การประเมินและติดตามสถานการณ์ปะการังในประเทศไทย ด้วยศักยภาพเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ

The Assessment of Coral Situation in Thailand by Using Geo-Informatics Technology

ศิริลักษณ์ พฤกษ์ปิติกุล [1*] วราทิพย์ บัวแก้ว [1] วัชระ เกษเดช [1]
อภิสิทธิ์ กองพรหม [1] และ ณัทธร แก้วภู่ [1]
Siriluk Prukpitikul [1*] Varatip Buakaew [1] Watchara Kesdesh [1]
Apisit Kongprom [1] and Nuttorn Kaewpoo [1]

บทคัดย่อ

การประเมินและติดตามสถานการณ์ปะการังในประเทศไทย โดยใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศเป็นทางเลือกหนึ่งที่จะช่วยในการติดตามความสมบูรณ์หรือความเสื่อมโทรมของแหล่งปะการังได้ โดยจากการศึกษาพบว่า สถานการณ์ปะการังในประเทศไทยของปี พ.ศ. 2553 ค่อนข้างวิกฤติเนื่องจากอุณหภูมิของน้ำทะเลที่ตรวจวัดโดยข้อมูลจากดาวเทียม TERRA/AQUA (MODIS) มีค่าสูงและสัมพันธ์กับการเกิดปะการังฟอกขาวอย่างเห็นได้ชัด สำหรับการติดตามความสมบูรณ์ของปะการังด้วยดาวเทียม QUICKBIRD โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์เชิงจุดภาพและเชิงวัตถุนั้น พบว่าให้ค่าความถูกต้องในการจำแนกลักษณะพื้นท้องทะเลและกลุ่มปะการัง ร้อยละ 81.35 และ 85.47 ตามลำดับ ส่วนการตรวจสอบลักษณะของการเกิดปะการังฟอกขาวกับปะการังปกติด้วยภาพดาวเทียมไทยโชตพบว่าค่าการสะท้อนแสงเฉลี่ยของกลุ่มปะการังปกติกับกลุ่มปะการังฟอกขาว จะมีค่าที่แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด

ทั้งนี้ เมื่อนำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยภาพถ่ายดาวเทียม มาบูรณาการร่วมกันกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เพื่อติดตามสถานการณ์ปะการังผ่านระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ต (WMS) จะช่วยให้การติดตามและประเมินสถานการณ์ปะการังของประเทศไทยมีประสิทธิภาพและทันต่อเหตุการณ์มากยิ่งขึ้น และถือว่าเป็นเครื่องมือที่ช่วยอำนวยความสะดวกให้กับผู้ที่เกี่ยวข้องในภาคส่วนต่างๆ สามารถรับรู้ข้อมูลที่รวดเร็วและกว้างขวางมากขึ้นด้วย

---

[1] สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) ศูนย์ราชการเฉลิมพระเกียรติ 80 พรรษา 5 ธันวาคม 2550 เลขที่ 120 หมู่ 3 อาคารรวมหน่วยราชการ (อาคาร B) ชั้น 7 ถนนแจ้งวัฒนะ แขวงทุ่งสองห้อง เขตหลักสี่ จังหวัดกรุงเทพมหานคร 10210

[1] Geo-Informatics and Space Technology Development Agency (Public Organization) 120 The Government Complex Commemorating His Majesty, the King's 80th Birthday Anniversary, 5th December, B.E. 2550 (2007) Building B 6th and 7th Floor, Chaeng Wattana Road, Lak Si District Bangkok 10210, Thailand.

[*] ผู้นิพนธ์ประสานงาน (Corresponding author, e-mail): siriluk@gistda.or.th Tel: 0 2141 4535

คำสำคัญ: ปะการัง, ดาวเทียมไทยโชต, QUICKBIRD, TERRA/AQUA (MODIS), เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ

ABSTRACT

Using geospatial technology is an alternative to assist in monitoring the integrity or degradation of the coral reef. The study found that the coral reefs in the year 2010 was critical because the sea surface temperature measured by satellite data from TERRA/AQUA (MODIS) increasing associated with higher incidence of coral bleaching. For the monitoring of coral abundance by the reflective properties of the THAICHOTE and QUICKBIRD satellite imagery found that using QUICKBIRD image with pixel base and object base analysis technique provided the accuracy of characterizing the sea floor and coral group with 81.35 and 85.47 percent respectively. The identification of the occurrence of coral bleaching with the THAICHOTE satellite imagery showed that the average reflectance of coral reef bleaching was a group that was clearly different.

In summary, the data obtained from the analysis of satellite imagery integrated with GIS for monitoring coral reefs over the Internet (WMS) to help monitor and assess coral reefs of Thailand. It is considered more as a tool to assist those involved in the various sectors can be recognized more quickly and widely.

Key words: Coral, THAICHOTE, QUICKBIRD, TERRA/ AQUA (MODIS), Geospatial technology

บทนำ

ปะการัง เป็นทรัพยากรทางทะเลที่สำคัญชนิดหนึ่งที่กำลังประสบกับปัญหาความเสื่อมโทรมทั้งจากการกระทำของมนุษย์และธรรมชาติ ซึ่งต้องเร่งดำเนินการแก้ไข ปัจจุบันมีหลายหน่วยงานที่ศึกษาวิจัยและติดตามสถานการณ์ความเสื่อมโทรมของปะการังอย่างต่อเนื่อง เช่น กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, กรมประมง, กรมอุทยานสัตว์ป่า และพันธุ์พืช, สถาบันการศึกษาต่างๆ เช่น มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, มหาวิทยาลัยรามคำแหง เป็นต้น ในส่วนของสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน), สทอภ. ได้เห็นถึงความสำคัญของปัญหาดังกล่าวและหวังเป็นอย่างยิ่งที่จะได้มีส่วนร่วมในการที่จะฟื้นฟูแหล่งปะการังอันเป็นทรัพยากรที่มีคุณค่า จึงได้ศึกษาและพัฒนาระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ผ่านเครือข่ายเพื่อติดตามสถานการณ์ปะการังในประเทศไทยโดยการประยุกต์ใช้ประโยชน์จากคุณสมบัติของภาพดาวเทียมหลายความละเอียดตั้งแต่ดาวเทียมรายละเอียดต่ำ (TERRA/MODIS), ดาวเทียมรายละเอียดปานกลาง (THAICHOTE) และดาวเทียมรายละเอียดสูง (QUICKBIRD) เพื่อ

ใช้ในการติดตามสถานการณ์ของปะการังในประเทศไทย โดยผสมผสานร่วมกับเทคโนโลยีสารสนเทศภูมิศาสตร์ เพื่อจัดทำให้อยู่ในรูปแบบระบบแผนที่ที่ผู้ใช้สามารถตรวจสอบและสืบค้นข้อมูลได้ง่ายผ่านทางระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ต หรือที่เรียกว่า Web Map Service ซึ่งจะทำให้เกิดความสะดวกต่อผู้ที่ต้องการทราบข้อมูลข่าวสารได้อย่างกว้างขวางขึ้น

ปะการัง เป็นสัตว์ทะเลชนิดหนึ่งที่สามารถเจริญเติบโตได้ดีในที่ที่มีอุณหภูมิน้ำทะเล 8-27 องศาเซลเซียส มีแสงแดดพอประมาณ น้ำค่อนข้างใส และมีความลึกของน้ำไม่เกินกว่า 50 เมตร (กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช, 2556) ปะการังส่วนมากอาศัยอยู่ร่วมกันกับสาหร่ายสีเขียวเซลเดียวที่เรียกว่า Zooxanthellae โดยต่างฝ่ายต่างได้รับประโยชน์ซึ่งกันและกัน (Symbiosis) กล่าวคือ Zooxanthellae จะได้แหล่งป้องกันตัวและอาหารจากปะการัง ส่วนปะการังจะได้สีสันและก๊าซออกซิเจนจากการสังเคราะห์แสงของ Zooxanthellae ประโยชน์จากสีสันของ Zooxanthellae คือช่วยป้องกันเนื้อเยื่อของปะการังไม่ให้ถูกแผดเผาจากรังสีของดวงอาทิตย์ เมื่อใดที่สภาพแวดล้อมไม่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของ Zooxanthellae เช่น อุณหภูมิน้ำทะเลเพิ่มขึ้นหรือลดลงมากจากปกติ ความเข้มแสงที่มากเกินไป ความเค็มน้ำทะเลลดต่ำลง และการติดเชื้อจากแบคทีเรีย ซึ่งอาจเกิดจากปัจจัยเดียว หรือหลายปัจจัยร่วมกันก็ได้ จะส่งผลให้ Zooxanthellae อ่อนแอลงจนเกิดการสูญเสียรงควัตถุหรือไม่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ ส่งผลให้ปะการังมีสีซีดลง จนเกิดเป็นปรากฏการณ์ปะการังฟอกขาว และหากเป็นเช่นนี้ต่อเนื่องไปเป็นเวลานาน ปะการังก็อาจตายได้ในที่สุด (สุชนา, 2556)

กลุ่มชีววิทยาและนิเวศวิทยาทางทะเลและชายฝั่ง (2554) ได้รายงานสาเหตุที่ทำให้เกิดปะการังฟอกขาวเป็นพื้นที่กว้างครอบคลุมพื้นที่น่านน้ำในระดับประเทศหรือกินอาณาเขตกว้างในระดับภูมิภาคได้ คืออุณหภูมิน้ำทะเลที่สูงขึ้นอย่างผิดปกติ ซึ่งในน่านน้ำไทยเคยได้รับผลกระทบเช่นนี้เมื่อปี พ.ศ. 2534, 2538, 2541, 2546, 2548 และ 2550 โดยในปี 2534 และ 2538 แนวปะการังทางฝั่งทะเลอันดามันได้รับความเสียหายมาก โดยพบปะการังตายประมาณ 10-20% ส่วนในปี 2541 เกิดความเสียหายมากทางฝั่งอ่าวไทย แต่ปีต่อๆ มาเกิดทางฝั่งอันดามัน แต่เสียหายไม่มากนัก เพราะปะการังสามารถฟื้นตัวกลับสู่สภาพปกติได้ เนื่องจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ซึ่งมาเร็วในตอนต้น ช่วยบรรเทาทำให้อุณหภูมิน้ำทะเลลดลงได้ นอกจากนี้ ศรีสกุล และคณะ (2554) ยังได้สำรวจประเมินสภาพแนวปะการังในช่วงวันที่ 7-9 ธันวาคม พ.ศ. 2553 ซึ่งเป็นช่วงหลังจากเกิดปรากฏการณ์ฟอกขาว ในบริเวณหมู่เกาะอาดังราวี อุทยานแห่งชาติตะรุเตา พบว่ามีปะการังแข็งตายจากการฟอกขาวเฉลี่ยเป็นพื้นที่ประมาณร้อยละ 20-30 ของพื้นที่แนวปะการังทั้งหมด ปะการังมีชีวิตที่พบส่วนใหญ่หยุดการฟอกขาว (มีสีกลับคืนมาแล้ว) มีเพียงร้อยละ 5 ของปะการังมีชีวิตที่เกิดการฟอกขาว

MODIS (Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer) เป็นอุปกรณ์ตรวจวัดที่ติดตั้งอยู่กับดาวเทียม TERRA (ตรวจวัดตอนกลางวัน) และ AQUA (ตรวจวัดตอนกลางคืน) มีจำนวน 36 ช่วงคลื่น ช่วงคลื่นที่ใช้วัดอุณหภูมิผิวหน้าน้ำทะเลจะเป็นช่วงคลื่นอินฟราเรดกลางและอินฟราเรดไกล ดังรายละเอียดในตารางที่ 1 ในการเลือกช่วงคลื่นที่เหมาะสมต่อการศึกษาอุณหภูมิผิวน้ำทะเลนั้น พบว่า MODIS มีการวัดค่าอุณหภูมิผิวน้ำทะเลโดยใช้ช่วงคลื่นอินฟราเรดไกลจำนวน 2

ช่วงคลื่น คือที่ความยาวคลื่นประมาณ 11 และ 12 ไมโครเมตรสำหรับค่าตอนกลางวัน ส่วนที่ความยาวคลื่นประมาณ 4 ไมโครเมตรสำหรับตอนกลางคืน จะเป็นค่าอินฟราเรดกลางจำนวน 2 ช่วงคลื่น ที่ประมาณ 3.9 และ 4 ไมโครเมตร สาเหตุที่ไม่ใช้ในตอนกลางวัน เพราะค่า radiance ที่วัดได้จากอินฟราเรดกลางจะมีผลให้ค่าที่ตรวจวัดจริงมีความผิดเพี้ยน (Pison and Nechad, 2006)

NOAA (2008) เลือกใช้ข้อมูลอุณหภูมิน้ำทะเลสำหรับใช้ในการทำ NOAA Coral Reef Watch แบบ near-real-time จากภาพที่บันทึกในเวลากลางคืนเท่านั้น เพื่อลดผลกระทบเนื่องจากการสะท้อนของแสงจากดวงอาทิตย์และลดการผันแปรของอุณหภูมิน้ำทะเลในตอนกลางวัน ข้อมูลที่ได้จะเป็นการวัดค่าของ infrared radiation จากผิวหน้าน้ำทะเลที่ความลึก 10-20 ไมโครเมตร เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดในตอนกลางวันและตอนกลางคืน พบว่าค่าตอนกลางคืนคงที่มากกว่าและเอามาปรับแก้กับข้อมูลที่ตรวจวัดจริงที่ความลึก 1 เมตรได้ดี (Montgomery and Strong, 1994)

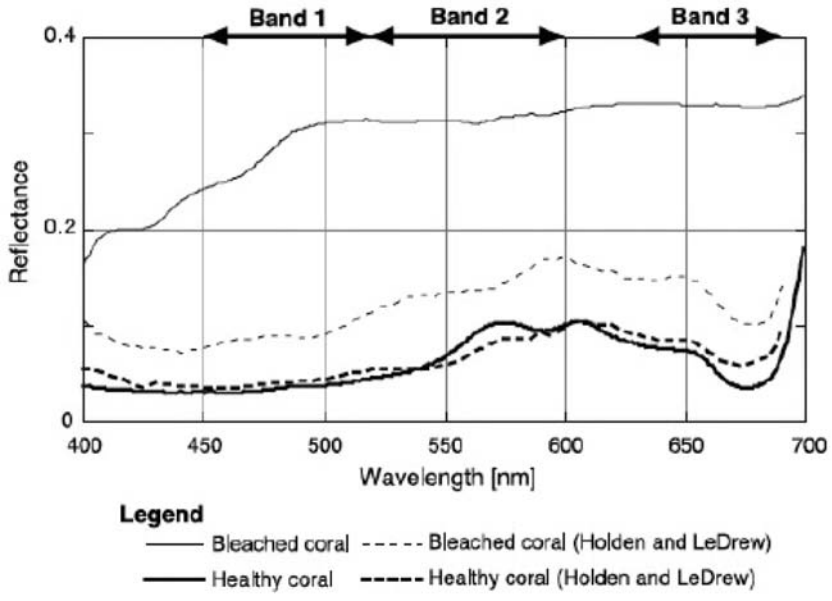
นอกจากการตรวจวัดอุณหภูมิผิวน้ำทะเลแล้ว การใช้ประโยชน์จากคุณสมบัติการสะท้อนแสงของแนวปะการังที่ตรวจวัดโดยภาพถ่ายดาวเทียมก็สามารถนำมาใช้ในการติดตามความอุดมสมบูรณ์ของแนวปะการังได้ เนื่องจากปัจจัยที่มีผลต่อการสะท้อนแสงของแหล่งน้ำตื้น ได้แก่ ชั้นบรรยากาศ ความลึกของน้ำ สสารและสารแขวนลอยต่างๆ ในน้ำ เช่น สารอินทรีย์ ตะกอนแขวนลอย และสารที่ละลายในน้ำ (Lyzenga, 1981) ดังนั้น การใช้เทคโนโลยีการสำรวจระยะไกล เช่น ภาพถ่ายดาวเทียมไทยโชตและ QUICKBIRD เพื่อศึกษาค่าการสะท้อนของระบบนิเวศปะการัง จึงจำเป็นต้องคำนึงถึงปัจจัยเหล่านี้ด้วย โดย Nurlidiasari (2004) ได้ใช้ภาพดาวเทียมรายละเอียดสูง QUICKBIRD ทำแผนที่ปะการังบริเวณเกาะเดราวัณ ประเทศอินโดนีเซีย โดยใช้วิธี Maximum Likelihood โดยเปรียบเทียบระหว่างก่อนและหลังการปรับแก้ข้อมูลชั้นน้ำ พบว่าค่าความถูกต้องที่ได้มีค่าเป็นร้อยละ 67 และ 89 ตามลำดับ ส่วน ธรณ์ (2534) ได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลดาวเทียม LANDSAT และดาวเทียม SPOT เพื่อศึกษาการกระจายองค์ประกอบแนวปะการังบริเวณกลุ่มเกาะสมุยโดยใช้ระบบวิเคราะห์ข้อมูลดาวเทียม microBRLAN พบว่ากระบวนการปรับปรุงภาพ กระบวนการหาอัตราส่วนระหว่างช่วงคลื่น และกระบวนการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักจะช่วยสร้างภาพดาวเทียมบริเวณแนวปะการังที่แสดงการกระจายขององค์ประกอบต่างๆ ได้อย่างชัดเจน นอกจากนี้ยังได้ผสมผสานข้อมูลดาวเทียม SPOT Panchromatic และข้อมูลดาวเทียม LANDSAT TM เพื่อสร้างแผนที่ดาวเทียมมาตราส่วน 1:25,000 สำหรับการวิเคราะห์ผลการศึกษาได้อย่างดี นอกจากนี้ มาฆ มาส (2548) ยังได้ศึกษาความสามารถของเทคนิคการสำรวจระยะไกล ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสถานภาพของแนวปะการังในระยะยาวบริเวณเกาะเต่า จังหวัดสุราษฎร์ธานี ด้วยดาวเทียม LANDSAT 5 TM และ LANDSAT 7 ETM+ พบว่าเมื่อใช้อัตราส่วนช่วงคลื่นในรูปสีผสมที่ให้ความแตกต่างของข้อมูล ได้แก่ 3 2 1 (RGB) วิเคราะห์และจำแนกแบบ Supervised Classified ด้วยวิธี Maximum likelihood จะสามารถจำแนกองค์ประกอบของแนวปะการังได้ 4 ชนิด ได้แก่ ปะการังมีชีวิต องค์ประกอบอื่นในแนวปะการังที่ไม่ใช่ปะการังมีชีวิต พื้นทรายในแนวปะการัง และหาดทราย โดยมีค่าความถูกต้องทั้งหมด (Overall accuracy) 60- 67% ส่วน Dobson and

Dustan (2000) ได้ใช้ภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT-TM ระหว่างปี 1982-1996 ศึกษารูปแบบของการเปลี่ยนแปลงค่าการสะท้อนและพื้นที่ปะการังพบว่ามีลักษณะสัมพันธ์กัน นอกจากนี้ Palandro *et al*.(2003) ได้ใช้ภาพ IKONOS ปี 2000 และภาพถ่ายทางอากาศ ปี 1981 และ 1992 ติดตามการเปลี่ยนแปลงของแหล่งปะการังใน Carysfort Reef, Florida, USA พบว่าสามารถตรวจสอบหาปริมาณปะการังที่ลดลงไปในแต่ละปีได้ โดยให้ผลใกล้เคียงกับผลที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม

ตารางที่ 1 ช่วงคลื่นของ MODIS ที่ใช้สำหรับหาค่าอุณหภูมิผิวน้ำทะเล

ช่วงคลื่น	ความยาวคลื่น (ไมโครเมตร)		ค่ากลางช่วงคลื่น (ไมโครเมตร)	Radiance@300K (Wm-2μm-1sr-1)	NEΔT^g (K)	ประเภท
20	3.660-3.840	0.1800	3.750	0.45	0.05	อินฟราเรดกลาง
22	3.929-3.989	0.0594	3.959	0.67	0.07	
23	4.020-4.080	0.0608	4.050	0.79	0.07	
31	10.780-11.280	0.5000	11.030	9.55	0.05	อินฟราเรดไกล
32	11.770-12.270	0.5000	12.020	8.94	0.05	

ที่มา: Davies (2004)



ภาพที่ 1 แสดงค่าการสะท้อนของปะการังในสภาวะปกติกับสภาวะที่ฟอกขาวในห้องปฏิบัติการเปรียบเทียบกับผลของ Holden and ledrew

ที่มา: Yamano *et al*. (2002)

วัตถุประสงค์

1. ประเมินสถานภาพความสมบูรณ์ของแนวปะการังในพื้นที่ศึกษา

2. ศึกษาเทคนิคการจำแนกแนวปะการังและวิเคราะห์ปะการังสมบูรณ์และปะการังฟอกขาว โดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียม

3. พัฒนาระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ผ่านเครือข่าย (Web Map Service: WMS) เพื่อติดตามสถานการณ์ปะการังในประเทศไทย

วิธีดำเนินการวิจัย

1. พื้นที่ศึกษา

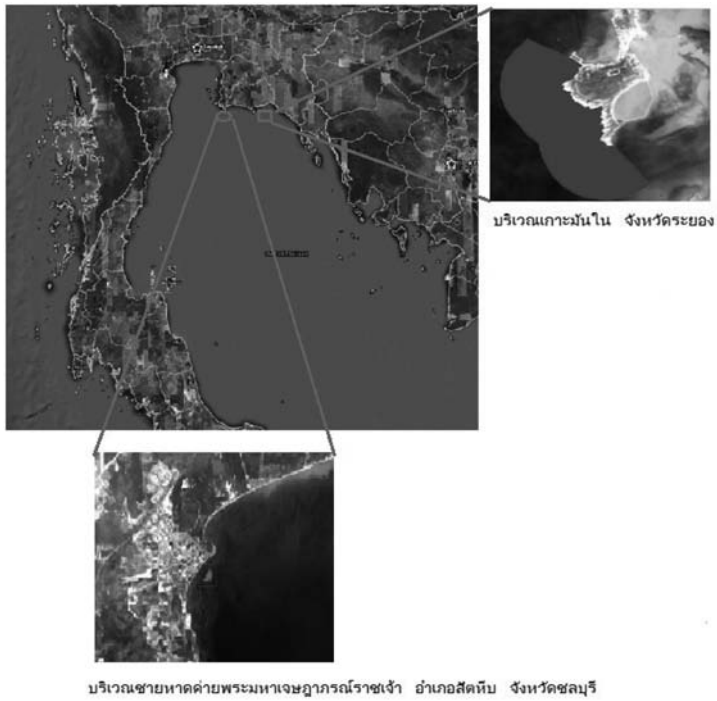
พื้นที่อ่าวไทยและทะเลอันดามัน ใช้เป็นพื้นที่ศึกษาเพื่อประเมินสถานภาพความสมบูรณ์ของแนวปะการัง ส่วนพื้นที่ศึกษาบริเวณเกาะมันใน จังหวัดระยอง และบริเวณชายหาดค่ายพระมหาเจษฎาภรณ์ราชเจ้า อำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี เป็นพื้นที่ศึกษาเทคนิคการจำแนกแนวปะการังและวิเคราะห์ปะการังสมบูรณ์และปะการังฟอกขาว (ภาพที่ 2)

2. ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

2.1 ข้อมูลภาพจากดาวเทียม TERRA/AQUA ระบบ MODIS, ดาวเทียมไทยโชต และ QUICKBIRD

2.2 ข้อมูลอุณหภูมิน้ำทะเลในอ่าวไทยและทะเลอันดามันที่ตรวจวัดได้จากทุ่นสำรวจสมุทรศาสตร์และอุปกรณ์ตรวจวัดแบบหลายตัวแปรระหว่างปี พ.ศ. 2534-2553

2.3 ข้อมูลแผนที่ของกรมแผนที่ทหาร (Topographic Maps) มาตราส่วน 1:50,000 ระวางที่ตรงกับพื้นที่ศึกษา



ภาพที่ 2 แสดงพื้นที่ศึกษา

2.4 ข้อมูลอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น ข้อมูลมาตราน้ำ ข้อมูลแหล่งปะการัง ข้อมูลสภาพอากาศและสภาพทางสมุทรศาสตร์ เป็นต้น

3. ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.1 ตรวจเอกสารและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง เช่น ข้อมูลแหล่งปะการัง ปัจจัยที่มีผลต่อการดำรงชีวิตของปะการัง ข้อมูลมาตราน้ำ ข้อมูลปริมาณน้ำฝน ข้อมูลสภาพอากาศและสภาพแวดล้อมทางทะเล เป็นต้น

3.2 วิเคราะห์ค่าของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลจากภาพ TERRA/AQUA ระบบ MODIS โดยนำเข้าข้อมูลต้นฉบับในรูปแบบ *.hdf ลงในโปรแกรม SeaDAS ทำการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนเชิงเรขาคณิต และวิเคราะห์ประมวลผลข้อมูลอุณหภูมิผิวหน้าน้ำทะเล

3.3 จัดทำแผนที่เฉพาะเรื่องของลักษณะพื้นท้องทะเลและกลุ่มปะการังจากภาพ QUICKBIRD และค่าการสะท้อนของปะการังฟอกขาวจากภาพดาวเทียมไทยโชต โดยดำเนินการตามขั้นตอนดังนี้

3.3.1 คัดเลือกภาพในพื้นที่ศึกษาที่ไม่มีเมฆบดบัง หรือมีเมฆบดบังเล็กน้อย จากนั้นปรับแก้ข้อมูลภาพให้มีความถูกต้องด้านทิศทาง โดยอ้างอิงกับข้อมูลแผนที่ตามข้อ 3.3 แล้วกำหนดจุดบังคับภาคพื้นดิน (Ground Control Point) ให้กระจายทั่วภาพ และกำหนดเป็นพิกัดตามโครงเส้นแผนที่แบบ ทรานสเวอร์สเมอร์เคเตอร์ เขต กริด 47 มีพื้นหลักฐานทางราบถือตามระบบ WGS 1984 แล้วจัดทำข้อมูลใหม่เพื่อให้ค่าระดับสีเทา (Digital Number) ใกล้เคียงกับข้อมูลต้นฉบับโดยวิธีประมาณค่าของจุดภาพแบบ Bilinear Interpolation

3.3.2 ปรับแก้ค่า Atmospheric correction และวิเคราะห์หาค่าการสะท้อนของปะการัง โดยใช้ FLAASH Model ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม ซึ่งมีหลักการตามสมการต่อไปนี้

$$L = \left(\frac{A\rho}{1-\rho_e S}\right) + \left(\frac{B\rho_e}{1-\rho_e S}\right) + L_a$$

โดยที่

ρ = the pixel surface reflectance

ρ_e = an average surface reflectance for the pixel and a surrounding region

S = the spherical albedo of the atmosphere

L_a = the radiance back scattered by the atmosphere

A และ B = atmospheric and geometric conditions

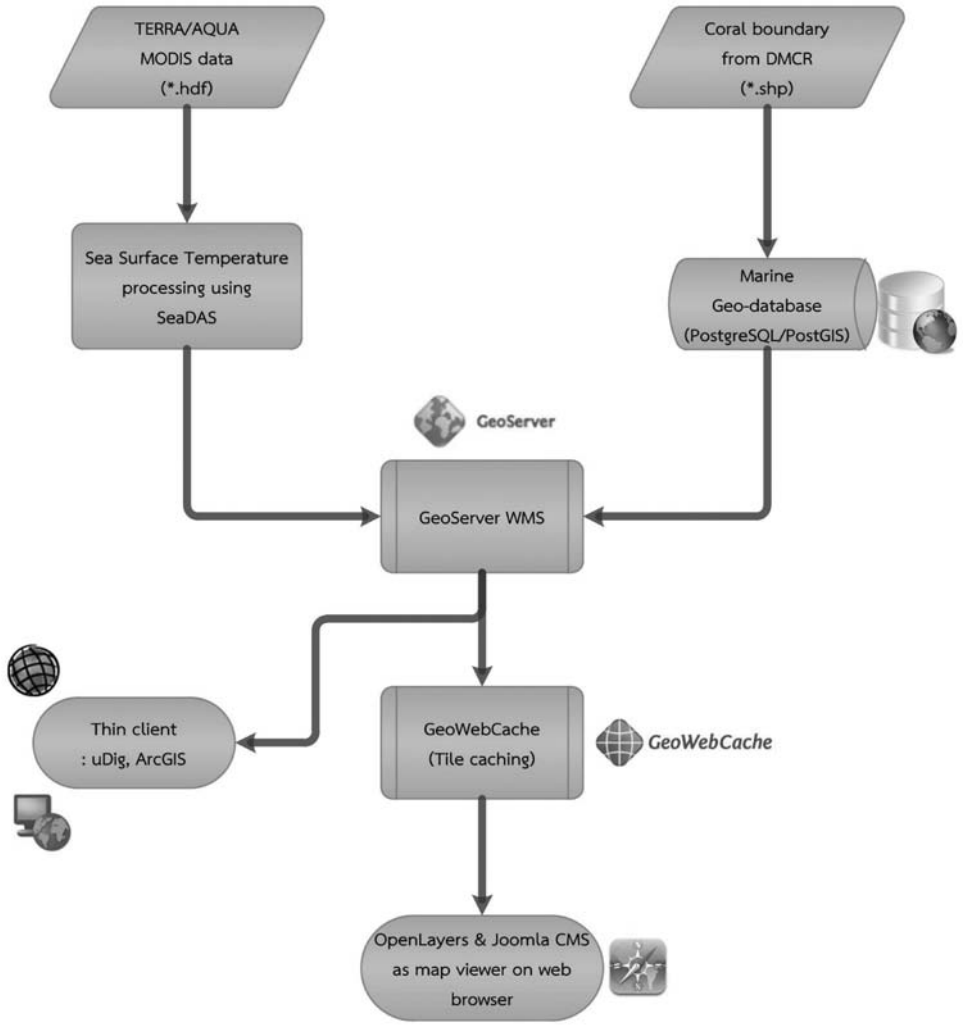
จากสมการจะเป็นการหาค่าการสะท้อนที่ได้จากการสะท้อนของพื้นผิววัตถุและจากการกระจัดกระจายโดยชั้นบรรยากาศ โดยจะกำหนดให้ค่า ρ_e ให้มีค่าเท่ากับ ρ ส่วนค่า A, B, S และ L_a มาจากการนำค่ามุมของดวงอาทิตย์และดาวเทียมและค่าความสูงของการตรวจวัด เป็นตัวแทนของชั้นบรรยากาศ, ชนิดของ aerosol type และระยะทางการมองเห็น

3.3.3 จำแนกลักษณะพื้นท้องทะเลและกลุ่มของปะการังด้วยเทคนิควิธีการวิเคราะห์ในเชิงจุดภาพ (Pixel base) ด้วยการทำ Maximum Likelihood และในเชิงวัตถุ (object base) ด้วยการทำ Nearest Neighbor Classification วิเคราะห์เปรียบเทียบกับข้อมูลภาคสนาม

3.4 พัฒนาระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ผ่านเครือข่าย (ภาพที่ 3) ซึ่งเป็นการพัฒนาระบบการ

ให้บริการข้อมูลเชิงพื้นที่ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตตามมาตรฐาน OGC (Open Geospatial Consortium) จากซอฟต์แวร์รหัสเปิด (Open Source software) ซึ่งประกอบด้วย

3.4.1 การติดตั้งระบบแม่ข่ายแผนที่ (Web Map Server) ทำการพัฒนาระบบแม่ข่ายแผนที่ด้วย GeoServer ซึ่งทำงานโดยอาศัย Apache HTTP Server และ Tomcat Apache ที่พอร์ต 8080 โดย GeoServer ทำหน้าที่ในการให้บริการข้อมูลเชิงพื้นที่ผ่านเครือข่ายในรูปแบบ WMS (Web Map Service) พร้อมกับติดต่อกับฐานข้อมูลเชิงพื้นที่ นอกจากนี้ในส่วนระบบแม่ข่ายแผนที่ ยังมี GeoWebCache ซึ่งระบบ Tile caching ทำหน้าที่ในการเพิ่มความรวดเร็วในการแสดงผลผ่านเว็บเบราว์เซอร์



ภาพที่ 3 แสดงขั้นตอนการจัดทำระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต เพื่อประเมินสถานการณ์ปะการังในประเทศไทย

3.4.2 การพัฒนาส่วนแสดงผลแผนที่ (Map Viewer) ด้วย OpenLayers ซึ่งเป็น Map Viewer ที่มีประสิทธิภาพสูง สามารถต่อเชื่อม Map Service ที่เป็นทั้งมาตรฐาน OGC WMS และเฉพาะผู้ผลิต (proprietary) เช่น Google Map API, Yahoo Map API, Virtual Earth API, Multimap และอื่นๆ ทำหน้าที่เป็นส่วนแสดงผลแผนที่บนเว็บเบราว์เซอร์ พัฒนาโดยปรับแต่งการแสดงผลในชั้นข้อมูลต่างๆ ส่วนควบคุมการใช้งาน (Navigation bar) และส่วนประกอบของ Map Viewer โดยปรับแต่งตามหลักการใช้งานโค๊ด Openlayers API

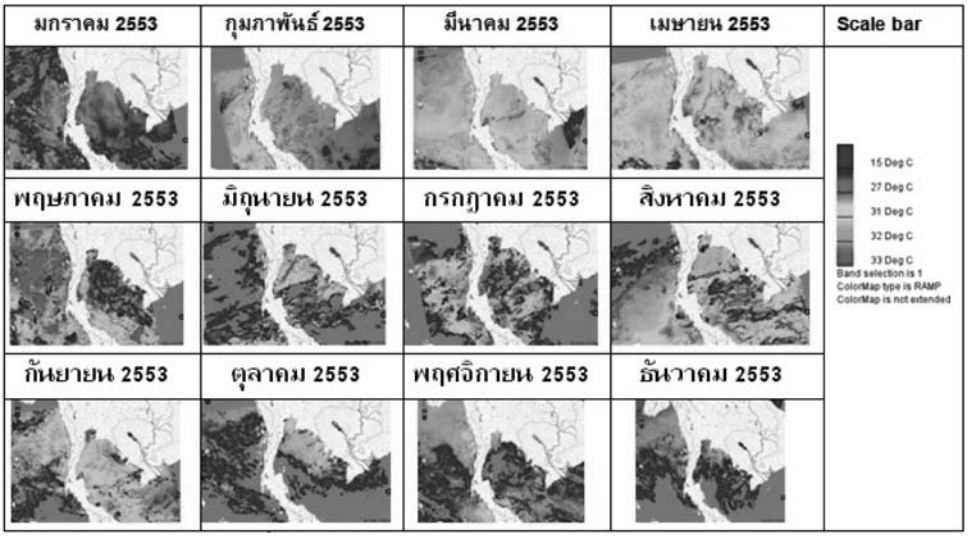
ผลการศึกษา

1. การประเมินสถานภาพความสมบูรณ์ของแนวปะการัง

ปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อสถานภาพความสมบูรณ์ของแนวปะการัง คือ อุณหภูมิน้ำทะเล ในประเทศไทยนั้น ถือว่าเป็นสิ่งที่มีความสำคัญต่อการติดตามและประเมินสถานการณ์ของปะการังในประเทศไทยเป็นอย่างมาก เนื่องจากอุณหภูมิน้ำทะเลเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อความสมบูรณ์ของปะการัง ซึ่งจากการศึกษาโดยวิเคราะห์ข้อมูลที่ตรวจวัดได้จากภาพ MODIS ในปี พ.ศ. 2553 พบว่ามีช่วงเดือนมกราคมที่อุณหภูมิน้ำทะเลมีค่าระหว่าง 15-27 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นอุณหภูมิจะค่อยๆ สูงขึ้นจนมีค่ามากที่สุดในเดือนเมษายนที่ 33 องศาเซลเซียสแล้วลดลงจนเป็น 15-27 องศาเซลเซียสในเดือนธันวาคม โดยรวมแล้วพบว่าตลอดปี 2553 อุณหภูมิน้ำทะเลจะมีค่ามากกว่า 31 องศาเซลเซียสต่อเนื่องยาวนาน 8-10 เดือน (ภาพที่ 4)

2. การศึกษาเทคนิคการจำแนกแนวปะการัง และวิเคราะห์ปะการังสมบูรณ์และปะการังฟอกขาว โดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียม

การศึกษาเทคนิคการจำแนกแนวปะการังและวิเคราะห์ปะการังสมบูรณ์และปะการังฟอกขาว โดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียม ได้คัดเลือกภาพ

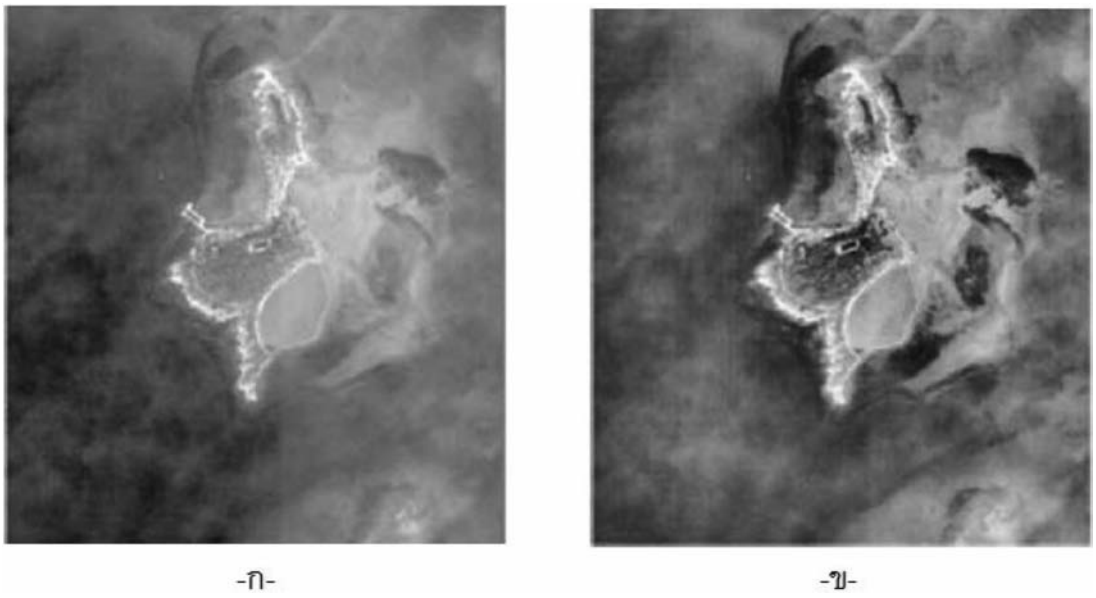


ภาพที่ 4 อุณหภูมิผิวน้ำทะเลที่ตรวจวัดได้จากภาพดาวเทียม TERRA/AQUA ระบบ MODIS ในอ่าวไทยระหว่างเดือนมกราคม – ธันวาคม 2553

ดาวเทียม QUICKBIRD และดาวเทียมไทยโชตซึ่งมีรายละเอียดของภาพสูงขึ้น (ความละเอียด 2.4 และ 15 เมตร สำหรับภาพ Multispectral ตามลำดับ) โดยทำการปรับแก้ข้อมูลชั้นบรรยากาศ (Atmospheric correction) ด้วย FLAASH Model ซึ่งผลที่ได้จะทำให้ภาพมีความคมชัดมากขึ้น (ภาพที่ 5) และเมื่อนำภาพ QUICKBIRD มาจำแนกลักษณะพื้นท้องทะเลและกลุ่มปะการังโดยใช้เทคนิควิธีการวิเคราะห์ในเชิงจุดภาพ (pixel base) ด้วยการทำ Maximum Likelihood และในเชิงวัตถุ (object base) ด้วยการทำ Nearest Neighbor Classification จะให้ค่าความถูกต้องรวมถึงร้อยละ 81.35 และ 85.47 ตามลำดับ (ภาพที่ 6)

ส่วนภาพดาวเทียมไทยโชตนั้น เมื่อนำภาพที่ปรับแก้ข้อมูลชั้นบรรยากาศ (Atmospheric correction) ด้วย FLAASH Model มาวิเคราะห์เพื่อหาค่าการสะท้อนของปะการังปกติกับปะการังฟอกขาวในพื้นที่ศึกษาบริเวณอ่าวสัตหีบจังหวัดชลบุรีแล้ว พบว่าค่าการสะท้อนเฉลี่ยของกลุ่มปะการังปกติ ในช่วงคลื่นสีน้ำเงิน เขียว และแดง มีค่าเท่ากับ 0.84, 0.36 และ 0.15 ตามลำดับ ส่วนปะการังฟอกขาว เท่ากับ 0, 1.72 และ 1.10 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีค่าการสะท้อนแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด โดยเฉพาะช่วงคลื่นสีแดงที่ให้ค่าการสะท้อนของปะการังฟอกขาวสูงกว่าปะการังปกติ ทั้งนี้เนื่องจากชนิดของปะการังในพื้นที่ศึกษาเป็นปะการังอ่อนในกลุ่ม Sacrophyton ซึ่งมีสีน้ำตาล เมื่อเกิดการฟอกขาวจะมีสีซีดลงเป็นสีเหลืองทอง ความสามารถในการดูดกลืนแสงสีแดงก็จะลดลง ทำให้ค่าการสะท้อนเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 7)

3. การพัฒนาระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ผ่านเครือข่าย (Web Map Service: WMS) เพื่อติดตามสถานการณ์ปะการังในประเทศไทย

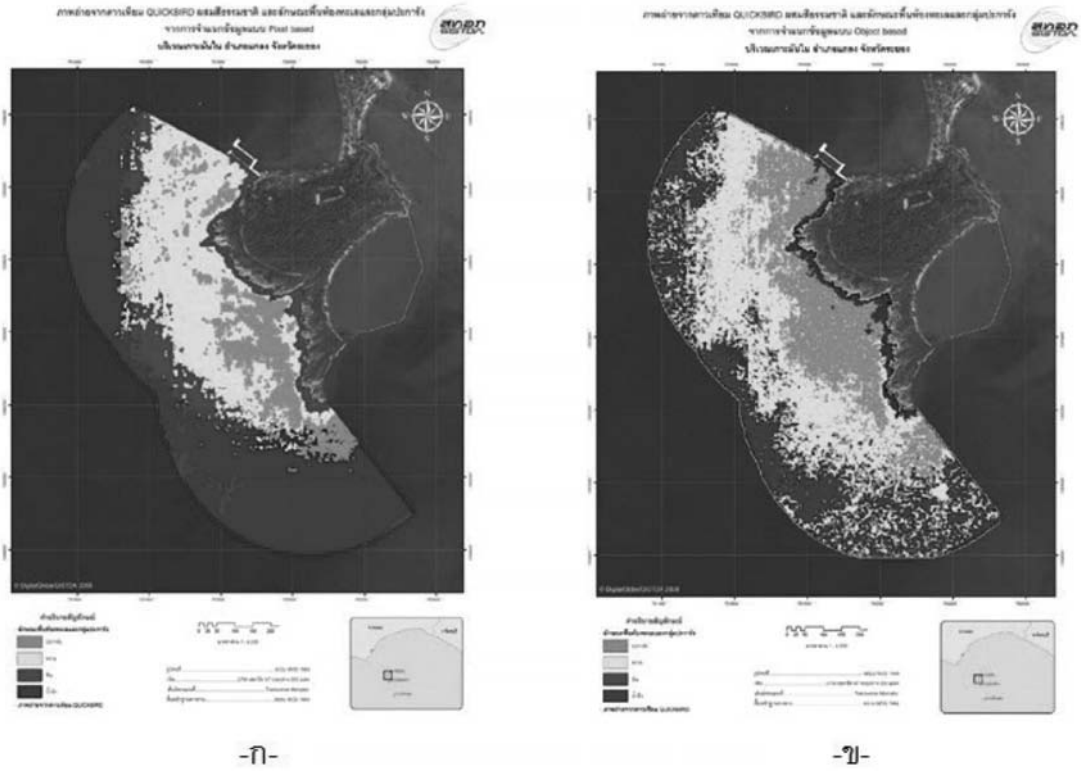


ภาพที่ 5 ภาพดาวเทียม QUICKBIRD บริเวณเกาะมันใน จังหวัดระยอง ก่อน (ก) และหลัง (ข) ทำการปรับแก้ข้อมูลชั้นบรรยากาศ (Atmospheric correction) ด้วย FLASSH Model

ในการพัฒนาระบบการเผยแพร่ข้อมูลผ่านทางเครือข่ายเพื่อติดตามสถานการณ์ปะการังในประเทศไทยนั้น ได้ทำการบูรณาการข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์มาบูรณาการร่วมกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ด้วยโปรแกรมรหัสเปิด (Open Sources) ร่วมกับ GeoServer ซึ่งผลที่ได้จากการพัฒนาทำให้สามารถแสดงผลด้วย Openlayers ได้หลายรูปแบบทั้งการผ่าน Web Browser ซึ่งไม่ต้องมีการติดตั้งโปรแกรมเพิ่มเติม และแบบที่ผ่านโปรแกรมรับรองการทำงานกับ WMS ซึ่งปัจจุบันมีหลายโปรแกรมที่สามรถนำมาใช้งานได้ เช่น uDig, QuantumGIS และ ArcMap เป็นต้น ซึ่งสามารถจัดทำได้หลายรูปแบบ (ภาพที่ 8) เช่น แผนที่แสดงการกระจายตัวของแนวปะการัง การประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดปะการังฟอกขาว (Coral Bleaching Hotspot) เป็นต้น

วิจารณ์ผล

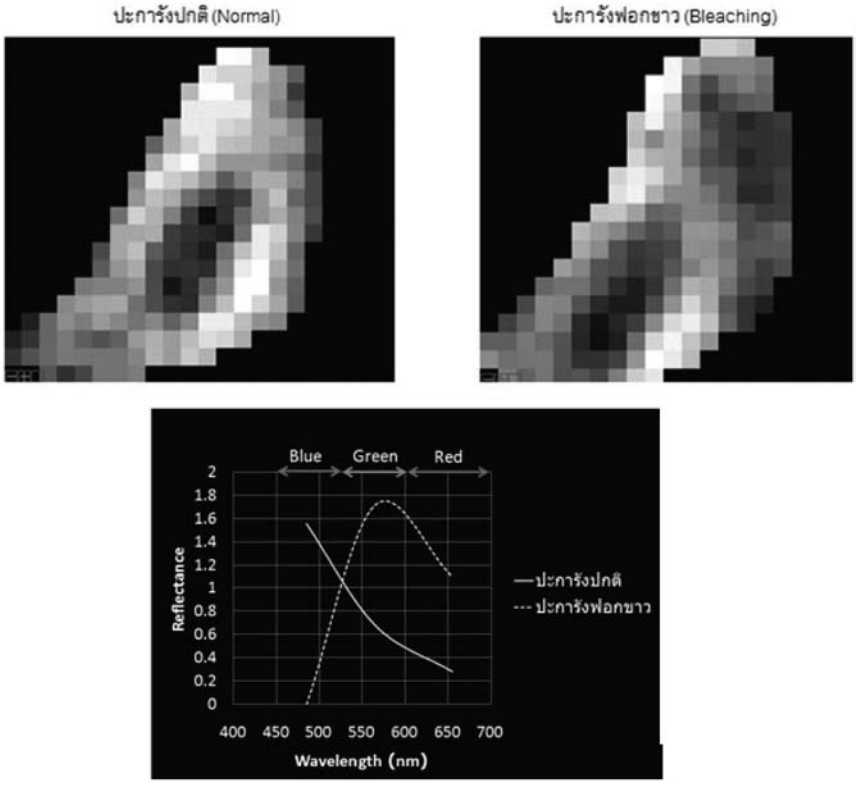
ในการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีภาพถ่ายดาวเทียมผสมผสานร่วมกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อประเมินสถานการณ์ปะการังในประเทศไทยนั้น สามารถนำข้อมูลที่ได้จากอุปกรณ์ตรวจวัดของดาวเทียมหลากหลายชนิดมาผสมผสานร่วมกัน เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดได้เป็นอย่างดี ดังเช่น ภาพ MODIS จากดาวเทียม TERRA/AQUA ซึ่งเป็นดาวเทียมรายละเอียดต่ำ (1 กิโลเมตรต่อจุดภาพ) สามารถตรวจวัดข้อมูล



-ก- -ข-

ภาพที่ 6 ผลการจำแนกลักษณะพื้นท้องทะเลและกลุ่มปะการังจากภาพถ่ายดาวเทียม QUICKBIRD บริเวณเกาะมันใน จังหวัดระยอง ด้วยเทคนิควิธีการวิเคราะห์เชิงจุดภาพ (ก) และเชิงวัตถุ (ข)

อุณหภูมิผิวน้ำทะเล ซึ่งเป็นดัชนีหนึ่งที่สำคัญสำหรับการเกิดการฟอกขาวในปะการังได้แบบรายวันในพื้นที่กว้าง จึงเหมาะที่จะนำมาใช้ติดตามการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิน้ำทะเลในภาพรวม และเมื่อนำมาบูรณาการร่วมกันกับดาวเทียมไทยโชตและดาวเทียม QUICKBIRD ซึ่งมีความ



ภาพที่ 7 เปรียบเทียบค่าการสะท้อนของปะการังปกติ กับปะการังฟอกขาว ที่ตรวจวัดได้จากภาพดาวเทียมไทยโชต บริเวณอ่าวสัตหีบ จังหวัดชลบุรี

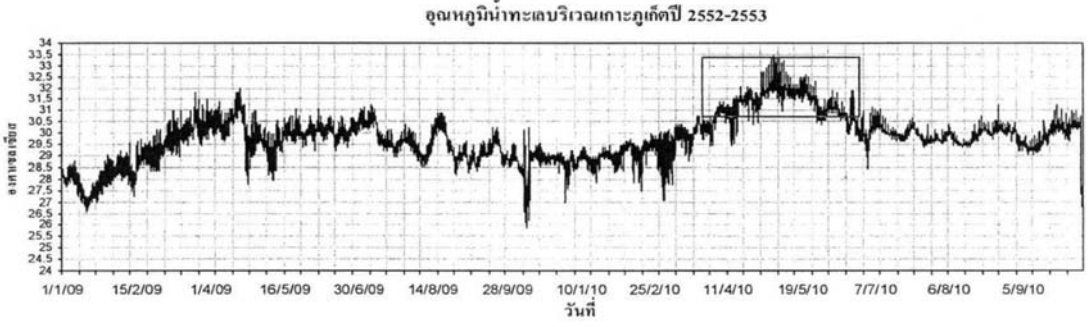
ภาพที่ 8 ตัวอย่างระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เพื่อประเมินสถานการณ์ปะการังในประเทศไทย

ละเอียดของภาพสูงกว่า ก็จะช่วยให้ความสามารถในการประเมินสถานการณ์การเกิดปะการังฟอกขาวในพื้นที่ใดพื้นที่หนึ่งมีประสิทธิภาพสูงขึ้นด้วย

สำหรับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิน้ำทะเลในปี พ.ศ. 2553 นั้น ถือได้ว่าเป็นปีที่มีผลกระทบต่อการเกิดปะการังฟอกขาวในประเทศไทยเป็นอย่างมาก ซึ่งผลจากการสำรวจด้วยดาวเทียมมีความสอดคล้องกับผลที่ได้จากการสำรวจของกลุ่มชีววิทยาและนิเวศวิทยาทางทะเลและชายฝั่ง กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง (2554) กล่าวคือ อุณหภูมิน้ำทะเลในปี 2553 มีค่าสูงจากปกติจาก 29 องศาเซลเซียสได้เริ่มสูงขึ้นเป็น 30 องศาเซลเซียส ตั้งแต่ปลายเดือนมีนาคม 2553 สามสัปดาห์ต่อมาปะการังได้เริ่มฟอกขาวแผ่พื้นที่เป็นวงกว้างคลุมทะเลทั้งฝั่งอันดามันและอ่าวไทย ทั้งนี้ ประมาณไว้ว่า ณ อุณหภูมิตั้งแต่ 30 องศาเซลเซียสขึ้นไป เป็นจุดวิกฤติที่กระตุ้นให้เกิดการฟอกขาวของปะการัง ทั้งนี้ขึ้นกับองค์ประกอบอื่นด้วยที่เป็นตัวกระตุ้นร่วม โดยเฉพาะความเข้มของแสงแดด (ภาพที่ 9-10)

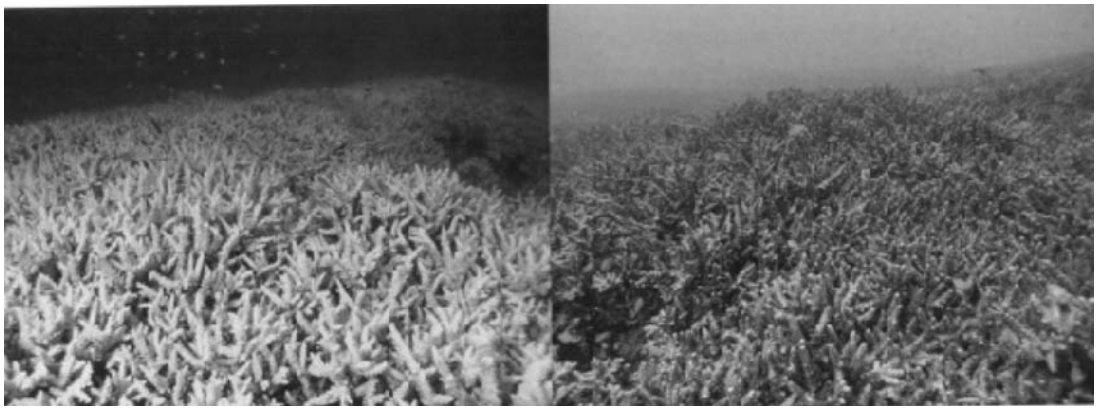
นอกจากนี้ยังพบว่าที่จังหวัดภูเก็ตมีอุณหภูมิน้ำทะเลสูง 30-33 องศาเซลเซียส นานต่อเนื่องตลอดสามเดือนทำให้ปะการังที่อยู่ในสภาวะฟอกขาวต่อเนื่องมานานค่อยๆ ตายไป ต่อมาในตอนปลายเดือนมิถุนายน 2553 อุณหภูมิจึงเริ่มลดลงมาเกือบเข้าสู่สภาวะปกติที่ 29 องศาเซลเซียส ปะการังโขด (*Pontes lutea*) ซึ่งเป็นโครงสร้างหลักของแนวปะการังเป็นพวกแรกที่เริ่มมีสีน้ำตาลกลับคืนมา แสดงให้เห็นการฟื้นตัวที่ค่อยๆ เกิดขึ้น ประมาณได้ว่าปะการังฟอกขาวสามารถฟื้นตัวได้ราว 50-75% (ประมาณหนึ่งในสี่ถึงครึ่งหนึ่งที่ได้ตายไป) (ภาพที่ 10)

ในอดีตที่ผ่านมาจากการสำรวจโดยข้อมูลทุ่นสำรวจสมุทรศาสตร์ พบว่าอุณหภูมิที่สูงมากกว่า 31 องศาเซลเซียสจะไม่มีต่อเนื่องยาวนานเท่ากับที่ตรวจวัดได้ในปี 2553 และจากสถิติระหว่างปี 2534-2549 พบว่าจะมีเพียงเดือนเมษายน-มิถุนายนเท่านั้น ที่มีอุณหภูมิสูงสุดในรอบปีและไม่เกิน 31.5 องศาเซลเซียส ยกเว้นปี 2541 ซึ่งเป็นปีที่มีปรากฏการณ์เอลนีโญเกิดขึ้นที่มีอุณหภูมิสูงมากกว่า 32 องศาเซลเซียสในช่วงเดือนดังกล่าว (ภาพที่ 11)



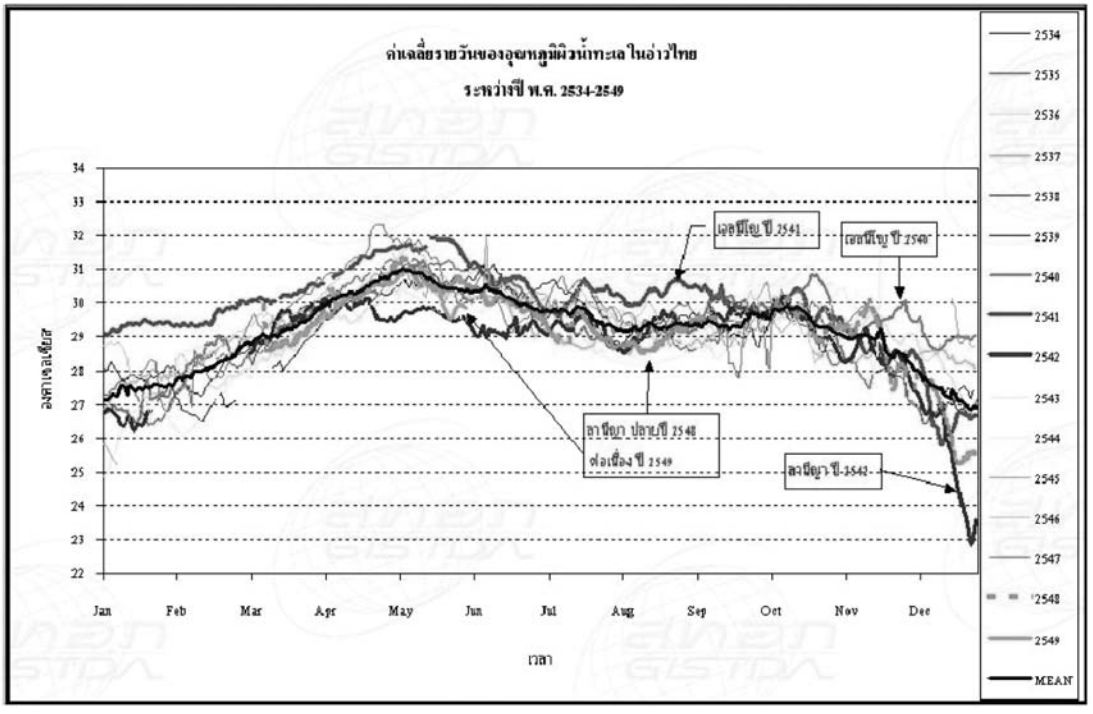
ภาพที่ 9 อุณหภูมิน้ำทะเลในแนวปะการังบริเวณเกาะภูเก็ต ตั้งแต่ มกราคม 2552 – กันยายน 2553 ในกรอบเป็นช่วงที่อุณหภูมิน้ำทะเลขึ้นสูงกว่า 30 องศาเซลเซียส ต่อเนื่องกันเป็นเวลาประมาณ 3 เดือน

ที่มา: กลุ่มชีววิทยาและนิเวศวิทยาทางทะเลและชายฝั่ง (2554)



ภาพที่ 10 แนวปะการังในอ่าวทางทิศเหนือของเกาะราชาใหญ่ มีปะการังเขากวาง (*Acropora* spp.) ขึ้นอยู่เป็นดงกว้างใหญ่ เริ่มฟอกขาวตั้งแต่เดือนพฤษภาคม 2553 (ภาพซ้าย) หลังจากนั้นในเดือนกันยายน เมื่อตรวจสอบอีกครั้งพบว่าปะการังเขากวางตายไปทั้งหมด (ภาพขวา)

ที่มา: กลุ่มชีววิทยาและนิเวศวิทยาทางทะเลและชายฝั่ง (2554)



ภาพที่ 11 ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิผิวหน้าน้ำทะเลรายปีในอ่าวไทยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2534-2549

ที่มา: กลุ่มวิจัยสมุทรศาสตร์ (2546) และ ฝ่ายสารสนเทศทางทะเล (2549)

ในการพัฒนาระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ผ่านเครือข่าย สามารถเผยแพร่ข้อมูลได้หลายรูปแบบทั้งแบบผ่าน Web Browser ซึ่งไม่ต้องมีการติดตั้งโปรแกรมเพิ่มเติม และแบบผ่านโปรแกรมที่รองรับการทำงานกับ WMS ซึ่งผู้ใช้ข้อมูลสามารถใช้เป็นข้อมูลแผนที่ฐานหรือข้อมูลสนับสนุนงานวิจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องได้ โดยไม่ต้องมีการจัดหาหรือซื้อข้อมูล จัดได้ว่าเป็นการให้เผยแพร่และให้บริการข้อมูลที่เป็นไปตามมาตรฐาน OGC ซึ่งถือเป็นมาตรฐานกลางในการให้เผยแพร่ข้อมูลภูมิสารสนเทศผ่านเครือข่ายตลอดจนการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างหน่วยงาน (Interoperability) ได้อย่างสะดวกและรวดเร็ว โดยไม่ต้องมีการเปลี่ยนแปลงหรือแก้ไขกลไกของระบบใดระบบหนึ่ง นอกจากนี้การพัฒนาโปรแกรมประเภทรหัสเปิดยังไม่มีภาระค่าใช้จ่ายในเรื่องลิขสิทธิ์และมีความยืดหยุ่นสูง เนื่องจากผู้พัฒนาโปรแกรมสามารถพัฒนารหัสการทำงานให้ตรงกับความต้องการของตนเองได้ อย่างไรก็ตาม การพัฒนาระบบดังกล่าวข้างต้นยังมีข้อด้อยและข้อจำกัดบางประการ อาทิ การเรียกใช้งานระบบที่เป็นระบบ Tile Caching ซึ่งมีความรวดเร็วในการแสดงผลมากกว่าการเรียกใช้งานได้เฉพาะแบบผ่านเว็บเบราว์เซอร์เท่านั้นไม่สามารถใช้ได้ในซอฟต์แวร์บางโปรแกรมเนื่องจากเทคโนโลยีของโปรแกรมยังไม่รองรับระบบ Tile caching ดังกล่าวนี้

สรุป

โดยสรุปสถานการณ์ปะการังในประเทศไทยช่วงปี พ.ศ. 2553 อยู่ในสภาวะค่อนข้างวิกฤติ เนื่องจากปัจจัยหลักๆ ที่เกี่ยวข้องกับการดำรงชีวิตของปะการัง เช่น อุณหภูมิน้ำทะเล ได้รับผลกระทบจากภาวะโลกร้อน โดยในอดีตอุณหภูมิน้ำทะเลในประเทศไทยส่วนใหญ่มีค่าไม่เกิน 31 องศาเซลเซียส และไม่พบว่ามีอุณหภูมิสูงต่อเนื่องยาวนานมากกว่า 3 เดือน แต่ในปี พ.ศ. 2553 กลับพบว่าอุณหภูมิน้ำทะเลมีค่าสูงมากกว่า 31 องศาเซลเซียส ต่อเนื่องยาวนานติดต่อกัน 8-10 เดือน ส่งผลให้เกิดปะการังฟอกขาวในพื้นที่กว้างอย่างเห็นได้ชัด ส่วนการนำระบบภูมิสารสนเทศมาใช้ในการประเมินสถานการณ์ปะการังนั้นพบว่าการเลือกใช้เทคโนโลยีที่มีความเหมาะสมจะช่วยให้การดำเนินงานวิจัยมีความถูกต้องและมีคุณภาพมากยิ่งขึ้น ทั้งนี้ การต่อยอดโดยบูรณาการข้อมูลที่ได้จากดาวเทียมหลากหลายชนิดร่วมกันก็จะยิ่งช่วยให้ระบบการติดตามและประเมินสถานการณ์ปะการังในประเทศไทยมีความน่าเชื่อถือยิ่งขึ้น สำหรับการเผยแพร่ข้อมูลภูมิสารสนเทศผ่านทางระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ตนั้น ประโยชน์คือผู้ใช้ข้อมูลจะได้รับความสะดวกในการนำข้อมูลไปใช้ได้อย่างรวดเร็วและกว้างขวางขึ้น ซึ่งระบบที่ทดลองพัฒนาขึ้นมานี้มีความยืดหยุ่นสูงและสามารถปรับแก้รหัสได้ตามความต้องการ อย่างไรก็ตามระบบดังกล่าวยังมีข้อจำกัดในส่วนของเว็บบราวเซอร์ที่รองรับได้บางโปรแกรมเท่านั้น ซึ่งในอนาคตทีมนักวิจัยจะดำเนินการพัฒนาต่อยอดให้ระบบดังกล่าวสามารถใช้ร่วมกับเว็บบราวเซอร์ต่างๆ ให้มีความหลากหลายขึ้น เพื่อให้ผู้ใช้ได้รับความสะดวกในการใช้งานต่อไป

เอกสารอ้างอิง

กลุ่มชีววิทยาและนิเวศวิทยาทางทะเลและชายฝั่ง สถาบันวิจัยและพัฒนาทรัพยากรทางทะเลชายฝั่งทะเลและป่าชายเลน. 2554. รายงาน

เบื้องต้นผลกระทบจากการเกิดปะการังฟอกขาวปี 2553 บริเวณจังหวัดพังงา ภูเก็ต และกระบี่ (เอกสารประกอบการเสวนา). **การเสวนาระดมสมองกู้วิกฤติแนวปะการัง (Brainstorming for Coral Reef Crisis).** ศูนย์ประชุมแห่งชาติสิริกิติ์, กรุงเทพฯ.

กลุ่มวิจัยสมุทรศาสตร์ สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน). 2546. **การประมวลผลและวิเคราะห์ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาและสมุทรศาสตร์จากเครือข่ายทุ่นสำรวจฯ ของโครงการชีวอทซ์ไทยแลนด์ ระหว่างปี 2535-2543.** สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน), กรุงเทพฯ.

กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช. 2556. **ปะการังสายใยแห่งชีวิต.** แหล่งที่มา: http://www.dnp.go.th/parkreserve/Np/Html/Research/Coralreef/Coralreef_7.html, 14 มีนาคม 2556.

ธรณ์ ธำรงนาวาสวัสดิ์. 2534. การใช้ข้อมูลระยะไกลศึกษาการกระจายองค์ประกอบแนวปะการังบริเวณกลุ่มเกาะสมุย จังหวัดสุราษฎร์ธานี. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ฝ่ายสารสนเทศทางทะเล สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน). 2549. “ปรากฏการณ์เอลนีโญและลานีญากับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผิวหน้าน้ำทะเลในอ่าวไทย.” **มติชน** (10 ตุลาคม 2549): 3.

มามมาส สุทธาชีพ. 2548. ความสามารถของเทคนิคการสำรวจระยะไกลในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสถานภาพของแนวปะการังในระยะยาวบริเวณเกาะเต่า จังหวัดสุราษฎร์ธานี. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ศรีสกุล ภิรมย์วรากร, เจมส์ ดี ทรู และ ศักดิ์อนันต์ ปลาทอง. 2554. **การประเมินผลกระทบจากปรากฏการณ์ปะการังฟอกขาวต่อแนวปะการังบริเวณหมู่เกาะอาดังราวี อุทยานแห่งชาติตะรุเตา.** แหล่งที่มา: http://www.mkh.in.th/index.php/2010-03-22-18-05-34/2011-08-24-04-53-51, 14 มีนาคม 2556.

สุชนา ชวนิชย์. 2556. **ปะการังกับภาวะโลกร้อน.** แหล่งที่มา: http://www.rspg.or.th/tis_museum/semi_articles/semi_articles_19/semi_article_19.htm, 20 พฤศจิกายน 2555.

Davies, J.E. 2004. **The IMAPP MODIS sea surface temperature algorithm.** Available Source: http://www. mdl.nws.noaa.gov/~applications/LAD/data/1589/SST_DOC.pdf, March 27, 2007.

Dobson, E.L. and Dustan, P. 2000. **The use of satellite imagery for detection of shifts in coral reef communities.** Available Source: http://www.yale.edu/ceo/Documentation/coral_reefs.pdf, March 1, 2011.

Lyzenga D.R. 1981. Remote Sensing of bottom reflectance and water attenuation parameters in shallow water using aircraft and Landsat data. **International Journal of Remote Sensing** 2: 71-82.

Montgomery, R.S. and Strong, A.E. 1994. Coral bleaching threatens ocean, life. **EOS, Transactions American Geophysical Union** 75(13): 145-147.

NOAA. 2008. **Coral Reef Watch.** Available

Source: http://coralreefwatch.noaa.gov/satellite/methodology/methodology.html#hotspot, February 1, 2011.

Nurlidiasari, M. 2004. **The Application of QuickBird and Multi-temporal Landsat TM data for coral reef habitat mapping Case Study: Derawan Island, East Kalimantan, Indonesia.** International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation, Enschede, The Netherlands, Netherlands.

Palandro, D., Andrefouet, S., Dustan, P. and Muller-Karger, F.E. 2003. Change detection in coral reef communities using IKONOS satellite sensor imagery and historic aerial photographs. **International Journal of Remote Sensing** 24(4): 873-878.

Pison, V. and Nechad, B. 2006. **Towards an assimilation of MODIS-derived Sea Surface Temperature (SST) by the Optos_nos model.** Available Source: http://www.mumm.ac.be/ BELCOLOUR/Publications/MODIS%20SST-OPTOS_BN_VP.pdf, March 1, 2011.

Yamano, H., Tamura, M., Kunii, Y. and Hidaka, M. 2002. Hyperspectral Remote Sensing and radiative transfer simulation as a tool for monitoring coral reef health. **Marine Technology Society Journal** 36: 4–13.