

การศึกษาวิธีการตรวจวัดปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ ที่พื้นผิวน้ำทะเลด้วยภาพถ่ายจากดาวเทียมเซนติเนล-3 บริเวณชายฝั่งทะเลจังหวัดตราด

ภัทรารุช ไทยพิชิตบุรพา¹, อนุกุล บุรณประทีปรัตน์¹, วิชญา กันบัว¹, ธนพล ไชยพิพัฒน์ขจร¹, นพิษฐา กิ่งแก้ว¹ และ ประสาร อินทเจริญ^{1*}

Study on the Method of Sea Surface Chlorophyll-a Measurements Base-on Sentinel-3 Satellite Imagery in Coastal Areas of Trat Province

Patrawut Thaipichitburapha¹, Anukul Buranapratheprat¹, Vichaya Gunbua¹, Thanapon Chaipiputnakhajorn¹, Napittha Kingkeaw¹ and Prasarn Intacharoen^{1*}

¹ Department of Aquatic Science, Faculty of Science, Burapha University, Chonburi, 20131

* Corresponding author: prasarni@buu.ac.th

Received: January 23, 2024; Revised: February 29, 2024; Accepted: March 5, 2024

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ วิเคราะห์หาวิธีการตรวจวัดปริมาณค่าคลอโรฟิลล์-เอ ที่พื้นผิวน้ำทะเลในแหล่งน้ำทะเลชายฝั่งโดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม บริเวณชายฝั่งทะเลของจังหวัดตราด โดยใช้คุณสมบัติค่าการสะท้อนที่ตรวจวัดได้จากเซนเซอร์ของดาวเทียมนำไปวิเคราะห์ร่วมกับข้อมูลจากภาคสนามเพื่อนำไปสร้างอัลกอริทึมที่นำไปใช้ตรวจวัดปริมาณค่าคลอโรฟิลล์-เอ ตามวิธีการที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องและรวดเร็ว และได้ข้อมูลเชิงพื้นที่ในบริเวณกว้าง ทำให้สามารถนำผลที่ได้ไปวางแผนบริหารจัดการชายฝั่งต่อไป ทั้งนี้ได้มีการตรวจวัดความเข้มข้นของปริมาณค่าคลอโรฟิลล์-เอ จากภาคสนามในบริเวณชายฝั่งทะเลทางทิศใต้ของอ่าวตราด จังหวัดตราด จำนวน 3 ครั้ง เก็บข้อมูลจำนวน 45 ชุดข้อมูล ได้แก่ข้อมูลเดือนพฤศจิกายน 2563 เดือนมกราคม 2564 และ เดือนมีนาคม 2565 พบว่ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.65 ± 0.38 0.74 ± 0.18 และ 1.05 ± 0.10 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ร่วมกับข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมเซนติเนล-3 ที่ผ่านกระบวนการแปลงค่าพลังงานเป็นค่าการสะท้อน การปรับแก้ค่าความความผิดเพี้ยนจากบรรยากาศ และนำไปพัฒนาอัลกอริทึมที่ได้จากข้อมูลดาวเทียมที่ดีที่สุด ผลที่ได้พบว่าอัลกอริทึม OC3M ให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจสูงที่สุด ($R^2=0.77$) และมีความเหมาะสมที่นำไปใช้ในการประมาณค่าคลอโรฟิลล์-เอ ในพื้นที่ชายฝั่งทะเลของจังหวัดตราด นอกจากนี้ผลการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของปริมาณค่าคลอโรฟิลล์-เอ ที่ตรวจวัดได้จากภาคสนามกับอัลกอริทึมของ OC3M และ อัลกอริทึม NN จากดาวเทียมเซนติเนล-3 พบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ($R=0.68$) ที่ไม่แตกต่างกัน ดังนั้นอัลกอริทึม NN จากดาวเทียมเซนติเนล-3 สามารถนำไปใช้ในการประมาณค่าคลอโรฟิลล์-เอ ในพื้นที่ชายฝั่งทะเลของจังหวัดตราด ได้โดยไม่ต้องทำการวิเคราะห์ด้วยอัลกอริทึมอื่น ๆ

คำสำคัญ: คลอโรฟิลล์-เอ, ดาวเทียมเซนติเนล-3, อัลกอริทึม, ชายฝั่งทะเล, จังหวัดตราด

¹ ภาควิชาวาริชศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา จังหวัดชลบุรี 20131

Abstract

This research objective was studied on the method for measuring the amount of chlorophyll-a at the sea surface in coastal areas of Trat Province by using satellite image data. By using the reflectance properties measured by satellite sensors, which was analyzed together with data from in situ to create an algorithm that can be used to measure chlorophyll-a values. The useful in measuring of chlorophyll-a values which an appropriate method to obtain accurate and fast information and was obtained the spatial information in a wide area. This allows the results to be used to plan for further coastal management. Three cruise field data set were investigated from the south along coast of Trat province. Forty-five data sets were collected, including data from November 2020, January 2021, and March 2022. It was found that the average values were 0.65 ± 0.38 , 0.74 ± 0.18 , and 1.05 ± 0.10 micrograms per liter, respectively. Then, input sea surface chlorophyll-a to three candidate algorithms were analyzed based on reflectance of Sentinel-3 satellite imagery which was calculated of radiance to reflectance. Correcting atmospheric distortion was used to develop the best algorithm derived from satellite data. The results showed that the OC3M algorithm gave the highest correlation value ($R^2=0.77$) and was suitable for use in estimating chlorophyll-a values in the coastal area of Trat Province. In addition, the results were compared the relationship of the amount of chlorophyll-a which measured in the field with OC3M and NN algorithm from the Sentinel-3 satellite. It was found that the correlation coefficient ($R=0.68$) was not different. Therefore, it can be concluded that the NN algorithm from the Sentinel-3 satellite can be used to estimate sea surface chlorophyll-a values in the coastal area of Trat Province without having to analyze it through various algorithmic processes.

Keywords: Chlorophyll-a, Sentinel-3, Algorithm, Coastal, Trat Province

บทนำ

ตราดเป็นจังหวัดหนึ่งในภาคตะวันออกที่มีแหล่งทรัพยากรธรรมชาติที่สำคัญและมีความอุดมสมบูรณ์ โดยเฉพาะทรัพยากรประมง เนื่องจากเป็นพื้นที่ติดทะเลและมีภูเขาโอบล้อม ทำให้มีแม่น้ำลำคลองหลาย สายไหลลงสู่ อ่าวตราดโดยมีแม่น้ำสำคัญ ๆ ได้แก่ แม่น้ำเวฬุ แม่น้ำตราด (ภัทรารัฐ ไทยพิชิตบุรพา และ จารุมาศ เมฆสัมพันธ์, 2564) ซึ่งแม่น้ำ ลำคลอง จะพาสารอาหารต่าง ๆ ที่เกิดจากการใช้ประโยชน์ของพื้นที่บนแผ่นดิน ดังเช่น แอมโมเนีย ไนโตรที่ ไนเตรท ฟอสเฟต และกลุ่มตะกอนแขวนลอย ที่ไหลมาพร้อมกับมวลของน้ำท่าและไหลลงสู่ชายฝั่งทะเลจังหวัดตราดและ พื้นที่ใกล้เคียง ทำให้เกิดการสะสมหรือเพิ่มสารอาหารลงไปในทะเลชายฝั่ง เป็นผลทำให้เกิดการกระตุ้นและมีโอกาส เร่งให้เกิดสภาวะการสะสมของแพลงก์ตอนพืช (Phytoplankton bloom) หรือปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสี (Red tide) ทำให้ ปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ ที่มาจากแพลงก์ตอนพืช มีแนวโน้มสูงขึ้น ซึ่งในระบบนิเวศแพลงก์ตอนพืชจะมีความสำคัญอย่าง มากเนื่องจากเป็นผู้ผลิตเบื้องต้น จึงสามารถใช้ค่าความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์-เอ มาประเมินความอุดมสมบูรณ์ของ แหล่งน้ำได้ (ลัดดา วงศ์รัตน์, 2542) ทั้งนี้การไหลบ่าของมวลน้ำที่จะพาตะกอนแขวนลอยมากับน้ำท่าและไหลสู่ทะเล ในช่วงฤดูฝน (เบญจมาศ มีทรัพย์ และคณะ, 2564) ทำให้น้ำมีความขุ่น ส่งผลต่อการดำรงชีพของสิ่งมีชีวิต เช่น ตะกอน ทำให้เกิดการอุดตันเหงือกของสัตว์น้ำ และเมื่อมีสภาวะทางเคมีที่เหมาะสมยังสามารถปลดปล่อยสารอินทรีย์และอนินท รีย์ (ลุดิตา กาญจน์อดิเรกลาภ และ คณะ, 2560) ซึ่งจะส่งผลต่อจำนวนของแพลงก์ตอนพืชและปริมาณของคลอโรฟิลล์-เอ ในแหล่งน้ำ

การตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์-เอ ในพื้นที่บริเวณชายฝั่งทะเลสามารถใช้เป็นดัชนีสำหรับบ่งบอกถึงระดับความอุดมสมบูรณ์ของระบบนิเวศได้ ดังเช่นในบริเวณชายฝั่งทะเลจังหวัดตราด ที่มีการนำค่าความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์-เอ มาเป็นพารามิเตอร์ที่ใช้ในการประเมินและพบว่าชายฝั่งทะเลของจังหวัดตราด มีความอุดมสมบูรณ์อยู่ในระดับปานกลาง (Mesotrophic status) คลอโรฟิลล์-เอ อยู่ในช่วง 1-3 ไมโครกรัมต่อลิตร (ภัทรารุช ไทยพิชิตบุรพา และ คณะ, 2566) ทั้งนี้การเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมในทะเลชายฝั่งโดยทั่วไปจะขึ้นอยู่กับกระแสน้ำชายฝั่งเป็นหลัก ซึ่งบริเวณชายฝั่งทะเลจังหวัดตราดก็เช่นกัน การไหลเวียนของกระแสน้ำนั้นจะถูกควบคุมโดยอิทธิพลของลมที่ทิศทางการไหลจะเปลี่ยนแปลงไปตามช่วงลมมรสุม (สุจิตรา บุญจันทร์ และคณะ, 2566) ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของปริมาณคลอโรฟิลล์ได้

ในปัจจุบันการรับรู้จากระยะไกล (Remote sensing) ได้ถูกนำมาใช้ในการบริหารจัดการทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งมากขึ้น ซึ่งเป็นการนำภาพถ่ายจากดาวเทียมมาใช้ในการตรวจวัด ติดตามและเฝ้าระวัง การเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ นับเป็นเทคโนโลยีที่มีประโยชน์อย่างมากในการติดตามปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในสิ่งแวดล้อมรวมถึงด้านสมุทรศาสตร์ (อนุกุล บุรณประทีปรัตน์ และ อัญญาดา มีสุข, 2556) โดยมีจุดเด่นที่สามารถเห็นถึงการเปลี่ยนแปลงในเชิงพื้นที่และเชิงเวลา (Space and time) ในบริเวณกว้างได้ ซึ่งสามารถนำเอาคุณสมบัติจากการตรวจวัดพลังงานค่าการสะท้อนของวัตถุเป้าหมาย มาพัฒนาอัลกอริทึมที่เกี่ยวข้องได้โดยใช้คุณสมบัติค่าการสะท้อนพลังงานแสงบนพื้นผิวน้ำเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าพารามิเตอร์ที่ได้กับการตรวจวัดจริงในภาคสนาม เช่น การศึกษาอัลกอริทึมท้องถิ่นเพื่อการวิเคราะห์คลอโรฟิลล์-เอ ที่ผิวทะเลโดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Aqua/Terra (MODIS sensor) บริเวณอ่าวไทยตอนบนโดยการวิเคราะห์เปรียบเทียบอัลกอริทึมที่ดัดแปลงมาจากอัลกอริทึมสากล 4 รูปแบบ ได้แก่ OC3M, Aiken-C, rGBr และ Chula กับข้อมูลจากดาวเทียม (ประสาร อินทเจริญ และ คณะ, 2561) ทั้งนี้ OC3M (O'Reilly et al., 2000) เป็นอัลกอริทึมสากลที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการประเมินความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์-เอ ในแหล่งน้ำชายฝั่งที่ประยุกต์ใช้กับดาวเทียม Aqua/Terra-MODIS นอกจากนี้ Leenawat, et al. (2022) ใช้ค่าคลอโรฟิลล์-เอ ที่พื้นผิวทะเลในบริเวณอ่าวไทย ซึ่งตรวจวัดได้จากเซ็นเซอร์ของ MODIS มาใช้ในการศึกษาอิทธิพลของมรสุมเขตร้อนและปรากฏการณ์ ENSO ที่จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ ในบริเวณอ่าวไทยโดยพบว่า ปริมาณฝนและการไหลบ่าของน้ำจากแม่น้ำ รวมถึงอิทธิพลของกระแสน้ำชายฝั่งจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ ในบริเวณชายฝั่ง

ดาวเทียม Sentinel-3 ถูกส่งขึ้นวงโคจรจำนวน 2 ดวงได้แก่ Sentinel-3A และ Sentinel-3B มีเป้าหมายหลักในการตรวจวัดข้อมูลของพื้นผิวทะเล เช่น อุณหภูมิพื้นผิวโลกและสีของมหาสมุทร (Ocean color) ด้วยเครื่องมือตรวจวัดที่มีการใช้งานบนดาวเทียม ซึ่งประกอบด้วย เครื่องมือวัดอุณหภูมิพื้นผิวทะเลและอุณหภูมิพื้นดิน (Sea and Land Surface Temperature Radiometer: SLSTR) เครื่องมือวัดสีมหาสมุทรและแผ่นดิน (Ocean and Land Color Instrument: OLCI) โดยมีความละเอียดเชิงพื้นที่ 300 เมตร และมีความละเอียดเชิงคลื่น 21 ช่วงคลื่น สำหรับการศึกษาที่มีการใช้งานเพียง 4 ช่วงคลื่น ได้แก่ ช่วงคลื่น 442.5 490 510 และ 560 นาโนเมตร อีกทั้งสามารถกลับมาบันทึกภาพซ้ำที่เดิมได้ทุก ๆ 4 วัน (EUMETSAT, 2021)

สำหรับการศึกษาวิจัยครั้งนี้มีเป้าหมายเพื่อ วิเคราะห์หาวิธีการตรวจวัดปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ ที่พื้นผิวน้ำทะเลบริเวณชายฝั่งทะเลจังหวัดตราดโดยใช้ ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม Sentinel-3 ทั้งนี้จะทำให้ผู้ใช้ประโยชน์สามารถเลือกใช้วิธีการที่เหมาะสมในการตรวจวัดค่าคลอโรฟิลล์-เอ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้อง รวดเร็ว และสามารถนำผลที่ได้ไปใช้ในการวางแผนบริหารจัดการชายฝั่งต่อไป

วัตถุประสงค์

เพื่อวิเคราะห์หาวิธีการตรวจวัดปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ ที่พื้นผิวน้ำทะเลบริเวณชายฝั่งทะเลจังหวัดตราด โดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมเซนติเนล-3

วิธีการดำเนินการวิจัย

1. เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษานี้ ประกอบด้วย

1.1 ข้อมูลพารามิเตอร์คุณภาพน้ำ ได้แก่ ค่าคลอโรฟิลล์-เอ ซึ่งได้จากการเก็บตัวอย่างน้ำจากภาคสนามและทำการวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของค่าคลอโรฟิลล์-เอ ในห้องปฏิบัติการ โดยใช้วิธี Spectrophotometer method (Strickland and Parsons, 1972)

1.2 ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม Sentinel-3 โดยสามารถดาวน์โหลดฟรี จากเว็บไซต์ขององค์การอวกาศยุโรป (European Space Agency หรือ ESA) (<https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>)

1.3 ชุดเครื่องมือประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม ประกอบด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์สำหรับประมวลผลชุดโปรแกรมของระบบภูมิสารสนเทศชนิดรหัสเปิด SeNinel Application Platform (SNAP)

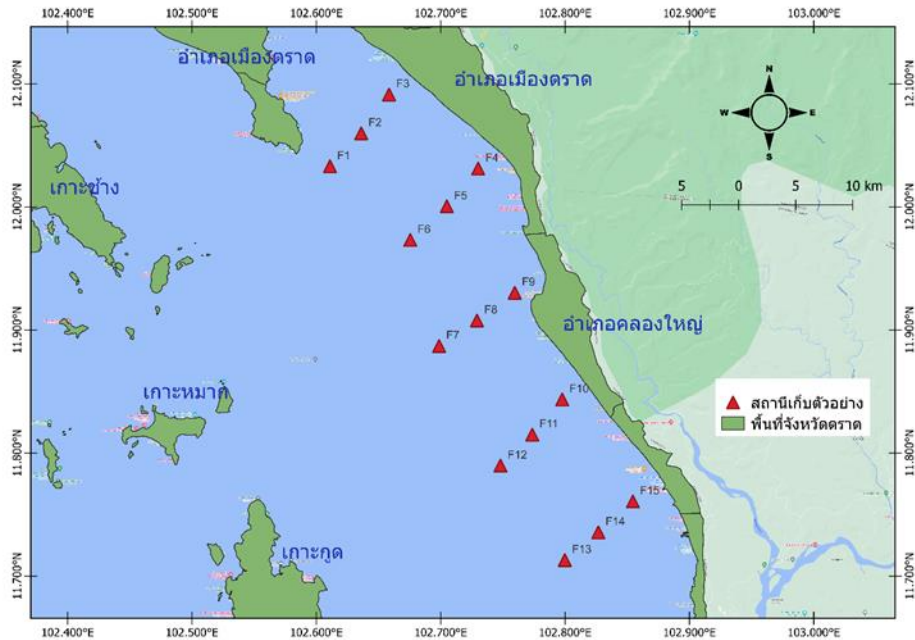
2. วิธีการศึกษา ดำเนินการศึกษิตตามกระบวนการดังนี้

2.1 การเก็บข้อมูลภาคสนาม ทำการเก็บตัวอย่างภาคสนามบริเวณชายฝั่งทะเลจังหวัดตราด จำนวน 15 สถานี (รูปที่ 1) โดยทำการเก็บข้อมูลทั้งหมด 3 ครั้ง ได้แก่ ครั้งที่ 1 วันที่ 18-19 พฤศจิกายน 2563 ครั้งที่ 2 วันที่ 29-30 มกราคม 2564 และ-ครั้งที่ 3 วันที่ 27-28 มีนาคม 2565 ทำการวัดคุณภาพน้ำทั่วไปด้วยเครื่องวัดคุณภาพน้ำแบบภาคสนาม (YSI Model 2030) ได้แก่ อุณหภูมิ ความเค็ม ความลึก ณ บริเวณจุดเก็บตัวอย่าง การวิเคราะห์หาปริมาณค่าคลอโรฟิลล์-เอ โดยนำตัวอย่างน้ำที่ระดับความลึก 0.5 เมตร มาทำการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการตามวิธีของ Strickland & Parsons (1972)

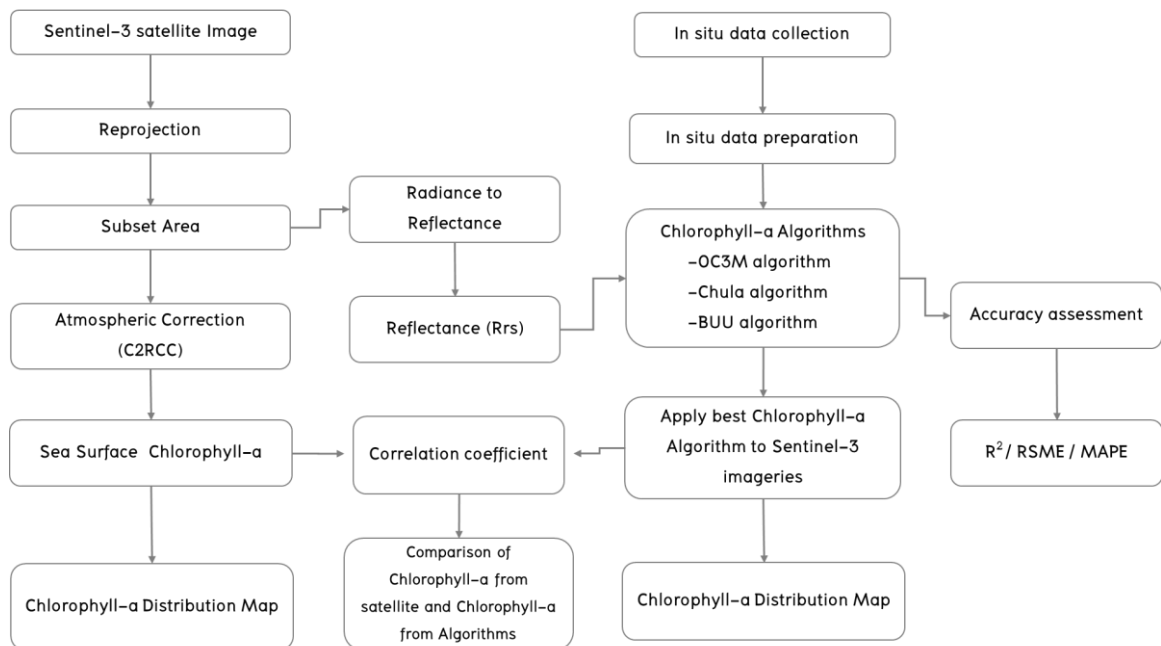
2.2 การประมวลผลภาพถ่ายจากดาวเทียม Sentinel-3 ทำการสืบค้นข้อมูลภาพจากเว็บไซต์ โดยการเลือกภาพที่ตรงกับช่วงวันที่เก็บข้อมูลภาคสนาม กรณีที่ไม่มีภาพ ณ วันที่เก็บข้อมูล (เนื่องจากกรณีมีเมฆปกคลุมมาก) สามารถเลือกภาพที่อยู่ภายในช่วงเวลาที่ใกล้เคียงกันให้มากที่สุดที่สามารถยอมรับได้สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลทางทะเล (Hornig, et al., 2010) ภาพถ่ายจากดาวเทียมที่นำมาใช้ในการศึกษานี้ มีทั้งหมดจำนวน 4 ภาพ ได้แก่ ภาพวันที่ 17-18 พฤศจิกายน 2563 จำนวน 2 ภาพ วันที่ 29 มกราคม 2564 จำนวน 1 ภาพ และ วันที่ 26 มีนาคม 2565 จำนวน 1 ภาพ (รูปที่ 4)

2.3 การวิเคราะห์ปริมาณค่าคลอโรฟิลล์-เอ ด้วยแบบจำลอง C2RCC ทำการประมวลผลภาพถ่ายจากดาวเทียม ด้วยโปรแกรม SNAP โดยทำการปรับแก้เชิงเรขาคณิตของภาพ (Reprojection) และ ตัดภาพให้เหลือเฉพาะพื้นที่ศึกษา (Subset area) โดยข้อมูลชุดแรกนำไปปรับแก้ค่าผลกระทบที่เกิดจากค่าการกระเจิงของพลังงานจากบรรยากาศ (Atmospheric correction) ด้วยแบบจำลอง Case 2 Regional Coast Color (C2RCC) ในกระบวนการนี้สามารถคำนวณปริมาณค่าคลอโรฟิลล์-เอ บริเวณพื้นผิวน้ำด้วยกระบวนการของ Neural networks (NN) ข้อมูลชุดที่สองนำไปแปลงค่าพลังงานเป็นค่าการสะท้อน (Radiance to reflectance) และนำค่าการสะท้อนในแต่ละช่วงคลื่นไปใช้ในการสร้างอัลกอริทึม สำหรับประมาณค่าคลอโรฟิลล์-เอ ด้วยสมการสากล (Global algorithm) พร้อมปรับให้เป็นอัลกอริทึมท้องถิ่นเพื่อประโยชน์ในการคำนวณค่าคลอโรฟิลล์-เอ เฉพาะพื้นที่ชายฝั่งของจังหวัดตราด (Local algorithm) และ ประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองการถดถอย (Evaluating regression model performance) โดยพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง (RMSE) และค่าเฉลี่ยของร้อยละความผิดพลาด

สัมบูรณ์ (MAPE) นำอัลกอริทึมที่ดีที่สุดไปประยุกต์ใช้ สำหรับประมาณค่าคลอโรฟิลล์-เอ ในช่วงเวลาอื่น ๆ นอกจากนี้ นำผลของค่าคลอโรฟิลล์-เอ ที่ได้จากการวิเคราะห์ของ Neural networks (NN) กับค่าที่คำนวณได้จาก Local algorithm เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ต่อไป (รูปที่ 2)



รูปที่ 1 แสดงสถานีเก็บข้อมูลในบริเวณพื้นที่ศึกษา



รูปที่ 2 กระบวนการการศึกษา

2.4 การสร้างอัลกอริทึมสำหรับประมาณค่าคลอโรฟิลล์-เอ ด้วยสมการสากล เป็นการนำค่าการสะท้อนของภาพถ่ายจากดาวเทียม Sentinel-3 มาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์กับข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์และตรวจวัดจากภาคสนาม เพื่อให้ได้อัลกอริทึมที่ดีที่สุด เหมาะสมที่สุดสำหรับนำมาใช้การประมาณค่าคลอโรฟิลล์-เอ เป็นการเฉพาะในบริเวณชายฝั่งทะเลจังหวัดตราด การศึกษานี้ได้มีการใช้อัลกอริทึมสากลของ OC3M algorithm (O'Reilly et al., 2000) ใช้อัลกอริทึมท้องถิ่นที่พัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้สำหรับอ่าวไทยตอนบนคือ Chl_{Chula} algorithm (Matsumura et al., 2006) และมีการทดลองพัฒนาอัลกอริทึมท้องถิ่นสำหรับชายฝั่งทะเลตราดคือ Chl_{BUU} algorithm รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 1

2.5 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของค่าคลอโรฟิลล์-เอ เนื่องจากเป้าประสงค์ของการศึกษานี้เพื่อหาวิธีการตรวจวัดค่าคลอโรฟิลล์-เอ บริเวณพื้นผิวน้ำทะเลที่ให้ผลความถูกต้องมีความใกล้เคียงกับข้อมูลจากภาคสนามมากที่สุด ทั้งนี้ข้อมูลนำเข้าสำหรับการศึกษานี้ ได้มาจาก 3 แหล่ง ได้แก่ ข้อมูลจากภาคสนาม (In situ data) ข้อมูลจากอัลกอริทึมสากลของข้อมูลจากดาวเทียมที่ผ่านการวิเคราะห์ของกระบวนการ C2RCC และชุดข้อมูลอัลกอริทึมที่ใช้ประมาณค่าคลอโรฟิลล์-เอ นอกจากนี้มีการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของค่าคลอโรฟิลล์ที่ได้จากทั้ง 3 แหล่งดังกล่าวมาทำการวิเคราะห์ Correlation matrix และใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ในการอธิบายว่าควรจะนำอัลกอริทึมแบบใดมาใช้ในการประมาณค่าคลอโรฟิลล์-เอ ต่อไป

ตารางที่ 1 โครงสร้างของอัลกอริทึมสำหรับการประมาณค่าคลอโรฟิลล์-เอ

Algorithms name	Structure of algorithms
OC3M algorithm (O'Reilly et al., 2000)	$C_{chl_a} (mg/m^3) = 10^{(a_0+a_1R + a_2R^2+a_3R^3+a_4R^4)}$; $R = \log_{10}[\max(\frac{Rrs(443)}{Rrs(550)}, \frac{Rrs(490)}{Rrs(550)})]$
Chl_{chula} algorithm (Matsumura et al., 2006)	$Chl_{chula} (mg/m^3) = 181.4 \exp(-4.74R)$; $R = Rrs(520)/Rrs(565)$
Chl_{BUU} algorithm (งานวิจัยนี้)	$Chl_{BUU} (mg/m^3) = a_0+a_1R + a_2R^2$; $R = Rrs(490)/Rrs(560)$

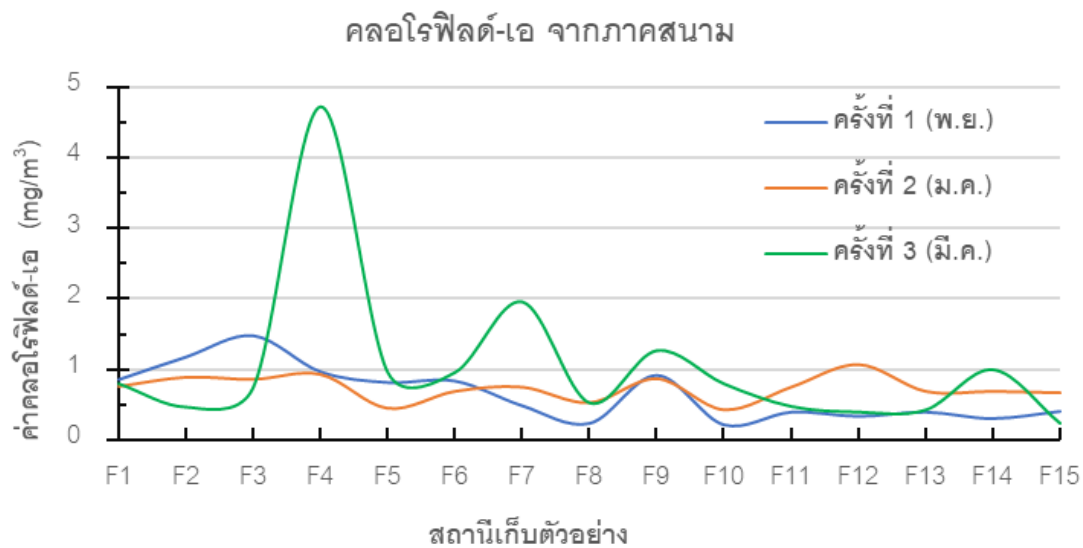
ผลการศึกษา

1. ข้อมูลปริมาณความเข้มข้นของค่าคลอโรฟิลล์-เอ จากภาคสนามในพื้นที่ศึกษา

จากการเก็บตัวอย่างจำนวน 3 ครั้ง ได้ผลของข้อมูลดังแสดงใน ตารางที่ 2 พบว่า ในครั้งที่ 1 ซึ่งเก็บข้อมูลในเดือนพฤศจิกายน 2563 มีค่าอยู่ในช่วง 0.21–1.47 ไมโครกรัมต่อลิตร โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.65 ± 0.38 ไมโครกรัมต่อลิตร ครั้งที่ 2 เก็บข้อมูลในเดือนมกราคม 2564 มีค่าอยู่ในช่วง 0.43–1.07 ไมโครกรัมต่อลิตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.74 ± 0.18 ไมโครกรัมต่อลิตร ครั้งที่ 3 เก็บข้อมูลในเดือนมีนาคม 2565 มีค่าอยู่ในช่วง 0.24–4.72 ไมโครกรัมต่อลิตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.05 ± 0.10 ไมโครกรัมต่อลิตร เมื่อพิจารณาค่าการกระจายตัวของปริมาณค่าคลอโรฟิลล์-เอ พบว่า ในครั้งที่ 3 มีค่าสูงที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากในสถานที่ 4 มีค่าคลอโรฟิลล์สูงกว่าสถานที่อื่นมาก (4.72 ไมโครกรัมต่อลิตร) เป็นสถานที่ที่น่าติดตามการเปลี่ยนแปลงของสภาวะแวดล้อมว่าสาเหตุที่แท้จริงเกิดจากปัจจัยใด (รูปที่ 3) ทั้ง 3 ครั้ง เป็นการเก็บข้อมูลในช่วงน้ำน้อย (Dry season)

ตารางที่ 2 ค่าสถิติเบื้องต้นของข้อมูลปริมาณค่าคลอโรฟิลล์-เอ ที่ตรวจวัดได้จากภาคสนาม บริเวณชายฝั่งทะเล จังหวัดตราด

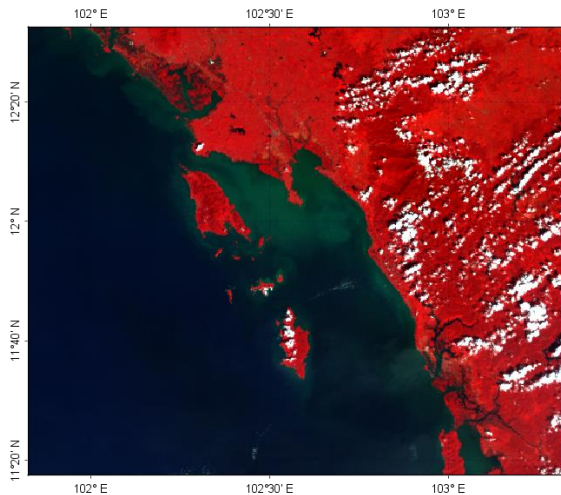
ค่าสถิติ	คลอโรฟิลล์-เอ (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)		
	ครั้งที่ 1 (พฤศจิกายน 2563)	ครั้งที่ 2 (มกราคม 2564)	ครั้งที่ 3 (มีนาคม 2565)
Mean±SD	0.65±0.38	0.74±0.18	1.05±0.10
Min-Max	0.21-1.47	0.43-1.07	0.24-4.72



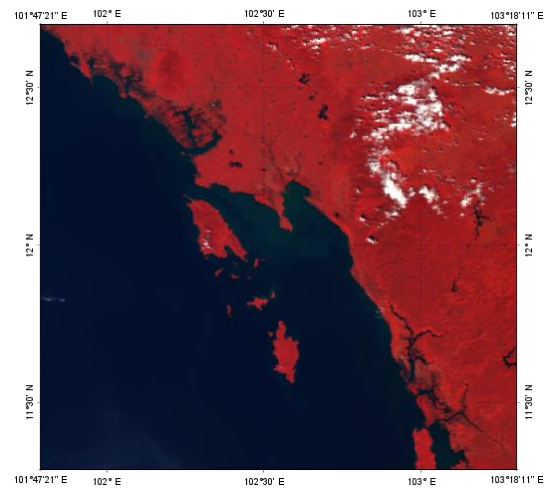
รูปที่ 3 ปริมาณค่าคลอโรฟิลล์-เอ ที่ตรวจวัดได้จากภาคสนาม บริเวณชายฝั่งทะเลจังหวัดตราด จำนวน 3 ครั้ง

2 การประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม

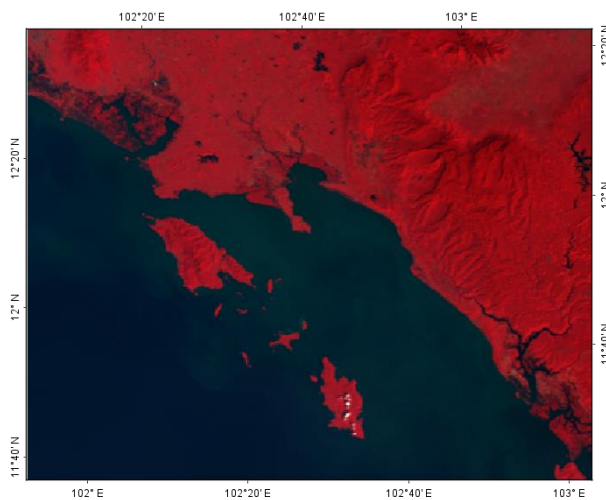
2.1 ผลการนำเข้าและแสดงผลข้อมูลภาพสีผสมเท็จ (RGB-17,5,2 ; NIR-Green-Blue) ของพื้นที่ศึกษาบริเวณชายฝั่งทะเลของจังหวัดตราด ฝั่งด้านใต้ของอ่าวตราดนั้น มีสภาพปลอดภัย สามารถนำข้อมูลภาพไปสกัดค่าประจำพิกเซล (Digital Number: DN) ได้ ดังแสดงข้อมูลตัวอย่างใน รูปที่ 4 ซึ่งข้อมูลที่ได้จะผ่านกระบวนการ Reprojection และตัดภาพเฉพาะพื้นที่ศึกษา นำไปวิเคราะห์ข้อมูลต่อไป จากการวิเคราะห์ข้อมูลภาพที่ได้มีการปรับแก้ค่าผลกระทบที่เกิดจากค่าการกระเจิงของพลังงานจากบรรยากาศ ด้วยวิธี C2RCC และภายใต้กระบวนการนี้ แบบจำลองสามารถให้ผลการประมาณค่าความเข้มข้นของค่าคลอโรฟิลล์-เอ (conc_chl : mg/m^3) โดยมีค่าคลอโรฟิลล์-เอ ต่ำสุด ในวันที่ 18 พฤศจิกายน 2563 และ วันที่ 26 มีนาคม 2565 มีค่าเท่ากับ 0.027 mg/m^3 ซึ่งมีค่าเท่ากันทั้งสองวัน และมีค่าสูงสุดในเดือน วันที่ 26 มีนาคม 2565 เท่ากับ 126.525 mg/m^3 ดังแสดงผลที่ได้ใน รูปที่ 5 นอกจากนี้ได้นำภาพจากดาวเทียมที่ผ่านกระบวนการแปลงค่าพลังงาน ไปเป็นค่าการสะท้อน นำไปสกัดค่าประจำพิกเซลของแต่ละภาพโดยใช้จุดพิกัดของสถานีที่เก็บตัวอย่างของภาคสนามมาใช้สำหรับสกัดค่าการสะท้อนเพื่อนำไปประเมินค่าคลอโรฟิลล์-เอ ผ่านการวิเคราะห์ด้วยอัลกอริทึมสากล



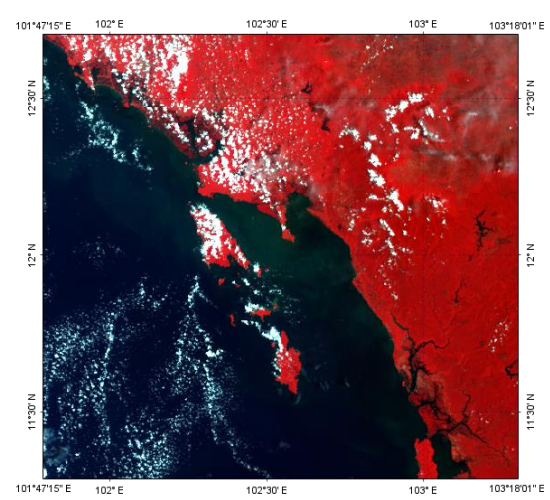
a) 17 พฤศจิกายน 2563 (RGB-17,5,2)



b) 18 พฤศจิกายน 2563 (RGB-17,5,2)

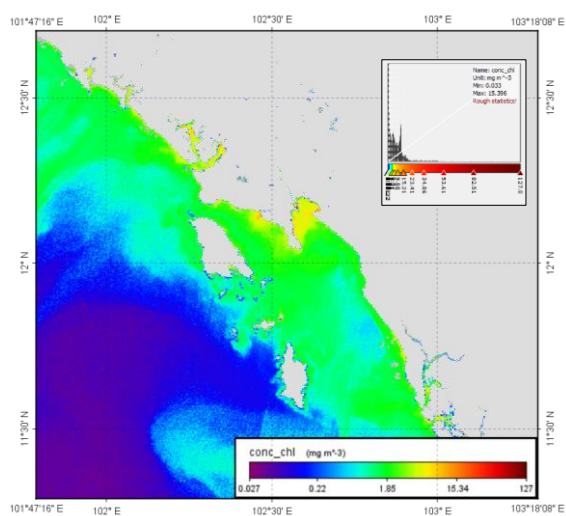


c) 14 มกราคม 2564 (RGB-17,5,2)

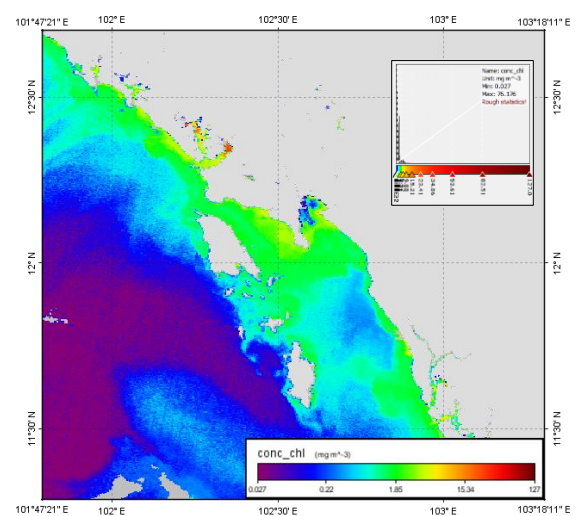


d) 26 มีนาคม 2565 (RGB-17,5,2)

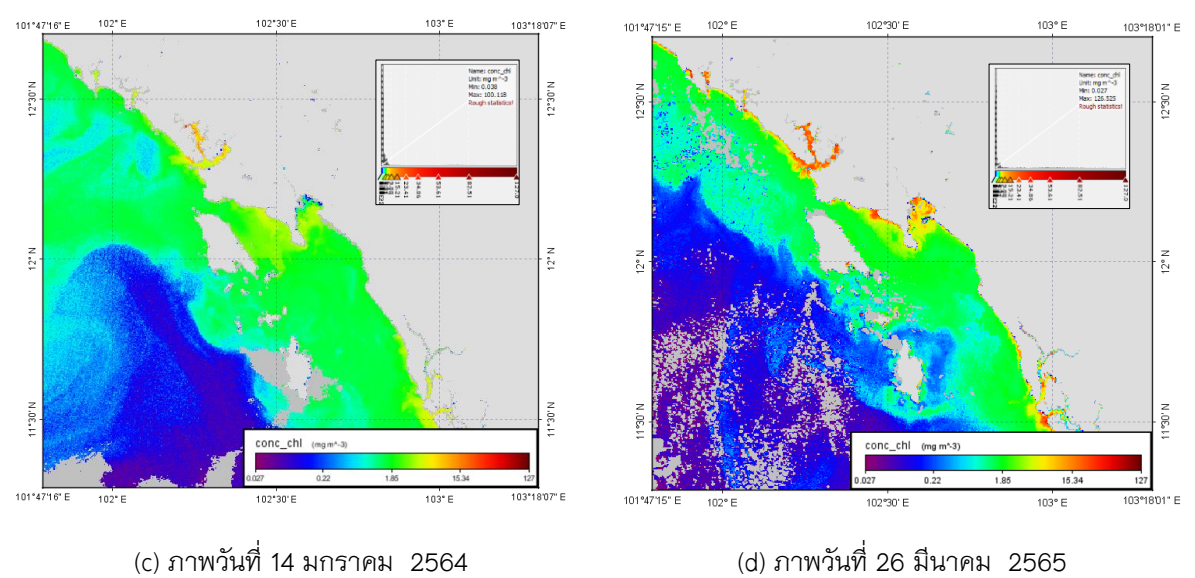
รูปที่ 4 ตัวอย่างข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม Sentinel-3 บริเวณพื้นที่ศึกษา



(a) ภาพวันที่ 17 พฤศจิกายน 2563



(b) ภาพวันที่ 18 พฤศจิกายน 2563



รูปที่ 5 การประมาณค่าคลอโรฟิลล์-เอ จากข้อมูลภาพ Sentinel-3 ที่ผ่านกระบวนการ C2RCC

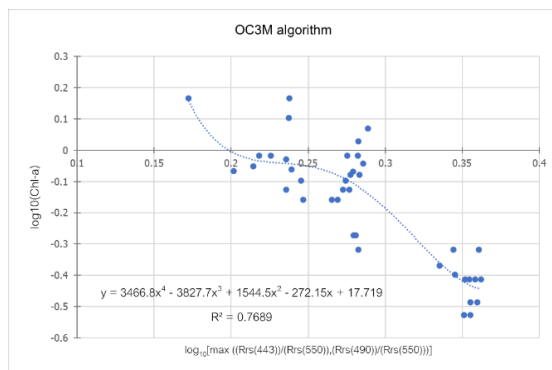
ตารางที่ 3 ตัวอย่างข้อมูลค่าการสะท้อนตามช่วงคลื่นของดาวเทียมรายสถานี ในวันที่ 17 พฤศจิกายน 2563 และ ค่าคลอโรฟิลล์-เอ ที่วัดได้จากภาคสนาม ในวันที่ 18 พฤศจิกายน 2563

Station	Latitude	Longitude	Chlorophyll-a (mg/m ³)	Reflectance values of each wavelength (nm)			
				442.5	490	510	560
F1	12.033072	102.610939	0.85	0.139300004	0.114799999	0.102899998	0.079800002
F2	12.059907	102.636079	1.17	0.137999997	0.113899998	0.100699998	0.077699997
F3	12.091420	102.658443	1.47	0.142299995	0.120399997	0.111299999	0.095700003
F4	12.031218	102.730101	0.96	0.137600005	0.115000002	0.104099996	0.083300002
F5	12.000587	102.704931	0.81	0.133599997	0.108499996	0.093999997	0.068400003
F6	11.973206	102.675524	0.83	0.135499999	0.110900000	0.096199997	0.070600003
F7	11.887099	102.698711	0.48	0.126599997	0.096900001	0.082199998	0.057300001
F8	11.907837	102.729153	0.23	0.129299998	0.102499999	0.087300003	0.061700001
F9	11.930357	102.759523	0.91	0.129299998	0.103500001	0.090099998	0.067000002
F10	11.843592	102.797688	0.21	0.132300004	0.106600001	0.092100002	0.066399999
F11	11.815068	102.773618	0.39	0.127900004	0.099200003	0.083099999	0.056899998
F12	11.789891	102.748040	0.33	0.127100006	0.097900003	0.082000002	0.056100000
F13	11.713111	102.799775	0.39	0.127100006	0.097999997	0.082000002	0.055700000
F14	11.735716	102.826770	0.30	0.128399998	0.099100001	0.083499998	0.057200000
F15	11.760800	102.854511	0.40	0.132799998	0.107000001	0.094700001	0.073100001

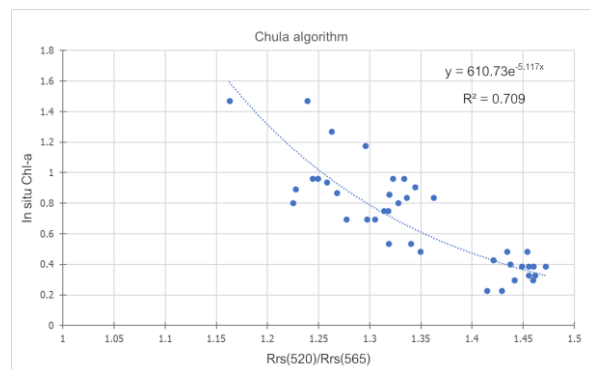
ตารางที่ 4 แสดงผลประสิทธิภาพของของอัลกอริทึมสำหรับการประมาณค่าคลอโรฟิลล์-เอ โดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม Sentinel-3 ในบริเวณชายฝั่งทะเลจังหวัดตราด

ที่	ชื่ออัลกอริทึม	รูปแบบอัลกอริทึมต้นฉบับ	R ²	หมายเหตุ
1	OC3M algorithm (O'Reilly et al., 2000)	$C_{chl-a} = 10^{(17.719 - 272.15R + 1544.5R^2 - 3827.7R^3 + 3466.8R^4)}$; $R = \log_{10}[\max(\frac{Rrs(443)}{Rrs(550)}, \frac{Rrs(490)}{Rrs(550)})]$ RMSE: 0.86 MAPE: 140.68, R= -0.88	0.77 n = 40	เปลี่ยนช่วงคลื่น 443 nm และ 550 nm เป็น 442.5 nm และ 560 nm
2	Chula algorithm (Matsumura et al., 2006)	$Chl_{chula} (\mu g/l) = 610.73 \exp(-5.117R)$; $R = Rrs(520)/Rrs(565)$ RMSE: 0.30 MAPE: 42.12, R= 0.84	0.71 n = 40	เปลี่ยนช่วงคลื่น 520 nm และ 565 nm เป็น 510 nm และ 560 nm
3	BUU algorithm	$Chl_{BUU} = -5.3156 + 9.1538R - 3.4043R^2$; $R = Rrs(490)/Rrs(560)$ RMSE: 0.30 MAPE: 38.33, R= -0.81	0.66 n = 40	

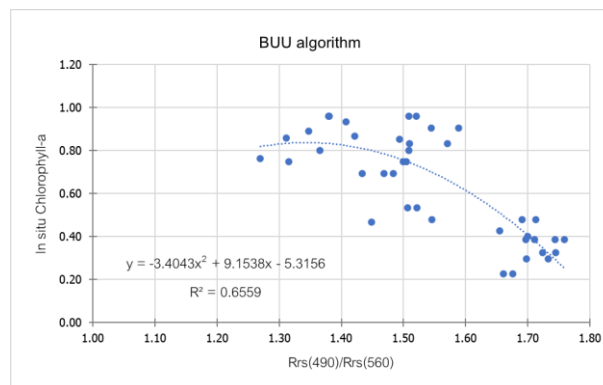
n หมายถึงจำนวนชุดข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์



(a) OC3M algorithm



(b) Chl_{Chula} algorithm

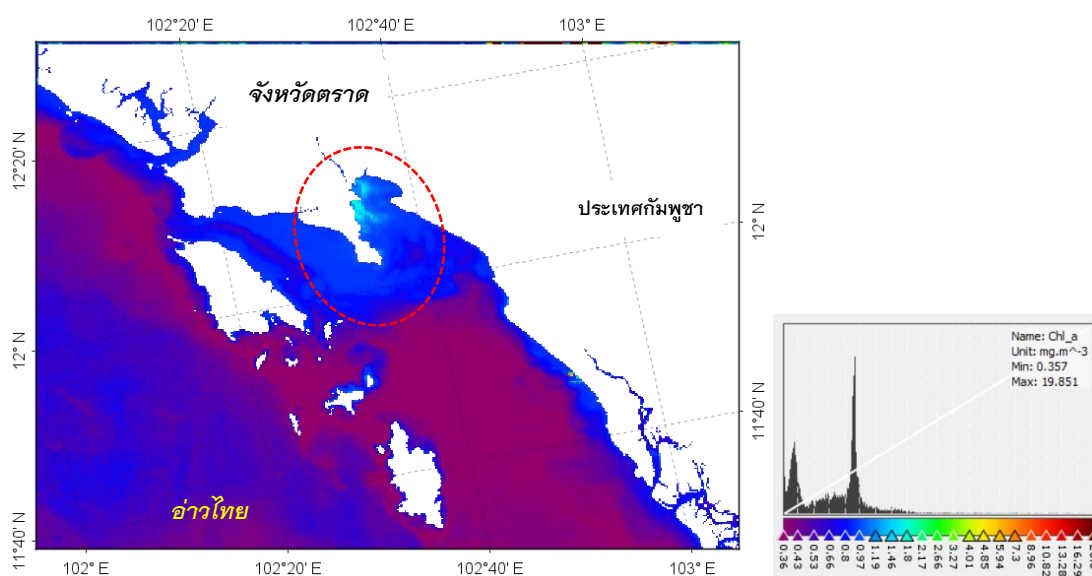


(c) Chl_{BUU} algorithm

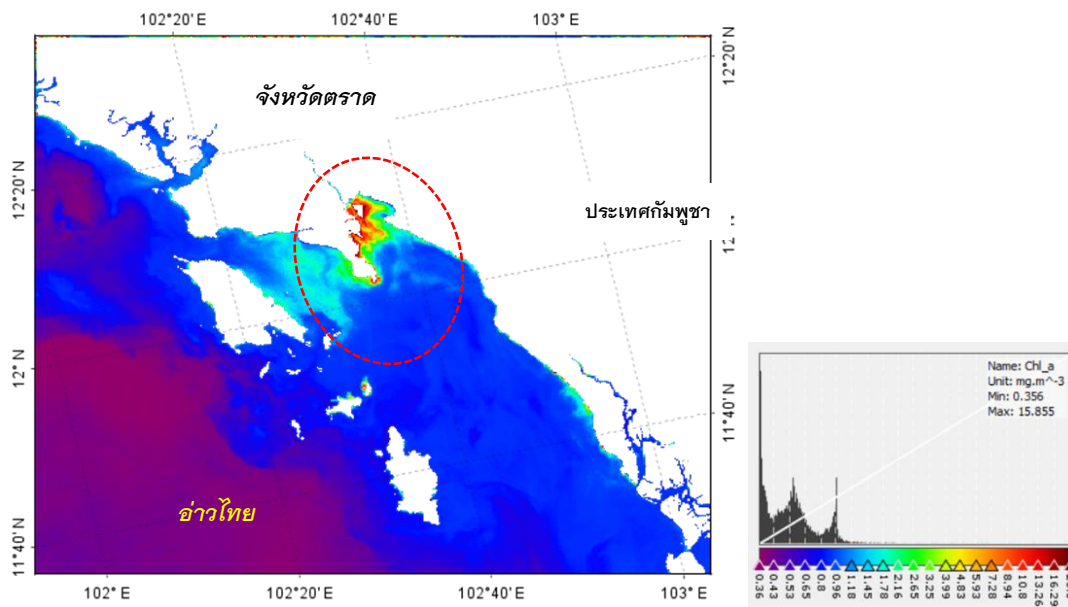
รูปที่ 6 กราฟแสดงการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูลค่าคลอโรฟิลล์-เอ จากภาคสนามและภาพถ่ายจากดาวเทียมของทั้ง 3 อัลกอริทึม (a) OC3M algorithm (b) Chl_{Chula} algorithm and (c) Chl_{BUU} algorithm

สำหรับข้อมูลภาพชุดเดียวกันจะถูกนำไปวิเคราะห์โดยแปลงจากค่าพลังงานการแผ่รังสีไปเป็นค่าการสะท้อน (Radiance to reflectance) จากนั้นจึงนำเข้าสู่ข้อมูลค่าการสะท้อนเพื่อการสร้างสมการของอัลกอริทึมที่ต้องการ และนำไปสู่การวิเคราะห์หาค่าคลอโรฟิลล์-เอ ผลที่ได้แสดงดัง ตารางที่ 4 ซึ่งเมื่อพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ พบว่า อัลกอริทึม OC3M มีค่าสูงสุด ($R^2=0.77$) รองลงมาเป็น Chl_{Chula} algorithm ($R^2=0.71$) ซึ่งมีความแตกต่างกันไม่มากนัก ส่วน Chl_{BUU} algorithm ให้ค่าสัมประสิทธิ์น้อยที่สุด ($R^2=0.66$) แต่เมื่อพิจารณาจากความแม่นยำโดยใช้ค่า RMSE และ MAPE แล้วพบว่าอัลกอริทึม OC3M มีค่าความแม่นยำน้อยกว่าทั้ง Chl_{Chula} และ Chl_{BUU} algorithm เนื่องจาก OC3M เป็นอัลกอริทึมที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อนำไปใช้ในการประมาณค่าคลอโรฟิลล์ของพื้นผิวน้ำทะเลทั่วโลกเมื่อถูกนำมาใช้กับพื้นที่ชายฝั่งจึงมีความแม่นยำลดน้อยลง ทั้งนี้ทั้งสามอัลกอริทึมมีผลค่าความสัมพันธ์ (R) มากกว่าร้อยละ 80 ซึ่ง แลกอริทึม OC3M และ Chl_{BUU} algorithm มีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้าม ส่วน Chl_{Chula} algorithm มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน ดังแสดงข้อมูลในตารางที่ 4 และแสดงผลกราฟ ดังรูปที่ 6 สำหรับภาพตัวอย่างของข้อมูลดิบแสดงในรูปแบบที่ 4 และแสดงตัวอย่างข้อมูลค่าการสะท้อนตามช่วงคลื่นของดาวเทียมรายสถานี ในวันที่ 17 พฤศจิกายน 2563 และค่าคลอโรฟิลล์-เอ ที่วัดได้จากภาคสนาม ในวันที่ 18 พฤศจิกายน 2563 ในตารางที่ 3

ตารางที่ 5 แสดงผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ (R) ของปริมาณความเข้มข้นของค่าคลอโรฟิลล์-เอ ที่ตรวจวัดได้จากภาคสนาม (In situ) จากข้อมูลดาวเทียม Sentinel-3 ที่ประมวลผลผ่านกระบวนการ C2RCC โดยใช้อัลกอริทึมโครงข่ายประสาทเทียม (Neural network: NN) และจากชุดข้อมูลที่ดีที่สุดที่ได้จากอัลกอริทึมท้องถิ่น (OC3M algorithm) เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์ที่มีเป้าหมายเพื่อต้องการทราบว่าค่าปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ ที่ตรวจวัดได้จากทั้ง 4 รูปแบบ (NN, OC3M, Chl_{Chula} และ Chl_{BUU}) นั้น สามารถนำรูปแบบการตรวจวัดแบบใดมาใช้ทดแทนค่าที่ตรวจวัดได้จากภาคสนาม ทั้งนี้พบว่าอัลกอริทึมที่มีค่าความสัมพันธ์กับข้อมูลภาคสนามสูงที่สุด คือ อัลกอริทึมของ NN ที่ได้จากกระบวนการ C2RCC จากดาวเทียม Sentinel-3 (0.68) และ อัลกอริทึม OC3M (0.68) นอกจากนี้ยังพบว่าผลที่ได้จากการวิเคราะห์ของอัลกอริทึมท้องถิ่นทั้ง 3 อัลกอริทึม (OC3M, Chl_{Chula} และ Chl_{BUU}) นั้น มีค่าไปในทิศทางเดียวกันโดยมีค่าความสัมพันธ์กันมากกว่าร้อยละ 80



(a) ภาพวันที่ 18 พฤศจิกายน 2563



(b) ภาพวันที่ 14 มกราคม 2564

รูปที่ 7 แสดงผลที่ได้จากกระบวนการประมาณค่าคลอโรฟิลล์-เอ โดยใช้สมการ OC3M

ตารางที่ 5 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) ของข้อมูลปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ ที่ได้จากภาคสนามและจากการประมาณค่าโดยอัลกอริทึม

	In_situ	Sentinel-3(NN)	OC3M algorithm
In_situ	1		
Sentinel-3(NN)	0.68	1	
OC3M algorithm	0.68	0.64	1

สรุปและอภิปรายผล

การตรวจวัดความเข้มข้นของปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ จากภาคสนามในบริเวณชายฝั่งทะเลทางทิศใต้ของอ่าวตราด จังหวัดตราด จำนวน 3 ครั้ง ได้แก่เดือน พฤศจิกายน 2563 มกราคม 2564 และ มีนาคม 2565 พบว่ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.65 ± 0.38 0.74 ± 0.18 และ 1.05 ± 0.10 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ผลการนำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ร่วมกับข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม Sentinel-3 เพื่อนำไปวิเคราะห์หาอัลกอริทึมที่ได้จากข้อมูลดาวเทียมที่ดีที่สุด พบว่าอัลกอริทึม OC3M ให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจสูงที่สุด ($R^2=0.77$) และมีความเหมาะสมที่นำไปใช้ในการประมาณค่าคลอโรฟิลล์-เอ ในพื้นที่ชายฝั่งทะเลของจังหวัดตราด นอกจากนี้ผลการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ ที่ตรวจวัดได้จากภาคสนามกับอัลกอริทึม NN และอัลกอริทึม OC3M พบว่า อัลกอริทึม OC3M และ อัลกอริทึม NN จากดาวเทียม Sentinel-3 มีค่าความสัมพันธ์ (R) กับข้อมูลจากภาคสนามที่ไม่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงแนะนำให้ใช้อัลกอริทึม NN จากดาวเทียม Sentinel-3 ที่สามารถนำไปใช้ในการประมาณค่าคลอโรฟิลล์-เอ ในพื้นที่ชายฝั่งทะเลของจังหวัดตราด ได้โดยไม่ต้องทำการวิเคราะห์ผ่านกระบวนการของ อัลกอริทึมต่างๆ ทำให้มีความสะดวกและรวดเร็วมากยิ่งขึ้น

จากการตรวจวัดข้อมูลจากภาคสนามแสดงให้เห็นปริมาณความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์-เอ ในบริเวณชายฝั่งทะเลของจังหวัดตราด ในภาพรวมมีค่าไม่แตกต่างกันมากนักสำหรับครั้งที่ 1 และ ครั้งที่ 2 เมื่อพิจารณาจากค่าต่ำสุด-สูงสุด แต่จะมีความแตกต่างกันกับครั้งที่ 3 โดยเฉพาะในสถานีที่ 4 ที่พบมีค่าคลอโรฟิลล์-เอ สูงที่สุดเพียงสถานีเดียวเท่านั้น เนื่องจากพบมีแพลงก์ตอนอยู่หนาแน่นส่งผลให้มีค่าคลอโรฟิลล์-เอ สูง ซึ่งบริเวณดังกล่าวเป็นที่น้ำท่าไหลมาจากคลองที่มีอ่างเก็บน้ำอยู่ด้านบนฝั่งซึ่งในช่วงฤดูฝนจะมีการปล่อยน้ำลงมาส่งผลให้มีสารอาหารเพิ่มขึ้นและมีโอกาสเกิดการสะสมของแพลงก์ตอนได้ในที่สุด (ภัทรารุณ ไทยพิชิตบุรพา และคณะ, 2566) นั้นหมายความว่าอิทธิพลของกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ที่เกิดขึ้นบนแผ่นดิน (Land-based) มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณค่าคลอโรฟิลล์-เอ ในแหล่งน้ำชายฝั่ง โดยจะมีสารอาหารที่ถูกพาลงสู่ทะเลพร้อมกับน้ำท่า (โดยเฉพาะสารอินทรีย์ที่มีปริมาณไนโตรเจนสูง) ถ้ามีปริมาณมากก็อาจจะทำให้แพลงก์ตอนพืชมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ส่งผลต่อเพิ่มขึ้นของปริมาณค่าคลอโรฟิลล์-เอ เช่นกัน

การศึกษานี้ใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม Sentinel-3 ซึ่งเป็นดาวเทียมที่ใช้สำหรับการศึกษาในทะเลและมหาสมุทร (Ocean color) ซึ่งมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับชุดดาวเทียม Aqua/Terra -MODIS (รายละเอียด 1,000 เมตร) แต่มีความละเอียดเชิงพื้นที่ดีกว่า (รายละเอียด 300 เมตร) อุปสรรคใหญ่ของการใช้ข้อมูลดาวเทียมระบบ passive สำหรับการศึกษาทางทะเลและชายฝั่งคือ ความยากของการได้มาซึ่งข้อมูลที่มีสภาพปลอดภัย ดังเช่นการศึกษาในครั้งนี้ ที่สามารถดาวน์โหลดข้อมูลได้เฉพาะในช่วงหน้าแล้ง (Dry season) เท่านั้น ส่วนหน้าฝน (Wet season) ไม่สามารถดาวน์โหลดข้อมูลที่ปลอดภัยได้ ทำให้เป็นข้อจำกัดในการศึกษาข้อมูลทางทะเล จากผลของการวิเคราะห์ C2RCC ถูกนำมาใช้ในการปรับแก้ค่าการกระเจิงของพลังงานจากบรรยากาศ ซึ่งเหมาะสำหรับแหล่งน้ำที่มีความขุ่นสูงๆ ดังเช่น น้ำชายฝั่งหรือปากแม่น้ำ แต่การวิเคราะห์โดยใช้ ACOLITE จะให้ค่าความถูกต้องแม่นยำในการประมาณค่าคลอโรฟิลล์-เอ และค่าความขุ่น (Turbidity) มากกว่าวิธี C2RCC ในกรณีการใช้ข้อมูล Sentinel-3 (Vanhellemont and Ruddick, 2021) สำหรับผลของการวิเคราะห์ค่าคลอโรฟิลล์-เอ โดยใช้ทั้ง 3 อัลกอริทึม โดย BUU algorithm ถูกพัฒนาขึ้นจากการศึกษาครั้งนี้ โดยใช้รูปแบบโครงสร้างอย่างง่าย และผลจากการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจมีค่าต่ำที่สุด ($R^2 = 0.66$) เมื่อเทียบกับ OC3M และ Chula algorithms ที่มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.77 และ 0.71 ตามลำดับ

ผลของการนำอัลกอริทึม OC3M ไปประยุกต์ใช้ประมาณค่าคลอโรฟิลล์-เอ สามารถแสดงให้เห็นการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ ได้ ซึ่งพบว่าวันที่ 18 พฤศจิกายน 2563 มีค่าอยู่ในช่วง 0.36-19.85 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และมีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.55 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และ วันที่ 14 มกราคม 2564 มีค่าอยู่ในช่วง 0.36-15.85 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร มีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.80 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ทำให้พิจารณาได้ว่าในช่วงฤดูแล้งสถานะของแหล่งน้ำในบริเวณชายฝั่งของจังหวัดตราดมีความอุดมสมบูรณ์อยู่ในระดับปานกลาง ตามเกณฑ์การจำแนกสถานะของสารอาหารในแหล่งน้ำทะเล ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ ภัทรารุณ ไทยพิชิตบุรพา และคณะ (2566) ที่รายงานว่า บริเวณพื้นที่ส่วนใหญ่ของอ่าวตราด มีความอุดมสมบูรณ์อยู่ในระดับ Mesotrophic ที่พบปริมาณค่าคลอโรฟิลล์-เอ อยู่ในช่วง 1-3 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณโครงการดาวเทียมสำรวจทรัพยากรของ EU Copernicus Program ภายใต้โครงการอวกาศยุโรป (European Space Agency หรือ ESA) สำหรับการให้การสนับสนุนให้มีการนำข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมไปใช้ประโยชน์ได้โดยไม่คิดมูลค่า ซึ่งงานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม Sentinel-3

เอกสารอ้างอิง

- เบญจมาศ มีทรัพย์, อนุกุล บุรณประทีปรัตน์, ภัทราวุธ ไทยพิชิตบุรพา, สุจิตา กาญจน์อติเรกलग และ ศุภวัตร กาญจน์อติเรกलग. (2564). พลัษข์ของสารอาหารอนินทรีย์ละลายน้ำและตะกอนแขวนลอยที่บริเวณปากแม่น้ำตราด จังหวัดตราด ปี พ.ศ. 2561. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*, 26(1), 526–544.
- ประสาร อินทเจริญ, อนุกุล บุรณประทีปรัตน์, อากิฮิโกะ โมริโมโตะ, เชนิโยโซค จินตเศรณี และ วิโรจน์ ละของมณี. (2561). อัลกอริทึมท้องถิ่นเพื่อการวิเคราะห์คลอโรฟิลล์-เอ ที่ผิวทะเลโดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม MODIS บริเวณอ่าวไทยตอนบน. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*, 23(2), 608–623.
- ภัทราวุธ ไทยพิชิตบุรพา และ จารุมาศ เมฆสัมพันธ์. (2564). อิทธิพลของสารอาหารอนินทรีย์ละลายน้ำต่อการเปลี่ยนแปลงสภาวะยูโทรฟิเคชันในบริเวณอ่าวตราด จังหวัดตราด. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*, 26(2), 770–782.
- ภัทราวุธ ไทยพิชิตบุรพา, อนุกุล บุรณประทีปรัตน์, วิชญา กันบัว, ประสาร อินทเจริญ, เบญจวรรณ คชเสนี และ มิถิลา ปราณศิลป์. (2566). องค์ประกอบทางชนิดของแพลงก์ตอนพืชและคุณภาพน้ำบริเวณชายฝั่งทะเล จังหวัดตราด. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*, 28(2), 1363–1380.
- ลัดดา วงศ์รัตน์. (2542). *แพลงก์ตอนพืช*. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.
- สุจิตรา บุญจันทร์, มิถิลา ปราณศิลป์, อิศรา อาศิรนนต์ และ อนุกุล บุรณประทีปรัตน์. (2566). การศึกษากระแสน้ำไวดูเวอร์เจนท์และคอนเวอร์เจนท์บริเวณชายฝั่งจังหวัดตราด โดยใช้แบบจำลองอุทกพลศาสตร์. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*, 28(1), 175–194.
- สุจิตา กาญจน์อติเรกलग, ศุภชัย ยืนยง, กุหลาบทิพย์ โพธิ์ทอง, ปวีณา โชติช่วง, อนุกุล บุรณประทีปรัตน์ และ ศุภวัตร กาญจน์อติเรกलग. (2560). พลัษข์ของสารอาหารอนินทรีย์ละลายน้ำและของแข็งแขวนลอยบริเวณปากแม่น้ำพังราด จังหวัดระยอง ในฤดูแล้งและฤดูน้ำมาก ในปี พ.ศ. 2558. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*, 22(3), 500–509.
- อนุกุล บุรณประทีปรัตน์ และ อัญญดา มีสุข. (2556). การเปลี่ยนแปลงเชิงเวลาของปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ บริเวณพื้นผิวทะเลอันดามันจากการประมวลผลภาพถ่ายดาวเทียมอะควา โมดิส (Aqua MODIS). *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*, 18(1), 194–201.
- Leenawarat, D., Luang-on, J., Buranapratheprat, A. and Ishizaka, J. (2022). Influences of tropical monsoon and El Nino Southern Oscillations on surface chlorophyll-a variability in the Gulf of Thailand. *Frontiers in Climate*, 4, 936011 doi: 10.3389/fclim.2022.936011
- O'Reilly, J. E., Maritorena, S., Siegel, D. A., O'Brien, M. C., Toole, D., Mitchell, B. G., ... & Culver, M. (2000). *Ocean color chlorophyll-a algorithm for SeaWiFS, OC2, and OC4: Version 4*. SeaWiFS postlaunch calibration and validation analyses, Part, 3, 9–23.
- Matsumura, S., Siripong, A., & Lirdwitayaprasit, T. (2006). Underwater optical environment in the Upper Gulf of Thailand. *Coastal Marine Science*, 30(1), 36–43.
- EUMETSAT. (2021). *Sentinel-3 OLCI Marine User Handbook*. EUMOPS-SEN3/MAN/17/907205, v2G e-signed.
- Horning, N., Robinson, J. A., Sterling, E. J., Turner, W. & Spector, S. (2010). *Remote sensing for ecology and conservation: a handbook of techniques*. Oxford University Press.

Strickland, J. D. H. & Parson, T. R. (1972). *A Practical Handbook of Seawater Analysis*. Fishery Research Board of Canada, Ottawa.

Vanhellemont, Q. & Ruddick, K. (2021). Atmospheric correction of Sentinel-3/OLCI data for mapping of suspended particulate matter and chlorophyll-a concentration in Belgian turbid coastal waters. *Remote sensing of environment*, 256, 112284.