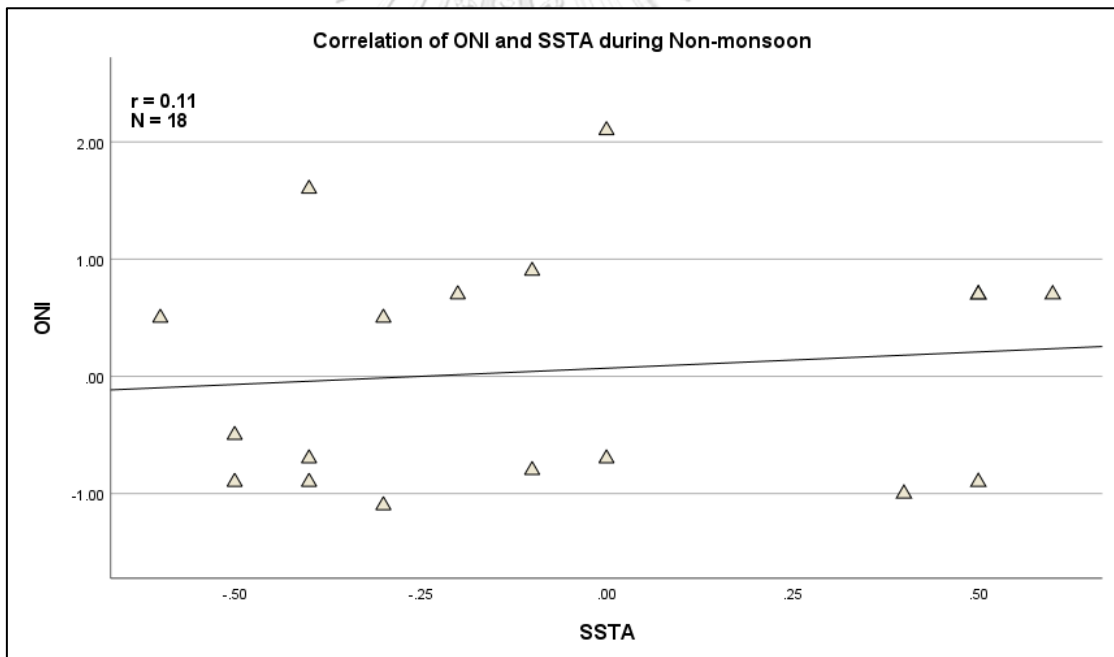


รูปที่ 53 ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนี ONI และค่าความผิดปกติอุณหภูมิผิวน้ำทะเล ในช่วงระยะปี พ.ศ.

2558 - 2565

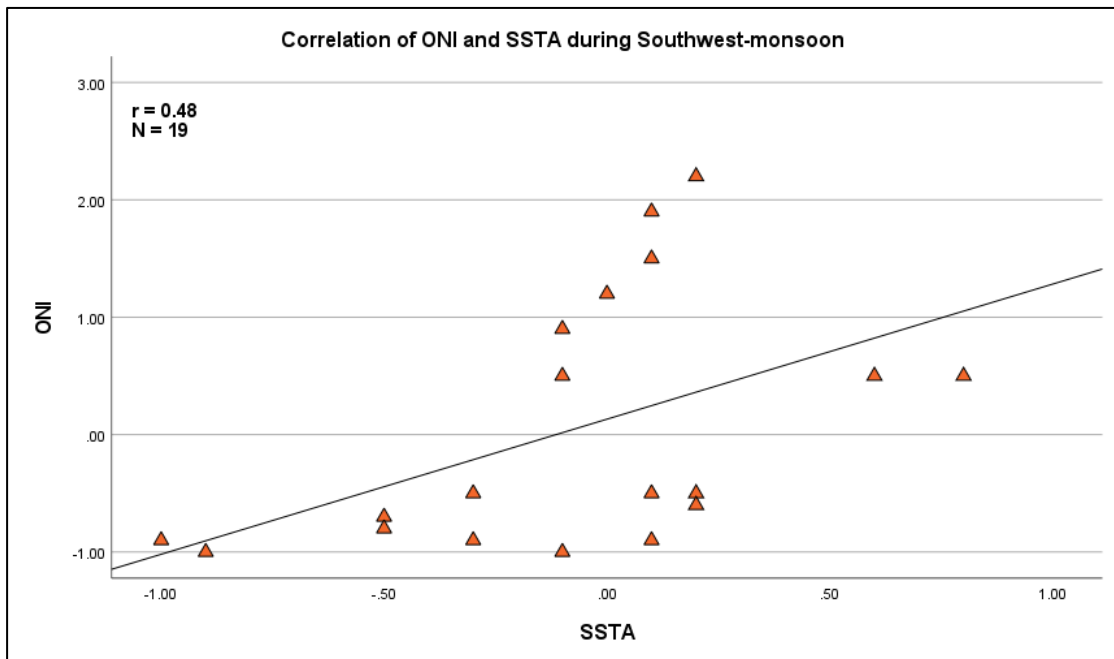


รูปที่ 54 สหสัมพันธ์แบบไขว้ระหว่างดัชนี ONI และค่าความผิดปกติอุณหภูมิผิวน้ำทะเล

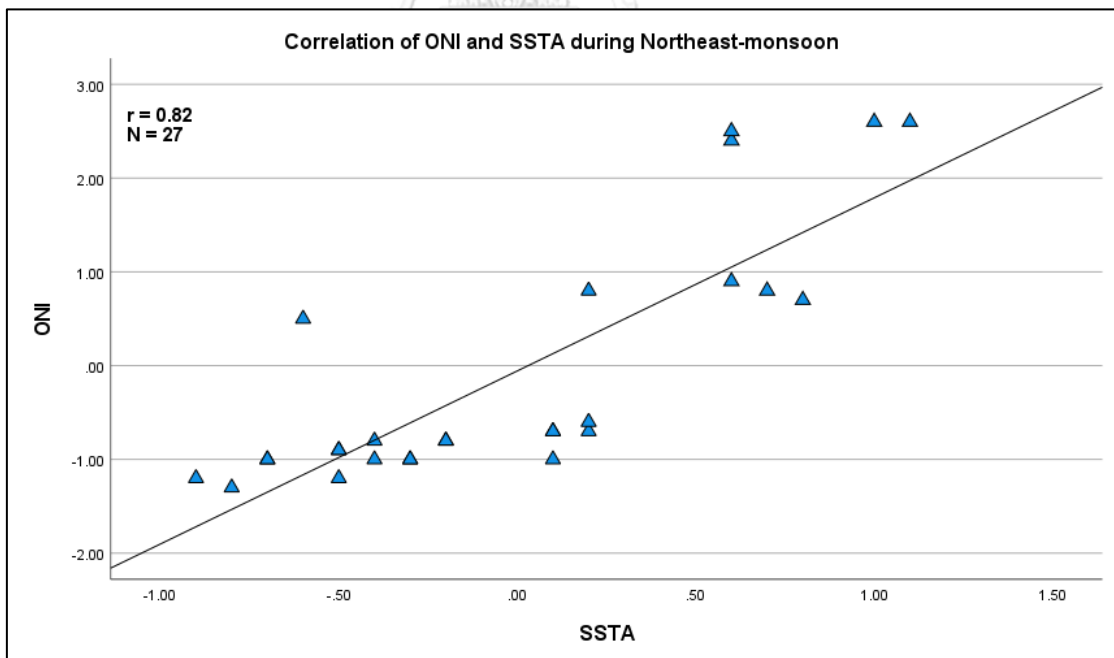


รูปที่ 55 ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนี ONI และค่าความผิดปกติอุณหภูมิผิวน้ำทะเล  
ในช่วงไม่มีลมมรสุม





รูปที่ 56 ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนี ONI และค่าความผิดปกติอุณหภูมิผิวน้ำทะเล ในช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้



รูปที่ 57 ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนี ONI และค่าความผิดปกติอุณหภูมิผิวน้ำทะเล ในช่วงลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ

เนื่องจากอิทธิพลของดัชนี ONI ไม่ได้มีผลกระทบต่อค่าความผิดปกติความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ โดยตรง ซึ่งผลกระทบจากดัชนี ONI ต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความผิดปกติอุณหภูมิผิวน้ำทะเลจึงส่งผลต่อค่าความผิดปกติความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ โดยได้รับอิทธิพลทางอ้อมจากการวิเคราะห์อิทธิพลตัวแปรส่งผ่าน เพื่อเป็นการตรวจสอบอิทธิพลของดัชนี ONI ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความผิดปกติของความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ ดังตารางที่ 11 แสดงค่าอิทธิพลทางอ้อมของดัชนี ONI ซึ่งบ่งบอกถึงขนาดของอิทธิพลที่ส่งผลกระทบผ่านการเปลี่ยนแปลงค่าความผิดปกติอุณหภูมิผิวน้ำทะเล และส่งผลกระทบมายังค่าความผิดปกติความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ พบว่าอิทธิพลของดัชนี ONI มีส่งผลกระทบในช่วงลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือและช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ในช่วงไม่มีลมมรสุมไม่ได้รับอิทธิพลจากดัชนี ONI โดยไม่แสดงนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 11 วิเคราะห์อิทธิพลตัวแปรตัวส่งผ่านของดัชนี ONI ที่มีผลกระทบต่อค่าความผิดปกติความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ

ช่วงลมมรสุม	ค่าอิทธิพลทางอ้อม	ค่าสถิติไชเบล	Sig.	N
ทุกช่วงลมมรสุม (ตลอดทั้งปี)	-0.80	3.89	<0.001*	96
ช่วงไม่มีลมมรสุม (กุมภาพันธ์-เมษายน)	-0.06	0.15	0.88	18
ช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (พฤษภาคม-กันยายน)	-1.32	2.10	0.04*	19
ช่วงลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (ตุลาคม-มกราคม)	-1.36	2.63	0.01*	27

\*นัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01

ทั้งนี้จากการวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์แบบเชิงส่วนเพื่อจัดอิทธิพลของดัชนี ONI ที่มีต่อความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ ตามช่วงลมมรสุม ซึ่งการวิเคราะห์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันในหัวข้อ 4.1 เป็นการวัดเฉพาะความสัมพันธ์โดยตรงของสองตัวแปรเท่านั้น และอาจมีตัวแปรอื่นที่ส่งต่อตัวแปรทั้งสองนั้นได้ จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนี ONI กับค่าความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ เพื่อเป็นการตรวจสอบอิทธิพลจากดัชนี ONI ที่ส่งผลกระทบมายังบริเวณอ่าวไทยตอนบนเป็นปัจจัยที่มีผลต่อค่าสหสัมพันธ์แบบเพียร์สันระหว่างอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ ในแต่ละช่วงลมมรสุม จากผลลัพธ์แสดงอิทธิพลของดัชนี ONI ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ ซึ่งไม่แสดงความสัมพันธ์ในช่วงไม่มีลมมรสุม

ดังนั้นบริเวณอ่าวไทยตอนบนจึงไม่ได้รับอิทธิพลจากดัชนี ONI ในช่วงลมมรสุมนี้ และเมื่อวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์แบบเชิงส่วนพบว่าค่าสหสัมพันธ์ไม่ได้มีการเปลี่ยนแปลงจากการวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน จึงสอดคล้องกับดัชนี ONI ที่ไม่มีอิทธิพลในไม่มีช่วงลมมรสุม และในช่วงลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือแสดงค่าสหสัมพันธ์แบบเชิงส่วนในเชิงบวกมีค่าเท่ากับ 0.75 หลังจากขจัดอิทธิพลดัชนี ONI ซึ่งมีค่าสหสัมพันธ์ที่เพิ่มขึ้นจากค่าสหสัมพันธ์แบบเพียร์สันมีค่าเท่ากับ 0.44 ซึ่งสอดคล้องกับการหาความสัมพันธ์อิทธิพลของดัชนี ONI ที่ส่งผลกระทบต่อค่าความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลในช่วงลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือมากที่สุดและเกิดอิทธิพลทางอ้อมในต่อค่าความผิดปกติของความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ เท่ากับ -1.36 ทั้งนี้ในช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้แสดงค่าสหสัมพันธ์แบบเชิงส่วนในเชิงลบมีค่าเท่ากับ -0.36 ซึ่งมีค่าลดลงเล็กน้อยจากค่าสหสัมพันธ์แบบเพียร์สันที่มีค่าเท่ากับ -0.44 โดยอิทธิพลจากดัชนี ONI ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลแสดงความสัมพันธ์ระดับน้อยและเกิดอิทธิพลทางอ้อมต่อค่าความผิดปกติของความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ เท่ากับ -1.32 แสดงให้เห็นว่าอิทธิพลของดัชนี ONI ส่งผลกระทบต่อความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ แสดงดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12 ค่าสหสัมพันธ์แบบเชิงส่วนเทียบกับค่าสหสัมพันธ์แบบเพียร์สันระหว่างอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ

ช่วงลมมรสุม	สหสัมพันธ์แบบเชิงส่วน		สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน	
	ค่าสหสัมพันธ์	Sig.	ค่าสหสัมพันธ์	Sig.
ทุกช่วงลมมรสุม (ตลอดทั้งปี)	0.49	<.001*	0.39	<.001*
ช่วงไม่มีลมมรสุม (กุมภาพันธ์-เมษายน)	0.61	0.002*	0.61	0.001*
ช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (พฤษภาคม-กันยายน)	-0.36	0.03*	-0.44	0.01**
ช่วงลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (ตุลาคม-มกราคม)	0.75	<.001*	0.44	0.01*

\*นัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01, \*\*นัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

## บทที่ 5

### สรุปผลการศึกษา

#### 5.1 อภิปรายผลการศึกษา

การอภิปรายผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ ร่วมกับงานวิจัยอื่น ๆ ที่ผ่านมามีความคล้ายคลึงในเรื่องของผลลัพธ์ของลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ , การเปลี่ยนแปลงเชิงเวลาและเชิงพื้นที่ตามช่วงลมมรสุมในพื้นที่ศึกษาอ่าวไทยตอนบน, วิธีการทางสถิติ รวมไปถึงแนวคิดในการเลือกวิธีการทางสถิติมาใช้ในการวิจัยและข้อจำกัดในการศึกษาครั้งนี้

ผลลัพธ์การเปลี่ยนแปลงเชิงเวลาของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ โดยแสดงค่าเฉลี่ยรายเดือนแบ่งตามช่วงลมมรสุม โดยอุณหภูมิผิวน้ำทะเลแสดงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลมีอุณหภูมิต่ำในช่วงลมตะวันออกเฉียงเหนือและช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ โดยอุณหภูมิจะเริ่มสูงในช่วงไม่มีลมมรสุม และแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ มีปริมาณสูงในช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ จากนั้นปริมาณจะค่อย ๆ ลดลงในช่วงลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ และมีปริมาณต่ำในช่วงไม่มีลมมรสุม นอกจากนี้ผลลัพธ์การเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่โดยภาพถ่ายจากดาวเทียมแสดงลักษณะอุณหภูมิผิวน้ำทะเลในช่วงไม่มีลมมรสุมมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิผิวน้ำทะเลสูงบริเวณแนวชายฝั่งอ่าวไทยตอนบน, ช่วงลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิผิวน้ำทะเลต่ำบริเวณอ่าวฝั่งตะวันตก และมีอุณหภูมิสูงบริเวณอ่าวฝั่งตะวันออก และในช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้มีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิผิวน้ำทะเลต่ำบริเวณอ่าวฝั่งตะวันออก และมีอุณหภูมิสูงบริเวณอ่าวฝั่งตะวันตก โดยผลลัพธ์การเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ภาพถ่ายจากดาวเทียมแสดงลักษณะความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ ในช่วงไม่มีลมมรสุมมีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ มีปริมาณต่ำทั่วทั้งพื้นที่, ช่วงลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือมีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ มีปริมาณสูงตามแนวชายฝั่งตะวันตก และในช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้มีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ มีปริมาณสูงตามแนวชายฝั่งตะวันออก ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาเกี่ยวกับการกระจายตัวอุณหภูมิผิวน้ำทะเลของ (Sripoonpan & Saramul, 2021) และงานวิจัยของ (Leenawarat et al., 2022) (Luang-on et al., 2021) ซึ่งเป็นงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาลักษณะของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ บริเวณอ่าวไทยตอนบน จากผลลัพธ์ที่สอดคล้องกันในเรื่องการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่และเวลาตามช่วงลมมรสุม ซึ่งในแง่ของการเลือกใช้ข้อมูลจากดาวเทียม แสดงให้เห็นว่าในการศึกษาครั้งนี้เลือกใช้ข้อมูลอุณหภูมิผิวน้ำทะเล

แบบช่วงคลื่นยาวที่ตรวจวัดในเวลากลางคืนจากดาวเทียม Aqua ระบบ MODIS และข้อมูลความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ ที่ผสานเข้ากับระบบ OC-CCI แสดงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ ตามช่วงลมมรสุมบริเวณอ่าวไทยตอนบน มีลักษณะทิศทางเดียวกับการเลือกใช้อุณหภูมิผิวน้ำทะเลแบบช่วงคลื่นยาวที่ตรวจวัดในเวลากลางวัน และข้อมูลความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ ที่ได้จากดาวเทียม Aqua ระบบ MODIS โดยตรง เพียงแต่ผลลัพธ์ที่ได้แตกต่างกันในแง่ของข้อมูลที่มีการ offset เท่านั้น โดยข้อมูลอุณหภูมิผิวน้ำทะเลในเวลากลางวันจากดาวเทียมจะมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิในเวลากลางคืน และข้อมูลความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ ที่ได้จากดาวเทียม Aqua ระบบ MODIS โดยตรงนั้นมีค่าสูงกว่าข้อมูลความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ ที่มีผ่านการผสานเข้ากับระบบ OC-CCI ทั้งนี้จากผลลัพธ์การตรวจประสิทธิภาพข้อมูลที่ได้จากดาวเทียมเทียบกับข้อมูลภาคสนาม ซึ่งข้อมูลอุณหภูมิผิวน้ำทะเลแบบช่วงคลื่นยาวที่ตรวจวัดในเวลากลางคืนจากดาวเทียมมีความสัมพันธ์กันในระดับมากที่สุดกับสถานีโทรมาตรและข้อมูลภาคสนามโดยระบบฐานข้อมูล iQuam ซึ่งสอดคล้องกับ (Kilpatrick et al., 2015) ได้ระบุว่าทั้งนี้การตรวจวัดอุณหภูมิผิวน้ำทะเลในเวลากลางคืนนั้นมีการปนเปื้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ที่กระจัดกระจายและสะท้อนกลับจากเวลากลางวัน แต่ยังคงถือว่ามีความเสถียรมากกว่าอุณหภูมิผิวน้ำทะเลในเวลากลางวัน และข้อมูลความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ จากดาวเทียม Aqua ระบบ MODIS ที่ผสานเข้ากับระบบ OC-CCI มีค่าสหสัมพันธ์เท่ากับ 0.56 บ่งบอกความสัมพันธ์กับสถานีโทรมาตรในระดับปานกลาง ทั้งนี้ในการตรวจสอบประสิทธิภาพข้อมูลความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ จากดาวเทียมได้เปรียบเทียบกับข้อมูลภาคสนามเพียง 1 สถานีของสถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำที่ตั้งอยู่บริเวณชายฝั่ง อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี เท่านั้น จึงเป็นการบอกความประสิทธิภาพของข้อมูลความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ จากดาวเทียมในพื้นที่บริเวณชายฝั่ง แสดงให้เห็นว่าค่าประมาณความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ จากดาวเทียม Aqua ระบบ MODIS ที่ผสานกับระบบ OC-CCI ให้ค่าประมาณคลอโรฟิลล์-เอ สำหรับพื้นที่บริเวณชายฝั่งที่ไม่สูงเกินไปจากค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน  $\pm 0.77$  มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร ซึ่งแตกต่างจากข้อมูลความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ ที่ได้จากดาวเทียม Aqua ระบบ MODIS โดยตรงซึ่งมีค่าสหสัมพันธ์เท่ากับ 0.30 บ่งบอกความสัมพันธ์กับสถานีโทรมาตรในระดับน้อยที่สุด และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน  $\pm 3.57$  มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร ซึ่งจากงานวิจัยของ (Leenawarat et al., 2022) และ (Luang-on et al., 2021) เลือกใช้ข้อมูลความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ จากดาวเทียม Aqua ระบบ MODIS โดยตรง ผลลัพธ์ให้ค่าประมาณความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ บริเวณพื้นที่ชายฝั่งมีค่าสูงเกินความเป็นจริง อาจเป็นเพราะบริเวณชายฝั่งมีปริมาณตะกอนและสารแขวนลอยที่สูงจึง

เป็นสาเหตุสำคัญประการหนึ่งที่ทำให้ดาวเทียม Aqua ระบบ MODIS โดยระบบมาตรฐานของ NASA ประเมินค่าความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ ทำงานได้ไม่ดีในน่านน้ำบริเวณชายฝั่ง เนื่องจากดาวเทียม Aqua ระบบ MODIS ถูกพัฒนามาจากมหาสมุทรกว้างและพื้นที่น้ำที่มีตะกอนแขวนลอยน้อยมากที่มีผลต่อคุณสมบัติทางแสงของน้ำทะเล ดังนั้นการเลือกใช้ข้อมูลความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ จากดาวเทียม Aqua ระบบ MODIS ผสานเข้ากับระบบ OC-CCI จึงช่วยลดปัญหาการประมาณค่าความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ บริเวณชายฝั่งที่สูงเกินไปได้ในระดับหนึ่ง อย่างไรก็ตามพื้นที่นอกชายฝั่งที่มีตะกอนแขวนลอยละลายอยู่ในระดับต่ำทำให้การประมาณค่าความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ จากดาวเทียมยังคงมีความน่าเชื่อถือได้

ผลลัพธ์ลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ บริเวณอ่าวไทยตอนบน เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ตลอดทั้งปีในช่วงระยะเวลาที่ศึกษา โดยค่าสหสัมพันธ์แบบเพียร์สันแสดงความสัมพันธ์ในเชิงบวกต่อกัน ซึ่งสอดคล้องผลลัพธ์ของ (Leenawarat et al., 2022) แต่ไม่ได้มีการพิจารณาหาความสัมพันธ์ในแต่ละช่วงลมมรสุม ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงได้มีการพิจารณาความสัมพันธ์ในแต่ละช่วงลมมรสุมซึ่งอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ แสดงความสัมพันธ์เชิงบวกต่อกันในช่วงไม่มีลมมรสุมและช่วงลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ และแสดงความสัมพันธ์เชิงลบต่อกันในช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ จากผลลัพธ์ดังกล่าวได้มีความสอดคล้องที่คล้ายคลึงกับงานวิจัยของ (Rouf et al., 2020) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ ตามช่วงลมมรสุมบริเวณพื้นที่ไหลทางตอนเหนือของอ่าวเบงกอล ซึ่งได้ระบุความแตกต่างของความสัมพันธ์ที่แสดงในลักษณะเชิงบวกและเชิงลบในแต่ละช่วงลมมรสุม ได้รับผลกระทบการปล่อยน้ำจากแม่น้ำส่วนใหญ่จึงส่งผลกระทบต่อความแปรปรวนของความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ และลดผลกระทบของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลที่มีต่อความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ โดยลักษณะพื้นที่บริเวณอ่าวไทยตอนบนซึ่งเป็นอ่าวกึ่งปิดที่ได้รับผลกระทบการปล่อยน้ำจากแม่น้ำสายหลักตามการศึกษาของ (Luang-on et al., 2021) ซึ่งแสดงผลการเปลี่ยนแปลงการปล่อยแม่น้ำตามช่วงลมมรสุมบริเวณอ่าวไทยตอนบน โดยช่วงไม่มีลมมรสุมการปล่อยแม่น้ำมีปริมาณต่ำและคงที่ ซึ่งมีความใกล้เคียงกับปริมาณความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ ที่มีปริมาณต่ำ จากนั้นปริมาณการปล่อยแม่น้ำจะเพิ่มขึ้นและลดลงในช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้และช่วงลมตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งส่งผลต่อปริมาณความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ ตามลำดับ ดังนั้นการปล่อยแม่น้ำลงสู่อ่าวไทยตอนบนเป็นปัจจัยในระดับภูมิภาค (Local scale) ที่ส่งผลต่อระดับความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ โดยปริมาณมวลน้ำจืดที่

ปล่อยลงอ่าวไทยตอนบนตามช่วงลมมรสุมเป็นการลดผลกระทบของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลที่มีความชื้นชั้นคลอโรฟิลล์-เอ ผนวกกับการทำเกษตรภาคพื้นดินที่ส่งผลให้สารเคมีต่าง ๆ ตกค้างไหลลงแม่น้ำเป็นตัวกระตุ้นต่อการเพิ่มปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ ทั้งนี้ในช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ที่ก่อให้เกิดปรากฏการณ์น้ำผุด ซึ่งถือว่าเป็นปัจจัยในภูมิภาคที่ส่งผลกระทบต่ออุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความชื้นชั้นคลอโรฟิลล์-เอ นอกจากนี้อิทธิพลในระดับโลก (Global scale) ทางด้านมหาสมุทรศาสตร์ที่การเกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผิวน้ำทะเลที่เปลี่ยนไปจากค่าอุณหภูมิผิวน้ำทะเลปกติบริเวณมหาสมุทรแปซิฟิกหรือดัชนีทางสมุทรศาสตร์ที่เรียกว่า ดัชนี ONI ซึ่งเป็นมาตรฐานการวัดค่าความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลที่ส่งอิทธิพลมายังบริเวณอ่าวไทยตอนบน ซึ่งทำให้เกิดจากผลต่างของค่าเฉลี่ยในแต่ละเดือนกับค่าเฉลี่ยปีฐานของช่วงระยะเวลาที่ศึกษาของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความชื้นชั้นคลอโรฟิลล์-เอ ที่เรียกว่า ค่าความผิดปกติ ซึ่งสามารถบ่งบอกการเพิ่มขึ้นหรือลดลงที่แตกต่างไปจากค่าเฉลี่ยปกติ โดยพิจารณาอิทธิพลของดัชนี ONI ในแต่ละเดือนตลอดช่วงระยะเวลาที่ศึกษาที่ได้รับผลกระทบตามช่วง Warm phase/Cold phase เท่านั้น ซึ่งส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความชื้นชั้นคลอโรฟิลล์-เอ จากความสัมพันธ์ระหว่างดัชนี ONI และค่าความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลตามช่วงลมมรสุมที่ได้รับผลกระทบ ซึ่งค่าความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลแสดงความสัมพันธ์กับดัชนี ONI ลักษณะเชิงบวกในช่วงลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือและช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ โดยไม่แสดงความสัมพันธ์ในช่วงไม่มีลมมรสุม กล่าวคือ อุณหภูมิผิวน้ำทะเลเปลี่ยนแปลงไปจากค่าเฉลี่ยปกติโดยเพิ่มขึ้นหรือลดลงตามช่วง Warm phase และ Cold phase ตามลำดับ จากผลลัพธ์แสดงอุณหภูมิผิวน้ำทะเลที่เกิดการเปลี่ยนแปลงได้รับอิทธิพลจากดัชนี ONI มากที่สุดในช่วงมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ และช่วงไม่มีลมมรสุมไม่ได้รับผลกระทบจากอิทธิพลของดัชนี ONI ทั้งนี้เพื่อเป็นการตรวจสอบอิทธิพลของดัชนี ONI ส่งผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงความชื้นชั้นคลอโรฟิลล์-เอ ในลักษณะอิทธิพลทางอ้อมซึ่งจากการวิเคราะห์ผ่านตัวแปรกลางด้วยการทดสอบของโซเบล (Mediation analysis with Sobel test) กล่าวคือ ดัชนี ONI ส่งผลกระทบต่อความชื้นชั้นคลอโรฟิลล์-เอ โดยผ่านการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิผิวน้ำทะเล ซึ่งผลลัพธ์แสดงอิทธิพลทางอ้อมจากดัชนี ONI ส่งผลกระทบในเชิงลบต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นชั้นคลอโรฟิลล์-เอ ทำให้ปริมาณมีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่าค่าเฉลี่ยปกติตามผลกระทบ Cold phase และ Warm phase ของดัชนี ONI ยกตัวอย่างเช่น ผลกระทบ Warm phase ของดัชนี ONI ส่งผลกระทบต่อค่าความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่เดียวกันค่าความผิดปกติของความชื้นชั้นคลอโรฟิลล์-เอ มีค่าลดลงจากอิทธิพลทางอ้อม ดังนั้นอิทธิพลของดัชนี ONI จึงมีผลต่อความ

แปรปรวนต่ออุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ ซึ่งสอดคล้องกับ (Luang-on et al., 2021) ที่ได้หาความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีสมุทรศาสตร์และความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ แบ่งตามช่วงลมมรสุมอ่าวไทยตอนบน ทั้งนี้อิทธิพลจากดัชนี ONI เป็นปัจจัยระดับโลก (Global scale) ซึ่งเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งกระทบมายังอ่าวไทยตอนบนส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ ตามช่วงลมมรสุม อย่างไรก็ตามต้องอาศัยการศึกษาปัจจัยในระดับภูมิภาคที่สำคัญ (Local scale) (Dunstan et al., 2018) ที่สามารถส่งผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลง เช่น การปล่อยน้ำจากแม่น้ำสายหลักที่ได้นำไปข้างต้น และปรากฏการณ์น้ำผุดที่เกิดขึ้นในช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ตามรายงานของ (Sripoonpan & Saramul, 2021) รวมไปถึงปัจจัยทางระบบนิเวศต่าง ๆ เช่น ไนเตรต, ฟอสเฟต, ซิลิคอน, ความเร็วลม ไซโคลน และความเค็ม ที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ ซึ่งไม่ครอบคลุมอยู่ในการศึกษา

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ ด้วย สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson correlation) เป็นวิธีการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ด้วยระดับและทิศทางของความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างตัวแปรสองซึ่งเป็นวิธีการทางสถิติที่ใช้ในงานวิจัยที่มีลักษณะคล้ายคลึงกันที่ได้กล่าวมาข้างต้น ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ได้วิเคราะห์สหสัมพันธ์แบบไขว้ (Cross correlation) , การวิเคราะห์ผ่านตัวแปรกลางด้วยการทดสอบของโซเบล (Mediation analysis with Sobel test) และสหสัมพันธ์แบบเชิงส่วน (Partial correlation) เพิ่มเติมจากการวิเคราะห์ สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันทำให้ความเข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ ได้มากขึ้น ซึ่งการวิเคราะห์สหสัมพันธ์แบบไขว้เป็นเทคนิคทางสถิติที่ใช้ในการตรวจสอบความล่าช้าและแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างอนุกรมเวลาสองชุด ช่วยในการตรวจสอบการตอบสนองของความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ ต่ออุณหภูมิผิวน้ำทะเลในช่วงเวลาที่ความล่าช้าต่าง ๆ รวมไปถึงระยะเวลาของดัชนี ONI ที่ส่งอิทธิพลมายังอ่าวไทยตอนบน จากผลลัพธ์การวิเคราะห์ สหสัมพันธ์แบบไขว้แสดงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ ที่เปลี่ยนไปที่ความล่าช้าต่าง ๆ โดยผลลัพธ์แสดงค่าสหสัมพันธ์มีค่ามากที่สุดในเชิงลบ ที่ความล่าช้า 4 เดือน กล่าวคือ จากค่าสหสัมพันธ์แบบเพียร์สันที่แสดงความสัมพันธ์เชิงบวกระหว่างสองข้อมูลตลอดระยะเวลาศึกษาค่อย ๆ มีการเปลี่ยนแปลงเป็นความสัมพันธ์เชิงลบ โดยมีค่าสหสัมพันธ์มากที่สุดเมื่อเวลาผ่านไป 4 เดือน เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของฤดูกาล และระยะเวลาของดัชนี ONI ที่ส่งอิทธิพลมายังอ่าวไทยตอนบนมีความล่าช้าอยู่ 1 เดือนมีผลกระทบต่อ



เปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผิวน้ำทะเล เพื่อเป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ ที่ชัดเจนมากขึ้นโดยเป็นการขจัดผลกระทบของอิทธิพลของดัชนี ONI ด้วยการวิเคราะห์สหสัมพันธ์แบบเชิงส่วน ซึ่งแสดงผลลัพธ์ของความสัมพันธ์ที่ได้ทำการขจัดอิทธิพลของดัชนี ONI ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ ที่ได้กล่าวไปข้างต้นซึ่งเป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความสัมพันธ์ซึ่งบ่งบอกด้วยค่าสหสัมพันธ์ที่มีการเปลี่ยนแปลงหลังจากการขจัดอิทธิพลของดัชนี ONI ซึ่งจากการวิเคราะห์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันในช่วงลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือแสดงความสัมพันธ์ในเชิงบวกมีค่าสหสัมพันธ์เท่ากับ 0.44 และเมื่อวิเคราะห์สหสัมพันธ์แบบเชิงส่วนแสดงค่าสหสัมพันธ์เท่ากับ 0.75 โดยค่าสหสัมพันธ์มีค่าเพิ่มขึ้นหลังจากขจัดอิทธิพลของดัชนี ONI ซึ่งสอดคล้องกับการตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างดัชนี ONI และค่าความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลซึ่งแสดงอิทธิพลของดัชนี ONI ที่ส่งผลกระทบในช่วงลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือมากที่สุด และช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้แสดงค่าค่าสหสัมพันธ์แบบเพียร์สันในเชิงลบเท่ากับ -0.44 และค่าสหสัมพันธ์แบบเชิงส่วนเท่ากับ -0.36 ซึ่งค่าสหสัมพันธ์มีค่าลดลงเล็กน้อย บ่งบอกว่าดัชนี ONI มีอิทธิพลต่อความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ แต่ไม่ใช่ปัจจัยที่มีอิทธิพลเพียงอย่างเดียว ทั้งนี้เป็นการแสดงให้เห็นว่าปัจจัยในระดับภูมิภาคที่มีความแตกต่างตามช่วงลมมรสุมที่ได้กล่าวไปข้างต้นที่เข้ามามีอิทธิพลต่อความสัมพันธ์

แนวคิดจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ด้วยสหสัมพันธ์ต่าง ๆ ซึ่งเป็นวิธีการทางสถิติ โดยงานวิจัยครั้งนี้เลือกใช้วิเคราะห์สหสัมพันธ์แบบไขว้ (Cross correlation) เพื่อมาคาดการณ์ลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ ที่การเปลี่ยนแปลงไปในแต่ละช่วงเวลา ซึ่งในด้านวิธีการหาความสัมพันธ์ทางสถิติระหว่างอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ ในพื้นที่ศึกษาบริเวณอ่าวไทยตอนบนจากงานวิจัยอื่น ๆ ที่ผ่านมาซึ่งยังไม่มีการใช้การวิเคราะห์สหสัมพันธ์แบบไขว้เข้ามาเกี่ยวข้อง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเป็นแนวทางการแสดงผลลัพธ์ที่สามารถพยากรณ์หรือคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงลักษณะความสัมพันธ์ทั้งเชิงและเชิงลบระหว่างอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ ที่เกิดขึ้นได้จากการวิเคราะห์สหสัมพันธ์แบบไขว้ ซึ่งผลลัพธ์ทำให้เห็นการเปลี่ยนแปลงความสัมพันธ์ในรูปแบบเชิงเวลามากกว่าการวิเคราะห์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันที่แสดงระดับและทิศทางของความสัมพันธ์แบบตรงตัว อย่างไรก็ตามผลลัพธ์จากสหสัมพันธ์แบบไขว้ไม่สามารถบ่งบอกถึงค่าอุณหภูมิผิวน้ำทะเลที่จำเพาะกับการเพิ่มปริมาณความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ เพียงแต่ผลลัพธ์แสดงในแง่ของแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของ

ความสัมพันธ์เท่านั้น และการวิเคราะห์อิทธิพลของดัชนี ONI ที่มีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความผิดปกติบริเวณอ่าวไทยตอนบน ซึ่งได้มีใช้วิธีการวิเคราะห์ผ่านตัวแปรกลางด้วยการทดสอบของโซเบล (Mediation analysis with Sobel test) เพื่อตรวจสอบอิทธิพลของดัชนี ONI ที่ส่งผลกระทบต่อความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ โดยผ่านการการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผิวน้ำทะเล โดยผลลัพธ์ค่าความผิดปกติความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ เปลี่ยนแปลงในลักษณะผกผันตามค่าความผิดปกติอุณหภูมิผิวน้ำทะเลที่ได้รับผลกระทบจากดัชนี ONI แต่ละช่วงลมมรสุมซึ่งผลลัพธ์สอดคล้องกับ (Luang-on et al., 2021) ที่ได้กล่าวไปข้างต้นโดยศึกษาค่าความผิดปกติความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ ที่เปลี่ยนแปลงตามดัชนีทางสมุทรศาสตร์เพื่อหาความสัมพันธ์โดยพิจารณาจากค่าความผิดปกติความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ และดัชนีทางสมุทรศาสตร์โดยตรงด้วยสหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน ถึงแม้วิธีการวิเคราะห์ทางสถิติและการเทียบข้อมูลที่แตกต่างกันซึ่งให้ผลลัพธ์ให้ลักษณะเดียวกัน ในมุมมองผู้วิจัยเห็นความสัมพันธ์ของข้อมูลในลักษณะความเป็นจริงที่เกิดขึ้นในธรรมชาติ โดยการใช่วิธีการวิเคราะห์ผ่านตัวแปรกลางด้วยการทดสอบของโซเบลเพื่อเป็นการตรวจสอบอิทธิพลของตัวแปรต้นที่ส่งผลต่อตัวแปรตามโดยผ่านตัวแปรกลาง กล่าวคือ ตัวแปรต้นกำหนดเป็นดัชนี ONI เกี่ยวกับค่าอุณหภูมิผิวน้ำทะเลที่เปลี่ยนแปลงไปจากค่าปกติบริเวณมหาสมุทรแปซิฟิก และส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรกลาง คือ อุณหภูมิผิวน้ำทะเลบริเวณอ่าวไทยตอนบนซึ่งเป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างดัชนี ONI และค่าความผิดปกติอุณหภูมิผิวน้ำทะเล จากนั้นส่งอิทธิพลไปยังการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ ซึ่งเป็นตัวแปรตามจึงเป็นการแสดงอิทธิพลที่ส่งผ่านเป็นลำดับขั้นเป็นการบ่งบอกอิทธิพลของดัชนี ONI ที่ส่งอิทธิพลทางอ้อมต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ ทั้งนี้หากพิจารณาในความเป็นจริงที่เกิดขึ้นความสัมพันธ์ระหว่างสองตัวแปรซึ่งอาจจะมีอิทธิพลจากตัวแปรอื่น ๆ เข้ามาเกี่ยวข้องในความสัมพันธ์นั้นด้วย ทั้งนี้ทางผู้วิจัยจึงใช้วิธีการวิเคราะห์สหสัมพันธ์แบบเชิงส่วน (Partial correlation) เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ ให้มีความชัดเจนมากขึ้นโดยขจัดเพียงอิทธิพลจากดัชนี ONI ซึ่งเป็นปัจจัยระดับโลกทางสมุทรศาสตร์ที่เข้ามามีผลกระทบในแต่ละช่วงลมมรสุม ซึ่งผลลัพธ์ค่าสหสัมพันธ์แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ หลังจากขจัดอิทธิพลจากดัชนี ONI

ข้อจำกัดในงานวิจัยครั้งนี้มีสองประการ คือ ประการแรกเรื่องไม่ได้มีการศึกษาปัจจัยในระดับภูมิภาคที่เข้ามามีผลกระทบบริเวณอ่าวไทยตอนบน คือ ปริมาณการปล่อยแม่น้ำซึ่งลักษณะอ่าวไทยตอนบนที่เป็นอ่าวกึ่งปิดรองรับน้ำจืดจากแม่น้ำ 4 สายหลัก ได้แก่ แม่น้ำแม่กลอง, แม่น้ำ

น้ำท่าจีน, แม่น้ำเจ้าพระยา และแม่น้ำบางปะกง โดยปริมาณน้ำจากแม่น้ำแต่ละสายที่ไหลรวมลงสู่อ่าวไทยตอนบนเป็นสิ่งที่ยากต่อการคำนวณปริมาณน้ำ ผนวกกับการทำเกษตรกรรมภาคพื้นดินบางช่วงเวลาที่ไม่มีความแน่นอนโดยการใช้ปุ๋ยทางการเกษตรที่ส่งผลให้สารเคมีต่าง ๆ ตกค้างไหลตามแม่น้ำซึ่งเป็นตัวกระตุ้นต่อการเพิ่มปริมาณความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ ซึ่งก่อให้เกิดรูปแบบหรือวัฏจักรที่ไม่มีความแน่ชัดทำให้อุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ เกิดการเปลี่ยนแปลงที่ไม่ควรจะเป็นไปตามวัฏจักรส่งผลให้การวิเคราะห์ที่มีความซับซ้อนจึงเป็นสาเหตุทางผู้วิจัยไม่นำปัจจัยปริมาณการปล่อยแม่น้ำนำมาเกี่ยวข้องในการศึกษาครั้งนี้ และประการที่สองเกี่ยวกับการประเมินความถูกต้องข้อมูลจากดาวเทียม ซึ่งจากการใช้ข้อมูลอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ จากดาวเทียมที่มีความแตกต่างจากงานวิจัยอื่น ๆ ที่ผ่านมา โดยแสดงผลตรวจสอบการประเมินความถูกต้องในเชิงเปรียบเทียบระหว่างแต่ละข้อมูลที่ได้จากดาวเทียม ซึ่งผลการตรวจสอบการประเมินความถูกต้องของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลแบบช่วงคลื่นยาวที่ตรวจจับในเวลากลางคืนและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ ผสานระบบ OC-CCI ให้ประสิทธิภาพดีกว่าอุณหภูมิผิวน้ำทะเลที่ตรวจจับในเวลากลางวันและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ จากดาวเทียม Aqua ระบบ MODIS โดยตรง ซึ่งในการตรวจสอบการประเมินความถูกต้องข้อมูลจากดาวเทียมในงานวิจัยนี้ เปรียบเทียบกับข้อมูลภาคสนามที่ได้จากระบบฐานข้อมูล iQuam ซึ่งเก็บข้อมูลการวัดอุณหภูมิผิวน้ำทะเลในช่วงปีพ.ศ.2558 - 2565 และสถานีตรวจวัดทางทะเลแบบโทรมาตรจากสถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ (สสน.) ที่ติดตั้งอยู่บริเวณ ชายฝั่งอำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี ซึ่งให้บริการข้อมูลอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ ช่วงปีพ.ศ.2563 - 2565 ทั้งนี้เนื่องจากข้อมูลภาคสนามจากทุ่นหรือสถานีไม่ได้มีการเก็บข้อมูลที่มีความต่อเนื่องและมีการเก็บข้อมูลครอบคลุมพื้นที่อ่าวไทยตอนบนทำให้เป็นข้อจำกัดในการตรวจสอบประสิทธิภาพข้อมูลจากดาวเทียมที่ไม่ครอบคลุมพื้นที่ ดังนั้นผลลัพธ์ตรวจสอบการประเมินความถูกต้องที่ได้จึงเป็นการเปรียบเทียบจากแหล่งข้อมูลภาคสนามที่มีการเก็บข้อมูลและช่วงเวลาการเก็บข้อมูลที่สัมพันธ์กับช่วงระยะเวลาที่ศึกษาในงานวิจัยนี้เท่านั้น

## 5.2 สรุปผลการศึกษา

ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ บริเวณอ่าวไทยตอนบน โดยใช้ข้อมูลอุณหภูมิผิวน้ำทะเลแบบช่วงคลื่นยาวที่ตรวจจับในเวลากลางคืนและข้อมูลความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ ที่ผสานเข้ากับระบบ OC-CCI จากดาวเทียม Aqua ระบบ MODIS ในช่วงระยะปี พ.ศ.2558-2565 ซึ่งเป็นข้อมูลค่าเฉลี่ยภาพถ่ายจากดาวเทียมอย่างละ 96 ภาพ ผ่านการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ข้อมูลค่าเฉลี่ยเชิงพื้นที่รายเดือนในลักษณะการเปลี่ยนแปลงเชิงเวลาด้วย

สหสัมพันธ์แบบแบบเพียร์สัน และสหสัมพันธ์แบบไขว้รวมไปถึงลักษณะการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ โดยพิจารณาผลลัพธ์ความสัมพันธ์ตามช่วงลมมรสุมของประเทศไทย ได้แก่ ช่วงลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ, ช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และช่วงไม่มีลมมรสุม ซึ่งแต่ละช่วงลมมรสุมของปีจะส่งผลกระทบต่อกระบวนการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ ที่มีความแตกต่างกัน นอกจากนี้เป็นการพิจารณาปัจจัยระดับโลกทางสมุทรศาสตร์ด้วยอิทธิพลของดัชนี ONI ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ทางมหาสมุทรศาสตร์ที่อุณหภูมิผิวน้ำทะเลต่างไปจากค่าปกติบริเวณมหาสมุทรแปซิฟิกซึ่งส่งผลกระทบต่อบริเวณอ่าวไทยตอนบน

จากค่าเฉลี่ยรายเดือนของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ ในช่วงปี พ.ศ.2558 ถึง 2565 เป็นระยะเวลา 8 ปี บริเวณอ่าวไทยตอนบนแสดงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผิวน้ำทะเล โดยมีอุณหภูมิมีการเพิ่มขึ้นในช่วงไม่มีลมมรสุมจนถึงช่วงต้นลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ซึ่งเป็นช่วงเป็นผ่านช่วงลมมรสุม จากนั้นอุณหภูมิจะลดลงในช่วงลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ในขณะที่การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ มีปริมาณต่ำในช่วงไม่มีลมมรสุม เมื่อเข้าสู่ช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้จะเริ่มมีปริมาณสูงขึ้น และปริมาณจะค่อย ๆ ลดลงในช่วงลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ด้วยสหสัมพันธ์แบบแบบเพียร์สันแสดงความสัมพันธ์เชิงบวกและเชิงลบระหว่างอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ ในแต่ละช่วงลมมรสุม โดยในช่วงไม่มีลมมรสุมและช่วงลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือแสดงความสัมพันธ์เชิงบวกต่อกัน โดยอุณหภูมิผิวน้ำทะเลที่มีการเพิ่มขึ้นส่งผลต่อการเพิ่มปริมาณของความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ อาจเป็นเพราะช่วงสองลมมรสุมนี้เกิดปริมาณฝนตกน้อย จึงไม่ส่งผลให้เกิดการปล่อยน้ำจากแม่น้ำสายหลักลงสู่ปากอ่าวไทยซึ่งเป็นตัวกระตุ้นการเจริญเติบโตของคลอโรฟิลล์-เอ ซึ่งในช่วงไม่มีลมมรสุมแสดงลักษณะเชิงพื้นที่ โดยลักษณะอุณหภูมิผิวน้ำทะเลบริเวณนอกชายฝั่งมีอุณหภูมิต่ำกว่าบริเวณชายฝั่ง และความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ มีปริมาณต่ำทั้งบริเวณชายฝั่งและนอกชายฝั่ง ขณะที่ในช่วงลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือแสดงลักษณะเชิงพื้นที่ โดยมีอิทธิพลของกระแสน้ำหมุนในลักษณะทวนเข็มนาฬิกาส่งผลให้เป็นการพัดพาความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ มีปริมาณสูงบริเวณอ่าวฝั่งตะวันตก ขณะที่อุณหภูมิผิวน้ำทะเลมีอุณหภูมิสูงบริเวณอ่าวฝั่งตะวันออก และในช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้แสดงความสัมพันธ์เชิงลบ กล่าวคือ ช่วงลมมรสุมนี้ก่อให้เกิดปริมาณฝนตกสูงจึงส่งผลให้น้ำสายหลักไหลลงสู่อ่าวไทย ซึ่งเป็นแหล่งสารอาหารจึงกระตุ้นการเจริญเติบโตของคลอโรฟิลล์-เอ และการไหลบ่าของน้ำจืดแม่น้ำสายหลักส่งผลกระทบต่ออุณหภูมิผิวน้ำทะเลในการลดอุณหภูมิเนื่องจากการผสมของน้ำทะเล รวมไปถึงผลกระทบต่อปรากฏการณ์น้ำผุดที่เกิด

ในช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ที่มีกำลังลมแรง โดยก่อให้เกิดกระบวนการพัดพาน้ำเย็นและอุณหภูมิต่ำด้วยสารอาหารจากชั้นลึกของมหาสมุทรถูกดึงขึ้นสู่ผิวน้ำ ซึ่งช่วยกระตุ้นการเติบโตของความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ และทำให้อุณหภูมิผิวน้ำทะเลมีอุณหภูมิลดลง

ปัจจัยระดับโลก (Global scale) ทางสมุทรศาสตร์ทำให้การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลบริเวณอ่าวไทยตอนบนที่มีการเพิ่มขึ้นและลดลงจากค่าเฉลี่ยปกติจึงส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ โดยได้รับอิทธิพลจากดัชนี ONI ซึ่งเกิดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอุณหภูมิผิวน้ำทะเลที่เปลี่ยนไปจากค่าอุณหภูมิผิวน้ำทะเลปกติบริเวณมหาสมุทรมหาสมุทรแปซิฟิก ซึ่งพิจารณาเฉพาะเดือนที่ผลกระทบจากดัชนี ONI เพื่อเป็นการตรวจสอบอิทธิพลที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลง โดยอุณหภูมิผิวน้ำทะเลบริเวณอ่าวไทยได้รับอิทธิพลมากที่สุดต่อการเปลี่ยนแปลงในตามช่วง Warm phase/Cold phase ของดัชนี ONI ในช่วงลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือจึงทำให้อุณหภูมิผิวน้ำทะเลสูง/ต่ำกว่าค่าเฉลี่ยปกติตามผลกระทบช่วงของดัชนี ONI ซึ่งแสดงความสัมพันธ์เชิงบวกต่อกัน และมีอิทธิทางอ้อมในเชิงลบต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ ซึ่งในช่วงไม่มีลมมรสุมเป็นช่วงที่ไม่ได้รับอิทธิพลจากดัชนี ONI เพื่อทำความเข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ อย่างชัดเจนยิ่งขึ้น โดยเป็นการขจัดอิทธิพลของดัชนี ONI ซึ่งเป็นปัจจัยแฝงที่มีผลต่อความสัมพันธ์ จึงใช้การวิเคราะห์สหสัมพันธ์แบบเชิงส่วน แสดงผลลัพธ์ค่าสหสัมพันธ์ที่บ่งบอกถึงระดับและทิศทางของความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ หลังจากขจัดอิทธิพลของดัชนี ONI เท่านั้น ทั้งนี้ยังต้องอาศัยปัจจัยในระดับภูมิภาค (Local scale) ที่สำคัญ เช่น การปล่อยแม่น้ำ ปริมาณน้ำฝน เป็นต้น ซึ่งเข้ามามีอิทธิพลต่อความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ รวมไปถึงอิทธิพลด้านสมุทรศาสตร์อื่น ๆ ที่มีผลต่อบริเวณอ่าวไทยตอนบน ซึ่งจากการประมวลผลข้อมูลจากดาวเทียมสามารถให้ข้อมูลในลักษณะพื้นที่และเห็นถึงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงในเชิงกว้างจึงเป็นประโยชน์ในการติดตามการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลต่อความเข้มข้นคลอโรฟิลล์เพื่อการสังเกตระบบนิเวศทางทะเล และการจัดการการประมง

### 5.3 ข้อเสนอแนะ

1) การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ ในแต่ละช่วงลมมรสุมในการศึกษารั้งนี้ ได้พิจารณาปัจจัยระดับโลกทางสมุทรศาสตร์ส่งผลกระทบต่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ บริเวณอ่าวไทยตอนบน โดยใช้ดัชนี ONI เพื่อตรวจสอบอิทธิพลในแต่ละช่วงลมมรสุมที่ได้รับผลกระทบ ทั้งนี้เนื่องจากลักษณะทางพื้นที่

ของอ่าวไทยตอนบนล้อมด้วยแผ่นดินทั้ง 3 ด้าน และรองรับปริมาณน้ำจากแม่สายหลักทั้ง 4 สาย ถือได้ว่าเป็นปัจจัยในระดับภูมิภาคที่สำคัญที่เข้ามามีอิทธิพลต่อความสำคัญ ดังนั้นควรมีการศึกษาปัจจัยในระดับภูมิภาค และการใช้ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับพื้นที่อ่าวไทยตอนบนที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ เพิ่มเติม เช่น กระแสลม, ความเค็ม รวมไปถึงปัจจัยทางระบบนิเวศ (ไนเตรต, ฟอสเฟต, ซิลิคอน) เพื่อเข้าใจถึงอิทธิพลแฝงที่เข้ามาเกี่ยวข้องต่อความสัมพันธ์

2) เพื่อให้ได้การตรวจสอบประสิทธิภาพข้อมูลที่ได้จากดาวเทียมมีความแม่นยำยิ่งขึ้น ควรอาศัยข้อมูลตรวจวัดอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ ภาคสนามจากทุ่นหรือสถานี ที่มีการติดตั้งตรวจวัดครอบคลุมทั่วพื้นที่อ่าวไทยและมีการเก็บข้อมูลอย่างต่อเนื่อง ซึ่งข้อมูลอาจมีความถี่ในการเก็บเป็นลักษณะข้อมูลรายวันหรือรายเดือน เพื่อให้สอดคล้องกับข้อมูลที่ได้จากดาวเทียม

3) ศึกษาอัตราการเจริญเติบโตของความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ เกี่ยวกับปริมาณการเพิ่มขึ้นของคลอโรฟิลล์-เอ ร่วมกับปัจจัยต่าง ๆ ที่ก่อให้เกิดการกระตุ้นการเจริญเติบโตโดยปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ ที่รวมตัวกันอาจทำให้เกิดปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสีในแต่ละช่วงลมมรสุม

## บรรณานุกรม

- Abidin, A., Amron, A., Marzuki, I., & Sains, J. (2020). Relationship between chlorophyll-a and sea surface temperature to tuna catch in the Southern Water of Java. *Jurnal Penelitian Sains*, 22, 55-68. <https://doi.org/10.56064/jps.v22i2.582>
- Boonchai, K., Kompon, K., Apirattananon, S., Kalaes, D., Phodee, P., Meeprom, P., Buntoatook, P., & Lorpittayakorn, P. (2022). The Influence of El Nino on Sea Surface Temperature in the Upper Gulf of Thailand. *Burapha Science Journal*, 27(2), 717-733.
- Buranapratheprat, A. (2008). Circulation in the upper gulf of Thailand: A review. *Burapha Science*, 13, 75-83.
- Buranapratheprat, A., Luadnakrob, P., Yanagi, T., Morimoto, A., & Qiao, F. (2016). The modification of water column conditions in the Gulf of Thailand by the influences of the South China Sea and monsoonal winds. *Continental Shelf Research*, 118, 100-110. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.csr.2016.02.016>
- Buranapratheprat, A., Morimoto, A., Phromkot, P., Mino, Y., Gunbua, V., & Jintasaeranee, P. (2021). Eutrophication and hypoxia in the upper Gulf of Thailand. *Journal of Oceanography*, 77, 831-841.
- Dall'Olmo, G., Gitelson, A. A., & Rundquist, D. C. (2003). Towards a unified approach for remote estimation of chlorophyll-a in both terrestrial vegetation and turbid productive waters. *Geophysical Research Letters*, 30(18), n/a-n/a. <https://doi.org/10.1029/2003gl018065>
- Donlon, C., Robinson, I., Casey, K., Poulter, D., Jorge, V.-C., Armstrong, E., Arino, O., Gentemann, C., May, D., Leborgne, P., Piolle, J.-f., Barton, I., & Helen, B. (2007). The Global Ocean Data Assimilation Experiment High-Resolution Sea Surface Temperature Pilot Project. *Bulletin of The American Meteorological Society - BULL AMER METEOROL SOC*, 88. <https://doi.org/10.1175/BAMS-88-8-1197>
- Dunstan, P. K., Foster, S. D., King, E., Risbey, J., O'Kane, T. J., Monselesan, D., Hobday, A. J., Hartog, J. R., & Thompson, P. A. (2018). Global patterns of change and variation in sea surface temperature and chlorophyll a. *Scientific Reports*, 8(1),

14624. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-33057-y>

Garnesson, P., Mangin, A., Fanton d'Andon, O., Demaria, J., & Bretagnon, M. (2019). The CMEMS GlobColour chlorophyll a product based on satellite observation: Multi-sensor merging and flagging strategies. *Ocean Science*, *15*(3), 819-830.

Hanafin, J. (2002). On sea surface properties and characteristics in the infrared.

Hu, C., Feng, L., Lee, Z., Franz, B. A., Bailey, S. W., Werdell, P. J., & Proctor, C. W. (2019). Improving Satellite Global Chlorophyll a Data Products Through Algorithm Refinement and Data Recovery [<https://doi.org/10.1029/2019JC014941>]. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, *124*(3), 1524-1543.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1029/2019JC014941>

Kilpatrick, K., Podesta, G., & Evans, R. (2001). Overview of the NOAA/NASA AVHRR Pathfinder algorithm for sea surface temperature and associated matchup database. *J. Geophys. Res.*, *106*, C5.

Kilpatrick, K. A., Podestá, G., Walsh, S., Williams, E., Halliwell, V., Szczodrak, M., Brown, O. B., Minnett, P. J., & Evans, R. (2015). A decade of sea surface temperature from MODIS. *Remote Sensing of Environment*, *165*, 27-41.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.04.023>

Leenawarat, D., Luang-on, J., Buranapratheprat, A., & Ishizaka, J. (2022). Influences of tropical monsoon and El Niño Southern Oscillations on surface chlorophyll-a variability in the Gulf of Thailand. *Frontiers in Climate*, *4*.

<https://doi.org/10.3389/fclim.2022.936011>

Llewellyn-Jones, D., Minnett, P., Saunders, R., & Zavody, A. (1984). Satellite multichannel infrared measurements of sea surface temperature of the NE Atlantic Ocean using AVHRR/2. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, *110*(465), 613-631.

Luang-on, J., Ishizaka, J., Buranapratheprat, A., Phaksopa, J., Goes, J. I., Kobayashi, H., Hayashi, M., Maúre, E. d. R., & Matsumura, S. (2021). Seasonal and interannual variations of MODIS Aqua chlorophyll-a (2003–2017) in the Upper Gulf of Thailand influenced by Asian monsoons. *Journal of Oceanography*, *78*(4), 209-228. <https://doi.org/10.1007/s10872-021-00625-2>



- May, D. A., Parmeter, M. M., Olszewski, D. S., & McKenzie, B. D. (1998). Operational processing of satellite sea surface temperature retrievals at the Naval Oceanographic Office. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 79(3), 397-408.
- Merchant, C., Harris, A., Maturi, E., & MacCallum, S. (2005). Probabilistic physically based cloud screening of satellite infrared imagery for operational sea surface temperature retrieval. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society: A journal of the atmospheric sciences, applied meteorology and physical oceanography*, 131(611), 2735-2755.
- Merchant, C. J., & Le Borgne, P. (2004). Retrieval of sea surface temperature from space, based on modeling of infrared radiative transfer: Capabilities and limitations. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 21(11), 1734-1746.
- Minnett, P. J. (2003). Radiometric measurements of the sea-surface skin temperature: the competing roles of the diurnal thermocline and the cool skin. *International Journal of Remote Sensing*, 24(24), 5033-5047.  
<https://doi.org/10.1080/0143116031000095880>
- Muskananfolo, M. R., Jumsar, & Wirasatriya, A. (2021). Spatio-temporal distribution of chlorophyll-a concentration, sea surface temperature and wind speed using aqua-modis satellite imagery over the Savu Sea, Indonesia. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 22.  
<https://doi.org/10.1016/j.rsase.2021.100483>
- Pearson, K. (1920). Notes on the History of Correlation. *Biometrika*, 13(1), 25-45.  
<https://doi.org/10.2307/2331722>
- Rouf, M. A., Antu, A.-H., & Noor, I. (2020). Seasonal and annual variability in chlorophyll in the shelf region of the Northern Bay of Bengal using MODIS-Aqua data. *Oceanological and Hydrobiological Studies*, 49(4), 398-407.
- Saleh, A. K., & Al-Anzi, B. S. (2021). Statistical Validation of MODIS-Based Sea Surface Temperature in Shallow Semi-Enclosed Marginal Sea: A Comparison between Direct Matchup and Triple Collocation. *Water*, 13(8), 1078.  
<https://www.mdpi.com/2073-4441/13/8/1078>
- Sathyendranath, S., Brewin, R. J. W., Brockmann, C., Brotas, V., Calton, B., Chuprin, A.,

- Cipollini, P., Couto, A. B., Dingle, J., Doerffer, R., Donlon, C., Dowell, M., Farman, A., Grant, M., Groom, S., Horseman, A., Jackson, T., Krasemann, H., Lavender, S., . . . Platt, T. (2019). An Ocean-Colour Time Series for Use in Climate Studies: The Experience of the Ocean-Colour Climate Change Initiative (OC-CCI). *Sensors*, 19(19), 4285. <https://www.mdpi.com/1424-8220/19/19/4285>
- Saunders, R. W., & Kriebel, K. T. (1988). An improved method for detecting clear sky and cloudy radiances from AVHRR data. *International Journal of Remote Sensing*, 9(1), 123-150.
- Sripoonpan, P., & Saramul, S. (2021). Coastal upwelling investigation in the Gulf of Thailand using Ekman transport and sea surface temperature upwelling indices. *Engineering Journal*, 25(7), 1-16.
- Team, A.-S. G. (2017). *GlobColour Product User Guide*.
- Thurman, H. V. (2019). *Essentials of oceanography*.
- Walton, C., Pichel, W., Sapper, J., & May, D. (1998). The development and operational application of nonlinear algorithms for the measurement of sea surface temperatures with the NOAA polar-orbiting environmental satellites. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 103(C12), 27999-28012.
- Wang, J. (2013). Partial Correlation Coefficient. In W. Dubitzky, O. Wolkenhauer, K.-H. Cho, & H. Yokota (Eds.), *Encyclopedia of Systems Biology* (pp. 1634-1635). Springer New York. [https://doi.org/10.1007/978-1-4419-9863-7\\_373](https://doi.org/10.1007/978-1-4419-9863-7_373)
- Ward, B. (2006). Near-surface ocean temperature [<https://doi.org/10.1029/2004JC002689>]. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 111(C2). <https://doi.org/https://doi.org/10.1029/2004JC002689>
- Welch, H., Brodie, S., Jacox, M., Robinson, D., Wilson, C., Bograd, S., Oliver, M., & Hazen, E. (2020). Considerations for transferring an operational dynamic ocean management tool between ocean color products. *Remote Sensing of Environment*, 242, 111753.
- Wong, E. W., & Minnett, P. J. (2018). The Response of the Ocean Thermal Skin Layer to Variations in Incident Infrared Radiation [<https://doi.org/10.1002/2017JC013351>]. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 123(4), 2475-2493.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1002/2017JC013351>

- เปี่ยมศักดิ์ เมณะเสวต. (2543). แหล่งน้ำกับปัญหามลพิษ (8 ed.). กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- โศรฎา แข็งการ และกนต์ธร ชำนิประศาสน์. (2549). Interpolation และ Curve Fitting. In การใช้ *MATLAB* สำหรับงานทางวิศวกรรม (2 ed.). มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- ณัฐรัตน์ ปภาวสิทธิ์. (2546). ระบบนิเวศป่าชายเลน. In คู่มือวิธีการประเมินแบบรวดเร็วเพื่อการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมพื้นที่ชายฝั่งทะเล. ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- บุษบา พุกษาพันธุ์รัตน์. (2552). การวางแผนและควบคุมการผลิต. บริษัท สำนักพิมพ์ท็อป จำกัด. ราชกิจจานุเบกษา. (2502, 23 กันยายน).
- ส่วนแหล่งน้ำทะเล. (2546). ทะเลไทย...วันนี้. สำนักการจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- สุวัจน์ ธีรสร. (2557). วิทยาศาสตร์เบื้องต้นทางทะเล. odeonstore.



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY



ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
**CHULALONGKORN UNIVERSITY**

ภาคผนวก ก ค่าเฉลี่ยรายเดือนของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ ปี  
พ.ศ.2558-2565

ตาราง ก.1 ค่าเฉลี่ยรายเดือนอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ

Year	Month	Sea surface temperature	Chlorophyll-a
2015	January	27.00	2.93
	February	27.40	3.44
	March	28.63	4.42
	April	29.78	5.09
	May	30.45	4.98
	June	30.58	4.38
	July	30.23	4.33
	August	29.92	4.74
	September	29.75	5.42
	October	29.89	5.31
	November	29.66	4.60
	December	29.18	3.72
2016	January	28.23	3.41
	February	28.02	2.99
	March	28.54	2.88
	April	29.86	3.08
	May	30.56	3.47
	June	30.61	4.86
	July	30.23	7.04
	August	29.99	9.11
	September	29.69	9.27

	October	29.41	8.18
	November	28.85	6.15
	December	28.25	4.44
2017	January	27.70	3.01
	February	28.01	2.56
	March	29.04	3.08
	April	30.19	3.78
	May	30.80	6.01
	June	30.77	7.35
	July	30.24	8.05
	August	30.11	8.38
	September	29.92	8.38
	October	29.42	8.66
	November	28.49	6.51
	December	27.43	4.88
2018	January	27.18	3.60
	February	27.55	3.24
	March	28.52	3.74
	April	29.52	4.45
	May	30.24	5.44
	June	30.25	5.93
	July	29.87	6.21
	August	29.38	6.32
	September	29.42	5.76
	October	29.51	4.96
	November	29.29	3.99

	December	28.74	3.89
2019	January	28.43	3.23
	February	28.52	3.60
	March	29.44	3.59
	April	30.63	4.59
	May	31.38	4.71
	June	31.15	4.76
	July	30.35	4.59
	August	29.80	4.79
	September	29.75	4.90
	October	29.59	4.28
	November	28.79	3.28
	December	28.16	2.86
2020	January	27.86	3.17
	February	28.45	3.47
	March	29.20	3.42
	April	30.24	3.86
	May	30.75	4.84
	June	30.81	5.92
	July	30.23	7.26
	August	30.04	9.05
	September	29.21	10.06
	October	28.77	8.05
	November	27.82	5.03
	December	27.23	2.52
2021	January	26.97	2.26

	February	27.51	2.26
	March	28.85	2.86
	April	30.03	4.39
	May	30.70	5.85
	June	30.87	5.83
	July	30.31	5.71
	August	29.59	6.10
	September	29.00	8.12
	October	28.87	8.90
	November	28.26	7.57
	December	27.80	5.43
2022	January	27.69	3.20
	February	28.47	3.42
	March	29.33	3.17
	April	29.65	4.14
	May	29.63	5.01
	June	29.62	5.75
	July	29.69	6.90
	August	29.90	7.31
	September	29.43	7.89
	October	29.01	7.29
	November	28.20	5.81
	December	27.90	5.44



ภาคผนวก ข ค่าความผิดปกติรายเดือนของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้น  
คลอโรฟิลล์-เอ เทียบกับดัชนี ONI ปี พ.ศ.2558-2565

ตาราง ข.1 ค่าความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเล, ความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอและดัชนี ONI

Year	Month	SSTA	CHLA	ONI
2015	January	-0.63	-0.17	0.50
	February	-0.59	0.32	0.50
	March	-0.31	1.02	0.50
	April	-0.20	0.92	0.70
	May	-0.11	-0.06	0.90
	June	0.00	-1.22	1.20
	July	0.08	-1.93	1.50
	August	0.08	-2.24	1.90
	September	0.23	-2.06	2.20
	October	0.58	-1.65	2.40
	November	0.99	-0.77	2.60
	December	1.10	-0.43	2.60
2016	January	0.59	0.31	2.50
	February	0.03	-0.13	2.10
	March	-0.40	-0.51	1.60
	April	-0.13	-1.09	0.90
	May	0.00	-1.56	0.40
	June	0.03	-0.74	-0.10
	July	0.09	0.78	-0.40
	August	0.15	2.13	-0.50
	September	0.16	1.80	-0.60

	October	0.10	1.22	-0.70
	November	0.18	0.78	-0.70
	December	0.16	0.30	-0.60
2017	January	0.07	-0.09	-0.30
	February	0.01	-0.56	-0.20
	March	0.09	-0.32	0.10
	April	0.20	-0.40	0.20
	May	0.24	0.97	0.30
	June	0.19	1.75	0.30
	July	0.10	1.79	0.10
	August	0.27	1.40	-0.10
	September	0.40	0.90	-0.40
	October	0.11	1.71	-0.70
	November	-0.18	1.14	-0.80
	December	-0.65	0.73	-1.00
2018	January	-0.46	0.50	-0.90
	February	-0.45	0.12	-0.90
	March	-0.42	0.35	-0.70
	April	-0.46	0.28	-0.50
	May	-0.32	0.40	-0.20
	June	-0.33	0.33	0.00
	July	-0.28	-0.05	0.10
	August	-0.46	-0.66	0.20
	September	-0.10	-1.72	0.50
	October	0.20	-2.00	0.80
	November	0.62	-1.37	0.90

	December	0.65	-0.26	0.80
2019	January	0.80	0.13	0.70
	February	0.53	0.48	0.70
	March	0.49	0.20	0.70
	April	0.64	0.41	0.70
	May	0.82	-0.33	0.50
	June	0.57	-0.84	0.50
	July	0.20	-1.67	0.30
	August	-0.04	-2.18	0.10
	September	0.23	-2.58	0.20
	October	0.28	-2.68	0.30
	November	0.12	-2.08	0.50
	December	0.07	-1.29	0.50
2020	January	0.23	0.07	0.50
	February	0.46	0.34	0.50
	March	0.25	0.03	0.40
	April	0.25	-0.31	0.20
	May	0.19	-0.20	-0.10
	June	0.23	0.33	-0.30
	July	0.09	1.00	-0.40
	August	0.20	2.07	-0.60
	September	-0.31	2.58	-0.90
	October	-0.54	1.10	-1.20
	November	-0.85	-0.33	-1.30
	December	-0.86	-1.63	-1.20
2021	January	-0.66	-0.84	-1.00

	February	-0.48	-0.86	-0.90
	March	-0.09	-0.53	-0.80
	April	0.04	0.22	-0.70
	May	0.13	0.81	-0.50
	June	0.29	0.24	-0.40
	July	0.17	-0.55	-0.40
	August	-0.25	-0.87	-0.50
	September	-0.53	0.65	-0.70
	October	-0.44	1.95	-0.80
	November	-0.41	2.20	-1.00
	December	-0.29	1.28	-1.00
2022	January	0.06	0.10	-1.00
	February	0.48	0.29	-0.90
	March	0.39	-0.23	-1.00
	April	-0.33	-0.04	-1.10
	May	-0.94	-0.03	-1.00
	June	-0.97	0.15	-0.90
	July	-0.45	0.63	-0.80
	August	0.06	0.34	-0.90
	September	-0.09	0.42	-1.00
	October	-0.29	0.34	-1.00
	November	-0.48	0.44	-0.90
	December	-0.19	1.29	-0.80

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	ภูภัส ทองจับ
วัน เดือน ปี เกิด	30/07/2541
สถานที่เกิด	สงขลา
วุฒิการศึกษา	วศ.บ. (วิศวกรรมสำรวจและสารสนเทศภูมิศาสตร์)
ที่อยู่ปัจจุบัน	58/172 ซ.พหลโยธิน 42 ถ.พหลโยธิน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900
ผลงานตีพิมพ์	อบแพทย อ., ทองจับ ภ., สุกสีนวล ว., ยีบ๊ะ อ. 2021. การวิเคราะห์ค่าความรุนแรงพื้นที่เผาไหม้จากภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 กรณีศึกษาอุทยานแห่งชาติดอยสุเทพ-ปุย. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 26.