อัลกอริธึมท้องถิ่นเพื่อการวิเคราะห์คลอโรฟิลล์-เอ ที่ผิวทะเลโดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม MODIS บริเวณอ่าวไทยตอนบน

Local Algorithm for the Estimation of Sea Surface Chlorophyll-A Based on MODIS Imageries in the Upper Gulf of Thailand

ประสาร อินทเจริญ[1]*, อนุกูล บูรณประทีปรัตน์[1], อากิฮิโกะ โมริโมโตะ[2], เผชิญโชค จินตเศรณี[1] และ วิโรจน์ ละอองมณี[3]

Prasarn Intacharoen[1*], Anukul Buranapratheprat[1], Akihiko Morimoto[2], Pachoenchoke Jintaseranee[1] and Wirote La-ongmanee[3]

[1]*ภาควิชาวาริชศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา*

[3]*คณะเทคโนโลยีทางทะเล มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตจันทบุรี*

[1] *Department of Aquatic Science, Faculty of Science, Burapha University*

[2]*Center for Marine Environmental Studies (CMES), Ehime University, Japan*

[3]*Faculty of Marine Technology, Burapha University Chanthaburi Campus*

Received : 13 March 2018

Accepted : 29 April 2018

Published online : 3 May 2018

บทคัดย่อ

เนื่องจากการประมาณค่าคลอโรฟิลล์-เอ ด้วยข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม Aqua/Terra-MODIS Level 2 ในบริเวณอ่าวไทยตอนบนที่ได้จากอัลกอริธึมสากลมีค่าที่สูงกว่าปกติ การศึกษานี้จึงมีจุดมุ่งหมายเพื่อวิเคราะห์และปรับปรุงอัลกอริธึมสากลให้สามารถนำไปใช้กับพื้นที่นี้ได้เป็นการเฉพาะ ประสิทธิภาพในการประมาณค่าคลอโรฟิลล์-เอ ด้วยอัลกอริธึมที่ดัดแปลงมาจากอัลกอริธึมสากล ได้แก่ OC3M, Aiken-C, rGBr และ Chula กับข้อมูลดาวเทียม MODIS ได้ถูกทดสอบกับข้อมูลคลอโรฟิลล์-เอ ที่ได้จากการตรวจวัด พบว่าอัลกอริธึม OC3M ให้ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (R^2) ดีที่สุด (0.14) ค่ารากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) น้อยที่สุด (4.12) และค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE) อยู่ในระดับปานกลาง (86.30) เมื่อนำผลการประมาณค่าคลอโรฟิลล์-เอ จากอัลกอริธึมท้องถิ่นนี้ ไปเปรียบเทียบกับอัลกอริธึมสากลและอัลกอริธึมอื่น พบว่าทุกอัลกอริธึมให้ผลการประมาณค่าเป็นไปในทิศทางเดียวกัน แต่อัลกอริธึมสากลให้ผลลัพท์มีมีค่าสูงกว่าค่าที่วัดจริงในเกือบทุกสถานีโดยเฉพาะสถานีใกล้ปากแม่น้ำสายหลัก ในขณะที่อัลกอริธึมจากการศึกษาในครั้งนี้ให้ผลการคำนวณที่ใกล้เคียงกับค่าจากการตรวจวัดมากกว่าอัลกอริธึมอื่น อัลกอริธึมท้องถิ่นที่พัฒนาขึ้นสามารถนำไปใช้เพื่อการประมาณค่าคลอโรฟิลล์-เอ ที่ผิวทะเลในอ่าวไทยให้มีความถูกต้องมากขึ้นได้

คำสำคัญ : อัลกอริธึมคลอโรฟิลล์-เอ, MODIS, อ่าวไทยตอนบน

***Corresponding author. E-mail** : prasarni@buu.ac.th

Abstract

Because chlorophyll-a data calculated by using the universal algorithm applied on Aqua/Terra-MODIS Level 2 imageries are overestimated, this study aims to analyze and develop a local algorithm, from the universal algorithms, specific for chlorophyll-a estimation in the upper Gulf of Thailand. Chlorophyll-a estimated by using algorithms modified from the universal algorithms namely OC3M, Aiken-C, rGBr and Chula with the MODIS satellite data were examined by comparing with measured chlorophyll-a. The results showed that modified OC3M algorithm gave the highest value of the coefficient of determination (R^2) (0.41), the lowest value of root mean square error (RMSE) (4.12) and moderate of mean absolute percentage error (MAPE) (86.30). When the performance of the local algorithm was compared with those of the universal and another algorithm, it was found that all algorithms provided estimated chlorophyll-a results in the same trend. However, the results of the universal algorithms were overestimated for nearly all stations, especially the stations near the main river mouths, while those of the local algorithm developed from this study provided the best performance for chlorophyll-a prediction. The developed algorithm can be applied for the better estimation of sea surface chlorophyll-a for the upper Gulf of Thailand.

Keywords : chlorophyll-a algorithm, Aqua/Terra-MODIS level 2, Upper Gulf of Thailand

บทนำ

พื้นที่อ่าวไทยตอนบนเป็นบริเวณที่มีคุณค่าและมีความสำคัญเป็นอย่างมากสำหรับประเทศไทย เนื่องจากมีทรัพยากรทางการประมงที่อุดมสมบูรณ์ทั้งในทะเลและชายฝั่ง เป็นพื้นที่ยุทธศาสตร์ที่สำคัญทางเศรษฐกิจที่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมด้านพาณิชย์นาวี ตลอดจนเป็นแหล่งท่องเที่ยวและกิจกรรมนันทนาการต่างๆ มากมาย ปัจจุบันผลจากการขยายตัวทางเศรษฐกิจของประเทศไทยได้มีการพัฒนาพื้นที่ชายฝั่งทะเลและแหล่งท่องเที่ยว ทำให้อ่าวไทยตอนบนมีคุณภาพน้ำที่เปลี่ยนแปลงไปในทิศทางที่เสื่อมโทรมลง เนื่องจากเป็นแหล่งที่ต้องรองรับสารอาหารในปริมาณสูงไหลผ่านทางแม่น้ำสายหลักทั้ง 4 สาย ได้แก่ แม่กลอง ท่าจีน เจ้าพระยา และบางปะกง (Chumnantana, 2006) ส่งผลให้มีการเจริญเติบโตอย่างอย่างรวดเร็วของแพลงก์ตอนพืช ที่จะมีผลต่อเนื่องทำให้เกิดปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสีได้โดยง่ายและมีความถี่ของการเกิดปรากฏการณ์เพิ่มมากขึ้น โดยทั่วไปมักพบว่าสัมพันธ์กับกิจกรรมต่างๆ บนฝั่ง ไม่ว่าจะเป็นกิจกรรมจากชุมชน ที่อยู่อาศัยหรือโรงงานอุตสาหกรรม ล้วนเป็นแหล่งที่ทำให้มีการเพิ่มขึ้นของสารอินทรีย์ในบริเวณอ่าวไทยได้ (Institute of Marine Science, 2006) การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของปริมาณคลอโรฟิลด์-เอ ที่มาจากแพลงก์ตอนพืช สามารถนำมาใช้เป็นดัชนีเพื่อติดตามและเฝ้าระวังการเปลี่ยนแปลงสภาวะคุณภาพน้ำของอ่าวไทยได้โดยตรง (Piemsomboon, 2009) ในการศึกษาที่ต่อเนื่องทั้งในเชิงเวลาและเชิงพื้นที่นั้นจะทำให้ทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณธาตุอาหารในน้ำและการสะพรั่งของแพลงก์ตอนพืชได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น (Na-u-dom *et al.* ,2013) จากการประเมินสถานการณ์ความอุดมสมบูรณ์ของสารอาหารบริเวณอ่าวไทยตอนบนพบว่าอยู่ในระดับที่อุดมสมบูรณ์สูง (Eutrophic) โดยเฉพาะบริเวณปากแม่น้ำสายหลักที่มีระดับที่อุดมสมบูรณ์สูงมาก (Hypertrophic) ซึ่งสอดคล้องกับพื้นที่ที่มักจะพบปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสีอย่างสม่ำเสมอ เช่น ปากแม่น้ำบางปะกง ปากคลองบางตะบูนและปากคลองบ้านแหลม เป็นต้น อย่างไรก็ตามการพบการเกิดปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสีบ่อยครั้ง

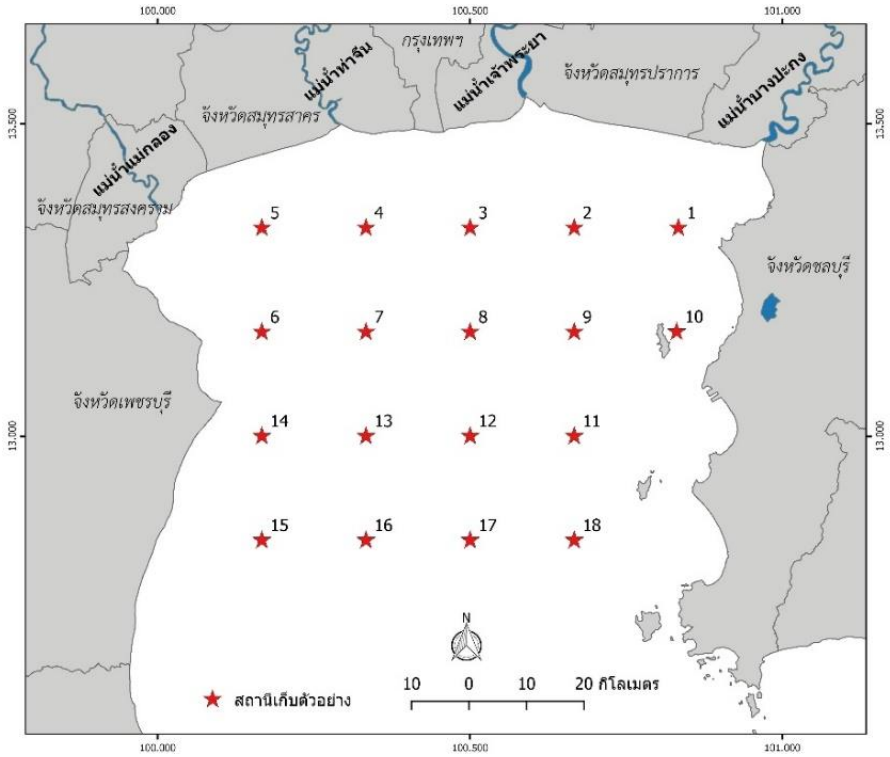
ย่อมเป็นตัวบ่งชี้ให้เห็นว่าแหล่งน้ำนั้นอยู่ในสภาพเสื่อมโทรม (Chumnantana, 2006) จากการบันทึกข้อมูลที่ผ่านมาพบว่าการเกิดเหตุการณ์น้ำเปลี่ยนสีในบริเวณอ่าวไทยตอนบนมากกว่า 220 ครั้ง ตั้งแต่ปี 2500-2559 (Intacharoen, 2017)

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำทะเลทั้งในเชิงพื้นที่และเชิงเวลาในภาพกว้างเพื่อให้ทันกับการเปลี่ยนแปลงนั้น ปัจจุบันนิยมใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม ซึ่งเป็นระบบการรับรู้จากระยะไกล (Remote sensing) เป็นเครื่องมือ ในการติดตามและเฝ้าระวัง ได้มีการพัฒนาอัลกอริธึมที่อาศัยคุณสมบัติค่าการสะท้อนของพลังงานแสงบนพื้นผิวทะเลไปคำนวณหาความสัมพันธ์กับค่าความเข้มข้นของคลอโรฟิลด์-เอ ที่ตรวจวัดได้จากภาคสนาม เช่น การนำข้อมูลเชิงเลขจากดาวเทียม MERIS โดยใช้อัลกอริธึมของ Chula algorithm เพื่อศึกษาการกระจายตัวเชิงพื้นที่และเวลาที่จะสัมพันธ์กับสภาวะยูโทรฟิเคชั่นในบริเวณอ่าวไทยตอนบน (Buranaprathepratt *et al.,* 2009) การใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมของ Aqua/Terra-MODIS level 2 ในการประเมินคุณภาพน้ำทะเลและปรากฏการน้ำทะเลเปลี่ยนสีในบริเวณอ่าวไทยตอนบน (Intacharoen, 2017) Chauhan *et al.* (2002) รายงานผลการศึกษาเปรียบเทียบอัลกอริธึมที่นำไปใช้ในการประมาณค่าคลอโรฟิลด์ ในทะเลอาระเบียน โดยใช้ข้อมูลเชิงเลขของดาวเทียม IRS-P4 OCM sensor ซึ่งมีการใช้อัลกอริธึม 6 แบบ ได้แก่ Aiken-C, POLDER-C, OCTS-C, Morel-3, OC2 and OC4 ผลการศึกษาพบว่า อัลกอริธึม OC2 และ OC4 ให้ผลที่ดีที่สุด (R^2 = 0.85, RMSE = 0.15 และ 0.14 ตามลำดับ) อย่างไรก็ตามในการประมาณค่าของคลอโรฟิลด์-เอ โดยใช้อัลกอริธึมสากล เช่น OC3M นั้นมักจะพบว่าให้ผลการประมาณค่าที่สูงกว่าปกติโดยเฉพาะในบริเวณที่มีค่าคลอโรฟิลด์-เอ มากกว่า 14 มก./ลบ.ม. (Ha *et al.*, 2014)

สำหรับการศึกษาวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงอัลกอริธึมท้องถิ่นในการวิเคราะห์ความเข้มข้นของปริมาณคลอโรฟิลด์-เอ ในบริเวณอ่าวไทยตอนบนโดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม Aqua/Terra-MODIS Level 2 และข้อมูลภาคสนามที่แตกต่างจากงานวิจัยอื่นที่ผ่านมา ผลที่ได้ทำให้สามารถวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่และเชิงเวลาของคลอโรฟิลด์-เอ ในบริเวณอ่าวไทยตอนบนได้อย่างต่อเนื่องและรวดเร็ว เป็นประโยชน์ในการเฝ้าระวังและติดตามปรากฏการณ์การเกิดน้ำทะเลเปลี่ยนสีได้ต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

อ่าวไทยตอนบนตั้งอยู่บนพิกัดทางภูมิศาสตร์ที่ ลองจิจูด 100° 00" ถึง 101° 00" องศาตะวันออก และละติจูด 12° 30" ถึง 13° 30" องศาเหนือ (ภาพที่ 1) ครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมดประมาณ 10,000 ตารางกิโลเมตร เป็นลักษณะอ่าวกึ่งปิดที่มีพื้นที่ล้อมรอบด้วยแผ่นดินสามด้านยกเว้นทางทิศใต้ของอ่าวที่เป็นพื้นเปิดเชื่อมต่อกับทะเลจีนใต้ มีระดับความลึกของน้ำเฉลี่ยประมาณ 20 เมตร โดยมีส่วนที่ลึกที่สุด 40 เมตร อยู่ทางตอนใต้ของอ่าว ลักษณะระดับน้ำขึ้นลงต่ำสุดอยู่ประมาณ 1-3 เมตร เป็นพื้นที่ที่ได้รับอิทธิพลของน้ำท่าจากแม่น้ำสายหลักสี่สาย ที่ตั้งอยู่ทางด้านทิศเหนือของอ่าว ประกอบด้วย แม่น้ำแม่กลอง แม่น้ำท่าจีน แม่น้ำเจ้าพระยาและแม่น้ำบางปะกง ได้รับอิทธิพลของลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือในช่วงเดือน พฤศจิกายนถึงเดือนมกราคมและลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ในช่วงเดือน พฤษภาคมถึงเดือนสิงหาคม (Buranaprathepratt *et al.*, 2002)



ภาพที่ 1 พื้นที่ศึกษาและสถานีเก็บตัวอย่างในอ่าวไทยตอนบน

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่สำคัญที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ได้แก่ ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม Aqua/Terra-MODIS Level 2 ซึ่งสามารถดาวโหลดได้โดยตรงจากเว็บไซต์ขององค์การบริหารการบินและอวกาศแห่งชาติ หรือนาซา (National Aeronautics and Space Administration-NASA) (https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/) โดยในการศึกษาครั้งนี้ใช้ข้อมูลภาพ MODIS ทั้งหมด 25 ภาพ ข้อมูลการสำรวจ วิเคราะห์ และตรวจวัดคุณภาพน้ำทะเลบริเวณอ่าวไทยตอนบน ในปี 2557-2558 (ได้รับความอนุเคราะห์ข้อมูลจาก อากิฮิโกะ โมริโมโตะ) ดังแสดงในตารางที่ 1 และใช้ชุดโปรแกรมวิเคราะห์ทางด้านระบบภูมิสารสนเทศ ได้แก่โปรแกรม SeaDas และ QGIS เป็นต้น

ในกระบวนการวิเคราะห์ (ภาพที่ 2) ทำการจัดเตรียมข้อมูลที่ได้จากภาคสนามซึ่งเก็บสำรวจในช่วงปี 2557-2558 จำนวน 7 เที่ยวเรือๆ ละ 18 สถานี (ภาพที่ 1) รวมข้อมูลทั้งหมด 126 ชุดข้อมูล นำมาสังเคราะห์และคัดแยกข้อมูลคลอโรฟิลด์-เอ ที่ได้จากห้องปฏิบัติการ โดยคัดเลือกเฉพาะข้อมูลชั้นบนเท่านั้น (Surface of Chlorophyll-a) จากนั้นทำการสืบค้นข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม Aqua/Terra-MODIS Level 2 และดาวโหลดข้อมูล จากช่วงเวลาเดียวกับช่วงเวลาเก็บข้อมูลภาคสนามหรือช่วงเวลาที่แตกต่างกันไม่เกิน $\pm$48 ชั่วโมง (Horning *et al.*, 2010) ทำการตรวจสอบและวิเคราะห์ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมเบื้องต้น (Pre-processing) เช่น การแปลงค่าพิกัดของภาพ (Re-projection) โดยใช้ระบบพิกัดภูมิศาสตร์ที่อ้างอิงระบบ WGS 84 ทำการตัดขอบเขตภาพเฉพาะพื้นที่อ่าวไทยตอนบน ก่อนนำไปวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป การสกัดข้อมูลค่าการสะท้อนของข้อมูลจากดาวเทียมในบริเวณอ่าวไทยตอนบนตามจุดพิกัดที่เก็บและตรวจวัดข้อมูลภาคสนาม (ภาพที่ 1) จากนั้นทำการวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นโดยการแปลงข้อมูลเชิงเลขในทางสถิติ (Data Transform) เพื่อนำไปวิเคราะห์หาความสัมพันธ์กับข้อมูลภาคสนาม การวิเคราะห์ความสัมพันธ์และสร้างอัลกอริธึมจากข้อมูลภาคสนามและข้อมูล

ค่าการสะท้อนจากดาวเทียม โดยใช้อัลกอริธึม 4 ชุด ได้แก่ OC3M, Aiken-C, rGBr และChula รูปแบบและโครงสร้างของอัลกอริธึมต้นฉบับ แสดงไว้ในตารางที่ 2 คุณลักษณะของอัลกอริธึมแต่ละแบบดังนี้

OC3M (O'Reilly *et al.,* 2000) เป็นอัลกอริธึมสากลที่นำมาใช้ในการประมาณค่าของคลอโรฟิลด์-เอ ในแหล่งน้ำชายฝั่ง ที่นำไปประยุกต์ใช้กับดาวเทียม Aqua/Terra-MODIS เป็นการเฉพาะ อัลกอริธึมนี้ถูกพัฒนาและดัดแปลงมาจาก OC4 เป็นอัลกอริธึมมาตรฐานสากลที่สามารถนำไปใช้กับแหล่งน้ำทะเลทั่วโลก แต่ถ้านำมาใช้กับแหล่งน้ำชายฝั่งเฉพาะพื้นที่นั้น จะมีค่าสูงกว่าความเป็นจริงในบางพื้นที่ ดังนั้นจึงนิยมปรับมาใช้ OC3M เช่น การศึกษาวิจัยของ Intacharoen (2017) ที่มีพื้นที่ศึกษาอยู่ในอ่าวไทยตอนบน ขณะที่ Shang *et al.* (2014); Ha *et al.* (2014) นำไปใช้ศึกษาในบริเวณตอนเหนือของทะเลจีนใต้ ชายฝั่งของประเทศเวียดนาม และ Lah *et al.* (2014) ทำการศึกษาในบริเวณช่องแคบมะละกา เป็นต้น

Aiken-C (Aiken *et al.,*1995) การใช้อัลกอริธึมนี้ประมาณค่าคลอโรฟิลด์-เอ ในแหล่งน้ำทะเล จะต้องคำนึงถึงคุณลักษณะของแหล่งน้ำนั้นว่ามีระดับความเข้มข้นมากหรือน้อย เนื่องจากถ้ามีความเข้มข้นมากกว่า 2.0 ไมโครกรัมต่อลิตร แนะนำให้ใช้อัลกอริธึมย่อยของ C_{21} แต่ถ้าความเข้มข้นน้อยกว่านี้ให้ใช้ อัลกอริธึมย่อยของ C_{23} จะให้ผลที่ดีกว่า ตัวอย่างการนำอัลกอริธึมนี้ไปใช้ได้แก่ Chauhan *et al.* (2002) ได้รายงานผลการศึกษาเปรียบเทียบกับอัลกอริธึมอื่นๆ อีก 5 แบบ ภายใต้ข้อมูลของ MODIS ซึ่งพบว่า ให้ผลการประมาณค่าในระดับที่พอใช้ สำหรับพื้นที่ของทะเลอาระเบียน แต่มีผลการรายงานที่ดีเมื่อนำไปใช้กับพื้นที่ชายฝั่งของประเทศมาเลเซีย (Marghany and Hashim, 2010) เป็นต้น

rGBr (Ha *et al*., 2014) อัลกอริธึมนี้ได้มีการปรับปรุงต่อเนื่องมาจากอัลกอริธึม RNIR ที่อ้างถึงใน Gilerson *et al.* (2010) โดยมีการปรับเปลี่ยนสัดส่วนของช่วงคลื่นมาเป็นช่วงคลื่น 551และ 443 นาโนเมตร เพื่อนำมาใช้เป็นอัลกอริธึมท้องถิ่นของพื้นที่ของอ่าวเทียนเหยิน ที่ตั้งอยู่ทางตอนเหนือของประเทศเวียดนาม เพื่อใช้ในการประมาณค่าคลอโรฟิลด์-เอ สำหรับติดตามสภาวะยูโทรฟิเคชั่น ผลที่ได้พบว่ามีความแม่นยำกว่าอัลกอริธึม RNIR และ OC3M เป็นต้น

ตารางที่ 1 ช่วงเวลาที่ทำการเก็บข้อมูลภาคสนามและภาพถ่ายจากดาวเทียม MODIS ในแต่ละช่วงเวลา

เที่ยวเรือ	วันที่เก็บข้อมูล	ภาพข้อมูลจากดาวเทียม	ฤดูกาล
1	8-10 สิงหาคม 2557	A2014224, T2014230	ฤดูฝน
2	22-24 กันยายน 2557	A2014267, T2014262, T2014276, T2014277	ฤดูฝน
3	5-7 พฤศจิกายน 2557	A2014310, A2014313, A2014315, T2014313,	ฤดูแล้ง
4	18-20 มกราคม 2558	A2014354, A2014363, T2014342, T2014343	ฤดูแล้ง
5	16-18 กุมภาพันธ์ 2858	A2015051, A2015053, T2015053	ฤดูแล้ง
6	2-4 เมษายน 2558	A2015090, A2015092, A2015094, T2015092,	ฤดูแล้ง
7	14-16 มิถุนายน 2558	A2015161, A2015162, T2015161, T2015162	ฤดูฝน

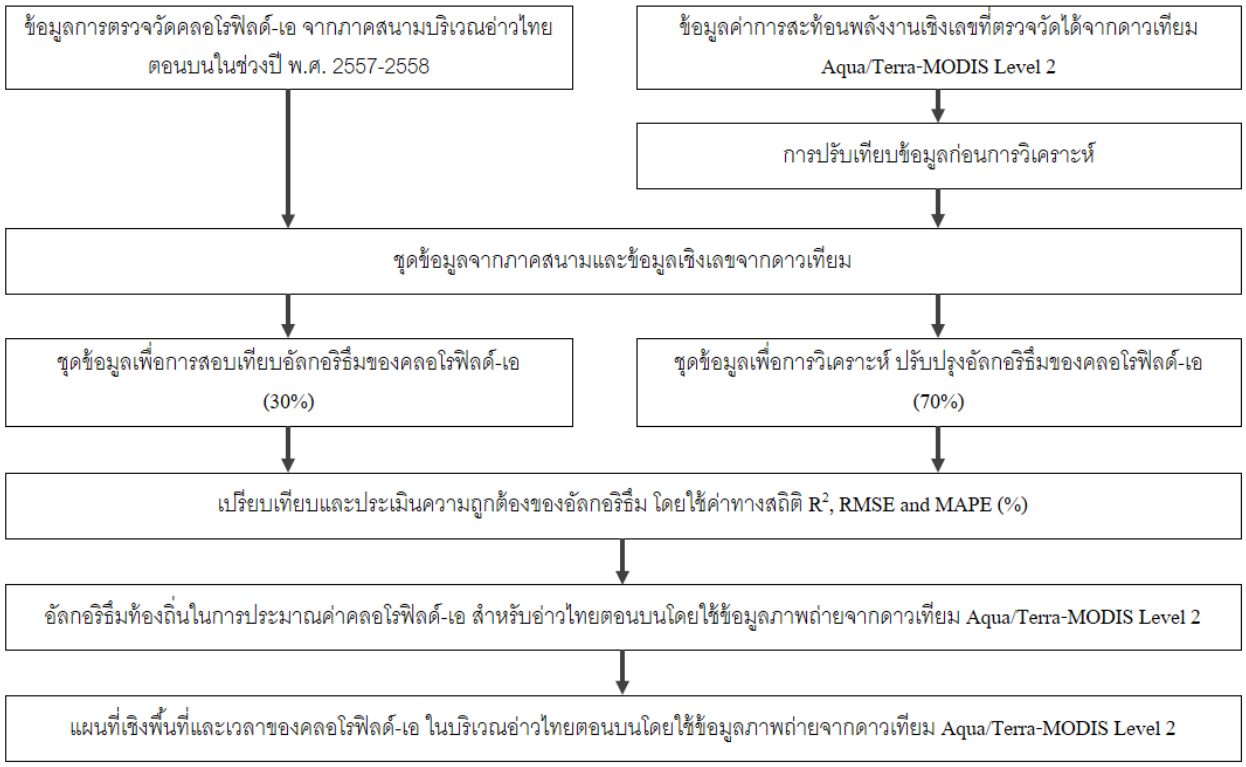
Chula (Matsumura *et al*., 2006) อัลกอริธึมนี้ถูกสร้างขึ้นมาโดยการตรวจวัดข้อมูลคลอโรฟิลด์-เอ ในอ่าวไทยตอนบนโดยเฉพาะ ซึ่งใช้ค่าความสัมพันธ์กับการวัดค่าสเปคตรัมเชิงแสงที่ตรวจวัดโดย PRR (Profiling Reflectance Radiometer) แล้วจึงนำมาสร้างเป็นอัลกอริธึมท้องถิ่น

ในกระบวนการคัดเลือกอัลกอริธึมที่ดีที่สุดจะพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (R^2) และค่ารากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) และค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE) ตามลำดับ เพื่อนำไปพิจารณาหาอัลกอริธึมที่เหมาะสมที่จะนำไปประยุกต์ใช้ต่อไป ตามกรอบแนวคิดของการศึกษาดังแสดงในภาพที่ 2

จากตารางที่ 2 สัญลักษณ์ C_{Chla} C_{21} และ C_{23} หมายถึง ความเข้มข้นของคลอโรฟิลด์-เอ มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (มก./ลบ.ม) R_{rs} และ Lwn หมายถึง ค่าการสะท้อนที่ตรวจวัดได้จากเครื่องตรวจวัดของดาวเทียม R หมายถึง ค่าสัดส่วนช่วงคลื่นของค่าการสะท้อน และสัญลักษณ์ a_0 a_1 a_2 …a_n C_1 และ C_2 หมายถึง ค่าสัมประสิทธิ์

ตารางที่ 2 รูปแบบโครงสร้างของอัลกอริธึมต้นฉบับ

ลำดับ	อัลกอริธึม	โครงสร้างของอัลกอริธึมต้นฉบับ
1	OC3M.	$C_{chla} = 10^{(a_0+a_1R+a_2R^2+a_3R^3+a_4R^4)}$; $R = \log_{10}\left[\max\left(\frac{R_{rs}(443)}{R_{rs}(550)}, \frac{R_{rs}(490)}{R_{rs}(550)}\right)\right]$ **อ้างอิงจาก**: O'Reilly *et al*. (2000).
2	Aiken-C	$C_{21} = \exp(a_0 + a_1 * \ln R)$ $C_{23} = (R + a_2)/(a_3 + a_4 * R)$; $R = \frac{L_{wn}(490)}{L_{wn}(555)}$ $C = C_{21}$; if C < 2.0 µg/l then C = C_{23} **อ้างอิงจาก**: Aiken *et al*. (1995).
3	rGBr	$C_{chla} = C_1\frac{R_{rs}(551)}{R_{rs}(443)} + C_2$ **อ้างอิงจาก** : Ha *et al*. (2014).
4	Chula model	C_{chla} (μg/l) = 181.4 exp(-4.74*R*); *R* = $R_{rs}(520)/R_{rs}(565)$ **อ้างอิงจาก** : Matsumura *et al*. (2006).



ภาพที่ 2 กระบวนการวิเคราะห์เพื่อปรับปรุงอัลกอริธึมท้องถิ่นโดยใช้ภาพถ่ายจากดาวเทียม Aqua/Terra-MODIS

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

ผลของการประยุกต์อัลกอริธึมจากรูปแบบของฟังชั่นการทำงานจากต้นฉบับจำนวน 4 แบบนั้น พบว่าอัลกอริธึมทั้งหมดจะต้องมีการปรับเปลี่ยนบางช่วงคลื่นเพื่อที่จะนำไปใช้ในการประมาณค่า เนื่องจากช่วงคลื่นตามอัลกอริธึมต้นฉบับนั้นไม่มีในดาวเทียม Aqua/Terra-MODIS โดยอัลกอริธึมที่ต้องปรับเปลี่ยนได้แก่ อัลกอริธึม OC3M มีการปรับเปลี่ยนช่วงคลื่นจาก 550 นาโนเมตร เป็น 531 นาโนเมตร อัลกอริธึม Aiken-C เปลี่ยนจาก 490 เป็น 488 นาโนเมตร อัลกอริธึม rGBr เปลี่ยนจาก 551 นาโนเมตร เป็น 555 นาโนเมตร และอัลกอริธึมของ Chula เปลี่ยนจาก 520 เป็น 531 นาโนเมตร และจาก 565 เป็น 555 นาโนเมตร ตามลำดับ ผลที่ได้จากการวิเคราะห์เพื่อหาอัลกอริธึมที่ดีที่สุดพบว่า OC3M มีค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (R^2) ดีที่สุด (0.41) โดยมีค่ารากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) น้อยที่สุด (4.12) และมีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE) ประมาณ 86.30 เมื่อเทียบกับทั้ง 4 อัลกอริธึม รองลงมาคืออัลกอริธึมของ Aiken-C มีค่า R^2 เท่ากับ 0.37 (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ของอัลกอริธึมที่ทำการปรับปรุงเพื่อใช้กับข้อมูลโมดิส สำหรับอ่าวไทยตอนบน

ลำดับ	อัลกอริธึม	อัลกอริธึมประยุต์กับ MODIS	R^2	RMSE	MAPE	หมายเหตุ
1	OC3M	$C_{chla} = 10^{(0.0844-1.968R+9.1257R^2+61.573R^3+86.808R^4)}$; R =$\log_{10}$ [max(Rrs 443)/(Rrs 531), (Rrs 490)/(Rrs 531)]	0.41 n=223	4.12 n=107	86.30	เปลี่ยนช่วงคลื่นจาก 550 เป็น 531
2	Aiken-C	C_{chla} = -0.7126R + 0.1134 $R = \frac{L_{wn}(488)}{L_{wn}(555)}$	0.37 n=223	4.31 n=106	59.64	เปลี่ยนช่วงคลื่นจาก 490 เป็น 488
3	rGBr	$C_{chla} = 0.7728\left(\frac{R_{rs}(555)}{R_{rs}(443)}\right) + 0.9515$	0.04 n=249	5.33 n=107	208.4	เปลี่ยนช่วงคลื่นจาก 551 เป็น 555
4	Chula model	$y = 50.466\exp^{-3.152x}$ X= $R_{rs}(531)/R_{rs}(555)$	0.32 n=243	4.80 n=107	64.59	เปลี่ยนช่วงคลื่นจาก 520 เป็น 531และ 565 เป็น 555

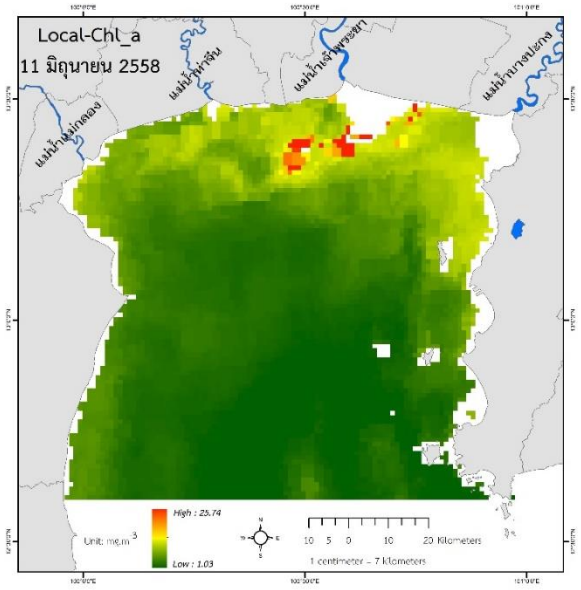
ผลของการวิเคราะห์ได้รูปแบบของอัลกอริธึม OC3M ที่ปรับปรุงมาจากอัลกอริธึมสากล (Global algorithm) มาเป็นอัลกอริธึมท้องถิ่น (Local algorithm) ของอ่าวไทยตอนบน แสดงไว้ในสมการที่ 1 และ 2 ซึ่งสมการนี้จะถูกนำไปใช้ในการประมาณค่าคลอโรฟิลด์-เอ ในอ่าวไทยตอนบนเป็นการเฉพาะ (Local-Chl_a) ต่อไป

$$C_{chla} = 10^{(0.0844-1.968R+9.1257R^2+61.573R^3+86.808R^4)}; \quad (1)$$

$$R = \log_{10}[\max(Rrs_443)/(Rrs_531),(Rrs_490)/(Rrs_531)] \quad (2)$$

โดยที่ C_{Chla} คือ ค่าความเข้มข้นของคลอโรฟิลด์-เอ ที่ได้จากการประมาณค่า (มก./ลบ.ม)

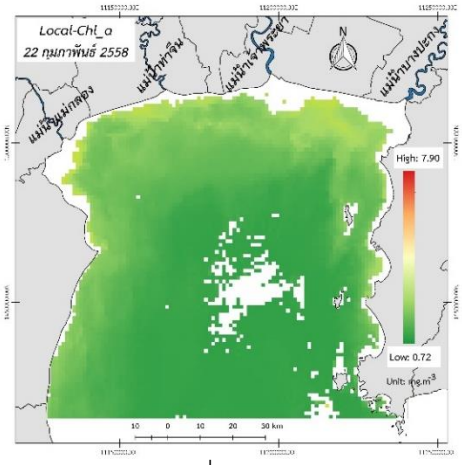
R คือ ค่าที่ได้จากการคำนวณในรูปแบบสัดส่วนของช่วงคลื่น



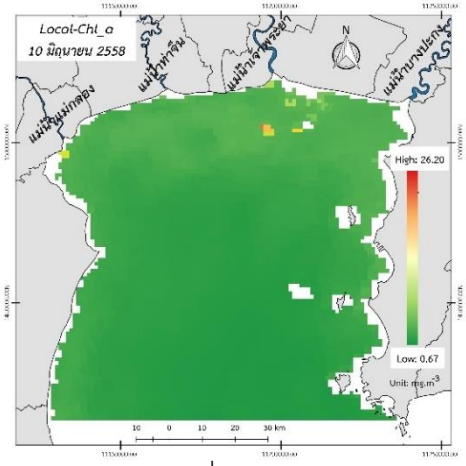
ภาพที่ 3 ผลการประมาณค่าคลอโรฟิลด์-เอ บริเวณพื้นผิวหน้าทะเล ที่ประมาณค่าได้จากอัลกอริธึมแบบท้องถิ่น ณ วันที่ 11 มิถุนายน 2558

จากภาพที่ 3 เป็นภาพตัวอย่างของการประมาณค่าคลอโรฟิลด์-เอ ในเชิงพื้นที่ โดยใช้อัลกอริธึมท้องถิ่น เป็นภาพที่ถ่ายเมื่อวันที่ 11 มิถุนายน 2558 (ฤดูฝน) ผลการประมาณค่าที่ได้พบว่าปริมาณคลอโรฟิลด์-เอ มีค่าสูงในบริเวณตอนบนของอ่าวและจะมีค่าสูงในบริเวณใกล้ๆ ปากแม่น้ำโดยเฉพาะปากแม่น้ำเจ้าพระยา เนื่องจากช่วงนี้อ่าวไทยจะได้รับอิทธิพลของลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือมวลน้ำผิวหน้าทะเลจึงถูกพัดพาไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ระดับความเข้มข้นของคลอโรฟิลด์-เอ จะมีค่าอยู่ในช่วง 1.03 – 25.74 มก./ลบ.ม. หรือมีค่าเฉลี่ยประมาณ 13.39 มก./ลบ.ม.

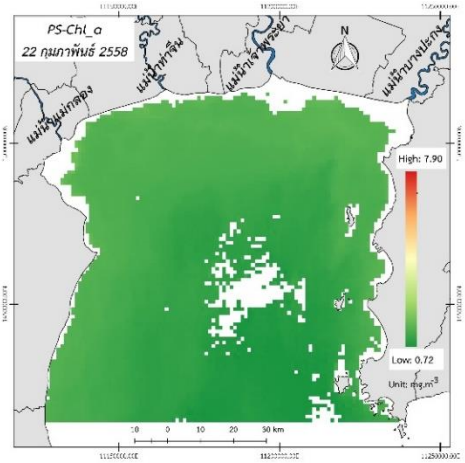
การวิเคราะห์เปรียบเทียบผลของการประยุกต์อัลกอริธึมท้องถิ่นเพื่อประมาณค่าคลอโรฟิลด์-เอ บริเวณพื้นผิวทะเลกับอัลอริธึมอื่น ได้แก่ อัลกอริธึมแบบสากล (MODIS-Chl_a) และอัลกอริธึมที่ดัดแปลงสำหรับอ่าวไทยตอนบนของ Intacharoen (2017) (PS-Chl_a) และค่าการตรวจวัดจริงจากภาคสนาม (In situ data) ทั้งในช่วงฤดูแล้งและฤดูฝน (ภาพที่ 4) สำหรับกระบวนการวิเคราะห์เปรียบเทียบมีการสุ่มตัวอย่างข้อมูลตามจุดเก็บตัวอย่างภาคสนามทั้ง 18 สถานี และวิเคราะห์ค่าสถิติเบื้องต้น สร้างกราฟเพื่อศึกษาความแตกต่างของการเปลี่ยนแปลงค่าคลอโรฟิลด์-เอ ผลการเปรียบเทียบจากกราฟในภาพที่ 5-6 พบว่าทุกอัลกอริธึม ของทั้งสองฤดูกาลให้ผลการประมาณค่าคลอโรฟิลล์-เอ เป็นไปในทิศทางเดียวกัน แต่จะมีความแตกต่างกันในเชิงปริมาณของแต่ละฤดูกาล โดยข้อมูลที่ถูกสุ่มมานั้นพบว่า ในช่วงต้นฤดูฝน (ตารางที่ 4) ค่าสูงสุดและค่าเฉลี่ยของคลอโรฟิลด์-เอ จะมีค่าสูงกว่าในฤดูแล้ง เมื่อพิจารณาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานในช่วงฤดูแล้งพบว่า มีค่าน้อยกว่าในช่วงต้นฤดูฝน และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงสุดเป็นผลของอัลกอริธึมแบบสากล (1.16 มก./ลบ.ม.) ส่วนอัลกอริธึมอื่นๆ และค่าจากภาคสนามมีค่าน้อยกว่า ขณะที่ในฤดูฝนอัลกอริธึมแบบท้องถิ่นและแบบอื่น มีค่าที่ใกล้เคียงกัน เท่ากับ 0.86 และ 0.28 มก./ลบ.ม. ตามลำดับ ในฤดูฝนอัลกอริธึมสากลมีค่าความแปรปรวนสูงที่สุด (5.70 มก./ลบ.ม.) ซึ่งยังคงสูงกว่าค่าที่วัดได้จริงจากภาคสนาม (3.82 มก./ลบ.ม.)



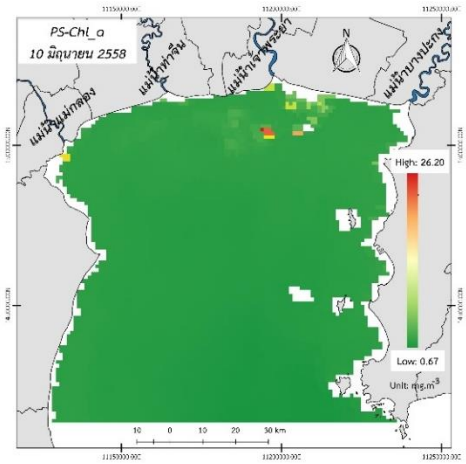
1) อัลกอริธึมท้องถิ่นในฤดูแล้ง



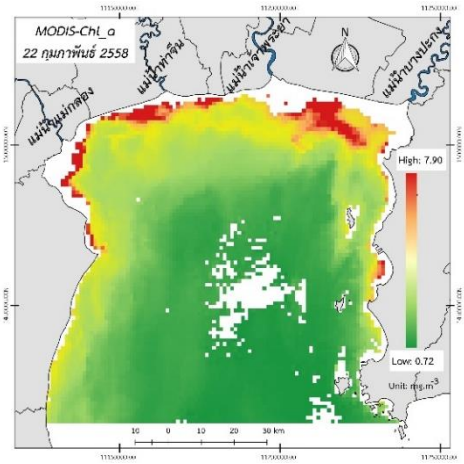
2) อัลกอริธึมท้องถิ่นในฤดูฝน



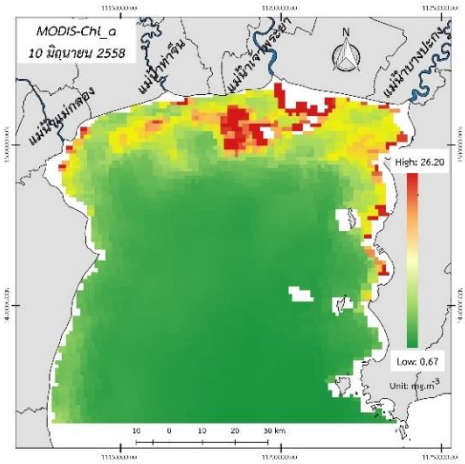
3) อัลกอริธึมดัดแปลงสำหรับอ่าวไทยตอนบน ในฤดูแล้ง



4) อัลกอริธึมดัดแปลงสำหรับอ่าวไทยตอนบน ในฤดูฝน

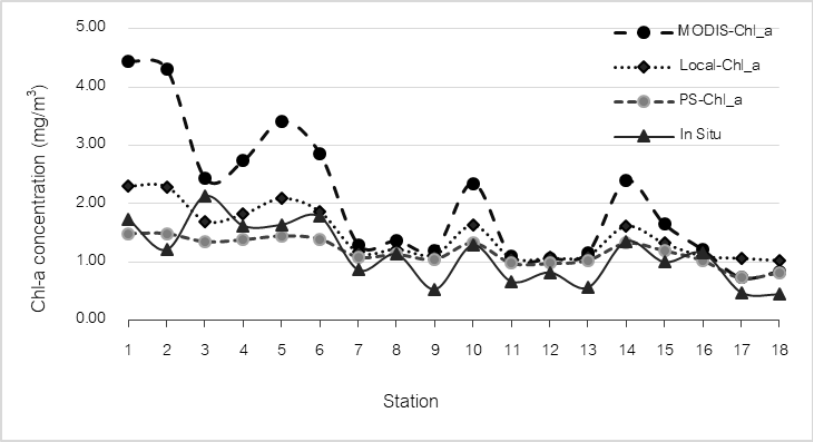


5) อัลกอริธึมสากลในฤดูแล้ง

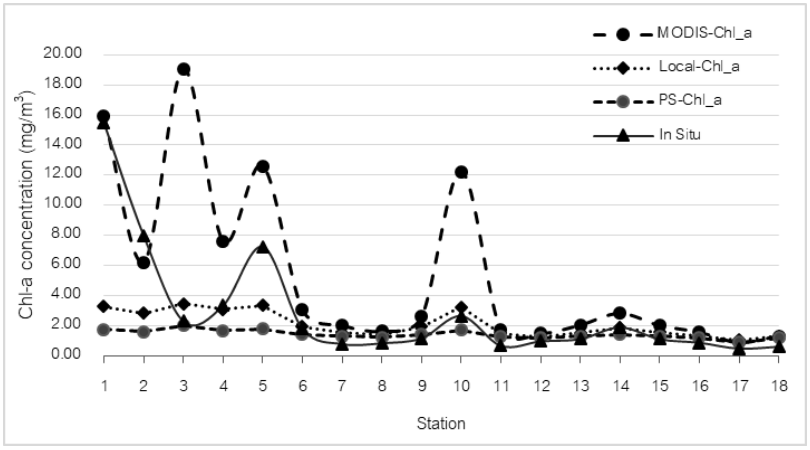


6) อัลกอริธึมสากลในฤดูฝน

ภาพที่ 4 ผลของการประมาณค่าเชิงพื้นที่ความเข้มข้นของคลอโรฟิลด์-เอ โดยใช้อัลกอริธึมแบบท้องถิ่น อัลกอริธึมดัดแปลงสำหรับอ่าวไทยตอนบน และอัลกอริธึมแบบสากล ของฤดูแล้งและฤดูฝน



ภาพที่ 5 ความเข้มข้นของคลอโรฟิลด์-เอ บริเวณพื้นผิวทะเล ที่วิเคราะห์ได้จากภาคสนาม เปรียบเทียบกับค่าที่คำนวณได้จากอัลกอริธึมแบบสากล (Global-Chl_a) แบบท้องถิ่น (Local-Chl_a) แบบดัดแปลงสำหรับอ่าวไทยตอนบน (PS-Chl_a) ที่ประยุกต์ใช้กับระบบการตรวจวัดจาก MODIS และข้อมูลการตรวจวัดจากภาคสนาม (In situ) ณ วันที่ 22 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2558



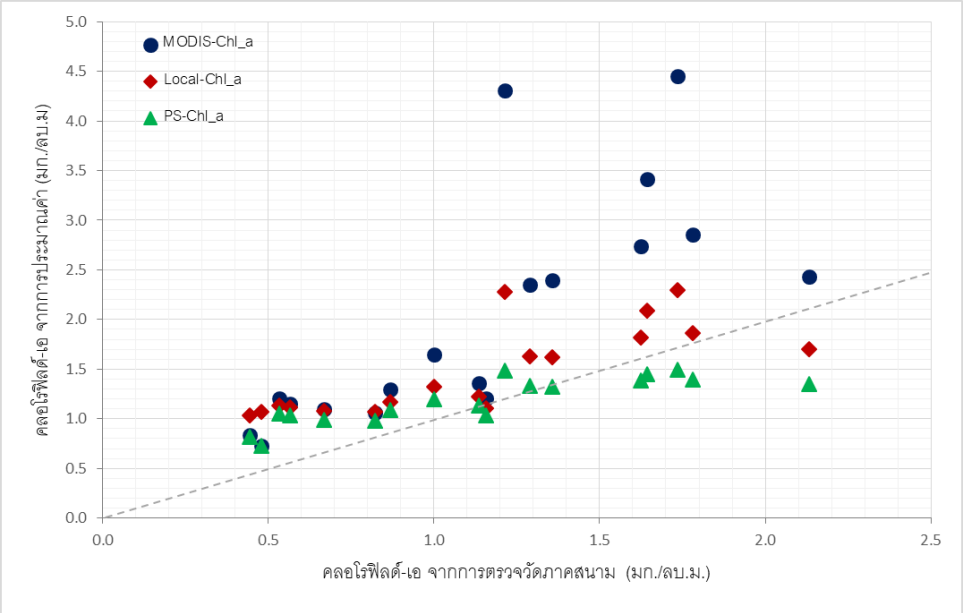
ภาพที่ 6 ความเข้มข้นของคลอโรฟิลด์-เอ บริเวณพื้นผิวทะเล ที่วิเคราะห์ได้จากภาคสนาม เปรียบเทียบกับค่าที่คำนวณได้จากอัลกอริธึมแบบสากล (Global-Chl_a) แบบท้องถิ่น (Local-Chl_a) แบบดัดแปลงสำหรับอ่าวไทยตอนบน (PS-Chl_a) ที่ประยุกต์ใช้กับระบบการตรวจวัดจาก MODIS และข้อมูลการตรวจวัดจากภาคสนาม (In situ) ณ วันที่ 10 มิถุนายน พ.ศ. 2558

ตารางที่ 4 ค่าสถิติเบื้องต้นที่ได้จากการประมาณค่าของอัลกอริธึมแบบท้องถิ่น อัลกอริธึมแบบดัดแปลงสำหรับอ่าวไทยตอนบน และอัลกอริธึมแบบสากล ของฤดูแล้งและฤดูฝน

อัลกอริธึม	ฤดูแล้ง (22 กุมภาพันธ์ 2558)				ฤดูฝน (10 มิถุนายน 2558)			
	ต่ำสุด	สูงสุด	เฉลี่ย	เบี่ยงเบนมาตรฐาน	ต่ำสุด	สูงสุด	เฉลี่ย	เบี่ยงเบนมาตรฐาน
แบบท้องถิ่น	1.03	2.29	1.48	0.44	1.04	3.43	2.06	0.86
แบบดัดแปลงสำหรับอ่าวไทยตอนบน	0.73	1.49	1.18	0.23	0.89	2.00	1.41	0.28
แบบสากล	0.73	4.45	2.03	1.16	0.87	19.05	5.37	5.70
ตรวจวัดภาคสนาม	0.44	2.13	1.14	0.51	0.46	15.47	2.83	3.82

นอกจากนี้ เมื่อมีการพิจารณาลักษณะการกระจายของข้อมูลในลักษณะเป็นจุดที่แสดงความเข้มข้นของคลอโรฟิลด์-เอ ที่ได้จากการตรวจวัดจริงในภาคสนามกับความเข้มข้นที่ประมาณค่าได้จากอัลกอริธึมทั้งสามแบบ (ภาพที่ 7) พบว่าค่าคลอโรฟิลด์-เอ ที่ได้จากอัลกอริธึมสากลมีค่าสูงเกินค่าที่ตรวจวัดจริงจากภาคสนามเมื่อคลอโรฟิลด์-เอ มีแนวโน้มของความเข้มข้นที่สูงขึ้นโดยเฉพาะในบริเวณใกล้ชายฝั่งหรือใกล้ปากแม่น้ำ

เมื่อพิจารณากราฟเปรียบเทียบของแต่ละอัลกอริธึม (ภาพที่ 5) ในแต่ละสถานีพบว่าในช่วงฤดูแล้ง ตั้งแต่สถานีที่ 1 ถึง 6 สถานีที่ 10, 14 และ 15 ผลของอัลกอริธึมสากลให้ผลการประมาณค่าคลอโรฟิลล์-เอ สูงกว่าแบบอื่นๆ ซึ่งสถานีเหล่านี้ล้วนเป็นสถานีใกล้ฝั่ง โดยเฉพาะตอนบนของอ่าวบริเวณใกล้ปากแม่น้ำ ขณะที่อัลกอริธึมแบบท้องถิ่นและแบบอื่นนั้นมีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ตรวจวัดจริงจากภาคสนาม สำหรับในช่วงต้นฤดูฝน (ภาพที่ 6) พบว่าอัลกอริธึมสากลจะมีค่าสูงเด่นชัดตั้งแต่สถานีที่ 3-5 และ 10 ซึ่งเป็นสถานีใกล้ฝั่งเช่นกัน ส่วนลักษณะของข้อมูลทั้งอัลกอริธึมท้องถิ่น แบบดัดแปลงสำหรับอ่าวไทยตอนบนของ Intacharoen (2017) และจากข้อมูลภาคสนามมีการเปลี่ยนแปลงไปในลักษณะเดียวกัน ยกเว้นสถานีที่ 1 และ 5 ซึ่งน่าจะเกิดจากอิทธิพลของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ที่ส่งผลต่อความแปรปรวนของมวลน้ำในบริเวณปากแม่น้ำบางปะกงในสถานีที่ 1 และปากแม่น้ำท่าจีนในสถานีที่ 5 ทำให้ค่าที่ตรวจวัดได้จริงจากภาคสนามกับข้อมูลที่ได้จากอัลกอริธึมมีความแตกต่างกันมาก



ภาพที่ 7 การกระจายของข้อมูลแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของคลอโรฟิลด์-เอ ที่ได้จากการตรวจวัดในภาคสนามกับความเข้มข้นที่ประมาณค่าได้จากอัลกอริธึมทั้งสามแบบ (ข้อมูล ณ วันที่ 22 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2558)

แม้จะมีรายงานการผลศึกษาเกี่ยวกับการประมาณค่าของคลอโรฟิลด์-เอ จากแหล่งน้ำบริเวณชายฝั่งทะเลด้วยเทคโนโลยีจากดาวเทียมไว้มากมายแต่ก็ยังไม่สามารถชี้ชัดได้ว่าควรใช้ช่วงคลื่นช่วงใด และควรใช้ข้อมูลจากดาวเทียมดวงใดที่ให้ผลได้ถูกต้องและแม่นยำสำหรับพื้นที่เฉพาะ (Local area) ที่ดีที่สุด (Ha *et al*., 2014) ซึ่งในทางปฏิบัติจำเป็นต้องมีการปรับปรุง เปลี่ยนแปลง ทั้งช่วงคลื่นและข้อมูลจากดาวเทียม ให้เหมาะสมกับพื้นที่นั้นๆ เสมอ เช่นเดียวกับการศึกษาในครั้งนี้ โดยทั่วไปการสร้างอัลกอริธึมเพื่อจำแนกสีในมหาสมุทร (Ocean color) มักจะใช้สมการสัดส่วนของช่วงคลื่นสีน้ำเงินกับช่วงคลื่นสีเขียว เนื่องจากโดยธรรมชาติแล้ว คลอโรฟิลด์สามารถดูดซับพลังงานแสงได้มากที่สุดในช่วงคลื่นสีน้ำเงิน (440 นาโนเมตร) และน้อยที่สุดในช่วงคลื่นสีน้ำเขียว (550 นาโนเมตร) (Sravanthi *et al*., 2013) อัลกอริธึมที่นำมาใช้ในการศึกษาครั้งนี้มีรูปแบบสัดส่วนของช่วงคลื่น สามแบบคือ ช่วงคลื่นสีน้ำเงิน/สีเขียว ช่วงคลื่นสีเขียว/สีน้ำเงิน และช่วงคลื่นสีเขียว/สีเขียว ผลการวิเคราะห์ที่ได้พบว่า สัดส่วนของช่วงคลื่นสีน้ำเงิน/สีเขียว ให้ผลการประมาณค่าคลอโรฟิลด์-เอ ดีที่สุดในบริเวณอ่าวไทยตอนบน ซึ่งสอดคล้องกับอัลกอริธึมที่ใช้สัดส่วนของช่วงคลื่นนี้ในการศึกษาของ Marghany and Hashim (2010) ที่บริเวณชายฝั่งของประเทศมาเลเซีย

ในการศึกษาของ Ha *et al*., (2014) และ Marghany and Hashim (2010) เพื่อทำการปรับปรุงอัลกอริธึมโดยใช้ข้อมูลจาก MODIS ผลที่ได้พบว่าให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ค่อนข้างดี ($r = 0.78$) และค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจดีมาก ($r^2 = 0.95$) ซึ่งแตกต่างจากการศึกษานี้ อาจเป็นเพราะการใช้ระดับของข้อมูล (Level-1) ที่แตกต่างกันและก่อนนำข้อมูลมาสร้างอัลกอริธึมได้มีการปรับแก้ค่าความผิดพลาดจากบรรยากาศเสียก่อน (Atmospheric correction) แต่การศึกษานี้ใช้ข้อมูลระดับ 2 (Level-2) ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้มีการปรับแก้ค่าและสอบเทียบข้อมูลมาเรียบร้อยแล้ว และนำข้อมูลมาหาความสัมพันธ์กันโดยตรงจึงทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (R^2) ที่ได้ค่อนข้างต่ำ นอกเหนือจากนี้อาจเกิดความผิดพลาด

ได้จากคุณลักษณะของน้ำในบริเวณอ่าวไทยตอนบนนั้นมีความขุ่นค่อนข้างมากและมีปริมาณของสารอินทรีย์ละลายน้ำ (Dissolved organic matter) ที่มากกว่าด้วยเช่นกัน

กรณีตัวอย่างผลของการประมาณค่าการเปลี่ยนแปลงของคลอโรฟิลด์-เอ โดยใช้อัลกอริธึมท้องถิ่นครั้งนี้มีค่าอยู่ในช่วง 1.03 - 25.74 มก./ลบ.ม. ในช่วงต้นฤดูฝน (มิถุนายน) มีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยรวมของอ่าวไทยตอนบน เท่ากับ 14.07 มก./ลบ.ม. ที่ได้จากการศึกษาของ Chumnantana (2006) นั่นหมายความว่า ปริมาณของคลอโรฟิลด์-เอ เฉลี่ยในบริเวณอ่าวไทยตอนบน ที่มีค่ามากกว่า 12 มก./ลบ.ม. จะเป็นดัชนีที่บ่งชี้ได้ว่าอ่าวไทยตอนบนมีความอุดมสมบูรณ์ของสารอาหารสูง ถ้าหากเกิดสภาวะการหมุนเวียนถ่ายเทของมวลน้ำได้น้อยปริมาณของสารอาหารคงอยู่ในมวลน้ำเป็นระยะเวลานานก็มีโอกาสที่จะพัฒนาไปเป็นปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสีได้ ขณะเดียวกันความเข้มข้นของคลอโรฟิลด์-เอ มักจะมีค่าต่ำๆ ในบริเวณที่มีคลื่นและกระแสน้ำแรง (high-energy zones) (Ha *et al*., 2014) และยังพบอีกว่าคลอโรฟิลด์-เอ มีค่าสูงที่สุดอยู่ในบริเวณปากแม่น้ำบางปะกง แต่จากการศึกษานี้จะมีค่าสูงสุดอยู่ในบริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยา โดยผลของการเปลี่ยนแปลงฤดูกาลที่มาจากอิทธิพลของลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือและลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้รวมทั้งกิจกรรมของมนุษย์ ส่งผลทำให้มีการเปลี่ยนแปลงปัจจัยสภาพแวดล้อมและคุณภาพน้ำซึ่งอาจส่งผลตามมา ทั้งชนิด ความหนาแน่นและการกระจายของแพลงก์ตอนพืชในแต่ละพื้นที่ และมีความเกี่ยวข้องโดยตรงกับการเปลี่ยนแปลงของปริมาณคลอโรฟิลด์-เอที่แสดงออกมาให้เห็นในเชิงพื้นที่ได้ Deesuk *et al.* (2017)

สำหรับแนวทางในการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติของค่าการสะท้อนที่ได้จากข้อมูลเชิงเลขจากภาพดาวเทียมต่อการวิเคราะห์เพื่อประมาณค่าคลอโรฟิลด์-เอ ในแหล่งน้ำทะเลและชายฝั่งนั้นควรมีการรวบรวม เก็บและวิเคราะห์ข้อมูลเพิ่มเติมและต่อเนื่องเพื่อเพิ่มความถูกต้องและแม่นยำในการสร้างหรือปรับปรุง อัลกอริธึมแบบท้องถิ่นของอ่าวไทยตอนบนโดยเฉพาะต่อไป นอกจากนี้ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในการใช้ข้อมูลจากดาวเทียมดวงอื่นๆ เช่น Landsat-8, ดาวเทียม Copernicus Sentinel-3 Ocean and Land Colour Instrument (OLCI), OCM-2 and VIIRS-NOAA เป็นต้น

สรุปผลการวิจัย

อัลกอริธึม OC3M สามารถปรับปรุงเป็นอัลกอริธึมท้องถิ่นเพื่อประมาณค่าคลอโรฟิลด์-เอ สำหรับอ่าวไทยตอนบนดีที่สุด ซึ่งเป็นผลที่ได้จากการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับอัลกอริธึมอื่น จำนวน 4 อัลกอริธึม โดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม Aqua/Terra-MODIS Level 2 ให้ผลการประมาณค่าคลอโรฟิลด์-เอ ที่ดี โดยเฉพาะบริเวณใกล้ปากแม่น้ำสายหลักทั้งสี่สาย เพื่อเพิ่มความถูกต้องแม่นยำของการคำนวณให้กับพื้นที่บริเวณใกล้ชายฝั่งได้ดีขึ้น สามารถนำอัลกอริธึมนี้ไปประยุกต์ใช้ในการติดตาม เฝ้าระวังการเกิดปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสีได้ในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

ขอบคุณ The Japan Society for the Promotion of Science (JSPS) ในการสนับสนุนโครงการวิจัยและการเก็บข้อมูลภาคสนามในอ่าวไทยตอนบน (This study was conducted through collaboration under the Core-to-Core Program (B. Asia-Africa Science Platforms) and JSPS KAKENHI Grant Number 26302001of JSPS.) และขอขอบคุณไปยังองค์การบริหารการบินและอวกาศแห่งชาติ หรือนาซา (National Aeronautics and Space Administration-NASA) ที่ให้

ความอนุเคราะห์ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม Aqua/Terra-MODIS ซึ่งสามารถดาวโหลดได้ฟรีจาก website; https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/

เอกสารอ้างอิง

Aiken, J., Moore, G. F., Trees, C. C., Hooker, S. B., and Clark, D. K. (1995). The SeaWiFS CZCS-type pigment algorithm, in SeaWiFS. *Technical Report Series. vol. 29*, edited by S.B. Hooker and E.R. Firestone, Goddard Space Flight Center, Greenbelt, MD.

Buranapratheprat, A., Niemann, K. O., Matsumura, S., and Yanagi, T. (2009). MERIS imageries to investigate surface chlorophyll in the upper Gulf of Thailand. *Coastal Marine Science*, *33*(1), 22-28.

Buranapratheprat, A., Yanagi, T. and Sawangwong, P. (2002). Seasonal variations in circulation and salinity distributions in the Upper Gulf of Thailand: Modeling approach. *La mer, 40*, 147-155.

Chauhan, P., Mohan, M., Nayak, S. R., and Navalgund, R. R. (2002). Comparison of Ocean Color Chlorophyll Algorithms for IRS-P40CM Sensor Using in-situ Data. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing,* (30), I&2.

Chumnantana, R. (2006). *Causative phytoplankton of red tide phenomena in the Upper Gulf of Thailand.* Department of Marine and Coastal Resources. Ministry of Natural Resources and environment. Technical Paper no. 1/2006 (in Thai).

Deesuk, A., Punnarak, P., and Piumsomboon, A. (2017). Seasonal variation of phytoplankton communities at Sichang Island, Chonburi Province. In *The national and international graduate research conference 2017.* March 10, 2017 at Pote Sarasin Building, Khon Kaen University (in Thai).

Ha, N. T. T., Koike, K., and Nhuan, M. T. (2014). Improved accuracy of chlorophyll-a concentration estimates from MODIS imagery using a two-band ratio algorithm and geostatistics: As applied to the monitoring of eutrophication processes over Tien Yen Bay (Northern Vietnam). *Remote Sensing, 6*, 421-442.

Horning, N., Robinson, J. A., Sterling, E. J., Turner, W., and Spector, S. (2010). *Remote sensing for ecology and conservation: a handbook of techniques.* New York: Oxford University Press Inc.,

Intacharoen, P. (2017). *Geoinformatics applications to marine water quality and red tide phenomenon assessment in the Upper Gulf of Thailand.* Doctoral dissertation in Geoinformatics. Suranaree University of Technology, Thailand.

Institute of Marine Science. (2006). *Marine environmental monitoring program and protection management of red tide in the coastal water of Chon Buri Province*. Burapha University, Thailand (in Thai).

Lah, N. Z. Ab., Reba, M. N. M. and Siswanto, E. (2014). An improved MODIS standard chlorophyll-a algorithm for Malacca Straits Water. In *8th International Symposium of the Digital Earth (ISDE8); IOP Conf.* Series: Earth and Environmental Science 18 (2014) 012113.

Marghany, M., and Hashim, M. (2010). MODIS satellite data for modeling chlorophyll-a concentrations in Malaysian coastal waters. *International Journal of the Physical Sciences, 5*(10), 7.

Matsumura, S., Siripong, A., and Lirdwitayaprasit, T. (2006). Underwater optical environment in the Upper Gulf of Thailand. *Coastal Marine Science*. *30*(1), 36-43.

Gilerson, A. A, Gitelson, A. A., Zhou, J., Gurlin, D., Moses, W., Ioannou, I., Ahmed, S. (2010). Algorithms for remote estimation of chlorophyll-a in coastal and inland waters using red and near infrared bands. Opt. Express.*18,* 24109-24125.

Na-u-dom, T., Buranapratheprat, A., Homhual, K., and Intracharoen, P. (2013). Temporal and spatial variations of water qualities in the Upper Gulf of Thailand during two seasons in 2009. *Burapha Science Journal, 18*(2), 32-42 (in Thai).

O'Reilly, J. E., Mitchell, B. G., Kahru, M.,Chavez, F. P., Struton, P., Cota, G. F., Hooker, S. B., McClain, C. R., Carder, K. L., Muller-Karger, F., Harding, L., Phinney, D., Moore, G. F., Aiken, J., Arrigo, K. R., Letelier, R., and Culver, M. (2000). *Ocean color chlorophyll-a algorithms for SeaWiFS, OC2 and OC4: version 4.* SeaWiFS Postlaunch Calibration and Validation Analyses, Part 3.

Piemsomboon, A., (2009). The component variation and abundance of phytoplankton that may be cause of harmful in coastal zone of Samut sakorn and Samut songkram province. Bankok: Marine and coastal resources research center, 176 p. (in Thai).

Shang, S. L., Dong, Q., Hu, C. M., Lin, G., Li, Y. H., and Shang, S. P. (2014). On the consistency of MODIS chlorophyll *a* products in the northern South China Sea. *Biogeosciences, 11*, 269-280.

Sravanthi, N., Ramana, I. V., Yunus Ali, P., Ashraf, M., Ali, M. M., and Narayana, A. C. (2013). An algorithm for estimating suspended sediment concentrations in the coastal waters of India using remotely sensed reflectance and its application to coastal environments. *International Journal Environment Resources, 7*(4), 841-850.