การเปลี่ยนแปลงเชิงเวลาของปริมาณคลอโรฟิลล์-เอบริเวณพื้นผิวทะเลอันดามัน จากการประมวลผลภาพดาวเทียมอะควา โมดิส (Aqua MODIS)

Temporal Variations of Sea Surface Chlorophyll-a in the Andaman Sea Based on Aqua MODIS Image Processing

อนุกูล บูรณประทีปรัตน์* และ อัญญดา มีสุข
ภาควิชาวาริชศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
Anukul Buranaprathepprat* and Aunyada Meesook
Department of Aquatic Science, Faculty of Science, Burapha University.

บทคัดย่อ

ได้ดำเนินการวิเคราะห์และประมวลผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงเชิงเวลาของปริมาณคลอโรฟิลล์-เอบริเวณพื้นผิวทะเลอันดามัน โดยใช้ภาพถ่ายจากดาวเทียม Aqua MODIS (MODerate-resolution Imaging Spectroradiometer) ในช่วงปี พ.ศ. 2546 – 2552 ด้วยโปรแกรม SeaDAS (SeaWiFS Data Analysis System) พบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์-เอที่ผิวทะเลบริเวณทะเลอันดามันในรอบปีเปลี่ยนแปลงตามอิทธิพลของลมมรสุม โดยมีค่าสูงในช่วงลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (พฤศจิกายน-มีนาคม) ค่าสูงสุดอยู่ในเดือนมกราคม (0.62 ± 1.44 mg/m^3) และมีค่าต่ำในช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (พฤษภาคม-กันยายน) ค่าต่ำสุดอยู่ในช่วงเดือนสิงหาคม (0.26 ± 0.46 mg/m^3) และจากความสัมพันธ์ของคลอโรฟิลล์-เอและอุณหภูมิที่ผิวทะเลในช่วงลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือรวมถึงลักษณะของกระแสลมในช่วงเวลาต่างๆ แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มขึ้นและลดลงของปริมาณคลอโรฟิลล์-เออาจมีความสอดคล้องกับกระบวนการน้ำผุด (upwelling) และกระบวนการน้ำมุด (downwelling) บริเวณชายฝั่งด้านตะวันออกของทะเลอันดามัน

คำสำคัญ : คลอโรฟิลล์-เอ การเปลี่ยนแปลงตามเวลา ภาพถ่ายจากดาวเทียม Aqua MODIS ฤดูมรสุม ทะเลอันดามัน

Abstract

This research was conducted to investigate temporal variations of sea surface chlorophyll-a in the Andaman Sea using Aqua MODIS (MODerate-resolution Imaging Spectroradiometer) data recorded from 2003 to 2009 and SeaDAS (SeaWiFS Data Analysis System). The results showed seasonal variations in averaged sea surface chlorophyll-a that high and low values occurred during the northeast (November to March) and the southwest (May to September) monsoons, respectively. The highest averaged value was found in January (0.62 ± 1.44 mg/m^3) while the lowest in August (0.26 ± 0.46 mg/m^3). The relationships of sea surface chlorophyll-a and sea surface temperature during the northeast monsoon, including monthly wind patterns, suggest that rise and fall of sea surface chlorophyll-a be controlled by coastal upwelling and downwelling, respectively, along the east coast of the Andaman Sea.

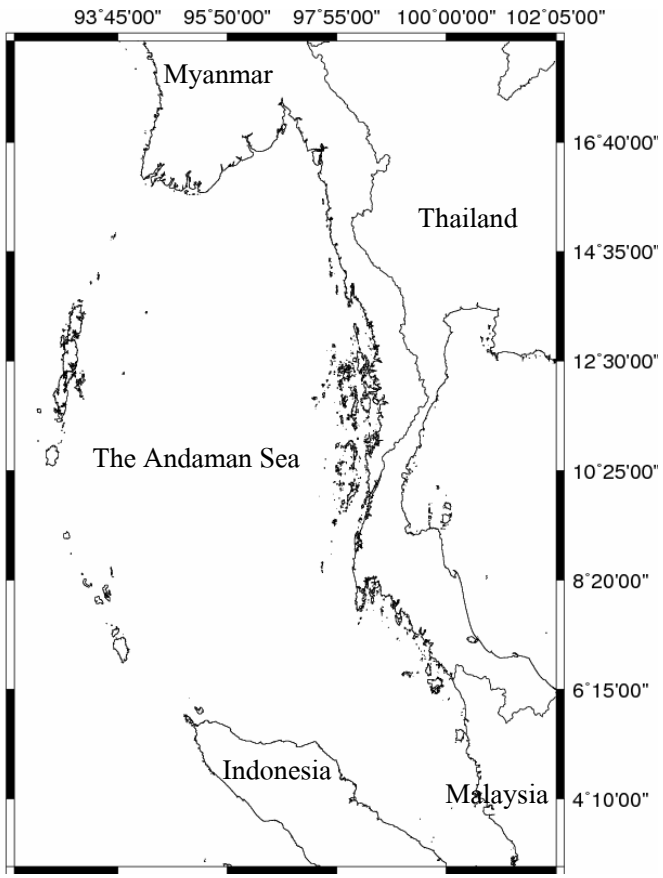
Keywords : Chlorophyll-a, Temporal variations, Aqua MODIS, Monsoons, Andaman Sea

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

บทนำ

ทะเลอันดามันตั้งอยู่ทางตะวันออกของอ่าวเบงกอลซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของมหาสมุทรอินเดีย ทิศเหนือติดกับปากแม่น้ำอิระวดี ทิศตะวันออกเป็นประเทศพม่า ประเทศไทย และประเทศมาเลเซีย ทิศตะวันตกเป็นหมู่เกาะอันดามันและหมู่เกาะนิโคบาร์ ทิศใต้เป็นเกาะสุมาตราและช่องแคบมะละกา ขอบเขตครอบคลุมตั้งแต่ละติจูดที่ 6 องศา ถึง 14 องศาเหนือและลองจิจูดที่ 93 องศา ถึง 99 องศาตะวันออก (ภาพที่ 1) ทะเลอันดามันมีความยาวจากเหนือจรดใต้ประมาณ 1,200 กิโลเมตร กว้าง 650 กิโลเมตร มีพื้นที่ประมาณ 797,700 ตารางกิโลเมตร มีความลึกเฉลี่ย 870 เมตร และจุดที่ลึกที่สุดมีระดับความลึก 3,777 เมตร (กรมทรัพยากรธรณี, 2542; Dutta *et al*., 2007) เป็นพื้นที่อยู่ภายใต้อิทธิพลของมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือในช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนธันวาคมและลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนกันยายน (Tomczak & Godfrey, 2001)

การสำรวจระยะไกลโดยใช้ดาวเทียม นับเป็นเทคโนโลยีที่มีประโยชน์ในการติดตามการเปลี่ยนแปลงปรากฏการณ์ต่างๆ ในสิ่งแวดล้อมรวมทั้งด้านสมุทรศาสตร์ ด้วยความสามารถในการบันทึกข้อมูลครอบคลุมพื้นที่บริเวณกว้างและซ้ำบริเวณเดิมของแต่ละรอบการโคจร ทำให้สามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อมในช่วงเวลาต่างๆ ได้ดี ได้มีการนำเทคโนโลยีทางด้านนี้มาใช้สำหรับการศึกษาปริมาณคลอโรฟิลล์-เอที่ผิวทะเล เช่น Dien & Hai (2006); Tan *et al*. (2006) และ Tang *et al*. (2002) เนื่องจากแพลงก์ตอนพืชเป็นผู้ผลิตขั้นต้นที่สำคัญของห่วงโซ่อาหารในแหล่งน้ำจึงถูกนำมาใช้เป็นตัวชี้วัดความอุดมสมบูรณ์ในทะเล (ลัดดา, 2542) เช่น บริเวณทะเลเปิดมีปริมาณแพลงก์ตอนน้อยจากการขาดแคลนธาตุอาหารทำให้มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ แต่ในบริเวณทะเลชายฝั่งหรือบริเวณที่มีปรากฏการณ์น้ำผุด (upwelling) จะอุดมไปด้วยธาตุอาหารทำให้แพลงก์ตอนพืชมีปริมาณมาก บ่งบอกถึงความอุดมสมบูรณ์และทรัพยากรสัตว์น้ำที่มีมากในบริเวณนั้น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลของปริมาณคลอโรฟิลล์-เอที่ผิวทะเลบริเวณทะเลอันดามัน โดยใช้ข้อมูลจากดาวเทียม Aqua MODIS (MODerate-resolution Imaging Spectroradiometer) ผลการศึกษาจะทำให้เข้าใจธรรมชาติความอุดมสมบูรณ์ของทรัพยากรสิ่งมีชีวิตในพื้นที่นี้



ภาพที่ 1 พื้นที่ศึกษาบริเวณทะเลอันดามัน

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการวิจัย

ภาพคลอโรฟิลล์-เอที่ผิวทะเลที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ เป็นผลิตภัณฑ์ Level 2 จากข้อมูลที่ตรวจวัดโดยเซ็นเซอร์ MODIS ที่ติดตั้งบนดาวเทียม Aqua สามารถดาวน์โหลดข้อมูลได้จากเว็ปไซต์ Ocean Color (http://oceancolor.gsfc.nasa.gov) เป็นข้อมูลที่มีรายละเอียดเชิงเรขาคณิต (Geometric correction) หรือขนาดพิกเซลล์เท่ากับ 1,000 เมตร ประมวลผลภาพถ่ายดาวเทียมโดยใช้โปรแกรม SeaDAS (SeaWiFS Data Analysis System) เวอร์ชัน 6.2 (ดาวน์โหลดได้จาก http://seadas.gsfc.nasa.gov) ที่ทำการติดตั้งบนระบบปฏิบัติการ Ubuntu Linux (http://www.ubuntu.com) ผ่านโปรแกรม VMware player (http://www.vmware.com) ข้อมูลคลอโรฟิลล์-เอ และอุณหภูมิที่ผิวทะเลเฉลี่ยรายเดือนสามารถดาวน์โหลดได้จาก http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/giovanni ข้อมูลอุณหภูมิที่ผิวทะเลจะถูกนำมาใช้เปรียบเทียบกับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยคลอโรฟิลล์-เอที่ผิวทะเลในการวิจารณ์ผลการศึกษา

ทำการปรับแก้ภาพแผนที่คลอโรฟิลล์-เอโดยใส่พิกัดทางภูมิศาสตร์ตามวิธีการประมวลผลโดยโปรแกรม SeaDAS ด้วยการสร้างแผนที่ใหม่ที่กำหนดโปรเจคชันเป็นแบบเมอร์เคเตอร์และตัดภาพพื้นที่ทะเลอันดามันโดยให้มีขอบเขตอยู่ที่ละติจูด 4 องศา ถึง 18 องศาเหนือ และลองจิจูด 92 องศา ถึง 100 องศาตะวันออก เนื่องจากเป็นพื้นที่ที่มีเมฆปกคลุมมาก จึงทำการหลอมภาพ (merge) จากรายวันให้เป็นรายเดือนและใช้เป็นตัวแทนในการศึกษา จากนั้นนำภาพรายเดือนที่ตรงกันตั้งแต่ปี พ.ศ. 2546 – 2552 มาหลอมรวมกันอีกครั้งหนึ่งเพื่อให้ได้ภาพคลอโรฟิลล์-เอรายเดือนในระยะยาวสำหรับการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคลอโรฟิลล์-เอตามฤดูกาล วิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One -Way ANOVA) เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของปริมาณคลอโรฟิลล์-เอที่ผิวทะเลในแต่ละเดือนและเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณคลอโรฟิลล์-เอที่ผิวทะเลในแต่ละปี

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

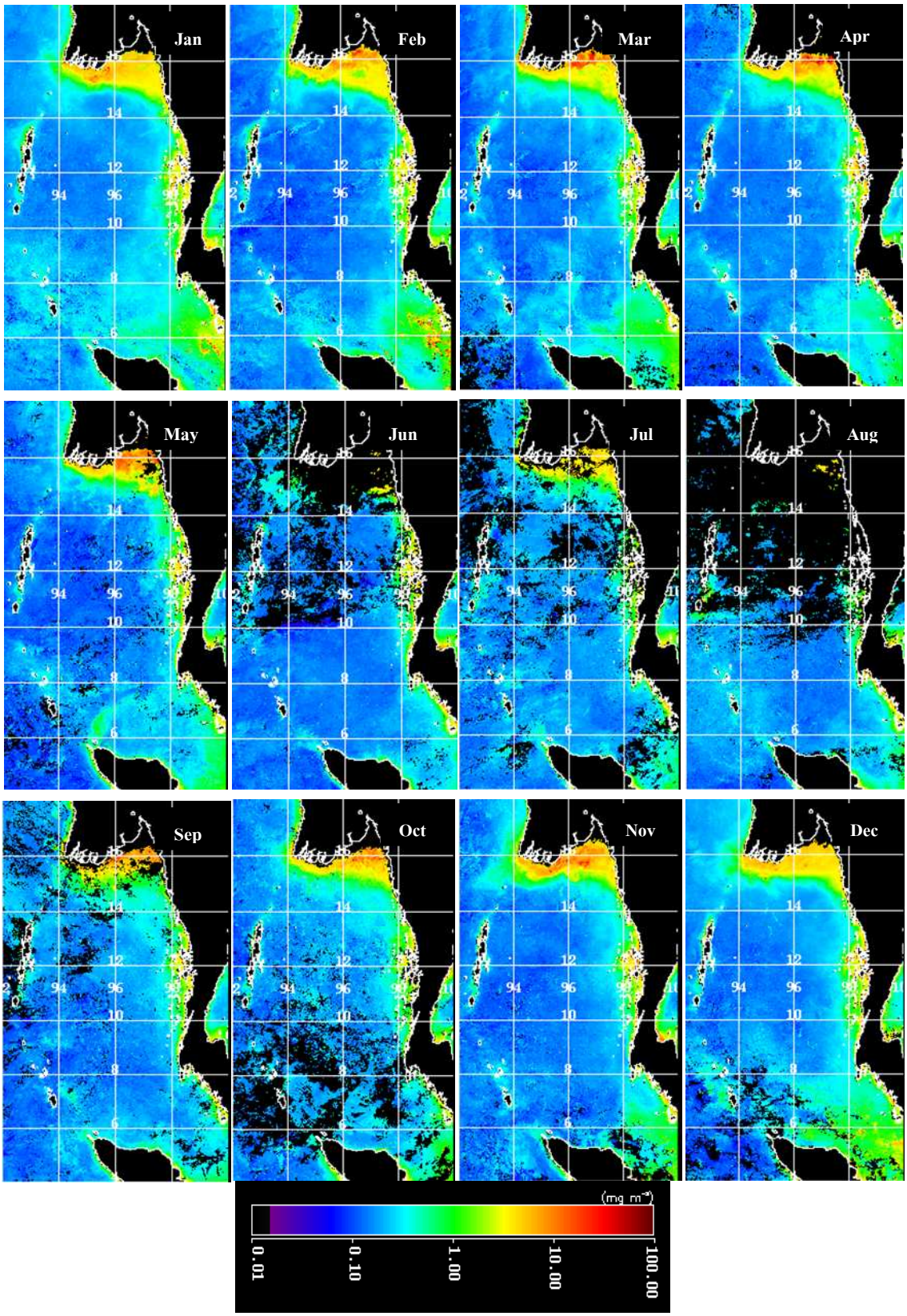
ภาพถ่ายจากดาวเทียมแสดงปริมาณคลอโรฟิลล์-เอที่ผิวทะเลบริเวณทะเลอันดามันเฉลี่ยรายเดือน เกิดจากการหลอมรวมภาพในเดือนเดียวกันในช่วงปี พ.ศ. 2546 – 2552 จำนวนภาพที่ใช้ในการหลอมรวมข้อมูลของแต่ละเดือน แสดงไว้ในตารางที่ 1 ผลการศึกษาตามภาพที่ 2 แสดงให้เห็นว่าปริมาณคลอโรฟิลล์-เอที่ผิวทะเลในรอบปีมีค่าสูงช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนมีนาคมโดยมีค่าสูงสุดเดือนมกราคมซึ่งเป็นช่วงลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ

ตารางที่ 1 จำนวนภาพที่ใช้ในการหลอมข้อมูลปริมาณคลอโรฟิลล์เอ เฉลี่ยในแต่ละเดือน จากข้อมูลระหว่างปี พ.ศ. 2546-2552

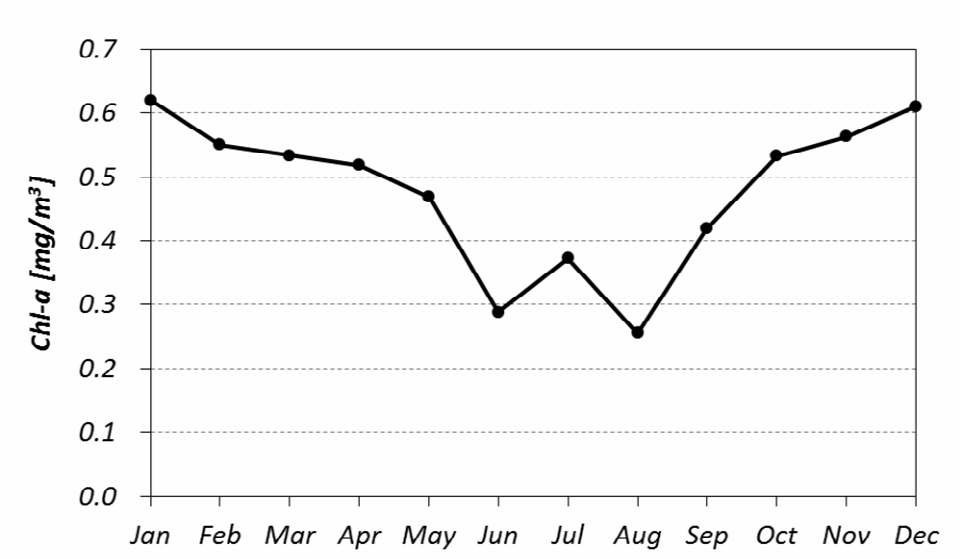
เดือน	จำนวนภาพ
มกราคม	140
กุมภาพันธ์	105
มีนาคม	105
เมษายน	70
พฤษภาคม	70
มิถุนายน	70
กรกฎาคม	105
สิงหาคม	105
กันยายน	105
ตุลาคม	140
พฤศจิกายน	140
ธันวาคม	140

มีกำลังแรง ปริมาณคลอโรฟิลล์-เอที่ผิวทะเลมีค่าต่ำในช่วงเดือนเมษายนถึงเดือนกันยายนซึ่งเป็นช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ก่อนที่จะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นในช่วงเดือนตุลาคม เมื่อพิจารณาถึงกราฟอนุกรมเวลาความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์-เอที่ผิวทะเลเฉลี่ยรายเดือนบริเวณทะเลอันดามัน (ภาพที่ 3) พบว่า คลอโรฟิลล์-เอเฉลี่ยในเดือนมกราคม มีค่าสูงสุด (0.62 ± 1.44 mg/m^3) หลังจากนั้นในเดือนกุมภาพันธ์ค่าเริ่มลดลงจนมีค่าต่ำในช่วงเดือนมิถุนายน (0.29 ± 1.01 mg/m^3) และสูงขึ้นอีกเล็กน้อยในเดือนกรกฎาคม (0.37 ± 1.23 mg/m^3) ลดต่ำลงอีกครั้งในเดือนสิงหาคม (0.26 ± 0.46 mg/m^3) และเริ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ จนถึงเดือนธันวาคม (0.61 mg/m^3) เมื่อศึกษาค่าเฉลี่ยในแต่ละเดือน จากการทดสอบทางสถิติ พบว่า ปริมาณคลอโรฟิลล์-เอที่ผิวทะเลบริเวณทะเลอันดามันมีความแตกต่างกันในแต่ละเดือนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

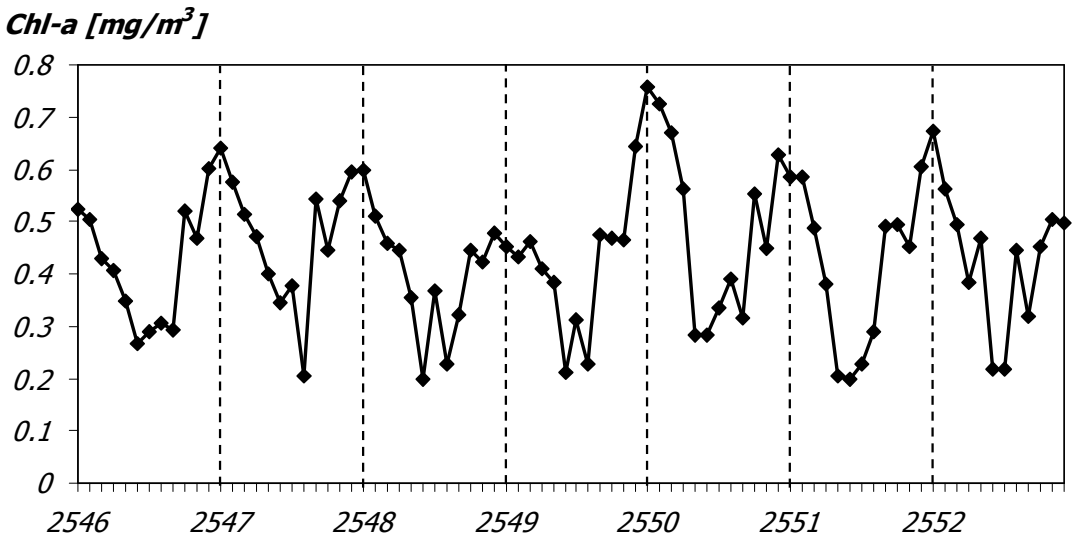
เมื่อพิจารณาถึงกราฟอนุกรมเวลาความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์-เอที่ผิวทะเลเฉลี่ยรายเดือนบริเวณทะเลอันดามันตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2546 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2552 (ภาพที่ 4) พบว่าการเปลี่ยนแปลงปริมาณคลอโรฟิลล์-เอที่ผิวทะเลเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลและอิทธิพลของลมมรสุม โดยในช่วงลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (พฤศจิกายน-มีนาคม) มีค่าสูงกว่า



ภาพที่ 2 ปริมาณคลอโรฟิลล์-เอเฉลี่ยที่ผิวทะเลบริเวณทะเลอันดามันในรอบปีจากข้อมูลระหว่างปี พ.ศ. 2546-2552



ภาพที่ 3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณคลอโรฟิลล์-เอที่ผิวทะเลบริเวณทะเลอันดามันในรอบปีจากค่าเฉลี่ยในแต่ละเดือนระหว่างปี พ.ศ. 2546-2552

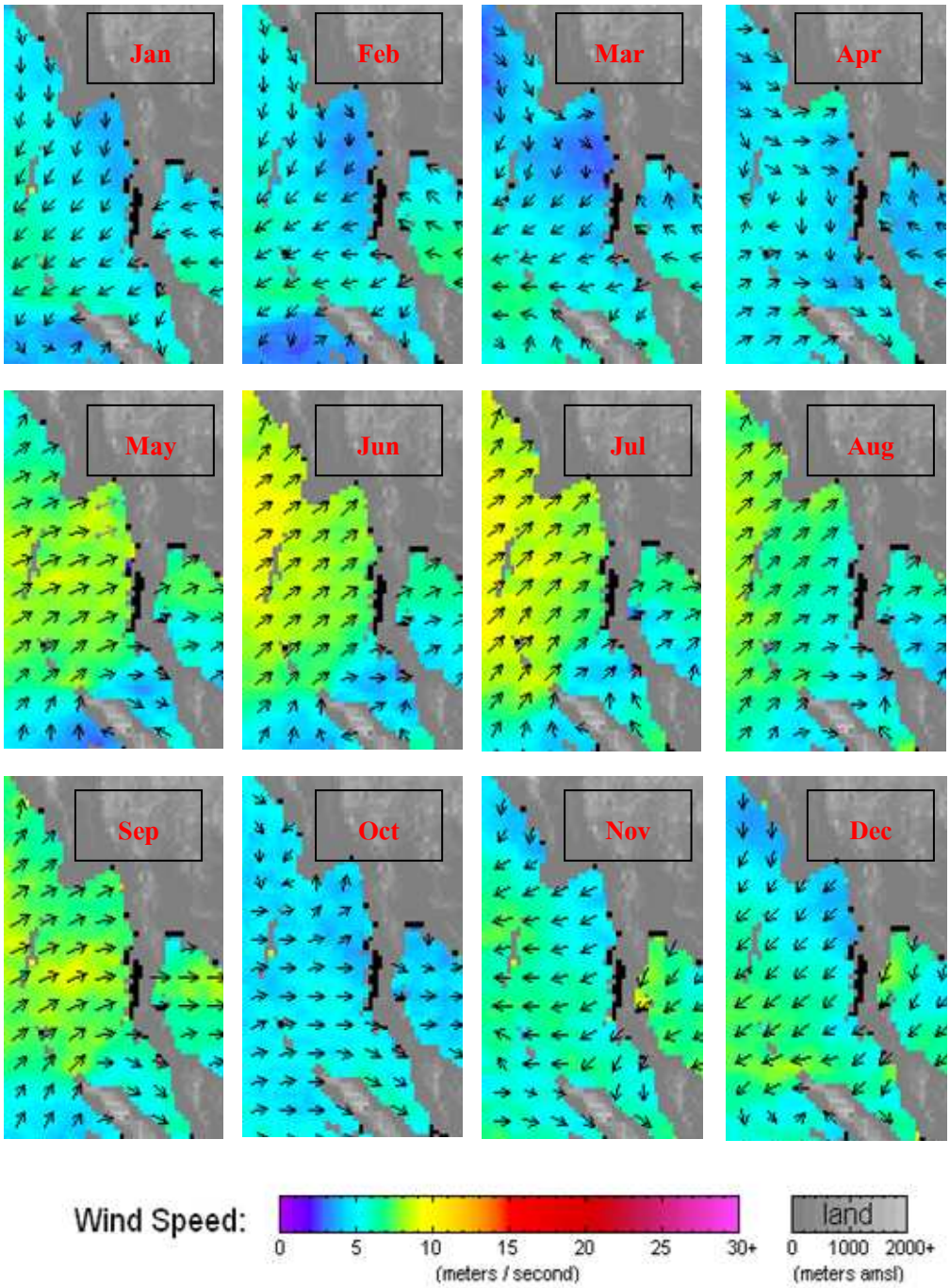


ภาพที่ 4 ปริมาณคลอโรฟิลล์-เอที่ผิวทะเลเฉลี่ยรายเดือนบริเวณทะเลอันดามันตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2546 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2552

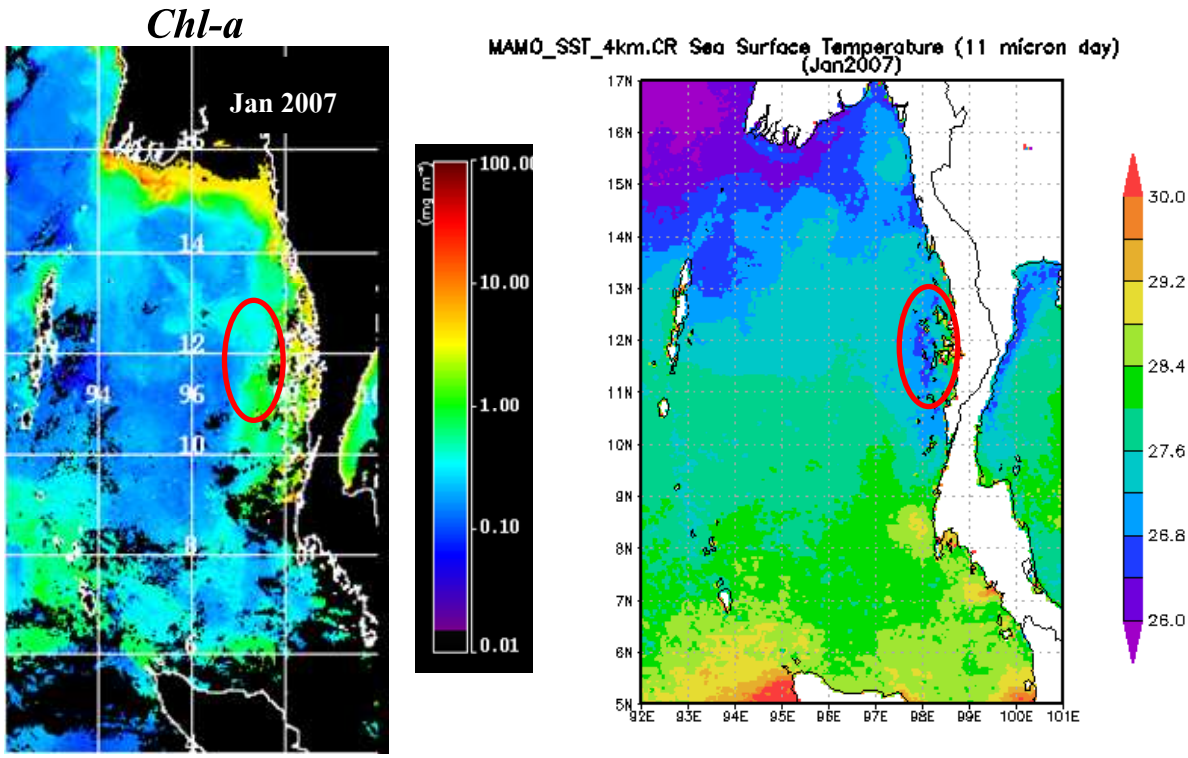
ในช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (พฤษภาคม-กันยายน) และพบว่ามีค่าสูงที่สุดในช่วงเดือนมกราคม โดยมีค่าประมาณ 0.6 - 0.7 mg/m^3 มีค่าต่ำที่สุดในช่วงเดือนมิถุนายน-กรกฎาคมโดยมีค่าประมาณ 0.2 - 0.3 mg/m^3 แนวโน้มของการเพิ่มขึ้นและลดลงของคลอโรฟิลล์-เอตามฤดูกาลมีลักษณะที่คล้ายคลึงกันในแต่ละปี แตกต่างกันที่ระดับความเข้มข้น เมื่อทดสอบค่าเฉลี่ยของแต่ละปีพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$)

ภาพถ่ายจากดาวเทียม Aqua MODIS แสดงให้เห็นถึงปริมาณคลอโรฟิลล์-เอที่ผิวทะเลบริเวณทะเลอันดามัน พบว่ามีค่าสูงในช่วงลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือและมีค่าต่ำในช่วงของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ เห็นได้ชัดเจนบริเวณชายฝั่งทางด้านตะวันออกของทะเลอันดามัน สอดคล้องกับการศึกษาของ Tan *et al*. (2006) ในการศึกษาปริมาณคลอโรฟิลล์-เอที่ผิวทะเลบริเวณตอนใต้ของทะเลอันดามันโดยใช้ภาพถ่ายจากดาวเทียม SeaWiFS (Sea-viewing

Wide Field-of-view Sensor) และข้อมูลจากการสำรวจสมุทรศาสตร์ในช่วงลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (พฤศจิกายน-ธันวาคม) ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (กรกฎาคม-สิงหาคม) และช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุม (ตุลาคม) โดยแสดงให้เห็นว่าปริมาณคลอโรฟิลล์-เอที่ผิวทะเลบริเวณด้านเหนือของช่องแคบมะละกาเริ่มมีการเพิ่มขึ้นในเดือนพฤศจิกายนและมีค่าสูงสุดในเดือนมกราคม (1.38 mg/m^3) หลังจากนั้นเดือนมีนาคมเริ่มมีปริมาณลดลงโดยมีค่าต่ำสุดในเดือนสิงหาคม (0.57 mg/m^3) และเพิ่มขึ้นอีกครั้งในช่วงของเดือนพฤศจิกายนเป็นต้นไป นอกจากนี้ยังพบว่าค่าคลอโรฟิลล์-เอจากการประมวลผลโดยภาพถ่ายดาวเทียม Aqua MODIS อยู่ในพิสัยของค่าที่เคยมีการตรวจวัดได้ในบริเวณทะเลอันดามัน (Buranapratheprat *et al*., 2010) ความสอดคล้องของผล



ภาพที่ 5 กระแสลมเฉลี่ยรายเดือนเหนือทะเลอันดามันในปี พ.ศ. 2551 (ที่มา: http://www.ssmi.com)



ภาพที่ 6 คลอโรฟิลล์-เอ และอุณหภูมิที่ผิวทะเล (http://sci.gsfc.nasa.gov) ในเดือนมกราคม พ.ศ. 2550

การศึกษาแสดงถึงความน่าเชื่อถือของข้อมูลปริมาณคลอโรฟิลล์-เอจากดาวเทียมที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้

การเพิ่มขึ้นของคลอโรฟิลล์-เอที่ผิวทะเลในช่วงลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนืออาจเกิดจากกระบวนการน้ำผุด (Upwelling) บริเวณชายฝั่งด้านตะวันออกของทะเลอันดามัน กล่าวคือมวลน้ำผิวหน้ามีการเคลื่อนตัวออกฝั่งตามทิศทางของลมในช่วงเวลานั้น (ภาพที่ 5) ทำให้น้ำชั้นล่างที่มีอุณหภูมิต่ำไหลขึ้นมาแทนที่น้ำชั้นบน แล้วนำพาสารอาหารขึ้นมาบริเวณผิวทะเลทำให้แพลงก์ตอนได้ใช้สารอาหารในการเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวน ส่งผลให้ปริมาณคลอโรฟิลล์-เอที่ผิวทะเลบริเวณชายฝั่งมีค่าสูงได้ (Knauss, 1997) ตัวอย่างเช่นการเพิ่มขึ้นของปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ บริเวณชายฝั่งทางด้านตะวันออกของทะเลอันดามันในเดือนมกราคม 2550 มีความสอดคล้องกับอุณหภูมิที่ผิวทะเลที่มีค่าต่ำในบริเวณเดียวกัน (ภาพที่ 6) ซึ่งเป็นสิ่งบอกเหตุว่ามีกระบวนการน้ำผุดเกิดขึ้นในช่วงเวลานี้ การลดลงของปริมาณคลอโรฟิลล์-เอในช่วงมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (ภาพที่ 2) อาจมีความเกี่ยวข้องกับกระบวนการน้ำมุด (Downwelling) โดยสังเกตจากทิศทางของกระแสลมตะวันตกเฉียงใต้ที่มีการพัดเข้าสู่ฝั่งทางด้านตะวันออก (ภาพที่ 5) สอดคล้องงานวิจัยของ Sartimbul *et al*. (2010) ที่ได้ศึกษาความสัมพันธ์ของปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ กับอุณหภูมิในทะเล และความแปรปรวนของสภาพอากาศ ที่ส่งผลต่อการเกิดกระบวนการทางสมุทรศาสตร์บริเวณเกาะบาหลี ประเทศอินโดนีเซีย พบว่าการเพิ่มขึ้นและลดลงของปริมาณคลอโรฟิลล์-เอเกี่ยวข้องกับกระบวนการน้ำผุดและน้ำมุดโดยสัมพันธ์กับลมมรสุมและอุณหภูมิของน้ำในทะเล

อิทธิพลของแม่น้ำอิรวดีต่อการเปลี่ยนแปลงคลอโรฟิลล์-เอในทะเลอันดามันถือว่าอยู่ในระดับต่ำเพราะช่วงที่ระดับน้ำท่ามีมากอยู่ในช่วงมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (Robinson *et al*., 2007) ตรงข้ามกับการเปลี่ยนแปลงปริมาณคลอโรฟิลล์ในรอบปีที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้ ส่วนความแตกต่างของระดับคลอโรฟิลล์-เอที่ผิวทะเลในแต่ละปีอาจมาจากหลายปัจจัย เช่น ความแตกต่างในความแรงของลมที่ส่งผลต่อความแรงของปรากฏการณ์น้ำผุดหรือน้ำมุด อิทธิพลจากคลื่นใต้น้ำ (internal wave) หรืออาจเป็นผลมาจากปริมาณน้ำท่าหรือน้ำท้น (runoff) ที่ไหลลงสู่ทะเลในปริมาณที่ไม่เท่ากันในแต่ละปี เป็นเรื่องที่น่าสนใจศึกษาต่อไปในอนาคต

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคลอโรฟิลล์ที่ผิวทะเลอันดามัน โดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียม Aqua MODIS พบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์-เอที่ผิวทะเลในแต่ละช่วงเวลาในรอบปีมีแนวโน้ม

เปลี่ยนแปลงตามอิทธิพลของลมมรสุม โดยช่วงลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (พฤศจิกายน-มีนาคม) ปริมาณคลอโรฟิลล์-เอมีค่าสูง และช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (พฤษภาคม-กันยายน) มีค่าต่ำ ช่วงที่ปริมาณคลอโรฟิลล์-เอมีค่าสูงและต่ำในรอบปี อาจสอดคล้องกับกระบวนการเกิดน้ำผุดและน้ำมุดที่บริเวณชายฝั่งทะเลทางด้านตะวันออกของทะเลอันดามัน

เอกสารอ้างอิง

ทรัพยากรธรณี, กรม. (2542). *ลักษณะภูมิประเทศและภูมิสัณฐานบริเวณทะเลอันดามัน*. วันที่ค้นข้อมูล 15 สิงหาคม 2552, เข้าถึงได้จาก http://www.dmr.go.th

ลัดดา วงศ์รัตน์. (2542). *แพลงก์ตอนพืช*. กรุงเทพ. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Buranapratheprat, A., Laongmanee, P., Sukramongkol, N., Prommas, R., Promjinda, S. & Yanagi, T. (2010). Upwelling induced by meso-scale cyclonic eddies in the Andaman Sea. *Coastal Marine Science, 34*(1), 68-73.

Dien, T.W. & Hai, P.H. (2006). Using SeaWiFS satellite data for monitoring algal bloom in Vietnam waters, the South China Sea. *Coastal Marine Science, 30*(1), 44-48.

Dutta, K., Bhushan, R. & Somayajulu, B.L.K. (2007). Rapid vertical mixing rates in deep waters of the Andaman Basin. *Science of the Total Environment, 384*, 401-408.

Knauss, J. A. (1997). *Introduction to Physical Oceanography. 1st ed*. Prentice- Hall, New Jersey.

Robinson, R.A.J, Bird, M.I., Oo, N.W., Hoey, T. B., Aye, M.M., Higgitt, D.L., Lu, X. X., Swe, A., Tun, T. & Win, S.L. (2007). The Irrawaddy River Sediment Flux to the Indian Ocean: The Original Nineteenth-Century Data Revisited. *The Journal of Geology, 115*, 629-640.

Sartimbul, A., Nakata, H., Rohadi, E., Yusuf, B. & Kadarisman, H.P. (2010). Variations in chlorophyll-a concentration and the impact on Sardinella lemuru catches in Bali Strait, Indonesia. *Progress in Oceanography, 87*, 168-174.

Tan, C.K., Ishizaka, J., Matsumura, S., Yusoff, F.M. & Mohamed, M.I.H. (2006). Seasonal variability of SeaWiFS chlorophyll a in the Malacca Straits in relation to Asian monsoon. *Continental Shelf Research, 26*, 168-178.

Tang, D., Kawamura, H., Lee, M. A. & Dien, T. V. (2003). Seasonal and spatial distribution of chlorophyll-a concentrations and water conditions in the Gulf of Tonkin, South China Sea. *Remote Sensing of Environment, 85*, 475-483.

Tomczak, M. & Godfrey, J.S. (2001). *Regional Oceanography: An Introduction*. Pergamon.